

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

**NİŞASTA KAYNAĞININ VE ÇEŞİTLİ YARDIMCI MALZEMELERİN
NİŞASTA BAZLI KÖPÜK TABAKLARIN ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

Ahmet AYGÜN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

2013

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

**NİŞASTA KAYNAĞININ VE ÇEŞİTLİ YARDIMCI MALZEMELERİN
NİŞASTA BAZLI KÖPÜK TABAKLARIN ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

Ahmet AYGÜN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Bu tez 2012.02.0121.019 proje numarasıyla Akdeniz Üniversitesi Bilimsel
Araştırma Projeleri Yönetim Birimi tarafından desteklenmiştir.**

2013

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

**NİŞASTA KAYNAĞININ VE ÇEŞİTLİ YARDIMCI MALZEMELERİN
NİŞASTA BAZLI KÖPÜK TABAKLARIN ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

Ahmet AYGÜN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 08/07/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Mustafa Kemal USLU (Danışman)

Prof. Dr. Sibel TUNÇ

Doç. Dr. Mustafa ERBAŞ

ÖZET

NİŞASTA KAYNAĞININ VE ÇEŞİTLİ YARDIMCI MALZEMELERİN NİŞASTA BAZLI KÖPÜK TABAKLARIN ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Ahmet AYGÜN

Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Mustafa Kemal USLU
Temmuz 2013, 70 sayfa

Bu tez çalışmasında, gliksal ile çapraz bağlanmış mısır, patates ve buğday nişastaları ve çeşitli lifler, lipitler ve dolgu malzemeleri kullanılarak yoğunluğu ve su emme miktarı olabildiğince düşük, mekanik direnci yüksek köpük tabakların üretilmesi hedeflenmiştir.

Bu araştırmanın ilk aşamasında, ideal köpük tabak üretimi için en uygun nişasta kaynağı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla gliksal ile çapraz bağlanmış (0,126g gliksal/kg nişasta) mısır, buğday ve patates nişastalarından ayrı ayrı ve karışımlar halinde tabaklar üretilmiştir. Bu tabakların kalınlık, yoğunluk, denge nem içeriği, su emme miktarı ölçülmüş ve mekanik özellikleri bükme testi yapılarak belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda yeterince köpük yapı oluşturduğu gözlemlenen tabakların mekanik özelliklerinin yaklaşık aynı olduğu ancak çapraz bağlı buğday-patates nişastasından üretilen tabağın (BP) yoğunluğunun (0,17g/cm³) ve su emme miktarının(%25,5) diğer tabaklara göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla tabak üretmek için en uygun nişasta kaynağının çapraz bağlı buğday-patates nişastası karışımı olduğu belirlenmiştir.

Çapraz bağlı buğday-patates nişastası karışımına üç farklı kaynaktan elde edilmiş lif (odun, buğday ve bambu lifi), iki farklı lipit çeşidi (balmumu ve susuz hidrojene yağ) ve dört farklı dolgu malzemesi (Kaolen, nanokil (montmorillonit), silisyum dioksit (SiO₂) ve çinko oksit (ZnO) nanoparçacıkları) eklenerek tabak özellikleri daha da geliştirilmeye çalışılmıştır. Tabakların su emme miktarını en fazla düşüren lif çeşidinin buğday lifi (% 7), lipit çeşidinin ise susuz hidrojene yağ (% 10) olduğu tespit edilmiştir. Dolgu malzemelerinden, nanokilin tabakların su emme miktarını artırdığı, silisyum dioksitin su emme miktarı üzerinde etkisi olmadığı, kaolen (% 1) ve çinko oksit nanoparçacıklarının (% 1) ise tabakların su emme miktarını düşürdüğü bulunmuştur.

Çapraz bağlı buğday-patates nişastası karışımına en uygun çeşit ve miktarı belirlenen yardımcı malzemeler eklenerek üretilen tabakların kalınlığı, yoğunluğu, denge nem içeriği, su emme miktarı, renk değerleri ve mekanik özellikleri ölçülmüştür. Tabakların, yüzeyi ve kesiti taramalı elektron mikroskobu (SEM) altında görüntülenmiş,

kristal yapısı X-ışını kırınımı (XRD) analiziyle, erime sıcaklığı ve erime ısısı ise kademeli taramalı kalorimetre (DSC) ile belirlenmiştir.

Çapraz bağlı buğday-patates nişastasına eklenen bütün yardımcı malzemeler tabakların kalınlığını artırmıştır. Çapraz bağlı buğday-patates nişastasına nişastanın % 7'si kadar buğday lifi eklenerek üretilen tabağın (BPL) ve nişastanın % 7'si kadar buğday lifi ve %10'u kadar susuz hidrojene yağ içeren (BPLS) tabağın yoğunlukları, BP tabağının yoğunluğundan daha düşük olduğu bulunmuştur. Bu tabakların yoğunluklarının sırasıyla 0.115 ± 0.013 g/cm³, 0.148 ± 0.005 g/cm³ olduğu bulunmuştur. Nişastanın % 7'si kadar buğday lifi ve % 1'i kadar çinko oksit nanoparçacıkları içeren (BPLN) ve nişastanın %7'si kadar buğday lifi, %10'u kadar susuz hidrojene yağ ve %1'i kadar çinko oksit nanoparçacıkları (BPLNS) tabaklarının ise BP ile aynı yoğunluğa sahip olduğu belirlenmiştir. Kaolen içeren tabakların ise BP'den daha yüksek yoğunluğa sahip oldukları tespit edilmiştir.

BP tabağının su emme miktarı % $25,50\pm 0,74$ iken, BPL, BPLS ve BPLNS tabaklarının su emme miktarları sırasıyla % $16,64\pm 1,25$, % $6,4\pm 0,01$ ve % $5,85\pm 0,29$ 'e düşmüştür. Tabak yüzeylerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntülerinde, yardımcı malzeme içermeyen tabakların daha fazla çatlak yapı gösterdiği, yardımcı malzemelerinin ilavesiyle tabakların yüzeylerindeki çatlakların azaldığı gözlemlenmiştir. Tabakların kesit yüzey SEM görüntülerinde, en düşük yoğunluğa sahip olduğu belirlenen BPL'nin diğer tabaklara göre daha kalın bir yapıda olduğu ve gözenek yapısının daha düzgün ve gözeneklerin daha büyük olduğu görülmektedir. Tabak üretiminde eklenen bütün yardımcı malzemeler L* değerinin artmasına yani tabakların renginin açılmasına neden olmuştur. BPLN ve BPLNS tabaklarının da en açık renge sahip tabaklar olduğu bulunmuştur. Çapraz bağlı buğday-patates nişastasına lif ilavesi, tabağın hem erime sıcaklığını hem de erime ısısını artırmış, ancak diğer yardımcı malzemelerin (kaolen, nanoparçacık, susuz hidrojene yağ) eklenmesi tabakların erime sıcaklığını farklı şekillerde etkilerken, erime ısılarını düşürmüştür.

En düşük su emme değerine sahip BPLS ve BPLNS tabaklarında yapılan migrasyon analizi sonucunda, tabaklardan migrasyonla saf suya geçen glioksal miktarının Birleşik Alman Risk Araştırma Enstitüsü (BfR)'nün belirlediği üst sınırdan daha düşük olduğu belirlenmiştir. Yapılan antibakteriyel testler sonucunda çinko oksit nanoparçacıklarının *E.coli* XL 1-Blue üzerinde antibakteriyel etkisi olduğu ancak silisyum dioksit nanoparçacıklarının ve çinko oksit nanoparçacıkları içeren tabakların (BPLN ve BPLNS) antibakteriyel etki göstermediği bulunmuştur. Dolgu malzemelerinden nanoparçacıkların tabaklara antibakteriyel bir etki kazandırmaması ve eklenen tüm dolgu malzemelerinin tabakların diğer özellikleri üzerine olumlu bir etki yapmaması nedeni ile köpük tabak üretiminde dolgu malzemesi (kaolen, nanokil (montmorillonit), silisyum dioksit ve çinko oksit nanoparçacıkları) eklenmesine gerek olmadığı sonucuna varılmıştır.

Bu tez çalışması sonucunda en iyi özelliklere sahip olan tabağın çapraz bağlı buğday-patates nişastası ve nişastanın %7'si kadar buğday lifi, %10'u kadar susuz hidrojene yağ kullanılarak üretilen tabaklar (BPLS) olduğu ve bu tabakların gıda servis ve ambalajlanmasında kullanılabileceği belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Buğday nişastası, mısır nişastası, patates nişastası, çapraz bağ, gliksal, köpük tabak, lif, lipit, nanoparçacık

JÜRİ: Doç. Dr. Mustafa Kemal USLU (Danışman)

Prof. Dr. Sibel TUNÇ

Doç. Dr. Mustafa ERBAŞ

ABSTRACT

THE EFFECTS OF STARCH SOURCE AND VARIOUS SUPPLEMENTARY MATERIALS ON THE PROPERTIES OF STARCH BASED FOAM PLATES

Ahmet AYGÜN

MSc in Food Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mustafa Kemal USLU

July 2013, 70 pages

The aim of this study was to produce a foam plate having low density, low water absorption and high mechanical resistance from glyoxal cross-linked corn, wheat, potato starches and their mix and various fibers, lipids and filling matters. In the first stage of the study, starch source was determined for production of ideal foam plate. For this purpose foam plates was produced from 0,126 g glyoxal/kg starch cross linked starches and their mixture. Thickness, density, water content and water absorption of the foams were measured. Mechanical properties of the foams were determined with flexural test. As results of analysis, the mechanical properties of the plates having enough foaming structure were similar to each other. However, density ($0,17\text{g/cm}^3$) and water absorption (25.5%) of the foam plate produced from cross-linked wheat-potato starch (BP). were lower than that of other plates. Therefore, it was found that the most suitable starch source to produce a foam plate was the mixture of cross linked wheat-potato starch

Three different fiber sources (wood, wheat and bamboo fiber), two different lipid types (beeswax and anhydrous hydrogenated margarine) and four different types of filling matter(kaolin, nanoclay (montmorillonite), silicon dioxide (SiO_2), and zinc oxide (ZnO) nanoparticles) was added to the mixture of cross-linked wheat-potato starch to improve plate properties additionally. Fiber type caused the most reduction on the water absorption of plates was wheat fiber (7 %) and lipid type was anhydrous hydrogenated margarine (10 %). Nanoclay increased the water absorption of the plates, silicon dioxide nanoparticles was not effect water absorption of the plates. It is found that the addition of kaolin (1%) and zinc oxide nanoparticles (1%) was decreased the water absorption of plates.

The thickness, density, equilibrium moisture content, water absorption, color values and mechanical properties of the foam plates produced by adding the most appropriate kind and amount of the supplementary materials to wheat-potato starch were measured. Surface and cross-section of the plates were examined using a scanning electron microscope (SEM). The crystal structure of the plates was determined by the X-ray diffraction analyzes, and melting temperature and melting heat of them were determined by the differential scanning calorimeter (DSC).

The thickness of the plates increased by the addition of all supplementary materials to cross linked wheat-potato starch. The plate which produced by the addition of 7% wheat fiber of the starch weight to cross-linked wheat-potato starch (BPL) and by the addition of 7% wheat fiber, 10% anhydrous hydrogenated margarine of the starch weight(BPLS) were have lower density than BP plate. The densities of these plates were $0.115 \pm 0.013\text{g/cm}^3$ and $0.148 \pm 0.005\text{g/cm}^3$ respectively. The density values of the plate which produced by the addition of 7% wheat fiber, 1% zinc oxide nanoparticles(BPLN) and by the addition of 7% wheat fiber, 1% zinc oxide nanoparticles, 10% anhydrous hydrogenated margarine(BPLNS) were the same as BP plate. Plates containing kaolin were found to have a higher density than the BP.

While the water absorption content of BP plate was $25.50 \pm 0.74\%$, the water absorption of BPL, BPLS and BPLNS plates were decreased to $16.64 \pm 1.25\%$, $6.4 \pm 0.01\%$ and $5.85 \pm 0.29\%$ respectively. The surface micrographs of plates showed that the plates which were not include supplementary materials have more crack on the surfaces. But by the addition of supplementary materials the cracks were decreased evidently. The cross-sectional micrographs of the plates showed that BPL plate, having the lowest density, had thicker structure, smoother cell and greater cell size. L^* value of the plates increased with the addition of all the supplementary materials. In the other words the color values of the plates were lighter with the addition of supplementary materials. And, BPLN and BPLNS plates had the lightest color. Fiber addition to cross-linked wheat-potato starch raised the melting temperature and the melting heat of the plate. Other supplementary materials (kaolin, nanoparticle, anhydrous hydrogenated margarine) affected differently the melting temperature of the plates but reduced the melting heat.

The migration tests were conducted by BPLS and BPLNS plates which have less water absorption capacity. The glyoxal migration from plates to pure water was found lower than the upper level set by the Federal Institute for Risk Assessment (BfR). After antibacterial tests, it was found that zinc oxide nanoparticles showed antibacterial effect on *E. coli* XL 1-Blue, but silicon dioxide and the plates containing zinc oxide nanoparticles (BPLN and BPLNS) was not show antibacterial effect. Due to plates were not gain antibacterial effect by the addition of nanoparticles and also all filling matters did not affect positively other features of the plates, it was concluded there was no need to add filling matters (kaolin, nanoclay (montmorillonite), silicon dioxide and zinc oxide nanoparticles) while producing foam plates.

As a result of this thesis study, it was determined that the most suitable plates can be produced by using cross-linked wheat-potato starch, wheat fiber and anhydrous hydrogenated margarine (BPLS) and it can be used safely for food packaging and servicing.

KEYWORDS: Wheat starch, corn starch, potato starch, cross-link, glyoxal, foam plate, fiber, lipid, nanoparticle

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

Prof. Dr. Sibel TUNÇ

Assoc. Prof. Dr. Mustafa ERBAŞ

ÖNSÖZ

Son yıllarda, biyobozunur ambalaj malzemeleri üzerine yapılan çalışmalar giderek artmaktadır. Tüketicilerin doğal ve doğaya zarar vermeyen ürünlere gösterdiği ilginin artması, günümüzde bol miktarda kullanılan plastik malzemelerden çeşitli bileşenlerin migrasyonla gıdalara geçmesiyle kimyasal kirlenmeye yol açması, doğaya atıldığında parçalanmasının çok uzun sürmesi ayrıca bazı parçalanma ürünlerinin doğaya ciddi zararlar vermesi nedeniyle, çevre kirliliğinin azalmasına yardımcı olabilecek yeni ambalaj materyallerine olan talebin artması, plastik malzemelerin üretiminde kullanılan monomerlerin petrol kaynaklı olması ve her geçen gün petrol kaynaklarının azalması, doğal polimerlerden üretilen ambalaj malzemeleri üzerinde yapılan bilimsel araştırmaları hızlandırmıştır.

Yapılan araştırmalarda genellikle farklı biyolojik materyallerden ambalaj materyalleri üretilerek bunların özellikleri araştırılmıştır. Ancak bu ambalaj malzemelerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerini geliştirmeye yönelik çalışmalar varsa da bunların sayısı oldukça azdır.

