



# Meyve Suyunda Yüksek Basınç Teknolojisinin Uygulanması

Serpil Aday<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Çanakkale Onsekiz Mart University, Vocational School of Biga, Food Technology Program, Çanakkale, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2896-1191), serpiladay@comu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 11 Ağustos 2023 ve Kabul Tarihi 11 Eylül 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10259912)

**ATIF/REFERENCE:** Aday, S., (2023). Meyve Suyunda Yüksek Basınç Teknolojisinin Uygulanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (52), 144-152.

## Öz

Geleneksel olarak, meyve suları pastörizasyon ve sterilizasyon gibi ısı işlemlerle korunmakta olup, bu prosesler bozulmayı önleyebilse de; ısı işlem sonrasında ve müteakip depolama sırasında organoleptik ve besinsel özelliklerden sorumlu bileşiklerin kaybı gerçekleşmektedir. Termal olmayan işlemler bu nedenle geleneksel ısı işlemlere alternatif olarak geliştirilmektedir. Bu yöntemlerden bir tanesi olan yüksek basınçla işleme (YBİ) teknolojisi, gıda güvenliğini sağlamak ve çeşitli ısıya duyarlı besinleri ve biyoaktif bileşikleri korumak için geliştirilen bir teknoloji olarak ortaya çıkmıştır. Yüksek basınç işlemi sonrasında ürünler sağlıklı, lezzetli, daha doğal ve uzun raf ömürlü olma gibi özellikleri içermektedir. Bu derleme; yüksek basınç teknolojisinin meyve sularındaki biyoaktif bileşenler, enzimler ve mikroorganizmalar üzerindeki etkilerini tartışmaya ek olarak, bu teknolojiye dikkat edilmesi gereken kritik faktörleri, tüketicinin bakış açısını, maliyet unsurlarını ve küresel mevzuata uygunluğunu kapsamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Yüksek basınç işleme, Meyve suyu, Raf ömrü, Isıl olmayan yöntem.

## Application of High-Pressure Technology in the Fruit Juice

### Abstract

Traditionally, fruit juices are preserved by heat treatments such as pasteurization and sterilization, although these processes can prevent spoilage, the loss of compounds responsible for organoleptic and nutritional properties occurs after heat treatment and during subsequent storage. Non-thermal processes are therefore being developed as an alternative to traditional thermal methods. One of these methods, high-pressure processing, has emerged as a technology developed to ensure food safety and protect various heat-sensitive nutrients and bioactive compounds. After the high pressure treatment, the products contain features such as being healthy, tasty, more natural and long shelf life. In addition to discussing the effects of high pressure on bioactive components, enzymes and microorganisms in fruit juices, this review covers the critical factors that need to be considered to apply this technology, consumer's perspective, cost elements and compliance with global legislation.

**Keywords:** High pressure processing, Fruit juice, Shelf life, Non-Thermal Method.

\* Sorumlu Yazar: [serpiladay@comu.edu.tr](mailto:serpiladay@comu.edu.tr)

## 1. Giriş

Sağlık bilincinin artmasıyla birlikte tüketiciler; gıda güvenliğine daha fazla önem vermekte olup, yüksek besin değerine sahip taze gıdaları talep etmektedir. Doğal ve taze olduğu kadar kimyasal katkı maddesi içermeyen gıdalar tüketiciler arasında giderek dikkat çekmektedir (Rastogi ve ark., 2007). Bu bilgiler ışığında gıda endüstrisindeki işletmeler, gıda kalitesini koruyup, enerji sarfiyatını azaltan işleme teknolojilerine yönelmekte olup (Aksoy, 2020), bu da ısılmayan işleme teknolojilerinin gelişimine yol açmaktadır. Ayrıca, geleneksel olarak kullanılan ısı işlem teknolojileri, gıdaların duyuşal özellikleriyle besin içeriğini olumsuz etkilediğinden ve istenmeyen bileşenlerin (hidroksimetilfurfural) oluşumuna yol açtığından (Sabancı, 2020), vurgulu elektrik alan, vurgulu ışık, ışınlama, plazma ve yüksek basınç gibi ısılmayan işleme teknolojileri, gıda endüstrisinin yoğun ilgisini çekmektedir (Huang ve ark., 2017).

Ultra yüksek basınç veya yüksek hidrostatik basınç olarak da bilinen yüksek basınçla işleme (YBİ) teknolojisi, gıdanın genellikle 100 MPa-1000 MPa arasında yüksek hidrostatik basınca maruz bırakılmasını içeren bir gıda işleme teknolojisidir (Kamiloğlu ve ark., 2021). Bu teknoloji, geleneksel ısı işlem yöntemlerinin olumsuz etkilerini azaltmak, mikroorganizmaları etkisiz hale getirmek ve çeşitli enzimleri denatüre etmek için geliştirilmiştir (Elamin ve ark., 2015). YBİ teknolojisi, hem sıvı hem de yüksek nem içerikli katı gıdaları işlemek için kullanılabilir. Basınçla işleme mikroorganizmalar için öldürücü olsa da, nispeten düşük sıcaklıklarda (0-40°C) kovalent bağlar neredeyse etkilenmemektedir ve bu durum YBT teknolojisinin benzersiz bir özelliğini temsil etmektedir (Yordanov ve Angelova, 2010). Gıdaların korunmasına ek olarak, yüksek basınç işlemi, gıda ürünlerinin yeni yapı ve doku kazanmasına olanak sağlamakta ve bu nedenle belirli bileşenlerin işlevselliğini artırmak veya yeni ürünler geliştirmek için de kullanılabilir (Rastogi ve ark., 2007).

Tarihte ilk kez bu teknik, bakterileri öldürmek için 1895'te Royer ve daha sonra 1899'da Hite tarafından araştırılmıştır (Naik ve ark., 2013). Hite, sütü muhafaza etmek için bir araç olarak 600 MPa'ya kadar YBİ teknolojisini kullanmış, 1914'te ise sebze ve meyvelerdeki etkinliğini belirlemiştir. Daha sonra bu çalışmalara yalnızca birkaç araştırma eklenmiş ve 1980'lere kadar YBİ hakkında çok fazla araştırma yayınlanmamıştır (Elamin ve ark., 2015). 1990'ların başında Japon endüstrisinde ilk kez ticari olarak yüksek basınçla işlenmiş meyve suları, reçeller ve yumuşatılmış etler tanıtılmıştır. YBİ ekipman teknolojisinin son yıllarda kademeli olarak olgunlaşmasıyla birlikte, ABD, İspanya, İngiltere, Japonya ve Çin'deki çeşitli üreticiler YBİ ekipmanı üretme kapasitesini geliştirmiştir. Başlıca küresel üreticiler arasında Avure (ABD), Hiperbarik (İspanya), Multivac (Almanya) ve Baotou Kefa (Çin) bulunmaktadır (Naik ve ark., 2013).

Geleneksel ısı işlem teknolojilerinin yarattığı sorunların görüldüğü önemli bir ürün grubu da meyve suları olup, genel olarak istenmeyen değişikliklere neden olabilecek hedef mikroorganizmaları veya enzimleri yok etmek için 60°C ile 100°C arasındaki ısı işlem parametreleri uygulanmaktadır (Auwah ve ark., 2007). Fakat bu sıcaklıklar, uçucu aroma bileşiklerinin kaybına yol açmakta ve kalitede azalmaya neden olmaktadır. Bu problemlerin önüne geçmek için uygulanan yüksek basınçlı işleme aynı zamanda enerji tüketimini de azaltan bir teknoloji olarak göze çarpmaktadır (Song ve ark., 2022).

Gıda işlemede yeni teknolojilerin sağladığı avantajlar, bu teknolojilerin pazarda kabul edilmesini sağlamak için tek başına yeterli olmayıp, bu konu hakkındaki tüketici görüşü de önemli bir rol oynamaktadır. Bu kapsamda YBİ teknolojisinin sağlıkla, gıdanın lezzetiyle ve çevreyle ilişkili faydalarının, tüketicilerde olumlu tepkilere yol açtığı gösterilmiştir. Tüketicilerde olumsuz algı yaratan husus ise fiyatla ilişkili olup, tüketiciler bu yöntemlerin ürün fiyatını artırmasından endişe duymaktadır (Olsen ve ark., 2010).

