

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAŞHAŞ TOHUMU EZMESİNİN REOLOJİK ÖZELLİKLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Bedriye DAVULCU

Anabilim Dalı : Gıda Mühendisliği

Programı : Tezli Yüksek Lisans

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

OCAK 2012

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAY FORMU

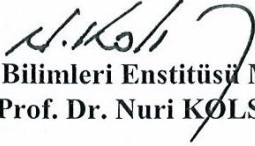
Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 091161008 nolu öğrencisi Bedriye DAVULCU tarafından hazırlanan “HAŞHAŞ TOHUMU EZMESİNİN REOLOJİK ÖZELLİKLERİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Nazım USTA (PAÜ)

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

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

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 08/02/2012... tarih ve 04/20..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Nuri KOLSUZ

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 : Bedriye DAVULCU

ÖNSÖZ

Bu çalışmada zamandan bağımsız ve zamana bağımlı reolojik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla farklı katı madde içeriğine sahip haşhaş tohumu ezmesi örneklerinin farklı sıcaklıklardaki reolojik özellikleri belirlenmiş, bu özelliklere konsantrasyon ve sıcaklığın etkisi matematiksel modellerle ifade edilmiş, sabit bir katı madde içeriğine sahip haşhaş tohumu ezmesi örneğinin farklı sabit kayma hızlarında ve sıcaklıklarda görünen viskozitesinin zamanla değişimi incelenmiştir. Elde edilen veriler haşhaş tohumu ezmesinin reolojik davranışını ortaya koymuş, gıda sanayinde kullanılabilecek faydalı bilgiler elde edilmiştir. Çalışmam sırasında benden yardımlarını eksik etmeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Sami Gökhan ÖZKAL'a, Arş. Gör. Emre TÜMER'e ve maddi manevi desteğini esirgemeyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ocak 2012

Bedriye DAVULCU
(Gıda Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL BİLGİLER VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	2
2.1 Akışkanların Reolojik Özellikleri	3
2.2 Viskozite.....	5
2.3 Viskoz Akışkan Davranışları	5
2.3.1 Newtonyen davranış.....	6
2.3.2 Newtonyen-dışı davranışlar	6
2.3.2.1 Psödoplastik davranış.....	8
2.3.2.2 Dilatant davranış	8
2.4 Plastik Akışkan Davranışları	9
2.4.1 Bingham plastik davranış.....	9
2.4.2 Bingham olmayan plastik davranış	10
2.4.3 Zamana bağımlı Newtonyen-dışı davranışlar	11
2.4.3.1 Tikotropik davranış	12
2.4.3.2 Reopektik davranış.....	13
2.4.4 Zamana bağımlı Newtonyen-dışı davranışları ifade etmek için kullanılan modeller	13
3. REOLOJİK DAVRANIŞLARI ETKİLEYEN FAKTÖRLER	14
3.1 Sıcaklığın Etkisi	14
3.2 Konsantrasyonun Etkisi.....	14
3.3 Konsantrasyonun Aktivasyon Enerjisi Üzerine Etkisi	15
3.4 Konsantrasyon ve Sıcaklığın Birlikte Etkisi	15
3.5 Partikül Boyutu ve Miktarın Etkisi	15
4. AKIŞKANLARDA VİSKOZİTE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ	17
4.1 Kapiler Akış Viskometreler	17
4.2 Rotasyonel Viskometreler	18
4.3 Küresel Cisimlerin Hareket Ettiği Viskometreler	18
4.4 Titreşimli Viskometreler	19
5. PÜRE VE EZMELERİN REOLOJİSİ ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR	20
6. MATERYAL VE METOT	25
6.1 Yağ Tayini.....	25
6.2 Selüloz Tayini	25
6.3 Kül Tayini	25
6.4 Protein Tayini	25
6.5 Örnek Hazırlama	25
6.6 Reolojik Ölçümler	26
6.7 Reolojik Modellemeler ve Veri Analizi	27
7. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	28

7.1 Zamandan Bağımsız Reolojik Özellikler	28
7.1.1 Sıcaklığın etkisi	35
7.1.2 Konsantrasyonun etkisi	37
7.2 Zamana Bağımlı Reolojik Özellikler	40
8. SONUÇ	46
KAYNAKLAR	48
EKLER.....	52

KISALTMALAR

H-B	: Herschel-Bulkley
OMS	: Ortalama Mutlak Sapma (% Olarak Hata Miktarı)
TK	: Toplam Kuru Madde

TABLO LİSTESİ

Tablolar

5.1 : Bazı gıda maddelerinin reolojik davranışlarını ifade eden parametreler....	21
7.1 : Farklı toplam katı madde içeriğine sahip haşhaş tohumu ezmesi örneklerinin yoğunlukları.....	28
7.2 : %46, %48, %50 ve %52 katı madde içeriğine sahip örneklerin üs yasası modeli sabitleri.....	34
7.3 : Farklı katı madde içeriğine sahip haşhaş tohumu ezmelerinin Arrhenius eşitliği sabitleri.....	37
7.4 : Farklı sıcaklıklar için kıvamlılık katsayısına katı madde içeriğinin etkisi, üstel modelinin sabitleri.....	39
7.5 : Farklı sıcaklıklar için kıvamlılık katsayısına katı madde içeriğinin etkisi, üs yasası modelinin sabitleri.....	39
7.6 : Katı madde içeriğinin aktivasyon enerjisi üzerine etkisi.....	39
7.7 : Katı madde içeriği ve sıcaklığın akış davranış üzerine etkisi.....	39
7.8 : %50 katı madde içeriğine sahip haşhaş tohumu ezmesi için 2. dereceden yapısal kinetik modeli sabitleri.....	44
7.9 : %50 katı madde içeriğine sahip haşhaş tohumu ezmesi için Weltman modeli sabitleri.....	44
7.10 : %50 katı madde içeriğine sahip haşhaş tohumu ezmesi için sıfır gerilime sahip 1. dereceden gerilim azalma modeli sabitleri.....	44
7.11 : %50 katı madde içeriğine sahip haşhaş tohumu ezmesi için sıfır olmayan gerilime sahip 1. dereceden gerilim azalma modeli sabitleri.....	45

ŞEKİL LİSTESİ

Şekiller

2.1 : Reolojinin sınıflandırılması	4
2.2 : Kayma hızı kayma gerilimi diyagramı	6
2.3 : Newtonyen davranışlar için akış ve viskozite eğrisi	7
2.4 : Psödoplastik davranışlar için akış ve viskozite eğrisi	8
2.5 : Dilatant davranışlar için akış ve viskozite eğrisi	9
2.6 : Bingham plastik davranışlar için akış ve viskozite eğrisi.....	10
2.7 : Herschel-Bulkley davranışlar için akış ve viskozite eğrisi.....	11
2.8 : Zamana bağımlı reolojik davranışlar için viskozite eğrileri.....	12
7.1 : %46 katı madde içeriğine sahip örneğin farklı sıcaklıklardaki akış eğrilerine ait histerezis döngüsü	29
7.2 : %48 katı madde içeriğine sahip örneğin farklı sıcaklıklardaki akış eğrilerine ait histerezis döngüsü	29
7.3 : %50 katı madde içeriğine sahip örneğin farklı sıcaklıklardaki akış eğrilerine ait histerezis döngüsü	30
7.4 : %52 katı madde içeriğine sahip örneğin farklı sıcaklıklardaki akış eğrilerine ait histerezis döngüsü	30
7.5 : %46 katı madde içeriğine sahip örneğin farklı sıcaklıklarda görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi.....	31
7.6 : %48 katı madde içeriğine sahip örneğin farklı sıcaklıklarda görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi.....	32
7.7 : %50 katı madde içeriğine sahip örneğin farklı sıcaklıklarda görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi.....	32
7.8 : %52 katı madde içeriğine sahip örneğin farklı sıcaklıklarda görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi.....	33
7.9 : Kıvamlilik katsayısına sıcaklığın etkisi.....	36
7.10 : Kıvamlilik katsayısına katı madde içeriğinin etkisi.....	38
7.11 : 5°C’de haşhaş tohumu ezmesinin görünen viskozitesinin zamana karşı değişimi	41
7.12 : 15°C’de haşhaş tohumu ezmesinin görünen viskozitesinin zamana karşı değişimi	41
7.13 : 25°C’de haşhaş tohumu ezmesinin görünen viskozitesinin zamana karşı değişimi	42
7.14 : 35°C’de haşhaş tohumu ezmesinin görünen viskozitesinin zamana karşı değişimi	42
7.15 : 45°C’de haşhaş tohumu ezmesinin görünen viskozitesinin zamana karşı değişimi	43
A1 : Haşhaş tohumu ezmesi	52
A2 : Reolojik ölçümlerin yapıldığı viskometre	53

ÖZET

HAŞHAŞ TOHUMU EZMESİNİN REOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada haşhaş tohumu ezmesinin reolojik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. İlk bölümde farklı katı madde içeriğine sahip haşhaş tohumu ezmesi örneklerinin farklı sıcaklıklarda zamandan bağımsız reolojik özellikleri belirlenmiştir. Ölçümler rotasyonel viskometre kullanılarak yapılmıştır. Örneklerin artan ve azalan kayma hızı sırasına göre farklı kayma hızlarında ölçümleri yapılmıştır. %46, 48, 50 ve 52 katı madde içeriğine sahip haşhaş tohumu ezmesi örneklerinin 5, 15, 25, 35 ve 45°C olmak üzere beş farklı sabit sıcaklıkta üs yasası modeline uygun psödoplastik davrandığı tespit edilmiştir. Kıvamlilik katsayısı (K) katı madde içeriği arttıkça önemli oranda artmıştır. Kıvamlilik katsayısına sıcaklığın etkisi Arrhenius tipi eşitlik ile açıklanmıştır. Haşhaş tohumu ezmesi örneklerine ait aktivasyon enerjisi (E_a) değerinin katı madde içeriği artışıyla yükselme eğilimi gösterdiği ve 20789,18 ile 35728,38 kJ/kmol arasında değişim gösterdiği saptanmıştır. Katı madde içeriğinin haşhaş tohumu ezmesinin kıvamlilik katsayısına etkisi üs yasası modeli ile ifade edilebileceği belirlenmiştir.

İkinci bölümde haşhaş tohumu ezmesinin farklı sıcaklıklarda zamana bağımlı akış davranışı belirlenmiştir. % 50 katı madde içeriğine sahip haşhaş tohumu ezmesi örneğinin farklı sabit kayma hızlarında ve 5, 15, 25, 35, 45°C sıcaklıklarda görünen viskozitesinin zamanla değişimi incelenmiştir ve haşhaş tohumu ezmesinin tiksotropik davranış gösterdiği belirlenmiştir. Haşhaş tohumu ezmesinin tiksotropik davranışının 2. dereceden yapısal kinetik model ve Weltman modeli ile ifade edilebileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Reolojik özellikler, haşhaş tohumu ezmesi, tiksotropi, model

SUMMARY

RHEOLOGICAL PROPERTIES OF POPPY SEED PASTE

In this work, determination of the rheological properties of poppy seed paste was aimed. In the first part, time independent rheological properties of poppy seed paste samples having different solid content were determined at different temperatures. Measurements were done with rotational viscometer. Samples were sheared with increasing and decreasing order at different shear rates. Samples having 46, 48, 50 and 52 % solid contents behaved as a pseudoplastic power law fluid at 5, 15, 25, 35 and 45°C. Effect of temperature on consistency coefficient (K) was explained by Arrhenius type equation. Consistency coefficient was increased gradually with increase in solid content. Activation energies were showed an increasing trend with an increase in solid content and it was changed between 20789.18 and 35728.38 kJ/kmol. Effect of solid content on consistency coefficient was represented by power-law model.

In the second part, time dependent rheological properties of poppy seed paste at different temperatures were investigated. Change in apparent viscosity of poppy seed paste containing 50 % solids was examined at 5, 15, 25, 35 and 45°C. Poppy seed paste behaved as a thixotropic fluid and this behavior was represented successfully by 2. order structural kinetic model and Weltman models.

Key Words: Rheological properties, poppy seed paste, thixotropy, model

1. GİRİŞ

Reoloji literatürde; maddelerin deformasyonu ve akışı ile ilgilenen bilim dalı olarak tanımlanmaktadır. Maddenin üzerine etkiğinde deformasyona ve akmaya sebep olan mekanik özelliklere de reolojik özellikler denilmektedir. Gıda endüstrisinde gıdaların reolojik özellikleri; boru hatları, pompa, ekstrüder, karıştırıcı, kaplama makinesi, ısı değıştirici ve homojenizatör gibi ekipmanların veya bu ekipmanlarla ilgili proseslerin tasarımı açısından önem taşımaktadır. Bu nedenle gıdaların reolojik davranışlarının belirlenmesi birçok bilimsel çalışmaya konu olmuştur.

Haşhaş tohumu ezmesi, haşhaş tanelerinin ezilmesi ile elde edilen, ülkemizde çoğunlukla geleneksel olarak tüketilen bir üründür. Vitamin ve mineral madde içeriğinin yanında önemli oranda yağ içeriğine sahip olan haşhaş tohumu, linoleik asit, oleik asit ve omega yağ asitlerince zengin doymamış yağ asidi bileşimi ile insan beslenmesinde önemli bir kaynak olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle bu çalışmada, haşhaş tohumu ezmesinin zamandan bağımsız ve zamana bağımlı reolojik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. KURAMSAL BİLGİLER VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Haşhaş gelincik familyasından bir bitki olup, ülkemizde haşhaşın 36 türü mevcuttur (Arslan, 2009). Yazların sıcak geçtiği, orta derecede yağışlı yerleri seven haşhaşın Anavatanı Doğu Akdeniz olup Hindistan ve Anadolu'da çok eskiden beri tarımı yapılmaktadır. Haşhaş tohumlarının ezilmesi ile elde edilen bir ürüne haşhaş ezmesi denilmektedir (Url-1).

Ülkemizde haşhaş Toprak Mahsulleri Ofisi'nin denetiminde 1939 yılından beri yetiştirilmektedir (Arslan, 2009). Haşhaşın Afyon, Denizli, Uşak, Isparta gibi illerde tarımı yapılmakta olup, haşhaş hem yağ hem de önemli bir ilaç bitkisidir. Haşhaş tohumu yağı iyi yemeklik niteliğe sahip olan bir yağdır ve ülkemizde ekimi yapılan yağ bitkilerinin ekim alanlarının büyüklüğü incelendiğinde haşhaş tohumu; ayçiçeği, pamuk tohumu ve susamdan sonra dördüncü üründür (Göksoy, 1995).

Haşhaş tohumunun yapısında %40-55 oranında yağ, %18-27 protein, %5-9 oranında kül bulunmaktadır (Arslan, 2009). Bozan and Temelli, 2008, yaptıkları 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 içerdiğini ifade etmiştir.

Haşhaş yağı omega yağ asitlerince zengin bir yağ olup, 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. Haşhaş yağı cildi besleyici etkiye sahip olup, aromaterapide masaj yağı olarak kullanılmaktadır. Haşhaş tohumları insan sağlığına yararlı vitamin ve mineral maddeleri açısından da zengindir (Arslan, 2009).

Haşhaş tohumlarının yağ oranları renklerine göre farklılık göstermekle birlikte en yüksek yağ içeriği beyaz renkli tohumlardadır. Yağ verimi bakımından ikinci sırayı sarı renkli tohumlar almaktadır. En düşük yağ içeriği ise gri-mavi renkli ve halk arasında güvercingöğsü olarak isimlendirilen tohumlardadır. Yurt içinde en fazla sarı haşhaş tohumu tüketilmektedir ve pasta, börek, çörek gibi hamur işlerinde ayrıca yağı yemeklik olarak ve boya sanayinde kullanılmaktadır. Mavi ve beyaz renkli

haşhaş tohumları ise ihraç edilmektedir ve kozmetik sanayi, pastacılıkta kullanılmaktadır (Url-2).

Haşhaş tohumu ve ezmesi; ekmek, simit, börek, çörek, kek gibi hamur işlerinde, helva, irmik, pekmez gibi tatlılarda geniş ölçüde kullanılmaktadır. Haşhaş tohumlarının yağı alındıktan sonra kalan küspe hayvan yemi olarak kullanılmaktadır ve arta kalan küspe protein, yağ ve azotsuz maddelerce zengindir (Arslan, 2009).

2.1. Akışkanların Reolojik Özellikleri

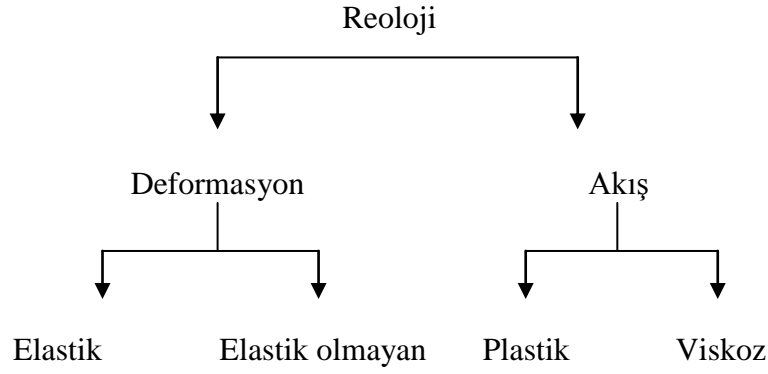
Akışkan hem sıvı, hem de gaz halindeki maddeleri ifade eder. Akışkanın bilimsel tanımını da yapmak ve katı maddelerden farkını belirlemek, kayma gerilimi (stresi) kavramını kullanarak mümkündür. Gerilim genel ifadeyle Eşitlik 2.1’de verilen ifade ile tanımlanır.

$$\text{Gerilim} = \text{Kuvvet} / \text{Kuvvetin etki ettiği alan} \quad (2.1)$$

Bir cismin yüzeyine kuvvet dik etkirse bu sıkıştırma gerilimi, paralel (teğet) olarak etkirse bu kayma gerilimi olarak tanımlanır.

