

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAVUÇ SUYU KONSANTRESİNİN REOLOJİK ÖZELLİKLERİ

HANDE N. YILMAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. İBRAHİM DOYMAZ**

İSTANBUL, 2014

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAVUÇ SUYU KONSANTRESİNİN REOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Hande N. YILMAZ tarafından hazırlanan tez çalışması 24.01.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. İbrahim DOYMAZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. İbrahim DOYMAZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Zühal TURGUT
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Osman İSMAİL
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Gıdaların reolojik özellikleri üretimde oldukça önemli bir yere sahiptir. Gıdaların reolojik davranışlarının bilinmesi ekipman tasarımları, karıştırma ve pompalama gibi prosesler için önem arz etmektedir. Ürünün kalitesinin belirlenmesi için de gıdanın kıvamının bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, günümüzde besin değeri açısından ve doğal renklendirici olarak kullanılması sebebiyle oldukça önemli bir yere sahip olan siyah ve sarı havuç suyunun reolojik özellikleri incelenmiştir.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana her konuda yardımcı olan, bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen değerli hocam Sayın Doç. Dr. İbrahim DOYMAZ'a, yüksek lisans sürecinin her aşamasında bilgisi, önerileri ve yardımları ile desteğini gördüğüm ve bana deneysel çalışmalarımı Döhler Gıda San. Tic. A.Ş Ar-Ge Laboratuvarı'nda yürütebilme imkanı veren değerli hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet PALA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarım süresince destek ve yardımlarını gördüğüm başta Kimya Yüksek Müh. Dilek KAYA SARIGÜL olmak üzere, Kimya Müh. Pelin ERDEM'e, Gıda Tek. Aslı PALTUN'a, Gıda Tek. Serpil ÇEŞME'ye, Gıda Tek. Özge KAYA'ya ve Gıda Tek. Merve BİLİM'e çok teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında yanımda olan, beni destekleyen, sevgi ve ilgisini hiçbir zaman benden esirgemeyen babam Hamdi YILMAZ'a, annem Ayfer YILMAZ'a, ablalarım Dürnev ALTINKAYA ve Duygu ÇELİKKOL'a, her konuda desteğini gördüğüm meslektaşım ve çok sevgili arkadaşım Zeynep KERVANCI'ya ve tüm dostlarıma çok teşekkür ederim.

Ocak, 2014

Hande N. YILMAZ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTIMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT	xiv
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	2
1.3 Orijinal Katkı.....	2
BÖLÜM 2.....	3
SEBZE SUYU ÜRETİMİ.....	3
2.1 Hammadde ve Sebzelere Uygulanan Ön İşlemler	6
2.2 Presleme Ön İşlemleri	7
2.2.1 Sebzelerin parçalanması	7
2.3 Mayşeye Uygulanacak İşlemler	8
2.3.1 Mayşenin ısıtılması ve soğutulması	8
2.3.2 Mayşeye askorbik asit ilavesi	9
2.3.3 Mayşenin enzimasyonu	9
2.4 Presleme	9
2.5 Konsantre Etme.....	10
BÖLÜM 3.....	11
HAVUÇ.....	11

3.1	Botanik Özellikleri.....	13
3.2	Ekolojik istekleri.....	17
3.2.1	İklim istekleri.....	17
3.2.2	Toprak istekleri.....	17
3.3	Üretimi.....	18
3.4	Havuç Suyu.....	19
3.4.1	Havuç suyunun kullanım alanları	20
BÖLÜM 4.....		22
REOLOJİ.....		22
4.1	Viskozite.....	23
4.1.1	Kinematik viskozite	24
4.2	Akış Çeşitleri	24
4.2.1	Newtonyen akış.....	24
4.2.2	Newtonyen olmayan akış	25
4.2.2.1	Plastik akış.....	25
4.2.2.2	Psödoplastik akış	26
4.2.2.3	Dilatant akış.....	27
4.3	Tiksotropi.....	28
4.3.1	Negatif tiksotropi	29
4.4	Viskoplastik Sıvılar.....	29
4.5	Viskoelastisite	29
4.6	Sıcaklığın Viskoziteye Etkisi.....	31
4.7	Reolojik Özelliklerin Ölçülmesi	31
4.7.1	Tek noktalı viskozimetreler	32
4.7.1.1	Kılcal viskozimetreler	32
4.7.1.2	Düşen ve dönen bilya viskozimetreleri.....	33
4.7.2	Çok noktalı viskozimetreler.....	34
4.7.2.1	Çift eksenli viskozimetreler.....	34
4.7.2.2	Dönen mil viskozimetresi.....	36
4.7.2.3	Koni ve tabla viskozimetresi	37
4.8	Reolojik Modeller	38
4.8.1	Newton modeli.....	38
4.8.2	Power-law modeli	38
4.8.3	Herschel-Bulkley modeli.....	39
4.8.4	Casson modeli.....	39
4.9	Gıdalarda Reolojinin Önemi.....	39
BÖLÜM 5.....		41
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....		41
BÖLÜM 6.....		47
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....		47
6.1	Metaryel ve Yöntemler.....	47
6.1.1	Metaryel ve Kullanılan Cihazlar	47
6.1.2	Yöntemler	50

BÖLÜM 7.....	51
SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME.....	51
7.1 Siyah Havuç Suyunun Reolojik Özelliklerinin İncelenmesi	51
7.1.1 Siyah havuç suyu için Power-law modelin uygulanması.....	62
7.1.2 Sıcaklığın viskozite üzerindeki etkisi.....	62
7.2 Sarı Havuç Suyunun Reolojik Özelliklerinin İncelenmesi.....	64
7.2.1 Sarı havuç suyu için Power-law modelin uygulanması	75
7.2.2 Sıcaklığın viskozite üzerindeki etkisi.....	75
BÖLÜM 8.....	77
SONUÇ ve ÖNERİLER.....	77
KAYNAKLAR	79
ÖZGEÇMİŞ	82

SİMGE LİSTESİ

a	Alan
A	Akışkan sıvının molekül ağırlığı ve hacmi ile belirlenen sabit
B	Tiksotropi katsayısı
c	Gerilim
C	Alete ait sabit
E	Elastik modül
E _a	Aktivasyon enerjisi
F	Kuvvet
g	Yerçekimi ivmesi
h	Derinlik
k	Kıvam indeksi
k ₀	Frekans faktörü
K	Bilyaya ait sabit
K _v	Alete ait sabit
l	Uzunluk
n	Davranış indeksi
r	Yarıçap
R	Gaz sabiti
t	Süre
T _r	Tork
T	Sıcaklık
T _f	Kayma gerilimi eksenindeki tork
U	Plastik akış
v	Hız
V	Hacim
W	Ağırlık
x	Uzaklık
ρ	Yoğunluk
τ	Kayma gerilmesi
τ ₀	Eşik değeri, akma gerilimi
ΔP	Basınç farkı
Ω	Açısal hız
γ	Kayma hızı
π	Pi sayısı
μ	Dinamik viskozite

λ Deformasyon
 ν Kinematik viskozite

KISALTMA LİSTESİ

°Bx	Briks
°C	Santigrat derece
CGS	Birim sistemi (cm, gram, saniye)
cm	Santimetre
cP	Centipoise
cSt	Centistoke
g	Gram
J	Joule
kCal	Kilokalori
kg	Kilogram
kJ	KiloJoule
l	Litre
mg	Miligram
mPa	MiliPascal
P	Poise
Pa	Pascal
Rpm	Dakikadaki devir sayısı (Revolution per minute)
S	Saniye
St	Stoke

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Sebze suyu.....4
Şekil 2.2	Sebze suyu konsantresi üretimi akış şeması.....5
Şekil 3.1	Havuç çeşitleri 11
Şekil 3.2	Havuç bitkisinde kök 14
Şekil 3.3	Havuç bitkisinde gövde..... 15
Şekil 3.4	Havuç bitkisinde yaprak..... 15
Şekil 3.5	Havuç bitkisinde çiçek..... 16
Şekil 3.6	Havuç bitkisinin tohumu 17
Şekil 3.7	Havuç fidesi..... 18
Şekil 3.8	Havuç suyu 20
Şekil 4.1	Blok tabakalar arasında kayma hızının gösterimi (viskozluk modeli) 23
Şekil 4.2	Newtonyen akış diyagramı..... 25
Şekil 4.3	Bingham plastik akış reogramı 26
Şekil 4.4	Psödoplastik akış reogramı..... 26
Şekil 4.5	Dilatant akış reogramı 27
Şekil 4.6	Dilatant akış mekanizması 28
Şekil 4.7	Tiksotropi reogramı 28
Şekil 4.8	Maxwell modeli ünitesi..... 30
Şekil 4.9	Viskoelastik materyalin mekanik hareketleri Dashpot-Spring-Maxwell birimi 30
Şekil 4.10	Voigt elementi birimi 31
Şekil 4.11	Düşen bilya viskozimetresi 33
Şekil 4.12	Stormer viskozimetresi 35
Şekil 4.13	Haake Rotovisko viskozimetresi 36
Şekil 4.14	Brookfield viskozimetresi 37
Şekil 4.15	Koni tabla viskozimetresi..... 37
Şekil 6.1	Havuç suyu çeşitleri..... 47
Şekil 6.2	Hassas terazi 48
Şekil 6.3	Refraktometre 48
Şekil 6.4	Su banyosu 49
Şekil 6.5	Brookfield LVDV- II+Pro rotasyonel viskozimetre..... 49
Şekil 7.1	8°Bx'lik siyah havuç suyu için kayma hızı-viskozite ilişkisi..... 56
Şekil 7.2	8°Bx'lik siyah havuç suyu için kayma gerilimi-kayma hızı ilişkisi 56
Şekil 7.3	8°Bx'lik siyah havuç suyu için logaritmik kayma hızı-kayma gerilimi ilişkisi 57

Şekil 7.4	20°Bx'lik siyah havuç suyu için kayma hızı-viskozite ilişkisi.....	57
Şekil 7.5	20°Bx'lik siyah havuç suyu için kayma gerilimi-kayma hızı ilişkisi	58
Şekil 7.6	20°Bx'lik siyah havuç suyu için logaritmik kayma hızı-kayma gerilimi ilişkisi	58
Şekil 7.7	40°Bx'lik siyah havuç suyu için kayma hızı-viskozite ilişkisi.....	59
Şekil 7.8	40°Bx'lik siyah havuç suyu için kayma gerilimi-kayma hızı ilişkisi	59
Şekil 7.9	40°Bx'lik siyah havuç suyu için logaritmik kayma hızı-kayma gerilimi ilişkisi	60
Şekil 7.10	55°Bx'lik siyah havuç suyu için kayma hızı-viskozite ilişkisi.....	60
Şekil 7.11	55°Bx'lik siyah havuç suyu için kayma gerilimi-kayma hızı ilişkisi	61
Şekil 7.12	55°Bx'lik siyah havuç suyu için logaritmik kayma hızı-kayma gerilimi ilişkisi	61
Şekil 7.13	Siyah havuç suyu için kıvam indeksinin sıcaklıkla değişimi	63
Şekil 7.14	8°Bx'lik sarı havuç suyu için kayma hızı-viskozite ilişkisi	69
Şekil 7.15	8°Bx'lik sarı havuç suyu için kayma gerilimi-kayma hızı ilişkisi.....	69
Şekil 7.16	8°Bx'lik sarı havuç suyu için logaritmik kayma hızı-kayma gerilimi ilişkisi	70
Şekil 7.17	20°Bx'lik sarı havuç suyu için kayma hızı-viskozite ilişkisi	70
Şekil 7.18	20°Bx'lik sarı havuç suyu için kayma gerilimi-kayma hızı ilişkisi.....	71
Şekil 7.19	20°Bx'lik sarı havuç suyu için logaritmik kayma hızı-kayma gerilimi ilişkisi	71
Şekil 7.20	40°Bx'lik sarı havuç suyu için kayma hızı-viskozite ilişkisi	72
Şekil 7.21	40°Bx'lik sarı havuç suyu için kayma gerilimi-kayma hızı ilişkisi.....	72
Şekil 7.22	40°Bx'lik sarı havuç suyu için logaritmik kayma hızı-kayma gerilimi ilişkisi	73
Şekil 7.23	55°Bx'lik sarı havuç suyu için kayma hızı-viskozite ilişkisi	73
Şekil 7.24	55°Bx'lik sarı havuç suyu için kayma gerilimi-kayma hızı ilişkisi.....	74
Şekil 7.25	55°Bx'lik sarı havuç suyu için logaritmik kayma hızı-kayma gerilimi ilişkisi	74
Şekil 7.26	Sarı havuç suyu için kıvam indeksinin sıcaklıkla değişimi	76

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1	Havuç ve turp üretimi (ton)..... 13
Çizelge 7.1	8°Bx'lik siyah havuç suyu için elde edilen reolojik değerler52
Çizelge 7.2	20°Bx'lik siyah havuç suyu için elde edilen reolojik değerler 53
Çizelge 7.3	40°Bx'lik siyah havuç suyu için elde edilen reolojik değerler 54
Çizelge 7.4	55°Bx'lik siyah havuç suyu için elde edilen reolojik değerler 55
Çizelge 7.5	Siyah havuç suyu için Power-law model denklemleri..... 62
Çizelge 7.6	Siyah havuç suyunun çeşitli briks değerlerinde aktivasyon enerjileri... 64
Çizelge 7.7	8°Bx'lik sarı havuç suyu için elde edilen reolojik değerler..... 65
Çizelge 7.8	20°Bx'lik sarı havuç suyu için elde edilen reolojik değerler..... 66
Çizelge 7.9	40°Bx'lik sarı havuç suyu için elde edilen reolojik değerler.....67
Çizelge 7.10	55°Bx'lik sarı havuç suyu için elde edilen reolojik değerler..... 68
Çizelge 7.11	Sarı havuç suyunun Power-law model denklemleri..... 75
Çizelge 7.12	Sarı havuç suyunun çeşitli briks değerlerinde aktivasyon enerjileri..... 76

HAVUÇ SUYU KONSANTRESİNİN REOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Hande N. YILMAZ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. İbrahim DOYMAZ

Gıdaların reolojik davranışlarının bilinmesi üretimin her aşaması ve gıdaların formülasyonunun hazırlanması için önem arz etmektedir. Karıştırma, pompalama, ısı alışverişi gibi prosesler ve ekipman tasarımı için reolojik özelliklerin bilinmesi gerekmektedir. Aynı zamanda reolojik özellikler duyulara hitap eder ve bu da ürünün kalitesini belirler. Bu çalışmada, tüketici ürünü ve doğal renklendirici ajanı olarak artan öneminden dolayı siyah ve sarı havuç suyunun reolojik özellikleri incelenmiştir. Siyah ve sarı havuç suyunun reolojik özellikleri 8, 20, 40 ve 55 briks değerlerinde, 20, 40 ve 60°C sıcaklıklarda ve uygun kayma hızlarında rotasyonel viskozimetre (Brookfield LVDV- II+Pro) kullanılarak incelenmiştir. Power-law model uygulanarak akış davranış indeksi hem siyah havuç suyu hem de sarı havuç suyu için 1'den büyük bulunmuş, bu da akışkanların dilatant davranış sergilediklerini göstermiştir. Yani kayma hızı arttıkça viskozitesi artan davranış sergiledikleri gözlemlenmiştir. Sıcaklığın etkisini tanımlamak için Arrhenius eşitliği kullanılmıştır. Siyah ve sarı havuç suyunun aktivasyon enerji değerleri briks derecesine bağlı olarak sırasıyla 9,41 ile 47,32 kJ/mol ve 8,01 ile 28,28 kJ/mol aralıklarında bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Havuç suyu, Power-law model, reolojik özellikler, dilatant, Arrhenius eşitliği, viskozimetre.

ABSTRACT

RHEOLOGICAL PROPERTIES OF CARROT JUICE CONCENTRATE

Hande N. YILMAZ

Department of Chemical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ

It's important to know the rheological behaviors of foods for every stage of production and prepare the foods formulation. Rheological properties must be known for such as mixing, pumping, heat exchanging processes and equipment design. The rheological properties appeal to the senses and it also determines the quality of the product. In this study the rheological properties of black and yellow carrot juice were investigated due to their increasing importance both as consumer product and natural coloring agent. Rheological properties of black and yellow carrot juice were studied using rotational viscometer (Brookfield LVDV- II+Pro) at 8, 20, 40 and 55 brix, at 20, 40 and 60 °C and at convenient shear rates. The flow characteristics were described by the Power-law model. Flow behavior index for both black and yellow carrot juice was found more than 1. This shows that fluids are dilatant. So, with increasing shear rate, viscosity increases. The effect of temperature was described by Arrhenius equation. The values of activation energy of black and yellow carrot juices were found in the range of 9,41-47,32 kJ/mol and 8,01-28,28 kJ/mol, respectively.

Key Words: Carrot juices, Power-law model, rheological properties, dilatant, Arrhenius equation, viscometer.

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

1.1 Literatür Özeti

Havuç, *Apiaceae* familyasına ait bir bitkidir. Havucun bilimsel adı *Daucus carota*'dır. Kökü sebze olarak kullanılmaktadır. Havuç çok uzun yıllardan beri yetiştirilmektedir. Botanik sınıflandırmaya göre havuç antosiyanin ve karoten olmak üzere ikiye ayrılır. Antosiyanin gruba ait olan havuçlar mor antosiyanin pigmentlerine sahiptir ve siyah havuç olarak adlandırılmaktadır [1]. Karoten gruba ait olan havuçlar ise rengini karoten grubu pigmentlerden alır ve turuncu renktedir [2].

Türkiye'de önemli havuç bölgeleri Ankara (Beypazarı), Konya (Ereğli ve Çumra), Antalya, Mersin, Hatay, İzmir, Aydın, Manisa ve Güney Marmara'dır [3].

Siyah havuç Türkiye'de Doğu ve Güney Doğu Anadolu bölgelerinde sıkça tüketilen bir içecek türü olan şalgamın ham maddesidir. Siyah havuç antosiyanince oldukça zengindir. Bu sebeple antioksidan işlevi görür [1].

Havuç pişirme dışında çeşitli şekillerde de kullanılmaktadır. Kurularak ve konserve edilerek de değerlendirilir. Havuç insanların tükettiği gıdalar arasında en yüksek karoten içeriğine sahip olan sebzedir ve büyük miktarlarda tüketilmektedir [1].

Günümüzde doğal renklendiricilere talep her geçen gün artmaktadır. Siyah havuç suyu içerdiği mor antosiyanin pigmentler sayesinde doğal renklendirici olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bunun sonucunda da siyah havuç suyu üretimi artmıştır. Türkiye genelinde en önemli üretim yeri Konya'nın Ereğli ilçesidir [1].

Gıdaların ve gıdaların içeriklerini oluşturan katkıların reolojik özellikleri, gıdanın formülasyonunun hazırlanmasında ve üretimin her aşamasında önemlidir. Proses, paketleme veya muhafaza sırasında hammaddeler, katkılar, ara ve ana ürünler, mekanik

strese maruz kalıp deformasyona uğrarlar. Gıda maddelerinin reolojik davranışlarının bilinmesi pompalama, karıştırma, ısı alışverişi gibi prosesler ve makine tasarımları için gereklidir. Bir gıda maddesinin şekli ve kıvamı gibi reolojik özellikler o gıdanın duyular tarafından algılanmasını sağlar ve bu da ürünün kalitesini belirler. Dolayısıyla reolojik ölçümler, işlemlerde giren ve çıkan ürünleri kontrol etmek, işlem hammadde arasındaki ilişkiyi araştırmak ve son ürün yapısını incelemek için gereklidir [4].

Gıda endüstrisinde konsantre meyve ve sebze sularının reolojik karakteristikleri kimyasal ve fiziksel özelliklere ilave olarak önemli bir yere sahiptir. Reolojik özellikler meyvenin kimyasal bileşimi ve işleme koşullarına bağlıdır. Konsantre meyve ve sebze sularının akış davranışları hakkındaki bilgi, kalite kontrol, enerji kullanımı, proses kontrol ve ekipman seçimi gibi noktalarda yararlı olmaktadır. Reolojik bir özellik olan viskozitenin sıvı gıda ürünlerinde kalite ile ilgili olarak önemli bir özellik olduğu da göz önünde bulundurulmalıdır.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada, siyah ve sarı havuç suyunun farklı sıcaklıklarda ve farklı briks değerlerinde reolojik özellikleri incelenecektir. Elde edilecek sonuçlara göre kayma gerilimi-kayma hızı ve kayma hızı-viskozite ilişkileri incelenecek ve bu akışkanların reolojik davranışları saptanacaktır.

1.3 Orijinal Katkı

Siyah ve sarı havuç suyunun reolojik özelliklerini belirlemek için yapılan bu çalışmada havuç suyu konsantreleri Denizli ili Çal ilçesinde yer alan Konfrut Meyve Suyu İşleme Tesislerinden alınmıştır. Konsantrelerin, farklı briks derecelerinde ve değişik sıcaklıklarda viskozite ve kayma gerilimi değerleri bir rotasyonel viskozimetre ile ölçülmüştür. Bu verilerden yararlanılarak kayma gerilimi-kayma hızı ve kayma hızı-viskozite grafikleri çizilmiştir. Ayrıca Power-law modeli verilere uygulanarak akışkanların akış davranış indeksleri bulunarak akışkanların reolojik davranışı saptanmıştır.

BÖLÜM 2

SEBZE SUYU ÜRETİMİ

Sebze işleme endüstrisi, sebzelerin hasadı ile başlayıp tüketime kadar geçen süreyi kapsayan ve bu süre içinde üretim teknolojisinin gerektirdiği çok sayıda prosesi içeren bir endüstri koludur [5].

Meyvelerden olduğu gibi, bazı sebzelerden de içecek üretilmektedir. En yaygın üretileni domates suyudur. Bununla birlikte, havuç, kereviz, ıspanak, kırmızı pancar, biber gibi sebzelerden de içecek üretilmektedir. Hatta bazı ülkelerde adeta bir turşu suyu niteliğinde fermente sebze suları da üretilmektedir. Ayrıca çeşitli sebze suları karıştırılmak suretiyle sebze suyu kokteylleri piyasaya sunulmaktadır [6].

Aslında sebze suları doğal halleriyle genellikle zevkle içilmekten uzak nitelikte fakat vitamin ve madensel maddeler bakımından zengin içeceklerdir. Lezzet vermek üzere, içerisine çeşitli maddeler ilave edilebilir. Hatta laktik asit bakteri kültürleri aşılansarak, belli bir düzeyde asit fermentasyonu sağlandıktan sonra, ambalajlama da uygulanmaktadır. Bu suretle içimi kolaylaştırılmaktadır. Meyve sularında çeşitli toplumlar arasında genellikle büyük bir beğeni farkı olmayabilir. Ancak sebze sularında toplumların lezzet alışkanlıkları çok önemlidir. Örneğin; batı toplumlarının lezzet beklentilerine göre hazırlanmış bir ıspanak veya pancar suyunun ülkemizde tüketilebilmesi olanak dışı görülebilir. Bu açıklamalara göre; ülkemizde yeni üretilmeye başlanan sebze sularının, halkın beğenisini kazanabilecek katkı maddelerinin ilavesiyle hazırlanması gerektiği ortaya çıkmaktadır [6].

Sebze suyu, sebzelerden mekanik yolla elde edilen ve elde edildiği sebzenin karakteristik renk, koku ve tadına sahip, fermente olmamış fakat olabilen üründür [5]. Şekil 2.1’de çeşitli sebze suları görülmektedir.

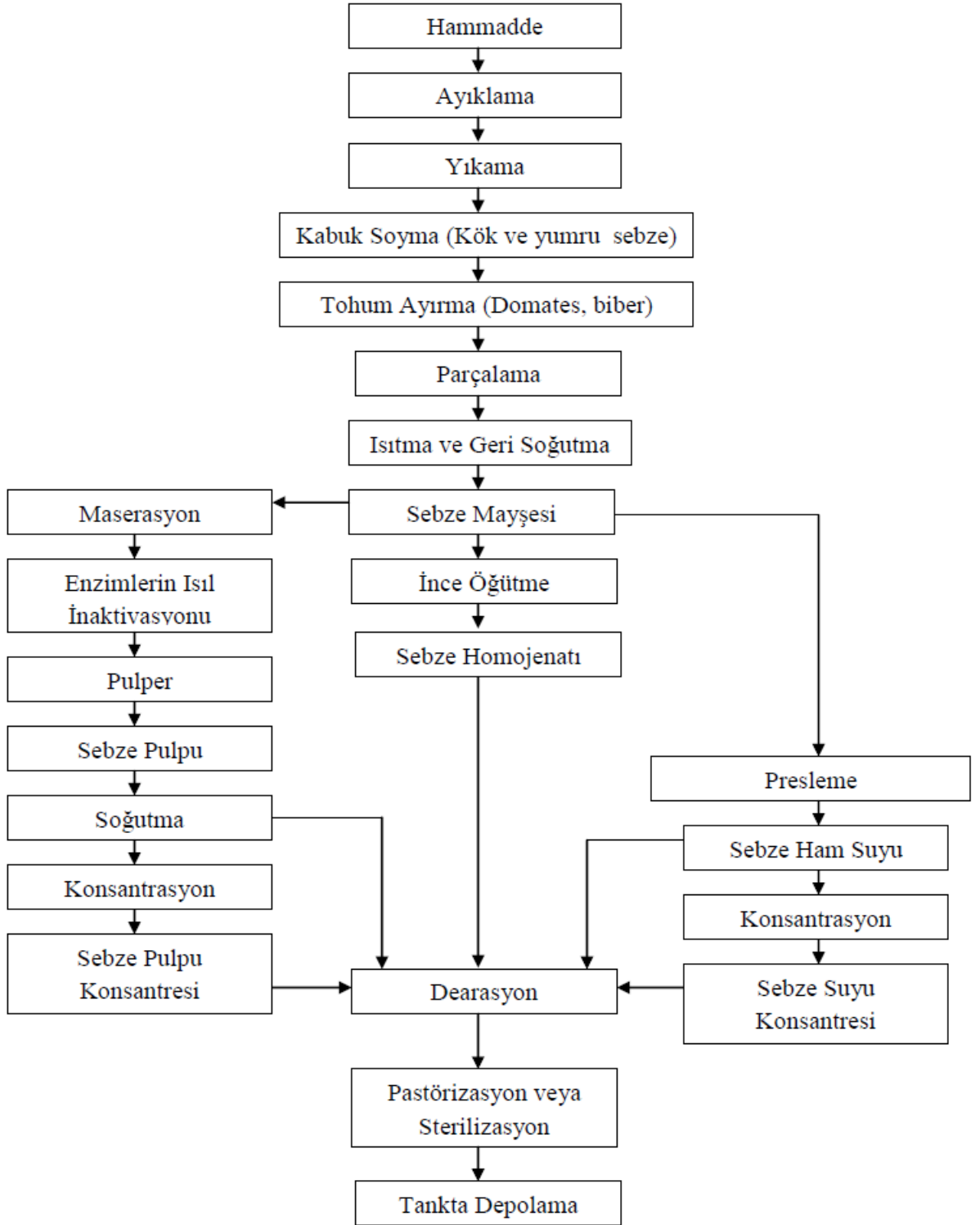


Şekil 2.1 Sebze suyu [7]

Sebze sularına başlangıçta talebin az olmasına rağmen son yıllarda tüketicilerin bilinçlenmesi ile birlikte bu içeceklere olan ilgi giderek artmıştır. Bunun en büyük nedeni sebze sularının iştah açıcı ve sindirimi düzenleyici etki göstermeleri, vitamin ve minerallerce zengin olmalarıdır. Özellikle laktik asit fermentasyonu uygulanmış sebze suları, beslenme fizyolojisinin yanında kalp ve dolaşım bozukluklarında, diyabet ve benzeri hastalıkların tedavisinde etkili olup bu bakımdan hastalara tavsiye edilmektedir [5].

