



## VURGULU IŞIK İLE İŞLENEN MEYVE VE SEBZE SULARININ KALİTESİ

Pınar Ankaralığıl<sup>1,2</sup>, Bengi Hakgüder Taze<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Uşak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Uşak, Türkiye

<sup>2</sup>Uşak İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, Gıda ve Yem Şubesi, Uşak, Türkiye

Geliş / Received: 23.02.2022; Kabul / Accepted: 27.05.2022; Online baskı / Published online: 11.08.2022

Ankaralığıl, P., Hakgüder-Taze, B. (2022). Vurgulu ışık ile işlenen meyve ve sebze sularının kalitesi. *GIDA* (2022) 47 (4) 663-678 doi: 10.15237/gida.GD22029

Ankaralığıl, P., Hakgüder-Taze, B. (2022). *Quality of fruit and vegetable juices treated by pulsed light*. *GIDA* (2022) 47 (4) 663-678 doi: 10.15237/gida.GD22029

### ÖZ

Günümüzde tazeye en yakın, az işlem görmüş, daha sağlıklı ürün tüketme eğilimi artarak devam etmektedir. Geçmişten günümüze gıda muhafazasında uygulanmakta olan pastörizasyon ve sterilizasyon gibi termal işlemler sağladıkları yararın yanında gıda bileşiminde birtakım kayıplara neden olabildiğinden, araştırmacılar geleneksel termal işlemlere alternatif olarak ısıl olmayan işleme teknolojilerine yoğunlaşmıştır. Son yıllarda vurgulu ışık, UV-C ışınlama, vurgulu elektrik alan, ultrases, yüksek basınç, ohmik ısıtma ve benzeri uygulamaların gıda kalitesi üzerine etkileri geniş çapta araştırılmaktadır. Özellikle meyve ve sebze sularının işlenmesinde termal olmayan teknolojilerden vurgulu ışığın kalitenin korunması üzerine avantajları olduğu yapılan birçok araştırmada tespit edilmiştir. Ayrıca, prosesin, ürünün fizikokimyasal ve duyuşal özelliklerinden ödün vermeden gıdanın mikrobiyal kalitesini koruduğu gösterilmiştir. Bundan dolayı, vurgulu ışık uygulamasının ısıl olmayan bir gıda muhafaza yöntemi olarak meyve ve sebze sularında kullanılma potansiyeli vardır.

**Anahtar kelimeler:** Vurgulu ışık, meyve suyu, sebze suyu, mikrobiyal inaktivasyon, kalite parametreleri

## QUALITY OF FRUIT AND VEGETABLE JUICES TREATED BY PULSED LIGHT

### ABSTRACT

Nowadays, consumers' tendency has been increased toward fresh-like minimally processed, and healthier products. Since thermal processes which have been applied in food preservation from the past to the present, like pasteurization and sterilization, can cause food quality losses, researchers have focused on non-thermal processing technologies as an alternative to traditional thermal treatments. Recently, the effects of pulsed light, UV-C irradiation, pulsed electric field, ultrasound, high pressure, ohmic heating, and similar applications on food quality have been widely investigated. It was reported that pulsed light treatment among non-thermal processing technologies had many advantages over other treatments, especially in terms of preserving the quality of fruit and vegetable juices. Moreover, it was signified that the process could preserve food microbial quality without compromising the physicochemical and sensory attributes of the product. Therefore, pulsed light treatment has the potential to be used as a non-thermal food preservation technique in fruit and vegetable juices.

**Keywords:** Pulsed light, fruit juice, vegetable juice, microbial inactivation, quality parameters

\* Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author

✉: bengi.taze@usak.edu.tr

☎: (+90) 276 221 2121-2614

Pınar Ankaralığıl; ORCID no: 0000-0002-1560-6975

Bengi Hakgüder Taze; ORCID no: 0000-0001-6377-5303

## GİRİŞ

Gıda güvenliği; toplu gıda üretimi, tüketimi ve dağıtımı için kritik bir basamağı oluşturmaktadır. Gıda güvenliğinin sağlanması ve gıdaların muhafaza edilmesi için çeşitli teknolojiler geliştirilmiştir. Isıl işlem, gıda güvenliğinin sağlanmasındaki aşamalardan biri olan mikrobiyal inaktivasyon için yaygın olarak kullanılan geleneksel bir yöntemdir. Bunun yanında, ışınlama (ultraviyole, vurgulu ışık), vurgulu elektrik alan, manyetik alan, yüksek hidrostatik basınç ve ohmik ısıtma gibi alternatif işleme yöntemleri de geliştirilmiştir. Bu muhafaza yöntemleri arasında, gıda güvenliğini sağlarken kalite kaybına neden olmayan, verimliliği yüksek, su tasarrufu sağlayan ve maliyeti en düşük olan teknolojiler daha fazla tercih edilmeye başlanmıştır (Zhang vd., 2011; Rao, 2018).

Meyve ve sebze suları geleneksel olarak ısı ile işleme korunmaktadır (Bevilacqua vd., 2017). Ancak işlem sırasında üründe mikrobiyal yük azalırken aynı zamanda renk, doku, aroma ve besin kayıpları yaşanması kaçınılmazdır (Manso vd, 2001; Blasco vd., 2004). Yapılan çalışmalarla ısı olmayan işlemlerin gıda kalitesinde olumlu etkilerinin olduğu ve böylece termal yöntemlerle işleme tekniklerine alternatif olabileceği görülmektedir (Rodríguez vd., 2017; Alves Filho vd., 2018; Paixão vd., 2019; de Castro vd., 2020; Linhares vd., 2020; Porto vd., 2020). Linhares vd. (2020), açai suyunda ısı (HTST ve UHT) ve ısı olmayan (yüksek güçlü ultrases, vurgulu ışık teknolojisi ve düşük basınçlı plazma) yöntemlerin meyve suyu özellikleri ve bileşenlerine etkisini incelemişlerdir. Isıl olmayan tüm yöntemlerin meyve suyunda şeker ve aminoasit içeriğini artırdığı görülmüştür. Camu-camu suyunda soğuk plazma uyarma frekansının etkisinin gözlemlendiği bir çalışmada ise artan frekans uygulaması ile birlikte antosiyanin konsantrasyonunun ve biyoyararlanımının artışa geçtiği raporlanmıştır (de Castro vd., 2020). Paixão vd. (2019), siriguela (mor mombin) suyunda soğuk plazmanın etkilerini incelediklerinde, işlem görmemiş ürünle kıyasladıklarında C vitamininde kayda değer bir değişiklik olmadığını, pigmentlerin, fenolik

bileşenlerin, antioksidan aktivite ve B vitamini değerlerinin arttığını saptamışlardır.

Termal olmayan yöntemler arasında yer alan, ultraviyole (UV) ışıkla işleme, gıda işleme sırasında özellikle patojen mikroorganizmaların inaktivasyonu için giderek daha fazla tercih edilmektedir (Zhang vd., 2011). UV ışığın mikroorganizma öldürücü etkisi, ışığın genetik materyal tarafından soğurulması sonucu timin dimerleri oluşturarak DNA'ya yapısal hasar vermesinden ve mikroorganizmaların çoğalmasını engellemesinden kaynaklanır (Hakguder-Taze ve Unluturk, 2018; Pierscianowski vd., 2021). UV ışıkla mikroorganizma inaktivasyonunda en efektif dozun 254 nm olduğu bilgisi literatürde yer almakla birlikte belirli mikroorganizma sayısının azaltılmasında gerekli dozun UV ışığına maruz kalma süresi ile UV ışık yoğunluğunun çarpımına bağlı olduğu belirtilmektedir (Sharrer vd., 2005). Ultraviyole ışığa alternatif olarak yoğunluğu UV ışığın yoğunluğunun yaklaşık 20000 katı olan ve daha derine nüfuz edebilen vurgulu ışık, hızlı işlemin gerekli olduğu alanlarda sürekli UV ışık kaynaklarına göre bazı pratik avantajlar sağladığından dolayı tercih edilmektedir. UV ışığın penetrasyon gücü düşük olduğu için etkinliği nispeten sınırlıdır. Vurgulu ışık sistemlerinde ise mikrobiyal inaktivasyon daha güçlüdür ve daha fazla sanitasyon sağlanmasında etkilidir. Ayrıca, xenon lambalar cıva içermediklerinden, UV lambalara kıyasla daha çevre dostu olan ticari vurgulu ışık kaynaklarıdır (Elmnasser vd., 2007; Marriott vd., 2018; Koutchma, 2019; Izmirlioglu, 2020). Ancak, yine de ışınlama işlemi sırasında lambaların ısınması veya ışınların gıda tarafından absorbe edilmesi sonucu sıcaklık artışı meydana gelebilir. Ayrıca, mikroorganizmaların üst üste bulunduğu durumlarda, üst tarafta bulunanların ışınları kolayca absorbe etmesi ve daha alt katmanlarda bulunanları gölgelemesi ihtimali nedeniyle inaktivasyonlarının zor olması da göz ardı edilmemelidir (Koutchma, 2018). Sınırlı nüfuz edebilme yeteneğinden ötürü opak ve bulanık olan gıdalar, homojen olmayan yapılar ve bunlara ek olarak, uygulama esnasında duyu kaliteyi olumsuz etkileyecek nitelikte sıcaklık artışı

yaşanması vurgulu ışık uygulamasının gıda endüstrisinde kullanımını sınırlamaktadır (Mandal vd., 2020). Bunun yanında, lamba ömrünün kısa olması ve endüstriyel boyutta vurgulu ışık sistemleri için yüksek yatırım maliyetinin bulunması, bu teknolojiyi özellikle katma değeri yüksek ürünler için çekici kılmaktadır (Heinrich vd., 2016). Endüstriyel uygulamalara uygun ölçekte bir ekipman için yatırım maliyetinin €300 bin ile €800 bin arasında olduğu belirtilmiştir (Güven ve Yıldız, 2016). Bunlara ek olarak, bugüne kadar vurgulu ışık teknolojisi kullanılarak yapılan çalışmalar arasında bir uyumun bulunmayışı, işletim koşullarındaki değişiklikler de vurgulu ışık uygulamasının ticari olarak gelişimini sınırlandırmaktadır (Rowan, 2019). Vurgulu ışık teknolojisinin en başarılı ticari uygulamalarından biri gıda ambalajlama materyallerinin sterilizasyonu ve gıda işletmelerinde ekipman ve hava sterilizasyonu amacıyla kullanılmasıdır (Güven ve Yıldız, 2016; Ren vd., 2021). İşletme maliyetinin €0.02/ m<sup>2</sup> uygulama alanı olduğu tahmin edilmektedir. Örneğin 10000 adet bardağın sterilizasyonunun işletim maliyeti €42 olarak öngörülmüştür. Bu değer de, sterilizasyon amacıyla geleneksel olarak kullanılan perasetik asit maliyetinin ¼'üne karşılık geldiği belirtilmiştir (Ren vd., 2021).

