

**Atf İçin:** Çevik M, 2021. Gezo Pekmezinin Reolojik Özelliklerinin Belirlenmesi. İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(2): 1154-1164.

**To Cite:** Çevik M, 2021. Determination of Rheological Properties of Gezo Pekmezi (Molasses). Journal of the Institute of Science and Technology, 11(2): 1154-1164.

## Gezo Pekmezinin Reolojik Özelliklerinin Belirlenmesi

Mutlu ÇEVİK<sup>1\*</sup>

**ÖZET:** Bu çalışmada, farklı ölçüm sıcaklığı değerlerinde gezo pekmezi örneklerinin reolojik özelliklerindeki değişim incelenmiş ve farklı reolojik modellere uygunlukları test edilmiştir. Ek olarak, pekmez örneklerinin farklı frekans değerlerinde viskoelastik özelliklerindeki değişim belirlenmiştir. Ölçüm alınan tüm sıcaklık değerlerinde pekmez örneklerinin reolojik davranışını en iyi ifade eden modelin Üssel Model olduğu tespit edilmiştir. K ve n değerlerinin sıcaklık değerlerinin artmasına bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Faz açısı değerlerinin 1'den büyük olması nedeniyle akışkanlık karakterinin elastiklik karakterine kıyasla daha baskın olduğu belirlenmiştir. Başka bir deyişle, pekmez örneklerinin viskoelastik özelliklere sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma gezo pekmezi örneklerinin reolojik özelliklerindeki değişimlerin belirlenmesi konusunda literatürdeki gerekli bilgi eksikliğini gidereceği düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Gezo pekmezi, reoloji, model, viskoelastik, frekans

### Determination of Rheological Properties of Gezo Pekmezi (Molasses)

**ABSTRACT:** In this study, the changes in the rheological properties of Gezo pekmez (molasses) samples at different temperature values and their suitability for different rheologic models were investigated. In addition, changes in viscoelastic properties of pekmez (molasses) samples at different frequency values were determined. It was determined that the best model describing the rheological behavior of molasses samples at all temperature values was the Power-Law Model. It was detected that K and n values decreased as the temperature values increased. Since phase angle values were greater than 1, it was determined that the fluidity character was more dominant than elasticity character. In other words, molasses samples were found to have viscoelastic properties. It is thought that the result of present study fulfill the lack of information on determining the changes in the rheological properties of the molasses samples.

**Keywords:** Gezo pekmezi (molasses), rheology, model, viscoelastic, frequency

<sup>1</sup>Mutlu ÇEVİK ([Orcid ID: 0000-0003-4847-4910](https://orcid.org/0000-0003-4847-4910)), Munzur Üniversitesi, Güzel Sanatlar, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, Tunceli, Türkiye

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Mutlu ÇEVİK, e-mail: mutlucevik3538@hotmail.com

## GİRİŞ

Pekmez, Türkiye'nin geleneksel gıda maddelerinden bir tanesidir. Genellikle şeker veya farklı bir katkı maddesi ilave edilmeden şeker içeriği bakımından zengin olan üzüm ve dut gibi meyve sularının %70-80 Suda çözünür kuru maddesi (SÇKM) içeriğine kadar konsantre edilmesi ile üretilen geleneksel bir üründür (Batu, 2005; Sengül et al., 2005; Yoğurtçu and Kamışlı, 2006; Akbulut and Bilgiçli, 2010; Kamışlı and Mohammed, 2019). Karbonhidrat, organik asitler, mineral maddeler ve vitaminler bakımından zengin bir gıda maddesi olan pekmez, aynı zamanda sahip olduğu yüksek miktarda şeker içeriğinden dolayı da zengin karbonhidrat ve enerji kaynağı olarak da bilinmektedir (Sengül et al., 2005; Akbulut and Bilgiçli, 2010; Ekin ve Çelikezen, 2015).

Pekmez üretim yöntemleri, pekmez üretiminde kullanılan meyvelerin cinsine bağlı olarak değişiklikler gösterebilmektedir. Pekmez ülkemizde genellikle kullanılan meyvelerden elde edilen şıranın açık veya vakumlu kazanlarda hedef %SÇKM içeriğine kadar kaynatılarak elde edilen bir üründür (Batu, 1993; Karataş ve Şengül, 2018).

Gezo pekmezi, Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinde bulunan meşe ağaçlarının yaprakları üzerinde bulunan tatlı, renksiz ve yapışkan bir yapıya sahip şıradan elde edilmektedir. Bu bölgede yaşayan halk tarafından Gezo pekmezinin şifa kaynağı olduğuna inanılmaktadır. Ayrıca yöre halkı tarafından Gezo pekmezi Kudret Helvası olarak da adlandırılmaktadır (Vecel, 2009). Yapılan literatür taramasında Gezo pekmezinin hammaddesi olan gezonun oluşumu konusunda sınırlı sayıda çalışmanın bulunduğu tespit edilmiştir (Tozer, 1881; Vecel, 2009). Bahsi geçen bir çalışmada (Tozer, 1881), Arabistan tarafından gelen rüzgarların sahip olduğu aromatik içeriğin gezonun kaynağı olduğuna yöre halkı tarafından inanıldığı bildirilmektedir. Diğer bir çalışmada (Vecel, 2009) ise, gezonun oluşumuna bu bölgede yaygın bir bitki örtüsüne sahip olan meşe ağaçları yapraklarında bulunan bir yaprak bitinin neden olduğu rapor edilmiştir. Günümüzde ise yöre halkı tarafından 5, 10, 15 veya 20 yılda bir gerçekleşen hava olayları sonucunda oluştuğu, aşırı yağmur ve sıcaklıklar da ise miktarlarının azaldığı bildirilmiştir (Vecel, 2009). Bu sebeple Gezo pekmezi üretimi her yıl düzenli olarak yapılamamakta ve elde edilen pekmezler üretildikten sonra depolanarak uzun süre kullanılmaktadır. Gezo pekmezi diğer pekmez türlerinden ayıran en önemli özellik ise herhangi bir meyve ya da sebzedden üretilmemesidir.

