

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HAŞHAŞ TOHUMU EZMESİ VE ÜZÜM PEKMEZİ KARIŞIMLARININ
REOLOJİK ÖZELLİKLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Fulya SÜREN**

Anabilim Dalı : Gıda Mühendisliği

Programı : Tezli Yüksek Lisans

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr. Sami Gökhan ÖZKAL

HAZİRAN 2010

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAY FORMU

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 071161001 nolu öğrencisi Fulya SÜREN tarafından hazırlanan “**HAŞHAŞ TOHUMU EZMESİ VE ÜZÜM PEKMEZİ KARIŞIMLARININ REOLOJİK ÖZELLİKLERİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Sami Gökhan ÖZKAL (PAÜ)

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Filiz İÇİER (EÜ)
(Jüri Başkanı)

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Yahya TÜLEK (PAÜ)

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Halil KARAHAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

İmza :

Öğrenci Adı Soyadı : Fulya SÜREN

ÖNSÖZ

Bu çalışmada farklı oranlarda karıştırılan haşhaş tohumu ezmesi ve üzüm pekmez karışımlarının farklı sıcaklıklardaki reolojik özelliklerinin belirlenmesi, bu özelliklere konsantrasyon ve sıcaklığın etkisinin matematiksel modellerle ifade edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla zamandan bağımsız ve zamana bağımlı reolojik özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen veriler haşhaş tohumu ezmesi ve pekmez karışımının reolojik davranışını ortaya koymuş, gıda sanayinde kullanılacak faydalı bilgiler elde edilmiştir. Çalışmam sırasında benden desteğini eksik etmeyen değerli hocamlarım Yrd. Doç. Dr. Sami Gökhan ÖZKAL'a ve Yrd. Doç. Dr. İlyas ÇELİK'e teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran 2010

Fulya Süren
(Gıda Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
2. KURUMSAL BİLGİLER ve LİTERATÜR TARAMASI	2
2.1. Haşhaş ve Pekmez	2
2.2. Akışkan Gıdaların Reolojik Davranışları	5
2.2.1. Newtonyen davranış	7
2.2.2. Newtonyen-dışı davranışlar	8
2.2.2.1. Zamandan bağımsız Newtonyen-dışı davranış.....	9
2.2.2.1.1. Kaymayla incelen (Psödoplastik) davranış	9
2.2.2.1.2. Kaymayla kalınlaşan (Dilatent) davranış	9
2.2.2.1.3. Plastik davranışlar	10
2.2.2.1.3.1. Bingham plastik davranış	10
2.2.2.1.3.2. Herschel-Bulkley davranış.....	10
2.2.2.2. Zamana bağımlı Newtonyen-dışı davranışlar.....	11
2.2.2.2.1. Tikotropik davranış.....	11
2.2.2.2.2. Reopektik davranış.....	12
2.3. Reolojik Davranışları Etkileyen Faktörler	12
2.3.1. Sıcaklığın etkisi	12
2.3.2. Konsantrasyonun etkisi.....	13
2.3.3. Konsantrasyonun aktivasyon enerjisi üzerine etkisi.....	13
2.3.4. Konsantrasyon ve sıcaklığın birlikte etkisi	13
2.3.5. Parçacık boyutu ve miktarının etkisi	14
2.4. Viskozite Ölçüm Yöntemleri	15
2.4.1. Kapiler akış viskometreler	15
2.4.2. Rotasyonel viskometreler.....	16
2.4.3. Küresel cisimlerin hareket ettiği viskometreler	16
2.5. Ezme, Püre ve Konsantre Gıda Ürünlerinin Reolojisi Üzerine Yapılan Çalışmalar	17
3. MATERYAL ve METOT	22
3.1. Kuru Madde Tayini	22
3.2. Yağ Tayini	22
3.3. Örnek Hazırlama	22
3.4. Reolojik Ölçümler	22
3.5. Reolojik Modellemeler ve Veri Analizi	24
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	25
4.1. Zamandan Bağımsız Reolojik Özellikler.....	25
4.1.1. Sıcaklığın etkisi	44
4.1.2. Haşhaş tohumu ezmesi katma oranının etkisi	46
4.2. Zamana Bağımlı Reolojik Özellikler.....	49

5. SONUÇ	52
KAYNAKLAR	53
EKLER	56

TABLO LİSTESİ

Tablolar

4.1 : Üzüm pekmezinin Newton modeli sabitleri	27
4.2 : Üzüm pekmezinin üs yasası modeli sabitleri	27
4.3 : Haşhaş tohumu ezmesinin Newton modeli sabitleri	29
4.4 : Haşhaş tohumu ezmesinin üs yasası Modeli sabitleri	29
4.5 : %10 Haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın Newton modeli sabitleri	31
4.6 : %10 Haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın üs yasası modeli sabitleri. ...	31
4.7 : %15 Haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın Newton modeli sabitleri	33
4.8 : %15 Haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın üs yasası modeli sabitleri. ...	33
4.9 : %20 Haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın Newton modeli sabitleri	35
4.10 : %20 Haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın üs yasası modeli sabitleri. ...	35
4.11 : %25 Haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın Newton modeli sabitleri ...	37
4.12 : %25 Haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın üs yasası modeli sabitleri. ...	37
4.13 : %30 Haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın Newton modeli sabitleri ...	39
4.14 : %30 Haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın üs yasası modeli sabitleri. ...	39
4.15 : %35 Haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın Newton modeli sabitleri ...	41
4.16 : %35 Haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın üs yasası modeli sabitleri. ...	41
4.17 : %40 Haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın Newton modeli sabitleri ...	43
4.18 : %40 Haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın üs yasası modeli sabitleri. ...	43
4.19 : Farklı oranlarda haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımlar için Arrhenius eşitliğinin sabitleri.	46
4.20 : Farklı sıcaklıklar için kıvamlılık katsayısına haşhaş tohumu ezmesi katma oranının etkisi, üstel modelin sabitleri.	48
4.21: Farklı sıcaklıklar için kıvamlılık katsayısına haşhaş tohumu ezmesi katma oranının etkisi, üs yasası modelinin sabitleri	48
4.22: Haşhaş tohumu ezmesi katma oranının aktivasyon enerjisine etkisi	48
4.23: Haşhaş tohumu ezmesi katma oranı ve sıcaklığın akış davranışı üzerine etkisi	49

ŞEKİL LİSTESİ

Şekiller

2.1 : Çeşitli akışkan tipleri için kayma gerilimi ile kayma hızı arasındaki ilişkiyi gösteren akış eğrileri.....	7
2.2 : Çeşitli akışkanlar için görünen viskozitenin kayma hızı ile değişimi.....	8
2.3 : Zamana bağlı reolojik davranışlar için sabit kayma hızında viskozitenin zamanla değişimi	11
4.1 : Üzüm pekmezinin farklı sıcaklıklarda görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi	25
4.2 : Üzüm pekmezinin farklı sıcaklıklardaki akış eğrileri (artan hız sırası ölçümleri).....	26
4.3 : Haşhaş tohumu ezmesinin farklı sıcaklıklarda görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi.....	27
4.4 : Haşhaş tohumu ezmesinin farklı sıcaklıklardaki akış eğrileri (artan hız sırası ölçümleri)	28
4.5 : %10 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın farklı sıcaklıklarda görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi	30
4.6 : %10 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın farklı sıcaklıklardaki akış eğrilerine ait histerezis döngüsü.....	30
4.7 : %15 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın farklı sıcaklıklarda görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi	32
4.8 : % 15 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın farklı sıcaklıklardaki akış eğrilerine ait histerezis döngüsü	32
4.9: %20 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın farklı sıcaklıklarda görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi	34
4.10: % 20 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın farklı sıcaklıklardaki akış eğrilerine ait histerezis döngü	34
4.11 : % 25 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın farklı sıcaklıklarda görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi.....	36
4.12 : % 25 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın farklı sıcaklıklardaki akış eğrilerine ait histerezis döngüsü.....	36
4.13 : % 30 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın farklı sıcaklıklarda görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi.....	38
4.14 : % 30 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın farklı sıcaklıklardaki akış eğrilerine ait histerezis döngüsü.....	38
4.15 : % 35 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın farklı sıcaklıklarda görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi.....	40
4.16 : % 35 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın farklı sıcaklıklardaki akış eğrilerine ait histerezis döngüsü.....	40
4.17 : % 40 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın farklı sıcaklıklarda görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi.....	42

4.18 : % 40 haşaşaş tohumu ezmesi içeren karışımın farklı sıcaklıklardaki akış eğrilerine ait histerezis döngüsü	42
4.19 : Kıvamlılık katsayısına sıcaklığın etkisi.....	45
4.20 : Kıvamlılık katsayısına haşaşaş tohumu ezmesi katma oranının etkisi.....	47
4.21 : %10 haşaşaş tohumu ezmesi içeren karışımın görünen viskozitesinin zamana karşı değişimi	50
4.22 : % 40 haşaşaş tohumu ezmesi içeren karışımın görünen viskozitesinin zamana karşı değişimi	51

ÖZET

HAŞHAŞ TOHUMU EZMESİ VE ÜZÜM PEKMEZİ KARIŞIMLARININ REOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada farklı oranlarda karıştırılan haşhaş tohumu ezmesi ve üzüm pekmezi karışımlarının farklı sıcaklıklarda reolojik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Rotasyonel viskometre kullanarak yapılan ölçümlerde zamandan bağımsız ve zamana bağımlı reolojik özellikler incelenmiştir. Örneklerin artan ve azalan kayma hızı sırasına göre farklı kayma hızlarında ölçümleri yapılmıştır. Haşhaş tohumu ezmesi, üzüm pekmezi ve %10, 15, 20, 25, 30, 35 ve 40 oranlarında haşhaş tohumu ezmesi içeren haşhaş tohumu ezmesi-pekmez karışımların akış davranışlarının 10, 17,5, 25, 32,5 ve 40°C olmak üzere beş farklı sabit sıcaklıkta Newton ve üs yasası modellerine uygunlukları araştırılmıştır. Pekmezin Newton modeline uygun davranış göstermesine karşın karışımlar ile haşhaş tohumu ezmesinin üs yasası modeline uygun psödoplastik davrandığı tespit edilmiştir. Kıvamlılık katsayısına (K) sıcaklığın etkisi Arrhenius tipi eşitlik ile açıklanmıştır. Haşhaş tohumu ezmesi-pekmez karışımlarına ait aktivasyon enerjisi (E_a) değerinin 23054,8 ile 66059,1 kJ/kmol arasında değişim gösterdiği saptanmıştır. Haşhaş tohumu ezmesi katma oranının karışımların kıvamlılık katsayısına ve aktivasyon enerjisine etkisi üstel ve üs yasası modelleri ile ifade edilmiştir. Karışımların haşhaş tohumu ezmesi oranındaki artışla reopektik davranış gösterdiği belirlenmiştir.

SUMMARY

RHEOLOGICAL PROPERTIES OF POPPY SEED PASTE AND GRAPE MOLASSES BLENDS

The aim of this study was to determine rheological characteristics of poppy seed paste-grape molasses blends mixed at different ratios at different temperatures. Time dependent and independent rheological properties were investigated by using rotational viscometer. Measurements were made at different rotational speeds at increasing and decreasing order. Newtonian and power-law approximations were applied to the poppy seed paste, grape molasses and poppy seed paste-grape molasses blends at 10, 15, 20, 25, 30, 35 and 40% poppy seed paste concentrations at five different temperatures (10, 17,5, 25, 32,5 and 40°C). Grape molasses were behaved as Newtonian and poppy seed paste-grape molasses blends and poppy seed paste behaved as psödoplastic (Power-law) fluid. Temperature dependency of consistency coefficient (K) was described by an Arrhenius-type equation. Activation energies (E_a) of the blends were found in the range of 23054.8-66059.1 kJ/kmol. The effects of poppy seed paste concentration on consistency coefficient (K) and activation energies (E_a) of blends described by exponential and power law models. Blends showed rheopectic time dependent behavior as poppy seed paste ratio in the blends increased.

1. GİRİŞ

Maddenin akış ve deformasyonu ile ilgili özelliklerine reolojik özellik denilmektedir. Gıda maddelerinin reolojik özelliklerine; pompa, karıştırıcı, ısı değiştirici gibi aletlerin tasarımı, ürün geliştirme, kalite kontrolü, raf ömrü testi gibi birçok konuda ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle gıdaların reolojik özellikleri bilimsel araştırmalarda önemli derecede yer almaktadır.

Haşhaş tohumu ezmesi ve pekmez ülkemizde geleneksel olarak tüketilen ve sağlıklı beslenme açısından da önemli olan iki üründür. Haşhaş yağı linoleik asitçe zengin bir yağdır, bu tip yağların kolesterol düşürücü etkisi bilinmektedir. Pekmez de içerdiği mineral maddelerden ve şekerden dolayı önemli bir besin kaynağıdır. Bu iki gıdanın karışımı, özellikle ülkemizin Ege Bölgesinde kahvaltılık olarak tüketilen ve sevilen bir üründür.

Yapılan literatür araştırmasının sonucunda haşhaş tohumu ezmesi ve pekmez karışımları ile ilgili reolojik özellikler de dahil olmak üzere herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada farklı oranlarda karıştırılan haşhaş tohumu ezmesi ve üzüm pekmezi karışımlarının farklı sıcaklıklardaki reolojik özelliklerinin belirlenmesi, bu özelliklere katma yüzdesi (bileşim) ve sıcaklığın etkisinin matematiksel modellerle ifade edilmesi amaçlanmıştır.

2. KURUMSAL BİLGİLER ve LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Haşhaş ve Pekmez

Haşhaş gelincik familyasından bir bitki olup, dünya üzerinde bu cinse dahil 80-100 kadar tür vardır. Ülkemizde ise 10'u endemik olmak üzere, 36 türü mevcuttur (Arslan, 2009). Haşhaş, yazların sıcak geçtiği, orta derecede yağış alan yerleri sever. Anavatanı Doğu Akdeniz'dir. Hindistan ve Anadolu'da çok eskiden beri tarımı yapılmaktadır. Haşhaş ezmesi haşhaş tanelerinin çekilmesi (ezilmesi) ile elde edilen bir yiyecektir (Url-1).

Ülkemizde haşhaş 1939 yılından beri Toprak Mahsulleri Ofisi'nin denetiminde yetiştirilmektedir. Çizim yasağından önce haşhaş kapsülleri normal büyüklüğünü alınca ve henüz yeşil iken yani, 'haşgeşler kafem kafem olunca' özel bir bıçakla yüzeysel olarak çizilir, kapsülden çıkan beyaz renkte sütsü öz suyu kapsülün dışında birikir; suyu bir miktar buharlaşarak koyulaşan ham afyon sakızı her gün toplanırdı. Afyon sakızının normal koşullarda yıllarca bozulmadan saklanabilir özelliğe sahip olması da, ticari değerini arttırmıştır. Ülkemizde kapsül çizim yasağından sonra afyon sakızı artık hatıralarda kalmıştır. Afyon, ağrı kesici, ishal önleyici, uyuşturucu, öksürük kesici özelliklere sahiptir ve bu özelliklerinden dolayı çok eskiden beri tedavide önemli bir yer tutmuştur. Ancak, afyonun bağımlılık yapıcı etkisi de vardır. Alman eczacı Sertturner'in 1806 yılında afyondan morfin alkaloidini izole etmesi yeni bir çığır açmış, daha sonraları afyonda 25 civarında alkaloid tespit edilmiştir. Bu alkaloidlerin en önemlileri morfin, kodein, tebain, noskapin, papverin ve oripavindir (Arslan, 2009).

Haşhaş hem yağ hem de önemli bir ilaç bitkisidir. Haşhaş tohumu yağı oldukça iyi yemeklik niteliğe sahiptir. Ülkemizde Afyon, Denizli, Uşak, Konya, Burdur, Isparta ve Kütahya gibi illerde tarımı yapılmaktadır. Ülkemizde ekilen yağ bitkilerinin ekim alanlarının büyüklüğü incelendiğinde haşhaş tohumu; ayçiçeği, pamuk tohumu ve susamdan sonra dördüncü ürün olarak karşımıza çıkmaktadır (Göksoy, 1995).

Haşhaş tohumu %40-55 oranında yağ, %18-27 protein, %5-9 oranında kül ihtiva eder (Arslan, 2009). Yapılan yeni bir çalışmada, Eskişehir'den temin edilen haşhaş tohumlarının %49,9 yağ, % 21,6 protein, %55,3 su, %55,9 kül ve %18,3 karbonhidrat ve lif içerdiği belirtilmiştir (Bozan ve Temelli, 2008).

Haşhaş yağının bileşiminde doymamış yağ asitlerinden %62-72 linoleik asit, %15-20 oleik asit; doymuş yağ asitlerinden %4,8-9,5 palmitik asit, %2-2,9 oranında stearik asit bulunmaktadır. Yağ dahilen laksatif, haricen cildi besleyici etkiye sahiptir. Aromaterapide masaj yağı olarak kullanılır. Omega yağ asitlerince zengin bir yağdır. Ayrıca tohumları insan sağlığına yararlı vitamin ve mineral maddeleri içermektedir (Arslan, 2009).

Haşhaş tohumlarının yağ oranları renklerine göre farklılık göstermektedir. En yüksek oranda yağı beyaz renkli tohumlar vermekle birlikte, bu çeşidin ülkemizde ekilişi pek fazla değildir. Yağ verimi bakımından ikinci sırayı sarı renkli tohumlar almaktadır. Gri-mavi renkli ve halk arasında güvercin göğsü olarak isimlendirilen tohumların yağ oranı daha düşüktür. Yurt içinde yoğunluklu olarak tüketilen sarı haşhaş tohumu, pasta, börek, çörek gibi hamur işlerinde ayrıca yağı yemeklik olarak ve boya sanayinde kullanılmaktadır. İhraç edilen mavi ve beyaz haşhaş tohumları ise kozmetik sanayi ve pastacılıkta kullanılmaktadır. Haşhaş tohumları yağı işlenmeden de kullanılmaktadır. Tohumların kavrulup ezilmesiyle elde edilen ezme (sürtülmüş haşhaş) büyük şehirlerin marketlerinde rastlanır olmuştur. Tohumlar tabii haliyle çörek, ekmek ve lokum çeşitlerinin süslenmesinde ülkemizde olduğu gibi Avrupa ve Amerika'da da kullanılmaktadır (Url-2).

Haşhaş tohumu ve haşhaş ezmesi; haşhaşlı ekmek, simit, çörek, açma, börek, pasta, kete, kek, kurabiye, peksimet, katmer, hamur v.b. işlerinde, helva, irmik, revani, şekerpare, pekmez v.b. tatlılarda geniş ölçüde kullanılmaktadır. Haşhaş tohumlarının yağı alındıktan sonra arta kalan küspe protein, yağ ve azotsuz öz maddelerce zengin olup, hayvan yemi olarak çok değerlidir. Meşhur Afyon kaymağı bununla beslenen sığır ve mandaların sütünden elde edilir (Arslan, 2009).

Pekmez üzüm, incir, elma, incir veya dut gibi tatlı meyvelerin ezilerek kaynatılması ile üretilen, Türkler'e özgü, yoğun ve tatlı bir şuruptur. Üzümden yapılan pekmez tatlı olmasına karşılık, dut pekmezi biraz acımsı olur. Üzümden yapılan; Niğde Bahçeli Adana'nın (Pozantı ilçesi-Kamışlı köyünün tamamen organik olarak üretilen

pekmezi), Elazığ, Nevşehir ve Zile pekmezleri meşhurdur. Pekmezlik üzümler, çiğneme, havan ve pres gibi çeşitli şekillerde sıkılır ve üzümlerin suları elde edilir. Ekşi olan bu şıra 50-60 derecede 10-15 dakika kaynatılıp içine pekmez toprağı eklenir. Beyaz renkli olan bu toprak üzümler daha ezilmeden işleme dahil edilmelidir. Bu işleme *kestirme* adı verilir. Toprak katma işlemiyle şıranın durulması, çökelti oluşturması ve üzümden gelen ekşiliğın alınması sağlanır. Toprak katılmayan pekmez ekşi ve bulanık görünümlü olur. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı 100 kg üzüm şırasına 1-5 kg pekmez toprağı katılmasını öngörmektedir. Pekmez kaynatılırken oluşan köpüklerin alınması berrak görünümlü pekmez elde etmeyi sağlar. Bu şekilde daha lezzetli bir pekmez elde edilmiş olur. Kestirilen şıra dinlendirme kaplarında en az 4-5 saat bekletilir. Bu dinlenme sırasında kabın dibine eklenen toprak ve üzüm şırasının içindeki belli parçacıkların oluşturduğu tortu çöker. Şıranın üstte kalan berrak kısmı tortudan ayrılır, tortu atılır. Ayrılan berrak şıra kaynatma kazanlarına aktarılır (Url-3).

