

Yüksek Basınç Uygulamalarının Et ve Et Ürünleri Kalitesi Üzerine Etkisi

Ömer ZORBA Şükrü KURT

Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü 65080-VAN

ÖZET

Yüksek basınç (YB) uygulaması, gıdaların korunmasında ve özelliklerinin geliştirilmesinde önemli bir potansiyele sahiptir. Gıdalarda mikrobiyal gelişimin engellenmesi ve enzimlerin inaktivasyonu amacıyla, genellikle 100-600 MPa aralığında basınç uygulanmaktadır. Yüksek basınç, mikrobiyal gelişimi ve enzim aktivitesini engellemesinin yanı sıra, özellikle etlerde gevrekleştirme ve faz değişimlerinin (dondurma, çözündürme) kontrolü amacıyla da kullanılmaktadır. Proteinler üzerinde modifikasyonlara neden olabilmesi nedeniyle, proteinlerin özellikleri üzerinde etkili olup, etlerin tekstürel özelliklerinin geliştirilmesinde önemli rol oynamaktadır. Isıl işlemlerin kullanım amaçlarına benzer amaçlarla kullanılabilmesi ve gıdanın besin değerlerine kayda değer zarar vermemesi nedeniyle de ısı işlem için önemli bir alternatif oluşturmaktadır. Ayrıca, yeni ürünlerin geliştirilmesinde de önemli bir potansiyele sahiptir.

Anahtar kelimeler: Yüksek basınç, protein, gevrekleştirme, oksidasyon, faz değişimi

The Effects of High Pressure Treatments on Meat and Meat Products

SUMMARY

High pressure (HP) application has high potential for food preservation and development of some food properties. Generally, HP in the range 100 to 600 MPa are applied to foods for inactivation of microorganisms and enzymes. However, HP is used for tenderness and the control of phase transition (freezing, thawing) in meats. Because it has beneficial effects for improving protein functionality, it plays an important role in the development of textural properties of meats. It has similar effects with heat applications, however it is not decreased nutritional quality of foods. Therefore, HP is an important alternative for heat applications. Also it can be use in new product development.

Keywords: High pressure, protein, tenderness, oxidation, phase transition

GİRİŞ

Gıdaların özelliklerinin geliştirilmesinde ve muhafazasında çeşitli katkı maddeleri kullanılmakta ve bu katkıların bir kısmının insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri bulunabilmektedir. Ancak, tüketicilerin gıda konusunda bilinçlenmesi ile birlikte, gıdaların daha güvenilir bir şekilde üretilmesi, besin değerini kaybetmemesi ve mümkün olduğunca doğal olması amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda çeşitli teknolojik çalışmalar yapılmakta birlikte, son zamanlarda özellikle yüksek basınç uygulamaları (YB) üzerinde önemle durulmaktadır. Bu yöntemin doğal olması, gıdaları istenmeyen mikrobiyolojik ve enzimatik etkilerden belli ölçüde koruyabilmesi, dolayısıyla raf ömrünü uzatabilmesi ve besin değeri üzerinde önemli bir değişime yol açmaması, gıda sanayiinde kullanımını oldukça önemli kılmaktadır. Ayrıca ısı işlemle elde edilmek istenen sonuçlara benzer sonuçlar vermektedir. Dolayısıyla ısı işlemin gıdalar üzerinde istenmeyen etkileri dikkate alındığında, ısı işlem yerine veya düşük sıcaklıkla beraber YB uygulaması avantajlı görülmektedir.

Genellikle 100 MPa ile 1000 MPa arasında, özellikle de 100 MPa ile 600 MPa arasında basınç uygulaması içeren bu yöntemin temel prensibi, materyali çevreleyen suyun sıkıştırılmasına dayanmaktadır. Suyun sıkıştırılması ile birlikte basıncın etkisi materyalin şekline, büyüklüğüne bağlı olmadan, materyalin her noktasına anında eşit bir şekilde iletilmektedir. Oda

sıcaklığında uygulanabildiği gibi, farklı sıcaklıklarda uygulanarak basıncın etkisinde farklılıklara neden olunabilmektedir. Dolayısıyla yüksek basıncın uygulandığı bu sistemde, basıncın ve sıcaklığın güvenli olarak kontrol edilmesi gerekmektedir. Yüksek basınç uygulaması sırasında istenen basınç seviyesine ulaşıldıktan sonra çok daha az enerji harcanmaktadır. İstenen basınca bir kez ulaşıldıktan sonra pompa durdurulmakta, valf kapatılmakta ve kap içerisindeki basınç başka enerji girişine ihtiyaç duymaksızın tutulmaktadır (1). Ayrıca uygulama süresinin kısa olması da ısı işleme kıyasla kullanımının avantajlı olacağını göstermektedir. Bu yöntemin uygulanmasında suyun yanı sıra, gazlar veya yağlar da kullanılabilmesine rağmen, ekonomik olması, güvenilir olması, pratik kullanılabilirliği ve hacmindeki azalmanın az olması nedeniyle su tercih edilmektedir.

