

**BOZANIN REOLOJİK
KARAKTERİZASYONU**

**Y.Ü. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DİŞİ YERİNE KURULU MERKEZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Gıda Müh. Metin YAVUZ
506981146**

104060

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11 Haziran 2001
Tezin Savunulduğu Tarih : 27 Haziran 2001**

Tez Danışmanı : Doç.Dr. M. Mehmet AK

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Y. Onur DEVRES

Doç.Dr. Seniha GÜNER

HAZİRAN 2001

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının daha ortaya çıkış aşamasından beri çok kıymetli tavsiyeleri ve yönlendirmeleri ile gelişimini sağlayan, zamanını ve yardımlarını hiç bir zaman esirgemeyen değerli bilim adamı, sayın hocam Doç. Dr. Mehmet AK'a teşekkürü bir borç bilirim. Çalışma sırasında manen desteklerini hissettiğim aileme, yardımlarından dolayı başta Esra ÇAPANOĞLU, Gökhan BİNGÖL, Filiz LOKUMCU, Ebru FIRATLIGİL ve Funda KARBANCIOĞLU olmak üzere sevgili araştırma görevlisi arkadaşlarıma, tezimin yazımında ve hazırlanmasında emeği geçen değerli arkadaşlarım Murat KÜÇÜK ve Oral KILIÇ'a teşekkür ederim. Ayrıca numune temini sırasında verdiği destekten ötürü, Vefa Gıda Ltd. Şirketi sahibi sayın Sedat VEFA'ya minnetlerimi sunarım.

Haziran 2001

Metin YAVUZ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
2. BOZA	2
2.1. Bozanın Tanımı	2
2.2. Bozanın Tarihçesi	2
2.3. Bozanın Üretimi	2
2.4. Bozanın Kimyasal, Mikrobiyolojik ve Probiyotik Özellikleri	4
2.4.1. Bozanın Kimyasal Özellikleri	4
2.4.2. Bozanın Mikrobiyolojik ve Probiyotik Özellikleri	5
3. REOLOJİ	9
3.1. Reolojik Davranışlar	11
3.1.1. Newtonyen Davranış	11
3.1.2. Newtonyen Dışı Davranışlar	11
3.1.2.1. Zamandan Bağımsız Newtonyen Dışı Davranışlar	11
3.1.2.2. Zamana Bağlı Newtonyen Dışı Davranışlar	15
3.2. Tiksotropik Davranış ve Modellenmesi	16
3.2.1. Tiksotropik Davranış	16
3.2.2. Tiksotropik Davranışın Modellenmesi	18
3.2.3. Tiksotropik Modelleme Örnekleri	21
3.2.4. Yıkılma Stresi	22
3.2.5. Bozayla İlgili Reolojik Çalışmalar	25
4. MATERYAL VE METOD	26
4.1. Materyal	26
4.2. Metod	26
4.2.1. Kimyasal Analizler	26
4.2.1.1. Katı Madde Tayini	26
4.2.1.2. Protein Tayini	26
4.2.1.3. Kül Tayini	26
4.2.1.4. Etanol Tayini	27

4.2.1.5. Toplam Asitlik Tayini	27
4.2.1.6. pH Tayini	27
4.2.1.7. İndirgen ve Toplam Şeker Tayini	27
4.2.1.8. Su Aktivitesi Tayini	27
4.2.3. Bozanın Reolojik Özelliklerinin Belirlenmesi	27
4.2.4. Bozanın Reolojik Özelliklerini Etkileyen Faktörler	29
4.2.4.1. Raf Ömrü Boyunca Bekletmenin Reolojik Özelliklere Etkisi	29
4.2.4.2. Sıcaklığın Reolojik Özelliklere Etkisi	29
4.2.4.3. Kayma Zamanının Reolojik Özelliklere Etkisi	29
4.2.5. Uygulanan Reolojik Ölçümler	29
4.2.5.1. Kayma Zamanı Ölçümleri	29
4.2.5.2. Kontrollü Kayma Hızı Ölçümleri	30
4.2.5.3. Kontrollü Kayma Stresi Ölçümleri	30
4.2.6. İstatistik Analizleri	30
4.2.7. Sonuçların Gösterilmesi	31
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	32
5.1. Kimyasal Analiz Sonuçları	32
5.2. Reolojik Modelleme	32
5.2.1. Bozanın Reolojik Davranışı	32
5.2.2. Bozanın Yıkılma Stresi	35
5.2.3. Denge Viskoziteleri	36
5.2.4. Akışın Sıfır Anındaki ve Denge Durumundaki Kayma Stresleri	39
5.2.5. Denge Yapısal Parametreleri	44
5.2.6. Kıvam ve Davranış İndeksleri	45
5.2.7. a_1 ve k_1 Katsayıları	47
5.2.8. Sonuç Model	52
5.2.9. Model Parametrelerinin Fermantasyon Süreciyle İlişkisi	55
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	58
KAYNAKLAR	59
EK A	62
ÖZGEÇMİŞ	64

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Bozanın kimyasal bileşimi.....	5
Tablo 2.2. Bozanın mikroflorası.....	6
Tablo 2.3. Probiyotik bakterilerin etkileri ve etki mekanizmaları.....	7
Tablo 3.1. Newtonyen ve zamandan bağımsız Newtonyen dışı davranışlar için üslü yasa katsayıları.....	15
Tablo 3.2. Tiu ve Boger modeli kullanılarak yapılan çalışmaların sonuçları.....	21
Tablo 3.3. Yıkılma stresi hesaplama yöntemleri.....	23
Tablo 3.4. Bazı akışkanların yıkılma stresi değerleri.....	24
Tablo 4.1. Reolojik ölçümlerde kullanılan sensörün boyutları.....	27
Tablo 4.2. Sensör ölçüm aralıkları.....	28
Tablo 5.1. Bozanın kimyasal bileşimi.....	32
Tablo 5.2. Hesaplanan yıkılma stresi değerleri.....	36
Tablo 5.3. Boza için elde edilen kıvam indeksi değerleri ve korelasyon katsayıları.....	46
Tablo 5.4. Davranış indeksi ANOVA tablosu.....	48
Tablo 5.5. k_I katsayısı için ANOVA tablosu.....	51
Tablo 5.6. Hesaplanan k_I katsayıları.....	52
Tablo 5.7. Raf ömrü içerisinde bozanın yapısında ortaya çıkan değişimler....	56
Tablo A.1. İkinci paralel deneyleri için hesaplanan yıkılma stresi değerleri...	62
Tablo A.2. İkinci paralel deneyleri için hesaplanan kıvam indeksi değerleri ve korelasyon katsayıları.....	62
Tablo A.3. İkinci paralel deneyleri için hesaplanan k_I ve λ_e değerleri.....	63

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 :	Boza üretimi akım şeması.....	3
Şekil 3.1 :	Viskoz davranış çeşitlerinin sınıflandırılması.....	10
Şekil 3.2 :	Newtonyen davranışa ait akış eğrisi.....	11
Şekil 3.3 :	Newtonyen davranışa ait viskozite eğrisi	11
Şekil 3.4 :	Psödoplastik davranışa ait akış eğrisi	12
Şekil 3.5 :	Psödoplastik davranışa ait görünen viskozite eğrisi	12
Şekil 3.6 :	Dilatant davranışa ait akış eğrisi	13
Şekil 3.7 :	Dilatant davranışa ait görünen viskozite eğrisi	13
Şekil 3.8 :	Bingham plastik davranışa ait akış eğrisi	14
Şekil 3.9 :	Bingham plastik davranışa ait görünen viskozite eğrisi.....	14
Şekil 3.10 :	Herschel-Bulkley davranışa ait akış eğrisi	15
Şekil 3.11 :	Herschel-Bulkley davranışa ait görünen viskozite eğrisi.....	15
Şekil 3.12 :	Zamana bağlı reolojik davranışlar için viskozite eğrileri	16
Şekil 3.13 :	Tiksotropik bir malzeme için akış eğrisi	17
Şekil 3.14 :	Yıkılma stresinin hesaplandığı deformasyon-stres grafiği.....	24
Şekil 4.1 :	Silindirik sensörün şekli ve sıcaklığın sabit kalmasını sağlayan ceket sistemi.....	28
Şekil 5.1 :	Bozanın 20 °C'deki akış eğrisi.....	33
Şekil 5.2 :	Bozanın 20 °C'deki viskozite eğrisi ($\dot{\gamma} = 150 \text{ s}^{-1}$).....	34
Şekil 5.3 :	Zamana bağlılığın kaybolması.....	34
Şekil 5.4 :	Yıkılma stresi varlığının doğrulanması (20 °C).....	35
Şekil 5.5 :	Deneysel ve hesaplanan viskozite değerlerinin karşılaştırılması (20 °C, $\dot{\gamma} = 150 \text{ s}^{-1}$).....	37
Şekil 5.6 :	$\ln(\eta - \eta_e) - t$ grafiği (20 °C, $\dot{\gamma} = 150 \text{ s}^{-1}$).....	38
Şekil 5.7 :	Birinci gün için denge viskozitesi - kayma hızı eğrileri.....	38
Şekil 5.8 :	Dördüncü gün için denge viskozitesi - kayma hızı eğrileri.....	39
Şekil 5.9 :	Yedinci gün için denge viskozitesi - kayma hızı eğrileri.....	39
Şekil 5.10 :	Birinci gün τ_0 eğrileri.....	40
Şekil 5.11 :	Dördüncü gün τ_0 eğrileri.....	41
Şekil 5.12 :	Yedinci gün τ_0 eğrileri.....	41
Şekil 5.13 :	Birinci gün τ_e eğrileri.....	42
Şekil 5.14 :	Dördüncü gün τ_e eğrileri.....	42
Şekil 5.15 :	Yedinci gün τ_e eğrileri.....	43
Şekil 5.16 :	$t = 0$ ve $t \rightarrow \infty$ için kayma stresi - kayma hızı grafiği (1. gün).	43
Şekil 5.17 :	Birinci gün için kayma hızı-denge yapısal parametresi eğrileri.....	44
Şekil 5.18 :	Dördüncü gün için kayma hızı-denge yapısal parametresi eğrileri.....	45
Şekil 5.19 :	Yedinci gün için kayma hızı-denge yapısal parametresi eğrileri.....	45

Şekil 5.20 :	$\log (\tau_0 - \tau_y) - \log \dot{\gamma}$ grafiği	46
Şekil 5.21 :	Davranış indeksi değerleri.....	47
Şekil 5.22 :	$1/\eta - \eta_e - t$ grafiği ($\dot{\gamma} = 150 \text{ s}^{-1}$).....	49
Şekil 5.23 :	İlk 20 dakika için $1/\eta - \eta_e - t$ grafiği ($\dot{\gamma} = 150 \text{ s}^{-1}$).....	49
Şekil 5.24 :	Birinci gün a_I eğrileri.....	50
Şekil 5.25 :	Dördüncü gün a_I eğrileri.....	50
Şekil 5.26 :	Yedinci gün a_I eğrileri.....	51
Şekil 5.27 :	Kayma hızı ile a_I ve k_I katsayıları arasındaki ilişki.....	52
Şekil 5.28 :	Deneysel ve model yardımıyla elde edilen stres değerlerinin karşılaştırılması.....	53
Şekil 5.29 :	Deneysel ve model yardımıyla elde edilen stres değerlerinin karşılaştırılması.....	54
Şekil 5.30 :	Deneysel ve teorik akış eğrilerinin karşılaştırılması (1.gün – 20 °C).....	55
Şekil 5.31 :	Deneysel ve teorik akış eğrilerinin karşılaştırılması (4.gün – 20 °C).....	55
Şekil 5.32 :	Kıvam indeksinin günle değişimi.....	56
Şekil 5.33 :	Yıkılma stresinin günle değişimi.....	57



SEMBOL LİSTESİ

A	: Denge vizkozite değerini bulmak için üstel değişim eğrisi sabiti
a_1	: Belirli bir kayma hızında, $(1/\eta-\eta_e)$ grafiğindeki elde edilen doğrunun eğimi
B	: Denge vizkozite değerini bulmak için üstel zaman sabiti
K	: Kıvam indeksi (Pa.s^n)
k_1	: Hız sabiti
N	: Akış davranış indeksi (boyutsuz)
η_{app}	: Görülen viskozite (Pa.s)
η_e	: Denge halindeki viskozite değeri (Pa.s)
η_0	: Akışın başlangıcındaki viskozite değeri (Pa.s)
τ	: Kayma stresi (Pa)
τ_e	: Denge durumundaki kayma stresi (Pa)
τ_0	: Akışın sıfır anındaki kayma stresi (Pa)
τ_y	: Yıkılma stresi (Pa)
t	: Zaman (s)
γ	: Kayma hızı (s^{-1})
λ	: Zamana bağlı yapısal parametre değeri
λ_e	: Denge yapısal parametre değeri

BOZANIN REOLOJİK KARAKTERİZASYONU

ÖZET

Bozanın reolojik özelliklerine sıcaklık, kayma hızı, kayma zamanı ve depolama süresi gibi teknolojik faktörlerin etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada, boza, yürütülen deney şartları altında tiksotropik bir akışkan olarak belirlenmiştir.

Gerçekleştirilen kimyasal analizler sonucunda bozanın katı madde içeriğinin % 23,4 olduğu saptanmıştır. Bozanın kimyasal kompozisyonu ise, % 16,6 toplam şeker, % 1,38 protein, % 0,42 etanol ve % 0,33 kül olarak bulunmuştur. Diğer yandan bozanın toplam asitliğinin % 0,92 ve pH'sının 3,8 olduğu belirlenmiştir.

5-30 °C sıcaklık ve 0,13-300 s⁻¹ kayma hızı aralığında yapılan reolojik ölçümler sonucunda bozanın, yıkılma stresine sahip tiksotropik bir akışkan olduğu saptanmış ve Tiu ve Boger modeli kullanılarak bozayı reolojik olarak temsil eden bir denklem oluşturulmuştur. Bu modelde parametre olarak yer alan yıkılma stresi değerlerinin 11,2 ve 33,7 Pa arasında değişirken, denge yapısal parametresinin birinci paralel ölçümleri için 0,65 değerini, ikinci paralel ölçümleri için ise 0,72 değerini aldığı bulunmuştur. Yapısal parametrenin zamanla değişim hız sabiti birinci paralel için 0,00697 olarak bulunmuş, ikinci paralelde ise bu değer 0,00820 olarak belirlenmiştir. Üslü yasa katsayılarından davranış indeksi, sıcaklık ve gün etkilerinden bağımsız olduğu saptanıp 0,370 olarak hesaplanmış, kıvam indeksinin ise 6,9-32,4 Pa.sⁿ arasında değiştiği belirlenmiştir.

Sonuç olarak elde edilen denklem, bozanın değişik koşullardaki viskozite eğrilerini ortalama % 10 hata ile temsil ederken, akış eğrilerinde ise aynı derecede temsil yeterliliğine sahip bulunmamıştır.

Farklı üretim partilerinden alınan numunelerle yürütülen deney sonuçlarının birbirinden oldukça farklı çıkması, bozanın standart şekilde üretilmediği kanaatini güçlendirmiştir.

RHEOLOGICAL CHARACTERIZATION OF BOZA

SUMMARY

Boza is determined to behave as a thixotropic fluid in this study, under the effects of such technological parameters as shear rate, temperature, shear time and storage time.

Chemical composition of boza used in this work was found to be 0,33 % ash, 16,6 % total sugar, 1,38 % protein and 0,42 % ethanol, where dry matter content for boza was 23,4 %. Besides total acidity and pH of boza was found to be 0,92 % and 3,8 respectively.

Within the temperature range of 5-30 °C and shear rate range of 0,13-300 s⁻¹, boza exhibited thixotropic behavior with a yield stress, which was characterized by using Tiu and Boger model. The yield stress of boza varied between 11,2 and 33,7 Pa. Equilibrium structural parameters and the rate constant for the decay of the structural parameter were found to be 0,65 and 0,00697 for the first set of experiments and 0,72 and 0,00820 for the second, respectively. Behavior index for boza was determined to be independent from the effects of temperature and day, resulting in a single mean value of 0,370 where consistency index varied within the range of 6,9-32,4 Pa.sⁿ.

The final equation established, predicted the viscosity curves of boza under the effects of varying parameters, with an average error of 10 %, but was not able to represent time dependent rheological behavior of boza so accurately on the flow curves.

Differing results obtained from the experiments which were carried out with different boza production parties strengthened the opinion that boza is not produced in a standard way.

1. GİRİŞ

Fermente gıdalar, değişik hammaddelerin bazı ön işlemlerden geçirilmesinden sonra belirli sıcaklık seviyelerinde belirli mikroorganizmaların yardımıyla daha dayanıklı yeni ürünlere dönüşmesi sonucu meydana gelirler. Bu ürünlerden birisi de eski bir Türk içeceği olan bozadır [1].

Boza, darı, mısır ve pirinç gibi hububatların öğütme, eleme, su ile kaynatma, süzme gibi işlemlerden geçirilmesiyle elde edilen yüksek kıvamlı sıvının, şeker ilavesinden sonra, laktik asit ve alkol fermentasyonuna tabi tutulması sonucu hazırlanan az veya çok ekşimsi bir içecek olarak tanımlanmaktadır [2].

Geçmiş M.Ö. 6000'li yıllara dayanan bozayla ilgili en eski dokümanlar Mezopotamya'da bulunmuştur. Günümüzde ise, Kırım, Kafkaslar, Türkistan, bütün Balkanlar ve bazı Arap ülkelerinde tüketilmektedir [1, 3].

Oldukça eski bir tarihe sahip olmakla birlikte boza, sınırlı sayıda bilimsel araştırmanın konusu olabilmıştır. Bozanın reolojik özellikleri ise şimdiye kadar detaylı olarak hiçbir araştırmacı tarafından ele alınmamıştır.

Türklerin geleneksel içeceği durumundaki bozanın reolojik özelliklerinin belirlenmesi, üretim, ürün ve kalite geliştirme işlemlerine ve ekipman dizayn ve seçimi işlemlerine büyük kolaylık getirecektir.

Bu çalışmada, 5-30 °C sıcaklık ve 0,13-300 s⁻¹ kayma hızı aralığında raf ömrü süresince bozanın reolojik özelliklerinin belirlenmesi ve bozanın reolojik açıdan modellenmesi, belirli periyotlarla fermentasyonun ilerleyişi ve bunun reolojik özelliklerde meydana getireceği değişimlerin saptanması amaçlanmıştır.

2. BOZA

2.1. Bozanın Tanımı

Kökü Farsça'da darı anlamına gelen “buze” sözcüğüne dayanan boza, yabancı maddelerinden temizlenmiş darı, pirinç, buğday, mısır vb. hububatın kırma veya unlarından biri veya birkaçına içme suyu katılarak, pişirilmesi ve beyaz şeker ilave edilerek, tekniğine uygun olarak alkol ve laktik asit fermentasyonlarına tabi tutulması ile hazırlanan bir mamul olarak tanımlanmaktadır [1, 4].

2.2. Bozanın Tarihçesi

Yaklaşık 80 yüzyıldır Asya, Mezopotamya, Afrika ve Anadolu'da tüketilmekte olan bozayla ilgili ilk yazılı belgeler Mezopotamya'da bulunmuş ise de bugün boza, dünyada özellikle Türklerin bulundukları veya Türk hakimiyetinde kalmış ülkelerde aynı veya çok yakın bir isimle ifade edilmekte ve tüketilmektedir [1, 3]. Boza sözcüğü, Romence'ye “bozan”, Yunanca'ya “bozas”, İngilizce'ye “boza” veya “bosa”, Rusça'ya, Leh ve Çek dillerine “buza”, Fransızca'ya “bousa” veya “bosan”, Almanca'ya “busa”, İspanyolca, Bulgarca, Sırpça, Hırvatça, Macarca ve Arnavutça'ya aynen “boza” olarak geçmiştir [3].

2.3. Bozanın Üretimi

Türkiye'de genellikle darıdan yapılan boza diğer ülkelerde farklı tahıllar kullanılarak da üretilmektedir. Kırım'da pirinç ve darı, Tataristan'da darı, buğday ve yulaf unu, Kafkasya'da arpa maltı katılarak pişirilmiş ve kızartılmış ekmek, Yugoslavya'da mısır boza hammaddesi olarak kullanılmaktadır. Hatta yer yer arpa, çavdar, buğday, karabuğday gibi tahıllar ve unları da boza üretimine girmektedir [3].

Boza üretimi akım şeması Şekil 2.1'de verilmiştir. Buna göre üretim basamakları şu şekilde özetlenebilir:

Hammaddenin hazırlanması: Kullanılan hammadde, taş ve toprak gibi yabancı maddelerden ayrıldıktan sonra değirmenden geçirilerek irmik haline getirilir.

Hammadde Hazırlama



Kaynatma



Soğutma



Su İlavesi ve Süzme



Şeker Ekleme



Fermantasyon

Şekil 2.1. Boza üretimi akım şeması [1]

Kaynatma: Elde edilen irmik, kaynama sıcaklığındaki suya 1/6 oranında ilave edilerek yaklaşık 2 saat boyunca ısıtılarak karıştırılır. Böylece hammaddenin yapısında bulunan çözünebilir maddeler suya geçerken ısıtma işlemi neticesinde hammaddenin mikrobiyal yükü de azaltılmış olur.

Soğutma: Isıtma işleminden jel halinde alınan ara ürün, soğutma teknelerinde 2-12 saat arasında bırakılarak soğutulur.

Su İlavesi ve Süzme: Ara ürün 2,5 katı oranında suyla karıştırılarak seyreltilir ve daha sonra süzülür. Süzülen sıvıya “şekersiz ham boza” adı verilir.

Şeker Ekleme: Fermantasyon işlemini başlatmak için şekersiz ham bozaya % 20 oranında şeker eklenerek karıştırılır.

Fermantasyon: Bu basamakta starter kültür olarak, bir önceki üretimden kalan boza % 2-3 oranında kullanılır. Fermantasyon işlemi 15-25 °C’da 1 gün içinde tamamlanıp boza tüketime hazır hale getirilir [1, 3, 5, 6].

2.4. Bozanın Kimyasal, Mikrobiyolojik ve Probiyotik Özellikleri

2.4.1. Bozanın Kimyasal Özellikleri

Son yıllarda minimum işlem görmüş, kimyasal koruyucu içermeyen, doğala özdeş gıdalara karşı artan tüketici istekleri, alternatif gıda muhafaza yöntemlerinin önemini artırmıştır. Laktik asit bakterilerinin önemli rol oynadığı fermantasyon işlemiyle boza, hızla anaerobik, asidik, karbondioksit ile doymuş ve alkollü bir ortama dönüşür. Bu koşulların kombinasyonu doğal olarak gıda bozulmalarına ve zehirlenmelerine neden olabilecek mikroorganizmaların inhibisyonunu sağlamaktadır [7].

Bozanın oluşumunda başlıca iki fermantasyon birlikte gerçekleşmektedir. Bunlar alkol ve laktik asit fermantasyonlarıdır. Etil alkol, boza florasındaki mayaların faaliyeti sonucu meydana gelirken, laktik asit ise laktik asit bakterilerinin ürünüdür. Fermantasyon sırasında meydana gelen karbondioksit ve laktik asit bozaya ferahlatıcı bir etki kazandırmaktadır [3, 1, 6].

Tablo 2.1’de çeşitli araştırmalardan elde edilen bozanın bileşimi ile ilgili sonuçlar verilmiştir.