Sebze suyu üretimi için seçilen hammadde, istenen ürün özelliklerini sağlayacak nitelikte olmalıdır. Kaliteli hammaddeler seçilerek, kaliteli ürün eldesi hedeflenmelidir. Aksi takdirde duyuşal ve mikrobiyolojik olarak uygun hammadde kullanılmazsa kaliteli ürüne ulaşmak söz konusu olmaz. Hasat edilen hammadde ne kadar süratle işlenirse elde edilen ürün kalitesini o kadar iyi korur. Bu nedenle fabrikaların hammadde kaynağına yakın olmaları gerekir. Hava koşulları da göz önünde bulundurularak uygun zamanda taşıma gerçekleştirilmelidir [5].

Sebzelerin yapılarının birbirlerinden çok farklı olmasına karşın sebze suyuna işleme yöntemleri az veya çok birbirine benzemektedir. Elde edilen ürünün tat ve aroması, sebze parçacıklarının sebze suyunda süspansiyon halinde dağılmış olmasına bağlıdır. Sebze suyu konsantresi üretimi akış şeması Şekil 2.2’de görülmektedir [5].



Şekil 2.2 Sebze suyu konsantresi üretimi akış şeması [5]

2.1 Hammadde ve Sebzelere Uygulanan Ön İşlemler

Sebzeler, sebze suyuna işlenmeden önce bir dizi ön işlemde geçirilirler. Bu işlemlerin uygulanmasındaki amaç, ürün kalitesini düşürecek hammaddelerin uzaklaştırılarak işleme girmesini engellemek, hammaddenin mikrobiyolojik yükünü hafifletmek ve ileri aşamalar için ürünün işlenmesini kolaylaştırmaktır [5].

Yalnızca olgun, sağlam ve bozulmamış hammadde yüksek kaliteli sebze suları verir. Buna karşılık hastalıklı, bozulmuş hammadde dikkatli bir şekilde ayıklanmalıdır. Solmuş, buruşmuş sebzelerin işlenmesi, istenilmeyen enzimatik değişimlere ve dolayısıyla sebze suyunun denatürasyonuna sebep olur [8].

Kök, yumru ve yaprak sebzeler sonbaharda değerli bileşenleri en fazla miktarlarda içerdiklerinden, bu sebzeler sonbaharda hasat edilerek işlenmelidir. Çeşit de önemlidir, aynı sebze türü içinde değerli bileşenler ve özellikler açısından büyük farklılıklar bulunmaktadır [8].

Üstün nitelikli sebze pulpu ve yarı mamul olarak sebze ham suyu üretiminde modern teknoloji yanında öncelikle hammaddenin kalitesi ve özellikleri çok önemlidir. Bu bakımdan hammaddenin hasattan hemen sonra işletmeye taşınması gerekir. Aksi halde çürüme, küflenme, enzimatik değişimler sonucunda besin maddelerinin parçalanması ve tat maddelerinin denatürasyonu söz konusudur. Makine ile hasat bugün yaygın olarak kullanılmakla birlikte, taş ve berelenmeler sonucu ürünün depolanma süresi de kısalmaktadır [8].

Hammadde, tahta ve plastik kasalarda veya büyük sandıklarda taşınır ve sebze pulpuna veya sebze suyuna işlenir [8].

Ayıklama işlemi, sebze suyu üretiminde dikkatli olunması gereken ilk aşamadır. Sebzeler ayıklanarak ve yıkanarak temizlenir. Ayıklama, yaprak, sap gibi yabancı unsurlarla, ezilmiş, çürümüş ve bozulmuş sebzelerin ayrılıp atılmasıdır. Ayıklama, elde edilecek sebze suyunun niteliği üzerine etki eden en önemli işlemlerden birisidir. Ayıklama sağlık açısından da önemlidir [6].

Sebzeler ayıklandıktan sonra yıkama işlemine tabi tutulurlar. Yıkama işleminde amaç, toz, toprak, yaprak ve sap parçacıkları ile tarımsal ilaç artıklarını uzaklaştırmak ve sebzelerin taşıdığı mikroorganizmaların önemli bir kısmını gidererek sebze suyundaki mikroorganizma yükünü azaltmaktır [6].

Kök ve yumru sebze, örneğin havuç, kereviz, siyah turp, kırmızı pancar gibi sebzelerin ön yıkama ve yıkama işlemi çok iyi gerçekleştirilmelidir [8].

Yıkanan sebzeler için bir sonraki aşama kabuk soyma işlemidir. Kabuk soyma özellikle kök ve yumru sebzelerde ve diğer bazı sebzelerde önemli bir işlem basamağıdır. Mekanik kabuk soymada kayıplar fazladır ve çok seyrek olarak kullanılır. Buna karşılık termik ve kimyasal kabuk soyma tercih edilir. Kimyasal kabuk soymada, kabuğu soyulacak sebzeler uygun bir düzenle alkali banyosundan geçirilirler ve bu arada kabuk gevşer. Termik kabuk soymada ise kabuğu soyulacak sebzeler hızla zayıf bir alkali banyodan geçirilerek bir eğik elavatorle yüksek basınçlı buharla soyma düzenine iletilirler. Kabuk soyma işlemi kapalı bir hücrede, 8-9 barlık yüksek basınçta gerçekleştirilir. Burada uygun bir düzenle yüksek basınç aniden verilir. Böylece sebzelerin dış yüzeyleri gevşer [8].

2.2 Presleme Ön İşlemleri

Sebzeler, preslenmeden önce saplarının ayrılması ve parçalanmaları gerekir. Bu işlemlerdeki amaç, presleme verimini düşürecek ve elde edilecek ürünün kalitesini olumsuz etkileyebilecek unsurları ortamdaki uzaklaştırmak ve parçalanmış sebzelerin kolaylıkla preslenmesini sağlamaktır [5].

Sebzelerin saplarının ayrılması ile presleme ve sonrası işlemlerde üretim sırasında çıkabilecek problemler ortadan kaldırılmış olur. Aynı zamanda sapların ayrılması ile saplardan sebze suyuna istenmeyen maddelerin geçişi de önlenir [5].

2.2.1 Sebzelerin parçalanması

Sebzeler preslenmeden ya da pulp haline getirilmeden önce parçalanarak uygun parça büyüklüğüne getirilmelidir. Sebze ve meyve parçalayan bütün cihazlara değirmen, parçalanmış sebze ya da meyveye ise mayşe denir [6].

Parçalama sırasında doku zedelenecek ufalanır ve hücre zarları belli bir oranda parçalanır. Parçalanmayla birlikte sebze suyu dışarı çıkmaya başlar [6].

Sebzelerin parçalanmasıyla elde edilen sebze parçalarının tane büyüklüğü önemlidir. Çok iri parçalara ayrılmış ya da gereğinden fazla lapa haline getirilmiş sebzeler presleme için uygun değildir. Çünkü iri parçalar yeterli düzeyde preslenemeyecek, çok

küçük parçalar ise preslendiğinde sebze suyunun süspansiyon halinde parçacıklar içermesine sebep olacaktır [6].

2.3 Mayşeye Uygulanacak İşlemler

Mayşe preslenmeden önce ısıtma ve soğutma, askorbik asit ilavesi, mayşe enzimasyonu uygulamalarına tabi tutulur. Bu işlemlerin amacı sebze suyu üretiminde en iyi ürün kalitesi ile en yüksek verime ulaşmaktır [5].

2.3.1 Mayşenin ısıtılması ve soğutulması

Mayşenin ısıtılmasında amaç, parçalanmış sebzenin içinde doğal olarak bulunan enzimlerin inaktif edilmesiyle biyokimyasal reaksiyonların önlenmesidir. Böylelikle özellikle renk, lezzet ve beslenme değerini bozan ve azaltan enzimatik reaksiyonlar önlenmiş olur. Ayrıca ısıtma ile mayşe içinde bulunan mikroorganizmalar da inaktif hale getirilerek mikrobiyal yük azalır ve ileri aşamalarda muhtemel fermentasyon olayının önüne geçilir [6].

Mayşenin ısıtılmasıyla proteinler koagüle olur, hücre zarı geçirgenlik kazanır ve doku gevşer. Bu şekilde preslenecek mayşenin fiziksel yapısı bozulduğundan, preslemenin başlangıcında dokudan su çıkışı biraz yavaşlarsa da toplam verim ısıtılmamış olandan daha yüksektir [6].

Mayşenin ısıtılması ile su verimi arttırılmış, renk ve aroma bileşenlerinin ekstraksiyonu da sağlanmış olur. Öte yandan ısıtma işlemi sayesinde sebzelerin kabuk ve dokularında bulunan pigmentler suyuna geçer ve daha yoğun bir renk elde edilir [5].

Isıtma sıcaklığı ve süresi renk, aroma, lezzet gibi önemli duyuşal özellikler üzerinde oldukça etkilidir ve bunlara dikkat edilmediği takdirde bu duyuşal özelliklerde kayıplar ve ürün kalitesinde düşüş gözlenir. Ayrıca çekirdek, kabuk ve saplardan istenmeyen bazı maddelerin sebze suyuna geçişi hızlanabilir. Mayşenin ısıtıldıktan sonra uzun süre yüksek sıcaklıkta tutulması sakıncalı olacağından hemen soğutulmalıdır [6].

Sebze mayşesinin ısıtılması özellikle enzimlerin ve mikroorganizma sporlarının inaktivasyonu açısından önemlidir. Böylece mayşenin daha sonraki işleme aşamalarında esmerleşmesi ve bozulması önlenir. Ayrıca mayşe yumuşar ve daha iyi pulp haline getirilir veya sebze suyu çıkarılır [8].

2.3.2 Mayşeye askorbik asit ilavesi

Askorbik asit kuvvetli indirgen bir madde olup, oksidatif esmerleşme reaksiyonlarına engel olur. Bu nedenle parçalanmış sebzenin ısıtılarak enzimleri inaktif hale getirilene kadar geçen sürede, ortaya çıkabilecek renk değişimleri en iyi askorbik asit ilavesiyle önlenmektedir [6].

Askorbik asit uygulaması özellikle açık renkli sebzelerde söz konusu olmaktadır. Askorbik asit esmerleşmiş rengi düzeltmez, ancak esmerleşmeyi engeller [6].

2.3.3 Mayşenin enzimasyonu

Sebze suyu üretiminde temel amaç, en yüksek verime en yüksek üretim hızıyla, ürün dayanımı ve kalitesini geliştirerek ulaşmaktır. Bu amaca ulaşabilmek için kullanılan cihazlar, işleme tekniği ve enzim gibi işlem yardımcıları açısından sürekli olarak yeniliklere ihtiyaç duyulmaktadır [5].

Mayşe enzimi uygulamasının pres verimini artırması, işlem süresini kısaltması ve sebzenin önemli bileşenlerinin ekstraksiyonunu sağlaması hedeflenir [5].

2.4 Presleme

Presleme, mayşenin tabii tutulduğu ısıtma ve mayşe enzimasyonu işlemleri sonrasında sahip olduğu katı ve sıvı fazın basınç etkisi ile birbirinden ayrılmasıdır. Amaç sebze suyu ile sebze posasını birbirinden ayırmaktır [6].

Preslemede işlemin gerçekleştiği basınç değeri önemli olmakla birlikte, katman kalınlığı, sebzenin yapısı, elde edilen suyun viskozitesi gibi birçok faktör etkilidir. Presleme gerçekleştirildiğinde, istenen özellikte sebze suyu elde etmek için bu faktörlerin hepsi göz önünde bulundurulmalıdır [6].

Sebzelerin preslenmesi amacıyla çok çeşitli tipte presler geliştirilmiştir. Presler çalışma ilkelerine veya yapılarına göre farklı şekillerde sınıflandırılırlar. Paketli presler, yatay presler, vidalı presler ve bant presler kullanılan pres tipleri olup bunlar tüm sebzelerin preslenmesi için uygundur [6].

Mayşeye istenen özellikteki yapının parçalanma ile sağlanamadığı zamanlarda presleme sırasında filtre kağıdı parçaları, temizlenmiş odun talaşı, temizlenmiş pirinç kapçığı, selüloz lifleri, kizelgur ve perlit gibi pres yardımcı maddeleri kullanılabilir. Fakat bu

maddelerin suyun lezzet, aroma, renk ve diğler niteliklerine kesinlikle etkide bulunmamaları, sebze suyuna yabancı madde vermemeleri ve sebze suyunu emmemeleri gerekir [6].

2.5 Konsantre Etme

Meyve ve sebze suları, içerdikleri suyun bir bölümünün uzaklaştırılması ve bu yolla çözünmüş madde düzeyinin en az %68'e kadar yükseltilmesiyle büyük bir mikrobiyolojik stabilite kazanmaktadır. Konsantrasyon, su aktivitesinin düşmesine neden olarak bu stabiliteyi sağlamaktadır. Böylece meyve ve sebze suyu konsantreleri başka bir yola başvurmadan normal koşullarda saklanabilmekte ve olağan dışı bir neden ortaya çıkmadıkça herhangi bir mikrobiyolojik bozulmaya uğramamaktadır [6].

Konsantre etme, buharlaştırma, dondurma, ters osmoz ya da direkt osmoz olmak üzere üç yöntemle gerçekleştirilmektedir. Konsantrelerin üretiminde sanayide en yaygın olarak kullanılan en önemli yöntem buharlaştırma yöntemidir. Bu yöntem için çeşitli türlerde buharlaştırıcılar kullanılır. Buharlaştırıcılarda sebze ve meyve suları bileşimindeki su buharlaştırılarak uzaklaştırılır. Kaynatma buharlaştırıcıda düşük basınç uygulanarak yapılır ve bu nedenle düşük sıcaklıkta gerçekleşir. Böylece meyve ve sebze sularının aşırı ısı etkisinde kalması engellenerek kalitesi korunmaya çalışılmaktadır [6].

Konsantre etme hacmi azalttığı için depolama, taşıma ve ambalajlamada kolaylık sağlamaktadır. Aynı zamanda ekonomik giderler de azaltılmış olur [6].

BÖLÜM 3

HAVUÇ

Apiaceae familyasından iki yıllık bir bitki olan havucun bilimsel adı *Daucus carota*'dır ve binlerce yıldan beri yetiştirilmektedir. Havuç, kökü sebze olarak kullanılan ve Şekil 3.1'de gösterildiği gibi en önemli köksü sebze bitkilerinden biridir. Yenilebilen etli kökler birinci yıl, çiçek ve tohumları ise ikinci yılda yetişmektedir. Yaprakları çok parçalı, çiçekleri ise şemsiye biçiminde bir arada, küçük, beyaz ve sıktır [1].



a) Sarı havuç [9]



b) Siyah havuç [10]

Şekil 3.1 Havuç çeşitleri

Botanik sınıflandırmaya göre havuç, iki gruba ayrılmaktadır. Bunlar Türkiye, Afganistan, Mısır, Pakistan ve Hindistan'da geleneksel olarak yetiştirilen antosiyanin grubu ve dünya genelinde yetiştirilen karoten grubudur. Antosiyanin grubuna ait havuçlar mor antosiyanin pigmentlerine sahiptir. Karoten grubuna ise havuçlar turuncu renkte pigmentlere sahiptir. Sıcak iklim ürünü olan siyah havuç, Türkiye'nin bazı bölgelerinde

yıl boyunca yetiştirilmektedir. Türkiye’de en önemli üretim bölgesi İç Anadolu bölgesi olup, Konya Ereğli ilçesi Türkiye genelinde en önemli üretim yeridir [1].

Siyah havuç, derin, yumuşak ve kumlu topraklarda daha iyi gelişir. Antosiyanince zengin bir besin olan siyah havuç, az ışık, yüksek rutubet ve nispeten düşük sıcaklık şartlarında iyi bir gelişme göstermektedir. Optimum gelişim özellikleri açısından 15-21°C’lik sıcaklığın iyi olduğu bilinmektedir. Yine gelişme şartlarının havucun rengi üzerine etkisinin incelendiği çalışmalara göre, ilkbaharda yetişen havuçların renklerinin sonbahar ve kışın yetiştirilenlere göre daha iyi ve gösterişli olduğu belirtilmektedir [1].

Siyah havuçta önemli miktarda şeker bulunmaktadır. Türkiye’de yetiştirilen siyah havuçlarda temel çözümlü şekerler olarak glikoz, fruktoz, ve sükroz bulunmaktadır. Öte yandan siyah havuçta 142,3-159,6 g/kg arasında kuru madde, 7,0-13,8 g/kg arasında protein, mineral maddelerden 4-5 mg/kg demir, 1790-2220 mg/kg potasyum, 252-310 mg/kg fosfor, 478-650 mg/kg kalsiyum ve 298-447 mg/kg sodyum bulunmaktadır. Bununla beraber havuçların bileşimleri çeşit ve üretim koşullarına göre değişmektedir. Günümüzde doğal gıda renklendiricilerine talep artışı nedeniyle her geçen gün siyah havuç üretimi artmaktadır [1].

Karoten gruba ait olan sarı havucun her 100 gramında 87,7 g su, 0,19 g yağ, 10,14 g karbonhidrat, 3 g lif, 323 mg potasyum, 44 mg fosfor, 35 mg sodyum, 27 mg kalsiyum, 15 mg magnezyum, 14 mg folik asit bulunmaktadır [11].

Havuç pişirme dışında çeşitli şekillerde de kullanılmaktadır. Kurularak ve konserve edilerek de değerlendirilir. Havuç insanların tükettiği gıdalar arasında en yüksek karoten içeriğine sahip olan sebzedir ve büyük miktarlarda tüketilmektedir. İnsan beslenmesinde A vitamininin büyük çoğunluğu havuç gibi sebzeler ve karotenin önemli miktarlarını içeren meyvelerden gelmektedir. β -karoten siyah havuçlarda temel pigmenttir ve miktarı %60-80’e kadar çıkabilir. Karotenoid pigmentlerinin çeşitli tipleri izole edilmiş ve tanımlanmıştır. Havuçların cazip kırmızı rengi likopenden kaynaklanmaktadır. Havuçta C vitamini, Tiamin, Riboflavin gibi vitaminler ve ayrıca kalsiyum, fosfor, magnezyum, sodyum ve potasyum gibi mineraller de bulunmaktadır [1].

Çizelge 3.1’de 2007-2011 yılları arasında havuç ve turpu en çok üreten ülkeler gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Havuç ve turp üretimi (ton) [12]

Ülke	Yıl				
	2007	2008	2009	2010	2011
Çin	12.085.793	14.859.319	15.168.351	15.662.178	16.233.213
Rusya	1.346.980	1.530.170	1.518.650	1.303.300	1.735.030
ABD	1.450.260	1.478.680	1.326.830	1.341.700	1.305.600
Özbekistan	815.000	910.000	995.000	1.107.000	1.220.000
Polonya	938.230	817.024	913.304	764.585	887.374
Ukrayna	597.100	739.600	686.400	714.600	864.200
İngiltere	752.277	719.270	718.700	763.100	694.104
Türkiye	641.953	591.538	593.628	533.253	602.078
Japonya	665.900	656.800	650.100	595.700	602.003
Toplam	19.293.493	22.302.401	22.570.963	22.785.416	24.143.602

3.1 Botanik Özellikleri

Kök: Kökün besin maddelerini depolaması sonucu havucun yumrusu oluşur. Havuçların büyük bölümünde yenen kısmın tamamı kazık kökten, bazılarında ise yenen kısmın bir parçası kazık kökten oluşmaktadır. Yumru esasında 2/3 kök ve 1/3 hipokotilden meydana gelir. Bir havucun enine ve boyuna kesiti alındığında içte bir öz kısmı bulunur. Bu kısım ksilemden meydana gelmiştir. Onun üstünde içten dışa doğru kambiyum, floem ve kabuk yer alır. Floem besin maddelerinin asıl toplandığı yumuşak yenen kısımdır. Havuç herhangi bir olumsuz faktörden etkilenmediği ve toprak şartlarının uygun olduğu zaman 70-80 cm kadar derine gidebilse de tercih edileni 10-20 cm arasındadır. Havuçlarda kök ucunun yuvarlak olması istenir. Yakın zamanlara kadar üretilen havuçların uçları sivri iken son yıllarda yapılan çalışmalarla ucu küt çeşitler elde edilmiştir [13]. Şekil 3.2’de havuç bitkisinin kökü görülmektedir.



Şekil 3.2 Havuç bitkisinde kök [13]

Toprak özellikleri, toprağın işlenmesi, sulama şekli ve zamanı, tohumların sık veya seyrek ekilişi, topraktaki kireç miktarı gibi faktörlerin havucun kök yapısındaki şekillenmeye etkisi olmakta ve elverişsiz durumlarda köklerde çatallaşma, eğri uçluluk, enine ve boyuna çatlamlar görülmektedir. Havuçlarda renk beyazdan başlar, sarı portakal, turuncu, kırmızı ve mora kadar değişir. Renk oluşumu karotin, antosiyanin, antiklorür ve klorofilin etkisi ile meydana gelir [13].

Gövde: Havuç gövdesi, hemen üst kısmında oluşan ve bir rozet yapısındaki yaprakların orta kısmından ikinci yılda oluşur. Çeşide, bakım ve iklim şartlarına bağlı olarak 150-160 cm'ye kadar boy alır ve gövdenin ucu bir çiçek şemsiyesi ile son bulur. Gövde ucunda aşağıdan yukarıya doğru biraz küçülerek devam eden yapraklar yer alır. Yaprak koltuklarından birincil, bunun üstünden ikincil, ikincillerin üstünden de üçüncül yapraklar ve çiçek demetleri oluşur. Gövde yan dalların uç kısımlarında bir şemsiye ile son bulur. Bitkinin gövdesi dayanıklı yapıdadır. Desteğe gerek kalmadan çiçek şemsiyelerini ve tohumlarını taşır [13]. Havuç bitkisinin gövdesi Şekil 3.3'te görülmektedir.



Şekil 3.3 Havuç bitkisinde gövde [13]

Yaprak: Havuç bol miktarda yaprak meydana getirir. Geç gelişen yüksek verimli çeşitlerde yaprak miktarı, erkenci çeşitlere göre daha fazladır. Yapraklar tabak şeklindeki gövdenin ortasından çıkar. Bileşik yaprak görünümünde olup çok parçalı, üstleri tüysüz veya çok sert tüylü, renkleri sarı yeşil, koyu yeşil, gri veya mavimtrak yeşil olabilir. Yapraklar 40-50 cm boylanabilir [13]. Şekil 3.4'te havuç bitkisinin yaprağı görülmektedir.



Şekil 3.4 Havuç bitkisinde yaprak [13]

Çiçek: Havuç iki yıllık bir bitkidir. Birinci yıl vegetatif organları, ikinci yıl çiçek meydana getirir. Çiçekler 60-100 cm uzunluktaki bir sap ucunda bir çok çiçekten oluşan bir şemsiye şeklinde oluşur. İlk çiçeklenme bitkinin en üst kısmındaki ana şemsiyede başlar. Bitkinin çiçeklenmeye başlaması ile yaprak rozetinin içinde çiçek kümesi taşıyan yapraklı 60-100 cm uzunluğunda bir çiçek sürgünü meydana gelir. Bu ana sürgünün her

yaprak koltuğunda ucunda şemsiye şeklinde çiçek kümesi içeren yan sürgünler oluşur. Çiçeklenme 4 hafta süresince tamamlanır [13].

Havuç çiçekleri biyolojik bakımdan çoğunlukla erselik veya saf erkek çiçektir. Her çiçekte 5 çanak, 5 çanak yaprak ve 5 erkek organ vardır. Yumurtalık iki gözlü olup her gözde birer tohum bulunur. Taç yapraklar genellikle beyaz renklidir. Nadiren de olsa yeşilimtrak beyaz renkli çiçeğe sahip olanları da vardır [13]. Havuç bitkisinin çiçeği Şekil 3.5'te gösterilmektedir.



Şekil 3.5 Havuç bitkisinde çiçek [13]

Döllenme böceklerin ve sineklerin yardımı ile olur. Havuçta kendine kısırlık tespit edilmemiş olup, bir bitkinin farklı çeşitleri birbirlerini dölleyebilir. Havuçların bazı çeşitlerinde ise erkek organların polenleri daha erken olgunlaştığından kendine dölleme yapamaz yabancı döllemeye ihtiyaç duyar [13].

Tohum: Havuç tohumları çok küçük, sarımtrak kurşuni renkli ve hafif çengellidir. Çok defa birkaçı birbirine yapışık durumda bulunur. Tohumlar 2-4 mm uzunlukta 1-1,5 mm genişlikte ve 0,4-1 mm kalınlığındadır. Bir gramında tohumların temizliği %90 olup, çimlenme güçleri %60-65 arasındadır. Tohumlar iyi muhafaza şartlarında 3-4 yıl çimlenme güçlerini korurlar. Tohumu saran tüyler tohum ağırlığının %20-30 kadarını oluşturur. Tohumların ekimden önce tüyelerinin arındırılması gerekir. Tüylü halde yapılacak ekim büyük problem oluşturur. Zira birbirine yapışan tüyler ekimin yeknesak dağılımını olumsuz etkiler. Tohumlar hasat sonrası dinlenmeye ihtiyaç duymadan ekilebilirler [13]. Şekil 3.6'da havuç bitkisinin tohumu görülmektedir.



Şekil 3.6 Havuç bitkisinin tohumu [13]

3.2 Ekolojik istekleri

3.2.1 İklim istekleri

Havuç kısa gün ve serin iklim bitkisidir. Özellikle çimlenme sonrasındaki erken dönemlerde soğuklara karşı dayanıklıdır. Ilıman bölgelerde, kış aylarında yetiştirilmektedir. Havuç üretiminde sıcaklığın önemli yeri vardır. Yetiştirme anında düşük sıcaklıklar bitkinin çiçek oluşumuna neden olmasıyla verim kaybı görülürken, renginde de açılmalar meydana gelir. Yüksek sıcaklıklarda ise ürünün şekil ve renginin değiştiği görülür. En uygun sıcaklık 15-20 °C'dir. Az ışıklı yüksek toprak neminde ve düşük sıcaklıklarda iyi verim sağlanır. Yetiştiricilikte yağış ve nemin önemli rolü vardır. Sürekli yağışlarda üretim zorlaşır ve verimde düşme meydana gelir [13].