Yüksek basınç teknolojisinin gıda sanayiinde kullanımı, başta Japonya olmak üzere, Amerika ve bazı Avrupa ülkelerinde sınırlı da olsa gerçekleştirilmektedir. Ancak, bu konuda yapılan çalışmalar oldukça yetersizdir. Yüksek basınç uygulaması; gıdalarda protein modifikasyonu ve mikrobiyolojik kalitenin artırılması başta olmak üzere, gıdaların bir çok özelliğini geliştirmek için kullanılabilir. Başta et, meyve suyu ve süt gibi gıdalar olmak üzere bir çok gıdada kullanılabilirliğinin olması, bu gıdaların özelliklerinin farklı olması nedeniyle, etkilerinin ayrı ayrı araştırılmasını gerektirmektedir. Örneğin, diğer bir çok gıdadan farklı olarak et ve et ürünlerinde gevrekleştirme amacıyla da

kullanılabilmektedir. Bununla birlikte etlerde lipid oksidasyonu, renk ve faz değişimi üzerinde oldukça önemli etkileri bulunmaktadır (2). Ayrıca, emülsiyon tipi et ürünlerinde tuz seviyesini düşürmek için kullanılabileceği de bildirilmektedir (1).

Yüksek Basıncın Et Proteinleri Üzerindeki Etkileri

Proteinler etin en önemli bileşenlerinden olup, etin kalitesi üzerinde oldukça önemli bir yere sahiptirler. Dolayısıyla proteinlerin yapısında meydana gelebilecek değişimler et ve et ürünlerinin kalitesini de etkileyebilmektedir. Bilindiği gibi proteinler yapılarında kovalent bağlar, disülfid bağları, hidrojen bağları ve diğer interaksyonları bulundurabilmektedirler. Bu bağların bir çoğunun kırılması sonucu proteinler modifiye olmakta ve özelliklerinde önemli değişimler meydana gelmektedir. YB uygulaması kovalent bağları kıramasına rağmen, hidrojen bağları ve diğer interaksyonları etkileyebilmektedir. Genel olarak, kuaternar yapı daha çok hidrofobik interaksyonlara sahip olması nedeniyle YB'ye karşı daha hassastır. Nitekim, oligomerik proteinler düşük basınç uygulamalarında (<150-200MPa) dissosiyasyon olabilmektedirler. Bununla birlikte negatif büyük basınç değişimleri de meydana gelebilmektedir. Nitekim laktat dehidrogenaz enziminin dissosiyasyonunda 500 ml/mol seviyesinde hacim değişiminin meydana geldiği bildirilmektedir (3). Hacimde meydana gelen azalma (30-80 ml/mol) kovalent olmayan bağların oluşması veya kırılmasıyla ve solvent moleküllerinin tekrar düzenlenmesinden dolayı denatürasyonla ortaya çıkmaktadır (4). Ancak önemli oligomer değişimleri 200 MPa'nın üzerinde gözlenmektedir. 200 MPa'nın üzerinde uygulanan YB proteinlerin dissosiyasyonunu etkilerken, dissosiyasyon olmuş oligomerlerin tekrar birleşmelerini de sağlayabilmektedir. Bununla birlikte proteinlerin tersinir açılımları 400-800 MPa'da da gözlenebilmektedir. Dolayısıyla bu durum YB uygulamasında hidrofobik interaksyonların önemini ortaya çıkarmaktadır (3). Proteinlerin sekonder yapıları üzerindeki değişimler ise ancak çok yüksek basınçlarda, heliksel yapının oluşumunu sağlayan hidrojen bağlarının kırılması sonucu ortaya çıkmaktadır. Sekonder yapıdaki bu değişim genellikle geri dönüşümsüzdür.

Proteinler doğal yapılarını ve stabilizasyonlarını protein zincirindeki interaksyonlar ve bulunduğu çevredeki solvent interaksyonları ile koruyabilmektedirler. YB uygulaması protein-solvent interaksyonlarının hassas dengesini etkileyerek, polipeptid zincirinin açılmasına neden olmaktadır (4). Bu durum ayrıca, bazı biyokimyasal değişimler için, özellikle de enzimatik değişimler için, substrat sağlayabilmektedir (5).