Bu derleme yüksek basınç teknolojisinin dayandığı prensipleri, uygulama yöntemini, meyve sularındaki biyoaktif bileşenlere, enzimlere ve mikroorganizmalara etkilerini, tüketicinin bu teknolojiye bakış açısını, maliyet unsurlarını ve yasal çerçeveyi tanıtmaktadır.

## 2. Yüksek Basınç Teknolojisinin Dayandığı Prensipler ve Uygulama Çeşitleri

Yüksek basınç işleminin gerçekleşmesinde üç ilke vardır. Birincisi; izostatik ilke olup, basınç uygulamasının her yöne eşit şekilde etki ettiğini varsaymaktadır. Gerçek bir hidrostatik durum; zaman ve mekandan bağımsız olmalıdır. Yüksek basınç uygulamalarında, basınç ve basıncın etkileri, gıda geometrisi ve boyutundan bağımsız olarak gıda maddesi içinde anında ve homojen bir şekilde dağılmaktadır (Balasubramaniam ve ark., 2008). İkinci ilke, mikroskopik sıralama prensibi olup; sabit sıcaklıkta gerçekleşen basınçtaki bir artışın, belirli bir maddenin moleküllerinin sıralama derecesini arttırmasını açıklamaktadır. Bu nedenle, basınç ve sıcaklık; moleküler yapı ve kimyasal reaksiyonlar üzerinde zıt kuvvetler uygulamaktadır (Balny ve Masson, 1993). Üçüncü ilke; Le Chatelier'in tüm süreçler için geçerli olan ve dengedeki bir sistem bozulduğunda, sistem bozulmayı en aza indirmeye çalışacak şekilde tepki vermesini içermektedir. Basınç değişirse, denge karşılık gelen yoğun değişkendir (hacim) değişikliğini azaltma eğiliminde olan bir yöne kaymaktadır. Böylece, basınç sistemi en düşük hacme yönelmektedir (Chuang ve Sheen, 2022).

Proses olarak değerlendirildiğinde; bir üretim hattında yüksek basınçla işlemeyi döngüsel olarak gerçekleştirmek için, yeterli kapasite ve dayanıklılığa sahip ekipman tasarlamak gerekmektedir. İyi tasarlanmış yüksek basınç ekipmanları; bir basınç odasından, hazneyi kapatmak için kapaklardan, işlem sırasında kapakları tutacak bir cihazdan, basıncı yoğunlaştırıcı pompalardan (Farkas ve Hoover, 2000), basıncı ve sıcaklığı izlemek ve kontrol etmek için sistemlerden, bir sıcaklık kontrol cihazından ve ürünü, basınç odasına aktarmak ve odadan çıkarmak için gereken taşıma sisteminden oluşmaktadır (Abera, 2019).

Gıdalara yüksek basıncın uygulanması amacıyla kullanılan iki ana tip basınçlandırma sistemi bulunmakta olup, bunlar kesikli ve yarı sürekli sistemlerdir. Gıda işleme için endüstriyel kullanımdaki çoğu yüksek basınç makinesi, hem katı hem de sıvı gıdalar için kullanılabilen kesikli sistemlerden oluşmaktadır. Spesifik olarak, ürünler bir yüksek basınç haznesine yerleştirilmekte ve kap kapatılmakta, basınç ileten sıvıyla doldurulmakta ve kabın içine sıvı pompalanarak ya da örneğin bir piston kullanılarak basınç odasının

hacmi azaltılmaktadır (Balasubramaniam ve ark., 2015). Basınç ileten sıvı olarak silikon yağı, sodyum benzoat, etanol ve glikol kullanılabilir (Yordanov ve Angelova, 2010). Bu arada, basınç ileten sıvının seçiminde; iç kap yüzeyini korozyondan koruma kabiliyeti, kullanılan spesifik yüksek basınç sistemi, işlem sıcaklığı aralığı ve basınç altındaki sıvının viskozitesi dikkate alınmaktadır. Kesikli sistemde gıdalar basınç işlemi öncesinde, esnek bir ambalajla kapatılmaktadır. Gıdaların işlem sırasında hacimde % 10-20'lik bir düşüğe uğrayacağı ve basınç bırakıldıktan sonra orijinal hacme geri döneceği hesaplanarak paketlenmelidir. Basınç işlemi gerekliliği bekletme süresi geçtikten sonra sistem basınçsız hale getirilmekte, kap açılmakta ve ürünler boşaltılmaktadır. Sistem daha sonra mümkün olan otomasyon derecesine bağlı olarak operatörler veya makineler tarafından ürünlerle yeniden yüklenmektedir (Tao ve ark., 2014).

Pompanabilir gıdaların işlenmesi için kullanılan yarı sürekli sistemlerde; sıkıştırma için serbest yüzer piston içeren iki veya daha fazla basınçlı kap kullanılmaktadır. Bu yöntemde, bir kap ürünü boşaltıldığında, ikinci sistem basınç uygularken, üçüncü kap gıda numunesi ile yüklenecek şekilde bağlanmakta ve böylece sürekli bir çıktı sağlanmaktadır (Balasubramaniam ve ark., 2015). İşlem, hazneyi sıvı ürünle doldurmak için düşük basınçlı bir pompa kullanılarak başlamakta ve hazne dolarken, serbest piston yeniden konumlandırılmaktadır. Gıda bölümü doldurulur doldurulmaz giriş valfi kilitlenmekte ve basınçlandırma sıvısı kaba gönderilerek, bu sıvı, gıdayı sıkıştırmak için serbest pistonu hareket ettirmektedir. Gerekli bir tutma süresinden sonra kap basınçsız hale getirilmektedir. Yüksek basınç tarafındaki basıncın serbest bırakılması, gıda ürünlerinin basıncını düşürmekte ve pistonu başlangıç konumuna geri döndürmektedir. İşlenmiş sıvı ürün, sterilize edilmiş bir boşaltma ucu vasıtasıyla steril bir yedek tanka boşaltılmakta ve paketlenmektedir (Elamin ve ark., 2015; Farkas ve Hoover, 2000).

### **3. Yüksek Basınç Teknolojisinde Kritik Faktörler**

YBİ teknolojisinde uygulanan basınç, sıcaklık ve zaman özellikle gıda matrisindeki mikroorganizmaların ölümcüllüğünü belirleyen kritik faktörlerdir. Ürüne uygulanan basınç seviyesi, ürün kalitesini etkileyen birincil faktördür. Basınç seviyesi, mikroorganizmaların ve enzimlerin yok edilmesi üzerindeki etkilerle doğru orantılıdır. Biyokimyasal reaksiyonların 100 MPa'da başlayabileceği, 300 MPa'da ise geri dönüşümsüz reaksiyonların meydana gelmeye başladığı bildirilmiştir. Gıda uygulamalarında yüksek basınç yani 1000 MPa'da çalışılmış olsa da ticari uygulamalar için üst sınır 600 MPa'dır (Sehrawat ve ark., 2021). YBİ toplu olarak yapıldığından, işlem süresi çıktıyı etkileyen diğer önemli bir faktör olarak göze çarpmaktadır. Her bir ürün grubunun işlem süresi azaltılarak verimlilik artırılabilir de bu, yetersiz pastörizasyon riskini artırmaktadır. Bu nedenle, yüksek basınçlı koşulları belirlerken gıda ürünlerinin pH'ı, su aktivitesi ve bileşenleri dikkate alınmalıdır (Huang ve ark., 2020). YBİ ile ilgili diğer parametre kompresyon ve dekompresyon oranlarını içerir. Genel olarak, mikroorganizmaların yok olma derecesi, basıncın yükseltilmesi ile artar. Kompresyon ve dekompresyon oranlarının etkileri konusunda çelişkili sonuçlar elde edilmiştir. Yavaş kompresyon ve dekompresyon oranlarının, YBİ'nin bakteri sporlarını etkisiz hale getirme etkinliğini artırdığı bulunmuş, hızlı kompresyon ve dekompresyon sürelerinin ise, vejetatif bakteri hücrelerinin inaktivasyonuna fayda sağladığı gösterilmiştir (Tao ve ark., 2014).

