

T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**HİDROFOBİK MALZEMELERLE KAPLANMIŞ NIŞASTA BAZLI KÖPÜK  
TABAK ÜRETİMİ**

**Yunus Emre KISAÇ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GIDA MÜHENDİSLİĞİ**

**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**AĞUSTOS 2020**

**ANTALYA**

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**HİDROFOBİK MALZEMELERLE KAPLANMIŞ NIŞASTA BAZLI KÖPÜK  
TABAK ÜRETİMİ**

**Yunus Emre KISAÇ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GIDA MÜHENDİSLİĞİ**

**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**AĞUSTOS 2020**

**ANTALYA**

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HİDROFOBİK MALZEMELERLE KAPLANMIŞ NIŞASTA BAZLI KÖPÜK  
TABAK ÜRETİMİ**

**Yunus Emre KISAÇ  
GIDA MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Bu tez Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi  
tarafından FYL-2019-4868 nolu proje ile desteklenmiştir.**

**AĞUSTOS 2020**

T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİDROFOBİK MALZEMELERLE KAPLANMIŞ NIŞASTA BAZLI KÖPÜK  
TABAK ÜRETİMİ

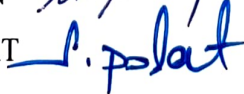
Yunus Emre KISAÇ  
GIDA MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 26/08/2020 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / ~~Oyçokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mustafa Kemal USLU (Danışman)

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet TORUN

Dr. Öğr. Üyesi Süleyman POLAT



## ÖZET

# HİDROFOBİK MALZEMELERLE KAPLANMIŞ NIŞASTA BAZLI KÖPÜK TABAK ÜRETİMİ

**Yunus Emre KISAÇ**

**Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Mustafa Kemal USLU**

**Ağustos 2020; 50 sayfa**

Genleştirilmiş polistiren tabakların gıda ambalajlama ve servisinde kullanımı hafif ve ucuz olması nedeniyle özellikle son yıllarda çok fazla yaygınlaşmıştır. Fakat çevre üzerindeki olumsuz etkilerinden dolayı dünyanın pek çok yerinde kullanımı yasaklanmaya veya kısıtlanmaya başlamıştır. Son yıllarda biyobozunur köpük tabak üretimi üzerine pek çok çalışma yapılmaktadır. Nişasta bazlı köpük tabaklar biyobozunur olması ve yeterince mekanik dirence sahip olması açısından büyük umut vadetse de suya karşı yeterince direnç gösterememesi, ticari olarak kullanımının yaygınlaşmasındaki en önemli engellerden biridir. Bu çalışmada glioksal ile çapraz bağlanmış buğday nişastası veya buğday-patates nişastası karışımından hazırlanan %35'lik nişasta süspansiyonuna, nişastanın %0,5'i kadar guar gam ve %7'si kadar buğday lifi eklenip pişirilerek köpük tabaklar üretilmiştir. Tabakların suya karşı direncini arttırmak amacıyla, tabaklar polilaktik asit (PLA), polikaprolakton (PCL) ve polimetil metakrilat (PMMA) çözeltileri kullanılarak kaplanmıştır. PLA ve PCL kloroformda çözülerek, PMMA çözeltisi ise benzende çözülerek kaplama çözeltileri hazırlanmıştır.

Farklı malzemelerle kaplanan köpük tabakların yoğunlukları, yüzde su emme miktarları ve hızları, mekanik özellikleri belirlenmiştir. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometresi (FT-IR) ile kaplanmış tabakların yüzeyi incelenmiş, taramalı elektron mikroskobu (SEM) altında tabakların yüzey ve yan kesitleri görüntülenmiştir. Simüle edilmiş toprağa gömülen köpük tabak parçalarının yüzde ağırlık kayıpları ve görsel değişimleri izlenmiştir. Köpük tabakların yoğunlukları, nişasta kaynağından etkilenmezken ( $p>0,05$ ) kaplama malzemelerinin tabakların yoğunlukları üzerinde önemli seviyede ( $p<0,05$ ) etkili olduğu ve tabakların yoğunluklarını arttırdığı bulunmuştur. Buğday ve buğday-patates nişastasından üretilen köpük tabakların ortalama yüzde su emme miktarlarının sırasıyla %50 ve %53 olduğu, aralarındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olmadığı belirlenmiştir. PLA (%12) ve PMMA (%8) ile kaplanan köpük tabakların ortalama yüzde su emme miktarları önemli seviyede ( $p<0,01$ ) azalmıştır. Kaplanmamış tabakların ortalama su emme hızınının 8,413 g/dk olarak bulunmuş, kaplama uygulaması tabakların su emme hızını önemli seviyede azaltmıştır. PCL, PLA ve PMMA ile kaplanan örneklerin su emme hızları sırasıyla 1,783 g/dk, 0,247 g/dk ve 0,014 g/dk olduğu, özellikle PMMA ile kaplamanın, örneklerin su emme hızını en etkili şekilde azalttığı belirlenmiştir. Buğday nişastasından üretilen köpük tabakların bükme mukavemetinin (1,848 MPa) ve elastik modülünün

(66,026 MPa), buğday-patates nişastalarından üretilen köpük tabakların bükme mukavemetinden (1,388 MPa) ve elastik modülünden (50,598 MPa) daha yüksek olduğu bulunmuştur. PLA (1,525 MPa) ile kaplanmış tabakların bükme mukavemeti kaplanmamış tabaklarinkine (1,180 MPa) benzer çıkarken PMMA (1,801 MPa) ve PCL (1,967 MPa) ile kaplanmış tabakların bükme mukavemetinin kaplanmamış tabaklarinkinden istatistiksel olarak önemli seviyede yüksek olduğu tespit edilmiştir. FT-IR analizi ile kaplama malzemelerinin nişasta bazlı köpük tabakların yüzeylerini başarılı bir şekilde kapladığı tespit edilmiştir. Yüzey SEM görüntülerine göre buğday-patates nişastasından üretilen tabakların buğday nişastasından üretilen tabaklara göre yüzeylerinde daha az çatlak olduğu, gözenek sayısının daha az ve gözenek çapının daha küçük olduğu belirlenmiştir. Kaplama malzemelerinin köpük tabakların yüzeylerindeki çatlakları ve gözenekleri doldurduğu, bundan dolayı köpük tabakların yoğunluklarının, bükme mukavemetlerinin, elastik modüllerinin arttığı, yüzde su emme miktarlarının ve hızlarının azaldığı tespit edilmiştir. Kesit SEM görüntülerinden PCL, PLA ve PMMA'nın ortalama kaplama kalınlıkları sırasıyla 48,37 µm, 29,93 µm ve 44,07 µm olarak bulunmuştur. Simüle edilmiş toprağa gömülen kaplanmamış tabakların 3. günde, PCL ile kaplanmış tabakların 42. günde, PLA ile kaplanan tabakların ise 84. günde tartılamayacak şekilde parçalandığı görülmüştür. PMMA ile kaplanan tabakların ise 120. günde ortalama %95 oranında parçalara ayrıldığı belirlenmiştir. Denemesi yapılan kompostlama koşullarında tamamıyla parçalara ayrılması en uzun zaman alacak tabakların nişasta kaynağından bağımsız olarak PMMA ile kaplanan tabaklar olduğu sonucuna varılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELEER:** Köpük tabak, Nişasta, Polikaprolakton, Polilaktik Asit, Polimetil metakrilat

**JÜRİ:** Prof. Dr. Mustafa Kemal USLU (Danışman)

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet TORUN

Dr. Öğr. Üyesi Süleyman POLAT

## **ABSTRACT**

### **COATED WITH HYDROPHOBIC SUBSTANCES STARCH BASED FOAM TRAY PRODUCTION**

**Yunus Emre KISAÇ**

**MSc. Thesis in, Department of Food Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Mustafa Kemal USLU**

**August 2020; 50 pages**

The usage of expanded polystyrene trays in food packaging and service has become widespread especially in recent years due to its lightness and cheapness. However, its usage has begun to be banned or restricted in many parts of the world due to its negative effects on the environment. In recent years, many studies have been carried out on the production of biodegradable foam trays. Although starch-based foam trays show great promise in terms of being biodegradable and having sufficient mechanical resistance, their inadequate resistance to water is one of the most important obstacles in the spread of commercial use. In this study, the 35% starch suspensions were prepared from wheat starch or a mixture of wheat-potato starch cross-linked with glyoxal, 0,5% guar gum, 7% wheat fiber were added to the suspensions, and then foam trays were produced by baking. To increase the water-resistance of the trays, the trays were coated using polylactic acid (PLA), polycaprolactone (PCL), and polymethyl methacrylate (PMMA) solutions. Coating solutions were prepared by dissolving PLA and PCL in chloroform and by dissolving the PMMA solution in benzene.

Densities, percentage water absorption amounts, and rates, mechanical properties of the uncoated and coated foam trays were determined. The surface of the coated trays was examined with Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR), The surface and cross-sections of the foam were imaged under the scanning electron microscope (SEM). The percent weight loss and visual changes of the foam tray pieces embedded in the simulated soil were observed. While the density of foam trays is not affected by the starch source, it was founded that the coating materials significantly ( $p < 0,05$ ) affected and increased the density of the trays. The average percentage water absorptions of the foam trays produced from wheat and wheat-potato starch were determined as 50% and 53%, respectively, and the difference between them was not statistically significant. The average percentage water absorption of foam trays coated with PLA (12%) and PMMA (8%) decreased significantly ( $p < 0,01$ ). The average water absorption rate of the uncoated trays was 8,413 g/min, and the coating application significantly reduced the water absorption rate of the trays. The water absorption rates of the samples coated with PCL, PLA, and PMMA were 1,783 g/min, 0,247 g/min and, 0,014 g/min, respectively, and especially the PMMA coating reduced the water absorption rate of the samples most effectively. The bending strength (1,848 MPa) and elastic modulus (66,026 MPa) of foam trays made of wheat starch were found to be

higher than the bending strength (1,388 MPa) and elastic modulus (50,598 MPa) of the foam trays produced from wheat-potato starches. It was found that the flexural strength of trays coated with PLA (1,525 MPa) was similar to that of uncoated trays (1,180 MPa), while the bending strength of trays coated with PMMA (1,801 MPa) and PCL (1,967 MPa) was statistically significantly higher than that of uncoated trays. FT-IR analysis showed that the coating materials successfully coated the surfaces of starch-based foam trays. The Surface SEM images showed that the trays made of wheat-potato starch had less surface cracks, fewer pores and smaller pore diameters than the trays made of wheat starch. The coating materials filled the cracks and pores on the tray surfaces, so the density, bending strength, elastic modulus of the trays increased, the percentage and rate of water absorption of the trays decreased. The average coating thicknesses of PCL, PLA, and PMMA from cross-section SEM images were measured as 48,37  $\mu\text{m}$ , 29,93  $\mu\text{m}$ , and 44,07  $\mu\text{m}$ , respectively. It was observed that the uncoated trays embedded in the simulated soil were disintegrated on the 3<sup>rd</sup> day, PCL coated trays on the 42<sup>nd</sup> day, and the trays coated with PLA on the 84<sup>th</sup> day. It was determined that the trays coated with PMMA were disintegrated at an average rate of 95% on the 120<sup>th</sup> day. It was concluded that the trays that will take the longest time to completely disintegrate under the tested composting conditions are those coated with PMMA, regardless of the starch source.

**KEYWORDS:** Foam tray, Polycaprolatone, Polylactic acid, Polymethyl methacrylate

**COMMITTEE:** Prof. Dr. Mustafa Kemal USLU (Supervisor)

Asts. Prof. Dr. Mehmet TORUN

Asts. Prof. Dr. Süleyman POLAT



## ÖNSÖZ

Petrol kaynaklı ambalaj malzemelerinin doğada parçalanması için çok uzun yıllar gerekmesi, parçalanma sonucunda ortaya çıkan bazı parçalanma ürünlerin doğaya zarar vermesinden kaynaklanan çevre kirliliği ve bu malzemelerin üretimi ve geri dönüşümü sırasında çok miktarda CO<sub>2</sub>'nin atmosfere karışmasından kaynaklı küresel ısınma gibi sorunlar doğal polimerlerden üretilen, doğaya zarar vermeden kısa süre içerisinde parçalanabilen biyobozunur ambalaj malzemelerine olan yönelimi arttırmaktadır. Ayrıca bazı plastik ambalajlardan başta kanser, konjenital sendromlar (Down sendromu, Edward sendromu vb.), mental retardasyonlar gibi bazı hastalıklara neden olabilen kimyasalların migrasyonla gıdaya geçmesi ve petrol kaynaklarının giderek azalması da biyobozunur ambalajlara gereksinimi arttırmaktadır. Bu sebeplerden dolayı doğal polimerlerden üretilen biyobozunur ambalaj malzemelerinin üretimi üzerine yapılan bilimsel araştırmalar yoğunlaştırılmıştır.

Araştırma sonucunda elde edilen verilerin, yapılacak benzeri çalışmalara katkı sağlamasını, dünyanın ortak sorunları olan küresel ısınma ve çevre kirliliği sorunlarına çözüm sunmasını ve ülkemiz sanayisi ve ekonomisine önemli katkılar sağlamasını dilerim.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde benden yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen ve bu konuda bana çalışma imkanı veren Sayın danışman hocam Prof. Dr. Mustafa Kemal USLU'ya, çalışmalarım sırasında yardımlarda bulunan tüm Akdeniz Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine, öğretim görevlilerine, araştırma görevlilerine, lisansüstü öğrencilerine teşekkürlerimi sunarım. Engin bilgisi ve deneyimi ile bana yol gösteren babam Prof. Dr. İbrahim KISAÇ'a, beni bugünlere getiren annem Melek KISAÇ'a, varlığıyla hayatıma neşe katan kardeşim Büşra Melike KISAÇ'a, manevi desteklerinden dolayı değerli arkadaşım Arş. Gör. Gürcü Aybige ÇAKMAK'a ve hayattaki yol arkadaşım Arş. Gör. Hatice Kübra KIZILAY'a en kalbi duygularıyla minnetlerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu araştırmanın gerçekleşmesinde maddi destek sağlayan Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi'ne teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	iii
ÖNSÖZ.....	v
AKADEMİK BEYAN .....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ .....	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	3
2.1. Nişasta .....	3
2.2. Nişasta Kaynakları .....	3
2.3. Nişasta Bazlı Köpük Oluşturma Prosesleri .....	5
2.3.1. Ekstrüzyon.....	5
2.3.2. Pişirme/Sıkıştırma .....	6
2.3.3. Mikrodalga Isıtma .....	6
2.3.4. Dondurarak Kurutma.....	7
2.4. Nişasta Bazlı Köpük Ürünlerin Özelliklerinin İyileştirilmesi.....	7
2.4.1. Nişastanın modifikasyonu .....	8
2.4.2. Nişasta-polimer karışımlarından oluşan köpük ürünler .....	9
2.4.3. Nişasta ile doğal liflerden oluşan kompozit köpük ürünler.....	9
2.4.4. Nişasta bazlı nanokompozit köpük ürünler .....	10
2.4.5. Hidrofobik kaplamalar .....	11
3. MATERYAL VE METOT.....	14
3.1. Materyal .....	14
3.2. Nişastanın Gliksal ile Çapraz Bağlanması .....	14
3.3. Tabakların Üretimi .....	14
3.4. Tabakların Kaplanması .....	14
3.4.1. Kaplama çözeltilerinin hazırlanması .....	14
3.4.2. Kaplama işlemi.....	15
3.5. Tabakların Özelliklerinin Belirlenmesi.....	15
3.5.1. Yoğunluk.....	15

3.5.2. Yüzde su emme miktarı.....	15
3.5.3. Su emme hızı .....	15
3.5.4. Mekanik özellikler.....	15
3.5.5. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) altında görüntüleme .....	16
3.5.6. FT-IR analizi .....	16
3.5.7. Tabakların Simüle Toprağa Gömülerek İzlenmesi .....	16
3.6. İstatistiksel Metot .....	17
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	18
4.1. Tabakların Özelliklerinin Belirlenmesi.....	18
4.1.1. Yoğunluk.....	18
4.1.2. Yüzde su emme miktarı.....	19
4.1.3. Su emme hızı .....	22
4.1.4. Mekanik özellikler.....	24
4.1.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) altında görüntüleme .....	26
4.1.6. FT-IR analizi .....	30
4.1.7. Tabakların Simüle Toprağa Gömülerek İzlenmesi .....	33
4.1.8. Maliyet Hesaplamaları .....	37
5. SONUÇLAR .....	38
6. KAYNAKLAR.....	41
7. EKLER .....	46
ÖZGEÇMİŞ	

## AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Hidrofobik Malzemelerle Kaplanmış Nişasta Bazlı Köpük Tabak Üretimi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

Tarih 26/08/2020

Yunus Emre KISAÇ

## **Kısaltmalar**

- B : Çapraz bağlı buğday nişastasından üretilen tabaklar
- BK : Polikaprolakton ile kaplanmış buğday-patates nişastasından üretilen tabaklar
- BL : Polilaktik asit ile kaplanmış buğday nişastasından üretilen tabaklar
- BM : Polimetil metakrilat ile kaplanmış buğday nişastasından üretilen tabaklar
- BP : Çapraz bağlı buğday-patates nişastasından üretilen tabaklar
- BPK : Polikaprolakton ile kaplanmış buğday-patates nişastasından üretilen tabaklar
- BPL : Polilaktik asit ile kaplanmış buğday-patates nişastasından üretilen tabaklar
- BPM : Polimetil metakrilat ile kaplanmış buğday-patates nişastasından üretilen tabaklar
- CA : Selüloz asetat
- EPS : Genleştirilmiş polistiren
- FDA : Amerikan Gıda ve İlaç İdaresi
- FT-IR : Fourier transform kızılötesi spektrometre
- K : Kaplama Malzemeleri
- N : Nişasta kaynağı
- PBAT : Bütan-diol-terefitalat-adipat terpolimer
- PBSA : Polibütilen-süksinat
- PCL : Polikaprolakton
- PEA : Poliester amid
- PET : Polietilenterafitalat
- PHBV : Polihidroksibütirat-ko-valerat
- PHEE : Polihidroksieter ester
- PLA : Polilaktik asit
- PMMA: Polimetil metakrilat
- PP : Polipropilen

PTFE : Politetrafloroetilen

PVA : Polivinil alkol

PVC : Polivinil klorür

SEM : Taramalı elektron mikroskobu

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Polilaktik asit üretimi ve kimyasal yapısı (Lim vd. 2008).....	12
Şekil 2.2. Polikaprolakton üretimi ve kimyasal yapısı (Azimi vd. 2014).....	13
Şekil 2.3. Polimetil metakrilat ve kimyasal yapı (Pituru vd. 2020).....	13
Şekil 4.1. Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların yüzde su emme miktarları üzerine interaksiyon grafiği (K: Kaplanmamış tabaklar, PCL: Polikaprolakton ile kaplanmış tabaklar, PLA: Polilaktik asit ile kaplanmış tabaklar, PMMA: Polimetil metakrilat ile kaplanmış tabaklar)....	21
Şekil 4.2. Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların su emme hızı grafikleri.....	23
Şekil 4.3. Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların yüzey SEM görüntüleri.....	28
Şekil 4.4. Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların kesit SEM görüntüleri.....	29
Şekil 4.5. Buğday nişastasından üretilen köpük tabakların FT-IR spektrumları (1: B, 2: BL, 3: BM, 4: BK) .....	31
Şekil 4.6. Buğday-patates nişastasından üretilen köpük tabakların FT-IR spektrumları (1: BP, 2: BPL, 3: BPM, 4: BPK).....	32
Şekil 4.7. Simüle edilmiş topraklara gömülen farklı malzemelerle kaplanmış buğday nişastasından üretilen köpük tabak parçalarının yüzde ağırlık kayıpları üzerine grafik .....	34
Şekil 4.8. Simüle edilmiş topraklara gömülen farklı malzemelerle kaplanmış buğday-patates nişastasından üretilen köpük tabak parçalarının yüzde ağırlık kayıpları üzerine grafik.....	34
Şekil 4.9. Simüle edilmiş topraklara gömülen farklı malzemelerle kaplanmış buğday nişastasından üretilen köpük tabakların görsel değişimleri .....	35
Şekil 4.10. Simüle edilmiş topraklara gömülen farklı malzemelerle kaplanmış buğday-patates nişastasından üretilen köpük tabakların görsel değişimleri ..	36
Şekil 7.1. Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların fotoğrafları ....	46
Şekil 7.2. Buğday nişastasından üretilen köpük tabakların mekanik testlerine ait ham verilerin grafiği.....	47
Şekil 7.3. Buğday nişastasından üretilen, PCL ile kaplanan köpük tabakların bükme testine ait ham verilerin grafiği .....	47
Şekil 7.4. Buğday nişastasından üretilen, PLA ile kaplanan köpük tabakların bükme testine ait ham verilerin grafiği .....	48
Şekil 7.5. Buğday nişastasından üretilen, PMMA ile kaplanan köpük tabakların bükme testine ait ham verilerin grafiği .....	48
Şekil 7.6. Buğday-patates nişastasından üretilen köpük tabakların bükme testine ait ham verilerin grafiği.....	49
Şekil 7.7. Buğday-patates nişastasından üretilen, PCL ile kaplanan köpük tabakların bükme testine ait ham verilerin grafiği .....	49
Şekil 7.8. Buğday-patates nişastasından üretilen, PLA ile kaplanan köpük tabakların bükme testine ait ham verilerin grafiği .....	50
Şekil 7.9. Buğday-patates nişastasından üretilen, PMMA ile kaplanan köpük tabakların bükme testine ait ham verilerin grafiği .....	50

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Farklı kaynaklardan elde edilen nişastaların özellikleri (Gurunathan vd., 2015). .....	3
Çizelge 4.1. Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların yoğunluk değerlerinin ham verileri .....	19
Çizelge 4.2. Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların yoğunluk değerlerinin varyans analizi sonuçları.....	19
Çizelge 4.3. Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların yoğunluk değerlerinin varyans analizi sonuçlarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları .....	19
Çizelge 4.4. Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların yüzde su emme miktarlarına ait ham veriler .....	20
Çizelge 4.5. Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların yüzde su emme miktarlarına ait varyans analizi sonuçları.....	20
Çizelge 4.6. Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların yüzde su emme miktarlarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları .....	21
Çizelge 4.7. Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların su emme hızına ait ham veriler .....	23
Çizelge 4.8. Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların su emme hızlarına ait varyans analizi sonuçları .....	23
Çizelge 4.9. Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların su emme hızlarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları .....	24
Çizelge 4.10. Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların mekanik özelliklerine ait ham veriler .....	25
Çizelge 4.11. Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların mekanik özelliklerine ait varyans analizi sonuçları .....	25
Çizelge 4.12. Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların mekanik özelliklerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları .....	26
Çizelge 4.13. Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların kaplama kalınlıkları, ortalama yüzey gözenek çap ve sayıları .....	27
Çizelge 4.14. Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların üretiminde kullanılan malzemelerin maliyet hesaplamalarına ait veriler .....	37
Çizelge 4.15. Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların üretimlerinin toplam maliyetlerine ait veriler .....	37



## 1. GİRİŞ

Son yıllarda, hafif ve ucuz olması nedeniyle geliştirilmiş polistirenden üretilen tek kullanımlık köpük tabakların kullanımı sürekli artmaktadır. 2017 verilerine göre dünya genelinde çoğunluğu tabak şeklinde olmak üzere yıllık yaklaşık 8,5 milyon ton civarında geliştirilmiş polistiren bazlı ambalaj ürünleri üretilmiştir (Baker 2018). Polistirenin doğada parçalanması için yüzyıllar geçmesi gerekmekte ve tek kullanımlık bu köpük ürünlerin geri dönüşümü de pek mümkün olmamaktadır (Franz ve Welle 2003; Vlieger 2003). Ayrıca bu tabaklar kolayca küçük parçalara ayrılabilen ve bu parçaların yoğunluğu çok düşük olduğu için çöp toplama merkezlerinden rüzgarla farklı yerlere taşınmaktadır. Bu parçalar, kuşlar ve sucul canlılar tarafından sıklıkla yiyecek olarak yanlışlıkla tüketilmektedir. Polistiren bu canlıların sindirim sistemini bloke ederek ölümüne neden olmaktadır. Ayrıca mikroplastikler halinde canlıların vücutlarına girerek birikebilmekte ve besin zincirini zehirlemektedir (Lewis 2019). Bu nedenle Amerika Birleşik Devletleri'nde kıyıya yakın 100'ün üzerinde şehirde, Fransa, İngiltere, Çin, Finlandiya, Norveç, İsveç, İzlanda, İrlanda, Lüksemburg, Yeni Zelanda ve Tunus gibi birçok ülkede de geliştirilmiş polistiren kullanımı kısıtlanmış veya yasaklanmıştır (Colton vd. 2018; Dauvergne 2018). Bu ürünlerin sebep olduğu çevre kirliliği yenilenebilir kaynaklardan biyobozunur köpük ürünler üretilmesi konusunda yapılan çalışmalara öncülük etmektedir. Biyobozunur köpük ürün üretimi konusunda en çok çalışılan hammaddelerden birisi nişastadır. Zira nişasta, yenilenebilir ve biyobozunur olmasının yanında ucuz ve doğada bol miktarda bulunan hammaddelerden biridir. Nişasta bazlı köpük tabaklar istenilen şekilde bir kalıp içerisinde, sıcaklık ve basınç altında pişirilerek üretilmektedir (Salgado vd. 2008; Shey vd. 2006; Uslu ve Polat 2012). Kalıp içerisinde nişasta-su süspansiyonu pişerken buharlaşan su, köpüksü yapının oluşmasını, son ürünün yoğunluğunun ve termal iletkenliğinin azalmasını sağlamaktadır. Bu köpük ürünlerden bazıları oldukça iyi fiziksel ve mekanik özellikler göstermelerine karşın hidroksil grupları nedeniyle hidrofilik yapıya sahip nişastadan üretilen tabakların suya karşı direnci azdır. Bu köpük tabakların hidrofilik özelliklerini azaltmak için yapılan pek çok çalışma olmasına rağmen istenilen düzeyde başarı sağlanamamıştır. Bu konuda yapılan bir çalışmada, özellikle nişastanın gliksal ile çapraz bağlanmasının köpük yapıyı teşvik ettiği, suya karşı dayanımını arttırdığı, %95 oranında su emen doğal mısır nişastasından üretilen köpük tabağın su emme oranını % 49,60'a kadar azalttığı bulunmuştur (Uslu ve Polat 2012). Başka bir çalışmada ise farklı kaynaklardan elde edilen çapraz bağlı nişastalar, dolgu maddeleri, selülozik lifler ve lipitler kullanılarak köpük tabaklar üretilmiş ve bazı tabakların su emme miktarı %5,9'a kadar azaltılmıştır (Aygün 2013). Ancak özellikle bu tabaklar +4°C'de 7-10 gün raf ömrü olan et ve tavuk gibi ürünlerin ambalajlanmasında kullanılması durumunda, 2-3 gün içerisinde su emmesi nedeniyle yumuşadığı ve istenilen mekanik direnci gösteremediği tespit edilmiştir.

