

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AK DUT (Morus alba) ve KARA DUT (Morus nigra) MEYVELERİNDEN
ELDE EDİLEN YENİLEBİLİR FİLMLEİN KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kübra Akşehir

Gıda Mühendisliğı Anabilim Dalı

**AĞUSTOS 2013
SAMSUN**



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**AK DUT (Morus Alba) ve KARA DUT (Morus nigra) MEYVELERİNDEN
ELDE EDİLEN YENİLEBİLİR FİMLERİN KARAKTERİZASYONU**

**Kübra AKŞEHİR
(10210088)
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Tezin Savuma Tarihi : 27/08/2013

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Muhammet DERVİŞOĞLU

Bu Yüksek Lisans Tez Çalışması Ondokuz Mayıs Üniversitesi
PYO.MUH.1901.12.006'nolu Proje ile Desteklenmiştir.

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalında

Kübra Akşehir Tarafından Hazırlanan

**AK DUT (Morus alba) ve KARA DUT (Morus nigra)
MEYVELERİNDEN ELDE EDİLEN YENİLEBİLİR FİLMLEİN
KARAKTERİZASYONU**

**başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından 27/08/2013 tarihinde yapılan sınav ile
YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.**

Başkan : Prof. Dr. Muhammet ARICI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Talip KAHYAOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr Muhammet DERVİŞOĞLU
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

.../.../2013

Prof. Dr. Recep TAPRAMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışma; gıda sanayinde ambalaj bulaşanları hakkındaki endişeler nedeniyle ortaya çıkan alternatif ambalaj ihtiyacına cevap olarak meydana gelmiş ve besleyici değeri yüksek olan dut pekmezinin ambalaj malzemesi olarak değerlendirilebilmesinin ne derece mümkün olabildiğini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

Araştırma konusunun seçiminde yardımcı olan ve çalışmanın her aşamasında büyük desteğini gördüğüm, bilgi ve deneyiminden yararlandığım değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Muhammet DERVİŞOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam süresince destek ve yardımlarından dolayı Sayın Doç. Dr. Talip KAHYAOĞLU hocama teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam için uygun ortamı sağlayan ve her türlü desteğini esirgemeyen Bayburt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü Başkanı Sayın Yrd.Doç. Dr. Ayla ARSLANER hocamıza teşekkür ederim.

Yardımlarından dolayı değerli arkadaşım Arş. Gör. İlyas ATALAR'a, Öğr. Gör. Osman Gül'e teşekkür ederim.

Süreçte her türlü yardımı, sabrı ve anlayışı gösteren Bayburt Üniversitesi Mühendislik Fakültesindeki çalışma arkadaşlarım Arş. Gör. Aybike KAMILOĞLU'na, Arş. Gör. Latife Betül ALKAN'a, Arş. Gör. Emin MERCAN'a, Arş.Gör. Tuğba ELBİR'e, Arş. Gör. Şule BAŞAR'a, Arş. Gör. H. Alper KAMILOĞLU'na ve Arş. Gör. Bahadır YILMAZ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Değerli arkadaşlarım Ceren KARADAĞ'a, Gül Seda AYDIN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmayı maddi olarak destekleyen Ondokuz mayıs Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projesi Birimine teşekkür ederim.

Hayatımın her evresinde olduğu gibi tez aşamam süresince de gösterdikleri özveri, ilgi sabır, maddi ve manevi desteklerinden dolayı değerli annem Aynur AKŞEHİR, babam M. İrfan AKŞEHİR ve kardeşlerim Mustafa Kemal AKŞEHİR ve Kerem Sabri AKŞEHİR'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ağustos 2013

Kübra AKŞEHİR
Araştırma Görevlisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	xiii
ÖZET.....	xv
ABSTRACT	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1 Dut Meyvesi ve Bileşimi.....	3
2.2 Dut Pekmezi Bileşimi ve Üretimi.....	5
2.3 Yenilebilir Film ve Kaplamalar.....	7
2.3.1 Yenilebilir filmler ve kaplamaların özellikleri ve avantajları.....	8
2.3.2 Yenilebilir kaplama uygulamalarında kullanılan teknikler.....	9
2.3.3 Yenilebilir film ve kaplamalarda kullanılan materyaller.....	10
2.4 Çalışmada Kullanılan Hidrokolloidler.....	13
2.4.1 Sodyum aljinat (E401).....	13
2.4.2 Pektin (E440).....	15
2.5 Filmlerin Karakteristik Özelliklerinin Belirlenmesi.....	17
2.5.1 Film çözeltilerinin reolojik davranışları.....	17
2.5.2 Yenilebilir filmlerin görünüş–optik özellikleri.....	20
2.5.3 Filmlerin suda çözünürlüğü.....	20
2.5.4 Yenilebilir filmlerin adsorpsiyon özellikleri.....	20
2.5.4.1 Nem adsorpsiyon izoterminin belirlenmesi.....	23
2.5.5 Yenilebilir filmlerin bariyer özellikleri.....	25
2.5.6 Termal Özellikler.....	25
2.5.7 Mekanik Özellikler.....	26
2.6 Meyvelerden Elde Edilen Yenilebilir Filmler Üzerine Yapılmış Çalışmalar.....	27
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	31
3.1 Materyal.....	31
3.2 Yöntem.....	31
3.2.1 Pekmezlerin özellikleri.....	31
3.2.2 Hidrokolloidlerin özellikleri.....	32
3.2.3 Yenilebilir film çözeltilerinin özellikleri.....	32
3.2.3.1 Reolojik özellikler.....	32
3.2.3.2 Absorbans ve transmittans değerleri	32
3.2.4 Yenilebilir filmlerin özellikleri.....	32
3.2.4.1 Yenilebilir film çözeltilerinin hazırlanması ve film üretilmesi	32
3.2.4.2 Renk ve opaklık.....	33
3.2.4.3 Nem adsorpsiyon izotermi.....	33

3.2.4.3 Su buharı geçirgenliği.....	34
3.2.4.4 Suda çözünürlük.....	35
3.2.4.5 Termal özellikler.....	35
3.2.4.6 Mekanik özellikler	36
3.3 İstatistik Değerlendirme.....	36
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	37
4.1 Pekmezlerin Özellikleri.....	37
4.2 Hidrokolloidlerin Özellikleri.....	39
4.3 Yenilebilir Film Çözeltilerinin Özellikleri.....	39
4.3.1 Absorbans ve transmittans değerleri.....	40
4.3.2 Reolojik özellikler.....	47
4.4 Yenilebilir Filmlerin Özellikleri.....	52
4.4.1 Renk, opaklık, görünüş ve kalınlık.....	52
4.4.2 Suda çözünürlük	57
4.4.3 Adsorpsiyon izotermi.....	59
4.4.4 Su buharı geçirgenliği.....	62
4.4.5 Termal özellikler.....	65
4.4.6 Mekanik özellikler.....	67
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	71
KAYNAKLAR.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	81

ÇİZELGELER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Dut pekmezine ait bazı fizikokimyasal özellikler.....	4
Çizelge 2.2 : Dut pekmezine ait fizikokimyasal özellikler.....	6
Çizelge 2.3 : Yenilebilir film ve kaplamalarda kullanılan materyaller.....	10
Çizelge 2.4 : Farklı sorpsiyon metotlarına ait bazı özellikler.....	24
Çizelge 3.1 : Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DTK)’ye ait parametreler	35
Çizelge 4.1 : Yenilebilir film üretiminde kullanılan pekmezler ait pH ve °Bx değerleri.	37
Çizelge 4.2 : Yenilebilir film üretiminde kullanılan pekmezlerin farklı dalga boylarındaki absorbands (A) ve transmittans (%T) değerleri.....	38
Çizelge 4.3a : Yenilebilir film üretiminde kullanılan aljinat ve pektin çözeltilerinin (%2’lik) farklı dalga boylarındaki absorbands değerleri.....	39
Çizelge 4.3b : Yenilebilir film üretiminde kullanılan aljinat ve pektin çözeltilerinin (%2’lik) farklı dalga boylarındaki transmittans değerleri.....	39
Çizelge 4.4a : Yenilebilir film çözeltilerinin farklı dalga boylarında absorbands (A) değerleri.....	41
Çizelge 4.4b : Yenilebilir film çözeltilerinin farklı dalga boylarında transmittans (%T) değerleri.....	42
Çizelge 4.5a : Yenilebilir film çözeltilerinin farklı dalga boylarındaki absorbands değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	43
Çizelge 4.5b : Yenilebilir film çözeltilerinin farklı dalga boylarındaki transmittans değerlerine ait varyans tablosu.....	44
Çizelge 4.6 : Farklı konsantrasyonlarda ak ve kara dut pekmezlerinden aljinat ve pektin ilavesi ile üretilen film çözeltilerinin ait görünür viskozite değerleri (20 s ⁻¹).	47
Çizelge 4.7 : Farklı konsantrasyonlarda ak ve kara dut pekmezlerinden aljinat ve pektin ilavesi ile üretilen yenilebilir film çözeltilerinin viskozite değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	48
Çizelge 4.8 : Farklı konsantrasyonlarda ak ve kara dut pekmezlerinden aljinat ilavesi ile üretilen yenilebilir film çözeltilerine ait parametreler.....	51

Çizelge 4.9	: Farklı konsantrasyonlarda ak ve kara dut pekmezlerinden pektin ilavesi ile üretilen yenilebilir film çözeltilerine ait parametreler.....	51
Çizelge 4.10	: Farklı konsantrasyonlarda ak ve kara dut pekmezlerinden aljinat veya pektin ilavesi ile üretilen yenilebilir filmlere ait opaklık ve renk değerleri.	53
Çizelge 4.11	: Farklı konsantrasyonlarda ak ve kara dut pekmezlerinden aljinat veya pektin ilavesi ile üretilen yenilebilir filmlerin renk değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	54
Çizelge 4.12	: Farklı konsantrasyonlarda ak ve kara dut pekmezlerinden aljinat veya pektin ilavesi ile üretilen yenilebilir filmlerde suda çözünürlük değerleri.....	58
Çizelge 4.13	: Farklı konsantrasyonlarda ak ve kara dut pekmezlerinden aljinat veya pektin ilavesi ile üretilen yenilebilir filmlerde suda çözünürlük değerlerine ait varyans analizi sonuçları...	58
Çizelge 4.14	: Farklı konsantrasyonlarda ak ve kara dut pekmezlerinden aljinat veya pektin ilavesi ile üretilen filmlerin su buharı geçirgenlikleri	64
Çizelge 4.15	: Farklı konsantrasyonlarda ak ve kara dut pekmezlerinden aljinat veya pektin ilavesi ile üretilen filmlerin su buharı geçirgenliklerine ait varyans analizi sonuçları.....	64
Çizelge 4.16	: Farklı konsantrasyonlarda ak ve kara dut pekmezlerinden aljinat veya pektin ilavesi ile üretilen filmlere ait camısı geçiş sıcaklıkları.....	67
Çizelge 4.17	: Farklı konsantrasyonlarda ak ve kara dut pekmezlerinden aljinat veya pektin ilavesi ile üretilen filmlere ait gerilme direnci (TS) ve uzayabilirlik (%E) değerleri.....	68
Çizelge 4.18	: Farklı konsantrasyonlarda ak ve kara dut pekmezlerinden aljinat veya pektin ilavesi ile üretilen filmlerin mekanik özelliklerine ait varyans analizi sonuçları	68

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 : Ak dut (<i>Morus alba</i> L.), kara dut (<i>Morus nigra</i> L.) ve kırmızı dut (<i>Morus rubra</i> L.) fotoğrafları.....	3
Şekil 2.2 : Aljinatın kimyasal yapısı.....	13
Şekil 2.3 : Pektinin yapısı.....	16
Şekil 2.4 : Reolojik davranışların sınıflandırılması.....	18
Şekil 2.5 : Bir histerisis döngüsü gösteren genel su sorpsiyon izotermi ...	21
Şekil 2.6 : Sorpsiyon izoterm tipleri.....	23
Şekil 3.1 : SBG deneyinin şematik hali ve ağırlık zaman grafiği.....	34
Şekil 3.2 : Tekstür analizinde kullanılan çekme– germe probu.....	36
Şekil 4.1 : Yenilebilir film çözeltilerine ait görüntüler.....	46
Şekil 4.2a : Farklı konsantrasyonlarda ak dut pekmezinden aljinat ilavesi ile üretilen film çözeltilerine ait viskozite–kayma hızı grafiği (20 °C’de)	49
Şekil 4.2b : Farklı konsantrasyonlarda ak dut pekmezinden pektin ilavesi ile üretilen film çözeltilerine ait viskozite–kayma hızı grafiği (20 °C’de).....	49
Şekil 4.2c : Farklı konsantrasyonlarda kara dut pekmezinden aljinat ilavesi ile üretilen film çözeltilerine ait viskozite–kayma hızı grafiği (20 °C’de)	50
Şekil 4.2d : Farklı konsantrasyonlarda kara dut pekmezinden pektin ilavesi ile üretilen film çözeltilerine ait viskozite–kayma hızı grafiği (20 °C’de)	50
Şekil 4.3 : Farklı konsantrasyonlarda ak ve kara dut pekmezlerinden aljinat veya pektin ilavesi ile üretilen yenilebilir filmlere ait görüntüler.....	56
Şekil 4.4 : Farklı konsantrasyonlarda ak ve kara dut pekmezlerinden aljinat veya pektin ilavesi ile üretilen filmlerde suda çözünürlükle ilgili fotoğraflar.	58
Şekil 4.5a : Farklı konsantrasyonlarda ak dut pekmezlerinden aljinat veya pektin ilavesi ile üretilen yenilebilir filmlere ait adsorpsiyon grafiği.....	60
Şekil 4.5b : Farklı konsantrasyonlarda kara dut pekmezlerinden aljinat veya pektin ilavesi ile üretilen yenilebilir filmlere ait adsorpsiyon grafiği.....	61

Şekil 4.6	: Alljinat veya pektin içeren ve 26°Bx'li ak ile kara dut pekmezlerinden yapılan yenilebilir filmlere ait SBG grafiği....	63
Şekil 4.7a	: Farklı konsantrasyonlarda ak dut pekmezlerinden aljinat veya pektin ilavesi ile üretilen filmlere ait DTK (diferansiyel tarayıcı kalorimetre) termogramı (–50 ile 150 °C arasında).....	65
Şekil 4.7b	: Farklı konsantrasyonlarda kara dut pekmezlerinden aljinat veya pektin ilavesi ile üretilen filmlere ait DTK termogramı (–50 ile 150 °C arasında).....	66

SİMGE ve KISALTMALAR

CIE	: Commission Internationale de L'éclairage
ASTM	: American Standard Test Method
GRAS	: Generally Recognized as Safe
A_w	: Water Activity
BN	: Bağıl Nem (%)
FDA	: Food and Drug Administration
TUİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
HMF	: Hidroksi Metil Furfural
°Bx	: Briks, Suda Çözünür Kuru Madde

AK DUT (*Morus alba*) ve KARA DUT (*Morus nigra*) MEYVELERİNDEN ELDE EDİLEN YENİLEBİLİR FİLMLERİN KARAKTERİZASYONU

ÖZET

Bu çalışmada, *Morus alba* (ak dut) ve *Morus nigra* (kara dut) pekmezlerinin üç farklı konsantrasyonlarından (26, 32 ve 38 °Bx), aljinat veya pektin katılarak yapılan yenilebilir filmlerin özellikleri incelenmiştir. Aljinat veya pektinden 2 g, CaCl₂'den 0.01 g içeren 100 mL (w/v) karışımlara (70 °C) 20 g pekmez ve 3 g gliserol ilave edilerek yenilebilir film çözeltileri hazırlanmıştır. Bu çözeltilerden üretilen yenilebilir filmlerin optik, bariyer, termal ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

Film çözeltilerinin 20 s⁻¹ de viskozite değerleri aljinat içerenlerde 1.581, pektin içerenlerde ise 0.729 Pa.s olarak ölçülmüştür. Aljinat içeren film çözeltiler Cross model, pektin içerenler ise Ostwald–de waele model ile uyum göstermiştir ($R^2 \geq 0.94$).

Yenilebilir filmlerin renk değerleri L^* 73.34 ile 91.44, $-a^*$ 0.29 ile 1.72, b^* ise 8.7 ile 24.1 arasında saptanmıştır. Kara dut pekmezi içeren filmlerin opaklık değeri, ak dut pekmezi içerenlere oranla daha düşüktür ($p < 0.01$). Aljinat içeren filmlerin opaklık değerleri pektin içerenlerden daha yüksek tespit edilmiştir ($p < 0.01$).

Filmlerin 25 °C'de suda çözünürlük değerleri aljinat içerenlerde ak dut için %62.37–65.95, kara dut için %60.33–60.94 aralığında saptanmıştır ($p < 0.01$). Pektin kaynaklı filmlerin ise tamamen yakını (%99.18) suda çözünmüştür. Filmlerin su buharı geçirgenlikleri 25°C'de 25.76–91.80 (10⁻¹⁰gm/m²sPa) olarak saptanmıştır. Filmlerdeki su buharı geçirgenlik hızları en düşük 22.97, en yüksek 27.60 g/m²sa olarak belirlenmiştir.

Üretilen filmlerin denge nem içeriği 0.65 aw'de artmış, 0.80 aw'den sonra ise bu artış daha da hızlanmıştır.

Yenilebilir filmlerin gerilme dirençleri 1.6–4.78 MPa, uzayabilirlik değerleri %28.69–47.17 arasında saptanmıştır.

Anahtar sözcükler: yenilebilir film, pekmez, dut, aljinat, pektin

THE CHARACTERIZATION OF EDIBLE FILMS PRODUCED FROM WHITE MULBERRY (*Morus alba*) and BLACK MULBERRY (*Morus nigra*) FRUITS

SUMMARY

In this study, properties of edible film solutions prepared by three different concentrations of *Morus alba* (white mulberry) and *Morus nigra* (black mulberry) pekmez (26, 32 ve 38 °Bx) and added alginate or pectin were investigated. The edible film solutions were prepared by adding 20 g pekmez and 3 g glicerol into 100 mL (w/v) water (heated at 70 °C) containing 0.01g CaCl₂, and 2 g alginate or 2 g pectin. It were assessed optic, barrier, thermal and mechanical properties of films produced from these solutions.

Viscosity values of alginate films and pectin films were measured as 1.581 and 0.729 Pa.s at 20 s⁻¹ shear rate, respectively. Alginate film solutions were fitted to Cross model and pectin film solutions were fitted Ostwald-de waele model ($R^2 \geq 0.94$).

L^* , $-a^*$, b^* values of edible films were determined as 73.34–91.44, 0.29–1.72, 8.7–24.1, respectively. Opacity value of black mulberry pekmez films lower than opacity of white mulberry pekmez films ($p < 0.01$).

Water solubility values of white mulberry pekmez and alginate films were 62.37–65.95%, black mulberry and alginate films were 60.33–60.94% at 25 °C ($p < 0.01$). Almost all pectin based films were water soluble (99.18%).

Water vapor permeability at 25 °C of films were 25.76–91.80 (10^{-10} gm/m²hPa). The lowest water vapor permeability rate of films were 22.97, the highest 27.60 g/m²h.

Equilibrium water contents of the edible films were increased at 0.65 aw. After 0.85 aw this values have shown the more increments.

Tensile strenght and percent elongation values of edible films were 1.6–4.78 MPa and 28.69–47.17%.

Key words : Edible film, pekmez, mulberry, alginate, pectin

1.GİRİŞ

Petrol rezervlerinin azalışı ve katı ambalaj atıkları hakkındaki endişeler ambalajlama için yeni arayışları ortaya çıkarmış, bu arayış da doğada bozunabilen (biyobozunur) ambalaj filmlerinin gelişmesine ivme kazandırmıştır. Biyobozunur ambalaj filmleri polisakkarit, protein, lipit ve karma gibi yenilenebilir biyopolimerlerin topraktaki mikroorganizmalar tarafından kullanılmasıyla doğada ayrışabilmektedir (Rhim, 2004).

Protein ve polisakkaritler gibi doğal polimerlerin gıdaların korunması amacıyla gıdalarda film veya kaplama bileşeni olarak kullanılması son yıllarda artmıştır. Bu polimerler gıdanın raf ömrünü uzatmak yoluyla gıdaların bozulmalarını engellemektedirler. Ayrıca, gıdanın duysal kalitesinin ve güvenliğinin sürdürülebilmesini sağlamaktadırlar. Diğer taraftan doğal polimerlerin kullanımı, yenilebilirliği, uygunluğu, düşük maliyeti ve doğada bozunabilirliği sayesinde avantaj sağlamaktadır.

Yenilebilir filmlerin ticari olarak üretimleri sınırlıdır, sentetik polimerlere göre daha zayıf mekanik ve bariyer özellik göstermesi bunun sebebi olarak gösterilmektedir (Azeredo ve diğ., 2009). Bu özellikleri geliştirmek amacıyla yenilebilir film ve kaplamalar üzerinde çok çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Lacroix, 2009).

Meyveler; selüloz, hemiselüloz, pektin, pigment, aroma, antioksidan ve antimikrobiyel özellik gösteren polifenoller gibi biyoaktif bileşenlerce zengindir (Deng ve Zhao, 2011; Kaya ve Maskan, 2003). Meyve ve meyve yan ürünlerinin film oluşturuu bileşenler olarak kullanılması durumunda belirli nem, karbondioksit, oksijen, yağ ve aroma bariyeri özelliği ile gıdayı korumanın yanında raf ömrünü de uzattığı gözlenmiştir (Wang ve diğ., 2011). Gıdanın dayanımını artıran özelliği nedeniyle (Wang ve diğ., 2011) meyveler, bu konu ile alakalı bilimsel çalışmaların ilgi odağı olmuştur (Deng ve Zhao, 2011; Azeredo ve diğ., 2009).

Günümüzde birçok meyve ve sebze çeşidiyle yapılmış yenilebilir film ve kaplama vardır. Elma, armut, şeftali, kiraz, erik, badem, fındık, ceviz, hindistan

cevizi, turunçgil meyveleri, üzüm, çilek, muz, mango, ananas, pepino, şalgam, havuç, tatlı patates, patates, lahana, brüksel lahanası, brokoli, karnabahar, hıyar, kabak, patlıcan, biber, domates, kavun, kantulop kavunu ve mantarlar bunlar arasında sayılabilir (Wang ve diğ., 2011; Sothornvit ve Pitak, 2007; Mc Hugh ve Olsen, 2004).

Meyveler pekmeze işlenirse raf ömürleri artmaktadır. Pekçok meyve gibi dut ülkemizde pekmez üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Pekmez yapısında şeker, mineral ve organik asitleri içermesi nedeniyle beslenme açısından oldukça önemli bir besin maddesidir (Karaca, 2009).

Duttan veya dut pekmezinden yapılmış film veya kaplamaya literatürde rastlanmamıştır.

Bu tez çalışmasında piyasadan temin edilen iki çeşit dut pekmezi (ak dut, *M. alba*. ve kara dut, *M. nigra*) ve bu pekmezlerin üç farklı konsantrasyonu (26, 32 ve 38 °Bx) ile iki çeşit hidrokolloidin (aljinat ve pektin) yenilebilir filmlerin özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Film çözeltileri ve bu çözeltilerden elde edilen yenilebilir filmlerin optik geçirgenlik, termal ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu çalışma ile yenilebilir filmlere çok benzeyen, geleneksel gıdalarımızdan birisi olan pestil yapımında yaygın kullanılan dut pekmezlerinden yeni ve farklı yenilebilir filmler üretilebilecektir. Daha sonra yapılacak çalışmalar ile, bu tez çalışması kapsamında üretilcek filmlerin gıda ambalajlanmasında, muhafazasında ve raf ömrünün uzatılmasında kullanılması beklenmektedir. Yenilebilir filmler organik gıdaların ambalajlanmasında arzu edilen bir yol olabilir. Ayrıca dut meyvelerinden üretilen pekmezler ile aljinat ve pektin hidrokolloidlerinin yenilebilir filmler üzerinde etkileşimleri konularında veriler elde edilecektir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Dut Meyvesi ve Bileşimi

Meyveler içerisinde bulundurduğu lifi, vitamince zengin olması, tuz içermemesi, dış görüntüsü sayesinde iştah arttırıcı olması ve yüksek kalori sağlaması gibi önemli özellikleri nedeniyle insan sağlığı ve beslenmesi üzerine etkilidir (Karaca, 2009).

Dut (*Morus spp.*) *Urticales* takımına, *Morus* türüne, *Maraceae* familyasına ait bir meyvedir (Uzun ve Bayır, 2010; Ercişli ve Orhan, 2007). *Morus* yaprağını döken ağaçlardandır ve Asya, Afrika, Kuzey Amerika ve Güney Avrupa'nın sıcak, ılıman ve subtropikal bölgelerine özgüdür (Pérez–Gregorio ve diğ., 2011). *Morus alba*'nın vatanı Çin olarak kabul edilirken; *Morus nigra* ve *Morus rubra*'nın ise sırasıyla İran Kuzey Amerika olarak kabul edilmektedir (Uzun ve Bayır, 2010).

Anadolu başta *Morua alba*, *Morus rubra*, *Morus nigra* (Şekil 2.1) olmak üzere yüksek kaliteli dut meyvelerinin yetiştirilmesi için uygun şatlara sahiptir (Güngör ve Şengül, 2008; Ercişli ve Orhan, 2007). Orta ve Kuzey Anadolu ile Karadeniz bölgeleri ülkemizde dut üretiminin en çok yapıldığı yerler olup (Hepsağ ve diğ., 2012) bu türler arasında en fazla alanı *Morus alba* (ak dut) almaktadır (Ercişli ve Orhan, 2005). Ülkemizde 2012 yılındaki dut üretimi 74.170 ton olarak açıklanmıştır (TUİK, 2012).



Şekil 2.1: Ak dut (*Morus alba* L.), kara dut (*Morus nigra* L.) ve kırmızı dut (*Morus rubra* L.) fotoğrafları

Dünya’da dut meyvesi, dondurulmuş meyve olarak, hassas yapısı ve düşük depolama stabilizesinden dolayı marmelat, içecek ve likör olarak kullanılmaktadır (Pérez–Gregorio ve diğ., 2011). Reçellerde, marmelatlarda, meyve suyu, dondurma ve soslarda kullanılırken ülkemizde bunlara ilaveten yaygın olarak pekmez, pestil ve köme üretiminde hammadde olarak veya direkt kuru meyve olarak tüketilmektedir (Akbulut ve diğ., 2007). Dut ayrıca kozmetik sanayinde de kullanılmaktadır (Ercişli ve Orhan, 2007). Dut meyvesine ait fizikokimyasal özellikler Çizelge 2.1’de sunulmuştur.

Morus türlerinde yağ ve yağ asitleri, C vitamini, fenolikler, flavonoidler ve minerallerin varlığı yapılan çalışmalarla bildirilmiştir (Pérez–Gregorio ve diğ., 2011; Ercişli ve Orhan, 2007).

Çizelge 2.1:Dut meyvesine ait bazı fizikokimyasal özellikler

Fizikokimyasal özellikler	Dut çeşitleri			
	Kara dut	Kırmızı dut	Ak dut (çekirdeksiz)	Ak dut
Briks	16.8	18.0	21.2	21.6
T. kuru madde (%)	29.5	21.4	22.9	23.2
pH	5.41	3.50	6.01	5.76
Kül (%)	2.76	3.43	2.99	3.54
Yağ (%)	2.5	2.6	1.7	2.80
T. fenolik (mg/kg)	3545	2377	1143	1373
T. antosiyanin	227.0	184.39	–	–
T. şeker (%)	14.35	12.75	17.44	18.04
İnvert şeker (%)	13.23	11.9	16.19	16.53
Sakaroz (%)	1.12	0.85	1.25	1.51
Askorbik asit (mg/kg)	105.4	124.5	74.8	79.6

Kaynak: Akbulut ve diğ., 2007

Dut meyvesi insan beslenmesinde önemli olan esansiyel yağ asitlerini bulundurmaktadır. Linoleik, linolenik ve araşidonik asitler ve bunlardan elde edilen uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitleri esansiyel yağ asitleri olarak adlandırılmaktadır ve vücut fonksiyonlarını düzenleyen bazı kimyasalların üretimi için gereklidir (Güngör, 2007). Bu yağ asitleri vücutta fosfolipid ve kolesterol esterlerinin çoğunluğunu oluştururlar. İşlevleri ise hücre membran yapısı ve transportunda görev almaktır. Esansiyel yağ asitleri insan vücudunda sentezlenemez ve dışarıdan alınması gerekir (Kulaçoğlu, 1995).

C vitamini meyve ve sebzelerde bulunan bir vitamin olup aynı zamanda bir antioksidandır. Antioksidanların özelliği zararlı radikallerin etkilerinden vücudu

korumaktır. Bu özelliğiyle C vitamini kanser, katarakt ve kalp damar hastalıkları riskini azaltmaktadır. Aynı zamanlarda bağışıklık sisteminin fonksiyonlarını artırmaktadır (Güngör, 2007). *M.nigra*'nın *M.alba* türüne ait genotiplere göre daha yüksek antiradikal aktiviteye sahip olduğu Uzun ve Bayır (2010) tarafından bildirilmiştir. Bundan dolayıdır ki, koyu renkli-kırmızı meyvelerin genellikle sağlıklı olduğu söylenmektedir (Ercişli ve diğ., 2010).

Fenolik bileşikler, meyve ve sebzelerde az veya çok miktarda bulunurlar. Fenolik asit ve flavonoid olmak üzere iki kategoriye ayrılırlar. Fenolik bileşikler meyvelerin işlenmesi sırasında çeşitli sorunlara neden olabilirken, meyvelere ait lezzetin oluşması, acı ve burukluk gibi tat unsurlarını taşıyan ve meyvelere renklerini veren bileşenlerdir. Dut, insan sağlığı açısından önemli olan fenolikler açısından zengin bir üzüksü meyvedir (Uzun ve Bayır, 2010). Yapılan çalışmalara göre, toplam fenolik madde miktarları ise *M.alba* için 181 mg GA (gallik asit)/100 g ve *M.nigra* için 1422 mg GA/100 g olarak bildirilmiştir (Ercişli ve Orhan, 2007). Askorbik asit içerikleri ise *M.alba* için 22.4 mg/ 100 mL iken *M.nigra* için 21.8 mg/ 100 mL olarak bildirilmiştir. Askorbik asit içeriği ak dut meyvesinde kara dut meyvesine göre daha yüksekken fenolik madde miktarı kara dut pekmezinde daha fazladır.

2.2 Dut Pekmezi Bileşimi ve Üretimi

Meyveler çok çabuk bozulabilir gıdalardandır. Bundandır ki meyveleri pekmeze işlemek onların raf ömürlerini artırma yöntemi olarak kullanılmaktadır (Üstün ve Tosun, 1997).

Ülkemizde pekmez üretimi incelendiğinde meyvelerin pekmeze işlenmesinin çok eskilere dayanmakta olduğu göze çarpmaktadır. Türkçe eserlerde pekmezin, Memluklerin bir içki çeşidi olarak kullandığı, Osmanlıların ise soğuk algınlığı, göğüs nezlesi, boğaz ağrısı ilacı olarak kırmızıbiber ile birlikte şifa niyetine kullanıldığı öğrenilmektedir. Pekmez Türkçe literatüre ise 1940'lı yıllarda girmiş daha sonra bu konu ile ilgili çalışmalar yapılmaya başlanmıştır (Karaca, 2009).

Pekmez, içerisindeki şeker, organik asit ve minerallerden dolayı önemli bir besin maddesi (Şengül ve diğ., 2005; Üstün ve Tosun, 1997) ve enerji kaynağıdır (Çakmakçı ve Tosun, 2010). Ülkemizde üretilen pekmez çeşitlerine örnek verilecek olursa alıç, andız, armut, elma, erik, hurma, incir, kavun, karpuz, kayısı,

keçiboynuzu, kızılılık, şeker mısıırı, şeker pancarı, üzüm ve dut pekmezi şeklinde sıralanabilir. Ancak yaygın olarak tüketilen üzüm ve dut pekmezidir (Karaca, 2009). Çizelge 2.2’de dut pekmezinin ait fizikokimyasal özellikler verilmiştir.

