



Borik Asit-Gliserin' in Reolojik Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi

Gamze Topal Canbaz¹, Neşe Keklikcioğlu Çakmak^{2*}

¹ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7615-7627), gtopal@cumhuriyet.edu.tr

^{2*} Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8634-9232), nkeklikcioglu@cumhuriyet.edu.tr

(1st International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences ICEANS 2022, May 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1099405)

ATIF/REFERENCE: Topal Canbaz, G. & Keklikcioğlu Çakmak, N. (2021). Borik Asit-Gliserin' in Reolojik Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (36), 26-31.

Öz

Bu çalışmada kütlece %0.1-1 bölüntülerde gliserin içerisinde hazırlanmış borik asit solüsyonların reolojik özellikleri incelenmiştir. Reolojik ölçümler stress kontrollü reometre kullanılarak 20-50 °C sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Reolojik ölçümler, lineer ve lineer olmayan viskoelastisite ölçümleri olmak üzere iki farklı yöntem ile yapılmıştır. Doğrusal olmayan viskoelastik ölçümlerde solüsyonun kayma hızına karşı viskozitesinin değişimi, hem farklı kütle fraksiyonları için hem de sabit bir kütle fraksiyonunda farklı sıcaklıklar için incelenmiştir. Diğer bir deneysel aşamada ise frekans bağımlı depolama G' ve kayıp modülü G'' , küçük salınım kayma gerilimi altında ölçülerek akışkanın elastik davranışı belirlenmiştir. Farklı kütle fraksiyonlarda hazırlanan örneklerin detaylı reolojik analizleri sonucunda; tüm solüsyonların Newton kuralına uyan akışkan davranışı gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca artan sıcaklıkla solüsyonların viskozitesinin azaldığı açıkça görülmüştür. Gerçekleştirilen doğrusal reolojik ölçümler sonucunda $G'' > G'$ olduğundan, verilen frekans aralığında solüsyonların viskoz davranış özelliği gösterdiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Reoloji, borik asit, gliserin

Experimental Investigation of Rheological Properties of Boric Acid-Glycerin

Abstract

In this study, the rheological properties of boric acid solutions prepared in glycerine in 0.1-1% aliquots by mass were investigated. Rheological measurements were carried out at 20-50 °C using a stress-controlled rheometer. Rheological measurements were made with two different methods, linear and non-linear viscoelasticity measurements. The variation of viscosity of the solution versus shear rate in nonlinear viscoelastic measurements was investigated both for different mass fractions and for different temperatures at a constant mass fraction. In another experimental step, the elastic behavior of the fluid was determined by measuring frequency dependent storage G' and loss modulus G'' under small swing shear stress. As a result of detailed rheological analysis of the samples prepared in different mass fractions; It was determined that all solutions showed fluid behavior in accordance with Newton's rule. It was also clearly seen that the viscosity of the solutions decreased with increasing temperature. As a result of the linear rheological measurements performed, it was observed that the solutions showed viscous behavior in the given frequency range, since $G'' > G'$.

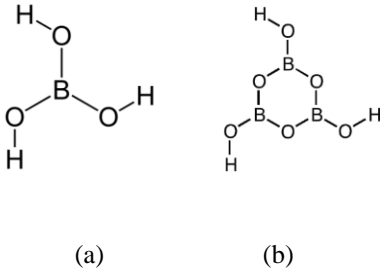
Keywords: Rheology, boric acid, glycerin

* Sorumlu Yazar: nkeklikcioglu@cumhuriyet.edu.tr

1. Giriş

Türkiye, Dünya bor rezervinin % 73' üne sahiptir. Cam, petrol, plastik, boya, kauçuk, seramik, ilaç, kimya, metalürji, enerji depolama, su arıtma gibi birçok uyulama alanında bor ve bor bileşikleri kullanılmaktadır. Bor bileşikleri ABD' de fiberglas ve izolasyon malzemesi olarak, Japonya' da fiberglas ve tekstil alanında, Avrupa' da ise sabun ve deterjan üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Borun zayıf asidi olan borik asit, metaborik asit (HBO_2) ve ortoborik asit (H_3BO_3) olarak iki formda bulunmaktadır (Şekil 1) (Larissou vd., 2022). Borik asit, tabaka yapısında güçlü kuvvetli kovalent/iyonik ve hidrojen bağları bulunur ve bu tabakalar birbirine van der waals kuvvetleri ile bağlanarak bir kristal yapı oluştururlar. Zapol vd. (2000) tabakalar arası mesafeyi 0.318 nm olarak belirtmiştir. Katmanlı yapısından dolayı borik asitin kesme düzlemleri boyunca kolayca kesilebilir olması sürtünme katsayısının azalmasını sağlar. Suda çözülebilir yapıda olması ile homojen formda çözelti oluşturabilir. Sağlık alanında borik asit dermatolojik enfeksiyonların tedavisinde geniş spektrumlu antibakteriyel etkiye sahiptir. Mikrobiyal kontrol için düşük maliyetli ve antibiyotik harici bir alternatif olarak kabul edilebilir ve çevre dostu olması nedeni ile birçok zararlı antibakteriyel madde yerine borik asit kullanılabilir (Nur vd.,2021; Kapukapa ve Ciloğlu ,2020 ; Haesebrouk vd., 2009) . Tıbbi alanda sıkça kullanılan borik asit bitkilerin büyümesine de yardımcı olan çevre dostu bir malzemedir (Aliasgharlarou 2020).