Pekmeze koyu rengini ve kıvamını veren işlem kaynatmadır. Kaynatma işlemi sırasında kestirilen şıranın içindeki şekerler karamelize olup kararır. Suyun kaynama süresince azalmasıyla karışım koyu bir kıvam alır. Pekmez kaynatılırken şıra bir seferde kaynatılarak pekmez haline gelmelidir. Şıra kaynatıldığında kaptaki eksilme yeni şıra ile doldurulmamalıdır. Bu pekmezin kalitesini bozar. Karışımın göz göz kaynaması ve pekmez kokusu yayması pekmezin kıvama geldiğinin göstergesidir. Kaynatma üstü açık geniş kaplarda yapıldığı gibi, vakumlu ortamda daha düşük sıcaklıklarda açık renkli pekmez üretilebilir. Yapımı anlatılan bu ürün türüne "tatlı cıvık pekmez" denir. "Günbalı" denen pekmez türü şıranın geniş kaplarda, güneş altında suyunun uçurulmasıyla elde edilir. "Katı pekmez" tatlı cıvık pekmeze maya katılarak, hava emdirilip ağartılmış pekmezdır. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı 25 kg pekmez için 5 yumurta akı, 500 g pudra şekeri ve 500 g eski pekmezden oluşan bir maya önermiştir. Maya eklenip sürekli karıştırılan pekmez bir gün bekletilir, ertesi gün tekrar iyice karıştırılır ve paketlenir (Url-3).

Pekmez beslenme açısından önemli bir üründür, bu önem içerdiği mineral maddelerden ve şekerlerden kaynaklanmaktadır. Pekmezde %50 ile 80 arasında şeker bulunmakta ve bu şekerin %80'i veya daha fazlası monosakkaritlerden oluşmaktadır. Bu nedenle de sindirim sisteminde kolaylıkla emilebilmektedir. Pekmezin hammaddesi çok farklı olabildiği için içerdiği mineral madde

miktarlarında da farklılıklar olabilmektedir. Üzüm pekmezinin iyi bir demir kaynağı olduğu bilinmektedir. Ayrıca, farklı pekmez çeşitlerinin kalsiyum, fosfor, potasyum, magnezyum gibi mineral maddeler açısından da zengin olduğu belirtilmiştir (Nas ve Nas, 1987).

Günlük hayatta genelde pekmezde tahin karışımı tüketilirken, pekmezle haşhaş karışımı da azda olsa tüketim alanı bulmaktadır. Haşhaş ezmesi pekmez veya şekerle karıştırılıp beslenme değeri yüksek tatlılar yapılmakta, ya da haşhaşlı ekmek yapımında kullanılmaktadır. Tüketilen bu gıdanın besleyici değeri yüksek olması dolayısıyla genellikle kahvaltılarda tüketilmektedir (Url-2).

2.2. Akışkan Gıdaların Reolojik Davranışları

Reoloji terimi yunanca akmak anlamına gelen 'rheos' sözcüğünden türetilmiştir. 1929 yılında yapılan bir toplantıda Prof. E.C. Bingham bu terimi ilk kez kullanmış ve tanımını yapmıştır. Bu toplantı aynı zamanda Reoloji Derneği'nin kuruluşuna yol açmıştır. Derneğin kurulmasıyla birlikte reolojik çalışmalar hem ivme kazanmış hem de gıda dahil birçok alanda yaygınlaşmıştır (Ak, 1997).

Reoloji klasik olarak 'maddelerin deformasyonu ve akışı ile ilgilenen bilim dalı' şeklinde tanımlanır. Geniş anlamda düşünüldüğünde reoloji, dış kuvvetlerin etkisi altındaki bir cisimde meydana gelen her türlü deformasyon ve akış ile ilgilenir. Deformasyon ve akış, gıda maddelerinin üretiminden tüketimine kadar neredeyse her aşamada ve farklı biçimlerde yer aldığından reoloji gıda sektörü için büyük öneme sahiptir. Örneğin sıvıları ve yarı-katıları pompalarken, gıda işleme ekipmanı tasarımı yaparken, gıdalara şekil verirken, bir gıdayı diğerleriyle kaplarken, gıda tüketirken ve daha birçok etkinlikte reolojik özellikler önemli rol oynarlar (Ak, 1997).

Gıda reolojisi ise gıda sanayindeki hammaddelerin, ara ürünlerin ve son ürünlerin deformasyonu ve akışı ile ilgilenen bilimdir. Gıda bilimi ve teknolojisi açısından gıda reolojisi büyük önem taşımaktadır. Gıda sanayinde reolojik veriler, boru hatlarında pompa, ekstrüder, karıştırıcı, kaplama makinesi, ısı değiştirici ve homojenizatör gibi ekipmanların veya bu ekipmanlarla ilgili proseslerin tasarımı için gerekli olan mühendislik hesaplamaları, ürün geliştirme esnasında bileşen fonksiyonlarının belirlenmesi, ara ve son ürün kalite kontrolü, raf ömrü testleri,

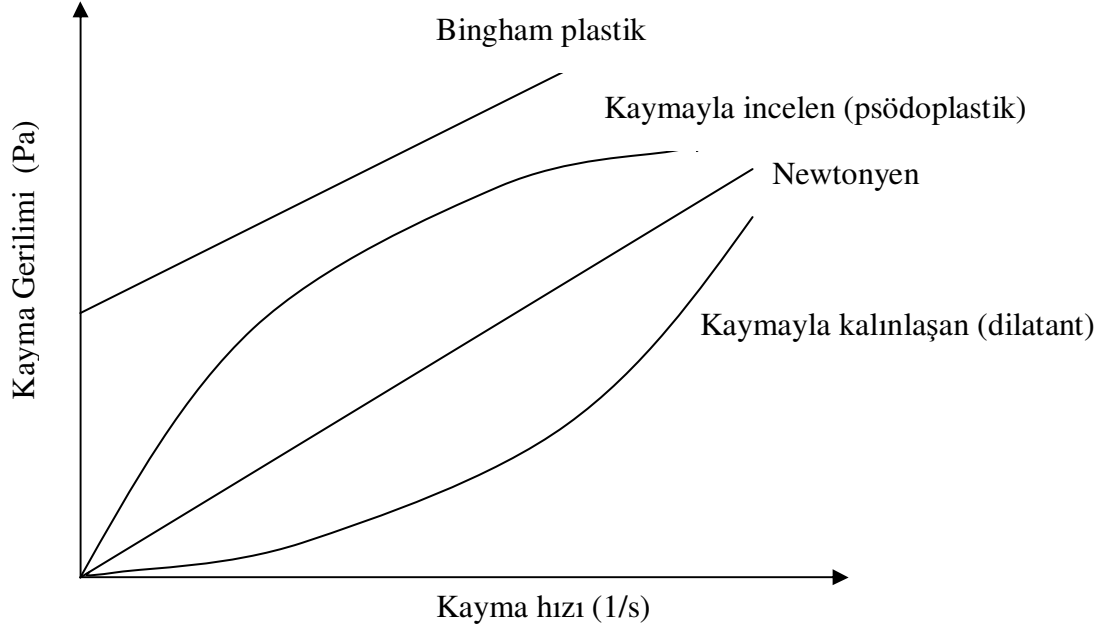
duyusal verilerle ilişkili olarak gıda yapısının değerlendirilmesi, reolojik esaslı bileşen denklemlerinin analizi gibi birçok alanda ihtiyaç duyulmaktadır (Rao, 1977; Steffe, 1996).

Reolojik özellikler gıdaların duyusal görünüş özellikleriyle ilgili olup bazı yapısal ve mekanik özellikler görünüşten anlaşılabilir. Reoloji gıdanın lezzeti ile de ilgilidir, çünkü gıdanın ağızda dağılma hızı ve şekli lezzetin algılanmasını etkilemektedir. Ayrıca, reoloji gıdaların dokuları ile önemli düzeyde ilgili olup gıdalar tüketilirken el ve ağız ile algılanan deformasyon ve akış özellikleri ürünün dokusal özellikleri hakkında fikir vermektedir (Erkek, 2003).

Akışkan gıdaların akış özellikleri sıcaklık, kayma hızı, kayma hızının uygulama süresi, su aktivitesi, basınç, konsantrasyon, pH, yıkılma stresi varlığı, nişasta jelinizasyonu, retrogradasyon, protein denatürasyonu, karamelizasyon gibi dönüşüm kinetikleri, mikrobiyal aktivite seviyesi, sıvı ortamın homojenliği, molekül ağırlığı, parçacık boyutu gibi faktörlerden önemli derece etkilenmektedirler (Ak, 1997; Erkek, 2003).

Reoloji deformasyon ve akış olarak ikiye ayrılır. Deformasyon kısmı maddenin elastik ve elastik olmayan davranışları incelerken, akış kısmı maddenin plastik ve viskoz davranışlarını inceler (Şahin ve Şumnu, 2006). Akışkanlar Newtonyen (Newtonian) ve Newtonyen-dışı (Non-Newtonian) akışkanlar olarak ikiye ayrılırken, Newtonyen-dışı akışkanlarda zamandan bağımsız ve zamana bağımlı akışkanlar olarak iki gruba ayrılmaktadır (Ak, 1997).

Akışkanların reolojik davranışlarını sınıflandırılırken genellikle, kayma hızına karşılık çizilen kayma gerilimi grafiği üzerinden gidilir ve elde edilen akış eğrisi çeşitli fonksiyonel bağıntılarla matematiksel olarak modellenir (Steffe, 1996). Şekil 2.1'de çeşitli akışkanlar için akış eğrileri verilmiştir.



Şekil 2.1: Çeşitli akışkan tipleri için kayma gerilimi ile kayma hızı arasındaki ilişkiyi gösteren akış eğrileri (Steffe, 1996).

2.2.1. Newtonyen davranış

Eşitlik 2.1’de verilen ifade Newton viskozite yasası olarak bilinir.

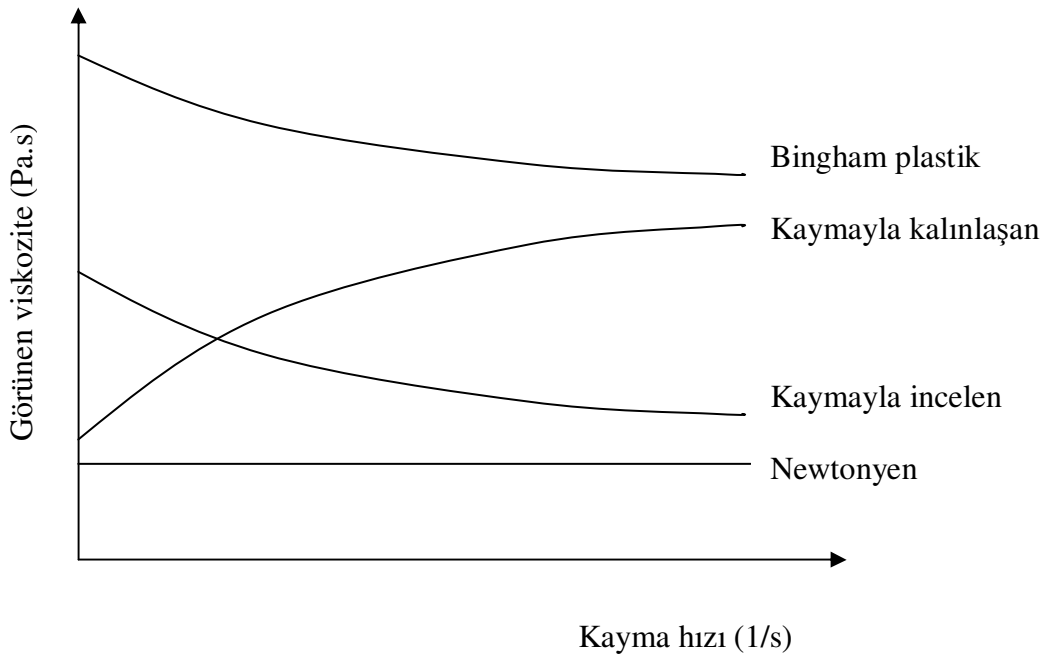
$$\tau = \mu \dot{\gamma} \quad (2.1)$$

Bu denklemde, τ kayma gerilimini (Pa), μ viskoziteyi (Pa.s) ve $\dot{\gamma}$ kayma hızını (s^{-1}) göstermektedir.

Newton’un viskozite yasasına (Eşitlik 1) uyan akışkanlara, başka bir ifadeyle, kayma gerilimi ile kayma hızı arasındaki ilişki, yani akış grafiği, doğrusal olan akışkanlara Newtonyen akışkan denilir. Viskozite akışkanın molekülleri arasındaki iç sürtünme veya akışkanın akmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır, kayma geriliminin kayma hızına bölünmesiyle bulunur, Newtonyen akışkanların viskozitesi kayma hızından bağımsızdır (Şekil 2), Newtonyen akışkanların viskozitesi sadece sıcaklık ve kompozisyonla değişir (Rao, 1995; Steffe, 1996; Şahin ve Şumnu, 2006). Newtonyen davranış gösteren gıdalara örnek olarak su, şuruplar, bitkisel yağlar, şarap, durutulmuş meyve suları, süt, birçok bal ve bazı çorbalar sıralanabilir (Ak, 1997).

2.2.2. Newtonyen-dışı davranışlar

Akış özellikleri kayma hızından etkilenen akışkanlara Newtonyen-dışı akışkan denir. Bu akışkanlar Newtonun viskozite yasasına uymazlar. Newtonyen akışkanların viskozitesi kayma hızından bağımsızken, bu tip akışkanlar için sabit bir viskozite değerinden söz etmek mümkün değildir. Bu nedenle Newtonyen-dışı akışkanların belli bir kayma hızında görünen viskozitelerinden (apparent viscosity) bahsedilir. Görünen viskozite (η_{app}) kayma stresinin kayma hızına bölünmesiyle elde edilir (Şahin ve Şumnu, 2006). Şekil 2.2’de çeşitli akışkan tipleri için görünen viskozitenin kayma hızı ile değişimi verilmiştir. Reolojik davranışlar maddenin yapısal özelliklerinin bir yansıması olduğundan genelde emülsiyon, süspansiyon veya yüksek molekül ağırlıklı madde çözeltisi halindeki akışkanlar Newtonyen-dışı davranış gösterirler (Ak,1997).



Şekil 2.2: Çeşitli akışkanlar için görünen viskozitenin kayma hızı ile değişimi (Steffe,1996).

2.2.2.1. Zamandan bağımsız Newtonyen-dışı davranışlar

Bu akışkanlar, kaymayla incelen (psödoplastik) ve kaymayla kalınlaşan davranış gösteren akışkanlar olarak iki grupta incelenirler ve bunların davranışları üs yasası modeli (Power Law: Ostwald-de Waele eşitliği) ile (Eşitlik 2.2) ifade edilir.

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad (2.2)$$

Bu denklemde, K kıvam indeksini (Pa.s^n) ve n akış davranış indeksini (boyutsuz) göstermektedir. Akış davranış indeksi Newtonyen davranıştan sapmayı gösterir ve akışkanlar n değerine göre sınıflandırılır. Bu sınıflandırmaya göre akışkanlar; $n = 1$ ise Newtonyen, $0 < n < 1$ ise kaymayla incelen (psödoplastik) ve $n > 1$ kaymayla kalınlaşan özelliğe sahiptir (Steffe, 1996; Rao, 1995). Kıvam indeksi ve akış davranış indeksi sıcaklıktan ve gıdanın kompozisyonundan etkilenmektedir (Lokumcu ve Ak, 2000).

2.2.2.1.1. Kaymayla incelen (Psödoplastik) davranış

Psödoplastik veya kaymayla incelen (shear thinning) akışkanlarda kayma hızı arttıkça görünen viskozite azalır fakat kayma stresi (gerilimi) artar (Steffe, 1996; Şahin ve Şumnu, 2006).

Psödoplastik davranışa gıdalarda sık rastlanır. Bu tür, sıvıların viskoziteleri kayma hızı arttıkça azalır, yani kayma hızı arttıkça materyalin akmaya karşı direnci düşer. Yoğurt, salata sosları, elma sosu, domates salçası, konsantre portakal suyu, muz püresi, bazı sebze çorbaları, puding ve birçok gum çözeltilisinin psödoplastik davranış sergilediği belirtilmiştir (Ak, 1997).

2.2.2.1.2. Kaymayla kalınlaşan (Dilatent) davranış

Kayma ile kalınlaşan (shear thickening) akışkanlarda kayma hızı arttıkça görünen viskozite ve kayma stresi artar (Steffe, 1996; Şahin ve Şumnu, 2006). Bu akışkan davranışına çok nadir olarak karşılaşılar. Kaymayla kalınlaşan davranış gösteren akışkanlara jelatinize olmuş nişasta süspansiyonları örnek olarak verilebilir (Rao, 1999). Ayrıca, fıstık ezmesi ve sosis/sucuk eti karışımının da dilatent davrandığı belirtilmiştir (Ak, 1997).

2.2.2.1.3. Plastik davranışlar

Plastik akışkanlar, Bingham plastik akışkanlar ve Bingham olmayan plastik akışkanlar olarak iki grupta incelenebilmektedir. Bingham olmayan plastik akışkanlar, Herschel-Bulkley ve Casson modelleri gibi diğer modellere uygun davranış gösteren plastik akışkanları kapsamaktadır (Şahin ve Şumnu, 2006).

2.2.2.1.3.1 Bingham plastik davranış

Bu davranışta akışkana uygulanan kayma gerilimi (stres), belirli bir değeri aşmadan akış gerçekleşmez. Akışın başlaması için gereken bu minimum gerilime, yıkılma stresi (yield stress) denilmektedir. Bingham plastik davranışı gösteren akışkanlar yıkılma stresinden küçük olan streslerde (durgun halde iken) bir katı gibi davranırlar. Ancak uygulanan stres bu katı yapıyı kırmaya ve harekete geçirmeye yetecek düzeye ulaştığında ise akışkan Newtonyen sıvı gibi davranır (Ak, 1997).

Bingham plastik davranış Eşitlik 2.3'te verilen denklemle ifade edilmektedir.

$$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma} \quad (\tau_0 > 0) \quad (2.3)$$

Bu denklemde τ_0 yıkılma stresini (yield stress) ifade etmektedir. Dervişoğlu and Kokini (1986) düşük kayma hızları aralığında ketçap, hardal, elma sosu ve domates salçasının Bingham plastik davranış gösterdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca diş macunu da Bingham plastik davranış gösteren akışkanlardandır (Steffe, 1996).

2.2.2.1.3.2 Herschel-Bulkley davranış

Bu davranış aslında psödoplastik davranışın yıkılma stresi içeren halidir. Belirli bir stres düzeyine kadar akmayan malzeme yıkılma stresi aşıldıktan sonra psödoplastik davranmaktadır (Ak, 1997). Bu tip akışkanlarda kayma hızı arttıkça kayma stresi artmakta ve görünen viskozite azalmaktadır. Herschel-Bulkley akışkanlar da Bingham plastik akışkanlar gibi bir yıkılma stresi değerine sahiptir (Steffe, 1996).

Herschel-Bulkley davranış Eşitlik 2.4'te verilen denklemle ifade edilmektedir.

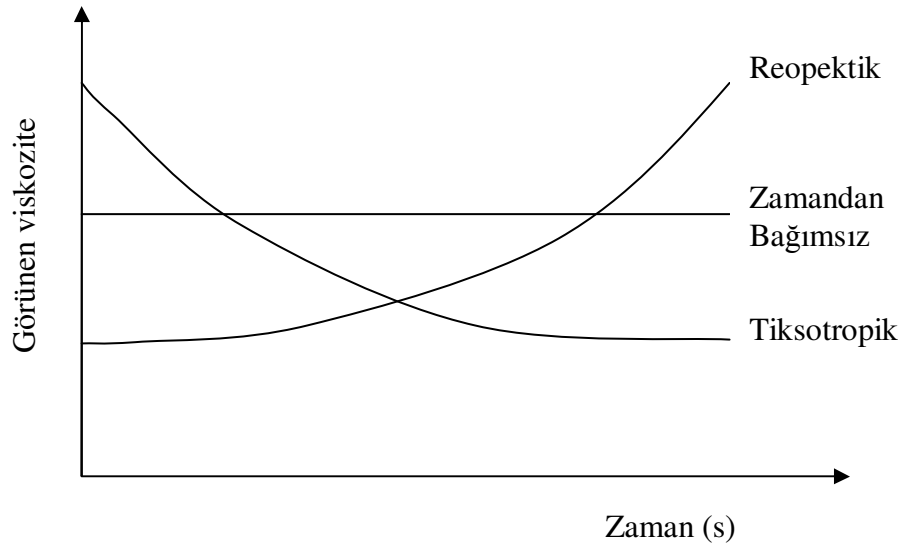
$$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n \quad (0 < n < \infty) \quad (2.4)$$

Dervişoğlu ve Kokini (1986), düşük kayma hızlarında Bingham plastik davranış gösterdiğini belirttikleri ketçap, hardal, elma sosu ve domates salçasının yüksek kayma hızlarında Herschel-Bulkley davranış gösterdiğini bildirmişlerdir. Ayrıca, üzüm ezmesi, mayonez Herschel-Bulkley davranış gösteren gıdalar arasındadır (Steffe, 1996; Ak,1997).

