

T.C.
AYDIN ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
2020-YL-001



**EKMEK MAYASININ (*Saccharomyces cerevisiae*)
AKIŞKAN YATAK KAPLAMA YÖNTEMİ İLE
KAPLANMASINDA FARKLI KAPLAMA
MATERYALLERİNİN ETKİSİ**

Semra BOZKURT

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Mehmet KOÇ

AYDIN

T.C.
AYDIN ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE
AYDIN

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı öğrencisi Semra BOZKURT tarafından hazırlanan Ekmek Mayasının (*Saccharomyces cerevisiae*) Akışkan Yatak Kaplama Yöntemi İle Kaplanmasında Farklı Kaplama Materyallerinin Etkisi başlıklı tez, 31.12.2019 tarihinde yapılan savunma sonucunda aşağıda isimleri bulunan jüri üyelerince kabul edilmiştir.

	Ünvanı, Adı Soyadı	Kurumu	İmzası
Başkan :	Doç. Dr. Mehmet KOÇ	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi	
Üye :	Doç. Dr. Hilal ŞAHİN NADEEM	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi	
Üye :	Dr. Öğr. Üyesi Banu KOÇ	Gaziantep Üniversitesi	

Jüri üyeleri tarafından kabul edilen bu yüksek lisans tezi, Enstitü Yönetim KurulununSayılı kararıyla tarihinde onaylanmıştır.

Prof. Dr. Gönül AYDIN
Enstitü Müdürü

T.C.
AYDIN ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Bu tezde sunulan tüm bilgi ve sonuçların, bilimsel yöntemlerle yürütülen gerçek deney ve gözlemler çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, çalışmada bana ait olmayan tüm veri, düşünce, sonuç ve bilgilere bilimsel etik kuralların gereği olarak eksiksiz şekilde uygun atıf yaptığımı ve kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Semra BOZKURT

ÖZET

EKMEK MAYASININ (*Saccharomyces cerevisiae*) AKIŞKAN YATAK KAPLAMA YÖNTEMİ İLE KAPLANMASINDA FARKLI KAPLAMA MATERYALLERİNİN ETKİSİ

Semra BOZKURT

Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet KOÇ

2020, 223 sayfa

Ekmek mayası fırıncılıkta lezzetin ve ürün hacminin oluşmasında oldukça önemli bir bileşendir. Fakat neme karşı oldukça duyarlı olup çok düşük nem içeriklerinde bile çalışarak aktivitesini yitirebilmektedir. Mayanın un karışımları içerisinde çalışmaya başlaması ürünün raf ömrünü kısaltmakta, bu nedenle hazır un karışımları içerisinde yer almamaktadır. Kuru mayanın, nem geçişinin engellenmesi ile hazır un karışımlarında herhangi bir olumsuz etki olmadan kullanılabilir forma getirilmesi ve raf ömrünün artırılması bu çalışmanın temel amacıdır. Bu amaç doğrultusunda, gıda endüstrisinde büyük önem taşıyan, gıdaların raf ömrünü artırma ve kalite özelliklerini geliştirme amacıyla yararlanılan yenilebilir film ve kaplama teknolojisi kullanılarak ekme mayası akışkan yatakta kaplanmıştır. Üç aşamadan oluşan bu çalışmanın ilk aşamasında, ekme mayasının akışkan yatakta kaplanmasında kullanılacak olan kaplama materyallerinin konsantrasyonunu belirlemek amacıyla film denemeleri gerçekleştirilmiştir. İkinci basamakta kaplama sırasında kullanılacak olan işlem parametrelerinin belirlenmesi yer almıştır. Çalışmanın son basamağında ise 2 farklı yağ (palm yağı, ayçiçek yağı), 3 farklı protein (jelatin, Na-kazeinat, yumurta akı) ve 5 farklı karbonhidrat (pektin, aljinat, karboksimetil selüloz, maltodekstrin, karragenan) bazlı kaplama materyallerinin farklı kombinasyonları kullanılarak ekme mayası akışkan yatakta Wurster (alttan) ve üstten kaplama yöntemiyle kaplanmıştır. Yenilebilir filmlerde ve kaplanmış mayalarda gerçekleştirilen analizler bir arada değerlendirilerek, ekme mayasının akışkan yatak yöntemi ile kaplanmasında farklı kaplama materyallerinin etkisi incelenmiştir. Bulgular, ekme mayasının akışkan yatakta kaplanmasında Wurster kaplama yönteminin daha etkin olduğunu ve palm yağı-jelatin-pektin kombinasyonunun düşük geçirgenlik, yüksek maya aktivitesi ve yüksek maya çözünürlüğü açısından en uygun sonucu verdiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Ekme mayası, raf ömrü, yenilebilir film ve kaplamalar, akışkan yatak, Wurster kaplama, palm yağı, jelatin, pektin

ABSTRACT

THE EFFECT OF DIFFERENT COATING MATERIALS ON THE COATING OF YEAST (*Saccharomyces cerevisiae*) WITH THE FLUID BED COATING METHOD

Semra BOZKURT

MSc Thesis, Food Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet KOÇ

2020, 223 pages

Bread yeast is an important component in the formation of flavor and product volume in the bakery. However, it is very sensitive to moisture and can lose its activity by working even at very low moisture contents. Starting to work of yeast in flour mixes reduces the shelf life of the product, therefore it is not included in ready-made flour mixtures. The main purpose of this study is to make dry yeast form which can be used without any negative effect in ready flour mixtures by preventing moisture transmission and increasing shelf life. For this purpose, bread yeast was coated in fluidized bed by using edible film and coating technology, which is used in the food industry to increase the shelf life of foods and improve quality properties. In the first stage of this three-step study, film experiments were performed to determine the concentration of coating materials to be used in the coating of bread yeast in the fluidized bed. The second step involved determining the process parameters to be used during coating. In the last step of the study, using different combinations of 2 different fat (palm oil, sunflower oil), 3 different proteins (gelatin, Na-caseinate, egg white) and 5 different carbohydrates (pectin, alginate, carboxymethyl cellulose, maltodextrin, carrageenan) coating materials the bread yeast was coated with the Wurster (bottom) and top coating method in the fluidized bed. Analyzes of edible films and coated yeasts were evaluated together and the effect of different coating materials on the fluid bed coating of bread yeast was investigated. The results showed that the Wurster coating method was more effective in the coating of bread yeast in the fluidized bed and that the combination of palm oil-gelatin-pectin gave the best results in terms of low permeability, high yeast activity and high yeast solubility.

Key Words: Bread yeast, shelf life, edible films and coatings, fluidized bed, Wurster coating, palm oil, gelatin, peçtin

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, ekmek mayasının akışkan yatak kaplama yöntemi ile kaplanmasında farklı kaplama materyallerinin etkisi incelenmiştir. Maya kaplama üzerine gerçekleştirilen çalışmaların tümü enkapsülasyon teknolojisi ile gerçekleştirilmiş olup kaplama teknolojisi ile gerçekleştirilen herhangi bir maya çalışması bulunmamaktadır. Ayrıca mayanın kaplanması sırasında gerçekleştirilen enkapsülasyon yöntemlerinde uygulananların (emülsiyon oluşturma vd.) aksine, sırasıyla yağ-protein-karbonhidrat bazlı kaplama materyalleri katman katman uygulanmıştır. Bu yönleri ile çalışma ilk olma niteliği taşımaktadır. Çalışmada gerçekleştirilen akışkan yatak kaplama işleminde kurutma ve kaplama işlemi eş zamanlı olarak gerçekleşecek ve bu durum özellikle maya gibi hassas biyolojik materyallere zarar vermeden, kaplama ile dış etkenlerden korunarak daha uzun süre saklanması ve depolanması konusunda yenilik getirecektir. Sonuç olarak kaplanan ekmek mayası canlılığını kaybetmeden daha uzun süre saklanabilecek, raf ömrü boyunca aktivitesini yitirmeyecek, su ile karıştırıldığında ise bu amaca uygun şekilde seçilmiş kaplama materyalleri ile kolaylıkla çözünerek hem kullanım, saklama ve depolama kolaylığı hem de yenilikçi fonksiyonel bir ürün olan kaplanmış ekmek mayası elde edilecektir.

Çalışma süresince bilgi ve tecrübeleriyle her zaman yol gösteren, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen saygı değer hocam Doç. Dr. Mehmet KOÇ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın başından sonuna kadar bütün aşamalarında yer alan, yardımını her zaman hissettiğim değerli arkadaşım Özgül ALTAY'a çok teşekkür ederim.

Tüm öğrenim hayatım süresince beni destekleyen ve hep yanımda olan aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması TÜBİTAK (1505) tarafından 'Akışkan Yatak Kaplama Teknolojisi ile Kontrollü Salınımına Sahip Kuru Ekmek Mayası Üretimi' konulu proje (Proje No:5160078) ile desteklenmiştir.

Semra BOZKURT

İÇİNDEKİLER

ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
ÖNSÖZ	xi
SİMGELER DİZİNİ.....	xvii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xx
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxvii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1 Ekmek Mayası.....	3
2.2 Yenilebilir film ve kaplamalar	4
2.3 Yenilebilir film ve kaplamaların özellikleri	5
2.4 Yenilebilir film ve kaplamaların bileşenleri.....	6
2.4.1 Proteinler	7
2.4.2 Polisakkaritler.....	10
2.4.3 Lipidler	14
2.5 Kompozit film ve kaplamalar.....	15
2.6 Film hazırlama yöntemleri	16
2.7 Yenilebilir film ve kaplamalarda kalite parametreleri.....	16
2.8 Yenilebilir film ve kaplamaların özelliklerini etkileyen faktörler.....	18

2.8.1	Film veya kaplamanın yapılma tekniği.....	18
2.8.2	Yenilebilir film ve kaplamalarda kullanılan materyalin tipi (protein, karbonhidrat, lipid), kimyasal yapısı ve konsantrasyonu	19
2.8.3	Plastikleştirici madde ve konsantrasyonu	23
2.8.4	Kurutma koşulları	25
2.8.5	Filmin kalınlığı	27
2.8.6	Bağıl nem.....	28
2.8.7	Sıcaklık	30
2.8.8	Su buharı basıncı	30
2.8.9	Protein denatürasyonu	31
2.8.10	Penetran özellikleri ve suyun hali.....	33
2.9	Yenilebilir film ve kaplamaların gıdalara uygulama yöntemleri.....	33
2.10	Akışkan yatak	34
2.11	Akışkan yatak sistemi bölümleri	35
2.12	Minimum akışkanlaşma hızı.....	35
2.13	Akışkan yatağın avantaj ve dezavantajları.....	36
2.14	Gıdalarda akışkan yatak uygulamaları.....	36
2.15	Kaplama.....	37
2.15.1	Üstten kaplama	38
2.15.2	Açısal kaplama	39
2.15.3	Wurster kaplama.....	39

2.16	Akışkan Yatak Sistemine Etki Eden Parametreler	41
2.16.1	Ekipman değişkenleri	42
2.16.2	Proses değişkenleri	44
2.16.3	Materyal Özellikleri	47
2.17	Gıdalarda Akışkan Yatak Kaplama Uygulamaları	47
2.18	Ekmek mayasının akışkan yatakta kaplanması	55
3.	MATERYAL VE YÖNTEM	58
3.1	Materyal	58
3.2	Yöntem	58
3.2.1	Film oluşturma	58
3.2.2	Mayanın akışkan yatakta kaplanması	63
3.2.3	Film analizleri	64
3.2.4	Maya analizleri	66
4.	BULGULAR	69
4.1	Yenilebilir filmler üzerine protein, karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonunun etkisi	69
4.1.1	Tek katmanlı filmler	69
4.1.2	İki katmanlı filmler	78
4.1.3	Üç katmanlı filmler	124
4.2	Akışkan yatak işlem parametrelerinin belirlenmesi	129
4.2.1	Wurster yöntemiyle kaplanmış maya	137

4.2.2	Üstten kaplama yöntemiyle kaplanmış maya	163
4.2.3	Ekmek mayasının akışkan yatakta kaplanmasında uygun kaplama yönünün belirlenmesi	187
4.2.4	Ekmek mayasının akışkan yatakta kaplanmasında uygun kaplama materyali kombinasyonunun belirlenmesi.....	188
5.	TARTIŞMA VE SONUÇ.....	191
	KAYNAKLAR.....	193
	ÖZGEÇMİŞ.....	223

SİMGELER DİZİNİ

a_w : su aktivitesi

T_g : Camsı geçiş sıcaklığı

U_{mf} : minimum akışkanlaşma hızı

Δp : basınç düşümü

L : yatak yüksekliği

μ : havanın viskozitesi

ρ : havanın yoğunluğu

v' : minimum akışkanlaşma hızı

D_p : partikül boyutu

ε : porozite, Φ_s : şekil faktörü

x : kalınlık gradyanı

Δp : kısmi buhar basıncı

Δt : süre

A : filmin kesit alanı

N_A : Su buharının kütle akısı ($\text{kg mol A} / \text{s.m}^2$)

D_{AB} : Hava içinden su buharının kütle yayılım katsayısı

dc_A/dz : Su buharı derişiminin kalınlık ile değişimi

m_0 : silika jelin ilk ağırlığı

m_t : silika jelin t anındaki ağırlığı

z : filmin kalınlığı (m)

xviii

A: filmin kesit alanı (m^2)

Δt : zaman farkı

ΔP : basınç farkı

P_1 : 25 °C ve % 75 RH' da suyun buhar basıncı

P_2 : vezin içindeki suyun buhar basıncı

Abs_{600} : 600 nm dalga boyundaki absorbands değeri

W_0 : filmin başlangıçtaki ağırlığı

W_1 : kuru film ağırlığı

KISALTMALAR DİZİNİ

MC: metilselülüz

CMC: karboksimetilselüloz

HPMC: hidroksipropilmetilselüloz

HPC: hidroksipropil selüloz

DE: dekstroz eşdeğer ağırlığı

WVTR: su buharı aktarım hızı

P: geçirgenlik

ALPE: Alüminyum Kaplı Polietilen

ŞEKİLLER DİZİNİ

- Şekil 4.1 Farklı nozzul basıncı ve farklı kaplama çözeltisi miktarı kullanılarak kaplanan mayaların higroskopisite değerleri.....135
- Şekil 4.2 Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların kuru madde içeriği değerleri.....138
- Şekil 4.3 Na-kazeinat ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların kuru madde içeriği değerleri.....139
- Şekil 4.4 Yumurta akı ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların kuru madde içeriği değerleri.....140
- Şekil 4.5 Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların su aktivitesi değerleri.....142
- Şekil 4.6 Na-kazeinat ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların su aktivitesi değerleri.....143
- Şekil 4.7 Yumurta akı ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların su aktivitesi değerleri.....144
- Şekil 4.8 Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların yığın yoğunluk değerleri145
- Şekil 4.9 Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların sıkıştırılmış yoğunluk değerleri.....146

- Şekil 4.10 Na-kazeinat ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların yığın yoğunluk değerleri..... 147
- Şekil 4.11 Na-kazeinat ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların sıkıştırılmış yoğunluk değerleri 148
- Şekil 4.12 Yumurta akı ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların yığın yoğunluk değerleri..... 149
- Şekil 4.13 Yumurta akı ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların sıkıştırılmış yoğunluk değerleri 150
- Şekil 4.14 Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların suda çözünürlük değerleri..... 152
- Şekil 4.15 Na-kazeinat ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların suda çözünürlük değerleri..... 153
- Şekil 4.16 Yumurta akı ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların suda çözünürlük değerleri..... 154
- Şekil 4.17 Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların higroskopisite değerleri 155
- Şekil 4.18 Na-kazeinat ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların higroskopisite değerleri 156

- Şekil 4.19 Yumurta akı ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların higroskopisite değerleri156
- Şekil 4.20 Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların aktivite değerleri158
- Şekil 4.21 Na-kazeinat ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların aktivite değerleri159
- Şekil 4.22 Yumurta akı ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların aktivite değerleri.....160
- Şekil 4.23 Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların ekmek hacmi değerleri161
- Şekil 4.24 Na-kazeinat ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların ekmek hacmi değerleri162
- Şekil 4.25 Yumurta akı ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların ekmek hacmi değerleri163
- Şekil 4.26 Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların kuru madde içeriği değerleri.....164
- Şekil 4.27 Na-kazeinat ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların kuru madde içeriği değerleri.....165

- Şekil 4.28 Yumurta akı ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların kuru madde içeriği değerleri..... 166
- Şekil 4.29 Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların su aktivitesi değerleri 167
- Şekil 4.30 Na-kazeinat ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların su aktivitesi değerleri 168
- Şekil 4.31 Yumurta akı ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların su aktivitesi değerleri..... 169
- Şekil 4.32 Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların yığın yoğunluk değerleri..... 170
- Şekil 4.33 Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların sıkıştırılmış yoğunluk değerleri..... 171
- Şekil 4.34 Na-kazeinat ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların yığın yoğunluk değerleri..... 172
- Şekil 4.35 Na-kazeinat ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların sıkıştırılmış yoğunluk değerleri..... 173
- Şekil 4.36 Yumurta akı ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların yığın yoğunluk değerleri..... 174

- Şekil 4.37 Yumurta akı ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların sıkıştırılmış yoğunluk değerleri.....175
- Şekil 4.38 Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların suda çözünürlük değerleri.....176
- Şekil 4.39 Na-kazeinat ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların suda çözünürlük değerleri.....177
- Şekil 4.40 Yumurta akı ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların suda çözünürlük değerleri178
- Şekil 4.41 Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların higroskopisite değerleri.....180
- Şekil 4.42 Na-kazeinat ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların higroskopisite değerleri.....181
- Şekil 4.43 Yumurta akı ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların higroskopisite değerleri.....181
- Şekil 4.44 Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların aktivite değerleri182
- Şekil 4.45 Na-kazeinat ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların aktivite değerleri183

- Şekil 4.46 Yumurta akı ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların aktivite değerleri..... 184
- Şekil 4.47 Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların ekmek hacmi değerleri..... 185
- Şekil 4.48 Na-kazeinat ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların ekmek hacmi değerleri..... 186
- Şekil 4.49 Yumurta akı ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların ekmek hacmi değerleri..... 187
- Şekil 4.50 Alttan ve üstten kurutulmuş-kaplanmamış mayaların higroskopisite değerleri..... 188
- Şekil 4.51 Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanmış ve kurutulmuş-kaplanmamış mayaların higroskopisite değerleri..... 189

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Ekmek mayasının besin değerleri	4
Çizelge 2.2 Maya kaplama ile ilgili yapılan çalışmalar	56
Çizelge 3.1 Farklı konsantrasyonlarda karbonhidrat bazlı kaplama materyalleri kullanılarak yapılan film denemeleri	61
Çizelge 4.1 Farklı jelatin ve gliserol konsantrasyonu kullanılarak elde edilen tek katmanlı filmlerin özellikleri.....	70
Çizelge 4.2 Farklı Na-Kazeinat ve gliserol konsantrasyonu kullanılarak elde edilen tek katmanlı filmlerin özellikleri.....	71
Çizelge 4.3 Farklı yumurta akı ve gliserol konsantrasyonu kullanılarak elde edilen tek katmanlı filmlerin özellikleri.....	72
Çizelge 4.4 Su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine jelatin ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları	72
Çizelge 4.5 Su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine Na-Kazeinat ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları	73
Çizelge 4.6 Su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine yumurta akı ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları	74
Çizelge 4.7 Jelatin kullanılarak hazırlanan iki katmanlı filmlerin özellikleri	79
Çizelge 4.8 Na-kazeinat kullanılarak hazırlanan iki katmanlı filmlerin özellikleri	81
Çizelge 4.9 Yumurta akı kullanılarak hazırlanan iki katmanlı filmlerin özellikleri	83
Çizelge 4.10 Gıdalarda kullanılan hidrokolloidlerin reolojik özellikleri ve karşılaştırılması (Schrieber ve Gareis, 2007)	85

Çizelge 4.11 Gıdalarda kullanılan hidrokolloidlerin fonksiyonel özellikleri ve karşılaştırılması (Schrieber ve Gareis, 2007).....	85
Çizelge 4.12 Jelatin-pektin kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları	89
Çizelge 4.13 Jelatin-aljinat kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları	90
Çizelge 4.14 Jelatin-CMC kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları	91
Çizelge 4.15 Jelatin-maltodekstrin kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları	92
Çizelge 4.16 Jelatin-karragenan kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları	93
Çizelge 4.17 Na-Kazeinat-pektin kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları	95
Çizelge 4.18 Na-Kazeinat-aljinat kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları	96
Çizelge 4.19 Na-Kazeinat-CMC kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları	97
Çizelge 4.20 Na-Kazeinat-maltodekstrin kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine	

karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları	98
4.21 Na-Kazeinat-karragenan kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları	99
Çizelge 4.22 Yumurta akı-pektin kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları	101
Çizelge 4.23 Yumurta akı-aljinat kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları	102
Çizelge 4.24 Yumurta akı-CMC kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları	103
Çizelge 4.25 Yumurta akı-maltodekstrin kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları	104
Çizelge 4.26 Yumurta akı-maltodekstrin kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları	105
Çizelge 4.27 Jelatin kullanılarak hazırlanan iki katmanlı filmlerin suda çözünürlükleri	112
Çizelge 4.28 Na-kazeinat kullanılarak hazırlanan iki katmanlı filmlerin suda çözünürlükleri	112
Çizelge 4.29 Yumurta akı kullanılarak hazırlanan iki katmanlı filmlerin suda çözünürlükleri	113

Çizelge 4.30. Jelatin kullanılarak hazırlanan tek katmanlı, iki katmanlı ve üç katmanlı filmlerin opaklık değerleri	115
Çizelge 4.31 Na-Kazeinat kullanılarak hazırlanan tek katmanlı, iki katmanlı ve üç katmanlı filmlerin opaklık değerleri	116
Çizelge 4.32 Yumurta akı kullanılarak hazırlanan tek katmanlı, iki katmanlı ve üç katmanlı filmlerin opaklık değerleri	117
Çizelge 4.33 . Jelatin kullanılarak hazırlanan tek katmanlı ve iki katmanlı filmlerin mekanik özellikleri	120
Çizelge 4.34 Na-kazeinat kullanılarak hazırlanan tek katmanlı ve iki katmanlı filmlerin mekanik özellikleri	120
Çizelge 4.35 Yumurta akı kullanılarak hazırlanan tek katmanlı ve iki katmanlı filmlerin mekanik özellikleri	121
Çizelge 4.36 Jelatin kullanılarak hazırlanan 3 katmanlı filmlerin su buharı geçirgenlikleri.....	125
Çizelge 4.37 Na-kazeinat kullanılarak hazırlanan 3 katmanlı filmlerin su buharı	126
Çizelge 4.38 Yumurta akı kullanılarak hazırlanan 3 katmanlı filmlerin su buharı geçirgenlikleri.....	127
Çizelge 4.39 Farklı nozul basınçlarında kaplanan 100 ve 150 g mayanın yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri	131
Çizelge 4.40 Wurster kaplama yöntemi için hazırlanan deneme planı.....	132
Çizelge 4.41 Farklı nozul basıncı ve kaplama materyali miktarı ile kaplanan mayaların yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri	133
Çizelge 4.42 Farklı nozul basıncı ve kaplama materyali miktarı ile kaplanan mayalar kullanılarak hazırlanan ekmek hamurunun, 1. fermentasyon sonunda hacminde meydana gelen artış ve üretilen ekmeklerin hacim değerleri.....	134

Çizelge 4.43 Farklı nozul basıncı ve farklı kaplama materyali çözeltisi miktarı ile kaplanan mayaların çözünürlük değerleri	136
---	-----



1. GİRİŞ

Ekmek mayası, fırıncılıkta lezzetin ve ürün hacminin oluşmasında oldukça önemli bir bileşendir. İçeriğinde yer alan protein, çeşitli vitaminler ve mineraller ile sağlıklı bir besin olup aynı zamanda iyi bir probiyotik kaynağıdır. Ekmek mayasının, yaş ve kuru olmak üzere iki tipi mevcuttur. Yaş maya, yaklaşık olarak %30 düzeyinde kuru madde içeriğine sahip olup raf ömrü 3-4 haftadır. Yaş mayanın kurutulması sonucu elde edilen ve %5-8 oranında nem içeriğine sahip olan kuru maya aktif ve instant kuru maya olmak üzere iki farklı şekilde üretilebilmektedir.

Akışkan yatak sistemler ile gerçekleştirilen kuru ekmek mayası üretiminde, belirli parametrelerde kurutma uygulanarak mayanın nem içeriği düşürülmekte ve raf ömrü uzatılabilmektedir. Ancak akışkan yatak kurutucularda üretilen aktif maya ve instant maya, ekmek üretiminde kullanılan hazır karışımlara katıldığında, yapısındaki nem içeriğinden daha fazla nem içeren un ve diğer bileşenlerden maya hücrelerine nem geçişi olmaktadır. Bu nem geçişi nedeniyle hazır ekmek karışımlarında bulunan aktif ve instant mayanın fermentasyon gücünde düşme, aynı miktarda maya kullanımına rağmen son ürün hacminde ve duyu kalitesinde azalma görülmektedir. Ayrıca, raf ömrü 12 ay olan aktif maya ve 24 ay olan instant maya, fırıncılık ürünlerinde kullanılan hazır karışımlara (eklenen ürün içeriğine bağlı olarak değişen raf ömrü) eklendiğinde son ürünün raf ömründe düşüşler gözlemlenmektedir.

Endüstride gıdaların raf ömrünü arttırma ve kalite özelliklerini geliştirme amacıyla kullanılan kaplama teknolojileri arasında yenilebilir film kaplamalar, biyolojik olarak parçalanabilir özellikte olduğundan ön plana çıkmakta ve son yıllarda yaygın olarak kullanım alanı bulmaktadır. Kuru mayanın, nem geçişinin engellenmesi ile hazır un karışımlarında herhangi bir olumsuz etki olmadan kullanılabilir forma getirilmesi ve raf ömrünün arttırılması bu çalışmanın temel amacıdır. Bu amaç doğrultusunda çalışma kapsamında kuru mayanın, kendisinden yüksek nem içeriğine sahip ortamlardan (un karışımlarından) etkilenmemesi ve hamur hazırlama aşamasında ise kolayca çözünerek elde edilecek son ürüne istenilen lezzet ve hacmi sağlaması için akışkan yatak teknolojisi ile kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Ekmek mayasının akışkan yatakta kaplanması için en uygun kaplama materyali kombinasyonunun belirlenmesi amacıyla öncelikle

protein, karbonhidrat ve yağ olmak üzere üç farklı kaplama materyali tipi kullanılarak film denemeleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen filmlerde su buharı geçirgenliği, nem içeriği ve su aktivitesi analizleri göz önünde bulundurularak kaplama materyali konsantrasyonu belirlenmiş ve bu konsantrasyonlar kullanılarak maya akışkan yatakta kaplanmıştır. Kaplama işleminin yönü (alttan veya üstten) kaplama etkinliğini doğrudan etkileyeceği için bu aşamada gerçekleştirilecek olan çalışmalar ayrı ayrı olmak üzere hem alttan hem üstten kaplama yöntemi ile gerçekleştirilen ön denemeler sonucunda belirlenen parametreler sabit tutularak yapılmıştır. Kaplama materyali tipinin belirlenmesi aşamasında 2 farklı yağ, 3 farklı protein ve 5 farklı karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin farklı kombinasyonları denenmiş olup klasik deneme desenine göre her bir kaplama işlem yönü için 30 deneme gerçekleştirilmiştir. İki farklı yöntemle kaplanmış mayada, su aktivitesi, kuru madde içeriği, yığın yoğunluğu, higroskopisite, çözünürlük, maya aktivitesi ve ekmek hacmi analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları dikkate alınarak ekmek mayasının akışkan yatak kaplama yöntemi ile kaplanmasında farklı kaplama materyallerinin etkisi inceleniş olup uygun kaplama yönü ile uygun kaplama materyali kombinasyonu belirlenmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Ekmek Mayası

Ekmek mayası (*Saccharomyces cerevisiae*), endüstride fırıncılık ürünleri, alkollü içecekler, etanol üretimi vd. alanlarda ticari açıdan yaygın olarak kullanılan tek hücreli bir mikroorganizmadır. Fırıncılık ürünlerinde ekmek mayası, hamurda bulunan basit şekerleri fermantasyona uğratarak, ortaya çıkan CO₂ ile hamurun kabarmasına, diğer maddeler ile hamurun olgunlaşmasına ve aroma oluşumuna katkı sağlar. Ekmek mayasının bileşimini protein, karbonhidrat, lipid, mineral ve vitaminler oluşturmakta olup bileşimi Çizelge 1'de verilmiştir (Anonim, 2019). Maya, içerisinde yer alan protein, çeşitli vitaminler ve mineraller ile sağlıklı bir besin olup aynı zamanda iyi bir probiyotik kaynağıdır. Ekmek mayasının, yaş ve kuru olmak üzere iki tipi mevcuttur. Yaş maya, yaklaşık olarak %30 düzeyinde kuru madde içeriğine sahip olup raf ömrü 3-4 haftadır. Kuru maya ise %5-8 oranında nem içeriğine sahiptir ve aktif ve instant kuru maya olmak üzere iki farklı şekilde üretilebilmektedir. Aktif kuru mayanın kullanılmadan önce 35-40°C sıcaklıktaki suda 10-15 dakika bekletilmesi gerekirken instant kuru maya ek bir rehidrasyon işlemine gerek duyulmadan doğrudan karışımlar içeresine ilave edilen mayadır (Kalkışım vd., 2012).

Taşıma ve depolama kolaylığı ile uzun raf ömrü gibi avantajlar sağlayan kuru maya, yaş mayanın kurutulmasıyla nem içeriğinin %4-6'ya düşürülmesi sonucu elde edilmektedir. Mayanın endüstriyel kurutulmasında, akışkan yatak kurutucular yaygın olarak kullanılmaktadır. Yaklaşık %30 kuru madde içeriğine sahip olan yaş maya akışkan yataklı kurutucuya beslenmeden önce bir granülatörden geçirilerek yüksek basınç altında şekillendirilip çubuk şeklinde, uzun yaş granül formuna getirilir. Uzun çubuk şeklindeki bu yaş maya granüllerini oluşturmak amacıyla yaş maya, delik çapı yaklaşık 0.5-1.0 mm çaplı delikli ekstrüder plakalarından geçirilir. Elde edilmek istenen son ürüne bağlı olarak farklı delik çaplarına sahip plakalar kullanılabilir. Uzun çubuk şeklindeki yaş maya granülleri mekanik olarak parçalanır ve boyları kısaltılarak akışkan yataklı kurutucuya beslenir. Kontrollü şartlarda verilen hava akımına karşı beslenen maya, kurutucu içinde havanın da yardımıyla askıda kalır. Sıcaklığı, debisi ve nem içeriği kontrol altında tutulan giriş hava akımı maya granüllerinden aldığı nemi sistem dışına taşır ve böylece kurutma işlemi başlatılmış olur. Mayanın kuruma hızı, kullanılan havanın sıcaklığına, nem içeriğine ve granülün boyutuna bağlı olarak değişiklik

göstermektedir. Hızlı kurutma evresinde serbest su uzaklaştırılır ve kurutma sabit bir hızda ilerler. Kurutma sırasında sıcaklık, maya canlılığı açısından en önemli proses kontrol parametresidir. Kurutmanın birinci evresinde ürün sıcaklığı yaş termometre sıcaklığına eşit ve bu değer yaklaşık olarak 34-35°C'dir. Ürün içinde bulunan serbest su uzaklaştırıldıktan sonra, ürün sıcaklığı artmaya başlar ve ürün kalitesi üzerine termal inaktivasyonun etkisini azaltmak amacıyla, giriş hava sıcaklığı ürün sıcaklığını sabit tutacak şekilde düşürülür. Kurutma sırasında mayanın sıcaklığı 35-45 °C'yi geçmemektedir. Kurutma işlemi nem içeriği %5 ve altına düşene kadar devam eder ve kurutma işlemi sonrasında elde edilen kuru maya vakum altında ambalajlanır (USEPA, 1994).

Çizelge 2.1 Ekmek mayasının besin değerleri

Bileşen	% Kuru Madde
Protein	40.6-58.0
Karbonhidrat	35.0-45.0
Lipid	4.0-6.0
Mineraller	
Potasyum	0.80-2.00
Sodyum	0.01-0.20
Kalsiyum	0.02-0.15
Magnezyum	0.04-0.18
Fosfor	0.80-1.30
Vitaminler	
Thiamin (B1)	0.002-0.015
Riboflavin (B2)	0.002-0.008
Pyridoxin (B6)	0.002-0.006
Niacin (PP)	0.010-0.050

2.2 Yenilebilir film ve kaplamalar

Yenilebilir film ve kaplamalar, gıdaların yüzeyinde ince bir tabaka şeklinde oluşturulan, gıdalla birlikte tüketilebilen; gıdaların raf ömrünü arttırma, duyuşal özelliklerini koruma, fonksiyonel özelliklerini geliştirme, kalite kayıplarını azaltma ve bozulma reaksiyonlarını önleme gibi çeşitli amaçlarla kullanılan; protein, karbonhidrat ve lipid gibi farklı biyopolimerden veya bu biyopolimerlerin

kombinasyonundan üretilen, biyolojik olarak parçalanabilen aynı zamanda ambalaj materyali olarak da kullanılan doğal maddelerdir. Gıdalarda yenilebilir film ve kaplamaların kullanımına duyulan ilgi son yıllarda artış göstermiş olsa da aslında kullanımı yıllar öncesine dayanmaktadır. Çin’de 12. yüzyılda turunçgiller üzerinde mum kullanılarak gerçekleştirilen kaplama işleminin ilk olduğu bilinmektedir (Hardenberg, 1967). Uygulanan bu kaplama işlemi ile turunçgillerin taşınması ve depolanması sırasında oluşan nem kaybının azaltılması amaçlanmıştır. Önceden, yenilebilir filmler ve kaplamaların, gaz ve nem geçişine karşı bariyer oluşturma özelliği kullanılarak gıda maddelerinin korunması amaçlanmış iken günümüzde ise yenilebilir film ve kaplamalar hem gıdaların kalite özelliklerinin iyileştirilmesi ve raf ömrünün uzatılması gibi farklı amaçlarla kullanılmaya başlanmış hem de gerçekleştirilen bu kaplamaların fonksiyonelliği arttırılmaya çalışılmıştır. Bu uygulama ile gıdaların nem kaybı, enzimatik esmerleşme reaksiyonları, mikrobiyal bozulma ve lipid oksidasyonu gibi fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik bozulmalardan korunması ve daha kaliteli ürün eldesi sağlanabilmektedir (Kester ve Fennema, 1986). Son zamanlarda yenilebilir filmlerin ve kaplamaların, antimikrobiyal ve antioksidan maddeler, vitaminler, aroma uçucuları, lezzet verici ajanların enkapsülasyonunda da kullanım alanı bulmaktadır (Han, 2014; Erkmen ve Bozoglu, 2016).

2.3 Yenilebilir film ve kaplamaların özellikleri

Gıdaları olumsuz koşullardan korumak ve raf ömrü boyunca onları taze ve güvenilir tutmak amacıyla kullanılan yenilebilir film ve kaplamaların kullanım amaçları, gıdaların depolama sırasındaki gereksinimlerine göre değişiklik göstermektedir. Ayrıca, film veya kaplama materyali olarak kullanılan bileşenlerin yapı ve özellikleri, nem ve gazların transfer mekanizmasını etkilediğinden film ve kaplamaların koruyucu özelliklerini sınırlayabilmektedir. Hem paketleme hem de gıda bileşeni olarak kullanılan yenilebilir film ve kaplamaların gıdalara uygulanabilmesi için bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir. İdeal bir yenilebilir film ve kaplamanın sahip olması gereken bu temel nitelikler aşağıda verilmiştir (Pavlath ve Orts, 2009; Quezada-Gallo 2009; Bourtoom 2008; Guilbert vd., 1996; Debeaufort ve Voilley, 2009).

- Tüketimi güvenli olmalı
- Toksik ve alerjen olmamalı, sindirilebilir ve biyolojik olarak parçanabilir özellikte olmalı

- Gıda yüzeyine düzgün ve homojen bir şekilde yapışmalı
- Üretim ve depolama sırasında stabil olmalı
- Üretim ve uygulama koşullarına bağlı olarak iyi mekanik ve reolojik özelliklere sahip olmalı
- Gıdaların taşınması, işlenmesi ve depolanması sırasında oluşabilecek herhangi bir hasara karşı mekanik açıdan dayanıklı olmalı
- Üretim sırasında çözücü içerisinde kolayca dağılan ve çözünen maddelerden oluşmalı
- İstenen nem içeriğinin korunabilmesi için gıdanın içinde ve dışında su transferini kontrol edebilmeli
- Aerobik ve anaerobik solunumda yer alan gazların iç dengesini korumak amacıyla yarı geçirgenlik sağlamalı ve böylece aşırı olgunlaşmayı geciktirmeli
- Tüketiciye hitap edebilmesi için gerekli aroma, lezzet, besinsel ve organoleptik özellikleri stabilize eden bileşenlerin kaybını veya alımını tadı veya görünümü olumsuz yönde etkilemeden önleyebilmeli
- Biyokimyasal, fizikokimyasal ve mikrobiyal stabilite sağlamalı
- Ürünün estetik ve duyuşsal özelliklerini (görünüm, tat vb.) korumalı veya geliştirmeli
- Lezzet, koku, renklendirici, besin maddeleri ve vitaminler gibi istenen katkı maddeleri için taşıyıcı olarak görev yapabilmeli
- Doğayı kirletmemeli
- Kolayca üretilebilir olmalı
- Düşük hammadde ve işleme maliyetine sahip olmalı

2.4 Yenilebilir film ve kaplamaların bileşenleri

Yenilebilir film ve kaplamalar protein, polisakkarit ve lipid gibi farklı biyopolimerden veya bu biyopolimerlerin karışımından veya kombinasyonundan üretilebilmektedir. Kullanılan her bir materyalin kimyasal yapısının birbirinden farklı olması üretilen yenilebilir film ve kaplamaların fiziksel ve mekanik özelliklerini önemli derecede etkilemektedir. Genellikle proteinler film ve kaplamalara mekanik dayanıklılık kazandırmak, polisakkaritler oksijen ve karbondioksit gibi gazların transferini kontrol altına almak, lipitler ise nem geçişini azaltmak amacıyla kullanılmaktadır (Pavlath ve Orts, 2009). Yenilebilir film ve kaplamaların üretiminde bu üç temel bileşen dışında çözücü, plastikleştirici madde, emülsifiyerler, antioksidan ve antimikrobiyal maddelerden

de yararlanılabilmektedir. Su ve etanol, yenilebilir film ve kaplama üretiminde yaygın olarak kullanılan çözücülerdir. Plastikleştirici madde ise yenilebilir film ve kaplamaların mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla çözelti içerisine ilave edilmektir. Genellikle, yaygın olarak kullanılan polioller (gliserol, sorbitol, gliserol türevleri, polietilen glikolleri) ile lipit ve türevleri (fosfolipitler ve yağ asitleri) dışında mono, di veya oligosakkaritler (glukoz, fruktoz-glukoz şurupları ve sukroz) de plastikleştirici madde olarak kullanılabilir. Ayrıca yenilebilir film ve kaplamaların fonksiyonel ve duyuşal özelliklerini geliştirmek amacıyla bu materyaller antioksidan ve antimikrobiyal maddeler, aroma maddeleri, emülsifiyerler ve esmerleşmeyi önleyici ajanlar gibi gıda katkı maddeleri ile zenginleştirilebilmektedir (Cagri vd., 2002).

Gaz ve nem bariyeri oluşumuna olanak veren, mekanik özellikleri ve duyuşal algıyı olumlu yönde geliştiren, mikrobiyal koruma, kullanım kolaylığı ve daha uzun raf ömrü sağlayan yenilebilir film ve kaplamalar genellikle yapı maddelerine göre proteinler, polisakkaritler, lipitler ve kompozitler olarak sınıflandırılmaktadır (Falguera vd., 2011)

2.4.1 Proteinler

Yenilebilir protein filmleri, jelatin, kazein, peynir altı suyu protein izolatu, yumurta akı gibi hayvansal kaynaklı ve mısır zeini, soya proteini, buğday gluteni, bezelye proteini gibi bitkisel kaynaklı farklı proteinlerden elde edilmektedir (Dangaran vd., 2009). Protein bazlı yenilebilir film ve kaplamalar oksijen, karbondioksit, aroma bileşenleri ve lipit transferine karşı iyi bir bariyer özellik göstermelerine rağmen hidrofilik yapıda olduklarından su buharı geçirgenliklerinin yüksek olması bu grubun dezavantajını oluşturmaktadır (Popović vd., 2012). Polisakkarit bazlı filmlerle karşılaştırıldığında protein bazlı filmler daha iyi bariyer (karbondioksit ve oksijene karşı) ve mekanik özelliklere sahiptir (Guilbert vd., 1997; Robertson, 2013; Suderman vd., 2018). Bu durumun proteinlerin farklı fonksiyonel özellikler içermesi ve özellikle de moleküller arası bağlanma potansiyellerinin yüksek olmasından kaynaklandığı öne sürülmektedir. Protein bazlı filmlerin çoğu, oksijene karşı iyi bir bariyer sağlar. Bu özellik, yağ içeriği yüksek gıdaları oksidasyona karşı etkili bir şekilde korumak amacıyla kullanılmaktadır. Mekanik ve optik özellikleri açısından da tercih edilen protein bazlı yenilebilir film ve kaplamaların geçirgenlik özellikleri protein kompozisyonuna bağlı olarak değişkenlik gösterebildiği gibi kullanılan proteinin kaynağı, protein çözeltisinin

pH'sı, hazırlama koşulları, plastikleştirici madde, filmin kalınlığı gibi faktörler de film özelliklerini etkilemektedir (Pavlath ve Orts, 2009; Benjakul vd., 2008). Genellikle yenilebilir film ve kaplama uygulamalarında protein bazlı materyal olarak jelatin, kazein ve kazeinatlar ile yumurta akı tercih edilmektedir.

2.4.1.1 Jelatin

Jelatin, cilt, kemik ve bağ dokunun ana bileşeni, lifli ve hidrofobik yapıda bir protein olan kollajenin yüksek sıcaklıklarda su varlığında kısmi asit veya alkali hidrolizi ile üretilir (Shit ve Shah, 2014). Jelatinin karakteristik özelliği yüksek oranda glisin, prolin ve hidroksil prolin içermesidir (Hanani vd., 2013). Aynı zamanda tek ve çift katlı zincirlerden oluşan karma bir yapıya sahip olması jelatine hidrofilik karakter kazandırmaktadır. Yaklaşık 40°C'de jelatin sulu çözeltileri koloid yapıdadır ve soğutma işlemi ile termik olarak geri dönüşümlü jel oluşturur (Shit ve Shah, 2014). Jelatin, iyi emülsiyon ve film oluşturma özelliği göstermesi, suda çözünebilirliğinin yüksek ve yenilebilir olması sebebiyle iyi bir kaplama materyalidir. Yenilebilir film veya kaplama üretiminde jelatinin işlevsel olarak kullanımı 1960'lara dayanmaktadır. Bununla birlikte biyoaktif bileşenler için matriks olarak kullanılan ilk materyallerden birisidir (Gennadios vd., 1994). Birincil biyopolimer olarak jelatinin kullanılma amaçları arasında düşük maliyette olması ve kolay temin edilebilmesi yer almaktadır. Düşük nem veya yağ fazı içeren gıda bileşenlerinin enkapsülasyonunda jelatin kullanılmış, oksijen ve ışığa karşı iyi bir bariyer sağlanmıştır (Bourtoom, 2008). Çok iyi bir film oluşturma kabiliyetine sahip olması, gıdaları kurumaya karşı koruması, oksijen ve ışığa karşı güçlü bir bariyer özellik göstermesi ve mekanik özelliklerinin iyi olması gibi etkenlere bağlı olarak bu alanda ilgi odağı olmuş ve birçok çalışmada kullanım alanı bulmuştur. Yapılan çalışmalarda jelatin bazlı film ve kaplamaların şeffaf olduğu ve iyi mekanik ve bariyer özelliklere sahip olduğu belirtilmiştir (Hanani vd., 2013; Hanani vd., 2014; Molinaro vd., 2015; Wang vd., 2007). Ayrıca jelatin filmleri, oksijen, nem ve yağ transferini azaltmak amacıyla etlerde kaplama olarak kullanılmıştır (Khan vd., 2013).

2.4.1.2 Kazein

Doğada sadece sütte bulunan kazein, süt proteinlerinin en önemli fraksiyonu olup yaklaşık %80'ini oluşturmaktadır. Kazein, alkali ilavesiyle nötrleştirilerek fonksiyonel çözümler kazeinatlara dönüştürülmektedir (Shit ve Shah, 2014). Kazein

ve kazeinatlar, sıcaklığa karşı duyarlı olup yüksek yüzey aktif özelliğe sahip olmalarından dolayı birçok uygulamada emülsifiye edici ajan olarak kullanım alanı bulmaktadır. Kazein kullanılarak elde edilen filmler saydam ve esnektir (Krochta vd., 1994; Gennadios vd., 1994). İçerdiği çok sayıda polar grup nedeniyle kazein filmleri farklı yüzeylere mükemmel bir şekilde yapışır ve O₂, CO₂ ve aromaların migrasyonunu önler (Arrieta vd., 2013). Kazein filmlerinin fiziksel (ışınlama) (Vachon vd., 2000), enzimatik (transglutaminaz enzimi) (Patzsch vd., 2010) veya kimyasal (formaldehit, DL-gliseraldehit, glutaraldehit veya glisoksal gibi ajanlar) (Audic ve Chaufer, 2010; Mendes de Souza vd., 2010) çapraz bağlama yoluyla suda çözünürlüğü azaltılarak, mekanik özellikleri iyileştirilebilir. Audic ve Chaufer, (2005) yaptıkları çalışmada formaldehit kullanarak kimyasal yolla çapraz bağlanmayı sağladıkları sodyum kazeinat filmlerinin suya karşı dirençlerinin arttığını, çözünürlüklerinin azaldığını ve mekanik özelliklerinin (çekme gerilimi, kopma uzaması) geliştiğini bulgulamışlardır. Vachon vd., (2000) ise fiziksel (ısıtma işlem ve ışınlama kombinasyonu) çapraz bağlama yoluyla elde ettikleri kazein filmlerini işlem görmemiş filmlerle karşılaştırmış ve çapraz bağlanmış filmlerin mekanik özelliklerinin (delinme dayanımı) %30 oranında arttığını ve çözünürlüklerinin ise %70 oranında azaldığını tespit etmişlerdir.

2.4.1.3 Yumurta akı

Sıvı yumurta akının ikinci temel bileşenini oluşturan yumurta akı proteini, kuru madde bazında %95.5 düzeyinde protein içerir (Nakamura ve Doi, 1986). Şekersizleştirilmiş (glukozun uzaklaştırılması) sıvı yumurta beyazının, sprey veya farklı bir kurutma tekniği ile kurutulması sonucunda toz formda elde edilmektedir (Bergquist, 1986). Yumurta akı, besinsel niteliklerine ek olarak köpürme, kıvamlaştırma, su bağlama, jelleştirme ve emülsifiye etme gibi fonksiyonel özellikler sağladığından gıda uygulamalarında kullanım alanı bulmaktadır (Wongsasulak vd., 2007). Yumurta akı proteini albuminin, gıda ve kozmetik ürünlerin formülasyonunda kullanılan hidrofobik organik bileşenler için enkapsülasyon materyali olarak kullanımı önerilmektedir (Soloway, 1964; Kosar ve Atkins, 1968). Yumurta akı proteini, ısıya dayanıklı olup geri dönüşümsüz güçlü bir jel yapı oluşturur. Elastik albümin filmleri genellikle 62°C üzerindeki denatürasyon sıcaklığında oluşur (Croguennec vd., 2002; Hsieh vd., 1993). Yumurta akı proteinlerinin denatürasyonu, pH, tuz konsantrasyonu, sukroz veya ön ısıtma işlemi gibi faktörlerden etkilenebilmektedir (Mine, 1990). Film ve

kaplamaların geliştirilmesinde yumurta beyazı (albumin), jelatin ve kazein kadar çok çalışılmamıştır. Albumin filmleri oldukça hidrofilik olduğundan bu filmlerin ticari olarak kullanılan ve selüloz eteri bazlı suda çözünen paketlerle benzerlik gösteren, gıda, kimya ve eczacılık endüstrisinde ingredientlerin konulduğu suda çözünen paketlerin (poşet) üretiminde kullanılabileceği önerilmektedir (Gennadios vd., 1996; Perez-Gago vd., 2006). Durst (1969) tarafından geliştirilen koruyucu gıda kaplama formülasyonunda yumurta akı proteini kullanılmıştır. Yumurta akı kaplamalarının uygulanması ve ardından ısı denatürasyonu, kepek gevreği ile depolanan kuru üzümlemeden gevreğe geçen nem kaybını önemli ölçüde azaltılmıştır.

2.4.2 Polisakkaritler

Polisakkaritler, monosakkaritlerin glikozidik bağlarla bağlanması sonucunda oluşan kompleks yapıdaki karbonhidratlardır. Film oluşturma özelliklerinin iyi olması, düşük maliyete sahip olmaları ve kolay elde edilebilmeleri gibi nedenlerden dolayı yenilebilir film ve kaplama üretiminde kullanım alanı bulmaktadırlar (Robertson, 2013). Polisakkarit bazlı yenilebilir film ve kaplamalar yapısal olarak oldukça dayanıklı olmalarının yanı sıra gaz migrasyonuna karşı iyi bir bariyer özelliği sergilerler. Fakat protein bazlı yenilebilir film ve kaplamalarda olduğu gibi polisakkarit bazlı yenilebilir film ve kaplamaların da hidrofilik özellikte olmaları su migrasyonuna karşı düşük direnç göstermelerine neden olmaktadır (Banker, 1966). Polisakkarit bazlı yenilebilir film ve kaplamaların üretiminde aljinat, pektin, karragenan, maltodekstrin, kitosan, agar, gamlar, selüloz ve türevleri, nişasta ve nişasta hidrozalatları gibi maddeler kullanılmaktadır (García vd., 2009)

2.4.2.1 Pektin

Pektinler farklı derecelerde metil ester grubu içeren lineer (1-4) bağlı α -D-galactopiranozilüronik asit birimlerinden oluşan polimerlerdir (Pérez vd., 2000, 2003). Bitki hücre duvarının yapısal bileşenidir. Ticari pektin genellikle turuncuğil kabukları ve elma posasından elde edilir. Pektinler şeker ve asitlerin varlığında veya kalsiyum iyonlarının varlığında jel oluşturma yeteneğine sahiptir. Bu özellik, pektinlerin reçel, marmelat ve şekerlemenin yanı sıra yenilebilir film ve kaplamalar için önemli bir katkı maddesi haline getirmiştir (Han, 2014). Pektin bazlı filmlerin daha çok düşük nem içeriğine sahip gıdalarda iyi çalıştığı

görülmüştür. Fakat tam anlamıyla iyi bir nem bariyeri özelliğine sahip değildir. Gaz geçirgenliği açısından etkili bir bariyer sağlayan pektin bazlı filmler zayıf nem bariyer özelliklerine sahip olmalarına rağmen nem kaybını ve yağ transferini geciktirmek amacıyla kullanılırlar (Gutierrez- Pacheco vd., 2016).

Pektinin yapısında bulunan metanolla esterleşmiş olan karboksil gruplarının yüzde olarak değeri esterleşme derecesi olarak adlandırılır. Jelleşme özelliği esterleşme derecesinden etkilenmektedir. Bu durum polimerler arası zincir etkileşimini ve dolayısıyla film oluşumunu etkilemektedir. Bu nedenle, pektinler genellikle jelasyon koşulları (pH, kalsiyum varlığı) sağlandığında daha güçlü filmler oluşturabilmektedir (Nieto, 2009). Kalsiyum pektinat jel kaplamanın, bifteklerde meydana gelen büzülme ve bakteriyel gelişmeyi azalttığı görülmüştür (Gennadios, 2002).

2.4.2.2 Aljinat

Aljinatlar, β -(1 \rightarrow 4) bağlı D-mannuronik asit (M) ve α -(1 \rightarrow 4) bağlı L-guluronik asit (G) birimleri içeren lineer, dallanmamış polimerlerdir (Nieto, 2009). Genellikle kahverengi deniz yosunlarından alkali muamelesi ile elde edilirler (Draget, 2000). Aljinat, kıvam verici, süspansiyon oluşturucu, askıda tutma, stabilizatör, emülgatör ve jel oluşturma, film oluşturma gibi ayırt edici koloidal özelliklerinden dolayı biyopolimer film veya kaplama bileşeni oluşturma potansiyeline sahiptir (Draget vd., 2005; King 1983; Gombotz ve Wee, 1998). Aljinat bazlı film ve kaplamalar jelleşme ile veya jelleşme olmaksızın çözücünün buharlaşması veya elektrolit çapraz bağlama (kalsiyum) gibi işlemlerle oluşturulabilmektedir. Aljinat kullanılarak elde edilen filmler güçlü bir yapıya sahip olmalarına rağmen hidrofilik olduklarından zayıf nem bariyeri oluştururlar. Ancak kalsiyumun aljinatın yapısına dahil edilmesi, aljinattan elde edilen filmlerin su buharı geçirgenliğini azaltmakta ve aynı zamanda filmleri suda çözünmez hale getirmektedir (Cazon vd., 2017). Esas olarak et ürünleri ve su ürünlerinin kaplanmasında dehidrasyonu geciktirmek (yapay bariyer görevi) ve lipid oksidasyonunu önlemek amacıyla kullanılmıştır (Mate vd, 1996, Fisher ve Wong 1972; Cottrell ve Kovacks 1980 ; King 1983 ; Kester ve Fennema 1986; Conca ve Yang 1993 ; Amanatidou vd., 2000; Hershko ve Nussinovitch 1998, Varela ve Fisz-man, 2011). Bununla birlikte aljinat-Ca²⁺ kaplamaları taze kesilmiş elmaların raf ömrünü uzatmak amacıyla da kullanılmıştır. Uygulanan kaplama işlemi ile

ağırlık kaybı ve kararma en aza indirilmiş aynı zamanda depolama sırasında ürünün sertliği de korunmuştur (Olivas ve Barbosa-Cánovas, 2009).

2.4.2.3 **Karboksimetilselüloz**

Yenilebilir film ve kaplamaların yapısını oluşturan bir diğer bileşen selüloz ve türevleridir. Selüloz, β -1,4 bağlarıyla bağlanmış D-glukopiranoz birimlerinin suda çözünmeyen, dallanmamış yapıdaki polimeridir. Selülozun esterifikasyonu ile metilselüloz (MC), karboksimetilselüloz (CMC), hidroksipropilmetilselüloz (HPMC) ve hidroksipropilselüloz (HPC) gibi suda çözünür esterleri oluşmaktadır. Ticari olarak yaygın bir şekilde üretilen selüloz türevleri iyi film oluşturma özelliğine sahiptir (Olivas ve Barbosa- Cánovas, 2005). Bu maddeler geri dönüşümlü termal jelasyon özelliği gösterirler. MC, HPMC, HPC ve CMC bazlı yenilebilir film ve kaplamaların genellikle suda çözünür, kokusuz, esnek, şeffaf, renksiz, yağa karşı dirençli, oksijen ve neme karşı ise orta düzeyde bir bariyer özelliğe sahip olduğu bilinmektedir (Suput vd., 2015). Bu polimerler, meyve ve sebzelerde oksijen, yağ ve/veya neme karşı bariyer sağlamak amacıyla kaplama materyali olarak kullanılmıştır (Sanderson 1981; Morgan 1971; Sacharow 1972; Krumel ve Lindsay 1976; Maftoonazad ve Ramaswamy 2005; Nieto, 2009). Elma, çilek, şeftali, kereviz, marul ve havuç gibi meyve ve sebzelerde bu materyaller kuru kaplama şeklinde uygulanmış ve bu ürünlerin sertliğini ve canlılığını korudukları rapor edilmiştir (Mason 1969). Ayrıca taze meyve ve sebzelerin önemli tat bileşenlerini korumak amacıyla da kullanılmışlardır (Nisperos-Carriedo ve Baldwin 1990). Ek olarak, kontrollü bir atmosfer ortamı simüle ederek kaplanmış elma ve armutlarda iç karbondioksit seviyesini arttırmadan oksijen alımını azaltmaya yardımcı olurlar (Lowings ve Cutts 1982; Banks 1985; Meheriuk ve Lau 1988; Santerre vd., 1989). Selüloz türevleri özellikle geri dönüşümlü termal jelleşme özelliklerinden dolayı genellikle ısı işlem görmüş gıdalarda özellikle de et, tavuk, nişastalı ürünler, hamur gibi kızartılmış gıdalarda kızartma işlemi sırasında yağ emilimini azaltmak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır (Chidanandaiah Keshri vd., 2005; Rimac-Brncic vd., 2004). CMC'nin kızarmış patateslerde, özellikle haşlama veya kalsiyum klorür gibi ön işlemlerle kombinasyon halinde yağ alımını azalttığı bulgulanmıştır (Suput vd., 2015).

2.4.2.4 Maltodekstrin

Maltodekstrin α -(1-4) glikosidik bağ ile bağlanmış D-glikoz polimerleridir (Kramer, 2009). Mısır nişastasının asidik veya enzimatik yöntemle, kısmi hidrolizi sonucunda elde edilen ve dekstroz eşdeğer ağırlığı (dextrose equivalent, DE) 20 veya 20'den küçük olan bir maddedir (Madene vd., 2006). Yüksek sıcaklıkta (100°C) ve pH 4.00–5.00 koşullarında nişasta α -amilaz ünitelerine parçalanır ve işlemin sonucunda maltodekstrin ve mısır şurubu elde edilir (Kaçar ve Şahan, 2004). Düşük DE değerine sahip maltodekstrinler bazı gıdalarda (dondurma gibi) yağ ikamesi olarak kullanılmaktadır. Maltodekstrinler yüzey aktif bileşikler olup çözeltileri düşük viskoziteye sahiptir. Mikroenkapsülasyon işleminde maltodekstrinler emülsifiye edici özelliklerinin az olması sebebiyle genellikle yardımcı kaplama materyali olarak kullanılmaktadır (McNamee vd., 1998; Pedersen vd., 1998; Hogan vd., 2001; Christensen vd., 2001). Bu maddeler katı ve sıvı yağların, vitaminlerin, minerallerin ve renk maddelerinin mikroenkapsülasyonu işleminde Maillard reaksiyonunun hızını düşürmektedir. Maltodekstrinler mikroenkapsüle edilmiş yağlarda iyi bir oksidatif stabilite sağlamaktadır. Yüksek konsantrasyonlarda dahi düşük viskoziteye sahip olmaları ve çözünürlüklerinin iyi olması dolayısıyla maltodekstrinler iyi bir kaplama materyalidir. Oksijen bariyer özellikleri iyi olan bu maddeler kendi başlarına zayıf kaplamalar oluştururlar. Murray ve Luft (1973), yaptıkları çalışmada meyve dilimleri ve fındıkların raf ömrünü uzatmak amacıyla kaplama materyali olarak maltodekstrini kullanmıştır.

2.4.2.5 Karragenan

Karragenanlar birbirleriyle benzer yapıdaki galaktanların karışımından oluşan ve şeker birimlerine sülfat yarı-ester gruplarının bağlı olduğu polimerlerdir. D-galaktopiranozil birimlerinin lineer olarak birleşmesiyle meydana gelmiştir. Birleşme noktaları dönüşümlü olarak (1-3)- α -D- ve (1-4)- β -D- glikozidik bağlardan oluşmuştur ve şeker birimlerinin çoğu bir veya iki sülfat grubu ile esterleşmiş haldedir. Kırmızı deniz yosunlarından sıcak ve seyreltik alkali çözeltiler ile karragenanın sodyum tuzu halinde ekstrakte edilirler (Nieto, 2009). Karragenandan film oluşumu, kurutma sırasında meydana gelen bir jelleşme mekanizması içerir (Karbowiak vd., 2006). Jelleşme ile polisakkarit-çift sarmallarının meydana getirdiği üç boyutlu bir ağ oluşumu sağlanır ve çözücü buharlaştıktan sonra film elde edilmiş olur. Karragenanlar genellikle süt ve su ile

jel oluşturma özellikleri nedeniyle kullanılmaktadır. ikolatalı sütte kakao partiküllerinin okmesini engellemek amacıyla kullanılmaktadır. Tatlılarda, dondurmada, krem şantide, konsantre sütlerde, salata soslarında, meyve fritzlerinde ve bira gibi ürünlerde kullanılmaktadır (Prajapati vd., 2014). Karragenan, ambalajı olduğu gıdada, yapay bir nem bariyeri gibi görev olarak, ürünün nem kaybını azaltabilmektedir (Akbaba, 2006). Gıda uygulamalarında kullanılan karragenan bazlı kaplamalar çoğunlukla antimikrobiyal madde içeren jel matrislerinde mikrobiyal büyümeyi geciktirmek amacıyla kullanılmakla birlikte et ve n pişirilmiş et ürünlerinde lipid oksidasyonunu geciktirmek amacıyla oksijen bariyeri olarak da kullanılırlar (Varela ve Fiszman, 2011). Aynı zamanda karragenan bazlı kaplamalar nem kaybını ve oksidasyonu azaltmak için taze meyve ve sebzelere de uygulanmıştır (Bryan, 1972; Lee vd., 2003; Nieto, 2009).

2.4.3 Lipidler

Lipidler, hidrofobik özellikleri nedeniyle yenilebilir film ve kaplamalarda kullanılmakta ve böylelikle nem kaybı önemli derecede azaltılmaktadır (Morillon vd., 2002). Yapılan bir çalışmada, saf kazeinat filmlerinin su buharı geçirgenliğinin, lipid materyallerinin (balmumu) dahil edilmesiyle %70'in üzerinde azaltılabileceği bulunmuştur (Avena-Bustillos ve Krochta 1993). Ancak, film ve kaplama oluşumunda çözücü veya yüksek sıcaklık gerektirmeleri ve zayıf mekaniksel özellik göstermeleri bu bileşenlerin dezavantajını oluşurmaktadır. Lipid bazlı yenilebilir film ve kaplama üretiminde gliseritler, mumlar ve yağ asitleri kullanılmaktadır. Bu grupta yer alan film ve kaplamaların mumsu ve acı tat vermeleri, kalın ve kaygan bir yüzey oluşurmaları uygulama sırasında sorun yaratabilmektedir. Lipidlerin nemli veya hidrofilik bir yüzeye doğrudan uygulanması gıda ile film arasında zayıf bir çekim kuvvetinin oluşmasına neden olduğundan lipid bazlı yenilebilir film ve kaplamaların üretiminde çift katmanlı veya emülsiyon oluşturularak film ve kaplama yapılma yoluna gidilmekte ve böylece bariyer özellikleri iyileştirilmektedir (Pavlath ve Orts, 2009). Nem geçişine karşı iyi bir bariyer özellik sergilemeleri dışında gıdaların yüzeyinde parlaklık sağlama, aerobik solunum hızını yavaşlatma, mikrobiyolojik ve fizikokimyasal bozulmanın önlenmesinde etkin bir rol oynamakta ve böylece gıdaların raf ömrünü arttırmaktadırlar. Lipid bazlı kaplamalar gıda ile gıdayı vreleyen ortam arasındaki nem geçişini yavaşlatmak veya önlemek amacıyla da uygulanmaktadır. Bununla birlikte yüksek molekül ağırlıklı polimerlerle birlikte nem transferine karşı hassas olan gıda maddelerinin mikroenkapsülasyonunda da

kullanılmaktadırlar. Ayrıca oksidasyona karşı hassas olan gıda bileşenlerinin enkapsülasyonunda da lipid bazlı film ve kaplamalar oksijen bariyeri olarak kullanılmaktadır (Kester ve Fennema, 1989).

2.5 Kompozit film ve kaplamalar

Protein, polisakkarit ve lipid gibi tek bir hammadde kullanılarak üretilen film ve kaplamalar ya iyi bir bariyer özelliği ya da iyi bir mekanik direnç gösterirler. Fakat genellikle bu iki fonksiyonu aynı anda yapılarında bulundurmazlar. Lipid bazlı filmler su buharı geçişine karşı oldukça iyi bir bariyer özellik gösterirken bu tip film ve kaplamaların uygulanan gıda da mumsu bir tada neden olması, adhezyon özelliklerinin zayıf olması, homojen dağılmama, ürünün ve filmin yüzeyinde gözenek ve çatlakların oluşabilmesi ve polimerik olmayan özellikleri nedeniyle mekanik özelliklerinin geri planda kalması gibi istenmeyen özellikleri de yapısında bulundurabilmektedir. Buna karşın polisakkarit ve protein bazlı yenilebilir film ve kaplamalar gaz transferine karşı iyi bir bariyer özelliğine sahip olup hidrofilik yapıda olmaları nedeniyle nem migrasyonuna karşı dirençleri sınırlı bir düzeydedir. Hem iyi bir bariyer özellik hem de yapısal yönden dayanıklılık gibi yenilebilir film ve kaplamalarda istenen bu iki özelliğe sahip film ve kaplama üretimi için farklı materyallerin kombinasyonundan faydalanılmaktadır (Gennadios vd., 1997). Kullanılan polimerlerin kombinasyonu protein ve karbonhidrat, protein ve lipid veya karbonhidrat ve lipidler şeklinde olabilir. Bu yaklaşım bileşenlerin farklı özelliklerini bir arada kullanabilme imkanı sağlamaktadır. Formülasyondaki lipidler su geçişini azaltırken, hidrokolloid komponentler (protein ve polisakkaritler) seçici gaz bariyerleri olarak görev yapmakta ve yapısal bütünlük sağlamaktadırlar. Polisakkarit, protein ve lipidlerin kombinasyonları şeklinde kullanılan bu tip yenilebilir film ve kaplamalar, kompozitler olarak adlandırılmaktadır. Kompozit film ve kaplama üretiminde yaygın olarak kullanılan iki yöntem mevcuttur. Bu yöntemlerden biri katman halinde film ve kaplama üretim tekniği diğeri ise film veya kaplama çözeltisine lipid eklenmesine dayanan emülsiyon yöntemidir (Kamper ve Fennema, 1985; Krochta ve De Mulder Johnston, 1997). Katman halinde uygulanan film ve kaplamalarda hedef fonksiyona bağlı olarak farklı materyallerin kombinasyonu kullanılabilmekte ve katman sayısı arttırılabilmektedir.

2.6 Film hazırlama yöntemleri

Yenilebilir film ve kaplama üretiminde yaygın olarak kullanılan üç yöntem ön plana çıkmaktadır. Bu yöntemler ısıl jelleşme, çözücü uzaklaştırma ve eriyiğin katılaştırılmasıdır. Çözücünün uzaklaştırılması, daha çok polisakarit bazlı film ve kaplama üretiminde kullanılan bir tekniktir. Bu uygulama ile sürekli bir yapı elde edilmekte olup polimer molekülleri arasındaki etkileşim fiziksel ve kimyasal yolla stabil hale getirilmektedir. Film oluşturma çözeltilerindeki makro moleküllerin su, etanol ve asetik asit gibi uygun çözücülerde çözünmesi sağlandıktan sonra çözelti içerisine plastikleştirici madde ya da çapraz bağ yapıcı maddeler gibi katkı maddeleri ilave edilmektedir. Elde edilen film oluşturma çözeltisi, düz ve uygun bir yüzeye ince bir katman halinde dökülür ve kurutma işlemine tabi tutulduktan sonra yüzeyden soyularak film üretimi gerçekleşir. Protein bazlı yenilebilir filmler asit, baz, çözücü veya ısı uygulaması ile denatürasyon sonucu oluşmaktadır (Rhim ve Eg, 2007) ve genellikle ısıl jelleşme yöntemi kullanılmaktadır. Isıtma sonucu molekül içi ve moleküller arasındaki disülfid bağları denatürasyona bağlı olarak parçalanır. Isıtma işlemi takip eden soğutma ve kurutma sonucunda disülfid bağlarının tekrar kurulmasıyla polipeptit zincirlerin birbirine bağlanması sağlanır ve film yapısı oluşturulur (Okamoto, 1978). Lipit bazlı yenilebilir filmlerde ise (soğutma işlemi ile) eriyiğin katılaştırılması yöntemi kullanılmaktadır (Donhowe ve Fennema, 1993).

2.7 Yenilebilir film ve kaplamalarda kalite parametreleri

İdeal özelliklere sahip film ve kaplama üretiminde bazı kalite parametrelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Yenilebilir filmlerde değerlendirilen en önemli özellikler nem ve gaz bariyer özelliği, mikrobiyal stabilite, nem sorpsiyon kapasitesi, adhezyon, kohezyon, çözünürlük, ışık geçirgenliği, mekanik özellikler, duyu ve organoleptik özellikler yer almaktadır (Falguera vd., 2011). Yenilebilir filmlerin kalitesinin belirlenmesinde kullanılan bazı parametreler aşağıda verilmiştir (Erkmen ve Bozoglu 2016).

Su buharı geçirgenliği; kuru gıdaların ortamdan nem kapmasının ve taze gıdaların ise dehidrasyonunun önlenmesinde önem kazanmaktadır.

Oksijen geçirgenliği; Solunum ve oksidasyondan dolayı meyve ve sebzeler ile yağ içeriği yüksek gıdalarda önem kazanmaktadır.

Depolama sırasında nem tutma; Meyve ve sebzelerde mikrobiyal gelişimi kontrol altına almak, kuru gıdalarda ürünün bozulması (gevrekliğin kaybolması gibi) için gerekli transfer edilen su miktarının değerlendirilmesi ve bu su miktarının kaplamadan geçmesi için gereken sürenin belirlenmesinde kullanılır.

Mekanik özellikler; çekme dayanımı, yüzde uzama, kopma uzaması, elastik modül ve camsı geçiş sıcaklığı; Bu özellikler, ambalaj olarak kullanılan filmlerin oluşabilecek mekanik bir etkiye karşı bütünlüğünü koruyarak dayanması amaçlandığında önemlidir. Bu özelliklerin ölçümü, ambalajların, farklı gıda işleme koşulları altında nasıl davranacağını tahmin etmeyi ve ticari polimerlerle karşılaştırmayı mümkün kılmaktadır.

Kimyasal özellikler, su, alkol ve karışımlarda çözünürlük ile hidrofilik-hidrofobik etkileşimler; Özellikle su içeriği yüksek gıdalarda yenilebilir film ve kaplamaların uygulanabilirliğini ve bu materyallerin biyolojik olarak parçalanabilirliğini belirlemede önemli bir faktördür. Genel olarak çözünürlük artışı suya karşı direncin zayıf olduğunu gösterir.

Organoleptik özellikler; Tüketici tercihini belirleyen renk, tat, görünüm ve koku gibi özellikler açısından önemlidir.

Opaklık ve ışık geçirgenliği; özellikle yağ içeriği yüksek gıdalarda oksidasyonu önlemek amacıyla kullanılmaktadır.

Antimikrobiyal özellikler; minimum inhibitör konsantrasyonları, minimum bakterisidal konsantrasyonlar, maksimum tolere edilen konsantrasyonlar ve doğal antimikrobiyal içeren yenilebilir filmlerde hedef organizmalara karşı antimikrobiyal aktivite.

Yenilebilir film ve kaplamaların yukarıda verilen özellikleri iç ve dış faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir (Panyam ve Kilara 1996). İç faktörleri, filmi oluşturan polimerlerin kimyasal yapısı ve konsantrasyonu meydana getirirken, dış faktörleri ise pH, proses ve depolama sırasındaki sıcaklık ve bağıl nem ile basınç oluşturmaktadır (Damodaran, 1996).

2.8 Yenilebilir film ve kaplamaların özelliklerini etkileyen faktörler

Yenilebilir film ve kaplamaların mekanik ve fiziksel özellikleri, film veya kaplamanın yapılma tekniğine; kompozisyonuna; kullanılan materyalin tipine (protein, karbonhidrat, lipid), kimyasal yapısına ve konsantrasyonuna; plastikleştirici madde cinsine ve konsantrasyonuna; filmin kalınlığına; kurutma koşullarına; bağıl neme; sıcaklığa ve basınca bağıl olarak değışiklik göstermektedir. Yenilebilir film ve kaplamaların fonksiyonel özelliklerinin hedef gıda ile ilgili tüm proses, taşıma ve depolama koşullarında stabilize edilmesi ve mekanik özelliklerinin amaçlanan uygulamaya göre uyarlanabilmesi için bu parametrelerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

2.8.1 Film veya kaplamanın yapılma tekniğı

Yenilebilir film ve kaplamalar emülsiyon ya da katman halinde iki farklı teknik kullanılarak elde edilmektedir. Bu teknikler film ve kaplamanın yapısını etkilemektedir. Yapılan çalışmalarda söz konusu tekniklerin, film ve kaplamaların bariyer özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Kamper ve Fennema (1984), hidroksipropilmetilselüloz ile stearik ve palmitik asit kullanarak yaptıkları çalışmada hem emülsiyon bazlı ve hem de çift katmanlı filmler üretmişlerdir. Her iki teknikle elde edilen filmlerin su buharı geçirgenlikleri karşılaştırmış ve çift katmanlı filmlerin emülsiyon bazlı filmlerden 10 kat daha fazla lipid içermelerine rağmen emülsiyon bazlı filmlerin iki katmanlı filmlerden 40 kat daha düşük su buharı geçirgenliğine sahip olduğu bulgulanmıştır. Buna karşılık, Martin-Polo vd. (1992a) ve Debeaufort vd. (1993), metilselüloz ve parafin balmumundan yine aynı yöntemlerle ürettikleri filmler için zıt yönde sonuçlar elde etmişlerdir. Bulgular, emülsifiye edilmiş filmlerin su buharı geçirgenliklerinin iki katmanlı filmlere kıyasla 40 kat daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Bu çelişkili sonuçlar, film hazırlama koşulları dikkate alınarak açıklanmıştır. Kamper ve Fennema (1984) tarafından hazırlanan ilk emülsiyon homojen olmasına rağmen, kurutma sırasında bir faz ayrımı gözlemlenmiş ve bu durum emülsifiye edilmiş filmde iki tabakalı belirgin bir yapıya yol açmıştır. Debeaufort vd. (1993) taramalı elektron mikroskobu kullanarak elde ettikleri filmleri incelemiş ve emülsifiye edilmiş filmlerin yüzeyinin düzensiz, pürüzlü ve heterojen olduğunu bunun aksine, iki katmanlı filmlerin pürüzsüz ve homojen bir yüzeye sahip olduğunu bulgulanmışlardır.

