

**KIZILÖTESİ, MİKRODALGA, ULTRASES TEKNOLOJİLERİ VE
KOMBİNASYONLARI KULLANILARAK MODİFİYE EDİLMİŞ DOĞAL
BİYOPOLİMERLERİN ÇEŞİTLİ ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE BİR DERLEME**

Lale Acar¹, Semin Özge Keskin^{1,2*}

¹Kocaeli Üniversitesi Polimer Bilimi ve Teknolojisi, Umuttepe/Kocaeli, Türkiye

²Kocaeli Üniversitesi İzmit MYO Gıda Teknolojisi, Kartepe/Kocaeli, Türkiye

Geliş / *Received*: 26.01.2021; Kabul / *Accepted*: 05.05.2021; Online baskı / *Published online*: 14.05.2021

Acar, L., Keskin, S.Ö. (2021). Kızılötesi, mikrodalga, ultrases teknolojileri ve kombinasyonları kullanılarak modifiye edilmiş doğal biyopolimerlerin çeşitli özellikleri üzerine bir derleme. *GIDA* (2021) 46 (4) 785-802 doi: 10.15237/gida. GD21022.

Acar, L., Keskin, S.Ö. (2021). A review on various properties of natural biopolymers modified by infrared, microwave, ultrasound technologies and their combinations. GIDA (2021) 46 (4) 785-802 doi: 10.15237/gida. GD21022

ÖZ

Doğal biyopolimerler, gıda, ambalajlama, tekstil, otomotiv, tıp, ilaç, vb. birçok alanda kullanılan çevre dostu, yeşil polimerlerdir. Doğal biyopolimerlerin farklı teknolojiler kullanılarak modifiye edilmeleriyle fonksiyonellikleri geliştirilebilmektedir. Modifiye edilmiş doğal biyopolimerler, gıda sanayinde enkapsülasyon malzemesi ve yüksek performanslı yenilebilir film, kaplama veya fonksiyonel gıda bileşeni olarak kullanılabilir. Kızılötesi, mikrodalga, ultrases teknolojileri ve kombinasyonları, kendilerine özgü etki mekanizmalarını kullanarak doğal biyopolimerleri degrade ve depolimerize etmekte ve fonksiyonelliklerini olumlu yönde etkilemektedirler. Mikrodalga ve ultrases-mikrodalga teknolojileri kullanılarak ekstraksiyon ve enzimatik hidroliz gibi işlemlerin verimi artırılabilir, işlem süresi kısaltılabilir ve elde edilen polimerlerin özellikleri iyileştirilebilir. Bu makalede, kızılötesi, mikrodalga ve ultrases teknolojileri ve kombinasyonlarının etki mekanizmalarından kısaca bahsedilerek bu teknolojiler kullanılarak modifiye edilmiş doğal biyopolimerlerin çeşitli özellikleri derlenmiş, mikrodalga ve ultrases-mikrodalga teknolojilerinin ekstraksiyon, enzimatik hidroliz gibi işlemlerin verimliliği, işlem süresi ve elde edilen polimerlerin özellikleri üzerindeki etkilerine yer verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Doğal biyopolimer, kızılötesi, kombinasyon, mikrodalga, modifikasyon, ultrases

**A REVIEW ON VARIOUS PROPERTIES OF NATURAL BIOPOLYMERS
MODIFIED BY INFRARED, MICROWAVE, ULTRASOUND TECHNOLOGIES
AND THEIR COMBINATIONS**

ABSTRACT

Natural biopolymers are environmentally friendly, green polymers, used in various fields, such as food production, food packaging, textile, automotive, medicine, drug, etc. Modification of natural biopolymers by use of different technologies can improve their functionalities. Modified natural biopolymers can be used as an encapsulation material, an ingredient of high performance edible film, coating or a functional food. Infrared, microwave and ultrasound and their combinations can degrade

* Yazışmalardan sorumlu yazar / *Corresponding author*

✉: seminozgekeskin@gmail.com

☎: (+90) 262 351 3286-87/127

☎: (+90) 262 351 3288

Lale Acar; ORCID no: 0000-0002-5889-9843

Semin Özge Keskin; ORCID no: 0000-0002-4727-1508

and depolymerize natural biopolymers and affect their functionalities in a positive manner, according to their specific action mechanisms. Ultrasound and ultrasound-microwave combination technologies can increase extraction and enzymatic hydrolysis yield, decrease process time and improve properties of polymers. In this paper, action mechanisms of infrared, microwave and ultrasound technologies were mentioned briefly, various properties of natural biopolymers modified by those technologies and effects of ultrasound and ultrasound-microwave combination technologies on yield, process time of extraction and enzymatic hydrolysis processes were featured.

Keywords: Natural biopolymer, infrared, combination, microwave, modification, ultrasound

GİRİŞ

Hayvan, bitki, mikroorganizma gibi biyolojik kaynaklardan elde edilen polimerler, doğal biyopolimerler olarak adlandırılırlar. Günümüzde doğal biyopolimerlere olan ilgi, biyoyumlulukları ve biyolojik olarak parçalanabilirlikleri nedeniyle gün geçtikçe artmaktadır (Bhatia., 2016; Balaji vd., 2018). Tüketiciler, petrol ve diğer yenilenemeyen kaynaklara bağımlılığı azaltan, çevre dostu ürünler talep etmektedirler (Dangaran vd., 2009).

Biyopolimerlerin doğal haliyle işlenmesinin getirdiği teknolojik zorluklar ve kalite problemleri, çeşitli teknolojiler kullanılarak modifiye edilmelerini zorunlu kılmaktadır. Bu kapsamda, fiziksel teknolojiler, güvenli ve kolay kullanılabilir olmalarının yanı sıra sürdürülebilir ve çevre dostu olmalarından dolayı önemli bir yere sahiptir. Kızılötesi, mikrodalga, ultrases ve bunların kombine uygulamaları, fiziksel modifikasyon yöntemlerinden bazılarıdır. Bu teknolojiler kullanılarak polimer zincirleri arasındaki bağlar koparılmakta, polimerlerin molekül ağırlığı, çözünürlük, termal stabilite vb. gibi birçok özelliğinde değişiklikler meydana getirilebilmektedir.

Kızılötesi radyasyon, 0.78 ile 1000 μm arasındaki dalgaboyu aralığında elektromanyetik dalgalar oluşturur (Riadh vd., 2015; Semwal ve Meera, 2020; Lee., 2021). Kızılötesi radyasyonu, elektromanyetik radyasyon spektrumunda, görünür ışık bölgesi (0.38–0.78 μm) ile mikrodalga (1–1000 μm) arasında bulunur. Kızılötesi ışınlar dalga boylarına göre kendi içerisinde üç bölgeye ayrılmaktadır. Bunlar, yakın kızılötesi (NIR) (0.78–1.4 μm), orta kızılötesi (MIR) (1.4–3.0 μm) ve uzak kızılötesi (FIR) (3.0–1000 μm) radyasyonudur (Riadh vd., 2015; Lao vd., 2019; Lee, 2021; Rastogi, 2021). Ancak literatürde bu üç bölgeyi tanımlayan dalga boylarının alt ve üst

sınırları küçük farklılıklar gösterebilmektedir (Yılmaz Tuncel ve Tuncel, 2016). Kızılötesi ışınları bir materyalle temas ettiğinde, materyal tarafından yansıtılabilir, materyalin içinden geçebilir veya materyal tarafından absorbe edilebilir. Kızılötesi ışınları materyal tarafından absorbe edildiğinde, atomlar arası bağlarda titreşimsel değişikliklere neden olmaktadır. Kızılötesi ışınlarının yarattığı titreşim ve sürtünmeden dolayı materyalin yüzeyinde ısı üretilmekte; ısı, yüzeyden merkeze kademeli olarak iletilmekte böylece materyalin içi ısıtılmaktadır. (Aboud vd., 2019; Yadav vd., 2020; Rastogi, 2021).

Kızılötesi ısıtma işlemi, daha kısa uygulama süresi (yüksek ısı transfer katsayısı), daha yüksek enerji verimliliği, tek tip ürün sıcaklığı, temiz çalışma, daha düşük enerji maliyeti gibi çeşitli avantajlara sahip olduğundan tarımsal ürünlerin işlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Uraives ve Choomjaihan, 2019; Rastogi, 2021). Özellikle son yıllarda gıda işlemede kurutma, pişirme, kavurma, haşlama, pastörizasyon ve çözme gibi birçok işlem için kullanılmaktadır (Rastogi, 2021). Kızılötesi ısıtmanın kullanıldığı bir diğer alan ise biyopolimerlerin modifikasyonudur. Örneğin, doğal nişastalar, yüksek kesme hızı ve kuvvetine, düşük asitliğe ve yüksek-düşük sıcaklıklara karşı dayanıksızdır. Doğal nişastaların özelliklerini geliştirmek amacıyla modifikasyona ihtiyaç duyulmaktadır (İsmailoğlu ve Başman, 2015). Kızılötesi ısıtma da nişasta modifikasyonunda kullanılan bir teknolojidir (İsmailoğlu ve Başman, 2015, 2016; Çengelköy Köz, 2019). Farklı dalgaboylarındaki kızılötesi radyasyonla nişastanın granül yapısının ve reolojik özelliklerinin değiştiği ve nişastanın elde edildiği kaynağa bağlı olarak bu değişimlerin farklılık gösterdiği belirtilmektedir (Guo vd., 2020; Semwal ve Meera, 2020). Kızılötesi ısıtmada, uygulama sıcaklık ve süresinin