Geleneksel yöntemler kullanılarak üretilen gıda maddelerinin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi, endüstriyel boyutta ekipmanların tasarımı ve endüstriyel boyutta ürün üretiminin gerçekleştirilebilmesi için son derece önem arz etmektedir. Kullanılan bu fiziksel özelliklerden bir tanesi de gıda maddelerinin reolojik özelliklerinin tespit edilmesidir. Reoloji, gıda maddelerinin akış ve deformasyon özelliklerinin incelendiği bir bilim dalıdır. Sıvı bir yapıya sahip gıda maddelerinin sınıflandırılmasında kayma hızına karşı elde edilen kayma gerilimi değerlerindeki değişime bağlı olarak Newtonian ve Non-Newtonian tipi akışkan olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar (Steffe, 1996). Ek olarak, belirli bir kayma hızı veya frekans değerinde oluşan deformasyon derecesi ise gıda maddelerinin viskoelastik özellikleri hakkında bilgiler vermektedir. 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 meyvelerden (üzüm pekmezi, beyaz dut pekmezi, siyah dut pekmezi, kuşburnu pekmezi, harnup pekmezi vb.) üretilen pekmez örneklerinin reolojik özelliklerindeki değişimin incelendiği çalışmalar araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir (Sengül et al., 2005;2007; Yoğurtçu and Kamışlı, 2006; Akbulut and Bilgiçli, 2010; Kamışlı and Mohammed, 2019). Rapor edilen çalışmalarda pekmez örneklerinin Non-Newtonian tipi akışkan özelliği gösterdiği bildirilmiştir. Pekmez örneklerinin farklı sıcaklık değerlerindeki akış tipinin belirlenebilmesi amacıyla reolojik modeller ile uyumluluğu test edilmiş ve en uygun reolojik modelin Üssel model olduğu

birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir (Sengül et al., 2005; Yoğurtçu and Kamışlı, 2006; Kamışlı and Mohammed, 2019). Ancak literatürde Gezo pekmezinin farklı ölçüm sıcaklığı değerlerinde reolojik davranışlarının incelendiği herhangi bir çalışmaya araştırmacıların bilgisi dahilinde rastlanılmamıştır.

Bu çalışmanın temel amacı, Gezo pekmezi örneklerinin farklı sabit ölçüm sıcaklığı (10, 20, 30, 40, 50, 60 ve 70 °C) değerlerindeki reolojik özelliklerindeki değişimlerinin belirlenmesidir. Ek olarak, pekmez örneklerinin viskoelastik özellikleri salınım (osilasyon) testlerinden olan gerilim ve frekans tarama testleri kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapılan bu çalışma ile bu konuda literatürdeki önemli bir eksikliğin doldurulacağı düşünülmektedir.

## MATERYAL VE YÖNTEM

### Materyal

Bu çalışmada kullanılan Gezo pekmezi (%67.8±0.5 SÇKM) yerel bir üreticiden (Midyat, Mardin) temin edilmiştir. Analiz işlemine kadar ağzı kapalı bir şekilde 25 ± 1 °C ortam sıcaklığında bekletilmiştir.

Meşe dallarının yaprakları üzerinde bulunan tatlı, renksiz ve yapışkan şıranın alınabilmesi için, meşe dalları su doldurulmuş büyük kazanlar içerisinde yıkama işlemine tabii tutulmaktadır. Böylelikle su içerisinde bekletilen gezo yıkama suyuna geçmekte ve şerbet halini almaktadır. Daha sonra ise meşe dalları ile suya geçen toprak ve diğer istenmeyen maddelerin çöktürülerek, uzaklaştırılabilmesi için 2-3 saat beklenilmektedir. Çöken kısmın ayrılabilmesi için üst kısım başka bir kazana alınmaktadır. Daha sonra alınan üst kısmın rengi koyulaşmaya kadar kaynatılmaktadır. Bu işlem sırasında kazan sürekli olarak karıştırılmaktadır. Kaynatılarak kıvam alan karışım 2-3 saat daha bekletilmektedir. Bekleme işlemi sonunda akışkan üst kısım başka bir kazana alınarak birkaç saat daha pekmez kıvamını alana kadar kaynatma işlemine devam edilir. Daha sonra soğumaya bırakılır ve soğuma işlemi sonunda ambalajlanarak depolama işlemine alınmaktadır. Gezo pekmezinin geleneksel üretim aşaması boyunca pekmez toprağı da dahil olmak üzere hiçbir koruyucu ve katkı maddesi ilave edilmeden üretimi yapılmaktadır (Ekin, 2015).

### Suda Çözünür Kuru Madde (SÇKM) Tayini

Gezo pekmezi örneklerinin suda çözünür kuru madde içerikleri, sıcaklık düzeltilmesine sahip dijital refraktometre (Hanna, Portekiz) kullanılarak belirlenmiş ve % SÇKM olarak ifade edilmiştir.