3.2.2 Toprak istekleri

İklim isteklerinde seçici olan havuç, toprak bakımından da seçicidir. Toprağın yapısı, üretimde önemli rol oynar. Havuç, derin ve gevşek bünyeli, geçirgen, organik maddelerce zengin, uygun oranda kireç ihtiva eden kumlu-tınlı veya tınlı-kumlu topraklarda en iyi sonucu verir. Erkencilik için kumlu-tınlı topraklar tercih edilirken verim için milli ve tınlı topraklar seçilmelidir. Havuçlar yüksek toprak asidite karşı oldukça hassas, orta derecede tuza dayanıklıdır. En uygun toprak, pH 6,5-7,5 arasındadır. Toprağın pH'ı, 5'in altında ise istenilen oranda verim alınamaz [13].

3.3 Üretimi

Havuç, doğrudan tohum ile yetiştirilir. Havuç tohumları küçük olduğu, çimlenme oranı düşük olduğu ve çevre koşullarından çabuk etkilendiği için toprağının çok iyi hazırlanması gerekir. Yetiştiricilik yapılacak yerin yabancı maddelerden ve zararlılardan arındırılmış olması gerekir. Bunun için toprak, ekim öncesi bir iki kez sürülmeli, gerekli hallerde toprak, yabancı ot ilaçlaması ile ilaçlanmalıdır [13]. Şekil 3.7’de havuç fidesi görülmektedir.



Şekil 3.7 Havuç fidesi [13]

Havuç ekim zamanı, sıcaklık durumuna, çeşit özelliğine, pazarlama durumuna göre değişir. Tohumlar dikenli olduğu için avuç içinde ovuşturmak suretiyle birbirinden ayrılmalı serpmeye veya mibzerle ekim yapılmalıdır [13].

Tohum ekimi bölgenin iklim şartlarına göre şubat ayından kasım ayına kadar yapılabilir. Ekim sıraya veya serpmeye olmak üzere yapılabilir. Serpmeye ekim yapılacaksa tohumların bir araya düşmemesi için toprak veya kumla karıştırılarak ekimi yapılmalıdır. Daha sonra üzerlerine 1-2 cm kadar harçlı toprak konularak kapatılmalı ve tokmak ile hafifçe bastırılmalıdır. En iyi ekim derinliği 2-3 cm olup, daha derinlere düşen tohumların çimlenip toprak yüzeyine çıkmasında sıkıntı yaşanmaktadır. Dekara 5-9 kg tohum atılır. Ekim mesafeleri kısa çeşitlerde 10×2, uzun çeşitlerde 10×8 cm’dir [13].

3.4 Havuç Suyu

Havuçlar çeşitli yöntemlerle işlenebilir. İyice yıkandıktan sonra, kabukları buharla veya kalevi uygulamasıyla soyulur. Sonra bir değirmende kıyılıp, paketli preste veya horizontal sepetli preste sıkılarak suyu çıkarılır [6].

Başka bir yönteme göre ise, soyulmuş havuçlar 15-20 dakika süre ile bütün halde buhara arz edilerek yumuşatılır. Sonra bir değirmende parçalanıp içerisine havuçların yarı ağırlığı kadar su ilave edildikten sonra tekrar ısıtılır ve nihayet vidalı presle preslenir. Böylece havuç püresi elde edilir [6].

Daha iyi nitelikte pulp elde etmek için ise, başka bir yöntem uygulanabilir. Buna göre, yıkanmış, soyulmuş ve parçalandıktan sonra ısıtılarak yumuşatılmış havulara %25-30 oranında su ilave edilir. Bu karışıma yeterli miktarda sitrik asit ilave edilerek pH derecesi 4,5'e ayarlanır. Karışım sıcaklığı 45-50°C'ye getirilip, üzerine yeterli miktarda bir maserasyon enzimi eklenir. Böylece havuç dokusu enzim etkisiyle iyice parçalanmış olur. Yaklaşık 2 saat sonra bir palperden geçirilir. Elde edilen pulp bir koloidal değirmende inceltir [6].

Havuçlar yukarıda tanımlandığı gibi ister preslenerek suya, ister diğer yöntemlerle pulpa işlenmiş olsun eğer asit eklenmemişse elde edilen ürünlerin pH derecesi 4,5'in üzerinde daha doğrusu, 5,5-6,5 arasındadır. Bu pH derecelerindeki ürünlerin ise sterilize edilmesi zorunludur. Bu yüzden havuç suyu ve pulpu, kutulara 90°C dolaylarında sıcak olarak doldurulduktan sonra, 116°C'de sterilize edilir. Sterilizasyon süresi kutu büyüklüğüne göre değişir. Ancak yukarıda da değinildiği gibi, havuç suyu bu haliyle kolayca tketelemeyeceğinden içerisine, uygun bir meyve suyu, sitrik asit veya limon suyu, askorbik asit (0,5 g/L) ilave edilerek daha lezzetli bir hale getirilir. Bu ilavelerle pH derecesi de düştüğünden artık meyve sularında olduğu gibi sıcak dolum uygulanabilir [6].

Havuç suyu üretiminde verim; ham maddeye uygulanan ön işlemlere (haşlama vb), havuçların parçalanma büyüklüğüne, mayşeye enzim etkisine, presleme sıcaklığına ve posanın ısıtılıp tekrar ekstraksiyonuna göre değişmektedir [6]. Şekil 3.8'de havuç suyu görülmektedir.



Şekil 3.8 Havuç suyu [14]

3.4.1 Havuç suyunun kullanım alanları

Havuç, içecek üretiminde kullanılan önemli bir sebzedir. Havuç suyu, yüksek besin değerine sahip, önemli miktarda karoten ve doğal bir A vitamini kaynağıdır. Birçok ülkede havuç suyu tüketiminin arttığı belirtilmektedir [15].

Son yıllarda sosyal ve ekonomik gelişmeler sonucunda ciddi sağlık problemleri ortaya çıkmaktadır. Stres ve yoğun hayat tarzı, kalp krizi, yüksek tansiyon, bağırsak hastalıkları ve çeşitli kanser türlerine neden olmaktadır. Uygunsuz beslenme, kolon problemlerine ve bağışıklık sisteminin olumsuz yönde etkilenmesine sebep olmaktadır. Dengeli beslenme ile uzun ve sağlıklı bir yaşam sağlanabilir. Havuç, mutfakta yaygın olarak kullanılan, A, D, B, E, C ve K vitaminlerini, kalsiyum, potasyum, fosfor, sodyum ve demir minerallerini barındıran karoten kaynağıdır. Havucun içerisindeki, karoten ve antioksidanlar, oksidasyon proseslerini engellemede önemli rol oynar. Serbest radikalleri dengeler. Bu sebeple havuç, bazı kanser türlerinden ve kardiyovasküler hastalıklardan koruyabilir. Havucun alerji yapma ihtimali çok düşüktür [16].

Havucun bu besinsel değeri ve hastalıklara karşı koruma özelliğinden dolayı havuç ve havuç suyunun tüketilmesindeki yarar ortadadır.

Havuç suyu içecek olarak tüketilmekle birlikte aynı zamanda renklendirici olarak kullanılmaktadır. Özellikle siyah havuç suyunun renklendirici olarak önemi büyüktür.

Siyah havuç antosiyaninleri asidik pH'da oldukça parlak kırmızı renktedir. Bu nedenle siyah havuç suyu meyve suları, nektar, marmelat, konserve ve şekerleme gibi ürünleri renklendirmede tercih edilir. Siyah havuç suyu gıdalara renklendirici ingredient olarak

eklenmektedir. Yüksek miktarlarda nutrasetik bileşenler içerdiğinden siyah havuç suyu ile renklendirilmiş gıdalar sağlık açısından olumlu yararlar sağlamaktadır [17].

BÖLÜM 4

REOLOJİ

Reoloji, sıvıların akış ve katıların deformasyon özelliklerini tanımlar. Reoloji, rheos (iş) ve logos (bilim) kelimelerinden oluşmaktadır [18].

Son yıllarda reoloji, besin teknolojisinde büyük önem kazanmıştır. Besinlerin reolojik özellikleri viskozite, konsistens ve tekstür özellikleri tarafından oluşmaktadır. Akışkan besinlerin, örneğin bir zeytinyağının viskozitesi bu besinin reolojik özelliğidir. Ancak bir domates salçasının reolojik özelliğini konsistens belirler. Katı birer besin olan ekmek ve bezelyenin reolojik özellikleri ise tekstürel özellikler tarafından saptanır. Reoloji bilimi hem sıvı hem de katı besinlerin deformasyon özelliklerini incelediğinden besin sanayinde önemli bir nitelik verisi olarak kullanır [19].

Maddeleri genel olarak beş sınıfa ayırmak olasıdır:

Katı maddeler: Üzerlerinde alınan iki nokta arasındaki uzaklık hareket halinde de değişmeyen maddeler katı maddeler olarak tanımlanır.

Elastik maddeler: Dıştan etki eden kuvvetlerle deforme olan, ancak bu kuvvetlerin etkisi kalktıktan sonra eski durumuna gelen maddelerdir. Deformasyon sırasında harcanan enerji geri alınabilmektedir.

Plastik maddeler: Kendisine etki eden kuvvetler nedeniyle kalıcı şekil değişikliğine uğrayan maddeler plastik özellik gösterirler.

Sıvılar: Sonsuz derecede küçük kuvvetlerle dahi deforme olabilen, şekil değiştiren maddelerdir.

Gazlar: Buldukları ortamın her yerine yayılan maddelerdir.

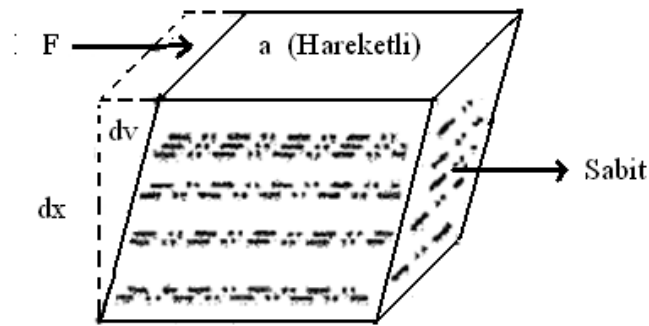
Bu genel madde sınıflandırmasını alt kümelere ayırmak olasıdır. Besinleri oluşturan maddeler yukarıda ana kümelerini belirttiğimiz maddelerin tümünü içerirler. Bu bakımdan besinler çok karışık bir yapı gösterirler [19].

Reolojik özellikler sıcaklık, nem, kimyasal ve mikrobiyolojik reaksiyonlarla etkilenirler. Besinlerin içerdikleri maddelerin özelliklerine göre reolojik özellikler çeşitli işlemler sırasında değişebilirler [19].

4.1 Viskozite

Viskozite, sıvı içerisindeki kayma kuvvetleri nedeniyle oluşan direncin büyüklüğünü tanımlayan, akış karakteri üzerinde büyük bir etkiye sahip olan sıvı özelliğidir [4].

Şekil 4.1’de gösterildiği gibi, paralel molekül tabakalarından oluşmuş, yüzeyi 1 cm^2 ve yüksekliği 1 cm olan blok bir sıvı olsun ve tabakaların en alt yüzeyi sabit olsun. En üstteki sıvı tabakası sabit bir hızla hareket ettirildiğinde, diğer bütün tabakalar, en alttaki sabit tabakaya uzaklıkları ile orantılı bir hızda hareket eder. Her tabakanın farklı ivmesi olur. Sıvının iç sürtünmesine bağlı olarak da kuvvetin uygulandığı tabakaya yakın olan tabakalar hızlı, uzak olanlar yavaş hareket ederler. Sıvı bloğunun sabit olan alt tabakasının yerinde durabilmesi için uygulanan F kuvvetine ters yönde ve eşit değerde bir kuvvete ihtiyaç duyulur. F kuvveti bir gerilim meydana getirir. Kuvvetin uygulandığı sıvı yüzeyinin alanı a ve harekete başlamak için gereken kuvvet F ise, birim alana düşen kuvvet F/a olur. Buna kayma gerilimi denir. Bu gerilim, düzlemlerin yer değiştirmesine de neden olur [18].



Şekil 4.1 Blok tabakalar arasında kayma hızının gösterimi (viskozluk modeli) [18]

Bu yer değiştirmede, düzlemler arası akışa dik yöndeki uzaklığa x , düzlemlerin kayma hızına da v dersek; dv/dx kayma hızı oranı veya kayma deformasyonunun değişme hızıdır. Buna biçimsel olarak değişim oranı da denir [18].

Tek tek tabakaların birbirine göre hareketini frenleyen kuvvete, sıvıların iç sürtünmesi veya dinamik (mutlak) viskozitesi denir. Değişik sıvıların viskozitesi bu sıvıların iç sürtünme kuvvetlerinin bir ifadesi olarak tanımlanır [18].

Viskozitenin birimi CGS sisteminde poise (P)'dir. Poise, $\text{dyn/cm}^2 \cdot \text{s}$ veya $\text{g/cm} \cdot \text{s}$ 'dir. Bunun yüzde biri olan centipoise (cP) daha çok kullanılmaktadır. Uluslar arası birim sisteminde ise Newton/m^2 'dir. Daha çok miliPascal saniye (mPas) tercih edilmektedir [18].

4.1.1 Kinematik viskozite

Kinematik viskozite, sıvının dinamik viskozitesinin aynı sıcaklıktaki yoğunluğuna bölünmesi ile elde edilir [18].

$$\text{Kinematik viskozite } (\nu) = \frac{\mu}{\rho} \quad (4.1)$$

Kinematik viskozitenin birimi Stoke (st) ve bunun yüzde biri olan centistoke (cSt) 'dir [18].

4.2 Akış Çeşitleri

Newton, sıvıları akış özelliklerine göre Newtonyen akış gösterenler ve Newtonyen olmayan akış gösterenler olmak üzere iki sınıfa ayırmıştır.

4.2.1 Newtonyen akış

Newtonyen akış gösteren sistemlerde kayma gerilimi, kayma deformasyonunun değişme hızı ile orantılı olarak artmaktadır.

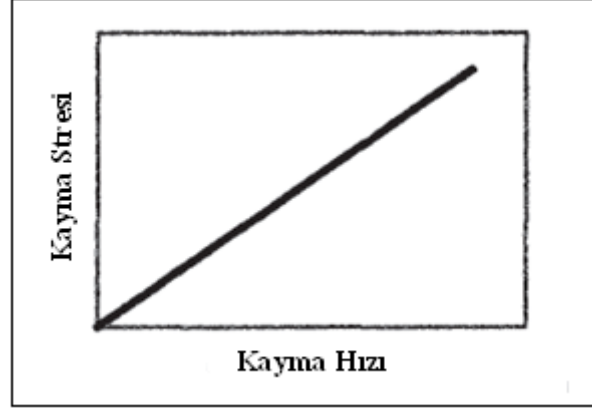
$$\frac{F}{a} = \mu \frac{dv}{dx} = \frac{\text{dyn} \cdot \text{s}}{\text{cm}^2} \quad (4.2)$$

μ , viskozite katsayısı olup, genellikle viskozite olarak tanımlanır. Yukarıdaki eşitlik (4.3) eşitliği gibi de yazılabilir.

$$\mu = \frac{F'}{G} \quad (4.3)$$

Burada $F' = F/a$ ve $G = dv/dx$ 'tir. G 'ye karşı F grafiğe geçirilerek akış eğrisi elde edilir.

Newtonyen bir sistemde akış eğrisi orjinden geçen bir doğrudur [18]. Şekil 4.2’de Newtonyen akış diyagramı görülmektedir.



Şekil 4.2 Newtonyen akış diyagramı

4.2.2 Newtonyen olmayan akış

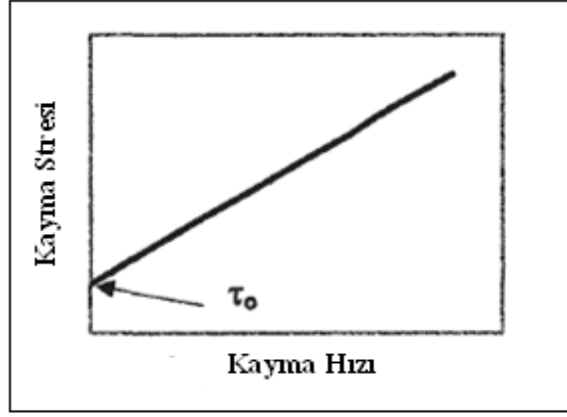
Bunlar Newtonyen akış eşitliğine uymazlar. Newtonyen olmayan akış eğrileri, plastik akış, psödoplastik akış ve dilatant akış olarak üç sınıfa ayrılır.

Newtonyen olmayan sıvıların akış davranışları geniş bir aralıkta olabilir. Temel karakteristikleri, viskozitenin kayma hızı ile doğrudan orantılı olmamasıdır. Diğer bir deyişle, viskozite kayma hızı ile değişir. Newtonyen akış göstermeyen bazı sıvılar, zamana bağlı olarak da değişiklik gösterirler [18].

4.2.2.1 Plastik akış

Bu akış tipi modern reolojinin araştırmacılarından olan Bingham’ın adına izafen Bingham akış olarak da adlandırılmaktadır. Şekil 4.3’te de görüldüğü gibi, plastik akış eğrisi orijinden geçmez. Bu tip sıvılar hemen akmazlar ve kayma gerilimi belli bir eşik değerine ulaştıkça akış görülür [18].

Eşik değeri altındaki gerilmelerde elastik bir madde gibi davranır. Eşik değerinden sonra kayma gerilimindeki artış, kayma hızı ile orantılı olarak artar. Eşik değerinden sonra Newtonyen sistemlerin akışı gibi davranış gösterirler [18].



Şekil 4.3 Bingham plastik akış reogramı

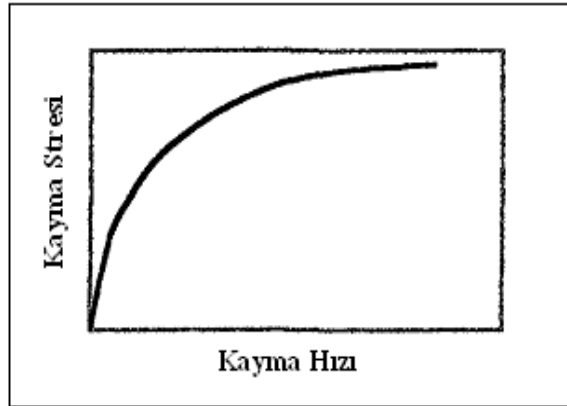
Plastik viskozite (4.4) eşitliği ile tanımlanır.

$$U = \frac{\tau - \tau_0}{\gamma} \quad (4.4)$$

Burada U, plastik akış, τ , kayma gerilimi, τ_0 , eşik değeri, γ , kayma hızıdır.

4.2.2.2 Psödoplastik akış

Bu akış tipinde, Bingham akışın aksine eşik değeri yoktur. Psödoplastik bir materyalin viskozitesi tek bir nokta ile ifade edilemez. Psödoplastik bir maddenin viskozitesi kayma hızı arttıkça azalır. Akış reogramı orijinden başlayan bir eğridir [18]. Şekil 4.4'te psödoplastik akış reogramı görülmektedir.



Şekil 4.4 Psödoplastik akış reogramı

Psödoplastik akış (4.5) eşitliği ile tanımlanır.

$$\tau^k = \mu \gamma \quad (4.5)$$

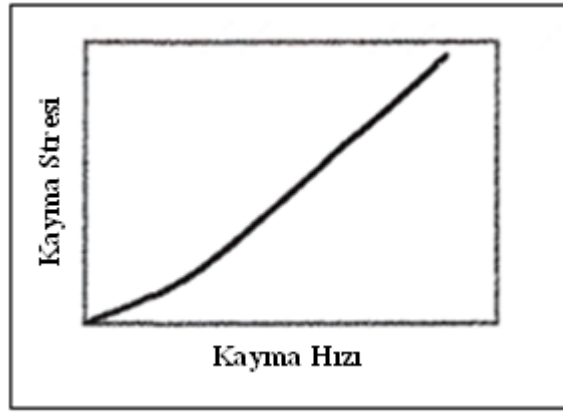
Burada τ , kayma gerilimi, γ , kayma hızı, μ , viskozite katsayısıdır. k değeri bire yaklaştıkça akış, Newtonyen davranış gösterir. k değeri yükseldikçe Newtonyen olmayan akış oluşur. Eşitlik logaritmik olarak da yazılabilir.

$$\log \gamma = k \log \tau - \log \mu \quad (4.6)$$

$\log \tau$ 'in bir fonksiyonu olarak $\log \gamma$ grafiğe geçirilirse bir doğru elde edilir [18].

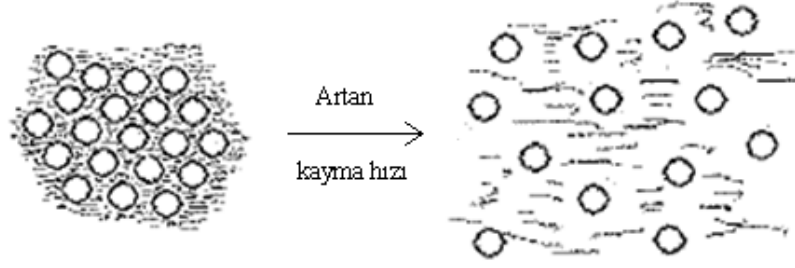
4.2.2.3 Dilatant akış

Bu akış tipinde psödoplastik akışın tersi davranış görülür. Kayma gerilimi arttıkça viskozite de artar. Artan hız gradyanı ile akışa karşı direnç de artar. Yani karıştırdıkça ortam koyulaşır [18]. Şekil 4.5'te dilatant akış reogramı görülmektedir.



Şekil 4.5 Dilatant akış reogramı

Dilatant sistemleri tanımlamada psödoplastik akış için kullanılan eşitlik kullanılabilir [18]. Dilatant akış davranışı basit olarak şöyle açıklanabilir. Partiküller, partiküller arası hacimleri ile çok sıkı bir şekilde yerleşmişlerdir. Partiküller arasında minimum olan boşluk hacmi, kayma hızı oranı arttıkça artar. Süspansiyonlarda bu boşluğu doldurmak için yeterli olan taşıyıcı miktarı, düşük kayma hızındaki bu boşlukları doldurmaya yeterli değilse ve partiküller süspansiyon ajanı ile tamamen ıslanamıyorsa süspansiyon sert bir pat kıvamı alır. Şişeden akabilen süspansiyonda kayma hızı artınca, akışa karşı direnç de artar [18]. Şekil 4.6'da dilatant akış mekanizması gösterilmektedir.



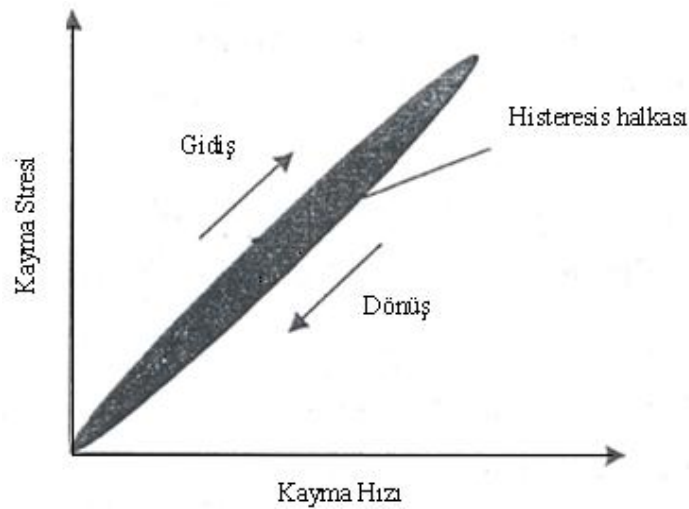
Şekil 4.6 Dilatant akış mekanizması [18]

4.3 Tiksotropi

Zamana bağlı olarak akış özelliğinin değişmesidir. Dispers sistemlerde sıkça meydana gelen bir olaydır. Tiksotropide gerilim ile viskozluğun geri dönüşümlü olarak azaldığı görülmektedir. Gerilim kalkınca zamanla eski haline dönerler. Tiksotropik sistemlerin partikülleri silindir, disk veya çubuk şeklinde olabilir [18].

Tiksotropik özellik gösteren sistemler izotermal olarak jel-sol-jel dönüşümünü gösteren dispersiyonlardır. Gerilim durunca yapı fiziksel olarak katıdır. Gerilim uygulandığında ise akış başlar ve jelden sole doğru bir değişim gözlenir ve yapı bozulur. Gerilim kaldırıldığında yapı tekrar eski haline döner [18].

Tiksotropi ayrı bir akış tipi değil, ancak mevcut akış tiplerinin zamana bağlı yapısal değişimi olarak kabul edilir. Tiksotropik sistemlerin en belirgin özellikleri, çıkan ve inen eğrilerden oluşan bir reogram göstermeleridir [18]. Şekil 4.7’de tiksotropi reogramı görülmektedir.



Şekil 4.7 Tiksotropi reogramı

Yapısal bozunma reogramına göre tiksotropi katsayısı B, (4.7) eşitliği ile hesaplanabilir.

$$B = \frac{U_1 - U_2}{\ln \frac{t_2}{t_1}} \quad (4.7)$$

Burada, U_1 ve U_2 iki inen eğrinin t_1 ve t_2 zamanlarındaki plastik viskoziteleridir. Bu yöntemle farklı hız gradyanlarında zamanla gerilimdeki düşüşler ölçülmektedir.

Tiksotropi gösteren meteryallere örnek olarak jelatin, mayonez, bazı emülsiyon ve süspansiyonlar verilebilir [18].

4.3.1 Negatif tiksotropi

Negatif veya antitiksotropi sabit gerilimde zamana bağlı olarak viskozitenin artmasıdır. Tiksotropi reogramında, inen eğride kıvam artması gözlenir. Negatif tiksotropi dilatant akış ile aynı değildir [18].

4.4 Viskoplastik Sıvılar

Viskoplastik sıvıların akış davranışı bir eşik kayma geriliminin görülmesi ile tanımlanmaktadır. Viskoplastik sıvıların en basit tipi Bingham viskoplastik akıştır [18].