Çizelge 2.2: Dut pekmezinin ait fizikokimyasal özellikler.

Toplam kuru madde (%)	74.33
Çözünür kuru madde (%)	72
Toplam şeker miktarı (g/100 g)	60.22
İnvert şeker (g/100 g)	59.56
Sükroz (g/100 g)	0.66
Kül (%)	2.02
Protein (%)	0.36
HMF (mg/L)	6.34
pH	5.15
Titrasyon asitliği (sitrik asit, %)	0.52
<i>L</i> *	19.27
<i>a</i> *	15.91
<i>b</i> *	-0.14

Kaynak: Şengül ve diğ., 2005

Pekmez evlerde geleneksel olarak açık kazanlarda ve endüstriyel ölçekte de fabrikalarda üretilmektedir. Kullanılan meyvenin kaynağına göre pekmez üretimi işlemleri değişmektedir. Dut pekmezi üretiminde hammadde olarak taze dut kullanılır (Yoğurtçu ve Kamışlı, 2006) ancak tüm meyvelerde olduğu gibi dut da çabuk bozulabilir bir meyve olduğundan kurutulmasıyla elde edilen kuru dut da kullanılabilir (Karaca, 2009).

Pekmez yapılırken öncelikle dutlar yıkanır ve kaynatılır. 20–30 kg duta 8–10 kg su ilave edilir. Su ilavesinden sonra karışım kaynatılır ve yaklaşık bir saat karıştırılır. Bu sürenin sonunda karışım 40–50 °C’ye soğutulur. Berrak dut sırası eldesi için soğuk karışım preslenir ve sonrasında filtre edilir. Filtre edilen dut sırası suyu uçurularak yoğunlaştırılır. Genellikle 65–72 briks derecesine sahip olan son ürün elde edilir. Bu son ürün dut pekmezi olarak adlandırılır ve ambalajlanarak oda sıcaklığında depolanır (Akbulut ve diğ., 2007).

Pekmezde istenilen tat ve aromanın oluşabilmesi için gerekli bir reaksiyon olan maillard reaksiyonunun sonucunda istenmeyen bazı zararlı bileşikler ortaya çıkmaktadır. Bunlardan biri de HMF (Hidroksi metil furfural)’dir. Özellikle açık kazanlarda yapılan kaynatma işlemlerinde çok yüksek sıcaklıklara çıkılması sonucunda yüksek miktarda görülmesine neden olmaktadır (Ürkek, 2009).

2.3 Yenilebilir Film ve Kaplamalar

Yenilebilir film ve kaplamalar, yüzeyin sterilliğinin korunmasının yanında önemli bileşenlerin kaybının önlenmesini sağlayan uygulamalardır ve genellikle 0.3 mm'den incedirler (Pavlath ve Orts, 2009). Yenilebilir kaplamalar, gıda yüzeyine uygulanan ince tabaka olarak tanımlanırken yenilebilir filmler ise; tek başın kullanılabilen ince tabaka materyal olarak tanımlanmaktadır (Lacroix ve Tien, 2005; Han ve Gennadios, 2005).

Çeşitli meyvelerde kullanılan mumlar (waxlar) gibi, yenilebilir film ve kaplamalar nem kaybını önlemek ve meyvelere estetik amaçlı parlak yüzey sağlamak için yüzyıllar boyunca kullanılmıştır. Kaplamaların ilk kez 12. ve 13. yüzyıllarda Çin'de kullanıldığı bilinmektedir. Çinlilerin, mumdan yapılan materyaller ile turunçgilleri kapladıkları bilgisi mevcuttur (Çağrı-Mehmetoğlu, 2010). Onbeşinci yüzyıldan itibaren Asya'da gıdaların görünüşünü ve muhafazasını geliştirmek için Yuba isimi verilen kaynatılmış soya sütünden elde edilen filmler kullanılmıştır (Pavlath ve Orts, 2009).

Yazın çikolatanın elde tutulurken erimesini önlemek amacıyla 1941 yılında ilk kez yenilebilir film ve kaplamalar çikolata üzerinde kullanılmış ve sorunun giderilmesinde de başarılı olmuşlardır (Sarıküş, 2006). 1967'li yıllarda yenilebilir filmlerin ticari olarak meyvelerin mumsu kaplamalar ile kullanımıyla sınırlıdır. İlerleyen yıllarda önemli bir iş sektörü haline gelmiştir. Öyleki 1986 yılında 10'dan az şirket bulunurken bu sayı 1996 yılında 600'e çıkmıştır. Günümüzde ise geniş çeşitliliğe sahip gıdaların kalitesinin korunması için yenilebilir film kullanımı 100 milyon doları aşan yıllık cirolara ulaşmıştır (Pavlath ve Orts, 2009).

Son zamanlarda dengeli beslenmenin önemine vurgu yapan çok sayıda çalışma yapılmıştır ve bu durum meyve ve sebzelerin tüketimini arttırmaktadır. Ancak büyük şehirlerdeki yaşam stili ve yiyeceklerin hazırlanması için mevcut sürenin az olması pratik ve kullanışlı gıdalara olan talebi yoğunlaştırmıştır (Chiumarelli ve Hubinger, 2012).

Taze ve minimal işlenmiş sebze ve meyveler de dahil olmak üzere gıda ürünlerinde geniş bir yelpazede kullanılan filmlerin antimikrobiyaller gibi çok çeşitli gıda katkılarını taşıyıcı olarak görev yapabilmesi de filmlere olan ilgiyi arttırmıştır (Rojas-Graü ve diğ., 2006).

Yenilebilir film ve kaplamaların kullanımı, gıdaların kalitesinin korunması, minimal işlenmiş ürünlerin tazeliği ve raf ömrünün uzatılması için bir alternatiftir. Kaplamaların su kaybı ve gaz değişimi için bariyer olarak görev yaptığı bilinmekte (Chiumarelli ve Hubinger, 2012) ve bu özelliği ile çabuk bozunabilir gıdaların bozulmadan korunmasında kullanılmaktadır (Diab ve diğ., 2001).

Tüketicilerin daha güvenli gıda tüketme taleplerinin artması gıda endüstrisini yeni proses teknikleri ve paketleme stratejisi geliştirmesi için zorlamıştır (Çağrı–Mehmetoğlu, 2010). Gıdalarda yenilebilir film ve kaplamaların kullanılması gıda ambalajlamasında yeni yaklaşımlardan biridir (Sarıküş, 2006). Endüstriyel alanda kullanımları çok yaygın olmamakla beraber bu filmlerin ürünlerde kullanılmasına, film özelliklerinin incelenmesine ilişkin çalışmalar devam etmektedir (Kandemir, 2006).

2.3.1 Yenilebilir filmler ve kaplamaların özellikleri ve avantajları

Yenilebilir filmler ve yenilebilir kaplama terimi arasındaki fark, yenilebilir kaplamanın doğrudan doğruya kaplama çözeltisinin gıda yüzeyine uygulanması, filmin ise, gıdaların yüzeylerine çeşitli yöntemlerle uygulanması ya da katmanları arasına yerleştirilmesidir (Ayana, 2007).

Yenilebilir film ve kaplamaların, sağlık açısından güvenli olması (toksik olmaması), basit bir teknoloji ile elde edilebilir olması, üretim maliyetinin yüksek olmaması, doğada bozunabilir olması ile çevre kirliliğinin önlenmesine katkıda bulunması en önemli avantajlarından (Ayana, 2007).

Yenilebilir film ve kaplamalar, kokusuz, tatsız, renksiz, saydam ve berrak olmalı, gıda ile uyum sağlamalı, genellikle aşınmalara karşı dayanıklı ve esnek olmalı, nem–gaz bariyeri, lipitte çözünürlük, mekanik özellikler gibi farklı fonksiyonel özellikleri karşılayabilmelidir (Kandemir, 2006).

Yenilebilir film ve kaplamalar belirli bir su buharı geçirgenliği ve ya gaz geçirgenliğine sahip olduklarından kullanıldığı gıdaların su kaybını bununla orantılı olarak ağırlık azalmasını önlerler, oksijen geçirgenliğini azaltırlar bu sayede mikrobiyolojik ve kimyasal tehlikelere karşı gıdanın korunmasına yardımcı olurlar. Gıdanın daha parlak ve pürüzsüz görünmesini sağlarlar (Çağrı–Mehmetoğlu, 2010).

Yenilebilir film ve kaplamalar yaygın olarak yağlara, gazlara ya da buharlara karşı bir bariyer olarak ve antioksidanlar, antimikrobiyaller, renkler ve aroma bileşenleri gibi aktif maddelerin taşıyıcısı olarak görev yaparlar. Bu koruyucu

fonksiyonlarla gıda güvenliğini iyileştirmek ve raf ömrünü uzatmak sonucunda ürünlerin kalitesini zenginleştirme hedeflenir (Han ve Gennadios, 2005).

Yenilebilir filmlerin sentetik paketlenme materyallerine göre esas avantajı gıdayla beraber tüketilebilir olmasıdır (Bourtoom, 2008).

Nem absorpsiyonu, aroma kaybı, istenmeyen tat oluşumu ve ambalaj bileşiminden gıdaya transfer gibi olayları içeren kütle transferleri yoluyla gıdaların çoğunda kalite bozulmaları meydana gelmektedir. Bu durum, gıdanın bulunduğu atmosfer, gıda ve gıdanın paketlenildiği materyal ya da gıdanın içinde bulunduğu heterojen bileşenler arasında oluşur. Örneğin; atmosferde bulunan oksijen gıdada, gıda bileşenlerinin oksidasyonuna; ambalaj materyalinde bulunan mürekkep, çözücü ve monomerik katkılar, gıdaya geçebilir, içecekler ve şekerlemelerde bulunması gereken uçucu aroma bileşenleri, plastik kaynaklı ambalaj materyali tarafından emilebilir (Han ve Gennadios, 2005).

Yenilebilir filmler ve kaplamalar gıdaların kalitesini zenginleştirir, onları fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozulmalardan korur. Bu uygulamalar gıdanın fiziksel dayanımını kolayca geliştirebilmeli, partiküllerin kümelenmelerini azaltabilmeli ve ürün yüzeyinin görünüş ve dokusal özelliklerini geliştirebilmelidir. Ayrıca nem göçü, yüzeydeki mikrobiyel gelişmeler, ışık etkisiyle oluşan kimyasal değişimler, besinlerin oksidasyonu vb. den koruyabilir (Han ve Gennadios, 2005).

2.3.2 Yenilebilir kaplama uygulamalarında kullanılan teknikler

Gıda uygulamalarında film çözeltileri püskürtme, daldırma, dökme ve fırçalama gibi birçok şekilde uygulanabilir (Bourtoom, 2008).

Püskürtme yöntemi meyve sebzelerin kaplanması en çok kullanılan yöntemdir (Akbaba, 2006). Düzgün dağılımlı ve ince bir tabakanın elde edilmesi isteniyor ve ya bir ürünün sadece belli bir bölgesinin kaplanması arzu ediliyorsa bu yöntem kullanılmaktadır (Polat, 2007).

Kaplanacak gıda maddesinin bir kaplama çözeltisi içerisine önce daldırılması ardından kurutulması ve katılaştırılması şeklinde uygulanmaktadır. Daldırma yöntemi uygulanarak homojen bir kaplama elde edilebilmesi için kaplanacak gıda yüzeyinin düzgün olmasına ihtiyaç yoktur. Bu en önemli avantajlarından birisidir. Ayrıca fazla gelen kaplama çözeltisinin uzaklaştırılabilmesi de mümkündür. Önerilen uygulamaları büyük hacimli olmayan gıdalarda, meyve ve sebzelere mumsu uygulamalarda kullanılmasıdır (Polat, 2007).

Dökme yönteminde ise film çözeltisinin istenilen kalınlıkta dökülmesi düzgün bir yüzey üzerine dökülmesi ve kurutulması yardımıyla film oluşturulmaktadır. Direkt olarak endüstride uygulaması görülmemesine karşın püskürtme ve daldırma yöntemlerine bir yardımcı olarak kullanılmaktadır (Polat, 2007).

2.3.3 Yenilebilir film ve kaplamalarda kullanılan materyaller

Film oluşturuıcı materyaller olarak protein, polisakkarit ve lipitler kullanılırken, diğer yardımcı maddeler plastikleştiriciler, fonksiyonel katkıları ve diğer katkılarıdır. Yenilebilir film ve kaplamaların üretiminde kullanılan materyaller Çizelge 2.3'te özetlenmiştir.

Çizelge 2.3: Yenilebilir film ve kaplamalarda kullanılan materyaller.

Film oluşturuıcı materyaller	Proteinler: kollajen, jelatin, kazein, whey proteinleri, mısır zeini, buğday gluteni, soya proteini, yumurta akı proteini, balık miyofibril proteini, sorgum proteini, fıstık proteini, keratin.
	Polisakkaritler: nişasta, modifiye nişasta, modifiye selüloz (karboksimetil selüloz, metil selüloz, hidroksi propil selüloz, hidroksi propil metil selüloz), aljinat, karagenan, pektin, pullulan, kitosan, gellan gam, ksantan gam.
	Lipitler: mumlar (balmumu, parafin, carnauba mumu, kandelilla mumu, piriñ kepeğı mumu), reçineler (şellak, terpen), asetoglisericidler.
Plastikleştiriciler	Gliserin, sorbitol, sukroz, polietilen glikol, nişasta şurubu, su.
Fonksiyonel katkıları	Antioksidanlar, antimikrobiyeller, besleyici öğeler, nutrasötikler, farmasötikler, aromalar, renkler.
Diğer katkıları	Emülsifiyerler (lesitin, tween), lipit emülsiyonları (yenilebilir mumlar, yağ asitleri)

Kaynak: *Han ve Gennadios, 2005*

Yenilebilir film/ kaplama, yenilebilir biyopolimerlerden ve gıda katkı maddelerinden elde edilmektedir (Han ve Gennadios, 2005). Yenilebilir film hazırlanmasında kullanılan bileşenler 3'e ayrılabilir. Bunlar, hidrokolloidler (örneğin; proteinler, polisakkaritler), lipitler (örneğin; yağ asitleri, mumlar) ve kompozitlerdir (Bourtoom, 2008; Akbaba, 2006). Filmlerin fonksiyonel özellikleri ve fiziksel

özelliklerini değiştirmek amacıyla plastikleştiriciler ve diğer katkılar film oluşturuu biyopolimerler ile kombine edilebilmektedirler (Han ve Gennadios, 2005).

Hidrokolloid kökenli film ve kaplamalar: hidrokolloidler; bitkisel, hayvansal, mikrobiyel ya da sentetik orijinli hidrofilik polimerlerdir. Günümüzde film solüsyonuna tekstür, aroma kontrolü ve gıdaların raf ömrünü arttırmak amacıyla sıkça kullanılmaktadır. Hidrokolloid materyaller proteinler ve polisakkaritlerdir (Skurtys ve diğ., 2010; Lacroix, 2009).

Protein tabanlı film ve kaplamalar: Bu grupta hayvansal kökenli jelatin, kazein ve whey proteinleri, bitkisel kökenli ise soya ve zein proteinleri örnek olarak verilebilir. Protein filmler kaplandıkları gıdaların besin değerini artırır. Polisakkaritlere benzer olarak hidrofilik yapılarından dolayı zayıf su buharı bariyeri gösterirler. Buna karşın polisakkarit filmlere göre iyi oksijen ve karbondioksit bariyeri özelliği ve mekanik özellik gösterirler (Skurtys ve diğ., 2010).

Polisakkarit tabanlı film ve kaplamalar: Sıklıkla kullanılan polisakkaritler selüloz ve nişasta ve türevleri, kitosan, deniz yosunu özütleri (karragenanlar ve aljinatlar), eksüdatlar (arabik gam), tohumlar (guar gam), mikrobiyal gamları (gellan gam ve ksantan gam) ve pektindir (Galus ve Lenart, 2013). Polisakkarit filmlerin gaz bariyeri özelliği iyidir ancak hidrofilik yapılarından dolayı nem bariyeri özellikleri çok iyi değildir (Han ve Gennadios, 2005).

Lipit kökenli film ve kaplamalar; bu tipteki kaplamalar apalor yapıları ile hidrofobik özellik göstermeleri sayesinde nem bariyeri özellikleri iyidir (Debeaufort ve Voilley, 2009).

Kompozit (karma) yenilebilir film ve kaplamalar; doğalarında heterojen yapıda olabilirler ve bu materyallerin karışımı yoluyla şekillendirilebilirler. Bu özellik ile filmin bileşimine farklı bir fonksiyonel özellik kazandırabilirler (Lacroix, 2009).

Plastikleştiriciler, filmin dayanıklılığını arttırmak, esnekliğini ortaya çıkarmak, matlığını azaltmak amacıyla polimerlere eklenen düşük moleküler ağırlıklı, uçucu olmayan bileşenler olarak tanımlanmaktadırlar (Sothornvit ve Krochta, 2005). Film yapısının hazırlanması iki tip interaksiyona bağlıdır bunlar kohezyon ve adhezyondur. Kohezyon, film polimer molekülleri arasındaki çekici güç olarak tanımlanırken adhezyon ise film ve substrat arasındaki çekici güçtür. Molekül ağırlığı, kutupsallığı ve zincir yapısı gibi polimer özellikleri kohezyon ve adhezyon ile alakalıdır. Polimer filmlerdeki moleküler çekim sonucunda ürünün gevreklik

özelliklerinde istenmeyen özelliklerin oluşabilmektedir. Bu sorunu gidermek amacıyla plastikleştiriciler kullanılmaktadır (Sothornvit ve Krochta, 2005).

Plastikleştiriciler, polimerik film oluşturu malzemelere dahil düşük molekül ağırlıklı ajanlardır ve polimerin camsı geçiş sıcaklığını düşürürler. Plastikleştiricilerin polimer molekülleri arasında kendilerine yer bularak polimer–polimer etkileşime girebilmesi ile esneklik ve işlenebilirliği arttırabilmesi mümkündür. Polimer yapılarında ya da polimer moleküllerindeki moleküler hareketliliği arttırırlar (Han ve Gennadios, 2005).

Su molekülleri de filmlerde plastikleştirici olarak kullanılabilir ve aslında su iyi bir plastikleştiricidir. Suyun dezavantajı düşük bağıl nemli ortamlarda dehidrasyonu sonucu su miktarında kaybın meydana gelmesidir (Han ve Gennadios, 2005).

Kullanılan hidrofilik plastikleştiriciler genellikle; gliserol, polietilen glikol ve sorbitoldür. Özellikle polisakkarit ve proteinlerin kullanıldığı filmlerde mekanik özellikleri geliştirmek amacıyla plastikleştirici ilavesi gerekli olmaktadır (Jongjareonrak ve diğ., 2006; Han ve Gennadios, 2005).

Gliserol gibi plastikleştiriciler kaplama materyalinin esnekliğini arttırması amacıyla ilave edilmektedir. Bu esneklik artışı, moleküller arası boşluğun artması ve polimerler arasındaki hidrojen bağlarının azalması ile sağlanmaktadır (Oms–Oliu ve diğ., 2008). Moleküller arası boşluğun artması ile plastikleştiricilerin gaz ve su buharı geçirgenliğinde artışa neden olunmaktadır.

Gliserin ve ya 1, 2, 3 propanetrinol ($C_3H_8O_3$) olarak da bilinen gliserol, renksiz, hidroskobik, tatlı ve viskoz bir sıvı olmakla beraber aynı zamanda bir şeker alkolüdür. Molekül ağırlığı 92.09 g/mol'dür. Erime ve kaynama noktası sırasıyla 17.8 °C ve 297 °C'dir. Nemlendirici, çözücü ve tatlandırıcı olarak gıdalarda ve içeceklerde kullanılmakta bunlara ilaveten gıdanın korunmasına da yardımcı olmaktadır (Sarıküş, 2006).

Literatüre baktığımızda, suda çözünür polimerler için en iyi plastikleştiricinin gliserol olduğu belirtilmektedir (Wang ve diğ., 2011). Bu amaçla da çalışmamızda plastikleştirici olarak gliserol kullanılmıştır.

Biyopolimerlerin film oluşturma mekanizmaları kovalent bağlar (di süfit bağları ve çapraz bağlar) ve/veya elektrostatik, hidrofobik ya da iyonik interaksiyonlar gibi moleküller arası kuvvetleri içerir. Fabrikasyon üretimleri bu film oluşturma mekanizmaları başlatabilmektedir. Üretilen filmlerin ya da kaplamaların fabrikasyon üretime dahil olabilmesi ve yenilebilir olabilmesi için film oluşum

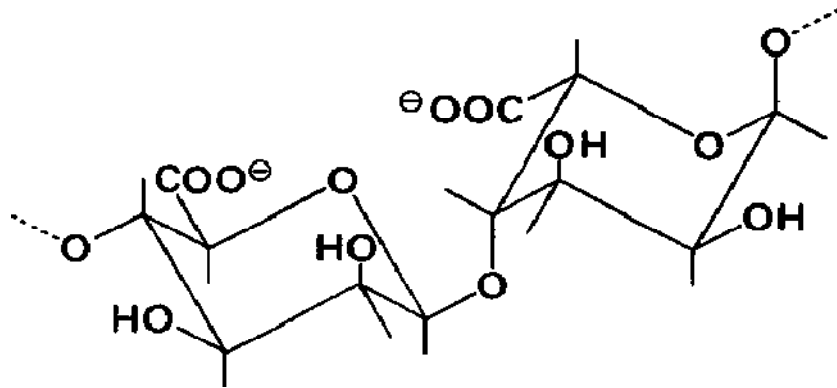
mekanizmasının pH değışikliği, tuz ilavesi, ısıtma, enzimatik modifikasyon, kurutma, gıda saflığında olan çözücülerin kullanımı ve gıdada kullanılabilen diğer kimyasalların ilavesi olarak adlandırılan gıda işlemlerine uygun olması gerekmektedir (Han ve Gennadios, 2005).

2.4 Çalışmada Kullanılan Hidrokolloidler

Film oluşturuıcı materyallerin yapısının ve kimyasal özelliklerinin bilinmesi uygulamaların anlaşılabilmesi için önemlidir (Han ve Gennadios, 2005). Polisakkarit filmler, genellikle kolay bulunabilir olması, doğada kolay çözünebilmesi ve düşük maliyetli olmaları nedeniyle film üretiminde tercih edilmektedirler. Ayrıca polisakkaritler, fizikokimyasal özelliklerinin geliştirilmesi için kolaylıkla modifiye edilebilme özelliğine sahiptirler (Lacroix ve Tien, 2005).

2.4.1 Sodyum aljinat (E401)

Aljinik asit ticari olarak *Laminariales*, *Fucales*, *Eisenia bicyclis*, *Ecklonia*, *Ascophyllum*, *L.digitata*, *L.cloustoni*, *Macrocystis pyrifera*, *Lessonia* gibi kahverengli alglerin hücre duvarlarından elde edilen bir polisakkarittir (Öcal, 2007). Deniz yosununda bulunan aljinatın jel formu sodyum, kalsiyum, stronyum ve baryum tuzları olarak bulunmaktadır. Bu nedenle aljinik asidin aljinata dönüşümünde ilk aşama ekstraksiyondur. Ekstraksiyon alkali uygulaması ile yapılarak suda çözünür sodyum aljinat üretilir (Nieto, 2009). Aljinatın kimyasal yapısı Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2 :Aljinatın kimyasal yapısı (Belitz ve diğ., 2009)

Aljinatların molekül ağırlıkları 12 000–190 000 dalton arasındadır. 12 000–80 000 dalton arasındaki molekül ağırlığına sahip aljinatlar düşük viskoziteli

aljinat olarak adlandırılırken 80 000–120 000 dalton arasındakiler orta viskoziteli aljinat, 120 000–190 000 dalton arasındakiler ise yüksek viskoziteli aljinat olarak adlandırılmaktadır (Taşkın, 2006). Aljinat çözeltisinin viskozitesi moleküler ağırlıktan ve tuzdaki zıt iyonlardan etkilenir. 2 yada 3 değerlikleri olan katyonların yokluğunda ya da şelat ajanlarının varlığında viskozite düşüktür yani uzun akış özelliğine sahiptir. Bununla birlikte kalsiyum gibi çok değerlikli katyonların seviyesindeki artış ile birlikte viskozitede artış gözlenir ve kısa akış özelliği görülür. Böylelikle viskozite istenildiği gibi ayarlanabilmektedir (Belitz ve diğ., 2009).

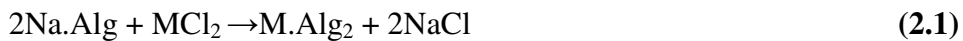
Aljinatlar β -(1→4) D-mannuronik asit (M) ve α -(1→4) L-guluronik asit (G) ünitelerini içeren düz, dallanmamış ve bu nedenle de yüksek aniyonik polimerlerdir (Nieto, 2009). Blok polimer yapısında bulunan aljinatların M, G ve MG blok olarak adlandırılan blok yapıları vardır (Taşkın, 2006). Genel olarak G bloğu oranı M bloğu oranına göre yüksek olan aljinatlar oranı düşük olanlara göre daha yüksek porozite gösterirler, ısıya daha dayanıklıdırlar, sert fakat daha kolay kırılabilen jel yapısı oluşturmaktadırlar. Düşük olanlar ise daha yumuşak ve esnek-elastik bir yapıya sahiptir ve çok fazla büzülür (Öcal, 2007; Taşkın, 2006). Mannuronik asit / gluronik asit oranı aljinatın elde edildiği kaynağa bağlı olarak değişmekle birlikte bu oran genellikle 1.5'tir (Belitz ve diğ., 2009).

Aljinatı toksikolojik olarak incelediğinde GRAS (Genel olarak güvenli kabul edilen) listesinde yer aldığı görülmektedir (URL-1)

Sodyum aljinatın jel oluşturma özelliği: bivalent iyonlar ya da kalsiyum ile aljinatın jelleşmesi anlık gerçekleşen bir olaydır (Öcal, 2007). Aljinat, kalsiyum iyonlarıyla güçlü ve çözünmeyen jeller yapabilmektedir. Aljinatın en kullanışlı ve en benzersiz özelliği, onun güçlü jeller veya çözünmeyen polimerler üretmek amacıyla çok değerlikli metal katyonlarla özellikle de kalsiyum iyonlarıyla reaksiyona girebilmesidir.

Kalsiyum iyonlarıyla beraber aljinatın jel yapısının çok çabuk ortaya çıkması, döküm esnasında filmin oluşturulmasını zorlaştırdığından daldırma tekniği geliştirilmiştir. Bu teknikte, çok değerlikli katyonların sulu çözeltilerine film daldırılmak suretiyle filmin jel dayanıklılığı arttırılmaktadır (Rhim, 2004).

Katyon tuzu ve aljinat çözeltisi arasında meydana gelen reaksiyon denklem (2.1)' de gösterildiği gibidir.



Burada M ile belirtilen iki değerlikli katyondur (Taşkın, 2006).

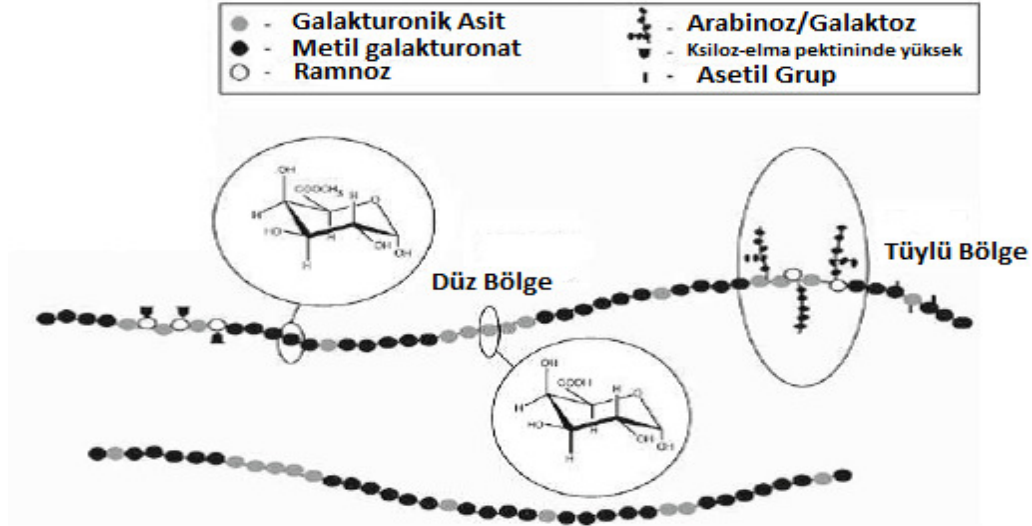
Aljinat; kıvamlaştırıcı, stabilize edici, askıda tutucu, film şekillendirici, jel oluşturucu ve emülsiyonu stabilize edici gibi benzersiz koloidal özelliklerinden ötürü biyopolimer film ve kaplama bileşeni olma potansiyelinden dolayı önemlidir. Aljinatlar ile muntazam, şeffaf ve suda çözünebilir özellikte film oluşturulur (Lacroix ve Tien, 2005).

Aljinat, iyi bir film oluşturma özelliğine sahiptir. Ancak kururken oldukça kırılğan olma eğilimi vardır ve bu nedenle gliserol yardımıyla yapısı esnetilebilmektedir (Lacroix ve Tien, 2005). Sodyum aljinat gıda endüstrisinde gliserol ile beraber filmin oluşturulması için yaygın olarak kullanılmakta ve iyi bir çekme dayanımı ve uzayabilirlik özelliği göstermekte olduğu bildirilmektedir (Deng ve Zhao, 2011). Her ne kadar aljinat gibi hidrokolloidlerden hazırlanan yenilebilir filmler, güçlü filmler oluştursada bu filmler hidrofilik yapılarından dolayı zayıf su direnci gösterirler. Ancak gaz geçirgenlik özellikleri iyidir. Bu kaplamalarla yapılan çalışmaların aljinatın üründeki nem kaybını azalttığı, ürünün pişirilme sırasında aroma, tat ve toplam kabul edilebilirliğini etkilemediği; başka bir üründe nem kaybı ve yağ oksidasyonunu kontrol altında tuttuğunu ve pektin ile beraber benzer özellikler gösterdiği belirtilmiştir (Lacroix ve Tien, 2005).

2.4.2 Pektin (E440)

Saf pektin açık renkli bir görünüme sahiptir. Formamid, dimetil sülfoksit, di metil sülfoksit, di metil formamid ve sıcak gliserol hariç organik çözücülerde çözünmeyen pektinin en iyi çözücüsü sudur. Pektinin ortalama molekül ağırlığı 30 000–300 000 dalton arasında değişmekle birlikte bu miktar pektinin çeşidine, hazırlama ve ölçme yöntemine göre değişmektedir (Arslan, 1994). Pektinin yapısı Şekil 2.3'te sunulmuştur.

Galakturonanların lineer yapısı sayesinde pektin jel oluşturabilmektedir. Bu jel yapısının oluşabilmesini ve mekanik özelliklerini etkileyen bazı faktörler vardır. Bunlar; pektinin bileşimi ve cinsi, esterleşme derecesi, molekül ağırlığı, şekerin cinsi ve miktarı, pH, suda eriyebilirliği ve elektrolit varlığıdır. Pektinin ortamda çözünmüş olması iyi bir jel oluşumu için gereklidir. Pektin ile iyi bir jel oluşturulabilmesi için %1'lik çözeltisi yeterli olurken aşırı viskoz olması nedeniyle en fazla %4'lik konsantrasyonu kullanılabilmektedir (Kar, 1998).



Şekil 2.3: Pektinin yapısı (Nieto, 2009).

Şekerin cinsi üzerine yapılan çalışmalarda dekstrozu ve maltozun pektin çözeltisinin viskozitesini artırırken dekstrinin ise azalttığı belirtilmiştir (Arslan, 1994).

