

## Yüksek Hidrostatik Basınç Teknolojisinin Besin Maddelerinin Biyo-yararlılığı ve Biyo-Erişilebilirliği Üzerine Etkileri

İrem DEMİR<sup>1</sup>, Gulsun AKDEMİR EVRENDİLEK<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup> Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 14030, Bolu

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-2521-4251>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-5064-4195>

\*Sorumlu yazar: [gevrendilek@yahoo.com](mailto:gevrendilek@yahoo.com)

### Derleme

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 15.03.2023

Kabul tarihi: 18.07.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Yüksek hidrostatik basınç

Biyo-yararlılık

Biyo-erişilebilirlik

Biyoaktif bileşenler

### ÖZ

Gıda işlemede alternatif teknolojilerden biri olarak kullanılan yüksek hidrostatik basınç (YHB) işlemi mikrobiyel ve enzim inaktivasyonu vasıtasıyla gıdaların pastörizasyonunu sağlamaktadır. YHB aynı zamanda protein denatürasyonu, donma ve erime noktalarının modifikasyonu, tekstürel özelliklerin değişimi, tat-koku ve renk gibi duyuşal özelliklerin korunması amacıyla gıda endüstrisinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Genel olarak hidrojen ve iyonik bağlar üzerinde etkili olan YHB gıda bileşenlerinin yapısında ve dolayısıyla fonksiyonunda değişikliklere neden olabileceğinden gıda bileşenlerinin vücuttaki biyo-yararlanımlarını da değiştirebilmektedir. Gıdaların biyo-yararlanımları vücutta kullanımlarını etkilediği için bu durum sindirim yoluyla alınan gıdaların vücuttaki verimliliklerinin artabileceği ve/veya azalabileceği anlamına gelmektedir. Bu bağlamda YHB prosesinin çeşitli gıda bileşenleri (karbonhidratlar, yağlar, proteinler, vitamin ve mineraller) üzerindeki etkisi baz alınarak vücuttaki yararlanımlarının ne şekilde değişeceği önemli bir husus olup incelenmesi gerekmektedir. Genel olarak yapılan çalışmalar incelendiğinde olumlu sonuçlarla karşılaşılma birlikte biyoaktif bileşen ve uygulanan proses parametrelerine bağlı olarak sonuçlarda farklılık olabileceği görülmektedir. Bu nedenle, çalışma kapsamında YHB'nin gıdaların biyo-yararlanımları ve biyo-erişilebilirliği konusunda etkilerinin incelenmesi hedeflenmektedir.

## Effects of High Hydrostatic Pressure on Bioavailability and Bioaccessibility of Food Components

### Reviews

#### Article History:

Received: 15.03.2023

Accepted: 18.07.2023

Published online: 22.01.2024

#### Keywords:

High hydrostatic pressure

Bioavailability

Bioaccessibility

Bioactive compounds

### ABSTRACT

High hydrostatic pressure (HHP) process, as one of the alternative technologies in food processing, utilized for pasteurization of foods by providing microbial and enzyme inactivation. Moreover, it is also widely used in the food industry for protein denaturation, modification of freezing and melting points, alteration of textural properties, preservation of sensory properties such as taste, smell and color. HHP-generally acts on hydrogen and ionic bonds- can cause changes in the structure, and thus, function of food components, it can also change the bioavailability of food components in the body. Since the bioavailability of foods affects their utilization in the body, this means that the efficiency of digested foods in the body may increase and/or decrease. In this context, it is important to examine how the bioavailability of various food components (carbohydrates, fats, proteins, vitamins and minerals) in the body will change based on the effect of the HHP process. In general, when the studies are examined, it is seen that although positive results are encountered, there may be differences in the results depending on the bioactive components and the process parameters applied. Therefore, effects of HHP on the bioavailability and bioaccessibility of foods are prompted in the study.

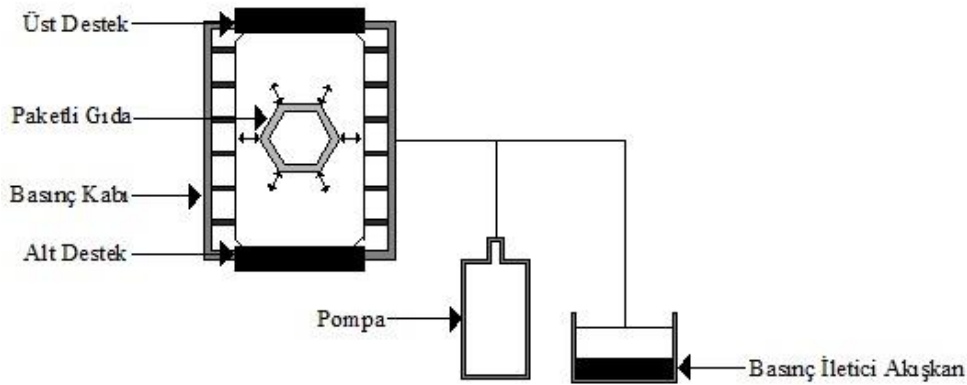
**To Cite:** Demir İ., Akdemir Evrendilek G. Yüksek Hidrostatik Basınç Teknolojisinin Besin Maddelerinin Biyo-yararlılığı ve Biyo-Erişilebilirliği Üzerine Etkileri. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(1): 463-484.

## 1. Giriş

Günümüzde tüketiciler taze, besleyici özelliği fazla olan, olabildiğince az işlem uygulanmış ve aynı zamanda mikrobiyel anlamda güvenli gıdaları tercih etmektedirler (Norton ve Sun, 2008; Evrendilek, 2022; Farahnaky ve ark., 2022; Wang ve ark., 2022). Bu nedenle, tüketicilerin bu taleplerini karşılamak amacıyla gıda endüstrisinde yeni muhafaza tekniklerinin araştırılması elzem hale gelmiştir (Norton ve Sun, 2008; Aganovic ve ark., 2021). Güvenli gıdaların üretimi için kullanılan en etkili yöntem geleneksel ısıl işlemdir. Ancak, geleneksel ısıl işlem uygulamaları esnasında gıdanın maruz kaldığı yüksek sıcaklık sebebiyle, gıdalarda meydana gelen karsinojenik bileşikler, duyuşal özelliklerde meydana gelen olumsuz değişimler ve besinsel kayıplar sonucu yenilikçi gıda muhafaza teknikleri üzerinde ve özellikle yüksek basınç veya yüksek hidrostatik basınç (YHB) teknolojisi üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır (San Martin ve ark., 2002; Rastogi ve ark., 2007; George ve Rastogi, 2016; Mollakhalili-Meybodi ve ark., 2022; Rathod ve ark., 2022; Wang et al., 2022).

## 2. Yüksek Hidrostatik Basınç Teknolojisi

Son zamanlarda oldukça dikkat çeken ve çalışmaların yoğunlaştığı YHB uygulamalarının öncülüğü Japonya'ya aittir ve bu yöntemle işlenen ilk ürünler Japonya'da piyasaya arz edilmiştir (Thakur ve Nelson, 1998; Rastogi ve ark., 2007; Yordanov ve Angelova, 2010). YHB teknolojisi günümüzde çeşitli gıda maddelerinde soğuk pastörizasyonu sağlamak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır (Galazka ve ark., 1995; Rastogi ve ark., 2007). YHB uygulaması katı veya sıvı gıdaların, ambalajlı veya ambalajsız olarak, oda sıcaklığında 100-600 MPa arasında basınca maruz bırakılması işlemidir (Mertens ve Deplace, 1993; Rastogi ve ark., 1994; Torres ve Velazquez, 2005) (Şekil 1).



Şekil 1. Yüksek hidrostatik basınç sisteminin şematik gösterimi

YHB teknolojisi özellikle;

- i) Gıda muhafaza kalitesinin artırılması (Farkas ve Hoover, 2000; Yuste ve ark., 2001; Heinz ve Buckow, 2010),
- ii) Gıda sistemlerinin fiziksel ve işlevsel özelliklerinin değiştirilmesi (Cheftel ve Culioli, 1997; Smelt, 1998),

- iii) Aşırı basınçlar altında suyun anormal faz geçişlerinden faydalanılması, örneğin artan basınçlarla donma noktasının düşmesi (Kalichevsky ve ark., 1995) gibi nedenlerle gıda endüstrisi tarafından büyük talep görmektedir.

Yüksek basınç teknolojisinin temel avantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- i) Ortam sıcaklığında ve hatta daha düşük sıcaklıklarda gıda işleme olanağı sağlar;
- ii) Boyut ve geometriden bağımsız olarak basınç uygulaması sırasında basıncın ürün üzerine hızlı bir şekilde yeknesak olarak iletilmesi sağlamaktadır, bu durum proses edilen ürünlerin boyutların küçülmesine neden olmakta ve bu nedenle basınçla proses edilen ürünlerde ürünlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak hacim küçülmesi görülür.
- iv) Mikrobiyal inaktivasyonu sağlarken ısı hasarını ve kimyasal koruyucu/katkı maddelerinin kullanımını neredeyse tamamen ortadan kaldırarak gıdaların genel kalitesinde iyileşmelere yol açar;
- v) Yeni fonksiyonel özelliklere sahip bileşenler oluşturmak için kullanılabilir (Rastogi ve ark., 2007).

Yukarda sayılan avantajlar yanında YHB ile işlenen gıdalarda tekstürel özelliklerde istenmeyen bazı değişimler (taze tüketime sunulacak etlerde sertleşme), taze meyve ve sebzelerde dokunun parçalanması ve püre haline gelme, bazı ürünlerde ağızda kumluluk hissinin oluşması ve hacimsel değişimlerin oluşması gibi dezavantajlar da görülmektedir (Wang et al., 2022).