### Reolojik Ölçümler

Gezo pekmezinin reolojik özellikleri Anton Paar MCR 301 (Anton Paar GmbH, Graz, Austria) reometre ile konik plaka aparatı (50 mm çapında ve 2° açısında) ve eş merkezli silindirik ölçüm aparatı (iç silindirin çapı 26.663 mm ve dış silindirin çapı 28.910 mm) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

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

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

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

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

Reolojik ölçümler paslanmaz çelik konik plaka ölçüm aparatı kullanılarak 0.1-100 s<sup>-1</sup> kayma hızı değerleri arasında 10, 20, 30, 40, 50, 60 ve 70 °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 1-4) (Cevik et al., 2016).

Burada kullanılan  $\tau$  kayma gerilimi değerini (Pa),  $\tau_0$  değeri başlangıç kayma gerilimini (Pa),  $\dot{\gamma}$  kayma hızı değerini (s<sup>-1</sup>),  $K$  kıvam katsayısı (Pa.s<sup>n</sup>),  $\eta$  viskozite değerini (Pa.s) ve  $n$  ise akış davranış indeksini (birimsiz) ifade etmektedir.

Görünür viskozite değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi sıcaklık tarama (temperature sweep) testi uygulanarak belirlenmiştir. Bu test ağızda kesme hızı olarak kabul edilen 50 s<sup>-1</sup> kayma hızı değerinde gerçekleştirilmiştir (Morell et al., 2014).

Sıcaklık tarama (temperature sweep) testi ise 10 °C'den 70 °C'ye kadar dakikada 1 °C sıcaklık artışı sağlanarak gerçekleştirilmiştir. Pekmez örnekleri reometrenin önceden 10°C sıcaklığa soğutulmuş eş merkezli silindirik ölçüm aparatına (iç silindirin çapı 26.663 mm ve dış silindirin çapı 28.910 mm) yüklenilmiş ve sıcaklık değerinin dengelenmesi amacıyla 5 dak. beklenilmiştir. Sıcaklık artışına bağlı olarak örnek kaybını önlemek için ölçüm aparatının ağız kısmı aparata ait kapak ile kapatılmıştır. Elde edilen veriler, örneklerin sıcaklık ve 50 s<sup>-1</sup> arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla Arrhenius denkleminde yerleştirilmiştir (Cevik et al., 2016; Eşitlik 5).

$$\eta_{50} = A_0 \exp ( E_a / RT ) \quad (5)$$

Burada kullanılan  $A_0$  Arrhenius sabitini (Pa.s<sup>n</sup>),  $E_a$  aktivasyon enerjisini (kJ mol<sup>-1</sup>),  $T$  sıcaklığı (Kelvin, K) and  $R$  universal gaz sabitini (kJ kg<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>) ifade etmektedir.

Pekmez örneklerinin viskoelastik özellikleri ise paslanmaz çelik konik plaka ölçüm aparatı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Dinamik testlerden osilasyon (gerilim ve frekans tarama) testleri konik plaka ve plaka konfigürasyonu (çapı 50 mm) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Konik plaka ve plaka arasındaki boşluk 0.212 mm ve konik plaka açısı ise 2°'dir. Osilasyon testlerinde, 0.01-10 Pa aralığında 1 Hz sabit frekans değerinde osilasyon gerilim-tarama (stress-sweep) testleri yapılarak öncelikle lineer viskoelastik bölge (LVR) tespit edilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda tüm işlem koşullarında 1 Pa değeri sabit gerilim değeri olarak seçilmiştir. Ardından belirlenen 1 Pa sabit gerilim değerinde 25°C sabit ölçüm sıcaklığında 0.5-10 Hz frekans aralığında frekans tarama (frequency-sweep) testleri gerçekleştirilmiştir. Artan frekans değerine karşılık deformasyon eğrileri elde edilmiştir. Elastik modülüs ( $G'$ ) (Eşitlik 6), akışkanlık modülüsü ( $G''$ ) (Eşitlik 7), kompleks modülüs ( $G^*$ ) (Eşitlik 8), faz açısı ( $\tan \delta$ ) (Eşitlik 9) ve kompleks viskozite özellikleri cihazın yazılımı kullanılarak elde edilmiştir (Cevik and Icier, 2020).

$$G' = (\sigma_0 / \gamma_0) \times \cos \delta \quad (6)$$

$$G'' = (\sigma_0 / \gamma_0) \times \sin \delta \quad (7)$$

$$G^* = \sqrt{(G')^2 + (G'')^2} \quad (8)$$

$$\tan \delta = G'' / G' \quad (9)$$

### İstatistiksel Değerlendirme

Farklı işlem koşullarında (10, 20, 30, 40, 50, 60 ve 70°C) ölçüm alınan pekmez örneklerinin reolojik özellikleri üzerine etkileri 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. Farklı işlem koşullarında incelenen 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) (Eşitlik 10) ve ki-kare ( $\chi^2$ ) (Eşitlik 11) değerleri ile en yüksek  $R^2$  değerleri (Eşitlik 12) dikkate alınmıştır (Cevik et al., 2016). Tüm denemeler 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir.

$$HKOK = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (TD_i - DD_i)^2 \right]^{0.5} \quad (10)$$