arttırılmasıyla tapiyoka nişastasının şişme gücünün ve sudaki çözünürlüğünün arttığı ve nişastanın iyotla verdiği rengin değişim gösterdiği bulunmuştur (Uraives ve Choomjaihan, 2019). Tavlanmış buğday ve mısır nişastaları ile yapılan çalışmalarda, kızılötesi ısıtma işleminin, nişastaların jelatinizasyon derecesini, kristalinitesini, reolojik özelliklerini ve sudaki çözünürlüğünü etkilediği tespit edilmiştir (İsmailoğlu ve Başman, 2015, 2016; Çengelköy Köz, 2019). Elde edilen sonuçlar, kızılötesi ısıtmanın nişasta modifikasyonunda etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Mikrodalgalar, elektromanyetik spektrumun radyo dalgaları ile kızılötesi ışınları arasında kalan, frekansları 300 MHz-300 GHz, dalga boyları 1mm-1m arasında olan iyonize edici olmayan elektromanyetik dalgalardır (Rattanadecho ve Makul, 2016; Qin vd., 2016; Martins vd., 2019; Verma vd., 2020). Mikrodalgayı soğuran malzemelerde ısınma, “dipol etkileşim” ve “iyonik iletim” olmak üzere iki mekanizma ile olmaktadır. Dipol etkileşimde, dipol momentli malzemeler (örneğin su molekülü), elektrik alan altında dönme hareketi yapmakta, bu dönme hareketi sonucu oluşan sürtünme kuvveti, moleküllerin enerji kazanıp ısınmasına neden olmaktadır. İyonik iletimde iyonlar, mikrodalganın elektrik alanının neden olduğu polarite değişimine bağlı olarak hareket etmekte ve çarpışmaktadırlar. Bu çarpışma sonucu açığa çıkan kinetik enerji, ısı enerjisine dönüşmekte ve iyon içeren madde ısınmaktadır (Mello vd., 2014; Martins vd., 2019; Verma vd., 2020). Mikrodalga ısıtma ile polimer zincirleri arasındaki hidrojen bağları kırılmakta ve moleküller arası çapraz bağlanmalar güçlenmektedir (Wang vd., 2013; Wang vd., 2016; Sun vd., 2018). Mikrodalga radyasyonu, homojen ısı dağılımı, daha iyi penetrasyon derinliği, daha kısa işleme süresi, daha yüksek verim, daha iyi ürün kalitesi, düşük maliyet, daha yüksek tekrarlanabilirlik sağlayan çevre dostu, daha temiz, daha yeşil bir yaklaşım sunması gibi avantajları nedeniyle gıda sanayi başta olmak üzere (fırınlama, pişirme, çözme, haşlama, dehidrasyon, pastörizasyon, sterilizasyon, temperleme gibi) bir çok sektörde giderek daha fazla kullanım alanı bulmaktadır (Keskin, 2003; Keskin vd., 2004a,

2004b, 2005; Singh vd., 2012; Desbrières vd., 2014; Rattanadecho ve Makul, 2016; Wang vd., 2016; Yang vd., 2017; Mizutani vd., 2019).

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, mikrodalga ısıtmanın çeşitli kaynaklardan elde edilen nişastaların reolojik ve termal özelliklerini, kristal yapısını ve sindirilebilirliğini etkilediği görülmektedir (Stevenson, 2005; Anderson ve Guraya, 2006; Ma vd., 2015; Nadiyah vd., 2015; Oyeyinka vd., 2019; Kumar vd., 2020). Mikrodalga ısıtmanın yağların kimyasal kaliteleri ve oksidatif stabiliteyi üzerine etkilerini inceleyen çalışmalarda, mikrodalga ısıtmanın yağların serbest yağ asidi profillerinde ve oksidatif stabiliteyi de etkilediği görülmektedir (Tan vd., 2001; Pop, 2018; Arifoğlu ve Ögütçü, 2019; Mizutani vd., 2019; Karrar vd., 2020).

Ultrases işlemi, çeşitli biyopolimerleri depolimerize etmek için kullanılan yöntemlerden bir diğeridir. Ultrases işlemi, polimerlerin yapısını fiziksel olarak bozabilecek veya bileşenler arasında belirli kimyasal reaksiyonların oluşmasına yol açabilecek basınç, kayma kuvveti ve ısı üretmektedir. İnsan kulağı, 16 Hz ile 20 kHz frekansları arasındaki dalgalı enerjiyi ses olarak algılayabilir (Kasaai, 2013; Guimaraes vd., 2018; Bhargava vd., 2021). 20 kHz'den fazla olan, insan kulağı tarafından algılanamayacak kadar yüksek ses frekansı bölgesine de ultrases bölgesi adı verilmektedir (Firouz vd., 2019; McKenzie vd., 2019). Diğer bir ifadeyle ultrases, saniyede 20 000 veya daha fazla ses dalgasından oluşan mekanik bir enerjidir (Türk, 2013; Virkutyte, 2015). Sıvı içine uygulanan ultrases dalgaları, sürekli şekilde basınç ve genleşme döngüleri oluşturmaktadır. Bu döngüler sırasında moleküller birbirine doğru itilir ve uzaklaştırılır. Uzaklaşma sırasında ultrases kuvveti yüzey gerilimi kuvvetini aştığında sıvı içinde kabarcıklar oluşmaktadır. Bu kabarcıkların oluşumuna ve gelişmesine ‘kavitasyon’ denir (Gallo vd., 2018; Firouz vd., 2019). Bu işlem sonucunda, polimer zincirleri arasındaki kovalent ve kovalent olmayan bağlar kırılmakta ve polimer parçalanmaktadır (Akyüz, 2010).

Çeşitli uygulamalarda kullanılan ultrases dalgaları, yoğunluk ve frekansa bağlı olarak, düşük ve yüksek yoğunluklu ultrases olarak iki kategoriye ayrılabilir. Yüksek frekanslarda ve düşük güçlerde ultrases dalgaları fiziksel ölçümlerde, özellikle tıbbi ve diagnostik alanlar için kullanılmaktadır, “tanısal dalgalar” olarak da tanımlanmaktadır. Yüksek yoğunluklu ve düşük frekanslı ultrases dalgaları, polimerlerin fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri üzerinde önemli etkilere neden olan frekansları 20 ila 100 kHz arasında değişen, yoğunlukları 10 ila 1000 W / cm^2 aralığında olan dalgalar (Gallo vd., 2018; Firouz vd., 2019; Bhargava vd., 2021). Doğal biyopolimerleri modifiye etmek için de yüksek yoğunluklu ultrases uygulaması kullanılabilmekte ve bu uygulama, giderek daha fazla bilimsel araştırmanın konusu olmaktadır (Arzeni vd., 2012; Vera vd., 2020).

Ultrases uygulaması, yüksek etkinliği, düşük teknoloji gereksinimi ve diğer geleneksel tekniklerle karşılaştırıldığında kısa işlem süresi, düşük işletme ve bakım maliyeti, iyileştirilmiş kalite özellikleri ve daha yeşil bir yaklaşım sunması gibi avantajları nedeniyle gıda sanayi başta olmak üzere ekstraksiyon, homojenizasyon, kristalizasyon, pastörizasyon, seperasyon, filtrasyon, vb. uygulamaların performanslarının artırılmasında kullanılmaktadır (Patist ve Bates, 2008; Virkutyte, 2015; Zhu, 2015; Gallo vd., 2018; Bhargava vd., 2021). Ayrıca ultrases uygulaması uzun polimerik makromoleküllerin parçalanması için ekonomik ve basit araçlardan biridir (Souza vd., 2013). Ultrases uygulamasının nişasta ve proteinler üzerine etkisini araştırılan çalışmalar incelendiğinde, nişasta ve proteinlerin birçok özelliğinin ultrases koşullarına bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Nişasta üzerine yapılan çalışmalar, ultrases işleminin nişasta granülünde mikroyapısal değişimlere neden olduğunu, nişasta granüllerinin kristalinitelerini azalttığını, çözünürlüklerini ve su tutma kapasitelerini arttırdığını göstermektedir (Jambrak vd., 2010; Monroy vd., 2018). Yüksek yoğunluklu ultrases uygulamasının proteinlerin özelliklerine etkisi dikkate alındığında ise protein solüsyonlarının viskozitelerinin, kıvam indekslerinin azaldığı, çözünürlüklerinin ve yüzey hidrofobisitesinin

arttığı bildirilmiştir (Arzeni vd., 2012; Amiri vd., 2018).

Kızılötesi, mikrodalga ve ultrases teknolojileri, polimerlerin modifikasyonunda tek başlarına kullanılabildikleri gibi kızılötesi-mikrodalga, ultrases-mikrodalga şeklinde kombinasyon olarak da uygulanabilmektedirler. Böylece sinerjistik bir etki oluşturularak polimerlerin yapısal ve fonksiyonel özelliklerinde değişiklikler meydana getirilebilmektedir (Çengelköy Köz, 2019). Kızılötesi-mikrodalga kombinasyon uygulamasının nişasta özelliklerine etkisini araştırılan çalışmalara bakıldığında, nişastanın fizikokimyasal özelliklerinden su emme kapasitesinde, ışık geçirgenliğinde artış meydana geldiği, amiloz içeriği, pH ve sinerezis özelliklerinde ise azalma olduğu bildirilmiştir (Shah vd., 2016). Nişastaların fiziksel, optik, morfolojik, termal özellikleri ile X-ışını kırınım desenleri, modifikasyon işlemi ile belirgin bir şekilde değişmiştir (Çengelköy Köz, 2019). Ultrases-mikrodalga kombinasyon uygulamaları, nişasta, guar gam gibi polimerlerin depolimerizasyonunda, çeşitli kaynaklardan elde edilen protein ve nişastaların fiziksel ve kimyasal modifikasyonunda, yağlı tohumlardan yağ ekstraksiyonunda kullanılan etkin yöntemlerdir (Liu vd., 2012; Prajapat ve Gogate, 2015; Hassan vd., 2017; Li vd., 2020; Noman vd., 2020; Wang vd., 2020).