Biyobozunur hidrofilik nişasta ürünlerinin bu dezavantajının üstesinden gelmek için, ürün yüzeyleri hidrofobik özelliklere sahip petrol bazlı sentetik polimerlerle kaplanabilmekte veya lamine edilebilmektedir (Glenn vd. 2007). Her ne kadar nişasta bazlı köpük tabak üretimi konusunda yapılmış pek çok çalışma varsa da bu köpük tabakların kaplanması konusunda sınırlı sayıda araştırmaya rastlanmıştır.

Bu tez çalışmasında çapraz bağlı buğday ve buğday-patates nişastası ve bazı katkı maddeleri kullanılarak üretilen köpük tabakların yüzeyi polilaktik asit (PLA), polikaprolakton (PCL) ve polimetil metakrilat (PMMA) çözeltileriyle fırça ile sürme tekniği ile kaplanmıştır. Bu sayede suya karşı dirençli, köpük tabakların üretilmesi amaçlanmıştır.

## 2. KAYNAK TARAMASI

### 2.1. Nişasta

Yeşil bitkilerin çoğunda depo karbonhidratı olarak bulunan nişasta, soğuk suda çözünmeyen, granüller yapıda, amiloz ve amilopektin adı verilen polimerlerden oluşmaktadır. Nişasta granülleri, tahıl taneleri (buğday, pirinç, mısır, arpa, çavdar, yulaf, sorgum), yumrular (patates) ve kökler (manyok, taro) gibi bitkisel yapılarda yüksek miktarlarda bulunamaktadır (Soykeabkaew vd. 2015).

Genel olarak nişasta molekülleri %20-30 amiloz içermektedir. Amiloz  $\alpha$ -1,4 bağları bağlanan D-glukoz birimlerinden oluşan düz zincirli bir polimerdir. Amilozun moleküler ağırlığı ortalama  $10^4$ - $10^5$  dalton civarında olup bitkinin türü, çeşidi ve nişastanın olgunluğuna göre değişmektedir. %1'den az oranda  $\alpha$ -1,6 dallanma noktası içermesine rağmen amiloz düz zincirli bir polimer olarak kabul edilmektedir. Amiloz; iyot, organik alkoller ve yağ asitleri ile de etkileşime girmektedir. Oluşan kompleksler, genellikle sarmal katılma kompleksleri olarak adlandırılmaktadır. Yağ asitlerinin katılması durumunda oluşan kompleks, amiloz-lipit kompleksi olarak adlandırılmaktadır. Nişastanın %70-80'ini oluşturan amilopektin,  $\alpha$ -1,4 bağlarıyla bağlanan  $\alpha$ -D-glukoz birimlerinin oluşturduğu zincirlerin  $\alpha$ -1,6 (yaklaşık %5) bağlarıyla dallanmış, ortalama  $10^6$ - $10^8$  dalton molekül ağırlığına sahip, doğada bulunan en büyük biyopolimerlerden birisidir. Nişasta granüllerinde hem amorf yapı hem de düzenli kristal bölgeler bulunmaktadır. Amilopektin zincirleri, çift sarmallı bir yapı oluşturan ve nişastanın kristalliğini etkileyen temel faktördür. Amiloz ise amorf bir yapıda bulunur ve bir kısmı lipitlerle sarmal bir kompleks halindedir. Granülün bütünlüğünü korumak için amilopektine bitişik veya iç içe geçmiş şekildedir (Joye 2018).

### 2.2. Nişasta Kaynakları

Nişasta kaynağı olarak dünyada en fazla üretilen bitkiler mısır, buğday, patates, manyok ve pirinçtir. Nişasta kaynağına göre amiloz/amilopektin oranı değişmekte ve dolayısıyla kristallik dereceleri ve granül çapları da farklılık göstermektedir. Farklı kaynaklardan elde edilen nişastaların ve mutant tür olan "amylomaize" ve "waxy maize" nişastalarının amiloz, amilopektin yüzde miktarları, granül çapları ve kristallik dereceleri Çizelge 2.1'de verilmiştir (Gurunathan vd. 2015).

**Çizelge 2.1.** Farklı kaynaklardan elde edilen nişastaların özellikleri (Gurunathan vd., 2015).

Nişasta	Amiloz içeriği (%)	Amilopektin içeriği (%)	Granül çapı ( $\mu$ )	Kristalliği (%)
Buğday	26-27	72-73	25	36
Mısır	26-28	71-73	15	39
Patates	20-25	74-79	40-100	25
Waxy maize	<1	99	15	39
Amylomaize	50-80	20-50	10	19

Nişastanın kolay elde edilebilen, ucuz ve biyobozunur bir kaynak olması nedeniyle, nişastadan biyobozunur gıda ambalajı üretimi üzerine yapılmış pek çok araştırma bulunmaktadır. Nişastadan döküm yöntemiyle filmler, köpük tabaklar ve termoplastik nişastadan da çeşitli plastik benzeri ürünler üretilmiştir.

Film üretiminde nişasta kaynağının değişmesiyle birlikte değişen amiloz/amilopektin oranının, üretilen filmlerin kalınlık, renk, nem, hidrofilitte, termal, yüzey ve mekanik özelliklerini de değiştirdiği gözlenmiştir. Dai vd. (2019) nişastanın amiloz içeriği düştükçe su buharı geğirgenliğinin arttığını tespit etmişlerdir.

Nişasta kaynağının köpük tabakların özellikleri üzerine de etkili olduğu belirtilmiştir. Amiloz içeriği, nişasta konsantrasyonu, nişasta tipi ve moleküler ağırlık gibi değişkenlerin nişastadan elde edilen köpük ürünlerin yapı ve özelliklerine etkilerinin incelendiği bir çalışmada mısır, buğday, patates, tapyoka gibi farklı nişasta kaynakları karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda patates gibi yumrulardan elde edilen nişastalardan üretilen köpük tabakların; mısır, buğday gibi tahıllardan elde edilen nişastalardan üretilen köpük tabaklardan daha az yoğunlukta ve daha esnek olduğu görülmüştür. Ayrıca nişastadaki yüzde amiloz miktarının pişirme süresi ve sıcaklığını da değiştirdiği tespit edilmiştir (Shogren vd. 1998).

Köpük tabak üretiminde kullanılacak en uygun kaynağı tespit etmek için yapılan bir çalışmada çapraz bağlı buğday, patates, mısır ve bunların birbirleriyle nişasta karışımlarından elde edilen köpük tabaklar incelenmiştir. Sonuçta buğday-patates nişastaları karışımından elde edilen köpük tabakların en az yüzde su emme miktarına ve yoğunluğa sahip olduğu tespit edilmiştir. Patates ve buğday nişastalarının karışımlardan elde edilen tabakların en az su emme miktarına sahip olması karşılaştırılan örnekler içinde suya karşı en dirençli köpük tabak olduğunu göstermiştir (Aygün 2013).

Peru'ya özgü üç yerli tür olan *arracacha* (*Arracacia xanthorrhiza*), *oca* (*Oxalis tuberosa*) ve tatlı patatesten (*Ipomoea batatas*) izole edilen nişastalardan üretilen köpük tabaklar üzerine yapılan bir araştırmada ise tatlı patatesin en yüksek amiloz içeriğine sahip olduğu görülmüştür. Üretilen nişasta bazlı köpük tabakların iyi bir görünüş, uygun köpük yapı ve düşük yoğunluk gösterdiği ancak tüm üretilen köpük ürünler, gözenekli yapıları ve düşük yoğunluklarından dolayı %50'den fazla bir su emme kapasitesine sahip olduğu bildirilmiştir. Tatlı patates ve *oca* kaynaklarından elde edilen nişastalardan üretilen köpük tabakların *arracacha*'dan elden edilen nişastadan üretilen köpük tabaklarla kıyaslandığında daha yüksek gerilme direnci gösterdiği de tespit edilmiştir (Cruz-Tirado vd. 2019).

Pişirmeden sonra köpük ürünün şeklini koruyarak kolayca kalıptan ayrılması için nişasta hamuruna genellikle magnezyum sterat eklenmektedir. Ayrıca süspansiyonun ayrılmasını engellemek için guar gum da ilave edilmektedir (Shogren vd. 2002). Normalde pişirilmış köpük ürünlerin dış kısmı küçük ve kapalı boşluk yapısı sayesinde yoğun iken iç kısmı gevşek, geniş ve açık boşluk yapısı göstermektedir. Pişirilmış köpüğün yoğunluğu kullanılan nişastanın türünden etkilenmektedir. Glenn vd. (2001) tarafından yapılan bir çalışmada buğday ve mısır nişastalarından üretilen köpük levhaların yoğunluklarının patates ve tapyoka nişastalarından üretilen levhalardan daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Shey vd. (2006) yaptığı çalışmada ise buğday, patates ve mumlu mısır nişastalarından elde edilen köpüklerin yoğunlukları sırasıyla 0,20 g/cm<sup>3</sup>,

0,15 g/cm<sup>3</sup> ve 0,13 g/cm<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Çalışmada mumlu mısır nişastasının diğer doğal nişastalardan daha iyi köpürme özelliği gösterdiği ve daha az yoğunluğa sahip olduğu belirtilmiştir.

### 2.3. Nişasta Bazlı Köpük Oluşturma Prosesleri

#### 2.3.1. Ekstrüzyon

Nişasta, geleneksel polimerlere benzer şekilde su veya diğer hidrofilik plastikleştiricilerle ekstruderlerde eritilerek işlenebilmektedir (Willett 2009). Ekstrüzyon on yılı aşkın bir süredir polistiren (PS), plastikleştirilmemiş polivinil klorür (PVC), polipropilen (PP) ve son zamanlarda polilaktik asit (PLA) dahil olmak üzere fiziksel şişirici maddelerle birlikte düşük yoğunluklu köpük malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır (Yang vd. 2010). Son zamanlarda nişastanın biyobozunabilir bir plastik malzeme olarak kullanılması üzerinde yapılan çalışmalar ambalaj endüstrisini ana bileşen olarak nişasta bazlı polimerleri gittikçe daha fazla kullanmaya yönelmektedir. 100 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda nişasta ve suyun ekstrüzyonu, nişasta kalıbın yüksek basınç koşullarındayken buharın genişmesine bağlı olarak boşluk oluşumuna yol açmaktadır (Willett 2009). Bu süreç; çekirdeklenme, köpüğün büyümesi ve köpüğün stabilizasyonu olmak üzere üç mekanik adımda gerçekleşmektedir. Köpüğün hücresel yapısı ekstrüzyon koşullarından (tambur sıcaklığı, kalıp çapı ve vida hızı gibi) ve malzeme bileşimlerinden (nişasta tipi, besleme nemi ve çekirdeklenme ajanı konsantrasyonu gibi) önemli ölçüde etkilenmektedir (Aguilar-Palazuelos vd. 2007; Guan ve Hanna 2006; Robin vd. 2011).

Su, nişasta bazlı köpük tabaklar için plastikleştirici olmasının yanısıra şişirici ajan olarak da kullanılmaktadır. Beslemedeki en iyi su içeriği, geliştirilmiş köpük ürünlerin en büyük genişleme oranını sağlamak için %15-18 olarak belirtilmiştir. Besleme neminin daha fazla artması genişleme oranının büyük oranda düşmesine neden olmaktadır (Pushpadass vd. 2008; Yang vd. 2010). Çünkü beslemedeki düşük su içeriği, genişmiş nişasta köpüğünün kalıptan çıkarken düşük yoğunluklu ve yüksek oranda genişmiş stabil yapıda olan daha hızlı katılaşmış veya camsı hale gelmiş köpüğün, camsı geçiş sıcaklığının yüksek olmasına sebebiyet vermektedir (Biliaderis 2009).

Çekirdeklenme ajanı eklenmesi, köpük yapıda daha küçük boyutta ve daha fazla sayıda boşlukların oluşumuna yardımcı olmaktadır. Talk minerali, nişasta bazlı köpük sistemlerde çekirdeklenme ajanı olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Talk minerali, viskoz eriyik ekstrüzyon kalıbından çıkarken suyun buharlaşması için çekirdeklenme bölgeleri oluşturan etkili bir inorganik çekirdeklenme ajanı olarak rol almaktadır. Talk minerali içeriğinin artmasıyla boşluk boyutları küçülmekte ve dağılımları sıkılaşmaktadır yani geliştirilmiş köpük yapıların homojenliği artmaktadır. Bunun sonucunda talk eklenerek üretilen köpükler ürünler, normal olarak daha az genişmekte ve daha yoğun olmaktadır (Pushpadass vd. 2008; Yang vd. 2010).

Farklı bitkisel kaynaklardan elde edilmesi, özgün granül boyutları ve daha da önemlisi amiloz ve amilopektin oranındaki farklılıklardan dolayı nişasta tipi de köpük yapı üzerine önemli bir etkiye sahip olmaktadır. Amiloz/amilopektin oranının, köpük yapının yoğunluğu ve genişmesi üzerine gözle görünür bir değişiklik gösterdiği belirtilmiştir (Willett ve Shogren 2002). Lacourse ve Altieri (1989) tarafından yapılan

bir çalışmada, %45'ten daha fazla amiloz içeren nişastadan meydana gelen köpük ürünlerin esneme ve sıkıştırma mukavemetlerinin daha iyi ve daha az yoğunlukta olduğu görülmüştür. Yaklaşık olarak %70 amiloz içeren köpük ürünlerin yoğunluğunun ve esnekliğinin ticari olarak kullanılan genleştirilmiş polistirene yakın olduğu ancak yine de önemli seviyede daha düşük sıkıştırılabilme mukavemeti gösterdiği görülmüştür (Lacourse ve Altieri 1989).

### 2.3.2. Pişirme/Sıkıştırma

Kapaklı kaplar, bardaklar ve tabaklar gibi çeşitli şekilleriyle nişasta bazlı köpük ürünler, nişasta süspansiyonunun birkaç dakika boyunca kapalı ve ısıtılmış bir kalıpta pişirmesiyle üretilebilmektedir (Glenn vd. 2001). Pişirme esnasında nişasta granülleri kalın bir macun halinde jelatinleşirken tutulan su hızlı bir şekilde buharlaşarak macunun önemli ölçüde genişmesini sağlamaktadır. Nişasta hamuru kalıbı doldurduğunda geri kalan su daha fazla buharlaşmaktadır. Daha sonra nişasta köpüğü yavaş yavaş kurumakta ve kalıbın şeklini almaktadır (Soykeabkaew vd. 2004). Bu sayede köpüğün kalınlığı ve şekli, kalıbın şekli değiştirilerek pratik olarak kontrol edilebilmektedir (Chiou vd. 2005). Kalıbı doldurmak ve düzgün şekilli bir köpük yapı elde etmek için uygun bir hamur kompozisyonu ve hacminin yanı sıra sıcaklık ve zaman da gerekmektedir. Genel olarak pişirme sıcaklığı 180-250 °C arasında değişirken pişirme süresi 125-300 saniye arasındadır. Ancak bu proses değerleri göreceli olarak uzun zamanlı ve yüksek enerji gereksinimli olarak değerlendirilmektedir.

Hamurun kıvamı ürünün kalitesini etkileyen bir başka faktördür. Viskozitedeki artış köpük genişmesini azaltmakta ve bu nedenle kalıbın dolması ve sonuçta iyi şekilli bir ürün meydana gelmesi için daha fazla miktarda hamur gerekli olmaktadır (Vercelheze vd. 2012). Genel olarak yüksek nişasta içeriğine sahip olan hamur daha yüksek viskoziteye sahip olmaktadır. Liflerin ve dolgu maddelerinin ilavesi de hamurun viskozitesini arttırmaktadır. Mello ve Mali (2014) malt küspesi (posa) kullanılması durumunda her bir formülasyonda kullanılan su içeriğinin homojen bir dispersiyon oluşturmak için minimal içerikle ilgili olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışma artan küspe miktarı ile birlikte nişasta hamurunun akışkanlığını sağlamak için daha fazla su miktarı gerektiğini göstermiştir. Yine de ağırlıkça %5 ve %10 malt küspesiyle hazırlanan formülasyonların nişastanın köpürme özelliğini iyileştirdiğini tespit etmişlerdir. Yüksek konsantrasyondaki küспенin daha fazla pişirme süresi gerektirdiğini ve sonuç olarak düşük konsantrasyonda küspe ile hazırlanan formülasyonlara kıyasla üretimin veriminin azaldığını belirtmişlerdir.

### 2.3.3. Mikrodalga Isıtma

Mikrodalga, ısıyı arttırmak için hızlı ve göreceli olarak ucuz bir tekniktir ve yaygın olarak gıdaları ısıtmak ve bazen pişirmek için kullanılmaktadır. Mikrodalga enerji, patlamış mısır gibi tahıl ürünlerinin genleştirilmesi ve pişirilmesi için de kullanılabilir. Patlamış mısırın maksimum genişmesi genel olarak mısır tanesinin nem içeriği %10-15 arasında olduğunda gözlenmektedir. Bu sayede mikrodalga ısıtma bazı nem içeriklerinde nişasta köpüğü oluşturma için başka bir metot olarak kullanılabilir (Moraru ve Kokini 2003). Mikrodalgalarla suyun kaynama noktasını geçecek şekilde ısıtılmasıyla nem aşırı ısıtılmış buhara dönmekte ve bu da tane içinde yüksek basınca sebep olmaktadır. Isıtma süresince nişasta granülleri

jelatinize olmaya başlayarak şişmiş nişasta granülleri bir araya gelmektedir. Buhar kabarcıklarının basıncı ile boşluklu bir yapı oluşmaktadır. Matristen nem uzaklaştıkça katı köpük meydana gelmektedir (Boischoot vd. 2003; Eun Yong Lee vd. 2000).

Sjöqvist ve Gatenholm (2005), doğal patates, yüksek amilozlu patates ve genetiği değiştirilmiş yüksek amilopektinli patatesten elde edilen üç farklı nişastadan mikrodalga (2450 Mhz ve 560 W) kullanılarak köpük ürünler üretmişlerdir. Geniş açılı X-ışını kırınım görüntüleri ısıtmadan sonra tüm granüllerin doğal kristalliklerini kaybettiğini ve köpüklerin tamamen amorf yapı haline geldiğini ortaya koymuştur. Doğal patates, yüksek amilopektinli patates ve yüksek amilozlu patates nişastasından üretilen köpük ürünlerin yoğunlukları sırasıyla 0,28 g/cm<sup>3</sup>, 0,34 g/cm<sup>3</sup> ve 0,52 g/cm<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Bu çalışma, amilopektince zengin patates nişastasının, köpük ürünlerin hazırlanması için amiloz bakımından zengin nişastadan daha iyi bir hammadde olduğunu göstermiştir. Bunun nedeninin amilopektinin daha iyi su tutma kapasitesine sahip olması sebebiyle gözeneklerin oluşumu için yeterli şişirme kabiliyetine sahip olduğu ileri sürülmüştür.

#### 2.3.4. Dondurarak Kurutma

Köpük yapıların oluşturulması için kullanılan dondurarak kurutma prosesi; dondurma, birincil ve ikincil kurutma olmak üzere üç aşamadan meydana gelmektedir. Sulu bir sistemin sıcaklığı, suyun donma sıcaklığının altına düştüğünde su çözünenlerden ayrılmakta ve buz kristalleri oluşmaktadır. Çözünenler daha konsantre hale gelmekte ve buz kristalleri arasındaki bölgelerde hapsolmektedir. Çözücü ve çözünenin ayrılması, birçok çözünen maddenin buz kristallerine sığamayacak kadar büyük olmasından kaynaklanmaktadır. Buz kristalleri; çekirdeklenme ve kristallerin büyümesi ile oluşmaktadır. Her iki adımın da kontrolü ile oluşan buz kristallerinin boyutları belirlenebilmektedir. Yüksek çekirdeklenme oranı, daha küçük boyutta, çok sayıda ve homojen buz kristalleri oluşturmaktadır. Nihai gözenek morfolojisi, birincil kurutma aşaması sırasında buz kristallerinin süblimleşmesi yani katı-gaz faz değişimi şeklinde oluşmaktadır. Hücresel yapı bu nedenle dondurma aşamasında oluşan buz kristallerinin dağılımı ve boyutu ile doğrudan ilişkilidir. Son aşamada yani ikincil kurutmada gözenekli malzemenin hücre duvarına bağlı olarak kalan nem içeriği daha da azaltılmaktadır (Svagan 2008).

Svagan vd. (2008) -196 °C ile -26 °C arasındaki dondurma sıcaklığında liyofilizasyon tekniğiyle ağırlıkça %10'dan az amilopektin çözüntüsünden nişasta bazlı köpükler hazırlamışlardır. Elde edilen köpüklerin homojen hücre yapısına sahip olduğunu ve ortalama hücre çapı ve hücre duvarı kalınlıklarının sırasıyla 20,3-52,5 µm ve 2,85 µm olduğunu tespit etmişlerdir. Köpük yoğunluğunu 0,103 g/cm<sup>3</sup> olarak ölçmüşlerdir. Köpüklerin %10 deformasyonda sıkıştırma modülünü 4,9 MPa ve sıkıştırma mukavemetini ise 170 kPa olarak bulmuşlardır.