2.2.2.2. Zamana bağımlı Newtonyen-dışı davranışlar

2.2.2.2.1. Tiksotropik davranış

Şekil 2.3'te zamana bağımlı reolojik davranış gösteren akışkanlar için sabit kayma hızında görünen viskozitenin zamanla değişim grafikleri verilmiştir. Tiksotropik akışkanlarda sabit bir kayma hızında viskozite zamanla azalmakta, reopektik akışkanlarda ise tam tersine artmaktadır. Başka bir deyişle tiksotropik zamana bağımlı zayıflama, reopektik ise zamana bağımlı güçlenmedir (Rao, 1995; Steffe, 1996; Şahin ve Şumnu, 2006).



Şekil 2.3: Zamana bağlı reolojik davranışlar için sabit kayma hızında viskozitenin zamanla değişimi (Ak, 1997).

Tiksotropik materyaller deformasyondan sonra bir süre dinlenmeye bırakılırsa başlangıçtaki yapılarını ya tamamen ya da kısmen geri kazanabilirler. Tiksotropik davranan gıdalara örnek domates salçası, yoğurt, bebek maması, elma sosu, mayonez, ketçap, çeşitli soslar, yumurta beyazı, mango nektarı, erimiş çikolata ve

sürülebilir peynir sayılabilir (Ak 1997; Rao, 1977; Steffe, 1996; Schmitt ve diğ., 1998; Bhattacharya, 1999; Howard, 1999).

2.2.2.2. Reopektik davranış

Tiksotropik davranışın tersi bir davranış olan reopektik davranışa daha az rastlanmaktadır. Reopektik maddeler de dinlenmeye bırakıldığında orijinal yapılarına ve reolojik özelliklerine tamamen veya kısmen de dönebilirler. Çırpılmış yumurta akının ve kremanın reopektik davranış gösterdiği bildirilmiştir (Ak, 1997). Ayrıca %25 tahin-%75 pekmez karışımının reopektik davranış gösterdiği belirtilmiştir (Lokumcu ve Ak, 2000).

Akışkanların zamana bağımlı davranışlarını incelemek için kullanılan metotlardan biri sabit kayma hızında viskozitenin zamana bağlı olarak ölçülmesidir. Böylece, Şekil 2.3 benzeri grafikler elde edilebilir. Diğer bir metot ise, kayma hızının önce kademeli olarak artırılıp (artan hız sırası) sonra da azaltılarak (azalan hız sırası) kayma geriliminin ölçümüdür. Eğer ölçülen kayma gerilimi değerleri arasında farklılıklar oluşur başka bir ifade ile histerisiz halkası oluşur ise akışkan zamana bağımlı davranışa sahiptir. Histerisiz halkası azalan hız sırası ölçümlerinde kayma gerilimi değerlerinin azalmasından dolayı meydana geliyor ise akışkan tiksotropik, artmasından dolayı meydana geliyor ise reopektik olarak tanımlanır (Ak, 1997).

2.3. Reolojik Davranışları Etkileyen Faktörler

2.3.1. Sıcaklığın etkisi

Viskozite (ya da kıvamlılık katsayısı) ve sıcaklık arasında genelde ters ilişki bulunmaktadır. Sıcaklıktaki artış karışımların viskozitesinde önemli bir azalışa neden olmaktadır. Gıda muhafaza işlemlerin birçoğunda sıcaklık uygulaması yapılmaktadır. Akış davranış indeksi olan n genellikle sıcaklıktan etkilenmeyip sabit kalırken, kıvamlılık katsayısı (K) üzerine sıcaklığın etkisi Arrhenius tipi eşitlik (Eşitlik 2.5) ile açıklanmaktadır (Arslan ve diğ., 2005; Akbulut ve diğ., 2008).

$$K = K_T e^{E_a/RT} \quad (2.5)$$

Denklemden, K_T denklem sabiti, E_a aktivasyon enerjisi (J/kmol), R evrensel gaz sabiti (8314,34 J/kmol.K), T ise mutlak sıcaklıktır (K). Aktivasyon enerjisi miktarı akış gerçekleşmeden önceki enerji engeli olarak tanımlanabilir (Arslan ve diğ., 2005; Akbulut ve diğ., 2008).

2.3.2. Konsantrasyonun etkisi

Sabit sıcaklıkta, çözünen veya çözünmeyen kuru madde konsantrasyonu ile viskozite (ya da kıvamlılık katsayısı) arasında doğrusal olmayan bir ilişki vardır. Kuru madde konsantrasyonu ile viskozite arasındaki bu ilişki genelde üstel model (Eşitlik 2.6) veya üs yasası modeli (Eşitlik 2.7) ile ifade edilmektedir (Arslan ve diğ., 2005; Akbulut ve diğ., 2008).

$$K = K_{c_1} e^{a_1 c} \quad (2.6)$$

$$K = K_{c_2} c^{a_2} \quad (2.7)$$

Denklemlerde, K kıvamlılık katsayısını, K_{c_1} , K_{c_2} , a_1 , a_2 orantısız sabitleri temsil etmektedir (Arslan ve diğ., 2005; Akbulut ve diğ., 2008).

2.3.3. Konsantrasyonun aktivasyon enerjisi üzerine etkisi

Aktivasyon enerjisinin kuru madde konsantrasyonu ile değişimi de üstel model (Eşitlik 2.8) veya üs yasası modeli (Eşitlik 2.9) ile ifade edilmektedir,

$$E_a = A_1 e^{b_1 c} \quad (2.8)$$

$$E_a = A_2 c^{b_2} \quad (2.9)$$

E_a aktivasyon enerjisini, A_1 , A_2 , b_1 , b_2 katsayıları ifade etmektedir (Arslan ve diğ., 2005; Akbulut ve diğ., 2008).

2.3.4. Konsantrasyon ve sıcaklığın birlikte etkisi

Kuru madde konsantrasyonundaki artış ve sıcaklıktaki azalış viskozitede (ya da kıvamlılık katsayısında) artmaya neden olmaktadır. Bu ilişki aşağıda verilen denklemlerle ifade edilebilmektedir.

$$K = K_1 \cdot e^{(E_a / R.T + d_1 \cdot C)} \quad (2.10)$$

$$K = K_2 \cdot e^{(E_a / R.T)} C^{d_2} \quad (2.11)$$

K kıvamlılık katsayısı, E_a aktivasyon enerjisi (J/kmol), R evrensel gaz sabiti (J/kmol.K), T ise mutlak sıcaklık (K), C katma yüzdesi, K_1 , K_2 , d_1 ve d_2 sabit sayılardır (Akbulut ve diğ., 2008).

2.3.5. Parçacık boyutu ve miktarının etkisi

Birçok sıvı gıda parçacık içermektedir. Bu tür katı-sıvı karışımı gıdalar, pompalama, karıştırma ve ısıtma işlemlerinde heterojen bir akış davranışı göstermektedirler. Bu gıdalar iki ayrı fazın karışımı olduğu için, katının ve sıvının ayrı ayrı gösterdikleri akış davranışından tümüyle farklı özelliklere sahiptirler (Pordesimo ve diğ., 1994).

Bhamidipati ve Singh (1990), domates sosu ile yaptıkları çalışmada kuru madde ve parçacık miktarı arttıkça kıvam indeksinin arttığını ve akış davranış indeksinin azaldığını belirtmişlerdir. Pordesimo ve diğ. (1994) kaba parçacık içeren gıda karışımlarında parçacık boyutu ve konsantrasyonu arttıkça kıvam indeksinin arttığı ve akış davranış indeksinin azaldığını bildirmişlerdir. Domates konsantrelerinden hazırlanan süspansiyonlarda da ortalama parçacık büyüklüğü arttıkça görünen viskozitenin ve yıkılma stresinin azaldığı tespit edilmiştir (Den Ouden ve Van Vliet, 1997).

Lokumcu-Altay ve Ak (2005), sıcaklık (20-70°C), kayma hızı (0.13–500 s⁻¹) ve bileşimin (%10-30 katı parçacık içeriği) tahinin reolojik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Tahin yağı ayrıştırılarak farklı katı parçacık içeriğine sahip süspansiyonlar elde edilmiştir. Tahin yağının reolojisinin de araştırıldığı çalışmada, tahin yağının Newtonyen davrandığı ve viskozitesinin sıcaklıktan yüksek derecede etkilendiği ifade edilmiştir. Artan katı parçacık içeriğiyle süspansiyonların viskozitesinin arttığı, %20 katı parçacık içeriğine kadar Newtonyen davrandığı, bu değer üzerindeki katı parçacık konsantrasyonlarında ve orijinal tahinin psödoplastik davranış gösterdiğini belirtilmiştir.

2.4. Viskozite Ölçüm Yöntemleri

Moleküllü oluşturan atomların arasında, elektronların eşit paylaşılmadığı iyonik veya eşit paylaşıldığı kovalent bağlar bulunur. Moleküller arasında ise ikincil bağ diye nitelendirilen Van der Waals kuvvetleriyle etkileşim kurulur. Çok yüksek sıcaklıklara erişmedikçe iyonik ve kovalent bağlar, akım süresinde oluşan fiziksel değişimlerden etkilenmez. Fakat, moleküller arasındaki Van der Waals kuvvetleri akış sırasında oluşan normal gerilim ve kayma gerilimine karşı son derece duyarlıdır ve akışkanın akmaya karşı gösterdiği direncin kaynağını oluşturur. Sıvı molekülleri birbirleri üzerinde kayarlar ve birbirlerine göre bağıl hız kazanmalarını engellemeye çalışırlar. Dolayısıyla moleküller arasında bir sürtünme söz konusu olur. Bu iç sürtünme ile akışkan akmaya karşı direnç kazanır. Viskozite, akışkanın akmaya karşı direncinin bir ölçüsü olarak değerlendirilir (Peker ve Helvacı, 2003).

Viskozite ölçümünde uygulanan yöntem ve araçlar çok çeşitlidir. Bunlar;

1. Kapiler akış viskometreler
2. Rotasyonel viskometreler
3. Küresel cisimlerin hareket ettiği viskometrelerdir (Peker ve Helvacı, 2003).

Viskozite veya kinematik viskozite, esas olarak moleküler mekanizmayla momentum aktarımını ifade ettiğinden, ölçüm yönteminde de rejimin laminar olması, akışa karşı direncin sadece viskoziteden kaynaklanması çok önemlidir (Peker ve Helvacı, 2003).

2.4.1. Kapiler akış viskometreler

Genel olarak kapiler boru viskometreler, akışkanın geometrik şekli bilinen bir boru içinde harekete zorlandığı, çok çeşitli cihazları kapsar. Bu tip viskometrelerde kayma debisi ve kayma kuvveti arasındaki ilişki, basınç gradyeni ve akışkanın hacim olarak, boru içinde akma debisi ölçülerek elde edilir (Heldman ve Singh, 1980).

Kapilerin çapı büyük olursa akışkan hızlı akar ve türbülant akış gerçekleşebilir. Akışın laminar rejimde olması gerekmektedir. Kapiler çapın çok küçük olması durumunda ise ölçüm süresi çok uzayabilir. Fakat sonucun doğruluk oranı artar. Genelde 100-500 saniye arasında yapılan ölçümler hız ve doğruluk açısından tercih

edilir. Kapiler akış viskometreler genelde Newtonyen akışkanlarda kullanılabilir ve 0,4 ile 20,000 mPa.s viskozite aralığında ölçüm yapılabilir (Steffe, 1996).

Kılcal bir tüp içinden akan akışkanın hacimsel debisi, basınç farkı boru çapı ve boru boyu bilindiği takdirde, viskozite belirlenir. Viskozitenin hesaplanmasında kullanılan denklem aşağıdaki gibidir;

$$\frac{\mu}{\rho} = k.t \quad (2.13)$$

Burada k viskometrenin sabitidir ve deneysel olarak bulunur, ρ akışkanın yoğunluğu ve t belli miktarda akışkanın belli bir mesafeyi kat etmesi için gereken süredir (Lewis, 1987).

Kapiler akış viskometrelerinin Ostwalt viskometresi, Cannon Fenske viskometresi, Ubbelohde viskometresi, Engler viskometresi, Saybolt viskometresi olmak üzere farklı çeşitleri bulunmaktadır (Lewis, 1987).

2.4.2. Rotasyonel viskometreler

Newtonyen ve Newtonyen olmayan akışkanların reolojik karakteristikleri için kullanılan viskometrelerdir. Newtonyen olmayan akışkanların karakterize edilmesi farklı kayma hızlarında viskozite ölçülmesi ile mümkün olabilmektedir. Rotasyonel viskometrelerde kayma hızı başlığın rotasyon hızı ile orantılıdır. Farklı rotasyon hızlarında ölçüm yapmak sureti ile değişik kayma hızı değerlerine karşılık kayma gerilimi değerlerinin ölçümü mümkün olabilmektedir. Böylece akışkanın reolojik karakterizasyonu yapılabilmektedir. Bazı cihazlar ayrıca sıvının viskometresinin sıcaklıkla değişimini inceleme olanağı veren donanıma sahiptir (Lewis, 1987).

Rotasyonel viskometreler ölçüm sistemindeki farklılıklardan dolayı tek başlıklı (single spindle) viskometreler, konsantrik (ortak merkezli) silindir viskometreler, koni-plaka ve paralel-plaka viskometreler olarak dört farklı çeşide ayrılırlar (Lewis, 1987).

2.4.3. Küresel cisimlerin hareket ettiği viskometreler

Düşen küre viskometreleri, yükselen balon viskometreleri olmak üzere iki çeşidi bulunmaktadır. Düşen küre viskometrelerinde viskozitesi belirlenecek sıvı uzun tüp

içine konulur. Tüp boyunca sıvı içine bırakılan kürenin iki nokta arasındaki mesafeyi alması için gereken zaman ölçülür. Cisim sabit hızda aşağıya doğru düşmeye devam eder. Bu sabit hıza 'terminal hız' denir. Terminal hız sıvının viskozitesinin belirlenmesinde kullanılır. Yükselen balon viskometreleri ile belli bir çaptaki hava kabarcığının ölçü sıvısı ile doldurulmuş olan boru içinde bu borunun h yüksekliğini alması için gereken zamanı tespit prensibine göre ölçüm yapılmaktadır (Peker ve Helvacı, 2003; Şahin ve Şumnu, 2006).

2.5. Ezme, Püre ve Konsantre Gıda Ürünlerinin Reolojisi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Arslan ve diğ. (2005), yaptıkları çalışmada tahin pekmez karışımlarının reolojisini incelemişlerdir. %20, 23, 26, 29, 32 tahin konsantrasyonlarında homojen tahin-pekmez karışımları hazırlamış ve rotasyonel viskometre kullanılarak 35, 43, 50, 58 ve 65°C'de reolojik özelliklerin ölçümü yapılmıştır ve karışımın psödoplastik bir akışkan gibi davrandığı ifade edilmiştir. Tahin konsantrasyonu arttıkça viskozitenin arttığı ve buna karışımında artan yağ damlacıklarının birleşerek yağ kümelerinin oluşturmasının neden olduğu ifade edilmiştir. Aynı zamanda tahin miktarı arttıkça katı bileşen miktarındaki artışın partiküller arası interaksiyon ve moleküller arası hareketin artmasına ve sonuç olarak viskozite yükselmesine neden olduğu belirtilmiştir.

Abu-Jdayil ve diğ. (2002), tahin üzerinde yaptıkları çalışmada 5 ile 45°C arasında ölçümler yapmışlardır. Tahinin kayma gerilimi ile kayma hızı arasındaki ilişkinin doğrusal olmadığı, psödoplastik bir davranışın görüldüğü ifade edilmiştir. Kıvamlilik katsayısının sıcaklıkla beraber azaldığı, akış davranış indeksinin arttığı belirtilmiştir. Aynı zamanda tahinin farklı sabit kayma gerilimi değerlerinde zamana bağlı viskozite ölçümlerini gerçekleştirilmiş, zaman ile tahinin kayma geriliminin azaldığı yani tiksotropik davranış gösterdiği ifade edilmiştir.

Çiftçi ve diğ. (2007), laboratuvar ortamında 150°C'de 100 dakika boyunca kavrulan susam taneleri öğütülerek hazırlanan tahinin reolojik analizini gerçekleştirmişlerdir. Örnekler 5 dakika boyunca dinlemeye bırakıldıktan sonra 15, 30, 40°C'de ölçümleri yapmıştır. Tahinin psödoplastik davranış gösterdiği, K değerinin 0,92-24,29 (Pa.s) arasında ve n değerinin ise 0,68-0,93 arasında değişim gösterdiği belirtilmiştir.

Sıcaklık artışıyla birlikte K değerinde azalma meydana geldiği ifade edilmiştir. Tahinde bulunan kaba parçacıkların Newtonyen davranıştan sapmalara neden olduğu belirtilmiştir.

Abu-Jdayil (2004), şeker, sitrik asit ve tahinden oluşan halawa tahinin (tatlandırılmış susam ezmesi) 25-45°C'leri arasında akış davranış özelliklerini incelemiştir. Halawa tahinin psödoplastik davranış gösterdiği, K değerinin 31,6 ile 131,6 Pa.sⁿ arasında değiştiği ve n değerinin 0,44-0,56 arasında değiştiği ifade edilmiştir. Ayrıca, örneğin sabit kayma hızlarında 40 dakika boyunca 30 saniyede bir viskozitesi ölçülmüş ve tiksotropik davranış gösterdiği belirlenmiştir.

Akbulut ve Çoklar (2008), Konya'da yerel bir fabrikada 130°C'de kavru lan susamlardan üretilen tahin örneklerini kullanarak yaptıkları çalışmada 15, 20, 30, 40, 50, 60 ve 65°C sıcaklıklarda ölçümler yapmışlardır. Psödoplastik davranış gösterdiği belirtilen numunelerin kıvamlılık katsayısının 3,97–28,08 Pa.sⁿ arasında, akış davranış indeksinin 0,46–0,68 arasında değişim gösterdiği bulunmuş, kıvamlılık katsayısı ve akış davranış indeksinin sıcaklık artışıyla azaldığı ifade edilmiştir.

Bir başka çalışmada, susam ezmesine % 45, 50 ve 55 oranlarında hurma şurubu ilave edilmesiyle oluşan karışımların reolojik özellikleri incelenmiştir. Karışımın 25, 35, 45 ve 55°C'lerde yapılan ölçümler sonucunda psödoplastik davranış gösterdiği ve kıvamlılık katsayısının 4,11-8,2 Pa.sⁿ arasında, n değerinin 0,34-0,7 arasında değiştiği, bulunmuştur. Kıvamlılık katsayısının sıcaklık ve hurma şurubu konsantrasyonundaki artışla azaldığı, akış davranış indeksinin hurma şurubu konsantrasyonundaki artışla yükseldiği belirtilmiştir. Ayrıca, karışımların tiksotropik davrandığı ifade edilmiştir (Habibi ve diğ., 2006).

Alpaslan ve Hayta (2002), tahine %2, %4, %6 oranlarında pekmez ilave edilmesi ile elde edilen karışımların 30, 40, 50, 60, 65, 75°C'lerde de reolojik özelliklerini incelemişlerdir. Sıcaklık artışı ile birlikte moleküller bağların kırılması ve protein ve şekerlerin etkin moleküler hacimlerindeki azalmanın viskozitede azalmaya neden olduğu belirtilmiş ve tüm karışımların psödoplastik davranış gösterdiği, pekmez ilavesinin karışımın görünen viskozitesini artırdığı ifade edilmiştir.

Sengül ve diğ. (2005), dut pekmezinin 30, 40, 50, 60, 70°C’lerde 5, 10, 20, 50, 100 rpm hızlarında reolojik özellikleri belirlenmesi üzerine çalışmışlardır. Ölçümlerin sonucunda pekmezin psödoplastik davranışta bulunduğu, n değerlerinin 0,684 –0,816 ve K değerlerinin 0,904-1,966 Pa.sⁿ arasında değişim gösterdiği, sıcaklık ve hız artışı ile birlikte görünen viskozitede azalış olduğu belirtilmiştir.

Yoğurtçu ve Kamışlı (2006), iki farklı beyaz dut, siyah dut, iki farklı beyaz üzüm, siyah üzüm ve kuşburnu bitkilerinden elde edilmiş pekmezlerin reolojik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada, beyaz dut pekmezlerinin 75,40 ve 60,48, siyah dut pekmezinin 67,08, beyaz üzüm pekmezlerinin 74,22 ve 71,98, siyah üzüm pekmezinin 75,46, kuşburnu pekmezinin 39,44 °Briks değerlerine sahip oldukları belirtilmiştir. Pekmezlerin içerisinde bulunan kümelenmiş kristallerin çözünmesi ve asılı hava kabarcıklarının uzaklaşması için pekmezler 48 saat süre ile 60°C sıcaklıktaki su banyosunda bekletilmiş ve 5-30°C arasında ölçümleri yapmıştır. Kullanılan pekmezlerin psödoplastik tipte davranış gösterdiği, 60,48 °Briks değerine sahip olan beyaz dut pekmezinin en düşük viskoziteye sahip olduğu, kuşburnu pekmezinin en yüksek viskoziteye sahip olduğu belirtilmiştir. Sıcaklık artışı ile pekmezlerin görünen viskozitesin ve K değerinin azaldığı belirtilmiştir.