4.5 Viskoelastisite

Viskoelastik terimi, hem katıların elastik hem de sıvıların akış davranışını tanımlamaktadır. Biyolojik sıvılardan kan ve tükürük viskoelastik özellik gösterir. Yarı katı ürünler hem katı hem de sıvı özelliklerini gösterirler. Bir katı madde, akış ile karakterize edilemez ancak elastisite özelliği ile tanımlanır. Hooke kanununa göre elastisite (4.8) eşitliği ile hesaplanabilir [18].

$$E = \frac{c}{\lambda} \quad (4.8)$$

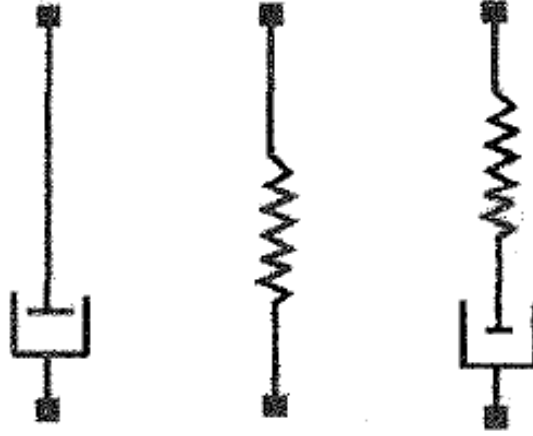
Burada; E, elastik modül; c, gerilim; λ , deformasyondur. Viskoelastik davranış Voigt ve Maxwell modeli gibi mekanik modellerle açıklanabilir [18]. Şekil 4.8'de Maxwell modeli ünitesi görülmektedir.



Şekil 4.8 Maxwell modeli ünitesi [18]

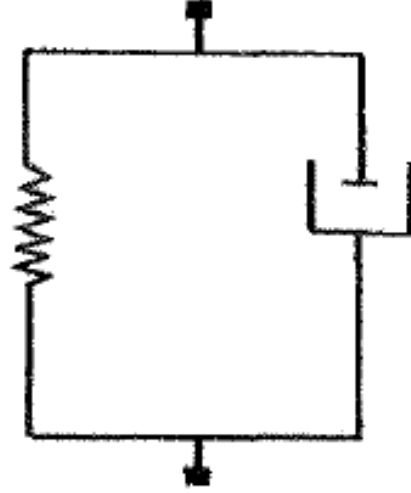
Şekil 4.9’da görüldüğü gibi viskoz sıvıların hareketleri sırasıyla silindir içinde piston, yay, silindir içinde piston ve yay serisidir. Silindir içinde piston ve yay kombinasyonu paralel olarak ayarlanabilir. Bu viskoelastisiteye Voigt elementi denir [18].

Maxwell birimi sabit bir gerilim uygulandığında, materyal üzerinde bir deformasyon olur. Gerilim kaldırıldığında yay eski haline döner, ancak viskoz akış eski haline dönemez [18].



Şekil 4.9 Viskoelastik materyalin mekanik hareketleri Dashpot-Spring-Maxwell birimi [18]

Voigt modelinde ise, yay ve silindir içinde piston paralel bağlıdır. Deformasyon zamanla üssel biçimde değişir [18]. Şekil 4.10’da görülmektedir.



Şekil 4.10 Voigt elementi birimi [18]

4.6 Sıcaklığın Viskoziteye Etkisi

Sıcaklık ile viskozite arasındaki ilişki Arrhenius eşitliği ile açıklanır.

$$\mu = \mu_0 e^{E_a/RT} \quad (4.9)$$

Burada μ , viskozite, E_a , aktivasyon enerjisi; R, gaz sabiti; T, mutlak sıcaklıktır.

Farklı sıcaklıklarda ölçülen viskozite değerlerinin logaritmasının $1/T$ 'ye karşı grafiklenmesi sonucunda elde edilen doğrunun eğim ve kesişim değerinden sıvının aktivasyon enerjisi hesaplanabilir [18].

Akıcılık, sıcaklık ile artar. Bu nedenle viskozite ölçümleri sabit bir sıcaklıkta yapılmalıdır.

4.7 Reolojik Özelliklerin Ölçülmesi

Bir akışkanın reolojik özelliklerinin başarılı bir şekilde ölçülmesi ve değerlendirilmesi, uygun yöntemin ve doğru bir viskozimetrenin seçilmesine bağlıdır. Viskozimetrelerin tasarımında, sıcaklık ve işlem parametreleri esas alınır. Bir viskozimetrenin de, kalite kontrolü için ürünün akış özelliklerini tayin etmesi ve ölçümü yapılacak örneğin tüp, şişe ve kavanozdan kolaylıkla ve kısa zamanda doğru ölçümünü sağlaması gerekir [18].

Reolojik ölçümlerde amaç, gerilim, kayma hızı ve bazı durumlarda viskoelastisite arasındaki fonksiyonel ilişkiyi tayin etmektir. Newtonyen akış gösteren sistemlerde hız gradyanı ile gerilim arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Bu nedenle, bu tip

sistemlerin akış özelliğini ve viskozitesini tayin etmek için tek noktalı viskozimetreler kullanılmaktadır. Bu aletler tek kayma hızı ile çalışırlar. Akış eğrisi üzerinde tek bir nokta elde edilir, bu noktadan yapılan bir uzatma ile tam akış eğrisi elde edilir [18].

Newtonyen olmayan akış sistemlerinin viskozitesinin tek noktalı prensibe göre çalışan aletlerle ölçülmesi yanlış sonuç verir; ancak değişik hız gradyanlarında çalışılarak ölçüm yapmak mümkün olabilir. Bu sistemlerin reogramı çok noktalı viskozimetreler kullanılarak çizilmelidir [18].

Viskozimetreler iki temel prensibe göre ölçüm yaparlar. Bunlar, bir tüp içindeki sıvının akışa karşı direncini ölçmek ve sıvının içindeki katı cismin hareketine gösterdiği direnci ölçmektir [18].

4.7.1 Tek noktalı viskozimetreler

Tek noktalı viskozimetreler, kılcal viskozimetre, düşen ve dönen bilya viskozimetreleridir.

4.7.1.1 Kılcal viskozimetreler

Kılcal viskozimetreler Hagen ve Poiseuille tarafından geliştirilmiştir. Çalışma prensibi kılcal tüpte, belli iki işaret arasında sıvının yerçekimi etkisi ile akması için gereken sürenin saptanmasına dayanır. Poiseuille eşitliğine göre viskozite (4.10) eşitliğine göre hesaplanır [18].

$$\mu = \frac{\pi r^4 t \Delta P}{8 l V} \quad (4.10)$$

Burada; r, kılcalın yarıçapı; ΔP , kılcalın üst ve alt kısmı arasındaki basınç farkı; l, kılcalın uzunluğu; t, sıvının akış süresi; V akan sıvının hacmidir. Yarıçap, uzunluk ve hacim B değişmezi olarak kabul edilebilir. Bu durumda eşitlik,

$$\mu = B t \Delta P \quad (4.11)$$

şeklinde yazılabilir. Basınç, sıvının yoğunluğuna, yerçekimi ivmesine ve viskozimetrenin iki kolundaki sıvı düzeyinin yüksekliğindeki farka dayanır. Yerçekimi ivmesi de sabit olduğuna göre, kapillerdeki sıvı düzeyinin yüksekliği de sabit tutulursa;

$$\mu = B_1 t_1 \quad (4.12)$$

yazılabilir [18].

Kılcal viskozimetre, viskozitesi bilinen bir sıvı ile kalibre edilebilir ve sonra viskozitesi bilinmeyen sıvının viskozitesi tayin edilebilir [18].

Kapiller viskozimetreler kılcal camdan yapılmış olup en çok bilinenleri Cannon-Frenske, Ubbelohde ve Ostwald viskozimetreleridir. Bu tip viskozimetrelerin üstünlüğü, yüksek kayma hızının elde edilmesi ve ucuz olmasıdır. Sakıncaları ise, dispers sistem içindeki katıların kılcalın duvarlarına doğru göç etme meyli gösterebilmeleri ve bunun sonucu olarak da viskozitelerinin düşmesidir [18].

4.7.1.2 Düşen ve dönen bilya viskozimetreleri

Düşen viskozimetrenin çalışma prensibi, cam veya çelikten yapılmış bir bilyanın, viskozitesi ölçülecek sıvıyı içeren şeffaf silindirik borunun alt üst edilerek bilyanın iki işaret arasındaki geçiş zamanının tayin edilmesine dayanır. Dönen bilya viskozimetresinde ise, kılcal boru boyunca bilya döner. Belli çap ve yoğunlukta olan bilyaların düşme hızı, ölçümü yapılan örneğin viskozitesi ile ters orantılıdır [18]. Şekil 4.11'de düşen bilya viskozimetresi görülmektedir.



Şekil 4.11 Düşen bilya viskozimetresi [20]

Stokes eşitliğine göre Newtonyen sıvıların viskozitesi (4.13) eşitliği ile hesaplanabilir [18].

$$\mu = \left(\frac{2}{g}\right)(\rho_1 - \rho_2) \frac{gr^2}{v} \quad (4.13)$$

Burada; ρ_1 bilyanın yoğunluğu; ρ_2 sıvının yoğunluğu; g, yerçekimi ivmesi; r, bilyanın yarıçapı; v, bilyanın düşme hızıdır. Ölçümün yapıldığı tüp, viskozitesi bilinen bir sıvı ile kalibre edildiğinde;

$$\mu = K(\rho_1 - \rho_2) \quad (4.14)$$

K, bilyaya ait değişmez ve t, bilyanın silindirin iki işaretlenmiş noktası arasındaki geçiş süresidir. İyi bir sonuç almak için bilyanın 30 saniyeden az olmayacak bir şekilde geçmesi gerekir [18].

4.7.2 Çok noktalı viskozimetreler

Rotasyonel viskozimetrelerin en çok kullanılan tipleri çift eksenli silindir, koni-tabla ve dönen mil viskozimetreleridir [18].

4.7.2.1 Çift eksenli viskozimetreler

Bu tip viskozimetreler bir silindirin içinde küçük bir silindir içerirler. Sıvı dış silindirin iç çeperi ile kullanılan silindirin dış çeperi arasında kaymaya uğrar. Aletin özelliğine göre bu silindirlerden biri belli bir açısal hızla döndürülür. Silindirlerden birinin dönmesi ile diğer silindirin yüzeyinde oluşan ve örneğin viskozitesi ile orantılı olan stres aletin ekranından okunur [18].

Çift eksenli viskozimetrelere örnek olarak Coutte, Haake-Rotovisko, Stormer ve Searle tipi viskozimetreler verilebilir. Coutte tipi viskozimetrede kap dönmektedir. Searle tipi viskozimetrede ise bir sabit kap ve bir dönen kap bulunmaktadır [18].

Bir dönen (rotasyonel) viskozimetre ile yapılan ölçümlerden viskozite, (4.15) eşitliği ile hesaplanabilir [18].

$$\Omega = \frac{1}{\mu} \frac{T_r}{4\pi h} \left(\frac{1}{r_b^2} - \frac{1}{r_c^2} \right) \quad (4.15)$$

Burada, Ω , açısal hız; T_r , tork; h, iç silindirin sıvı içinde daldırıldığı derinlik; r_b iç silindirin yarıçapı; r_c , dış kabın yarıçapıdır. Eşitlik (4.15)'de iç silindirin tabanındaki viskoz engelleme hesaba katılmamıştır. Bu nedenle, sonuçların düzenlenmesi

gerekmektedir. Tüm değişmezler aşağıdaki eşitlikte toplanırsa (4.16) eşitliği elde edilir [18].

$$\mu = K_v \frac{T_r}{\Omega} \quad (4.16)$$

Bu eşitlikte K_v alete ait değişmezdir. Bu değişmez viskozitesi bilinen bir yağın analizi ile tayin edilebilir [18].

Stormer viskozimetresinde sabit bir dış kap ile ağırlık ve kaldıraç prensibi ile çalışan bir iç silindir yer almaktadır. lümü yapılacak örnek, dış kap ile iç silindir arasındaki boşluğa konur ve sıcaklığın dengeye gelmesi sağlanır. Bir ağırlık asılır ve iç silindirin 100 defa dönmesi için geçen zaman ölçülür ve kaydedilir. Elde edilen veri, dakikada devir sayısına çevrilir. Daha sonra asılan ağırlık arttırılarak aynı işlemler tekrarlanır. Dakikada devir sayısı eklenen ağırlıklara karşı grafiklenerek reogram elde edilir. Stormer viskozimetresi (şekil 4.12) 20 cP'den düşük viskoziteli sistemler için kullanılmamalıdır [18].



şekil 4.12 Stormer viskozimetresi [21]

Bir başka örnek viskozimetre ise şekil 4.13'te gösterilen Haake-Rotovisko viskozimetresidir. Bu viskozimetrede bir dış kap ve bir dönen silindir bulunmaktadır. Üç farklı boyutta dış kap ve silindirden oluşan düzenekleri bulunmaktadır [18].



Şekil 4.13 Haake Rotovisko viskozimetresi [22]

4.7.2.2 Dönen mil viskozimetresi

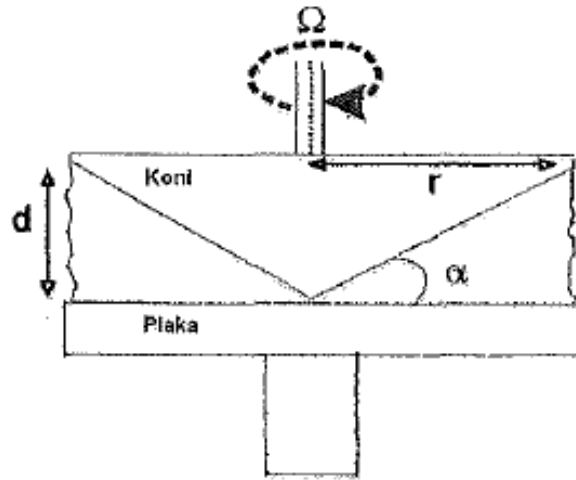
Bu viskozimetre ile Newtonyen olan ve olmayan sıvıların reolojik özellikleri ölçülebilir. Şekil 4.14'te gösterilen Brookfield viskozimetresinde bir yay ile aletin motoruna bağlanan, farklı hızda dönüş yapabilen miller bulunmaktadır. Millerin geometrik şekilleri birbirinden farklıdır. Ölçülecek örneğin tipine göre mil seçilir. Milin örnek içinde dönmesiyle oluşan viskoz sürüklenme, kayma geriliminin fonksiyonu olarak aletin göstergesinden okunur. Milin dönüş hızı genel olarak gerçek kayma hızı yerine, göstergede okunan değer ise gerçek kayma gerilimi yerine kullanılır. Kullanılan milin boyutuna ve hızına bağlı olarak geliştirilen bir faktör yardımıyla okunan değerler viskoziteye çevrilir [18].



Şekil 4.14 Brookfield viskozimetresi

4.7.2.3 Koni ve tabla viskozimetresi

Bu viskozimetrede, altta sabit bir tabla, üstte belli açıda dönen bir koni bulunmaktadır. Koni ile tabla arasında da çok küçük bir aralık oluşur. Bu tip viskozimetrede ölçüm yapılacak örnek tablanın ortasına yerleştirilir ve tabla koninin tam altına gelecek pozisyonda yükseltilir. Ölçülecek örnek, sabit tabla ve dönen koni arasındaki dar aralıkta kayar. Koni değişen hızda bir motor tarafından çalışır. Hız gradyanı azaltılıp, artırılabilir. Koni üzerinde oluşan kayma gerilimi, tork göstergesinden okunur. Hız gradyanı, göstergeden okunan kayma gerilimine karşı grafiğe geçirilir [18]. Şekil 4.15'te koni tabla viskozimetresi görülmektedir.



Şekil 4.15 Koni tabla viskozimetresi [18]

Newtonyen bir sıvının viskozitesi koni-tabla viskozimetresi ile ölçüldüğünde, (4.17) eşitliği ile hesaplanabilir.

$$\mu = C \frac{T_r}{v} \quad (4.17)$$

Bu eşitlikte C, alete ait değişmez, T_r , tork ve v koninin hızıdır. Plastik akış gösteren maddelerin viskozitesi koni-tabla viskozimetresinde (4.18) eşitliği ile hesaplanabilir [18].

$$U = C \frac{T_r - T_f}{v} \quad (4.18)$$

Burada T_f , kayma gerilimi eksenindeki tork; C ise alete ait bir sabittir [18].

Eşik değeri (4.19) eşitliği ile hesaplanabilir [18].

$$\tau_0 = CT_f \quad (4.19)$$

Koni-tabla viskozimetresinde hız gradyanının, örneğin her tarafında sabit olması açısından çift eksenli viskozimetrelere göre üstünlüğü bulunmaktadır. Diğer üstünlüğü de çok küçük örnek miktarı ile ölçüm yapabilmesidir [18].

4.8 Reolojik Modeller

4.8.1 Newton modeli

Newtonyen sıvılar için kullanılan bir modeldir. Denklem (4.20)'de Newton modeli görülmektedir.

$$\tau = \mu\gamma \quad (4.20)$$

Burada, τ , kayma gerilimi, μ , viskozite ve γ kayma hızıdır [23].

4.8.2 Power-law modeli

Power-law modeli, genellikle gıdaların ısıtılması, soğutulması veya işlenmesi çalışmalarında kullanılmaktadır çünkü bu model akışkanların akış davranışları hakkında iyi bir tanım vermektedir. Denklem (4.21)'de Power-law model gösterilmektedir.

$$\tau = k\gamma^n \quad (4.21)$$

Burada, τ , kayma gerilimini; k , kıvam indeksini; γ , kayma hızını ve n , akış davranış indeksini temsil etmektedir [23].

$n=1$ ise akışkan Newtonyen,

$n<1$ ise akışkan psödoplastik,

$n>1$ ise akışkan dilatanttır [5].

4.8.3 Herschel-Bulkley modeli

Bazı durumlarda, bazı gıdalar akma gerilimine sahipse, deneysel veriler Power-law modele uyarlanamaz. Eğer bu tür gıdalar ölçülebilir bir akma gerilimine sahipse, Power-law modeline bu gerilim de dahil edilir ve denklem (4.22)'de gösterilen Herschel-Bulkley modeli elde edilir.

$$\tau = \tau_0 + k\gamma^n \quad (4.22)$$

Burada, τ , kayma gerilimi; τ_0 , akma gerilimi; n , akış davranış indeksi; γ , kayma hızı ve k akış davranış indeksidir [23].

4.8.4 Casson modeli

Casson modeli, akma gerilmesini hesaplamaya yardımcı olan bir modeldir. Kayma geriliminin, kayma hızının ve akma geriliminin kare kökü alınarak denklem (4.23) elde edilmektedir [23].

$$\sqrt{\tau} = \sqrt{\tau_0} + k\sqrt{\gamma} \quad (4.23)$$

4.9 Gıdalarda Reolojinin Önemi

Reolojik özelliklerin besin teknolojisindeki önemli yeri aşağıdaki etmenler nedeniyle daha belirgin olarak ortaya çıkmaktadır:

- Çözünmüş karışımlarda molekül büyüklüğüyle şekil ve viskoziteyle olan ilişki, besinin iç yapısıyla ilgili etmenler.
- Reolojik özellikler, besinlerin ve uygulanan işlemlerin nitelik denetimlerinde kullanılırlar. Örneğin, belli bir akıcılık gösteren ketçabın durumu gibi, konsistensi iyi ayarlanmamış ketçap ya şişeden zor akar ya da çok hızlı akar. Bu

hazırlanan ketçabın niteliğinin iyi olmadığını gösterir. Başka bir örnek ise uzun süre iyi saklanmamış bir elmanın, enzimlerin etkisi ile beklenen sertliğini yitirmiş olması onun niteliğinin düştüğünün bir belirtisidir.

- Reolojik özellikler, makine ve alet yapımında göz önüne alınması gerekli çok önemli etkenlerdir. Özellikle pompa, boru hatları ve buharlaştırıcılar gibi alet ve aygıtların yapımında ve kullanımlarında önemli rol oynarlar. Ayrıca, bu etkenlik kullanılan maddenin ve enerjinin niteliğinde de kendisini belli eder.
- Son olarak reolojik özellikler besin tüketicileri için de önemli bir nitelik etmeni oluştururlar. Tüketiciler her besinden tat, koku gibi özelliklerin yanında belli bir kıvam veya tekstürel özellik göstermesini beklerler. Bu nedenle işlenen besinlerin, örneğin bir sütün belirli bir akıcılık ya da bir meyvenin belirli bir sertlik göstermesi istenir.

İşte bu sayılan nedenlerden dolayı reolojik özellikler çok önemli mekaniksel özellik kümesini oluştururlar. Bu duruma göre reolojik özellikler hem bir işleme hem de nitelik etmeni olmaktadır [19].

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Çeşitli meyve ve sebze sularının reolojik özellikleri ile ilgili literatürde yapılan bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir:

Singh ve Eipeson [24], artılmış mango suyu konsantrasyonunun reolojik davranışlarını 15°C-85°C sıcaklık aralığında ve % 15-66 konsantrasyonlarında rotasyonel viskozimetre kullanarak incelemişlerdir. Pektin ve pulp içermeyen mango suyu, Newtonyen akışkan davranışı göstermiştir. Sıcaklığın etkisini Arrhenius eşitliği ile tanımlamışlardır. Viskoz akış için aktivasyon enerjisini konsantrasyona bağlı olarak 1,64-8,44 kCal/mol aralığında bulmuşlardır. Konsantrasyon etkisini, ekponansiyel modelin Power-law modelden daha iyi açıkladığını gözlemlemişlerdir.

Cepeda vd. [25], yaptıkları çalışmada, taze yaban mersinlerinden hazırlanan bulanık yaban mersini suyunun 25-65 briks ve 5-50°C aralığında hız kontrollü reometre kullanarak reolojik davranışını incelemişlerdir. Elde edilen veriler doğrultusunda meyve suyunun psödoplastik akış davranışı gösterdiği gözlemlenmiştir. Aktivasyon enerjisi, Arrhenius-Guzman eşitliği ile hesaplanmıştır. Konsantrasyonun artışı ile aktivasyon enerjisi 4,6'dan 24 kJ/mol'e kadar artmıştır. Lineer olmayan korelasyon kullanılarak kıvam katsayısı üzerindeki sıcaklık ve konsantrasyon etkileri belirlenmiştir.

Altan ve Maskan [26], yaptıkları bir çalışmada, taze narlardan hazırlanan nar suyunun reolojik özelliklerini 17,5-75 briks ve 10-55°C sıcaklık aralığında gerilme kontrollü reometre kullanarak incelemişlerdir. Konsantrasyon yöntemlerinin akış davranışını değiştirmedini gözlemlemişlerdir. Farklı yöntemlerle konsantre edilen nar suları için viskozite ve aktivasyon enerjisi değerlerinde önemli bir farklılık yoktur. Nar suları konsantrasyon yöntemi ne olursa olsun Newtonyen davranış sergilemiştir. Sıcaklığın

etkisini Arrhenius eşitliğini kullanarak tanımlamışlardır. Aktivasyon enerjilerini konsantrasyona bağlı olarak 5,34-32,2 kJ/mol aralığında bulmuşlardır. Eksponansiyel model, viskozite ve aktivasyon enerjisi değerleri üzerinde çözünen katı madde etkisini daha iyi tanımlamıştır. Sıcaklık ve çözünen katı madde içeriğinin nar suyunun viskozitesi üzerindeki etkisini tanımlamak için basit bir eşitlik önermişlerdir.

Arslan vd. [27], yaptıkları çalışmada, tahin pekmez karışımının reolojik özelliklerini değişik tahin konsantrasyonlarında (%20-32) ve değişik sıcaklıklarda (35-65°C) eşmerkezli silindirik rotasyonel viskozimetre ile incelemişlerdir. Tahin pekmez karışımının tüm sıcaklıklarda ve konsantrasyonlarda Newtonyen olmayan kayma incelenmesi davranışı gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Kayma hızına karşı görünür viskozite değerleri Power-law modeline uyum göstermiştir. Akış davranış indeksi 0,7-0,85 değerleri arasında ve kıvamlilik katsayısı 282-2547 mPa.sⁿ değerleri arasında bulunmuş olup sıcaklıktan etkilendikleri görülmüştür. Aktivasyon enerjileri 13,37 ile 28,59 kJ/mol arasında değişmekte ve konsantrasyon ile artmaktadır.

Belibağlı ve Dalgıç [28], yaptıkları bir çalışmada, ekşi vişne suyunun reolojik özelliklerini, kontrollü stres viskozimetresi kullanarak incelemişlerdir. 40, 45, 50, 55, 60, 65, 68,5 ve 70 briks değerlerindeki ekşi vişne suyunu, vişneleri sıkıp filtreden geçirdikten sonra bir döner buharlaştırıcı ile konsantre ederek elde etmişlerdir. Bu konsantrasyonlardaki reolojik davranışları 5, 10, 20, 30, 40 ve 50°C'de gözlemlemişlerdir ve ekşi vişne suyunun Newtonyen davranış sergilediğini bulmuşlardır. Sıcaklığın viskoziteye etkisini Arrhenius eşitliği ile tanımlamışlardır. Aktivasyon enerjisini, artan konsantrasyon ile 22,44-73,49 kJ/mol aralığında bulmuşlardır. Konsantrasyonun viskoziteye etkisini gözlemek için ise Power-law ve eksponansiyel modelleri kullanmışlardır.

Dak vd. [29], yaptıkları çalışmada, mango suyunun akış karakteristiklerini araştırmışlar ve reolojik parametreleri rotasyonel viskozimetre kullanarak 20, 30, 40, 50, 60 ve 70°C'de, %7,6, %11,69, %16,37 ve %26 toplam katı konsantrasyonlarında değerlendirmişlerdir. Deneysel sonuçların Power-law modele iyi uyum sağladığını ve akış davranışının psödoplastik olduğunu tespit etmişlerdir. Arrhenius modelini kullanarak aktivasyon enerjisini 3,8 ile 13,7 kJ/mol aralığında bulmuşlardır.

Akbulut vd. [30], pekmezin reolojik parametrelerini rotasyonel viskozimetre kullanarak 10, 20, 30, 40 ve 50°C'de ve %62,8, %68,9, %72,0 ve %75,2 toplam çözünen katı

konsantrasyonlarında hesaplamışlardır. Pekmezin akış karakterini Power-law ve Herschel-Bulkley modelleriyle tanımlamışlardır. Herschel-Bulkley modelin pekmezin reolojik özelliğini daha iyi tanımladığını bulmuşlardır. Pekmezin zamandan bağımsız kayma kalınlaşması davranışı sergilediğini görmüşlerdir. Sıcaklığın viskoziteye etkisini Arrhenius eşitliği ile tanımlamışlardır. Konsantrasyona bağlı olarak aktivasyon enerjisinin 78,23'den 60,38 kJ/mol'a kadar çeşitlilik gösterdiğini saptamışlardır. Konsantrasyonun viskoziteye etkisini ise eksponansiyel eşitlikle tanımlamışlardır.