Biyokimyasal tepkimelerin çoğunda hacim artışı meydana gelmesine rağmen, yüksek basınç uygulaması hacimsel azalmaya yol açmaktadır. YB'nin etkisiyle molekül boşluklarında azalma ve iç etkileşimlerde artma olmaktadır. Sulu sistemlerde iyonizasyonun artmasıyla

birlikte pH'da değişimler meydana gelmekte ve oluşan tepkimelerin neticesinde hacimde azalma ortaya çıkmaktadır (6).

Etin en önemli proteinlerinden olan myofibriller proteinler üzerinde yapılan çalışmalarda, YB'nin bu proteinlerin çözünürlüğünü artırdığı ve yapısal değişimlere yol açtığı belirlenmiştir (7). Hsu ve Ko (7), Tilapia kaslarından ekstrakte edilen myosinin 500 atm'den 2000 atm kadar olan basınç uygulamalarında önemli değişimlere uğradığını belirlemişlerdir. Yapılan çalışmada 0°C'de 500 atm'lık basınçtan sonra myosin filamentlerinin açıldığı ve hacminin azaldığı, 1000 atm'den 1500 atm'a kadar olan uygulamada ise, myosinlerin agregasyona uğradığı ve çözünmez strüktür oluşturduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte 500 atm ile 1000 atm arasında myosinin viskoz sol halden elastik jel haline dönüştüğü ve 2000 atm'de myosinin düzensiz agregatlar oluşturduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, Kamiyama ve ark. (8) tavuk kasına 200 MPa'dan 600 MPa'ya kadar uygulanan basıncın myosinin degradasyonuna yol açtığını bildirmektedirler.

Galazka ve ark. (9) Sığır Serum Albuminine 300'den 800 MPa'ya kadar uygulanan basınçlarda, yüzey hidrofobitesinde kısmen kayıp oluştuğunu ve bu durumun basıncın etkisiyle proteinin açılarak çözünürlüğünü kaybetmesinden kaynaklandığını belirlemişlerdir. Bununla birlikte, YB'nin süt proteinlerinin yüzey özelliklerini ve jel özelliklerini geliştirdiği de bildirilmektedir (10). Parés ve ark., (11) ise 5 ve 40°C'de 15 dakika uyguladıkları 450 MPa basıncın, domuz kanı plazmasının proteinlerinin çözünürlüğünü azalttığını bildirmişlerdir. Bununla birlikte tekstür ve su tutma kapasitesi üzerinde istatistiksel olarak önemli bir farklılığa yol açmadığını bildirmişlerdir.

Proteinlerin jel oluşturma özellikleri, bir çok gıdanın tekstürel özelliklerini belirleyen önemli bir faktördür. Jel oluşturma mekanizması ısı ile işlemle gerçekleştirilebilmesine rağmen, ısı ile işlem genellikle gıdaların bazı besinsel özelliklerini olumsuz etkileyebilmektedir. Isıl işlem proteinlerdeki zayıf interaksyonları etkileyerek jel oluşumunu sağlamaktadır (3). Dolayısıyla YB uygulamasının da proteinler üzerinde benzer etkilerinin olması, gıdanın özelliklerine kayda değer zarar vermemesi, proteinlerin jel oluşturma özellikleri üzerindeki etkilerinin araştırılmasını oldukça önemli bir hale getirmiştir.

Yüksek Basıncın Etin Gevrekleştirilmesi Üzerindeki Etkileri

Kesim sonrası hayvan etlerindeki biyokimyasal değişimlerle birlikte, proteinlerde meydana gelen değişimler, etin gevrekliği ve diğer duyu özellikleri üzerinde etkili olmaktadır. Kesimden hemen sonra (pre-rigor döneminde) etin sahip olduğu gevreklik rigor-mortis döneminde önemli derecede azalmaktadır. Rigordan çıktıktan belli bir süre sonra (post-rigor döneminde), özellikle proteolitik enzimlerin etkisiyle gevrekleşmede

sınırlı bir artış meydana gelmekte, ancak ilk gevrekliğe ulaşamamaktadır (12).

Genel olarak ette sertleşmeye iki önemli faktör etki etmektedir. Bunlardan birisi kesim sonrasında oluşan aktomyosin kompleksi ve diğeri ise etin bağ doku içeriğidir. Etin olgunlaşması sırasında bağ dokudaki değişimler myofibriller proteinlere kıyasla daha zayıftır. Bununla birlikte, YB uygulaması da myofibriller proteinlere kıyasla bağ doku üzerinde zayıf bir etkiye sahiptir. Dolayısıyla YB uygulamasından sonra bağ doku, etteki gevrekleşmeyi sınırlayabilmektedir (13).