Ambalaj boyutu ve tasarımı da odaya yerleştirilebilecek birim sayısının en üst düzeye çıkarılması açısından kritik faktörlerdendir ve bu da ekonomik işlemeye katkıda bulunabilmektedir. Endüstrilerdeki yüksek basınçlı işlenmiş gıdaların çoğu, daha önce farklı polimer kombinasyonlarından lamine esnek ambalaj malzemeleri kullanılarak paketlenmiştir. Metal, cam veya kağıt kullanılarak yapılan ambalajlar, basınçlı işlem sırasında kullanılmaya uygun değildir (Ayvaz ve ark., 2012). Yüksek basınç altında işlenecek gıdaları paketlemek için kullanılan esnek ambalaj, hızlı kompresyon ve dekompresyon işlemlerini desteklemek için yeterli olmalı ve tepe boşluğundan çökmeyi ve ambalaj içindeki gıda hacminin olası azalmasını telafi etmek için esneklik sağlamalıdır. Ek olarak, esnek ambalaj malzemelerinin seçiminde, yüksek basınçlı işleminin ısı yapışkanlık ve bariyer özelliklerini etkilememesine de dikkat edilmesi gerekir. Ayrıca, ürün genellikle pazarlanacağı aynı ambalajda işlendiğinden parlaklık ve şeffaflık özelliklerini korumalıdır (Marangoni Junior ve ark., 2019).

Gıda, farklı oranlarda birkaç bileşenden oluşan karmaşık bir matristir ve mikroorganizmaların basınca karşı korunmasında önemli bir etkiye sahip olabilir. Basınçlama işlemi sonrasında hücreler, gıda matrisinin varlığında yeniden canlanabilir. Proteinler, karbonhidratlar, lipitler ve metal iyonları koruyucu bir etki sağlayabilir. Ayrıca ortamın pH'sı, mikroorganizmaların inaktivasyonunu etkileyebilir. Basıncın ve pH'ın sinerjik etkisi sonucu, mikroorganizmanın azalması sağlanmakta ve hücre zarlarına zarar vermesini artırarak, yaralanan hücrelerin iyileşmesini engellemektedir. Sıkıştırma, su moleküllerinin iyonlaşmasında hidrojen iyonları artırtıca pH'ın düşmesine neden olmaktadır. Bu nedenle nötr pH'tan düşük pH'a sapma, mikrobiyal inaktivasyona duyarlılığı artırmaktadır (Sehrawat ve ark., 2021). Mayalar ve küfler, pH değeri 4,0'ın altındaki asitlik değerlerinde basınca daha duyarlıdır. Bakterilerin vejetatif hücreleri ise daha düşük pH değerlerinde basınca hassastır. Bakteri sporları nötr pH'ta basınca en dirençli formda olup, ancak 1.000 MPa'nın üzerindeki basınçlarda düşük pH'ta daha hızlı inaktif olmaktadır. 50 ila 300 MPa arasındaki basınç muamelesi, çimlenme yollarını aktive etmekte ve nötr pH'ta daha hızlı ilerleyecek olan spor çimlenmesini başlatmaktadır. Çimlenen sporlar daha sonra YBİ teknolojisine daha duyarlı hale gelmektedir (Podolak ve ark., 2020).

Düşük su aktivitesi, yüksek yağ, yüksek protein ve yüksek çözünen konsantrasyonu gibi gıda ürününün içeriği, mikroorganizmanın barotoleransını artırabilen ve bakteriyel inaktivasyon derecesini azaltabilen ve ayrıca depolama sırasında ölümcül hasar görmüş hücrelerin iyileşmesine yol açabilen önemli faktörler olarak tanımlanmıştır (Hygreeva ve Pandey, 2016). Düşük su aktivitesi, gıdada asılı kalan mikroorganizmalara koruyucu bir etki sağlamaktadır. Vejetatif hücrelerin yüksek su aktivitesinde basınca duyarlı olduğu gözlenmiştir. Şeker ve tuzun varlığı veya eklenmesi, su aktivitesini azaltır, böylece hücrenin büzülmesi ve hücre zarının kalınlaşması meydana gelir. Bu da membran geçirgenliğini azaltır ve mikroorganizmaların daha Fazla hayatta kalmasına neden olur (Sehrawat ve ark., 2021).

Sıcaklık, vejetatif bakterilerin inaktivasyon seviyesini etkileyen bir diğer önemli faktördür. Yüksek sıcaklık (30-50°C) mikroorganizmaların basınçla inaktivasyonunu desteklerken, düşük sıcaklığın (<20°C) inaktivasyon üzerindeki etkisi netleşmemiştir.

Bakteri hücreleri, 20-35°C'de hidrostatik basınca nispeten daha az duyarlıdır, ancak membran lipitlerinin faz geçişi nedeniyle 35°C'nin üzerinde basınca daha duyarlı hale gelir (Syed ve ark., 2016).

Mikroorganizmaların basınca duyarlılığı türler arasında ve aynı türün suşları arasında farklılık gösterebilir. Mikroorganizmalar nispeten basınca duyarlı olanlar ve basınca dayanıklı olanlar olarak ayrılabilir. Genellikle Gram pozitif bakteriler, Gram negatif bakterilere, küflere ve mayalara göre basınca karşı daha dirençlidir. Yüksek hidrostatik basınca en dirençli bakteri sporlarıdır. Mikrobiyal hücrelerin duyarlılığı, organizmaların yüksek hidrostatik basınç işlemine tabi tutulduğu büyüme döngüsünün aşamasına da bağlıdır. Genel olarak, üstel fazdaki hücreler, büyümenin durağan fazlarındaki hücrelere göre basınç işlemlerine daha duyarlıdır (Yordanov ve Angelova, 2010).

## 4. Meyve Sularında Yüksek Basınç Teknolojisinin Etkileri

Mikrobiyal bozulma ve enzimatik reaksiyonlar, meyve ve sebze ürünlerinin işlenmesinde ve korunmasında iki ana sınırlayıcı faktördür. Sebze sularının çoğu düşük asitli gıda kategorisine girerken (pH>4,6), meyve sularının çoğu yüksek asitli yiyecekler olarak sınıflandırılmaktadır (pH<4,6). Çoğunlukla meyve suları, aerobik mezofiller, maya ve küfler ve koliformlar nedeniyle bozulmaktadır. Meyve sularındaki çeşitli enzimler tüketiciler için sağlık yararları sağlarken, bazı enzimler ise renk değişikliği, bulanıklık, faz ayrımı ve lezzet dışı gelişme ile ürün raf ömrünü sınırlayabilmektedir (Ravichandran ve ark., 2023). Geleneksel olarak meyve sularında koruma amacıyla kullanılan ısıtma işlemi biyoaktif bileşenler üzerindeki olumsuz etkilerinin tersine, YBİ teknolojisi gıda güvenliğinden ödün vermeden meyve sularının besin değerini korumanın faydasını sunmaktadır (Tadapaneni ve ark., 2014). Meyve sularında da kullanılan YBİ teknolojisinin enzim, mikroorganizmalar ve biyoaktif bileşenler üzerindeki etkilerini sayılan nedenlerden dolayı bilmek gerekmektedir.