Kaya ve Belibağlı (2002), 82.1 °Briks değerine sahip Gaziantep pekmezinin kuru madde miktarı 72,9, 66,8, 57,2, 52,1 °Briks olan dilüsyonlarını hazırlamışlar ve bunların 10, 20, 30, 40 ve 50°C’de reolojik özelliklerini belirlemişlerdir. Katı pekmez ile dilüsyonlarının farklı davranış gösterdiği, katı pekmezin psödoplastik, dilüsyonların ise Newtonyen davranış gösterdiği ifade edilmiştir. Ayrıca, kıvamlılık katsayısının sıcaklık artışıyla beraber azaldığı belirtilmiştir.

Konya’da üretilen 72.5 °Briks değerine sahip *Juniperus drupacea* meyvesinde üretilen pekmezin ve saf su ile seyrelterek hazırlanan örneklerin 10, 20, 30, 40 ve 50°C’de 5, 10, 20, 50 ve 100 rpm hızlarında viskozite ölçümleri yapılmıştır. Sıcaklık artışıyla birlikte akış davranış indeksinde artış olduğu, konsantrasyon artışı ile akış davranış indeksinde azalma meydana geldiği belirtilmiştir. Kıvamlılık katsayısının sıcaklık artışıyla beraber azaldığı, kuru madde konsantrasyonundaki artışla ise azaldığı ifade edilmiştir (Akbulut ve diğ., 2008).

Meyankökü ekstraktının 3, 10, 20, 30, 40 ve 50 °Briks değerlerinde 10, 30, 45 ve 60°C'de 10, 20, 50 ve 100 rpm hızlarında viskozitesi ölçülmüş, tüm sıcaklık ve konsantrasyonlarda Newtonyen davranış gösterdiği belirtilmiştir. Viskozitenin suda çözünür bileşenlerden etkilendiği, suda çözünür bileşenler azaldıkça viskozitede azalma oluştuğu, bunun sebebinin de parçacıklar arası mesafenin artması sonucu birbirleriyle etkileşimlerinde meydana gelen azalma olduğu ifade edilmiştir (Maskan, 1999).

Bazı geleneksel Türk çorbaların reolojik özelliklerini belirlemek için yapılan bir çalışmada, 15, 30, 40, 50, 60 ve 70°C'lerde 5, 10, 20, 50, 100 rpm hızlarında viskozitesi ölçümü gerçekleştirilmiştir. Çorba örneği olarak, mercimek, yayla, ezogelin çorbası kullanılmış ve çorbalar Gaziantep piyasasından alınan malzemelerden pişirerek hazırlanmıştır. Çorbaların test koşulları altında psödoplastik davranış gösterdiği, n değerinin 0,30 ile 0,43 arasında değiştiği belirtilmiştir. Sıcaklığın artması ile birlikte görünen viskozitenin azaldığını ifade edilmiştir (İbanoğlu ve İbanoğlu, 1998).

Genç ve diğ. 2002, farklı boza örnekleri üzerinde yaptıkları çalışmada 10°C sabit sıcaklıkta kayma hızındaki artışla birlikte görünür viskozitede azalma olduğunu. Newtonyen-dışı, psödoplastik davranışta bulunduğunu saptamışlardır. Örneklerin kıvamlilik katsayısının 0,830-21,467 Pa.sⁿ arasında ve n değerinin ise 0,267-0,502 arasında değişim gösterdiği belirtilmiştir.

Sharoba ve diğ. (2005), Mısır ve Almanya süpermarketlerinden satın alınan toplam sekiz adet ketçap üzerinde reolojik çalışmalar yapmışlardır. Kuru madde miktarları %25 ile %35 arasında olan örneklerin, 0, 10, 20, 30, 40, 50°C'lerde yapılan ölçümlerde Newtonyen dışı Herschel-Bulkley modeline uygun davrandığı saptanmıştır.

Tiziani ve Vodovotz (2005), %1 soya proteini içeren domates suyu ile standart domates suyunun 25°C'de reolojik özelliklerini karşılaştırmışlardır. Proteinli veya proteinsiz domates sularının psödoplastik davranış gösterdikleri belirtilmiştir. Soya proteini ilavesi domates suyunun zamana bağlı davranışını etkilediği, sade domates suyunun hafif tiksotropik davranış gösterdiği, soya ilaveli olanın ise düşük kayma

hızlarında oranlarında tiksotropik davranış gösterdiği ve yüksek kayma hızlarında reopektik davranış gösterdiği ifade edilmiştir.

Altan ve diğ. (2005), filtre edilen gilaboru suyundan, dönen vakum evaporatör kullanılarak farklı konsantrelerde (59,7, 56,3, 53,1, 43,0 ve 35 °Brix) gilaboru konsantreleri hazırlamışlar ve bunların 5 ile 60°C arasında reolojik özelliklerini incelemişlerdir. Gilaboru örneklerinin psödoplastik ve tiksotropik davranış gösterdiği saptanmıştır.

Bir başka çalışmada, fındık ezmesinin 10, 45, 55°C'de 1-100 s⁻¹ kayma hızı aralığında psödoplastik davranış gösterdiği, akış davranışlarının sıcaklığa bağlı olduğu, sıcaklıkta oluşan yaklaşık 15°C'lik artış viskozitede %46'lık azalmaya neden olduğu belirtilmiştir (Ercan ve Dervişoğlu, 1998).

3. MATERYAL ve METOT

Araştırmada üzüm pekmezi (Tunas, Gaziantep) ve gri-mavi renkli haşhaş tohumlarından elde edilen siyah renkli haşhaş tohumu ezmesi kullanılmış olup bu ürünler Denizli piyasasından temin edilmiştir.

3.1. Kuru Madde Tayini

Suda çözünebilir katı madde oranı, Cemeroğlu (1992) tarafından tanımlanan yöntemeye göre refraktometre cihazı kullanılarak 20°C’de tespit edilmiştir.

3.2. Yağ Tayini

Yağ tayini soxhelet cihazı kullanılarak Nas ve diğ., (2001)’de belirtilen metoda göre yapılmıştır.

3.3. Örnek Hazırlama

Araştırmada haşhaş tohumu ezmesi, üzüm pekmezi ile %10, 15, 20, 25, 30, 35 ve 40 ağırlık oranlarında haşhaş tohumu ezmesi içeren haşhaş tohumu ezmesi-pekmez karışımları kullanılmıştır. Örneklere homojen hale gelmesi için tartım sonrasında cam çubuk ile karıştırma işlemi uygulanmış ve beklemeden ölçümler yapılmıştır.

3.4. Reolojik Ölçümler

Haşhaş tohumu ezmesi, pekmez ve haşhaş tohumu ezmesi-pekmez karışımlarının reolojik özelliklerinin ölçümleri Brookfield marka RVDV-II model rotasyonel viskometre, SC4-28 spindle, SC4-13R örnek kabı, SC4-64Y küçük örnek adaptörü ve SC4-45Y ısı ceketi kullanılarak yapılmıştır. Ölçümlerin istenilen sıcaklıkta yapılabilmesi için sirkülasyonlu su banyosu (Polyscience) kullanılmıştır. Cihaza numune yerleştirildikten sonra numunenin ayarlanan sıcaklığa gelebilmesi için 10 dakika beklendikten sonra ölçüme başlanmıştır. Bu sürenin yeterli olduğu viskometrenin sıcaklık probu ile kontrol edilerek belirlenmiştir.

Reolojik analizler iki bölümde gerçekeştirilmiştir. İlk bölümde örneklerin 10, 17,5, 25, 32,5 ve 40°C olmak üzere beş farklı sabit sıcaklıkta kayma hızı–kayma gerilimi ilişkileri belirlenmiştir. Ölçümler 0,5 ile 200 rpm aralığında örneğine göre belirlenen 8-10 tane dönme hızı uygulanarak gerçekeştirilmiştir. Karışımlarda önce hız

kademeli olarak artırılarak (artan hız sırası) sonra da azaltılarak (azalan hız sırası) ölçümleri yapılmıştır. Böylece karışımların histerisiz döngüleri de elde edilmiştir. Pekmez ve haşhaş tohumu ezmesi için ise sadece artan hız sırası ile ölçüm yapılmıştır. Viskometre başlığının dönme hızları (rpm) kullanılan örneğe bağlı olarak cihazın maksimum ve minimum okuma değerlerinin arasında kalacak şekilde belirlenmiştir. Hesaplamalarda ölçüm başlangıcından sonraki 20-60 saniyeler arasındaki 3 okuma değerinin ortalaması kullanılmıştır. Her bir koşul için 2 ölçüm gerçekleştirilmiştir.

İkinci bölümde karışımların zamana bağımlı reolojik davranışını belirlemek amacıyla, %10 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın 10°C'de 28 ve 33.6 1/s sabit kayma hızlarında ve 40°C'de 28 ve 50.4 1/s sabit kayma hızlarında 30 daki boyunca, %40 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın ise 10 °C'de 0.56 ve 1.12 1/s sabit kayma hızlarında ve 40°C'de 1.12 ve 2.8 1/s sabit kayma hızlarında 85 dakika boyunca viskozitesinin ölçümü yapılarak örneklerin zamana bağımlılığı reolojik davranışı incelenmiştir.

Viskometreden % tork değeri okunmuş ve bu değerler kullanılarak reolojik parametreler aşağıda verilen denklemler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Viskozite (mPa.s)} = 5000 \times \text{Tk} / \text{RPM} \quad (3.1)$$

$$\text{Kayma hızı (1/s)} = 0,28 \times \text{RPM} \quad (3.2)$$

$$\text{Kayma gerilimi (mPa)} = 1400 \times \text{Tk} \quad (3.3)$$

$$\text{Görünen Viskozite (mPa.s)} = \text{Kayma gerilimi} / \text{Kayma hızı} \quad (3.4)$$

Bu denklemlerde, Tk cihazda okunan % tork değerini, RPM ölçüm başlığının dakikadaki dönme hızını (rpm) ifade etmektedir.

3.5. Reolojik Modellemeler ve Veri Analizi

Artan hız ve azalan hız sırasına göre gerçekleştirilen ölçümler sonucunda elde edilen veriler ayrı ayrı kullanılarak Newton (Eşitlik 2.1) ve üs yasası (Eşitlik 2.2), modellerine uygunlukları araştırılmıştır. Reolojik parametrelere, sıcaklığın etkisi Arrhenius tipi eşitlik (Eşitlik 2.5), haşhaş tohumu ezmesi konsantrasyonunun etkisi üstel (Eşitlik 2.6) ve üs yasası (Eşitlik 2.7) modelleri, konsantrasyonun ve sıcaklığın birlikte etkisi Eşitlik 2.10 ve Eşitlik 2.11 kullanılarak araştırılmıştır. Eşitliklerin logaritması alınarak doğrusallaştırıldıktan sonra, doğrusal regresyon analizi yapılarak modellerin katsayıları bulunmuştur. Modellerin deney sonuçlarını temsil etme oranları R^2 ve ortalama mutlak sapma (OMS) (Eşitlik 3.5) değerleri karşılaştırılarak belirlenmiştir.

$$OMS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_{\text{deney}} - y_{\text{model}}}{y_{\text{deney}}} \right| \times 100 \quad (3.5)$$

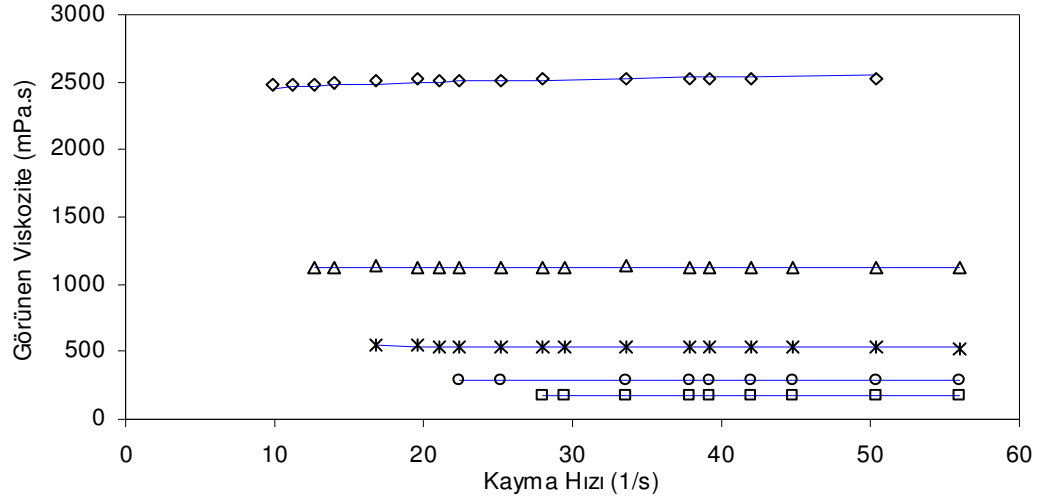
Bu denklemde, y ; deneylerden ve model denkleminde elde edilen değerleri, n ; kullanılan veri sayısını ifade eder. Hesaplamalar Microsoft Excel 2003 kullanılarak yapılmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Kullanılan üzüm pekmezi örneğinin kuru madde içeriği 73.3°Briks ve haşhaş tohumu ezmesinin yağ içerdiği %48,1 olarak tespit edilmiştir.

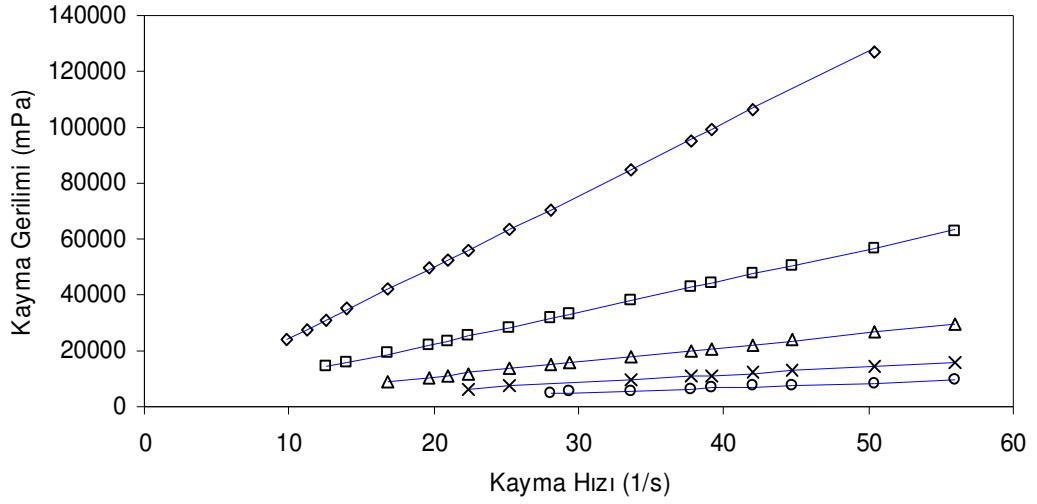
4.1. Zamandan Bağımsız Reolojik Özellikler

Kullanılan üzüm pekmezinin 10, 17,5, 25, 32,5 ve 40°C’lerde görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi ve Newton modelinin sonuçları Şekil 4.1’de verilmiştir. Kullanılan üzüm pekmezinin viskozitesinin kayma hızındaki artıştan etkilenmediği saptanmıştır.



Şekil 4.1 : Üzüm pekmezinin farklı sıcaklıklarda görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi: (◇) 10°C; (Δ) 17,5°C; (*) 25°C; (○) 32,5°C; (□) 40°C; (—) Newton modeli.

Artan hız sırası ile yapılan ölçümler sonucunda pekmez için belirlenen kayma gerilimi ile kayma hızı arasındaki ilişki Şekil 4.2’de verilmiştir. Tüm sıcaklıklar için pekmezin kayma gerilimi ile kayma hızı arasındaki ilişkinin doğrusal olduğu dolayısıyla Newtonyen bir davranış sergilediği tespit edilmiştir.



Şekil 4.2 : Üzüm pekmezinin farklı sıcaklıklardaki akış eğrileri (artan hız sırası ölçümleri): (◇) 10°C, (□) 17,5°C, (Δ) 25°C, (×) 32,5°C, (○) 40°C, (—)Newton modeli.

Üzüm pekmezinin Newton ve üs yasası modelleri için hesaplanan reolojik sabitler sırasıyla Tablo 4.1 ve 4.2’de verilmiştir. Her iki modelin R^2 değerleri de 0,99’un üzerinde bulunmuştur. Ayrıca, üs yasası modelinden hesaplanan n değerleri 0,97 ile 1,02 arasında değiştiği saptanmıştır. Bu sonuçlara göre pekmezin Newtonyen davrandığını kabul edilebilmektedir (Tablo 4.1). Sıcaklıktaki artışla viskozitede azalma meydana gelmiştir, sıcaklığın 10°C’den 40°C’ye çıkmasıyla viskozite 2,5 Pa.s’den 0,17 Pa.s’ye düşmüştür.

Yoğurtçu ve Kamışlı (2006), 75.46°Briks değerine sahip siyah üzüm pekmezinin 5 ile 30°C sıcaklık aralığında Newtonyen dışı davranış gösterdiğini, akış davranış indeksinin 0,9581 ile 0,9881 arasında ve kıvamlılık katsayısının 0,492 ile 6,9588 Pa.sⁿ arasında değiştiğini ve sıcaklıktaki artışla viskozitenin azaldığını ifade etmiştir. Sengül ve diğ. (2005), 40°C’de dut pekmezinin psödoplastik davranış gösterdiğini, n değerinin 0,796 ve K değerinin 1,5102 Pa.sⁿ olduğunu belirtmiştir. Kaya ve Belibağlı (2002), 10 ile 50°C arasında 82,1°Brikse sahip Gaziantep pekmezinin K değerinin 459,9-1,623 Pa.sⁿ arasında, n değerinin 0,544 ile 0,908 arasında değiştiğini ve psödoplastik davranış gösterdiğini bildirilmiştir.

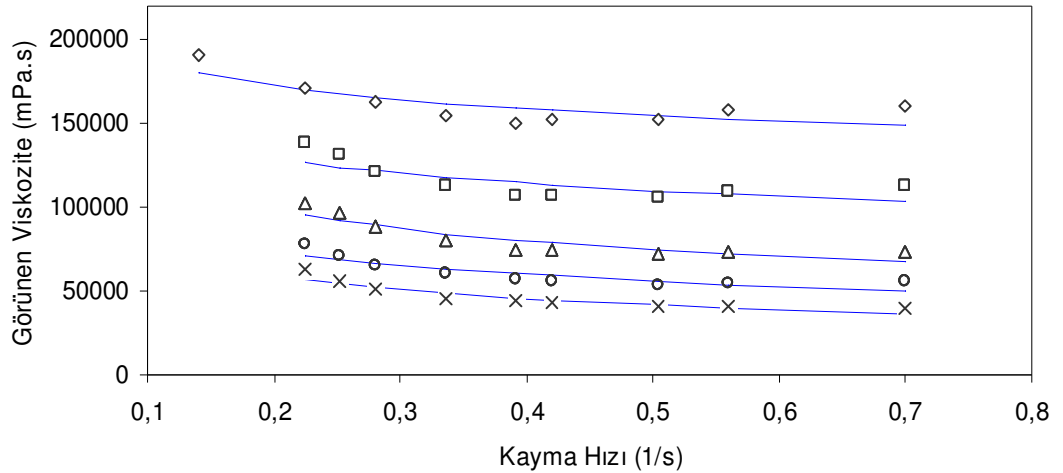
Tablo 4.1 Üzüm pekmezinin Newton modeli sabitleri

Sıcaklık (°C)	Viskozite (Pa.s)	R ²	OMS (%)
10	2,52	0,9998	0,55
17,5	1,13	0,9999	0,26
25	0,53	0,9993	0,84
32,5	0,28	0,9981	0,93
40	0,17	0,9977	0,86

Tablo 4.2 Üzüm pekmezinin üs yasası modeli sabitleri

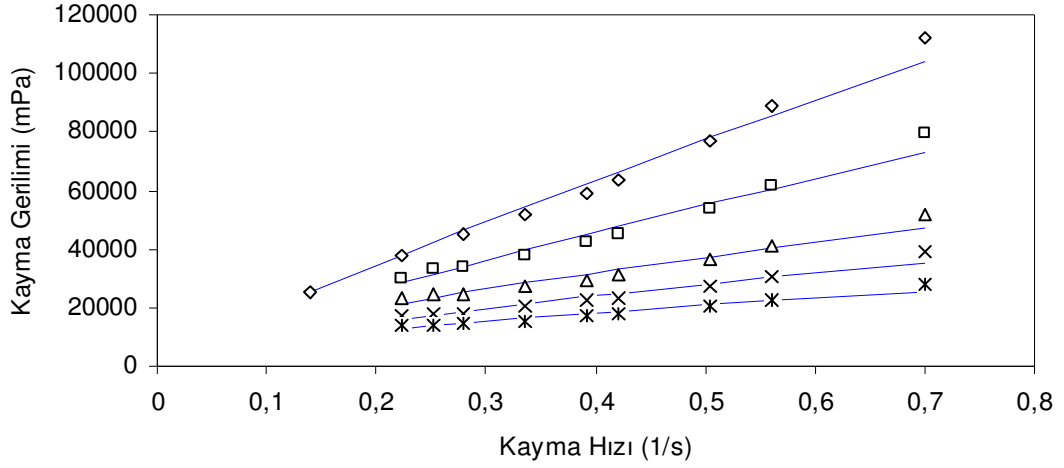
Sıcaklık (°C)	n	K (Pa.s ⁿ)	R ²	OMS (%)
10	1,0239	2,32	0,9998	0,59
17,5	0,9999	1,13	1	0,25
25	0,9768	0,58	0,9999	0,27
32,5	0,9724	0,32	0,9990	0,79
40	0,9790	0,18	0,9976	0,93

Haşhaş tohumu ezmesinin farklı sıcaklıklarda görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi ve üs yasası modelinin sonuçları Şekil 4.3’de verilmiştir. Karışımın viskozitesinin kayma hızındaki artışla azaldığı, dolayısıyla Newtonyen davranmadığı saptanmıştır.