Ette gevrekleştirme düşünüldüğünde, YB etin gevrekleştirilmesi açısından üç önemli değişime neden olmaktadır. Bunlardan birisi enzimatik, ikincisi myofibrillerde modifikasyon ve diğer önemli değişim ise ultrastrüktürel modifikasyonlardır. Myofibrillerdeki modifikasyon, myofibrillerin organizasyonunda değişimlerle gerçekleşebilmektedir. Ultrastrüktürel değişimler sırasında ise, basınç A-bandında değişimlere ve gap filamentlerinin zayıflamasına yol açmaktadır. Bununla birlikte I-bandı agregasyona uğramakta, bütünlüyü bozulmakta ve Z-çizgilerinde kırılmalar meydana gelebilmektedir. Ancak YB'nin meydana getirdiği bu durumun, etin gevrekleşmesi üzerindeki etkisi henüz tam olarak açıklanamamakla birlikte, gevrekleşme üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı da bildirilmektedir. Bununla birlikte, gevreklik üzerinde sarkomerin kontraksiyon durumu ve fibril çapının etkili olabileceği ifade edilmektedir (14). Suzuki ve ark. (15) ise, etin olgunlaşması sırasında gevrekleştirmede önemli etkisi olan konnektin (titin) filamentinin, YB uygulamasından etkilendiği ve bu durumun gevrekleşme üzerinde etkili olabileceğini bildirmektedirler.

YB uygulamasının etin gevrekliği üzerindeki etkisi fiziksel kuvvetin yanı sıra proteolitik enzimlerin aktivitesinin artırması sonucuyla da gerçekleşmektedir. Kesim sonrası ette doğal olarak gerçekleşen gevrekleşmede, katepsinler ve kalpainler myofibriller proteinleri denatüre ederek önemli rol oynamaktadırlar. Katepsinler lisozomlarda, kalpainler ise sarkoplazmada inaktif haldedirler. pH'nın düşmesi ile birlikte kalpainler aktif hale gelmekte ve lisozomların parçalanması sonucu da katepsinler aktif hale gelmektedirler (12). Homma ve ark. (16)'nın bildirdiklerine göre, YB uygulaması ile birlikte lisozomların parçalanması sonucu, serbest hale geçen enzimler kasta proteolitik aktivitenin artmasına yol açmaktadırlar. Bu araştırmacılar yaptıkları bu çalışmada, uygulanan basınç 500MPa'ya çıkmasıyla birlikte kastan ekstrakte edilen asit fosfataz'ın aktivitesinin arttığını tespit etmişlerdir. Bununla birlikte, katepsin B,D ve L'nin aktivitelerinin 400MPa'ya kadar arttığını ve 500MPa'da azaldığını bildirmişlerdir. YB'nin kalpainler üzerindeki etkisi ise henüz çok net açıklanamamakla birlikte, 100 MPa'ya kadar uygulanan basınç önemli bir etkisinin olmadığı, ancak 200 MPa'nın üzerindeki basınç uygulamalarında aktivitede önemli azalma olduğu ve 300 MPa'da büyük oranda aktivitelerini kaybettikleri bildirilmektedir (17). Bununla birlikte, YB'nin 100

MPa'da kalpastatin aktivitesini hızlı bir şekilde %40'a kadar azalttığını ve Ca²⁺ konsantrasyonunu artırdığı ve bu durumun da kalpainlerin gevrekleştirme üzerindeki etkisini artırdığı bildirilmektedir (17).

Yüksek Basıncın Etin Mikrobiyolojik Kalitesi Üzerindeki Etkisi

Yüksek basınç uygulamasının etin kalitesi üzerindeki en önemli etkilerinden biride etin mikrobiyolojik kalitesini artırmasıdır. Uygulanan basınç seviyesi mikroorganizmaların morfolojisi, hücre duvarları ve hücre zarları, genetik mekanizmaları ve biyokimyasal reaksiyonları üzerinde önemli değişimlere yol açmaktadır. YB uygulamasıyla birlikte, hücre zarı geçirgenliği artmakta, hücre içi bileşenleri parçalanmakta, hücrede enerji üreten reaksiyonlar inhibe olmakta, hücre büyümesi için gerekli enzimler inaktif olmakta ve büyüme için gerekli olan pH aralığı azalmaktadır (6, 18). Böylece mikroorganizmaların özellikle vejetatif hücreleri önemli ölçüde zarar görmektedir. Mikroorganizmaları inaktif etmek için, günümüzde daha çok pastörizasyon ve sterilizasyon uygulanmaktadır. Bu durum gıdada mikrobiyolojik kaliteyi yükseltirken, besin değerini de düşürebilmektedir. Dolayısıyla alternatif sterilizasyon uygulamaları gıda proseslerinde oldukça önemlidir.