Pektin esterefikasyon derecesine göre yüksek metoksilli ve düşük metoksilli pektin olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Bierhalz ve diğ., 2012). Metil esterefikasyon derecesi %50'nin üzerinde olan pektinler yüksek metoksilli-yüksek esterli pektin olarak adlandırılırken, düşük olanlar düşük metoksilli-düşük esterli pektin olarak adlandırılmaktadır (Bierhalz ve diğ., 2012; Nieto, 2009). Bu metilleşme derecesi jelleşme mekanizmasını üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir (Bierhalz ve diğ., 2012).

Yüksek metoksilli pektinin jel oluşturabilmesi için pH değerinin 3.5'in altında olması gerekirken optimum şartlar için bu değerin 2.8-3 arasında olması gerekir. İyi bir jelleşmenin sağlanması için gerekli şeker miktarı ise %60-65'tir (Nieto, 2009).

Düşük metoksilli pektinin jel oluşturabilmesi için pH'nın yanında kalsiyum kaynağının da bulunması gerekmektedir. Ortamda şeker olmadığı durumlarda ve yüksek şeker konsantrasyonlarında da jel oluşturabilmektedir. Bu tür pektin ile elde edilen jel yapısı sıcaklık ile geri dönüştürülebilir (Nieto, 2009).

Düşük molekül ağırlıklı pektinin jel yapabilme özelliği yüksek molekül ağırlıklı metil ester gruplarının oranı fazla olan pektinlere göre daha düşüktür. Bunun sebebi ise yüksek oranda asetil grupları içererek jel oluşumunda sterik engelleme meydana getirmeleridir.

Pektin; gıdadan kozmetiğe, kozmetikten ilaç endüstrilerine kadar kullanılan bir katkı maddesidir (Kar, 1998). Gıda sanayinde kıvam arttırıcı ve jelleştirici özelliğinden yararlanılmaktadır. Örneğin; şekerlemelerde, yoğurt ve dondurmalarda stabilizör olarak, jel ve reçel yapımında jelleşme aracı olarak kullanılmakta, (Bielitz ve diğ., 2009; Kar, 1998) süt endüstrisinde düşük pH'lı süt ürünlerinde kazein ile kompleks oluşturarak koruyucu hidrokolloid olarak görev yapmaktadır (Kar, 1998). Ayrıca ilaç endüstrisinde de kullanılmaktadır (Kar, 1998).

Pektinin gıda ve ilaç endüstrisinde kullanımı için en az %65 galakturonik asit ve metil galakturonat içermelidir. Pektin ve aljinat gibi polisakkaritlerden elde edilen filmler, su buharı geçirgenlik özellikleri sınırlı olmasına rağmen iyi bir gaz geçirgenliği özelliğine sahiptirler (Lacroix ve Tien, 2005).

Pektin ve aljinat kalsiyum gibi iki değerlikli katyonlarla jel yapısı oluşturabilme yeteneğinden dolayı yaygın olarak kullanılır. Kalsiyum iyonlarıyla beraber güçlü jel ve suya karşı direnci geliştirilmiş film üretilir. Bu jelleşme kalsiyum iyonları ve pektin ve aljinatın sırasıyla galakturonik asit ve guluronik asit blokları arasındaki spesifik interaksiyonun sonucunda meydana gelir (Bierhalz ve diğ., 2012).

2.5 Filmlerin Karakteristik Özelliklerinin Belirlenmesi

Film çözeltilerinin reolojik davranışları, filmlerin suda çözünürlükleri, su buharı geçirgenlikleri, mekanik, termal ve adsorpsiyon özellikleri filmlerin karakteristik özelliklerini belirlemektedir.

2.5.1 Film çözeltilerinin reolojik davranışları

Gıdaların çoğu akışkandır. Gıda sanayinde akış davranışının karakterizasyonu sadece gıdanın taşınımı ve işlenmesi ile ilgili değil, ayrıca objektif olarak belirlenebilen kalite indeksi olarak kullanılan parametreler dizisinin belirlenmesi açısından önemlidir (Yoğurtçu ve Kamışlı, 2006).

Bir reolojik özellik olan viskozite akışkan gıdaların kalitesiyle ilişkili önemli bir fiziksel özellik olduğu kabul edilmektedir. Üzüm pekmezi ile ilgili çok sayıda reolojik çalışma yapılırken dut, kuşburnu ve harnup pekmezinin reolojik davranışlarının belirlenmesine dair çalışmalar da bulunmaktadır (Yoğurtçu ve Kamışlı, 2006).

Yoğurtçu ve Kamışlı (2006) yaptıkları çalışmada dut pekmesine ait reolojik özellikleri ortaya koymuşlardır. 5–30 °C sıcaklık aralığında pekmez çeşitlerinin viskozitesi incelenerek sıcaklığa karşı viskozitedeki değişimini incelemiş, pekmezlerin newtonian olmayan bir davranış sergilediği belirtilirken pekmezlerin viskozitelerini power law modeline göre modellemişlerdir. Sıcaklıktaki artış ile birlikte konsistens katsayısında artışın olduğu ve pekmezlerin aktivasyon enerjileri ise 18.509–74.658 kJ/mol aralığında bulunduğu bildirilmiştir.

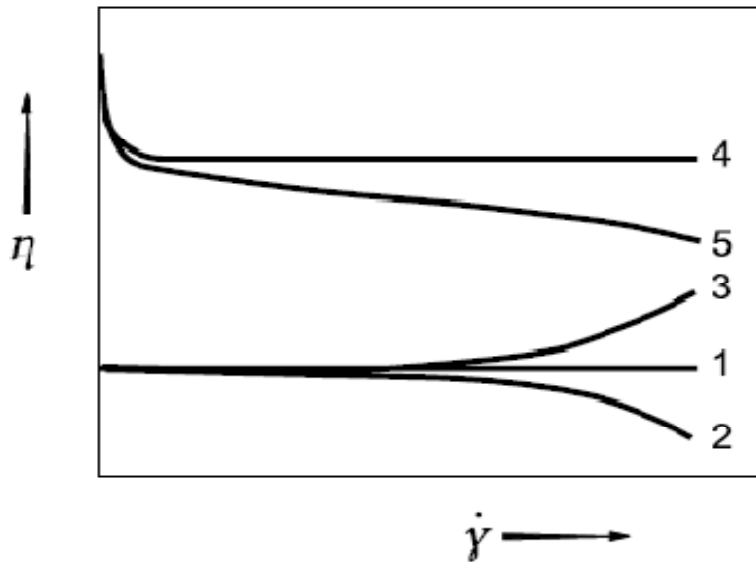
Şengül ve diğ. (2005), 30 °C ve 70 °C sıcaklık aralığında pekmezlerin viskozite değerlerini incelemiş ve power law modeline göre modelleme yapmışlardır. Dut pekmezinin psödoplastik akış davranışı gösterdiği bildirilmiştir.

Kaya (2007) tarafından da dut pekmezi 3 farklı konsantrasyonda hazırlanarak 6 farklı sıcaklıkta bu pekmezlerin reolojik davranışları araştırılmıştır.

Yılmaz ve diğ. (2009) tarafından buğday nişastası ve çeşitli gamlar ile pekmez karışımı spreylendirilerek kurutulmuş ve bu ürünün reolojik davranışları araştırılmıştır.

Çözeltilerin viskoziteleri elde edilecek filmin kalitesini ve özelliğinin kontrol edilmesi için bir belirleyicidir. Meyve ve sebze suları/ konsantreleri newtonian olmayan davranış gösterir (Krokida ve diğ., 2001).

Sıvıların akış özellikleri hakkında bilgi edinmek için reolojik modeller geliştirilmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4: Reolojik davranışların sınıflandırılması (Figura ve Teixeira, 2007)
γ̇: kayma hızı, η: viskozite, 1: newtonian, 2: psödoplastik, 3: dilatant, 4: bingam plastik, 5: herschel-bulkey

Genellikle bunun için kesme hızı (kayma hızı) kesme gerilimine (kayma gerilimi) karşı bir grafik çizilir ve akış modellenir. Sıvıya uygulanan kuvvetin miktarını kayma hızı belirlerken bu hız/kuvvete sıvının gösterdiği dirençte kayma gerilimi olarak tanımlanmaktadır (Gündüz, 2010).

Zamandan bağımsız newtonian olmayan akış davranışlarından birisi olan power law modeli denklem 2.2’de, Ostwald–de waale modeli ise denklem 2.3’te gösterilmiştir.

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

$$\tau = K\gamma^{n-1} \quad (2.3)$$

Burada; τ , kayma gerilimi (Pa); γ ise kayma hızı (1/s) dır. Power law modeline göre K ve n akış davranışını belirlemeye yarayan sabitlerdir. K, konsistens sabiti (Pa.s^n), n ise akış davranış indeksi olup birimsizdir. K değeri newtonian akışkanların viskozitesini ifade etmektedir (Krokida ve diğ., 2001).

Zamandan bağımsız ve newtonian olmayan davranışlardan bir diğeri olan Herschel–Bulkley modeli ise power law modeline kritik kesme geriliminin(τ_0) eklenmesiyle türetilmiştir. Meyve pürelerine ait reolojik modellemelere baktığımızda genellikle bu modele uygun olduğu literatürde bildirilmiştir (Ditchfield ve diğ., 2004). Model denklem 2.4 deki gibidir.

$$\tau = \tau_0 + K\gamma^n \quad (2.4)$$

Burada; τ_0 ile ifade edilen kritik kesme gerilimidir.

Bir başka akış davranış modeli olan Cross model denklem 2.5’teki gibidir. İfade de η viskozite (Pa.s), η_0 sıfır anındaki (başlangıç) viskozite (Pa.s), η_∞ sonsuz zamandaki viskozite, γ kayma hızı (s^{-1}), n akış davranış indeksi, γ_b ise zaman (s^{-1}) parametreleridir.

$$\eta = \eta_\infty + \frac{\eta_0 - \eta_\infty}{1 + \left(\frac{\gamma}{\gamma_b}\right)^n} \quad (2.5)$$

Newtonian olmayan gıdaların az bir kısmı dilatant özellik gösterirken ($n > 1$) çoğu psödoplastik özellik ($n < 1$) gösterir (Krokida ve diğ., 2001). Çözünür katı konsantrasyonu ($^\circ\text{Bx}$) ve çözünmeyen katılar (örneğin, pulp) newtonian akışkan gıdaların viskozitesi, konsistens katsayısı ve newtonian olmayan akışkan gıdaların görünür viskoziteleri üzerine güçlü lineer olmayan etkiye sahiptir (Krokida ve diğ., 2001).

2.5.2 Yenilebilir filmlerin görünüş–optik özellikleri

Yenilebilir film ve kaplamaların mümkün olduğu kadarıyla doğal organoleptik özelliklere sahip olmalıdır başka bir ifadeyle tüketilirken fark edilmemelidir. Görünüş özelliklerinden de beklenen pürüzsüz ve şeffaf olması istenmektedir. Hidrokolloid içerikli filmler mat, kaygan ve mumsu tada sahip olan lipit ya da türevleri ve mumlardan elde edilen filmlere göre daha doğal bir görünüme sahiptirler (Guilbert ve Gontard, 2005).

Film ve kaplamalar ayrıca gıdanın arzu edilen rengine sahip olmasına yardımcı olarak da kullanılabilir. Filmlerin optik özellikleri film formülasyonunda kullanılan bileşenlere göre ve filmin elde edilmesi sırasındaki fabrikasyon işlemlerine bağlıdır (Guilbert ve Gontard, 2005).

2.5.3 Yenilebilir filmlerin suda çözünürlüğü

Filmin suda çözünürlüğü önemli özelliklerden birisidir. Bazı uygulamalarda ürün bütünlüğünün korunması açısından filmin suda çözünmez bir yapıda olması istenirken, bazı uygulamalarda da ürünün tüketim öncesinde çözünü olması istenmektedir (Turhan ve Şahbaz, 2004). Uygulamalarda yardımcı olması açısından filmin suda çözünürlüğü hakkında bilgi alınması uygulamalara yardımcı olacaktır. Çapraz bağlar polimerler arasında oluşturmak yoluyla çözünürlük önemli derecede azaltılabilmektedir (Lacroix, 2009).

Aljinat içerikli filmler %2–10 oranında kalsiyum klorür çözeltisine daldırılmasıyla suda çözünürlüğün azaldığı bildirilmiştir (Lacroix, 2009).

2.5.4 Yenilebilir filmlerin adsorpsiyon özellikleri

Su aktivitesi (a_w) gıdanın denge buhar basıncının (P) aynı sıcaklıktaki saf suyun denge buhar basıncına (P_o) oranı şeklinde tanımlanmaktadır (Özay ve diğ., 1993). Su aktivitesi denklem (2.6)’da gösterilmektedir.

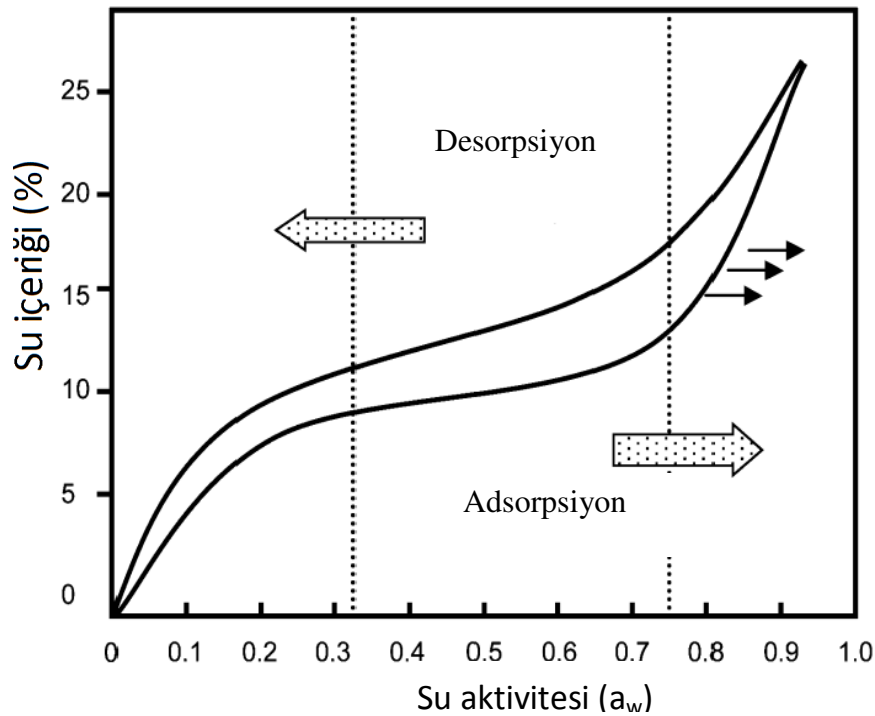
$$a_w = P/P_o \quad (2.6)$$

Gıdalar ölçülen a_w değerlerine göre yüksek nemli gıdalar, orta nemli gıdalar ve düşük nemli gıdalar olarak üçe ayrılmaktadırlar (Özay ve diğ., 1993). Pekmez yüksek nem içeriğine sahip olmasına karşın a_w değerine bakıldığında orta nemli gıdalar sınıfında yer almaktadır (Evranoz ve Kılıç, 2006).

Su aktivitesi ile nem içeriğinin gıdalar için çok önemli olduğu bilinmektedir. Bu bilgi nem sorpsiyon izotermi eşitliklerinin belirlenmesini gereğini ortaya çıkarmıştır (Cervenka ve diğ., 2008). Sorpsiyon özelliği kurutulan gıda materyalinin kurutma prosesini, depolama koşullarını etkileyen temel karakteristik özelliklerinden biridir (Lagoudaki ve Demertzis, 1993).

Sorpsiyon izotermi sabit sıcaklıkta gıdanın su içeriğinin (m), su aktivitesine (a_w) karşı çizilmesi $m = f(a_w)T$ ile elde edilen grafiktir. Bu izoterm, sıcaklığın sabit olduğu ve farklı ortam nispi nemine sahip kapalı ortamlarda gıda ile ortam atmosferinin nem dengesine ulaşması ile oluşan ağırlık değişimlerinden tespit edilmektedir (Erbaş ve diğ., 2008; Kaymak-Ertekin ve Sultanoğlu, 2001).

Su sorpsiyon izotermi; adsorpsiyon izotermi ve desorpsiyon izotermi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Adsorpsiyon izotermi için gıdayı giderek artan bağıl nemli ortamlara koyup gıdanın nem çekmesi sağlanırken, desorpsiyon izotermi için çevredeki bağıl nem giderek azaltılarak gıdanın nem kaybetme özelliği incelenmektedir (Işıksal, 2006). Genel su sorpsiyon izotermi Şekil 2.5'te sunulmuştur.



Şekil 2.5: Bir histerisis döngüsü gösteren genel su sorpsiyon izotermi (Labuza ve Altunakar, 2007)

Bu izoterm, yardımıyla; gıdaların kurutulması, kurutulan ürünlerin raf ömürlerinin belirlenmesi, kuruma sürelerinin tahmin edilmesi (Ertugay ve Certel, 1999) gıda yüzeyindeki fiziksel olaylar, gıdadaki suyun özellikleri, gıdanın

mikroyapısı ve sorpsiyon kinetik parametreleri hakkında bilgi edinilebilmektedir (Kaya ve Kahyaoğlu, 2005). Ayrıca ambalaj malzemesi ile kaplanmış bir gıdanın raf ömrünün belirlenmesine yardımcı olmaktadır (Işıksal, 2006).

Özellikle kurutularak nemi azaltılmış gıdalarda, gıda ve çevre arasında su transferini azaltabilmek yenilebilir filmlerin önemli bir görevidir. Filmin su bariyer özelliği filmin matrisindeki suyun çözünürlüğüne bağlıdır. Yenilebilir filmler için özellikle önemli olan film matrisi içerisindeki suda çözünürlüğünün karakterize edilmesinde sorpsiyon izotermi kullanılmaktadır (Alyanak, 2004).

Birçok deneysel ve yarı deneysel eşitlikler denge nem içeriği, sıcaklık ve a_w arasında bir ilişki olduğunu öne sürmüştür. Yüksek şeker içeren gıdalarda genellikle uygulananlar Halsey, Henderson, Oswin, BET (Brunner Emmett Teller) ve GAB (Guggenheim, Anderson, de Boer) izoterm eşitlikleridir (Kaya ve Kahyaoğlu, 2005). Bunlar arasında çoğunlukla gıdalarda kullanılan izotermi ise BET ve GAB izotermi (Cervenka ve diğ., 2008). BET izotermi gıdalarda kullanımı sınırlı a_w değerlerindedir. Bu değerler 0.1 ile 0.5 a_w arasındadır (Cervenka ve diğ., 2008; Koroş, 2007). BET izotermi çok tabakalı adsorpsiyonun açıklanması amacıyla ortaya çıkmış bir eşitliktir. Eşitlik denklem 2.7'deki gibidir.

$$\frac{M}{M_0} = \frac{C a_w}{(1-a_w)(1-a_w+Ca_w)} \quad (2.7)$$

a_w : su aktivitesi

C: sorpsiyon ısısı ile ilgili bir sabit

M: su içeriği (g su/100g kuru madde)

M_0 : tek tabaka nem değeri (g su/ g kuru madde)

GAB modeli BET modelinden türemiştir ancak her türlü gıdada kullanılabileceği gibi her a_w değerini de kapsamaktadır (Cervenka ve diğ., 2008). Gıdalar için en iyi uyum sağlayan sorpsiyon modeli olduğu bildirilmiştir (Kıroğlu-Zorlugenç, 2010). Eşitlik denklem 2.8'deki gibidir.

$$\frac{X}{X_m} = \frac{C k a_w}{(1-ka_w)(1-ka_w+Cka_w)} \quad (2.8)$$

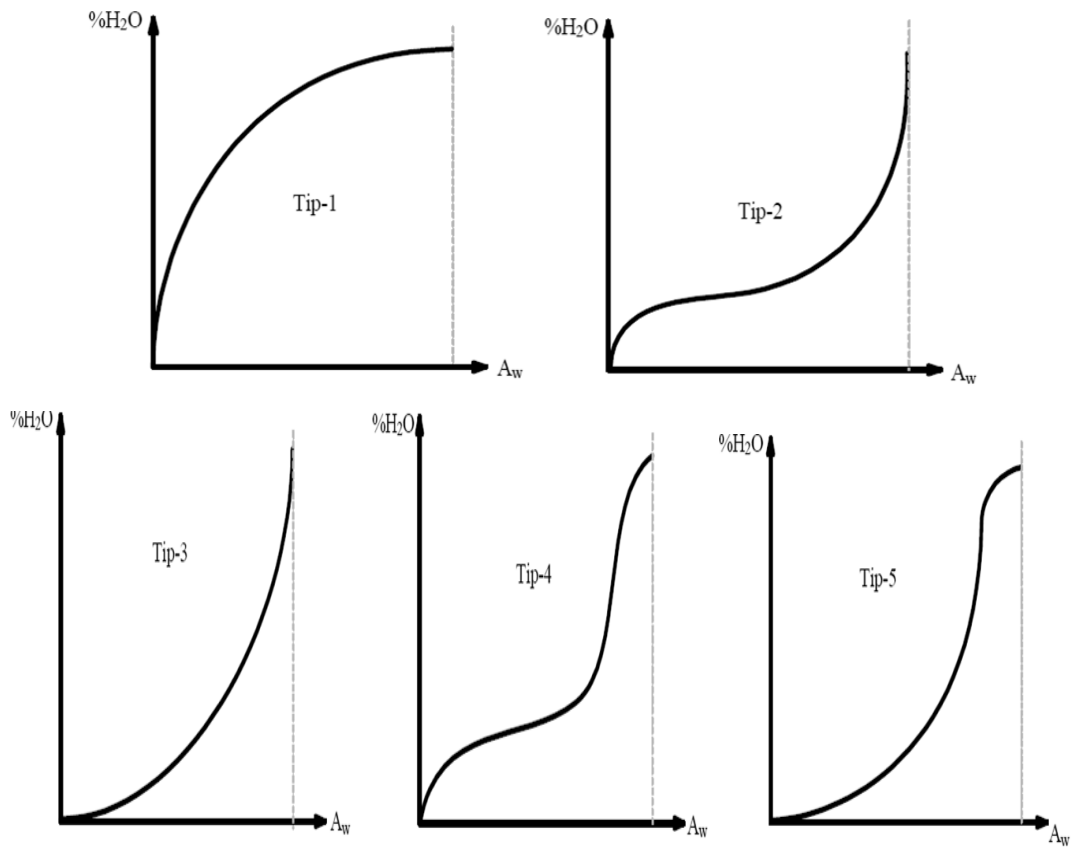
Burada k ile gösterilen model sabitidir.

k, n: sabit

m: su içeriği

BET sınıflandırmasına göre sorpsiyon izoterm grafikleri 5 tipe ayrılmaktadır. Langimur izotermi ile aynı olan Tip-I izotermi gazlar ve gözenekli katıların

boşluklarındaki monomoleküler adsorpsiyonunun sınırlı seviye olduğunu göstermektedir. Tip-II izotermi sigmoid şeklinde bir davranış göstermektedir. Bu tip izoterme sahip olan gıdaların çözülebilir olması beklenmektedir. Tip-III izoterminde sahip davranışlarda plastizerlerin adsorpsiyonunu göstermektedir ve aynı zamanda Flory-Huggins izotermi olarak da adlandırılmaktadır. Tip-IV izotermi şişebilme özellikli hidrofilik yapıdaki katıların özel gruplarındaki maksimum hidrasyon noktasına erişinceye kadar adsorpsiyonunu Tip-V ise çok katmanlı adsorpsiyon izotermi olarak adlandırılmaktadır (Işıksal, 2006). Sorpsiyon izoterm tipleri Şekil 2.6'da gösterilmektedir (Işıksal, 2006).



Şekil 2.6: Sorpsiyon izoterm tipleri (Işıksal, 2006)

Gıdalarda çoğunlukla gözlenen davranışlar Tip-I, Tip-II ve Tip-III izotermeleridir (Labuza ve Altunakar, 2007).

2.5.4.1 Nem adsorpsiyon izotermi belirlenmesi

Sorpsiyon izotermi a) gıda örnekleri adsorpsiyon için kurutularak, desorpsiyon için nemlendirilerek ya da çalışma durumu için doğal hali ile belli sıcaklıkta kontrollü nem bulunan bir kaba yerleştirilerek denge neme gelinceye (sabit ağırlık)

kadar ağırlığının tartılması yoluyla b) çeşitli nem içeriklerine sahip örneklerin a_w ve nem içeriklerinin ölçülmesi yoluyla oluşturulmaktadır (Labuza ve Altunakar, 2007). Burada bahsedilen kontrollü nem ortamı için inorganik tuzlar, organik asitler, bazlar ya da alkol ile doymuş çözeltiler hazırlanarak ayarlanmaktadır (Labuza ve Altunakar, 2007).

Sorpsiyon izotermi gravimetrik, manometrik ve higrometrik olmak üzere üç yolla belirlenebilmektedir. Gravimetrik yöntem; ağırlık değişiminin ölçülmesi yoluyla yapılmaktadır. Manometrik yöntem; gıdayı çevreleyen ortamın su buharı basıncının ölçülmesi ile belirlenir. Higrometrik yöntem ise gıda ile temas eden havanın denge bağıl neminin ölçülmesi ile belirlenmektedir. Çiğlenme noktalı higrometreler soğuyan su buharının kondensasyonunu tespit eder. Elektrik higrometreleri nem sensörlerinin kapasite kondüktansı ya da kapasitansındaki değişimi ölçerler. Nem sensörlerinin çoğu gıda örneklerinden nem absorbe eden LiCl gibi higroskopik tuzlarla kaplanmıştır (Al-Muhtaseb ve diğ., 2002).

Ticari yöntemler nem izoterminin hazırlanması için küçük örneklerin kullanılmasına olanak sağlamaktadırlar (Labuza ve Altunakar, 2007) ve diğer yöntemlere göre daha kısa sürede sonuç verebilmektedirler.

İzotermi hazırlanabilmesi için kullanılan yöntemler; doymuş tuz çözeltisi metodu (DTÇM), fan yardımı ile doymuş tuz çözeltisi metodu (FTÇM), higrometrik cihaz metodu (HCM), kontrollü basınç metodu (KBM) dur (Nguyen ve diğ., 2004). Farklı metotlara ait özellikler Çizelge 2.4'te özetlenmiştir.

Nguyen ve diğ. (2004) armut eti dokusunda sorpsiyon izotermi için kullandıkları farklı metotları kıyaslamışlardır. Bu kıyaslama ile DTÇM, HCM ve KBM metotları ile uygulamanın kısa sürmesi sayesinde örnekte çoğu biyokimyasal değişimlerin önlenemekte olduğu ayrıca HCM ve KBM metotları ilgilenilen alanda daha çok nokta verebilme avantajına sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 2.4: Farklı sorpsiyon metotlarına ait bazı özellikler.

Metot	İlke	Ölçüm süresi	Sıcaklık aralığı	a_w aralığı
DTÇM	Statik denge	Uzun	0–100 ^a	0.016 –1 ^a
FTÇM	Dinamik denge	5–7 gün	0–100 ^a	0.016 –1 ^a
KBM	Dinamik denge	2 gün	0–40 ^b	0.7–1 ^b
HCM	Kurutma+statik denge	3 gün	0–50 ^c	0.10–1 ^c

Kaynak: Nguyen ve diğ., 2004

^a Greenspan, 1977., ^b Baucour ve Daudin, 2000., ^c Novasina, a_w Sprint, Axair, Zurich, Switzerland

2.5.5 Yenilebilir filmlerin bariyer özellikleri

Su, tekstürel bozulmalar, kimyasal ve enzimatik reaksiyonlar için çözücü ya da taşıyıcı olarak davranır. Gıdaların raf ömürlerinin belirlenmesi için su buharı geçirgenliği özelliğinin bilinmesine ihtiyaç duyulmaktadır (Labuza, 1982). Yenilebilir filmlerin su buharı geçirgenliği üzerine çok sayıda çalışma yapılmış ve yaygın olarak kullanılan plastik filmlere göre kıyaslanmıştır. Lipit içerikli filmler haricinde yenilebilir filmlerin çoğu ticari olarak kullanılan yaygın plastik filmlere göre genellikle yüksek su buharı geçirgenliği göstermektedirler (Han ve Gennadios, 2005). Hidrofilik yapılarından dolayı polisakkarit içeren filmler sınırlı su buharı bariyer özelliği göstermektedirler ancak arzu edilen modifiye atmosfer koşullarını anaerobik koşullar oluşmadan sağlayabilmektedir (Lacroix ve Tien, 2005).

Nispeten düşük su buharı geçirgenliği bariyer özelliğine sahip olan agro-polimer bazlı materyaller ve yenilebilir filmler sadece kısa dönemli uygulamalarda nem geçişini sınırlandırmak amacıyla koruyucu bariyer olarak kullanılabilirler. Buna karşın modifiye atmosferde paketlenmiş taze, minimum işlem görmüş veya fermente gıdalarda (peynir, et, süt, balık, meyve ve sebze) yüksek su buharı geçirgenliği oldukça önemlidir (Guilbert ve Gontard, 2005).

Su buharı geçirgenliği Fick'in difüzyon yasası ve Henry eşitliği ile kontrol edilmektedir. Bu eşitlik denklem (2.9)'de gösterilmiştir.

$$\frac{dW}{d\theta} = \frac{K A(p_1 - p_2)}{X} = \frac{K A \Delta p}{X} \quad (2.9)$$

Burada $dW/d\theta$; bir günde kazanılan ya da kaybedilen suyun oranını, A; alanı, p_1 ve p_2 ; filmin iki yüzü arasındaki suyun buhar basıncını, Δp ise; $p_1 - p_2$ 'yi ifade etmektedir. K/X oranı aynı zamanda filmin su buharı geçirgenlik oranı olarak da ifade edilmektedir (Labuza, 1982).

Su buharı geçirgenliği üzerine çevresel faktörler ve film bileşimi etki etmektedir. Aynı şekilde plastikleştiricilerin çoğu da migratın geçişini artırır ve camsı geçiş düşürür (Han ve Gennadios, 2005).

2.5.6 Termal özellikler

Yenilebilir filmlerin araştırılan termal özelliklerinden birisi camsı geçiş sıcaklığıdır. Camsı geçiş sıcaklığı maddenin camsı katı halden sıvı hale geçişidir. Bu sıcaklığın altında molekül hareketliliği sınırlı olmakla beraber camsı geçiş sıcaklığının

üzerindeki sıcaklıklarda ise molekküllerin hareketliliği artmaktadır. Moleküler hareketlilikte görülen bu artış molekülün yapısında entalpi değeri ve genleşme katsayısının artması, viskozitenin azalması şeklinde fiziksel değişimleri beraberinde getirmektedir (Akkaya, 2010). Camı geçiş sıcaklığının belirlenmesi için kullanılan en yaygın yöntem Diferansiyel taramalı kalorimetre (DTK) dir. Bu yöntemde referans olarak genellikle boş alüminyum pan kullanılmaktadır. Referans ve örnek kontrollü bir hızda ısıtılmaktadırlar. Isı kapasitesinin arttığı ilk adım camı geçiş noktasını vermektedir (Kalicevsky, 2000).

2.5.7 Mekanik özellikler

Yenilebilir film ve kaplamalar koruyucu olarak bulunduğu gıdayı ya da ambalajı mekanik etkilerin, basıncın, sarsıntının ve diğer mekanik faktörlerin neden olduğu fiziksel zararlardan korur (Han ve Gennadios, 2005). Filmin yeterli mekanik direnci sağlaması istenmektedir. Küçük delikler bu özellikleri olumsuz yönde etkilemektedir.

Filmlerin mekanik özellikleri hakkında bilgi almak amacıyla gerilme direnci, uzayabilirlik, elastiklik modülü, kompresyon dayanımı, delme dayanımı gibi çeşitli testler yapılmaktadır (Han ve Gennadios, 2005). Gerilme gücü filmin gerilme testi esnasında gösterdiği maksimum stresi ifade ederken kırılma esnasındaki uzama oranı bu filme ait gerilme yeteneğini ifade eder (Sarıküş, 2006).