Yakın geçmişte kırmızı pul biber (Lee vd., 2018), fıstık (Abuagela vd., 2019), ambalajlanmış et ürünleri (Kramer vd., 2019), ıspanak (Mukhopadhyay vd., 2019), yeni kesilmiş marul (Tao vd., 2019), pastırma (Aksu vd., 2020), yağsız süt tozu ve buğday unu (Chen vd., 2020), hurma (Denoya vd., 2020), sirke (Huang vd., 2020), ceviz (Izmirlıoğlu vd., 2020), beyaz peynir (Keklik vd., 2020) gibi farklı ürün gruplarında vurgulu ışık uygulaması üzerine araştırmalar yapılmıştır. Literatürde, vurgulu ışık teknolojisi ile çeşitli meyve ve sebze sularının işlenmesi üzerine yapılan bazı araştırmalar mevcuttur (Ferrario ve Guerrero, 2016; Karaoglan vd., 2017; Preetha vd., 2017; Ferrario ve Guerrero, 2018; Kaya, 2018; Xu vd., 2019; Zhu vd., 2019; Kaya vd., 2020; Rodríguez-Bencomo vd., 2020; Vollmer vd., 2020; Preetha vd., 2021).

Bu çalışmanın amacı ise, literatürde yer alan çalışmalar ışığında vurgulu ışık uygulamasının farklı meyve ve sebze sularının mikrobiyal kalitesi, enzim aktiviteleri, fizikokimyasal özellikleri, besin değeri ve duyu kalitesi üzerine etkilerinin derlenmesidir.

## VURGULU IŞIK TEKNOLOJİSİ

Vurgulu ışık teknolojisi 1930'larda keşfedilmiştir. Teknolojinin kullanımına yönelik ilk patent ise 1980'lerde alınmıştır (Vargas-Ramella vd., 2021). İlk olarak 1996 yılında FDA (U.S. Food and Drug Administration – Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi) tarafından gıda proseslerinde kullanılması kabul edilmiştir (Anonymous, 1996; Bhavya ve Hebbar, 2017). Vurgulu ışık uygulaması ile gıdalarda organoleptik özelliklerin ve kalitenin geliştirilmesinden, teknolojinin mikrobiyal inaktivasyon amacıyla kullanılması endüstriyel anlamda daha çok ilgi odağı olmuştur. Vurgulu ışık, gıda muhafazası için termal olmayan bir yöntemdir. Yiyecekler ve ambalaj malzemelerinde mikrobiyal dekontaminasyon için geniş spektrumda (100-1100 nm), yoğun (0.01–50 J/cm<sup>2</sup>) ve kısa süreli atımlar (1 µs–0.1 s) gerçekleştirilerek kullanılmaktadır. FDA tarafından insan tüketimine sunulacak gıdaların üretim, işleme ve taşınması sırasında ışınlanmasına onay verilmiş olup; vurgulu ışığın güvenle kullanılacağı koşullar aşağıdaki gibi bildirilmiştir (Anonymous, 1996):

- Radyasyon kaynakları, 100 ile 1100 nm aralığını kapsayan dalga boylarından oluşan geniş bant radyasyon yaymak üzere tasarlanmış ve darbe süresi 2 milisaniyeden (msn) daha uzun olmayacak şekilde çalıştırılan xenon flaş lambalarından oluşur.
- İşlem, gıda ve gıda ile temas eden ambalaj materyallerinin yüzey dekontaminasyonu amacıyla kullanılır.
- Vurgulu ışıkla işlem gören gıdalar, amaçlanan teknik etkiyi gerçekleştirmek üzere makul olarak gereken minimum muameleyi almalıdır.
- Toplam kümülatif uygulama 12.0 J/cm<sup>2</sup>'yi aşmamalıdır.

Tekniğe ait araştırmalar 1970'li yıllarda başlasa da güvenilir ve uygun fiyatlı endüstriyel

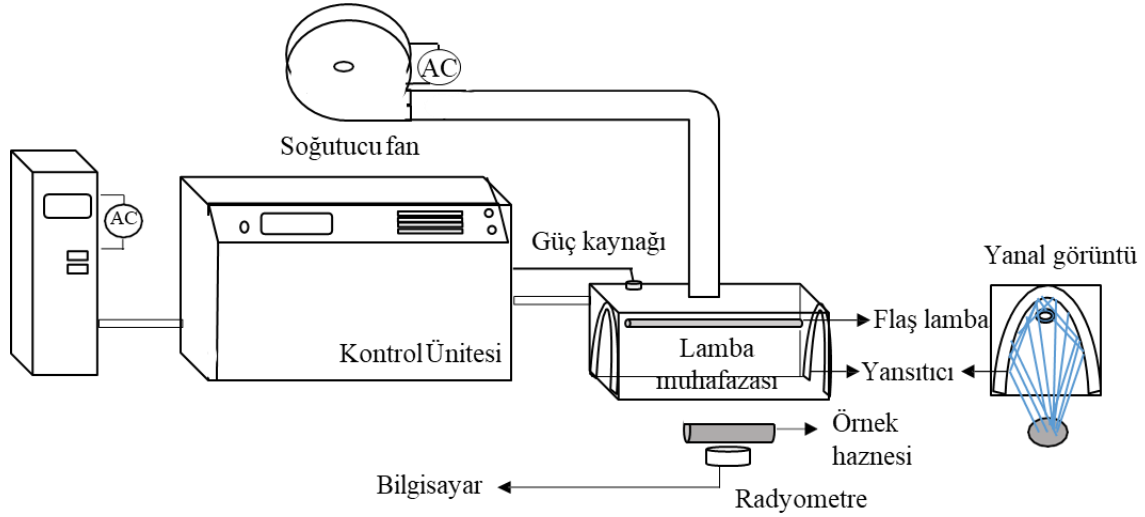
büyükteki ekipmanın eksikliği ve gıda özellikleri açısından ekipman optimizasyonunun gerekliliği nedeniyle endüstriyel kullanım sınırlı kalmıştır. Özellikle baharat, bulundurmış olduğu mikrobiyal yük ve mikotoksin içeriği nedeniyle iç piyasada ve ihracat esnasında yasal sınırlamalardan dolayı ülkeler tarafından kabul edilmemektedir. Baharatlara uygulanan farklı dozlarda vurgulu ışık uygulamalarında mikrobiyal inaktivasyon sağlanmakla birlikte, kalite özelliklerinde bozulma tespit edilmiştir. Tüm bunlar sebebiyle ekonomik ve organoleptik özelliklerde minimum kayıpla sonuçlanacak çalışmalara ağırlık verilmesi gerekmektedir (Ergin ve Zorba, 2015). Farklı meyve ve sebzelerde mikrobiyal yükün azaltılmasında kullanılacak olan vurgulu ışık uygulamasının geleneksel yöntemlere alternatif olabilmesi adına çalışmalara ağırlık verilmektedir (Özturan ve Erkan, 2012).

Kullanılan geniş ışık spektrumundan dolayı bu tekniği tanımlamak için bilimsel literatürde çeşitli

kısaltmalar kullanılmaktadır: vurgulu UV ışık (PUV), yüksek yoğunluklu geniş spektrumlu vurgulu ışık (BSPL), vurgulu beyaz ışık (PWL), yoğun ışık vurgusu (ILP) ve yüksek yoğunluklu vurgulu UV ışık (HIPL) (Vargas-Ramella vd., 2021).

### Vurgulu Işık Sistemi

Mühendislik teknolojileri kullanılarak geliştirilen bir vurgulu ışık sistemi temel olarak 3 ana kısımdan oluşur; yüksek voltajlı bir güç kaynağı, enerji depolayan bir kapasitör ile spektrum ve vurgu şeklini belirleyen dönüştürücüyü içeren bir kontrol ünitesi ve flaş lamba (Elmnasser vd., 2007; Vollmer vd., 2020; Vargas-Ramella vd., 2021). Sistem genel hatlarıyla Şekil 1’de görüldüğü gibidir (Vollmer vd., 2020; Vargas-Ramella vd., 2021). Sistemde aşırı ısınmanın önüne geçmek üzere bir soğutucu fan da dâhil edilmiştir. Öte yandan, işlem gören örnek üzerine düşen ışık şiddetini belirlemek üzere bir radyometre kullanılabilir.



Şekil 1. Vurgulu ışık sistemi (Vollmer vd., 2020; Vargas-Ramella vd., 2021’den uyarlanmıştır)

Bu sistemde enerji, bir saniyeden daha kısa bir süre boyunca yüksek güçlü kapasitörde depolanır ve buradan çok daha kısa sürede (nanosaniye – milisaniye) özel olarak tasarlanmış flaş lambaya salınır. Tipik bir vurgulu ışık lambası 100-1100 nm dalga boyu aralığında polikromatik radyasyon üretir. Ancak, dalga boyu aralığı ışık kaynağına göre değişebilir. Işık kaynağı olarak xenon veya

LED lambaların kullanıldığı çalışmalar mevcuttur. Lambaya iletilen yüksek enerji sayesinde ışınlanma yüzeyine yoğun bir ışık atımı gerçekleştirilir. Atım sayısı, 50 J/cm<sup>2</sup>’ye kadar enerji yoğunluğu ile saniyede 1 ila 20 vurgu olabilir (Bhagat vd., 2022). Vurgulu ışık sistemlerinde uygulanan spektrumlar, ultraviyole (UV): 200-400 nm, görülebilir ışık: 400-700 nm

ve kızılötesi ışık (IR): 700-1100 nm bölgelerini kapsamaktadır. İşlem sırasında sistem tarafından güneş ışığından 20000 kat daha yoğun bir spektrum sağlanır (Dunn vd., 1995; Elmnasser vd., 2007).