Özellikle glioksal ile çapraz bağlanmış farklı kaynaklardan elde edilen nişastalardan köpük tabak üretimi ve bu tabaklara çeşitli yardımcı malzemelerin katılmasının tabak özellikleri üzerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Araştırma sonucunda elde edilen verilerin, yapılacak benzeri çalışmalara ışık tutmasını ve teknolojiye aktarılarak ülkemiz sanayisine ve ekonomisine önemli katkılar sağlamasını dilerim.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde bana her türlü yardım ve destekte bulunan ve bu konuda çalışma olanağı sağlayan Sayın danışman hocam Doç. Dr. Mustafa Kemal USLU'ya, çalışmalarım sırasında yardımlarda bulunan tüm Akdeniz Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine, öğretim görevlilerine, araştırma görevlilerine, lisansüstü öğrencilerine ve kıymetli arkadaşım Gıda Mühendisi Tuğçe SAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu araştırmanın gerçekleşmesinde maddi destek sağlayan Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi'ne ve Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

<u>ÖZET</u>	i
<u>ABSTRACT</u>	iv
<u>ÖNSÖZ</u>	vi
<u>İÇİNDEKİLER</u>	vii
<u>SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ</u>	x
<u>ŞEKİLLER DİZİNİ</u>	xi
<u>ÇİZELGELER DİZİNİ</u>	xiii
<u>1. GİRİŞ</u>	1
<u>2. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMALARI</u>	4
<u>2.1. Nişasta</u>	4
<u>2.2. Nişastanın modifikasyonu</u>	8
<u>2.2.1. Nişastanın fiziksel modifikasyonu</u>	8
<u>2.2.2. Nişastanın enzimatik modifikasyonu</u>	9
<u>2.2.3. Nişastanın genetik modifikasyonu</u>	9
<u>2.2.4. Nişastanın kimyasal modifikasyonu</u>	10
<u>3. MATERYAL ve METOT</u>	15
<u>3.1. Materyal</u>	15
<u>3.2. Metot</u>	15
<u>3.2.1. Değişken kalıplı köpük tabak üretim makinesi imalatı</u>	15
<u>3.2.2. Nişastanın glioksal ile çapraz bağlanması</u>	16
<u>3.2.3. Çapraz bağlama süresince glioksal miktarındaki değişimin kinetiği</u>	17
<u>3.2.4. Liflerin su emme miktarının belirlenmesi</u>	18
<u>3.2.5. Köpük tabak üretimi</u>	18
<u>3.2.6. Kalınlık ölçümü</u>	21
<u>3.2.7. Yoğunluk tayini</u>	21
<u>3.2.8. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsünün alınması</u>	21
<u>3.2.9. Yüzde su miktarı tayini</u>	21
<u>3.2.10. Renk değerlerinin ölçümü</u>	21
<u>3.2.11. Yüzde su emme miktarı tayini</u>	22
<u>3.2.12. Su emme hızı ölçümü</u>	22
<u>3.2.13. Nişasta ve tabakların termal özellikleri</u>	22

3.2.14. Bükme testi	22
3.2.15. X-ışını kırınım analizi	24
3.2.16. Tabaklarda migrasyon testi	24
3.2.17. Tabakların antibakteriyel etkisinin belirlenmesi.....	24
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	26
4.1. Çapraz Bağlamanın Nişastanın Özellikleri Üzerine Etkileri.....	26
4.1.1. Çapraz bağlama süresince serbest gliksal miktarındaki değişim.....	26
4.1.2. Çapraz bağlamanın nişastanın termal özellikleri üzerine etkileri.....	27
4.1.3. Çapraz bağlamanın nişastanın yüzde kristallik değeri üzerine etkileri... 28	
4.2. Köpük Tabak Üretiminde En Uygun Nişasta Kaynağının Belirlenmesi.....	29
4.2.1. Farklı nişasta kaynaklarından üretilen köpük tabakların genel özellikleri	29
4.2.2. Köpük tabakların SEM görüntüleri.....	32
4.2.3. Tabakların yüzde su emme miktarı.....	34
4.2.4. Köpük tabakların mekanik özellikleri.....	35
4.3. Köpük Tabak Üretiminde Kullanılabilecek Uygun Lif Çeşidinin Belirlenmesi.....	36
4.4. Köpük Tabak Üretiminde Kullanılabilecek En Uygun Lipit Çeşidinin Belirlenmesi	37
4.5. Köpük Tabak Üretiminde Kullanılabilecek En Uygun Dolgu Malzemesinin Belirlenmesi.....	38
4.6. Yardımcı Malzeme İlavesinin Tabakların Özellikleri Üzerine Etkisi.....	39
4.6.1. Tabakların genel özellikleri	39
4.6.2. SEM görüntüleri	42
4.6.3. Yardımcı malzeme ilavesinin tabakların yüzde su emme miktarları üzerine etkileri	46
4.6.4. Su emme hızı	47
4.6.5. Mekanik özellikler	49
4.6.6. Termal özellikler	50
4.6.7. X-ışını kırınım analizi.....	53
4.6.8. Migrasyon	56
4.6.9. Antibakteriyel etki	57
5. SONUÇ	59
5.1. Köpük Tabak Üretimi İçin Uygun Nişasta Kaynağının Ve Yardımcı Malzemelerin Belirlenmesi.....	59
Nişasta kaynağının belirlenmesi	59

<u>Lif çeşit ve oranının belirlenmesi</u>	59
<u>Lipit çeşit ve oranının belirlenmesi</u>	60
<u>Dolgu malzemesi çeşit ve oranının belirlenmesi</u>	60
<u>5.2. Yardımcı Malzeme İçeren Nişasta Bazlı Köpük Tabakların Özellikleri</u>	60
<u>Genel Özellikleri</u>	60
<u>Yüzde su emme miktarı ve hızı</u>	61
<u>Mekanik Özellikler</u>	61
<u>Termal Özellikler</u>	61
<u>Kristallik değerleri</u>	62
<u>Migrasyon</u>	62
<u>Antibakteriyel etki</u>	62
<u>6. KAYNAKLAR</u>	63
<u>7. EKLER</u>	69
<u>Ek 1. Farklı kaynaklardan elde edilen nişastalar çapraz bağlanarak üretilen tabakların resimleri</u>	69
<u>Ek 2. Buğday-Patates Nişastasası karışımına Yardımcı malzemeleri ilave edilerek üretilen tabakların fotoğrafları</u>	70
<u>ÖZGEÇMİŞ</u>	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

- M:** Çapraz bağlı mısır nişastasından üretilen tabak
- P:** Çapraz bağlı patates nişastasından üretilen tabak
- B:** Çapraz bağlı buğday nişastasından üretilen tabak
- MP:** Çapraz bağlı mısır-patates nişastası karışımından üretilen tabak
- MB:** Çapraz bağlı mısır-buğday nişastası karışımından üretilen tabak
- BP:** Çapraz bağlı buğday-patates nişastası karışımından üretilen tabak
- MBP:** Çapraz bağlı mısır-buğday-patates nişastası karışımından üretilen tabak
- BPL:** Çapraz bağlı buğday-patates nişastası karışımına lif ilave edilerek üretilen tabak
- BPLN:** Çapraz bağlı buğday-patates nişastası karışımına lif ve ZnO nanoparçacıkları ilave edilerek üretilen tabak
- BPLK:** Çapraz bağlı buğday-patates nişastası karışımına lif ve kaolen ilave edilerek üretilen tabak
- BPLS:** Çapraz bağlı buğday-patates nişastası karışımına lif ve susuz hidrojene yağ ilave edilerek üretilen tabak
- BPLKS:** Çapraz bağlı buğday-patates nişastası karışımına lif, kaolen ve susuz hidrojene yağ ilave edilerek üretilen tabak
- BPLNS:** Çapraz bağlı buğday-patates nişastası karışımına lif, ZnO nanoparçacıkları ve susuz hidrojene yağ ilave edilerek üretilen tabak
- BPLB:** Çapraz bağlı buğday-patates nişastası karışımına lif ve balmumu ilave edilerek üretilen tabak
- DSC:** Kademeli taramalı kalorimetre (Differential Scanning Calorimetry)
- o-PDA:** orto-Fenilendiamin
- σ_f :** Mekanik testte Bükme Mukavemeti
- ϵ_f :** Mekanik testte Bükme boyut değişimi
- Ef:** Mekanik testte elastik modül

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Tekrarlayan Amiloz birimlerinin genel yapısı(Anonim 2012a)	4
Şekil 2.2. Tekrarlayan Amilopektin birimlerinin genel yapısı(Anonim 2012a)	6
Şekil 2.3. Amilopektin yapısının model olarak gösterimi(Anonim 2012a)	7
Şekil 2.4. Amilomaltaz uygulanmış nişasta(Kaur vd 2012)	9
Şekil 3.1. Değişken kalıplı köpük tabak üretim makinesi ve kalıpları (a: 1 numaralı kalıp, b: 2 numaralı kalıp, c: 3 numaralı kalıp)	16
Şekil 3.2. Glioksalın o-PDA ile tepkimesi ve kinoksalin oluşumu reaksiyonu	17
Şekil 3.3. Glioksal miktarı-absorbans grafiği	18
Şekil 3.4. Bükme testinde kullanılan, üç noktalı bükme düzeneği; a. Şematik gösterimi, b.Fotoğrafi	23
Şekil 4.1. Buğday- Patates nişastasının çapraz bağlanması süresince serbest glioksal miktarlarındaki değişim	26
Şekil 4.2. Normal ve çapraz bağlı nişastaların DSC eğrileri	27
Şekil 4.3. Normal ve çapraz bağlı buğday ve patates nişastalarının ve çapraz bağlı buğday patates nişastasının X-ışını kırınım desenleri	28
Şekil 4.4. B, P ve BP tabaklarından alınan örneklerin yüzey SEM görüntüleri	33
Şekil 4.5. B, P ve BP tabaklarından alınan parçaların kesit SEM görüntüleri	33
Şekil 4.6. Köpük tabaklara ait yüzde su emme miktarı değeri ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	34
Şekil 4.7. BP ve yardımcı malzemeler kullanılarak üretilen diğer tabakların yüzey SEM görüntüleri	44
Şekil 4.8. BP nişastasına yardımcı malzemeler ilave edilerek üretilen tabakların kesit SEM görüntüleri	45
Şekil 4.9. Yardımcı malzeme ilave edilerek üretilen köpük tabakların su emme miktarları	46
Şekil 4.10. BPLS adlı tabağın su emme hızı	48
Şekil 4.11. BPLNS adlı tabağın su emme hızı	48
Şekil 4.12. Çapraz bağlı buğday, patates ve buğday patates nişastası karışımından üretilen tabaklara ait DSC eğrileri	50
Şekil 4.13. Çapraz bağlı buğday-patates nişastasından ve bu nişastaya lif eklenerek üretilen tabakların DSC eğrileri	51
Şekil 4.14. Çapraz bağlı buğday-patates nişastası karışımına yardımcı malzemeler ilave edilerek üretilen tabakların DSC eğrileri	51
Şekil 4.15. Yardımcı malzemelerin DSC eğrileri	52
Şekil 4.16. Yardımcı malzeme içermeyen köpük tabakların X-Işını kırınım desenleri ..	54
Şekil 4.17. Yardımcı malzeme içeren köpük tabakların X-Işını kırınım desenleri	55

Şekil 4.18. BPLS tabağından glioksal migrasyon hızı	56
Şekil 4.19. BPLNS tabağından glioksal migrasyon hızı	56
Şekil 4.20. Nanoparçacıkların ve nanoparçacık içeren tabakların antibakteriyel etkisi. a: çinko oksit nanoparçacıkları, b: silisyum dioksit nanoparçacıkları, c: BPLN tabağı, d: BPLNS tabağı	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Bazı nişastaların % amiloz içerikleri	7
Çizelge 2.2. Balmumunun genel bileşimi (Anonim 2010)	14
Çizelge 3.1. Denemelerde kullanılan nişasta karışımları	19
Çizelge 3.2. Tabak üretiminde kullanılacak lif çeşidi ve oranları	19
Çizelge 3.3. Tabak üretiminde kullanılacak lipit çeşidi ve oranları	20
Çizelge 3.4. Tabak üretiminde kullanılacak dolgu malzemesi çeşidi ve oranları	20
Çizelge 3.5. Bükme testinde kullanılan test koşulları	23
Çizelge 4.1. Normal buğday ve patates nişastaları ile çapraz bağlı buğday patates ve buğday-patates nişastasası karışımlarının termal özellikleri	28
Çizelge 4.2. Normal ve çapraz bağlı nişastaların % kristallik değerleri	29
Çizelge 4.3. Köpük tabak üretiminde kullanılan nişasta karışımları ve tabakların kısa adları, tabakların pişme sıcaklık ve süreleri	29
Çizelge 4.4. Farklı kaynaklardan elde edilen nişastalar ve bu nişastaların karışımları kullanılarak üretilen tabakların kalınlık, yoğunluk ve denge nem içeriklerine ait varyans analizi	30
Çizelge 4.5. Köpük tabakların kalınlık, yoğunluk ve denge nem içeriklerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	30
Çizelge 4.6. Farklı kaynaklardan elde edilen nişastalardan ve bu nişastalarının karışımlarından üretilen tabakların renk değerlerinin varyans analiz sonuçları	31
Çizelge 4.7. Farklı kaynaklardan elde edilen nişastalardan ve bu nişastalarının karışımlarından üretilen tabakların renk değerleri ve Duncan gruplandırması	32
Çizelge 4.8. Farklı kaynaklardan elde edilen nişastalar ve bu nişastaların karışımları kullanılarak üretilen tabakların % su emme miktarlarına ait varyans analiz tablosu	34
Çizelge 4.9. Farklı kaynaklardan elde edilen nişastalar ve bu nişastaların karışımları kullanılarak üretilen tabakların mekanik özelliklerine ait varyans analizi	35
Çizelge 4.10. Tabakların mekanik özellikleri	36
Çizelge 4.11. Farklı oranlardaki Buğday-Patates nişastasası karışımına değişik oranlarda odun lifi ve buğday lifi ilave edilerek üretilen tabaklara ait varyans analizi	37
Çizelge 4.12. Odun ve buğday lifi eklenerek üretilen tabakların su emme miktarlarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	37
Çizelge 4.13. Lipit eklenerek üretilen tabakların su emme değerlerine ait varyans analizi	38

Çizelge 4.14. Farklı kaynaklardan elde edilmiş lipitler eklenerek üretilen tabakların su emme miktarlarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	38
Çizelge 4.15. ZnO nanoparçacıkları ve kaolen içeren tabakların yüzde su emme miktarlarına ait varyans analiz tablosu	38
Çizelge 4.16. ZnO nanoparçacıkları ve Kaolen içeren tabakların % su emme miktarları	39
Çizelge 4.17. Yardımcı malzemeler eklenerek pişirilen tabakların pişme sıcaklık ve süreleri	40
Çizelge 4.18. Yardımcı malzemeler ilave edilerek üretilen tabakların kalınlık, yoğunluk ve denge nem içeriği değerlerine ait varyans analiz sonuçları	40
Çizelge 4.19. Yardımcı malzemeler eklenerek üretilen tabakların kalınlık, yoğunluk ve denge nem içeriği değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	41
Çizelge 4.20. Yardımcı malzeme ilave edilerek üretilen köpük tabakların renk değerlerine ait varyans analizi	42
Çizelge 4.21. Yardımcı malzeme ilave edilerek üretilen köpük tabakların renk değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	42
Çizelge 4.22. Yardımcı malzemeler ilave edilerek üretilen tabakların yüzde su emme miktarlarına ait varyans analiz tablosu	46
Çizelge 4.23. Yardımcı malzemeler içeren köpük tabaklarda yapılan bükme testi sonuçlarına ait varyans analizi tablosu	49
Çizelge 4.24. BP + yardımcı malzemeler ilave edilerek üretilen tabakların mekanik test sonuçları ve Duncan gruplandırmaları	50
Çizelge 4.25. Çapraz bağlı buğday patates ve buğday-patates nişastası karışımına yardımcı malzemeler ilave edilerek üretilen tabakların termal özellikleri	52
Çizelge 4.26. Köpük tabak üretiminde kullanılan yardımcı malzemelerin termal özellikleri	53
Çizelge 4.27. Tabakların % kristallik değerleri	53

1. GİRİŞ

Bütün dünyada olduğu gibi ülkemizde de plastik kullanımında hızlı bir artış vardır; örneğin, kişi başına kullanılan plastik miktarı 1960 yılında 0,6 kg iken, 1987 yılında 9 kg, 1995 yılında 14 kg, 1999 yılı 30 kg, 2005 yılında 44 kg ve 2010 yılında ise 70 kg civarında olmuştur. Bu tüketim, gelişmiş ülkelerdeki 100 kg rakamıyla karşılaştırıldığında plastiklerin önemli bir potansiyele sahip olduğu ve tüketimde artışın süreceğine işaret etmektedir (Anonim 2011).

