

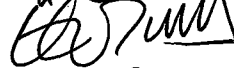
TAHİNİN REOLOJİK KARAKTERİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Gıda Müh. Filiz LOKUMCU
(506980138011)

101148

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Haziran 2000
Tezin Savunulduğu Tarih : 22 Haziran 2000

Tez Danışmanı : Doç. Dr. M. Mehmet AK
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Özgül EVRANUZ
Doç. Dr. Seniha GÜNER


HAZİRAN 2000

ÖNSÖZ

Ülkemizde genellikle pekmez, bal ve şekerle tüketilen geleneksel bir ürünümüz olan tahinin üretimi standart olmayan ekipman ve/veya prosesler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Modern ekipman ve proses tasarımları için güvenilir reolojik verilere ihtiyaç vardır ve bu veriler tahin için mevcut değildir. Tahinin süspansiyon yapısı ve bu yapı içinde hidrofilik katı maddelerin son ürün reolojisine katkıları araştırılmamıştır.

Bu çalışmada yüksek oranda yağ ve protein içeriği nedeniyle zamanla kullanım alanlarının artması muhtemel olan tahinin reolojik davranışına kayma hızının, sıcaklığın, depolama süresinin, katı kısmının etkisi ve tahin yağının reolojik davranışı modellenmiştir.

Çalışmam sırasında bana yol gösteren değerli hocam Sayın Doç. Dr. M. Mehmet AK' a teşekkürlerimi sunarım. Hammadde temin ederek tezimin gerçekleşmesini sağlayan Merter Helva San. ve Tic. A.Ş.'ye ve Üretim ve Ar-Ge Müdürü Sayın Osman İNAN'a; laboratuvar çalışmalarımı yürütmem için bana imkan tanıyan M.S.B. İç Tedarik Bölge Başkanlığı Kimyaevi Müdürü Sayın Kimyager Albay Cengiz SEÇKİN'e ve laboratuvar çalışmamda bana yardımcı olan Gıda Lab. Şefi Gıda Yük. Mühendisi Sayın Ayşe ERKAHVECİ'ye ve arkadaşım Gıda Yük. Mühendisi Neşe ŞAHİN'e; desteklerinden dolayı başta Funda KARBANCIOĞLU ve Ebru FIRATLIGİL olmak üzere bütün İTÜ Gıda Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlisi arkadaşlarıma ve yardımları için Kereb Ömür KORKUT'a çok teşekkür ederim.

Beni her zaman destekleyen anneme, babama ve kardeşim Hüseyin Fatih'e ayrıca teşekkür ederim.

Haziran, 2000

Filiz LOKUMCU

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	viii
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
2. TAHİN VE SUSAM İLE İLGİLİ LİTERATÜR BİLGİLERİ	
2.1. Tahinin Tanımı, Üretimi ve Özellikleri	2
2.1.1. Tahinin tanımı	2
2.1.2. Tahinin üretimi	2
2.1.3. Tahinin özellikleri	4
2.1.3.1. Tahinin partikül boyutu dağılımı	7
2.1.4. Tahinle ilgili reolojik çalışmalar	8
2.2. Susam	9
2.2.1. Susam yağı	14
3. REOLOJİK DAVRANIŞLAR	17
3.1. Reolojik Davranış Çeşitleri	17
3.1.1. Newtonyen davranış	18
3.1.2. Newtonyen-dışı davranışlar	19
3.1.2.1. Zamandan bağımsız Newtonyen-dışı davranışlar	19
3.1.2.2. Zamana bağlı Newtonyen-dışı davranışlar	22
3.2. Reolojik Davranışları Etkileyen Faktörler	23
3.3. Süspansiyon Reolojisi	26
4. MATERYAL VE METOT	29
4.1. Materyal	29
4.2. Metot	30
4.2.1. Kimyasal analizler	30
4.2.1.1. Yağ tayini	30
4.2.1.2. Nem tayini	30
4.2.1.3. Protein tayini	30
4.2.1.4. Kül tayini	30
4.2.1.5. Selüloz tayini	30
4.2.1.6. Tuz tayini	30
4.2.1.7. Yağ asitleri tayini	31
4.2.2. Tahinin, yağının ve tahinin katı kısmının yoğunluklarının bulunması	31
4.2.3. Tahinin reolojik özelliklerinin belirlenmesi	32
4.2.4. Tahin yağının reolojik davranışının belirlenmesi	35
4.2.5. Tahinin katı kısmının reolojik özelliklere etkisinin belirlenmesi	35
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	37
5.1. Kimyasal Analizlerin Sonuçları	37
5.1.1. Tahinin bileşimi	37
5.1.2. Yağ asitleri bileşimi	37

5.2. Tahinin, Yağının ve Katı Kısımının Yoğunluklarının Bulunması	39
5.3. Tahinin Reolojik Davranışının Belirlenmesi	40
5.3.1. Kayma hızının ve sıcaklığın reolojik davranışa etkisi	40
5.3.2. Depolamanın etkisi	53
5.3.3. Ölçüm süresinin etkisi	54
5.4. Tahin yağının reolojik davranışı	57
5.5. Tahinin katı kısmının reolojik özelliklere etkisi	59
 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	 64
 KAYNAKLAR	 66
 ÖZGEÇMİŞ	 69



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Tahinin bileşimi.....	4
Tablo 2.2. Tahinin mineral içeriği.....	5
Tablo 2.3. Tahinin aminoasit bileşimi.....	6
Tablo 2.4. Tahin yağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	6
Tablo 2.5. Tahin yağının yağ asitleri bileşimi.....	7
Tablo 2.6. Tahinin partikül boyutu dağılımı.....	8
Tablo 2.7. Su ilave edilen tahinin viskozite değişimi.....	9
Tablo 2.8. Bazı ülkelerin 1998-1999 yıllarındaki susam üretimi.....	10
Tablo 2.9. Susamın bileşimi.....	13
Tablo 2.10. Susamın α -globulin proteinin aminoasit kompozisyonu.....	13
Tablo 2.11. Susam yağının başlıca kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	15
Tablo 2.12. Susam yağının farklı sıcaklıklardaki yoğunluğu.....	15
Tablo 2.13. Susam yağının viskozitesi.....	16
Tablo 2.14. Susam yağının yağ asitleri bileşenleri.....	16
Tablo 3.1. Bazı akışkan gıdaların aktivasyon enerjileri.....	24
Tablo 3.2. Monodispers sistemlerdeki küresel partiküllerin maksimum hacim fraksiyonları.....	28
Tablo 4.1. Üretici firma tarafından tahin ambalajı üzerinde verilen etiket bilgileri.....	29
Tablo 4.2. Reolojik ölçümlerde kullanılan sensörlerin boyutları.....	33
Tablo 4.3. Sensörlerin ölçüm aralıkları.....	33
Tablo 5.1. Tahinin kimyasal bileşimi.....	37
Tablo 5.2. Tahinin gaz kromatografisiyle belirlenen yağ asitleri analiz sonuçları.....	39
Tablo 5.3. Tahinin, yağının ve katı kısmının yoğunlukları.....	40
Tablo 5.4. Tahinin kıvam indeksi için E_a ve K_∞ değerleri.....	49
Tablo 5.5. Tahinin akış davranış indeksinin sıcaklığa bağlı denklemleri.....	52
Tablo 5.6. Kayma hızının ve sıcaklığın etkisini birlikte ifade eden denklemler.....	52
Tablo 5.7. Hesaplanan maksimum hacim fraksiyonu ve C katsayıları.....	63

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1. :Tahin üretimi akış şeması.....	3
Şekil 2.2. :Türkiye'nin 1990-1999 yılları arasındaki susam üretimi.....	10
Şekil 2.3. :Susam bitkisinin görünümü.....	11
Şekil 2.4. :Kahverengi, beyaz ve siyah susam.....	11
Şekil 3.1. :Viskoz davranış çeşitlerinin sınıflandırılması.....	18
Şekil 3.2. :Newtonyen davranışlar için akış eğrisi.....	18
Şekil 3.3. :Newtonyen davranışlar için viskozite eğrisi.....	18
Şekil 3.4. :Psödoplastik davranışlar için akış eğrisi.....	19
Şekil 3.5. :Psödoplastik davranışlar için görünen viskozite eğrisi.....	19
Şekil 3.6. :Dilatant davranışlar için akış eğrisi.....	20
Şekil 3.7. :Dilatant davranışlar için görünen viskozite eğrisi.....	20
Şekil 3.8. :Bingham plastik davranışlar için akış eğrisi.....	21
Şekil 3.9. :Bingham plastik davranışlar için görünen viskozite eğrisi.....	21
Şekil 3.10. :Herschel-Bulkley davranışlar için akış eğrisi.....	22
Şekil 3.11. :Herschel-Bulkley davranışlar için görünen viskozite eğrisi.....	22
Şekil 3.12. :Zamana bağlı reolojik davranışlar için viskozite eğrileri.....	23
Şekil 4.1. :Silindirik sensörün şekli ve sıcaklığın sabit kalmasını sağlayan ceket sistemi.....	32
Şekil 4.2. :Artan-azalan kayma hızı programının şematik gösterimi.....	34
Şekil 5.1. :Tahin yağının yağ asitleri analizinin kromatogramı.....	38
Şekil 5.2. :Tahinin 20°C'deki akış eğrisi.....	41
Şekil 5.3. :Tahinin 30°C'deki akış eğrisi.....	41
Şekil 5.4. :Tahinin 40°C'deki akış eğrisi.....	42
Şekil 5.5. :Tahinin 50°C'deki akış eğrisi.....	42
Şekil 5.6. :Tahinin 60°C'deki akış eğrisi.....	43
Şekil 5.7. :Tahinin 70°C'deki akış eğrisi.....	43
Şekil 5.8. : 50°C'de Z20 ve Z40 sensörleri ile yapılan ikinci ölçümlerin viskozite eğrileri.....	45
Şekil 5.9. : Birinci ölçümlerde tahinin kıvam indekslerinin sıcaklık ile değişimi...	46
Şekil 5.10. : İkinci ölçümlerde tahinin kıvam indekslerinin sıcaklık ile değişimi...	47
Şekil 5.11. :Tahinin kıvam indeksi için Arrhenius grafikleri.....	48
Şekil 5.12. :Birinci ölçümlerde tahinin akış davranış indeksinin sıcaklıkla değişimi.....	50
Şekil 5.13. :İkinci ölçümlerde tahinin akış davranış indeksinin sıcaklıkla değişimi.....	51
Şekil 5.14. : 70°C'de birinci ölçüm için ölçülen ve hesaplanan kayma stresi değerleri.....	53
Şekil 5.15. : Tahinin kıvam indeksinin depolama süresi ile değişimi.....	53
Şekil 5.16. : Tahinin akış davranış indeksinin depolama süresi ile değişimi.....	54
Şekil 5.17. : Z20 sensörle yapılan ölçümlerde 0.5 ve 100 (s ⁻¹) kayma hızlarında zamana bağlı viskozite değişimi.....	55
Şekil 5.18. : Z40 sensörle yapılan ölçümlerde 0.5 ve 100 (s ⁻¹) kayma hızlarında zamana bağlı viskozite değişimi.....	56
Şekil 5.19. : Tahin yağının farklı sıcaklıklardaki akış eğrileri.....	57
Şekil 5.20. : Z20 ve Z40 sensörleri ile yapılan ölçümlerin karşılaştırılması.....	58
Şekil 5.21. : Tahin yağı viskozitesinin sıcaklıkla değişimi.....	58

Şekil 5.22. : Tahin yağının kayma viskozitesine sıcaklığın etkisinin Arrhenius denklemleri ile temsili.....	59
Şekil 5.23. : Tahinin farklı süspansiyonlarının akış eğrileri (1. ölçüm).....	60
Şekil 5.24. : Tahinin farklı süspansiyonlarının akış eğrileri (2. ölçüm).....	61
Şekil 5.25. : Hazırlanan süspansiyonların hacim fraksiyonu ile viskozite değişimi	62



TAHİNİN REOLOJİK KARAKTERİZASYONU

ÖZET

Anahtar kelimeler: Tahin, reolojik karakterizasyon, süspansiyon reolojisi

Bu çalışmada, tahinin reolojik davranışı ve bu davranışa sıcaklık, kayma hızı, ve depolama süresi gibi teknolojik faktörlerin etkileri araştırılmıştır. Sıcaklık ve kayma hızının etkileri tek bir model ile ifade edilmiştir. Ayrıca, tahinin başlıca bileşenlerinin (yağ ve katı madde olarak) bu ürünün reolojik davranışına katkıları irdelenmiştir.

Üretici firmadan temin edilen tahin örnekleri üzerinde önce kimyasal analizler yapılmıştır. Buna göre çalışmada kullanılan tahinin kompozisyonu %58.7 yağ, %0.63 nem, %25.93 protein, %2.55 kül, %0.76 selüloz ve % 0.42 tuz olarak bulunmuştur. Bu sonuçların tahin için, tuz miktarı hariç, Türk Standartlarında belirlenen sınırlara uyduğu gözlenmiştir. Öte yandan, tahinin yağ asitleri analizi yapılarak başlıca bileşenlerin oleik asit (%41.75), linoleik asit (%40.14) ve palmitik asit (%9.10) olduğu belirlenmiştir. Yağ asitleri bulgularının literatürde yer alan sonuçlara uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Tahin örneklerinde viskozite ölçümleri 20-70°C sıcaklık ve 0.13-500 s⁻¹ kayma hızı aralıklarında Haake RT 20 reometresi ve iç-içe silindir sensörü kullanılarak yapılmıştır. Verilerin analizi sonucunda tahinin psödoplastik, yani kayma hızıyla viskozitesi düşen, davranış sergilediği belirlenmiştir. Kayma hızının etkisi üslû-yasa ile, sıcaklığın etkisi ise Arrhenius eşitliği ile temsil edilerek bu iki faktörün etkilerini içeren tek bir model oluşturulmuştur. Arrhenius eşitliğine göre tahinin akış için aktivasyon enerjisi 20 500 J/mol olarak belirlenmiştir.

Reolojik özelliklere depolama süresinin etkisini belirlemek için tahin örnekleri satışa sunuldukları gibi oda sıcaklığında bekletilmiştir. Aylık periyotlarla bu örnekler üzerinde yapılan ölçümler sonucunda tahinin reolojik özelliklerinde tutarlı ve önemli bir değişim gözlenmemiştir.

Tahin yağının viskozitesi, hekzan ile katı kısımdan ayrıldıktan sonra, 20-70°C sıcaklık ve 0.5-500 s⁻¹ kayma hızı aralıklarında ölçülmüştür. Tahin yağının bu koşullarda Newtonyen davrandığı belirlenmiş ve sıcaklığın viskoziteye etkisi aşağıdaki denklem ile ifade edilmiştir:

$$\eta(Pa.s) = 2,72 \times 10^{-8} \times e^{(4295/T(K))}$$

Normalde katı madde oranı %41,30 olan tahine kendi yağından katılarak katı madde oranı kütlece %10, %20, ve %30 olacak şekilde süspansiyonlar hazırlanmıştır. Oda sıcaklığında yapılan reolojik ölçümler neticesinde, %30'luk süspansiyonun tahin gibi psödoplastik davrandığı, %10 ve 20'lik süspansiyonların ise Newtonyen davrandığı belirlenmiştir. Ayrıca bu sonuçlara süspansiyon reolojisi için geliştirilmiş Krieger-

Dougherty denklemi uyarlanarak tahin için maksimum hacim fraksiyonu 0,4-0,5 aralığında bulunmuştur.

Bu araştırma kapsamında tahin hakkında üretilen reolojik bilgi ve veriler, hem ekipman ve proses tasarımlarının daha güvenli yapılmasına, hem de geleneksel bir ürünümüz olan tahinin daha iyi tanınarak yeni uygulama alanları bulmasına yardımcı olacaktır.



RHEOLOGICAL CHARACTERIZATION OF TAHINA

SUMMARY

Key words: Tahina, rheological characterization, suspension rheology

The objectives of this study were to determine rheological properties of tahina and effects of such technological parameters as shear rate, temperature and storage time on the rheology of the product. A single rheological model was developed to express combined effects of shear rate and temperature. Moreover, relative contributions of main components of tahina (i.e., oil and solid matter) to the shear properties of the product were investigated.

Tahina samples obtained from a local manufacturer were first subjected to chemical analysis. The composition of tahina used in this work was found to be 58.7 % oil, 0.63% moisture, 25.93% protein, 2.55% ash, 0.76% fiber and 0.42% salt. These values, except salt content, were in accordance with the limits set for this product in the national standards. Furthermore, fatty acid composition of the oil phase was determined to be composed of oleic acid (41.75%), linoleic acid (40.14%) and palmitic acid (9.10%). These results were in agreement with the published data.

Shear viscosity measurements of tahina were made using a Haake RT20 rheometer which was equipped with a circulating water bath and a concentric cylinder sensor system. The ranges of temperature and shear rate studied were 20-70°C and 0.13-500 s⁻¹, respectively. Tahina exhibited a pseudoplastic or shear-thinning behavior with a strong influence of temperature on the consistency index. The activation energy of flow for tahina from Arrhenius relation was found to be 20 500 J/mol.

The effect of storage time on rheological properties of tahina was monitored with monthly measurements on samples kept in their original glass jars at room temperature. There were not any consistent and important changes of the rheological properties of tahina after 6 months of storage.

In order to understand the contributions of oil and solid matter to the rheology of tahina, the oil phase was separated from the solid matter by solvent extraction. Newtonian behavior of the oil in the shear rate range 0.5-500 s⁻¹ was a strong function of temperature. Temperature dependency of the oil viscosity was successfully described by the following equation:

$$\eta(Pa.s) = 2,72 \times 10^{-8} \times e^{(4295/T(K))}$$

Previously separated oil was added in sufficient amounts to tahina to prepare suspensions of 10, 20, and 30% (w/w) of solid matter. At room temperature, the suspension with 30% solid matter exhibited a pseudoplastic behavior as the standard tahina. The other two suspensions with lower concentrations of solid matter demonstrated a Newtonian behavior. The suspension viscosity data were

fitted to the Krieger-Dougherty model to find that the maximum packing fraction for tahina varied between 0.4 and 0.5.

The information from this study on the rheology of tahina is expected to facilitate better designs of equipment and processes, and to lead increased utilization of this traditional product as an ingredient in other food formulations.



1. GİRİŞ

Susam tohumlarının kabukları ayrıldıktan sonra değirmende öğütülmesiyle elde edilen tahin, Türkiye'de şeker, bal veya pekmeze karıştırılarak yaygın şekilde tüketilmekte; ve ayrıca yöresel mutfaklarda değişik kullanımlarla karşımıza çıkmaktadır. Öte yandan tahin, tahin helvasının başlıca bileşenidir (Özcan ve Akgül, 1994). Tahin esas olarak susam yağı ve bu yağ içinde dağılmış hidrofilik katılardan oluşan bir süspansiyondur (Lindner ve Kinsella, 1991).

FAO (2000) verilerine göre 1999 yılında 26 000 tonluk susam üretimi gerçekleştirilen ülkemizde tahin, genellikle düşük teknolojiye sahip, standart olmayan ekipman ve prosesler kullanılarak üretilmektedir. Tahin üretimini daha modern ekipmanlar ile daha sağlıklı koşullarda ve daha kaliteli gerçekleştirme çabaları mevcutsa da, çeşitli işletmelerde üretilen tahinlerin bileşimlerinde önemli farklar olduğu gözlenmiş ve ayrıca bileşimi tahin standardına uymayan ürünler olduğu belirlenmiştir (Özcan ve Akgül, 1994). Tahin üretimini modernleştirmek ve standart ürünler alabilmek için gerekli ekipman tasarımları güvenilir reolojik veriler ile yapılabilir. Tahinin kimyasal yapısı ile ilgili araştırmalar mevcut olmakla birlikte, reolojik özellikleri sistematik bir biçimde ele alınmamıştır. Sadece Lindner ve Kinsella (1991) belli oranlarda tahine su ilave ederek sabit bir kayma hızında ve 24°C sıcaklıkta viskozite ölçümleri yapmıştır.

Bu çalışma ile tahinin ve tahin yağının reolojik özelliklerinin 20°C ile 70°C arasında ve 0,13-500 s⁻¹ kayma hızı aralığında ayrıntılı olarak belirlenmesi, tahinin katı kısmının reolojik özelliklere katkısının incelenmesi ve elde edilen verilerin modellenmesi amaçlanmıştır.

2. TAHİN VE SUSAM İLE İLGİLİ LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1. Tahinin tanımı, üretimi ve özellikleri

2.1.1. Tahinin tanımı

Arapça'da öğütmek, un haline getirmek anlamındaki “tahn” kelimesinden dilimize geçen tahin, susam (*Sesamum indicum* L.) tohumlarının kabukları ayrıldıktan ve kavrulduktan sonra değirmende öğütülmesiyle elde edilen bir üründür (TSE, 1977; Birer, 1985; Özcan ve Akgül, 1994).

2.1.2. Tahinin üretimi

Tahin üretimi akış şeması Şekil 2.1'de verilmiştir. Şekil 2.1'e göre tahin üretiminde başlıca aşamalar aşağıdaki gibidir:

Temizleme: Tohumla birlikte bulunan her türlü organik ve inorganik yabancı madde, elenerek, aspiratör yardımıyla veya tuzlu suda (salamura) tutularak uzaklaştırılır.

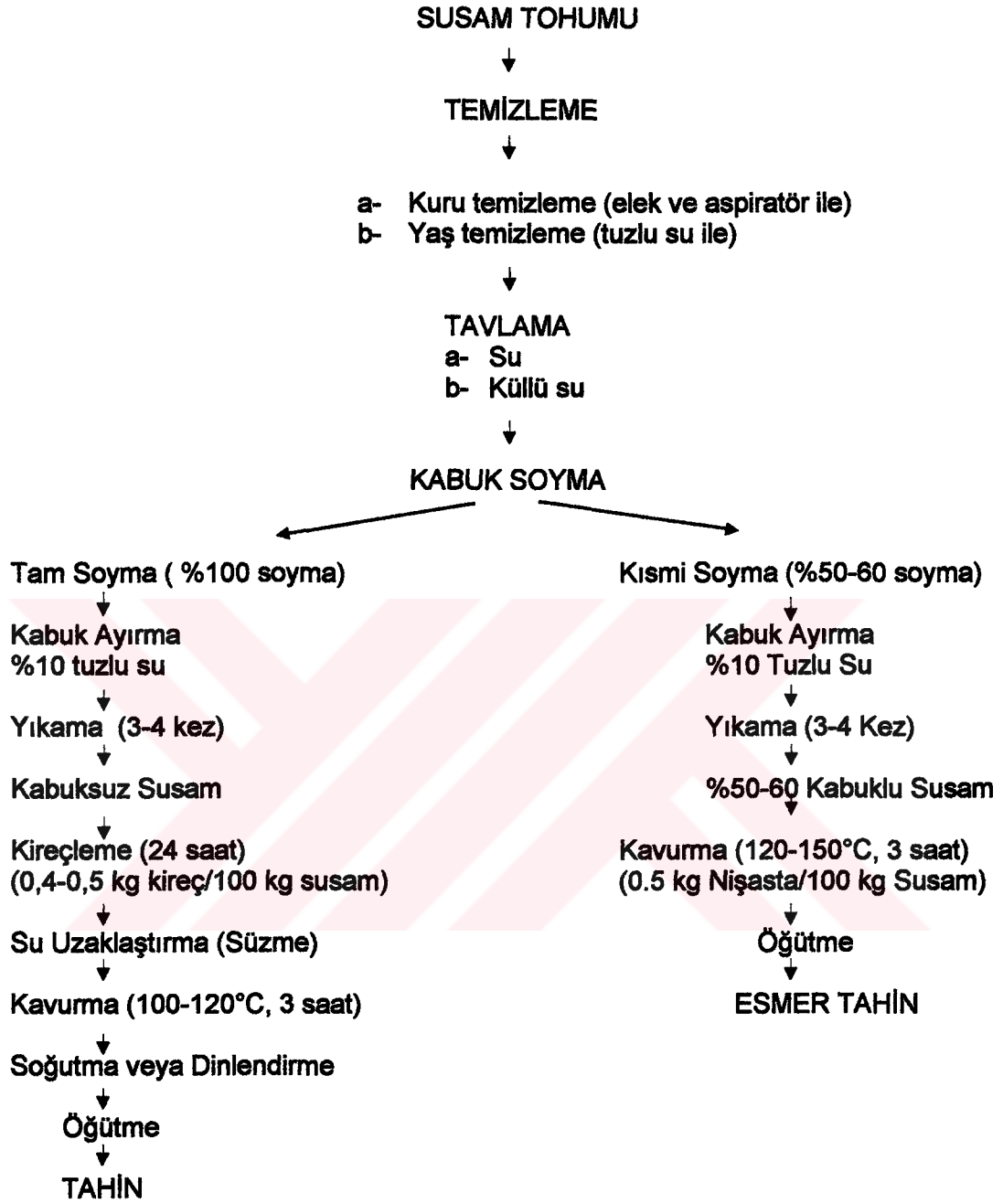
Tavlama: Susamın ince olan kabuğunun kolay ayrılması için, tohumlar su içinde 5-7 saat bekletilir.

Kabuk soyma: Kabuklar soyulup ayrılmadığı zaman, kırmızımsı renkte tahin elde edilir. Tavlandıktan sonra süzülen tohumlara %4 kum karıştırılarak, paletli düzenekte çarpma etkisiyle kabuklar soyulur.

Kabuk ayırma: Soyulmuş kabukla karışık tohumlar tuzlu suda tutulur. Ağır olan kabuklar dipte kalır, üst kısımda biriken susam içleri (bademcik) alınır. Sonra yıkanarak tuz giderilir. Helva üretiminde veya diğer tüketimlerde kullanılacak tahinde tuz bulunmaması gerekir.

Kavurma: Bademciğin kolay öğütülebilmesi için ve tahinin özgün lezzeti kazanabilmesi için yapılır. Bu işlem, çift cidarlı kazanlarda dolaylı ısıtma veya fırınlarda doğrudan ısıtma ile 2,5–3 saat süreyle, 100-150°C sıcaklıkta, sürekli karıştırılarak yapılır.

Öğütme: Soğutulan tohum içleri, elekten geçirilip taş değirmenlerde ezilir. Değirmenden çıkan ürün akışkan macun halindedir ve “tahin” adını alır.



Şekil 2.1 Tahin üretimi akış şeması (Özcan ve Akgül, 1994).

2.1.3. Tahinin özellikleri

Tablo 2.1’de çeşitli kaynaklara göre tahinin kompozisyonu verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi tahinin yağ miktarı % 47 ile 59 arasında, protein miktarı ise %18 ile 25 arasında değişebilmektedir. Yağ ve protein yönünden zengin bir gıda olan tahinin besleyici değeri yüksektir. Tahinin yapısındaki tuz, kabuk temizleme ve kabuk soyma aşamalarında kullanılan tuzlu sudan gelmektedir. TSE (1977)’ye göre tahinde tuz miktarının en fazla %0.1 olması istenmektedir. Özcan ve Akgül (1994)’ün Konya ili civarından aldıkları 11 farklı tahin örneğini inceledikleri çalışmada bütün tahinlerin tuz miktarı standartta belirtilenden fazla bulunmuştur.

