



GELİNCİK ÇİÇEĞİ ŞURUBUNUN ELEKTRİKSEL İLETKENLİK DEĞERLERİ VE REOLOJİK ÖZELLİKLERİNDEKİ DEĞİŞİMİN İNCELENMESİ

Mutlu Çevik*

Munzur Üniversitesi, Güzel Sanatlar, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, Tunceli, Türkiye

Geliş / *Received*: 15.04.2021; Kabul / *Accepted*: 02.07.2021; Online baskı / *Published online*: 12.07.2021

Çevik, M. (2021). Gelincik çiçeği şurubunun elektriksel iletkenlik değerleri ve reolojik özelliklerindeki değişimin incelenmesi. *GIDA* (2021) 46 (4) 992-1001 doi: 10.15237/gida.GD21072

Çevik, M. (2021). Investigation of the changes in electrical conductivity values and rheological properties of poppy flower syrup. GIDA (2021) 46 (4) 992-1001 doi: 10.15237/gida.GD21072

ÖZ

Bu çalışmada, farklı voltaj gradyanlarında (30, 35 ve 40 V/cm) ohmik ısıtma uygulanan gelincik çiçeği şuruplarının ısıtma işlemi boyunca elektriksel iletkenlik değerlerindeki değişim incelenmiştir. Ek olarak, farklı sıcaklık değerlerinde örneklerin reolojik özelliklerindeki değişim belirlenmiş ve farklı reolojik modellere uygunlukları test edilmiştir. Örneklerin ısınma sürelerinin 280 ile 592 s aralığında değiştiği ve uygulanan voltaj gradyanının artmasına bağlı olarak azalma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. Ölçüm alınan tüm sıcaklık değerlerinde ise örneklerin reolojik davranışını en iyi ifade eden modelin Üssel model olduğu tespit edilmiştir. Kıvam katsayısı (K) ve görünür viskozite ($\mu_{\text{görünür}}$) değerlerinin sıcaklık değerlerinin artmasına bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Ölçüm alınan tüm işlem koşullarında örneklerin Newton-dışı dilatant (kaymayla kalınlaşan) akış davranış özelliği gösterdiği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Gelincik çiçeği, ohmik, elektriksel iletkenlik, reoloji, model

INVESTIGATION OF THE CHANGES IN ELECTRICAL CONDUCTIVITY VALUES AND RHEOLOGICAL PROPERTIES OF POPPY FLOWER SYRUP

ABSTRACT

In this study, the changes of electrical conductivity values of poppy flower syrups applied ohmic heating at different voltage gradients (30, 35 ve 40 V/cm) were investigated during the heating process. In addition, the changes of the rheological properties of the samples at different temperature values were determined and their suitability to different rheological models were tested. It was determined that the heating times of the samples changed between 280 and 592 s and tended to decrease depending on the increase in the applied voltage gradient. It was detected that the best model describing the rheological behavior of samples at all temperature values was the Power-Law Model. It was determined that the consistency coefficient (K) and apparent viscosity (μ_{apparent}) values decreased as the temperature values increased. It was determined that the samples showed non-Newtonian dilatant (shear thickening) flow behavior under all measurement process conditions.

Keywords: Poppy flower, ohmic, electrical conductivity, rheology, model

*Yazışmalardan sorumlu yazar / *Corresponding author*;

✉ mutlucevik3538@hotmail.com

☎ (+90) 428 213 1794/2519

☎: +90 [364] 428 213 1861

Mutlu Çevik; ORCID no: 0000-0003-4847-4910

GİRİŞ

Dünya üzerinde çok geniş bir yayılma alanına sahip olan gelincik çiçeği, Gelincikgiller ailesinin bir üyesidir. Yaprakları parçalı olan gelincikler genelde, çok koyu kırmızı bir renge sahiptirler. Tek yıllık ve otsu bir bitki olan gelincik çiçeklerinin boyları ise 25-30 cm aralığında değişmekte olup Ülkemizde özellikle Anadolu bölgesinde yaygın bir şekilde yetişebilmektedirler (Kaya vd., 2004). İnsanoğlunun sağlıklı gıdalara olan ilgisinin artması ile farklı meyvelerden ve çiçeklerden yapılmış şerbet ya da şuruplara da ilginin arttığı görülmektedir. Şerbet ya da şuruplar günün her saatinde serinletici olarak içilebileceği ve ikram edilebilecekleri gibi yemeklerle de tüketilebilirler. Bu şuruplardan bir tanesi de gelincik şurubudur. Özellikle Türk kahvesi yayında veya yaz aylarında misafirlere serinletici olarak yoğun şekilde ikram edilmektedir. Gelincik şurubu gelincik çiçeklerinin kırmızı yapraklarının toplanıp, siyah kısımlarının bir makas yardımıyla uzaklaştırılarak kalan kısmının şeker ve su ilavesi ile kaynatılması ile elde edilen geleneksel bir içecektir (Özdoğan ve Işık, 2008; Şahin ve Kılıç, 2009).

Ohmik ısıtma güncel alternatif teknolojiler arasında yer alan elektriksel bir ısıtma yöntemi olup, elektrik akımının gıda maddesinin üzerinden geçirilmesi prensibine dayanmaktadır. Özellikle ısı direnci yüksek sıvı gıda maddelerinde hızlı ve homojen bir ısıtma işlemine imkân tanımaktadır (Sastry ve Salengke, 1998; İcier, 2003). Ohmik ısıtma yöntemi diğer ısıtma yöntemlerine kıyasla gıda maddesinin termofiziksel özelliklerinden daha az etkilenmektedir. Enerji üretimi ve ısınma hızı uygulanan voltaj gradyanına ve gıda maddesinin elektriksel iletkenlik değerine bağlı olarak değişmektedir. Yüksek sıcaklıklara ani olarak çıkabilmesi nedeniyle ohmik ısıtma işleminde ısınma süresi çok kısa sürmekte bu da ürün kalitesini olumlu şekilde etkilemektedir (Sastry ve Salengke, 1998; Darvishi vd., 2011; İcier vd., 2017a). Ohmik ısıtma yöntemi gıda endüstrisinde gıda maddelerinin ısıtılması (Sabancı ve İcier, 2017), pişirilmesi (Bozkurt ve İcier, 2010), haşlanması (İcier vd., 2017b) ve çözündürülmesi (Cevik ve İcier, 2018) amacıyla yaygın şekilde kullanılmaktadır. Ancak literatürde