Dünyada petrol esaslı plastik malzeme tüketimi yılda 200 milyon tondan fazla olması ve her yıl bu tüketimin % 5 oranında büyümesi plastik kullanımının hayatımızdaki önemini göstermektedir. Plastik tüketimindeki bu hızlı artış çevre kirliliği sorununu da beraberinde getirmektedir. Petrol bazlı plastikler biyobozunur veya kompost edilebilir değildir. Plastiklerin doğada parçalanması, üretiminde kullanılan polimere ve kalınlığına bağlı olarak 20 ile 500 yıl arasında değişmektedir. Örneğin polistiren bazlı ürünlerin doğada parçalanabilmesi için yüzyıllar geçmesi gerekmekte ve parçalandığı zamanda ortaya çıkacak monomerler ve plastik ambalajın üretiminde kullanılan diğer katkı maddeleri ortamda bulunan canlılar üzerinde öldürücü etki göstermektedir (Shogren vd 2002). Plastiklerin neden olduğu çevre kirliliği, kısmen de olsa geri toplanıp tekrar kullanılma veya yakma gibi önlemlerle giderilmesi mümkün olsa da, geri toplanan plastiklerin tekrar kullanımı polimer malzemenin kalitesinin düşmesine neden olmakta ve yüksek enerji gereksinimine ihtiyaç duymaktadır. Plastiklerin yakılarak imha edilmesi durumunda ise yüksek oranda karbondioksit ve toksik maddelerin atmosfere salınımı nedeniyle hava kirliliğine neden olmakta ve dolayısıyla küresel ısınma problemini artırmaktadır.

Plastik atıkların en önemli kaynağı ambalaj malzemesi olarak kullanılan plastiklerdir. Ambalaj sektörü plastiklerin yoğun olarak kullanıldığı sektörlerin başında gelmektedir (Anonim 2013a). Dünyada üretilen ambalaj maddelerinin % 70'ini ise yiyecek ve içecek ambalajları oluşturmaktadır. Ambalaj atıklarının, insanların kullanım alanlarını daraltmaları, canlıların yaşamlarını tehdit etmeleri ve büyük bir çevre kirliliği oluşturmalarından dolayı üzerinde önemle durulan bir konudur. Amerika ve Avrupa'da etkin olan kısıtlamalar ülkemizde de etkin olmaya başlamıştır. Bunun yanı sıra petrol kaynaklarının her geçen gün azalması ambalaj üretimi için yeni kaynak arayışını mecbur kılmaktadır.

Plastik atıkların neden olduğu tüm bu olumsuz etkiler ve petrol bazlı bu ürünlerin fiyatının, petrol kaynaklarının azalmasına bağlı olarak artacağı düşüncesi bu ürünlerin yerini kısmen veya tamamen alabilecek biyobozunur ambalaj materyalleri geliştirilme çalışılmalarına hız vermiştir. Biyobozunur ambalaj; nem, oksijen ve sıcaklık açısından uygun koşullar sağlandığında bakteriler, mantarlar veya algler gibi biyolojik ajanların etkinliğiyle, % 60-90'ının 60 ila 180 gün içerisinde karbondioksit, metan, su ve inorganik bileşenler gibi daha küçük molekül ağırlıklı bileşiklere parçalanabilen veya biokütleyle dönüşebilen malzemeler olarak tanımlanabilir (Üçüncü M. 2007). Biyobozunur ambalaj materyalleri, üretimi için pek çok doğal materyal üzerinde çalışılmakla beraber, yapılan çalışmalar özellikle nişasta ve polilaktik asit (Anderson ve Shive, 1997; Itavaara vd 2002) kullanılarak biyobozunur ambalaj materyali üretimi üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu nedenle

gıda ambalajlaması ve diğer alanlarda kullanılan petrol bazlı ürünlerin yerine kullanılabilen en ucuz ve potansiyeli en yüksek olan ürünlerden birisi de nişastadır.

Nişasta, bitkilerin tohum, kök ve yumrularında ayrıca gövde, yaprak, meyve ve polenlerinde bulunabilen bir karbonhidrattır. Nişasta gıda sanayisinde, gıdaların fiziksel özellikleri üzerine önemli etkisi vardır. Örneğin; nişastanın pudinglerin jelleşmesinde, yemek soslarına kıvam verilmesinde ve keklerin pişirme sırasında katı hale geçmesi gibi birçok alanda etkisi bulunmaktadır. Bu etkilerinin yanında, nişasta özellikle kâğıt, ilaç, kimya ve yem sanayisinde de önemli bir yere sahiptir (Saldamlı 2007).

Bunun yanında nişasta doğada bol bulunması, toksik olmaması, düşük maliyetli olması, yenilenebilir olması, biyobozunur ve kompostlanabilir (Iovino vd 2008) olmasından dolayı pek çok amaçla kullanılmaktadır.

Nişasta, bir takım kimyasal ajanlarla muamele edilerek suya karşı ilgisi de azaltılabilir. Nişasta moleküllerindeki hidroksil grupları çapraz bağlayıcı bir ajanla birbirine bağlanması nişastanın su içinde şişmesini, çözünürlüğünü ve su tutma kapasitesini önemli ölçüde azaltmaktadır (Kaur vd 2006). Çapraz bağlama oranı arttıkça nişasta granülü kimyasal ve fiziksel etkilere daha dayanıklı hale gelmektedir. Kimyasal bir ara ürün olan glioksal (etan-1,2-dion, $C_2H_2O_2$) nişasta üzerinde etkili bir çapraz bağlayıcıdır. Glioksal ile çapraz bağlı nişasta, endüstride birçok alanda kullanılmaktadır. Örneğin kâğıt sanayinde kâğıt yüzeyleri glioksal ile çapraz bağlı nişasta ile kaplanarak kâğıdın su emilimi azaltılmakta, suya dayanıklı yapışkan üretiminde yine glioksal ile çapraz bağlı nişasta kullanılmaktadır (Anonim 2009). Gıda ile temas eden kâğıt ambalaj üretiminde glioksal kullanılmasına Birleşmiş Milletler Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) ve Birleşik Alman Risk Araştırma Enstitüsü (BfR) tarafından izin verilmiştir (Anonim 2012). Glioksal ile çapraz bağlı nişastadan üretilen köpük tabaklar normal nişastadan üretilen tabaklar ile karşılaştırıldığında tabakların suya karşı dayanımının arttığı, yoğunluğunun düştüğü ve mekanik özelliklerinin geliştiği bildirilmiştir. Yapılan migrasyon testlerinde köpük tabaklarda gıdaya geçebilecek glioksal miktarı FDA ve BfR tarafından belirlenen limitlerin on kat altında olduğu kaydedilmiştir (Polat 2011).

Son yıllarda, geliştirilmiş polistirenden üretilen tek kullanımlık köpük tabakların kullanımı sürekli artmaktadır. 2007 verilerine göre dünya genelinde çoğunluğu tabak şeklinde olmak üzere yıllık yaklaşık 1 milyon ton civarında geliştirilmiş polistiren bazlı köpük ürünler üretilmektedir (Anonim 2007). Polistirenin doğada parçalanması için yüzyıllar geçmesi gerekmekte ve tek kullanımlık bu köpük ürünlerin geri dönüşümü pek mümkün olmamaktadır (Franz ve Welle 2003, Vlieger 2003). Bu ürünlerin sebep olduğu çevre kirliliği yenilenebilir kaynaklardan biyobozunur köpük ürünler üretilmesi konusunda yapılan çalışmalara öncülük etmektedir. Biyobozunur köpük ürün üretimi konusunda üzerinde en çok çalışılan hammaddelerden birisi nişastadır. Zira nişasta, yenilenebilir ve biyobozunur olmasının yanında ucuz ve doğada bol miktarda bulunan hammaddelerden biridir. Nişasta bazlı köpük üretimi konusunda yapılan çalışmalarda; nişasta bazlı köpük ürünler ekstrüzyon işlemiyle (Manoi ve Rizvi 2010, Ganjyal vd 2007, Silva vd 2006), çözücü değiştirme tekniği (El-Tahlawi vd 2007, 2008; Patel vd 2009) ya da bir kalıp içerisinde pişirilerek (Cinelli vd 2006; Salgado vd 2008; Shey vd 2006) üretilmiştir. Ekstrüzyon işlemiyle ve çözücü değiştirme tekniği ile üretilen köpük ürünlerin kalıplanarak şekil verilmesi oldukça zordur. Kalıp içerisinde pişirme

yöntemiyle istenilen şekilde kalıplar kullanılarak köpük tabaklar üretilebilmektedir. Kalıp içerisinde nişasta-su süspansiyonu pişerken buharlaşan su köpüksü yapının oluşmasını, son ürünün yoğunluğunun ve termal iletkenliğinin düşmesini sağlamaktadır. Bu köpük ürünlerden bazıları oldukça iyi fiziksel ve mekanik özellikler göstermelerine karşın nişastanın hidrofilik yapısı bu köpük ürünlerin kullanımını sınırlamaktadır.

Bu tez çalışmasında; glioksal ile çapraz bağlanmış mısır, patates, buğday nişastaları, bu nişastaların karışımları ve çeşitli lif, lipit ve dolgu malzemeleri kullanılarak öncelikle en uygun nişasta lif, lipit ve dolgu malzemesi kaynakları belirlenecektir. Daha sonra uygun olduğu belirlenen yardımcı malzemelerin uygun oranları belirlenecektir. Belirlenen kaynaklar ve oranlar kullanılarak gıda ambalajlanması ve servisinde kullanılan polistiren köpük tabakların yerini alabilecek, yoğunluğu ve su emme miktarı olabildiğince düşük, mekanik direnci yüksek köpük tabakların üretilmesi hedeflenmiştir.

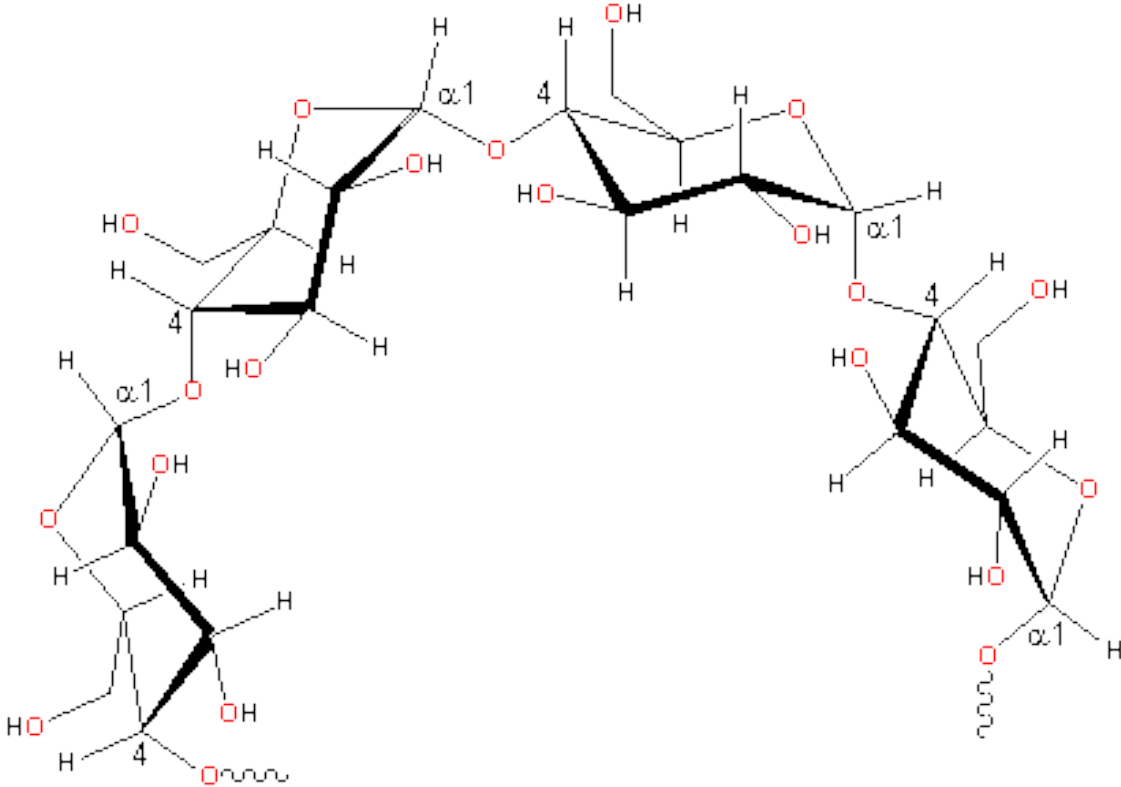
2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI

2.1. Nişasta

Nişasta bitki kök ve tohum endospermide granüller halinde depolanan ve genel olarak her biri birkaç milyon amilopektin ve çok daha fazla sayıda küçük amiloz moleküllerinden oluşan önemli bir karbonhidrattır. Dünya genelinde bugüne kadar kullanılan en önemli nişasta kaynağı mısırdır. Mısır nişastasını sırasıyla buğday, patates ve pirinç nişastaları takip etmektedir.

Amilopektin 'mumlu' (waxy) mısır nişastasından (amiloz içermeyen) izole edilir, ancak amiloz (amilopektin içermeyen) izole etmenin en iyi yolu, amilopektini özellikle pullulanaz ile hidroliz etmektir. Son yıllarda nişasta kaynağı bitkilerin genetik modifikasyonu ile geliştirilmiş ve hedeflenen fonksiyonelliği gösteren nişastalar geliştirilebilmektedir (Anonim 2012a).