Katılar çok büyük kayma (teğet etkileyen) kuvvetlerine sürekli olarak karşı koyabilen maddelerdir. Akışkanlar ise çok küçük olsa bile bir kayma kuvvetine sürekli olarak direnç gösteremeyen maddelerdir. Bir kayma kuvvetinin etkisinde kaldıklarında, akışkanlar hareket etmeye başlarlar ve kayma kuvveti etki ettiği sürece akışkanların hareketi de devam eder (Uysal, 2003).

Reoloji klasik olarak, maddenin deformasyonu ve akışı ile ilgilenen bilim dalı şeklinde tanımlanır. Reoloji ilk kez Amerika’da İndiana Üniversitesi profesörü Bingham tarafından kullanılmıştır. Bu terim, Amerikan Reoloji Topluluğu kuruluş tarihi olan 1929 yılında kabul edilmiştir (Koçak, 2004). Geniş anlamda düşünüldüğünde reoloji, dış kuvvetlerin etkisi altında bir cisimde meydana gelen her türlü deformasyon ve akış ile ilgilenir. Maddenin üzerine etkiğinde deformasyona ve akmaya sebep olan mekanik özelliklere reolojik özellikler denir. Deformasyon ve akış, gıda maddelerinin üretiminden tüketimine kadar neredeyse her aşamada ve farklı biçimlerde yer almaktadır (Steffe, 1996). Reolojinin sınıflandırılması Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1 : Reolojinin sınıflandırılması (Şahin and Şumnu, 2006)

Birbirinden çok farklı alanlarda reoloji çalışmaları yapılmaktadır. Kömür, boya, kauçuk, yağ, gıdalar ve asfalt gibi çok çeşitli malzemede çalışılmaktadır (Koçak, 2004).

Gıda endüstrisinde reolojik verilere çok çeşitli işlemlerde ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

- Boru hatlarında pompa, ekstrüder, karıştırıcı, kaplama makinesi, ısı değiştirici ve homojenizatör gibi ekipmanların veya bu ekipmanlarla ilgili proseslerin tasarımı için gerekli olan mühendislik hesaplamalarında,
- Ürün geliştirmede bileşen fonksiyonlarının belirlenmesinde,
- Ara ve son ürünün kalite kontrolünde,
- Raf ömrü testlerinde,
- Duyusal verilerle ilişkili olarak gıda yapısının değerlendirilmesinde,
- Reolojik esaslı bileşen denklemlerin analizinde ihtiyaç duyulmaktadır (Steffe,1996).

Reolojik özellikler gıdaların duyuşal 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 algılanışını 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).

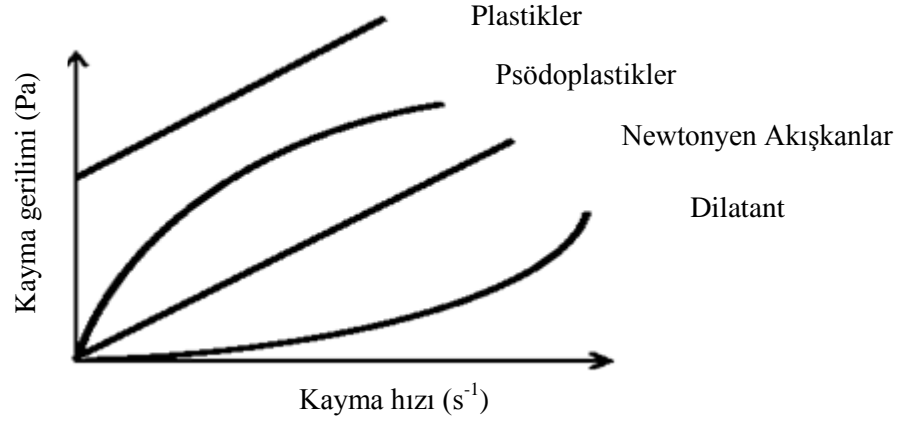
2.2 Viskozite

Akışkan maddenin içerisindeki kayma kuvvetleri nedeniyle oluşan direncin büyüklüğünü tanımlayan, akış karakteri üzerinde büyük bir etkiye sahip olan özelliğe viskozite adı verilmektedir. Viskozite, akışkan içerisinde komşu iki tabakanın birisi hareket ettirildiğinde ortaya çıkan içsel sürtünme olup buna akışkanlarda akmaya karşı direnç gösteren moleküler çekim kuvvetleri sebep olmaktadır. Bu sürtünme akışkanın bir tabakasının kendisine yapışık başka bir tabakası üzerinde hareketini engeller. Başka bir deyişle viskozite moleküller arası çekim kuvvetine bağlı olup, akışkanın akışa gösterdiği dirençtir (Koçak, 2004).

Viskozite birimi SI birim sisteminde Pa.s, cgs birim sisteminde ise g/cm.s olarak kullanılır. Viskozite sıcaklık değişiminden etkilenmektedir. Akışkanların çoğunluğunun viskozitesi sıcaklık artışıyla azalmaktadır. Akışkanların molekülleri birbirine yakındır ve moleküller birbirlerini kuvvetlerle çekerler. Sıcaklık artışı ile birlikte moleküller arasındaki çekim kuvvetleri düşmekte ve akış daha serbest hale dönüşmektedir (Şahin and Şumnu, 2006).

2.3. Viskoz Akışkan Davranışları

Akışkanların ne tip bir akış durumu gösterdikleri, yapılan ölçümlerden sonra çizilen kayma hızına karşı kayma gerilimi diyagramından bakılarak anlaşılmaktadır. Çünkü akışkanların davranış özellikleri üzerlerine uygulanan kayma hızına veya kayma gerilimine bağlıdır. Elde edilen diyagrama akış eğrisi (reogram) adı verilir ve akış eğrisi çeşitli fonksiyonel bağıntılarla matematiksel olarak modellenir. Şekil 2.2’de akışkanlar için akış eğrileri gösterilmektedir (Steffe, 1996; Koçak, 2004).



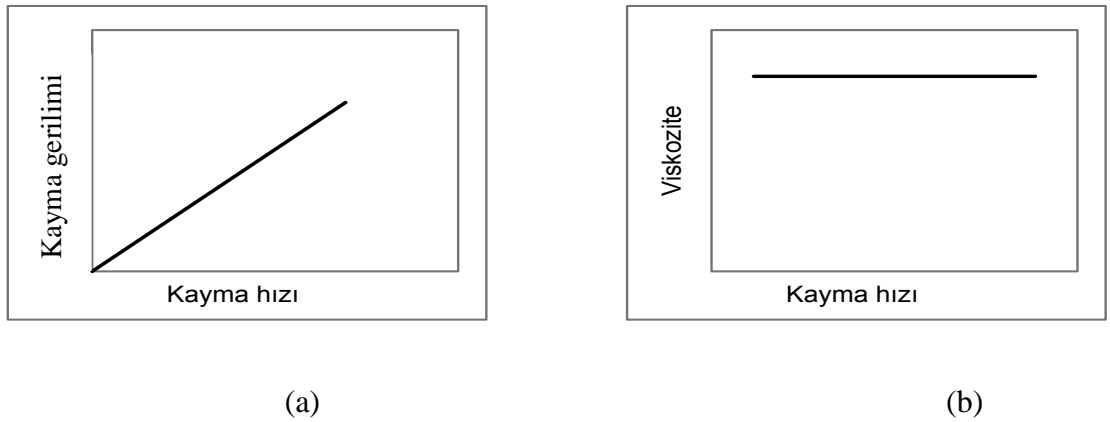
Şekil 2.2 : Kayma hızı kayma gerilimi diyagramı (Steffe, 1996).

2.3.1. Newtonyen davranış

Bir akışkanın Newtonyen olarak sınıflandırılması için viskozitesinin sabit olması ve kayma hızından etkilenmemesi gerekir. Bir başka deyişle; kayma gerilimi-kayma hızı arasındaki ilişkinin (akış grafiğinin) doğrusal olması gerekir. Newtonyen davranış gösteren gıdalara su, şarap, süt, şuruplar örnek olarak verilebilir (Ak, 1997). Newtonyen davranışın reolojik denklemi Eşitlik 2.2'de verilmiştir.

$$\tau = \eta \gamma \quad (2.2)$$

Bu denklemde τ kayma gerilimini (Pa), η kayma viskozitesini (Pa.s) ve γ kayma hızını (1/s) göstermektedir. Newtonyen davranışlar için akış ve viskozite eğrileri Şekil 2.3'de verilmiştir.



Şekil 2.3 : Newtonyen davranışlar için (a) akış ve (b) viskozite eğrisi (Steffe, 1996).

Newtonyen özellik gösteren akışkanlarda, viskozite kayma gerilimi-kayma hızı grafiğinin eğimine eşittir ve böyle bir akışkan sabit reolojik özelliklere sahiptir. (Ak, 1997; Koçak, 2004). Newtonyen davranış gösteren akışkanların viskozitesinde zamanla değişiklik meydana gelmez, sadece sıcaklık ve kompozisyonla değişir. (Rao, 1995; Steffe, 1996; Şahin and Şumnu, 2006). Sıcaklığın artması ile Newtonyen akışkanların viskozitesi azalmaktadır (Koçak, 2004).

2.3.2. Newtonyen–dışı davranışlar

Akış özellikleri kayma hızından etkilenen akışkanlara Newtonyen-dışı akışkan denir. Newtonyen akışkanların viskozitesi kayma hızından bağımsızken, Newtonyen-dışı akışkanlar için sabit bir viskozite değerinden söz etmek mümkün değildir. Newtonyen-dışı davranış gösteren gıdalar genelde emülsiyon, süspansiyon veya yüksek molekül ağırlıklı madde çözeltisi halindedir. Akışkanların yapısında kayma hızıyla ve/veya zamanla meydana gelen değişimler viskoziteyi etkiler. Newtonyen-dışı akışkanların viskozitesi sabit değildir. Bu nedenle Newtonyen-dışı akışkanların belli bir kayma hızında görünen viskozitelerinden (η_{app}) bahsedilir ve görünen viskozite kayma geriliminin kayma hızına bölünmesiyle elde edilir (Ak, 1997; Şahin and Şumnu, 2006).

Bu grup içinde yer alan davranışlar psödoplastik (kayma hızıyla viskozitesi düşen), dilatant (kayma hızıyla viskozitesi artan) akışkanlardır. Psödoplastik ve dilatant akışkanlar üs yasası ile ifade edilirler,

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad (2.3)$$

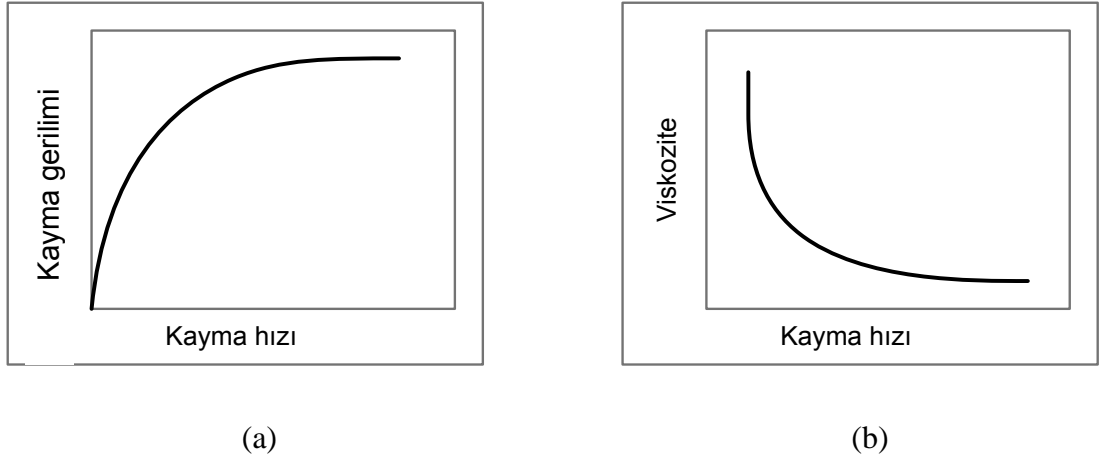
bu denklemde K kıvam indeksi ve n akış davranış indeksidir .

Eşitlik 2.2 ve 2.3 karşılaştırıldığında kıvam indeksi dediğimiz K 'nın viskoziteye karşılık geldiği, akış davranış indeksi dediğimiz n 'nin ise Newtonyen davranıştan ne kadar uzaklaşıldığını gösteren bir sayı olduğu görülür. $n=1$ ise akışkan Newtonyen, $0 < n < 1$ ise akışkan psödoplastik (kaymayla incelen), $n > 1$ ise akışkan dilatant (kaymayla kalınlaşan) olarak tanımlanır. Kıvam indeksi ve akış davranış indeksi sıcaklıktan ve gıdanın kompozisyonundan etkilenmektedir (Rao, 1995; Ak, 1997; Lokumcu and Ak, 2000).

2.3.2.1. Psödoplastik davranış

Psödoplastik davranış gösteren akışkanların görünen viskoziteleri kayma hızı arttıkça azalır, kayma gerilimi ise artar. Yani kayma hızı arttıkça akışkanın akmaya karşı direnci düşer. Bu tür davranışa gıdalarda sık rastlanır (Steffe, 1996; Ak, 1997; Şahin and Şumnu, 2006). Psödoplastik davranışlar için akış ve viskozite eğrileri Şekil 2.4'te verilmiştir.

Yoğurt, salata sosları, elma sosu, domates salçası, konsantre portakal suyu, muz püresi, bazı sebze çorbaları, puding ve birçok gum solüsyonunun psödoplastik davranış sergilediği bildirilmiştir (Ak, 1997).



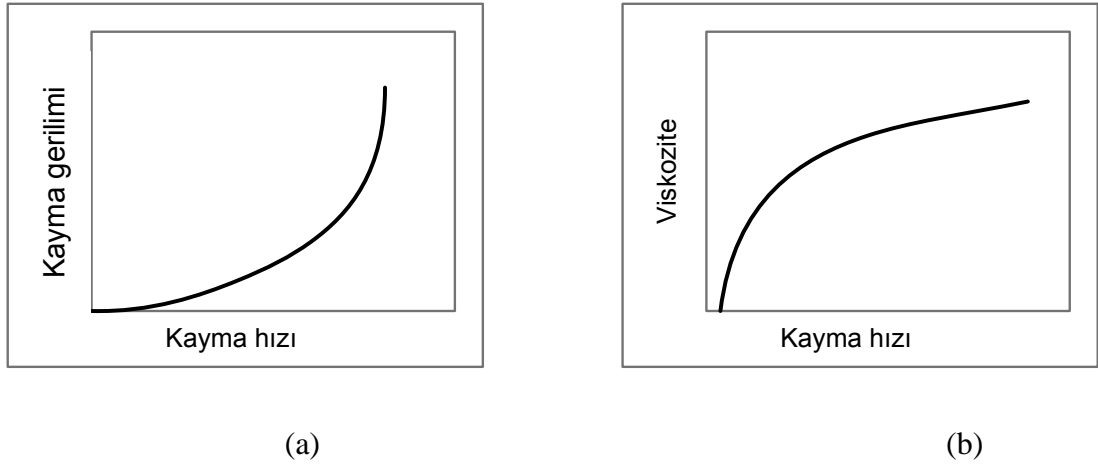
Şekil 2.4 : Psödoplastik davranışlar için (a) akış ve (b) viskozite eğrisi (Steffe, 1996).

2.3.2.2. Dilatant davranış

Dilatant (shear thickening) davranış gösteren akışkanlar genelde yüksek miktarda katı partikül içeren süspansiyon yapıdaki sistemlerdir. Bu akışkanlar durgun halde iken veya düşük kayma hızında yapıda bulunan katı partiküller tabakalar oluşturmaktadır, sıvı faz tabakalar arasındaki boşlukta yer almakta ve yağlama görevi yaparak tabakaların birbiri üzerinden rahatça kaymasına yardımcı olmaktadır. Kayma hızı yükselince bu tabakalı yapı bozularak partiküller bireysel hareket etmeye başlar ve etkin hacimleri gerçek hacimlerinden fazla olur. Yeni yapıda sıvı ihtiyacı artar ve akış zorlaşır bu nedenle viskozite yükselir. Bu özelliğinden dolayı dilatant akışkanlar yüksek kayma hızlarında bir katı gibi davranarak pompalama gibi işlemlerde sorun oluşturabilirler (Ak, 1997).

Dilatant davranış gösteren akışkanlarda kayma hızı arttıkça görünen viskozite ve

kayma gerilimi artar (Steffe, 1996; Şahin and Şumnu, 2006). Dilatant davranışa ait akış ve viskozite eğrileri Şekil 2.5'te verilmiştir. Bu akışkan davranışına çok nadir olarak karşılaşılmakta olup jelatinize olmuş nişasta süspansiyonları örnek olarak verilebilir (Rao, 1999). Yüksek moleküllü polisakkarit bulunan balların, fıstık ezmesinin ve sosis/sucuk eti karışımının da dilatant davrandığı belirtilmiştir (Ak, 1997).



Şekil 2.5 : Dilatant davranışlar için (a) akış ve (b) viskozite eğrisi (Steffe, 1996).