ohmik ısıtma yöntemi kullanılarak ısıtılan gelincik çiçeği şurubu örneklerinin ısınma geçmişleri ve elektriksel iletkenlik değerlerindeki değişimin incelendiği herhangi bir çalışmaya yazarların bilgisi dahilinde rastlanılmamıştır.

Gıda maddelerinin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi endüstriyel ölçekte üretim hatlarının tasarımında oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu fiziksel özelliklerinden bir tanesi de gıda maddelerinin reolojik özelliklerindeki değişimin belirlenmesidir. Reoloji, gıda maddelerinin yapısında meydana gelen akış ve deformasyonunu inceleyen bir bilim dalıdır. Sıvı gıda maddelerinin sınıflandırılmasında kayma hızına karşı elde edilen kayma gerilimi değerlerindeki değişime bağlı olarak akış davranış indeksi Newtonian ve Non-Newtonian tipi akışkan olmak üzere iki gruba ayrılmaktadırlar (Steffe, 1996). Gıda maddelerinin reolojik özelliklerinin belirlenmesi üretim esnasında uygulanan karıştırma, pompalama ve proses kontrolü gibi parametrelerinin belirlenmesinde son derece önem arz etmektedir (Steffe, 1996; Krokida et al., 2001). Literatürde farklı şurup örneklerinin reolojik özelliklerindeki değişimin incelendiği çalışmalar araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir (Ngadi ve Yu, 2004; Gabsi vd., 2013; Borchani vd., 2019). Ancak literatürde gelincik çiçeği şurubunun farklı ölçüm sıcaklığı değerlerinde reolojik davranışlarının incelendiği herhangi bir çalışmaya araştırmacıların bilgisi dahilinde rastlanılmamıştır.

Bu çalışmanın amacı, gelincik çiçeği şurubu örneklerinin farklı voltaj gradyanlarında ohmik ısıtılması sırasında sıcaklık geçmişinin ve elektriksel iletkenlik değerlerindeki değişimin belirlenmesidir. Ek olarak, farklı sabit ölçüm sıcaklığı (20, 30, 40, 50, 60, 70 ve 80 °C) değerlerinde örneklerin reolojik özelliklerindeki değişimin belirlenmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL ve METOT

Materyal

Gelincik çiçeği şurubu örnekleri yerel bir meyve suyu üreticisinden 700 ml cam şişeler içerisinde konsantre olmayan pastörize edilmiş bir şekilde temin edilmiştir. Gelincik çiçeği şurubu örneklerinin suda çözünür kuru madde (SÇKM)

içeriği $34.5 \pm 0.2\%$ olarak belirlenmiştir. Gelincik çiçeği şurubu örnekleri ısıtma işlemi uygulanıncaya kadar buzdolabı içerisinde $+4 \pm 0.5$ °C ortam sıcaklığında depolama işlemine tabii tutulmuştur. Isıtma işlemi öncesinde örneklerin sıcaklığı oda sıcaklığında 20 °C'ye getirilmiş ve derhal ısıtma işlemine başlanılmıştır.

Ohmik Isıtma Yöntemi

Ohmik ısıtma sistemi, güç kaynağı/izole trafo (0-380 V), teflon malzemeden ($6 \times 6.75 \times 10$ cm) yapılmış test hücresi, 0.2 cm kalınlığında iki titanyum elektrot, Teflon kaplı T-tipi ısıtıcılar, özel yapım mikroişlemci ve bilgisayardan oluşmaktadır. Ohmik ısıtma sistemine ait detaylı bilgi Çevik (2021a)'de verilmiştir. Her bir ısıtma denemesinde 100 ml gelincik çiçeği şurubu örneği test hücresi içerisine aktarılmıştır. Ohmik ısıtma işlemi 3 farklı voltaj gradyanında (30, 35 ve 40 V/cm voltaj gradyanında) örneklerin sıcaklık değeri 20 °C'den 80 °C'ye ulaşıncaya kadar devam etmiştir. Isıtma işlemi boyunca örneklerin sıcaklık değerleri ucu teflon ile kaplanmış T-tipi ısıtıcılar kullanılarak ölçülmüştür. Akım, voltaj ve sıcaklık değerleri ise özel yapım mikro işlemci yardımıyla 1 s aralıklar ile kaydedilmiştir.

Suda Çözünür Kuru Madde (SÇKM) İçeriğinin Belirlenmesi

Gelincik çiçeği şurubu örneklerinin suda çözünür kuru madde içerikleri, sıcaklık düzeltmesine sahip dijital refraktometre (Hanna, Portekiz) kullanılarak belirlenmiş ve %SÇKM olarak ifade edilmiştir.

Elektriksel İletkenlik Değerlerindeki Değişimin Belirlenmesi

Isıtma işlemi boyunca özel yapım mikro işlemci yardımıyla 1 s aralıklar ile kaydedilen akım, voltaj ve sıcaklık değerleri kullanılarak örneklerin elektriksel iletkenlik değerleri (Eşitlik 1) hesaplanmıştır (Çevik, 2021a).

$$\text{Elektriksel iletkenlik değeri (S/m)} = \frac{I L}{V A} \quad (1)$$

I akım değerini (A), V uygulanan voltaj gradyanı değerini, L iki elektrot arasındaki uzaklığı (m), A ise örneklerin elektrot ile temas alanını ifade (m^2) etmektedir.