Şekil 1. Ortoborik asit (a) ve metaborik asit (b) kimyasal yapısı
(Figure 1. Chemical structure of orthoboric acid (a) and metaboric acid (b))

Borik asit seramik üretiminde ergitici olarak kullanılan bir bağlayıcıdır. Seramik yapıya borik asit eklenmesi ile sinterleşme aşamasında camı faz yapısının viskozitesi düşmektedir (Cook 2008). Yanmaya neden olan maddelerin tutuşma derecesini de düşürmek için kullanılan borik asit ahşap kompozit malzemelerde koruyucu olarak, deniz ve havacılık boyalarında da alev geciktirici olarak kullanılmaktadır. Ateş tuğlası ve harçlara ise ısı ve korozyona karşı dayanıklılığı arttırmak için eklenmektedir.

Yukarıda bahsi geçen kullanım alanlarında malzemenin doğru sentezlenebilmesi ve karakterizasyonu için reolojik analizler gerekmektedir. Reoloji, malzemenin deformasyonunu ve akış davranışını belirlemek için kullanılır. Malzeme bilimi, gıda, mühendislik, jeofizik, fizyoloji, eczacılık alanlarında reolojinin uygulama alanları mevcuttur. Karmaşık akış özelliklerine sahip olan çimento, boya ve çikolata endüstrisi gibi birçok malzemenin üretiminde kullanılmaktadır.

Tıbbi uygulamada laminar akım koşullarında akım direnci, damarın geometrik özelliklerinden kaynaklanan damar direncine ve sıvının viskozitesine bağlıdır. Örneğin koroner arter

hastalığında (KAH) risk faktörü olarak kabul edilen plazma viskozitesi plazmanın ana maddesi olan suyun ve onun içinde erimiş olan makromoleküllerin özelliklerine bağlıdır. Makromoleküllerin varlığı suyun viskozitesini artırır (Bilgili vd, 2014). Bu nedenle ilaç olarak damar içerisine verilecek bir malzemenin reolojik özellikleri hayati önem taşımaktadır.

Durin-France vd. (Durin- France, 2000) EVA malzemesi içerisine $Mg(OH)_2$ ve çinko borat eklenerek elde edilen kompozitin alev geciktirici özelliği ve vizkozite-kayma hızı incelenmiş. Kayma hızının artması ile kompozitin viskozitesinin azaldığını belirlemişlerdir. Lee ve Kim (Lee ve Kim,2013) yaptıkları çalışmada polivinil alkol liflerinin mukavemetini arttırmak amacı ile çapraz bağlayıcı olarak borik asit kullandılar. PVA/DMSO çözeltisine borik asit ilavesi ile oluşan yapının fiziksel ve reolojik özelliklerini incelediler ve borik asit ilavesi ile dinamik viskozite, (η'), (G') ve (G'') değerlerini arttırdığını belirttiler. Borik asit ilavesi PVA/DMSO çözeltisinin jelleşme süresini de kısaltmıştır. Gadhav vd. (2020) polivinil asetat bazlı ahşap yapıştırıcının performans özelliklerini arttırmak amacı ile sitrik asit ve borik asit ilavesinin etkisini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar eklenen borik asit ve sitrik asitin yapıştırıcının mekanik mukavemet ve viskozitesinde artış olduğunu göstermiştir. Verilen literatür özetinde polimer veya kompozit yapılara borik asit ilavesinin malzemelerin viskozitesini arttırdığı belirlenmiştir.