Mikroorganizmaların yüksek basınç altındaki inaktivasyon kinetikleri; basınç seviyesi, uygulama zamanı, sıcaklık, pH, su aktivitesi ve gıda bileşenleri gibi bir çok faktöre bağlıdır (18). YB'nin mikroorganizmalar üzerindeki etkisi türlere göre de önemli farklılıklar göstermektedir. Sporlar oldukça dirençli olmakla birlikte, Gram pozitif bakteriler Gram negatiflerden daha dirençlidirler. Ancak büyüme fazında bakterilerin dirençleri önemli ölçüde azalmaktadır. Bununla birlikte, basiller koklara kıyasla daha duyarlıdır (18).

Mikroorganizmaların inaktivasyonunda YB'nin etkisi, uygulama sıcaklığı ile önemli derecede ilişkilidir. Optimum sıcaklıkta mikroorganizmaların YB'ye karşı dirençleri artmakta, optimum sıcaklığın üzerindeki sıcaklık değerlerinde dirençleri azalmaktadır. Bu durum, sıcaklık artışına bağlı olarak hücre zarının geçirgenliğinin artmasıyla ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla hücre zarında bulunan yağ asidi zincirlerinin doymuşluk seviyesi ve zincir uzunluğu hücre zarının direncini etkilemektedir. Nitekim, YB uygulanmadan önce hücreye soğuk şoklama uygulandığında basınca karşı hücrenin direnci artmaktadır. YB öncesi düşük sıcaklığa adaptasyon gösteren hücre zarı, yapısındaki yağ asitlerinin dallanmasına ve zincir uzunluğunun azalmasına neden olmakta ve YB'ye karşı direnci artırmaktadır. Ayrıca soğuk şoklamaya uğrayan proteinler de YB'ye karşı hücrenin direncini artırmaktadır (18). Dolayısıyla soğukta muhafaza edilen gıdalara uygulanacak basınç seviyesinin belirlenmesinde bu durumun dikkate alınması gerekmektedir. Ayrıca, YB uygulamalarında sıcaklığın dikkate alınması ve gıdanın özellikleri de göz önünde tutularak, YB ile sıcaklık seviyesinin hedef mikroorganizmalara bağlı olarak optimize edilmesi

gerekmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalar yetersiz olup, daha fazla çalışma yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, YB uygulamalarında sıcaklığın yanı sıra, antimikrobiyal maddeler ve enzimler gibi diğer faktörlerin de kombinasyonu (Hurdle effect) etkin sonuçlar alınabilmektedir.

Cheftel ve Culioli (2) uygulanacak basınç seviyesinin ürün tipine bağlı olarak değiştiğini ve mikrobiyolojik inaktivasyon için, etlere uygulanacak basıncın 400-600 MPa'da (1-10 dak. ve 50-70 °C) etkin sonuçlar verebileceğini bildirmişlerdir.

Yüksek Basıncın Etlerde Lipid Oksidasyonu Üzerindeki Etkileri

Et ve et ürünlerinde muhafaza süresini sınırlayan en önemli faktörlerden biri yağlarda meydana gelen oksidasyondur. Bu durum daha çok doymamış yağ asidi içeriği yüksek olan balık yağlarında görülmektedir. YB uygulaması, indirgenmiş durumda olan myoglobin ve oksimiyoglobinin ferrik forma dönüşmesine neden olmaktadır. Böylece demirin etkisiyle yağ oksidasyonu katalizlenmektedir. Et ürünleri, hem kompleksinde ve diğer bileşenlerin yapısında olmak üzere önemli oranda demir içermektedirler. Dolayısıyla bu bileşenlerde bulunan demir serbest demir formuna geçerek, prooksidan etkisiyle lipid oksidasyonunu başlatabilmektedir. Ancak, Orlien ve ark. (19) YB uygulamasının lipid oksidasyonuna yol açmasının nedeninin metmyoglobinin katalitik etkisinden, yani basınç etkisiyle serbest kalan demir iyonunun etkisiyle olmadığını, membranın zarar görmesiyle ilişkili olduğunu bildirmişlerdir. Bu araştırmacılar bir kısım tavuk göğüs kasına 10 dakika 300, 400, 500, 600, 800 MPa basınç uygulamışlar ve başka bir kısım tavuk göğüs kasına sadece ısı işlem uygulayıp (80°C'de 10 dakika) 5 °C'de 2 hafta muhafaza etmişlerdir. 800 MPa uygulamasının lipid oksidasyonunu artırdığını ve benzer bir artışın ısı işlemin etkisiyle de gerçekleştiğini bulmuşlardır. 600 ve 700 MPa'nın ise çok az bir oksidasyona neden olduğunu saptamışlardır. Bununla birlikte, 500 MPa'nın ve altındaki basınç uygulamalarının risiditeye neden olmadığını ve 500 MPa'nın bu anlamda kritik bir değer olduğunu ifade etmişlerdir. Chevalier ve ark. (20), ise Turbot filetolarına 4°C'de 15 dakika 100, 140, 180 ve 200 MPa basınç uygulamışlardır. Lipid oksidasyonunun basınç seviyesi ve süresinden etkilendiğini, özellikle de oksidasyonun 180 MPa'dan itibaren arttığını bildirmişlerdir. Beltran ve ark. (21) tavuk göğüs eti kıymasına uygulanan YB'nin (30 dak. 20°C, 300 ve 500 MPa), ısı işleme (15 dak. 90°C) kıyasla daha düşük seviyede lipid oksidasyonuna neden olduğunu bildirmişlerdir. Ancak bu araştırmacılar tuzun, basınç uygulanan tavuk kıyması üzerinde oldukça önemli derecede prooksidan etkisinin olduğunu da bildirmişlerdir. Cheah ve Ledward (22) domuz eti kıymasına oda sıcaklığında 300 MPa'nın üzerinde uygulanan basıncın lipid oksidasyonunu önemli derecede katalizlediğini tespit etmişlerdir.