### Etki Mekanizması

Vurgulu ışığın inaktivasyon etkinliği, ışık şiddetine ( $J/cm^2$ ) ve gönderilen atım sayısına bağlı olarak farklılık gösterir (Vičić vd., 2003; Elmnasser vd., 2007; Marriot vd., 2018). Gerek opak gerekse şeffaf olan gıda yüzeyine vurgulu ışık uygulandığında, ürünün yapısı ve bileşimine bağlı olarak gelen ışınların bir kısmı yüzeyden yansır, bir kısmı nüfuz ettiği materyal katmanları tarafından soğurulur ve bir kısmı da kırılarak iç katmanlara ulaşır (dos Santos Aguilar, 2019). İşlem sonrası meydana gelen mikrobiyal inaktivasyonun sebebinin, soğurulan ışınların DNA üzerinde timin dimeri oluşturması (fotokimyasal), mikroorganizma hücrelerinin yerel olarak aşırı ısınması (fototermal) ve vurgu etkisinden kaynaklı (fotofiziksel) hasara yol açması gibi farklı mekanizmalar olduğu düşünülmektedir (Pataro vd., 2011; Dhar vd., 2021; Preetha vd., 2021). Vurgulu ışık teknolojisi her ne kadar ısı olmayan bir işleme yöntemi olarak kabul edilse de vurgulu ışığın kapsadığı UV ışığın bir kısmı ile IR spektrumunun bir kısmını içeren dalga boylarından kaynaklı olarak fototermal etki ortaya çıkmaktadır (Vargas-Ramella vd., 2021). Buna ek olarak, vurgulu ışığın bir diğer özelliği de fotosensitizasyon (ışığa duyarlılaşma) etkisidir. Bu etkinin ortaya çıkması için “fotosensitizer” denilen belirli başlı bazı fotoaktif bileşenlerin hedef mikroorganizma hücrelerinde birikmiş olması gerekmektedir. Fazlaca oksijen varlığında bu bileşenlerin ışıkla interaksyonu sonucu hücreler tahrip olmaktadır (Vargas-Ramella vd., 2021). Bu teknik sayesinde gıda kaynaklı patojen riski azaltılarak gıda güvenliği korunmakta ve gıdaların raf ömrü uzamaktadır (Bhavya ve Hebbar, 2017).

Meyve ve sebze sularına uygulanan vurgulu ışık uygulamasında etkili faktörler; uygulanacak doz, atım sayısı, yayılan ışık spektrumunun kompozisyonu, örneklerin ışık kaynağından uzaklığı, derinliği, rengi, opaklığı, viskozitesi,

ürünün akış koşulları, partikül bulunuşu, inoküle edilen mikroorganizma miktarı, işlem hücresinin geometrisi ve lamba sayısıdır (Pataro vd., 2011).

### VURGULU IŞIĞIN MEYVE VE SEBZE SUYU UYGULAMALARI

Çeşitli meyve ve sebze sularına vurgulu ışık uygulamasında farklı parametrelerin ele alındığı çalışmalar ve uygulanan işlemlerin mikrobiyal inaktivasyon, enzim inaktivasyonu, duyu kalite, besleyici değer ve fizikokimyasal özellikler üzerine etkileri bu bölümde ele alınmıştır.

#### Mikrobiyal İnaktivasyon

Mikroorganizma inaktivasyonu için geliştirilecek olan vurgulu ışık uygulama sisteminde mikroorganizma türü göz önünde bulundurulmalıdır (Palgan vd., 2011; Jiménez-Sánchez vd., 2017). İçeceklerdeki mikroorganizma sporlarında 6 log'dan fazla azalma sağlama potansiyeline sahip vurgulu ışık uygulaması ile ilgili literatürde mikrobiyal inaktivasyonun (bakteri, küf, maya ve virus) sağlanabildiği pek çok çalışma mevcuttur (Elmnasser vd., 2007; Marriot vd., 2018).

Preetha vd. (2021) Hindistan cevizi, portakal ve 1 mm derinliğe sahip ananas sularında farklı farklı sürelerde (0 ve 15 sn) ve dozlarda (0.18, 2 ve 5.6  $W/cm^2$ ) uygulanan vurgulu ışığın (100-1100 nm) *Escherichia coli* inaktivasyonu üzerine etkisini incelemişlerdir. Meyve suyu çeşidine göre en yüksek inaktivasyonun 5.6  $W/cm^2$  işlem dozunda gerçekleştiğini ve *E. coli* yükünde 4-log ile 5.33-log arasında azalma olduğunu raporlamışlardır. Ayrıca, vurgulu ışık işleminin bulanık meyve sularına göre Hindistan cevizi suyu gibi şeffaf sıvılarda daha yüksek verimliliğe sahip olduğu görülmüştür. Bu çalışmayla vurgulu ışık uygulamasının sıvı gıdalarda termal pastörizasyonun ikamesi olarak kullanılabilceği kanıtlanmıştır. Preetha vd. (2017) Hindistan cevizi suyunda geçmişte başka bir çalışma daha yapmıştır. Bu çalışmada ise, Hindistan cevizi suyu *E. coli*'yi etkisiz hale getirmek için meyve suyu tabakası derinliği (5, 10, 15 ve 20 mm), raf yüksekliği (5, 10 ve 15 cm), atım sayısı (60, 120, 180 ve 240 atım; atım aralığı: 40  $\mu s$ ) gibi farklı işlem parametreleri kullanılarak 4.8, 9.6, 14.4 ve

19.2 J/cm<sup>2</sup> enerjiye karşılık gelen dozlarda vurgulu ışığa (180-1100 nm) maruz bırakılmıştır. Sterilize edilen örnekler 10<sup>6</sup> KOB/ml düzeyinde *E. coli* aşılmıştır. 5 mm meyve suyu derinliğine sahip tabakaya 5 cm mesafeden 19.2 J/cm<sup>2</sup> ışık şiddetinde, 40 µs atım aralığında 240 flaş uygulanan örneklerde mikroorganizma sayısında 5.2 log seviyesine varan azalma görülmüştür. Çalışma sonunda minimum derinlik (2 mm), daha yakın mesafe (5 cm) ve daha yüksek darbe sayısı (240 flaş) ile daha fazla inaktivasyon sağlanabileceği belirtilmiştir. Ayrıca, mikroorganizma inaktivasyonunun vurgulu ışığa maruz kalan ürünün protein içeriğine bağlı olduğu ifade edilmiştir (Preetha vd., 2017).

Vollmer vd. (2020) vurgulu ışık (240-1100 nm) uygulamasının ananas suyunda doğal mikroflora, enzimatik aktivite ve fitokimyasal özellikler üzerine etkisini incelemişlerdir. Farklı voltajlarda (1.8, 2.1 ve 2.4 kV) ve farklı darbe sayılarında (360 µs atım aralığında, sırasıyla 30, 60 ve 120 s boyunca uygulanan 47, 94 ve 187 atım) vurgulu ışık örnekler üzerine uygulanmış olup, analiz sonuçları işlem görmemiş ve termal pastörize edilen örneklerden oluşan iki farklı grupta karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, 757 J/cm<sup>2</sup>den yüksek dozdaki (2.4 kV voltaj; darbe sayısı 94 veya 187) uygulamaların mikrobiyal inaktivasyonda oldukça başarılı olduğu, 1479 J/cm<sup>2</sup> değerleri ile aerobik mezofillerde, maya ve küf sayılarında en fazla 5 log azalma tespit edildiği raporlanmıştır. FDA'ya göre pastörizasyon ile gıda güvenliği sağlanması için en dirençli patojen sayısının 5 log azalmış olması gerekmektedir. Bu sebeple meyve suları ayrıca termal pastörizasyona tabi tutulmuştur. Bu iki yöntem sonuçları karşılaştırıldığında bromelain enzimi, C vitamini ve rengin korunması açısından vurgulu ışık uygulamasının pastörizasyona oranla daha üstün olduğu görülmüştür. Geleneksel termal muhafaza yöntemlerine göre vurgulu ışık teknolojisinin alternatif olabileceği ve uzun ömürlü pastörize içecekler yerine taze benzeri soğuk meyve sularının raf ömrünü uzatmak için kullanılabilmesi raporlanmıştır. Laboratuvar uygulamalarının endüstriyel seviyeye çıkarılabilmesi için ölçek büyütme çalışmalarının yapılması, bu çalışmalarda işlem uygulanmış

gıdaların depolama stabilitesine, raf ömrünün uzatılmasına ve gıda güvenliğinin garanti altına alınmasına odaklanılması gerektiği önerilmiştir.

Elma suyunda yapılan bir çalışmada; vurgulu ışık (200-1100 nm) (0.73 J/cm<sup>2</sup> ışık şiddeti, 155 ml/dakika akış hızı, 360 µs atım aralığında ve 3 darbe/s yoğunluğunda vurgulu ışık) ile ultrases kombine işleminin meyve suyunda mikrobiyal inaktivasyon, renk ve raf ömrü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Gerek tek başına vurgulu ışık gerekse ultrases ile kombine edilmiş işlem, taze sıkılmış meyve suyuna aşılınmış *E. coli* ATCC 35218, *Salmonella* Enteritidis MA44 ve *Saccharomyces cerevisiae* KE 162 kültürleri ile doğal florada azalmaya yol açmıştır. İnoküle edilen mikroorganizma sayısında tek başına vurgulu ışık uygulandığında 1.8 - 4.2-log arasında azalma sağlanırken, kombine sistemde 3.7-6.3 log arasında azalma rapor edilmiştir (Ferrario ve Guerrero, 2016). Oluşturulan kombine işleme yöntemiyle, işlenmiş ürünlerin depolanması sırasında maya ve küf gelişiminin geciktirildiği ve gıda güvenliğinin sağlandığı saptanmıştır (Ferrario ve Guerrero, 2016). Elma ürünleriyle ilişkilendirilen patulin mikotoksininin elma sularında detoksifikasyonu için gerçekleştirilen bir çalışmada ise meyve suyu içerisine glutatyon (GSH) ve demir (Fe<sup>+2</sup>) iyonları eklenmiştir. İyonların katalizör olarak yer aldığı bu kimyasal reaksiyonda patulin ve glutatyon arasında patulin-glutatyon konjugatları oluşturularak demir iyonları ile patulinin yıkımı hızlandırılmış ve vurgulu ışıkla (180-1100 nm, 0.4 J/cm<sup>2</sup> akış ve 8-64 J/cm<sup>2</sup> darbe sayısı) patulin indükte edilmiştir (Rodríguez-Bencomo vd., 2020). Ayrıca, literatürde vurgulu ışık uygulaması ile elma suyunda yapılan diğer çalışmalarda *Listeria monocytogenes* sayısında 6.69-log azalma (100-1100 nm, atım aralığı: 100-7000 µs; voltaj: 1000-3000 V; frekans: 0.1-20 Hz; enerji: 9 J/cm<sup>2</sup>/optik enerji darbesine veya 2433 J/elektrik enerji darbesine kadar; enerji yüzdesi: %0-100) (Malik, 2018) ve *Alicyclobacillus acidoterrestis* ATCC 49025 sporlarında 3-3.5 log KOB/ml'ye varan düzeyde inaktivasyon (200-1100 nm, 3 atım/s ve 0-71.6 J/cm<sup>2</sup>) sağlanabildiği tespit edilmiştir (Ferrario ve Guerrero, 2018). Genel olarak, frekansın, giriş voltajının, darbe süresinin ve enerji yüzdesinin

arttırılmasının test edilen koşullarda daha fazla mikrobiyal azalmaya yol açtığı saptanmıştır (Malik, 2018).