Basınç uygulamasıyla gıdanın hacmi azalır ve artan basınçla numune hacminde yaklaşık %15-20 azalma görülmektedir. Basıncın serbest bırakılmasından sonra, hem gıdanın hacmi hem de basıncı ileten sıvının sıcaklığı orijinal durumuna geri döner (Grauwet ve ark., 2012; Sevenich ve ark., 2016). Ayrıca, proses homojenliğini etkileyen artan termal iletkenlik de basınç uygulamasından etkilenmektedir (Cai ve ark., 2019).

Uygulanan basınç hidrojen bağlarını bozabilir, ancak kovalent bağları kıramaz, bu da mikrobiyal inaktivasyona neden olan enzimlerin ve proteinlerin membran aktivitesinin ortadan kaldırılabilceğini, lezzet, pigmentler ve besleyici değer için önemli bileşiklerin korunacağını gösterir (Barba ve ark., 2015; Sevenich ve ark., 2016; Pham ve ark., 2020; Galanakis, 2021). Kovalent bağların basınç altındaki kararlılığı, homojenizasyon ve dondurmaya benzer şekilde davranmasını sağlar (Roobab ve ark., 2021). Basınç uygulaması ile mikroorganizma ve enzimlerin inaktivasyonu birlikte protein denatürasyonu sağlanır, hidrojen bağları güçlenerek kovalent olmayan bağların yapısı bozulur (Barba ve ark., 2015). YHB'nin makromoleküller ve mikrobiyal hücreler üzerindeki moleküler düzenlemeler, denatürasyon, spesifik moleküllerin fonksiyonlarındaki değişiklikler ve mikroorganizmaların inaktivasyonu üzerindeki etkisi dört teoride özetlenmiştir.

### 2.1. İzostatik Prensiptir

Belirli bir basınç veya kuvvet seviyesi altında, akışkanın dengesi genellikle hidrostatik olarak adlandırılır. Akışkan, kendisine yöneltilen bu tür kuvvetleri sürtünme olmaksızın taşıyabilir. Bir akışkana uygulanan tüm kuvvetler akışkan yüzeyine eşit olarak taşınır. Uygulanan basınç, boyutu ve şekli ne olursa olsun işlenmekte olan gıda numunelerine homojen bir şekilde iletilir. Basınç uygulaması altında gıda içerisindeki su ve havanın sıkışması farklıdır; bu nedenle gıda tam elastik davranıyorsa ve havayı içinde tutan kapalı hücreli köpükten oluşuyorsa, hava cebi veya düzensiz hava dağılımı olan gıdanın şekli ve yapısı basınç altında değişebilir (Martinez-Monteagudo ve Saldaña, 2014).

Moleküller arasındaki mesafe uygulanan basınçla değiştiğinden, malzemenin hacmi -şeklini değiştirmeden- azalır. Van der Waals bağlarının optimum mesafesini korumak için itici ve çekici kuvvetler arasındaki optimum denge, uygulanan basınçla değiştirilir. Elektrostatik, hidrojen bağı ve hidrofobik etkileşimler gibi diğer etkileşimler de basınç tarafından değiştirilir (Martinez-Monteagudo ve Saldaña, 2014). Bağ enerjilerinin yıkıma uğraması için gerekli olan enerji düzeyinin nispeten yüksek (30-100 kcal/mol) olmasından dolayı kovalent bağların basınçtan etkilenmesi pek olası değildir. Birincil yapılarında kovalent bağ bakımından zengin olan proteinler 1500 MPa basınç uygulamasına kadar etkilenmezler (Mozhaev ve ark., 1994). Basıncın kovalent bağ üzerindeki etkisizliği, bileşiklerin fonksiyonel gruplarının aktivitesinin önlenmesi için ana odak noktasıdır. Basınç uygulamasının bu özelliği, yüksek neme sahip gözeneksiz gıdaların uygulanan basınçtan makroskopik olarak nasıl zarar görmediğini açıklamakta ve ticari ölçekte YHB sistemlerinin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır.

### 2.2. Le Chatelier Prensiptir

Termodinamiğin ikinci yasasından kaynaklanan ve tersinir süreçler için geçerli olan Le Chatelier ilkesi, basıncın tetiklenen değişimle yeni dengeye kısmi kaymaya neden olduğunu gösterir. Biyolojik, kimyasal ve fiziksel olaylar üzerinde verilen büyüklük ve işlem sıcaklığındaki basınç etkisi Le Chatelier prensibi ile açıklanmaktadır. Termodinamik eşlenik çiftleri açıklamak için geniş ve yoğun değişkenler, entropi ve sıcaklığın yanı sıra hacim, basınç, kimyasal potansiyel ve molların termodinamik eşlenik değişkenleri ile affinite terimini açıklamak için geliştirilmiştir. Sabit entropi ve hacimdeki sistem, değişen basınç ve sıcaklık nedeniyle dengeye yaklaşmıştır. Bu prensip YHB uygulandığında basınçtaki değişim dengede kaymaya neden olarak hacmi azaltır. Basınç, kimyasal reaksiyon, moleküler konfigürasyondaki değişim ve faz geçişi ile birlikte hacimdeki azalmayı artırır (Martinez-Monteagudo ve Saldaña, 2014).

### 2.3. Geçiş Durumu Teorisi

Geçiş durumu teorisine göre ara hal molar hacmi reaksiyona giren bileşenlerinden farklı olabilir ve reaksiyonun hızı, ara halin daha yüksek veya daha düşük hacme sahip olmasına bakılmaksızın basınçla

birlikte artarak veya azalarak dalgalanmalar gösterebilir. Bu temel prensip, basıncın fiziksel süreçlerin yanı sıra kimyasal ve biyokimyasal reaksiyonlar üzerindeki etkinliğini açıklamak için de uygulanır. Basınç, hacimler üzerinde negatif yönlü reaksiyonları ve ayrıca hacimlerde rol oynayan negatif aktivasyon reaksiyonları yolunu desteklemektedir (Martinez-Monteağudo ve Saldaña, 2014).

#### 2.4. Mikroskobik Düzen İlkesi

Basıncın iletimini sağlayan mikroskobik düzen ilkesinde sabit sıcaklıkta artan basınç, maddelerin moleküllerinin düzenlenme derecesinde bir artışa neden olur. Basınç; titreşim, dönme ve öteleme hareketini kısıtlayarak moleküler düzeni artırır. Molekülün kimyasal reaksiyonları üzerinde etkili olan antagonistik kuvvetler sıcaklık ve basınç tarafından kullanılır (Balny ve Masson, 1993).

Tipik yüksek basınç sistemleri basıncın adyabatik olarak uygulandığı basınç haznesi ve basınç iletici akışkanın basınç haznesine taşınmasını sağlayan pompa sistemlerinden oluşmaktadır (Şekil 1). YHB işleminde gıdalar yüksek basınçlara maruz bırakılarak mikroorganizmaların inaktivasyonu sağlanır. Yüksek basıncın mikroorganizmalar üzerindeki ilk etkisi zarın bozulması üzerinedir. YHB işleminde mikrobiyel hücrenin inaktivasyonu için gereken basınç miktarı, mikroorganizma ve gıda içeren ürüne bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bakteri inaktivasyonu amacıyla uygulanan basınç miktarı 500 ile 600 MPa arasında değişirken; genel olarak, mayalar ve küfler 200-400 MPa'da etkisiz hale getirilebilir, ancak spor veya askospor halinde olduklarında bu durum değişiklik gösterebilmektedir (Balasubramaniam ve ark., 2015). YHB teknolojisi geleneksel ısı işlemlerde olduğu gibi moleküler bozunma yoluyla yeni bileşikler oluşturmadığı için gıda komponentleri üzerinde ısı işleminden daha az zararlıdır. Uygulanan basınç gıdaların beslenme ve duyu kalite gibi özelliklerini değiştirmeden mikroorganizma inaktivasyonunu sağlamaktadır (Balasubramaniam ve ark., 2015).

YHB genel olarak mikrobiyel faaliyeti indirgemeye yönelik olarak kullanılmakla beraber, gıdalarda yapı ve tekstür modifikasyonu, aroma ve besin maddelerinde en az değişikliğe sebep olması nedeniyle farkı amaçlarla kullanılmaktadır. Geleneksel ısı işlemlere kıyasla YHB uygulamaları; vitaminler, aroma bileşenleri ve pigmentler gibi düşük molekül ağırlıklı bileşikler üzerinde minimum etkiye sahiptir. Bu nedenle, YHB ile işlenmiş bir gıdanın kalitesi, taze gıda ürünlerinin kalitesiyle çok benzerdir (San Martín ve ark., 2002; Yamamoto, 2017). YHB uygulamasında amaç; gıdaların yüksek kalitede ve güvenilir olması, raf ömrünün uzun olması, tazeliğinin korunması, duyu özelliklerinin korunarak ve gıdalardaki faydalı bileşenlerin kayıplarının en aza indirgenerek işlenmesidir (Mújica-Paz ve ark., 2011; Aganovic ve ark., 2021; Wang ve ark., 2022). Gıda işleme teknolojileri, denatürasyona veya gıdanın yapısında birtakım değişikliklere neden olarak belirli bir bileşiğin biyo-erişilebilirliğini değiştirebilir veya azaltabilir. Son yıllarda ısısal olmayan (non-thermal) proseslerle işlenen gıdaların kalitesini ve güvenilirliğini artırmak ve raf ömrünü uzatmanın yanı sıra gıda bileşenlerinin besleyici ve fonksiyonel özelliklerinin korunmasıyla birlikte besinsel öğelerinin vücuda ne derece yarar sağladığı da incelenen konular arasında yer almaya ve bu sayede biyo-yararlılık ve biyo-erişilebilirlik kavramları ön plana çıkmaya başlamıştır (Cilla ve ark., 2019; Santos ve ark., 2019).

