



## OHMİK DESTEKLİ VAKUM ALTINDA EVAPORASYON SİSTEMİ İLE KONSANTRE EDİLEN NAR SUYUNUN REOLOJİK ÖZELLİKLERİNDEKİ DEĞİŞİMİN İNCELENMESİ

Mutlu Çevik<sup>1\*</sup>, Ömer Faruk Çokgezme<sup>2</sup>, Serdal Sabancı<sup>1</sup>, Filiz İçier<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

Geliş / Received: 09.04.2020; Kabul / Accepted: 14.07.2020; Online baskı / Published online: 04.08.2020

Çevik, M., Çokgezme, Ö.M., Sabancı, S., İçier, F.. (2020). Ohmik destekli vakum altında evaporasyon sistemi ile konsantre edilen nar suyunun reolojik özelliklerindeki değişimin incelenmesi. *GIDA* (2020) 45(4) 748-762 doi: 10.15237/gida.GD20049.

Çevik, M., Çokgezme, Ö.M., Sabancı, S., İçier, F.. (2020). Investigation of the changes in the rheological properties of pomegranate juice with ohmic assisted vacuum evaporation system. *GIDA* (2020) 45(4) 748-762 doi: 10.15237/gida.GD20049.

### ÖZ

Bu çalışmada, nar suyunun ohmik destekli vakum altında evaporasyon (OAVE) yöntemi ile farklı voltaj gradyanları (7.5, 10 ve 12.5 V/cm) uygulanarak %40 suda çözünür kuru madde (SÇKM) içeriğine kadar konsantre edilmesi sırasında reolojik özelliklerindeki değişim incelenmiş ve vakum altında evaporasyon (VAE) yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Evaporasyon işlemi sırasında incelenen tüm SÇKM içeriklerinde nar suyu konsantrlerinin reolojik davranışını en iyi ifade eden modelin Üssel Model olduğu tespit edilmiştir. Bu model ile öngörülen görünür viskozite ( $\mu_{\text{görünür}}$ ) ve akış davranış indeksleri (n) değerlerinin SÇKM içeriği arttıkça artma eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. Yüksek voltaj gradyanlarında (10 ve 12.5 V/cm) uygulanan OAVE işlemi ile yüksek kıvam katsayısına sahip nar suyu konsantrlerinin elde edilebileceği tespit edilmiştir. Ek olarak, VAE işlemine benzer karakterde kıvama sahip konsantre eldesi için ise düşük voltaj gradyanında uygulanan OAVE işleminin alternatif olarak uygulanabilir olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** elektriksel, kıvam, vakum, meyve suyu, kuru madde

\*Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author

✉: mutlucevik3538@hotmail.com,

☎: (+90) 428 213 17 94/25 19

☎: (+90) 428 213 18 61

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

Ömer Faruk Çokgezme; ORCID no: 0000-0001-9806-2282

Serdal Sabancı; ORCID no: 0000-0003-1630-0799

Filiz İçier; ORCID no: 0000-0002-9555-3390

## INVESTIGATION OF THE CHANGES IN THE REOLOGICAL PROPERTIES OF POMEGRANATE JUICE WITH OHMIC ASSISTED VACUUM EVAPORATION SYSTEM

### ABSTRACT

In this study, the change in rheological properties of the pomegranate juice during evaporation process up to 40% TSS content by the ohmic assisted vacuum evaporation (OAVE) method applied at different voltage gradients (7.5, 10 and 12.5V/cm) was examined and compared by vacuum evaporation (VAE) method. It was determined that the best model characterizing the rheological behavior of pomegranate juice concentrates for all TSS contents investigated during the evaporation process was the Power Law Model. It was determined that  $\mu_{\text{apparent}}$  and  $n$  values predicted with this model tend to increase as TSS content increased. It has been determined that pomegranate juice concentrates having high consistency coefficient can be obtained with OAVE process applied in high voltage gradients (10 and 12.5 V/cm). In addition, it was concluded that the OAVE process in low voltage gradient could be applied as alternative method for concentrate production with a consistency similar to VAE process.

**Keywords:** electrical, consistency, vacuum, fruit juice, dry matter

### GİRİŞ

Nar (*Punicagranatum* L. (Hicaznar)) Amerika, Orta Asya, Akdeniz ve Arap ülkelerinde yetiştiriciliği gerçekleştirilen önemli bir meyvedir (Al-Maiman ve Ahmad, 2002; Vardin ve Fenercioğlu, 2003; Maskan, 2006). Nar meyvesi yüzlerce küçük çekirdekten ve çekirdekleri saran kırmızı sert bir kabuktan oluşmaktadır. Nar meyvesinin yenilebilen kısımları küçük çekirdekleridir. Bu çekirdekler önemli miktarda asit, vitamin, fenolik madde ve mineral madde içeriğine sahiptir (Al-Maiman ve Ahmad, 2002; Maskan, 2006; Ozgen vd., 2008). Genellikle nar meyvesi gıda sanayisinde meyve suyu, nar ekşisi, nar marmelatı ve kuru nar meyvesi şeklinde tüketilmektedir (Al-Said vd., 2009).

Sezonluk meyvelerden meyve suyu üretilmesinde kısıtlı sürede hasat edilen hammaddenin hızlı bir şekilde işlenerek depolanması gerekir. Üretilen meyve suyu, konsantre edilmeden depolanırsa bozulmaların minimize edilmesi için ısı işlem uygulaması ve yüksek depolama hacmi gerekmektedir. Dolayısıyla işleme ve depolama maliyeti yüksek olmaktadır (Cemeroğlu, 2010). Bu olumsuzlukları gidermek amacıyla meyve suları üretildikten sonra genellikle konsantre edilir. Konsantrasyon amacıyla gıda sanayinde vakum altında ısı evaporasyon uygulamaları kullanılmaktadır. Vakum altında evaporasyon işlemi su aktivitesi değerini düşürmekte, ağırlık ve

hacmin azalmasını başarıyla sağlamaktadır, ancak aroma ve uçucu yağ asitlerinin kayba uğraması ve atmosferik evaporasyon işlemine göre ek enerji gereksinimine sahip olması gibi dezavantajlara sahiptir. Bu nedenle son yıllarda yeni ısıtma tekniklerinin (mikrodalga ısıtma ve ohmik ısıtma) vakumlu sistemlere entegre edildiği çalışmalar literatürde dikkati çekmektedir (Bozkır ve Baysal, 2017; Cokgezme vd., 2017; İcier vd., 2017a; Sabancı ve İcier, 2017).

Ohmik ısıtma, iki elektrot arasında bulunan gıda maddesi içerisinde alternatif akımın geçirilmesi ve gıda maddesi içerisinde meydana gelen ısı jenerasyonu ile gıda maddesinin ısıtılması prensibine dayanmaktadır. Sıvı gıda maddelerine uygulanan ohmik ısıtma işleminin hızlı ve homojen bir ısıtma sağlayan elektriksel bir ısıtma yöntemi olduğu birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Reznick, 1996; Sastry ve Salengke, 1998; İcier, 2003). Özellikle son yıllarda yapılan çalışmalarda ohmik ısıtma işleminin gıda maddelerinin ısıtılmasında, pastörizasyonunda, sterilizasyonunda, pişirilmesinde, haşlanmasında ve çözündürülmesinde yaygın olarak kullanıldığı birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir (Ozkan vd., 2004; Sensoy ve Sastry, 2004; Bozkurt ve İcier, 2010a; b; Cho vd., 2016; Kaur ve Singh, 2016; İcier vd., 2017b; Sabancı ve İcier, 2017; Cevik ve İcier, 2018). Literatürde ohmik ısıtma yönteminin vakumlu sistemlere entegre edildiği

sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bahsi geçen bu çalışmalarda, gıda maddelerinin daha çok elektriksel iletkenlik değerlerindeki değişimin belirlendiği, kullanılan sistemlerin enerjetik ve ekserjetik performanslarının incelendiği ve ürünlerin kalite özelliklerindeki değişimin tespit edildiği dikkati çekmektedir (Cokgezme vd., 2017; İçier vd., 2017a; Fadavi vd., 2018; Darvishi vd., 2019; Sabancı ve İçier, 2017; 2019; Sabancı vd., 2019). Elektriksel iletkenlik değerlerinin incelendiği çalışmada (İcier vd., 2017), araştırmacılar sıcaklık ve uygulanan voltaj gradyanı değerlerinin artmasına bağlı olarak elektriksel iletkenlik değerlerinin kritik %SÇKM içeriğine kadar artış gösterdiğini ve daha sonra ise azaldığını bildirmişlerdir. Yapılan performans değerlendirme çalışmasında, ohmik ısıtma destekli vakum altında evaporasyon (OAVE) yöntemi ile konsantre edilen nar suyunun VAE yöntemi ile konsantre edilen nar suyu örneklerine kıyasla toplam harcanan enerji miktarının oldukça düşük olduğu rapor edilmiştir (Cokgezme vd., 2017). Yapılan diğer bir çalışmada (Sabancı ve İçier, 2020), vişne suyu %65 SÇKM içeriğine kadar konsantre edilmiş ve işlemin performans değerlendirilmesi yapılmıştır. OAVE işleminde toplam harcanan enerji miktarının  $1533.37 \pm 8.16$  kJ (14 V/cm) olduğu ancak VAE işleminde ise  $2815.06 \pm 37.57$  kJ olduğu rapor edilmiştir. Rapor edilen veriler karşılaştırıldığında, OAVE işleminin enerji verimliliği anlamında ciddi katkı sağladığı görülmektedir (Sabancı ve İçier, 2020). Diğer yandan, gelişen teknoloji ile birlikte daha düşük yatırım maliyetlerine sahip olan ve üretim sırasında yüksek enerji verimliliğinin sağlanabildiği ohmik ısıtma sistemlerinin endüstriyel boyutta kullanılması ile geleneksel evaporasyon yöntemlerine kıyasla daha düşük maliyetlerde ürün elde edilebileceği bildirilmiştir (Sastri vd., 2010). Ancak literatürde vakum altında ohmik ısıtma yöntemi kullanılarak konsantre edilen örneklerin reolojik özelliklerindeki değişimin incelendiği herhangi bir çalışmaya, yazarların bilgisi dahilinde rastlanılmamıştır.

Gelişen teknolojik koşullara bağlı olarak gıda maddelerinin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi endüstriyel boyutta ürünlerin tasarımında oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu fiziksel özelliklerinden

biri de gıda maddelerinin reolojik karakteridir. Reoloji bilimi, maddenin akış ve deformasyonunu inceleyen bir bilim dalıdır. Genellikle sıvı gıdaların sınıflandırılması kayma hızının kayma gerilimindeki değişme göre Newtonian ve Non-Newtonian tipi akışkan olmak üzere iki tipe ayrılmaktadır. Gıda maddelerinin bu iki akış tipinden hangisine uyum gösterdiği ürünlerin raf ömürlerinin belirlenmesinde son derece öneme sahiptir (Steffe, 1996). Ayrıca gıda maddelerinin reolojik özelliklerinin belirlenmesi karıştırma ve proses kontrolü gibi parametrelerin belirlenmesinde son derecede kritik öneme sahiptir (Steffe, 1996; Krokida vd., 2001). Güncel bir teknolojinin sıvı gıdalara uygulanabilir olmasında en önemli belirleyici kriterlerden biri de reolojik özelliklerdeki değişimin etkisinin bilinmesidir. Literatürde, güncel ısıtma teknolojilerinden biri olan ohmik ısıtma işleminin sıvı gıdaların reolojik özellikleri üzerine etkisinin incelendiği sınırlı sayıda çalışma olduğu dikkati çekmektedir. Yapılan bu çalışmalarda atmosferik koşullarda uygulanan ohmik ısıtma işleminin nar suyu, ayva suyu, süt, sıvı yumurta ve dondurmanın reolojik özelliklerindeki değişim incelendiği rapor edilmiştir (İcier ve Tavman, 2007; Yıldız vd., 2009; Bozkurt ve İçier, 2009; 2012; İçier ve Bozkurt, 2011). Ancak literatürde ohmik ısıtma destekli vakum altında evaporasyon işlemi ile farklı SÇKM içeriklerine konsantre edilen nar suyu örneklerinin reolojik davranışlarını inceleyen herhangi bir çalışmaya yazarların bilgisi dahilinde rastlanılmamıştır.

Bu çalışmanın temel amacı, farklı voltaj gradyanlarında uygulanan ohmik ısıtma destekli vakum altında evaporasyon işlemleri ile farklı SÇKM değerlerine konsantre edilen nar suyunun reolojik özelliklerindeki değişimin belirlenmesi ve vakum altında evaporasyon işlemi ile elde edilen nar suyu konsantreleri ile karşılaştırılmasıdır. Yapılan bu çalışmanın literatürde önemli bir boşluğun doldurulmasına katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

## MATERYAL ve METOT

### Materyal

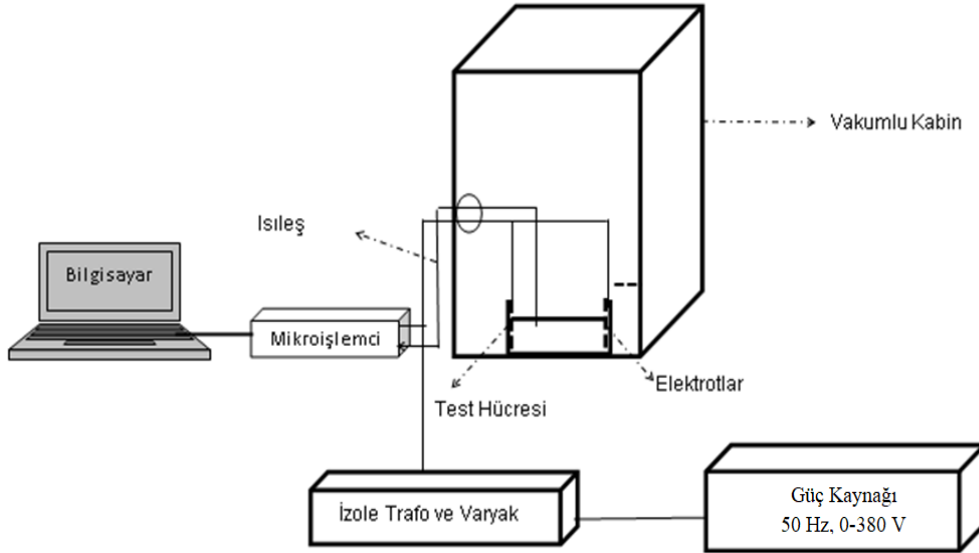
Çalışmada kullanılan nar (*Punicagranatum* L. (Hicaznar)) hammaddesi yerel bir firmadan temin

edilmiştir ve iklimlendirme kabininde 0-5°C sıcaklıkta %90-95 nisbi nemde depolanmıştır. Nar meyveleri yıkama ve daneleme işlemine tabi tutulmuştur. Elde edilen nar taneleri pilot çaplı hidrolik pres (Bucher, İsviçre) kullanılarak preslenmiş, kaba filtre kağıdı ile vakum uygulanarak süzölmüştür. Elde edilen süzöntüler hammadde farklılığından kaynaklanan hataları en aza indirmek ve homojen bir karışım elde etmek amacıyla harmanlanmış, karıştırılarak 300 ml plastik şişeler içerisine doldurulmuştur. Suda çözünür kuru madde (SÇKM) içeriği  $17.5 \pm 0.1$  olan şişelenmiş nar suyu örnekleri hava akımlı -29°C soğutma ortamı sıcaklığına sahip dondurucu (Electrolux, İsviçre) içerisinde, şişelerin geometrik merkez noktaları -18°C olacak şekilde dondurma işlemine tabii tutulmuştur. Ardından dondurulmuş nar suyu örnekleri -18°C ortam sıcaklığında depolanmıştır.