Tablo 2.1 Tahinin bileşimi

Miktar (%)	Damir (1984)	Sawaya ve diğ. (1985)	Lindner ve Kinsella (1991)	Özcan ve Akgül (1994)	TSE (1977)
Yağ	55,3	58,9 ± 0,4	59,0	46,9 – 58,7	53 (en az)
Nem	0,7	0,7 ± 0,4	-	0,4 – 1,5	1,5 (en çok)
Protein	23,0	24,7 ± 1,7	25,0	17,9 – 24,3	22 (en az)
Protein olmayan azot	-	-	0,2	-	-
Kül	2,8	3,0 ± 0,2	-	2,6 – 3,7	3 (en çok)
Selüloz	-	2,3 ± 0,2	3,4	3,3 – 4,7	2,4 (en çok)
Tuz	-	-	-	0,2 – 0,7	0,1 (en çok)

Tablo 2.2’de çeşitli kaynaklara göre tahinin mineral içeriği verilmiştir. Tahinin mineral madde içeriği, sodyum hariç, susam tohumuna göre daha azdır. Tahin, üretimi sırasında kabuk soyma işlemi başta olmak üzere diğer üretim aşamalarında mineral madde özellikle kalsiyum kaybına uğramaktadır. Tahinin fosfor ve magnezyum miktarları susama göre düşük, bakır, mangan ve çinko içerikleri ise susamda bulunan miktarlara yakındır. Selenyum günde 5 ppm’den fazla vücuda alınırsa toksik etki göstermektedir. Tahinde selenyum miktarı 5 ppm’den az bulunmaktadır. Yüksek orandaki sodyum içeriği, temizleme ve kabuk soyma aşamalarında kullanılan tuzlu sudan kaynaklanmaktadır. 100 g tahin yetişkin bir insanın bir günde alması gereken kalsiyumun % 7.6’sını, fosforun %86.5’ini, magnezyumun %100’den fazlasını, çinkonun %52.1’ini, demirin % 72’sini, bakırın % 65-98’ini ve manganın % 29-58’ini

karşılayabilmektedir. Bu nedenle tahin, zengin bir mineral kaynağıdır (Sawaya ve diğ., 1985; Özcan ve Akgül, 1994).

Tablo 2.2 Tahinin mineral içeriği

Miktar (mg/100 g)	Sawaya ve diğ. (1985)	Lindner ve Kinsella (1991)	Özcan ve Akgül (1994)
Na	251 ± 77	370	170 – 270
K	354 ± 44	290	240 – 530
Ca	61 ± 27	-	-
P	692 ± 71	-	750 – 400
Mg	362 ± 41	-	-
Fe	7,2 ± 0,5	-	52 - 81 (ppm)
Zn	7,8 ± 0,7	-	62 - 101 (ppm)
Cu	2 ± 0,2	-	14 - 20 (ppm)
Mn	1,5 ± 0,2	-	14 - 22 (ppm)
Se	0,05	-	-

Tahinin protein sindirilebilirlik değeri ("*in vitro* protein digestibility, IVPD") % 83,3 ve hesaplanan protein etkinlik oranı ("*calculated protein efficiency ratio*, C-PER") ise %2.14'tür. IVPDP ve C-PER değerleri, tahinin kolay sindirildiğini ve iyi bir besin kaynağı olduğunu göstermektedir. Tablo 2.3'te tahinin çeşitli kaynaklara göre aminoasit kompozisyonu verilmiştir. Vücutta üretilmeyip dışarıdan alınması gereken aminoasitlerin (sınırlayıcı aminoasitler) başında gelen lisin aminoasiti tahinde, FAO/WHO'nun belirttiği değere göre az da olsa bulunmaktadır. Tahin sınırlayıcı aminoasitlerden izolösinini FAO/WHO'nun belirttiği değere göre yüksek miktarda içermektedir. Tahinde ayrıca birçok gıdada bulunmayan, triptofan ve kükürtlü aminoasitlerden metionin ve sistein yüksek oranlarda bulunmaktadır. Bu nedenle tahin, kükürtlü aminoasitleri olmayan baklagillerin besin değerini yükseltmek için kullanılabilir (Sawaya ve diğ., 1985).

Tablo 2.3 Tahinin aminoasit bileşimi

Aminoasitler	Sawaya ve diğ. (1985) (g/100 g protein)	Lindner ve Kinsella (1991) (g/16 g N)	FAO/WHO referans protein değerleri, (g/100 g protein) (Sawaya ve diğ., 1985)
Treonin	4,04 ± 0,18	4,3	4,04
Valin	5,22 ± 0,30	5,4	5,0
İzolösin	4,36 ± 0,24	4,3	4,0
Lösin	7,81 ± 0,43	7,5	7,0
Tirosin (T)	3,22 ± 0,23	4,3	-
Fenilalanin (P)	5,10 ± 0,31	5,3	-
(T+P)	8,32 ± 0,47	-	6,0
Lisin	3,51 ± 0,17	1,9	5,5
Metionin (M)	2,47 ± 0,36	2,3	-
Sistein (C)	2,23 ± 0,28	-	-
M+C	4,70 ± 0,43	-	3,5
½ Sistin (Sistin + Sistein)	-	2,2	-
Triptofan	1,36 ± 0,05	-	1,0
Aspartik asit	9,0 ± 0,44	9,7	-
Serin	5,09 ± 0,26	5,6	-
Glutamik asit	21,4 ± 1,87	19,8	-
Prolin	3,42 ± 0,46	4,0	-
Glisin	5,50 ± 0,31	5,5	-
Alanin	5,24 ± 0,22	5,4	-
Histidin	2,75 ± 0,14	-	-
Arjinin	14,1 ± 1,16	16,8	-

Tablo 2.4'te Özcan ve Akgül'ün (1994) Konya ili çevresinden aldıkları 11 adet tahin örneğinden ekstrakte edilen yağın bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin ortalaması verilmiştir. 11 örneğin Tablo 2.3'te belirtilen fiziksel ve kimyasal özelliklerinin birbirine yakın olduğu ve kırılma indisi ile iyot sayısı arasında doğrusal bir ilişkinin bulunduğu bildirilmiştir (Özcan ve Akgül, 1994).

Tablo 2.4 Tahinin yağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri (Özcan ve Akgül, 1994)

D ₂₀ (özgül ağırlık)	n _D ²⁰ (Kırılma indisi)	İyot sayısı	Sabunlaşma değeri	Sabunlaşmayan miktar (%)	Peroksit sayısı
0,9122 – 0,9155	1,4707- 1,4716	110,61-118,27	179,10-197,70	1,03 - 1,76	1,63 - 2,99

Tablo 2.5'te çeşitli kaynaklara göre tahinden ekstrakte edilen yağın yağ asitleri bileşimi verilmiştir. Tahin yağında başlıca doymamış yağ asitlerinden oleik ve linoleik asitler bulunmaktadır. Doymuş yağ asitlerinden palmitik ve stearik asitlerin miktarı

daha düşüktür. Oleik, linoleik, palmitik ve stearik asitler tahin yağının yaklaşık %98'inin oluşturmaktadır.

Tablo 2.5 Tahin yağının yağ asitleri bileşimi

Yağ asidi çeşidi (%)	Sawaya ve diğ. (1985)	Özcan ve Akgül (1994)
Palmitik asit (C _{16:0})	9,8±0,15	9,55-10,32
Palmitoleik asit (C _{16:1})	0,1±0,01	-
Heptadekonoik asit (C _{17:0})	0,1±0,014	-
Stearik asit (C _{18:0})	6,4±0,34	-
Oleik asit (C _{18:1})	42,4±1,0	37,42-45,04
Linoleik asit (C _{18:2})	39,7±0,53	45,25-52,34
Linolenik asit (C _{18:3})	0,4±0,42	-
C _{19:0}	İz	-
Araşidik asit (C _{20:0})	0,5±0,01	-
C _{21:0}	İz	-
Behenik asit (C _{22:0})	0,2±0,03	-
C _{23:0}	İz	-

Tahin, tahin helvasının başlıca bileşenidir. Ayrıca bazı ülkelerde salatalara, sebzelere, ete, balığa, pirinç yemeklerine ve erişteye sos olarak eklenir. Ortadoğu ülkelerinde tahin, bezelye ile (hommes tehneh) pişirilir veya patlıcanla karıştırılarak (baba gannouj) tüketilir. Tahin bazı tip ekmeklere ve unlu mamul çeşitlerine eklenir. Buna, Türkiye'nin bazı bölgelerinde yapılan tahinli çörek veya ekmek örnek olarak verilebilir (Sawaya ve diğ., 1985; Patterson, 1989; Norman, 1991; Anonim, 1996b).

2.1.3.1. Tahinin partikül boyutu dağılımı

Tahin, yağ içindeki hidrofilik partiküllerin oluşturduğu konsantre bir süspansiyondur. Lindner ve Kinsella (1991), tahinin partikül boyutu dağılımını belirlemek için tahini hekzan dolu bir mezür içine aktararak, partiküllerin serbest çökme hızlarını ölçmüşlerdir. Partiküllerin çökme hızlarını kullanarak, çaplarını aşağıda verilen Stokes eşitliği ile hesaplamışlardır:

$$v = \frac{d^2 g (\rho_p - \rho_l)}{18\eta} \quad (2.1)$$

Burada v partiküllerin çökelme hızı, d partikül çapı, ρ_p ve ρ_l sırasıyla partiküllerin ve sıvının yoğunluğu, η sıvının viskozitesi ve g yerçekimi ivmesidir. Tablo 2.6'da Lindner ve Kinsella (1991)'nin, tahinin partikül yoğunluğunu $1,3 \text{ g/cm}^3$ olarak hesapladıkları partikül boyutu dağılımı verilmiştir. Buna göre tahinin %14 'ü $100\text{-}500 \mu\text{m}$, %76'sı $10 \mu\text{m}$ 'den küçük partikül boyutundadır. Partikül boyutu küçük olan fraksiyon miktarının fazla olmasının, tahinde istenmeyen yağ ayrışmasında etkin olduğu bildirilmiştir (Lindner ve Kinsella, 1991).

Tablo 2.6 Tahinin partikül boyutu dağılımı (Lindner ve Kinsella, 1991).

Partikül boyutları	Miktar (%)
> 500 μm	1
100 - 500 μm	14
20 - 100 μm	2
10 - 20 μm	5
2 - 10 μm	46
1 - 2 μm	24
< 1 μm	6

2.1.4. Tahinle ilgili reolojik çalışmalar

Tahin, Ortadoğu ülkelerinde 1-2 hacim su ile karıştırılıp sos haline getirilerek tüketilmektedir. Bu işlem sırasında tahinin bir seri reolojik değişime uğradığı ve bu değişimler hakkında çok az bilgi sahibi olduğu belirtilmiştir (Lindner ve Kinsella, 1991). Bu nedenle Lindner ve Kinsella (1991), tahine ağırlıkça %6 ile %60 arasında saf su ve 1M tuzlu su ilave ederek viskozitesini ölçmüşlerdir. Tablo 2.7'te bu çalışmadan elde edilen sonuçlar verilmiştir. Tahine çok az miktarda su ilave edilmesinin viskoziteyi arttırdığı, ilave edilen su %14-35 arasında olduğunda ise karışımın akmadığı bildirilmiştir. Yüzde 14-24 su ilavesinde karışımın yarı katı olduğu ve bu nedenle rotorun karışım içinde kaydığı; % 24-35 arasında ise karışımın homojen olmayan bir yapı kazandığı belirtilmiştir. Yüzde 40 su ilavesinde tahin-su karışımının suda yağ emülsiyonu olarak düşünülebileceği, bu orandan daha fazla su ilavesinde viskozitenin düştüğü bildirilmiştir.

Tablo 2.7 Su ilave edilen tahinin viskozite değişimi (Lindner ve Kinsella, 1991).

Su ilavesi		1 M tuzlu su ilavesi	
İlave edilen su (%)	Görünen viskozite (Pa.s) ($\dot{\gamma} = 19 \text{ s}^{-1}$)	İlave edilen tuzlu su (%)	Görünen viskozite (Pa.s) ($\dot{\gamma} = 19 \text{ s}^{-1}$)
-	3,75	6	9,6
6	10,4	12	12,0
12	9,8	45	7,3
50	1,8	55	1,1
60	0,9	-	-

2.2. Susam

Susam tohumu, Pedaliaceae familyasının *Sesamum indicum* türüne giren bitkilerin meyveleri (kapsülleri) içerisinde oluşan tohumdur (TSE, 1976; Lewis, 1984; Norman, 1991; Pritchard, 1991; Akgül, 1993; Anonim, 1996a; Anonim, 1996b).

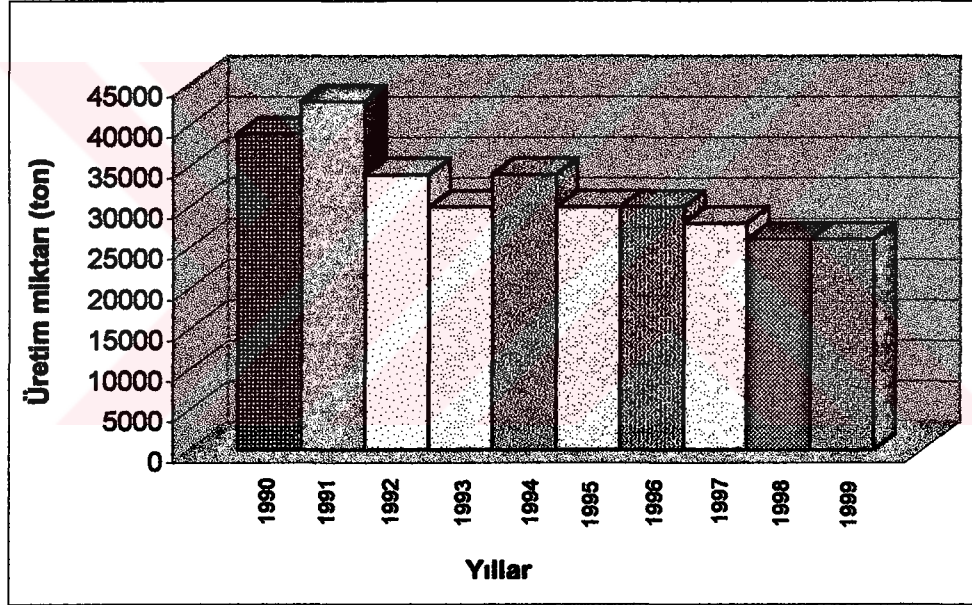
Susam kelimesi, Arapça "simsim" den gelmektedir. Susama, bazı ülkelerde "gingili"; Türkiye'nin bazı bölgelerinde "küncü", "şirik", "şırılağan "; Hindistan'da "tıl"; Çin'de "chee ma"; Malezya'da "bijan" ve Tayland'da "dee la" denilmektedir (Birer, 1985; Patterson, 1989; Norman, 1991; Akgül, 1993). Susamın, milattan önce 3000 yılları civarında Suriye, Babil ve Mısır uygarlıklarında hasatı yapılan ilk yağlı tohumlardan biri olduğuna dair arkeolojik bulguların olduğu bildirilmiştir. Susamın laksatif etkisi nedeniyle halk arasında ilaç yapımında kullanıldığı da bilinmektedir. (Damir, 1984; Sawaya ve diğ., 1985; Norman, 1991; Anonim, 1996b). Günümüzde ise susam esas olarak yağı için Afrika'nın batısı ve kuzey doğusundan Orta Doğu'ya ve Güney Doğu Avrupa'ya (Yunanistan) kadar olan bölgelerde, Hindistan'da, Çin'in güneyinde, Orta Amerika'da (Meksika, Kolombiya, Venezuela) ve Antil Adaların'da yetiştirilmektedir (Lewis, 1984; Sawaya ve diğ., 1985; Patterson, 1989; Norman, 1991; Pritchard, 1991; Akgül, 1993; Anonim, 1996b).

Dünyada 1983 yılında 1913 bin ton susam, 503 bin ton susam yağı üretilmiştir (Patterson, 1989). Susam üretimi 1985-1988 yılları arasında ortalama 2-3 milyon tona ulaşmıştır. Bu üretim başlıca Çin, Hindistan, Sudan ve Burma tarafından gerçekleştirilmiştir. (Anonim, 1996b). Tablo 2.8'de bazı ülkelerin 1998-1999 yıllarındaki susam üretimleri verilmiştir. Bu tabloya göre Çin dışındaki ülkelerin susam üretimi 1998 yılına göre 1999 yılında artış göstermektedir. Şekil 2.2'de Türkiye'nin 1990-1999 yılları arasındaki susam üretim miktarları verilmiştir.

Genellikle Türkiye'nin susam üretim miktarı ortalama 30 ton civarında olduğu görülmektedir. Türkiye'nin 1991 yılında susam üretimi 43 ton iken, 1992 yılında 34 tona düşmüştür. 1994 yılında üretim 34 tona yükselmişse de 1995 yılında 30 tona düşmüştür. Son iki yılın verileri Çin, Hindistan ve Sudan'ının üretim miktarlarıyla karşılaştırılırsa, Türkiye'nin susam üretiminin oldukça düşük olduğu görülmektedir.

Tablo 2.8 Bazı ülkelerin 1998-1999 yıllarındaki susam üretimi (ton), (FAO, 2000).

ÜLKE	ÜRETİM MİKTARI (ton)	
	1998 Yılı	1999 Yılı
Çin	656 418	550 418
Hindistan	555 400	555 400
Sudan	165 000	220 000
Meksika	31 652	35 600
Mısır	26 225	32 200



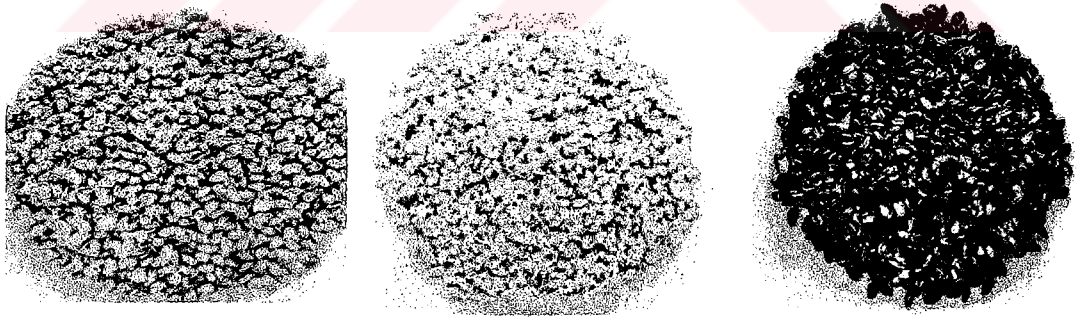
Şekil 2.2 Türkiye'nin 1990-1999 yılları arasındaki susam üretimi (FAO, 2000).

Susam bitkisi yıllık, otsu, 60-120 cm boyunda, mızrak yapraklı, beyaz-pembe renkli ve çiçeklidir. Köşeli kapsül şeklindeki meyve, çok sayıda tohum içerir. Susam bitkisi, diğer yağlı tohumlu bitkilere göre kuraklığa daha dayanıklıdır. Şekil 2.3'te susam bitkisinin görünümü verilmiştir.



Şekil 2.3 Susam bitkisinin görünümü

Çok sayıda alt tür ve varyete bulunur. Bu nedenle tohum rengi siyah, beyaz, krem, kahverengi, kırmızı veya sarı olabilir. Şekil 2.4'te kahverengi, beyaz ve siyah renkli susamlar görülmektedir.



Şekil 2.4 Kahverengi, beyaz ve siyah susam

beyaz renktedir (Parry, 1969; Lewis, 1984; Patterson, 1989; Norman, 1991; Pritchard, 1991; Akgül, 1993; Anonim, 1996b).

Susam tohumu esansiyel yağ içermez, kavrulduktan sonra çok az bir fındıksı tada ve kokuya sahip olmaktadır. Kokusu da çok az fındık kokusuna benzemektedir. Siyah renkli olanları açık renklilere göre daha kuvvetli bir tada sahiptir. Susam tohumu küçük, oval şekilli ve düzdür. Tohumlar 2,5-3 mm uzunluğunda ve 1,5 mm genişliğindedir (Parry, 1969; Lewis, 1984; Norman, 1991; Akgül, 1993). 100 tane susam ağırlığı 0,3 g'dır. Temizlenmiş ve kurutulmuş susam tohumlarının depolanması sırasında, fareler ve böcekler dışında, hiçbir problem görülmez.

Kabuk, tohum ağırlığının %10-20'si kadardır. Susam kabuğunun yüksek oranda okzalik asit, kalsiyum ve selenyum içermesi nedeniyle acı bir tadı vardır ve insan tüketimi için sınırlamalar bulunmaktadır. Fakat özellikle tahin yapımında kabukları soyulduğu için kalsiyumla bağlı halde bulunan okzalıklar uzaklaştırılmış olur (Lewis, 1984; Sawaya ve diğerleri, 1985; Patterson, 1989; Pritchard, 1991; Anonim, 1996b). Ayrıca susam tohumunda kuru bazda %1.44 oranında bulunan fitatlar, metal bağlayan bileşiklerdir. Bu yapılar çinko, demir ve kalsiyum gibi çözünür olmayan metallerle kompleks oluşturur. Bu kompleksler sindirim sisteminde absorbe edilemez (Pritchard, 1991).

Tablo 2.9'da çeşitli kaynaklara göre susamın kimyasal bileşimi verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi susamın yağ içeriği %35 ile %60 arasında değişmektedir. Bu da susamın yağı için yetiştirilme nedenini açıklamaktadır. Susamın protein içeriğinin de %20-25 arasında olduğu görülmektedir (Sawaya ve diğ., 1985).

Tablo 2.10'da susamın α -globulin proteinin aminoasit kompozisyonu verilmiştir. Susamın protein içeriğinin %65-70'ini α -globulin proteini oluşturmaktadır. Yüksek protein içeriğinin kükürtlü aminoasitlerden metionin (%2.5-4) ve sistein bakımından zengin olması, susamın besleyici değerinin yüksek olduğunu göstermektedir (Prakash ve Nandi, 1978; Sawaya ve diğ., 1985).

Tablo 2.9 Susamın bileşimi

Miktar (g/100 g)	Lewis (1984)	Sawaya ve diğ. (1985)	Rajendran ve Prakash (1988)	Patterson (1989)	Pritchard (1991)	Akgül (1993)	Anonim (1996b)
Yağ	49,5	50	-	35-57	40-60	49	35-57
Protein	21,2	25	25	-	20-25	6,7	-
Lif	5,6	-	-	-	12	15,3	-
Kül	-	-	-	-	6,6	4,6	-
Nem	5,2	-	-	-	-	9	-
Kalsiyum (mg)	-	-	-	-	-	131	-
Magnezyum (mg)	-	-	-	-	-	347	-
Fosfor (mg)	-	-	-	-	-	776	-
Potasyum (mg)	-	-	-	-	-	407	-
Sodyum (mg)	-	-	-	-	-	40	-
Çinko (mg)	-	-	-	-	-	10	-
Niasin (mg)	-	-	-	-	-	5	-
A vitamini (IU)	-	-	-	-	-	66	-

Tablo 2.10 Susamın α -globulin proteinin aminoasit kompozisyonu, (Prakash ve Nandi, 1978)

Aminoasit	Miktar (g/16g N)
Aspartik asit	9,6
Glutamin	20,0
Serin	5,1
Glisin	5,2
Arjinin	14,2
Treonin	4,2
Alanin	5,0
Prolin	2,0
Tirosin	3,9
Valin	4,5
Metionin	2,3
İzoleüsin	3,6
Lösin	7,1
Fenilalanin	4,9
Lisin	2,0

Kabuğu ayrılmamış susam tohumu bir çözgenle ekstrakte edilip yağı ayrıldıktan sonra geriye kalan küspede %40 protein, %6 lif ve %10 mineral bulunmaktadır. Eğer kabuğu ayrılırsa %47 protein, %3.2 lif ve %5 mineral içeriğine sahip olur. Susam küspesi yüksek protein içeriği nedeniyle yem olarak kullanılır. Ancak küspede

bulunan okzalit hayvanların beslenmesi yönünden sorun yaratmaktadır (Sawaya ve diğ., 1985; Rajendran ve Prakash, 1988; Patterson, 1989; Pritchard, 1991; Anonim, 1996b).

Susam üretiminin yaklaşık %20'si hiçbir işlem görmeden tüketime sunulur. Susam, ekmek, bisküvi, kurabiye ve kek gibi unlu mamulleri süslemede ayrıca yağ üretiminde ve tahin gibi geleneksel gıdaların yapımında kullanılır (Lewis, 1984; Norman, 1991; Anonim, 1996b). Kızarmış susamın uçucu kükürt bileşiklerinden dolayı çok etkileyici bir lezzeti olmaktadır. Beyaz renkli susam kabukları ayrıldıktan sonra şekerlemeler için kullanılır. Temizlenerek kabuklarından ayrılmış ve yağ alınmış tohumdan susam unu yapılır (Lewis, 1991). Patterson, 1989). Susam küspesi ise yüksek protein (%43) ve metionin (%2,5-4) içeriği nedeniyle soya keklerine tamamlayıcı olarak kullanılmaktadır (Anonim, 1996b).

2.2.1 Susam yağı

Susam yağı, soğuk pres işlemi ile elde edilen sıvı, stabil, yenilebilir ve düşük sıcaklıklarda bulanıklaşmayan bir yağdır. Yüzyıllardır çok kıymetli olarak görülen susam yağı, özellikle Asya ve Afrika'nın bazı kısımlarında sofralık, ısıyla acılaşmadığı için pişirmelik yağ olarak kullanılmıştır. Marco Polo da , İranlıların zeytinyağı olmadığı için yemek pişirmede susam yağı kullandıklarını bildirmiştir. Susam yağı aynı zamanda eczacılıkta, parfümeride, kozmetik sanayiinde, insektisitlerde ve sabun yapımında kullanılmaktadır. Susam yağının laksatif etkisi nedeniyle yüzyıllardır halk arasında ilaç yapımında kullanıldığı bildirilmiştir (Lewis, 1984; Norman, 1991; Patterson, 1989).

Birinci presle ayrılan yağ, rafine edilmeden tüketime hazırdır. İkinci preste elde edilen yağ daha koyu renklidir ve rafine edildikten sonra tüketilebilir duruma gelmektedir. Üçüncü preste elde edilen yağ ise genellikle sabun yapımında kullanılmaktadır (Anonim, 1979; Patterson, 1989; Pritchard, 1991; Anonim, 1996a). Susam yağı ekstraksiyon işlemiyle de elde edilmektedir (Anonim, 1996b). Susam yağında bulunan sesamin maddesi insektisitlerle sinerjist etkiye sahiptir ayrıca maliyeti düşürmektedir.