Kırmızı üzüm suyunda *E. coli* inaktivasyonu için vurgulu ışık (200-1100 nm) ile yapılan bir çalışmada üzüm suları sabit atım frekansı (0.5 Hz; atım sayısı/s) ve farklı değerlerde atım sayısı (10, 20, 40, 60, 80 ve 100), atım yoğunluğu (0.13, 0.40 ve 0.66 J/cm<sup>2</sup>/atım) ve sıvı akış hızlarına (0, 30 ve 60 ml/dk) maruz bırakılmıştır. *E. coli* sayısındaki azalma en çok 4.8-log KOB/ml olup bu azalmayı sağlayan optimum değerlerin 80 atım, 0.66 J/cm<sup>2</sup>/atım yoğunluğu ve 40 ml/dk akış olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmada artan yoğunluk ve atım sayıları ile inaktivasyonda artış olduğu ve ayrıca orta seviyedeki akış hızı ile en yüksek inaktivasyonun sağlandığı raporlanmıştır (Xu vd., 2019). Başka bir çalışmada ise 37 °C'de inkübe edilen havuç sularına 0, 1, 2, 4 ve 8 saatlik aralıklarla uygulanan vurgulu ışıkla (100-1100 nm) *E. coli* O157:H7 kontrolü sağlanmak istenmiştir. Havuç suyu hazırlanıp otoklav ile sterilize edildikten sonra havuç suyuna 5-6 log KOB/ml *E. coli* O157:H7 inoküle edilerek örnekler 37 °C'de inkübe edilmiştir. Bu örnekler 0.5 Hz (Hertz) frekans ve 500 J enerji düzeyinde farklı atım sayıları (a: 20, b: 25, c: 30) kullanılarak farklı zaman aralıklarıyla vurgulu ışık uygulanmıştır. İşlenerek 4 °C'de muhafaza edilen sebze sularında 4 gün boyunca mikroorganizma sayımı yapılmıştır. Denemeler sonucunda c grubunda 4 saatlik inkübasyon sonunda *E. coli* O157:57'nin sayısının 5.56 log KOB/ml'den 1.02'ye düştüğü belirlenmiştir. 8 saatten sonra ise *E. coli* mikrobiyal yükünün sayılamayacak kadar az olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, a grubunun inaktivasyon için yeterli olması sebebiyle bu grupla çalışmaya devam etmişlerdir. Çalışma sonunda *E. coli* O157:57'nin morfolojisinin ve hücre bütünlüğünün ciddi hasar gördüğü; içeriğindeki protein, ATP ve DNA'nın sırasıyla % 32.49, % 59.47 ve % 56 oranında azaldığı, bu tekniğin *E. coli* O157:57'nin bazı önemli enzimlerini ve metabolizmasını engellediği, vurgulu ışığın *E. coli* O157:57 sterilizasyonunda etkili bir yöntem olabileceği ortaya konmuştur (Zhu vd., 2019).

Ülkemizce tüketilen şalgam suyunda da yapılan bir çalışma mevcuttur. *Candida inconspicua* geleneksel üretilen şalgam suyunda bozulmaya sebep olan mayadır. Buna istinaden şalgam sularına yine bu ürünlerden izole edilen *Candida inconspicua* aşılansmıştır. Farklı mesafe (5, 8 ve 13 cm) ve farklı süre (5, 15, 30, 45 ve 60 sn) kombinasyonunda vurgulu ışık (200-1000 nm) uygulaması yapılmıştır. 60 sn boyunca 5 cm mesafeden vurgulu ışıkla işlem gören örneklerde maya sayısında 2.8-log düzeyine varan azalma sağlanmıştır. Fermente edilmiş içeceklerde maya inaktivasyonunda vurgulu ışığın kullanılabilceği anlaşılmıştır (Karaoğlan vd., 2017).

FDA'nın yayınlamış olduğu yönetmeliklere göre HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points; Tehlike Analizleri ve Kritik Kontrol Noktaları) programı dahilinde meyve suyu pastörizasyonunda hedef mikroorganizma sayısında 5 log azalma sağlanması gerekmektedir. Ancak, vurgulu ışık uygulamasının patojen inaktivasyonunda bu etkiyi gerçekleştirilebilmesi için tek başına yetersiz olabileceği, ısı işlemlerle desteklendiği takdirde hedef mikroorganizmada 5 log azalmanın sağlandığı çalışmalar da mevcuttur (Anonymous, 2001; Kaya, 2018; Kaya vd., 2020). Kaya vd. (2020) ılımlı ısı işlemle desteklenmiş vurgulu ışığın (180-1100 nm) koruk suyunda bozulmanın ana kaynağı olan mayalardan *Saccharomyces cerevisiae* inaktivasyonu ve depolama sırasında kalite özellikleri üzerine etkisini incelemek için yaptıkları çalışmada koruk suyunu başlangıç mikroorganizma yükü 10<sup>6</sup> KOB/ml olana kadar *S. cerevisiae* ile aşılanslardır. 5 log azalmayı sağlayacak en iyi prosese karar verilmesi için aşılansmış koruk suyunu ayrı ayrı vurgulu ışık (tabaka derinliği: 1, 3, 5 mm, lambadan uzaklık: 5, 10 cm ve atım sayısı: 0-50 atım), ılımlı ısı işlem ve vurgulu ışık-ılımlı ısı işlem kombinasyonuna tabi tutmuşlardır. Vurgulu ışık ile 34 J/cm<sup>2</sup>lik bir doz (1 mm katman derinliği, 5 cm mesafe, 50 darbe) uygulanarak 0.96±0.27-log CFU/mL düzeyinde bir azalma elde edilmiştir. Bu çalışmada, vurgulu ışığın tek başına *S. cerevisiae* inaktivasyonunda az etki gösterdiği, doz arttıkça inaktivasyonun artabileceği, mayanın tek başına uygulanan vurgulu ışığa karşı dirençli olduğu görülmüştür.

Ancak, vurgulu ışık-ılımlı ısı işlem kombinasyonu oluşturulduğunda FDA pastörizasyon gerekliliklerinde belirtilen miktarda inaktivasyon sağlanmıştır. Çeşitli denemeler sonucunda meyve suyu renginde minimum değişim oluşturan en iyi pastörizasyon koşulları  $6.12 \text{ J/cm}^2$ ,  $47 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 8.5 dk olarak tespit edilmiştir. Bu koşullarla çalışıldığı takdirde hedef mikroorganizma sayısında 5 log KOB/ml azalma sağlandığı görülmüştür. Vurgulu ışığın ılımlı ısı işlemle birlikte kullanımına yönelik uygun bir ekipmanla kombine edilmesi ile asidik berrak meyve sularında pastörizasyon işlemine alternatif olarak etkili olabileceği bildirilmiştir (Anonymous, 2001).

### Enzim İnaktivasyonu

Meyve ve sebze sularında görülen mikrobiyal bozulmanın yanı sıra, enzimatik bozulmalar da kalitede önemli kusurlara yol açmaktadır. Kaliteyi olumsuz etkileyen enzimlerden polifenoloksidaz (PPO), peroksidaz (POD), lipoksigenaz (LOX) ve pektinmetilesteraz (PME) enzimleri, bu ürünlerin duyu ve fiziksel özelliklerini önemli oranda değiştirmektedir. PPO enzimi, meyve ve sebze ürünlerinde bulunan fenolik maddeleri okside ederek rengin esmerleşmesine yol açmaktadır. Enzim etkisiyle monofenoller sırasıyla önce *o*-difenollere ve reaksiyon ilerledikçe *o*-kinonlara okside olurlar. Oluşan *o*-kinonlar ise kendiliğinden meydana gelen reaksiyonlar sonucu rengin esmerleşmesinden sorumlu olan melaninlerin teşkil etmesine neden olmaktadır (Dhar vd., 2021). POD enzimi de PPO gibi oksidoredüktazlar sınıfına dahil bir enzim olmakla birlikte, meyve ve sebze sularında enzimatik esmerleşmeye, organoleptik ve besinsel niteliklerde azalmaya yol açmaktadır (Wang vd., 2022). LOX, serbest yağ asitleri varlığında meydana gelen karotenoidlerin oksidasyonu açısından önemi olan bir enzimdir (Silva vd., 2020). PME ise, pektinin yapısındaki metanol ve galakturonik asit arasında bulunan ester bağlarını koparma yoluyla pektinin esterleşme derecesini düşürerek ve bununla birlikte, meyve ve sebze sularında var olan kalsiyum iyonlarıyla beraber pektin çökmesini hızlandırarak etki göstermektedir (Illera vd., 2018; Pellicer vd., 2020). Böylece, bulanık meyve

sularında satın almayı olumsuz etkileyecek şekilde berraklaşmaya ve konsantre meyve sularında jelleşmeye neden olmaktadır (Illera vd., 2018). Dolayısıyla, bu enzimlerin inaktivasyonu ürün kalitesi açısından önem arz etmektedir.