Gliserin ($C_3H_8O_3$), transesterifikasyon yoluyla biyodizel üretiminde, sabunlaştırma ile sabun üretiminde ve hidroliz reaksiyonunda ya ürün olarak oluşan değerli bir üründür ve fizikokimyasal özellikleri Tablo 1' de verilmiştir. Elde edilen gliserinin saflığı, reaksiyon sırasında oluşan katalizör, su, sabunlar, tuzlar ve esterler gibi safsızlıkların bulunması nedeni ile düşüktür. Biyodizel endüstrisinin büyümesi ile gliserinin saflaştırılması oldukça önem kazanmıştır (Tan vd., 2013) . Üretilen her 45,3 kg biyodizel için yaklaşık 4,53 kg ham gliserin üretilir. Oldukça viskoz higroskopik bir polialkoldür, tadı tatlıdır, berrak ve renksiz bir dokuya sahiptir. İnsanlar ve çevre için toksik yapıda değildir (Lima vd., 2021).

Gliserini biyoetanole dönüştürerek fosil yakıtlara olan bağlılığın azaltılması amaçlanmaktadır. Biyodizel üretiminde transesterifikasyon işlemi yaklaşık % 10 gliserin oluşur fakat toprağın kirlenmesine neden olan ve çevresel sorunlar yaratan tuz, serbest yağ asitleri ve metanol içerdiğinden ham gliserinin elde edilmesi önemlidir. Ham gliserin rafinasyonunun aşırı maliyeti ve pazar kapasitesi, biyodizel endüstrilerini, ekstra gelir kaynağı olarak kullanarak biyodizel atıklarının işlenmesine teşvik etmiştir (Chilakamarry vd., 2021).

Günlük hayatta gliserin yaygın olarak kullanılmaktadır. Diş macunu, saç bakımı, nemlendiriciler gibi kişisel bakım ürünlerinde, gıda endüstrisinde nem tutucu, yağlarda dolgunlaştırıcı, dondurmalarda yapı düzenleyici ve gıdaların korunmasında yardımcı olarak, ilaç endüstrisinde öksürük şurupları içerisinde, temizlik malzemeleri ve leke çıkarıcılar gibi kullanım alanları bulunmaktadır.

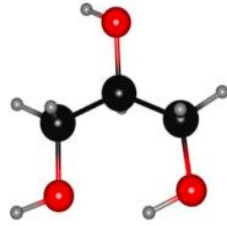
Tarique vd. (2021) (Maranta arundinacea) nişasta biyopolimerinden üretilen gıda paketi ile bu biyopolimere gliserin ekleyerek pakette meydana gelen fiziksel, mekanik, termal ve bariyer özellikleri incelemişlerdir. Biyopolimer üzerine farklı oranlarda (%15, %30, %45) gliserin eklenip sonuçlar

karşılaştırılmıştır. % 45 gliserin eklenmiş paketlerde gevreklik ve kırılabilirlik azalmıştır. Gliserin eklenmiş örneklerin gerime mukavemeti ve modülü, sırasıyla sırasıyla 9,34'ten 1,95 MPa'ya ve 620,79'dan 36,08 MPa'ya önemli ölçüde azalırken, kopma uzaması %2,41'den %57,33'e yükselmiştir. Gliserin içeren kontrol filmlerinden daha yüksek termal stabilite göstermiştir. % 45 gliserin içeren filmler daha homojen yapıya sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Filmlerin su buharı geçirgenliği ise artan gliserin derişimi ile artmıştır. Elde edilen sonuçlar gliserinin gıda ambalajlarında kullanılabilir olduğunu göstermiştir. Paketleme ile ilgili bir başka çalışma Hazrol vd. (2021) ve Ertürk ve Ay. (2022) tarafından gerçekleştirilmiştir. Mısır nişastasından ve çavdar unundan elde edilen filmlere gliserin, sorbitol ve etilen glikol ekleyerek film özelliklerini incelemiştir. Gliserin, sorbitol ve etilen glikol eklenmesi filmlerin mekanik, fiziksel ve morfolojik özelliklerinin gelişmesini sağlamıştır ve gıda paketlemede uygulanabilir olduğuna dair sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 1. Gliserinin fizikokimyasal özellikleri (20 °C) ve moleküler yapısı (Behr 2008, Ma vd., 2021)

(Table 1. Physicochemical properties (20 °C) and molecular structure of glycerin (Behr 2008, Ma et al., 2021))

Fizikokimyasal Özellikler	Moleküler Yapı
Molekül ağırlığı	92.09 g/mol
Viskozite	1.5 Pa.s
Yoğunluk	1.261 g/cm
Kaynama noktası	290 °C
Erime noktası	18.2 °C
Alevlenme noktası	160 °C
Yüzey gerilimi	64 mN/m