Her bir evaporasyon işleminden önce dondurulmuş nar suyu şişeleri buzdolabı (+4°C soğutma ortamında) içerisinde geometrik merkez noktaları +4°C gelinceye kadar 24 saat boyunca çözünme işlemine tabii tutulmuştur. Çözündürölmüş nar suyu örneklerine hemen evaporasyon işlemi uygulanmıştır.

### Evaporasyon yöntemleri

Pilot ölçekli ohmik ısıtma sisteminin entegre edildiği vakum altında evaporasyon sisteminde iki farklı evaporasyon yöntemi (ohmik ısıtma destekli vakum altında evaporasyon sistemi (OAVE) ve vakum altında evaporasyon yöntemi (VAE)) uygulanmıştır (Şekil 1). OAVE yönteminde; güç kaynağı/izole trafo (10 kW, 0-380 V), vakum kabini ve vakum sistemi, karıştırma sistemi, elektriksel işlem hücresi (0.156×0.075×0.07 m Teflon malzeme), elektrotlar (titanyum), sıcaklık ölçümü için Teflon kaplı T-tipi ısıleşler (Cole-Parmer, UK), özel olarak geliştirilmiş mikroişlemci sistemi (eş zamanlı sıcaklık, voltaj ve akım ölçebilen) ve bilgisayar üniteleri kullanılmaktadır (Şekil 1). Vakum kabini içerisindeki planlanan çalışma basıncı ( $180 \pm 2$  mm Hg) sisteme bağlı vakum pompası yardımıyla sağlanmıştır. OAVE işlemi 3 farklı voltaj gradyanında (7.5, 10 ve 12.5 V/cm) gerçekleştirilmiştir. VAE yönteminde ise farklı olarak, aynı evaporasyon sistemine entegre edilmiş olan ısıtıcı plaka (1.1 kW, Şanal, Türkiye) ve elektriksel işlem hücresi ile aynı iç boyutlara sahip işlem hücresi (paslanmaz çelik) kullanılmıştır.



Şekil 1. Ohmik ısıtma destekli vakum altında evaporasyon sisteminin şematik gösterimi (Icier vd., 2017)

Figure 1. Schematic illustration of the ohmic assisted vacuum evaporation system (Icier et al. 2017)

Her iki yöntemde de karıştırma işlemi  $109 \pm 1$  rpm hızda gerçekleştirilmiştir. OAVE işleminde Teflon malzemenin özel olarak yapılmış, VAE işleminde ise paslanmaz çelikten özel olarak yapılmış aynı boyutlara sahip karıştırıcı uçları kullanılmıştır. Evaporasyon işlemleri sırasında nar suyu (400 ml) öncelikle  $4^\circ\text{C}$ 'den  $65^\circ\text{C}$ 'ye kadar  $180 \pm 2$  mm Hg sabit mutlak basınç altında ısıtılmış, daha sonra  $65 \pm 1^\circ\text{C}$  sabit sıcaklık değerinde %20, %30 ve %40 SÇKM içeriğine gelinceye kadar konsantrasyon işlemine tabii tutulmuştur. Mevcut çalışmada vakum altında ohmik evaporasyon işleminin meyve sularından konsantre eldesi için uygulanabilirliğinin test edilmesi amaçlanmıştır. Bu sebeple hedef %SÇKM içeriği olarak, %65 SÇKM yerine orta düzeyde de olsa konsantre edebilme veya ön konsantre etme işlemi olarak uygulanabilirliğinin incelenmesi amaçlandığı için %40 SÇKM değeri belirlenmiştir.

Yazarların daha önce yayımlanan çalışmasında (Icier vd., 2017), aynı koşullarda nar suyu örneklerinin 7.5, 10 ve 12.5 V/cm voltaj gradyanı uygulanarak %40 SÇKM içeriğine kadar konsantre edilme sürelerinin sırasıyla 152, 78 ve 53 dak. olduğu rapor edilmiştir. SÇKM içeriğinin zamana bağlı değişimini belirlemek için her iki evaporasyon yönteminde, evaporasyon işlemi başladıktan sonraki her 10 dk. evaporasyon süresi artışı için, evaporasyon baştan başlatılarak ayrı ayrı yapılmıştır. İlgili sürelerde sonlandırılan işlemlerden alınan örneklerde SÇKM içeriği belirlenmiştir. Hedef %SÇKM içerikleri için gerekli evaporasyon süreleri belirlenerek evaporasyon işlemleri tekrar uygulanarak, işlem sonunda alınan örneklerde reolojik ölçümler yapılmıştır.

### Reolojik ölçümler

Reolojik ölçümler Brookfield viskozimetresi (Model LVDV-II Pro, Brookfield Engineering Laboratories, U.S.A) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümler sırasında test hücresi içinde tekdüze bir kayma gerilimi-kayma hızı alanı oluşturabilmek adına cihazın "Küçük Ölçüm Adaptör"ü kullanılmıştır. Reolojik ölçümler  $0-264 \text{ s}^{-1}$  kayma hızı değerleri arasında alınmıştır. Farklı konsantrasyonlardaki nar suyu

örnekleri için Tork ölçüm hassasiyeti %10-100 aralığında olacak şekilde, en uygun spindle (spindle 18) kullanılmıştır. Kayma hızı ve kayma gerilimi değerleri ölçülmüş, akışkan tipinin belirlenmesi amacıyla reolojik modellerin (Newton, Üssel, Bingham, Herschel-Bulkley) deneysel verilere uygunluğu istatistiksel olarak belirlenmiştir (Eşitlik 1-4) (Çevik vd., 2016).

$$\tau = \eta * \dot{\gamma} \quad (1)$$

$$\tau = K * \dot{\gamma}^n \quad (2)$$

$$\tau - \tau_0 = K * \dot{\gamma} \quad (3)$$

$$\tau - \tau_0 = K * \dot{\gamma}^n \quad (4)$$

Burada kullanılan  $\tau$  kayma gerilimi değerini (Pa),  $\tau_0$  değeri başlangıç kayma gerilimini (Pa),  $\dot{\gamma}$  kayma hızı değerini ( $\text{s}^{-1}$ ),  $K$  kıvım katsayısı ( $\text{Pa.s}^n$ ),  $\mu$  viskozite değerini (Pa.s) ve  $n$  ise akış davranış indeksini (birimsiz) ifade etmektedir.

Newton dışı akışkanlar için kayma gerilimi ve kayma hızı arasındaki değişim doğrusal değildir (Steffe, 1996). Bu çalışmada, belli bir kayma hızı ( $50 \text{ s}^{-1}$ ) seçilerek, elde edilmiş en uygun reolojik modeldeki reolojik sabitler Eşitlik (5)'te yerine konularak görünür viskozite değerleri hesaplanmıştır (Morell vd., 2014).

$$\eta_{\text{görünür viskozite}} = K * \dot{\gamma}^{n-1} \quad (5)$$

### İstatistiksel analiz

Farklı SÇKM içeriğine konsantre edilen nar suyu örnekleri için farklı işlem koşullarının reolojik özellikler üzerine etkisi SPSS 14.0 paket programı (IBM, USA) kullanılarak 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. İncelenen her bir

reolojik model için ilgili eşitlikler (hata kareleri ortalaması karekökü (HKOK), ki-kare ( $\chi^2$ ) ve  $R^2$  değerleri) MATLAB paket programı kullanılarak hesaplanmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda en uygun reolojik modelin değerlendirilmesinde en küçük hata kareleri ortalaması karekökü (HKOK) (Eş. 6) ve ki-kare ( $\chi^2$ ) (Eş. 7) değerleri ile en yüksek  $R^2$  değerleri (Eş. 8) dikkate alınmıştır (Cevik vd., 2016). Tüm denemeler 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir.

$$HKOK = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (TD_i - DD_i)^2 \right]^{0.5} \quad (6)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (TD_i - DD_i)^2}{N-n} \quad (7)$$

$$R^2 = \frac{N \sum_{i=1}^n TD_i DD_i - \sum_{i=1}^n TD_i \sum_{i=1}^n DD_i}{\sqrt{(N \sum_{i=1}^n TD_i^2 - (\sum_{i=1}^n TD_i)^2)(N \sum_{i=1}^n DD_i^2 - (\sum_{i=1}^n DD_i)^2)}} \quad (8)$$

TD teorik değer verisini, DD deneysel değer verisini, N gözlenen veri sayısını, n modeldeki katsayı sayısını ifade etmektedir.