Yüksek Basıncın Etin Rengi Üzerindeki Etkileri

Ete rengini veren pigment, protein yapısındaki myoglobindir. Myoglobin ise protein yapısında olan globin ve demir atomu (Fe²⁺) taşıyan hem molekülü olmak üzere iki kısımdan oluşmuştur. Kesimden hemen sonra etin rengi koyu kırmızı iken atmosferik basınçta oksijenasyonun etkisiyle kısa bir sürede myoglobin oksimiyoglobine dönüşmekte ve et parlak kırmızı bir renk almaktadır. Taze ette renk, myoglobin, oksimiyoglobin ve metmyoglobin miktarına bağlı olarak değişmekte, oksidasyonun ilerlemesi ile metmyoglobin miktarı artmaktadır (12).

YB'nin proteinler üzerinde etkili olması nedeniyle, protein yapısında olan myoglobini etkileyerek renk üzerinde önemli değişimlere yol açabilmektedir. Cheah ve Ledward (22) domuz eti kıymasında 400 MPa'nın myoglobin üzerinde geri dönüşümsüz denatürasyona neden olduğunu bildirmişlerdir. Carlez ve ark. (23) vakum ambalajlama yaptıkları sığır kıymasına 10°C'de 10 dakika YB uygulamış ve L* renk değerlerinin 200-300 MPa aralığında önemli bir şekilde arttığını, rengin pembeye dönüştüğünü tespit etmişlerdir. 400-500 MPa aralığında a* değerlerinin düştüğünü ve rengin gri-kahve rengine dönüştüğünü belirlemişlerdir. 400-500 MPa aralığında oksimiyoglobin oranı azalırken, metmyoglobinin arttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca bu araştırmacılar, basınç altında metmyoglobinin denatürasyonunun ısı, asit ve üre denatürasyonu ile benzerlik gösterdiğini ve bu durumun kısmen hidrofobik interaksiyonların kırılmasından kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Cheah ve Ledward (22) *Longissimus dorsi* ve *Psoas major* sığır kaslarına 20 dakika uygulanan 80-100 MPa'nın renk stabilitesini etkilediğini belirlemişlerdir. Bununla birlikte, kesimden 7-20 gün sonra uyguladıkları basıncın, renk stabilitesinde herhangi bir gelişme sağlamadığını bildirmişlerdir.

Yüksek Basıncın Faz Değişimi Üzerindeki Etkileri

Etin muhafaza şartları, etin kalitesini etkileyen en önemli faktörlerdendir. Etin uzun süreli muhafazasında, dondurma yöntemi tercih edilmektedir. Ancak dondurmayla birlikte et kalitesinde de bazı sorunlar yaşanabilmektedir. Özellikle yavaş dondurma sırasında oluşan buz kristallerinin hacmi, et dokusuna zarar verebilmektedir. Atmosferik basınçta dondurma işlemi, hacmin artışına ve dolayısıyla suya kıyasla buzun yoğunluğunun düşük olmasına yol açmaktadır. Örneğin 0°C'deki dondurma işlemi %9, -20°C'deki dondurma işlemi ise %13'lük bir hacim artışına yol açmaktadır. Dolayısıyla hacimdeki artış, dokulara zarar vermesinden dolayı istenmemekte ve bu problem YB uygulamasıyla belli bir ölçüde aşılabilmektedir. Çünkü YB uygulaması, hızlı, çok sayıda ve homojen buz kristalleri oluşturmakta ve oluşan bu buz kristallerinin yoğunluğu suyun yoğunluğundan daha fazla olmaktadır. Dolayısıyla dokuya verilen zarar önemli ölçüde azaltılabilmektedir (24, 25). Buz kristallerinin oluşumu ise basınç seviyesi ve