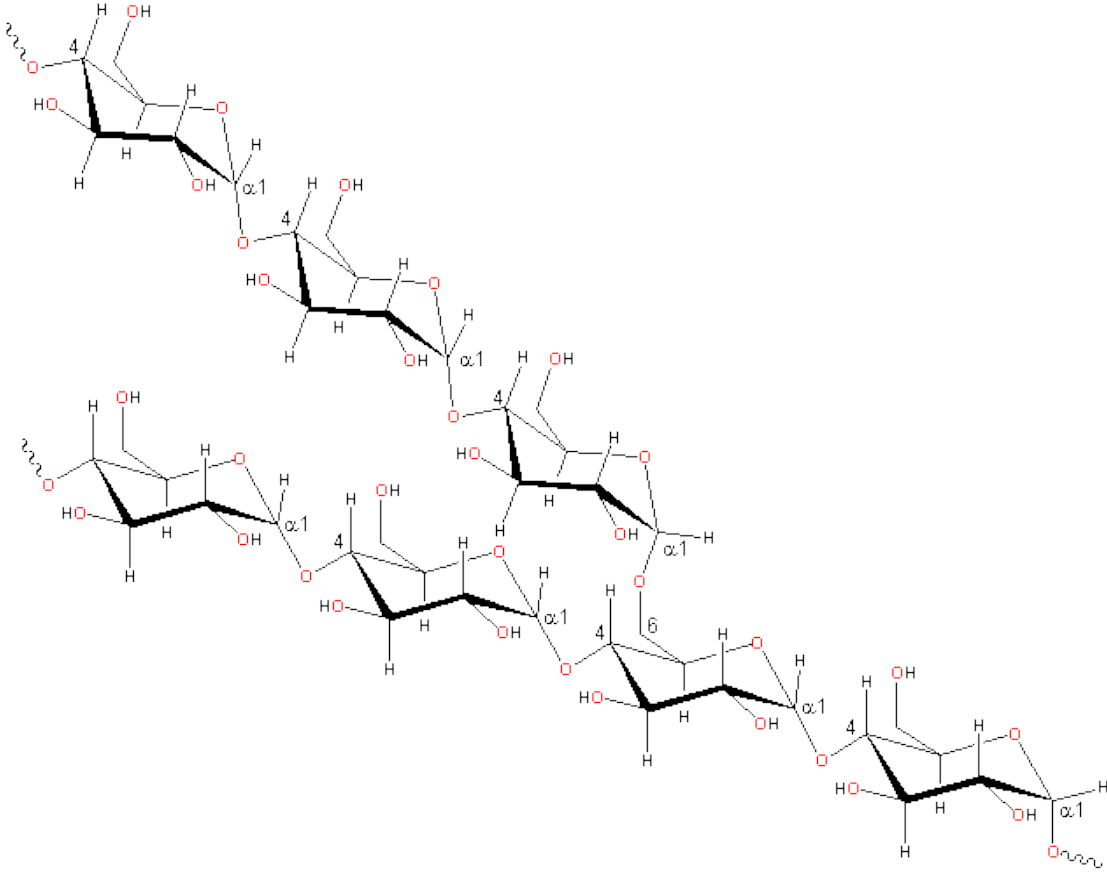
Nişasta, genel olarak % 20-30 oranında amiloz ve % 70-80 oranında amilopektin olarak isimlendirilen iki farklı molekülden oluşur. Bu moleküllerin ikisi de α -D-glikoz birimlerinin polimerlerinden oluşur. Ancak aradaki fark bağ yapılarından kaynaklanır. Buna göre amiloz, α -1,4 bağı ile bağlanmış α -D-glikoz birimlerinden oluşur (Anonim 2012a).



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..1. Tekrarlayan Amiloz birimlerinin genel yapısı(Anonim 2012a).

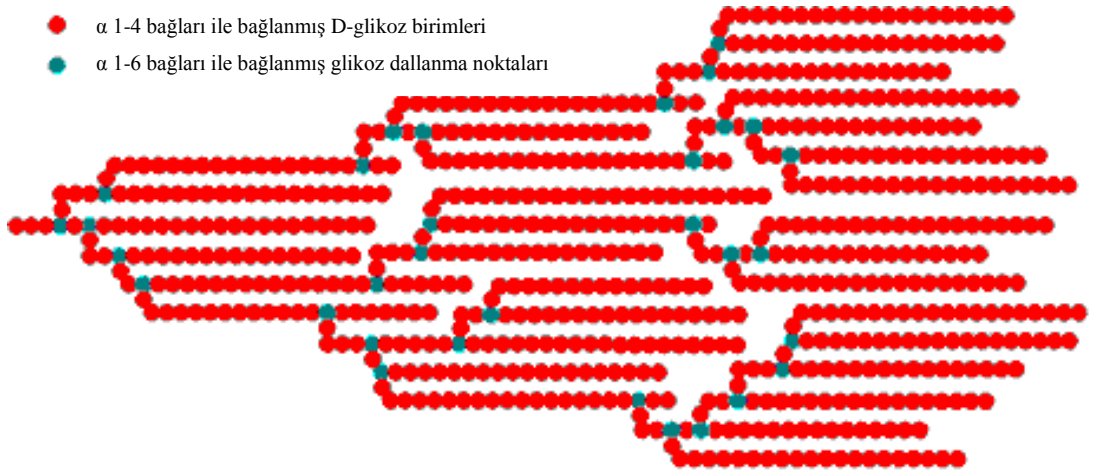
Amiloz, Şekil 2.1’de de gösterildiği üzere lineer ve genellikle dallanmamış bir moleküldür. Genellikle 500-20000 arasında α -D-glikoz biriminin α -1,4 bağları ile bağlanmasıyla oluşur. Amiloz zincirleri üç ana form alabilir. Birbirini izleyen glikoz birimlerinin yapısındaki –OH grubunun zincir oluşumu sırasında uzaklaşmasıyla birbirinin açılı olan glikoz birimlerinin birbirlerine doğru eğilmesiyle bir sarmal oluşturabilirler. İki farklı amiloz zincirinin birbirine sarılmasıyla bir çift sarmal da oluşturabilirler (A veya B formu). Bunun yanında iki amiloz molekülünün birbirine sarılmasıyla meydana gelen bu sarmalın iç kısmında kalan bölge hidrofobik olduğundan bu bölgeye iyodin, yağ asidi veya aromatik bir bileşik gibi hidrofobik konukçu moleküller yerleşir. Bu da V formu olarak bilinen ve amilopektinin amiloz zincirine bağlanarak nişastayı oluşturan yapıdır. Bu grup birçok farklı şekilde bulunabilir. Siklodekstrin olarak da bilinen bu şekillerin hepsi V harfi ve dönüş yapan glikoz birimlerinin sayısını belirten bir simge ile gösterilir. En bilineni V6 formudur ve 6 glikoz biriminde bir dönüş yapar. V8 ve az da olsa V7 biçimleri de bulunmaktadır. Bu formlar da konukçu bileşiğin bağlanması için daha geniş bir boşluk meydana getirir (Cohen, R. vd 2008). Bir bileşikte nişasta olup olmadığının test edildiği iyot testinde, iyot molekülleri amiloz sarmallarının iç kısmında kalan bölgeye dizilince mavi renk meydana getirir, bu da o bileşikte nişasta varlığının göstergesidir.

Amilopektinin aksine, amiloz suda çözülmemektedir. ayrıca amiloz, düzensiz yapısı nedeniyle amilopektinin kristalliğini azaltır. Bu sayede nişasta su ile kolaylıkla ayrılabilir. (Anonim 2012a). Aynı konsantrasyonda daha yüksek amiloz içeren nişastalarda, daha düşük genleşme potansiyeli ve daha düşük jelleşme gücü görülmektedir. Bu durum granül boyutunun artırılmasıyla kısmen giderilebilmektedir (Li ve Yeh 2001, Singh vd 2003).



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..2. Tekrarlayan Amilopektin birimlerinin genel yapısı(Anonim 2012a).

Amilopektin, amiloz gibi α -1,4 bağı ile bağlanmış α -D-glikoz birimlerinin yanısıra α -1,6 bağları ile dallanma noktalarından oluşur. Bağların yaklaşık %5'i α -1,6 bağıdır. Molekül ağırlığı $10^7 - 10^8$ dalton arasında değişmektedir. Dallanma noktalarını takip eden zincirler birbirlerine sarılarak çifte sarmallar oluştururlar. Amilopektin bir merkezden başlayarak süpürge misali sağdan ve soldan yaklaşık aynı olacak biçimde genişleyen bir yapı gösterir (Şekil 3). Dallanma noktalarındaki moleküller amorf yapı gösterir. Ancak dallanma noktaları arasındaki bölgelerdeki moleküller düzgün bir şekilde yerleşerek kristal yapıyı meydana getirirler. Mikroskop altında incelendiğinde görünen halkalar amorf ve kristal bölgelerin oluşturdukları halkalardır (Saldamlı 2007, Anonim 2012a).



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..3. Amilopektin yapısının model olarak gösterimi(Anonim 2012a).

Genel olarak bir amiloz polimeri 500-20.000 glikoz biriminden meydana gelirken, bir amilopektin molekülü ise yaklaşık bir milyon glikoz biriminden meydana gelmektedir.

Bitkilerin içeriğinde bulunan amiloz ve amilopektin miktarları değişiklik gösterir. Aynı bitkinin farklı tanelerinde farklı oranda olabilmektedir. Hatta aynı yumrunun farklı bölgelerinde bile amiloz amilopektin oranı değişiklik gösterebilmektedir. Çizelge 2.1’de bazı nişastaların amiloz içerikleri verilmiştir (Ericsson 2006).

Çizelge Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..1. Bazı nişastaların % amiloz içerikleri

Nişasta kaynağı	Amiloz içeriği (%)	Amilopektin içeriği (%)
Mumlu mısır	0	100
Mısır	24-28 (genellikle 27)	73
Buğday	25	75
Patates	20	80
Manyok	17	83
Pirinç	22	78

Shogren (1992), %11- 50 arasında su içeren mısır nişastalarının jelatinizasyonu üzerine yaptığı çalışmada, nişastanın %11-30 arasında su içerdiğinde 190 – 200 °C’de jelatinize olduğunu, ancak su miktarının %30’un üzerine çıktığında ise amorf bölgelerin 70 °C’de jelatinizasyonunun başladığını bildirmiştir.

Yapılan çalışmaların bir çoğunda nişastanın nem içeriğinin % 10 - 20 arasında olması durumunda camısı geçiş sıcaklığının oda sıcaklığının altında olduğunu, nem miktarının artmasıyla birlikte camısı geçiş sıcaklığının da arttığını bildirmişlerdir. Van Soest ve arkadaşları (1996) %14 nem içeriğine sahip patates nişastasının camısı geçiş sıcaklığının 5 °C olduğunu ve % 14'ten daha fazla nem içeren nişastalarda ölçüm yapılamadığını belirtmiştir. Shogren (1992) % 25 - 50 nem içeriğine sahip mısır nişastasının ilk ölçümde sonuç vermediğini fakat ikinci ölçümde 20 ile 60 °C arasında camısı geçiş sıcaklığına sahip olduğunu bildirmiştir.

2.2. Nişastanın modifikasyonu

Nişasta, doğal nişastanın sahip olduğu bazı olumsuz özelliklerinin ortadan kaldırılması ve olumlu özelliklerini geliştirilmesi amacıyla modifiye edilir. Nişasta modifikasyonu, çeşitli sektörler için önemli olan ve arzu edilen ve modifikasyon sonucu elde edilen yeni ve fonksiyonel özellikler gösteren nişasta çeşitlerinin üretilmesi için sayısız olanaklar ile sürekli gelişen bir endüstridir. En önemli modifikasyon çeşitleri, fiziksel, enzimatik ve genetik ya da diğer adıyla biyoteknoloji modifikasyonu ile kimyasal modifikasyon olarak sınıflandırılabilir (Kaur vd 2012).

2.2.1. Nişastanın fiziksel modifikasyonu

Fiziksel modifikasyonla üretilen nişastalar, modifikasyon sırasında herhangi bir kimyasal kullanılmaması nedeniyle gıda ürünlerinde güvenli bir şekilde kullanılabilir. Geçtiğimiz yıllarda yeni fiziksel modifikasyon metodlarının gelişimi konusunda önemli gelişmeler olmuştur. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibidir.

Yüksek tuz varlığında ozmotik basınç uygulaması: Nişasta çözeltisi tek tip bir nişasta süspansiyonu ve ısı dağılımı elde etmek için, sodyum sülfat içerisinde süspansiyon edildikten sonra ozmotik basınç uygulanmış ve bu uygulamanın yapıldığı patates nişastalarında jelatinizasyon sıcaklığının istatistiksel açıdan önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir (Pukkahuta vd 2007).

Nemlendirilmiş nişastanın derin dondurulması ve çözündürülmesi nişastanın kristalliğinin arttığı gözlemlenmiştir (Szymonska vd 2000). Fakat birkaç kere dondurulup çözündürülen nişastalarda kristal düzenin geri dönüşümsüz biçimde bozulduğu gözlemlenmiştir (Szymonska vd 2003).

Aşırı ısıtılmış nişasta üretmek için nişasta süspansiyonu hazırlanmış ve 180 ile 220 °C arasında ısıtılmıştır. Daha sonra soğutulan çözelti krem benzeri tekstür göstermiştir. Daha sonra kurutulan nişastanın soğuk suya karıştırıldığında hızlı bir şekilde jel benzeri yapı gösterdiği belirlenmiştir (Steeneken ve Woortman, 2009).

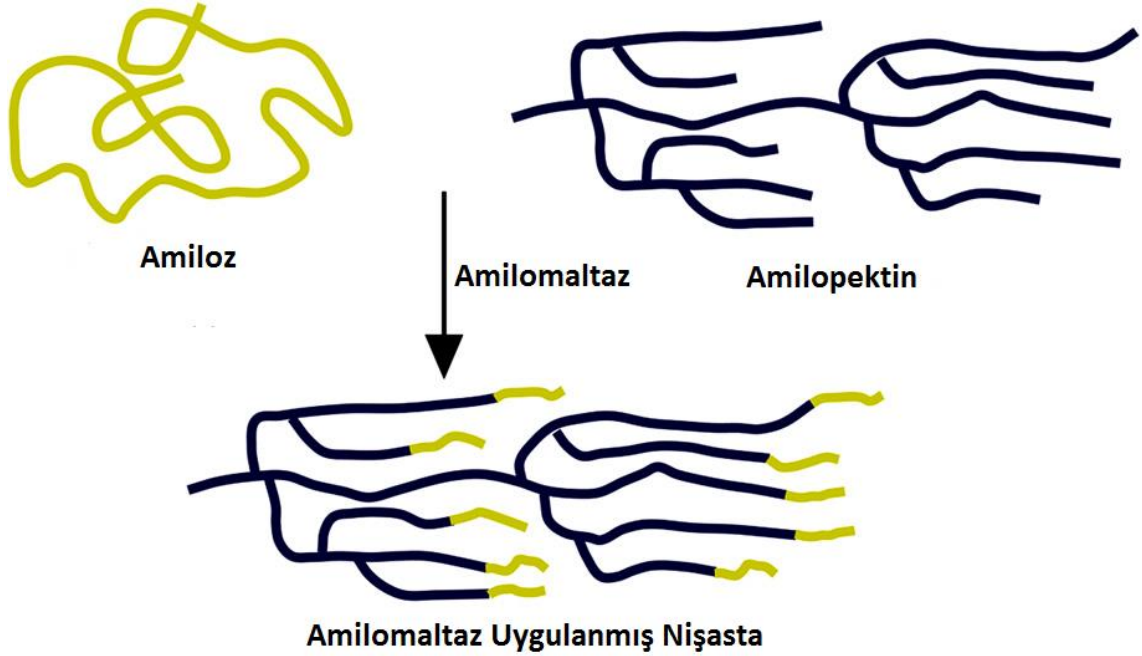
Amaranth (horozibiği) bitkisinin nişastaca zengin kısımlarının ekstrüzyon ısıtma ve akışkan yataklı ısıtıcı ile ısıtılarak modifiye edilmiştir. Ekstrüzyon ısıtma granüllerin parçalanmasına ve kristalliğin hemen hemen tamamında kaybolduğu ancak akışkan yataklı ısıtıcı ile modifiye edilenlerde granüllerin bütünlüğünü koruduğu ancak kristalliğin bir kısmının kaybolduğu görülmüştür (González vd 2007).

2.2.2. Nişastanın enzimatik modifikasyonu

Enzimatik modifikasyon esas olarak modifikasyon için hidroliz enzimlerinin kullanılmasıdır. Hidroliz sonucunda elde edilen ürün glikoz şurubu ya da yüksek fruktozlu mısır şurubu olabilir. Araştırmalar nişasta modifikasyonu için kullanılan enzimlerin her geçen gün arttığını göstermektedir (Kaur vd 2012).