### TARTIŞMA ve SONUÇLAR

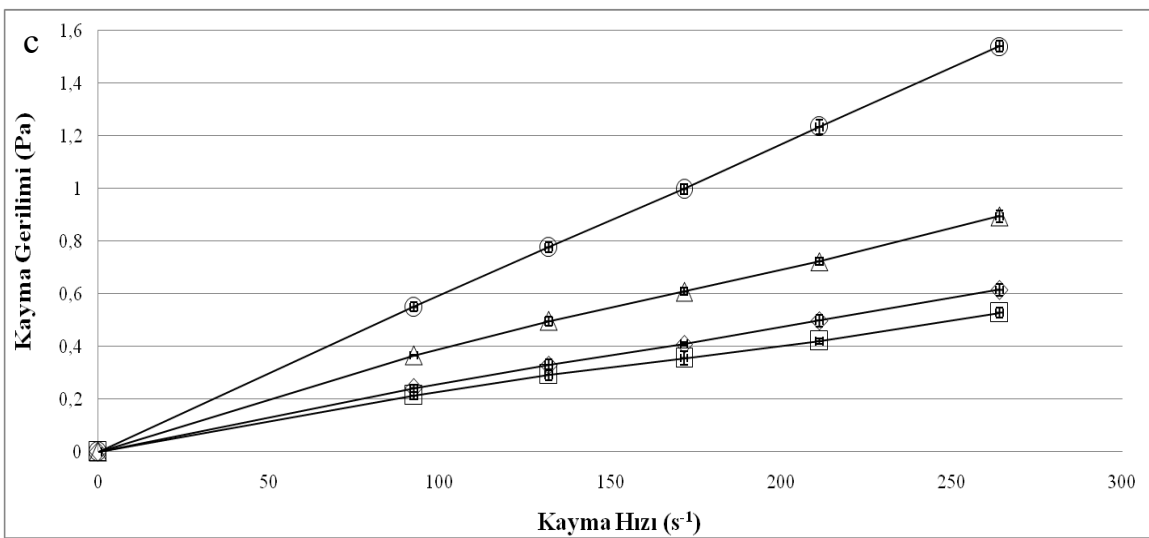
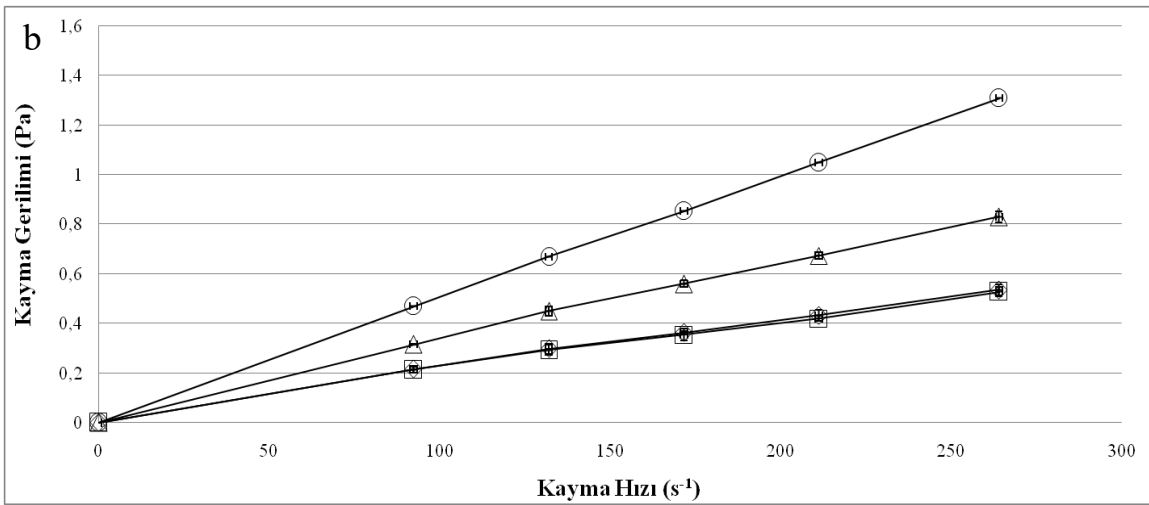
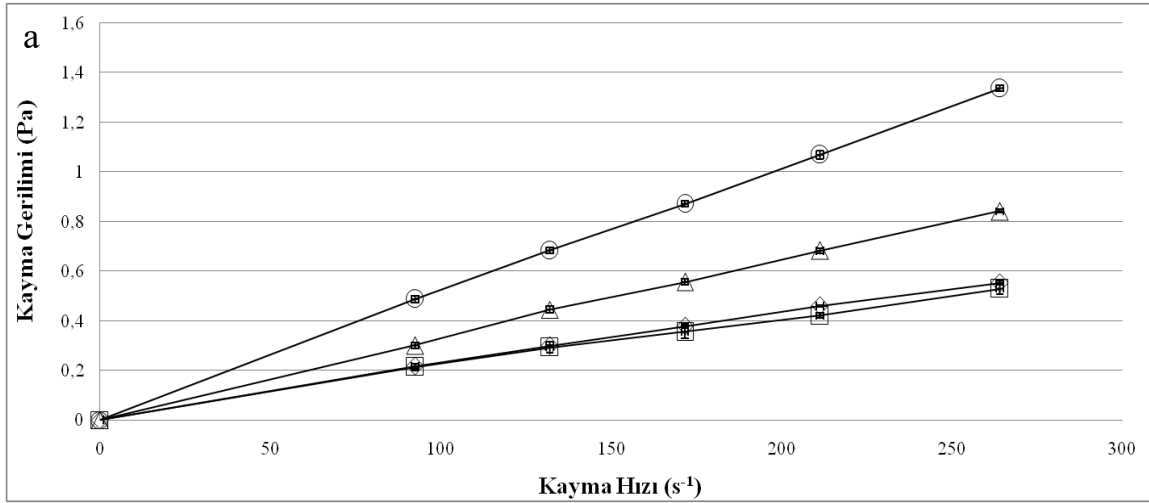
OAVE ve VAE işlemleri ile farklı suda çözünür kuru madde içeriğine konsantre edilen nar suyu örneklerinin reolojik ölçümleri ile elde edilen deneysel kayma gerilimi-kayma hızı değişimleri Şekil 2'de verilmiştir. Farklı işlem koşullarında çalışılan OAVE yönteminde uygulanan voltaj gradyanının artmasına bağlı olarak benzer kayma hızı değerlerinde kayma gerilimi değerlerinin artış gösterdiği belirlenmiştir ( $P < 0.05$ ). Benzer şekilde, aynı kayma hızı değerlerinde SÇKM içeriğinin artmasına bağlı olarak kayma gerilimi değerlerinin arttığı tespit edilmiştir ( $P < 0.05$ ). Beklenildiği gibi artan SÇKM içeriğine bağlı olarak, ürünün serbest su miktarı azalmakta ve buna bağlı olarak hidroksil bağları oluşmaktadır. Oluşan bu hidroksil bağları sıvı ürünün hareketinin kısıtlanmasına neden olarak, aynı kayma hızı değerlerinde konsantrasyon arttıkça kayma gerilim değerleri artmasına neden olmaktadır (Constenla vd., 1989).