Atık su arıtma tesisinde adsorban olarak PVA hidrojenlerini inceleyen Zhu vd. (2018) yaptığı çalışmada PVA hidrojenlerinin arıtım sırasındaki yüksek hidrolik darbe direncine dayanıklı ve parçalanmayan hidrojenler sentezlemeyi araştırmıştır. Bu amaçla PVA/ gliserin hidrojenlerine çapraz bağlayıcı olarak borik asit eklenmiştir. Elde edilen sonuçlarda PVA 'ya gliserin ve borik asit eklenmesinin hidrojenlerin su tutma ve şişme oranını geliştirdiğini belirtmiştir.

Bu çalışmada borik asit /gliserinin farklı oranlarda süspansiyonu hazırlanmıştır. Hazırlanan süspansiyonların karakterizasyonu ve reolojik özellikleri incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kimyasallar

Borik asit (BA) ve gliserin ticari olarak Sigma Aldrich firmasından temin edilmiş ve satın alındığı şekliyle kullanılmıştır. Süspansiyon hazırlanırken herhangi bir yüzey aktif madde ya da dispersant kullanılmamıştır.

2.2. Borik asitin Dispersiyonu

Ticari olarak temin edilen borik asit, farklı kütle fraksiyonlarında (% 0.1-% 3) 25 ml gliserin içerisinde homojen

olarak dağılmasını sağlamak amacıyla örneklerin her biri 750W gücündeki prob sonikatörde (Sonics & malzemeleri INC, ABD) 30 dakika süreyle tutularak hazırlanmıştır. Hazırlanan süspansiyonlar uzun süre kararlılıklarını korumuşlardır.

2.3. Karakterizasyon

Borik asitin morfolojisine taramalı elektron mikroskobu SEM (TESCAN MIRA3 XMU) ile bakılmıştır.

Borik asitin gliserin içinde homojen olarak dağılması için, 750W gücünde prob sonikatör (Sonics & malzemeleri INC, ABD) kullanılmıştır. Hazırlanan numunelerin spektrumları UV-Vis spektrofotometre (UV-1280, Shimadzu, Japonya) ile yapılmıştır. Tüm reolojik ölçümler bir koni-plaka sistemi ile donatılmış gerilme kontrollü reometre (Malvern Kinexus Pro, United Kingdom) kullanılarak farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Kullanılan koninin açısı ve çapı sırasıyla 1° ve 60 mm'dir. Koni ve plaka arasındaki aralık 0.05mm olarak sabit tutulmuştur. Ölçümler sırasında sıcaklık kontrolü ±0.1 hassasiyete sahip peltier plaka aracılığıyla sağlanmıştır. Kütlece %0.1-1 bölüntüde borik asit katılan borik asit/gliserin süspansiyonları için reolojik ölçümler gerçekleştirilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Farklı kütle bölüntülerde (%0.1-3) hazırlanmış borik asit-gliserin örneklerinin 30 gün sonraki görünümü (a), Reometre (b)

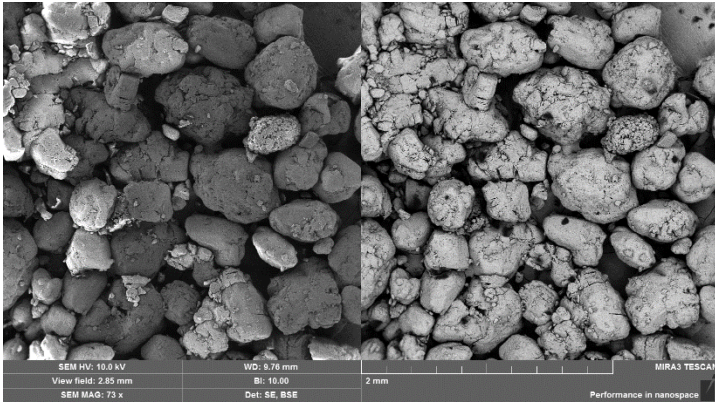
(Figure 2. The appearance of boric acid-glycerin samples prepared in different mass fractions (0.1-3%) after 30 days (a), Rheometer (b))