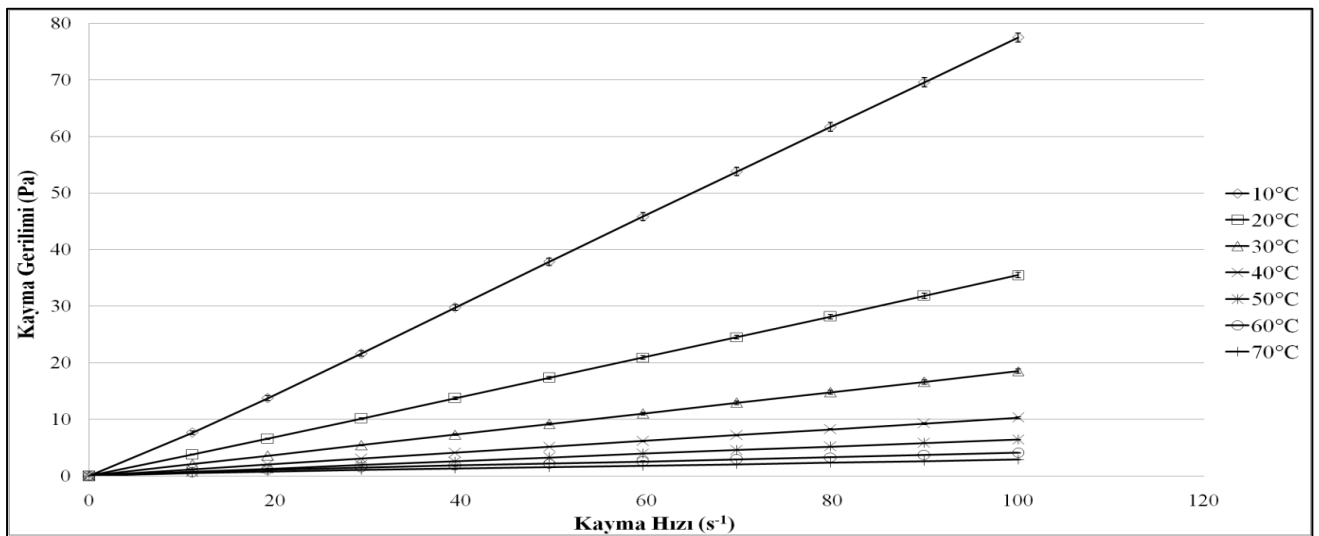
$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (TD_i - DD_i)^2}{N-n} \quad (11)$$

$$R^2 = \frac{N \sum_{i=1}^n TD_i DD_i - \sum_{i=1}^n TD_i \sum_{i=1}^n DD_i}{\sqrt{(N \sum_{i=1}^n TD_i^2 - (\sum_{i=1}^n TD_i)^2)(N \sum_{i=1}^n DD_i^2 - (\sum_{i=1}^n DD_i)^2)}} \quad (12)$$

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

## BULGULAR VE TARTIŞMA

Farklı işlem koşulları kullanılarak reolojik ölçüm uygulanan pekmez örneklerinin deneysel kayma gerilimi-kayma hızı değişimleri Şekil 1’de verilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda, aynı kayma hızı değerlerinde ölçüm alınan sıcaklık değerinin artmasına bağlı olarak kayma gerilimi değerlerinin azalma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir ( $p < 0.05$ ). Tüm kayma hızı değerlerinde, en yüksek kayma gerilimi değerlerinin  $10^\circ\text{C}$  sabit ölçüm sıcaklığında elde edildiği ve ölçüm alınan sabit sıcaklık değerinin artmasına bağlı olarak kayma gerilimi değerlerinin tüm kayma hızı değerlerinde azalma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 1). Beklenildiği gibi, ölçüm alınan sabit sıcaklık değerinin artmasına bağlı olarak pekmez örneklerinin viskozite değerlerinin azalma eğilimi gösterdiği ve buna bağlı olarak da kayma gerilimi değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 1. Farklı işlem koşullarında ölçüm alınan gezo pekmezi örneklerinin sıcaklığa bağlı olarak kayma gerilimi-kayma hızı değişimleri

Literatürde farklı pekmez örnekleri için yapılan çalışmalarda 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 (Sengül et al., 2005; 2007; Yoğurtçu and Kamışlı, 2006; Akbulut and Özcan, 2008). Literatürde rapor edilen çalışmalar incelendiğinde, farklı sıcaklık değerlerinde ölçüm alınan Gezo pekmezi örneklerinin reolojik özelliklerindeki değişimin incelendiği herhangi bir çalışmaya yazarların bilgisi dahilinde rastlanılmamıştır.

Farklı ölçüm sıcaklığı değerlerinin gezo pekmezinin reolojik özellikleri üzerine etkilerinin daha detaylı incelenebilmesi 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 1). Yapılan değerlendirme sonucunda, ölçüm alınan tüm sıcaklık değerleri için en yüksek  $R^2$  değerleri ve en küçük hata kareleri ortalaması karekökü (HKOK) ve ki-kare ( $\chi^2$ ) değerlerinin Üssel modelde tespit edildiği ve en uygun reolojik modelin Üssel model olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 1). Benzer şekilde, farklı suda çözünür kuru madde içeriğine sahip sorgum pekmezi örnekleri (%59.4, %66.5, %72.4 ve %75.1 SÇKM) ile yapılan bir çalışmada (Akbulut and Özcan, 2008), farklı sabit kayma hızı (5, 10, 20, 50 ve 100 rpm) değerlerinde ölçüm alınan pekmez örneklerinin reolojik özelliklerini en iyi karakterize eden reolojik modelin Üssel model olduğu bildirilmiştir. Yoğurtçu and Kamışlı (2006) ise farklı SÇKM içeriğine sahip üzüm pekmezi (%71.98, %74.22 ve %75.46 SÇKM) örneklerinin farklı kayma hızı ve farklı sıcaklık değerlerinde pekmez örneklerinin reolojik özelliklerindeki değişimini incelemiştir. Yaptıkları değerlendirme sonucunda ölçüm alınan tüm işlem koşullarında pekmez örneklerinin reolojik özelliklerini en iyi karakterize eden reolojik modelin Üssel model olduğunu rapor etmişlerdir. Sengül et al. (2005) yaptıkları çalışmada, 5 farklı sıcaklık değerinde (30, 40, 50, 60 ve 70 °C) ve 5 farklı kayma hızı değerinde (5, 10, 20, 50 ve 100 rpm) ölçüm aldıkları dut pekmezi örnekleri için en uygun modelin Üssel model olduğunu bildirmişlerdir. Benzer şekilde kefir, kıymız gibi geleneksel ürünlerimiz ile ilgili yapılan çalışmalarda da en uygun reolojik modelin Üssel model olduğu araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir (Sabancı et al. 2016; Gürel et al. 2021).