Bazı bileşenlerin örneğin karotenoidler ve polifenollerin biyo-erişilebilirlik, biyo-yararlılık ve özütlenebilirlikleri YHB tarafından artırılabilse de besinlerin ekstrakte edilebilirliği ve biyo-yararlanımı ile proses kaynaklı matris bozulması arasındaki ilişki doğrudan birbirlerine bağlı değildir (María ve ark., 2019; Santos ve ark., 2019).

YHB prosesinin biyo-erişilebilirlik üzerindeki etkisi; uygulanan basıncın büyüklüğü, işleme süresi ve işlem sıcaklığı parametrelerine bağlı olarak aynı veya farklı gıda bileşenlerinde değişiklik göstermektedir (María ve ark., 2019; Santos ve ark., 2019). YHB teknolojisini kullanmanın birçok avantajı arasında, boyut, şekil ve bileşimden bağımsız olarak uygulanan basıncın gıda matrisi boyunca anında ve eşit olarak hareket ederek, ortam sıcaklığında veya daha düşük sıcaklıklarda gıda işlemini mümkün kılması yer almaktadır (Rastogi ve ark., 2007, 1994; Balasubramaniam ve ark., 2015).

Literatürdeki farklı çalışmalara bakılarak YHB uygulamalarının gıdaların biyo-erişilebilirliği üzerinde genel olarak olumlu bir etkiye sahip olduğu söylenebilmektedir, ancak kesin bir kaniye varılabilmesi için bu alanda yapılacak çalışmaların çoğaltılması gerekmektedir (Cilla ve ark., 2019; Santos ve ark., 2019).

### **3. Biyo-yararlılık ve Biyo-erişilebilirlik**

Fonksiyonel bileşikler ve takviye edici gıdaların insan vücudunda sindirimi ve emilimi hususunda yapılan çalışmalar genel olarak biyoaktif bileşenlerin ayrılması, tanımlanması ve geri kazanım tekniklerinin uygulanması, toksikolojik değerlendirmelerinin yapılması, stabilite testleri ve biyo-erişilebilirlik ölçümleri gibi bir takım farklı yöntemleri gerekli kılmaktadır. Bu nedenle, sindirilebilirlik, biyo-yararlılık, biyo-erişilebilirlik ve biyoaktivite kavramlarının tanımlarını bilmek önemli hale gelmektedir (Stahl ve ark., 2002; Toutain ve Bousquet-Mélou, 2004).

Gıdada bulunan biyoaktif veya fonksiyonel besin maddesinin miktarının yanında bu besin maddesinin ne kadarının vücut tarafından kullanılabilir olduğu, yani biyo-yararlılık ve biyo-erişilebilirliği de oldukça önemlidir. Bu durum gıdalarda bulunan biyoaktif besin maddesi miktarıyla vücudun kullanabileceği biyoaktif besin maddesi miktarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır (Santos ve ark., 2019; Verghese ve ark., 2021). Biyoaktif bileşikler gıdalarda bulunan, metabolik süreçlerde aktif rol alan ve sağlığa olumlu etkileri olan fitokimyasal maddelerdir. Her biyoaktif bileşiğin biyo-erişilebilirliği ve biyo-yararlanımı farklılık göstermektedir. Sindirilen gıdada en bol bulunan bileşikler, hedef dokularda en yüksek aktif metabolit konsantrasyonlarına yol açmayabilirler ve bu olay tamamıyla gıdanın biyo-yararlanımıyla alakalıdır (Galanakis, 2021).

Sindirilebilirlik, gıda bileşenlerinin sindirim yoluyla sindirim kanalında gerçekleşen tüm fiziksel ve/veya kimyasal işlemler sonucunda potansiyel olarak erişilebilir maddeye dönüştürülmesi olarak tanımlanmaktadır (Galanakis, 2021; Evrendilek, 2022). Sindirilebilirlik özellikle gıda bileşenlerinin sindirim yoluyla potansiyel olarak erişilebilir maddeye dönüşen kısmı için geçerlidir (Galanakis, 2021).

Biyoaktivite, bir maddeye maruz kalındığında ortaya çıkan spesifik etki olarak tanımlanmaktadır. Aynı zamanda biyoaktif bileşiklerin nasıl taşındığı ve hedef dokuya nasıl ulaştığı, çeşitli moleküllerle nasıl etkileşime girdiği ve metabolizma üzerindeki fizyolojik etkileri hakkında da bilgi vermektedir. Biyoaktivite maddenin doku içerisine alımını ve bunun sonucunda ortaya çıkan fizyolojik yanıtı (antioksidan, anti-inflamatuar vb) içerir ve *in vivo*, *ex vivo* ve *in vitro* olarak değerlendirilebilir.

Sindirilebilirlik, özellikle bağırsakta gerçekleşen tüm fiziksel ve kimyasal süreçler yoluyla erişilebilir madde haline geçen gıda bileşenleri için önemli bir olaydır ve bu nedenle sindirilebilirlikle birlikte biyo-yararlılık ve biyo-erişilebilirlik kavramlarının önemi ortaya çıkmaktadır. Asimilasyon ise biyolojik olarak erişilebilir materyalin epitel yoluyla bazı transepitelyal emilim mekanizmalarıyla alınmasını ifade eder (Galanakis, 2021).

Biyo-yararlılık, vücuda alınan gıdanın sindirildikten sonra biyoaktif maddenin metabolizma için uygun hale dönüştürülerek emilmesi, hücrelere ulaşarak vücuttaki metabolik olaylar için kullanılması veya depolanması şeklinde tanımlanabilir. Başka bir deyişle biyo-yararlılık, gıdada bulunan bileşikten emilen besin oranıdır ve dolayısıyla belirli bir bileşiğin gastrointestinal sindirimini, emilimini, metabolizmasını, doku dağılımını ve biyoaktivitesini içerir (McClements ve Peng, 2020; Evrendilek, 2022). Biyoaktif bileşiklerin tamamı organizma tarafından etkin bir şekilde kullanılmadığı için biyoyararlanım ifadesi önem kazanmaktadır (Galanakis, 2021). Farklı olarak, biyoyararlanım terimi bir besinin kullanım oranını da içerir ve bu nedenle tüketilen besinin veya bileşiğin sistemik dolaşıma giren kısmı olarak ta tanımlanabilir. Biyo-yararlılık sindirim, taşınım, emilim gibi birçok faktöre dolayısıyla;

- Gıda bileşenleri,
- Sindirim sistemi koşulları,
- Gıdanın konsantrasyonu ve alınan doz,
- Diğer bileşiklerle etkileşim,
- Bağırsak mikroflorası,
- Bireysel sindirim kapasitesi gibi etmenlere bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir (Lorenzo ve ark., 2019; María ve ark., 2019; McClements ve Peng, 2020).

Farklı gıdalar ağız veya sindirim sistemi ile temas ettiğinde, fitokimyasal biyo-yararlanımı etkileyen çeşitli etkileşimler meydana gelebilir (Galanakis, 2021). Biyoaktif bileşiklerin biyo-yararlanımı gıdalardaki lif içeriği, işlenmiş gıdalarda bulunan polisakkarit ve protein kombinasyonları nedeniyle de değişebilmektedir. Her maddenin biyo-yararlanımı farklı olmakla birlikte gıdalarda bulunan miktar ile emilim miktarı birbirinden bağımsızdır. Çünkü biyo-yararlanım sindirim stabilitesine ve biyo-erişilebilirliğe bağlı olarak değişmektedir (Stahl ve ark., 2002; Englyst ve Englyst, 2005; Lorenzo ve ark., 2019).

Sonuç olarak biyo-yararlanım; biyo-erişilebilirlik, absorpsiyon, metabolizma ve biyoaktivite olmak üzere dört farklı prosesle iç içedir (Englyst ve Englyst, 2005; Galanakis, 2021). Biyolojik olarak kullanılır hale dönüşmeden önce biyoaktif bileşikler gıda matriksinden salınır ve gastrointestinal

kanalda değişime uğrarlar. Bundan dolayı biyo-yararlanım kavramı biyo-erişilebilirlik kavramıyla iç içedir (Galanakis, 2021).

Biyo-erişilebilirlik, vücuda alınan gıdanın içerisindeki besin maddelerinin gıda matriksinden çıkabilen ve ince bağırsakta emilimi gerçekleştirilebilen kısmının gıda içerisinde bulunan toplam madde miktarına oranı olarak tanımlanmaktadır. Biyo-erişilebilirlik alınan gıdadaki biyoaktif bileşenlerin ince bağırsaktaki emiliminden sonra vücudumuzda kalan kısmı şeklinde ifade edilebilir. Farklı bileşiklerin biyolojik erişilebilirlikleri hem *in vivo* hem *in vitro* çalışmalarla ölçülmesinin yanı sıra genellikle *in vitro* sindirim prosedürleriyle değerlendirilir, mide ve bağırsak sindirimini ifade eder (Medina-Meza ve ark., 2014). Çalışmalara bakıldığında zaman, aynı bileşiklerin biyo-erişilebilirliği için *in vivo* ve *in vitro* deneyler arasında farklı sonuçlar elde edildiği görülmektedir (Galanakis, 2021; Evrendilek, 2022). Biyoaktif bileşenlerin etkileri sindirim sürecine bağlıdır, çünkü bu süreç bileşenlerin stabilitesini dolayısıyla biyo-erişilebilirliğini etkilemektedir (Santos ve ark., 2019).