Şekil 4.3 : Haşhaş tohumu ezmesinin farklı sıcaklıklarda görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi: (◇) 10°C, (□) 17,5°C, (Δ) 25°C, (○) 32,5°C, (×) 40°C, (—) üs yasası modeli.

Haşhaş tohumu ezmesinde kayma geriliminin kayma hızı ile değişimi ve üs yasası modeli ile karşılaştırması Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4 : Haşhaş tohumu ezmesinin farklı sıcaklıklardaki akış eğrileri (artan hız sırası ölçümleri): (◇) 10°C, (□) 17,5°C, (△) 25°C, (×) 32,5°C, (*) 40°C, (—) üs yasası modeli.

Haşhaş tohumu ezmesinin Newton ve üs yasası modelleri için hesaplanan sabitleri sırasıyla Tablo 4.3 ve 4.4'te verilmiştir.

Haşhaş tohumu ezmesinin üs yasası modeli sonuçlarının Newton modeline göre daha büyük R^2 değerlerine ve daha düşük hatalara (OMS değerlerine) sahip olduğu bulunmuştur. Örneğin n değerinin 0,6 ile 0,9 arasında değiştiği, dolayısıyla psödoplastik bir akışkan olduğu (Tablo 4.3, 4.4), K değerinin ise 31,60 ile 142,63 Pa.sⁿ arasında değiştiği saptanmıştır. Abu-Jdayil ve diğ (2002), benzer bir ürün olan tahinin 5-45°C'de n değerinin 0,91 ile 0,97 arasında ve K değerinin 670 ile 7420 mPa.sⁿ arasında değiştiğini ve haşhaş tohumu ezmesi gibi psödoplastik davranış sergilediğini ifade etmiştir.

Tablo 4.3 Haşhaş tohumu ezmesinin Newton modeli sabitleri

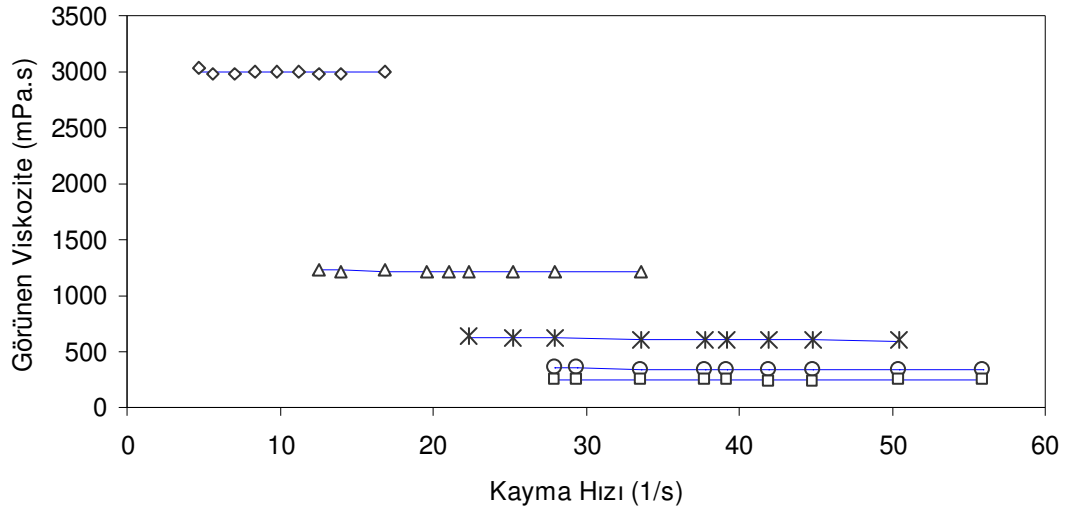
Sıcaklık (°C)	Viskozite (Pa.s)	R ²	OMS (%)
10	156,78	0,9919	4,48
17,5	111,96	0,9662	6,11
25	76,25	0,8793	9,29
32,5	57,30	0,8911	8,99
40	42,83	0,7269	11,13

Tablo 4.4 Haşhaş tohumu ezmesinin üs yasası modeli sabitleri

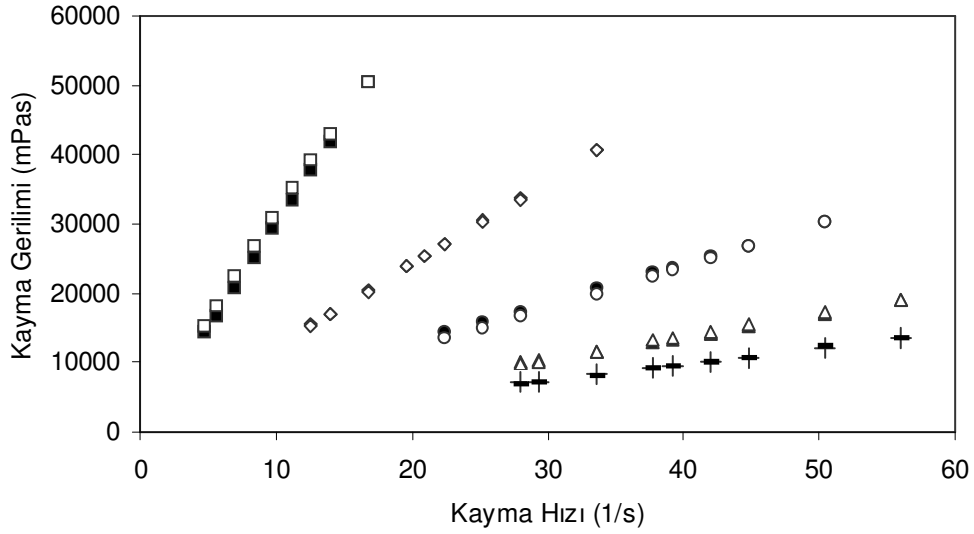
Sıcaklık (°C)	n	K (Pa.s ⁿ)	R ²	OMS (%)
10	0,8820	142,63	0,9880	3,63
17,5	0,8270	97,63	0,9709	4,68
25	0,6897	60,05	0,9527	4,89
32,5	0,7007	45,48	0,9504	4,95
40	0,6008	31,60	0,9443	4,49

%10 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımların farklı sıcaklıklarda görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi ve üs yasası modelinin sonuçları Şekil 4.5’de verilmiştir. Karışımın gibi viskozitesinde kayma hızındaki artışla hafif azalmalar tespit edilmiştir, bu da örneğin Newtonyen davranıştan sapmaya başladığını göstermektedir.

%10 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın kayma gerilimi ile kayma hızı arasındaki ilişki Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.5 : %10 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın farklı sıcaklıklarda görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi: (◇) 10°C, (Δ) 17,5°C, (*) 25°C, (○) 32,5°C, (□) 40°C, (—) üs yasası modeli.



Şekil 4.6 : %10 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın farklı sıcaklıklardaki akış eğrilerine ait histerezis döngüsü: (■) 10°C artan hız, (□) 10°C azalan hız, (◆) 17,5°C artan hız, (◇) 17,5°C azalan hız, (●) 25°C artan hız, (○) 25°C azalan hız, (▲) 32,5°C artan hız, (△) 32,5°C azalan hız, (+) 40°C artan hız, (—) 40°C azalan hız.

%10 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın Newton, üs yasası modelleri için hesaplanan reolojik sabitler sırasıyla Tablo 4.5 ve 4.6'da verilmiştir. İki modelin de bulunan R^2 değerleri 0,99'un üzerinde olduğu fakat Newton modeliyle

karşılaştırıldığında üs yasası modelinin hesaplanan R^2 değerleri daha büyük ve OMS değerleri daha küçük olduğu saptanmıştır. Ayrıca n değerinin 0,92 ile 0,99 arasında değiştiği, dolayısıyla Newtonyen davranışa yakın fakat psödoplastik davrandığı belirlenmiştir.

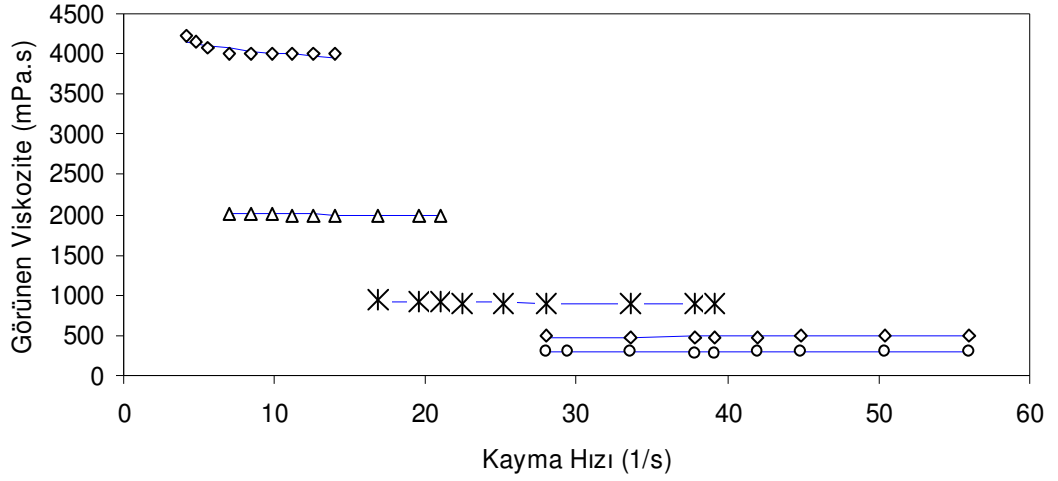
Tablo 4.5 %10 Haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın Newton modeli sabitleri

Ölçüm Metodu		Artan hız			Azalan hız		
Sıcaklık (°C)	Viskozite (Pa.s)	R^2	OMS (%)	Viskozite (Pa.s)	R^2	OMS (%)	
10	3,00	0,9999	0,40	3,10	0,9951	2,48	
17,5	1,21	0,9997	0,50	1,21	0,9998	0,39	
25	0,61	0,9947	1,63	0,60	0,9999	0,24	
32,5	0,34	0,9941	1,38	0,34	0,9990	0,51	
40	0,24	0,9947	1,28	0,24	0,9994	0,44	

Tablo 4.6 %10 Haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın üs yasası modeli sabitleri

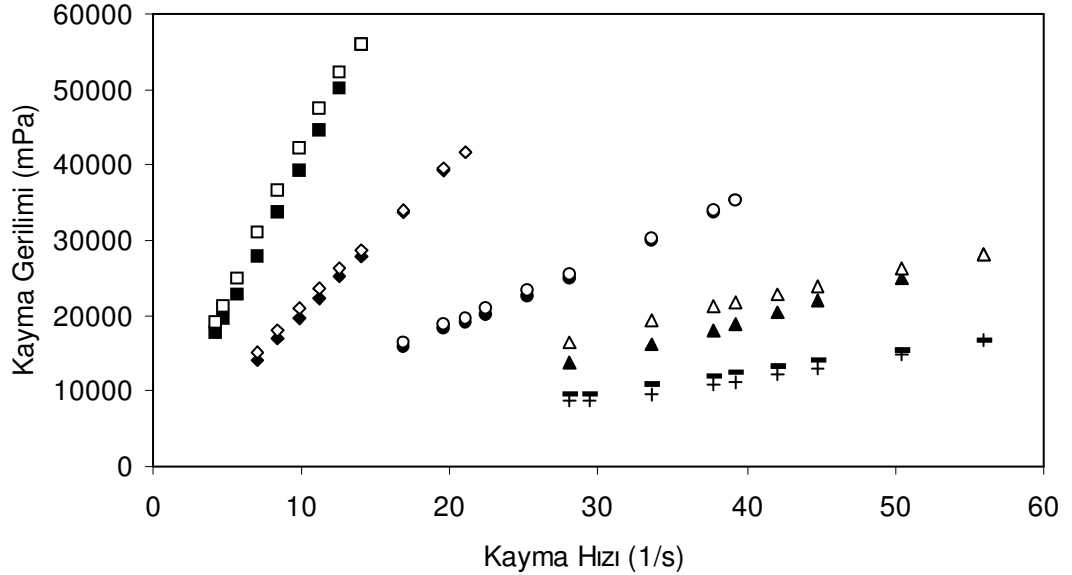
Ölçüm Metodu		Artan hız				Azalan hız			
Sıcaklık (°C)	n	K (Pa.s ⁿ)	R^2	OMS (%)	n	K (Pa.s ⁿ)	R^2	OMS (%)	
10	0,9994	3,00	0,9998	0,78	0,9457	3,56	0,9996	0,70	
17,5	0,9824	1,28	0,9999	0,28	0,9905	1,24	0,9998	0,37	
25	0,9234	0,80	0,9998	0,28	0,996	0,60	0,9999	0,22	
32,5	0,9295	0,45	0,9960	1,06	0,981	0,37	0,9997	0,31	
40	0,9944	0,25	0,9994	1,17	0,9323	0,31	0,9967	1,32	

%15 Haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımların farklı sıcaklıklarda görünen viskozitenin kayma hızı ile değişimi, bu değerlerin üs yasası modeli ile karşılaştırması Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7 : %15 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın farklı sıcaklıklarda görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi: (◇) 10°C, (△) 17,5°C, (*) 25°C, (○) 32,5°C, (□) 40°C, (—) üs yasası modeli.

%15 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın kayma gerilimi ile kayma hızı arasındaki ilişki Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8 : %15 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın farklı sıcaklıklardaki akış eğrilerine ait histerezis döngüsü: (■) 10°C artan hız, (□) 10°C azalan hız, (◆) 17,5° artan hız, (◇) 17,5°C azalan hız, (●) 25°C artan hız, (○) 25°C azalan hız, (▲) 32,5°C artan hız, (△) 32,5°C azalan hız, (+) 40°C artan hız, (-) 40°C azalan hız.

%15 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın Newton, üs yasası modelleri için hesaplanan reolojik sabitler sırasıyla Tablo 4.7 ve 4.8’de verilmiştir. %15 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın %10 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışıma göre Newtonyen davranıştan daha da uzaklaştığı saptanmıştır. Newton modeli sonuçlarına göre, özellikle azalan hız sırası ölçümlerinde, R^2 değerlerinin 0,89 değerine kadar düştüğü ve OMS değerinin %4,25 değerine kadar çıktığı tespit edilmiştir. Ayrıca, örneğin n değeri 0,76’lara kadar düşmüştür.

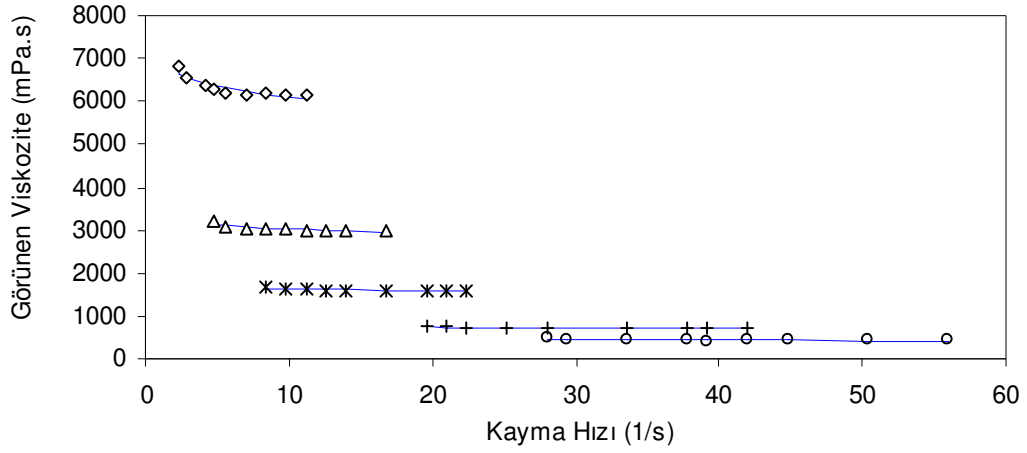
Tablo 4.7 %15 Haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın Newton modeli sabitleri

Ölçüm Metodu		Artan hız		Azalan hız		
Sıcaklık (°C)	Viskozite (Pa.s)	R^2	OMS (%)	Viskozite (Pa.s)	R^2	OMS (%)
10	4,01	0,9990	1,32	4,22	0,9875	3,93
17,5	2,00	0,9997	0,56	2,04	0,9923	2,90
25	0,90	0,9970	1,40	0,91	0,9916	2,38
32,5	0,49	0,9927	1,42	0,54	0,8910	4,25
40	0,29	0,9904	2,00	0,31	0,9603	3,06

Tablo 4.8 %15 Haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın üs yasası modeli sabitleri

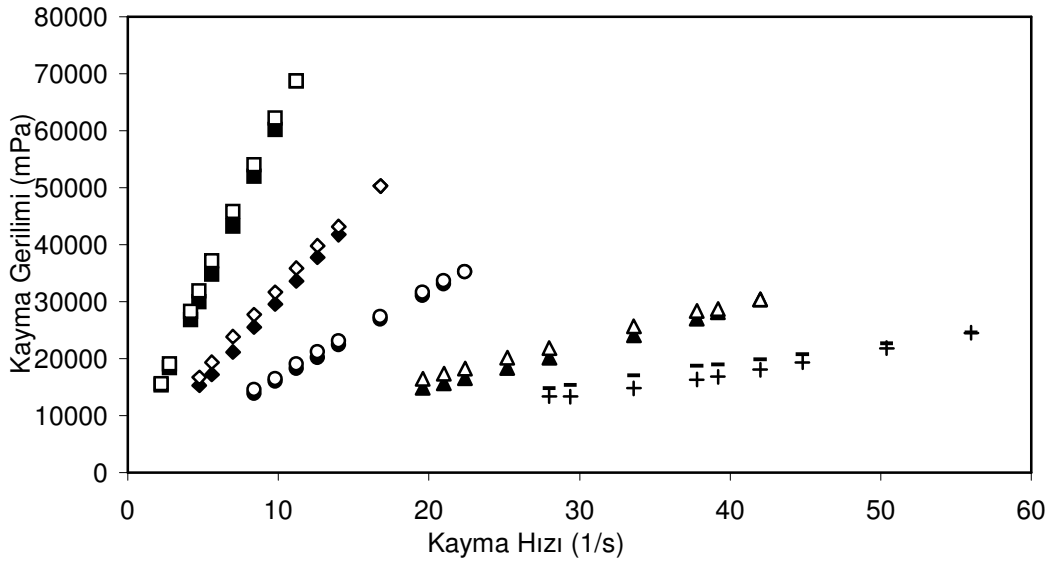
Ölçüm Metodu		Artan hız			Azalan hız			
Sıcaklık (°C)	n	K (Pa.s ⁿ)	R^2	OMS (%)	n	K (Pa.s ⁿ)	R^2	OMS (%)
10	0,9597	4,40	0,9993	0,84	0,9148	5,16	0,9988	1,08
17,5	0,9854	2,08	0,9999	0,27	0,9192	2,55	0,9997	0,50
25	0,9425	1,10	0,9984	0,93	0,9067	1,26	0,9989	0,79
32,5	1,0461	0,41	0,9962	1,10	0,7574	1,34	0,9968	0,74
40	0,9549	0,35	0,9874	1,93	0,8371	0,58	0,9987	0,54

%20 Haşhaş tohumu ezmesi içeren karışım farklı sıcaklıklarda görünen viskozitenin kayma hızı ile değişimi, üs yasası modelinin bu değerlerle karşılaştırması Şekil 4.9’da verilmiştir. Kayma hızındaki artışla viskozitede oluşan azalmaların haşhaş tohumu ezmesi konsantrasyonundaki artışla daha da arttığı, özellikle 10 ve 17,5°C’de bunun daha da belirginleştiği saptanmıştır.



Şekil 4.9 : %20 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın farklı sıcaklıklarda görünen viskozitenin kayma hızı ile değişimi: (◇)10°C, (△)17,5°C, (*) 25°C, (+) 32,5°C, (□) 40°C, (—) üs yasası modeli.

%20 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın kayma gerilimi ile kayma hızı arasındaki ilişki Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10 : %20 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın farklı sıcaklıklardaki akış eğrilerine ait histerezis döngüsü: (■) 10°C artan hız, (□) 10°C azalan hız, (◆) 17,5°C artan hız, (◇) 17,5°C azalan hız, (●) 25°C artan hız, (○) 25°C azalan hız, (▲) 32,5°C artan hız, (△) 32,5°C azalan hız, (+) 40°C artan hız, (−) 40°C azalan hız.

% 20 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın Newton, üs yasası modelleri için hesaplanan reolojik sabitler sırasıyla Tablo 4.9 ve 4.10'da verilmiştir. Konsantrasyondaki artışla Newton modelinin R^2 değerleri azalmış ve OMS değerleri artmıştır, karışım Newtonyen davranıştan belirgin bir şekilde uzaklaşmıştır. Karışımın davranışı üs yasası modeli iyi bir şekilde ifade edilmiştir, modelin R^2 değeri 0,98-1,00 arasında ve OMS değeri %0,35-1,95 arasında bulunmuştur.

