



## Su Ürünleri İşleme ve Muhafazasında Yüksek Hidrostatik Basınç Kullanımı

İlknur UÇAK\* 

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, 51240, Niğde, Türkiye

### Ö Z

Su ürünlerinin yüksek hidrostatik basınç (YHB) ile işlenmesi fizikokimyasal, mikrobiyal ve duyu kalitenin gelişmesinde oldukça önem göstermektedir. Geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında YHB düşük sıcaklıklarda ürün tazeliğinde çok az değişikliklerle mikroorganizmaları inaktive edebilmekte ve raf ömrünün uzamasını sağlamaktadır. Su ürünlerinde YHB' nin etkileri üzerine yapılan son çalışmalar, bu yeni teknolojinin hem faydalarını hem de eksik yanlarını ortaya koymaktadır. İşlem görmemiş su ürünleri ile kıyaslandığında, YHB su ürünlerinde depolama süresince bozulmanın azalmasını ve organoleptik özelliklerin korunmasını sağlamaktadır. Ancak renk bozulması, pişmiş görünüm ve lipid oksidasyonu YHB' nin su ürünlerinde kullanımını sınırlayan dezavantajlardır. Ayrıca balık kasının yüksek basınçla jelleştirilmesi ve yüksek basınçla dondurulup-çözdürülmesi, su ürünlerinden fayda sağlamak için YHB' nin yoğun olarak araştırılmakta olan en önemli alanlarından. Bu derlemede, YHB' nin su ürünlerinde kullanım alanları, avantajları ve dezavantajları hakkındaki yaklaşımlar değerlendirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Yüksek basınç teknolojisi, balık, raf ömrü, mikrobiyal kalite, kimyasal kalite

### MAKALE BİLGİSİ

#### DERLEME

Geliş : 26.09.2017  
Düzeltilme : 19.01.2018  
Kabul : 22.01.2018  
Yayım : 27.04.2018



DOI:10.17216/LimnoFish.340039

#### \* SORUMLU YAZAR

ilknurucak@ohu.edu.tr  
Tel : +90 388 225 30 44

### Utilization of High Hydrostatic Pressure in Seafood Processing and Preservation

**Abstract:** High hydrostatic pressure (HHP) processing of seafood has showed a great potential on improving the physicochemical, microbial and sensory quality of muscles. HHP at low temperatures can inactivate microorganisms with fewer changes to product freshness as compared to conventional preservation techniques and leads to an extension shelf life. Recent researches on the effects of HHP on seafood have gradually revealed the both benefits and defects of this novel processing technology. HHP has the advantage of ensuring reduction of spoilage in seafood, and preserving the organoleptic characteristics of the product compared to untreated muscle over storage time. However, the discolouration, cooked appearance and lipid oxidation are the drawbacks that could limit the application of high pressure on fish muscles. Furthermore, pressure-induced gelling and high pressure freezing-thawing of fish muscles are the main areas being investigated intensively to obtain the benefits of HHP seafood. Approaches in the utilization of HHP in seafood area, advantages and disadvantages of HHP were evaluated in this review.

**Keywords:** High pressure technology, fish, shelf life, microbiological quality, chemical quality

#### Alıntılama

Uçak İ. 2018. Su Ürünleri İşleme ve Muhafazasında Yüksek Hidrostatik Basınç Kullanımı LimnoFish. 4(1): 47-57. doi: 10.17216/LimnoFish.340039

### Giriş

Su ürünlerinin muhafazasında geleneksel işleme teknolojileri, uzun yıllardan beri yaygın olarak kullanılmaktadır. Geleneksel ısıl işlem uygulamaları sırasında ürünün maruz kaldığı sıcaklığın istenmeyen kalite değişimlerine yol açması nedeni ile ısıl olmayan ileri muhafaza tekniklerinin geleneksel yöntemlerle birlikte veya tamamen geleneksel yöntemlere alternatif olarak kullanılması son yıllarda yaygın hale gelmiştir. Su ürünlerinin muhafazasında genel olarak yapılması gereken iki temel

uygulamadan birincisi mikrobiyolojik aktivitenin durdurulmasıdır. Bu uygulama mikroorganizmaların tamamen uzaklaştırılması, gelişmelerinin engellenmesi veya öldürülmesi ile mümkün olmaktadır. Diğeri ise dokulardaki kimyasal olayların (enzimatik reaksiyonlar, su aktivitesi, oksidatif olaylar vb.) kontrol altına alınmasıdır. Bu kimyasal olaylar hem ürüne bulaşan mikroorganizmalardaki hem de ürünlerdeki tabii enzimler ve kimyasal reaksiyonlardan ileri gelmektedir. Bu noktada gıda teknolojisi açısından en önemli husus gıda

kalitesindeki ve besleyicilik değerindeki en az değişim ile gıda güvenliğinin en üst noktaya ulaştırılmasıdır (Arıcı 2006).

Yüksek hidrostatik basınç uygulamaları (*YHB*), termal yıkımları ortadan kaldırarak gıdaların 'tazelik' karakterinde minimum değişimler sağlamaktadır. Isıl işlemlere kıyasla, *YHB* uygulamaları gıdalarda daha taze lezzet, daha iyi görünüş, tekstür ve besin değeri ile sonuçlanmaktadır. Tüketici tarafından gıdanın kabul edilebilirliğinde, ürünün duyu özellikleri büyük bir rol oynamaktadır. *YHB* uygulamaları ortam ya da buzdolabı sıcaklıklarında gerçekleştirilebildiği için ısıl işlemler sonucu ortaya çıkan istenmeyen kötü değişimleri elimine etmektedir.

Bu derlemede, yüksek hidrostatik basınç uygulamasının su ürünleri işleminde kullanım alanları, yüksek hidrostatik basıncın avantajları ve dezavantajlarının anlatılması amaçlanmıştır.

### Yüksek hidrostatik basınç

Yüksek hidrostatik basınç, katı veya sıvı gıdaların ambalajlı veya ambalajsız olarak düşük sıcaklıklarda 100-1000 *MPa* basınca maruz bırakılmasıyla mikrobiyal inaktivasyonun sağlandığı bir teknolojidir (Cheftel ve Culioli 1997; Crehan vd. 2000). Gıdaların basınçla işlenmesi ABD'de Hite (1899) ve Hite vd. (1914) gibi araştırmacılar tarafından ilk olarak 19. yüzyılın sonlarında çalışılmıştır. Yüksek hidrostatik basıncın bakterileri inaktive ettiğine dair ilk rapor Roger tarafından 1895 yılında açıklanmış olmasına rağmen, gıda endüstrisinde yüksek hidrostatik basınç ile mikrobiyal inaktivasyonu açıklayan önemli çalışma Bert Hite'in Temmuz 1899'da yayınlanan makalesidir. Hite ilk çalışmasında oda sıcaklığında 1 saat 600 *MPa*'lık basınca maruz bırakılan çiğ sütün raf ömrünün 4 gün uzadığını göstermiştir. Bununla beraber, sütte asitlik artışını da 200 *MPa*'lık bir uygulama ile 24 saat geciktirmeyi başarmıştır. Hite vd. (1914), 400 ve 820 *MPa* arasında değişen basınç işlemine tabi tutulan çoğu meyve suyunun, işlemden sonra en az 5 yıl boyunca ticari olarak steril kaldıklarını göstermişlerdir.

Yüksek basınç işleminin oda sıcaklığında uygulanabilmesi, kovalent bağları ve küçük molekülleri fazla etkilememesinden dolayı; tat, aroma, vitaminler, pigmentler, fenoller ve diğer benzer bileşenler üzerinde önemli değişikliklere neden olmamaktadır. Kovalent ve kovalent olmayan bağları etkileyen ısıl uygulamaların aksine, oda sıcaklığında *YHB* uygulamaları sadece nispeten zayıf kimyasal bağları (hidrojen, hidrofobik ve iyonik bağlar) etkilemektedir (Hendrickx vd. 1998). Bu nedenle gıdanın doğal görünümü ve lezzeti korunmuş olmaktadır. Yüksek basınç işlemi sırasında 1000 *MPa*'lık basıncın etkisini anlatmak için 10000 kg'lık

ağırlığın aynı anda 1 cm<sup>2</sup>'lik alana yaptığı etkiye eşit olmasıyla açıklanabilir (Özlu 2006) (1 atm=0.1 *MPa*=1 bar). Basınç uygulaması sırasında kullanılacak işlem sıcaklığı 0°C'nin altından başlayıp (adyabatik ısınmadan kaynaklanabilecek etkileri en aza indirmek için), 100°C'nin (gıdalarda sterilizasyon amacı ile) üzerine çıkabilir (Truong vd. 2015). Yüksek hidrostatik basınç uygulaması sırasında adyabatik ısınmadan dolayı sıcaklıkta küçük bir artış gerçekleşmektedir. Su için her 100 *MPa*'da 2-3°C sıcaklık artışı olmaktadır (Guerrero-Beltran vd. 2005; San Martin 2002). Suyun faz geçişleri de basınç tarafından etkilenmektedir. Bu nedenle su, -22°C'de 210 *MPa*'lık bir basınç altında sıvı halde kalmaktadır (Bridgman 1912). Ayrıca yüksek basınç destekli dondurma işlemi olarak adlandırılan işlem sırasında, süper soğuma nedeni ile küçük buz kristallerinin oluşması sağlanmaktadır (Cheftel ve Culioli 1997; Chevalier vd. 2000; Zhu vd. 2004). Yüksek basınç ile çözündürme sırasında ise, uygulanan basınç dondurulmuş ürün ile çevresi arasındaki sıcaklık farkını artırarak çözülme hızının da artmasını sağlamaktadır (Cheftel ve Culioli 1997; Zhu vd. 2004).