Biyo-erişilebilirlik;

- Alınan doz,
- Partikül büyüklüğü,
- Isıl işlem,
- Gıda matriksi gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterebilir (Englyst ve Englyst, 2005; McClements ve Peng, 2020).

Biyo-yararlanım, biyo-erişilebilirlik terimini içerir ve her iki terim de gıdaların sindirim dönüşümlerinin ilk olarak gerçekleşmesiyle ilişkilidir (Barba ve ark., 2019).

#### **4. Biyoaktif Bileşenlerin Biyo-erişilebilirliğini ve Biyo-kullanılabilirliğini Etkileyen Faktörler**

Bir gıdayı tükettikten sonra gıdadaki bileşenler salınır, kana karışarak hedef dokulara taşınır. Farklı besinlerin biyo-yararlanımları farklıdır. Gıda matriksinden besinin salınması, sindirim enzimlerinin etkileri, metabolik ve fonksiyonel kullanım gibi çeşitli olaylar besin biyo-yararlanımını etkilemektedir. Karbonhidrat, lipid ve protein gibi makro besinlerin biyo-yararlanımları oldukça yüksektir ve alınan gıdanın % 90'dan fazlası vücut tarafından kullanılır (Galanakis, 2021).

Biyoaktif bileşenlerin vücutta kullanımını konusunda önemli olan hususlardan birtanesi de biyoaktif bileşiklerin kullanılabilirlik oranının gıda ürünlerinde bulunan biyoaktif bileşiklerin miktarından daha önemli olduğudur. Belirli bir bileşiğin biyoyararlanımı, işleme teknolojisi, depolama koşulları veya gıda matrisi gibi farklı faktörlerden etkilenir ve en önemlisi, belirli bir bileşiğin biyoyararlanımını değiştirebilen işleme ile meydana gelen bozulma, ayrışma veya yapısal değişikliklerdir. Biyo-erişilebilirlik ve biyo-yararlılık, alınan miktar ve gıdalarda bulunan formların yanı sıra bileşenler arası oluşan sinerjik ve antagonistik etkiye de bağlıdır. İlave olarak uygulanan gıda işleme yöntemleri biyoaktif bileşenlerin kullanım oranını önemli ölçüde etkilemektedir (Galanakis, 2021). Geleneksel işlemlerle işlenen gıdalarda ve özellikle ısıtma işlem uygulamalarında biyoaktif bileşenlerde kayıplar ve mikro mineral içeriğinde azalmalar meydana gelmektedir. Bu nedenle, ısıtma olmayan işleme



teknolojilerine yönelim olmuştur ve bu kapsamda YHB öne çıkan yenilikçi teknolojilerden bir tanesi olarak dikkat çekmektedir.

## **5. Yüksek Hidrostatik Basıncın Gıda Bileşenlerinin Biyo-yararlılığı Üzerine Etkisi**

### *5.1. Proteinlerin Biyo-yararlılık ve Biyo-erişilebilirlikleri Üzerine Etkisi*

Bilindiği gibi proteinler ve bunların alt birimleri olan peptidler besin bileşenlerinin ana gruplarından biridir ve hem bitkisel hem hayvansal organizmaların yapıtaşını oluşturmaktadır. YHB uygulamalarında gıda ürünü ambalajlı veya ambalajsız olarak basınç haznesine yerleştirilir ve 7000 atmosfere kadar basınca tabi tutulur. YHB uygulamasına maruz kalan gıdalarda dokusal değişimler meydana gelmektedir. Soya, et, balık, yumurta gibi gıdalarda bulunan albümin proteinlerinde jel oluşumu gözlenmektedir. YHB uygulaması, proteinlerin kovalent olmayan bağlarını (iyonik, hidrofobik ve hidrojen köprüleri) etkiler; bu nedenle birincil yapı değişmeden kalır, ancak ikincil, üçüncül ve dördüncül yapılar açılabilir veya ayrılabilir. Dolayısıyla YHB'nin mikrobiyolojik stabilite elde etmenin yanında aynı zamanda proteinleri stabilize etmek için de kullanılabileceği söylenebilir (Galazka ve ark., 1995; Galanakis, 2021).

### *5.2. Karbonhidratların Biyo-yararlılık ve Biyo-erişilebilirlikleri Üzerine Etkisi*

Karbonhidratlar, insan vücudundaki çeşitli metabolik süreçleri desteklemek için ihtiyaç duyulan enerjiyi sağlamak adına günlük diyetinde tüketilen makro besin grubudur (Barba ve ark., 2019). Meyve, sebze ve tam tahıllı ürünler şeklindeki karbonhidratlı yiyecekler sağlığa oldukça faydalıdır. Glikoz ve nişasta gibi hızlı sindirilebilirlik özelliği gösteren karbonhidratlar metabolizma tarafından kolaylıkla kullanılırken; bitki hücre çeperi nişasta olmayan polisakkaritler, dirençli nişasta ve bazı oligosakkaritler gibi sindirilemeyen karbonhidratlar, ince bağırsakta sindirime ve emilmeye tabi tutulduktan sonra kalın bağırsakta fermente edilerek vücut tarafından kullanılırlar. Karbonhidratlar biyolojik olarak kullanılabilir hale gelmeden önce gıda matrisinden salınarak gastrointestinal kanalda parçalanırlar. Bu işlem sonucunda kullanılabilir karbonhidratların oranı artmakta ve vücut için biyo-yararlı hale geçmektedir. Karbonhidratlar gibi makro besinlerin biyo-yararlanımları çok yüksektir; bu da alınan miktarın %90'ından fazlasının vücut tarafından emildiği anlamına gelmektedir (Englyst ve Englyst, 2005; Galanakis, 2021).

Vücut tarafından kullanılabilme ve/veya sindirilebilme durumu çeşitli yöntemlerle değiştirilebilir. YHB uygulaması gibi gıda işleme yöntemleri, karbonhidratların bileşimini ve sindirim sırasında hidrolize olma şeklini etkiler. İşlenmiş veya işlenmemiş gıdalardan alınan karbonhidratların sindirilebilirlik özellikleri biyo-erişilebilirliklerini ve biyo-yararlanımlarını etkileyebilmektedir (Barba ve ark., 2019).

Uygulanan basınç, sıcaklık ve zaman parametrelerine bağlı olarak basınç etkisi altında bir karbonhidrat türeviden oluşan nişasta kristallikliğini kaybedebilir ve jelatinleşme geleneksel yöntemle meydana gelenden daha farklı şekilde gerçekleşir. Bu durumda *in vitro* sindirilebilirlik azalmaktadır.

Düşük *in vitro* sindirilebilirlik sonuçları doğrultusunda, YHB belirli hedef kitleler (örneğin diyabetik hastalar) için uygun nişasta içeriğine sahip, yavaş sindirilebilir ve düşük glisemik indekse sahip gıdaların hazırlanmasında yararlı olabileceğine dair görüşlerde bulunmaktadır (Barba ve ark., 2019). Karbonhidrat gruplarına uygulanan YHB gibi işlemler sonucunda bu yapılarda bozulma meydana gelir ve basit şekere indirgenmesi daha kolay bir hal alır. Dolayısıyla sindirim enzimleri tarafından çok çabuk hidrolize edilen karbonhidratların biyo-yararlanımlarında artış söz konusu olmaktadır (Barba ve ark., 2019).

### 5.3. *Lipitlerin Biyo-yararlılık ve Biyo-erişilebilirlikleri Üzerine Etkisi*

Lipitler apolar çözücüler tarafından dokulardan ekstrakte edilebilen ve suda çözünmeyen organik maddelerdir. Lipitlerin % 95'inden fazlasını trigliseritler oluşturmaktadır (McClements ve Peng, 2020). Lipitler katı ve sıvı yağları kapsamaktadır. Yağlar ortam sıcaklığında katı veya sıvı halde bulunabilmektedir (Galanakis, 2021). Lipidler vücut için önemli bir enerji kaynağı ve nutrosötik olmanın yanında birçok ürünün lezzet ve aromasını oluşturmada başrol olarak görev almaktadır. Bu lipitlere örnek olarak başlıca A, D, E ve K vitaminleriyle birlikte  $\omega$ -3 yağ asitleri, fitosteroller ve karotenoidler verilebilir (Barba ve ark., 2015; McClements ve Peng, 2020). Bununla birlikte kolesterol, trans yağ asitleri ve doymuş yağlar gibi bazı lipitlerin aşırı tüketimi sonucunda insanlarda kardiyovasküler rahatsızlıklar ve obezite gibi hastalıklar meydana gelmektedir. Gıda endüstrisinde bu rahatsızlıklar göz önüne alındığında belli başlı bazı lipitlerin biyo-yararlanımları, içlerinde bulunduğu gıdaların fizikokimyasal özellikleri değiştirilerek artırılabilir veya azaltılabilmektedir (McClements ve ark., 2008).

Lipitler yani trigliseritler oldukça büyük moleküllerdir ve karbonhidratla proteinin aksine suda çözünmezler. Yağ damlacıkları sulu bir ortamdayken kümeleşerek büyük bir yapı haline gelir, safra sıvısı sayesinde meydana gelen büyük yapı emülsiyon haline getirilerek yağların sindirimi için uygun bir ortam oluşturulur. Ardından lipaz adı verilen enzimlerle enzimatik olarak sindirim süreci başlar (Zimmerman ve Snow, 2012). Lipazlar suda çözünürdürler ancak sadece yağ globüllerinin yüzeyinde çalışabilirler. Ağız ve midedeki yağ sindirimi ince bağırsakta gerçekleşen yağ sindirimine kıyasla daha küçük bir yer kaplamaktadır (Zimmerman ve Snow, 2012; Galanakis, 2021). Lipit sindirimi ve emilimi, tüketilen lipitlerin yaklaşık %95'inin emildiği yüksek verimli biyolojik süreçlerdir. Lipitlerden bazıları sindirim sisteminden geçerken hidroliz veya oksidasyon yoluyla kimyasal olarak modifikasyon gerçekleşir (McClements ve ark., 2008).