#### 2.4. Nişasta Bazlı Köpük Ürünlerin Özelliklerinin İyileştirilmesi

Nişasta bazlı köpük ürünlerin özelliklerini iyileştirmek için çeşitli köpük oluşturma prosesleri olmasına rağmen doğal nişastadan üretilen köpük ürünlerin hala düşük nem direnci ve esneklik gibi bazı problemleri bulunmaktadır. Nişastanın hidrofilik özelliği, polimer yapısında yer alan su ile hidrojen bağları oluşturabilen

tekrarlayan glukopiranozil birimlerindeki serbest hidroksil gruplarından kaynaklanmaktadır. Nişasta bazlı köpük ürünler yüksek bağıl neme sahip ortam koşullarında düşük stabilite gösterebilmekte veya su ile temas ettiğinde parçalanabilmektedir (Guan ve Hanna 2006). Ayrıca nişasta bazlı köpük ürünler yeterli mukavemet ve sertliğe de sahip değildir. Bundan dolayı özellikle de ağır yüklerin taşınması için uygun olmamaktadır. Bu sebeplerle nişasta bazlı köpük ürünlerin özelliklerinin iyileştirilmesi için farklı uygulamalar yapılmaktadır.

#### 2.4.1. Nişastanın modifikasyonu

Düşük su direncinin önüne geçmek için muhtemel yollardan biri nişastadaki hidrofilik hidroksil gruplarını asetil grupları gibi daha büyük ve daha az polar gruplara dönüştürmektir. Bu sayede daha az nem hassasiyeti meydana gelmekte ve nişastanın hidrofobikliğini önemli seviyede arttırmaktadır (Guan ve Hanna 2004; 2006; Soykeabkaew vd. 2015). Kimyasal yer değiştirme ile nişastanın modifiye edilmesi sonucu nişastanın kimyasal ve fonksiyonel özellikleri, nişasta kaynağının yanısıra reaksiyon koşullarına da (reaktant konsantrasyonu, reaksiyon süresi, pH ve katalizör varlığı) bağlıdır. Birçok araştırmada, asetile ve hidroksipropile nişasta gibi kimyasal olarak modifiye edilmiş nişastalar kullanılarak ekstrüde köpük ürün üretimi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Yer değiştirme derecesi, yer değiştiren gruplar tarafından türevlendirilen her bir anhidroglikoz ünitesindeki ortalama hidroksil grubu sayısını ifade etmektedir. Her bir anhidroglikoz ünitesi, yer değiştirme için üç hidroksil grubuna sahiptir yani yer değiştirme derecesi 3'tür. Düşük bir yer değiştirme derecesine sahip olan asetilenmiş nişasta, alkalik katalizör varlığında doğal nişastanın asetik anhidrit ile esterleşmesiyle elde edilirken gıda sınıfı hidroksipropillenmiş nişasta genel olarak bir alkalik katalizör varlığında doğal nişastanın eterleştirilmesiyle elde edilmektedir. Nişasta zincirleri arasına giren hidroksipropil grupları, molekül içi ve moleküller arası hidrojen bağlarını bozabilmektedir. Böylece nişastanın granüler yapısını zayıflatabilmekte ve amorf bölgelerde nişasta zincirlerinin hareket özgürlüğünü arttırabilmektedir (Singh vd. 2007). Asetillenmiş ve maleik anhidrit ile esterifikasyon yöntemiyle modifiye edilmiş patates nişastaları üzerine yapılan bir çalışmada %6,67, %13,34, %20 ve %26,67 (modifiye nişasta ağırlığı/toplam nişasta hamuru kütlesi) oranlarında modifiye nişasta kullanılarak köpük ürünler üretilmiştir. Modifiye nişasta kullanılmadan üretilen köpük ürünlerin %75 oranında su emdiği, %13 asetilenmiş nişasta ve %20 esterlenmiş nişastalardan elde edilen köpük ürünlerin sırasıyla %42 ve %45 su emerek suya karşı dirençte artış gösterdiği bildirilmiştir (Bergel vd. 2018).

Nişastanın özelliklerinin iyileştirilmesi için kullanılan bir diğer yöntem ise çapraz bağlayıcı ajan eklemektir. Nişastanın çapraz bağlanmasıyla şişme gücünün, çözünürlüğünün, su bağlama kapasitesinin ve hidrofilik özelliklerinin önemli seviyede azalmasından dolayı çapraz bağlı nişastanın suya dirençli materyal üretimi için uygun olabileceği öne sürülmüştür. Dialdehitler, polisakkarit zincirlerindeki moleküllerin arasında köprüler oluşturan ve nişastanın hidroksil gruplarıyla reaksiyona girerek nişastayı çapraz bağlayan çok fonksiyonlu reaktiflerdir. Glutaralaldehit ( $C_5H_8O_2$ ), daha önceki birçok çalışmada nişastanın çapraz bağlanması için yaygın olarak kullanılan bir dialdehittir. Glioksal ( $C_2H_2O_2$ ) ise suya karşı direnci arttırmak için çapraz bağlı nişasta bazlı karton kaplamaları için kullanılmakta olan başka bir aldehittir. Amerikan Gıda ve İlaç Kurumu ve Alman Risk Değerlendirme Federal Enstitüsü tarafından gıda paketleme için kağıt üretiminde kullanılması uygun olan kimyasal bir madde olarak listelenmiştir.



Uslu ve Polat (2012), tarafından yapılan bir çalışmada nişastanın gliksal ile çapraz bağlanması sonucunda nişastadan üretilen köpük ürünlerin su emme miktarlarının ve yoğunluklarının belirgin şekilde azaldığı ve esnekliğinin arttığı belirtilmiştir.

#### 2.4.2. Nişasta-polimer karışımlarından oluşan köpük ürünler

Nişastadan üretilen köpük ürünlerin dayanıklılığını ve suya karşı direncini arttırmak için kimyasal modifikasyonun yanısıra poliester amid (PEA), selüloz asetat (CA), bütan-diol-terefitalat-adipat terpolimer (PBAT), polibütillen-süksinat (PBSA), polihidroksibütirat-ko-valerat (PHBV), polihidroksieter ester (PHEE), kitosan, polivinil alkol (PVA), polikaprolakton (PCL), polilaktik asit (PLA) gibi çeşitli biyobozunur polimerler nişasta ile karıştırılmıştır (Soykeabkaew vd., 2015). Willett ve Shogren, (2002) ekstrüde edilmiş karışım köpük ürünlerde mısır, buğday, patates ve yüksek amilozlu nişastalar ile PLA, PHEE, PHBV, PBSA, PCL, PBAT, CA, PVA ve PEA olmak üzere dokuz polimerin karışımlarını incelemiştir. Ağırlıkça %20 polimer içeren tüm köpük ürünlerin yoğunluklarının 0,019-0,042 g/cm<sup>3</sup> arasında, saf mısır nişastasından üretilen köpük ürünlerin yoğunluklarının ise 0,061 g/cm<sup>3</sup> olduğu belirtilmiştir. Buğday, patates ve yüksek amilozlu nişasta (%70 amiloz) ile ağırlıkça %10 PLA veya PHEE karışımları kullanılarak ekstrüde edilen köpük ürünlerin de yoğunluğunun önemli seviyede azaldığı tespit etmişlerdir. Bu durum ilave edilen polimerlerin, karışım köpük ürünlerin ekstrüzyonu sırasında çekirdeklenme ajanı olarak işlev görebildiğini göstermiştir. Nişasta ile PLA, PHEE ve PHBV karıştırılarak üretilen geliştirilmiş köpük ürünlerin yoğunluklarının, ticarileşmiş nişasta bazlı gevşek dolgu köpüklerin yoğunluklarıyla (0,02 g/cm<sup>3</sup>) karşılaştırılabilir yoğunluk değerleri gösterdiği belirtilmiştir (Willett ve Shogren 2002). Özellikle ağırlıkça %20 PHEE ve %20 PLA içeren karışım köpük ürünlerin su emme miktarlarının önemli seviyede azaldığı da görülmüştür. Daha sonra Mali vd. (2010) tarafından yapılan bir çalışmada ağırlıkça %40 PVA eklenmiş nişasta bazlı köpük ürünün su emme miktarının belirgin şekilde azaldığını bulmuşlardır. Bitki proteinleri gibi doğal proteinlerle nişastayı karıştırarak köpük ürünler elde eden Kaisangsri vd. (2012) ağırlıkça %5-15 zein veya gluten içeren köpük ürünlerin su hassasiyetlerinin büyük ölçüde azaldığını göstermiştir. Ayrıca lateks, balmumu ve palm yağı gibi hidrofobik katkıları da nişastadan üretilen köpük ürünlerin suya karşı direncini arttırdığı görülmüştür (Kaisangsri vd. 2014; Polat vd. 2013; Shey vd. 2006).

#### 2.4.3. Nişasta ile doğal liflerden oluşan kompozit köpük ürünler

Çeşitli doğal lifler uygun miktarlarda kullanılarak mekanik özellikleri önemli ölçüde iyileştirilmiş nişasta bazlı biyokompozit köpük ürünler elde edilmektedir. Bunun temel nedenlerinden biri nişasta ve doğal lifin (selüloz) kimyasının birbirlerine benzer olmasıdır. Bu yüzden iyi bir uyumluluk ve güçlü bir etkileşim göstermektedirler ki bu da biyokompozit üründe iyi bir stres aktarımı sağlamaktadır (Soykeabkaew vd., 2004).

Yapılan araştırmalarda kraft lifleri, hint keneveri ve keten lifleri, manyok ve buğday lifleri, mısır, selüloz ve mısır kabuğu lifleri gibi farklı liflerin de nişasta bazlı köpük ürünlerin mekanik ve suya karşı direnç özelliklerini iyileştirdiğini göstermiştir (Carr vd. 2006; Cinelli vd. 2006; Kaisangsri vd. 2012; Polat vd. 2013; Salgado vd. 2008; Soykeabkaew vd. 2004). En uygun lif miktarı her bir köpük kompozite ürüne göre değişse de genel olarak köpük üründeki tüm katı içeriğin veya nişastanın ağırlıkça %8-

15'i kadardır. Lif miktarının ağırlıkça %15'in üstüne çıkması özellikle %50 veya daha az bağıl nemde depolama sonrasında test edildiğinde köpük ürünün mukavemetini çoğunlukla arttırmamaktadır. 5-7 mm uzunluğunda yumuşak ahşap parçaları buğday nişastasından elde edilen köpük ile birleştirilmiş, en uygun lif miktarı %8 olarak bulunmuş ve bu ürün 12 MPa bükülme mukavemeti göstermiştir (Glenn vd. 2001). Manyok nişastası ile %5-15 malt küspesini karıştırarak elde ettikleri köpük ürünlerin 13 MPa değerinde yüksek bir gerilme mukavemeti gösterdiğini bildirmiştir (Mello ve Mali 2014). Soykeabkaew vd. (2004) tarafından yapılan bir çalışmada ise ağırlıkça %10 oranında, uzunlukları 20 mm olan hint keneviri lifleriyle güçlendirilen tapyoka nişastasından üretilen biyokompozit köpük ürünlerin eğilme modüllerinin 800 MPa olduğunu görmüş ve bunun en yüksek eğilme modülü değeri olduğunu belirtmiştir. Ayrıca eklenen liflerin uzunlukları arttığında daha güçlü ve daha sert köpük ürünlerin elde edilebildiği de görülmüştür. Diğer yandan artan lif içeriği köpük ürünlerin esnekliği azaltmakta ve yoğunluğunu arttırmaktadır. Genleştirilmiş polistiren köpük ile karşılaştırıldığında doğal liflerle güçlendirilmiş köpük ürünlerin yoğunluğunun beş kat daha fazla olduğu, esneme ve bükülme kabiliyetleri ise çok daha az olduğu bildirilmiştir.

Nişasta bazlı köpük ürünlerin mekanik özellikleri üzerine diğer bir önemli faktör ise nem içeriğidir. Soykeabkaew vd. (2004) nişasta bazlı köpük ürünlerin hem eğilme mukavemeti hem de eğilme modülü değerlerinin en yüksek olduğu nem içeriğinin yaklaşık %7-9 arasında gözlendiğini bildirmiştir. Daha düşük nem içeriğinde köpük ürünlerin kırılma dayanımı artarken daha yüksek nem içeriğinde ise fazla miktarda emilen nemden dolayı ürünün yumuşadığı ve zayıfladığı görülmüştür. Doğal liflerin eklenmesiyle birlikte elde edilen diğer bir avantaj manyok/kraft lifleri karışımında olduğu gibi köpük ürünün suda daha düşük çözünürlük göstermesidir. Doğal lifler, nişastadan daha yüksek kristalliteye sahip olduğu ve daha az higroskopik olduğu için artan kraft lifi içeriği köpük ürünlerin suda çözünürlük indeksini önemli seviyede düşürmüştür (Kaisangsri vd. 2012; 2014). Mello ve Mali (2014) tarafından yapılan bir çalışmada %10 malt küspesi eklenerek manyok nişastasından elde edilen köpük tabakların su emme miktarlarının azaldığı tespit edilmiştir.

Yüksek amilopektinli patates nişastası, polivinil alkol ve aspen lifleri kullanılarak üretilen köpük tabakların formülasyonuna %2 oranında monostearil sitrat ilave edilmesiyle 25 dakikalık test süresinde emilen suyun miktarının 11 gramdan 4,7 grama kadar azaldığı belirlenmiş ve tabakların işlev göreceği şekilde esnekliğe ve su direncine sahip olduğu görülmüştür (Shogren vd. 2002).

Stevens vd. (2010) tarafından yapılan bir çalışmada mısır nişastası ile lignin karıştırılmış ve ligninin su emme miktarını azalttığı gözlenmiştir.

#### **2.4.4. Nişasta bazlı nanokompozit köpük ürünler**

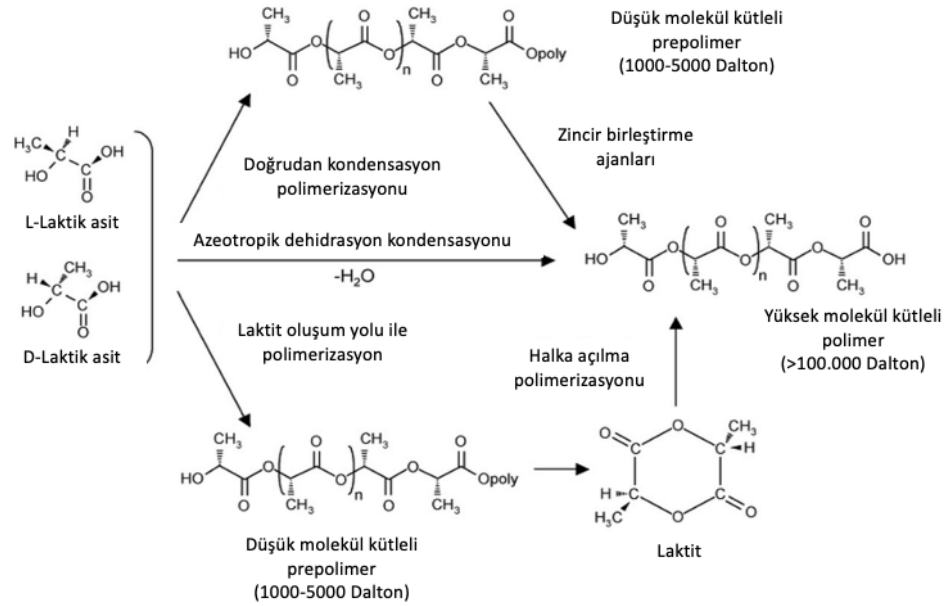
Nanoteknoloji, biyo-bazlı ürünlerin bazı dezavantajlarını en aza indirmek için kullanılan bir başka uygulamadır. Nişasta bazlı köpük ürünler alanında nano kompozit köpük ürün hazırlanması için katmanlı silikat (killer) gibi nano ölçekli dolgu maddeleri veya nano güçlendiriciler, nanoselülozlar ve nanohidroksiapatitlerin kullanıldığı bazı çalışmalar yapılmıştır.

Lee vd. (2008) tarafından yapılan bir çalışmada organokil (Cloisite) ilavesinin ekstrüde edilmiş köpük ürünlerin yoğunluğunu azalttığı gözlenmiştir. Organokiller köpük oluşumu sırasında çekirdeklenme ajanı olarak işlev görmüşlerdir. Özellikle Cloisite 93A ilavesinin nanokompozit köpük ürünün yoğunluğunu 0,023 g/cm<sup>3</sup>e kadar azaltarak önemli seviyede etkilediğini bildirmişlerdir. Ağırlıkça %3 Cloisite 10A ilavesi ile yoğunluk orta düzeyde artmış ancak köpük ürünün sıkıştırılabilirliği iki katına çıkarak 16,6 MPa değerine ulaşmıştır. Kaolin ilavesinin nişasta bazlı köpük ürünlerin su emme yeteneğini azalttığı görülmüştür (Kaewtatip vd., 2013). Vercelheze vd. (2012) manyok nişastasına şeker kamışı küspesi ve Na-montmorillonit (Na-MMT) katkılayarak nişasta bazlı köpük tabaklar üretmiştir. Tabakların yoğunluklarının 0,1941-0,2966 g/cm<sup>3</sup> arasında olduğunu görmüştür. Na-MMT'nin eklenmesiyle köpük tabakların daha az yoğun ve daha yumuşak olduğunu belirtmişlerdir. Özellikle ağırlıkça %10 şeker kamışı küspesi ve %2,5 MMT içeren köpük tabakların 30 dakikalık test periyodunda su emme miktarı yaklaşık olarak yarı yarıya azalmıştır. Aygün vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada MMT'nin tabak yüzeyinde çatlaklara sebep olduğu ve bu yüzden de tabakların su emme miktarını arttırdığı görülmüştür. Ayrıca bu çalışmada nişasta bazlı köpük tabaklara çinko oksit (ZnO) nanopartikülleri ve %1-5 oranın kaolin de eklenmiştir. ZnO nanopartiküllerinin ve kaolinin su emme yüzdesini azalttığı tespit edilmiştir.

#### 2.4.5. Hidrofobik kaplamalar

Polilaktik asit (PLA), mısır, şeker pancarı, buğday ve tapyoka gibi nişasta bakımından zengin ürünlerden karbonhidrat fermantasyonu ve/veya kimyasal sentezi ile üretilen laktik asit (LA) monomerlerinin polimerizasyonu ile elde edilen, alifatik poliester yapısında bir polimerdir (Avérous, 2008; Jamshidian vd., 2010). LA'nın kimyasal yapısı, asimetrik bir karbon atomunun oluşturduğu optik olarak aktif konfigürasyonlar olan L ve D izomerlerini içermektedir. L ve D monomerler birimlerinin oranı, kristallik derecesi, erime sıcaklığı ve işleme kolaylığı gibi bazı polimer özelliklerini etkilemektedir (Tawakkal vd. 2014). PLA sentezinde, laktik asidin direk polikondansasyonu ve laktit olarak bilinen laktik asidin siklik dimerinin halka açılım polimerizasyonu olmak üzere iki önemli metot bulunmaktadır (Şekil 2.1). Direk kondansasyon yönteminde solvent kullanılmakta ve daha yüksek reaksiyon süreleri gerekmektedir. Reaksiyon sonunda elde edilen polimer ise düşük veya orta molekül ağırlıklı bir polimerdir. Laktitten halka açılım polimerizasyonu ile PLA üretiminde ise katalizöre ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak bu yöntemle yüksek molekül ağırlığına sahip olan polimerler üretilebilmektedir. Aynı zamanda üretilen polimerdeki L ve D laktik asit birimlerinin oranı da kontrol edilebilmektedir (Gupta vd. 2007; Rincon Lasprilla vd. 2011). Genellikle ticari PLA, erime ve camsı geçiş sıcaklıkları nispeten daha yüksek olan, L-laktitten üretilmektedir. PLA'nın medikal ve gıda ambalajlama uygulamaları için kullanımı FDA (Amerikan Gıda ve İlaç İdaresi) tarafından 1970 yılında onaylanmıştır. PLA'nın termal ve mekanik özellikleri petrol bazlı polimerlerden olan polietilenteraftalat (PET) ve polistirene (PS) benzemektedir (Tawakkal vd. 2014). PLA'nın faydalı özellikleri arasında yüksek mekanik mukavemeti, mükemmel ısıl şekillendirme kabiliyeti, biyoyumluluğu, kolayca kompostlanma yeteneği ve monomer yenilenebilirliği bulunmaktadır. Ayrıca, PLA üretiminin petrol bazlı polimerlere göre %15-60 daha düşük karbon emisyonu ve %25-55 daha düşük enerji tüketimiyle gerçekleştirilebildiği bildirilmiştir (Dorgan vd. 2006; Vink vd. 2003). PLA bu

özelliklerinden dolayı biyobozunur filmler üretmek ve köpük tabakların fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirmek için kaplama malzemesi olarak bazı çalışmalarda kullanılmıştır.

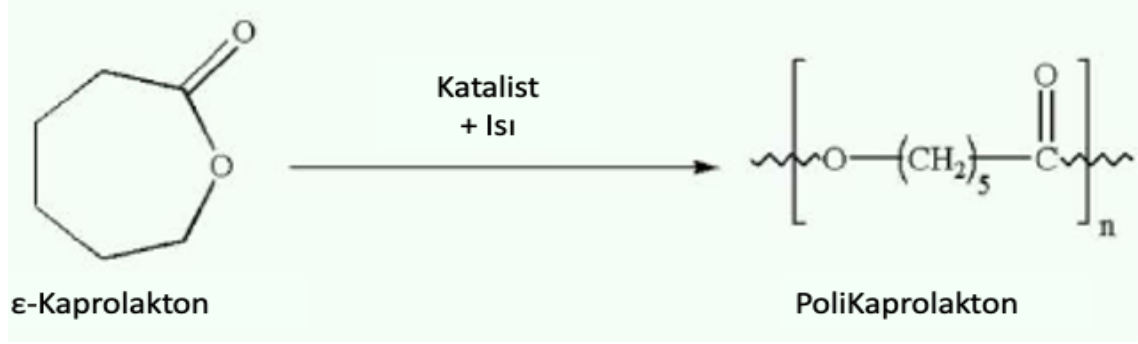


**Şekil 2.1.** Polilaktik asit üretimi ve kimyasal yapısı (Lim vd. 2008)

Soya proteini izolatlarından üretilen filmler daldırma yöntemi kullanılarak PLA ile kaplanmıştır. Üretilen filmler su içerisine 24 saat daldırılmış ve bu sürenin sonunda kaplanmayan filmlerin tamamen çözündüğü, %5 PLA ile kaplanan filmlerin ağırlıklarının %0,1'i oranında çözündüğü görülmüştür. PLA ile kaplamanın filmlerin suya karşı direncini önemli seviyede arttırdığı belirtilmiştir. (Rhim vd. 2007).

Bergel vd. (2018) patates nişastasından ürettikleri köpük tabakları; %2, %4 ve %6 konsantrasyondaki PLA çözeltileri ile kaplanmış ve kaplanmamış tabaklara göre PLA kaplanmış tabakların su emme miktarlarının önemli seviyede düştüğünü tespit etmişlerdir. Ayrıca PLA çözeltilerinin konsantrasyonları arttıkça köpük tabakların su emme miktarının azaldığını bulmuşlardır.

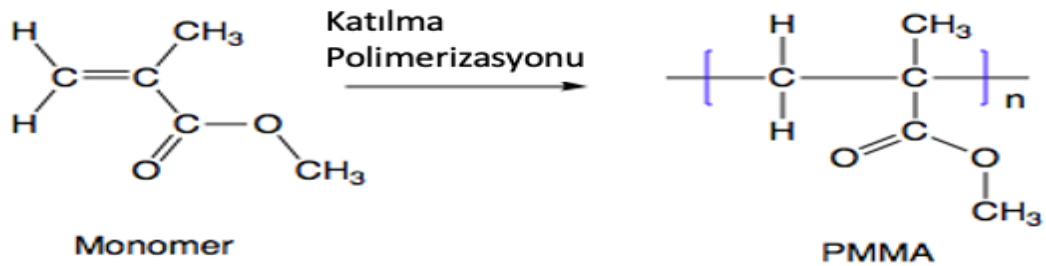
Polikaprolakton (PCL), yüksek hidrofobik karaktere sahip, lineer ve alifatik bir poliester yapısında biyobozunur bir polimerdir. Petrol kaynaklı ε-kaprolaktonun halka açılımı polimerizasyonu ile üretilmektedir (Şekil 2.2).