Tablo 2.1. Bozanın kimyasal bileşimi

Bileşen	Topal ve Yazıcıoğlu (1986)	Birer (1987)	Pasin (1985)	TS (1992)
Kuru madde (%)	26,30	23,65	22,90	20 (en az)
İndirgen şeker (%)	6,20	9,16	12,60	-
Toplam şeker (%)	15,10	11,60	-	10 (en az)
Toplam azot (%)	1,23	0,88	0,10	-
Kül (%)	0,15	0,16	0,12	0,20 (en çok)
Toplam asit (%)	0,30-0,50	-	0,83	0,20-1,00
Alkol (%)	İz-0,60	-	4,99	2 (en çok)
pH	-	-	3,50	-

Geçmişte soğukta saklama sistemleri olmadığı için, bozadaki asetik asit bakterilerinin aşırı faaliyetleri önlenemediğinden, bozanın kış aylarında üretilmesi bir gelenek halini almıştır [6]. Bozada bulunan mikroorganizmaların faaliyetleri bir önlem almadıkça devam etmektedir, bu da oda şartlarındaki bozanın raf ömrünün 4-7 gün ile sınırlanmasına yol açmaktadır.

2.4.2. Bozanın Mikrobiyolojik ve Probiyotik Özellikleri

Fermantasyondan sorumlu olan bakterilerin çoğunluğunun 11 farklı *Lactobacillus* türü oldukları belirlenmiştir. *Lactobacillus* türü bakteriler probiyotik özellikleriyle

bilinmektedirler ve bağırsak mikroflorasının metabolik aktivitesi ve bağışıklık sistemi üzerinde olumlu etkiye sahiptirler. Ayrıca mutajenik aktivitelere ve tümör faaliyetlerine karşı koruyucu durumundadırlar. Bu da bozayı sadece besleyici değil aynı zamanda sağlıklı bir ürün durumuna getirmektedir [8].

Bozanın mikroflorasını belirlemek üzere çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmaların sonuçları Tablo 2.2' de verilmektedir.

Tablo 2.2. Bozanın mikroflorası

Araştırma	Saptanan mikroorganizmalar
Pasin (1985)	<i>Saccharomyces carlsbergensis</i> , <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Candida mycoderma</i> , <i>Torulopsis candida</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Streptococcus</i> spp., <i>Micrococcus varians</i> , <i>Bacillus cereus</i>
Birer (1987)	<i>Saccharomyces carlsbergensis</i> Hansen, <i>Saccharomyces cerevisiae</i> Hansen, <i>Streptococcus</i> spp., <i>Micrococcus varians</i> migula, <i>Lactobacillus</i> spp.
Hancıoğlu ve Karapınar (1996)	<i>Saccharomyces uvarum</i> , <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Leuconostoc paramesenteroides</i> , <i>Lactobacillus sanfrancisco</i> , <i>Leucumostoc mesenteroides</i> subsp. <i>Mesenteroides</i> , <i>Lactobacillus coryniformis</i> , <i>Lactobacillus confusus</i> , <i>Leucumostoc mesenteroides</i> subsp. <i>dextranicum</i> , <i>Lactobacillus fermentum</i> , <i>Leucumostoc oenos</i>

Probiyotik ürünler, insan sağlığı üzerinde olumlu etkiye sahip gıda çeşitleri olarak tanınırken, probiyotikler ise bahsi geçen etkiyi oluşturan canlı mikrobiyal gıda bileşenleri olarak tanımlanmaktadır [9].

Probiyotik konsepti ilk olarak, Bulgar köylülerinin uzun ve sağlıklı yaşamlarını fermente süt ürünlerini tüketmelerine bağlayan Nobel ödüllü Rus araştırmacı Elie Metchnikoff tarafından ortaya atılmıştır. Metchnikoff, *Lactobacillus* türü bakterilerin bağırsak florasını olumlu yönde etkileyerek toksik mikrobiyal faaliyetleri azalttığını ileri sürmüştür. O tarihten bu yana yürütülen araştırmalarda, probiyotik bakterilerin

çeşitli mekanizmalar aracılığıyla insan vücudu üzerinde sağlık etkilerinin bulunduğu belirlenmiştir. Bu etkilerden bazıları ve mekanizmaları Tablo 2.3'te verilmiştir.

Tablo 2.3. Probiyotik bakterilerin etkileri ve etki mekanizmaları [9]

Sağlık Etkisi	Öngörülen mekanizma
Laktoz sindirimi	• Laktozun bakteriyel laktaz vasıtasıyla sindirimi
Enterik patojenlere karşı direnç	• Bağırsak ortamında pH, kısa zincirli yağ asiti ve bakteriosin üretimiyle patojenlerin gelişimi için uygun olmayan şartların oluşumu • Bağırsak mukozasına yapışma suretiyle patojenlerin yapışmasını engelleme
Bağırsak kanseri riskini azaltma	• Mutajen bağlama • Kanserojen inaktivasyonu • Kanserojen oluşumuna yol açan mikrobiyal enzimlerin inhibisyonu
Bağışıklık sistemini güçlendirme	• Enfeksiyonlara ve tümör oluşumuna karşı savunmayı teşvik etme
Hipertansiyonu engelleme	• Hipertansiyona yol açan enzimleri, peptidaz enzimi vasıtasıyla süt proteinlerinin tripeptidlere dönüşümünü sağlayarak inhibe etme

Probiyotik özellikleriyle bilinen bir bakteri türü olup boza mikrobiyotasında da bulunan *Lactobacillus fermentum*, bozayı probiyotik gıda kategorisine sokmaktadır [9].

Mikrobiyal yükü oldukça fazla olan bozada fermentasyon işlemi başlamadan önce sırasıyla $7,6.10^6$ ve $2,25.10^5$ olan laktik asit bakterileri ve maya popülasyonları, 24 saatlik fermentasyon işleminden sonra $4,6.10^8$ ve $8,1.10^6$ 'ya çıkmaktadır [5]. Doğal olarak bu kadar yüksek bir mikroorganizma yoğunluğuna sahip olan bozada şartlar uygun olduğu sürece devam eden fermentasyon neticesinde, üründe istenmeyen kimyasal bileşikler meydana gelmekte, asitlik yükselmekte ve dolayısıyla bozanın raf ömrü 6-7 günün üzerine çıkamamaktadır. Fiziksel, kimyasal ve probiyotik özelliklerini değiştirmeden uygulanacak bir muhafaza yöntemi, kısa raf ömrü nedeniyle üretildiği bölgenin dışına sunulamayan bozanın daha geniş pazarlara ulaşmasını sağlayacaktır.



3. REOLOJİ

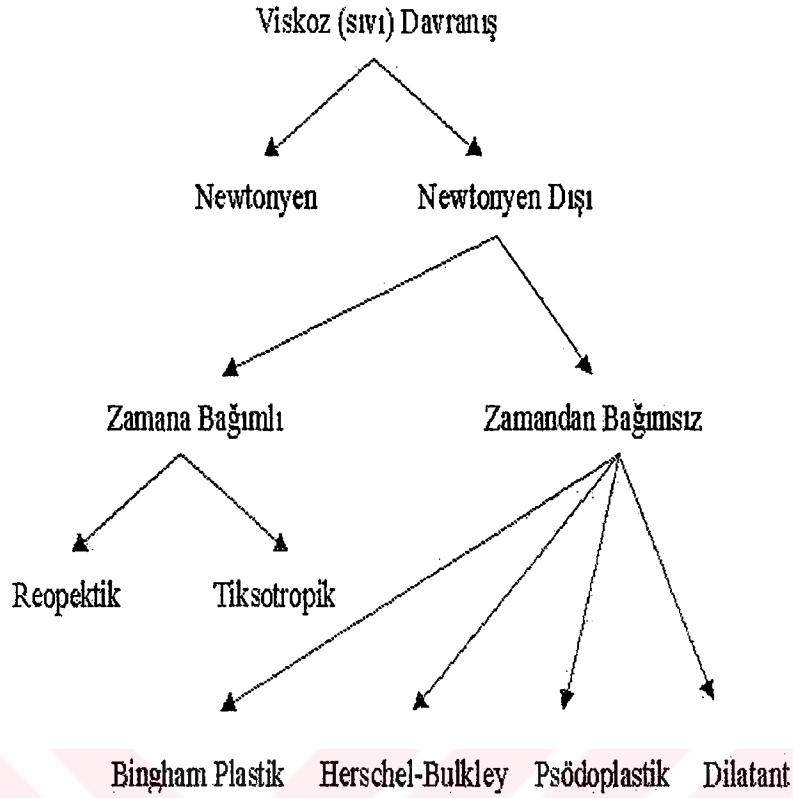
Reoloji klasik olarak “maddelerin deformasyonu ve akışı ile ilgilenen bilim dalı” şeklinde tanımlanır. Geniş anlamda düşünüldüğünde reoloji, dış kuvvetlerin etkisi altında bir cisimde meydana gelen her türlü deformasyon ve akış ile ilgilenir. Deformasyon ve akış, gıda maddelerinin üretiminden tüketimine kadar neredeyse her aşamada ve farklı biçimlerde yer almaktadır [10].

Gıda endüstrisinde reolojik verilere çok çeşitli işlemlerde ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir [10, 11]:

- Boru hatlarında pompa, ekstruder, karıştırıcı, kaplama makinası, ısı değiştirici ve homojenizatör gibi ekipmanların veya bu ekipmanlarla ilgili proseslerin tasarımı için gerekli olan mühendislik hesaplamaları
- Ürün geliştirmede bileşen etkilerinin belirlenmesi
- Ara ve son ürün kalite kontrolü
- Raf ömrü testleri
- Duyusal verilerle ilişkili olarak gıda yapısının değerlendirilmesi
- Reolojik esaslı bileşen denklemlerinin analizi

3.1. Reolojik Davranışlar

Reolojik davranışlar, sıcaklık, kayma hızı, kayma hızının uygulanma süresi, su aktivitesi, basınç, konsantrasyon, pH ve başka faktörlerden önemli ölçüde etkilenecek ideal sıvıdan ideal katıya kadar geniş bir yelpaze oluştururlar. Ancak reolojik davranışları sınıflandırma Şekil 3.1’de gösterildiği gibi, sadece kayma hızı ve zamanın etkisine göre yapılmaktadır. Ancak bir malzeme, şartlara bağlı olarak farklı sınıflara giren davranışlar gösterebilir. Buna örnek olarak elma suyu verilebilir. Seyreltik elma suyu Newtonyen davranış gösterirken, konsantre elma suyu kayma hızıyla zayıflayan özellik gösterir. Zaten bu sebeple Şekil 3.1’de malzemeler değil, reolojik davranışlar sınıflandırılmıştır [12].



Şekil 3.1. Viskoz davranış çeşitlerinin sınıflandırılması [12]

Şekil 3.1’de görüldüğü gibi viskoz davranışlar kayma hızına bağlı olup olmamasına göre 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 sınıflandırılmaktadır [12].

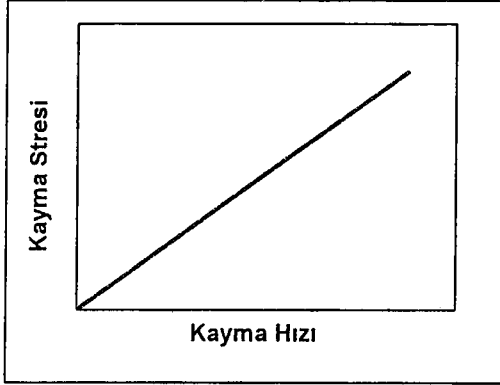
Reolojik davranışlar sınıflandırılırken genellikle, kayma hızına karşılık çizilen kayma stresi grafiği üzerinden gidilir ve elde edilen akış eğrisi çeşitli fonksiyonel bağıntılarla matematiksel olarak modellenir [10].

3.1.1. Newtonyen Davranış

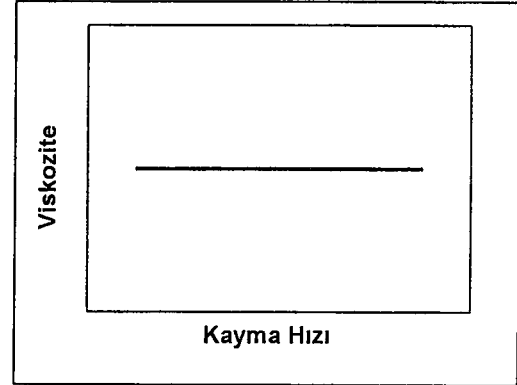
Reolojik davranışlar arasında en basit olanı, kayma stresinin sadece kayma hızına bağlı olduğu Newtonyen davranıştır [10]. Bu davranış şu şekilde ifade edilir:

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

Bu denklemde τ kayma stresini, μ dinamik viskoziteyi ve $\dot{\gamma}$ kayma hızını göstermektedir [12]. Newtonyen davranışa ait akış ve viskozite eğrileri tipik olarak Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'teki gibidir.



Şekil 3.2. Newtonyen davranışa ait akış eğrisi [10]



Şekil 3.3. Newtonyen davranışa ait viskozite eğrisi [10]

Verilen akış eğrisinden de görüleceği gibi (Şekil 3.2) kayma stresi-kayma hızı grafiğinde doğru eğimi sabit bir değer olarak viskoziteye eşit olmaktadır.

Newtonyen akış özelliği gösteren maddelere örnek olarak, su, bitkisel yağlar, bal, gliserol ve şeker çözeltileri verilebilir [10, 11].

3.1.2. Newtonyen Dışı Davranışlar

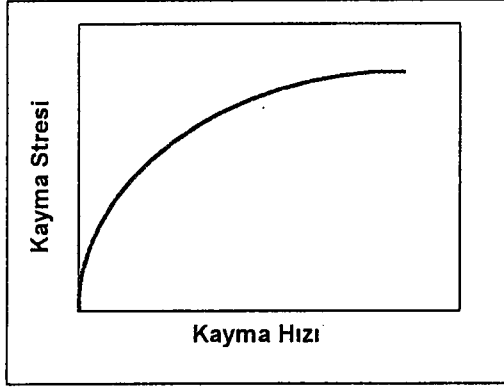
Akış özellikleri, kayma hızı ve uygulanma süresine bağlı olan akışkanlara Newtonyen dışı akışkanlar denir. Bu tip akışkanlar için sabit bir viskozite (dinamik viskozite) değerinden söz etmek mümkün değildir. Bu nedenle Newtonyen dışı akışkanların belli bir kayma hızında “görünen viskozite”lerinden (*apparent viscosity*) bahsedilir. Görünen viskozite, bir deformasyon işlemi sırasındaki anlık viskoziteyi tanımlar ve kayma stresinin kayma hızına bölünmesiyle elde edilir [10]:

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

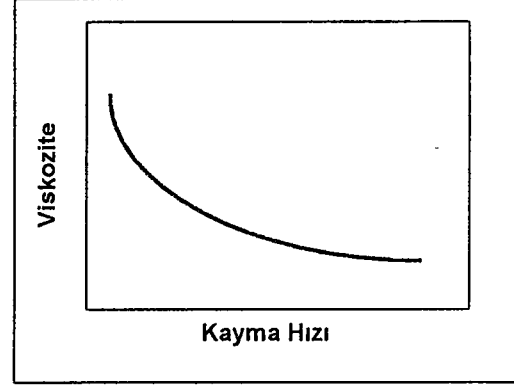
3.1.2.1. Zamandan Bağımsız Newtonyen Dışı Davranışlar

Zamandan bağımsız davranışlarda kayma stresi, kayma hızının uygulanma süresine bağlı olmayıp, ancak kayma hızının fonksiyonu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu tür davranış çeşitleri aşağıda verilmiştir.

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 davranışa ait akış eğrisi [10]



Şekil 3.5. Psödoplastik davranışa ait görünen viskozite eğrisi [10]

Psödoplastik davranış üslü yasa (*power-law*) ile modellenmektedir.

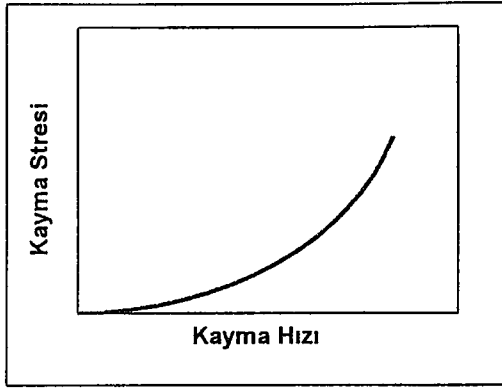
$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad (0 < n < 1) \quad (3.3)$$

Bu denklemde K kıvam indeksini (Pa.s^n) ve n akış davranış indeksini (boyutsuz) göstermektedir. Akış davranış indeksi Newtonyen davranıştan sapmayı gösterir ve akışkanlar, n değerine göre şu şekilde sınıflandırılabilir [10, 14]:

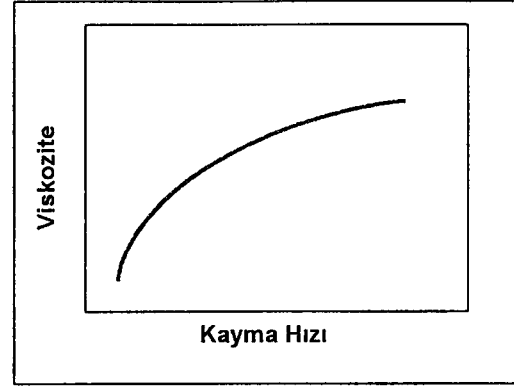
- $n = 1$, Newtonyen
- $n < 1$, psödoplastik
- $n > 1$, dilatant

Psödoplastik davranış gösteren akışkanlara örnek olarak tahin, bazı geleneksel Türk çorbaları, elma sosu ve portakal suyu konsantresi verilebilir [10, 11, 12].

Dilatant davranış: Dilatant (*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 davranışa ait akış eğrisi [10]



Şekil 3.7. Dilatant davranışa ait görünen viskozite eğrisi [10]

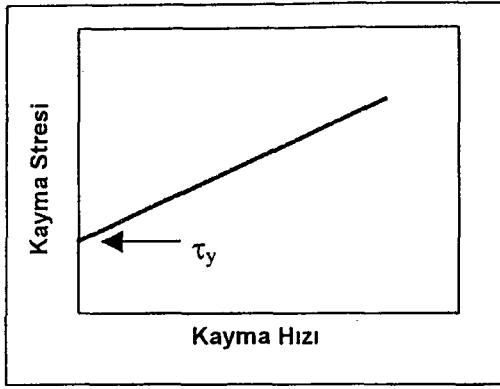
Şekil 3.6'dan görüldüğü gibi dilatant akışkanlarda kayma hızı arttıkça kayma stresi de artmaktadır. Şekil 3.7'de de kayma hızı arttıkça görünen viskozitenin azaldığı görülmektedir. Dilatant davranış da üslü yasa ile modellenmektedir.

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

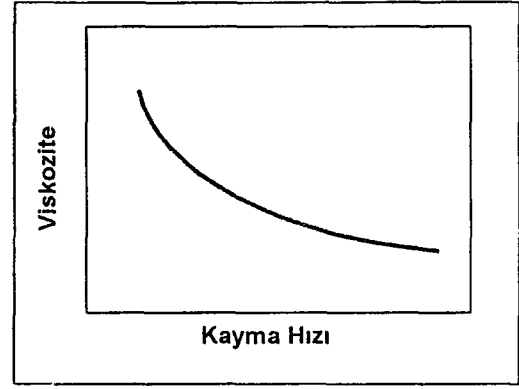
Kayma hızıyla güçlenen davranışla çok nadir olarak karşılaşılır. Bazı bal türlerinin ve % 40'lık mısır nişastası çözeltisinin dilatant davranış gösterdiği bildirilmiştir [13, 10].

Bingham plastik davranış: Bingham plastik akışkanlarda görünen viskozite, kayma hızıyla azalmaktadır. Ancak bu davranışı gösteren malzemeler belirli bir stresin altında katı gibi davranmaktadırlar. Malzemeleri akışkan hale getirmek için uygulanması gereken bu minimum strese “yıkılma stresi” (yield stress) adı verilmektedir [10], [14]. Malzemelerin bu karakteristik özelliği, bilhassa yoğurt, tereyağı ve krem peyniri gibi ürünlerin kalite değerlendirmelerinde ve bu ürünler için yapılan proses tasarımlarında büyük önem taşımaktadır [10].

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 davranışa ait akış eğrisi [10]



Şekil 3.9. Bingham plastik davranışa ait görünen viskozite eğrisi [10]

Bingham plastik davranış aşağıdaki denklemle modellenmektedir.

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

Bu denklemde τ_y , yıkılma stresini göstermektedir. Akış davranış indeksinin 1'e eşit olduğu Bingham plastik davranışın Newtonyen davranıştan tek farkı, malzemelerin yıkılma stresi olmasıdır.

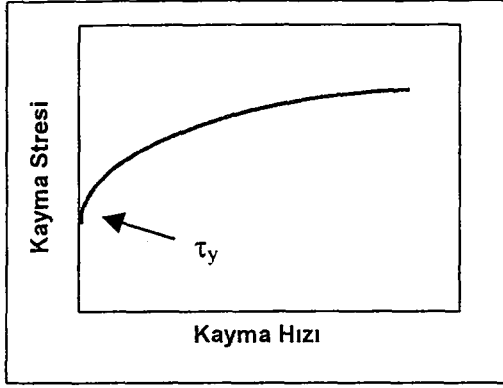
Domates salçası ve diş macunu Bingham plastik davranış gösteren akışkanlardır [10].

Herschel-Bulkley davranış: Görünen viskozite, Herschel-Bulkley akışkanlarda 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.

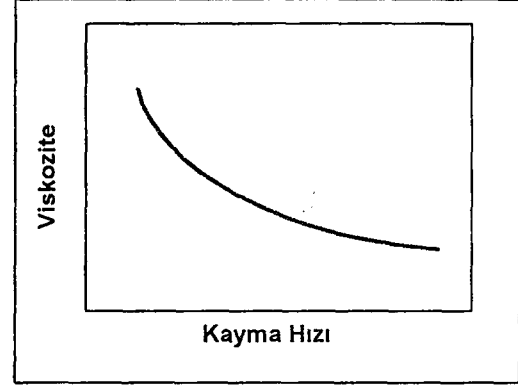
Şekil 3.10'dan görüldüğü gibi akışkanlarda kayma hızı arttıkça kayma stresi artmaktadır. Şekil 3.11'de de kayma hızı arttıkça görünen viskozitenin azaldığı görülmektedir. Herschel-Bulkley akışkanlar da Bingham plastik akışkanlar gibi bir yıkılma stresi değerine sahiptir.

Herschel-Bulkley davranış aşağıdaki denklemle modellenmektedir.

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



Şekil 3.10. Herschel-Bulkley davranışa ait akış eğrisi [10]



Şekil 3.11. Herschel-Bulkley davranışa ait görünen viskozite eğrisi [10]

Balık eti, üzüm ezmesi, normal ve yağsız mayonez Herschel-Bulkley davranış gösteren gıdalara örnek olarak verilebilir [10, 12, 17].

Newtonyen ve zamandan bağımsız Newtonyen dışı davranışlar aslında Herschel-Bulkley davranışın özelleşmiş halleri durumundadırlar. Newtonyen ve zamandan bağımsız Newtonyen dışı davranışlar için üslü yasa katsayıları toplu olarak Tablo 3.1'deki gibi verilebilir.