Bu teknolojilerle modifiye edilmiş doğal biyopolimerler, gıda sanayinde enkapsülasyon malzemesi ve yüksek performanslı yenilebilir film, kaplama veya fonksiyonel gıda bileşeni olarak kullanılabilmektedir (Çengelköy Köz, 2019; Cui ve Zhu, 2021).

Kızılötesi teknolojisinin doğal biyopolimerler üzerine etkisi

Kızılötesi ısıtmanın, nişastanın fiziksel modifikasyonunda kullanılabilecek etkin bir yöntem olduğu çeşitli bilimsel çalışmalarla ortaya konmuştur (Çizelge 1). Farklı güç ve sürelerde kızılötesi uygulaması, farklı nem düzeylerine tavllanmış mısır ve buğday nişastasını örneklerinin; termal, reolojik, x ışını kırınım deseni, renk ve sudaki çözünürlük gibi özelliklerinde değişimler

meydana getirmiştir (İsmailoğlu ve Başman, 2015, 2016; Çengelköy Köz, 2019). Kızılötesi ısıtmanın nişasta özellikleri üzerindeki etkisi, nişastanın elde edildiği kaynağa, kızılötesi radyasyon dalgaboyuna

ve ısı işlem koşullarına bağlı olarak değişiklik göstermiştir (İsmailoğlu ve Başman, 2015, 2016; Çengelköy Köz, 2019; Uraives ve Choomjaihan, 2019; Guo vd., 2020).

Çizelge 1. Kızılötesi teknolojisinin doğal biyopolimerler üzerine etkisi

Biyopolimer	Biyopolimer tipi/kaynağı	Kızılötesi Koşulları	Uygulama	Biyopolimer Üzerine Etkileri	Kaynak
Nişasta	%20 ve %30 neme tavllanmış mısır ve buğday nişastası	30, 60 ve 90 dk, 550 ve 730 W		Termal, reolojik, x ışını kırınım deseni, sudaki çözünürlük gibi özelliklerde değişiklik, kızılötesi ısıtma gücünün artırılmasıyla kristalinite değerlerinde artış, viskozite değerlerinde azalış	İsmailoğlu ve Başman, 2015, 2016
Nişasta	%15 ve %25 neme tavllanmış mısır nişastası	30, 15, 15 dk, %20, 30, 50 güç		Nişastanın fiziksel, reolojik ve termal özelliklerinde iyileşme	Çengelköy Köz, 2019
Nişasta	Tapioka nişastası	170, 190 ve 210 °C, 1100, 1320 ve 1540 W, 20 saat boyunca her 2 saatte bir ölçüm		Nişasta granüllerinin şişme gücü ile renk değerinde artış, nişastanın iyotla verdiği mavi renk değerinde azalış	Uraives ve Choomjaihan, 2019
Nişasta	Pirinç, mısır, buğday, patates nişastası	Uzak radyasyonu, 50 °C, 12 sa	kızılötesi	Granüler şişmede azalma, patates nişastasında uzun vadede stabil yapı, pirinç ve buğday nişastasının yayılabilirlik özelliklerinde gelişme	Guo vd., 2020

Kızılötesi ısıtma sıcaklığı ve süresi arttıkça tapiyoka nişasta granüllerinin şişme gücü ile toplam renk farkı değerleri artmış, iyotla verdiği mavi renk değerleri azalmıştır. Bir diğer çalışmada, uzak kızılötesi radyasyon uygulaması, patates nişastasının yapısal dayanımını geliştirip, uzun vadede daha stabil bir yapı kazanmasını sağlarken pirinç ve buğday nişastalarında yayılabilirlik özelliğini geliştirmiştir (Guo vd., 2020).

Mikrodalga teknolojisinin doğal biyopolimerler üzerine etkisi

Mikrodalga ısıtma, işlem koşullarına ve nişasta çeşidine ve özelliklerine bağlı olarak nişastaların fiziksel, termal ve reolojik özelliklerini

değiştirmiştir (Çizelge 2). 0.17 veya 0.5W/g güçlerinde mikrodalga uygulamasıyla %15-40 neme sahip mısır nişastasının bütün çirşlenme parametreleri azalmış, çirşlenme sıcaklığı ise 0.5 W/g mikrodalga uygulamasıyla artmıştır (Stevenson vd., 2005). %20 neme tavllanmış mumsu ve mumsu olmayan pirinç nişastalarına mikrodalga uygulaması, nişastaların sindirilebilirlik ve morfolojik özelliklerini çok etkilememekle birlikte nişastaların reolojik özelliklerinde önemli değişikliklere neden olmuştur. Mikrodalga uygulamasından sonra mumsu nişasta, amilopektin zincirlerinin tekrar düzenlenmesinden kaynaklı daha yoğun bir yapıya kavuşmuştur (Anderson ve Guraya, 2006).

Mikrodalga ısıtma, patates nişastası-su sisteminin fiziksel özelliklerini etkilemiş, nişastaların partikül boyutunu, polarizasyon ve termal özelliklerini değiştirmiştir (Ma vd., 2015). Patates ve tapyoka nişastası süspansiyonlarına mikrodalga uygulamasıyla nişastaların çirşlenme sıcaklığı ve çirş stabilitesi ile amiloz içeriği ve şişme gücü artmış, suda çözünürlük ve jelatinizasyon entalpisi değerleri düşmüştür (Nadiyah vd., 2015). Diğer yandan elde edilen SEM görüntüleri, nişasta granüllerinin tahrip olduğunu, nişastaların çift kırınım özelliklerini kaybettiklerini göstermiştir. Mikrodalga ısıtma, yumru ve kök nişastalar üzerinde farklı etkiler oluşturmuştur (Nadiyah vd., 2015). Farklı güç ve sürelerde mikrodalga uygulaması, darı nişastasının çirşlenme kurve tipini, B-tipinden C-tipine değiştirmiş, kristallenme başlangıç sıcaklığını ve in vitro enzimatik sindirilebilirliği arttırmış, şişme gücü ve şeffaflığı ile jelatinizasyon entalpisini düşürmüştür (Li vd., 2019). Ayrıca mikrodalga uygulaması, darı nişastası granüllerinin orijinal görünümünü yok etmiş ve daha küçük ve ince tabakalı jel bloklarının oluşumuna neden olmuştur. Mikrodalga

uygulama süresinin artışı, Bambara yerfıstığı nişastasının şişme gücünü ve viskozitesini azaltmış, amiloz içeriği ve jelatinleşme sıcaklıklarını ise arttırmıştır (Oyeyinka vd., 2019). Mikrodalga ışınlama-retrogradasyon uygulaması, mısır nişastası (A-tipi kristallik), patates nişastası (B-tipi) ve kestane nişastasının (C-tipi) fizikokimyasal ve sindirilebilirlik özelliklerini değiştirmiştir. Nişastaların sindirilebilirliği, mikrodalga ışınması ve retrogradasyondan 8 saat sonrasına kadar artmış, 24 saatlik retrogradasyondan sonra, nişastanın sindirilebilirliği azalmıştır. Modifiye nişastaların dirençli nişasta içerikleri, doğal nişastaların dirençli nişasta içeriklerinden daha yüksek bulunmuştur (Wang vd., 2019). Sabit güç ve farklı sürelerde mikrodalga uygulaması, patates nişastasının fizikokimyasal, morfolojik, yapısal ve reolojik özelliklerini etkilemiştir (Kumar vd., 2020). Mikrodalga uygulama süresi arttıkça patates nişastalarının su emme kapasitesinde artış, yağ emme kapasitesinde düşüş ve viskozite değerlerinde değişim gözlenmiştir.

Çizelge 2. Mikrodalga teknolojisinin doğal biyopolimerler üzerine etkisi

Biyopolimer	Biyopolimer tipi/kaynağı	Mikrodalga Uygulama Koşulları	Biyopolimer Üzerine Etkileri	Kaynak
Nişasta	%15-40 neme sahip mısır nişastası	0.17 veya 0.5W/g mikrodalga radyasyonu, 1h süre	Çirşlenme parametrelerinde azalış, güç uygulamasının artması ile çirşlenme sıcaklığında artış	Stevenson vd., 2005
Nişasta	%20 neme tavlanmış mumsu ve mumsu olmayan pirinç nişastası	270, 540, 810, 1080, 1350 W güç, 0 ve 60dk	Sindirilebilirlik ve morfolojik özelliklerinde çok az etki, nişastaların reolojik özelliklerinde önemli değişim	Anderson ve Guraya, 2006
Nişasta	Patates nişastası	2450 MHz, 70 s için 1.000 W ısıtma; 50 s için 350 W ısıtma; 25 s için 650 W ısıtma	Nişastaların partikül boyutu, polarizasyon ve termal özelliklerinde değişim	Ma vd., 2015
Nişasta	Patates ve tapioka nişastası	2450 MHz, 1000 W güç, 50 ve 60 ° C	Mikrodalga ısıtma ile nişasta süspansiyonlarının çirşlenme sıcaklığında ve çirş stabilitesinde, amiloz içeriğinde ve şişme gücünde artış, suda çözünürlük ve jelatinizasyon entalpisi değerlerinde düşüş, patates nişastasının kristal yapısında değişim	Nadiyah vd., 2015