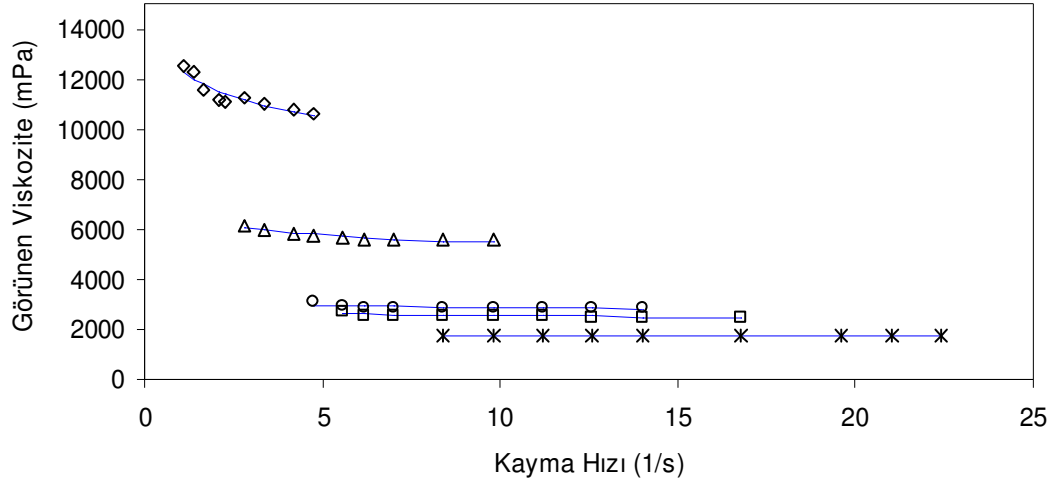
Tablo 4.9 %20 Haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın Newton modeli sabitleri

Ölçüm Metodu	Artan hız			Azalan hız		
	Sıcaklık (°C)	Viskozite (Pa.s)	R^2	OMS (%)	Viskozite (Pa.s)	R^2
10	6,18	0,9983	2,44	6,38	0,9936	3,85
17,5	3,00	0,9988	1,33	3,15	0,9811	4,76
25	1,60	0,9980	1,41	1,62	0,9914	2,67
32,5	0,72	0,9961	1,56	0,76	0,9526	4,66
40	0,44	0,9836	2,22	0,47	0,8574	5,42

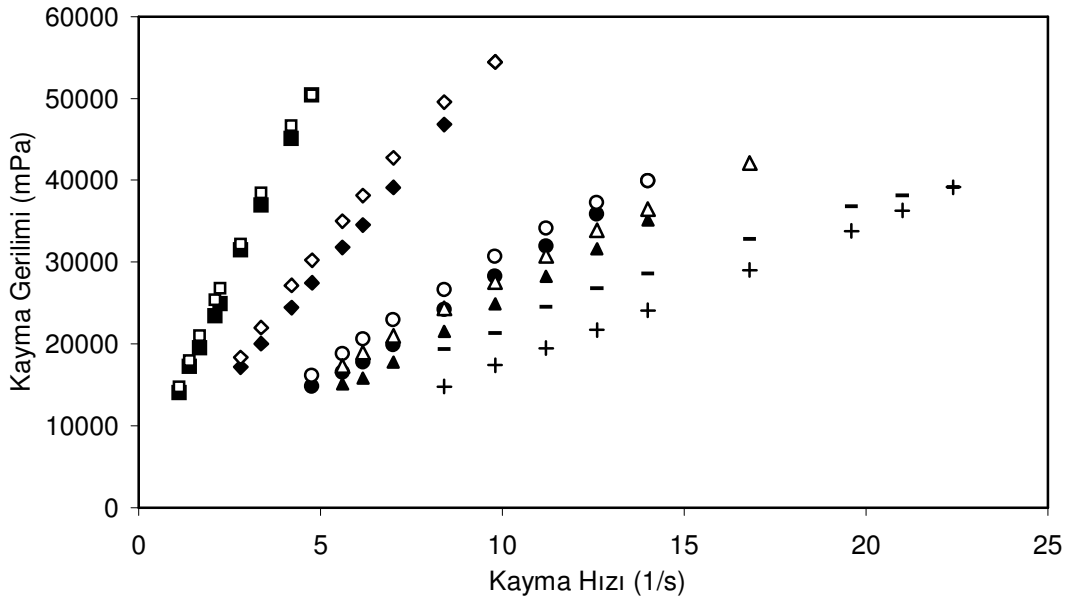
Tablo 4.10 %20 Haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın üs yasası modeli sabitleri

Ölçüm Metodu	Artan hız				Azalan hız			
	Sıcaklık (°C)	n	K (Pa.s ⁿ)	R^2	OMS (%)	n	K (Pa.s ⁿ)	R^2
10	0,9393	7,00	0,9994	1,04	0,9338	7,35	0,9996	0,83
17,5	0,9561	3,34	0,9991	0,85	0,8771	4,28	0,9996	0,59
25	0,9535	1,81	0,9998	0,35	0,9146	2,07	0,9992	0,70
32,5	0,9364	0,90	0,9985	0,83	0,8161	1,44	0,9993	0,52
40	0,8942	0,65	0,9856	1,95	0,7244	1,32	0,9984	0,49

%25 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışım içinde farklı sıcaklıklarda görünen viskozitenin kayma hızı ile değişimi, bu değerlerin üs yasası modeli ile karşılaştırılması Şekil 4.11'de verilmiştir. Özellikle düşük sıcaklıklarda daha belirgin olmak üzere tüm sıcaklıklarda, kayma hızındaki artışla viskozitede azalma meydana geldiği saptanmıştır. %25 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışım için kayma geriliminin kayma hızı ile değişimi de Şekil 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.11 : %25 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın farklı sıcaklıklarda görünen viskozitenin kayma hızı ile değişimi: (◇)10°C, (Δ) 17,5°C, (○) 25°C, (□) 32,5°C, (*) 40°C, (—) üs yasası modeli.



Şekil 4.12 : %25 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın farklı sıcaklıklardaki akış eğrilerine ait histerezis döngüsü: (■) 10°C artan hız, (□) 10°C azalan hız, (◆) 17,5° artan hız, (◇) 17,5°C azalan hız, (●) 25°C artan hız, (○) 25°C azalan hız, (▲) 32,5°C artan hız, (Δ) 32,5°C azalan hız, (+) 40°C artan hız, (—) 40°C azalan hız.

% 25 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın Newton ve üs yasası modelleri için hesaplanan reolojik sabitler sırasıyla Tablo 4.11 ve 4.12’de verilmiştir. Karışımda haşhaş tohumu ezmesinin katma yüzdesinin artması Newtonyen davranıştan sapmayı daha da artırmıştır.

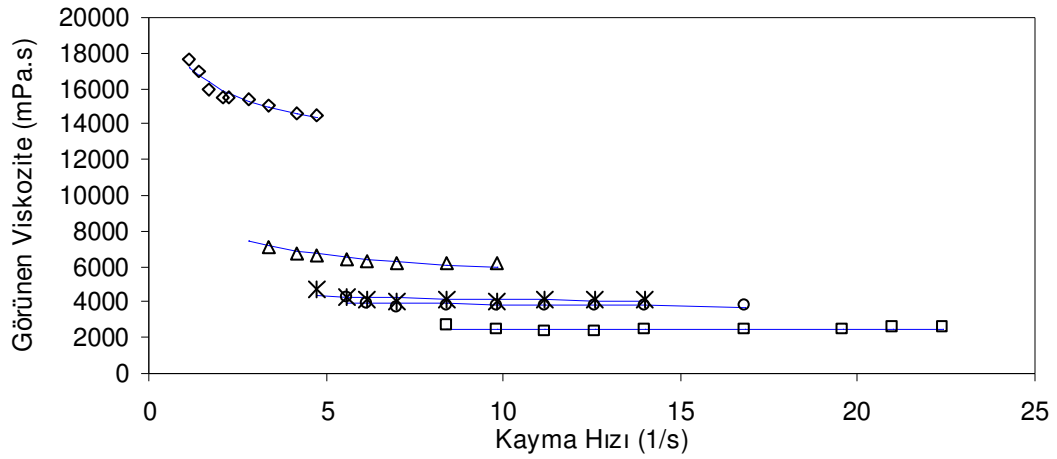
Tablo 4.11 %25 Haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın Newton modeli sabitleri

Ölçüm Metodu		Artan hız			Azalan hız		
Sıcaklık (°C)	Viskozite (Pa.s)	R ²	OMS (%)	Viskozite (Pa.s)	R ²	OMS (%)	
10	10,94	0,9904	4,56	11,28	0,9764	6,55	
17,5	5,64	0,9957	2,66	5,99	0,9699	5,39	
25	2,87	0,9972	1,71	3,05	0,9612	5,71	
32,5	2,53	0,9981	1,41	2,70	0,9455	6,61	
40	1,73	0,9993	0,83	1,92	0,8737	8,34	

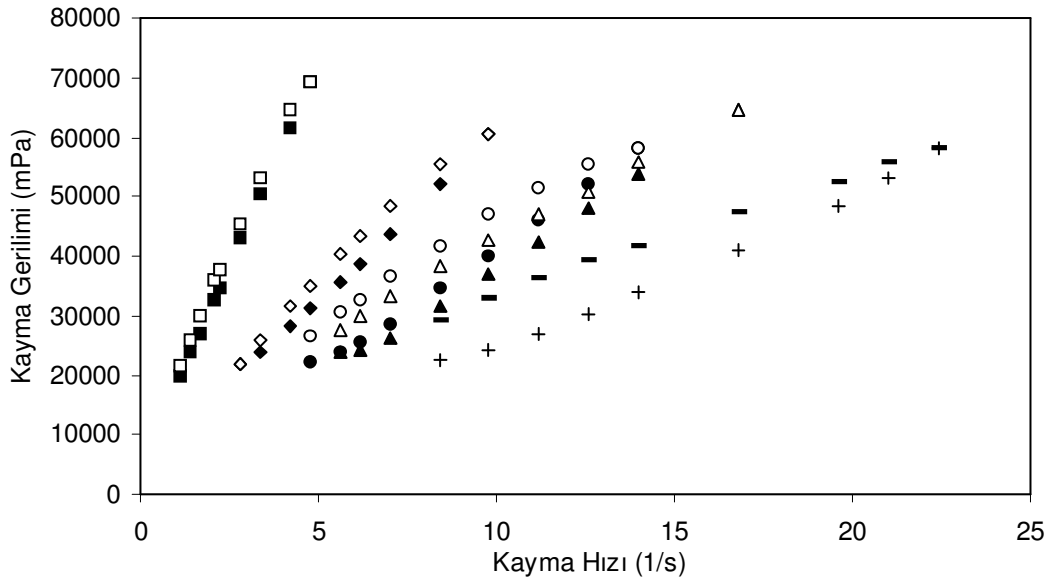
Tablo 4.12 %25 Haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın üs yasası modeli sabitleri

Ölçüm Metodu		Artan hız			Azalan hız			
Sıcaklık (°C)	n	K (Pa.s ⁿ)	R ²	OMS (%)	n	K (Pa.s ⁿ)	R ²	OMS (%)
10	0,8914	12,45	0,9981	1,62	0,8600	13,40	0,9995	0,66
17,5	0,9207	6,56	0,9993	0,80	0,8790	7,60	0,9973	1,49
25	0,9442	3,26	0,9970	1,33	0,8432	4,41	0,9982	1,05
32,5	0,9537	2,83	0,9986	0,88	0,8065	4,36	0,9996	0,50
40	0,9841	1,81	0,9993	0,64	0,7370	4,06	0,9959	1,37

%30 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi, bu değerlerin üs yasası modeli ile karşılaştırılması Şekil 4.13’de verilmiştir. Kayma hızında artışla beraber viskozitede oluşan azalma biraz daha belirginleşmiştir. %30 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımda kayma geriliminin kayma hızı ile değişimi Şekil 4.14’de verilmiştir.



Şekil 4.13 : %30 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın farklı sıcaklıklarda görünen viskozitenin kayma hızı ile değişimi: (◇) 10°C, (Δ) 17,5°C, (*) 25°C, (○) 32,5°C, (□) 40°C, (—) üs yasası modeli.



Şekil 4.14 : %30 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın farklı sıcaklıklardaki akış eğrilerine ait histerezis döngüsü: (■) 10°C artan hız, (□) 10°C azalan hız, (◆) 17,5°C artan hız, (◇) 17,5°C azalan hız, (●) 25°C artan hız, (○) 25°C azalan hız, (▲) 32,5°C artan hız, (Δ) 32,5°C azalan hız, (+) 40°C artan hız, (—) 40°C azalan hız.

% 30 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın Newton ve üs yasası modelleri için hesaplanan reolojik sabitler sırasıyla Tablo 4.13 ve 4.14'de verilmiştir. Newton modelinin R^2 değerlerinin azaldığı ve OMS değerlerinin arttığı dolayısıyla karışımın

Newtonyen davranıştan daha da saptığı ve üs yasası modeline uygun davrandığı tespit edilmiştir.

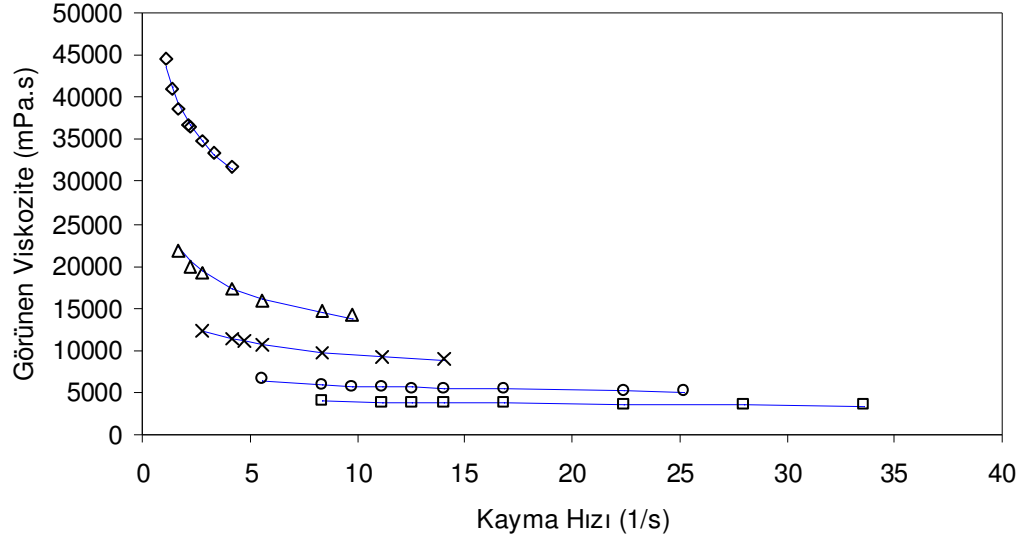
Tablo 4.13 %30 Haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın Newton modeli sabitleri

Ölçüm Metodu		Artan hız			Azalan hız		
Sıcaklık (°C)	Viskozite (Pa.s)	R ²	OMS (%)	Viskozite (Pa.s)	R ²	OMS (%)	
10	15,01	0,9876	5,18	15,70	0,9600	8,14	
17,5	6,34	0,9770	5,11	6,79	0,9407	7,31	
25	4,15	0,9946	2,13	4,64	0,8679	9,24	
32,5	3,83	0,9955	2,25	4,14	0,9129	11,90	
40	2,50	0,9909	3,07	2,82	0,8227	12,76	

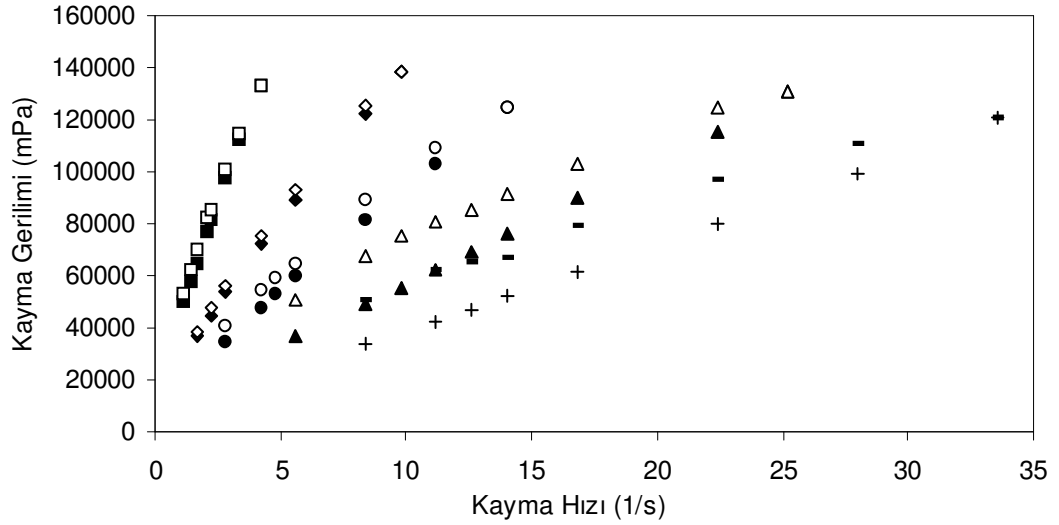
Tablo 4.14 %30 Haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın üs yasası modeli sabitleri

Ölçüm Metodu		Artan hız				Azalan hız			
Sıcaklık (°C)	n	K (Pa.s ⁿ)	R ²	OMS (%)	n	K (Pa.s ⁿ)	R ²	OMS (%)	
10	0,8732	17,46	0,9981	1,53	0,8212	19,52	0,9996	0,54	
17,5	0,8285	8,79	0,9924	2,47	0,8243	9,58	0,9968	1,52	
25	0,9340	4,82	0,9905	2,59	0,7378	8,56	0,9964	1,27	
32,5	0,9447	4,37	0,9916	2,40	0,7577	7,54	0,9991	1,02	
40	0,9938	2,53	0,9882	2,96	0,6843	6,90	0,9992	1,14	

%35 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışım için farklı sıcaklıklarda görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi, bu değerlerin üs yasası modeli ile karşılaştırılması Şekil 4.15’de verilmiştir. Haşhaş tohumu katma yüzdesinin artışıyla, kayma hızındaki artışla viskozitede azalma daha belirgin hale gelmiştir. %35 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın kayma geriliminin kayma hızı ile değişiminin ilişkisi Şekil 4.16’da verilmiştir.



Şekil 4.15 : %35 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın farklı sıcaklıklarda görünen viskozitenin kayma hızı ile değişimi: (◇) 10°C, (Δ) 17,5°C, (×) 25°C, (○) 32,5°C, (□) 40°C, (—) üs yasası modeli.



Şekil 4.16 : %35 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın farklı sıcaklıklardaki akış eğrilerine ait histerezis döngüsü: (■) 10°C artan hız, (◐) 10°C azalan hız, (◆) 17,5°C artan hız, (◑) 17,5°C azalan hız, (●) 25°C artan hız, (◒) 25°C azalan hız, (▲) 32,5°C artan hız, (△) 32,5°C azalan hız, (+) 40°C artan hız, (◓) 40°C azalan hız.

% 35 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın Newton ve üs yasası modelleri için hesaplanan reolojik sabitler sırasıyla Tablo 4.15 ve 4.16'da verilmiştir. Newton modelinin R^2 değerleri 0,84'lere düşmüş ve OMS değerinin 24,96'lara çıkmıştır.