Enzimler temel olarak protein yapısındadır. Bundan ötürü, enzim inaktivasyonu mekanizması her enzime spesifik olmakla beraber, enzimlerin yapılarında bulunan aminoasit kompozisyonuna ve proteinlerin üç boyutlu yapılarına bağlıdır (Illera vd., 2018). Vurgulu ışık teknolojisinde enzim inaktivasyonu proteinlerin yapısında meydana gelen değişikliklerden kaynaklanır (Kwaw vd., 2018). Proteinler, 280 nm dalga boyundaki ışınları güçlü bir şekilde absorbe ederler (Vargas-Ramella vd., 2021). Bunun sonucunda, proteinlerin dördüncül, üçüncül ve ikincil yapılarında fotokimyasal ve fototermal yolla bir açılma, ayrışma ve fonksiyonel gruplarda yığın oluşumu, protein oksidasyonu, prostetik grupların ayrılması ve  $\alpha$ -heliks içeriğinin kaybı gibi farklı olguların kombine bir etkisi olarak enzim inaktivasyonu ortaya çıkar (Dhar vd., 2021; Bhagat vd., 2022; Chakraborty vd., 2022).

Bhagat vd. (2022) yaptıkları çalışmada nar suyunda vurgulu ışık (100-1100 nm) uygulaması (2.7 kV, 90 s; toplam doz  $761.4 \text{ J/cm}^2$ ) sonucunda PPO ve POD enzim aktivitelerinde sırasıyla %40.8 ve %37 oranında azalma sağlamışlardır. Uygulanan işlem dozu arttıkça enzim inaktivasyonunun da arttığı görülmüştür. En şiddetli işlem koşullarında (2.9 kV, 5 dakika; toplam doz  $2988 \text{ J/cm}^2$ ) her iki enzimin de tamamen inaktive olduğu tespit edilmiştir. Başka bir çalışmada ise, Hint hünnapı, karambola meyvesi ve sofralık siyah üzüm sularından hazırlanan bir meyve suyu karışımına 600 ila  $5000 \text{ J/cm}^2$  arasında uygulanan farklı vurgulu ışık işlem dozları (100-1100 nm, 3 Hz darbe frekansı, akış hızı: 18, 24 ve  $30 \text{ W/cm}^2$ , atım aralığı: 144, 188 ve  $236 \mu\text{s}$ ) ve termal işlem koşullarında ( $90 \text{ }^\circ\text{C}$ , 1-5 dk) PPO ve POD enzim aktivitelerindeki değişim takip edilmiştir (Chakraborty vd., 2022). Bu koşullarda, uygulanan vurgulu işlem dozuna göre enzim inaktivasyon düzeyleri PPO ve POD için sırasıyla % 56 - %100 ve %67 - %100 arasında değişiklik



göstermiştir. Bununla birlikte, 90 °C' de 5 dakika süren ısı işlem ardından herhangi bir PPO ve POD aktivitesinin tespit edilmediği rapor edilmiştir. Buna göre, her iki enzimin de termal işleme kıyasla vurgulu ışık işlemine karşı belli oranda direnç sergilediği sonucuna varılmıştır (Chakraborty vd., 2022). Vollmer vd. (2020) tarafından yürütülen bir çalışmada ise, ananas suyunda PPO ve POD enzim aktivitelerinin yanı sıra, sağlığı geliştirici etkiye sahip ve bazı proteolitik enzimlerin bir karışımı olan bromelain enzimi aktivitesinin vurgulu ışık uygulaması ve termal işlemden nasıl etkilendiği incelenmiştir. Bromelain aktivitesinin vurgulu ışık uygulamasından etkilenmediği saptanırken, PPO ve PDO aktivitelerinde en şiddetli işlem koşullarında (2.4 kV, 187 vurgu, toplam 1479 J/cm<sup>2</sup> işlem dozu) sırasıyla %50 ve %42 düzeylerinde azalma sağlanmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar da oksidoredüktazların vurgulu ışık uygulamasına karşı dirençli enzimler olduğunu ortaya koymaktadır. Bunun nedeninin de termal işlem ve vurgulu ışık uygulamalarının enzim inaktivasyon mekanizmalarındaki farklılık olduğu öne sürülmektedir (Vollmer vd., 2020). Pellicer vd. (2020) yayınladıkları raporlarında PME enziminin, PPO ve POD enzimine göre geleneksel ve yeni geliştirilen gıda işleme yöntemlerine karşı daha dirençli bir enzim olduğunu bildirmiştir. Bunu destekler nitelikte, Caminiti vd. (2012) tarafından sunulan rapora göre uygulanan yüksek yoğunluklu vurgulu ışık işleminin (toplam doz 3.3 J/cm<sup>2</sup>) portakal-havuç suyu karışımında bulunan PME aktivitesinde önemsiz düzeyde bir azalma sağladığı gösterilmiştir. Bununla birlikte, başka bir çalışmada herhangi bir katı parçacık içermeyen ve düşük absorbans değerine sahip model süspansiyonlara uygulanan 2.5 kV, 60 vurgu ve toplam 128 J/cm<sup>2</sup> işlem dozunda PME enzim aktivitesinde %90 azalma bulunmuştur (Pellicer vd., 2020). Bu düzeyde bir azalma bazı meyve suları için kabul edilebilir olsa da gerçekte meyve sularının daha bulanık oluşu ve parçacık içeriği işlem etkinliğini olumsuz şekilde etkileyecektir. Bu sebeple, gerçek meyve suyu numunelerinde istenen azalmayı elde etmek için daha yüksek işlem dozunun uygulanması gerekeceği yapılan çalışmada ortaya konulmuştur (Pellicer vd.,

2020). Aynı araştırmacılar aynı koşullardaki benzer bir çalışmayı, meyve ve sebzelerde pektinin parçalanmasından sorumlu olan poligalakturonaz (PG) enzimi üzerinde gerçekleştirmiştir (Pellicer vd., 2019). Bu durumda da 128 J/cm<sup>2</sup> işlem dozunda (dakikada 1 darbe olmak üzere toplam 60 darbe) PG aktivitesinde %90 üzerinde azalma elde edilmiştir. Aynı koşulların PPO ve POD enzimlerine de uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, PG enziminin bu üç enzim içerisinde vurgulu ışık işlemine karşı en dirençli enzim olduğu belirtilmiştir (Pellicer vd., 2019). Sonuç olarak, literatürde vurgulu ışık tekniğinin meyve ve sebze sularında çeşitli enzimlerin inaktivasyonu üzerine etkinliğinin değerlendirildiği çalışmalar az sayıdadır. Var olan farklı çalışmalara bakılarak, tek başına vurgulu ışık tekniği ile enzim aktivitelerinde dikkate değer bir azalma sağlanabildiği görülmektedir. Ancak, meyve ve sebze suyu kalitesi açısından sorun yaratan enzimlerin ürün kalite güvencesi açısından yeterli düzeyde inaktive edilebilmesi için tek bir işleme yönteminin yoğun koşullarda kullanılması yerine, vurgulu ışık ile farklı teknolojilerin kombine halde uygulanmasının daha yararlı olacağı sonucuna varılmaktadır.

### Fizikokimyasal Özelliklere Etkisi

Meyve ve sebze sularının mikrobiyal stabilitesi ve daha uzun süreyle tüketilmeye uygun nitelikte kalabilmesi endüstriyel içecek üretimi açısından çok önemli kalite parametreleridir (Pohl vd., 2022). Bunu temin edecek yenilikçi işleme tekniklerinin geliştirilmesinde, uygulanacak işlemin ürünün tekstürü, tadı, aroması ve görsel kalitesi üzerine olumsuz etkilerinin olmamasına dikkat edilir. Bu amaçla genellikle, uygulanan işlemin meyve ve sebze sularının pH değeri, titre edilebilir asitliği, toplam suda çözünür kuru maddesi, rengi, türbiditesi ve elektriksel iletkenliği gibi farklı fizikokimyasal özellikleri üzerinde yarattığı değişimler takip edilmektedir (Pohl vd., 2022).

Elma sularında gerçekleştirilen uygulamalarda vurgulu ışığın bu ürün grubunda fiziksel ve kimyasal olumsuzluğa sebebiyet vermediği raporlanmıştır (Taştan, 2019). Benzer şekilde,

Kaya vd. (2020)'nin ılımlı ısıll işleme desteklenmiş vurgulu ışığın koruk suyunda etkilerini incelediği çalışmada termal pastörize ürünle kıyaslandığında yapılan bu işlemin fizikokimyasal özelliklerde (pH, °Briks, titrasyon asitliği) önemli bir değişiklik oluşturmadığı tespit edilmiştir. Preetha vd. (2017) de Hindistan cevizi suyunda yaptıkları çalışmada farklı değerlerde denedikleri vurgulu ışık uygulaması sonucunda ürünün pH değeri, °Briks ve renk parametrelerinde işlem görmemiş ürüne kıyasla herhangi bir fark bulunmamıştır. Ürün özelliklerinden ödün verilmeden bu yöntemin güvenle kullanılabilceği ifade edilmiştir. Bununla beraber, Karaoglan vd. (2019) yaptıkları bir çalışmada vurgulu ışık uygulamasının fermente edilen şalgam suyunun antosiyanin degradasyonu kinetiği ve ürünün fizikokimyasal özelliklerinin bozulma kinetiği üzerine etkilerini araştırmışlardır. Yöntem farklı mesafe (5, 8, 13 cm) ve süreler (5, 15, 30, 45, 60 sn) kullanılarak uygulanmıştır. Her farklı uygulamada ürünün pH değerinin, toplam asitliğinin (% laktik asit), parlaklık, renk tonu ve yoğunluğu ile renk bileşenleri dağılımının değiştii görülmüştür. Uzun uygulama süresi ve kısa mesafe işlemlerde parlaklık, sarı ve mavi renk artış gösterirken, kırmızı renkte azalma gözlenmiştir. Uygulama zamanına bağlı olarak pH değerinin düştüğü ve artan mesafe ile birlikte toplam asitlik içeriğinin de artışa geçtiği görülmüştür. Vollmer vd. (2020) ise vurgulu ışık uygulamasının ananas suyunda meydana getirdiği fizikokimyasal değişiklikleri incelemişlerdir. Üründe renk kapasite kaybının minimum düzeyde kaldığı ve ananas furanonlarında azalma olduğu görülmüştür.