Isıtma işlemi boyunca gelincik çiçeği şurubu örneklerinin elektriksel iletkenlik değerlerinin sıcaklık ile değişimi Eşitlik 2 ile karakterize edilmiştir.

$$\text{Elektriksel iletkenlik değeri (S/m)} = aT + b \quad (2)$$

T (°C) ölçüm alınan sıcaklık değerini, a ($S/m^\circ C$) ve b (S/m) denklem sabitlerini ifade etmektedir.

Reolojik Ölçümler

Gelincik çiçeği şurubu örneklerinin reolojik özelliklerindeki değişim Anton Paar MCR 301 (Anton Paar GmbH, Graz, Austria) reometre ile eş merkezli silindirik ölçüm aparatı (iç silindirin çapı 26.663 mm ve dış silindirin çapı 28.910 mm) kullanılarak ölçülmüştür. Reolojik ölçümler eş merkezli silindirik ölçüm aparatı kullanılarak $1-100 s^{-1}$ kayma hızı değerleri aralığında 20, 30, 40, 50, 60, 70 ve 80 °C sabit ölçüm sıcaklığı değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Kayma hızı ve kayma gerilimi değerleri ölçülmüş, farklı sıcaklık değerlerindeki akış tipinin belirlenmesi amacıyla farklı reolojik modellerin (Newton, Üssel, Bingham, Herschel-Bulkley) deneysel verilere uygunluğu istatistiksel olarak belirlenmiştir (Eşitlik 3-6) (Çevik vd., 2016).

$$\tau = \eta * \dot{\gamma} \quad (3)$$

$$\tau = K * \dot{\gamma}^n \quad (4)$$

$$\tau - \tau_0 = K * \dot{\gamma} \quad (5)$$

$$\tau - \tau_0 = K * \dot{\gamma}^n \quad (6)$$

Newton dışı akışkanlar için kayma gerilimi ve kayma hızı arasındaki değişim doğrusal değildir (Steffe, 1996). Bu çalışmada, ağızda kesme hızı olarak kabul edilen $50 s^{-1}$ kayma hızı değeri seçilerek, elde edilmiş en uygun reolojik modeldeki reolojik sabitler Eşitlik (7)'de yerine konularak görünür viskozite değerleri hesaplanmıştır (Morell vd., 2014).

$$\eta_{\text{gorunuviskozite}} = K * \gamma^{n-1} \quad (7)$$

İstatistiksel Değerlendirme

Sonuçların istatistiksel olarak değerlendirilmesi SPSS 16.0 (IBM, The United States) paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Farklı işlem koşullarında (20, 30, 40, 50, 60, 70 ve 80 °C) ölçüm alınan gelincik çiçeği şerbeti örneklerinin reolojik özellikleri üzerine etkileri ANOVA ve DUNCAN testleri ile belirlenmiştir. Güven seviyesi %95 olarak alınmıştır. Deneysel kayma gerilimi değerlerinin farklı reolojik modeller ile

uyumluluğu doğrusal olmayan regresyon analizi kullanılarak test edilmiştir. Farklı işlem koşullarında incelenen her bir reolojik model için ilgili eşitlikler (hata kareleri ortalaması karekökü (HKOK), ki-kare (χ^2) ve R² değerleri) MATLAB paket programı kullanılarak hesaplanmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda en uygun reolojik modelin değerlendirilmesinde en küçük hata kareleri ortalaması karekökü (HKOK) (Eşitlik 8) ve ki-kare (χ^2) (Eşitlik 9) değerleri ile en yüksek R² değerleri (Eşitlik 10) dikkate alınmıştır (Cevik vd., 2016). Tüm denemeler 3 tekrürlü olarak gerçekleştirilmiştir.

$$\text{HKOK} = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (\text{Teorik değer}_i - \text{Deneysel değer}_i)^2 \right]^{0.5} \quad (8)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Teorik değer}_i - \text{Deneysel değer}_i)^2}{N-n} \quad (9)$$

$$R^2 = \frac{N \sum_{i=1}^n \text{Teorik değer}_i \text{Deneysel değer}_i - \sum_{i=1}^n \text{Teorik değer}_i \sum_{i=1}^n \text{Deneysel değer}_i}{\sqrt{(N \sum_{i=1}^n \text{Teorik değer}_i^2 - (\sum_{i=1}^n \text{Teorik değer}_i)^2)(N \sum_{i=1}^n \text{Deneysel değer}_i^2 - (\sum_{i=1}^n \text{Deneysel değer}_i)^2)}} \quad (10)$$

N gözlenen veri sayısını, n modeldeki katsayıyı ifade etmektedir.

TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Isınma Süresi ve Elektriksel İletkenlik Değerlerindeki Değişim

Farklı voltaj gradyanları kullanılarak ısıtılan gelincik çiçeği şurubu örneklerinin ısınma sürelerinin istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık içerdiği tespit edilmiştir ($P < 0.05$; Çizelge 1). En uzun ısınma süresinin (592 s) 30 V/cm voltaj gradyanında elde edildiği, en kısa ısınma süresinin ise (283 s) 40 V/cm voltaj gradyanında elde

edildiği tespit edilmiştir ($P < 0.05$; Şekil 1). Uygulanan voltaj gradyanının artmasına bağlı olarak giren toplam enerji miktarının ve buna bağlı olarak da örnek içerisinde meydana gelen ısı jenerasyonunun artış gösterdiği belirlenmiştir. Sonuç olarak, yüksek voltaj gradyanlarında ısınma hızı değerlerinin de artış gösterdiği belirlenmiştir (Çizelge 1). Literatürde yapılan çalışmalarda da birçok araştırmacı tarafından benzer sonuçlar rapor edilmiştir (Icier ve Ilıcalı, 2004; Icier vd., 2017; Sabancı ve Icier, 2017; Darvishi vd., 2020; Cevik, 2021).