2.4. Plastik Akışkan Davranışları

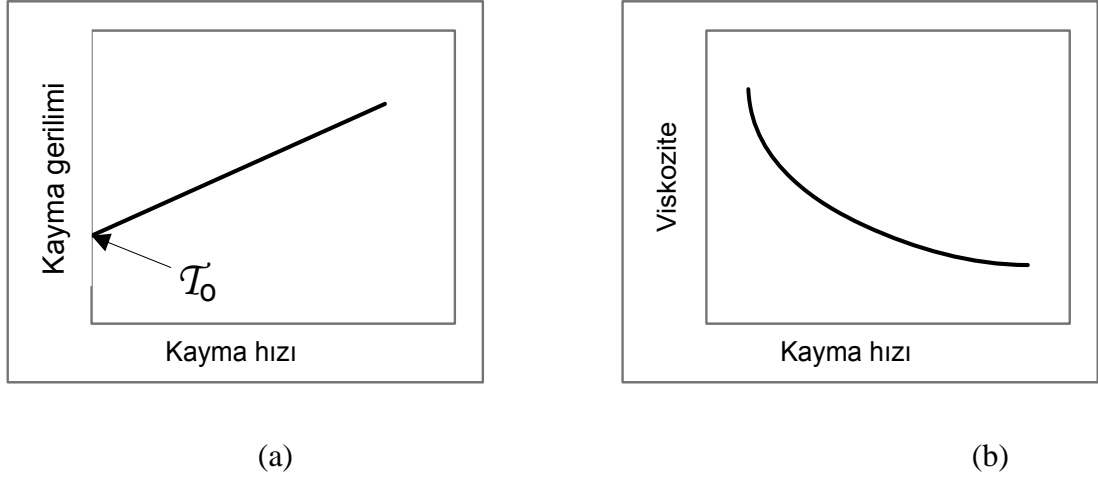
2.4.1. Bingham plastik davranış

Bingham plastik davranışta akışın başlaması için akışkana uygulanan gerilim belirli bir değeri aşması gereklidir, bu gerilim değerine 'yıkılma gerilimi (stresi)' adı verilir. Bingham plastik akışkanlar durgun halde iken bir 'katı' gibi davranırlar, ancak bu katı yapıyı kırmaya ve harekete geçirmeye yetecek düzeyde yani yıkılma geriliminin üzerinde bir kuvvet uygulandığında Newtonyen akışkan gibi davranırlar (Ak, 1997). Bingham plastik davranış için akış ve viskozite eğrileri Şekil 2.6'da verilmiştir.

$$\tau = \tau_0 + K \dot{\gamma} \quad (2.4)$$

Bu denklemde τ_0 yıkılma gerilimini, K kıvam indeksini ifade eder.

Bingham plastik davranış gösteren gıdalara yoğurt, çikolatalı soslar, ketçap ve salça sıralanabilir. Diş macunu da bingham plastik davranışa örnek gösterilebilir (Steffe, 1996; Ak, 1997).



Şekil 2.6 : Bingham plastik davranışlar için (a) akış ve (b) viskozite eğrisi (Steffe, 1996).

Katı gıda yüzeylerinin kaplanması ve dondurma üzerinde kullanılan soslar gibi gıda sektöründe bazı uygulamalarda yıkılma geriliminin pratik önemi vardır (Ak, 1997).

2.4.2. Bingham olmayan plastik davranış

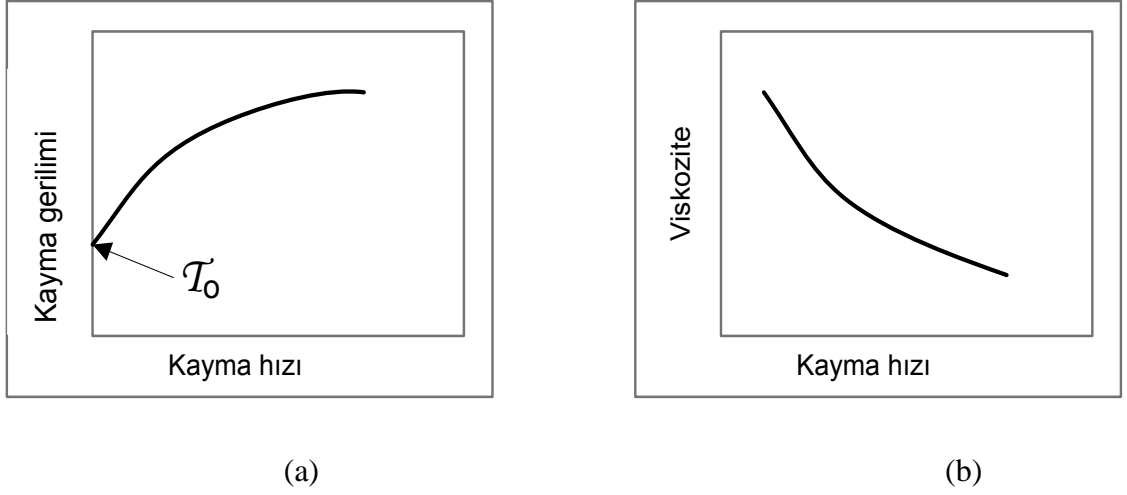
Bingham olmayan plastik davranış çeşidinin ilk örneği Herschel-Bulkley (H-B) davranış olup, bu davranış aslında psödoplastik davranışın yıkılma gerilimi içeren hali gibi düşünülebilir (Şahin and Şumnu, 2006). Bu davranış Eşitlik 2.5 ile tanımlanır.

$$\tau = \tau_0 + K \dot{\gamma}^n \quad (2.5)$$

Bu denklemde τ_0 yıkılma gerilimi, K kıvam indeksi ve n akış davranış indeksidir (Ak, 1997). H-B davranışlar için akış ve viskozite eğrileri Şekil 2.7’de verilmiştir.

Ketçap (Sharoba et al., 2005), kişniş ve nane yaprağı püresi (Rudra et al., 2007), kayısı püresi (İçier ve Bozkurt 2009) ve zencefil ezmesi (Ahmed, 2004) H-B davranış gösteren gıdalardandır.

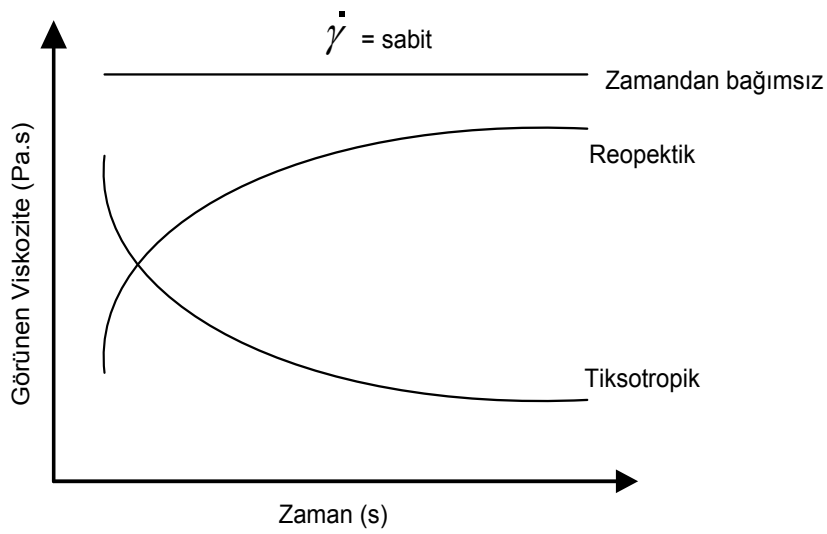
Bu grupta yer alan diğer bir davranış Casson davranışı olup erimiş çikolata bu modele uymaktadır (Şahin and Şumnu, 2006).



Şekil 2.7 : Herschel-Bulkley davranışlar için (a) akış ve (b) viskozite eğrisi (Steffe, 1996)

2.4.3 Zamana bağımlı Newtonyen–dışı davranışlar

Bazı akışkanlar sabit kayma hızına tabi tutulduğunda zamanla viskoziteleri artabilmekte veya azalabilmektedir. Eğer akışkanın görünen viskozitesi ve kayma gerilimi zamanla azalıyor ise tiksotropik, zamanla artıyorsa reopektik olarak tanımlanır (Şahin and Şumnu, 2006). Reopektik ve tiksotropik davranışlar için viskozite eğrileri Şekil 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.8 : Zamana bağımlı reolojik davranışlar için viskozite eğrileri (Şahin and Şumnu, 2006).

2.4.3.1. Tikotropik davranış

Tikotropik davranışın sebebi kayma uygulaması ile birlikte maddenin yapısındaki meydana gelen bozulmalardır (Şahin and Şumnu, 2006). Tikotropik materyaller deformasyondan sonra bir süre dinlenmeye bırakılırsa başlangıçtaki orijinal yapılarını ya tamamen ya da kısmen geri kazanabilirler (Ak, 1997; Rao, 1977; Howard, 1999).

Tikotropik davranış, kayma hızı kademeli olarak artırılıp (artan hız sırası) sonra da azaltılarak (azalan hız sırası) kayma geriliminin ölçülmesiyle bulunur. Eğer azalan hız sırası ölçümü sonuçlarında elde edilen kayma gerilimi değerleri artan hız sırası ölçümü sonuçlarında elde edilen kayma gerilimi değerlerinden daha küçük bulunur ve histeresiz halkası oluşursa akışkanın tikotropik davrandığı saptanır. Diğer bir yöntemde ise kayma hızı sabit tutularak akışkanın viskozitesi zamana karşı ölçülür. Viskozitenin zaman içerisinde azalması tikotropik davranışın göstergesidir (Ak, 1997).

Artan-azalan kayma hızı programı aynı malzeme üzerinde birkaç kez uygulanınca histeresiz halkası yok olabilmekte ve hatta tikotropik davranıştan reopektik davranışa dönüşebilmektedir (Ak, 1997; Rao, 1977)

Tikotropik davranan gıdalara örnek olarak; gilaboru suyu (Altan et al., 2005), tatlandırılmış susam ezmesi (Abu-Jdayil, 2004) ve sürülebilir peynir (Ak, 1997) verilebilir.

2.4.3.2. Reopektik davranış

Tikotropik davranışın tersine bu akışkan tipinde viskozite, sabit kayma hızında, zamanla artmaktadır ve bu akışkanlar da dinlenmeye bırakıldığında orijinal yapılarına ve reolojik özelliklerine tamamen veya kısmen dönebilirler. Histeresiz halkası azalan hız sırası ölçümlerinde kayma gerilimi değerlerinin azalmasından dolayı meydana geliyor ise akışkan tikotropik, artmasından dolayı meydana geliyor ise reopektik olarak tanımlanmaktadır (Ak, 1997). Reopektik davranış gıdalarda az rastlanan bir tip olup, haşhaş tohumu ezmesi pekmez karışımı (Süren, 2010) ve sulu çemen çözeltilsinin (Işıklı and Karababa, 2005) reopektik davrandığı ifade edilmiştir.

2.4.4. Zamana bağımlı Newtonyen-dışı davranışları ifade etmek için kullanılan modeller

Sıfır gerilim (stres) değerine sahip 1. dereceden gerilim azalma modeli, sıfır olmayan gerilime sahip 1. dereceden gerilim azalma modeli, Weltman modeli ve yapısal kinetik model sırası ile Eşitlik 2.6,2.7,2.8 ve 2.9'da verilmiştir.

$$\tau = \tau_0 e^{-kt} \quad (2.6)$$

$$\tau - \tau_\infty = (\tau_0 - \tau_\infty) e^{-kt} \quad (2.7)$$

$$\tau = A + B \ln t \quad (2.8)$$

$$[(\eta - \eta_\infty)/(\eta_0 - \eta_\infty)]^{1-n} = (n - 1)kt + 1 \quad (2.9)$$

Bu denklemlerde τ_0 başlangıçtaki ($t=0$ anında) kayma gerilimi değerini, τ_∞ denge anındaki ($t \rightarrow \infty$ anında) kayma gerilimi değerini, η_0 başlangıçtaki görünen viskoziteyi ve η_∞ dengeye ulaşıldığındaki viskoziteyi, t kayma süresini (s), k bozulma hızı sabitini (kinetik katsayısı), A ve B sabit parametreleri ve n yapısal bozulma reaksiyonunun derecesini ifade etmektedir (Razavi and Karazhiyan, 2009).

3. REOLOJİK DAVRANIŞLARI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

3.1. Sıcaklığın Etkisi

Gıda proseslerinin birçok alanında sıcaklık uygulaması yapılmaktadır. Genelde viskozite ile sıcaklık arasında ters bir ilişki bulunmaktadır. Sıcaklıktaki artış ile akışkanın viskozitesi azalmaktadır. Akış davranış indeksi olan n genellikle sıcaklıkla birlikte sabit kalırken, sıcaklığın kıvam katsayısı (K) üzerine etkisi Arrhenius tipi eşitlik (Eşitlik 3.1) ile açıklanmaktadır,

$$K = K_T e^{E_a/RT} \quad (3.1)$$

K_T deneysel sabitler iken, 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 et al., 2005; Lokumcu-Altay and Ak, 2005).

3.2. Konsantrasyonun Etkisi

Sabit sıcaklıkta konsantrasyon değişimi ile viskozite arasında doğrusal bir ilişki vardır. Konsantrasyondaki artışla viskozite artmaktadır. Konsantrasyonla viskozite (ya da kıvamlilik katsayısı) arasındaki bu ilişki genelde üstel model (Eşitlik 3.2) veya üs yasası modeli (Eşitlik 3.3) ile ifade edilmektedir,

$$K = K_{c1} e^{a_1 c} \quad (3.2)$$

$$K = K_{c2} c^{a_2} \quad (3.3)$$

K kıvamlilik katsayısını, K_{c1} , K_{c2} , a_1 , a_2 orantısal sabitleri temsil etmektedir (Arslan et al., 2005; Akbulut et al., 2008).

3.3. Konsantrasyonun Aktivasyon Enerjisi Üzerine Etkisi

Aktivasyon enerjisinin konsantrasyonla değişimi de üstel model (Eşitlik 3.4) veya üs yasası modeli (Eşitlik 3.5) ile ifade edilmektedir,

$$E_a = A_1 e^{b_1 c} \quad (3.4)$$

$$E_a = A_2 c^{b_2} \quad (3.5)$$

E_a aktivasyon enerjisini, A_1 , A_2 , b_1 , b_2 katsayıları ifade etmektedir (Kaya and Belibağlı, 2002; Arslan et al., 2005; Akbulut et al., 2008).

3.4. Konsantrasyon ve Sıcaklığın Birlikte Etkisi

Konsantrasyondaki artış, sıcaklıktaki azalış viskozitede (ya da kıvamlılık katsayısında) artmaya neden olmaktadır. Bu ilişki aşağıda verilen denklemlerle ifade edilebilmektedir,

$$K = K_1 e^{(E_a / RT + d_1 C)} \quad (3.6)$$

$$K = K_2 e^{(E_a / RT)} C^{d_2} \quad (3.7)$$

K kıvamlılık katsayısı, E_a aktivasyon enerjisi (J/kmol), R evrensel gaz sabiti (J/kmol.K), T ise mutlak sıcaklık (K), C konsantrasyon, K_1 , K_2 , d_1 ve d_2 sabit sayılardır (Kaya and Belibağlı, 2002; Arslan et al., 2005; Akbulut et al., 2008).

3.5. Partikül Boyutu ve Miktarın Etkisi

Sıvı gıdaların birçoğunun yapısında katı parçacıklar bulunabilmektedir. Pompalama, karıştırma ve ısıtma işlemlerinde bu tür katı-sıvı karışımı gıdalar heterojen bir akış davranışı göstermektedirler. Bu gıdalar iki ayrı fazın karışımı olduğu için, katının ve sıvının ayrı ayrı gösterdikleri akış davranışından tamamıyla farklı özellikte olurlar (Pordesimo et al., 1994).

Kaba parçacık içeren gıda karışımlarında parçacık boyutu ve konsantrasyon arttıkça kıvam indeksinin arttığı ve akış davranış indeksinin azaldığı ifade edilmiştir (Pordesimo et al., 1994). Domates sosunun kuru madde ve parçacık miktarı arttıkça kıvam indeksi (K)'nin arttığı ve akış davranış indeksi (n)'nin azaldığı belirtilmiştir

(Bhamidipati and Singh, 1990). Domates konsantrelerinden hazırlanan süspansiyonlarla yapılan bir çalışmada da parçacık büyüklüğü arttıkça görünen viskozitenin ve yıkılma gerilimi değerinin azaldığı saptanmıştır (Den Ouden and Van Vliet, 1997).

4. AKIŞKANLARDA VİSKOZİTE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Akışkanlarda viskoziteyi ölçen aletlere viskometre denir ve değişik türleri vardır. Bunlar;

1. Kapiler akış viskometreler
2. Rotasyonel viskometreler
3. Küresel cisimlerin hareket ettiği viskometreler ve
4. Titreşimli viskometrelerdir.

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 hızı ve kayma gerilimi arasındaki ilişki, basınç gradyeni ve akışkanın hacim olarak boru içinde akma debisi ölçülerek elde edilir (Heldman and Singh, 1981).

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 Eşitlik 4.1'de verilmiştir.

$$\frac{\eta}{\rho} = k \cdot t \quad (4.1)$$

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

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

4.2. Rotasyonel Viskometreler

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 gerilme değerlerinin ölçümü mümkün olabilmektedir. Böylece akışkanın reolojik karakterizasyonu yapılabilmektedir. Bazı cihazlar ayrıca sıvının viskozitesinin sıcaklıkla değişimini inceleme olanağı veren donanıma sahiptir (Lewis, 1987).

Rotasyonel viskometrelerin tek başlıklı (single spindle) viskometreler, konsantrik (ortak merkezli) silindir viskometreler, koni-plaka ve paralel-plaka viskometreleri olmak üzere farklı çeşitleri bulunmaktadır (Lewis, 1987).

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 and Şumnu, 2006).

4.4. Titreşimli Viskometreler

Bu tip viskometreler özellikle üretim hattı üzerinde süreç kontrolü için viskozite ölçümünde kullanılmaktadır. Ölçüm prensibi viskometre başlığının titreşiminin etrafındaki sıvının tarafından sınırlandırılması miktarının akışkanın viskozite ve

yoğunluğuna bağlı olarak değişmesine dayanır. Bu viskometrelerin rotasyonel viskometrelere göre avantajlı yönü yüksek basınç uygulamalarında kullanılabilmesidir (Cullen et al., 2000).

5. PÜRE VE EZMELERİN REOLOJİSİ ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bazı püre ve ezme örneklerinin reolojik davranışlarını ifade eden parametreler Tablo 5.1’de verilmiştir.