Akbulut ve Özcan [31], pekmezin bazı fiziksel, kimyasal özellikleri ile reolojik davranışını incelemişlerdir. Pekmezin reolojik davranışını, 75,1, 72,4, 66,5, ve 59,4 briks değerlerinde, 10, 20, 30, 40 ve 50°C'de, 5, 10, 20, 50 ve 100 rpm hızlarında rotasyonel viskozimetre kullanarak tanımlamışlardır. Pekmezin psödoplastik davranış sergilediğini gözlemlemişlerdir. Aktivasyon enerjisini, 31,35 kJ/mol olarak hesaplamışlardır. Çözünür katı içeriğine bağlı olarak aktivasyon enerjisi, 52,27'den 24,50 kJ/mol'a kadar çeşitlilik göstermiştir. Konsantrasyonun viskoziteye etkisini ise Power-law model kullanarak tanımlamışlardır.

Chuah vd. [32], yaptıkları bir çalışmada, dragon suyunun reolojik davranışını 10, 12 briks konsantrasyonlarında, 5, 10, 15 ve 40°C'de incelemişlerdir. Dragon suyunun psödoplastik davranış sergilediğini gözlemlemişlerdir. Sıcaklığın viskoziteye etkisini Arrhenius eşitliği ile tanımlamışlardır.

Dak vd. [33], domates konsantresinin reolojik özelliklerini bir rotasyonel viskozimetre ile 20, 30, 40, 50 ve 60°C'de, %18, %12,18 ve %8,04 toplam katı konsantrasyonunda ve uygun bir kayma hızında değerlendirmişlerdir. Power-law modelini deneysel verilere uygulamışlardır. Akış davranışı indeksinin değerleri tüm sıcaklıklarda birden küçük bulunmuş ve psödoplastik davranış gösterdiğini belirtmişlerdir. Yoğunluk katsayısı aralığı 0,09 ile 65,87 Pa.s arasında değişmiştir. Yoğunluk katsayısı konsantrasyon arttıkça eksponansiyel olarak artmıştır. Arrhenius modeli kullanarak aktivasyon enerjisinin 8,6 ve 14,08 kJ/mol arasında değiştiğini gözlemişlerdir.

Özkanlı ve Tekin [34], yaptıkları bir çalışmada, sumak konsantresinin reolojik davranışları üzerinde sıcaklığın ve toplam çözünür maddelerin tek ve etkileşimli etkisini tespit etmişlerdir. Bilgisayar kontrollü viskozimetre kullanarak 20-50°C sıcaklık aralığında, toplam çözünür maddelerin etkisini ise 50-70 briks değerlerinde incelemişlerdir. Sumak konsantresinin 50-60 briks değerlerinde 70 briksten az bir

sapmayla Newtonyen karakter gösterdiğini görmüşlerdir. Sıcaklığın viskoziteye etkisini Arrhenius eşitliği ile tanımlamışlardır. Aktivasyon enerjisinin konsantrasyonun artmasıyla arttığını görmüşlerdir. Çözünür katıların viskoziteye etkisini ise en iyi eksponansiyel model göstermiştir.

Shamsudin vd. [35], çeşitli olgunluk derecesindeki ananas meyvesinden elde edilen ananas suyunun reolojik davranışını, 5-65°C sıcaklık aralığında ve 4-14 briks konsantrasyonlarında rotasyonel viskozimetre kullanarak incelemişlerdir. Sonuçlar, ananas suyunun Newtonyen akış davranışı sergilediğini ve olgunluk derecesi, sıcaklık ve konsantrasyondan etkilendiğini göstermiştir. Arrhenius eşitliği, viskozite üzerinde sıcaklığın etkisini başarılı bir şekilde tanımlamıştır. Konsantrasyonun etkisi ise en iyi eksponansiyel eşitlik ile saptanmıştır.

Chin vd. [36], dondurarak yapılmış konsantreden elde edilen greyluft suyunun reolojik davranışını incelemişlerdir. Sıcaklığın, konsantrasyonun akış türüne ve viskoziteye etkisini araştırmak için rotasyonel viskozimetre kullanarak 1 ile 400 1/s arası kayma hızlarında çalışmışlardır. Akış indeksi 1'den küçük bulunmuştur ve buradan yola çıkarak akışkanın psödoplastik davranış gösterdiğini tanımlamışlardır. Kıvamlilik katsayısının sıcaklık ve toplam çözünen katı içeriği ile birlikte azaldığını gözlemlemişlerdir. Çizilen eğrilerden yararlanarak akışkanın viskozitesinin ve psödoplastikliğinin konsantrasyonla artmasını yüksek regresyon katsayıları ile doğrulamışlardır.

Falguera vd. [37], konsantre mandalina suyunun reolojik davranışının tiksotropik olduğunu belirlemişler ve deney verilerini Hahn, Weltman ve Figoni-Shoemaker eşitliklerine uyarlamışlardır. Figoni-Shoemaker modeli zamana bağlı yanıt vermiştir. Psödoplastik davranışı, -12 ve 6°C sıcaklık aralığında Herschel-Bulkley modeli ile uyumlu olup akma gerilimi ile akış davranışının sıcaklıkla hemen hemen değiştiğini gözlemlemişlerdir. Kıvam katsayısı ve görünür viskozite sıcaklıkla arttıkça azalmıştır. Arrhenius eşitliğini kullanarak aktivasyon enerjisini 33 kJ/mol olarak bulmuşlardır. Konsantre mandalina suyu, -12 ve 6°C sıcaklık aralığında viskoelastik davranış özellikleri göstermiştir.

Karaman ve Kayacier [38], yaptıkları bir çalışmada, kakao tozu ile aromatize edilmiş geleneksel salep içeceğinin reolojik özelliklerini belirlemişlerdir. Kakaolu salep içeceğini, süt, şeker ve salepten oluşan salep içeceğine farklı oranlarda (%1, 2 ve 3)

kakao tozu ilave ederek hazırlamışlardır. Örneklerin görünür viskozitelerini 3 farklı sıcaklıkta kesme kontrollü reometre ile belirlemişlerdir. Salep içeceklerinin kıvam katsayısını ve akış davranış indeksi değerlerini eksponansiyel model ile hesaplamışlardır. Bütün örneklerin Newtonyen olmayan psödoplastik akış sergilediğini ve görünür viskozite değerlerinin artan kesme hızı ile azaldığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca bütün ölçüm sıcaklıklarında, örneklerin görünür viskozitelerinin ilave edilen kakao tozu konsantrasyonu ile birlikte arttığını, artan sıcaklık karşısında ise azaldığını görmüşlerdir. Viskozitenin sıcaklığa bağımlılığını Arrhenius eşitliği ile tanımlanmış ve aktivasyon enerjisini 3,26-17,38 kJ/mol aralığında hesaplamışlardır.

Augusto vd. [39], yaptıkları bir çalışmada, şeftali lifi eklenmesinin, şeftali suyunun reolojik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Akış davranışı ve şeftali suyunun reolojik özelliklerine lif konsantrasyonunun etkisi Herschel-Bulkley modelinin parametreleri üzerinden değerlendirilmiştir. Lif ilavesine bağlı olarak akış davranışının Newtonyenden psödoplastiğe ve oradan da Herschel-Bulkley davranışına değiştiğini gözlemlemişlerdir.

Sharoba ve Ramadan [40], yaptıkları çalışmada, altın çilek suyuna Pectinex Ultra SP-L'nin 300 ve 600 ppm olmak üzere iki dozajla enzim ilave etmişlerdir. Daha sonra 30 ve 40 brikse konsantrasyonuna etmişlerdir. Reolojik özelliklerini 5 ila 100°C arası sıcaklıklarda ve 0,3-100 1/s kayma hızı aralığında Brookfield dijital viskozimetre kullanarak incelemişlerdir. Herschel-Bulkey, Casson ve Bingham modellerini uygulayarak reolojik özellikleri tanımlamışlardır. Sonuçlar, altın çilek suyunun Newtonyen olmayan (psödoplastik) davranış gösterdiğini ve akma gerilimine sahip olduğunu göstermiştir. Enzim dozajı ve sıcaklık arttıkça plastik viskozite, akma gerilimi, kıvam indeksi ve akış indeksinin azaldığını gözlemlemişlerdir. Sıcaklığın viskozite üzerindeki etkisini Arrhenius eşitliği ile tanımlamışlardır. Aktivasyon enerjisinin viskoz akışlar için toplam çözünen katı miktarlarına bağlı olduğunu saptamışlardır.

Falguera vd. [41], yaptıkları bir çalışmada, berrak armut ve elma sularının akış davranışlarını sıfırın altındaki sıcaklıklarda eşmerkezli silindirik reometre ile saptamaya çalışmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre berrak meyve sularının Newtonyen davranış sergilediğini görmüşlerdir. Çözünen katı madde içeriği arttıkça reolojik ölçümlerin donma noktası düştüğü için daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir. Viskozitenin sıcaklıkla değişimini Arrhenius eşitliği kullanarak,

çözünen katı madde miktarı ile viskozite değişimini ise amprik eksponansiyel ifade kullanarak tanımlamışlardır. Aktivasyon enerjisi değerlerini 50 ve 70 briks arasındaki konsantrasyonlarda armut suyu için 41-91 kJ/mol ve elma suyu için 39-88 kJ/mol olarak hesaplamışlardır.

Keshani vd. [42], greyfurt suyunun farklı konsantrasyonlarda ve sıcaklıklardaki reolojik özelliklerini Haake Rheostress 600 rotasyonel reometre ile belirlemeye çalışmışlardır. Greyfurt suyunun hem Newtonyen hem de Newtonyen olmayan davranış gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Düşük konsantrasyonlarda Newtonyen davranış sergilerken daha yüksek konsantrasyonlarda Newtonyen olmayan davranış sergilediği görülmüştür. En uygun modeli seçmek için standart hata yöntemi kullanılmıştır. Herschel-Bulkley ve Power-law modelleri Bingham ve Casson modellerine göre daha iyi sonuç vermiştir ama Herschel-Bulkley modelinin yüksek konsantrasyonlarda daha doğru sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Greyfurt suyunun reolojik modeli, konsantrasyon ve sıcaklığın etkisi katılarak geliştirilmiştir.

Wen vd. [43], yaptıkları çalışmada, kaymağı alınmış süttten hazırlanan yoğurdun reolojik özelliklerini ve fermantasyondaki enzimatik uygulamanın etkisini tanımlamaya çalışmışlardır. Yabanturpu polioksidazı ile hazırlanan süt ile yapılan yoğurt, diğer yoğurda göre daha viskoz ve akış davranış indeksi özellikle ferulik asit eklendiği zaman daha yüksek çıkmıştır. Yabanturpu polioksidazı ile hazırlanan kaymağı alınmış süt ile yapılan yoğurt örneklerinin ferulik asit ilave edilsin ya da edilmesin yapısal tersinirliğinin daha fazla olduğunu gözlemlemişlerdir.

Bodbodak vd. [23], nar suyunun akış karakteristiklerini ve reolojik parametrelerini, farklı sıcaklıklarda ve konsantrasyonlarda rotasyonel vizkozimetre kullanarak araştırmışlardır. Deneysel sonuçlar en iyi Herchel Bulkley modele uyum sağlamıştır. Akış davranış indeksinin 0,97 ve 1,45 arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir. Nar suyunun aktivasyon enerjisinin farklı briks derecelerinde 9,07-24,05 kJ/mol aralığında değiştiğini saptamışlardır.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1 Metaryel ve Yöntemler

6.1.1 Metaryel ve Kullanılan Cihazlar

Siyah ve sarı havuç suyunun reolojik özelliklerinin incelenmesi amacıyla kullanılmak üzere Denizli ili Çal ilçesinde yer alan Konfrut Meyve Suyu İşleme Tesislerinden siyah ve sarı havuç suyu temin edilmiştir (Şekil 6.1).



a) Siyah havuç suyu

b) Sarı havuç suyu

Şekil 6.1 Havuç suyu çeşitleri

Kullanılan cihazlar;

- Şekil 6.2’de görülen hassas terazi (Sartorius GP5202-0CE); deneysel çalışma boyunca ağırlık ölçmek amacıyla kullanılmıştır.



Şekil 6.2 Hassas terazi

- Şekil 6.3’te gösterilen refraktometre (Atago RX-5000); havuç suyu konsantrasyonunun ve havuç suyunun içerdiği çözünür katı madde miktarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Cihazdan 100 g madde içinde çözünür katı madde miktarı doğrudan okunmuştur.



Şekil 6.3 Refraktometre

- Şekil 6.4'te gösterilen su banyosu (Lauda E100); deney boyunca havuç suyunun ısıtılması amacıyla kullanılmıştır.



Şekil 6.4 Su banyosu

- Şekil 6.5'te gösterilen rotasyonel viskozimetre Brookfield LVDV- II+Pro; siyah ve sarı havuç suyunun reolojik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmıştır.



Şekil 6.5 Brookfield LVDV- II+Pro rotasyonel viskozimetre

6.1.2 Yöntemler

Deney sırasında kullanılan yöntemler havuç suyu konsantrelerinin seyreltilmesi, ısıtılması ve reolojik özelliklerinin incelenmesidir. Siyah ve sarı havuç suyu konsantreleri 55, 40, 20 ve 8 brikse içme niteliğindeki su ile seyreltilmiştir. Daha sonra gerekli olan ısıtma işlemleri yapılarak -18°C 'de muhafaza edilen siyah ve sarı havuç suyu 20, 40 ve 60°C 'a ısıtılmıştır. Her briks değeri için bu sıcaklıklarda reolojik özellikler incelenmiştir.

Seyreltme: Siyah ve sarı havuç suyu konsantrisi, 55, 40, 20 ve 8 brikse içme suyu niteliğinde su kullanılarak seyreltilmiştir. Elde edilen briks değerleri Şekil 6.3'te gösterilen refraktometre ile kontrol edilmiştir.

Isıtma: Farklı briks değerlerinde siyah ve sarı havuç suyu 20, 40 ve 60°C 'ye kadar Şekil 6.4'te gösterilen 90°C sıcaklıktaki su banyosunda ısıtılmıştır.

Siyah ve sarı havuç suyunun reolojik özelliklerinin incelenmesi: Siyah ve sarı havuç suyunun reolojik özellikleri rotasyonel viskozimetre Brookfield LVDV-II+Pro kullanılarak incelenmiştir. Siyah ve sarı havuç suyunun reolojik ölçümü 20, 40 ve 60°C sıcaklıklarında ve 8, 20, 40 ve 55 briks çözünür katı madde içeriklerinde yapılmıştır.

Rotasyonel viskozimetrenin numune kabına incelenecek olan numune konmuş ve içerideki silindirin dönme hızına bağlı olarak havuç suyunun viskozitesi ve oluşan kayma gerilimi cihazdan okunmuştur.

Numune kabına briks derecesi ve sıcaklığı belli olan numune konulmuştur. Viskozimetrenin hareketli olan iç silindiri viskozimetre gövdesine takılmıştır. Viskozimetre belirli hızlarda çalıştırılmıştır. Her bir hızda okunan viskozite ve kayma gerilimi değerleri kaydedilmiştir. Numenin sıcaklığı termometre yardımıyla kontrol altında tutulmuştur.

SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

7.1 Siyah Havuç Suyunun Reolojik Özelliklerinin İncelenmesi

Siyah havuç suyunun farklı sıcaklıklarda ve briks değerlerinde reolojik özellikleri rotasyonel viskozimetre kullanılarak incelenmiştir. Rotasyon viskozimetrenin numune kabına siyah havuç suyu konulmuştur. İç silindir farklı dönme hızlarında (γ) çalıştırılarak oluşan kayma gerilimi değerleri (τ) ve viskozite değerleri (μ) kaydedilmiştir.

Denemeler 8, 20, 40 ve 55 briks olmak üzere 4 farklı briks derecesinde ve her bir briks değerinde 20, 40 ve 60°C olmak üzere 3 farklı sıcaklık için yapılmıştır.

Çizelge 7.1, 7.2, 7.3 ve 7.4'te gösterilen veriler kullanılarak kayma hızı-viskozite, kayma gerilimi-kayma hızı, logaritmik kayma hızı-kayma gerilimi, sıcaklık-viskozite ve briks değeri-viskozite ilişkileri incelenmiştir.

Çizelge 7.1 8°Bx'lik siyah havuç suyu için elde edilen reolojik değerler

20°C			
	50 rpm	60 rpm	100 rpm
γ (1/s)	61,2	73,4	122
τ (mPa)	76	92	175
μ (mPa.s)	1,24	1,26	1,43
40°C			
	50 rpm	60 rpm	100 rpm
γ (1/s)	61,2	73,4	122
τ (mPa)	62	75	166
μ (mPa.s)	1,02	1,04	1,36
60°C			
	50 rpm	60 rpm	100 rpm
γ (1/s)	61,2	73,4	122
τ (mPa)	50	61	151
μ (mPa.s)	0,82	0,84	1,24

Çizelge 7.2 20°Bx'lik siyah havuç suyu için elde edilen reolojik değerler

20°C			
	50 rpm	60 rpm	100 rpm
γ (1/s)	61,2	73,4	122
τ (mPa)	108	131	228
μ(mPa.s)	1,75	1,78	1,87
40°C			
	50 rpm	60 rpm	100 rpm
γ (1/s)	61,2	73,4	122
τ (mPa)	90	111	198
μ(mPa.s)	1,48	1,50	1,62
60°C			
	50 rpm	60 rpm	100 rpm
γ (1/s)	61,2	73,4	122
τ (mPa)	78	94	178
μ(mPa.s)	1,27	1,29	1,46

Çizelge 7.3 40°Bx'lik siyah havuç suyu için elde edilen reolojik değerler

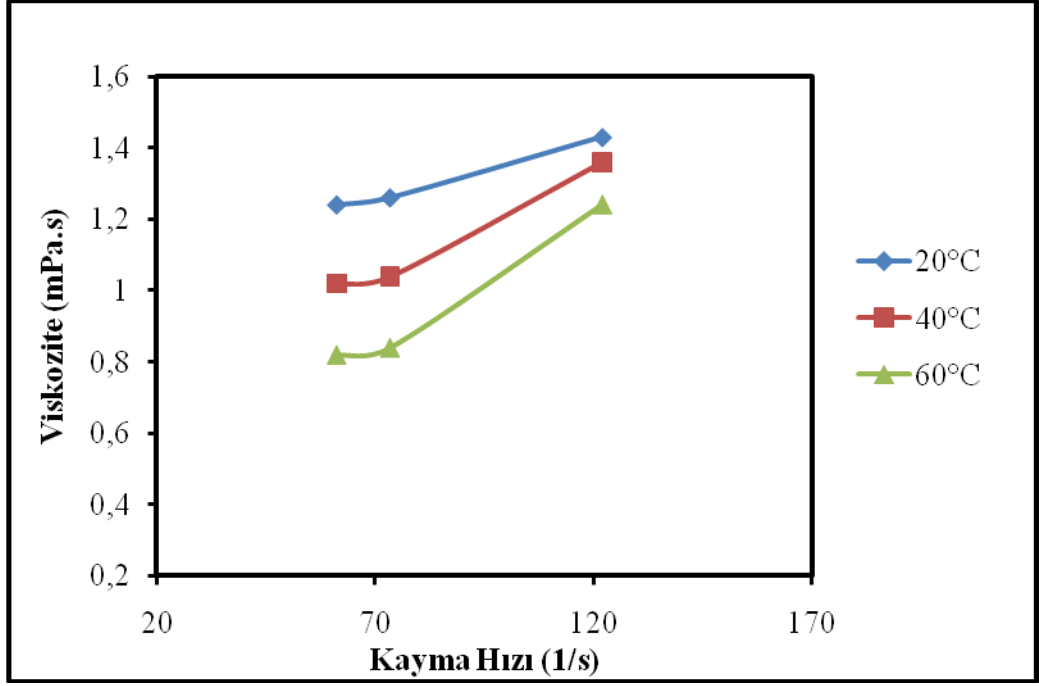
20°C			
	50 rpm	60 rpm	100 rpm
γ (1/s)	61,2	73,4	122
τ (mPa)	306	370	624
μ (mPa.s)	5,01	5,03	5,11
40°C			
	50 rpm	60 rpm	100 rpm
γ (1/s)	61,2	73,4	122
τ (mPa)	250	300	510
μ (mPa.s)	4,05	4,07	4,12
60°C			
	50 rpm	60 rpm	100 rpm
γ (1/s)	61,2	73,4	122
τ (mPa)	228	270	471
μ (mPa.s)	3,65	3,67	3,72

Çizelge 7.4 55°Bx'lik siyah havuç suyu için elde edilen reolojik değerler

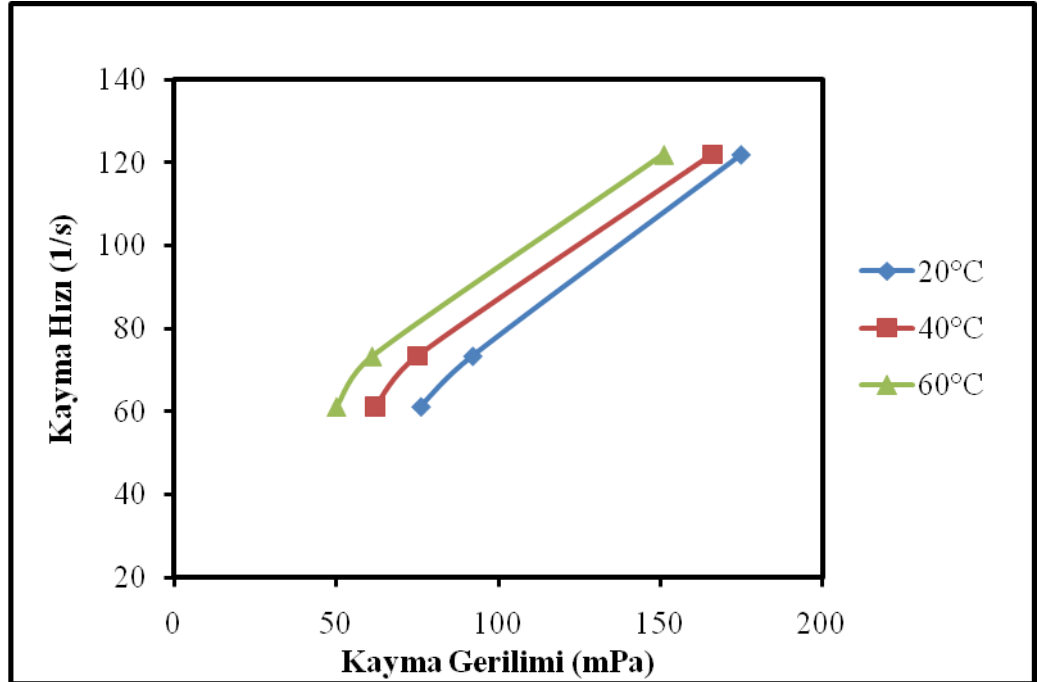
20°C			
	6 rpm	10 rpm	12 rpm
γ (1/s)	7,34	12,2	14,7
τ (mPa)	270	453	544
μ (mPa.s)	36,8	37	37,1
40°C			
	6 rpm	10 rpm	12 rpm
γ (1/s)	7,34	12,2	14,7
τ (mPa)	224	380	471
μ (mPa.s)	30,5	31,3	31,8
60°C			
	6 rpm	10 rpm	12 rpm
γ (1/s)	7,34	12,2	14,7
τ (mPa)	148	258	322
μ (mPa.s)	20,1	21,2	21,9

Çizelge 7.1, 7.2, 7.3 ve 7.4 incelendiğinde kayma hızı arttıkça, kayma gerilimi ve viskozite artmaktadır. Sıcaklık artışıyla siyah havuç suyunun viskozitesinin düştüğü gözlemlenmiştir. Benzer çalışma olan sumak konsantresinin reolojik davranışının incelenmesinde Özkanlı ve Tekin [34], nar suyunun reolojik davranışını araştıran Bodbodak vd. [23] ve pekmezin reolojik davranışını inceleyen Akbulut vd. [30] viskozitenin sıcaklığın artmasıyla azaldığını ve briks değeri arttıkça viskozitenin arttığını görmüşlerdir.

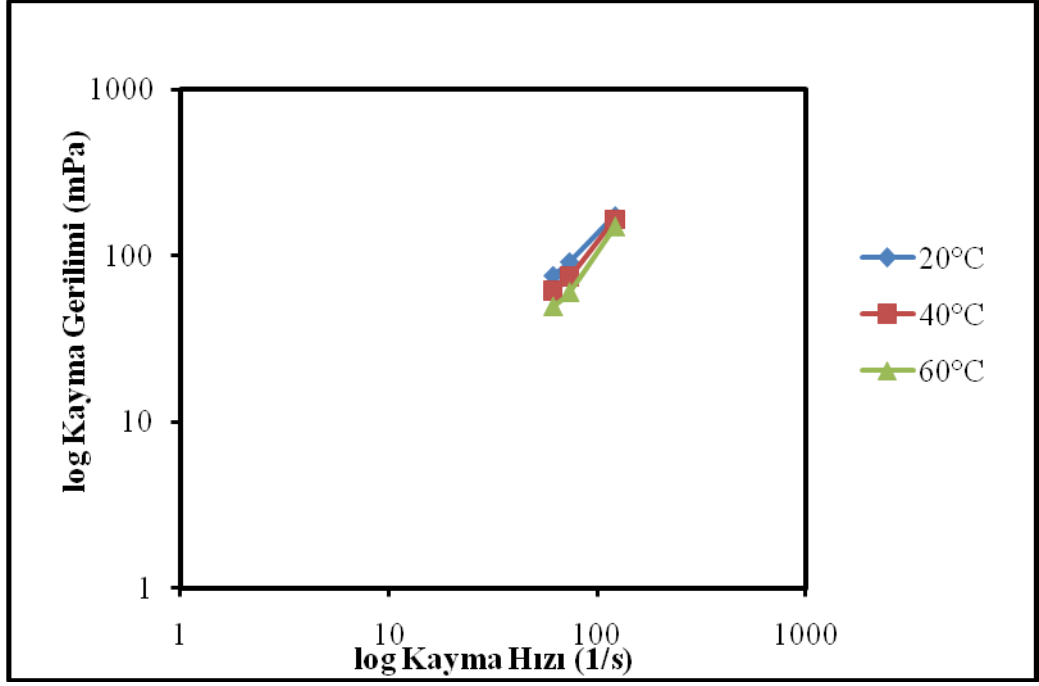
Değişik briks değerlerindeki (8, 20, 40 ve 55 °Bx) siyah havuç suyu için kayma hızı-viskozite, kayma gerilimi-kayma hızı ve logaritmik kayma hızı-kayma gerilimi ilişkileri Şekil 7.1-7.12'de gösterilmektedir.