### 4.1. Yüksek Basıncın Enzimler Üzerindeki Etkileri

Basıncın, proteinler/enzimler gibi yüksek moleküler ağırlıklı bileşenlerin aksine, vitaminler, pigmentler ve uçucu bileşikler gibi düşük moleküler ağırlıklı moleküllerin kovalent bağları üzerinde sınırlı bir etkisi vardır. Çünkü enzimlerin karmaşık üç boyutlu yapısı, çeşitli kovalent ve kovalent olmayan etkileşimlerle stabilize edilmektedir. Bu inaktivasyon, katlanma veya açılma yoluyla enzimlerin doğal yapısındaki sayısız etkileşimin ve değişikliğin oluşumunu veya bozulmasını içeren bir dizi olay olarak tekrar etmektedir (Roobab ve ark., 2022). Yüksek basınç ortamında, enzim inaktivasyon mekanizması, protein denatürasyonuna benzer şekilde gelişebilmektedir. Basınç uygulaması, tersine çevrilebilir veya geri döndürülemez veya enzimin doğal yapısının kısmen veya tamamen açılmasına neden olabilmektedir. Bu, işlemler enzimin aktif bölgesinin yapısıyla ilgili olduğu için sonunda enzim aktivitesinde bir değişikliğe yol açmaktadır (Chakraborty ve ark., 2014). 300 MPa'nın üzerindeki basınç uygulanması; oda sıcaklığında geri dönüşümsüz protein denatürasyonuna neden olabilmekte, daha düşük basınç, protein yapısında büyük ölçüde geri dönüşümlü değişikliklere neden olmaktadır. Bir enzimin basınç stabilitesi; su moleküllerinin yer değiştirmesine bağlı olup, kovalent olmayan bağların kayıplarını telafi etme kabiliyetinden büyük ölçüde etkilenmektedir (Terefe ve ark., 2014).

Yüksek basınçlı işleme teknolojisinin (YBİ), (200-600 MPa/1-15 dk) elma suyundaki enzim aktivitesi üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmada; 600 MPa/5dk'lık en yüksek basınç seviyesi, polifenol oksidaz (PPO)'da neredeyse tamamen inaktivasyona neden olmuştur. Genel olarak peroksidaz enzimi (POD), uygulanan YBİ işleminde PPO'ya kıyasla daha dirençli bulunmuştur (Marszałek ve ark., 2019). Havuç suyunda YBİ teknolojisinin incelendiği diğer bir çalışmada ise 600 MPa/5dk'lık en yüksek basınç, POD inaktivasyonunun yalnızca % 31'ini sağlamıştır. PPO basınca daha az dirençli bulunmuş olup, ancak bu enzim inaktivasyonu için en etkili parametreler 450 MPa/5dk uygulaması için (inaktivasyonun % 44'ü) gerçekleşmiştir (Stinco ve ark., 2019). Mango suyunda 400 MPa/10dk olarak uygulanan YBİ teknolojisinde, POD, PPO ve pektin metil esteraz (PME) için kalan aktivite değerleri sırasıyla % 98, % 93 ve % 96 olarak tespit edilmiştir. Bu nedenle üç enzimin basınca dirençli olduğu belirlenmiştir (Dars ve ark., 2019). Elma suyu üzerine 400-600 MPa/3dk olarak uygulanan YBİ teknolojisinin PPO ve POD üzerine etkisinin incelendiği çalışmada, işlemin hemen sonrasında örnekler yüksek artan enzim aktiviteleri göstermiş olup, bu değerler PPO için RA  $\geq$  100 ve POD için RA  $\geq$  98 olarak tespit edilmiştir. Depolama süresi sonrasında (3 hafta) ise PPO aktivitesi oldukça düşmüş, POD aktivitesi ise % 80 civarında kalmıştır (Wibowo ve ark., 2019).

### 4.2. Yüksek Basıncın Mikroorganizmalar Üzerindeki Etkileri

Gıdalarda mikrobiyal büyümeyi engellemek için de yüksek basınç teknolojisinden yararlanılmaktadır. Genel olarak, işleme basıncındaki artışlar mikroorganizmalar üzerinde değişen seviyelerde etki göstermektedir. Bu kapsamda; 50 MPa basınç; mikroorganizmalarda protein sentezini inhibe edebilmekte ve ribozom sayısını azaltabilmektedir. 100 MPa'lık bir basınç kısmi protein denatürasyonuna neden olabilmekte ve 200 MPa hücre zarına ve iç hücre yapısına zarar vermektedir (Huang ve ark., 2014). Oda sıcaklıklarında 300 ile 800 MPa arasındaki yüksek basınç, vejetatif mikroorganizmalarda önemli hücre enzimlerinin ve proteinlerinin açılmasına ve denatürasyonuna yol açabilmektedir. Ayrıca, yeterince yüksek seviyedeki basınç, zarın faz geçişinden ve akışkanlığındaki değişiklikten kaynaklanan enzim inaktivasyonunu, zar proteini denatürasyonunu ve hücre zarı yırtılmasını indükleyebilmektedir (Georget ve ark., 2015). Mikrobiyal hücrelerin YBİ'ye duyarlılığı; basıncın büyüklüğü, basınçlama süresi, sıcaklık, kompresyon ve dekompresyon oranları, mikrobiyotaya ve gıdaların içsel özellikleri gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir (Sehrawat ve ark., 2021). Ayrıca YBİ teknolojisinin elma sularında bir mikotoksin olan patulini azalttığı da bildirilmiştir (Erdoğan ve ark., 2018).

YBİ koşullarının (200-400 MPa, 5 m'ye kadar) farklı pH seviyelerindeki havuç-portakal su karışımlarında *L. innocua*'nın (ATCC 51742) en az 5 log inaktivasyonuna ulaşması için değerlendirildiği çalışmada, 300 MPa/2dk, 400 MPa/1dk ve 400 MPa/3dk'daki YBİ, sırasıyla pH 4, pH 5 ve pH 6 karışımlarında *L. innocua*'da 6 log'dan fazla azalma sağlamıştır (Pokhrel ve ark., 2022). Değişen pH ve suda çözünür katı madde içeriği ile formüle edilmiş akai sularına uygulanan YBİ teknolojisinin mikrobiyal kaliteye etkisinin incelendiği

çalışmada; *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes* ve *Salmonella* spp. sayılarında 6 log'dan fazla bir azalma gözlenmesi için Akai suyunun pH 4,3 ve 2,9 Briks içeriğinde olması ve 400 MPa/3dk basınç gerektiği vurgulanmıştır (Gouvea ve ark., 2020). Ananas suyuna yüksek basınç işlemenin (500 MPa/10dk) uygulandığı çalışmada; ananas suyunda bulunan hem maya/küf hem de koliform bakteriler tamamen etkisiz hale getirilmiş ve toplam aerobik bakteri sayısı da azalmıştır (Wu ve ark., 2021). *L. innocua* ve *E. coli* aşılansız havuç suyunda YBİ'nin (200-500 MPa/2dk.) mikrobiyal dekontaminasyon üzerindeki etkisi değerlendirildiğinde, basıncın artırılmasıyla her iki mikroorganizmanın da inaktivasyonunda artış olmuştur. Basınç seviyesi 400 MPa'ya çıkarıldığında her iki mikroorganizma için de 3 log'luk bir azalış sağlanırken, basınçta 500 MPa'dan daha fazla bir artış, sırasıyla *L. innocua* ve *E. coli*'de yaklaşık 4 ve 5 log'luk azalma sağlamıştır (Pokhrel ve ark., 2022). Çilek suyunda 120 saniye boyunca 200 ve 250 MPa'da uygulanan YBİ, *E. coli*'yi sırasıyla 3.52 ve 4.02 log azaltmıştır. Öte yandan, daha yüksek basınçlardaki YBİ uygulamaları ise; 300 MPa/60s, 350 MPa/30s ve 400 MPa/15s için sırasıyla 5.75, 5.85 ve 6.01 log azalması sağlamıştır (Yildiz ve ark., 2019).