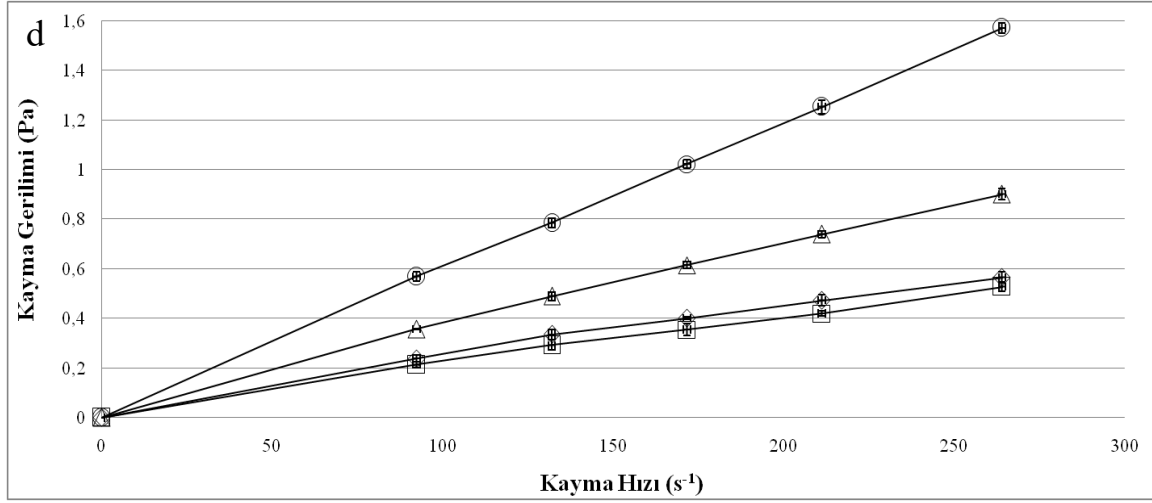
Farklı işlem koşulları uygulanarak aynı SÇKM içeriğine konsantre edilen nar sularında ise, aynı

kayma hızı değeri için kayma gerilimi değerlerinin istatistiksel olarak benzer olduğu tespit edilmiştir ( $P > 0.05$ ). Altan ve Maskan (2005) mikrodalga yöntemi ile konsantre ettikleri nar suyu örneklerinin reolojik davranışlarını inceledikleri çalışmalarında, SÇKM içeriğinin artmasına bağlı olarak kayma gerilimi değerlerinin artış gösterdiğini rapor etmişlerdir. Benzer şekilde, Cevik vd. 2014 farklı suda çözünür kuru madde içeriğine döner tip vakumlu evaporatörde konsantre edilen nar suyu örneklerinin aynı kayma hızında SÇKM içeriği arttıkça kayma gerilimi değerlerinin artış gösterdiğini bildirmişlerdir. Literatürde farklı meyve suları için yapılan çalışmalarda, Juszczak ve Fortuna (2004) konsantre ettikleri vişne suyu örneklerinde, Cevik vd. (2016) ise koruk suyu örneklerinde SÇKM içeriğinin artmasına bağlı olarak kayma gerilimi değerlerinin artış gösterdiğini benzer şekilde rapor etmişlerdir.

Literatürde rapor edilen çalışmalar incelendiğinde, vakum altında ohmik ısıtma yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen evaporasyon işlemleri sonucunda örneklerin reolojik özelliklerindeki değişimin incelendiği herhangi bir çalışmaya yazarların bilgisi dahilinde rastlanılmamıştır.

VAE ve OAVE işleminin reolojik özellikler üzerine etkisinin daha detaylı incelenebilmesi amacıyla farklı reolojik modellerin (Newton, Bingham, Üssel ve Herschel-Bulkley modeli) elde edilen deneysel kayma gerilimi (Pa)-kayma hızı (1/s) verilerine uyumluluğu doğrusal olmayan regresyon analizi kullanılarak test edilmiştir (Çizelge1-4). Genel olarak %17.5, 20 ve 30 SÇKM içeriğine sahip nar suyu örnekleri için en uygun reolojik modelin Üssel model olduğu tespit edilmiştir (Çizelge1-4). %40 suda çözünür kuru madde içeriğine sahip nar suyu örnekleri için ise en uygun reolojik modellerin Newton ve Üssel modeller olduğu ve uyum hatalarının istatistiksel olarak benzer olduğu tespit edilmiştir ( $P > 0.05$ ) (Çizelge1-4). Tüm SÇKM içerikleri için reolojik özelliklerin ortak bir model ile karşılaştırılabilmesi amacıyla en uygun model olarak Üssel model seçilmiştir.





Şekil 2. Farklı evaporasyon işlemleri sırasında % SÇKM içeriğine bağlı olarak kayma gerilimi-kayma hızı ilişkileri

a) Vakum altında evaporasyon işlemi (VAE); b) Ohmik ısıtma destekli vakum altında evaporasyon işlemi (OAVE) 7.5V/cm voltaj gradyanı; c) OAVE 10 V/cm voltaj gradyanı; d) OAVE 13 V/cm voltaj gradyanı

—■— %17.5 —◆— 20% —▲— 30% —○— 40%

Figure 2. Shear stress-shear rate relationships depending on % TSS content during different evaporation processes

a) Vacuum evaporation (VAE) method; b) Ohmic assisted vacuum evaporation (OAVE) method applied at 7.5V/cm voltage gradients; c) OAVE at 10 V/cm voltage gradients; d) OVAE at 12.5 V/cm voltage gradients

—■— %17.5 —◆— 20% —▲— 30% —○— 40%

Benzer şekilde, taze sıkılmış nar suyu örneklerinin (%15.01 SÇKM) ohmik ısıtılması amacıyla yapılan bir çalışmada da (Yıldız vd., 2009), farklı sürelerde ısıtılan nar suyunun reolojik özelliklerini en iyi karakterize eden reolojik modelin Üssel model olduğu rapor edilmiştir. Altan ve Maskan (2005) ise farklı konsantrasyon yöntemleri (mikrodalga, döner evaporatör ve atmosferik basınç altında) kullanarak %75 SÇKM içeriğine kadar konsantre ettikleri nar suyu örneklerinin reolojik özelliklerinin Newton modeline göre uyumluluğunu test etmişler ve yüksek R<sup>2</sup> değerlerine sahip olduğunu rapor etmişlerdir. Ancak bu araştırmacılar nar suyu konsantrasyonlarının reolojik özelliklerini Newton modeli dışındaki farklı reolojik modellere uyumluluğunu incelememişlerdir. Cevik vd. (2014) yaptıkları çalışmada, nar suyu örneklerini vakumlu döner evaporatörde (60°C) farklı SÇKM (20, 30, 40, 50°Briks) içeriklerine kadar konsantre etmişlerdir. Farklı SÇKM içeriğine konsantre edilen nar suyu örneklerinin deneysel kayma hızı-kayma gerilimi

değerlerinin Newton, Bingham, Üssel ve Herschel-Bulkley modellerine uyumluluğu test edilmiş, tüm farklı SÇKM değerleri için en iyi uyum gösteren modelin Üssel model olduğu rapor etmişlerdir.

Diğer yandan literatürde mango suyu (Dak vd., 2007), pomelo suyu (Chin vd., 2009), tarçın elması suyu (Quek vd., 2013) ve hurma şurubu (Gabsi vd., 2013) ile yapılan bazı çalışmalarda da yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda en uygun modelin Üssel model olarak rapor edildiği dikkati çekmektedir. Nar suyu ve diğer meyve sularının reolojik verilerinin farklı modellere uyumluluğu ile ilgili sonuçların, kullanılan meyvenin tipine, çeşidine, uygulanan işleme, sisteme ve işlem koşullarına göre değişebileceği bilinmektedir. Bu çalışmada da nar suyunun farklı SÇKM içeriklerinde reolojik özelliklerini en iyi ifade eden modelin Üssel model olduğu belirlenmiştir.