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

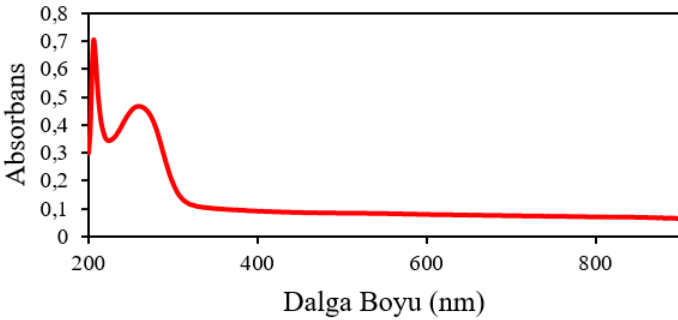
3.1. Karakterizasyon

SEM analizinde borik asit tozunun yapısı görülmektedir. Şekil 3' de SEM analiz sonucuna göre borik asit polidispers sistemlerdir. Bu mikrograftan görülebileceği gibi, parçacıklar küreseldir ve yarı-aglomere olmuş yapılara sahiptir.

Borik asit gliserin çözeltisinin UV -Vis spektroskopi sonucu Şekil 4' de verilmiştir. Borik asit-gliserin' in UV-görünür spektrumunda 207 ve 263 nm olmak üzere iki karakteristik absorpsiyon bandı vardır. Spektrumda herhangi bir sinyal kalabalığı olmadan net bir spektrum görüldüğünden mevcut çalışmada kullanılan çözücünün borik asit için iyi bir çözücü olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Borik asitin SEM görüntüsü
(Figure 3. SEM image of boric acid)



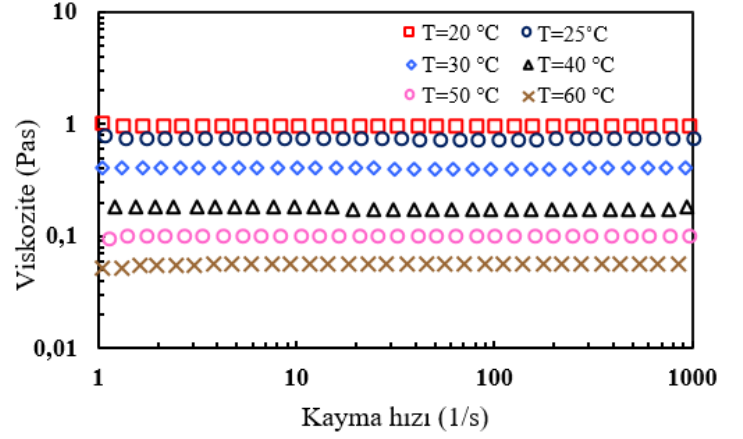
Şekil 4. % 0.3 borik asit-gliserin' in UV-Vis absorpsiyon spektrumu.
(Figure 4. UV-Vis absorption spectrum of 0.3% boric acid-glycerin)

Aşağıdaki bölümde kütlece farklı bölüntülerde borik asit katkılanmış Borik asit-gliserin solüsyonunun doğrusal olmayan viskoelastik ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir.

3.2. Doğrusal Olmayan Viskoelastik Ölçümler

Borik asit-gliserin solüsyonunun reolojik analizi yapılmadan önce, ilk olarak temel akışkan olan saf gliserin' in kaymaya bağlı

viskozitesi incelenmiştir. Şekil 5, 20 °C ile 60 °C arasında gliserin' ün sabit kayma viskozitesini göstermektedir. Sonuçlar, incelenen kayma hızı ve sıcaklık aralıklarında saf gliserinin Newton kuralına uyan akışkan davranış gösterdiğini açıkça ortaya koymaktadır. Ayrıca, gliserinin viskozitesi, beklendiği gibi artan sıcaklıkla azalmaktadır.



Şekil 5. Gliserinin farklı sıcaklıklarda viskozite kayma hızı değişimi
(Figure 5. Viscosity shear rate variation of glycerin at different temperatures)