Yüksek hidrostatik basınç işlemi iki temel prensibe dayanmaktadır. Paskal izostatik prensibine göre; yüksek hidrostatik basınç ürünün hacmine, şekline ve büyüklüğüne bağlı olmaksızın ürünün her tarafına eşit şekilde etki gösterir. Le Chatelier prensibine göre de; ürünü çevreleyen sıvıya uygulanan kuvvetle sıvının sıkıştırılması ilkesine dayanmaktadır. Yüksek basıncın inaktivasyon mekanizması fiziksel olarak Le Chatelier prensibi ile açıklanabilir. Kuvvetten kaçış olarak bilinen yasaya göre, dengede olan bir fiziksel sisteme dışarıdan bir etki yapıldığında, sistem bu etkiyi en aza indirecek şekilde kendini değişikliğe uğratar. Basınç artarsa hacim azalır ve yoğunluk artar, dolayısıyla denge mol sayısı az olan tarafa kayar ve sistemin kimyasal dengesi değişir.

Tipik bir *YHB* sistemi basınç kabini, düşük basınç pompası, *YHB* pompası (intensifiyer), kapak, kapak aparatları, vanalar ve kontrol ünitesinden (basınç ve sıcaklık ölçümü) oluşmaktadır (Singh 2001). *YHB* sisteminde uygulanan basıncın gıdaya iletilmesinde basınçlama sıvısı olarak özel hidrolik yağlar, hidrokarbonlar veya su kullanılmaktadır (Cheftel ve Culioli 1997). Fakat pratikte hacim azalması, gazlara oranla daha az ve ucuz olmasından dolayı su en çok kullanılan sıvıdır. Basınçlama sıvısı olarak su kullanılmasının nedenleri; yüksek basınçlarda dahi hacim azalmasının ihmal edilebilir olması, gıdalar için saf, güvenilir ve ucuz olmasıdır. Su, işlem sırasında kaymayı sağlamak ve korozyonu önlemek amacıyla az miktarda yağ içerir.

### **Yüksek hidrostatik basıncın su ürünlerinde kullanım alanları**

Yüksek hidrostatik basınç işlemi son zamanlarda su ürünlerinde oldukça geniş kapsamlı amaçlarla uygulanmaya başlamıştır. Özellikle istiridye, midye gibi kabuklu su ürünlerinin etlerinin çıkarılmasında (Moraru 2008) alternatif ve etkili bir yöntem olarak kullanılmakla beraber; surimi ve jel ürünlerinin tekstürel özelliklerinin iyileştirilmesinde (Suzuki ve Macfarlane 1984; Ikeuchi vd. 2006; Sikes vd. 2009), su ürünlerinin dondurulup çözdürülmesinde (Makita 1992; Zhao vd. 1998; Chevalier vd. 1999; Li ve Sun 2002), işlenmiş veya taze balıkların kalitesinin korunmasında kullanılmaktadır.

İstiridye, midye, deniztarağı, yengeç gibi kabuklu su ürünlerinin doğal koşullar altında açtırılması ticari olarak kullanılmaktadır. Geleneksel olarak, istiridyelerin addüktör kasları bir bıçak yardımı ile oldukça zaman alan bir işlem olarak elle kesilmektedir. Mikrodalgada ısıtma da kabukların açtırılmasında kullanılan bir yöntem olup, ısı işlem olması nedeni ile duyuşsal özelliklerde bazı değışimlere neden olmaktadır. *YHB*, soğuk bir işlem olarak uygulanabildiğı ve normal ısı işlemle kaslarda meydana gelen değışimlere yol açmadığı için kabukların açılmasını kolaylaştırmaktadır. İşlem sırasında ürün *YHB* ünitesine yerleştirilerek basınç 200-300 *MPa*'ya kadar çıkartılmaktadır. İşlem sonunda addüktör kas ayrılır ve kabuklu ürün kabuğundan ayrılarak kendiliğinden açılır. Kabuklu su ürünlerinde *YHB* kullanılması aynı zamanda istiridyelerde patojen bir bakteri olan *Vibrio türlerinin* de önemli ölçüde inaktive olmasını sağlamaktadır. Kural vd. (2008), yaptıkları bir çalışmada istiridyede bulunan *V. parahaemolyticus* hücrelerinin 2 dakikada 5 log azalması için basınç uygulamasının 350 *MPa*'dan fazla ve sıcaklığın 1-35°C arasında olması gerektiğini belirtmişlerdir. Bir başka çalışmada (Phuvasate ve Su 2015) 1,5°C sıcaklıkta 5 dk 250 *MPa* basınç uygulamasının istiridye homojenatlarında bulunan *V. parahaemolyticus*' un 6,4 log azalmasını sağladığı tespit edilmiştir.

Hepatit A, *HIV*, rotavirüs, poliovirüs'ün *YHB* ile inaktivasyonu üzerine çalışmalar vardır. Bazı çalışmalar yüksek basıncın su ürünlerinde hepatit A gibi bazı virüsleri inaktive etmede de etkili olduğunu göstermiştir (Calci vd. 2005). Virüsler, yüksek basınca olan hassasiyetlerine göre değışmekle birlikte yapısal olarak da farklılık gösteren canlı gruplarıdır (Murchie vd. 2005). Dan vd. (2009), istiridyelerde bulunan murine norovirus-1 (*MNV-1*) üzerinde yaptıkları çalışmada 0°C'de 5 dk 400 *MPa* yüksek basınç uygulamasının virüsü tamamen inaktive ettiğini tespit etmişlerdir.

Suyun yüksek basınç altında faz geçişi ile ilgili yapılan çalışmalar, suyun faz değışim sıcaklığının 0,1 *MPa*'da 0°C'den 210 *MPa* basınçta -21°C'ye düştüğünü göstermektedir. Ancak basınç 210 *MPa*'nın üzerine çıktığında sıcaklık tekrar yükselmektedir. Bu olay, su içeriğı yüksek olan gıdalarda hızlı dondurma ve hızlı çözdürme sağlamaktadır (Le Bail vd. 2002). Tironi vd. (2007) levrek filetosunun yüksek basınç yardımı ile dondurulması ile elde ettikleri sonuçlardan yola çıkarak, yüksek basınç destekli dondurma işlemi sırasında dondurarak depolama boyunca raf ömrünün arttığını rapor etmişlerdir. Yüksek basınç yardımı ile dondurma balık kasında bazı yapısal değışimlere (renk, protein denaturasyonu vb.) neden olmakla beraber küçük buz kristalleri oluşmasını sağlayarak daha uzun bir raf ömrü ile sonuçlanmaktadır (Tironi vd. 2007). Ticari dondurma yöntemleri ile kıyaslandığında yüksek basınç yardımı ile dondurma işlemi balık kasında çözdürme süresini kısaltmakta ve çözdürme sırasında damlama kaybını da azaltmakta ancak konu ile ilgili yeterli sayıda çalışma bulunmamaktadır.

### **Yüksek hidrostatik basıncın su ürünlerinde mikrobiyolojik kalite üzerine etkileri**

Yüksek hidrostatik basıncın etkisi öncelikli olarak uygulanan basınca ve uygulanan süreye bağlıdır. Basınç uygulaması boyunca mikroorganizma sayısındaki azalma, hücrelerdeki yaralanmaların kombinasyonu sonucu meydana gelmektedir (Rendules vd. 2011). Basınç artışıyla beraber önemli olan hücre fonksiyonları tehlike altına girer ve mikroorganizmaların bu zor koşullara dayanması gittikçe imkânsız hale gelir (Mota vd. 2013). Yüksek hidrostatik basıncın mikroorganizmalar üzerindeki yıkıcı etkisi; enzimlerin inaktivasyonu, *DNA*, *RNA* ve ribozomda meydana gelen hasar, hücre zarı ve hücre duvarının bozulmasına dayanmaktadır. Özellikle hücre zarının, *YHB* uygulamalarında bakteri inaktivasyonunun temel hedefi olduğu düşünülmektedir (Smelt 1998).