Çizelge 1. VAE işlemi ile farklı % SÇKM değerlerine konsantre edilen nar suyunun deneysel kayma hızı-kayma gerilimi verilerinin reolojik modellere uygunluğunun istatistiksel değerlendirmesi  
 Table 1. Statistical evaluation for rheological models applied to fit the experimental shear stress-shear rate data for pomegranate juice concentrated at different % TSS content by vacuum evaporation (VAE) method

% SÇKM	İstatistiksel kriter	Modeller			
		Newton modeli	Bingham modeli	Üssel model	Herschel-Bulkley modeli
17.5	R <sup>2</sup>	0.959±0.022	0.992±0.001	0.99±0.002	0.993±0.002
	HKOK	0.025±0.008	0.046±0.012	0.018±0.008	0.024±0.001
	χ <sup>2</sup>	0.0007±0.0005	0.0024±0.0015	0.0004±0.0003	0.0007±0.0001
20	R <sup>2</sup>	0.975±0.005	0.995±0.003	0.995±0.002	ND*
	HKOK	0.036±0.003	0.018±0.006	0.039±0.026	ND*
	χ <sup>2</sup>	0.0014±0.0002	0.0004±0.0003	0.0011±0.0009	ND*
30	R <sup>2</sup>	0.99±0.005	ND*	0.991±0.006	ND*
	HKOK	0.042±0.006	ND*	0.024±0.016	ND*
	χ <sup>2</sup>	0.0019±0.0005	ND*	0.0008±0.0008	ND*
40	R <sup>2</sup>	0.997±0.001	0.998±0.002	0.998±0.001	ND*
	HKOK	0.019±0.008	0.014±0.002	0.023±0.006	ND*
	χ <sup>2</sup>	0.0004±0.0004	0.0002±0.0001	0.0006±0.0003	ND*

ND\*: Belirlenmemiştir. ND\*: Not defined.

Çizelge 2. OAVE (7.5 V/cm) işlemi ile farklı % SÇKM değerlerine konsantre edilen nar suyunun deneysel kayma hızı-kayma gerilimi verilerinin reolojik modellere uygunluğunun istatistiksel değerlendirmesi

Table 2. Statistical evaluation for rheological models applied to fit the experimental shear stress-shear rate data for pomegranate juice concentrated at different % TSS content by obmic assisted vacuum evaporation (OAVE) method (7.5 V/cm)

% SÇKM	İstatistiksel kriter	Modeller			
		Newton modeli	Bingham modeli	Üssel model	Herschel-Bulkley modeli
17.5	R <sup>2</sup>	0.959±0.022	0.992±0.001	0.99±0.002	0.993±0.002
	HKOK	0.025±0.008	0.046±0.012	0.018±0.008	0.024±0.001
	χ <sup>2</sup>	0.0007±0.0005	0.0024±0.0015	0.0004±0.0003	0.0007±0.0001
20	R <sup>2</sup>	0.97±0.003	0.995±0.002	0.994±0.002	ND*
	HKOK	0.025±0.009	0.034±0.009	0.026±0.005	ND*
	χ <sup>2</sup>	0.0007±0.0005	0.0014±0.0006	0.0008±0.0003	ND*
30	R <sup>2</sup>	0.991±0.004	0.994±0.005	0.995±0.005	ND*
	HKOK	0.039±0.013	0.019±0.014	0.035±0.015	ND*
	χ <sup>2</sup>	0.0018±0.0011	0.0006±0.0008	0.0016±0.0010	ND*
40	R <sup>2</sup>	0.998±0.001	ND*	0.999±0.001	ND*
	HKOK	0.014±0.003	ND*	0.037±0.027	ND*
	χ <sup>2</sup>	0.0002±0.0001	ND*	0.0021±0.0024	ND*

ND\*: Belirlenmemiştir. ND\*: Not defined.

## Vakum altında evaporasyon sistemi ile konsantre edilen nar suyunun reolojik özellikleri

Çizelge 3. OAVE(10 V/cm) işlemi ile farklı % SÇKM değerlerine konsantre edilen nar suyunun 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 pomegranate juice concentrated at different % TSS content by ohmic assisted vacuum evaporation (OAVE) method (10 V/cm)

% SÇKM	İstatistiksel kriter	Modeller			
		Newton modeli	Bingham modeli	Üssel model	Herschel-Bulkley modeli
17.5	R <sup>2</sup>	0.959±0.022	0.992±0.001	0.99±0.002	0.993±0.002
	HKOK	0.025±0.008	0.046±0.012	0.018±0.008	0.024±0.001
	χ <sup>2</sup>	0.0007±0.0005	0.0024±0.0015	0.0004±0.0003	0.0007±0.0001
20	R <sup>2</sup>	0.979±0.018	0.996±0.004	0.996±0.004	ND*
	HKOK	0.071±0.018	0.025±0.007	0.023±0.011	ND*
	χ <sup>2</sup>	0.0057±0.0030	0.0008±0.0004	0.0007±0.0005	ND*
30	R <sup>2</sup>	0.981±0.001	0.997±0.001	0.998±0.001	ND*
	HKOK	0.08±0.008	0.029±0.004	0.024±0.007	ND*
	χ <sup>2</sup>	0.0068±0.0014	0.0007±0.0005	0.0007±0.0004	ND*
40	R <sup>2</sup>	0.998±0.001	0.999±0.001	0.999±0.001	ND*
	HKOK	0.03±0.015	0.045±0.026	0.035±0.013	ND*
	χ <sup>2</sup>	0.0011±0.0010	0.0028±0.0022	0.0015±0.0011	ND*

ND\*: Belirlenmemiştir. ND\*: Not defined.

Çizelge 4. OAVE (12.5 V/cm) işlemi ile farklı % SÇKM değerlerine konsantre edilen nar suyunun deneysel kayma hızı-kayma gerilimi verilerinin reolojik modellere uygunluğunun istatistiksel değerlendirmesi

Table 4. Statistical evaluation for rheological models applied to fit the experimental shear stress-shear rate data for pomegranate juice concentrated at different % TSS content by ohmic assisted vacuum evaporation (OAVE) method (12.5 V/cm)

% SÇKM	İstatistiksel kriter	Modeller			
		Newton modeli	Bingham modeli	Üssel model	Herschel-Bulkley modeli
17.5	R <sup>2</sup>	0.959±0.022	0.992±0.001	0.990±0.002	0.993±0.002
	HKOK	0.025±0.008	0.046±0.012	0.018±0.008	0.024±0.001
	χ <sup>2</sup>	0.0007±0.0005	0.0024±0.0015	0.0004±0.0003	0.0007±0.0001
20	R <sup>2</sup>	0.923±0.011	0.988±0.001	0.989±0.004	ND*
	HKOK	0.057±0.007	0.346±0.006	0.017±0.005	ND*
	χ <sup>2</sup>	0.0035±0.0008	0.0014±0.0005	0.0003±0.0002	ND*
30	R <sup>2</sup>	0.988±0.004	0.998±0.001	0.999±0.001	ND*
	HKOK	0.083±0.006	0.042±0.007	0.016±0.012	ND*
	χ <sup>2</sup>	0.0073±0.0011	0.002±0.0006	0.0004±0.0006	ND*
40	R <sup>2</sup>	0.996±0.002	ND*	0.998±0.002	ND*
	HKOK	0.022±0.008	ND*	0.031±0.01	ND*
	χ <sup>2</sup>	0.0006±0.0004	ND*	0.0012±0.0007	ND*

ND\*: Belirlenmemiştir. ND\*: Not defined.