sıcaklık derecesiyle yakından ilişkilidir. 200 MPa'da -20°C'ye kadar faz geçişi gözlenmemektedir. Bu nokta kritik olup -20°C'nin altında buz kristalleri oluşmakta ve bu noktada faz geçişi görülmektedir. 200 MPa'dan daha düşük seviyedeki veya daha yüksek seviyedeki basınç uygulamalarında ise, daha yüksek sıcaklıklarda buz kristalleri oluşabilmektedir. Örneğin, 600 MPa'da yaklaşık 0 °C'de buz kristalleri oluşabilmektedir (25).

Ancak etlere uygulanacak basınç seviyesinin, proteinler üzerindeki etkileri göz önüne alınarak belirlenmesi gerekmektedir. Nitekim Chevalier ve ark. (26) -18°C'de 200 MPa'nın Lobster (su ürünü) et tekstürünü geliştirmediğini ve myofibriller proteinler üzerinde istenmeyen etkiye yol açtığını tespit etmişlerdir. Bununla birlikte bu araştırmacılar, proteinler üzerindeki olumsuz durumun ortadan kaldırılması için, basınç seviyesinin 150 MPa'nın altına düşürülmesi gerektiğini tavsiye etmektedirler. Fernández-Martín ve ark., (27) da -20°C'de 200 MPa'nın uygun olmadığını, bu değerlerde sarkomer yapısının zarar gördüğünü, myofibriller proteinlerin yapısında değişim olduğunu bildirmişlerdir.

Etin dondurulması kadar çözündürülmesi de fazla zaman gerektirmesi nedeniyle yüksek maliyetli bir işlem olup, aynı zamanda kalite problemlerine de neden olabilmektedir. Bu problemleri çözmek için, Zhao ve ark. (24) yaptıkları bir çalışmada, YB uygulamasının donmuş sığır etinin çözündürme süresini kısalttığını ve ürünün kalitesini olumsuz etkilemediğini bildirmişlerdir. Ancak basınç seviyesi ve uygulama süresinin çözünme oranını ve ürün kalitesini etkileyebileceğini belirtmektedirler. Bununla birlikte ürün hacminin ve dondurma sıcaklığının, çözünme oranına etki etmediğini bildirmektedirler. Dolayısıyla büyük et parçalarının çözündürülmesinde YB uygulamasının kullanımının avantajlı olabileceğini ifade etmektedirler.

SONUÇ

Yüksek basınç uygulamasının gıdalar üzerindeki etkisi oldukça önemli olup, et teknolojisindeki önemi her geçen gün artmaktadır. Et ve et ürünlerinin kalitesini artırabilmekle beraber, yeni ürün geliştirmede de kullanılabilmesi mümkün görülmektedir. Ancak bu yöntemin uygulanması ile ilgili yapılan çalışmalar oldukça yetersiz olup, daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yöntemin hem avantajları ve hem de dezavantajları açısından aydınlatılması gereken daha bir çok belirsizlikler bulunmaktadır. Örneğin toksik etkilerinin olup olmadığı hususunda yeterli literatür desteği henüz bulunmamaktadır. Proteinler üzerinde yaptıkları değişimlerin insan sağlığı üzerindeki etkileri tam olarak açıklanamamış değildir. Ayrıca yapılan çalışmaların ortaya koyduğu sonuçlar, genellikle gıdalar üzerindeki etkilerinin genellenmesine dayanmaktadır. Detaylandırılan çalışmalar ise sınırlı olup, daha çok literatür desteğine ihtiyaç bulunmaktadır.

Yüksek basınç teknolojisi ile ilgili yapılan çalışmalar ve pratikte uygulanabilirliği maliyeti

