

## **VIŞNE ÇEKİRDEĞİ ATIĞINDAN ÜRETİLEN PEKTİNİN SOYA BAZLI BİTKİSEL PROTEİN İLE HİDROJEL OLUŞTURMA POTANSİYELİ: FENOLİK MADDE SALINIMI ÜZERİNE HİDROJEL DOĞASININ ETKİSİ**

**Baran Ay, Bülent Başığit\***

Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

Geliş/Received: 06.06.2023; Kabul /Accepted: 24.07.2023; Online baskı /Published online: 05.08.2023

Ay, B., Başığit, B. (2023). Vişne çekirdeği atığından üretilen pektinin soya bazlı bitkisel protein ile hidrojel oluşturma potansiyeli: Fenolik madde salınımı üzerine hidrojel doğasının etkisi. *GIDA* (2023) 48 (4) 831-845 doi: 10.15237/ gida.GD23068

Ay, B., Başığit, B. (2023). Hydrogel forming potential of pectin derived from sour cherry waste with soy-based plant protein: Effect of hydrogel nature on phenolic release. *GIDA* (2023) 48 (4) 831-845 doi: 10.15237/ gida.GD23068

### **ÖZ**

Mevcut çalışmada yağı ve proteini alınmış vişne (*Prunus cerasus* L.) çekirdeklerinden elde edilen pektinin (VÇP) soya fasulyesi orijinli doğal hidrojellerin üretiminde destekleyici materyal olarak kullanımı amaçlanmıştır. Pektin tozlarının üretim aşaması Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi ile doğrulanmıştır. Ayrıca VÇP'nin fizikokimyasal ve fonksiyonel özellikleri ticari pektin (TP) ile karşılaştırmalı olarak tartışılmıştır. Üç farklı doğaya sahip doğal hidrojel sistemleri (SH: sadece soya fasulyesi proteini; SVPH: soya fasulyesi proteini ve VÇP karışımı; STPH: soya fasulyesi proteini ve TP karışımı) üretilmiştir. Jellerin yüzey morfolojileri taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Fonksiyonel özellikler açısından efektif değerler SVPH'de (su tutma kapasitesi: %91.65; şişme oranı: %5.78; protein sızma oranı: %12.51) tespit edilmiş bu jeli sırasıyla STPH (su tutma kapasitesi: %83.99; şişme oranı: %5.37; protein sızma oranı: %15.81) ve SH (su tutma kapasitesi: %65.74; şişme oranı: %3.56; protein sızma oranı: %23.11) takip etmiştir. Mekanik özellikler açısından ve biyoaktif madde taşıma araçları olarak da SVPH ve STPH ön plana çıkmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Vişne çekirdeği pektini, bitkisel protein, doğal hidrojel, biyoaktif madde taşıma aracı

## **HYDROGEL FORMING POTENTIAL OF PECTIN DERIVED FROM SOUR CHERRY WASTE WITH SOY-BASED PLANT PROTEIN: EFFECT OF HYDROGEL NATURE ON PHENOLIC RELEASE**

### **ABSTRACT**

This study aimed the usage of pectin (VCP) obtained from defatted and deproteinized cherry (*Prunus cerasus* L.) seeds as a supporting material in fabrication of soybean-based natural hydrogels. Production step of pectin powders was verified by Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. Physicochemical and functional properties of VCP were discussed in comparison with commercial pectin (TP). Natural hydrogels with three different natures (SH: soybean protein alone; SVPH: soybean protein and VCP blend; STPH: soybean protein and TP blend) were constructed. Surface morphologies of gels were examined using scanning electron microscopy. Effective values for functional properties were determined in SVPH (water holding capacity: 91.65%; swelling ratio:

\* Corresponding author/Yazışmalardan sorumlu yazar:

✉: bulentbasyigit@harran.edu.tr

☎: (+90) 414 318 1583

☎: (+90) 414 318 3799

Baran Ay; ORCID no: 0009-0009-9310-1540

Bülent Başığit; ORCID no: 0000-0002-6617-1836

5.78%; protein leachability: 12.51%) followed by STPH (water holding capacity: 83.99%; swelling ratio: 5.37%; protein leachability: 15.81%), and SH (water holding capacity: 65.74%; swelling ratio: 3.56%; protein leachability: 23.11%). SVPH and STPH were ahead in terms of mechanical properties. Also, they were successful in phenolic delivery.

**Keywords:** Sour cherry seed pectin, plant protein, natural hydrogel, bioactive compound delivery vehicle

## GİRİŞ

Gıda endüstrisi, gıda ürünlerinin üretimi, işlenmesi, dağıtımı ve tüketimi ile ilgili çeşitli faaliyetleri kapsayan geniş bir sektördür. Bu endüstri, temel olarak tarım ürünlerinin çeşitli proseslerden geçirilmesi ve proses sonunda bu ürünlerin farklı formlarda (yiyerek ve/veya içecek) tüketiciye sunulması ile ilgilidir. Nihai ürünler olan yiyeceklerin/içeceklerin üretimi esnasında ciddi miktarlarda atık materyaller açığa çıkmaktadır. Kabuklar, yapraklar, çekirdekler (tohumlar) ve diğer yenilebilir/yenilemez kısımlar bu gruba örnek olarak verilebilir (Chaovanakrit ve Wrolstad, 2004). Endüstriyel gıda üretimi süreçlerinde ortaya çıkan bu atıklardan katma değerli ürünlerin eldesi kaynak verimliliği (ekonomik) ve arzu edilebilir bir çevre açısından önemlidir. Bu bağlamda portakal kabuklarından pektin (Casas-Orozco vd., 2015), nar kabuklarından fenolik (Çam vd., 2014), nar çekirdeklerinden yağ (Tian vd., 2013), elma kabuklarından pektin (Shivamathi vd., 2019), biber çekirdeklerinden yağ (Chouaibi vd., 2019) ve kepeklerden protein (Görgüç vd., 2019) üretimi ile ilgili çeşitli çalışmalar literatürde mevcuttur. Bu yaklaşımlara ve örneklerle paralel olarak mevcut çalışmada pektin eldesinde vişne (*Prunus cerasus*) çekirdekleri başlangıç materyali olarak kullanılmıştır. Vişne ülkemizin farklı bölgelerinde yaygın bir şekilde yetiştirilen meyvelerden biridir. Meyvenin içerdiği antioksidan bileşikler, C vitamini ve lif nedeniyle sağlık üzerine (özellikle bağırsıklık ve sindirim sistemi) farklı birçok faydası bilimsel literatürde not edilmiştir. Vişne, sofralık tüketimi oldukça az endüstriyel bir meyve olup daha çok çeşitli gıda ürünlerinin (turtalar, reçeller, jöleler, konserve, soslar ve meyve suları) üretiminde ham madde olarak kullanılmaktadır (Cairone vd., 2023). Meyvenin bu gıdalara işlenmesi esnasında ciddi miktarlarda atık ortaya çıkmaktadır. Bu atıklar arasında makromoleküllerce (yağ, protein ve karbonhidrat) zengin olan çekirdekler (kernel) son

yıllarda bilimsel literatürün ve endüstrinin en çok üzerinde durduğu kompleks materyallerdir. Bu kompleks yapılardan yağ ve protein özütlemesini konu alan çalışmaların sayısı her geçen gün artmaktadır (Başyigit vd., 2021a; Başyigit vd., 2021b); ancak literatür verileri incelendiğinde vişne çekirdeklerinden karbonhidratların özütlenmesi ile ilgili yürütülmüş çalışmaların sayısı sınırlıdır. Çekirdekler kompleks bir yapıya sahip oldukları için makromoleküllerin özütlenmesi sıralı bir şekilde (önce yağ sonra protein) gerçekleştirilmektedir (Başyigit vd., 2022). Teorik olarak düşünüldüğünde sıralı özütleme işlemi sonunda ortaya çıkan posa (yağsız ve proteinsiz) yüksek miktarda karbonhidrat içermektedir. Dolayısıyla ilgili materyallerden karbonhidratların uygun koşullarda özütlenmesi ve elde edilen yapıların farklı sistemlerde değerlendirilmesi katma değerli ürün yelpazesi açısından önemli bir adım olacaktır. Bilimsel literatüre ve sektörel gelişmelere cevap vermek için çalışma kapsamında vişne çekirdeklerinden elde edilen karbonhidratın hidrojel sistemlerine entegre edilmesi planlanmıştır.