Farklı sıcaklık değerlerinde ölçüm alınan Gezo pekmezinin reolojik özelliklerinin zamandan bağımsız değişimlerini incelemek amacıyla Üssel modelin model sabitleri kullanılmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda Üssel modele ait kıvam katsayısı (K), akış davranış indeksi (n) ve regresyon katsayısı ( $R^2$ ) değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. Ölçüm alınan sıcaklık değerinin artmasına bağlı olarak kıvam katsayısı değerlerinin azalma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, farklı araştırmacılar tarafından da benzer sonuçların rapor edildiği görülmektedir (Bozkurt and Icier, 2009; Chin et al., 2009; Quek et al., 2013; Cevik et al., 2016). Düşük sıcaklık değerlerinde (10 ve 20°C) ölçüm alınan Gezo pekmezi örneklerinin n değerlerinin 1'in üzerinde olduğu ve Newton-dışı dilatant (kaymayla kalınlaşan) akış özelliği gösterdiği, sıcaklık değerinin (30, 40, 50, 60 ve 70 °C) artmasına bağlı olarak n değerlerinin 1'in altına düşerek Newton-dışı psödoplastik (kaymayla incelen) akış özelliği gösterdiği tespit edilmiştir (Çizelge 2). Arrhenius ilişkisi, sıcaklığının gezo pekmezi örneklerinin kıvam katsayısı üzerine etkisini tanımlamak için kullanılmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda, pekmez örneklerinin Arrhenius sabitinin  $1.69 \times 10^{-9}$  Pa.s<sup>n</sup> olduğu, aktivasyon enerjisi ( $E_a$ ) değerinin ise 47.33 kJ mol<sup>-1</sup> olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 2).

**Çizelge 1.** Farklı sıcaklık değerlerinde ölçüm alınan gezo pekmezi örneklerinin deneysel kayma hızı-kayma gerilimi verilerinin reolojik modellere uygunluğunun istatistiksel değerlendirmesi

Ölçüm sıcaklığı (°C)	İstatistiksel kriter	Modeller			
		Newton modeli	Bingham modeli	Üssel model	Herschel-Bulkley modeli
10	R <sup>2</sup>	0.999±0.001	ND*	<b>1.000±0.000</b>	ND*
	HKOK	0.494±0.109	ND*	<b>0.257±0.140</b>	ND*
	χ <sup>2</sup>	0.255±0.111	ND*	<b>0.082±0.063</b>	ND*
20	R <sup>2</sup>	1.000±0.000	ND*	<b>1.000±0.000</b>	1.000±0.000
	HKOK	0.142±0.013	ND*	<b>0.056±0.018</b>	0.036±0.009
	χ <sup>2</sup>	0.021±0.004	ND*	<b>0.004±0.002</b>	0.014±0.001
30	R <sup>2</sup>	1.000±0.000	1.000±0.000	<b>1.000±0.000</b>	1.000±0.000
	HKOK	0.029±0.002	0.028±0.002	<b>0.037±0.011</b>	0.024±0.005
	χ <sup>2</sup>	0.0009±0.0001	0.0008±0.0001	<b>0.0015±0.0009</b>	0.0007±0.0003
40	R <sup>2</sup>	1.000±0.000	1.000±0.000	<b>1.000±0.000</b>	ND*
	HKOK	0.033±0.004	0.023±0.009	<b>0.014±0.010</b>	ND*
	χ <sup>2</sup>	0.0011±0.0003	0.0006±0.0004	<b>0.0003±0.0004</b>	ND*
50	R <sup>2</sup>	0.999±0.001	1.000±0.000	<b>1.000±0.000</b>	ND*
	HKOK	0.042±0.006	0.038±0.001	<b>0.036±0.008</b>	ND*
	χ <sup>2</sup>	0.0018±0.0006	0.0015±0.0001	<b>0.0014±0.0006</b>	ND*
60	R <sup>2</sup>	0.978±0.009	0.996±0.002	<b>0.998±0.001</b>	ND*
	HKOK	0.162±0.033	0.074±0.013	<b>0.049±0.015</b>	ND*
	χ <sup>2</sup>	0.027±0.011	0.006±0.002	<b>0.003±0.0015</b>	ND*
70	R <sup>2</sup>	0.975±0.010	0.997±0.002	<b>0.997±0.001</b>	0.998±0.001
	HKOK	0.119±0.022	0.042±0.009	<b>0.045±0.006</b>	0.345±0.008
	χ <sup>2</sup>	0.015±0.005	0.0019±0.0008	<b>0.0022±0.0005</b>	0.0013±0.0006

ND\*: Belirlenmemiştir.