Yapılan çalışmalarda bazı filmlerin uzayabilirlik değerleri yaygın olarak kullanılan plastik filmlerle kıyaslanmış ve bu filmlere göre yenilebilir filmler düşük gerilme direncine sahip olduğu ifade edilmiştir (Han ve Gennadios, 2005). Mekanik özellikler polimer çeşitlerine ve kullanılan katlılara bağlıdır. Hidrokolloidler genellikle mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla plastikleştiriciye ihtiyaç duyarlar. Bunun sebebi düşük çekme dayanımı göstermeleri olarak açıklanmaktadır. Plastikleştirici ilavesine bağlı olarak da uzayabilirlik miktarları değişmektedir (Guilbert ve Gontard, 2005).

Litaratürde polisakkarit filmlere ait gerilme direnci değerleri 10 – 100 MPa iken uzayabilirlik değeri %1–80 arasında olduğu bildirilmiştir. Yaygın olarak kullanılan sentetik polimerlerden oluşturulan filmlerde ise bu değerler; HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen) için 10–60 MPa, LDPE (düşük yoğunluklu poletilen) için 9–20 MPa olup her ikisi için de uzayabilirlik değerleri %1000'in üzerindedir. Bu özellikleri geliştirmek amacıyla plastikleştirici ilave edilebilir ve filmin esnekliği

arttırılabilir. Ancak bu artışın sağlanabilmesi için ilave edilen plastikleştirici filmin gerilme direncini (TS) değerinin azalmasına yol açacaktır. Kitosan (%3) ile elde edilen film çalışmasında farklı konsantrasyonlarda (0.25–0.5 mL/g kitosan) plastikleştirici olarak gliserol ilave edilmiş gerilme direnci 15–35 MPa aralığında uzayabilirlik miktarları ise %17–76 aralığında değişmiş olduğu Skurtys ve diğ. (2010) tarafından bildirilmiştir.

Mekanik özellikleri etkileyici diğer bir önemli nokta sıcaklıktır. Özellikle camsı geçiş sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda fiziksel dayanım keskin bir şekilde azalmaktadır (Han ve Gennadios, 2005).

2.6 Meyvelerden Elde Edilen Yenilebilir Filmler Üzerine Yapılmış Çalışmalar

Gıda ambalajlamasında kullanılabilecek yenilebilir film üretmek amacıyla çok sayıda yenilebilir materyalin sahip olduğu film oluşturma özelliği araştırılmıştır. Bu filmler tamamen sentetik polimerlerin yerine geçememiş ancak etkinliği arttırılabilir olduğu bildirilmiştir. Bu sayede her bir uygulama için gerekli sentetik polimer miktarı azaltılabilmektedir (Azeredo ve diğ., 2009).

Polisakkarit filmler düşük maliyeti ve kolay bulunabilme özelliği nedeniyle film üretiminde sıklıkla kullanılmaktadır. Pektin ve aljinat gıda endüstrisinde jelleştirme ajanı olarak yaygın kullanılan polisakkarittir. Bu polisakkaritler sahip oldukları kolloidal özellikler sayesinde kaplama bileşenleri olarak ilgi çekmektedirler. Aljinat ve pektin (düşük metoksilli pektin) kalsiyum gibi çok değerlikli metal katyonların mevcudiyetinde çözünmeyen polimerler oluşturmaktadırlar (Oms–Oliu ve diğ., 2008).

Yenilebilir film ve kaplamalar sentetik polimerler ile kıyaslandığında zayıf mekanik ve bariyer özelliği göstermektedir. Bu olumsuzluk nedeniyle ticari olarak kullanımı sınırlı kalmaktadır. Bu özellikleri iyileştirmek amacıyla birçok bileşen film yapısına eklenmekte ve bu filmlerin termal, mekanik ve bariyer özelliği zenginleştirilmeye çalışılmaktadır (Azeredo ve diğ., 2009).

Meyve ve sebze püreleri ve konsantreleri film oluşturuca bileşen olarak son zamanlarda çalışmalara konu olmaktadır. Bunun sebebi ise sahip oldukları polisakkarit kompozisyonudur. Film oluşturuca bileşen özelliği içerdikleri pektin, nişasta ve selüloz türevleri gibi polisakkarit bileşiminden kaynaklanmaktadır (Azeredo ve diğ., 2009; Kaya ve Maskan, 2003).

McHugh ve diğ. (1996) yaptıkları çalışmada şeftali ve kayısı pürelerinden yenilebilir film elde ederek bu filmlerin su buharı ve gaz geçirgenliğini incelemişlerdir. Şeftali püresinin iyi bir oksijen bariyeri özelliği gösterdiği ancak iyi bir su buharı bariyeri oluşturamadığını ancak şeftali ve kayısının elma ve armuttan elde edilen püre filmlerine göre daha düşük su buharı geçirgenliğine sahip olduğunu bildirmişlerdir. Farklı konsantrasyonlarda (%0.8–1.6) ilave edilen CaCl_2 ilavesinin filmin geçirgenlik özelliklerine etkisi incelenmiş kalsiyum ilavesinin yüksek bağıl nem ve düşük sıcaklıkta iyi bir oksijen bariyeri özelliği gösterdiği belirtilmiştir.

Rhim (2004) aljinat ve gliserin ile saf suda çözelti hazırlayarak bir film çözeltisi hazırlanmış, çözeltiler kurutularak filmleri iki ayrı metotla oluşturmuştur. Birinci metotta kurutulan filmlere 0.02, 0.04 ve 0.12 g CaCl_2 / 4 g aljinat ilave edilirken (karışım filmi) , ikinci metotta %1, %2, %3 ve %5’lik CaCl_2 çözeltilerinde 5 dakika süre ile tutularak hazırlanmıştır (daldırma filmi). Gerilme direnci ve uzayabilirlik değerlerinde bu iki tip film arasında karışım filmde bir fark bulunmazken, daldırma filmlerinde gerilme direncinde artış uzayabilirlik değerlerinde ise azalış olduğu bildirilmiştir. Daldırma filmlerinde su buharı geçirgenliği azalırken karışım filmlerinde ise azalma gözlenmemiştir. CaCl_2 çözeltisinin %2 üzerindeki konsantrasyonlarında daldırma filmlerinde suda çözünürlük azalarak suya direnç arttığı bildirilmiştir.

Park ve Zhao (2006) yabanmersini posasından sıcak su yardımıyla elde ettikleri ekstrakt ile yenilebilir film üretimini çalışmışlardır. Film yapısını geliştirmek için düşük metoksilli pektin ve yüksek metoksilli pektin %0.5 ve 0.75 oranındaki konsantrasyonlarda kullanılırken buna ilaveten %0.25 sorbitol ve gliserol kullanılmıştır. Düşük metoksilli pektin ve sorbitol içeren film yapısının en iyi su buharı geçirgenliği özelliğine sahip olduğunu bunun aksine yüksek metoksilli pektin ve sorbitol içerikli film yapısının daha elastik olduğunu bildirmişlerdir.

Rojas–Graü ve diğ. (2006) %26 (w/w) konsantrasyona sahip elma püresi çözeltisi hazırlamışlar buna ilave olarak askorbik asit, sitrik asit, gliserol ve yüksek metoksilli pektin ilave etmişlerdir.

Rojas–Graü ve diğ. (2007a) %26 (w/w) konsantrasyonda hazırladıkları elma püresi çözeltisi %2 (w/w) sodyum aljinat solüsyonu ile % 1.5 (w/w) gliserol ilave ederek aljinat-elma püresi içeren film elde etmişlerdir.

Rojas–Graü ve diğ. (2007b) % 26 (w/w) konsantrasyonda hazırladıkları elma püresi çözeltisi %2 (w/w) sodyum aljinat solüsyonu ile % 1.5 (w/w) gliserol,

esmerleşmeyi önleyici olarak N-asetilsistein çapraz bağ oluşturmak için de %2 (w/v) CaCl_2 ilave ederek film oluşturmuşlardır.

Oms-Oliu ve diğ. (2008) aljinat, pektin ve gellan ile yenilebilir kaplama solüsyonu hazırlamış Piel de Sapo cinsi dilimlenmiş kavunda etkisini incelemiştir. Bu kaplamaların su buharı direnci sağladığı dolayısıyla da dehidrasyonu engellediği bildirilmiştir. %2'lik CaCl_2 çapraz bağ oluşturması amacıyla ilave edilmiştir. Pektin kaplamaların ise en iyi duyusal katkısı sağladığını gözlemlemiştirler.

Azeredo ve diğ. (2009) mango püresine mekanik ve bariyer özelliklerini geliştirmek amacıyla belirli oranlarda (1–36 g/100 g mango püresi) selüloz nanofiberleri ilave ederek film oluşturmuşlardır. Mango püresinden oluşturulan filmde selüloz nanofiberlerin mekanik özellikleri geliştirdiği, elastiklik modülü önemli ölçüde etkilenmiş, uzayabilirlik 10 g/100 g konsantrasyona kadar önemli ölçüde değişmezken su buharı geçirgenliği ise 10 g /100g'dan itibaren önemli ölçüde azalma olduğunu saptamışlardır.

Du ve diğ. (2009) %30 (w/w) oranında %31 °Bx derecesine sahip sıcak domates püresi, %70 oranında %3 (w/w)'lük pektin çözeltisi (yüksek metoksilli pektin-1400) ilave edip bu püreye %0.5, %1, %1.5 ve %3 (w/w) oranındaki konsantrasyonlarda yağlar ilave film çözeltisini hazırlamışlardır.

Wang ve diğ. (2011) havuç püresini karboksi metil selüloz, mısır nişastası ve jelatin ilavesiyle geliştirip yenilebilir film üretmişlerdir. Bu çalışmada jelatin ve karboksi metil selüloz ilavesinin oksijen geçirgenliği, su buharı geçirgenliği ve uzayabilirlik üzerine önemli etkide bulunmadığı ancak gerilme direnci üzerinde önemli ölçüde etkili olduğu, mısır nişastası içeriğinin önemli ölçüde gerilme direnci ve su buharı geçirgenliğini geliştirdiği, gliserol içeriğindeki artışın ise gerilme direncini azaltırken uzayabilirlik miktarlarını arttırdığı bildirilmiştir.

3.MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Materyal

Araştırmada yenilebilir film üretiminde kullanılan materyaller; ana bileşen meyve kaynağı olarak ak dut (*Morus alba*) pekmezi ve kara dut (*Morus nigra*) pekmezi (Gümüşhane ve Samsun piyasası), plastikleştirici (film esnekliğini geliştirici) olarak gliserol (Merck, 104092) viskolastik özellikleri geliştirici olarak sodyum aljinat (Adler) ve düşük metoksilli pektin (LMA, Benosen), aljinat ve pektin ile çapraz bağ oluşturma amacıyla kalsiyum klorür (Merck) şeklinde belirlenmiştir.

Adsorpsiyon izoterminde kullanılan LiCl (SALT-11, 1110930), MgCl₂ (SALT-33, 1110932), MgNO₃ (SALT-58, 2600189), NaCl (SALT-75, 1110936), KCl (SALT-84, 1119886) ve K₂SO₄ (SALT-97, 1119887) doymuş tuz standartları Novasina AG (İsviçre) firmasından satın alınmıştır.

Analizler için gerekli bağıl nem ortamını sağlamak amacıyla kullanılan Mg(NO₃)₂ Sigma-Aldrich (13129) firmasından, SiO₂ ise Tekkim firmasından temin edilmiştir.

Film üretiminde kullanılmak amacıyla temin edilen pekmezler kavanoz cam ambalajlarda oda sıcaklığında depolanmıştır.

3.2 Yöntem

3.2.1 Pekmezlerin özellikleri

Yenilebilir filmlerin üretiminde ana materyal olarak seçilen ak ve kara dut pekmezlerinde bazı analizler gerçekleştirilmiştir. Pekmezlerin pH değerleri Jenco Electronics, 6173 marka pH metre yardımı ile ölçülmüştür. Pekmezin suda çözünür kuru maddesi (briks) ise 20°C’de dijital refraktometre (WYA-2S) ile belirlenmiştir. Ak dut ve kara dut pekmezlerinin farklı konsantrasyonlara ait (26, 32 ve 38 °Bx) ait absorbans ve transmittans değerleri 480, 600, 720 ve 760 nm dalga boyunda UV spektrofotometre (Shimadzu, UV-1800, Kyoto, Japonya) ile okunmuştur.

3.2.2 Hidrokolloidlerin özellikleri

Çalışmada kullanılan hidrokolloidler (sodyum aljinat ve pektin) %2' lik çözeltilerine ait absorbens ve transmittans değerleri 480, 600, 720 ve 760 nm dalga boyunda UV-spektrofotometre (Shimadzu, UV-1800, Kyoto, Japonya) ile okunmuştur.

3.2.3 Yenilebilir film çözeltilerinin özellikleri

3.2.3.1 Reolojik özellikler

Film çözeltilerinin reolojik ölçümleri Haake Mars III (Thermo Scientific, Almanya) cihazı ile yapılmıştır. 35 mm çapa, 2° açığa sahip konik plaka kullanılmıştır. Plakalar arası mesafe 0.104 mm ayarlanmıştır. 1–100 s⁻¹ kayma hızında 20 °C' de akış eğrisi testi yapılmış olup ölçümler her bir çözelti için beş paralelli olarak yapılmıştır (Wu ve diğ., 2013).

3.2.3.2 Absorbans ve transmittans değerleri

Film çözeltilerine ait absorbens ve transmittans değerleri 520, 600, 680, 700, 720 ve 760 nm dalga boyunda UV spektrofotometre (Shimadzu, UV-1800, Kyoto, Japonya) ile okunmuştur.

3.2.4 Yenilebilir filmlerin özellikleri

Ak ve kara dut pekmezlerinin farklı konsantrasyonlardan (26, 32 ve 38 °Bx) aljinat, pektin ve kalsiyum klorür katılarak film çözeltileri hazırlanmış, bunlardan yenilebilir filmler üretilmiştir. Yapılan uygulamalar aşağıda verilmiştir.

3.2.4.1 Yenilebilir film çözeltilerinin hazırlanması ve film üretilmesi

Film çözeltileri metot üzerinde biraz değişiklik yaparak Norajit ve diğ. (2010)'a göre hazırlanmıştır. Buna göre, sodyum aljinat/ pektin (2 g) ve CaCl₂ (0.01 g) tartılıp 100 ml saf su ilave edilmiştir. Bu çözelti ısıtıcılı manyetik karıştırıcıda 70°C'de tamamen berraklaşmaya kadar ısıtılır. Berrak hale gelen karışıma sodyum aljinat/ pektin ve CaCl₂'ün %1.5 katı gliserol ilave edilmiştir. Bu karışıma sırasıyla 20 g pekmez (26, 32 ve 38 °Bx ak ve kara dut pekmezleri) ilave edilmiştir. Çözünmeyen kısım ve hava kabarcıklarını gidermek amacıyla 2290 g kuvvetinde 15 dakika santrifüj (Hettich Zentrifugen, İsviçre) edilmiştir. Bu karışım 13 cm iç çapa sahip teflon kalıplara dökülmüştür. Daha sonra 40 °C'de 24 saat süreyle etüvde kurumaya bırakılmıştır.

Kurutulan aljinat filmler süre sonunda %2'lik CaCl_2 çözeltisine 15 saniye kadar daldırılmış oda sıcaklığında kuruyuncaya kadar bekletilmiştir.

3.2.4.2 Renk ve opaklık

Filmlerin renkleri CIE (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu)'ye göre $L^*a^*b^*$ sistemi ile ifade edilmiştir. Üç boyutlu sistemde eksenler L^* , a^* , b^* dir. L^* değeri açıklığı/aydınlığı ifade eder ve 0 ile 100 arasındadır. 100 değeri beyaza karşılık gelirken 0 değeri siyaha karşılık gelmektedir. a^* değeri, (+) pozitif olması durumunda kırmızıya karşılık gelirken (–) negatif olması durumunda ise yeşili ifade etmektedir. b^* değeri ise (+) pozitif olması durumunda sarıya karşılık gelirken (–) negatif olması durumunda ise mavi rengi ifade etmektedir. a^* ve b^* değerinin minimum ve maksimum değerleri –60 ile 60'tır. Filmlerin renk değerleri reflektans kalorimetresi (Konica Minolta Chroma Meter, CR–400, Japonya) ile belirlenmiştir. Film yüzeyinden üç farklı noktada ölçümler alınmıştır.

Opaklık değeri için dikdörtgen şeklinde kesilen filmler UV spektrofotometre (Shimadzu, UV–1800, Kyoto, Japonya) hücrelerine yerleştirilmiş 600 nm dalga boyunda absorbans değeri okunmuştur. Her bir filminden 2 paralelli olarak çalışılmıştır. Opaklık değeri denklem (3.1)'e göre hesaplanmaktadır.

$$\text{Opaklık} = \text{Abs}_{600} / x \quad (3.1)$$

Eşitlikte; x: kalınlık (mm), Abs_{600} : 600 nm dalga boyunda okunan absorbans değeridir.

3.2.4.3 Nem adsorpsiyon izotermi

Nem adsorpsiyon izotermi ölçümleri için higrometrik metot kullanılmıştır. Çalışmada %11 (LiCl), %33 (MgCl_2), %58 (MgNO_3), %75 (NaCl), %84 (KCl) ve %97 (K_2SO_4) bağıl neme sahip doymuş tuz standartları kullanılmıştır. Su aktivitesi cihazıyla (Novasina Lab master) kontrol edilmiştir. Cihazın kalibrasyonu %33 (SALT–T) bağıl neme sahip kalibrasyon tuzu ile yapılmıştır. Cenvenka ve diğ. (2008)'in metodu biraz değiştirilerek ölçüm yapılmıştır. Buna göre 2x2 ebatında kesilen film örnekleri cihazın hücrelerine yerleştirilmiştir. Ölçüm 25°C'de yapılmıştır. Sıcaklık ve a_w değerlerinin 15 dakika boyunca sabit kaldığı (sıcaklığın 0.1°C ve a_w 'nin 0.001 ve değişmediği) noktada cihaz ikaz vermekte ve okunan a_w değerine

karşılık gelen ağırlık miktarı kaydedilmektedir. Film örneklerinin adsorpsiyon izotermi verileri için her bir tuz çözeltisinde 3 ölçüm alınmıştır.

3.2.4.4 Su buharı geçirgenliği

Su buharı geçirgenliği (SBG) ölçümleri gravimetrik olarak ASTM (Amerikan Standart Test Metotları) E96–10’da yapılan bazı değişiklikler ile belirlenmiştir (URL–2). Bu yöntemle göre, $Mg(NO_3)_2$ ile oluşturulan $\%53 \pm 2$ ’lik bağıl nem ortamında dengeye getirilen filmler 1 g slika ($\%0$ bağıl neme sahip) konulan 25 mL’lik erlenin ağız kısmına yerleştirilmiştir. Erimiş parafin ile kenarları kaplanmıştır. Erlen desikatöre konulmuştur. Desikatör içerisine $\%98 \pm 2$ bağıl neme sahip $25^\circ C$ destile su konulmuştur. 24 saatlik analiz süresi içerisinde $25 \pm 0.5^\circ C$ bekletilen örnekler bir saatlik periyotlar içerisinde tartılmıştır. Tartımlar 0.0001 g duyarlılıkta hassasiyete sahip terazi (And, GR–200, Japonya) kullanılarak yapılmıştır. Her bir film için üç paralelli çalışılmıştır. Analiz öncesinde slika $180^\circ C$ de 3 saat kurutulmuştur (Wu ve diğ., 2013; Tanaka ve diğ., 2001).



Şekil 3.1: SBG deneyinin şematik hali ve ağırlık zaman grafiği (Labuza ve Altunakar, 2007).

Hesaplamalar için ağırlık–zaman grafiğinin (Şekil 3.1) lineer olduğu bölge ($R^2 \geq 0.98$)’de denklem (3.2)’deki eşitliğe göre yapılmıştır.

$$SBG = \frac{\Delta M d}{A t \Delta p} \quad \Delta p = S(R_1 - R_2) \quad (3.2)$$

Burada; Δm : Filmin kazanmış olduğu ağırlık miktarı (g), d: Film kalınlığı (mm), A: Film geçirgenlik alanı (mm^2), t: analiz süresi (sa), Δp : Filmin iki tarafı arasındaki basınç farkı (Pa), R_1 : Desikatör ortamının bağıl nemi, R_2 : Erlenin (slika) iç ortamının bağıl nemi ($\%0$), S: Suyun kullanılan sıcaklıktaki doymuş buhar basıncı, SBG: Su buharı geçirgenliğini ($gm^{-1}s^{-1}Pa^{-1}$) ifade etmektedir.

3.2.4.5 Suda çözünürlük

Suda çözünürlük, suda 24 saat boyunca bekletilen filmin kuru maddesinin yüzde olarak ölçülmesi şeklinde tanımlanmıştır. 103 °C’de 24 saat kurutulan örnek tartılmıştır ve başlangıç ağırlığı olarak belirlenmiştir (S_0). Tartılmış örnekler 30 mL destile su ilave edilir, 25 °C periyodik olarak karıştırılmıştır (Ika, KS 4000). Suda çözünmeyen kısım filtre edilmiş, kurutulmuş ve tartılmıştır (S_1). Deneme 3 paralelli olarak yapılmıştır (Nair ve ark., 2011). Hesaplama denklem (3.3)’deki gibidir.

$$\text{Çözünürlük (\%)} = \left(\frac{S_0 - S_1}{S_0} \right) \times 100 \quad (3.3)$$

3.2.4.6 Termal özellikler

Filmlerin termal özellikleri Diferansiyel taramalı kalorimetre (Perkin–Elmer DSC 4000, Boston, A.B.D) ile belirlenmiştir. Cihazın kalibrasyonu indiyum standardı ile yapılmıştır. Yaklaşık 3–5 mg örnek 30 µL hacme sahip alüminyum kaplara (pan) tartılmıştır ve kaplar hermetik olarak kapatılmıştır. Referans örnek olarak içinde örnek olmayan boş bir kap hermetik olarak kapatılarak kullanılmıştır. Nitrojen gazı altında 10 °C dk⁻¹ sıcaklık taraması ile –50 °C ile 200 °C ’de çalışma yapılmıştır. İlk aşamada izotermal çalışma yapılmıştır ve –50 °C’ye getirilen örnek 1 dakika bu sıcaklıkta bekletilmiştir. Süre sonunda 200 °C’ye kadar dakikada 10 derece artışla sıcaklık taraması yapılmıştır. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DTK) cihazının özellikleri ile seçilen ve uygulanan bazı parametreler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

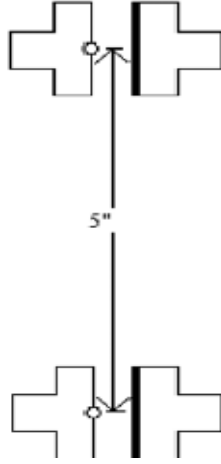
Çizelge 3.1: Diferansiyel taramalı kalorimetre (DTK)’ye ait parametreler.

Cihaz	Perkin–Elmer DTK
Software	Pyris
Yöntem	Iso/Scan
Kalibrasyon	İndiyum (erime noktası: 156.6 °C)
Örnek kabı	Perkin–Elmer alüminyum hermetik pan
Soğutucu gaz	Sıvı azot
Isıtma hızı	10 °C / dakika
İzotermal bekleme süresi	1 dakika
Başlangıç sıcaklığı	–50 °C
Bitiş sıcaklığı	200 °C
Örnek miktarı	3–5 mg

3.2.4.7 Mekanik özellikler

Film kalınlıkları dijital mikrometre (Mitutoyo, Manufacturing Co. Ltd., Japonya, hassasiyet = 0.001) ile film yüzeyinin en az sekiz farklı noktasından yapılan ölçümlerin ortalaması alınarak belirlenmiştir.

Filmlerin gerilme direnci (TS), uzayabilirlik (%E) tekstür cihazı (Texture Analyzer, TA.XT Plus, Stable Micro System, Godalming, İngiltere) ile ölçülmüştür. Kullanılan prob germe probudur (Şekil 3.2).



Şekil 3.2: Tekstür analizinde kullanılan çekme–germe probu

Maksimum kuvvet ve uzama miktarı cihaz tarafından verilmektedir. Filmler 10× 50 mm ebatlarında kesilerek ölçüm öncesinde %53±2’ lik bağıl nem ortamında 48 saat süre ile dengeye getirilmiştir. Hesaplamalar denklem 3.4 ve 3.5’e göre yapılmıştır.

$$\%E = 100 \times \frac{l-l_1}{l_1} \quad (3.4)$$

$$TS(MPa) = \frac{\text{Maksimum kuvvet(N)}}{\text{Kalınlık(mm)} \times \text{Genişlik(mm)}} \quad (3.5)$$

Burada, l_1 :başlangıç anında film uzunluğu(mm) l : kopma anında film uzunluğu(mm) dur.

3.2 İstatistik Değerlendirme

Denemeler üç tekerrürlü olarak yapılmıştır. İstatistik analiz için SPSS16 paket programı kullanılmıştır. Araştırma sonucunda elde ettiğimiz verilerin istatistik kontrolü Varyans analizi ile yapılmış, ortalamalar arasındaki farklılıklar ise Duncan çoklu karşılaştırma ile belirlenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Pekmezlerin Özellikleri

Tez çalışmamıza konu olan yenilebilir film üretiminde hammadde olarak kullanılan ve piyasadan temin edilen ak dut ve kara dut pekmezlerinde pH değerleri ölçülmüştür. Ölçümler sonucunda pH değeri ak dut pekmezinde 5.2, kara dut pekmezinde ise 4.1 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.1).

Çalışmada hammadde olarak seçtiğimiz ak dut ve kara dut pekmezleri analiz edilmiştir. Pekmezlerde suda çözünür kuru madde ($^{\circ}\text{Bx}$) değerlerine ilişkin elde edilen analiz sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Çizelge’den görüldüğü gibi ak ve kara dutlardan yapılan pekmezlerde suda çözünür kurumadde değerleri sırasıyla, 75 ve 76.5 $^{\circ}\text{Bx}$ olarak belirlenmiştir. TS 12001 Dut Pekmezi Standardı’na göre dut pekmezinin suda çözünür kuru madde miktarı en az tip-1 için %72, tip-2 için %65 olmalıdır. Buna göre pekmezler ait bulgularımız TS 12001’e uygundur.

Çizelge 4.1: Yenilebilir film üretiminde kullanılan pekmezler ait pH ve $^{\circ}\text{Bx}$ değerleri.

Pekmez çeşidi	pH	$^{\circ}\text{Bx}$
Ak dut	5.2	75
Kara dut	4.1	76.5

Absorbans kısaca optik yoğunluk, transmittans ise geçirgenlik olarak ifade edilmektedir. Transmittans ışığın çözeltiye girdikten sonra ne kadarının dışarıya çıktığını ifade etmektedir. Absorbans ile aralarında denklem (4.1) deki gibi bir ilişki vardır.

$$A = 2 - \log T \quad (4.1)$$

Pekmezler ait farklı dalga boylarında (görünür bölgede) absorbans değerleri incelenmiştir. Absorbans değerlerine ilişkin yaptığımız testlerin sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir. Pekmezlerin 480 nm dalga boyunda yapılan ölçümlerde gerek ak dut gerekse de kara dut pekmezlerinin hazırlanan konsantrasyonlarında absorbans

değeri tespit edilememiştir. Diğer dalga boylarında (600, 720 ve 760 nm) yapılan testler sonucunda absorbens değerleri ak dut pekmezlerinde 0.979 ile 3.578, kara dut pekmezlerinde ise 0.5 ile 1.95 arasında saptanmıştır.

Pekmezlerin 480 nm dalga boyunda yapılan ölçümlerde gerek ak dut gerekse de kara dut pekmezlerinin hazırlanan konsantrasyonlarında absorbens değeri tespit edilememiştir. Bu durum %1 transmittans değerine karşılık gelen absorbens değerinin 2 (denklem 4.1) olmasından kaynaklanmaktadır. Kısaca 600 nm'den daha düşük dalga boylarında % transmittans değerleri okunamamaktadır. Genellikle çalışmalarda absorbens değerinin 0–2 olduğu aralık kullanılmaktadır. Bu aralık aynı zamanda % transmittans değerinin 1–100 arasında olduğu değere tekabül etmektedir (URL–3). Diğer dalga boylarında (600, 720 ve 760 nm) yapılan testler sonucunda absorbens değerleri ak dut pekmezlerinde 0.979 ile 3.578, kara dut pekmezlerinde ise 0.5 ile 1.95 arasında saptanmıştır.

Çizelge 4.2: Yenilebilir film üretiminde kullanılan pekmezlerin farklı dalga boylarındaki absorbens (A) ve transmittans (% T) değerleri.

Pekmez çeşidi	°Bx	480 nm		600 nm		720 nm		760 nm	
		A	%T	A	%T	A	%T	A	%T
Ak dut	26	–	–	2.619	0.2	1.181	6.6	0.979	10.5
	32	–	–	3.283	0.1	1.425	3.8	1.155	7.0
	38	–	–	3.578	–	1.533	2.9	1.536	2.9
Kara dut	26	–	–	1.329	4.7	0.591	25.7	0.500	31.7
	32	–	–	1.668	2.2	0.713	19.4	0.625	23.7
	38	–	–	1.95	1.1	0.802	15.7	0.669	21.5

Okuma yapılabilen dalga boylarında, ak dut pekmezleri, kara dut pekmezine göre, daha yüksek absorbens ve daha düşük transmittans göstermiştir (Çizelge 4.2). Absorbansın daha yüksek olması çıkan ışığın daha az olması veya ışığın çözelti tarafından daha çok emildiği anlamında ifade edilmektedir. Buna göre, tezimizde incelediğimiz ak dut pekmezlerinin kara dut pekmezlerine göre ışığı daha fazla absorbe ettiği söylenebilmektedir ve ak dut pekmezinin daha koyu olduğu sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Pekmezlerdeki toplam şeker, invert şeker, çözünür kurumadde bileşenleri arasındaki farklılıklar dikkate alınırsa bu durum normal karşılanabilir.

Pekmezlerin farklı dalga boylarında absorbens ve %T değerlerini incelediğimizde ak ve kara dut pekmezlerinde konsantrasyon arttıkça absorbens değerlerinin arttığını ve karşılık gelen %T değerlerinin azaldığı anlaşılmıştır (Çizelge

4.2). Lambert Beer kanununa göre absorbans konsantrasyon ile doğru orantılıdır (Yetim ve Çam, 2009). Araştırmamızda elde ettiğimiz sonuçlar bu kanunu doğrulamaktadır.

4.2. Hidrokolloidlerin Özellikleri

Çalışmamızda aljinat ve pektinin %2'lik çözeltileri kullanılmıştır. Hidrokolloidlere ait dört farklı dalga boyundaki (480, 600, 720 ve 760 nm) absorbans değerleri Çizelge 4.3a'da verilmiştir. Ölçüm yapılan bu dalga boylarında en düşük ve en yüksek absorbans değerleri aljinat çözeltisinde (%2'lik) 0.115 ve 0.177, pektin çözeltisinde (%2'lik) 0.365 ve 0.869 olarak saptanmıştır.

Çizelge 4.3a: Yenilebilir film üretiminde kullanılan aljinat ve pektin çözeltilerinin (%2'lik) farklı dalga boylarındaki absorbans değerleri.

Hidrokolloid çeşidi	Dalga boyu			
	480 nm	600 nm	720 nm	760 nm
Aljinat	0.177	0.137	0.117	0.115
Pektin	0.869	0.396	0.396	0.365

Aljinat ve pektin çözeltilerinin absorbans değerleri dalga boyu arttıkça azalmıştır (Çizelge 4.3a). Turuncu rengin gözlemlendiği 600 nm'de çözeltide pektin aljinata göre daha yüksek absorbans vermiştir. Pektin çözeltisinde hakim renk sarı-turuncudur.