Sıcaklığın zencefil ezmesinin reolojik özelliklerine etkisi Ahmed (2004) tarafından reometre kullanılarak belirlenmiştir. Kayma gerilmesi, kayma hızı ve görünür viskozite 25-65°C sıcaklık aralığında 50. ve 150. saniyelerde ölçülmüştür. Kayma gerilmesi ve kayma hızı verileri Herschel-Bulkley modeli ile tanımlanmıştır. Örneklerin yıkılma stresi artan sıcaklıkla 63.3 ile 159.2 Pa arasında azalmıştır. Akış davranış indeksi ise 0.52 ile 0.66 arasında değer almıştır. Kıvamlilik katsayısı ve görünen viskozite sıcaklıktaki azalma ile artmıştır ve akışın proses aktivasyon enerjisi 34.4 ve 46.2 kJ/mol arasında bulunmuştur.

Ahmed and Ramaswamy (2004) sıcaklık (5-65°C), toplam çözünür kuru madde (10-30° briks), pH (3-7) ve alfa amilaz konsantrasyonunun [(0.25–1.25) kg 100/kg püre] papaya pürelerinin reolojik karakteristikleri üzerinde tek ve kombine etkileri bilgisayar kontrollü rotasyonel viskometre kullanılarak çalışmıştır. Papaya püresi psödoplastik özellik göstermiştir. Toplam çözünür kuru madde, sıcaklık ve pH ve bunların kombinasyonu pürelerin kıvamını etkilemiştir. Sıcaklık ve enzim konsantrasyonu görünür viskozitede kayda değer bir etki göstermiştir.

Ditchfield et al. (2004) muz pürelerinin reolojik özelliklerini basınç ayarlaması yapılabilen ve yüksek sıcaklıkta çalıştırılabilen dinamik stres reometresi ile belirlemişlerdir. Denemeler 30°C’den 120°C’ye kadar sıcaklıklarda ve 10-170 Pa aralığında yapılmıştır. Fakat yapılan çalışmada 50°C’den 60°C’ye ve 110°C’den 120°C’ye sıcaklık artışı sırasında görünen viskozitede bir artış görülmüştür. Bunun muz püresinde bulunan polisakaritlerin interaksiyonundan kaynaklanabileceği belirtilmiştir.

Tablo 5.1: Bazı gıda maddelerinin reolojik davranışlarını ifade eden parametreler.

Ürün	Bileşim (% TK)*	T (°C)	n (-)	K (Pa.s ⁿ)	τ_0 (Pa)	Kayma Hızı (1/s)	Kaynak
Pekmez	39,44-75,46 °Briks	5-30	0,3883-0,9881	0,2165-75,3166	-	0-93	Yoğurtçu and Kamışlı (2006)
Çilek püresi	6,5 °Briks	75-90	0,315-0,415	1,12-3,02	-	0-300	Osorio et al, (2008)
Gilaboru suyu	35-59,7 °Briks	5-60	0,674-0,924	0,05-8,44	-	0-300	Altan et al. (2005)
Tatlandırılmış Susam ezmesi	50	25-45	0,44-0,56	32,6-131,6	-	4,45-95,94	Abu-Jdayil (2004)
Tahin/Pekmez Karışımı	20-32 % Tahin	35-65	0,7-0,85	0,282-2,547	-	0,75-63,9	Arslan et al. (2005)
Boza	20	10	0,267-0,502	0,830-21,467	-	0,14-28	Genç et al. (2002)
Zencefil ezmesi	7,0	25-65	0,52-0,66	269,9-29,3	63,3-159,2	50-150	Ahmed (2004)
Kışniş ezmesi	8,95	30-80	0,455-0,735	4,0-20,0	10,9-36,1	0,1-300	Rudra et al. (2007)
Nane ezmesi	8,39	30-80	0,137-0,451	40,0-300,0	26,0-489,0	0,1-300	Rudra et al. (2007)
Muz püresi	23,7	30-120	0,281-0,966	0,03-21,44	12,21-82,20	10 ⁻⁵ -10 ³	Ditchfield et al. (2004)
Papaya püresi	10-30 °Briks	5-65	0,58-0,85	0,17-1,13	6,18-36,0	0-300	Ahmed and Ramaswamy (2004)
Kayısı püresi	% 12	20-80	0,946-1,691	0,078-1,519	20-80	0-56	İçier ve Bozkurt (2009)
Ketçap	% 12	0-50	0,2501-0,4157	9,4036-30,2300	2,6142-27,6880	0,1-100	Sharoba et al. (2005)

*Ağırlık yüzdesi olarak toplam kuru madde miktarını ifade etmekte olup, farklı olarak verilen değerler ayrıca belirtilmiştir.

Altan et al. (2005), farklı konsantrelerde (59,7, 56,3, 53,1, 43,0 ve 35 °Brix) filtre edilmiş gilaboru suyu örnekleri hazırlamışlardır. Gilaboru suyu örneklerinin reolojik özelliklerini 5-60°C sıcaklık aralığında belirlemişler ve gilaboru suyu örneklerinin psödoplastik ve tiksotropik davranış gösterdiği saptanmıştır. Gilaboru suyunun n değeri 0,674-0,924 aralığında ve K değerinin 0,05-8,44 Pa.sⁿ aralığında değiştiğini belirtilmiştir.

Dut, üzüm, kuşburnu ve keçiboynuzu bitkilerinden elde edilmiş olan pekmez örneklerinin reolojik davranışı Yoğurtçu and Kamışlı (2006) tarafından 5, 10, 15, 20 ve 30°C sıcaklıklarda rotasyonel viskozimetre kullanılarak incelenmiştir. Pekmez örneklerinin Newtonyen-dışı akışkan oldukları sonucuna varılmıştır. Viskozite üzerine sıcaklığın etkisi Arrhenius eşitliği kullanılarak belirlenmiştir. Katı madde içeriğine (39.44, 60.48, 67.08, 69.68, 71.98, 74.22, 75.40 ve 75.46 °Brix) göre viskozluk enerjilerinin 18.51-74.66 kJ/mol aralığında değiştiği görülmüştür.

Kışniş ve nane yaprağı püresinin reolojik davranışı Rudra et al. (2007) tarafından 30-80°C sıcaklıklarda belirlenmiştir. Literatürdeki çeşitli uygun reolojik modeller kullanılmıştır. Sıcaklıktaki artış ile kışniş ve nane püresinde görünür viskozitede azalma tespit edilmiştir. Çalışmada kışniş ve nane yaprağı püreleri newtonyen-dışı akış davranışı göstermiştir. Bu sıcaklık aralığında kışniş ve nane yaprağı püresinin akış özellikleri en iyi tanımlayan modelin Herschel-Bulkley modeli olduğu belirlenmiştir. Sıcaklığın viskozite üzerindeki değişime etkisi Arrhenius modeli ile tanımlanmıştır.

Osorio et al. (2008) yaptıkları bir çalışmada çilek pürelerinin akış davranışlarını 75°C'de 15s ön pastörizasyon ve 90°C'de 20s ikinci pastörizasyon sonrasında incelemiştir. Çalışmada taze ve ısı ile muamele edilen püreler kullanılmıştır. Pastörize edilen püreler 3°C de 2 ay depolanmıştır. Pektin metilesteraz aktivitesi reolojik davranışları ve tat nitelikleri analiz edilmiştir. Isıl işleme tabi tutulan örneklerde kayda değer bir viskozite artışı görülmüştür, depolama ile viskozitede azalma olmuştur.

Ohmik ısıtma işlemi süresince sıcaklığın kaybı püresi örneklerinin reolojik özellikleri üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada; kaybı püresi örnekleri, silindirik kesitli ohmik ısıtma hücresinde sabit voltaj gradyanında (30 R/cm) ve kontrol ısıtma yöntemi olarak su banyosunda, 20°C başlangıç sıcaklığından

hedeflenen 30-80°C sıcaklık değerlerine ulaşmaya kadar ısıtılmıştır. Kayısı püresi örneklerinin farklı sıcaklıklarda reolojik özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Herschel-Bulkley modelinin kayısı püresi örneklerinin reolojik özelliklerini tanımlayan en uygun model olduğu saptanmıştır. Kayısı püresi örneklerinin eşik kayma gerilimi değerleri ohmik ısıtma ve geleneksel ısıtma yöntemleri için sırasıyla 0,68-1,56Pa ve 0,36-0,88Pa olarak belirlenmiştir. Uygulanan ısıtma yönteminin örneklerin kıvam katsayısı ve akış davranış indeksi değerleri üzerine önemli düzeyde etkisi olduğu saptanmıştır. Ohmik ısıtma işlemi sonucunda elde edilen aktivasyon enerjisi değerinin de geleneksel yöntemle ısıtmaya nazaran oldukça düşük olduğu saptanmıştır (İçier ve Bozkurt, 2009).

Sharoba et al. (2005), Mısır ve Almanya süpermarketlerinden satın alınan, kuru madde miktarları %25 ile %35 arasında olan sekiz adet ketçap örnekleri üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Ölçümler 0, 10, 20, 30, 40, 50°C'lerde yapılmıştır ve ölçümler sonucunda ketçap örneklerinin Newtonyen-dışı Herschel-Bulkley modeline uygun davrandığı saptanmıştır.

Genç et al. 2002, 10°C sabit sıcaklıkta farklı boza örneklerinin reolojik özelliklerini incelemişlerdir. Ölçümler sonucunda sabit sıcaklıkta kayma hızındaki artışla birlikte görünür viskozitede azalma olduğunu ve boza örneklerinin Newtonyen-dışı, psödoplastik özellik gösterdiklerini saptamışlardır. Örneklerin akış davranış indeksinin 0,267 ile 0,502 arasında ve kıvamlılık katsayısının 0,830 ile 21,467 Pa.sⁿ arasında değiştiği belirtilmiştir.

Abu-Jdayil (2004) tatlandırılmış susam ezmesinin (helva) 25-45°C aralığında zamana bağımlı akış özellikleri incelemiştir. Helva örneği ölçülen tüm sıcaklıklarda psödoplastik ve tiksotropik özellik göstermiştir. Görünür viskozite-kayma hızı verileri üs yasası modeline uygunluk göstermiştir. Sıcaklık artışı ile akış davranış indeksi artmış, kıvamlılık katsayısı ise önemli ölçüde azalmıştır. Kıvamlılık katsayısı ve sıcaklığın etkisi Arrhenius eşitliği ile ifade edilmiştir. Helva tiksotropik davranış göstermiş bu davranış ikinci dereceden yapısal kinetik modelle ifade edilmiştir.

Arslan et al., (2005) rotasyonel viskometre kullanılarak, farklı tahin konsantrasyonlarında (%20-32) ve sıcaklıklarda (35-65°C) tahin/pekmez karışımlarının reolojik özellikleri tespit etmiştir. Tahin/pekmez karışımları tüm sıcaklık ve konsantrasyonlarda Newtonyen-dışı davrandığı belirtilmiştir. Görünür

viskozite, kayma hızı verileri üs yasası modeline uygunluk göstermiştir. Akış davranış indeksi (n) 0,7-0,85 aralığında, kıvamlılık katsayısı (K) ise 282-2547mPasⁿ aralığında değişim göstermiştir. Her iki parametrede sıcaklıktan önemli ölçüde etkilenmiştir. Sıcaklık ve kıvamlılık katsayısı (K) arasındaki ilişki Arrhenius tipi eşitlik ile ifade edilmiştir. Artan konsantrasyon ile aktivasyon enerjisi 13,376-28,592 J/mol aralığında değişim göstermiştir. Konsantrasyonun kıvamlılık katsayısına etkisi üstel ve üs yasası modelleri ile ifade edilmiştir.

6. MATERYAL VE METOT

Araştırmada gri-mavi renkli haşhaş tohumlarından elde edilen siyah renkli haşhaş tohumu ezmesi kullanılmış olup bu ürünler Denizli piyasasından temin edilmiştir (şekil A1).

6.1. Yağ Tayini

Yağ tayini soxhelet cihazı kullanılarak Nas ve diğ., (2001)'de belirtilen metoda göre geręekleřtirilmiř olup çözücü olarak hekzan kullanılmış ve toplam 7 saat ekstraksiyon yapılmıştır.

6.2. Selüloz Tayini

Selüloz tayini TS 4966 metoduna göre, yağı alınmış örnek Scharrer reaktifi ile kaynatılıp, krozeden süzülerek çözünmeyen maddeler ayrılmış, kurutulmuş ve tartılmıştır. Yakıldıktan sonra kalan kısım selüloz miktarı olarak kaydedilmiştir (Anonim, 1986).

6.3. Protein Tayini

Protein tayini kjeldahl yöntemiyle 2 tekrar olarak yapılmıştır (Elgün ve diğ., 1998).

6.4. Yoğunluk Tayini

Yoğunluk tayini oda sıcaklığında (20 ± 0.5 °C) Micromeritics marka AccuPyc II 1340 model gaz piknometresi kullanılarak belirlenmiştir (Anonim, 2010a).

6.5. Örnek Hazırlama

Araştırmada haşhaş tohumu ezmesinin yağ tayini yapılarak yağ içeriği belirlenmiştir. Daha sonra farklı katı madde içeriğinde örnekler hazırlayabilmek için örneklerin santrifüj ile yağ ve katı madde fraksiyonları birbirinden ayrılmış ve örneğe yağ eklenerek veya örnekten yağ alarak % 46, 48, 50 ve 52 katı madde içeriğine sahip

örnekler elde edilmiştir. Örneklere homojen hale gelmesi için cam çubuk ile karıştırma işlemi uygulanmıştır. Örnekler hazırlandıktan sonra reolojik ölçümler yapılmıştır.

6.6. Reolojik Ölçümler

Haşhaş tohumu ezmesi örneklerinin 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 ceketini kullanılarak yapılmıştır. Ölçümlerin istenilen sıcaklıkta yapılabilmesi için sirkülasyonlu su banyosu (Polyscience) kullanılmıştır (Şekil A2). 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 gerçekleştirilmiştir. İlk bölümde örneklerin 5, 15, 25, 35 ve 45°C olmak üzere beş farklı sabit sıcaklıkta kayma hızı-kayma gerilimi ilişkileri belirlenmiştir. 0,03 ile 100 rpm aralığında örneğine göre belirlenen 15-18 tane dönme hızı uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Örneklerde önce hız kademeli olarak artırılarak (artan hız sırası) sonra da azaltılarak (azalan hız sırası) ölçümleri yapılmıştır. Böylece örneklerin histeresiz döngüleri de elde edilmiştir. Viskometre başlığının dönme hızları kullanılan örneğe bağlı olarak cihazın maksimum ve minimum okuma değerlerinin arasında kalacak şekilde belirlenmiştir. Hesaplamalarda ölçüm başlangıcından sonraki 15-60 saniyeler arasındaki 4 okuma değerinin ortalaması kullanılmıştır. Her bir koşul için 2 ölçüm gerçekleştirilmiştir.

İkinci bölümde örneğin zamana bağımlı reolojik davranışını belirlemek amacıyla, %50 katı madde içeriğine sahip örneğin 5°C'de 0,14 ve 0,42 1/s sabit kayma hızlarında 4 saat boyunca, 15 ve 25°C'de 1 ve 2,5 1/s sabit kayma hızlarında 3-4 saat boyunca, 35°C'de 1, 1,5 ve 4 1/s sabit kayma hızlarında 2,5 saat boyunca ve 45°C'de 1, 2,5 ve 8 1/s sabit kayma hızlarında 2,5 saat boyunca viskozitesinin ölçümü yapılarak örneklerin zamana bağımlı reolojik davranışı incelenmiştir.

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

$$\text{Viskozite (mPa.s)} = 5000 \times \text{Tk/RPM} \quad (6.1)$$

$$\text{Kayma hızı (1/s)} = 0,28 \times \text{RPM} \quad (6.2)$$

$$\text{Kayma gerilimi (mPa)} = 1400 \times \text{Tk} \quad (6.3)$$

$$\text{Görünen Viskozite (mPa.s)} = \text{Kayma gerilimi/Kayma hızı} \quad (6.4)$$

Bu denklemlerde, Tk cihazda okunan % tork değerini, RPM ölçüm başlığının dakikadaki dönme hızını (rpm) ifade etmektedir (Anonim, 2010b).

6.7. Reolojik Modellemeler ve Veri Analizi

Haşhaş tohumu ezmesinin zamandan bağımsız reolojik davranışını belirlemek için üs yasası (Eşitlik 2.3) modeli kullanılmıştır. Hesaplamalarda artan hız ve azalan hız sırasına göre gerçekleştirilen ölçümler sonucunda elde edilen veriler ayrı ayrı kullanılmıştır. Reolojik parametrelere, sıcaklığın etkisi Arrhenius tipi eşitlik (Eşitlik 3.1), haşhaş tohumu ezmesi konsantrasyonunun etkisi üstel (Eşitlik 3.2) ve üs yasası (Eşitlik 3.3) modelleri, konsantrasyonun ve sıcaklığın birlikte etkisi Eşitlik 3.6 ve Eşitlik 3.7 kullanılarak araştırılmıştır. Haşhaş tohumu ezmesinin zamana bağımlı reolojik davranışını belirlemesi için sıfır gerilim (stres) değerine sahip 1. dereceden gerilim azalma modeli (Eşitlik 2.6), sıfır olmayan gerilime sahip 1. dereceden gerilim azalma modeli (Eşitlik 2.7), Weltman modeli (Eşitlik 2.8) ve 2. dereceden yapısal kinetik model (Eşitlik 2.9) modellerine uygunluğu araştırılmıştır.

Eşitlikler doğrusallaştırıldıktan sonra, doğrusal regresyon analizi yapılarak modellerin katsayıları bulunmuştur. Modellerin deney sonuçlarını temsil etme oranları R^2 ve ortalama mutlak sapma OMS (Eşitlik 6.5) değerleri karşılaştırılarak belirlenmiştir.

$$\text{OMS} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_{\text{deney}} - y_{\text{model}}}{y_{\text{deney}}} \right| \times 100 \quad (6.5)$$

Bu denklemde, y_i deneylerden ve model denkleminde elde edilen değerleri, n ; kullanılan veri sayısını ifade eder. Hesaplamalar Microsoft Excel 2010 kullanılarak yapılmıştır.

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

Araştırmada kullanılan haşhaş tohumu ezmesinin yapısında bulunan yağ, protein ve selüloz miktarları araştırılmış ve haşhaş tohumu ezmesinde %49,7 yağ, %13,68 protein ve %10,86 selüloz bulunduğu saptanmıştır.