Son yıllarda birçok farklı alanda (gıda, medikal, biyoteknoloji ve malzeme bilimi) hidrojel sistemlerinin kullanımına ve mevcut şartların geliştirilmesine yönelik çabalar yadsınamayacak seviyelerdedir (Hoffman, 2012; Zhang vd., 2020). Sentetik materyaller (akrilamidler, poli(hidroksialkil metakrilat), poli(akrilamid), poli(metakrilamid), poli(N-vinil-2-pirolidon) ve polivinil alkol) kullanılarak arzu edilen kaliteye sahip hidrojellerin üretimi mümkündür; ancak canlı organizmaya toksik etkileri nedeniyle bu sistemlerin farklı alanlarda kullanımlarının sınırlandırılması hedeflenmektedir (Sun vd., 2021). Bu bağlamda en dikkat çekici çabalardan bir tanesi sentetik materyaller ile kurulan jel sistemleri yerine doğal alternatiflerinin üretilmesine yöneliktir. Bilimsel bulgular doğal hidrojel sistemlerinin proteinler ve

karbonhidratlarla üretilebileceğine işaret etmektedir (Singhal ve Gupta, 2016; Demirkıran vd., 2022). Bu iki biyopolimer grup arasında ise proteinler (polipeptit zincirleri genellikle biyolojik olarak emilebilir, çevre dostu ve biyolojik olarak güvenli) karbonhidratlarla kıyaslandığında bir dizi doğal avantaj sergilerler (González vd., 2011). Vurgulanan avantajlardan dolayı proteinlerin hidrojel uygulamalarında yapı taşı olarak kullanımına yönelik bir yönelim vardır (Başyigit vd., 2023; Zhang vd., 2023); ancak sadece protein kullanılarak hazırlanan hidrojeller, birçok olumlu yönünün yanı sıra mekanik dayanım eksikliğinden müzdiriptir ve reolojik özellikleri arzu edilebilir seviyelerde değildir (Panahi ve Baghban-Salehi, 2019). Bu dezavantajlar hayvansal proteinlerle üretilen hidrojel sistemleri ile karşılaştırıldığında bitki kaynaklı olanlarda daha belirgindir (Abae vd., 2017). Proteinlerle ilgili bu eksiklikleri gidermek için çeşitli yollar denenmektedir. Örneğin, daha önce yürütülmüş bir çalışmada farklı tekniklerle modifiye edilmiş proteinler kullanılarak jellerin üç boyutlu yapısı oluşturulmuş ve bulgular bu alanda modifikasyonun başarısını ortaya koymuştur (Hennink ve Van Nostrum, 2012). Başka bir çalışmada ise protein bazlı jellere karbonhidratların dahil edilmesi, nihai ürünlerin kalite parametrelerinde gelişmesine neden olmuştur (Yan vd., 2020). Dolayısıyla literatür bulguları baz alındığında atık materyallerden elde edilen karbonhidratların protein orijinli jel sistemlerinde destekleyici materyaller olarak kullanılmaları mevcut koşullarda makuldür.

Belirtilen bulguların ve yaklaşımların ışığı altında, çalışmada yağı ve proteini alınmış vişne çekirdeklerinden pektin materyali özütlenmiş ve elde edilen karbonhidrat soya fasulyesi proteini orijinli hidrojel sistemlerinin oluşturulmasında destekleyici materyal olarak kullanılmıştır. Hidrojeller morfolojik, fonksiyonel ve tekstürel özellikler açısından karakterize edilmiştir. Ayrıca bu sistemlerin biyoaktif maddelerin taşınmasında potansiyelleri araştırılmıştır.

### **MATERYAL VE YÖNTEM**

#### **Materyal**

Pektin üretiminde ham madde olarak kullanılan vişne çekirdekleri Isparta'da faaliyet gösteren yerel

bir işletmeden tedarik edilmiştir. Ticari elma pektini Öz Yıldız Kimyevi Maddeler firmasından (İstanbul, Türkiye) satın alınmıştır. Diğer kimyasallar analitik saflıkta olup aksi belirtilmedikçe Sigma ve Merck firmalarından satın alınmıştır.

#### **Pektin tozlarının ve hidrojel sistemlerinin üretimi**

##### **Pektin özütleme**

Öncelikle laboratuvar tipi soğuk pres (Tuan Makina Sp 1560 S, Ankara, Türkiye) yardımı ile vişne çekirdeklerinden yağ uzaklaştırılmıştır. Daha sonra yağsız posadan proteinler ayrılmıştır (Başyigit vd., 2021b). Pektin eldesi için daha önce yürütülmüş bir çalışma bazı değişiklikler ile referans alınmıştır (Kamal vd., 2023). Yağı ve proteini alınmış vişne çekirdekleri (5 g), 100 mL saf su ile bir cam beher içerisinde karıştırılmıştır. Karışımın pH değeri 1 M hidroklorik asit ile 1.0, 2.0 ve 3.0 olacak şekilde ayarlanmış ve su banyosunda 80 °C'de 2 s bekletilmiştir. Süre sonunda solüsyonlar santrifüj tüplerine alınarak 4000 rpm'de 15 dk santrifüjlenmiştir. Filtre edilen süpernatanta eşit hacimde (1:1 v/v) yavaş bir şekilde etanol (%95, v/v) ilave edilmiş ve karışım gece boyunca +4 °C de bekletilmiştir. Süre sonunda karışım bir kez daha santrifüjleme (4000 rpm 15 dk) prosesine tabi tutulmuştur. Süpernatant uzaklaştırıldıktan sonra pektin materyalleri dondurarak kurutma cihazının (CoolerMed, Türkiye) ilgili kısmında kurutulmuş ve analizlere kadar +4 °C'de muhafaza edilmiştir.

##### **Hidrojel üretimi**

Hidrojeller önceki bir çalışmaya göre bazı değişiklikler ile yapı kazandırılmıştır (He vd., 2021a). Pektin (%2, w/v) ve soya fasulyesi proteini (%30, w/v) stok çözeltileri ayrı ayrı hazırlanarak oda sıcaklığında 5 s boyunca 200 rpm'de karıştırılmış ve tam hidrasyonu sağlamak için hazırlanan çözeltiler bir gece +4 °C'de bekletilmiştir. Pektin ve protein solüsyonları eşit hacimde (1:1 v/v) karıştırılmış ve karışımın pH değeri 6.0 olacak şekilde ayarlanmıştır. Hazırlanan karışım 200 rpm'de 1 s boyunca çalkalandıktan sonra jel oluşumu için su banyosunda 90 °C'de 45 dk bekletilmiştir. Süre sonunda elde edilen

hidrojeller oda sıcaklığına soğutulmuş ve analizlere kadar +4 °C de depolanmıştır.

### Pektin analizleri

#### FTIR spektroskopisi

Pektin tozlarının karakteristik yapıları FTIR cihazı (Shidmadzu, Japonya) ile 600-4000 cm<sup>-1</sup> dalga sayıları arasında araştırılmıştır. Spektrum taramaları 1 cm<sup>-1</sup> çözünürlükte ve 32 sn tarama süresinde gerçekleştirilmiştir (Andrade vd., 2019).

#### Verim

Pektin özütleme işlemi sonrası elde edilen pektin tozu ve özütleme başlangıcında kullanılan posa miktarı kullanılarak verim hesaplanmıştır. Özütleme verimi Eşitlik 1'e göre hesaplanmıştır.

$$\text{Özütleme verimi (\%)} = \frac{\text{Nihai toz ürünün ağırlığı}}{\text{Başlangıçtaki numune ağırlığı}} \times 100 \quad (1)$$

#### Nem miktarı

Pektin tozlarının nem içeriği gravimetrik olarak hesaplanmıştır. Bir g numune etüvde 105 °C'de 24 saat boyunca sabit tartıma gelinceye kadar bekletilmiştir. Kurutma işlemi öncesi ve sonrasında not edilen tartımlar oranlanarak nem içeriği hesaplanmıştır (Samuelsson vd., 2006).

#### Toplam kül miktarı

Toplam kül içeriğini belirlemek için 1-4 g pektin tozu tartılmış ve sabit ağırlığa ulaşana kadar 600 °C kül fırınında 16 saat boyunca yakma işlemine tabi tutulmuştur. İşlem öncesi ve sonrası kaydedilen ağırlıkların oranlanması ile toplam kül miktarı hesaplanmıştır (Liu, 2019).

#### Su aktivitesi

Pektin tozlarının su aktivitesi değeri, bir su aktivitesi ölçüm cihazı (Aqualab pre, ABD) kullanılarak belirlenmiştir (Turchiuli vd., 2005).

#### Renk

Toz numunelerin renk parametreleri (L\*: açıklık/koyuluk, a\*: kırmızı/yeşil, b\*: sarı/mavi) HunterLab kolorimetresi (Color Quest® XE, ABD) ile tespit edilmiştir (Duangmal vd., 2008).

#### Hausner oranı ve Carr indeksi

Hausner oranı ve Carr indeksi analizlerinin hesaplanmasında pektin tozlarının yığın

yoğunluğu ve sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değerleri kullanılmıştır (Turchiuli vd., 2005). Kısaca, 5 g pektin tozu 25 mL'lik cam mezüre alınarak kapladığı ilk hacim kaydedilmiştir. Daha sonra içerisinde numune bulunan cam mezür düz bir zemin üzerinde 200 defa belirli bir hızda vurularak hacmin sabitlenmesi sağlanmış ve son hacim kaydedilmiştir. Sıkıştırılmış tozun ağırlığının sıkıştırılan hacme oranlanması ile sıkıştırılmış yoğunluk hesaplanmıştır. Pektin tozunun Hausner oranı (Eşitlik 2) ve Carr indeksi (Eşitlik 3) değerleri aşağıdaki Eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Hausner oranı} = \frac{\text{Sıkıştırılmış yığın yoğunluğu}}{\text{Yığın yoğunluğu}} \quad (2)$$

$$\text{Carr indeksi} = \frac{\text{Sıkıştırılmış yığın yoğunluğu} - \text{Yığın yoğunluğu}}{\text{Sıkıştırılmış yığın yoğunluğu}} \times 100 \quad (3)$$

#### Yağ bağlama kapasitesi

Numunelerin yağ bağlama kapasitesini hesaplamak için santrifüj tüpüne alınan 1'er g pektin tozu üzerine 10 mL mısır yağı ilave edilmiştir. Nihai karışımlar oda sıcaklığında 1 s süre ile bekletilmiş ve her 15 dk'da bir defa vorteksleme işlemine tabi tutulmuştur. Süre sonunda 4000 rpm'de 15 dk santrifüjlenmiş ve süpernatantların tamamen uzaklaştırılması için tüpler 45° açı ile 30 dk boyunca tutulmuştur. Numunelerin yağ bağlama kapasitesi değerleri nihai ağırlıklarının başlangıç ağırlıklarına oranlanması ile hesaplanmıştır (Cho vd., 2004).