Aljinat ve pektinin %2'lik çözeltilerine ait dört farklı dalga boyundaki (480, 600, 720 ve 760 nm) transmittans değerleri Çizelge 4.3b'de verilmiştir. Transmittans aljinat çözeltisinde 66.6–76.8, pektin çözeltisinde 13.5–43.4 olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.3b: Yenilebilir film üretiminde kullanılan aljinat ve pektin çözeltilerinin (%2'lik) farklı dalga boylarındaki transmittans değerleri.

Hidrokolloid çeşidi	Dalga boyu			
	480 nm	600 nm	720 nm	760 nm
Aljinat	66.6	74.3	76.5	76.8
Pektin	13.5	40.2	40.2	43.4

4.3. Yenilebilir Film Çözeltilerinin Özellikleri

Tez çalışmamızda ifadelerin kısa ve anlaşılır olması için bazı kodlamalar yapılmıştır. Buna göre “AA” ile ak dut ve aljinat, “AP” ile ak dut ve pektin, “KA” ile kara dut ve

aljinat, “KP” ile kara dut ve pektin ile elde edilen yenilebilir filmleri gösterirken 1 ile 26 °Bx, 2 ile 32 °Bx ve 3 ile de 38 °Bx konsantrasyon ifade edilmektedir. Örneğin; AA1 kodu ile 26 °Bx konsantrasyonlu ak dut pekmezinden Na– aljinat ilave edilerek yapılan yenilebilir film çözeltisi veya filmleri ifade etmektedir.

4.3.1 Absorbans ve transmittans değerleri

Yenilebilir film üretimi için pekmez, hidrokolloid (Na–aljinat veya pektin), CaCl₂ ve gliserol karışımından hazırlanan çözeltilerde absorbans ve transmittans değerleri 520, 600, 680, 700, 720 ve 760 nm dalga boyunda UV–spektrofotometre ile okunmuştur (Çizelge 4.4a ve b). Çizelge 4.4a incelendiğinde, film çözeltilerinin en düşük ve en yüksek absorbans değerleri ak dutlarda 0.27 ve 1.674, kara dutlarda 0.124 ve 1.165 ölçülmüştür. Transmittans değerleri (%) ise ak dutlarda 2.1–53.6, kara dutlarda 6.6–65.2 arasında saptanmıştır (Çizelge 4.4b).

Genel ortalama değerler açısından, 520, 600, 680, 700, 720 ve 760 nm dalga boylarında absorbans değerleri sırasıyla ak dut çözeltileri için 1.477, 0.748, 0.460, 0.415, 0.384 ve 0.333, kara dut çözeltileri için 0.907, 0.482, 0.314, 0.299, 0.264 ve 0.229 olarak tespit edilmiştir.

Ortalama değerler arasında herhangi bir farklılığın olup olmadığını belirlemek için Varyans analizi yapılmıştır (Çizelge 4.5a, b). Bu analizler sonucunda, Pekmez çeşitleri ve konsantrasyonları ile gam çeşitlerinin (680 nm hariç) farklı dalga boylarında yenilebilir film çözeltilerinin absorbans ve transmittans değerleri üzerinde 0.01 seviyesinde istatistik önemde etkide bulunduğu anlaşılmıştır.

Ak dut film çözeltilerine ait genel ortalama absorbans değeri (0.636), kara dutlara ait değerden (0.415) daha yüksek tespit edilmiştir ($p<0.01$).

Absorbans değerlerinin ölçüldüğü dalga boylarından 520 nm’de yeşil renk, 760 nm’de ise kırmızı renk hakimdir. Araştırmamızda üretilen yenilebilir film çözeltilerinin tamamında absorbans değeri en yüksek 520 nm’de, en düşük ise 760 nm’de ölçülmüştür ($p<0.05$). Bu sonuca göre yenilebilir film çözeltilerinin yeşil renk bölgelerinde veya yakınlarında olduğu ileri sürülebilir.

Turuncu rengin hakim olduğu 600 nm, turuncu–kırmızı renk çizgisinde yer alan 680 nm, kırmızı renk bölgesini gösteren 700, 720 ve 760 nm dalga boylarında ak dut pekmezi içeren film çözeltilerinde aljinat daha yüksek absorbansa sebep olmuştur.

Çizelge 4.4a: Yenilebilir film çözeltilerinin farklı dalga boylarında absorbans (A) değerleri.

Film kodu*	Dalga boyu (nm)					
	520	600	680	700	720	760
AA1	1.455±0.003 ^b	0.713±0.004 ^d	0.426±0.002 ^d	0.379±0.008 ^d	0.350±0.005 ^d	0.291±0.006 ^e
AA2	1.476±0.001 ^b	0.776±0.002 ^c	0.472±0.001 ^c	0.427±0.001 ^c	0.390±0.001 ^c	0.337±0.001 ^c
AA3	1.674±0.007 ^a	0.853±0.003 ^b	0.530±0.005 ^b	0.480±0.006 ^b	0.440±0.002 ^b	0.376±0.004 ^b
AP1	1.217±0.001 ^d	0.606±0.003 ^f	0.370±0.002 ^{ef}	0.317±0.015 ^f	0.308±0.002 ^e	0.270±0.002 ^{fg}
AP2	1.361±0.010 ^c	0.646±0.003 ^e	0.384±0.005 ^e	0.348±0.004 ^e	0.317±0.005 ^e	0.279±0.001 ^{ef}
AP3	1.673±0.029 ^a	0.890±0.018 ^a	0.582±0.017 ^a	0.536±0.017 ^a	0.498±0.016 ^a	0.442±0.015 ^a
KA1	0.668±0.004 ⁱ	0.361±0.014 ^j	0.240±0.010 ⁱ	0.218±0.008 ^h	0.189±0.004 ⁱ	0.124±0.006 ⁱ
KA2	0.780±0.002 ^h	0.392±0.001 ⁱ	0.243±0.001 ⁱ	0.221±0.002 ^h	0.207±0.002 ^h	0.190±0.004 ⁱ
KA3	0.896±0.003 ^g	0.445±0.002 ⁱ	0.412±0.029 ^d	0.247±0.005 ^g	0.230±0.002 ^g	0.206±0.002 ^h
KP1	0.876±0.017 ^g	0.496±0.003 ^h	0.340±0.012 ^g	0.306±0.002 ^f	0.287±0.005 ^f	0.264±0.005 ^g
KP2	1.030±0.007 ^f	0.561±0.007 ^g	0.364±0.006 ^f	0.324±0.006 ^f	0.308±0.004 ^e	0.274±0.003 ^{fg}
KP3	1.165±0.026 ^e	0.635±0.006 ^e	0.286±0.005 ^h	0.379±0.025 ^d	0.360±0.022 ^d	0.317±0.018 ^d

*: AA: ak dut ve aljinat, AP: ak dut ve pektin, KA: kara dut ve aljinat, KP: kara dut ve pektin; Konsantrasyonlar; 1: 26 °Bx, 2: 32 °Bx, 3: 38 °Bx olarak ifade edilmiştir.

^{a-i} Aynı sütunda aynı harfle işaretli ortalamalar arasındaki fark önemsizdir ($p>0.05$).

Çizelge 4.4b: Yenilebilir film çözeltilerinin farklı dalga boylarında transmittans (%T) değerleri.

Film kodu*	Dalga boyu (nm)					
	520	600	680	700	720	760
AA1	3.467±0.058 ^h	19.300±0.173 ^h	37.533±0.153 ^g	41.767±0.751 ^e	44.467±0.462 ^f	51.267±0.723 ^f
AA2	3.333±0.058 ^h	16.733±0.058 ⁱ	33.667±0.058 ^h	37.467±0.058 ^f	40.733±0.115 ^g	46.067±0.058 ^h
AA3	2.167±0.058 ⁱ	13.933±0.115 ⁱ	29.500±0.361 ⁱ	33.067±0.462 ^g	36.300±0.173 ^h	42.000±0.265 ⁱ
AP1	6.067±0.058 ^f	24.700±0.173 ^f	42.767±0.231 ^{de}	48.133±1.686 ^c	49.500±0.200 ^e	53.633±0.289 ^{de}
AP2	4.300±0.100 ^g	22.533±0.231 ^g	41.267±0.462 ^e	44.867±0.379 ^d	48.200±0.520 ^e	52.600±0.173 ^{ef}
AP3	2.100±0.173 ⁱ	12.800±0.529 ^j	26.200±1.058 ⁱ	29.067±1.155 ^h	31.767±1.250 ⁱ	36.100±1.229 ⁱ
KA1	21.367±0.208 ^a	43.500±1.353 ^a	57.500±1.300 ^a	60.533±1.106 ^a	64.733±0.513 ^a	75.133±0.961 ^a
KA2	16.600±0.100 ^b	40.433±0.115 ^b	57.067±0.058 ^a	60.133±0.289 ^a	62.133±0.252 ^b	64.533±0.666 ^b
KA3	12.667±0.115 ^c	35.800±0.100 ^c	38.733±2.566 ^f	56.633±0.651 ^b	58.833±0.208 ^c	62.167±0.231 ^c
KP1	12.733±0.513 ^c	31.833±0.208 ^d	45.700±1.153 ^c	49.500±0.000 ^c	51.567±0.603 ^d	54.400±0.557 ^d
KP2	9.333±0.153 ^d	27.400±0.436 ^e	43.300±0.600 ^d	45.767±2.065 ^d	49.167±0.493 ^e	53.167±0.289 ^{de}
KP3	6.657±0.311 ^e	23.167±0.321 ^g	51.667±0.681 ^b	41.800±2.750 ^e	43.600±2.476 ^f	48.200±2.179 ^g

*: AA: ak dut ve aljinat, AP: ak dut ve pektin, KA: kara dut ve aljinat, KP: kara dut ve pektin; Konsantrasyonlar; 1: 26 °Bx, 2: 32 °Bx, 3: 38 °Bx olarak ifade edilmiştir.

^{a-j} Aynı sütunda aynı harfle işaretli ortalamalar arasındaki fark önemsizdir ($p>0.05$).

Çizelge 4.5a: Yenilebilir film çözeltilerinin farklı dalga boylarındaki absorbans değerlerine ait varyans analizi sonuçları.

VK Dalga boyu (nm)	F Değeri						
	Pekmez çeşidi (A)	Hidrokolloid çeşidi (B)	Konsantrasyon (C)	(A*B)	(A*C)	(B*C)	(A*B*C)
520	1.280E4**	178.032**	1.211E3**	1.315E3**	54.033**	68.516**	30.466**
600	5.975E3**	199.901**	799.685**	1.126E3**	98.209**	90.012**	40.563**
680	1.742E3**	0.009	375.586**	79.565**	78.935**	29.665**	311.821**
700	55.352**	13.401**	15.850**	29.898**	7.109**	2.336*	3.809*
720	1.104E3**	157.730**	284.014**	317.192**	57.150**	48.258**	17.913**
760	1.169E3**	313.681**	373.504**	369.255**	56.666**	54.171**	36.681**
SD	1	1	2	1	2	2	1

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$. SD: serbest değişken, VK: varyasyon kaynağı, n=3.

Çizelge 4.5b: Yenilebilir film çözeltilerinin farklı dalga boylarındaki transmittans değerlerine ait varyans analizi sonuçları.

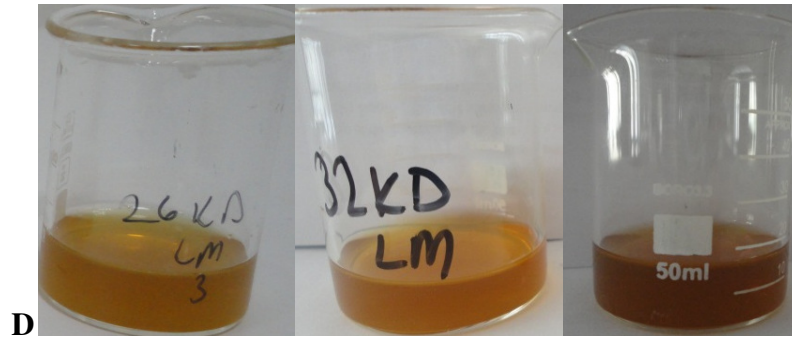
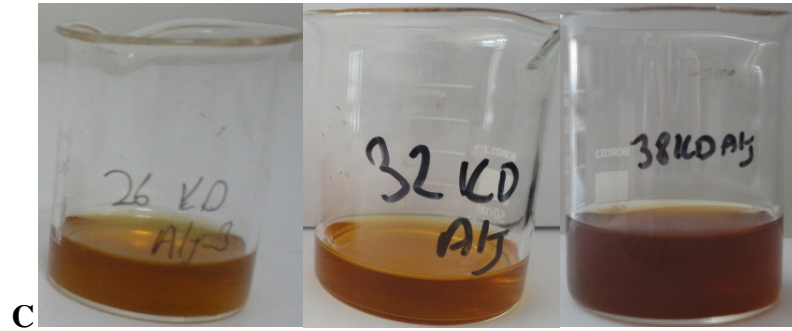
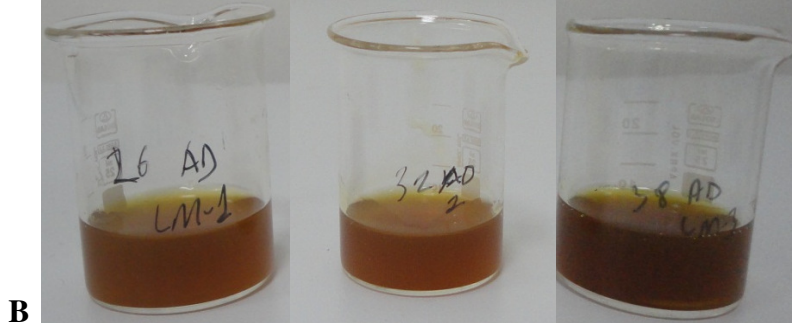
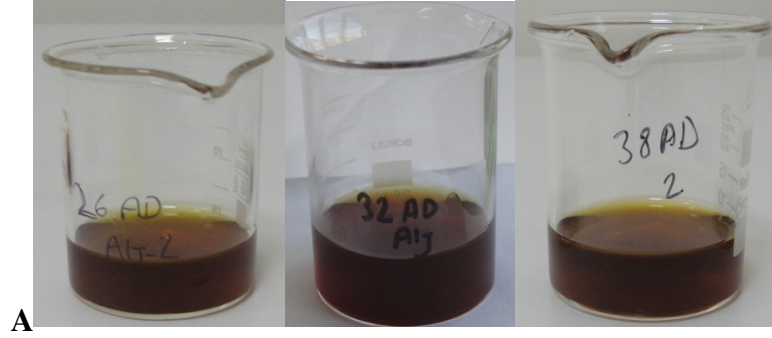
VK Dalga boyu (nm)	F Değeri						
	Pekmez çeşidi (A)	Hidrokolloid çeşidi (B)	Konsantrasyon (C)	(A*B)	(A*C)	(B*C)	(A*B*C)
520	19998.684**	2020.235**	1795.967**	3848.608**	417.933**	0.366	125.854**
600	9794.482**	857.851**	1003.163**	2592.415**	12.640**	57.617**	50.704**
680	1727.472**	2.408	290.476**	123.114**	29.006**	64.173**	318.108**
700	1029.307**	149.284**	197.182**	402.073**	35.003**	27.888**	14.613**
720	2025.320**	364.498**	418.350**	787.271**	47.296**	55.869**	25.162**
760	1969.368**	633.497**	579.521**	822.309**	45.213**	70.258**	59.727**
SD	1	1	2	1	2	2	1

*, $p < 0.05$, **, $p < 0.01$. SD: serbest değişken, VK: varyasyon kaynağı, n=3.

Genel olarak, pektin ile kıyaslandığında, aljinat ilavesinin ak dut filmlerinde absorbans değerlerini önemli düzeyde arttırdığı tespit edilmiştir. Kara dut pekmezlerinde ise tam tersi durum söz konusudur ve pektin ilavesi absorbans değerlerini arttırmıştır. Meydana gelen farklılıklar aljinatın ak dut, pektinin ise kara dut pekmezleri ile birbirinden farklı ilişkiler göstermesinden kaynaklanmış olabilir. Bu bulgular; gıdaların özellikle ışıkla ilgili oksidasyon, bozulma ve raf ömrü konuları ile ilişkilendirilebilir.

Yenilebilir film çözeltilerinin absorbansları üzerinde pekmez konsantrasyonlarından kaynaklanan farklılıkların hangi ortalamalar arasında olduğunu belirlemek için Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. Buna göre; çözeltilerin absorbans değerlerine konsantrasyonların etkisinden kaynaklanan farklılıkların tamamı istatistik bakımdan önemlidir ($p<0.01$).

Yenilebilir film çözeltilerine ait fotoğraflar (Şekil 4.1) incelendiğinde, kara dut içeren film çözeltilerinin ak dut içerenlere, pektin içerenlerin ise aljinat film çözeltilerine göre daha açık renklere sahip olduğu görülmüştür.



26 °Bx 32 °Bx 38 °Bx

Şekil 4.1:Yenilebilir film çözeltilerine ait fotoğraflar

A: ak dut pekmezi ve aljinat, B: ak dut pekmezi ve pektin, C: kara dut pekmezi ve aljinat, D: kara dut pekmezi ve pektin içeren yenilebilir filmlere ait çözeltiler.

4.3.2 Reolojik özellikler

Yenilebilir film çözeltilerinde viskozite ölçümleri çözeltinin akış özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılmaktadır. Film çözeltisinin reolojik özellikleri direkt olarak filmin yapısal, mekanik ve bariyer özelliklerine etkide bulunmaktadır.

AA1, AA2, AA3, AP1, AP2, AP3, KA1, KA2, KA3, KP1, KP2, KP3 kodlu film çözeltilerin 20 °C'deki görünür viskozite değerleri (20 s⁻¹) sırasıyla 1.359, 1.433, 2.151, 0.048, 0.053, 0.100, 2.098, 1.520, 0.927, 0.066, 0.053, 0.092 Pa.s olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.6). En düşük görünür viskozite değeri 0.048 Pa.s ile ak dut ve pektinden yapılmış film çözeltisinde, en yüksek değer ise 2.151 Pa.s ile ak dut ve aljinat ile elde edilen film çözeltisinde ölçülmüştür.

Film çözeltilerinin viskozitelerinin genel ortalaması ak dut içerenlerde 0.857±0.86, kara dut içerenlerde ise 0.797±0.82 Pa.s olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.6: Farklı konsantrasyonlarda ak ve kara dut pekmezlerinden aljinat ve pektin ilavesi ile üretilen film çözeltilerinin ait görünür viskozite değerleri (20 s⁻¹).

Film kodu*	Görünür viskozite ** (Pa.s)
AA1	1.359±0.187 ^b
AA2	1.433±0.021 ^b
AA3	2.151±0.049 ^a
AP1	0.048±0.059 ^d
AP2	0.053±0.059 ^d
AP3	0.100±0.059 ^d
KA1	0.927±0.039 ^c
KA2	1.520±0.112 ^b
KA3	2.098±0.165 ^a
KP1	0.066±0.059 ^d
KP2	0.053±0.059 ^d
KP3	0.092±0.059 ^d

*: AA: ak dut ve aljinat, AP: ak dut ve pektin, KA: kara dut ve aljinat, KP: kara dut ve pektin; Konsantrasyonlar; 1: 26 °Bx, 2: 32 °Bx, 3: 38 °Bx olarak ifade edilmiştir.

^{a-d} Aynı sütunda aynı harfle işaretli ortalamalar arasındaki fark önemsizdir ($p>0.05$).

Konsantrasyonları dikkate alındığında, ortalama viskozite değerleri 26 °Bx'lik pekmezden katılarak yapılan film çözeltilerinde 0.893±0.920, 32 °Bx'lik pekmez ilave edilmişlerde 0.771±0.744 ve 38 °Bx'lik pekmez içeren filmlerde ise 0.827±0.828 Pa.s olarak ölçülmüştür.

Oms–Oliu ve diğ. (2008) yaptıkları bir çalışmada %2'lik aljinat çözeltisi ve %2'lik pektin çözeltisi hazırlamış, bu çözeltilere 1.5 g/100 g pektin/aljinat oranında plastikleştirici olarak gliserol ve 0.025 g/100 g çözelti oranında ay çiçek yağı ilave

etmişlerdir. Bu araştırmada, vizkozite aljinat çözeltisinde 0.05292, pektin çözeltisinde ise 0.01984 Pa.s olarak ölçülmüştür. Araştırmamızda pekmez kullanıldığı dikkate alındığında bulgularımızın bu literatür sonucundan daha yüksek viskozite değerine sahip olması normal karşılanabilir.

Viskozite değerlerine varyans analizi uygulanmış, elde edilen sonuçlar Çizelge 4.7’de verilmiştir. Buna göre; pekmez çeşidi hariç, uygulanan faktörlerin film çözeltilerinin viskozitesi üzerine etkileri istatistik önemdedir. Gerek ak ve gerekse kara dut pekmezleri birbirine yakın suda çözünür kurumadde ($^{\circ}\text{Bx}$) değerlerine sahiptir (Çizelge 4.1). Bu durum, pekmez çeşidinin film çözeltilerinin viskozitesi üzerine etkisinin önemsiz çıkmasına neden sayılabilir.

Pektine göre, aljinat ilavesi film çözeltilerinin viskozite değerlerini 0.01 istatistik seviyesinde daha fazla arttırmıştır. Bu durum hidrokolloidler arasındaki fizikokimyasal özellik farklılıklarından ileri gelmiş olabilir.

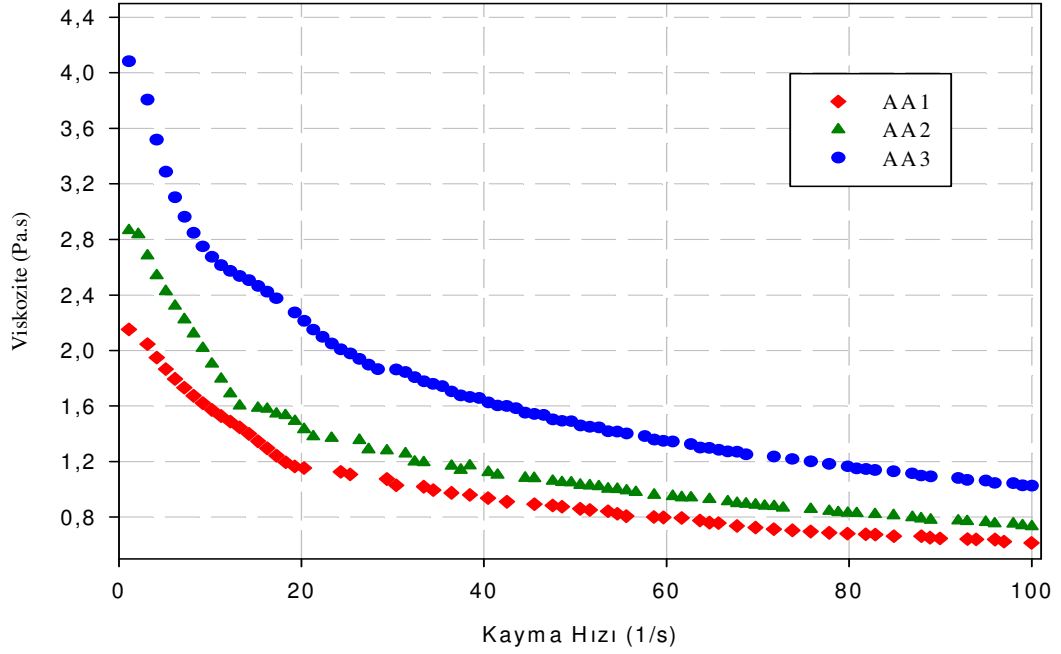
Çizelge 4.7: Farklı konsantrasyonlarda ak ve kara dut pekmezlerinden aljinat ve pektin ilavesi ile üretilen yenilebilir film çözeltilerinin viskozite değerlerine ait varyans analizi sonuçları.

VK	SD	F Değeri
Pekmez çeşidi (A)	1	3.065
Hidrokolloid çeşidi (B)	1	1.93E3**
Konsantrasyon (C)	2	76.736**
AxB	1	4.475*
AxC	2	5.098*
BxC	2	64.731**
AxBxC	2	5.207*

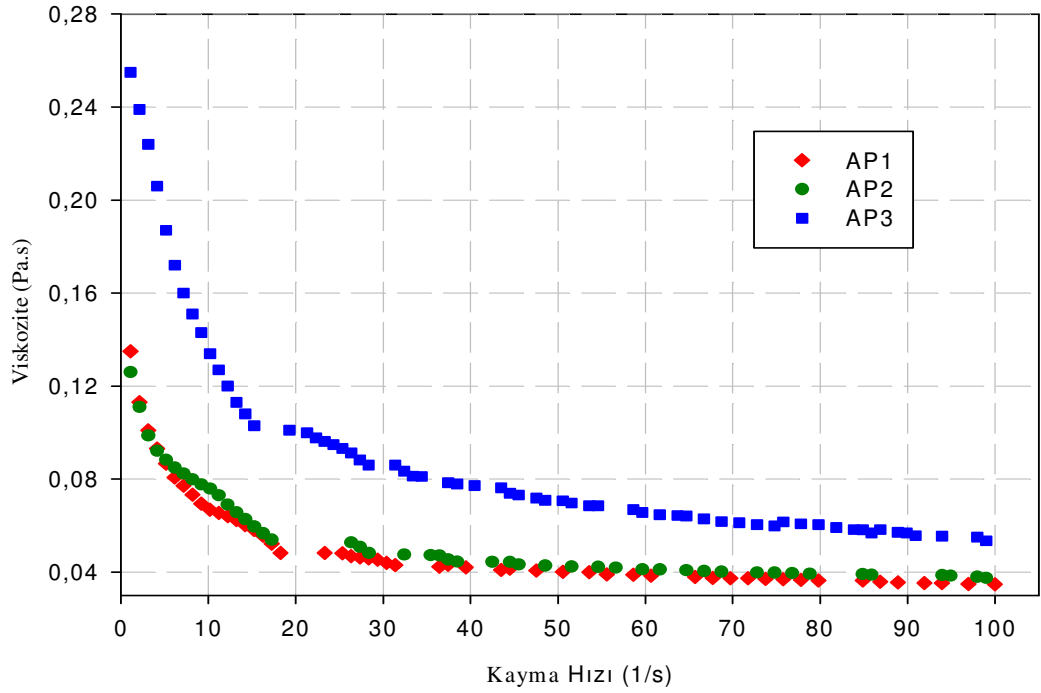
* $p<0.05$, ** $p<0.01$, VK: varyasyon kaynağı, n=3.

Pekmez konsantrasyonlarının film çözeltilerinin üzerinde %5 istatistik seviyesinde olan etkisinin hangi ortalamalardan kaynaklandığını belirlemek için Duncan çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır. Pekmez konsantrasyonu arttıkça film çözeltilerinin viskozitesi artmıştır ve aradaki farklılıklar konsantrasyonların tamamında (26, 32 ve 38 $^{\circ}\text{Bx}$) önemlidir ($p<0.05$). Genel ortalama viskozite değeri ak dut ve aljinat içeren film çözeltilerinde 1.647, kara dut ve aljinat içerenlerde ise 1.515 Pa.s olarak hesaplanmıştır. Bu durum göre, kara dutlarla kıyaslandığında, aljinat ak dut varlığında film çözeltilerinin viskozitelerini daha fazla arttırmıştır. Pektin tam tersi bir durum sergilemiş olup, diğer film örneklerine göre, kara dut içeren filmlerde viskozitenin daha fazla artışına sebep olmuştur. Film çözeltilerinde elde edilen viskozite–kayma hızı grafikleri Şekil 4.2a, b, c ve d’deki grafikte

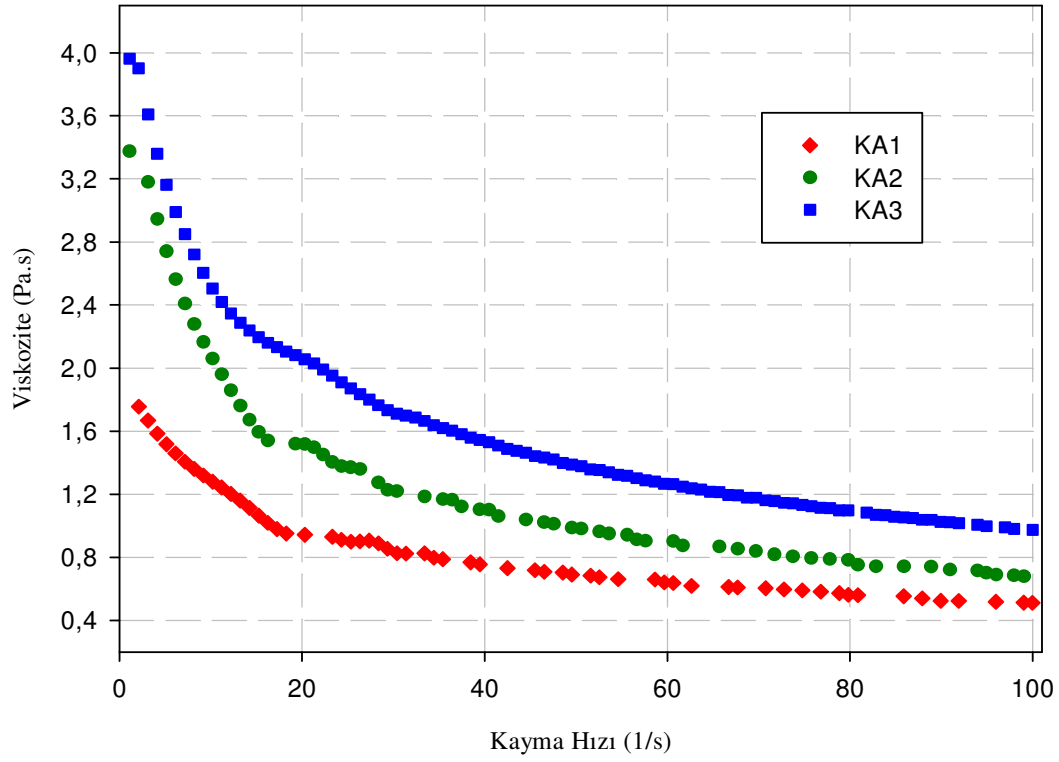
gösterilmiştir. Şekillerden film çözeltilerinin viskozitelerinin kayma hızına bağlı olarak azaldığı anlaşılmıştır. Bu sonuçlardan, yenilebilir film çözeltilerinin newtonian olmayan davranış sergiledikleri, kısaca akışkanın viskozitesinin kayma hızından bağımsız oldukları anlaşılmıştır.