Tablo 2.11'de susam yağının başlıca kimyasal ve fiziksel özellikleri verilmiştir. Tabloya göre, doymamışlığın göstergesi olan iyot sayısı 103 ile 138 arasında değişmektedir. İyot sayısı 100'ün altında olan susam yağlarının oda sıcaklığında donduğu, kıvamlı bir yapı oluşumu olduğu veya çeşitli kristallenmelerin görüldüğü belirtilmiştir (Ünsal ve Nas, 1995). Susam yağının sabunlaşmayan kısmının miktarı

oldukça fazladır. Sabunlaşmayan kısımda, susama özel iki bileşik bulunmaktadır: sesamin (ort. miktarı 360 mg/100 g yağ) ve sesamolin (ort. miktarı 270 mg/100 g yağ). Bu iki bileşik rafinasyon ve hidrojenasyon işlemleri sırasında sesamol ve sesaminol'e dönüşmektedir. Sesamol, deodorizasyon işlemi sırasında kaybolmakta, sesaminol ise bu işlemde daha az etkilenmektedir. Susam yağının stabil olmasının nedenlerinden birinin, içerdiği sesamol'ün (fenolik yapıdaki bir antioksidan) antioksidan etkisi olduğu düşünülmektedir (Anonim, 1979; Patterson, 1989). Bu iki bileşik bilinen güçlü antioksidanlardır. Yapılan bir çalışmada laboratuvar ortamında Çin orjinli 100 g susam yağından 10 mg sesamol ekstrakte edildiği bildirilmiştir (Anonim, 1996b).

Tablo 2.11 Susam yağının başlıca kimyasal ve fiziksel özellikleri

Özellikler	TSE (1975)	Anonim (1979)	Akgül (1993)	Anonim (1996b)	Singhal ve diğ. (1997)
N_D^{20} (Kırılma indisi)	1,465 - 1,469 (40°C)	1,470 - 1,474 (25°C)	1,472 - 1,475	1,474 - 1,477	1,473 - 1,476
Erim noktası (°C)	-	-	0	-	-
Katılma noktası (°C)	-	-	-	-3 ile -6	-
İyot sayısı	104 - 120	103 - 106	103 - 116	104 - 120	136 - 138
Sabunlaşma değeri	-	188 - 195	188 - 195	187 - 195	187 - 193
Sabunlaşmayan miktar (%)	2 (en çok)	1,8 (en çok)	0,5 - 1,5	-	0,9 - 2,3
Peroksit sayısı	10 (en çok)	-	-	-	-

Tablo 2.12'de çeşitli kaynaklar göre susam yağının farklı sıcaklıklardaki yoğunluk değerleri verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi literatür değerleri aynı sıcaklıklarda birbirine benzer değerlerdir. Susam yağının yoğunluğu 20°C'de 915-933 kg/m³ arasında değişmektedir.

Tablo.2.12 Susam yağının farklı sıcaklıklardaki yoğunluğu (kg/m³)

Sıcaklık (°C)	TSE (1977)	Meara (1978)	Anonim (1979)	Akgül (1993)	Rahman (1995)	Anonim (1996b)
-20	-	-	-	-	946	-
-10	-	-	-	-	939	-
0	-	-	-	-	932	-
10	-	-	-	-	925	-
15	-	922	-	-	-	-
20	915-923	-	-	918-923	918	915-923
25	-	-	914-919	-	-	-
40	-	-	-	-	905	-
60	-	-	-	-	891	-
80	-	-	-	-	878	-

Tablo 2.13'te susam yağının çeşitli kaynaklara göre farklı sıcaklıklardaki viskozite değerleri verilmiştir. Steffe (1992) susam yağının Newtonyen davranış gösterdiğini belirtmiştir. Tablodan görüldüğü gibi sıcaklık arttıkça susam yağının viskozitesinin azaldığı görülmektedir.

Tablo 2.13 Susam yağının viskozitesi

	Steffe (1992)	Anonim (1996b)
Viskozite (cp,santipoise)	32,4 (38°C)	64 – 67 (20°C)

Susam yağının yağ asitleri bileşenleri Tablo 2.14'te verilmiştir. Miristik, palmitik, stearik ve araşidik yağ asitleri, susam yağının doymuş kısmını, palmitoleik, linolenik, oleik ve linoleik yağ asitleri ise doymamış kısmını oluşturmaktadır. Tablo 2.14'ten de görüldüğü gibi susam yağının doymamış yağ asitleri, doymuş yağ asitlerinden daha fazladır (Anonim, 1979; Singhal ve diğ., 1997). Susam yağında oleik ve linoleik yağ asitleri birbirine eşit miktarlarda bulunmaktadır (Anonim, 1996b). Linoleik asidin susam yağının oksidatif ve lezzet stabilitesini sağlayan faktörlerden biri olduğu bildirilmektedir (Patterson, 1989).

Tablo 2.14 Susam yağının yağ asitleri bileşenleri

Yağ asidi çeşidi (%)	Anonim (1979)	Patterson (1989)	Akgül (1993)	Ünsal ve Nas (1995)	Anonim (1996b)	Linder (1991)
Laurik asit (C ₁₂)	-	-	-	-	<0,1	-
C ₁₄ <	0,4	-	-	-	-	-
Miristik asit (C _{14:0})	0,02-0,2	<0,5	-	-	<0,1	-
Palmitik asit (C _{16:0})	9-17	7,0-12	-	7 - 9	8-11	8
Palmitoleik asit (C _{16:1})	12-0,3	<0,5	7-10	-	<0,3	-
Heptadekonoik asit (C _{17:0})	0,1	-	-	-	<0,3	-
Heptadekonoik asit (C _{17:1})	0,04-0,05	-	-	-	-	-
Stearik asit (C _{18:0})	2,9-10	3,5-6,0	2-3	4 - 5	4-6	4
Oleik asit (C _{18:1})	33,8-44,1	35-50	37-50	37 - 49	37-42	40
Linoleik asit (C _{18:2})	33,3-45,6	35-50	37-47	35 - 47	39-47	42
Linolenik asit (C _{18:3})	<0,6-1	<0,1	-	-	<0,6	0,4
C _{19:0}	-	-	-	0,4 - 1	-	-
Araşidik asit (C _{20:0})	0,3-2,1	<0,1	0,5-1,5	-	<1	-
Gadoleik asit (C _{20:1})	<0,6-0,4	<0,5	-	-	<0,4	-
Behenik asit (C _{22:0})	0,1-0,6	<0,5	-	-	<0,5	-
Lignoserik asit (C _{24:0})	0,1-0,3	-	-	-	-	-

3. REOLOJİK DAVRANIŞLAR

Reoloji, stres (gerilme) uygulanan bir maddenin akış ve deformasyonunu inceleyen bilim dalıdır (Steffe, 1992). Maddelerin reolojik davranışları ideal sıvıdan ideal katıya kadar değişiklik gösterebilir. Sıcaklık, kayma hızı, kayma hızının uygulanma süresi, basınç, konsantrasyon, pH, a_w ve daha önce uygulanan deformasyon reolojik özellikleri etkilemektedir (Sopade ve diğ., 1993; Ibarz ve diğ., 1994; Rao, 1995; Ak, 1997).

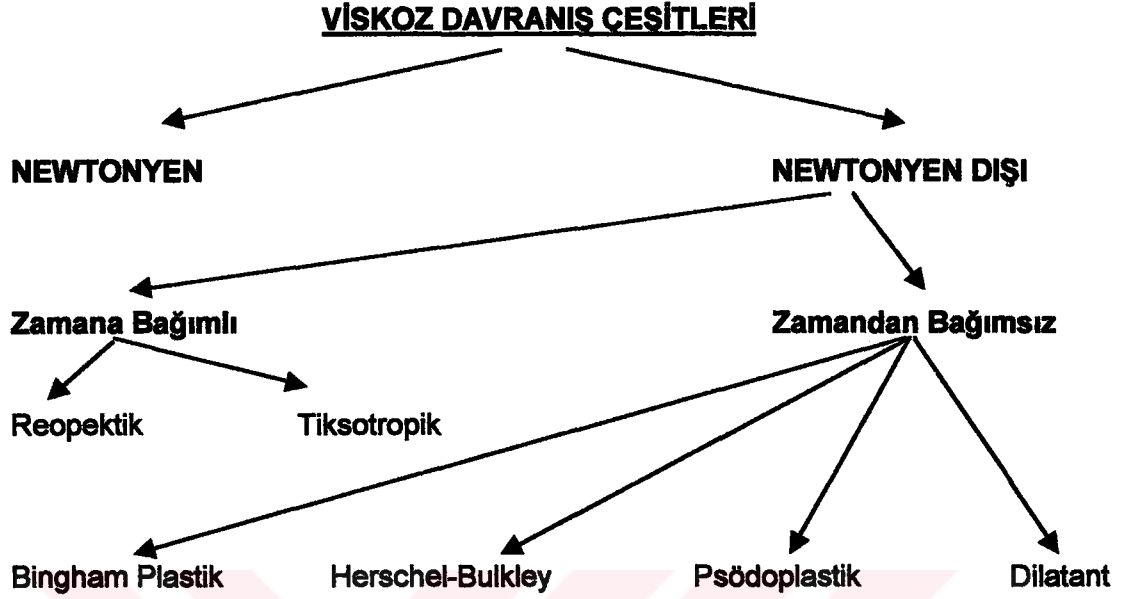
Gıda endüstrisinde reolojik verilere;

- ❖ Boru hatlarında pompa, eksruder, karıştırıcı, kaplama makinası, 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 ürün kalite kontrolünde,
 - ❖ Raf ömrü testlerinde,
 - ❖ Duyusal verilerle ilişkili olarak gıda yapısının değerlendirilmesinde,
 - ❖ Reolojik esaslı bileşen denklemlerinin analizinde,
- ihtiyaç duyulmaktadır (Rao, 1977; Steffe, 1992).

3.1. Reolojik davranış çeşitleri

Gıdalar katı, sıvı ve yarı katı halde bulunmaktadır. Akışkan gıdalar, yerçekimi kuvvetinin etkisiyle akar ve şekillerini koruyamazlar (Rao, 1977). Dondurma gibi bazı gıdalar bir sıcaklıkta katı haldeyken başka bir sıcaklıkta sıvı halde bulunabilir. Akışkan gıdalar basit Newtonyen davranıştan zamana bağlı Newtonyen dışı viskoelastik davranışa kadar çok çeşitli özelliklere sahip olabilirler. Bir gıda maddesi şartlara bağlı olarak farklı sınıflara giren davranışlar gösterebilir. Örneğin seyreltik elma suyu Newtonyen davranış gösterirken, konsantre elma suyu kayma hızıyla zayıflayan özellik gösterir (Ak, 1997; Rao, 1995). Bu sebeple Şekil 3.1'de gıdalar değil reolojik özellikler sınıflandırılmıştır (Ak, 1997). Şekil 3.1'den görüldüğü gibi viskoz davranışlar Newtonyen ve Newtonyen-dışı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Newtonyen-dışı davranışlar zamandan bağımsız ve zamana bağlı olmak üzere iki bölümde incelenmektedir. Zamandan bağımsız Newtonyen-dışı davranışlar

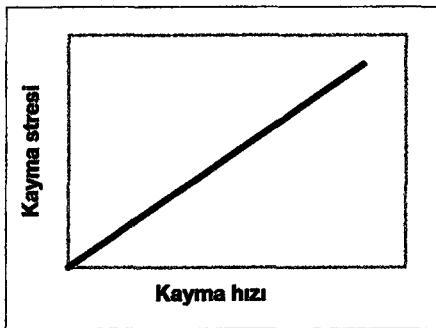
psödoplastik, dilatant, Bingham plastik ve Herschel-Bulkley; zamana bağlı Newtonyen-dışı davranışlar da tiksotropik ve reopektik olarak sınıflandırılır.



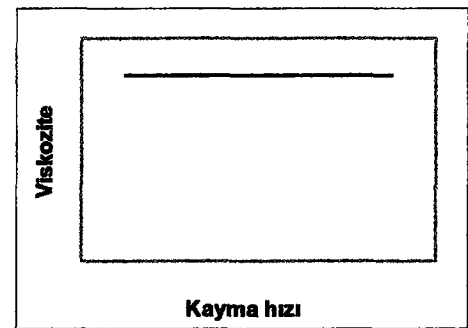
Şekil 3.1 Viskoz davranış çeşitlerinin sınıflandırılması (Ak, 1997).

3.1.1. Newtonyen davranış

Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te Newtonyen davranış için şematik olarak sırasıyla akış ve viskozite eğrileri verilmiştir.



Şekil 3.2 Newtonyen davranışlar için akış eğrisi (Steffe, 1992).



Şekil 3.3 Newtonyen davranışlar için viskozite eğrisi (Steffe, 1992).

Bu şekillerden görüldüğü gibi Newtonyen akışkanların viskozitesi kayma hızından bağımsızdır. Newtonyen akışkanların viskozitesi sadece sıcaklık ve kompozisyonla değişir (Rao, 1995). Newtonyen davranış aşağıdaki reolojik denklemle ifade edilir:

$$\tau = \mu \dot{\gamma} \quad (3.1)$$

Bu denklemde τ kayma stresini, μ viskoziteyi ve $\dot{\gamma}$ kayma hızını göstermektedir (Ak, 1997). Newtonyen gıdalara örnek olarak su, süt, çay, kahve, bira, şarap, soda, pulpsuz meyve suları (depektinize vişne ve portakal suları), bazı ballar, bitkisel yağlar ve şeker çözeltileri verilebilir (Rao, 1977; Steffe, 1992; Ibarz ve diğ., 1994; Giner ve diğ., 1996; Şahin ve diğ., 2000).

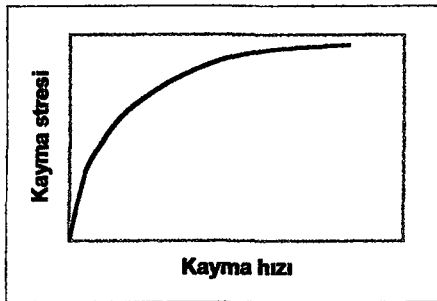
3.1.2. Newtonyen-dışı davranışlar

Akış özellikleri kayma hızından etkilenen akışkanlara Newtonyen-dışı akışkan denir. 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 kayma stresinin kayma hızına bölünmesiyle elde edilir. (Steffe, 1992).

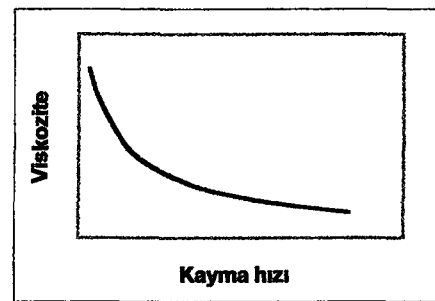
$$\eta_{app} = f(\dot{\gamma}) = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (3.2)$$

3.1.2.1. Zamandan bağımsız Newtonyen-dışı davranışlar

Psödoplastik davranış: Psödoplastik veya kayma hızıyla zayıflayan ("*shear thinning*") akışkanlarda görünen viskozite, kayma hızı arttıkça, azalmaktadır. Şekil 3.4 ve Şekil 3.5 'te psödoplastik akışkanlar için şematik olarak sırasıyla akış ve görünen viskozite eğrileri verilmiştir.



Şekil 3.4 Psödoplastik davranışlar için akış eğrisi (Steffe, 1992)



Şekil 3.5 Psödoplastik davranışlar için görünen viskozite eğrisi (Steffe, 1992).

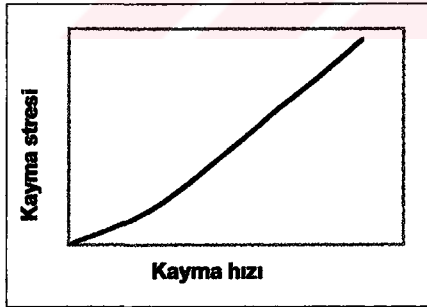
Şekil 3.4'ten görüldüğü gibi psödoplastik akışkanlarda kayma hızı arttıkça kayma stresi artmaktadır. Şekil 3.5'te ise kayma hızı arttıkça görünen viskozitenin azaldığı görülmektedir. Psödoplastik davranış üslu yasa ("power-law") ile modellenmektedir.

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (0 < n < 1) \quad (3.3)$$

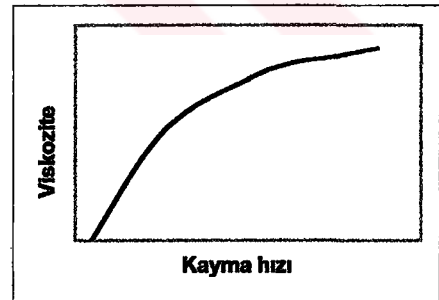
Bu denklemde K kıvam indeksini (Pa.sⁿ) ve n akış davranış indeksini (boyutsuz) göstermektedir. Akış davranış indeksi Newtonyen davranıştan sapmayı gösterir ve akışkanlar n değerine göre sınıflandırılır : n= Newtonyen, n<1 psödoplastik, n>1 dilatant (Brekke ve Myers, 1978; Steffe, 1992; Rao, 1995). Kıvam indeksi ve akış davranış indeksi sıcaklıktan ve gıdanın kompozisyonundan etkilenmektedir (Romero, 1999).

Psödoplastik akışkanlarla, gıda endüstrisinde diğer Newtonyen dışı akışkanlardan daha çok karşılaşılır. Psödoplastik akışkanlara örnek olarak konsantre meyve suları ve püreleri, tahin, bir çok kıvam verici maddelerin çözeltileri, kaymak ve fındık püresi verilebilir (Rao, 1977; Steffe, 1992; Ercan ve Dervişoğlu, 1997; Lokumcu ve Ak, 2000).

Dilatant davranış: Dilatant veya daha doğru söyleyişle kayma hızıyla güçlenen ("shear thickening") akışkanlarda görünen viskozite, kayma hızıyla artmaktadır. Şekil 3.6 ve Şekil 3.7 'de dilatant akışkanlar için şematik olarak sırasıyla akış ve görünen viskozite eğrileri verilmiştir.



Şekil 3.6 Dilatant davranışlar için akış eğrisi (Steffe, 1992).



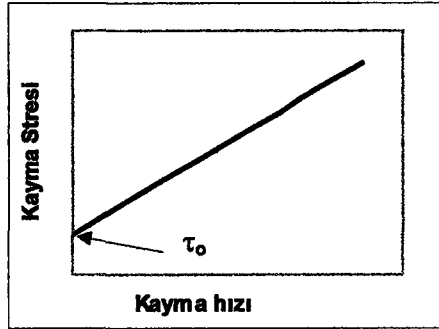
Şekil 3.7 Dilatant davranışlar için görünen viskozite eğrisi (Steffe, 1992).

Şekil 3.6'dan görüldüğü gibi dilatant akışkanlarda kayma hızı arttıkça kayma stresi de artmaktadır. Şekil 3.7'de de kayma hızı arttıkça görünen viskozitenin arttığı görülmektedir. Dilatant davranış üslu yasa "power-law" ile modellenmektedir.

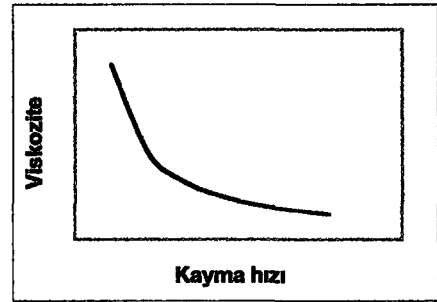
$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (1 < n < \infty) \quad (3.4)$$

Kayma hızıyla güçlenen davranışla çok nadir olarak karşılaşılır. *Eucalyptus ficifolia*, *Eucalyptus eugeniodes*, *Eucalyptus corymbosa* ve *Puntia engelmanni* 'den elde edilen bal türlerinin ve %40'lık mısır nişastası çözeltisinin kayma hızıyla güçlenen davranış gösterdiği bildirilmiştir (Rao, 1977; Steffe, 1992).

Bingham plastik davranış: Bingham plastik akışkanlarda görünen viskozite, kayma hızıyla azalmaktadır. Şekil 3.8 ve Şekil 3.9' da Bingham plastik akışkanlar için sırasıyla şematik olarak akış ve görünen viskozite eğrileri verilmiştir.



Şekil 3.8 Bingham plastik davranışlar için akış eğrisi (Steffe, 1992)



Şekil 3.9 Bingham plastik davranışlar için görünen viskozite eğrisi (Steffe, 1992)

Şekil 3.8'den görüldüğü gibi Bingham akışkanlarda kayma hızı arttıkça kayma stresi de artmaktadır. Şekil 3.9'da da kayma hızı arttıkça görünen viskozitenin azaldığı görülmektedir.

Bingham plastik davranış aşağıdaki denklemle modellenmektedir.

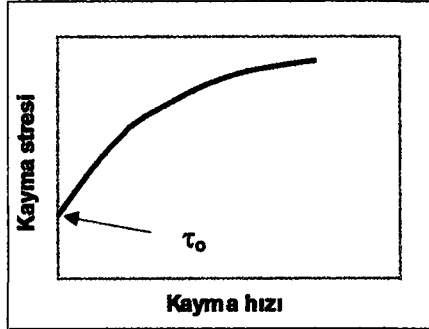
$$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma} \quad (n=1, \tau_0 > 0) \quad (3.5)$$

Bu denklemde τ_0 yıkılma stresi ("yield stress") dir. Yıkılma stresi, akışın başlaması için gereken minimum stresdir. Yıkılma stresinden küçük olan streslerde materyal bir katı gibi davranmaktadır (Steffe, 1992; Rao, 1995). Yıkılma stresi çikolata ürünleri ve hidrokolloidler için duyu özellikler bakımından istenmektedir (Rao, 1977).

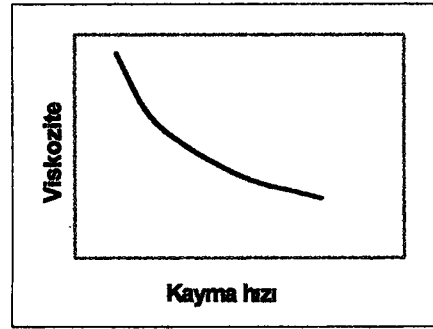
Dervişoğlu ve Kokini (1986) düşük kayma hızları aralığında ketçap, hardal, elma sosu ve domates salçasının Bingham plastik davranış gösterdiğini belirtmişlerdir. Diş macununun da Bingham plastik davranış gösterdiği bildirilmiştir (Steffe, 1992).

Herschel-Bulkley davranış: Herschel-Bulkley akışkanlarda görünen viskozite, kayma hızıyla azalmaktadır. Şekil 3.10 ve Şekil 3.11 'de Herschel-Bulkley akışkanlar için $n < 1$ iken şematik olarak sırasıyla akış ve görünen viskozite eğrileri verilmiştir.

Şekil 3.10'dan görüldüğü gibi akışkanlarda kayma hızı arttıkça kayma stresi artmaktadır. Şekil 3.11'de de kayma hızı arttıkça görünen viskozitenin azaldığı görülmektedir. Herschel-Bulkley akışkanlar da Bingham plastik akışkanlar gibi bir yıkılma stresi değerine sahiptir



Şekil 3.10 Herschel-Bulkley davranışlar için akış eğrisi (Steffe, 1992).



Şekil 3.11 Herschel-Bulkley davranışlar için görünen viskozite eğrisi (Steffe, 1992).

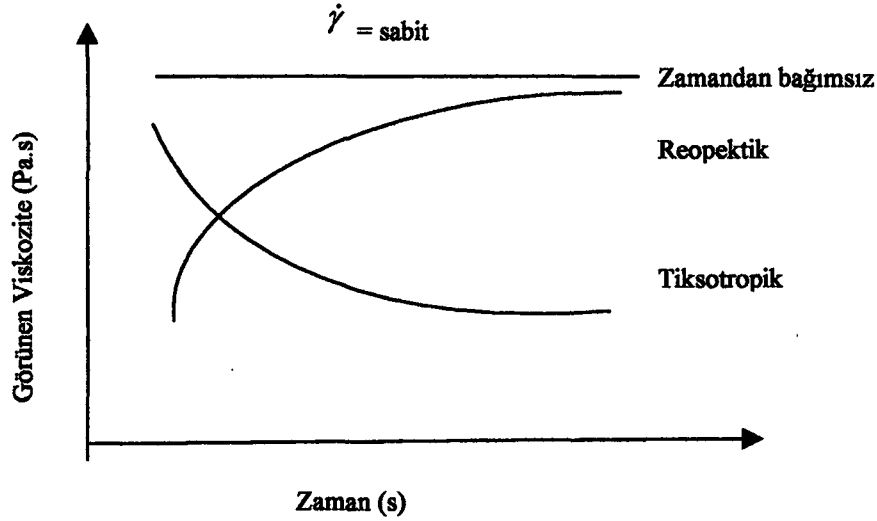
Herschel-Bulkley davranış aşağıdaki denklemlerle modellenmektedir.

$$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n \quad (0 < n < \infty) \quad (3.6)$$

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 balık, üzüm ezmesi, normal ve yağsız mayonez Herschel-Bulkley davranış gösteren gıdalar arasındadır (Steffe, 1992; Ak ve Gunasekaran, 2000).

3.1.2.2. Zamana bağlı Newtonyen-dışı davranışlar

Şekil 3.12'de zamana bağlı reolojik davranış gösteren akışkanlar için sabit kayma hızında görünen viskozitenin zamanla değişim grafikleri verilmiştir. Şekil 3.12'den görüldüğü üzere tiksotropik akışkanlarda sabit bir kayma hızında viskozite zamanla azalmakta, reopektik akışkanlarda ise tam tersine artmaktadır. Başka bir deyişle tiksotropi zamana bağlı zayıflama, reopekti ise zamana bağlı güçlenmedir. Tiksotropik davranış gösteren gıdalara örnek olarak mayonez ve yumurta beyazı gösterilebilir (Rao, 1977; Steffe, 1992). Ayrıca %25 tahin-%75 pekmez karışımının reopektik davranış gösterdiği bildirilmiştir (Lokumcu ve Ak, 2000).



Şekil 3.12 Zamana bağlı reolojik davranışlar için viskozite eğrileri (Ak, 1997).

3.2. Reolojik davranışları etkileyen faktörler

Sıcaklığın etkisi: Gıdalar işleme, taşıma, depolama, satış ve tüketim sırasında değişik sıcaklıklara maruz kalırlar. Bu nedenle reolojik özellikler, sıcaklığın fonksiyonu olarak bilinmelidir. Genellikle sıcaklık arttıkça viskozitenin düştüğü bilinmekte ve sıcaklığın viskoziteye (μ) veya görünen viskoziteye (η_{app}) etkisi Arrhenius denklemi ile ifade edilmektedir (Rao ve Anantheswaran, 1982; Vitali ve Rao, 1984; Sopade ve diğ., 1993; Ibarz ve diğ., 1994; Steffe, 1992; Rao, 1995; Giner ve diğ., 1996):

$$\eta = \eta_{\infty} e^{E_a/RT} \quad (\text{Newtonyen akışkanlar için}) \quad (3.7)$$

Kayma hızının ve sıcaklığın viskoziteye birlikte etkisi aşağıdaki denklemle ifade edilir.

$$\tau = f(T, \dot{\gamma}) = K_{\infty}^{(T)} e^{E_a/RT} \dot{\gamma}^{\bar{n}} \quad (\text{Newtonyen-dışı akışkanlar için}) \quad (3.8)$$

3.7 ve 3.8 nolu denklemlerde η_{∞} (Pa.s) ve K_{∞} (Pa.sⁿ) ile gösterilen terimler sabittir. E_a kJ/kgmol veya kcal/kgmol cinsinden aktivasyon enerjisi, R gaz sabiti (8.314 kJ/kgmol.K) ve T mutlak sıcaklıktır(K). η_{∞} , K_{∞} ve E_a deneysel verilerden elde edilen sabitlerdir. Yüksek E_a değerleri viskozitenin sıcaklıkla daha çok değişeceği anlamına gelmektedir (Steffe, 1992). Tablo 3.1’de bazı çalışmalar sonucu çeşitli gıdalar için hesaplanan aktivasyon enerjileri bulunmaktadır. Aktivasyon enerjisi şeker içeriği ile artmakta, pulp miktarı ile azalmaktadır (Rao, 1987).