**Şekil 2.2.** Polikaprolakton üretimi ve kimyasal yapısı (Azimi vd. 2014)

Preechawong vd. (2004) tapyoka nişastası ile PCL'yi karıştırarak sıcak kalıpta hibrit köpükler üretmişlerdir. 25 °C ve %42 bağıl nemde 7 gün boyunca su emme miktarı testinden sonra PCL içermeyen köpük ürünlerin %127 oranında su emdiğini, süspansiyondaki nişastanın ağırlığının %30'u kadar PCL içeren köpük ürünlerin ise %77 oranında su emdiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca PCL eklenmesinin köpük ürünün mekanik özellikleri üzerine de olumlu bir etki oluşturduğunu bulmuşlardır.

Polimetil metakrilat (PMMA), metil metakrilat monomerlerinden oluşan termoplastik, optik olarak saydam, darbelere karşı dayanıklı, ucuz ve kolay şekillendirilebilen bir polimerdir. En yaygın polimerizasyon tekniği, metil metakrilatın yapısında bulunan çift bağların açılarak, katılma polimerizasyonudur (Pomes vd. 2019) (Şekil 2.3). PMMA toksik olmadığı için gıda ile temas eden yüzeylerde kullanılması FDA tarafından onaylanmıştır. Ayrıca biyomedikal alanında da PMMA'dan yararlanılmaktadır (Ali vd. 2015). Nişasta bazlı biyobozunur köpük tabakların PMMA ve PCL ile kaplanmasında herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.



**Şekil 2.3.** Polimetil metakrilat ve kimyasal yapısı (Pituru vd. 2020)

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Materyal

Köpük tabak üretiminde kullanılan buğday ve patates nişastası Cargill Tarım ve Gıda San. Tic. A.Ş. (İstanbul, Türkiye)'den, buğday lifi Smart Kimya Tic. ve Danışmanlık Ltd. Şti. (İzmir, Türkiye)'den, guar gam INCOM A.Ş. (Mersin, Türkiye)'den, nişastanın çapraz bağlanmasında kullanılan glioksal ve tabakların kaplanmasında kullanılan PCL Merck KGaA (Darmstadt, Almanya)'dan, PLA FKUR Kunstsoff GmbH (Willich, Almanya)'den, PMMA LG Chem. (Seul, Güney Kore)'den, benzen ve kloroform Interlab Laboratuvar Ürünleri San. ve Tic. A.Ş. (İstanbul, Türkiye)'den temin edilmiştir.

#### 3.2. Nişastanın Glioksal ile Çapraz Bağlanması

Glioksal ile muamele için 2 litrelik bir şişe içerisine buğday (750 g) veya buğday (375 g)-patates (375 g) nişastası tartılmış ve üzerine 1390 ml saf su eklenerek %35'lik süspansiyon hazırlanmıştır. Hazırlanan süspansiyona hacimsel olarak %1 oranında (21,4 ml) glioksal ( $C_2H_2O_2$ ) mikropipetle eklenmiş ve reaksiyonun tamamlanması için karışım manyetik karıştırıcı ile 24 saat karıştırılmıştır. Çapraz bağlama işleminden sonra süspansiyon +4 °C'de 4 saat bekletilerek süspansiyonun ayrılması sağlanmıştır. Ayrılan süspansiyonun üzerinde kalan glioksal-su karışımı gaz yıkama şişesi kullanılarak çekilmiş ve nişasta üstüne tekrar su eklenerek karıştırılmıştır. Bu işlem 3 defa tekrarlanarak serbest glioksalın uzaklaşması sağlanmıştır. Son yıkama işleminden sonra %35'lik nişasta süspansiyonu elde edilecek şekilde çapraz bağlanmış nişasta üzerine su eklenmiştir (Uslu ve Polat 2012).

#### 3.3. Tabakların Üretimi

Tabak üretimi Aygün 2013'te verilen yöntem modifiye edilerek yapılmıştır. Bir behere 120 g %35'lik çapraz bağlanmış buğday veya buğday-patates nişastası süspansiyonu tartılıp üzerine nişastanın %7'si (2,94 g) kadar buğday lifi ve süspansiyonun ayrılmasını önlemek amacıyla %0,5'i (0,21 g) kadar guar gam eklenerek blender ile homojen hale gelene kadar karıştırılmıştır. Hazırlanan bu karışımlar, değişken kalıplı köpük tabak pişirme makinesinin (Kahramanlar Makine, Burdur, Türkiye) dikdörtgen kalıbına (Çetin Kalıp, İstanbul, Türkiye) (20x12x3,5cm) dökülerek pişirilmiştir. Buğday nişastasından üretilen köpük tabaklar 210 °C'de 450 saniye pişirilerek, buğday-patates nişastasından üretilen tabaklar ise 205 °C'de 420 saniye pişirilerek üretilmiştir.

#### 3.4. Tabakların Kaplanması

##### 3.4.1. Kaplama çözeltilerinin hazırlanması

%10'luk polilaktik asit (PLA) kaplama çözeltisi 1000 ml kloroform içerisinde 100 g PLA çözülerek hazırlanmıştır. %25'lik polimetil metakrilat (PMMA) çözeltisi 1000 ml benzen içerisinde 250 g PMMA çözülerek hazırlanmıştır. %10'luk polikaprolakton (PCL) çözeltisi 500 ml kloroform içerisinde 50 g PCL çözülerek hazırlanmıştır.

### 3.4.2. Kaplama işlemi

Kaplama işlemi, aspiratörlü boya kabiniinde (Sparmax, Taipei, Tayvan) fırça ile sürme yöntemiyle üç katman halinde yapılmıştır. Sürülen herbir katman kabinde kurutulduktan sonra diğer katman sürülmüştür. %10'luk PLA ve PCL çözeltileri ile yapılan kaplamada her bir katman için 7,5 g çözelti kullanılırken %25'lik PMMA çözeltisi ile yapılan kaplamada her bir katman için 3 g çözelti kullanılmıştır. Çözelti miktarları, kuru madde miktarları eşit olacak şekilde belirlenmiştir.

### 3.5. Tabakların Özelliklerinin Belirlenmesi

#### 3.5.1. Yoğunluk

Köpük tabakların taban kısmından 100x25 mm boyutlarında dikdörtgen şeklinde parçalar kesilmiş ve parçaların kalınlıkları bir mikrometre (Fowler, Toronto, A.B.D) ile ölçülerek hacimleri hesaplanmıştır. Kesilen parçaların ağırlıkları, hacmine bölünerek tabakların yoğunlukları tespit edilmiştir.

#### 3.5.2. Yüzde su emme miktarı

Yüzde su emme miktarı değerini belirlemek için tabaklar tartıldıktan sonra 25 °C de 1000 ml saf su içerisine 1 dakika batırılmıştır. Daha sonra tabaklar sudan çıkarılmış ve üzerindeki fazla su kâğıt havlu yardımıyla alınmış, 9 dakika oda koşullarında bekletildikten sonra tekrar tartılmıştır. Son örnek ağırlıkları ile başlangıç örnek ağırlığı arasındaki fark tabak başlangıç ağırlığına bölünüp yüzle çarpılarak tabakların yüzde su emme miktarı değerleri hesaplanmıştır (Uslu ve Polat, 2012).

#### 3.5.3. Su emme hızı

Tabakların su emme hızını tayin etmek için tartılan tabak örnekleri üzerine hacminin %70'i kadar saf su konulmuştur. Tabakların suya karşı dirençlerine göre ölçüm periyotları ve sayıları belirlenmiştir. Ölçüm sırasında tabak içerisindeki su dökülmüş, fazla su kâğıt havlu yardımıyla uzaklaştırılmış ve tabakların ağırlıkları ölçülmüştür. Son örnek ağırlığı ile başlangıç örnek ağırlığı arasındaki fark bulunmuş, bu değerlerin zamana karşı grafiği Excel 2010 (Microsoft, Redmond, A.B.D.) programıyla çizdirilmiş ve grafiklerin eğimleri hesaplatılmıştır. Eğim değerleri, tabakların su emme hızı olarak kayıt edilmiştir.

#### 3.5.4. Mekanik özellikler

Köpük tabaklardan 100x25 mm boyutlarında kesilen örnekler 25°C 'de, %50±3 nispi nemde çalışan iklimlendirme dolabında (ID 400 Nüve, Ankara, Türkiye) 3 gün bekletilerek koşullandırılmıştır. Mekanik özellikler, TS 985 EN ISO 178: 2011 + A1 2005 standart metoduna göre tekstür analiz cihazı (TA-XT plus, Stable Micro Systems, Surrey, İngiltere) ve üç noktalı bükme düzeneği (HDP/3PB) kullanılarak belirlenmiştir. Deney numunesi simetrik olarak aralarında 60 mm mesafe bulunan iki mesnetin üzerine yerleştirilmiş ve tam ortasına yük uygulama ucu ile kuvvet uygulanmıştır. Deney numunesi kırılıncaya kadar kuvvet uygulanmıştır. Sonuçlar cihazın yazılımı (Texture Exponent 32) kullanılarak grafiklerdeki ilk piklere göre hesaplatılmıştır.

Bükme mukavemeti ( $\sigma_f$ ), bükme boyut değişimi ( $\epsilon_f$ ) ve elastik modül ( $E_f$ ) parametreleri aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bh^2} \quad , \quad \epsilon_f = \frac{6sh}{L^2} \quad , \quad E_f = \frac{FL^3}{4h^3bs} \quad (3.1)$$

$\sigma_f$ : Bükme mukavemeti

$\epsilon_f$ : Bükme boyut değişimi

$E_f$ : Elastik modülü

F: Uygulanan kuvvet, Newton

L: Mesnetler arasındaki mesafe, mm

b: Numune genişliği, mm

h: Numune kalınlığı, mm

s: Bükülme, mm

### 3.5.5. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) altında görüntüleme

Örneklerden alınan 1 cm<sup>2</sup>'lik parçalar kesilip üzeri kaplama cihazında (Polaron SC7620, Quorem Technologies, UK) 150 Å kalınlığında altın-paladyum alaşımı ile kaplanmıştır. Daha sonra taramalı elektron mikroskobu (ZEISS Leo 1430 SEM, Oberkochen, Germany) yardımıyla tabak yüzey ve kesiti görüntülenmiştir. Kaplama kalınlıkları kesit görüntüleri, kaplanmış yüzeydeki gözenek sayısı ve çapı yüzey görüntüleri incelenerek bulunmuştur. Hesaplamalar Matlab Image Processing Toolbox 11.1 programı (MathWorks Inc., Natick, A.B.D.) kullanılarak yapılmıştır.

### 3.5.6. FT-IR analizi

FT-IR analizi, Perkin Elmer (Wellesley, A.B.D.) Spectrum sürüm 6.3.4.0164 yazılımı bulunan bir Perkin Elmer Spectrum 400 FT-IR/FT-NIR spektrometre cihazı kullanılarak gerçekteşirilmifitir.

### 3.5.7. Tabakların Simüle Toprağa Gömülerek İzlenmesi

Tabakların simüle toprağa gömülerek izlenmesi Rosa vd. (2009)'a göre yapılmıştır. Ağırlıkça %23 kum, %23 hayvan gübresi, %23 toprak ve %31 distile su içeren 300 g test düzenekleri hazırlanmıştır. Test düzenekleri 25 °C'de oda koşullarında bekletilmifitir. Köpük tabaklardan kesilen örneklerin başlangıç ağırlıkları ölçülmüş ve simüle edilmiş topraklara gömülmüştür. Parçaların son ağırlıkları ile başlangıç ağırlıkları arasındaki fark, başlangıç ağırlığına bölünmüş ve yüzle çarpılarak parçaların zamana göre yüzde ağırlık kayıpları hesaplanmıştır. Ağırlık ölçümleri parçalanma hızına göre günlük, haftalık ve aylık olarak yapılmıştır.



### 3.6. İstatistiksel Metot

Tabak üretimi ve kaplama uygulaması 2 tekerrürlü ve analizler 2 paralelli olarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara varyans analizi (ANOVA) uygulanmış, anlamlı fark çıkan sonuçlara Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi yapılmıştır. İstatiksel analizler, SAS for Windows V9 (Cary, A.B.D.) istatistik paketi kullanılarak yapılmıştır.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu araştırmada Aygün vd. (2017) tarafından önerilen metoda göre glioksal ile çapraz bağlanan buğday-patates nişastaları karışımına nişastanın %7'si kadar buğday lifi ve %0,5'i kadar guar gam eklenerek köpük tabaklar üretilmiştir. Ayrıca bu çalışmada glioksal ile çapraz bağlanmış buğday nişastasına aynı oranda buğday lifi ve guar gam ilave edilerek de tabaklar üretilmiştir. Üretilen tabaklar polilaktik asit (PLA), polimetil metakrilat (PMMA) ve polikaprolakton (PCL) ile kaplanmıştır. Kaplama çözeltileri Rhim vd. (2007) göre %5'lik PLA kloroform içerisinde, Evchuk vd. (2005) göre PMMA benzen içerisinde ve Tang vd. (2005) göre %6'lik PCL kloroform içerisinde çözülerek hazırlanmıştır. Daha sonra çözgen kullanım miktarını azaltmak ve çözeltilerin viskozitesi de dikkate alınarak %10'luk PLA ve PCL, %25'lik PMMA çözeltileri hazırlanmıştır. PLA çözeltisi %10'unun üzerine çıktığı zaman kaplamaya uygun olmayacak kadar kıvamlı olduğu ve PMMA çözeltisinin de %25'in altında olması durumunda çok akışkan olması nedeniyle düzgün kaplama yapılamadığı belirlenmiştir. Kaplama metodunun püskürtme ile yapılması planlanmıştır. Ancak püskürtme işlemi için kullanmayı planladığımız boya tabancasının çok güçlü şekilde çözeltiyi püskürtmesi nedeniyle homojen bir kaplama yapılması için çok fazla çözelti sarfiyatı olması ve kaplamanın çok kalın olması nedeniyle kaplama işlemi fırça ile sürme yöntemiyle yapılmıştır. Kaplama işlemi katmanlar halinde sürülerek yapılmıştır. Sürülen ilk katman aspiratörlü boya kabini içinde kurutulduktan sonra ikinci katman sürülmüştür. Başlangıçta tabakların iç ve dış yüzeyine iki katman halinde kaplama yapılması planlanmıştır. Ancak yapılan su emme testlerinde iki katmanın yeterince hidrofobik yüzey oluşturmadığı, tabakların büyük oranda su emdiği gözlenmiştir. Bu nedenle kaplama 3 katman halinde uygulanmıştır. %10'luk PLA ve PCL çözeltileri ile yapılan kaplamada her bir katman için 7,5 g çözelti kullanılırken %25 PMMA çözeltisi ile yapılan kaplamada her bir katman için 3 g çözelti kullanılmıştır.

### 4.1. Tabakların Özelliklerinin Belirlenmesi

#### 4.1.1. Yoğunluk

Köpük tabakların taban kısmından dikdörtgen şeklinde parçaların kesilen parçaların ağırlıkları, hacmine bölünerek tabakların yoğunlukları belirlenmiştir. Elde edilen ham veriler Çizelge 4.1'de, bu verilere uygulanan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.2'de ve bunlara uygulanan Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.3'te verilmiştir. Sadece kaplama malzemelerinin köpük tabakların yoğunluğu üzerinde önemli seviyede ( $p<0,05$ ) etkili olduğu bulunmuştur. Köpük tabakların yüzey SEM görüntülerinde (Şekil 4.3) görüldüğü gibi kaplama malzemeleri köpük tabakların yüzeylerindeki boşlukları doldurarak tabakların yoğunluklarını arttırmıştır. PCL ( $0,140 \text{ g/cm}^3$ ) ve PLA ( $0,137 \text{ g/cm}^3$ ) ile kaplanan köpük tabakların ortalama yoğunlukları istatistiksel olarak önemli miktarda ( $p<0,05$ ) artarken PMMA ( $0,125 \text{ g/cm}^3$ ) ile kaplanan köpük tabakların yoğunluklarının, kaplanmamış ( $0,110 \text{ g/cm}^3$ ) tabakların ortalama yoğunluklarına daha yakın olduğu görülmüştür. Üretilen tabakların yoğunluklarının, EPS'den üretilen tabakların yoğunluklarından ( $0,011-0,032 \text{ g/cm}^3$ ) oldukça fazla olduğu görülmüştür.

**Çizelge 4.1.** Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların yoğunluk değerlerinin ham verileri

Örnekler	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Örnekler	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
B	0,113 ± 0,007	BP	0,107 ± 0,000
BK	0,139 ± 0,008	BPK	0,140 ± 0,020
BL	0,144 ± 0,012	BPL	0,131 ± 0,002
BM	0,132 ± 0,014	BPM	0,118 ± 0,006

B tabağın buğday nişastasından üretildiğini, BP tabağın buğday-patates nişastasından üretildiğini, K tabağın PCL ile kaplandığı, L tabağın PLA ile kaplandığı, M tabağın PMMA ile kaplandığını göstermektedir.

**Çizelge 4.2.** Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların yoğunluk değerlerinin varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	S.D	K.O	F
Nişasta Kaynağı	1	0,00025	2,04
Kaplama Malzemesi	3	0,00073	5,88*
N X K	3	0,00004	0,39
Hata	7	0,00012	

\*:  $p < 0,05$  seviyesinde farklılığı göstermektedir.

**Çizelge 4.3.** Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların yoğunluk değerlerinin varyans analizi sonuçlarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Nişasta Kaynağı	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
B	0,132 ± 0,015
BP	0,124 ± 0,016
Kaplama Malzemesi	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
Kaplanmamış	0,110 ± 0,005 <sup>b</sup>
PCL	0,140 ± 0,012 <sup>a</sup>
PLA	0,137 ± 0,010 <sup>a</sup>
PMMA	0,125 ± 0,012 <sup>ba</sup>

Değerler "ortalama ± standart sapma" olarak verilmiştir. Farklı harfler ortalamaların Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi'ne göre ( $p < 0,05$ ) farklı olduğunu göstermiştir.

#### 4.1.2. Yüzde su emme miktarı

Yüzde su emme miktarına dair ham veriler Çizelge 4.4'te, bu verilere uygulanan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.5'te ve Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir. Köpük tabakların yüzde su emme miktarı nişasta kaynağından etkilenmezken ( $p > 0,05$ ), kaplama malzemelerinin tabakların yüzde su emme miktarını istatistiksel olarak önemli seviyede ( $p < 0,01$ ) azalttığı bulunmuştur. PLA ve PMMA ile kaplanan köpük tabakların su emme miktarlarının önemli seviyede azaldığı, PCL ile kaplanan köpük tabakların su emme miktarlarının ise diğer kaplama

malzemelerine göre daha az düşmesine rağmen kaplanmamış tabaklara göre istatistiksel olarak önemli seviyede azaldığı görülmüştür ( $p<0,05$ ).

Bergel vd. (2017) patates, mısır ve manyok nişastalarından üretilen tabakları kitosan ile kaplamışlar, kaplanmamış tabaklar ağırlıklarının %280'i kadar, kitosan ile kaplanmış tabaklar ise yaklaşık %140 oranında su emdiğini bulmuşlardır.

Aygün (2013) tarafından yapılan çalışmada çapraz bağlı buğday-patates nişastasından üretilen köpük tabakların yüzde su emme miktarı %25,50 iken lif, ZnO nanopartikül ve susuz hidrojene yağ eklenerek üretilen köpük tabakların yüzde su emme miktarının %5,85'e kadar azaldığı görülmüştür. Bu çalışmada üretilen tabaklar her ne kadar Aygün (2013) tarafından kullanılan makine kullanılarak üretilmişse de üretimde aynı sıcaklık ve süre değerleri kullanılmamıştır. Bu nedenle bu çalışmada üretilen tabakların yoğunlukları daha düşük çıkmış ve özellikle de kaplanmamış tabakların yüzde su emme miktarları (%158,53) o çalışmadaki değerlerden çok daha yüksek çıkmıştır. Bu sonuçlara göre PLA ve PMMA ile kaplama oransal olarak yüzde su emme miktarını azaltmada tabak içerisine katkı maddesi eklenerek yüzde su emme miktarını azaltmaya yönelik çalışmadan daha iyi sonuç verdiği bulunmuştur.

**Çizelge 4.4.** Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların yüzde su emme miktarlarına ait ham veriler

Örnekler	Su Emme Miktarı (%)	Örnekler	Su Emme Miktarı (%)
B	129,445 ± 1,672	BP	158,528 ± 4,326
BK	49,335 ± 12,857	BPK	37,257 ± 1,351
BL	13,841 ± 4,805	BPL	10,265 ± 0,999
BM	8,330 ± 5,903	BPM	7,565 ± 2,411

**Çizelge 4.5.** Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların yüzde su emme miktarlarına ait varyans analizi sonuçları

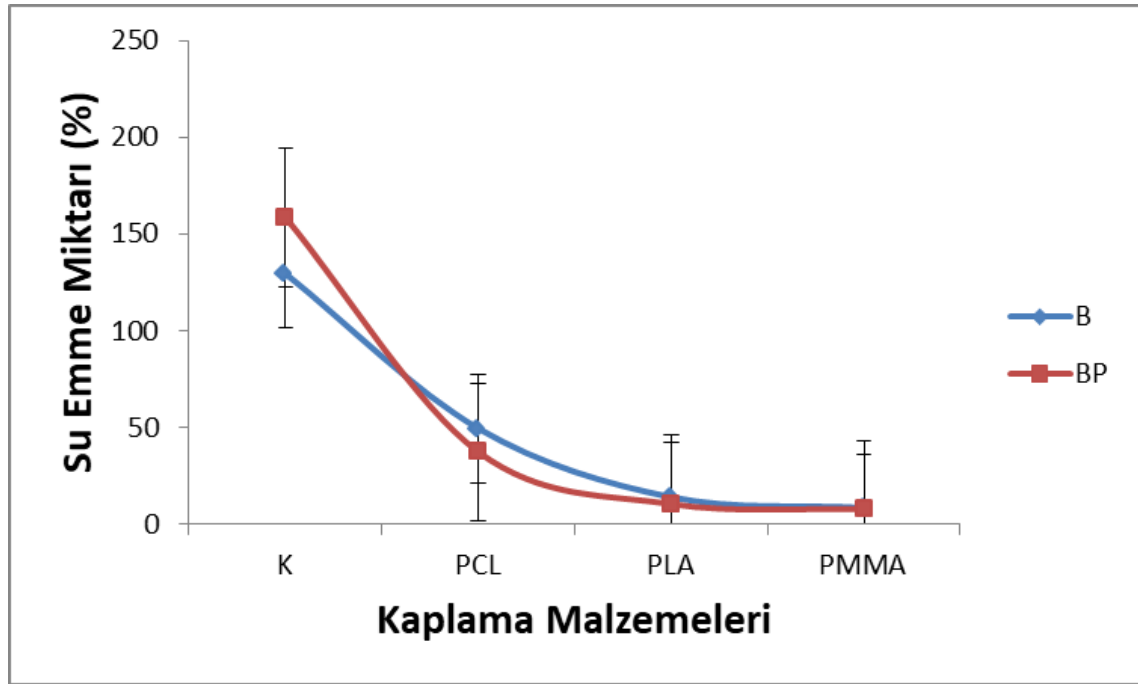
Varyasyon Kaynağı	S.D	K.O	F
Nişasta Kaynağı	1	40,097	1,12
Kaplama Malzemesi	3	16098,102	447,79**
N x K	3	321,647	8,95**
Hata	7	35,950	

\*\* :  $p<0,01$  seviyesinde farklılığı göstermektedir.