Modifiye doğal biyopolimerlerin özellikleri

Çizelge 2. devam

Biyopolimer	Biyopolimer tipi/kaynağı	Mikrodalga Uygulama Koşulları	Biyopolimer Üzerine Etkileri	Kaynak
Niştasta	Darı niştastasası	2450 kHz, 700 W güç, 30, 60, 90 ve 120 s	Darı niştastasasının çirşilenme kurve tipinin B-tipinden C-tipine değişme, kristallenme başlangıç sıcaklığında ve in vitro enzimatik sindirilebilirliğinde artış, şişme gücü, şeffaflığı ile jelatinizasyon entalpisinde düşüş	Li vd., 2019
Niştasta	Bambara yerfıstığı niştastasası	2450 MHz frekans, 700W, 0, 10, 30 ve 60 s	Uygulama süresinin artmasıyla niştastanın şişme gücünde azalma, amiloz içeriği ve jelatinleşme sıcaklıklarında artış, viskozite değerlerinde azalış	Oyeyinka vd., 2019
Niştasta	Mısır, patates, kestane niştastasası	2450 MHz, 120 mA, 90 s	Niştastaların sindirilebilirliğinde mikrodalga ışıması ve retrogradasyondan 8 saat sonrasına kadar artış, modifiye niştastaların dirençli niştasta içeriklerinde artış	Wang vd., 2019
Niştasta	Patates niştastasası	2450 MHz frekans, 300W, 1, 3 ve 5 dk	Uygulama süresi ile su emme kapasitesinde artış, yağ emme kapasitesinde azalış ve viskozite değerlerinde değişim	Kumar vd., 2020
Lipid	Mısır ve soya fasulyesi yağı	2450 Hz frekans, 900 W güç, 4, 8, 12, 16 ve 20 dk	Belirli bir mikrodalga güç seviyesi için, DSC eğrisi parametreleri ve ısıtma periyotları arasında iyi bir korelasyon	Tan vd., 2001
Lipid	Aspir ve kolza tohumu yağı	1, 3 ve 5 dk	5 dakika mikrodalga uygulaması ile yağların peroksit indeksinde artış, çoklu doymamış yağ asidi profillerinde değişim	Pop, 2018
Lipid	Fındık, kanola ve mısır yağı	2450 MHz, 1200 W, 0, 3, 5, 10, 15, 20 ve 30 dk	Yağların serbest yağ asitliği, peroksit değeri, konjüge dien ve konjüge trien değerlerinde artış, oksidatif indüksiyon sürelerinde düşüş	Arifoğlu ve Öğütçü, 2019
Protein	Soya sütü	2450 MHz frekans, 70, 85 ve 100 °C, 2, 6 ve 10 dk	Soya sütünün sindirilebilirliğinde artış, tripsin inhibitörlerinin aktivitesinde azalış	Vanga vd., 2020
Protein ve yağ	Soya fasulyesi tohumu	500 W, 10, 30, 40 s	Proteinlerin kısmi denatürasyonu, tohum içindeki yağın tohumdan daha kolay ekstrakte edilebilmesi	Mizutani vd., 2019
Lipid	Gurum tohumu	2450 MHz frekans, 800 W, 2, 4 ve 6 dk	Mikrodalga ısıtma süresinin artmasıyla, yağın renk değerinde artma, kimyasal kalite ve oksidatif stabilitesinde iyileşme	Karrar vd., 2020

Mikrodalga ısıtma, yağların kalitelerini ve yağ asidi profillerini, ısıl işlem koşullarına, yağın özelliklerine ve çeşidine bağlı olarak farklı şekillerde etkilemiştir (Çizelge 2). Tan vd. (2001) yaptıkları çalışmada, mikrodalga uygulama zamanı ve gücünün iki bitkisel yağın (mısır yağı ve soya fasulyesi yağı) ısıl özellikleri ve kalitesi üzerindeki etkisini incelemiş ve mikrodalgada ısıtılmış yağlarda DSC eğrisi parametreleri ile diğer standart kimyasal yöntemler (peroksit değeri, anisidin değeri, serbest yağ aside içeriği, iyot değeri ve C18:2/C16:0 pik alan oranı) arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Elde edilen deneysel veriler, belirli bir mikrodalga güç seviyesi için, DSC eğrisi parametreleri ve ısıtma periyotları arasında iyi bir korelasyon olduğunu göstermiştir. Farklı sürelerle uygulanan mikrodalga ısıtma, aspir ve kolza tohumu yağlarının kalitelerini (peroksit değeri, iyot değeri, refraktif indeks, asit değeri, nem içeriği) ve yağ asidi profillerini etkilemiştir. 5 dakika mikrodalga uygulaması, iki yağın da peroksit indeksini önemli düzeyde arttırmış, çoklu doymamış yağ asidi profillerini değiştirmiştir. Mikrodalga ısıtmanın kolza yağına oranla aspir yağını daha fazla etkilediği bulunmuştur (Pop, 2018). Farklı yağ asidi bileşimlerine sahip üç bitkisel yağ (fındık, kanola ve mısır yağlarının) uygulanan mikrodalga ısıtma, yağların bulanıklık, serbest yağ asitliği ve peroksit değeri ile konjüge dien ve trien değerleri ile oksidatif indüksiyon sürelerini değiştirmiştir (Arifoğlu ve Ögütçü, 2019). Tüm yağ örneklerinin serbest yağ asitliği, peroksit, konjüge dien ve konjüge trien değerleri, mikrodalga ısıtma süresine bağlı olarak artmış, oksidatif indüksiyon süreleri ise düşmüştür. Mikrodalga ısıtma, yağların türbidite değerlerini etkilememiştir (Arifoğlu ve Ögütçü, 2019).

Mikrodalga ısıtmanın protein özelliklerine olan etkisi, Vanga vd. (2020) tarafından incelenmiştir (Çizelge 2). 85 °C' de 10 dakikalık mikrodalga uygulaması, soya sütünün sindirilebilirliğini, mikrodalga uygulanmamış örneklere kıyasla % 93 oranında arttırmıştır. Mikrodalga uygulaması, tripsin inhibitörlerinin aktivitesini azaltmış, proteinlerin ikincil yapılarını değiştirerek soya sütünün sindirilebilirliğini iyileştirmiştir.

Mikrodalga teknolojisinin doğal biyopolimerlerin kaynağından ekstraksiyonunda fonksiyonları ve ekstraksiyon sonrası çeşitli özellikleri üzerine etkileri:

Mikrodalga ısıtma, doğal biyopolimerlerin modifikasyonunda kullanılabilirdiği gibi bu polimerlerin kaynağından ekstrakte edilmelerinde de kullanılmaktadır (Mizutani vd., 2019; Karrar vd., 2020). Mizutani vd. (2019) yaptıkları çalışmada, soya fasulyesi tohumlarının düşük nem koşullarında otoklav ve mikrodalgada ısıtılmasının, soya fasulyesi bileşenleri (proteinler ve yağ) üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Mikrodalga ısıtma, otoklav uygulamasına oranla daha avantajlı bulunmuştur. Proteinler, kısmen denatüre olmuş, tohum içindeki yağ, tohumdan daha kolay ekstrakte edilebilmiştir (Çizelge 2). Vidali pres ile ekstrakte edilen gurum tohumu yağına mikrodalga uygulamasıyla yağın yağ asidi profilinde küçük farklılıklar gözlenmiştir (Karrar vd., 2020). Mikrodalga ısıtma süresindeki artış, yağın renk değerini arttırmıştır. Genel olarak, mikrodalga ısıtma, gurum tohumu yağının kimyasal kalitesini ve oksidatif stabilitesini iyileştirmiştir (Karrar vd., 2020).

Ultrases teknolojisinin doğal biyopolimerler üzerine etkisi

Ultrases teknolojisinin çeşitli doğal biyopolimerler üzerine olan etkilerinin incelendiği çalışmalar, Çizelge 3' te özetlenmiştir. Farklı yoğunluklarda ve sürelerde ultrases uygulaması, çeşitli kaynaklardan elde edilen nişastaların fiziksel, termal ve reolojik özellikleri ile x-ışını kırınım desenlerini değiştirmiştir (Jambrak vd., 2010; Hu vd., 2014; Monroy vd., 2018; Li vd., 2019). Farklı yoğunluklarda ve sürelerde ultrases uygulamasıyla nişastanın jelatinizasyon entalpisi azalmış, şişme gücü ve çözünürlüğü ile su tutma kapasitesi artmış ve nişasta granüllerinde kristal bölge tahrip olmuştur (Jambrak vd., 2010). Farklı sürelerde çift frekanslı ve tek frekanslı ultrases uygulaması, etanol çözeltisi içinde süspanse edilmiş mısır nişastalarının özelliklerinde ve yapılarında değişikliklere neden olmuştur. Çift frekanslı ultrases uygulamasıyla nişastanın şeffaflığı iyileşmiş, donma-çözülme stabilitesi değişmiş, jelatinizasyon entalpisi değeri ve kristalitesi

azalmıştır (Hu vd., 2014). Ultrases uygulaması, manyok nişasta granüllerinde yapısal düzensizliklere, mikroyapılarında ve kristalizasyon seviyelerinde değişime neden olmuştur. Ultrases uygulama koşulları değiştirilerek farklı nişasta türevleri elde edilebilmiştir (Monroy vd., 2018). 700 W güçte farklı sürelerde ultrases uygulaması, darı nişastasının in vitro enzimatik sindirilebilirliğini, jelatinizasyon entalpisini, şişme gücünü ve şeffaflığını arttırmış, kristalinitesini ve pik viskozitesini azaltmış, nişasta granüllerinin orijinal görünümüne tamamen zarar vermeden sadece çatlak ve gözenek oluşturmuştur (Li vd., 2019).