Mikroorganizmaların yüksek basınca direnci, mikroorganizmanın türü, gıdanın içeriğı ve pH'ya bağlı olarak değışim göstermektedir. Düşük pH'da mikroorganizmaların basınca karşı direnci, daha yüksek pH'larda uygulanan basınca olan dirence göre daha zayıftır. Aynı mikroorganizma cinsinin farklı türleri yüksek basınca karşı aynı direnci göstermeyebilir. Isıya dirençli mikroorganizmalar, genellikle ısıya duyarlı olan mikroorganizmalardan daha yüksek oranda basınca dirençlidir. Mayalar ve küflerin vejetatif formları 200-300 *MPa* basınç uygulaması ile inaktive edilebilmektedirler. Gram negatif bakteriler, gram pozitif bakterilere oranla basınca ve ısıya karşı daha hassastırlar. Yüksek

hidrostatik basınca karşı en büyük direnci bakteri sporları göstermektedir. Bakteri sporları 1200 MPa basınca kadar direnç gösterebilirler. Virüslerin ise basınca karşı dirençleri oldukça değişkendir (Metrick vd. 1989; Smelt 1998; Heinz ve Knorr 1998; Hugas vd. 2002; Garriga vd. 2004).

Mikroorganizmaların yüksek basınç altındaki inaktivasyon kinetikleri; basınç seviyesi, uygulama zamanı, sıcaklık, pH, su aktivitesi ve gıda bileşenleri gibi birçok faktöre bağlıdır. YHB' nin mikroorganizmalar üzerindeki etkisi türlere göre de önemli farklılıklar göstermektedir. Sporlar oldukça dirençli olmakla birlikte, gram pozitif vejetatif bakteriler gram negatif vejetatif bakterilerden daha dirençlidirler. Durgunluk evresindeki bakteri hücreleri yüksek hidrostatik basınca logaritmik evredeki bakteri hücrelerinden daha dirençlidirler. Yüksek basınç uygulaması ile birlikte, hücre zarı geçirgenliği artmakta, hücre içi bileşenler parçalanmakta, hücrede enerji üreten reaksiyonlar inhibe olmakta, hücre büyümesi için gerekli olan enzimler inaktive olmakta ve büyüme için gerekli olan pH aralığı azalmaktadır (Hugas vd. 2002).

Kim vd. (2013) *Morganella morganii* ve *Photobacterium phosphoreum* inoküle ettikleri uskumruda (*Scomber japonicus*) yüksek hidrostatik basınç bakterilerin gelişimi ve biyojen amin oluşumu üzerine etkilerini incelemişlerdir.  $10^4$  kob/g yoğunluğunda bakteri inokülasyonu yapılan balığa 100, 200, 300 ve 400 MPa (3 dk) yüksek hidrostatik basınç uygulayarak 5°C'de (*P. phosphoreum* ile inoküle edilen gruplar) ve 12°C'de (*M. morganii* ile inoküle edilen gruplar) depolamışlardır. *Morganella morganii* inokülasyonundan sonra kontrol grubu ve 100 MPa basınç uygulanan grupta depolama sonunda (168 saat) bakteri hücre sayısı  $10^8$  kob/g olmuştur. 200 MPa ve üzerinde basınç uygulamasının *M. morganii* inaktivasyonunda etkin olduğu gözlenmiştir. Bunun yanında 24. saate kadar histamin içeriği 5 mg/kg'dan daha düşük miktarlarda bulunmuştur. Ayrıca kontrol ve 100 MPa basınç uygulanan gruplarda histamin içeriği 120. saatte hızla artış göstererek sırasıyla 3072 ve 2635 mg/kg olmuştur. 200 MPa ve üzerinde yüksek basınç uygulanması histamin oluşumu baskılanmış ve histamin içeriği 168. saatten sonra FDA'nın önerdiği limit olan 50 mg/kg'ı (FDA 2011) geçmemiştir. *P. phosphoreum* ile inoküle edilen kontrol grubu ve 100 MPa basınç uygulanan grupta depolama sonunda (360 saat) bakteri hücre sayısı  $10^7$  kob/g'a ulaşmıştır. 300 MPa ve 400 MPa basınç uygulanan gruplarda *P. phosphoreum* hücre sayısı  $10^4$  kob/g'ın altında bulunmuştur. *P. phosphoreum* inoküle edildikten sonra depolamanın 120. saatine kadar histamin içeriğinin 2 mg/kg'dan daha düşük olduğu gözlenmiştir. Depolama sonunda en yüksek histamin

değeri (270 mg/kg) kontrol grubunda bulunmuş ve 300 MPa ve üzerinde basınç uygulanan gruplarda bu değer 1 mg/kg altında kalmıştır. Teixeira vd. (2014), levrek filetolarına (*Dicentrarchus labrax*) farklı basınç ve süre parametrelerinin etkisini incelemek amacıyla 100, 250 ve 400 MPa ve 5, 15 ve 30 dk yüksek hidrostatik basınç uygulamışlardır. Filetolarda başlangıçtaki toplam canlı sayısı  $10^5$  kob/g olarak bulunmuş ve 100 MPa basınç uygulaması mikroorganizma sayısında önemli değişimlere neden olmamıştır. 250 MPa ve 400 MPa basınç uygulanan gruplarda toplam canlı sayısında azalmalar gözlenirken, 400 MPa 30 dk basınç uygulamasının diğer gruplara göre en etkili olduğu ve mikroorganizma sayısında 2 log azalma sağladığı bulunmuştur. Ramirez-Suarez vd. (2006), kıyılmış tuna balığına (*Thunnus alalunga*) 275 MPa, 310 MPa ve 2, 4, 6 dk yüksek hidrostatik basınç uygulayarak 4°C ve -20°C'de depolamışlar ve kalite parametrelerindeki değişimleri incelemişlerdir. Depolama sonunda (22 gün) yüksek basınç uygulanan gruplarda toplam psikrofil canlı sayısı kontrol grubundan ve  $10^6$  kob/g limit değerinden daha düşük bulunmuştur. Mikroorganizma yükünü azaltmada en etkili basınç uygulamasının 310 MPa ve 6 dk olduğu gözlenmiştir. Erkan vd. (2010), farklı basınç, sıcaklık ve sürelerde yüksek hidrostatik basınç uyguladıkları barbun (*Mullus surmelutus*) balıklarının 4°C'de depolanması süresince kalitesindeki değişimleri gözlemlemişlerdir. Toplam psikrotrof canlı sayısı kontrol grubunda 11. günde, 220 MPa 25°C 5 dk yüksek basınç uygulanan grupta 15. günde ve 330 MPa 3°C 5 dk yüksek basınç uygulanan grupta 17. günde limit değere ulaşmıştır. Montiel vd. (2012), vakum paketlenmiş dumanlanmış morina balığına yüksek hidrostatik basınç etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla balığa 400, 500 ve 600 MPa ve 5, 10 dk yüksek hidrostatik basınç uygulayarak 5°C'de 60 gün depolamışlardır. Depolamanın başında kontrol grubunda toplam canlı mikroorganizma sayısı 2,34 log cfu/g olarak bulunmuş ve yüksek basınç uygulamasıyla mikroorganizma sayısı azalmış ve depolama sonuna kadar limit değere ulaşmamıştır.

Yağız vd. (2009), somon balıklarının kalitesi üzerine yüksek hidrostatik basınç ve pişirmenin etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla somon filetolarını vakum paketlenerek 150 ve 300 MPa 15 dk basınç uygulamışlardır. Yüksek basınç işleminin ardından vakum paketlenmiş filetoları sıcak su banyosunda pişirmişlerdir. Filetoların sıcaklığı 72°C'ye ulaşınca su banyosundan çıkarmışlar ve 4°C'de 6 gün boyunca depolamışlardır. Başlangıçta kontrol grubunun toplam canlı mikroorganizma sayısı 3,56 log kob/g olarak bulunmuş, depolama sonunda 6,16 log kob/g'a ulaşmıştır. 150 MPa basınç

uygulaması depolamanın ilk gününde 3 log azalmaya neden olurken depolama sonunda mikroorganizma sayısında 2 log azalma olmuştur. 300 MPa basınç uygulanan örneklerde depolama boyunca mikrobiyal gelişim gözlenmemiştir. Picouet vd. (2011), sous-vide teknolojisi ile pişirilmiş alabalık filetolarına 210, 310, 400 MPa ve 5, 10 dk yüksek hidrostatik basınç uygulayarak 4°C'de 13 gün depolamışlardır. Sous-vide pişirilmiş ve yüksek basınç uygulanmamış grupta başlangıçtaki toplam canlı sayısı 4,5 log kob/g olarak bulunurken, basınç uygulanan gruplarda artan basınçla beraber mikroorganizma sayısında azalma gözlenmiştir. Yüksek hidrostatik basınç uygulaması, kontrol grubuna göre mikroorganizma gelişiminde üstün bir durgunluk evresi (lag fazı) sağlamıştır. 310 MPa ve 400 MPa basınç uygulanan gruplarda toplam mikroorganizma sayısı 13. güne kadar limit değere ulaşmazken, kontrol grubu ve 210 MPa basınç uygulanan grupta 11. günde limit değere ulaşmıştır. Çalışma sonunda elde edilen sonuçlar doğrultusunda 310 MPa ve üzerindeki basınç uygulamalarının sous-vide teknolojisi ile üretilmiş salmón filetolarında kontrol grubuna göre 6 günlük bir raf ömrü artışı sağladığı bulunmuştur.