Hem bariyer hem de mekanik özellikler sağlamak için filmin her bir bileşeninin fonksiyonel özelliklerinden yararlanan kompozit filmlerde, iki katmanlı filmlerin su bariyer etkinliği, genellikle saf lipit ile aynı büyüklüktedir (Debeaufort vd., 2002) ve emülsiyon bazlı filmlerinkinden çok daha yüksektir (Fairley vd., 1997; Sherwin vd., 1998; Debeaufort vd., 1993; Martin-Polo vd., 1992a, b; McHugh ve Krochta 1994a, b). Bununla birlikte, hidrokoloid katman hidrofilitir ve film nemli bir fazla doğrudan temas ettiğinde suyu emme eğilimindedir. İki katmanlı filmlerin esas dezavantajı, hazırlama tekniğinin dört aşama (iki dökme ve iki kurutma aşaması) gerektirmesi olup bu durum ticari üretimde hızlı bir şekilde kullanımlarını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, katmanlı filmler, su buharına karşı iyi bir bariyer sağlamasına rağmen, gıda endüstrisinde daha az popülerdirler (Debeaufort ve Voilley, 1995).

2.8.2 Yenilebilir film ve kaplamalarda kullanılan materyalin tipi (protein, karbonhidrat, lipid), kimyasal yapısı ve konsantrasyonu

Yenilebilir film ve kaplamalarda hangi materyalin kullanılacağı hedeflenen gıda için belirlenen amaç ile teknolojik ve duyuasal kısıtlamalara bağlıdır.

Yenilebilir film ve kaplamaların fonksiyonel özellikleri kompozisyonları ve bileşenlerinin kimyasal yapılarıyla doğrudan ilişkilidir. Yenilebilir film ve kaplamaların içeriğini kabaca protein, polisakkarit ve lipid bazlı maddeler ile plastikleştirici maddeler oluşturmaktadır. Söz konusu maddelerin kimyasal yapılarının birbirinden farklı olması suya karşı afinitelerini etkilediğinden bu materyaller kullanılarak elde edilen film ve kaplamaların özellikleri de birbirinden oldukça farklıdır (Pavlath ve Orts, 2009). Ayrıca protein, polisakkarit ve lipidlerin kendi içindeki yapıları da birbirinden farklı olduğundan işlevleri de farklılık göstermektedir.

Protein bazlı maddeler kullanılarak elde edilen yenilebilir film ve kaplamalar iyi bir oksijen bariyer özelliğine sahiptir ancak hidrofilik yapılarından dolayı neme karşı hassastırlar (Cuq vd., 1998; McHugh ve Krochta 1994a). Yapılan çalışmalarda farklı protein kaynakları kullanılarak yenilebilir film ve kaplamalar elde edilmiştir. Ancak hepsi protein yapıda olmalarına rağmen elde edilen film ve kaplamaların yapı ve özellikleri birbirinden farklılık göstermiştir. Bu durum proteinlerin amino asit bileşimi, kristallik, hidrofobiklik/hidrofilitiklik, yüzey yükü,

izoelektrik nokta, moleküler boyut ve üç boyutlu yapısından kaynaklanmaktadır (Panyam ve Kilara, 1996).

Polisakkarit bazlı film ve kaplamaların da hidrofilik yapıları nedeniyle su buharına karşı bariyer özellikleri zayıftır (Gennadios vd., 1997). Fakat bazı gıdalarda kısa süreli depolama sırasında bu maddeler geçici (yapay) bariyer görevi üstlenerek nem kaybını geciktirmek amacıyla kullanılabilir (Kester ve Fennema, 1986). Nem bariyer özellikleri zayıf olmasına karşın iyi bir gaz bariyeri olarak işlev görmektedirler. Bu tür filmlerin gaz geçirgenlik özellikleri, istenen modifiye atmosferin oluşumunu sağlar böylece anaerobik koşullar yaratılmadan ürünün raf ömrü artırılmış olur (Baldwin vd., 1995).

Polisakkaritler ya bir şeker monomerinden veya tekrar eden bir dimerden oluşan doğrusal veya doğrusal omurga üzerinde doğrusal bir şeker yan zinciri ya da farklı şekerlerin karışımından oluşan dallanmış bir yapıda olabilirler. Buna ek olarak, polisakkaritler, nötr yük (asetat esterleri, metil eterler, diğer nötr şekerler), negatif yük (karboksilat, sülfat grupları) veya bireysel monosakarit birimlerine bağlı çeşitli kimyasal gruplara bağlı olarak pozitif yüke (örn., amino grupları) sahip olabilmektedir. Polisakkaritlerin bu yapısal özelliklerinin tümü, çözünürlük; birbirleri veya diğer bileşenlerle olan sinerji ve uyumsuzluk; kıvamlştırma, jelleşme ve emülsifiye edici özelliklerinin ve en önemlisi de film oluşturma özelliklerinin birbirinden farklı olmasına yol açmaktadır (Nieto, 2009).

Hidrofobik maddeler olan lipitler, apolar yapıda olduklarından nem migrasyonuna karşı etkili bariyer özellik sergilerler ve yapıya eklendiklerinde film ve kaplamaların su buharı geçirgenliğini azaltırlar. Lipidlerin özellikleri, polar bileşenlerin varlığı, hidrokarbon zincir uzunluğu ve doymamışlık gibi moleküllerin kimyasal bileşimine bağlı olarak farklılık göstermektedir (Callegarin vd., 1997). Ortak bir kimyasal yapıya sahip bileşenler için artan zincir uzunluğu moleküler polaritenin azalmasına neden olduğundan filmlerin bariyer özelliklerini değiştirmektedir. Ayrıca bu durum filmin suda çözünürlüğünü de etkilemektedir (McHugh ve Krochta 1994b, c). McHugh ve Krochta (1994b, c), yağ alkollerinin ve yağ asitlerinin nem bariyeri verimliliğinin karbon atomu sayısı ile (14'den 18'e) arttığını, çünkü molekülün apolar kısmının nispi oranı arttıkça suda çözünürlüğün ve nem transferinin en aza indiğini belirtmişlerdir. Ayrıca karboksilik asitler arasında stearik ve palmitik asidin en düşük su buharı geçirgenliğine sahip olduğu yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur. Bununla birlikte, karbon zinciri 18'den

fazla atom içerdiğinde, araşidonik veya behenik asitleri içeren filmlerin daha yüksek su buharı geçirgenliğine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Çünkü çok uzun zincirler, polimer ağının heterojen bir yapı kazanmasına yol açar ve dolayısıyla nem bariyer özelliklerinin zayıflamasına neden olur (Koelsch ve Labuza 1992).

Lipidlerin katı veya sıvı hali, filmin nem bariyeri verimliliğini güçlü bir şekilde etkilemektedir. Yüksek katı yağ içeriğine sahip lipidlerin geçirgenliği genellikle sıvı lipidlerinkinden çok daha düşüktür. Nitekim yapılan bir çalışmada hidrojenlenmiş pamuk tohumu yağı bazlı filmde lipidin sıvı kısmı % 0 ile % 40 arasında değiştiğinde, geçirgenlik 300 kat artış göstermiştir. Martin Polo vd. (1992a), yaptıkları çalışmada parafin mumunun geçirgenliğinin, parafin yağı içeriği % 75'ten % 100'e yükseldiğinde 100 kat arttığını göstermiştir. Bazı araştırmacılar ise katı yağ içeriğindeki, özellikle de % 0 ila 30 arasında bir artışın bariyer etkinliğini arttırdığını göstermiştir. Yağların katı yapısı daha yoğun olduğundan suyun difüzyonunu sınırlamaktadır. Ayrıca, katı lipidlerde suda çözünürlük de azalmaktadır. Bununla birlikte, katı yağ içeriği, kritik bir değerden daha yüksek olursa, lipit yapısına bağlı olarak, film içindeki yapısal bozukluklardan (gözeneklilik) dolayı geçirgenlik artış gösterebilmektedir. Yüksek katı yağ içeriğine sahip filmlerde gözlemlenen bu gözenekli yapı ve heterojenite, bu filmlerin bariyer etkinliğinde kaydedilen düşüşü açıklamaktadır (Debeaufort ve Voilley, 2009).

Doymamış yağ asitleri daha polar olduğundan nem transferini kontrol etmede daha az etkilidir ve doymuş lipidlerden farklı kristalleşme eğilimi gösterirler. Aynı zamanda doymamış yağ asitlerinin konformasyonu da önem kazanmaktadır. Fiziksel hal dışında, kristalleşme doymamışlık derecesine göre de değişir ve sonuç olarak film yoğunluğunu ve geçirgenliğini değiştirir (Debeaufort ve Voilley, 2009). Ayrıca yağ polimorfizmi (çeşitli formlarda kristalleşme kabiliyeti) özellikle hidrojene yağ ve kakao yağı bazlı filmler için lipit bazlı yenilebilir filmlerin nem bariyeri verimini de etkiler.

Mumlar, yüksek oranda uzun zincirli yağ alkolleri ve alkanları içerdiğinden dolayı hidrofobik özellikleri daha fazladır ve nem geçirgenliğini azaltmada oldukça önemli maddelerdir. En etkili madde balmumu olup, bunu stearyl alkol, asetil asil gliseroller, alkanlar (heksatriakontan), trigliseritler (örneğin, tristearin) ve yağ asitleri (örneğin, stearik asit) izlemektedir. Bu sınıflandırma, su ile etkileşimin

derecesini belirleyen moleküler hidrofobiklik ile açıklanmıştır (Debeaufort ve Voilley, 2009)

Ek olarak kullanılan lipitin polarlığı da dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Palm yağı, stearik asit, balmumu ve parafin gibi katı yağlar, oleik asit gibi sıvı/doymamış yağ içeren selüloz eter bazlı filmlerden çok daha düşük su buharı geçirgenliği vermiştir (Wu vd., 2002).

Kullanılan materyallerin yapısı kadar konsantrasyonları da yenilebilir film ve kaplamalarda anahtar rol oynamaktadır. Protein, polisakkarit ve lipid konsantrasyonlarının filmlerin bariyer, mekanik, kimyasal ve fiziksel özelliklerini etkilediği yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur.

McHugh vd. (1994) ve Gounga vd. (2007) peynir altı suyu protein izolatu, Kokoszka vd. (2010) soya proteini, Sharma ve Singh (2016) susam proteini kullanarak yaptıkları çalışmalarda protein konsantrasyonunun filmlerin özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Bulgular bağımsız değişken olarak belirlenen protein konsantrasyonunun filmlerin su buharı geçirgenliği, oksijen geçirgenliği, kalınlık, çekme gerilimi ve çözünürlük özelliklerini önemli derecede etkilediğini ortaya koymuştur. Çalışmalarda protein konsantrasyonu arttıkça filmlerin su buharı geçirgenliği ve çekme geriliminin arttığı, oksijen geçirgenliği ve çözünürlük değerlerinin ise azaldığı bulunmuştur. Su buharı geçirgenliğinde gözlemlenen artışın sebebi olarak proteinlerin hidrofilik yapıda olması ve protein konsantrasyonu arttıkça geçirgenliğin de artması olarak belirtilmiştir. Araştırmacılar her ne kadar su buharı geçirgenliğindeki artışı proteinlerin hidrofilik yapıda olmalarına bağlasa da filmlerin su buharında meydana gelen bu artışın asıl sebebi protein konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak film kalınlığının değişmesidir.

Protein konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak elektrostatik veya hidrofobik etkileşimler gibi protein-protein etkileşimlerinin de artması güçlü ve kompakt bir ağ oluşumu sağladığından dolayı filmlerin çekme gerilimi artmış ve çözünürlükleri azalmıştır. Protein konsantrasyonu arttıkça oksijen geçirgenliğindeki düşüşün film çözeltisi yoğunluğundaki artıştan kaynaklanabileceği ifade edilmiştir. Çünkü yoğunluğun artmasıyla birlikte moleküller arasındaki boşluk azalmakta ve birbirine daha yakın olan protein ağından oksijen moleküllerinin geçişi engellenmekte ve filmin sonuç olarak oksijen geçirgenliği düşmektedir.

Bertuzzi vd. (2007), yüksek amilozlu mısır nişastası filmlerinde konsantrasyon artışı ile birlikte su buharı geçirgenliğinde lineer bir artış gözlemlenmiştir. Benzer şekilde Daza vd. (2018) nişasta, Saberi vd. (2017) bezelye nişastası ve guar gamı filmlerinde polimer konsantrasyonu arttıkça su buharı geçirgenliğinin arttığını rapor etmişlerdir. Basiak vd. (2017) yüksek nişasta içerikli filmlerin su buharı geçirgenliğindeki artışın sebebini filmlerin suya karşı afinitelerinin artmasına bağlamış ve bu nedenle filmin viskozitesinin azaldığını ve difüzyonun arttığını belirtmiştir.

Lipid gibi hidrofobik maddelerin konsantrasyonu da bariyer verimliliğinde anahtar rol oynamaktadır. Stearik asit ve HPMC'den oluşan filmlerin su buharı geçirgenliğinin yağ asidi konsantrasyonuna bağlı olarak değişmiş ve %14-30'dan daha yüksek yağ asidi konsantrasyonlarında etkili bir azalma gözlemlenmiştir (Debeaufort ve Voilley, 2009). Park vd. (1994) yaptıkları çalışmada metil selüloz filmleri üzerine mısır zeini-yag asidi çözeltisi dökerek katman halinde film üretmiş ve elde ettikleri filmlerin su buharı geçirgenliği, çekme gerilimi ve uzama değerlerini incelemişlerdir. Su buharı geçirgenliğinin zincir uzunluğu ve yağ asidi konsantrasyonu arttıkça azaldığı bulgulanmıştır. Palmitik asit içeren katmanlı filmlerin çekme gerilimi palmitik asit arttıkça azalmıştır. Palmitik-stearik asit karışımından oluşan filmlerin çekme gerilimi de benzer eğilim göstermiş ve aralarında önemli bir fark olmadığı gözlemlenmiştir. Laurik asit içeren filmlerin çekme gerilimi laurik asit konsantrasyonu %30 olduğunda maksimum değerine ulaşmıştır. Filmlerin uzama değerleri ise çekme gerilimi ile ters orantılı olarak değişmiştir.

2.8.3 Plastikleştirici madde ve konsantrasyonu

Plastikleştirici maddeler, film matrisinin esneklik, elastikiyet ve mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla yenilebilir film veya kaplama çözeltisine eklenen düşük molekül ağırlıklı uçucu bileşiklerdir. Yenilebilir film ve kaplamalarda yaygın olarak kullanılan plastikleştiriciler tipik olarak gliserol, propilen glikol, polipropilen glikol ve sorbitol gibi poliollerdir. Aynı zamanda yaygın olmasalar da yağ asitleri de yenilebilir filmler ve kaplamalarda plastikleştirici ajan olarak kullanılabilir (Dangaran vd., 2009).

Filmlerin mekanik özelliklerini (esneklik, sertlik, elastiklik, kırılgenlik, vb.) geliştirmek amacıyla hazırlanan film çözeltilerine ilave edilen plastikleştirici

maddeler, polimerik materyallere eklendiğinde üç boyutlu yapının değişmesine ve moleküller arası çekim kuvvetinin azalmasına dolayısıyla serbest hacmin ve zincir hareketliliğinin artmasına neden olmaktadır. Bu durum su moleküllerinin polimerik ağa yayılmasını kolaylaştırdığından filmlerin su buharı geçirgenlik değerlerinin artmasına yol açmaktadır (Donhowe ve Fennema 1993c, 1994)

Plastikleştirici maddelerin bileşimi, büyüklüğü (boyutu), yapısı ve şeklindeki farklılıklar film ve kaplamalardaki ağ yapısını doğrudan etkilemektedir. Özellikle de hidrofilik yapıları, filmlerin nem bariyeri özelliğini önemli ölçüde değiştirmektedir. Plastikleştirici maddelerin belirtilen bu özellikleri kadar polimer madde ile etkileşimleri de film ve kaplamanın yapısını etkilemektedir (Sothornvit ve Krochta 2001). Plastikleştirici madde ile polimer arasındaki bu etkileşimler, plastikleştiricinin moleküler boyutuna, konfigürasyonuna, içerdiği toplam işlevsel hidroksit grubu sayısına ve polimer ile uyumluluğuna bağlıdır.

Yapılan çalışmalarda plastikleştirici olarak sorbitol içeren yenilebilir filmlerin, gliserol içerenlere kıyasla daha düşük su buharı geçirgenliğine sahip olduğu bildirilmiştir (Chick ve Üstünol, 1998; Fairley vd., 1996). Wan vd. (2005) sorbitol ile plastikleştirilmiş soya proteini filmlerinin, gliserol ile plastikleştirilmiş filmlerden yaklaşık dört kat daha düşük su buharı geçirgenliği sergilediğini bulgulamışlardır. Suda çözünür balık proteinlerinden yapılan yenilebilir filmler için de benzer sonuçlar elde edilmiştir (Bourtoom, 2006). Gliserolün sorbitol ile değiştirilmesi, ayrıca peynir altı suyu proteini (McHugh vd., 1994), kazein (Chick ve Ustunol, 1998), yumurta akı (Gennadios vd., 1996) ve jelatin (Thomazine vd., 2005) kullanılarak hazırlanan filmlerin su buharı geçirgenliğini de önemli ölçüde azaltmıştır. Gliserol ve sorbitol ile plastikleştirilmiş filmlerin su buharı geçirgenlikleri arasındaki bu farklılığın, bu plastikleştiricilerin farklı higroskopiyeye sahip olmalarından kaynaklanabileceği ifade edilmiştir. Gliserol, sorbitolden daha fazla hidrofilik karakter sergilemektedir. (Huttinger, 1978; Takahashi vd., 1984). Nitekim bu durum, peynir altı suyu proteini (Kim ve Ustunol, 2001), soya proteini (Cho ve Rhee, 2002), manyok nişastası (Mali vd., 2005; Müller vd., 2008), bezelye nişastası (Zhang ve Han, 2008) ve bezelye proteini kullanılarak gliserol ve sorbitol ile plastikleştirilmiş filmlerin nem sorpsiyon izotermeleri arasındaki farklarla desteklenmiştir. Plastikleştiricilerin hidrofiliği arasındaki fark, filmlerin nem içeriğine de yansımaktadır. Beklenildiği gibi, gliserol ile plastikleştirilmiş filmler, sorbitol içeren filmlerden daha yüksek nem içeriğine sahiptir. Her ne kadar yapılan çalışmalarda sorbitolün, filmlerin fonksiyonel

özellikleri üzerine etkisi daha iyi görünse de sorbitolün nötr bir tada sahip olmaması (tatlılık vermesi) kullanım alanını kısıtlamaktadır. Gliserol ise nötr bir tat verdiğinden yenilebilir film ve kaplamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Plastikleştirici maddenin molekül büyüklüğü bu maddelerin etkinliğini dolayısıyla filmlerin mekanik özelliklerini etkilemektedir (Mangavel vd., 2003). Plastikleştirici maddenin molekül ağırlığı arttıkça, plastikleştiricinin etkinliği de artmaktadır. Sorbitol ve fruktoz benzer moleküler ağırlığına sahip (sırasıyla 182.17 ve 180.16) olduğundan bu maddeler kullanılarak hazırlanan ve farklı bağıl nemlerde değerlendirilen filmler benzer çekme gerilimi ve uzama değerleri göstermiştir. Fakat gliserol, sorbitol ve fruktozun molekül ağırlığının yarısına sahip (92.09) olduğundan daha yüksek çekme gerilimi değerine sahiptir. Polietilen glikol (PEG-8000) ise en yüksek molekül ağırlığına sahip olduğundan en düşük çekme gerilimi değeri göstermiştir. Kullanılan plastikleştiricinin molekül ağırlığı arttıkça, çalışılan filmlerin uzama değerleri azalmıştır.

Kullanılan plastikleştirici türü ve konsantrasyonu filmlerin optik özelliklerini de etkilemektedir (Chang ve Nickerson, 2014). Gliserol konsantrasyonu arttıkça UV ve görünür bölgede ışık geçirimi artmaktadır (Nilsuwan vd., 2016; Nor vd., 2017). Yüksek geçirgenlik değerleri, kırılma indeksini değiştiren ve film matrisi boyunca ışık geçişini kısıtlayan ve daha fazla polimer zincir sıkışması nedeniyle olabilecek daha opak bir film gösterir (Ortega-Toro vd., 2014).

2.8.4 Kurutma koşulları

Yenilebilir filmlerde kurutma koşullarının (sıcaklık, bağıl nem, enerji kaynağı tipi) da filmlerin özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Kozempel vd. (2003) hava sıcaklığı, hava akışı, bağıl nem ve ilk toplam katı madde içeriğinin kalsiyum kazeinat filmlerinin kuruma hızı ve gerilme özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Ortam koşulları ile karşılaştırdıklarında yüksek sıcaklık ve düşük bağıl nem koşullarında sabit kurutma periyodunun önemli derecede azaldığını bulgulamışlardır. Aynı zamanda katı madde içeriğinin artmasıyla sabit kurutma periyodunun düştüğünü, çekme direnci ve elastisite modülünde artma eğilimi olduğunu gözlemlemişlerdir. Kurutma süresi azalmasına rağmen filmlerin çekme özelliklerinde farklılık gözlemlenmediği belirtilmiştir. Alcantara vd. (1998) farklı kurutma koşullarına tabi tuttıkları peynir altı suyu filmlerinde artan kurutma sıcaklığının çekme direnci ve esneklik katsayısı üzerine az da olsa etkisi olduğunu

rapor etmişlerdir. Kaya ve Kaya (2000) tarafından yapılan çalışmada, mikrodalga enerjili kurutmanın peynir altı suyu protein filmlerinin özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Ortam koşullarında kurutulmuş filmlere kıyasla, filmlerin su buharı geçirgenliği ve gerilme özelliklerinde istatistiksel olarak anlamlı bir artış gözlemlenmemiştir. Ancak, mikrodalga kurutma sonucunda film parlaklığı önemli ölçüde artmış ve kuruma süresi 5 dakikaya kısaltılmıştır.

Kurutma sıcaklığı, filmin reorganizasyon veya kristalleşme derecesini belirlediğinden filmin bariyer, mekanik, kimyasal ve optik özelliklerinde değişikliklere neden olabilmektedir. Ayrıca sıcaklık plastikleştirici olarak da işlev gören suyun içeriğini de etkilemektedir. Perez-Gago ve Krochta (2000) yaptıkları çalışmada kurutma sıcaklığının peynir altı suyu protein izolatu filmleri üzerine etkisini incelemiş ve sıcaklık arttıkça su buharı geçirgenliğinin önemli ölçüde azaldığını gözlemlemişlerdir.

Filmler ortam koşullarında, sıcak hava, kızılötesi veya mikrodalga enerjisiyle kurutulabilmektedir. Kurutma yöntemi film morfolojisi ve görünümü ile bariyer ve mekanik özellikleri içeren filmin fiziksel özelliklerini etkili bir şekilde değiştirebilir (Perez-Gago ve Krochta 2000). Ayrıca kurutma sıcaklığı ve süresi de filmin fiziksel özelliklerini önemli derecede etkilemektedir. Polimer zincirlerin geçirgenliği etkilemesi için optimal yapılarına ulaşması gerekmektedir. Fakat bu zincirler hızlandırılmış kurutma ile optimal yapılarına ulaşmadan önce erken hareketsiz hale getirilebilmektedir (Reading ve Spring 1984 ; Greener 1992). Guilbert (1986,1988) yaptığı çalışmada plastikleştirici kullanmadan hazırladığı zein proteini çözeltisini 35°C'de 24 saat kurutmuş ve esnek yapıda bir film elde etmiştir. Buna karşın Kanig ve Goodman (1962) zein proteini filmlerini 51°C' de 10dk boyunca kurutmuş ve kırılğan yapıda bir film elde ettiği için plastikleştirici maddeye ihtiyaç duyulduğunu belirtmiştir.

Ayrıca kurutma sıcaklığı film matrisinde lipit parçacıklarının dağılımını etkileyen faktörlerden biridir. Emülsiyon haline oluşturulan film çözeltisinin kuruması sırasında gerçekleşen evaporasyon işlemi, yağ moleküllerinin birleşme, birikme ve yüzeye çıkma eğilimlerinden dolayı emülsiyonun yapısını değiştirebilmektedir. Bu nedenle kurutma sıcaklığındaki artış emülsiyon yapısını değiştirdiğinden protein ve lipitten yapılmış filmlerin su buharı geçirgenlikleri kuruma sırasında değişim gösterebilmektedir.

2.8.5 Filmin kalınlığı

Film kalınlığı, yenilebilir film ve kaplamaların en önemli özelliği olan bariyer etkinliğini değiştirebilmektedir. Aşağıdaki Eşitlik 1 ve 2'ye göre, su buharı aktarım hızı ($WVTR$), geçirgenliğin (P), kalınlık (x) ve kısmi buhar basıncı gradyanı (Δp) ile normalize edildiği belirli bir süre boyunca (Δt), filmin kesit alanına (A) aktarılan su buharı miktarına karşılık gelmektedir (Debeaufort ve Voilley, 2009).

$$WVTR = \frac{\Delta m}{A \Delta t} (gm^{-2}s^{-1}) \quad (1)$$

$$P = WVTR \frac{x}{\Delta p} (gm^{-1}s^{-1}Pa^{-1}) \quad (2)$$

Film geçirgenliğinin kalınlıkla artması filmin suya karşı olan afinitesini göstermekte olup bu durum formülasyondaki hidrofilik bileşiklerin varlığından kaynaklanabilmektedir. Bu nedenle film kalınlığının etkisi film bileşenlerinin yapısına bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

İdeal polimerik filmlerde kalınlığın su buharı geçirgenliği üzerine bir etkisi bulunmazken biopolimerik filmlerde özellikle de hidrofilik yapıda olanlarda genellikle kalınlık ve su buharı geçirgenliği arasında pozitif bir ilişki söz konusudur (Mc Hugh vd., 1993)

Lipid bileşiklerinin oksijen gibi gaz geçişine karşı kütle transfer direnci temel olarak yapıya bağlıdır; kristaller ne kadar yoğun (örneğin, kompakt) ve homojen olarak dağılır ve yönlendirilirse, gaz difüzyonu o kadar zor olur ve sonuç olarak geçirgenlik azalır. Su transferi durumunda, bariyer özellikleri daha karmaşık bir hal almaktadır. Suya olan afinite çoğu zaman film yapısı kadar önem arz etmektedir. Bu nedenle, film ve kaplama içindeki su moleküllerinin transferi, hidrofobik maddeler durumunda bile, difüzyon (kinetik faktör) ve sorpsiyon (termodinamik faktör) olaylarına bağlıdır.

McHugh vd. (1993) yaptıkları çalışmada film kalınlığının filmlerin su buharı geçirgenliği üzerine etkisini incelemiştir. Bulgular, film kalınlığı arttıkça geçirgenlik değerlerinin de arttığını ortaya koymuştur. Özellikle hidrofilik filmlerde kalınlığın artmasına bağlı olarak su buharı geçirgenliğinin artması durumunun filmin, içindeki kütle transferine karşı artan bir direnç sergilemesi ve

filmin iç yüzeyindeki denge su buharı kısmi basıncın artmasından kaynaklandığını öne sürmüşlerdir. Kalınlık etkisinin gerçek nedeninin ise bağıl nem olduğunu belirten araştırmacılar film kalınlığındaki artışa bağlı olarak bağıl nemin arttığı ve bu durumun daha yüksek su buharı geçirgenliği ile sonuçlandığını açıklamışlardır. Ayrıca hidrofilik film sorpsiyon izotermelerinin doğrusal olmayan yapıları nedeniyle daha yüksek su buharı geçirgenliğine neden olduğunu belirtmişlerdir.

Cisneros-Zevallos ve Krochta (2003b), kaplanmış bir ürünün iç modifiye atmosferinin kaplama kalınlığına bağlı olduğunu, aynı zamanda kaplama kalınlığının viskozite, konsantrasyon, yoğunluk ve kaplama çözeltisinin drenaj süresine bağlı olduğunu göstermişlerdir. Debeaufort vd. (1993) ise yaptıkları çalışmada trigliserit kaplama kalınlığının 0'dan 60 mm'ye yükseldiğinde, su buharı transfer hızının ve geçirgenliğin azaldığını rapor etmiştir.

2.8.6 Bağıl nem

Yenilebilir film ve kaplamaların özelliklerini etkileyen faktörlerden biri de bağıl nemdir. Bu konuda yapılan çalışmaların çoğu bağıl nemin film ve kaplamaların bariyer ve mekanik özelliklerini etkilediğini göstermiştir (McHugh ve Krochta, 1994a; Rico-Pena ve Torres, 1991; Gontard vd., 1996; Mujica-Paz ve Gontard, 1997; Miller ve Krochta, 1997; Cisneros-Zevallos ve Krochta, 2003; Olivas ve Barbosa-Cánovas, 2008). Bağıl nem arttıkça filmlerin su buharı ve gazlara karşı bariyer etkinliğinin azaldığı rapor edilmiştir (Hagenmaier ve Shaw, 1990, 1991; Gontard vd., 1996; McHugh ve Krochta, 1994). Bu durumun suyun hidrofilik film ve kaplamalarda plastikleştirici rol almasından kaynaklandığı bildirilmiştir (Cisneros-Zevallos ve Krochta, 2002). Sentetik filmlerin fonksiyonel özellikleri bağıl nemden etkilenmezken (Etilen Vinil Alkol Kopolimer (EVOH) veya naylon dışında) biyolojik materyallerden yapılmış yenilebilir filmler yüksek nem koşullarında bariyer ve mekanik özelliklerini değiştirirler (Gontard vd., 1994). Bu durum çoğunlukla biyopolimer ağının, biyopolimer matrisinde daha fazla çözünürlük ve difüzyon hızı yaratan su ile plastikleştirilmesinden kaynaklanmaktadır.

Plastik filmlerde, su buharı geçirgenlik katsayısı ve su buharı sorpsiyon izotermine belirlenmesi konusunda bazı çalışmalar yapılmıştır (Labuza ve Contreras-Medellin 1981; Karel vd., 1959). Bu filmlerde su içeriği ve su aktivitesi arasında doğrusal bir ilişki gözlemlenmiştir (Karel vd., 1959). Biyopolimerlerden yapılan çoğu yenilebilir filmin su buharı geçirgenlik özellikleri, plastik filmlere

kıyasla farklıdır ve nem izotermi, geniş bir su aktivitesi aralığında doğrusal değildir. Yenilebilir filmler genellikle proteinler veya polisakaritler gibi hidrofilik bileşenler içerir. Bu tür filmler yoluyla taşınmanın modellenmesi, belirtildiği üzere doğrusal olmayan su sorpsiyon izotermi ve su içeriğine bağlı difüzyonla ilgili olarak oldukça karmaşıktır. Bu tür filmlerden geçen su buharı geçişi, su buharı kısmi basınç gradyanı ile doğrusal olmayan bir şekilde değişir (Crank, 1975).

Hidrofilik filmlerde en etkili plastikleştirici sudur ve filmlerdeki nem miktarı, nem sorpsiyon izotermi aracılığıyla ortamın bağıl nemi ile ilişkilidir. (Gontard vd., 1996). Hidrofilik filmlerin geçirgenliği nem içeriği ve bağıl nem arttıkça artmaktadır. (Krochta 1994a; Rico-Pena ve Torres 1990; Elson vd., 1985; Hagenmeier ve Shaw 1991; Mark vd., 1966). Burada geçirgenlikteki artış, filmin camsı geçiş sıcaklığının düşmesiyle ilişkilendirilmiştir. Amorf materyaller moleküler hareketliliğe bağlı olarak camsı veya kauçuğumsu (lastiksi/elastikimsi) halde bulunabilir. Bu hal değişimi karakteristik bir sıcaklık aralığında meydana gelir. Camsı geçiş sıcaklığı (T_g), amorf bir yapının camsı halden lastiksi faza veya lastiksi fazdan camsı hale geçtiği sıcaklık olarak tanımlanmaktadır. Bu hal değişimi filmin su içeriği veya diğer plastikleştiriciler ile doğrudan ilişkilidir. Cam-kauçuk geçişi, sistemin viskozitesindeki, difüzyonundaki veya esnekliğindeki değişiklikler olarak görülebilen sistemin moleküler hareketliliğini etkilemektedir (Roos ve Karel 1991; Buera ve Karel 1993; McHugh ve Krochta 1994a). Hareketlilik ne kadar az ise difüzyon o kadar zor gerçekleşecektir (Slade ve Levine, 1987). Bu durum yapılan çalışmalarla da desteklenmiştir. Filmlerin gaz geçirgenliğinin bağıl nemle birlikte artışı onların ne kadar hidrofilik özellik taşıdıklarına bağlıdır. Örneğin buğday glutenin yüksek amir grubundan dolayı oksijen geçirgenliği bağıl neme karşı hassastır (Gontard vd., 1992). Su molekülleri ile amir grupları arasında etkileşim yüksek bağıl nemde filmin fazla su içermesine ve protein ağı yapısında modifikasyonlara neden olmaktadır. Hidrojen bağlarının parçalanması çözünen oksijenler için ek bağlar kurulmasını sağlar ve oksijen molekülünün polimer yığın fazının içinde hareketini artırır. Bu modifikasyon camsı durumdan viskoelastik duruma geçişten kaynaklanır. Kuru koşullar altında, zincirler arası hidrojen bağları güçlü bir ağı yapısı oluşturacaktır ve gaz geçişleri daha fazla engellenecektir.

Filmlerin mekanik özellikleri üzerine bağıl nemin etkisi oldukça önemlidir. Bağıl nemdeki artış filmlerin çekme direncini düşürmüştür ve uzamalarını arttırmıştır.

2.8.7 Sıcaklık

Film veya kaplama yapısında sıcaklık nedeniyle herhangi bir değişiklik olmadığı sürece geçirgenlik, yayılma ve çözünürlük katsayıları Arrhenius yasasına göre değişmektedir (Debeaufort ve Voilley, 2009).

Sıcaklık, tüm termodinamik ve kinetik olayları ve dolayısıyla transferi büyük ölçüde etkiler. Nem transferi, difüzyon (kinetik) veya sorpsiyon (termodinamik) ile gerçekleşebilmektedir. Sorpsiyon entalpisi, su buharı için her zaman negatif bir değerdir ve bu sıcaklık arttığında çözünürlüğün azaldığı anlamına gelmektedir. Difüzyon aktivasyon enerjisi pozitif olduğundan difüzyon sıcaklıkla artış göstermektedir. Temel olarak kinetik (difüzyon) veya termodinamik (sorpsiyon) olaylarla gerçekleşen aktarıma göre, sıcaklık arttığında geçirgenlik artar veya azalır (Morillon vd., 2002).

Genel olarak, geçirgenlik değerleri, polimer kısımların artan hareketi (Rogers, 1985) ve geçirgen moleküllerin artan enerji seviyelerine bağlı olarak sıcaklık ile birlikte artmaktadır. Labuza ve Contreras-Medellin (1981), plastik filmlerde sıcaklık arttıkça su buharı geçirgenlik katsayılarının arttığını bulgulamıştır. Polietilen balmumlarının su buharı geçirgenliği, sıcaklık 25 ile 40°C arasında değiştirdiğinde artış göstermiştir (Hagenmaier ve Shaw, 1991). Bu nem transferinin difüzyon ile gerçekleştiğini göstermektedir. Gennadios vd., (1993) sıcaklığın (7, 15, 25 ve 35 °C) protein bazlı filmlerin oksijen geçirgenlik katsayıları üzerine etkisini incelemiş ve Arrhenius modelini kullanmışlardır. Sonuçların modelle uyumlu olduğu görülmüş ve sıcaklığın artmasıyla birlikte geçirgenlik değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Benzer şekilde Chinnan ve Park (1995), Arrhenius eşitliğini kullanarak selüloz bazlı filmlerin su buharı geçirgenlik katsayılarının sıcaklığa (5, 13 ve 21°C) bağlı değişimini incelemiş ve artan sıcaklıkla birlikte geçirgenliğin de arttığı ortaya konmuştur. Ayrıca lipid bazlı filmlerde sıcaklık katı yağ içeriğini değiştirdiğinden filmin hem yapı hem de bariyer verimliliğini etkilemektedir (Morillon vd., 2002).

2.8.8 Su buharı basıncı

Contreras-Medellin ve Labuza (1981), hidrofilik filmlerde su buharı geçirgenliğinin su buharı basıncı ile değiştirdiğini rapor etmiştir. Benzer şekilde selüloz türevleri (Karel vd., 1959; Woodruff vd., 1972) ve amilozdan (Rankin vd.,

1958) yapılmış hidrofilik filmlerde su buharı geçirgenliğinin uygulanan su buharı basınç gradyanı ile değiştiği açıklanmıştır. Lipid bazlı yenilebilir filmlerde su buharı geçirgenliği su moleküllerinin polar olmayan film yapısında kümelenmesi nedeniyle su buharı basınç gradyanına bağlı görünmektedir.

2.8.9 Protein denatürasyonu

Protein filmlerinin bariyer ve mekanik özelliklerini geliştirmek ve filmlerin proteolize direncini arttırmak amacıyla polimer zincirlerinin fiziksel (ısıtma, ışınlama) işlemlerle, kimyasal ajanlarla (glutaraldehit, gliseraldehit, formaldehit, glioksal vd.) veya enzimatik (transglutaminaz) yolla çapraz bağlanması sağlanmaktadır (Sabato vd., 2001 ; Ouattara vd., 2002 ; Bourtoom, 2009; Senna vd., 2010; Ressouany vd., 1998, Brault vd., 1997). Çapraz bağlanmış peynir altı suyu proteinleri selüloz matrisi içinde tutulduğunda iyi mekanik özellikler ve düşük su buharı geçirgenliğine sahip filmler elde edilmiştir (Le Tien vd., 2000). Polimerler arasında çapraz bağların oluşması ayrıca yenilebilir film bileşenlerinin çözünürlüğünü de önemli ölçüde azaltmaktadır. Vachon vd. (2000), ışınlama muamelesi yoluyla çapraz bağlanmayı teşvik ederek, film çözünürlüğünde %75'in üzerinde azalma gözlemlenmiştir.

Protein bazlı filmlerde denatürasyon genellikle sıcaklık veya pH ayarlaması ile gerçekleştirilmektedir. Denatürasyon ile protein-protein zincir etkileşimlerinin artması filmlerin geçirgenliğini azaltmakta ve yapısını güçlendirmektedir (Kester ve Fennema, 1986). Denatürasyon sıcaklığındaki artış sıkı ve kompakt ağdan sorumlu protein zincirleri arasında daha fazla çapraz bağlanma sağlar. Mercimek proteininden oluşan film çözeltilerinin ısıtma sıcaklığındaki artış filmlerin su buharı geçirgenliğini azaltmıştır. Aynı zamanda Sharma ve Singh (2016) yaptıkları çalışmada susam proteini kullanarak elde ettikleri film çözeltilerini farklı sıcaklıklarda (70, 80 ve 90°C) ısıtmış ve sıcaklığın artmasıyla birlikte filmlerin çözünürlüğünün azaldığını bulgulamış ve bu durumu sıcaklık artışıyla birlikte protein denatürasyonun daha belirgin olmasına bağlamıştır.

Protein bazlı filmlerin özellikleri pH'ya bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Yapılan çalışmalarda farklı pH aralığında hazırlanan filmlerin özellikleri gözlemlenmiştir. Avena-Bustillos ve Krochta (1993) tarafından yapılan çalışmada pH'nın kazeinat bazlı yenilebilir filmlerin su buharı geçirgenliği üzerine etkisi incelenmiştir. Sonuçlar filmlerin izoelektrik noktasına (pH 4.6) yakın pH

değerlerinde daha düşük su buharı geçirgenliği ve daha iyi mekaniksel özelliklere sahip olduğunu göstermiştir. Bu çalışmanın aksine Gennadios vd. (1993) izoelektrik noktasına yakın olan pH değerlerinde gluten (pH 7.6) ve soya proteininden (pH 4.5) film elde edememişlerdir. Bunun yanısıra alkali pH değerinde hazırlanan soya proteini filmlerinin asidik şartlarda hazırlananlara kıyasla daha yüksek çekme kuvveti ve uzama katsayısı ile ve daha düşük su buharı geçirgenliğine sahip olduğu bulgulanmıştır. Buğday gluteni filmlerinde ise alkali koşullarda hazırlanan filmlerin asidik koşullarda hazırlananlara göre önemli derecede daha yüksek çekme gerilimi gösterdiği açıklanmıştır. Gluten kullanılarak yapılan bir başka çalışmada filmin pH'sının filmin opaklığı, çözünürlüğü, su buharı geçirgenliği ve çekme gerilimi ile güçlü bir ilişkisi olduğu ortaya konmuştur (Gontard vd., 1992). Soya sütünden yapılan filmlerin ise sadece pH 1.5-2.5 ve pH 6.3-12.3 arasında yapılabildiği tespit edilmiştir (Krochta vd., 1994). Filmin renginin pH 9'un üzerinde kararmaya başlaması nedeniyle soya sütünden film yapımında optimum pH'nın 7 ile 8 arasında olduğu bulunmuştur.

Sharma ve Singh (2016), farklı pH (9-12) aralığında susam proteini kullanarak elde ettikleri filmlerin su buharı geçirgenliği, çekme gerilimi ve çözünürlük özellikleri açısından incelemiştir. pH'nın artmasıyla birlikte su buharı geçirgenliğinin önemli ölçüde azaldığı, çekme geriliminin arttığı ve çözünürlüğün azaldığı bulunmuştur. Bu durumun yüksek pH da proteinin denatüre olması ve açılması ile düşük su buharı geçirgenliği sağlayan güçlü bir protein-protein ağının oluşmasından kaynaklandığı bildirilmiştir. Yine pH'nın artmasıyla birlikte filmlerin yapışkanlığı/bağlılığı artmış ve bu durum daha güçlü ve yoğun filmlerin oluşumunu desteklediğinden suda çözünürlük azalmıştır. Benzer şekilde Bourtoom (2008) mung fasülyesi proteini bazlı yenilebilir filmlerde pH'daki artışın çekme gerilimini arttırdığını bulgulanmıştır.

Perez-Gago ve Krochta (1999) emülsiyon bazlı filmlerde pH'ın filmin su buharı geçirgenliği üzerinde bir etkisi olabileceğini göstermiştir. Protein-stabilize emülsiyonlarda, net yük, protein izoelektrik noktasında (pI) sifıra yaklaştığından, emülsiyon damlacıkları arasında elektrostatik itme zayıflar ve muhtemelen protein-protein toplanmasına bağlı olarak düşük bir lipit hareketliliği meydana gelir, lipit damlacıkları arasında daha az bağlantı oluşur ve su buharı geçirgenliği artar. Proteinin izoelektrik noktası üzerindeki veya altındaki pH değerlerinde, damlacıklar net bir yüke sahiptir ve damlacıklar arasında elektrostatik itme kuvveti

mevcuttur. Protein filmlerinde en iyi nem bariyer özellikleri, nötr pH değerlerinde gözlemlenmiştir (Perez-Gago ve Krochta 1999; McHugh 2000).

2.8.10 Penetran özellikleri ve suyun hali

Filmlerin fonksiyonel özelliklerini etkileyen bir diğer faktör penetranın özellikleri ve suyun halidir. Gözenekli yapılara zıt olarak yoğun yapılar söz konusu olduğunda, nüfuz eden maddenin (penetran), konsantrasyon, polarite veya fiziksel hal gibi özellikleri, film bileşenleri ile etkileşimini, aynı zamanda transfer kinetiğini de etkiler. Yayılan moleküllerin boyutu ve şekli difüzyonu etkilerken polarite ve onun yoğunlaşma kabiliyeti sorpsiyonu değiştirir. Su, küçük boyutta polar bir bileşik olduğundan yoğun materyallerde hem emilim hem de yayılma kabiliyetini artırma eğilimindedir ve yoğun materyaller neme, yoğunlaşmayan gazlardan daha fazla geçirgenlik gösterirler (Morillon vd., 2002).

2.9 Yenilebilir film ve kaplamaların gıdalara uygulama yöntemleri

Yenilebilir filmler, gıda bileşenleri ya da gıda üzerine uygulanmak üzere gıdalardan ayrı olarak önceden işlenen (katı formda) ve daha sonra gıdaların ambalajlanmasında kullanılırken yenilebilir kaplamalar ise doğrudan gıda üzerine uygulanan (sıvı formda) ince tabakalı materyallerdir (Mc Hugh, 2000; Lacroix, 2009).

Yenilebilir filmler genellikle ekstrüzyon, yayma, dökme, rulo kaplama, tambur kaplama, tava kaplama veya laminasyon teknikleriyle elde edilmektedir (Debeaufort ve Voilley, 2009). Dökme yöntemi; düzgün bir yüzey üzerine (petri kabı, plaka vb.), film oluşturacak çözeltinin istenilen kalınlıkta dökülmesi, yayılması ve ortam koşullarında veya kontrollü bağıl nem altında kurutulması ile film oluşturma yöntemidir. Film yapısı çözeltideki polimer konsantrasyonuna, sıcaklık ve bağıl nem gibi kurutma koşullarına, başlangıçta dökülen film kalınlığına ve çözeltinin kompozisyonuna bağlıdır. Etkili ve maliyeti düşük olduğundan yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

Öte yandan, yenilebilir kaplamalar daldırma, püskürtme, akışkan yatak kaplama, tava kaplama ve tambur kaplama teknikleri kullanılarak uygulanmaktadır (Debeaufort ve Voilley, 2009). Kuru katı parçacıkların kaplanmasında yaygın olarak kullanılan yöntem akışkan yatak kaplamadır.

2.10 Akışkan yatak

Akışkan yatak, ağır sanayi (kömürün yakılması ve gazlaştırılması, kuru atık gaz temizleme, cevher arıtma, katalitik petrol destilasyonu), eczacılık, kimya ve gıda gibi farklı birçok sektörde kullanılan bir teknolojidir (Yates, 1983; Kunii ve Levenspiel, 1991; Jonke vd., 1957; Geldart, 1992; Sherrington ve Oliver, 1981; Smith ve Nienow, 1983; Rankell vd., 1964; Epstein, 2003). Teknolojinin temelini akışkanlaşma işlemi oluşturmaktadır. Akışkanlaşma ile küçük katı parçacıklar, hava ile temas ettirilerek akışkanların özelliklerine benzer özellikler kazandırıldığından sistem akışkan yatak olarak tanımlanmaktadır (Dewettinck ve Huyghebaert, 1999).

Akışkanlaştırma işlemi, fan aracılığıyla basınçlandırılan havanın, akışkanlaştırılmak istenen katı parçacıkları arasından, parçacıklar üzerine etki eden yer çekimi kuvvetini yenecek kadar yüksek hızla geçirilerek, parçacıkların askıda tutulması olarak tanımlanmaktadır (Kurtuluş, 2007). Tabanında delikli bir plaka (distribütör) bulunan ve katı parçacıklar içeren yatağın alt kısmından, düşük bir hızla hava verilmeye başlandığında hava, parçacıklar üzerinde fazla kuvvet uygulayamaz ve parçacıklar arasındaki boşluklardan yukarı doğru hareket eder. Akış hızı arttırıldıkça hava, parçacıklara daha fazla kuvvet uygulayarak, parçacıkların arasındaki yer çekiminden kaynaklanan kuvveti azaltır ve parçacıklar birbirlerinden ayrılmaya, bazıları titreşmeye başlar. Bu tip yatağa genleşmiş yatak adı verilir. Hız daha da arttırıldığında, parçacıkların üzerindeki kaldırma kuvveti yer çekimini dengeleyerek, yukarı doğru akan havanın içinde parçacıkların asılı kalmalarını sağlar. Yani parçacık üzerine uygulanan kuvvetlerin vektörel toplamı sıfır olur ve yatağın herhangi bir noktasındaki basınç düşüşü yaklaşık olarak o bölümdeki katı tanecikler ile akışkanın ağırlığına denk olur. Bu esnada yatak minimum akışkanlaşma durumundadır. Bu noktadaki hava hızına minimum akışkanlaşma hızı denir (Smith, 2008). Hacmi değişmeyen yatak bölgesinde hava akış hızı daha arttırılırsa, yatak içerisinde hava kabarcıkları oluşmaktadır. Bu tip yataklara kabarcıklı akışkan yatak denir. Hava akış hızının daha da arttırılması durumunda kabarcıklar daha da büyüyerek, yatak içerisinde daha büyük boşluklar oluşmaktadır. Bu durum türbülanslı akışkan yatak olarak adlandırılmaktadır. Akış hızına ve akışkan yatağın boyutlarına bağlı olarak istenmeyen durumların da gözlenmesi mümkündür. Yatak yüksekliğinin yatak çapına göre büyük olması yığışma (slugging) neden olur (Parikh, 2017). Dağıtıcı plakada, akışkanın deliklerden geçmesi ile oluşan kabarcıklar yatak yüzeyine erişmeden birleşirler ve

üzerlerinde kalan malzemenin alt taraftaki malzemedan ayrılmasına neden olurlar. Bu istenmeyen bir durumdur, verimin düşmesine ve ısı transferinin homojen bir şekilde gerçekleşmemesine neden olur. Akışkan hızı daha da artarsa bazı küçük parçacıklar terminal hızlarına erişirler ve sistemi terk ederler. Yataktan ayrılarak bireysel olarak hareket eden küçük partiküller ısı ve kütle transferinin homojen bir şekilde gerçekleştirilemediğinin de bir göstergesidir (Smith, 2008; Pusapati ve Rao, 2014).

2.11 Akışkan yatak sistemi bölümleri

Akışkan yatak sistemi, kabaca hava giriş ve çıkış kanalı, ısıtıcı, fan, giriş ve çıkış sıcaklığı probu, yatak sıcaklığı probu, nem probu, hava dağıtıcı plaka, dehumidifier (özellikle düşük sıcaklıklarda veya ısıya duyarlı maddelerle çalışıldığında havanın kurutulması amacıyla kullanılabilir), proses filtreleri, nozul ve kontrol panelinden oluşmaktadır. Akışkan yatak sisteminde, aglomerasyon, granülasyon ve kaplama işlemleri için bu bölümlere ek olarak çözültü dağıtıcı düzeneğini oluşturan ısıtıcı, karıştırıcı, termometre ve peristaltik pompa kullanılmaktadır (Hede vd., 2008).

2.12 Minimum akışkanlaşma hızı

Akışkan yatakta en önemli parametre, minimum akışkanlaşma hızı (U_{mf})dır. Yatak içerisinde akışkanlaşmanın başladığı andaki hız olarak tanımlanmaktadır. Bu değerinin altında yatak sabit yatak gibi davranırken bu değer üstünde yatak akışkanlaşır ve tanecik büyüklüğüne bağlı olarak da farklı yatak davranışları göstermeye başlar. Minimum akışkanlaşma hızı (U_{mf}) akışkan yataklı sistemlerin en önemli tasarım ve işletme parametresi olup Ergun eşitliği (Geankoplis, 2003) ile ifade edilmektedir (Linoya vd., 1990) . Eş. (3)'de görüldüğü üzere, minimum akışkanlaşma hızı, parçacık ve hava yoğunluğundan kaynaklanan basınç düşümüne, yatak yüksekliğine, poroziteye, havanın viskozitesi ve yoğunluğuna, partikül boyutuna ve şekline bağlı olarak değişim göstermektedir.

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{150\mu v' (1-\varepsilon)^2}{\varphi_s^2 D_p^2 \varepsilon^3} + \frac{1.75\rho (v')^2 (1-\varepsilon)}{\varphi_s D_p \varepsilon^3} \quad (3)$$

Burada; Δp : basınç düşümü (Pa), L : yatak yüksekliği (m), μ : havanın viskozitesi (Pa.s), ρ : havanın yoğunluğu (kg/m^3), v' : minimum akışkanlaşma hızı (m/s), D_p : partikül boyutu (m), ε : porozite, Φ_s : şekil faktörü dür.

Akışkan yatak sistemde uygun bir akışkanlaşma sağlamak için, ürün miktarı, parçacık şekli, boyutu ve yoğunluğu ile parçacıkların akış özellikleri, cihazın ve fanın kapasitesi dikkate alınmalıdır. Verilen özellikler dışında katı parçacıkların yatak içerisinde akışkanlaşmasını etkileyen en önemli faktör hava hızıdır. Hava hızı kontrolü, hava dağıtıcı plaka ile gerçekleştirilir. Dağıtıcı plaka seçimi, parçacık türü ile partikül boyutuna, yoğunluğuna ve şekline bağlıdır. Hava dağıtıcı plaka çeşidi ve geometrisi, minimum akışkanlaşma hızı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Parikh, 2017).

2.13 Akışkan yatağın avantaj ve dezavantajları

Akışkan yatak, hızlı ısı ve kütle transferi, homojen sıcaklık dağılımı, katı partiküllerin yüksek akıcılığa sahip olması ve ısıya duyarlı maddelerde kullanılabilmesi gibi avantajlar sağlarken (Teunou ve Poncellet, 2002), sistemde yüksek basınç düşüşü, yüksek elektrik tüketimi, sisteme etki eden birçok parametrenin olması, proses ve ürün özelliklerinin optimizasyonu için uzun deneysel çalışma gerektirmesi ve ölçek büyütme işleminin zor olması sistemin dezavantajlarını oluşturmaktadır (Hede, 2006; Summers ve Aulton, 2004)

2.14 Gıdalarda akışkan yatak uygulamaları

Akışkan yatak gıda endüstrisinde, dondurma ve soğutma, kurutma, dondurarak kurutma, püskürterek kurutma, sınıflandırma, haşlama ve pişirme, kavurma, sterilizasyon, patlatma gibi işlemlerde kullanılmaktadır (Vinter, 1982; Rios vd., 1985; Rios vd., 1978, 1985; Jowitt, 1977; Shilton ve Niranjan, 1993; Smith, 2008). Toz gıda proseslerinde ise:

- kurutma,
- granülasyon,
- aglomerasyon ve
- kaplama uygulamalarında akışkan yatak yaygın olarak kullanım alanı bulmaktadır (Teunou ve Poncellet, 2002; Bhandari vd., 2013).

Tozların akışkanlaşabilmesi için iyi bir akabilirlik göstermesi gerekir. Bu, tozun çok ince partiküller içermemesi, su içeriğinin düşük olması, taneciklerin dar bir boyut dağılımı ile düzenli bir şekle sahip olması ve yıpranmaya karşı iyi bir mekanik direnç göstermesi gerektiği anlamına gelir. Akışkan yataklarda işlem

gören gıda tozlarının çoğu, düşük yoğunluklu küçük parçacıklara karşılık gelmektedir (Turchiuli, 2013).

Akışkan yatak sistemi kaplama, kurutma, aglomerasyon, granülasyon ve kaplama yapabilme özelliği ile gıda endüstrisinde besin takviye maddeleri olarak kullanılan C vitamini, B vitaminleri, demir sülfat, demir fumarat, sodyum askorbat, potasyum klorid ve çeşitli vitamin/mineral karışımları gibi besinsel maddelerin enkapsüle edilmesinde kullanılmaktadır. Et endüstrisinde de, aroma ve rengin geliştirilmesi amacıyla çeşitli gıda asitleri akışkan yatak yöntemi ile enkapsüle edilmektedir (DeZarn, 1995). Ayrıca enzimler ve maya gibi proses yardımcı maddeler, instant gıda ürünleri gibi toz gıdaların üretiminde de akışkan yatak kullanılmaktadır (Dewettinck ve Huyghebaert, 1999).

2.15 Kaplama

Akışkan yatak kaplama, ilk olarak eczacılık sektöründe tablet ve katı parçacıkların kaplanmasında kullanılmış olup hızlı bir şekilde gıda endüstrisine yayılmıştır. Gıdaların korunması ve raf ömrünün uzatılmasına yönelik teknolojiler arasında yenilebilir film kaplamalar ön plana çıkmaktadır. Kullanılan film kaplama tekniklerinden biri de akışkan yatak kaplamadır. Akışkan yatak kaplama, ekstrüzyon, çözücü ekstraksiyonu, koaservasyon, kokristalizasyon, püskürterek kurutma gibi gıda bileşenlerinin veya katkı maddelerinin enkapsülasyonunda ve kaplanmasında kullanılan yöntemlerden biri olup kuru katı parçacıkların (tozların) kaplanmasına olanak sağlamaktadır (Teunou ve Poncelet, 2005). Akışkan yatak kaplama, gıda endüstrisinde çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Bu amaçlar arasında,

- aktif moleküllerin oksijen ve nem gibi faktörlerden korunması veya kontrollü salınımı
- tat veya renk maskeleyme
- parçacık yüzey şekli, dokusu, görünümü ve kompozisyonunun kontrolü
- homojen yapıda toz ürün oluşumu
- ince parçacıkların azalması,
- işleme, taşıma ve depolama özelliklerinin geliştirilmesi
- lipid, wax gibi maddelerle kaplama yer almaktadır (Werner vd., 2007; Frey, 2014).

Akışkan yatakta kaplama işleminin temeli, katı halde bulunan çekirdek materyallerin hava akımında akışkanlaştırılması ve kaplama sıvısının, püskürtme başlığı aracılığı ile yatak içerisinde yer alan partiküllere farklı konumlardan püskürtülmesi ve kurutulması sonucu katman şeklinde kapsüllerin oluşmasına dayanmaktadır (Onwulata, 2005).

Akışkan yatakta, katı (parçacıklar), sıvı (kaplama sıvısı) ve gaz (akışkanlaştırıcı hava) olmak üzere üç faz vardır. Kaplama işlemi sırasında, bu fazlar arasındaki etkileşime bağlı olarak birtakım olaylar eş zamanlı olarak meydana gelmektedir. Bu olaylar:

- Yatak içerisinde yer alan parçacıkların hava ile süspansiyonu (parçacık dinamiği)
- Parçacık-damlacık etkileşim olasılığını arttırmak amacıyla kaplama sıvısının damlacıklar halinde püskürtülmesi böylece damlacıkların parçacık ile çarpıştığında kolayca kuruyabilmesi (ısı transferi)
- Damlacıkların parçacık yüzeyine yayılmasından sonra damlacıkların parçacık üzerinde düzleşmesi ve yapışması (kütle transferi) ile damlacıkların kurumadan önce partikül yüzeyinde bir tabaka oluşturarak birleşmesi
- Parçacık etrafındaki damlacıkların katmanlaşması sonucu homojen bir kaplama (gerçek kaplama) elde edilmektedir. (Teunou ve Poncelet, 2005)

Akışkan yatak kaplama teknolojisi yüksek üretim maliyetinden dolayı püskürtmeli kurutma yöntemine kıyasla yaygın olarak kullanılan bir yöntem olmayıp son yıllarda sürekli akışkan yatak sistemlerinin geliştirilmesiyle yüksek performans sağlayan bu teknoloji toz gıda kaplamalarına bir alternatif olarak sunulmuştur. Üstten, alttan ve açılı püskürtmeli olmak üzere 3 farklı akışkan yatak kaplama yöntemi mevcuttur (Desai ve Park, 2005).

2.15.1 Üstten kaplama

Katı partiküllerin sıcak hava ile akışkanlaştırılması parçacıkların bireyselleşmesini ve püskürtme bölgesine sirkülasyonunu sağlar. Bu bölgede akışkan yatak üzerine yerleştirilmiş bir nozul yardımıyla kaplama çözeltisi damlacıklar halinde partikül üzerine püskürtülür. Sıvı damlacıklar partikül yüzeyinde birikir ve kaplama sıvısının buharlaşması ile kurutulur. Kuru partiküller yeni bir ıslatma ve kurutma

döngüsüne başlamadan önce yatağa geri dönerler. Bu yöntem, kaplama materyali aşağı doğru püskürtülürken katı partiküller yukarı doğru hareket ettiğinden karşı akım olarak da adlandırılır (Turchiuli, 2013). Büyük kapasiteye ve kolayca eşilebilen püskürtücüye sahip olmasına rağmen elde edilen kapsüllerde kaplama filminin zayıf kontrollü salınımına sahip olması, ıslanan partiküller arasındaki aglomerasyondan dolayı küçük partiküller (< 100 µm) için proses kontrolünün zor olması ve sıvı damlacıkların parçacık yüzeyine ulaşmadan önce kuruması bu tekniğin dezavantajları arasında yer almaktadır (Jones, 1985; Teunou ve Poncelet, 2002). Bu nedenle söz konusu teknik kaplama işlemi için uygun olmayıp aglomerasyon ve granülasyon işlemleri için daha uygundur (Bhandari vd., 2013; Mehta ve Jones, 1985).

2.15.2 Açısal kaplama

Dönme ve hava akımının kombinasyonunu içeren açısal kaplama (rotor/yüzeysel kaplama) yönteminde, yatak içerisinde dönen bir disk yer almaktadır. Kaplama filmi kalitesi açısından Wurster yöntemi ile benzerlik gösteren bu sistemde yüksek oranda karıştırma olduğundan kırılğan ya da ufalanabilir kaplama maddelerine uygulanamamaktadır (Teunou ve Poncelet, 2005). Açısal kaplama sistemi küçük parçacıklarda önerilmezken; pelet ve çubuk kaplamaya çok uygundur (Lakkis, 2007).

2.15.3 Wurster kaplama

İlk kez D.E. Wurster tarafından 1950' lerde geliştirilen bu teknikte kaplama sıvısı yatağın altında yer alan bir nozul ile yukarı doğru püskürtülür ve parçacıklar ile birlikte eş yönlü olarak hareket eder (Arshady, 1993). Damlacıklar, parçacıklarla yakın temas halinde olduklarından püskürterek kurutulmaları engellenmekte, toz oluşumu azaltılmakta ve parçacık-damlacık çarpışma olasılığı artırılarak kaplama etkinliği geliştirilmektedir (Teunou ve Poncelet, 2005). Bununla birlikte parçacıkların sirkülasyonu kurutma hızını arttırmakta ve böylece aglomerasyon oluşumunu azaltarak kaplama kalitesini iyileştirilmektedir (Frey, 2014). Küçük parçacık kaplaması için de uygun olan bu yöntem ile düzgün, homojen ve uzun süreli kontrollü salınımına sahip kaplanmış parçacıklar elde edilmektedir (Mehta ve Jones, 1985) (Bhandari vd., 2013).

Wurster ekipmanı, genleşme haznesi, anülüs, Wurster tüpü, hava dağıtıcı plaka ve bu plakanın merkezinde bulunan bir nozuldan oluşmaktadır. Wurster prosesi partikül hareketine göre dört bölgeye ayrılmaktadır. Bu bölgeler üst yatak bölgesi, genleşme bölgesi, alt yatak bölgesi ve yatay geçiş bölgesi olarak tanımlanmaktadır (Parikh, 2017).

Wurster tüpünde, hava akışına bağlı olarak parçacıklar hızlanır, damlacıklar halinde püskürtülen kaplama sıvısı parçacık yüzeyine çarpar ve sıvı bir film tabakası oluşturarak yayılır. Wurster tüpünden ayrıldıktan sonra parçacık, genleşme haznesine girer ve bu bölgede hızı azaldığından annülüs bölgesine düşer. Parçacık yüzeyinin, annülusa girmeden önce kuruması gerekir, aksi takdirde ıslak parçacıklar kaplama kalitesi açısından istenmeyen bir durum olan aglomerasyona neden olabilir. Anulusta, parçacıklar dibe doğru hareket eder ve dağıtıcı plaka ile Wurster tüpü arasındaki açıklık ile aynı seviyeye ulaştıklarında yatay hareket ederler ve Wurster tüpüne hızlıca çekilirler. Bu sirkülasyon, amaçlanan kaplama sıvısı miktarı partikül üzerine püskürtülene kadar tekrarlanır (Karlsson vd., 2006).

2.15.3.1 Üst yatak bölgesi

Üst yatak bölgesinde partiküller akışkanlaştığından hızları artar. Parçacıkları bu bölge boyunca hareket ettirecek basınç düşüşünü sağlamak için hava hızının minimum akışkanlaşma hızının üzerinde olması gerekir. Kaplama işleminin de gerçekleştiği bu bölgenin kontrolü zordur. Bu bölgede yatak içerisinde dikey pnömatik bir taşıma meydana gelir (Geldart ve Rhodes, 1986) ve taşımadaki sorunlardan biri yığılmadır. Dikey pnömatik taşıma, minimum yığılma hızı ile karakterize edilir. Minimum yığılma hızı, yığılmanın oluşmadığı minimum hava hızıdır ve parçacıkların üst yatak bölgesine girme hızına bağlıdır (Christensen ve Bertelsen 1997)

2.15.3.2 Genleşme haznesi

Üst yatak bölgesinden ayrılan parçacıklar genleşme haznesine girer. Burada hava hızı minimum akışkanlaşma hızının altına düştüğünden parçacıklar alt yatak bölgesine doğru serbest düşme yaparlar. Bu bölgede parçacıklar üst yatak bölgesi boyunca hızlandığından yukarı doğru bir çıkış hızına sahiptirler ve bu hız terminal hız olarak adlandırılır. Parçacık terminal hızı, genleşme haznesinin yüksekliğine bağlıdır. Bu bölgede çarpışmayı engellemek amacıyla minimum genleşme haznesi

yüksekliğine ihtiyaç duyulur. Bu minimum yükseklik, çıkış hızı, yüzey alanı ve parçacığın yoğunluğuna bağlı olarak belirlenir. Bu bölgedeki yukarı doğru çıkış hızı kombine edilmiş akışkanlaşma havası ve nozul havasının hacmi ile genişleme bölgesinde ekipmanın çapına bağlı olarak kontrol edilebilir. Bu nedenle akışkan yatak aparatları, hava hızını minimum akışkanlaşma hızının altına düşürmek amacıyla bu bölgede daha büyük çapa sahip olacak şekilde dizayn edilmiştir (Christensen ve Bertelsen 1997)

2.15.3.3 Alt yatak bölgesi

Alt yatak bölgesi hafif genişmiş bir yatak görünümündedir. Bu bölgede havanın hızı minimum akışkanlaşma hızının altındadır. Parçacık yüzeyinde oluşan film henüz tamamen kurumadığından yapışkan bir faza geçme eğilimindedir. Bu bölgede, hava akışı laminer olduğundan ve parçacıklar diğer parçacıklarla temas ettiğinden yapışma meydana gelebilmektedir. Üst yatak bölgesine giren parçacıklar alt yatak bölgesinde toplanır. Aynı zamanda parçacıkların tekrar üst yatak bölgesine girmeden önce ek olarak kurutulmasını sağlar. Bu nedenle söz konusu bölgenin boyutu parçacıkların kuruma süresini kontrol eder (Christensen ve Bertelsen 1997).

2.15.3.4 Yatay geçiş bölgesi

Alt yatak bölgesinin tabanı ile Wurster bölmesi altındaki açıklık parçacıkların yatay taşınması için ayrı bir bölge oluşturur. Bu açıklık, parçacıkların üst yatak bölgesine akışını kontrol etmekte ve böylece üst yatak bölgesinde birim alan başına parçacık kütle akış hızını kontrol etmektedir. Kompleks hava hareketleri nedeniyle bu bölgedeki pnömatik taşıma tüp içindeki taşımaya göre daha karmaşıktır (Christensen ve Bertelsen, 1997).

2.16 Akışkan Yatak Sistemine Etki Eden Parametreler

Akışkan yatak tekniğinde birçok işlem aynı anda gerçekleştiğinden sistem üzerine etki eden çok sayıda değişken mevcuttur. Bu değişkenler, ekipman ve proses değişkenleri ile ürün özellikleri olmak üzere üç grup altında toplanabilir (Summers ve Aulton, 2004; Guignon vd., 2003). Hava dağıtıcı plaka, Wurster tüpünün yüksekliği, filtre torbası ve nozul tipi ekipman değişkenlerini; giriş hava hızı, sıcaklığı, nemi, püskürtme hızı ve atomizasyon basıncı proses değişkenlerini; katı parçacık ile kaplama materyali veya bağlayıcı sıvı ürün özelliklerini

oluşturmaktadır (Dewettinck ve Huyghebaert,1999; Parikh, 2017; Litster, 2003; Ennis, 2009).

2.16.1 Ekipman değişkenleri

2.16.1.1 Hava dağıtıcı plaka

Hava dağıtıcı plaka, yatak içerisinde uygun parçacık sirkülasyonunu sağlamada oldukça önemlidir (Ghaly ve MacDonald, 2012). Dağıtıcı plakadan geçen hava katı parçacıkların hızını dolayısıyla akışkanlaşma işlemini etkilemektedir. Plakada yer alan delik sayısı ve çapı akışkanlaşmayı etkilemektedir. Delik sayısının fazla olması daha büyük hava kabarcıklarının oluşumuna neden olduğundan akışkanlaşma işlemi homojen bir şekilde gerçekleşmemektedir. Delik sayısı az olduğunda ise hava kabarcıkları küçük olduğundan akışkanlaşma daha homojen olmaktadır (Bhandari vd., 2013). Küçük parçacıkları akışkanlaştırmak için daha az hava hızı gerektiğinden plakadaki açık alan daha az iken büyük parçacıklarda ise bu durum tam tersidir (Shetty, 2010; Qiu vd., 2009). Hava dağıtıcı plaka tasarımı, özellikle Wurster kaplama işleminde büyük önem kazanmaktadır. Bu yöntemde, kaplama işleminin de gerçekleştiği üst yatak bölgesinde parçacıkları akışkanlaştırabilecek, alt yatak bölgesinde ve yatay geçiş bölgesinde parçacık hızını yavaşlatabilecek şekilde bir hava dağıtıcı plaka tasarımı gerçekleştirilmelidir. Plaka tasarımı gerçekleştirilirken katı parçacıkların özellikleri dikkate alınmalıdır.

2.16.1.2 Wurster tüpünün yüksekliği

Wurster kaplama yönteminde, uygun bölme boşluğunun ayarlanması katı parçacıkların yatay geçiş bölgesinden Wurster tübü içerisine çekilmesini sağlar ve böylece yatak içerisinde uygun parçacık sirkülasyonunu da sağlanmış olur (Christensen ve Bertelsen, 1997). Tüpün yüksekliği, parçacığın boyut, şekil, akış ve yığın yoğunluğuna bağlı olarak değişim göstermektedir. Kolon yüksekliğinin çok fazla olması ve partiküllerin kolon içine çekilmesi için yetersiz basınç farkının oluşması, parçacıkların yavaş ve yığılım halinde akışına neden olduğundan aglomerasyon riskini arttırmaktadır. Boşluk çok az olduğunda ise kolona daha az katı parçacık çekilir ve bu durum kaplama materyali kaybına neden olduğu gibi parçacıkların fazla ıslanmasına da sebep olmaktadır (Sonar ve Rawat, 2015).

2.16.1.3 Filtreler

Özellikle kaplama prosesinde parçacık kaybını önlemek ve hava geçişini sağlamak için filtreler kullanılmaktadır. Gözeneklilik optimum değerden yüksekse, parçacık kaybı fazla olur. Gözeneklilik optimalden düşükse filtre tıkanır ve proses kesintiye uğrar ki bu ürün verimini etkiler. Filtre torbası, materyalin parçacık boyutuna bağlı olarak seçilir ve gözenekliliği basınç farkı izlenerek incelenebilir (Sonar ve Rawat, 2015).

2.16.1.4 Nozul tipi, çapı, sayısı ve yüksekliği ve pozisyonu

Akışkan yatak sistemlerinde kullanılacak olan nozulun tipi, çapı, pozisyonu, yüksekliği ve sayısı prosesi etkilemektedir. Kaplama işlemlerinde kullanılan nozul tipi, genellikle çift akışkanlı nozuldur. Bununla birlikte aglomerasyon, granülasyon ve kaplama işlemlerinde, pnömatik, ultrasonik ve döner disk gibi atomizör tasarımları da tercih edilebilmektedir. Werner vd., 2007) Püskürtme hızı arttığında dahi kaplama materyalini veya bağlayıcı sıvıyı atomize edebilecek nozulun kullanılması gereklidir. Düşük performanslı nozul tarafından üretilen büyük sıvı damlacıklar materyal üzerine eşit bir şekilde dağılmaz ve daha küçük damlacıklar gibi hızla kuruyamaz. Bazı damlacıklar parçacık yüzeyleri ile temas edebilir, ancak yayılmadan önce kuruyabilirler, bu da çekirdek materyal üzerinde düzensiz yüzeye neden olur. Püskürme hızı nozulun kapasitesini aştığında tekdüze atomizasyonun sürdürülmesi için küçük damlacıklar ile birlikte büyük damlacıklar da ortaya çıkar, büyük damlacıklar aglomerasyona neden olur. Aglomerasyondan kaçınmak için çoklu ünite nozulları kullanılmalıdır (Harlan, 2004).