Ultrases uygulamasının %1' lik selüloz-su süspansiyonunun morfolojisi, partikül boyutu, kristalinitesi ve kristal boyutu üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmada, ultrases uygulamasının selüloz partiküllerini kısa lifler haline dönüştürdüğü, 1 ve 5 saatlik ultrases uygulaması sonrasında selüloz lif uzunluğunun 80-120 µm' den sırasıyla 30-50 µm ve 20-30 µm' ye düştüğü

bulunmuştur. Partikül ve kristal boyutundaki en yüksek düşüş, ultrases uygulamasının ilk 1 saatinde meydana gelmiş, zaman ilerledikçe ultrases etkinliği düşmüştür. Farklı sıcaklıkta ultrases uygulaması, istatistiksel olarak selülozun özelliklerinde önemli bir değişime neden olmamıştır (Sumari vd., 2013).

Yüksek yoğunluklu ultrases uygulamasının farklı molekül ağırlığına sahip hidroksipropil metil selülozların (HPMC) moleküler ve fonksiyonel özellikleri (bulutlanma noktası, jelleşme sıcaklığı, termal geçişler, görünür viskozite ve su hareketliliği) üzerine etkilerini inceleyen çalışma sonuçlarına göre HPMC' ye ultrases uygulaması, konsantrasyona bağlı geçici kümelerin oluşumuna ve bulutlanma noktasının düşmesine neden olmuştur. Ultrases uygulaması, HPMC' nin emülsifiye edici davranışını etkilememiştir. Yüksek molekül ağırlıklı HPMC için viskozite ve su hareketliliğindeki değişiklikler, düşük molekül ağırlıklı HPMC' ye oranla daha belirgin bulunmuştur (Camino vd., 2009).

Çizelge 3. Ultrases teknolojisinin doğal biyopolimerler üzerine etkisi

Biyopolimer	Biyopolimer tipi/kaynağı	Ultrases Uygulama Koşulları	Biyopolimer Üzerine Etkileri	Kaynak
Nişasta	Mısır nişastasası	100, 300 ve 400 W güç, farklı yoğunluklarda (34, 55, 73W cm ⁻²), 15 ve 30 dk, %100 sabit genlik	Jelatinizasyon entalpisinde azalış, şişme gücü, çözünürlük ve su tutma kapasitesinde artış ve granüllerin kristal bölgesinde tahrip	Jambrak vd., 2010
Nişasta	Mısır nişastasası	Çift frekanslı (20+25 kHz) ve tek frekanslı (20 kHz, 25kHz), 30 °C, 0, 5, 10, 15, 20, 30 ve 40 dk	Nişasta şeffaflığında iyileşme, donma-çözülme stabilitesinde belirgin değişim, jelatinizasyon entalpisini ve kristalinitede azalma	Hu vd., 2014
Nişasta	Manyok nişastasası	%40 genlik, 750W güç, 0, 5, 10 ve 20 dk	Nişasta granüllerinde yapısal düzensizlikler, mikroyapılarında ve kristalizasyon seviyelerinde değişim	Monroy vd., 2018
Nişasta	Darı nişastasası	25+ 40+ 80 kHz frekans, 700 W güçte, 15, 30, 45 ve 60 dk	İn vitro enzimatik sindirilebilirlik, jelatinizasyon entalpisini, şişme gücü ve şeffaflıkta artış, kristalinite, pik viskozitesinde azalış	Li vd., 2019

Çizelge 3. devam

Biyopolimer	Biyopolimer tipi/kaynağı	Ultrases Uygulama Koşulları	Biyopolimer Üzerine Etkileri	Kaynak
Selüloz	%1' lik selüloz- su süspansiyonu	28 kHz, 300W, 40 ve 60 °C, 1-5 sa	Selüloz partiküllerinde kısa lifler haline dönüşüm, ultrases uygulamasının ilk 1 saatinde partikül ve kristal boyutunda en yüksek düşüş	Sumari vd., 2013
Gam	Hidroksipropil metil selüloz (HPMC)	20 kHz frekans, %20 genlik	Konsantrasyona bağlı geçici kümelerin oluşumu ve bulutlanma noktasında düşüş, yüksek moleküler ağırlıklı HPMC için viskozite ve su hareketliliğinde daha belirgin değişim	Camino vd., 2009
Protein + Gam	Balık miyofibriler proteini + ksantan zımkı	20 kHz frekans, 0, 150, 300, 450 ve 600 W güç	300W'lık ultrases uygulamasıyla, emülsiyonun parçacık boyutu, yüzey gerilimi ve görünür viskozitesinde düşüş, depolama stabilitesinde artış	Xiong vd., 2019
Protein	%10 peyniraltı suyu proteini konsantresi, soya proteini izolatu ve yumurta beyazı proteini	20 dk boyunca 20 kHz frekans, $4,27 \pm 0,71$ W güç ve %20 genlik	Tüm protein solüsyonlarının kıvam indekslerinde düşüş, yüzey hidrofobitelerinde artış	Arzeni vd., 2012
Protein	Zein	Çift frekanslı (40 ± 2 ve 68 ± 2 kHz), 0, 10, 20, 30, 40, 50 ve 60 dk	Uygulama süresinin artmasıyla proteinlerin çözünürlüğünde artma, uzun sonikasyon süreleriyle zeinin ortalama parçacık boyutu ve boyut dağılımında artma, çift frekanslı ultrases uygulaması ile zeinin yapısal ve fiziksel özelliklerinde değişim	Ren vd., 2015
Protein	Sığır miyofibriler proteini	20 kHz frekans, 100 ve 300W güç, 0, 10, 20 ve 30 dk	Uygulama süresi ve gücün artmasıyla viskozitede azalma, pH, reaktif sülfidril içeriği, su tutma kapasitesi ve jel mukavemetinde en yüksek değer, ultrases uygulama sonrası proteinlerin partikül boyutunda düşüş	Amiri vd., 2018
Protein	Soya sütü	25 kHz, 400 W, 1, 4, 8, 12 ve 16 dk	Tripsin inhibitör aktivitesinde azalma, sindirilebilirlikte iyileşme	Vanga vd., 2020

Miyofibriler protein ve ksantan zımkı ile stabilize edilmiş emülsiyona 300W'lık ultrases uygulaması, emülsiyonun parçacık boyutunu ve yüzey gerilimini ve görünür viskozitesini azaltmış,

depolama stabilitesini arttırmıştır (Xiong vd., 2019).

Yüksek yoğunluklu ultrases uygulaması, pH' sı 6.5-7.1' e ayarlanmış protein solüsyonlarının (%10' luk peyniraltı suyu proteini konsantresi, soya proteini izolatu ve yumurta beyazı proteini) kıvam indekslerini düşürmüş, yüzey hidrofobitelerini arttırmıştır. Yumurta beyazı proteininin jelleşme performansı, yüksek yoğunluklu ultrases uygulaması ile değişmemiş, peyniraltı suyu proteini konsantresi daha yüksek bir elastik karakter sergilemiştir (Arzeni vd., 2012). Çift frekanslı (bir frekanstan diğerine geçerek) ultrases uygulaması, zeinin yapısal ve fiziksel özelliklerini değiştirmiştir (Ren vd., 2015). Ultrases işlemine tabi tutulan zein proteinlerinin çözünürlüğü, uygulama süresi arttıkça önemli ölçüde artmıştır. Daha uzun sonikasyon süreleri (> 20 dakika) için zeinin ortalama parçacık boyutu ve boyut dağılımı artmıştır. Ultrases uygulamasıyla zein mikroyapısı değişmiş, birçok mikro delik görülmüştür (Ren vd., 2015). Yüksek yoğunluklu ultrases uygulanması, sığır miyofibriler proteinlerinin fizikokimyasal, fonksiyonel ve reolojik özelliklerini değiştirmiştir. pH, reaktif sülfidril içeriği, su tutma kapasitesi ve jel mukavemetinde en yüksek değer 300W' de 30 dk ultrases uygulamasına tabi tutulan örneklerde elde edilmiştir. Proteinlerin partikül boyutu, ultrases dalgalarının kaviteasyon kuvveti nedeniyle ultrases uygulamasından sonra azalmıştır. 100 ve 300W 30 dk ultrases uygulamaları hariç olmak üzere ultrases ile işlem gören örneklerin kontrolden

daha sert ve elastik olduğu bulunmuştur. Sonikasyonun süresi ve gücü arttıkça viskozitede azalma meydana gelmiştir (Amiri vd., 2018). Ultrases uygulaması, tripsin inhibitör aktivitesinin azaltılmasında ve proteinlerin ikincil yapılarını değiştirerek soya sütünün sindirilebilirliğinin iyileştirilmesinde potansiyel uygulamalardır. 16 dakikalık ultrases işlemine tabi tutulmuş soya sütünün tripsin inhibitör aktivitesi, ultrases uygulanmamış örneklere kıyasla %52 azalmıştır (Vanga vd., 2020).

Kombine uygulamaların doğal biyopolimerler üzerine etkileri
Kızılötesi-mikrodalga kombinasyonunun doğal biyopolimerler üzerine etkileri

Kızılötesi-mikrodalga kombinasyon ısıtma, çeşitli nişastaların fiziksel, reolojik ve termal özelliklerini değiştirmiştir (Shah vd., 2016; Çengelköy Köz, 2019) (Çizelge 4). Hint kestanesinde elde edilen nişastaya sabit güçte farklı zaman aralıkları ile arka arkaya kızılötesi ve mikrodalga ısıtma uygulaması, hidroksil gruplarının fazlalaştırmış ve 3240 1/cm' de tepe yoğunluğunun artmasına sebep olmuştur. Uygulanan radyasyonla nişasta granüllerinin yüzeyinde çatlaklar oluşmuş, su emme kapasitesinde ve ışık geçirgenliğinde artış; amiloz içeriği, pH ve sinerezis özelliklerinde azalma meydana gelmiştir. Hem mikrodalga hem kızılötesi uygulamaları, nişastanın antioksidan aktivitesini iyileştirmiştir (Shah vd., 2016).