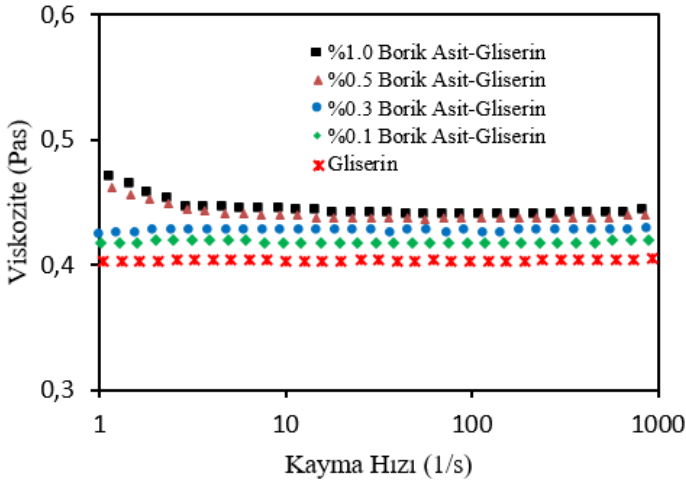
Yapılan bu çalışmada borik asit gliserol içerisinde hazırlanmış ve reolojik analizi yapılmıştır. Şekil 6 ' da kütlece %0.1-1 bölüntülerde katkılanan borik asit/gliserol solüsyonunun doğrusal olmayan viskozite ölçümleri, kayma hızına bağlı viskozite değişimini belirlemek amacıyla elde edilmiştir. Doğrusal olmayan viskozite ölçümleri kayma hızının 1-1000s⁻¹ aralığı için 30 °C' de gerçekleştirilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde taban akışkan gliserol ve tüm solüsyonların Newton kuralına uyan akışkan davranışı gösterdiği belirlenmiştir. Diğer bir ifadeyle akışkan viskozitesi sabit olup kayma hızına göre değişmemektedir. Sabit kayma hızı değerinde kütle konsantrasyonu arttıkça sıvı katmanları arasındaki artan sürtünme kuvvetine bağlı olarak viskozitenin arttığı gözlemlenmektedir.

Borik asit gliserin solüsyonlarının viskozitesi, sabit sıcaklıkta (T=30 °C), borik asitin kütle konsantrasyonu arttıkça artmaktadır. Viskozite ile kayma hızı arasındaki doğrusal eğilim, Newton kuralına uyan akışkan davranışını ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, yüksek kütle konsantrasyonlarında düşük kayma hızı bölgesinde solüsyon sanki-plastik akış davranışı olarak bilinen incelen akışkan özelliği göstermiş olsa da borik asit gliserin solüsyonları açık bir Newtonian davranışı göstermiştir. Taban akışkan olan gliserine daha fazla borik asit eklenmesinin neden olduğu iç viskoz gerilim nedeniyle, solüsyonun viskozitesi, artan kütle konsantrasyonu ile kademeli olarak artmaktadır.

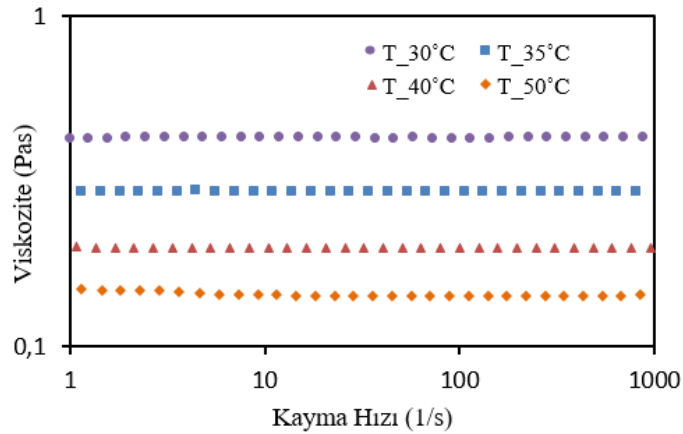
Sıcaklığın solüsyon reolojisine etkisini incelemek için kütlece %0.3 bölüntüde borik asit gliserin solüsyonunun görünür viskozitesinin kayma hızı ile değişimi bir dizi ölçüm sonucunda 30 °C ile 50 °C sıcaklık aralığında farklı sıcaklıklar için elde edilerek Şekil 7' de verilmiştir. Sabit kayma hızı değerinde artan sıcaklık ile viskozitenin azaldığı görülmektedir. Sabit kayma hızında artan sıcaklığa bağlı olarak viskozitenin azalmasının nedeni, moleküler hareketin ve Brownian hareketinin artması ile

moleküler arası etkileşim ve adezyon kuvvetinin zayıflaması olabilmektedir (Kekikcioğlu Çakmak vd. 2015)



Şekil 6. Kütlece %0.1-1 bölüntülerde borik asit- gliserin solüsyonlarının viskozitelerinin kayma hızı ile değişimi ($T=30\text{ }^{\circ}\text{C}$).