İnsanlardaki sindirim sırasında meydana gelen fizikokimyasal ve fizyolojik süreç sırasında sağlık durumları göz önünde bulundurularak lipit sindirim ve emilimini artıran ve/veya geciktiren gıdalar tasarlanması mümkündür (McClements ve ark., 2008). Ayrıca lipidlerin besinsel özellikleri sindirim ve absorpsiyonu kontrol etmek ve aynı zamanda hidrofobik biyoaktiflerin biyo-erişilebilirliklerini etkileyerek fonksiyonel gıda tasarlama konusunda büyük öneme sahiptir (Galanakis, 2021). Farklı türdeki yağların sindirilebilirlikleri bileşimlerindeki farklılıklara yani yağ asitlerinin zincir uzunluğuna

ve doymamışlık seviyelerine bağlı olarak değişmektedir. Bunun yanında yağ sindirimini veya emilimini olumsuz olarak etkileyen kistik fibröz, kısa bağırsak veya pankreas eksikliği gibi hastalıklar vardır. Bu nedenle belirli lipofilik fonksiyonel bileşenlerin (A, D, E ve K vitaminleri,  $\omega$ -3 yağ asitleri, karotenoidler ve fitosteroller) biyo-yararlanımı arttırılmak istenebilir. Bu durumlarda, biyo-yararlanımları arttırmak için lipit sindiriminin ve/veya absorpsiyonunun etkinliğini arttırmak çözüm olabilir (McClements ve ark., 2008; Galanakis, 2021) ve bunun için uygulanan yenilikçi yöntemlerden biri YHB teknolojisidir. Ancak lipid oksidasyonunun gıda ürünlerinin işlevsellik, besin değeri ve kalitesinden organoleptik özelliklerine kadar birçok özelliği değiştirdiği ve yağlarda kötü tat ve aromayla birlikte toksik bileşenlerin oluşumuna sebebiyet verebileceği unutulmamalıdır. YHB teknolojisi gibi teknolojilerle çalışılırken yağların oksidatif stabilitesini sağlayacak olan tokoferol, C vitamini ve antioksidanlar gibi yardımcı bileşiklerden yararlanılır (Galanakis, 2021).

#### *5.4. Vitaminlerin Biyo-yararlılık ve Biyo-erişilebilirlik Üzerine Etkisi*

Vitaminler, hayvanlarda normal metabolizma için gerekli olan organik moleküllerdir, fakat vitaminler ya vücutta sentezlenmezler ya da yetersiz miktarlarda sentezlenirler ve bu nedenle diyetle alınmaları gerekir (Said, 2011). Vitaminler suda ve yağda çözünenler olarak iki gruba ayrılmaktadır. Vitaminler, birçok metabolik olayda rol aldıkları ve vücut için elzem oldukları için yeterli düzeyde emilimi ve vücuttaki biyo-yararlılığı önemlidir.

Esasen tüm vitamin emilimi ince bağırsakta gerçekleşir. Vitaminlerin bağırsaktan yeterli düzeyde ve doğru bir şekilde emilmemesi bağırsak hastalıklarından, genetik faktörlerden, aşırı alkol veya ilaç tüketiminden kaynaklanabilmektedir (Said, 2011). Gıda takviyelerinin vitamin eksikliğinin ve/veya yetersiz emilimin üstesinden gelmek için oldukça etkili olduğu saptanmıştır. Vitaminlerin biyo-erişilebilirlikleri çoğunlukla vitaminin yapısına ve türüne bağlıdır; bundan dolayı vitaminlerin biyo-erişilebilirlikleri incelenirken suda ve yağda çözünen vitaminler olarak ayrı ayrı incelenmesi daha doğru bilgi aktarımı sağlayacaktır (Galanakis, 2021).

Suda çözünen vitaminler diyet yoluyla alınarak veya bağırsaktaki yararlı bakteriler tarafından sentezlenerek emilime katılırlar. Diyet kaynaklı olarak alınan vitaminlerin genellikle ince bağırsakta emilimi gerçekleşirken; yararlı bakteriler tarafından sentezlenen vitaminlerin emilimi genellikle kalın bağırsakta gerçekleşmektedir (Said, 2011; Zimmerman ve Snow, 2012). Farklı bazı içeriklerle vitaminlerin emilimini dolayısıyla biyo-yararlanımlarını arttırmak mümkündür. Yağda çözünen A, D, E ve K vitaminlerinin emilimi ise bağırsak lümeninde gerçekleşir. Bu vitaminler için de emilim mekanizması suda çözünen vitaminlerde olduğu gibidir.

#### *5.5. Minerallerin Biyo-yararlılık ve Biyo-erişilebilirlik Üzerine Etkisi*

Mineraller, vitaminlerde olduğu gibi organizmanın temel metabolizması, büyümesi ve gelişmesi için elzem maddelerdir. Mineraller makro ve mikro mineraller olarak ikiye ayrılmaktadır. Makro mineraller vücudun yüksek miktarda ihtiyaç duyduğu minerallerken; mikro elementler daha az

miktarda ihtiyaç duyulanlardır. Gıdalarda bulunan birtakım mineraller insanlar, hayvanlar ve/veya bitkiler için gerekli besinlerdir. Bu minerallerin yeterli miktarda diyetle dahil edilmemesi durumunda beslenme durumu bozulur ve çeşitli sağlık sorunları ortaya çıkabilir. Çoğu vitamin çok iyi emilirken; temel minerallerin çoğu emilmez. Minerallerin olağan emilimi %1'den az veya %90'ın üzerindedir. Diyetteki mineral miktarının çok az veya çok fazla olup olmadığı belirlenirken diyet minerallerinin biyo-yararlanımı dikkate alınmalıdır (Turnlund, 1991).

Vitamin ve mineral gibi mikro besinlerin eksiklikleri sadece düşük alımla değil, aynı zamanda emilim için gereken miktar ve belirli gıdaların veya diyetlerin kullanımı ile de belirlenir (Turnlund, 1991; Galanakis, 2021). Minerallerin biyo-yararlılığı, genellikle normal vücut fonksiyonları için kullanılan bir gıda, yemek veya diyetteki toplam oranının bir ölçüsü olarak tanımlanır (Harvey, 2001). Mineral biyo-erişilebilirliği ise beslenme açısından iyileştirilmiş bir gıdayı güçlendirirken veya geliştirirken dikkate alınması gereken diyetteki destekleyicilere ve inhibitörlere bağlıdır (Galanakis, 2021).

Temel minerallerin biyo-yararlanımının bilinmesi, önerilen diyet alımını belirlemek, belirlenen alım miktarlarının yeterliliğini değerlendirmek, en etkili olabilecek takviye bileşenlerini seçmek ve gıda veya formüle edilmiş gıdaların restorasyonu, güçlendirilmesi veya zenginleştirilmesi için reçete oluşturmak adına önemlidir. Çoğu mineral için gastrointestinal sistemden emilen miktar biyo-yararlanımın ana parametresidir, ancak emilim miktarı mineraller arasında farklılıklar göstermektedir (Harvey, 2001; Galanakis, 2021).

Minerallerin düşük biyo-yararlanımları demir, çinko ve kalsiyum eksikliklerine sebep olmaktadır. Gıdalardaki demir içeriği hem kimyasal form hem de bulunan miktar açısından farklılık gösterir. Çinkonun kaynağı hayvansal gıdalardır ve tahıllarda bulunan çinko içeriği öğütme ile birlikte azalır. Sebzeledeki çinko içeriği toprağın yapısıyla ilgili olarak değişkenlik göstermektedir. Kalsiyum ise genelde diyetlerde çok fazla bulunan bir mineral değildir. Ana kaynağı süt ve süt ürünleridir. Süt ürünlerinde örneğin peynir, tereyağı ve kremada bulunabilen kalsiyum miktarı işleme tür ve miktarına bağlı olarak değişmektedir (Galanakis, 2021). Geleneksel gıda işleme teknolojileri mikromineraler üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır; bu nedenle YHB gibi ısı olmayan yenilikçi işleme teknolojilerine yönelim olmuştur. YHB prosesinin mineraller üzerindeki etkisiyle ilgili çok az çalışma bulunmaktadır. Bu tür fiziksel değişikliklerin mineral biyoyararlanımı üzerindeki etkisi henüz tam olarak açıklanmamıştır (Galanakis, 2021).

Farklı gıdaların YHB ile prosesi sonrasında proses parametrelerinin gıda bileşenleri üzerinde etkilerinin yer aldığı çalışmalarda genel olarak YHB uygulamasının gıdalarda sindirilebilirliği artırdığı tespit edilmiştir (Tablo 1).