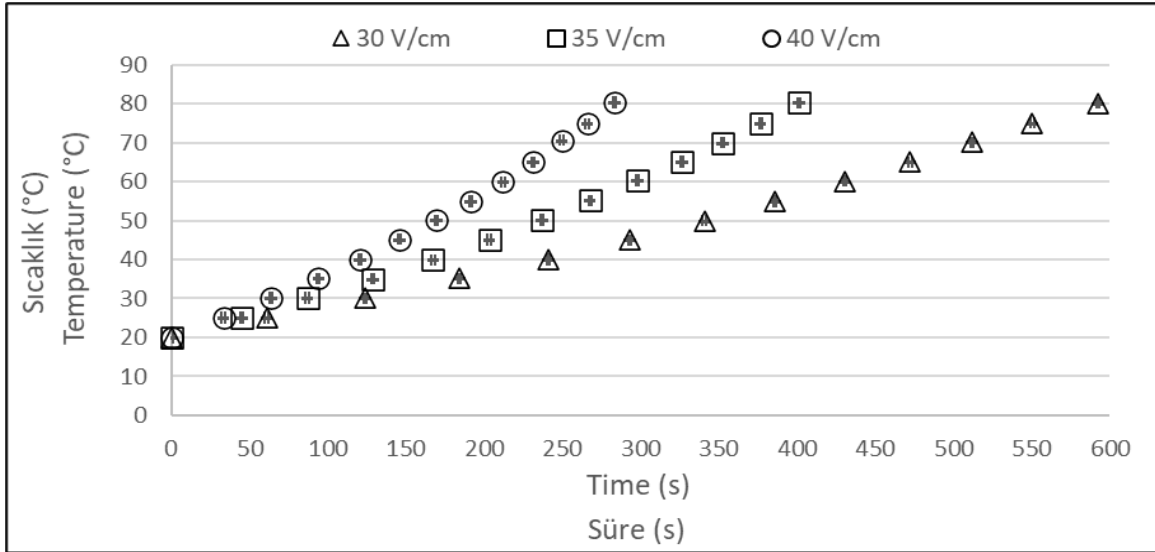
Çizelge 1. Farklı voltaj gradyanlarında uygulanan ohmik ısıtma işleminde ısınma süresi ve ısıtma hızı değerlerindeki değişim

Table 1. The changes of heating time and heating rate values in the ohmic heating process applied at different voltage gradients

Voltaj gradyanı (V/cm)	Isınma süresi (s)	Isıtma hızı (°C/s)
Voltage gradients (V/cm)	Heating time (s)	Heating rate (°C/s)
30	592±22 ^c	0.101±0.004 ^a
35	401±21 ^b	0.150±0.008 ^b
40	280±13 ^a	0.212±0.010 ^c

^{a,b,c} Aynı sütundaki farklı harflendirmelerin, ilgili değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmaktadır ($P < 0.05$)

^{a, b, c} There is a statistically significant difference between the values of the respective value of different lettering in the same column ($P < 0.05$)



Şekil 1. Farklı voltaj gradyanlarında ohmik ısıtma işlemi uygulanarak ısıtılan gelincik çiçeği şurubu örneklerinin ısınma sürelerindeki değişim

Figure 1. The changes of heating time of poppy flower syrup samples heated by using ohmic heating at different voltage gradients

Gelincik çiçeği şurubu örneklerinin farklı voltaj gradyanlarında uygulanan ohmik ısıtma işlemi boyunca elde edilen elektriksel iletkenlik değerlerindeki değişim Şekil 2’de verilmiştir. Isıtma işlemi boyunca uygulanan tüm voltaj gradyanlarında elektriksel iletkenlik değerlerinin sıcaklık ile lineer olarak artış gösterdiği tespit edilmiştir. Meydana gelen bu durum yüksek sıcaklık değerlerinde iyon hareketine karşı direncin azalması ile açıklanabilmektedir. Isıtma işlemi boyunca, elektriksel iletkenlik değerlerinin 30, 35 ve 40 V/cm voltaj gradyanı için sırasıyla 0.036-0.124, 0.037-0.124 ve 0.039-0.128 S/m aralığında değiştiği tespit edilmiştir (Şekil 2). Benzer şekilde, Çevik (2021a) yaptığı çalışmada 13, 15, 17 ve 19 V/cm voltaj gradyanında ohmik ısıtma uyguladığı koruk suyu örneklerinin elektriksel iletkenlik değerlerinin sıcaklığın artmasına bağlı olarak lineer olarak artış gösterdiğini rapor etmiştir. Kumar vd. (2018) 4 farklı voltaj gradyanında ohmik ısıtma uyguladıkları üzüm suyu örneklerinin elektriksel iletkenlik değerlerinin sıcaklık ile lineer olarak artış gösterdiğini bildirmişlerdir. Ek olarak araştırmacılar en yüksek elektriksel iletkenlik değerlerinin 85 °C’de 0.81 S/m ile 30 V/cm voltaj gradyanında elde edildiğini rapor etmişlerdir.

Isıtma periyodu boyunca gelincik şerbeti örneklerinin elektriksel iletkenlik ve sıcaklık ile değişimi Lineer model ile karakterize edilmiş ve model katsayıları Çizelge 2’de verilmiştir. “a” katsayı değerleri tüm voltaj gradyanlarında benzerlik gösterirken ($P > 0.05$), “b” katsayı değerleri ise voltaj gradyanının artmasına bağlı olarak artış göstermiştir ($P < 0.05$). Literatürde yapılan çalışmalarda da birçok araştırmacı tarafından benzer sonuçlar rapor edilmiştir (İcier ve Ilıcalı, 2004; İcier vd., 2017; Sabancı ve İcier, 2017; Çevik, 2021a).