(Figure 6. Variation of viscosities of boric acid-glycerine solutions with shear rate ($T=30\text{ }^{\circ}\text{C}$) in 0.1-1% aliquots by mass)

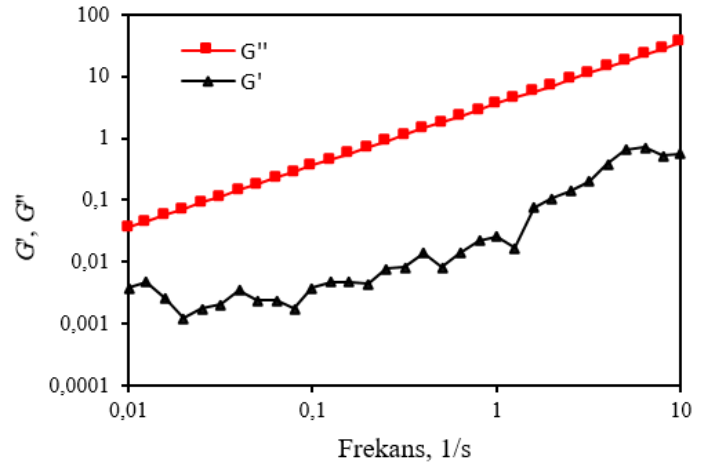


Şekil 7. Kütlece %0.3 bölüntüde borik asit- gliserin solüsyonlarının farklı sıcaklıklarda viskozitelerinin kayma hızı ile değişimi

(Figure 7. Variation of viscosity of boric acid-glycerine solutions at 0.3% by mass with shear rate at different temperatures)

3.3. Doğrusal Viskoelastik Ölçümler

Sistemin lineer viskoelastik özelliklerini değerlendirmek için depolama (G') modülü (elastik modül) ve kayıp (G'') modülü (viskoz modül) testleri %0.3 borik asit-gliserin için 0.05 Pa ve 25 °C' de Şekil 7' de verilmiştir. G' (elastik modülü) yapısal bütünlüğün, G'' (viskoz modülü) ise malzeme içerisindeki viskoz bileşenin bir ölçüsüdür (2). Şekil 8, elastik değerlerden daha yüksek viskozluğa sahip %0.3 borik asit-gliserin karışımının lineer elastik ve viskoz deformasyonunu göstermektedir. Solüsyonda $G'' > G'$ olduğundan, verilen frekans aralığında malzeme viskoz davranış sergilemektedir (Tezel 2021).



Şekil 8. Kütlece %0.3 bölüntüde borik asit-gliserin solüsyonlarının 0.05 Pa salınım gerilmesinde ve 25°C' de depolama (G') ve kayıp (G'') modülünün frekansla değişimi. (Figure 8. The variation of storage (G') and loss (G'') modulus with frequency of 0.3% by mass of boric acid-glycerine solutions at 0.05 Pa oscillation stress and 25°C)

4. Sonuç

Bu çalışmada borik asit-gliserin solüsyonlarının lineer ve lineer olmayan viskoelastisite çalışması, koni ve plaka sistemi ile donatılmış stres kontrollü reometre ile yapılmıştır. Farklı kütleli fraksiyonlarda hazırlanan örneklerin detaylı reolojik analizleri sonucunda; tüm solüsyonların Newton kuralına uyan akışkan davranışı gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca artan sıcaklıkla solüsyonların viskozitesinin azaldığı açıkça görülmüştür. Gerçekleştirilen doğrusal reolojik ölçümler sonucunda $G'' > G'$ olduğundan, verilen frekans aralığında solüsyonların viskoz davranış özelliği gösterdiği gözlenmiştir. Bir süspansiyon sisteminin akış davranışı, farmasötik veya farklı birçok alanda süspansiyonlarda kullanılan maddelere önemli ölçüde bağlıdır. Polimer faktörleriyle birlikte partikül faktörleri, Newtonian bir çözeltinin veya süspansiyonun davranışını, öngörülemez şekilde değiştirebilir. Bu nedenle süspansiyon sistemlerinin akışını ve stabilitesini değerlendirmek için reoloji büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada kullanılan solüsyonlar ilaç ve kozmetik alanlarında kullanım için iyi birer aday olabilir.

Kaynakça

- Aliasgharlou, N., Sana, F. A., Khoshbakht, S., Zolfaghari, P., & Charkhian, H. (2020). Fabrication and characterization of boric acid-crosslinked ethyl cellulose and polyvinyl alcohol films as potential drug release systems for topical drug delivery. *Turkish Journal of Chemistry*, 44(6), 1723-1732.
- Behr, A. (2008). The Future of Glycerol. New Usages for a Versatile Raw Material. By Mario Pagliaro and Michele Rossi.
- Bilgili, H., Öztürk, B., Özdemir, S., & Yetkin, E. (2014). Koroner arter ektazisi olan hastalarda plazma viskozitesi. *Cumhuriyet Medical Journal*, 36(3), 362-367.
- Chilakamarry, C. R., Sakinah, A. M., Zularisam, A. W., Pandey, A., & Vo, D. V. N. (2021). Technological perspectives for utilisation of waste glycerol for the production of biofuels: A review. *Environmental Technology & Innovation*, 24, 101902.
- Cook, S. G. (2009). Borate fluxes in ceramic bodies. *W hitewares*, 23(2002), 47.