Tablo 3.1. Newtonyen ve zamandan bağımsız Newtonyen dışı davranışlar için üslü yasa katsayıları

Davranış	K	n	τ_y
Newtonyen	> 0	1	0
Psödoplastik	> 0	$0 < n < 1$	0
Dilatant	> 0	$1 < n < \infty$	0
Bingham plastik	> 0	1	> 0
Herschel-Bulkley	> 0	$0 < n < \infty$	> 0

3.1.2.2. Zamana Bağlı Newtonyen Dışı Davranışlar

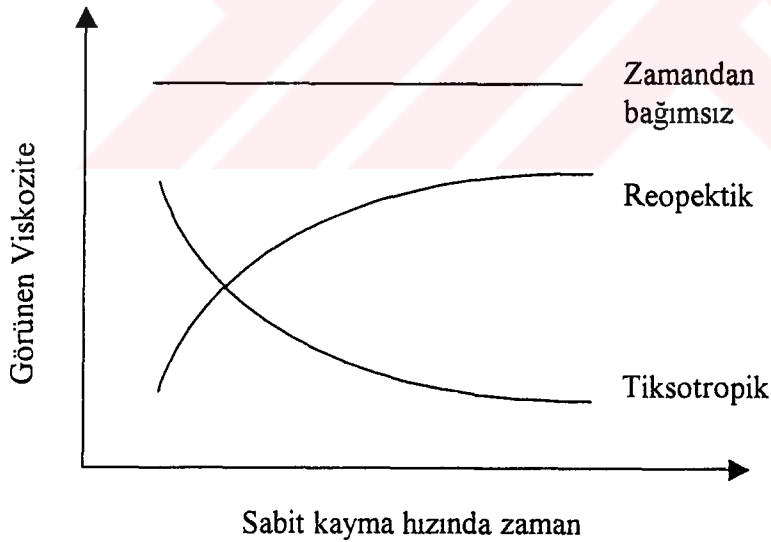
Şekil 3.12'de zamana bağlı reolojik davranış gösteren akışkanlar için sabit kayma hızında görünen viskozitenin zamanla değişim grafikleri verilmiştir. Şekil 3.12'de

görüldüğü üzere sabit bir kayma hızında viskozite zamanla azalmakta ise bu davranışa “tikstotropi” (thixotropy), tam tersine viskozite zamanla artmakta ise bu davranışa “reopekti” (rheopexy) adı verilmektedir. Başka bir deyişle tikstotropi zamana bağlı zayıflama, reopekti ise zamana bağlı güçlenmedir. Tikstotropik davranış gösteren malzemelere örnek olarak yoğurt, yumurta beyazı, mango nektarı, kömür süspansiyonları, kan ve fermente bir süt ürünü olan “buttermilk” gösterilebilir [13, 10, 18, 19, 20, 21]. 1:3 oranındaki pekmez-tahin karışımının ise reopektik davranış gösterdiği bildirilmiştir [15].

3.2. Tikstotropik Davranış ve Modellenmesi

3.2.1. Tikstotropik Davranış

Tikstotropi terimi ile genel olarak kayma hızının etkisiyle viskozitenin azalması, uygulanan kayma stresinin kaldırılmasıyla (dinlenme) da viskozitenin geri kazanılması anlaşılmaktadır. Bu artış tersinir, yarı tersinir veya tersinmez olabilmektedir [10].

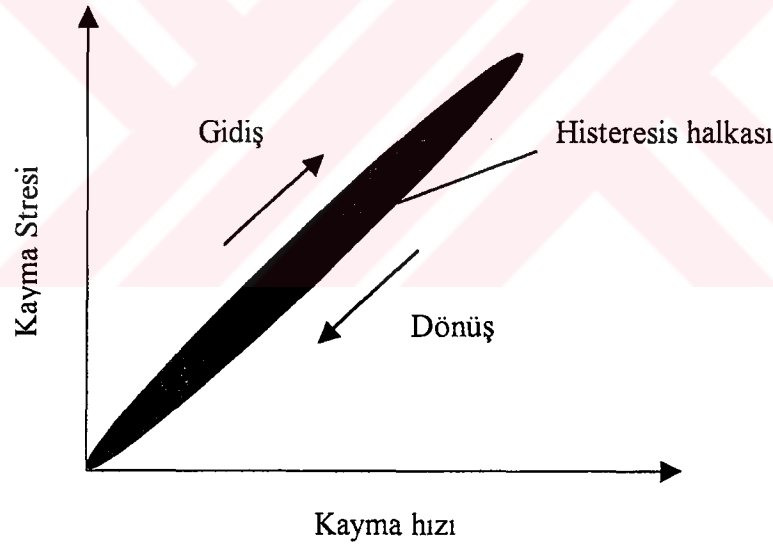


Şekil 3.12. Zamana bağlı reolojik davranışlar için viskozite eğrileri [12]

Mikroyapısı akış faktörlerinden etkilenen tüm sıvılar aslında tikstotropik davranış gösterebilirler. Çünkü tikstotropi aslında sadece malzemelerin mikroyapılarının bir durumdan diğer bir duruma geçtikleri sonlu zamanı yansıtmaktadır. Mikroyapı değişikliklerine yol açan faktör, akış streslerinin yol açtığı zayıflama ile akış esnasındaki çarpışmaların ve “Brownian hareketi”nin meydana getirdiği

güçlenmenin rekabetidir. Brownian hareketi, atom ve moleküllerin rasgele ısısal çalkalanmasının yol açtığı mikroyapı elemanlarının sürekli bombalanması ve bunun sonucu olarak söz konusu elemanların harekete geçip mikroyapının diğer kısımlarına kendilerini yapıştırmasıdır. Brownian hareketi, tiksotropik malzemelerde ancak akış durduğu zaman malzemenin kendini toplaması olarak etkisini gösterebilmektedir. Partiküllerin flokülasyonu, malzemede bulunan liflerin rasgele dağılımı kuvvetli bir yapı oluştururken, akışa paralel lif dizilişi ve partiküllerin parçalanarak birbirinden ayrılması mikroyapıyı zayıflatmaktadır [21].

Malzemelerin tiksotropik davranış gösterip göstermediğini belirlemek için Şekil 3.12'deki gibi sabit kayma hızında malzemenin viskozitesi takip edilebileceği gibi “çevrim” (loop) deneyleri de yapılabilmektedir. Çevrim deneyinde, kayma hızını sıfırdan maksimum bir değere kadar lineer olarak artırıp daha sonra aynı hızla sıfıra indirerek malzemenin akış eğrisi incelenir. Eğer gidiş ve dönüş eğrisi aynı yolu takip etmeyerek Şekil 3.13'teki gibi farklı koordinatlardan geçiyorsa malzemenin tiksotropik olduğu söylenebilmektedir [22], [21].



Şekil 3.13. Tiksotropik bir malzeme için akış eğrisi [21]

Şekil 3.13'te görülen gidiş eğrisi ile dönüş eğrisinin oluşturduğu çevrim halkasına “histeresis halkası” adı verilmektedir [22, 10].

3.2.2. Tiksotropik Davranışın Modellenmesi

Zamandan bağımsız Newtonyen dışı davranışlar, daha önce verilen basit kayma stresi-kayma hızı bağıntılarıyla karakterize edilebilmektedirler. Ancak zamana bağımlı davranışlarda bu bağıntılar işlevlerini kaybetmektedirler. Bu yüzden özellikle 1950'lerden sonra pek çok araştırmacı tiksotropik davranışı modellemeye çalışmıştır. Bu modeller arasında en çok bilinenlerden biri Tiu ve Boger'e aittir [23].

Cheng ve Evans (1965), bir hal ve bir hız eşitliğini beraber kullanarak tiksotropiyi modellemek istemişlerdir. Bu hal eşitliği aşağıda verilmiştir [18].

$$\tau = \eta(\lambda, \dot{\gamma})\dot{\gamma} \quad (3.7)$$

Bu denklemde viskozite, sadece kayma hızının fonksiyonu olmayıp, zamana bağlı yapısal bir parametre olan λ 'ya da bağlıdır. Burada λ , şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$\frac{d\lambda}{dt} = f(\lambda, \dot{\gamma}) \quad (3.8)$$

Yani yapının değişme hızı, kayma hızının ve yapısal parametrenin bir fonksiyonu olmaktadır [18].

Tiu ve Boger (1974) ise bu ifadeyi, yapısal bir parametre içeren Herschel-Bulkley modeli ile basitleştirmişlerdir. Bu durumda 3.7 hal denkleminin yerine aşağıdaki denklemi koymuşlardır [18].

$$\tau = \lambda \tau_0 \quad (3.9)$$

Akışın sıfır anındaki kayma stresi, τ_0 , Herschel-Bulkley eşitliği ile şu şekilde verildiğinden,

$$\tau_0 = \tau_y + K\dot{\gamma}^n \quad (3.10)$$

3.9 ve 3.10 numaralı eşitlikler birleştirilerek;

$$\tau = \lambda(\tau_y + K\dot{\gamma}^n) \quad (3.11)$$

eşitliği elde edilmektedir [18].

Hız eşitliği içinse ikinci dereceden bir kinetik ifade kullanmışlardır:

$$\frac{d\lambda}{dt} = -k_1(\lambda - \lambda_e)^2 \quad (\lambda > \lambda_e) \quad (3.12)$$

Yapısal parametre, λ , akışın sıfır anında en büyük değeri olan “1”e eşit olmakta, en küçük değer olarak da λ_e denge değerini almaktadır. Hız sabiti k_1 ise kayma hızına bağlıdır ve deneysel olarak belirlenmelidir. Tikotropik bir gıda maddesi, τ_y , K , n , k_1 ve λ_e parametreleri belirlenip, 3.11 ve 3.12 denklemleri kullanılarak reolojik olarak karakterize edilebilir.

τ_y , K ve n sabitleri akışın sıfır anında ($\lambda = 1$ iken) belirlenmelidir. Bu durumda, 3.11 numaralı denklem 3.10 numaralı denklem haline indirgenecektir. Kayma hızına ($\dot{\gamma}$) karşılık, akışın sıfır anındaki kayma stresi ile yıkılma stresi arasındaki fark ($\tau_0 - \tau_y$) logaritmik grafiğe döküldüğünde, oluşacak doğrunun eğimi n , kayımı da K katsayılarını verecektir. Yıkılma stresi (τ_y), baştan herhangi bir değer verilerek, logaritmik ölçekli $(\tau_0 - \tau_y) - \dot{\gamma}$ grafiğine en iyi uyacak doğruyu verene kadar değiştirilip deneme yanılma metoduyla bulunabilir [11]. Ayrıca ileriki bölümlerde görülebileceği üzere farklı deneyler yapılarak da yıkılma stresi bulunabilmektedir.

k_1 hız sabitini hesaplamak için, sabit kayma hızı koşullarında 3.12 denklemi integre edilirse eşitlik;

$$\frac{1}{\lambda - \lambda_e} = \frac{1}{\lambda_0 - \lambda_e} + k_1 t \quad (3.13)$$

halini almaktadır.

3.2 ve 3.13 denklemlerinin birleştirilmesi,

$$\lambda = \frac{\eta \dot{\gamma}}{\tau_v + K \dot{\gamma}^n} \quad (3.14)$$

denklemleri neticelenmektedir.

Eşitlik 3.14, λ - η değerleri sırasıyla λ_0 - η_0 ve λ_e - η_e ile yer değiştirdiğinde de geçerliliğini korumaktadır [18].

3.14 numaralı eşitlik 3.13 numaralı eşitlikte yerine konulursa,

$$\frac{1}{\eta - \eta_e} = \frac{1}{\eta_0 - \eta_e} + \alpha_1 t \quad (3.15)$$

bağıntısı elde edilmektedir. Burada α_1 aşağıdaki ifadeye eşit olmaktadır.

$$\alpha_1 = \frac{k_1 \dot{\gamma}}{\tau_v + K \dot{\gamma}^n} \quad (3.16)$$

Eşitlik 3.15 göz önüne alındığında, $\frac{1}{\eta - \eta_e} - t$ grafiği çizilerek elde edilecek doğrunun eğimi α_1 teriminin sayısal değerini vermektedir [11]. Burada veriler için çizilecek eğilim çizgisinin korelasyon katsayısının (r^2) 1'e yakınlığı, varsayılan ikinci dereceden kinetik hız denkleminin ne kadar geçerli olduğunu gösterir. Aynı işlemi diğer kayma hızlarında gerçekleştirmek α_1 ve $\dot{\gamma}$, dolayısıyla k_1 ve $\dot{\gamma}$ arasındaki ilişkiyi meydana çıkarmaktadır [18].

Tiksotropik davranışı anlamak, modellemek ve bütün yönleriyle kapsamlı bir teori oluşturmak için yapılan çalışmalar, hala tiksotropinin tamamen çözülmüş bir problem haline gelmesine izin vermemektedir. Tiksotropinin hem viskoz hem de viskoelastik etkilerini kapsayan açıklayıcı bir teori ortaya koymak için, belki moleküler modellemeyi de kullanarak, iyi karakterize edilmiş model sistemler üzerinde daha geniş bir data koleksiyonuna ihtiyaç duyulmaktadır. Tiksotropik davranış gösteren çok sayıda endüstriyel ve bilimsel öneme sahip malzeme bulunmaktadır. Ancak özellikle son 50 yıldaki yoğun çalışmalara rağmen yine de bu alan reolojinin en unutulmuş sahalarından biri olarak göze çarpmaktadır [21, 22, 23].

3.2.3. Tiksotropik Modelleme Örnekleri

Geçmiş yıllarda Tiu ve Boger modeli kullanılarak tiksotropik davranış gösteren mayonez ve “buttermilk” reolojik olarak karakterize edilmiştir [11, 18].

Bu iki araştırmanın sonucunda elde edilen bilgiler Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Tiu ve Boger modeli kullanılarak yapılan çalışmaların sonuçları

Model parametreleri	Tiu ve Boger (1974) Mayonez (19,5 °C)	Butler ve McNulty (1996) Buttermilk (5 °C)
τ_y (Pa)	7	0,4
K (Pa.s ⁿ)	28,5	1,4
n	0,32	0,39
a_1 (Pa ⁻¹ s ⁻²)	$8,3 \cdot 10^{-4}$ ($\dot{\gamma} = 2,58 \text{ s}^{-1}$) $2,9 \cdot 10^{-2}$ ($\dot{\gamma} = 205 \text{ s}^{-1}$)	$1,8 \cdot 10^{-2}$ ($\dot{\gamma} = 10 \text{ s}^{-1}$) $0,201$ ($\dot{\gamma} = 500 \text{ s}^{-1}$)
k_I (s ⁻¹)	$0,0145$ ($\dot{\gamma} = 2,58 \text{ s}^{-1}$) $0,0260$ ($\dot{\gamma} = 205 \text{ s}^{-1}$)	$6,6 \cdot 10^{-3}$ ($\dot{\gamma} = 10 \text{ s}^{-1}$) $6,2 \cdot 10^{-3}$ ($\dot{\gamma} = 500 \text{ s}^{-1}$)
λ_e	0,63	0,45

Sonuç olarak Butler ve McNulty (1996), buttermilk için aşağıdaki son denklemi elde etmişlerdir:

$$\tau = \left\{ 0,45 + \frac{1}{1,815 + 0,0051\dot{\gamma}} \right\} (0,4 + 1,362\dot{\gamma}^{0,385}) \quad (3.17)$$

Daha sonra ellerindeki verileri bu denklemde yerine koyarak teorik ve deneysel viskozite değerlerini kıyaslamışlardır. Kıyaslama neticesinde denklemden çıkardıkları sonuçların maksimum % 15, ortalama % 5 hata ile deneysel değerleri verdiğini belirlemişlerdir [18].

3.2.4. Yıkılma Stresi

Yıkılma stresi, bir malzemenin akmaya başlaması için uygulanması gereken minimum stres olarak tanımlanmaktadır [10]. Ancak son zamanlarda yapılan çalışmalarda yıkılma stresi değerinin altındaki streslerin de malzemede hassas cihazlarla ölçülebilecek akışlara yol açtığı belirlenmiştir [24]. Buradan yola çıkan bazı araştırmacılar yıkılma stresinin varlığını tartışmaya başlamışlardır [9]. Ancak yıkılma stresi bir mühendislik gerçeğidir, çünkü uygulanan bir kayma stresinde akışkanın akıp akmayacağını bilmek pratikte büyük önem taşımaktadır [25].

Yıkılma stresine sahip olan akışkanlar arasında kan, diş macunu, mürekkep, ketçap, yoğurt, elma sosu ve mayonez bulunmaktadır [10, 24].

Yıkılma stresi belirlemenin birçok yöntemi vardır, tek ve kusursuz bir yöntem bulunmamaktadır. Değişik uygulamalar değişik metotlar gerektirmektedir. Bilimsel çalışmalar sonucunda bildirilen yıkılma stresi değerleri, ölçümlerde kullanılan reolojik teknikler ve varsayımlara dayalı kalmaktadır. Bu durumda mutlak bir yıkılma stresinden bahsetmek çok zordur. Bir yöntemle elde edilen yıkılma stresinin bir başka yöntemle elde edilen yıkılma stresinden çok farklı olması hiç de az rastlanan bir durum değildir. Bu yöntemlerden bazıları Tablo 3.3'teki gibi sıralanabilir [10].

Akış stresi yöntemi, kontrollü stres ölçümleri yapabilen reometrelerin varlığında uygulanması pratik ve kontrollü kayma hızı ölçüm yöntemlerine göre daha doğru sonuçlar veren bir yıkılma stresi hesaplama yöntemidir [25].

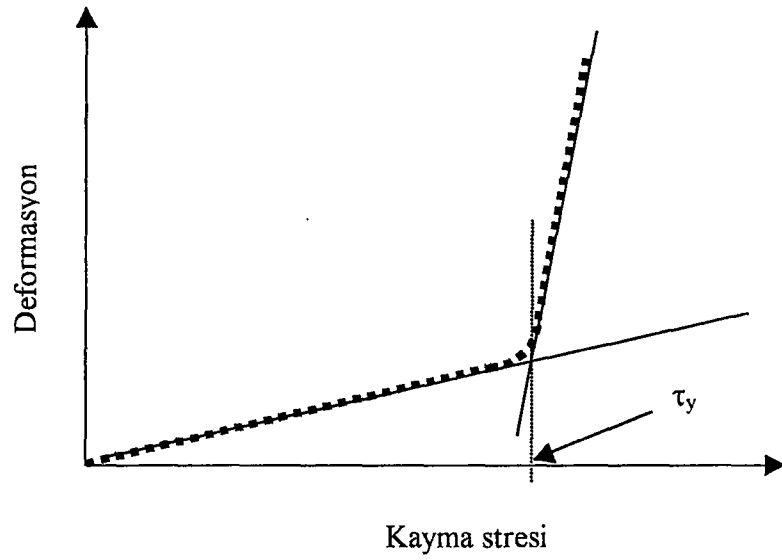
Bu yöntemde akışkana uygulanan kayma stresi kademeli olarak artırılarak malzemedeki deformasyon gözlenmektedir. Akış başladıktan sonra bir süre devam

ettirilen ölçüm sonucunda elde edilen kayma stresi-deformasyon grafiğinde verileri karakterize eden eğrinin dönüm noktası hesaplanır [10]. Tipik bir grafik Şekil 3.14'te verilmektedir. Bu amaçla eğri iki parçaya bölünür ve iki parça için de ayrı ayrı olmak üzere iki doğru uyarlanır. Bu doğruların kesişim noktalarının koordinatları hesaplanarak kayma stresi eksenindeki izdüşümü yıkılma stresi olarak belirlenir [10].

Bu yöntemin dezavantajı, kayma stresi-deformasyon grafiklerinde ortaya çıkan eğrinin dönüm noktasının görsel olarak belirlenmesidir [25, 26].

Tablo 3.3. Yıkılma stresi hesaplama yöntemleri

Metod	Hesaplama Yöntemi
Ekstrapolasyon	Kayma hızı-kayma stresi grafiğinde, eğri sıfır kayma hızına ekstrapole edilir.
Ekstrapolasyon	Görünür viskozite-kayma stresi grafiğinde eğri sonsuz görünür viskoziteye ekstrapole edilir.
Akış stresi	Kontrollü stres ölçümü sonunda elde edilen kayma stresi-kayma hızı veya kayma stresi-deformasyon grafiklerinde dönüm noktası bulunur.
Akış stresi	Akışkan içine daldırılmış durumdaki yatay bir plakayı hareket ettirecek stres ölçülür.
Yatay plaka kaplama	Akışkan içindeki bir plakayı kaldırdıktan sonra plaka üzerinde kalan akışkan miktarı üzerinden gidilen hesaplamalar.



Şekil 3.14. Yıkılma stresinin hesaplandığı deformasyon-stres grafiği

Bazı akışkanların yıkılma stresleri Tablo 3.4'te derlenmiştir.

Tablo 3.4. Bazı akışkanların yıkılma stresi değerleri

Çalışma	Yıkılma Stresi (Pa)
Mayonez (Tiu ve Boger, 1974)	7 (19,5 °C)
Buttermilk (Butler ve McNulty, 1996)	0,4 (5 °C)
Mango Nektarı (Bhattacharya, 1999)	3,4-3,6 (5 °C) 2,7-3,0 (30 °C)
Yoğurt (Başak ve Ramaswamy, 1994)	4,42 (10 °C)

Tablo 3.4'te görüldüğü gibi yıkılma stresi değerleri malzemeye ve malzemenin sıcaklığına bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir.

3.2.5. Bozayla İlgili Reolojik Çalışmalar

Şimdiye kadar bozayla ilgili yapılan araştırmalarda daha çok bozanın kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri üzerinde durulmuş, boza reolojisi hiçbir araştırmacı tarafından detaylı olarak çalışılmamıştır. Ayrıca boza üreticileri de boza ile ilgili teknik bilgi eksikliği duyduklarını ifade etmektedirler [28].

Sadece 2000 yılında yapılan bir çalışmada bozanın psödoplastik davranış gösterdiği bildirilmiştir. Bu çalışmada üslü yasa kullanılarak, bozanın reolojik özellikleri aşağıdaki şekilde karakterize edilmiştir [29]:

$$\tau = 6,6783\dot{\gamma}^{0,3951} \quad (3.18)$$

Ancak üslü yasa katsayılarının hangi sıcaklıkta elde edildiği, bozanın yıkılma stresine sahip olup olmadığı ve bozanın zamana bağlı Newtonyen dışı gösterip göstermediği ile ilgili herhangi bir bilgi verilmemektedir. Bu yüzden bu çalışmanın kapsamlı bir araştırma olduğunu söylemek zordur.

3. MATERYAL VE METOD

4.1. Materyal

Bu araştırmada kullanılan boza rnekleri Vefa Gıda Ltd şti. (İstanbul)’dan temin edilmiştir. Numuneler, retim bitişinden sonra en geç 12 saat içinde alınarak deneylere başlanmıştır. Boza rnekleri, raf ömrü boyunca oda koşullarında depolanmıştır.

4.2. Metod

4.2.1. Kimyasal Analizler

Bozada kuru madde, protein, kül, etanol, toplam asitlik, pH, indirgen ve toplam şeker analizleri yapılmıştır. Analizler en az ikişer kez tekrar edilip ortalama değerleri alınmıştır.

4.2.1.1. Katı Madde Tayini

Katı madde tayini TS-1594’e göre, suyu ayırma metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir [30].

4.2.1.2. Protein Tayini

Protein tayini AOAC’da (Association of Official Analytical Chemists) belirtilen Dumas metoduna göre Kjeldahl 1030 protein tayin cihazı kullanılarak yapılmıştır [31]. Azot miktarı, 6.25 ile çarpılarak protein miktarı bulunmuştur.