### 4.3. Yüksek Basıncın Biyoaktif Bileşenler Üzerindeki Etkileri

Biyoaktif bileşikler, "gıdalarda tipik olarak küçük miktarlarda bulunan besin dışı bileşenler" olarak tanımlanmıştır. Isıl işleme bağlı olarak meyve sularındaki biyoaktif bileşiklerin kaybının aksine, YBİ gıda güvenliğinden ödün vermeden meyve sularının besin değerini korumanın faydasını sunmaktadır (Tadapaneni ve ark., 2014). Gıdada bulunan biyoaktif bileşiklerin düzenli tüketiminin, kanser, kardiyovasküler hastalık, diyabet, ve çeşitli kronik hastalıkları engellediği bildirilmiştir (Şen, 2021). Polifenoller, C vitamini, karotenoidler, tokoferoller, kazein, fosfopeptitler ve bazı minerallerin çeşitli tamamlayıcı ve sinerjik mekanizmalar yoluyla insan hücre sistemlerini oksidatif hasardan koruyabildiği belirtilmiştir (Andrés ve ark., 2016; Tüysüz ve ark., 2020).

Yüksek basınç işlemenin (YBİ) (400, 450, 500 ve 600 MPa/5dk) açai suyunda biyoaktif bileşenler üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmada, antosiyanin olmayan bileşiklerin içeriğinde 500 MPa'da önemli bir artış gözlenmiş olup, 500 ve 600 MPa'da işlenen numunelerin daha yüksek antioksidan değerlerine sahip olduğu belirtilmiştir (Da Silveira ve ark., 2019). Yapılan diğer çalışmada; YBİ (600 MPa/1dk) teknolojisi portakal suyunun toplam fenol içeriğini artırmış, ancak C vitamini içeriği, DPPH tutma kapasitesi, FRAP demir iyonu azaltma kapasitesi üzerinde önemli bir etkisi göstermemiştir (Huang ve ark., 2021). Ananas suyunda YBİ (500 MPa/10dk)'nin biyoaktif bileşenler ve antioksidan kapasite üzerine etkisinin incelendiği çalışmada YBİ teknolojisi renk, biyoaktif bileşenler ve antioksidan aktiviteyi daha iyi korumuştur (Wu ve ark., 2021). Portakal suyuna 520 MPa/6dk YBİ uygulanması sonucunda antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde miktarı sabit kalmış, fakat askorbik asit miktarı ise azalmıştır (Spira ve ark., 2018). Kırmızı greylift suyu uygulanan 550 MPa/10dk YBİ sonucunda kontrolle karşılaştırıldığında toplam fenol bileşiklerin miktarı değişmemiş, askorbik asit miktarı ise düşmüştür (Gao ve ark., 2015).

## 5. Tüketici Algısında Yüksek Basınç Teknolojisi

Tüketicilerin gıda ürünlerini kabul etmesi, tercihi ve seçimi, sosyal, psikolojik ve ekonomik birçok faktör tarafından etkilenmekte olup (Yeşilçubuk ve ark., 2021), endüstriler piyasaya sunduğu ürünler hakkında tüketici algısına göre karar vermektedir. Gelişmekte olan teknolojiler tarafından işlenen ürünlerin tüketici tarafından reddedilmesi; duyu özelliklerindeki değişiklikler, aşına olmama, artan ürün fiyatı, sağlık, güvenlik, etik ve çevresel yönlerle ilgili endişeler gibi farklı nedenlerle ortaya çıkabilmektedir (Dos Santos Rocha ve ark., 2022). Bununla birlikte, tüketici açısından, yeni teknolojilerle işlenen ürünlerde sosyal farkındalığı ve güveni artırmak için tüketici odaklı iletişim önem kazanmaktadır. Bu yöntemler hakkında; özellikle bağımsız bilim adamları, tüketici kuruluşları veya gıda güvenliği yetkilileri tarafından bilgi verildiğinde, tüketicilerin yeni işleme yöntemleri algısını olumlu yönde etkilediği bulunmuştur (Song ve ark., 2020). Özellikle tüketicilerin yeni ürünlere ne kadar olumlu baktıklarını gösteren "tüketici yenilikçiliği" ve bir ürünün kullanılmasının ne ölçüde algılandığını gösteren "algılanan zevk" kavramları tüketici motivasyonunu artırmaktadır (Sargun ve ark., 2020).

Fransa, Almanya ve İngiltere'de gerçekleştirilen ve YBİ teknolojisinin tüketici tarafından algısını yansıtan çalışmada, Fransa ve Almanya'daki tüketicilerin çoğunluğu için YBİ kabul edilebilir değerler alırken, İngiltere pazar araştırmasında eşğin altında kabul edilebilirlik değerleri ortaya çıkmıştır. Çalışmada % 67'lik bir kesim, kişisel deneyim olmadan ve büyük ölçüde yüksek basıncı anlatmak amacıyla kendilerine verilen karttaki bilgilere dayanarak, bu teknolojinin kabul edilebilir olduğunu söylemiştir. Fransızlar bu ürünler için biraz daha fazla ücret ödemeye hazırlanırken, hem Almanlar hem de İngilizler daha fazla ödeme yapmakta isteksiz bulunmuştur (Butz ve ark., 2003).

Avustralyalı tüketiciler üzerinde yapılan diğer bir çalışmada, portakal suyuna uygulanan YBİ'nin tüketiciler tarafından iyi kabul edildiğini ve satın alma olasılığının piyasada ısıl işlem gören mevcut portakal sularına benzer şekilde değerlendirildiğini göstermektedir. Toplanan ek nitel verilere göre, satın alınan meyve suyunun türü, tüketim vesilesiyle (örneğin atıştırmalık olarak veya seyahat ederken) güçlü bir şekilde bağlı bulunmuştur. Tüm katılımcılar (metin açıklamalarında) YBİ teknolojisinin portakal suyunun besin değerini ve duyu özelliklerini koruduğuna dair iddialar konusunda ikna olmadıklarını ifade etmiştir (Mireaux ve ark., 2007).

Çin'de yapılan çalışmada ise tüketiciler YBİ teknolojisini, karmaşık ve sofistike bir teknoloji olarak kabul etmiştir. Katılımcıların yaklaşık % 10'u YBİ konusunda kararsız kalmış ve yüksek basınç nedeniyle ürünün şeklinin, aromasının ve besin içeriğinin değişebileceğinden endişe duyduğunu ifade etmiştir. YBİ konusunda detaylı bilgi verildikten sonra ise, katılımcıların kaygısı azalsa da, YBİ'in yiyecek ve içecekler katma değer kattığı için fiyatı artırılabilirliği bir endişe kaynağı olarak nitelendirilmiştir. YBİ ile işlenmiş sağlıklı içeceklerin mevcut piyasa fiyatının % 10 altında satılması durumunda, katılımcıların çoğunluğu (% 96) bu ürünleri satın almaya istekli olduğunu belirtmiştir (Lee ve ark., 2015).

Norveç, Danimarka, Macaristan ve Slovakya'da yapılan çalışmada tüketiciler, YBİ teknolojisi kullanılan elma suyunun pastörizasyonla üretilen bir meyve suyuna kıyasla sunduğu faydaları fark etmiş ve takdir etmişlerdir. Dört ülkedeki katılımcılar, bu yeni

teknolojiler aracılığıyla üretilen ürünlerin besin değeri ve tadı ile ilgili ürün özelliklerine olumlu puanlar vermiştir. Ayrıca bu teknolojilerin çevresel fayda yaratması da, olumlu özellikler olarak nitelendirilmiştir (Sonne ve ark., 2012). Brezilya'da YBİ'yi de kapsayan yeni muhafaza metotlarıyla muamele edilmiş meyve sularının; tüketiciler tarafından yapay, katkı maddeleri ve koruyucular eklenmiş ve kötü gibi olumsuz özelliklerle algılandığını ve bunun sebebinin de, esas olarak teknoloji hakkında bilgi eksikliği olmasından kaynaklandığı tespit edilmiştir (Martins ve ark., 2019).