#### **Yüksek hidrostatik basıncın su ürünlerinde fizikokimyasal kalite üzerine etkileri**

Basınç uygulanmış balıkta meydana gelen kimyasal değişimler, tüketici tarafından ürünün kabul ve red edilme kriteri olan tazelik ve duyu kaliteyi de önemli ölçüde etkileyebilmektedir (Truong vd. 2015). Balık raf ömrü kısa ve bozulmaya en hassas gıdalardan biridir (Dalgaard 2003). Balık kasındaki bozulma çoğunlukla balıkta doğal olarak bulunan enzim aktiviteleri, mikrobiyal aktiviteler ve doymamış yağ asitlerinin otoksidasyonu nedeni ile meydana gelmektedir (Arias 2009). Sonuç olarak, balıkta gelişen kötü koku ve kötü tat, bahsedilen bu aktiviteler sonucunda meydana gelen kimyasal bileşiklerin oluşumu ve birikimi ile ilgilidir. Balık eti mikrobiyal aktivite sonucu uçucu bazik azot ve trimetilamine (*TMA-N*) dönüşen serbest amino asit ve trimetilamin oksit (*TMA-O*) bakımından zengindir. Bu bileşikler "balıksı" kokuyu oluşturan ve balığın bozulmasından sorumlu olup, tüketici tarafından ürünün red edilmesine yol açabilmektedir. *TMA-N*, mikroorganizmaların faaliyetleri sonucu *TMN-O*' in yıkılması sonucu oluşmakta iken, *TVB-N* balık etinin bozulması sonucu ortaya çıkan tüm uçucu bazik bileşikler (*TMA-N*, amonyum, dimetilamin, diğer bazik nitrojenli bileşikler) oluşturmaktadır.

Yapılan çalışmalar, yüksek basınç uygulamasının *TMA-N* ve *TVB-N* oluşumunu önemli derecede geciktirdiğini göstermiştir. Karim vd. (2011) yaptıkları çalışmada ringa (*Clupea harengus*) ve mezgit (*Melanogrammus aeglefinus*) filetolarını

vakum paketleyerek 200, 250 ve 300 MPa (1 ve 3 dk) *YHB* uygulayarak buz içerisinde 2°C'de 14 gün boyunca depolamışlardır. 250 MPa (3 dk) ve 300 MPa (1-3 dk) basınç uygulanan ringa filetolarında *TVB-N* değerlerinin depolama boyunca sınır değerinin altında kaldığını gözlemlemişlerdir. Mezgit filetolarında da yüksek basınç uygulaması *TMA-N* ve *TVB-N* değerlerinin limit değerlere ulaşmasını engellemiş, kontrol grubunda *TMA-N* değeri depolamanın 6. gününde 15,34 mg/kg, *TVB-N* değeri ise 10. günde 49,95 mg/kg olarak sınır değerlerinin üzerine çıkmıştır. Briones-Labarca vd. (2012) yaptıkları bir çalışmada, farklı sürelerde (3, 5, 8 dk) 500 ve 550 MPa basınç uyguladıkları kırmızı istiridyede *TVB-N* değerlerinin kontrol grubuna göre oldukça düşük düzeylerde kaldığını ve depolama sonunda (60 gün) limit değer (35 mg N/100 g) altında olduğunu bildirmişlerdir. Aynı şekilde *YHB* uygulanan gruplarda *TMA-N* değerlerinin depolama sonunda kontrol grubundan düşük seviyelerde olduğu gözlenmiştir. 220, 250 ve 330 MPa (5, 10dk) yüksek basınç uyguladıkları istavrit filetolarını -30°C'de 2-3 gün muhafaza ettikten sonra *TMA-N* değerlerini inceleyen Erkan vd. (2011), basınç uygulanmış grupların *TMA-N* değerlerinin kontrol grubuna göre daha düşük olduğunu bildirmişlerdir.

Protein bakımından önemli bir besin kaynağı olan balık ve balık ürünleri, hasat aşamasından tüketim noktasına kadar uygun koşullarda muhafaza edilmediği takdirde insan sağlığı için tehlikeli bir gıda haline gelmektedir (Özogul vd. 2004). Su ürünleri başta olmak üzere, özellikle protein içeriği yüksek fermente gıdalarda bulunabilen ve depolama ile miktarı artan biyojen aminler, alerjik bünyeli bireylerde olduğu kadar sağlıklı bireyler için de sorun yaratabilmektedir. Biyojen aminler arasında histamin, potansiyel olarak tehlikeli görülmekte ve histamin zehirlenmesine yol açmaktadır. Balıkların yapısında bulunan aminoasitlerin enzimatik dekarboksilasyonu ile amin bileşikler oluşmaktadır. Dekarboksilaz enzimi için gerekli olan substrat serbest aminoasitlerdir. Bu nedenle balığın bozulması veya ayrışması süresince, bakteriyel üretim, aminoasit dekarboksilasyon faaliyeti ve proteoliz aktivitesinden dolayı amino asitler serbest kalmakta ve biyojenik amin üretilmektedir (Eitenmiller ve De Souza 1984). Su ürünlerinde yüksek basıncın biyojen amin oluşumu üzerine etkileri ile ilgili sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Ancak yapılan çalışmalar yüksek basıncın su ürünlerinde biyojen amin oluşumunu önemli derecede etkilediğini göstermektedir.

Matejkova vd. (2013), gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) filetolarını vakum paketledikten sonra 300 MPa ve 500 MPa 10 dk yüksek basınç uygulayarak 3,5°C ve 12°C'de

depolayarak biyojen amin oluşumunu gözlemlenmişlerdir. Alabalık filetosunda putresin, kadaverin ve tiraminin baskın biyojen aminler olduğu bulunmuştur. Yüksek basınç uygulanmamış filetolarda raf ömrünün 3,5°C'de 5-6 gün olduğu, yüksek basınç uygulamasıyla bu sürenin 21-28 güne kadar uzayabildiği gözlenmiştir. 12°C'de depolanan örneklerde yüksek basınç uygulamasının 3,5°C'de depolanan örneklerle göre daha az etkili olduğu bulunmuştur. Turna balığını (*Esox lucius*) vakum paketlenip yüksek hidrostatik basınç uygulayarak 3,5°C ve 12°C'de 70 gün depolayan Krizek vd. (2014) biyojen amin oluşumunu incelemişlerdir. Depolama boyunca histamin oluşumu önemli düzeylere ulaşmamış, 3,5°C'de depolanan örneklerde ise histamine rastlanmamıştır. Bunun yanında tiramin miktarı depolama boyunca sürekli artış göstermiştir. 300 MPa ve 500 MPa basınç uygulanarak 3,5°C'de depolanan örneklerde tiramin miktarı sırasıyla 55,8 mg/kg (28. gün) ve 82,1 mg/kg (70. gün) olarak bulunurken, 12°C'de depolanan örneklerde tiramin miktarı sırasıyla 51,5 mg/kg (14. gün) ve 110 mg/kg (21. gün) olarak gözlenmiştir. Depolama süresince 3,5°C'deki tüm filetolarda putresin ve kadaverin miktarları limit değeri geçmemiş, yüksek basınç uygulanan gruplarda bu miktarlar kontrol grubuna göre daha düşük değerlerde bulunmuştur. 12°C'de kadaverin miktarı kontrol grubunda 14. günde 118 mg/kg'a ulaşırken yüksek basınç uygulanan gruplarda 21. günde sınır değere ulaşmıştır. Çalışma sonunda elde edilen bulgular yüksek hidrostatik basınç uygulamasının biyojen amin oluşumunu önemli ölçüde azalttığını gösterirken, basınç uygulamasının düşük sıcaklıklarda depolamada daha etkin olduğu bulunmuştur. Kim vd. (2013), *M. morgani* ile inoküle ettikleri uskumru etinde 200 MPa'ya kadar yüksek basınç uygulamasının histamin oluşumunu önemli derecede etkilemediğini, ancak 300 ve 400 MPa basınç uygulamasının histamin oluşumunu önemli ölçüde baskıladığını belirtmişlerdir. Depolamanın 5. gününde yüksek basınç uygulanmamış grupta histamin miktarı 3073 mg/kg, 100 MPa 3 dk basınç uygulanmış grupta ise 2636 mg/kg olarak bulunmuştur. Bunun yanında 300 ve 400 MPa basınç uygulanan gruplarda histamin miktarı depolama boyunca yok denecek kadar az miktarlarda tespit edilmiş ve sınır değere ulaşmamıştır. Benzer şekilde, yapmış olduğumuz çalışmada da uygulanan yüksek basınç seviyesinin histamin oluşumunu önemli derecede etkilediği ve en iyi basınç ve süre uygulamasının 500 MPa 10 dk olduğu bulunmuştur. Soğuk dumanlanmış morina balığına yüksek basınç uygulayarak 5°C'de 60 gün depolayan Montiel vd. (2012), depolama süresince düşük miktarlarda sadece triptamin ve spermin tespit etmişlerdir.