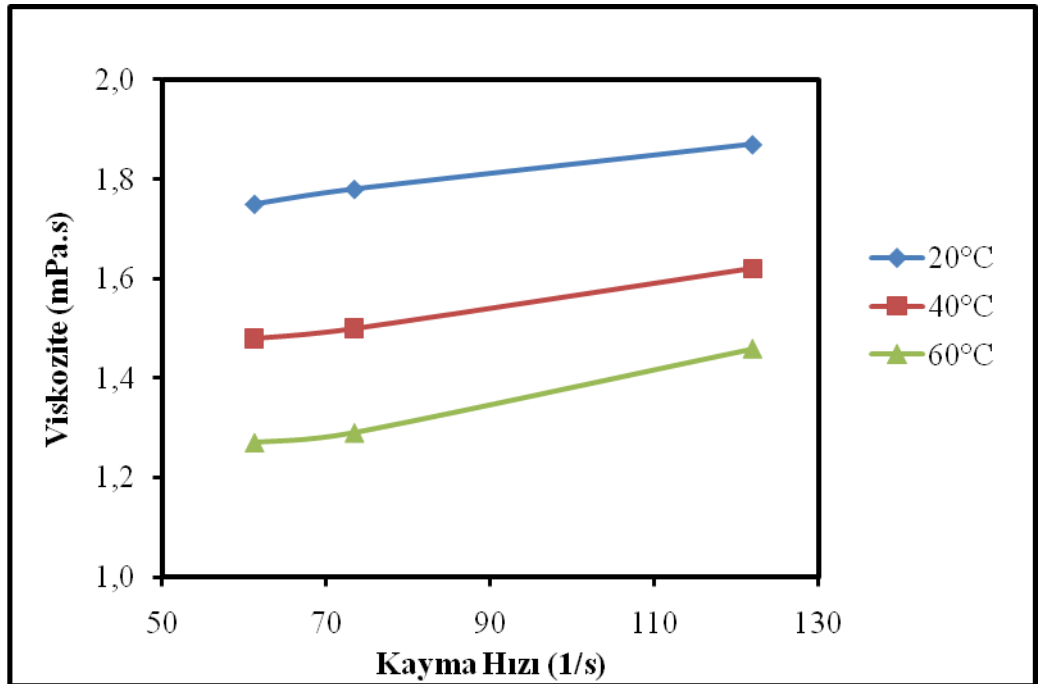
Şekil 7.1 8°Bx'lik siyah havuç suyu için kayma hızı-viskozite ilişkisi



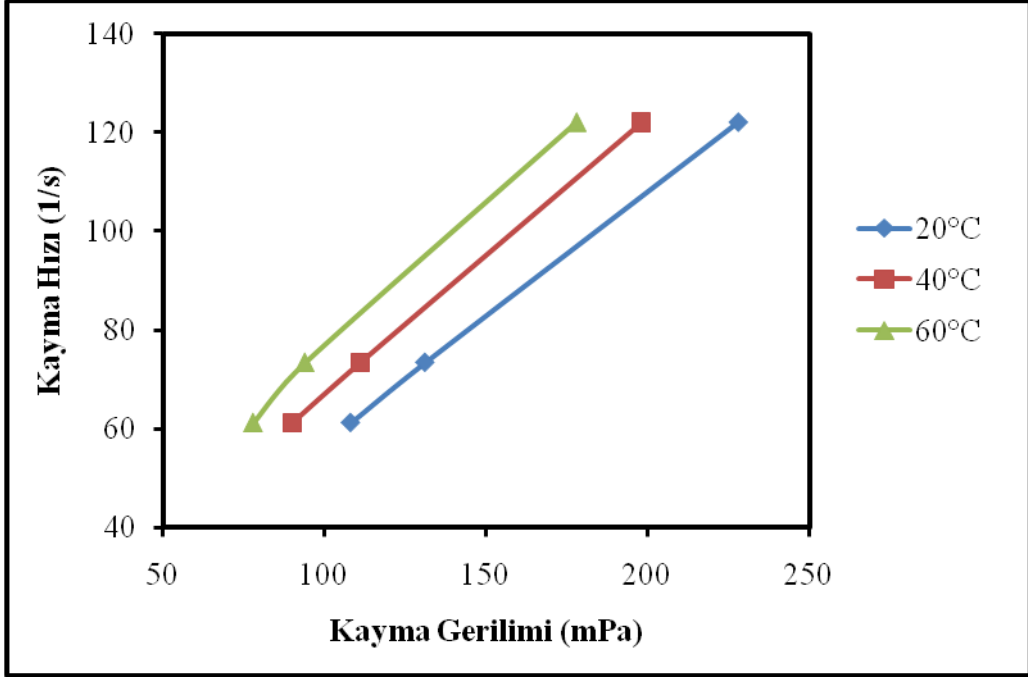
Şekil 7.2 8°Bx'lik siyah havuç suyu için kayma gerilimi-kayma hızı ilişkisi



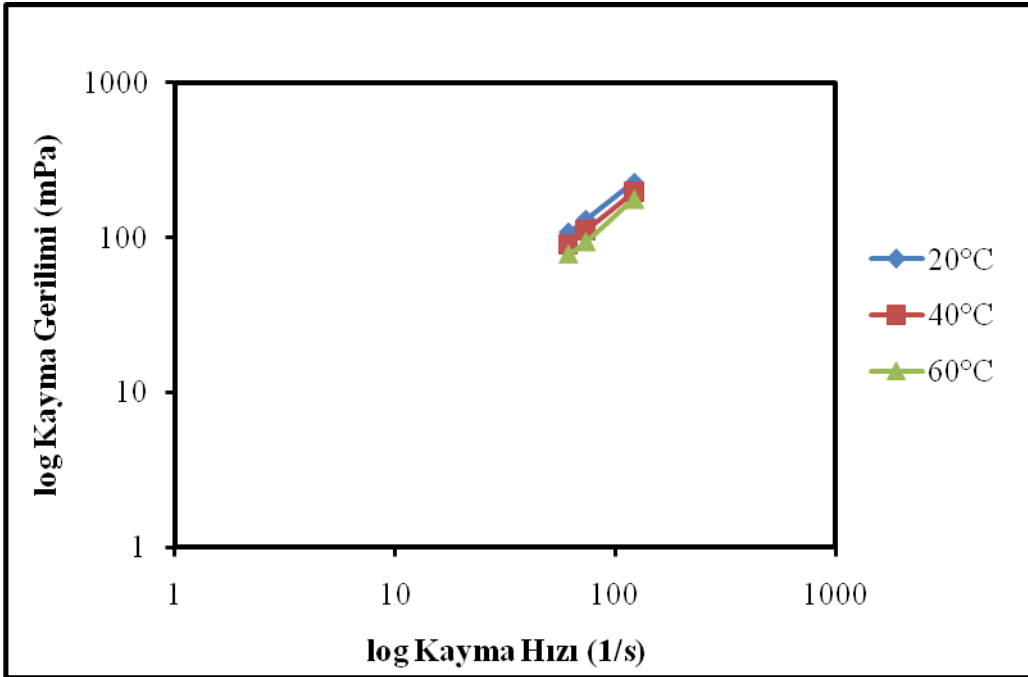
Şekil 7.3 8°Bx'lik siyah havuç suyu için logaritmik kayma hızı-kayma gerilimi ilişkisi



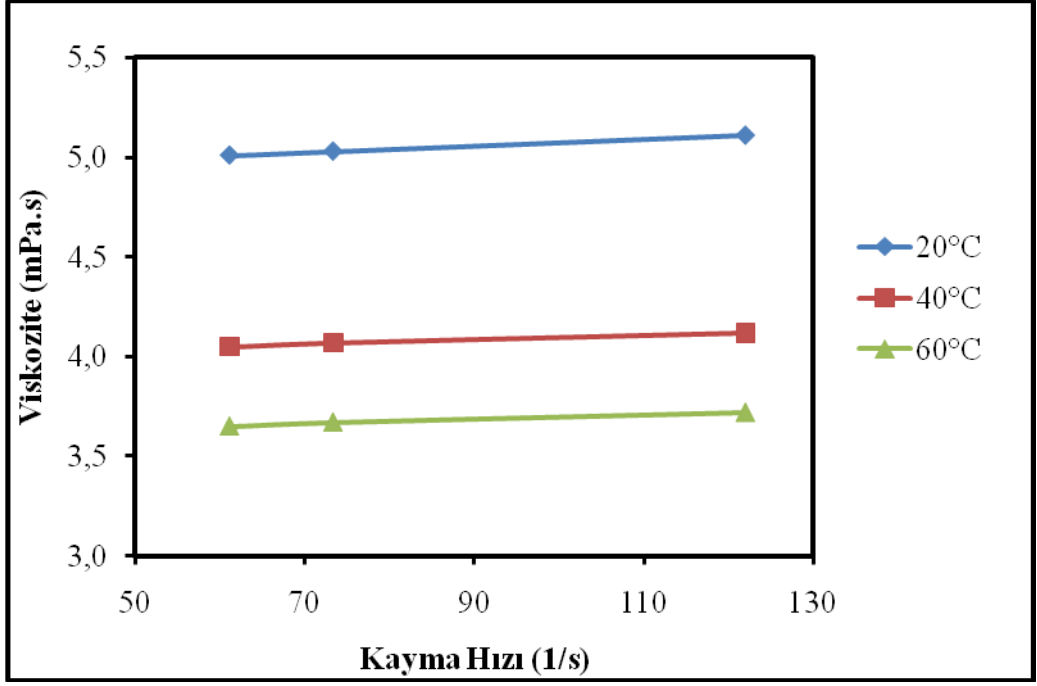
Şekil 7.4 20°Bx'lik siyah havuç suyu için kayma hızı-viskozite ilişkisi



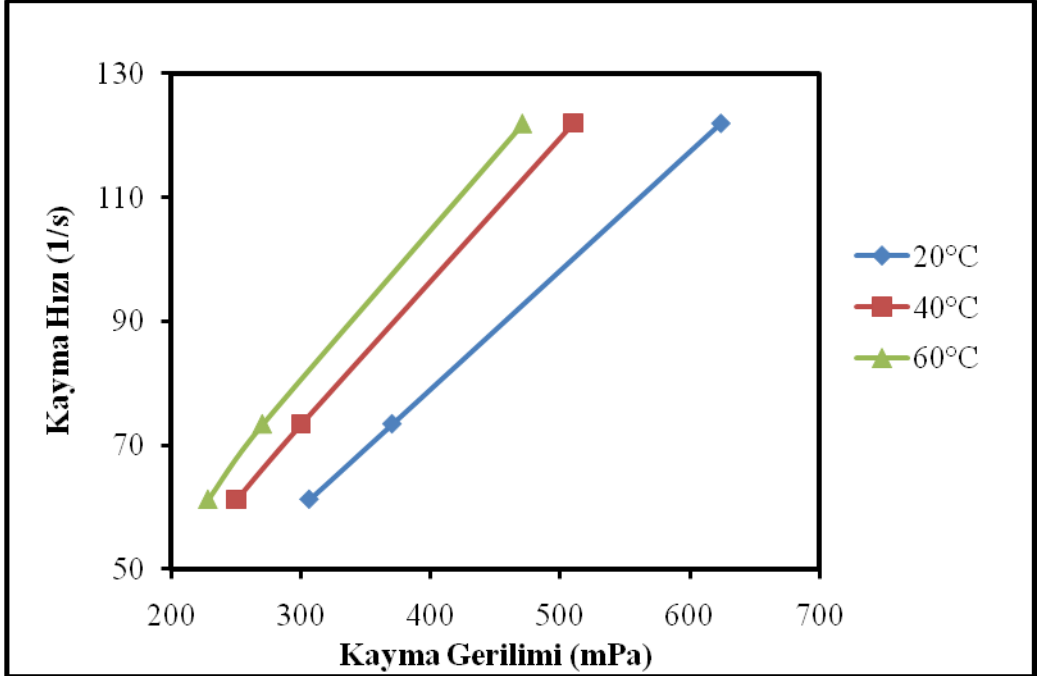
Şekil 7.5 20°Bx'lik siyah havuç suyu için kayma gerilimi-kayma hızı ilişkisi



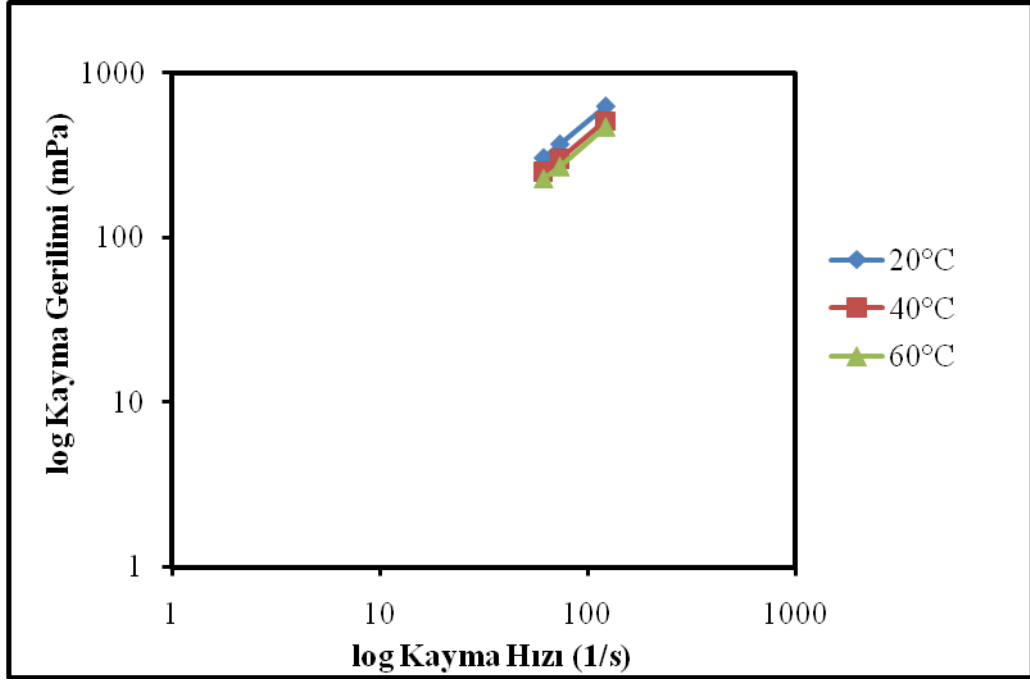
Şekil 7.6 20°Bx'lik siyah havuç suyu için logaritmik kayma hızı-kayma gerilimi ilişkisi



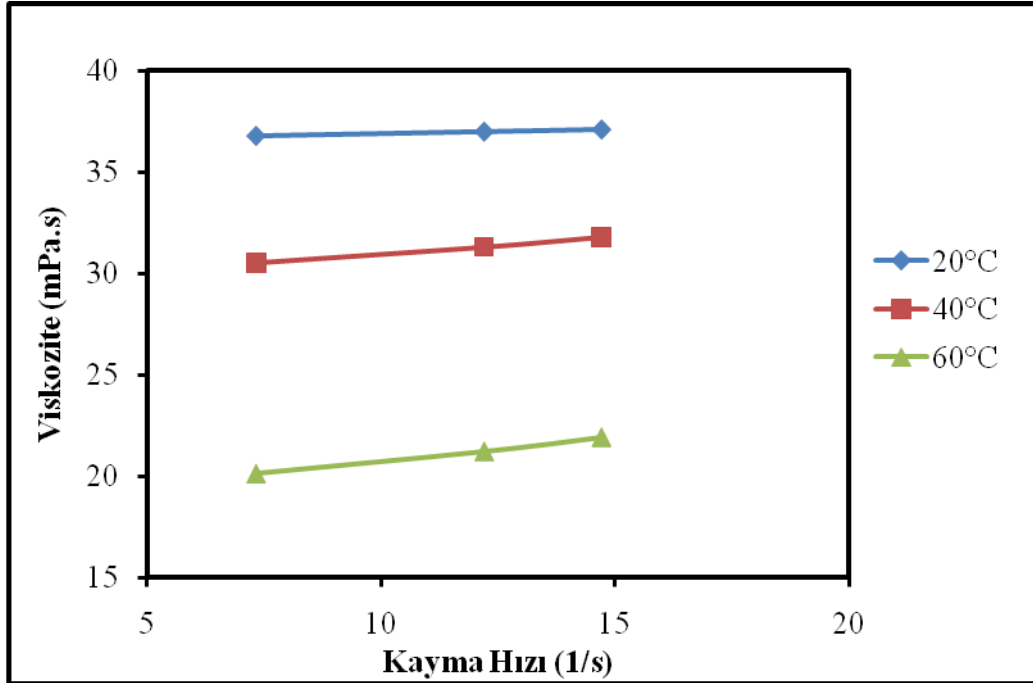
Şekil 7.7 40°Bx'lik siyah havuç suyu için kayma hızı-viskozite ilişkisi



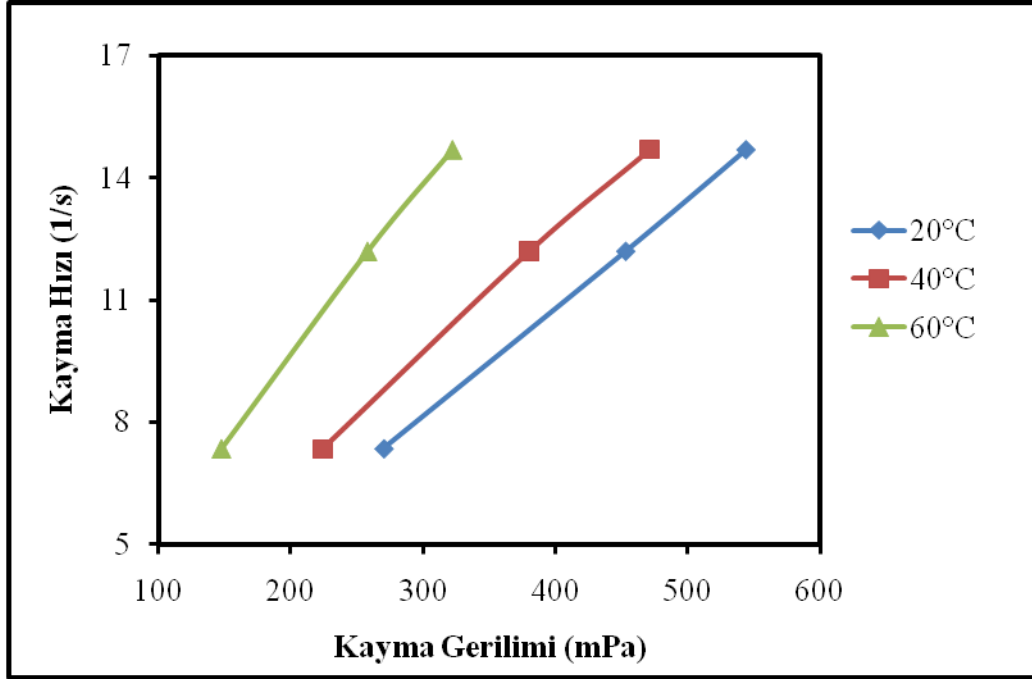
Şekil 7.8 40°Bx'lik siyah havuç suyu için kayma gerilimi-kayma hızı ilişkisi



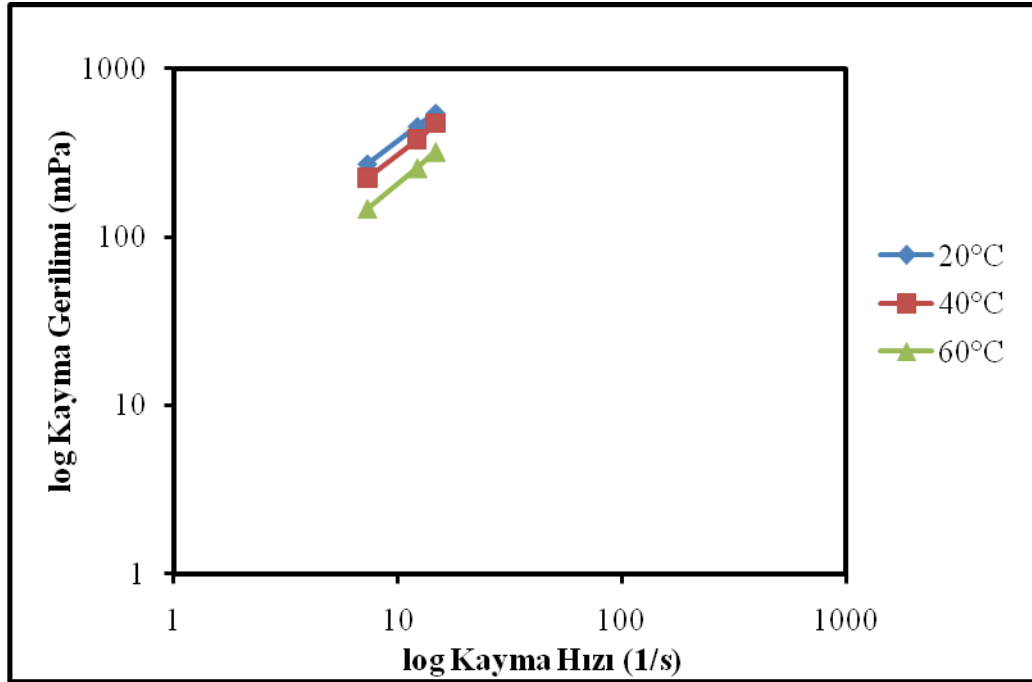
Şekil 7.9 40°Bx'lik siyah havuç suyu için logaritmik kayma hızı-kayma gerilimi ilişkisi



Şekil 7.10 55°Bx'lik siyah havuç suyu için kayma hızı-viskozite ilişkisi



Şekil 7.11 55°Bx'lik siyah havuç suyu için kayma gerilimi-kayma hızı ilişkisi



Şekil 7.12 55°Bx'lik siyah havuç suyu için logaritmik kayma hızı-kayma gerilimi ilişkisi

Şekil 7.1, 7.4, 7.7, 7.10’da görüldüğü gibi siyah havuç suyunun kayma hızı arttıkça viskozitesi artmaktadır. Şekil 7.2, 7.5, 7.8, 7.11’de ise kayma hızı artarken kayma geriliminin arttığı gözlemlenmiştir.

7.1.1 Siyah havuç suyu için Power-law modelin uygulanması

Değişik briks değerlerindeki (8, 20, 40 ve 55°Bx) siyah havuç suyu konsantresi ile yapılan denemelerden elde edilen sonuçlara Power-law modeli (denklem 4.21) uygulanarak k ve n değerleri tespit edilmiş ve sonuçlar Çizelge 7.5’te gösterilmiştir.

Çizelge 7.5 Siyah havuç suyu için Power-law model denklemleri

	20°C	40°C	60°C
8°Bx	$\tau_{20^\circ\text{C}} = 0,4683.\gamma^{1,2328}$	$\tau_{40^\circ\text{C}} = 0,1300.\gamma^{1,4884}$	$\tau_{60^\circ\text{C}} = 0,0456.\gamma^{1,6869}$
20°Bx	$\tau_{20^\circ\text{C}} = 1,2352.\gamma^{1,0862}$	$\tau_{40^\circ\text{C}} = 0,8233.\gamma^{1,1413}$	$\tau_{60^\circ\text{C}} = 0,5031.\gamma^{1,2214}$
40°Bx	$\tau_{20^\circ\text{C}} = 4,4033.\gamma^{1,0312}$	$\tau_{40^\circ\text{C}} = 3,4855.\gamma^{1,0378}$	$\tau_{60^\circ\text{C}} = 2,7679.\gamma^{1,0690}$
55°Bx	$\tau_{20^\circ\text{C}} = 36,3216.\gamma^{1,0076}$	$\tau_{40^\circ\text{C}} = 26,1101.\gamma^{1,0744}$	$\tau_{60^\circ\text{C}} = 15,6562.\gamma^{1,1235}$

Çizelge 7.5’te 8, 20, 40 ve 55°Bx’lik siyah havuç suyuna ait model denklemleri verilmiştir. Kayma gerilimi-kayma hızı ilişkilerine bakıldığında akış indeksinin birden büyük olduğu ($n>1$) görülmüş ve bu doğrultuda akışkanın dilatant akış davranışında bulunduğu sonucuna varılmıştır.

7.1.2 Sıcaklığın viskozite üzerindeki etkisi

Viskozite sıcaklığa bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu değişim Arrhenius denklemi ile ifade edilmektedir.

$$k = k_0 \cdot \exp(E_a / RT) \quad (7.1)$$

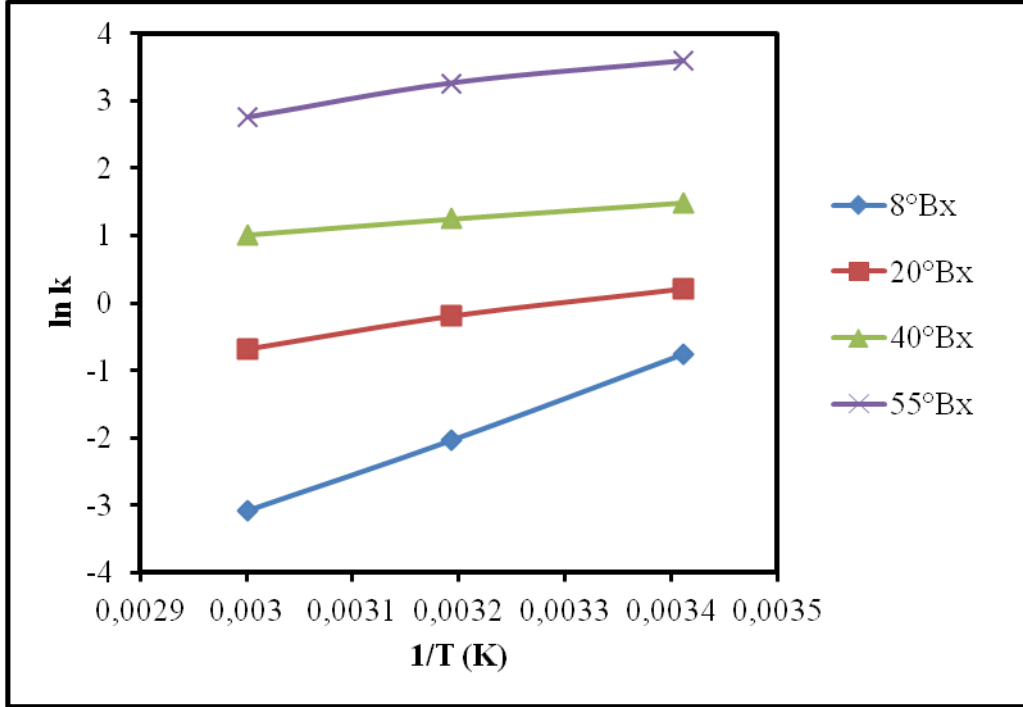
Burada k, kıvam indeksi, k_0 , frekans faktörü, E_a , aktivasyon enerjisi (kJ/mol), R ideal gaz sabiti (kJ/mol.K) ve T, sıcaklıktır (°C).