Amilomaltaz kullanılarak modifiye edilen nişastalardan elde edilen ve kimyasal içermeyen bir ürün olan modifiye nişastanın jelatinin yerine kullanılabileceği düşünülmektedir (Euverink ve Binnema, 1998).

Amilomaltaz ile modifiye edilmiş patates nişastasının yoğurt içinde yağ ikame maddesi olarak kullanılmasıyla yoğurttaki kremsi yapının daha iyi olduğu belirlenmiştir (Hansen vd 2009).



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..4. Amilomaltaz uygulanmış nişasta(Kaur vd 2012).

2.2.3. Nişastanın genetik modifikasyonu

Genetik mühendisliğindeki gelişmeler sayesinde gen transferi ile bitkilerden elde edilen nişastalar modifiye edilebilmektedir. Bu yöntemin çevreye zararlı yöntemler olan kimyasal ve enzimatik modifikasyonun kısmen ya da tamamen yerini alması beklenmektedir (Davis vd 2003).

Genetik modifikasyonla, amiloz içermeyen (Sharma vd 2002), yüksek amilozlu (Bird vd 2000), düşük amilopektinli (Umamoto vd 2002) ve daha küçük granül boyutuna sahip (Dinges vd 2003) nişastalar üretilmektedir.

2.2.4. Nişastanın kimyasal modifikasyonu

Nişastanın kimyasal modifikasyonu, doğal nişastadaki nişasta polimerlerinin genellikle eterleştirme, esterleştirme, çapraz bağlama, oksidasyon, katyonikleştirme ve nişasta aşılama gibi türevlendirme metotlarıyla yapılır. Ancak bazı yeni metotların kullanımlarında tüketicileri ve çevre açısından bazı sorunlara sebep olabileceği düşünülmektedir.

Yapılan çalışmalarda, lipaz katalizörlüğünde mikrodalga ışınlamasıyla serbest yağ asitleri ile tepkimeye sokulmuştur. Elde edilen modifiye nişasta hidrofobik yapısı sayesinde yüzey kaplama materyali veya biyomedikal uygulamalarda kullanılabilir (Rajan vd 2006; Rajan vd 2008).

Nişastanın çapraz bağlanması suya dayanıklı ürünler üretilmesinde kullanılan yöntemlerden birisidir. Çünkü çapraz bağlama nişastanın şişme gücünü, çözünürlüğünü, su bağlama kapasitesini ve hidrofilik özelliğini önemli ölçüde düşürmektedir (Kaur vd 2006; Zhou vd 2008).

Son yıllarda kimyasal modifikasyonun fiziksel veya enzimatik modifikasyonla kombine bir şekilde kullanımında hızlı bir artış gözlenmektedir. Manyok nişastasının sodyum trimetafosfat ile çapraz bağlanması sırasında ozmotik basıncı artırıcı tuzlar kullanılması ile elde edilen modifiye nişastanın, en yüksek ve final viskozite değerlerinde artış, yapının bozulmasında ise azalma olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında ozmotik basıncındaki artışın çapraz bağlayıcının etkinliğini artırdığı da belirlenmiştir (Varavinit vd 2007).

Başka bir çalışmada mısır ve maş fasülyesi nişastalarının önce α -amilaz ve α -glukoamilaz ile muamele edilip daha sonra hidroksipropillendirilmesi ile elde edilen nişastanın doğrudan hidroksipropillendirilmesiyle elde edilen nişastaya göre farklı fonksiyonel özellikler gösterdiği belirlenmiştir (Karim vd 2008).

Nişastanın glutaraldehit veya glioksal ile çapraz bağlanması nişastadan üretilen köpük ürünlerin suya karşı dayanımını ve köpük oluşumunu artırdığı tespit edilmiştir. Glioksal gıda ambalaj malzemesi olarak kullanılan kağıt ambalaj materyallerinin üretiminde kullanılan kimyasal bir bileşiktir. Glioksalın gıda ambalaj malzemelerinde kullanımına BfR (2013) ve FDA (2013) tarafından izin verilmiştir.

Mısır nişastasının glioksal ile çapraz bağlanması ile köpük ürünlerin üretiminde uygulanan pişirme süresinin, köpük ürünlerin yoğunluğunun ve su absorpsiyon miktarının düştüğü, esnekliğinin ise arttığı belirlenmiştir (Uslu ve Polat 2012).

Nişasta, sodyum trimetafosfat, glutaraldehit ve glioksal gibi çapraz bağlayıcılara ek olarak fosfor oksiklorit ve adipik-asetik asit kuru karışımı kullanılarak da çapraz bağlanabilir.

Yapılan bir çalışmada glioksal ile çapraz bağlanmış mısır nişastası ve bir takım yardımcı malzemeler kullanılarak suya karşı yeterince dayanıklı köpük tabaklar üretilmiştir (Polat 2011). Ancak hem mısır nişastası kullanımı hem de lif ve kaolin gibi

yardımcı malzemeler kullanımı nedeniyle tabakların yoğunluğunun geliştirilmiş polistirenden 5-7 kat daha fazla olduğu ve mekanik özellikleri açısından da kırılğan bir yapıya sahip olduğu bildirilmiştir. Bu çalışmada patates, buğday ve mısır nişastası gliksal ile çapraz bağlanacak ve bu nişastalar belirli oranlarda karıştırılarak köpük tabaklar üretilecektir. Yoğunluk ve su emme miktarı açısından üstün özelliklere sahip formülasyonlara balmumu, mısır lifi ve nanoparçacıklar (çinko oksit ve silisyum dioksit) ilave edilerek suya karşı daha dayanıklı, daha iyi mekanik özelliklere sahip, yoğunluk ve termal iletkenlik açısından polistirene benzer özellikte tabak üretimi hedeflenmektedir. Ayrıca nanoparçacık ilave edilmesi ile tabakların antibakteriyel özellik kazanacağı düşünülmektedir. Yapılan çalışmalarda ambalaj malzemelerine nano boyutta çinko oksit ve silisyum dioksit ilavesi ambalaj malzemelerinin mekanik ve geçirgenlik özelliklerini geliştirdiği, ayrıca ambalaj materyaline antibakteriyel özellik kazandırdığı bildirilmiştir. (Lepot vd 2010, Tang vd 2008, Ma vd 2009).

X-ışını kırınımı, nişastanın yapısını belirlemek için kullanılan bir yöntemdir. Nişastanın kristalliğini belirlemenin en hızlı yollarından biri X-ışını kırınım deseni analizidir. Nişasta gibi doğal polimerler katı halde iken genellikle sadece kristal yapı göstermezler. Kristal ve amorf karışımı bir yapı gösterirler. X-ışını kırınım deseni nişastanın kristal ve amorf bölgelerinin miktarları, bunların büyüklüğü ve yapı içerisindeki dağılımı açısından bilgi verir. X-ışını kırınım analizi ile bilgisayar tabanlı yapı arıtma analizlerinin kombinasyonuyla amilozun A-, B- ve C- polimorfları analiz edilmiştir. Her amiloz formu A-, B-, ya da C-nişasta formlarına karşılık gelir. A ve B-sarmalların kristal yapısını ve su içeriğini belirtirken C- ise A- ve B- formlarının karışımı olarak yapının yoğunluğunu belirtir. Doğal tahıl nişastalarının 4 farklı keskin pik verdiği ve genellikle A- formunda olduğu, yumru nişastalarının ise daha az sayıda keskin pik verdiği bildirilmiştir (Sarko ve Wu. 1978).

Kalorimetri genel olarak ısı veya sıcaklığın ölçülmesidir. Ancak daha özel bir tanımla belirli bir miktardaki bir materyalin kimyasal veya fizikokimyasal değişime uğradığında absorbe ettiği veya dışarı verdiği ısı miktarının belirlenmesi olarak tanımlanabilir. DSC ise, biri örnek ve diğeri referans olmak üzere iki malzemenin kontrollü bir şekilde ısıtılması veya soğutulması için verilen ya da alınan enerjinin ısıya veya süreye bağlı olarak kaydedildiği bir tekniktir. Kademeli taramalı kalorimetri(Differential scanning calorimetry, DSC) gıda endüstrisinde; su, nişasta, protein, lipit ve karbonhidrat etkileşimlerini araştırmak için sıklıkla kullanılmaktadır. Örneğin, DSC ile nişastalar çok farklı şekillerde çalışılabilir, farklı su içeriklerine sahip nişastaların jelatinizasyon sıcaklığının belirlenmesinde su içeriği %81'den aşağı inerken orijinal jelatinizasyon piki zamanla kaybolurken ikincil pik gelişerek ana pik haline gelmiştir (Donovan 1979). Buğday nişastasında, farklı su içeriğine sahip nişastaların camsı geçiş sıcaklığının 20°C'nin altında ve %20,1 su içeriğinin altında okunabilmiştir (Zeleznek ve Hosenev 1984). Geçtiğimiz yıllarda nişastanın jelatinizasyon (Shogren 1992), camsı geçiş sıcaklığı (Shogren 1992, Van Soest, Benes ve De Vit 1996) ve kristallik (Billiaderis vd 1985) gibi termal özelliklerinin test edilmesinde DSC tekniği sıklıkla kullanılmıştır (Yu ve Christie 2001).

Nişasta bazlı köpük tabaklarının kullanımını önemli ölçüde etkileyen en önemli özelliklerden biri su emme miktarının yüksek olmasıdır.

Bütün dünyada olduğu gibi ülkemizde de plastik kullanımında hızlı bir artış vardır; örneğin, kişi başına kullanılan plastik miktarı 1960 yılında 0,6 kg iken, 1987 yılında 9 kg, 1995 yılında 14 kg, 1999 yılında 30 kg, 2005 yılında 44 kg ve 2010 yılında ise yaklaşık 70 kg civarında olmuştur. Bu tüketim miktarı, gelişmemiş ya da gelişmekte olan ülkelere oranla, gelişmiş ülkelerde daha da yüksek rakamlara ulaşmaktadır. Böylece plastiklerin ne denli önemli bir potansiyele sahip olduğu anlaşılmakta ve tüketiminin gün geçtikçe artması beklenmektedir (Anonim 2011). Günümüzde, petrol bazlı ambalaj malzemelerinin kullanımındaki bu artış ve bu ambalaj materyallerinin geri dönüşümünün veya tekrar kullanımının oldukça kısıtlı olması nedeniyle önemli ölçüde çevre kirliliğine neden olması, çevreye daha az zarar veren ya da zarar vermeyen alternatiflerin üretilmesi ihtiyacı doğmuştur. Plastiklerin neden olduğu çevre kirliliği, kısmen de olsa geri toplanıp tekrar kullanılma veya yakma gibi önlemlerle kısmen giderilmesi mümkün olsa da, geri toplanan plastiklerin tekrar kullanımı polimer malzemenin kalitesinin düşmesine neden olmakta ve yüksek enerji gereksinimine ihtiyaç duymaktadır. Plastiklerin yakılarak imha edilmesi durumunda ise yüksek oranda karbondioksit salınımı nedeniyle hava kirliliğine neden olmakta ve dolayısıyla küresel ısınma problemini artırmaktadır.

Plastik atıkların önemli bir kısmını ambalaj malzemesi olarak kullanılan plastikler oluşturmaktadır (Anonim 2013). Dünyada üretilen ambalajların % 70'ini yiyecek ve içecek ambalajları oluşturmaktadır. Ambalaj atıklarının, insanların kullanım alanlarını daraltmaları, canlıların yaşamlarını tehdit etmeleri ve önemli ölçüde çevre kirliliği oluşturmalarından dolayı üzerinde önemle durulan konuların başında gelmektedir. Amerika ve Avrupa'nın gelişmiş ülkelerinde yapılan yasal düzenlemeler plastik ambalaj malzemesi kullanımını kısıtlamaktadır. Ülkemizde de yakın bir gelecekte bu kısıtlamaların uygulanmaya başlanması beklenmektedir. Bunun yanı sıra petrol kaynaklarının her geçen gün azalması plastik ambalaj malzemelerindeki arzı düşüreceğinden fiyatının artması beklenmektedir. Bu nedenlerle ambalaj malzemelerinin üretimi için yeni hammadde arayışları devam etmektedir.

Plastik atıkların neden olduğu tüm bu olumsuz etkiler ve petrol bazlı bu ürünlerin fiyatının, petrol kaynaklarının azalmasına bağlı olarak artacağı düşüncesi bu ürünlerin yerini kısmen veya tamamen alabilecek Polilaktik asit (PLA) (Anderson ve Shive, 1997; Itavaara vd 2002), polihidroksialkanoat (PHA) (Pais vd 2009), ve termoplastik nişasta (TPN) (Avella vd 2005; Bhatnagar ve Hanna, 1995; Leblanc vd 2008; Mugnozsa vd 2006) gibi malzemeler kullanılarak biyobozunur ambalaj materyalleri geliştirilme çalışmalarına hız vermiştir.

Nanoteknoloji, 100 nm veya daha küçük boyutlara maddelerin küçültülmesi, bunların karakterizasyonu ve analiz etme konularını içine alır. Bu derece küçük yapıların benzersiz ve yeni fonksiyonel özellikler taşıdıklarının belirlenmesi ile nano-teknolojiye gösterilen ilgi ve bu araştırma alanında yapılan çalışmalar son yıllarda giderek artmıştır ve artmaya devam etmektedir. Nano boyutlara inildiğinde artan yüzey alanı/hacim oranı maddeyi çok daha aktif yaparak çevredeki moleküllerle daha farklı etkileşmesine sebep olur (Anonim 2011). Yapılan pek çok çalışmada, çinko oksit nano-parçacıklarının mor ötesi ışınlarına karşı koruyucu etkisi olduğu (Sun vd 2009), antioksidan ve antibakteriyel etkilere sahip olduğu bildirilmiştir (Rostan vd 2002). Gümüş ve çinko oksit nanoparçacıkları içeren düşük yoğunluklu polietilen nanokompozit filmlerden üretilen paketlere taze sıkılmış portakal suyu doldurularak 4°C'de depolanmış, mikrobiyal

stabilite, askorbik asit miktarı, kahverengileşme derecesi, renk değerleri ve duyuşal özellikleri 7, 28 ve 56 gün sonra ölçülmüştür. İçerisinde çinko oksit nanoparçacıklar bulunan filmlerle paketlenmiş taze sıkılmış portakal suyunda mikrobiyal üremenin azaldığı ve 28 gün depolama sonrasında portakal suyunda ölçülen askorbik asit miktarındaki azalışın, kahverengi pigment oluşumunun ve renk kaybının önemsiz olduğu bulunmuştur. Ayrıca bu filmlerle paketlenen portakal sularının duyuşal özelliklerini koruduğı belirlenmiştir. Gümüş nanoparçacıkları içeren filmlerle paketlenen meyve sularında mikrobiyal stabilitenin korunduğı ancak duyuşal özelliklerini önemli ölçüde kaybettiğı bildirilmiştir (Emamifar A. vd 2010). Başka bir çalışmada, çift yönlü gerdirilmiş polipropilen -ZnO nanokompozit filmler, çift yönlü gerdirilmiş polipropilen filmlerle karşılaştırıldığında mekanik ve oksijen bariyeri özelliklerinde önemli ölçüde gelişmeler olduğu bulunmuştur (Lepot N. vd 2010). Bezelye nişastasına çinko oksit (ZnO) nanoparçacık ilave edilip döküm yöntemiyle üretilen filmlerin mekanik özelliğini geliştirdiğı, ayrıca çinko oksit nano parçacıkları filmlerin su buharı geçirgenliğini düşürdüğü ve mor ötesi ışın absorpsiyonunu artırdığı bildirilmiştir (Ma vd 2009). Başka bir çalışmada termoplastik patates nişastasına nanokil (montmorillonite) ilave edilerek üretilen filmlerin mekanik özelliklerini geliştirdiğı bildirilmiştir (Avella vd 2005).