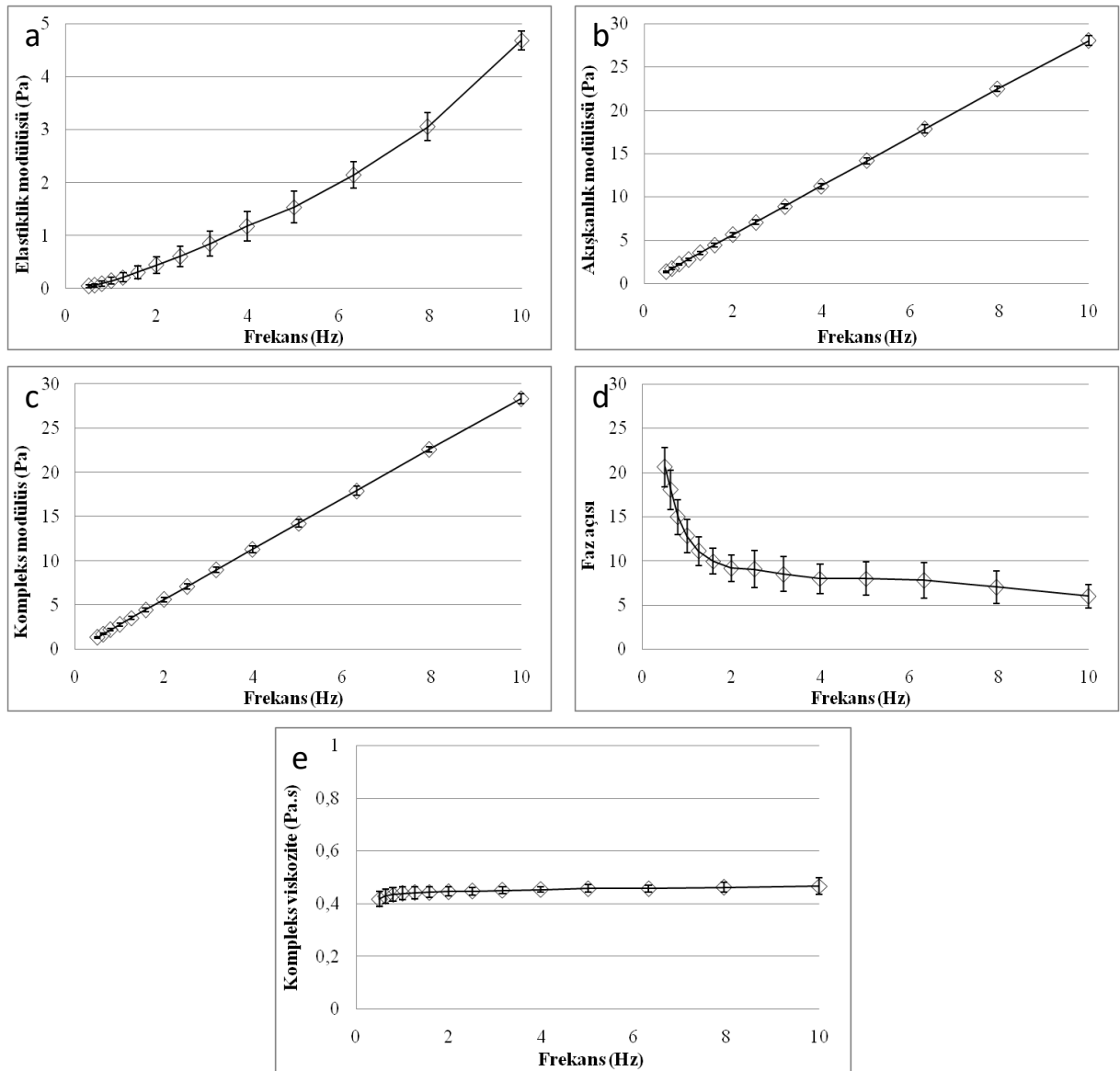
**Çizelge 2.** Farklı sıcaklık değerinde ölçüm alınan gezo pekmezinin Üssel model sabitleri ve kıvam katsayısı değerlerinin sıcaklığa bağlı olarak değişimi

Ölçüm sıcaklığı (°C)	K (Pa.s <sup>n</sup> )	n	R <sup>2</sup>	A <sub>0</sub> (Pa.s <sup>n</sup> )	E <sub>a</sub> (kJ mol <sup>-1</sup> )
10	0.665±0.032	1.034±0.009	1.000±0.000	1.69×10 <sup>-9</sup> ± 6.50×10 <sup>-10</sup>	47.33 ± 0.96
20	0.323±0.008	1.020±0.002	1.000±0.000		
30	0.189±0.004	0.995±0.001	1.000±0.000		
40	0.109±0.002	0.988±0.001	1.000±0.000		
50	0.070±0.003	0.984±0.009	1.000±0.000		
60	0.082±0.011	0.828±0.037	0.998±0.001		
70	0.065±0.009	0.821±0.033	0.997±0.001		

K: Kıvam katsayısı (Pa.s<sup>n</sup>), n: akış davranış indeksi (birimsiz), A<sub>0</sub>: Arrhenius sabiti (Pa.s<sup>n</sup>), E<sub>a</sub>: Aktivasyon enerjisi (kJ mol<sup>-1</sup>)

Modülüs, uygulanan gerilime karşı oluşan deformasyonun veya deformasyon hızının oranıdır. Viskoelastik gıdalar için elastiklik modülüsü katılık karakterini, akışkanlık modülüsü ise akışkanlık karakterini ifade etmektedir (Steffe, 1996; Ehrenstein et al., 2004; Anonim, 2013). Elastiklik modülüsü, malzemenin elastik enerjiyi depolama kabiliyetidir. Akışkanlık modülüsü ise, kaybolan enerjiyi ifade eder ve viskozite ile ilişkilidir. Elastiklik modülüsündeki artış, katılık özelliğindeki artış anlamına gelmektedir. Akışkanlık modülüsündeki artış ise, akışa karşı gösterilen dirençteki artış, başka bir deyişle kıvamın artması anlamına gelmektedir (Steffe, 1996; Anonim, 1997). Tan delta değeri, akışkanlık modülüsünün elastiklik modülüsüne oranıdır ve malzemeye uygulanan enerjinin malzeme içindeki kaybını (depolanamamasını) ifade etmektedir (Ehrenstein et al., 2004; Anonim, 2013). Elastik karakterinin olmadığı, akışkanlık karakterinin oldukça kuvvetli olduğu durumlar için tan delta değeri