## 6. Yüksek Basınç Teknolojisinin Maliyeti

2020'nin sonunda, dünyada 5 yıl öncesine göre yaklaşık iki kat daha fazla sayıda, yaklaşık 590 endüstriyel yüksek basınçlı işleme ünitesi bulunmaktadır. Bu endüstriyel büyüklükteki sistemlerin yaklaşık 20'si (35 L'den 135 L'ye kadar hacim) akademik laboratuvarlarda ve pilot tesislerde araştırma ve geliştirme amacıyla kullanılmıştır. Bu nedenle, ticari amaçlı ünite sayısının 570 olduğu ifade edilmiştir. Kuzey Amerika, tarihsel olarak, yiyecek ve içecekler için endüstriyel YBİ tekniklerinin ana benimseyicisi ve en büyük itici gücü olmuştur ve olmaya devam etmektedir (toplamda yaklaşık 235 sistem kurulmuş, ABD'de yaklaşık 155, Meksika'da 50 ve Kanada'da 30 ünite), ardından Avrupa Birliği ülkelerinde yaklaşık 130 sistem kurulmuş (Avrupa'nın önde gelen ülkesi 30 adet ile İspanya); ve başta Çin, Güney Kore, Japonya ve Tayland olmak üzere yaklaşık 100 ünitenin üretimde olduğu Asya (yaklaşık yarısı Çin'de olmak üzere toplam 70 ünite); Okyanusya (Avustralya ve Yeni Zelanda'da yaklaşık 25 ünite) ve Güney Amerika (yaklaşık 25 sistem). Afrika'da endüstriyel YBİ teknolojisi kullanan tek ülke, sekiz üniteye sahip Güney Afrika'dır (Houška ve ark., 2022).

YBİ ekipmanları yatay ve dikey tip olmak üzere iki türe ayrılrsa da ticari uygulamalarda kullanılan cihazların çoğu, üretim hattındaki konteynerlerin yüklenmesini ve boşaltılmasını kolaylaştırmak için yatay tiptedir. Ayrıca yatay yönlendirme; alt düzey inşaat gereksinimlerini önlemekte, yükseklik ve zemin yükü kısıtlamalarını ortadan kaldırmakta, sistem kurulumunu ve yer değiştirmeyi daha uygun hale getirmekte, tesiste ürün akışını kolaylaştırmakta ve işlenmiş ve işlenmemiş ürünün karıştırılma riskini azaltmaktadır (Mújica-Paz ve ark., 2011).

Genel olarak YBİ ekipmanları, kapasite ve çalışma parametre aralığına bağlı olarak yaklaşık 0,5–2,5 milyon dolara mal olmaktadır (Huang ve ark., 2017). Toplam maliyet; değişken maliyetleri (işgücü, alan, enerji, kamu hizmetleri, bakım ve diğerleri) ve sermaye maliyetini içermektedir. Yatırımın yaklaşık % 80'i YBİ sisteminin ve kurulumunun sermaye maliyetine gitmektedir. Bu sermaye maliyeti; kabaca basınçlı kap ve bileşenlerine % 50~60, pompalama sistemine % 30~35 ve % 10~15 ile kontrol sistemine bölünmüştür. İşlem maliyeti ise, amortisman için % 65~75, enerji için % 2~3, bakım için % 22~33 ve işçilik için % 10~40 arasındadır (Elamin ve ark., 2015).

ABD'de portakal suyu işleme için YBİ'nin maliyetinin tahmin edildiği çalışmada, ısı işlem ile 1 litre portakal suyu üretmenin toplam maliyetinin 1,5¢/L, YBİ ile ise 10,7¢/L olduğunu hesaplanmıştır. Aynı çalışmada araştırmacılar CO<sub>2</sub> emisyonu da ölçmüş olup, ısı işlem için 90.000 kg ve YBİ için 773.000 kg olarak tespit edilmiştir (Sampedro ve ark., 2014).

Diğer bir çalışmada portakal suyu işlenmesinde YBİ için ilk yatırım, dikkate alınan ömür boyunca ekipmanın yaşam döngüsü maliyetinin % 17,99'unu temsil etmektedir. Yaşam Döngüsü Maliyetinin en yüksek kotası, % 71,21'i oluşturan işletme maliyetidir. Buna karşılık, bu maliyet, esas olarak, işletme maliyetlerinin % 48,96'sını oluşturan portakal suyunun işlenmesi için gereken birincil ambalaj malzemesinden kaynaklanmaktadır. Enerji tüketimi (% 20,78) ve çalışanların maaşları (% 17,87) toplam işletme maliyetine etki etmektedir. Bakım söz konusu olduğunda; en yüksek kota planlı bakım (% 47,22) olup, önleyici bakım da önemli (% 44,45) bir maliyet oluşturmaktadır (Cacace ve ark., 2020).

## 7. Yüksek Basınç Teknolojisinin Küresel Mevzuata Uygunluğu

YBİ ile muamele edilmiş gıda maddeleri, Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde tanımlanan "Yenilikçi Gıda" konseptine göre değerlendirilmektedir (258/97 sayılı Yönetmelik (AB)). AB ülkelerinde, yenilikçi gıdaları pazara sunmadan önce, gıda şirketlerinin bu ürünlerin gıda yasalarına uygun olduğuna dair bir onay almaları gerekmektedir. "Yenilikçi Gıdalar Yönetmeliği (NFR)", bu gıdaları, 15 Mayıs 1997'den önce AB içinde önemli bir tüketim geçmişine sahip olmayan bir gıda olarak tanımlamaktadır (Naik ve ark., 2013). 2000 yılında, yüksek basınçla işlenmiş ürünler Avrupa Komisyonu tarafından NFR kapsamında onaylanmıştır. NFR kapsamında onaylanmamış olmalarına rağmen, AB pazarında birçok farklı yüksek basınçlı gıda ürününün mevcut olduğu da saptanmıştır. Üye devletlerin yetkili makamları, Temmuz 2001'de ulusal makamların yüksek basınçlı gıda ürünlerinin yasal statüsüne karar vermesi gerektiği konusunda anlaşmış olup, Avrupa Komisyonu, YBİ'nin artık yeni bir süreç olarak görülmediği sonucuna varmıştır (Cholewinska, 2010).

Gıda Standartları Kanunu, Avustralya ve Yeni Zelanda'da gıda üretimi için gereklilikleri özetlemektedir. YBİ teknolojisi, 2013'ten beri yeni bir süreç olarak görülmemektedir ve bir ürünü YBİ işlenmiş olarak etiketlemeye gerek yoktur. 2018'den bu yana ise, AB ülkeleri düzeyinde, YBİ artık yeni bir süreç olarak görülmemektedir. Sadece YBİ kullanımı nedeniyle AB ülkelerinde Yenilikçi Gıda İznine ihtiyaç yoktur. Amerika Birleşik Devletlerinde ise YBİ teknolojisi, FDA, USDA ve FSIS gibi tanınmış kuruluşlar tarafından patojen inaktivasyonu ve raf ömrünün uzatılması için ölümcül bir süreç olarak onaylanmıştır (Hiperbaric, 2023). On yıldan fazla bir süredir, Kanada'da satılan YBİ ile işlenmiş gıdalar, Gıda ve İlaç Düzenlemelerinin 28. Bölümü uyarınca Yeni Gıdalar olarak düzenlenmiştir. Bununla birlikte, Aralık 2016'da Health Canada, YBİ'nin gıdaya güvenli bir şekilde uygulanabileceğini destekleyen yeterli bilgi ve verinin mevcut olması nedeniyle YBİ'nin artık yeni bir süreç olmadığını gösteren bir pozisyon yayınlamıştır (Kanada, 2023).