Diğer bir kısım çalışmalarda ise başka doğal polimerler veya çeşitli dolgu maddeleri TPN'ya katılarak termoplastik nişasta ürünlerinin suya karşı direnci ve mekanik özellikleri geliştirilmeye çalışılmıştır. Termoplastik buğday nişastasına dolgu maddesi olarak selüloz ve lignoselüloz lifleri ilavesi (Averous L. ve Boquillon N. 2003), filmlerin mekanik özelliğini geliştirdiğı bildirilmiştir. Bir başka çalışmada ise, petrol bazlı ambalaj materyallerine Nanokil ve lif ilave edilerek özelliklerinin geliştirilmesine çalışılmıştır (Majeed K. vd 2013). HDPE/pirinç kabuğı kompozitine, %2 oranında Nanokil ilavesinin malzemenin mekanik özelliklerini geliştirdiğı bildirilmiştir. Bunun yanında kristallenme sıcaklığını, kristallenme entalpisini ve kristallik derecesini de artırdığı bildirilmiştir (Kord B. 2011a). Başka bir çalışmada PP bazlı filmlere kenevir lifi ilavesinin filmlerin sertliğini ve esnekliğini artırdığı bildirilmiştir (Kord B. 2010).

Başka bir çalışmada glioksal ile çapraz bağlanmış mısır nişastasına kaolen ilave edilerek köpük tabaklar üretilmiştir. Buna göre kaolen ilavesinin tabakların pişme süresini kısalttığı, su emme miktarını %35 azalttığı ve mekanik özelliklerini ise olumsuz etkilediğı bildirilmiştir (Polat 2011).

Yapılan bir çalışmada manyok nişastasına nişasta miktarının % 0, 10, 20, 30, 40'ı kadar doğal kağıt lifi ve % 0, 2, 4, 6'sı kadar kitosan ilave edilerek üretilen köpük tabakların yoğunluğunun % 6 kitosan ilavesiyle 0,14 g/cm³'ten 0,13 g/cm³'e düştüğü, % 40 kağıt lifi ilavesiyle 0,12'den 0,15'e yükseldiğı, nem içeriğinin %6 kitosan ilavesiyle % 9,55'ten % 9,91'e yükseldiğı, % 40 kağıt lifi ilavesiyle 9,32'den 9,76'ya yükseldiğı bildirilmiştir. Ayrıca su emme miktarının % 6 kitosan ilavesiyle % 10,24'ten 12,57'ye yükseldiğı, % 40 kağıt lifi ilavesiyle 15,22'den 8,07'ye yükseldiğı bildirilmiştir (Kaisangsri vd. 2012).

Bir başka çalışmada glioksal ile çapraz bağlanmış mısır nişastasına mısır kabuğı lifi, kaolen ve balmumu ilave edilerek köpük tabaklar üretilmiş, ve özellikleri test edilmiştir. mısır lifi ilavesinin tabakların yoğunluğunu değıştirmezken nem içeriğini

azalttığı, yüzde su emme miktarını % 41,2 oranında azalttığı ve mekanik özelliklerini az da olsa geliştirdiği belirtilmiştir (Polat 2011).

Balmumunun doğal olarak elde edilen ve çeşitli amaçlarla kullanılan uzun zincirli yağ asitlerinden oluşan bir lipit çeşididir. Bileşiminde farklı oranlarda hidrokarbonlar, monoesterler, diesterler, triesterler, hidroksi mono esterler, hidroksi poliesterler, asit esterler ve asit poliesterler, serbest asitler, serbest alkoller ve çeşitli safsızlıklar bulunur. Balmumunun erime sıcaklığı, içerisindeki safsızlıklara göre değişmekle birlikte , 62-65 °C ve yoğunluğu 15 °C’de 0,95 - 0,97 g/cm³tür (Anonim 2010).

Çizelge **Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**2. Balmumunun genel bileşimi (Anonim 2010)

Bileşimde yer alan maddeler	Miktar (%)
Hidrokarbonlar	14
<u>Monoesterler</u>	35
<u>Diesterler</u>	14
<u>Triesterler</u>	3
<u>Hidroksimono esterler</u>	4
<u>Hidroksipoliesterler</u>	8
<u>Asitesterler</u>	1
<u>Asitpoliesterler</u>	2
Serbest asitler	12
Serbest alkoller	1
Safsızlıklar	6

Bu tez çalışmasında; glioksal ile çapraz bağlanmış mısır, patates, buğday nişastaları, bu nişastaların karışımları ve çeşitli lif, lipit ve dolgu malzemeleri kullanılarak öncelikle en uygun nişasta lif, lipit ve dolgu malzemesi kaynakları belirlenecektir. Daha sonra uygun olduğu belirlenen yardımcı malzemelerin uygun oranları belirlenecektir. Belirlenen kaynaklar ve oranlar kullanılarak gıda ambalajlanması ve servisinde kullanılan polistiren köpük tabakların yerini alabilecek, yoğunluğu ve su emme miktarı olabildiğince düşük, mekanik direnci yüksek köpük tabakların üretilmesi hedeflenmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Köpük tabak üretiminde kullanılan mısır nişastası Cargill Tarım ve Gıda San Tic. A.Ş. (İstanbul, Türkiye)'den, patates nişastası Avebe Nişasta San. Tic. Ltd. Şti.(İzmir Türkiye)'den, buğday nişastası, odun lifi ve bambu lifi Smart Kimya Tic. ve Danışmanlık Ltd. Şti. (İzmir, Türkiye)'den, Silisyum dioksit(SiO₂) ve çinko oksit(ZnO) nanoparçacıkları M K Impex Corp. (Missisauga, Canada)'dan, nanokil Nanokil Ltd. Şti.(Antalya, Türkiye)'den, guar gum Incom A.Ş. (Mersin, Türkiye)'den, buğday lifi Vitacel (Rosenberg, Almanya)'den, susuz hidrojene margarin Marsan Gıda San. ve Tic. A.Ş. (Ataşehir, İstanbul)'den, Escherichia coli XL 1-Blue Stratagene (California, ABD)'den ve balmumu yerel üreticilerden temin edilmiştir.

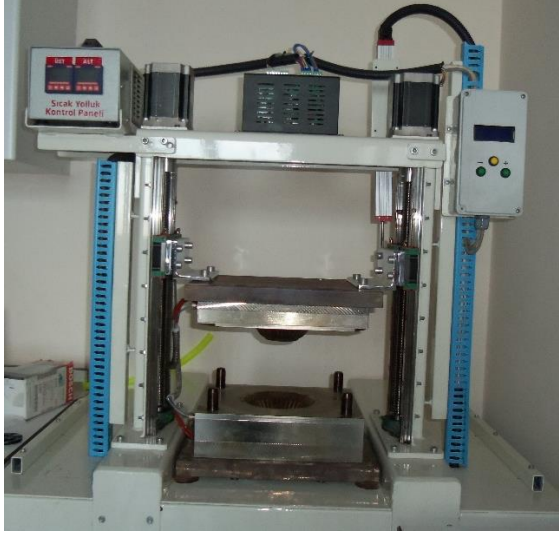
Kullanılan balmumu, üzerinde kaba filtre kâğıdı bulunan süzme düzeneğine yerleştirilip 80° C'de çalışan etüvde eriyip süzülünceye kadar bekletilmiş ve içerisinde bulunan safsızlıklar ayrılarak balmumu arındırılmıştır.

3.2. Metot

3.2.1. Değişken kalıplı köpük tabak üretim makinesi imalatı

Değişken kalıplı köpük tabak üretim makinesi Kahramanlar Makine ile (Bucak Burdur, Türkiye) birlikte tasarlanmış ve bu firmaya ürettirilmiştir. Paslanmaz çelik (2316) tabak kalıpları ise Çetin kalıba (İstanbul, Türkiye) yaptırılmıştır. Değişken kalıplı köpük tabak üretim makinesinin ve kalıpların fotoğrafları Şekil 3.1'de verilmiştir.

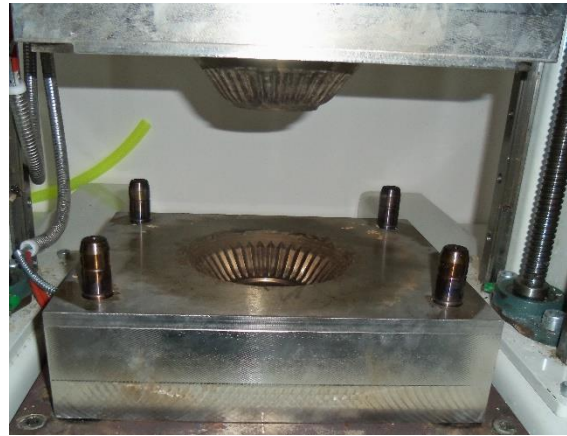
Değişken kalıplı köpük tabak üretim makinesinde, 2 adet motorla kontrol edilen iki adet sonsuz vida sistemiyle üst kalıbın hareketi sağlanmıştır. Mikrometre seviyesinde ölçüm yapabilen dijital bir cetvel ve cihazın yazılımı sayesinde üst kalıbın kontrollü bir şekilde dikey hareketi sağlanmış ve istenilen kalınlıkta tabak üretimine uygun bir sistem oluşturulmuştur. Cihaz yazılımıyla iki kalıp arası mesafeyi ve pişirme süresini ayarlamak mümkün olmuştur. Kalıpların arka kısmına plaka rezistans yerleştirilmiş, alt ve üst kalıplarının sıcaklıklarının kontrol edilmesi sağlayacak 2 ayrı termokupl ile kontrol edilen bir PID(Oransal İntegral Türevsel Kontrol) kontrol sistemi de cihaza entegre edilmiştir.



a



b



c

Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..5. Değişken kalıplı köpük tabak üretim makinesi ve kalıpları (a: 1 numaralı kalıp, b: 2 numaralı kalıp, c: 3 numaralı kalıp)

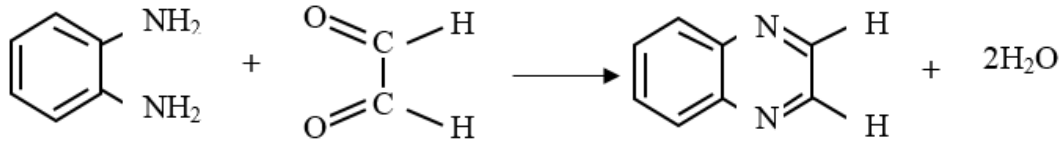
3.2.2. Nişastanın gliksal ile çapraz bağlanması

Gliksal ile muamele için beher içerisine 250 g (kuru bazda) patates, buğday veya mısır nişastası tartılmış ve üzerine 375 ml saf su eklenerek süspansiyon hazırlanmıştır. Süspansiyona hacimsel olarak % 1 oranında (6,25 ml) gliksal ($C_2H_2O_2$) mikropipetle eklenmiş ve reaksiyonun tamamlanması için manyetik karıştırıcı ile 24 saat

karıştırıldıktan sonra kalan glioksalın uzaklaştırılması için 3 defa saf su ile yıkanmış ve süzülmüştür. Daha sonra nişasta sabit ağırlığa gelinceye kadar 40 °C sıcaklıkta kurutulmuştur (Polat 2011). Kurutulan örnekler 250 µm'lik elekten geçecek şekilde çekiçli değirmende (MF 10.2, IKA Labortechnik, Staufen, Almanya) öğütülmüştür. Karışım nişastalar (Buğday-patetes, mısır-patates, mısır-buğday, mısır-buğday-patates) çapraz bağlama öncesinde tartım sırasında karıştırılarak çapraz bağlanmıştır.

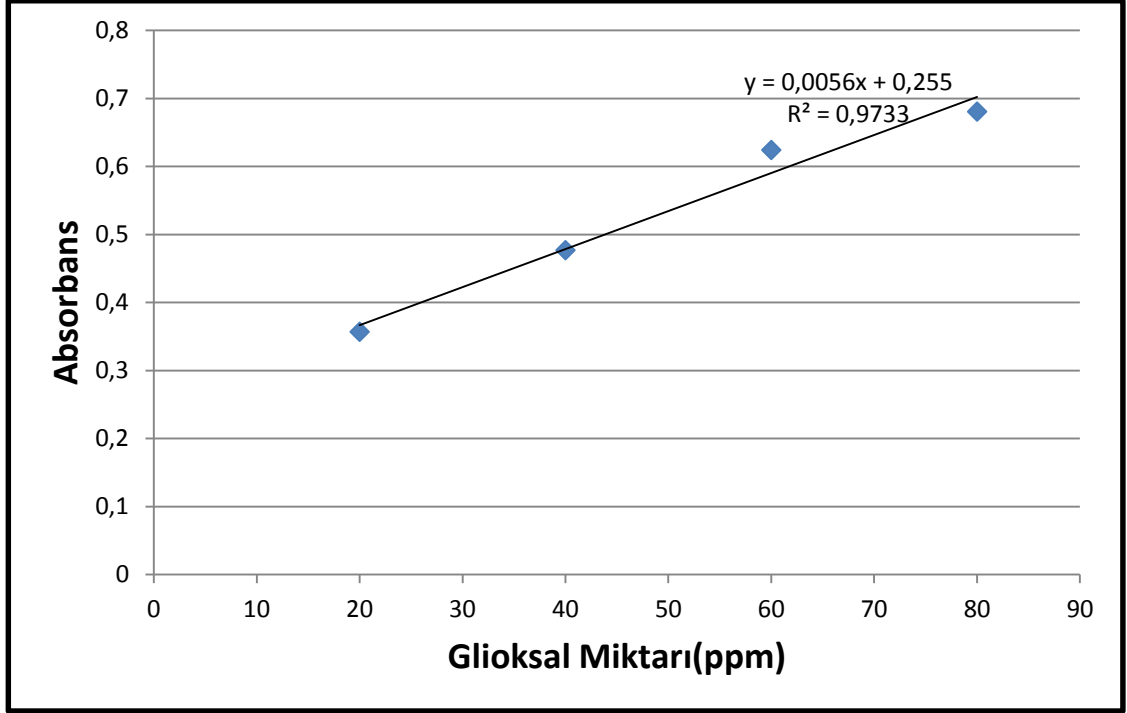
3.2.3. Çapraz bağlama süresince glioksal miktarındaki değişimin kinetiği

Çapraz bağlama işlemi süresince nişasta ile tepkimeye giren glioksal miktarının belirlenmesinde Li R.S. ve Kenyon G.L. (1995) tarafından belirtilen metot modifiye edilerek kullanılmıştır. Bu metot glioksalın, orto-fenilendiamin (o-PDA) ile tepkimeye girerek kinoksalin (Şekil 3.2) oluşturması ve oluşan kinoksalinin miktarının UV-Vis spektrofotometre ile 315 nm dalga boyunda belirlenmesi esasına dayanmaktadır.