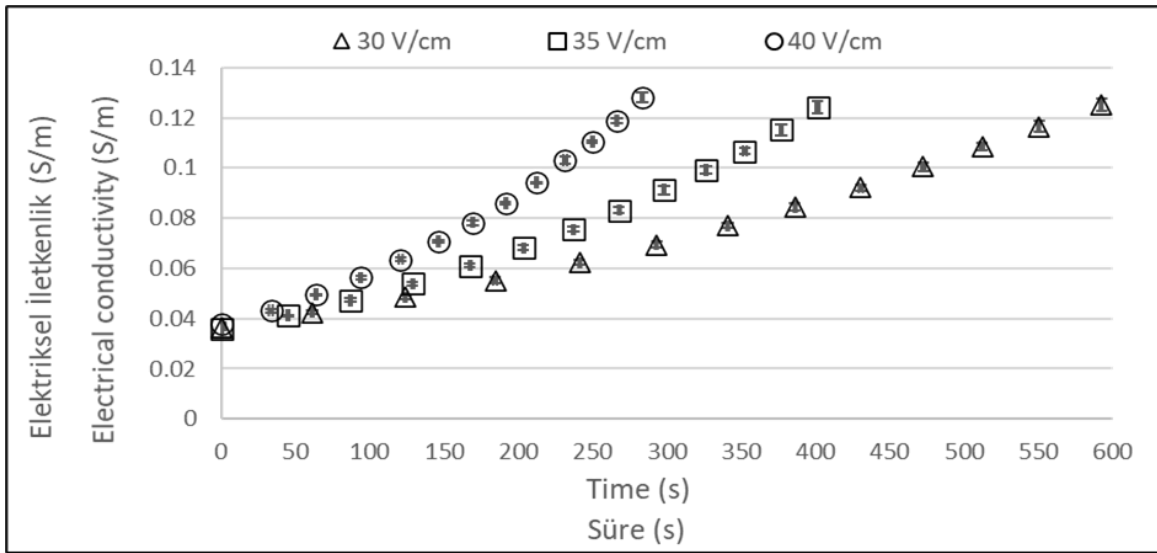
Reolojik Özelliklerdeki Değişim

Gelincik çiçeği şurubunun farklı işlem koşullarında uygulanan reolojik ölçüm sonuçlarında elde edilen deneysel kayma gerilimi-kayma hızı değişimleri Şekil 3’te verilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, sabit kayma hızı değerinde ölçüm alınan sabit sıcaklık değerinin artmasına bağlı olarak kayma gerilimi değerlerinin azalma eğilimi gösterdiği belirlenmiştir ($P < 0.05$). Uygulanan tüm kayma hızı değerleri dikkate alındığında, en yüksek kayma gerilim değerleri 20 °C sabit ölçüm sıcaklığında elde edilirken, en düşük kayma gerilim değerleri ise 80 °C sabit ölçüm sıcaklığında elde edilmiştir (Şekil 3; $P < 0.05$). Ölçüm alınan sabit sıcaklık

Gelincik çiçeği şurubunun elektriksel iletkenlik değerleri ve reolojik özellikleri

değerinin artmasına bağlı olarak kayma gerilimi değerlerinin azalma eğilimi gösterdiği, buna bağlı olarak da gelincik çiçeği şurubu örneklerinin viskozite değerlerinin düşme eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. Literatürde rapor edilen çalışmalar incelendiğinde, gelincik çiçeği şurubu örneklerinin reolojik özelliklerindeki değişimin incelendiği herhangi bir çalışmaya yazarların bilgisi dahilinde rastlanılmamıştır. Literatürde

farklı gıda maddeleri için yapılan çalışmalar incelendiğinde, ölçüm alınan sıcaklık değerinin artmasına bağlı olarak örneklerinin viskozite değerlerinin azalma eğilimi gösterdiği ve buna bağlı olarak da kayma gerilimi değerlerinin azaldığı birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir (Chin vd., 2009; Quek vd., 2013; Gabsi vd., 2013; Cevik vd., 2016; Cevik, 2021b).



Şekil 2. Farklı voltaj gradyanlarında gelincik çiçeği şurubu örneklerinin elektriksel iletkenlik değerlerindeki değişim

Figure 2. Changes of electrical conductivity values of poppy flower syrup samples at different voltage gradients

Çizelge 2. Farklı voltaj gradyanlarında ısıtma periyodu boyunca sıcaklığa bağlı (Eşitlik 2) olarak gelincik çiçeği şurubunun elektriksel iletkenlik değişimleri için model sabitleri (Lineer model) ve regresyon katsayıları

Table 2. Model constants (Linear model) and regression coefficients for changes of electrical conductivity of poppy flower syrup depending on temperature (Equation 2) during the heating period at different voltage gradients

Voltaj gradyanı (V/cm)	a (S/m°C)	b (S/m)	R ²
30	0.0015±0.0001 ^a	0.0026±0.0001 ^a	0.998±0.001
35	0.0015±0.0001 ^a	0.0040±0.0001 ^b	0.997±0.001
40	0.0015±0.0001 ^a	0.0056±0.0009 ^c	0.997±0.001

^{a,b,c} Aynı sütundaki farklı harflendirmelerin, ilgili değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmaktadır ($P < 0.05$)