Reolojik analizlerde kullanılan farklı toplam katı madde içeriğine sahip haşhaş tohumu ezmesi örneklerinin yoğunlukları Tablo 7.1’de verildiği gibi saptanmıştır. Katı madde içeriği artışı ile yoğunluk artmıştır.

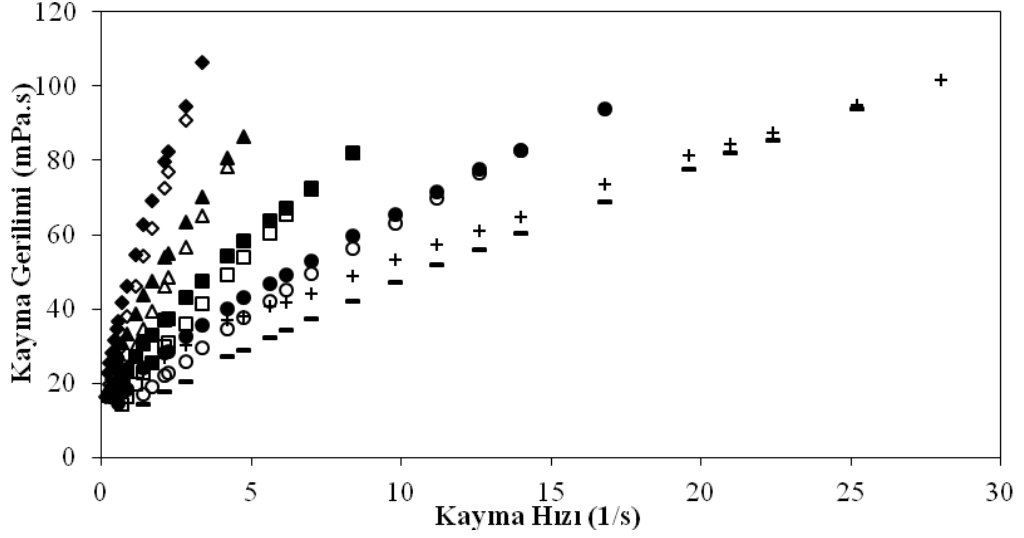
Tablo 7.1: Farklı toplam katı madde içeriğine sahip haşhaş tohumu ezmesi örneklerinin yoğunlukları.

C (%)*	Yoğunluk (kg/m ³)
46	1129,6
48	1135,8
50	1152,1
52	1158,6

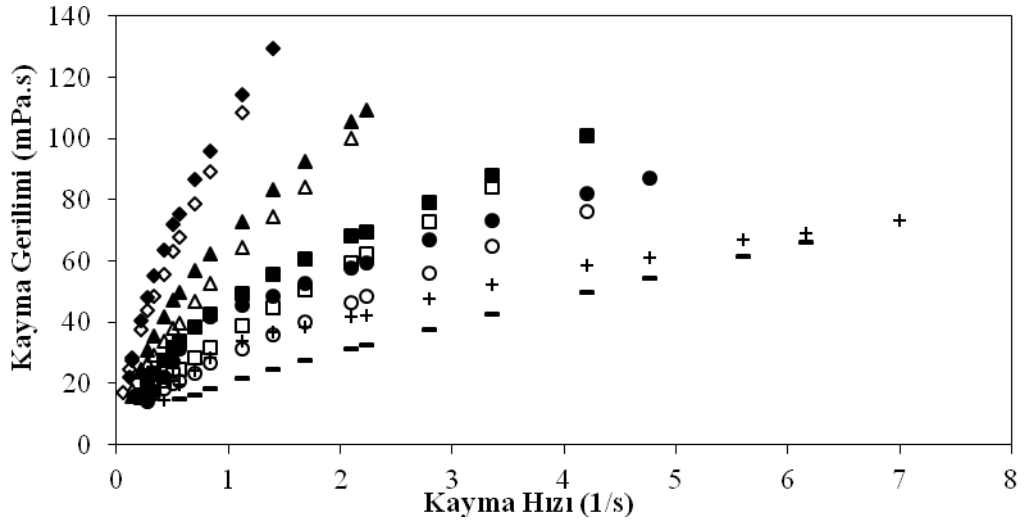
*% olarak katı madde içeriğini belirtmektedir.

7.1. Zamandan Bağımsız Reolojik Özellikler

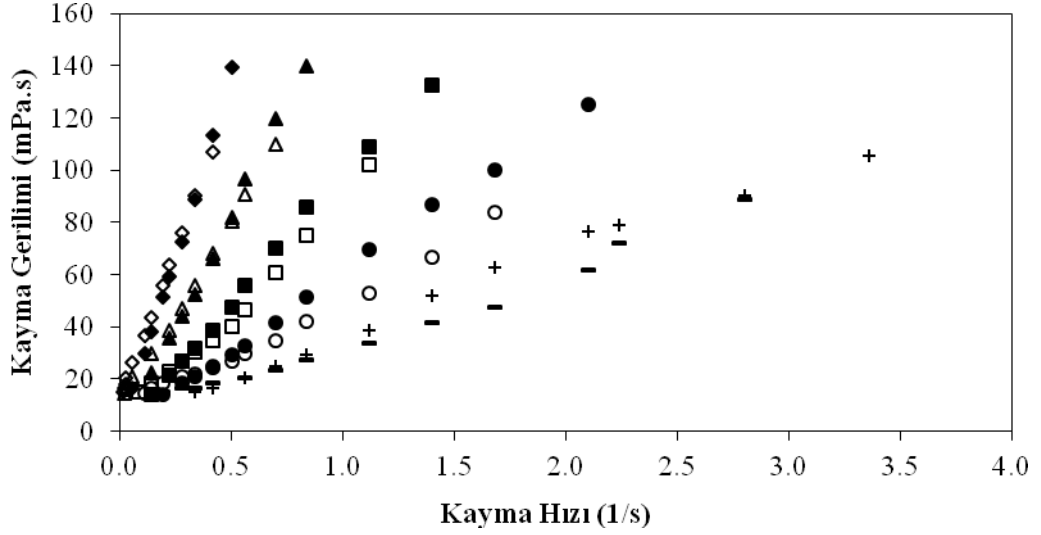
Haşhaş tohumu ezmesinin %46, 48, 50 ve 52 katı madde içeriğine sahip örneklerin kayma gerilimi ile kayma hızı arasındaki ilişki sırası ile Şekil 7.1, 7.2, 7.3 ve 7.4’te verilmiştir. Artan hız sırası ölçümü değerleri ile azalan hız sırası ölçümü değerleri birbirinden farklı bulunmuş ve bunun sonucu olarak histeresiz döngüleri ortaya çıkmıştır. Genelde artan hız sırası ölçümü değerlerinin azalan hız sırası ölçümü değerlerinden daha büyük olarak bulunmuştur (Şekil 7.1-4).



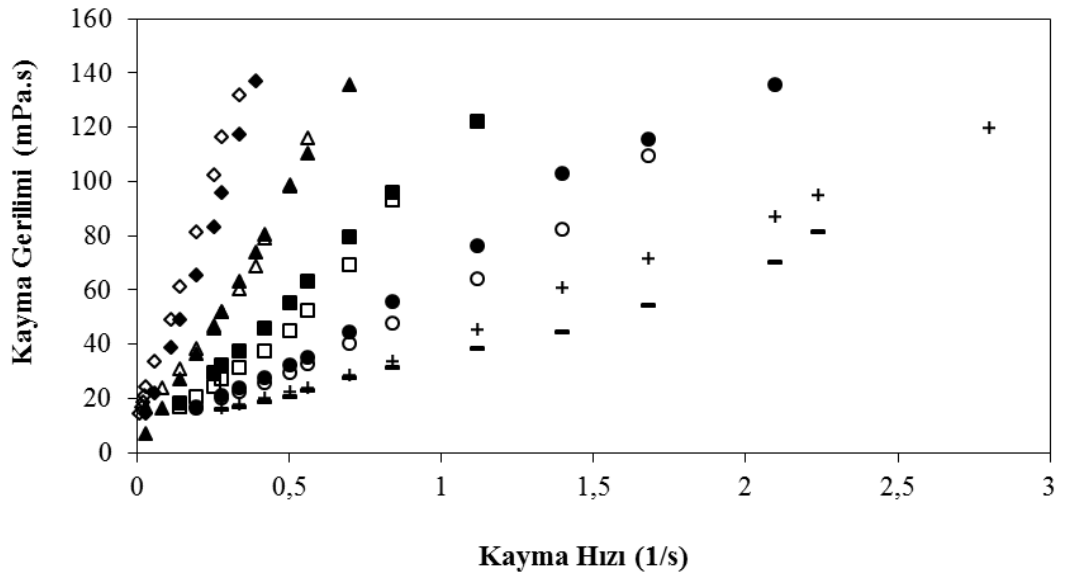
Şekil 7.1 : %46 katı madde içeriğine sahip örneğin farklı sıcaklıklardaki akış eğrilerine ait histerezis döngüsü: (◆) 5°C artan hız, (◇) 5°C azalan hız, (▲) 15°C artan hız, (△) 15°C azalan hız, (■) 25°C artan hız, (□) 25°C azalan hız, (●) 35°C artan hız, (○) 35°C azalan hız, (+) 45°C artan hız, (-) 45°C azalan hız.



Şekil 7.2 : % 48 katı madde içeriğine sahip örneğin farklı sıcaklıklardaki akış eğrilerine ait histerezis döngüsü: (◆) 5°C artan hız, (◇) 5°C azalan hız, (▲) 15°C artan hız, (△) 15°C azalan hız, (■) 25°C artan hız, (□) 25°C azalan hız, (●) 35°C artan hız, (○) 35°C azalan hız, (+) 45°C artan hız, (-) 45°C azalan hız.

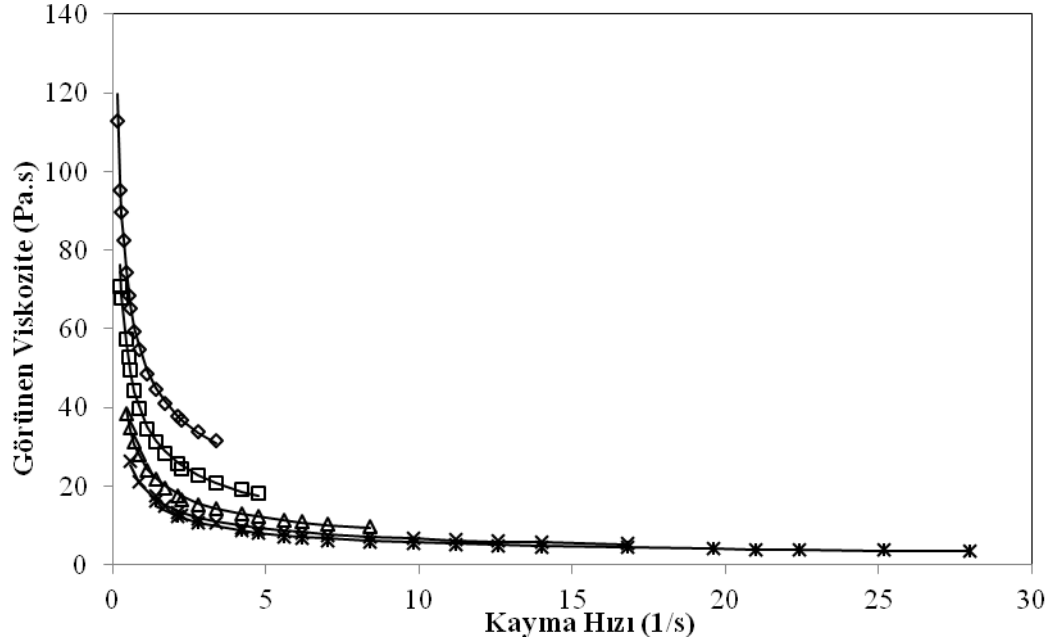


Şekil 7.3 : %50 katı madde içeriğine sahip örneğin farklı sıcaklıklardaki akış eğrilerine ait histerezis döngüsü : (◆) 5°C artan hız, (◇) 5°C azalan hız, (▲) 15°C artan hız, (△) 15°C azalan hız, (■) 25°C artan hız, (□) 25°C azalan hız, (●) 35°C artan hız, (○) 35°C azalan hız, (+) 45°C artan hız, (-) 45°C azalan hız.

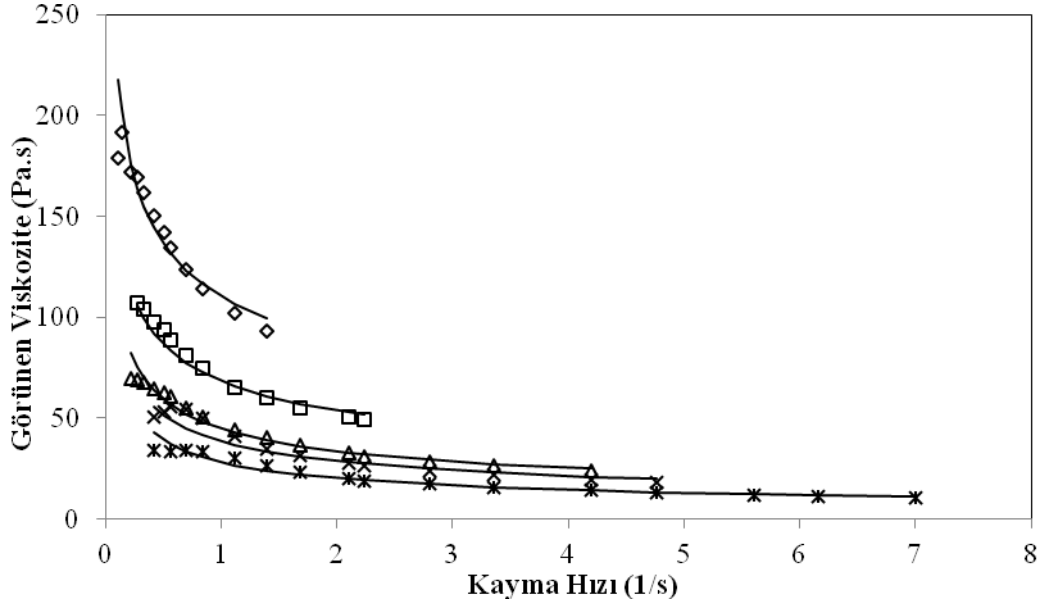


Şekil 7.4 : %52 katı madde içeriğine sahip örneğin farklı sıcaklıklardaki akış eğrilerine ait histerezis döngüsü : (◆) 5°C artan hız, (◇) 5°C azalan hız, (▲) 15°C artan hız, (△) 15°C azalan hız, (■) 25°C artan hız, (□) 25°C azalan hız, (●) 35°C artan hız, (○) 35°C azalan hız, (+) 45°C artan hız, (-) 45°C azalan hız.

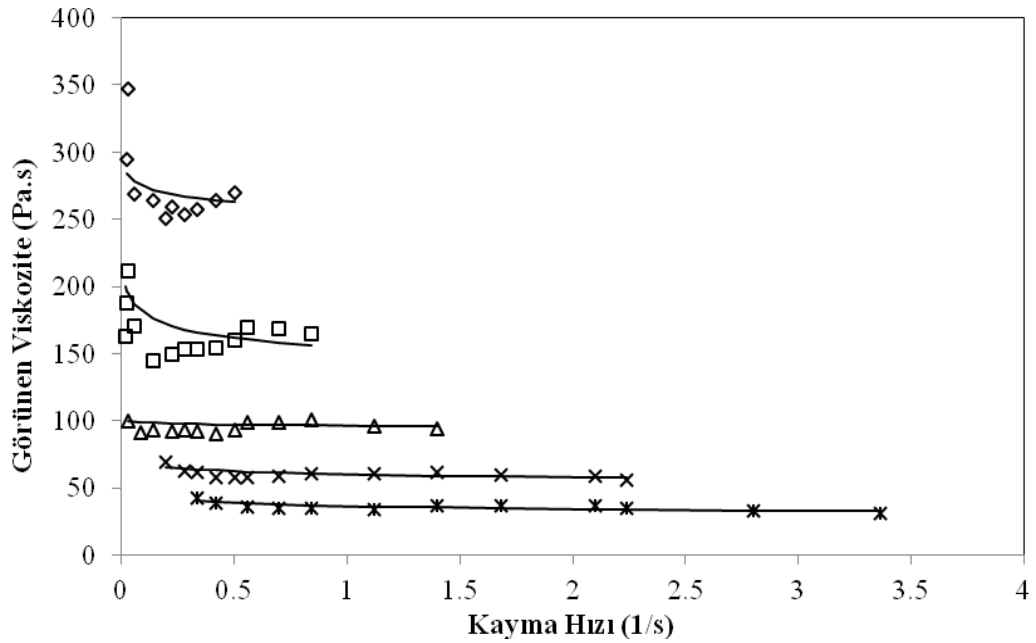
Haşhaş tohumu ezmesinin %46, 48, 50 ve 52 katı madde içeriğine sahip örneklerin farklı sıcaklıklarda görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi ve üs yasası modeli sonuçları ile karşılaştırması sırası ile Şekil 7.5, 7.6, 7.7 ve 7.8'te verilmiştir. Örneklerin viskozitelerinin kayma hızı arttıkça azaldığı saptanmıştır. Viskozitedeki bu azalma düşük katı madde içeren örneklerde daha belirgindir. Tüm bu davranış şekilleri haşhaş tohumu ezmesinin Newtonyen akış davranışına sahip olmadığını göstermektedir.