Nozul seçiminde, nozulun çapı dikkate alınmalıdır. Nozul çapının küçük olması daha iyi püskürtme sağlar. Bununla birlikte, nozul çapının çok küçük olması, nozulun tıkanmasına neden olabilmektedir. Özellikle kaplama ve aglomerasyon işlemlerinde püskürtme sıvısı daha küçük damlacıklar halinde atomize edildiğinden bu işlemlerde nozul seçimi önemlidir. Granülasyon işleminde damlacık boyutu daha az önem kazanmakta ve nozul sayısının artması granülün yoğunluğunu ve boyut dağılımını arttırmaktadır.

Aglomerasyon ve granülasyon işlemlerinde nozulun yüksekliği de aglomerat ve granül boyut ve yapısını etkilemektedir. Nozul yüksekliği, akışkanlaştırılmış parçacıklara çok yakın olduğunda aşırı ıslanma nedeniyle topaklanma meydana

gelmekle birlikte akışkanlaşan parçacıkların nozula çarpması nozulun tıkanmasına yol açmakta ve proses kesintiye uğramaktadır. Aksine, eğer nozül optimum seviyeden daha yüksek bir yere yerleştirilirse, püskürtülen damlacıkların, parçacık yüzeyini ıslatmadan veya parçacık yüzeyinde yayılmadan önce kurumasına neden olmaktadır. Nozul yüksekliği ve pozisyonu yatak içerisinde yer alan parçacıkların yüzeylerinin düzgün ve homojen bir şekilde ıslanmasını ve yayılmasını sağlayacak şekilde ayarlanmalıdır. Özellikle kaplama işleminde nozul seçimi kadar nozulun pozisyonu da oldukça önemlidir çünkü doğrudan kaplama kalitesini ve verimini etkilemektedir (Parikh, 2017).

2.16.2 Proses değişkenleri

2.16.2.1 Giriş hava hızı

Akışkan yatak sistemine etki eden en önemli proses parametrelerinden biridir. Hava hızı, yatak içerisinde yer alan parçacıkların akışkanlaşmasını, karışımını ve sirkülasyonunu sağlamaktadır. Bununla birlikte giriş hava hızı ısı transfer katsayısını etkilediğinden kurutma prosesini de etkilemektedir. Hava hızının yetersiz olması, istenen parçacık sirkülasyonu ve yeterli bir kurutma sağlayamadığından özellikle kaplama işlemi sırasında parçacık yüzeyinde biriken püskürtülmüş damlacıkların nemini uzaklaştırılamaması aglomerasyona neden olmaktadır (Sonar ve Rawat, 2015). Aşırı yüksek hava akış hızı defluidizasyon riskini azaltsa da aglomerasyon ve granülasyon işlemleri sırasında parçacıklar arasındaki çarpışma hızını arttırdığından çarpışma sırasında parçacıkların birleşme olasılığı azalmaktadır. Yine yüksek hava hızı parçacıkların yıpranmasına dolayısıyla aglomerat ve granül boyutunda küçülmeye neden olmaktadır (Schaafsma vd., 1999). Ayrıca yüksek hava hızı püskürtülen damlacıkların parçacık yüzeyine ulaşmadan veya parçacık yüzeyinde dağılmadan kuruma olasılığını arttırdığından özellikle kaplama prosesinde fonksiyonel kaplamalar için istenen salınım özelliklerini sağlamayan kaplamalarla sonuçlanabilir (Cole, 1995, Qiu Y vd., 2009). Bu nedenle uygun hava akış hızı, parçacık yoğunluğu, boyutu ve şekli gibi ürün özellikleri ile yatak içerisinde yer alan ürün miktarı dikkate alınarak ayarlanmalıdır (Christensen ve Bertelsen, 1997).

2.16.2.2 Giriş hava sıcaklığı ve nemi

Giriş hava sıcaklığı, havanın nemi emme ve uzaklaştırma kapasitesini etkilediğinden kurutma hızını ve kurutma döngüsünün süresini belirler. Hava sıcaklığının kontrolü, oluşan kapsüllerin kaplama kalitesini, aglomerat ve granüllerin özelliklerini etkilediğinden önemlidir. Aşırı kuru ortam püskürterek kurutmaya neden olurken aşırı nemli ortam aglomerasyona neden olur.

Havanın sıcaklığı çok yüksek olduğunda, püskürtülen damlacıklar çabuk kurur ve çekirdek materyale çarptığında birleşmezler. Bu durum pürüzlü, gözenekli ve zayıf kontrollü salınım özelliklerine sahip kaplamaların oluşmasına neden olur (Fukumori, 1994). Yüksek sıcaklıklar aynı zamanda, damlacıkların çekirdek materyale ulaşmadan püskürtülerek kurutulmasına neden olduğundan kaplama materyali kaybı ve daha ince kaplamalarla sonuçlanabilir. Diğer taraftan sıcaklık çok düşük olduğunda, kaplanan parçacığı kurutmak için daha uzun bir süre gereklidir ve bu durum çözünebilir bileşenlerin nemlendirilmiş kaplama katmanına geçmesine yol açar. Çözünmüş bileşenler sıvı tabakanın/katmanın yüzey gerilimini azaltır, püskürtülen damlacıklarının birleşme olasılığının düşmesine neden olur. Elde edilen kapsül içine gömülmüş olan materyal, çözünme ortamı ile temas ettiğinde çözünebilir ve bu da gözenekli ve daha geçirgen bir kaplama ile sonuçlanır (Sonar ve Rawat, 2015).

Giriş hava sıcaklığının yüksek olması, püskürtülen damlacıkların akışkan parçacıkların yüzeyine ulaşmadan kurummasını hızlandırdığından ve parçacıkların ıslanmasını azalttığından ortalama granül ve aglomerat boyutunu düşürürken düşük giriş hava sıcaklığı aşırı kaba granüllerin oluşumuna neden olur.

Giriş havasının nemi, kurutma hızını etkilemekte olup nemdeki artış yüksek ürün sıcaklığına neden olmaktadır. Yetersiz kurutma, ıslak söndürme nedeniyle çökme riskiyle birlikte partikül yatağında yüksek bir neme yol açarken, çok yoğun kurutma ise yapışkan parçacıkların elde edilmesine imkan vermez. Giriş havasının nem içeriğindeki artış da büyük granüllerin oluşumuna yol açmakla birlikte defluidizasyon olasılığını arttırır (Schaafma vd., 1999; Sonar ve Rawat, 2015; Parikh, 2017).

2.16.2.3 Püskürtme hızı

Püskürtme hızı, çekirdek materyale ve kaplama materyalinin/bağlayıcı sıvısının özelliklerine bağlıdır. Kaplama işleminde, püskürtme hızı daha yavaş iken aglomerasyon ve granülasyon işlemlerinde daha hızlıdır. Püskürtme hızı kurutma verimine (etkinliğine) ve çözeltilerin yapışkanlığına göre ayarlanmalıdır. Kaplama işleminde, yüksek püskürtme hızı, aglomerasyon eğilimini artırır ve daha az homojenliğe sahip kaplamaların oluşmasına neden olur. Düşük püskürtme hızı, özellikle küçük parçacıkların kaplanması, daha küçük damlacıkların oluşmasını sağlayarak aglomerasyon riskini azaltır ve homojen kaplama sağlar (Jones ve Percel, 1994). Bununla birlikte, püskürtme hızı çok düşükse, damlacıklar hızlı bir şekilde kuruyacağından, damlacıkların birleşmesi önlenemez ve bu da zayıf biçimde oluşturulmuş kaplamalara yol açabilir (Heng vd., 1999). Aglomerasyon ve granülasyon işlemlerinde, bağlayıcı maddenin püskürtülme hızı, parçacıkların büyüme hızını önemli ölçüde etkiler. Püskürtme hızının düşük ve püskürtülen damlacıkların boyutunun küçük olması parçacıkların büyüme hızını, granülün boyut dağılımını, yoğunluğunu ve sağlamlığını azaltırken püskürtme hızının artırılması ise söz konusu özellikleri arttırmakla birlikte aynı zamanda ıslak söndürmeye bağlı olarak defluidization olasılığını artırır (Burggraeve vd., 2013; Aviles vd., 2015; Sonar ve Rawat, 2015; Parikh, 2017).

2.16.2.4 Atomizasyon hava basıncı

Nozullar, kaplama sıvısının/bağlayıcı sıvısının püskürtülmesinde kullanılmakta olup sıvıyı atomize edilmiş damlacık haline getirirken hava basıncından yararlanmaktadır. Uygun atomizasyon koşullarının sağlanması, damlacık boyut dağılımı ile partikül büyüklüğü dağılımının uyumlu olması yönünden önemlidir. Yüksek atomizasyon basıncı, daha küçük damlacıkların oluşmasını sağlar (Wan vd., 1995) ve bu durum özellikle küçük parçacıkların kaplanması sırasında aglomerasyonu önlemek için gereklidir (Hemati vd., 2003). Atomize edici basıncın çok yüksek olması püskürtülen damlacıkların çok hızlı bir şekilde hareket etmesine ve damlacıkların partikül yüzeyine ulaşmadan buharlaşmasına neden olduğundan damlacık-çekirdek etkileşimini desteklemez. Ayrıca yüksek atomize hava basıncı, çekirdek materyalin yıpranmasını artırır ve daha küçük parçacıkların oluşumuna yol açabilir. Diğer taraftan, düşük atomizasyon basıncı, yavaş kuruyan ve çekirdek materyaller arasında aglomerasyon olasılığını arttıran kaba damlacıkların oluşmasına neden olur (Heng vd., 1999)

2.16.3 Materyal Özellikleri

2.16.3.1 Parçacık özellikleri

Katı parçacıkların boyut dağılımı, yoğunluğu ve şekli ile akış özellikleri akışkan yatak sistemlerin temel mekanizması olan akışkanlaşma işlemini etkilediğinden oldukça önemlidir (Parikh, 2017) Parçacık özellikleri, dikkate alınarak hava dağıtıcı plaka tasarımı gerçekleştirilmekte ve proses parametreleri belirlenmektedir. Ayrıca, katı parçacıkların belirtilen özellikleri ile nem içeriği kurutma, aglomerasyon, granülasyon ve kaplama işlemlerini doğrudan etkilediğinden bu özelliklerin bilinmesi söz konusu proseslerin verimli bir şekilde tamamlanmasının yanı sıra son ürün özellikleri açısından da önem kazanmaktadır.

2.16.3.2 Kaplama çözeltisi/ Bağlayıcı çözelti özellikleri

Gıda bazlı sistemlerde, yenilebilir filmlerin oluşturulmasında genellikle protein, karbonhidrat ve yağ bazlı kaplama materyalleri kullanılmaktadır. Aglomerasyon ve granülasyon işlemlerinde ise bağlayıcı sıvı olarak parçacık yüzeyine göre su veya farklı tipte maddeler (doğal veya sentetik polimerler, şekerler) kullanılmaktadır. Kaplama çözeltisi ve bağlayıcı sıvının bileşimi, viskozitesi, yoğunluğu ve yüzey gerilimi püskürtme koşullarını ve damlacık boyutunu etkilemekle birlikte parçacık yüzeyini de değiştirmektedir (Sonar ve Rawat, 2015). Bu parametreler aglomerasyon ve granülasyon işlemlerinde aglomerat ve granül oluşumu ile oluşan bu yapıların boyut dağılımını, yoğunluğunu ve morfolojisini etkilerken (Keningley vd., 1997; Mills vd., 2000) kaplama işleminde film oluşumunu etkilemekte ve dolayısıyla elde edilecek olan kapsüllerin yapısını ve salınımını da etkilemektedir (Link ve Schlünder, 1997; Guignon vd., 2002). Ayrıca kaplama işleminde kaplama materyallerinin termal stabilite özellikleri ve film oluşturma yetenekleri de kaplama kalitesini etkilemektedir.

2.17 Gıdalarda Akışkan Yatak Kaplama Uygulamaları

Akışkan yatak, hidrojene bitkisel yağ, stearinler, yağ asitleri, emülgatörler ve mumlar gibi sıcakta eriyen kaplamalar veya nişastalar, zamlar, maltodekstrinler gibi çözücü bazlı kaplamalar için uygulanabilmektedir. Akışkan yatak enkapsülasyonu, multivitaminlerde ve çocuk vitaminleri gibi küçük tabletlerde demirin askorbik asitten izole edilmesinde tercih edilmiştir (Gibbs vd., 1999).

Akışkan yatak kaplama işlemi özellikle besin takviyesi sektöründe, C vitamini, B vitaminleri, demir sülfat, demir fumarat, sodyum askorbat, potasyum klorür ve çeşitli vitamin/mineral ön karışımları gibi besin maddelerinin kapsüllenmiş versiyonlarını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır (DeZarn, 1995). Fırıncılık uygulamalarında C vitamini, asetik asit, laktik asit, potasyum sorbat, sorbik asit, kalsiyum propiyonat ve tuz gibi çeşitli mayalama sistem bileşenlerinin kaplanmasında akışkan yatak olarak kullanılmıştır (DeZarn, 1995; Pauw vd., 1996). Enkapsüle C vitaminin, gidererek popülerliğini yitiren potasyum bromat yerine kullanılabilir etkili bir ürün olduğu bulunmuştur (DeZarn, 1995). Et endüstrisinde ise farklı gıda asitleri renk ve lezzeti geliştirmek amacıyla akışkan yatakta kaplanmıştır. Bununla birlikte, kurutulmuş et ürünlerinde tekrarlanabilir bir pH elde etmek ve etlerin proses sürelerini kısaltmak amacıyla da kullanım alanı bulunmaktadır. Akışkan yatakta enkapsüle edilmiş tuz, etlerde ransiditeyi önlemek ve erken sertleşmelerini engellemek amacıyla kullanılmaktadır (DeZarn, 1995). Gıda alanında akışkan yatak teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilen kaplama çalışmaları aşağıda özetlenmiştir.

Anwar vd. (2010), balık yağının stabilitesini arttırmak amacıyla yaptıkları çalışmada mikroenkapsülasyon işlemi akışkan yatakta granülasyon ve kaplama olmak üzere iki aşamada gerçekleştirmiştir. Kaplama materyali olarak soya esaslı polisakkaritler, maltodekstrin ve hidroksipropil betasiklodekstrin kullanılmıştır. Granülasyon işleminde giriş hava sıcaklığı 50-70°C, ürün sıcaklığı 30-40°C, atomizasyon basıncı 3,5 bar ve püskürtme hızı 10 g/dk, alttan kaplama işleminde ise giriş sıcaklığı 60-70°C, çıkış sıcaklığı 30-40°C, ürün sıcaklığı 30-40°C, atomizasyon basıncı 2 bar ve püskürtme hızı 8 g/dk olarak belirtilmiş ve mikroenkapsülasyon sonucu partikül çapı 300-700 µm olarak bulunmuştur. Bulgular granülasyon işleminin balık yağı tozu üretiminde iyi bir metot olduğunu ve oksidasyona karşı koruduğunu bunun aksine kaplama işleminde kullanılan hidroksipropil betasiklodekstrinin oksidasyona karşı etkili bir bariyer sağlayamadığını göstermiştir.

Schell ve Beermann (2014), *Lactobacillus reuteri* bakterisinin asidik koşullara direncini arttırmak ve gastrointestinal koşullarda sağ kalımını sağlamak amacıyla kaplama materyali olarak peynir altı suyu tozu ve şellak kullandığı çalışmada granülasyon ve üstten kaplama işlemlerini akışkan yatakta gerçekleştirmişlerdir. Atomizasyon basıncı 60 kPa, kurutma sıcaklığı 60°C, püskürtme hızı 2.2 ml/dk olarak rapor edilmiş ve bu parametreler granülasyon ve kaplama işlemi için sabit

tutulmuştur. Sonuç olarak akışkan yatak teknolojisi ile kaplanmış probiyotik bakterilerin aside karşı dirençlerinin arttığı ve mide-bağırsak geçişi sırasında sağ kalım oranlarının yükseldiği ve böylece vücutta hedefe yönelik salınımın sağlandığı ortaya konmuştur. Ayrıca kaplama materyali olarak şellak ve peynir altı suyu tozu kullanımının probiyotik gıda uygulamalarının etkinliğini arttırdığı ve kapsüllenmiş bakterilerin çekirdekten farklı bir şekilde salınmasının ağızdan uygulanan probiyotik gıda uygulamalarının fizyolojik etkinliğini arttırmaya yardımcı olabileceği vurgulanmıştır.

Coronel-Aguilera ve Martín-Gonzalez (2015), sodyum kazeinat, maltodekstrin ve bitkisel yağ kullanarak hazırladıkları ve püskürterek kurutma yöntemiyle elde ettikleri β -karoten emülsiyonu tozunu (53.0 μm) akışkan yatakta hidrokspipil metil selüloz kullanarak kaplamışlardır. Çalışma kapsamında giriş hava sıcaklığı (60, 70 ve 80°C) ve püskürtme hızının (7 ve 10 ml/dk) farklı sıcaklıklarda depolama sırasında ürünün β -karoten ve renk stabilitesi üzerine etkisi de incelenmiştir. Giriş hava sıcaklığının β -karoten içeriği ve toz rengi üzerinde etkili olduğu bulgulanırken püskürtme hızının etkisi konusunda net bir eğilimin olmadığı belirtilmiştir. Düşük hava giriş sıcaklığı ve düşük püskürtme hızında kaplama işleminin etkin bir şekilde gerçekleştiği ve giriş hava sıcaklığının 70°C ve püskürtme hızının 7 g/dk olduğu koşullarda kaplama işlemi sırasında daha iyi bir film tabakasının oluştuğu ve bu nedenle kaplanmış tozun farklı sıcaklıklarda depolanması sırasında β -karoten içeriği ve renk stabilitesinin korunduğu belirtilmiştir.

Li vd. (2007), sarımsak tozunu akışkan yatakta iki katman halinde önce etil selüloz daha sonra selüloz asetat fitalat ile kaplamıştır. Ürün sıcaklığı 30°C olarak sabit tutulurken giriş hava sıcaklığı ürünün sıcaklığına göre ayarlanmıştır. Tozun yüzeyinde etkili ve homojen bir film tabakası oluşturmak amacıyla püskürtme hızı proses boyunca ayarlanmıştır. Bulgular akışkan yatak tekniği ile kaplanmış sarımsak tozu yapısının iyi bir bütünlük gösterdiğini ve çekirdek materyalin kaplama materyali içerisine etkili bir şekilde hapsedildiğini (gömüldüğünü) göstermiştir. Kaplama işlemi ile sarımsak tozunun alisin içeriği korunmuş ve vücutta hedefe yönelik olarak kontrollü bir şekilde salınımı sağlanmıştır.

Dewettinck ve Huyghebaert (1998), yaptıkları çalışmada proses değişkenlerinin (çekirdek materyalin kütlesi, giriş hava hızı, püskürtme hızı, kaplama çözeltisinin kuru madde içeriği, kaplama çözeltisi miktarı) kaplama etkinliği üzerine etkisini

incelemişlerdir. Bu amaçla sodyum klorür kristallerini farklı protein konsantreleri (sodyum kazeinat, lizozim, kan plazması konsantresi) kullanarak akışkan yatakta üstten kaplama yöntemi ile kaplamışlardır. Kaplama işlemi sırasında çekirdek materyalin kütlesi, giriş hava hızı, püskürtme hızı, kaplama çözeltisinin kuru madde içeriği ve kaplama çözeltisi miktarı sabit tutulmuş giriş hava sıcaklığı (70, 78 ve 86°C), atomizasyon basıncı (1.5, 2.5, 3.5 bar) ve ortalama partikül çapı (250, 350, 450 µm) bağımsız değişkenler olarak belirlenmiştir. Atomizasyon basıncının damlacık boyutu, hızı ve evaporasyonu ile yatak sıcaklığını etkilediği belirtilmiştir. Ortalama partikül çapı ve giriş hava sıcaklığının düşük (74°C), atomizasyon basıncının ise yüksek olduğu koşullarda kaplama etkinliğinin en yüksek olduğu bulgulanmıştır. Ayrıca yüksek atomizasyon basıncının damlacıkların parçacık yüzeyine ulaşmadan (damlacık-parçacık etkileşimi olmaksızın) buharlaşmasına neden olduğundan damlacık-çekirdek etkileşimini desteklemediğini belirten araştırmacılar kaplama materyalinin viskozitesinin atomizasyon basıncını ayarlama etkili olduğuna dikkat çekmişlerdir. Ayrıca kaplama materyali olarak kullanılan protein konsantrelerinin fonksiyonel ve kompozisyon özelliklerinin kaplama verimliliğini etkilediği ve en yüksek kaplama verimliliğini sodyum kazeinatın sağladığı bulunmuştur.

Guignon vd. (2003) alttan kaplama yöntemiyle akışkan yatakta katı parçacık kaplamanın uygulanabilirliğini farklı çekirdek [buğday irmiği (800–1250 µm), cam boncuklar (450–800 µm), alümina (250–800 µm), reçine polistiren (300–1200 µm), plastik PMMA (100–350 µm)] ve kaplama materyalleri (maltodekstrin, akasya zamkı ve sodyum klorür) kullanarak incelemişlerdir. İşlem koşulları besleme miktarı 0,5 kg, atomizasyon basıncı 3 bar, hava akış hızı 40–340 m³/h, püskürtme hızı 2-35 g/dak, ürün sıcaklığı 50°C, Wurster tüpünün yüksekliği 20 mm olacak şekilde ayarlanmıştır. Alttan kaplama yönteminde parçacıkların tüp içerisinde düzenli bir şekilde sirkülasyonunu sağlayan ve dolayısıyla kaplamanın etkinliğini arttıran ve aglomerasyon riskini azaltan havanın akış hızını belirlemede parçacık boyutu ve yığın yoğunluğunun etkili olduğu, püskürtme hızının belirlenmesinde ise kaplama çözeltisi ve parçacıkların yüzey gerilimi, viskozite ve spesifik alan gibi fizikokimyasal özellikleri ve kuruma karakteristiklerinin ön plana çıktığı belirtilmiştir. Ayrıca kaplanmış üründe adhezyon özelliklerinin belirlenmesinde kaplama yapısı (kristal, amorf) ve yüzey pürüzlülüğünün dikkate alınması gerektiği rapor edilmiştir.

Sun vd. (2013), mentol tozunu akışkan yatakta jelatin, jelatin emülsiyonu (jelatin ve soya yağı), modifiye nişasta ve etil selüloz sulu dispersiyonu ile kaplamışlardır. Giriş sıcaklığı 60°C, çıkış sıcaklığı 30°C, atomizasyon basıncı 2 mPa, püskürtme hızı 0.2, 0.6, 1.2 ml/s olarak ayarlanmış ve kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, degradasyonla aktifleştirilen salınım sisteminde bileşenin kontrollü bir şekilde salınmasında akışkan yatak kaplamanın etkili bir yöntem olduğunu göstermiştir. Kaplanmış mentol tozunun salınım özellikleri püskürterek kurutulmuş toz ile karşılaştırılmış kaplanmış mentol tozunun suda kontrollü salınımının daha iyi olduğu bulgulanmıştır. Kaplanmış tozdan mentolün kontrollü salınımı ve yüksek mikroenkapsülasyon verimliliği kaplama materyali olarak jelatin emülsiyonu kullanıldığında elde edilmiştir. Ayrıca kaplamanın çözünürlüğü ve bütünlüğünün, kaplama etkinliğini belirlemede kilit faktörler olduğu belirtilmiştir.

Semyonov vd. (2013) probiyotik bakteri *Lactobacillus paracasei*' yi akışkan yatakta alttan kaplama yöntemiyle kaplamıştır. Kaplama işlemi iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada probiyotik hücre, trehaloz ve maltodekstrin içeren çözelti inert bir gıda taşıyıcısı olan mikrokristalin selüloz üzerine püskürtülmüş ve adsorbe edilmiştir. İkinci aşamada ise taşıyıcı parçacıklar balmumu ve etilselüloz ile kaplanmıştır. Kaplama işlemi hem laboratuvar hem de pilot ölçekli akışkan yatakta gerçekleştirilmiştir. Püskürtme hızı 1-4 ml/dk (laboratuvar ölçekli) ve 12 ml/dk (pilot ölçekli) giriş hava sıcaklığı ise 45-50°C olarak rapor edilmiştir. Giriş havası sıcaklığı [62°C (çıkış sıcaklığı 34 °C) ve 47°C (çıkış sıcaklığı 25°C)], püskürtme hızı (1, 1.5, 2.5 ve 3.5 ml/min.), katı madde konsantrasyonunu (20, 30, 50g maltodekstrin DE17–trehaloz (1:1 oranında)), hücre konsantrasyonunu (6 ve 12g L. paracasei) ve kaplama formülasyonunun (maltodekstrin: trehaloz 1:0, 2:1, 1:1) probiyotik bakterinin hayatta kalma üzerine etkisi araştırılmıştır. Ölçek büyütme işleminin bakterinin canlı kalma yüzdesini etkilemediği açıklanmıştır. Giriş havası sıcaklığının en belirgin etkiye sahip olduğu ve sıcaklıkta meydana gelen 15°C'lik bir artışın canlı kalma yüzdesini 250 kat düşürdüğü bulgulanmış ve çalışılan püskürtme hızı aralığında aglomerasyonun gözlemlenmediği belirtilmiştir. Katı madde konsantrasyonu ve probiyotik hücre konsantrasyonu düşük olduğunda sağ kalım oranı %35-40 arasında değişmiştir. Püskürtme hızı ve katı madde konsantrasyonunun uygun bir şekilde ayarlanması kaplama işlemi sırasında kaplanmış parçacıkların işlem süresini en aza indirdiği ifade edilmiştir. Kaplama çözeltisi 1:1 oranında trehaloz-maltodekstrin içerdiğinde kaplama işlemi

ve depolama sırasında hücre canlılığı açısından en iyi korumayı sağlamıştır. Balmumu ile kaplanmış bakterilerin canlılığın çok yüksek olduğu (%99) buna karşın ek bariyer olarak kullanılan etilselülozun canlılığı azalttığı (% 49–66) gözlemlenmiş ve bu durumun etilselüloz kullanıldığında kaplama süresinin uzamasından kaynaklandığı bildirilmiştir.

Palamanit vd. (2016) yaptıkları çalışmada pirince antioksidan özellik kazandırmak amacıyla yüksek fenol içerikli zerdeçal özü ile akışkan yatakta alttan kaplama yöntemiyle kaplamıştır. Giriş hava hızı (2, 2.5, ve 3 m/s), atomizasyon basıncı (1, 1.5, 2 bar) ve geri dönüşümlü egzoz havasının ürün kalitesi, kaplama etkinliği ve enerji tüketimi açısından üstten kaplama üzerine etkileri araştırılmıştır. Püskürtme hızı, giriş hava sıcaklığı ve püskürtme süresi sırasıyla 40 ml/dk, 50°C ve 12 dk olarak sabit tutulmuştur. Sonuçlar geri dönüşümlü egzoz havasının akışkanlaşma havasının evaporasyon kapasitesini önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Geri dönüşümlü egzoz havası kullanılmadığında ürünün nem içeriğinin %12 nin altına düştüğü ve nem içeriğinin % 11,8'in altına düşmesinin tanelerin çatlamasına neden olduğu bulunmuştur. % 80'lik geri dönüşümlü hava kullanıldığında ise çatlak tanecik sayısı ve enerji tüketimi % 41.7-46.5 oranında azaltılmıştır. Düşük hava hızında kaplanmamış tanecik sayısının arttığı ve kaplama etkinliğinin (toplam fenolik içeriği) düşük olduğu bulgulanmıştır. Hava hızı arttırıldığında atomizasyon basıncı ve egzoz havasının kaplama etkinliği üzerine etkisinin önemsiz olduğu açıklanmış ve egzoz havasının kaplanmamış parçacık sayısı üzerine az da olsa etkisinin olduğu belirtilmiştir.

Pauw vd. (1995), fumarik asidin mikroenkapsülasyonunu akışkan yatakta aglomerasyon ve alttan kaplama olmak üzere iki aşamada gerçekleştirmiştir. Kaplama materyali olarak jelatin, nişasta hidrolizatları ve sodyum aljinat kullanılmış ve atomizasyon basıncı 3 bar, püskürtme hızı 7 g/dak, giriş hava sıcaklığı 75°C ve hava hızı 3 m/s olarak ayarlanmıştır. Sonuçlar alttan kaplama ile elde edilen kapsüllerin akıcılığının üstten kaplama ile elde edilen aglomeratlara kıyasla daha iyi olduğunu göstermiştir. Aglomerasyon işleminde partikül çapının 200-1000 µm arasında olduğu, alttan kaplama işleminde ise ortalama 250 µm olduğu bulgulanmıştır.

Szulec ve Lenart (2013) yaptıkları çalışmada akışkan yatakta aglomerasyon ve kaplama işlemlerinin süt ürünü bazlı tozların (laktoz, peynir altı suyu protein izolatu, pirinç nişastası, inülin, L-askorbik asit) yüzey modifikasyonu üzerine

etkisini incelemişlerdir. Giriş hava sıcaklığı 50°C, çıkış sıcaklığı 32°C, püskürtme hızı 4 ml/dk, atomizasyon basıncı 1 bar olarak sabit tutulmuş ve toz karışım üzerine bağlayıcı sıvı (laktoz, lesitin, sukroz ve su) püskürtülerek kurutulmuştur. Elde edilen aglomeratlar üstten kaplama yöntemiyle laktoz kullanılarak kaplanmıştır. Akışkan yatakta aglomerasyon ve kaplama ile tozun yapı ve yüzey özelliklerin modifikasyonunun ürünün fiziksel ve fonksiyonel özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Çok bileşenli toz karışımının sukroz çözeltisi ile aglomerasyonu akış ve rekonstitüsyon özellikler açısından ön plana çıkmış ve bu aglomeratlar en düşük yığın yoğunluğu ve en yüksek porozite değerleri göstermiştir. Aglomeratların kaplanması ile akabilirlik ve dağılıbilirlik özellikleri geliştirilmiş ve ürünün yığın yoğunluğu azalma ve porozitesi artma eğilimi göstermiştir. Ayrıca elde edilen aglomeratların gevşek ve gözenekli bir yapı ile düzensiz şekle sahip olduğu belirtilmiştir.

Dumoulin vd. (1995), demir sülfat ve L-askorbik asit içeren tozların üretiminde aglomerasyon ve alttan kaplama uygulamasını kullanmış püskürtme hızını 5 ml/dak, atomizasyon basıncını 1-5 bar, giriş hava sıcaklığını 30-120°C ve hava hızını 8-30 l/s aralıklarında sabit tutmuş ve kaplama materyali olarak maltodekstrin ve gam arabik kullanılmıştır. Ortalama partikül çapı alttan kaplama işleminde 700 µm, aglomerasyon işleminde ise 450-600 µm arasında değişmiştir.

Maronga ve Wnukowski (2001) yaptıkları çalışmada üstten kaplama yöntemi [giriş hava sıcaklığı 63°C, hava hızı (0.595 ve 1.014 m/s), püskürtme hızı (0.334, 0.76 ve 1.38 ml/s)] ile kapladıkları parçacıklarda büyüme kinetiğini incelemiş ve çalışmada çekirdek materyal olarak laktoz peletleri, kaplama materyali olarak da hidroksipropil metil selüloz kullanmışlardır. Kaplamanın ilk aşamasında sonraki aşamalara oranla parçacık büyümesinin daha hızlı gerçekleştiği bu durumun laktoz partiküllerinin ıslanabilirliği ve kaplama materyalinin kurumasındaki farktan kaynaklandığı belirtilmiştir.

Ji vd. (2017) aglomerasyon (hava akış hızı 70 l/dk, giriş hava sıcaklığı 50°C, püskürtme hızı 1 ml/dk, atomizasyon basıncı 1 bar) ve alttan kaplama (hava akış hızı 40 l/dk, giriş hava sıcaklığı 50°C, püskürtme hızı 1 ml/dk, atomizasyon basıncı 1 bar) işlemleri ile farklı konsantrasyonlarda lesitin kullanarak peynir altı suyu protein izolatu tozunun ıslanabilirliğini arttırmayı amaçlamışlardır. İşlemler sonucunda elde edilen farklı partikül çaplarına sahip tozlar yoğunluk, porozite ve şekil özelliklerinin yanı sıra ıslanma süreleri, temas açıları, kılcak akış ile su

absorpsiyonu ve tozda oluşturulan film kuvvetini içeren ıslanma davranışları açısından karşılaştırılmıştır. Oluşan aglomeratların büyük partikül boyutu, düşük yığın yoğunluğu, yüksek gözeneklilik ve düzensiz şekle sahip oldukları açıklanmıştır. Kaplama işleminde ise lesitin parçacık yüzeyine kaplandığı için bu özellikler üzerine etkisinin daha az olduğu belirtilmiştir. Tozun yapısında meydana gelen fiziksel ve yapısal değişikliklerin ıslanabilirliklerini farklı derecede etkilediği belirtilmiştir. Partiküllerin lesitin ile kaplanması yüzey gerilimlerini düşürmüş, temas açılarını küçülmüş ve filmleri zayıflatarak ıslanabilirliklerini arttırmıştır. Aglomerasyon işleminde ise yapı daha gözenekli olduğundan kılcal akış ile suyun penetrasyonu sağlanmıştır. Genel olarak lesitin ilavesinin (yüzeyler üzerinde yüksek kaplama), yüksek gözeneklilik ve büyük partikül boyutunun kombinasyonu ile peynir altı suyu protein isolatı tozlarının ıslatma işleminin geliştirilmesine katkıda bulunmuştur. Ayrıca yüksek lesitin konsantrasyonunun daha etkili olduğu bulgulanmıştır.

Lakkis (2009), yaptığı çalışmada kompozisyon, erime noktası ve reolojik özellikleri birbirinden farklı olan katı yağların enkapsülasyon özelliklerini karşılaştırmıştır. Sodyum bikarbonatın çekirdek materyal ve farklı erime noktasına sahip triaçilgliseroller (TAG-46 ve TAG-62) ve carnauba mumunun (86°C) kaplama materyali olarak seçildiği çalışmada işlem parametreleri püskürtme hızı 17-23 g/dak, giriş hava sıcaklığı 26-55°C ve ürün sıcaklığı 24-53°C aralıklarında sabit tutularak üstten kaplama gerçekleştirilmiştir. Fırıncılık ürünlerinde neme duyarlı aktif bileşenlerin kapsüllenmesi ve ısıyla birlikte salınımlarının gerçekleşebilmesi amacıyla farklı erime noktalarına ve plastiklik derecelerine sahip yağlar kullanılmıştır. Bulgular triaçilgliserol ve bunların yüksek erime noktasına sahip karnauba balmumu ile kombinasyonunun hem simüle edilmiş (su) hem de gerçek (fırınlanmış gıdalarda) profilde işlenebilirliğinin iyi olduğu ve kontrollü salınımı sağladığı ortaya konmuştur.

Ivanova vd. (2004) yaptıkları çalışmada suya duyarlı ürünlerin enkapsülasyonunu sulu ve kuru kaplama olmak üzere iki yöntemle akışkan yatakta gerçekleştirmiştir. Sulu kaplamada kaplama materyali olarak, hidroksipropil metilselüloz, mikrokristalin selüloz ve stearik asit (atomizasyon basıncı: 1,5 bar, püskürtme hızı: 5 g/dak, giriş hava sıcaklığı: 60°C, çıkış hava sıcaklığı: 42°C), kuru kaplamada ise hidroksipropil metilselüloz asetat süksinat, talk pudrası (atomizasyon basıncı: 1,5 bar, püskürtme hızı: 2 g/dak, giriş hava sıcaklığı: 40°C, çıkış hava sıcaklığı: 27°C) kullanılmış ve kuru kaplamada ek olarak sıvı

plastikleştirici (trietil sitrat, Sigma ve asetillenmiş monogliserit) ilave edilmiştir. Sulu kaplama sistemi ile karşılaştırıldığında kuru kaplamanın ürünün ıslanmamasına ek olarak yüksek kaplama verimi ve enerji tasarrufu gibi birtakım avantajlar sağladığı belirtilmiştir. Elde edilen kaplanmış parçacıkların geçirgenliğinin yüksek olduğu ve suda hızlı çözünmediği açıklanmıştır. Ayrıca kuru kaplanmış ürünlerin yüksek higroskopiklik ve kaplama filminin düşük mukavemeti gibi dezavantajlara da sahip olduğu ortaya konmuştur.

Solis-Morales vd. (2009), patlatılmış buğdayı kaplama şurubu (çikolata, şeker, su) ile üstten kaplama yöntemiyle (giriş hava hızı 3 m/s, giriş hava sıcaklığı 25°C, püskürtme hızı 15 ml/dk) kaplamıştır. Akışkan yatak tekniği ile elde edilen ürün, tamburlama yöntemiyle elde edilen ürün ve ticari bir ürün ile karşılaştırılmıştır. Farklı yöntemle kaplanmış ürünlerin çıtırılık, renk, tat ve yıpranmaya karşı dirençleri (ufalanırlık testi) karşılaştırılmıştır. Ticari ürünle karşılaştırıldığında akışkan yatak ile kaplanmış ürünün çıtırılık ve çikolata tadı bakımından daha ön planda olduğu ve renk açısından aralarında önemli bir fark olmadığı belirtilmiştir. Yıpranma açısından karşılaştırıldığında akışkan yatak sistemi ile elde edilen ürün % 1 ağırlık kaybederken, tamburlama yöntemiyle elde edilen örnek % 5 ve ticari örnek yaklaşık % 10 ağırlık kaybetmiştir.

2.18 Ekmek mayasının akışkan yatakta kaplanması

Ekmek mayası fırıncılıkta lezzetin ve ürün hacminin oluşmasında oldukça önemli bir bileşendir. Endüstride gıdaların korunması ve raf ömrünün arttırılmasına yönelik olarak kaplama teknolojileri özellikle de yenilebilir film kaplamalar, biyolojik olarak parçalanabilir özellikte olduğundan ön plana çıkmaktadır (Giray ve Baysal, 2012). Akışkan yatak kaplama, enkapsülasyon amacıyla kullanılan yöntemler arasında yer almaktadır (Sobel vd., 2014). Fırıncılık uygulamalarında, akışkan yatak kaplama ile oluşturulan kaplanmış ürünler C vitamini, asetik asit, laktik asit, potasyum sorbat, sorbik asit, kalsiyum propiyonat ve tuz gibi mayalanma sistem bileşenlerini içermektedir (Dewettinck ve Huygbaert, 1999). Bu sektörde kullanılan hamur ve kek karışımları için temel bileşenler kısaca un, yağ, yumurta ve tatlandırıcılar olarak tanımlanabilmektedir. Unlu mamüllerde bu bileşenler, işlevsellik ve tüketim kalitesini belirlemede önemli ölçüde etkili olmaktadır. Bununla birlikte, maya ve kimyasal mayalanma ajanları gibi minör bileşenler, bu ürünlerin genel kalitesi ve raf ömrü üzerinde çok daha etkin bir rol oynamaktadır (Lakkis, 2007).

Literatürde mikrobiyal hücrelerin enkapsülasyonuna yönelik uygulamalar olmasına karşın, çoğu çalışma immobilizasyon yöntemine dayanmaktadır. Bu yöntemle birlikte; tutuklama ve koaservasyon, emülsiyon/arayüzey polimerizasyonu, çözünme, sıvı damlacık oluşturma gibi enkapsülasyon teknikleri kullanılmaktadır (Park ve Chang, 2000). Gelişen kaplama teknikleri ile, probiyotik bakteriler başta olmak üzere mikroorganizmaların kaplanması ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Ancak mayaların (ekmek mayası da dahil olmak üzere) akışkan yatakta kaplanmasına yönelik herhangi bir literatür çalışması bulunmamaktadır (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2 Maya kaplama ile ilgili yapılan çalışmalar

	Enkapsüle <i>S. cerevisiae</i>	Enkapsüle <i>S. cerevisiae</i>	Enkapsüle <i>S. cerevisiae</i>	Enkapsüle <i>S. cerevisiae</i>	Sonuçlar
	(Talebni vd., 2004;2007)	(Yang vd., 2009; 2011; Ivanova vd., 2011)	(Raymond vd., 2009)	(Keen vd., 2011)	
Yöntem	Emülsiyon oluşturma	İmmobilizasyon	Emülsiyon oluşturma/ısl jelleşme	Kollidozomal enkapsülasyon	<i>S. cerevisiae</i> , gıda ve gıda olmayan ürünler içerisinde kullanılmak üzere farklı metotlarla enkapsüle edilmiştir.
Kaplama materyalleri	Karboksi metil selüloz, sodyum	Silika; polidopamin, streptavidin; kalsiyum	Kitosan, karagenan, pektin, NaCl,	Lateks parçacıkları, yağ, etanol	Yapılan bilimsel çalışmalarda ,

	aljinat, CaCl ₂	aljinat, sodyum aljinat, manyetik nano parçacıklar, kitosan, asetik asit, sodyum hidroksit, gluteraldehit, sodyum asetat	glasiyel asetik asit, yağ		enkapülasy on materyali olarak bitkisel ve kimyasal bileşenler kullanılmıştı r.
Uygulanan işlem (sıcaklık, homojenizasy on, fiziksel kuvvetler vb.)	Santrifüj, karıştırma, a, sertleştir me	Santrifüj, karıştırma	Çalkalama, santrifüj, ısıtma (80 °C), karıştırma	Santrifüj, karıştırma, homojenizasy on	Enkapülasy on teknolojisine özgü olan ve çoğunlukla uygulanan çeşitli işlemler belirlenmişti r.
Kurutma (sıcaklık uygulaması ile)	Yoktur	Yoktur Yoktur 60°C	Yoktur	Yoktur	Genellikle sıcaklık uygulaması yoktur.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Denemelerde hammadde olarak bileşimi bilinen ekmekek mayası (%80 kuru madde) kullanılmış ve Pak Gıda Üretim ve Pazarlama A. Şti'den temin edilmiştir. Yenilebilir film ve kaplamada kullanılan materyaller; 220 bloom derecesine sahip jelatin Cosucra Groupe Warcoing SA'dan, sodyum kazeinat Milkon Süt ve Gıda Mamulleri Sanayi ve Ticaret A. Şti.'den, yumurta akı Kor Agro Organik Gıda Enerji Sanayi Tic. A. Şti'den, pektin, sodyum aljinat, karboksimetil selüloz, maltodekstrin, karragenan, ve gliserol Smart Kimya Tic. ve Dan. Ltd. Şti.'den, palm yağı Küçükbay Yağ ve Deterjan Sanayi A. Şti'den, ayçiçek yağı yerel bir marketten satın alınmıştır.

3.2 Yöntem

3.2.1 Film oluşturma

Yapılan literatür araştırmalarında protein, karbonhidrat, yağ ve gliserol konsantrasyonlarının elde edilen filmlerin fonksiyonel ve mekanik özelliklerini etkilediği bulgulanmıştır. Bu nedenle film oluşturma aşamasına öncelikle protein, karbonhidrat ve yağ bazlı kaplama materyalleri ile gliserol konsantrasyonları belirlenmiştir.

3.2.1.1 Protein bazlı yenilebilir filmler

Protein kaynaklı kaplama materyallerinin (jelatin, sodyum kazeinat ve yumurta akı) kullanıldığı literatür çalışmaları incelenmiş olup, kullanılan protein konsantrasyonlarının genel olarak %2 ile %16 arasında değişim gösterdiği sonucuna varılmıştır. Belirlenen bu konsantrasyon aralıklarında her bir protein için film çözeltileri hazırlanmıştır. Çözeltiler hazırlanırken gliserol plastikleştirici ajan olarak kullanılmış ve miktarı minimum olacak şekilde denemelere başlanmıştır. Yapılan ön denemeler sonucunda %8'in altındaki konsantrasyonlarda dökülen filmlerin kuruma sürelerinin çok uzun olması; %12'nin üzerindeki konsantrasyonlarda ise denatürasyon sonucu kıvam artışının fazla olması dolayısıyla filmin homojen bir şekilde dökülememesi, kurumunun daha zor gerçekleşmesi ve yüksek konsantrasyondan dolayı filmin kalınlığının da artması

gibi faktörlere bağılı olarak söz konusu konsantrasyonlarda tekdüze ve homojen bir film elde edilememiştir. Bu nedenle jelatin ve sodyum kazeinat için protein konsantrasyonları %8, %10 ve %12 olarak belirlenmiştir. Yumurta akı filmlerinde ise kurutma işleminden sonra yapının çok incilmesi ve filmlerde yırtılmanın meydana gelmesi nedeniyle protein konsantrasyonu yukarı çekilmiş ve %10, %12 ve %15 olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte jelatine %12, sodyum kazeinata %15 ve yumurta akında ise %25' nin altındaki gliserol konsantrasyonlarında film elde edilememiştir.

3.2.1.1.1 Jelatin filminin hazırlanması

Saf su içerisine %8, %10 ve %12 konsantrasyonlarında jelatin ilave edilmiş ve jelatinin denatürasyonunu sağlamak amacıyla hazırlanan çözeltiler 70°C'de 10 dk boyunca ısıtılmıştır. Filmlerin kırılabilirliğini azaltmak amacıyla film oluşturma çözeltileri içerisine %12, %15, %20, %25, %30 ve %35 oranında (protein bazında) gliserol ilave edilmiş ve homojenizatör yardımıyla 3000 rpm'de karıştırılmıştır. Hazırlanan çözeltilerden film oluşturma aşamasında dökme yöntemi kullanılmış ve çözeltiler tüm protein konsantrasyonları için kuru madde oranı sabit olacak şekilde 9 cm çapındaki alüminyum kaplara dökülüp bir gece ortamda bekletildikten sonra tepsili kurutucuda 40°C' de 1 m/s hava hızında kurutulmuştur.

3.2.1.1.2 Sodyum kazeinat filminin hazırlanması

Sıcaklığı 60-65°C olan saf su içerisine %8, 10 ve 12 oranlarında kazein ilave edildikten sonra homojenizatör ile karıştırılmış ve denatürasyon amacıyla 80°C'de 1 saat boyunca su banyosunda ısıtılmıştır. Elde edilen çözeltiler içerisine %15, %20, %25, %30 ve %35 konsantrasyonlarında gliserol ilave edilip, 3000 rpm'de karıştırılarak homojenizasyonu sağlanmıştır. Farklı protein konsantrasyonlarında hazırlanan çözeltiler kuru madde oranı sabit olacak şekilde alüminyum kaplara (çap 9 cm) dökülüp bir gece ortamda bekletildikten sonra tepsili kurutucuda 40°C' de 1 m/s hava hızında kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir.

3.2.1.1.3 Yumurta akı filminin hazırlanması

Saf su içerisine %10, %12 ve %15 oranlarında yumurta akı ilave edildikten sonra daha iyi bir çözünme sağlayabilmek amacı ile su banyosunda 45°C'de 20 dk boyunca ısıtılmıştır. Yumurta akının ısı ile denatürasyonu geri dönüşümsüz olduğundan film çözeltileri hazırlanırken albümin denatüre edilmemiştir. Isıtma

işleminde sonra %20, %25, %30 ve %35 oranlarında gliserol ilave edilip, 3000 rpm'de homojenizatör yardımıyla karışım sağlandıktan sonra çözeltiler kuru madde oranı sabit olacak şekilde alüminyum kaplara dökülmüş ve 60°C'de 2 saat etüvde kurutulduktan sonra tepsili kurutucuya alınıp 40°C'de 1.0 m/s hava hızında tam bir kurutma sağlanmıştır.

Kurutma işlemi sonunda elde edilen filmler alüminyum kaplı polietilen ambalajlarda (ALPE) vakum altında paketlenmiş ve her üç protein için en uygun protein ve gliserol konsantrasyonunu belirlemek amacıyla su buharı geçirgenliği, nem içeriği ve su aktivitesi analizleri gerçekleştirilmiştir.

3.2.1.2 Karbonhidrat bazlı yenilebilir filmler

Çalışma kapsamında kullanılacak olan karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin (aljinat, pektin, CMC, karagenan ve maltodekstrin) kullanıldığı literatür çalışmaları da göz önünde bulundurularak karbonhidrat bazlı kaplama materyalleri için belirli bir konsantrasyon aralığı belirlenmiştir. Her bir karbonhidrat bazlı kaplama materyali için %1, %2, %3, %4 ve %5 konsantrasyonlarında çözeltiler hazırlanmış (Çizelge 3.1) ve tam bir çözünme sağlayabilmek amacıyla bir gece oda koşullarında bekletilmiştir. Bu işlem sonucunda farklı karbonhidrat tipi ve konsantrasyonu içeren çözeltiler gözlemlenmiş ve elde edilen sonuçlar aljinat, karboksi metil selüloz ve karragenan için %4 ve %5 konsantrasyonlarında yüksek viskoziteden dolayı film çözeltilerinin hazırlanamayacağını göstermiştir.

Çizelge 3.1 Farklı konsantrasyonlarda karbonhidrat bazlı kaplama materyalleri kullanılarak yapılan film denemeleri

Karbonhidrat bazlı kaplama materyalleri	Karbonhidrat konsantrasyonu				
	%1	%2	%3	%4	%5
Pektin	✓	✓	X	X	X
Aljinat	✓	✓	X	X	X
CMC	✓	X	X	X	X
Maltodekstrin	✓	✓	✓	✓	✓
Karragenan	✓	✓	X	X	X

X: film dökülemedi ✓:film dökülebilmis

Elde edilen çözeltilerin akışkan yatakta kaplama işlemi sırasında püskürtülüp püskürtülemeyeceğini test etmek amacıyla tüm çözeltilerde nozul yardımıyla püskürtme işlemi gerçekleştirilmiştir. Püskürtme işlemi sonucunda özellikle aljinat, karboksi metil selüloz ve karragenan için %3'lük konsantrasyonda yine yüksek viskoziteden dolayı püskürtme işleminin gerçekleştirilemediği gözlemlenmiştir. Karbonhidrat bazlı kaplama materyali kullanılarak elde edilen çözeltilerin viskoziteleri birbirinden farklı olduğundan, tüm karbonhidratlar için ortak bir konsantrasyon aralığı belirlenerek karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin de kendi arasında karşılaştırılması hedeflenmiştir. Bu nedenle pektin, aljinat ve karagenan için %1, %1.5 ve %2 konsantrasyonları kullanılarak denemelere başlanmıştır. CMC için %2 lik konsantrasyonda dahi viskozitenin çok yüksek olması ve nozulda püskürtme işleminin gerçekleştirilememesi nedeniyle maksimum limit % 1 olarak belirlenmiş ve söz konusu karbonhidrat için %0.5, %0.75 ve %1 konsantrasyonlarının kullanılması uygun görülmüştür. Son olarak bir diğer karbonhidrat olan maltodekstrin için üst limit olarak denemesi yapılan %5'lik konsantrasyonda viskozite çok düşük olduğundan konsantrasyon yukarı doğru çekilmiş ve %10, %15 ve %20 lik konsantrasyonların kullanılmasına karar verilmiştir. Denemeler sırasında maltodekstrin için bu konsantrasyonlar hazırlanıp yarı kurutulmuş tek katmanlı protein filmleri üzerine dökülmüştür fakat kurutma işlemi sonunda elde edilen çift katmanlı filmlerin maltodekstrinin şeker içeriğinden dolayı yüzeye çok fazla yapıştığı ve bu nedenle tabakadan ayrılmadığı

gözlemlenmiştir. Bu nedenle maltodekstrin için belirlenen konsantrasyonlar aşağı çekilmiş ve yeni konsantrasyonlar %4, %6 ve %8 olarak belirlenmiştir.

Her bir karbonhidrat bazlı kaplama materyali için üç farklı karbonhidrat konsantrasyonu belirlendikten sonra gliserol konsantrasyonu için de alt ve üst limitleri belirlemek amacıyla denemelere başlanmıştır. Düşük gliserol konsantrasyonlarında filmler daha kırılğan olduğundan gliserol konsantrasyonu arttırılmış ve %8, %10 ve %12 (karbonhidrat bazında) olacak şekilde üç farklı gliserol konsantrasyonu belirlenmiştir.

Analiz sonuçlarına göre protein bazlı kaplama materyallerinin her biri için en uygun protein ve gliserol konsantrasyonu belirlendikten sonra karbonhidrat bazlı kaplama materyalleri için de en uygun karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonunu belirlemek amacıyla daha önce belirlenmiş olan protein ve gliserol konsantrasyonları kullanılarak elde edilmiş tek katmanlı filmler üzerine farklı karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonları içeren karbonhidrat bazlı film çözeltileri dükülüp tepsili kurutucuda 40°C' de 1.0 m/s hava hızında kurutulmuştur. Elde edilen iki katmanlı filmlerde tekrar su buharı geçirgenliği, nem içeriği ve su aktivitesi analizleri yapılmış ve her bir karbonhidrat bazlı kaplama materyali ve gliserol için en uygun konsantrasyonlar belirlenmiştir.

3.2.1.3 Yağ bazlı yenilebilir filmler

Protein ve karbonhidrat bazlı kaplama materyali ile gliserol için incelenen parametreler göz önünde bulundurularak en uygun konsantrasyonlar belirlendikten sonra yağ bazlı kaplama materyali için de farklı konsantrasyonlar denenmiştir. Bu amaçla üretilen film örnekleri üzerine %5 ve %10 oranlarında (film ağırlığı bazında) palm yağı ve ayçiçek yağı fırça yardımıyla sürülmüştür. Fakat ayçiçek yağı, palm yağı gibi oda koşullarında katı olmadığından ve viskozitesi düşük olduğundan %10 oranında yağ kullanıldığında miktar fazla gelmiş ve ayçiçek yağı filmin üzerinden akmıştır. Bu nedenle ayçiçek yağında sadece %5 oranında yağ kullanılabilmiştir. En uygun yağ konsantrasyonunu belirlemek amacıyla elde edilen üç katmanlı filmlerde su buharı geçirgenliği analizi yapılmıştır.

Protein, karbonhidrat ve yağ bazlı kaplama materyalleri için uygun konsantrasyonlar ayrı ayrı belirlendikten sonra katman halinde film oluşturma aşamasına geçilmiştir. İlk olarak protein bazlı kaplama materyalleri kullanılarak

belirlenen uygun protein ve gliserol konsantrasyonlarında film dökme işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen tek katmanlı protein filmleri yarı ağırlığına kadar kurutulduktan sonra bu filmler üzerine belirlenen karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonlarında hazırlanmış olan karbonhidrat bazlı film oluşturma çözeltileri dökülmüş ve tepsili kurutucuda tam bir kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen iki katmanlı filmler yüzeyden çıkarılıp ters çevrilerek üzerlerine uygun konsantrasyonda yağ bazlı kaplama materyalleri dökülüp yayılmıştır. Bu durumda mayanın akışkan yatakta kaplanacağı sıra da dikkate alınmış ve 1. katmanda yağ, 2. katmanda protein ve 3. katmanda karbonhidrat tabakası yer almıştır. Elde edilen 3 katmanlı filmlerde en uygun kaplama materyali kombinasyonunu belirlemek amacıyla su buharı geçirgenliği analizi gerçekleştirilmiştir.

3.2.2 Mayanın akışkan yatakta kaplanması

Mayanın akışkan yatakta kaplanması sırasında kullanılacak olan işlem parametrelerinin kaplama etkinliği ve verimliliği üzerine etkili olması nedeniyle kaplama işlemine öncelikle bu parametrelerin belirlenmesi ile başlanmış ve yapılan denemeler sonucunda proses koşulları belirlenmiştir. Bu koşullar sabit tutularak maya, akışkan yatakta kaplanmıştır.

Kaplama işleminin yönü (alttan veya üstten) kaplama etkinliğini doğrudan etkileyeceği için bu aşamada gerçekleştirilecek olan çalışmalar ayrı ayrı olmak üzere hem alttan hem üstten kaplama yöntemi ile yapılmıştır. Geliştirilen bu sistemde sabit çalışma parametrelerinde denemeler yapılarak kaplama materyali tipinin maya kaplama üzerine etkisi belirlenmiştir. Kaplama materyali tipinin belirlenmesi aşamasında 3 farklı yağ, 3 farklı protein ve 5 farklı karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin farklı kombinasyonları denenmiş ve klasik deneme desenine göre her bir kaplama işlem yönü için 30 deneme gerçekleştirilmiştir.

Yağ bazlı kaplama materyallerinin toplam kaplama materyalindeki oranı %5 olarak sabit tutulmuştur. Protein ve karbonhidrat bazlı kaplama materyalleri ise %95 lik kaplama materyali kısmını oluşturmuş ve kaplama materyali maya oranı 1:10 olacak şekilde sabit tutulmuştur. Kaplama materyali içerisinde yer alacak olan protein ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin oranları ise 1:1 olmuştur. Mayanın akışkan yatakta kaplanması işleminde 1. katmanda yağ, 2. katmanda protein ve 3. katmanda karbonhidrat bazlı kaplama materyali yer

almıştır. Farklı kaplama materyallerinin kombinasyonları ile her iki kaplama işlem yönü (alttan ve üstten) için ayrı ayrı gerçekleştirilen 30 deneme sonrasında elde edilen kaplanmış maya örneklerinin su aktivitesi, kuru madde içeriği, suda çözünübilirlikleri ve maya aktiviteleri analiz edilerek kaplama işlemi için en uygun kaplama materyalleri ve en uygun kaplama yönü belirlenmiştir.

3.2.3 Film analizleri

3.2.3.1 Su aktivitesi

Elde edilen filmlerin su aktiviteleri, su aktivitesi ölçüm cihazı (Testo 645) ile belirlenmiştir.

3.2.3.2 Nem tayini

Filmlerin nem içeriği, sabit tartıma getirilen nem kaplarına tartılan 1 g film örneğinin etüvde 105°C'de 3 saat kurutulması sonucunda ağırlık kaybından hesaplanmıştır.

3.2.3.3 Film kalınlığı

Filmlerin kalınlığı mikrometre yardımıyla ölçülmüştür. Filmin 10 ayrı noktasından ölçüm yapılarak değerlerin ortalaması alınmıştır. Ortalama değerler filmlerin su buharı geçirgenliği ve opaklık analizlerinde kullanılmıştır.

3.2.3.4 Su buharı geçirgenliği

Filmlerin su buharı geçirgenliği, Fakhouri vd. (2015) tarafından kullanılan metoda göre ölçülmüştür. Film örnekleri, yaklaşık 2 g silika jel içeren vezin kaplarına sabitlenmiş ve suyun sadece filmin kesit alanından geçmesini sağlamak amacıyla parafin ile sarılmıştır. Elde edilen örnekler 25°C'de %75 bağıl neme sahip desikatör içine yerleştirilmiştir. Filmden geçen su buharı miktarı, her 24 saat sonunda değerlendirilen silika jelin kütledeki artışla aşağıda yer alan formül kullanılarak hesaplanmış ve $\text{g.m}^{-1}.\text{s}^{-1}.\text{Pa}^{-1}$ cinsinden ifade edilmiştir.

Fick' in 1. Yasasına göre;

$$N_A = -D_{AB} \frac{dC_A}{dz} \quad (4)$$

N_A : Su buharının kütle akısı (kg mol A / s.m²)

D_{AB} : Hava içinden su buharının kütle yayılım katsayısı (m²/s)

dc_A/dz : Su buharı derişiminin z kalınlığı ile değişimi

Eşitlik 4 kullanılarak aşağıda yer alan Eşitlik 5 türetilmiş ve filmlerin su buharı geçirgenliği bu formüle göre hesaplanmıştır.

$$\text{Su buharı geçirgenliği} = \frac{(m_t - m_0)z}{At\Delta P} \quad (5)$$

m_0 : silika jelin ilk ağırlığı (g)

m_t : silika jelin t anındaki ağırlığı (g)

z : filmin kalınlığı (m)

A : filmin kesit alanı (m²)

Δt : zaman farkı (s)

ΔP : basınç farkı (P_1 : 25 °C ve % 75 RH' da suyun buhar basıncı, P_2 : vezin içindeki suyun buhar basıncı) (Pa)

3.2.3.5 Filmlerin mekanik özellikleri

Filmlerin, çekme gerilimi ve kopma anındaki uzaması tekstür cihazı ile belirlenmiştir. Her bir film için 1,5cmx8cm boyutlarında dikdörtgen şeritlerkesilmiştir. Kesilen filmler probun dişleri arasına yerleştirilip sıkıştırılmıştır. Probun alt ve üst çeneleri arasındaki boşluk 50 mm'ye ayarlanmış ve 50 mm/dk çekme hızında film kopana kadar yukarı doğru çekilmiştir. Analiz 5 paralel halinde yapılmıştır. Kopma anında örneğe uygulanan maksimum kuvvet ve kopma anındaki uzama miktarı tekstür cihazına bağlı bilgisayar programı yardımıyla hesaplanmıştır. Hazırlanan filmlerin kopuncaya kadar dayanabildiği en yüksek kuvvet olan gerilme kuvvetinin (F) (kopma anında örneğe uygulanan kuvvet) başlangıçtaki filmin kesit alanına (A) bölünmesiyle filmin çekme gerilimi (MPa) hesaplanmıştır. Filmlerin kopma uzaması (%) filmin boyundaki değişimin başlangıçtaki boyuna oranlanmasıyla hesaplanmıştır.

3.2.3.6 Opaklık

Filmlerin ışık geçirgenliği ve opaklık değerleri UV-Vis spektrofotometre ile ölçülmüştür. Filmler 1cmx4cm ebatlarında şeritler halinde kesilmiş ve doğrudan test hücreğine yerleştirilmiştir. Boş test hücresi (hava) referans olarak olarak kullanılmıştır. Absorbans 600 nm dalga boyunda ölçülmüş ve filmlerin opaklık değerleri aşağıda verilen formül kullanılarak hesaplanmıştır (Santacruz vd., 2015; Daniel Daza vd., 2018).

$$Opaklık = \frac{Abs_{600}}{x}$$

Abs₆₀₀: 600 nm dalga boyundaki absorbans değeri

X: film kalınlığı (mm)

3.2.3.7 Çözünürlük

24 saat sonunda filmler tamamen çözüldüğünden farklı formülasyonlara sahip filmleri kıyaslamak amacıyla Sharma ve Singh (2016) tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır. 2x2 cm boyutlarında kesilen film örnekleri 50 °C' de 30 dk boyunca etüvde kurutulmuştur. Kurutulan örneklerin ağırlıkları ölçülmüş ve 5 ml saf su içerisine daldırılıp çalkalamalı su banyosunda 25° C' de 50 rpm de 5 dk boyunca tutulmuştur. Çözünmeyen kısım etüvde 105°C' de sabit tartıma ulaşıncaya kadar kurutulmuştur. Aşağıda verilen eşitlik kullanılarak çözünürlük hesaplanmıştır.

$$Suda\ çözünürlük\ (\%) = \frac{(W_0 - W_1)}{W_0}$$

W₀: filmin başlangıçtaki ağırlığı (g)

W₁: kuru film ağırlığı (g)

3.2.4 Maya analizleri

3.2.4.1 Nem tayini

Ekmek mayasının kuru madde içeriği, sabit tartıma getirilen nem kaplarına tartılan 1 g mayanın etüvde 105°C'de sabit tartıma gelinceye kadar kurutulması sonucunda ağırlık kaybından belirlenmiştir.

3.2.4.2 **Su aktivitesi**

Ekmek mayasının su aktivitesi, su aktivitesi ölçüm cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Testo 645).

3.2.4.3 **Yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk**

Toz örneklerin yığın yoğunluğu (ρ_b , kg/m^3), 10 ml hacme sahip silindirik bir kap içerisine hava boşluğu kalmayacak şekilde herhangi bir basınç uygulamaksızın doldurulmasıyla, kütle/ hacim oranından hesaplanmıştır. Sıkıştırılmış yoğunluk (ρ_t , kg/m^3) ise, 2 g toz örneğin 10 ml hacme sahip silindirik kabın içerisine doldurulup sıkıştırılması ile kütle/hacim oranından belirlenmiştir (Bhandari vd., 1999).

3.2.4.4 **Çözünürlük**

Çözünürlük analizi için 1 g toz örnek 25 ml saf su ile seyreltikten sonra 3000 rpm'de 5 dakika süre boyunca mekanik bir karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Elde edilen karışımlar ependorf tüplerine aktarılıp, 5 dakika boyunca 3000 rpm'de santrifüjlenmiştir. Santrifüj sonrasında üstte kalan sıvı, metal petri kaplarına aktarılmış ve etüvde 105°C 'de 4 saat kurutulmuştur. Çözünürlük (%) değeri kütle farkından hesaplanmıştır (Cano-Chauca vd., 2005).

3.2.4.5 **Higroskopisite**

Nemli hava ile maya arasında geniş bir yüzey alanı sağlamak için yaklaşık 1g maya vezin kabı üzerine (4 cm çapında) yayılmıştır. Vezinler, 25°C 'de %56 bağıl nem sağlayan ve gliserol içeren desikatöre yerleştirilmiştir. Nem sorpsiyon kinetiği elde etmek amacıyla 2 saat boyunca 30 dakika aralıklarla tartım alınmıştır. Bu süre sonunda %56 bağıl neme sahip atmosfere maruz bırakılmış mayanın gramı başına ağırlık artışı belirlenmiştir. Higroskopisite $\text{kg nem}/100 \text{ kg kuru madde}$ olarak ifade edilmiştir (Goula, 2004).

3.2.4.6 **Maya aktivitesi**

Ekmek mayasının aktivitesi, model fermentasyon sıvısına eklenen maya hücrelerinin belirli bir süre sonra ortaya çıkardıkları gaz (CO_2) miktarının ölçülmesi ile Pak Gıda Üretim ve Pazarlama A. Şti. tarafından belirlenmiştir.

3.2.4.7 Ekmek hacmi

Kaplanmış mayalardan ekmek yapım aşamasında, 61.5 g un, 35.4 g su, 2.15 g maya ve 0.92 g tuz tartılıp karıştırıldıktan sonra yoğurularak hamur elde edilmiştir. Maya hücrelerinin çoğalarak hamurun kabarmasını sağlaması için yoğurulan hamurlar 30 dakika boyunca dinlendirilerek 1.fermantasyon sürecine bırakılmıştır. Daha sonra elde katlanmak suretiyle havalandırılan hamurlara yuvarlak şekil verildikten sonra (çapı yaklaşık 9 cm) 45 dakika 2.fermantasyona bırakılmış ve hacim artışı sağlanmıştır. Fermentasyon sonucunda karbondioksit çıkışını sağlamak amacıyla ekmeklere bıçak atma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu aşamadan sonra ekmekler önceden ısıtılmış fırında 180°C’de 1.5 saat boyunca pişirilmiştir. Ekmeklerin pişme esnasında nemlenmesini sağlamak amacıyla fırında su bulundurulmuştur. Pişirme işlemi tamamlanan ekmekler fırından çıkarılmış ve oda sıcaklığına geldikten sonra ağırlıkları ölçülmüştür. Ekmeklerin hacmi kolza tohumu ile yer değiştirme prensibine göre ölçülmüştür. Yöntemde, hacmi bilinen ve darası alınan bir cam kaba kolza tohumları doldurulup hafifçe vurularak, üstü cetvelle düzleştirildikten sonra kap+kolza tohumu ağırlığı kaydedilir. Kolza tohumlarının yoğunluğu, ölçülen ağırlık ve kabın hacmi dikkate alınarak hesaplanır. Daha sonra hacmi ölçülecek ekmek ve kolza tohumları hacmi bilinen ve darası alınan aynı kaba konur ve ekmek+kolza tohumu+kap ağırlığı ölçülerek kolza tohumunun kütlesi bulunur. Yoğunluğu ve kütlesi bilinen kolza tohumunun hacmi hesaplanır. Kabın hacmi ve kolza tohumunun hacmi arasındaki fark alınarak ekmek hacmi hesaplanır.

4. BULGULAR

4.1 Yenilebilir filmler üzerine protein, karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonunun etkisi

Ekmek mayasının akışkan yatakta kaplanması için en uygun kaplama materyali kombinasyonunun belirlenmesi amacıyla öncelikle protein, karbonhidrat ve yağ olmak üzere üç farklı kaplama materyali tipi kullanılarak film denemeleri gerçekleştirilmiştir. Ön denemeler ve literatür araştırmaları sonucunda protein, karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonu, yenilebilir film üretiminde bağımsız değişkenler olarak seçilmiş ve bu bağımsız değişkenlerin, elde edilen filmlerin su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği üzerine etkileri incelenmiştir.