#### Emülsiyon aktivite indeksi

Emülsiyon hazırlamak için, 0.5 g pektin tozu 100 mL 10 mM potasyum fosfat tamponu içerisinde çözdürülmüştür. Hazırlanan pektin solüsyonu (75 mL) ve mısır yağı (25 mL) bir behere alınarak su içinde yağ emülsiyonu (%25 v/v) oluşturmak için 12.000 rpm'de 1 dk boyunca Ultra-Turrax homojenizatör (IKA-T18 Basic, Japonya) yardımıyla homojenize edilmiştir.

Emülsiyon aktivite indeksi için, 50 µL taze hazırlanan emülsiyon ve 5 mL sodyum dodesil sülfat (%0.1 w/v) ile bir santrifüj tüpü içerisinde karıştırılmıştır. Karışımın absorbansı 500 nm'de UV-Vis spektrofotometre (Model UV-1280,

Shimadzu, Japonya) ile okunarak emülsiyon aktivite indeksi Eşitlik 4'e göre belirlenmiştir (Lee vd., 2021).

$$\text{Emülsiyon aktivitesi (m}^2/\text{g)} = \frac{2 \cdot 2.303 \cdot A_i \cdot SF}{C \cdot \varphi \cdot \theta \cdot 1000} \quad (4)$$

Burada,  $A_i$ : homojenizasyon sonrası okunan absorbans değeri, SF: seyreltme faktörünü, C: pektin konsantrasyonunu,  $\varphi$ : optik yolu;  $\theta$ : yağ hacim fraksiyonunu ifade etmektedir.

### Hidrojel analizleri

#### Taramalı elektron mikroskobu

Hidrojel numunelerinin morfolojisi, dondurarak kurutulduktan sonra taramalı elektron mikroskobu (SEM) (ZEISS Sigma 300 Field Emission SEM, Oberkochen, Germany) ile incelenmiştir. Görüntüleme öncesi, numuneler vakum altında altın-paladyum ile kaplanmıştır (Başyigit vd., 2021b).

#### Su tutma kapasitesi

Hidrojellerin su tutma kapasitesini belirlemek için, 2 g numune 4000 rpm'de 20 dk santrifüjlenmiştir. Süre sonunda hidrojellerden ayrılan su dikkatlice süzülmüştür. Su tutma kapasitesi değeri, hidrojellerin başlangıç ağırlığının santrifüjleme işlemi sonrası ağırlığına oranlanması ile hesaplanmıştır (Wang vd., 2019).

#### Şişme oranı

Şişme oranı, hidrojellerin merkezinden küp şeklinde bir parça (10mm) alınarak tartılmıştır. Kübik parça su banyosunda 50 °C'de 30 dk bekletilmiştir. Süre sonunda örnekler filtre kâğıdı yardımıyla süzülüş ve son ağırlıkları kaydedilmiştir. Şişme oranı Eşitlik 5'e göre hesaplanmıştır (He vd., 2021b).

$$\text{Şişme oranı (\%)} = \frac{\text{Hidrojel'in son ağırlığı} - \text{Kübik kesilen hidrojel'in ağırlığı}}{\text{Hidrojel'in son ağırlığı}} \times 100 \quad (5)$$

#### Protein sızma oranı

Protein sızma oranını belirlemek için, 2 g hidrojel 8 mL 0.05 M sodyum fosfat tampon (pH 7.0) içerisine daldırılmıştır. Tampon ve jel sistemlerini içeren cam beher, 2 saat boyunca oda sıcaklığında bekletilmiş ve 30 dk'lık aralıklarla manuel olarak

karıştırılmıştır. Süre sonunda solüsyon 4000 rpm'de 10 dk santrifüjlenme işlemine tabi tutulmuş ve süpernatanttaki çözünür protein konsantrasyonu Bradford yöntemi ile belirlenmiştir (He vd., 2021b).

### Tekstürel özellikler

Hidrojel numunelerinin dokusal özellikleri TA-XT plus tekstür analiz cihazı (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, Surrey, UK) ile silindirik bir prob (P/0.5) kullanılarak belirlenmiştir. Hidrojellerin sertlik, sakızimsılık ve çigneme özellikleri tanımlanmıştır (Wang vd., 2019).

#### Fenolik maddelerin salınım davranışı

Hidrojellerin biyoaktif maddelerin taşınmasında kullanım potansiyellerini değerlendirmek için hibiskus bitkisinden (*Hibiscus sabdariffa* L.) elde edilen özütler kullanılmıştır. Fenolik ekstraksiyonu için daha önce yürütülmüş bir çalışma referans alınmıştır (Naji vd., 2023). Beş g hibiskus, sıcaklığı 120 °C olan 100 mL saf su ile karıştırılmıştır. Karışımları içeren cam şişeler su banyosunun ilgili kısmına yerleştirilmiş ve özütleme işlemine 120 °C sıcaklıkta 54 dk boyunca devam edilmiştir. Süre sonunda karışımlar santrifüjleme (4000 rpm 5 dk) işlemine tabi tutulmuş ve elde edilen süpernatantlar (2 mL) hidrojelere yüklenmiştir. Fenolik yüklü hidrojeller ortam sıcaklığında 0.2 M sodyum fosfat tamponu (pH 7.0) içerisine daldırılmıştır. 360 dk boyunca her 60 dk'de bir defa solüsyon içerisinden bir pipet yardımı ile 2 mL sıvı alınmış ve çekilen sıvı miktarı kadar yerine sodyum fosfat tamponu eklenmiştir (Liu vd., 2018). Toplam fenolik madde içeriğinin belirlenmesi için, 0.4 mL numune içeren cam tüplere 1.6 mL sodyum karbonat (%7.5, w/v) ve saf su ile 10 kat seyreltilmiş 2 mL Folin-Ciocalteu fenol reaktifi ilave edilmiştir. Karışım 1 s karanlıkta inkübe edildikten sonra absorbans değerleri 765 nm dalga boyunda UV-Vis spektrofotometre ile ölçülmüştür. Sonuçlar gallik asit eğrisi kullanılarak hesaplanmıştır (Tülek vd., 2021).

### İstatistiksel analizler

Tüm analizler üç tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar ortalama±standart

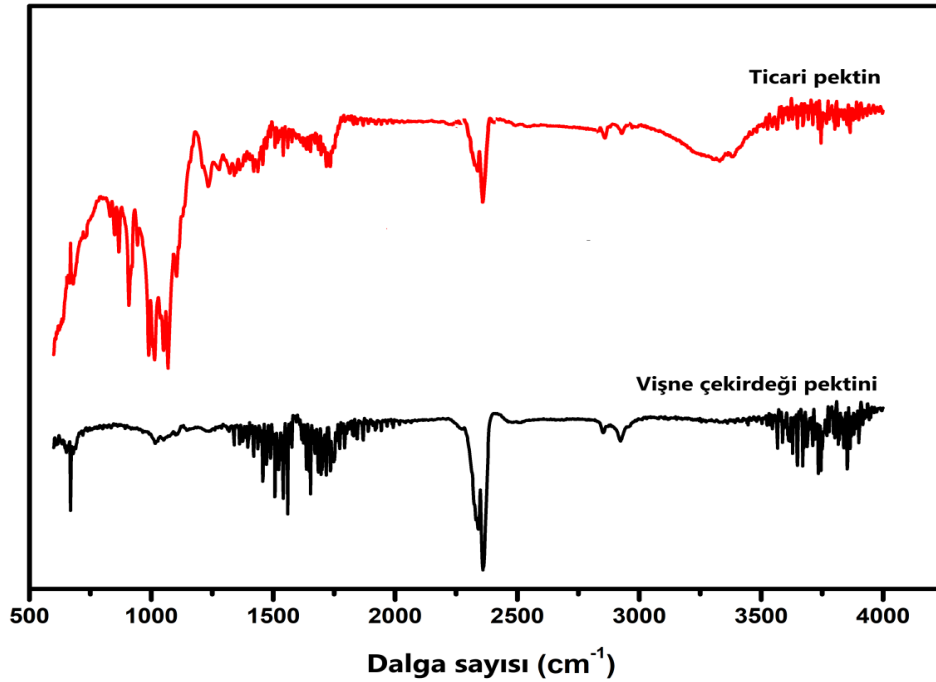
sapma olarak verilmiştir. Grafiklerin oluşturulmasında OriginPro 2021b (Origin Lab Inc.) kullanılmıştır. İstatistiksel değerlendirmeler için veri setleri SPSS sürüm 22.0 istatistik paket (SPSS Inc., Chicago, ABD) programına işlenmiştir. İşlenen veri setleri tek yönlü varyans analizi ile değerlendirilmiştir. Gruplar arası karşılaştırma için Tukey çoklu karşılaştırma testi ( $p < 0.05$ ) kullanılmıştır.