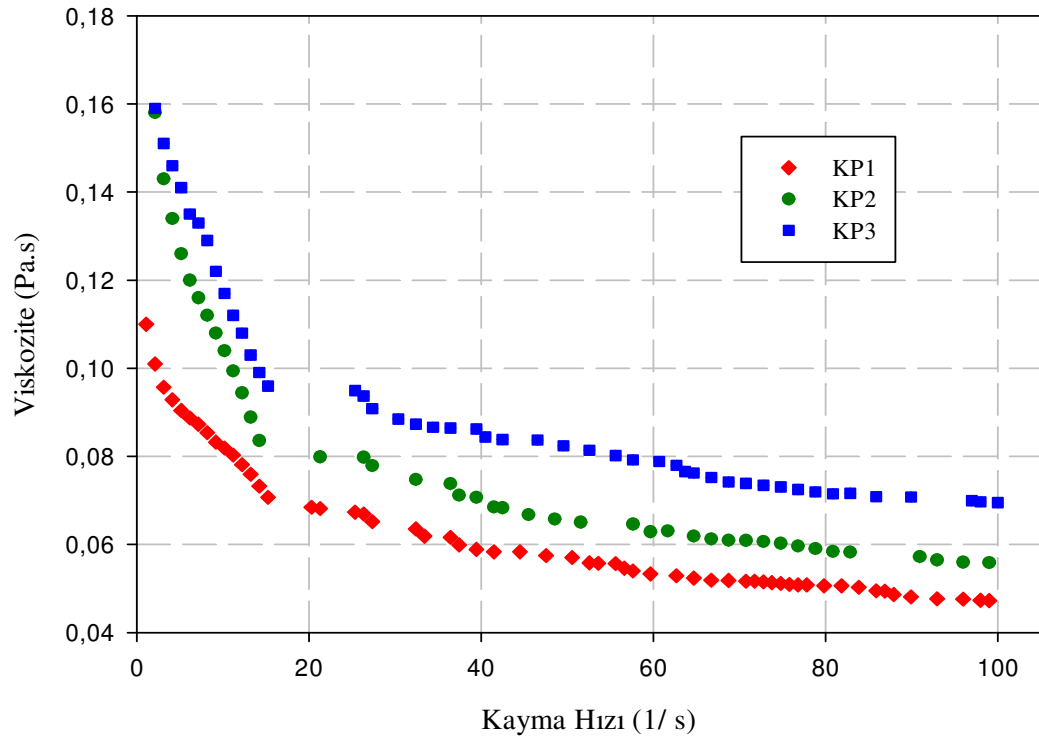
Şekil 4.2a: Farklı konsantrasyonlarda ak dut pekmezinden aljinat ilavesi ile üretilen film çözeltilerine ait viskozite–kayma hızı grafiği (20 °C’de)



Şekil 4.2b: Farklı konsantrasyonlarda ak dut pekmezinden pektin ilavesi ile üretilen film çözeltilerine ait viskozite–kayma hızı grafiği (20 °C’de)



Şekil 4.2c: Farklı konsantrasyonlarda kara dut pekmezinden aljinat ilavesi ile üretilen film çözeltilerine ait viskozite–kayma hızı grafiği (20 °C’de)



Şekil 4.2d: Farklı konsantrasyonlarda kara dut pekmezinden pektin ilavesi ile üretilen film çözeltilerine ait viskozite–kayma hızı grafiği (20 °C’de)

Tez çalışmamızda test ettiğimiz reolojik parametreler incelendiğinde, reolojik özellikler bakımından aljinat film çözeltilerinin kendi aralarında (Çizelge 4.8) Cross model ile uyumlu olarak modellenebildikleri ($R^2 \geq 0.98$) anlaşılmıştır.

Çizelge 4.8: Farklı konsantrasyonlarda ak ve kara dut pekmezlerinden aljinat ilavesi ile üretilen yenilebilir film çözeltilerine ait parametreler.

Film kodu*	Cross model				
	η_0	η_∞	γ	M	R^2
AA1	2.76±0.13 ^c	0.17±0.15 ^c	24.91±1.36 ^a	0.91±0.16 ^d	0.99
AA2	2.61±0.52 ^c	0.38±0.06 ^b	19.42±2.55 ^b	1.10±0.02 ^{bc}	0.99
AA3	4.25±0.14 ^a	0.59±0.09 ^a	15.94±0.37 ^c	1.13±0.09 ^{bc}	0.99
KA1	1.58±0.16 ^d	0.37±0.04 ^b	18.11±0.98 ^{bc}	1.25±0.07 ^{ab}	0.98
KA2	3.27±0.27 ^b	0.54±0.01 ^a	12.14±0.57 ^d	1.34±0.03 ^a	0.98
KA3	4.05±0.21 ^a	0.57±0.06 ^a	17.18±0.76 ^{bc}	1.07±0.01 ^c	0.99

*: AA: ak dut ve aljinat, AP: ak dut ve pektin, KA: kara dut ve aljinat, KP: kara dut ve pektin; Konsantrasyonlar; 1: 26 °Bx, 2: 32 °Bx, 3: 38 °Bx olarak ifade edilmiştir.

^{a-d}: Aynı sütunda aynı harfle işaretli ortalamalar arasındaki fark önemsizdir ($p > 0.05$).

Aljinat kullanımının film çözeltilerinin reolojik özelliklerine etkisinin hangi ortalamalardan kaynaklandığını belirlemek için tek yönlü Anova testi yapılmıştır (Çizelge 4.7). Bu teste göre, ak ve kara dut varlığında aljinat katılmasının film çözeltilerinin başlangıç viskozitesi, denge viskozitesi, kayma hızı ve akış davranış indeksinin reolojik özellikleri üzerine önemli etkisi ($p < 0.05$) olduğu anlaşılmıştır.

Reolojik parametreler incelendiğinde, pektin ilave edilen yenilebilir film çözeltilerinin kendi aralarında modellenmesi için en uygun modelin Ostwald–de waele (Çizelge 4.9, $R^2 \geq 0.94$) olduğu anlaşılmıştır.

Çizelge 4.9: Farklı konsantrasyonlarda ak ve kara dut pekmezlerinden pektin ilavesi ile üretilen yenilebilir film çözeltilerine ait parametreler.

Film kodu*	Ostwald–de waele model (20 °C)		
	K	N	R^2
AP1	0.20±0.05 ^b	0.59±0.13 ^b	0.99
AP2	0.18±0.06 ^b	0.63±0.02 ^{ab}	0.99
AP3	0.29±0.02 ^a	0.64±0.01 ^{ab}	0.97
KP1	0.181±0.07 ^b	0.70±0.09 ^{ab}	0.96
KP2	0.183±0.04 ^b	0.74±0.05 ^a	0.94
KP3	0.210±0.06 ^b	0.75±0.07 ^a	0.97

*: AA: ak dut ve aljinat, AP: ak dut ve pektin, KA: kara dut ve aljinat, KP: kara dut ve pektin; Konsantrasyonlar; 1: 26 °Bx, 2: 32 °Bx, 3: 38 °Bx olarak ifade edilmiştir.

^{a-b}: Aynı sütunda aynı harfle işaretli ortalamalar arasındaki fark önemsizdir ($p > 0.05$).

Pektin ilave edilmiş film çözeltilerinin reolojik özelliklerine ait ortalama değerler tek yönlü Anova testi ile karşılaştırılmış ve sonuçlar Çizelge 4.9'da verilmiştir. Çizelge'den, pektin ilavesinin film çözeltilerinin reolojik özelliklerinde, 38 °Bx'lik ak dut pekmez içerenler hariç K değerlerinde, 26 °Bx'lik ak dut pekmezi içerenler hariç n değerlerine 0.05 seviyesinde önemli etkilerde bulunmadığı anlaşılmıştır.

Viskoziteleri ile kayma hızları arasında bir ilişki bulunmayan sıvılar newtonian sıvılar olarak adlandırılırken aralarında ilişki bulunan sıvılar ise newtonian olmayan sıvılar olarak adlandırılmaktadır. Çalışmamızda elde edilen grafiklerde çözeltiler newtonian olmayan bir davranış sergilemektedirler. Newtonian olmayan sıvılarda kayma hızındaki artışa bağlı olan sıvılar psödoplastik (kayma incilmesi) olarak adlandırılırken kayma hızı ile birlikte viskozite de azalma meydana geliyorsa dilatant (kayma kalınlaşması) olarak tanımlanmaktadır (Gündüz, 2010). Yoğurtçu ve Kamışlı (2006) yaptıkları çalışmada pekmezlerin psödoplastik davranış gösterdiğini bildirmiştir ve çalışmamızda elde ettiğimiz çözeltiler incelendiğinde aljinat ve pektin ilavesi ile dut pekmezlerinin psödoplastik yapısını koruduğu görülmektedir.

Alvarez ve diğ. (2008) bebek mamaları olarak tüketilen meyve pürelerinin reolojik davranışları üzerine yaptıkları çalışmada 5 gruba ayırdığı örnek çeşitleri içerisinde 3 grubun Cross modele uyduğunu geri kalan 2 grup için en iyi modelin power kanunu olduğunu bildirmiştirler. Alvarez ve diğ. (2006) çoğu araştırmacının genellikle meyve püreleri, pulpu ve suları üzerine yaptıkları çalışmada power kanunu modelini uyguladığını ancak her zaman deneysel verilerin bu modele uyamadığını bu nedenle diğer araştırmacıların Herschel–Bulkley, Cross ve Carreau modellerini önerdiğini bilmişlerdir.

4.4 Yenilebilir Filmlerin Özellikleri

4.4.1 Renk, opaklık, görünüş ve kalınlık

Yenilebilir filmlerin optik özellikleri incelenmiş, elde edilen sonuçlar Çizelge 4.10'da verilmiştir. Çizelge'den görüldüğü gibi, yenilebilir filmlerin L^* değerleri 73.34 ile 91.44, a^* değerleri -1.72 ile -0.29, b^* değerleri 8.7 ile 24.1 arasında ölçülmüş, opaklık değerleri ise 1.3 ile 17.11 arasında saptanmıştır.

Renk sisteminde a^* değerinin negatif değerleri yeşil rengi, pozitif değerleri kırmızı rengi; b^* değerlerinin pozitif değerleri sarı, negatif değerleri mavi rengi ifade etmektedir. Yenilebilir filmlerde optik özelliklerine ait elde edilen sonuçların yer

aldığı Çizelge 4.10'dan görüldüğü gibi, a^* ve b^* değerleri sırasıyla, -1.79 ile -0.29 ve 8.7 ile 24.1 arasında ölçülmüştür.

Çizelge 4.10: Farklı konsantrasyonlarda ak ve kara dut pekmezlerinden aljinat veya pektin ilavesi ile üretilen yenilebilir filmlere ait opaklık ve renk değerleri.

Film kodu **	Kalınlık (μm)	L^*	a^*	b^*	Opaklık
AA1	15.83±0.28 ^d	85.45±4.67 ^{abc}	-0.40±0.58 ^{ab}	13.63±4.24 ^{cde}	15.83±4.48 ^a
AA2	14.33±0.57 ^d	87.78±2.94 ^{ab}	-1.07±0.07 ^{bcde}	18.12±2.47 ^{abc}	17.11±1.77 ^a
AA3	11.16±0.58 ^d	89.67±1.66 ^a	-0.99±0.78 ^{abcd}	14.83±3.55 ^{bcde}	7.01±2.16 ^b
AP1	36.67±0.15 ^b	85.15±3.28 ^{abc}	-1.32±0.28 ^{cde}	21.39±3.89 ^{ab}	2.51±2.83 ^{cd}
AP2	42.33±0.25 ^a	81.35±5.36 ^{bcd}	-1.47±0.25 ^{de}	24.10±6.38 ^a	1.95±0.35 ^d
AP3	35.00±0.30 ^b	80.85±3.76 ^{bcd}	-1.72±0.73 ^e	24.10±4.39 ^a	1.30±0.46 ^d
KA1	25.33±0.30 ^c	91.44±1.10 ^a	-0.29±0.08 ^a	8.70±0.52 ^e	5.18±1.84 ^{bc}
KA2	22.33±0.20 ^c	90.32±2.04 ^a	-0.48±0.11 ^{ab}	10.07±2.80 ^{de}	5.47±0.26 ^b
KA3	23.00±0.10 ^c	90.56±0.89 ^a	-0.55±0.10 ^{ab}	10.29±0.88 ^{de}	2.00±0.40 ^d
KP1	35.00±0.10 ^b	79.37±3.93 ^{cde}	-0.76±0.04 ^{abc}	13.88±2.30 ^{cde}	2.35±0.75 ^{cd}
KP2	35.00±0.30 ^b	76.06±7.36 ^{de}	-0.74±0.04 ^{abc}	12.66±6.26 ^{cde}	1.37±0.59 ^d
KP3	39.00±0.36 ^{ab}	73.34±2.81 ^e	-1.35±0.05 ^{cde}	16.90±1.11 ^{bcd}	1.35±0.48 ^d

** : AA: ak dut ve aljinat, AP: ak dut ve pektin, KA: kara dut ve aljinat, KP: kara dut ve pektin; Konsantrasyonlar; 1: 26 °Bx, 2: 32 °Bx, 3: 38 °Bx olarak ifade edilmiştir.

^{a-e} : Aynı sütunda aynı harfle işaretli ortalamalar arasındaki fark önemsizdir ($p>0.05$).

Yaptığımız analizler sonucunda, en düşük opaklık (1.3 ± 0.46) 32 °Bx konsantrasyonulu ak dut pekmezi ve aljinat içeren yenilebilir filmlerde, en yüksek opaklık (17.11 ± 1.77) ise 38 °Bx konsantrasyonulu ak dut pekmezi ve pektin içerenlerde ölçülmüştür.

Yenilebilir filmlere yapılan varyans analizi uygulanmış ve sonuçlar Çizelge 4.11'de verilmiştir. Genel ortalamalar dikkate alındığında ve pektinle kıyaslandığında, aljinat ilavesinin yenilebilir filmlerde, beyazlığı ifade eden L^* değerlerini daha fazla arttırdığı saptanmıştır ($p<0.01$). Pekmez konsantrasyonunun artışı ise filmlerin L^* değerlerini azaltmıştır, ancak meydana gelen farklılıklar istatistik önemde değildir ($p>0.05$, Çizelge 4.11).

Yenilebilir filmlerin genel ortalamalar açısından a^* değerleri ak dut pekmezi içeren filmlerde -1.16 , kara dut pekmezi içerenlerde ise -0.69 olarak hesaplanmıştır. Bu duruma göre ak dutların yenilebilir filmlerde, istatistik 0.01 seviyesinde yeşil rengin, kara dutlar ise kırmızılığın oluşmasına katkı sağladığı ifade edilebilir. Aljinat içeren filmlerde a^* değerleri -0.63 , pektin içerenlerde ise -1.23 olarak ölçülmüştür ve ortaya çıkan farklılıklar %1 istatistik seviyesinde önemlidir. Pekmez

konsantrasyonlarının artışı yenilebilir filmlerin a^* değerlerinin negatifliğini, diğer bir ifade ile yeşil rengi artırmıştır.

Çizelge 4.11: Farklı konsantrasyonlarda ak ve kara dut pekmezlerinden aljinat veya pektin ilavesi ile üretilen yenilebilir filmlerin renk değerlerine ait varyans analizi sonuçları.

VK	SD	F Değeri				
		Kalınlık	L^*	a^*	b^*	Opaklık
Pekmez çeşidi (A)	1	25.666**	1.471	14.083**	34.301**	71.700**
Hidrokolloid çeşidi (B)	1	499.016**	61.296**	22.901**	25.129**	159.759**
Konsantrasyon (C)	2	0.898	0.743	4.455*	1.151	18.526**
AxB	2	44.866**	13.754**	0.476	1.335	64.762**
AxC	2	6.743**	0.617	0.669	0.994	4.068*
BxC	1	4.644*	2.492	1.189	0.728	12.471**
AXBxC	2	2.054	0.239	0.374	0.011	3.011

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, SD: serbest değişken, VK: varyasyon kaynağı, n=3.

Filmlerin b^* değerleri üzerine uygulanan faktörlerden pekmez ve hidrokolloid çeşitleri istatistik düzeyde önemli etkilerde bulunmuştur ($p > 0.01$). Ak dut pekmezi ve pektin kullanımı yenilebilir filmlerin b^* değerlerinin artmasına sebep olmuş, filmlerde sarı renk oluşumuna, diğer faktörlerden (kara dut pekmezi, aljinat) daha fazla katkı sağlamışlardır. Pekmez konsantrasyonunun filmlerin b^* değerleri üzerine herhangi bir önemli etkide bulunmamıştır ($p < 0.05$).

Yenilebilir filmlerin opaklık değerleri açısından pekmez çeşidi, hidrokolloid çeşidi ve konsantrasyonun etkisi anlamlı ($p < 0.01$) düzeyde bulunmuştur. Filmlerin genel opaklık ortalama değerleri ak dut pekmezi içeren filmlerde 7.62, kara dut içerenlerde ise 2.96 olarak ölçülmüştür. Aljinat içeren filmlerde ortalama opaklık değerleri 8.77, pektin içerenlerde ise 1.81 olarak tespit edilmiştir ve farklılıklar %1 istatistik önemdedir. Bu sonuçlardan, ak dut ve aljinat ilavesinin filmlerde opaklığın artmasına sebep olduğu anlaşılmıştır. Filmlerin opaklık değerine, pekmez konsantrasyonlarından ise sadece 38 °Bx'lik pekmezin etkisi önemli bulunmuştur ($p < 0.05$).

Pektin filmlerin opaklığının aljinat filmlere göre daha düşük olduğu Bierhalz ve diğ. (2012) tarafından bildirilirken aynı çalışmada bu özelliğin kalınlık ve çapraz bağ derecesi ile ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Çapraz bağ derecesi yüksek olan filmlerin polimerler arasındaki boşlukların azalması ışığın filmde daha az geçmesine neden olacaktır. Bu nedenle böyle filmlerin opaklığı da yükselme eğilimi gösterecektir.

Yapılan bir çalışmada, opaklık değerleri aljinat katılarak üretilen filmlerde 0.88, Gingseng özütü ve aljinat filmlerde 1.06 ile 1.39 arasında belirlenmiştir (Norajit ve diğ., 2010). Bu değerler, çalışmamızdaki pektin filmlerin yalnızca bir kaçı ile uyum sağlamıştır.

Rhim (2004), aljinat ve CaCl_2 ile yaptıkları filmlerde L^* değeri 87.2–88.1, a^* değeri –0.27 ile –0.43, b^* değeri 0.87–1.29 arasında ölçmüşlerdir. Ravishankar ve diğ. (2012) farklı konsantrasyonlarda antimikrobiyel yağ ilave ettikleri elma içeren filmlerinde L^* değeri 85.01–86.77, a^* değeri –2.05 ile –0.90, b^* değeri, 20.71–33.34; havuç içeren filmler için L^* değeri 75.57–85.51, a^* değeri –6.11 ile –22.50, b^* değeri 43.37–75.29; arasında olduğunu belirlemişlerdir. Çalışmamızda elde ettiğimiz filmlerin L^* değerleri literatürle uyumludur.

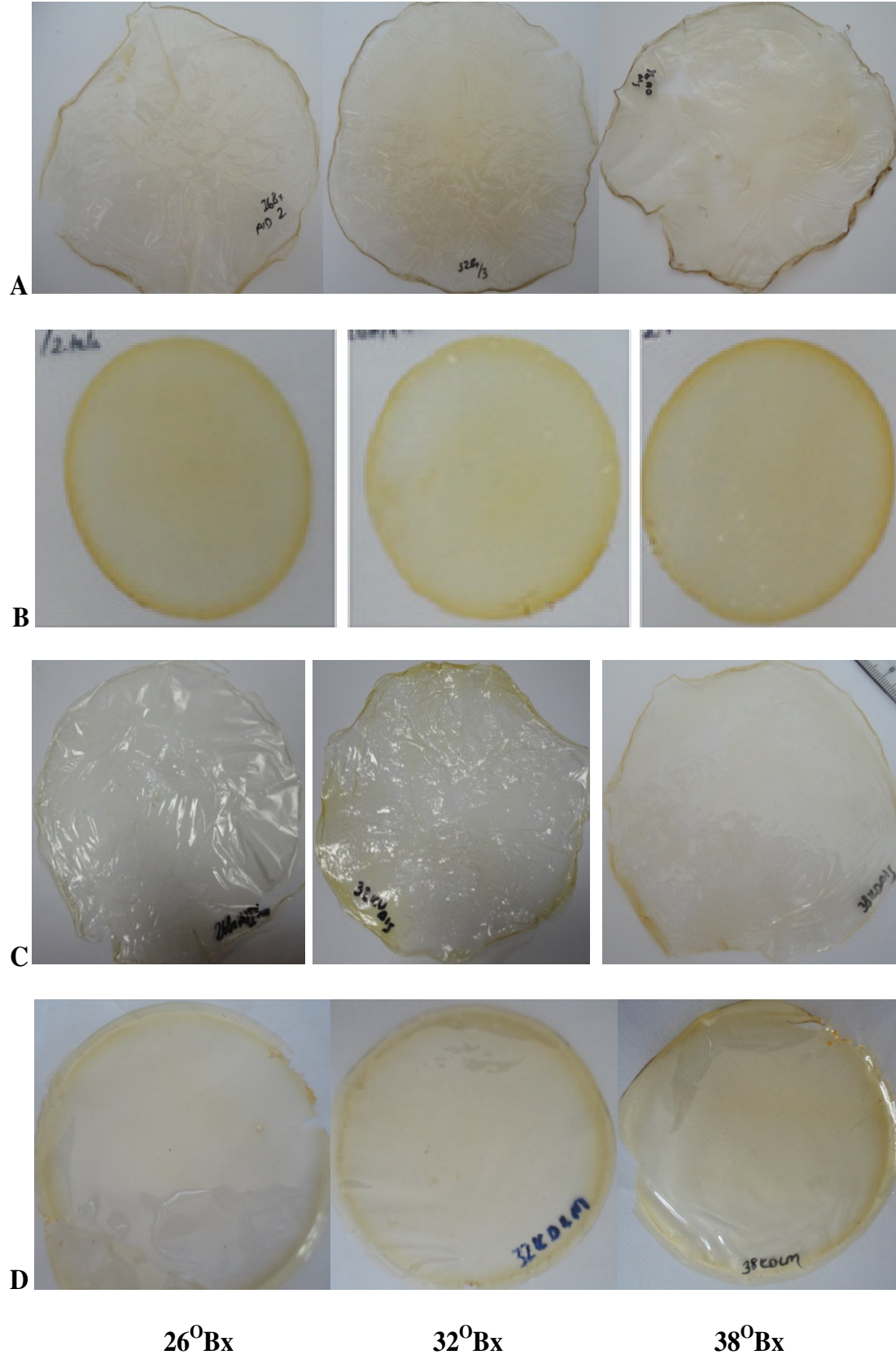
Şaraplık üzüm posası ekstraktına aljinat ve pektin katılarak yapılan yenilebilir filmlerde L^* değeri 18.97–18.17, a^* değeri 6.66–6.97, b^* değeri 8.83–9.70 arasında ölçülmüştür (Deng ve Zhao, 2011).

Filmlerin görünüşlerine ait fotoğraflar Şekil 4.3'te verilmiştir. Filmlerin görünüşlerini incelediğimizde pektin filmlerin bütün yapılarını koruduklarını ancak aljinat filmlerin kıvrımlı bir yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir. Na–aljinat ile elde edilen filmlere ait görüntüler Al–Remawi (2012)'nin Ca–aljinat ve sükroz ile elde ettiği filmlerin görüntüsüne benzerdir. Aynı çalışmada elde edilen filmlerde de kurumaya bağlı olarak kıvrılma ve hacim kaybetme gözlenmiştir. Aljinat ve kalsiyum klorür ile elde edilen yapının kuruması esnasında kıvrılma özelliği gösterdiği bilgisiyle elde ettiğimiz film yapısı örtüşmektedir.

Tez çalışmamızda üretilen yenilebilir filmlerin kalınlıkları 11.16–42.33 μm arasında değişmiştir. Genel ortalama değerler açısından ak dut pekmezi ile elde edilen yenilebilir filmlerin kalınlıkları 25.80 ± 12.6 , kara dut pekmezi ile elde edilen filmlerin kalınlıkları ise 29.94 ± 7.09 μm olarak saptanmıştır. Pekmez çeşidi açısından film kalınlıkları arasındaki farklılık istatistik açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0.01$).

Filmlerin a^* değerlerinin ve opaklık değerlerinin konsantrasyonlar arasındaki farklılıklarının tespiti amacıyla Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. En düşük a^* değeri 26 °Bx konsantrasyon uygulanan örnekler vermiştir. 32 °Bx konsantrasyon derecesinde elde edilen a^* değeri ile 26 ve 38 °Bx konsantrasyon derecesinde elde edilen a^* değerleri arasında istatistik önemde fark yoktur ($p > 0.05$).

Opaklık değerleri açısından ele alındığında konsantrasyonlar arasında en şeffaf film 38 °Bx konsantrasyonda elde edilmiştir.



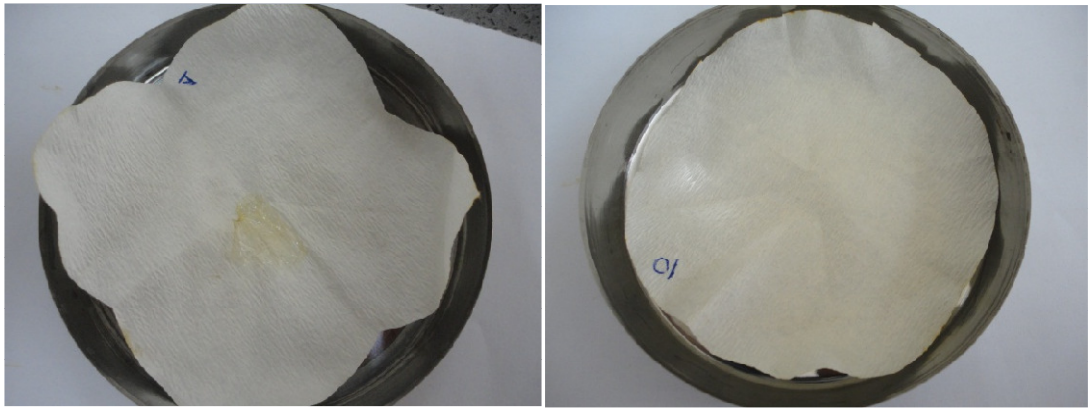
Şekil 4.3: Farklı konsantrasyonlarda ak ve kara dut pekmezlerinden aljinat veya pektin ilavesi ile üretilen yenilebilir filmlere ait görüntüler.
A: akdut aljinat, B: ak dut pektin, C: kara dut aljinat, D: kara dut pektin.

Literatürde meyvelerden elde edilen yenilebilir filmlerin kalınlıkları şu şekildedir. Ravishankar ve diğ. (2012) kalınlığı, elma içeren filmlerde 125–135, havuç içeren filmlerde 40–49, hatmi içeren filmlerde ise 49–56 μm arasında belirlemiştir. Yapılan bazı çalışmalarda; anti mikrobiyel yağlar ilave edilen elma püresi ve pektin içeren filmlerde kalınlıklar 135–155 μm arasında (Rojas–Graü ve diğ., 2006), biyobozunur aljinat içeren filmlerde 70–132 μm arasında (Norajit ve diğ., 2010) ölçülmüştür. Analizde kullanılan filmler literatürdeki filmlere göre daha incedir.

Galus ve Lenart (2013) farklı oranlarda hazırladıkları aljinat ve pektin içeren filmlerde aljinat oranı fazla olan filmlerin daha ince olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmada elde edilen filmlerin kalınlıkları incelendiğinde pektin filmlerin ($37.0 \pm 3.8 \mu\text{m}$) aljinat filmlere (18.7 ± 5.3) göre daha kalın olması bu bilgiyle örtüşmektedir. Rhim (2004), CaCl_2 ilave ederek ürettiği aljinat filmlerde kalınlıkları 56.2 ± 3.0 ile 69.2 ± 2.6 μm arasında tespit etmiştir. Daldırma yoluyla elde edildiklerinden dolayı, aljinat filmlerin pektin filmlerden daha ince olmaları beklenen bir durumdur.

4.4.2 Suda Çözünürlük

Film örneklerinin suda çözünürlük analizi sonucundaki görüntüleri Şekil 4.4'te verilmiştir. Şekilden aljinat filmin filtre kağıdında gözlenebildiği, pektin filmin ise görünmediği anlaşılmıştır.



Aljinat

Pektin

Şekil 4.4: Farklı konsantrasyonlarda ak ve kara dut pekmezlerinden aljinat veya pektin ilavesi ile üretilen filmlerde suda çözünürlükle ilgili fotoğraflar.

Ak dut içeren filmler %62.37–99.4 oranında suda çözünebilme özelliği gösterirken, kara dut içeren filmlerde bu aralık %60.3–100 olarak saptanmıştır.

Aljinat ile elde edilen yenilebilir filmler %60.5–65.95, pektin ile elde edilen yenilebilir filmler ise %99–100 arasında suda çözünmüştür. Çizelge 4.12’de üretilen yenilebilir filmlere ait suda çözünürlük yüzdeleri verilmiştir.

Çizelge 4.12: Farklı konsantrasyonlarda ak ve kara dut pekmezlerinden aljinat veya pektin ilavesi ile üretilen yenilebilir filmlerde suda çözünürlük değerleri.

Film kodu*	En düşük (%95 güven sınırı içerisinde)	En yüksek (%95 güven sınırı içerisinde)	Ortalama** (%)
AA1	60.838	63.915	62.37±2.36 ^c
AA2	61.890	65.443	65.18±0.16 ^b
AA3	63.140	66.693	65.95±0.77 ^b
AP1	97.296	100.704	99.00±0.83 ^a
AP2	97.679	101.088	99.38±0.83 ^a
AP3	97.738	101.147	99.44±0.83 ^a
KA1	59.406	62.484	60.94±0.75 ^c
KA2	58.557	62.110	60.33±2.08 ^c
KA3	58.729	62.282	60.50±3.49 ^c
KP1	97.296	100.704	99.00±0.83 ^a
KP2	98.296	101.704	100.00±0.83 ^a
KP3	97.867	101.276	99.58±0.83 ^a
Aljinat Filmler	61.430	62.818	62.12±0.34 ^B
Pektin Filmler	98.452	99.903	99.18±0.35 ^A

*:AA: ak dut ve aljinat, AP: ak dut ve pektin, KA: kara dut ve aljinat, KP: kara dut ve pektin; Konsantrasyonlar; 1: 26 °Bx, 2: 32 °Bx, 3: 38 °Bx olarak ifade edilmiştir. ** $\bar{x} \pm \text{std}$ sapma, n=3. a-c, A-B: Aynı sütunda aynı harfle işaretli ortalamalar arasındaki fark önemsizdir ($p > 0.05$).

Yenilebilir filmlerin suda çözünürlük değerlerine ait varyans analizi Çizelge 4.13’te verilmiştir. Filmlerde suda çözünürlük değerleri kullanılan hidrokolloid çeşidi ve pekmez çeşidinden etkilenmiştir ($p < 0.01$), konsantrasyonların etkisi ise önemli bulunmamıştır ($p > 0.01$).

Çizelge 4.13: Farklı konsantrasyonlarda ak ve kara dut pekmezlerinden aljinat veya pektin ilavesi ile üretilen yenilebilir filmlerde suda çözünürlük değerlerine ait varyans analizi sonuçları.

VK	SD	F Değeri
Pekmez çeşidi (A)	1	15.249 ^{**}
Hidrokolloid çeşidi (B)	1	6.182E3 ^{**}
Konsantrasyon (C)	2	2.004
AxB	1	19.673 ^{**}
AxC	2	1.584
BxC	2	0.440
AXBxC	2	2.212

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, SD: serbest değişken, VK: varyasyon kaynağı, n=3.

Suda çözünürlük değerleri, ak dut pekmezi ve aljinat ile elde edilen filmlerde %60.8 ile 66.7, kara dut pekmezi ve aljinat ile elde edilen filmlerde ise %60.33 ile 60.94 arasında belirlenmiştir. Pektin içeren filmlerin %99.18'lik bir yüksek suda çözünürlüğe sahip olduğu saptanmıştır.

Ak dut pekmezi ile elde edilen filmlerin, 26 °Bx ve 32 °Bx konsantrasyonları açısından, suda çözünürlük değerleri arasında istatistik olarak fark yoktur ($p>0.05$). 38 °Bx derecesi en yüksek suda çözünürlük derecesine sahiptir ve diğer konsantrasyonlarla arasında önemli derecede fark vardır ($p<0.05$).