### **Besin Bileşenleri Üzerine Etkisi**

Tüketicilerin tazeye en yakın nitelikte, yüksek kalitede, güvenli ve fonksiyonel meyve ve sebze sularına artan talebi, araştırmacıları ürünün fizikokimyasal özelliklerine ek olarak, antioksidan kapasite, C vitamini içeriği ve toplam fenolik madde miktarı gibi besinsel açıdan değerli biyoaktif bileşenlerini de değiştirmeyecek ılımlı işleme yöntemleri geliştirmeye itmiştir (Pohl vd., 2022). Son yıllarda vurgulu ışık uygulaması, meyve sularının mikrobiyal güvenliğini sağlamada ve besin maddelerini daha iyi muhafaza etmede

iyi sonuçlar veren bir ısıll olmayan işleme tekniği olarak karşımıza çıkmaktadır (Bhagat vd., 2022). Literatürde vurgulu ışık uygulamasının yaban turpu (Wang vd., 2017), süt (Orcajo vd., 2019) ve taze ricotta peyniri (Ricciardi vd., 2020) ürünlerinde mevcut proteinler üzerine doğrudan veya dolaylı etkileri araştırmış olmasına rağmen, meyve ve sebze sularında besin içeriğinde meydana getirdiği değişiklik ile ilgili araştırma neredeyse yok denecek kadar azdır. Bununla birlikte, yapılan literatür incelemesinde vurgulu ışık uygulamasının meyve ve sebze içeren fermente dut suyu, şalgam suyu, ananas suyu ve açai suyu gibi bazı içeceklerde biyoaktif bileşenler üzerine etkisinin incelendiği birkaç araştırmaya rastlanmıştır (Kwaw vd., 2018; Karaoglan vd., 2019; Vollmer vd., 2020; Linhares vd., 2020). Örneğin, laktik asitle fermente edilmiş dut suyunda ultrasonikasyon ve vurgulu ışık işleminin antioksidan aktiviteleri ve fenolik bileşen konsantrasyonunu üzerindeki etkisini tespit etmek için yapılan çalışmada iki sistem kombin uygulandığında toplam fenolik, flavonoid, antosiyanin konsantrasyonlarının önemli bir ölçüde geliştii görülmüştür. Ultrasonikasyon işlemine kıyasla vurgulu ışık tek başına uygulandığında fenolik ve antioksidan özelliklerde daha az artış olduğu, en yüksek performansın ise önce vurgulu ışığın uygulandığı kombine sistemde olduğu görülmüştür (Kwaw vd., 2018). Karaoglan vd. (2019) ise vurgulu ışık uygulamasının fermente edilen şalgam suyunda antosiyanin içeriğini ve fizikokimyasal özelliklerdeki değişimlerin bozulma kinetiğini araştırdığı çalışma sonucunda antosiyaninlerde en fazla %63 azalma tespit etmiştir. Her farklı uygulamada ürünün monomerik antosiyanin içerik dağılımının değiştii görülmüştür. Uzun uygulama süresi ve kısa mesafe işlemlerde antosiyanin yıkımı artış göstermiştir. Buna karşın, toplam fenolik içeriği değişmemiştir. Bu çalışmayla vurgulu ışık uygulamasının yüksek antosiyanin içeriğine sahip ve renk açısından zengin içeceklerde fizikokimyasal özellikleri olumsuz yönde etkileyebileceği görülmekle beraber, lamba mesafesi, işlem süresi ve absorblanan enerji miktarı dikkate alındığı takdirde yöntemin şalgam suyunda hala bir alternatif olarak kullanılabilceği bildirilmiştir.

Vollmer vd. (2020) vurgulu ışık uygulaması ile ananas suyunda yaptıkları çalışma sonucunda antioksidan kapasite minimum düzeyde etkilenirken, fenolik bileşiklerde azalma olduğunu raporlamışlardır. Kontrol örneği olarak incelenen termal yolla pastörize edilen üründe şaşırtıcı bir şekilde fenolik bileşiklerin korunduğu tespit edilmiştir. Termal pastörizasyon işlemi ve vurgulu ışık uygulaması kıyaslandığında ışınlama işleminin ananas suyunda daha fazla C vitamini kaybına sebep olduğu görülmüştür.

Açai suyunda yapılan bir araştırmada Linhares vd. (2020) termal ve termal olmayan işlemlerin üründeki bileşim, stabilite ve biyoaktif bileşikler üzerine etkisini incelemişlerdir. Termal olmayan işlemlerden vurgulu ışık uygulamasının üründe aminoasit, betain ve şeker içeriğini (glukoz ve fruktoz) artırdığı görülmüştür.

### Duyusal Kaliteye Etkisi

Ürünlerin tüketiciler tarafından kabul edilmesi duysal özellikler bakımından beğenilip beğenilmemesine bağlıdır ve duysal özellikler koku, doku ve lezzet özelliklerinden oluşur (Jaworska vd., 2005). Vurgulu ışık uygulamasının, ürünlerin duysal kalitesinde meydana getirdiği değişikliklerin incelendiği birçok çalışma literatürde yerini almıştır (Tomasevic ve Rajkovic, 2015). Ferrario ve Guerrero (2016) elma suyunda gerçekleştirilen vurgulu ışık-ultrases kombine işleminin depolama sırasında ürünlerde rengin kahverengileşmesini engellediği, gerçekleştirilen duysal testlerde ürünün taze sıkılmış meyve suyu olarak algılandığı, raf ömrünün 6 gün olarak belirlendiği görülmüştür. Kaya vd. (2020) yaptıkları çalışmada hafif ısı ile desteklenmiş vurgulu ışığın koruk suyu renginde minimum renk değişimi oluşturan ve kalite özelliklerini koruyan pastörizasyon koşullarını (6.12 J/cm<sup>2</sup>, 8.5 dk, 47 °C) belirlemiştir. Ayrıca ürünün optik özellikleri raf ömrü boyunca çok az değişime uğramıştır. Termal pastörize edilmiş örneklerin raf ömrü 2 hafta ile sınırlı iken kombine işlem görmüş örneklerde raf ömrünün oda sıcaklığında bile 6 haftaya kadar sürdüğü gözlenmiştir. Vurgulu ışık işleminin raf ömrünü artırdığı görülmüştür. Bir başka çalışmada ise frekans ve enerji değerleri

aynı olmak üzere (0.5 Hz ve 500 J) farklı atım sayıları (a: 20, b: 25 ve c: 30) ile vurgulu ışık uygulaması yapılan havuç suyunda renk, lezzet, tat ve genel kabul edilebilirlik gibi duysal özelliklerin her 3 grupta da (a, b ve c) önemli bir değişikliğe uğramadığı görülmüştür (Zhu vd., 2019).

### SONUÇ

Yapılan literatür taraması sonucu vurgulu ışık uygulamasının meyve ve sebze suları proseslerinde mikrobiyal inaktivasyon sağladığı, ürünlerin fizikokimyasal ve duysal kalitesinde fazla değişiklik meydana getirmediği, ürünlerin raf ömürlerini artırdığı, hızlı bir yöntem olduğu, su tasarrufu sağladığı, geleneksel termal yöntemlere kıyasla avantajlı olduğu görülmüştür. Ancak, bu yöntemin içeceklerin besin kalitesi üzerine etkilerinin detaylı bir şekilde incelenip raporlanmadığı dikkat çekmiştir. Vurgulu ışık uygulamasının olumlu etkilerinden dolayı daha çok içecek sektöründe ve özellikle berrak olan meyve ve sebze sularında termal yöntemlere alternatif bir potansiyele sahip olduğu ve hatta başka muhafaza yöntemleri ile kombine edilip verimliliğinin artabileceği görülmüştür. Endüstriyel uygulamalarda vurgulu ışık ile ürün kalitesinden ziyade mikrobiyal dekontaminasyon üzerinde durulduğu ve daha çok meyve suyu gibi şeffaf ve berrak sıvılarda çalışıldığı görülmüştür. Yapılan çalışmalarda, endüstriyel uygulamaların henüz çok yaygın olmadığı, artırılması için daha büyük çapta çalışmalara ihtiyaç olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle, vurgulu ışık uygulamasının endüstriyel alanda kullanılabilmesi için en uygun işlem koşullarının hesaplanması ve besinlerde meydana gelebilecek değişikliklerin incelenmesine yönelik daha fazla çalışma yapılması gerektiği düşünülmektedir.

### KAYNAKLAR

Abuagela, M.O, Iqdam, B.M., Mostafa, H., Marshall, S.M., Yagiz, Y., Marshall, M.R., Gu, L., Sarnoski, P. (2019). Combined effects of citric acid and pulsed light treatments to degrade B-aflatoxins in peanuts. *Food and Bioprocess Processing* 117: 396-403, doi: 10.1016/j.fbp.2019.08.011.