**Çizelge 4.6.** Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların yüzde su emme miktarlarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Nişasta Kaynağı	Su Emme Miktarı (%)
B	50,238 ± 52,013
BP	53,404 ± 66,090
Kaplama Malzemesi	Su Emme Miktarı (%)
Kaplanmamış	143,987 ± 17,003 <sup>a</sup>
PCL	43,296 ± 10,214 <sup>b</sup>
PLA	12,053 ± 3,506 <sup>c</sup>
PMMA	7,948 ± 3,708 <sup>c</sup>

Değerler "ortalama ± standart sapma" olarak verilmiştir. Farklı harfler ortalamaların Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi'ne göre ( $p < 0,05$ ) farklı olduğunu göstermiştir.



**Şekil 4.1.** Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların yüzde su emme miktarları üzerine interaksiyon grafiği (K: Kaplanmamış tabaklar, PCL: Polikaprolakton ile kaplanmış tabaklar, PLA: Polilaktik asit ile kaplanmış tabaklar, PMMA: Polimetil metakrilat ile kaplanmış tabaklar)

İstatiksel analiz sonucunda nişasta kaynağı ve kaplama malzemelerinin interaksiyonunun önemli seviyede ( $p < 0,01$ ) etkili olduğu bulunmuş ve farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların yüzde su emme miktarları üzerine interaksiyon grafiği Şekil 4.1'de verilmiştir. İnteraksiyon grafiği incelendiğinde PLA ve PMMA ile kaplanmış tabaklarda nişasta kaynağının tabakların su emme miktarını etkilemediği ancak kaplanmamış ve PCL ile kaplanmış tabaklarda nişasta kaynağının

tabakların su emme miktarında etkili olduğu görülmektedir. Buğday-patates nişastasından üretilen tabakların yüzeylerindeki gözenek sayısı ve çapları (Çizelge 4.13) daha az olmasına rağmen, buğday nişastasından üretilen tabaklardan daha fazla oranda su emmiştir. Yoğunluklar arasında her ne kadar istatistiksel olarak anlamlı bir fark ( $p>0,05$ ) olmasa da buğday-patates nişastasından üretilen tabakların daha fazla köpük yapı oluşturduğu gözlenmiş ve gözenek çaplarının daha büyük olduğu SEM görüntülerinden anlaşılmaktadır. Bu nedenle buğday nişastasından üretilen kaplanmamış tabakların daha az su emdiği tespit edilmiştir.

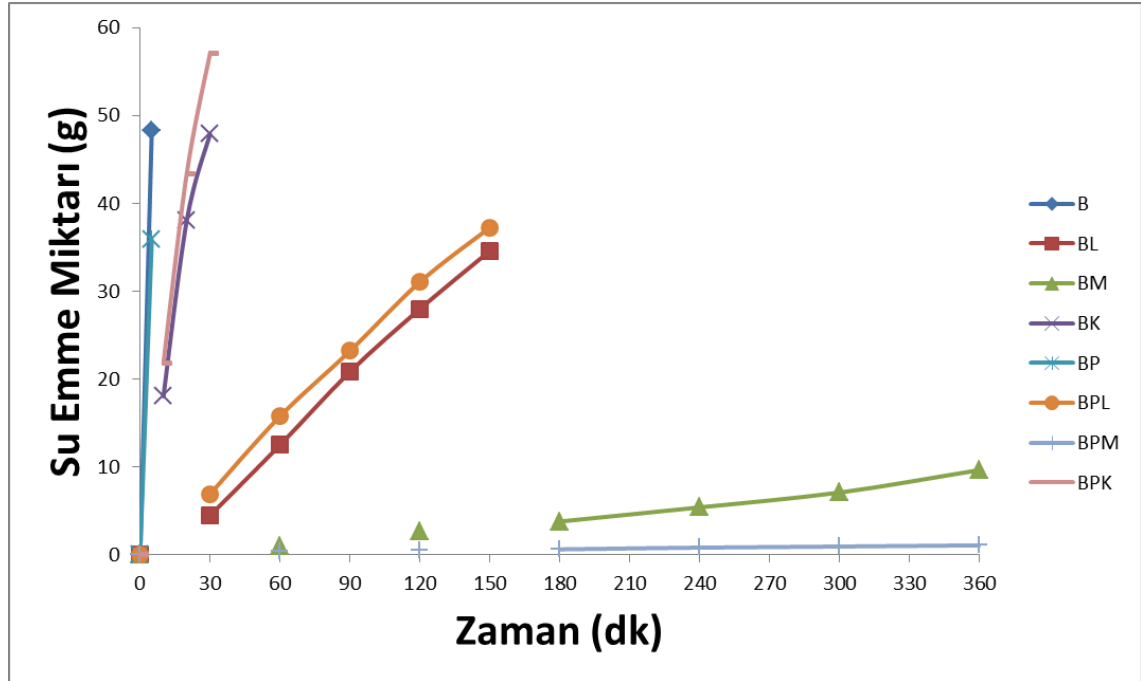
Yüzde su emme miktarı analizinde tabaklar tamamen su içerisine daldırılmış ve asıl su emmenin tabakların iç ve dış kısımlarının birleştiği kenarlarda kalan açık hücrelerden gerçekleştiği tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak kaplanmış tabakların yüzeyindeki kaplama malzemesinin de zar şeklinde tabaklardan ayrıldığı gözlenmiştir. Pişirmede kullanılan kalıbın kenar dizaynı değiştirilerek su emme miktarının çok daha düşük seviyelere azaltılabileceği öngörülmektedir.

#### 4.1.3. Su emme hızı

Su emme hızına ait ham veriler Çizelge 4.7’de, bu verilere uygulanan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.8’de ve Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.9’da verilmiştir. Köpük tabakların su emme miktarı nişasta kaynağından etkilenmezken ( $p>0,05$ ) kaplama malzemelerinin tabakların su emme miktarını istatistiksel olarak önemli seviyede ( $p<0,05$ ) azalttığı bulunmuştur. 25,5 g ve 25,3 g ağırlıklarındaki buğday ve buğday-patates nişastasından üretilen tabaklar 5 dakika sonra sırasıyla 48,3 g ve 35,9 g su emdiği tespit edilmiştir. Bir başka ifadeyle buğday nişastasından üretilen tabaklar kendi ağırlığının %189’u kadar, buğday-patates nişastasından üretilen kaplanmamış tabakların ise %141 oranında su emdiği bulunmuştur. PCL ile kaplanan tabakların ise yaklaşık 15 dakika sonra kendi ağırlığından daha fazla su emdiği belirlenmiştir. PLA ile kaplı tabaklar 60. dakikada ortalama 6,41 g (%42-46) su emdiği ve 125. dakikada kendi ağırlığından daha fazla su emdiği belirlenmiştir. Ancak buğday nişastasından üretilip PMMA ile kaplanan tabaklar 300. dakikada 7,06 g (%21,5) buğday-patates nişastasından üretilip PMMA ile kaplanan tabaklar ise 300. dakikada 0,91 g (%2,3) oranında su emdiği bulunmuştur.

Patates nişastasından üretilen ve PLA çözeltilisine daldırılarak kaplanan köpük tabaklar ile yapılan bir çalışmada (Bergel vd. 2018) %6’lık PLA çözeltilisi ile kaplanmış köpük tabakların 40 dakikada ağırlıklarının %56’sı kadar su emdiği tespit edilmiştir. Bu çalışmada PLA ile kaplamanın su emme hızını azaltmada daha başarılı olduğu, bunun nedeninin ise kaplama yöntemi ve nişasta kaynağından dolayı olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmada buğday ve patates nişastaları karıştırılarak tabaklar üretilmiş, daldırma yöntemi yerine sürme yöntemiyle 3 katmanlı kaplama yapılmıştır.

Yapılan bir başka çalışmada buğday-patates nişasta, buğday lif, susuz hidrojenize yağ ve kaolen veya çinko oksit nano parçacıkları kullanılarak üretilen tabakların su emme hızının üssel olarak arttığı belirlenmiş ve 150. dakikada tabakların yaklaşık %42 oranında su emdiği tespit edilmiştir (Aygün 2013). Bu sonuçlara göre sadece PMMA ile kaplamanın tabak içerisine katkı maddesi eklenerek su emme miktarını düşürmeye yönelik çalışmadan daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.



Şekil 4.2. Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların su emme hızı grafikleri

Çizelge 4.7. Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların su emme hızına ait ham veriler

Örnek	Su Emme Hızı (g/dk)	Örnek	Su Emme Hızı (g/dk)
B	9,653 ± 3,868	BP	7,172 ± 2,138
BK	1,637 ± 0,144	BPK	1,929 ± 0,538
BL	0,240 ± 0,050	BPL	0,254 ± 0,012
BM	0,026 ± 0,003	BPM	0,003 ± 0,001

Çizelge 4.8. Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların su emme hızlarına ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	S.D	K.O	F
Nişasta Kaynağı	1	1,2089002	0,43
Kaplama Malzemesi	3	62,2364468	22,12**
N X K	3	1,6773938	0,60
Hata	7	2,8129911	

\*\*: $p < 0,01$  seviyesinde farklılığı göstermektedir.

**Çizelge 4.9.** Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların su emme hızlarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Nişasta Kaynağı	Su Emme Hızı (g/dk)
B	2,889 ± 4,473
BP	2,339 ± 3,197
Kaplama Malzemesi	Su Emme Hızı (g/dk)
Kaplanmamış	8,413 ± 2,926 <sup>a</sup>
PCL	1,783 ± 0,363 <sup>b</sup>
PLA	0,247 ± 0,031 <sup>b</sup>
PMMA	0,014 ± 0,014 <sup>b</sup>

Değerler “ortalama ± standart sapma” olarak verilmiştir. Farklı harfler ortalamaların Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi’ne göre ( $p < 0,05$ ) farklı olduğunu göstermiştir.

Her ne kadar kaplanmış tabakların su emme hızında istatistiksel olarak önemli bir fark ( $p > 0,05$ ) görülmesi de tabakların su emme hızını gösteren grafik (Şekil 4.2) incelendiğinde PMMA ile kaplanmış özellik de BPM tabağının su emme hızının diğer tabakların su emme hızından çok daha az olduğu görülmektedir. Kaplanmamış tabakların su emme hızının 8,413 g/dk olduğu bulunmuş, kaplama uygulaması tabakların su emme hızını önemli seviyede azalttığı belirlenmiştir. PCL, PLA ve PMMA ile kaplanmış örneklerin su emme hızları sırasıyla 1,783 g/dk, 0,247 g/dk ve 0,014 g/dk olduğu, özellikle PMMA ile kaplama yapılan örneklerin su emme hızını en etkili şekilde azalttığı belirlenmiştir.

#### 4.1.4. Mekanik özellikler

Köpük tabakların mekanik özelliklerine dair ham veriler Çizelge 4.10’da, bu verilere uygulanan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.11’de ve bunlara uygulanan Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.12’de verilmiştir. Bükme mukavemeti üzerine hem nişasta kaynağının hem kaplama malzemesinin istatistiksel açıdan önemli ( $p < 0,01$ ) etkisi olduğu, bükme boyut değişiminde her ikisinin de önemli etkisi olmadığı ( $p > 0,05$ ), elastik modülünde ise sadece nişasta kaynağının önemli etkisinin ( $p < 0,05$ ) olduğu tespit edilmiştir. Kök nişastasası olan patates nişastasının amilopektin oranı tahıl nişastasası olan buğday nişastasasının amilopektin oranından daha yüksektir. Amilopektin oranının artması köpük yapıdaki boşlukların çapını ve sayısını artırırken tabağın yoğunluğunu düşürmektedir. Bu nedenle sadece buğday nişastasından üretilen köpük tabakların bükme mukavemeti (1,848 MPa) ve elastik modülü (66,026 MPa), buğday-patates nişastalarından üretilen köpük tabakların bükme mukavemeti (1,388 MPa) ve elastik modülünden (50,598 MPa) daha yüksek olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.12). PLA ile kaplanmış tabakların bükme mukavemeti kaplanmamış olan tabaklarınkine benzer çıkarken PMMA ve PCL ile kaplanmış tabakların bükme mukavemeti kaplanmamış olan tabaklarınkinden istatistiksel açıdan anlamlı seviyede ( $p < 0,01$ ) yüksek olduğu tespit edilmiştir. SEM yüzey görüntülerinde de görüldüğü gibi PMMA ve PCL ile kaplama köpük tabağın yüzeyindeki boşluk ve çatlakları doldurması nedeniyle tabakları daha dayanıklı hale getirdikleri düşünülmektedir. PMMA ile kaplanmış köpük tabakların bükme boyut değişimi istatistiksel olarak önemli seviyede ( $p < 0,05$ ) artarken PCL ve PLA ile kaplanmış köpük



tabakların ve kaplanmamış tabakların bükme boyut değişimlerinin birbirlerine yakın değerlerde olduğu tespit edilmiştir.

**Çizelge 4.10.** Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların mekanik özelliklerine ait ham veriler

ÖRNEK KODU	$\sigma_f$ (MPa)	$\epsilon_f$ (%)	$E_f$ (MPa)
B	1,432 ± 0,226	0,028 ± 0,016	59,451 ± 22,187
BK	2,016 ± 0,543	0,030 ± 0,006	68,345 ± 14,030
BL	1,592 ± 0,405	0,023 ± 0,004	69,768 ± 9,721
BM	2,351 ± 0,320	0,037 ± 0,007	66,538 ± 19,147
BP	0,926 ± 0,173	0,021 ± 0,005	43,769 ± 5,509
BPK	1,918 ± 0,765	0,030 ± 0,006	69,621 ± 37,299
BPL	1,426 ± 0,087	0,028 ± 0,003	51,902 ± 3,598
BPM	1,250 ± 0,259	0,034 ± 0,002	37,099 ± 6,170

**Çizelge 4.11.** Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların mekanik özelliklerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Bükme Mukavemeti ( $\sigma_f$ ) (MPa)			Bükme Boyut Değişimi ( $\epsilon_f$ ) (%)			Elastik Modülü ( $E_f$ ) (MPa)		
	S.D	K.O	F	S.D	K.O	F	S.D	K.O	F
Nişasta Kaynağı	1	1,691	9,32**	1	0,000008	0,14	1	1904,185	5,21*
Kaplama Malzemesi	3	0,949	5,23**	3	0,000171	3,04	3	552,851	1,51
N x K	3	0,432	2,38	3	0,000051	0,92	3	320,888	0,88
Hata	21	0,181		21	0,000056		21	365,252	

\*\* :  $p < 0,01$  seviyesinde farklılığı göstermektedir.

\* :  $p < 0,05$  seviyesinde farklılığı göstermektedir.

**Çizelge 4.12.** Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların mekanik özelliklerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Nişasta Kaynağı	Bükme Mukavemeti ( $\sigma_f$ ) (MPa)	Bükme Boyut Değişimi ( $\epsilon_f$ ) (%)	Elastik Modülü (Ef) (MPa)
B	1,848 ± 0,511 <sup>a</sup>	0,029 ± 0,010	66,026 ± 15,710 <sup>a</sup>
BP	1,388 ± 0,526 <sup>b</sup>	0,028 ± 0,006	50,598 ± 21,272 <sup>b</sup>
Kaplama Malzemesi	Bükme Mukavemeti ( $\sigma_f$ ) (MPa)	Bükme Boyut Değişimi ( $\epsilon_f$ ) (%)	Elastik Modülü (Ef) (MPa)
K	1,180 ± 0,329 <sup>b</sup>	0,025 ± 0,012 <sup>b</sup>	51,610 ± 17,154
PCL	1,967 ± 0,617 <sup>a</sup>	0,030 ± 0,005 <sup>ba</sup>	68,983 ± 26,097
PLA	1,525 ± 0,281 <sup>ba</sup>	0,026 ± 0,005 <sup>b</sup>	60,835 ± 11,715
PMMA	1,801 ± 0,647 <sup>a</sup>	0,035 ± 0,005 <sup>a</sup>	51,818 ± 20,519

Değerler “ortalama ± standart sapma” olarak verilmiştir. Farklı harfler ortalamaların Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi’ne göre ( $p < 0,05$ ) farklı olduğunu göstermiştir.

#### 4.1.5. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) altında görüntüleme

Köpük tabakların yüzey SEM görüntüleri Şekil 4.3’te, kesit SEM görüntüleri Şekil 4.4’te ve bu görüntüler üzerinden Matlab Image Processing Toolbox 11.1 programıyla hesaplanan kaplama kalınlıkları, yüzey gözenek çapları ve sayıları Çizelge 4.12’de verilmiştir.

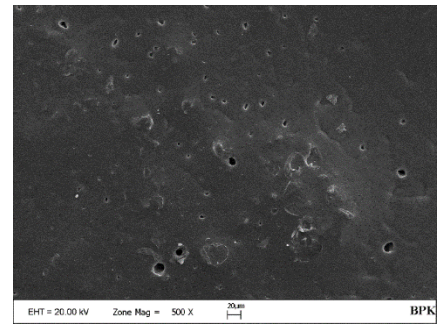
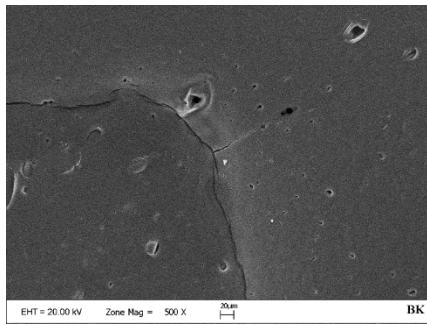
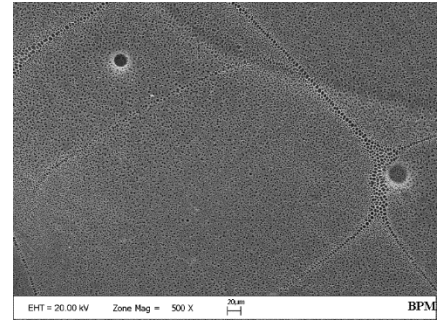
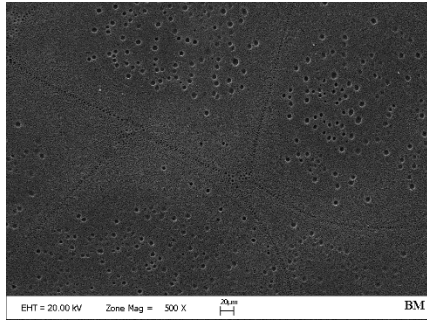
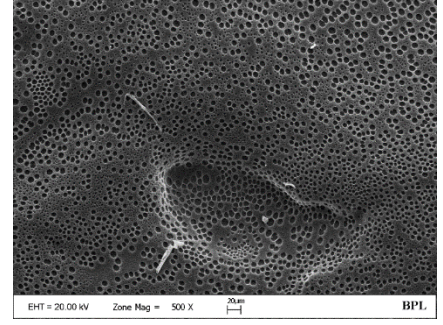
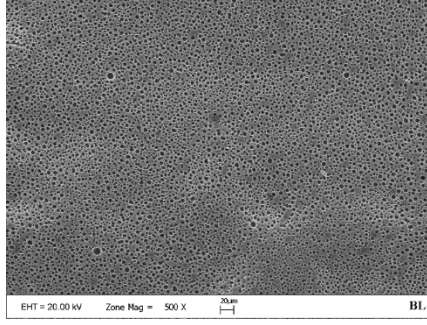
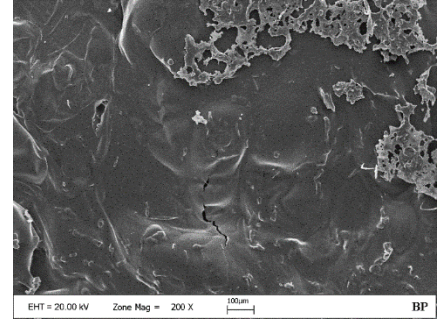
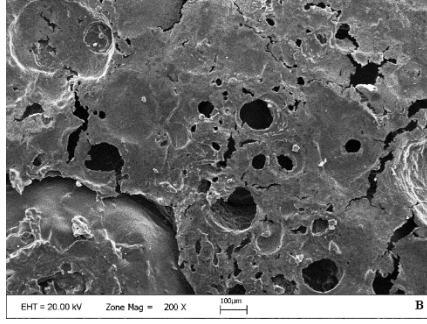
Şekil 4.3’te buğday nişastasından üretilen köpük tabakların yüzeyindeki ortalama gözenek sayısı (23.000 tane/1 cm<sup>2</sup>) ve çapının (69,75 µm), buğday-patates nişastasından üretilen tabakların yüzeyindeki ortalama gözenek sayısı (13.000 tane/1 cm<sup>2</sup>) ve çapından (19 µm) daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca buğday nişastasından üretilen tabakların yüzeyinde, buğday-patates nişastasından üretilen tabakların yüzeyine göre daha fazla çatlak olduğu belirlenmiştir. Kaplama malzemeleri köpük tabakların yüzeylerini tamamen kapladığı, tabak yüzeylerindeki gözenekleri ve çatlakları doldurduğu ve yüzeyleri daha pürüzsüz bir hale getirdiği SEM görüntülerinden anlaşılmaktadır. Ancak kaplama malzemelerinin de tabak yüzeyinde gözenekli bir yapı oluşturduğu görülmektedir. PCL ile kaplanan köpük tabakların yüzeylerindeki gözenek sayısı (14.700 tane/1 cm<sup>2</sup>), PLA ve PMMA ile kaplanan köpük tabakların yüzeylerindeki ortalama gözenek sayısından (sırasıyla 2.400.000 tane/1 cm<sup>2</sup> ve 5.500.000 tane/1 cm<sup>2</sup>) daha az olduğu tespit edilmiştir. Fakat PCL ile kaplanan köpük tabakların ortalama gözenek çapları (6,94 µm), PLA ve PMMA ile kaplanan köpük tabakların ortalama gözenek çaplarından (sırasıyla 3,77 µm ve 2,53 µm) daha yüksek olduğu bulunmuştur. Ayrıca PCL ile kaplanan tabakların yüzeylerindeki kaplama malzemesinde çatlaklar oluştuğu SEM görüntülerinde görülmektedir. Bu nedenlerden

dolayı PLA ve PMMA ile kaplanan köpük tabakların, kaplanmamış ve PCL ile kaplanmış köpük tabaklardan daha az su emdiği tespit edilmiştir.