4.1.1 Tek katmanlı filmler

Yenilebilir film ve kaplamalar, nem transferine karşı iyi bir bariyer özellik gösterdiklerinden dolayı gıdaların korunmasında son yıllarda sıklıkla kullanılmaktadır. Yenilebilir filmler ile kaplanmış nem içeriği düşük gıdaların, ortamdaki nem kapmasının önlenmesinde dikkat edilmesi gereken parametrelerin başında su buharı geçirgenliği gelmektedir. Filmlerin su buharı geçirgenliğine karşı göstermiş olduğu bariyer özellikleri, filmin yapıma tekniğine ve kompozisyonuna, kullanılan materyalin tipine (protein, karbonhidrat, lipid), kimyasal yapısına ve konsantrasyonuna, plastikleştirici madde tipine ve konsantrasyonuna; filmin kalınlığına, kurutma koşullarına, ortam bağıl nemine ve sıcaklığına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Jelatin, sodyum kazeinat (Na-Kazeinat) ve yumurta akı olmak üzere üç farklı protein kullanılarak elde edilen tek katmanlı filmlerin su buharı geçirgenlik değerleri Çizelge 4.1, 4.2 ve 4.3'te verilmiştir. Protein ve gliserol konsantrasyonunun filmlerin su buharı geçirgenlik değerleri üzerine etkisi ANOVA analizi ile belirlenmiştir. Su buharı geçirgenlik değerleri üzerine protein ve gliserol konsantrasyonunun etkisini gösteren ANOVA sonuçları jelatin, Na-kazeinat ve yumurta akı için sırasıyla Çizelge 4.4, 4.5 ve 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.1 Farklı jelatin ve gliserol konsantrasyonu kullanılarak elde edilen tek katmanlı filmlerin özellikleri

Jelatin Konsantrasyonu (%)	Gliserol Konsantrasyonu (%)	Su Buharı Geçirgenliği $\times 10^{-11}$ ($\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$)	Su aktivitesi	Nem içeriği (% yaş bazda)
8	12	0.552±0.065	0.494±0.000	9.459±0.171
	15	0.573±0.021	0.495±0.001	9.574±0.157
	20	0.675±0.011	0.495±0.003	9.711±0.042
	25	0.878±0.022	0.494±0.001	9.836±0.040
	30	1.203±0.083	0.483±0.001	9.956±0.557
	35	1.530±0.002	0.483±0.001	10.350±0.061
10	12	0.476±0.020	0.515±0.004	9.201±0.094
	15	0.489±0.003	0.504±0.008	9.389±0.101
	20	0.572±0.002	0.481±0.002	9.402±0.289
	25	0.848±0.040	0.474±0.000	9.477±0.003
	30	1.123±0.036	0.471±0.002	9.551±0.178
	35	1.424±0.104	0.473±0.003	10.513±0.424
12	12	0.426±0.002	0.488±0.000	10.178±0.006
	15	0.437±0.001	0.503±0.001	9.754±0.291
	20	0.574±0.031	0.474±0.003	9.422±0.068
	25	0.847±0.017	0.471±0.000	9.544±0.177
	30	1.144±0.012	0.468±0.001	9.744±0.006
	35	1.374±0.055	0.467±0.000	9.805±0.359

Çizelge 4.2 Farklı Na-Kazeinat ve gliserol konsantrasyonu kullanılarak elde edilen tek katmanlı filmlerin özellikleri

Na-kazeinat Konsantrasyonu (%)	Gliserol Konsantrasyo nu (%)	Su Buharı Geçirgenliği $\times 10^{-11}$ ($\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$)	Su aktivitesi	Nem içeriği (% yaş bazda)
8	15	0.370±0.015	0.532±0.003	8.416±0.002
	20	0.594±0.001	0.496±0.003	8.383±0.002
	25	0.854±0.004	0.461±0.001	8.576±0.030
	30	1.189±0.051	0.460±0.000	8.860±0.060
	35	1.594±0.010	0.457±0.001	8.963±0.050
10	15	0.352±0.007	0.498±0.000	8.422±0.051
	20	0.575±0.028	0.458±0.002	8.349±0.058
	25	0.848±0.014	0.459±0.004	8.630±0.025
	30	1.161±0.080	0.457±0.000	8.811±0.010
	35	1.540±0.026	0.494±0.002	9.260±0.128
12	15	0.346±0.020	0.531±0.001	8.283±0.007
	20	0.531±0.005	0.512±0.002	8.453±0.025
	25	0.842±0.011	0.492±0.003	8.489±0.009
	30	1.149±0.008	0.472±0.003	8.952±0.005
	35	1.549±0.015	0.475±0.003	9.097±0.047

Çizelge 4.3 Farklı yumurta akı ve gliserol konsantrasyonu kullanılarak elde edilen tek katmanlı filmlerin özellikleri

Yumurta Akı Konsantrasyonu (%)	Gliserol Konsantrasyonu (%)	Su Buharı Geçirgenliği $\times 10^{-11}$ ($\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$)	Su aktivitesi	Nem içeriği (% yaş bazda)
10	25	1.325±0.056	0.430±0.001	6.701±0.021
	30	1.570±0.061	0.475±0.000	7.030±0.030
12	25	1.509±0.016	0.530±0.003	7.272±0.004
	30	1.661±0.002	0.514±0.003	7.907±0.092
15	25	1.610±0.008	0.456±0.000	8.594±0.044
	30	1.744±0.203	0.505±0.004	8.226±0.007

Çizelge 4.4 Su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine jelatin ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	Su buharı geçirgenliği ($\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$)		Su aktivitesi		Nem içeriği (% yaş bazda)	
		Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri	Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri	Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri
		Model	17	467.6	0.000	0.006	0.000
Kesim noktası	1	2544	0.000	8.474	0.000	3398	0.000
Jelatin	2	7.076	0.000	0.001	0.000	0.318	0.072
Gliserol	5	459.1	0.000	0.004	0.000	2.042	0.000
Jelatin Gliserol *	10	1.399	0.613	0.002	0.000	1.820	0.010
Hata	18	3.062		0.000		0.936	
Toplam	36	3015		8.481		3403	
Düzeltilmiş toplam	35	470.6		0.007		5.117	
R^2		0.993		0.983		0.817	
Adj- R^2		0.987		0.967		0.664	

Çizelge 4.5 Su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine Na-Kazeinat ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	Su buharı geçirgenliği ($\text{g.m}^{-1}.\text{s}^{-1}.\text{Pa}^{-1}$)		Su aktivitesi		Nem içeriği (% yaş bazda)	
		Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri	Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri	Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri
Model	14	551.8	0.000	0.020	0.000	2.605	0.000
Kesim noktası	1	2428	0.000	7.013	0.000	2251	0.000
Kazein	2	0.710	0.041	0.003	0.000	0.016	0.052
Gliserol	4	550.8	0.000	0.012	0.000	2.440	0.000
Kazein gliserol *	8	0.291	0.897	0.005	0.000	0.149	0.000
Hata	15	1.331		0.000		0.033	
Toplam	30	2980		7.033		2254	
Düzeltilmiş toplam	29	553.2		0.020		2.638	
R^2		0.988		0.996		0.987	
Adj- R^2		0.995		0.993		0.976	

Çizelge 4.6 Su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine yumurta akı ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	Su buharı geçirgenliği ($\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$)		Su aktivitesi		Nem içeriği (% yaş bazda)	
		Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri	Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri	Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri
Model	5	0.208	0.035	0.014	0.000	5.429	0.000
Kesim noktası	1	29.57	0.000	2.821	0.000	697.1	0.000
Yumurta akı	2	0.107	0.030	0.010	0.000	4.782	0.000
Gliserol	1	0.094	0.014	0.002	0.000	0.118	0.000
Yumurta akı * gliserol	2	0.007	0.661	0.003	0.000	0.528	0.000
Hata	6	0.048		0.000		0.012	
Toplam	12	29.83		2.836		702.5	
Düzeltilmiş toplam	11	0.256		0.014		5.441	
R^2		0.812		0.997		0.998	
Adj- R^2		0.655		0.995		0.996	

Jelatin, Na-kazeinat ve yumurta akı kullanılarak elde edilen tek katmanlı filmlerde, protein ve gliserol konsantrasyonlarının filmlerin su buharı geçirgenliği üzerine önemli bir etkiye sahip olduğu bulgulanmıştır ($p<0.05$) (Çizelge 4.4, 4.5 ve 4.6). Jelatin ve Na-kazeinat filmlerinde (Çizelge 4.1 ve 4.2) protein konsantrasyonu arttıkça filmlerin su buharı geçirgenlikleri azalırken yumurta akı filmlerinde ise tam tersi bir durum ortaya çıkmış ve protein konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak su buharı geçirgenliğinde artış gözlenmiştir (Çizelge 4.3). McHugh vd. (1994), Gounga vd. (2007), Kokoszka vd. (2010) ve Sharma ve Singh (2016) yaptıkları çalışmada protein konsantrasyonunun filmlerin su buharı geçirgenlikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Sonuçlar protein konsantrasyonu arttıkça filmlerin su buharı geçirgenliğinin de arttığını göstermiştir. Fakat farklı protein konsantrasyonlarının incelendiği söz konusu çalışmalarda, film oluşturma aşamasında dökme miktarları sabit tutulmuştur. Bu durum filmlerin doğrudan kuru madde içeriğini değiştirdiğinden protein konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak

film kalınlığı da artış göstermiştir. Biopolimerik materyallerde su buharı geçirgenliği ile kalınlık arasında pozitif yönlü liner bir artış (Mc Hugh vd., 1993) söz konusu olduğundan bu çalışmalarda filmlerin su buharı geçirgenliklerinin artmasının asıl sebebi kalınlığın artmasıdır. Fakat bu tez çalışması kapsamında protein bazlı kaplama materyalleri kullanılarak hazırlanan film oluşturma çözeltileri farklı konsantrasyonlarda hazırlandıktan sonra dökülen çözelti miktarı kuru madde oranı sabit olacak şekilde, kullanılacak olan protein konsantrasyonlarına bağlı olarak değiştirilmiş ve böylece kalınlığın etkisi elimine edilerek sadece protein konsantrasyonunun filmlerin su buharı geçirgenliği üzerine etkisi incelenmiştir. Tüm konsantrasyonlar için kuru madde oranı sabit olmasına rağmen filmlerin su buharı geçirgenlik değerleri farklılık göstermiş olup jelatin ve Na-kazeinatın konsantrasyonu arttıkça filmlerin su buharı geçirgenlik değerlerinde azalma olmuştur. Jelatin ve Na-kazeinatın düşük konsantrasyonlarında hazırlanan çözeltinin viskozitesi daha düşük olduğundan yapıdaki porlar/boşluklar daha büyük olmakta, böylece film içerisinde gözeneklilik artmakta ve gözeneklerin çapı büyümektedir. Sonuç olarak su buharının suya dönüşmesi sonucu ortaya çıkan sıvı faz film yapısı içerisinde bulunan bu gözenekler içerisinde direncin daha düşük olmasından dolayı rahatça hareket edebilmektedir. Bu durum düşük jelatin ve Na-kazeinat konsantrasyonlarında hazırlanan filmlerin su buharı geçirgenliğinin artmasına yol açmaktadır. Yumurta akı kullanarak hazırlanan filmlerde su buharı geçirgenliğinin artması jelatin ve Na-kazeinatta olduğu gibi gözenekliliğin artmasından kaynaklanmaktadır. Fakat yumurta akında gözenekliliğin oluşumu ters yönde gerçekleşmiştir. Yumurta akının denatürasyonu geri dönüşümsüz olduğundan dolayı yumurta akı içeren çözeltiler herhangi bir denatürasyon işlemine tabi tutulmaksızın film hazırlanmıştır. Yumurta akı içeren çözeltilerin hazırlanması aşamasında uygulanan karıştırma işleminin etkisiyle birlikte yumurta akı proteininin sahip olduğu köpük oluşturma yeteneğinden dolayı gözeneklilik ve hava kabarcıkları oluşabilmektedir. Bu hava kabarcıklarının sayısı ve büyüklüğü yumurta akı konsantrasyonu ile doğru orantılıdır. Bu nedenlerden dolayı yumurta akı konsantrasyonunun yükselmesi ile birlikte filmlerde gözeneklilik ve hava kabarcıklarının çapı artmıştır. Bu durum yüksek yumurta akı konsantrasyonlarında hazırlanan filmlerin su buharı geçirgenliğinin daha yüksek olmasına neden olmuştur.

Jelatin, Na-kazeinat ve yumurta akı filmlerinin su buharı geçirgenlik değerleri birbirleri ile karşılaştırıldığında su buharı geçirgenlik değerleri birbirinden oldukça

farklıdır. Bu durum proteinlerin amino asit bileşimi, kristallik, hidrofobiklik/hidrofiliklik, yüzey yükü, izoelektrik nokta, moleküler boyut ve üç boyutlu yapısından kaynaklanmaktadır (Panyam ve Kilara, 1996). Bu faktörlere ek olarak protein denatürasyonu da filmlerin özelliklerini etkilemektedir. Nitekim bu durum yumurta akı filmlerinde gözlemlenmiştir. Yumurta akı filmlerinin su buharı geçirgenlik değerlerinin jelatin ve Na-kazeinat filmlerine kıyasla çok daha yüksek olmasının nedeni yumurta akının ısı ile denatüre edilememesinden kaynaklanmaktadır. Çünkü yumurta akının denatürasyonu geri dönüşümsüz jel oluşturmada ve film dökümüne izin vermemektedir. Denatürasyon ile protein-protein zincir etkileşimlerinin artması filmlerin geçirgenliğini azaltmakta ve yapısını güçlendirmektedir (Gounga vd., 2007, Kokoszka vd., 2010, Sharma ve Singh, 2016). Jelatin ve Na-kazeinat proteinleri denatüre edildiğinden su buharı geçirgenlik değerleri daha düşüktür.

Jelatin, Na-Kazeinat ve yumurta akı kullanılarak elde edilen tek katmanlı filmlerde gliserol konsantrasyonundaki artış filmlerin su buharı geçirgenlik değerlerinde belirgin ve istatistiksel olarak önemli düzeyde bir artışa neden olmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.4, 4.5 ve 4.6). Filmlerin mekanik özelliklerini (kırılganlık, elastiklik, esneklik, vb.) geliştirmek amacıyla hazırlanan film çözeltilerine plastikleştirici madde olarak ilave edilen gliserol, polimerik materyallere eklendiğinde üç boyutlu yapının değişmesine ve moleküller arası çekim kuvvetinin azalmasına, dolayısıyla serbest hacmin ve zincir hareketliliğinin artmasına neden olmaktadır. Bu durum su moleküllerinin polimerik ağa yayılmasını kolaylaştırdığından, filmlerin su buharı geçirgenlik değerlerinin yükselmesine yol açmaktadır (Donhowe ve Fennema 1993c, 1994). Ayrıca gliserol konsantrasyonunun artması da polimer yapıların daha fazla açılmasına ve filmin su buharına karşı geçirgenliğinin artmasına sebep olmaktadır.

Bulgular, jelatin ve Na-Kazeinat filmlerinde yüksek protein ve düşük gliserol konsantrasyonuna sahip filmlerin su buharı geçirgenlik değerlerinin daha düşük olduğunu göstermiştir. Yumurta akı filmleri ise düşük protein ve gliserol konsantrasyonunda daha düşük su buharı geçirgenliğine sahiptirler. Su buharı geçirgenliği analiz sonuçları dikkate alındığında, jelatin için en uygun protein konsantrasyonu %12, en uygun gliserol konsantrasyonu %12; Na-kazeinat için en uygun protein konsantrasyonu %12, en uygun gliserol oranı %15; yumurta akı için en uygun protein konsantrasyonu %10 ve en uygun gliserol oranı %25 olarak belirlenmiştir.

Jelatin ve Na-kazeinat bazlı filmlerin nem içeriği üzerine gliserol konsantrasyonu önemli bir etkiye sahipken ($p<0.05$) protein konsantrasyonunun etkisinin ise önemli olmadığı ($p>0.05$) bulunmuştur (Çizelge 4.4 ve 4.5). Gliserol konsantrasyonunun artması filmlerin nem içeriğini arttırmıştır. Gliserol higroskopik bir madde olduğundan nem emilimini arttırmakta ve bu nedenle filmlerin nem içeriği yükselmektedir. Jelatin filmlerinin nem içeriği %9.201-10.513, kazeinat filmlerinin ise %8.283-9.260 arasındadır. Yumurta akı filmlerinde ise protein ve gliserol konsantrasyonunun filmlerin nem içeriğini etkilediği görülmüştür ($p<0.05$) (Çizelge 4.6). Protein ve gliserol konsantrasyonu arttıkça yumurta akı filmlerinin nem içeriğinde de bir artış gözlemlenmiştir. Yumurta akı filmlerinin nem içeriği %6.701-8.594 arasında değişmiştir. Jelatin, Na-kazeinat ve yumurta akı filmlerinin nem içerikleri karşılaştırıldığında nem içeriği değerlerinin yüksekte düşüğe doğru sırası ile jelatin, Na-kazeinat ve yumurta akı filmlerinde olduğu belirlenmiştir. Jelatin filmlerinin nem içeriğinin daha yüksek olmasının nedeni Na-kazeinat ve yumurta akına kıyasla güçlü bir jel yapısı oluşturması ve kurutma sırasında bu yapının suyun uzaklaştırılmasını güçlendirmesinden kaynaklanmaktadır. Yumurta akı ile hazırlanan filmlerin en düşük nem içeriğine sahip olmasının nedeni ise denatürasyon olmaksızın filmlerin hazırlanmasından ileri gelmektedir. Yumurta akı filmlerinde protein denatürasyonu gerçekleştirilmediği için proteinin su tutma kapasitesi azalmakta ve film oluşumu aşamasında uygulanan kurutma işleminde filmde su rahatlıkla uzaklaşabilmektedir.

Jelatin, Na-kazeinat ve yumurta akı filmlerinin su aktiviteleri sırası ile 0.467-0.515; 0.457-0.532; 0.430-0.530 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.1, 4.2 ve 4.3). Tek katmanlı protein filmlerinde protein ve gliserol konsantrasyonunun filmlerin su aktivitesi üzerine etkili olduğu bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.4, 4.5 ve 4.6). Jelatin filmlerinin su aktivitesi, jelatin konsantrasyonu arttıkça azalmaktadır (Çizelge 4.1). Jelatinin konsantrasyonundaki artış ile birlikte daha fazla su film yapısında bağlı formda bulunurken, serbest suyun oranında ise bir azalma ortaya çıkmaktadır. Gliserol konsantrasyonu arttıkça jelatin filmlerinin su aktivitesinin düşmesi yapının esnemesinden ve suyun jelatine daha kolay bağlanmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca gliserol yapıyı esnetirken jelatin ağlarının açılmasına ve suyu bağlayabilecek olan bölgelerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Yumurta akı kullanılarak hazırlanan filmlerde ise su aktivitesindeki değişim nem içeriği ile tutarlı olup, nem içeriğindeki artışla birlikte

su aktivitesi de yükselmektedir (Çizelge 4.2). Fakat Na-kazeinat kullanılarak hazırlanan eşit gliserol konsantrasyonuna sahip filmlerde en düşük su aktivitesi değerine %10 Na-kazeinat içeren filmlerde ulaşılmıştır (Çizelge 4.3). Ayrıca Na-kazeinat filmlerinde de jelatin filmlerinde olduğu gibi gliserol konsantrasyonunun yükselmesiyle birlikte su aktivitesi azalmaktadır.

4.1.2 İki katmanlı filmler

Jelatin, Na-kazeinat ve yumurta akı için en uygun protein ve gliserol konsantrasyonu belirlendikten sonra karbonhidrat bazlı kaplama materyali olarak kullanılacak olan pektin, aljinat, CMC, karegenan ve maltodekstrin için de en uygun karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonunu belirlemek amacıyla daha önce seçilmiş olan protein ve gliserol konsantrasyonları kullanılarak elde edilmiş tek katmanlı filmler üzerine farklı karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonları içeren film çözeltileri dökülmüş ve kurutulmuştur. Jelatin ve Na-kazeinat proteinleri için belirlenen uygun gliserol konsantrasyonları (sırası ile %12 ve %15) kullanılarak elde edilen iki katmanlı filmlerin kırılgenlik, elastiklik ve esneklik gibi mekanik özelliklerinin zayıf olduğu ve filmin düz formda elde edilemediği gözlenmiştir. Bu durum gliserol yetersizliğinden kaynaklandığından dolayı jelatin ve Na-Kazeinat için gliserol konsantrasyonu arttırılmıştır. Belirlenen uygun protein ve gliserol konsantrasyonunda jelatin filminin su buharı geçirgenliği $0.437 \times 10^{-11} \text{ g.m}^{-1}.\text{s}^{-1}.\text{Pa}^{-1}$, Na-kazeinat filminin $0.531 \times 10^{-11} \text{ g.m}^{-1}.\text{s}^{-1}.\text{Pa}^{-1}$ ve yumurta akının ise $1.325 \times 10^{-11} \text{ g.m}^{-1}.\text{s}^{-1}.\text{Pa}^{-1}$ olarak bulgulanmıştır. Jelatin, Na-kazeinat ve yumurta akı içeren tek katmanlı filmlerin su buharı geçirgenlikleri karşılaştırıldığında jelatinin en düşük yumurta akının ise en yüksek su buharı geçirgenliğine sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Bu konsantrasyonlar kullanılarak elde edilen iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği sonuçları Çizelge 4.7, 4.8 ve 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.7 Jelatin kullanılarak hazırlanan iki katmanlı filmlerin özellikleri

Karb. tipi*	Karb. Kons. [¥] (%)	Gliserol Kons. [®] (%)	WVP [^] ×10 ⁻¹¹ (g·m ⁻¹ ·s ⁻¹ ·Pa ⁻¹)	aw [®]	MC [^] (% yb)	
Pektin	1	8	0.348±0.004	0.502±0.007	9.910±0.298	
		10	0.367±0.004	0.487±0.000	9.727±0.070	
		12	0.392±0.039	0.509±0.002	9.648±0.121	
	1.5	8	0.319±0.003	0.484±0.005	9.419±0.116	
		10	0.337±0.034	0.470±0.005	9.642±0.095	
		12	0.346±0.003	0.450±0.001	9.646±0.038	
	2	8	0.313±0.003	0.451±0.001	9.402±0.054	
		10	0.319±0.003	0.444±0.006	9.649±0.024	
		12	0.328±0.001	0.448±0.004	9.682±0.024	
	Aljinat	1	8	0.382±0.004	0.501±0.001	10.039±0.134
			10	0.360±0.036	0.467±0.006	10.044±0.016
			12	0.364±0.004	0.508±0.015	10.355±0.106
1.5		8	0.350±0.004	0.431±0.012	9.911±0.137	
		10	0.327±0.003	0.451±0.004	10.087±0.091	
		12	0.367±0.004	0.430±0.012	10.414±0.086	
2		8	0.376±0.038	0.446±0.004	9.866±0.126	
		10	0.377±0.038	0.446±0.006	9.872±0.025	
		12	0.373±0.037	0.445±0.011	10.155±0.003	
CMC		0.5	8	0.351±0.004	0.481±0.001	10.179±0.078
			10	0.365±0.037	0.482±0.001	9.731±0.060
			12	0.383±0.001	0.479±0.007	10.073±0.144
	0.75	8	0.392±0.039	0.495±0.003	9.640±0.010	
		10	0.350±0.035	0.488±0.007	10.033±0.058	
		12	0.350±0.004	0.486±0.006	10.165±0.260	
	1	8	0.399±0.040	0.437±0.008	9.716±0.182	
		10	0.386±0.039	0.457±0.004	9.858±0.014	
		12	0.346±0.035	0.453±0.002	9.533±0.041	
	Maltodekstrin	4	8	0.299±0.003	0.494±0.000	9.549±0.026
			10	0.302±0.030	0.494±0.001	9.631±0.070
			12	0.361±0.036	0.491±0.000	9.638±0.082

		8	0.358±0.036	0.488±0.008	9.640±0.006
	6	10	0.334±0.033	0.491±0.006	9.731±0.104
		12	0.331±0.033	0.481±0.018	10.038±0.496
		8	0.303±0.030	0.483±0.001	9.751±0.120
	8	10	0.374±0.037	0.482±0.001	9.548±0.293
		12	0.344±0.034	0.488±0.011	9.249±0.249
		8	0.642±0.001	0.483±0.004	10.872±0.231
	1	10	0.734±0.035	0.471±0.001	10.911±0.042
		12	0.751±0.037	0.479±0.001	10.934±0.601
		8	0.543±0.003	0.478±0.001	10.714±0.244
Karragenan	1.5	10	0.621±0.014	0.481±0.003	10.858±0.036
		12	0.585±0.012	0.470±0.006	11.188±0.241
		8	0.656±0.032	0.454±0.001	10.729±0.109
	2	10	0.615±0.013	0.463±0.002	10.686±0.065
		12	0.649±0.024	0.455±0.004	10.880±0.086

*Karbonhidrat tipi, ¥ Karbonhidrat konsantrasyonu, φ Gliserol konsantrasyonu, Δ Su buharı geçirgenliği, Φ Su aktivitesi, λ Nem içeriği

Çizelge 4.8 Na-kazeinat kullanılarak hazırlanan iki katmanlı filmlerin özellikleri

Karb. tipi*	Karb. Kons. [‡] (%)	Gliserol Kons. [¶] (%)	WVP ^Δ ×10 ⁻¹¹ (g·m ⁻¹ ·s ⁻¹ ·Pa ⁻¹)	aw ^Φ	MC ^λ (% yb)
Pektin	1	8	0.635±0.021	0.566±0.001	10.399±0.139
		10	0.650±0.137	0.567±0.001	10.775±0.011
		12	0.676±0.092	0.572±0.004	10.574±0.303
	1.5	8	0.575±0.015	0.582±0.002	10.685±0.225
		10	0.634±0.018	0.580±0.000	10.626±0.084
		12	0.655±0.005	0.584±0.001	10.440±0.090
	2	8	0.509±0.012	0.586±0.001	10.677±0.234
		10	0.539±0.039	0.586±0.003	10.366±0.061
		12	0.587±0.004	0.595±0.001	10.396±0.003
Aljinat	1	8	0.887±0.002	0.566±0.011	10.323±0.148
		10	0.736±0.014	0.571±0.002	10.334±0.229
		12	0.553±0.063	0.562±0.003	10.529±0.300
	1.5	8	0.559±0.030	0.562±0.011	10.248±0.055
		10	0.563±0.011	0.561±0.003	10.419±0.153
		12	0.534±0.010	0.564±0.000	10.292±0.055
	2	8	0.522±0.004	0.537±0.001	10.319±0.001
		10	0.572±0.007	0.547±0.001	10.463±0.049
		12	0.633±0.013	0.563±0.004	10.455±0.093
CMC	0.5	8	0.570±0.017	0.569±0.001	10.212±0.034
		10	0.636±0.020	0.571±0.001	10.537±0.100
		12	0.688±0.015	0.569±0.002	10.382±0.130
	0.75	8	0.566±0.019	0.550±0.001	10.270±0.010
		10	0.569±0.029	0.560±0.001	10.024±0.394
		12	0.648±0.001	0.542±0.000	10.086±0.056
	1	8	0.550±0.017	0.537±0.006	10.194±0.326
		10	0.537±0.016	0.539±0.003	10.036±0.180
		12	0.429±0.008	0.536±0.000	10.413±0.273
Maltodekstrin	4	8	0.483±0.001	0.570±0.001	10.458±0.122
		10	0.574±0.003	0.567±0.001	10.755±0.066

		12	0.626±0.019	0.561±0.007	10.698±0.219
		8	0.725±0.027	0.569±0.004	10.476±0.020
	6	10	0.837±0.007	0.557±0.001	10.707±0.079
		12	0.834±0.024	0.541±0.011	10.488±0.096
		8	0.753±0.009	0.530±0.002	10.554±0.002
	8	10	0.795±0.006	0.539±0.000	10.424±0.018
		12	0.862±0.034	0.548±0.004	10.502±0.604
		8	0.806±0.050	0.561±0.002	11.601±0.001
	1	10	0.910±0.167	0.564±0.001	11.915±0.042
		12	0.915±0.003	0.568±0.001	11.432±0.003
		8	0.751±0.002	0.560±0.001	11.469±0.039
Karragenan	1.5	10	0.865±0.037	0.561±0.001	11.150±0.036
		12	1.214±0.141	0.553±0.000	11.142±0.159
		8	0.735±0.013	0.553±0.001	11.017±0.107
	2	10	0.856±0.017	0.562±0.007	11.062±0.115
		12	1.177±0.039	0.573±0.004	10.649±0.046

*Karbonhidrat tipi, ¥ Karbonhidrat konsantrasyonu, φ Gliserol konsantrasyonu, Δ Su buharı geçirgenliği, Φ Su aktivitesi, λ Nem içeriği

Çizelge 4.9 Yumurta akı kullanılarak hazırlanan iki katmanlı filmlerin özellikleri

Karb. tipi*	Karb. Kons. [¥] (%)	Gliserol Kons. [®] (%)	WVP [^] x10 ⁻¹¹ (g·m ⁻¹ ·s ⁻¹ ·Pa ⁻¹)	aw [®]	MC [^] (% yb)	
Pektin	1	8	0.792±0.001	0.440±0.004	9.809±0.039	
		10	1.154±0.022	0.466±0.001	11.740±0.136	
		12	1.257±0.106	0.440±0.006	9.482±0.078	
	1.5	8	1.090±0.005	0.434±0.008	10.791±0.020	
		10	1.139±0.010	0.463±0.001	11.168±0.188	
		12	1.400±0.031	0.444±0.012	11.532±0.017	
	2	8	1.180±0.047	0.468±0.005	9.739±0.032	
		10	1.382±0.002	0.444±0.012	10.495±0.530	
		12	1.459±0.062	0.443±0.004	10.765±0.020	
	Aljinat	1	8	1.058±0.015	0.435±0.005	11.478±0.018
			10	1.017±0.008	0.495±0.007	11.756±0.113
			12	1.731±0.039	0.448±0.003	12.273±0.025
1.5		8	0.955±0.045	0.463±0.006	11.268±0.210	
		10	1.111±0.006	0.439±0.004	10.402±0.108	
		12	0.942±0.031	0.431±0.005	11.126±0.084	
2		8	0.616±0.015	0.439±0.004	11.788±0.392	
		10	1.429±0.059	0.452±0.005	10.197±0.165	
		12	1.028±0.027	0.436±0.012	10.054±0.075	
CMC		0.5	8	0.877±0.010	0.429±0.001	12.627±0.073
			10	1.300±0.011	0.489±0.006	12.304±0.103
			12	0.948±0.012	0.483±0.008	12.847±0.113
	0.75	8	1.373±0.027	0.467±0.009	12.498±0.082	
		10	1.473±0.001	0.479±0.002	12.409±0.044	
		12	1.555±0.038	0.468±0.003	12.440±0.239	
	1	8	1.184±0.016	0.462±0.008	11.962±0.032	
		10	1.132±0.038	0.469±0.002	12.679±0.241	
		12	1.203±0.007	0.459±0.012	11.668±0.002	
	Maltodekstrin	4	8	1.207±0.142	0.481±0.004	10.236±0.003
			10	0.935±0.017	0.483±0.001	9.784±0.276
			12	0.532±0.001	0.467±0.008	10.004±0.496

		8	1.468±0.432	0.458±0.005	9.473±0.0645
	6	10	0.610±0.057	0.507±0.011	10.347±0.022
		12	0.816±0.002	0.472±0.005	12.627±0.073
		8	0.599±0.075	0.509±0.000	10.086±0.029
	8	10	0.889±0.071	0.488±0.008	9.511±0.290
		12	1.098±0.011	0.495±0.001	10.713±0.154
		8	0.963±0.019	0.436±0.005	12.201±0.064
	1	10	0.856±0.198	0.447±0.004	10.516±0.050
		12	2.012±0.149	0.435±0.009	10.907±0.073
		8	1.407±0.094	0.455±0.007	11.673±0.228
Karragenan	1.5	10	1.849±0.075	0.453±0.004	13.294±0.334
		12	2.031±0.029	0.445±0.006	11.744±0.073
		8	0.607±0.002	0.437±0.008	10.668±0.059
	2	10	0.669±0.012	0.446±0.006	11.222±0.097
		12	1.424±0.146	0.454±0.007	10.300±0.050

*Karbonhidrat tipi, ¥ Karbonhidrat konsantrasyonu, φ Gliserol konsantrasyonu, Δ Su buharı geçirgenliği, Φ Su aktivitesi, λ Nem içeriği

Polisakkarit bazlı filmlerin özellikleri, polimer zincirleri arasında bulunan moleküller arası hidrojen bağının derecesinden etkilenmekte olup bu durum polisakkaritlerin moleküler yapılarındaki farklılıktan kaynaklanmaktadır. Polisakkaritlerin molekül ağırlığı, yapılarında dallanma olup olmaması, elektriksel yük ve yer değiştirme (şeker birimleri) gibi kimyasal yapılarındaki farklılıklar bu maddelerin özelliklerini etkilemektedir. Aynı zamanda bu maddelerin hidrasyon özellikleri, çözünürlükleri ve moleküller arası zincir etkileşimleri yine kimyasal yapılarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Genel olarak doğrusal, yüksek molekül ağırlıklı ve nötr yüke sahip polisakkaritler daha güçlü filmler oluşturmaktadır. Ayrıca yükün doğrusal yapıya sahip polisakkarit molekülü üzerindeki dağılımına kıyasla doğrusal omurga zinciri boyunca yer değiştirmiş tekli ya da çoklu nötr şeker yan zincirlerinin varlığının filmin yapı ve mukavemeti üzerinde daha fazla etkili olduğu belirtilmiştir. Süstitüsyon veya yan zincir ne kadar büyük olursa moleküller arası birleşime olan sterik engel ve müdahale o kadar fazla olur ve bu durum daha zayıf bir film yapısıyla sonuçlanır. Polisakkaritlerin kimyasal yapılarındaki tüm bu farklılıklar çözünürlük, diğer

bileşenlerle olan sinerji ve uyumsuzluk ve en önemlisi de film oluşturma özelliklerinin birbirinden farklı olmasına yol açmaktadır (Nieto, 2009).

Çalışma kapsamında kullanılan karbonhidratların tümü liner yapıda olup, negatif yüke sahip olmalarına rağmen özellikleri birbirinden farklılık göstermektedir. Bu durum pektin, aljinat, karragenan ve karboksimetil selülozun, molekül ağırlıkları, monosakkarit kompozisyonları ve yapılarında bulunan yan zincirlerin tipi, sayısı ve dağılımının birbirinden farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Söz konusu faktörler, bu karbonhidratların, sulu çözeltileri ve süspansiyonları jelleştirme ve/veya kıvam artırma kapasitesini diğer bir ifade ile suyu kontrol edebilme kabiliyetini etkilemektedir. Polisakkaritler, suda çözünerek veya suda şişerek; kolloidal, yüksek oranda viskoz çözeltiler ve Newtonian olmayan tipte akış özellikleri gösteren dispersiyonlar oluşturmaktadırlar. Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11’de pektin, aljinat, karboksimetil selüloz ve karragenanın reolojik ve fonksiyonel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.10 Gıdalarda kullanılan hidrokolloidlerin reolojik özellikleri ve karşılaştırılması (Schrieber ve Gareis, 2007)

Hidrokolloid	Jel oluşumu	Kıvam artırma	Jel saydamlığı	Soğuk suda çözünürlük
Pektin	+++	++	+++	++
Aljinat	+++	+++	+++	+++
CMC	0	+++	-	+++
Karragenan	Kappa ve iota: +++, Lamda: 0	++	++	++

0= yok, += az, += orta, +++= yüksek

Çizelge 4.11 Gıdalarda kullanılan hidrokolloidlerin fonksiyonel özellikleri ve karşılaştırılması (Schrieber ve Gareis, 2007)

Hidrokolloid	Syneresis	Film oluşumu	Emülsiyon etkisi	Kolloidal etki
Pektin	+	+++	0	0
Aljinat	++	+++	+++	+++
CMC	0	+++	+++	+++
Karragenan	Kappa: +++, İota: +	++	+++	+++

0= yok, += az, += orta, +++= yüksek

Çizelge 4.10 ve 4.11’de incelendiğinde pektin, aljinat ve karragenanın jel oluşturma özelliğinin yüksek, CMC’nin ise jel oluşturma özelliğinin olmadığı görülmektedir. Aljinat ve CMC’nin kıvam arttırma ve suda çözünürlüğü yüksek, pektin ve karragenanın ise orta düzeydedir. Pektin, aljinat ve CMC’nin film oluşturma özelliği yüksek düzeydeyken karragenanın film oluşturma özelliği ise orta derecededir. Sinerisis durumu, karragenanda yüksek, aljinatta orta, pektinde az, CMC’de ise yoktur. Karbonhidratların reolojik ve fonksiyonel özellikleri arasındaki bu farklılık iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliği üzerine yansımıştır.

Jelatin-pektin kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerde, pektin ve gliserol konsantrasyonu, filmlerin su buharı geçirgenliğini istatistiksel olarak önemli derecede etkilemektedir ($p < 0.05$) (Çizelge 4.12). Pektin konsantrasyonu arttıkça filmlerin su buharı geçirgenliğinde düşüş gözlemlenmiştir. Gliserol konsantrasyonunun artması ise filmlerin su buharı geçirgenliğinin yükselmesine neden olmuştur. %2 pektin ve %8 gliserol içeren iki katmanlı filmin en düşük su buharı geçirgenliğini sağladığı bulgulanmıştır (Çizelge 4.7). %1 pektin konsantrasyonunda viskozite daha düşük olduğundan por sayısı ve çapı daha büyüktür. Bu durum kurutma sırasında suyun uzaklaşmasıyla birlikte daha büyük gözeneklerin oluşmasına neden olduğundan su buharı transferi daha rahat gerçekleşmekte ve geçirgenlik artmaktadır. Jelatin-aljinat filmlerinde, aljinat ve gliserol konsantrasyonunun, filmlerin su buharı geçirgenliği üzerine etkisinin önemsiz olduğu görülmüştür ($p > 0.05$) (Çizelge 4.13). Aljinat ile hazırlanan iki katmanlı filmler içerisinde %1.5 aljinat ve %10 gliserol içeren filmin en düşük su buharı geçirgenliğine sahip olduğu gözlemlenmiştir (Çizelge 4.7). Aljinatın oluşturmuş olduğu film yapısı daha stabil olup, düz bir film elde edilmesine imkan sağlamaktadır. Bu durum aljinatın çözelti formunda hazırlanması aşamasında uygulanan işlemlerden çok fazla etkilenmediğini; karıştırma işlemine bağlı olarak hava kabarcıklarının aljinat çözeltisi bünyesine giremediğini ve aljinat konsantrasyonunun da bu duruma etki etmediğini göstermektedir. Farklı konsantrasyonda aljinat çözeltileri hazırlanırken en düşük çözelti konsantrasyonu ile en yüksek çözelti konsantrasyonu arasında kıvam farkının çok düşük olduğu gözlenmiştir. Aljinat çözeltilerinin kıvamındaki değişim pektin çözeltileri ile karşılaştırılacak olursa pektin çözeltilerinin kıvamı pektin konsantrasyonuna bağlı olarak daha fazla değişim göstermiştir. Bu nedenlerden dolayı aljinat ve jelatin ile hazırlanan iki katmanlı filmlerde aljinat konsantrasyonunun değişmesi filmlerin su

buharı geçirgenliğini etkilememiştir. Jelatin-CMC kombinasyonundan oluşan iki katmanlı filmlerde CMC ve gliserol konsantrasyonu filmlerin su buharı geçirgenliğini istatistiksel olarak etkilememiş ($p>0.05$) (Çizelge 4.14) olsa da özellikle %12 gliserol konsantrasyonunda CMC konsantrasyonu arttıkça filmlerin su buharı geçirgenliğinde düşüş gözlemlenmiş ve %1 CMC ve %12 gliserol içeren iki katmanlı filmin su buharı geçirgenliğinin en düşük olduğu görülmüştür (Çizelge 4.7). CMC, jel oluşturma özelliğine sahip olmasa da çok iyi bir kıvam arttırıcıdır ve düşük konsantrasyonlarda yüksek viskozite gösterir. CMC kullanılarak hazırlanan film çözeltilerinde, CMC konsantrasyonunun çözelti kıvamı üzerine etkisinin az olması ve yüksek viskoziteden dolayı gözenek boyutu ve çapının konsantrasyona bağlı olarak fazla değişim göstermemesi nedeniyle CMC konsantrasyonundaki değişim filmlerin su buharı geçirgenliğini etkilememiştir. Jelatin ve maltodekstrinden oluşan iki katmanlı filmlerde, maltodekstrin ve gliserol konsantrasyonunun, su buharı geçirgenliği üzerine önemli etkiye sahip olmadığı görülmüştür ($p>0.05$) (Çizelge 4.15). Fakat %10 gliserol içeren iki katmanlı filmlerde maltodekstrin konsantrasyonu arttıkça filmlerin su buharı geçirgenliğinde bir artış gözlemlenmiştir (Çizelge 4.7). Bu durum maltodekstrinin yapısından kaynaklanmaktadır. Maltodekstrin, jel oluşturma özelliğine sahip olmadığından katman halinde döküldüğünde film üzerinde kümelenmeye neden olmaktadır. Ayrıca maltodekstrin konsantrasyonu arttıkça filmin yapısında dallanma şeklinde çatlaklar oluşmakta ve filmin kırılabilirliği de artmaktadır. Bu durum, film yapısında bulunan çatlaklardan suyun, kolaylıkla hareket etmesine neden olduğundan filmin su buharı geçirgenliğinin artmasına yol açmaktadır. Bununla birlikte maltodekstrin konsantrasyonunun artması ile birlikte düşük molekül ağırlıklı şeker içeriği arttığından yapıya daha fazla su bağlanmakta ve durum geçirgenliği arttırmaktadır. Jelatin-karragenan kombinasyonuna sahip iki katmanlı filmlerde karragenan ve gliserol konsantrasyonunun filmlerin su buharı geçirgenliğini istatistiksel olarak önemli derecede etkilediği görülmektedir ($p<0.05$) (Çizelge 4.16). Jelatin-pektin, jelatin-aljinat, jelatin-CMC ve jelatin-maltodekstrin kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenlikleri birbirleriyle benzerlik gösterirken jelatin-karragenan su buharı geçirgenliği açısından ayrı bir grup oluşturmuştur. Ayrıca karragenanın, jelatin filmleri üzerine katman halinde dökülmesi filmlerin su buharı geçirgenliğinin yükselmesine neden olmuştur (Çizelge 4.7). Bu durum karragenanın kimyasal yapısından kaynaklanmaktadır. Karragenanın suda çözünmesi sırasında toz granüller, içine su alıp çökmekte ve bu durum çözelti

içinde faz ayrımının oluşmasına neden olmaktadır. Film yapısında da bu nedenden dolayı düzensiz bir yapı oluşmakta ve kümelenme meydana gelmektedir. Karragenanın homojen bir şekilde film üzerine yayılamaması ve yapısının pütürlü olması, por/gözenek sayısı ve çapını arttırdığından dolayı su, film yapısında rahatlıkla hareket etmekte ve filmin geçirgenliğini arttırmaktadır.

Jelatin ve karbonhidrat kullanılarak hazırlanan iki katmanlı filmlerde en düşük su buharı geçirgenliğine sırası ile jelatin-maltodekstrin ($0.302 \times 10^{-11} \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$), jelatin-pektin ($0.313 \times 10^{-11} \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$), jelatin-aljinat ($0.327 \times 10^{-11} \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$), jelatin-CMC ($0.346 \times 10^{-11} \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$) ve jelatin-karragenan ($0.543 \times 10^{-11} \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$) filmlerinde ulaşılmıştır. Jelatin ve maltodekstrin kullanılarak hazırlanan filmlerde, maltodekstrin konsantrasyonunun diğer karbonhidrat konsantrasyonlarına kıyasla çok daha yüksek olması kalınlığı etkilediğinden, filmin su buharına karşı direncini arttırmakta ve geçirgenliği düşürmektedir. Jelatin-karragenan filmlerinde, çözeltide ve dolayısıyla film yüzeyinde meydana gelen faz ayrımında karragenan çöktükten sonra sulu faz daha rahat hareket ettiğinden jelatin filminin çözünmesine sebebiyet vermektedir. Bu durum karragenan ile hazırlanan iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliğinin, tek katmanlı jelatin filmlerinden daha yüksek olmasına yol açmaktadır. CMC filmlerinin su buharı geçirgenliğinin, pektin ve aljinattan daha yüksek olmasının nedeni higroskopikliğinden ileri gelmektedir. Schleißinger ve Schmitt (2014) farklı polisakkaritlerin su bağlama gücünü karşılaştırdıkları çalışmada, farklı polisakkarit konsantrasyonlarında hazırladıkları ve aynı viskoziteye sahip çözeltileri kurutmuş ve bu çözeltilerin kuruma sürelerini incelemiştirler. Görünür viskozitenin 0.01 η olarak sabit tutulduğu çalışmada, bu viskozite değeri, pektin için %1.5, aljinat için %0.25 ve CMC için %0.2 konsantrasyonlarında sağlanmıştır. Bu polisakkaritlerin kuruma süreleri karşılaştırıldığında CMC'nin kuruma süresinin en uzun olduğu, CMC'yi aljinatın takip ettiği ve pektinin ise en kısa kuruma süresine sahip olduğu bulgulanmıştır. CMC'nin su bağlama kapasitesi ve viskozitesinin yüksek olması filmin yapısında daha fazla suyun tutulmasına neden olmaktadır. Kurutma işlemi sırasında suyun uzaklaşması ile film yapısında boşlukların oluşması ve su buharının bu boşluklarda kolayca hareket etmesi geçirgenliği arttırmaktadır. Aljinat kullanılarak hazırlanan çözeltilerin viskozitesinin, pektin kullanılarak hazırlanan çözeltiden yüksek olması, kuruma sırasında suyun yapıdan uzaklaşmasını güçleştirmekte ve kuruma sonrası uzaklaşan bu suyun oluşturduğu gözenek çapının daha büyük olması suyun film

yapısında hareketini kolaylaştırdığından aljinat içeren filmlerin geçirgenliği daha yüksektir.

Çizelge 4.12 Jelatin-pektin kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	Su buharı geçirgenliği ($\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$)		Su aktivitesi		Nem içeriği (% yaş bazda)	
		Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri	Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri	Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri
		Model	8	1084	0.009	0.010	0.000
Kesim noktası	1	209.2	0.000	4.004	0.000	1671	0.000
Pektin	2	0.761	0.001	0.008	0.000	0.142	0.040
Gliserol	2	0.269	0.025	0.000	0.001	0.032	0.386
Pektin gliserol	4	0.054	0.693	0.001	0.000	0.202	0.061
Hata	9	0.213		0.000		0.136	
Toplam	18	210.5		4.014		1672	
Düzeltilmiş toplam	17	1.296		0.010		0.512	
R²		0.836		0.988		0.734	
Adj-R²		0.69		0.976		0.498	

Çizelge 4.13 Jelatin-aljinat kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	Su buharı geçirgenliği ($\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$)		Su aktivitesi		Nem içeriği (% yaş bazda)	
		Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri	Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri	Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri
Model	8	0.320	0.205	0.013	0.000	0.627	0.002
Kesim noktası	1	240.0	0.000	3.777	0.000	1830	0.000
Aljinat	2	0.179	0.058	0.010	0.000	0.126	0.014
Gliserol	2	0.045	0.405	0.000	0.480	0.469	0.000
Aljinat gliserol *	4	0.096	0.429	0.002	0.007	0.032	0.509
Hata	9	0.203		0.001		0.080	
Toplam	18	240.6		3.790		1831	
Düzeltilmiş toplam	17	0.522		0.014		0.707	
R²		0.612		0.946		0.887	
Adj-R²		0.267		0.898		0.786	

Çizelge 4.14 Jelatin-CMC kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	Su buharı geçirgenliği ($\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$)		Su aktivitesi		Nem içeriği (% yaş bazda)	
		Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri	Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri	Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri
		Model	8	0.701	0.623	0.006	0.000
Kesim noktası	1	245.5	0.000	4.025	0.000	1757	0.000
CMC	2	0.060	0.769	0.006	0.000	0.294	0.006
Gliserol	2	0.142	0.547	6.81×10^{-5}	0.317	0.019	0.556
CMC gliserol	4	0.499	0.402	0.001	0.024	0.604	0.002
Hata	9	0.994		0.000		0.137	
Toplam	18	247.2		4.032		1758	
Düzeltilmiş toplam	17	1.695		0.006		1.054	
R²		0.414		0.963		0.87	
Adj-R²		-0.108		0.93		0.755	

Çizelge 4.15 Jelatin-maltodekstrin kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	Su buharı geçirgenliği ($\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$)		Su aktivitesi		Nem içeriği (% yaş bazda)	
		Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri	Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri	Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri
Model	8	1.172	0.199	0.000	0.585	0.697	0.196
Kesim noktası	1	201.8	0.000	4.282	0.000	1673	0.000
Maltodekstrin	2	0.135	0.468	0.000	0.186	0.259	0.120
Gliserol	2	0.215	0.313	1.38×10^{-5}	0.895	0.000	0.997
Maltodekstrin* gliserol	4	0.822	0.114	0.000	0.657	0.438	0.140
Hata	9	0.732		0.001		0.431	
Toplam	18	203.7		4.283		1674	
Düzeltilmiş toplam	17	1.904		0.001		1.129	
R²		0.616		0.430		0.618	
Adj-R²		0.274		-0.076		0.278	

Çizelge 4.16 Jelatin-karragenan kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	Su buharı geçirgenliği ($\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$)		Su aktivitesi		Nem içeriği (% yaş bazda)	
		Hata kareleri	<i>p</i> -değeri	Hata kareleri	<i>p</i> -değeri	Hata kareleri	<i>p</i> -değeri
		toplamı		toplamı		toplamı	
Model	8	6.963	0.000	0.002	0.000	0.370	0.656
Kesim noktası	1	746.2	0.000	3.979	0.000	2124	0.000
Karragenan	2	4.773	0.000	0.002	0.000	0.088	0.518
Gliserol	2	0.843	0.010	4.90×10^{-5}	0.126	0.176	0.291
Karragenan * gliserol	4	1.348	0.010	0.000	0.004	0.106	0.786
Hata	9	0.475		8.40×10^{-5}		0.559	
Toplam	18	753.6		3.981		2125	
Düzeltilmiş toplam	17	7.438		0.002		0.929	
R²		0.936		0.958		0.398	
Adj-R²		0.879		0.921		-0.136	

Na-kazeinat kullanılarak hazırlanan iki katmanlı Na-kazeinat-pektin filmlerinin su buharı geçirgenliği üzerine pektin ve gliserol konsantrasyonunun önemli etkiye sahip olduğu görülmüştür ($p<0.05$) (Çizelge 4.17). Pektin konsantrasyonu arttıkça filmlerin su buharı geçirgenliğinde azalma gözlemlenmiştir. Gliserol konsantrasyonundaki artış ise su buharı geçirgenliğinin artmasına neden olmuştur. %2 pektin ve %8 gliserol içeren iki katmanlı film, en düşük su buharı geçirgenliği göstermiştir (Çizelge 4.8). Na-kazeinat-aljinat kombinasyonundan oluşan çift katmanlı filmlerde, su buharı geçirgenliğinin aljinat ve gliserol konsantrasyonundan etkilendiği görülmektedir ($p<0.05$) (Çizelge 4.18). Aljinat ve gliserol konsantrasyonu ile su buharı geçirgenliği arasında bir eğilim söz konusu olmayıp özellikle % 8 gliserol içeren filmlerde aljinat konsantrasyonu arttıkça filmlerin su buharı geçirgenliğinde düşüş gözlemlenmiştir (Çizelge 4.8). Na-

kazeinat ve CMC'den oluşan iki katmanlı filmlerde CMC ve gliserol konsantrasyonunun, filmlerin su buharı geçirgenliği üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu görülmektedir ($p<0.05$) (Çizelge 4.19). CMC konsantrasyonu arttıkça filmlerin su buharı geçirgenliği azalmıştır. Gliserol konsantrasyonu ile su buharı geçirgenliği arasında doğrusal bir artış veya azalış olmamasına rağmen %12 gliserol içeren filmlerde CMC konsantrasyonundaki artışla birlikte filmlerin su buharı geçirgenliğinde düşme gözlenmiştir (Çizelge 4.8). Na-kazeinat-maltodekstrin çift katmanlı filmlerinde, maltodekstrin ve gliserol konsantrasyonunun, filmlerin su buharı geçirgenliği üzerine önemli etkiye sahip olduğu görülmüştür ($p<0.05$) (Çizelge 4.20). Maltodekstrin ve gliserol konsantrasyonunun artması ile birlikte filmlerin su buharı geçirgenliği yükselmiştir (Çizelge 4.8). Maltodekstrin konsantrasyonu arttıkça filmin yapısında oluşan çatlakların artması suyun rahatça hareketine olanak tanıyan boşlukların artmasına neden olduğundan geçirgenlik yükselmiştir. Gliserol konsantrasyonunun artması ile birlikte moleküler arası çekim kuvveti azalmakta ve bu durum makromoleküllerin polimer zincirleri arasına girerek film matrisinde kohezyonun azalmasına yol açmaktadır. Bu nedenlerden dolayı film yapısında serbest hacmin artması, suyun hareketini kolaylaştırmakta ve geçirgenliğin artmasına neden olmaktadır. Na-kazeinat-karragenan filmlerinde, karragenan konsantrasyonunu filmlerin su buharı geçirgenliği üzerine önemli etkiye sahipken ($p<0.05$) gliserol konsantrasyonunun geçirgenlik üzerine etkisinin önemsiz olduğu görülmüştür ($p>0.05$) (Çizelge 4.21). Jelatin-karragenan filmlerinde olduğu gibi Na-kazeinat-karragenan filmlerinde de karragenanın katman halinde uygulanmasıyla iki katmanlı filmlerin geçirgenliğinde artış gözlenmiştir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.17 Na-Kazeinat-pektin kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	Su buharı geçirgenliği ($\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$)		Su aktivitesi		Nem içeriği (% yaş bazda)	
		Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri	Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri	Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri
Model	8	5760	0.000	0.002	0.000	0.367	0.210
Kesim noktası	1	666.6	0.000	6.046	0.000	2003	0.000
Pektin	2	4.204	0.000	0.001	0.000	0.043	0.472
Gliserol	2	1.279	0.000	0.000	0.001	0.056	0.386
Pektin gliserol	4	0.277	0.079	2.76×10^{-5}	0.188	0.269	0.110
Hata	9	0.208		3.20×10^{-5}		0.235	
Toplam	18	672.6		6.047		2004	
Düzeltilmiş toplam	17	5.968		0.002		0.603	
R²		0.965		0.979		0.609	
Adj-R²		0.934		0.961		0.262	

Çizelge 4.18 Na-Kazeinat-aljinat kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	Su buharı geçirgenliği ($\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$)		Su aktivitesi		Nem içeriği (% yaş bazda)	
		Hata kareler toplamı	p-değeri	Hata kareler toplamı	p-değeri	Hata kareler toplamı	p-değeri
Model	8	23.52	0.000	0.002	0.000	0.141	0.635
Kesim noktası	1	684.3	0.000	5.624	0.000	1938	0.000
Aljinat	2	2.278	0.001	0.000	0.005	0.058	0.328
Gliserol	2	10.92	0.000	0.001	0.000	0.029	0.548
Aljinat gliserol	4	10.32	0.000	0.0	0.001	0.054	0.675
Hata	9	0.547		8.85x10 ⁻⁵		0.205	
Toplam	18	708.3		5.625		1938	
Düzeltilmiş toplam	17	24.06		0.002		0.346	
R²		0.977		0.953		0.408	
Adj-R²		0.957		0.912		-0.119	

Çizelge 4.19 Na-Kazeinat-CMC kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	Su buharı geçirgenliği ($\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$)		Su aktivitesi		Nem içeriği (% yaş bazda)	
		Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri	Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri	Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri
Model	8	0.002	0.000	0.002	0.000	0.525	0.286
Kesim noktası	1	5.6	0.000	6.046	0.000	1885	0.000
CMC	2	0.000	0.005	0.001	0.000	0.033	0.697
Gliserol	2	0.001	0.000	0.000	0.001	0.201	0.160
CMC gliserol	4	0.001	0.001	2.76×10^{-5}	0.188	0.290	0.249
Hata	9	8.85E-005		3.20×10^{-5}		0.400	
Toplam	18	5.6		6.047		1886	
Düzeltilmiş toplam	17	0.002		0.002		0.924	
R²		0.977		0.953		0.567	
Adj-R²		0.957		0.912		0.183	

Çizelge 4.20 Na-Kazeinat-maltodekstrin kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	Su buharı geçirgenliği ($\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$)		Su aktivitesi		Nem içeriği (% yaş bazda)	
		Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri	Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri	Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri
Model	8	27.96	0.000	0.003	0.000	1.102	0.001
Kesim noktası	1	935.4	0.000	5.506	0.000	2016	0.000
Maltodekstrin	2	4.492	0.000	0.000	0.118	0.481	0.001
Gliserol	2	23.068	0.000	0.002	0.000	0.027	0.433
Maltodekstrin * gliserol	4	0.403	0.076	0.0	0.001	0.594	0.002
Hata	9	0.297		0.000		0.131	
Toplam	18	963.7		5.509		2017	
Düzeltilmiş toplam	17	28.260		0.004		1.232	
R²		0.989		0.946		0.894	
Adj-R²		0.98		0.897		0.800	

4.21 Na-Kazeinat-karragenan kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	Su buharı geçirgenliği ($\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$)		Su aktivitesi		Nem içeriği (% yaş bazda)	
		Hata		Hata		Hata	
		kareler toplamı	<i>p</i> -değeri	kareler toplamı	<i>p</i> -değeri	kareler toplamı	<i>p</i> -değeri
Model	8	47.56	0.000	0.001	0.000	2.281	0.000
Kesim noktası	1	1519	0.000	5.669	0.000	2286	0.000
Karragenan	2	35.44	0.000	0.000	0.000	0.363	0.000
Gliserol	2	1.026	0.089	0.000	0.000	1.676	0.000
Karragenan * gliserol	4	11.09	0.000	0.0	0.000	0.242	0.003
Hata	9	1.441		3.40×10^{-5}		0.057	
Toplam	18	1568		5.670		2288	
Düzeltilmiş toplam	17	49.00		0.001		2.338	
R²		0.971		0.953		0.975	
Adj-R²		0.944		0.911		0.954	

Na-kazeinat-karbonhidrat kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerde, maltodekstrin dışında yüksek karbonhidrat konsantrasyonlarında su buharı geçirgenliğinin daha düşük olduğu gözlenmiştir. Bu durum pektin, aljinat, CMC ve karragenanın viskozitelerinden kaynaklanmaktadır. Düşük konsantrasyonlarda viskozite daha düşük olduğundan hazırlanan bu karbonhidratların katman halinde dökülmesi, alt katmanda yer alan Na-kazeinat filminin yumuşamasına ve kurutma sırasında sıcaklığın artmasıyla birlikte filmin yapısının bozulmasına neden olmaktadır. Bu nedenle özellikle Na-kazeinat filmleri için yüksek karbonhidrat konsantrasyonlarında yapı daha iyi korunduğundan ve daha stabil kaldığından geçirgenlik daha düşüktür.

Na-kazeinat kullanılarak hazırlanan iki katmanlı filmler su buharı geçirgenlikleri açısından değerlendirildiğinde, su buharı geçirgenliğinin yüksekte düşüğe doğru sıralanışı Na-kazeinat-karragenan, Na-kazeinat-maltodekstrin, Na-kazeinat-aljinat, Na-kazeinat-pektin ve Na-kazeinat-CMC şeklindedir. Karragenan kullanılarak hazırlanan filmlerde, jelatin filmlerinde olduğu gibi faz ayrımının oluşması geçirgenliği arttırmıştır. Maltodekstrinin viskozitesinin düşük olması kurutma sırasında alt katmanda yer alan Na-kazeinat filminin çözünmesine neden olmakta ve filmin konsantrasyonunu değiştirmektedir. Ayrıca film yüzeyinde oluşturduğu çatlaklar ve molekül ağırlığı düşük şekerleri yapısında bulundurması bağlı suyun oranını arttırmakta ve geçirgenlik yükselmektedir. Pektin ve aljinatın jelleşme özelliğine sahip olması film yapısını güçlendirdiğinden geçirgenlik daha düşüktür. En düşük su buharı geçirgenliği ise CMC kullanılarak hazırlanan iki katmanlı filmlerde gözlenmiştir. Bu durum CMC'nin viskozitesinin yüksek olmasından kaynaklanmakta olup yüksek viskozite alt katmanda yer alan Na-kazeinat filminin çözünmesini önlemekte ve ek bariyer görevi görerek geçirgenliği düşürmektedir.

Yumurta akı ve farklı tipte karbonhidratlar kullanılarak da iki katmanlı filmler hazırlanmıştır. Yumurta akı-pektin kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerde pektin ve gliserol konsantrasyonu filmlerin su buharı geçirgenliği üzerine önemli etkiye sahiptir ($p<0.05$) (Çizelge 4.22). Pektin ve gliserol konsantrasyonunun artması ile birlikte filmlerin su buharı geçirgenliği yükselmiştir (Çizelge 4.9). Yumurta akı-aljinat filmlerinde, aljinat ve gliserol konsantrasyonu filmlerin su buharı geçirgenliğini etkilemektedir ($p<0.05$) (Çizelge 4.23). Fakat aralarında doğrusal bir azalma veya artma söz konusu değildir. Özellikle %8 gliserol konsantrasyonuna sahip filmlerde aljinat konsantrasyonu arttıkça filmlerin geçirgenliğinde düşüş gözlemlenmiştir (Çizelge 4.9). Yumurta akı-CMC kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliği CMC ve gliserol konsantrasyonundan etkilenmektedir ($p<0.05$) (Çizelge 4.24). Ancak, CMC ve gliserol konsantrasyonu ile su buharı geçirgenliği arasında pozitif veya negatif yönlü bir ilişki yoktur. % 0.5 CMC ve %8 gliserol içeren iki katmanlı film, en düşük su buharı geçirgenliğine sahiptir (Çizelge 4.9). Yumurta akı ve maltodekstrinden oluşan çift katmanlı filmlerde, maltodekstrin ve gliserol konsantrasyonunun, filmlerin su buharı geçirgenliği üzerine etkisi önemsiz ($p>0.05$) (Çizelge 4.25) olsa da %12 gliserol içeren filmlerde, maltodekstrin konsantrasyonunun artmasıyla birlikte su buharı geçirgenliğinde yükselme gözlemlenmiştir (Çizelge 4.9). Yumurta akı-karragenan kombinasyonuna sahip iki

katmanlı filmlerde, karragenan ve gliserol konsantrasyonunun, filmlerin su buharı geçirgenliği üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu görülmüştür ($p < 0.05$) (Çizelge 4.26). Fakat karragenan ve gliserol konsantrasyonu ile su buharı geçirgenliği arasında doğrusal bir artış veya azalış söz konusu değildir. En düşük su buharı geçirgenliğini, %2 karragenan ve %8 gliserol içeren filmin sağladığı görülmüştür (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.22 Yumurta akı-pektin kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	Su buharı geçirgenliği ($\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$)		Su aktivitesi		Nem içeriği (% yaş bazda)	
		Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri	Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri	Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri
Model	8	62.87	0.000	0.003	0.005	10.36	0.000
Kesim noktası	1	2598	0.000	3.625	0.000	2028	0.000
Pektin	2	22.41	0.000	7.08×10^{-5}	0.520	2.725	0.000
Gliserol	2	34.83	0.000	0.001	0.013	3.134	0.000
Pektin gliserol	* 4	5.630	0.008	0.0	0.003	4.502	0.000
Hata	9	1.851		0.000		0.345	
Toplam	18	2663		3.628		2038	
Düzeltilmiş toplam	17	64.72		0.003		10.71	
R²		0.971		0.854		0.968	
Adj-R²		0.946		0.724		0.939	

Çizelge 4.23 Yumurta akı-aljinat kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	Su buharı geçirgenliği ($\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$)		Su aktivitesi		Nem içeriği (% yaş bazda)	
		Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri	Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri	Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri
Model	8	155.81	0.000	0.007	0.000	9.481	0.000
Kesim noktası	1	2157	0.000	3.600	0.000	2240	0.000
Aljinat	2	44.06	0.000	0.002	0.000	1.497	0.000
Gliserol	2	27.23	0.000	0.001	0.000	4.385	0.000
Aljinat* gliserol	4	84.530	0.000	0.0	0.000	3.599	0.000
Hata	9	0.579		0.000		0.143	
Toplam	18	2313		3.608		2250	
Düzeltilmiş toplam	17	156.4		0.007		9.62	
R²		0.996		0.97		0.985	
Adj-R²		0.993		0.944		0.972	

Çizelge 4.24 Yumurta akı-CMC kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	Su buharı geçirgenliği ($\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$)		Su aktivitesi		Nem içeriği (% yaş bazda)	
		Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri	Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri	Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri
		Model	8	81.04	0.000	0.005	0.000
Kesim noktası	1	2718	0.000	3.927	0.000	2759	0.000
CMC	2	7.47	0.000	0.002	0.000	0.067	0.196
Gliserol	2	56.88	0.000	0.000	0.136	0.761	0.000
CMC* gliserol	4	16.695	0.000	0.0	0.001	1.320	0.000
Hata	9	0.309		0.000		0.153	
Toplam	18	2799		3.933		2762	
Düzeltilmiş toplam	17	81.3		0.005		2.30	
R²		0.996		0.919		0.933	
Adj-R²		0.993		0.848		0.874	

Çizelge 4.25 Yumurta akı-maltodekstrin kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	Su buharı geçirgenliği ($\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$)		Su aktivitesi		Nem içeriği (% yaş bazda)	
		Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri	Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri	Hata kareler toplamı	<i>p</i> -değeri
Model	8	2528.84	0.494	0.005	0.000	14.59	0.000
Kesim noktası	1	2802.36	0.016	4.221	0.000	1913	0.000
Maltodekstrin	2	679.415	0.381	0.001	0.007	5.853	0.000
Gliserol	2	496.448	0.485	0.002	0.000	2.335	0.000
Maltodekstrin* gliserol	4	1352.98	0.425	0.0	0.000	6.407	0.000
Hata	9	2844.36		0.000		0.420	
Toplam	18	8175.56		4.227		1928	
Düzeltilmiş toplam	17	5373.20		0.005		15.01	
R²		0.471		0.937		0.972	
Adj-R²		0.000		0.881		0.947	

Çizelge 4.26 Yumurta akı-maltodekstrin kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliği, su aktivitesi ve nem içeriği değerleri üzerine karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonlarının etkisini gösteren ANOVA sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	Su buharı geçirgenliği ($\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$)		Su aktivitesi		Nem içeriği (% yaş bazda)	
		Hata		Hata		Hata	
		kareler toplamı	<i>p</i> -değeri	kareler toplamı	<i>p</i> -değeri	kareler toplamı	<i>p</i> -değeri
Model	8	511.53	0.000	0.001	0.009	14.44	0.000
Kesim noktası	1	3103.64	0.000	3.566	0.000	2336	0.000
Karragenan	2	238.556	0.000	0.000	0.121	1.577	0.000
Gliserol	2	224.461	0.000	0.000	0.006	7.115	0.000
Karragenan* gliserol	4	48.51	0.002	0.0	0.018	5.751	0.000
Hata	9	9.86		0.000		0.196	
Toplam	18	3625.02		3.567		2350	
Düzeltilmiş toplam	17	521.39		0.001		14.64	
R²		0.981		0.836		0.987	
Adj-R²		0.964		0.689		0.975	

Tek katmanlı protein filmleri üzerine karbonhidratların katman halinde dökülmesi ile elde edilen iki katmanlı filmler su buharı geçirgenlikleri açısından karşılaştırıldığında, jelatin-karbonhidrat kombinasyonundan oluşan iki katmanlı filmlerin, tek katmanlı jelatin filmlerine göre daha düşük su buharı geçirgenliğine sahip olduğu görülmektedir. Buna karşın, Na-kazeinat-karbonhidrat ve yumurta akı-karbonhidrat kombinasyonu içeren iki katmanlı filmler, sırasıyla tek katmanlı Na-kazeinat ve yumurta akı filmleri ile kıyaslandığında, katman halinde uygulanan karbonhidratların, su buharı geçirgenliği üzerine önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Bu durum proteinlerin jel kuvvetinden kaynaklanmaktadır. Jelatinin jel kuvveti daha fazla olduğundan elde edilen tek katmanlı filmler yapı olarak daha sağlam ve sert olup karbonhidratların katman halinde dökülmesiyle yapı daha da stabil kalmaktadır. Na-kazeinatın, jel oluşturma gücünün daha zayıf olması ve

yumurta akının ise ısı ile geri dönüşümsüz jel oluşturması nedeniyle denatüre edilmemesi, bu proteinlerden elde edilen filmlerin yapılarının daha zayıf olmasına neden olmaktadır. Bu durum karbonhidrat çözeltilerinin, Na-kazeinat ve yumurta akı filmleri üzerine dökülmesi ve kurutulması sırasında alt katmanda yer alan protein filmlerinin yapısal bütünlüklerinin bozulmasına neden olmakta ve filmlerin geçirgenliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca iki katmanlı filmlerde protein ve karbonhidratların birbirleri ile etkileşimleri/interaksiyonları (sinerji veya uyumsuzluk) da önem kazanmaktadır. Su buharı geçirgenliği analiz sonuçları dikkate alındığında, Na-kazeinat ve yumurta akına kıyasla jelatinin, karbonhidratlar ile sinerji halinde olduğu görülmektedir.

İki katmanlı filmlerin nem içeriklerindeki değişim protein ve karbonhidrat tipi ve konsantrasyonu ile açıklanabilir. Jelatin ile hazırlanan iki katmanlı filmlerin nem içerikleri; jelatin-pektin filmlerinde % 9.402-9.910, jelatin-aljinat filmlerinde % 9.876-10.414, jelatin-CMC filmlerinde % 9.533-10.179, jelatin-maltodekstrin filmlerinde % 9.249-10.038 ve jelatin-karragenan filmlerinde ise % 10.686-11.188 arasında değişmektedir (Çizelge 4.7). Jelatin-pektin, jelatin-aljinat ve jelatin-CMC kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerde, karbonhidrat konsantrasyonu, nem içeriği üzerine istatistiksel olarak önemli bir etkiye sahiptir ($p<0.05$) (Çizelge 4.12, 4.13, 4.14). Bu kombinasyonlarda nem içerikleri, su buharı geçirgenlikleri ile uyum içerisinde olup minimum su buharı geçirgenliği sağlayan karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonunda minimum nem içeriği gözlemlenmiştir. Jelatin-maltodekstrin ve jelatin-karragenan filmlerinin nem içeriği üzerine karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonunun önemli olmadığı görülmüştür ($p>0.05$) (Çizelge 4.15, 4.16). Jelatin bazlı iki katmanlı filmlerin nem içerikleri karşılaştırıldığında jelatin-pektin, jelatin-aljinat, jelatin-CMC ve jelatin-maltodekstrin filmlerinin nem içeriklerinin benzer olduğu jelatin-pektin ve jelatin-maltodekstrin kombinasyonu içeren filmlerin daha düşük nem içeriğine sahip olduğu görülmüştür. Pektinin, aljinat ve CMC'ye göre daha zayıf bir jel yapı oluşturması ve maltodekstrinin ise jel oluşturma özelliğinin olmaması nedeniyle nem içerikleri daha düşüktür. Ayrıca aljinat, CMC ve karragenanın düşük konsantrasyonlarda dahi yüksek viskozite göstermeleri kurutma sırasında suyun uzaklaşmasını zorlaştırdığından nem içerikleri daha fazladır. CMC' nin nem içeriğinin pektin, maltodekstrin ve aljinata göre biraz daha yüksek olmasının nedeni su tutma kapasitesinin yüksek olmasından ileri gelmektedir. Jelatin-karragenan filmleri en yüksek nem içeriğine

sahiptir ve su buharı geçirgenliğinde olduğu gibi diğer karbonhidratlardan ayrı bir grup oluşturmuştur.

Na-kazeinat-pektin iki katmanlı filmlerinde nem içeriği % 10.366-10.775, Na-kazeinat-aljinat filmlerinde % 10.248-10.529, Na-kazeinat-CMC filmlerinde % 10.024-10.537 aralıklarında değişen değerler almıştır (Çizelge 4.8). Na-kazeinat-pektin, Na-kazeinat-aljinat ve Na-kazeinat-CMC kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerde nem içeriği üzerine karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonunun etkisinin önemli olmadığı görülmüştür ($p>0.05$) (Çizelge 4.17, 4.18, 4.19). Na-kazeinat-maltodekstrin filmlerinde, nem içeriği üzerine maltodekstrin konsantrasyonu etkisinin önemli ($p<0.05$) gliserol konsantrasyonu etkisinin ise önemsiz ($p>0.05$) (Çizelge 4.20) olduğu görülmüş ve nem içeriği % 10.424-10.755 arasında değişmiştir (Çizelge 4.8). Na-kazeinat-karragenan filmlerinde ise karragenan ve gliserol konsantrasyonu filmlerin nem içeriği üzerine önemli bir etkiye sahip olup ($p<0.05$) (Çizelge 4.21) aralarında doğrusal bir oran yoktur ve nem içeriği % 10.649-11.915 arasındadır (Çizelge 4.8). Na-kazeinat bazlı iki katmanlı filmlerin nem içerikleri karşılaştırıldığında pektin, aljinat, CMC ve maltodekstrinin nem içeriklerinin benzer olduğu karragenanın ise ayrı bir grup oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bu durum su buharı geçirgenliğinde de söz konusu olmuştur.

Karbonhidrat ve gliserol konsantrasyonu yumurta akı bazlı çift katmanlı filmlerin nem içeriği üzerine önemli bir etkiye sahip olduğu ($p<0.05$) (Çizelge 4.22, 4.23, 4.24, 4.25, 4.26) fakat aralarında pozitif veya negatif yönlü doğrusal bir ilişkinin olmadığı görülmüştür. Yumurta akı-pektin kombinasyonu içeren filmlerde nem içeriği % 9.482-11.740, yumurta akı-aljinat filmlerinde % 10.054-12.273, yumurta akı-karboksümetil selüloz filmlerinde % 11.668-12.847, yumurta akı-maltodekstrin filmlerinde % 9.473-12.627 ve yumurta akı-karragenan filmlerinde ise % 10.300-13.294 arasında değişmiştir (Çizelge 4.9).

Tek katmanlı protein filmleri üzerine karbonhidratların katman halinde dökülmesi ile elde edilen iki katmanlı filmlerin nem içerikleri karşılaştırıldığında; jelatin-karbonhidrat filmlerinin nem içeriğinin % 9.072-11.360, Na-kazeinat-karbonhidrat filmlerinin % 9.746-11.945 ve yumurta akı-karbonhidrat filmlerinin ise % 9.306-13.530 arasında olduğu görülmüş olup jelatin ve Na-kazeinat içeren iki katmanlı filmlerin nem içeriklerinin benzer ve yumurta akının daha yüksek nem içeriğine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Fakat iki katmanlı filmlerin nem içerikleri tek

katmanlı filmlerin nem içerikleri ile kıyaslandığında; jelatin-pektin, jelatin-aljinat, jelatin-CMC ve jelatin-maltodekstrin filmlerinin nem içerikleri, tek katmanlı jelatin filmleri ile benzerlik göstermiştir. Bu kombinasyonlara sahip filmlerin nem içerikleri su buharı geçirgenlikleri ile uyumludur. Ayrıca jelatin-karragenan filmlerinin nem içeriğinde, su buharı geçirgenliğinde de olduğu gibi tek katmanlı jelatin filmlerine kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Na-kazeinat ve yumurta akı bazlı iki katmanlı filmlerin nem içerikleri tek katmanlı Na-kazeinat (%8.453) ve yumurta akı (%6.701) filmleri ile karşılaştırıldığında iki katmanlı filmlerin nem içeriğinin arttığı özellikle yumurta akında farkın daha belirgin olduğu görülmüştür. Na-kazeinat ve yumurta akı filmlerinde nem içeriği, su buharı geçirgenliğinde olduğu gibi karbonhidratların katman halinde dökülmesi ile tek katmanlı Na-kazeinat ve yumurta akı filmlerinin yapısal bütünlüğünün bozulmasına ve bu nedenle nem içeriklerinin artmasına yol açmıştır. Ayrıca jelatin, Na-kazeinat ve yumurta akı bazlı iki katmanlı filmlerde karragenanın en yüksek nem içeriğine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Jelatin-pektin, jelatin-aljinat, jelatin-CMC ve jelatin-karragenan filmlerinin su aktivitesi üzerine karbonhidrat konsantrasyonunun etkili olduğu görülmektedir ($p < 0.05$) (Çizelge 4.12, 4.13, 4.14, 4.16). Jelatin-maltodekstrin filmlerinde ise maltodekstrin konsantrasyonunun filmlerin su aktivitesi üzerine etkisinin önemli olmadığı ($p > 0.05$) (Çizelge 4.15) ve su aktivitesinin 0.481-0.494 değerleri arasında olduğu gözlemlenmiştir. Maltodekstrin yüksek konsantrasyonda dahi düşük viskozite gösterdiğinden, konsantrasyonun artması bağlı su oranını değiştirmemiş ve serbest su oranında da bu duruma bağlı olarak değişiklik meydana gelmediğinden filmlerin su aktivitesinde, maltodekstrin konsantrasyonuna bağlı olarak değişim gözlenmemiştir. Jelatin-pektin, jelatin-CMC ve jelatin-karragenan filmlerinde, karbonhidrat konsantrasyonundaki artış ile birlikte daha fazla su film yapısında bağlı formda bulunurken, serbest suyun oranında ise bir azalma ortaya çıkmaktadır ve bu nedenle filmlerinin su aktivitesinde düşüş gözlemlenmiş ve sırasıyla 0.444-0.509; 0.437-0.435 ve 0.454-0.483 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.7). Jelatin-aljinat filmlerinde aljinat konsantrasyonu ile su aktivitesi arasında liner bir ilişki olmayıp su aktivitesi 0.430-0.508 aralığında değişen değerler almıştır. Jelatin-pektin filmleri dışında gliserol konsantrasyonunun su aktivitesi üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olmadığı bulunmuştur ($p > 0.05$) (Çizelge 4.13, 4.14, 4.15, 4.16). Bu

filmlerde, %1.5 pektin konsantrasyonunda, gliserol konsantrasyonu arttıkça filmlerin su aktivitelerinde düşüş gözlemlenmiştir.