1'in üzerinde bir değere sahip olmaktadır. Tan delta değerinin artması akışkanlık karakterinin artması anlamına gelmektedir. Akışkanlık modülüsünün elastikite modülüsüne göre daha yüksek olması durumunda 1'in üstünde, tersi durumunda ise 1'in altında değerler almaktadır. Kompleks modülüs ise hem akışkanlık hem de katılık karakterinin fonksiyonu olan gıdanın genel olarak sertlik/dayanıklılık/rijiditesini ifade eden viskoelastik karakter büyüklüğüdür (Steffe, 1996; Anonim, 1997). Elastikite modülüsü ve/veya akışkanlık modülüsündeki herhangi bir artış kompleks modülüsün de artışına neden olmaktadır. Kompleks viskozite değeri gıdanın akışkanlık modülüsünün etkisi dışında elastikiteinden kaynaklanan direncin etkisini de dikkate alarak akışa karşı gösterdiği direnci ifade etmektedir (Steffe, 1996; Ehrenstein et al., 2004; Anonim, 2013).



**Şekil 2.** Gezo pekmezi örneklerinin frekans değerine bağlı olarak viskoelastik özelliklerindeki değişimleri;

**a)** Elastikite modülüsü; **b)** Akışkanlık modülüsü; **c)** Kompleks modülüs; **d)** Faz açısı (Tan Delta); **e)** Kompleks viskozite

Gezo pekmezi örneklerinin 1 Pa sabit gerilim değerinde 25°C sabit ölçüm sıcaklığında 0.5-10 Hz frekans aralığında viskoelastik özelliklerindeki (elastikite modülüsü, akışkanlık modülüsü, kompleks modülüs, faz açısı (tan  $\delta$ ) ve kompleks viskozite) değişim Şekil 2'de verilmiştir. Yapılan genel



değerlendirme sonucunda Gezo pekmezi örneklerinin elastiklik modülüsü ve akışkanlık modülüsü değerlerinin 0'dan farklı olduğu ve ölçülebildiği tespit edilmiştir. Başka bir deyişle, pekmez örneklerinin viskoelastik özelliklere sahip olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen faz açısı ( $\tan \delta$ ) değerleri incelendiğinde, faz açısı değerlerinin 1'den büyük olduğu tespit edilmiştir. Bu durum pekmez örneklerinin akışkanlık karakterinin elastiklik karakterine kıyasla daha baskın olduğunu ortaya koymaktadır.

İncelenen viskoelastik özelliklerin farklı frekanslarda değişebileceği belirtilmekte, bu nedenle de frekans-tarama testi de uygulanarak da frekansa göre değişimlerin incelenmesi önerilmektedir (Ehrenstein et al., 2004; Anonim, 2013). Bu çalışmada da pekmez örneklerinin uygulanan frekans değerine bağlı olarak viskoelastik özelliklerindeki değişim incelenmiştir (Şekil 2). Yapılan değerlendirme sonucunda, uygulanan frekans değerinin artmasına bağlı olarak gezo pekmezi örneklerinin elastiklik modülüsü, akışkanlık modülüsü, kompleks modülüs ve kompleks viskozite değerlerinin artış gösterdiği tespit edilmiştir ( $p < 0.05$ ). Ancak uygulanan frekans değerinin artmasına bağlı olarak faz açısı değerlerinin azalma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. Literatürde farklı ürün gruplarında üretilen pekmez örneklerinin viskoelastik özelliklerinin incelendiği herhangi bir çalışmaya araştırmacıların bilgisi dahilinde rastlanılmadığı için elde edilen sonuçlar literatür ile karşılaştırılmamaktadır. Bu sebeple elde edilen verilerin, gezo pekmezi örneklerinin mekanik uygulama koşullarındaki davranışlarını incelemek ve viskoelastik karakterlerinin değişimini belirlemek açısından literatüre değerli katkılar sunacağı düşünülmektedir.

## SONUÇ

Bu çalışmada, Gezo pekmezi örneklerinin farklı sabit ölçüm sıcaklığı değerlerinde reolojik özelliklerindeki değişimin incelenmesi amaçlanmıştır. Yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda farklı sıcaklık (10, 20, 30, 40, 50, 60 ve 70 °C) değerlerinde ölçüm alınan pekmez örnekleri için en uygun reolojik modelin Üssel model olduğu tespit edilmiştir. Ölçüm alınan sıcaklık değerinin artmasına bağlı olarak pekmez örneklerinin K değerlerinin azalma eğilimi gösterdiği ve en düşük K değerlerinin 70 °C ölçüm sıcaklığında elde edildiği tespit edilmiştir. Ek olarak, düşük sıcaklık değerlerinde n değerlerinin 1'in üzerinde olduğu ve sıcaklık değerinin artmasına bağlı olarak n değerlerinin azalma eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. Yapılan frekans tarama testleri sonucunda gezo pekmezi örneklerinin akışkanlık modülüsünün elastik modülüsüne kıyasla çok daha yüksek değerlere sahip olduğu, başka bir deyişle viskoelastik özelliklere sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmanın araştırmacıların bilgisi dahilinde literatürde eksikliği bulunan gezo pekmezi örneklerinin reolojik özelliklerindeki değişimlerin belirlenmesi konusunda gerekli bilgi eksikliğini dolduracağı düşünülmektedir.