4.2.1.3. Kül Tayini

Türk Standartları Enstitüsü TS-1511’e göre yapılmıştır [32]. 900 C’de yakma metodu kullanılmıştır.

4.2.1.4. Etanol Tayini

Etanol tayini için TS-1594'te belirtilen yöntemle göre gerçekleştirilmiştir [33].

4.2.1.5. Toplam Asitlik Tayini

Toplam asitlik tayini TS-1125'e göre belirteçli titrasyon metodu uygulanarak yapılmıştır [34].

4.2.1.6. pH Tayini

Bozada pH, TS-1728'de belirtilen yöntemle göre Eutech Cybernetics pH-scan1 tipi pH metre kullanılarak tayin edilmiştir [35].

4.2.1.7. İndirgen Ve Toplam Şeker Tayini

İndirgen ve toplam şeker tayini TS-7780'e göre gerçekleştirilmiştir [36].

4.2.1.8. Su Aktivitesi Tayini

Su aktivitesi tayini Decagon PawKit tipi su aktivitesi ölçüm cihazı ve Protimeter marka diğer bir su aktivitesi ölçüm ekipmanı kullanılarak yapılmıştır.

4.2.3. Bozanın Reolojik Özelliklerinin Belirlenmesi

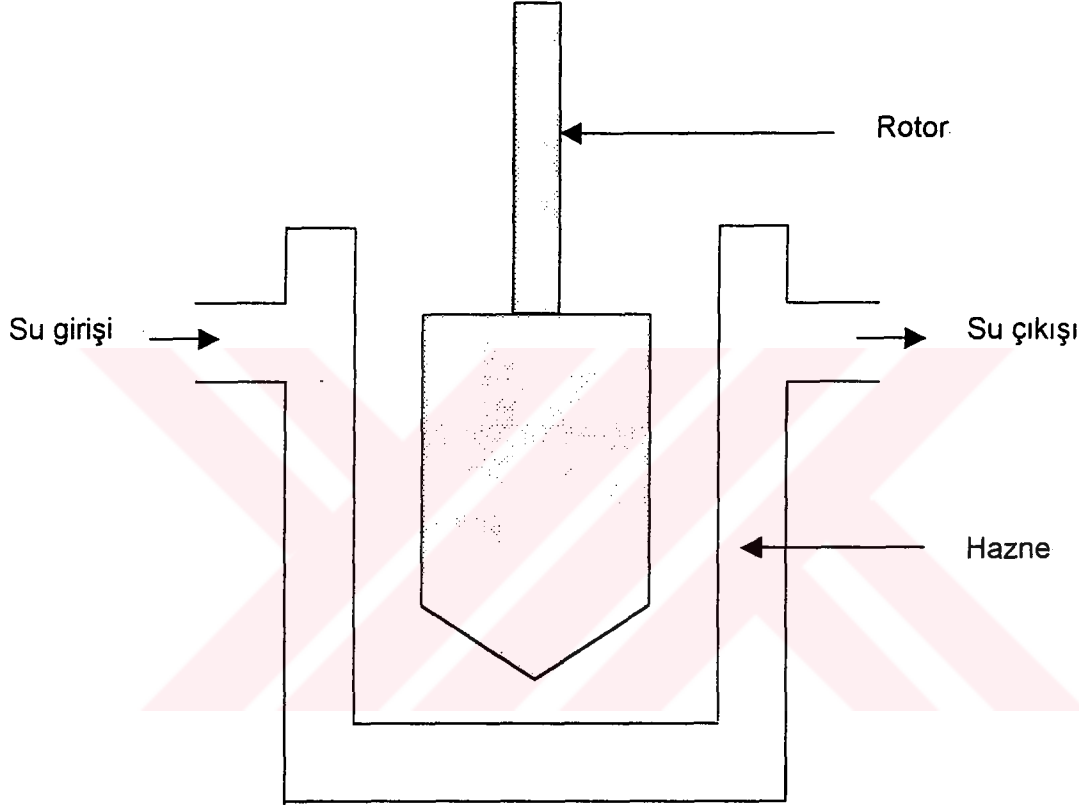
Reolojik ölçümler Haake Rotovisco RT20 (Almanya) tipi reometre kullanılarak yapılmış ve Z40 silindirik sensörü kullanılmıştır. Şekil 4.1'de iç içe silindirik sensör sisteminin şekli verilmiştir. Ölçümlerde kullanılan sensörün rotor ve hazne boyutları Tablo 4.1'de, ölçüm aralıkları ise Tablo 4.2'de belirtilmiştir.

Tablo 4.1. Reolojik ölçümlerde kullanılan sensörün boyutları

Rotor	Rotor yarıçapı (mm)	Hazne yarıçapı (mm)	Hazne ve rotor arası mesafe (mm)	Örnek hacmi (ml)
Z40	20	21,70	1,7	65,4

Tablo 4.2. Sensör ölçüm aralıkları

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



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, bir pompa sayesinde cekte hazne etrafından dolaşarak örneği ısıtmakta veya soğutmaktadır.

Bütün reolojik ölçümler, farklı numunelerle olmak üzere iki paralel ve aynı numuneleri kullanıp ikişer tekrar olmak üzere toplam 4 defa gerçekleştirilmiştir.

Bozayı reolojik olarak karakterize etmek üzere Bölüm 3.2.2’de detaylı olarak anlatılan Tiu ve Boger modeli kullanılmıştır [11].

4.2.4. Bozanın Reolojik Özelliklerini Etkileyen Faktörler

4.2.4.1. Raf Ömrü Boyunca Bekletmenin Reolojik Özelliklere Etkisi

Boza örnekleri üretimden çıktıktan sonraki ilk 12 saat içinde temin edilerek ilk 24 saat içinde reolojik ölçümleri tamamlanmıştır. Bozanın raf ömrünün bir hafta olmasından yola çıkılıp, üretimden sonraki dördüncü ve yedinci günlerde de reolojik deneyler yürütülerek, raf ömrü boyunca bozanın kimyasal ve fiziksel yapısındaki meydana gelen değişikliklerin reolojik özelliklere yansımaları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla bir yandan da birinci, dördüncü ve yedinci günlerde bozada asitlik (bkz. Bölüm 4.2.1.5), pH (bkz. Bölüm 4.2.1.6) ve su aktivitesi (bkz. Bölüm 4.2.1.8) deneyleri yapılmıştır.

4.2.4.2. Sıcaklığın Reolojik Özelliklere Etkisi

Bozanın reolojik özellikleri, 5 ile 30°C arasında dört sıcaklıkta incelenmiştir. Ölçümler sırasında sıcaklığı sabit tutmak amacıyla Numan marka sirkülatörlü su banyosu kullanılmıştır. Örnekler ölçüm haznesine yerleştirilip, sistemin (örnek, rotor ve hazne) termal dengeye gelmesi için 10 dakika beklendikten sonra ölçümler başlatılmıştır.

4.2.4.3. Kayma Zamanının Reolojik Özelliklere Etkisi

Bozanın reolojik özelliklerine kayma zamanının etkisini belirleyebilmek ve model parametrelerini elde edebilmek için boza beş farklı kayma hızında 40 dakika boyunca deformasyona uğratılmış ve deneyler boyunca 180 ayrı noktada veri alınmıştır.

4.2.5. Uygulanan Reolojik Ölçümler

4.2.5.1. Kayma Zamanı Ölçümleri

Bozanın reolojik özelliklerine kayma zamanının etkisini belirleyebilmek için 15, 37, 75, 150 ve 300 s⁻¹ kayma hızlarında 40’ar dakika süren kayma zamanı ölçümleri

yapılmıştır. Bu deneyler iki paralel, dört sıcaklık, üç gün, beş kayma hızı ve ikişer tekrar olacak şekilde 240 kez yapılmıştır. Sonuç olarak kayma zamanına bağlı olarak viskozite ve kayma stresi eğrileri çizilerek sonuçlar yorumlanmıştır.

4.2.5.2. Kontrollü Kayma Hızı Ölçümleri

Bozanın reolojik özelliklerine kayma hızının etkisini incelemek için $0.13-300\text{ s}^{-1}$ kayma hızı aralığında, iki farklı üretim tarihli boza örneğiyle ve her örnekte iki tekrar yapılarak, kontrollü kayma hızı ölçümleri uygulanmıştır. Sonuç olarak iki paralel ve iki tekrar olmak üzere her reolojik deney dörder kez yapılmıştır. Deneylerde kayma hızı, 10 dakika içinde önce 0.13 s^{-1} 'den 300 s^{-1} 'e çıkmakta, sonra beklemeden yine 10 dakika içinde 300 s^{-1} 'den 0.13 s^{-1} 'e dönmektedir. Ölçümlerde $0.13-300\text{ s}^{-1}$ kayma hızı arasında 60 noktada kayma stresi ve viskozite değeri alınmıştır. Bu deneyler iki paralel, dört sıcaklık, üç gün ve ikişer tekrar olmak üzere 48 kez yapılmıştır. Elde edilen verilerden akış eğrisi (kayma hızına bağlı kayma stresi grafiği) ve viskozite eğrisi (kayma hızına bağlı viskozite grafiği) çizilerek, örneğin reolojik davranışı değerlendirilmiştir.

4.2.5.3. Kontrollü Kayma Stresi Ölçümleri

Bozanın yıkılma stresini hesaplamak amacıyla 0-100 Pa arasında kayma stresi 5 dakika boyunca artırılarak numune üzerindeki deformasyon gözlenmiştir. Sonuç olarak kayma stresi-deformasyon grafikleri üzerinde eğrilerin bitiş ve dönüm noktaları arasında ikişer adet doğru oluşturulup kesişim noktalarından hareketle yıkılma stresleri hesaplanmıştır. Kontrollü kayma stresi ölçümleri, iki paralel, dört sıcaklık, üç gün ve iki tekrar olmak üzere toplam 48 kere yapılmıştır.

4.2.6. İstatistik Analizleri

Ölçümler sonunda elde edilen veriler, SPSS 10,0 for Windows istatistik yazılımı ile ANOVA analizlerine tabi tutulmuştur. Analizler sonucunda % 5 önem seviyesine göre bağımsız parametrelerin bağımlı değişkenlere olan etkileri irdelenmiştir.

4.2.7. Sonuçların Gösterilmesi

Bütün reolojik ölçümlerin sonucunda elde edilen verilerden tekrar edilenlerin ortalamaları alınmış, paralel deneylerin sonuçları ise ayrı olarak değerlendirilmiştir. Gösterilen sonuçlar birinci paralel ölçümleri sonucunda elde edilen veriler olup, benzer sonuçlar veren ikinci paralel ölçümlerinden çıkarılan veriler Ekler bölümünde sunulmuştur.



5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1. Kimyasal Analiz Sonuçları

Bozanın kimyasal bileşimi, yapılan analizler sonucunda Tablo 5.1’de verilen şekilde bulunmuştur.

Tablo 5.1. Bozanın kimyasal bileşimi

Bileşen	Miktar (%)
Kuru madde	23,40
Toplam şeker	16,60
Protein	1,38
Toplam asitlik	0,92
Etanol	0,42
Kül	0,33
pH	3,80

Bulunan sonuçlar Tablo 2.1’deki literatür verileri ile uyumluluk içindedir. Aynı zamanda bozanın kül miktarı hariç, TS (1992)’ye uygun olduğu görülmektedir. Kül oranının yüksekliği, boza üretiminde kullanılan tahılların kabuklarının ortamdan yeterince uzaklaşmamasından kaynaklanabilir.

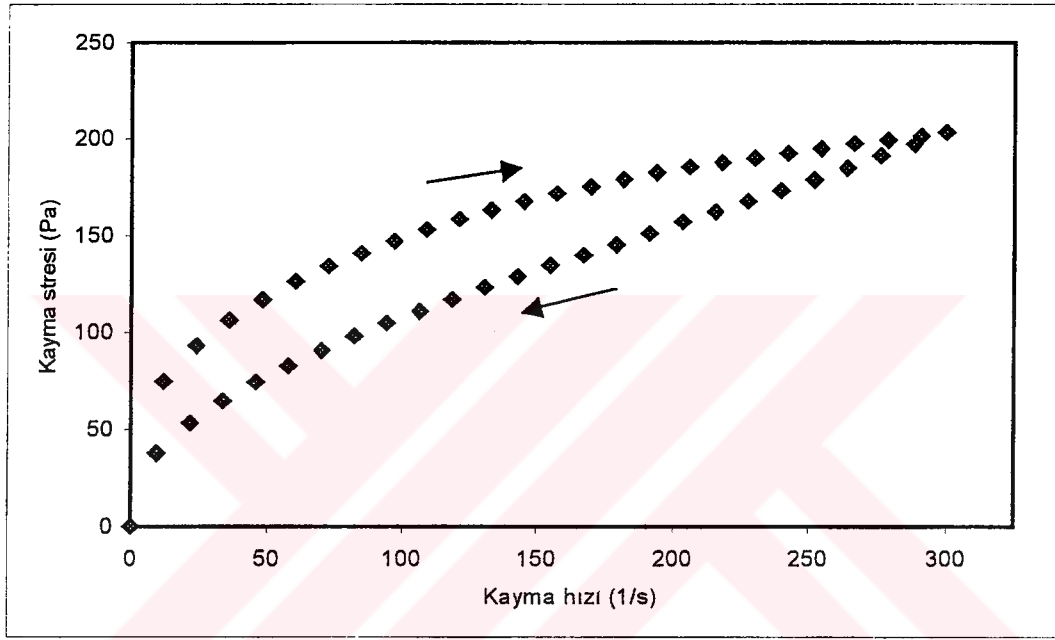
5.2. Reolojik Modelleme

5.2.1. Bozanın Reolojik Davranışı

Bozanın reolojik davranışını belirlemek için öncelikle akış eğrileri dikkate alınmıştır. Şekil 5.1’de bozanın 20 °C’de 0-300 s⁻¹ kayma hızı aralığında, kayma stresi-kayma hızı grafiği (akış eğrisi) verilmektedir. Buna göre üst eğri ile alt eğri arasındaki histeresis halkası bozanın zamana bağlı tiksotropik bir reolojik davranış göstermesini

yansıtmaktadır. Bu yargıyı doğrulamak için 150 s^{-1} kayma hızında Şekil 5.2’de görülen bozanın viskozite eğrisi çizilmiştir. Bu eğride boza viskozitesinin zamana bağımlı olduğu ve kayma hızı uygulandığı süre içinde giderek düştüğü açıkça görülmektedir. Ancak bu düşüş hızının sürekli olmadığı, 40 dakikalık süre sonunda viskozitenin bir denge değerine yaklaştığı söylenebilir.

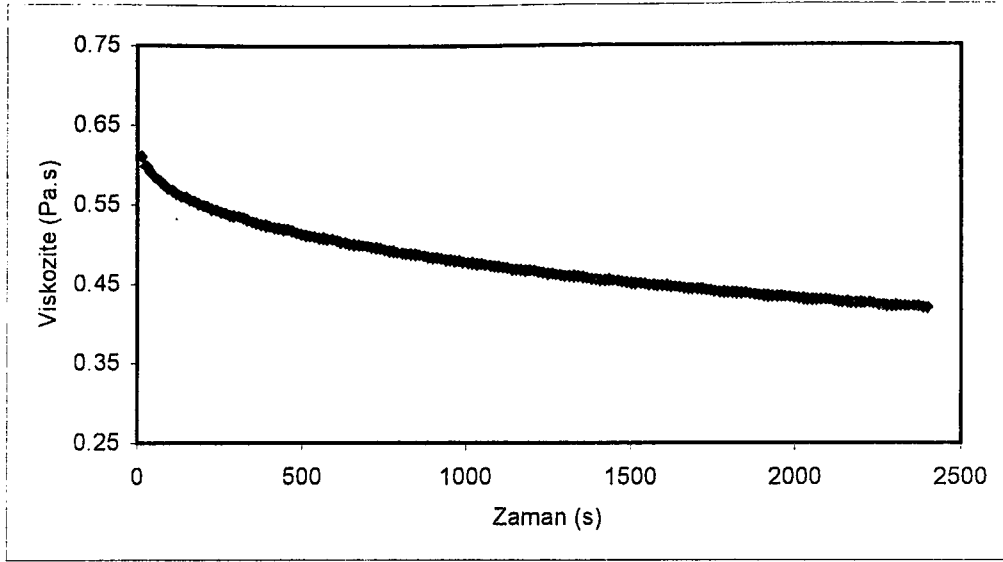
Viskozitenin bir denge değerine yakınsayacağı Tiu ve Boger modelinde de öngörülmektedir.



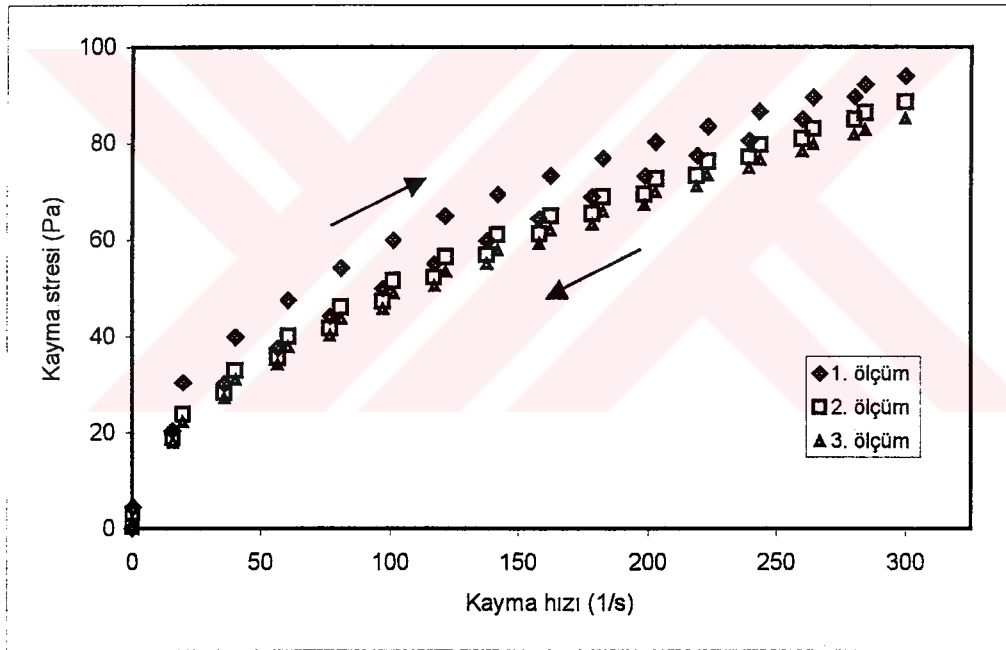
Şekil 5.1. Bozanın 20 °C’deki akış eğrisi

Boza reolojisi üzerindeki zaman etkisinin belirli bir süre sonra kaybolmasını gözlemlemek için başka bir ölçüm sistemi daha uygulanmıştır. Şekil 5.3’te görüldüğü gibi boza, aralarında 5’er dakika beklemek suretiyle 3 kez arka arkaya artıp azalan kayma hızı programına tabi tutulmuştur. İlk ölçümde açıkça belli olan histeresiz halkası ikinci ve üçüncü ölçümlerde gittikçe kaybolmaktadır. Üçüncü ölçümde gidiş ve dönüş eğrileri neredeyse üst üste çakışmaktadır.

Benzer bir sonuç, Dintzis ve arkadaşlarının (1995) mısır nişastası çözeltisinde yaptıkları bir çalışmada da gözlenmiştir [37].



Şekil 5.2. Bozanın 20 °C'deki viskozite eğrisi ($\dot{\gamma} = 150 \text{ s}^{-1}$)



Şekil 5.3. Zamana bağımlılığın kaybolması

Buna göre zaman etkisinin bir müddet sonra kaybolduğu ve reolojik davranışın Herschel-Bulkley davranışa dönüştüğü söylenebilir.

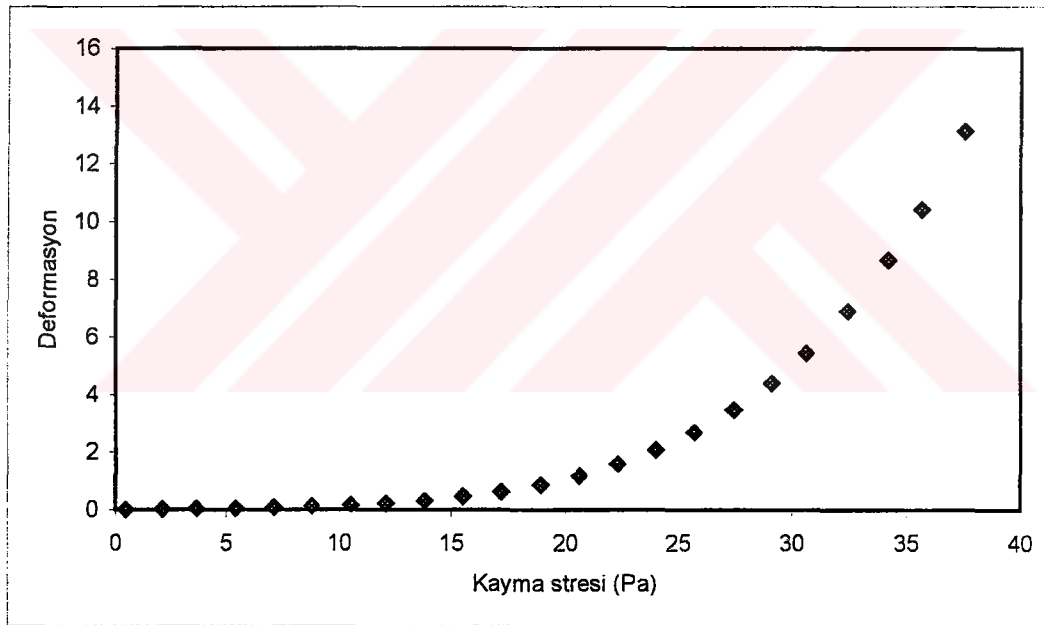
Elde edilen sonuçların varlığında tiksotropik davranış gösterdiği saptanan bozanın reolojik karakterizasyonunu gerçekleştirmek için Tiu ve Boger modelinin uygulanmasına karar verilmiştir. Tiu ve Boger modelinin, sabit kayma hızı

uygulamalarında diğerlerine göre üstünlüğü bulunduğu, buna ek olarak değişen kayma hızı uygulamalarında da doğru sonuçlar verdiği belirtilmektedir [18].

5.2.2. Bozanın Yıkılma Stresi

Bozanın akış eğrisinin (Şekil 5.1), kayma stresi ekseninde kayımı olduğu izlenimi, Şekil 3.10 ile karşılaştırılınca bozanın yıkılma stresine sahip olduğu görüşünü kuvvetlendirmektedir.

Bu fikri doğrulamak için bir kontrollü stres ölçümü yapılarak bozanın yıkılma stresi gösterip göstermediği belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 5.4'te bu tür bir ölçüm sonucu elde edilen kayma stresi-deformasyon grafiği görülmektedir. Yaklaşık 20 Pa değerinde bir kayma stresi uygulanana kadar akmayan boza, bu değer üstünde ise birden akmaya başlamaktadır. Yani açıkça görüldüğü üzere boza, yıkılma stresine



Şekil 5.4. Yıkılma stresi varlığının doğrulanması (20 °C)

sahip tiksotropik bir akışkandır. Yukarıdaki şekilde, birinci paralel, birinci gün, 20 °C için bozanın yıkılma stresi, Bölüm 3.2.4'te anlatıldığı üzere, 17,4 Pa olarak hesaplanmıştır.

Ölçüm yapılan tüm sıcaklık ve günlerde hesaplanan yıkılma stresi değerleri Tablo 5.2'de verilmektedir.