- Aksu, M.İ., Erdemir, E., Turan, E., Sat, İ.G. (2020). Effects of red beet extracts on protein and lipid oxidation, colour, microbial, sensory properties and storage stability of Turkish pastırma. *Journal of Stored Products Research* 89: 101721, doi: 10.1016/j.jspr.2020.101721.
- Alves Filho, E.G., Silva L.M.A., de Brito, E.S., Wurlitzer, N.J., Fernandes, F.A.N., Rabelo, M.C., Fonteles, T.V, Rodrigues, S. (2018). Evaluation of thermal and non-thermal processing effect on non-prebiotic and prebiotic acerola juices using  $^1\text{H}$   $q\text{NMR}$  and GC-MS coupled to chemometrics. *Food Chemistry* 265: 23-31, doi: 10.1016/j.foodchem.2018.05.038.
- Anonymous (1996). Subpart B: Radiation and radiation Sources: Pulsed light for the treatment of food. Food and Drug Administration (FDA) Regulations 21 CFR Part 179 of 15 August 1996.
- Anonymous (2001). Hazard analysis and critical control point (HACCP); Procedures for the safe and sanitary processing and importing of juice. Food and Drug Administration (FDA). Washington DC: Federal Register. 6137-6202 p of 19 January 2001.
- Bhagat, B., Chakraborty, S. (2022). Potential of pulsed light treatment to pasteurize pomegranate juice: Microbial safety, enzyme inactivation, and phytochemical retention. *LWT - Food Science and Technology* 159: 113215, doi: 10.1016/j.lwt.2022.113215.
- Bhavya, M.L., Hebbar, H.U. (2017). Pulsed light processing of foods for microbial safety. *Food Quality and Safety* 1(3): 187-201, doi: 10.1093/fqsafe/fyx017.
- Blasco, R., Esteve, M.J., Frigola, A., Rodrigo, M. (2004). Ascorbic acid degradation kinetics in mushrooms in a high-temperature short-time process controlled by a thermoresistometer. *LWT - Food Science and Technology* 37(2): 171-175, doi: 10.1016/j.lwt.2003.08.003.
- Bevilacqua, A., Petruzzi, L., Perricone, M., Speranza, B., Campaniello, D., Sinigaglia, M., Corbo, M.R. (2017). Nonthermal Technologies for fruit and vegetable juices and beverages: Overview and advances. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 17(1): 2-62, doi: 10.1111/1541-4337.12299.
- Caminiti, I.M., Noci, F., Morgan, D.J., Cronin D.A., Lyng, J.G. (2012). The effect of pulsed electric fields, ultraviolet light, or high intensity light pulses in combination with manothermosonication on selected physico-chemical and sensory attributes of an orange and carrot juice blend. *Food and Bioprocess Technology* 90(3): 442-448, doi: 10.1016/j.fbp.2011.11.006.
- de Castro, D.R.G., Mar, J.M., da Silva, L.S., da Silva, K.A., Sanches, E.A., de Araújo Bezerra, J., Rodrigues, S., Fernandes, F.A.N., Campelo, P.H. (2020). Dielectric barrier atmospheric cold plasma applied on camu-camu juice processing: Effect of the excitation frequency. *Food Research International* 131: 109044, doi: 10.1016/j.foodres.2020.109044.
- Chakraborty, S., Mahale, S., Dhar, R., Basak, S. (2022). Development of a mixed fruit beverage and pulsed light treatment thereof to obtain a microbially safe and enzymatically stable product. *Food Bioscience* 45: 101508, doi: 10.1016/j.fbio.2021.101508.
- Chen, D., Wiertzema, J.R., Peng, P., Cheng, Y., Wang, Y., Liu, J., Ma, Y., Mosher, W., Kang, M., Min, M., Chen, P., Baumler, D.J., Chen, C., Lee, L., Vickers, Z., Feirtag, J., Ruan, R. (2020). Catalytic intense pulse light inactivation of *Cronobacter sakazakii* and other pathogens in non-fat dry milk and wheat flour. *Food Chemistry* 33: 127420, doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127420.
- Denoya, G.I, Pataro, G., Ferrari, G. (2020). Effects of postharvest pulsed light treatments on the quality and antioxidant properties of persimmons during storage. *Postharvest Biology and Technology* 160(14): 111055, doi: 10.1016/j.postharvbio.2019.111055.
- Dhar, R., Basak, S., Chakraborty, S. (2022). Pasteurization of fruit juices by pulsed light treatment: A review on the microbial safety, enzymatic stability, and kinetic approach to process design. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 21(1): 499-540, doi: 10.1111/1541-4337.12864.

- Dunn, J., Ott, T., Clark, W. (1995). Pulsed-light treatment of food and packaging. *Food Technology* 49(9): 95-98.
- Elmnasser, N., Guillou, S., Leroi, F., Orange, N., Bakhrouf, A., Federighi, M. (2007). Pulsed-light system as a novel food decontamination technology: A review. *Canadian Journal of Microbiology* 53(7): 813–821, doi: 10.1139/w07-042.
- Ergin, E.A., Zorba, N.N.D. (2015). Baharatın mikrobiyel yükünü azaltmada kullanılan yeni yöntemler. *Gıda* 40(4): 241-248, doi: 10.15237/gida.GD14070.
- Ferrario, M., Guerrero, S. (2016). Effect of a continuous flow-through pulsed light system combined with ultrasound on microbial survivability, color and sensory shelf life of apple juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 34: 214-224, doi: 10.1016/j.ifset.2016.02.002.
- Ferrario, M.I., Guerrero, S.N. (2018). Inactivation of *Alicyclobacillus acidoterrestis* ATCC 49025 spores in apple juice by pulsed light. Influence of initial contamination and required reduction levels. *Revista Argentina de Microbiología* 50(1): 3-11, doi: 10.1016/j.ram.2017.04.002.
- Güven, E., Yıldız, H. (2016). Isıl olmayan yeni gıda muhafaza tekniklerinin sanayi uygulamaları-1. *Gıda* 41(4): 235-242.
- Hakguder-Taze, B., Unluturk, S. (2018). Effect of postharvest UV-C treatment on the microbial quality of 'Şalak' apricot. *Scientia Horticulturae* 233: 370-377, doi: 10.1016/j.scienta.2018.02.012.
- Heinrich, V., Zunabovic, M., Varzakas, T., Bergmair, J., Kneifel, W. (2016). Pulsed light treatment of different food types with a special focus on meat: A critical review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 56(4):591-613.
- Huang, G., Sun, W., Dai, C., Sun, L., Tang, Y., He, R., Ma, H. (2020). Sterilization of *Bacillus tequilensis* isolated from aerogenic vinegar by intense pulsed light. *LWT – Food Science and Technology* 118: 108811, doi: 10.1016/j.lwt.2019.108811.
- Illera, A.E., Sans, M.T., Benito-Román, O., Varona, S., Beltrán, S., Melgosa, R., Solaesa, A.G. (2018). Effect of thermosonication batch treatment on enzyme inactivation kinetics and other quality parameters of cloudy apple juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 47: 71-80, doi: 10.1016/j.ifset.2018.02.001.
- Izmirlioglu, G., Ouyang, B., Demirci, A. (2020). Utilization of pulsed UV light for inactivation of *Salmonella* Enteritidis on shelled walnuts. *LWT – Food Science and Technology* 134(10): 110023, doi: 10.1016/j.lwt.2020.110023.
- Jaworska, D., Waszkiewicz-Robak, B., Kolanowski, W., Swiderski, F. (2005). Relative importance of texture properties in the sensory quality and acceptance of natural yoghurts. *International Journal of Dairy Technology* 58(1): 39-46, doi: 10.1111/j.1471-0307.2005.00178.x.
- Jiménez-Sánchez, C., Lozano-Sánchez, J., Segura-Carretero, A., Fernández-Gutiérrez, A. (2017). Alternatives to conventional thermal treatments in fruit-juice processing. Part 2: Effect on composition, phytochemical content, and physicochemical, rheological, and organoleptic properties of fruit juices. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 57(3): 637-652, doi: 10.1080/10408398.2014.914019.
- Karaoglan, H.A., Keklik, N.M., Develi Işıklı, N. (2017). Modeling inactivation of *Candida inconspicua* isolated from turnip juice using pulsed UV light. *Journal of Food Process Engineering* 40(2): e12418, doi: 10.1111/jfpe.12418.
- Karaoglan, H.A., Keklik, N.M., Develi Işıklı, N. (2019). Degradation kinetics of anthocyanin and physicochemical changes in fermented turnip juice exposed to pulsed UV light. *Journal of Food Science and Technology* 56(1): 30-39, doi: 10.1007/s13197-018-3434-1.
- Kaya, Z. (2018). Development of different koruk (unripe grape) products by using several processing techniques. Doctoral Thesis, İzmir Institute of Technology, İzmir, Türkiye, 290 p.
- Kaya, Z., Unluturk, S., Martin-Belloso, O., Soliva-Fortuny, R. (2020). Effectiveness of pulsed light treatments assisted by mild heat on *Saccharomyces cerevisiae* inactivation in verjuice and evaluation of its quality during storage. *Innovative*

- Food Science and Emerging Technologies* 66: 102517, doi: 10.1016/j.ifset.2020.102517.
- Keklik, N.M, Elik, A., Salgin, U., Demirci, A., Koçer, G. (2020). Surface decontamination of white cheese by pulsed UV light treatment. *Journal of Food Safety and Food Quality* 71(4): 86-92, doi: 10.2376/0003-925x-71-86.
- Kramer, B., Wunderlich, J., Muranyi, P. (2019). Inactivation of *Listeria innocua* on packaged meat products by pulsed light. *Food Packaging and Shelf Life* 21: 100353, doi: 10.1016/j.fpsl.2019.100353.
- Koutchma, T. (2018). Pulsed light for food and beverages preservation, quality and functionality. In: *Reference Module in Food Science*, Knoerzer, K. (chief ed.), Elsevier, Canada, pp. 1-8, doi: 10.1016/B978-0-08-100596-5.22454-2.
- Koutchma, T. (2019). *Ultraviolet light in food technology: principles and applications*. CRC Press, New York, the U.S., 278 p. ISBN: 978-1-138-08142-0.
- Kwaw, E., Ma, Y., Tchabo, W., Apaliya, M.T., Sackey, A.S., Wu, M., Xiao, L. (2018). Impact of ultrasonication and pulsed light treatments on phenolics concentration and antioxidant activities of lactic-acid-fermented mulberry juice. *LWT – Food Science and Technology* 92: 61-66, doi: 10.1016/j.lwt.2018.02.016.
- Lee, S.H., Park, H.H., Min, S.C. (2020). Pulsed light plasma treatment for the inactivation of *Aspergillus flavus* spores, *Bacillus pumilus* spores, and *Escherichia coli* O157:H7 in red pepper flakes. *Food Control* 118: 107401, doi: 10.1016/j.foodcont.2020.107401.
- Linhares, M.F.D., Alves Filho, E.G., Silva, L.M.A., Fonteles, T.V., Wurlitzer, N.J, Brito, E.S., Fernandes, F.A.N., Rodrigues, S. (2020). Thermal and non-thermal processing effect on açai juice composition. *Food Research International* 136: 109506, doi: 10.1016/j.foodres.2020.109506.
- Malik, S. (2018). Characterization of novel pulsed UV-light systems for inactivation of *Listeria monocytogenes* in apple juice and on apple surface. Master Thesis, Illinois Institute of Technology, Chicago, Illinois, 50 p.
- Mandal, R., Mohammadi, X., Wiktor, A., Singh, A., Singh, A.P. (2020). Applications of pulsed light decontamination technology in food processing: An overview. *Applied Sciences* 10(10): 3606, doi: 10.3390/app10103606.
- Manso, M.C., Oliveira, F.A.R, Oliveira, J.C., Frías, J.M. (2001). Modelling ascorbic acid thermal degradation and browning in orange juice under aerobic conditions. *International Journal of Food Science Technology* 36(3): 303-312, doi: 10.1046/j.1365-2621.2001.t01-1-00460.x.
- Marriott, N.G, Schilling, M.W, Gravani, R.B. (2018). *Principles of food sanitation*. Sixth Edition, Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland, 436 p. ISBN: 978-3-319-67164-2.
- Mukhopadhyay, S., Sokorai, K., Ukuku, D.O., Fan, X., Olanya, M., Juneja. V. (2019). Effects of pulsed light and sanitizer wash combination on inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, microbial loads and apparent quality of spinach leaves. *Food Microbiology* 82: 127-134, doi: 10.1016/j.fm.2019.01.022.
- Orcajo, J., Lavilla, M., Martínez-de-Marañón, I. (2019). Effect of Pulsed Light treatment on  $\beta$ -lactoglobulin immunoreactivity. *LWT - Food Science and Technology* 112: 108231, doi: 10.1016/j.lwt.2019.05.129.
- Özturan, S., Erkan, S. (2012). Gıdalarda ve su ürünlerinde atımlı ışık ve elektrolize okside su uygulamaları. <https://www.gidateknolojisi.com.tr/haber/2012/10/gidalarda-ve-su-urunlerinde-atimli-iskik-ve-elektrolize-okside-su-uygulamalari> (Erişim tarihi: 27.04.2022).
- Paixão, L.M.N., Fonteles, T.V., Oliveira, V.S., Fernandes, F.A.N., Rodrigues, S. (2019). Cold plasma effects on functional compounds of siriguela juice. *Food and Bioprocess Technology* 12(2): 110–121, doi: 10.1007/s11947-018-2197-z.
- Palgan, I, Caminiti, I.M., Muñoz, A., Noci F., Whyte, P., Morgan, D.J., Cronin, D.A., Lyng, J.G. (2011). Effectiveness of high intensity light pulses (hilp) treatments for the control of *Escherichia coli* and *Listeria innocua* in apple juice, orange juice and milk. *Food Microbiology* 28(1): 14-20, doi: 10.1016/j.fm.2010.07.023.