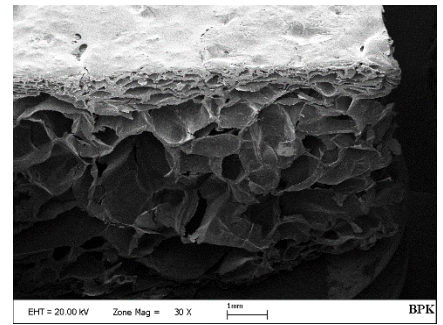
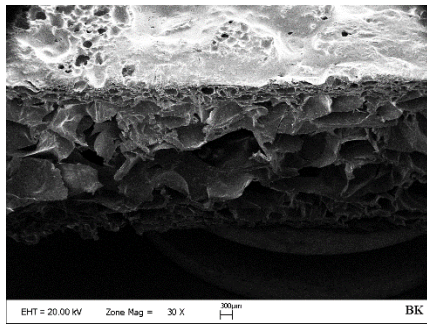
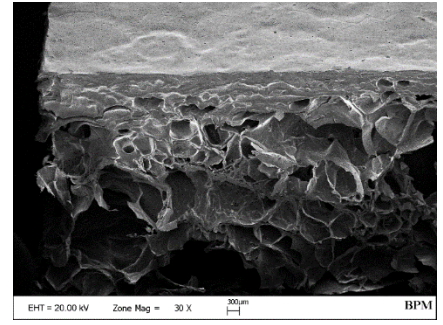
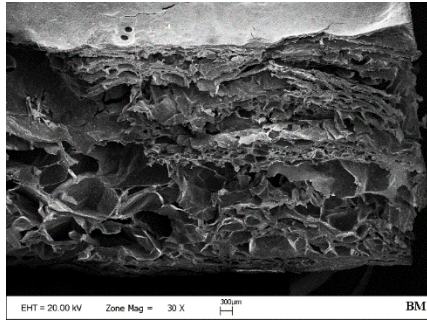
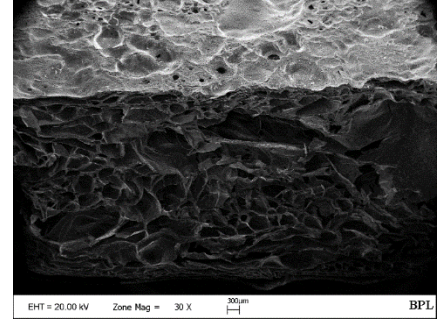
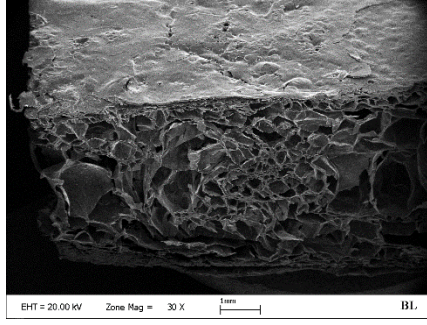
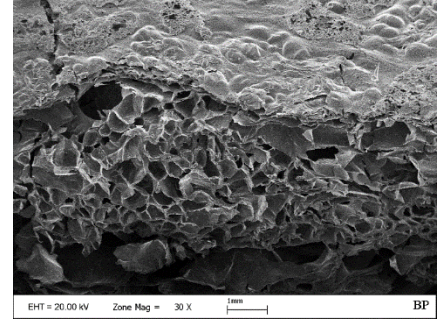
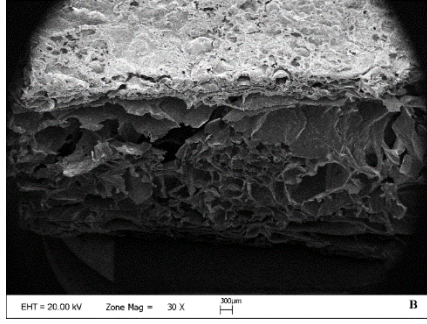
Şekil 4.4'te buğday nişastasından üretilen köpük tabakların kesit SEM görüntülerindeki gözenek çapları ve sayılarının, buğday-patates nişastasından üretilen köpük tabakların kesit SEM görüntülerindeki gözenek çapları ve sayılarından daha az olduğu görülmektedir. Buğday nişastasından üretilen tabakların daha az gözenek çapı ve sayısına sahip olması, bu tabakların yoğunluklarının, buğday-patates nişastasından üretilen tabakların yoğunluklarından daha fazla olmasına neden olmuştur ancak bu fark istatistiksel olarak anlamlı değildir ( $p>0,05$ ). PCL, PLA ve PMMA'nın ortalama kaplama kalınlıkları sırasıyla 48,37  $\mu\text{m}$ , 29,93  $\mu\text{m}$  ve 44,07  $\mu\text{m}$  olarak bulunmuştur. Tabakların su emme miktarının kaplama kalınlıklarından ziyade yüzey gözenek çaplarından etkilendiği düşünülmüştür.

**Çizelge 4.13.** Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların kaplama kalınlıkları, ortalama yüzey gözenek çap ve sayıları

Örnek	Kaplama Kalınlığı ( $\mu\text{m}$ )	Yüzey Gözenek Çapı ( $\mu\text{m}$ )	Yüzey Gözenek Sayısı (tane/1 $\text{cm}^2$ )
B	-	69,750 $\pm$ 32,729	23.000
BK	45,765 $\pm$ 20,233	5,898 $\pm$ 3,907	15.200
BL	30,283 $\pm$ 8,859	3,838 $\pm$ 1,889	3.100.000
BM	42,202 $\pm$ 11,620	2,415 $\pm$ 1,511	6.000.000
BP	-	19,002 $\pm$ 6,745	13.000
BPK	50,975 $\pm$ 14,054	7,984 $\pm$ 3,807	14.200
BPL	29,570 $\pm$ 12,032	3,734 $\pm$ 1,378	1.700.000
BPM	45,932 $\pm$ 15,127	2,650 $\pm$ 1,092	5.000.000



**Şekil 4.3.** Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların yüzey SEM görüntüleri



**Şekil 4.4.** Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların kesit SEM görüntüleri

#### 4.1.6. FT-IR analizi

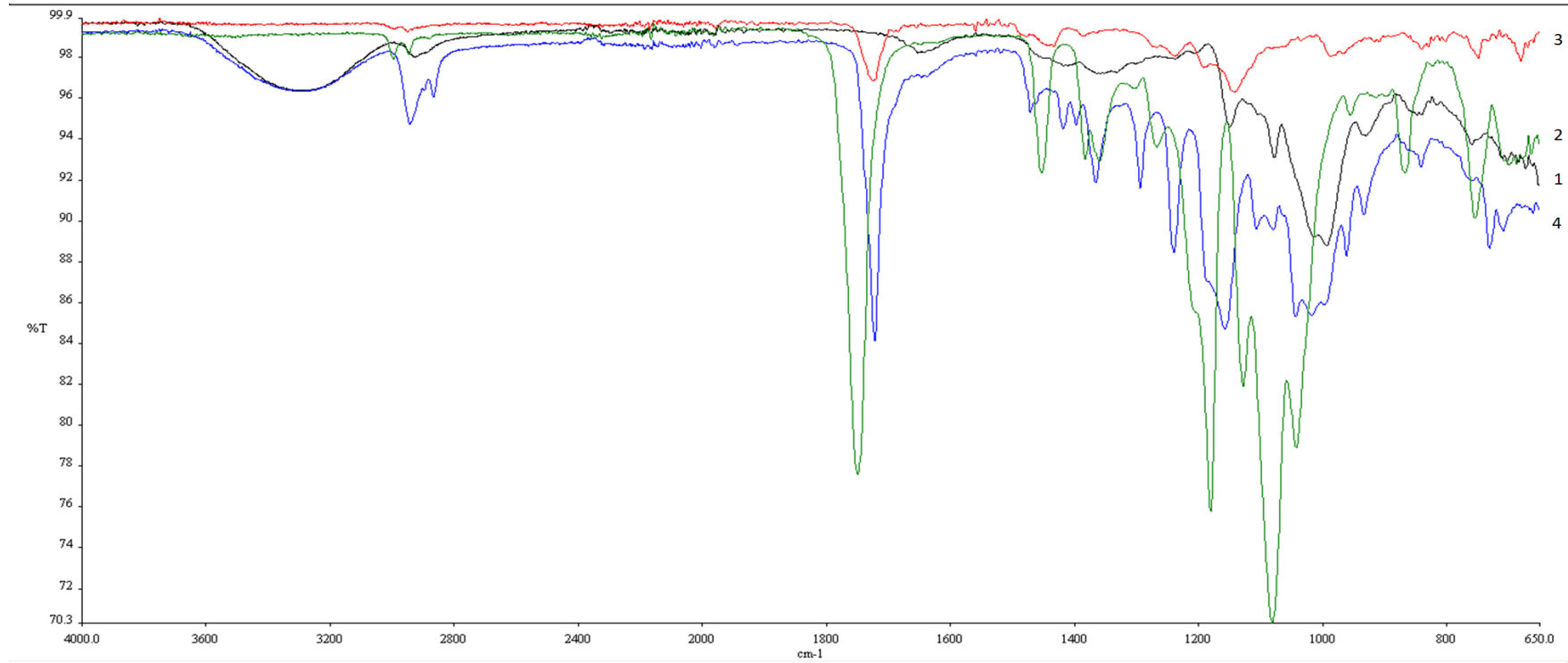
Nişastalar ve kaplama malzemeleri arasındaki etkileşimleri tespit etmek için nişastaların ve kaplama malzemelerinin FT-IR spektrumları incelenmiştir.

Farklı malzemelerle kaplanan, buğday nişastasından üretilen köpük tabakların FTIR spektrumları Şekil 4.5'te, buğday-patates nişastasından üretilen köpük tabakların FTIR spektrumları ise Şekil 4.6'da verilmiştir. Kaplanmamış tabaklar  $3200-3600\text{ cm}^{-1}$  aralığındaki  $3298,91\text{ cm}^{-1}$ 'de geniş bir pik göstermiştir. Bu durum, nişastanın yapısını oluşturan molekül içi ve moleküller arasında bağlanmış hidroksil grupları ile ilişkili titreşimsel gerilmelere sebep olan hidrojen bağlanmış hidroksil gruplarından dolayı oluşan OH gerilmesinin karakteristiğidir.  $2931\text{ cm}^{-1}$ 'deki keskin pik C-H gerilmesine,  $1634\text{ cm}^{-1}$ 'deki keskin büküm ise suyun bükme titreşimlerinden kaynaklanmıştır. Nişasta molekülündeki amorf bölgeler tarafından emilen sıkı bir şekilde bağlanmış olan su bu titreşimlere yol açmaktadır.  $1336\text{ cm}^{-1}$  dalga boyu,  $800-1300\text{ cm}^{-1}$  dalga boyu bölgesinde bulunan C-O ve C-C bağlarının gerilme titreşimlerine atfedilmiştir. Nişasta bazlı tabaklarda  $1149\text{ cm}^{-1}$ 'deki pik, C-O, C-C ve C-OH gerilmesinden kaynaklanmıştır.  $1076\text{ cm}^{-1}$  ve  $995\text{ cm}^{-1}$ 'deki pikler, anhidroglikoz suya duyarlı olduğu bilinmektedir.  $860\text{ cm}^{-1}$ 'deki pik noktası, doğal buğday nişastasındaki C-O gerilmeleri ve C-H titreşimlerinin deformasyonuna bağlanmıştır. Doğal buğday nişastası, glukoz piranoz halka iskelet modu titreşimi nedeniyle  $800\text{ cm}^{-1}$ 'in altındaki dalga boylarında ( $571\text{ cm}^{-1}$  ve  $432\text{ cm}^{-1}$ ) karmaşık titreşimler sergilemiştir (Gulu vd. 2019).

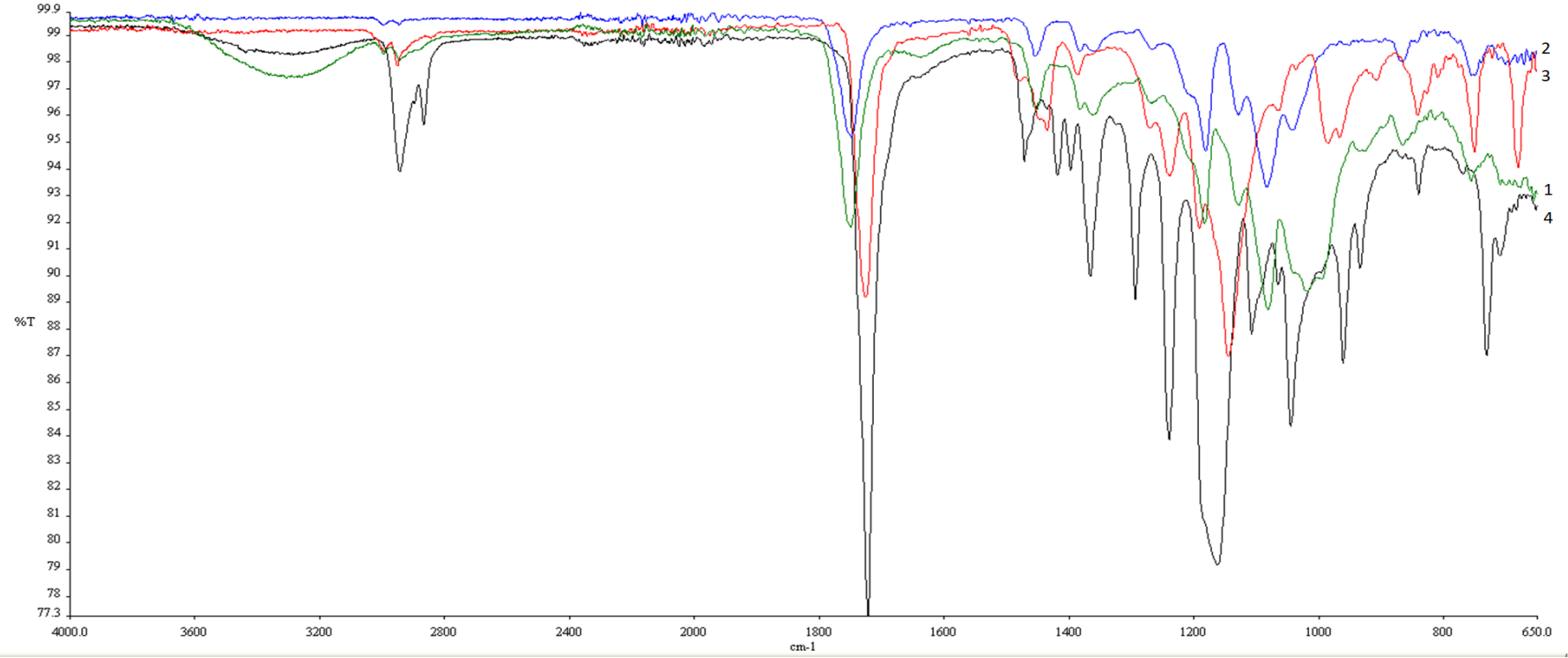
PLA ile kaplanan köpük tabakların FT-IR spektrumları incelendiğinde; karakteristik ester bağlarına karşılık gelen C=O bağı gerilimi  $1745\text{ cm}^{-1}$ 'de ve  $1185\text{ cm}^{-1}$ 'deki O-C=O bağı gerilimi pikleridir. Simetrik C-O-C bağı  $1079-1181\text{ cm}^{-1}$  aralığında, C-H grubunun simetrik bükülmesi  $1360-1381\text{ cm}^{-1}$  aralığında,  $-\text{CH}_3$ 'ün asimetrik bükülmesi  $1451\text{ cm}^{-1}$ 'de pik vermiştir. Yan zincirlerdeki  $\text{CH}_3$  gruplarının -C-H gerilme titreşimlerinin  $2992\text{ cm}^{-1}$  ve  $2948\text{ cm}^{-1}$  bantlarında pik vermiştir (Castillejos vd. 2018).

PMMA ile kaplanmış tabakların FT-IR spektrumları incelendiğinde; C-O-C bağının gerilme titreşimleri nedeniyle  $1150-1250\text{ cm}^{-1}$  bant aralığında pik verdiği görülmüştür.  $1388\text{ cm}^{-1}$  ve  $754\text{ cm}^{-1}$ 'deki iki bant,  $\alpha$ -metil grubu titreşimlerine atfedilmiştir. PMMA'nın karakteristik absorpsiyon titreşimleri  $1062\text{ cm}^{-1}$ (C-O gerilimi),  $987\text{ cm}^{-1}$ (C-C gerilimi) ve  $843\text{ cm}^{-1}$ ( $-\text{CH}_2$  bükümü) bantlarında gözlenmiştir.  $1732\text{ cm}^{-1}$ 'deki bant, akrilat karboksil grubunun varlığını göstermektedir.  $1444\text{ cm}^{-1}$ 'deki bant,  $-\text{CH}_3$  grubunun -C-H bağlarının bükülme titreşimlerinden kaynaklanmaktadır.  $2997\text{ cm}^{-1}$  ve  $2952\text{ cm}^{-1}$  iki bant sırasıyla  $-\text{CH}_3$  ve  $-\text{CH}_2$  gruplarının C-H bağı gerilme titreşimleriyle ilişkilendirilmiştir (Duan vd. 2008).

PCL ile kaplanan köpük tabakların FT-IR spektrumları incelendiğinde; PCL'nin karakteristik pikleri, asimetrik  $\text{CH}_2$  bağları, simetrik  $\text{CH}_2$  bağları ve karbonil bağları (C=O) sırasıyla  $2943$ ,  $2865$  ve  $1721\text{ cm}^{-1}$  bantlarında pik verdiği görülmüştür. Ayrıca C-O ve C-C bağları  $1292\text{ cm}^{-1}$  bandında, asimetrik ve simetrik C-O-C bağları sırasıyla  $1238$  ve  $1168\text{ cm}^{-1}$  bantlarında tespit edilmiştir.  $1470\text{ cm}^{-1}$  ve  $1365\text{ cm}^{-1}$  bantlarındaki pikler  $\text{CH}_2$  ve OH gruplarının gerilimleriyle ilişkilendirilmiştir (Gokalp vd., 2016).  $1040\text{ cm}^{-1}$  bandındaki pik ise C-OH bağının geriliminden kaynaklanmaktadır (Ghavimi vd. 2015).



Şekil 4.5. Buğday nişastasından üretilen köpük tabakların FT-IR spektrumları (1: B, 2: BL, 3: BM, 4: BK)

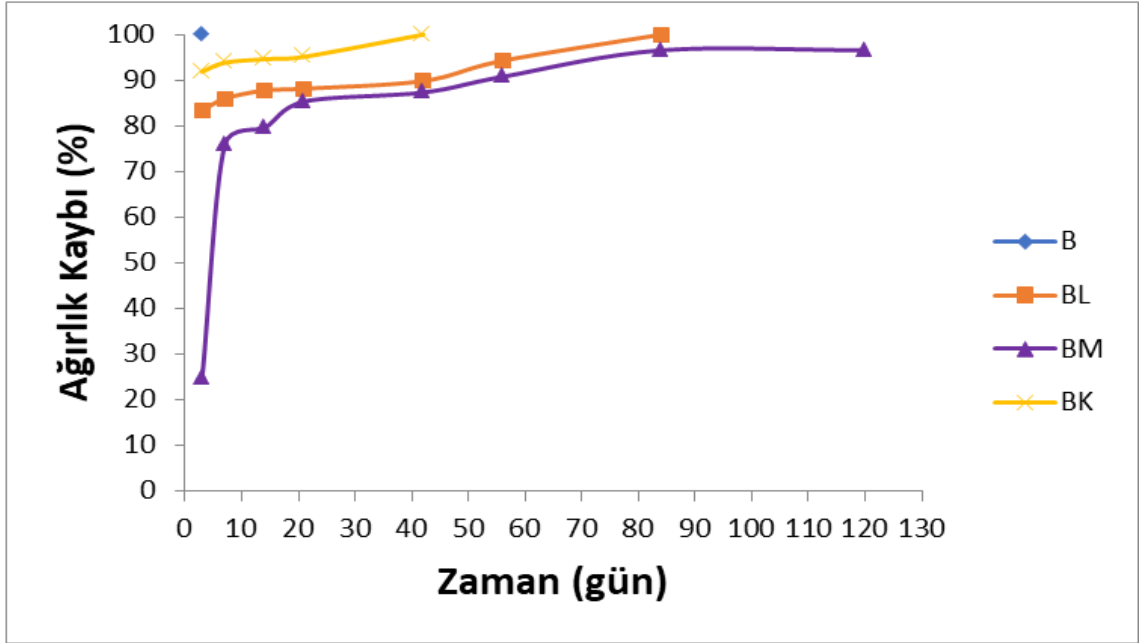


Şekil 4.6. Buğday-patates nişastasından üretilen köpük tabakların FT-IR spektrumları (1: BP, 2: BPL, 3: BPM, 4: BPK)

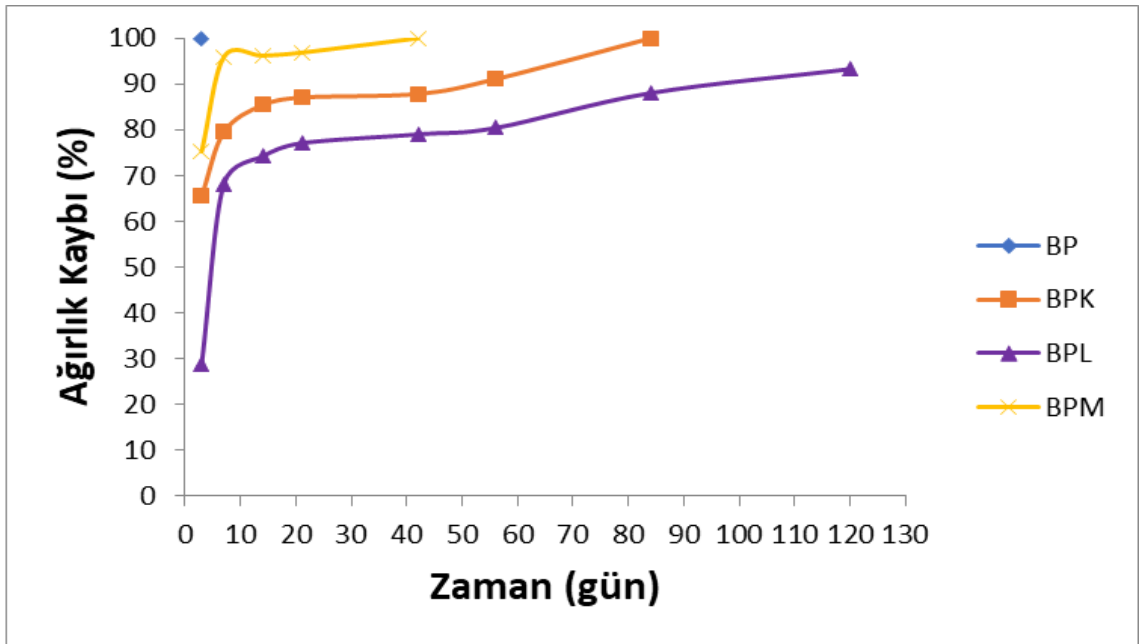


#### 4.1.7. Tabakların Simüle Toprağa Gömülerek İzlenmesi

Tabaklardan kesilen parçaların simüle toprak altında yüzde ağırlık kaybındaki değişim 120 gün boyunca izlenmiş ve sonuçlar Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de verilmiştir. Ayrıca tabakların fotoğrafları çekilmiş ve görsel değişimleri Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’da verilmiştir. Kaplanmamış tabakların tamamı ve kaplanmış olan tabakların da orta kısımları 3. günde tartılamayacak şekilde parçalara ayrılmıştır. Kaplama malzemeleri film halinde kalmıştır. PCL ile kaplanan tabaklar 21. günde ortalama %96 oranında ve 42. günde tamamen parçalara ayrılmıştır. PLA ile kaplanan tabaklar 56. günde ortalama %92 oranında ve 84. günde tamamen parçalara ayrılmıştır. PMMA ile kaplanan tabaklar ise 120. günde %95 oranında parçalara ayrılmıştır. Denemesi yapılan kompostlama koşulları tam bir biyobozunurluk testi olmayıp parçalara ayrılan tabakların mikroplastiklere mi dönüştüğü yoksa karbondioksit ve suya kadar tamamen parçalanıp parçalanmadığı belirsizdir. Ancak nişasta, buğday lifi, PCL ve PLA biyobozunur oldukları bilindiği için bunlardan üretilen tabaklar da biyobozunur olacaktır. Buğday nişastasından ve buğday-patates nişastasından üretilen kaplanmamış tabakların ortalama ağırlıkları sırasıyla  $25,63 \pm 1,73$  g ve  $27,04 \pm 0,07$  g olup, bu tabaklar ortalama 4,5 g PMMA ile kaplanmıştır. Bu durumda PMMA ile kaplanmış tabakların ağırlığının yaklaşık %85’ini biyobozunur malzemeler oluşturmaktadır. ISO 14855-1:2005’e göre bir ambalajın biyobozunur olarak kabul edilebilmesi için 6 aydan önce %90’dan fazla bozunmuş olması gerekmektedir. PMMA ile kaplanan tabakların %85’inin tamamen biyobozunur malzemeden üretilmesi ve 6 ay içerisinde de PMMA’nın kısmen de olsa parçalanır olması nedeniyle PMMA ile kaplanan tabaklar da biyobozunur olarak kabul edilebilir. Ancak ISO 14855-2:2018 standardına göre biyobozunurluk testi yapıp PMMA ile kaplanan tabakların biyobozunur olarak kabul edilip edilemeyeceği belirlenmelidir.



