## SONUÇ VE TARTIŞMA

### Vişne çekirdeklerinden pektin üretim adımının doğrulanması

Çalışmanın bu bölümünde vişne çekirdeklerinden pektin özütleme işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştirilip gerçekleştirilmediğini tespit etmek için nihai toz ürünlerdeki spesifik gruplar FTIR spektroskopisi ile yorumlanmıştır. VÇP ve TP'ye ait spektrumlar Şekil 1'de sunulmuştur. Her iki örnekte absorpsiyon bantları benzer dalga sayılarında ortaya çıkmıştır. Yaklaşık  $3300 \text{ cm}^{-1}$ 'deki geniş ve yayvan bantlar pektin örneklerinin hidroksil gruplarında bulunan O-H bağlarının gerilme titreşimlerinden kaynaklanmaktadır.

Alifatik ve aromatik C-H bağlarının gerilme titreşimlerine karşılık gelen zirveler  $2800-3000 \text{ cm}^{-1}$ 'de tespit edilmiştir (Güzel ve Akpınar, 2019). Karbonil (C=O) (ester, karboksilik asit veya asetil) gruplarının esneme titreşimini temsil eden zirveler VÇP ve TP'nin spektrumlarında  $1740-1760 \text{ cm}^{-1}$  bölgeleri arasında ortaya çıkmıştır (Sivam vd., 2012). Pektin örneklerindeki karboksilat gruplarını (O-C=O esneme) temsil eden tepe noktaları  $1600 \text{ cm}^{-1}$  dalga sayısındadır (Liu vd., 2021). Spektrumlarda açık bir şekilde görülen yaklaşık  $1250 \text{ cm}^{-1}$  bölgesindeki absorpsiyon bantları metoksi gruplarındaki (-OCH<sub>3</sub>) C-O bağının esneme titreşimleri ile ilişkilendirilebilir (Herrera-Rodríguez vd., 2022).  $800-1050 \text{ cm}^{-1}$  civarındaki tepe noktaları galakturonik asit birimleri arasındaki glikozidik bağların karakteristiğidir (Szymanska-Chargot vd., 2015). Sonuç olarak pektine özgü özel yapıları temsil eden pikler referans numunede (TP) olduğu gibi VÇP'nin kızılötesi spektrumlarında da tanımlanmıştır. Başka bir ifade ile elde edilen spektrumlar vişne çekirdeklerinden pektinin efektif bir şekilde özütlendiğini doğrulamıştır.



Şekil 1. Vişne çekirdeği pektininin ve ticari pektinin FTIR spektrumları

Figure 1. FTIR spectrums of sour cherry seed and commercial pectin

### Pektinlerin fizikokimyasal ve fonksiyonel özellikleri

VÇP ve TP materyallerinin fizikokimyasal ve fonksiyonel özellikleri Çizelge 1’de sunulmuştur. Bu çalışmada pektin üretimi 3 farklı pH’da (pH 1.0, 2.0 ve 3.0) gerçekleştirilmiştir. pH 1.0, 2.0 ve 3.0 için verim değerleri sırasıyla %35.99, %16.25 ve %2.58 olarak belirlenmiştir. Düşük pH’da özütleme işlemi yürütüldüğünde nihai ürünlerde yanmadan dolayı kalite kayıpları meydana gelmiştir. Bu yüzden vişne çekirdeklerinden pektin materyali pH 2.0’da özütlenmiş ve çalışmanın ileriki aşamalarında kullanılmıştır. Mevcut çalışmada VÇP’nin nem içeriği %4.53 olarak bulunurken TP’nin nem içeriği %6.80 olarak belirlenmiştir ( $p<0.05$ ) (Çizelge 1). Toplam kül miktarı ise VÇP için %3.96 ve TP için %5.12 olarak tespit edilmiştir ( $p<0.05$ ). Her iki numune için tespit edilen düşük su aktivitesi (VÇP: 0.42 ve TP: 0.33) örneklerin başta mikrobiyolojik ve kimyasal bozulmalara karşı stabil olduklarına işaretler. Renk değerlerine gelince  $L^*$  değerleri, VÇP’nin TP’den daha parlak bir renge sahip

olduğunu göstermiştir. Buna karşın her iki örneğin de benzer  $a^*$  değerlerine sahip oldukları tespit edilmiştir. Örneklerde sarılığı ifade eden  $b^*$  değeri VÇP ve TP için sırasıyla 12.38 ve 41.54 olarak belirlenmiştir ( $p<0.05$ ). Hausner oranı ve Carr indeksi değerleri tozların yapışkanlığını ve sıkıştırılabilirliğini değerlendirmek için kullanılan iki parametredir (Santomaso vd., 2003). Mevcut çalışmada, Hausner oranı (HR) VÇP için 1.17, TP için ise 1.31 olarak belirlenmiştir. Carr indeksi değerleri ise VÇP ve TP için sırasıyla 16.72 ve 30.94 olarak tespit edilmiştir ( $p<0.05$ ) (Çizelge 1). Bulgular, VÇP’nin TP’den daha üstün akış özellikleri sergilediğini göstermiştir (Shah vd., 2008). Yağ bağlama kabiliyetleri incelendiğinde, TP’nin (%288.94) VÇP’ye (%203.52) göre yağ bağlama konusunda daha yetenekli olduğu saptanmıştır. Emülsiyon özellikleri de bu sonuçları desteklemiş ve VÇP’nin emülsiyon aktivite indeksi değeri  $23.77 \text{ m}^2/\text{g}$  olarak belirlenirken, TP’de bu değer  $34.90 \text{ m}^2/\text{g}$  olarak bulunmuştur ( $p<0.05$ ).

Çizelge 1. Pektin materyallerinin fizikokimyasal ve fonksiyonel özellikleri

Table 1. Physicochemical and functional properties of pectin materials

Parametreler <i>Parameters</i>	Vişne çekirdeği pektini <i>Sour cherry seed pectin</i>	Ticari pektin <i>Commercial pectin</i>
Verim ( <i>Yield</i> ) (%)	16.25±1.14	-
Nem miktarı ( <i>Moisture content</i> ) (%)	4.53±0.54 <sup>b</sup>	6.80±0.48 <sup>a</sup>
Toplam kül miktarı ( <i>Ash content</i> ) (%)	3.96±0.42 <sup>b</sup>	5.12±0.36 <sup>a</sup>
Su aktivitesi ( <i>Water activity</i> )	0.42±0.03 <sup>a</sup>	0.33±0.01 <sup>b</sup>
Renk ( <i>Color</i> ) $L^*$	82.75±0.13 <sup>a</sup>	52.43±0.47 <sup>b</sup>
$a^*$	5.97±0.06 <sup>a</sup>	5.11±0.08 <sup>b</sup>
$b^*$	12.38±0.06 <sup>a</sup>	41.54±0.46 <sup>b</sup>
Hausner oranı ( <i>Hausner ratio</i> )	1.17±0.00 <sup>b</sup>	1.31±0.00 <sup>a</sup>
Carr indeksi ( <i>Carr index</i> )	16.72±0.12 <sup>b</sup>	30.94±0.10 <sup>a</sup>
Yağ bağlama kapasitesi ( <i>Oil binding capacity</i> ) (%)	203.52±1.78 <sup>b</sup>	288.94±1.66 <sup>a</sup>
Emülsiyon aktivite indeksi ( <i>Emulsifying activity index</i> ) ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	23.77±0.16 <sup>b</sup>	34.90±0.01 <sup>a</sup>

Aynı satırdaki farklı küçük harfler (a-c) örnekler arasındaki istatistiksel farklılıklara karşılık gelir ( $p<0.05$ ) (*Different lowercase letters (a-b) in the same row correspond to statistical differences between samples*).