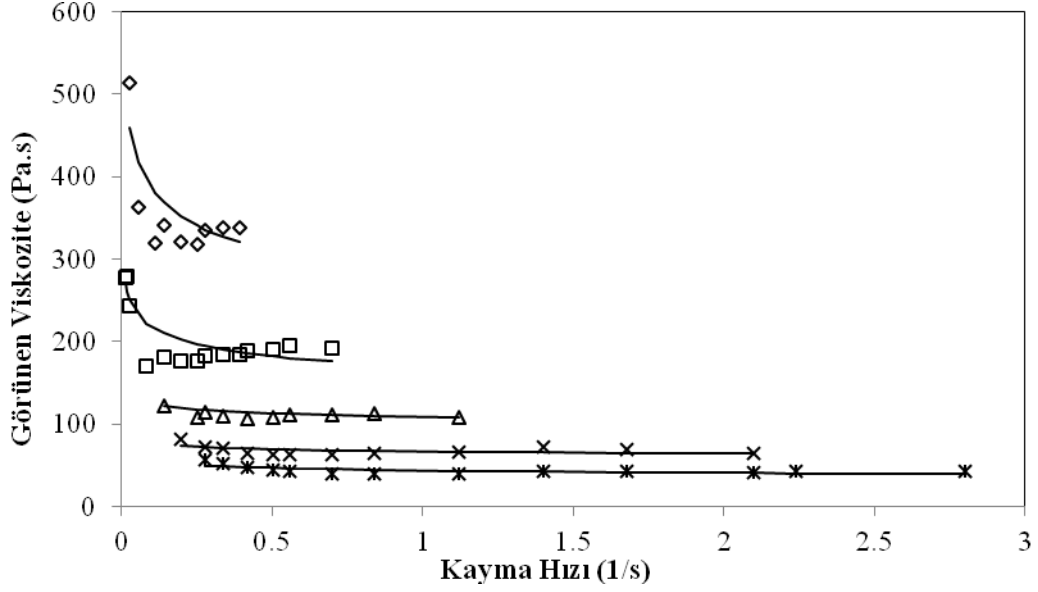
Şekil 7.5 : %46 katı madde içeriğine sahip örneğin farklı sıcaklıklarda görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi : (◇) 5°C, (□) 15°C, (△) 25°C, (×) 35°C, (*) 45°C, (—) üs yasası modeli.



Şekil 7.6 : %48 katı madde içeriğine sahip örneğin farklı sıcaklıklarda görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi : (◇) 5°C, (□) 15°C, (△) 25°C, (×) 35°C, (*) 45°C, (—) üs yasası modeli.



Şekil 7.7 : %50 katı madde içeriğine sahip örneğin farklı sıcaklıklarda görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi : (◇) 5°C, (□) 15°C, (△) 25°C, (×) 35°C, (*) 45°C, (—) üs yasası modeli.



Şekil 7.8 : %52 katı madde içeriğine sahip örneğin farklı sıcaklıklarda görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi : (◇) 5°C, (□) 15°C, (△) 25°C, (×) 35°C, (*) 45°C, (—) üs yasası modeli.

Üs yasası modeli için hesaplanan değerler Tablo 7.2’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, artan hız sırası ölçümleri için %48 katı madde içeriğine sahip örnekte 35 ve 45°C sıcaklıklarda yapılan ölçümlerin dışında tüm koşullar için bulunan R^2 değerleri yaklaşık olarak 0.99 ve üzerinde bulunmuştur. Azalan hız sırası ölçümleri için ise %46 ve %48 katı madde içeriğine sahip örneklerde tüm sıcaklıklar için bulunan R^2 değerleri 0.99 ve üzerinde bulunurken, %55 ve %52 katı madde içeriğine sahip örneklerde tüm sıcaklıklar için bulunan R^2 değerleri biraz azalarak yaklaşık 0.89 ile 0.98 aralığında bulunmuştur. Hesaplanan akış davranış indeksinin (n) değeri ise 0,50 ile 0,99 arasında değişmektedir. R^2 değerlerinin çoğunluğunun 0.98 ve üzerinde olması ve n değerlerinin 1’den küçük olması nedeniyle haşhaş tohumu ezmesinin psödoplastik üs yasası davranışı gösterdiği kabul edilebilir. Gilaboru suyu (Altan et al., 2005), dut, üzüm, kuşburnu ve keçiyoynuzu pekmezleri (Yoğurtçu and Kamışlı, 2006), tatlandırılmış susam ezmesi (Abu-Jdayil, 2004), tahin pekmez karışımı (Arslan et al., 2005) ve bozanın (Genç et al., 2002) da psödoplastik davrandığı ifade edilmiştir.

Tablo 7.2: %46, %48, %50 ve %52 katı madde içeriğine sahip örneklerin üs yasası modeli sabitleri.

Ölçüm Metodu		Artan Hız				Azalan Hız			
C	Sıcaklık	K	n	R ²	OMS	K	n	R ²	OMS
(%)*	(°C)	(Pa.s ⁿ)			(%)	(Pa.s ⁿ)			(%)
46	5	51,832	0,5746	0,9990	1,4	44,075	0,6730	0,9965	2,8
	15	37,200	0,5199	0,9976	2,0	28,191	0,6887	0,9979	2,1
	25	25,868	0,5187	0,9972	2,1	18,024	0,7018	0,9989	1,5
	35	19,296	0,5350	0,9948	3,2	13,061	0,6904	0,9985	1,8
	45	17,635	0,5043	0,9891	4,0	10,454	0,6693	0,9972	2,6
48	5	110,112	0,6891	0,9905	4,4	98,701	0,6303	0,9981	2,0
	15	68,252	0,6553	0,9850	5,7	60,220	0,6435	0,9976	2,3
	25	44,576	0,5887	0,9911	4,2	37,096	0,6427	0,9957	3,3
	35	38,325	0,5760	0,9498	9,4	30,505	0,6009	0,9924	4,0
	45	28,064	0,5166	0,9727	5,4	20,273	0,6301	0,9972	2,2
50	5	258,630	0,9744	0,9979	2,6	151,411	0,5717	0,9787	8,2
	15	154,578	0,9348	0,9952	6,1	113,977	0,5615	0,9577	13,6
	25	96,380	0,9892	0,9981	2,9	80,487	0,7794	0,9526	12,2
	35	60,003	0,9430	0,9953	4,3	52,468	0,6920	0,9467	13,6
	45	36,470	0,9127	0,9932	5,0	36,889	0,6617	0,9282	15,5
52	5	282,280	0,8641	0,9898	6,5	226,105	0,6199	0,9789	9,5
	15	169,102	0,8899	0,9956	6,4	120,337	0,5839	0,9304	15,0
	25	108,332	0,9419	0,9964	2,8	73,626	0,6153	0,8943	21,8
	35	67,074	0,9462	0,9883	6,0	57,905	0,8082	0,9630	9,9
	45	43,724	0,9006	0,9852	6,8	38,157	0,8170	0,9767	7,5

*% olarak katı madde içeriğini belirtmektedir.

Haşhaş tohumu ezmesinin en düşük n değeri %46 katı madde içeriğine sahip örnekte 45 °C’de (n=0,50) ve en yüksek n değeri %50 katı madde içeriğine sahip örnekte 25 °C’de (n=0,99) yapılan ölçümlerin sonucunda elde edilmiştir. Katı madde içeriğindeki ve sıcaklıktaki artış ile n değeri arasında belirgin bir ilişki bulunmamış olup n değeri artan hız sırası ölçümleri sonuçlarına göre 0,50-0,99 aralığında, azalan hız sırası ölçümleri sonuçlarına göre ise 0,56- 0,82 aralığında farklı değerlere sahip olmuştur (Tablo 7.2). Arıkan (2008) de ayva püresi ile yaptığı çalışmada konsantrasyondaki artışın n değeri üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını bildirmiştir.

Haşhaş tohumu ezmesinin kıvamlilik katsayısının (K) değeri artan hız sırası ölçümlerinde en yüksek 282,280 Pa.sⁿ olarak %52 katı madde içeriğine sahip örnekte 5 °C’de, en düşük ise 17,635 Pa.sⁿ olarak %46 katı madde içeriğine sahip örnekte 45 °C’de yapılan ölçümlerde belirlenmiştir. Azalan hız sırası ölçümleri sonuçlarına göre ise bu değerler gene aynı koşullarda sırası ile 226,105 ve 10,454 Pa.sⁿ olarak

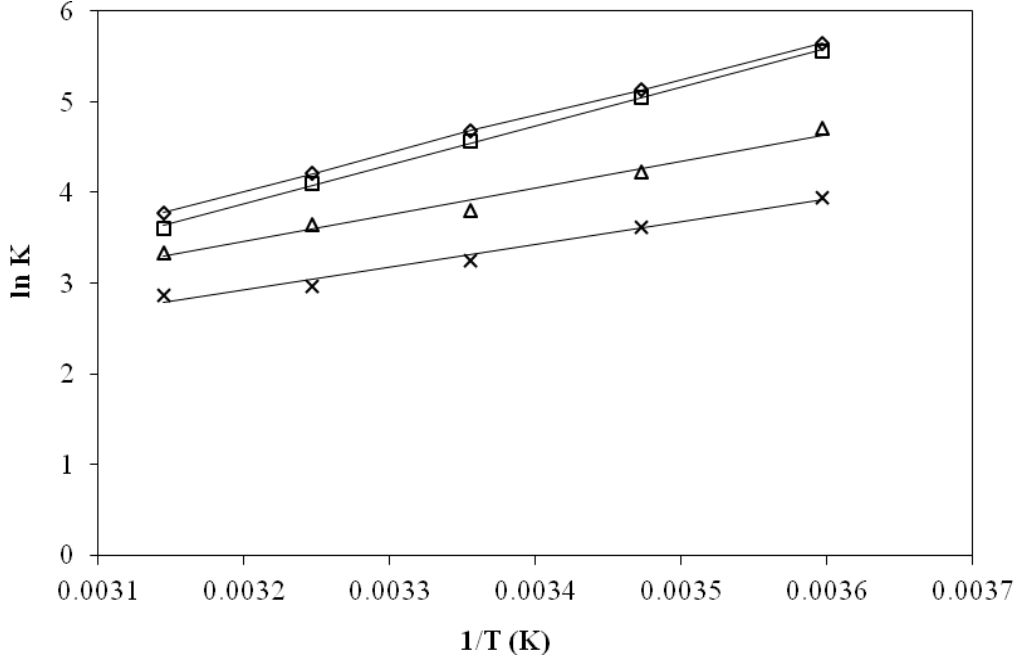
bulunmuştur. Genel olarak K değeri katı madde içeriği yüzdesinin artışı ile birlikte artmış, ancak sıcaklıktaki artışla azalmıştır (Tablo 7.2).

7.1.1 Sıcaklığın etkisi

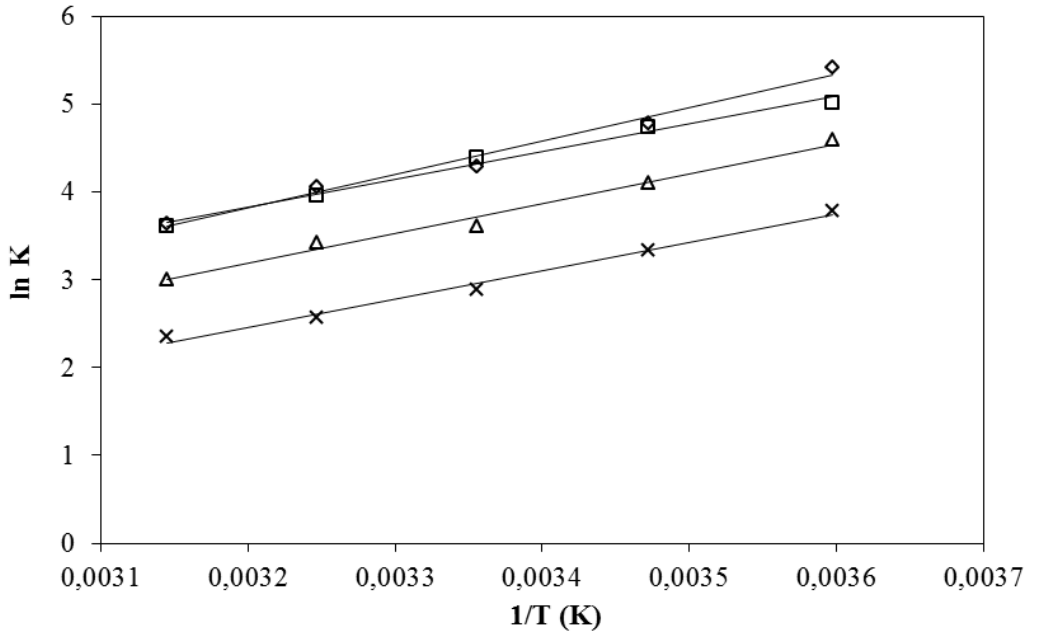
Haşhaş tohumu ezmesinin kıvamlılık katsayısı ve görünen viskozitesi sıcaklıktaki artışla azalmıştır. Katı madde içeriği %46 olan örneğin 5°C 'de K değeri $51,832 \text{ Pa.s}^n$ iken 45°C 'de $17,635 \text{ Pa.s}^n$ değerine düşmüş, katı madde içeriği %52 olan örneğin 5°C 'de K değeri $282,280 \text{ Pa.s}^n$ iken 45°C 'de $43,724 \text{ Pa.s}^n$ değerine düşmüştür (Tablo 7.2). Ditchfield et al., (2004) muz püreleri ile ilgili yaptıkları çalışmada benzer şekilde sıcaklıktaki artışla birlikte K değerinin azaldığına dair genel bir eğilim olduğunu belirtmiştir. Buna karşın Ahmed and Ramaswamy (2004) papaya püreleri için yaptıkları çalışmada sıcaklığın K değerinde önemli bir değişikliğe neden olmadığını saptamışlardır.

Haşhaş tohumu ezmesinin kıvamlılık katsayısına sıcaklığın etkisi Şekil 7.9'da verilmiştir ve bu etki Arrhenius tipi eşitlik (Eşitlik 3.1) ile açıklanmıştır. Farklı katı madde içeriğine sahip örnekler için artan ve azalan kayma hızı sırasına göre yapılan ölçüm sonuçlarına göre hesaplanan değerler Tablo 7.3'te verilmiştir. Örneklerin E_a değerinin $20789,18$ ile $35728,38 \text{ kJ/kmol}$ arasında değiştiği saptanmıştır. Aktivasyon enerjisinin moleküllerin hareketi için gerektiği ifade edilmiştir (Sengül et al., 2005).

A.



B.



Şekil 7.9 : Kıvamlilik katsayısına sıcaklığın etkisi; (A) artan hız sırası, (B) azalan hız sırası ölçümleri: (\diamond) %52, (\square) %50, (\triangle) %48, (\times) %46 katı madde içeriği.

Tablo 7.3: Farklı katı madde içeriğine sahip haşhaş tohumu ezmesinin Arrhenius eşitliği sabitleri.

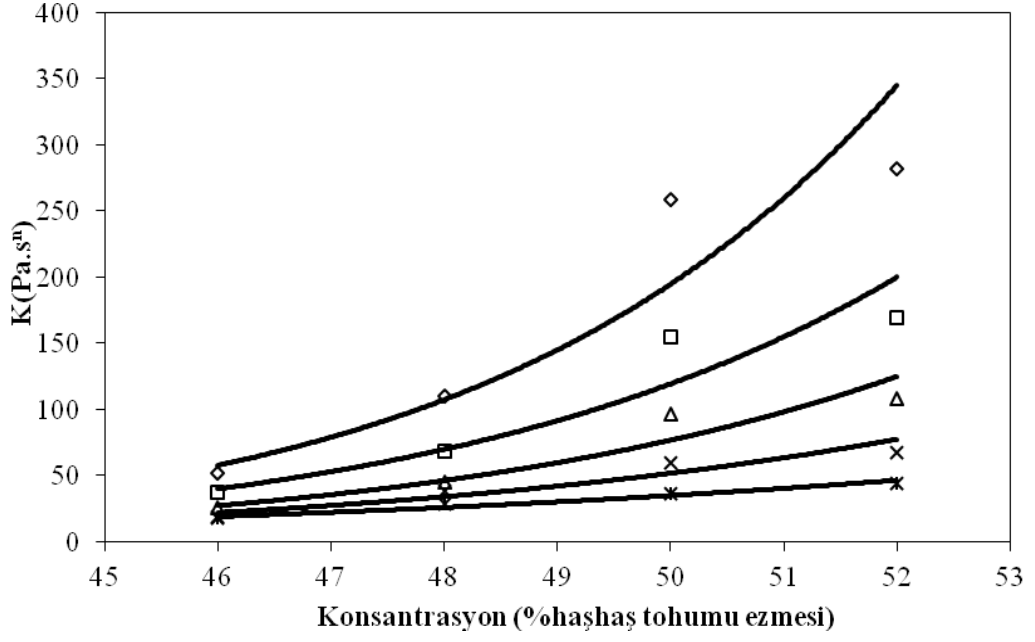
Ölçüm Metodu	Artan Hız				Azalan Hız				
	C (%)	K_T (Pa.s)	E_a (kJ/kmol)	R^2	OMS (%)	K_T (Pa.s)	E_a (kJ/kmol)	R^2	OMS (%)
	46	6,2E-03	20789,18	0,9776	5,5	4,0E-04	26924,33	0,9904	8,5
	48	2,6E-03	24467,44	0,9778	6,4	4,0E-04	28356,89	0,9874	9,6
	50	5,0E-05	35728,38	0,9987	2,7	1,8E-03	26382,23	0,9899	4,9
	52	1,0E-04	34215,17	0,9995	5,6	2,0E-04	31675,14	0,9841	13,3

7.1.2. Konsantrasyonun etkisi

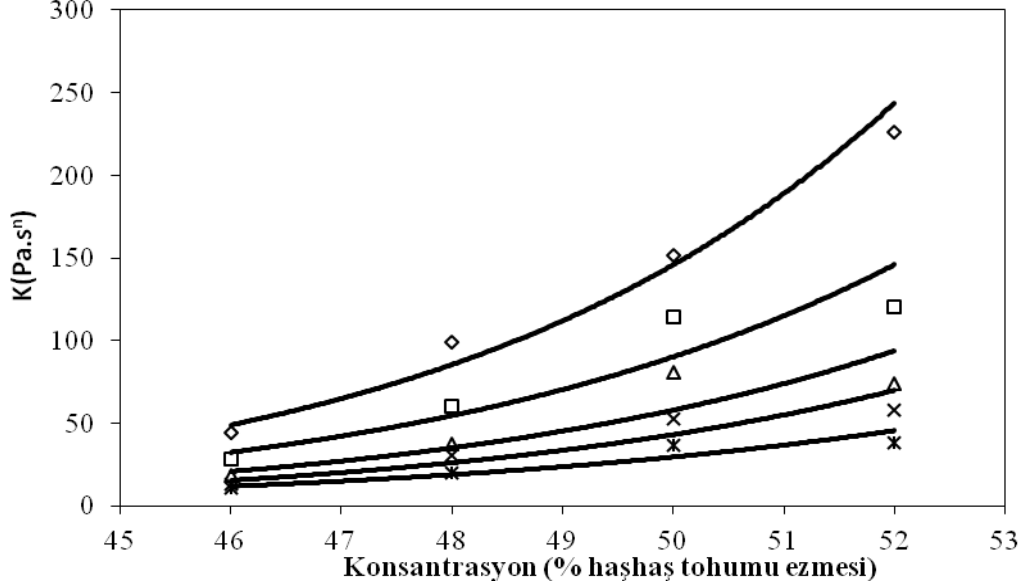
Katı madde içeriğinin haşhaş tohumu ezmesinin kıvamlılık katsayısına etkisi Şekil 7.10'da verilmiştir. Haşhaş tohumu ezmesinin katı madde içeriği arttıkça kıvamlılık katsayısı artmıştır. Haşhaş tohumu ezmesinin artan hız sırası ölçümlerinde bulunan sonuçlara göre 5°C'de %46 katı madde içeriğine sahip örnek için K değeri 51,832 Pa.sⁿ iken %52 katı madde içeriğine sahip örnekte K değeri 282,280 Pa.sⁿ'e kadar yükselmiştir (Tablo 7.2). Arıkan (2008) de ayva püresi ile yaptığı çalışmada konsantrasyondaki artış ile K değerinin yükseldiğini bildirmiştir. Pordesimo et al., (1994) kaba parçacık içeren karışımlarda parçacık boyutu ve konsantrasyon arttıkça kıvam indeksinin arttığını, Lokumcu–Altay and Ak (2005) yağ içerisinde artan katı parçacık içeriğinin tahin viskozitesini artırdığını belirtmiştir.