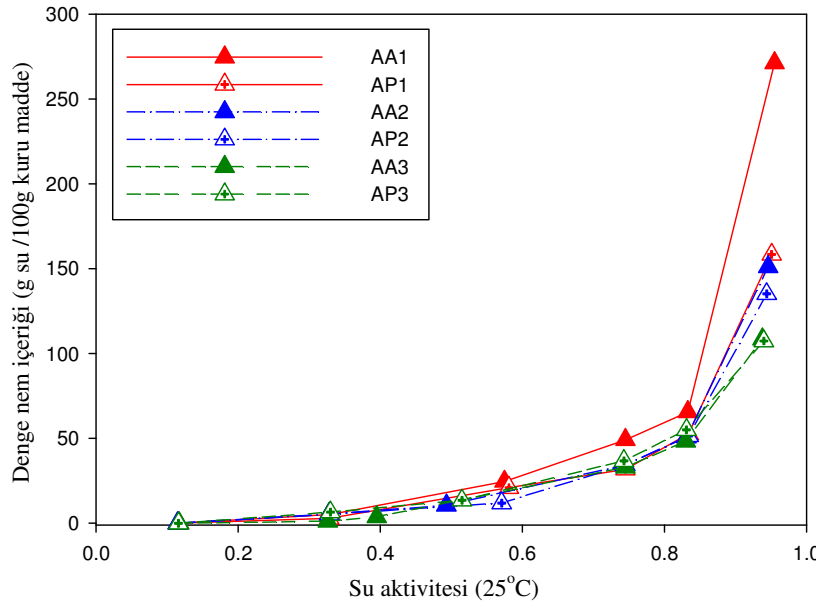
Kara dut pekmezi ile elde edilen filmlerde en yüksek suda çözünürlük değeri ak dut pekmezi ile elde edilen filmlerde olduğu gibi 38 °Bx dereceli pekmez ilave edilen örneklerde saptanmıştır. Konsantrasyonlar açısından 32 °Bx ve 38 °Bx dereceleri arasında istatistik olarak fark bulunmazken ($p>0.05$), 26 °Bx derecesi ile aralarında önemli derecede ($p<0.05$) fark saptanmıştır.

Literatürde aljinat içeren filmlerde yapılan bir çalışmada suda çözünürlük yüzdeleri 25 °C'de 77.77–85.92, 80 °C'de 90.33–95.58 arasında belirlenmiştir (Norajit ve diğ. 2010). Çalışmamızda elde edilen veriler bu literatürdeki değerlerden düşüktür. Bu sonuçlardan dut pekmezi kullanımının aljinatın çözünürlüğü üzerine etkili olduğu söylenebilir.

Çalışmada gerek ak dut pekmezi ile gerekse de kara dut pekmezi ile elde edilen pektin içeren filmler suda tamamına yakın (%99) çözünmüştür. Bu sonuca göre pektin ile elde edilen pekmez filmlerinin özellikle kısa süreli raf ömrüne sahip olan gıdalarda bu ürünlerin kaplanmasıyla kullanılarak, tüketim öncesi yıkama ile gıda yüzeyinden kolayca uzaklaştırılabileceği ileri sürülebilir.

4.4.3 Adsorpsiyon izotermi

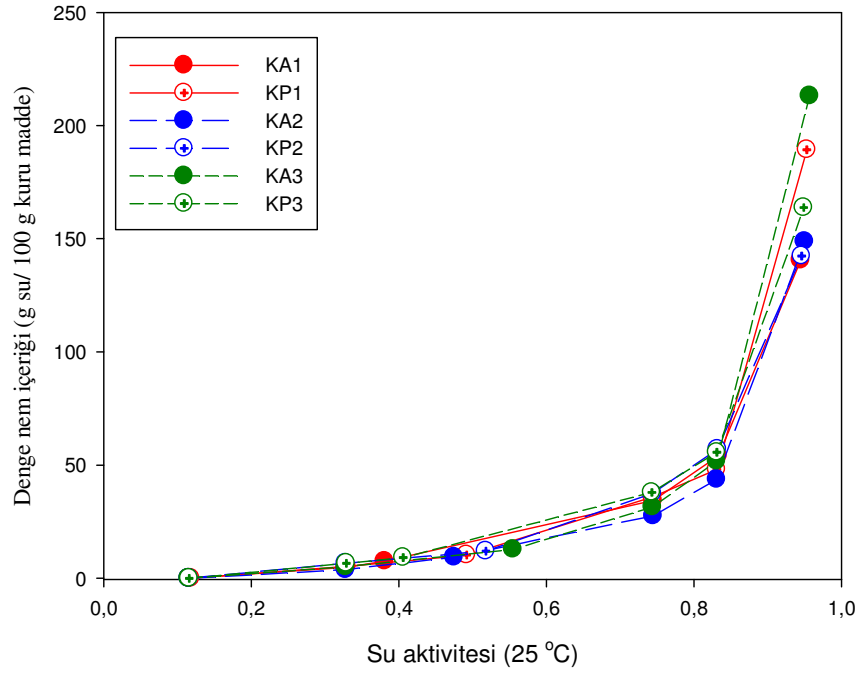
Ak dut ve kara dut pekmezleri ile aljinat ve pektin katılarak üretilen yenilebilir filmlerden 25 °C'de elde edilen adsorpsiyon grafikleri Şekil 4.5a ve 4.5b'de verilmiştir. Gerek ak dut gerekse de kara dut pekmezleri ile elde edilen yenilebilir filmlerde denge nem içeriklerinde 0.6 aw'den itibaren artış görülmüş, 0.80 aw'den itibaren görülen artış ise daha keskin olmuştur.



Şekil 4.5a: Farklı konsantrasyonlarda ak dut pekmezlerinden aljinat veya pektin ilavesi ile üretilen yenilebilir filmlere ait adsorpsiyon grafiği
 *AA: ak dut ve aljinat, AP: ak dut ve pektin, KA: kara dut ve aljinat, KP: kara dut ve pektin; Konsantrasyonlar; 1: 26 °Bx, 2: 32 °Bx, 3: 38 °Bx olarak ifade edilmiştir.

Şekil 4.5a'dan görüldüğü gibi, yenilebilir filmlerde 0.6 a_w 'den sonra, denge nem içeriğinde meydana gelen artışlar 26 briks dereceli akdut pekmezi ve aljinnat yapıları yenilebilir filmlerde diğerlerine göre daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Su aktivitesinin artışı ile bu filmin diğerleri ile arasındaki farklılıklar daha da belirgin hale gelmiştir.

Su aktivitesi 0.63 değerlerinde ak dut pekmezi ile üretilen yenilebilir filmlerin artan konsantrasyona göre (26, 32 ve 38 °Bx) denge nem içerikleri aljinat ilave edilen filmler için sırasıyla 26.3, 25.5, 23.6 $g_{su}/100 g_{KM}$, pektin içerenler için ise sırasıyla 35.5, 19.8 ve 25.7 $g_{su}/100 g_{KM}$ olarak belirlenmiştir. Bu su aktivitesi değerinden sonra denge nem içeriklerinde hızlı artışların olduğu 0.83 a_w değerine erişildiğinde, yenilebilir filmlerin denge nem içerikleri aljinat katılarak üretilen yenilebilir filmler için sırasıyla (artan pekmez konsantrasyonuna göre) 67.7, 51.7, 48.9 $g_{su}/100 g_{KM}$, pektin içeren filmler için ise 51.9, 51.8 ve 55.2 $g_{su}/100 g_{KM}$ olarak tespit edilmiştir. Su aktivitesi 0.90 için elde edilen değerler ise aljinat içeren filmlerde sırasıyla (artan pekmez konsantrasyonuna göre) 112.0, 107.37, 88.3 $g_{su}/100 g_{KM}$, pektin içeren filmlerde ise 176.2, 101.7 ve 88.3 $g_{su}/100 g_{KM}$ olarak saptanmıştır.



Şekil 4.5b: Farklı konsantrasyonlarda kara dut pekmezlerinden aljinat veya pektin ilavesi ile üretilen yenilebilir filmlere ait adsorpsiyon grafiği
 *: AA: ak dut ve aljinat, AP: ak dut ve pektin, KA: kara dut ve aljinat, KP: kara dut ve pektin; Konsantrasyonlar; 1: 26 °Bx, 2: 32 °Bx, 3: 38 °Bx olarak ifade edilmiştir.

Şekil 4.5b'den görüldüğü gibi, yenilebilir filmlerde 0.6 a_w 'den sonra, denge nem içeriğinde meydana gelen artışlar 38 briksli kara dut pekmezi ve aljinattan yapılan yenilebilir filmlerde diğerlerine göre daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Su aktivitesinin artışı ile denge nem içeriğinde en yüksek artış 38 briksli kara dut pekmezinden yapılan ve aljinat içeren filmlerde meydana gelmiş, bunu 26 °Bx kara dut pekmez ve pektinli filmler izlemiştir. Diğer filmlerde su aktivitesine bağlı olarak denge içeriğinde meydana gelen artışlar ise daha düşük oranlarda kalmıştır.

Su aktivitesi 0.63 değerinde 26, 32 ve 38 °Bx'lerde kara dut pekmezlerinden üretilen yenilebilir filmlerin denge nem içerikleri aljinat katılan filmler için sırasıyla 26.9, 19.94 ve 21.31 $g_{su}/100 g_{KM}$, pektin ilave edilen için ise sırasıyla 26.6, 25.6 ve 28.6 $g_{su}/100 g_{KM}$ olarak saptanmıştır. Hızlı artışların gözlemlendiği 0.83 a_w değerinde aljinat ilave edilen filmler için 26, 32 ve 38 °Bx kara dut pekmez konsantrasyonlarında denge nem içerikleri sırasıyla 54.6, 46.7 ve 56.0 $g_{su}/100 g_{KM}$ pektin filmler için ise 50.3, 57.3 ve 57.5 $g_{su}/100 g_{KM}$ olarak belirlenmiştir. Su aktivitesi 0.90'da, aljinat içeren filmlerde denge nem içeriği sırasıyla (artan pekmez konsantrasyonuna göre) 106.9, 105.6 ve 138.1 $g_{su}/100 g_{KM}$, pektin içeren filmler için ise 129.3, 108.9 ve 128.3 $g_{su}/100 g_{KM}$ olarak tespit edilmiştir.

Aljinat içeren yenilebilir filmleri kendi aralarında inceleyecek olursak ak dut pekmezinden yapılan filmlerde, 0.90 a_w ve yukarısında pekmez konsantrasyonu arttıkça denge nem içeriği azalmıştır. Aljinat ve kara dut pekmez filmlerinde 0.90 a_w 'de 26 ve 32 briksli filmlerin denge nem içerikleri birbirine yakındır.

Pektin içeren yenilebilir filmler incelendiğinde, ak dut pekmezlerinden yapılan filmlerde pekmez konsantrasyonu azaldıkça 0.95 a_w 'de denge nem içeriklerindeki artışlar daha da fazla olmuştur. Aynı su aktivitesi değerinde, denge nem içeriği en yüksek kara dut pekmezlerinin 26 °Bx'lerinde tespit edilmiştir.

Tez çalışmamızda ürettiğimiz yenilebilir filmlerin izotermlerine ait değerler dikkate alındığında; genel olarak izotermelerin BET (Brunauer–Emmett–Teller) sınıflandırmasına göre Tip–III şeklinde bir davranış gösterdiği söylenebilir.

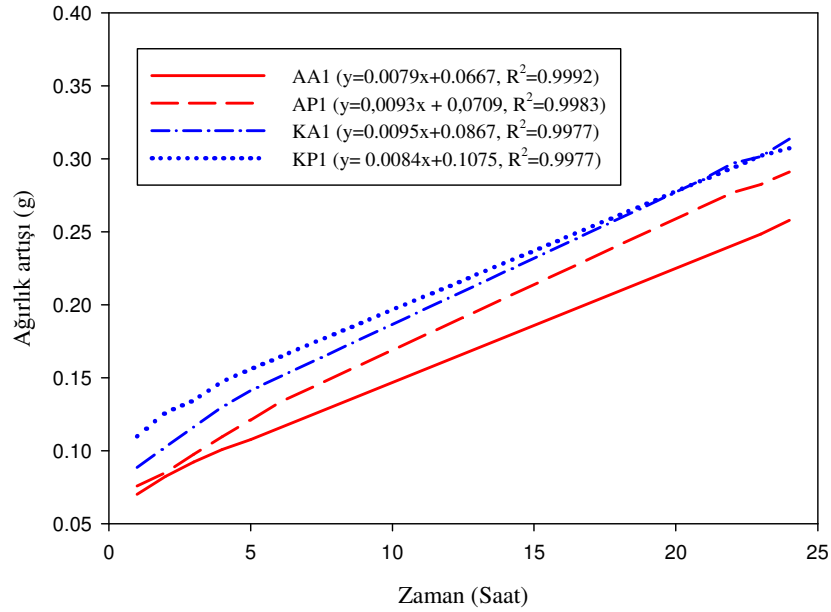
Kaya ve Kahyaoğlu (2005) üzümde elde ettikleri pestilde verdikleri sorpsiyon grafiği tarafımızdan çizilen grafiğe benzerdir. Kaya ve Kahyaoğlu (2005), 0.65 a_w 'nin üzerinde nem içeriğinin keskin bir şekilde artış gösterdiğini, bu durumun muhtemelen yüksek miktarda şeker ve karbonhidrat içeriğinden kaynaklanabileceğini ifade etmişlerdir. Araştırmacılar keskin artışın sebebini şekerin kademeli olarak çözünmesine bağlamışlardır.

Bir çok meyveye ait sorpsiyon grafiği bildirilmiştir. Yanniotis ve Blahovec (2009)'e göre Tsami (1991) kayısılarında 15 °C, Wolf ve diğ. (1972) muzda 25 °C, Maroulis ve diğ. (1988) incir ve kuru üzümde 60 °C, Yanniotis ve diğ. (1989) erikte 38°C'de adsorpsiyon özeliğini incelemişlerdir. Bu çalışmalarda adsorpsiyon davranışlarının sırasıyla BET sınıflandırmasına göre Tip–III, Tip–II, Tip–III, Tip–III ve Tip–II olduğu bildirilmiştir. Maskan ve Göğüş (1998) yaptıkları araştırmada, dut meyvesine ait sorpsiyon özeliğini belirlemişler ve dut meyvesinin BET'e göre Tip – II şeklinde bir davranış sergilediğini bildirmişlerdir. Kaymak–Ertekin ve Gedik (2004) sorpsiyon özellikleri ile ilgili yaptıkları bir çalışmada elma, kayısı ve üzümün, yüksek şeker içeriklerinden dolayı BET Tip–III davranış sergilediğini tespit etmişlerdir.

4.4.4 Su buharı geçirgenliği

Su buharı geçirgenliği (SBG) genellikle filmin hidrofilik kısmı yoluyla meydana gelir. Bu nedenle su buharı transferi film bileşenlerinin hidrofilik– hidrofobik oranına bağlıdır (Rojas–Graü ve diğ., 2006). Su buharı geçirgenliği için filmler 24 saat süresince saat başı tartılmış bu tartımlar grafiğe işlenmiştir. Grafiğin lineer olduğu

bölge dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır. Şekil 4.6’da 26 °Bx’li pekmez katılarak yapılan filmlere ait su buharı geçirgenliği grafiği örnek olarak verilmiştir.



Şekil 4.6: Alljinat veya pektin içeren ve 26 °Bx’li ak ile kara dut pekmezlerinden yapılan yenilebilir filmlere ait SBG grafiği

*: AA: ak dut ve aljinat, AP: ak dut ve pektin, KA: kara dut ve aljinat, KP: kara dut ve pektin olarak ifade edilmiştir.

Çalışmamızda ürettiğimiz yenilebilir filmlerine ait su buharı geçirgenlik hızları en düşük ve en yüksek sırasıyla 22.97–27.6 g/m²sa arasında değişmiştir. Bu değerler kullanılarak yenilebilir filmlerin su buharı geçirgenlik değerleri ise 25.76–91.8 gm10⁻¹⁰/m²sPa olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.14).

Su buharı iletim hızları ortalama, ak dut pekmez filmlerinde 24.51±1.69, kara dut pekmez filmlerinde ise 25.21±2.07 g/m²sa olarak belirlenmiştir. Kara dut pekmez filmleri daha yüksek SBH’ye sahiptir, ancak ak dut filmleriyle arasındaki fark istatistik önemde değildir ($p>0.05$; Çizelge 4.15).

Hidrokolloidlerin etkileri karşılaştırıldığında, aljinat filmlerin (43.99±14.58) pektin filmlere göre (87.37±6.71) daha düşük SBH değerine olduğu tespit edilmiştir ($p<0.01$).

Su buharı geçirgenlik değerleri açısından ak dut pekmez filmlerinin genel ortalaması (60.21x10⁻¹⁰ gm/m²sPa) kara dut pekmez filmlerin genel ortalamasından (71.15x10⁻¹⁰ gm/m²sPa) düşük olduğu tespit edilmiştir ($p<0.01$).

Aljinat filmler (43.99x10⁻¹⁰ gm/m²sPa) pektin filmlere (87.37x10⁻¹⁰ g m/m²sPa) göre daha düşük su buharı geçirgenliği özelliğine sahiptir ($p<0.01$).

Çizelge 4.14: Farklı konsantrasyonlarda ak ve kara dut pekmezlerinden aljinat veya pektin ilavesi ile üretilen filmlerin su buharı geçirgenlikleri.

Film kodu*	Kalınlık (μm)	Su buharı iletim hızı (g/m ² sa)	Su buharı geçirgenliği (10 ⁻¹⁰ gm/m ² sPa)
AA1	15.83±0.28	23.07±0.22 ^c	34.77±0.78 ^e
AA2	14.33±0.57	24.53±0.75 ^{bc}	33.33±0.68 ^e
AA3	11.16±0.58	23.84±0.14 ^c	25.76±1.89 ^e
AP1	35.67±0.15	26.75±0.26 ^a	90.04±3.96 ^a
AP2	42.33±0.25	22.97±1.50 ^c	91.80±3.12 ^a
AP3	35.00±0.30	25.91±1.92 ^{ab}	85.53±7.49 ^b
KA1	25.33±0.30	26.89±0.51 ^a	64.94±8.48 ^c
KA2	22.33±0.20	26.23±0.56 ^{ab}	55.07±4.98 ^d
KA3	23.00±0.10	23.21±0.58 ^c	50.05±3.45 ^d
KP1	35.00±0.10	27.60±2.62 ^a	90.84±9.00 ^a
KP2	35.00±0.30	23.66±1.04 ^c	78.57±2.19 ^b
KP3	39.00±0.36	23.65±0.44 ^c	87.43±6.05 ^{ab}

*: AA: ak dut ve aljinat, AP: ak dut ve pektin, KA: kara dut ve aljinat, KP: kara dut ve pektin; Konsantrasyonlar; 1: 26 °Bx, 2: 32 °Bx, 3: 38 °Bx olarak ifade edilmiştir.

^{a-e} : Aynı sütunda aynı harfle işaretli ortalamalar arasındaki fark önemsizdir ($p>0.05$).

Konsantrasyonlar arasındaki farklılıkların belirlenmesi amacıyla Duncan çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır. Bu test sonucundan, 32 ve 38 °Bx konsantrasyonlarına göre, 26 °Bx pekmez ilavesinin yenilebilir filmlerin su buharı iletim hızları ve su buharı geçirgenlik değerlerini 0.05 istatistik seviyesinde daha fazla arttırdığı anlaşılmıştır.

Çizelge 4.15 : Farklı konsantrasyonlarda ak ve kara dut pekmezlerinden aljinat veya pektin ilavesi ile üretilen filmlerin su buharı geçirgenliklerine ait varyans analizi sonuçları.

VK	SD	F Değeri		
		Kalınlık	Su buharı iletim hızı	Su buharı geçirgenliği
Pekmez çeşidi (A)	1	25.666 ^{**}	3.311	40.718 ^{**}
Hidrokolloid çeşidi (B)	1	499.016 ^{**}	1.448	639.79 ^{**}
Konsantrasyon (C)	2	0.898	10.201 ^{**}	7.497 ^{**}
AxB	2	44.866 ^{**}	5.998 [*]	71.026 ^{**}
AxC	2	6.743 ^{**}	8.573 ^{**}	3.963 [*]
BxC	1	4.644 [*]	11.388 ^{**}	2.295
AXBxC	2	2.054	0.57	1.123

* $p<0.05$, ** $p<0.01$, SD: serbest değişken, VK: varyasyon kaynağı, n=3.

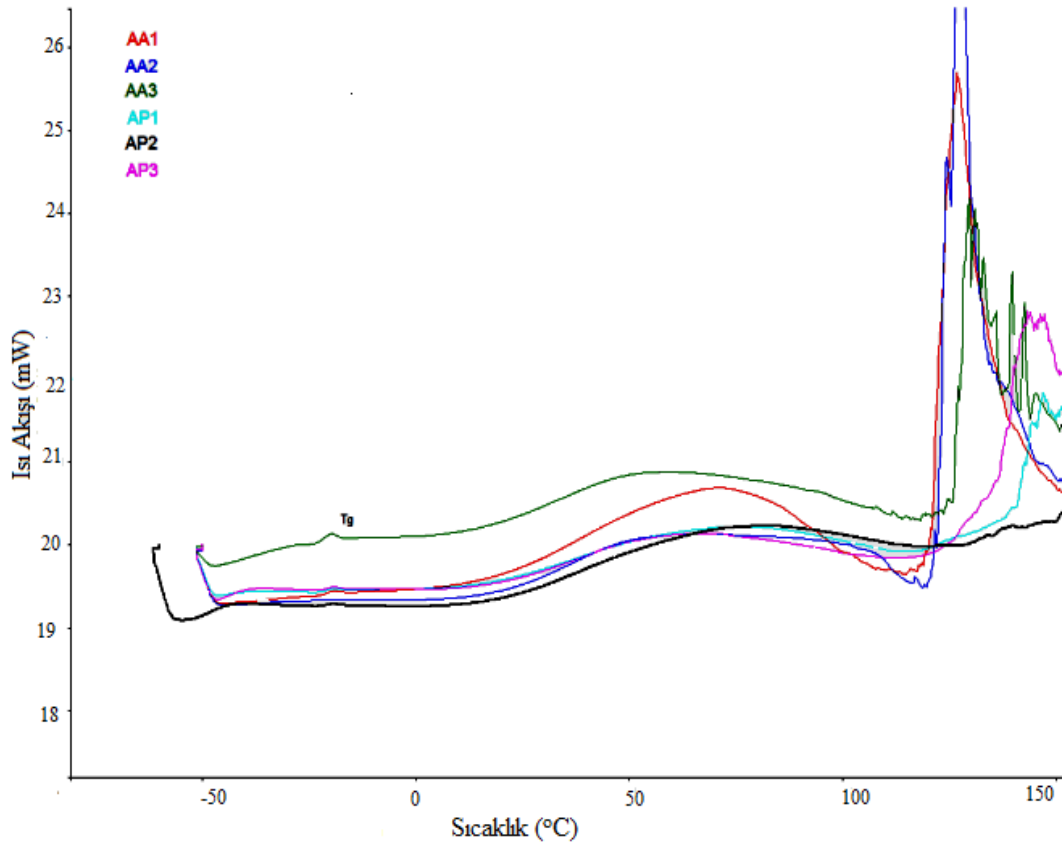
Norajit ve diğ. (2010), elde ettikleri aljinat filmin su buharı geçirgenliğini 0.02 (10⁻¹⁰gm/m²sPa) olarak saptamışlardır. Yapılan bir başka araştırmada, anti mikrobiyel yağ ilaveli elma püresinden elde edilen filmlerde (%65 bağıl nem, 25 °C

sıcaklık şartlarında) su buharı geçirgenliği değerleri $13.75 (10^{-10} \text{ gm/m}^2 \text{ sPa})$ arasında tespit edilmiştir (Du ve diğ., 2009; Rojas–Graü ve diğ., 2007).

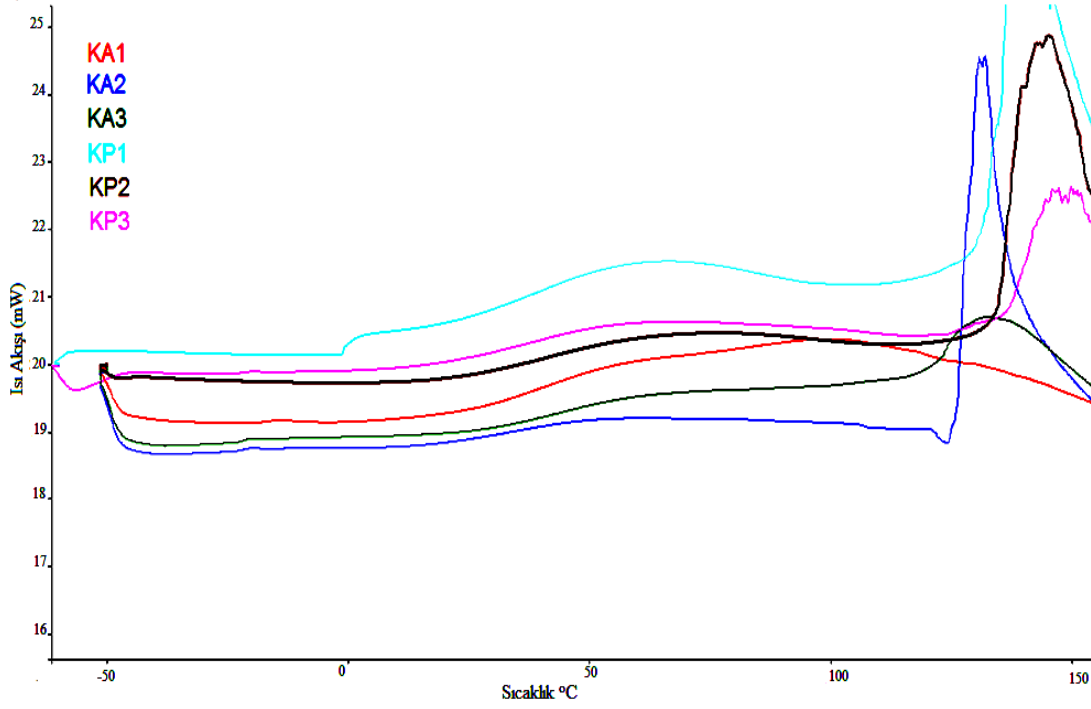
Su buharı geçirgenlikleri; farklı konsantrasyonlarda selüloz nano fiberleri eklenen mango püre filmlerinde 4.63–7.39 (Azeredo ve diğ., 2009), şeftali püresi içeren filmlerde (%75 bağıl nem, 25°C sıcaklık) 160.56 (McHugh ve diğ., (1996), havuç püresinden yapılan filmlerde (%81 bağıl nem, 25°C sıcaklık) 17.61–66.31 (Wang ve diğ., 2011), yüksek metoksilli pektin ve domates püresi filmlerinde 7.69 ($10^{-10} \text{ gm/m}^2 \text{ sPa}$) (Du ve diğ., 2009) olarak belirlenmiştir.

4.4.5 Termal özellikler

Yenilebilir filmlerin termal özelliklerinden camsı geçiş özelliği incelenmiş, bu amaçla elde edilen ısı akışı–sıcaklık termogramlarının birinci dereceden türevleri alınması yoluyla camsı geçiş sıcaklıkları hesaplanmıştır (Şekil 4.7a, b).



Şekil 4.7a: Farklı konsantrasyonlarda ak dut pekmezlerinden aljinat veya pektin ilavesi ile üretilen filmlere ait DTK (diferansiyel tarayıcı kalorimetre) termogramı (–50 ile 150 °C arasında)



Şekil 4.7b: Farklı konsantrasyonlarda kara dut pekmezlerinden aljinat veya pektin ilavesi ile üretilen filmlere ait DTK termogramı (–50 ile 150 °C arasında).

Yenilebilir filmlere ait camsı geçiş sıcaklık değerleri Çizelge 4.16’da verilmiştir. Yenilebilir filmlere yaptığımız analizler sonucunda, elde edilen termogramlara göre filmlere ait camsı geçiş sıcaklıklarının 0 °C’nin altında, ortalama sıcaklık değerinin ise –20.46 °C olduğu tespit edilmiştir. Sıfırın altındaki camsı geçiş sıcaklıkları bileşenlerin yüksek moleküler hareketliliğinden (ve yüksek reaktivite) dolayı filmler zayıf kimyasal kararlılık göstermiştir. Ayrıca bu durum, soğutma sıcaklıklarında filmin esnekliğinin iyi olduğuna işaret ettiği ve filmlerin gıda ambalajlamasında muhtemel kullanımları ile ilgili avantaj sağladığı şeklinde ifade edilmiştir (Azeredo ve diğ., 2009).

Ak dut pekmezi içeren filmlerde camsı geçiş sıcaklığı –21.2 °C iken kara dut pekmezi içeren filmlerde camsı geçiş sıcaklığı –19.7 °C olarak saptanmıştır. Pekmez çeşitlerinin yenilebilir filmlerin camsı geçiş sıcaklıklarına etkileri arasındaki farklılıklar anlamlı bulunmuştur ($p < 0.05$).

Camsı geçiş sıcaklıkları analizlerinde elde edilen sonuçlardan pekmez konsantrasyonlarının etkilerinin istatistik önemde olmadığı tespit edilmiştir ($p > 0.05$). Huang ve Hsieh (2005) farklı oranlarda su, mısır şurubu ve pektin kullanarak elde ettikleri armut pestilinde yaptıkları çalışmada –50 °C ile 26 °C arasında DTK

taraması yaparak örneklerin camsı geçiş sıcaklıklarını -32.2°C ile -6.4°C aralığında belirlemişlerdir. Dut pekmezlerinden yaptığımız filmlerde elde ettiğimiz sonuçlar literatürde rastladığımız armut pestillerine ait bulgularla paralellik göstermiştir. Bu durum, formülasyonlarda kullanılan meyvelerin içerdiği şekerlerin benzerliğinden ve plastikleştirici kullanılmasından kaynaklanmış olabilir.

Çizelge 4.16: Farklı konsantrasyonlarda ak ve kara dut pekmezlerinden aljinat veya pektin ilavesi ile üretilen filmlere ait camsı geçiş sıcaklıkları.

Film kodu*	Camsı geçiş sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
AA1	-21.82 ± 0.3 ^{bc}
AA2	-21.52 ± 1.2 ^{bc}
AA3	-20.70 ± 2.3 ^{bc}
AP1	-19.34 ± 2.9 ^{ab}
AP2	-22.42 ± 1.5 ^c
AP3	-21.18 ± 1.2 ^{bc}
KA1	-21.00 ± 1.3 ^{bc}
KA2	-22.00 ± 1.0 ^{bc}
KA3	-17.46 ± 1.3 ^a
KP1	-17.40 ± 1.8 ^a
KP2	-17.64 ± 1.3 ^a
KP3	-22.98 ± 0.4 ^c

*: AA: ak dut ve aljinat, AP: ak dut ve pektin, KA: kara dut ve aljinat, KP: kara dut ve pektin; Konsantrasyonlar; 1: 26°Bx , 2: 32°Bx , 3: 38°Bx olarak ifade edilmiştir.

^{a-c} : Aynı sütunda aynı harfle işaretli ortalamalar arasındaki fark önemsizdir ($p > 0.05$).

4.4.6 Mekanik özellikler

Yenilebilir filmlerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla tarafımızdan çekme ve germe testi uygulanmıştır. Analiz sonucunda elde edilen değerler Çizelge 4.17’de verilmiştir. Yenilebilir filmlerin kalınlıkları $39.33\text{--}79.67\text{ }\mu\text{m}$ arasında değişirken bu filmlere ait gerilme direnci ve uzayabilirlik değerlerinin en yüksek ve en düşük değerleri sırasıyla $1.60\text{--}4.78\text{ MPa}$ ve $\% 28.69\text{--}47.17$ olarak hesaplanmıştır.

Araştırmamıza konu olan yenilebilir filmlerin üretiminde bazı zorluklarla karşılaşmıştır. Bu zorlukların en önemlisi ince kalınlıkta döküldüğü zaman, kara dut pekmezi ve pektin ile yapılan filmlerin kalıplara yapışması ve kalıptan çıkarılırken yırtılmasıdır. Bu nedenle tekstür analizi için kullanılan film materyalleri diğer analizlerdekilere göre daha kalın olarak yapılmıştır. Kara dut pekmezi ($64.72\text{ }\mu\text{m}$) ile pektin ($70.72\text{ }\mu\text{m}$) filmleri, ak dut pekmezi ($56.44\text{ }\mu\text{m}$) ile aljinat ($50.44\text{ }\mu\text{m}$) filmlerine göre daha kalındır ($p < 0.01$).