Tablo 5.2. Hesaplanan yıkılma stresi değerleri

Yıkılma Stresi Değerleri (Pa)			
Sıcaklık	1. Gün	4. Gün	7. Gün
5 °C	19.4	33.7	24.1
10 °C	20.8	27.7	24.1
20 °C	17.0	17.9	24.8
30 °C	16.7	22.6	32.4

Tablo 5.2’de gösterilen değerler ile sıcaklık artışı ve gün etkisi arasında herhangi bir ilişki kurulamamıştır. Bhattacharya (1999), mango nektarında 5-80 °C arasında yıkılma stresinin sıcaklık yükseldikçe azaldığını bildirmektedir. Mango nektarında 5-80 °C aralığında yıkılma stresi yaklaşık % 20 oranında düşmektedir [20]. Bozada ise ölçüm sıcaklığı aralığında yıkılma stresi mango nektarına benzer şekilde, 1. ve 4. gün için sırasıyla % 13,9 ve % 32,9 oranında azalmaktadır. 7. günde ise yıkılma stresi % 34,4 oranında yükselmektedir. Bu duruma bozanın fermente bir ürün olması ve fermantasyonun devam etmesi, dolayısıyla kimyasal bileşiminin raf ömrü boyunca değişimi bir etken olarak gösterilebilir.

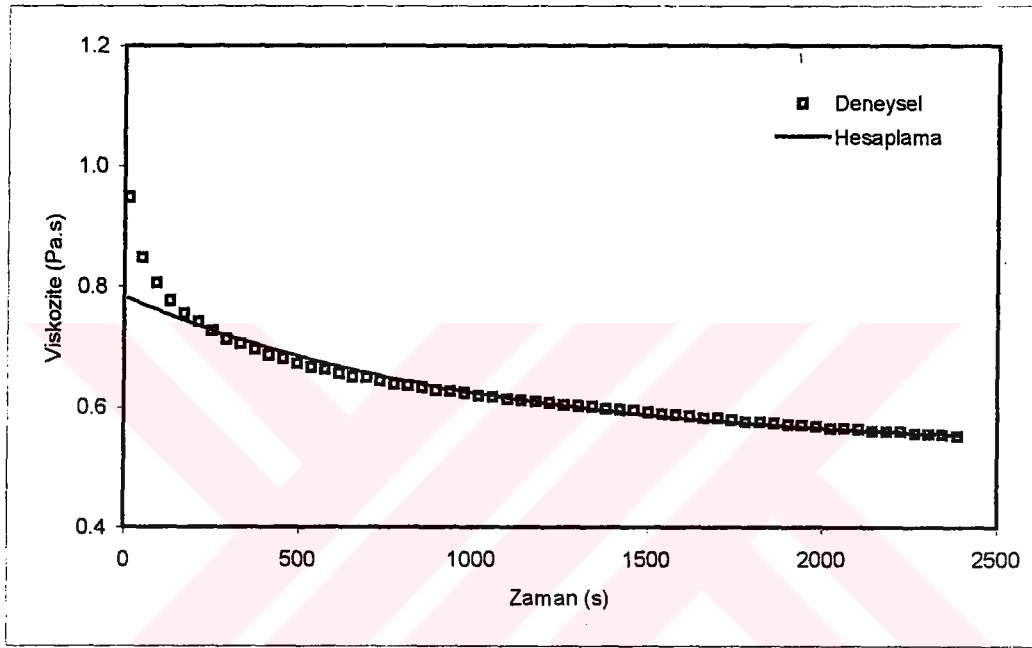
5.2.3. Denge Viskoziteleri

Denge viskozitesi (η_e) değerlerinin bulunmasında Şekil 5.1’de gösterilen viskozite eğrisi tüm deneyler için çizdirilerek eksponansiyel azalma ifade eden aşağıdaki denkleme uyarlanır:

$$\eta = \eta_e + Ae^{-Bt} \quad (3.19)$$

Bu denklemde, başlangıç için bir η_e değeri verilerek en iyi korelasyonu sağlayan $\ln (\eta - \eta_e) - t$ grafiği çizilir. Bu grafikten elde edilen doğrunun eğimi “-B” ifadesine, kayımı ise “ln A” ifadesine eşit olmaktadır. En iyi korelasyon katsayısını veren η_e

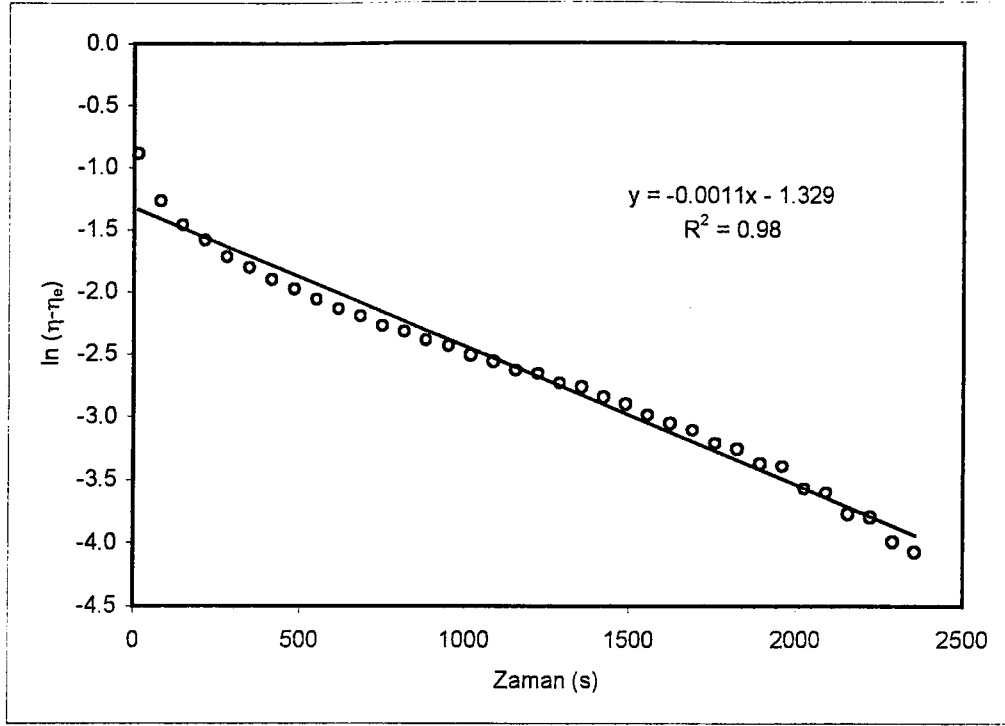
seçilerek tüm kayma hızlarında aynı işlem tekrarlanır. Şekil 5.5'te 20°C 'deki viskozite eğrisi ve uyarlanan denklemin grafiği verilmiştir. Buradan görüldüğü gibi kullanılan eşitlik viskozite değerlerini işlemin ilk kısımları dışında oldukça iyi temsil etmektedir. Bu deney şartlarında elde edilen $\ln (\eta - \eta_e) - t$ grafiği ve korelasyon katsayısı Şekil 5.6'da verilmektedir. Bu deneyde η_e , 0,53 Pa.s olarak belirlenmiştir. Çizdirilen diğer doğruların korelasyon katsayılarının 0,984 ortalama ile 0,911-0,994 arasında değiştiği belirlenmiştir.



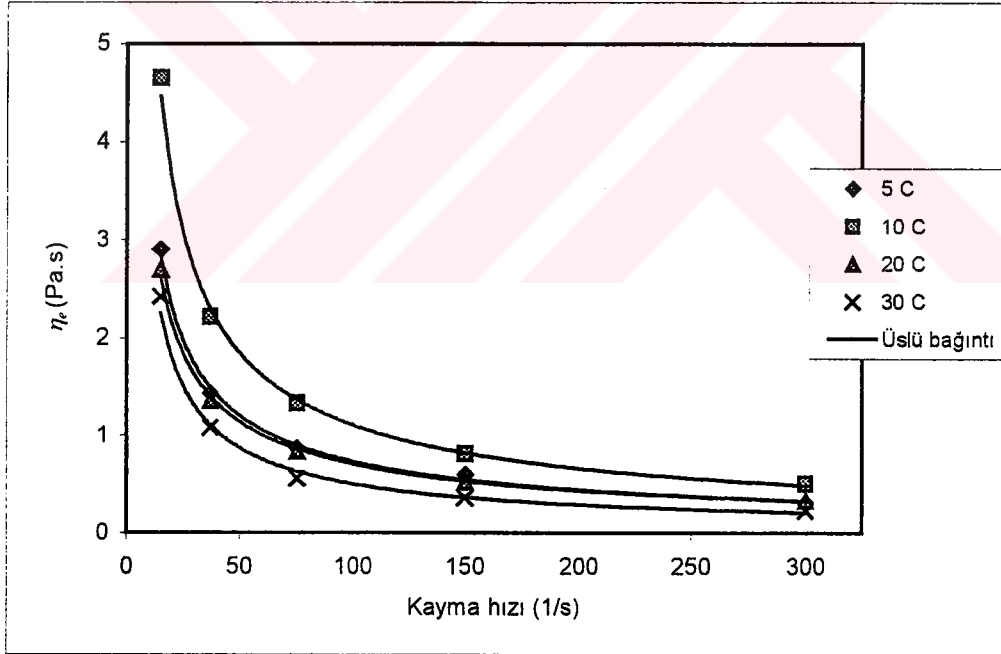
Şekil 5.5. Deneyel ve hesaplanan viskozite değerlerinin karşılaştırılması (20 °C, $\dot{\gamma} = 150 \text{ s}^{-1}$)

Şekil 5.7, 5.8 ve 5.9'da birinci paralel deneyleri için sırasıyla 1., 4. ve 7. gün deneylerinden elde edilen η_e değerleri verilmektedir.

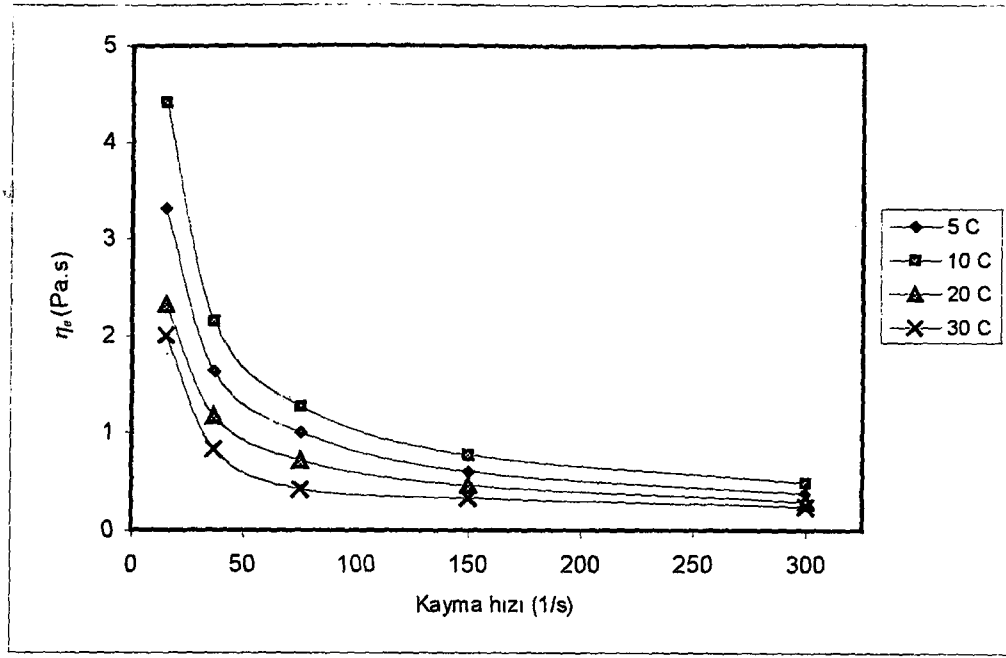
Bu grafiklerden görüldüğü üzere denge viskozitesi değerleri, gün etkisiyle önemli oranlarda değişmeyip aynı aralıkta kalmakta ve verilerin üslü yasaya uygunluğunu doğrulayacak şekilde üslü bir bağıntıyla karakterize edilebilmektedir.



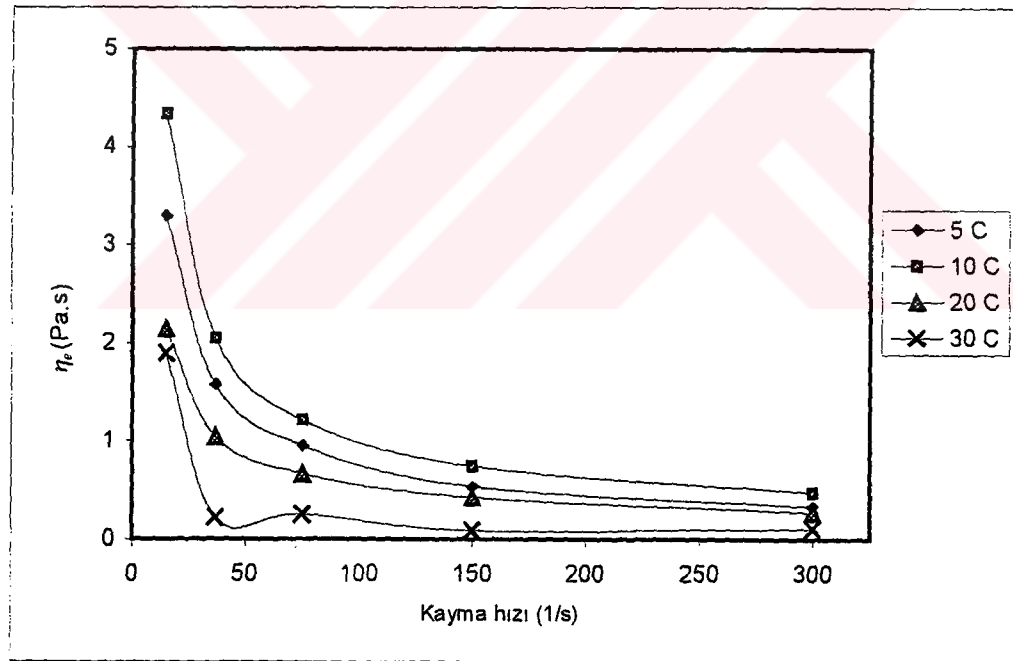
Şekil 5.6. $\ln(\eta - \eta_0) - t$ grafiği ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{\gamma} = 150\text{ s}^{-1}$)



Şekil 5.7. Birinci gün için denge viskozitesi - kayma hızı eğrileri



Şekil 5.8. Dördüncü gün için denge viskozitesi - kayma hızı eğrileri



Şekil 5.9. Yedinci gün için denge viskozitesi - kayma hızı eğrileri

5.2.4. Akışın Sıfır Anındaki ve Denge Durumundaki Kayma Stresleri

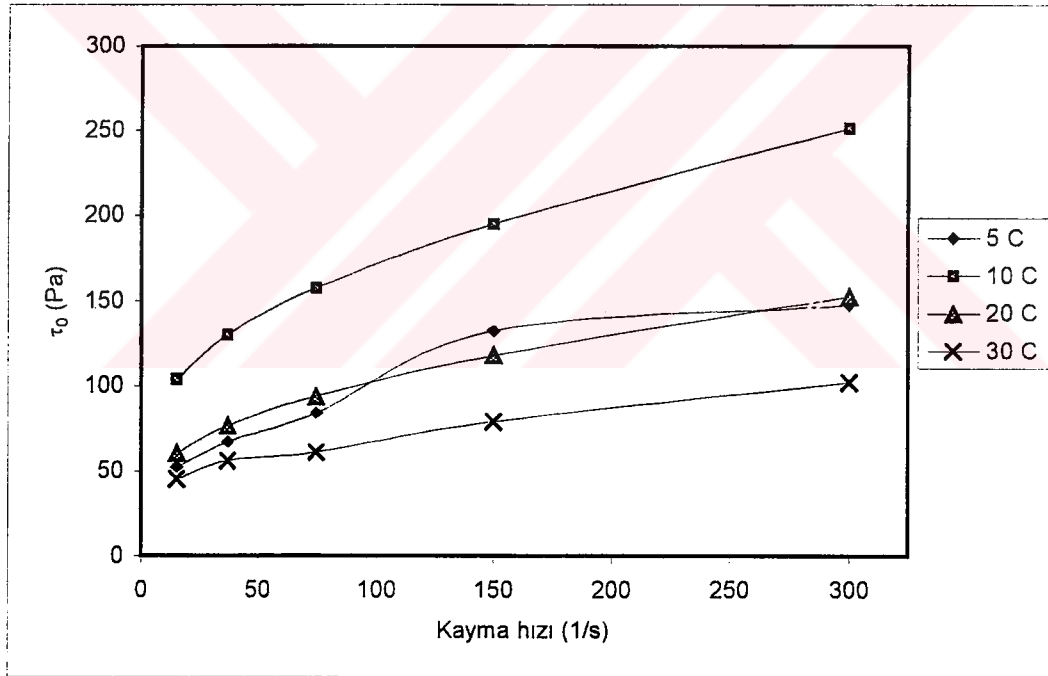
Akışın sıfır anındaki ($t = 0$) stres değerleri (τ_0) denklem 3.2 ve 3.19 yardımıyla bulunmaktadır. 3.19 numaralı denklem, $t = 0$ için çözülürse;

$$\eta_0 = \eta_e + A \quad (3.20)$$

halini almaktadır. Burada η_e ve A kullanılarak, η_0 , sıfır anındaki viskozite değerleri hesaplanabilmektedir. τ_0 değerleri ise, hesaplanan η_0 değerlerinin denklem 3.2'de yerine konmasıyla elde edilir.

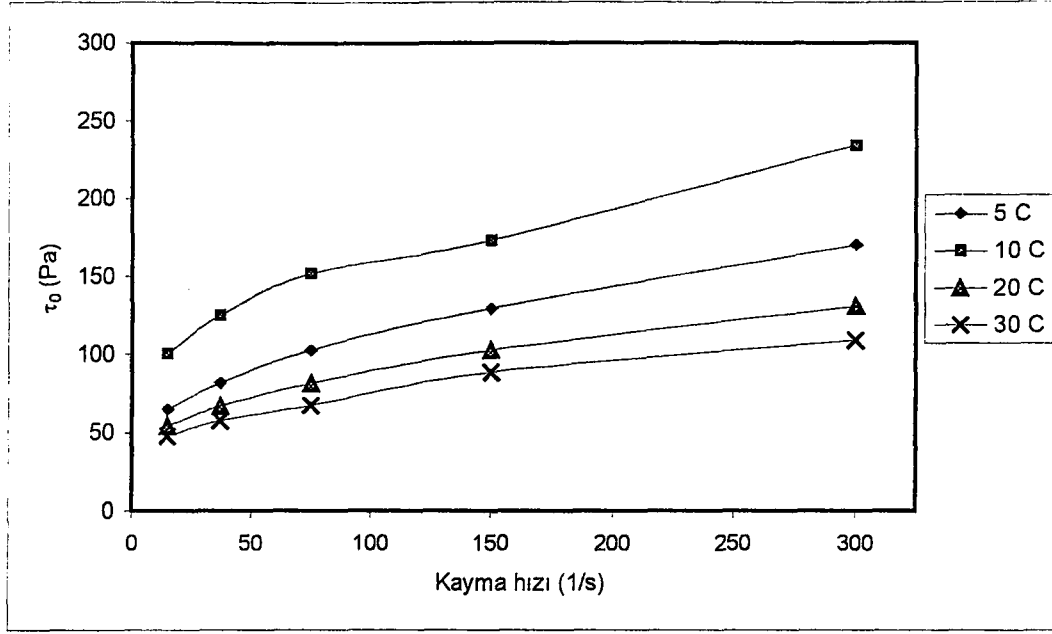
Denge durumundaki ($t \rightarrow \infty$) kayma stresi değerlerinin (τ_e) hesaplanmasında ise sadece 3.2 numaralı denklem kullanılmaktadır. Deneme yanılma yöntemiyle bulunan η_e değerleri, adı geçen denkleme yerleştirilerek kayma stresleri bulunmaktadır.

Şekil 5.10, 5.11 ve 5.12'de birinci paralel deneyleri için sırasıyla 1., 4. ve 7. gün deneylerinden elde edilen τ_0 değerleri çizdirilmiştir. Bu grafiklerde τ_0 değerleri beklenildiği üzere kayma hızıyla artmaktadır.

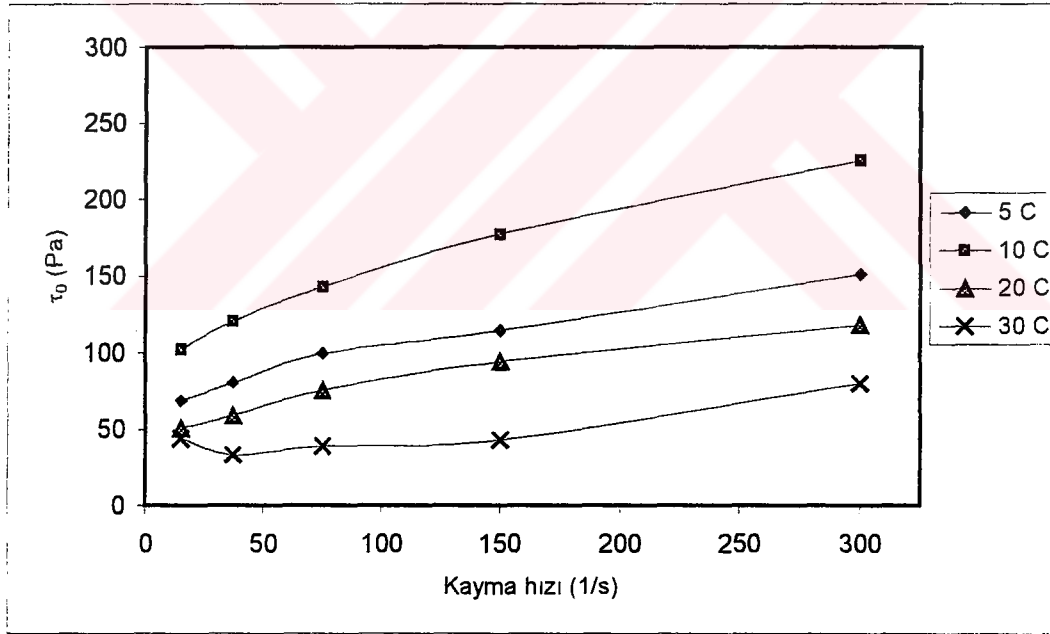


Şekil 5.10. Birinci gün τ_0 eğrileri

τ_0 verileri günler arasında aynı değer aralıklarında kalıp, büyük değişiklikler göstermemektedir.