Na-kazeinat-pektin, Na-kazeinat-aljinat, Na-kazeinat-CMC ve Na-kazeinat-karragenan filmlerinin su aktivitesi üzerine karbonhidrat konsantrasyonunun etkisinin önemli olduğu ($p<0.05$) (Çizelge 4.17, 4.18, 4.19, 4.21). Na-kazeinat-maltodekstrin filmlerinde ise maltodekstrin konsantrasyonunun filmlerin su aktivitesi üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olmadığı görülmüştür ($p>0.05$) (Çizelge 4.20). Bu durum jelatin-karbonhidrat filmlerinde olduğu gibi pektin, aljinat, CMC ve karragenanın viskozitelerinin daha yüksek olması nedeni ile bağlı su oranının yüksek serbest su oranının ise düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Na-kazeinat-pektin filmlerinin su aktivitesi, pektin konsantrasyonunun artmasıyla birlikte yükselmiştir. Gliserol konsantrasyonunun %8'den %10 artırılması su aktivitesini etkilemezken %8'den %12 ye çıkarılması su aktivitesinin yükselmesine neden olmuştur. Na-kazeinat-pektin filmlerinin su aktivitesi 0.566-0.595 arasında değişmiştir. Na-kazeinat- aljinat filmlerinde %2 aljinat ve %8 gliserol içeren filmin su aktivitesinin en düşük olduğu görülmüştür. %8 ve %10 gliserol içeren filmlerde aljinat konsantrasyonunun artması filmlerin su aktivitesini düşürmüştür. %2 aljinat konsantrasyonunda gliserol konsantrasyonu arttıkça filmlerin su aktivitesi yükselmiştir. Na-kazeinat-aljinat filmlerinin su aktivitesi 0.537-0.571 arasında değişim göstermiştir. Na-kazeinat-CMC filmlerinde, CMC konsantrasyonu arttıkça filmlerin su aktivitesi azalmıştır. Gliserol konsantrasyonunun %8'den %10 artırılması su aktivitesini yükselmesine neden olurken %8'den %12 ye çıkarılması su aktivitesini etkilememiştir. Na-kazeinat-CMC filmlerinde su aktivitesi 0.536-0.571 aralığında değişen değerler almıştır. Na-kazeinat-maltodekstrin filmlerinde su aktivitesi 0.530-0.570 arasında değişmiştir. %4 ve %6 maltodekstrin konsantrasyonlarında gliserol konsantrasyonu arttıkça su aktivitesinde düşüş gözlemlenirken %8 maltodekstrin konsantrasyonunda gliserol konsantrasyonundaki artış filmlerin su aktivitesini yükseltmiştir. Na-kazeinat-karragenan filmlerinde karragenan ve gliserol konsantrasyonunun filmlerin su aktivitesini etkilediği fakat aralarında bir ilişkinin olmadığı ve su aktivitesinin 0.553-0.573 arasında değişen değerler aldığı görülmüştür.

Yumurta akı-pektin iki katmanlı filmlerinde su aktivitesi 0.434-0.468, yumurta akı-aljinat filmlerinde 0.431-0.495, yumurta akı-CMC filmlerinde 0.429-0.489, yumurta akı-maltodekstrin filmlerinde 0.458-0.509 ve yumurta akı-karragenan

filmlerinde ise 0.435-0.455 arasında değişmiştir (Çizelge 4.9). Yumurta akı-pektin filmlerinde, filmlerin su aktivitesi üzerine pektin konsantrasyonu etkisinin önemsiz ($p>0.05$), gliserol konsantrasyonunun ise su aktivitesi üzerine önemli etkiye sahip olduğu görülmüştür ($p<0.05$) (Çizelge 4.22). %1 ve %1.5 pektin konsantrasyonlarında gliserol konsantrasyonunun %8'den %10'a arttırılması filmlerin su aktivitesini yükseltirken gliserol konsantrasyonunun %8'den %12'ye arttırılması filmlerin su aktivitesini büyük oranda etkilemiştir. %2 pektin konsantrasyonunda gliserol konsantrasyonunun %8'den %10 ve %12'ye arttırılması filmlerin su aktivitesini azaltmış ve %10 ve %12 gliserol konsantrasyonlarında su aktivitesinin değişmediği gözlemlenmiştir (Çizelge 4.9). Yumurta akı-aljinat filmlerinde su aktivitesinin aljinat ve gliserol konsantrasyonundan etkilendiği fakat aralarında lineer bir ilişkinin olmadığı görülmüştür ($p<0.05$) (Çizelge 4.23) Yumurta akı-CMC filmlerinde, su aktivitesi üzerine CMC konsantrasyonunun etkili ($p<0.05$), gliserol konsantrasyonunun ise etkili olmadığı gözlemlenmiştir ($p>0.05$) (Çizelge 4.24). Genel olarak, CMC konsantrasyonunun artması, filmlerin su aktivitesini düşürmüştür. Yumurta akı-maltodekstrin filmlerinde maltodekstrin ve gliserol konsantrasyonunun filmlerin su aktivitesini etkilediği görülmüştür ($p<0.05$) (Çizelge 4.25). %12 gliserol içeren filmlerde maltodekstrin konsantrasyonu arttıkça filmlerin su aktivitesi yükselmiştir. Yumurta akı-karragenan filmlerinde, filmlerin su aktivitesi üzerine karragenan konsantrasyonu etkisinin önemsiz ($p>0.05$), gliserol konsantrasyonu etkisinin ise önemli olduğu bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.26). %2 karragenan konsantrasyonunda gliserol konsantrasyonunun yükselmesi, su aktivitesinin artmasına neden olmuştur.

Jelatin içeren iki katmanlı filmlerde, su aktivitesi 0.421-0.518, Na-kazeinat içeren iki katmanlı filmlerde, 0.528-0.596 ve yumurta akı içeren iki katmanlı filmlerde ise 0.426-0.514 arasındadır. Jelatin-karbonhidrat, Na-kazeinat-karbonhidrat ve yumurta akı-karbonhidrat kombinasyonu içeren iki katmanlı filmler su aktiviteleri açısından karşılaştırıldığında; jelatin ve yumurta akı filmlerinin su aktivitelerinin benzerlik gösterdiği ve Na-kazeinat içeren iki katmanlı filmlerin en yüksek su aktivitesine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Jelatin-karbonhidrat kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerin su aktiviteleri tek katmanlı jelatin filmleri (0.503) ile karşılaştırıldığında karragenan dışında diğer karbonhidrataların katman halinde dökülmesi filmlerin su aktivitesini düşürmüştür. Ayrıca jelatin içeren iki katmanlı filmlerde su buharı geçirgenliği ve nem içeriği sonuçlarında da aynı durum

gözlemlenmiş ve bu sonuçların birbirleri ile tutumlu olduğunu göstermektedir. Na-kazeinat içeren iki katmanlı filmlerin su aktiviteleri tek katmanlı Na-kazeinat filmleri (0.512) ile kıyaslandığında iki katmanlı filmlerin su aktivitelerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Na-kazeinat içeren iki katmanlı filmlerde su aktivitesinde de olduğu gibi su buharı geçirgenliği ve nem içerikleri de karbonhidratların katman olarak dökülmesi sonucu artış göstermiştir. Yumurta akı-karbonhidrat kombinasyonundan oluşan iki katmanlı filmlerin su aktiveleri tek katmanlı yumurta akı filmi (0.430) ile karşılaştırıldığında iki katmanlı filmlerin daha yüksek su aktivitesine sahip olduğu görülmüştür. Jelatin ve Na-kazeinat içeren iki katmanlı filmlerde olduğu gibi yumurta akı kullanılarak hazırlanan iki katmanlı filmlerde de su buharı geçirgenliği, nem içeriği ve su aktivitesi analizleri birbirleri ile uyum içerisindedir. Tek katmanlı Na-kazeinat ve yumurta akı filmleri üzerine karbonhidratların katman halinde dökülmesi iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliği, nem içeriği ve su aktivitesi değerlerinin yükselmesine neden olup bu durum daha öncede belirtildiği gibi tek katmanlı Na-kazeinat ve yumurta akı filmlerinin yapısal bütünlüğünün bozulmasından ileri gelmektedir.

Yenilebilir filmlerin su buharı geçirgenliği, nem içeriği ve su aktivitesinin yanı sıra suda çözünürlükleri de oldukça önemlidir. Yenilebilir filmlerin potansiyel gıda uygulamalarında ürün bütünlüğünü koruması arzu edildiğinden dolayı suda çözünürlüğün düşük olması istenmektedir. Ayrıca yüksek su içeriğine sahip gıdalarda yenilebilir film ve kaplamaların uygulanabilirliğini ve bu materyallerin biyolojik olarak parçalanabilirliğini belirlemede çözünürlük önemli bir faktördür. Genel olarak çözünürlüğün artması suya karşı direncin zayıf olduğunu göstermektedir. Çizelge 4.27, 4.28 ve 4.29'da jelatin, Na-kazeinat ve yumurta akı kullanılarak hazırlanan tek ve iki katmanlı filmlerin suda çözünürlükleri verilmiş ve filmlerin çözünürlükleri arasındaki fark ANOVA analizi kullanılarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.27 Jelatin kullanılarak hazırlanan iki katmanlı filmlerin suda çözünürlükleri

Film özellikleri	Protein	Karbonhidrat	Çözünürlük (%)
Tek katmanlı	Jelatin		14.904 ^c ±0.121
İki katmanlı	Jelatin	Pektin	10.557 ^a ±0.159
İki katmanlı	Jelatin	Aljinat	12.286 ^b ±0.357
İki katmanlı	Jelatin	CMC	12.529 ^b ±0.357
İki katmanlı	Jelatin	Maltodekstrin	17.232 ^d ±0.098
İki katmanlı	Jelatin	Karragenan	12.258 ^b ±0.133

Çizelge 4.28 Na-kazeinat kullanılarak hazırlanan iki katmanlı filmlerin suda çözünürlükleri

Film özellikleri	Protein	Karbonhidrat	Çözünürlük (%)
Tek katmanlı	Na-Kazeinat		24.409 ^d ±0.364
İki katmanlı	Na-Kazeinat	Pektin	18.681 ^b ±0.339
İki katmanlı	Na-Kazeinat	Aljinat	17.102 ^a ±0.124
İki katmanlı	Na-Kazeinat	CMC	17.327 ^a ±0.097
İki katmanlı	Na-Kazeinat	Maltodekstrin	22.585 ^c ±0.341
İki katmanlı	Na-Kazeinat	Karragenan	17.709 ^a ±0.369

Çizelge 4.29 Yumurta akı kullanılarak hazırlanan iki katmanlı filmlerin suda çözünürlükleri

Film özellikleri	Protein	Karbonhidrat	Çözünürlük (%)
Tek katmanlı	Yumurta akı		37.413 ^e ±0.212
İki katmanlı	Yumurta akı	Pektin	43.483 ^f ±0.071
İki katmanlı	Yumurta akı	Aljinat	28.425 ^b ±0.071
İki katmanlı	Yumurta akı	CMC	24.200 ^a ±0.139
İki katmanlı	Yumurta akı	Maltodekstrin	36.045 ^c ±0.158
İki katmanlı	Yumurta akı	Karragenan	36.669 ^d ±0.432

Protein bazlı tek katmanlı filmlerin suda çözünürlükleri incelendiğinde jelatinin çözünürlüğünün %14.904, Na-kazeinatın % 24.409 ve yumurta akının ise %37.413 olduğu bulgulanmıştır (Çizelge 4.27, 4.28, 4.29). Üç farklı protein filminin suda çözünürlükleri karşılaştırıldığında jelatinin minimum yumurta akının ise maksimum çözünürlüğe sahip olduğu gözlenmiştir. Bulgular, tek katmanlı filmlerin su buharı geçirgenlik değerleri ile uyum içerisinde olup suda çözünürlüğü düşük olan filmlerin su buharı geçirgenliklerinin de düşük olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Jelatin ve Na-kazeinatın suda çözünürlüğünün yumurta akına oranla daha düşük olmasının nedeni jelatin ve Na-kazeinat proteinlerinin denatüre edilmesidir. Denatürasyon sonucu daha güçlü ve yoğun yapıda bir film yapısı olduğundan çözünürlük azalmaktadır. Yumurta akı filmlerinin yapısı zayıf olduğundan suda daha kolay çözümlenmektedir. Perez- Gago vd. (1999) yaptıkları çalışmada peynir altı suyu protein izolatu kullanarak doğal yolla ve denatürasyon işlemiyle elde ettikleri iki farklı filmin çözünürlüklerini karşılaştırmış ve denatürasyon sonucu elde ettikleri filmin çapraz bağlanma sonucunda film matrisinde kovalent disülfid bağlarının oluşmasından dolayı daha düşük çözünürlüğe sahip olduğunu bulgulamışlardır.

Tek katmanlı jelatin filminin suda çözünürlüğü % 14.904 iken karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin bu film üzerine katman halinde uygulanması ile iki katmanlı filmlerin suda çözünürlükleri azalmıştır. Beş farklı kombinasyona sahip çift katmanlı filmlerde pektin filmlerinin çözünürlüğü %10.557, aljinat filmlerinin %12.286, CMC filmlerinin %12.529, maltodekstrin filmlerinin %17.232 ve

karragenan filmlerinin %12.258' dir (Çizelge 4.27). Aljinat, CMC ve karragenanın suda çözünürlükleri benzerlik göstermiş ve jelatin-pektin kombinasyonundan oluşan iki katmanlı filmin minimum çözünürlüğe sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca jelatin-pektin kombinasyonuna sahip iki katmanlı filmin su buharı geçirgenliği, nem içeriği ve su aktivitesi de düşük olup çözünürlükle bu sonuçlar desteklenmiştir. Jelatin-maltodekstrin kombinasyonu içeren filmlerde, çözünürlük artış göstermiş olup bu durum maltodekstrinin çözünürlüğünün yüksek olması ve jelleşme özelliği göstermemesinden kaynaklanmaktadır.

Na-kazeinattan oluşan tek katmanlı protein filminin suda çözünürlüğü %24.409'dur. Alt katmanda Na-kazeinatın yer aldığı iki katmanlı filmlerin suda çözünürlükleri tek katmanlı Na-kazeinat filmine kıyasla daha düşüktür (Çizelge 4.28). Na-kazeinat-aljinat ve Na-kazeinat-karboksimetil selüloz filmlerinin suda çözünürlükleri benzerlik göstermiş ve bu kombinasyonlarda çözünürlük en düşüktür. Na-kazeinat-CMC kombinasyonunun su buharı geçirgenliğinin de düşük olması sonuçları doğrulamıştır. Jelatin filmlerinde olduğu gibi maltodekstrinin jelleşmemesi, Na-kazeinat-maltodekstrin kombinasyonunun diğer kombinasyonlara oranla daha yüksek çözünürlük göstermesine yol açmıştır.

Tek katmanlı yumurta akı filmlerinin suda çözünürlüğü %37.413 olup karbonhidrat bazlı kaplama materyalleri ile çözünürlük azalmıştır (Çizelge 4.29). Fakat yumurta akı-pektin içeren filmlerin çözünürlükleri artış göstermiştir. Yumurta akı-karboksimetil selüloz kombinasyonundan elde edilen filmin çözünürlüğünün en az olup CMC'nin yüksek su tutma kapasitesine sahip olması çözünürlüğü düşürmüştür.

Na-kazeinat ve yumurta akı filmleri üzerine karbonhidrat çözeltilerinin katman olarak dökülmesi su buharı geçirgenliğini etkilememiş, nem içeriği ve su aktivitesi değerlerini yükseltmiş ve suda çözünürlüklerini düşürmüştür. İki katmanlı filmlerin suda çözünürlüklerinin azalması karbonhidrat katmanının filmin kalınlığını arttırması ve suyun difüzyonunu azaltmasından kaynaklanmaktadır.

Yenilebilir film ve kaplamaların tüketicide bir algı uyandırması ve tüketici tarafından kabul edilebilirliğinin yanında gıda endüstrisindeki potansiyel kullanımları da optik özellikleriyle ilgilidir. Opaklık değeri ne kadar yüksekse geçirgenlik o kadar düşüktür. Özellikle yağ içeriği yüksek gıdalarda ışık kaynaklı oksidasyonu önlemek amacıyla yüksek opaklık sağlayan filmler etkili birer bariyer

olarak kullanılabilir. Çizelge 4.30, 4.31 ve 4.32’de jelatin, Na-kazeinat ve yumurta akı kullanılarak hazırlanan tek, iki ve üç katmanlı filmlerin opaklık değerleri verilmiş ve filmlerin opaklıkları arasındaki fark ANOVA kullanılarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.30. Jelatin kullanılarak hazırlanan tek katmanlı, iki katmanlı ve üç katmanlı filmlerin opaklık değerleri

Film özellikleri	Protein	Karbonhidrat	Yağ	Opaklık
Tek katmanlı	Jelatin			2.790 ^{bc} ±0.025
İki katmanlı	Jelatin	Pektin		2.507 ^{cd} ±0.035
Üç katmanlı	Jelatin	Pektin	Palm	14.44 ^l ±0.355
	Jelatin	Pektin	Ayçiçek	2.474 ^{cd} ±0.386
İki katmanlı	Jelatin	Aljinat		4.527 ^f ±0.066
Üç katmanlı	Jelatin	Aljinat	Palm	9.250 ^h ±0.024
	Jelatin	Aljinat	Ayçiçek	4.311 ^f ±0.028
İki katmanlı	Jelatin	CMC		2.019 ^{ab} ±0.078
Üç katmanlı	Jelatin	CMC	Palm	10.15 ^k ±0.011
	Jelatin	CMC	Ayçiçek	1.755 ^a ±0.043
İki katmanlı	Jelatin	Maltodekstrin		3.210 ^e ±0.048
Üç katmanlı	Jelatin	Maltodekstrin	Palm	16.61 ⁿ ±0.018
	Jelatin	Maltodekstrin	Ayçiçek	2.700 ^d ±0.364
İki katmanlı	Jelatin	Karragenan		5.950 ^g ±0.071
Üç katmanlı	Jelatin	Karragenan	Palm	14.94 ^m ±0.059
	Jelatin	Karragenan	Ayçiçek	6.292 ^g ±0.048

Çizelge 4.31 Na-Kazeinat kullanılarak hazırlanan tek katmanlı, iki katmanlı ve üç katmanlı filmlerin opaklık değerleri

Film özellikleri	Protein	Karbonhidrat	Yağ	Opaklık
Tek katmanlı	Na-Kazeinat			3.184 ^b ±0.007
İki katmanlı	Na-Kazeinat	Pektin		3.747 ^d ±0.028
Üç katmanlı	Na-Kazeinat	Pektin	Palm	21.08 ^h ±0.081
	Na-Kazeinat	Pektin	Ayçiçek	3.355 ^{bc} ±0.081
İki katmanlı	Na-Kazeinat	Aljinat		3.658 ^{cd} ±0.039
Üç katmanlı	Na-Kazeinat	Aljinat	Palm	19.73 ^g ±0.071
	Na-Kazeinat	Aljinat	Ayçiçek	3.133 ^b ±0.023
İki katmanlı	Na-Kazeinat	CMC		4.337 ^e ±0.021
Üç katmanlı	Na-Kazeinat	CMC	Palm	21.47 ^k ±0.571
	Na-Kazeinat	CMC	Ayçiçek	4.087 ^e ±0.043
İki katmanlı	Na-Kazeinat	Maltodekstrin		3.675 ^{cd} ±0.039
Üç katmanlı	Na-Kazeinat	Maltodekstrin	Palm	19.58 ^g ±0.053
	Na-Kazeinat	Maltodekstrin	Ayçiçek	2.542 ^a ±0.024
İki katmanlı	Na-Kazeinat	Karragenan		5.207 ^f ±0.020
Üç katmanlı	Na-Kazeinat	Karragenan	Palm	22.18 ^l ±0.062
	Na-Kazeinat	Karragenan	Ayçiçek	5.149 ^f ±0.047

Çizelge 4.32 Yumurta akı kullanılarak hazırlanan tek katmanlı, iki katmanlı ve üç katmanlı filmlerin opaklık değerleri

Film özellikleri	Protein	Karbonhidrat	Yağ	Opaklık
Tek katmanlı	Yumurta akı			11.86 ^d ±0.023
İki katmanlı	Yumurta akı	Pektin		18.80 ^h ±0.011
Üç katmanlı	Yumurta akı	Pektin	Palm	20.02 ^k ±0.002
	Yumurta akı	Pektin	Ayçiçek	12.19 ^d ±0.124
İki katmanlı	Yumurta akı	Aljinat		16.55 ^g ±0.390
Üç katmanlı	Yumurta akı	Aljinat	Palm	26.56 ⁿ ±0.157
	Yumurta akı	Aljinat	Ayçiçek	10.68 ^c ±0.028
İki katmanlı	Yumurta akı	CMC		15.83 ^f ±0.152
Üç katmanlı	Yumurta akı	CMC	Palm	25.37 ^m ±0.066
	Yumurta akı	CMC	Ayçiçek	15.26 ^e ±0.019
İki katmanlı	Yumurta akı	Maltodekstrin		8.251 ^a ±0.042
Üç katmanlı	Yumurta akı	Maltodekstrin	Palm	21.06 ^l ±0.048
	Yumurta akı	Maltodekstrin	Ayçiçek	8.598 ^b ±0.065
İki katmanlı	Yumurta akı	Karagenan		16.70 ^g ±0.410
Üç katmanlı	Yumurta akı	Karagenan	Palm	26.79 ⁿ ±0.112
	Yumurta akı	Karagenan	Ayçiçek	10.77 ^c ±0.062

Tek katmanlı jelatin filminin opaklık değeri 2.790 (Çizelge 4.30), Na-kazeinat filminin 3.184 (Çizelge 4.31) ve yumurta akı filminin ise 11.86 (Çizelge 4.32) olarak bulunmuştur. Üç farklı proteinden oluşan tek katmanlı filmlerin opaklık değerleri karşılaştırıldığında yumurta akının opaklığının en fazla olduğu bulgulanmıştır. Yumurta akı denatüre edilmediğinden moleküller arası bağlar daha karmaşıktır ve bu durum opaklığı arttırmaktadır. Denatürasyon sonucu ağ oluşması ve polipeptit zincirlerinin doğrusal forma geçmesi geçirgenliği arttırmaktadır. Na-kazeinatın jelatine oranla denatürasyon sonucu çapraz bağlanması daha az olduğundan (bağlar daha karışık) ışık geçirgenliği de daha az olup opaklık değeri daha yüksektir. Kowalczyk ve Baraniak (2011) bezelye

proteini izolatu kullanarak yaptıkları çalışmada sıcaklığın filmlerin ışık geçirgenliğini üzerine etkili olduğunu açıklamışlardır. Denatüre edilmemiş/ısı işlem görmemiş çözeltilerde çözünmeyen partiküllerin görünür ışığı geri yansıtmasının ışık geçirgenliğini azalttığını ve böylece daha opak film elde edildiğini belirtmişlerdir.

İki katmanlı filmlerin opaklık değerleri tek katmanlı filmlerden ve birbirlerinden farklılık göstermiştir. Görünür bölgede renklerde devreye girdiğinden materyallerinin rengi de opaklık değerlerini etkilemiştir. Bir sonraki bölümde daha detaylı olarak anlatılacak olan üç katmanlı filmlerin opaklık değerleri bu bölümde karşılaştırma yapabilmek amacıyla verilmiştir. Üç katmanlı filmlerin opaklık değerleri karşılaştırıldığında ayçiçek yağının genellikle filmlerin opaklığı üzerine etkisinin olmadığı bulgulanmışken palm yağının filmlerin ışık geçirgenliğini azalttığı ve opaklık değerlerini arttırdığı sonucuna varılmış ve benzer sonuçlar su buharı geçirgenliğinde de gözlemlenmiştir.

Filmlerin mekanik özellikleri, oluşabilecek mekanik bir etkiye karşı bütünlüğünü koruyarak dayanması amaçlandığında ön plana çıkmaktadır. Bununla birlikte, işlem koşulları altında filmlerin nasıl davranacağını tahmin etmeye katkı sağlamaktadır. Filmlerin uygulama sırasında karşılaşılan normal baskıya/basınca ve gıda işleme koşullarına dayanabilmeleri için çekme gerilimlerinin (çekme dayanımı) yüksek olması gerekmektedir. Bununla birlikte, film esnekliğinin göstergesi olan kopma uzaması, amaçlanan uygulamalara bağlı olarak film üretimi sırasında ayarlanabilmektedir.

Yenilebilir filmlerin mekanik özellikleri, büyük ölçüde polimer ağındaki molekül içi ve moleküller arası etkileşimlerin dağılımı ve yoğunluğu ile ilişkilidir. Bu etkileşimler, polimer zincirlerinin düzenlenmesi ve yönlendirilmesine bağlıdır. Tek katmanlı jelatin, Na-kazeinat ve yumurta akı filmlerinin, mekanik özellikleri Çizelge 4.33, 4.34 ve 4.35’de verilmiştir. Jelatin filminin çekme geriliminin 1.158, Na-kazeinat filminin 0.933 ve yumurta akı filminin ise 0.097 olduğu görülmüştür. Tek katmanlı protein filmlerinde, çekme gerilimlerinin yüksekte düşüğe doğru sıralanışı jelatin, Na-kazeinat ve yumurta akı şeklindedir. Jelatin ve Na-kazeinat filmlerinin, yumurta akı filmlerine kıyasla daha yüksek çekme gerilimi göstermeleri denatüre edilmelerinden kaynaklanmaktadır. Denatürasyon sonucu moleküller arası etkileşimin artması, yoğun ve sıkı bir film yapısı oluşturduğundan

jelatin ve Na-kazeinatın çekme gerilimleri daha yüksektir. Yumurta akı denatüre edilmediğinden filmin yapısı zayıf ve çekme gerilimi düşüktür.

Tek katmanlı jelatin filmi, Na-kazeinattan üretilen filme göre daha yüksek çekme gerilimi göstermiştir. Bu durum protein ağının organizasyonunu ile ilişkilidir. Na-kazeinat, düşük oranda α -sarmal veya β -yaprak yapısal konformasyonu içeren düzensiz proteinler grubunda sınıflandırılmaktadır. Bu proteinden elde edilen filmler daha az düzenli bir matrise sahiptir. Jelatinde, az da olsa düzensiz bir yapıya sahiptir, ancak kazeinin aksine, jelleşme ve film oluşturma işlemi sırasında yeniden düzenlenebilir ve düzenliliği yüksek bir protein olan kollajenin üçlü sarmal yapısının bir kısmını yeniden kazanabilir. Sonuç olarak, jelatinden üretilen filmler, Na-kazeinat üretilen filmler ile karşılaştırıldığında; jelatin içerenler, daha organize/düzenli bir ağ yapısına sahiptir. Zincir organizasyonundaki artış amaçlanan mekanik ve bariyer özelliklere sahip filmlerin üretimine ve optimize edilmesine olanak sağlamaktadır (Siew vd., 1999). Bu nedenden dolayı jelatin filmlerinin çekme gerilimleri Na-kazeinat filmlerinden daha yüksektir.

Tek katmanlı jelatin filmi ile jelatin içeren iki katmanlı filmlerin mekanik özellikleri Çizelge 4.33'de verilmiştir. Pektin, aljinat ve CMC içeren iki katmanlı filmlerin çekme gerilimleri birbirleri ve tek katmanlı jelatin filmi ile benzerlik göstermiştir. Maltodekstrin ve karragenan ise ayrı gruplarda yer almıştır. Jelatin-maltodekstrin kombinasyonundan oluşan iki katmanlı filmlerde çekme gerilimi düşüş göstermiştir. Jelatin-karragenan kombinasyonu içeren iki katmanlı filmlerde ise en düşük çekme gerilimi gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.33 . Jelatin kullanılarak hazırlanan tek katmanlı ve iki katmanlı filmlerin mekanik özellikleri

Film özellikleri	Protein	Karbonhidrat	Çekme gerilimi (mPa)	Kopma uzaması (%)
Tek katmanlı	Jelatin		1.201 ^c ±0.182	83.316 ^{bcd} ±0.962
İki katmanlı	Jelatin	Pektin	1.355 ^c ±0.028	79.642 ^b ±1.353
İki katmanlı	Jelatin	Aljinat	1.224 ^c ±0.004	80.878 ^{bc} ±0.679
İki katmanlı	Jelatin	CMC	1.300 ^c ±0.051	86.178 ^{cd} ±5.473
İki katmanlı	Jelatin	Maltodekstrin	0.922 ^b ±0.001	65.664 ^a ±0.139
İki katmanlı	Jelatin	Karragenan	0.535 ^a ±0.035	88.263 ^d ±0.109

Na-kazeinat içeren tek katmanlı ve iki katmanlı filmlerin mekanik özellikleri Çizelge 4.34’de verilmiştir. Na-kazeinat-pektin kombinasyonundan oluşan iki katmanlı filmin çekme gerilimi, tek katmanlı Na-kazeinat filmi ile benzerlik gösterirken, aljinat ve CMC, tek katmanlı Na-kazeinat filminin çekme gerilimini arttırmıştır. Maltodekstrin ve karragenan ise jelatin filmlerinde olduğu gibi tek katmanlı Na-kazeinat filminin çekme gerilimini düşürmüştür.

Çizelge 4.34 Na-kazeinat kullanılarak hazırlanan tek katmanlı ve iki katmanlı filmlerin mekanik özellikleri

Film özellikleri	Protein	Karbonhidrat	Çekme gerilimi (mPa)	Kopma uzaması (%)
Tek katmanlı	Na-Kazeinat		0.933 ^{bc} ±0.023	120.57 ^d ±1.465
İki katmanlı	Na-Kazeinat	Pektin	0.819 ^{bc} ±0.146	84.623 ^c ±0.598
İki katmanlı	Na-Kazeinat	Aljinat	1.127 ^c ±0.036	65.349 ^a ±0.680
İki katmanlı	Na-Kazeinat	CMC	1.090 ^c ±0.257	64.000 ^a ±4.582
İki katmanlı	Na-Kazeinat	Maltodekstrin	0.448 ^a ±0.013	58.862 ^a ±4.370
İki katmanlı	Na-Kazeinat	Karragenan	0.650 ^{ab} ±0.020	74.885 ^b ±3.670

Yumurta akı içeren tek katmanlı ve iki katmanlı filmlerin mekanik özellikleri Çizelge 4.35’ de verilmiştir. Aljinat ve CMC’nin yumurta akı filmi üzerine katman

halinde dökülmesi ile filmlerin çekme gerilimi yükselmiştir. Yumurta akı ve pektinden oluşan iki katmanlı filmler, tek katmanlı yumurta akı filmi ile benzer çekme gerilimi göstermiştir. Maltodekstrin ve karragenanın katman halinde uygulanması film yapısının zayıflamasına ve çekme geriliminin düşmesine neden olmuştur.

Çizelge 4.35 Yumurta akı kullanılarak hazırlanan tek katmanlı ve iki katmanlı filmlerin mekanik özellikleri

Film özellikleri	Protein	Karbonhidrat	Çekme gerilimi (mPa)	Kopma uzaması (%)
Tek katmanlı	Yumurta akı		0.097 ^d ±0.001	146.91 ^c ±0.162
İki katmanlı	Yumurta akı	Pektin	0.092 ^c ±0.001	111.87 ^b ±5.327
İki katmanlı	Yumurta akı	Aljinat	0.273 ^f ±0.001	114.45 ^b ±1.078
İki katmanlı	Yumurta akı	CMC	0.169 ^e ±0.000	121.41 ^b ±10.74
İki katmanlı	Yumurta akı	Maltodekstrin	0.035 ^a ±0.002	148.87 ^c ±8.143
İki katmanlı	Yumurta akı	Karragenan	0.067 ^b ±0.001	93.845 ^a ±4.685

Jelatin, Na-kazeinat ve yumurta akı içeren iki katmanlı filmlerin çekme gerilimleri karşılaştırıldığında; özellikle aljinat ve CMC' nin jelatin, Na-kazeinat ve yumurta akı filmlerinin çekme gerilimini pozitif yönde etkilediği görülmektedir. Bu durum aljinat ve CMC'nin film yapısını güçlendirmelerinden/sağlamlaştırmalarından kaynaklanmaktadır. Jelatin kendi başına güçlü jel yapı oluşturduğundan aljinat ve CMC'nin katman halinde dökülmesi filmin çekme gerilimini değiştirmemiş ve jelatin ile benzerlik göstermiştir. Fakat Na-kazeinat ve yumurta akı filmleri yapı olarak jelatin filmlerine kıyasla daha zayıf olduklarından aljinat ve CMC'nin etkisi daha fazla ön plana çıkmaktadır. Özellikle yumurta akında bu durum net bir şekilde gözlemlenmiştir. Denatüre edilmediğinden mekanik yönden oldukça zayıf bir film yapısına sahip olan yumurta akı filmlerinde, aljinat ve CMC'nin ek katman olarak uygulanması filmin esnekliğini azaltarak, yapının sağlamlaşmasına ve dayanıklılığının artmasına katkı sağlamıştır. Maltodekstrinin, film yüzeyinde oluşturduğu dallanma şeklindeki çatlaklar filmin dayanıklılığın azalmasına neden olmuş ve jelatin, Na-kazeinat ve yumurta akı filmlerinin çekme gerilimini

düşürmüştür. Karragenanın, film yüzeyinde pürüzlü bir yapı oluşturması ve bu yapının arasında bulunan boşlukların çekme ile rahatlıkla açılması çekme gerilimini azaltmıştır. Jelatin-pektin, Na-kazeinat-pektin ve yumurta akı-pektin kombinasyonu içeren iki katmanlı filmler çekme gerilimleri açısından değerlendirildiğinde, jelatin filmlerinde, pektin içeren iki katmanlı filmlerin, tek katmanlı jelatin filmi ile benzerlik gösterdiği ve en yüksek çekme gerilimine sahip olduğu görülmüştür. Na-kazeinat filmlerinde, pektin yine tek katmanlı Na-kazeinat ile benzerlik göstermiş fakat daha düşük çekme gerilimi sergilemiştir. Yumurta akı filmlerinde ise pektin içeren iki katmanlı filmlerin çekme gerilimlerinin tek katmanlı yumurta akı kıyasla daha düşük olduğu gözlenmiştir. Pektinin alt katmanda yer alan jelatin, Na-kazeinat ve yumurta akı filmleri ile etkileşimi (uyumluluğu) filmlerin çekme gerilimini etkilemiştir.

Tek katmanlı jelatin, Na-kazeinat ve yumurta akı filmlerinin uzama değerleri karşılaştırıldığında, yumurta akı filminin en yüksek uzama değeri (%146.91) gösterdiği, yumurta akını, Na-kazeinatın (%120.57) takip ettiği, jelatinin ise en düşük uzama değeri (%83.316) gösterdiği gözlenmiştir. Bu durum yumurta akının denatüre edilmemesinden kaynaklanmaktadır. Yumurta akı filmlerinde, polimer zincir hareketliliği daha fazla olduğundan uzama değeri maksimumdur. Yapı olarak incelendiklerinde, jelatinin sert, Na-kazeinatın, jelatine göre daha esnek ve yumurta akının ise oldukça elastik olduğu görülmüş olup kopma değerleri, bu durumu doğrulamıştır.

Tek katmanlı jelatin filminin kendi yapısı sert ve sıkı olduğundan karbonhidratların katman halinde dökülmesi ile elde edilen jelatin-pektin, jelatin-aljinat, jelatin-CMC ve jelatin-karragenan iki katmanlı filmlerin, uzama değerleri tek katmanlı jelatin filmi ile benzerlik göstermiştir. Jelatin-maltodekstrin kombinasyonundan oluşan iki katmanlı filmin en düşük uzama değerine sahip olduğu gözlenmiş olup bu durum filmin kırılabilirliğinin fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

Tek katmanlı Na-kazeinat filminin uzama değerleri karbonhidratların katman halinde dökülmesiyle azalma göstermiştir. Bu durum filmlerin kalınlığının artmasından kaynaklanmaktadır. En yüksek uzama değerine pektin daha sonra karragenan sahipken aljinat, CMC ve maltodekstrinin uzama değerleri en düşük olup benzerlik göstermiştir. Maltodekstrinin jelleşme özelliğinin olmaması ve film yüzeyinde çatlak oluşturması filmin esnekliğini azalttığından uzama değerini

düşürmüştür. Aljinat ve CMC'nin katman olarak dökülmesi, filmlerin kırılgenliğini arttırmış ve esnekliğini azaltarak uzamalarını düşürmüştür. Pektin içeren filmin yapısı, aljinat ve CMC' ye kıyasla daha elastik olduğundan filmin uzama değeri daha yüksektir.

Tek katmanlı ve iki katmanlı yumurta akı filmlerinin uzama değerleri incelendiğinde, karbonhidratların katman halinde dökülmesi ile yumurta akı filmlerinin uzama değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Pektin, aljinat ve CMC içeren iki katmanlı filmlerin uzama değerleri benzerlik göstermiş olup bu karbonhidratların katman halinde dökülmesi filmin kalınlığını arttırıp tek katmanlı yumurta akı filminin esnekliğini azalttığından uzama değerlerini düşürmüştür. Jelatin-maltodekstrin ve Na-kazeinat-maltodekstrin filmlerinin aksine, yumurta akı filmlerinde maltodekstrin, tek katmanlı yumurta akı filminin uzama değerini düşürmemiş olup benzerlik göstermiştir. Bu durum maltodekstrin ve yumurta akının interaksiyonundan kaynaklanmakta olup yumurta akı ve maltodekstrinin yüzey gerilimleri de bu durumu etkilemiş olabilir. Yumurta akı-karragenan filminin ise en düşük uzama değerine sahip olduğu görülmüştür.

Filmlerin mekanik özellikleri dikkate alındığında, denatürasyon işleminin filmlerin mekanik özelliklerini iyileştirdiği gözlenmiştir. Sıkı ve düzenli bir ağ yapısına sahip filmler, yüksek çekme gerilimi ve düşük uzama değeri gösterirken, polimer zincirleri arasındaki hareketliliğin fazla ve yapının esnek olduğu filmlerde minimum çekme gerilimi ve maksimum uzama değeri göstermiştir.

Jelatin, Na-kazeinat ve yumurta akı kullanılarak hazırlanan iki katmanlı filmlerin çekme gerilimleri karşılaştırıldığında, çekme geriliminin yüksekte düşüğe doğru sırası ile jelatin, Na-kazeinat ve yumurta akı filmlerinde olduğu belirlenmiştir. Bu filmlerin uzama değerleri kıyaslandığında yumurta akı filmlerinin uzama değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Na-kazeinat kullanılarak hazırlanan iki katmanlı filmlerin uzama değerlerinin jelatin içeren filmlerden daha düşük olduğu gözlenmiştir. Karbonhidratların katman olarak dökülmesi tek katmanlı Na-kazeinat filminin yapısını bozduğundan tek katmanlı Na-kazeinat filmleri ile karşılaştırıldığında iki katmanlı filmlerin esnekliğinin azaldığı ve uzama değerlerinin düştüğü görülmüştür.

4.1.3 Üç katmanlı filmler

Çalışma kapsamında 3 farklı protein, 5 farklı karbonhidrat ve 2 farklı yağ materyal kullanılmış ve bu materyallerinin farklı kombinasyonları test edilerek elde edilen üç katmanlı filmlerin su buharı geçirgenlikleri desikatör yöntemiyle 38°C’de gerçekleştirilmiştir.

Jelatin kullanılarak hazırlanan üç katmanlı filmlerde jelatin-pektin-palm, jelatin-aljinat-palm, jelatin-CMC-palm ve jelatin-maltodekstrin-palm kombinasyonlarının su buharı geçirgenlikleri birbirleriyle benzerlik göstermiştir. Karragenanın katman halinde uygulanması filmlerin su buharı geçirgenliğini artırırken palm yağının katman halinde uygulanması ile bu filmlerin su buharı geçirgenliği önemli derecede azaltılmıştır. Ayçiçek yağı kullanılarak hazırlanan, jelatin-pektin-ayçiçek, jelatin-aljinat-ayçiçek, jelatin-CMC-ayçiçek ve jelatin-maltodekstrin-ayçiçek kombinasyonlarından oluşan 3 katmanlı filmlerin su buharı geçirgenlikleri iki katmanlı filmlerin su buharı geçirgenlikleri ile benzerlik göstermiş olup jelatin-karragenan-ayçiçek kombinasyonu içeren filmde ayçiçek yağının katman halinde uygulanması ile iki katmanlı filmin su buharı geçirgenliği düşmüştür.

Çizelge 4.36 Jelatin kullanılarak hazırlanan 3 katmanlı filmlerin su buharı geçirgenlikleri

Film özellikleri	Protein	Karbonhidrat	Yağ	Su buharı geçirgenliği $\times 10^{-11}$ (g.m ⁻¹ .s ⁻¹ .Pa ⁻¹)
Tek katmanlı	Jelatin			0.564 ^g ±0.006
İki katmanlı	Jelatin	Pektin		0.493 ^{ef} ±0.009
Üç katmanlı	Jelatin	Pektin	Palm	0.379 ^{ab} ±0.022
	Jelatin	Pektin	Ayçiçek	0.486 ^{ef} ±0.016
İki katmanlı	Jelatin	Aljinat		0.495 ^{ef} ±0.019
Üç katmanlı	Jelatin	Aljinat	Palm	0.393 ^{abc} ±0.018
	Jelatin	Aljinat	Ayçiçek	0.478 ^{ef} ±0.000
İki katmanlı	Jelatin	CMC		0.466 ^{de} ±0.018
Üç katmanlı	Jelatin	CMC	Palm	0.397 ^{abc} ±0.002
	Jelatin	CMC	Ayçiçek	0.434 ^{cd} ±0.002
İki katmanlı	Jelatin	Maltodekstrin		0.422 ^{bc} ±0.027
Üç katmanlı	Jelatin	Maltodekstrin	Palm	0.358 ^a ±0.033
	Jelatin	Maltodekstrin	Ayçiçek	0.402 ^{abc} ±0.022
İki katmanlı	Jelatin	Karagenan		0.774 ^k ±0.035
Üç katmanlı	Jelatin	Karagenan	Palm	0.517 ^f ±0.006
	Jelatin	Karagenan	Ayçiçek	0.704 ^h ±0.021

Çizelge 4.37 Na-kazeinat kullanılarak hazırlanan 3 katmanlı filmlerin su buharı geçirgenlikleri

Film özellikleri	Protein	Karbonhidrat	Yağ	Su buharı geçirgenliği $\times 10^{-11}$ ($\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$)
Tek katmanlı	Na-Kazeinat			0.635 ^{ef} ± 0.005
İki katmanlı	Na-Kazeinat	Pektin		0.505 ^{bc} ± 0.056
Üç katmanlı	Na-Kazeinat	Pektin	Palm	0.355 ^a ± 0.015
	Na-Kazeinat	Pektin	Ayçiçek	0.479 ^{bc} ± 0.047
İki katmanlı	Na-Kazeinat	Aljinat		0.519 ^{bcd} ± 0.004
Üç katmanlı	Na-Kazeinat	Aljinat	Palm	0.360 ^a ± 0.007
	Na-Kazeinat	Aljinat	Ayçiçek	0.487 ^{bc} ± 0.004
İki katmanlı	Na-Kazeinat	CMC		0.508 ^{cd} ± 0.034
Üç katmanlı	Na-Kazeinat	CMC	Palm	0.347 ^a ± 0.031
	Na-Kazeinat	CMC	Ayçiçek	0.451 ^b ± 0.059
İki katmanlı	Na-Kazeinat	Maltodekstrin		0.585 ^{de} ± 0.049
Üç katmanlı	Na-Kazeinat	Maltodekstrin	Palm	0.364 ^a ± 0.002
	Na-Kazeinat	Maltodekstrin	Ayçiçek	0.476 ^{bc} ± 0.049
İki katmanlı	Na-Kazeinat	Karagenan		0.768 ^g ± 0.055
Üç katmanlı	Na-Kazeinat	Karagenan	Palm	0.472 ^{bc} ± 0.026
	Na-Kazeinat	Karagenan	Ayçiçek	0.695 ^{fg} ± 0.025

Na-kazeinat kullanarak hazırlanan 3 katmanlı filmlerde, palm yağı, filmlerin su buharı geçirgenliğini düşürmüştür. Na-kazeinat-pektin-palm, Na-kazeinat-aljinat-palm, Na-kazeinat-CMC-palm ve Na-kazeinat-maltodekstrin-palm kombinasyonundan oluşan 3 katmanlı filmlerin su buharı geçirgenlikleri benzerdir. Karragenan içeren iki katmanlı filmlerde palm yağının üçüncü katman olarak uygulanması filmlerin su buharı geçirgenliğini önemli düzeyde düşürmüştür. Na-kazeinat-pektin-ayçiçek, Na-kazeinat-aljinat-ayçiçek ve Na-kazeinat-karragenan-ayçiçek filmlerinin su buharı geçirgenlikleri bu kombinasyonların oluşturduğu iki katmanlı filmlerle benzerlik göstermiştir. Na-kazeinat-CMC-ayçiçek ve Na-

kazeinat-maltodekstrin-ayçiçek 3 katmanlı filmlerinde ayçiçek yağının katman olarak uygulanması iki katmanlı filmlerle kıyaslandığında geçirgenliği azaltmıştır.

Çizelge 4.38 Yumurta akı kullanılarak hazırlanan 3 katmanlı filmlerin su buharı geçirgenlikleri

Film özellikleri	Protein	Karbonhidrat	Yağ	Su buharı geçirgenliği$\times 10^{-11}$ ($\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$)
Tek katmanlı	Yumurta akı			1.126 ^f ± 0.014
İki katmanlı	Yumurta akı	Pektin		0.877 ^d ± 0.028
Üç katmanlı	Yumurta akı	Pektin	Palm	0.612 ^{bc} ± 0.009
	Yumurta akı	Pektin	Ayçiçek	1.302 ^e ± 0.080
İki katmanlı	Yumurta akı	Aljinat		0.729 ^c ± 0.038
Üç katmanlı	Yumurta akı	Aljinat	Palm	0.448 ^a ± 0.050
	Yumurta akı	Aljinat	Ayçiçek	1.056 ^{ef} ± 0.095
İki katmanlı	Yumurta akı	CMC		0.732 ^c ± 0.016
Üç katmanlı	Yumurta akı	CMC	Palm	0.566 ^{ab} ± 0.015
	Yumurta akı	CMC	Ayçiçek	0.928 ^{de} ± 0.039
İki katmanlı	Yumurta akı	Maltodekstrin		0.739 ^c ± 0.023
Üç katmanlı	Yumurta akı	Maltodekstrin	Palm	0.511 ^{ab} ± 0.002
	Yumurta akı	Maltodekstrin	Ayçiçek	1.053 ^{ef} ± 0.044
İki katmanlı	Yumurta akı	Karagenan		1.125 ^f ± 0.089
Üç katmanlı	Yumurta akı	Karagenan	Palm	0.578 ^{ab} ± 0.008
	Yumurta akı	Karagenan	Ayçiçek	1.513 ^h ± 0.170

Çizelge 4.38’de görüldüğü üzere tek katmanlı yumurta akının su buharı geçirgenliği katman halinde uygulanan palm yağı ile önemli derecede düşürülmüştür. Yumurta akı-pektin-palm, yumurta akı-CMC-palm, yumurta akı-maltodekstrin-palm ve yumurta akı-karragenan-palm kombinasyonu içeren 3 katmanlı filmlerin su buharı geçirgenlikleri benzerdir. Yumurta akı-aljinat-palm yağından oluşan filmin su buharı geçirgenliği diğer kombinasyonlardan farklılık

göstermiş olup en düşük su buharı geçirgenliği sağlamıştır. Fakat yağ bazlı kaplama materyali olarak kullanılan ayçiçek yağının filmlerin geçirgenliğini arttırdığı gözlenmiştir. Benzer şekilde McHugh ve Krochta (1994) tarafından peynir altı suyu proteini kullanılarak yapılan çalışmada, lipid kullanımının, filmlerin geçirgenliğini önemli derecede arttırdığı bulgulanmıştır. Pranoto vd. (2005) yaptıkları çalışmada, aljinat filmleri içerisine sarımsak yağı ilave etmiş ve elde ettikleri filmlerde, sarımsak yağının filmlerin su buharı geçirgenliğini arttırdığını belirtmişlerdir. Bu durumun sarımsak yağının hidrofobik özelliğinden kaynaklandığını ve sarımsak yağının, aljinat filmlerinde yapısal matris içinde moleküller arası etkileşimlerin uzamasına neden olduğundan dolayı filmde geçen su buharını arttırdığını ifade etmişlerdir.

Çizelge 4.36, 4.37 ve 4.38’de karşılaştırma yapmak amacıyla tek katmanlı, iki katmanlı ve üç katmanlı filmlerin su buharı geçirgenlikleri bir arada verilmiştir. Belirlenen protein ve gliserol konsantrasyonlarında hazırlanan tek katmanlı protein filmlerinin su buharı geçirgenlikleri belirlenen konsantrasyonlarda hazırlanıp katman halinde uygulanan karbonhidrat materyallerinin ek bir bariyer oluşturması ile azaltılmıştır. Bununla birlikte yağ bazlı kaplama materyali olarak kullanılan ayçiçek ve palm yağının da katman halinde uygulanmasıyla geçirgenlik daha da azaltılmıştır. Ayçiçek yağının, genel olarak su buharı geçirgenliği üzerine bir etkisinin olmadığı hatta yumurta akı içeren filmlerde su buharı geçirgenliğini arttırdığı görülmüştür. Palm yağının, filmlerin su buharı geçirgenliğini önemli derecede düşürdüğü gözlenmiştir. Kazeinat ve yumurta akı filmlerinin yapısı jelatine kıyasla daha zayıf olduğundan palm yağının etkisi bu filmlerde özellikle de en zayıf film yapısına sahip yumurta akı filmlerinde daha belirgindir. Bununla birlikte kullanılan lipid türünün de filmlerin su buharı geçirgenliğini etkilediği açıkça görülmektedir. Filmlerin hidrofobik özelliğini arttırmak amacıyla kullanılan lipidler kimyasal bileşimlerine, konformasyonel yapılarına ve molekül boyutuna bağlı olarak farklı fiziksel hale sahiptirler. Lipidlerin fiziksel hali, filmin nem bariyeri verimliliğini güçlü bir şekilde etkilemektedir. Doymuş lipidlerin geçirgenliği genellikle doymamış lipidlerinkinden çok daha düşüktür. Yapılan çalışmalarda lipidlerde doymuşluk derecesinin artması neme karşı bariyer özelliklerini arttırmıştır. Doygunluk derecesi arasındaki bu farklılığın lipid bileşenlerinin suda çözünebilirliği ve lipidin moleküler organizasyonu ile ilişkili olduğu belirtilmiştir. Yağların katı yapısı daha yoğun olduğundan suyun difüzyonunu sınırlamaktadır. Yapılan bir çalışmada hidrojenlenmiş pamuk tohumu

yağı bazlı filmde lipidin sıvı kısmı %0 ile %40 arasında değiştiğinde, geçirgenlik 300 kat artış göstermiştir. Martin Polo vd. (1992a), yaptıkları çalışmada parafin mumunun geçirgenliğinin, parafin yağı içeriği %75'ten %100'e yükseldiğinde 100 kat arttığını göstermiştir. Avena-Bustillos ve Krochta (1993), saf kazeinat filmlerinin su buharı geçirgenliğinin, lipit materyallerinin (balmumu) dahil edilmesiyle %70'in üzerinde azaltılabileceğini bulmuştur.

Yenilebilir filmlerde gerçekleştirilen analizler dikkate alındığında jelatin, Na-kazeinat ve yumurta akı arasından jelatinin; jelatin ile pektin, aljinat, CMC, maltodekstrin ve karragenan kullanılarak hazırlanan iki katmanlı filmler arasından ise pektinin ön plana çıktığı açıkça görülmektedir. Jelatin ve jelatin-pektin filmleri düşük su buharı geçirgenliği, düşük su aktivitesi, düşük nem içeriği ve düşük çözünürlük ile iyi mekaniksel özellik göstermiştir. Yağ bazlı materyaller arasından ise, palm yağı, 3 katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliğini önemli derecede olumlu yönde etkilemesi dolayısıyla ön plana çıkmıştır.

Yağ, protein ve karbonhidrat bazlı materyaller ile gliserol için uygun konsantrasyonların belirlendiği film aşamasından sonra mayanın akışkan yatakta kaplanması aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada kaplama işlemi sırasında kullanılacak işlem parametreleri, kaplama yönü ve kaplama materyali kombinasyonunun kaplama etkinliği ve verimliliği üzerine etkisi incelenecektir. 2 farklı yağ, 3 farklı protein ve 5 farklı karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin farklı kombinasyonları denenecek olup klasik deneme desenine göre her bir kaplama işlem yönü için 30 deneme gerçekleştirilecektir. Denemeler sonucunda elde edilecek kaplanmış mayalarda gerçekleştirilecek analiz sonuçları dikkate alınarak ekmek mayasının akışkan yatakta kaplanmasında uygun kaplama materyali yönü ve uygun kaplama materyali kombinasyonu belirlenecektir.

4.2 Akışkan yatak işlem parametrelerinin belirlenmesi

Mayanın akışkan yatakta kaplanması sırasında kullanılacak olan işlem parametrelerinin kaplama etkinliği ve verimliliği üzerine etkili olması nedeniyle kaplama işlemine öncelikle bu parametrelerin belirlenmesi ile başlanmıştır. Akışkan yatakta gerçekleştirilecek olan kaplama işleminin yönüne bağlı olarak işlem parametreleri farklılık göstermektedir. Wurster kaplama yöntemi ile gerçekleştirilecek olan akışkan yatak kaplama işleminde yataktaki maya miktarı, nozul basıncı, wurster kanalının açıklığı ve kaplama çözeltisinin konsantrasyonu

işlem parametreleri olarak seçilmiştir. Üstten kaplama işleminde ise yatakdaki maya miktarı ve nozul basıncı işlem parametreleri olarak seçilmiştir. Üstten kaplama işleminde kaplama materyali konsantrasyonu wurster kaplama yöntemi ile belirlenen uygun konsantrasyon dikkate alındığı için tekrar incelenmemiştir.

Wustler kaplama işleminde kaplanacak olan maya miktarının belirlenmesi amacıyla 100g ve 150g maya sisteme beslenmiş ve kaplama işlemi pilot ölçekli akışkan yatakta gerçekleştirilmiştir. Elde edilen kaplanmış maya örneklerinde aglomerasyonu belirlemek amacı ile yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk analizleri gerçekleştirilmiş ve sonuçlar kaplanmamış maya ile kıyaslanarak yatağa beslenecek olan uygun maya miktarı belirlenmiştir. Kaplama işlemi etkileyen parametrelerden biri olan nozul basıncı, püskürtülen damlacıkların boyutu ve püskürtme açısını etkilemektedir. Yapılan ön denemeler sonucunda 0.1 mPa'dan düşük nozul basıncında basınç yetersizliği dolayısıyla kaplama çözeltisinin nozul başlığında biriktiği ve damla halinde aktığı gözlenmiştir. Nozul basıncı 0.2 mPa'dan yüksek olduğunda ise basınç çok fazla geldiğinden püskürtülen damlacıklar yatağın çeperine çarpmıştır. Bu nedenle, denenecek olan nozul basıncı 0.1, 0.15 ve 0.2 mPa olarak belirlenmiştir. Kaplama materyali konsantrasyonunun %15 olarak sabit tutulmuştur. 100 gram maya kullanılarak yapılan kaplama denemelerinde yatağa beslenen maya miktarının az olması, kurutma/kaplama işlemi sırasında mayanın kırılmasına ve heterojen boyutta ürün eldesine neden olmuştur. Aynı zamanda mayanın büyük çoğunluğunun Wurster tüpü içine aynı anda girmesi ve püskürtülen damlacıkların maya yüzeyine çarptıktan sonra yeterince kurumadan alt yatak bölgesinde bulunan maya yetersizliği nedeniyle tekrar tüp içine çekilmesi aglomerasyona neden olmuş ve kaplama işleminin etkin bir şekilde gerçekleşmemesine sebebiyet vermiştir. Bu nedenlerden dolayı Çizelge 1'de verildiği üzere kaplanmış mayanın yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinin kaplanmamış mayaya kıyasla daha düşük olduğu gözlenmiştir. 150 g maya ile gerçekleştirilen denemelerde kaplanmış mayanın yığın ve sıkıştırılmış yoğunluklarının 100 g mayanın değerlerine kıyasla daha yüksek ve kaplanmamış mayanın yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk değerlerine yakın olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.39).

Çizelge 4.39 Farklı nozul basınçlarında kaplanan 100 ve 150 g mayanın yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri

Maya miktarı (g)	Nozul Basıncı (mPa)	Yığın Yoğunluğu (kg/m ³)	Sıkıştırılmış yoğunluk (kg/m ³)
100	0.10	487.1±0.1	521.5±0.1
	0.15	493.2±0.1	514.9±0.1
	0.20	491.6±0.1	511.1±0.1
150	0.10	560.5±0.1	584.9±0.1
	0.15	585.0±0.1	624.0±0.1
	0.20	577.4±0.1	596.1±0.1
Kaplanmamış maya		677.8±0.1	699.9±0.1

Kaplama materyali çözeltisinin su içeriğinin düşük olması veya kaplama materyali konsantrasyonunun yüksek olması, viskozitenin artmasına neden olmakta ve bu durum kaplama işleminin etkin bir şekilde gerçekleşmemesine ve aynı zamanda aglomerasyon riskinin artmasına neden olmaktadır. Maya miktarının belirlenmesi aşamasında kaplanan mayalarda oluşan aglomerasyonun, kaplama materyali konsantrasyonundan da kaynaklanabileceği düşünülmüş ve bu nedenle kaplama materyali konsantrasyonu ve miktarını belirlemek amacıyla protein ve karbonhidrat çözeltilerinin, %12 (50 gram) %15 (40 gram) ve %20 (30 gram) konsantrasyonlarında denemeler yapılmıştır. Gerçekleştirilen denemeler sırasında Wurster açıklığı mesafesinin de kaplama işlemini etkilediği gözlemlenmiş ve bu nedenle Wurster kaplama yöntemi için yeni bir deneme planı oluşturulmuştur (Çizelge 4.40).

Çizelge 4.40 Wurster kaplama yöntemi için hazırlanan deneme planı

Deneme No	Nozul Basıncı (mPa)	Kaplama Materyali	
		Konsantrasyonu (Protein / Karbonhidrat %)	Wurster Açıklığı (cm)
1	0.10	20	3.5
2	0.10	15	3.5
3	0.10	12	3.5
4	0.15	20	3.5
5	0.15	15	3.5
6	0.15	12	3.5
7	0.20	20	3.5
8	0.20	15	3.5
9	0.20	12	3.5
10	0.10	20	6.5
11	0.10	15	6.5
12	0.10	12	6.5
13	0.15	20	6.5
14	0.15	15	6.5
15	0.15	12	6.5
16	0.20	20	6.5
17	0.20	15	6.5
18	0.20	12	6.5

150 g maya ile gerçekleştirilen denemeler sonucunda, Wurster açıklığının alçak olması (3.5 cm) durumunda daha az mayanın tüp içerisine çekilebilmesi, yatak içerisinde maya sirkülasyonunu yavaşlatmakta ve ıslanan maya parçacıkları alt yatak bölgesinde birikerek aglomerasyona neden olmaktadır. Ayrıca bu sebepten dolayı kurutma-kaplama işlem süresinin yüksek Wurster açıklığı (6.5 cm) ile gerçekleştirilen denemelere oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 4.41'de görüldüğü üzere Wurster açıklığının yüksek olduğu kaplama denemelerinde aglomerasyonun azaldığı, kaplanmış mayanın, yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinin kaplanmamış mayanın yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk değerlerine yaklaştığı görülmüştür.

Çizelge 4.41 Farklı nozul basıncı ve kaplama materyali miktarı ile kaplanan mayaların yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri

Deneme no	Wurster tüpü açıklığı (cm)	Nozul basıncı - kaplama materyali konsantrasyonu (mPa-%)	Yığın Yoğunluğu (kg/m ³)	Sıkıştırılmış Yoğunluk (kg/m ³)
1	3.5	0.10-20	564.8±0.07	583.4±0.09
2	3.5	0.10-15	489.3±0.05	516.2±0.08
3	3.5	0.10-12	574.4±0.06	598.3±0.11
4	3.5	0.15-20	538.6±0.06	578.6±0.08
5	3.5	0.15-15	492.3±0.03	512.3±0.05
6	3.5	0.15-12	524.3±0.04	539.7±0.04
7	3.5	0.20-20	570.2±0.04	607.6±0.03
8	3.5	0.20-15	520.4±0.12	544.9±0.10
9	3.5	0.20-12	513.9±0.05	533.9±0.06
10	6.5	0.10-20	580.2±0.04	607.6±0.03
11	6.5	0.10-15	560.5±0.12	584.9±0.10
12	6.5	0.10-12	583.9±0.05	593.9±0.06
13	6.5	0.15-20	652.7±0.04	698.3±0.19
14	6.5	0.15-15	585.0±0.16	624.0±0.11
15	6.5	0.15-12	593.0±0.02	576.4±0.23
16	6.5	0.20-20	590.9±0.03	618.4±0.01
17	6.5	0.20-15	577.4±0.02	596.1±0.05

18	6.5	0.20-12	650.0±0.11	695.4±0.03
19	Kurutulmamış- kaplanmamış maya		677.8±0.1	699.9±0.1

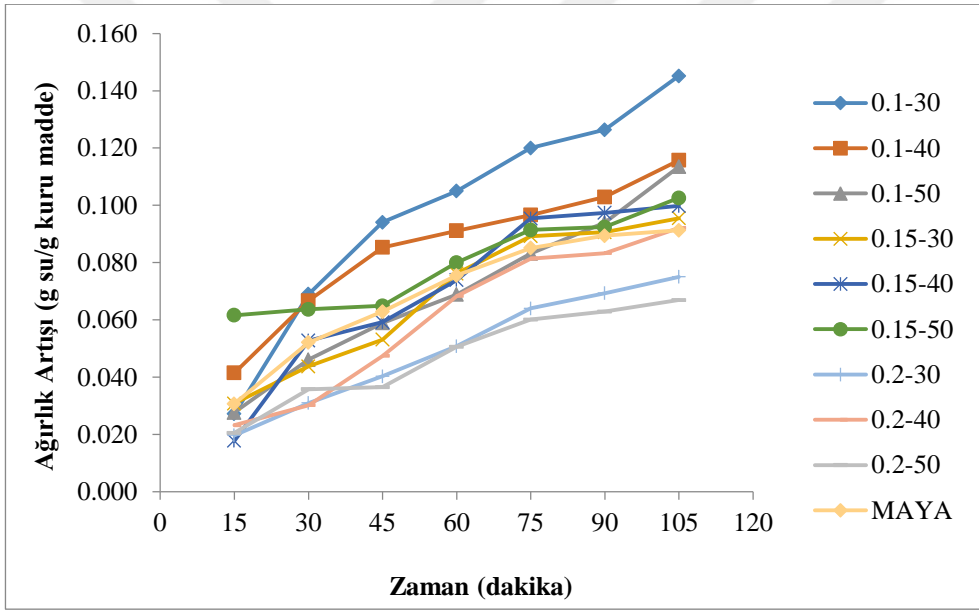
Yüksek Wurster açıklığı ile kaplanan mayalar ile ekmek yapılmış ve ekmek hacimleri ölçülmüştür. Mayaya uygulanan sıcaklık ve kaplama işleminin mayanın aktivitesi üzerine etkisini incelemek amacıyla kaplanmamış maya ile kaplanmış mayaların 1. fermentasyon sonunda kabarma miktarları gözlemlenmiş ve karşılaştırılmıştır. Sıcaklık ve kaplama işleminin maya üzerinde olumsuz bir etki yaratmadığı gözlemlenmiş ve 0.2 mPa nozul basıncında kaplanmış mayaların ekmek hacimlerinin daha yüksek olduğu ve kaplanmamış mayanın ekmek hacmi ile benzerlik gösterdiği bulunmuştur (Çizelge 4.42).

Çizelge 4.42 Farklı nozul basıncı ve kaplama materyali miktarı ile kaplanan mayalar kullanılarak hazırlanan ekmek hamurunun, 1. fermentasyon sonunda hacminde meydana gelen artış ve üretilen ekmeklerin hacim değerleri

Deneme no	Nozul basıncı-kaplama çözeltisi miktarı (mPa-g)	Ekmek Hacmi (ml)	Hamur hacmindeki artış (%)
10	0.10-30	92.3±0.01	100
11	0.10-40	91.7±0.01	60
12	0.10-50	90.7±0.02	60
13	0.15-30	1140±0.01	80
14	0.15-40	109.5±0.04	40
15	0.15-50	112.7±0.04	80
16	0.20-30	105.3±0.11	80
17	0.20-40	112.0±0.07	60
18	0.20-50	121.7±0.04	80
19	Kurutulmamış-kaplanmamış maya	125.9±0.03	100
20	Kurutulmuş-kaplanmamış maya	99.7±0.07	60

Mayaya nem geçişinin ve kaplama işleminin bu nem geçişini ne derece etkilediğini tespit etmek ve uygun nozul basıncı ile kaplama materyali miktarını belirlemek amacıyla kaplanan mayalarda higroskopik analizi gerçekleştirilmiştir.

Karşılaştırma yapmak amacıyla kurutulmuş-kaplanmamış maya ve kaplanan mayalar iklimlendirme kabiniinde %56 bağıl nemde ve 25°C sıcaklıkta tutulmuş ve sabit tartıma gelene kadar sabit aralıklarla tartımları alınmıştır ve nem kapma hızlarını belirlemek amacıyla zamana karşı ağırlık artışı grafikleri çizilmiştir. Şekil 4.1’ de görüldüğü üzere 0.2 mPa nozul basıncı ve %12 kaplama materyali konsantrasyonunda nem geçişinin en düşük hızda gerçekleştiği bulgulanmıştır.



Şekil 4.1 Farklı nozzul basıncı ve farklı kaplama çözeltisi miktarı kullanılarak kaplanan mayaların higroskopisite değerleri

Mayaya nem geçişi engellenirken aynı zamanda mayanın çözünürlüğünün azalmaması ve hazırlanan un karışımları ile elde edilen hamur içerisinde homojen olarak dağılması arzu edilmektedir. Farklı nozul basıncı ve farklı kaplama materyali çözeltisi miktarı ile kaplanan mayaların çözünürlük değerleri Çizelge 4.43’de verilmiştir.

Çizelge 4.43 Farklı nozul basıncı ve farklı kaplama materyali çözeltisi miktarı ile kaplanan mayaların çözünürlük değerleri

Deneme no.	Nozul basıncı- kaplama çözeltisi miktarı (mPa-g)	Çözünürlük (%)
10	0.10-30	71.09±0.11
11	0.10-40	85.83±0.09
12	0.10-50	82.32±0.03
13	0.15-30	85.66±0.05
14	0.15-40	79.26±0.07
15	0.15-50	77.15±0.00
16	0.20-30	87.28±0.01
17	0.20-40	80.19±0.03
18	0.20-50	87.44±0.01
19	Kurutulmamış-Kaplanmamış maya	91.13±0.07
20	Kurutulmuş-Kaplanmamış maya	77.46±0.04

Gerçekleştirilen analizler dikkate alındığında, maya miktarı, nozul basıncı, Wurster tüpü yüksekliği ve kaplama materyali konsantrasyonunun, aglomerasyon ve kaplama etkinliği üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk, ekmek hacmi, higroskopik ve çözünürlük analizi sonuçları incelendiğinde, nozul basıncının 0.2 MPa ve kaplama materyali çözeltisi miktarının 50 gram olduğu koşullarda, kaplananan mayanın yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri ile çözünürlük değerinin kaplanmamış mayanın değerlerine en yakın, ekmek hacminin en yüksek ve mayaya nem geçişinin en az ve yavaş olduğu bulgulanmıştır. Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda Wurster kaplama yönteminde, sisteme beslenecek olan maya miktarı 150 g, nozul basıncı 0.2 mPa ve kaplama çözeltisi miktarı 50 g olarak belirlenmiştir.

Üstten kaplama yönteminde kaplanacak olan maya miktarını belirlemek amacıyla da 100 ve 150 g maya sisteme beslenmiştir. 150 g maya ile gerçekleştirilen kaplama işleminde aglomerasyonun fazla olduğu gözlenmiş ve bu nedenle maya

miktarı 100 g olarak belirlenmiştir. Püskürtülen damlacıkların boyutu ve püskürtme açısı nozul basıncına bağlı olarak değişim gösterdiğinden uygun nozul basıncını belirlemek amacıyla 0.1, 0.15 ve 0.2 mPa basınçlarında denemeler gerçekleştirilmiştir. 0.1 mPa nozul basıncında, kaplama çözeltisi basınç yetersizliğinden dolayı püskürtülememiş ve damla halinde yatak içerisinde yer alan maya parçacıkları üzerine düşmüştür. Bu 0.15 mPa nozul basıncında ise kaplama çözeltisinin püskürtülebildiği fakat püskürtme açısının küçük olduğu gözlenmiştir. Kaplama çözeltisinin damlacıklar halinde ve püskürtme açısının geniş olduğu 0.2 mPa nozul basıncında kaplama işlemi daha etkin bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen denemeler sonucunda üstten kaplama yönteminde sisteme beslenecek olan maya miktarı 100 g ve nozul basıncı 0.2 mPa olarak belirlenmiş olup kaplama çözeltisi miktarı daha önce Wurster kaplama yönteminde belirlendiği üzere 50 g olarak sabit tutulmuştur.

Kaplama işleminin yönü (alttan veya üstten) kaplama etkinliğini doğrudan etkileyeceği için bu aşamada gerçekleştirilecek olan çalışmalar ayrı ayrı olmak üzere hem alttan (150 g maya, 0.2 mPa nozul basıncı ve 50 g kaplama çözeltisi) hem üstten (100 g maya, 0.2 mPa nozul basıncı ve 50 g kaplama çözeltisi) kaplama yöntemi ile belirlenen parametreler sabit tutularak yapılmıştır. Kaplama materyali tipinin belirlenmesi aşamasında 2 farklı yağ, 3 farklı protein ve 5 farklı karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin farklı kombinasyonları denenmiş olup klasik deneme desenine göre her bir kaplama işlem yönü için 30 deneme gerçekleştirilmiştir. İki farklı yöntemle kaplanmış mayada, su aktivitesi, kuru madde içeriği, yığın yoğunluk, higroskopite, çözünürlük, maya aktivitesi ve ekme hacmi analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları dikkate alınarak ekme mayasının akışkan yatak kaplama yöntemi ile kaplanmasında farklı kaplama materyallerinin etkisi incelenmiş olup uygun kaplama yönü ve uygun kaplama materyali kombinasyonu belirlenmiştir.

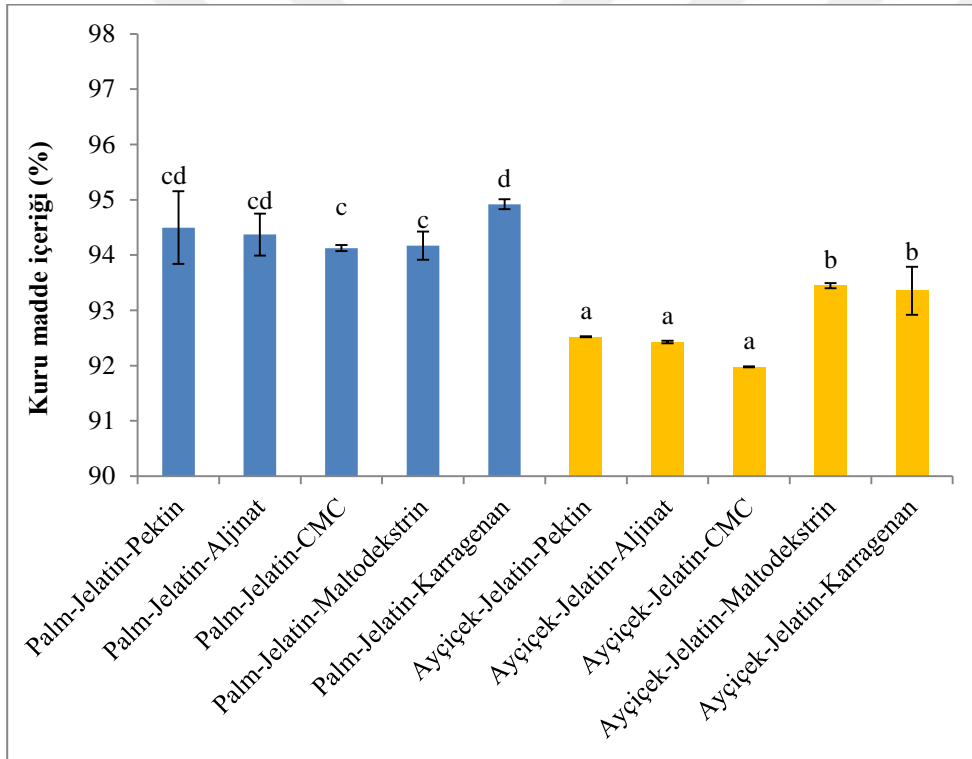
4.2.1 Wurster yöntemiyle kaplanmış maya

Wurster yöntemiyle kaplanmış mayada gerçekleştirilen analizlerin sonuçları kullanılan protein tipi sabit tutularak aşağıda verilmiş ve böylelikle proteinin etkisi bir bütün halinde yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin etkisi ise ayrı ayrı incelenmiştir.