#### *5.6. Biyoaktif Komponentlerin Biyo-yararlılık ve Biyo-erişilebilirlik Üzerine Etkisi*

Antioksidan, gıdalarda doğal olarak bulunan biyoaktif bileşiklerden biri olarak sınıflandırılır. Gıdaların antioksidan kapasitesi proteinlerden, fenolik bileşiklerden ve diğer bileşenlerden kaynaklanabilmektedir (Ali ve ark., 2021). Uygulanan basıncın seviyesi ve uygulama süresi bu

makromoleküller üzerinde doğrudan etkilidir. Artan basınç seviyesi enzimleri aktive etme eğilimi göstermiştir ve protein yapılarını açarak çözünabilir protein miktarında artışa neden olur (Hemker ve ark., 2020). Omega-3 PUFA'lar balıkta bulunan biyoaktif bileşiklerden biridir ve basınç uygulaması ile bu balık yan ürünlerinden omega-3 PUFA'ların ekstraksiyonu gerçekleştirilmektedir. Ekstraksiyon verimliliği basınç dahil olmak üzere, uygulama süresi, dekompresyon süresi, işlem sıcaklığı ve ilk ürün sıcaklığı gibi proses parametrelerine bağlıdır. Ayrıca bu parametrelere ilave olarak uygulama sırasında ürünün pH değeri de önemlidir (Marciniak ve ark., 2018).

## **6. Sonuç**

YHB teknolojisi gıda bileşenlerinin biyo-yararlanımını ve dolayısıyla gıdalardan alınan verimi artıracak alternatif bir teknolojidir. Genel olarak YHB teknolojisinin gıda komponentlerinin muhafazasını sağlayarak proses edilen bileşenlerin biyo-yararlanımı ve/veya biyo-erişilebilirliği üzerinde olumlu sonuçlar verdiği görülmektedir. YHB teknolojisinin gıda endüstrisi açısından avantajlar sağladığı görülmekle beraber bu teknolojinin farklı biyokomponentler üzerindeki etkilerine yönelik çalışmaların oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Bu bağlamda özellikle başta lipitler olmak üzere YHB'nin gıda komponentlerinin biyo-yararlanımı üzerine olan etkilerini konu alan çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

**Tablo 1.** Yüksek hidrostatik basıncın çeşitli gıda bileşenlerine etkisi üzerine yapılmış çalışmalar

Gıda	Basıncı Koşulları	Uygulama	Deney İçeriği	Bulgular	Kaynak
<b>Kırmızı abalon kası (Deniz kulağı kası)</b>	200, 300, 400 ve 500 MPa'da 5 d		Deniz kulağı kasına YHB uygulanmış olup sindirilebilirliğinin araştırılması	Bu çalışmanın <i>in vitro</i> bağırsak sindirimi sonuçları incelendiğinde basınç uygulanan ve uygulanmayan abalon kası numuneleri arasında bariz farklar gözlenmiştir. Beş dakika boyunca 200 ve 400 MPa basınca maruz kalan numunelerde protein sindirilebilirliğinin arttığı görülmüştür.	(Udenigwe, 2021)
<b>Bebek maması</b>	200, 300, 400 ve 500 MPa'da 15 d		Bebek maması için YHB uygulamasının soya proteini izolatının (SPI) bazı fonksiyonel ve besleyici özellikleri üzerindeki etkilerinin araştırılması	YHB uygulanan SPI örneklerinin kontrol örneklerinden daha iyi yutma özellikleri ve <i>in vitro</i> sindirilebilirlik sağladığı gözlenmiştir. YHB uygulanan bebek mamasındaki proteinlerin gelişmiş bir proteolitik sindirilebilirlik kazandığı sonucuna ulaşılmıştır.	(Li ve ark., 2011)
<b>Peynir altı suyu</b>	20°C'de 550 MPa		YHB işlemi uygulanmış peynir altı suyu (PAS) proteinlerinin <i>in vitro</i> koşullarda sindirilebilirliklerinin araştırılması	45 dakikalık sindirimin sonunda basınç uygulanan örneğin hidroliz derecesi %95'e kadar ulaşırken, kontrolün %83'te kaldığı görülmüş ve YHB uygulamasının PAS proteinleri üzerindeki <i>in vitro</i> sindirilebilirliğini arttırdığını göstermektedir.	(Iskvear ve ark., 2015)
<b>Taze mango püresi</b>	592 MPa'da 3 d		Taze mango püresi üzerine YHB işlemi uygulayarak glisemik indeksin düşürülebildiğini dolayısıyla tip 2 diyabet hastaları için alternatif bir gıda kaynağı olarak kullanılabilmesinin araştırılması	YHB ile işlenen taze mango püresi tüketicileri için ortalama glisemik indeks, işlenmemiş mango püresi tüketen deneklerden önemli ölçüde daha düşük bulunmuştur. Sonuçlar, YHB teknolojisinin meyvelerin glisemik kontrolü için uygun olduğunu göstermektedir.	(Elizondo-Montemayor ve ark., 2015)
<b>Havuç suyu</b>	20 MPa, 60 MPa, 100 MPa, 150 MPa ve 180 MPa		YHB homojenizasyon işlemi uygulanarak havuç suyunun karotenoid biyo-erişilebilirliğinin suda	Uygulanan işlemde sonra havuç suyuna <i>in vitro</i> sindirim modeli uygulanarak karotenoid biyo-erişilebilirliğine bakılmış ve biyo-erişilebilirlik oranının YHB uygulamasından sonra anlamlı	(Liu ve ark., 2019)

			çözünmeyen pektin özelliğine bağlı olarak artışının izlenmesi	şekilde arttığı belirlenmiştir. YHB uygulaması ile artan sıcaklığın etkisiyle pektin bağlarının zayıfladığı; bunun da karotenoid biyoyararlılığını olumlu şekilde etkilediği gözlemlenmiştir.	
<b>Granny elması</b>	<b>Smith</b>	500 MPa'da 2, 4, 8 ve 10 d	YHB prosesinin Granny Smith elmasında bulunan nişastanın biyoyerişilebilirliği üzerindeki etkisinin incelenmesi	YHB uygulanan elmalarda nişasta sindirilebilirliği incelendiği zaman işlem uygulanmamış elmaya göre daha yüksek sindirilebilirliğe sahip oldukları görülmüştür.	(Briones-Labarca ve ark., 2011b)
<b>Havuç suyu</b>		20 MPa, 60 MPa ve 180 MPa	YHB homojenizasyon prosesinin etkisiyle yağ ilavesinin havuç suyundaki karotenoid biyoyerişilebilirliği üzerine etkisinin araştırılması	Basınç işleminden sonra numunelere <i>in vitro</i> sindirim uygulanmıştır. Havuç suyundaki az miktarda lipid de karotenoidlerin çözünmelerini sağlayarak biyoyerişilebilirliğin artmasını sağlamıştır. Artan yağ konsantrasyonu ile birlikte karotenoid biyoyerişilebilirliğinin önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar da lipidlerin çeşitli içeriklerin biyoyerişilebilirliği üzerinde olumlu etkiye sahip olduğunu göstermektedir.	(Liu ve ark., 2019)
<b>Domates püresi</b>		117°C 600 MPa	Zeytinyağı içeren (%5) domates püresinin <i>in vitro</i> koşullarda biyoyerişilebilirliğine YHB sterilizasyon işleminin etkisinin gözlemlenmesi	En düşük biyoyerişilebilir likopen miktarı, YHB ile homojenize edilmemiş domates pürelerinde bulunmuştur. % 5 zeytinyağlı olan püreler için YHB ile homojenizasyon için biyolojik olarak erişilebilir en yüksek miktarda likopen miktarı bulunmuştur. Pürenin içindeki yağın püre üzerindeki oksidasyonun olumsuz etkisini dengelediği; bunun da yağ ile püre kombinasyonunun biyoyerişilebilirliğindeki artışta olumlu etkisinin olduğu gözlemlenmiştir	(Knockaert ve ark., 2012)
<b>Çilek püresi ve Yumurta sarısı</b>		20°C sıcaklık, 200, 400 ve 600 MPa'da 30 d	YHB işleminin B1, B6 ve C vitaminleri üzerine etkisinin incelenmesi	B6 ve B1 vitaminleri için hesaplanan azalış ve artış miktarları sırasıyla % 99.57 ve %101.84 olmuştur. C vitamininde ilk değer için hesaplanan azalış miktarı % 87.83 olurken ikinci için % 88.58 olmuştur. B ve C vitaminlerindeki azalış miktarı önemli bulunmazken; B1'deki artış miktarı önemli	(Sancho ve ark., 1999)