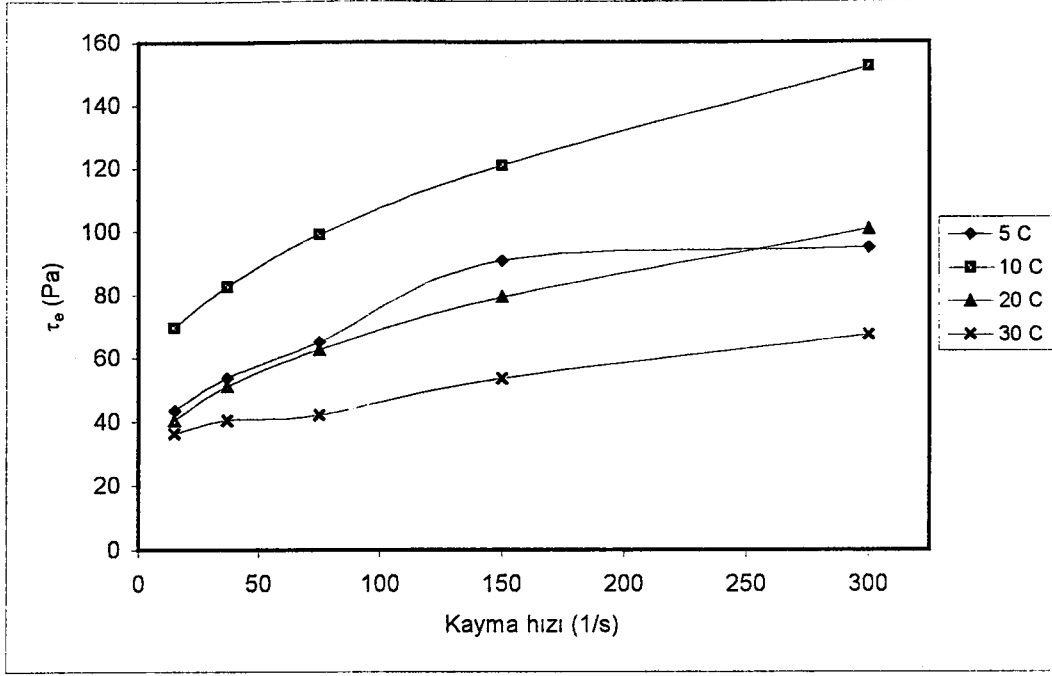


Şekil 5.11. Dördüncü gün τ_0 eğrileri

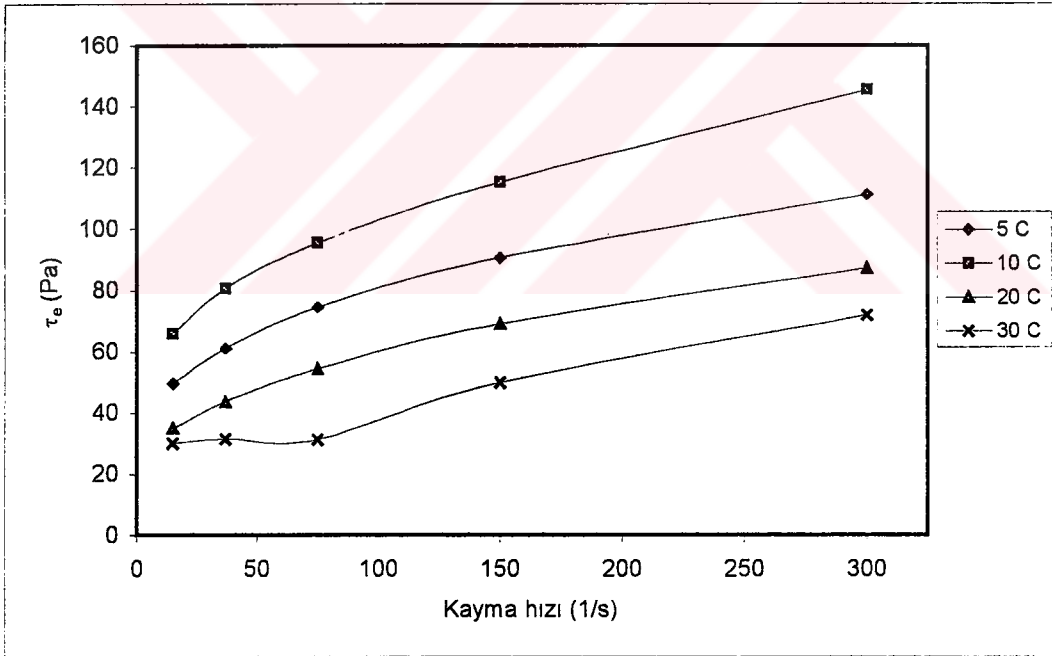


Şekil 5.12. Yedinci gün τ_0 eğrileri

Yine kayma hızına karşı çizilen denge kayma stresi eğrileri (τ_e) Şekil 5.13, 5.14 ve 5.15' de sunulmuştur.



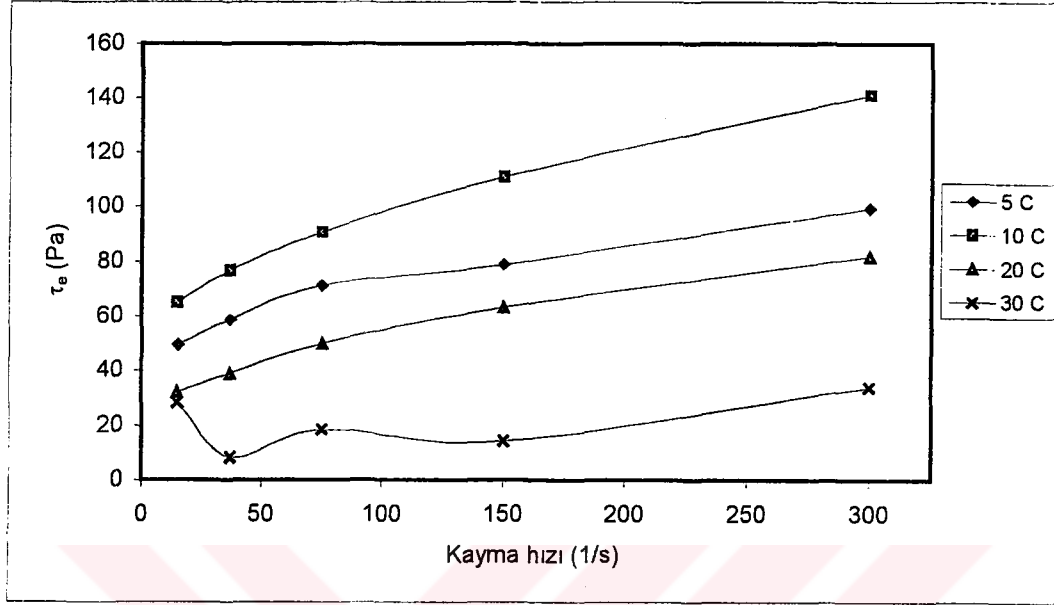
Şekil 5.13. Birinci gün τ_e eğrileri



Şekil 5.14. Dördüncü gün τ_e eğrileri

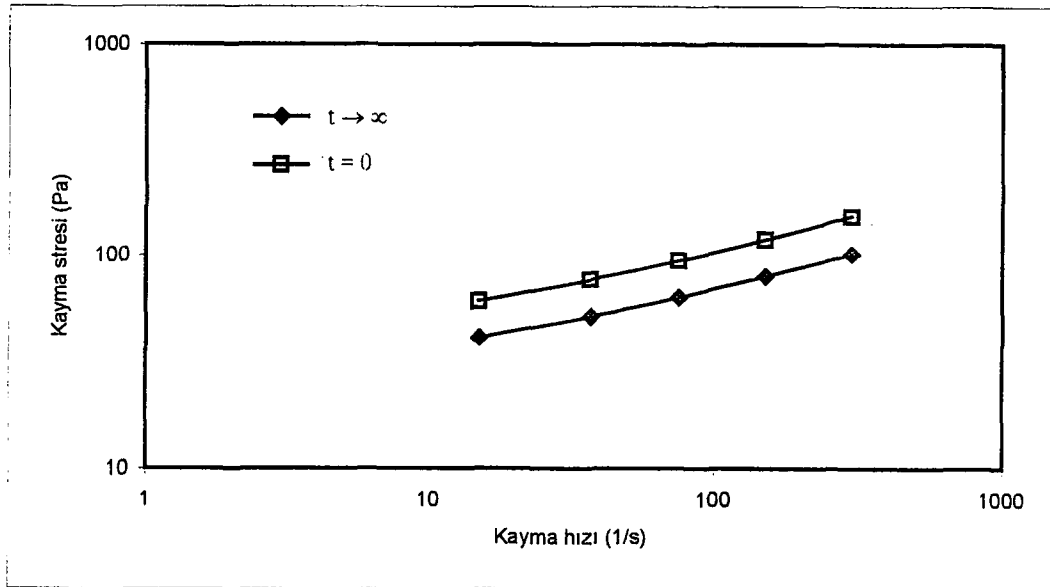
Buraya kadar verilen grafiklerde dikkati çekmekte olan bir konu, 5 °C'deki tüm viskozite ve stres verilerinin 10 °C'deki viskozite ve stres değerlerinden büyük çıkmasıdır. Oysa viskozitenin ve dolayısıyla kayma stresinin sıcaklıkla düşmesi beklenmektedir [38, 16, 20]. Bu durum, tahıllarda % 60-70 oranında nişasta bulunduğu ve bozanın hammaddesinin tahıllar olduğu da göz önüne alınarak

nişastanın jelatinizasyonu ve/veya bozanın içerdği proteinlerin sıcaklık değişimleriyle gösterebileceği fiziksel bir etkileşime bağlanabilir. Ancak bu durumun daha kapsamlı bir çalışmayla teyit edilmesi gerekmektedir.



Şekil 5.15. Yedinci gün τ_e eğrileri

Şekil 5.16'da, 20 °C için elde edilen τ_0 ve τ_e değerlerinin kayma hızı eğrileri verilmiştir. Yapısal parametre (λ), $t = 0$ ve $t \rightarrow \infty$ için sabittir ve sırasıyla 1'e ve λ_e 'ye eşittir.



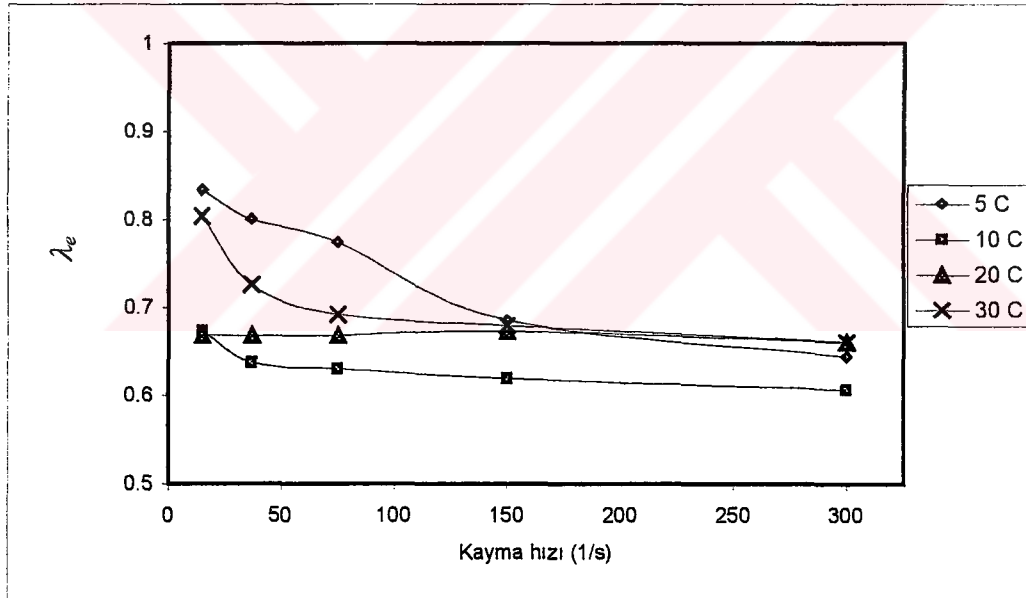
Şekil 5.16. $t = 0$ ve $t \rightarrow \infty$ için kayma stresi - kayma hızı grafiği (1. gün)

Bu grafikteki ve diğer ölçüm şartları için çizdirilen iki eğri aşağı yukarı paraleldir ve bu paralellik yapısal parametrenin sadece zamana bağlı olmasını yansıtmaktadır. λ_e 'nin yalnız zamana bağlı kalması, Butler ve McNulty'nin (1995) buttermilk ve Tiu ve Boger'in (1974) mayonez üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmalarda da gözlemlenen bir durumdur.

5.2.5. Denge Yapısal Parametreleri

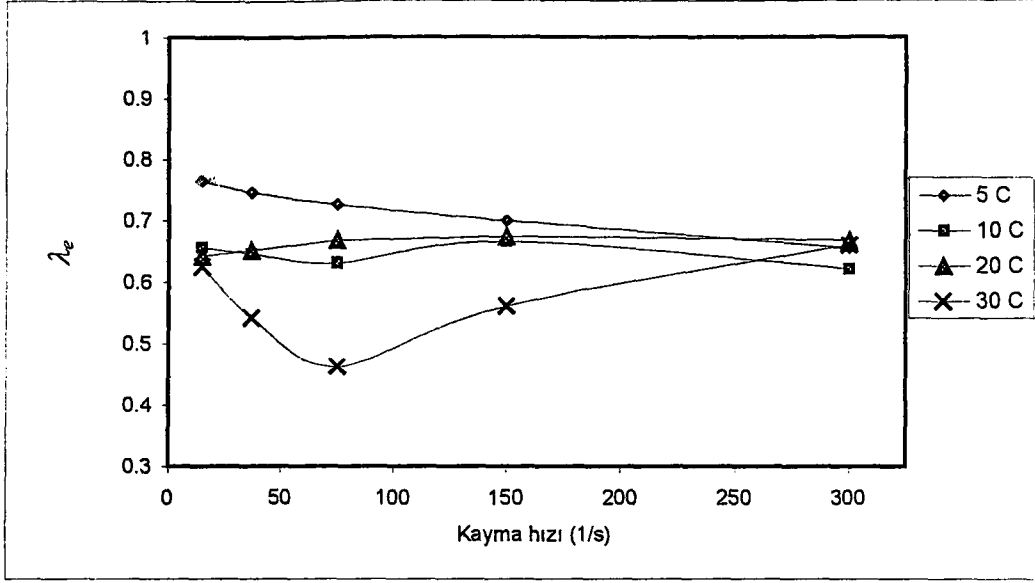
Denge yapısal parametreleri (λ_e), her bir kayma hızında, sıfır anındaki kayma streslerinin (τ_0), denge durumundaki kayma stresi değerlerine (τ_e) bölünmesiyle hesaplanmaktadır.

Bu şekilde kayma hızına karşılık grafikleri çizilen λ_e değerleri, Şekil 5.17, 5.18 ve 5.19'da sunulmaktadır.

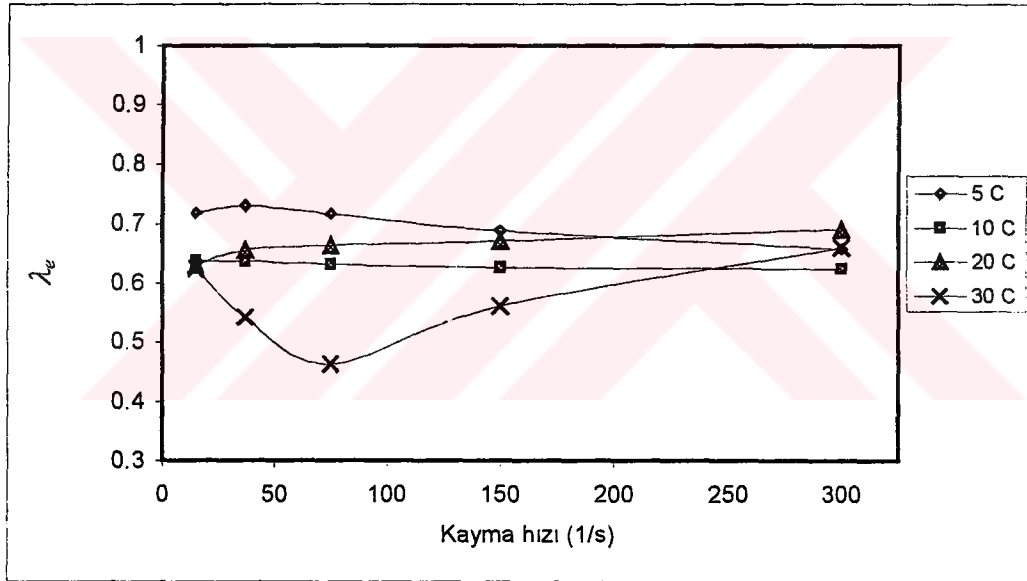


Şekil 5.17. Birinci gün için denge yapısal parametresi - kayma hızı eğrileri

λ_e değerleri, Butler ve McNulty'nin buttermilk (1995) çalışmasında gözlemlendiği gibi aynı deney şartlarında genel bir eğilim olarak kayma hızı arttıkça bir miktar azalmaktadır. Buradan yola çıkarak kayma hızı yükselmesinin, tiksotropi mertebesinde düşüşe yol açtığı yorumu yapılabilir. Aynı günde ve kayma hızında sıcaklık yükselmesinin etkisi ise yine yapısal parametre değerlerini düşürme yönündedir.



Şekil 5.18. Dördüncü gün için denge yapısal parametresi - kayma hızı eğrileri

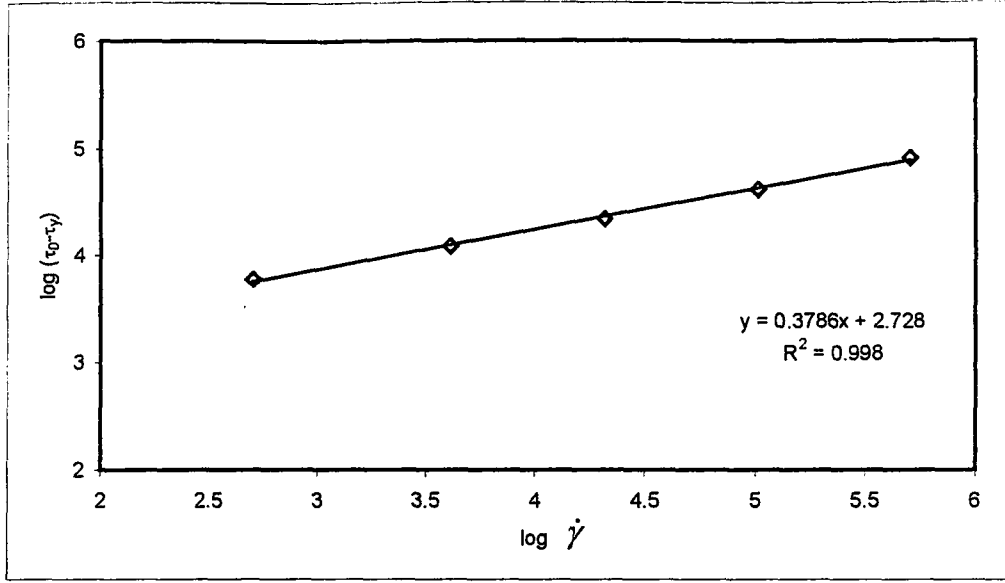


Şekil 5.19. Yedinci gün için kayma hızı-denge yapısal parametresi eğrileri

5.2.6. Kıvam ve Davranış İndeksleri

Kıvam (K) ve davranış (n) indeksleri akışın sıfır anındaki verilerden yola çıkarak bulunmaktadır. Kayma hızına ($\dot{\gamma}$) karşılık, akışın sıfır anındaki kayma stresi ile yıkılma stresi arasındaki fark ($\tau_0 - \tau_y$) logaritmik grafiğe döküldüğünde, oluşacak doğrunun eğimi n , kayımı da K katsayılarını vermektedir.

Şekil 5.20'de 20 °C için çizilen $\log (\tau_0 - \tau_y) - \log \dot{\gamma}$ grafiği görülmektedir.



Şekil 5.20. $\log (\tau_0 - \tau_y)$ - $\log \dot{\gamma}$ grafiği

Tablo 5.3'te anlatılan yöntemle doğru kayımlarından hesaplanan K değerleri ve korelasyon katsayıları sunulmaktadır.

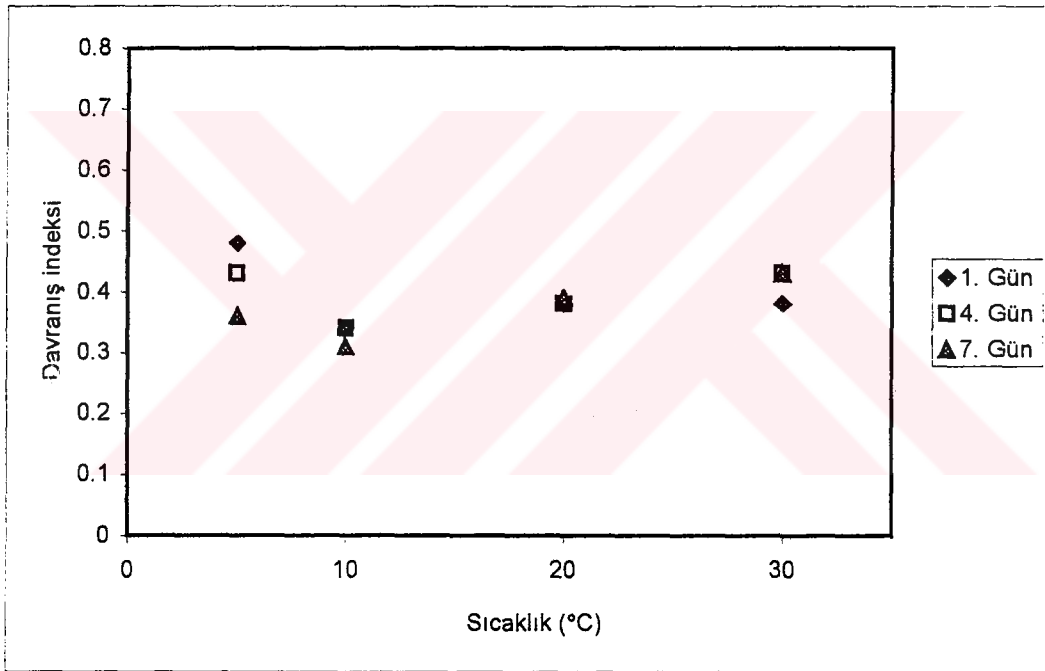
Tablo 5.3. Boza için elde edilen kıvam indeksi değerleri ve korelasyon katsayıları

Kıvam İndeksleri (Pa.s ⁿ) – Korelasyon Katsayıları			
Sıcaklıklar	1. Gün	4. Gün	7. Gün
5 °C	8,6	12,6	15,7
10 °C	32,4	28,9	32,5
20 °C	15,3	12,8	10,7
30 °C	11,8	7,1	6,9

K değerleri elde edilirken hesaplanan korelasyon katsayıları 0,975 en küçük ve 0,991 ortalama değerleri ile oldukça yüksek çıkmıştır. Kıvam indeksi değerleri aynı gün içinde 5 °C'den 10 °C'ye geçerken bir sıçrama yaptıktan sonra sıcaklıkla azalmaktadır. Birçok çalışmada [16, 38, 37] sıcaklıkla sürekli azalma eğiliminde

olduğu bildirilen kıvam indeksinin bozada bu tür bir davranış sergilemesi, daha önce de bahsedildiği gibi, bozanın kimyasal bileşenlerinin sıcaklık değişimi ile gösterebileceği etkileşimlere bağlanabilir. Ancak benzer şekilde 10-30 °C aralığında bozada, diğer çalışmalarda gözlemlenen düşüşler görülmektedir.

Boza için hesaplanan davranış indeksi değerleri Şekil, 5.21'de sıcaklığa karşı çizdirilmiştir. Davranış indeksi, gün, sıcaklık ve paralel değişkenlerinden bağımsız bulunmuş ve birinci ve ikinci paralel ölçümleri için toplam 24 değer in ortalaması alınmıştır. Buna göre boza için davranış indeksi n , 0,370'e eşit olmaktadır. Yine yapılan çalışmalarda (15, 16, 39) davranış indeksinin sıcaklığa bağımlı olmadığı kaydedilmektedir.