Balık kasının pH'sı ölüm sonrası değişiklikleri, özellikle mikrobiyal bozulma ve enzimatik aktiviteyi önemli derecede etkilemektedir (Truong vd. 2015). Balık etine *YHB* uygulanması, bazı protein yapılarının denaturasyonuna ve böylece mevcut asidik grupların azalmasına neden olabilmektedir (Angsupanich ve Ledward 1998). Buna ek olarak, bu asidik grupların basınç yardımı ile iyonizasyonu da tercih edilmektedir (Ramirez-Suarez vd. 2006; Yamamoto vd. 1994); Erkan vd. (2010), farklı basınç ve sıcaklıklarda yüksek basınç uyguladıkları çipura filetolarını 19 gün boyunca 4°C'de depolayarak kalitede meydana gelen değişimleri incelemişler ve basınç uygulanan gruplarda pH değerlerinin kontrol grubuna göre daha düşük olduğunu bulmuşlardır. Depolamanın başında kontrol, 250 MPa 5 dk 3°C basınç uygulanan grup ve 250 MPa 5 dk 15°C basınç uygulanan gruplarda pH değerleri sırası ile 5,8 5,1 ve 5,2 olarak bulunurken depolama sonunda bu değerler 6,8 6,1 ve 6,4'e yükselmiştir.

Proteinler yapılarında kovalent bağlar, disülfid bağları, hidrojen bağları ve diğer interaksiyonları içerirler. Bu bağların birçoğunun kırılması sonucu proteinler modifiye olmakta ve özelliklerinde önemli değişimler meydana gelmektedir (Cheret vd. 2006). *YHB* uygulaması kovalent bağları kıramamasına rağmen, hidrojen bağları ve diğer interaksiyonları etkileyebilmektedir. Genel olarak, kuaternar yapı daha çok hidrofobik interaksiyonlara sahip olması nedeniyle yüksek hidrostatik basınç uygulamasına karşı daha hassastır. 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. Balık kası miyofibriler (tuzda çözünen), sarkoplazmik (suda çözünen) ve stroma (kollajen) proteinlerinden oluşmaktadır (Shahidi 1994). Miyofibriler proteinler balık kasında bulunan toplam ham proteinin %40-60 kadarını oluştururken, sarkoplazmik proteinler %30 kadarını oluşturmaktadır. Geri kalan kas proteinleri ise stroma proteinlerinden oluşmaktadır (Ohshima vd. 1993; Shahidi 1994; Shimidzu vd. 1996). Yüksek basınçın proteinler gibi gıda biyopolimerleri üzerindeki etkileri, bir denge sisteminin bozulmasına neden olan herhangi bir dış faktörün etkisini en aza indirme eğiliminde olduğu Le Chatelier prensibine dayanmaktadır (Mozhaev vd. 1996). Yüksek basınç uygulanmış balık kasında yapılan protein çözünürlüğü testleri, miyofibriler proteinlerin basınca sarkoplazmik proteinlerden daha duyarlı olduğunu göstermiştir. Yüksek basınç uygulanmış tilapia kasında miyofibriler proteinlerin çözünürlüğünün 200 MPa basınçtan sonra hızla azaldığı gözlenmiştir (Ko vd. 2006). Protein

çözünürlüğü ile ilgili yapılan çalışmalarda elektron mikroskobu incelemeleri sonucunda miyofibriler proteinlerin yüksek basınçtan en çok etkilendiği görülmüştür. Yüksek basınç uygulamasında ince filamentler kalın flamanetlerden daha çok denature olurken, ısı işlem uygulamaları hem ince hem de kalın filamentlerde denaturasyon ile sonuçlanmaktadır (Yoshioka ve Yamamoto 1998).

### **Yüksek hidrostatik basıncın su ürünlerinde lipit oksidasyonu üzerine etkileri**

Su ürünlerinde muhafaza süresini sınırlayan en önemli faktörlerden biri yağlarda meydana gelen oksidasyondur. Bilindiği gibi balık eti özellikle *EPA* ve *DHA* gibi omega-3 çoklu doymamış yağ asitleri bakımından (*PUFA*) oldukça zengindir. Ancak *PUFA*'lar oksidasyona ve depolama süresince meydana gelen oksidatif değişimlere karşı oldukça hassastır. Yüksek basınç uygulanmış balık kasında, yapılarındaki metal iyonları nedeni ile hemoglobin ve myoglobin gibi heme proteinlerinin lipit oksidasyonunu yükselten en önemli endojen tetikleyiciler olduğu bildirilmektedir (Maqsood vd. 2012). Denaturasyona uğramış heme peroteinlerinden metal iyonlarının serbest kalması, balıkta bulunan doymamış yağ asitlerinin lipit oksidasyonunu hızlandırabilmektedir. Yüksek basıncın ortam koşulları sıcaklığında ve hatta daha düşük sıcaklıklarda uygulanabilmesi, gıdanın şekline, büyüklüğüne içeriğine bağlı olmadan her yere eşit şekilde uygulanabilmesi en önemli avantajlarından 300 *MPa*'nın altında kalan yüksek hidrostatik basınç uygulamalarının lipit oksidasyonu üzerindeki etkileri çok küçüktür. Fakat 300-400 *MPa*'nın üzerindeki basınçlar, gıdada belirgin değişimlere neden olabilmektedir (Medina-Meza vd. 2014).

Montiel vd. (2012), vakum paketlenmiş dumanlanmış morina balığına yüksek hidrostatik basıncın etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla balığa 400, 500 ve 600 *MPa* ve 5, 10 dk yüksek hidrostatik basınç uygulayarak 5°C'de 60 gün depolamışlardır. *TBARS* değerleri kontrol ve basınç uygulanan gruplar arasında önemli bir farklılık göstermemiş ve depolama sonuna kadar 1-2 mg MDA/kg olan limit değere ulaşmamıştır. Chevalier vd. (2001), kalkan balığına 100-200 *MPa* arasında 4°C'de 15 ve 30 dk yüksek hidrostatik basınç uygulamışlardır. Basınç uygulamasından sonra *TBA* değerlerinin artan basınç ve süre parametreleriyle artış gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Yapılan çalışma sonunda, kalkan balığı için en uygun basınç uygulamasının 140 *MPa* olduğu bulunmuştur. Yağız vd. (2009), somon balıklarının kalitesi üzerine yüksek hidrostatik basınç ve pişirmenin etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla somon filetolarını vakum paketlenerek 150 ve 300

*MPa* 15 dk basınç uygulamışlardır. Yüksek basınç işleminin ardından vakum paketli filetoaları sıcak su banyosunda pişirmişlerdir. Filetoaların sıcaklığı 72°C'ye ulaşınca su banyosundan çıkarmışlar ve 4°C'de 6 gün boyunca depolamışlardır. İkincil oksidasyon ürünü olan *TBARS* değerleri tüm gruplarda depolama boyunca önemli derecede artış göstermiştir. Çalışma sonunda *YHB* uygulaması ve pişirme kombinasyonunun somon filetoalarında kaliteyi koruyucu etkiye sahip olduğu bulunmuştur.

Yüksek basınç uygulamasının lipit oksidasyonuna etkileri üzerine yapılan çalışmalar oldukça sınırlı sayıda olmakla beraber bazı araştırmalar yüksek basıncın lipit oksidasyonunu tetiklediğini, ayrıca yüksek basıncın balık kasında lipit oksidasyonuna etkilerinin uygulanan basıncın seviyesi ve süresine, balığın türüne ve balık etinin yapısına (beyaz kas, koyu renk kas) bağlı olarak değişiklik gösterdiğini belirtmişlerdir. Örneğin morina balığına oda sıcaklığında 20 dk uygulanan 400 *MPa*'nın altındaki yüksek basıncın lipit oksidasyonu üzerinde basınç uygulanmamış gruplara göre çok az etkisinin olduğu görülmüştür (Angsupanich ve Ledward 1998). Buna karşın 4°C'de 30 dk 100 *MPa* basınç uygulanan sazan balığının ve 4°C'de 15 dk 100 *MPa* basınç uygulanan kalkan balığının yüksek basınç uygulandıktan sonra lipit oksidasyonuna karşı daha hassas olduğu gözlenmiştir (Sequeira-Munoz vd. 2006). Bir başka çalışmada somon balığına uygulanan 300 *MPa* (oda sıcaklığında 15 dk) yüksek basınç lipit oksidasyonu düzeyinin basınç uygulanmamış gruplara göre önemli derecede azalmasını sağlamıştır (Ojagh vd. 2011).