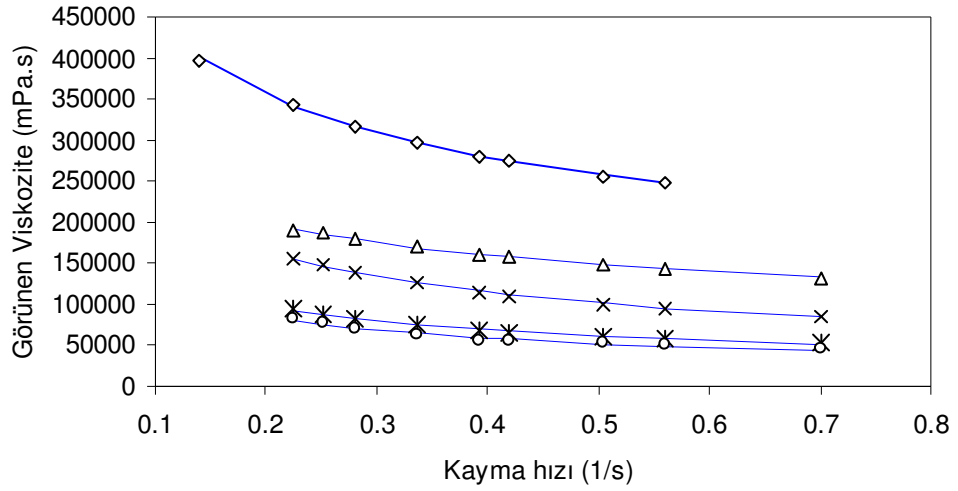
Tablo 4.15 %35 Haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın Newton modeli sabitleri

Ölçüm Metodu	Artan hız			Azalan hız		
	Sıcaklık (°C)	Viskozite (Pa.s)	R^2	OMS (%)	Viskozite (Pa.s)	R^2
10	34,49	0,9217	9,18	35,53	0,8404	11,76
17,5	15,22	0,9409	20,72	15,57	0,9174	22,66
25	9,55	0,9561	14,86	10,07	0,8824	20,11
32,5	5,33	0,9838	10,61	6,05	0,6864	21,27
40	3,62	0,9935	12,84	4,19	0,7604	24,96

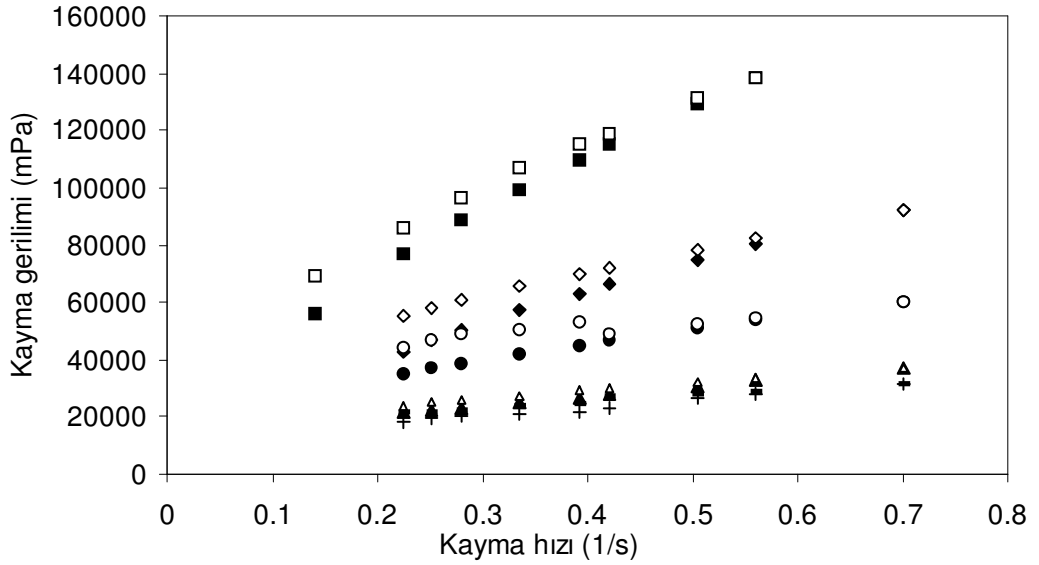
Tablo 4.16 %35 Haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın üs yasası modeli sabitleri

Ölçüm Metodu	Artan hız				Azalan hız			
	Sıcaklık (°C)	n	K (Pa.s ⁿ)	R^2	OMS (%)	n	K (Pa.s ⁿ)	R^2
10	0,7555	44,71	0,9982	1,14	0,6994	48,97	0,9997	0,33
17,5	0,7292	25,59	0,9983	2,00	0,7082	27,36	0,9988	1,52
25	0,7864	15,47	0,9996	0,77	0,7054	19,62	0,9997	0,72
32,5	0,8496	8,17	0,9963	1,92	0,6296	17,47	0,9972	1,25
40	0,8787	5,24	0,9950	2,78	0,6493	12,58	0,9954	1,93

%40 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın farklı sıcaklıklarda görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi, bu değerlerin üs yasası modeli ile karşılaştırılması Şekil 4.17'de verilmiştir. Ölçüm yapılan her sıcaklıkta kayma hızı artıkça viskozite azalmıştır. %40 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın kayma geriliminin kayma hızı ile değişiminin ilişkisi Şekil 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.17 : %40 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın farklı sıcaklıklarda görünen viskozitenin kayma hızı ile değişimi: (◇) 10°C, (Δ) 17,5°C, (×) 25°C, (*) 32,5°C, (○) 40°C, (—) üs yasası modeli.



Şekil 4.18 : %40 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın farklı sıcaklıklardaki akış eğrilerine ait histerezis döngüsü: (■) 10°C artan hız, (□) 10°C azalan hız, (◆) 17,5°C artan hız, (◇) 17,5°C azalan hız, (●) 25°C artan hız, (○) 25°C azalan hız, (▲) 32,5°C artan hız, (△) 32,5°C azalan hız, (+) 40°C artan hız, (-) 40°C azalan hız.

% 40 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın Newton ve üs yasası modelleri için hesaplanan reolojik sabitler sırasıyla Tablo 4.17 ve 4.18'de verilmiştir. Newton

modelinin R^2 değerleri çok küçük bulunmuş ve OMS değerleri de 24'lere kadar çıkmıştır, üs yasası modelinin ise R^2 değerleri çoğunlukla 0,99 un üzerinde ve OMS değeri de en fazla 3,03 olarak bulunmuştur. Örneğin n değerinin 0,23 ile 0,67 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Tablo 4.17 % 40 Haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın Newton modeli sabitleri

Ölçüm Metodu		Artan hız			Azalan hız		
Sıcaklık (°C)	Viskozite (Pa.s)	R^2	OMS (%)	Viskozite (Pa.s)	R^2	OMS (%)	
10	273,86	0,8015	11,50	285,21	0,3817	15,47	
17,5	150,40	0,7758	11,09	161,99	-0,3670	17,68	
25	104,69	-0,0968	16,84	113,93	-7,8544	23,88	
32,5	63,29	0,0967	15,86	66,68	-1,3001	19,45	
40	53,83	-0,0151	15,58	58,04	-1,9100	20,15	

Tablo 4.18 % 40 Haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın üs yasası modeli sabitleri

Ölçüm Metodu		Artan hız				Azalan hız			
Sıcaklık (°C)	n	K (Pa.s ⁿ)	R^2	OMS (%)	n	K (Pa.s ⁿ)	R^2	OMS (%)	
10	0,6547	203,01	0,9996	0,42	0,5070	185,16	0,9994	0,45	
17,5	0,6729	118,30	0,9995	0,49	0,4427	106,72	0,9984	0,54	
25	0,4704	70,47	0,9986	0,52	0,2284	63,32	0,8755	2,79	
32,5	0,4855	43,04	0,9905	1,35	0,3793	41,81	0,9968	0,68	
40	0,4605	35,85	0,9593	3,03	0,3524	35,63	0,9802	1,50	

Karışımların pekmez içerisindeki haşhaş tohumu ezmesi katma yüzdesindeki artışla Newtonyen davranıştan saparak psödoplastik davranış gösterdiği tespit edilmiştir. % 10 haşhaş tohumu ezmesi Newtonyen davranışa yakın bir yapıda iken katma yüzdesindeki artışı ile birlikte Newtonyen davranıştan sapmalar artmıştır. %10 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın n değeri 0,92-1,0 arasında değişirken %40 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın n değerinin 0,23'lere kadar düştüğü saptanmıştır. Sonuç olarak, haşhaş tohumu ezmesi içeren tüm karışımlara ait şekillerden de görülebileceği gibi, karışımın kaymayla incelen yani psödoplastik davranış gösterdiği belirlenmiştir.

Alpaslan ve Hayta (2002), %2, 4 ve 6 pekmez içeren pekmez tahin karışımlarının 30 - 75°C sıcaklık aralığında psödoplastik davranış gösterdiğini, n değerinin 0,43-0,58 arasında, K değerinin 14,7-87,2 Pasⁿ arasında değiştiğini belirtmiştir. Arslan ve diğ

(2005), %20-32 arasında tahin içeren tahin pekmez karışımlarının 35-65°C sıcaklık aralığında psödoplastik davranış gösterdiğini, n değerinin 0,70-0,85 arasında, K değerinin 282-2547 mPasⁿ arasında değiştiğini belirtmiştir.

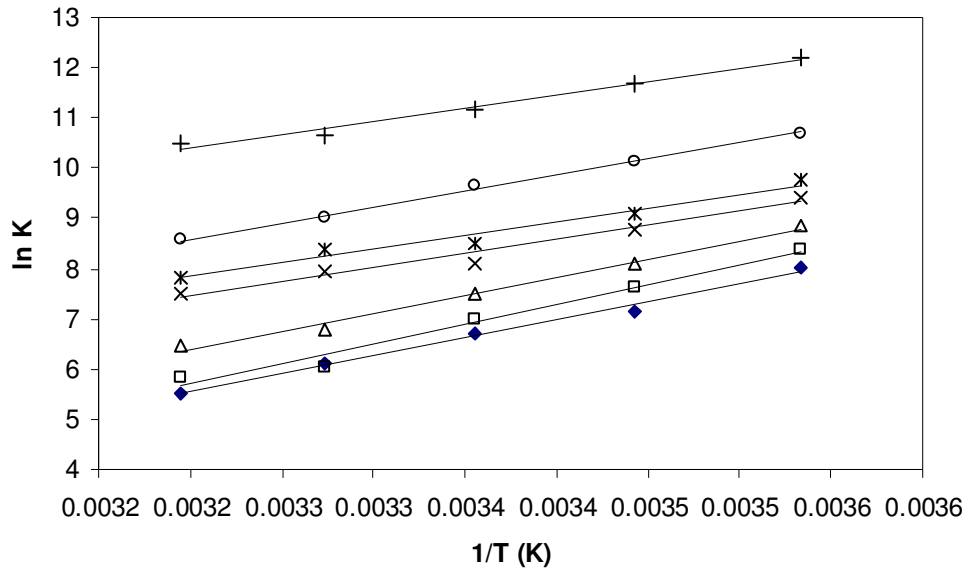
4.1.1. Sıcaklığın Etkisi

Karışımın kıvamlilik katsayısı ve görünen viskozitesi haşhaş tohumu katma yüzdesindeki artışla artmış, fakat sıcaklıktaki artışla azalmıştır. Haşhaş tohumu içeriği % 10 olan örneğin 10°C'de K değeri 3,00 Pa.sⁿ iken 40°C'de 0,25 Pa.sⁿ değerine düşmüş, haşhaş tohumu içeriği % 40 olan örneğin 10°C'de K değeri 203,01 Pa.sⁿ iken 40°C'de 35,85 Pa.sⁿ değerine düşmüştür (Tablo 4.6, 4.18).

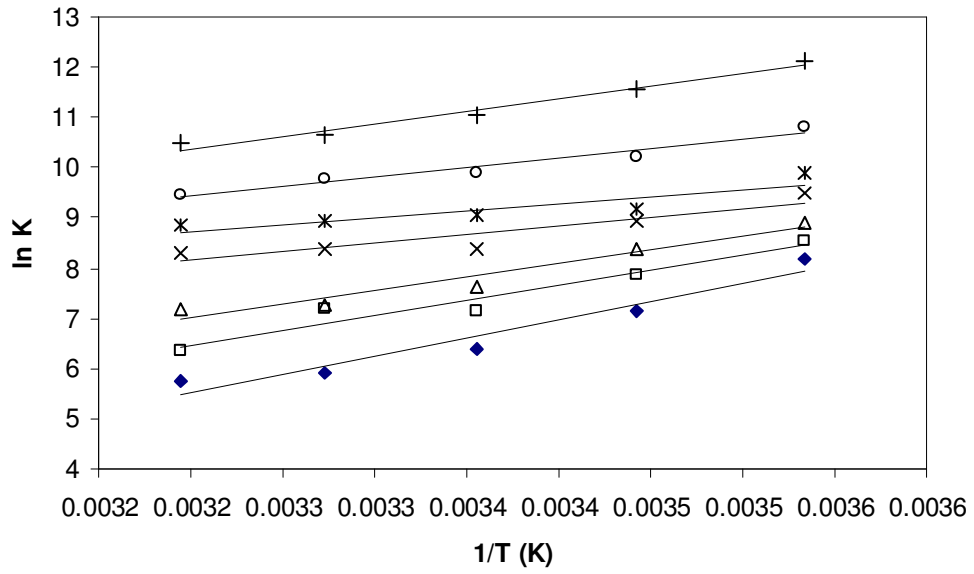
Genelde sıcaklık arttıkça akışkanlar yüksek sıcaklıklarda daha kolay akmaktadır (Sengül ve diğ., 2005). Isıtmayla birlikte moleküler yapılar ve bağlar kırılabilmekte, protein ve şekerlerin etkin moleküler hacimlerinde azalmalar oluşmakta bunların sonucunda viskozite azalmaktadır (Alpaslan ve Hayta, 2002).

Haşhaş tohumu ezmesi ile pekmez karışımının kıvamlilik katsayısına (K) sıcaklığın etkisi Arrhenius tipi eşitlik (Eşitlik 2.5) ile açıklanmıştır ve Şekil 4.19'da verilmiştir. Tüm katma yüzdeleri için artan ve azalan kayma hızı sırasına göre yapılan ölçüm sonuçlarına göre hesaplanan değerler Tablo 4.19'da verilmiştir.

A.



B.



Şekil 4.19 : Kıvamlılık katsayısına sıcaklığın etkisi; (A) artan hız sırası, (B.) azalan hız sırası ölçümleri: (+) %10, (o) %15, (*) %20, (x) %25, (Δ) %30, (□) %35, (◆) %40 haşhaş tohumu ezmesi katma yüzdesi.

Tablo 4.19 Farklı oranlarda haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımlar için Arrhenius eşitliğinin sabitleri

Katma Oranı (%)	Ölçüm Metodu							
	Artan hız				Azalan hız			
	K_T (mPa.s ⁿ)	E_a (kJ/kmol)	R^2	OMS (%)	K_T (mPa.s ⁿ)	E_a (kJ/kmol)	R^2	OMS (%)
10	3,00E-08	59429,2	0,9940	5,0	2,00E-08	60076,1	0,9429	15,6
15	3,00E-09	66059,1	0,9762	14,3	4,00E-06	49416,3	0,9349	21,5
20	6,00E-08	59729,4	0,9916	7,2	4,00E-05	44591,5	0,9464	14,0
25	3,00E-05	46306,7	0,9651	12,5	4,41E-02	29261,5	0,8460	15,3
30	8,00E-05	44920,7	0,9619	11,3	8,67E-01	23054,8	0,8069	14,0
35	7,00E-06	53311,5	0,9978	6,1	7,32E-02	31269,4	0,9529	9,5
40	1,40E-03	44140,8	0,9836	7,6	3,30E-03	41763,8	0,9761	8,1

Karıışımların E_a değerinin 23054,8 ile 66059,1 kJ/kmol arasında değiştiiği saptanmıştır. Aktivasyon enerjisinin moleküllerin hareketi için gerektiği ifade edilmiştir (Sengül ve diğ., 2005). Akbulut ve diğ. (2008), andız pekmezinin E_a değerinin 62,8-75,2 °Briks aralığında çözünebilen kuru madde miktarındaki artışla yükseldiğini belirtmiştir. Arslan ve diğ. (2005), %20 ile %32 arası tahin içeren tahin pekmez karışımlarında tahin oranındaki artışla E_a değerinin arttığını ve 133376 ile 28592 J/mol arasında değişim gösterdiğini ifade etmiştir.

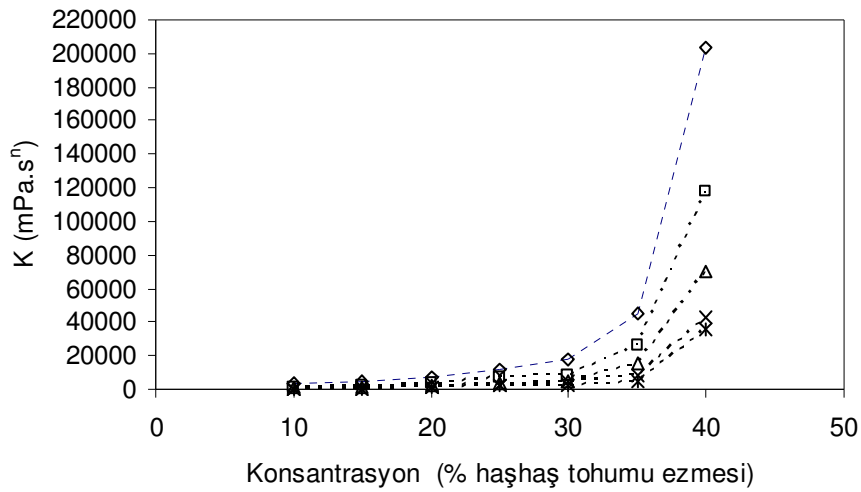
4.1.2. Haşhaş Tohumu Ezmesi Katma Oranının Etkisi

Karıışımlarda haşhaş tohumu ezmesinin katma oranı arttıkça kıvamlılık katsayısında (K) artış olduğu saptanmıştır. Ölçüm sıcaklıklarında artan ve azalan kayma hızı sırasına göre yapılan ölçüm sonuçlarına göre haşhaş tohumu ezmesi oranının karışımların kıvamlılık katsayısına (K) etkisi üstel (Eşitlik 2.6) ve üs yasası (Eşitlik 2.7) modelleri ile belirlenmiş, elde edilen veriler Tablo 4.20 ve 4.21’de verilmiştir. Haşhaş tohumu ezmesi oranının karışımların kıvamlılık katsayısına (K) etkisi Şekil 4.20’de verilmiştir. Üstel modelin R^2 değerleri 0,92 ile 0,99 arasında değişirken, üs yasası modelinin R^2 değerleri 0,81 ile 0,95 değerleri arasında bulunmuş ve hata oranları (OMS) da üs yasası modelinde daha yüksek bulunmuştur. Bu nedenle haşhaş tohumu ezmesi katma oranı ile K değeri arasındaki ilişkiyi üstel modelin daha iyi ifade ettiği belirlenmiştir.

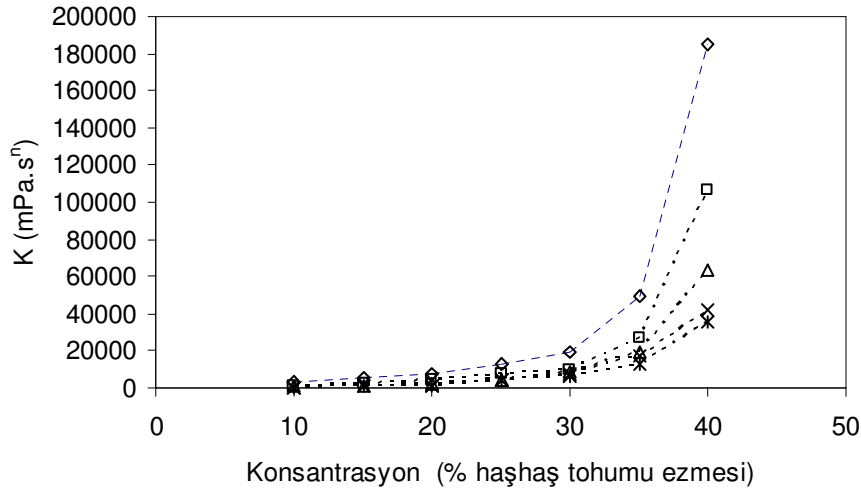
Pordesimo ve diğ. (1994) kaba parçacık içeren gıda karışımlarında parçacık boyutu ve konsantrasyonu arttıkça kıvam indeksinin arttığını belirtmiştir. Lokumcu-Altay ve Ak (2005), yağ içerisinde artan katı parçacık içeriğinin tahinin viskozitesini

artırdığını ifade etmiştir. Arslan ve diğ. (2005), %20-32 tahin içeren tahin pekmez karışımların 35-65°C sıcaklık aralığında tahin konsantrasyonu arttıkça kıvamlilik katsayısının arttığını, bu artışın sebebinin yağ damlacıklarının birleşerek küme haline gelmesi sonucunda çizgisel akışın engellenmesi ve aynı kayma hızlarını sağlamak için daha fazla güce ihtiyaç duyulması olarak açıklanmıştır. Haşhaş ilavesi örnek içerisindeki suda çözünmeyen katı parçacık miktarını ve yağ damlacıklarının miktarını artırmakta bu da akışın zorlaşmasına neden olmaktadır.

A.



B.



Şekil 4.20 : Kıvamlilik katsayısına haşhaş tohumu ezmesi katma oranının etkisi; (A) artan hız sırası, (B.) azalan hız sırası ölçümleri: (◇) 10 °C, (□) 17,5°C, (Δ) 25°C, (×) 32,5°C, (*) 40°C.