Farklı evaporasyon işlemi koşullarında konsantre edilen nar suyu örneklerinin %SÇKM içeriği arttıkça kıvam özelliklerindeki değişimin daha detaylı incelenbilmesi amacıyla en uygun reolojik model olarak tespit edilen Üssel model katsayıları belirlenmiştir (Çizelge 5). Bu katsayılar kullanılarak görünür viskozite değerleri ( $\mu_{görünür}$ ) de hesaplanmıştır. % 40 SÇKM içeriğine sahip nar suyu konsantrelerinin n değerinin 1 olarak elde

edilmesi Newton modeline uyumun da bir göstergesidir, bu nedenle bu SÇKM değerinde Üssel model uygulanarak hesaplanan kıvam katsayısı (K) değerleri viskozite olarak değerlendirilebilir. %17.5 SÇKM (hammadde) değerine sahip nar suyu, OAVE ve VAE işlemleri ile %20, %30 ve %40 SÇKM değerine konsantre edilen nar suyu örneklerinin reolojik katsayı değerleri Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. Hammadde nar suyu, OAVE ve VAE işlemleri ile farklı %SÇKM değerlerine konsantre edilen nar suyu örneklerinin reolojik katsayı değerleri

Table 5. Rheological coefficient values of pomegranate juice samples (raw materials) and concentrated at different % TSS content with OAVE and VAE processes

Uygulanan Evaporasyon Koşulu	% SÇKM	$K \times 10^{3*} (\text{Pa.s}^n)$	n	$\mu_{görünür} \times 10^3 (\text{Pa.s})$
VAE	Hammadde (17.5)	5±1	0.844±0.047 <sup>a</sup>	2.3±0.1 <sup>a</sup>
	20	4±0.1	0.864±0.016 <sup>a</sup>	2.4±0.2 <sup>a</sup>
	30	4±1	0.984±0.044 <sup>b</sup>	3.2±0.2 <sup>b</sup>
	40	5±0.1	1±0.01 <sup>c</sup>	5±0.1 <sup>c</sup>
7.5 V/cm	Hammadde (17.5)	5±1	0.844±0.047 <sup>a</sup>	2.3±0.1 <sup>a</sup>
	20	5±1	0.854±0.008 <sup>a</sup>	2.5±0.2 <sup>a</sup>
	30	5±1	0.936±0.025 <sup>b</sup>	3.4±0.4 <sup>b</sup>
	40	5±0.1	1±0.01 <sup>c</sup>	5±0.1 <sup>c</sup>
OAVE 10 V/cm	Hammadde (17.5)	5±1	0.844±0.047 <sup>a</sup>	2.3±0.1 <sup>a</sup>
	20	5±1	0.884±0.044 <sup>a</sup>	2.8±0.1 <sup>a</sup>
	30	7±1	0.858±0.005 <sup>a</sup>	4±0.3 <sup>b</sup>
	40	6±0.1	1±0.01 <sup>b</sup>	6±0.1 <sup>c</sup>
12.5 V/cm	Hammadde (17.5)	5±1	0.844±0.047 <sup>b</sup>	2.3±0.1 <sup>a</sup>
	20	7±1	0.776±0.013 <sup>a</sup>	2.8±0.1 <sup>a</sup>
	30	6±1	0.891±0.023 <sup>b</sup>	3.9±0.3 <sup>b</sup>
	40	6±0.1	1±0.01 <sup>c</sup>	6±0.1 <sup>c</sup>

K: Kıvam katsayısı; n: Akış davranış indeksi;  $\mu_{görünür}$ : Görünür viskozite

\*: Farklı % SÇKM içeriğine sahip nar konsantrelerinin K değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır.

<sup>a, b, c</sup> Aynı işlem koşulunda farklı % SÇKM içeriğine sahip nar suyu konsantreleri arasında ilgili özellik açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmaktadır ( $P < 0.05$ ).

K: Consistency coefficient; n: Flow behaviour index;  $\mu_{apparent}$ : Apparent viscosity

\*: There was no statistically significant difference between the K values of pomegranate concentrates with different % TSS content.

<sup>a, b, c</sup> There was a statistically significant difference between pomegranate juice concentrates at different % TSS content in the same process condition in terms of the relevant property ( $P < 0.05$ ).

OAVE ile VAE işlemleri ile konsantre edilen nar suyu örneklerinin SÇKM içeriği arttıkça görünür viskozite ( $\mu_{görünür}$ ) ve akış davranış indeksi (n) değerlerinin de artış gösterdiği tespit edilmiştir ( $P < 0.05$ ). Özellikle akış davranış indeksinin SÇKM içeriğinin artmasına bağlı olarak 1'e yaklaştığı

dikkati çekmektedir. Bu nedenle %40 SÇKM içeriğine sahip nar suyu örnekleri için hem Newton modelinin hem de Üssel modelin istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığa sahip olmadığı %40 SÇKM içeriğine sahip nar suyu örneklerinin her iki reolojik model ile de

açıklanabileceği belirlenmiştir. Nar suyunun % SÇKM içeriğinin artmasına bağlı olarak serbest su içeriğinin azaldığı ve bu duruma bağlı olarak nar suyunun yapısında hidroksil bağlarının oluşması ile konsantre nar suyu örneklerinin daha düzenli bir yapıya sahip olduğu şeklinde yorumlanabilir.

Yıldız vd. (2009) daneli preslenen nar suyunun akış davranış indeksinin 1'in altında iken bütün halde sıkılmış nar suyu örneklerinde ise akış davranış indeksinin 1'in üzerinde olduğu, farklı sürelerde ohmik ve geleneksel ısıtma (90°C'de 3, 6, 9 ve 12 dak. ısıtma) uygulanmış nar suyu örneklerinin ise akış davranış indekslerinin 1.3986-1.7322 aralığında olduğunu rapor etmiştir. Bir başka çalışmada ise (Cevik vd., 2014) nar suyu örnekleri vakumlu döner evaporatörde (60 °C) farklı SÇKM (%20, %30, %40 ve %50 SÇKM) içeriklerine kadar konsantre edilmiş, nar suyu örneklerinin SÇKM içeriğinin artmasına bağlı olarak n değerinin de artış (0.836-1) gösterdiği rapor edilmiştir. Yapılan bu çalışmada da uygulanan VAE ve OAVE işlemlerinin akış davranış indeksi üzerine etkilerinin istatistiksel olarak farklı olduğu tespit edilmiştir ( $P < 0.05$ ). Diğer yandan % SÇKM içeriğindeki değişim ve uygulanan işlem koşulu  $\times$  % SÇKM etkileşiminin de akış davranış indeksi üzerine etkilerinin istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir ( $P < 0.05$ ).

Kıvam katsayısı (K) değerleri incelendiğinde ise, uygulanan işlem koşulu ve uygulanan işlem koşulu  $\times$  % SÇKM etkileşiminin etkisinin önemli düzeyde olduğu tespit edilmiştir ( $P < 0.05$ ). OAVE işleminde voltaj gradyanı arttıkça kıvam katsayısı değerinin artış gösterdiği ( $P < 0.05$ ), en düşük voltaj gradyanının VAE işlemi ile istatistiksel olarak benzer etki gösterdiği saptanmıştır ( $P > 0.05$ ). Yüksek voltaj gradyanlarında (10 ve 12.5 V/cm) uygulanan OAVE işlemlerinde ise K değerlerinin diğer koşullardakine göre daha yüksek ancak n değerlerinin ise daha düşük olduğu dikkati çekmektedir. Diğer yandan, bu voltaj gradyanlarında uygulanan OAVE işlemlerinde, K ve n değerlerine bağımlı olarak hesaplanan görünür viskozite değerlerinin de 7.5 V/cm OAVE ve VAE işleminden daha yüksek olduğu

belirlenmiştir. Başka bir deyişle, yüksek voltaj gradyanlarında (10 ve 12.5 V/cm) uygulanan OAVE işleminin farklı yapısal değişimlere neden olduğu tespit edilmiştir. Yüksek voltaj gradyanlarında (10 ve 12.5 V/cm) uygulanan OAVE işlemi ile VAE işlemine kıyasla daha yüksek kıvama sahip % 40 SÇKM içeriğine sahip konsantre nar suyu elde edilebilmektedir. Yoğun kıvamlı ürünlerin eldesi amaçlandığında, yüksek voltaj gradyanlarında uygulanan OAVE işleminin VAE işlemine kıyasla daha avantajlı olacağı düşünülmektedir.