- Pataro, G., Muñoz, A., Palgan, I., Noci, F., Ferrari, G., Lyng, J.G. (2011). Bacterial inactivation in fruit juices using a continuous flow Pulsed Light (PL) system. *Food Research International* 44(6): 1642-1648, doi: 10.1016/j.foodres.2011.04.048.
- Pellicer, J.A., Navarro, P., Gómez-López, V.M. (2019). Pulsed light inactivation of polygalacturonase. *Food Chemistry* 271: 109-113, doi: 10.1016/j.foodchem.2018.07.194.
- Pellicer, J.A., Navarro, P., Gómez-López, V.M. (2020). Pectin methylesterase inactivation by pulsed light. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 62: 102366, doi: 10.1016/j.ifset.2020.102366.
- Pierscianowski, J., Popović, V., Biancanello, M., Bissonnette, S., Zhu, Y., Koutchma, T. (2021). Continuous-flow UV-C processing of kale juice for the inactivation of *E. coli* and assessment of quality parameters. *Food Research International* 140: 110085, doi: 10.1016/j.foodres.2020.110085.
- Pohl, P., Dzimitrowicz, A., Cyganowski, P., Jamroz, P. (2022). Do we need cold plasma treated fruit and vegetable juices? A case study of positive and negative changes occurred in these daily beverages. *Food Chemistry* 375: 131831, doi: 10.1016/j.foodchem.2021.131831.
- Porto, E., Alves Filho, E.G., Silva, L.M.A., Fonteles, T.V., do Nascimento, R.B.R., Fernandes, F.A.N., de Brito, E.S., Rodrigues, S. (2020). Ozone and plasma processing effect on green coconut water. *Food Research International* 131: 109000, doi: 10.1016/j.foodres.2020.109000.
- Preetha, P., Venugobal, A.P., Varadharaju, N., Kennedy, Z.J. (2017). Inactivation of *Escherichia coli* in tender coconut (*Cocos Nucifera* L.) water by pulsed light treatment. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 6(7): 1453-1461, doi: 10.20546/ijemas.2017.607.174.
- Preetha, P., Pandiselvam, R., Varadharaju, N., Kennedy, Z.J., Balakrishnan, M., Kothakota, A. (2021). Effect of pulsed light treatment on inactivation kinetics of *Escherichia coli* (MTCC 433) in fruit juices. *Food Control* 121: 107547, doi: 10.1016/j.foodcont.2020.107547.
- Rao, N. (2018). Study of the demand supply gap in the production of agricultural products and agro processing industry and foresee the emerging technology from investment point of view. *International Journal of Research and Analytical Reviews* 5(3): 1475-1484.
- Ren, M., Yu, X., Mujumdar, A.S., Yagoub, A.E.-G.A., Chen, L. (2021). Visualizing the knowledge domain of pulsed light technology in the food field: A scientometrics review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 74: 102823.
- Ricciardi, F.E., Plazzotta, S., Conte, A., Manzocco, L. (2021). Effect of pulsed light on microbial inactivation, sensory properties and protein structure of fresh ricotta cheese. *LWT - Food Science and Technology* 139: 110556, doi: 10.1016/j.lwt.2020.110556.
- Rodríguez-Bencomo, J.J., Sanchis, V., Viñas, I., Martín-Belloso, O., Soliva-Fortuny, R. (2020). Formation of patulin-glutathione conjugates induced by pulsed light: A tentative strategy for patulin degradation in apple juices. *Food Chemistry* 315: 126283, doi: 10.1016/j.foodchem.2020.126283.
- Rodríguez, Ó., Gomes, W.F., Rodrigues, S., Fernandes, F.A.N. (2017). Effect of indirect cold plasma treatment on cashew apple juice (*Anacardium occidentale* L.). *LWT - Food Science and Technology* 84: 457-463, doi: 10.1016/j.lwt.2017.06.010.
- Rowan, N.J. (2019). Pulsed light as an emerging technology to cause disruption for food and adjacent industries – Quo vadis? *Trends in Food Science and Emerging Technologies* 88: 316-332.
- dos Santos Aguilar, J.G. (2019). Pulsed light treatment in food. *Chemical Reports* 1(2): 108-111, doi: 10.25082/CR.2019.02.007.
- Sharrer, M.J., Summerfelt, S.T., Bullock, G.L., Gleason, L.E., Taeuber, J. (2005). Inactivation of bacteria using ultraviolet irradiation in a recirculating salmonid culture system. *Aquacultural Engineering* 33(2): 135-149, doi: 10.1016/j.aquaeng.2004.12.001.
- Silva, E.K., Meireles, M.A.A., Saldaña, M.D.A. (2020). Supercritical carbon dioxide technology:

- A promising technique for the nonthermal processing of freshly fruit and vegetable juices. *Trends in Food Science and Technology* 97: 381-390, doi: 10.1016/j.tifs.2020.01.025.
- Tao, T., Ding, C., Han, N., Cui, Y., Liu, X., Zhang, C. (2019). Evaluation of pulsed light for inactivation of foodborne pathogens on fresh-cut lettuce: Effects on quality attributes during storage. *Food Packaging and Shelf Life* 21: 100358, doi: 10.1016/j.fpsl.2019.100358.
- Taştan, Ö. (2019). Berrak elma suyunun ısı olmayan pastörizasyonuna yönelik yüksek yoğunluklu vurgulu ışık, düşük voltajlı elektriksel işlem ve doğal antimikrobiyal maddelerin kombine kullanımının incelenmesi. Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi, İzmir, Türkiye, 182 s.
- Tomasevic, I., Rajkovic, A. (2005). The sensory quality of meat, game, poultry, seafood and meat products as affected by intense light pulses: A systematic review. *Procedia Food Science* 5: 285-288, doi: 10.1016/j.profoo.2015.09.081.
- Vargas-Ramella, M., Pateiro, M., Gavahian, M., Franco, D., Zhang, W., Khaneghah, A.M., Guerrero- Sánchez, Y., Lorenzo, J.M. (2021). Impact of pulsed light processing technology on phenolic compounds of fruits and vegetables. *Trends in Food Science and Technology* 115: 1-11, doi: 10.1016/j.tifs.2021.06.037.
- Vičić, M., Sobotka, L.G., Williamson, J.F., Charity, R.J., Elson, J.M. (2003). Fast pulsed UV light source and calibration of non-linear photomultiplier response. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* 507(3): 636-642, doi: 10.1016/S0168-9002(03)01376-7.
- Vollmer, K., Chakraborty, S., Bhalerao, P.P., Carle, R., Frank, J., Steingass, C.B. (2020). Effect of pulsed light treatment on natural microbiota, enzyme activity, and phytochemical composition of pineapple (*Ananas comosus* [L.] Merr.) juice. *Food and Bioprocess Technology* 13: 1095-1109, doi: 10.1007/s11947-020-02460-7.
- Wang, Y., Li, L., Wang, B., Xu, J. (2022). Selective enzyme inactivation in a simulated system and in cabbage juice using electrospray technology. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 75: 102875, doi: 10.1016/j.ifset.2021.102875.
- Wang, B., Zhang, Y., Venkitasamy, C., Wu, B., Zhongli, P., Ma, H. (2017). Effect of pulsed light on activity and structural changes of horseradish peroxidase. *Food Chemistry* 234: 20-25, doi: 10.1016/j.foodchem.2017.04.149.
- Xu, F., Wang, B., Hong, C., Telebielaigen, S., Nsor-Atindana, J., Duan, Y., Zhong, F. (2019). Optimization of spiral continuous flow-through pulse light sterilization for *Escherichia coli* in red grape juice by response surface methodology. *Food Control* 105: 8-12, doi: 10.1016/j.foodcont.2019.04.023.
- Zhang, H.Q., Barbosa-Cánovas, G.V., Balasubramaniam, V.M, Dunne, C.P., Farkas, D. F., Yuan, J.T.C. (eds.) (2011). *Nonthermal Processing Technologies for Food*. Blackwell Publishing Ltd. and Institute of Food Technologists, the U.S., 596 p. ISBN: 978-0-8138-1668-5.
- Zhu, Y., Li, C., Cui, H., Lin, L. (2019). Antimicrobial mechanism of pulsed light for the control of *E. coli* O157:57 and its application in carrot juice. *Food Control* 106(33): 106751, doi: 10.1016/j.foodcont.106751.