Tablo 4.20 Farklı sıcaklıklar için kıvamlilik katsayısına haşhaş tohumu ezmesi katma oranının etkisi, üstel modelinin sabitleri

Sıcaklık (°C)	Ölçüm Metodu							
	Artan hız				Azalan hız			
	K _{C1}	a ₁	R ²	OMS (%)	K _{C1}	a ₁	R ²	OMS (%)
10	587,58	0,1300	0,9301	29,59	742,85	0,1238	0,9363	27,63
17,5	233,31	0,1397	0,9377	30,00	286,25	0,135	0,9523	23,80
25	127,89	0,1407	0,9249	33,17	119,48	0,149	0,9865	15,80
32,5	57,27	0,1520	0,9450	32,87	95,51	0,1497	0,9821	16,08
40	35,95	0,1551	0,9417	31,59	61,63	0,1572	0,9926	10,86

Tablo 4.21 Farklı sıcaklıklar için kıvamlilik katsayısına haşhaş tohumu ezmesi katma oranının etkisi, üs yasası modelinin sabitleri

Sıcaklık (°C)	Ölçüm Metodu							
	Artan hız				Azalan hız			
	K _{C2}	a ₂	R ²	OMS (%)	K _{C2}	a ₂	R ²	OMS (%)
10	3,52	2,6781	0,821	46,06	5,71	2,5489	0,8251	43,32
17,5	0,92	2,8904	0,8344	47,44	1,20	2,8333	0,8715	38,81
25	0,53	2,8824	0,8074	53,71	0,26	3,149	0,9156	35,75
32,5	0,14	3,1511	0,8445	51,70	0,17	3,2189	0,9437	33,20
40	0,07	3,2241	0,8454	51,42	0,08	3,382	0,9547	27,78

Aktivasyon enerjisinin haşhaş tohumu ezmesi katma oranı ile değişimi üstel model (Eşitlik 3.8) ve üs yasası modeli (Eşitlik 3.9) ile belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 4.22’de verilmiştir.

Arslan ve diğ (2005), %20-32 arası tahin içeren tahin pekmez karışımlarının 35-65°C sıcaklık aralığında aktivasyon enerjisinin tahin konsantrasyonu ile değişiminin üs yasası modeline uygunluk gösterdiğini belirtmişlerdir.

Tablo 4.22 Haşhaş tohumu ezmesi katma oranının aktivasyon enerjisine etkisi

Ölçüm Metodu	Model							
	Üstel model				Üs yasası modeli			
	A ₁	b ₁	R ²	OMS (%)	A ₂	b ₂	R ²	OMS (%)
Artan hız	70370	-0,0115	0,5946	8,52	114535	0,2477	0,5763	9,32
Azalan hız	61335	-0,0190	0,3792	20,17	171306	-0,4811	0,5032	17,32

Karışımlarda haşhaş tohumu ezmesi katma oranı ve sıcaklığın birlikte etkisi Eşitlik 3.10 ve Eşitlik 3.11 ile ifade edilmiş ve eşitliklerin sabitleri Tablo 4.23’de verilmiştir.

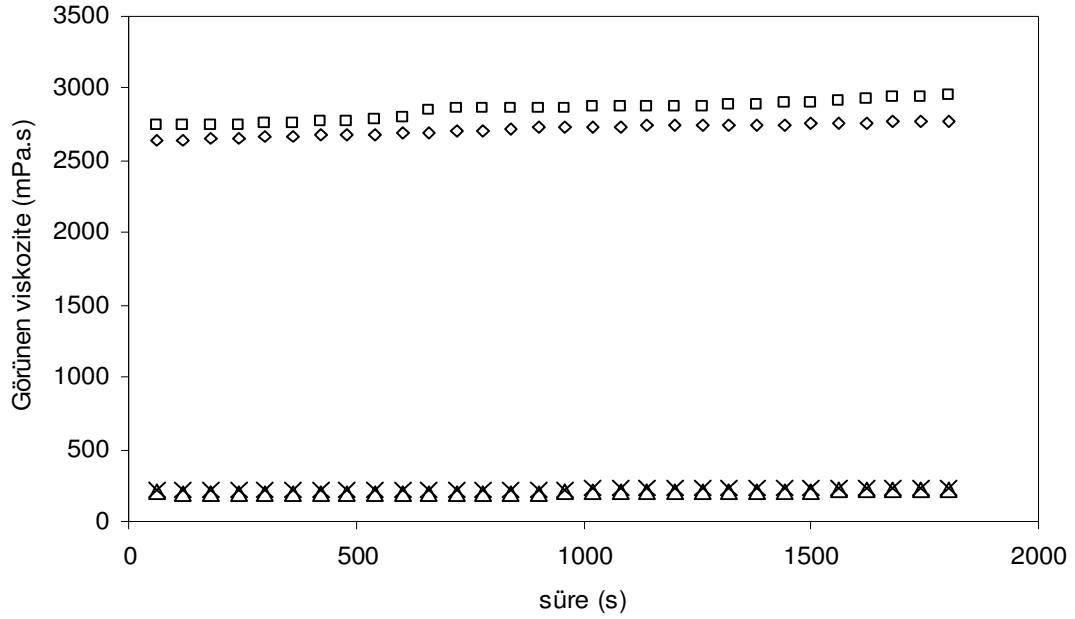
Tablo 4.23 Haşhaş tohumu ezmesi katma oranı ve sıcaklığın akış davranışı üzerine etkisi

Ölçüm Metodu	Model							
	Eşitlik 3.10				Eşitlik 3.11			
	K ₁	d ₁	E _a (kJ/kmol)	R ²	K ₂	d ₂	E _a (kJ/kmol)	R ²
Artan hız	5,46E-08	0,14349	53414,8	0,9460	1,87E-10	2,96521	53414,8	0,8635
Azalan hız	1,69E-05	0,14297	39919,6	0,9644	4,73E-08	3,02643	39919,4	0,9076

4.2. Zamana Bağımlı Reolojik Özellikler

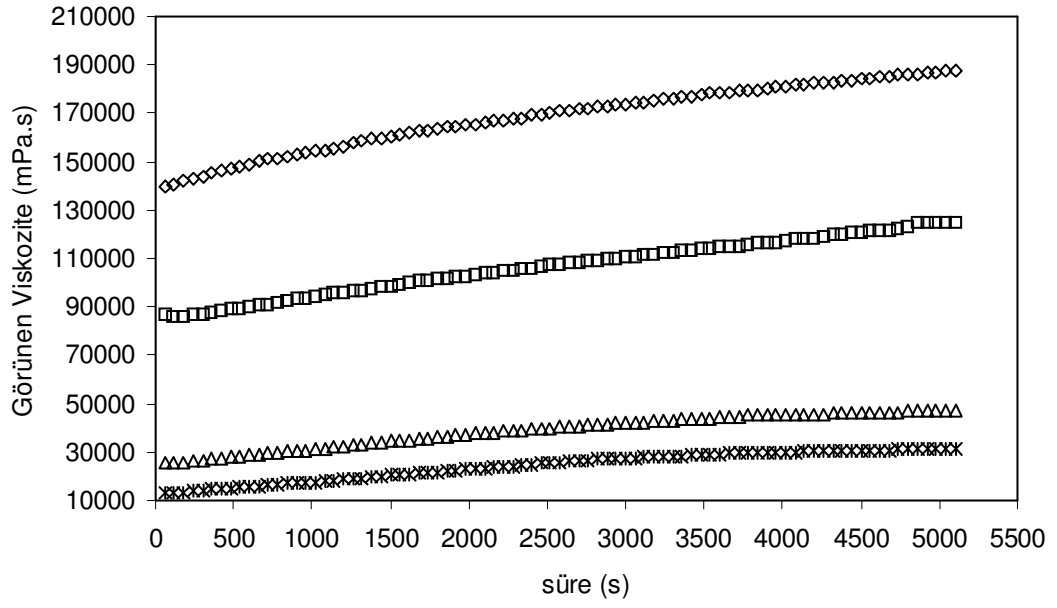
Karışımlara ait olan hizteresiz döngülerinden görüleceği gibi %10 haşhaş tohumu içeren karışımda 10°C’de elde edilen hizteresis döngüsünde azalan hız sırası ölçümlerine göre elde edilen kayma gerilimi değerlerinin artan hız sırası ölçümlerine göre elde edilen kayma gerilimi değerlerinden daha büyük olduğu, diğer sıcaklıklarda ise değerler arasında belirgin bir farklılığın olmadığı saptanmıştır (Şekil 4.6). %10 haşhaş tohumu içeren karışım dışındaki diğer karışımların tamamında ise ölçüm yapılan sıcaklıkların tümünde azalan hız sırası ölçümlerine göre elde edilen kayma gerilimi değerlerinin artan hız sırası ölçümlerine göre elde edilen kayma gerilimi değerlerinden daha büyük olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.8, 4.10, 4.12, 4.14, 4.16, 4.18). Bu da haşhaş tohumu ezmesi – pekmez karışımlarının reopektik davranışa sahip olduğunun bir göstergesidir.

Ayrıca, örneklerin zamana bağımlı reolojik davranışı belirlemek için %10 ve 40 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımların sabit kayma hızında görünen viskozitesinin zamanla değişimi de incelenmiştir. %10 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın zamana bağımlı reolojik özelliklerini belirlemek için 30 dakika boyunca 10°C’de 28 ve 33,6 1/s sabit kayma hızlarında ve 40°C’de 28 ve 50,4 1/s sabit kayma hızlarında viskozite ölçümü yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre görünen viskozitenin zaman ile değişimi Şekil 4.21’de verilmiştir. %10 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışım 40°C’de görünen viskozitesinin zamanla belirgin bir şekilde değişmediği yani zamandan bağımsız davrandığı, fakat 10°C’de zamanla görünen viskozite değerinde hafif artma olduğu yani reopektik davranış gösterdiği saptanmıştır.



Şekil 4.21 : %10 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın görünen viskozitesinin zamana karşı değişimi: (□) kayma hızı 28 l/s sıcaklık 10°C, (◇) kayma hızı 33,6 l/s sıcaklık 10°C, (×) kayma hızı 28 l/s sıcaklık 40°C, (Δ) kayma hızı 50,4 l/s sıcaklık 40°C.

%40 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın zamana bağımlı reolojik özellikleri belirlemek için 85 dakika boyunca 10°C'de 0,56 ve 1,12 l/s sabit kayma hızları ile 40°C'de 1,12 ve 2,8 l/s sabit kayma hızlarında viskozite ölçümü yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre görünen viskozitenin zamana karşı değişimi Şekil 4.22'de verilmiştir. %40 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın tüm sıcaklık ve kayma hızlarında görünen viskozitesinin zamana karşı arttığı yani reopektik davranış gösterdiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar da haşhaş tohumu ezmesi ilavesi ile örneğin reopektik bir yapı kazandığını ve haşhaş tohumu ezmesi ilavesindeki artışla bu davranışın daha da belirginleştiğini göstermektedir. Işıklı ve Karababa (2005), çemen 15-25 °C sıcaklık aralığında reopektik davranışa sahip olduğunu belirtmiştir. Bu davranışın bazı bileşenlerin suda etkileşiminden kaynaklanabileceği ve parçacıkların zamanla su çekmesi ve şişmesi sonucunda çemenin viskozitesinin arttığı belirtilmiştir. Haşhaş tohumu ezmesi-pekmez karışımında da benzer bir durum oluşabilir. Haşhaş tohumu yapısında bulunan karbonhidrat ve liflerin pekmezde bulunan su ile zamanla etkileşerek bağ oluşturması ve yapının sertleşmesi karışımın reopektik davranmasına sebep olabilir.



Şekil 4.22 : %40 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın görünen viskozitesinin zaman karşı değişimi: (◇) kayma hızı 0,56 1/s sıcaklık 10°C, (□) kayma hızı 1,12 1/s sıcaklık 10°C, (Δ) kayma hızı 1,12 1/s sıcaklık 40°C, (*) kayma hızı 2,8 1/s sıcaklık 40°C.

5. SONUÇ

Üzüm pekmezi, haşhaş tohumu ezmesi ve bunların karışımlarının reolojik davranışları incelenmiştir. Pekmezin Newtonyen davrandığı, haşhaş tohumu ezmesi ve %10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımların psödoplastik davrandığı tespit edilmiştir. Üzüm pekmezine ait n değerinin 0,9724 ile 1,0239 arasında, K değerinin ise 0,185 ile 2,323 Pa.sⁿ arasında, haşhaş tohumu ezmesine ait n değerinin 0,60 ile 0,90 arasında, K değerinin ise 31,602 ile 152,512 Pa.sⁿ arasında değiştiği bulunmuştur. % 10 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımın n değeri 0,92-1,0 arasında, K değeri ise 0,248-3,558 Pa.sⁿ arasında iken, % 40 haşhaş tohumu ezmesi içeren karışımda n değerinin 0,23-0,67 arasındaki değerlere kadar azaldığı, K değerinin ise 35,632-203,008 Pa.sⁿ arasındaki değerlere kadarda arttığı tespit edilmiştir. Sıcaklık arttıkça kıvamlılık katsayısı ve viskozitenin azaldığı belirlenmiştir. Konsantrasyon arttıkça ise kıvamlılık katsayısı ve viskozitede artış olduğu saptanmıştır. Karışımların zaman bağımlı akış davranışı incelenmiş ve haşhaş tohumu ilavesiyle reopektik davranış kazandığı tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Abu-Jdayil B.**, 2004: Flow properties of sweetened sesame paste (halawa tehineh), *Eur Food Res Technol*, **219**, 265–272.
- Abu-Jdayil B., Al-Malah K. and Asoud H.**, 2002: Rheological Characterization of Milled Sesame (Tehineh), *Food Hydrocolloids*, **16**, 55-61.
- Ak, M.M.**, 1997: Reoloji bilim dalı ve gıda endüstrisi. *Gıda ve Teknoloji*, **2(4)**, 36-46.
- Akbulut M. and Çoklar H.**, 2008: Physicochemical and rheological properties of sesame pastes (tahin) processed from hulled and unhulled roasted sesame seeds and their blends at various levels, *Journal of Food Process Engineering*, **31**, 488-502.
- Akbulut M., Çoklar H. and Özen G.**, 2008: Rheological characteristics of Juniperus drupacea fruit juice (pekmez) concentrated by boiling, *Food Science and Technology International*, **14**, 321-327.
- Alpaslan M. and Hayta M.**, 2002: Rheological and sensory properties of pekmez (grape molasses)/tahin (sesame paste) blends, *Journal of Food Engineering*, **54**, 89-93.
- Altan A., Kus S. and Kaya A.**, 2005: Rheological behaviour and time dependent characterisation of Gilaboru Juice (*Viburnum opulus L.*), *Food Science and Technology International*, **11**, 129-137.
- Arslan N.**, 2009: Haşhaş: Türkiye bitkilerinin simgesi, *Gıda Hattı*, ISN: 1306-7435, **22**, 68-69.
- Arslan E., Yener M. E. and Esin A.**, 2005: Rheological characterization of tahin/pekmez (sesame paste/concentrated grape juice) blends, *Journal of Food Engineering*. **69**, 167-172.
- Bhamidipati, S. and Singh, R.K.**, 1990: Flow behavior of tomato sauce with or without particulates in tube flow, *Journal of Food Process Engineering*, **12(4)**, 275-293.
- Bhattacharya, S.**, 1999: Yield stress and time-dependent rheological properties of mango pulp. *Journal of Food Science*, **64(6)**, 129-133.
- Bozan, B. and Temelli, F.**, 2008: Chemical composition and oxidative stability of flax, safflower and poppy seed and seed oils. *Bioresource and Biotechnology*. **99**, 6354-6359.
- Cemeroğlu B.**, 1992: Meyve ve Sebze İşleme Endüstrisinde Temel Analiz Metotları, Biltav Yayınları, Ankara.
- Çiftçi D., Kahyaoğlu T. and Kapucu S., Kaya S.**, 2007: Colloidal Stability and Rheological Properties of Sesame Paste, *Journal of Food Engineering*, **87**, 428–435
- Den Ouden, F.W.C. and Van Vliet, T.**, 1997: Particle size distribution in tomato concentrate and effects on rheological properties, *Journal of Food Science*, **62(3)**,565-567.

- Dervişoğlu M. and Kokini J. L.**, 1986: Steady shear rheology and fluid mechanics of four semi-solid foods, *Journal of Food Science*, **51(3)**, 541-546.
- Ercan S. N. and Dervişoğlu M.**, 1998: Study of the steady flow behavior of hazelnut paste, *Journal of Food Process Engineering*, **21**, 181-190.
- Erkek J.**, 2003: Puding tipi ürünlerde reolojik özelliklerin objektif ve subjektif yöntemlerle saptanması, Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye.
- Göksoy, A.T.**, 1995: Endüstri bitkileri yağ ve keyf bitkileri, Tarla Bitkileri, Anadolu Üniv yayın no: 1377, Eskişehir, Türkiye.
- Genç M., Zorba M. and Ova G.**, 2002: Determination of rheological properties of boza by using physical and sensory analysis, *Journal of Food Engineering*, **52**, 95-98.
- Habibi M. B., Alaei N. and Alaei Z.**, 2006: Rheological properties of date syrup/sesame paste blend, *World Journal of Dairy & Food Sciences*, **1(1)**, 01-05.
- Heldman D. and Singh P.**, 1980: Food Process Engineering, Avi Publishnig Company Inc. Basıldığı eyalet.
- Howard, A. B.**, 1999: The yield stress—a review or ‘παντα ρ ι’—everything flows? *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, **81(1-2)**, 133-178.
- Işıklı, N.D. and Karababa, E.**, 2005: Rheological characterization of fenugreek paste (çemen), *Journal of Food Engineering*, **69**, 185-189.
- İbanoğlu Ş. and İbanoğlu E.**, 1998: Rheological characterization of some traditional Turkish soups, *Journal of Food Engineering*, **35**, 251-256.
- Kaya A. and Belibağlı K. B.**, 2002: Rheology of solid Gaziantep pekmez, *Journal of Food Engineering*, **54**, 221-226.
- Lewis, M.J.**, 1987: Physical properties of foods and food processing systems, Ellis Horwood Ltd., England.
- Lokumcu-Altay, F and Ak, M.M.**, 2005: Effects of temperature, shear rate and constituents on rheological properties of tahin (sesame paste), *J Sci Food Agric*, **85**,105–111.
- Lokumcu, F. and Ak, M.M.**, 2000: Rheology of pekmez, tahin and their mixture, *Proceedings of the 2nd International Symposiumon Food Rheology and Structure*, Ed by Fischer P, Marti Iand Windhab EJ. Institute of Food Science ETH, Zurich, pp 415–416.
- Maskan M.**, 1999: Rheological behaviour of liquorice extract, *Journal of Food Engineering*, **39**, 389-393.
- Nas S. ve Nas M.**, 1987: Pekmez ve pestilin yapılışı, bileşimi ve önemi, *Gıda*, **12(16)**,347-352.
- Nas S., Gökalp H. Y. and Ünsal M.**, 2001: Bitkisel Yağ Teknolojisi, Pamukkale Üniv yayın no: 005, Denizli, Türkiye.

- Peker S. ve Helvacı Ş.**, 2003: Akışkanlar Mekaniği: Kavramlar, Problemler, Uygulamalar, Literatür Yayıncılık, İzmir, Türkiye.
- Pordesimo, L.O. Zuritz, A. and Sharma, M.G.**, 1994: Flow behavior of coarse solid-liquid food mixtures. *Journal of Food Engineering*, **21(44)**, 495-511.
- Rao, M.A.**, 1977: Rheology of liquid Foods – A review., *Journal of Texture Studies*, **8(2)**, 135-168.
- Rao, M.A.**, 1995: Rheological properties of fluid Foods, *Engineering Properties of Foods*, Ed. M.A. Rao and S.S.H. Rizvi, 2nd ed. Marcel Dekker, Inc. New York. pp.1-97.
- Rao, M.A.** 1999: Rheology of Fluid and Semisolid Foods: Principles and Applications, Aspen Publishers, Inc., Gaithersburg, Maryland.
- Schmitt, L. Ghnassia, G. Bimbenet, J. J. and Cuvelier, G.**, 1998: Flow properties of stirred yogurt: Calculation of the pressure drop for a thixotropic fluid, *Journal of Food Engineering*, **37(4)**, 367-388.
- Sengül M., Ertugay F. M. and Sengül M.**, 2005: Rheological, physical and chemical characteristics of mulberry pekmez, *Food Control*, **16**, 73-76.
- Sharoba A.M., Senge B., El-Mansy H. A., Bahlol H. and Blochwitz R.**, 2005: Chemical, sensory and rheological properties of some commercial German and Egyptian tomato ketchups, *Eur Food Res Technol*, **220**,142–151.
- Steffe, J.F.**, 1996: Rheological Methods in Food Process Engineering, 2nd edn. Freeman Press, East Lansing, MI, (www.egr.msu.edu/~steffe/).
- Şahin, S. and Şumnu, S.G.**, 2006: *Physical Properties of Food*, Springer, Springer, New York.
- Tiziani S. and Vodovotz Y.**, 2005: Rheological effects of soy protein addition to tomato juice, *Food Hydrocolloids*, **19**, 45–52.
- Yoğurtçu H. and Kamışlı F.**, 2006: Determination of rheological properties of some pekmez samples in Turkey, *Journal of Food Engineering*, **77**, 1064-1068.
- Url-1** <<http://tr.wikipedia.org/wiki/Ha%C5%9Fha%C5%9F>>, alındığı tarih 16.06.09.
- Url-2**
<http://www.balcikhisar.com/index.php?option=com_content&view=article&id=48:hashas-hahas-nedir-hahas-yetistiriciligi&catid=36:tarim&Itemid=58>, alındığı tarih 17.06.09.
- Url-3** <<http://tr.wikipedia.org/wiki/Pekmez>>, alındığı tarih 15.06.09.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Fulya Süren

Doğum Yeri ve Tarihi: İzmir, 26.09.1985

Adres: Fevzi Çakmak Mah. Ceviz Sok. No:4 Kat:4 Balçova/İZMİR

Lisans Üniversitesi: Pamukkale Üniversitesi