Eşitlik (7.1)’in her iki tarafının logaritması alınıp yazılırsa,

$$\ln k = \ln k_0 + \frac{E_a}{R} \frac{1}{T} \quad (7.2)$$

haline gelir.

Değişik briks değerleri için $\ln k$ ile $1/T$ arasında eğriler çizilmiş ve bu eğriler Şekil 7.13'te gösterilmiştir. Bu eğrilerin eğimleri E_a/R değerlerini vermekte olup buradan aktivasyon enerjisi değerleri hesaplanmıştır. Briks derecelerine bağlı olarak siyah havuç suyunun aktivasyon enerjisi 9,41 – 47,32 kJ/mol arasında değişmektedir.



Şekil 7.13 Siyah havuç suyu için kıvam indeksinin sıcaklıkla değişimi

Siyah havuç suyunun 8, 20, 40 ve 55°Bx değerlerindeki aktivasyon enerjileri, $\ln k-1/T$ grafiğinden yararlanılarak hesaplanmış olup Çizelge 7.6'da hesaplanan değerler görülmektedir.

Çizelge 7.6 Siyah havuç suyunun çeşitli briks değerlerinde aktivasyon enerjileri

Briks	Denklem	R ²	E _a (kJ/mol)
8	$y = 5691,3x - 20,186$	0,9996	47,32
20	$y = 2185,5x - 7,2216$	0,9914	18,17
40	$y = 1132,2x - 2,3756$	0,9989	9,41
55	$y = 2042,5x - 3,3383$	0,9744	16,98

7.2 Sarı Havuç Suyunun Reolojik Özelliklerinin İncelenmesi

Sarı havuç suyunun farklı sıcaklıklarda ve briks değerlerinde reolojik özellikleri rotasyonel viskozimetre kullanılarak incelenmiştir. Rotasyonel viskozimetrenin numune kabına sarı havuç suyu konulmuştur. İç silindir farklı dönme hızlarında (γ) çalıştırılarak oluşan kayma gerilimi değerleri (τ) ve viskozite değerleri (μ) kaydedilmiştir.

Denemeler 8, 20, 40 ve 55 briks olmak üzere 4 farklı briks derecesinde ve her bir briks değerinde 20, 40 ve 60°C olmak üzere 3 farklı sıcaklık için yapılmıştır.

Çizelge 7.7, 7.8, 7.9 ve 7.10'da gösterilen veriler kullanılarak kayma hızı-viskozite, kayma gerilimi-kayma hızı, logaritmik kayma hızı-kayma gerilimi, sıcaklık-viskozite ve briks değeri-viskozite ilişkileri incelenmiştir.

Çizelge 7.7 8°Bx'lik sarı havuç suyu için elde edilen reolojik değerler

20°C			
	50 rpm	60 rpm	100 rpm
γ (1/s)	61,2	73,4	122
τ (mPa)	87	106	180
μ(mPa.s)	1,43	1,44	1,48
40°C			
	50 rpm	60 rpm	100 rpm
γ (1/s)	61,2	73,4	122
τ (mPa)	73	90	168
μ(mPa.s)	1,21	1,23	1,38
60°C			
	50 rpm	60 rpm	100 rpm
γ (1/s)	61,2	73,4	122
τ (mPa)	63	77	153
μ(mPa.s)	1,03	1,06	1,25

Çizelge 7.8 20°Bx'lik sarı havuç suyu için elde edilen reolojik değerler

20°C			
	50 rpm	60 rpm	100 rpm
γ (1/s)	61,2	73,4	122
τ (mPa)	169	203	346
μ (mPa.s)	2,76	2,77	2,82
40°C			
	50 rpm	60 rpm	100 rpm
γ (1/s)	61,2	73,4	122
τ (mPa)	143	173	2,97
μ (mPa.s)	2,34	2,36	2,43
60°C			
	50 rpm	60 rpm	100 rpm
γ (1/s)	61,2	73,4	122
τ (mPa)	131	159	269
μ (mPa.s)	2,16	2,17	2,2

Çizelge 7.9 40°Bx'lik sarı havuç suyu için elde edilen reolojik değerler

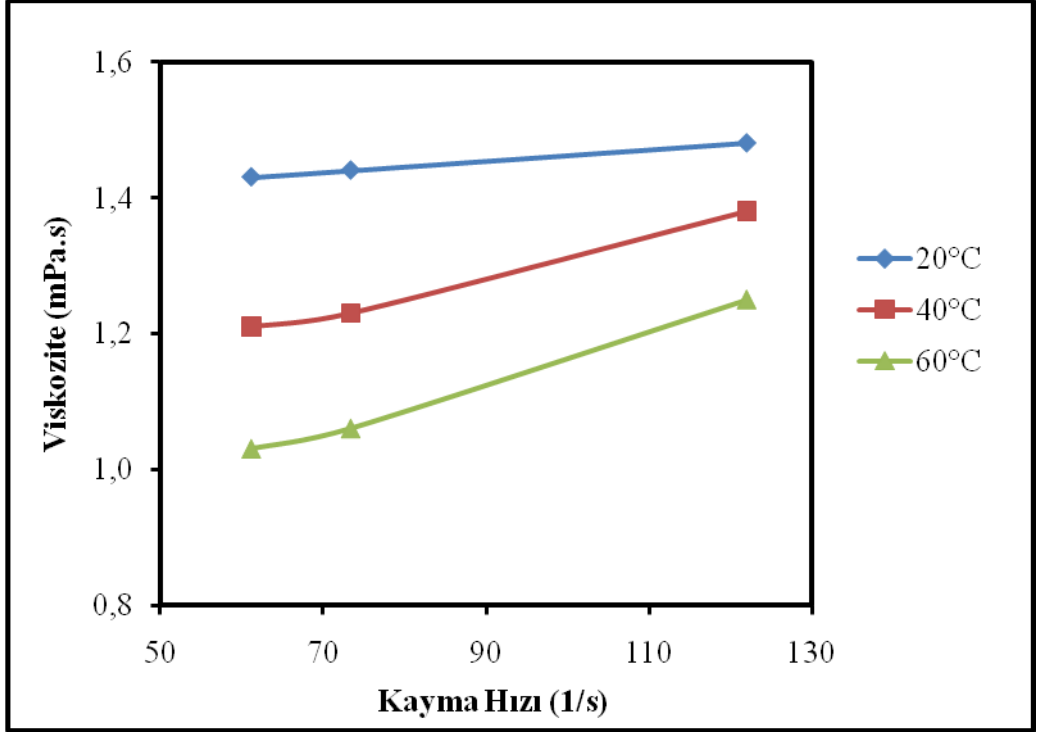
20°C			
	12 rpm	20 rpm	30 rpm
γ (1/s)	14,7	24,5	36,7
τ (mPa)	169	291	453
μ(mPa.s)	11,5	11,9	12,4
40°C			
	12 rpm	20 rpm	30 rpm
γ (1/s)	14,7	24,5	36,7
τ (mPa)	137	231	346
μ(mPa.s)	9,35	9,41	9,49
60°C			
	12 rpm	20 rpm	30 rpm
γ (1/s)	14,7	24,5	36,7
τ (mPa)	109	183	277
μ(mPa.s)	7,41	7,47	7,54

Çizelge 7.10 55°Bx'lik sarı havuç suyu için elde edilen reolojik değerler

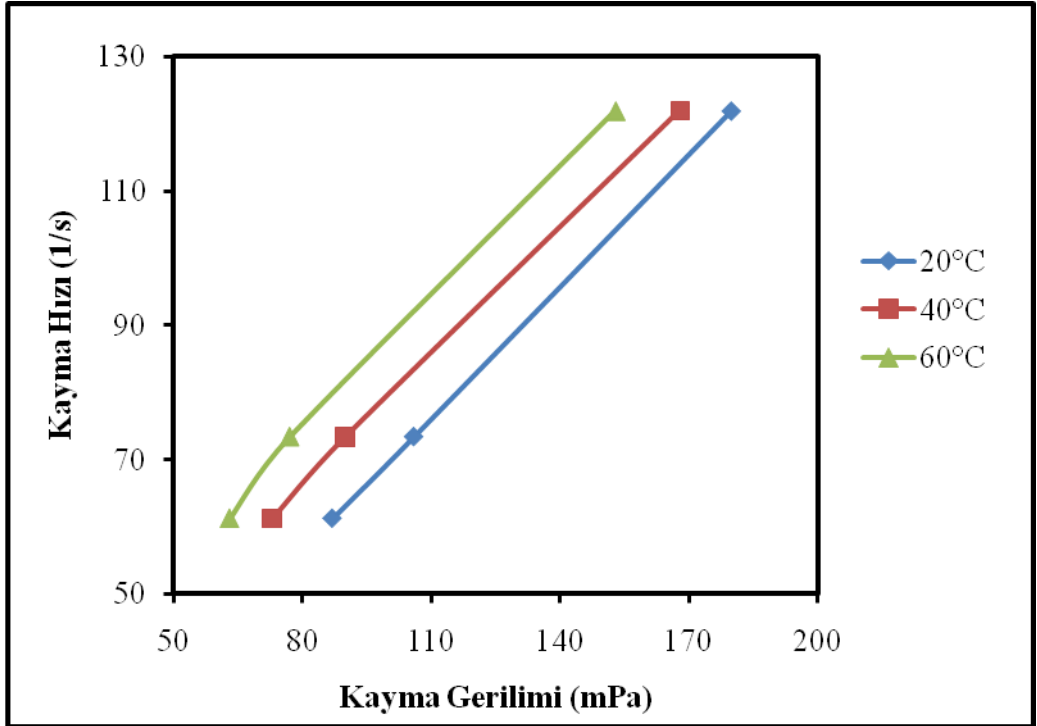
20°C			
	2,5 rpm	3 rpm	4 rpm
γ (1/s)	3,06	3,67	4,89
τ (mPa)	308	398	566
μ (mPa.s)	101,5	107,3	115,5
40°C			
	2,5 rpm	3 rpm	4 rpm
γ (1/s)	3,06	3,67	4,89
τ (mPa)	233	309	444
μ (mPa.s)	76,8	83,4	90,7
60°C			
	2,5 rpm	3 rpm	4 rpm
γ (1/s)	3,06	3,67	4,89
τ (mPa)	192	241	343
μ (mPa.s)	62,7	65,6	70,2

Çizelge 7.7, 7.8, 7.9 ve 7.10 incelendiğinde kayma hızı arttıkça, kayma gerilimi ve viskozite artmaktadır. Sıcaklık artışıyla sarı havuç suyunun viskozitesinin düştüğü gözlemlenmiştir. Benzer bir çalışma olan dondurularak konsantre edilen greyfurt suyunun reolojik davranışının incelenmesinde Chin vd. [36], nar suyunun reolojik davranışını inceleyen Altan ve Maskan [26] ve yeşil limon suyunun reolojik davranışını araştıran Manjunatha vd. [44] viskozitenin sıcaklığın artmasıyla azaldığını ve briks değeri arttıkça viskozitenin arttığını görmüşlerdir.

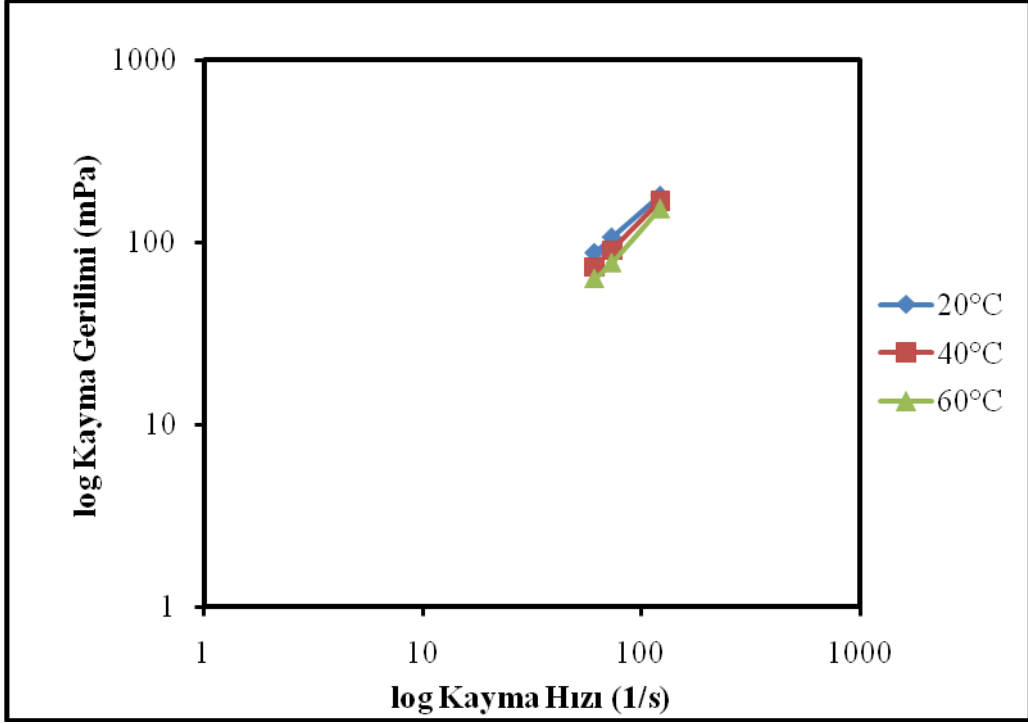
Değişik briks değerlerindeki (8, 20, 40 ve 55 °Bx) sarı havuç suyu için kayma hızı-viskozite, kayma gerilimi-kayma hızı ve logaritmik kayma hızı-kayma gerilimi ilişkileri Şekil 7.14-7.25'te gösterilmektedir.



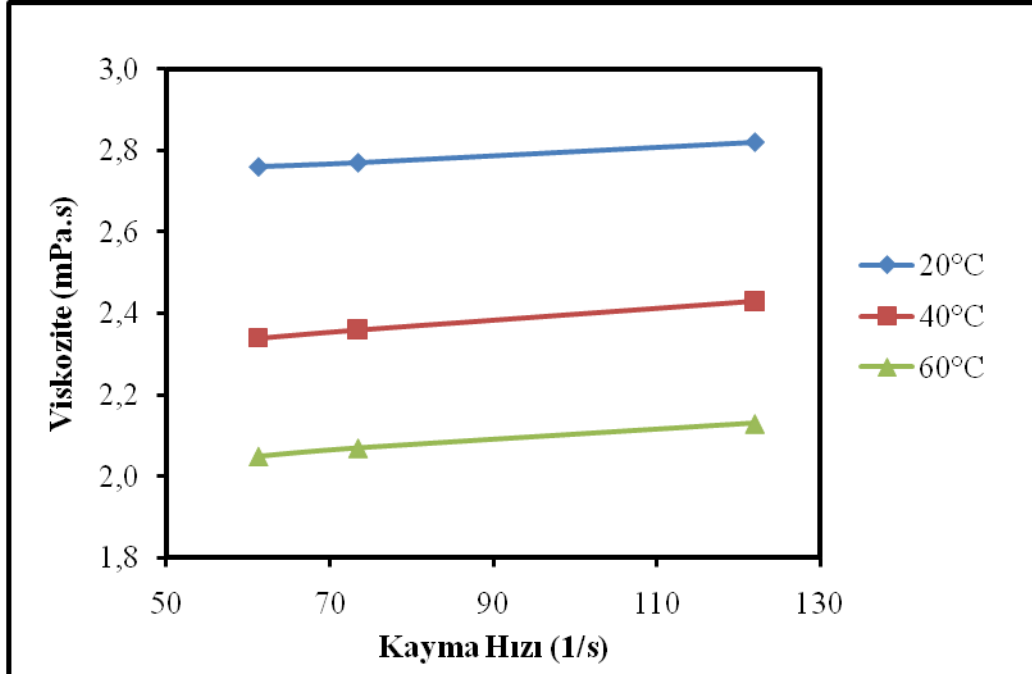
Şekil 7.14 8°Bx'lik sarı havuç suyu için kayma hızı-viskozite ilişkisi



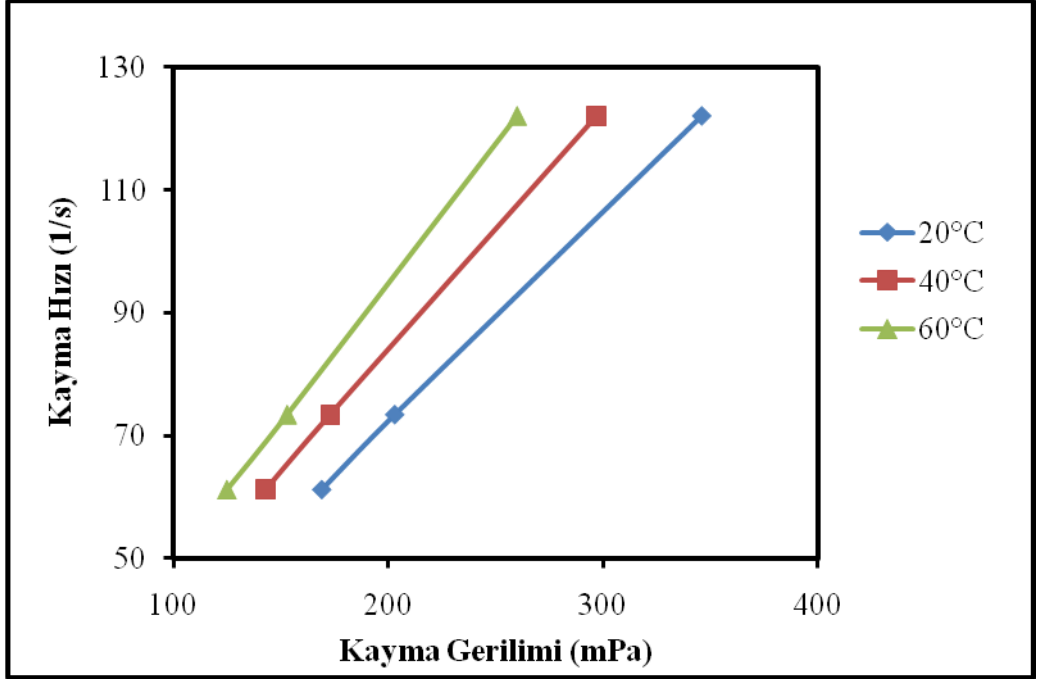
Şekil 7.15 8°Bx'lik sarı havuç suyu için kayma gerilimi-kayma hızı ilişkisi



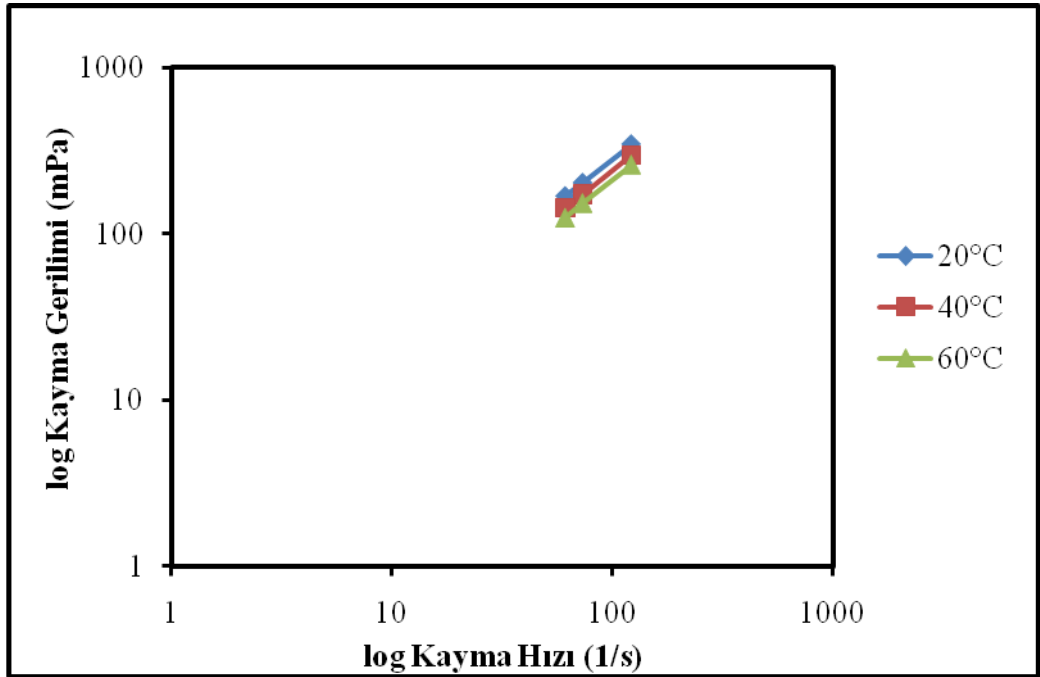
Şekil 7.16 8°Bx'lik sarı havuç suyu için logaritmik kayma hızı-kayma gerilimi ilişkisi



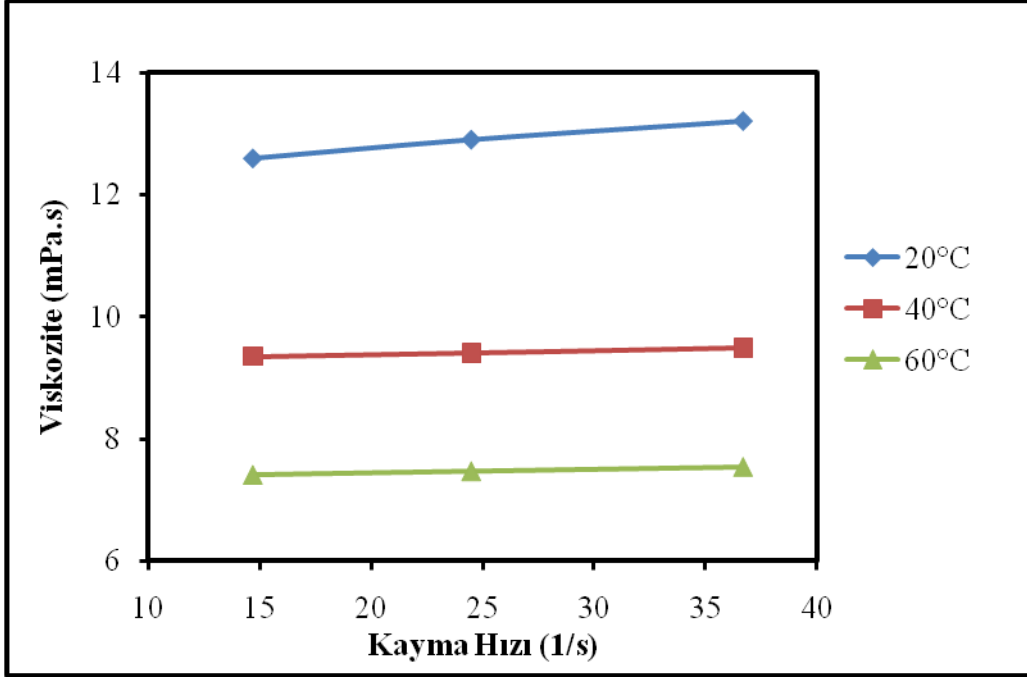
Şekil 7.17 20°Bx'lik sarı havuç suyu için kayma hızı-viskozite ilişkisi



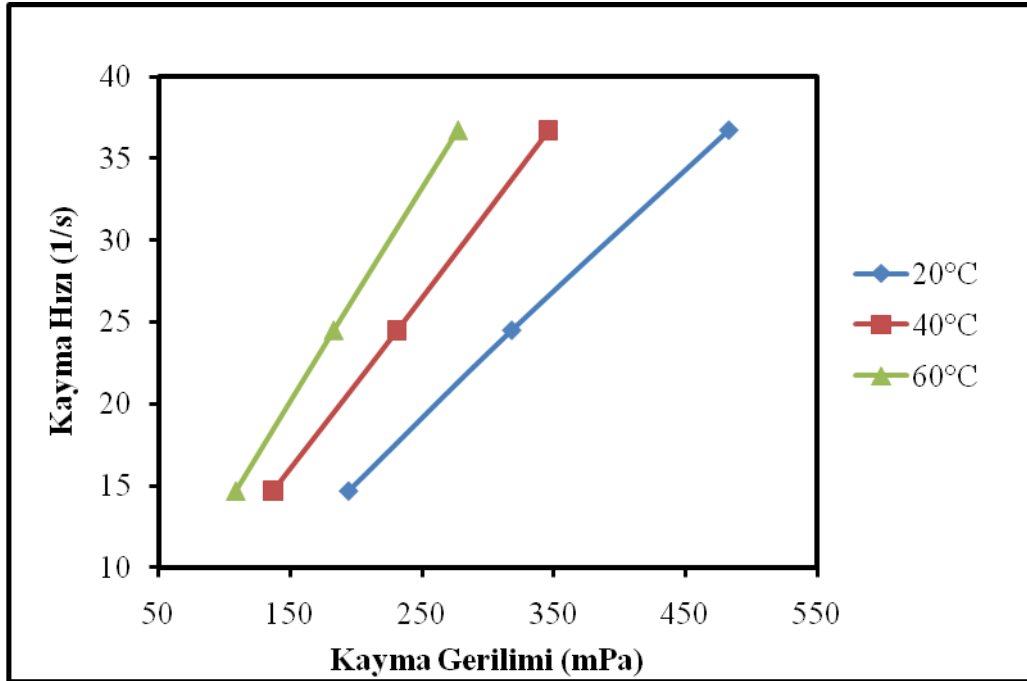
Şekil 7.18 20°Bx'lik sarı havuç suyu için kayma gerilimi-kayma hızı ilişkisi