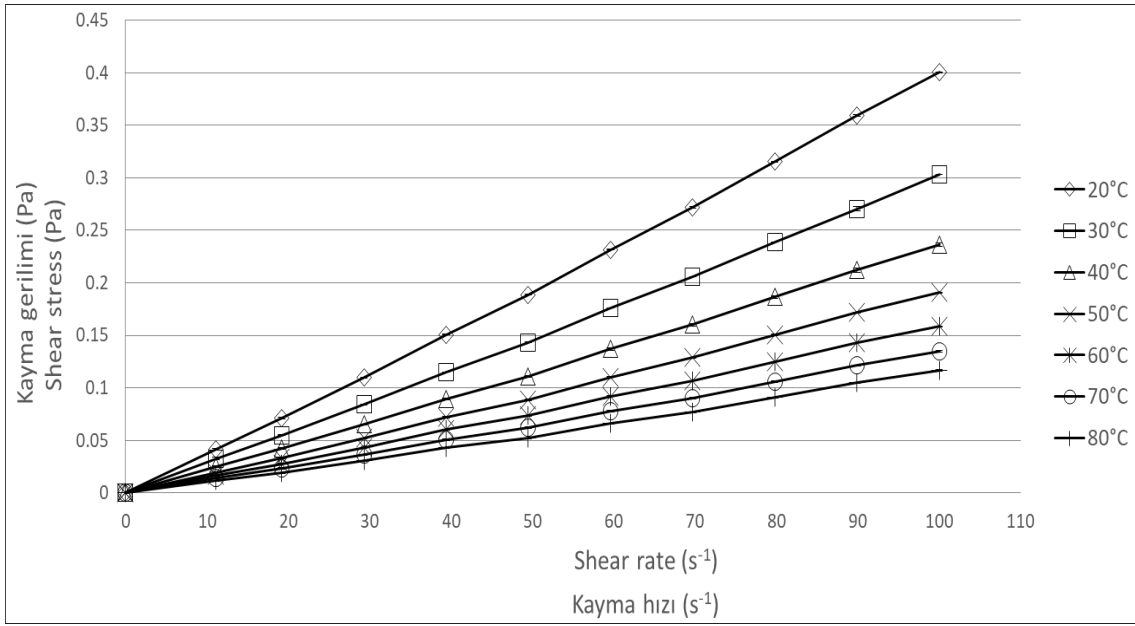
^{a, b, c} There is a statistically significant difference between the values of the respective value of different lettering in the same column ($P < 0.05$)

Farklı işlem koşullarının gelincik çiçeği şurubu örneklerinin reolojik özellikleri üzerine etkilerinin daha detaylı incelenmesi amacıyla farklı reolojik modellerin (Newton, Bingham, Üssel ve Herschel-Bulkley modeli) elde edilen deneysel

kayma gerilimi (Pa) ve kayma hızı (s^{-1}) değerlerine uyumluluğu doğrusal olmayan regresyon analizi yardımı ile incelenmiştir (Çizelge 3). Modeller arasındaki karşılaştırmanın daha detaylı yapılabilmesi için örneklerinin farklı sabit ölçüm

sıcaklığı değerlerinde elde edilen HKOK ve χ^2 değerleri istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Genel olarak değerlendirildiğinde, Bingham modelinin tüm işlem koşulları için uygulanabilir olmadığı belirlenmiştir. Newton model, Üssel model ve Herschel-Bulkley modelleri ise genel olarak karşılaştırıldığında, Üssel modelinin daha yüksek R^2 ve daha düşük hata oranlarına (HKOK ve χ^2) sahip olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 3).

Literatürde farklı gıda maddeleri (tarçın elması, pomela suyu, hurma şurubu, mango suyu, koruk suyu ve nar suyu) ile yapılan çalışmalarda en uygun reolojik modelin Üssel model olduğu birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Dak ve ark., 2007; Chin ve ark., 2009; Gabsi ve ark., 2013; Quek ve ark., 2013; Çevik vd., 2016; 2020; Çevik, 2021b).



Şekil 3. Farklı işlem koşullarında ölçüm alınan gelincik çiçeği şurubu örneklerinin sıcaklığa bağlı olarak kayma gerilimi-kayma hızındaki değişim

Figure 3. Changes of shear stress-shear rate of poppy flower syrup samples applied at different processing conditions depending on temperature

Reolojik ölçüm sabitlerindeki değişimin incelenmesi amacıyla en uygun reolojik model olan Üssel model öngörülerini kullanılmıştır. Elde edilen kıvam katsayısı (K), akış davranış indeksi (n) ve regresyon katsayısı (R^2) değerleri Çizelge 4'te verilmiştir. Yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda R^2 değerlerinin 0.999 ile 1 aralığında değiştiği ve model ile yüksek bir uyumluluk gösterdiği belirlenmiştir. Gelincik çiçeği şurubu örneklerinin kıvam katsayısı değerlerinin ölçüm alınan sabit sıcaklık değerinin artmasına bağlı olarak azalma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. (Çizelge 4). Farklı işlem koşullarında elde edilen akış davranış indeksleri (n) incelendiğinde, ölçüm alınan sabit sıcaklık değerinin artmasına bağlı olarak n değerlerinin artma eğilimi gösterdiği ve

Newton-dışı dilatant (kaymayla kalınlaşan) akış özelliği gösterdiği belirlenmiştir (Çizelge 4).

En uygun reolojik model olarak tespit edilen Üssel model katsayıları kullanılarak farklı işlem koşullarında ölçüm alınan örneklerinin görünür viskozite ($\mu_{\text{görünür}}$) değerleri de hesaplanmıştır (Eşitlik 7; Çizelge 4). Yapılan değerlendirme sonucunda ölçüm alınan sabit sıcaklık değerinin artmasına bağlı olarak görünür viskozite ($\mu_{\text{görünür}}$) değerlerinin azalma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir (Çizelge 4). Literatürde farklı işlem koşullarında ölçüm alınan gelincik çiçeği şurubu örneklerinin reolojik özelliklerindeki değişimin incelendiği herhangi bir çalışma bulunmaması nedeniyle sonuçlar literatür ile karşılaştırılmamaktadır.