## 8. Sonuç

Meyve ve meyve ürünleri sağlıklı beslenmenin önemli bir parçası olup; içerdiği, polifenoller, antosiyaninler veya vitaminler gibi değerli biyoaktif bileşimler sağlığa fayda sağlamaktadır. Fakat meyve suları sahip olduğu bileşimsel özellikler nedeniyle bozulmaya oldukça yatkın olup, mikroorganizmaların ve enzimlerin etkisiyle kolaylıkla kalitelerini yitirebilmektedir. Bu amaçla meyve sularında geleneksel olarak kullanılan ısı işlemler; bu problemlerin önüne geçilmesinde katkı sağlasa da uygulanan yüksek sıcaklık, ürünün genel kalitesini etkileyerek doğal ve karakteristik lezzeti azaltmakta ve biyoaktif bileşenlere zarar verebilmektedir. Meyve sularında görülen bu istenmeyen değişimleri engellemek için kullanılan ve ısı olmayan muhafaza tekniklerinden bir tanesi olan YBİ; besinsel ve organoleptik özellikler üzerinde minimum etkiye sahipken; mikrobiyal yükü ise etkisiz hale getirme potansiyeline sahiptir. Bu teknolojinin başarısına ilişkin en önemli kanıt ise gelişmiş ülkelerde gıda çeşitlerinin ticari olarak işlenmesi için yaygın kabul görmüş olması ve benimsenmesidir. Buna rağmen, sistem kurulurken gereken yüksek başlangıç maliyeti, süreçler hakkındaki derin bilgi eksikliği ve üreticilere sunulan teknik rehberlikte yaşanan sorunlar hala devam etmektedir.

## Kaynakça

- Abera, G. (2019). Review on high-pressure processing of foods. *Cogent Food & Agriculture*, 5(1), 1-23.
- Aksoy, A. (2020). Gıda endüstrisinde elektrolize su kullanımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(19), 254-262.
- Andrés, V., Villanueva, M.J., & Tenorio, M.D. (2016). The effect of high-pressure processing on colour, bioactive compounds, and antioxidant activity in smoothies during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 192, 328-335.
- Auwah, G., Ramaswamy, H.S., & Economides, A. (2007). Thermal processing and quality: Principles and overview. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46(6), 584-602.
- Ayvaz, H., Schirmer, S., Parulekar, Y., Balasubramaniam, V.M., Somerville, J.A., & Daryaei, H. (2012). Influence of selected packaging materials on some quality aspects of pressure-assisted thermally processed carrots during storage. *LWT - Food Science and Technology*, 46(2), 437-447.
- Balasubramaniam, V., Farkas, D., & Turek, E.J. (2008). Preserving foods through high-pressure processing. *Food Technology*, 62(11), 32-38.
- Balasubramaniam, V., Martinez-Monteagudo, S.I., & Gupta, R. (2015). Principles and application of high pressure-based technologies in the food industry. *Annual review of food science and technology*, 6, 435-462.
- Balny, C., & Masson, P. (1993). Effects of high pressure on proteins. *Food Reviews International*, 9(4), 611-628.
- Butz, P., Needs, E.C., Baron, A., Bayer, O., Geisel, B., Gupta, B., Oltersdorf, U., & Tauscher, B. (2003). Consumer attitudes to high pressure food processing. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 1, 30-34.
- Cacace, F., Bottani, E., Rizzi, A., & Vignali, G. (2020). Evaluation of the economic and environmental sustainability of high pressure processing of foods. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 60, 102281.
- Chakraborty, S., Kaushik, N., Rao, P.S., & Mishra, H. (2014). High-pressure inactivation of enzymes: a review on its recent applications on fruit purees and juices. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(4), 578-596.
- Cholewinska, A.E. (2010). *High Pressure Law*. Wageningen University.
- Chuang, S., & Sheen, S. (2022). High pressure processing of raw meat with essential oils-microbial survival, meat quality, and models: A review. *Food Control*, 132, 108529.
- Da Silveira, T.F.F., Cristianini, M., Kuhnle, G.G., Ribeiro, A.B., Filho, J.T., & Godoy, H.T. (2019). Anthocyanins, non-anthocyanin phenolics, tocopherols and antioxidant capacity of açai juice (*Euterpe oleracea*) as affected by high pressure processing and thermal pasteurization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 55, 88-96.
- Dars, A.G., Hu, K., Liu, Q., Abbas, A., Xie, B., & Sun, Z. (2019). Effect of thermo-sonication and ultra-high pressure on the quality and phenolic profile of mango juice. *Foods*, 8(8), 298.
- Dos Santos Rocha, C., Magnani, M., Ramos, G.L.d.P.A., Bezerril, F.F., Freitas, M.Q., Cruz, A.G., & Pimentel, T.C. (2022). Emerging technologies in food processing: impacts on sensory characteristics and consumer perception. *Current Opinion in Food Science*, 47, 100892.
- Elamin, W.M., Endan, J.B., Yosuf, Y.A., Shamsudin, R., & Ahmedov, A. (2015). High pressure processing technology and equipment evolution: A review. *Journal of Engineering Science & Technology Review*, 8(5), 74-83.
- Erdoğan, A., Ghimire, D., Gürses, M., Çetin, B., & Baran, A. (2018). Patulin contamination in fruit juices and its control measures. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(14), 39-48.
- Farkas, D.F., & Hoover, D.G. (2000). High pressure processing. *Journal of Food Science*, 65, 47-64.
- Gao, G., Zhao, L., Ma, Y., Wang, Y., Sun, Z., & Liao, X. (2015). Microorganisms and some quality of red grapefruit juice affected by high pressure processing and high temperature short time. *Food and Bioprocess Technology*, 8(10), 2096-2108.
- Georget, E., Sevenich, R., Reineke, K., Mathys, A., Heinz, V., Callanan, M., Rauh, C., & Knorr, D. (2015). Inactivation of microorganisms by high isostatic pressure processing in complex matrices: A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 27, 1-14.
- Gouvea, F.S., Padilla-Zakour, O.I., Worobo, R.W., Xavier, B.M., Walter, E.H., & Rosenthal, A. (2020). Effect of high-pressure processing on bacterial inactivation in açai juices with varying pH and soluble solids content. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 66, 102490.
- Hiperbaric. (2023). HPP Technology: Global Regulatory Compliance. from <https://www.hiperbaric.com/en/hpp-technology-global-regulatory-compliance/>
- Houška, M., Silva, F.V.M., Evelyn, Buckow, R., Terefe, N.S., & Tonello, C. (2022). High pressure processing applications in plant foods. *Foods*, 11(2), 223.