Çizelge 4.17: Farklı konsantrasyonlarda ak ve kara dut pekmezlerinden aljinat veya pektin ilavesi ile üretilen filmlere ait gerilme direnci (TS) ve uzayabilirlik (%E) değerleri.

Film kodu*	Kalınlık (µm)	Gerilme direnci MPa	Uzayabilirlik (%)
AA1	57.33±4.73	3.44±0.86 ^{bcd}	41.20±5.77 ^{ab}
AA2	39.33±7.02	4.78±0.52 ^a	45.15±11.2 ^a
AA3	49.67±7.85	3.36±1.37 ^{bcd}	36.62±1.90 ^{abc}
AP1	60.00±1.00	2.93±0.15 ^{bcde}	28.69±2.97 ^c
AP2	65.17±1.44	3.10±0.32 ^{bcd}	39.39±4.72 ^{ab}
AP3	67.14±7.39	2.60±0.35 ^{cdef}	34.26±2.64 ^{bc}
KA1	51.00±1.73	4.05±0.27 ^{ab}	45.71±1.85 ^a
KA2	44.33±4.19	2.73±0.88 ^{cdef}	46.19±3.74 ^a
KA3	61.00±7.40	2.29±0.56 ^{def}	47.17±8.82 ^a
KP1	73.67±4.72	3.57±0.58 ^{bc}	41.24±1.69 ^{ab}
KP2	78.67±2.89	1.60±0.22 ^f	39.79±1.00 ^{ab}
KP3	79.67±5.25	2.34±0.99 ^{ef}	40.14±8.77 ^{ab}

*: AA: ak dut ve aljinat, AP: ak dut ve pektin, KA: kara dut ve aljinat, KP: kara dut ve pektin; Konsantrasyonlar; 1: 26 °Bx, 2: 32 °Bx, 3: 38 °Bx olarak ifade edilmiştir.

** ^{a-g} : Aynı sütunda aynı harfle işaretli ortalamalar arasındaki fark önemsizdir ($p>0.05$).

Ak dut pekmezi ile elde edilen yenilebilir filmlerin gerilme dirençleri ve uzayabilirlik değerlerine ait genel ortalamalar sırasıyla 3.37 MPa ve %37.55 iken kara dut pekmezi ile elde edilen yenilebilir filmlere ait genel ortalamalar gerilme direnci için 2.68 MPa, uzayabilirlik değeri için ise %43.37 olarak belirlenmiştir. Pekmez çeşidinden kaynaklanan bu farklılık istatistik açıdan önemlidir (Çizelge 4.18; $p<0.01$).

Çizelge 4.18: Farklı konsantrasyonlarda ak ve kara dut pekmezlerinden aljinat veya pektin ilavesi ile üretilen filmlerin mekanik özelliklerine ait varyans analizi sonuçları.

VK	SD	F Değeri		
		Kalınlık	Gerilme direnci (TS)	Uzayabilirlik (%E)
Pekmez çeşidi (A)	1	22.883**	10.647**	9.724**
Hidrokolloid çeşidi (B)	1	136.800**	15.534**	11.825**
Konsantrasyon (C)	2	6.231**	7.131**	1.361
AxB	2	8.153**	0.525	0.059
AxC	2	1.972	11.069**	1.870
BxC	1	8.818**	1.885	0.354
AxBxC	2	2.493	0.129	1.009

* $p<0.05$, ** $p<0.01$, SD: serbest değişken, VK: varyasyon kaynağı, n=3.

Aljinat içeren yenilebilir filmlerin gerilme dirençlerine ait genel ortalama değeri 3.44 MPa, pektin içeren filmlerin gerilme dirençlerine ait genel ortalama 2.61

MPa olarak hesaplanmıştır. Yenilebilir filmlerin gerilme direnci üzerinde hidrokolloidlerin etkileri istatistik düzeyde farklıdır ($p<0.01$).

Uzayabilirlik değerlerine ait genel ortalamalar aljinat içeren yenilebilir filmlerde %43.67, pektin içeren filmler de ise %37.25 olarak tespit edilmiştir. Aljinat ve pektin filmlerin uzayabilirlik değerlerine 0.01 istatistik düzeyinde farklı etkilerde bulunmuştur.

Pekmez konsantrasyonlarının gerilme direnci üzerine etkisinin anlamlı olup olmadığını tespit etmek amacıyla Duncan çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır. Gerilme direncinin en yüksek olduğu değer 26 °Bx konsantrasyonda tespit edilirken bu konsantrasyonda elde edilen gerilme direnci değeri ile 32 °Bx konsantrasyonda elde edilen değer arasındaki fark istatistik önemde değildir ($p>0.05$).

Yenilebilir filmlerin uzayabilirlik değerleri üzerine konsantrasyonun etkisi önemsizdir ($p>0.05$).

Literatürde aljinat içeren yenilebilir filmlerde yapılan testler sonucunda gerilme direnci değeri 38.8 ile 85.9 MPa, kopma anında uzayabilirlik 3.4 ile 11.8 arasında tespit edilmiştir (Rhim, 2004). Tarafımızdan aljinat filmlerde elde edilen gerilme dirençleri sonuçları Rhim (2004)'in bulgularından düşük, uzayabilirlik değerlerimiz ise yüksektir. Çalışmamızda kullanılan plastikleştirici miktarının daha fazla olması neden olarak gösterilebilir. Artan plastikleştirici miktarı filmin esnekliği artırmakta bu sayede uzayabilirlik artmaktadır (Sothornvit ve Krochta, 2005)

Rojas-Graü ve diğ. (2006) aljinat ve elma püresi içeren yenilebilir filmlerde gerilme direnci değerlerini 2.47–2.90 MPa, uzayabilirlik değerlerini ise %51.06–58.33 arasında belirlemişlerdir. Çalışmamızda elde edilen sonuçlar bu literatürle uyumluluk göstermektedir .

Antimikrobiyel yağ ilave edilen elma ve pektin içeren yenilebilir filmlerde yapılan bir çalışmada gerilme direnci değeri 0.54 ile 0.79 MPa iken, uzayabilirlik değerleri %22.6 ile 27.4 arasında saptanmıştır (Rojas-Graü ve diğ., 2007b). Bu literatürdeki gerilme direnci ve uzayabilirlik değerleri, çalışmamızdaki değerlerden daha düşüktür. Gerilme direnci değerinin düşük olması çekmeye karşı direncin daha az olması anlamına gelmektedir.

Farklı konsantrasyonlarda selüloz nanofiberleri eklenmiş mango filmlerinde yapılan bir çalışmada, gerilme direnci değerleri 4.09 ile 8.76 MPa, uzayabilirlik %31.54 ile 44.07 arasında saptanmıştır. Konsantrasyonlar arttıkça gerilme direnci ve uzayabilirlik azalmıştır (Azeredo ve diğ., 2009).

Bir araştırmada, şaraplık üzüm posası ekstraktı ile yapılan yenilebilir filmlerde aljinat i ernlerde gerilme direnci 1.12 MPa, düşük metoksilli pektin içerenlerde ise 1.56 MPa, uzayabilirlik aljinat içerikli ve pektin içerikli film için sırasıyla 25.07 ile 9.89 olarak tespit edilmiştir (Deng ve Zhao, 2011).

Aljinat ve pektin içeren filmlerin mekanik özellikleri üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda aljinat içeren filmlerin gerilme direncinin, pektin içeren filmlerin gerilme direncinin iki katı kadar yüksek ve aljinat içeren filmlerin daha esnek ve güçlü olduğu bildirilmiştir. Aljinatın daha lineer ve düzenli zincir yapısına sahip olması kalsiyum iyonlarıyla daha etkili bağlantı kurabilmesine olanak sağlamaktadır. Bu güçlü çapraz bağlar ile aljinat zincirleri arasında çekim kuvvetlerinin artması sağlanmaktadır (Norajit ve diğ., 2010). Çalışmamızda elde edilen aljinat ilaveli filmlerin gerilme dirençleri (3.43 MPa) pektin ile elde edilen filmlerin gerilme dirençlerinden (2.61 MPa) daha yüksek olarak saptanmıştır, ayrıca aljinat içeren filmler pektin içeren filmlere göre daha esnektir. Elde edilen sonuçlar bu açıdan literatürle uyumluluk göstermiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde ambalaj artığı problemi sanayi açısından önemli bir sorun haline gelmiştir. Gıdaların ambalaj materyalleriyle direk teması gıda güvenliği problemleri hakkında endişeleri de beraberinde getirmiştir. Yapılan bazı çalışmalarla ambalaj materyallerinden gıdalara bazı zararlı bileşenlerin geçişi kanıtlanmıştır. Geçişlerin kanıtlanmış olmasına rağmen plastik kökenli ambalaj malzemelerinin gıdalarda kullanımından vazgeçebilmek günümüzde henüz mümkün görülmemektedir. Çözüm yolları aranmaktadır. Bu gayretlerin sonucunda; ambalaj malzemeleri ve gıda arasında bir tabaka oluşturacak, ambalaj malzemesinin gıda ile doğrudan temasını engelleyecek olan, yenilebilir film kaplamalara olan ihtiyaç anlaşılmıştır.

Tez çalışmamızda; mineralce zengin, beslenme açısından önemli bir gıda olan pekmezin yenilebilir film olarak gıda sanayine kazandırmak amaçlanmıştır. Bu amaçla üç farklı konsantrasyonda pekmez kullanılarak elde edilen filmlerin mekanik, bariyer, termal ve optik özellikleri araştırılmıştır.

Film çözeltilerinin 20°C’de reolojik ölçümleri yapılmıştır. Film çözeltileri viskozite–kayma hızı grafikleri incelendiğinde çözeltilerin psödoplastik davranışa sahip olduğu belirlenmiştir. Aljinat filmler Cross model ile, pektin filmler ise Ostwald–de waele ($R^2>0.99$) model ile uyumluluk göstermiştir.

Üretilen filmlerin denge nem içerikleri 0.65 aw değerinde belirgin bir şekilde artmış, 0.80 aw değerinden sonra ise bu artış daha da hızlanmıştır.

Ak dut pekmezi içeren filmler kara dut pekmezi içeren filmlere göre daha düşük, pektin içeren filmler ise aljinat içeren filmlere göre daha yüksek su buharı geçirgenliğine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Pektin içeren filmler % 99.1 aljinat filmler ise % 62.1 oranında suda çözünme özelliğine sahiptir. Pektin içeren filmler, suda yüksek oranda çözünme özelliği arzu edilmemesi durumunda gıdadan yıkama vasıtasıyla kolaylıkla uzaklaştırılabilmesi gibi bir avantaj sağlayabilir. Sudan etkilenmesi daha az istenen ambalajlamalarda ise aljinat içeren filmler tercih edilebilir.

Diferansiyel taramalı kalorimetredeki termogramlara göre; filmlerin camsı geçiş sıcaklıkları 0 °C'nin altında tespit edilmiştir. Camsı geçiş sıcaklığının üzerinde materyaller daha esnektir. Buna göre; elde ettiğimiz filmler; oda sıcaklığında gıda ambalajlamalarında mekanik etkilere karşı avantaj sağlayabilir.

Mekanik özellikleri açısından; aljinat içeren filmlerin gerilme direnci ve uzayabilirlikleri, pektin içeren filmlerinkinden daha yüksek saptanmıştır. Bu duruma göre bazı gıdaların kaplanması veya film ile ambalajlanmasında gerilme ve uzama gibi özellikler dikkate alınarak uygun hidrokolloidler seçilebilir.

Plastik malzemelerin özellikleri biyopolimer temelli ambalaj malzemeleri ile kıyaslanınca çok güçlüdür. Aradaki farkı kapatmak amacıyla yapılan araştırmalar her geçen gün ortaya çıkmaktadır ve ilerleyen zamanlarda da bu arayış ve çalışmalar devam edecektir.

Bu tez çalışmasında yenilebilir filmler ile ilgili veriler elde edilmiştir. Dut meyvesinin yenilebilir film üretiminde ümit verici olduğu ileri sürülebilir.

Tez sonuçlarının gıda ambalajlamasına, gıda güvenliğine, gıda endüstrisine ve toplum beslenmesine katkılar sağlayacağı beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- Akbaba G., 2006. Yenilebilir ambalajlar, *Bilim ve Teknik*, Aralık 2006, 30-32.
- Akbulut M., Batu A., Çoklar H., 2007. Dut pekmezinin bazı fizikokimyasal özellikleri ve üretim teknikleri, *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2, 25-31.
- Akbulut M., Özcan M. M., 2009. Comparison of mineral contents of mulberry (*Morus spp.*) fruits and their pekmez (boiled mulberry juice) samples, *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60 (3), 231-239.
- Akkaya Z., 2010. Pekmezin kurutulması sonucunda elde edilen ürünün karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 256568.
- Al-Muhtaseb A. H., Mc Minn W. A. M., Magee T.R.A., 2002. Moisture sorption isotherm characteristics of food products: a review. *Trans IChemE*, 80.
- Al-Remawi M., 2012. Sucrose as a crosslinking madifier for the preperation of calcium alginate films via external gelation, *Journal of Applied Sciences*, 12 (8), 727-735.
- Alvarez E., Cancela M.A., Maceiras R., 2006. Effect of temperature on rheological properties of different jams, *International Journal of Food Properties*, 9 (1), 135-146.
- Alvarez E., Cancela M. A, Delgado-Bastidas N., Maceiras R., 2008. Rheological characterization of commercial baby fruit purees, *International Journal of Food Properties*, 11 (2), 321-329.
- Alyanak D., 2004. Water vapour permeable edible membranes, Yüksek Lisans Tezi, İzmir Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 170363.
- Arslan N., 1994. Pektinin fizikokimyasal özellikleri, üretimi ve gıdalarda kullanımı, *Gıda Dergisi*, 19 (3), 187-192.
- Ayana B., 2007. Antimikrobiyal yenilebilir filmlerin üretimi ve özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, 221931.
- Azeredo H. M. C., Mattoso L. H. C., Wood D., Williams T. G., Avena-Bustillos R. J., Mc Hugh T. H., 2009. Nanocomposite edible films from mango puree reinforced with cellulose nanofibers, *Journal of Food Science*, 74 (5), N31-35.

- Belitz H. D., Grosch W., Schieberle P., 2009. *Food Chemistry*, 4th revised and extended Edition, Springer, Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- Bierhalz A. C. K., da Silva M. A., Kieckbusch T. G., 2012. Natamycin release from alginate/ pectin films for food packaging applications, *Journal of Food Engineering*, 110, 18-25.
- Bourtoom T., 2008, Edible films and coatings: characteristics and properties, *International Food Research Journal*, 15(3), 237-248.
- Cervenka L., Rezkova S., Kralovsky J., 2008. Moisture adsorption characteristics of gingerbread, a traditional bakery product in Pardubice, Czech Republic, *Journal of Food Engineering*, 84, 601-607.
- Çağrı-Mehmetoğlu, A., 2010. Yenilebilir filmlerin ve kaplamaların özelliklerini etkileyen faktörler, *Akademik Gıda*, 8(5) 37-43.
- Çakmakçı S., Tosun M., 2010. Characteristics of mulberry pekmez with cornelian cherry, *International Journal of Food Properties*, 13, 713-722.
- Chiumarelli M., Hubinger M. D. 2012. Stability, solubility, mechanical and barrier properties of cassava starch – carnauba wax edible coatings to preserve fresh– cut apples, *Food Hydrocolloids*, 28 (1), 59-67.
- Debeaufort F., Voilley A., 2009. Chapter:5 Lipid- based edible films and coatings, Editors: Embuscado M. E., Huber K. C., *Edible Films and Coatings for Food Applications*, Spriger Science + Business media, LLC, New york,135-169.
- Deng Q., Zhao Y., 2011. Physicochemical, nutritional, and antimicrobial properties of wine grape (cv. Merlot) pomace extract–based films, *Journal of Food Science*, 76 (3), E309-E317.
- Diab T., Biliaderis C. G., Gerasopoulos D., Sfakiotakis E. 2001. Physicochemical properties and application of pullulan edible films and coatings in fruit preservation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81 (10), 988-1000.
- Ditchfield C., Tosini C. C., Singh R., Toledo R. T., 2004. Rheological properties of banana puree at high temperatures, *International journal of food properties*, 7 (3), 571-584.
- Du W. X., Olsen C. W., Avena Bustillos R. J., McHugh T. H., Levin C. E., Mandrell R., Friedman M., 2009. Antibacterial effects of allspice, garlic, and oregano essential oils in tomato films determined by overlay and vapor–phase methods. *Journal of Food Science*, 74 (7), M390-M397.
- Erbaş M., Şekerci H., Gül S., 2008. Gıdalarda sorpsiyon izotermelerinin belirlenmesi ve kullanımı, *Türkiye 10. Gıda Kongresi*, 21–23 Mayıs, Erzurum, 1021-1022.
- Ercişli S., Orhan E., 2005. Natural mulberry (*Morus spp.*) production in Erzurum region in Turkey, *Proceedings of The International Scientific Conference, Environmentally Friendly Fruit Growing*, Polli, Esnonia,129-136.

- Ercişli S., Orhan E., 2007. Chemical composition of white(*Morus alba*), red (*Morus rubra*), and black (*Morus nigra*) mulberry fruites, *Food Chemistry*, 103, 1380-1384.
- Ercişli S., Tosun M., Duralija B., Voca S., Sengul, M., Turan M., 2010. Phytochemical content of some black (*Morus nigra* L.) and purple (*Morus rubra* L.) mulberry genotypes, *Food Technol. Biotechnol.* 48 (1), 102-106.
- Ertugay F., Certel M., 1999. Bazı buğday, arpa, yulaf ve mısır örneklerinde değişik sıcaklıklarda elde edilen sorpsiyon verilerine farklı izoterm eşitliklerinin uygunluğunun belirlenmesi, *Tr. J.of Agriculture and Foresty*, 23 (5), 1079-1085.
- Evranoz Ö., Kılıç M., 2006. Su aktivitesi ve camsılığa geçiş sıcaklığının şeker içeriği yüksek gıdaların dayanma süresi ve fizikokimyasal kalite özelliklerine etkileri, *Türkiye 9. Gıda kongresi*, 24–26 Mayıs, Bolu, 899-902.
- Figura L. O., Teixeira A. A., 2007. *Food physics physical properties- measurements and applications*, Springer, New York.
- Galus S., Lenart A. 2013. Development and characterization of composite edible films based on sodium alginate and pectin. *Journal of Food Engineering*, 115 (4), 459-465.
- Guilbert S., Gontard N., 2005. Agro-polymers for edible and biodegradable films: review of agricultural polymeric materials, physical and mechanical characteristics, Editör: Han J.H., *Innovations in food packaging*, Elsevier academic press. UK, 263–276.
- Gündüz Z., 2010. Kaolinit/ Silikon yağı pastalarının reolojik özelliklerinin araştırılması, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 275239.
- Güngör N., 2007., Dut pekmezinin bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri ile antioksidan aktivitesi üzerinde depolamanın etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 177803.
- Güngör N., Şengül M., 2008. Antioxidant activity, total phenolic content and selected physicochemical properties of white mulberry (*Morus alba* L.) fruits, *International Journal of Food Properties*, 11, 44-52.
- Han J. H., Gennadios A., 2005. Edible films and coatings: a review, Editors: Han, J.H., *Innovation in Food Packaging*, Elsevier Academic Press. U.K, 239-262.
- Hepsağ F., Hayoğlu İ., Hepsağ B., 2012. Kara dut meyvesinin antosiyanin içeriği ve antosiyaninlerin gıda sanayinde renk maddesi olarak kullanım olanakları, *Gıda Teknolojileri elektronik dergisi*, 7, 9-19.
- Huang, X., Hsieh, F. H., 2005. Physical properties, sensory attributes, and consumer preference of pear fruit leather. *Journal of Food Science*.70 (3),E 177-E 186.
- Işıksal S., 2006. Sucuk ve pastırmanın sorpsiyon izotermelerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 196354.

- Jongjareonrak A., Benjakul S., Visessanguan W., Tanaka M., 2006. Effects of plasticizers on the properties of edible films from skin gelatin of bigeye snapper and brownstripe red snapper, *European Food Research and Technology*, 222 (3–4), 229-235.
- Kalichevsky M. T., 2000. The glass transition and microbial stability, Editors: Kilcast D., Subramaniam P., *The stability and shelf-life of foods*, CRC Press 25-54.
- Kandemir N. S., 2006. Doğal antimikrobiyal madde içeren yenilebilir pullulan film uygulamanın hazır salatanın raf ömrüne etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 197420.
- Kar F., 1998. Portakal kabuğu pektininin fizikokimyasal özellikleri ve pektin ekstraktının sabit basınç filtrasyonu, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 77622.
- Karaca İ., 2009. Pekmez örneklerinde vitamin ve mineral tayini, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Malatya, 236650.
- Kaya A., 2007. Rheology of mulberry pekmez, *Journal of Texture Studies*, 32 (5–6), 335-342.
- Kaya S., Kahyaoğlu T., 2005. Thermodynamic properties and sorption equilibrium of pestil (grape leather). *Journal of Food Engineering*, 71, 200-207.
- Kaya S., Maskan A., 2003. Water vapor permeability of pestil (a fruit leather) made from boiled grape juice with starch. *Journal of Food Engineering*, 57, 295-299.
- Kaymak-Ertekin F., Gedik A., 2004. Sorption isotherms and isosteric heat of sorption for grapes, apricots, apples and potatoes. *Lebensm.-Wiss. U-Technol.*, 37, 429-438.
- Kaymak-Ertekin F., Sultanoğlu M., 2001. Moisture sorption isotherm characteristics of peppers. *Journal of Food Engineering*, 47, 225–231.
- Kıroğlu-Zorlugenç F., 2010. Ozmotik dehidrasyon uygulamasının Trabzon hurması meybelerinin kuruma davranışı ve ürün kalitesi üzerine etkileri, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 266148.
- Koroş B., 2007. Geleneksel Türk gıdalarının adsorpsiyon izotermelerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 213842.
- Krokida M. K., Maroulis Z. B., Saravacos G. D., 2001. Rheological properties of fluid fruit and vegetable puree products: compilation of literature data, *International Journal of Food Properties*, 4 (2), 179-200.
- Kulaçoğlu H., 1995. Total Parenteral Beslenme Komplikasyonları ve Tedavileri, *T Klin Tıp Bilimleri*, 15, 88-97.

- Labuza T. P., 1982. Moisture gain and loss in packaged foods. *Food Technology*, April, 92-97.
- Labuza T. P., Altunakar B., 2007. Water activity prediction and moisture sorption isotherms, Editors: Barbosa-Canovas G. V., Fontana A. J., Schmidt S. J., Labuza T. P., *Water activity in foods*, 1st ed., IFT Press, USA, 109-154.
- Lacroix M., 2009. Mechanical and permeability properties of edible films and coatings for food and pharmaceutical applications. Editors: Embuscado M. E., Huber K. C., *Edible films and coatings for food applications*, Springer Science + Business media, LLC, New york, 347-362.
- Lacroix M., Tien C. L., 2005, Edible films and coatings from non-starch polysaccharides, Editors: Han, J.H., *Innovation in food packaging*, Elsevier Academic press. U.K, 338 – 361.
- Lagoudaki M., Demertzis P. G., 1993. Equilibrium moisture characteristics of foods –hysteresis effects and isotherms models, *Lebensmittel-Technologie*, 4, 71-77.
- Maskan M., Göğüş F., 1998. Sorption isotherms and drying characteristics of mulberry (*Morus alba*), *Journal of Food Engineering*, 37, 437-449.
- Mc Hugh T. H., Huxsoll C. C., Krochta J. M., 1996. Permeability properties of fruit puree edible films. *Journal of Food Science*, 61, 1, 88-91.
- Mc Hugh T. H., Olsen C. W., 2004. Tensile properties of fruit and vegetable edible films. *United States–Japan Cooperative Program in Natural Resources*, 104-108.
- Nair S.B., Jyothi A.N., Sajeev M.S., Misra R., 2011. Rheological, mechanical and moisture sorption characteristics of cassava starch – konjac glucomannan blend films. *Starch–Stärke*, 63 (11), 728-739.
- Nieto M. B., 2009. Chapter 3: Structure and function of polysaccharide gum-based edible films and coatings. Editors: Embuscado E. M., Huber K. C., *Edible films and coatings for food applications*, Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 57-112.
- Norajit K., Kim K. M., Ryu G. H., 2010. Comparative studies on the characterization and antioxidant properties of biodegradable alginate films containing ginseng extract. *Journal of Food Engineering*, 98 (3), 377-384.
- Nguyen T. A., Verboven P., Daudin J. D., Nicolai B. M., 2004. Measurement and modelling of water sorption isotherms of “Conference” pear flesh tissue in the high humidity range, *Postharvest Biology and Technology*, (33), 229-241.
- Oms-Oliu G., Soliva-Fortuny R., Martín-Belloso O., 2008. Using polysaccharide-based edible coatings to enhance quality and antioxidant properties of fresh-cut melon, *Food Science and Technology*, 41, 1862-1870.
- Öcal B. L., 2007. Poli (vinil alkol)–kalsiyum aljinat, poli (n–izopropilakrilamit)–kalsiyum aljinat kürelerine β –galaktosidaz immobilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 200981.

- Özay G., Pala M., Saygı B., 1993. Bazı gıdaların su aktivitesi (aw) yönünden incelenmesi, *Gıda*, 18 (6), 377-383.
- Park S. I., Zhao Y. 2006. Development and characterization of edible films from cranberry pomace extracts. *Food Engineering and Physical Properties*. 71(2) E95-E101.
- Pavlath A. E., Orts W., 2009. Chapter 1:Edible films and coatings: why, what, and how?, Editors: Embuscado E. M., Huber, K., *Edible films and coatings for food applications*, Springer, New York, 1-23.
- Pérez–Gregorio M. R., Regueiro J., Alonso–González E., Pastrana–Castro L.M., Simal–Gándara J., 2011. Influence of alcoholic fermentation process on antioxidant activity and phenolic levels from mulberries (*Morus nigra* L.), *LWT –Food Science and Technology*, 44, 1793-1801.
- Polat H., İşlenmiş et ürünlerinde yenilebilir filmlerin ve kaplamaların uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 199560.
- Ravishankar S., Jaroni D., Zhu L., Olsen C., McHugh T. H, Friedman M., 2012. Inactivation of *Listeria monocytogenes* on ham and bologna using pectin–based apple, carrot, and hibiscus edible films containing carvacrol and cinnamaldehyde. *Journal of Food Science*, 77 (7), M 377–382.
- Rhim J.W., 2004. Physical and mechanical properties of water resistant sodium alginate films. *LWT – Food Science and Technology*, 37(3), 323–330.
- Rojas–Graü M., Avena–Bustillos R. J., Friedman M., Henika P. R., Martín–Belloso O., McHugh T. H., 2006. Mechanical, barrier, and antimicrobial properties of apple puree edible films containing plant essential oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 249-262.
- Rojas–Graü M., Avena–Bustillos R. J., Olsen C., Friedman M., Henika P. R., Martín–Belloso O., Pan Z., McHugh T. H., 2007b. Effect of essential oil compounds on mechanical, barrier and antimicrobial properties of alginate-apple puree edible films. *Journal of Food Engineering*, 81, 634-641.
- Rojas–Graü M., Raybaudi–Massilia R. M., Soliva–Fortuny R. C., Avena–Bustillos R. J., McHugh T. H., Martín–Belloso O., 2007a. Apple puree–alginate edible coating as carrier of antimicrobial agents to prolong shelf–life of fresh–cut apples. *Postharvest Biology and Technology*, 45(2), 254–264.
- Sarıkuş G., 2006. Farklı antimikrobiyal maddeler içeren yenilebilir film üretimi ve kaşar peynirinin muhafazasında mikrobiyal inaktivasyona etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 185375.
- Skurtys O., Acevedo C., Pedreschi F., Enrione J., Osorio F., Aguilera J. M., 2010. Food hydrocolloid edible films and coatings, Editors: Hollingworth C. S., *Food Hydrocolloids: Characteristics, Properties and Structures*, Nova science Publisher Inc., 41-80.

- Sothornvit R., Krochta J. M., 2005. Plasticizers in edible films and coatings. *Innovations in food packaging*. Editors: J.H. Han, Elsevier Academic Press, San Diego CA., 403-433.
- Sothornvit R., Pitak N., 2007. Oxygen permeability and mechanical properties of banana films. *Food Res Int.*, 40 (3), 365-370.
- Şengül M., Ertugay M. F., Şengül M., 2005. Rheological, physical and chemical characteristics of mulberry pekmez, *Food Control*, 16, 73-76.
- Tanaka M., Ishizaki S., Suzuki T., Takai R. 2001. Water vapor permeability of edible films prepared from fish water soluble proteins as affected by lipid type, *Journal of Tokyo University of Fisheries*, 87, 31-37.
- Taşkın G., 2006. Sodyum aljinat membranlara itakonik asit aşılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 184810.
- TUIK, 2012. Türkiye İstatistik Kurumu, <http://www.tuik.gov.tr>
- Turhan K. N., Şahbaz F. 2004. Water vapor permeability, tensile properties and solubility of methylcellulose – based edible films, *Journal of Food Engineering*, 61 (3), 459-466.
- URL-1: FDA, <http://www.fda.gov/food/ingredientspackaginglabeling/foodadditives/ingredients/ucm091048.htm> (Ziyaret tarihi; 24.09.2013).
- URL-2: ASTM, 2010. Standard test methods for water vapor transmission of materials (E96/ E96M-10. Annual book of ASTM standards. <http://www.astm.org> (Ziyaret tarihi; 18.04.2013).
- URL-3: Kimya teknolojisi, spektrofotometre; <http://www.megep.meb.gov.tr> (Ziyaret tarihi; 01.06.2013).
- Uzun H. İ., Bayır A., 2010. Farklı dut genotiplerinin bazı kimyasal özellikleri ve antiradikal aktiviteleri, *III. Ulusal Üzümsü Meyveler Sempozyumu*, Kahramanmaraş, 128-138.
- Ürkek B., 2009. Şeker pancarı pekmezi üretimi ve bazı kimyasal özellikleri, *Gıda Teknolojileri elektronik dergisi*, 4, 29-33.
- Üstün Ş., Tosun İ., 1997. Pekmezlerin bileşimi. *Gıda*. 22 (6), 417-423.
- Wang X., Sun X., Liu H., Li M., Ma Z., 2011. Barrier and mechanical properties of carrot puree films, *Food and Bioproducts Processing*, 89, 149-156.
- Wu J., Zhong F., Li Y., Shoemaker C. F., Xia W., 2013. Preparation and characterization of pullulan–chitosan and pullulan–carboxymethyl chitosan blended films. *Food Hydrocolloids*, 30 (1), 82-91.
- Yanniotis S., Blahovec J., 2009. Model analysis of sorption isotherms. *LWT–Food Science and Technology*, 42, 1688-1695.

- Yetim H., am M., 2009. Enstürmental gıda analizleri, Erciyes Üniversitesi yayınları, No:175, Kayseri, 51-90.
- Yılmaz M. T., Sert D., Karakaya M., 2009. Rheological and sensory properties of spray dried pekmez mixtures with wheat starch–gum, *International Journal of Food Properties*, 12, 691-704.
- Yoğurtçu H., Kamışlı F., 2006. Determination of rheological properties of some pekmez samples in Turkey, *Journal of Food Engineering*, 77, 1064–1068.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: KÜBRA AKŞEHİR

Doğum Yeri ve Tarihi: RİZE/ 1988

Adres: Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bayburt, 69000

E-Posta: kaksehir@bayburt.edu.tr

Lisans: Ondokuzmayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 2005 – 2009

Yüksek Lisans: Ondokuzmayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği A.B.D, 2010 – 2013

Mesleki Deneyim: Araştırma Görevlisi
Bayburt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,
Gıda Mühendisliği Bölümü, 2010–

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR

▪ **Akşehir K.**, Dervişoğlu M., Kurt A., Kahyaoğlu T, 2013. Determination of mechanical properties of mulberry pestil, 2nd *International Symposium on Traditional foods from Adriatic to Caucasus*, 24-26 October 2013, Ohrid, Macedonia.