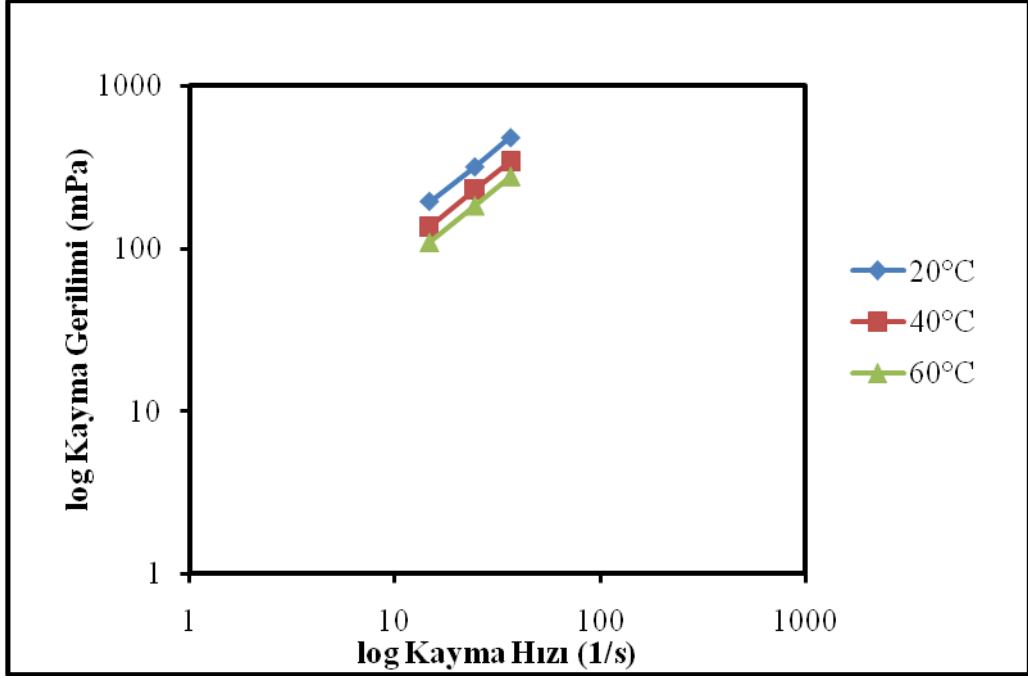
Şekil 7.19 20°Bx'lik sarı havuç suyu için logaritmik kayma hızı-kayma gerilimi ilişkisi



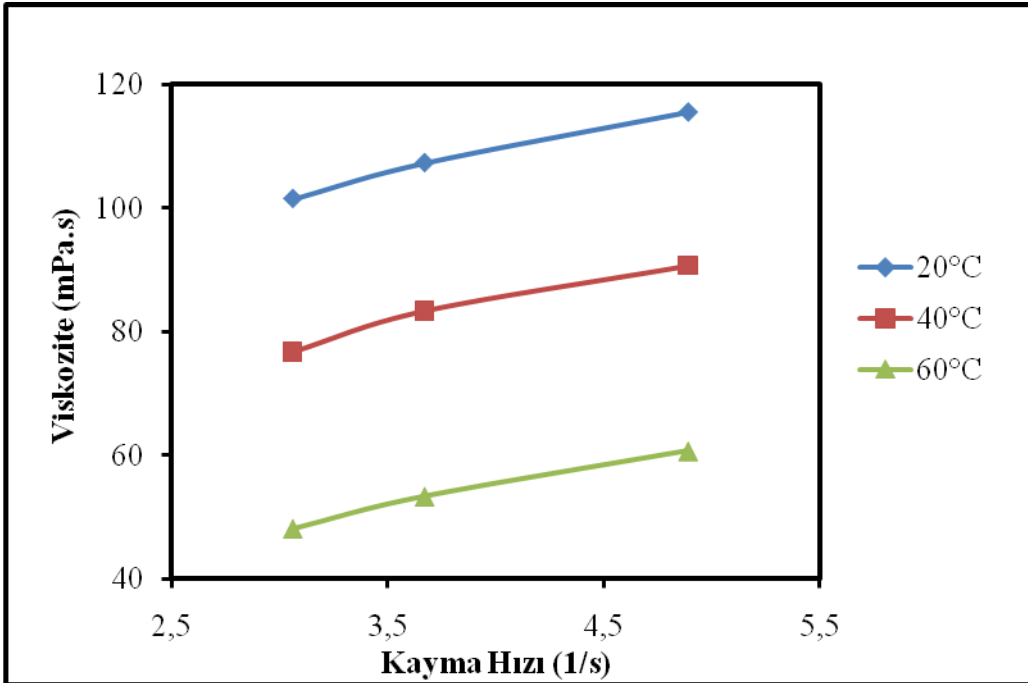
Şekil 7.20 40°Bx'lik sarı havuç suyu için kayma hızı-viskozite ilişkisi



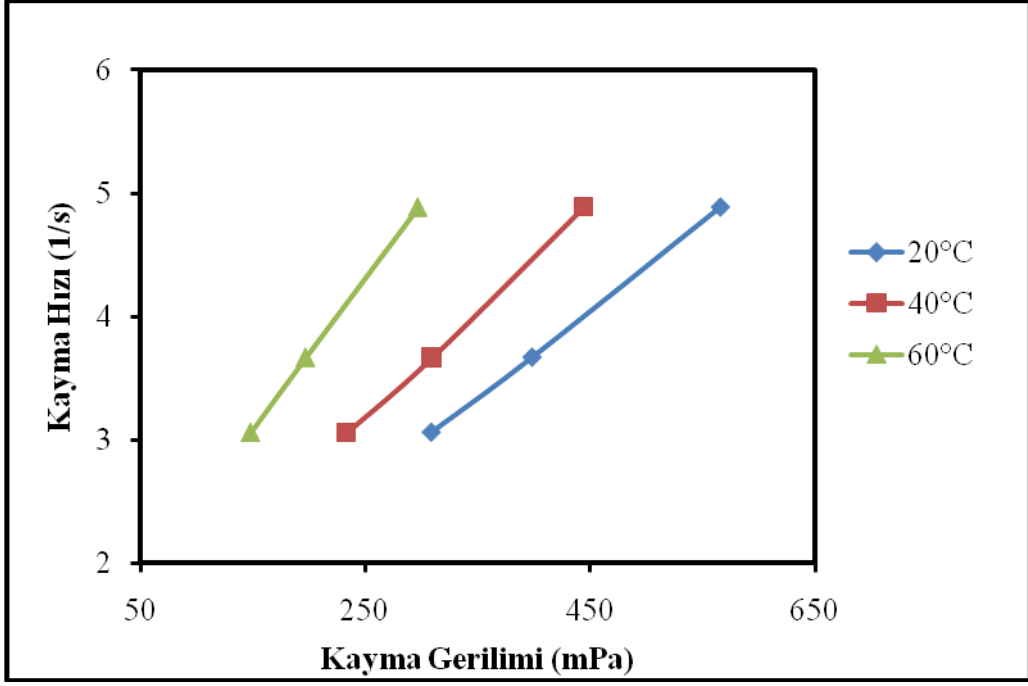
Şekil 7.21 40°Bx'lik sarı havuç suyu için kayma gerilimi-kayma hızı ilişkisi



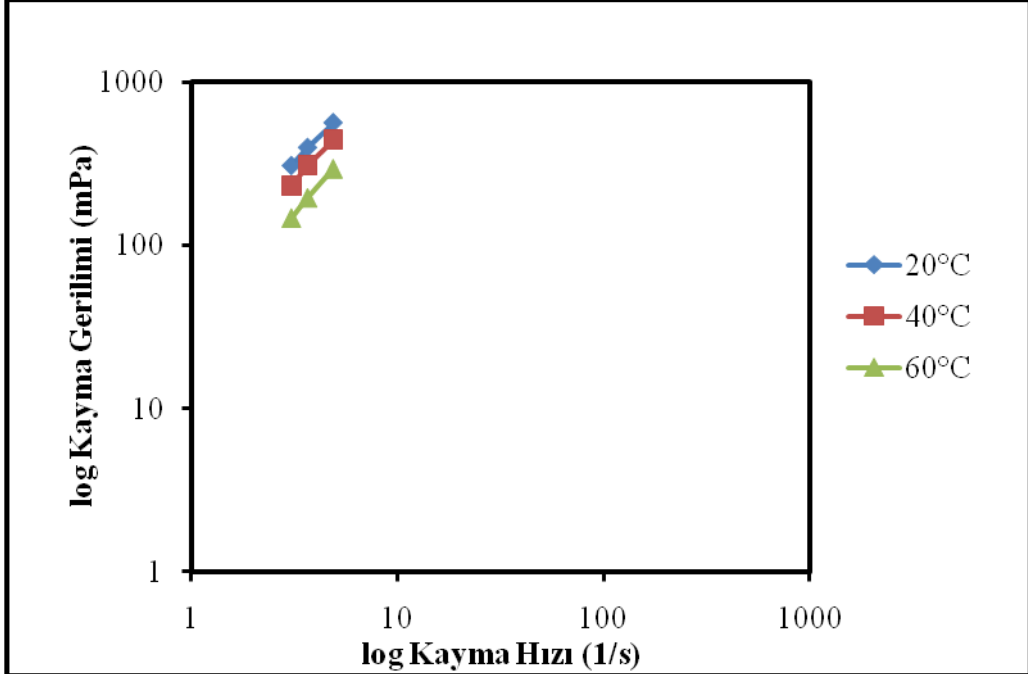
Şekil 7.22 40°Bx'lik sarı havuç suyu için logaritmik kayma hızı-kayma gerilimi ilişkisi



Şekil 7.23 55°Bx'lik sarı havuç suyu için kayma hızı-viskozite ilişkisi



Şekil 7.24 55°Bx'lik sarı havuç suyu için kayma gerilimi-kayma hızı ilişkisi



Şekil 7.25 55°Bx'lik sarı havuç suyu için logaritmik kayma hızı-kayma gerilimi ilişkisi

Şekil 7.14, 7.17, 7.20, 7.23'te görüldüğü gibi sarı havuç suyunun kayma hızı arttıkça viskozitesi artmaktadır. Şekil 7.15, 7.18, 7.21, 7.24'te ise kayma hızı artarken kayma geriliminin arttığı gözlemlenmiştir.

7.2.1 Sarı havuç suyu için Power-law modelin uygulanması

Değişik briks değerlerindeki (8, 20, 40 ve 55°Bx) sarı havuç suyunun Power-law modeline (denklem 4.21) uygunluğu incelenmiş, k ve n değerleri tespit edilmiştir. Model denklemleri Çizelge 7.11'de verilmiştir.

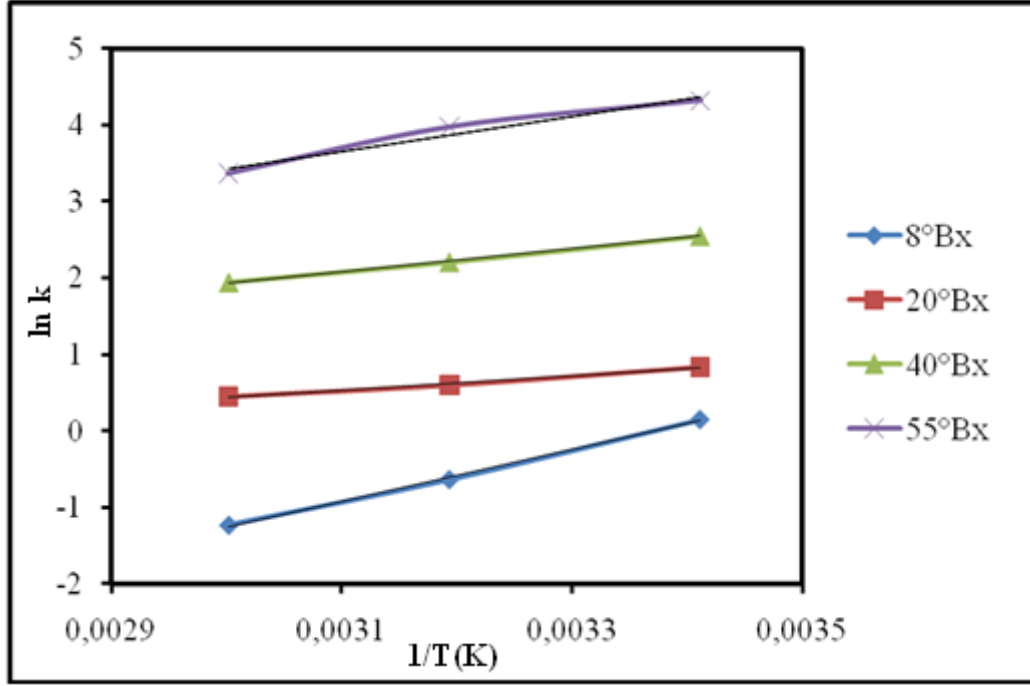
Çizelge 7.11 Sarı havuç suyunun Power-law model denklemleri

	20°C	40°C	60°C
8°Bx	$\tau_{20^\circ\text{C}} = 1,1653 \cdot \gamma^{1,0492}$	$\tau_{40^\circ\text{C}} = 0,4860 \cdot \gamma^{1,2167}$	$\tau_{60^\circ\text{C}} = 0,2768 \cdot \gamma^{1,3143}$
20°Bx	$\tau_{20^\circ\text{C}} = 2,3065 \cdot \gamma^{1,0430}$	$\tau_{40^\circ\text{C}} = 1,8147 \cdot \gamma^{1,0611}$	$\tau_{60^\circ\text{C}} = 1,5568 \gamma^{1,0670}$
40°Bx	$\tau_{20^\circ\text{C}} = 12,8244 \cdot \gamma^{1,0066}$	$\tau_{40^\circ\text{C}} = 9,1253 \cdot \gamma^{1,0093}$	$\tau_{60^\circ\text{C}} = 6,9931 \cdot \gamma^{1,0211}$
55°Bx	$\tau_{20^\circ\text{C}} = 74,7028 \cdot \gamma^{1,2773}$	$\tau_{40^\circ\text{C}} = 52,9877 \cdot \gamma^{1,3415}$	$\tau_{60^\circ\text{C}} = 28,9308 \cdot \gamma^{1,4682}$

Çizelge 7.11'de 8, 20, 40 ve 55°Bx'lik sarı havuç suyunun çıkarılan model denklemleri gösterilmiş ve kayma gerilimi-kayma hızı ilişkilerine bakıldığında akış indeksinin birden büyük olduğu ($n > 1$) görülmüş ve bu doğrultuda akışkanın dilatant akış davranışında bulunduğu sonucuna varılmıştır.

7.2.2 Sıcaklığın viskozite üzerindeki etkisi

Daha önce siyah havuç suyu ve konsantreleri için belirtildiği gibi, sarı havuç suyu ve konsantreleri için (7.1) ve (7.2) eşitlikleri kullanılarak enerji değerleri hesaplanmıştır. $\ln k - 1/T$ arasında değişik briks değerleri için çizilen eğriler Şekil 7.26'da gösterilmektedir. Bu eğrilerin model denklemleri ile korelasyon katsayıları Çizelge 7.12'de verilmiştir. Eğrilerin eğim değerlerinden yararlanılarak aktivasyon değerleri hesaplanmış ve Çizelge 7.12'de gösterilmiştir. Sarı havuç suyunun aktivasyon enerjisi briks değerlerine bağlı olarak 8,01 – 28,28 kJ/mol arasında değişmektedir. En yüksek aktivasyon enerji değeri 8 brikslik sarı havuç suyunda görülmüştür.



Şekil 7.26 Sarı havuç suyu için kıvam indeksinin sıcaklıkla değişimi

Çizelge 7.12 Sarı havuç suyunun çeşitli briks değerlerinde aktivasyon enerjileri

Briks	Denklem	R ²	E _a (kJ/mol)
8	$y = 3401,1x - 11,465$	0,9983	28,28
20	$y = 963,05x - 2,459$	0,9920	8,01
40	$y = 1482,5x - 2,5112$	0,9989	12,33
55	$y = 2299,4x - 3,4799$	0,9625	19,12

SONUÇ ve ÖNERİLER

Gıdaların reolojik özellikleri, üretimde oldukça önemli bir yere sahiptir. Gıdaların reolojik davranışlarının bilinmesi ekipman tasarımları, pompalama, karıştırma prosesleri gibi prosesler için gereklidir. Aynı zamanda gıdaların kıvamı o ürünün kalitesini belirler. Bu sebeplerden dolayı gıdaların reolojik özelliklerinin incelenmesi gerekmektedir.

Sarı havuç suyu beslenme fizyolojisi açısından oldukça önemlidir. Havuç suyu içeren sebze kokteyleri sevilerek tüketilmektedir. Sarı havuç suyu renklendirici olarak da kullanılmaktadır.

Siyah havuç suyu günümüzde doğal renklendiricilere talebin artmasıyla oldukça önemli hale gelmiştir. Siyah havuç suyu antosiyanince zengindir ve bu özelliği renklendirici olarak kullanımını beraberinde getirmiştir.

Bu çalışmada, siyah ve sarı havuç suyunun reolojik özellikleri 8, 20, 40 ve 55 briks derecelerinde 20, 40 ve 60°C sıcaklıklarda, uygun kayma hızlarında bir rotasyonel viskozimetre kullanılarak incelenmiştir. Sıcaklığın ve briks derecesinin viskoziteye etkisi gözlemlenmiştir. Beklenildiği gibi briks derecesi arttıkça akışkanın viskozitesi artmış, sıcaklık arttıkça akışkanın viskozitesi azalmıştır. Kayma hızı arttıkça kayma geriliminin de arttığı görülmüştür.

Power-law modeli deney sonuçlarına uyarlandığında akış davranışı indeksi (n) her iki havuç suyu için 1'den büyük çıkmıştır. Bu da siyah ve sarı havuç suyunun dilatant akış davranışı sergilediğini ortaya koymuştur. Sarı ve siyah havuç suyu karşılaştırıldığında, sarı havuç suyunun daha viskoz olduğu gözlemlenmiştir.

Kıvam indekslerinin sıcaklık ile değiştiği tespit edilmiştir. Sıcaklığın etkisini tanımlamak için Arrhenius eşitliğinden yararlanılmıştır. Aktivasyon enerjileri briks

derecesine bağlı olarak, siyah havuç suyu için 9,41 ile 47,32 kJ/mol aralığında, sarı havuç suyu için 8,01 ile 28,28 kJ/mol aralığında bulunmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Tangüler, H., (2010). Şalgam Suyu Üretiminde Etkili Olan Laktik Asit Bakterilerinin Belirlenmesi ve Şalgam Suyu Üretim Tekniğinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [2] Dimes, Meyve Suyu Akademisi, <http://www.dimes.com.tr/HealthyLivingInstitute.aspx?ID=9>, 19 Ağustos 2013.
- [3] Genç Ziraat, Havuç Yetiştiriciliği, www.gencziraat.com/Bahce-Bitkileri/Havuc-Yetiştiriciliği-8.html, 9 Mart 2013.
- [4] Gıdacılar.net, Gıdaların Reolojik Davranışlarının İncelenmesi, www.gidacilar.net/ders-ve-arastirma-projeleri/gidalarin-reolojik-davranislarinin-incelemesi-791.html, 20 Kasım 2012.
- [5] Kaya, D., (2006). Balkabağı Suyu Üretim Teknolojisinin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] Cemeroglu, B., (2004). Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, 1. Cilt 2. Baskı, Bizim Büro Basımevi, Ankara.
- [7] Kadın Kulup, Detoks Sebzeleri, www.kadinkulup.com/detoks-sebzeleri.html, 5 Mart 2013.
- [8] Acar, J., (1988). Meyve ve Sebze Suyu Üretim Teknolojisi, 2. Baskı, Hacettepe Üniversitesi Yayınları, Ankara
- [9] Ekolojik Tarım, Havuç, www.ekolojiktarim.com.tr/kullanım-bilgileri.138.havuc, 2 Mart 2013.
- [10] Birdane Siyah Havuç Tic.Ltd.Şti, Siyah Havuç , www.siyahhavuc.com, 30 Mayıs 2013.
- [11] Botanical, Carrots and Beta-Carotenes, <http://www.botanical-online.com/carrots.htm>, 19 Ağustos 2013.
- [12] Faostat, Food and Agricultural Commodities Production, <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>, 11 Mart 2013.
- [13] Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Havuc%20Yetiştiriciliği.pdf, 30 Ağustos 2013.
- [14] Dijitalize, Havuç Suyu Faydaları, www.dijitalize.net/havuc-suyu-faydaları, 11 Mart 2013.

- [15] Wang, H., Ni, Y., Hu, X., Wu, J., Liao, X., Chen, F. ve Wang, Z., (2007). ‘‘Kinetics of Amino Acid Loss in Carrot Juice Concentrate During Storage’’, LWT, 40:785-792.
- [16] Kun, S., Rezessy-Szabo, J.M., Nguyen, Q.D. ve Hoschke, A., (2008). ‘‘Changes of Microbial Population and Some Components in Carrot Juice During Fermentation with Selected *Bifidobacterium* Strains’’, Process Biochemistry, 43:816-821.
- [17] Öztan, T., (2006). Mor Havuç, Konsantresi, Şalgam Suyu, Nar Suyu ve Nar Ekşisi Ürünlerinde Antioksidan Aktivitesi Tayini ve Fenolik Madde Profilinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [18] Çelebi, N., Reoloji, www.e-kutuphane.teb.org.tr/pdf/tebakademi/modern.../23.pdf, 13 Mart 2012.
- [19] Pala, M., (1980). ‘‘Besinlerin Fiziksel Özellikleri’’, Ege Üniversitesi Gıda Fakültesi Dergisi, 1 (1):225-247.
- [20] Ant Teknik, ler, www.antteknik.com/tr/urunlerimiz/genel-amacli-laboratuvar-cihazlari/ler, 7 Mart 2013.
- [21] Xhinstruments.com, XHY-14 Krebs Stormer Viscometer, www.xhinstruments.com/paint-testing/134-xhy-14-krebs-stormer-viscometer.html, 8 Mart 2013.
- [22] Equipmatching, Haake Rotovisco 1 Rheometer, www.equipmatching.com/used-equipment/15/208/76704.php, 10 Mart 2013.
- [23] Bodbodak, S., Kashaninejad, M., Hesari, J. ve Razavi, S.M.A., (2013). ‘‘Modeling of Rheological Characteristics of ‘‘Malas Yazdi’’ (Punica granatum L.) Pomegranate Juice’’, J. Agr. Sci. Tech, 15:961-971.
- [24] Singh, N.I. ve Eipeson, W.E., (2000). ‘‘Rheological Behaviour of Clarified Mango Juice Concentrates’’, Journal of Texture Studies, 31:287-295.
- [25] Cepeda, E., Hermosa, M., Llorens, M. ve Villaran, M.C., (2002). ‘‘Rheological Behaviours of Blueberry Cloudy Juice (*Vaccinium corymbosum* L.)’’, International Journal of Food Science and Technology, 37:271-276.
- [26] Altan, A. ve Maskan, M., (2005). ‘‘Rheological Behavior of Pomegranate (*Punica Granatum* L.) Juice and Concentrate’’, Journal of Texture Studies, 36:68-77.
- [27] Arslan, E., Yener, M.E. ve Esin, A. (2005). ‘‘Rheological Characterization of Tahin/Pekmez (Sesame Paste/Concentrated Grape Juice) Blends’’, Journal of Food Engineering, 69:167-172.
- [28] Belibağlı, K.B. ve Dalgıç, A.C., (2007). ‘‘Rheological Properties of Sour-Cherry Juice and Concentrate’’, International Journal of Food Science and Technology, 42:773-776.
- [29] Dak, M., Verma, R.C. ve Jaaffrey, S.N.A., (2007). ‘‘Effect of Temperature and Concentration on Rheological Properties of ‘‘Kesar’’ Mango Juice’’, Journal of Food Engineering, 80:1011-1015.

- [30] Akbulut, M., Çoklar, H. ve Özen, G., (2008). "Rheological Characteristics of Juniperus Drupacea Fruit Juice (Pekmez) Concentrated by Boiling", *Food Science and Technology International*, 14 (4):321-328.
- [31] Akbulut, M. ve Özcan, M.M., (2008). "Some Physical, Chemical, and Rheological Properties of Sweet Sorghum (*Sorghum Bicolor* (L) Moench) Pekmez (Molasses)", *International Journal of Food Properties*, 11:79-91.
- [32] Chuah, T.G., Ling, H.L., Chin, N.L., Choong, T.S.Y. ve Fakhru'l-Razi, A., (2008). "Effects of Temperatures on Rheological Behavior of Dragon Fruit (*Hylocereus* Sp.) Juice", *International Journal of Food Engineering*, Article 4.
- [33] Dak, M., Verma, R.C. ve Jaaffrey, S.N.A., (2008). "Rheological Properties of Tomato Concentrate", *International Journal of Food Engineering*, Article 11.
- [34] Özkanlı, O. ve Tekin, A.R., (2008). "Rheological Behaviors of Sumac Concentrate", *International Journal of Food Properties*, 11:213-222.
- [35] Shamsudin, R., Daud, W.R.W., Takrif, M.S., Hassan, O. ve Ilicali, C., (2009). "Rheological Properties of Josophine Pineapple Juice at Different Stages of Maturity", *International Journal of Food Science and Technology*, 44:757-762.
- [36] Chin, N.L., Chan, S.M., Yusof, Y.A., Chuah, T.G. ve Talib, R.A., (2009). "Modelling of Rheological Behaviour of Pummelo Juice Concentrates Using Master-Curve", *Journal of Food Engineering*, 93:134-140.
- [37] Falguera, V., Velez-Ruiz, J.F., Alins, V. ve Ibarz, A., (2010). "Rheological Behaviour of Concentrated Mandarin Juice at Low Temperatures", *International Journal of Food Science and Technology*, 45:2194-2200.
- [38] Karaman, S. ve Kayacier, A., (2010). "Kakao Tozu ile Aromatize Edilmiş Geleneksel Salep İçeceğinin Reolojik Özellikleri", *Gıda*, 35 (6):397-401.
- [39] Augusto, P.E.D., Falguera, V., Cristianini, M. ve Ibarz, A., (2011). "Influence of Fibre Addition on The Rheological Properties of Peach Juice", *International Journal of Food Science and Technology*, 46:1086-1092.
- [40] Sharoba, A.M. ve Ramadan, M.F., (2011). "Rheological Behavior and Physicochemical Characteristics of Goldenberry (*Physalis Peruviana*) Juice as Affected by Enzymatic Treatment", *Journal of Food Processing and Preservation*, 35:201-219.
- [41] Falguera, V., Vicente, M., Garvin, A. ve Ibarz, A., (2012). "Flow Behavior of Clarified Pear and Apple Juices at Subzero Temperatures", *Journal of Food Processing and Preservation*, 1745-4549.
- [42] Keshani, S., Chuah, A.L. ve Russly, A.R., (2012). "Effect of Temperature and Concentration on Rheological Properties Pomelo Juice Concentrates", *International Food Research Journal*, 19(2):553-562.
- [43] Wen, Y., Liu, N. ve Zhao, X., (2012). "Chemical Composition and Rheological Properties of Set Yoghurt Prepared from Skimmed Milk Treated with Horseradish Peroxidase", *Food Technology Biotechnology*, 50 (4):473-478.
- [44] Manjunatha, A.A., Raju, P.S. ve Bawa, A.S., (2012). "Modelling the Rheological Behaviour of Enzyme Clarified Lime (*Citrus Aurantifolia* L.) Juice Concentrate", *Czech J. Food Sci*, 30:456-466.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Hande N. YILMAZ
Doğum Tarihi ve Yeri :19.01.1987-Kayseri
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :nhandeyilmaz@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Kimya Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2013
Lisans	Kimya Mühendisliği	Gazi Üniversitesi	2010
Lise		Sami Yangın Anadolu Lisesi	2005