Tablo 3.1 Bazı akışkan gıdaların aktivasyon enerjileri (Steffe, 1992).

Gıda	°Briks	Akış davranış indeksi (n)	Aktivasyon enerjisi (kcal/g mol)
Depektinize elma suyu	75	1,0	14,2
	50	1,0	8,4
	30	1,0	6,3
Elma suyu	40	1,0	5,8
	30	1,0	5,1
Üzüm suyu	50	1,0	6,9
	30	1,0	6,2
Elma suyu	65,5	0,65	9,1
	50	0,85	6,1
Elma sosu	11	0,30	1,2
Şeftali püresi	11,7	0,30	1,7
Armut püresi	16	0,30	1,9
Meyve konsantreleri	15,6	0,74	4,5
	20,7	0,59	4,1
	25,3	0,52	4,0
	30,6	0,49	3,8
	33,4	0,45	3,2
Domates konsantresi	6,0-32,0	0,26	2,2
Bütün yumurta	75	1,0	5,9
Stabilize yumurta beyazı	88	1,0	3,9
Yumurta sarısı	55	1,0	6,4

Tablo 3.1’de akış davranış indeksi (n) 1 olan farklı Brikteki elma sularının Briksi azaldıkça, aktivasyon enerjisi azalmaktadır. Aynı Brikse sahip farklı akış davranış indeksi olan elma sularında ise akış davranış indeksi azaldıkça aktivasyon enerjisinin de azaldığı görülmektedir. Elma suları için aktivasyon enerjisi, akış davranış indeksi ve Briks ile doğru orantılıdır. Bütün yumurta, stabilize yumurta beyazı ve yumurta sarısının akış davranış indeksinin 1 olduğu fakat Brikslerinin farklı olduğu görülmektedir. Briksi 88 ve en yüksek olan stabilize yumurta beyazı en düşük aktivasyon enerjisine sahiptir. Vitali ve Rao (1984), sabit sıcaklıkta portakal

suyunun kıvam ve akış davranış indekslerinin, pulp miktarıyla eksponansiyel olarak arttığını; aktivasyon enerjisinin ise azaldığını bildirmişlerdir.

Sıcaklığın kıvam indeksine (K) etkisini modellemek için de Arrhenius denklemi kullanılmaktadır (Sopade ve diğ., 1993):

$$K = K_{\infty} e^{(E_a / RT)} \quad (3.9)$$

Akış davranış indeksi, genellikle sıcaklıktan kıvam indeksi kadar etkilenmez. Sıcaklığın akış davranış indeksine etkisini Bhamidipati ve diğ. (1990) domates sosu için Arrhenius denklemiyle, Ercan ve Dervişoğlu (1997) fındık püresi için lineer bir denklemle modellemişlerdir.

Konsantrasyonun etkisi: Akışkan bir gıda maddesinin konsantrasyonu arttıkça, viskozitesi artar. Konsantrasyonun viskoziteye etkisini modelleyebilmek için eksponansiyel veya üslü tip bir denklem kullanılabilir. Genellikle sıcaklık ve konsantrasyonun viskoziteye birlikte etkisini modelleyen denklemlerdeki değişkenler sınırlı bir aralıkta geçerli olabilmektedir (Rao, 1995). Sıcaklığın ve konsantrasyonun sabit bir kayma hızında görünen viskoziteye etkisi aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\eta = f(T, C) = K_{T,C} \exp \left(\frac{E_a}{RT} \right) C^B \quad (3.10)$$

Burada $K_{T,C}$, E_a , B katsayıları deneysel olarak elde edilirler. Kayma hızı, sıcaklık ve konsantrasyonun (veya nem içeriğinin) viskoziteye etkisi tek bir denklemle şu şekilde ifade edilebilir:

$$\eta = f(T, \dot{\gamma}, C) = K_{\dot{\gamma},T,C} (\dot{\gamma})^{n-1} \exp \left[\frac{E_a}{RT} + B(C) \right] \quad (3.11)$$

Burada $K_{\dot{\gamma},T,C}$ kayma hızının, sıcaklığın ve konsantrasyonun toplam etkisini gösteren bir sabittir (Steffe, 1992).

Bitkisel kaynaklı gıda süspansiyonlarının görünen viskozitesine konsantrasyonun etkisi eksponansiyel veya üslü tip denklemlerle modellenmektedir (Rao, 1987).

Ibarz ve diğ. (1992) yaptıkları çalışmada farklı konsantrasyonlardaki şeftali sularının reolojik davranışlarını, ayrıca sıcaklığın ve konsantrasyonun etkisini eksponansiyel denklemlerle modellemişlerdir.

Partikül boyutu ve miktarının etkisi: Birçok sıvı gıda partiküller 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 partikül miktarı arttıkça kıvam indeksi (K)'nin arttığını ve akış davranış indeksi (n)'nin azaldığını bildirmişlerdir.

Pordesimo ve diğ. (1994) oluşturdukları bir model sistemde partikül boyutu arttıkça kıvam indeksinin ve akış davranış indeksinin arttığının bildirmişlerdir. Buna karşılık domates konsantrelerinde yapılan bir çalışmada ortalama partikül büyüklüğü arttıkça görünen viskozitenin azaldığı gözlenmiştir (Den Ouden ve Van Vliet, 1997).

3.3. Süspansiyon reolojisi

Reolojik araştırmalarda süspansiyonlar, emülsiyonlar ve ezmeler önemli bir alanı teşkil etmektedir. Bir süspansiyon daha yaygın bir ifade ile dispersiyon, bir akış alanında rasgele dağılmış partiküllerden oluşmaktadır. Süspansiyonlar genellikle üç gruba ayrılmaktadır: sıvı ortamdaki katı partiküller (çoğunlukla süspansiyon terimi bu grup için kullanılmaktadır), sıvı ortamdaki sıvı damlacıklar (emülsiyon) ve sıvı ortamadaki gaz (köpük). Bütün bu gruplar çeşitli endüstriyel uygulamalarda büyük bir öneme sahiptir (Barnes ve diğ., 1989; Ferguson ve Kemblowski, 1991; Mewis ve Mocosko, 1993; Mewis, 1996).

Gıda-dışı süspansiyonlarla yapılan çalışmalardan süspansiyonun görünen viskozitesinin katı parçacıkların miktarına ve sürekli ortamın viskozitesine bağlı olduğu görülmektedir. Kompozisyonun reolojik davranış üzerine etkisinin araştırılması sürekli ortamın viskozitesi (serum) ve asılı parçacıklar (pulp) üzerine yoğunlaşmıştır (Rao, 1987).

Beklenildiği gibi, sürekli ortamın viskozitesinin artması süspansiyonun da viskozitesinin artması demektir. Ancak sürekli ortamın viskozitesinin artması bazen süspansiyonda partiküllerin biraraya gelerek yapı oluşturmasını engellemekte, bu da viskoziteyi düşürmektedir (Ferguson ve Kemblowski, 1991).

Süspansiyonlarda partikül büyüklüğü viskoziteyi etkilemektedir. Aynı zamanda partiküllerin dizilim şekli ("*ability of particles to pack*"), partikül şekli ve

konsantrasyonu da etkili parametrelerdir. Sert küresel partiküllerin bir sıvıya ilavesi akışın düzenini değiştirmekte, sistem bir seri aşamadan geçmektedir: ıslak toz, katı-sıvı-gaz üçlü faz ve sonunda sürekli ortamda katı partiküllerin olduğu süspansiyon. Bu durumu ilk önce Einstein, 1 μm 'den küçük küresel partiküller içeren seyreltik süspansiyonlar için aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır:

$$\eta = \eta_s (1 + 2.5 \phi) \quad (3.12)$$

Burada η süspansiyonun viskozitesi, η_s süspansiyondaki sürekli ortamın viskozitesi ve ϕ hacim fraksiyonudur (Barnes ve diğ., 1989; Rao, 1987; Ferguson ve Kembrowski, 1991; Mewis ve Macosko 1993).

Çok seyreltik süspansiyonlarda akışkan ortam genellikle Newtonyen özellik göstermekle beraber, sıvıya partikül eklenmesi süspansiyonun viskozite değerini değiştirir ve bu nedenle Newtonyen davranıştan sapmalar olabilir (Rao, 1987; Mewis ve Macosko, 1993). Yüksek konsantrasyonlarda ve düşük kayma streslerinde Newtonyen davranış kaybolmakta ve yıkılma stresi oluşmaktadır. Yüksek konsantrasyonlu süspansiyonlarda 10^{-3} 'ü aşan kayma hızlarında kayma hızıyla güçlenen bir yapı oluşmaktadır (Mewis ve Macosko, 1993).

Partikül boyutu dağılımı konsantre süspansiyonlar için önemlidir. Monodispers sistemler için maksimum hacim fraksiyonu ("*maximum packing fraction*"), Krieger-Dougherty denkleminde göre hesaplanabilir veya ölçülebilir (Mewis ve Macosko, 1993):

$$\eta = \eta_0 \left(1 - \frac{\phi}{\phi_{\max}} \right)^{-C\phi_{\max}} \quad (3.13)$$

Burada ϕ katı partiküllerin hacim fraksiyonunu, $\phi_{\max}$ maksimum hacim fraksiyonunu, η süspansiyonun viskozitesini, η_0 partiküllerin dağıldığı sürekli ortamın viskozitesini ve C bir sabiti (bazen intrinsik viskozite) göstermektedir. Küresel partiküller içeren seyreltik ideal süspansiyonlar için intrinsik viskozite bazen 2,5 olarak alınmaktadır (Barnes ve diğ., 1989; Mewis ve Macosko, 1993).

Maksimum hacim fraksiyonu partikül boyutu dağılımına çok bağlıdır. Tablo 3.2'de bazı monodispers sistemlerde bulunabilen küresel şekilli partiküllerin maksimum hacim fraksiyonları verilmiştir. Maksimum hacim fraksiyonu partiküllerin dağılımına ve partikül şekline bağlıdır (Barnes ve diğ., 1989).

Tablo 3.2 Monodispers sistemlerdeki küresel partiküllerin maksimum hacim fraksiyonları (Barnes ve diğ., 1989).

Düzenlenme	Maksimum hacim fraksiyonu
Basit kübik	0,520
Termodinamik olarak minimum stabil konfigürasyon	0,548
Hekzagonal paketlenmiş birbirine değen tabakalar	0,605
Rasgele düzenlenme	0,637
Kübik düzenlenme	0,680
Hekzagonal düzenlenme	0,740

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Materyal

Bu araştırmada kullanılan tahin örnekleri 330 g'lık cam kavanozlarda, Merter Helva San. ve Tic. A.ř.den temin edilmiştir. Bütün reolojik ölçümler iki farklı numunede iki kere tekrar edilerek yapılmıştır. Tablo 4.1'de tahin kavanozları üzerindeki etiket bilgileri verilmiştir. Etiketle ayrıca, 100 g tahinin enerjisinin 634 kcal (2650 kJ) enerji sağladığı bildirilmiştir.

Tablo 4.1 retici firma tarafından tahin ambalajı üzerinde verilen etiket bilgileri

Bileşen	Miktar (g/100 g tahin)
Yağ	60
Doymuş yağ	14,05
Karbonhidrat	10,52
Protein	25,51
Kalsiyum (mg)	81,71
Demir (mg)	6,03
Vitamin B1 (mg)	1,08
Niasin (mg)	4,5

4.2. Metot

4.2.1 Kimyasal Analizler

Tahinde yağ, nem, protein, kül, seluloz ve yağ asitleri analizleri yapılmıştır

4.2.1.1. Yağ tayini

Yağ miktarı tayini Özcan ve Akgül (1994)'ün belirttiği metoda göre, Soxhelet ekstraktöründe (Soxtec Avanti 2050, Auto Extraction Unit, Foss Tecator) petrol eteri kullanılarak yapılmıştır. Tahinin yağı 135°C'de, 2 saat statik ve 2 saat dinamik ekstraksiyon yapılarak ekstrakte edilmiştir.

4.2.1.2. Nem tayini

Nem miktarı tayini, baharatlarda nem tayini standardı AOAC (1990)' ye göre toluen kullanılarak distilasyon yöntemiyle yapılmıştır.

4.2.1.3. Protein tayini

Protein tayini AOAC (1990)' de belirtilen Dumas metoduna göre Leco FP-528 protein tayin cihazı kullanılarak yapılmıştır. Azot miktarı, 6.25 ile çarpılarak protein miktarı bulunmuştur.

4.2.1.4. Kül tayini

Kül tayini, baharatlarda kül tayini standardı AOAC (1990)' ye göre gravimetrik yöntemle yapılmıştır.

4.2.1.5. Seluloz tayini

Seluloz tayini, et ve kemik unu standardı TSE (1974)'e göre yapılmıştır. Numuneye asit karışımı bir örtücü çözelti eklenerek, küllendirilmiş ve kül kısmının ağırlığı numune ağırlığından çıkarılarak tahinin selüloz miktarı bulunmuştur.

4.2.1.6. Tuz tayini

Tuz tayini, tereyağında tuz tayini standardı AOAC (1990)'ye göre titrimetrik yöntemle yapılmıştır.

4.2.1.7. Yağ asitleri tayini

Tahinin yağ asitleri, AOAC (1990)'de belirtilen prensibe göre gaz kromatografisi kullanılarak belirlenmiştir. Çalışma koşulları aşağıda belirtilmiştir.

Esterleştirme işlemi:

0,5 ml tahin yağı örneği alınarak 4 ml metanollü KOH (2N) ile karıştırılmış, üzerine 3 ml n-heptan ilave edilip, santrifüjlenmiştir. Daha sonra üstteki fazdan alınan kısım gaz kromatografisine (Hewlett Packard HP 6890 Series, GC system) enjekte edilmiştir.

Gaz Kromatografisi Analiz Metodu:

Fınn Sıcaklık Programı : Başlangıç sıcaklığı 165°C, başlangıç süresi 30 dakika, son sıcaklık 190°C, son süre 5 dakika, akış süresi 42.5 dakika olarak programlanmıştır.

Enjektör : Split / splitless enjeksiyon portu kullanılmıştır.

Mode	: Split
Enjeksiyon bloğu sıcaklığı	: 250°C
Split oranı	: 140:1
Basınç	: 17.65 kPa
Taşıyıcı gaz	: hidrojen

Kolon : Kapiler kolon (Supelco 2-4111, yağ asidi kolonu) kullanılmıştır.

Nominal uzunluk	: 60 m
Nominal çap	: 250 µm
Nominal film kalınlığı	: 0.2 µm
Mode	: Sabit akış, 1,1 ml/dak

Dedektör : 270°C' de alev iyonizasyon dedektörü (FID) kullanılmıştır.

4.2.2 Tahinin, yağının ve tahinin katı kısmının yoğunluklarının bulunması

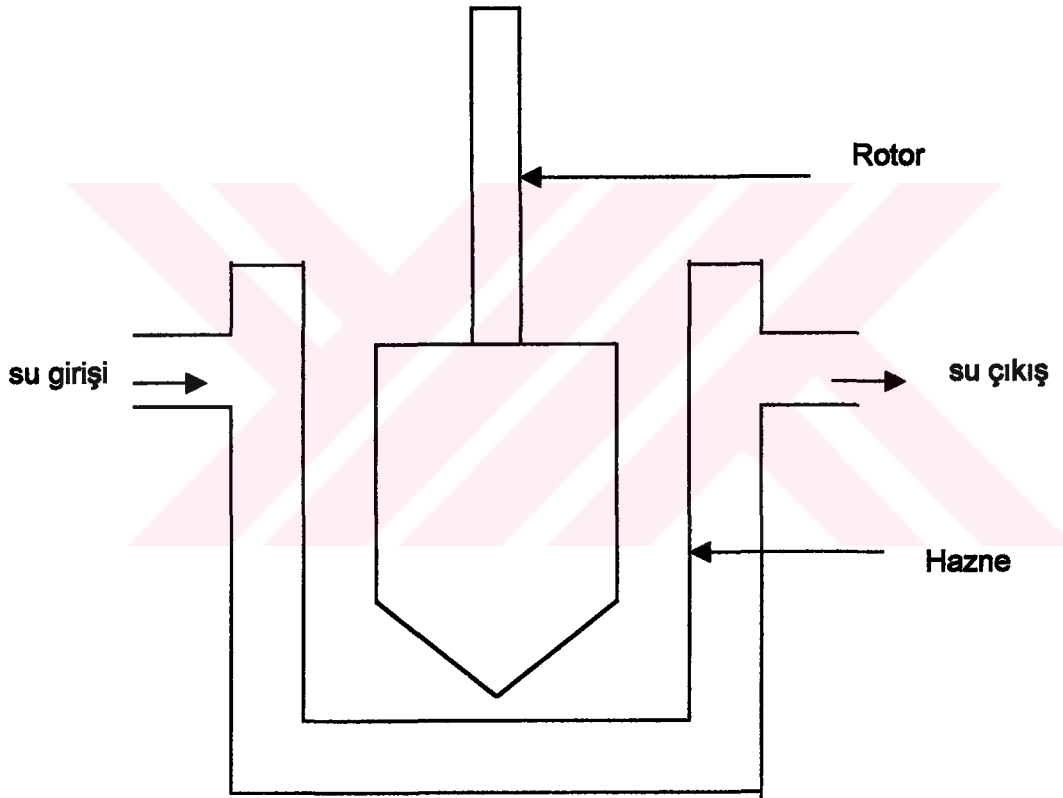
Tahinin ve tahinin yağının yoğunlukları piknometre ile belirlenmiş, her bir yoğunluk tayini için üç ölçüm yapılarak bunların ortalaması verilmiştir. Tahinin ve tahin yağının yoğunluğu belirlendikten sonra Rahman (1995)'nin verdiği denkleme göre, tahinin katı kısmının yoğunluğu aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır:

$$\rho_{katı} = \frac{0,41}{\frac{1}{\rho_{tahin}} - \frac{0,59}{\rho_{yağ}}} \quad (4.1)$$

Burada $\rho_{katı}$ tahinin katı kısmının, ρ_{tahin} tahinin ve $\rho_{yağ}$ tahin yağının yoğunluğudur. Hesaplanan yoğunluk değerleri literatürdeki bilgilerle karşılaştırılmıştır.

4.2.3 Tahinin reolojik özelliklerinin belirlenmesi

Reolojik ölçümler Haake Rotovisco RT20 (Almanya) reometre kullanılarak yapılmış, ve Z20 ile Z40 silindirik sensörleri kullanılmıştır. Şekil 4.1'de iç-içe silindirik sensör sisteminin şekli verilmiştir. Ölçümlerde kullanılan sensörlerin rotor ve hazne boyutları Tablo 4.2'de, sensörlerin ölçüm aralıkları ise Tablo 4.3'te belirtilmiştir.



Şekil 4.1 Silindirik sensörün şekli ve sıcaklığın sabit kalmasını sağlayan ceket sistemi

Şekilden görüldüğü gibi silindirik sensör sistemi silindirik bir rotor ve hazneden oluşmaktadır. Ölçümler sırasında sıcaklığın sabit kalması için haznenin etrafında bulunan ceketten su sirkülasyonu yapılabilmektedir. Ölçümün yapılacağı sıcaklığa su banyosu ile ısıtılan veya soğutulan su, sirkülatör sayesinde ceketle hazne etrafından dolaşarak örneği ısıtmakta veya soğutmaktadır.

Tablo 4.2 Reolojik ölçümlerde kullanılan sensörlerin boyutları

Rotor	Rotor yarıçapı (mm)	Hazne yarıçapı (mm)	Hazne ve rotor arası mesafe (mm)	Örnek hacmi (ml)
Z20	10	10,85	0,85	8,2
Z40	20	21,70	1,7	65,4

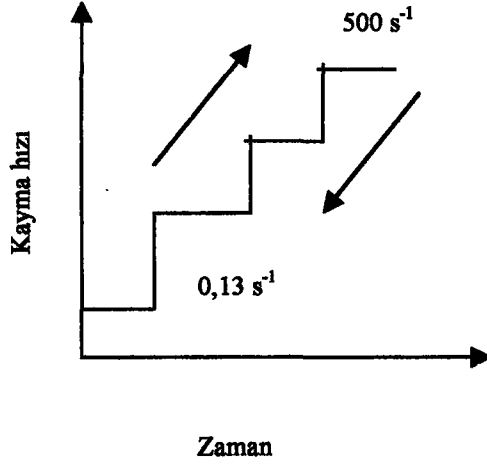
Reolojik ölçümlerde Z20 sensörü kullanılmıştır. Ölçümlerin doğruluğunu kontrol etmek için bazı ölçümler Z40 sensörü ile tekrarlanmıştır. Farklı boyutlardaki Z20 ve Z40 sensörleriyle yapılan ölçüm sonuçlarının deneysel hata dahilinde benzer olması beklenir.

Tablo 4.3 Sensörlerin ölçüm aralıkları

	$\dot{\gamma} = 0.13 \text{ s}^{-1}$	$\dot{\gamma} = 1200 \text{ s}^{-1}$
Rotor	Viskozite ölçüm aralığı (Pa.s)	
Z20	30 - 30 000	0,003 - 3
Z40	4 - 4000	0,0004 - 0,4

Kayma hızının etkisi: Tahinin reolojik özelliklerine kayma hızının etkisini incelemek için $0.13\text{-}500 \text{ s}^{-1}$ kayma hızı aralığında seri numaraları farklı tahin örnekleriyle ve her örnekte iki tekrar yapılarak, reolojik ölçüm uygulanmıştır. Ölçümlerde kayma hızı önce 0.13 s^{-1} 'den 500 s^{-1} 'e artarak gitmekte (1. ölçüm, gidiş) sonra beklemeden 500 s^{-1} den 0.13 s^{-1} 'e dönmektedir (1. ölçüm, dönüş). Örnek haznedan çıkarılmadan 5 dakika dinlendirildikten sonra aynı program bir kez daha uygulanmıştır (2. ölçüm, gidiş-dönüş). Birinci ve ikinci ölçüm arasında beklemenin nedeni örneğin zamana bağlı olup olmadığını tespit etmek içindir. Şekil 4.2.'de ölçüm programı şematik olarak gösterilmiştir. Örnekler çok basamaklı ("*multi-step*") kayma hızı programı uygulanmıştır. Ölçümlerde $0.13\text{-}500 \text{ s}^{-1}$ kayma hızı arasında 30 noktada kayma stresi ve viskozite değeri alınmıştır. Her bir kayma hızında sabit bir kayma stresi değerine ulaşıncaya kadar veya maksimum 7 dakika beklenmiştir. Daha önce yapılan ön çalışmalardan her bir basamakta 7 dakika beklemenin yeterli olacağı belirlenmiştir. Elde edilen verilerden akış eğrisi (kayma hızına bağlı kayma stresi grafiği) ve viskozite eğrisi (kayma hızına bağlı viskozite grafiği) çizilerek, örneğin reolojik davranışı değerlendirilmiştir. Tahinin reolojik özelliklerine kayma hızının

etkisi, reometrenin yazılım programı kullanılarak, lineer olmayan üslü-yasa ("power-law") denklemi ile modellenmiştir.



Şekil 4.2 Artan-azalan kayma hızı programının şematik gösterimi

Sıcaklığın etkisi: Tahin örneklerinin reolojik özelliklerine sıcaklığın etkisi 20 ile 70°C arasında altı sıcaklıkta incelenmiştir. Örnekler Electromantle marka ısıtıcıda istenen sıcaklığa getirildikten sonra reometrenin ölçüm haznesine aktarılmıştır. Sonra sistemin (örnek+rotor+hazne) termal dengeye gelmesi için 10 dakika beklendikten sonra ölçüm başlatılmıştır. Ölçümler sırasında sıcaklığı sabit tutmak amacıyla Numan marka sirkülatörlü su banyosu kullanılmıştır. Ölçümler sonunda tahinin kıvam indeksinin ve akış davranış indeksinin sıcaklıkla değişim grafikleri çizilmiştir. Kıvam indeksine sıcaklığın etkisi Arrhenius denklemi ile modellenmiştir. Bunun için kıvam indeksi (K) değerlerinin ortalamalarının doğal logaritmaları alınarak, $1/T$ ($1/(K)$ 'ye karşı grafiği çizilmiştir. Çizilen grafiğin eğimi $[E_a/R]$ ifadesine, kayımı ise denklem sabitine $[\ln K_\infty]$ eşittir. R, 8,314 kJ/kg mol.K olarak alınmıştır. Arrhenius denkleminde aktivasyon enerjisinin (E_a) birimi kJ/kg mol, denklem sabitinin birimi ise (K_∞) Pa.sⁿ dir.

Sıcaklığın akış davranış indeksine (n) etkisi polinomal bir denklemle modellenmiştir.

Sıcaklığın kıvam ve akış davranış indekslerine etkisi modellendikten sonra üslü-yasa ile Arrhenius denklemi birleştirilmiştir. Reolojik parametrelerin ortalama değerleri modelde yerine konularak elde edilen hesaplama sonuçları ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Depolama süresinin etkisi: Tahin örnekleri altı ay süre ile oda sıcaklığında ve orijinal ambalajlarında (330 gr'lık cam kavanozlar) bekletilmiştir. Reolojik ölçümler depolamanın başlangıcında ve ayda bir kez olmak üzere 20°C 'de uygulanmıştır. Ölçümlerde daha önce anlatılan artan-azalan kayma hızı programı uygulanmıştır. İki tekrar arasında 5 dakika beklenmiştir. Veriler, reometre yazılımının üslü-yasa programına göre modellenmiştir. Kıvam indeksi ve akış davranış indeksi değerlerinin depolama süresine karşı değişim grafiği çizilmiştir.

Ölçüm süresinin etkisi: Tahine uygulanan artan-azalan kayma hızı programında bir ölçümün süresi yaklaşık 45 dakika sürmektedir. Bu süre içinde sabit kayma hızında tahin viskozitesinin değişip değişmediğini görmek, partiküllerin çökelişip çökmediğini anlamak ve reolojik davranışın zamana bağlı olup olmadığına karar vermek için Z20 ve Z40 sensörler ile 0.5; 100 ve 500 s⁻¹ kayma hızlarında 45 dakika ölçüm yapılmıştır. Ölçümler iki tekrarlı yapılmıştır. Veriler zamana bağlı viskozite grafiği çizilerek değerlendirilmiştir.