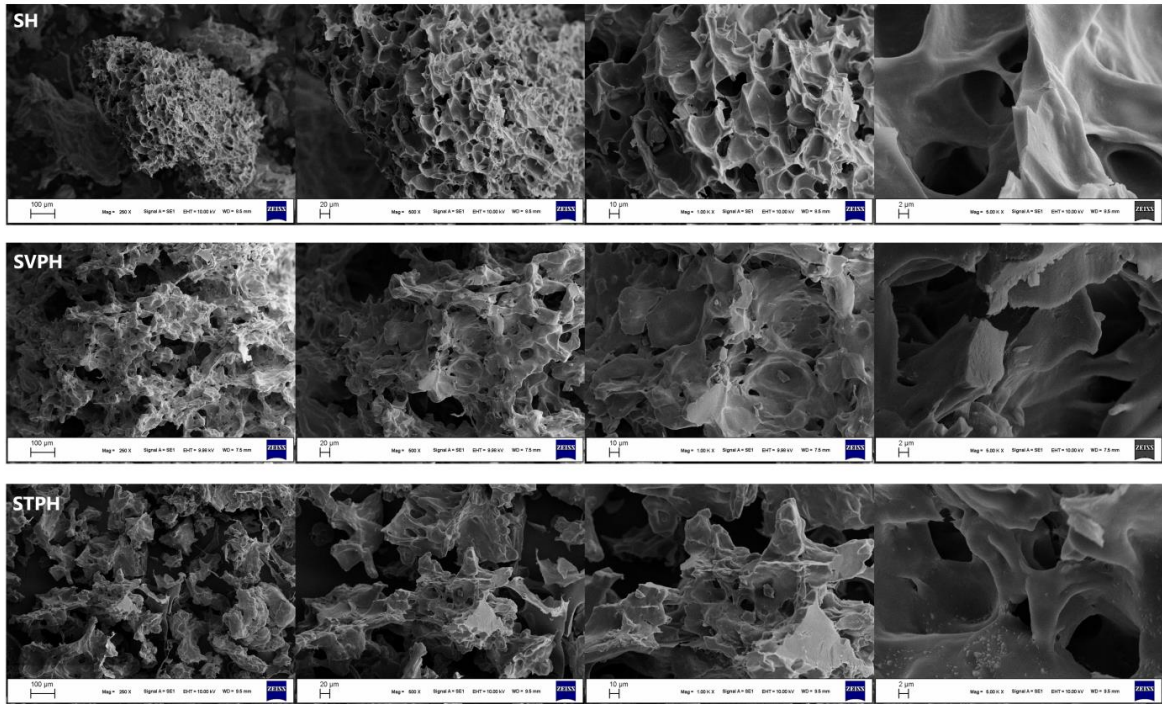
### Hidrojellerin morfolojik yapıları

Soya fasulyesi proteini orijinli doğal hidrojellerin morfolojik yapıları taramalı elektron mikroskopu ile araştırılmış ve örnekler için görüntüler Şekil 2’de verilmiştir. Hidrojel sistemlerine pektin ilavesi morfolojik yapıda önemli değişikliklere

neden olmuştur. Sadece soya fasulyesi kullanılarak üretilen jel sistemlerinde nispeten homojen olmayan gözenekli yapıların baskın olduğu tespit edilmiştir. Jel sistemleri için gözenek benzeri yapılar daha önceki çalışmalarda karakteristik özellik olarak verilmiştir (Junlapong vd., 2020).

Küçük boşluklar (porlar) VÇP ve TP varlığında üretilen hidrojellerde de gözlemlenmiştir; ancak pektinlerin sisteme dahil edilmesi poröz yapıların (gözenekler ve boşluklar) sayısında bir azalmaya neden olmuştur. SVPH ve STPH'de iç içe geçmiş kompakt, nispeten pürüzsüz ve düzenli bir yapıya sahip bileşik ağlar baskın hale gelmiştir. Bitkisel protein bazlı doğal hidrojellere karbonhidratların entegre edilmesi daha yoğun bileşik ağlara sahip sistemlerin üretilmesine neden olur (Başıyigit vd.,

2023). Muhtemelen, bu olgu polimerler (soya fasulyesi proteini ve pektin) arasında oluşan hidrojen bağları ve elektrostatik etkileşimlerden ileri gelmektedir. Bu etkileşimler daha kompakt ve sert bir yapıya neden olur (Slavutsky ve Bertuzzi, 2019). Bu yaklaşım mevcut çalışmada elde edilen tekstürel parametreler (pektin varlığında hazırlanan örneklerde üstün sertlik) ile de uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 2. Hidrojellerin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri

Figure 2. Scanning electron microscope images of hydrogels

SH: Sadece soya fasulyesi proteini varlığında üretilmiş hidrojel (*Hydrogel produced in the presence of soybean protein alone*); SVPH: Soya fasulyesi proteini ve vişne çekirdeği pektini varlığında üretilmiş hidrojel (*Hydrogel produced in the presence of soybean protein and sour cherry seed pectin*); STPH: Soya fasulyesi proteini ve ticari pektin varlığında üretilmiş hidrojel (*Hydrogel produced in the presence of soybean protein and commercial pectin*).

### Hidrojellerin fonksiyonel özellikleri

Hidrojellerin fonksiyonel özellikleri hakkında bilgi sağlayan su tutma kapasitesi, şişme oranı ve protein sızma oranı ile ilgili bulgular Çizelge 2'de sunulmuştur. Hidrojellerin dış kuvvetlere maruz bırakıldıklarında yapılarındaki suyu tutma kabiliyeti su tutma kapasitesi olarak ifade edilir. Sadece soya fasulyesi proteini ile dizayn edilen hidrojelin (SH) su tutma kapasitesi değeri %65.74 bulunmuştur. Buna karşılık sisteme pektin ilavesi

bu değerde önemli bir artışa neden olmuş ( $p < 0.05$ ) ve bulgular %80'nin üzerine çıkmıştır. SVPH ve STPH için su tutma kapasitesi sırasıyla %91.65 ve %83.99 olarak belirlenmiştir. Protein bazlı hidrojel sistemlerine karbonhidrat ilavesi örneklerin su tutma kapasitesinin gelişimine neden olabilir (Demirkıran vd., 2022). Jel içerisinde polimerler (protein ve pektin) arasındaki etkileşim daha kararlı ağ yapılarının oluşmasına neden olur. Bu durum santrifüjleme



adımında ilgili jel sistemlerinde yapının bozulmasını zorlaştırır ve nihayetinde su molekülleri ağ yapısı içerisinde tutularak dışarıya sızmaları kısıtlanır. Başka bir ifade ile yapısal olarak düşük sertliğe ve kompaktlığa sahip hidrojellerin su tutma yetenekleri sınırlıdır (Yang vd., 2021). Bu yaklaşım mevcut çalışmadaki

taramalı elektron mikroskobu görüntüleri ve tekstürel bulgular ile uyumluydu. İlgili bölümlerde SH ile karşılaştırıldığında SVPH ve STPH'nin daha yüksek jel kuvvetine sahip olduğu vurgulanmıştır.

Çizelge 2. Hidrojellerin fonksiyonel özellikleri

Table 2. Functional properties of hydrogels

Parametreler <i>Parameters</i>	SH	SVPH	STPH
Su tutma kapasitesi ( <i>Water holding capacity</i> ) (%)	65.74±0.66 <sup>c</sup>	91.65±0.67 <sup>a</sup>	83.99±0.93 <sup>b</sup>
Şişme oranı ( <i>Swelling ratio</i> ) (%)	3.56±0.31 <sup>b</sup>	5.78±0.06 <sup>a</sup>	5.37±0.43 <sup>a</sup>
Protein sızma oranı ( <i>Protein leachability</i> ) (%)	23.11±0.34 <sup>a</sup>	12.51±0.19 <sup>c</sup>	15.81±0.11 <sup>b</sup>

Aynı satırdaki farklı küçük harfler (a-c) örnekler arasındaki istatistiksel farklılıklara karşılık gelir (p<0.05) (Different lowercase letters (a-c) in the same row correspond to statistical differences between samples). SH: Sadece soya fasulyesi proteini varlığında üretilmiş hidrojel (*Hydrogel produced in the presence of soybean protein alone*); SVPH: Soya fasulyesi proteini ve vişne çekirdeği pektini varlığında üretilmiş hidrojel (*Hydrogel produced in the presence of soybean protein and sour cherry seed pectin*); STPH: Soya fasulyesi proteini ve ticari pektin varlığında üretilmiş hidrojel (*Hydrogel produced in the presence of soybean protein and commercial pectin*).

Hidrojel sistemleri yapılarında var olan suyun dışında ilave su absorblama yeteneğine sahip olabilirler. Sahip oldukları bu yetenek onların şişme kapasiteleri hakkında bilgi sunar (Dinerman vd., 2002). Soya fasulyesi proteini orijinli doğal hidrojellerin şişme oranı ile ilgili bulgular Çizelge 2'de verilmiştir. En yüksek şişme oranı SVPH'de (%5.78) tespit edilirken bu jeli sırasıyla STPH (%5.37) ve SH (%1.56) takip etmiştir (p<0.05). Elde edilen sonuçlar bazı literatür bulguları ile desteklenirken bazı raporlar ile uyumlu olmadıkları tespit edilmiştir. Örneğin, daha önce yürütülmüş bir çalışmada tek başına protein kullanılarak oluşturulan hidrojellerin şişme oranı, protein ve karbonhidratı bir arada bulunduran sistemlerden daha düşük olduğu not edilmiştir (Başyigit vd., 2023). Bu yaklaşımın aksine yüksek gözenek sayısına sahip hidrojellerin (taramalı elektron mikroskobu görüntülerinde en çok gözenegün SH'de olduğu açık bir şekilde görülmektedir) daha iyi su absorblama yeteneğine sahip olduğu rapor edilen çalışmalar mevcuttur (Ghanbari vd., 2022). Bu uyuşmazlığın arkasındaki neden olarak SH'nin su içerisinde kısmi çözünmesi gösterilebilir. Başka bir ifade ile protein ve pektin arasındaki elektrostatik itme kuvveti sağlam jellerin oluşmasına olanak tanımış ve nihayetinde SVPH/STPH'nin solüsyon

içerisinde kararlı (çözünmeden) kalmasını sağlayarak bu jel sistemlerinin daha üstün şişme davranışı sergilemelerine neden olmuştur. Metnin farklı bölümlerinde (morfolojik ve tekstürel bulgular) SVPH/STPH'nin güçlü jel davranışlarının altı çizilmiştir.