<b>Portakal suyu-süt karışımı ve sebze suyu</b>	100, 200, 300 ve 400 MPa'da 9 d	Ürünler YHB uygulamasına maruz bırakılarak prosesin D2, D3 ve E vitamini etkinliği üzerindeki etkisinin incelenmesi	İşlenmemiş sebze suyu ve portakal suyu-süt karışımındaki D2 vitamini değerleriyle basınca maruz bırakılan karışımlardaki değerler arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır. E vitamini oranındaki artışlar ise her iki numune için önemli bulunmuştur. Bu sonuçlar YHB'nin E vitamini üzerindeki etkisinin önemli olduğunu göstermektedir.	(Barba ve ark., 2012)
<b>Pırasa, karnabahar ve yeşil fasulye</b>	200 MPa'da 5 d	Gıdalarda B9 vitamini (folat) etkinliğini artırmak amacıyla pırasa, karnabahar ve yeşil fasulye üzerine YHB uygulanmış ve insanlar üzerindeki biyo-yararlanımının incelenmesi	Folat miktarı basınç uygulamasından sonra pırasa, karnabahar ve fasulyede sırasıyla %74, %12 ve %82'ye yükselmiştir. Sebzeler ısı ve suya ne kadar çok maruz kalırsa folat tutma miktarı o kadar düşmektedir dolayısıyla YHB gibi kapalı sistemlerde işlendikleri zaman folat tutma miktarlarının arttığı görülmüştür.	(Melse-Boonstra ve ark., 2002)
<b>Granny Smith elması</b>	500 MPa'da 2, 4, 8 ve 10 d	YHB prosesinin kalsiyum, demir ve çinko minerallerinin biyo-erişilebilirliğine etkisinin incelenmesi	YHB mineral içeriğinin kullanılabilirliğini kalsiyum, demir ve çinko için belli oranlarda artırmıştır.	(Briones-Labarca ve ark., 2011b)
<b>Algarrobo tohumu</b>	500 MPa'da 2, 4, 8 ve 10 d	Algarrobo tohumlarına uygulanan yüksek basıncın kalsiyum ve demir minerallerinin biyo-yararlanımına etkisinin incelenmesi	Kalsiyum çözünürlüğü incelendiğinde 8 dakikalık YHB uygulamasının kontrol örneklerine kıyasla daha fazla çözünürlüğe sahip olduğu bulunmuştur. Diğer işlem görmüş numunelere kıyasla 10 dakika yüksek basınca maruz kalan numunedeki demir çözünürlüğü önemli ölçüde daha yüksek bulunmuştur.	(Briones-Labarca ve ark., 2011a)
<b>Portakal suyu, papaya suyu, kavun suyu, havuç püresi ve yağsız süt veya soya sütünün karıştırılmasıyla elde edilen smoothie</b>	Sütlü smoothieler 20 °C'de 450 ve 600 MPa'da ve soya sütlü smoothieler ise 20 °C'de 550 ve 650 MPa'da 3 d	YHB uygulayarak çinko, kurşun ve potasyum gibi minerallerin varlığı üzerindeki etkisinin araştırılması	Çinko elementi, yağsız süt ve soya sütlü smoothielerde en baskın mikro element olmuştur. Soya sütünden yapılan smoothielerin, yağsız sütle yapılanlardan daha yüksek demir içeriğine sahip olduğu gözlenmiştir. Potasyum elementi hem yağsız sütle hem de soya sütüyle hazırlanan smoothielerde ana makro element olarak göze çarpmaktadır. Bu sonuçlar göz önüne alınarak YHB işleminin smoothielerdeki mineral içeriğini önemli ölçüde etkilemediği söylenebilir.	(Verés ve ark., 2016)



## Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağladıklarını beyan eder.

## Kaynakça

- Aganovic K., Hertel C., Vogel Rudi F., Johne R., Schlüter O., Schwarzenbolz U. Aspects of high hydrostatic pressure food processing: Perspectives on technology and food safety. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 2021; 20(4):3225–66. doi:10.1111/1541-4337.12763.
- Ali F., Tian K., Wang Z-X. Modern techniques efficacy on tofu processing: A review. *Trends in Food Science and Technology* 2021; 116:766–85. doi:10.1016/j.tifs.2021.07.023.
- Balasubramaniam VM (Bala)., Martínez-Monteagudo SI., Gupta R. Principles and application of high pressure-based technologies in the food industry. *Annual Reviews in Food Science and Technology* 2015; 6(1):435–62. doi:10.1146/annurev-food-022814-015539.
- Balny C., Masson P. Effects of high pressure on proteins. *Food Reviews International* 1993; 9(4):611–28. doi:10.1080/87559129309540980.
- Barba FJ., Esteve MJ., Frigola A. Impact of high-pressure processing on vitamin E ( $\alpha$ -,  $\gamma$ -, ve  $\delta$ -Tocopherol), Vitamin D (Cholecalciferol and Ergocalciferol), and fatty acid profiles in liquid foods. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 2012; 60(14):3763–8. doi:10.1021/jf205355h.
- Barba FJ., Saraiva JMA., Cravotto G., Lorenzo JM. Innovative thermal and non-thermal processing, bioaccessibility and bioavailability of nutrients and bioactive compounds. Woodhead Publishing; 2019.
- Barba FJ., Terefe NS., Buckow R., Knorr D., Orlie V. New opportunities and perspectives of high pressure treatment to improve health and safety attributes of foods. A review. *Food Research International* 2015; 77:725–42. doi:10.1016/j.foodres.2015.05.015.
- Briones-Labarca V., Muñoz C., Maureira H. Effect of high hydrostatic pressure on antioxidant capacity, mineral and starch bioaccessibility of a non conventional food: *Prosopis chilensis* seed. *Food Reserach International* 2011a; 44(4):875–83. doi:10.1016/j.foodres.2011.01.013.
- Briones-Labarca V., Venegas-Cubillos G., Ortiz-Portilla S., Chacana-Ojeda M., Maureira H. Effects of high hydrostatic pressure (HHP) on bioaccessibility, as well as antioxidant activity, mineral and starch contents in Granny Smith apple. *Food Chemistry* 2011b; 128(2):520–9. doi:10.1016/j.foodchem.2011.03.074.
- Cai L., Cao M., Regenstein J., Cao A. Recent advances in food thawing technologies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 2019; 18(4):953–70. doi:10.1111/1541-4337.12458.
- Cheftel JC., Culioli J. Effects of high pressure on meat: A review. *Meat Science* 1997; 46(3):211–36. doi:10.1016/S0309-1740(97)00017-X.

- Cilla A., Barberá R., López-García G., Blanco-Morales V., Alegría A., Garcia-Llatas G. Impact of processing on mineral bioaccessibility/bioavailability. In: Barba FJ, Saraiva JMA, Cravotto G., Lorenzo JM. (eds) Innovative thermal and non-thermal processing, bioaccessibility and bioavailability of nutrients and bioactive compounds. Woodhead Publishing 2019; 209–239. doi:10.1016/B978-0-12-814174-8.00007-X.
- Elizondo-Montemayor L., Hernández-Brenes C., Ramos-Parra PA., Moreno-Sánchez D., Nieblas B., Rosas-Pérez AM. High hydrostatic pressure processing reduces the glycemic index of fresh mango puree in healthy subjects. *Food and Function* 2015; 6(4):1352–60. doi:10.1039/C4FO01005A.
- Englyst KN., Englyst HN. Carbohydrate bioavailability. *British Journal of Nutrition* 2005;94(1):1–11. doi:10.1079/BJN20051457.
- Evrendilek GA. Influence of high pressure processing on food bioactives. In: Jafari SM., Capanoglu E. (eds.) Retention of Bioactives in Food Processes. Springer International Publishing 2022; 467–85. doi:10.1007/978-3-030-96885-4\_15.
- Farahnaky A., Majzoobi M., Gavahian M. Emerging non-thermal food processing technologies: Editorial overview. *Foods* 2022; 11(7):1003. doi:10.3390/foods11071003.
- Farkas DF., Hoover DG. High pressure processing. *Journal of Food Science* 2000; 65(s8):47–64. doi:10.1111/j.1750-3841.2000.tb00618.x.
- Galanakis CM. Functionality of food components and emerging technologies. *Foods* 2021;10(1):128. doi:10.3390/foods10010128.
- Galazka VB., Ledward DA., Dickinson E., Langley KR. High pressure effects on emulsifying behavior of whey protein concentrate. *Journal of Food Science* 1995; 60(6):1341–3. doi:10.1111/j.1365-2621.1995.tb04587.x.
- George JM., Rastogi NK. High pressure processing for food fermentation. In: Ojha KS, Tiwari BK. (eds.) Novel Food Fermentation Technologies. Springer International Publishing 2016; 57–83. doi:10.1007/978-3-319-42457-6\_4.
- Grauwet T., Rauh C., Van der Plancken I., Vervoort L., Hendrickx M., Delgado A. Potential and limitations of methods for temperature uniformity mapping in high pressure thermal processing. *Trends in Food Science ve Technology* 2012; 23(2):97–110. doi:10.1016/j.tifs.2011.09.002.
- Harvey L. Mineral bioavailability. *Nutrition in Food Science* 2001; 31(4):179–82. doi:10.1108/00346650110392253.
- Heinz V., Buckow R. Food preservation by high pressure. *J Für Verbraucherschutz Leb* 2010; 5(1):73–81. doi:10.1007/s00003-009-0311-x.
- Hemker AK., Nguyen LT., Karwe M., Salvi D. Effects of pressure-assisted enzymatic hydrolysis on functional ve bioactive properties of tilapia (*Oreochromis niloticus*) by-product protein hydrolysates. *LWT* 2020; 122:109003. doi:10.1016/j.lwt.2019.109003.
- Iskvear MM., Lves LC., Sabally K., Azadi B., Meehan B., Mawji N. High hydrostatic pressure pretreatment of whey protein isolates improves their digestibility and antioxidant capacity. *Foods* 2015; 4(2):184–207. doi:10.3390/foods4020184.