Şekil 5.21. Davranış indeksi değerleri

Tablo 5.4'te davranış indeksi değerlerinin paralel, gün ve sıcaklık bağımsız değişkenleriyle ilişkisini irdelleyen ANOVA tablosu verilmektedir.

5.2.7. a_1 ve k_1 Katsayıları

Belirli bir kayma hızında, zamana karşı $\frac{1}{\eta - \eta_e}$ grafiği çizildiğinde ortaya çıkacak

doğrunun eğimi a_1 katsayısını vermektedir. a_1 ve $\dot{\gamma}$, dolayısıyla 3.16 numaralı denklem kullanılarak k_1 ve $\dot{\gamma}$ arasındaki ilişkiyi belirlemek için bu işlemi diğer kayma

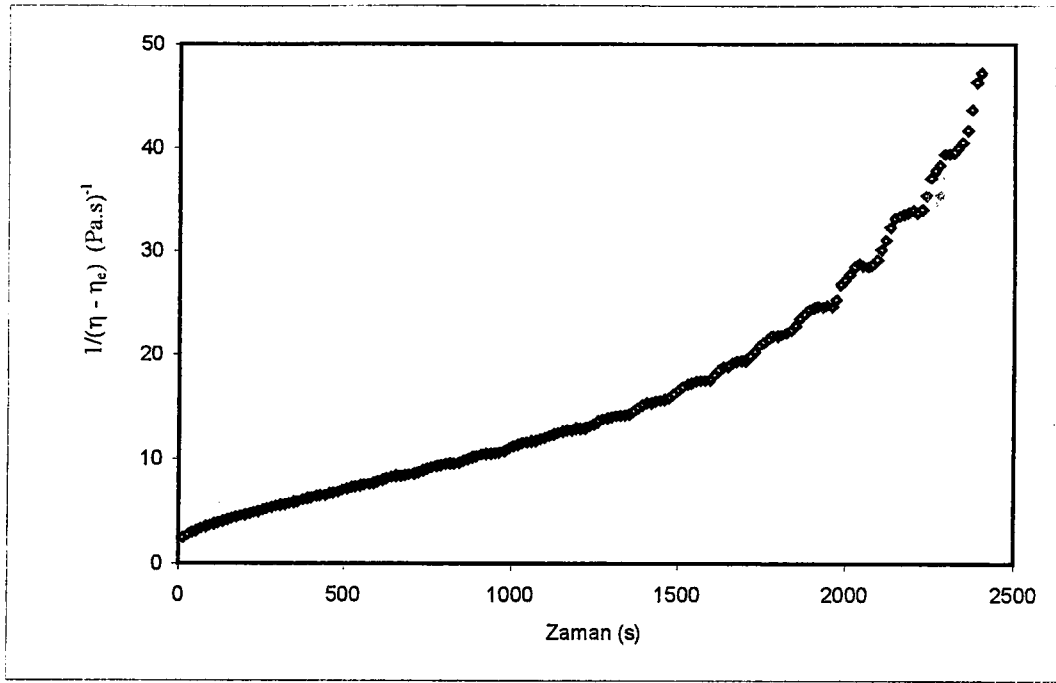
hızlarında tekrarlamak gerekmektedir. Elde edilen doğruların korelasyonu, denklem 3.12 olarak verilen yapısal parametrenin ikinci dereceden kinetik bir değişime uğradığı varsayımının geçerli veya geçersiz olduğunu göstermektedir [18].

Tablo 5.4. Davranış indeksi ANOVA tablosu

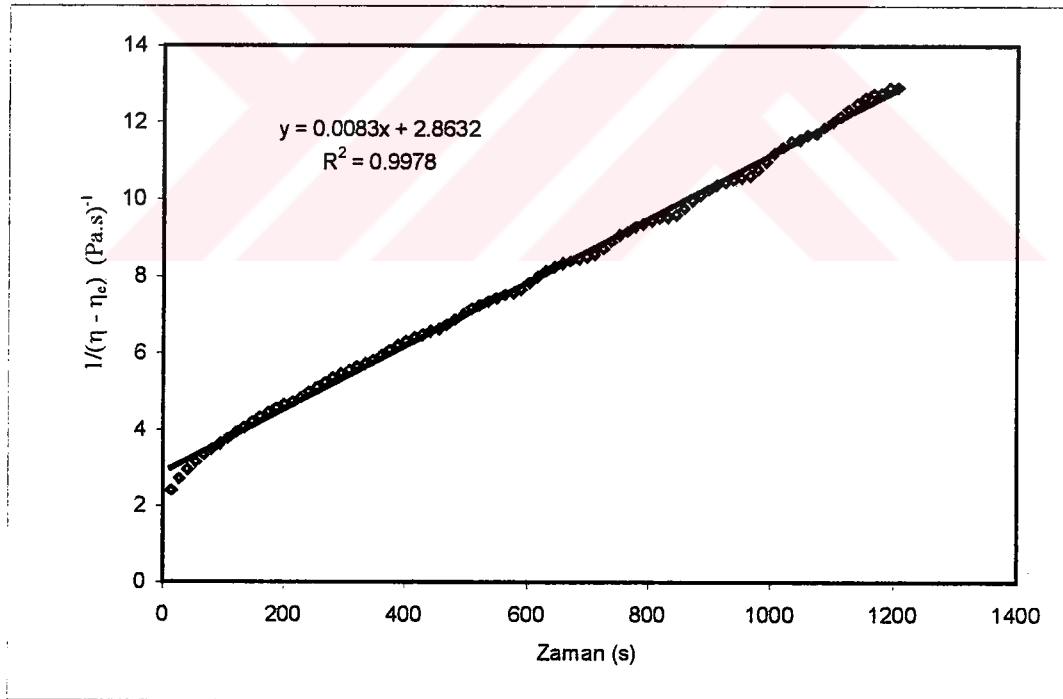
Değişken	df	F	Sig. (Önem)
Sıcaklık	3	2.991	.060
Paralel	1	3.597	.075
Gün	2	2.436	.117

Şekil 5.22’de 20 °C’de çizilen bir $\frac{1}{\eta - \eta_e} - t$ grafiği verilmektedir. Şekilde görülen eğri dikkat edileceği üzere özellikle 25. dakikadan itibaren doğrusallıktan sapmaktadır. Bunun nedeni, yüksek t değerleri için paydanın sıfıra yaklaşması ve dolayısıyla $\frac{1}{\eta - \eta_e}$ oranının sonsuza yakınsamasıdır. Ancak grafik, Şekil 5.23’te olduğu gibi ilk 20 dakika için çizdirilirse, iyi bir korelasyonla ikinci dereceden kinetik değişim varsayımının ilk 20 dakika için doğru olduğunu göstermektedir. Pratikte bu süre, gıda endüstrisinde karşılaşılan pek çok akış işlemini kapsayacak kadar uzundur.

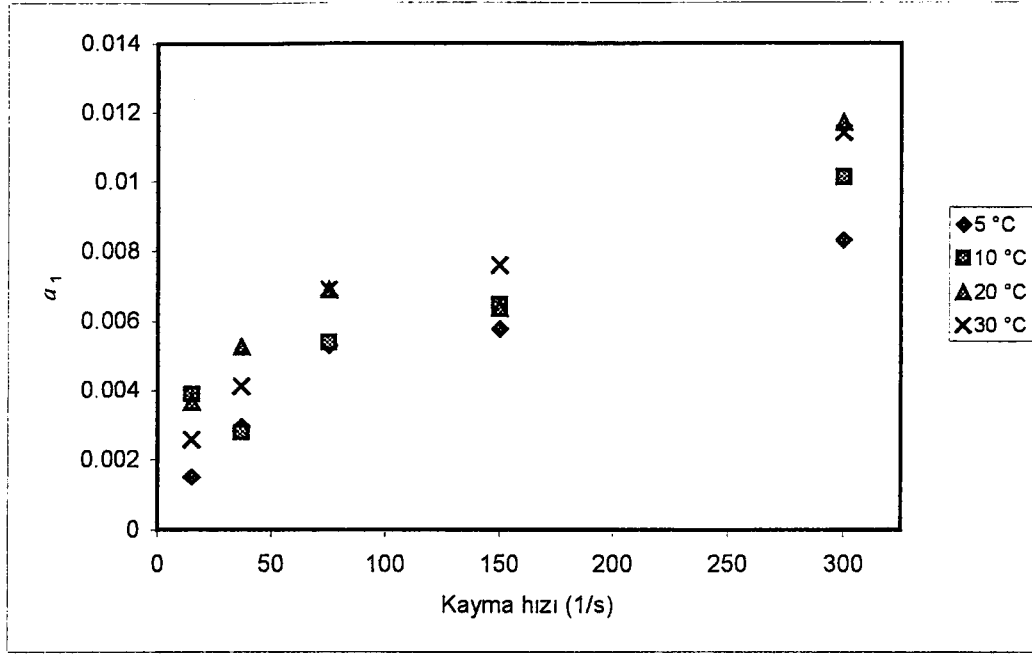
a_1 katsayıları hesaplanırken çizilen bütün grafiklerin korelasyon katsayıları 0.99’dan büyük çıkmıştır. Bu durum da kinetik değişim varsayımını doğrulamaktadır. Şekil 5.24, 5.25 ve 5.26’da sırasıyla kayma hızına karşılık hesaplanan a_1 eğrileri verilmektedir.



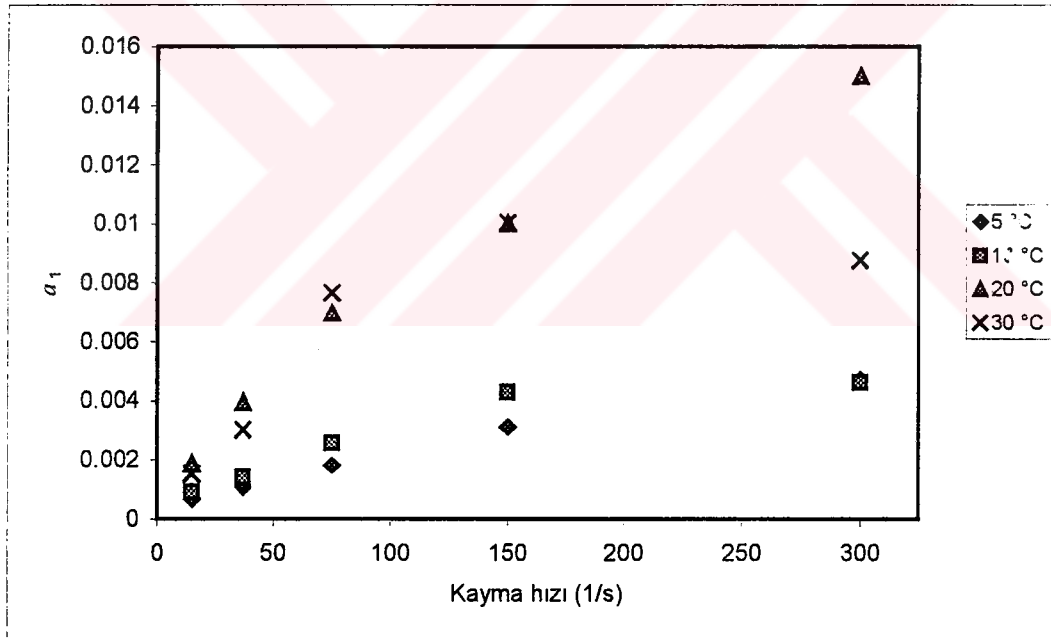
Şekil 5.22. $\frac{1}{\eta - \eta_e} - t$ grafiği ($\dot{\gamma} = 150 \text{ s}^{-1}$)



Şekil 5.23. İlk 20 dakika için $\frac{1}{\eta - \eta_e} - t$ grafiği ($\dot{\gamma} = 150 \text{ s}^{-1}$)

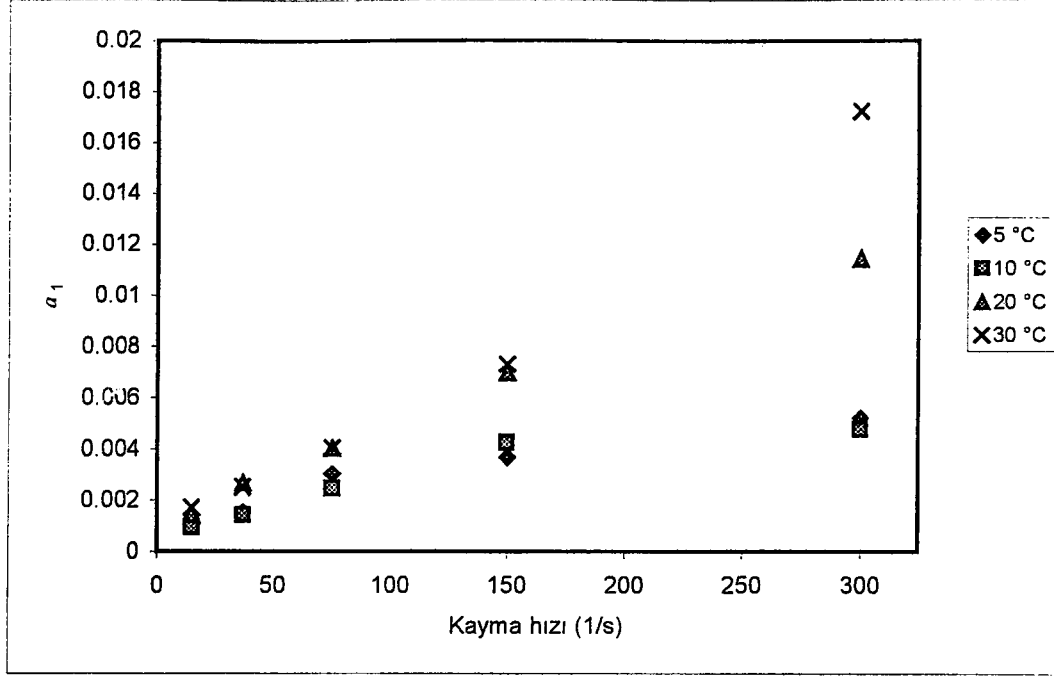


Şekil 5.24. Birinci gün a_1 eğrileri



Şekil 5.25. Dördüncü gün a_1 eğrileri

1., 4. ve 7. gün için bulunan a_1 katsayıları, Butler ve McNulty'nin (1995) buttermilk çalışmalarında bildirdiklerine benzer şekilde, genel eğilim olarak kayma hızıyla artmaktadır.



Şekil 5.26. Yedinci gün a_1 eğrileri

Denklem 3.16 kullanılarak hesaplanan k_1 katsayılarının, Tablo 5.5'te verilen ANOVA testi sonuçlarına göre sıcaklık ve gün etkilerinden bağımsız olduğu ortaya çıkmıştır. Buna göre yapısal parametrenin zamanla değişme hızını gösteren k_1 katsayısı, sadece kayma hızına bağlı kalmaktadır. Elde edilen k_1 değerleri Tablo 5.6'da gösterilmektedir.

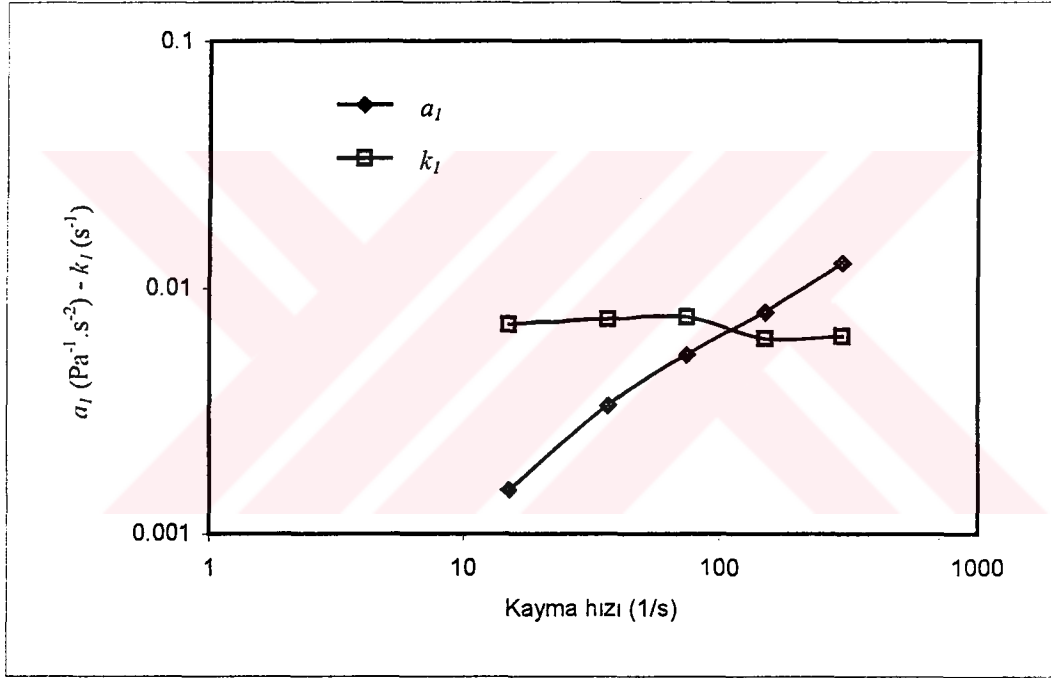
Tablo 5.5. k_1 katsayısı için anova tablosu

Değişken	df	F	Sig. (Önem)
Sıcaklık	3	2,529	0,061
Paralel	1	7,553	0,007
Kayma Hızı	4	3,142	0,018
Gün	2	2.478	0,089

Tablo 5.6. Hesaplanan k_I katsayıları

Kayma hızları (s^{-1})	15	37	75	150	300
k_I katsayıları (s^{-1})	0.00711	0.00748	0.00764	0.00624	0.00637

Kayma hızı ile a_I ve k_I katsayıları arasındaki ilişki Şekil 5.27’de gösterilmektedir. a_I ’in kayma hızıyla önemli ölçüde artarken, k_I ’in ise hemen hemen kayma hızından bağımsız olduğu görülmektedir. k_I kayma hızına bağımlı değilse, yapısal parametre de sadece zamanın fonksiyonu olarak değişmektedir [18].



Şekil 5.27. Kayma hızı ile a_I ve k_I katsayıları arasındaki ilişki

5.2.8. Sonuç Model

k_I için tek bir değer olarak, k_I ’in kayma hızından bağımsız olduğu varsayımı yapıp Tablo 5.6’da verilen tüm sonuçların ortalaması alınabilir [18]. Anlatılan yaklaşım kullanılarak k_I birinci paralel için 0,00697 olarak bulunmuştur. Bu durumda denklem 3.12’de verilen ifade kolaylıkla integre edilebilmektedir. Benzer bir şekilde λ_e değerlerinin de ortalaması alınmış ve sonuç olarak birinci paralel için λ_e 0,65 olarak

hesaplanmıştır. Denklem 3.13, bu varsayımlardan sonra birinci paralel için aşağıdaki şekilde düzenlenebilmektedir.

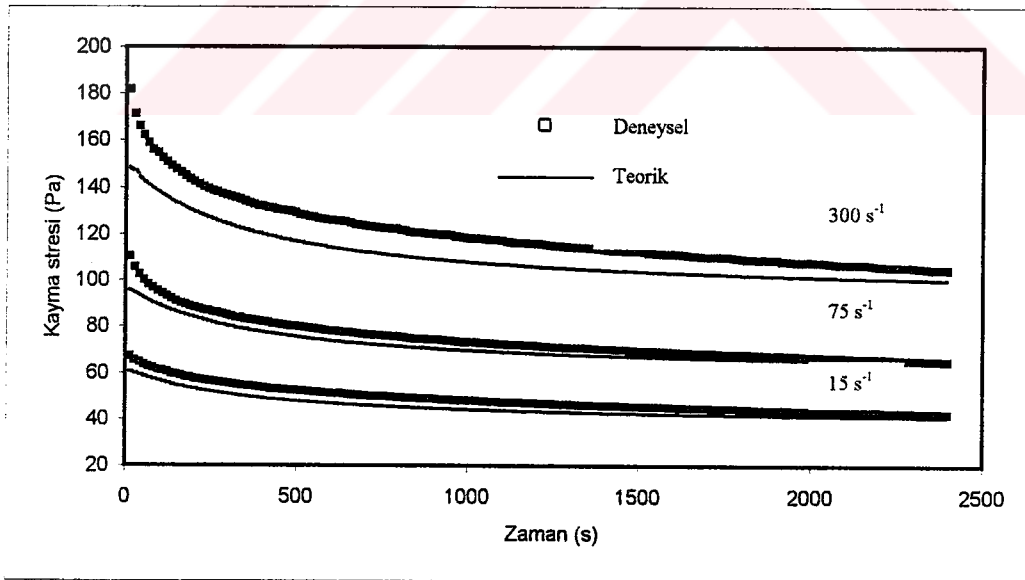
$$\lambda = 0,65 + \frac{1}{2,48 + 0,00697 \cdot t} \quad (3.21)$$

Elde edilen tüm veriler 3.11 numaralı denkleme yerleştirildiğinde bozayı reolojik olarak karakterize eden şu denklem elde edilir:

$$\tau = \left\{ 0,65 + \frac{1}{2,48 + 0,00697 \cdot t} \right\} (\tau_y + K \cdot \dot{\gamma}^{0,370}) \quad (3.22)$$

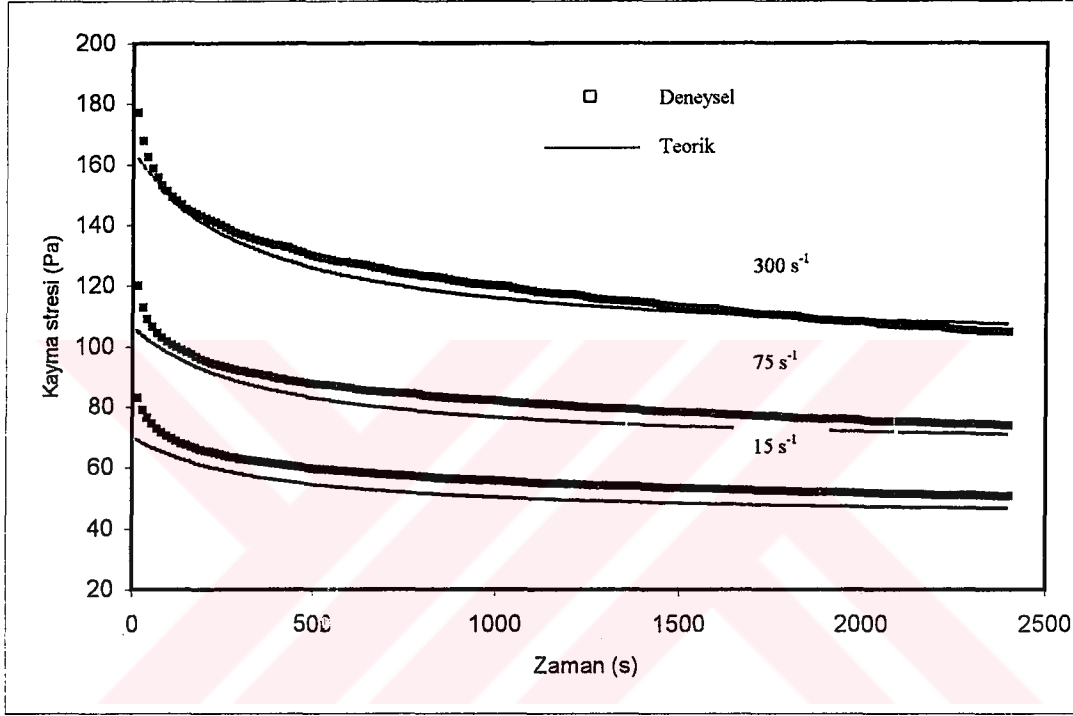
Burada τ_y ve K , deney koşullarına göre sırasıyla Tablo 5.2 ve Tablo 5.3'ten bakılarak denklemdaki yerlerine konulmalıdır.