Protein sızma oranı, belirli bir ortamda proteinlerin hidrojellerin yapısından ayrılma oranını ifade eder (He vd., 2021b). Soya fasulyesi proteini orijinli doğal hidrojel sistemlerinden sodyum fosfat tamponuna sızan protein seviyeleri Çizelge 2'de verilmiştir. Tampon solüsyonuna maksimum protein sızma oranı, SH (%23.11)'de tespit edilmiştir. SH'nin yapısındaki fazla gözenek sayısı protein salınımını kolaylaştıran nedenlerden bir tanesi olabilir. Pektin olmadan hazırlanan jelin gevşek bir yapıya sahip olması nedeniyle çözelti içerisinde kolay bir şekilde deformasyona uğraması diğer bir açıklama olarak verilebilir. Bu yaklaşım daha sert ve kompakt yapıya sahip olan SVPH ve STPH için elde edilen sonuçlarla desteklenmektedir. Pektin varlığından hazırlanan bu hidrojellerde tampon solüsyonuna transfer olan protein miktarının (SVPH: %12.51 ve STPH: %15.81) önemli oranda azaldığı tespit edilmiştir. Jel gücü yüksek olan üç boyutlu ağlarda protein

sızıntı oranı düşük seviyelerdedir (Demirkıran vd., 2022).

### Hidrojellerin tekstürel özellikleri

Soya fasulyesi proteini bazlı doğal hidrojellerin sertlik, sakızimsılık ve çiğneme değerleri Çizelge 3'te sunulmuştur. Bu tekstürel parametreler açısından yüksek değerlere sahip olan jel sistemlerinin çevresel faktörlere karşı stabiliteyi maksimum seviyelerdedir (Muhialdin ve Ubbink, 2023). En yumuşak yapı (en düşük sertlik değeri) pektin olmaksızın üretilen jel sisteminde tespit edilmiştir. Pektinin sisteme dahil edilmesi ile birlikte sertlik değerinde önemli seviyelerde bir artış olmuş ve maksimum sonuçlar VÇP içeren jel sistemlerinde tespit edilmiştir. Gelişmiş tekstürel özelliklere sahip bitkisel protein bazlı doğal hidrojellerin oluşturulması için yapı malzemesi olarak proteinlerle birlikte karbonhidratların

kullanımı makul bir yoldur (Başyigit vd., 2023). Karbonhidratların sisteme dahil edilmesiyle proteinlerin molekül ağırlığında meydana gelen artış mekanik özelliklerin gelişimine katkı sağlar (Bashash vd., 2022). Artan sertlik değerinin başka bir nedeni ise jel içi interaksyonları arttıran pektindeki serbest karboksil gruplarının varlığıdır (Moslemi, 2021). Mevcut çalışmada sertlik ile diğer tekstürel parametreler (sakızimsılık ve çiğneme) uyum içinde olup minimum değerler SH'de belirlenmiştir. Bu olgular, yapısal bozulmalara karşı SVPH ve STPH'ye kıyasla SH'nin dayanıklılığın daha düşük olduğunu göstermektedir. SH'deki düşük dayanıklılık elektron mikroskobu görüntüleri, fonksiyonel özellikler ve salınım davranışı ile ilgili bulgularda da açık bir şekilde görülmüştür.

Çizelge 3. Hidrojellerin tekstürel özellikleri

Table 3. Textural properties of hydrogels

Parametreler <i>Parameters</i>	SH	SVPH	STPH
Sertlik ( <i>Hardness</i> )	373.18±1.07 <sup>c</sup>	1278.57±2.17 <sup>a</sup>	653.53±2.43 <sup>b</sup>
Sakızimsılık ( <i>Gumminess</i> )	93.80±0.90 <sup>c</sup>	507.08±2.21 <sup>a</sup>	217.08±3.29 <sup>b</sup>
Çiğneme ( <i>Chewiness</i> )	42.03±0.21 <sup>c</sup>	397.30±3.09 <sup>a</sup>	136.45±1.25 <sup>b</sup>

Aynı satırdaki farklı küçük harfler (a-c) örnekler arasındaki istatistiksel farklılıklara karşılık gelir ( $p < 0.05$ ) (Different lowercase letters (a-c) in the same row correspond to statistical differences between samples). SH: Sadece soya fasulyesi proteini varlığında üretilmiş hidrojel (*Hydrogel produced in the presence of soybean protein alone*); SVPH: Soya fasulyesi proteini ve vişne çekirdeği pektini varlığında üretilmiş hidrojel (*Hydrogel produced in the presence of soybean protein and sour cherry seed pectin*); STPH: Soya fasulyesi proteini ve ticari pektin varlığında üretilmiş hidrojel (*Hydrogel produced in the presence of soybean protein and commercial pectin*).

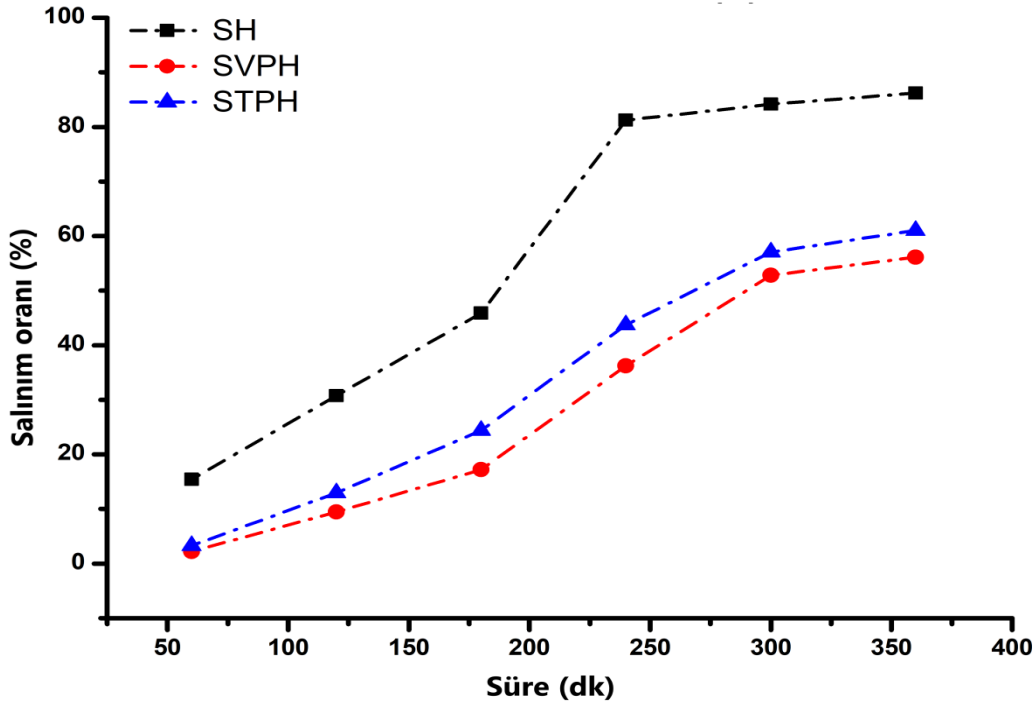
### Fenolik maddelerin salınım davranışı

Hidrojellerin biyoaktif madde taşıyıcı sistemler olarak kabiliyetini ortaya koymak için hibiskustan elde edilen fenolik maddeler model olarak seçilmiştir. Fenolik maddelerin özütlenmesinde daha önce yürütülmüş bir çalışma referans alınmış ve elde edilen özütler jel sistemlerine yüklenmiştir. Jel sistemlerinden tampon solüsyonuna salınan fenolik madde miktarı 360 dk boyunca takip edilmiş ve salınımına ilişkin grafikler Şekil 3'te sunulmuştur. Soya fasulyesi bazlı doğal hidrojellerin üretildikleri malzemeye göre fenoliklerin salınımı değişkenlik göstermiştir. Başka bir ifade ile jel sisteminin doğası ile biyoaktif bileşiklerin salınım davranışı arasında göz ardı edilemez bir etkileşim tespit edilmiştir. İlk

60 dk'lık sürede SH'ye yüklenen fenoliklerin yaklaşık %15'lik kısmı jelden tampon çözeltisine sızmıştır. SVPH ve STPH ise bu oran sırasıyla %2.19 ve %3.26 olarak ölçülmüştür. Pektin ilaveli jellerde analizin başlangıcında tespit edilen bu miktarlardan yüzeyde bulunan fenolik maddeler sorumlu olabilir. İkinci 60 dk'lık süre zarfında (60-120 dk) SVPH ve STPH'den tampon solüsyonuna transfer olan fenoliklerin oranı yaklaşık %10 olarak saptanmıştır. Belirtilen aralıkta pektin içermeyen jel sisteminden fenoliklerin %30.76'lık kısmı sızmıştır. SH'de tespit edilen bu kümülatif sızma patlama salınımına atfedilebilir. Bu patlama salınımı 240 dk boyunca devam etmiş ve sızıntı oranı %80'leri aşmıştır. Pektin içeren hidrojellerde ise herhangi bir patlama salınımı tespit edilmemiş

ve fenoliklerin tampon çözeltisine sızıntısı kademeli olarak gerçekleşmiştir. Analiz sonunda (360 dk) fenoliklerin %15'den daha az bir kısmı SH içinde kalırken, bu oran SVPH için yaklaşık %45 ve STPH için ise yaklaşık %40 olarak saptanmıştır. Pektin varlığında hazırlanan hidrojelerde gözlenen düşük salınım oranı SVPH ve STPH'nin kompakt yapı ile birlikte SH ile

karşılaştırıldığında az sayıdaki gözeneklerine atfedilebilir. Zayıf ağ yapısına ve yüksek sayıda gözeneğe sahip olan jellerden biyoaktif maddelerin salınımı daha hızlı olabileceği önceki çalışmalarda rapor edilmiştir (Feki vd., 2020; Varghese vd., 2014).