4.2.4. Tahin yağının reolojik davranışının belirlenmesi

Bu çalışmada tahinin yağı hekzan ile ayırdıktan ve hekzan yağdan uzaklaştırıldıktan sonra elde edilen yağa "tahin yağı" denilmiştir. Tahin yağına 0,5-500 s⁻¹ kayma hızı aralıklarında (gidişli-dönüşlü) ve 20 ile 70°C arasındaki altı sıcaklıkta artan-azalan kayma hızı programı Z20 sensör kullanılarak uygulanmıştır. Oda sıcaklığında yapılan ölçüm aynı koşullarda Z40 sensörü ile tekrar edilmiştir. Viskozite eğrisinden tahin yağının reolojik davranışı belirlenmiştir. Reometrenin yazılım programından lineer Newtonyen modele göre viskozite değerleri hesaplanmıştır. Sıcaklığın viskoziteye etkisini modellemek için Arrhenius denklemi kullanılmış ve aktivasyon enerjisi ile Arrhenius sabiti hesaplanmıştır. Tahin yağının viskozitesi, literatürde susam yağının viskozitesi ile karşılaştırılmıştır.

4.2.5. Tahinin katı kısmının reolojik özelliklere etkisinin belirlenmesi

Tahinin katı maddesinin reolojik özelliklere katkısını incelemek için tahine, toplam katı madde oranı %10, %20 ve %30 olacak şekilde tahin yağından ilave edilmiştir. Karışımın homojen olması için 1 dakika karıştırılmıştır. Hazırlanan karışımlar Z20 sensör kullanılarak 0,13-500 s⁻¹ kayma hızı aralığında (gidişli-dönüşlü) oda sıcaklığında ölçülmüştür. Süspansiyonların reolojik davranışı belirlendikten sonra viskoziteleri ve üslü-yasa parametreleri reometrenin yazılımında bulunan modellerden hesaplanmıştır.

Süspansiyonların tahin, tahin yağı ve tahinin katı kısmının yoğunlukları kullanılarak hacim fraksiyonları hesaplanmıştır. Daha sonra 0,5, 100 ve 500 s⁻¹ kayma hızlarında viskoziteleri belirlenip üçüncü bölümde verilen 3.13 nolu Krieger-Dougherty denklemine göre tahin için maksimum hacim fraksiyonu ve C sabit sayısı hesaplanmıştır.



5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1 Kimyasal analizlerin sonuçları

5.1.1 Tahinin bileşimi

Yapılan analizlere göre tahinin kimyasal bileşimi Tablo 5.1’de verilmiştir.

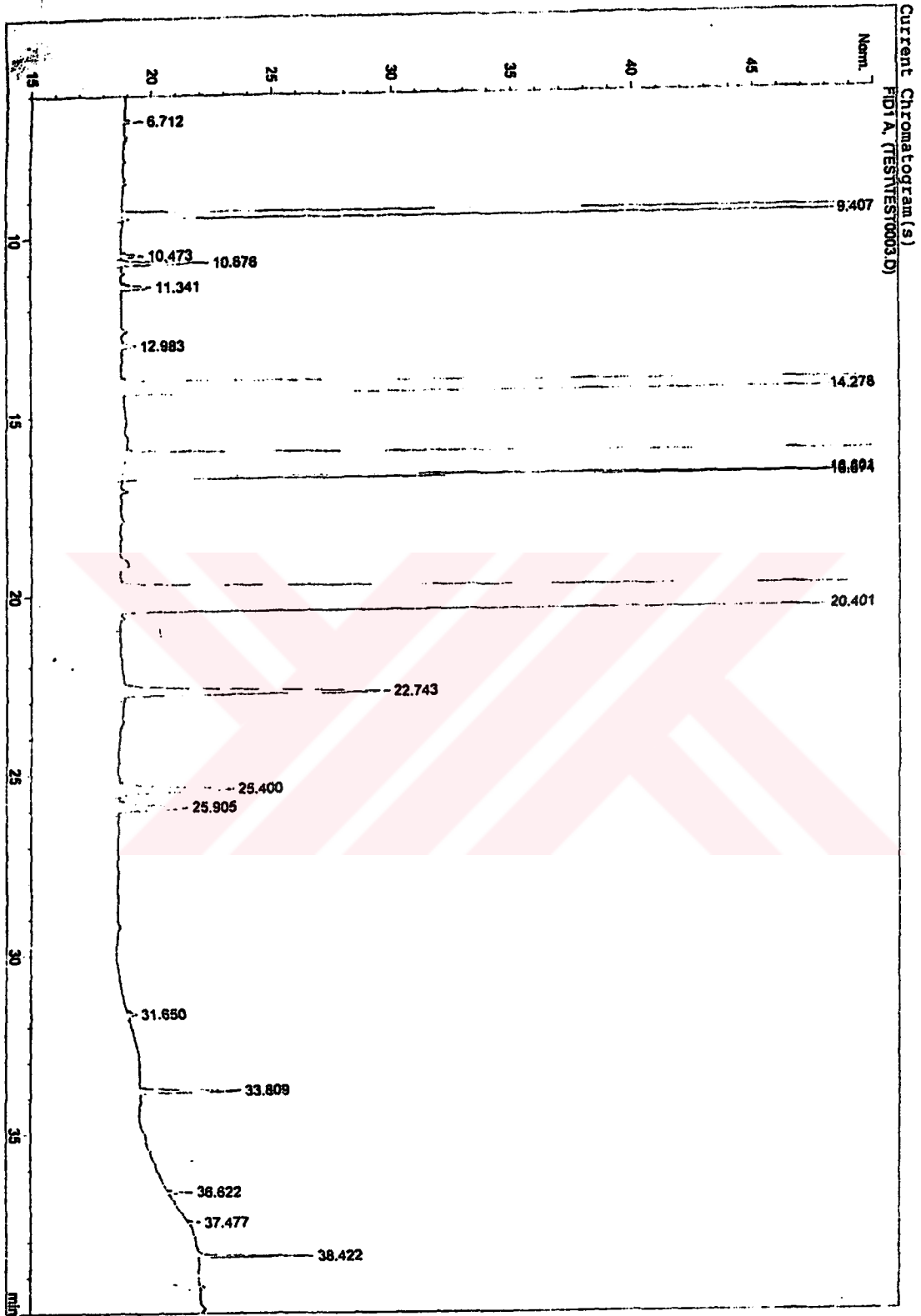
Tablo 5.1 Tahinin kimyasal bileşimi

Bileşen	Miktar (%)
Yağ	58,70
Nem	0,63
Protein	25,98
Kül	2,55
Seluloz	0,76
Tuz	0,42

Tablo 5.1’de sunulan analiz sonuçları, ikinci bölümde Tablo 2.1’de verilen literatür verileri ve dördüncü bölümde Tablo 4.1’de verilen ürün etiket bilgileri ile benzerdir. Aynı zamanda tahin örneklerinin tuz miktarı hariç, TSE 2589 (1977)’a uygun olduğu da görülmektedir. Tuz miktarının fazla olması kabuk ayırmada kullanılan tuzlu suyun yeterince uzaklaştırılmamış olmasından kaynaklanabilir.

5.1.2 Yağ asitleri bileşimi

Gaz kromatografisiyle yapılan yağ asitleri analizinin kromatogramı Şekil 5.1’de verilmiştir. Şekil 5.1’de verilen kromatograma göre belirlenen tahinin yağının yağ asitleri bileşimi Tablo 5.2’de görülmektedir.



Şekil 5.1. Tahin yağının yağ asitleri analizinin kromatogramı

Tablo 5.2’de sunulan yağ asitleri bileşim sonuçları ile, ikinci bölümdeki Tablo 2.5’te verilen sonuçların ve Tablo 2.14’te susam yağı için verilen değerlerin uyumlu olduğu görülmektedir. Tahin yağının doymamış yağ asitleri miktarının (oleik ve linoleik yağ asitleri), doymuş yağ asitleri miktarından (miristik, palmitik, stearik ve arakşidik yağ asitleri) daha fazla olduğu görülmektedir. Yapılan analiz sonucuna göre yüksek oranlarda oleik asit (%41.75) ve linoleik asit (%40.14) bulunduğu ve bu iki yağ asidinin literatürde belirtildiği gibi miktar olarak birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu yağ asitlerinden sonra palmitik asit (% 9.10) ve stearik asit (%6.54) gelmektedir. Diğer yağ asitleri göreceli olarak daha az miktarlarda bulunmaktadır.

Tablo 5.2 Tahinin gaz kromatografisiyle belirlenen yağ asitleri analiz sonuçları

Yağ asidi cinsi	Miktar (%)
Miristik asit (C ₁₄)	0,02
Palmitik asit (C ₁₆)	9,10
Palmitoleik asit (C ₁₆₋₁)	0,12
Heptadekonolk asit (C ₁₇₋₀)	0,06
Heptadekenolk asit (C ₁₇₋₁)	0,03
Stearik asit (C ₁₈₋₀)	6,54
Oleik asit (C ₁₈₋₁)	41,75
Linoleik asit (C ₁₈₋₂)	40,14
Araşidik asit (C ₂₀₋₀)	0,71
Linolenik asit (C ₁₈₋₃)	0,33
Gadoleik asit (C ₂₀₋₁)	0,18
Behenik asit (C ₂₂₋₀)	0,15
Lignoserik asit (C ₂₄₋₀)	0,10

5.2 Tahinin, yağının ve katı kısmın yoğunlukları

Tablo 5.3’te tahinin, tahin yağının piknometre ile belirlenen yoğunlukları verilmiştir. Tablo 5.3’te ayrıca dördüncü bölümde verilen 4.1 nolu denkleme göre hesaplanmış olan tahinin katı kısmının yoğunluğu da bulunmaktadır.

Tablo 5.3 Tahinin, yağının ve katı kısmının yoğunlukları (kg/m³)

Tahin	1055
Tahin yağı	900
Tahinin katı kısmı	1390

Literatürde tahinin yoğunluğu ile ilgili bilgi bulunamamıştır. Lindner ve Kinsella (1991) yaptıkları hesaplama için tahinin partikül yoğunluğunu 1300 kg/m³ olarak almışlardır. Bu çalışmada ise tahinin katı kısmının yoğunluğu 1390 kg/m³ bulunmuştur. Dolayısıyla bulunan sonucun literatür verisiyle uyumlu olduğu görülmektedir.

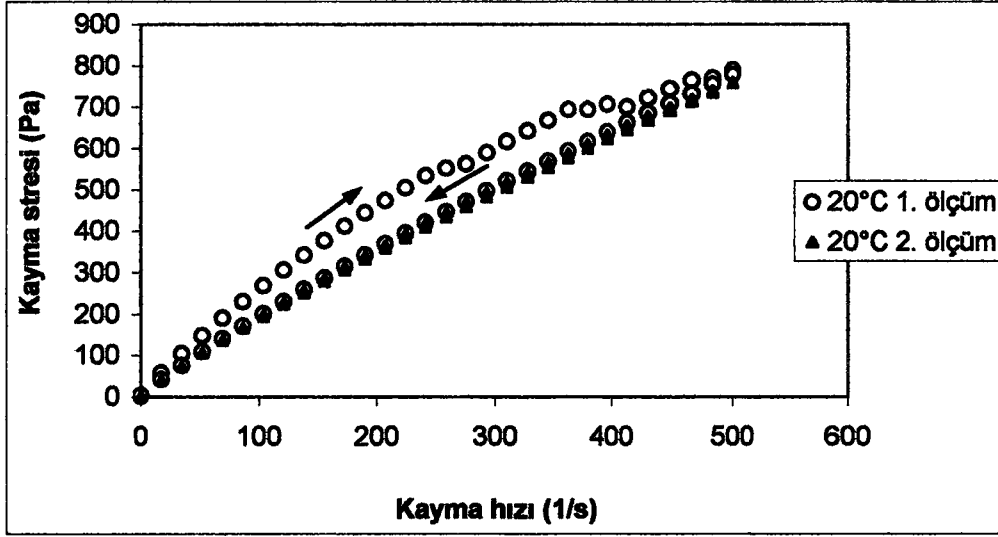
Özcan ve Akgül (1994) yaptıkları çalışmada tahin yağının özgül ağırlığının 0,9122 ile 0,9150 arasında olduğu bildirmişlerdir. Bu çalışmada tahinin yağının yoğunluğu üç ölçümün ortalaması olarak 900 kg/m³ bulunmuştur. Suyun yoğunluğu 20°C'de 998 kg/m³tür (Rahman, 1995). Buradan Özcan ve Akgül(1994)'ün bildirdiği özgül ağırlık değerlerinden, tahin yağının yoğunluğunun 910-913 kg/m³ arasında olduğu görülmektedir. Buna göre bu çalışmanın sonuçları ile literatür verileri benzerdir.

5.3 Tahinin reolojik davranışının belirlenmesi

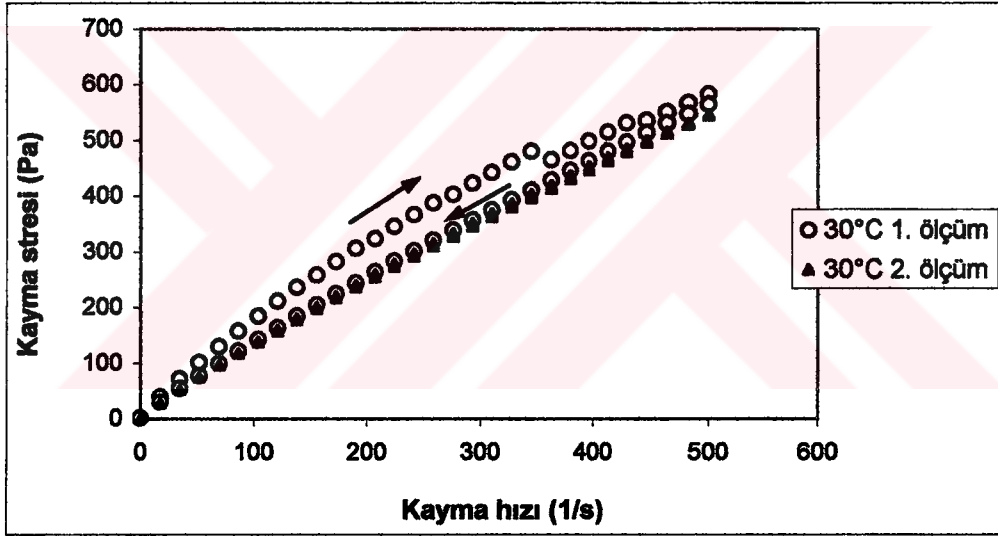
5.3.1 Kayma hızının ve sıcaklığın reolojik davranışa etkisi

Tahinin 20 ile 70°C'de arasında 6 sıcaklıkta 0,13-500 s⁻¹ kayma hızları arasında reolojik ölçümü yapılmıştır. Şekil 5.2'den Şekil 5.7'ye kadar, bütün sıcaklıklar için akış eğrileri verilmiştir. Bu şekillerden görüldüğü üzere artan kayma hızı değerlerinde grafiklerinin eğimlerinin azaldığı, başka bir deyişle viskozitenin azaldığı görülmektedir. Buna göre tahin bütün sıcaklıklarda psödoplastik davranış sergilemiştir.

Bu grafiklerde birinci ve ikinci ölçümler birlikte verilmiştir. Şekillerdeki eğriler üzerindeki oklar birinci ölçüm için kayma hızı programının yönünü (artan-azalan veya gidiş-dönüş) göstermektedir. Tüm sıcaklıklarda birinci ölçümlerin gidiş ve dönüş eğrileri arasında histeresis halkası olduğu görülmektedir. Fakat ikinci ölçümlerde bu durum kaybolmakta, birinci ölçümlerin dönüşleri ve ikinci ölçümlerin gidiş-dönüşlerinin çakıştığı görülmektedir.



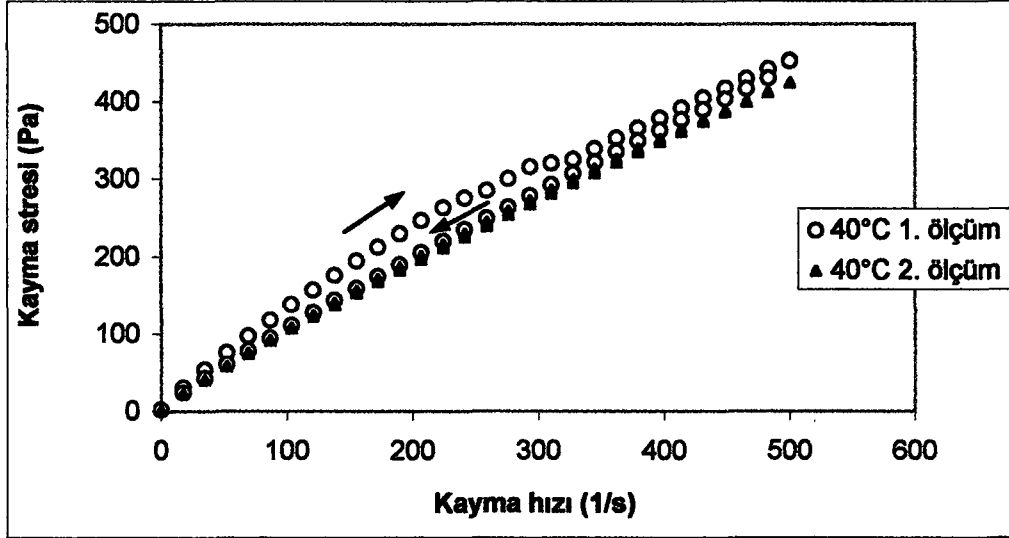
Şekil 5.2 Tahinin 20°C'deki akış eğrisi



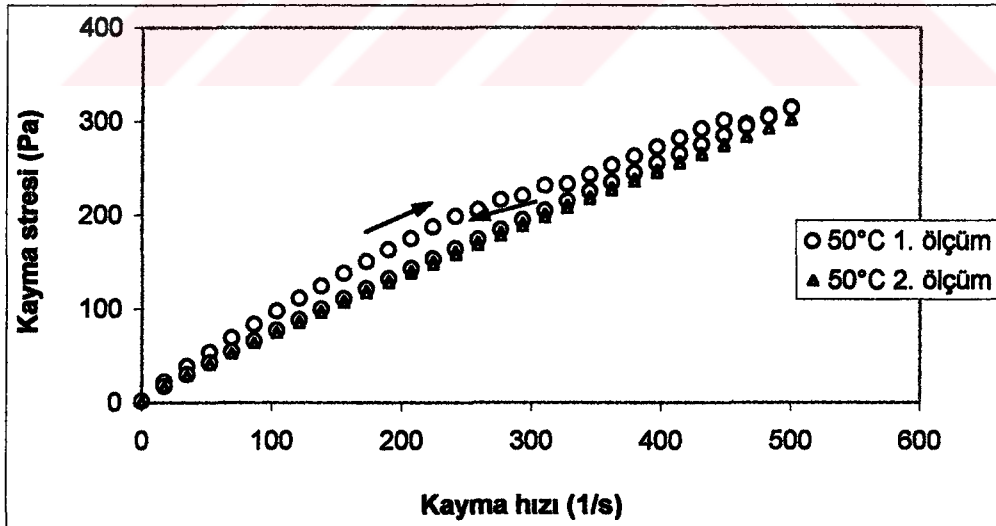
Şekil 5.3 Tahinin 30°C'deki akış eğrisi

Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'ten görüldüğü üzere 30°C'de birinci ölçümün gidişi, 20°C'ye göre diğer akış eğrilerine daha yakındır. Bir başka deyişle sıcaklık arttıkça histeresis halkasının büyüklüğü azalmaktadır.

Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'teki 40 ve 50°C'lerdeki akış eğrilerinde birinci ölçümlerde varolan histeresis halkaları, 20 ve 30°C'lere göre azalmaktadır.

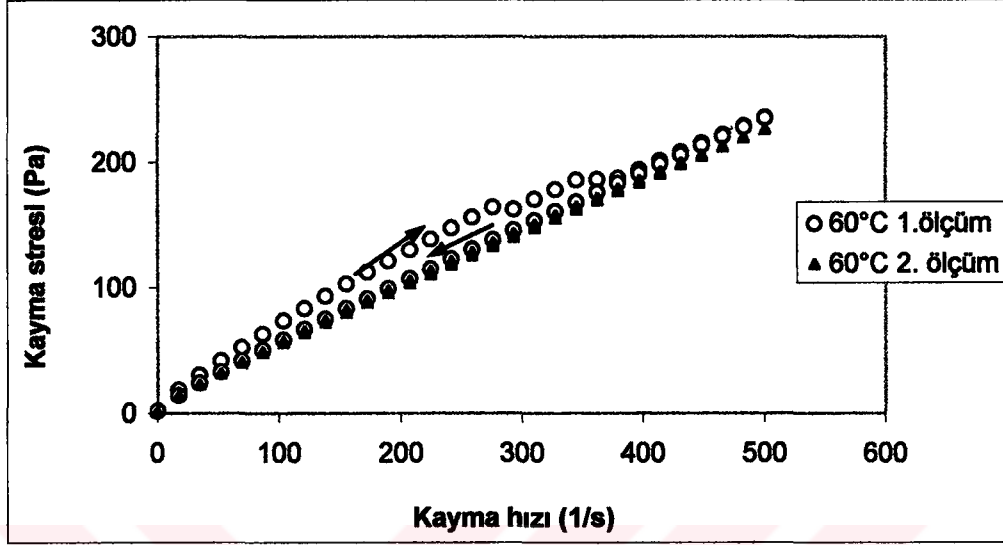


Şekil 5.4 Tahinin 40°C'deki akış eğrisi

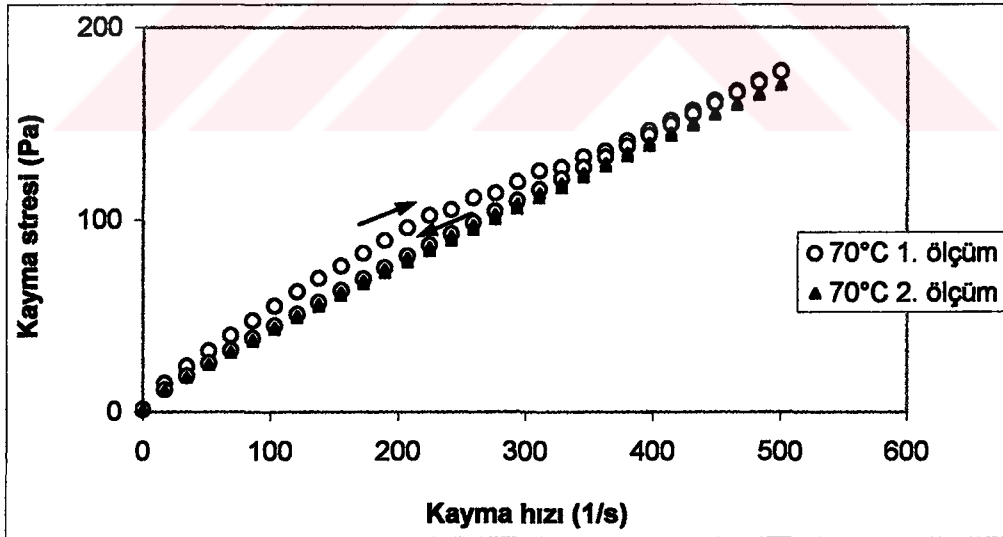


Şekil 5.5 Tahinin 50°C'deki akış eğrisi

Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de birinci ölçümlerde görülen histeresis halkasının diğer sıcaklıklara göre iyice azaldığı görülmektedir.



Şekil 5.6. Tahinin 60°C'deki akış eğrisi



Şekil 5.7. Tahinin 70°C'deki akış eğrisi

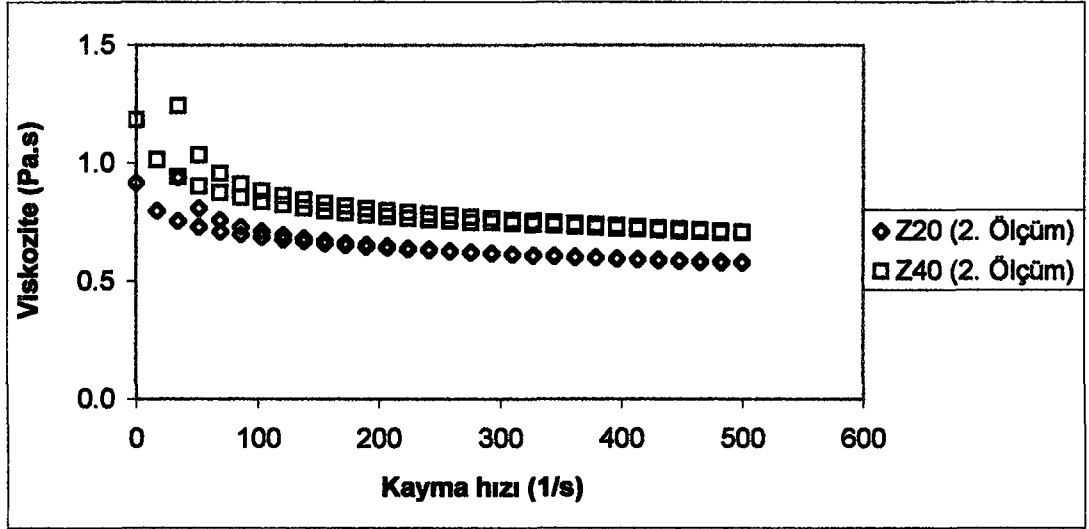
Şekil 5.2'den Şekil 5.7'ye kadar bütün grafiklerde birinci ölçümlerde görülen histeresis halkası, yaklaşık 300 s^{-1} ve daha yüksek kayma hızlarında kaybolmaktadır.

Önceleri düzgün bir biçimde artan kayma stresi değerleri bütün şekillerden görüldüğü üzere birinci ölçümlerin gidiş bölümünde belli kayma hızlarında bazı ani düşüşler göstermektedir. Şekillerden akış eğrilerinde gözlenen inişlere karşılık gelen kayma hızı ve kayma stresi değerlerinin sıcaklıkla azaldığı görülmektedir. 20°C'de iki noktada meydana gelen ani kayma stresi inişi diğer sıcaklıklarda bir noktada görülmektedir.

Reolojik ölçümlerde karşılaşılan kayma stresi veya viskozite düşüşünü açıklayan iki mekanizma vardır. Bu mekanizmalardan birisi migrasyon etkisidir. Silindirik sensörlerle yapılan ölçümlerde rotorun dönmesiyle birlikte kısa süre içinde kayma hızı gradyeni oluşmakta bu da örneğin kayma hızı fazla olan yerden (rotor yüzeyi), kayma hızı olmayan yere (kabın yüzeyi) migrasyonuna neden olmaktadır (Mewis, 1996). Diğer bir mekanizma da, örneğin içerdiği partiküllerin biraraya gelerek oluşturduğu agregasyon yapının kayma hızıyla kırılmasıdır (Campanella ve diğ., 1995). Bu çalışmada, polidispers yapıda olan tahinin içerdiği partiküllerin agregasyon oluşturduğu düşünülmüştür. Tahine kayma hızı uygulandığında bu yapının kırılması, kayma streslerinde görülen inişin nedeni olabilir. Öte yandan farklı seri nolu tahin örnekleriyle yapılan ölçümlerde kayma streslerinde ani düşüş görülmemesi dikkate değer bir noktadır.