4.2.1.1 Wurster yöntemiyle kaplanmış mayanın özellikleri

4.2.1.1.1 Kuru madde içeriği ve su aktivitesi

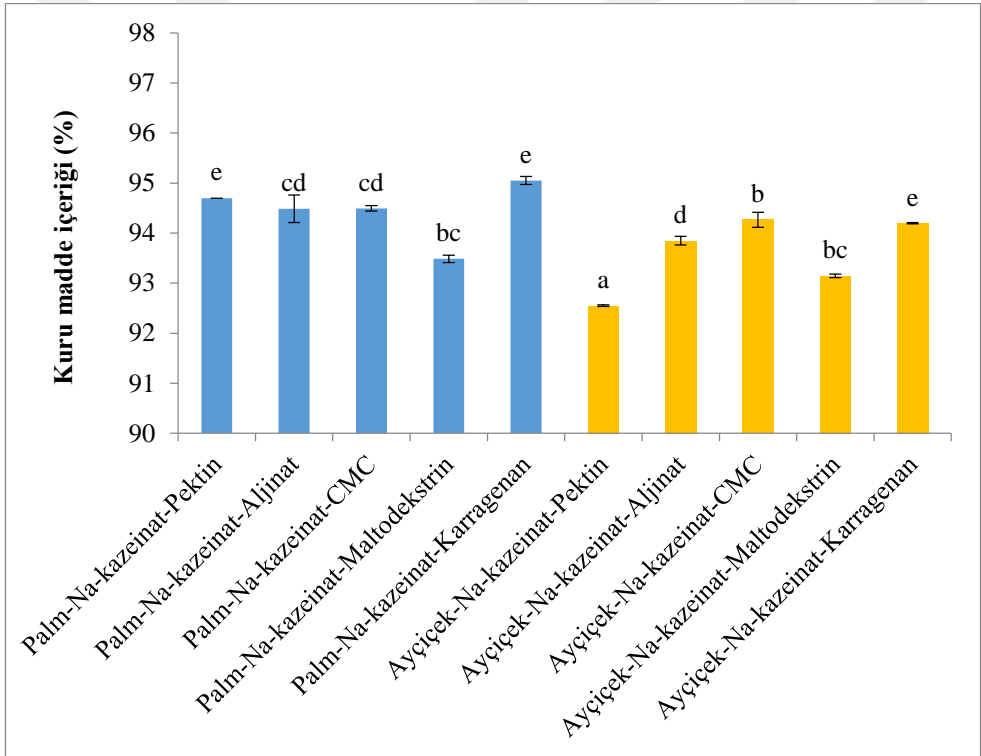
Su aktivitesi ve kuru madde içeriği, kaplanmış mayanın raf ömrü ve depolama koşullarını belirlemede oldukça önemli kriterlerdir. Kaplama materyali kombinasyonunun, kaplanmış mayanın kuru madde içeriği ve su aktivitesi üzerine etkisi sırasıyla Şekil 4.2, 4.3, 4.4 ve Şekil 4.5, 4.6, 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.2 Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların kuru madde içeriği değerleri

Yağ-jelatin-karbonhidrat kombinasyonu ile kaplanmış mayaların kuru madde içeriği % 91.977-94.920 arasında değişim göstermektedir. Şekil 4.2’de görüldüğü üzere, palm yağı ile kaplanmış mayaların kuru madde içeriği, ayçiçek yağı ile kaplanmış mayaların kuru madde içeriğinden daha yüksektir. Palm yağı ve jelatin kullanılarak kaplanmış mayalarda karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin etkisi incelendiğinde karragenanın film analizlerinde yorumlandığı gibi farklı bir

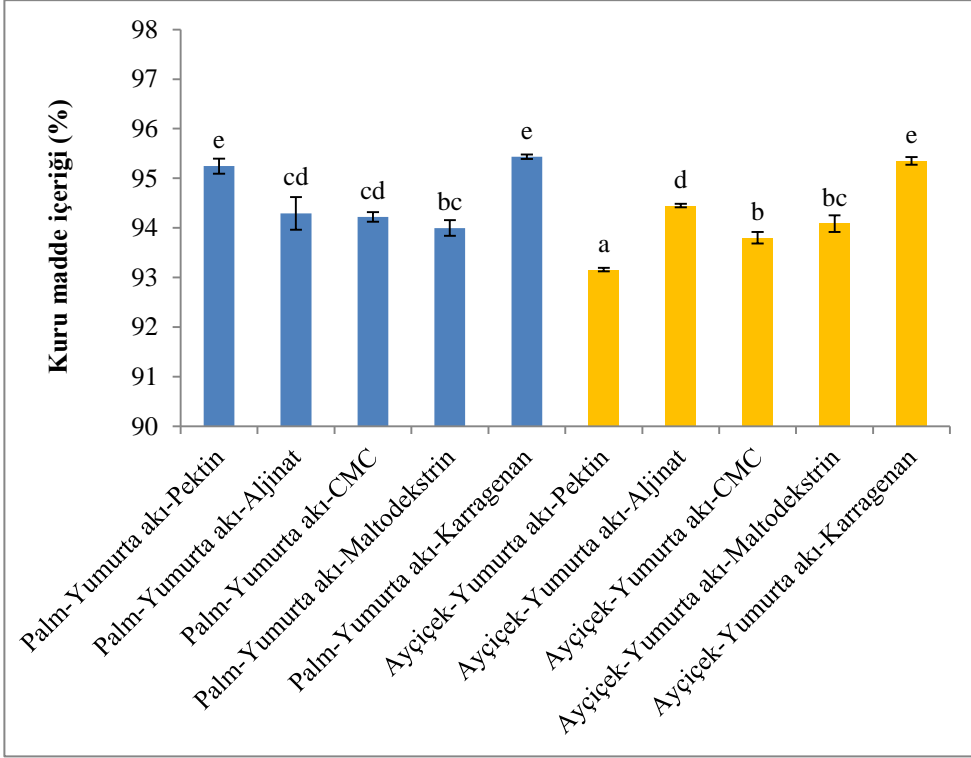
grup oluşturduğu ve daha yüksek kuru madde içeriğine sahip olduğu, pektin, aljinat, CMC ve maltodekstrinin nem içeriklerinin benzer olduğu tespit edilmiştir. Ayçiçek yağı ile kaplanmış mayalarda pektin, aljinat ve CMC' nin bir grup, maltodekstrin ve karragenan ise ayrı bir grup oluşturduğu ve daha yüksek kuru madde içeriğine sahip olduğu bulunmuştur.



Şekil 4.3 Na-kazeinat ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların kuru madde içeriği değerleri

Na-kazeinat kullanarak kaplanan mayaların kuru madde içeriği % 92.550-95.052 arasında değişim göstermiştir (Şekil 4.3). Kaplanmış mayalarda, yağ materyallerinin etkisi incelendiğinde, palm yağı ile kaplanmış mayaların kuru madde içeriğinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Palm yağı ile kaplanmış mayalarda nem içerikleri açısından aljinat, CMC ve maltodekstrin bir grup, pektin ve karragenan ise ayrı bir grup oluşturmuş olup kuru madde içerikleri daha

yüksektir. Ayçiçek yağı ile kaplanmış mayalarda ayçiçek-Na-kazeinat-pektin kombinasyonu ile kaplanmış mayanın kuru madde içeriğinin en düşük, ayçiçek-Na-kazeinat-CMC ile kaplanmış mayanın ise en yüksek kuru madde içeriğine sahip olduğu bulgulanmıştır.

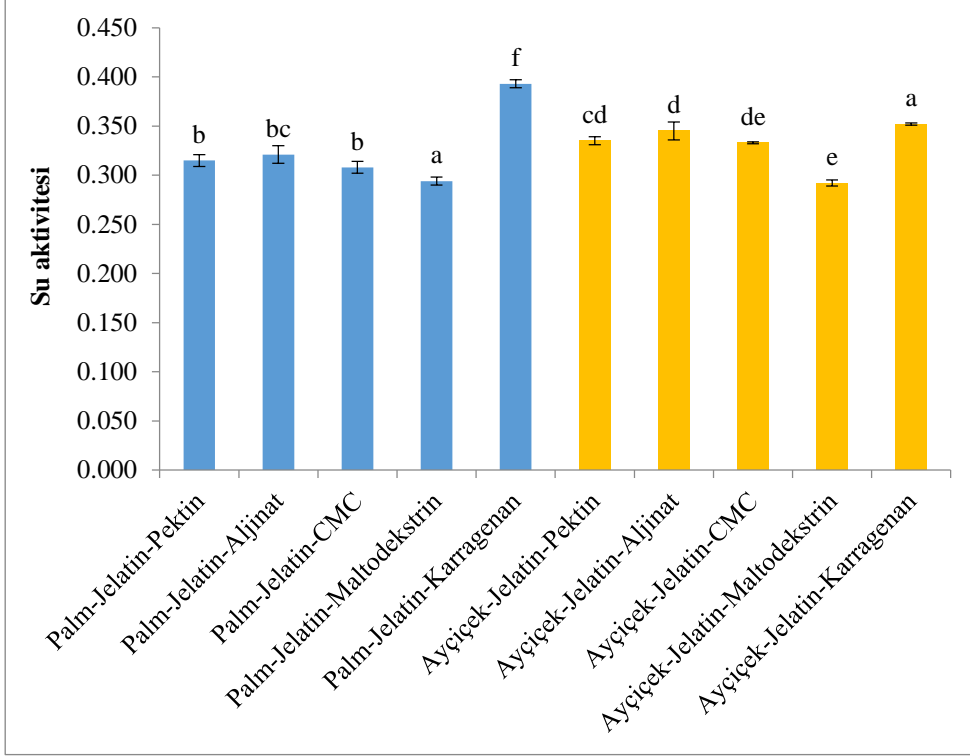


Şekil 4.4 Yumurta akı ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların kuru madde içeriği değerleri

Yağ-yumurta akı -karbonhidrat kombinasyonu ile kaplanmış mayanın kuru madde içeriği % 93.158-95.349 arasında değişen değerler almıştır (Şekil 4.4). Jelatin ve Na-kazeinat ile kaplanmış mayalarda olduğu gibi yumurta akında da palm yağı ile kaplanmış mayaların kuru madde içeriklerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Palm yağı kullanıldığında en yüksek kuru madde içeriğine pektin ve karregenanın sahip olduğu ve aljinat, CMC ve maltodekstrinin nem içeriklerinin benzer ve daha yüksek olduğu bulgulanmıştır. Yine jelatin ve Na-kazeinata olduğu gibi ayçiçek

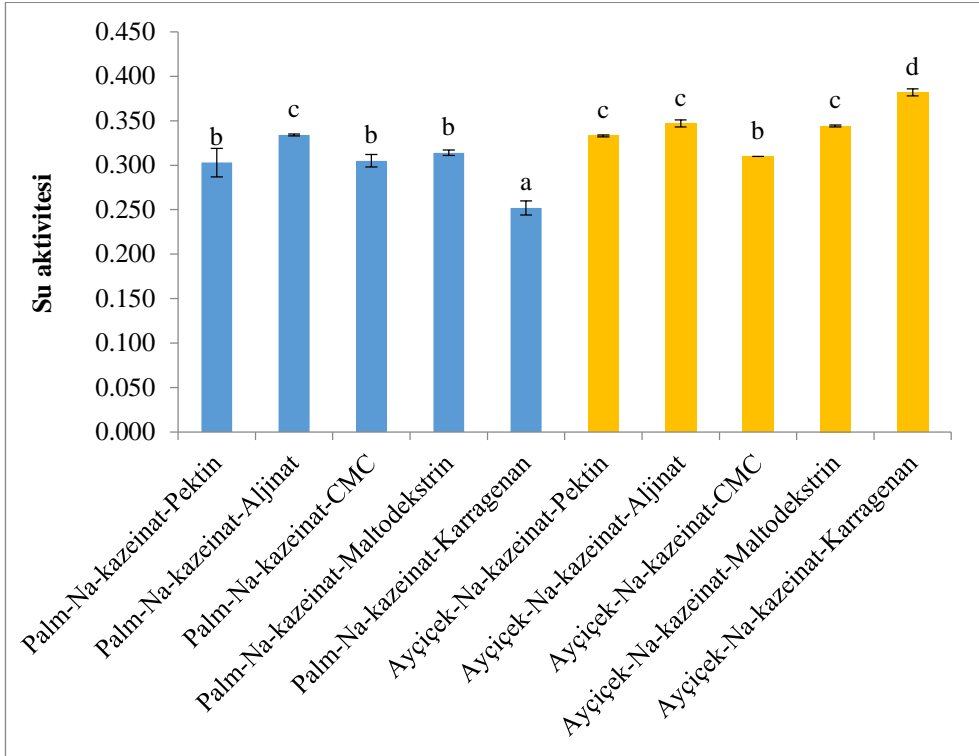
yağı ile kaplanmış mayalarda en düşük kuru madde içeriği pektin, en yüksek kuru madde içeriği ise karragenan kullanıldığında elde edilmiştir.

Kaplanmış mayanın kuru madde içeriği protein bazında karşılaştırıldığında jelatin, Na-kazeinat ve yumurta akı ile kaplanmış mayaların kuru madde içeriklerinin sırasıyla %91.977-94.920, %92.550-95.052 ve %93.158-95.349 arasında değiştiği görülmüştür. Üç farklı protein ile kaplanmış mayanın kuru madde içeriklerinin, yüksekten düşüğe doğru sıralanışı yumurta akı, Na-kazeinat ve jelatin şeklindedir. Tek katmanlı protein filmlerinin nem içeriklerinde olduğu gibi jelatinin nem içeriğinin (düşük kuru madde içeriği) yüksek olmasının nedeni Na-kazeinat ve yumurta akına kıyasla güçlü bir jel yapısı oluşturması ve kurutma sırasında bu yapının suyun uzaklaştırılmasını güçlendirmesinden kaynaklanmaktadır. Yumurta akı ile kaplanan mayaların en yüksek kuru madde içeriğine sahip olmasının nedeni, yumurta akında protein denatürasyonunun gerçekteştirilmemesi dolayısıyla proteinin su tutma kapasitesinin azalması ve kaplama aşamasında uygulanan kurutma işleminde mayadan suyun rahatlıkla uzaklaşabilmesinden ileri gelmektedir. Kaplanmış mayanın kuru madde içeriği üzerine yağ bazlı kaplama materyallerinin etkisi değerlendirildiğinde 3 katmanlı filmlerin su buharı geçirgenliklerinde olduğu gibi palm yağının ön plana çıktığı açıkça görülmektedir. Karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin etkisi incelendiğinde karragenan ve pektinin kuru madde içeriklerinin daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Fakat filmlerin analiz sonuçları dikkate alındığında karragenanın tercih edilmesi doğru bulunmadığından pektin ön plana çıkmaktadır. Ayçiçek yağı ile kaplanmış mayalarda her üç protein çeşidi için de pektin ve karragenanın kuru madde içeriklerinin daha düşük olduğu gözlenmiş olup bu durum protein ve karbonhidrat tipinin ayçiçek yağı ile etkileşiminden kaynaklanmaktadır.



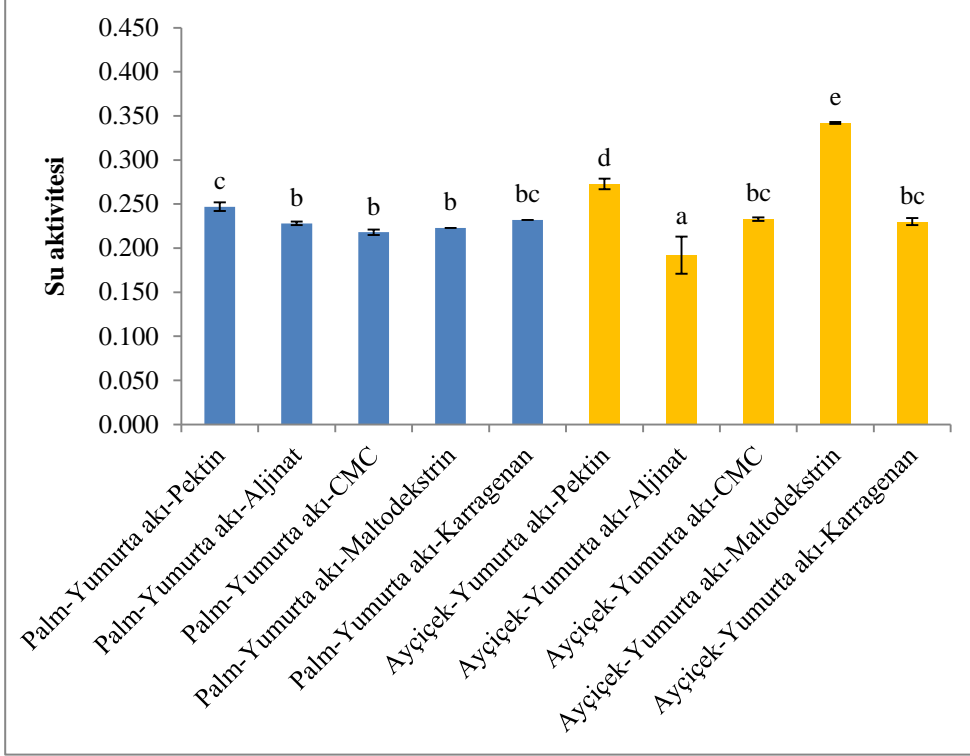
Şekil 4.5 Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların su aktivitesi değerleri

Jelatin, karbonhidrat ve yağ bazlı materyaller kullanılarak kaplanan mayanın su aktivitesi 0.292-0.393 arasında değişim göstermiştir (Şekil 4.5). Palm yağı ile kaplanmış mayaların su aktivitelerinin, ayçiçek yağı ile kaplanmış mayaların su aktivitesine oranla daha düşük olduğu gözlenmiştir. Kaplanmış mayanın su aktivitesi üzerine karbonhidratların etkisi incelendiğinde karragenanın tekrar film analizlerinde yorumlandığı gibi ayrı bir grup oluşturduğu ve daha yüksek su aktivitesine sahip olduğu görülmüştür. Palm yağı kullanıldığında, en düşük su aktivitesi, palm-jelatin-maltodekstrin kombinasyonu ile kaplanmış mayalarda elde edilirken, pektin, aljinat ve CMC ile kaplanmış mayaların su aktiviteleri benzerlik göstermiştir. Palm yağı ile kaplanmış mayaların su aktiviteleri arasında istatistiksel olarak fark olsa da karragenan dışında diğer karbonhidratların su aktiviteleri birbirine yakındır.



Şekil 4.6 Na-kazeinat ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların su aktivitesi değerleri

Na-kazeinat, yağ ve karbonhidrat ile kaplanmış mayaların su aktiviteleri 0.252-0.382 arasında değişmiştir. Kaplanmış mayalar üzerine yağın etkisi incelendiğinde, Şekil 4.6'da görüldüğü üzere ayçiçek yağı ile kaplanmış mayalarda su aktivitesinin palm yağı ile kaplanmış mayalara kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Palm yağı ile kaplanmış mayalarda en düşük su aktivitesi karragenan kullanıldığında elde edilmişken, en yüksek su aktivitesi aljinat ile kaplanmış mayalarda gözlenmiş olup pektin, CMC ve maltodekstrin ile kaplanmış mayaların su aktiviteleri benzerlik göstermiştir. Ayçiçek yağı ile kaplanmış mayalarda karagenanın en yüksek CMC'nin ise en düşük su aktivitesine sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4.7 Yumurta akı ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların su aktivitesi değerleri

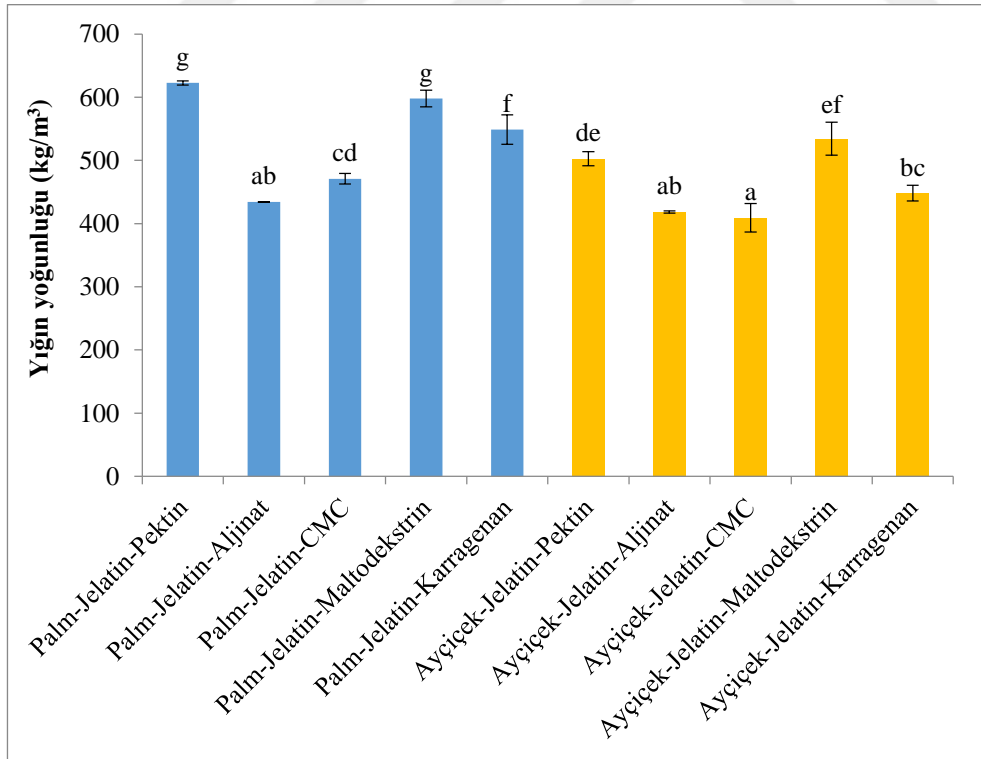
Yumurta akı, yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyalleri ile kaplanan mayalarda su aktivitesi 0.192-0.342 arasında değişmiştir (Şekil 4.7). Yağ bazlı kaplama materyallerinin etkisi incelendiğinde ayçiçek yağı ile kaplanmış mayaların su aktivitesinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayçiçek yağı-yumurta akı-maltodekstrin kombinasyonu ile kaplanmış mayanın en yüksek, olduğu ayçiçek yağı-yumurta akı-aljinat kombinasyonu içeren kaplanmış mayanın ise en düşük su aktivitesine sahip olduğu bulunmuştur. Palm yağı ile kaplanmış mayaların su aktivitelerinin birbirine yakın olduğu bulgulanmıştır.

Farklı kombinasyonlar kullanılarak kaplanmış mayanın su aktiviteleri, protein bazında karşılaştırıldığında jelatin, Na-kazeinat ve yumurta akı ile kaplanmış mayaların su aktivitelerinin sırasıyla 0.292-0.393, 0.252-0.382 ve 0.192-0.342 arasında değiştiği görülmüştür. Kaplanmış mayanın su aktivitesindeki değişim kuru madde içeriği ile tutarlı olup, nem içeriğindeki artışla birlikte su aktivitesi de

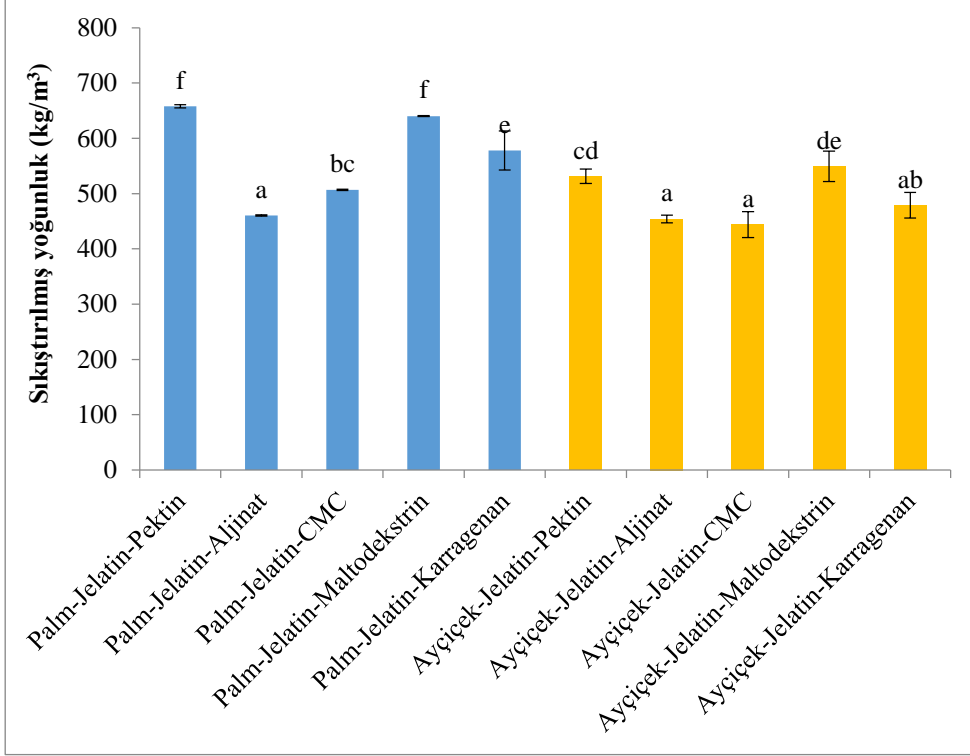
yükselmiştir. Su aktivitesinin, yüksekten düşüğe doğru sıralanışı jelatin, Na-kazeinat ve yumurta akı şeklindedir. Yumurta akı ile kaplanmış mayalarda su aktivitesinin kaplanmamış mayanın su aktivitesine (0.252 ± 0.003) daha yakın olduğu gözlenmiştir. Kuru madde içeriği ile benzer şekilde su aktivitesinde de palm yağı ile kaplanmış mayaların su aktivitelerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

4.2.1.1.2 Yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk

Toz gıdaların yığın özellikleri, ürünün partikül çapı ve partikül boyut dağılımına bağlıdır. Yığın ve sıkıştırılmış yoğunluğunun düşük olması, aglomerasyonun bir göstergesidir. Kaplama materyali kombinasyonunun, kaplanmış mayanın yığın ve sıkıştırılmış yoğunlukları üzerine etkisi Şekil 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 ve 4.13’de verilmiştir.



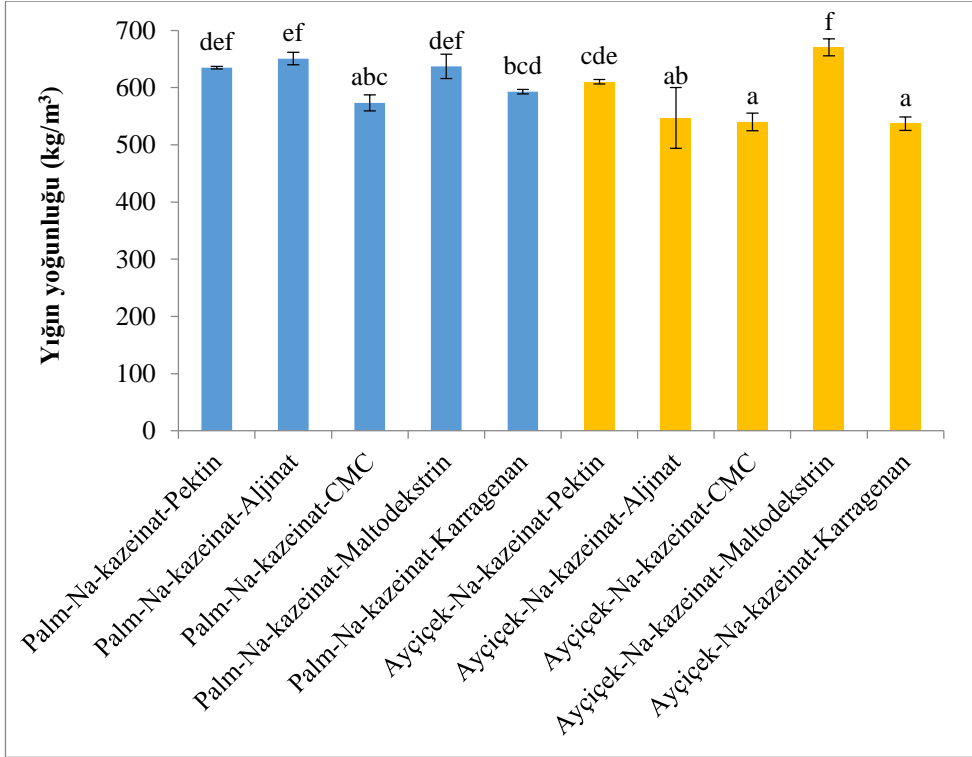
Şekil 4.8 Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların yığın yoğunluk değerleri



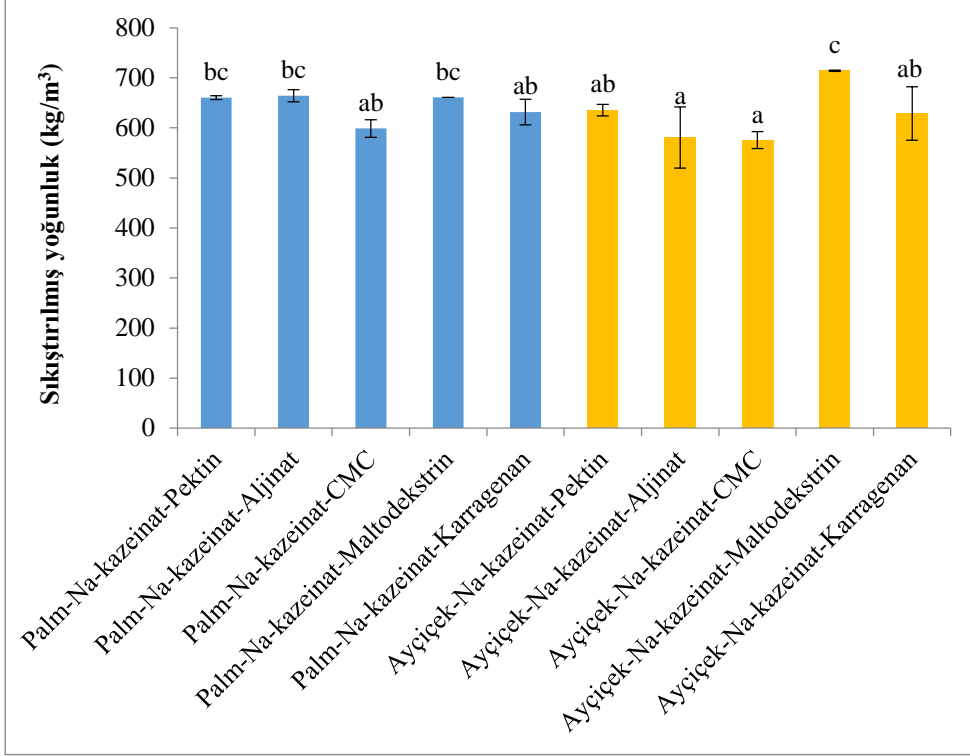
Şekil 4.9 Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların sıkıştırılmış yoğunluk değerleri

Yağ-jelatin-karbonhidrat kombinasyonu ile kaplanmış mayaların yığın yoğunluğu, 409.20-622.62 kg/m³ (Şekil 4.8) ve sıkıştırılmış yoğunluğu 444.01-657.70 kg/m³ (Şekil 4.9) aralığında değişen değerler almıştır. Palm yağı ile kaplanmış mayaların yığın ve sıkıştırılmış yoğunluklarının daha yüksek olduğu bulgulanmıştır. Palm-jelatin-pektin ve palm-jelatin-maltodekstrin kombinasyonları ile kaplanmış mayaların en yüksek yığın ve sıkıştırılmış yoğunluğa sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durum pektin ve maltodekstrinin viskozitelerinin daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil..’de görüldüğü üzere aljinat, CMC ve karragenan ile kaplanmış mayalarda en düşük yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk gözlenmiştir. Bu durum aljinat, CMC ve karragenanın ile hazırlanmış kaplama çözeltilerinin film aşamasında gözlendiği üzere viskozitelerinin yüksek olması ve jel yapı oluşturmalarından kaynaklanmaktadır. Kaplama işlemi sırasında püskürtülen damlacıklar çok yoğun olduğundan kuruma süreleri uzamakta ve

kaplanmış parçacık tam kurumadan diğer parçacık ile çarpıştığında birbirine yapışmakta ve aglomerasiyona yol açmaktadır. Palm-jelatin-pektin kombinasyonu ile kaplanmış mayanın en yüksek yığın ve sıkıştırılmış yoğunluğa sahip olduğu görülmüştür.

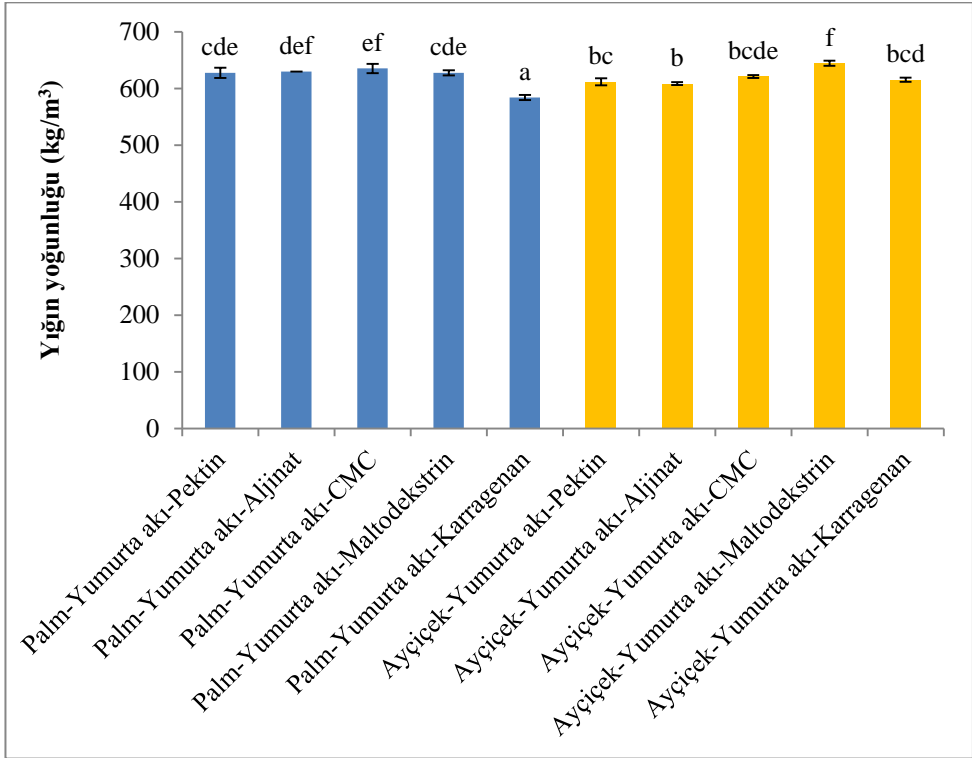


Şekil 4.10 Na-kazeinat ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların yığın yoğunluk değerleri

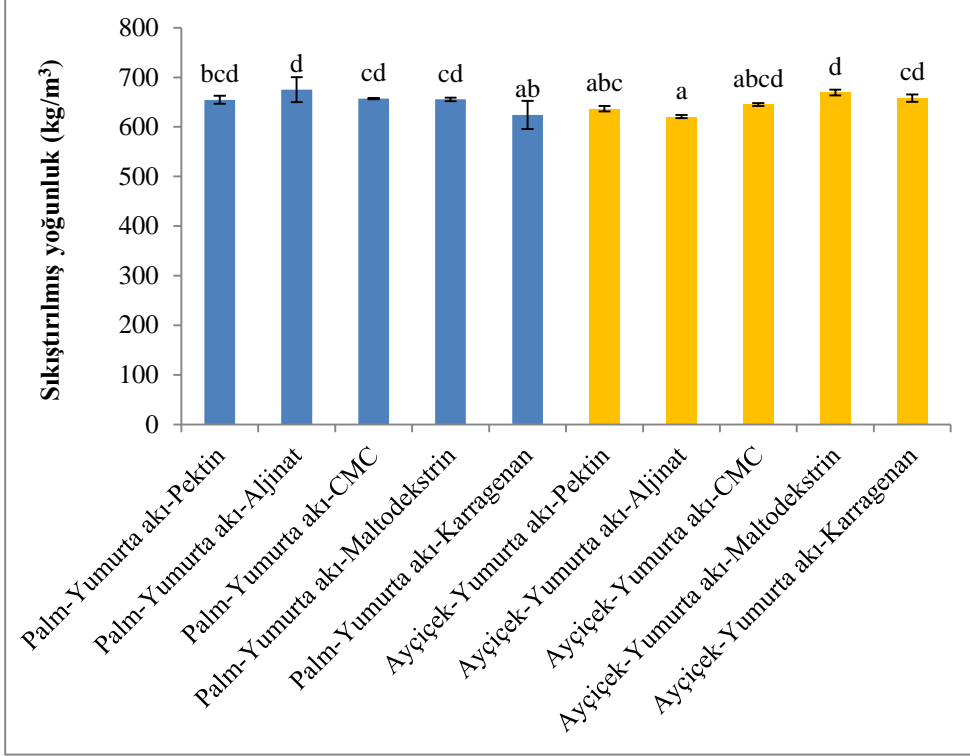


Şekil 4.11 Na-kazeinat ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların sıkıştırılmış yoğunluk değerleri

Yağ, Na-kazeinat ve karbonhidrat bazlı kaplama materyalleri kullanılarak kaplanmış mayaların, yığın yoğunlukları 540.02-670.36 kg/m³ ve sıkıştırılmış yoğunlukları 575.32-714.07 kg/m³ arasındadır. Şekil 4.10 ve 4.11'de görüldüğü üzere palm ve ayçiçek yağı ile kaplanmış mayaların yığın ve sıkıştırılmış yoğunlukları benzerlik göstermiştir. Jelatine olduğu gibi karbonhidrat bazlı kaplama materyalleri arasında aljinat, CMC ve karragenan ile kaplanmış mayalarda yığın ve sıkıştırılmış yoğunluğun düşük, pektin ve maltodekstrin ile kaplanmış mayalarda ise yüksek olduğu bulgulanmıştır.



Şekil 4.12 Yumurta akı ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların yığın yoğunluk değerleri



Şekil 4.13 Yumurta akı ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların sıkıştırılmış yoğunluk değerleri

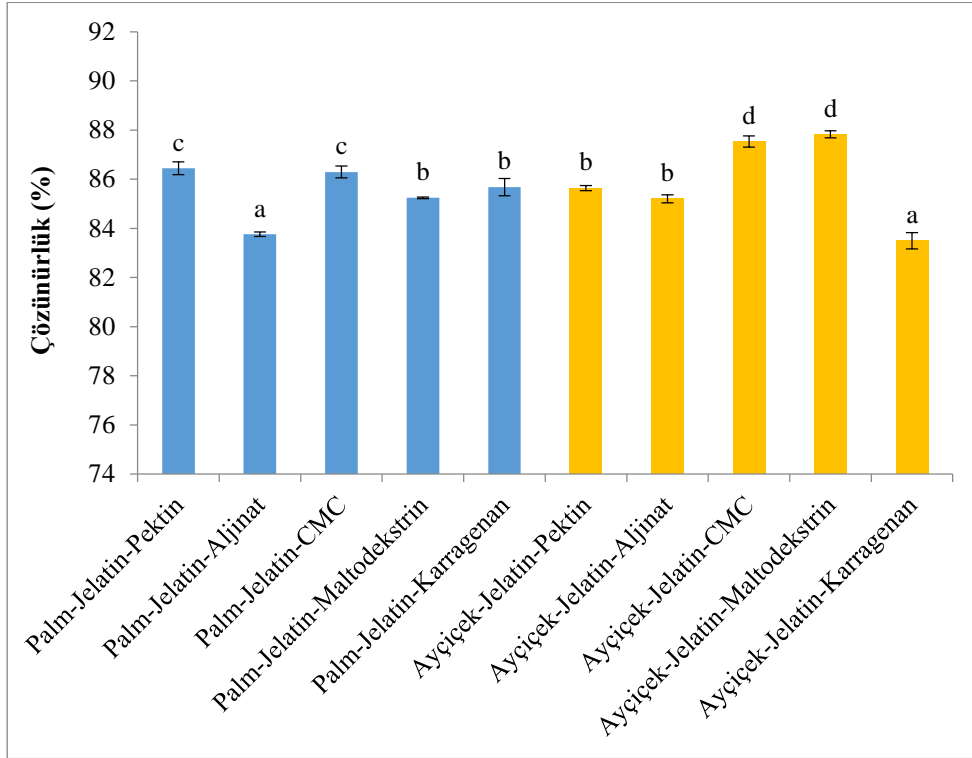
Yağ-yumurta akı-karbonhidrat kombinasyonu kullanılarak kaplanan mayaların yığın yoğunluğu 584.14-644.25 kg/m³ ve sıkıştırılmış yoğunluğu 621.03-675.05 kg/m³ arasında değişim göstermiştir. Farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyalleri, Şekil 4.12 ve 4.13'de görüldüğü üzere kaplanmış mayanın yığın ve sıkıştırılmış yoğunluklarını etkilememiştir.

Farklı yağ, protein ve karbonhidrat kombinasyonu kullanılarak kaplanmış mayanın yığın ve sıkıştırılmış yoğunlukları, protein bazında, yüksekte düşüğe doğru sıralanışı yumurta akı, Na-kazeinat ve jelatin şeklindedir. Jelatin ve Na-kazeinat denatürasyon sonucu yapışkanimsi bir jel yapı oluştururken yumurta akı denatüre edilmediğinden jel yapı oluşmamaktadır. Jel yapının oluşması daha fazla mayanın birbirine yapışmasına ve aradaki boşluğun artmasına neden olduğundan yığın ve sıkıştırılmış yoğunlukları daha düşüktür. Yumurta akı ile kaplanmış mayaların, yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinin kaplanmamış mayanın, yığın

(626.3±0.492) ve sıkıştırılmış (645.5±4.399) yoğunluk değerlerine yakın olduğu gözlenmiştir. Yağ bazlı kaplama materyallerinin kaplanmış mayanın yığın ve sıkıştırılmış yoğunlukları üzerine etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Yumurta akı ile kaplanmış mayalarda karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin mayanın yığın ve sıkıştırılmış yoğunluklarını etkilememişken jelatin ve Na-kazeinat ile kaplanmış mayalarda genellikle aljinat, CMC ve karragenanın yığın ve sıkıştırılmış yoğunluklarının daha düşük olduğu görülmüştür. Karbonhidrat bazlı kaplama materyalleri, yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk açısından değerlendirildiğinde pektin ve maltodekstrin ön plana çıkmaktadır.

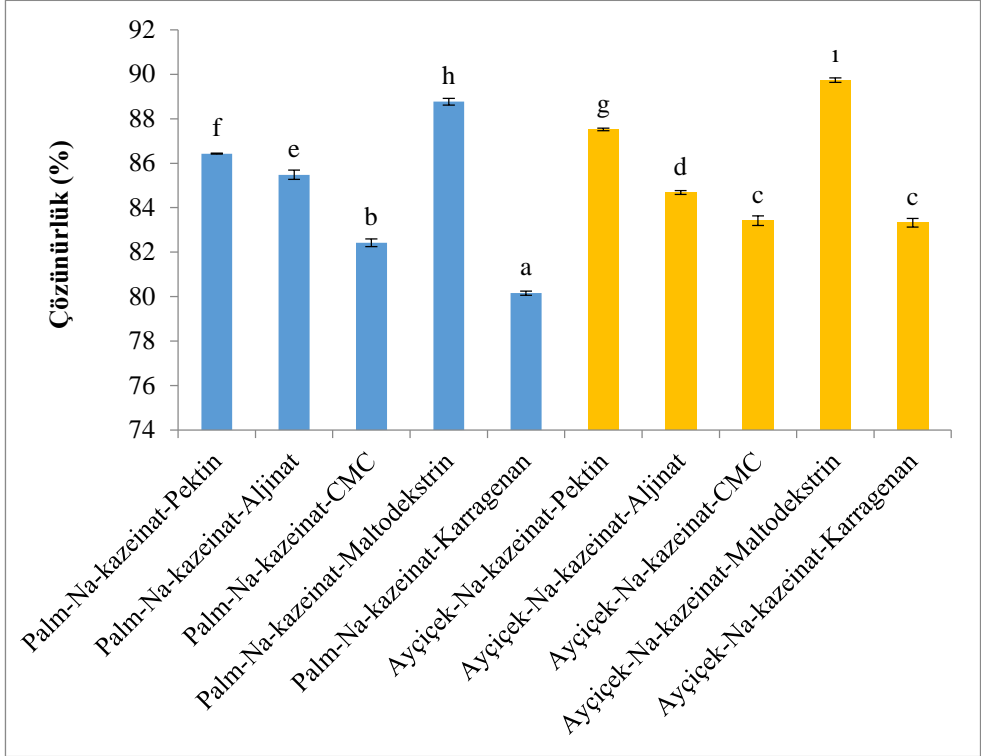
4.2.1.1.3 Çözünürlük

Kaplanmış mayanın kuru madde içeriği, su aktivitesi ve yığın-sıkıştırılmış yoğunluğunun yanı sıra suda çözünürlüğü de oldukça önemlidir. Kaplanmış mayanın bütünlüğünü koruması ve su ile temas ettiğinde ise kolaylıkla çözünmesi amaçlanmaktadır. Fakat çözünürlük artışının, suya karşı direncin zayıf olduğunun bir göstergesi olduğu da dikkate alınmalıdır. Kaplama materyali kombinasyonunun, kaplanmış mayanın suda çözünürlüğü üzerine etkisi Şekil 4.14, 4.15 ve 4.16'da verilmiştir.



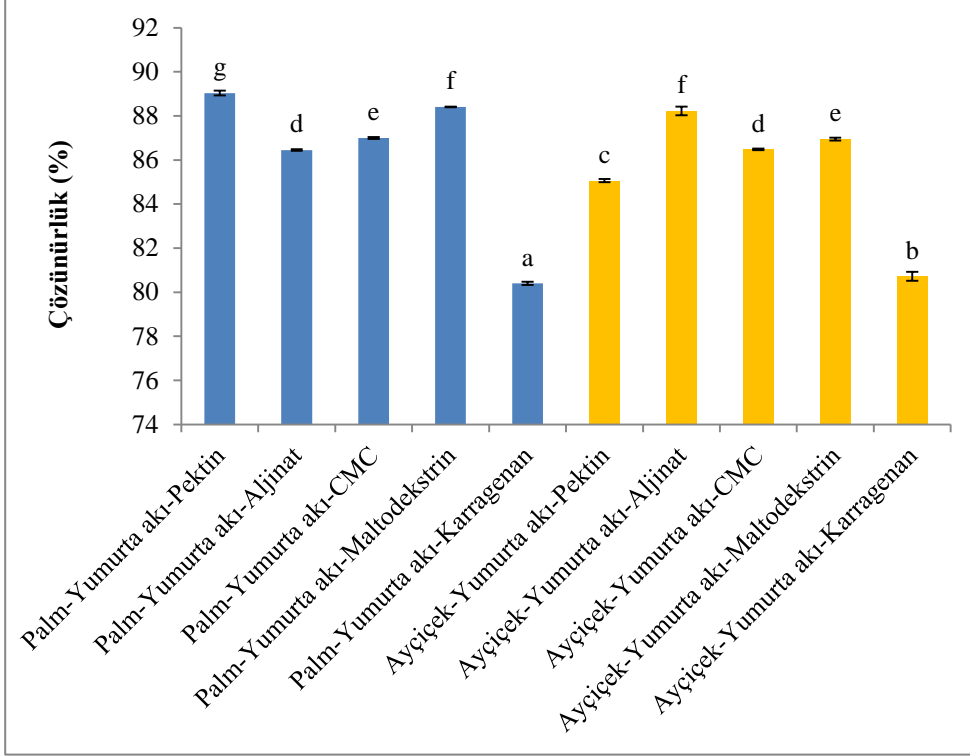
Şekil 4.14 Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların suda çözünürlük değerleri

Kaplanmış mayaların suda çözünürlükleri % 83.492-87.826 arasında değişim göstermiştir (Şekil 4.14). Palm yağı ile kaplanmış mayalarda aljinat en düşük, pektin ve CMC ise en yüksek çözünürlüğe sahiptir. Ayçiçek yağı kullanıldığında ise karragenanın en düşük, maltodekstrin ise en yüksek çözünürlük değeri gösterdiği bulgulanmıştır.



Şekil 4.15 Na-kazeinat ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların suda çözünürlük değerleri

Na-kazeinat, yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyalleri ile kaplanmış mayaların çözünürlük değerleri %80.158-89.740 arasında değişen değerler almıştır. Yağ bazlı kaplama materyallerinin kaplanmış mayanın çözünürlüğüne etkisi incelendiğinde, Şekil 4.15’de verildiği üzere ayçiçek yağı ile kaplanmış mayaların daha yüksek çözünürlüğe sahip olduğu görülmüştür. Karbonhidrat bazlı kaplama materyalleri açısından değerlendirildiğinde maltodekstrin ve pektin ile kaplanmış mayaların çözünürlüklerinin daha iyi olduğu gözlenmiştir. En düşük çözünürlük değeri, palm-Na-kazeinat-karragenan kombinasyonu ile kaplanmış mayada gözlenmiştir.



Şekil 4.16 Yumurta akı ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların suda çözünürlük değerleri

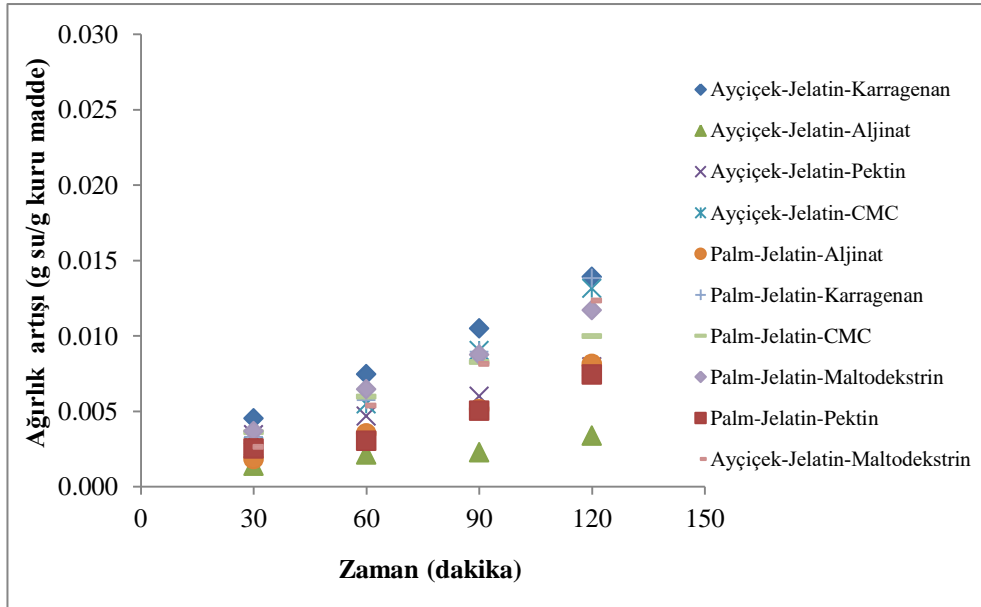
Yağ, yumurta akı ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin farklı kombinasyonları kullanılarak kaplanan mayanın suda çözünürlüğü %80.405-89.035 arasında değişim göstermiştir (Şekil 4.16). Yağ bazlı kaplama materyali tipinin kaplanmış mayanın çözünürlüğünü etkilemediği gözlenmiştir. Karragenan ile kaplanmış mayanın en düşük çözünürlüğe sahip olduğu bulunmuştur. Palm-yumurta akı-pektin kombinasyonu ile kaplanmış mayanın filmlerin çözünürlük analizlerinde olduğu gibi en yüksek çözünürlüğe sahip olduğu tespit edilmiştir.

Farklı kaplama materyali kombinasyonu ile kaplanmış mayaların çözünürlükleri protein bazında karşılaştırıldığında jelatin, Na-kazeinat ve yumurta akı ile kaplanmış mayalarda çözünürlük değerlerinin sırasıyla %83.492-87.826, %80.158-89.740 ve % 80.405-89.035 aralıkları arasında değiştiği görülmüştür. Na-kazeinat ve yumurta akı ile kaplanmış mayaların çözünürlükleri benzerlik gösterirken jelatin ile kaplanmış mayaların daha düşük çözünürlüğe sahip olduğu

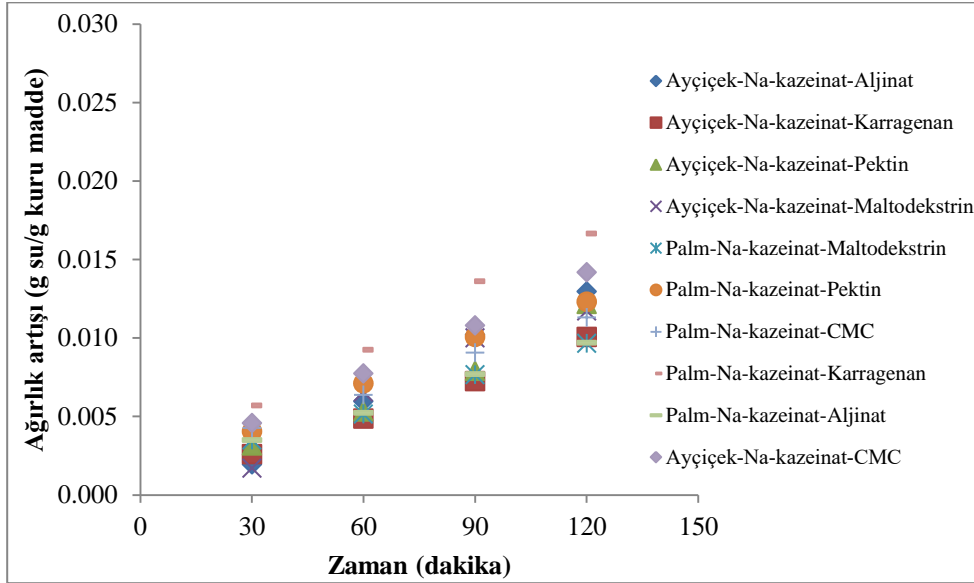
bulgulanmıştır. Bu durum film aşamasında gerçekleştirilen çözünürlük analizi sonucu ile tutarlı olup jelatinin çözünürlüğünün daha düşük olması güçlü bir jel yapı oluşturmasından ileri gelmektedir. Yağ bazlı materyallerin kaplanmış mayanın çözünürlüğünü etkilemediği sonucuna varılmıştır. Kaplanmış mayanın çözünürlüğü üzerine karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin etkisi incelendiğinde genellikle pektin ve maltodekstrinin çözünürlüklerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

4.2.1.1.4 Higroskopisite

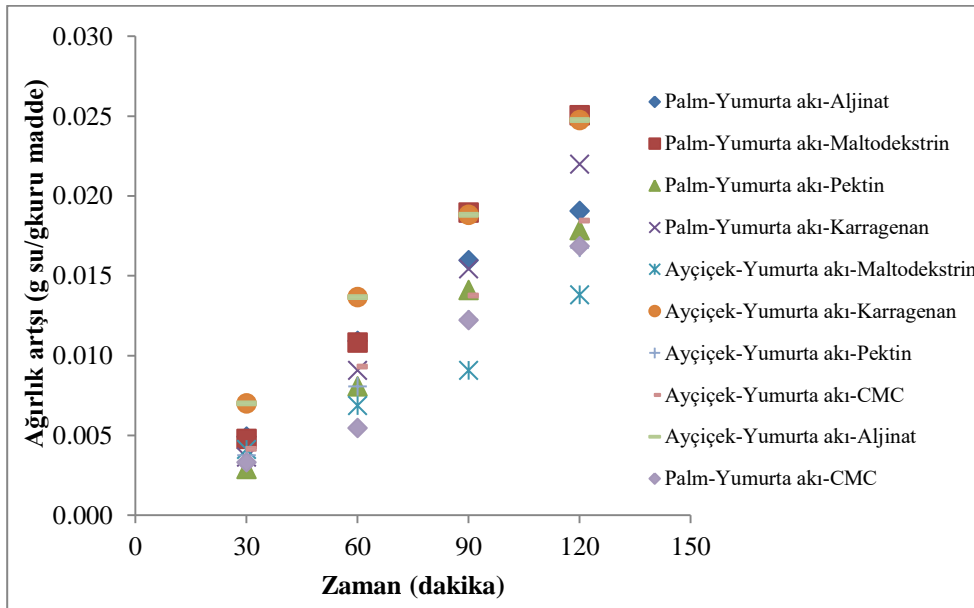
Higroskopi, bir maddenin içinde bulunduğu ortamdaki su moleküllerini, difüzyon veya çeperinde yoğunlaştırma yöntemi ile azaltabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Kaplanmış mayanın, raf ömrü ve depolama koşullarının belirlenmesinde higroskopi (nem sorpsiyon izotermi) oldukça önemli bir parametredir. Kaplama materyali kombinasyonunun kaplanmış mayanın higroskopisitesi üzerine etkisi Şekil 4.17, 4.18 ve 4.19’da verilmiştir.



Şekil 4.17 Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların higroskopisite değerleri



Şekil 4.18 Na-kazeinat ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların higroskopisite değerleri



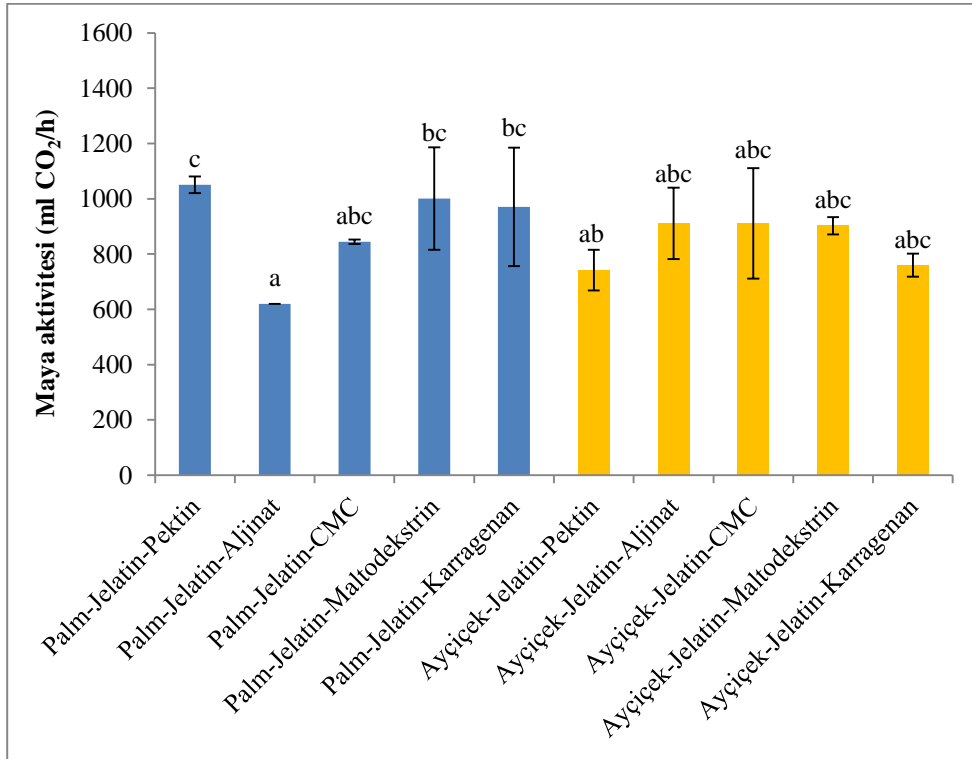
Şekil 4.19 Yumurta akı ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların higroskopisite değerleri

Yağ, protein ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin farklı kombinasyonları kullanılarak kaplanmış mayanın, higroskopik grafikleri karşılaştırıldığında, noktaların eğiminden de anlaşıldığı üzere, jelatin ile kaplanmış mayalarda, ortamdaki kaplanmış mayaya nem geçişinin en düşük ve yavaş olduğu açıkça görülmektedir (Şekil 4.17). Yumurta akı ile kaplanmış mayalarda ise nem transferinin en yüksek olduğu bulgulanmıştır (Şekil 4.19). Benzer durum filmleri su buharı geçirgenlik değerlerinde de gözlemlenmiş olup daha önce de belirtildiği üzere jelatin ve Na-kazeinat denatüre edildiğinden elde edilen film ve kaplamalar daha iyi ve etkili bariyer özellik gösterirken, yumurta akı denatüre edilmediğinden film ve kaplamanın yapısı dolayısıyla bariyer özelliği zayıftır. Yumurta akı ile kaplanmış mayalarda su aktivitesi düşük, kuru madde içeriği yüksek ve yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinin kaplanmamış mayaya oldukça yakın olmasına rağmen ortamdaki mayaya nem geçişinde etkili bir bariyer göstermemiştir. Bu durum kaplama işleminin etkili bir şekilde gerçekleşmediğinin ve mayanın çeperinde kaldığının bir göstergesidir. Şekiller incelendiğinde palm yağının, nem geçişinin engellenmesinde daha etkili olduğu tespit edilmiş olup bu durum 3 katmanlı filmlerin su buharı geçirgenlik analizi ile desteklenmiştir. Karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin jelatin ve yumurta akı ile kaplanmış mayalarda nem transferini etkilediği ve farklılık gösterdiği, Na-kazeinat ile kaplanmış mayalarda (Şekil 4.18) ise nem geçişine karşı benzer bir bariyer sergiledikleri gözlenmiştir. Nem transferi hızının en düşük olduğu jelatin ile kaplanmış mayalarda ayçiçek yağı-jelatin-aljinat kombinasyonunun nem geçişine karşı etkili bir bariyer gösterdiği tespit edilmiştir. Fakat aljinat ile kaplanmış mayalarda daha önce de belirtildiği gibi düşük yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinden de anlaşılacağı üzere aglomerasyon oluşmuştur. Aglomerasyon sonucu maya parçacıklarının kümelenmesi yüzey alanını küçülttüğünden nem transferi daha yavaş gerçekleşmektedir. Palm yağı-jelatin-pektin kombinasyonu ile kaplanmış mayada aglomerasyon oluşmadığından partiküller geniş yüzey alanına sahiptir. Bu durum kaplamanın etkin bir şekilde gerçekleşmesini sağlamak ve böylece nem transferi daha yavaş gerçekleşmektedir.

4.2.1.1.5 Maya aktivitesi ve ekmek hacmi

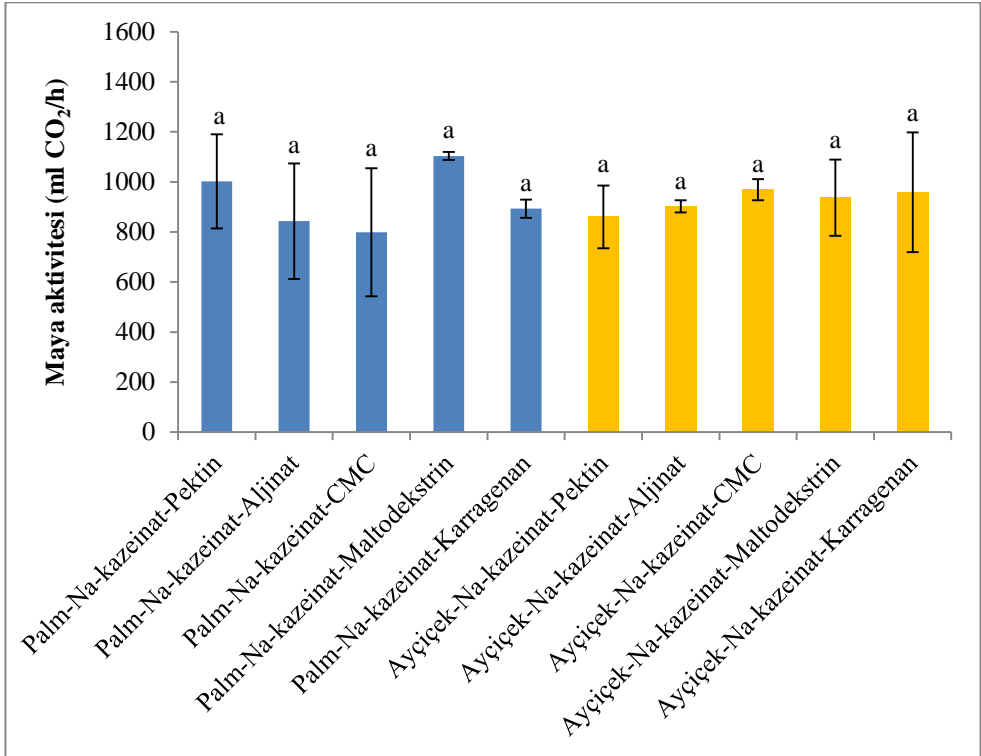
Maya aktivitesi, mayanın canlılığının korunması ve son ürüne istenilen lezzet ve hacmin sağlanmasında oldukça önemli bir parametredir. Kaplama materyali kombinasyonunun, maya aktivitesi ve kaplanan mayalar ile hazırlanan ekmeklerin

hacimleri üzerine etkisi sırasıyla Şekil 4.20, 4.21, 4.22 ve 4.23, 4.24, 4.25’de verilmiştir.



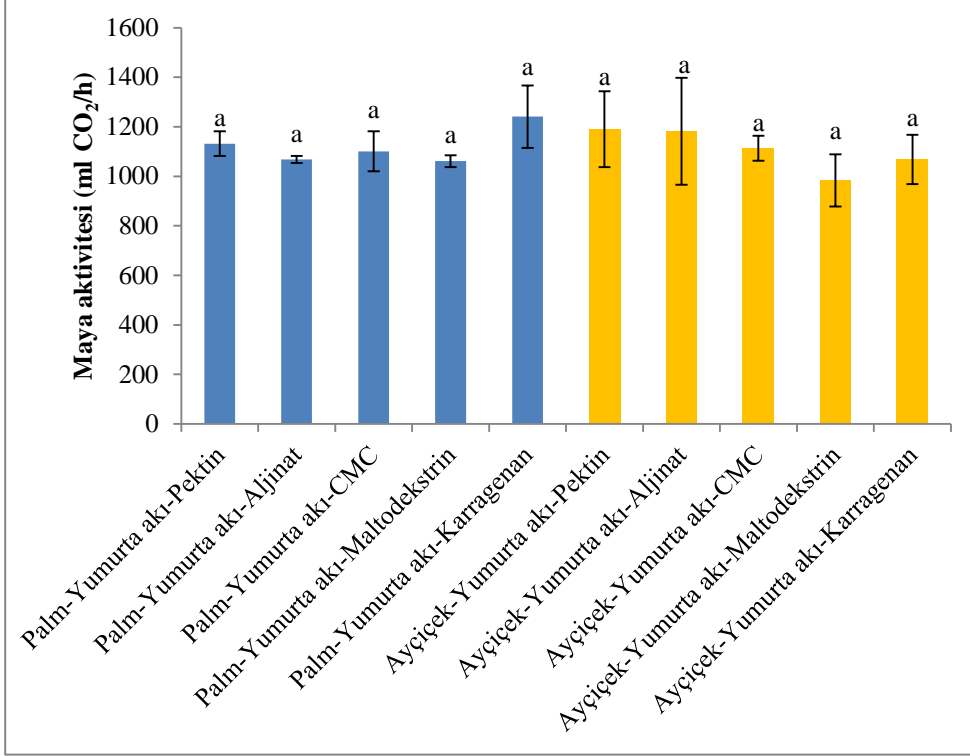
Şekil 4.20 Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların aktivite değerleri

Protein bazlı kaplama materyali olarak jelatinin sabit tutulduğu, yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin ise farklı kombinasyonlarının kullanıldığı kaplamala çalışmasında, maya aktivitesi 620-1050.5 ml CO₂/h arasında değişim göstermiştir (Şekil 4.20). Kaplanmış mayaların aktiviteleri, genel olarak benzerlik göstermiştir. Palm-jelatin-aljinat kombinasyonu ile kaplanmış mayanın aktivitesinin daha düşük, palm-jelatin-pektin, palm-jelatin-maltodekstrin ve palm-jelatin-karragenan kombinasyonları ile kaplanan mayaların aktivitelerinin ise benzer ve daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.21 Na-kazeinat ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların aktivite değerleri

Yağ, Na-kazeinat ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin farklı kombinasyonları ile gerçekleştirilen kaplamalarda, maya aktivitesi 799-1103.5 ml CO₂/h aralığında değişim göstermiştir. Şekil 4.21’de görüldüğü üzere kaplama materyali kombinasyonunun maya aktivitesini etkilemediği bulgulanmıştır. Palm yağının pektin ve maltodekstrin ile kombinasyonu daha yüksek maya aktivitesine sahiptir.

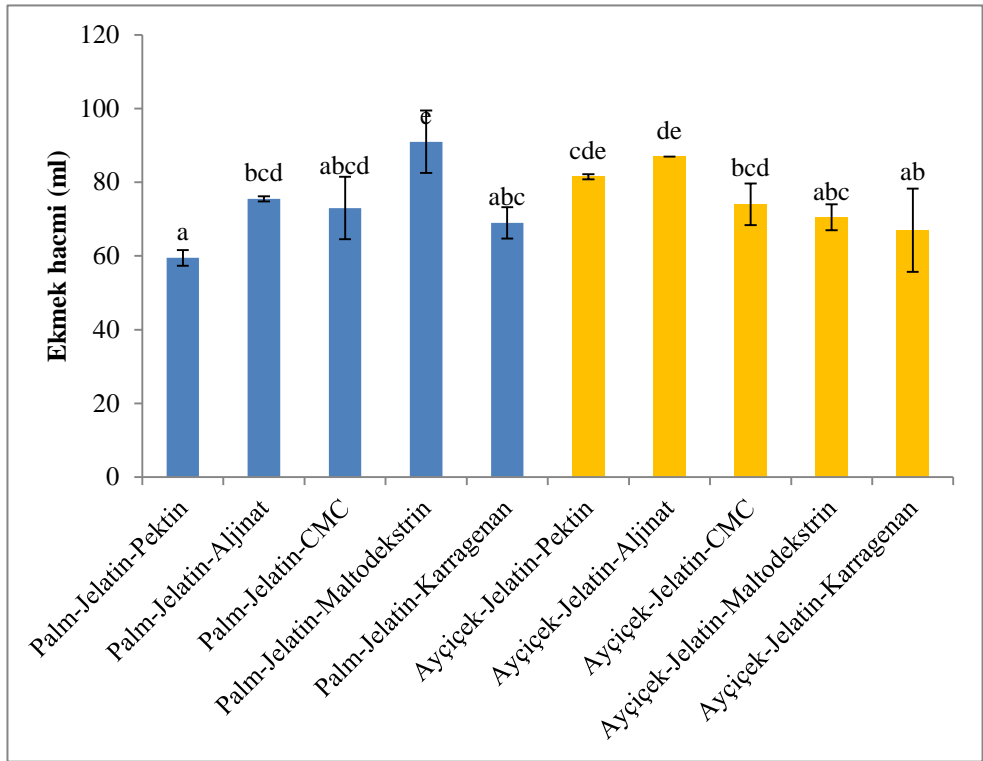


Şekil 4.22 Yumurta akı ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların aktivite değerleri

Yağ, yumurta akı-karbonhidrat kombinasyonu ile kaplanmış mayaların aktivitesi 983.5-1241 ml CO₂/h arasında değişmiştir (Şekil 4.22). Na-kazeinat ile kaplanmış mayalarda olduğu gibi maya aktivitesinin kaplama materyali kombinasyonundan etkilenmediği gözlenmiş olsa da pektin, aljinat ve karragenanın kullanıldığı kaplanmış mayalarda aktivite daha yüksektir.

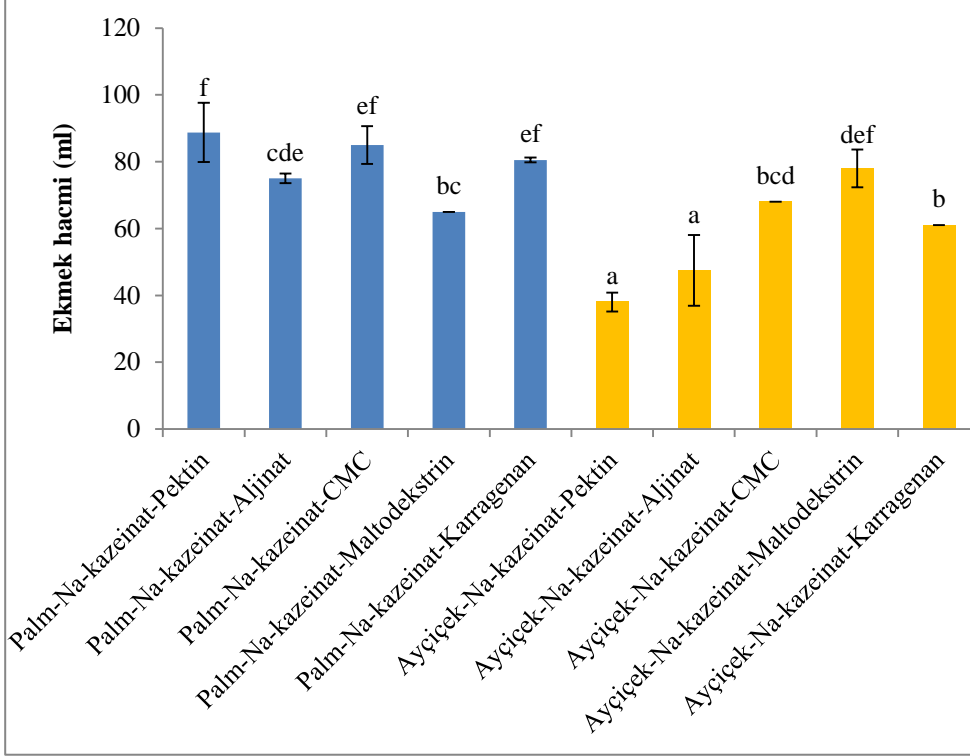
Farklı kaplama materyali kombinasyonu kullanılarak kaplanan mayaların aktiviteleri protein bazında karşılaştırıldığında maya aktivitesinin, jelatine 620-1050.5, Na-kazeinata 799-1103.5 ve yumurta akında 983.5-1241 ml CO₂/h değerleri arasında değiştiği görülmüştür. Yumurta akı ile gerçekleştirilen kaplamalarda maya aktivitesinin daha yüksek ve kaplanmamış mayanın aktivite değerine (1165 ml CO₂/h) yakın olduğu gözlenmiştir. Yumurta akı ile gerçekleştirilen kaplamalarda analiz sonuçlarına göre yumurta akı mayayı çok iyi

kaplıymuş gibi görünse de bu durum aslında higroskopik analizinde de görüldüğü üzere mayanın tam olarak kaplanamamasından kaynaklanmaktadır.