Şekil 3. Hidrojel sistemlerine hapsedilmiş biyoaktif maddelerin salınım davranışı

*Figure 3. Release behavior of bioactive substances entrapped in hydrogel systems*

SH: Sadece soya fasulyesi proteini varlığında üretilmiş hidrojel (*Hydrogel produced in the presence of soybean protein alone*); SVPH: Soya fasulyesi proteini ve vişne çekirdeği pektini varlığında üretilmiş hidrojel (*Hydrogel produced in the presence of soybean protein and sour cherry seed pectin*); STPH: Soya fasulyesi proteini ve ticari pektin varlığında üretilmiş hidrojel (*Hydrogel produced in the presence of soybean protein and commercial pectin*).

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Mevcut çalışmaya olan yaklaşım ve çalışmadan elde edilen veriler bilimsel literatüre ve sektöre farklı bakış açıları sunacaktır. Gelişmiş ülkelerde sıfır atık politikalarına paralel olarak özellikle gıda işleme atıklarının ekonomiye kazandırılmasına yönelik bir çaba olduğu aşikardır. Bilimsel literatürde ve ilgili sektörlerde bu bağlamda umut verici adımlar atılmış ve atılan adımların daha da ileriye götürülmesi için çalışmalar devam etmektedir. Bu bağlamda atıklardan elde edilen fenolik yapılar ve yenilebilir yağlar farklı

sektörlerde başarılı bir şekilde değerlendirilmektedir. Bu değerli materyaller elde edildikten sonra geriye kalan kısımlar da değerlendirilmeye konu olacak kadar özel yapılar içermektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta atığın atığından elde edilecek materyalin katma değerli ürünlere dönüştürülebilme potansiyelidir. Bir başka ifade ile katma değerli ürüne dönüştürülme potansiyeli olmayan bir materyalin elde edilmesi zaman ve ekonomik kayıplara yol açacaktır. Bu çalışmada da belirtilen noktalar göz önünde bulundurulmuş ve vişne

çekirdeğinden elde edilen pektinin son yıllarda farklı alanlarda kullanılan ve üzerine birçok çalışma yürütülen hidrojel sistemlerine dahil edilmesi amaçlanmıştır. Sonuçlar sadece protein yerine vişne çekirdeği pektini varlığında üretilen hidrojellerin farklı alanlarda kullanmanın daha efektif bir yol olduğunu göstermiştir. Atıklardan veya atığın atığından bu tarz materyaller elde edildikten sonra katma değeri oldukça yüksek olan farklı sistemlere (hidrojeller gibi) dahil edilmesinin mümkün olduğu görülmüştür. İleriki çalışmalarda farklı gıda işleme atıklarından elde edilen özel yapılar benzer sistemlerde yapı malzemesi olarak kullanılabilir. Elde edilen hidrojel sistemlerinin sentetik muadillerine göre başta tıp olmak üzere farklı alanlarda avantajları/dezavantajları tartışılabilir.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

#### YAZARLARIN KATKISI

Çalışmanın dizayn edilmesine, yürütülmesine ve sonuçların değerlendirilip yazılmasına her iki yazar da katkı sağlamıştır.

#### KAYNAKLAR

Abaee, A., Mohammadian, M., Jafari, S. M. (2017). Whey and soy protein-based hydrogels and nano-hydrogels as bioactive delivery systems. *Trends in Food Science & Technology*, 70: 69–81, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.10.011>

Andrade, J., Pereira, C. G., Almeida Junior, J. C. de, Viana, C. C. R., Neves, L. N. de O., Silva, P. H. F. da, Bell, M. J. V., Anjos, V. de C. dos. (2019). FTIR-ATR determination of protein content to evaluate whey protein concentrate adulteration. *LWT-Food Science and Technology*, 99: 166–172, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.09.079>

Bashash, M., Varidi, M., Varshosaz, J. (2022). Ultrasound-triggered transglutaminase-catalyzed egg white-bovine gelatin composite hydrogel: Physicochemical and rheological studies. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 76: 102936, <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102936>

Başıyigit, B., Altun, G., Yücepete, M., Karaaslan, A., Karaaslan, M. (2023). Locust bean gum

provides excellent mechanical and release attributes to soy protein-based natural hydrogels. *International Journal of Biological Macromolecules*, 231: 123352, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123352>

Başıyigit, B., Görgüç, A., Gençdağ, E., Cansu, Ü., Yılmaz, F. M., Karaaslan, M. (2022). Functional characterization of high-yield plant protein powder valorized from de-oiled sour cherry seed using microwave-assisted enzymatic extraction followed by spray- and freeze-drying. *Biomass Conversion and Biorefinery*, <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03225-2>

Başıyigit, B., Sağlam, H., Hayoğlu, İ., & Karaaslan, M. (2021a). Spectroscopic (LC-ESI-MS/MS, FT-IR, NMR) and functional characterization of fruit seed oils extracted with green technology: A comparative study with *Prunus cerasus* and *Punica granatum* oils. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(5): e15451, <https://doi.org/10.1111/jfpp.15451>

Başıyigit, B., Yücepete, M., Karaaslan, A., Karaaslan, M. (2021b). High efficiency microencapsulation of extra virgin olive oil (EVOO) with novel carrier agents: Fruit proteins. *Materials Today Communications*, 28: 102618, <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2021.102618>

Cairone, F., Frascchetti, C., Menghini, L., Zengin, G., Filippi, A., Casadei, M. A., Cesa, S. (2023). Effects of processing on chemical composition of extracts from sour cherry fruits, a neglected functional food. *Antioxidants*, 12(2): 445, <https://doi.org/10.3390/antiox12020445>

Çam, M., İçyer, N. C., Erdoğan, F. (2014). Pomegranate peel phenolics: Microencapsulation, storage stability and potential ingredient for functional food development. *LWT - Food Science and Technology*, 55(1): 117–123, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.09.011>

Casas-Orozco, D., Villa, A. L., Bustamante, F., González, L.-M. (2015). Process development and simulation of pectin extraction from orange peels. *Food and Bioprocess Processing*, 96: 86–98, <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2015.06.006>

- Chaovanalikit, A., Wrolstad, R. E. (2004). Total anthocyanins and total phenolics of fresh and processed cherries and their antioxidant properties. *Journal of Food Science*, 69(1): FCT67–FCT72, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb17858.x>
- Cho, S. M., Kwak, K. S., Park, D. C., Gu, Y. S., Ji, C. I., Jang, D. H., Lee, Y. B., Kim, S. B. (2004). Processing optimization and functional properties of gelatin from shark (*Isurus oxyrinchus*) cartilage. *Food Hydrocolloids*, 18(4): 573–579, <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2003.10.001>
- Chouaibi, M., Rezig, L., Hamdi, S., Ferrari, G. (2019). Chemical characteristics and compositions of red pepper seed oils extracted by different methods. *Industrial Crops and Products*, 128: 363–370, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.11.030>
- Demirkıran, E., Başıyigit, B., Altun, G., Yüçetepe, M., Sağlam, H., Karaaslan, M. (2022). Facile construction of fruit protein based natural hydrogel via intra/inter molecular cross-linking. *Food Hydrocolloids*, 133: 107899, <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107899>
- Dinerman, A. A., Cappello, J., Ghandehari, H., Hoag, S. W. (2002). Swelling behavior of a genetically engineered silk-elastinlike protein polymer hydrogel. *Biomaterials*, 23(21): 4203–4210, [https://doi.org/10.1016/S0142-9612\(02\)00164-3](https://doi.org/10.1016/S0142-9612(02)00164-3)
- Duangmal, K., Saicheua, B., Sueeprasan, S. (2008). Colour evaluation of freeze-dried roselle extract as a natural food colorant in a model system of a drink. *LWT - Food Science and Technology*, 41(8): 1437–1445, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.08.014>
- Feki, A., Hamdi, M., Jaballi, I., Zghal, S., Nasri, M., Ben Amara, I. (2020). Conception and characterization of a multi-sensitive composite chitosan-red marine alga-polysaccharide hydrogels for insulin controlled-release. *Carbohydrate Polymers*, 236: 116046, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116046>
- Ghanbari, M., Sadjadinia, A., Zahmatkesh, N., Mohandes, F., Dolatyar, B., Zeynali, B., Salavati-Niasari, M. (2022). Synthesis and investigation of physicochemical properties of alginate dialdehyde/gelatin/ZnO nanocomposites as injectable hydrogels. *Polymer Testing*, 110: 107562, <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2022.107562>
- González, A. D., Frostell, B., Carlsson-Kanyama, A. (2011). Protein efficiency per unit energy and per unit greenhouse gas emissions: Potential contribution of diet choices to climate change mitigation. *Food Policy*, 36(5): 562–570, <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2011.07.003>
- Görgüç, A., Bircan, C., Yılmaz, F. M. (2019). Sesame bran as an unexploited by-product: Effect of enzyme and ultrasound-assisted extraction on the recovery of protein and antioxidant compounds. *Food Chemistry*, 283: 637–645, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.077>
- Güzel, M., Akpınar, Ö. (2019). Valorisation of fruit by-products: Production characterization of pectins from fruit peels. *Food and Bioprocess Technology*, 115: 126–133, <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.03.009>
- He, Z., Liu, C., Zhao, J., Li, W., Wang, Y. (2021a). Physicochemical properties of a ginkgo seed protein-pectin composite gel. *Food Hydrocolloids*, 118: 106781, <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106781>
- He, Z., Ma, T., Zhang, W., Su, E., Cao, F., Huang, M., Wang, Y. (2021b). Heat-induced gel formation by whey protein isolate-Lycium barbarum polysaccharides at varying pHs. *Food Hydrocolloids*, 115: 106607, <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106607>
- Hennink, W. E., van Nostrum, C. F. (2012). Novel crosslinking methods to design hydrogels. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 64: 223–236, <https://doi.org/10.1016/j.addr.2012.09.009>
- Herrera-Rodríguez, S. E., Pacheco, N., Ayora-Talavera, T., Pech-Cohuo, S., & Cuevas-Bernardino, J. C. (2022). Advances in the green extraction methods and pharmaceutical applications of bioactive pectins from unconventional sources: A review. *Studies in Natural Products Chemistry*, 73: 221–264,