- Huang, H.W., Hsu, C.P., & Wang, C.Y. (2020). Healthy expectations of high hydrostatic pressure treatment in food processing industry. *Journal of Food and Drug Analysis*, 28(1), 1-13.
- Huang, H.W., Lung, H.M., Yang, B.B., & Wang, C.Y. (2014). Responses of microorganisms to high hydrostatic pressure processing. *Food Control*, 40, 250-259.
- Huang, H.W., Wu, S.J., Lu, J.K., Shyu, Y.T., & Wang, C.Y. (2017). Current status and future trends of high-pressure processing in food industry. *Food Control*, 72, 1-8.
- Huang, X., Wang, Y., Liao, X., & Zhao, L. (2021). Effects of ultra-high pressure and high temperature short-time sterilization on the quality of NFC orange juice. *Science and Technology of Food Industry*, 42(6), 1.
- Hygrieva, D., & Pandey, M.C. (2016). Novel approaches in improving the quality and safety aspects of processed meat products through high pressure processing technology - A review. *Trends in Food Science & Technology*, 54, 175-185.
- Kamiloğlu, A., Kantar, N.K., & Elbir, T. (2021). Etlerde ozmotik dehidrasyon uygulamaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(21), 534-542.
- Kanada. (2023). Foods treated with high pressure processing (HPP). from <https://inspection.canada.ca/preventive-controls/high-pressure-processing/eng/1498504011314/1498504256677>
- Lee, P.Y., Lusk, K., Miroso, M., & Oey, I. (2015). Effect of information on Chinese consumers' perceptions and purchase intention for beverages processed by high pressure processing, pulsed-electric field and heat treatment. *Food Quality and Preference*, 40, 16-23.
- Marangoni Júnior, L., Cristianini, M., Padula, M., & Anjos, C.A.R. (2019). Effect of high-pressure processing on characteristics of flexible packaging for foods and beverages. *Food Research International*, 119, 920-930.
- Marszałek, K., Szczepańska, J., Starzonek, S., Woźniak, L., Trych, U., Skapska, S., Rzoska, S., Saraiva, J.A., Lorenzo, J.M., & Barba, F.J. (2019). Enzyme inactivation and evaluation of physicochemical properties, sugar and phenolic profile changes in cloudy apple juices after high pressure processing, and subsequent refrigerated storage. *Journal of Food Process Engineering*, 42(4), e13034.
- Martins, I.B.A., Oliveira, D., Rosenthal, A., Ares, G., & Deliza, R. (2019). Brazilian consumer's perception of food processing technologies: A case study with fruit juice. *Food Research International*, 125, 108555.
- Mireaux, M., Cox, D.N., Cotton, A., & Evans, G. (2007). An adaptation of repertory grid methodology to evaluate Australian consumers' perceptions of food products produced by novel technologies. *Food Quality and Preference*, 18(6), 834-848.
- Mújica-Paz, H., Valdez-Fragoso, A., Samson, C.T., Welti-Chanes, J., & Torres, J.A. (2011). High-pressure processing technologies for the pasteurization and sterilization of foods. *Food and Bioprocess Technology*, 4(6), 969-985.
- Naik, L., Sharma, R., Rajput, Y., & Manju, G. (2013). Application of high pressure processing technology for dairy food preservation- future perspective. *Journal of Animal Production Advances*, 3(8), 232-241.
- Olsen, N.V., Grunert, K.G., & Sonne, A.-M. (2010). Consumer acceptance of high-pressure processing and pulsed-electric field: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 21(9), 464-472.
- Podolak, R., Whitman, D., & Black, D.G. (2020). Factors affecting microbial inactivation during high pressure processing in juices and beverages: A review. *Journal of Food Protection*, 83(9), 1561-1575.
- Pokhrel, P.R., Boulet, C., Yildiz, S., Sablani, S., Tang, J., & Barbosa-Canovas, G.V. (2022). Effect of high hydrostatic pressure on microbial inactivation and quality changes in carrot-orange juice blends at varying pH. *LWT*, 159, 113219.
- Rastogi, N., Raghavarao, K., Balasubramaniam, V., Niranjana, K., & Knorr, D. (2007). Opportunities and challenges in high pressure processing of foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47(1), 69-112.
- Ravichandran, C., Jayachandran, L.E., Kothakota, A., Pandiselvam, R., & Balasubramaniam, V.M. (2023). Influence of high pressure pasteurization on nutritional, functional and rheological characteristics of fruit and vegetable juices and purees-an updated review. *Food Control*, 146, 109516.
- Roobab, U., Abida, A., Afzal, R., Madni, G.M., Zeng, X.A., Rahaman, A., & Aadil, R.M. (2022). Impact of high-pressure treatments on enzyme activity of fruit-based beverages: An overview. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(2), 801-815.
- Sabancı, S. (2020). Üzüm suyunun ısıtılmasında güncel elektriksel ısıtma uygulaması: Ohmik ısıtma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(20), 466-471.
- Sampedro, F., McAloon, A., Yee, W., Fan, X., & Geveke, D. (2014). Cost analysis and environmental impact of pulsed electric fields and high pressure processing in comparison with thermal pasteurization. *Food and Bioprocess Technology*, 7, 1928-1937.
- Sargun, S., Oralhan, B., & Üvenç, A.S. (2020). Sosyal medya reklamcılığının tüketici satın alma davranışı üzerine etkisinin yapısal eşitlik modellemesi ile incelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(20), 632-639.
- Shrawat, R., Kaur, B.P., Nema, P.K., Tewari, S., & Kumar, L. (2021). Microbial inactivation by high pressure processing: Principle, mechanism and factors responsible. *Food Science and Biotechnology*, 30(1), 19-35.
- Song, Q., Li, R., Song, X., Clausen, M.P., Orlie, V., & Giacalone, D. (2022). The effect of high-pressure processing on sensory quality and consumer acceptability of fruit juices and smoothies: A review. *Food Research International*, 157, 111250.
- Song, X., Pendenza, P., Díaz Navarro, M., Valderrama García, E., Di Monaco, R., & Giacalone, D. (2020). European consumers' perceptions and attitudes towards non-thermally processed fruit and vegetable products. *Foods*, 9(12), 1732.
- Sonne, A.M., Grunert, K.G., Olsen, N.V., Granli, B.S., Szabó, E., & Banati, D. (2012). Consumers' perceptions of HPP and PEF food products. *British Food Journal*, 114(1), 85-107.
- Spira, P., Bisconsin-Junior, A., Rosenthal, A., & Monteiro, M. (2018). Effects of high hydrostatic pressure on the overall quality of Pêra-Rio orange juice during shelf life. *Food Science and Technology International*, 24(6), 507-518.
- Stinco, C.M., Szczepańska, J., Marszałek, K., Pinto, C.A., Inacio, R.S., Mapelli-Brahm, P., Barba, F.J., Lorenzo, J.M., Saraiva, J.A., & Melendez-Martinez, A.J. (2019). Effect of high-pressure processing on carotenoids profile, colour, microbial and enzymatic stability of cloudy carrot juice. *Food Chemistry*, 299, 125112.
- Syed, Q.-A., Buffa, M., Guamis, B., & Saldo, J. (2016). Factors Affecting Bacterial Inactivation during High Hydrostatic Pressure Processing of Foods: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(3), 474-483.



- Şen, G.T. (2021). Bazı siyah üzüm ve nar ürünlerinin antioksidan özelliklerinin incelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(23), 800-809.
- Tadapaneni, R.K., Daryaei, H., Krishnamurthy, K., Edirisinghe, I., & Burton-Freeman, B.M. (2014). High-Pressure processing of berry and other fruit products: Implications for bioactive compounds and food safety. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(18), 3877-3885.
- Tao, Y., Sun, D.-W., Hogan, E., & Kelly, A.L. (2014). Chapter 1 - High-Pressure Processing of Foods: An Overview. *In: Emerging Technologies for Food Processing (Second Edition)*, D.-W. Sun (Eds.), Academic Press, San Diego, 3-24.
- Terefe, N.S., Buckow, R., & Versteeg, C. (2014). Quality-related enzymes in fruit and vegetable products: effects of novel food processing technologies, part 1: high-pressure processing. *Critical reviews in food science and nutrition*, 54(1), 24-63.
- Tüysüz, B., ÇAKIR, Ö., & Dertli, E. (2020). Bazı yabani meyve türlerinin antioksidan kapasitesi, toplam fenolik madde içeriği ve fenolik asit profilinin belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(21), 191-197.
- Wibowo, S., Essel, E.A., De Man, S., Bernaert, N., Van Droogenbroeck, B., Grauwet, T., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2019). Comparing the impact of high pressure, pulsed electric field and thermal pasteurization on quality attributes of cloudy apple juice using targeted and untargeted analyses. *Innovative food science & emerging technologies*, 54, 64-77.
- Wu, W., Xiao, G., Yu, Y., Xu, Y., Wu, J., Peng, J., & Li, L. (2021). Effects of high pressure and thermal processing on quality properties and volatile compounds of pineapple fruit juice. *Food Control*, 130, 108293.
- Yeşilçubuk, N.Ş., Demirel, B., & Bilsel, A.Y. (2021). Attitudes and preferences of consumers towards functional foods enriched with Omega-3 fatty acids. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(25), 485-492.
- Yildiz, S., Pokhrel, P.R., Unluturk, S., & Barbosa-Cánovas, G.V. (2019). Identification of equivalent processing conditions for pasteurization of strawberry juice by high pressure, ultrasound, and pulsed electric fields processing. *Innovative food science & emerging technologies*, 57, 102195.
- Yordanov, D., & Angelova, G. (2010). High pressure processing for foods preserving. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 24(3), 1940-1945.