Katı madde içeriğinin haşhaş tohumu ezmesinin kıvamlılık katsayısına etkisi üstel ve üs yasası modelleri ile belirlenmiş, elde edilen sonuçlar Tablo 7.4 ve 7.5'te verilmiştir. Üstel modelin R^2 değerleri 0,8581 ile 0,9679 arasında değişirken, üs yasası modelinin R^2 değerleri 0,8691 ile 0,9736 değerleri arasında bulunmuş ve OMS olarak hata oranları da üstel modelde daha yüksek bulunmuştur. Bu nedenle katı madde içeriği ile K değeri arasındaki ilişkiyi üs yasası modeli daha iyi ifade etmiştir.

A.



B.



şekil 7.10 : Kıvamlılık katsayısına katı madde içeriğinin etkisi; (A) artan hız sırası, (B) azalan hız sırası ölçümleri: (◇) 5°C, (□) 15°C, (△) 25°C, (×) 35°C, (*) 45°C.

Tablo 7.4: Farklı sıcaklıklar için kıvamlılık katsayısına katı madde içeriğinin etkisi, üstel modelinin sabitleri.

Ölçüm Metodu	Artan Hız				Azalan Hız			
	Sıcaklık (°C)	K_{c1}	a_1	R^2	OMS (%)	K_{c1}	a_1	R^2
5	7,0E-5	0,297	0,9223	16,7	2,0E-4	0,267	0,9679	13,7
15	2,0E-4	0,268	0,9284	20,7	3,0E-4	0,250	0,9023	15,6
25	2,0E-4	0,253	0,9383	15,3	2,0E-4	0,250	0,8581	18,6
35	15,0E-4	0,209	0,9134	14,8	2,0E-4	0,251	0,8987	31,4
45	198,0E-4	0,149	0,9554	7,1	4,0E-4	0,224	0,9003	15,8

Tablo 7.5: Farklı sıcaklıklar için kıvamlılık katsayısına katı madde içeriğinin etkisi, üs yasası modelinin sabitleri.

Ölçüm Metodu	Artan Hız				Azalan Hız			
	Sıcaklık (°C)	K_{c2}	a_2	R^2	OMS (%)	K_{c2}	a_2	R^2
5	3,0E-23	14,594	0,9304	14,6	8,0E-21	13,088	0,9736	8,5
15	5,0E-21	13,164	0,9353	11,2	1,0E-19	12,282	0,9124	17,2
25	6,0E-20	12,440	0,9443	15,2	7,0E-20	12,304	0,8691	18,5
35	2,0E-16	10,298	0,9233	22,3	5,0E-20	12,331	0,9094	18,4
45	1,0E-11	7,3330	0,9626	17,2	5,0E-18	11,029	0,9102	13,7

Aktivasyon enerjisinin katı madde içeriği ile değişimi üstel model ve üs yasası modeli ile belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 7.6'da verilmiştir.

Tablo 7.6: Katı madde içeriğinin aktivasyon enerjisi üzerine 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	285,2	0,0937	0,8500	26,4	0,0005	4,6029	0,8572	27,5
Azalan Hız	10216	0,0208	0,4291	32,6	570,09	1,0033	0,4183	31,3

Haşhaş tohumu ezmesinin akış davranışı üzerine katı madde içeriği ve sıcaklığın birlikte etkisi Eşitlik 3.6 ve 3.7 ile ifade edilmiş ve eşitliklerin sabitleri Tablo 7.7'de verilmiştir.

Tablo 7.7: Katı madde içeriği ve sıcaklığın akış davranışı üzerine etkisi.

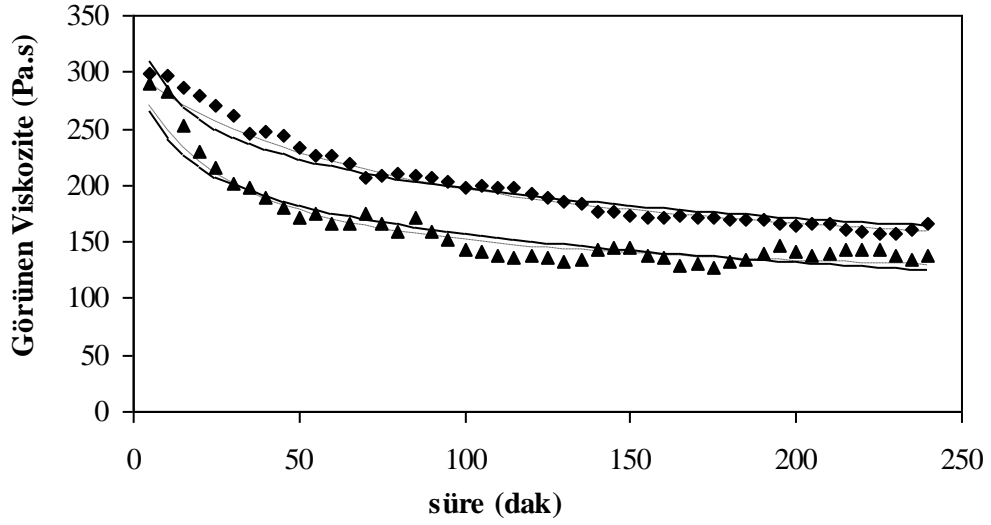
Ölçüm Metodu	Model							
	Eşitlik 3.6				Eşitlik 3.7			
	K_1	d_1	E_a (kJ/kmol)	R^2	K_2	d_2	E_a (kJ/kmol)	R^2
Artan Hız	5,32E-09	0,2354	28800,5	0,9420	1,56E-23	11,5657	28800,5	0,9456
Azalan Hız	2,67E-09	0,2481	28334,9	0,9469	1,20E-24	12,2067	28334,9	0,9520

7.2. Zamana Bağımlı Reolojik Özellikler

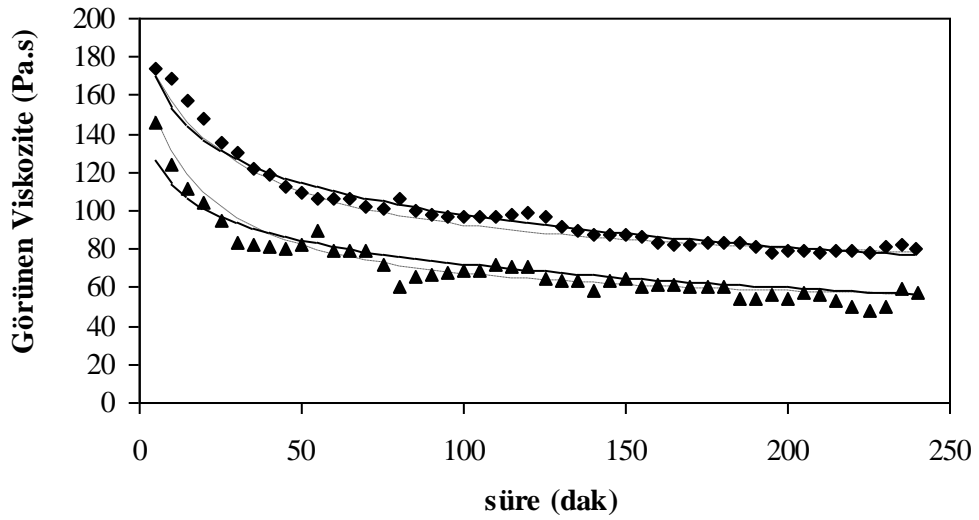
Haşhaş tohumu ezmesi örneklerine ait histerezis döngülerinden görüleceği gibi genelde azalan hız sırası ölçümlerinden elde edilen kayma gerilimi değerleri artan hız sırası ölçümlerinde elde edilen kayma gerilimi değerlerinden daha küçük olduğu saptanmıştır (Şekil 7.1, 7.2, 7.3 ve 7.4). Bu da haşhaş tohumu ezmesinin tiksotropik bir davranışa sahip olduğunun göstergesidir. Katı madde içeriğine göre teker teker incelenecek olursa; %46 ve %48 katı madde içeriğine sahip örneklerde tüm sıcaklıklar için azalan hız sırası ölçümlerinden elde edilen kayma gerilimi değerleri artan hız sırası ölçümlerinde elde edilen kayma gerilimi değerlerinden daha küçük olduğu saptanmıştır (Şekil 7.1 ve 7.2); %50 katı madde içeriğine sahip örnekte 5 ve 15°C’de elde edilen histerezis döngülerinde azalan hız sırası ölçümlerine göre elde edilen kayma gerilimi değerleri ile artan hız sırası ölçümlerine göre elde edilen kayma gerilimi değerleri arasında belirgin bir farklılık görülmemiştir, ancak 25, 35 ve 45°C’de yapılan ölçümlerde artan hız sırası ölçümlerine göre elde edilen kayma gerilimi değerlerinin daha büyük olduğu saptanmıştır (Şekil 7.3); %52 katı madde içeriğine sahip örnekte 5°C’de elde edilen histerezis döngülerinde azalan hız sırası ölçümlerine göre elde edilen kayma gerilimi değerlerinin artan hız sırası ölçümlerine göre elde edilen kayma gerilimi değerlerinden daha büyük olduğu, 15°C’de kayma gerilimi değerleri arasında belirgin bir farklılığın olmadığı; 25, 35 ve 45°C’de yapılan ölçümlerde ise histerezis döngüsünde artan hız sırası ölçümlerine göre elde edilen kayma gerilimi değerlerinin azalan hız sırası ölçümlerine göre elde edilen kayma gerilimi değerlerinden daha büyük olduğu saptanmıştır (Şekil 7.4).

Haşhaş tohumu ezmesinin zamana bağımlı reolojik davranışını tam olarak tanımlayabilmek amacıyla %50 katı madde içeriğine sahip örneğin farklı sabit kayma hızlarında ve 5, 15, 25, 35, 45°C sıcaklıklarda görünen viskozitesinin zamanla değişimi de incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre görünen viskozitenin zamanla değişimi Şekil 7.11, 7.12, 7.13, 7.14 ve 7.15’te verilmiştir. Şekil 7.11-15’ten görüleceği gibi örneklerin tamamının tüm koşullarda viskoziteleri kayma süresi ile birlikte azalmıştır ve artan kayma süresi ile birlikte denge değerine (sabit değere) ulaşma eğilimi göstermiştir. Bu davranış haşhaş tohumu ezmesinin tiksotropik bir akışkan olduğunu göstermektedir. Kayma ile birlikte yapıda bozulmalar olmakta ve viskozite azalmaktadır. Gilaburu suyu (Altan et al., 2005), salep (Razavi and

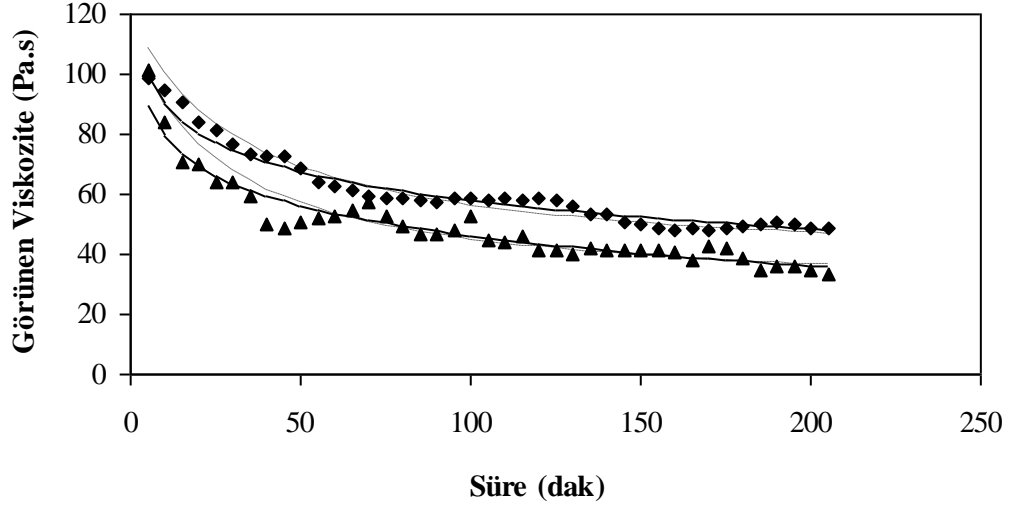
Karazhiyan, 2009), tahin (Abu-Jdayil et al, 2002) ve tatlandırılmış susam ezmesinin (Abu-Jdayil, 2004) de tiksotropik davrandığı belirtilmiştir.



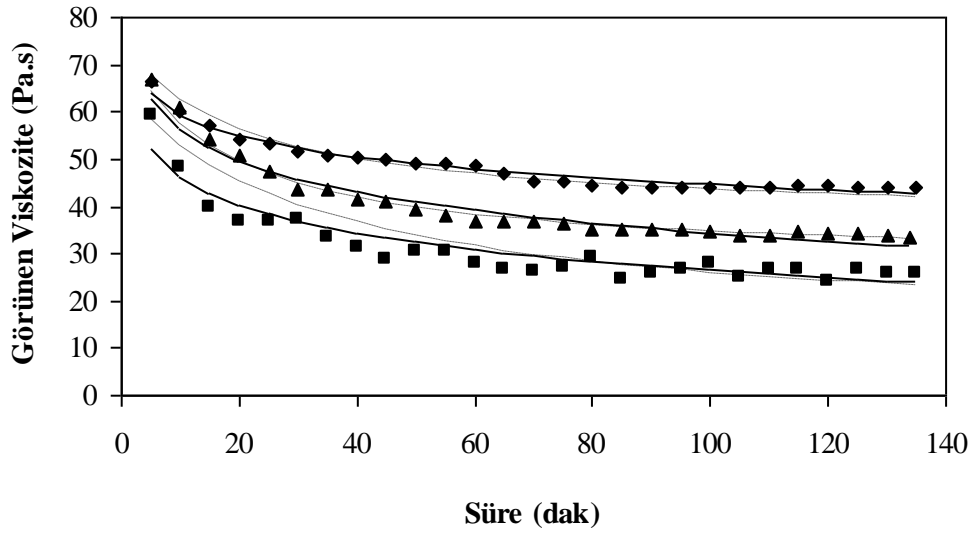
Şekil 7.11 : 5°C de haşhaş tohumu ezmesinin görünür viskozitesinin zamana karşı değişimi: (◆) 0.5 rpm, (▲) 1.5 rpm, (—) Weltman modeli, (-----) 2. dereceden yapısal kinetik model.



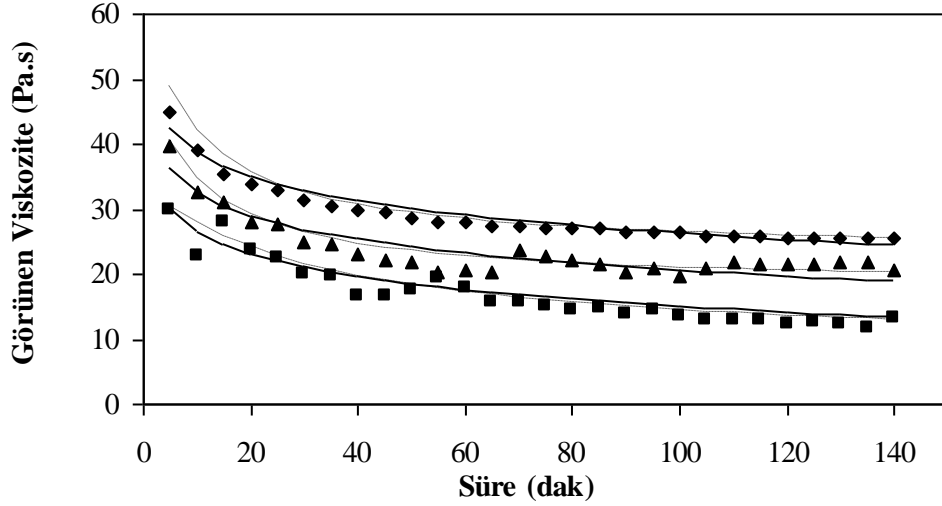
Şekil 7.12 : 15°C de haşhaş tohumu ezmesinin görünür viskozitesinin zamana karşı değişimi: (◆) 1 rpm, (▲) 2.5 rpm, (—) Weltman modeli, (-----) 2. dereceden yapısal kinetik model.