Çizelge 4. Kızılötesi-mikrodalga kombinasyonunun doğal biyopolimerler üzerine etkileri

Biyopolimer	Biyopolimer tipi/kaynağı	Kızılötesi-Mikrodalga Kombinasyonu Uygulama Koşulları	Biyopolimer Üzerine Etkileri	Kaynak
Nişasta	%22 ± 3 neme tavllanmış hint kestanesinde elde edilen nişasta	Sabit güçte, 15, 30 ve 45s	Su emme kapasitesi ve ışık geçirgenliğinde artış, amiloz içeriği, pH ve sinerezis özelliklerinde azalma, antioksidan aktivitesinde iyileşme	Shah vd., 2016
Nişasta	%15 ve %25 neme tavllanmış mısır nişastası	%20kızılötesi- %20mikrodalga güç15dk %30kızılötesi- %30mikrodalga güç 7,5dk	Nişastanın fiziksel, reolojik ve termal özelliklerinde iyileşme	Çengelköy Köz, 2019

Kızılötesi ve mikrodalga uygulamasının eş zamanlı yapıldığı çalışmada, farklı nem içeriğine tavllanmış mısır nişastaları, farklı güç ve sürelerde kızılötesi ve mikrodalga ısıtmaya tabi tutulmuştur. Nişastaların fiziksel, optik, morfolojik, termal özellikleri ile X-ışını kırınım desenleri, modifikasyon işlemi ile belirgin bir şekilde değişmiştir (Çengelköy Köz, 2019).

Ultras-es-mikrodalga kombinasyonun doğal biyopolimerler üzerine etkileri

Ultras-es-mikrodalga uygulaması, doğal biyopolimerlerin fiziksel, reolojik ve termal özelliklerini değiştirmiştir (Çizelge 5). Guar gamın sulu çözeltisinin depolimerizasyonu için tek tek ve kombinasyon halinde ultras-es ve mikrodalga teknolojilerinin uygulandığı çalışmada, tekli uygulamalardan ultras-es teknolojisinin, kombine uygulamalardan ise önce mikrodalga ardından ultras-es uygulamasının guar gamın depolimerizasyonunda daha etkili olduğu bulunmuştur (Prajapat and Gogate, 2015). Kestane nişastasında ikili modifikasyon (ultras-es-

mikrodalga modifiye nişasta ve mikrodalga-ultras-es modifiye nişasta) uygulaması, ultras-es ve mikrodalga işleminin sinerjistik etkisine bağlı olarak, sadece ultras-es veya mikrodalga uygulamasına nazaran daha belirgin değişimlere neden olmuştur (Wang vd., 2020). Ultras-es-mikrodalga kombinasyon uygulamasıyla nişastaların şişme gücü, jelatinizasyon entalpi ve kristalinite değerleri düşmüş, daha zayıf çift-kırınım özelliği göstermiş ve nişastanın katmanlı yapısı ve çift sarmal yapısı daha ciddi şekilde bozulmuştur. Ayrıca ultras-es-mikrodalga modifiye nişasta örneklerinin yağ emme kapasitesi; mikrodalga-ultras-es modifiye nişasta örneklerinin ise su emme kapasitesi en yüksek bulunmuş ve mikrodalga-ultras-es modifiye nişasta örneklerinin donma-çözünme kararlılığı en iyi çıkmıştır. Tekli veya ikili modifikasyondan bağımsız olarak ultras-es ve mikrodalga uygulanmış örneklerin şişme gücü, maksimum, inceleme sonrası, son ve karıştırma viskoziteleri ve çirilenme sıcaklıkları azalmıştır (Wang vd., 2020).

Çizelge 5. Ultras-es-mikrodalga kombinasyonun doğal biyopolimerler üzerine etkileri

Biyopolimer	Biyopolimer tipi/kaynağı	Ultras-es-Mikrodalga Kombinasyonu Uygulama Koşulları	Biyopolimer Üzerine Etkileri	Kaynak
Gam	Guar gam	Ultras-es; 20 kHz sabit frekans, 240 W güç Mikrodalga; 800 W nominal güce ve değişken güç çıkışı %17, %33, %55, %77 ve %100	Kombine uygulamalarda önce mikrodalga ardından ultras-es uygulamasıyla daha etkili depolimerizasyon	Prajapat ve Gogate, 2015
Nişasta	Kestane nişastası	Ultras-es 20 kHz frekans, 500 W güçte, 60 dk, mikrodalga 2450 MHz frekans, 30 W güçte, 90 s	Kombine uygulamayla nişastanın şişme gücü, kristalinite, jelatinleşme entalpisinde düşüş ve daha zayıf çift-kırınım özelliği, nişastanın katmanlı yapısı ve çift sarmal yapısında bozulma, ultras-es-mikrodalga modifiye nişasta örneklerinde en yüksek yağ emme kapasitesi, mikrodalga-ultras-es modifiye nişasta örneklerinde en yüksek su emme kapasitesi ve en iyi donma-çözülme kararlılığı	Wang vd., 2020

Çizelge 5. devam

Biyopolimer	Biyopolimer tipi/kaynağı	Ultrases-Mikrodalga Kombinasyonu Uygulama Koşulları	Biyopolimer Üzerine Etkiler	Kaynak
Lipid	Sorgum tohumu	Ultrases + mikrodalga 5 dk/%40 + 15s / 450 W 5 dk/%60 + 15s / 700 W 10 dk/%40 + 30s / 450 W 10 dk/%60 + 30s / 700 W	Mikrodalga ve ultrases kombinasyonunun yüksek kaliteli sorgum yağı elde etmek için en iyi yöntem olması	Hassan vd., 2017
Nişasta	Mısır nişastası	Süre/Mikrodalga/ Ultrases/ Sıcaklık 40dk/140W/350W/54°C 45dk/150W/ 400W/ 56°C 50dk/160W/ 450W/ 58°C	Niştastanın kalitesinde iyileşme, tek düze gözenek yoğunluğuna sahip nişasta eldesi	Liu vd., 2012
Protein	Balık miyofibriler proteini	Çeşitli ultrasonik güç (100, 200, 300 ve 400 W), Sabit mikrodalga gücü (100 W), ultrason frekansı 28 kHz, mikrodalğanın frekansı 2450 Hz	Kombine ultrason-mikrodalga uygulamasıyla antioksidan özellikler ve termal stabilitede iyileşme, miyofibriler proteinlerden hidrolizat elde ederken hidroliz reaksiyonuna proteinlerin daha açık hale gelmesi ve hidrolizat veriminin daha yüksek olması	Li vd., 2020
Protein	Çin mersin balığı	Mikrodalga 10 ila 800 W arasında değişen güçte ve 2.450 MHz frekansta, ultrases 50 W (sabit) güçte ve 40 kHz frekansta, 4, 8, 15 ve 25 dk	Teknolojilerin birarada uygulanmasıyla enzimatik hidroliz yönteminin etkinliğinde ve örneklerin antioksidan aktivitelerinde artış	Noman vd., 2020

Ultrases-mikrodalga kombinasyon uygulamasının doğal biyopolimerlerin kaynağından ekstraksiyonunda fonksiyonları ve ekstraksiyon sonrası çeşitli özellikleri üzerine etkileri:

Ultrases ve mikrodalga kombinasyon uygulaması, sorgum tohumlarının yağ asitleri bileşimini ve yağ verimini etkilemiştir (Hassan vd., 2017). Yüksek kaliteli sorgum yağı elde etmede ultrases-mikrodalga kombinasyonu, tek başına mikrodalga ya da tek başına ultrases uygulamalarına kıyasla en iyi yöntem olmuştur (Çizelge 5).

Ultrases-mikrodalga kombinasyon uygulamasının doğal biyopolimerlerin enzimlerle hidrolizinde fonksiyonları ve ekstraksiyon sonrası çeşitli özellikleri üzerine etkileri:

Geleneksel enzim hidroliz yöntemi, ultrases-mikrodalga uygulaması ile birleştirildiğinde, mısır niştastasının kalitesi iyileşmiş, tek düze gözenek yoğunluğuna sahip nişasta elde edilmiştir (Liu vd., 2012) (Çizelge 5).

Ultrases-mikrodalga kombinasyon uygulaması, miyofibriler protein peptidlerinin ve Çin mersin balığı protein hidrolizatlarının antioksidan

özelliklerini, termal stabilitelelerini iyileştirmiş, enzimatik hidroliz yönteminin etkinliğini arttırmıştır (Li vd., 2020; Noman vd., 2020).