## Çıkar Çatışması

Makaleye ait çalışmanın planlanması, yürütülmesi ve makalenin yazılması aşamalarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederim.

## Yazar Katkısı

Makalenin planlanması, yürütülmesi ve yazılması makale tek yazarı olarak tarafımda yapıldığı beyan ederim.

## KAYNAKLAR

Akbulut M, Özcan MM, 2008. Some physical, chemical, and rheological properties of sweet sorghum (Sorghum Bicolor (L) Moench) Pekmez (Molasses). International Journal of Food Properties, 11(1): 79-91.

- Akbulut M, Bilgicli N, 2010. Effects of different pekmez (fruit molasses) types used as a natural sugar source on the batter rheology and physical properties of cakes. *Journal of Food Process Engineering*, 33(2): 272-286.
- Anonim, 1997. *Dynamic Mechanical Analysis of Polymers Reprinted from American Laboratory*. TA Instruments, TA236.
- Anonim, 2013. *Dynamic Mechanical Analysis, A Beginner's Guide, User Booklet*. PerkinElmer, USA.
- Batu A, 1993. Kuru Üzüm ve Pekmezin İnsan Sağlığı ve Beslenmesi Açısından Önemi. *Gıda*, 18 (5): 303- 307.
- Batu A, 2005. Production of Liquid and White Solid Pekmez in Turkey. *Journal of Food Quality*, 28: 417-427.
- Bozkurt H, Icier F, 2009. Rheological characteristics of quince nectar during ohmic heating. *International Journal of Food Properties*, 12: 844-859.
- Cevik M, Tezcan D, Sabancı S, Icier, F, 2016. Changes in Rheological Properties of Koruk (Unripe Grape) Juice Concentrates During Vacuum Evaporation. *Akademik Gıda*, 14(4): 322-332.
- Cevik M, Icier F, 2020. Characterization of viscoelastic properties of minced beef meat thawed by ohmic and conventional methods. *Food Science and Technology International*, 26(4), 277–290.
- Chin NL, Chan SM, Yusof YA, Chuah TG, Talib RA, 2009. Modelling of rheological behaviour of pummelo juice concentrates using master-curve. *Journal of Food Engineering*, 93(2):134–140.
- Ehrenstein GW, Riedel G, Trawiel P, 2004. *Thermal Analysis of Plastics: theory and practice* München: Carl Hanser: Cincinnati: Hanser Gardner Publications.
- Ekin İ, 2015. Bitlis İlinde Geleneksel Olarak Üretilen Gezo Pekmezinin Bazı Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitlis.
- Ekin İ, Çelikezen FÇ, 2015. Bitlis İlinde Geleneksel Olarak Üretilen Gezo Pekmezinin Bazı Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(2); 138-149.
- Gürel DB, Ildız M, Sabancı S, Koca N, Çağındı Ö, İçier, F, 2021. İnek ve Keçi Sütleri Kullanımının Kefirin Antioksidan, Reolojik ve Duyusal Özellikleri Üzerine Etkisi. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science Technolog*, 9(1): 7-14.
- Kamışlı F, Mohammed DA, 2019. Determination of Rheological Behavior of Some Molasses-Sesame Blends. *Turkish Journal of Science & Technology*, 14(1), 23-32.
- Karataş N, Şengül M, 2018. Dut Pekmezinin Bazı Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri ile Antioksidan Aktivitesi Üzerine Depolamanın Etkisi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 5(1): 34–43.
- Krokida MK, Maroulis ZB, Saravacos GD, 2001. Rheological properties of fluid fruit and vegetable puree products: Compilation of literature data. *International Journal of Food Properties*, 4(2): 179-200.
- Morell P, Fiszman SM, Varela P, Hernando I, 2014. Hydrocolloids for enhancing satiety: Relating oral digestion to rheology, structure and sensory perception. *Food Hydrocolloids*, 41: 343-353.
- Sabancı S, Çokgezme ÖF, Tezcan D, Çevik M, İçier F. 2016. Effects of Temperature on Time Dependent Rheological Characteristics of Koumiss. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science Technolog*, 4(4): 262-266.
- Sengül M, Ertugay MF, Sengül M, 2005. Rheological, physical and chemical characteristics of mulberry pekmez. *Food Control*, 16(1): 73-76.
- Sengül M, Ertugay FM, Sengül M, Yüksel Y, 2007. Rheological characteristics of carob pekmez. *International Journal of Food Properties*, 10(1): 39-46.
- Steffe JF, 1996. *Rheological Methods in Food Process Engineering*. New York: Freeman Press.

- Quek MC, Chin NL, Yusof YA, 2013. Modelling of rheological behaviour of soursop juice concentrates using shear rate–temperature–concentration superposition. *Journal of Food Engineering*, 118: 380–386.
- Tozer HF, 1881. *Turkish Armenia and Eastern Asia-Minor*, Longmans Grenn and Co., London
- Vecel C, 2009. Kudret Helvası Pekmezi. I. Uluslararası Doğu Anadolu Bölgesi Geleneksel Mutfak Kültürü ve Yemekleri Sempozyumu, 24-26 Haziran, Bitlis.
- Yogurtcu H, Kamisli F, 2006. Determination of rheological properties of some pekmez samples in Turkey. *Journal of Food Engineering*, 77(4): 1064-1068.