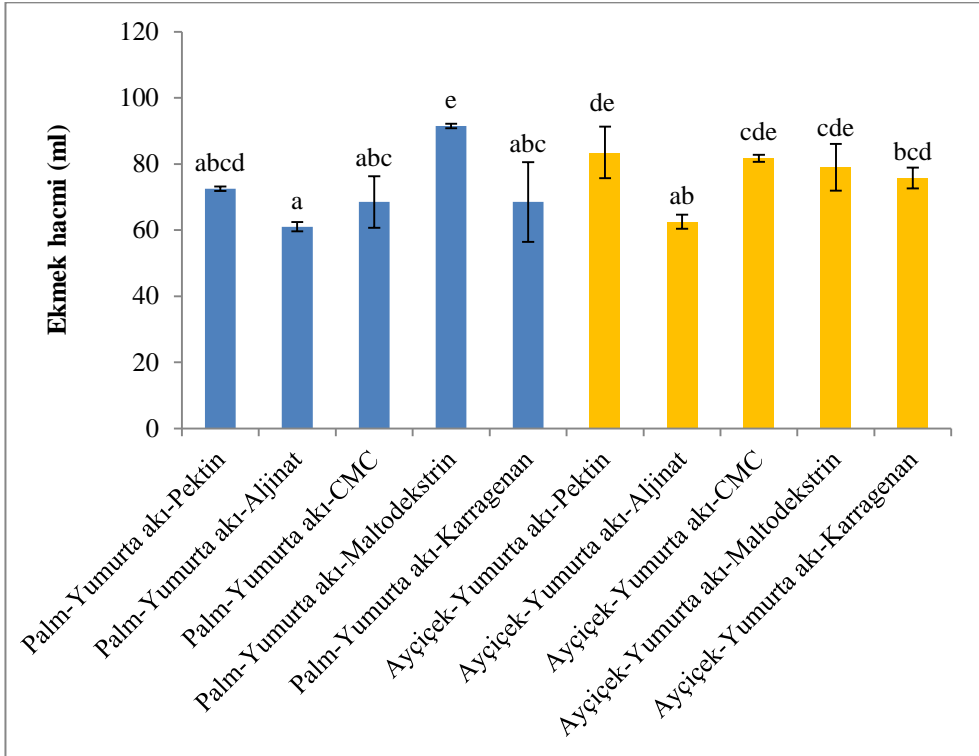
Şekil 4.23 Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların ekmek hacmi değerleri

Jelatinin, farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyalleri ile kombine edildiği kaplamalarda ekmek hacimleri 59.5-91 ml arasında değişim göstermiştir (Şekil 4.23). Kaplanan mayalar ile hazırlanan ekmeklerin hacimleri genel olarak birbirleri ile benzerlik göstermiştir. Palm-jelatin-pektin kombinasyonu ile kaplanan mayanın daha düşük, palm-jelatin-maltodekstrin kombinasyonunun ise daha yüksek ekmek hacmine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.24 Na-kazeinat ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların ekmek hacmi değerleri

Protein bazlı kaplama materyali olarak Na-kazeinatın kullanıldığı kaplanmış mayalarda ekmek hacimleri 47.5-88.75 ml arasında değişmiştir. Şekil 4.24'de verildiği üzere ayçiçek yağının kullanıldığı kaplamalarda ekmek hacimlerinin daha düşük olduğu gözlenmiştir. Palm yağının pektin, CMC ve karragenan ile kombine edildiği kaplamalarda ekmek hacimleri birbirine benzer ve daha yüksektir.



Şekil 4.25 Yumurta akı ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların ekmek hacmi değerleri

Yağ-yumurta akı-karbonhidrat kombinasyonları ile kaplanmış mayalarda ekmek hacimleri 61-91.5 ml arasındadır (Şekil 4.25). Farklı kaplama materyali kombinasyonu ile kaplanmış mayalarda ekmek hacimleri genel olarak benzerlik göstermiştir. Palm-yumurta akı-aljinat kombinasyonu ile kaplanmış mayanın düşük, palm-yumurta akı-maltodekstrin ve ayçiçek yumurta akı-pektin kombinasyonu ile kaplanmış mayaların ise daha yüksek ekmek hacimlerine sahip olduğu görülmüştür.

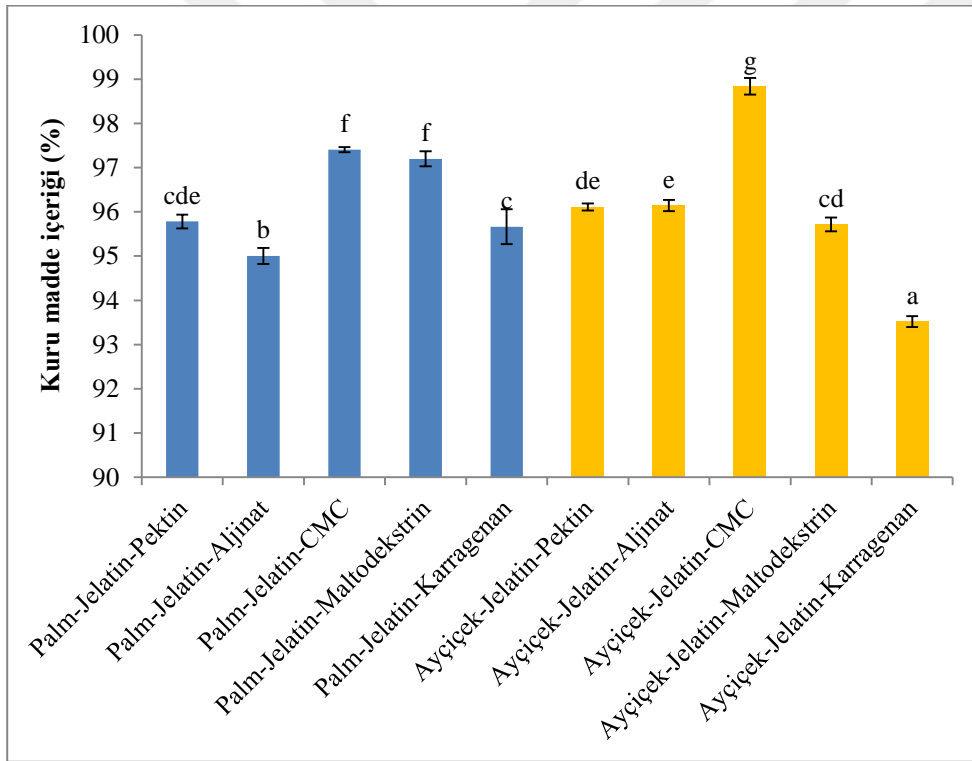
4.2.2 Üstten kaplama yöntemiyle kaplanmış maya

Üstten kaplama yöntemiyle kaplanmış mayada gerçekleştirilen analizlerin sonuçları Wurster kaplamada olduğu gibi kullanılan protein tipi sabit tutularak aşağıda verilmiş ve böylece proteinin etkisi bir bütün halinde, yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin etkisi ise ayrı ayrı incelenmiştir.

4.2.2.1 Üstten kaplama yöntemiyle kaplanmış mayanın özellikleri

4.2.2.1.1 Kuru madde içeriği ve su aktivitesi

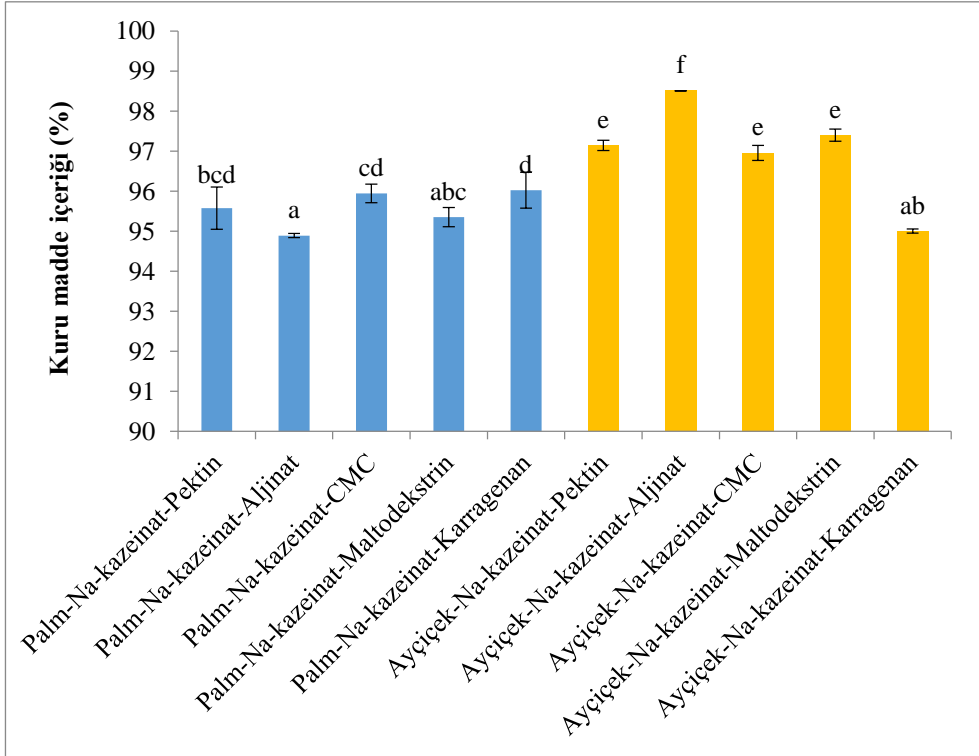
Farklı kaplama materyali kombinasyonunun, kaplanmış mayanın kuru madde içeriği ve su aktivitesi üzerine etkisi sırasıyla Şekil 4.26, 4.27, 4.28 ve Şekil 4.29, 4.30, 4.31’de verilmiştir.



Şekil 4.26 Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların kuru madde içeriği değerleri

Yağ-jelatin-karbonhidrat kombinasyonu ile kaplanmış mayaların kuru madde içerikleri % 93.518-98.919 arasında değişim göstermiştir (Şekil 4.26). Yağ bazlı kaplama materyali tipinin, kaplanmış mayanın kuru madde içeriğinde etkili bir değişim yaratmadığı görülmüştür. Karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kuru madde içeriği üzerine etkisi incelendiğinde ayçiçek-jelatin-karragenan

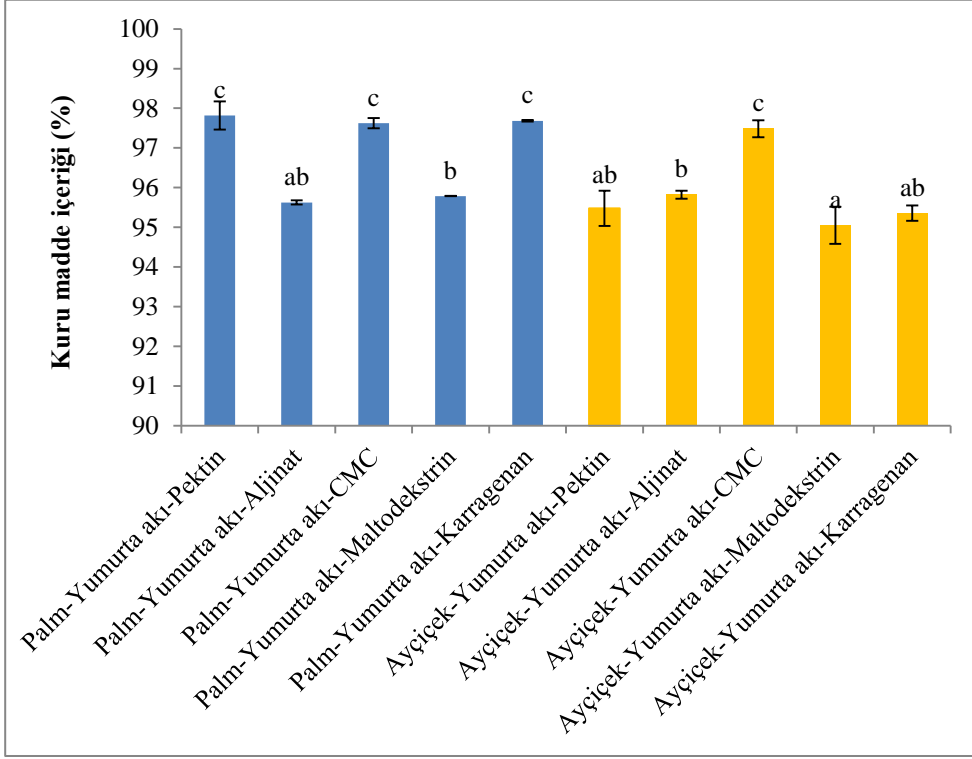
kombinasyonu ile kaplanmış mayanın en düşük, ayçiçek-jelatin-CMC kombinasyonu ile kaplanmış mayanın ise en yüksek kuru madde içeriğine sahip olduğu bulunmuştur. Palm yağı ile kaplanmış mayalarda palm-jelatin-CMC ve palm-jelatin-maltodekstrinin kombinasyonları ile kaplanmış mayaların kuru madde içerikleri daha yüksektir.



Şekil 4.27 Na-kazeinat ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların kuru madde içeriği değerleri

Yağ-Na-kazeinat-karbonhidrat kombinasyonları ile kaplanmış mayanın kuru madde içerikleri % 94.889-98.510 arasında değişim göstermiştir. Şekil 4.27'de görüldüğü üzere ayçiçek yağı ile kaplanmış mayaların kuru madde içeriğinin, palm yağı ile kaplanmış mayalara kıyasla daha yüksek olduğu bulgulanmıştır. Palm yağı ile kaplanmış mayalarda pektin, CMC, maltodekstrin ve karragenanın kuru madde içerikleri bir grup oluştururken, aljinat ise ayrı grupta yer almış ve kuru madde içeriği daha düşüktür. Ayçiçek yağı ile kaplanmış mayalarda ise pektin, CMC ve maltodekstrinin kuru madde içeriklerinin benzer, karragenan ile

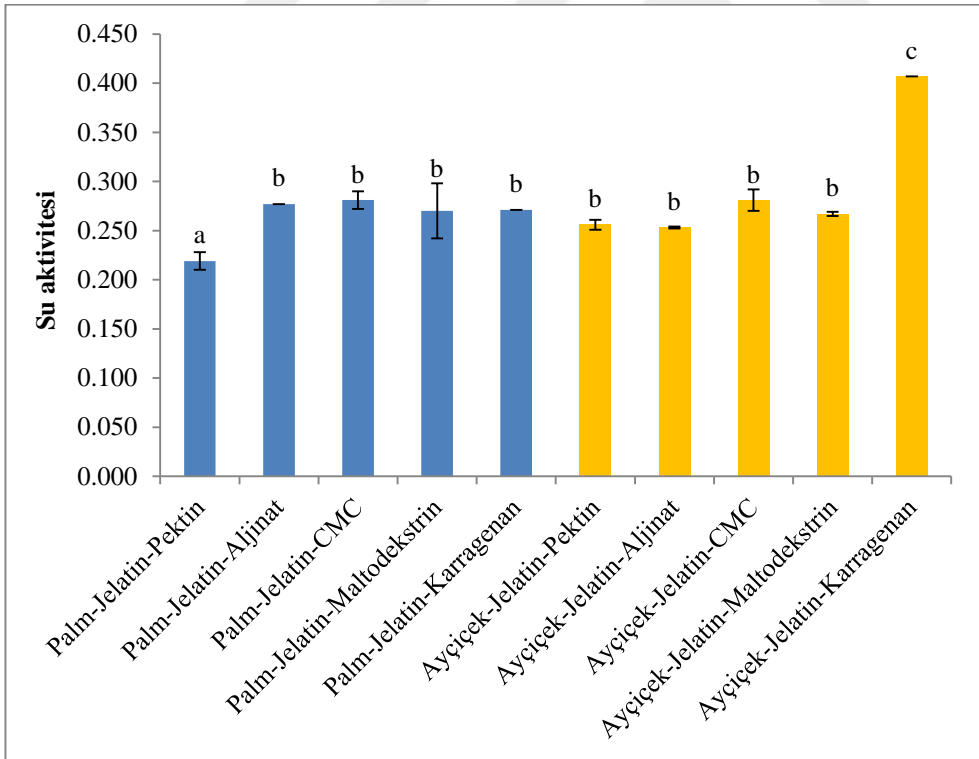
kaplanmışmayanın en düşük ve aljinat ile kaplanmış mayanın en yüksek kuru madde içeriğine sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4.28 Yumurta akı ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların kuru madde içeriği değerleri

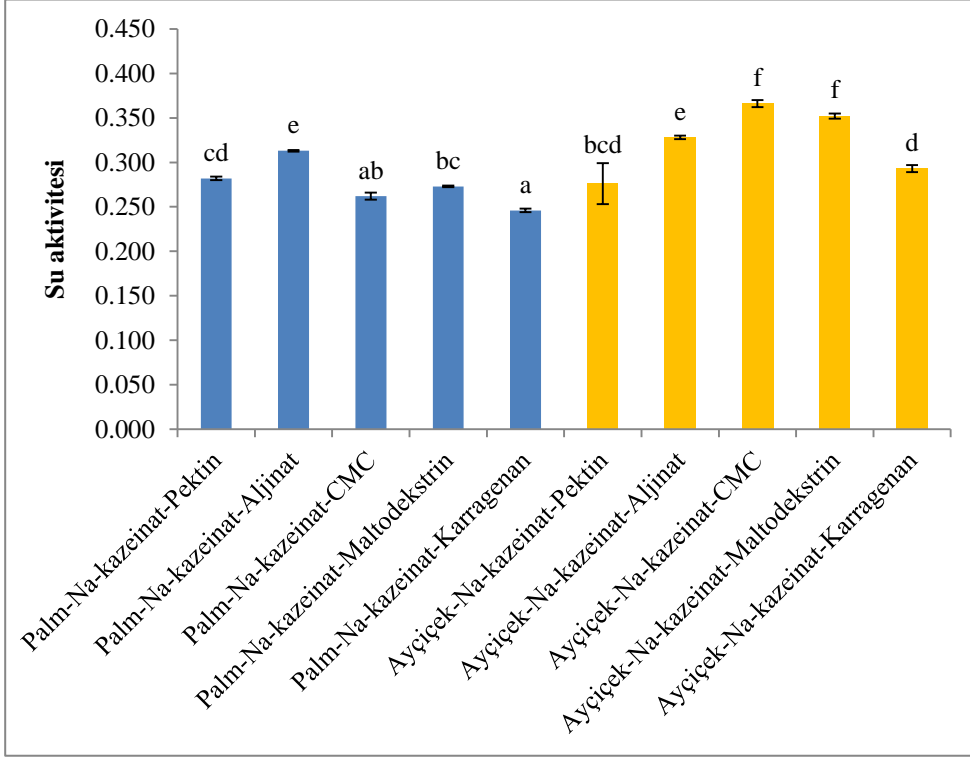
Yağ-yumurta akı-karbonhidrat kombinasyonu ile kaplanmış mayaların kuru madde içeriği % 95.048-97.818 arasında değişen değerler almıştır (Şekil 4.28). Yağ bazlı kaplama materyallerinin etkisi incelendiğinde palm yağı ile kaplanmış mayaların daha yüksek kuru madde içeriğine sahip olduğu bulunmuştur. Palm yağı ile kaplanmış mayalarda pektin, CMC ve karragenan ile kaplanmış mayaların su aktiviteleri benzerlik gösterip aynı grupta yer alan aljinat ve maltodekstrin kullanılarak kaplanmış mayaların kuru madde içeriğinden daha yüksektir. Ayçiçek yağı ile kaplanmış mayalarda ise CMC'nin en yüksek kuru madde içeriğine sahip olduğu gözlenmiştir.

Kaplanmış mayanın kuru madde içeriği protein bazında karşılaştırıldığında jelatin, Na-kazeinat ve yumurta akı ile kaplanmış mayaların kuru madde içeriklerinin sırasıyla %93.518-98.919, %94.889-98.510 ve %95.048-97.818 arasında değiştiği görülmüştür. Üç farklı protein ile kaplanmış mayanın kuru madde içeriklerinin, yüksekten düşüğe doğru sıralanışı yumurta akı, Na-kazeinat ve jelatin şeklindedir. Benzer durum Wurster yöntemiyle kaplanmış mayalarda ve filmlerde de gözlenmiştir. Yumurta akı denatüre edilmediğinden su tutma kapasitesi azalmakta ve kurutma sırasında su rahatlıkla uzaklaşabilmektedir. Yağ bazlı kaplama materyali tipi, genellikle, kaplanmış mayanın kuru madde içeriğinde belirgin bir değişim meydana getirmemiştir. Karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin etkisi incelendiğinde CMC ile kaplanmış mayalarda kuru madde içeriğinin genellikle daha yüksek olduğu gözlenmiştir.



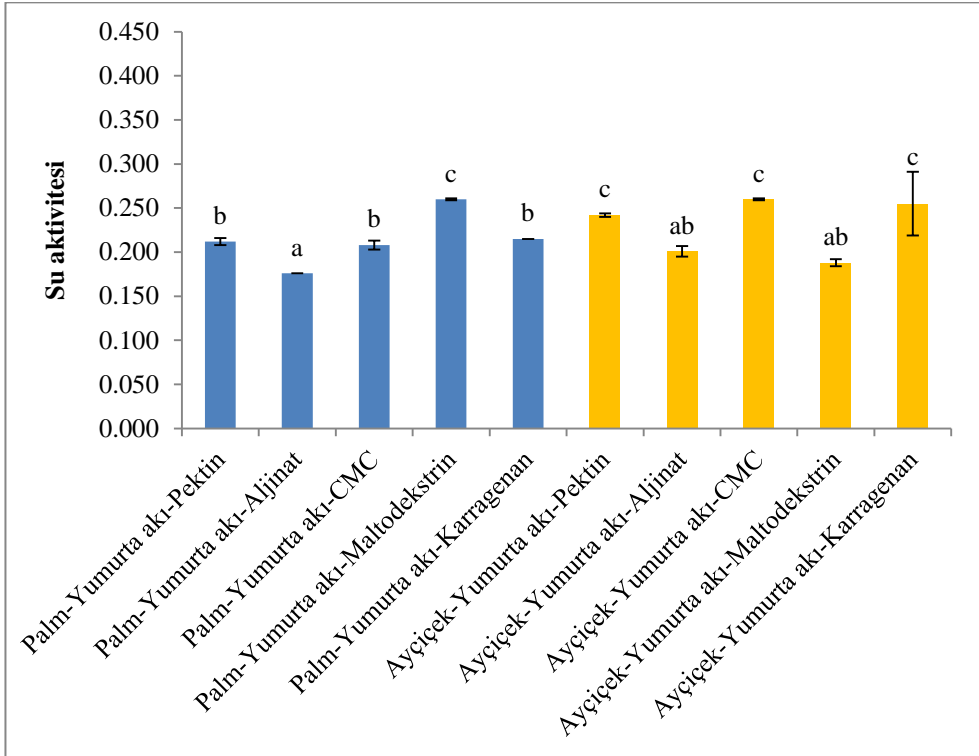
Şekil 4.29 Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların su aktivitesi değerleri

Jelatin ile yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin farklı kombinasyonu kullanılarak kaplanmış mayanın su aktivitesi değerleri 0.219-0.312 arasındadır (Şekil 4.29). Palm-jelatin-pektin ve ayçiçek-jelatin-karragenan kombinasyonları dışında kaplanmış mayaların su aktivitesi değerleri benzerlik göstermiştir. En düşük su aktivitesi palm-jelatin-pektin, en yüksek su aktivitesi ise ayçiçek-jelatin-karragenan kombinasyonu ile kaplanmış mayada gözlenmiştir.



Şekil 4.30 Na-kazeinat ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların su aktivitesi değerleri

Na-kazeinat ile yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin farklı kombinasyonu ile kaplanmış mayanın su aktivitesi değerleri 0.246-0.366 arasında değişim göstermiştir (Şekil 4.30). Yağ bazlı kaplama materyallerinin etkisi incelendiğinde ayçiçek yağı ile kaplanmış mayaların su aktivitelerinin daha yüksek olduğu bulgulanmıştır. Palm yağının CMC ve karragenan ile kombine edildiği kaplanmış mayalarda su aktivitesinin daha düşük olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.31 Yumurta akı ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların su aktivitesi değerleri

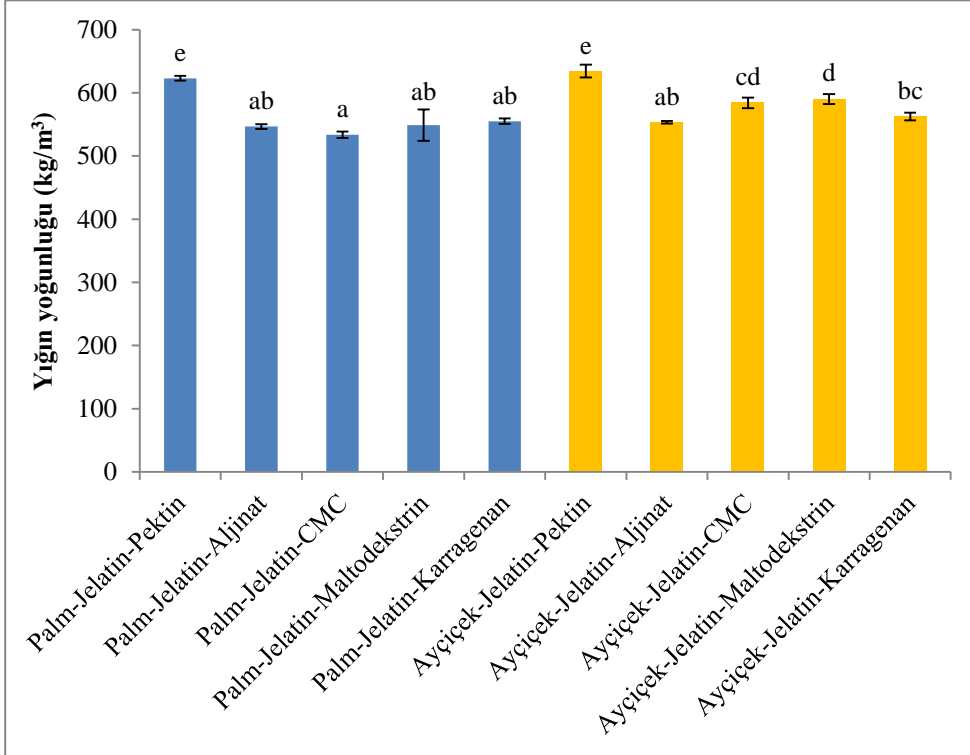
Yağ-yumurta akı-karbonhidrat kombinasyonu ile kaplanmış mayaların su aktivitesi 0.176-0.260 arasında değişmiştir. Şekil 4.31’de verildiği üzere palm yağı ile kaplanmış mayaların, su aktivitelerinin daha düşük olduğu gözlenmiştir. Palm-yumurta akı-pektin, palm-yumurta akı-CMC ve palm-yumurta akı-maltodekstrin kombinasyonlarının su aktiviteleri benzerlik gösterirken palm-yumurta akı-maltodekstrin kombinasyonu en yüksek, palm-yumurta akı-aljinat kombinasyonu ise en düşük su aktivitesine sahiptir. Ayçiçek yağı ile kaplanmış mayalarda aljinat ve maltodekstrin aynı grupta yer alıp, su aktiviteleri benzer olan pektin, CMC ve karragenandan daha düşük su aktivitesine sahiptirler.

Kaplama materyallerinin farklı kombinasyonları kullanılarak kaplanan mayaların su aktiviteleri, protein bazında karşılaştırıldığında jelatin, Na-kazeinat ve yumurta akı ile kaplanmış mayaların su aktivitelerinin sırasıyla 0.219-0.312, 0.246-0.366 ve 0.176-0.260 arasında değiştiği görülmüştür. Kaplanmış mayanın su

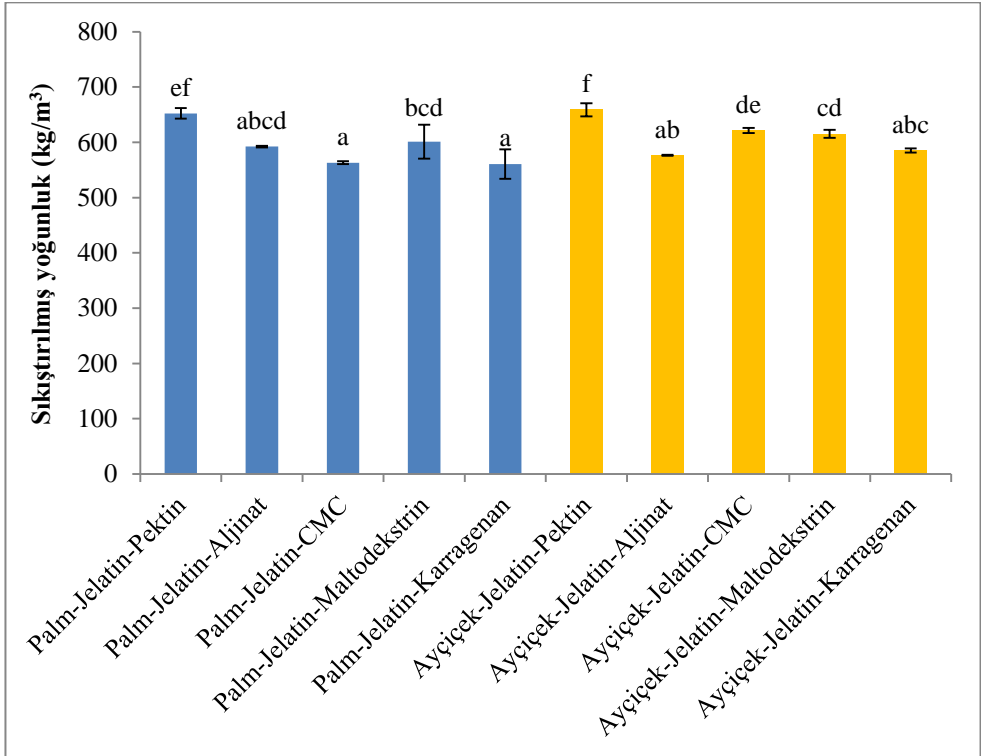
aktivitesindeki değişim, jelatin ve yumurta akı için kuru madde içeriği ile tutarlı olup, nem içeriğindeki artışla birlikte su aktivitesi de yükselmiştir. Su aktivitesinin, yüksekten düşüğe doğru sıralanışı Na-kazeinat, jelatin ve yumurta akı şeklindedir. Kuru madde içeriğinde olduğu gibi yağ bazlı kaplama materyallerinin kaplanmış mayaların su aktivitelerini önemli derecede etkilemediği söylenebilir. Karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin su aktivitesi üzerine etkisi incelendiğinde genellikle yüksek kuru madde içeriğine sahip CMC ile kaplanmış mayaların su aktivitelerinin de genelde düşük değerler arasında yer aldığı görülmüştür.

4.2.2.1.2 Yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk

Farklı kaplama materyali kombinasyonunun kaplanmış mayanın yığın ve sıkıştırılmış yoğunlukları üzerine etkisi Şekil 4.32, 4.33, 4.34, 4.35, 4.36 ve 4.37’de verilmiştir.

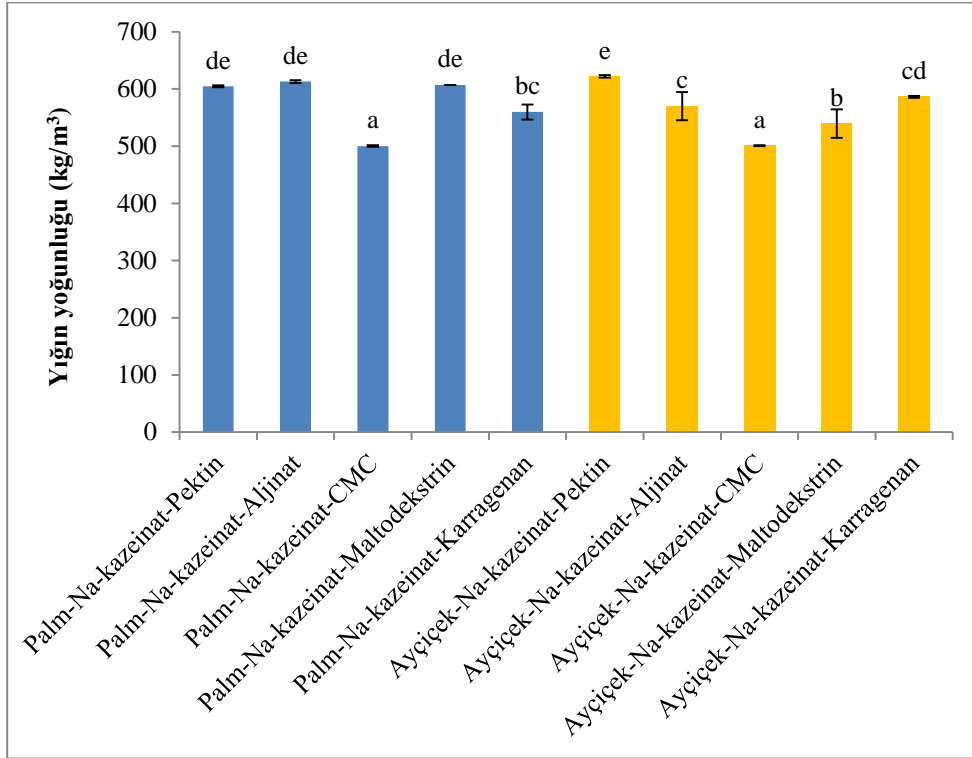


Şekil 4.32 Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların yığın yoğunluk değerleri

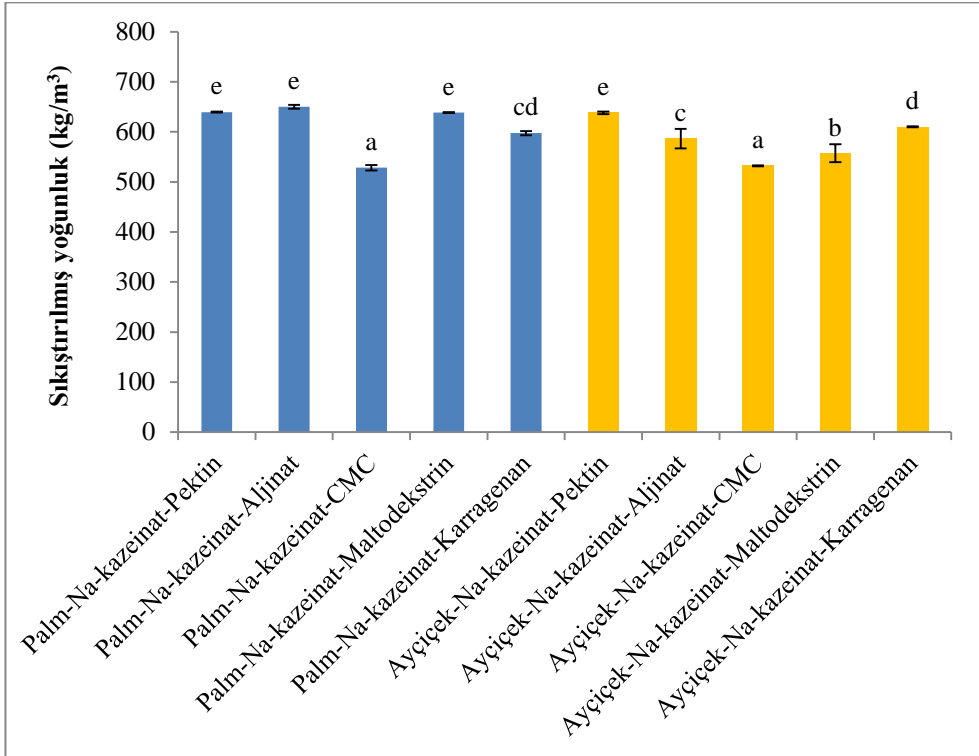


Şekil 4.33 Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların sıkıştırılmış yoğunluk değerleri

Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyalleri kullanılarak kaplanan mayaların yığın yoğunluğu 533.30-634.30 kg/m³ (Şekil 4.32), sıkıştırılmış yoğunluğu ise 560.64-652.10 kg/m³ (Şekil 4.33) arasında değişmiştir. Yağ bazlı kaplama materyallerinin, kaplanmış mayanın yığın ve sıkıştırılmış yoğunlukları üzerine etkisinin olmadığı söylenebilir. Karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin etkisi incelendiğinde pektin ile kaplanmış mayaların yığın ve sıkıştırılmış yoğunluklarının daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

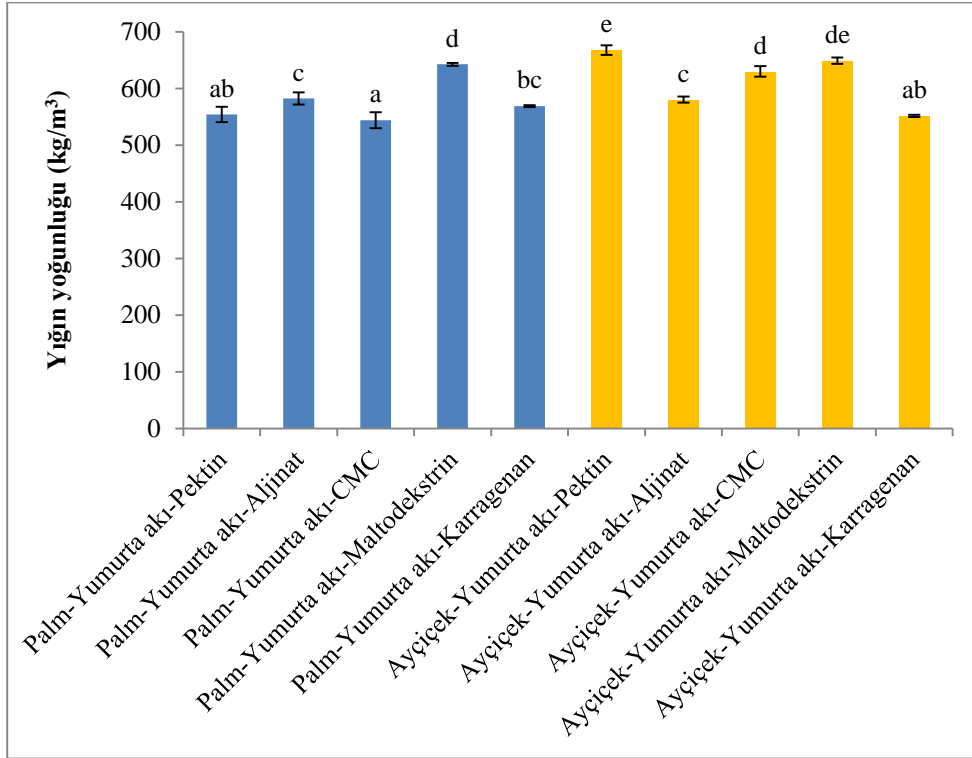


Şekil 4.34 Na-kazeinat ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların yığın yoğunluk değerleri

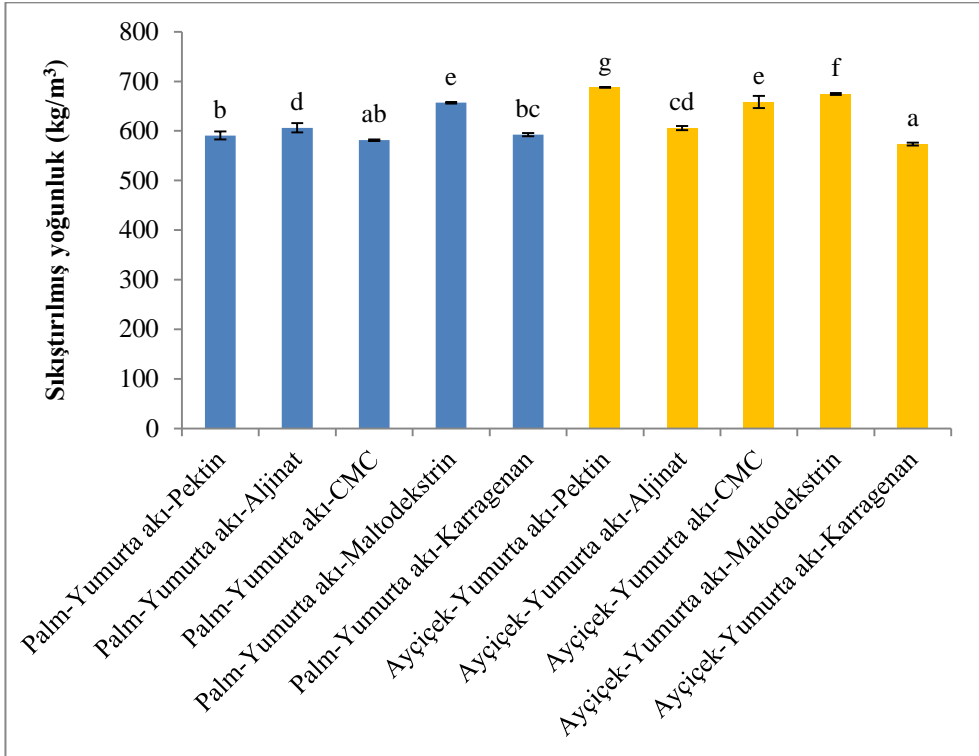


Şekil 4.35 Na-kazeinat ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların sıkıştırılmış yoğunluk değerleri

Na-kazeinat ve farklı yağ ile karbonhidrat kombinasyonu ile kaplanan mayaların yığın ve sıkıştırılmış yoğunluklarının sırasıyla 500.11-621.91 kg/m³ ve 528.27-649.95 kg/m³ değerleri arasında olduğu bulunmuştur. Jelatin ile kaplanmış mayalarda olduğu gibi kaplanmış mayanın yığın ve sıkıştırılmış yoğunlukları üzerine yağ bazlı kaplama materyallerinin etkisinin önemsiz olduğu görülmüştür (Şekil 4.34 ve 4.35). Karbonhidrat bazlı kaplama materyalleri açısından değerlendirildiğinde hem palm hem de ayçiçek yağı ile kaplanmış mayalarda, pektin ile kaplanan mayaların en yüksek, CMC ile kaplanmış mayaların ise en düşük yığın ve sıkıştırılmış yoğunluğa sahip olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.36 Yumurta akı ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların yığın yoğunluk değerleri



Şekil 4.37 Yumurta akı ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların sıkıştırılmış yoğunluk değerleri

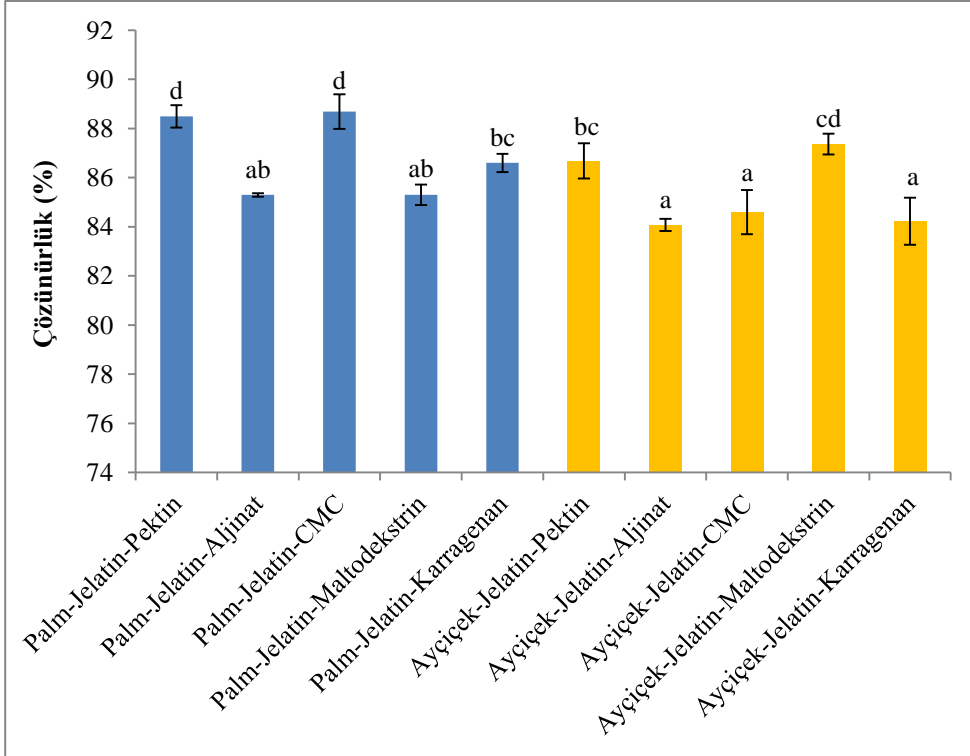
Yumurta akı sabit tutularak farklı yağ ve karbonhidrat bazlı materyaller kullanılarak kaplanan mayaların yığın yoğunluğu 543.91-667.61 kg/m³ (Şekil 4.36) ve sıkıştırılmış yoğunluğu ise 573.37-688.01 kg/m³ (Şekil 4.37) aralığında değişen değerler almıştır. Yağ bazlı kaplama materyali tipi, jelatin ve Na-kazeinat filmlerinde olduğu gibi kaplanmış mayanın yığın ve sıkıştırılmış yoğunlukları arasında belirgin bir fark yaratmamıştır. Karbonhidrat bazlı kaplama materyalleri arasında maltodekstrinin palm ve ayçiçek yağı ile pektinin ise ayçiçek yağı ile kombine edildiği kaplanmış mayalarda yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk daha yüksektir.

Farklı yağ, protein ve karbonhidrat kombinasyonu kullanılarak kaplanan mayanın yığın ve sıkıştırılmış yoğunlukları, protein bazında karşılaştırıldığında, yumurta akı ile kaplanmış mayalarda yığın ve sıkıştırılmış yoğunluğun daha yüksek olduğu görülmüştür. Yumurta akı denatüre edilmediğinden dolayı yapışkanimsi jel yapı

oluşmamakta ve su tutma kapasitesi azaldığından su kolayca uzaklaşmakta, mayanın birbirine yapışma olasılığı düşmekte ve aradaki boşluğun azalması ile birlikte yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk artış göstermektedir. Yağ bazlı kaplama materyallerinin kaplanmış mayanın yığın ve sıkıştırılmış yoğunlukları üzerine etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kaplanmış mayanın, yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri üzerine etkisi incelendiğinde pektin ile kaplanmış mayaların daha yüksek yığın ve sıkıştırılmış yoğunluğa sahip olduğu tespit edilmiştir.

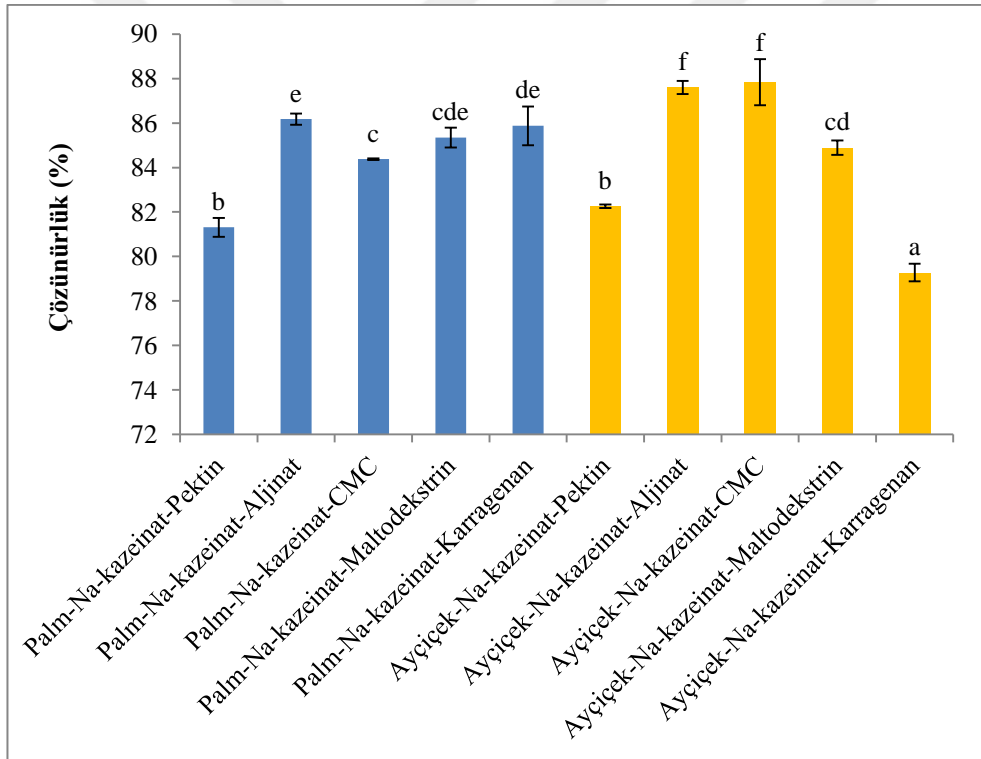
4.2.2.1.3 Çözünürlük

Kaplanmış mayanın çözünebilirliği üzerine farklı kaplama materyali kombinasyonunun etkisi Şekil 4.38, 4.39 ve 4.40'da verilmiştir.



Şekil 4.38 Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların suda çözünürlük değerleri

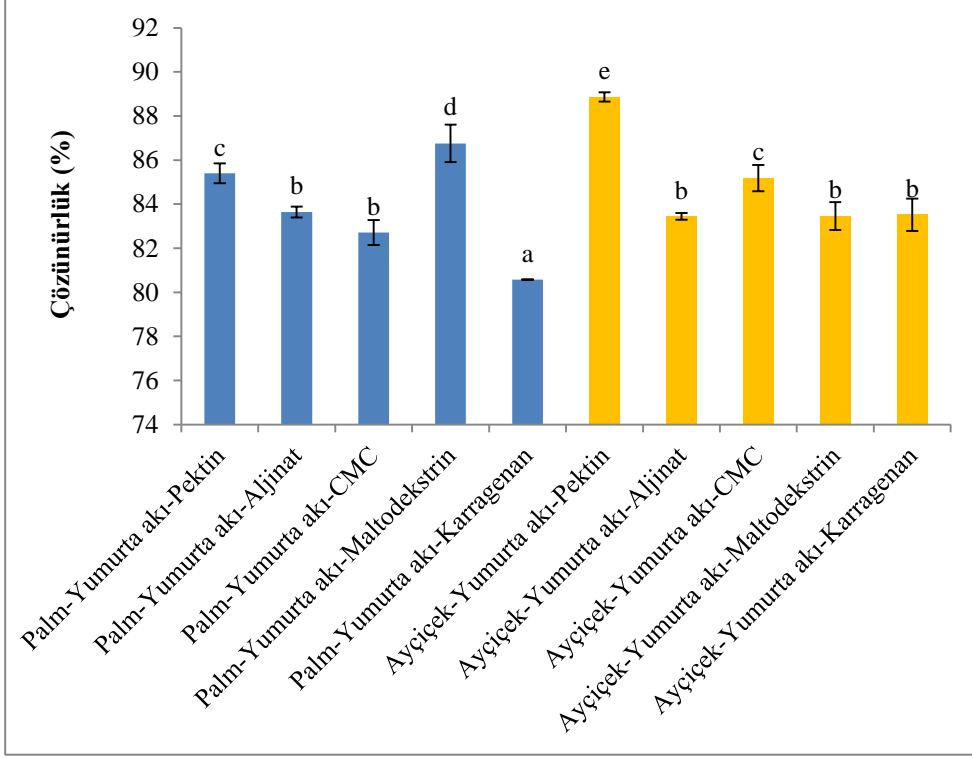
Jelatinin, farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyalleri ile kombinasyonundan elde edilen kaplanmış mayanın çözünürlük değerlerinin % 84.069-88.687 arasında değiştiği bulunmuştur (Şekil 4.38). Palm yağı ile kaplanmış mayaların çözünürlük değerleri biraz daha yüksektir. Jelatinin palm yağı ile kombine edildiği kaplanmış mayalarda karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin etkisi incelendiğinde pektin ve CMC'nin çözünürlükleri daha yüksektir. Ayçiçek yağının ise pektin ve maltodekstrin ile kombine edildiği kaplanmış mayalarda yüksek çözünürlük göstermiştir.



Şekil 4.39 Na-kazeinat ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların suda çözünürlük değerleri

Na-kazeinat ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı materyallerin kombinasyonu ile kaplanan mayalarda çözünürlük değerlerinin % 79.274-87.604 arasında olduğu görülmüştür (Şekil 4.39). Farklı yağ bazlı kaplama materyallerinin kullanıldığı kaplanmış mayaların çözünürlük değerlerinde etkili bir değişim gözlenmemiştir.

Pektin ile kaplanmış mayaların çözünürlük değerlerinin düşük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.40 Yumurta akı ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların suda çözünürlük değerleri

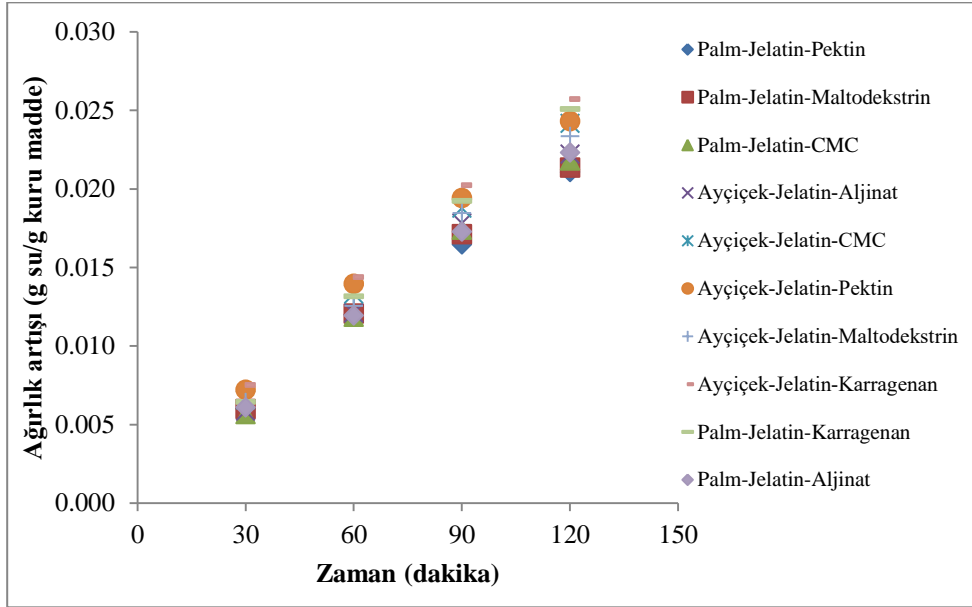
Yumurta akı sabit tutularak yağ ve karbonhidrat bazlı materyalleri farklı kombinasyonu ile kaplanan mayaların çözünürlük değerleri % 80.578-88.685 arasında değişim göstermiştir (Şekil 4.40). Palm-yumurta akı-karragenan kombinasyonu ile kaplanmış mayanın çözünürlüğü en düşük, ayçiçek yağı-yumurta akı-pektin kombinasyonu ile kaplanmış mayanın çözünürlüğü ise en yüksektir.

Farklı kaplama materyali kombinasyonu ile kaplanmış mayaların çözünürlükleri protein bazında karşılaştırıldığında jelatin, Na-kazeinat ve yumurta akı ile

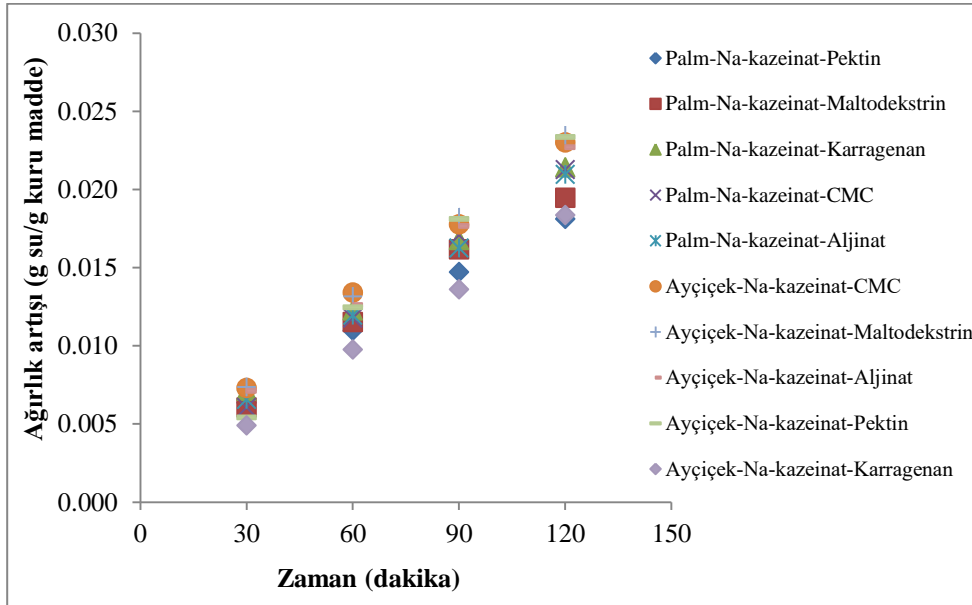
kaplanmış mayalarda çözünürlük değerlerinin sırasıyla % 84.069-88.687, % 79.274-87.604 ve % 80.578-88.685 aralıkları arasında değiştiği görülmüştür. Nakazeinat ve yumurta akı ile kaplanmış mayaların çözünürlükleri benzerlik gösterirken jelatin ile kaplanmış mayaların daha yüksek çözünürlüğe sahip olduğu bulgulanmıştır. Yağ bazlı materyallerin kaplanmış mayanın çözünürlüğünde etkili bir değişim göstermediği sonucuna varılmıştır. Kaplanmış mayanın çözünürlüğü üzerine karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin etkisi incelendiğinde, (Nakazeinat dışında) genellikle pektinin daha yüksek çözünürlüğe sahip olduğu tespit edilmiştir.

4.2.2.1.4 Higroskopisite

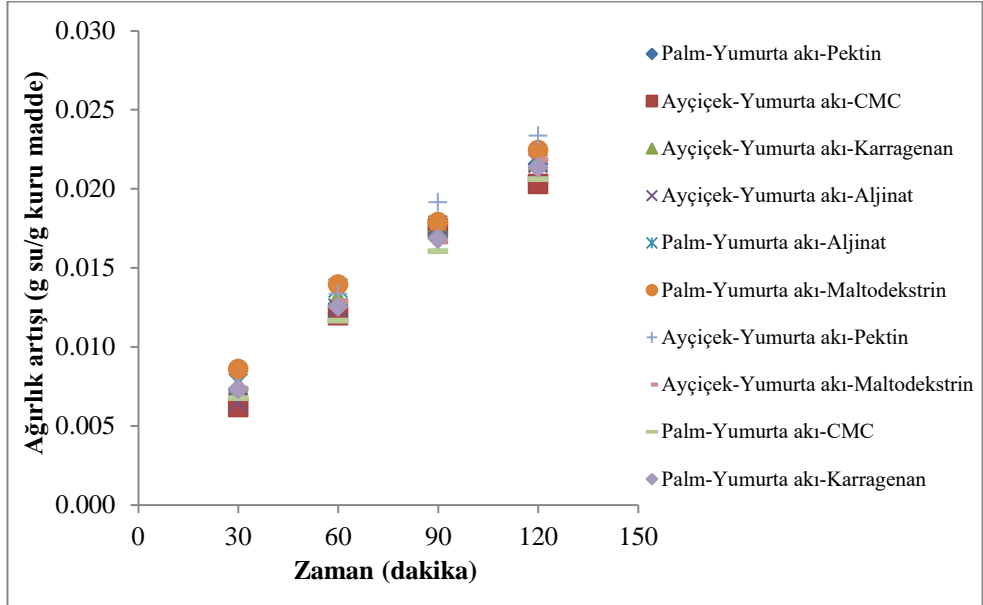
Üstten kaplama yöntemiyle kaplanan mayalarda kaplama materyali kombinasyonunun higroskopi üzerine etkisi Şekil 4.41, 4.42 ve 4.43'de verilmiştir. Kaplama materyali kombinasyonunun nem geçişi üzerine belirgin bir etkisinin olmadığı ve kaplanmış mayalarda nem transferinin oldukça hızlı bir şekilde gerçekleştiği görülmektedir. Üstten kaplama yöntemiyle kaplanmış mayaların özellikleri, kaplanmamış mayanın özelliklerine yakındır. Düşük su aktivitesi, yüksek kuru madde içeriği, yüksek yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk özellikleri ile ön plana çıkan üstten kaplama yöntemiyle kaplanmış mayaların, nem transferini engellemede arka planda kaldıkları gözlenmiştir. Bu durum üstten kaplama yönteminde mayanın tam olarak kaplanamadığını göstermektedir.



Şekil 4.41 Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların higroskopisite değerleri



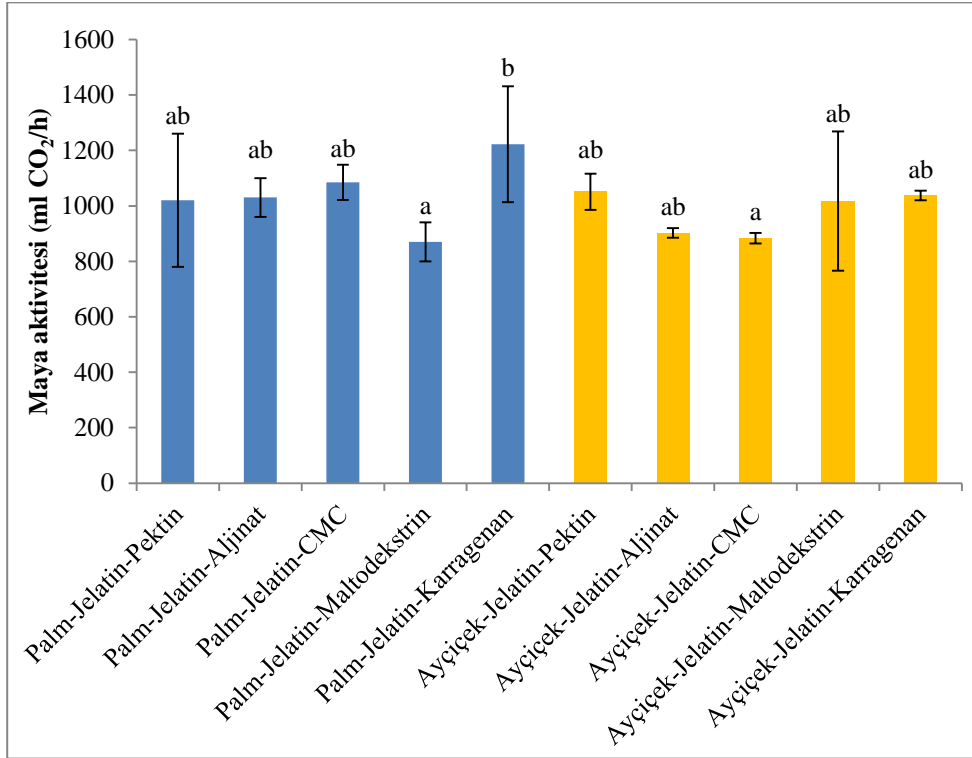
Şekil 4.42 Na-kazeinat ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların higroskopisite değerleri



Şekil 4.43 Yumurta akı ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların higroskopisite değerleri

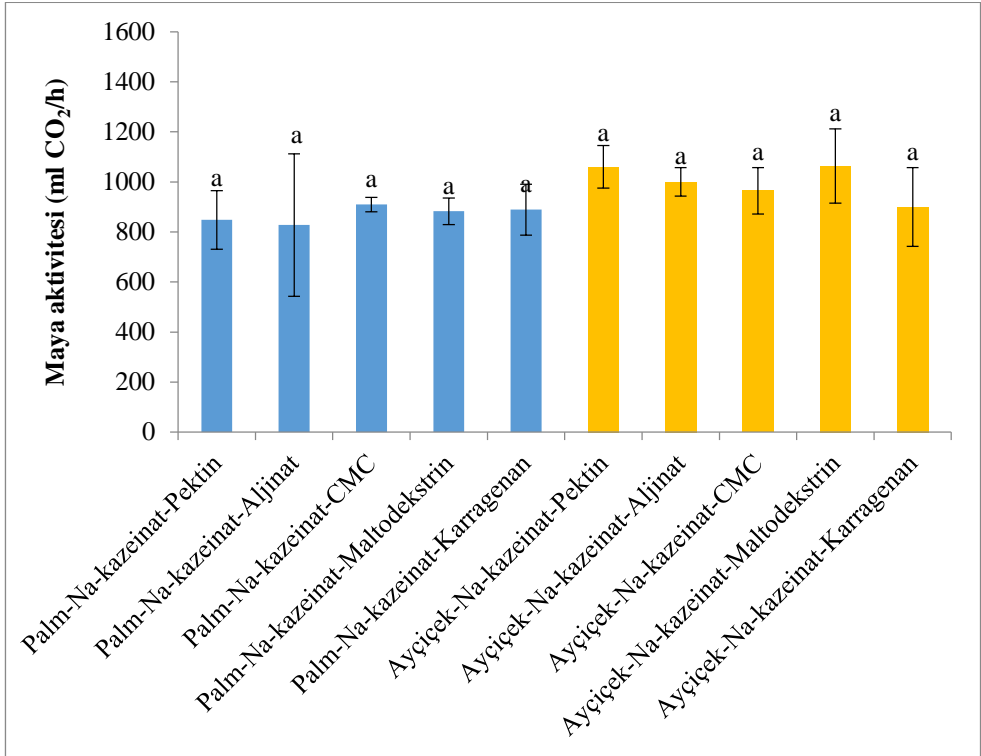
4.2.2.1.5 Maya aktivitesi ve ekmek hacmi

Kaplama materyali kombinasyonunun, maya aktivitesi ve ekmek hacmi üzerine etkisi sırasıyla Şekil 4.44, 4.45, 4.46 ve 4.47, 4.48, 4.49'da gösterilmiştir.



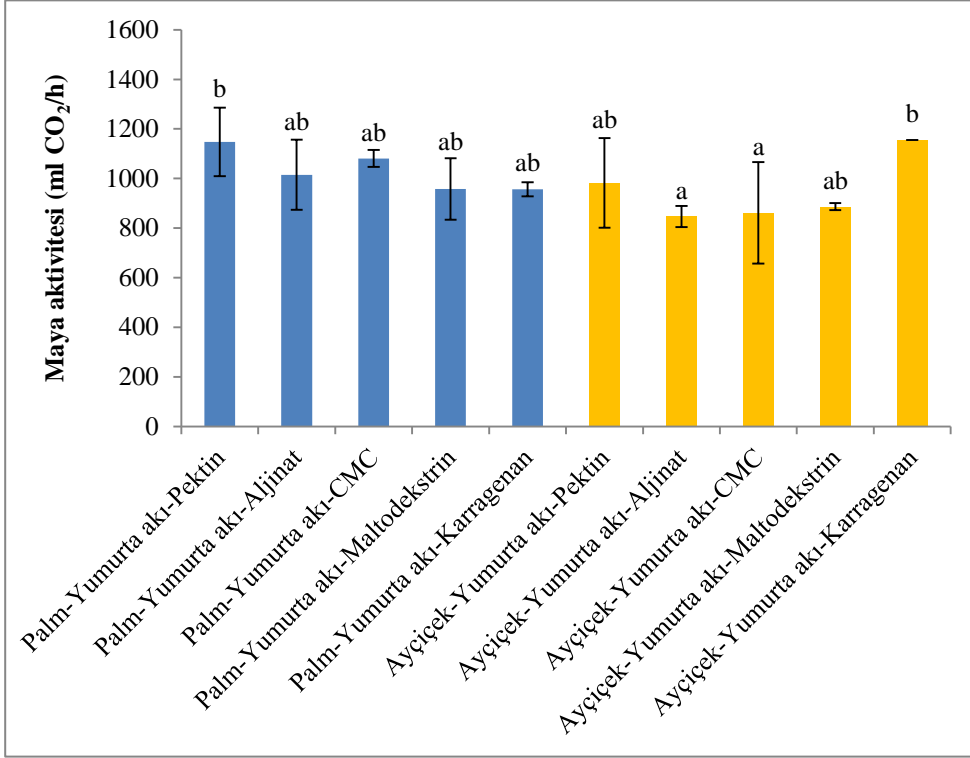
Şekil 4.44 Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların aktivite değerleri

Jelatinin farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyalleri ile kombine edildiği kaplanmış mayalarda aktivite 870-1222.59 ml CO₂/h arasında değişmiştir (Şekil 4.44). Kaplama materyali kombinasyonunun maya aktivitesini etkilemediği, palm-jelatin-karragenan kombinasyonu ile kaplanmış mayanın en yüksek aktiviteye sahip olduğu gözlenmiştir.



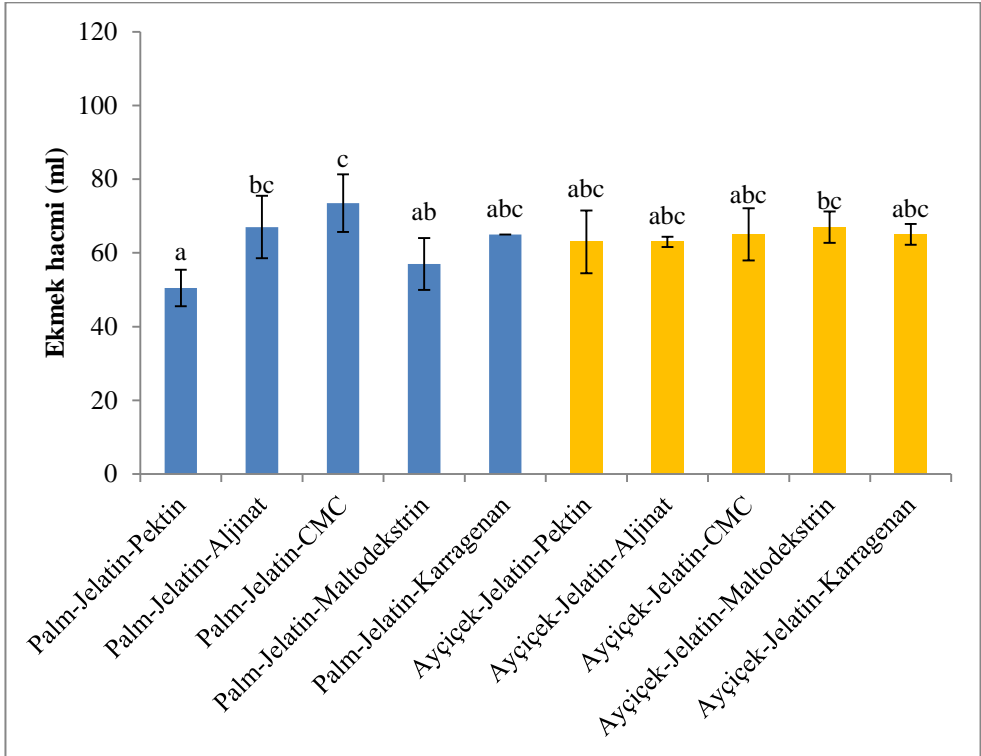
Şekil 4.45 Na-kazeinat ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların aktivite değerleri

Yağ-Na-kazeinat-karbonhidrat kombinasyonu ile kaplanmış mayaların aktiviteleri 827.5-1064 ml CO₂/h arasında değişiklik göstermiştir (Şekil 4.45). Jelatin ile kaplanmış mayalarda olduğu gibi kaplama materyali kombinasyonunun maya aktivitesini etkilemediği bulgulanmıştır. Ayçiçek-yumurta akı-pektin ve ayçiçek-yumurta akı-maltodekstrin kombinasyonları ile kaplanan mayalarda aktivitenin daha yüksek olduğu gözlenmiştir.



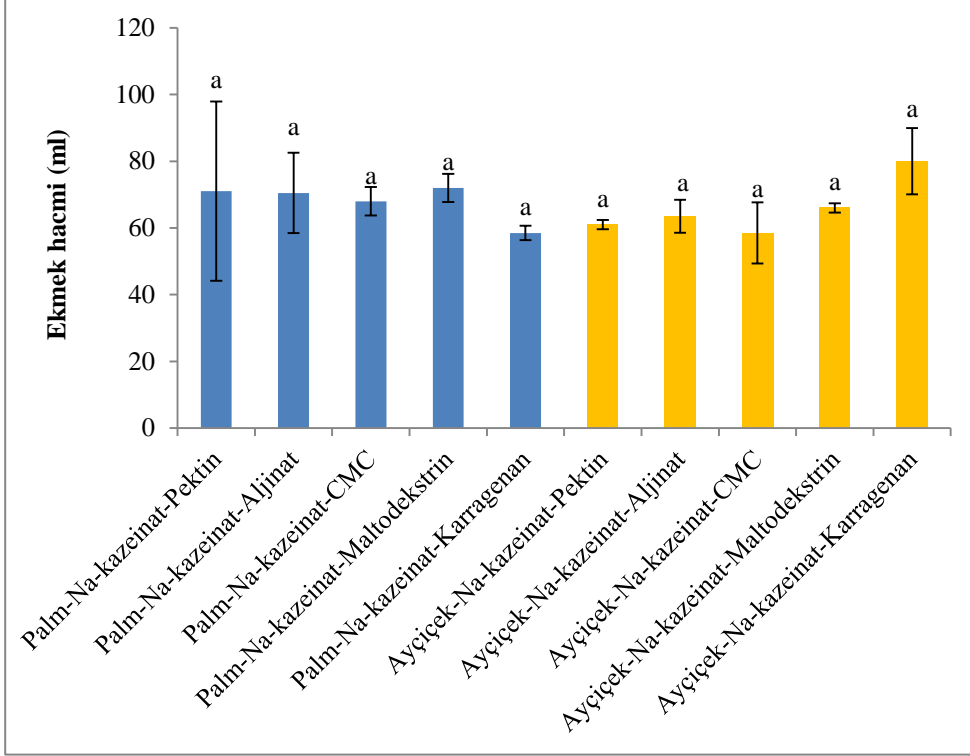
Şekil 4.46 Yumurta akı ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların aktivite değerleri

Yumurta akının sabit tutularak farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyalleri ile kombine edildiği kaplamalarda maya aktivitesi 847-1155 ml CO₂/h arasında değişiklik göstermiştir (Şekil 4.46) Kaplama materyali kombinasyonunun, genel olarak maya aktivitesini etkilemediği, palm-yumurta akı protein-pektin ve ayçiçek-yumurta akı-karragenan kombinasyonları ile kaplanmış mayaların daha yüksek aktiviteye sahip olduğu görülmüştür.