- Durin-France, A., Ferry, L., Lopez Cuesta, J. M., & Crespy, A. (2000). Magnesium hydroxide/zinc borate/talc compositions as flame-retardants in EVA copolymer. *Polymer International*, 49(10), 1101-1105.
- Ertürk, N., & Ay, S. B. (2022). Effect of Ethylene Glycol and Glycerol Concentrations on Properties of Rye-Based Films. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 705-710.
- Gadhav, R. V., Mahanwar, P. A., Gadekar, P. T., & Kasbe, P. S. (2020). A study on the effect of starch–polyvinyl alcohol blends by addition of citric acid and boric acid for enhancement in performance properties of polyvinyl acetate-based wood adhesive. *Journal of the Indian Academy of Wood Science*, 17(1), 9-20.
- Hazrol, M. D., Sapuan, S. M., Zainudin, E. S., Zuhri, M. Y. M., & Abdul Wahab, N. I. (2021). Corn starch (*Zea mays*) biopolymer plastic reaction in combination with sorbitol and glycerol. *Polymers*, 13(2), 242.
- Haesebrouck, F., Baele, M., De Keyser, H., Hermans, K., & Pasmans, F. (2009). Antimicrobial activity of an acetic and boric acid solution against *Staphylococcus pseudintermedius*. *Vlaams Diergeneeskundig Tijdschrift*, 78(2), 89-90.
- Kapukaya, R., & Ciloglu, O. (2020). Treatment of chronic wounds with polyurethane sponges impregnated with boric acid particles: A randomised controlled trial. *International Wound Journal*, 17(5), 1159-1165.
- Keklikcioğlu Çakmak, N., Temel, Ü. N., & YAPICI, K. (2017). Grafen Oksit-Su Nanoakışkanlarının Reolojik Davranışlarının İncelenmesi. *Cumhuriyet Science Journal*, 38(4 ek), 176-183.
- Larsson, E., Donzel-Gargand, O., Heinrichs, J., & Jacobson, S. (2022). Tribofilm formation of a boric acid fuel additive–Material characterization; challenges and insights. *Tribology International*, 107541.
- Lee, E. J., & Kim, B. C. (2013). The effects of boric acid on the rheological behavior of time dependent structure formation in PVA/DMSO solutions. *Fibers and Polymers*, 14(12), 2097-2102.
- Lima, P. J. M., da Silva, R. M., Neto, C. A. C. G., Gomes e Silva, N. C., Souza, J. E. D. S., Nunes, Y. L., & Sousa dos Santos, J. C. (2021). An overview on the conversion of glycerol to value-added industrial products via chemical and biochemical routes. *Biotechnology and Applied Biochemistry*.
- Ma, Q., He, T., Khan, A. M., Wang, Q., & Chung, Y. W. (2021). Achieving macroscale liquid superlubricity using glycerol aqueous solutions. *Tribology International*, 160, 107006.
- Nur, P. F., Pınar, T., Uğur, P., Ayşenur, Y., Murat, E., & Kenan, Y. (2021). Fabrication of polyamide 6/honey/boric acid mats by electrohydrodynamic processes for wound healing applications. *Materials Today Communications*, 29, 102921.
- Tezel, G. B. (2021). A Study on Tunable Viscoelastic Properties of Xhantan Gum and Sodium Alginate Hyrogelling System. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 55(3), 464-471.
- Tan, H. W., Aziz, A. A., & Aroua, M. K. (2013). Glycerol production and its applications as a raw material: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 27, 118-127.
- Tarique, J., Sapuan, S. M., & Khalina, A. (2021). Effect of glycerol plasticizer loading on the physical, mechanical, thermal, and barrier properties of arrowroot (*Maranta arundinacea*) starch biopolymers. *Scientific reports*, 11(1), 1-17.
- Zapol, P., Curtiss, L. A., & Erdemir, A. (2000). Periodic ab initio calculations of orthoboric acid. *The Journal of Chemical Physics*, 113(8), 3338-3343.
- Zhu, X., Zhang, Y., Deng, J., & Luo, X. (2018). Effect of Glycerol on the Properties of the Cross-Linked Polyvinyl Alcohol Hydrogel Beads. *ChemistrySelect*, 3(2), 467-470.