### **Yüksek hidrostatik basıncın su ürünlerinde duyu kalite üzerine etkileri**

Tüketici algısı için, balık etinin kabul edilebilirliğinin belirlenmesinde renk en önemli duyu özelliklerinden biridir (Liu vd. 2013). Muhtemelen, yüksek basıncın balık kasındaki en önemli zararlı duyu etkilerinden biri, basınç uygulanmış balık etinin artan beyazlığından kaynaklanan pişmiş görünümdür (Matser vd. 2000). Balık etinin rengi genellikle *L* (aydınlık), *a* (kırmızılık), *b* (sarılık) renk parametreleri ile ölçülmektedir. Basınç uygulamasından sonra balık kasının *L*-değerinde artan basınçla ve artan basınç muamele süresi ile birlikte artış gözlenmiştir. Örneğin sazan balığında, oda sıcaklığında 300 *MPa* 10 dk yüksek basınç uygulaması *L*-değerinin artmasına ve 500 *MPa* basınçtan sonra balık etinin pişmiş görünüm almasına neden olurken, 4°C'de 100 *MPa* 30 dk ve 4°C'de 140 *MPa* 15 dk yüksek basınç uygulanan sazan etinde *L*-değeri basınç uygulamasından sonra önemli derecede artmıştır

(Yoshioka ve Yamamoto 1998). Ayrıca oda sıcaklığında 200 MPa 20 dk'dan daha yüksek basınç seviyelerinde morina kası kırmızılığını kaybetmiştir (Angsupanich ve Ledward 1998). Benzer şekilde, 7°C' de 400 MPa 5 dk'lık yüksek basınç uygulaması ile ringa etinin beyazlığı önemli düzeyde artmış ve pişmiş görünüm meydana gelmiştir (Hurtado vd. 2000). Genellikle soğutma ve dondurma işlemlerinden sonra yüksek basınç uygulanmamış balık kası ile kıyaslandığında, basınç uygulanmış örneklerde daha iyi bir duyu kalite gözlenmektedir. Yüksek basınç biyojen amin üretimini baskılayabilmekte ve bu da depolama boyunca lezzet ve aromanın gelişmesini sağlamaktadır. Kamalakanth vd. (2011) ton balığının duyu kalitesini araştırmak için 4 puan üzerinin kabul sınırı olduğu 9 puanlı hedonoik skala kullanmışlardır. Yüksek basınç uygulanmamış ve 20 güne kadar kabul edilebilir olan kontrol grupları ile kıyaslandığında oda sıcaklığında 100 MPa 5 dk basınç uygulanmış ve 2°C'de depolanan ton balığının 25 güne kadar kabul edilebilir, 200-300 MPa 5 dk basınç uygulanmış ton balığının ise 30 güne kadar kabul edilebilir olduğunu belirtmişlerdir.

### Ülkemizde Su Ürünleri ve Yüksek Hidrostatik Basınç Uygulaması

Ticari olarak su ürünlerinde yüksek hidrostatik basınç kullanımı dünyanın birçok ülkesinde yaygın olarak kullanılmakta ve piyasaya sürülen ürünler HPP (high pressure processed) etiketi ile satılmaktadır. Son yıllarda ülkemizde de yüksek hidrostatik basınç uygulamasının su ürünlerinde kullanımı üzerine yapılan birçok bilimsel çalışma mevcuttur. Sipahioğlu (2013) tarafından yapılan çalışmada kitosan esaslı yenilebilir filmle kaplanmış gökkuşuğu alabalığına 220 MPa 5 dk yüksek basınç uygulanmıştır. Çalışma sonunda, yüksek basınç ve kitosan esaslı filmle kaplamanın kalite üzerinde olumlu etkiye sahip olduğu, bununla birlikte her iki yöntemin birlikte uygulanması sonucunda mükemmel bir sonuç elde edildiği tespit edilmiştir. YHB uygulanmış balıkların soğukta depolanması sırasında dayanım ömrünün olumlu etkilendiği gözlemleyen Üretener (2009), buzdolabı koşullarında muhafaza edilen tekir balıklarının duyu ve mikrobiyolojik parametrelere göre 10 gün tüketilebilir kaliteyi koruduğunu gözlemiştir. Ayrıca YHB uygulanmamış kontrol grubu çipuraların buzdolabında 10 gün raf ömrüne sahip olduğu bulunurken 3°C/5 dk/250 MPa YHB uygulanmış çipura örneklerinin kontrolden 6 gün daha fazla raf ömrüne sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ucak ve Gokoğlu (2017), YHB uygulamasının ringa marinatinin duyu kalitesi üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada, 100 ve 300 MPa basınç

uygulanan grupların panelistler tarafından en çok tercih edilen gruplar olduğunu tespit etmişlerdir. Akhan (2012), 200 MPa/5°C/5 dk basınç uygulanan hamsi örnekleri buzdolabında muhafaza edildiğinde 9 gün kadar raf ömrünün uzadığını gözlemiştir. Mezgıt örnekleri için ise; örnekler sırasıyla 200 MPa/5°C/5 dk ve 400 MPa/15°C/5 dk basınç uygulandıklarında, raf ömürleri 13 ve 15 gün kadar uzatılırken; her iki balık türü için kontrol örnekleri ise 3 gün içerisinde tüketilemez duruma gelmiştir. Yapılan çalışmalar yüksek basınç su ürünlerinde raf ömrünü arttırdığını ve tüketici tarafından kabul düzeyi yüksek ürünler elde edildiğini göstermektedir.

### Sonuç

Yüksek hidrostatik basınç su ürünlerinin türüne, kullanılan basınç koşullarına (süre, sıcaklık, basınç seviyesi) ve birlikte kullanıldığı diğer işleme teknolojilerine bağlı olarak hem faydalı hem de tersi etkilerle sonuçlanabilmektedir. Yüksek basınç etkisi uygulanan basınca, basınç süresine ve sıcaklığa bağlı olarak değişmekle birlikte, çok düşük sıcaklıklarda bile bozulmaya neden olan mikroorganizmaları inaktive edebilmekte, ayrıca ürünün tazelik parametrelerinde minimum değişimlerle beraber soğutulmuş ve dondurulmuş depolama süresince ürünün raf ömrünü uzatabilmektedir. Tüketiciler tarafından ürünün kabul edilebilirliğinde duyu özellikler oldukça önemli sayılmakta ve yüksek basınç işlemi ısı işlemlere kıyasla daha iyi tekstür, görünüş ve lezzet ile sonuçlanmaktadır. Bu nedenle optimum basınç, süre ve sıcaklık koşulları altında kullanıldığı takdirde, yüksek basınç işlemi ürünün kalitesinin geliştirilmesine ve güvenilirliğinin artmasına yardımcı olmaktadır. Yüksek basınç uygulaması çeşitli ülkelerde özellikle kabuklu su ürünlerinden et çıkarma işlemlerinde ve diğer bazı balık ürünlerinin işlenmesinde ticari olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde, yüksek basınç su ürünlerinde kullanımı ile ilgili çeşitli bilimsel çalışmalar mevcut olup ticari olarak kullanımı bulunmamaktadır. İleriki çalışmaların planlanmasında sanayi iş birliği de düşünülerek işlenmiş su ürünleri üreten ticari firmaların yüksek basınç sistemi hakkında bilgilendirilerek konu ile ilgili farklı yaklaşımlarla beraber su ürünlerinde yüksek basınç kullanımının sağlanabileceği düşünülmektedir.

### Kaynaklar

Akhan 2012. Yüksek hidrostatik basınç uygulaması ile mezgıt (*Gadus merlangus euxinus*) ve hamsinin (*Engraulis encrasicolus*) muhafazasının ve raf ömrünün uzatılması. [Yüksek Lisans Tezi]. Orta Doğu Teknik Üniversitesi. 96 s.