### SONUÇ

Bu çalışmada OAVE işlemi ile farklı SÇKM içeriğine konsantre edilen nar suyu örneklerinin reolojik özelliklerindeki değişim belirlenmiş ve VAE işlemi ile konsantre edilen nar suyu örneklerinin reolojik özelliklerindeki değişim ile karşılaştırılmıştır. Yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda iki farklı yöntem ile konsantre edilen nar suyu örnekleri için en uygun reolojik modelin Üssel model olduğu tespit edilmiştir. Hem OAVE hem de VAE işlemi ile konsantre edilen nar suyu örneklerinin SÇKM içeriğinin artmasına bağlı olarak görünür viskozite ve akış davranış indekslerinin artma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca yüksek voltaj gradyanlarında (10 ve 12.5 V/cm) uygulanan OAVE işleminde, düşük voltaj gradyanında (7.5 V/cm) uygulanan OAVE ve VAE işlemine kıyasla daha yüksek kıvam katsayısına sahip nar suyu konsantrelerinin elde edilebildiği tespit edilmiştir. Ancak vakum altında evaporasyon yöntemine benzer kıvamda nar suyu konsantresi eldesi için ise düşük voltaj gradyanında ohmik ısıtma desteğinin kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Evaporasyon sırasında ohmik ısıtma desteğinde uygulanan voltaj gradyanının, ısı etkiler dışında elektriksel etki nedeniyle de kıvamı değiştirebileceği düşünülmektedir. Bu çalışmanın araştırmacıların bilgisi dahilinde literatürde eksikliği bulunan ohmik destekli vakum altında evaporasyon işlemi ile üretilen meyve suyu konsantrelerinin reolojik özelliklerindeki değişimlerin belirlenmesi konusunda gerekli bilgi eksikliğini dolduracağı düşünülmektedir. Ayrıca elde edilen çalışma sonuçlarının endüstriyel

boyutta evaporasyon sistemlerinin tasarımında değerli veriler sunacağı öngörülmektedir.

### TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK TOVAG 114O117 ve Ege Üniversitesi EBİLTEM2015/BİL/010nolu projeler kapsamında maddi olarak desteklenmiştir. Yazarlar maddi desteklerinden dolayı TÜBİTAK TOVAG Grubuna, Ege Üniversitesi BAP Koordinatörlüğüne ve ÇERTÜKLER MAKİNE MÜHENDİSLİK'e teşekkür ederler.

### 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

Al-Maiman, S.A., Ahmad, S. (2002). Changes in physical and chemical properties during pomegranate (*Punicagranatum* L.) fruit maturation. *Food Chem*, 76(4): 437-441.

Altan, A., Maskan, M. (2005). Rheological behavior of pomegranate (*Punicagranatum* L.) juice and concentrate. *J Texture Stud*, 36(1): 68-77.

Al-Said, F.A., Opara, L.U., Al-Yahyahi, R.A. (2009). Physico-chemical and textural quality attributes of pomegranate cultivars (*Punicagranatum* L.) grown in the Sultanate of Oman. *J Food Eng*, 90(1): 129-134.

Bozkir, H., Baysal, T. (2017). Concentration of apple juice using a vacuum microwave evaporator as a novel technique: Determination of quality characteristics. *J Food Process Eng*, 40(5): 1-9.

Bozkurt, H., İcier, F. (2009). Rheological characteristics of quince nectar during ohmic heating. *Int J Food Prop*, 12(4): 844-859.

Bozkurt, H., İcier, F. (2010a). Electrical conductivity changes of minced beef-fat blends during ohmic cooking. *J Food Eng*, 96(1): 86-92.

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

Bozkurt, H., İcier, F. (2012). The change of apparent viscosity of liquid whole egg during ohmic and conventional heating. *J Food Process Eng*, 35(1): 120-133.

Cemeroğlu, B. (2010). Gıda analizleri (2nd ed.). Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları. Ankara.

Cevik, M., Sabancı, S., İcier, F., Yıldız H. (2014). Changes on rheological properties of pomegranate (*Punicagranatum* L. hicaznar) juices during concentration process. *Bulg Chem Commun*, 46 (Special issue B): 87-91.

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

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.

Cho, W.I., Yi, J.Y., Chung, M.S. (2016). Pasteurization of fermented red pepper paste by ohmic heating. *Innov Food Sci Emerg Tech*, 34: 180-186.

Cokgezme, O.F., Sabancı, S., Cevik, M., Yıldız, H., İcier, F. (2017). Performance analyses for evaporation of pomegranate juice in ohmic heating assisted vacuum system. *J Food Eng*, 207(4): 1-9.

Constenla, D.T., Lozano, J.E., Crapiste, G.H. (1989). Thermophysical properties of clarified apple juice as a function of concentration and temperature. *J Food Sci*, 54(3):663-668.

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., Mohammadia, P., Fadavi, A., Koushesh Saba, M., Behroozi-Khazaei, N. (2019). Quality preservation of orange concentrate by using hybrid ohmic-Vacuum Heating. *Food Chem*, 289: 292-298.
- Fadavia, A., Yousefi, S., Darvishi, H., Mirsaedghazi, H. (2018). Comparative study of ohmic vacuum, ohmic, and conventional-vacuum heating methods on the quality of tomato concentrate. *Innov Food Sci Emerg Tech*, 47: 225-230.
- 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.
- İçier, 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., Tavman, S. (2007). Ohmic heating behaviour and rheological properties of ice cream mixes. *Int J Food Prop*, 9(4): 679-689.
- Icier, F., Bozkurt, H. (2011). Ohmic heating of liquid whole egg: rheological behavior and fluid dynamics. *Food Bioprocess Tech*, 4(7): 1253-1263.
- 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.
- Juszczak, L., Fortuna, T. (2004). Effect of temperature and soluble solids content on the viscosity of cherry juice concentrate. *Int Agrophys*, 18: 17-21.
- Kaur, N., Singh, A.K. (2016). Ohmic Heating: Concept and Applications-A Review. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 56(14): 2338-2351.
- 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.
- Maskan, M. (2006). Production of pomegranate (*Punicagranatum* L.) juice concentrates by various heating methods: colour degradation and kinetics. *J Food Eng*, 72(3): 218-224.
- 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.
- Ozgen, M., Durgac, C., Serce, S., Kaya, C. (2008). Chemical and antioxidant properties of pomegranate cultivars grown in Mediterranean region of Turkey. *Food Chem*, 111(3): 703-706.
- Ozkan, N., Ho, I., Farid, M. (2004). Combined ohmic and plate heating of hamburger patties: quality of cooked patties. *J Food Eng*, 63(2): 141-145.
- 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.
- Reznick, D. (1996). Ohmic heating of fluid foods. *Food Tech*, 50(5): 250-251.
- Sabancı, S., Icier, F. (2017). Applicability of ohmic heating assisted vacuum evaporation for concentration of sour cherry juice. *J Food Eng*, 212: 262-270.
- Sabancı, S., Icier, F. (2019). Effects of Vacuum Ohmic Evaporation on Some Quality Properties of Sour Cherry Juice Concentrates. *Int J Food Eng*, 15 (9): 20190055.
- Sabancı, S., Cevik, M., Cokgezme, O.F., Yıldız, H., Icier, F. (2019). Quality characteristics of pomegranate juice concentrates produced by ohmic heating assisted vacuum evaporation. *J Sci Food Agri*, 99 (5): 2589-2595.
- Sabancı, S., Icier, F. (2020). Enhancement of The Performance of Sour Cherry Juice Concentration Process In Vacuum Evaporator By Assisting Ohmic Heating Source. *Food Bioprod Process*, 122: 269-279.

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.

Sastry, S.K., Heskitt, B.F., Sarang, S.S., Somavat, R., Ayotte, K. (2010). Why Ohmic Heating? Advantages, Applications, Technology, and Limitations. Chapter 2, Ohmic Heating in Food Processing, Boca Raton, CRC Press.

Sensoy, I., Sastry, S.K. (2004). Ohmic blanching of mushrooms. *J Food Process Eng*, 27: 1-15.

Steffe, J.F. (1996). Rheological Methods in Food Process Engineering. 2<sup>nd</sup> Edition, Freeman Press, East Lansing.

Vardin, H., Fenercioğlu, H. (2003). Study on the development of pomegranate juice processing technology, Clarification of pomegranate juice. *Nahrung/Food*, 47(5), 300-303.

Yildiz, H., Bozkurt, H., İçier, F. (2009). Ohmic and conventional heating of pomegranate juice: effects on rheology, color, and total phenolics. *Food Sci Technol Int*, 15(5): 503-512.