Sonuç olarak elde edilen denklemin temsil gücünü kontrol etmek üzere, ilgili katsayılar yerleştirilerek 1. gün 20 °C ve 7. gün 5 °C için deneysel ve teorik deneyler sırasıyla Şekil 5.28 ve 5.29'da çizdirilmiştir.



Şekil 5.28. Deneysel ve model yardımıyla elde edilen stres değerlerinin karşılaştırılması

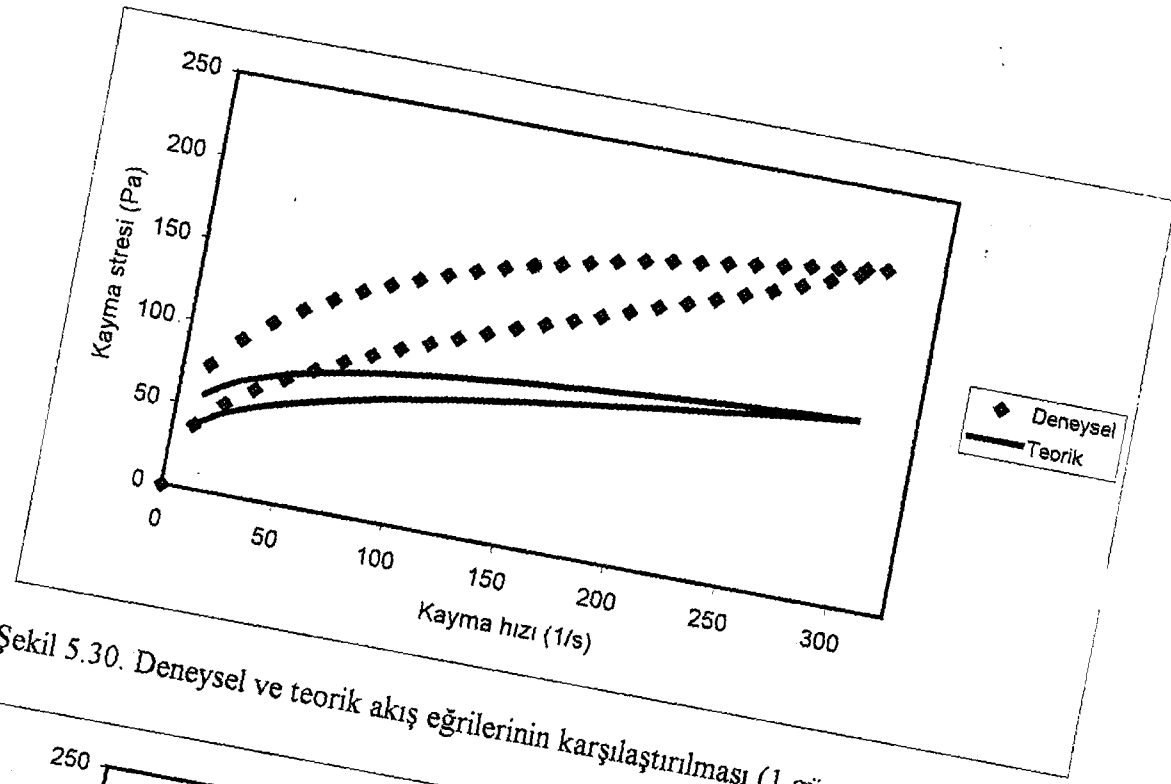
Şekil 5.28 ve 5.29'da görüldüğü gibi elde edilen model, farklı sıcaklık ve günlerde ölçülen deneysel değerleri oldukça iyi temsil etmektedir. Diğer günler ve sıcaklıklarda da benzer şekilde bozayı reolojik olarak temsil edebilen modelde maksimum hata yaklaşık % 15 ile gerçekleşirken, ortalama hata % 10'u geçmemektedir. Son olarak model, parametrelerinin elde edilmesi sırasında kullanılmayan ve farklı üretim partisi numuneleriyle gerçekleştirilen iki değişik deneysel kontrollü kayma hızı ölçümüyle Şekil 5.30 ve 5.31'de kıyaslanmaktadır.



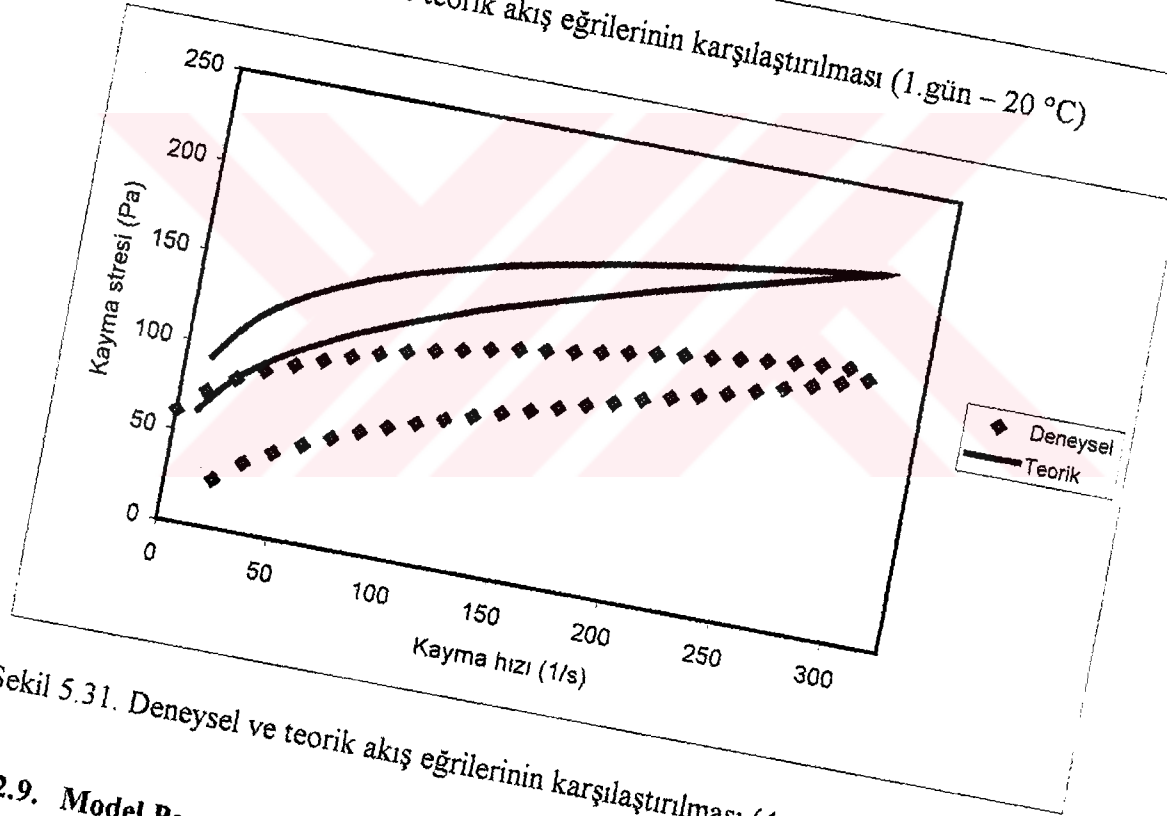
Şekil 5.29. Deneysel ve model yardımıyla elde edilen stres değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 5.30'da görüldüğü üzere teorik değerler, deneysel verilerin altında kalmakta ve hata oranı oldukça yüksek çıkmaktadır. Şekil 5.31'de ise teorik değerler, deneysel verilerin üzerinde çıkarken, hata oranı nispeten düşük kalsa da yine de modelin deneysel akış eğrilerini iyi bir şekilde karakterize ettiği söylenememektedir.

Bu noktada, yine boza üretim partileri arasında farklılıkların meydana geldiği görüşü, bu duruma neden olan faktör olarak ortaya konulabilir. Standart koşullarda üretilmeyen bozanın yine standart olmayan şartlarda bekletilmesi, doğal olarak boza bileşimi ve reolojisi üzerinde farklılıklar meydana getirecektir.



Şekil 5.30. Deneysel ve teorik akış eğrilerinin karşılaştırılması (1.gün - 20 °C)



Şekil 5.31. Deneysel ve teorik akış eğrilerinin karşılaştırılması (4.gün - 20 °C)

5.2.9. Model Parametrelerinin Fermantasyon Süreciyle İlişkisi

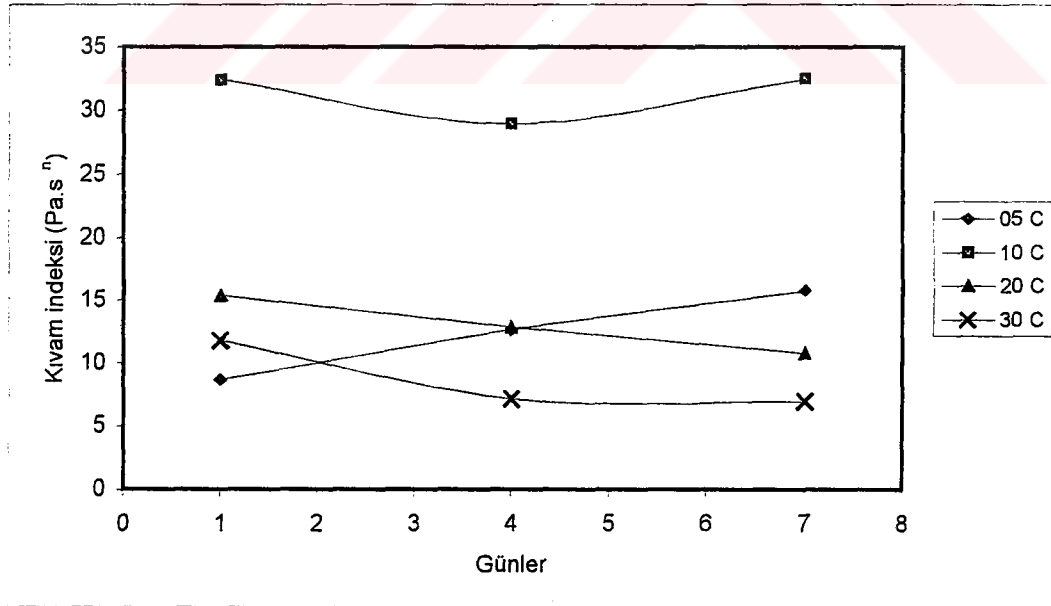
Bozada raf ömrü boyunca devam eden fermantasyon işleminin reolojik özelliklere yansımaları belirlemek üzere 1., 4. ve 7. günlerde yapılan asitlik, pH ve su aktivitesi ölçümlerinin sonuçları Tablo 5.7' de verilmiştir.

Tablo 5.7. Raf ömrü içerisinde bozanın yapısında ortaya çıkan değişimler

Analizler	1. Gün	4. Gün	7. Gün
Toplam asitlik (%)	0,92	3,92	17,02
pH	3,80	3,50	3,10
Su aktivitesi	0,99	0,97	0,95

Fermantasyonun devam etmesiyle 7 gün içinde bozanın asitliği ve pH'ı önemli ölçülerde, su aktivitesi ise nispeten düşük oranlarda değişmektedir.

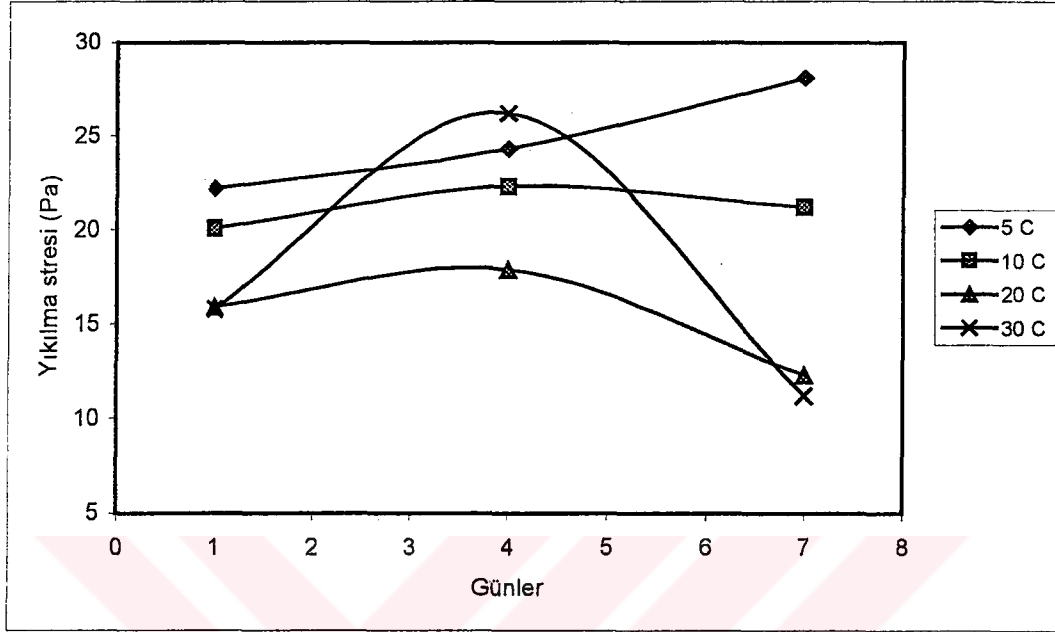
Model parametrelerinden davranış indeksinin (n), gün etkisine bağlı kalmadığı göz önüne alındığında, diğer iki parametre, kıvam indeksi (K) ve yıkılma stresinin (τ_y) zamanla değişimi önem kazanmaktadır. Ancak Şekil 5.32 ve 5.33'te görüldüğü üzere bu iki parametre gün etkisiyle istikrarlı bir şekilde değişmemektedir.



Şekil 5.32. Kıvam indeksinin günle değişimi

Bu yüzden model parametreleriyle fermantasyonun ilerleyişi arasında bir ilişki kurulamamıştır. Bu durumda, reolojik ölçümlerin her sıcaklık için farklı boza

örnekleriyle yapılmasının ve daha önce de belirtildiği gibi boza üretim partilerinin standart olmamasının, sonuçların değişkenliğine neden olduğu görüşü kuvvet kazanmaktadır.



Şekil 5.33. Yıkılma stresinin günle değişimi

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, bozanın reolojik özelliklerine kayma hızının, sıcaklığın, kayma süresinin ve raf ömrü boyunca depolama süresinin etkileri incelenmiş ve elde edilen veriler reolojik denklemlerle modellenmiştir.

Deneylerde kullanılan bozanın kimyasal bileşiminin, literatür bulgularına benzer çıktığı ve kül oranı hariç analizi yapılan tüm bileşenlerin Türk Standartları'nda belirtilen sınırlar içinde olduğu gözlenmiştir.

$0,13-300 \text{ s}^{-1}$ kayma hızı aralığında tiksotropik davranış gösterdiği saptanan bozanın, aynı zamanda yıkılma stresine de sahip olduğu belirlenmiştir. Raf ömrü süresince oldukça değişkenlik gösteren yıkılma stresi ve üslü yasa katsayılarına rağmen, sonuç olarak elde edilen modelin, bozanın hemen her sıcaklık, gün ve kayma hızında elde edilen viskozite eğrilerini oldukça iyi bir şekilde karakterize ettiği belirlenmiştir.

Üretimi standart koşullarda yapılmayan bozayla ilgili ileride yapılacak çalışmalarda, kimyasal özelliklerinin daha detaylı ve sık olarak analizi, farklı sıcaklıklarda bileşiminde bulunan maddelerin sıcaklıkla veya birbirleriyle etkileşiminin belirlenip modellenmesi, kimyasal yapısı sürekli değişmekte olan bozanın depolama sırasındaki reolojik özelliklerinin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Yücel, U. ve Ötleş, S., 1998. Geleneksel Fermente İçeceğimiz Boza., *Gıda*, Şubat, 36-38.
- [2] Topal, Ş. ve Yazıcıoğlu, T., 1986. Boza mikroflorası üzerinde bir araştırma, *19. Diabet Günleri, Gençlik ve Beslenme Kongresi*, İstanbul.
- [3] Birer, S., 1987. Boza yapımı ve özellikleri, *Gıda*, **12** (5), 341-344.
- [4] TS-9778, 1992. Boza Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [5] Hancıoğlu, Ö. and Karapınar, M., 1997. Microflora of boza, a traditional fermented Turkish beverage, *Int. J. of Food Microbiology* **35**, 271-274.
- [6] Pasin, G., 1985. Turkish alcoholic beverages, *In Alcoholic Beverages*, Birch, G.G. and Lindley M.G. (editors), Elsevier, London & New York, s. 115-128.
- [7] Hancıoğlu, Ö., 1996., Boza Fermantasyonunda Rol Oynayan Mikroorganizmaların Tanımlanması ve Kontrollü Koşullarda Boza Üretimi, *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- [8] Gotcheva, V.G., Pandiella, S.S., Angelov, A., Roshkova, Z.G. and Webb, C., 1999. Production of probiotic foods from cereals, *The 17th ICC*, Valencia, Spain, June 6-9.
- [9] Sanders, M. E., 1999. Probiotics, *Food Technology*, **53**, 67-77.
- [10] Steffe, J. F., 1992. Rheological Methods in Food Process Engineering, Freeman Press, Michigan.
- [11] Tiu, C., and Boger, D. V., 1974. Complete Rheological Characterization of Time-Dependent Food Products, *Journal of Texture Studies*, **5**, 329-338.
- [12] Ak, M., 1997. Reoloji Bilim Dalı ve Gıda Endüstrisi, *Gıda ve Teknoloji* **2** (4), 36-46.

- [13] Rao, M. A., 1977. Rheology of Liquid Foods- A Review, *Journal of Texture Studies*, **8**, 135-168.
- [14] Rao, M. A., 1995. Rheology properties of Foods in Engineering Properties of Foods, Marcel Dekker, Inc. New York .
- [15] Lokumcu, F., and Ak, M., 2000. Rheology of Pekmez, Tahin and Their Mixture, *The 2nd International Symposium on Food Rheology and Structure, Zürich, Switzerland*, March 12-16.
- [16] İbanoğlu, Ş., and İbanoğlu, E., 1998. Rheological Characterization of Some Traditional Turkish Soups, *Journal of Food Engineering*, **35**, 251-256.
- [17] Ak, M., and Gunasekaran, S., 2000. Rheological properties of Mayonnaise by lubricated compression, *The 2nd International Symposium on Food Rheology and Structure, Zürich, Switzerland*, March 12-16.
- [18] Butler, F., and McNulty, P., 1995. Time Dependent Rheological Characterization of Buttermilk at 5°, *Journal of Food Engineering* **25**, 569-580.
- [19] Schmitt, L., Ghnassia, G., Bimbenet, J. J., and Cuvelier, G., 1998. Flow Properties of Stirred Yogurt: Calculation of the Pressure Drop for a Thixotropy Fluid, *Journal of Food Engineering*, **37**, 367-388.
- [20] Bhattacharya, S., 1999. Yield Stress and Time-dependent Rheological Properties of Mango Pulp, *Journal of Food Science*, **64** (6), 1029-1033.
- [21] Howard, A. B., 1997. The yield stress-a review or 'παντα ρει' , *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, **81**, 133-178.
- [22] Mewis, J., 1979. Thixotropy-a General Review, *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, **6**, 1-20.
- [23] Kembrowski, Z., and Petera, A., 1979. Rheological Characterization of Thixotropy Fluids, *Rheol Acta*, **18**, 702-710.
- [24] Howard, A. B., 1999. Thixotropy-A Review, *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, **70**, 1-33.
- [25] Rao, M. A., and Steffe, J. F., 1997. Measuring Yield Stress of Fluid Foods, *Food Technology*, **51**, 50-52.
- [26] Yoshimura A. S., and Prud'homme, R. K., Princen, H. M., and Kiss, A. D., 1987. A comparison of Techniques for Measuring Yield Stresses, *Journal of Rheology*, **31** (8), 699-710.
- [27] Basak, S., and Ramaswamy, H. S., 1994. Simultaneous Evaluation of Shear Rate and Time Dependency of Stirred Yogurt Rheology as Influenced by Added Pectin and Strawberry Concentrate, *Journal of Food Engineering*, **21**, 385-393.

- [28] Vefa, İ.S., (1999). Boza üzerinde kişisel görüşme, İstanbul.
- [29] Genç, M., Zorba, M., and Ova, G., 2000. Determination of Rheological Properties of Boza By Using Physical and Sensory Analysis, 4th *International Conference on Argo and Food Physics*, İstanbul, Turkey, May 16-20.
- [30] TS-1594, 1974. Meyve ve Sebze Mamülleri Toplam Katı Madde Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [31] AOAC, 1990. Official Methods of Analysis, Association of Official Analytical Chemists, Washington, D. C.
- [32] TS-1511, 1974. Tahıllar ve Baklagiller ve Bunların Ürünleri Kül Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [33] TS-1594, 1974. Meyve ve Sebze Mamülleri Etanol Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [34] TS-1125, 1972. Meyve ve Sebze Mamülleri Titre Edilebilen Asitlik Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [35] TS-1728, 1974. Meyve ve Sebze Mamülleri pH Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [36] TS-7780, 1990. Boza, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [37] Dintzis, F. R., and Bagley, E. B., 1995. Shear-thickening and flow-induced structure in a system of DMSO containing waxy maize starch, *J. Rheol.* 39 (6), 1399-1409.
- [38] Vitali, A. A., and 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.
- [39] Maskan, M., and Gogus, F., 2000. Effect of Sugar on the Rheological properties of Sunflower Oil-Water Emulsions, *Journal of Food Engineering*, 43 (3), 173-177.

EKLER

EK A

Tablo A.1. İkinci paralel deneyleri için hesaplanan yıkılma stresi değerleri

Yıkılma Stresi Değerleri (Pa)			
Sıcaklık	1. Gün	4. Gün	7. Gün
05 °C	22.2	24.3	28.1
10 °C	20.1	22.3	21.2
20 °C	15.9	17.9	12.3
30 °C	15.8	26.2	11.2

Tablo A.2. İkinci paralel deneyleri için hesaplanan kıvam indeksi değerleri ve korelasyon katsayıları

Kıvam İndeksleri (Pa.s ⁿ) - Korelasyon Katsayıları			
Sıcaklıklar	1. Gün	4. Gün	7. Gün
5 °C	15.2 (0,946)	55.2 (0,999)	50.4 (0,992)
10 °C	23.5 (0,733)	42.3 (0,998)	53.7 (0,999)
20 °C	6.4 (1,000)	28.7 (1,000)	34.7 (0,998)
30 °C	13.1 (1,000)	23.4 (1,000)	35.4 (0,994)

Tablo A.3. İkinci paralel deneyleri için hesaplanan k_1 ve λ_e değerleri

k_1 (s ⁻¹)	λ_e
0,0082	0,72



ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Konya’da doğdu. Orta öğrenimini Kocaeli Anadolu Lisesi ve Kadıköy Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 1994 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü’ne girerek 1998 yılında bu bölümden gıda mühendisi olarak mezun oldu. Aynı yıl İTÜ Gıda Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans eğitimine başlayarak araştırma görevlisi kadrosuna atandı.