- Angsupanich K, Ledward DA. 1998. High pressure treatment effects on cod (*Gadus morhua*) muscle. *Food Chem.* 63(1):39-50.
- Arıcı M. 2006. Gıda muhafazasında yüksek hidrostatik basıncın mikroorganizmalar üzerine etkisi. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty (JOTAF)*. 3(1):1-9.
- Arias C. 2009. Chilled and frozen raw fish. In: Fernandes R, editor. *Microbiology handbook fish and seafood*. Cambridge: Leatherhead Publishing. p. 1-25.
- Briones-Labarca V, Perez-Won M, Zamarca M, Aguilera-Radic JM, TabiloMunizaga G. 2012. Effects of high hydrostatic pressure on microstructure, texture, colour and biochemical changes of red abalone (*Haliotis rufecens*) during cold storage time. *Innov Food Sci Emerg.* 13:42-50.  
doi: 10.1016/j.ifset.2011.09.002
- Bridgman P. 1912. Water in the liquid and five solid forms under pressure. *Proc Am Acad Arts Sci.* 47:441-558.
- Calci KR, Meade GK, Tezloff RC, Kingsley DH. 2005. High-Pressure Inactivation of Hepatitis A Virus within Oysters. *Appl Environ Microbiol.* 71(1):339-43.  
doi: 10.1128/AEM.71.1.339-343.2005
- Cheftel JC, Culioli J. 1997. Effects of high pressure on meat: A review. *Meat Sci.* 46(3):211-236.
- Cheret R, Hernandez-Andres A, Delbarre-Ladrat C, De Lamballerie M, Verrez-Bagnis V. 2006. Proteins and proteolytic activity changes during refrigerated storage in sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) muscle after high-pressure treatment. *Eur Food Res Technol.* 222(5-6):527-535.  
doi: 10.1007/s00217-005-0158-z
- Chevalier D, Le Bail A, Ghoul M. 2001. Effect of high pressure treatment (100-200 MPa) at low temperature on turbot (*Scophthalmus maximus*) muscle. *Food Res Int.* 34:425-429.
- Chevalier D, Sequeira-Munoz A, Le Bail A, Simpson B, Ghoul M. 2000. Effect of pressure shift freezing, air-blast freezing and storage on some biochemical and physical properties of turbot (*Scophthalmus maximus*). *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 33, 570-577.  
doi: 10.1006/fstl.2000.0721
- Chevalier, D, Le Bail A, Chourot JM, Chantreau P. 1999. High pressure thawing of fish (whiting): Influence of the process parameters on drip losses. *LWT.* 32:25-31.
- Crehan CM, Troy DJ, Buckley D J. 2000. Effects of salt level and high hydrostatic pressure processing on frankfurters formulated with 1.5 and 2.5% salt. *Meat Sci.* 55(1):123-130.
- Dalgaard P. 2003. Fish spoilage of seafood. In: Benjamin C, editor. *Encyclopedia of food sciences and nutrition*. 2nd edn. Oxford: Academic Press. p. 2462-2471.
- Dan L, Qingjuan T, Jingfeng W, Yuming W, Qin Z, Changhu X. 2009. Effects of high-pressure processing on murine norovirus-1 in oysters (*Crassostrea gigas*) in situ. *Food Control.* 20(11):992-996.  
doi: 10.1016/j.foodcont.2008.11.012
- Eitenmiller RR, Desouza SC. 1984. Enzymatic mechanisms for amine formation in fish. *Acs Symposium Series.* 262:431-442.  
doi: 10.1021/bk-1984-0262.ch036
- Erkan N, Üretener G, Alpas H. 2010. Effect of high pressure (HP) on the quality and shelf life of red mullet (*Mullus surmelutus*). *Innov Food Sci Emerg.* 11(2):259-264.  
doi: 10.1016/j.ifset.2010.01.001
- Erkan N, Üretener G, Alpas H, Selçuk A, Özden Ö, Buzrul S. 2011. Effect of High Hydrostatic Pressure (HHP) Treatment on Physicochemical Properties of Horse Mackerel (*Trachurus trachurus*). *Food and Bioprocess Tech.* 4(7):1322-1329.  
doi: 10.1007/s11947-010-0415-4
- FDA 2011. Food and Drug Administration. [Erişim tarihi: 04 Haziran 2017]. Erişim adresi: <https://www.fda.gov/downloads/Food/GuidanceRegulation/UCM251970.pdf>
- Garriga M, Grebol N, Aymerich MT, Monfort JM, Hugas M. 2004. Microbial inactivation after high-pressure processing at 600 MPa in commercial meat products over its shelf life. *Innov Food Sci Emerg.* 5:451-457.  
doi:10.1016/j.ifset.2004.07.001
- Guerrero-Beltran J, Barbosa-Canovas G, Swanson B. 2005. High hydrostatic pressure processing of fruit and vegetable products. *Food Rev Int.* 21(4):411-425.  
doi: 10.1080/87559120500224827
- Heinz V, Knorr D. 1998. High pressure germination and inactivation kinetics of bacterial spores. In: *High Pressure Food Science, Bioscience and Chemistry*. Isaacs NS, editor. Cambridge: The Royal Society Chemistry. p. 436-441.
- Hendrickx M, Ludikhuyze L, Van Den Broeck I, Weemaes C. 1998. Effects of High Pressure on Enzymes Related to Food Quality. *Trends Food Sci Tech.* 9(5):197-203.  
doi: 10.1016/S0924-2244(98)00039-9
- Hite BH, Giddings NJ, CE. 1914. The effects of pressure on certain microorganisms encountered in the preservation of fruits and vegetables. In: Farkas and Hoover. *Morgantown. Bull WV Univ. Agric. Exp. Sta. Morgantown* 146:1-67.
- Hite BH. 1899. The effect of pressure in the preservation of milk. *Bull W.V. Univ. Agric. Exp. Sta., Morgantown*, 58:15-35.
- Hugas M, Garriga M, Monfort JM. 2002. New mild technologies in meat processing: High pressure as a model technology. *Meat Sci.* 62(3):359-371.  
doi: 10.1016/S0309-1740(02)00122-5
- Hurtado JL, Montero P, Borderias AJ. 2000. Extension of shelf life of chilled hake (*Merluccius capensis*) by high pressure. *Food Sci Technol Int.* 6(3):243-249.
- Ikeuchi Y, Yoshioka K, Suzuki A. 2006. Recent Advanced Topics on Application of High Pressure Technology to Meat Processing. *The Review of High Pressure Science and Technology.* 16:17-25.  
doi: 10.4131/jshpreview.16.17
- Kamalakanth CK, Ginson J, Bindu J, Venkateswarlu R, Das S, Chauhan OP, Gopal TKS. 2011. Effect of high pressure on K-value, microbial and sensory characteristics of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) chunks in EVOH films during chill storage. *Innov Food Sci Emerg.* 12(4):451-455.  
doi: 10.1016/j.ifset.2011.06.001