dolayısıyla da, yeterince gerçekleştirilememiştir. Bu konuda da çalışmalar yapılarak, yüksek basınç teknolojisinin ekonomik anlamda da avantajlı hale getirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- 1. Crehan C M, Troy D J, 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; 125-130.
- 2. Cheftel J C, Culioli J (1997):** Effects of high pressure on meat: a review *Meat Science*, 46:211-216.
- 3. Lullien-Pellerin V, Balny C (2002):** High-Pressure as a Tool to Study Some Proteins' Properties; Conformational Modification, Activity and Oligomeric Dissociation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 3: 209-221.
- 4. Hendrickx M, Ludikhuyze L, Van den Broeck I, Weemaes C (1998):** Effects of High Pressure on Enzymes Related to Food Quality. *Trends in Food Science and Technology*, 9; 197- 203.
- 5. Kurt Ş, Zorba Ö (2004):** Transglutaminaz ve proteinlerin modifikasyonunda kullanımı. *Gıda*, 29(5): 357-364.
- 6. Şanal İ S, Çalimli A (2000):** Yüksek Hidrostatik Basınç Teknolojisi ve Gıda Endüstrisinde Uygulamaları. *Gıda*, 25(3); 193-201.
- 7. 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.
- 8. Kamiyama K, Ikeuchi Y, Suzuki A, Kim K, Hayashi T, Ito T (2001):** An Immunological Assessment of Myosin Degradation in Pressurized Chicken Muscle. *Journal Of Food Science*, 66(8): 1126-1139.
- 9. Galazka V B, Ledward D A, Summer I G, Dickinson E (1997):** Influence of high pressure on bovine serum albumin and its complex with dextran sulphate. *J Agri Food Chem* 45: 3465-3471.
- 10. Johnston D E, Austin B A, Murphy R J (1993):** Properties acid-set gels prepared from high pressure treated skim milk. *Milchwissenschaft* 49(12): 206-209.
- 11. Parès D, Saguer E, Toldrà M, Carretero C (2000):** Effect of High Pressure Processing at Different Temperatures on Protein Functionality of Porcine Blood Plasma. *Journal of Food Science*, 65(3): 486-490.
- 12. Kurt Ş, Küçüköner E, Zorba Ö (2005):** Kesim Sonrası Sığır Etinde Meydana Gelen Biyokimyasal Değişimler. *Gıda (Baskıda)*.
- 13. Ueno Y, Ikeuchi Y, Suzuki A (2002):** Effects of High Pressure Treatments on Intramuscular Connective Tissue. *Meat Science*, 52; 143-150.
- 14. Jung S, De Lamballarie-Anton M, Ghou M (2000):** Modification of ultrastructure and myofibrillar proteins of *post-rigor* beef treated by high pressure. *Lebens.-Wiss. u.-Techn.*, 33: 313-319.

- 15. Suzuki A, Homma Y, Kim K, Ikeuchi Y, Sugiyama T, Saito M (2001):** Pressure-induced Changes in the Connectin/Titin Localization in the Myofibrils Revealed by Immunoelectron Microscopy. *Meat Science*, 59; 193-197.
- 16. Homma N, Ikeuchi Y, Suzuki A (1994):** Effects of High Pressure Treatment on the Proteolytic Enzymes in Meat. *Meat Science*, 38; 219-228.
- 17. Homma N, Ikeuchi Y, Suzuki A (1995):** Levels of Calpain and Calpastatin in Meat Subjected to High Pressure. *Meat Science*, 41(3): 251-260.
- 18. Hugas M, Garriga M, Monfort J M (2002):** New Mild Technologies in Meat Processing; High Pressure as a Model Technology. *Meat Science*, 62; 359-371.
- 19. Orlien V, Hansen E, Skibsten L H (2000):** Lipid Oksidation in High-pressure Processed Chicken Breast Muscle During Chill Storage: Critical Working Pressure in Relation to Oxidation Mechanism. *Eur Food Res Technol*, 211: 99-104.
- 20. Chevalier D, Le Bail A, Ghoul M (2001):** Effects of High Pressure Treatment (100-200 MPa) at Low Temperature on Turbot (*Scophthalmus maximus*) Muscle. *Food Research International*, 34; 425-429.
- 21. Beltran E, Pla R, Yuste J, Mor-Mur M (2003):** Lipid Oxidation of Pressurized and Cooked Chicken: Role of Sodium Chloride and Mechanical Processing on TBARS and Hexanal Values. *Meat Science*, 64: 19-25.
- 22. Cheah P B, Ledward D A (1997):** Inhibition of Metmyoglobin Formation in Fresh Beef by Pressure Treatment. *Meat Science*, 45(3); 411-418.
- 23. Carlez A, Veciana-Nogues T, Cheftel J C (1995):** Changes in Colour and Myoglobin of Minced Beef Meat Due to High Pressure Processing. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.*, 28; 528-538.
- 24. Zhao Y, Flores R A, Olson D G (1998):** High Hydrostatic Pressure Effects on Rapid Thawing of Frozen Beef. *Journal of Food Science*, 63(2): 272-275.
- 25. Li B, Sun D-W (2002):** Novel methods for rapid freezing and thawing of foods – a review. *Journal of Food Engineering*, 54; 175-182.
- 26. Chevalier D, Sentissi M, Havet M, Le Bail A (2000):** Comparison Of Air-blast and Pressure Shift Freezing on Norway Lobster Quality. *Journal of Food Science*, 65(2): 329-333.
- 27. Fernandez-Martin F, Otero L, Solas M T, 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): 1002-1008.