- <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91097-2.00015-7>
- Hoffman, A. S. (2012). Hydrogels for biomedical applications. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 64: 18–23, <https://doi.org/10.1016/j.addr.2012.09.010>
- Junlapong, K., Maijan, P., Chaibundit, C., & Chantarak, S. (2020). Effective adsorption of methylene blue by biodegradable superabsorbent cassava starch-based hydrogel. *International Journal of Biological Macromolecules*, 158, 258–264, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.247>
- Kamal, Md. M., Akhtaruzzaman, Md., Sharmin, T., Rahman, M., Mondal, S. C. (2023). Optimization of extraction parameters for pectin from guava pomace using response surface methodology. *Journal of Agriculture and Food Research*, 11: 100530, <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100530>
- Lee, H. W., Lu, Y., Zhang, Y., Fu, C., Huang, D. (2021). Physicochemical and functional properties of red lentil protein isolates from three origins at different pH. *Food Chemistry*, 358: 129749, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129749>
- Liu, J., Li, Z., Lin, Q., Jiang, X., Yao, J., Yang, Y., Shao, Z., Chen, X. (2018). A Robust, Resilient, and Multi-Functional Soy Protein-Based Hydrogel. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6(11): 13730–13738, <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b01450>
- Liu, K. (2019). Effects of sample size, dry ashing temperature and duration on determination of ash content in algae and other biomass. *Algal Research*, 40: 101486, <https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101486>
- Liu, X., Renard, C. M. G. C., Bureau, S., Le Bourvellec, C. (2021). Revisiting the contribution of ATR-FTIR spectroscopy to characterize plant cell wall polysaccharides. *Carbohydrate Polymers*, 262: 117935, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117935>
- Moslemi, M. (2021). Reviewing the recent advances in application of pectin for technical and health promotion purposes: From laboratory to market. *Carbohydrate Polymers*, 254: 117324, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117324>
- Muhaladin, B. J., Ubbink, J. (2023). Effects of pH and aging on the texture and physicochemical properties of extruded pea protein isolate. *Food Hydrocolloids*, 140: 108639, <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108639>
- Naji, A. M., Başığit, B., Alaşalvar, H., Salum, P., Berktaş, S., Erbay, Z., Çam, M. (2023). Instant soluble roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) powder rich in bioactive compounds: Effect of the production process on volatile compounds. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 17(1): 108–120, <https://doi.org/10.1007/s11694-022-01593-x>
- Panahi, R., & Baghban-Salehi, M. (2019). Protein-based hydrogels. In *Cellulose-based superabsorbent hydrogels* (pp. 1561–1600). Springer, Cham, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-77830-3\\_52](https://doi.org/10.1007/978-3-319-77830-3_52)
- Samuelsson, R., Burvall, J., Jirjis, R. (2006). Comparison of different methods for the determination of moisture content in biomass. *Biomass and Bioenergy*, 30(11): 929–934, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2006.06.004>
- Santomaso, A., Lazzaro, P., Canu, P. (2003). Powder flowability and density ratios: the impact of granules packing. *Chemical Engineering Science*, 58(13): 2857–2874, [https://doi.org/10.1016/S0009-2509\(03\)00137-4](https://doi.org/10.1016/S0009-2509(03)00137-4)
- Shah, R. B., Tawakkul, M. A., Khan, M. A. (2008). Comparative evaluation of flow for pharmaceutical powders and granules. *AAPS PharmSciTech*, 9(1): 250–258, <https://doi.org/10.1208/s12249-008-9046-8>
- Shivamathi, C. S., Moorthy, I. G., Kumar, R. V., Soosai, M. R., Maran, J. P., Kumar, R. S., Varalakshmi, P. (2019). Optimization of ultrasound assisted extraction of pectin from custard apple peel: Potential and new source. *Carbohydrate Polymers*, 225: 115240, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115240>
- Singhal, R., Gupta, K. (2016). A Review: Tailor-made hydrogel structures (classifications and synthesis parameters). *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 55(1): 54–70,

- <https://doi.org/10.1080/03602559.2015.1050520>
- Sivam, A. S., Sun-Waterhouse, D., Perera, C. O., Waterhouse, G. I. N. (2012). Exploring the interactions between blackcurrant polyphenols, pectin and wheat biopolymers in model breads; a FTIR and HPLC investigation. *Food Chemistry*, 131(3): 802–810, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.09.047>
- Slavutsky, A. M., Bertuzzi, M. A. (2019). Formulation and characterization of hydrogel based on pectin and brea gum. *International Journal of Biological Macromolecules*, 123: 784–791, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.038>
- Sun, X., Agate, S., Salem, K. S., Lucia, L., Pal, L. (2021). Hydrogel-based sensor networks: Compositions, properties, and applications—a review. *ACS Applied Bio Materials*, 4(1): 140–162, <https://doi.org/10.1021/acsabm.0c01011>
- Szymanska-Chargot, M., Chylinska, M., Kruk, B., Zdunek, A. (2015). Combining FT-IR spectroscopy and multivariate analysis for qualitative and quantitative analysis of the cell wall composition changes during apples development. *Carbohydrate Polymers*, 115: 93–103, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.08.039>
- Tian, Y., Xu, Z., Zheng, B., Martin Lo, Y. (2013). Optimization of ultrasonic-assisted extraction of pomegranate (*Punica granatum* L.) seed oil. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(1): 202–208, <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2012.07.010>
- Turchiuli, C., Eloualia, Z., El Mansouri, N., Dumoulin, E. (2005). Fluidised bed agglomeration: Agglomerates shape and end-use properties. *Powder Technology*, 157(1-3): 168-175, <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2005.05.024>
- Tülek, Z., Alaşalvar, H., Başıyigit, B., Berktas, S., Salum, P., Erbay, Z., Telci, I., Çam, M. (2021). Extraction optimization and microencapsulation of phenolic antioxidant compounds from lemon balm (*Melissa officinalis* L.): Instant soluble tea production. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(1), <https://doi.org/10.1111/jfpp.14995>
- Varghese, J. S., Chellappa, N., Fathima, N. N. (2014). Gelatin–carrageenan hydrogels: Role of pore size distribution on drug delivery process. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 113: 346–351, <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2013.08.049>
- Wang, H., Wan, L., Chen, D., Guo, X., Liu, F., Pan, S. (2019). Unexpected gelation behavior of citrus pectin induced by monovalent cations under alkaline conditions. *Carbohydrate Polymers*, 212: 51–58, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.02.012>
- Wang, Y., Zhao, J., Liu, C., Li, W. (2019). Influence of  $\gamma$ -aminobutyric acid on gelling properties of heat-induced whey protein gels. *Food Hydrocolloids*, 94: 287–293, <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.03.031>
- Yan, W., Yin, L., Li, J., Yadav, M. P., Jia, X. (2020). Development of corn fiber gum–soybean protein isolate double network hydrogels through synergistic gelation. *Food and Bioprocess Technology*, 13(3): 511–521, <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02412-1>
- Yang, J., Shen, M., Luo, Y., Wu, T., Wen, H., Xie, J. (2021). Construction and characterization of Mesona chinensis polysaccharide–chitosan hydrogels, role of chitosan deacetylation degree. *Carbohydrate Polymers*, 257: 117608, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117608>
- Zhang, H., Zhang, F., Yuan, R. (2020). Applications of natural polymer-based hydrogels in the food industry. In *Hydrogels Based on Natural Polymers* (pp. 357–410), Elsevier, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816421-1.00015-X>
- Zhang, Q., Liu, Y., Yang, G., Kong, H., Guo, L., Wei, G. (2023). Recent advances in protein hydrogels: From design, structural and functional regulations to healthcare applications. *Chemical Engineering Journal*, 451: 138494 <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.138494>