Şekil 5.2'den Şekil 5.7'ye kadar olan bütün grafiklerde görülen histeresisten tahinin ilk ölçümlerde hafif bir tiksotropik davranış gösterdiği düşünülebilir. Fakat 5 dakika sonra aynı örnekle yapılan ikinci ölçümlerde, histeresis halkası kaybolduğu için, tahinin psödoplastik davranışa sahip olduğu kabul edilebilir. Başka seri nolu tahin örneği ile yapılan ölçümlerde histeresis halkasının oluşmadığı ve tahinin psödoplastik davrandığı görülmüştür. Seriler arasındaki farklılık tahin örneklerinin standart reolojik özelliklere sahip olmadığını düşündürmektedir.

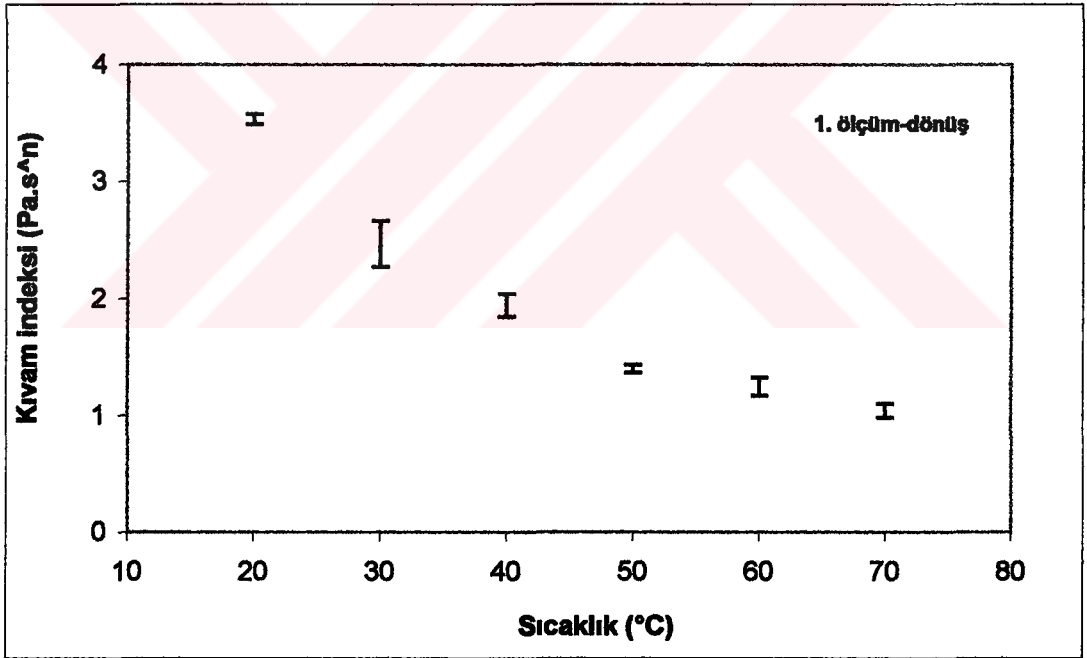
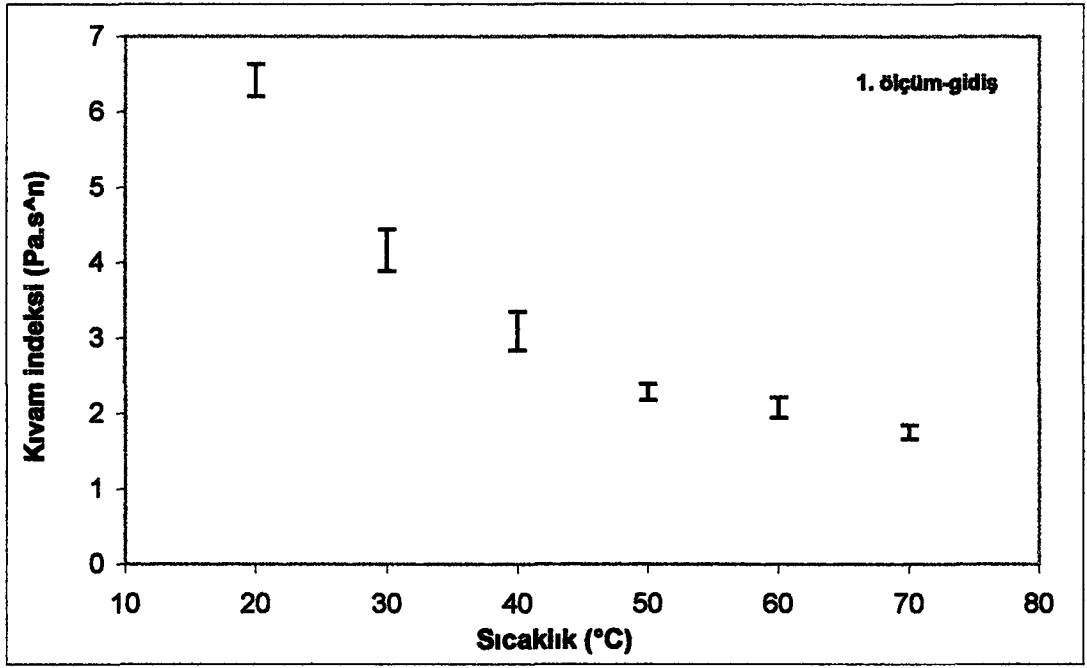
Şekil 5.8'de 50°C'de Z20 ve Z40 sensörleri ile yapılan ikinci ölçümlerin viskozite eğrileri verilmiştir. Şekle göre iki sensör arasında belirgin bir fark vardır. Sensör etkisini gidermek için bu çalışmada ölçümler Z20 sensörüyle yapılmıştır.



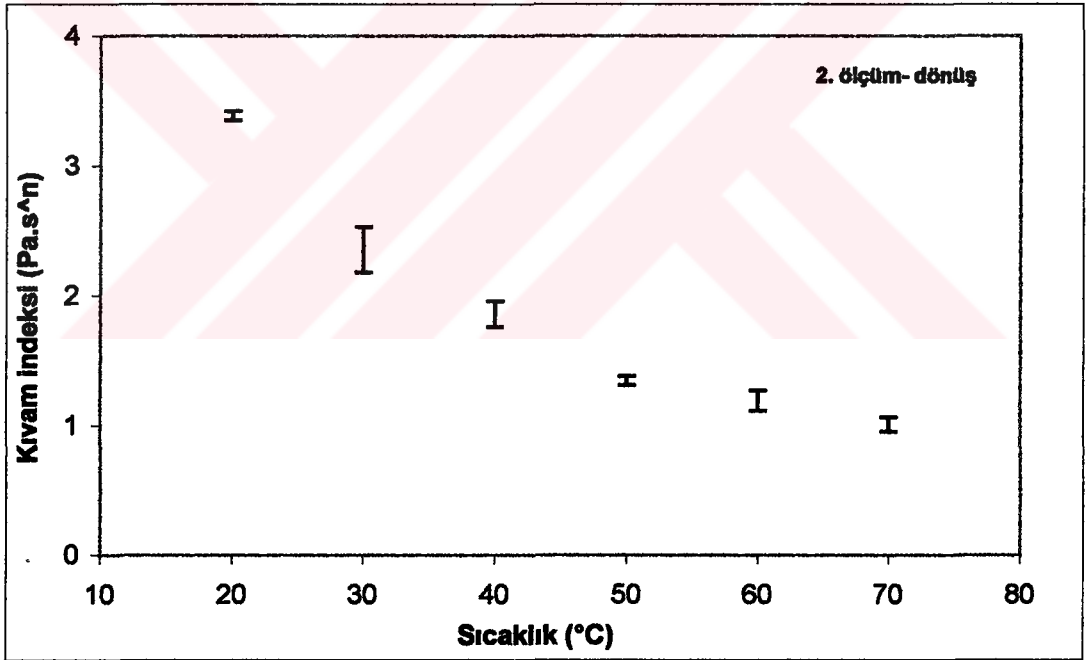
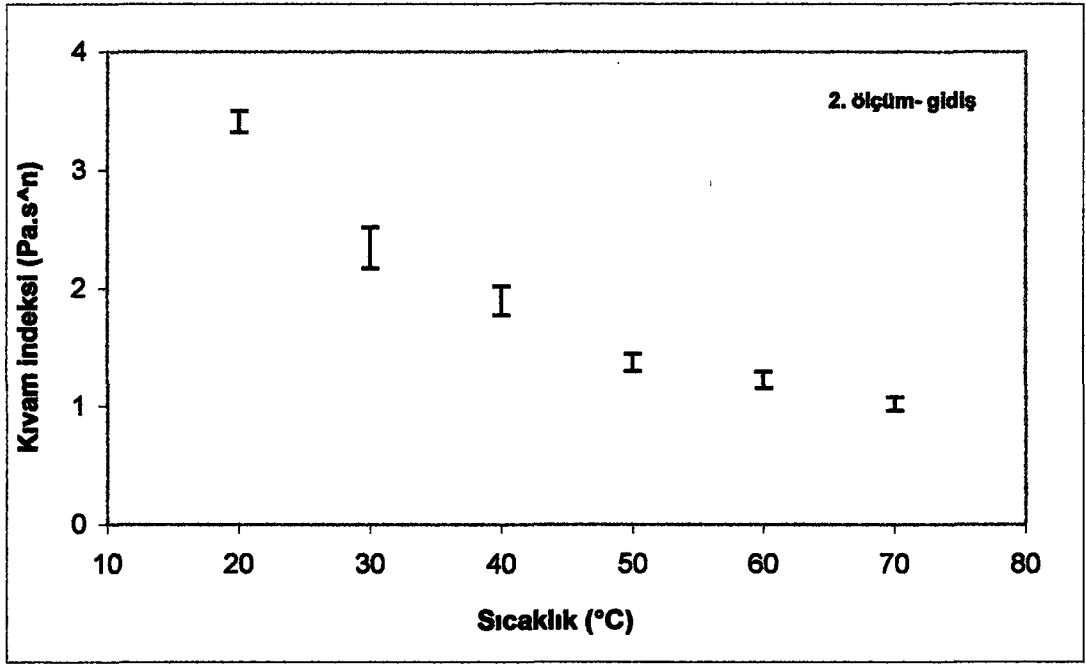
Şekil 5.8 50°C'de Z20 ve Z40 sensörleri ile yapılan ikinci ölçümlerin viskozite eğrileri

Altı farklı sıcaklıkta reolojik ölçümleri yapılan tahinin davranışı üslü-yasa ile modellenerek, gidiş ve dönüş için kıvam indeksi (K) ve akış davranış indeksi (n) değerleri belirlenmiştir.

Üslü-yasa modelindeki (denklem 3.3) kıvam indeksi sıcaklığa bağlı bir parametredir. Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da tahinin kıvam indeksi değerlerinin sıcaklığa bağlı değişim grafikleri, 1. ve 2. ölçümlerin gidiş ve dönüşü ayrı ayrı gösterilerek verilmiştir. Grafikler, her bir sıcaklık için iki tekrar ve iki paralel olarak yapılmış ölçümlerden hesaplanan dört K değerinin ortalaması alınarak, oluşturulmuştur Bu değerlerin standart sapmaları da grafikler üzerinde gösterilmiştir. Tahinin kıvam indeksinin sıcaklıkla önemli ölçüde azaldığı görülmektedir.

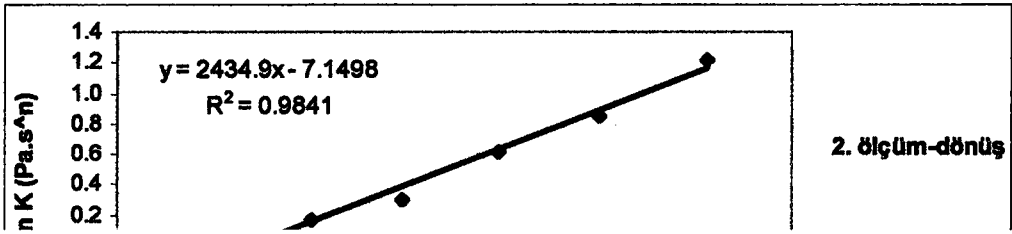
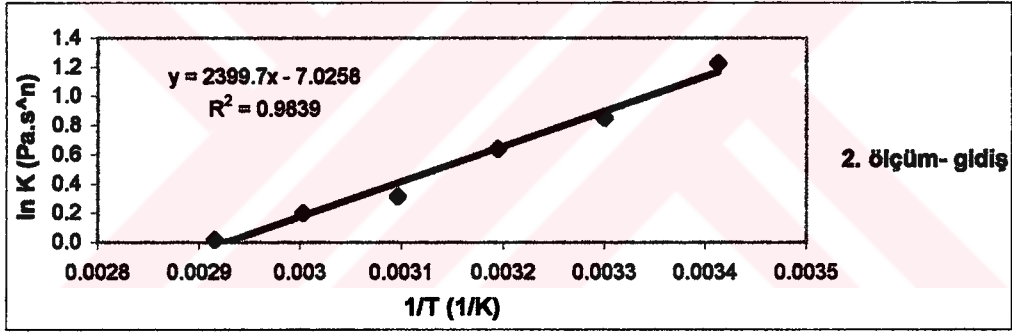
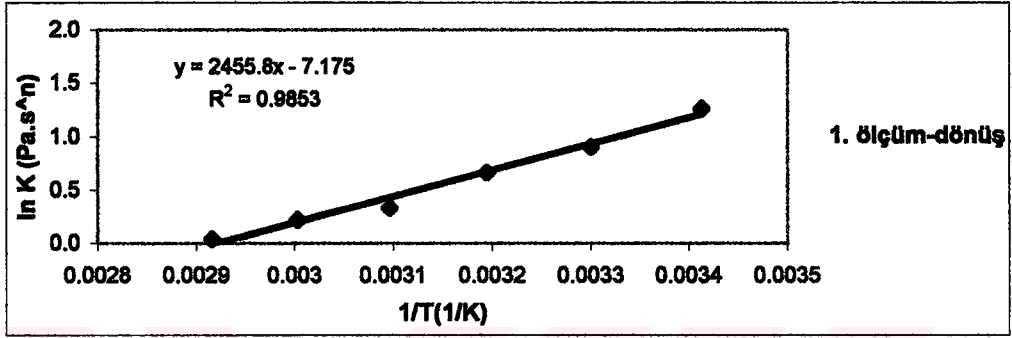
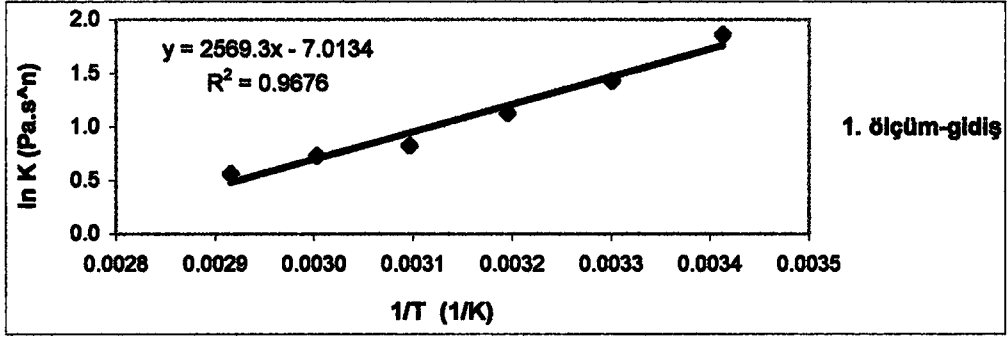


Şekil 5.9 Birinci ölçümlerde tahinin kıvam indeksinin sıcaklık ile değişimi



Şekil 5.10 İkinci ölçümlerde tahinin kıvam indeksinin sıcaklık ile değişimi

Farklı sıcaklıklarda elde edilen kıvam indeksi değerlerine sıcaklığın etkisini modellemek için Arrhenius denklemi kullanılmıştır. Şekil 5.11’de 1. ve 2. ölçümlerin gidişi ve dönüşü için, kıvam indeksine sıcaklığın etkisinin Arrhenius denklemiyle ifade edilen grafikleri verilmiştir. Birinci ve ikinci ölçümlerin gidiş ve dönüşlerinin ortalaması alınarak bulunan E_a ve K_∞ değerleri Tablo 5.4’te verilmiştir.

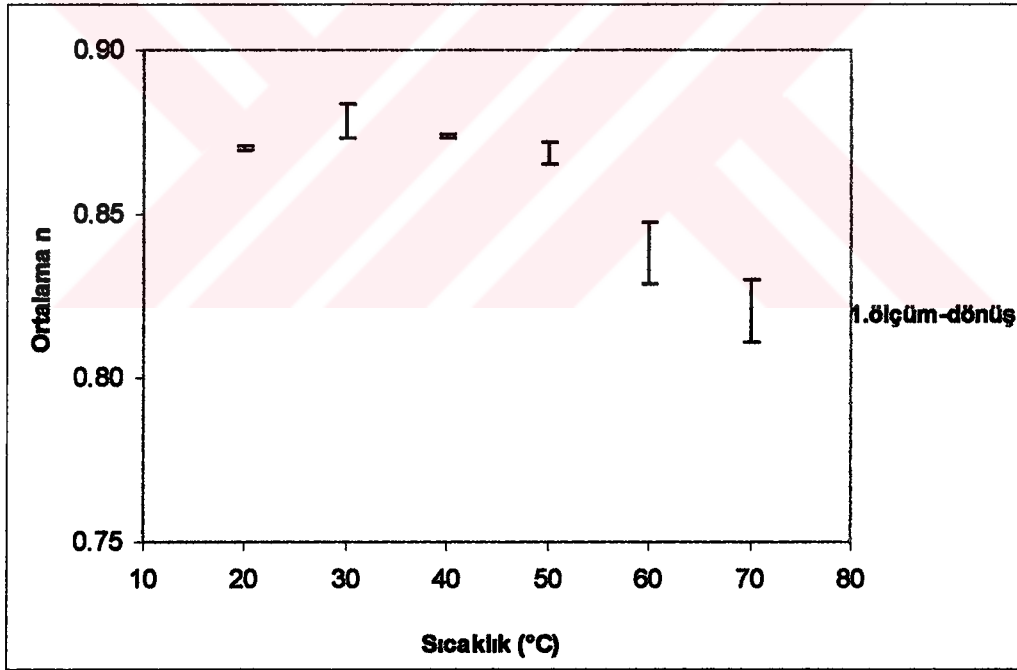
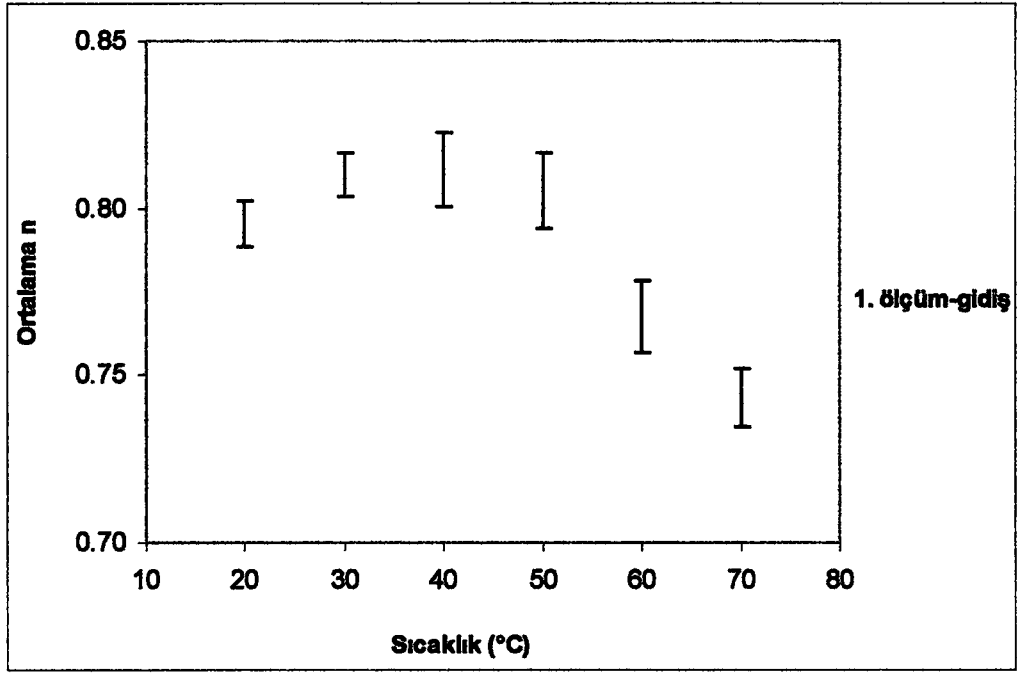


Tablo 5.4 Tahinin kıvam indeksi için E_a ve K_∞ değerleri

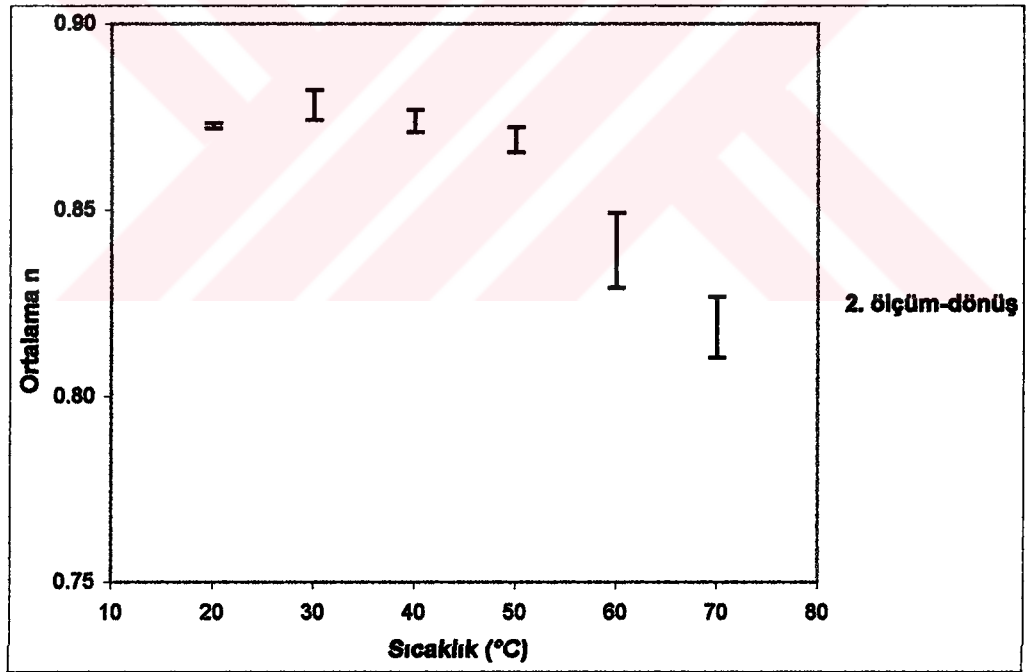
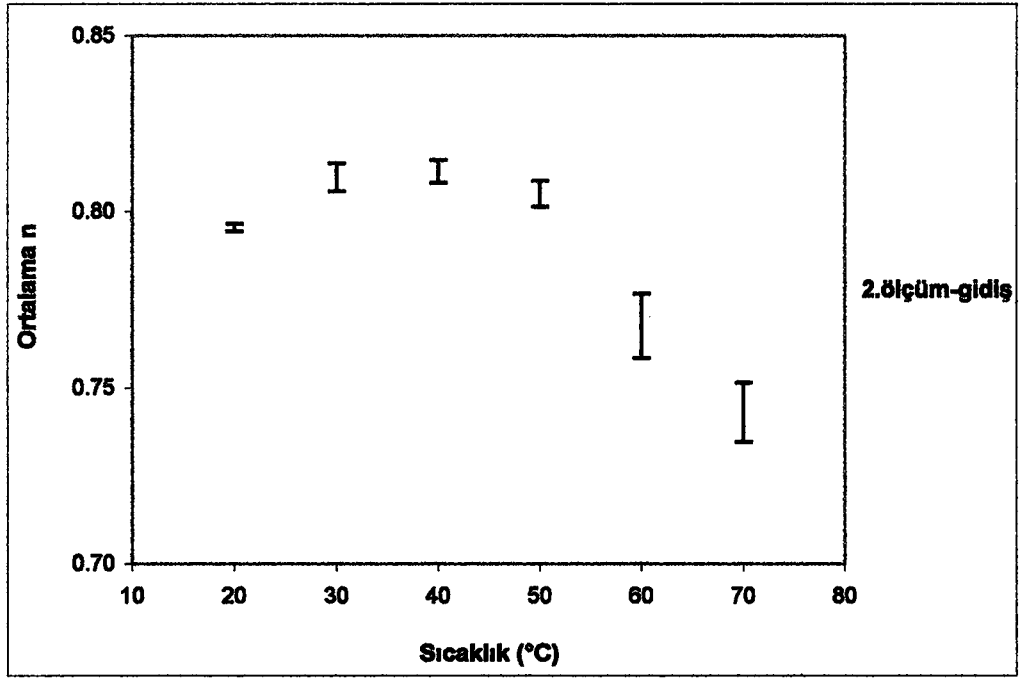
	E_a (kJ/kg mol)	K_∞ (Pa.s ⁿ)
1. Ölçüm (gidiş)	21 360	$9,0 \times 10^{-4}$
1. Ölçüm (dönüş)	20 420	$7,7 \times 10^{-4}$
2. Ölçüm (gidiş)	19 950	$8,9 \times 10^{-4}$
2. Ölçüm (dönüş)	20 240	$7,9 \times 10^{-4}$

Ercan ve Dervişoğlu (1998), yaptıkları bir çalışmada partikül boyutu 7-13 μm olan fındık püreleri için aktivasyon enerjisini 21 064 kJ/ kg mol, denklem sabitini $5,14 \times 10^{-3}$ (Pa.sⁿ); partikül boyutu 22-45 μm olan fındık püreleri için aktivasyon enerjisini 21374 kJ/kgmol , denklem sabitini ise $3,46 \times 10^{-3}$ (Pa.sⁿ) olarak hesaplamıştır. Partikül boyutu 10 μm 'den küçük olan kısmı kütlece %76 oranında olan tahin, 7-13 μm partikül boyutundaki fındık pürelerine benzetilirse, aktivasyon enerjisi ve denklem sabiti değerleri birbirine yakındır.

Üslü-yasa modeline göre belirlenen akış davranış indeksi (n) değerlerinin sıcaklığa bağlı değişim grafikleri ve standart sapma değerleri Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'te 1. ve 2. ölçümlerin gidiş ve dönüşü ayrı ayrı gösterilerek verilmiştir. Grafikler, her bir sıcaklık için iki tekrar ve iki paralel olarak yapılmış ölçümlerden hesaplanan dört n değerinin ortalaması alınarak çizilmiştir. Bu şekillerden akış davranış indeksi değerlerinin de sıcaklığa bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Ercan ve Dervişoğlu (1998) fındık püreleri ile 10 ve 50°C arasında yaptıkları çalışmada akış davranış indeksinin sıcaklıkla değişimini lineer bir denklemle ifade etmişlerdir. Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'te akış davranış indekslerinin sıcaklığa bağımlılığının lineer değiştiği kabul edilebilir. Fakat 60 ve 70°C'lerde akış davranış indeksinde daha fazla bir düşme söz konusudur. Bu nedenle tahinin akış davranış indeksinin sıcaklıkla değişimi 20 ile 70°C arasında polinomal bir denklemle modellenmiştir. Denklemler Tablo 5.5'te birinci ve ikinci ölçümlerin gidiş ve dönüş denklemlerinin katsayıları birbirine yakın olduğu için ortalamaları alınarak verilmiştir.