- Kalichevsky MT., Knorr D., Lillford PJ. Potential food applications of high-pressure effects on ice-water transitions. *Trends Food Science and Technology* 1995; 6(8):253–9. doi:10.1016/S0924-2244(00)89109-8.
- Knockaert G., Pulissey SK., Colle I., Van Buggenhout S., Hendrickx M., Loey AV. Lycopene degradation, isomerization and in vitro bioaccessibility in high pressure homogenized tomato puree containing oil: Effect of additional thermal and high pressure processing. *Food Chemistry* 2012; 135(3):1290–7. doi:10.1016/j.foodchem.2012.05.065.
- Li H., Zhu K., Zhou H., Peng W. Effects of high hydrostatic pressure on some functional and nutritional properties of soy protein isolate for infant formula. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 2011;59(22):12028–36. doi:10.1021/jf203390e.
- Liu J., Bi J., Liu X., Zhang B., Wu X., Deepali Wellala CK. Effects of high pressure homogenization and addition of oil on the carotenoid bioaccessibility of carrot juice. *Food and Function* 2019; 10(1):458–68. doi:10.1039/C8FO01925H.
- Liu X., Liu J., Bi J., Yi J., Peng J., Ning C. Effects of high pressure homogenization on pectin structural characteristics and carotenoid bioaccessibility of carrot juice. *Carbohydrate Polymers* 2019; 203:176–84. doi:10.1016/j.carbpol.2018.09.055.
- Lorenzo JM., Estévez M., Barba FJ., Thirumdas R., Franco D., Munekata PES. Polyphenols: Bioaccessibility and bioavailability of bioactive components. In: Barba FJ., Saraiva JMA., Cravotto G., Lorenzo JM. (eds). *Innovation in Thermal and Non-Thermal Processes in Bioaccessibility Bioavailability of Nutrients and Bioactive Compounds*. Woodhead Publishing 2019; 309–32. doi:10.1016/B978-0-12-814174-8.00011-1.
- Marciniak A., Suwal S., Naderi N., Pouliot Y., Doyen A. Enhancing enzymatic hydrolysis of food proteins and production of bioactive peptides using high hydrostatic pressure technology. *Trends Food Science and Technology* 2018; 80:187–98. doi:10.1016/j.tifs.2018.08.013.
- María L-P., Diaz-Reinoso B., José ML., Giancarlo C., Barba FJ. Green technologies for food processing: Principal considerations. In: Barba FJ., Saraiva JMA., Cravotto G., Lorenzo JM. (eds). *Innovation in Thermal and Non-Thermal Processes in Bioaccessibility Bioavailability of Nutrients and Bioactive Compounds*. Woodhead Publishing 2019; 55–103. doi:10.1016/B978-0-12-814174-8.00003-2.
- Martinez-Montegudo SI., Saldaña MDA. Chemical reactions in food systems at high hydrostatic pressure. *Food Engineering Reviews* 2014;6(4):105–27. doi:10.1007/s12393-014-9087-6.
- McClements DJ., Decker EA., Park Y. Controlling lipid bioavailability through physicochemical and structural approaches. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 2008; 49(1):48–67. doi:10.1080/10408390701764245.
- McClements DJ., Peng S-F. Current status in our understanding of physicochemical basis of bioaccessibility. *Current Opinion in Food Science* 2020; 31:57–62. doi:10.1016/j.cofs.2019.11.005.
- Medina-Meza IG., Barnaba C., Barbosa-Cánovas GV. Effects of high pressure processing on lipid oxidation: A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 2014; 22:1–10. doi:10.1016/j.ifset.2013.10.012.

- Melse-Boonstra A., Verhoef P., Konings EJM., van Dusseldorp M., Matser A., Hollman PCH. Influence of processing on total, monoglutamate and polyglutamate folate contents of leeks, cauliflower, and green beans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2002; 50(12):3473–8. doi:10.1021/jf0112318.
- Mertens B., Deplace G. Engineering aspects of high-pressure technology in the food industry. *Food Technology USA* 1993.
- Mollakhalili-Meybodi N., Nejati R., Sayadi M., Nematollahi A. Novel nonthermal food processing practices: Their influences on nutritional and technological characteristics of cereal proteins. *Food Science and Nutrition* 2022; 10(6):1725–44. doi:10.1002/fsn3.2792.
- Mozhaev VV., Heremans K., Frank J., Masson P., Balny C. Exploiting the effects of high hydrostatic pressure in biotechnological applications. *Trends in Biotechnology* 1994; 12(12):493–501. doi:10.1016/0167-7799(94)90057-4.
- Mújica-Paz H., Valdez-Fragoso A., Samson CT., Welti-Chanes J., Torres JA. High-pressure processing technologies for the pasteurization and sterilization of foods. *Food Bioprocessing Technologies* 2011; 4(6):969–85. doi:10.1007/s11947-011-0543-5.
- Norton T., Sun D-W. Recent advances in the use of high pressure as an effective processing technique in the food industry. *Food Bioprocessing Technologies* 2008; 1(1):2–34. doi:10.1007/s11947-007-0007-0.
- Pham HTT., Kityo P., Buvé C., Hendrickx ME., Van Loey AM. Influence of pH and composition on nonenzymatic browning of shelf-stable orange juice during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2020; 68(19):5402–11. doi:10.1021/acs.jafc.9b07630.
- Rathod NB., Kulawik P., Ozogul Y., Ozogul F., Bekhit AEDA. 2022. Recent developments in non-thermal processing for seafood and seafood products: cold plasma, pulsed electric field and high hydrostatic pressure. *International Journal of Food Science & Technology* 57(2): 774-790.
- Rastogi NK., Raghavarao KSMS, Balasubramaniam VM, Niranjana K, Knorr D. Opportunities and challenges in high pressure processing of foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 2007; 47(1):69–112. doi:10.1080/10408390600626420.
- Rastogi NK., Subramanian R., Raghavarao KSMS. Application of high pressure technology in food industry. *Indian Food Industry* 1994; 13(1):30–4, 17.
- Roobab U., Shabbir MA., Khan AW., Arshad RN., Bekhit AE-D., Zeng X-A. High-pressure treatments for better quality clean-label juices and beverages: Overview and advances. *LWT* 2021; 149:111828. doi:10.1016/j.lwt.2021.111828.
- Said HM. Intestinal absorption of water-soluble vitamins in health and disease. *Biochemistry Journal* 2011; 437(3):357–72. doi:10.1042/BJ20110326.
- San Martín MF., Barbosa-Cánovas GV., Swanson BG. Food processing by high hydrostatic pressure. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 2002; 42(6):627–45. doi:10.1080/20024091054274.
- Sancho F., Lambert Y., Demazeau G., Largeteau A., Bouvier J-M., Narbonne J-F. Effect of ultra-high hydrostatic pressure on hydrosoluble vitamins. *Journal of Food Engineering* 1999; 39(3):247–53. doi:10.1016/S0260-8774(98)00143-5.

- San Martin MF., Barbosa-Cánovas GV., Swanson BG. Food processing by high hydrostatic pressure. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 2002; 42(6):627-645. doi.org/10.1080/20024091054274
- Santos DI., Saraiva JMA., Vicente AA., Moldão-Martins M. Methods for determining bioavailability and bioaccessibility of bioactive compounds and nutrients. In: Barba FJ., Saraiva JMA., Cravotto G., Lorenzo JM. (eds). *Innovation in Thermal ve Non-Thermal Processes in Bioaccessibility Bioavailability of Nutrients and Bioactive Compounds*. Woodhead Publishing 2019; 23–54. doi:10.1016/B978-0-12-814174-8.00002-0.
- Sevenich R., Rauh C., Knorr D. A scientific and interdisciplinary approach for high pressure processing as a future toolbox for safe and high quality products: A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 2016; 38:65–75. doi:10.1016/j.ifset.2016.09.013.
- Smelt JPPM. Recent advances in the microbiology of high pressure processing. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 1998; 9(4):152–8. doi:10.1016/S0924-2244(98)00030-2.
- Stahl W., van den Berg H., Arthur J., Bast A., Dainty J., Faulks RM. Bioavailability and metabolism. *Molecular Aspects of Medicine* 2002; 23(1–3):39–100. doi:10.1016/s0098-2997(02)00016-x.
- Thakur BR., Nelson PE. High-pressure processing and preservation of food. *Food Reviews International* 1998; 14(4):427–47. doi:10.1080/87559129809541171.
- Torres JA., Velazquez G. Commercial opportunities and research challenges in the high pressure processing of foods. *Journal of Food Engineering* 2005; 67(1):95–112. doi:10.1016/j.jfoodeng.2004.05.066.
- Toutain PL., Bousquet-Mélou A. Bioavailability and its assessment. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics* 2004; 27(6):455–66. doi:10.1111/j.1365-2885.2004.00604.x.
- Turnlund JR. Bioavailability of dietary minerals to humans: The stable isotope approach. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 1991; 30(4):387–96. doi:10.1080/10408399109527549.
- Udenigwe CC. *Food proteins and peptides: Emerging biofunctions, food and biomaterial applications*. Royal Society of Chemistry; 2021.
- Verés V., Villanueva M-J., Tenorio M-D. Influence of high pressure processing on microbial shelf life, sensory profile, soluble sugars, organic acids, and mineral content of milk- and soy-smoothies. *LWT - Food Science and Technology* 2016; 65:98–105. doi:10.1016/j.lwt.2015.07.066.
- Verghese M., Willis S., Boateng J., Gomaa A., Kaur R. Effect of food processing on antioxidant potential, availability and bioavailability. *Annual Reviews in Food Science and Technology* 2021; 12(1):307–29. doi:10.1146/annurev-food-062420-105140.
- Wang W., Yang P., Rao L., Zhao L., Wu X., Wang Y. Effect of high hydrostatic pressure processing on the structure, functionality, and nutritional properties of food proteins: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 2022;21(6):4640–4682. doi:10.1111/1541-4337.13033.
- Yamamoto K. Food processing by high hydrostatic pressure. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry* 2017; 81(4):672–9. doi:10.1080/09168451.2017.1281723.
- Yordanov DG., Angelova GV. High pressure processing for foods preserving. *Biotechnology and Biotechnology Equipments* 2010; 24(3):1940–5. doi:10.2478/V10133-010-0057-8.

Yuste J., Capellas M., Pla R., Fung DYC., Mor-Mur M. High pressure processing for food safety and preservation: A review. *Journal of Rapid Methods and Automation in Microbiology* 2001; 9(1):1–10. doi:10.1111/j.1745-4581.2001.tb00223.x.

Zimmerman M., Snow B. *An introduction to nutrition*. Independent;2012.