Gelincik çiçeği şurubunun elektriksel iletkenlik değerleri ve reolojik özellikleri

Çizelge 3. Farklı işlem koşullarında ölçüm alınan gelincik çiçeği şurubu örneklerinin deneysel kayma hızı-kayma gerilimi verilerinin reolojik modellere uygunluğunun istatistiksel değerlendirmesi

Table 3. Statistical evaluation for rheological models applied to fit the experimental shear stress-shear rate data for poppy flower syrup samples at different processing conditions

Ölçüm sıcaklığı (°C)	İstatistiksel kriter	Modeller/Models			
		Newton modeli	Bingham modeli	Üssel model	Herschel-Bulkley modeli
Measurement temperature (°C)	Statistical criteria	Newton model	Bingham model	Power-Law model	Hershel-Bulkley model
20	R ²	0.999±0.001	ND*	1.000±0.000	1.000±0.000
	HKOK	0.0058±0.0004	ND*	0.0012±0.0001	0.0111±0.0023
	χ ²	0.000034±0.000005	ND*	0.000002±0.000001	0.000102±0.000002
30	R ²	0.999±0.001	ND*	1.000±0.000	1.000±0.000
	HKOK	0.0030±0.0001	ND*	0.0014±0.0001	0.0201±0.0056
	χ ²	0.000009±0.000001	ND*	0.000002±0.000001	0.000304±0.000001
40	R ²	0.999±0.001	ND*	1.000±0.000	1.000±0.000
	HKOK	0.0194±0.0009	ND*	0.0011±0.0001	0.0217±0.0057
	χ ²	0.000365±0.000012	ND*	0.000001±0.000001	0.000527±0.000263
50	R ²	0.998±0.001	ND*	1.000±0.000	1.000±0.000
	HKOK	0.0079±0.0006	ND*	0.0011±0.0001	0.0251±0.0041
	χ ²	0.000064±0.000009	ND*	0.000001±0.000001	0.000681±0.000227
60	R ²	0.998±0.001	ND*	0.999±0.002	0.999±0.001
	HKOK	0.0260±0.0001	ND*	0.0010±0.0001	0.0080±0.0009
	χ ²	0.000690±0.000006	ND*	0.000001±0.000001	0.000068±0.000016
70	R ²	0.997±0.001	ND*	0.999±0.001	0.999±0.001
	HKOK	0.0190±0.0006	ND*	0.0010±0.0001	0.0155±0.0049
	χ ²	0.000370±0.000023	ND*	0.000001±0.000001	0.000267±0.000162
80	R ²	0.995±0.001	ND*	0.999±0.001	0.999±0.001
	HKOK	0.0082±0.0003	ND*	0.0010±0.006	0.0388±0.0024
	χ ²	0.000069±0.000005	ND*	0.000001±0.000001	0.001611±0.000199

ND*: Belirlenmemiştir.

ND*: Not defined

Çizelge 4. Farklı işlem koşullarında ölçüm alınan gelincik çiçeği şurubu örneklerinin reolojik katsayı değerleri

Table 4. Rheological coefficient values of poppy flower syrup samples applied at different processing conditions

Ölçüm sıcaklığı (°C)	Kıvam katsayısı (Pa.s ⁿ)	Akış davranış indeksi (n)	Görünür viskozite (μ _{görünür})	R ²
Measurement temperature (°C)	Consistency coefficient (Pa.s ⁿ)	Flow behaviour index (n)	Apparent viscosity (μ _{app})	R ²
20	0.00311±0.00003	1.055±0.002	0.00386±0.00001	1.000±0.000
30	0.00246±0.00002	1.044±0.002	0.00292±0.00001	1.000±0.000
40	0.00187±0.00005	1.051±0.006	0.00229±0.00001	1.000±0.000
50	0.00143±0.00006	1.064±0.008	0.00183±0.00001	1.000±0.000
60	0.00119±0.00002	1.062±0.003	0.00152±0.00001	0.999±0.001
70	0.00096±0.00006	1.081±0.009	0.00128±0.00002	0.999±0.001
80	0.00073±0.00001	1.104±0.004	0.00109±0.00001	0.999±0.001

SONUÇ

Uygulanan voltaj gradyanının artmasına bağlı olarak gelincik çiçeği şurubu örneklerinin ısınma süresi değerlerinin yarı yarıya (%48 oranında) azaldığı tespit edilmiştir. Elektriksel iletkenlik değerlerinin 30, 35 ve 40 V/cm voltaj gradyanı için sırasıyla 0.036-0.124, 0.037-0.124 ve 0.039-0.128 S/m aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Tüm voltaj gradyanlarında elektriksel iletkenlik değerlerinin sıcaklık ile değişimini ifade eden en uygun matematiksel modelin Lineer model olduğu belirlenmiştir. Ölçüm alınan sabit sıcaklık değerinin artmasına bağlı olarak kayma gerilimi değerlerinin tüm kayma hızı değerlerinde azalma eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. Farklı işlem koşulları için istatistiksel olarak en uygun reolojik modelin Üssel model olduğu tespit edilmiştir. Gelincik çiçeği şurubu örneklerinin kıvam katsayısı değerleri ölçüm alınan sabit sıcaklık değerinin artmasına bağlı olarak azalma eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. Ölçüm alınan tüm işlem koşullarında örneklerin Newton-dışı dilatant (kaymayla kalınlaşan) akış özelliği gösterdiği tespit edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçların pilot ölçekli kurulabilecek olan gelincik çiçeği şerbeti ekipmanlarının tasarımı ve pompalama hatlarının kurulmasına ve literatürde bu konu hakkındaki bilgi eksikliğinin doldurulmasına katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

YAZAR KATKILARI

Tüm yazarlar makalenin yapılmasında, yazılmasında ve yayınlanmasında eşit katkı sağlamışlardır. Yazarlar makalenin son halini okudu ve onayladı.

KAYNAKLAR

Borchani, M., Masmoudi, M., Ben Amira, A., Abbes, F., Yaich, H., Besbes, S., Attia, H. (2019). Effect of enzymatic treatment and concentration method on chemical, rheological, microstructure and thermal properties of prickly pear syrup. *LWT-Food Sci Technol*, 113, 108314.