Şekil 4.7. Simüle edilmiş topraklara gömülen farklı malzemelerle kaplanmış buğday nişastasından üretilen köpük tabak parçalarının yüzde ağırlık kayıpları üzerine grafik






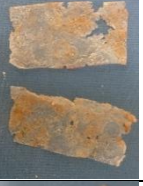












Şekil 4.8. Simüle edilmiş topraklara gömülen farklı malzemelerle kaplanmış buğday-patates nişastasından üretilen köpük tabak parçalarının yüzde ağırlık kayıpları üzerine grafik

**Şekil 4.9.** Simüle edilmiş topraklara gömülen farklı malzemelerle kaplanmış buğday nişastasından üretilen köpük tabakların görsel değişimleri

Geçen Süre (Gün)	Tabaklar			
	B	BK	BL	BM
3. gün				
14. gün				
28. gün				
42. gün				
56. gün				
84. gün				
120. gün				

**Şekil 4.10.** Simüle edilmiş topraklara gömülen farklı malzemelerle kaplanmış buğday-patates nişastasından üretilen köpük tabakların görsel değişimleri

Geçen Süre (Gün)	Tabaklar			
	BP	BPK	BPL	BPM
3. gün				
14. gün				
28. gün				
42. gün				
56. gün				
84. gün				
120. gün				

#### 4.1.8. Maliyet Hesaplamaları

Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların üretiminde kullanılan malzemelerin maliyet hesaplamalarına ait veriler Çizelge 4.14'te ve üretilen tabakların toplam maliyetlerine ait veriler Çizelge 4.15'te verilmiştir.

**Çizelge 4.14.** Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların üretiminde kullanılan malzemelerin maliyet hesaplamalarına ait veriler

Malzeme	Birim Fiyatı (₺)	Kullanılan Miktar (g)	Maliyet (₺)
Buğday	0,006	21	0,13
Buğday-Patates	0,01	21	0,21
Buğday Lifi	0,02	1,47	0,03
Guar Gam	0,2	0,105	0,02
PCL	9,26	2,25	20,84
PLA	0,047	2,25	0,11
PMMA	0,03	2,25	0,07
Malzeme	Birim Fiyatı (₺)	Kullanılan Miktar (ml)	Maliyet (₺)
Benzen	0,02	6,75	0,14
Kloroform	0,006	13,95	0,08

**Çizelge 4.15.** Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların üretimlerinin toplam maliyetlerine ait veriler

Tabak Kodu	Toplam Maliyet (₺)	Tabak Kodu	Toplam Maliyet (₺)
B	0,18	BP	0,26
BL	0,37	BPL	0,45
BM	0,38	BPM	0,46
BK	21,10	BPK	21,18

Buğday nişastasından, buğday-patatesten nişastasından üretilen köpük tabakların toplam maliyetleri sırasıyla 0,18 TL ve 0,26 TL olarak hesaplanmıştır.

PCL ile kaplama yapmanın tabakların toplam maliyetlerini (ortalama 21,14 TL) çok fazla arttırdığı görülmüş ve kaplama için uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. PLA ile kaplama tabak maliyetini 19 kuruş, PMMA ile kaplama ise 20 kuruş arttırdığı bulunmuştur. Ancak kaplama çözeltilerini hazırlamada kullanılan kloroform (0,08 ₺) ve benzenin (0,14 ₺) geri kazanılması durumunda maliyetlerin ciddi şekilde azalacağı ön görülmektedir. Ayrıca PLA ve PMMA ile kaplama tabakların fiyatını bir miktar arttırsa da tabakların suya karşı direncini önemli seviyede arttırdığı için tabakların ticari olarak üretilme potansiyelini arttırmaktadır.

Bu çalışmada üretilen tabakların maliyeti aynı boyuttaki EPS tabakların maliyetinden yaklaşık 6 kat fazladır. Bunun ana nedeni EPS tabakların yoğunluklarının (0,011-0,032 g/cm<sup>3</sup>) bu çalışmada üretilen tabakların yoğunluklarından çok daha az olmasından kaynaklanmaktadır.

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada çapraz bağlı buğday ve buğday-patates nişastaları karışımından köpük tabaklar üretilmiş ve yüzeyleri farklı hidrofobik malzemelerle kaplanmıştır. Kaplanmamış ve kaplanmış tabakların fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca köpük tabaklardan kesilen parçalar simüle edilmiş toprağa gömülerek ağırlık ve görsel değişimleri takip edilmiştir.

Kaplanmamış tabakların ortalama yoğunluğu  $0,110 \text{ g/cm}^3$  olduğu, nişasta kaynağının köpük tabakların yoğunlukları üzerine istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olmadığı ( $p>0,05$ ), kaplama malzemelerinin ise tabakların yoğunluğu üzerinde önemli seviyede ( $p<0,05$ ) etkili olduğu bulunmuştur. PCL, PLA, PMMA tabaklarının ortalama yoğunlukları sırasıyla  $0,140 \text{ g/cm}^3$ ,  $0,137 \text{ g/cm}^3$ ,  $0,125 \text{ g/cm}^3$  olduğu ve kaplanmış tabakların ortalama yoğunlukları arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark bulunmamıştır ( $p>0,05$ ).

Köpük tabakların yüzde su emme miktarının nişasta kaynağından etkilenmediği ( $p>0,05$ ), kaplanmamış tabaklar %144 oranında su emdiği bulunmuştur. Kaplama malzemelerinin tabakların yüzde su emme miktarını önemli seviyede ( $p<0,01$ ) azalttığı, PLA ve PMMA kaplanan tabakların su emme miktarları sırasıyla %12 ve %8 olduğu tespit edilmiştir. PCL (%43) ile kaplanan köpük tabakların su emme miktarlarının diğer tabaklardan daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Köpük tabakların su emme hızı nişasta kaynağından etkilenmezken ( $p>0,05$ ) kaplama malzemelerinin tabakların su emme hızını istatistiksel olarak önemli seviyede ( $p<0,05$ ) azalttığı bulunmuştur. Kaplanmamış tabakların su emme hızı  $8,413 \text{ g/dk}$  iken PCL, PLA ve PMMA ile kaplanan örneklerin su emme hızları sırasıyla  $1,783 \text{ g/dk}$ ,  $0,247 \text{ g/dk}$  ve  $0,014 \text{ g/dk}$  olduğu tespit edilmiştir.

Bükme mukavemetinde hem nişasta kaynağının hem kaplama malzemesinin istatistiksel açıdan önemli ( $p<0,01$ ) etkisi olduğu, bükme boyut değişiminde her ikisinin de önemli etkisi olmadığı ( $p>0,05$ ), elastik modülünde ise sadece nişasta kaynağının önemli etkisinin ( $p<0,05$ ) olduğu tespit edilmiştir. Buğday nişastasından üretilen köpük tabakların bükme mukavemeti ( $1,848 \text{ MPa}$ ) ve elastik modülü ( $66,026 \text{ MPa}$ ), buğday-patates nişastalarından üretilen köpük tabakların bükme mukavemeti ( $1,388 \text{ MPa}$ ) ve elastik modülünden ( $50,598 \text{ MPa}$ ) daha yüksek olduğu bulunmuştur. PLA ( $1,525 \text{ MPa}$ ) ile kaplanmış tabakların bükme mukavemeti kaplanmamış tabaklarınkine ( $1,180 \text{ MPa}$ ) benzer çıkarken PMMA ( $1,801 \text{ MPa}$ ) ve PCL ( $1,967 \text{ MPa}$ ) ile kaplanmış tabakların bükme mukavemeti kaplanmamış olan tabaklarınkinden istatistiksel açıdan anlamlı düzeyde ( $p<0,05$ ) yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Buğday nişastasından üretilen köpük tabakların yüzeyindeki ortalama gözenek sayısı ( $23.000 \text{ tane/1 cm}^2$ ) ve çapının ( $69,75 \text{ } \mu\text{m}$ ), buğday-patates nişastasından üretilen tabakların yüzeyindeki ortalama gözenek sayısı ( $13.000 \text{ tane/1 cm}^2$ ) ve çapından ( $19 \text{ } \mu\text{m}$ ) daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca buğday nişastasından üretilen tabakların yüzeyinde, buğday-patates nişastasından üretilen tabakların yüzeyine göre daha fazla çatlak olduğu belirlenmiştir. Kaplama malzemeleri köpük tabakların yüzeylerini tamamen kapladığı, tabak yüzeylerindeki gözenekleri ve çatlakları doldurduğu ve yüzeyleri daha pürüzsüz bir hale getirdiği SEM görüntülerinden anlaşılmaktadır.

Buğday nişastasından üretilen köpük tabakların kesit SEM görüntülerindeki gözenek çapları ve sayılarının, buğday-patates nişastasından üretilen köpük tabakların kesit SEM görüntülerindeki gözenek çapları ve sayılarından daha az olduğu görülmektedir. Buğday nişastasından üretilen tabakların daha az gözenek çapı ve sayısına sahip olması, bu tabakların yoğunluklarının, buğday-patates nişastasından üretilen tabakların yoğunluklarından daha fazla olmasına neden olmuştur ancak bu fark istatistiksel olarak anlamlı değildir ( $p>0,05$ ). PCL, PLA ve PMMA'nın ortalama kaplama kalınlıkları sırasıyla 48,37  $\mu\text{m}$ , 29,93  $\mu\text{m}$  ve 44,07  $\mu\text{m}$  olarak bulunmuştur.

Nişastalar ve kaplama malzemeleri arasındaki etkileşimleri tespit etmek için nişastaların ve kaplama malzemelerinin FT-IR spektrumları incelenmiştir. Literatüre göre PCL, PLA ve PMMA'nın karakteristik pikleri görülmüştür. Kaplama malzemelerinin nişasta bazlı köpük tabakların yüzeylerini başarılı bir şekilde kapladığı tespit edilmiştir.

Tabaklardan kesilen parçaların simüle toprağa gömülerek 120 güne kadar yüzde ağırlık kayıpları ve görsel değişimleri incelenmiştir. Kaplanmamış tabakların tamamı ve kaplanmış olan tabakların da orta kısımları 3. günde tartılamayacak şekilde parçalara ayrılmıştır. Kaplama malzemeleri film halinde kalmıştır. PCL ile kaplanan tabaklar 21. günde ortalama %96 oranında ve 42. günde tamamen parçalara ayrılmıştır. PLA ile kaplanan tabaklar 56. günde ortalama %92 oranında ve 84. günde tamamen parçalara ayrılmıştır. PMMA ile kaplanan tabaklar ise 120. günde %95 oranında parçalara ayrılmıştır.

Buğday nişastasından ve buğday-patatesten nişastasından üretilen köpük tabakların toplam maliyetleri sırasıyla 0,18 TL ve 0,26 TL olarak hesaplanmıştır. PCL ile kaplama yapmanın tabakların toplam maliyetlerini (ortalama 21,14 TL) çok fazla arttırdığı görülmüş ve kaplama için uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. PLA ile kaplama tabak maliyetini 19 kuruş, PMMA ile kaplama ise 20 kuruş arttırdığı bulunmuştur. Ayrıca PLA ve PMMA ile kaplama tabakların fiyatını bir miktar arttırsa da tabakların suya karşı direncini önemli seviyede arttırdığı için tabakların ticari olarak üretilme potansiyelini arttırmaktadır. Bu çalışmada üretilen tabakların maliyeti aynı boyuttaki EPS tabakların maliyetinden yaklaşık 6 kat fazladır.

Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlara göre PCL ile kaplamanın, hem yüksek maliyeti hem de tabakların suya karşı direncini yeterince arttırmaması nedeniyle tabakların PCL ile kaplanmasının uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. PLA ve PMMA'nın kaplama maliyetleri yakın olduğu ancak PMMA'nın PLA'ya göre tabakların suya karşı direncini arttırmakta daha başarılı olduğu bulunmuştur. PLA'nın tamamen biyobozunur olması nedeniyle çok yüksek direnci istemeyen uygulamalarda PLA ile kaplanan tabaklar kullanılabilirdi ancak çok yüksek su direnci istenen durumlarda PMMA ile kaplanan tabakların kullanılması uygun olacaktır.

Kaplama çözeltilerinde kullanılan çözügenlerin geri kazanılmasıyla ilgili çalışmalar yapılması gerekmektedir. Çözügenlerin geri kazanılması durumunda tabak maliyetleri düşecektir.

Tabak üretimi sırasında nişasta süspansiyonuna belli oranda PLA veya PMMA karıştırılarak tabakların üretilmesi ile tabakların suya karşı direncinin daha da artabileceği düşünülmektedir. Kaplama yüzeylerindeki oluşan gözeneklerin giderilmesi durumunda da tabakların suya karşı direnci artacaktır. Farklı kaplama teknikleri uygulanarak bu gözeneklerin giderilmesi mümkün olabilir. Sonuç olarak, PLA ve PMMA'nın bu çalışmada uygulanan teknikler ve farklı tekniklerin kombine edilmesiyle nişasta bazlı köpük tabakların özelliklerini iyileştirerek EPS tabakların alternatifi olabileceği öngörülmektedir.



## 6. KAYNAKLAR

- Aguilar-Palazuelos, E., Zazueta-Morales, J. D. J., Jiménez-Arévalo, O. A., and Martínez-Bustos, F. 2007. Mechanical and structural properties of expanded extrudates produced from blends of native starches and natural fibers of henequen and coconut. *Starch/Staerke*, 59(11): 533–542.
- Ali Akbari Ghavimi, S., Ebrahimzadeh, M. H., Shokrgozar, M. A., Solati-Hashjin, M., and Abu Osman, N. A. 2015. Effect of starch content on the biodegradation of polycaprolactone/starch composite for fabricating in situ pore-forming scaffolds. *Polymer Testing*, 43: 94–102.
- Ali, U., Karim, K. J. B. A., and Buang, N. A. 2015. A Review of the Properties and Applications of Poly (Methyl Methacrylate) (PMMA). *Polymer Reviews*, 55(4): 678–705.
- Avérous, L. 2008. Polylactic acid: Synthesis, properties and applications. In: Belgacem, M. N. and Gandini, A. (Eds.), *Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources*. Elsevier, Amsterdam, pp. 433–450.
- Aygün, A. 2013. Nişasta kaynağının ve çeşitli yardımcı malzemelerin nişasta bazlı köpük tabakların özellikleri üzerine etkisi. Yüksek lisans tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 70 s.
- Aygün, A., Uslu, M. K., and Polat, S. 2017. Effects of Starch Sources and Supplementary Materials on Starch Based Foam Trays. *Journal of Polymers and the Environment*, 25(4): 1163–1174.
- Azimi, B., Nourpanah, P., Rabiee, M., and Arbab, S. 2014. Poly ( $\epsilon$ -caprolactone) fiber: An overview. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 9(3): 74–90.
- Bergel, B. F., da Luz, L. M., and Santana, R. M. C. 2017. Comparative study of the influence of chitosan as coating of thermoplastic starch foam from potato, cassava and corn starch. *Progress in Organic Coatings*, 106: 27–32.
- Bergel, B. F., da Luz, L. M., and Santana, R. M. C. 2018. Effect of poly(lactic acid) coating on mechanical and physical properties of thermoplastic starch foams from potato starch. *Progress in Organic Coatings*, 118: 91–96.
- Bergel, B. F., Dias Osorio, S., da Luz, L. M., and Santana, R. M. C. 2018. Effects of hydrophobized starches on thermoplastic starch foams made from potato starch. *Carbohydrate Polymers*, 200: 106–114.
- Biliaderis, C. G. 2009. Structural Transitions and Related Physical Properties of Starch. In: BeMiller, J. and Whistler, R., (Eds.), *Starch: Chemistry and Technology*. Elsevier, Amsterdam, pp. 293-372.
- Boischoit, C., Moraru, C. I., and Kokini, J. L. 2003. Factors that influence the microwave expansion of glassy amylopectin extrudates. *Cereal Chemistry*, 80(1): 56–61.
- Carr, L. G., Parra, D. F., Ponce, P., Lugão, A. B., and Buchler, P. M. 2006. Influence of fibers on the mechanical properties of cassava starch foams. *Journal of Polymers and the Environment*, 14(2): 179–183.
- Castillejos, S., Cerna, J., Meléndez, F., Castro, M. E., Aguilar, R., Márquez-Beltrán, C.,

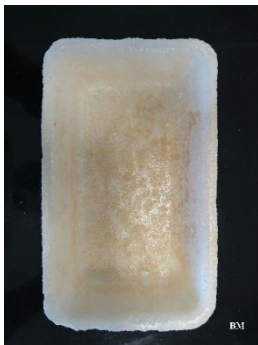
- and González, M. 2018. Bulk modification of poly(lactide) (PLA) via copolymerization with poly(propylene glycol) diglycidylether (PPGDGE). *Polymers*, 10(11): 1-10.
- Cinelli, P., Chiellini, E., Lawton, J. W., and Imam, S. H. 2006. Foamed articles based on potato starch, corn fibers and poly(vinyl alcohol). *Polymer Degradation and Stability*, 91(5): 1147–1155.
- Cruz-Tirado, J. P., Vejarano, R., Tapia-Blácido, D. R., Barraza-Jáuregui, G., and Siche, R. 2019. Biodegradable foam tray based on starches isolated from different Peruvian species. *International Journal of Biological Macromolecules*, 125: 800–807.
- Dai, L., Zhang, J., and Cheng, F. 2019. Effects of starches from different botanical sources and modification methods on physicochemical properties of starch-based edible films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 132 : 897–905.
- Dauvergne, P. 2018. Why is the global governance of plastic failing the oceans? *Global Environmental Change*, 51: 22–31.
- Dorgan, J. R., Braun, B., Wegner, J. R., and Knauss, D. M. 2006. Poly(lactic acids): A brief review. *ACS Symposium Series*, 939: 102–125.
- Duan, G., Zhang, C., Li, A., Yang, X., Lu, L., and Wang, X. 2008. Preparation and characterization of mesoporous zirconia made by using a poly (methyl methacrylate) template. *Nanoscale Research Letters*, 3(3): 118–122.
- Eun Yong Lee, Kyung Il Lim, Lim, J. K., and Lim, S. T. 2000. Effects of gelatinization and moisture content of extruded starch pellets on morphology and physical properties of microwave-expanded products. *Cereal Chemistry*, 77(6): 769–773.
- Evchuk, I. Y., Musii, R. I., Makitra, R. G., and Pristanskii, R. E. 2005. Solubility of polymethyl methacrylate in organic solvents. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 78(10): 1576–1580.
- Glenn, G., Klamczynski, A., Ludvik, C., Chiou, B. Sen, Imam, S., Shey, J., Orts, W., and Wood, D. 2007. In situ lamination of starch-based baked foam packaging with degradable films. *Packaging Technology and Science*, 20(2): 77–85.
- Glenn, G. M., Orts, W. J., and Nobes, G. A. R. 2001. Starch, fiber and CaCo<sub>3</sub> effects on the physical properties of foams made by a baking process. *Industrial Crops and Products*, 14(3): 201–212.
- Gokalp, N., Ulker, C., and Guvenilir, Y. A. 2016. Enzymatic ring opening polymerization of  $\epsilon$ -caprolactone by using a novel immobilized biocatalyst. *Advanced Materials Letters*, 7(2): 144–149.
- Guan, J., and Hanna, M. A. 2004. Functional properties of extruded foam composites of starch acetate and corn cob fiber. *Industrial Crops and Products*, 19(3): 255–269.
- Guan, J., and Hanna, M. A. 2006. Selected morphological and functional properties of extruded acetylated starch-cellulose foams. *Bioresource Technology*, 97(14): 1716–1726.
- Gulu, N. B., Jideani, V. A., and Jacobs, A. 2019. Functional characteristics of Bambara

- groundnut starch-catechin complex formed using cyclodextrins as initiators. *Heliyon*, 5(4): 1-25.
- Gupta, B., Revagade, N., and Hilborn, J. 2007. Poly(lactic acid) fiber: An overview. *Progress in Polymer Science (Oxford)*, 32(4): 455–482.
- Gurunathan, T., Mohanty, S., and Nayak, S. K. 2015. A review of the recent developments in biocomposites based on natural fibres and their application perspectives. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 77: 1–25.
- Jamshidian, M., Tehrany, E. A., Imran, M., Jacquot, M., and Desobry, S. 2010. Poly-Lactic Acid: Production, applications, nanocomposites, and release studies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(5): 552–571.
- Joye, I. J. 2018. Starch. In: Melton, L., Shahidi, F. and Varelis, P. (Eds.), *Encyclopedia of Food Chemistry*, Elsevier, Amsterdam, pp. 256–264.
- Kaewtatip, K., Tanrattanakul, V., and Phetrat, W. 2013. Preparation and characterization of kaolin/starch foam. *Applied Clay Science*, 80–81: 413–416.
- Kaisangsri, N., Kerdchoechuen, O., and Laohakunjit, N. 2012. Biodegradable foam tray from cassava starch blended with natural fiber and chitosan. *Industrial Crops and Products*, 37(1): 542–546.
- Kaisangsri, N., Kerdchoechuen, O., and Laohakunjit, N. 2014. Characterization of cassava starch based foam blended with plant proteins, kraft fiber, and palm oil. *Carbohydrate Polymers*, 110: 70–77.
- Lacourse, N. L., and Altieri, P. A. 1989. *Biodegradable packaging material and the method of preparation thereof*. 19, 1–6.
- Lee, S. Y., Chen, H., and Hanna, M. A. 2008. Preparation and characterization of tapioca starch-poly(lactic acid) nanocomposite foams by melt intercalation based on clay type. *Industrial Crops and Products*, 28(1): 95–106.
- Lim, L. T., Auras, R., and Rubino, M. 2008. Processing technologies for poly(lactic acid). *Progress in Polymer Science (Oxford)*, 33(8): 820–852.
- Mali, S., Debiagi, F., Grossmann, M. V. E., and Yamashita, F. 2010. Starch, sugarcane bagasse fibre, and polyvinyl alcohol effects on extruded foam properties: A mixture design approach. *Industrial Crops and Products*, 32(3): 353–359.
- Mello, L. R. P. F., and Mali, S. 2014. Use of malt bagasse to produce biodegradable baked foams made from cassava starch. *Industrial Crops and Products*, 55: 187–193.
- Moraru, C. I., and Kokini, J. L. 2003. Nucleation and Expansion During Extrusion and Microwave Heating of Cereal Foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2(4): 147–165.
- Pituru, S. M., Greabu, M., Totan, A., Imre, M., Pantea, M., Spinu, T., Tancu, A. M. C., Popoviciu, N. O., Stanescu, I. I., and Ionescu, E. 2020. A review on the biocompatibility of PMMA-Based dental materials for interim prosthetic restorations with a glimpse into their modern manufacturing techniques. *Materials*, 13(13): 1–14.
- Polat, S., Uslu, M. K., Aygün, A., and Certel, M. 2013. The effects of the addition of