Şekil 5.12 Birinci ölçümlerde tahinin akış davranış indeksinin sıcaklıkla değişimi



Şekil 5.13 İkinci ölçümlerde tahinin akış davranış indeksinin sıcaklıkla değişimi

Tablo 5.5 Tahinin akış davranış indeksinin sıcaklığa bağımlı denklemleri

1. ve 2. ölçümlerin ortalaması	Model denklem	r ²
Gidiş	$n=0,731+0,0045T(^{\circ}\text{C})-(6 \times 10^{-5})T^2(^{\circ}\text{C})$	0,971
Dönüş	$n=0,836+0,0027T(^{\circ}\text{C})-(4 \times 10^{-5})T^2(^{\circ}\text{C})$	0,976

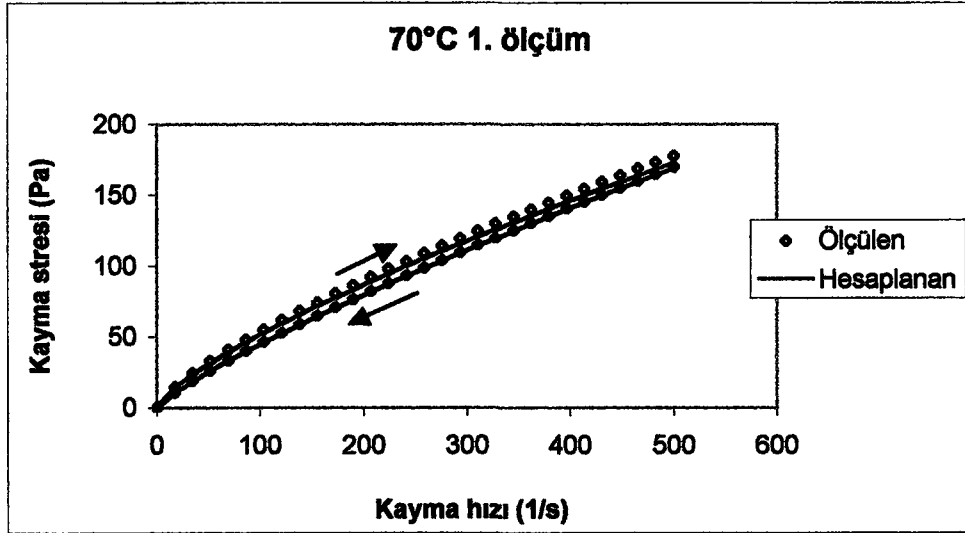
Tablo 5.5'te verilen tahinin akış davranış indeksleri için oluşturulan model denklemlerin, ölçülen değerleri iyi bir şekilde temsil ettiği tespit edilmiştir.

Sıcaklığın tahinin kıvam indeksi ve akış davranış indeksine etkisi modellenmiştir. Daha önceden de kayma hızının etkisi üslü-yasa denklemi ile modellenmiştir. Kayma hızının ve sıcaklığın etkisini birlikte ifade etmek için, üslü-yasa ile kıvam ve akış davranış indeksinin sıcaklığa bağımlılığını modelleyen denklemler birleştirilmiştir. Bu denklemler Tablo 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.6 Kayma hızının ve sıcaklığın etkisini birlikte ifade eden denklemler

1. ölçüm (gidiş)	$\tau = (9,0 \times 10^{-4}) \times e^{(2569/T(K))} \times \dot{\gamma}^{0,731+0,0045T(^{\circ}\text{C})-(6 \times 10^{-5}T^2(^{\circ}\text{C}))}$
1. ölçüm (dönüş)	$\tau = (7,7 \times 10^{-4}) \times e^{(2456/T(K))} \times \dot{\gamma}^{0,836+0,0027T(^{\circ}\text{C})-(4 \times 10^{-5}T^2(^{\circ}\text{C}))}$
2. ölçüm (gidiş)	$\tau = (8,9 \times 10^{-4}) \times e^{(2400/T(K))} \times \dot{\gamma}^{0,731+0,0045T(^{\circ}\text{C})-(6 \times 10^{-5}T^2(^{\circ}\text{C}))}$
2. ölçüm (dönüş)	$\tau = (7,9 \times 10^{-4}) \times e^{(2435/T(K))} \times \dot{\gamma}^{0,836+0,0027T(^{\circ}\text{C})-(4 \times 10^{-5}T^2(^{\circ}\text{C}))}$

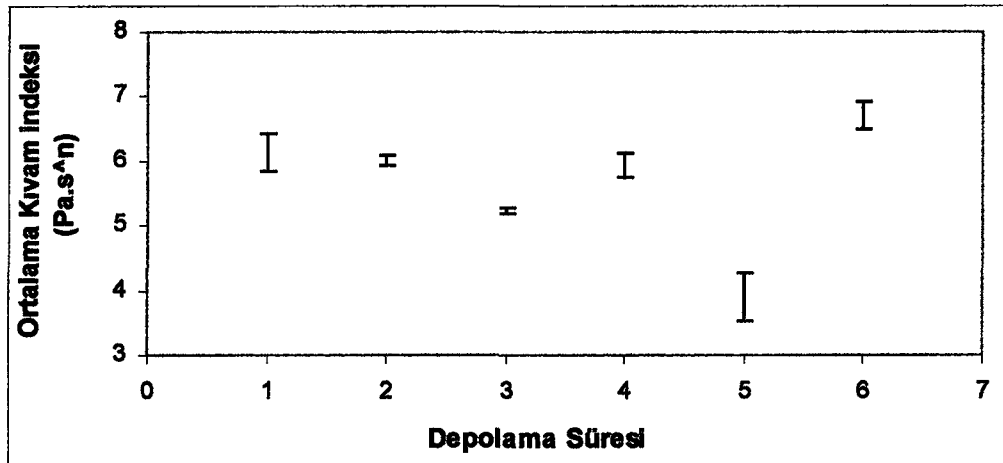
Sıcaklık arttıkça model denklemlerin ölçülen değerleri daha iyi bir şekilde temsil ettiği görülmüştür. Şekil 5.14'te 70°C'de birinci ölçümün gidiş ve dönüş bölümleri için verilen denklemlerle, ölçülen değerlerin karşılaştığı görülmektedir.



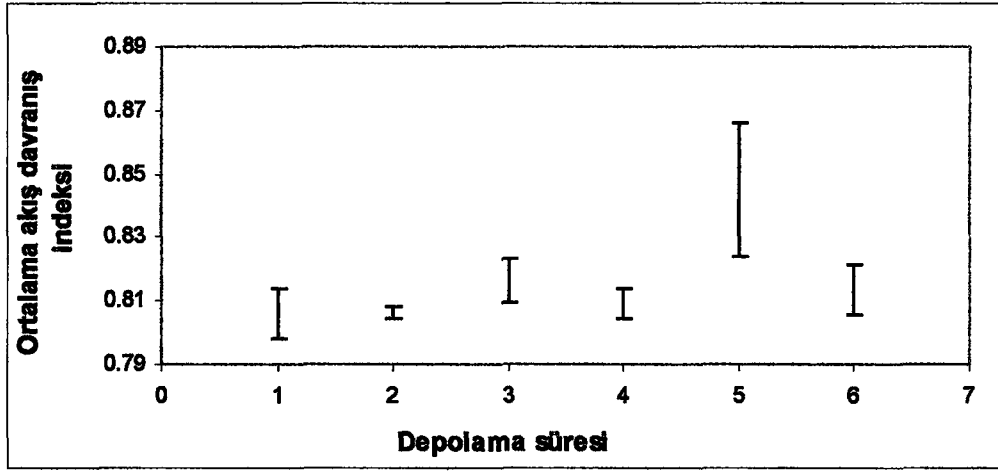
Şekil 5.14 70°C'de birinci ölçüm için ölçülen ve hesaplanan kayma stresi değerleri

5.3.2. Depolamanın etkisi

Tahin altı ay boyunca orijinal kavanozlarında depolanıp yapılan reolojik ölçümler sonucunda ikinci ölçümlerden elde edilen kıvam ve akış davranış indeksi verileri Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'da verilmiştir. Veriler, üslü-yasa denkleminde göre modellenerek K ve n parametreleri hesaplanmıştır. Depolama süresi arttıkça kıvam indeksi (K) ve akış davranış indeksi (n) değerlerinde net bir değişim eğilimi görülmektedir.



Şekil 5.15 Tahinin kıvam indeksinin depolama süresi ile değişimi

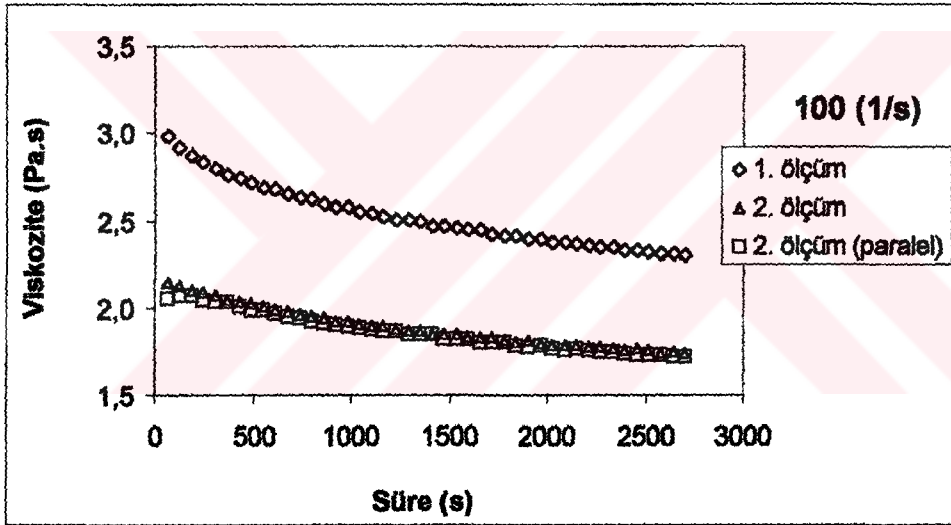
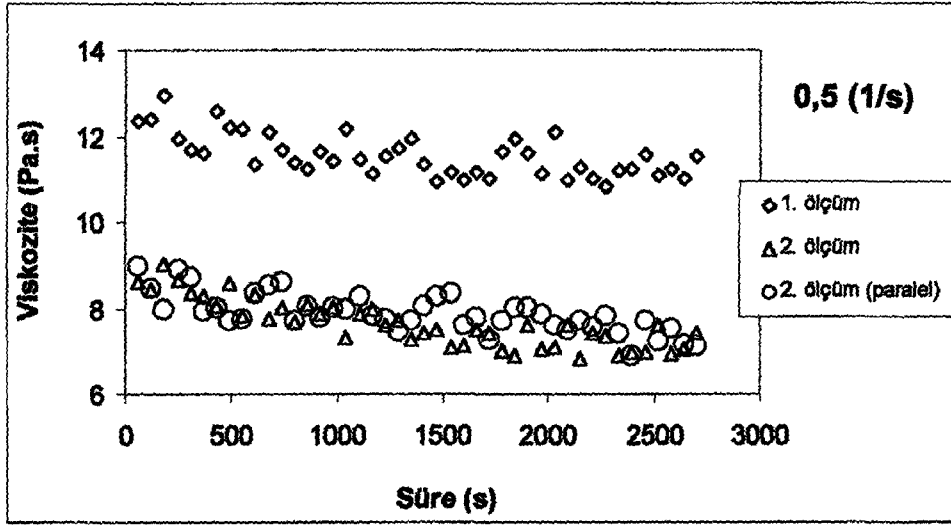


Şekil 5.16 Tahinin akış davranış indeksinin depolama süresi ile değişimi

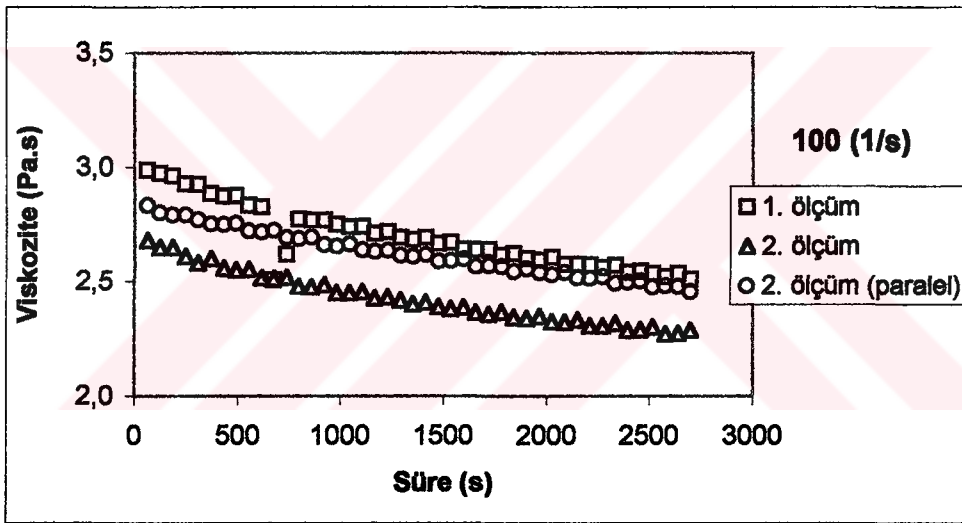
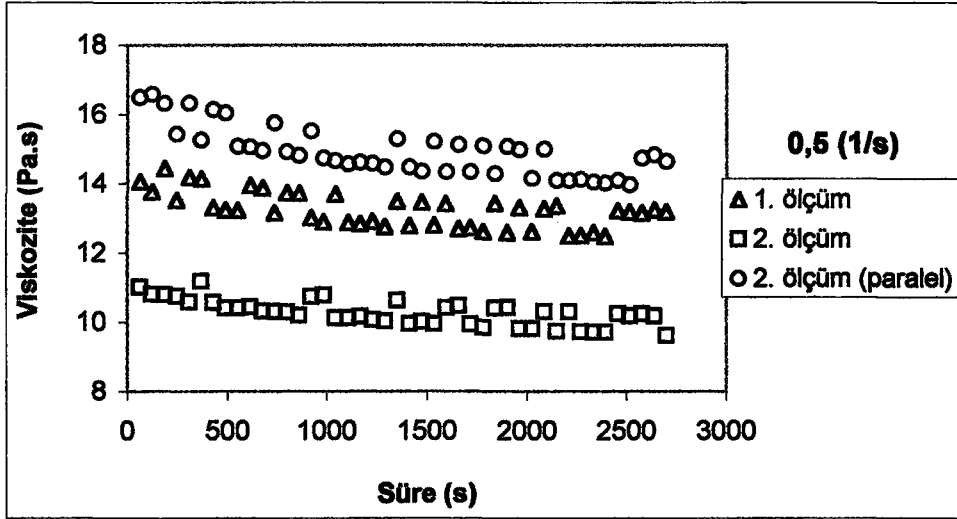
5.3.3. Ölçüm süresinin etkisi

Tahine uygulanan artan-azalan kayma hızı programının süresi yaklaşık 45 dakika sürmektedir. Bu süre içinde sabit kayma hızında viskozitedeki değişimi ve olası partikül çökmesini gözlemlemek için Z20 ve Z40 sensörleri ile oda sıcaklığında 0.5 ve 100 (s^{-1}) kayma hızlarında 45 dakika ölçüm yapılmıştır. Şekil 5.17 ve Şekil 5.18'de 0,5 ve 100 (s^{-1}) kayma hızlarında her iki sensör için yapılan üç ölçümün zamana bağlı viskozite grafikleri verilmiştir. Bu grafiklerde birinci ölçümlerle ikinci ölçümler farklı seri nolu tahin örnekleriyle yapılmıştır.

Şekil 5.17 ve Şekil 5.18'den iki değişik tahin örneğinin viskozitesinin farklı olduğu görülmektedir. Z20 sensörü ile yapılan ölçüm sonunda her iki örnek için 0.5 s^{-1} kayma hızında viskozite % 15 oranında, 100 s^{-1} kayma hızında birinci örnek için %20 ikinci örnek için %14 oranında düşmüştür. Z40 ile yapılan ölçüm sonucunda 0,5 s^{-1} kayma hızında birinci örneğin viskozitesi %17, ikinci örneğin ve paralelinin viskozitesi %14 oranında; 100 s^{-1} bütün örneklerin viskoziteleri %15-17 oranında düşmüştür. İki farklı sensörle elde edilen sonuçlarda benzer miktarda viskozite azalışı gözlenmesi, bu düşüşün sensörden değil ürünün standart olmayışından ve/veya daha önce akış eğrilerinde gözlenen tiksotropik davranıştan kaynaklandığı düşünülebilir. Ancak şekillerden değişik seri nolu tahin örneklerinin viskoziteleri arasında fark olduğu görülmektedir.



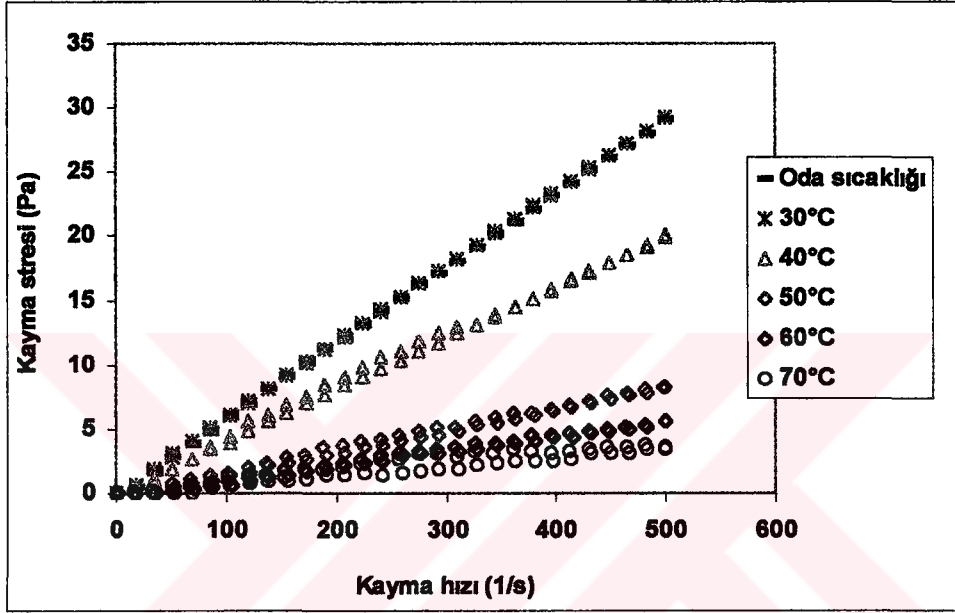
Şekil 5.17 Z20 sensörle yapılan ölçümlerde 0.5 ve 100 (s^{-1}) kayma hızlarında zamana bağlı viskozite değişimi



Şekil 5.18 Z40 sensörle yapılan ölçümlerde 0.5 ve 100 (s^{-1}) kayma hızlarında zamana bağlı viskozite değişimi.

5.4. Tahin yağının reolojik davranışı

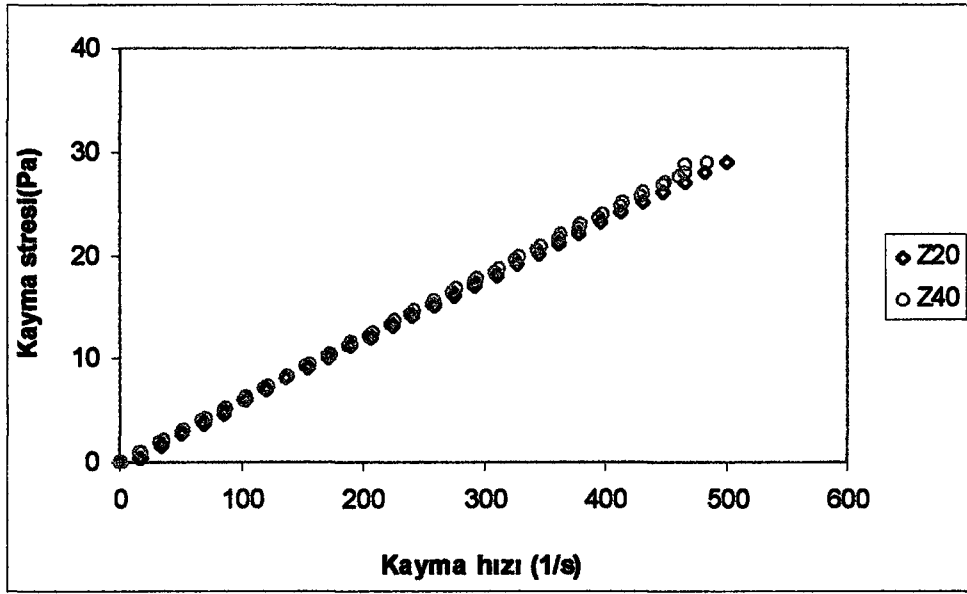
Tahinin yağı hekzanla ayrıldıktan sonra Haake RT20 reometre ile 20 ile 70°C arasında altı sıcaklıkta reolojik ölçümü yapılmıştır. Şekil 5.19'da tahin yağının ölçüm yapılan sıcaklıklardaki akış eğrileri verilmiştir. Buradan görüldüğü üzere tahin yağı Newtonyen davranış göstermektedir. Veriler, reometrenin yazılımındaki Newtonyen modele göre modellenmiştir.



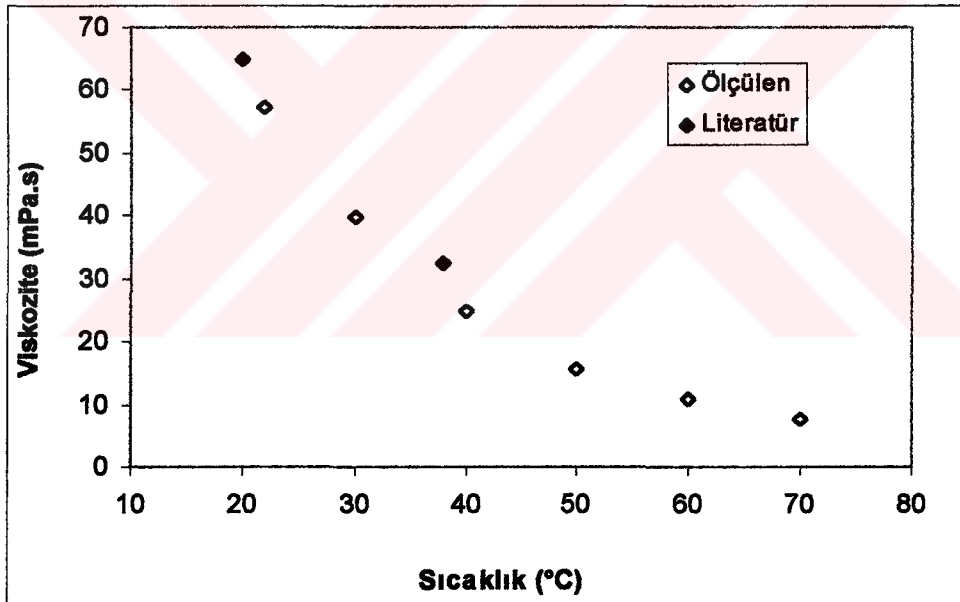
Şekil 5.19 Tahin yağının farklı sıcaklıklardaki akış eğrileri

Şekil 5.20'de Z20 ve Z40 sensörleri ile yapılan ölçümlerin akış eğrileri verilmiştir. Şekle göre iki sensörün ölçümleri arasında fark görülmemektedir.

Şekil 5.21'de tahin yağının sıcaklıkla değişim grafiği verilmiştir. Bu grafikte içi dolu semboller, ikinci bölümde literatür bilgilerinde viskozitesi 20°C'de 64-67 mPa.s, 38°C'de ise 32.4 mPa.s olduğu belirtilen susam yağına ait değerleri göstermektedir. Bu çalışmada tahin yağının viskozitesi 22°C'de 57 mPa.s, 40°C'de ise yaklaşık 25 mPa.s olarak ölçülmüştür. Ölçülen değerlerin literatürle paralel olduğu görülmektedir. Aradaki çok az fark, bu çalışmada tahin yağının literatürde ise susam yağının viskozitesinin ölçülmesinden kaynaklanmış olabilir.