Şekil 7.13 : 25°C de haşhaş tohumu ezmesinin görünen viskozitesinin zamana karşı değişimi: (◆) 1 rpm, (▲) 2.5 rpm, (—) Weltman modeli, (-----) 2. dereceden yapısal kinetik model.



Şekil 7.14 : 35°C de haşhaş tohumu ezmesinin görünen viskozitesinin zamana karşı değişimi: (◆) 1 rpm, (▲) 1.5 rpm, (■) 4 rpm, (—) Weltman modeli, (-----) 2. dereceden yapısal kinetik model.



Şekil 7.15 : 45°C de haşhaş tohumu ezmesinin görünen viskozitesinin zamana karşı değişimi: (◆) 1 rpm, (▲) 2.5 rpm, (■) 8 rpm, (—) Weltman modeli, (-----) 2. dereceden yapısal kinetik model.

%50 katı madde içeriğine sahip örneğin 2. dereceden yapısal kinetik model, Weltman modeli, sıfır gerilime sahip 1. dereceden gerilim azalma modeli ve sıfır olmayan gerilime sahip 1. dereceden gerilim azalma modeli için hesaplamalar yapılmış ve sonuçlar Tablo 7.8, 7.9, 7.10 ve 7.11’de verilmiştir.

%50 katı madde içeriğine sahip örnekte, 2. dereceden yapısal kinetik modeli için hesaplanan R^2 değerleri yaklaşık 0,75-0,96 aralığında, Weltman modeli için hesaplanan R^2 değerleri yaklaşık 0,86-0,98 aralığında, sıfır gerilime sahip 1. dereceden gerilim azalma modeli için yapılan hesaplamalarda tüm sıcaklıklar için hesaplanan R^2 değerleri yaklaşık 0,52-0,90 aralığında, sıfır olmayan gerilime sahip 1. dereceden gerilim azalma modeli için yapılan hesaplamalarda tüm sıcaklıklar için hesaplanan R^2 değerleri yaklaşık 0,54-0,95 aralığında bulunmuştur. Ayrıca, 2. dereceden yapısal kinetik modelin ve Weltman modelinin OMS değerlerinin düşük ve birbirine benzer olduğu, diğer iki modelin OMS değerlerinin ise yüksek olduğu saptanmıştır (Tablo 7.8-11). Bu değerlere göre 2. dereceden yapısal kinetik model ve Weltman modelinin haşhaş tohumu ezmesinin tiksotropik davranışını ifade etmek için kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Tablo 7.8: %50 katı madde içeriğine sahip haşhaş tohumu ezmesi için 2. dereceden yapısal kinetik modeli sabitleri.

Sıcaklık (°C)	Hız (RPM)	γ (s ⁻¹)	k (s ⁻¹)	η_0 (Pa.s)	η_∞ (Pa.s)	η_0/η_∞	R ²	OMS (%)
5	0,5	0,14	0,0002	300	110	2,73	0,9600	2,3
	1,5	0,42	0,0006	300	110	2,73	0,5907	4,6
15	1,0	0,28	0,0006	190	65	2,92	0,9224	3,5
	2,5	0,70	0,0004	140	40	3,50	0,7470	6,0
25	1,0	0,28	0,0005	120	35	3,43	0,9002	4,1
	2,5	0,70	0,0006	113	26	4,35	0,8721	6,2
35	1,0	0,28	0,0008	75	37	2,03	0,9140	1,9
	1,5	0,42	0,0010	75	28	2,68	0,9539	1,7
	4,0	1,12	0,0005	65	13	5,00	0,7886	8,9
45	1,1	0,28	0,0017	62	23	2,70	0,9279	2,4
	2,5	0,70	0,0017	52	18	2,89	0,2704	5,0
	8,0	2,24	0,0005	34	8	4,25	0,7708	7,3

Tablo 7.9: %50 katı madde içeriğine sahip haşhaş tohumu ezmesi için Weltman modeli sabitleri.

Sıcaklık (°C)	Hız (RPM)	γ (s ⁻¹)	A (Pa)	-B (Pa)	R ²	OMS (%)
5	0,5	0,14	73,335	5,2533	0,8802	3,9
	1,5	0,42	198,490	15,2230	0,8632	6,1
15	1,0	0,28	85,860	6,7221	0,9278	3,3
	2,5	0,70	174,540	14,4710	0,9347	5,5
25	1,0	0,28	49,713	3,8460	0,9517	3,6
	2,5	0,70	120,520	10,1370	0,9381	4,7
35	1,0	0,28	28,150	1,7979	0,9794	1,5
	1,5	0,42	48,926	3,9618	0,9537	3,4
	4,0	1,12	112,630	9,5333	0,9206	6,2
45	1,0	0,28	20,418	1,4990	0,9451	3,4
	2,5	0,70	46,048	3,6298	0,8766	6,9
	8,0	2,24	130,810	11,1460	0,8978	8,3

Tablo 7.10: %50 katı madde içeriğine sahip haşhaş tohumu ezmesi için sıfır gerilime sahip 1. dereceden gerilim azalma modeli sabitleri.

Sıcaklık (°C)	Hız (RPM)	γ (s ⁻¹)	τ_0 (Pa)	k (s ⁻¹)	R ²	OMS (%)
5	0,5	0,14	37,33	4,0E-05	0,9045	4,5
	1,5	0,42	88,42	4,0E-05	0,6602	9,6
15	1,0	0,28	38,64	5,0E-05	0,8352	6,5
	2,5	0,70	69,63	5,0E-05	0,7523	8,0
25	1,0	0,28	23,35	5,0E-05	0,8466	6,5
	2,5	0,70	48,96	6,0E-05	0,8338	7,5
35	1,0	0,28	15,50	3,0E-05	0,7714	3,9
	1,5	0,42	22,86	8,0E-05	0,7703	7,6
	4,0	1,12	44,35	6,0E-05	0,7490	8,6
45	1,0	0,28	9,92	4,0E-05	0,6469	6,8
	2,5	0,70	20,88	6,0E-05	0,5215	10,0
	8,0	2,24	46,82	4,0E-05	0,6841	10,8

Tablo 7.11: %50 katı madde içeriğine sahip haşhaş tohumu ezmesi için sıfır olmayan gerilime sahip 1. dereceden gerilim azalma modeli sabitleri.

Sıcaklık (°C)	Hız (RPM)	γ (s ⁻¹)	τ_0 (Pa)	τ_{eq} (Pa)	K (s ⁻¹)	R ²	OMS (%)
5	0,5	0,14	42	21	0,0002	0,9511	2,2
	1,5	0,42	88	45	0,0001	0,6955	8,2
15	1,0	0,28	45	21	0,0002	0,9355	4,9
	2,5	0,70	75	30	0,0001	0,8204	12,7
25	1,0	0,28	25	12	0,0002	0,9115	4,4
	2,5	0,70	57	22	0,0002	0,9021	6,0
35	1,0	0,28	17	11	0,0002	0,9336	3,3
	1,5	0,42	23	13	0,0003	0,9146	4,2
	4,0	1,12	49	18	0,0001	0,8230	16,6
45	1,0	0,28	18	7	0,0005	0,7026	11,8
	2,5	0,70	20	11	0,0001	0,5416	10,2
	8,0	2,24	48	21	0,0001	0,7950	10,4

Tiksotropik davranışın kaymaya bağlı olarak gıdanın içyapısındaki bozulmalardan kaynaklanabileceği belirtilmiştir (Abu-Jdayil, 2003). 2. Dereceden yapısal kinetik modeli sonuçlarına göre η_0/η_∞ oranının değerinin ve Weltman modeli sabitlerinden B'nin mutlak değerinin artması tiksotropinin büyüklüğünün arttığını göstermektedir (Razavi and Karazhiyan, 2009). η_0/η_∞ oranının değeri ve B'nin mutlak değeri kayma hızındaki artma ile artmış, sıcaklıktaki artma ile ise azalmıştır. Bu sonuçlara göre kayma hızındaki artış tiksotropinin büyüklüğünde artışa sıcaklıktaki artış ise tiksotropinin büyüklüğünde azalmaya sebep olmuştur (Tablo 7.8 ve 7.9). Salep (Razavi and Karazhiyan, 2009) ve tahin (Abu-Jdayil et al, 2002) için de benzer sonuçlar belirtilmiştir.

8. SONUÇ

Farklı katı madde miktarına (%46, 48, 50 ve 52) sahip gri-mavi haşhaş tohumlarından elde edilen ezmenin örneklerinin zamandan bağımsız ve %50 katı madde miktarı içeren haşhaş tohumu ezmesinin zamana bağımlı akış davranışları farklı sıcaklıklarda (5, 15, 25, 35 ve 45°C) incelenmiştir.

Tüm sıcaklık ve katı madde içeriğine haşhaş tohumu ezmesi örneklerinin Newtonyen dışı psödoplastik davrandığı tespit edilmiştir. Üs yasası modeli deneysel sonuçları başarılı bir şekilde ifade etmiştir. Haşhaş tohumu ezmesinin akış davranış indeksi 0,50 ile 0,99 arasında değiştiği bulunmuştur.

Haşhaş tohumu ezmesinin kıvamlilik katsayısı katı madde içeriği yüzdesinin artışı ile birlikte artmış, ancak sıcaklıktaki artışla azalmıştır. Katı madde içeriği %46 olan örneğin 5°C'de K değeri 51,832 Pa.sⁿ iken 45°C'de 17,635 Pa.sⁿ değerine düşmüş, katı madde içeriği %52 olan örneğin 5°C'de K değeri 282,280 Pa.sⁿ iken 45°C'de 43,724 Pa.sⁿ değerine düştüğü tespit edilmiştir.

Haşhaş tohumu ezmesinin kıvamlilik katsayısına sıcaklığın etkisi Arrhenius tipi eşitlik ile açıklanmıştır ve E_a değerinin 20789,18 ile 35728,38 kJ/kmol arasında değiştiği saptanmıştır. Kıvamlilik katsayısına katı madde içeriğinin etkisi ise üs yasası modeli ile ifade edilebileceği belirlenmiştir.

Haşhaş tohumu ezmesinin tiksotropik zamana bağımlı akış davranışı gösterdiği belirlenmiştir. Örneğin tiksotropik davranışının 2. dereceden yapısal kinetik model ve Weltman modeli ile ifade edilebileceği saptanmıştır. Kayma hızındaki yükselme ve sıcaklıktaki azalmanın tiksotropinin büyüklüğünde artışa neden olduğu tespit edilmiştir.

Araştırma sonucunda elde edilen sonuçlar bilimsel olarak öneme sahip olmakla birlikte, uygulamaya yönelik olarak da öneme sahiptir. Elde edilen sonuçlar gıda işleme sistemlerinin veya ekipmanlarının tasarlanmasında, ürün geliştirme veya kalite kontrolünde kullanılabilir. Ayrıca, haşhaş tohumu ezmesi kullanılarak

ürün geliştirmeye yönelik olarak raf ömrü, tekstürel ve duyusal özelliklerin belirlenmesine yönelik çalışmalar da yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Abu-Jdayil, B.**, 2003: Modelling the time-dependent rheological behavior of semisolid foodstuffs, *Journal of Food Engineering*, **57**, 97-102.
- Abu-Jdayil, B., Al-Malah, K. and Asoud, H.**, 2002: Rheological characterization of milled sesame (tahineh), *Food Hydrocolloids*, **16**, 55-61.
- Ahmed, J.**, 2004: Effect of Temperature On Rheological Characteristic of Ginger Paste, *Emir. J. Agric.Sci* **16** (1), 43-49
- Ahmed, J. and Ramaswamy, H. S.**, 2004: Response Surface Methodology in Rheological Characterization of Papaya Puree, *International Journal of Food Properties*, **7**, 45-58.
- Ak, M. M.**, 1997: Reoloji bilim dalı ve gıda endüstrisi. *Gıda ve Teknoloji*, **2**(4), 36-46.
- 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**, 321-328.
- 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.
- Anonim**, 1986: TS 4966, Gıdalarda Selüloz Tayini - KİM-0770, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim**, 2010a: Micromeritics AccuPyc II 1340 Operator's Manual V1.05, Micromeritics Instrument Corporation.
- Anonim**, 2010b: Brookfield DV II+ Pro, Brookfield Eng. Labs, Manual No. M/03 165 C0508, Brookfield Engineering Labs Inc.
- Arıkan, B.**, 2008: Sıcaklık, pH ve Konsantrasyonun Ayva Püresinin Reolojik Özellikler Üzerine Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye.
- 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.

- 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.
- Cullen, P. J., Duffy, A. P., O'Donnell, C. P. and O'Callaghan, D. J.**, 2000: Process viscometry for the food industry, *Trends in Food Science and Technology*, **11**, 451-457.
- 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.
- Ditchfield, C., Tadini, C. C., Singh, R. and Toledo, R. T.**, 2004: Rheological Properties of Banana Puree at High Temperatures, *International Journal of Food Properties*, Vol.7, No.3, 571-584s
- Elgün, A., Ertugay, Z., Certel, M. ve Kotancılar, H. G.**, 1998: Tahıl ve Ürünlerinde Analitik Kalite Kontrolü ve Laboratuvar Uygulama Kılavuzu, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Erzurum.
- Erkek, J.**, 2003: Puding tipi ürünlerde reolojik özelliklerin objektif ve subjektif yöntemlerle saptanması, Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 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.
- Göksoy, A. T.**, 1995: Endüstri bitkileri yağ ve keyf bitkileri, Tarla Bitkileri, Anadolu Üniv yayın no: 1377, Eskişehir, Türkiye.
- Heidarinasab, A. and Moghaddam Nansa, V.**, 2010: Time Independent Behavior of Tomato Paste, World Academy of Science, *Engineering and Technology*, **62**, 43-46.
- Heldman, D. and Singh, P.**, 1981: Food Process Engineering, Avi Publishnig Company, Inc. NewYork.
- 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.
- Işıkli, N. D. and Karababa, E.**, 2005: Rheological characterization of fenugreek paste (çemen), *Journal of Food Engineering*, **69**, 185-189.
- İcier, F. ve Bozkurt, H.**, 2009: Ohmik Isıtma Uygulamasının Kayısı Püresi Örneklerinin Reolojik Özellikleri Üzerine Etkisi, 6. Gıda Mühendisliği Kongresi, 6-08 Kasım 2009, Antalya, 73-79s
- Kaya, A. and Belibağlı, K. B.**, 2002: Rheology of solid Gaziantep pekmez, *Journal of Food Engineering*, **54**, 221-226.
- Koçak, E.**, 2004: Katı Su Karışımlarının Reolojik Davranışlarının İncelenmesi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- 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 Symposium on Food Rheology and Structure*, Ed by Fischer P, Marti I and Windhab EJ. Institute of Food Science ETH, Zurich, pp 415–416.
- Nas, S., Gökalp, H. Y. ve Ünsal, M.**, 2001: Bitkisel Yağ Teknolojisi, Pamukkale Üniv yayın no: 005, Denizli, Türkiye.
- Osorio, O., Martinez-Navarrete, N., Moraga, G. and Carbonell, J. V.**, 2008: Effect of Thermal Treatment on Enzymatic Activity and Rheological and Sensory Properties of Strawberry Purees, *Food Science and Technology International*, **14**, 103-108.
- Peker, S. ve Helvacı, Ş.**, 2003: “Akışkanlar Mekaniği: Kavramlar, Problemler, Uygulamalar”, Literatür Yayıncılık, İzmir.
- 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.
- Razavi, S. M. A., and Karazhiyan, H.**, 2009: Flow properties and thixotropy of selected hydrocolloids: Experimental and modeling studies, *Food Hydrocolloids*, **23**, 908-912.
- Rudra, S. G., Sarkar, B. C., Shivhare, U. S. and Basu, S.**, 2007: Rheological Properties of Coriander and Mint Leaf Puree, *Journal of Food Process Engineering*, **31**, 91-104.
- 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.
- Sengül, M., Ertugay, F. M. and Sengül, M.**, 2005: Rheological, physical and chemical characteristics of mulberry pekmez, *Food Control*, **16**, 73-76.
- Steffe, J. F.**, 1996: Rheological Methods in Food Process Engineering, 2nd edn. Freeman Press, East Lansing, MI, p 367. (www.egr.msu.edu/~steffe/).
- Süren, F.**, 2010: Haşhaş Tohumu Ezmesi ve Üzüm Pekmezi Karışımlarının Reolojik Özellikleri, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Denizli.
- Şahin, S. and Şumnu, S. G.**, 2006: Physical Properties of Foods, Springer, p 257.

Url-1 <<http://tr.wikipedia.org/wiki/Ha%C5%9Fha%C5%9F>>, alındığı tarih 10.09.11.

Url-2 <http://www.balcikhisar.com/index.php?option=com_content&view=article&id=48:hashas-hahas-nedir-hashasyetistiriciligi&catid=36:tarim&Itemid=58>, alındığı tarih 10.09.11.

Uysal, B. Z., 2003: Akışkanlar Mekaniği, Alp Yayınları, Ankara

Yoğurtçu, H. and Kamışlı, F., 2006: Determination of rheological properties of some pekmez samples in Turkey, *Journal of Food Engineering*, **77**, 1064-1068.

EKLER

EK A. Resimler



Şekil A1 : Haşhaş tohumu ezmesi.



Şekil A2 : Reolojik ölçümlerin yapıldığı viskometre.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Bedriye DAVULCU

Doğum Yeri ve Tarihi: Denizli, 23.07.1986

Adres: Siteler Mah. 6214 Sok. 6/3 20020 Kınıklı/DENİZLİ

Lisans Üniversitesi: Pamukkale Üniversitesi