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..6. Glioksalın o-PDA ile tepkimesi ve kinoksalin oluşumu reaksiyonu

20, 40, 60 ve 80 ppm olacak şekilde standart çözeltiler hazırlamak için %40'lık glioksal çözeltisinden sırasıyla 3,95, 7,90, 11,85 ve 15,80 µl alınarak 100 ml'ye tamamlanmıştır. Bu çözeltilerin molariteleri de sırasıyla $3,445 \times 10^{-4}$, $6,89 \times 10^{-4}$, $1,034 \times 10^{-3}$ ve $1,38 \times 10^{-3}$ M olarak hesaplanmıştır. %80'lik asetik asit içerisinde o-PDA çözülerek $1,034 \times 10^{-3}$ molarlık o-PDA çözeltisi hazırlanmıştır. Daha sonra deney tüplerine 1 ml standart glioksal çözeltisi, 1 ml o-PDA konmuş ve vorteks ile karıştırılarak su banyosunda 50 °C'de 10 dakika tepkimeye bırakılmıştır. Daha sonra her tüpe 8 ml %80'lik asetik asit çözeltisi eklenmiş ve tekrar vortekste karıştırılıp, tek kullanımlık küvetlere aktararak 315 nm dalga boyunda spektrofotometrede (Shimadzu UV 1800, Kyoto Japonya) okuma yapılmıştır. Buradan elde edilen sonuçlara göre Şekil 3.3'teki standart grafiği ve grafiğin denklemi elde edilmiştir.



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..7. Gliksal miktarı-absorbans grafiği

Nişastanın çapraz bağlanması işlemi sırasında 0., 2., 4., 6., 8. ve 24 saatlerde süspansiyondan bir miktar alınarak kaba filtre kağıdından süzölmüş ve süzöntüden 1 ml'si 100 ml'lik balon jöjeye aktarılarak ve hacmi saf su ile tamamlanmıştır. Daha sonra örneklerden 1ml alınmış ve üzerlerine 1'er ml o-PDA çözeltisi eklenerek, vorteks ile karıştırılıp su banyosunda 50 °C'de 10 dakika tepkimeye bırakılmıştır. Tepkime sonrasında her tüpe 8 ml %80'lik asetik asit çözeltisi eklenmiş ve tekrar vortekste karıştırılıp tek kullanımlık küvetlere aktarılmış, 315 nm dalga boyunda okuma yapılmıştır. Önceki işlemde elde edilen grafiğin denklemine göre hesaplama yapılarak çözeltilerdeki serbest gliksal miktarı belirlenmiştir.

3.2.4. Liflerin su emme miktarının belirlenmesi

Odun, Buğday ve bambu liflerinden yaklaşık 1 gr kadar 50 ml'lik falcon tüplerine tartılmış ve tüpler 50 ml çizgisine kadar saf su ile doldurulup vorteks ile karıştırılmıştır. 10 dakika bekletildikten sonra tüpler 14000 rpm'de 30 dakika santrifüj(Sigma 3-18K, Japonya) edilerek liflerin çökmesi sağlanmıştır. Daha sonra üst kısımda kalan su dökülerek tüpler tartılmış ve liflerin su emme miktarları belirlenmiştir.

3.2.5. Köpük tabak üretimi

Tabak üretimi Polat (2011)'e göre yapılmıştır. Bir behere 42g çapraz bağlanmış patates, buğday ve mısır nişastaları karışım halinde tartılıp üzerine 78g saf su ilave edilmiş ve 5 dakika süresince homojenizatörde (Ultraturax T-25, IKA Labortechnik, Staufen, Almanya) 5000 rpm'de karıştırılarak % 35'lik su-nişasta süspansiyonları

hazırlanmıştır. Tabakların üretiminde kullanılan nişasta karışım oranları Çizelge 3.3’de verilmiştir. Süspansiyon içerisindeki nişastanın çökmesini önlemek amacıyla nişasta miktarının % 0,5’i kadar guar gum süspansiyonlara eklenmiştir. Hazırlanan bu karışımlar, değişken kalıplı köpük tabak üretim makinesinin kalıp kısmına dökülerek pişirilmiştir. Pişirme süre ve sıcaklığı ön denemeler ile belirlenmiştir.

Çizelge **Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**3. Denemelerde kullanılan nişasta karışımları

Formülasyon	Kısa Adı	Mısır(%)*	Patates(%)*	Buğday (%)*
Karışım 1	M	100	-	-
Karışım 2	P	-	100	-
Karışım 3	B	-	-	100
Karışım 4	MP	50	50	-
Karışım 5	MB	50	-	50
Karışım 6	PB	-	50	50
Karışım 7	MPB	33	33	33

*: Kullanılan toplam nişasta miktarına göre oranı

Tabak üretimi için sıcaklık ve sürelerin belirlenmesi için önce bütün formülasyonlar 195 °C’de 360 s pişirilmiştir. Pişirme sonucunda karışım içindeki suyun yeterince uzaklaşmaması nedeniyle sürenin az geldiği belirlenen mısır nişastasından üretilen tabaklar için ön denemeler sonrasında optimum pişirme süresinin 400 saniye olarak kullanılmıştır.

Patates nişastasından üretilen tabaklar için optimum sıcaklık ve süre 185 °C ve 300 saniye olarak belirlenmiştir. Buğday-patates karışımından üretilen tabaklar için optimum pişirme şartlarının 190 °C ve 330 saniye olduğu bulunmuştur. Buğday, Mısır-Patates karışımı, Mısır-Buğday Karışımı ve Mısır-Buğday-patates karışımlarından üretilen tabaklarda 195 °C’de 360 saniye pişirmenin yeterli olduğu tespit edilmiştir.

Üretilen tabakların yoğunluk, mekanik ve su absorpsiyon özelliklerine bakılmış, çapraz bağlı buğday-patates nişastalarının karışımından üretilen köpük tabakların özelliklerinin daha iyi olduğu belirlenmiştir. Bu karışıma Çizelge 3.2’de verilen yardımcı malzemeler eklenerek daha üstün özelliklerde tabaklar üretilmeye çalışılmıştır.

Çizelge **Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**4. Tabak üretiminde kullanılacak lif çeşidi ve oranları

Nişasta kaynağı	Nişasta Oranı (%)	Lif çeşidi	Lif Oranı (%)*
Çapraz Bağlı Buğday-Patates Nişastası	35	Odun Lifi	7
	30	Odun Lifi	10
	32,5	Odun Lifi	10
	35	Buğday Lifi	7
	30	Buğday Lifi	10
	32,5	Buğday Lifi	10

Tabakların özelliklerinin geliştirilmesi için öncelikle tabakların üretiminde kullanılan nişastanın %10 ve %7'si oranlarında farklı kaynaklardan elde edilmiş lifler, ayrı ayrı katılarak daha az su emme miktarına sahip olan lif çeşidi ve lif oranı belirlenmiştir. Lifler karıştırma öncesi hassas bir şekilde tartılmış ve karıştırma işlemi sırasında eklenmiştir.

Çizelge **Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..**5. Tabak üretiminde kullanılacak lipit çeşidi ve oranları

Nişasta kaynağı	Nişasta Oranı (%)	Buğday lifi oranı (%)	Balmumu Oranı (%)	Susuz Hidrojene Yağ Oranı (%)
Çapraz Bağlı	35	7	5	-
Buğday-Patates	35	7	10	-
Nişastası	35	7	-	5
	35	7	-	10

Balmumu ve susuz hidrojene yağ ise eklenmeden önce ısıtılmalı manyetik karıştırıcıda 75 °C'ye ısıtılarak eritildikten sonra kaynatılmış saf su içerisine eklenecek ve nişastanın jelleşmesini önlemek amacıyla su sıcaklığı 58 °C'ye kadar soğutulduktan sonra nişasta ve eğer eklenecekse diğer yardımcı malzemeler eklenerek homojenizatörde karıştırılmış ve kalıba dökülerek pişirilmiştir.

Çizelge **Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..**6. Tabak üretiminde kullanılacak dolgu malzemesi çeşidi ve oranları

Nişasta kaynağı	Nişasta Oranı (%)	Buğday lifi oranı (%)	Susuz Hidrojene Yağ Oranı (%)	Çinko oksit nanoparçacıkları oranı (%)	Kaolen Oranı (%)
	35	7	-	2,5	-
Çapraz	35	7	-	5	-
Bağlı	35	7	-	-	2,5
Buğday-	35	7	-	-	5
Patates	35	7	10	2,5	-
Nişastası	35	7	10	5	-
	35	7	10	-	2,5
	35	7	10	-	5

Tabakların özelliklerinin geliştirilmesi ve ayrıca tabaklara antibakteriyel etki sağlayarak gıda ambalajlamasında kullanılması durumunda içinde bulunan ürünün raf ömrünü uzatacağı düşünülen ZnO ve SiO₂ nanoparçacıkları karıştırma işlemi sırasında % 1 oranında ayrı ayrı katılmıştır. Tabak üretimi sırasında hazırlanan karışımın kıvamını artırarak üretimi zorlaştıran, antibakteriyel etki göstermediği belirlenen tabakların üretildiği SiO₂ nanoparçacıklarının tabak üretiminde kullanılmasına gerek olmadığı belirlenmiştir. Fakat tabakların üretimi sırasında eklenen ZnO nanoparçacıklarının

tabakların su emme miktarını ve yoğunluğunu düşürmesi nedeniyle çalışmalarda kullanılmıştır. Bunun yanında piyasada bol olarak bulunan ve ucuz bir dolgu malzemesi olan kaolen de tabak üretimlerinde kullanılmıştır. Nanoparçacıklar ve kaolen homojenizatör ile karıştırma işlemi sırasında doğrudan karışıma eklenmiştir.

3.2.6. Kalınlık ölçümü

Köpük tabakların kalınlığı mikrometre (Fowler, Toronto, A.B.D) kullanılarak ölçülmüştür.

3.2.7. Yoğunluk tayini

Üretilen köpük tabakların yoğunluğunun belirlenmek için tabakların taban kısmından dikdörtgen prizma şeklinde parçalar kesilmiş, kesilen parçaların ağırlıkları, boyutları ölçülerek belirlenen hacmine bölünerek tabakların yoğunlukları tespit edilmiştir.

3.2.8. Taramalı elektron mikroskopu (SEM) görüntüsünün alınması

Çapraz bağlanmış buğday, patates ve buğday-patates nişastası karışımından üretilen tabaklarda ve yardımcı malzemeler içeren tabakların mikrografları arasında fark olup olmadığını belirlemek için tabakların SEM mikrografları çekilmiştir. Tabaklardan kesilen 0,5 cm²'lik parçaların üzeri kaplama cihazında (Polaron SC7620, Quorem Technologies, UK) 150 A° kalınlığında altın-paladyum alaşımı ile kaplanmıştır. Daha sonra örneklerin yüzeyleri ve yan kesitleri taramalı elektron mikroskopu (ZEISS Leo 1430 SEM, Oberkochen, Germany) yardımıyla görüntülenmiştir.

3.2.9. Yüzde su miktarı tayini

Pişmiş tabaklardaki su miktarı tayini için, tabaklardan yaklaşık 4g'lık örnekler alınmış ve 105 °C'de çalışan etüv içerisinde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Desikatör içerisinde soğutulduktan sonra tartılarak bulunan kuru örnek ağırlığı ve ilk örnek ağırlığı kullanılarak tabakların yüzde su içeriği belirlenmiştir.

3.2.10. Renk değerlerinin ölçümü

Köpük tabakların renk değeri renk ölçüm cihazı (Minolta CR 400, Osaka, Japonya) ve CIE-Lab renk skalası kullanılarak yapılmıştır. CIE-Lab renk skalası üç boyutlu renk ölçümünü esas alır ve buna göre L^{*}=0 ile 100 arası siyahlık ve beyazlık, a^{*}= -80 ile +100 arası yeşillik ve kırmızılık, b^{*}= -80 ile +70 arası mavilik ve sarılık boyutunu veya yerini gösterir (Nielsen 1998). Ölçümlerden önce cihaz Y=88.2, x= .3176 ve b= .3348 değerlerine sahip beyaz kalibrasyon plakası ile kalibre edilmiştir.

Köpük tabak örneklerinin toplam renk farkı (ΔE) aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır (Sharma 2003) .

$$\Delta E = [(L^*_{\text{standart}} - L^*_{\text{örnek}})^2 + (a^*_{\text{standart}} - a^*_{\text{örnek}})^2 + (b^*_{\text{standart}} - b^*_{\text{örnek}})^2]^{0.5} \quad (3.1)$$

Formüldeki “ L^*_{standart} , a^*_{standart} ve b^*_{standart} ” simgeleri çapraz bağlı buğday-patates nişastalarının karışımından üretilen köpük tabakların(BP) ortalama L^* , a^* , b^* değerlerini ve “ $L^*_{\text{örnek}}$, $a^*_{\text{örnek}}$ ve $b^*_{\text{örnek}}$ ” simgeleri ise çapraz bağlanmış farklı kaynaklı ve karışım nişastalardan veya BP’ye yardımcı malzemeler ilave edilerek üretilen köpük tabakların L^* , a^* , b^* değerlerini göstermektedir.

3.2.11. Yüzde su emme miktarı tayini

Tabakların yüzde su emme miktarı değerini belirlemek için koşullandırılmış (25°C ’de, $\%50 \pm 3$ nispi nemde) 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 alınıp, 9 dakika oda koşullarında bekletildikten sonra tekrar tartılmıştır. Son örnek ağırlıkları ile başlangıç örnek ağırlığı arasındaki fark tabak başlangıç ağırlığına bölünüp yüzde çarpılarak tabakların yüzde su emme miktarı değerleri hesaplanmıştır.

3.2.12. Su emme hızı ölçümü

Tabakların su absorpsiyonunun hızını tayin etmek için tartılan koşullandırılmış (25°C ’de, $\%50 \pm 3$ nispi nemde) tabak örnekleri üzerine hacminin $\%70$ ’i kadar (200 ml) saf su konulmuş ve 30 dakika sonra su dökülüp örnekler tartılmıştır. Bu işlem aynı tabakta 30 dakika ara ile 6 kez tekrarlanmış ve son ölçüm 3 saatin sonunda alınmıştır. Son örnek ağırlıkları ile başlangıç örnek ağırlığı arasındaki fark tabak başlangıç ağırlığına bölünmüş ve bu değerlerin zamana karşı grafiği çizilmiştir. Sabit bölgedeki eğim, tabakların su emme hızı olarak kayıt edilmiştir (Shogren vd 2002).

3.2.13. Nişasta ve tabakların termal özellikleri

Doğal ve çapraz bağlı nişastaların termal özelliklerinin belirlenmesi için yaklaşık 9 mg örnek tartılmış ve 6 mm çapında ve 1 mm yüksekliğinde alüminyum kaplar içerisinde sıkıştırılarak kapatılmıştır. Tabakların termal özelliklerinin ölçülmesi için ise üretilen tabaklar öğütülerek toz haline getirilmiş ve aynı şekilde alüminyum kaplar içerisine konulmuştur. Ayrıca bir adet kap boş olarak kapatılarak kör numune olarak kullanılmıştır. Daha sonra Kademeli taramalı kalorimetre (DSC) cihazı kullanılarak, 20 ml/dak azot atmosferinde, $10^{\circ}\text{C}/\text{dak}$ ısıtma hızıyla -15°C ’den 250°C ’ye ısıtılmış ve tekrar -15°C ’ye soğutulmuştur(Polat vd 2013).

Daha sonra cihazın yazılımı (Pyris software version: 9.0.2.0193) kullanılarak erime sıcaklığı (T_m) ve erime ısı hesaplanmıştır.