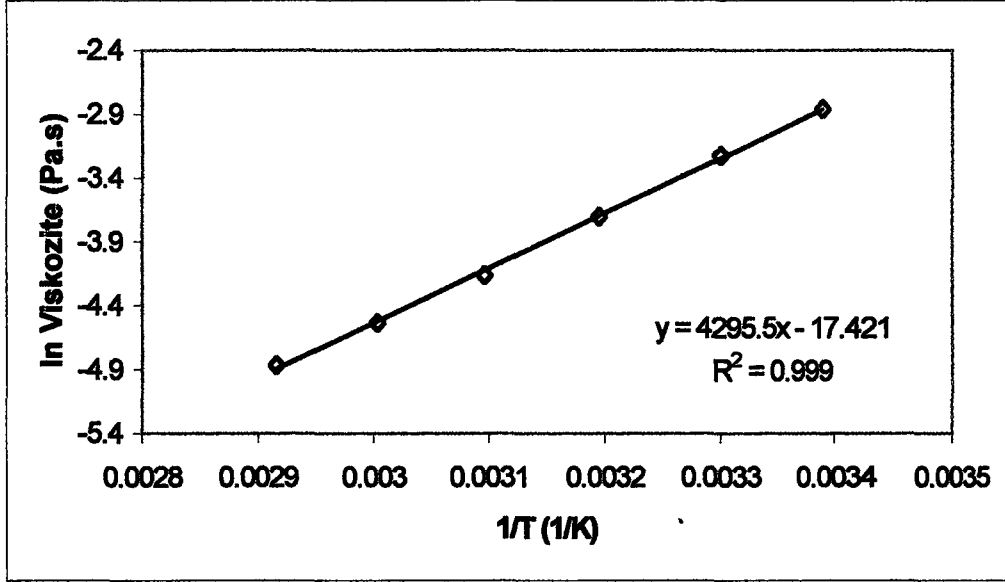


Şekil 5.20 Z20 ve Z40 sensörleri ile yapılan ölçümlerin karşılaştırılması



Şekil 5.21 Tahin yağı viskozitesinin sıcaklıkla değişimi

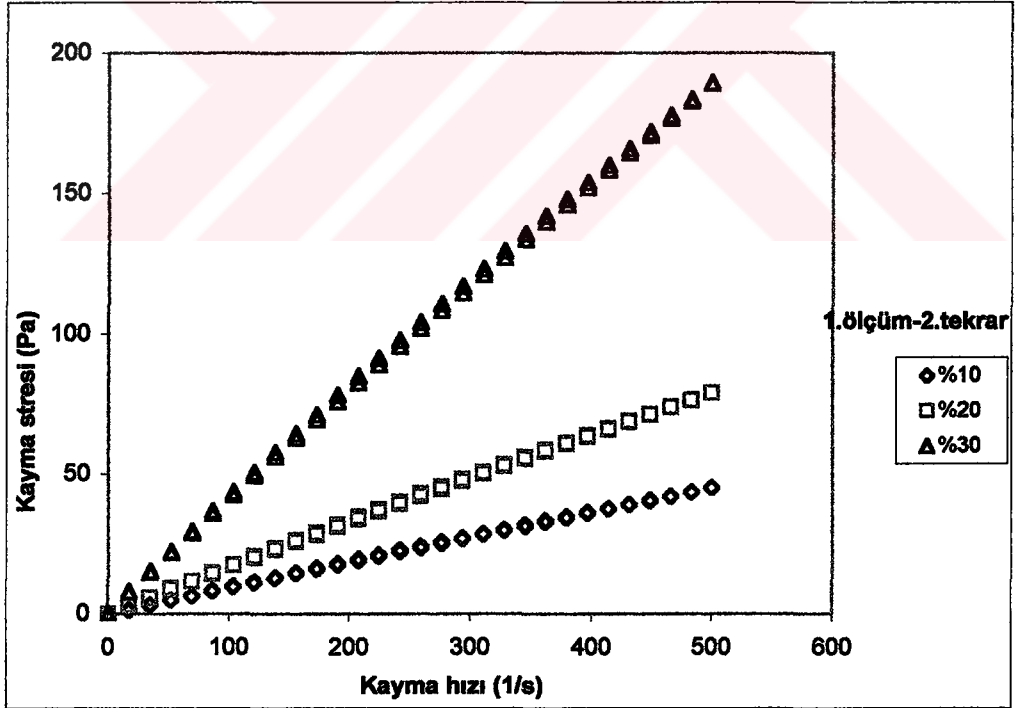
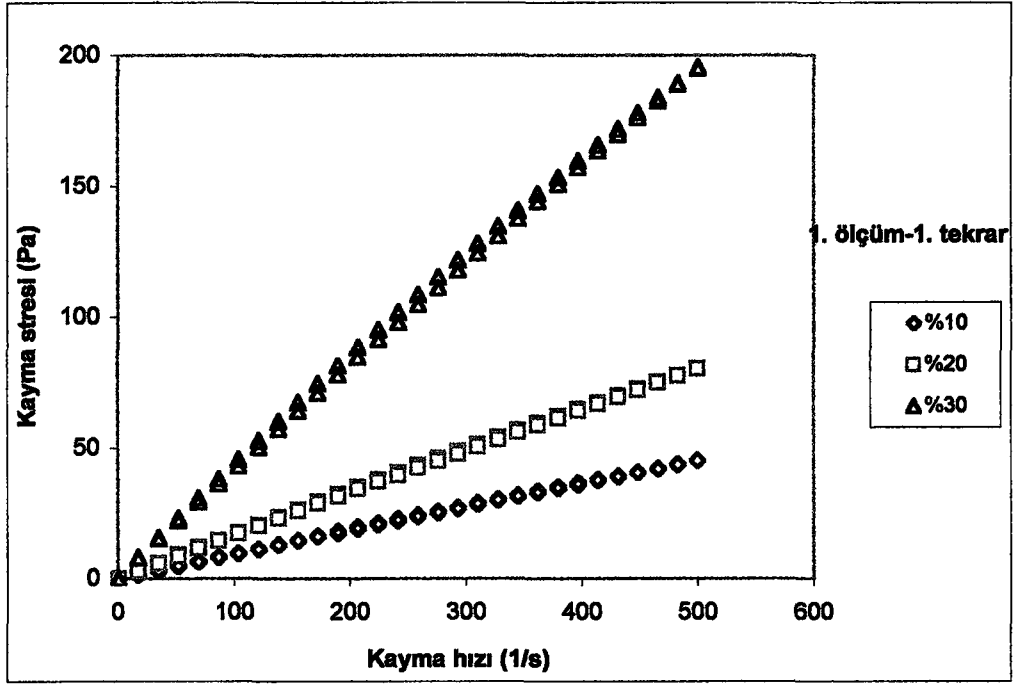
Şekil 5.21'den görüldüğü gibi tahinin yağının viskozitesi beklenildiği gibi sıcaklık arttıkça düşmektedir. Tahin yağının viskozitesinin sıcaklıkla değişimini modellemek için Arrhenius denklemi kullanılmıştır. Şekil 5.22'te tahin yağı viskozitesinin sıcaklıkla değişiminin Arrhenius denklemi ile modellenmesi verilmiştir. Şekil 5.22'deki grafiğin eğiminden aktivasyon enerjisi 35 710 kJ/kg mol, η_{∞} sabiti ise $2,72 \times 10^{-8}$ Pa.s. olarak hesaplanmıştır.



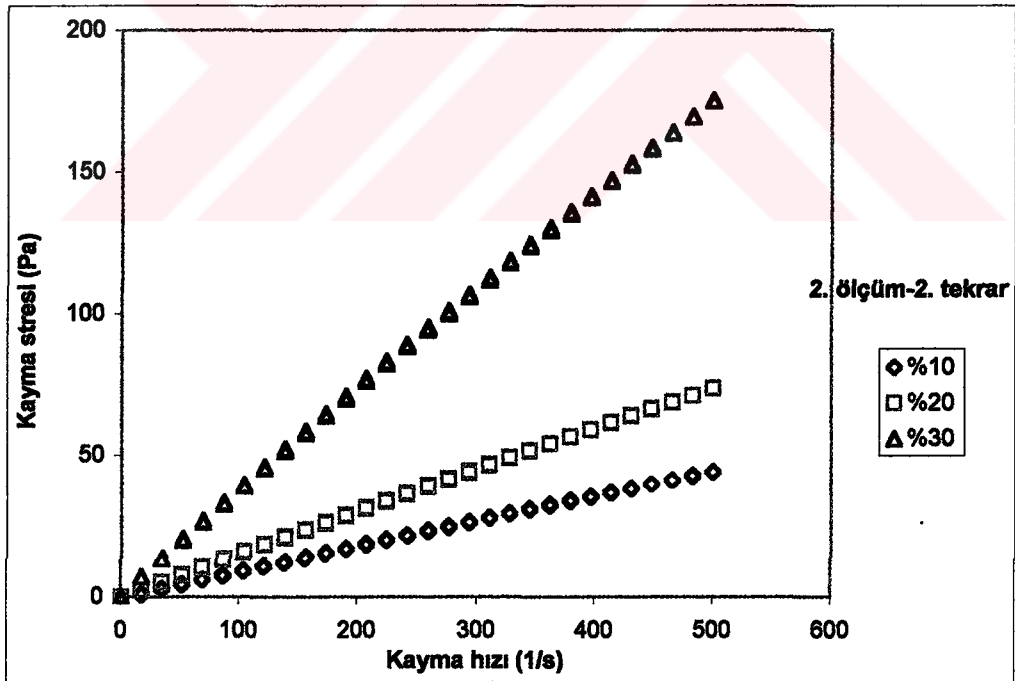
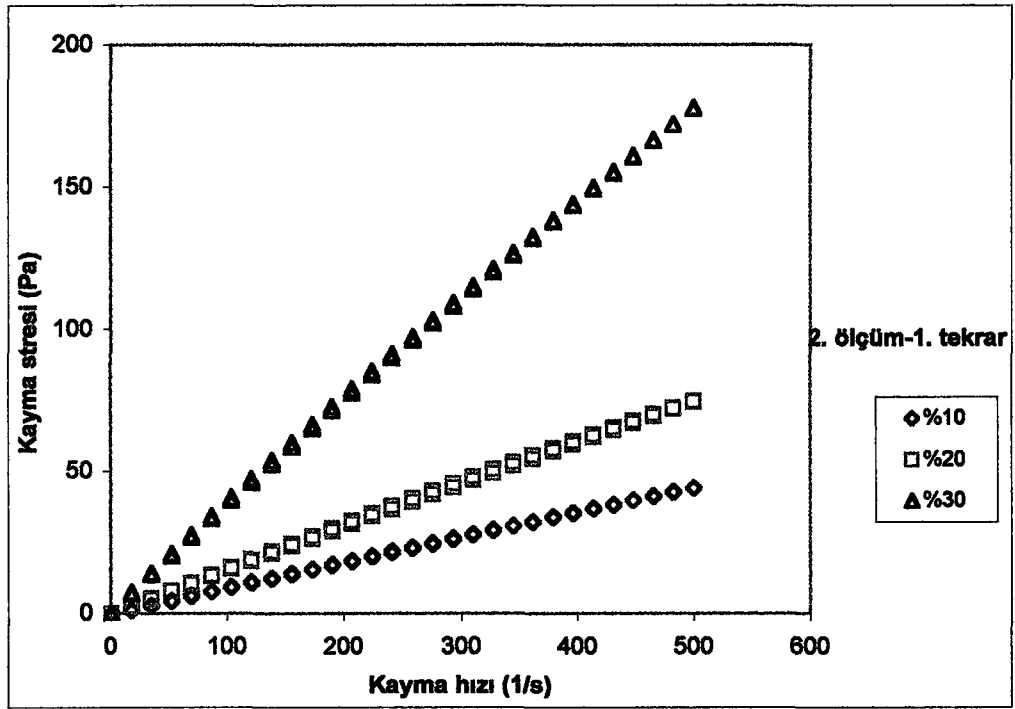
Şekil 5.22 Tahin yağının kayma viskozitesine sıcaklığın etkisinin Arrhenius denklemi ile temsili

5.5. Tahinin katı kısmının reolojik özelliklere etkisi

Tahine, toplam katı madde miktarı %10, %20 ve %30 olacak şekilde tahin yağından ilave edilerek farklı süspansiyonlar elde edilmiştir. Birinci ve ikinci ölçümler için, bu süspansiyonlara ait akış eğrileri Şekil 5.23 ve Şekil 5.24'te verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi %10 ve %20 katı madde miktarı olan süspansiyonlar Newtonyen davranış göstermekte, %30 katı madde içeren süspansiyon ise psödoplastik davranmaktadır. Yüzde 10 ve %20 katı madde içeren süspansiyonların reolojik davranışı Newtonyen model ile, %30 ve %41.3 (tahin) katı madde içeren süspansiyonlarınki ise üslü-yasa ile modellenmiştir. Süspansiyonların katı madde içeriği arttıkça reolojik davranışları, Newtonyen'den psödoplastiğe dönmüştür.



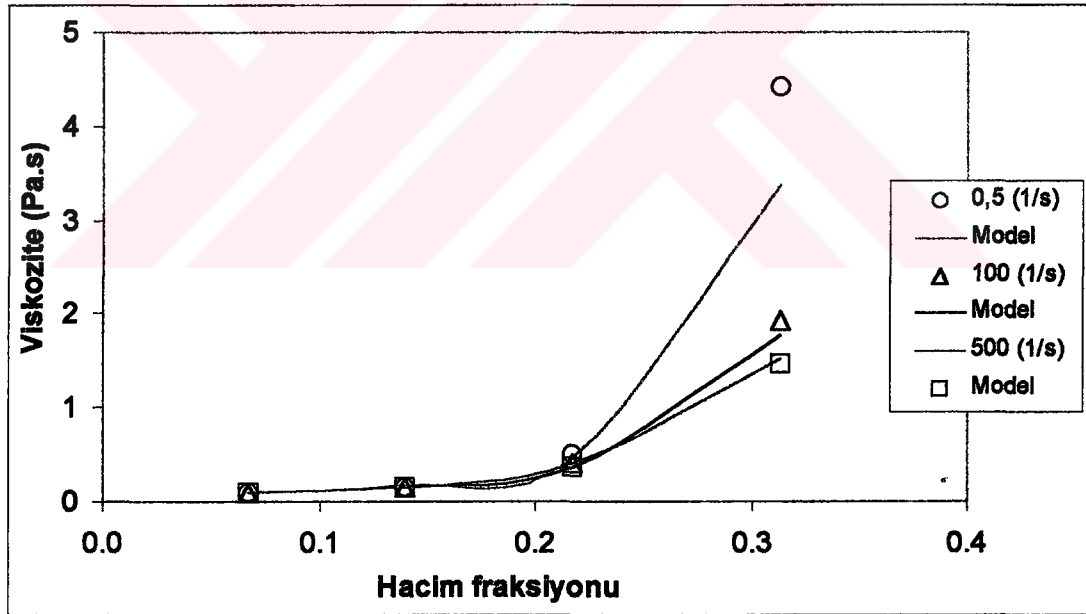
Şekil 5.23 Tahinin farklı süspansiyonlarının akış eğrileri (1. Ölçüm)



Şekil 5.24 Tahinin farklı süspansiyonlarının akış eğrileri (2. Ölçüm)

Psödoplastik davranış gösteren süspansiyonların viskoziteleri 0.5, 100 ve 500 s⁻¹ kayma hızlarında hesaplanarak Şekil 5.25'te hacim fraksiyonuna karşı çizilmiştir. Buradan hacim fraksiyonu arttıkça, özellikle %20'den sonra viskozitenin önemli ölçüde arttığı görülmektedir. Aynı grafikte, ölçülen değerlere Krieger-Dougherty denklemi uyarlanarak elde edilen eğriler de verilmiştir. Bu şekilden Krieger-Dougherty denkleminin süspansiyonların viskozite değerlerini iyi bir şekilde temsil ettiği söylenebilir.

Krieger-Dougherty denklemi monodispers süspansiyonlar için geçerlidir. Tahin ise ikinci bölümde Tablo 2.6'dan görüldüğü üzere, polidispers bir süspansiyondur. Ancak, 10 µm'den küçük partiküller, tahinin %76'sını oluşturmaktadır. Boyutu 10 µm'den küçük olan partiküllerin çoğunlukta olması ayrıca Krieger-Dougherty denkleminin uyması, tahinin monodispers bir süspansiyon gibi davrandığını göstermektedir. Ancak daha sağlıklı sonuç ve yorumlara, partikül dağılımının reolojik davranışa etkisinin detaylı irdelenmesi neticesinde ulaşılabileceğini belirtmek gerekir.



Şekil 5.25 Hazırlanan süspansiyonların hacim fraksiyonu ile viskozite değişimi

Şekil 5.25'de sunulan sonuçlardan Krieger-Dougherty denkleminin göre hesaplanan maksimum hacim fraksiyonları ve C katsayıları Tablo 5.7'de verilmiştir. Tablo 5.7'den görüldüğü gibi kayma hızı arttıkça maksimum hacim fraksiyonunun artma eğiliminde olduğu görülmektedir.

Tablo 5.7 Hesaplanan maksimum hacim fraksiyonu ve C katsayıları

Kayma hızı (1/s)	Maksimum hacim fraksiyonu	C
0,5	0,40	6,7
100	0,44	6,3
500	0,47	6,3

Üçüncü bölümde Tablo 3.2’de monodispers sistemlerdeki partiküllerin dizilme biçimine göre maksimum hacim fraksiyonları verilmiştir. Tahin için maksimum hacim fraksiyonu 0,40-0,47 arasında hesaplanmıştır. Buradan tahinin partiküllerinin dizilme şeklinin, Tablo 3.2’de belirtilenlerden en çok “basit kübik” biçimine yakın olduğu görülmektedir.

6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, tahinin reolojik özelliklerine kayma hızının, sıcaklığın, depolama süresinin ve başlıca tahin bileşenlerinin (yağ ve katı madde) etkileri incelenmiş, ve elde edilen veriler reolojik denklemlerle modellenmiştir.

Deneylerde kullanılan tahin örneklerinin yağ, nem, protein, kül, tuz ve yağ asitleri değerlerinin ambalaj üzerinde beyan edilen bilgilerle uyumlu olduğu ve bileşimin, tuz miktarı hariç, Türk Standartları'nda belirtilen sınırlar içinde olduğu bulunmuştur. Ayrıca, tahin yağının oleik ve linoleik yağ asitlerinin yüksek ve birbirine yakın olması literatürde yer alan bulgularla uyumludur.

Yüzde 41,3 oranında katı madde içeren tahinin $0,13-500s^{-1}$ kayma hızı aralığında psödoplastik davrandığı belirlenmiştir. 20 ile 70°C arasında altı farklı sıcaklıkta kayma viskozitesi ölçümü yapılarak tahinin kıvam indeksinin sıcaklıkla değişimini ifade eden Arrhenius denklemi oluşturulmuş ve buna göre tahinin akış için ortalama aktivasyon enerjisi 20 500 kJ/kg mol olarak hesaplanmıştır. Öte yandan tahin yağının aynı kayma hızı ve sıcaklık aralıklarında Newtonyen davrandığı ve akış için aktivasyon enerjisinin 35 710 kJ/kg mol olduğu belirlenmiştir.

Artan-azalan kayma hızı programına tabi tutulan tahinin ilk döngüde az da olsa bir tiksotropi eğilimi gösterdiği, fakat bunun ikinci döngüde, ve ayrıca artan sıcaklıklarda, ortadan kaybolduğu gözlenmiştir. Tiksotropik davranış olasılığı ayrıca sabit kayma hızında zamana karşı elde edilen bazı viskozite sonuçlarıyla desteklenmiştir.

Oda sıcaklığında yapılan ölçümlere göre %41,3 oranında katı madde içeren normal tahin ile %30 oranında katı madde içeren süspansiyonun psödoplastik davrandığı; buna karşın %10 ve %20 katı madde içeren süspansiyonların Newtonyen davrandığı belirlenmiştir. Bu deneylerden elde edilen veriler Krieger-Dougherty denklemine uyarlandığında tahin için, maksimum hacim fraksiyonu değerinin 0,4-0,5 aralığında değiştiği bulunmuştur. Ayrıca maksimum hacim fraksiyonunun kayma hızıyla bir artma eğiliminde olduğu gözlenmiştir. Buna göre tahinin akış esnasında oluşturduğu yapısal düzenin kayma hızından etkilenebileceği izlenimi doğmuştur.

İleride yapılacak araştırmalarda tahinin katı maddesinin farklı partikül büyüklüğü gruplarına ayrılması ve bu gruplardan oluşturulacak çeşitli konsantrasyonlardaki süspansiyonların değişik sıcaklıklarda incelenmesi tahin reolojisinin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olacaktır. Ayrıca, tahin yağında depolama esnasında meydana gelen fiziksel ve kimyasal (örn., ayrırşma ve acılaşma) değişimlerin kinetiklerinin belirlenmesi bu çalışmayı tamamlayacak bulgular ortaya koyacaktır. Öte yandan dar partikül dağılımına sahip tahin örneklerinin pekmez, bal gibi şekerli ürünlerle karırştırılarak duyusal analize tabi tutulması ve buradan elde edilecek bulgulara göre gerekirse tahin üretim teknolojisinin (örn., öğütme prosesinin) iyileştirilmesi yönünde adımlar atılması yararlı olacaktır.



KAYNAKLAR

- Anonim**, 1979. Composition and characteristics of individual fats and oil in *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. Volume 1, s. 386-399. Ed. M.W. Formo, E. Jungermann, F.A. Norris, N.O.V. Sontagg, John Wiley and Sons, Inc.
- Anonim**, 1996a. Use of natural fats and oils in cosmetics in *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. Volume 5, s. 370-371, Ed. Y.H. Hui, John Wiley and Sons, Inc.
- Anonim**, 1996b. Sources of the main fats and relevant monographs in *Oil and Fats Manual*, Volume 1, s.151-152, Ed. A. Karleskind, Intercept Ltd.
- Ak, M.**, 1997. Reoloji bilim dalı ve gıda endüstrisi. *Gıda ve Teknoloji*, 2(4):36-46.
- Ak, M. ve Gunasekaran, S.**, 2000. Rheological properties of mayonnaise by lubricated compression. *The 2nd International Symposium on Food Rheology and Structure*, Zürich, Switzerland, March 12-16.
- Akgül, A.**, 1993. *Baharat Bilimi ve Teknolojisi*. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, Ankara.
- AOAC.**, 1990. *Official Methods of Analysis*. s. 71-72, 837, 964-965, 999, 1000 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C.
- Barnes, H.A., Hutton, J.F., Walters, K.**, 1989. *An Introduction to Rheology*, s 115-138. Elsevier Publishers
- Birer, S.**, 1985. Tahin helvasının yapılışı ve beslenmemizdeki yeri. *Gıda*, 10(3): 133-135.
- Bhamidipati, S. ve Singh, R.K.**, 1990. Flow behavior of tomato sauce with or without particulates in tube flow. *Journal of Food Process Engineering*, 12:275-293.
- Brekke, J.E. ve Myers, A.L.**, 1978. Viscometric behavior of Guava purees and concentrates. *Journal of Food Science*, 43: 272-273.
- Campanella, O.H., Dorward, N.M., Singh, H.**, 1995. A study of the rheological properties of concentrated food emulsions. *Journal of Food Engineering*, 25:427-440.
- Damir, A.A.**, 1984. Utilization of sunflower seeds in tahina and halawa processing. *Food Chemistry* 14, 83-92.
- Den Ouden, F.W.C. ve 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. ve 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. ve Dervişoğlu, M.**, 1997. Study of the steady flow behavior of hazelnut paste. *Journal of Food Process Engineering*, 21:181-190.
- FAO.**, 2000. Statistics of sesame seed production. Food and Agriculture Organisation. USA. (<http://www.fao.org>.)
- Ferguson, J., Kemblowski, Z.**, 1991. *Applied Fluid Rheology*, s 199-203. Elsevier applied science.

- Giner, J., Ibarz, A., Garza, S., Xhian-Quan, S., 1996.** Rheology of Clarified Cherry Juices. *Journal of Food Engineering*, 30:147-154.
- Ibarz, A., Gonzalez, C., Esplugas, S., Vincente, M., 1992.** Rheology of clarified fruit juices, I: Peach juices. *Journal of Food Engineering*, 15:46-61.
- Ibarz, A., Gonzalez, C., Esplugas, S., 1994.** Rheology of clarified fruit juices, III: Orange Juices. *Journal of Food Engineering*, 21:485-494.
- Linder, M.C., 1991.** Nutrition and metabolism of fats in *Nutritional Biochemistry and Metabolism with Clinical Applications*, s. 51-85. Ed M.C. Linder. Elsevier Science Publishing Company, Inc., New York.
- Lindner, P. ve Kinsella, J. E., 1991.** Study of hydration process in tehina. *Food Chemistry*, 42:301-319.
- Lewis, Y.S., 1984.** Sesame seed in *Spices and Herbs for the Food Industry*, Food Trade Press, Orpington, England.
- Lokumcu, F. ve Ak, M., 2000.** Rheology of Pekmez, Tahin and Their Mixture. *The 2nd International Symposium on Food Rheology and Structure*, Zürich, Switzerland, March 12-16.
- Meara, M.L., 1978.** Physical properties of oils and fats, *Scientific and Technical Surveys Report*, s. 1-34. The British Food Manufacturing Industries Research Association, UK.
- Mewis, J., 1996.** Flow behavior of concentrated suspensions: predictions and measurements. *International Journal of Mineral Processing*, 44-45: 17-27.
- Mewis, J., Macosko, C.W., 1993.** Suspension Rheology in *Rheology: Principles, measurements, and applications*, s. 425-474. VCH Publishers, NY.
- Norman, J., 1991.** *The complete book of Spices: A practical guide to spices and aromatic seeds*, Penguin books, Inc., NY.
- Özcan, M. ve Akgül, A., 1994.** Tahinde fiziksel- kimyasal analizler ve yağ asitleri bileşiminin belirlenmesi, *Gıda*, 19(16): 411-416.
- Parry, J.W., 1969.** Sesame in *Spices*. Volume 2, s. 91-92. Food Trade Press Ltd, London.
- Patterson, H.B.W., 1989.** *Handling Properties Of Oilseds, Fats and Meal*, s. 54-57, 146, 148. Elsevier Applied Science.
- Prakash, V., Nandi, P.K., 1978.** Isolation and characterization of α -globulin of sesame seed (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 26(2):320-323.
- Pritchard, J.L.R., 1991.** Analysis and properties of oilseeds in *Analysis of oilseeds, fats and fatty foods*, s. 90-91, 124-125. Ed. J.B. Rossel ve J.L. Pritchard, Elsevier Applied Science.
- Pordesimo, L.O., Zuritz, C.A., Sharma, M.G., 1994.** Flow behavior of coarse solid-liquid food mixtures. *Journal of Food Engineering*, 21:495-511.
- Rahman, S., 1995.** *Food Properties Handbook*, s.198. CRC Press, Inc. USA.
- Rajendran, S. ve Prakash, V., 1988.** Isolation and characterization of β -globulin low molecular weight protein fraction from sesame seed (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 36, 269-275.
- Rao, M.A., 1977.** Rheology of liquid foods-A review. *Journal of Texture Studies*, 8:135-168.

- Rao, M.A.**, 1987. Predicting the flow properties of food suspensions of plant origin. *Food Technology*. 3:85-87.
- Rao, M.A.**, 1995. Rheological properties of foods, in *Engineering Properties of Foods*. 2nd ed., s. 1-53. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Rao, M.A. ve Anantheswaran, R.C.**, 1982. Rheology of fluids in food processing. *Food Technology*, 2:116-126.
- Sawaya, W.N., Ayaz, M., Khalil, J.K., Al-Shalhat, A.F.**, 1985. Chemical composition and nutritional quality of tehneh (sesame butter). *Food Chemistry*, 18, 35-45.
- Singhal, R.S., Kulkarni, P.R., Rege, D.V.**, 1997. *Handbook of indices of food quality and authenticity*, s. 304-305. Woodhead Publishing Limited.
- Sopade, P.A., Kassum, A.L., Adamu, D.J.M.**, 1993. Rheological characterization of some Nigerian traditional soups. *International Journal of Food Science and Technology*. 28:647-653.
- Steffe, J.F.**, 1992. *Rheological Methods in Food Process Engineering*. Freeman Press, Michigan.
- Şahin, N., Lokumcu, F., Ak, M., Karaall, A.**, 2000. Rheological behavior as a means of detecting adulteration of honeys with high fructose corn syrup. *The 4th International Conference on Agro and Food Physics*. İstanbul, May 16-20.
- TSE-765**, 1971. Yağlı tohum küspelerinde dietil eter ile ekstrakte edilebilen yağın tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE-1315**, 1974. Et-kemik unu . Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE- 889**, 1975. Yemeklik susam yağı. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE-311**, 1976. Susam tohumu. Türk standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE-2589**, 1977.Tahin. Türk standartları Enstitüsü, Ankara.
- Ünsal, M., Nas, S.**, 1995. Tahin helvasının ve yağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri. *Gıda*, 20(1):43-47.
- Vitali, A.A., Rao, M.A.**, 1984. Flow properties of low-pulp concentrated orange juice: serum viscosity and effect of pulp content. *Journal of Food Science*, 49:876-881.

ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında Ankara'da doğdu. Orta öğrenimini İzmir Karataş Lisesi'nde, lise öğrenimini Eskişehir Fatih Fen Lisesi'nde tamamladı. 1997 yılında İTÜ Gıda Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 1997-1998 yılları arasında Pamir Gıda ve Tatlıses Şirketler Grubu'nda Gıda Mühendisi olarak çalıştı. 1998 yılında İTÜ Gıda Mühendisliği Bölümü Gıda Teknolojisi Ana Bilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak atandı. Aynı yıl yüksek lisans programına başlamıştır.