- Karim NU, Kennedy T, Linton M, Watson S, Gault N, Patterson MF. 2011. Effect of high pressure processing on the quality of herring (*Clupea harengus*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) stored in ice. *Food Control*. 22(3-4):476-484.  
doi: 10.1016/j.foodcont.2010.09.030
- Kim DH, Kim KBW, Ahn DH. 2013. Inhibitory effects of high-hydrostatic-pressure treatments on histamine production in mackerel (*Scomber japonicus*) muscle inoculated with *Morganella morgani* and *Photobacterium phosphoreum*. *Food Control*. 34(2):307-311.  
doi: 10.1016/j.foodcont.2013.04.032
- Ko WC, Jao CL, Hwang JS, Hsu KC. 2006. Effect of high pressure treatment on processing quality of tilapia meat fillets. *J Food Eng*. 77(4):1007-1011.  
doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.08.029
- Krizek M, Matejkova K, Vacha F, Dadakova E. 2014. Biogenic amines formation in high-pressure processed pike flesh (*Esox lucius*) during storage. *Food Chem*. 151:466-471.  
doi: 10.1016/j.foodchem.2013.11.094
- Kural AG, Shearer AEH, Kingsley DH, Chen H. 2008. Conditions for high pressure inactivation of *Vibrio parahaemolyticus* in oysters. *Int J Food Microbiol*. 127(1-2):1-5.  
doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2008.05.003
- LeBail A, Chevalier D, Mussa DM, Ghoul M. 2002. High pressure freezing and thawing of foods: a review. *Int J Refrig*. 25(5):504-513.  
doi: 10.1016/S0140-7007(01)00030-5
- Li B, Sun DW. 2002. Novel methods for rapid freezing and thawing of foods-a review *J Food Eng*. 52:175-182.
- Liu D, Zeng XA, Sun DW. 2013. NIR spectroscopy and imaging techniques for evaluation of fish quality-a review. *Appl Spectrosc Rev*. 48(8):609-628.  
doi: 10.1080/05704928.2013.775579
- Makita T. 1992. Application of high pressure and thermophysical properties of water to biotechnology. *Fluid Phase Equilib*. 76:87-95.
- Maqsood S, Benjakul S, Kamal-Eldin A. 2012. Haemoglobin-mediated lipid oxidation in the fish muscle: A review. *Trends Food Sci Technol*. 28(1):33-43.  
doi: 10.1016/j.tifs.2012.06.009
- Matejkova K, Krizek M, Vacha F, Dadakova E. 2013. Effect of high-pressure treatment on biogenic amines formation in vacuum-packed trout flesh (*Oncorhynchus mykiss*). *Food Chem*. 137(1-4):31-36.  
doi: 10.1016/j.foodchem.2012.10.011
- Matser AM, Stegeman D, Kals J, Bartels PV. 2000. Effects of high pressure on colour and texture of fish. *High Press Res*. 19(1-6):109-115.  
doi: 10.1080/08957950008202543
- Medina-Meza IG, Barnaba C, Barbosa-Canovas GV. 2014. Effects of high pressure processing on lipid oxidation: A review. *Innov Food Sci Emerg*. 22:1-10.  
doi: 10.1016/j.ifset.2013.10.012
- Metrick C, Hoover DG, Farkas DF. 1989. Effects of high hydrostatic pressure on heat-resistant and heat-sensitive strains of *Salmonella*. *J Food Sci*. 54(6):1547-1564.  
doi: 10.1111/j.1365-2621.1989.tb05156.x
- Montiel R, Alba MD, Bravo D, Gaya P, Medina M. 2012. Effect of high pressure treatments on smoked cod quality during refrigerated storage. *Food Control*. 23(2):429-436.  
doi: 10.1016/j.foodcont.2011.08.011
- Moraru C. 2008. 21 Annual Cornell Conference on Dairy Markets and Product Research, Cornell University, Syracuse.
- Mota MJ, Lopes RP, Delgadillo I, Saraiva JA. 2013. Microorganisms under high pressure-Adaptation, Growth And Biotechnological Potential. *Biotechnol Adv*. 31(8):1493-1494.  
doi: 10.1016/j.biotechadv.2013.06.007
- Mozhaev VV, Heremans K, Frank J, Masson P, Balny C. 1996. High pressure effects on protein structure and function. *Proteins Struct Funct Genet*. 24(1):81-91.
- Murchie LW, Cruz-Romero M, Kerry JP, Linton M, Patterson MF, Smiddy M, Kelly AL. 2005. High pressure processing of shellfish: A review of microbiological and other quality aspects. *Innov Food Sci Emerg*. 6(3):257-270.  
doi: 10.1016/j.ifset.2005.04.001
- Ohshima T, Ushio H, Koizumi C. 1993. High-pressure processing of fish and fish muscles. *Trends Food Sci Technol*. 4(11):370-375.
- Ojagh SM, Nunez-Flores R, Lopez-Caballero ME, Montero MP, Gomez-Guillen MC. 2011. Lessening of high-pressure-induced changes in Atlantic salmon muscle by the combined use of a fish gelatin-lignin film. *Food Chem*. 125(2):595-606.  
doi: 10.1016/j.foodchem.2010.08.072
- Özlu H. 2006. Et Teknolojisinde Yüksek Basınç Uygulamaları. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi. 71 p.
- Özoğul F, Kuley, E, Özoğul Y. 2004. Balık ve Balık Ürünlerinde Oluşan Biyojenik Aminler. E.Ü. Su Ürünleri Dergisi. 21(3-4):375-381.
- Phuvasate S, Su YC. 2015. Efficacy of low-temperature high hydrostatic pressure processing in inactivating *Vibrio parahaemolyticus* in culture suspension and oyster homogenate. *Int J Food Microbiol*. 196:11-15.  
doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2014.11.018
- Picouet PA, Cofan-Carbo S, Vilaseca H, Carbone Ballbe L, Castells P. 2011. Stability of sous-vide cooked salmon loins processed by high pressure. *Innov Food Sci Emerg*. 12(1):26-31.  
doi: 10.1016/j.ifset.2010.12.002
- Ramirez-Suarez JC, Morrissey MT. 2006. Effect of high pressure processing (HPP) on shelf life of albacore tuna (*Thunnus alalunga*) minced muscle. *Innov Food Sci Emerg*. 7:19-27.  
doi: 10.1016/j.ifset.2005.08.004
- Rendueles E, Omer MK, Alvseike O, Alonso-Calleja C, Capita R, Prieto M. 2011. Microbiological food safety assessment of high hydrostatic pressure processing: A review. *LWT-Food Sci Technol*. 44(5):251-1260.  
doi: 10.1016/j.lwt.2010.11.001

- San Martin MF, Barbosa-Canovas GV, Swanson BG. 2002. Food processing by high hydrostatic pressure. Crit Rev Food Sci. 46(6):627-645.  
doi: 10.1080/20024091054274
- Sequeira-Munoz A, Chevalier D, LeBail A, Ramaswamy HS, Simpson BK. 2006. Physicochemical changes induced in carp (*Cyprinus carpio*) fillets by high pressure processing at low temperature. Innov Food Sci Emerg. 7(1-2):13-18.  
doi: 10.1016/j.ifset.2005.06.006
- Shahidi F. 1994. Seafood proteins and preparation of protein concentrates. In: Shahidi F, Botta JR, editors. Seafoods: chemistry, processing technology and quality. New York: Blackie Academic and Professional. p. 3-10.
- Shimidzu N, Goto M, Miki W. 1996. Carotenoids as singlet oxygen quenchers in marine organisms. Fish Sci. 62(1):134-137.
- Sikes LA, Tobin BA, Tume KR. 2009. Use of High Pressure to Reduce Cook and Improve Texture of LowSalt Beef Sausage Batters. Innov Food Sci Emerg. 10: 405-412.  
doi: 10.1016/j.ifset.2009.02.007
- Singh PR, Yousef AE. 2001. Technical Elements of new and emerging non-thermal food technologies. <http://www.fao.org/ag/agsi/Nonthermal/nonthermal>
- Sipahioğlu S. 2013. Kitosan Esaslı Yenilebilir Filmle Kaplanmış Gökkuşuğu Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss walbaum*) Filetolarının Raf Ömrü ve Kalitesi Üzerine Yüksek Hidrostatik Basınç İşleminin Etkisi (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi. 84 s.
- Smelt JPPM. 1998. Recent advances in the microbiology of high pressure processing. Trends Food Sci Tech. 9(4):152-158.  
doi: 10.1016/S0924-2244(98)00030-2
- Suzuki T, Macfarlane JJ. 1984. Modification of the Heat-Setting Characteristics of Myosin by Pressure Treatment. Meat Sci. 11:263-274.
- Teixeira B, Fidalgo L, Mendes R, Costa G, Cordeiro C, Marques A, Saraiva JA, Nunes ML. 2014. Effect of high pressure processing in the quality of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fillets: Pressurization rate, pressure level and holding time. Innov Food Sci Emerg. 22:31-39.  
doi: 10.1016/j.ifset.2013.12.005
- Tironi V, LeBail A, De Lamballerie M. 2007. Effects of pressure-shift freezing and pressure-assisted thawing on sea bass (*Dicentrarchus labrax*) quality. J Food Sci. 72(7):381-387.  
doi: 10.1111/j.1750-3841.2007.00472.x
- Truong BQ, Buckow R, Stathopoulos CE, Nguyen MH. 2015. Advances in High-Pressure Processing of Fish Muscles. Food Eng Rev. 7(2):109-129.  
doi: 10.1007/s12393-014-9084-9
- Ucak ve Gokoğlu. 2017. Effect of High Hydrostatic Pressure on Sensory Quality of Marinated Herring (*Clupea harengus*). J Food Process Preserv. 41(2)  
doi:10.1111/jffp.12784
- Üretener G. 2009. Yüksek Hidrostatik Basınç Uygulamasının Balık Kalitesi ve Raf Ömrü Üzerine Etkisi (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi. 111 s.
- Yağız Y, Kristinsson HG, Balaban MO, Welt BA, Ralat M, Marshall MR. 2009. Effect of high pressure processing and cooking treatment on the quality of Atlantic salmon. Food Chem. 116(4):828-835.  
doi: 10.1016/j.foodchem.2009.03.029
- Yamamoto K, Yoshida Y, Morita J, Yasui T. 1994. Morphological and physicochemical changes in the myosin molecules induced by hydrostatic pressure. J Biochem. 116(1):215-220.
- Yoshioka K, Yamamoto T. 1998. Changes of ultrastructure and the physical properties of carp muscle by high pressurization. Fish Sci. 64(1):89-94.
- Zhao YY, Fores RA, Olson DG. 1998. High hydrostatic pressure effects on rapid thawing of frozen beef. J Food Sci. 63(2):272-275.
- Zhu S, Le Bail A, Ramaswamy H, Chapleau N. 2004. Characterization of ice crystals in pork muscle formed by pressure-shit freezing as compared with classical freezing methods. J Food Sci. 69(4): 190-197.