SONUÇ

Kızılötesi, mikrodalga ve ultrases teknolojileri, doğal biyopolimerlerin modifikasyonunda başarıyla kullanılmaktadır. Kullanılan bu teknolojilerin proses koşullarına (kızılötesi için frekans, dalgaboyu, güç, süre; mikrodalga için frekans, güç, süre; ultrases için frekans, yoğunluk, süre, vb.), uygulama ekipmanına ve biyopolimerlerin tipine ve elde edildikleri kaynaklara bağlı olarak biyopolimerlerin özelliklerinde meydana getirdikleri değişimler farklılık göstermektedir. Kızılötesi uygulaması, nişastanın granül yapısını ve reolojik özelliklerini değiştirmiş ve nişastanın elde edildiği kaynağa bağlı olarak bu değişimlerin düzeyi farklılık göstermiştir. Mikrodalga uygulaması, nişastanın şişme gücünü, amiloz içeriğini, jelatinizasyon entalpisini ve viskozitesini azaltırken çirş stabilitesini, çirşlenme sıcaklığını arttırmış, yağların oksidatif stabilitelelerini değiştirmiştir. Ultrases uygulaması, polimerlerin morfolojisini, boyutlarını, reolojik ve çözünürlük özelliklerini değiştirmiş, polisakkaritlerin ve yağların kaynağından ultrases yardımıyla ekstraksiyonunda verimi arttırmış, ekstraksiyon süresini kısaltmıştır. Ayrıca polimerlerin enzimatik hidrolizini kolaylaştırmıştır. Kızılötesi-mikrodalga ve ultrases-mikrodalga teknolojilerinin birarada kullanılmasıyla sinerjistik bir etki oluşturularak polimerlerin yapısal ve fonksiyonel özelliklerinde daha kısa sürede daha belirgin değişiklikler meydana getirilmiştir. Bu makale kapsamında ele alınan teknolojiler, gıda endüstrisinde kullanılmak üzere doğal biyopolimerlerin fonksiyonelliklerinin geliştirilmesinde yüksek potansiyele sahiptir. Kızılötesi ve kızılötesi-mikrodalga uygulamalarının nişasta dışındaki polimerler üzerine etkileri konularında sınırlı sayıda çalışma yer almaktadır. Bu kapsamda daha fazla veri üretilmesine ihtiyaç vardır. Diğer yandan, biyopolimerlerin tipine ve elde edildiği kaynağa bağlı olarak uygulanan işlem koşullarının farklılık göstermesi, kullanılan ekipmanların standart özelliklere sahip olmamaları ve bilimsel çalışmalarda deneysel tasarımın laboratuvar

ölçekli ekipmanlar kullanılarak yapılmış olması, bu teknolojilerin endüstriyel olarak yaygınlaştırılmalarını sınırlandırmaktadır. Bu teknolojilerin endüstriyel ölçekte kullanılmalarının yaygınlaştırılması için biyopolimerin tipi ve özelliklerine özgü endüstriyel ölçekte standart yeni tasarımlar gerçekleştirilebilir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar, bu makale ile ilgili olarak başka kişiler ve/veya kurumlar arasında çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

YAZAR KATKILARI

Tüm yazarlar, makalenin yazılmasında ve yayınlanmasında katkı sağlamışlardır. Makalenin hazırlanmasında başka kişi ve/veya kurumların katkısı yoktur.

KAYNAKLAR

- Aboud, S.A., Altemimi, A.B., Al-Hilphy, A.R. S., Lee, Y., Cacciola, F. (2019). A comprehensive review on infrared heating applications in food processing. *Molecules*, 24(22): 4125.
- Akyüz A.Ö. (2010). Ultrasesin polimerlere etkileri, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye, 141 s.
- Amiri A., Sharifian P., Soltanzadeh N. (2018). Application of ultrasound treatment for improving the physicochemical, functional and rheological properties of myofibrillar proteins, *Int J Biol Macromol*, 111:139-147.
- Anderson A.K., Guraya H.S. (2006). Effects of microwave heat-moisture treatment on properties of waxy and non-waxy rice starches, *Food Chem*, 97(2): 318–323.
- Arifoğlu, N., Öğütçü, M. (2019). Effect of microwave heating on quality parameters of hazelnut, Canola and Corn Oils. *Akademik Gıda*, 17(1): 23-29.
- Arzeni C., Martinez K., Zema P., Arias A., Perez O.E., Pilosof A.M.R. (2012). Comparative study of high intensity ultrasound effects on food proteins functionality. *J Food Eng*, 108(3): 463–472.

- Balaji, A.B., Pakalapati, H., Khalid, M., Walvekar, R., Siddiqui, H. (2018). Natural and synthetic biocompatible and biodegradable polymers. In: *Biodegradable and Biocompatible Polymer Composites*, Elsevier, pp. 3-32.
- Bhargava, N., Mor, R.S., Kumar, K., Sharanagat, V.S. (2021). Advances in application of ultrasound in food processing: A review. *Ultrason Sonochem*, 70: 105293.
- Bhatia, S. (2016). Natural polymers vs synthetic polymer. In: *Natural Polymer Drug Delivery Systems*, Springer, pp. 95-118.
- Camino N.A., Perez O.E., Pilosof A.M.R. (2009). Molecular and functional modification of hydroxypropylmethylcellulose by high-intensity ultrasound, *Food Hydrocoll*, 23(4): 1089–1095.
- Cui, R.B., Zhu, F. (2021). Ultrasound modified polysaccharides: A review of structure, physicochemical properties, biological activities and food applications. *Trends Food Sci Technol*, 107: 491-508.
- Çengelköy Köz, E. (2019). Farklı ısıtma teknolojileri-nem uygulaması ile modifiye edilmiş nişastaların ve bu nişastalardan elde edilen yenilebilir filmlerin özellikleri, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Polimer Bilimi ve Teknolojisi Anabilim Dalı YL Tezi, (Tez Danışmanı: Semin Özge (Özkoç) Keskin), Kocaeli, Türkiye. 131 s.
- Dangaran, K., Tomasula, P.M., Qi, P. (2009). Structure and function of protein-based edible films and coatings. In: *Edible Films and Coatings for Food Applications*, Embuscado M. E. and Huber K. C., (ed.), Springer, pp. 25-56.
- Desbrières J., Petit C., Reynaud S. (2014). Microwave-assisted modifications of polysaccharides, *Pure Appl Chem*, 86(11): 1695–1706.
- Firouz, M.S., Farahmandi, A., Hosseinpour, S. (2019). Recent advances in ultrasound application as a novel technique in analysis, processing and quality control of fruits, juices and dairy products industries: A review. *Ultrason Sonochem*, 57: 73-88.
- Gallo M., Ferrara L., Naviglio D. (2018). Application of ultrasound in food science and technology: A Perspective, *Foods*, 7(10): 164.
- Guimaraes, J.T., Silva, E.K., Alvarenga, V.O., Costa, A.L.R., Cunha, R.L., Sant'Ana, A.S., Freitas, M.Q., Meireles, M.A.A., Cruz, A.G. (2018). Physicochemical changes and microbial inactivation after high-intensity ultrasound processing of prebiotic whey beverage applying different ultrasonic power levels. *Ultrason Sonochem*, 44: 251-260.
- Guo B., Wu J., Hu X., Luo S., Wang H., Xu S., Huang Z., Liu C. (2020). Effects of controlled far-infrared treatment on granular swelling and rheological properties of crop starches, *Starch/Stärke*, 72(3-4): 1900251.
- Hassan, S., Imran, M., Ahmad, N., Khan, M. K. (2017). Lipids characterization of ultrasound and microwave processed germinated sorghum. *Lipids Health Dis*, 16, 125.
- Hu A., Li L., Zheng J., Lu J., Meng X., Liu Y., Rehman R. (2014). Different-frequency ultrasonic effects on properties and structure of corn starch, *J Sci Food Agric*, 94(14): 2929-2934.
- İsmailoğlu, S. Ö., Başman, A. (2015). Effects of infrared heat-moisture treatment on the physicochemical properties of corn starch. *Starch/Stärke*, 67(5-6): 528-539.
- İsmailoğlu, S. Ö., Başman, A. (2016). Physicochemical properties of infrared heat-moisture treated wheat starch, *Starch/Stärke*, 68(1-2): 67-75.
- Jambrak, A. R., Herceg Z., Subaric, D., Babic, J., Brncic, M., Brncic, S.R., Bosiljkov, T., Cvek D., Tripalo, B., Gelo, J. (2010). Ultrasound effect on physical properties of corn starch. *Carbohydr Polym*, 79(1): 91-100.
- Karrar, E., Sheth, S., Wei, W., Wang, X. (2020). Effect of microwave heating on lipid composition, oxidative stability, color value, chemical properties, and antioxidant activity of gurum (*Citrulluslanatus var. Colocynthis*) seed oil. *Biocatal Agric Biotechnol*, 23,101504.