Bozkurt, H., İcier, F. (2010). Ohmic cooking of ground beef: Effects on quality. *J Food Eng*, 96(4), 481-490.

Cevik, M. (2021a). Electrical conductivity and performance evaluation of verjuice concentration process using ohmic heating method. *J Food Process Eng*, e13672.

Cevik, M. (2021b). Gezo Pekmezinin Reolojik Özelliklerinin Belirlenmesi. *Iğdır Üniv Fen Bil Enst Der*, 11(2): 1154-1164.

Cevik, M., Tezcan, D., Sabancı, S., İcier, F. (2016). Changes in rheological properties of koruk (unripe grape) juice concentrates during vacuum evaporation. *Acad Food*, 14(4), 322-332.

Cevik, M., İcier, F. (2018). Effects of voltage gradient and fat content on changes of electrical conductivity of frozen minced beef meat during ohmic thawing. *J Food Process Eng*, 41(4), e12675.

Çevik, M., Çokgezme, Ö.F., Sabancı, S., İcier, F. (2020). Ohmik destekli vakum altında evaporasyon sistemi ile konsantre edilen nar suyunun reolojik özelliklerindeki değişimin incelenmesi. *Gıda*, 45 (4), 748-762.

Chin, N.L., Chan, S.M., Yusof, Y.A., Chuah, T.G., Talib, R.A. (2009). Modelling of rheological behaviour of pummelo juice concentrates using master-curve. *J Food Eng*, 93(2), 134-140.

Dak, M., Verma, R.C., Jaaffrey, S.N.A. (2007). Effect of temperature and concentration on rheological properties of “Kesar” mango juice. *J Food Eng*, 80(4), 1011-1015.

Darvishi, H., Hosainpour, A., Nargesi, F., Khoshtaghaza, M.H., Torang, H. (2011). Ohmic Processing: Temperature dependent electrical conductivities of lemon juice. *Modern App Sci*, 5(1), 209.

Darvishi, H., Salami, P., Fadavi, A., Saba, M.K. (2020). Processing kinetics, quality and thermodynamic evaluation of mulberry juice concentration process using Ohmic heating. *Food Bioprod Process*, 123, 102–110.

Gabsi, K., Trigui, M., Barrington, S., Helal, N.A., Taherian, A.R. (2013). Evaluation of rheological properties of date syrup. *J Food Eng*, 117, 165-172.

İcier, F. (2003). Gıdaların ohmik ısıtılmasının deneysel ve kuramsal olarak incelenmesi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda

- Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi, İzmir, Türkiye, 245s.
- Icier, F., Ilıcalı, C. (2004). Electrical conductivity of apple and sourcherry juice concentrates during ohmic heating. *J Food Process Eng*, 27(3), 159–180.
- Icier, F., Yıldız, H., Sabancı, S., Cevik, M., Cokgezme, O.F. (2017a). Ohmic heating assisted vacuum evaporation of pomegranate juice: Electrical conductivity changes. *Innov Food Sci Emerg Tech*, 39, 241-246.
- Icier, F., Cokgezme, O.F., Sabancı, S. (2017b). Alternative thawing methods for the blanched/non-blanched potato cubes: microwave, ohmic, and carbon fiber plate assisted cabin thawing. *J Food Process Eng*, 40(2), e12403.
- Kaya, İ., İncekara, N., Nemli, Y. (2004). Ege Bölgesi'nde Sebze Olarak Tüketilen Yabani Kuşkonmaz, Sirken, Yabani Hindiba, Rezene, Gelincik, Çoban Değneği ve Ebegümecinin Bazı Kimyasal Analizleri . *YYÜ Tar Bil Derg*, 14 (1) , 1-6.
- Krokida, M.K., Maroulis, Z.B., Saravacos, G.D. (2001). Rheological properties of fluid fruit and vegetable puree products: Compilation of literature data. *Int J Food Prop*, 4(2), 179-200.
- Kumar, T., Smith, D.D., Kumar, S., Vimla, B. (2018). Effect of voltage gradient and temperature on electrical conductivity of grape (*vitis vinifera* l.) juice during ohmic heating. *Int J Current Micr App Sci*, 7(05), 1914–1921.
- Morell, P., Fiszman, S.M., Varela, P., Hernando, I. (2014). Hydrocolloids for enhancing satiety: Relating oral digestion to rheology, structure and sensory perception. *Food Hydrocoll*, 41, 343-353.
- Ngadi, M.O., Yu, L.J. (2004). Rheological properties of Canadian maple syrup. *Canadian Biosy Eng*, 46, 15–18.
- Özdoğan, Y., Işık, N. (2008). Geleneksel Türk Mutfağında Şerbet. 38. *ICANAS Uluslararası Asya ve Kuzey Afrika Çalışmaları Kongresi Bildiri Kitabı*, 1. cilt 1059-1077, Ankara.
- Şahin, Ö., Kılıç, B. (2009). Yiyecek İçecek İşletmeciliğinde Yenilebilir Çiçekler, 3. *Ulusal Gastronomi Sempozyumu*, ss. 1-15.
- Quek, M.C., Chin, N.L., Yusof, Y.A. (2013). Modelling of rheological behaviour of soursop juice concentrates using shear rate–temperature–concentration superposition. *J Food Eng*, 118, 380-386.
- Sabancı, S., Icier, F. (2017). Applicability of ohmic heating assisted vacuum evaporation for concentration of sour cherry juice. *J Food Eng*, 212, 262-270.
- Sastry, S.K., Salengke, S. (1998). Ohmic heating of solid–liquid mixtures: A comparison of mathematical models under worst-case heating conditions. *J Food Process Eng*, 21, 441-458.
- Steffe, J.F. (1996). *Rheological Methods in Food Process Engineering*. 2nd Edition, Freeman Press, East Lansing.