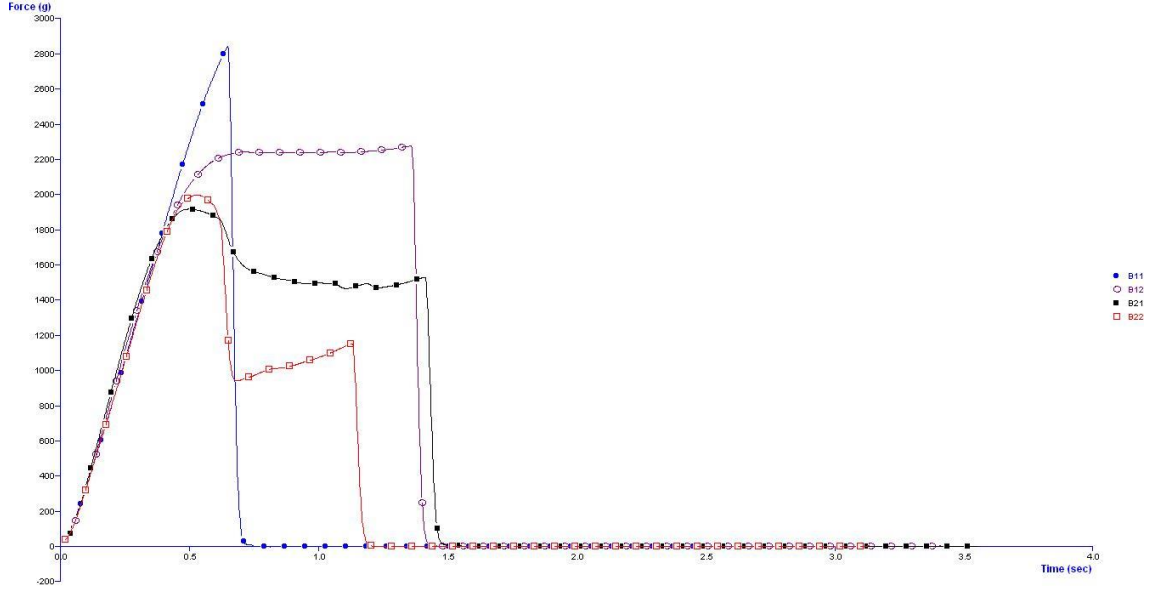
- corn husk fibre, kaolin and beeswax on cross-linked corn starch foam. *Journal of Food Engineering*, 116(2): 267–276.
- Pomes, B., Richaud, E., and Nguyen, J. F. 2019. Polymethacrylates. In: Grumezescu, V. and Grumezescu, A. M. (Eds.), *Materials for Biomedical Engineering: Thermoset and Thermoplastic Polymers*. Elsevier, Amsterdam, pp. 217–271.
- Preechawong, D., Peesan, M., Supaphol, P., and Rujiravanit, R. 2004. Characterization of starch/poly( $\epsilon$ -caprolactone) hybrid foams. *Polymer Testing*, 23(6): 651–657.
- Pushpadass, H. A., Babu, G. S., Weber, R. W., and Hanna, M. A. 2008. Extrusion of starch-based loose-fill packaging foams#: Effects of temperature, moisture and talc on physical properties. *Packaging Technology and Science*, 21(3): 171–183.
- Rhim, J. W., Lee, J. H., and Ng, P. K. W. 2007. Mechanical and barrier properties of biodegradable soy protein isolate-based films coated with polylactic acid. *LWT - Food Science and Technology*, 40(2): 232–238.
- Rincon Lasprilla, A. J., Rueda Martinez, G. A., Lunelli, B. H., Jaimes Figueroa, J. E., Jardini, A. L., and Filho, R. M. 2011. Synthesis and characterization of poly (Lactic Acid) for use in biomedical field. *Chemical Engineering Transactions*, 24: 985–990.
- Robin, F., Dubois, C., Pineau, N., Schuchmann, H. P., and Palzer, S. 2011. Expansion mechanism of extruded foams supplemented with wheat bran. *Journal of Food Engineering*, 107(1): 80–89.
- Rosa, D. S., Bardi, M. A. G., Guedes, C. G. F., and Angelis, D. A. 2009. Role of polyethylene-graft-glycidyl methacrylate compatibilizer on the biodegradation of poly( $\epsilon$ -caprolactone)/cellulose acetate blends. *Polymers for Advanced Technologies*, 20(12): 863–870.
- Salgado, P. R., Schmidt, V. C., Molina Ortiz, S. E., Mauri, A. N., and Laurindo, J. B. 2008. Biodegradable foams based on cassava starch, sunflower proteins and cellulose fibers obtained by a baking process. *Journal of Food Engineering*: 85(3), 435–443.
- Shey, J., Imam, S. H., Glenn, G. M., and Orts, W. J. 2006. Properties of baked starch foam with natural rubber latex. *Industrial Crops and Products*, 24(1): 34–40.
- Shogren, R. L., Lawton, J. W., Doane, W. M., and Tiefenbacher, K. F. 1998. Structure and morphology of baked starch foams. *Polymer*, 39(25): 6649–6655.
- Shogren, R. L., Lawton, J. W., and Tiefenbacher, K. F. 2002. Baked starch foams: Starch modifications and additives improve process parameters, structure and properties. *Industrial Crops and Products*, 16(1): 69–79.
- Singh, J., Kaur, L., and McCarthy, O. J. 2007. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications-A review. *Food Hydrocolloids*, 21(1): 1–22.
- Sjöqvist, M., and Gatenholm, P. 2005. The effect of starch composition on structure of foams prepared by microwave treatment. *Journal of Polymers and the Environment*, 13(1): 29-38.

- Soykeabkaew, N., Supaphol, P., and Rujiravanit, R. 2004. Preparation and characterization of jute-and flax-reinforced starch-based composite foams. *Carbohydrate Polymers*, 58(1): 53–63.
- Soykeabkaew, N., Thanomsilp, C., and Suwanton, O. 2015. A review: Starch-based composite foams. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 78: 246–263.
- Stevens, E. S., Klamczynski, A., and Glenn, G. M. 2010. Starch-lignin foams. *Express Polymer Letters*, 4(5): 311–320.
- Svagan, a. 2008. Bio-inspired cellulose nanocomposites and foams based on starch matrix. PhD Thesis, KTH Chemical Science and Engineering, Stockholm, 50 p.
- Tang, Z. G., Callaghan, J. T., and Hunt, J. A. 2005. The physical properties and response of osteoblasts to solution cast films of PLGA doped polycaprolactone. *Biomaterials*, 26(33): 6618–6624.
- Tawakkal, I. S. M. A., Cran, M. J., Miltz, J., and Bigger, S. W. 2014. A review of poly(lactic acid)-based materials for antimicrobial packaging. *Journal of Food Science*, 79(8): 1476-1490.
- Uslu, M. K., and Polat, S. 2012. Effects of glyoxal cross-linking on baked starch foam. *Carbohydrate Polymers*, 87(3): 1994–1999.
- Vercelheze, A. E. S., Fakhouri, F. M., Dall’Antônia, L. H., Urbano, A., Youssef, E. Y., Yamashita, F., and Mali, S. 2012. Properties of baked foams based on cassava starch, sugarcane bagasse fibers and montmorillonite. *Carbohydrate Polymers*, 87(2): 1302–1310.
- Vink, E. T. H., Rábago, K. R., Glassner, D. A., and Gruber, P. R. 2003. Applications of life cycle assessment to NatureWorks™ polylactide (PLA) production. *Polymer Degradation and Stability*, 80(3): 403–419.
- Willett, J. L. 2009. Starch in Polymer Compositions. In: BeMiller, J. and Whistler, R., (Eds.), *Starch: Chemistry and Technology*. Elsevier, Amsterdam, pp.715-743.
- Willett, J. L., and Shogren, R. L. 2002. Processing and properties of extruded starch/polymer foams. *Polymer*, 43(22): 5935–5947.
- Yang, Z., Peng, H., Wang, W., and Liu, T. 2010. Crystallization behavior of poly( $\epsilon$ -caprolactone)/layered double hydroxide nanocomposites. *Journal of Applied Polymer Science*, 116(5): 2658–2667.

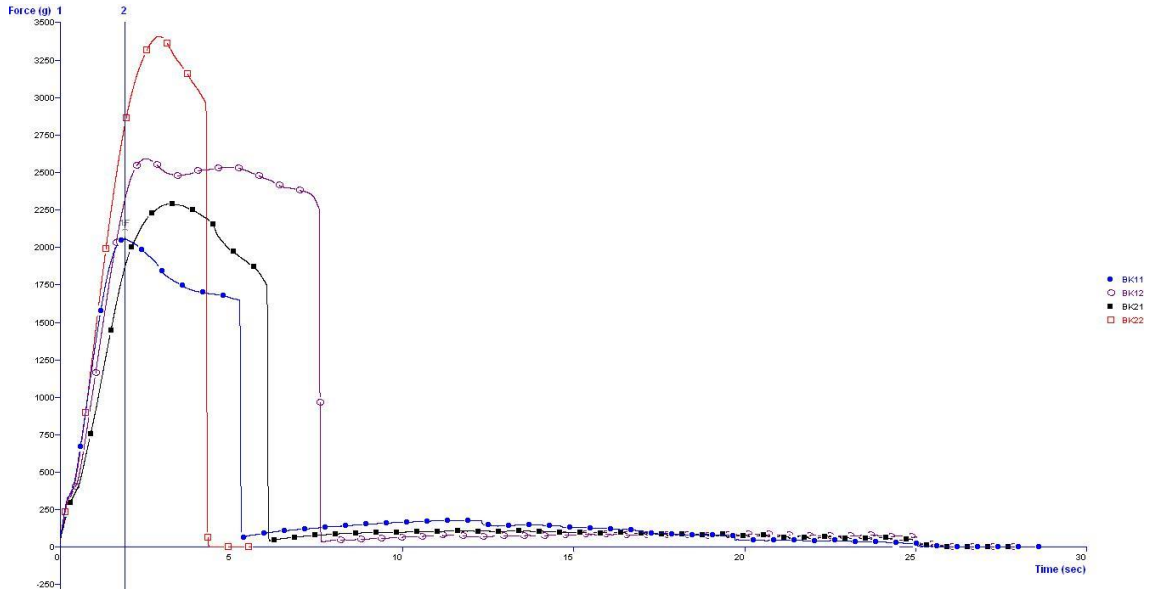
## 7. EKLER



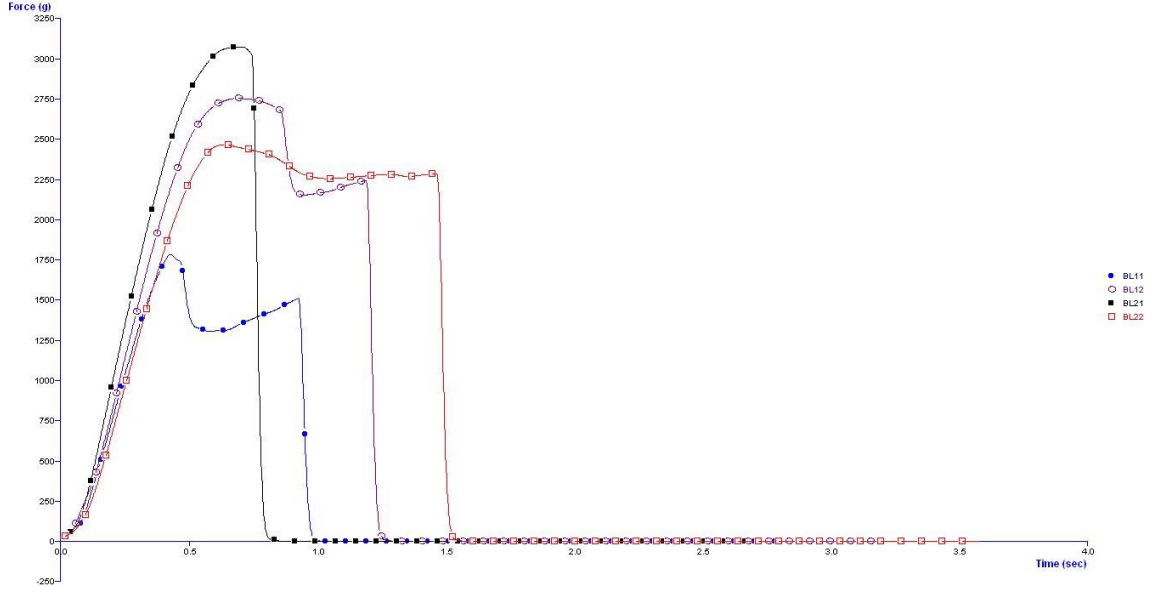
**Şekil 7.1.** Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların fotoğrafları



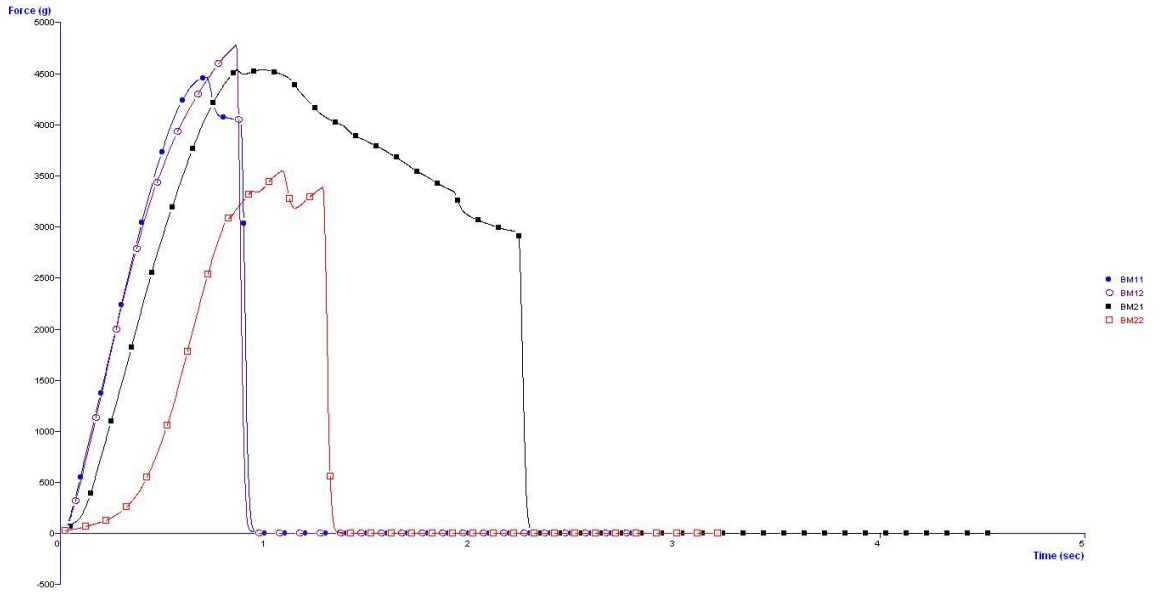
**Şekil 7.2.** Buğday nişastasından üretilen köpük tabakların mekanik testlerine ait ham verilerin grafiği



**Şekil 7.3.** Buğday nişastasından üretilen, PCL ile kaplanan köpük tabakların bükme testine ait ham verilerin grafiği

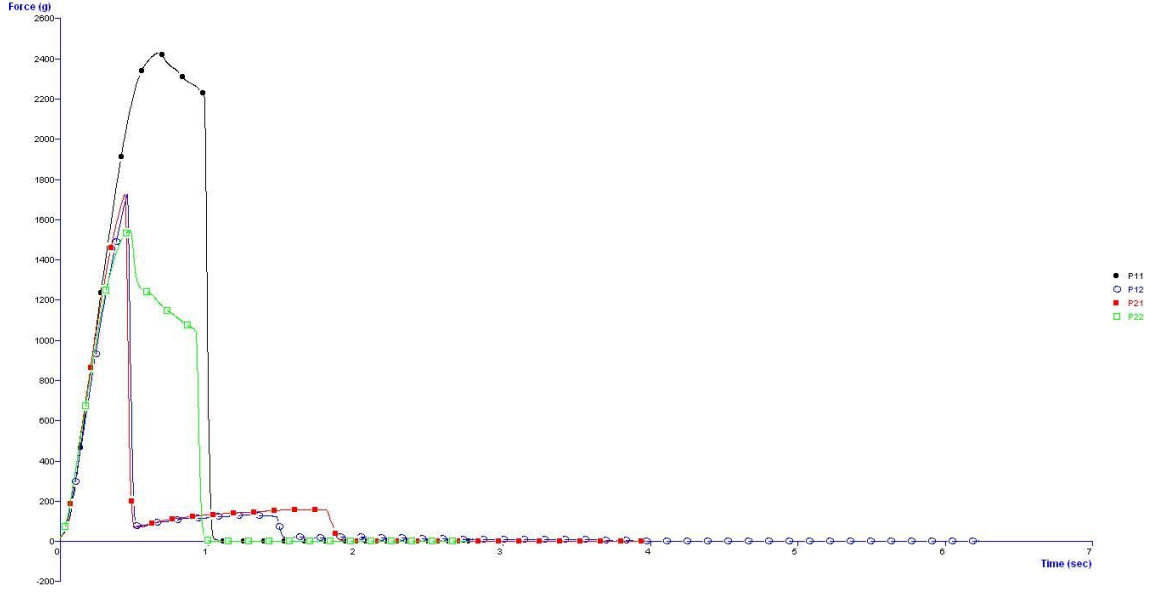


**Şekil 7.4.** Buğday nişastasından üretilen, PLA ile kaplanan köpük tabakların bükme testine ait ham verilerin grafiği

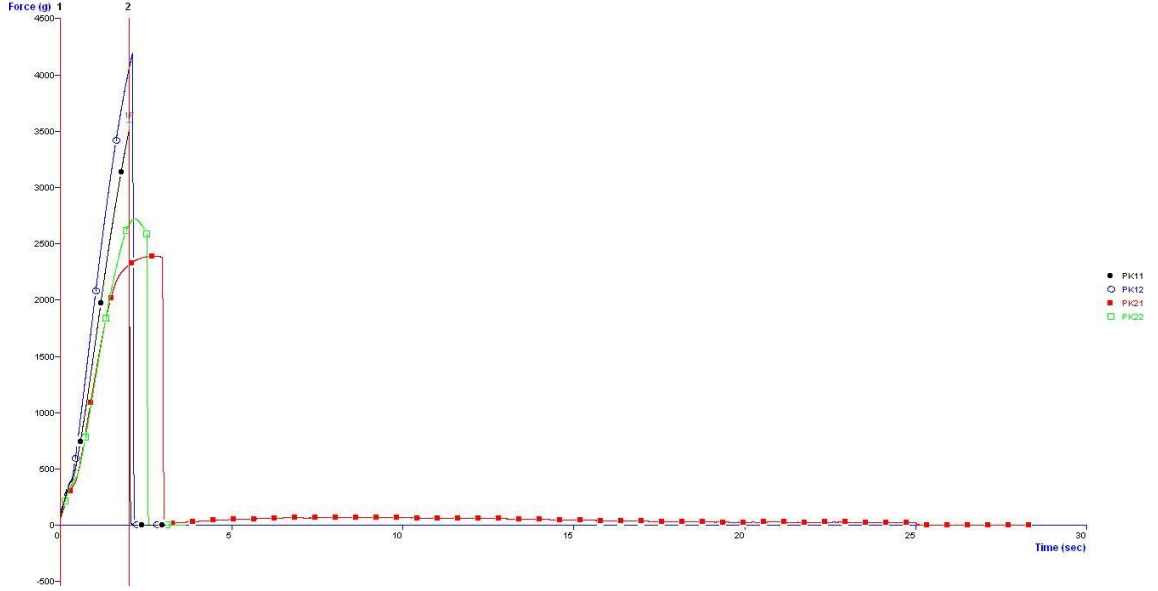


**Şekil 7.5.** Buğday nişastasından üretilen, PMMA ile kaplanan köpük tabakların bükme testine ait ham verilerin grafiği

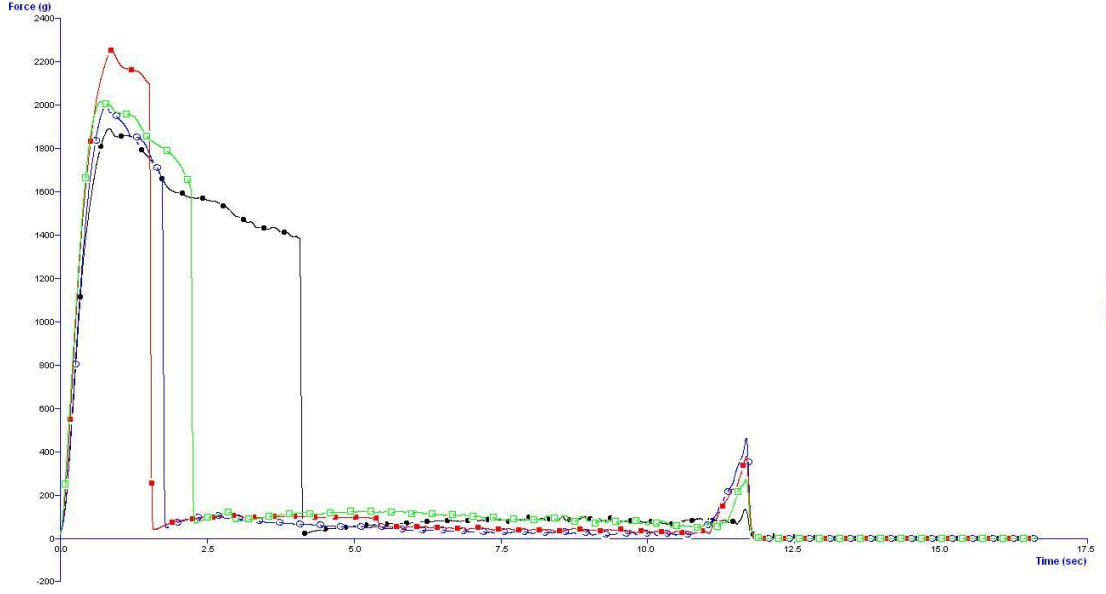




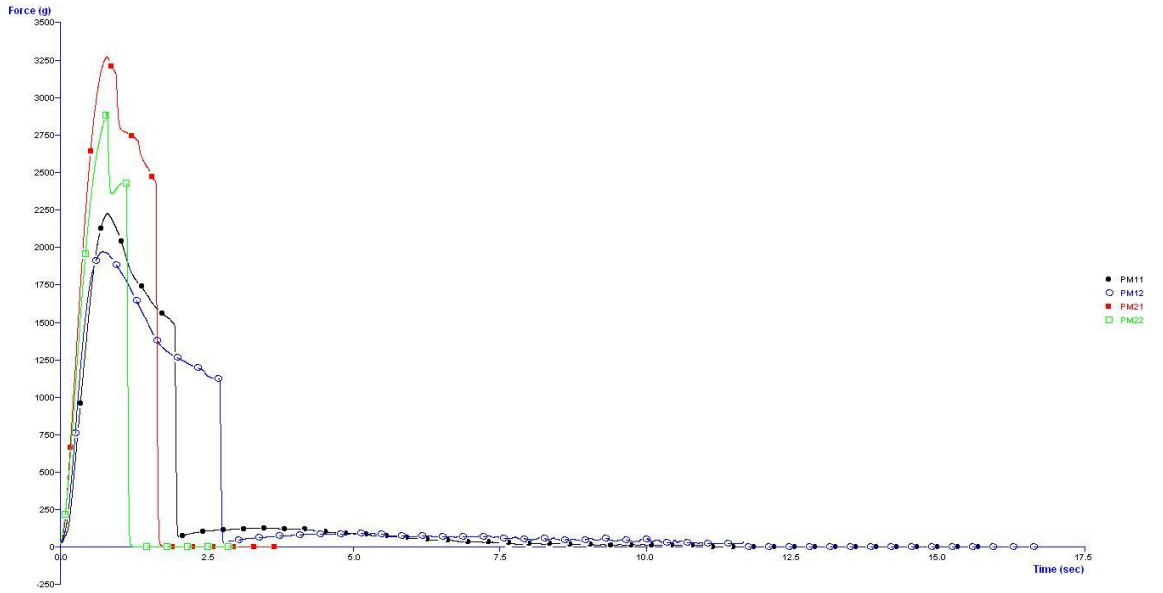
**Şekil 7.6.** Buğday-patates nişastasından üretilen köpük tabakların bükme testine ait ham verilerin grafiği



**Şekil 7.7.** Buğday-patates nişastasından üretilen, PCL ile kaplanan köpük tabakların bükme testine ait ham verilerin grafiği



**Şekil 7.8.** Buğday-patates nişastasından üretilen, PLA ile kaplanan köpük tabakların bükme testine ait ham verilerin grafiği



**Şekil 7.9.** Buğday-patates nişastasından üretilen, PMMA ile kaplanan köpük tabakların bükme testine ait ham verilerin grafiği

## ÖZGEÇMİŞ

**YUNUS EMRE KISAÇ**

yekisac@akdeniz@edu.tr



### ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Lisans	Süleyman Demirel Üniversitesi
2006-2012	Mühendislik Fakültesi, Gıda Müh. Bölümü, Isparta

### MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Araştırma Görevlisi	Akdeniz Üniversitesi
2017-2020	Mühendislik Fakültesi, Gıda Müh. Bölümü, Antalya

### ESERLER

#### Kitap ve Kitap Bölümleri

Kısac Y.E., "Protein ayırma ve karakterizasyon yöntemleri", Gıda Analizi, Prof. Dr. Kamile Nazan TURHAN, Ed., Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, ss.261-283, 2020.