- Kasaai M.R. (2013). Input power-mechanism relationship for ultrasonic irradiation: Food and polymer applications, *J Nat Sci*, 05(08): 14-22.
- Keskin, S.O. (2003). Effects of different ovens and enzymes on quality parameters of bread. ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı YL Tezi, (Tez Danışmanı: Servet Gülüm Şumnu, Yardımcı Danışman: Serpil Şahin), Ankara, Türkiye. 135 s.
- Keskin, S.O., Sumnu, G., Sahin, S., (2004a). Bread baking in halogen lamp microwave combination oven. *Food Res Int*, 37(5):489-495.
- Keskin, S.O., Sumnu, G., Sahin, S., (2004b). Usage of enzymes in a novel baking process. *Nahrung/Food*, 48(2):156-160.
- Keskin S.O., Ozturk, S., Sahin, S., Köksel, H., Sumnu, G., (2005). Halogen lamp microwave combination baking of cookies. *Eur Food Res Technol*, 220(5-6): 546-551.
- Kumar, Y., Singh, L., Sharanagat, V. L., Patel, A., Kumar, K., (2020). Effect of microwave treatment (low power and varying time) on potato starch: Microstructure, thermo-functional, pasting and rheological properties. *Int J Biol Macromol*, 155: 27–35.
- Lao, YY., Zhang, M., Chitrakar, B., Bhandari, B., Fan, D.C. (2019). Efficient plant foods processing based on infrared heating. *Food Rev Int*, 35(7): 640-663.
- Lee, E.H. (2021). A review on applications of infrared heating for food processing in comparison to other industries, In: *Innovative Food Processing Technologies: A Comprehensive Review*, Article in press, Knoerzer, K. and Muthukumarappan, K. (chief ed.), Elsevier, pp. 431-455. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22670-X>
- Li Y., Hu A., Zheng J., Wang X. (2019). Comparative studies on structure and physicochemical changes of millet starch under microwave and ultrasound at the same power., *Int J Biol Macromol*, 141: 76–84.
- Li, Z., Wang, J., Zheng, B., Guo, Z. (2020). Impact of combined ultrasound-microwave treatment on structural and functional properties of golden threadfin bream (*Nemipterus virgatus*) myofibrillar proteins and hydrolysates. *Ultrason Sonochem*, 65: 105063.
- Liu, Z.D., Yang, Y., Liang, H., Bi, L., Gong, B. (2012). Study on technology of ultrasound-microwave assisted improves preparation of porous starch. *Mater Manuf Process*, Vol. 476-478, pp. 744-750.
- Martins, C.P.C., Cavalcanti, R.N., Couto, S.M., Moraes, J., Esmerino, E.A., Silva, M.C., Raices, R.S.L., Gut, J.A.W., Ramaswamy, H.S., Tadini, C.C., Cruz, A.G. (2019). Microwave processing: Current background and effects on the physicochemical and microbiological aspects of dairy products. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 18(1): 67-83.
- Ma S., Fan D., Wang L., Lian H., Zhao J., Zhang H., Chen W. (2015). The impact of microwave heating on the granule state and thermal properties of potato starch, *Starch/Starke*, 67(5-6): 391–398.
- McKenzie, TG., Karimi, F., Ashokkumar, M., Qiao, GG. (2019). Ultrasound and sonochemistry for radical polymerization: Sound synthesis. *Chem Eur J*, 25(21): 5372-5388.
- Mello P.A., Barin J.S., Guarnieri R.A. (2014). Microwave heating, In: *Microwave-Assisted Sample Preparation for Trace Element Determination*, Elsevier, 59-75.
- Mizutani Y., Shibata M., Yamada S., Nambu Y., Hirotsuka M., Matsumura Y. (2019). Effects of heat treatment under low moisture conditions on the protein and oil in soybean seeds, *Food Chem*, 275:577–584.
- Monroy, Y., Rivero, S., Garcia, M.A. (2018). Microstructural and techno-functional properties of cassava starch modified by ultrasound. *Ultrason Sonochem*, 42: 795-804.
- Nadiah, N. I., Uthumporn, U., Syahariza, Z. A. (2015). Effect of microwave heating on potato and tapioca starches in water suspension. *Int J Adv Sci Eng Inform Technol*, 5(4): 264-271.
- Noman, A., Qixing, J., Xu, Y., Abed, S.M., Obadi, M., Ali, A.H., Bukhaiti, W.Q., Xia, W. (2020). Effects of ultrasonic, microwave, and combined

- ultrasonic microwave pretreatments on the enzymatic hydrolysis process and protein hydrolysate properties obtained from Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*). *J Food Biochem*, 44: e13292.
- Oyeyinka, S. A., Umaru, E., Olatunde, S. J., Joseph, J. K. (2019). Effect of short microwave heating time on physicochemical and functional properties of Bambara groundnut starch. *Food Biosci*, 28: 36–41.
- Patist, A., Bates, D. (2008). Ultrasonic innovations in the food industry: From the laboratory to commercial production. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 9:147–154.
- Pop, F. (2018). Effect of microwave heating on quality and fatty acids composition of vegetable oils, *Stud Univ Babeş-Bolyai Biol*, 63(2):43-52.
- Prajapat A.L., Gogate P.R. (2015). Depolymerization of guar gum solution using different approaches based on ultrasound and microwave irradiations, *Chem Eng Process*, 88: 1-9.
- Qin X.S., Luo S.Z., Cai J., Zhong X.Y., Jiang S.T., Zheng Z., Zhao Y.Y. (2016). Effects of microwave pretreatment and transglutaminase crosslinking on the gelation properties of soybean protein isolate and wheat gluten mixtures, *J Sci Food Agric*, 96(10): 3559-3566.
- Rastogi, N.K. (2021). Infrared heating in drying operations, In: *Innovative Food Processing Technologies: A Comprehensive Review*, Article in press, Knoerzer, K. and Muthukumarappan, K. (chief ed.), Elsevier, pp. 456-476. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22671-1>
- Rattanadecho, P., Makul, N. (2016). Microwave-assisted drying: A Review of the State-of-the-Art. *Dry Technol*, 34(1):1-38.
- Ren X., Wei X., Ma H., Zhou H., Guo J., Mao S., Hu A. (2015). Effects of a dual-frequency frequency-sweeping ultrasound treatment on the properties and structure of the zein protein. *Cereal Chem*, 92(2):193–197.
- Riadh, M.H., Ahmad, S.A.B., Marhaban, M.H., Soh, A.C. (2015). Infrared heating in food drying: An overview. *Dry Technol*, 33(3):322-335.
- Semwal, J., Meera, M.S. (2020). Infrared radiation: Impact on physicochemical and functional characteristics of grain starch. *Starch*, 2000112.
- Shah, U., Gani, A., Ashwar, B.A., Shah, A., Wani, I.A., Masoodi. F.A. (2016). Effect of infrared and microwave radiations on properties of IndianHorse Chestnut starch. *Int J Biol Macromol*, 84:166–173.
- Singh, V., P. Kumar, P., Sanghi, R. (2012). Use of microwave irradiation in the grafting modification of the polysaccharides-A review, *Prog Polym Sci*, 37(2):340-364.
- Souza H.K.S., Campiña J.M., Sousa A.M.M., Silva F., Gonçalves M.P. (2013). Ultrasound-assisted preparation of size-controlled chitosan nanoparticles: Characterization and fabrication of transparent biofilms, *Food Hydrocoll*, 31(2): 227-236.
- Stevenson, D.G., Biswas, A., Inglett, (2005). G.E. Thermal and pasting properties of microwaved corn starch. *Starch*, 57(8):347-353.
- Sumari S., Roesyadi A., Sumarno S. (2013). Effects of ultrasound on the morphology, particle size, crystallinity, and crystallite size of cellulose. *Sci Study and Res: Chem Chem Eng*, 14 (4), pp. 229 – 239.
- Sun H., Shao X., Jiang R., Ma Z., Wang H. (2018). Effects of ultrasonic/microwave-assisted treatment on the properties of corn distarch phosphate/corn straw cellulose films and structure characterization. *J Food Sci Technol*, 55(4):1467-1477.
- Tan, C.P., Man, Y.B.C., Jinap, S., Yusoff, M.S.A. (2001). Effects of microwave heating on changes in chemical and thermal properties of vegetable oils. *J Am Oil Chem Soc*, 78(12): 1227-1232.
- Türk V. (2013). Ultrasonik depolimerizasyon, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi (Tez Danışmanı: Ali Özhan Akyüz), Afon, Türkiye, 62 s.
- Uraives, P., Choomjaihan, P. (2019). Some physicochemical properties of tapioca starch during infrared heat treatment, In *IOP Conference*

Series: *Earth and Environmental Science* (Vol. 301, p. 012044). IOP Publishing.

Vanga, S.K., Wang, J., Raghavan, V. (2020). Effect of ultrasound and microwave processing on the structure, in-vitro digestibility and trypsin inhibitor activity of soymilk proteins. *LWT-Food Sci Technol*, 131: 109708.

Vera A., Tapia C., Abugoch L. (2020). Effect of high-intensity ultrasound treatment in combination with transglutaminase and nanoparticles on structural, mechanical, and physicochemical properties of quinoa proteins/chitosan edible films, *Int J Biol Macromol*, 144: 536-543.

Verma, D.K., Mahanti, N.K., Thakur, M., Chakraborty, S.K., Srivastav, P.P. (2020). Microwave heating: Alternative thermal process technology for food application. In: *Emerging Thermal and Nonthermal Technologies in Food Processing*, pp.25-67.

Virkutyte, J. (2015). The use of power ultrasound in biofuel production, bioremediation, and other applications, In: *Power Ultrasonics Applications of High-Intensity Ultrasound*. pp.1095-1122.

Wang, M., Sun, M., Zhang, YY., Chen, Y., Wu, YW., Ouyang, J. (2019). Effect of microwave irradiation-retrogradation treatment on the digestive and physicochemical properties of starches with different crystallinity. *Food Chem*, 298: 125015.

Wang, M., Wu, Y., Liu, Y., Ouyang, J (2020). Effect of ultrasonic and microwave dual-treatment on the physicochemical properties of chestnut starch. *Polym*, 12(8):1718.

Wang, N., Gao, Y., Wang, P., Xie, T., Xiao, Z. (2016). Effect of microwave modification on mechanical properties and structural characteristics of soy protein isolate and zein blended film. *Czech J Food Sci*, 34(2): 180-188.

Wang Z., Sun X., Lian Z., Wang X., Zhou J., Ma Z. (2013). The effects of ultrasonic/microwave assisted treatment on the Properties of soy protein isolate/microcrystalline wheat-bran cellulose film. *J Food Eng*, 114(2): 183-191.

Xiong Y., Li Q., Miao S., Zhang Y., Zheng B., Zhang L. (2019). Effect of ultrasound on physicochemical properties of emulsion stabilized by fish myofibrillar protein and xanthan gum, *Innov Food Sci Emerg Technol*, 54: 225-234.

Yadav, G., Gupta, N., Sood, M., Anjum, N., Chib, A. (2020). Infrared heating and its application in food processing. *J Pharm Innov*, 9(2): 142-151.

Yang, Q., Qi, L., Luo, Z., Kong, X., Xiao, Z., Wang, P., Peng, X. (2017). Effect of microwave irradiation on internal molecular structure and physical properties of waxy maize starch. *Food Hydrocoll*, 69: 473-482.

Yılmaz Tuncel, N., Tuncel, N.B. (2016). Kızılötesi teknolojisi ve gıda işlemedeki kullanımı. *Akademik Gıda*, 14(2): 196-203.

Zhu, F. (2015). Impact of ultrasound on structure, physicochemical properties, modifications, and applications of starch. *Trends Food Sci Technol*, 43(1): 1-17.