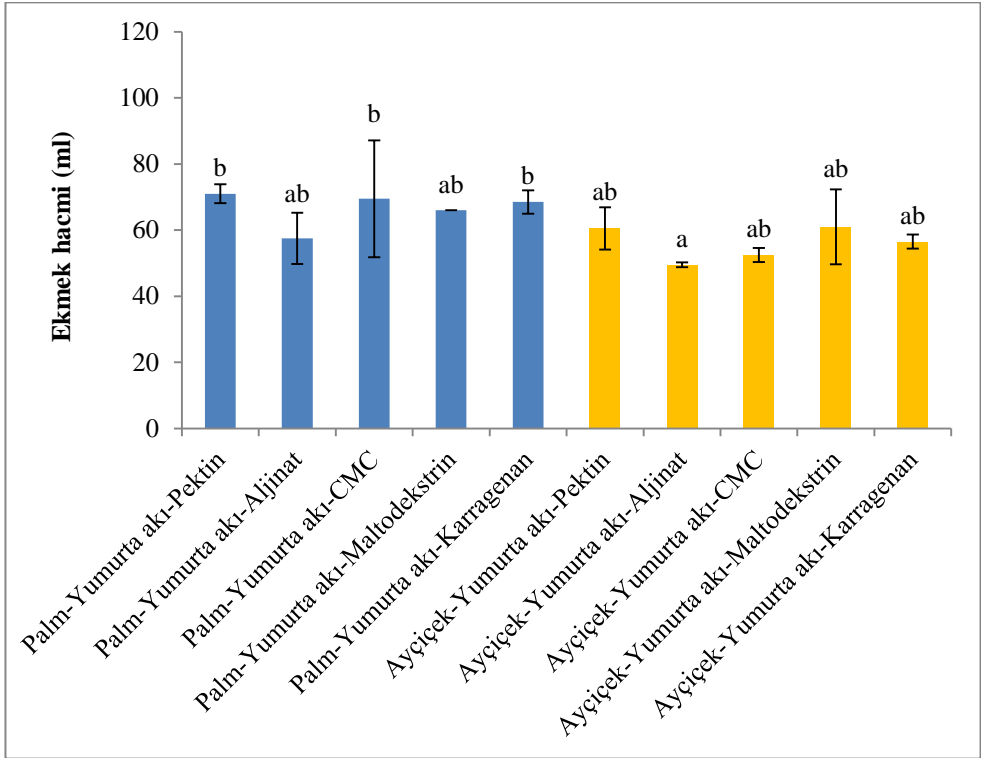
Şekil 4.47 Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların ekmeK hacmi değerleri

Yağ-jelatin-karbonhidrat kombinasyonları ile kaplanmış mayaların ekmeK hacimleri 50.5-73.5 ml arasında değişmiştir (Şekil 4.47). Kaplama materyali kombinasyonuna bağlı olarak maya aktivitelerinde belirgin bir değişiklik gözlenmemiştir. Palm-jelatin-pektin kombinasyonunun daha düşük, palm-jelatin-CMC kombinasyonunun ise daha yüksek maya aktivitesine sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4.48 Na-kazeinat ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların ekmek hacmi değerleri

Protein bazlı kaplama materyali olarak Na-kazeinatın sabit tutulduğu ve farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyalleri ile kombine edildiği kaplanmış mayalarda ekmek hacmi 58.5-80 ml arasında değişim göstermiştir (Şekil 4.48). Jelatin kullanılarak kaplanan mayalarda olduğu gibi kaplama materyali kombinasyonunun, ekmek hacmi üzerine önemli bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir.



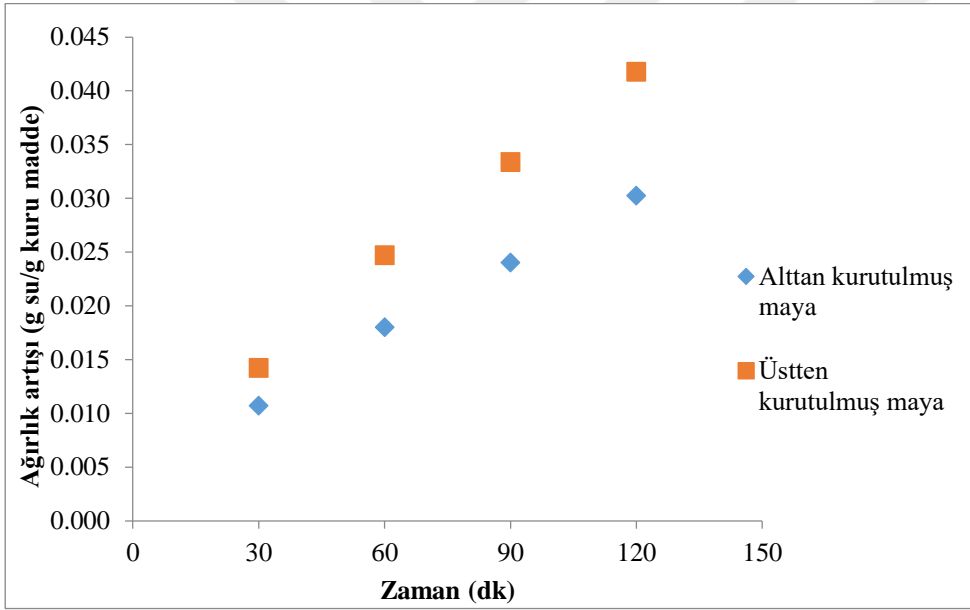
Şekil 4.49 Yumurta akı ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak üstten kaplama yöntemi ile kaplanan mayaların ekmek hacmi değerleri

Yumurta akının, farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyalleri ile oluşturduğu kombinasyonlar kullanılarak kaplanan mayalarda ekmek hacmi 52.5-71 ml arasında değişim göstermiştir (Şekil 4.49). Genel olarak, kaplama materyali kombinasyonuna bağlı olarak ekmek hacimleri arasında belirgin farklar gözlenmemiştir. Palm-yumurta akı-pektin, palm-yumuurta akı-CMC ve palm-yumurta akı-karragenan kombinasyonları kullanılarak kaplanan mayaların ekmek hacimleri daha yüksektir.

4.2.3 Ekmek mayasının akışkan yatakta kaplanmasında uygun kaplama yönünün belirlenmesi

Akışkan yatakta, alttan (Wurster) ve üstten olmak üzere iki farklı yöntemle kaplanan mayalarda gerçekleştirilen analiz sonuçları incelendiğinde uygun kaplama yönünün belirlenmesinde higroskopik analizinin ön plana çıktığı

görülmüştür. Wurster kaplama yöntemiyle kaplanmış mayalarda, nemli ortamdan mayaya nem transferinin, üstten kaplama yöntemiyle kaplanmış mayalara oranla oldukça yavaş bir şekilde gerçekleştiği görülmüştür. Bununla birlikte kaplama işlemi gerçekleştirilmeden sadece alttan ve üstten kurutulmuş mayalarda Şekil 4.50'de görüldüğü üzere üstten kurutulmuş mayada nem transferi daha hızlı gerçekleşmektedir. Wurster kaplama yöntemiyle gerçekleştirilen kaplama işleminin mayaya nem geçişinin engellenmesinde daha etkili ve verimli olduğu ve bu nedenle ekmek mayasının akışkan yatakta kaplanmasında Wurster kaplama yönteminin daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

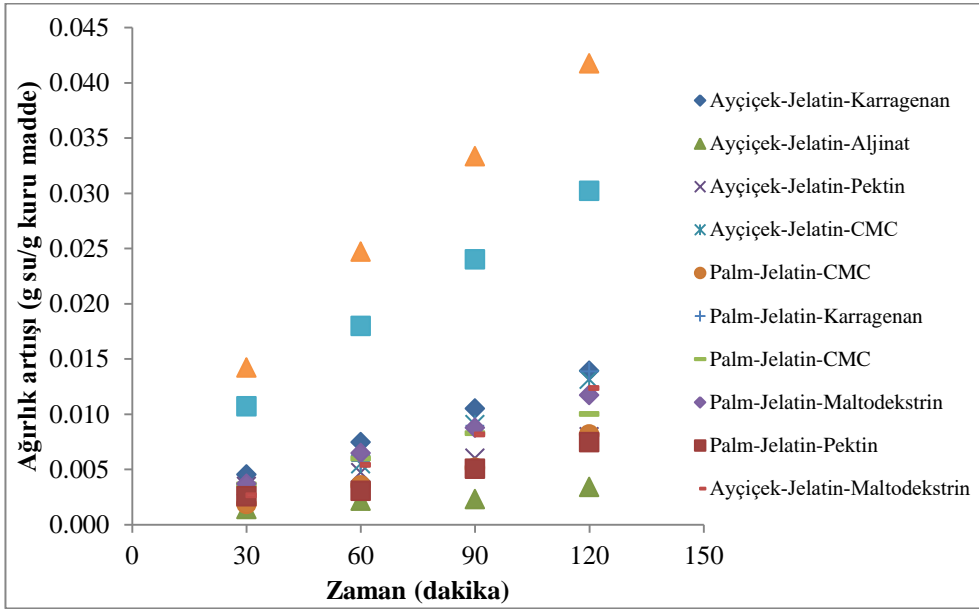


Şekil 4.50 Alttan ve üstten kurutulmuş-kaplanmamış mayaların higroskopisite değerleri

4.2.4 Ekmek mayasının akışkan yatakta kaplanmasında uygun kaplama materyali kombinasyonunun belirlenmesi

Ekmek mayasının akışkan yatakta kaplanmasında uygun kaplama yönünün alttan kaplama olduğu belirlendikten sonra Wurster kaplama yöntemiyle kaplanmış mayaların analiz sonuçları incelenerek uygun kaplama materyali kombinasyonunun belirlenmesi aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada kaplanmış mayaların ortamdan nem kapma hızları protein bazında karşılaştırılmış ve daha öncede belirtildiği üzere jelatinin farklı yağ ve karbonhidart bazlı kaplama materyalleri ile kombine edildiği kaplanmış mayalarda nem transferinin daha

yavaş gerçekleştiği görülmüştür (Şekil 4.51). Jelatinin yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyalleri ile kombine edildiği Wurster kaplama yöntemi ile kaplanmış mayalarda, higroskopisitenin düşük olduğu kombinasyonlarda, nem transferinin sorpsiyon mekanizması (çeperinde yoğunlaştırma) ile gerçekleştiğini göstermektedir. Nem transferinin hızlı bir şekilde gerçekleştiği kombinasyonlarda ise düfüzyon mekanizmasının daha etkili olduğu görülmüştür.



Şekil 4.51 Jelatin ile farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin kombinasyonu kullanılarak Wurster kaplama yöntemi ile kaplanmış ve kurutulmuş-kaplanmamış mayaların higroskopisite değerleri

Bu nedenle jelatin ile kaplanmış mayalarda farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin nem transfer hızı ve mayanın özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Nem transferi hızının en düşük olduğu jelatin ile kaplanmış mayalarda ayçiçek yağı-jelatin-aljinat kombinasyonunun nem geçişine karşı etkili bir bariyer gösterdiği bulgulanmıştır. Fakat aljinat ile kaplanmış mayalarda daha önce de belirtildiği gibi düşük yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinden de anlaşılacağı üzere aglomerasyon oluşmuştur. Aglomerasyon sonucu maya parçacıklarının kümelenmesi yüzey alanını küçülttüğünden nem transferi daha yavaş gerçekleşmektedir. Ayçiçek yağı-jelatin-aljinat kombinasyonundan sonra nem transferinin en düşük olduğu kombinasyon, palm yağı-jelatin-pektin kombinasyonudur. Palm yağı-jelatin-pektin kombinasyonu ile kaplanmış mayada

aglomerasyon olmadığından geniş yüzey alanı oluşmakta ve nem transferi ayçiçek yağı-jelatin-aljinat kombinasyonu ile kaplanmış mayalara kıyasla biraz daha hızlı gerçekleşmektedir. Palm-jelatin-pektin kombinasyonu ile kaplanmış mayanın su aktivitesinin düşük, kuru madde içeriği, yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk ve suda çözünübilirlik ve maya aktivitesi değerlerinin yüksek olduğu gözlenmiştir. Film aşamasında, protein bazlı kaplama materyalleri arasında jelatinin, yağ bazlı kaplama materyalleri arasından palm yağının ve karbonhidrat bazlı kaplama materyalleri arasından da pektinin ön plana çıktığı gözlenmiştir. Filmlerde ve kaplanmış mayalarda gerçekleştirilen analizler bir arada değerlendirildiğinde sonuçların birbirleriyle uyum içerisinde olduğu sonucuna varılmıştır. Kaplanmış mayanın, yüksek maya aktivitesi, yüksek çözünürlük, düşük geçirgenlik ve homojen bir dağılıma sahip olması hedeflenmiş ve ekmek mayasının akışkan yatakta kaplanmasında, uygun kaplama materyali kombinasyonu palm yağı-jelatin-pektin olarak belirlenmiştir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Kuru ekmek mayasının, kendisinden yüksek nem içeriğine sahip ortamlardan (un karışımlarından) etkilenmemesi ve hamur hazırlama aşamasında ise kolayca çözünerek elde edilecek son ürüne istenilen lezzet ve hacmi sağlaması için akışkan yatak kaplama teknolojisi kullanılmıştır. Isı ve kütle transferinin hızlı bir şekilde gerçekleştiği akışkan yatak sistemlerde, maya için kritik öneme sahip olan işlem sıcaklığı ve süresi, eş zamanlı olarak gerçekleşen kurutma ve kaplama işlemi boyunca kontrol altında tutularak mayanın olabildiğince kısa süre içinde kaplanması ve böylece ekmek mayası için önemli bir kalite parametresi olan maya aktivitesinin korunması amaçlanmıştır.

Yenilebilir film ve kaplamaların bariyer etkinliği büyük ölçüde kullanılan kaplama materyali tipine ve konsantrasyonuna bağlı olduğundan kullanılacak olan yağ, protein ve karbonhidrat bazlı materyalleri ile film ve kaplamaların mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla kullanılan gliserol için uygun konsantrasyonu belirlemek amacıyla film denemeleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen tek katmanlı, iki katmanlı ve üç katmanlı filmlerde yapılan analiz sonuçları dikkate alınarak her bir kaplama materyali tipi ve gliserol için uygun konsantrasyonlar belirlenmiştir. Belirlenen uygun konsantrasyonlar kullanılarak maya akışkan yatakta Wurster ve üstten kaplama yöntemiyle kaplanmıştır. İki farklı yöntemle kaplanan mayalarda su aktivitesi, kuru madde içeriği, yığın yoğunluk, higroskopite, çözünürlük, maya aktivitesi ve ekmek hacmi analizleri gerçekleştirilmiştir. Bulgular, Wurster kaplama yöntemiyle kaplanmış mayalarda, nemli ortamdan mayaya nem transferinin, üstten kaplama yöntemiyle kaplanmış mayalara oranla daha yavaş bir şekilde gerçekleştiğini dolayısıyla ekmek mayasının akışkan yatak kaplama yöntemi ile kaplanmasında kaplama etkinliği açısından Wurster kaplama yönteminin daha uygun olduğunu göstermiştir. Kaplanmış mayaların ortamdaki nem kapma hızları protein bazında karşılaştırıldığında jelatinin farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyalleri ile kombine edildiği kaplanmış mayalarda nem transferinin daha yavaş gerçekleştiği gözlenmiştir. Jelatin kullanılarak kaplanmış mayalarda farklı yağ ve karbonhidrat bazlı kaplama materyallerinin nem transfer hızı ve mayanın özellikleri üzerine etkisi incelendiğinde palm-jelatin-pektin kombinasyonu ile kaplanmış mayanın su aktivitesinin düşük, kuru madde içeriği, yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk, suda çözünabilirlik ve maya aktivitesi değerlerinin yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu aşamada elde edilen filmlerde

gerçekleştirilen analizlerde (su buharı geçirgenliği, su aktivitesi, nem içeriği, ışık geçirgenliği, çözünürlük ve mekanik özellikler) dikkate alındığında, protein bazlı materyaller arasında jelatinin, jelatin ve farklı karbonhidrat tipi kullanılarak hazırlanan iki katmanlı filmlerde, karbonhidrat bazlı materyaller arasından pektinin, yağ bazlı kaplama materyalleri kullanılarak hazırlanan üç katmanlı filmlerde ise palm yağının ön plana çıktığı sonucuna varılmıştır. Filmlerde ve kaplanmış mayalarda gerçekleştirilen analizler bir arada değerlendirildiğinde sonuçların birbirleriyle uyumlu olduğu görülmüş ve kaplanmış mayanın aktivite, çözünürlük, geçirgenlik ve homojen dağılım gibi özellikleri de dikkate alınarak ekmek mayasının akışkan yatakta kaplanmasında, uygun kaplama materyali kombinasyonu palm yağı-jelatin-pektin olarak belirlenmiştir.

Literatürde gerçekleştirilen diğer enkapsülasyon yöntemlerinde uygulananların (emülsiyon oluşturma vd.) aksine, kaplama işleminde sırasıyla yağ-protein-karbonhidrat bazlı kaplama materyalleri katman katman uygulanmıştır. Böylelikle, farklı sıcaklık aralıklarında oluşabilecek emülsiyon kırılmasının ve/veya yapı bozulmasının önüne geçilmiştir. Katman katman uygulanan kaplama işleminde, ekmek mayası öncelikle yağ bazlı kaplama materyali kullanılarak kaplandığından, oluşan yapının su buharı geçirgenlik değeri önemli düzeyde düşürülmüştür. 2. katman olarak uygulama protein bazlı kaplama materyali emülsifiye edici ve bağlayıcı görev yapmış ve aynı zamanda geçirgenliği düşürmüştür. Son olarak 3. katman olarak karbonhidrat bazlı kaplama materyali kullanılması ile birlikte mayanın, bulunduğu ortam (un karışımı) ile nem dengesinin oluşturulması sağlanmıştır. Elde edilen son üründe (kaplanmış ekmek mayası) gözlenen su buharı geçirgenlik değeri, bu yolla en aza indirilerek ürün raf ömründe uzama gibi önemli bir avantaj sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Akbaba, G. 2006. Yenilebilir ambalajlar. **Bilim ve Teknik Dergisi**, 30-32.
- Alcantara, C. R., Rumsey, T. R., Krochta, J. M. 1998. Drying rate effect on the properties of whey protein films. **Journal of Food Process Engineering**, 21(5): 387-405.
- Amanatidou, A., Slump, R. A., Gorris, L. G. M., Smid, E. J. 2000. High oxygen and high carbon dioxide modified atmospheres for shelf-life extension of minimally processed carrots. **Journal of Food Science**, 65(1): 61-66.
- Anonim, (2019), <http://www.pakmaya.com.tr/tr/maya-nedir>
- Anwar, S. H., Weissbrodt, J., Kunz, B. 2010. Microencapsulation of fish oil by spray granulation and fluid bed film coating. **Journal of Food Science**, 75(6): E359-E371.
- Arrieta, M. P., Peltzer, M. A., López, J., del Carmen Garrigós, M., Valente, A. J., Jiménez, A. 2014. Functional properties of sodium and calcium caseinate antimicrobial active films containing carvacrol. **Journal of Food Engineering**, 121: 94-101.
- Audic, J. L., Chaufer, B. 2010. Caseinate based biodegradable films with improved water resistance. **Journal of Applied Polymer Science**, 117(3), 1828-1836.
- Avena-Bustillos, R. J., Krochta, J. M. 1993. Water vapor permeability of caseinate-based edible films as affected by pH, calcium crosslinking and lipid content. **Journal of Food Science**, 58(4): 904-907.
- Avilés-Avilés, C., Dumoulin, E., Turchiuli, C. 2015. Fluidised bed agglomeration of particles with different glass transition temperatures. **Powder Technology**, 270: 445-452.
- Baldwin, E. A., Nisperos-Carriedo, M. O., Baker, R. A. 1995. Use of edible coatings to preserve quality of lightly (and slightly) processed products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 35(6): 509-524.

- Banker, G. S. 1966. Film coating theory and practice. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, 55(1), 81-89.
- Banks, N. H. 1984. Internal atmosphere modification in pro-long coated apples. **Postharvest Handling of Vegetables**, 157: 105-112.
- Basiak, E., Lenart, A., Debeaufort, F. 2017. Effect of starch type on the physico-chemical properties of edible films. **International Journal of Biological Macromolecules**, 98: 348-356.
- Basiak, E., Lenart, A., Debeaufort, F. 2017. Effects of carbohydrate/protein ratio on the microstructure and the barrier and sorption properties of wheat starch–whey protein blend edible films. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 97(3): 858-867.
- Benjakul, S., Artharn, A., Prodpran, T. 2008. Properties of protein-based film from round scad (*Decapterus maruadsi*) muscle as influenced by fish quality. **LWT-Food Science and Technology**, 41(5): 753-763.
- Bergquist, D.H. 1986. Egg dehydration. In *Egg Science and Technology*, (Stadelman, W.J. and Cotterill, O.J., Eds.), Avi Publishing, p. 285-323, Westport, CT.
- Bertuzzi, M. A., Vidaurre, E. C., Armada, M., Gottifredi, J. C. 2007. Water vapor permeability of edible starch based films. **Journal of Food Engineering**, 80(3): 972-978.
- Bhandari, B. R., Bansal, N., Zhang, M., Schuck, P. 2013. *Handbook of food powders: processes and properties*, Woodhead Publishing, Oxford.
- Bhandari, B.R., D'Arcy, B.R., Padukka, I. 1999. Encapsulation of lemon oil by paste method using β -cyclodextrin: Encapsulation efficiency and profile of oil volatiles. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 47: 5194-5197.
- Bourtoom, T. 2008. Edible films and coatings: characteristics and properties. **International Food Research Journal**, 15(3): 237-248.

- Bourtoom, T. 2009. Edible protein films: properties enhancement. **International Food Research Journal**, 16(1): 1-9.
- Bourtoom, T., Chinnan, M. S., Jantawat, P., Sanguandeeikul, R. 2006. Effect of plasticizer type and concentration on the properties of edible film from water-soluble fish proteins in surimi wash-water. **Food Science and Technology International**, 12(2): 119-126.
- Braut, D., D'Aprano, G., Lacroix, M. 1997. Formation of free-standing sterilized edible films from irradiated caseinates. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 45(8): 2964-2969.
- Bryan, D. S. 1972. U.S. Patent No. 3,707,383. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Buera P, Karel M. 1993. Application of the WLF equation to describe the combined effects of moisture and temperature on nonenzymatic browning rates in foodsystems. *Journal of Food Processing and Preservation*, 17: 31-45.
- Burggraefe, A., Monteyne, T., Vervaet, C., Remon, J. P., De Beer, T. 2013. Process analytical tools for monitoring, understanding, and control of pharmaceutical fluidized bed granulation: a review. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, 83(1): 2-15.
- Cagri, A., Ustunol, Z., Ryser, E. T. 2001. Antimicrobial, mechanical, and moisture barrier properties of low pH whey protein-based edible films containing p-aminobenzoic or sorbic acids. **Journal of Food Science**, 66(6): 865-870.
- Callegarin, F., Gallo, J. A. Q., Debeaufort, F., Voilley, A. 1997. Lipids and biopackaging. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, 74(10): 1183-1192.
- Cano-Chauca, M., Stringheta, P. C., Ramos, A. M., Cal-Vidal, J. 2005. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 6(4): 420-428.

- Cazón, P., Velazquez, G., Ramírez, J. A., Vázquez, M. 2017. Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. **Food Hydrocolloids**, 68: 136-148.
- Chang, C., Nickerson, M. T. 2014. Effect of plasticizer-type and genipin on the mechanical, optical, and water vapor barrier properties of canola protein isolate-based edible films. **European Food Research and Technology**, 238(1): 35-46.
- Chick, J., Ustunol, Z. 1998. Mechanical and barrier properties of lactic acid and rennet precipitated casein-based edible films. **Journal of Food Science**, 63(6): 1024-1027.
- Chidanandaiah Keshri, R. C., Sanyal, M. K., Kotwal, S. K., Sudhan, N. A. 2005. Quality changes in enrobed/coated products during storage. **Indian Food Industry**, 24(1): 57-61.
- Cho, S. Y., Rhee, C. 2002. Sorption characteristics of soy protein films and their relation to mechanical properties. **LWT-Food Science and Technology**, 35(2): 151-157.
- Christensen, F. N., Bertelsen, P. 1997. Qualitative description of the Wurster-based fluid-bed coating process. **Drug Development and Industrial Pharmacy**, 23(5): 451-463.
- Christensen, K. L., Pedersen, G. P., Kristensen, H. G. 2001. Preparation of redispersible dry emulsions by spray drying. **International Journal of Pharmaceutics**, 212(2): 187-194.
- Cisneros-Zevallos L, Krochta JM. 2002. Internal modified atmospheres of coated fresh fruits and vegetables: Understanding relative humidity effects. **Journal of Food Science** 67 (6): 1990 – 1995
- Cisneros-Zevallos L, Krochta JM. 2003b. Dependence of coating thickness on viscosity of coating solution applied to fruits and vegetables by dipping method . **Journal of Food Science**, 68 (2): 503–510

- Cisneros-Zevallos, L., Krochta, J. M. 2003. Whey protein coatings for fresh fruits and relative humidity effects. **Journal of Food Science**, 68(1): 176-181.
- Cisneros-Zevallos, L., Krochta, J. M. 2005. Internal modified atmospheres of coated fresh fruits and vegetables: understanding relative humidity effects. In: *Innovations in Food Packaging* (pp. 173-184). Academic Press.
- Cole, G. C. 1995. Coating pans and coating columns. IN: *Pharmaceutical Coating Technology* (Aulton, M., Cole, G., Hogan, J., Eds.), Taylor and Francis, pp. 205-239, London
- Conca KR , Yang TCS. 1993. Edible food barrier coatings . In: *Biodegradable Polymers and Packaging* (Ching, C., Kaplan D., Thomas, D., Eds.), Technomic Publishing Co. , pp 357 – 69, Lancaster, PA.
- Contreras-Medellin R, Labuza TP. 1981. Prediction of moisture protection requirements for foods. *Cereal Food World* 26: 335 – 342
- Coronel-Aguilera, C. P., San Martín-González, M. F. 2015. Encapsulation of spray dried β -carotene emulsion by fluidized bed coating technology. **LWT-Food Science and Technology**, 62(1): 187-193.
- Cottrell, IW, Kovacks, P. 1980. Alginates. In: *Handbook of Water-Soluble Gums and Resins* (Davidson RL., Ed). McGraw-Hill, p 143, New York.
- Crank, J. 1975. *The Mathematics of Diffusion*, 2nd ed., Oxford University Press, New York.
- Croguennec, T., Nau, F., Brulé, G. 2002. Influence of pH and salts on egg white gelation. **Journal of Food Science**, 67(2): 608-614.
- Cuq, B., Gontard, N., Guilbert, S. 1998. Proteins as agricultural polymers for packaging production. **Cereal Chemistry**, 75(1): 1-9.
- Damodaran, S. 1996. Amino acids, peptides and proteins. In: *Food Chemistry* Fennema, O., Ed.), Marcel Dekker, pp 321-430, New York.
- Dangaran, K., Tomasula, P.M., Phoebe Qi, P. 2009. Structure and Function of Protein-Based Edible Films and Coatings. In: *Edible films and coatings for*

food applications (Embuscado, M.E., Huber, K.C., Eds.), pp 25-57, Springer Dordrecht Heidelberg London New York.

- Daud, W. R. W. 2008. Fluidized bed dryers—Recent advances. **Advanced Powder Technology**, 19(5): 403-418.
- Daza, L. D., Homez-Jara, A., Solanilla, J. F., Váquiros, H. A. 2018. Effects of temperature, starch concentration, and plasticizer concentration on the physical properties of ulluco (*Ullucus tuberosus* Caldas)-based edible films. **International Journal of Biological Macromolecules**, 120: 1834-1845.
- De Pauw, P., Dewettinck, K., Arnaut, F., Huyghebaert, A. 1996. Microencapsulation improves the action of bakery ingredients. *Voedingsmiddelentechnologie*, 29: 38-40.
- De Souza, P. M., Fernández, A., López-Carballo, G., Gavara, R., Hernández-Muñoz, P. 2010. Modified sodium caseinate films as releasing carriers of lysozyme. **Food Hydrocolloids**, 24(4): 300-306.
- Debeaufort, F., Voilley, A. 1995. Effect of surfactants and drying rate on barrier properties of emulsified edible films. **International Journal of Food Science and Technology**, 30(2): 183-190.
- Debeaufort, F., Voilley, A. 2009. Lipid-Based Edible Films and Coatings. In: *Edible films and coatings for food applications* (Embuscado, M.E., Huber, K.C., Eds.), pp 135-169, Springer Dordrecht Heidelberg, London, New York.
- Debeaufort, F., Martin-Polo, M., Voilley, A. 1993. Polarity homogeneity and structure affect water vapor permeability of model edible films. **Journal of Food Science**, 58(2): 426-429.
- Debeaufort, F., Voilley, A., Guilbert, S. 2002. Les procédés de stabilisation des produits par des films “barrière” In: *Lorient D. Propriétés de l’eau dans les aliments*,” Tec and Doc, Lavoisier, Paris, 549-600.

- Desai, K. G. H., Jin Park, H. 2005. Recent developments in microencapsulation of food ingredients. **Drying Technology**, 23(7): 1361-1394.
- Dewettinck K, Huyghebaert A. 1999. Fluidized bed coating in food technology. **Trends in Food Science and Technology**, 10(4-5): 163-168.
- Dewettinck, K., Huyghebaert, A. 1998. Top-spray fluidized bed coating: Effect of process variables on coating efficiency. **LWT-Food Science and Technology**, 31(6): 568-575.
- Dezarn, T.G. 1995. Food ingredients encapsulation: An overview. Encapsulation and controlled release of food ingredients (Risch, S.J., Reineccius, G. A., Eds.). ACS Symposium Series, 590: 74-86, Washington.
- Dhanalakshmi, K., Ghosal, S., Bhattacharya, S. 2011. Agglomeration of food powder and applications. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 51(5): 432-441.
- Donhowe IG., Fennema, O. 1993c. The effects of plasticizers on crystallinity, permeability and properties of methylcellulose films. **Journal of Food Processing and Preservation**, 17: 247 – 258
- Donhowe IG., Fennema, O. 1994. Edible films and coatings: characteristics, formation, definitions and testing methods. In: Edible coatings and films to improve food quality (Krochta, J.M., Baldwin, E.A., Nisperos-Carriedo, M.O., Eds.), Technomic Publishing Company, pp. 1 – 24, Lancaster, PA .
- Donhowe, G., Fennema, O. 1993. Water vapor and oxygen permeability of wax films. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, 70(9): 867-873.
- Draget, KI. 2000. Alginates. In: Handbook of Hydrocolloids (Phillips, G.O., Williams, P.A., Eds.), CRC, pp 379 – 395, Boca Raton.
- Draget, K.I., Smidsrod, O., Skjak-Braek, G. 2005. Polysaccharides and Polyamides in the Food Industry. Properties, Production, and Patents, pp. 1-30.
- Dumoulin, E., Berk, Z., Krimitsos N. 1995. Application of Agglomeration and Coating to Produce Powders Containing Iron and Ascorbic Acid. In:

- Process Optimisation and Minimal Processing of Foods, (Oliveira J.C., Ed.), p (3):45-49.
- Durst, J. R. 1969. Stable food pieces. US International Patent, 3(434), 843.
- Elson, C. M., Hayes, E. R., Lidster, P. D. 1985. Development of the Differentially Permeable Fruit Coating “Nutri-Save” for the Modified Atmosphere Storage of Fruit. In Proceedings of the Fourth National Controlled Atmosphere Research Conference, July 23-26,1985, Raleigh, NC; Blankenship, S. M., Ed.; Department of Horticultural Science, North Carolina State University: Raleigh, NC, 1985; pp 248-262.
- Erkmen, O., Barazi, A. O. 2018. General Characteristics of Edible Films. *Journal of Food Biotechnology Research*, 2: 1-3.
- F. Gibbs, Selim Kermasha, Inteaz Alli, Catherine N. Mulligan, B. 1999. Encapsulation in the food industry: a review. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, 50(3): 213-224.
- Fairley, P., Krochta, J. M., German, J. B. 1997. Interfacial interactions in edible emulsion films from whey protein isolate. **Food Hydrocolloids**, 11(3): 245-252.
- Fairley, P., Monahan, F. J., German, J. B., Krochta, J. M. 1996. Mechanical properties and water vapor permeability of edible films from whey protein isolate and sodium dodecyl sulfate. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 44(2): 438-443.
- Fakhouri, F. M., Martelli, S. M., Caon, T., Velasco, J. I., Mei, L. H. I. 2015. Edible films and coatings based on starch/gelatin: Film properties and effect of coatings on quality of refrigerated Red Crimson grapes. **Postharvest Biology and Technology**, 109: 57-64.
- Falguera, V., Quintero, J. P., Jiménez, A., Muñoz, J. A., Ibarz, A. 2011. Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. **Trends in Food Science and Technology**, 22(6): 292-303.

- Fischer, L. G., & Wong, P. (1972). U.S. Patent No. 3,676,158. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Frey, C. 2014. Fluid bed coating-based microencapsulation. In: Microencapsulation in the Food Industry (Gaonkar A. G., Vasisht N., Khare A. R., Sobel R., Eds.), Elsevier, Academic Press, 65-79, Amsterdam.
- Fukumori, Y. 1994. Coating of multiparticulates using polymeric dispersions. Formulation and process considerations. **Drugs and the Pharmaceutical Sciences**, 65: 79-111
- Sanderson, G.R. 1981. Polysaccharides in Foods. **Food Technology**, 35 (7): 50-57
- Geankoplis, C. 2003. Transport processes and separation process principles (includes unit operations), Prentice Hall Press.
- Geldart, D., Rhodes, M. J. 1986. From minimum fluidization to pneumatic transport-a critical review of the hydrodynamics. In: Circulating Fluidized Bed Technology, (Basu, P., Ed.), Pergamon Press, pp. 21-31, New York.
- Gennadios, A. 2002. Protein based films and coatings, CRC Press LLC, 672 p, Boca Raton.
- Gennadios, A., Brandenburg, A. H., Weller, C. L., Testin, R. F. 1993. Effect of pH on properties of wheat gluten and soy protein isolate films. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 41(11): 1835-1839.
- Gennadios, A., Hanna, M. A., Kurth, L. B. 1997. Application of edible coatings on meats, poultry and seafoods: a review. **LWT-Food Science and Technology**, 30(4): 337-350.
- Gennadios, A., McHugh, T.H., Weller, C.L., Krochta, J.M. 1994. Edible coatings and films based on proteins. In: Edible Coatings and Films to Improve Food Quality, (Krochta, J.M., Baldwin, E.A., Nisperos-Carriedo, M.O., Eds.), Technomic Publishing, pp. 201-277, Lancaster.

- Gennadios, A., Weller, C. L., Hanna, M. A., Froning, G. W. 1996. Mechanical and barrier properties of egg albumen films. **Journal of Food Science**, 61(3): 585-589.
- Giray NS, Baysal T. 2012. Yenilebilir Film ve Kaplamalar. Gıda Mühendisliğinde Isıl Olmayan Teknolojiler, Editörler Baysal T, İçier F, Nobel Yayıncılık, Ankara, s.77-112
- Gombotz, W. R., Wee, S. 1998. Protein release from alginate matrices. **Advanced Drug Delivery Reviews**, 31(3): 267-285.
- Gontard, N., Guilbert, S. 1994. Bio-packaging: technology and properties of edible and/or biodegradable material of agricultural origin. In: Food Packaging and Preservation (Mathlouthi, M., Ed.). Springer, pp 159-181, Boston, MA.
- Gontard, N., Guilbert, S., Cuq, J. L. 1992. Edible wheat gluten films: influence of the main process variables on film properties using response surface methodology. **Journal of Food Science**, 57(1): 190-195.
- Gontard, N., Thibault, R., Cuq, B., Guilbert, S. 1996. Influence of relative humidity and film composition on oxygen and carbon dioxide permeabilities of edible films. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 44(4): 1064-1069.
- Goula, A. M., Adamopoulos, K. G., Kazakis, N. A. 2004. Influence of spray drying conditions on tomato powder properties. **Drying Technology**, 22(5): 1129-1151.
- Greener, I. 1992. Physical Properties of Edible Films and Their Components. Ph.D. dissertation , University of Wisconsin.
- Guignon, B., Regalado, E., Duquenoy, A., Dumoulin, E. 2003. Helping to choose operating parameters for a coating fluid bed process. **Powder Technology**, 130(1-3): 193-198.
- Guilbert, S. 1988. Use of superficial edible layer to protect intermediate moisture foods: Application to the protection of tropical fruits dehydrated by

- osmosis. In: Food Preservation by Moisture Control, (C.C. Seaow, Ed.), Elsevier Applied Science Publishers Ltd., pp 199–219, England.
- Guilbert, S. 1986. Technology and application of edible protective films. In: Food Packaging and Preservation: Theory and Practice, (Mathlouthi, M., Ed.), Elsevier Applied Science Publishing Co., pp 371 – 399, London, UK .
- Guilbert, S. , Gontard N., Gorris, L.G.M. 1996. Prolongation of the shelf-life of perishable food products using biodegradable films and coatings. **LWT-Food Science and Technology**, 29: 10 – 17.
- Guilbert, S., Cuq, B., Gontard, N. 1997. Recent innovations in edible and/or biodegradable packaging materials. **Food Additives and Contaminants**, 14(6-7): 741-751.
- Gutierrez-Pacheco, M. M., Ortega-Ramirez, L. A., Cruz-Valenzuela, M. R., Silva-Espinoza, B. A., Gonzalez-Aguilar, G. A., Ayala-Zavala, J. F. 2016. Combinational Approaches for Antimicrobial Packaging: Pectin and Cinnamon Leaf Oil. In: Antimicrobial Food Packaging (Barros-Velazquez, J., Ed.) Academic Press pp. 609-617, San Diego.
- Hagenmaier, R. D., Shaw, P. E. 1990. Moisture permeability of edible films made with fatty acid and hydroxypropyl methyl cellulose. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 38(9), 1799-1803.
- Hagenmaier, R. D., Shaw, P. E. 1991. Permeability of coatings made with emulsified polyethylene wax. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 39(10): 1705-1708.
- Hagenmaier, R. D., Shaw, P. E. 1991. Permeability of coatings made with emulsified polyethylene wax. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 39(10), 1705-1708.
- Hall, HS. (2004). Scaling of fluid bed coating. **Pharmaceutical Technology**, 1-5.
- Han, J. H. (2014). A review of food packaging technologies and innovations. In: Innovations in Food Packaging. Elsevier (pp. 3-12), London.

- Hanani, Z. N., Beatty, E., Roos, Y. H., Morris, M. A., Kerry, J. P. 2012. Manufacture and characterization of gelatin films derived from beef, pork and fish sources using twin screw extrusion. **Journal of Food Engineering**, 113(4): 606-614.
- Hanani, Z. N., McNamara, J., Roos, Y. H., Kerry, J. P. 2013. Effect of plasticizer content on the functional properties of extruded gelatin-based composite films. **Food Hydrocolloids**, 31(2): 264-269.
- 5.1** Hardenberg, R.E., 1967. Wax and related coatings for horticultural products-a bibliography. **Agricultural Research Bulletins**, 965: 1-123.
- Hede, P. D. 2006. Fluid Bed Particle Processing. Bookboon, Copenhagen.
- Hede, P. D., Bach, P., Jensen, A. D. 2008. Top-spray fluid bed coating: Scale-up in terms of relative droplet size and drying force. **Powder Technology**, 184(3): 318-332.
- Hemati, M. R. K. V., Cherif, R., Saleh, K., Pont, V. 2003. Fluidized bed coating and granulation: influence of process-related variables and physicochemical properties on the growth kinetics. **Powder Technology**, 130(1-3): 18-34.
- Heng, P. W. S., Chan, L. W., Chan, W. Y. 1999. Application of spot colour measurement for the optimisation of colour coating. S.T.P. **Pharma Sciences**, 9(6): 539-544.
- Hershko, V., Nussinovitch, A. 1998. Relationships between hydrocolloid coating and mushroom structure. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 46(8): 2988-2997.
- Hogan, S. A., McNamee, B. F., O'Riordan, E. D., O'Sullivan, M. 2001. Emulsification and microencapsulation properties of sodium caseinate/carbohydrate blends. **International Dairy Journal**, 11(3): 137-144.
- Hsieh, Y. L., Regenstein, J. M., Rao, M. A. 1993. Gel point of whey and egg proteins using dynamic rheological data. **Journal of Food Science**, 58(1): 116-119.

- Huttinger, R. 1978. Restoring hydrophilic properties to the stratum corneum –a new humectant Cosmet. Toilet., 93: 61-62
- Ivanova, E., Teunou, E., Poncelet, D. 2005. Encapsulation of water sensitive products: effectiveness and assessment of fluid bed dry coating. **Journal of Food Engineering**, 71(2): 223-230.
- Ivanova, V., Petrova, P., Hristov, J. 2011. Application in the ethanol fermentation of immobilized yeast cells in matrix of alginate/magnetic nanoparticles, on chitosan-magnetite microparticles and cellulose-coated magnetic nanoparticles. **International Review of Chemical Engineering**, 3: 289-299.
- Ji, J., Cronin, K., Fitzpatrick, J., Miao, S. 2017. Enhanced wetting behaviours of whey protein isolate powder: The different effects of lecithin addition by fluidised bed agglomeration and coating processes. **Food Hydrocolloids**, 71: 94-101.
- Jones, D. M., Percel, P.J. 1994. Coating of multiparticulates using molten materials: Formulation and process considerations. In: Multiparticulate Oral Drug Delivery (Isaac, G-S., Ed.). Marcel Dekker, pp. 113-142, New York.
- Jones, D., Godek E. 2016. Development, Optimization, and Scale-up of Process Parameters Wurster Coating. In: Developing Solid Oral Dosage Forms: Pharmaceutical Theory And Practice (Qiu, Y., Chen, Y., Zhang, G. G. Z., Yu L X, Mantri, R.V., Eds.). Academic Press, pp 807-825, Amsterdam.
- Jowitt, R. 1977. Heat transfer in some food processing applications of fluidisation. **Proceedings-Institute of Food Science and Technology**, 779–782.
- Kaçar, A., ve Şahan, N., 2004, Yağ ikame maddeleri kullanılarak üretilen enerjisi azaltılmış dondurmaların kimyasal özellikleri. Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 8: 7-13.
- Kamper, S. L., Fennema, O. 1984. Water vapor permeability of an edible, fatty acid, bilayer film. **Journal of Food Science**, 49(6): 1482-1485.

- Kamper, S. L., Fennema, O. 1985. Use of an edible film to maintain water vapor gradients in foods. **Journal of Food Science**, 50(2): 382-384.
- Kanig, J.L., Goodman, H. 1962. Evaluative procedures for film-forming materials used in pharmaceutical applications. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 51 (1): 77 – 83
- Karbowiak, T., Debeaufort, F., Champion, D., Voilley, A. 2006. Wetting properties at the surface of iota-carrageenan-based edible films. **Journal of Colloid and Interface Science**, 294(2), 400-410.
- Karel, M.; Proctor, B. E.; Wiseman, G. 1959. Factors Affecting Water Vapor Transfer Through Food Packaging Films. **Food Technology**, 13 (1): 69-74.
- Karlsson, S., Björn, I. N., Folestad, S., Rasmuson, A. 2006. Measurement of the particle movement in the fountain region of a Wurster type bed. **Powder Technology**, 165(1): 22-29.
- Kaya, S., Kaya, A. 2000. Microwave drying effects on properties of whey protein isolate edible films. **Journal of Food Engineering**, 43(2): 91-96.
- Keen, P. H., Slater, N. K., Routh, A. F. 2011. Encapsulation of yeast cells in colloidosomes. *Langmuir*, 28(2): 1169-1174.
- Keningley, S. T., Knight, P. C., Marson, A. D. 1997. An investigation into the effects of binder viscosity on agglomeration behaviour. **Powder Technology**, 91(2): 95-103.
- Kester, J. J., Fennema, O. 1989. Resistance of lipid films to oxygen transmission. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, 66(8): 1129-1138.
- Kester, J. J., Fennema, O. R. 1986. Edible films and coatings: a review. **Food Technology**, 40 (12): 47 – 59.
- Khan, M. I., Adrees, M. N., Tariq, M. R., Sohaib, M. 2013. Application of edible coating for improving meat quality: A review. **Pakistan Journal of Food Sciences**, 23(2): 71-79.

- Kim, S. J., Ustunol, Z. 2001. Sensory attributes of whey protein isolate and candelilla wax emulsion edible films. **Journal of Food Science**, 66(6): 909-911.
- King, A.H. 1983. Brown seaweed extracts (alginates). In: Food Hydrocolloids (Gliksman M., Ed.), CRC, pp 115-188, Boca Raton.
- Koelsch, C. M., Labuza, T. P. 1992. Functional, physical and morphological properties of methyl cellulose and fatty acid-based edible barriers. **LWT-Food Science and Technology**, 25(5), 404-411.
- Kokoszka, S., Debeaufort, F., Hambleton, A., Lenart, A., Voilley, A. 2010. Protein and glycerol contents affect physico-chemical properties of soy protein isolate-based edible films. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 11(3): 503-510.
- Kosar, J., Atkins, G. M. Encapsulation. U.S. Pat. 3,406,119, 1968.
- Kozempel M., McAloon A.J., Tomasula, P.M. 2003. Drying kinetics of calcium caseinate. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 51 (3): 773 – 776
- Kramer, M.E. 2009. Structure and Function of Starch-Based Edible Films and Coatings. In: Edible Films and Coatings for Food Applications (Embuscado, M.E., Huber, K.C., Eds.), pp 113-135, Springer Dordrecht Heidelberg London New York.
- Krochta, J. M., Mulder-Johston, C. 1997. Edible and Biodegradable Polymer Films Challenges and Opportunities (Scientific Status Summary), **Food Technology**, 51 (2).
- Krochta, J.M., Baldwin, E.A., Nisperos-Carriedo, M. 1994. Edible coatings and films to improve food quality, CRC Press, Boca Raton.
- Krumel, K.L., Lindsay, T.A. 1976. Nonionic cellulose ethers. **Food Technology**, 30 (4) : 36 – 8, 40, 43
- Kurtuluş, O. 2007. Akışkan yatakta kurutma prosesinin incelenmesi (Yüksek lisans tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

- Labuza, T., Contreras-Medellin, R. 1981. Prediction of moisture protection requirements for foods. **Cereal Foods World** (USA), 26 (7): 335–340
- Lacroix, M. 2009. Mechanical and Permeability Properties of Edible Films and Coatings for Food and Pharmaceutical Applications. In: *Edible Films and Coatings for Food Applications* (Embuscado, M.E., Huber, K.C., Eds.), pp 347-367, Springer Dordrecht Heidelberg London New York.
- Lakkis, J. 2009. Fats in microencapsulation applications: benefits and challenges. XVIIth International Conference on Bioencapsulation, September 24-26, 2009, Oral 05(1) :1-4, Groningen, Netherlands.
- Lakkis, JM. 2007. Encapsulation and Controlled Release in Bakery Applications. In: *Encapsulation and Controlled Release Technologies in Food Systems* (Lakkis JM., Ed.), Blackwell Publishing, 113-133p.
- Le Tien, C., Letendre, M., Ispas-Szabo, P., Mateescu, M. A., Delmas-Patterson, G., Yu, H. L., Lacroix, M. 2000. Development of biodegradable films from whey proteins by cross-linking and entrapment in cellulose. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 48(11): 5566-5575.
- Lee, J. Y., Park, H. J., Lee, C. Y., Choi, W. Y. 2003. Extending shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents. **LWT-Food Science and Technology**, 36(3): 323-329.
- Li, Y., Xu, S. Y., Sun, D. W. 2007. Preparation of garlic powder with high allicin content by using combined microwave–vacuum and vacuum drying as well as microencapsulation. **Journal of Food Engineering**, 83(1): 76-83.
- Link, K. C., Schlünder, E. U. 1997. Fluidized bed spray granulation: Investigation of the coating process on a single sphere. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, 36(6): 443-457.
- Lowings, P.H., Cutts, D.F. 1982. The preservation of fresh fruits and vegetables. In: *Proceedings of the Institute of Food Science and Technology Annual Symposium*, p 52, Nottingham, UK.

- Madene, A., Jacquot, M., Scher, J., Desobry, S. 2006. Flavour encapsulation and controlled release—a review. **International Journal of Food Science & Technology**, 41(1): 1-21.
- Maftoonazad, N. , Ramaswamy. H. S. 2005. Postharvest shelf-life extension of avocados using methyl cellulose-based coating. **LWT-Food Science and Technology**, 38:617-24.
- Mali, S., Sakanaka, L. S., Yamashita, F., Grossmann, M. V. E. 2005. Water sorption and mechanical properties of cassava starch films and their relation to plasticizing effect. **Carbohydrate Polymers**, 60(3): 283-289.
- Mangavel, C., Barbot, J., Gueguen, J. Popineau, Y. 2003. Molecular determinants of the influence of hydrophilic plasticisers on the mechanical properties of cast wheat gluten films. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 51: 1447–1452.
- Mark, A. M., Roth, W. B., Mehlretter, C. L. , Rist C. E. 1966. Oxygen permeability of amylo maize starch films. **Food Technology**, 20:75.
- Maronga, S. J., Wnukowski, P. 2001. Growth kinetics in particle coating by top-spray fluidized bed systems. **Advanced Powder Technology**, 12(3): 371-391.
- Martin-Polo, M., Mauguin, C., Voilley, A. 1992. Hydrophobic films and their efficiency against moisture transfer. 1. Influence of the film preparation technique. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 40(3): 407-412.
- Martin-Polo, M., Voilley, A., Blond, G., Colas, B., Mesnier, M., Floquet, N. 1992b. Hydrophobic films and their efficiency against moisture transfer. 2. Influence of the physical state. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 40(3): 413-418.
- Mason, D. F. 1969. Oct 14. Fruit preservation process. US patent, 3(472), 662.
- Mate, J. I., Krochta, J. M. 1998. Oxygen uptake model for uncoated and coated peanuts. **Journal of Food Engineering**, 35, 299–312.

- McHugh, T. H., Krochta, J. M. 1994b. Permeability properties of edible films. In: *Edible Films and Coatings to Improve Food Quality* (Krochta, J.M., Baldwin EA , Nisperos-Carriedo, M., Eds.). Technomic Publishing Company, pp. 139 – 188, Lancaster, USA.
- McHugh, T. H. 2000. Protein-lipid interactions in edible films and coatings. **Food/Nahrung**, 44(3): 148-151.
- McHugh, T. H., Krochta, J. M. 1994. Sorbitol-vs glycerol-plasticized whey protein edible films: integrated oxygen permeability and tensile property evaluation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 42(4): 841-845.
- McHugh, T. H., Krochta, J. M. 1994a. Milk-protein-based edible films and coatings. **Food Technology**, 48 (1): 97 – 103.
- McHugh, T. H., Krochta, J. M. 1994c. Water vapor permeability properties of edible whey protein-lipid emulsion films. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, 71(3),: 307-312.
- McHUGH, T. H., Aujard, J. F., Krochta, J. M. 1994. Plasticized whey protein edible films: water vapor permeability properties. **Journal of Food Science**, 59(2): 416-419.
- McHugh, T. H., Avena-Bustillos, R., Krochta, J. M. 1993. Hydrophilic edible films: modified procedure for water vapor permeability and explanation of thickness effects. **Journal of Food Science**, 58(4): 899-903.
- McNamee, B. F., O'Riorda, E. D., O'Sullivan, M. 1998. Emulsification and microencapsulation properties of gum arabic. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 46(11): 4551-4555.
- Meheriuk, M., Lau, O. L. 1988. Effect of two polymeric coatings on fruit quality of Bartlett'and'd'Anjou'pears. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, 113: 222-226.
- Miller, K. S., Krochta, J. M. 1997. Oxygen and aroma barrier properties of edible films: A review. **Trends in Food Science & Technology**, 8(7): 228-237.

- Mills, P. J. T., Seville, J. P. K., Knight, P. C., Adams, M. J. 2000. The effect of binder viscosity on particle agglomeration in a low shear mixer/agglomerator. **Powder Technology**, 113(1-2): 140-147.
- Mine, Y., Noutomi, T., and Haga, N. 1990. Thermally induced changes in egg whiteproteins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 38: 2122-2125.
- Molinaro, S., Cruz-Romero, M., Sensidoni, A., Morris, M., Lagazio, C., Kerry, J. P. 2015. Combination of high-pressure treatment, mild heating and holding time effects as a means of improving the barrier properties of gelatin-based packaging films using response surface modeling. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 30: 15-23.
- Morgan, B.H. 1971. Edible packaging update. *Food Prod Devel* 5:75 – 7,108
- Morillon, V., Debeaufort, F., Blond, G., Capelle, M., Voilley, A. 2002. Factors affecting the moisture permeability of lipid-based edible films: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 42(1): 67-89.
- Mujica-Paz, H., Gontard, N. 1997. Oxygen and carbon dioxide permeability of wheat gluten film: effect of relative humidity and temperature. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 45(10): 4101-4105.
- Murray, J. C. F. 2000. Cellulosics . In: *Handbook of Hydrocolloids* (Phillips GO , Williams PA., Eds.) Woodhead Publishing Ltd., pp 219 – 229,Cambridge, UK.
- Murry, D. G. 1973. Low-DE corn starch hydrolysates. **Food Technology**, 27: 32-39.
- Müller, C. M., Yamashita, F., Laurindo, J. B. 2008. Evaluation of the effects of glycerol and sorbitol concentration and water activity on the water barrier properties of cassava starch films through a solubility approach. **Carbohydrate Polymers**, 72(1): 82-87.

- Nakamura, R., Doi, E. 1986. Egg processing. In: *Egg Science and Technology* (Stadelman, W. J. & Cotterill, O.J., Eds.) (3rd ed.) AVI Publishing Co., pp 171–207, Westport, CT, USA.
- Nieto, M.B. 2009. Structure and Function of Polysaccharide Gum-Based Edible Films and Coatings. In: *Edible Films and Coatings for Food Applications* (Embuscado, M.E., Huber, K.C., Eds.), pp 57-113, Springer Dordrecht Heidelberg London, New York.
- Nilsuwan, K., Benjakul, S., Prodpran, T. 2016. Influence of palm oil and glycerol on properties of fish skin gelatin-based films. **Journal of Food Science and Technology**, 53(6): 2715-2724.
- Nisperos-Carriedo, M. O., Baldwin, E. A. 1990. Edible coatings for fresh fruits and vegetables. In *Subtropical Technology Conference Proceedings*, Lake Alfred, FL.
- Olivas, G. I., Barbosa-Cánovas, G. V. 2005. Edible coatings for fresh-cut fruits. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 45(7-8): 657-670.
- Olivas, G. I., Barbosa-Cánovas, G. V. 2008. Alginate–calcium films: water vapor permeability and mechanical properties as affected by plasticizer and relative humidity. **LWT-Food Science and Technology**, 41(2): 359-366.
- Olivas, G.I., Barbosa-Cánovas, G. V. 2009. Edible Films and Coatings for Fruits and Vegetables. In: *Edible Films and Coatings for Food Applications* (Embuscado, M.E., Huber, K.C., Eds.), pp 211-245, Springer Dordrecht Heidelberg London New York.
- Onwulata, C., 2005. *Encapsulated and Powdered Foods*. Taylor and Francis, Boca Raton.
- Ortega-Toro, R., Jiménez, A., Talens, P., & Chiralt, A. (2014). Effect of the incorporation of surfactants on the physical properties of corn starch films. *Food Hydrocolloids*, 38: 66-75.
- Ouattara, B., Giroux, M., Smoragiewicz, W., Saucier, L., & Lacroix, M. (2002). Combined effect of gamma irradiation, ascorbic acid, and edible coating on

the improvement of microbial and biochemical characteristics of ground beef. **Journal of Food Protection**, 65(6): 981-987.

- Palamanit, A., Prachayawarakorn, S., Tungtrakul, P., Soponronnarit, S. 2016. Performance evaluation of top-spray fluidized bed coating for healthy coated rice production. **Food and Bioprocess Technology**, 9(8): 1317-1326.
- Panyam, D., Kilara, A. 1996. Enhancing the functionality of food proteins by enzymatic modification. **Trends in Food Science and Technology**, 7(4): 120-125.
- Parikh, D. 2017. How to Optimize Fluid Bed Processing Technology: Part of the Expertise in Pharmaceutical Process Technology Series, MA: Elsevier, Academic Press, Cambridge.
- Park, JW., Testin, RF., Park HJ., Vergano, PJ., Weller, CL. 1994. Fatty acid concentration effect on tensile strength, elongation, and water vapor permeability of laminated edible film. *Journal of Food Science*, 59: 916–919.
- Park, J.K., Chang, H.N. 2000. Microencapsulation of microbial cells. **Biotechnology Advances**, 18: 303–319.
- Patzsch, K., Riedel, K., Pietzsch, M. 2010. Parameter optimization of protein film production using microbial transglutaminase. **Biomacromolecules**, 11(4): 896-903.
- Pauw PD, Dewettinck K, Arnaut F, Huyghebaert A. 1995. Fluid-Bed Microencapsulation of Fumaric Acid by Water-Soluble Biopolymers: New Means of Controlling the Quality of Sourdough Breads. In: *Minimal Processing of Foods and Process Optimisation*, (Oliveira J.C., Ed.), 3:26-40p, CRC Pres, Cambridge, England.
- Pavlath, A.E., Orts, W. 2009. Edible Films and Coatings: Why, What, and How?. In: *Edible Films and Coatings for Food Applications* (Embuscado, M.E., Huber, K.C., Eds.), pp 1-25, Springer Dordrecht Heidelberg London New York.

- Pedersen, G. P., Fäldt, P., Bergenståhl, B., Kristensen, H. G. 1998. Solid state characterisation of a dry emulsion: a potential drug delivery system. **International Journal of Pharmaceutics**, 171(2): 257-270.
- Pérez-Gago, M. B., Krochta, J. M. 1999. Water vapor permeability of whey protein emulsion films as affected by pH. **Journal of Food Science**, 64(4): 695-698.
- Perez-Gago, M. B., Krochta, J. M. 2000. Drying temperature effect on water vapor permeability and mechanical properties of whey protein– lipid emulsion films. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 48(7): 2687-2692.
- Pérez-Gago, M. B., Nadaud, P., Krochta, J. M. 1999. Water vapor permeability, solubility, and tensile properties of heat-denatured versus native whey protein films. **Journal of Food Science**, 64(6): 1034-1037.
- Perez-Gago, M. B., Serra, M., Del Rio, M. A. 2006. Color change of fresh-cut apples coated with whey protein concentrate-based edible coatings. **Postharvest Biology and Technology**, 39(1): 84-92.
- Popović, S., Peričin, D., Vaštag, Ž., Lazić, V., Popović, L. 2012. Pumpkin oil cake protein isolate films as potential gas barrier coating. **Journal of Food Engineering**, 110(3): 374-379.
- Prajapati, V. D., Maheriya, P. M., Jani, G. K., Solanki, H. K. 2014. Carrageenan: a natural seaweed polysaccharide and its applications. **Carbohydrate Polymers**, 105: 97-112.
- Pranoto, Y., Salokhe, V. M., Rakshit, S. K. 2005. Physical and antibacterial properties of alginate-based edible film incorporated with garlic oil. **Food Research International**, 38(3): 267-272.
- Pusapati, R. T., Rao, T. V. 2014. Fluidized bed processing: A review. **Indian Journal of Research in Pharmacy and Biotechnology**, 2(4): 1360.
- Rankin, J., Wolff, I., Davis, H., Rist, C. 1958. Permeability of Amylose Film to Moisture Vapor, Selected Organic Vapors, and the Common

Gases. **Industrial and Engineering Chemistry Chemical and Engineering Data Series**, 3(1): 120-123.

- Raymond, M. C., Neufeld, R. J., Poncelet, D. 2004. Encapsulation of brewers yeast in chitosan coated carrageenan microspheres by emulsification/thermal gelation. **Artificial Cells, Blood Substitutes, and Biotechnology**, 32(2): 275-291.
- Reading, S., Spring, M. 1984. The effects of binder film characteristics on granule and tablet properties. **Journal of Pharmacy and Pharmacology**, 36: 421 – 426.
- Ressouany, M., Vachon, C., Lacroix, M. 1998. Irradiation dose and calcium effect on the mechanical properties of cross-linked caseinate films. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 46(4): 1618-1623.
- Rhim, J. W., Ng, P. K. 2007. Natural biopolymer-based nanocomposite films for packaging applications. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 47(4): 411-433.
- Rico-Peña, D. C., Torres, J. A. 1990. Edible methylcellulose-based films as moisture-impermeable barriers in sundae ice cream cones. **Journal of Food Science**, 55(5), 1468-1469.
- Rico-Peña, D. C., Torres, J. A. 1991. Sorbic acid and potassium sorbate permeability of an edible methylcellulose-palmitic acid film: water activity and pH effects. **Journal of Food Science**, 56(2): 497-499.
- Rico-Peña, D.C., Torres, J. A. 1990. Edible methylcellulose-based films as moisture-impermeable barriers in sundae ice cream cones. **Journal of Food Science**, 55(5): 1468-1469.
- Rimac-Brnčić, S., Lelas, V., Rade, D., Šimundić, B. 2004. Decreasing of oil absorption in potato strips during deep fat frying. **Journal of Food Engineering**, 64(2): 237-241.

- Rios, G., Baxerres, J. L., Gilbert, H. 1978. Factors influencing the extent of enzyme inactivation during fluidized bed blanching of peas. **LWT-Food Science and Technology**, 11: 176–180.
- Robertson, G.L. 2013. Food Packaging: Principle and Practice. Third Edition, CRC Press, 703p, Boca Raton.
- Rogers, C.E. 1985. Permeation of gases and vapors in polymers. In: Polymer Permeability, (Comyn J., Ed.), Elsevier Applied Science Publishers, pp 11–73, New York.
- Roos, Y., Karel, M. 1991. Plasticizing effect of water on thermal behavior and crystallization of amorphous food models. **Journal of Food Science**, 56(1): 38-43.
- Sabato, S. F., Ouattara, B., Yu, H., D'aprano, G., Le Tien, C., Mateescu, M. A., Lacroix, M. 2001. Mechanical and barrier properties of cross-linked soy and whey protein based films. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 49(3): 1397-1403.
- Saberi, B., Chockchaisawasdee, S., Golding, J. B., Scarlett, C. J., Stathopoulos, C. E. 2017. Physical and mechanical properties of a new edible film made of pea starch and guar gum as affected by glycols, sugars and polyols. **International Journal of Biological Macromolecules**, 104: 345-359.
- Sacharow, S. 1972. Edible films. **Packaging**, 43(6): 9.
- Sanderson, G. R. 1981. Polysaccharides in foods, **Food Technology**, 35:50 – 7,83.
- Santacruz, S., Rivadeneira, C., Castro, M. 2015. Edible films based on starch and chitosan. Effect of starch source and concentration, plasticizer, surfactant's hydrophobic tail and mechanical treatment. **Food Hydrocolloids**, 49: 89-94.
- Santerre, C. R., Leach, T. F., Cash, J. N. 1989. The influence of the sucrose polyester, semperfresh™, on the storage of michigan grown “mcintosh” and “golden delicious” apples 1. **Journal of Food Processing and Preservation**, 13(4): 293-305.

- Saul, S. 1964. U.S. Patent No. 3,137,631. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Schaafsma, S. H., Kossen, N. W., Mos, M. T., Blauw, L., Hoffmann, A. C. 1999. Effects and control of humidity and particle mixing in fluid-bed granulation. **AIChE Journal**, 45(6): 1202-1210.
- Schell, D., Beermann, C. 2014. Fluidized bed microencapsulation of *Lactobacillus reuteri* with sweet whey and shellac for improved acid resistance and in-vitro gastro-intestinal survival. **Food Research International**, 62: 308-314.
- Schleißinger, M., Schmitt, J. J. 2014. Easy Measurement of Different Forces of Water Retention by Hydrocolloids through Water Loss at Same Viscosity. **Advance Journal of Food Science and Technology**, 6(9): 1033-1035.
- Semyonov, D., Ramon, O., Kovacs, A., Friedlander, L., Shimoni, E. 2012. Air-suspension fluidized-bed microencapsulation of probiotics. **Drying Technology**, 30(16): 1918-1930.
- Senna, M. M., Salmieri, S., El-Naggar, A. W., Safrany, A., Lacroix, M. 2010. Improving the compatibility of zein/poly (vinyl alcohol) blends by gamma irradiation and graft copolymerization of acrylic acid. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 58(7): 4470-4476.
- Senna, M. M., Salmieri, S., El-Naggar, A. W., Safrany, A., Lacroix, M. 2010. Improving the compatibility of zein/poly (vinyl alcohol) blends by gamma irradiation and graft copolymerization of acrylic acid. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 58(7): 4470-4476.
- Sharma, L., Singh, C. 2016. Sesame protein based edible films: Development and characterization. **Food Hydrocolloids**, 61: 139-147.
- Sherwin, C. P., Smith, D. E., Fulcher, R. G. 1998. Effect of fatty acid type on dispersed phase particle size distributions in emulsion edible films. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 46(11): 4534-4538.
- Shilton, N.C., Niranjana, K. 1993. Fluidization and its applications to food processing. **Food Structure**, 12: 199–215.

- Shit, S. C., Shah, P. M. 2014. Edible polymers: Challenges and opportunities. **Journal of Polymers**, 2014.
- Siew, D. C., Heilmann, C., Easteal, A. J., Cooney, R. P. 1999. Solution and film properties of sodium caseinate/glycerol and sodium caseinate/polyethylene glycol edible coating systems. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 47(8): 3432-3440.
- Slade, L., Levine, H. 1987. Polymer-chemical properties of gelatin in foods. In: *Advances in meat research* (Albert Marchant Pearson, A.M., Dutson, T.R., Bailey, A.J., Eds.), Van Nostrand Reinhold, New York.
- Smith, P. G. 2008. Applications of fluidization to food processing. UK Blackwell Science Ltd., Oxford.
- Solís-Morales, D., Sáenz-Hernández, C. M., Ortega-Rivas, E. 2009. Attrition reduction and quality improvement of coated puffed wheat by fluidised bed technology. **Journal of Food Engineering**, 93(2): 236-241.
- Sonar, G. S., Rawat, S. S. 2015. Wurster technology: Process variables involved and Scale up science: A review. **Innovations in Pharmacy and Pharmaceutical Technology**, 1 (1): 100-109.
- Sothornvit, R., Krochta, J. M. 2001. Plasticizer effect on mechanical properties of beta-lactoglobulin films. **Journal of Food Engineering**, 50 (3): 149 – 155
- Suderman, N., Isa, M. I. N., & Sarbon, N. M. (2018). The effect of plasticizers on the functional properties of biodegradable gelatin-based film: A review. **Food Bioscience**, 24: 111-119.
- Sun, P., Zeng, M., He, Z., Qin, F., Chen, J. 2013. Controlled release of fluidized bed-coated menthol powder with a gelatin coating. **Drying Technology**, 31(13-14): 1619-1626.
- Šuput, D. Z., Lazić, V. L., Popović, S. Z., Hromiš, N. M. 2015. Edible films and coatings: Sources, properties and application. **Food and Feed Research**, 42(1): 11-22.

- Szulc, K., Lenart, A. 2013. Surface modification of dairy powders: Effects of fluid-bed agglomeration and coating. **International Dairy Journal**, 33(1): 55-61.
- Takahashi, M., Yamada, M., Machida, Y., Tsuda, Y. 1984. A new method to evaluate the softening effect of cosmetic ingredients on the skin. **Journal of the Society of Cosmetic Chemists**, 35:171-181.
- Talebnia, F., Taherzadeh, M. J. 2007. Physiological and morphological study of encapsulated *Saccharomyces cerevisiae*. **Enzyme and Microbial Technology**, 41(6-7): 683-688.
- Talebnia, F., Niklasson, C., Taherzadeh, M. J. 2005. Ethanol production from glucose and dilute-acid hydrolyzates by encapsulated *S. cerevisiae*. **Biotechnology and Bioengineering**, 90(3), 345-353.
- Teunou E, Poncelet D. 2005. Fluid-Bed Coating. Encapsulated and Powdered Foods (Onwulata C., Ed.), Taylor & Francis, 197-215, Boca Raton.
- Thomazine, M., Carvalho, R. A., Sobral, P. J. 2005. Physical properties of gelatin films plasticized by blends of glycerol and sorbitol. **Journal of Food Science**, 70(3): E172-E176.
- Turchiuli, C. 2013. Fluidization in food powder production. In: Handbook of Food Powders (Bhandari B., Bansal N., Zhang M., Schuck P., Eds.), Woodhead Publishers, pp 178-199, Oxford.
- Turchiuli, C., Eloualia, Z., El Mansouri, N., Dumoulin, E. 2005. Fluidised bed agglomeration: Agglomerates shape and end-use properties. **Powder Technology**, 157(1-3): 168-175.
- USEPA. 1994. Environmental Protection Agency. Emission Factor Documentation for AP-42 Section 9.13.4, Yeast Production Final Report, EPA Contract No. 68-D2-0159. Washington, DC: United State.
- Vachon, C., Yu, H. L., Yefsah, R., Alain, R., St-Gelais, D., Lacroix, M. 2000. Mechanical and structural properties of milk protein edible films cross-

- linked by heating and γ -irradiation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 48(8): 3202-3209.
- Varela, P., Fiszman, S. M. 2011. Hydrocolloids in fried foods. A review. **Food Hydrocolloids**, 25(8): 1801-1812.
- Vinter, H. 1982. Aqueous (and organic) film-coating by fluidisation technology, Proceedings of an International Conference on Fluidisation Technology for Pharmaceutical Manufacturers, Powder Advisory Centre, London, 1–11.
- Wan, L. S., Heng, P. W., Liew, C. V. 1995. The influence of liquid spray rate and atomizing pressure on the size of spray droplets and spheroids. **International Journal of Pharmaceutics**, 118(2): 213-219.
- Wan, V. C. H., Kim, M. S., Lee, S. Y. 2005. Water vapor permeability and mechanical properties of soy protein isolate edible films composed of different plasticizer combinations. **Journal of Food Science**, 70(6): e387-e391.
- Wang, L. Z., Liu, L., Holmes, J., Kerry, J. F., Kerry, J. P. 2007. Assessment of film-forming potential and properties of protein and polysaccharide-based biopolymer films. **International Journal of Food Science and Technology**, 42(9): 1128-1138.
- Werner, S. R., Jones, J. R., Paterson, A. H., Archer, R. H., Pearce, D. L. 2007. Air-suspension particle coating in the food industry: Part I—State of the art. **Powder Technology**, 171(1): 25-33.
- Werner, S. R., Jones, J. R., Paterson, A. H., Archer, R. H., Pearce, D. L. 2007. Air-suspension coating in the food industry: Part II—micro-level process approach. **Powder Technology**, 171(1): 34-45.
- Wongsasulak, S., Yoovidhya, T., Bhumiratana, S., Hongsprabhas, P. 2007. Physical properties of egg albumen and cassava starch composite network formed by a salt-induced gelation method. **Food Research International**, 40(2): 249-256.

- Woodruff, C. W., Peck, G. E., Banker, G. S. 1972. Effect of environmental conditions and polymer ratio on water vapor transmission through free plasticized cellulose films. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, 61(12): 1956-1959.
- Wu, Y., Weller, C. L., Hamouz, F., Cuppett, S. L., Schnepf, M. 2002. Development and application of multicomponent edible coatings and films: A review. **Advances in Food and Nutrition Research**, 44:347-394.
- Yang, S. H., Kang, S. M., Lee, K. B., Chung, T. D., Lee, H., Choi, I. S. 2011. Mussel-inspired encapsulation and functionalization of individual yeast cells. **Journal of the American Chemical Society**, 133(9):2795-2797.
- Yang, S. H., Lee, K. B., Kong, B., Kim, J. H., Kim, H. S., Choi, I. S. 2009. Biomimetic encapsulation of individual cells with silica. **A Journal of the German Chemical Society**, 48(48): 9160-9163.
- Zhang, Y., Han, J. H. 2008. Sorption isotherm and plasticization effect of moisture and plasticizers in pea starch film. **Journal of Food Science**, 73(7): E313-E324.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Semra BOZKURT

Doğum Yeri Ve Tarihi : Torbalı/22.10.1995

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi : Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans Öğrenimi : Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü

Yabancı Diller : İngilizce

BİLİMSEL FAALİYETLERİ

Bozkurt, S., Yazıcı, U. M., Bozbey, S., & Yorulmaz, A. (2017). Mikrodalga Isıtmanın Pirina Yağının Oksidatif Stabilitesi ve Yağ Asidi Bileşimine Etkisi. Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 14(2): 51-55.

İLETİŞİM

E-Posta Adresi : semrabozkurt35@gmail.com