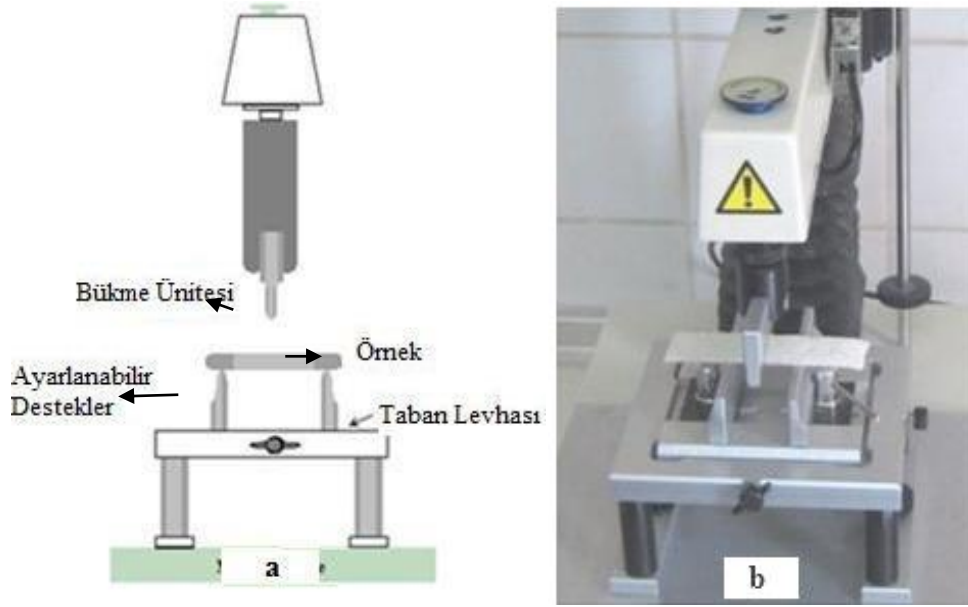
3.2.14. Bükme testi

Köpük tabakların mekanik özellikleri, 100X25 mm boyutlarında kesilen örneklerin 25°C 'de, %50±3 nispi nemde çalışan iklimlendirme dolabında (ID 400 Nüve, Ankara, Türkiye) 3 gün bekletilerek koşullandırıldıktan sonra üç noktalı bükme düzeneği kullanılarak belirlenmiştir.

Köpük örneklerinin (100x25 mm) bükme gerilmesi, bükme boyut değişimi ve elastik modülünün belirlenmesi, TS 985 EN ISO 178: 2003 + A1 2005 standart metotuna göre tekstür analiz cihazı (TA-XT plus, Stable Micro Systems, Surrey, İngiltere) kullanılarak yapılmıştır. Bu amaçla köpük örneklerin bükülgenlik özelliklerinin belirlenmesi için tekstür analiz cihazına bağlanan üç noktalı bükme düzeneği (HDP/3PB) kullanılarak bükme testi yapılmıştır. Deney numunesi simetrik olarak aralarında 30 mm mesafe bulunan iki mesnetin üzerine yerleştirilmiş ve tam ortasına (Şekil 3.4) yük uygulama ucu ile kuvvet uygulanmıştır. Deney numunesi kırılıncaya kadar kuvvet uygulanmıştır. Bu işlem sırasında deney numunesi kırılıncaya kadar uygulanan kuvvet ve kırılıncaya kadarki örneğin bükülme miktarı cihazın yazılımı (Texture Exponent 32) kullanılarak ölçülmüştür.

Çizelge **Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**7. Bükme testinde kullanılan test koşulları

Pre-test speed	3 mm/s
Test speed	1 mm/s
Post test speed	10 mm/s
Distance	25 mm
Trigger force	50 g
Load cell	50 kg



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..8. Bükme testinde kullanılan, üç noktalı bükme düzeneği; a. Şematik gösterimi, b.Fotoğrafi

Bükme parametreleri aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bh^2} , \epsilon_f = \frac{6sh}{L^2} , E_f = \frac{\sigma_f}{\epsilon_f} = \frac{FL^3}{4h^3bs} \quad (3.2)$$

Eşitlikte;

σ_f = Bükme-gerilme parametresi,

ϵ_f = Bükme boyut değişimi parametresi, yüzde ve boyutsuz bir oran olarak,

E_f = Elastik modülü,

F = Uygulanan kuvvet, Newton,

L = Mesnetler arasındaki mesafe, mm,

b = Numune genişliği, mm,

h = Numune kalınlığı, mm

s = Bükülme, mm.

Test sonuçları Texture Exponent 32 (Stable Micro Systems, Surrey, İngiltere) yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır.

3.2.15. X-ışını kırınım analizi

Nişasta örneklerinin ve üretilen köpük tabakların X-ışını kırınımı (X-Ray Diffractometer-XRD) analizleri Köksal vd (2003) tarafından belirtilen yöntem modifiye edilerek kullanılmıştır. Üretilen köpük tabaklar öğütülüp toz haline getirildikten sonra Phillips X'Pert PRO Diffractometer cihazı ile X-ışını kırınım desenleri incelenmiştir. Desenlerin tespiti 5-40 C de kırınım açısı (2θ), tarama hızı 2 °C/dak olacak şekilde analiz

gerçekleştirilmiştir. Cihazın yazılımı aracılığıyla analiz sonuçlarından aşağıdaki formül kullanılarak örneklerin yüzde kristallenme değeri hesaplatılmıştır.

$$X_C = (\text{Toplam Alan} - \text{Amorf Bölge alanı}) / \text{Toplam Alan} \quad (3.3)$$

3.2.16. Tabaklarda migrasyon testi

Üretilen tabaklardan özellikleri diğerlerine göre daha iyi olan 2 tabak formülasyonunda migrasyon testi uygulanmıştır.

Migrasyon testi için tabakların içerisine 200 ml saf su konulmuştur. Daha sonra 10. Dakikada ve 2., 4., 6., 8., ve 24. saatlerde sonunda 1'er ml örnek alınmış ve deney tüpüne konulmuştur. Daha sonra bölüm 3.2.2'de belirtilen şekilde üzerlerine 1 ml o-PDA konmuş ve vorteks ile karıştırılarak su banyosunda 50 °C'de 10 dakika tepkimeye bırakılmıştır. Daha sonra her tüpe 8 ml %80'lik asetik asit çözeltisi eklenmiş ve tekrar vortekste karıştırılıp, tek kullanımlık küvetlere aktarılarak 315 nm dalga boyunda spektrofotometrede (Shimadzu UV 1800, Kyoto Japonya) okuma yapılmıştır. Buradan elde edilen absorban değerlerinin çok düşük olması nedeniyle doğru ölçüm alınamamış ve alınan örneklere 40 ppm glioksal çözeltisi eklenmiş ve aynı işlem uygulanarak glioksal miktarı belirlenmiştir.

3.2.17. Tabakların antibakteriyel etkisinin belirlenmesi

Nanoparçacık içeren tabakların antibakteriyel etkisi Chen vd (1996) tarafından belirtilen metot modifiye edilerek belirlenmiştir. Bu metot için piyasadan hazır olarak alınan BD Mueller Hinton II Agar içeren petrilere 150 µl (içerisinde yaklaşık 10^9 kob/ml test edilen mikroorganizma içeren) *Escherichia coli* XL 1-Blue (Stratagene, California) ekilmiştir. Daha sonra tabaklardan 17,5 mm çapında parçalar kesilip agar üzerine konulduktan sonra petrilere 37 °C'de inkübe edilmiş ve güneşirisi kontrol edilmiştir. Daha sonra bir kumpas yardımı ile köpük tabak parçacıkları etrafında oluşması muhtemel olan inhibisyon zonu genişliği ölçülerek değerlendirilmiştir.

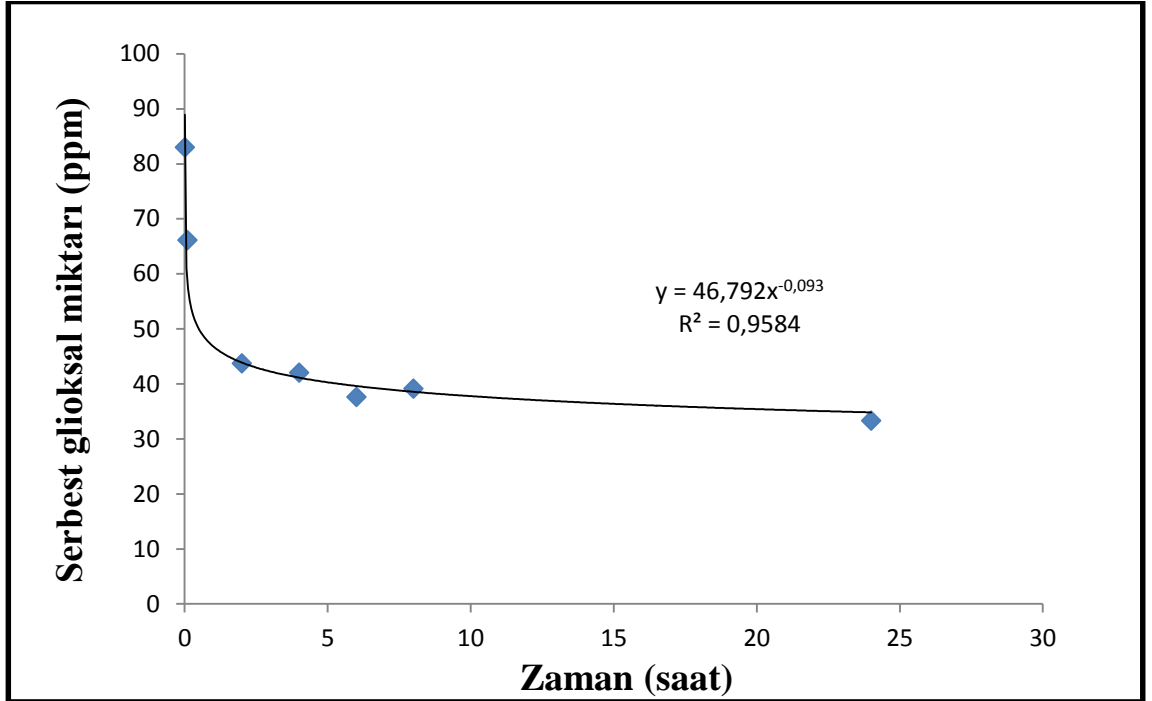
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu araştırma kapsamında öncelikle glioksal ile çapraz bağlanan mısır, patates ve buğday nişastalarının ve karışımlarının şekil verilmesi ve pişirilmesi için tasarlanan ve üretilen makine ile köpük tabak üretiminde dikkat edilen hususlar sunulacaktır. Daha sonra çapraz bağlı nişastalardan ayrı ayrı ve karışımlar şeklinde tabakların üretilmesi ve birbirleri ile karşılaştırılmaları açıklanmıştır. Ayrıca en iyi özelliğe sahip olduğu belirlenen patates ve buğday nişastalarının birebir oranında karıştırılarak üretilen tabaklara odun ve buğday lifleri, ZnO ve SiO₂ nanoparçacıkları, nanokil (montmorillonite) ve kaolen gibi dolgu maddeleri ve doğal hidrofobik bir malzeme olan balmumu eklenerek tabakların özellikleri geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu bölümde araştırmada elde edilen bulgular verilecek ve tartışılacaktır. Öncelikle çeşitli analizler ile en uygun nişasta karışımının belirlenmesi için yapılan analizlere değinilecektir. Daha sonra en uygun özelliklere sahip olan patates buğday nişastasını karışımına yardımcı malzemeler ilave edilerek üretilen en iyi özelliklere sahip tabakların üretilmesi için gerçekleştirilen analizler anlatılacaktır.

4.1. Çapraz Bağlamanın Nişastanın Özellikleri Üzerine Etkileri

4.1.1. Çapraz bağlama süresince serbest glioksal miktarındaki değişim

Çapraz bağlama süresince alının örneklerdeki serbest glioksal miktarları Şekil 4.1'de verilmiştir.

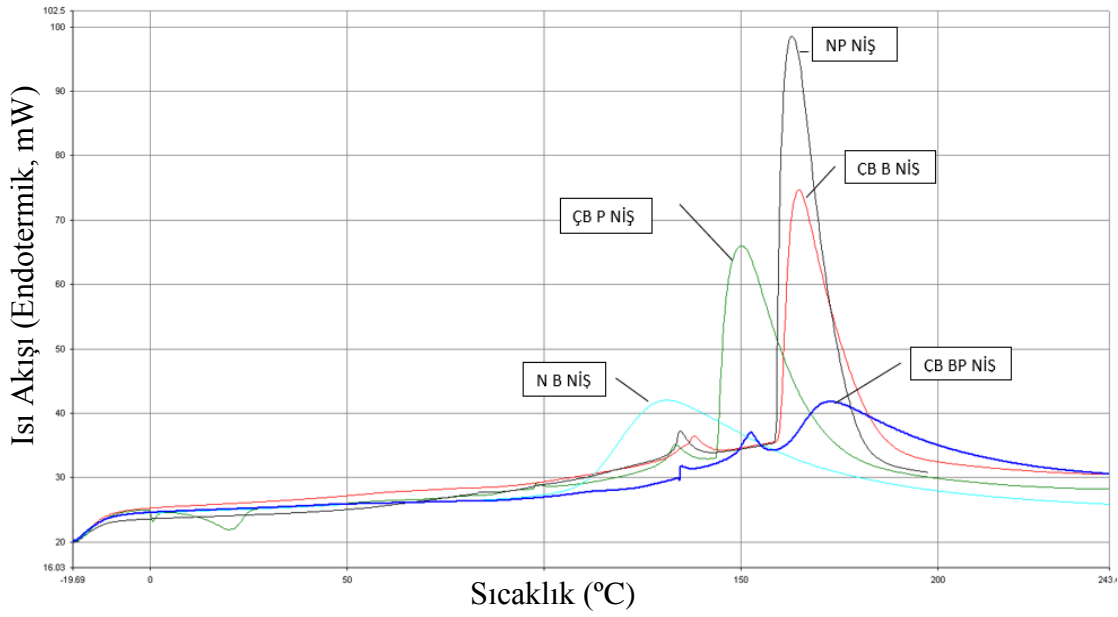


Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..9. Buğday- Patates nişastasının çapraz bağlanması süresince serbest glioksal miktarlarındaki değişim

Şekil 4.1 incelendiğinde nişastanın çapraz bağlanması sırasında serbest glioksal miktarının üssel olarak azaldığı görülmektedir. Çapraz bağlama için eklenen serbest glioksal miktarı ilk 2 saatte hızla azalırken, 2 saatten sonra ise serbest glioksal miktarındaki azalma yavaşlayarak devam etmiştir. Başlangıçta eklen 83 ppm glioksalın % 47,3'ü 2 saatin sonunda %59,8'i ise 24 saatin sonunda buğday-patates nişastası ile tepkimeye girdiği belirlenmiştir. Başlangıçta nişastanın %1,27'si kadar glioksal eklenmiş ve nişastanın %0,76'sı kadar glioksalın nişastanın çapraz bağlanmasında kullanıldığı tespit edilmiştir.

4.1.2. Çapraz bağlamanın nişastanın termal özellikleri üzerine etkileri

Normal buğday (NB NİŞ) ve patates (NP NİŞ) nişastaları ile çapraz bağlı buğday (ÇB B NİŞ), patates (ÇB P NİŞ) ve buğday-patates (ÇB BP NİŞ) nişastası karışımlarının kademeli taramalı kalorimetre (DSC) ile termal özellikleri analiz edilmiştir. Nişastaların sıcaklık değişimine göre ısı akışı eğrileri Şekil 4.2'de, erime sıcaklığı ve erime ısıları Çizelge 4.1'de verilmiştir.



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..10. Normal ve çapraz bağlı nişastaların DSC eğrileri

Çizelge 4.1 incelendiğinde çapraz bağlı buğday-patates nişastası karışımının en yüksek erime sıcaklığına ve en düşük erime ısısına sahip olduğu görülmektedir. Buğday nişastasında çapraz bağlama ile erime sıcaklığı yükselirken, erime ısısı düşmüştür, patates nişastasında ise çapraz bağlama ile hem erime sıcaklığının hem de erime ısısının düştüğü tespit edilmiştir.

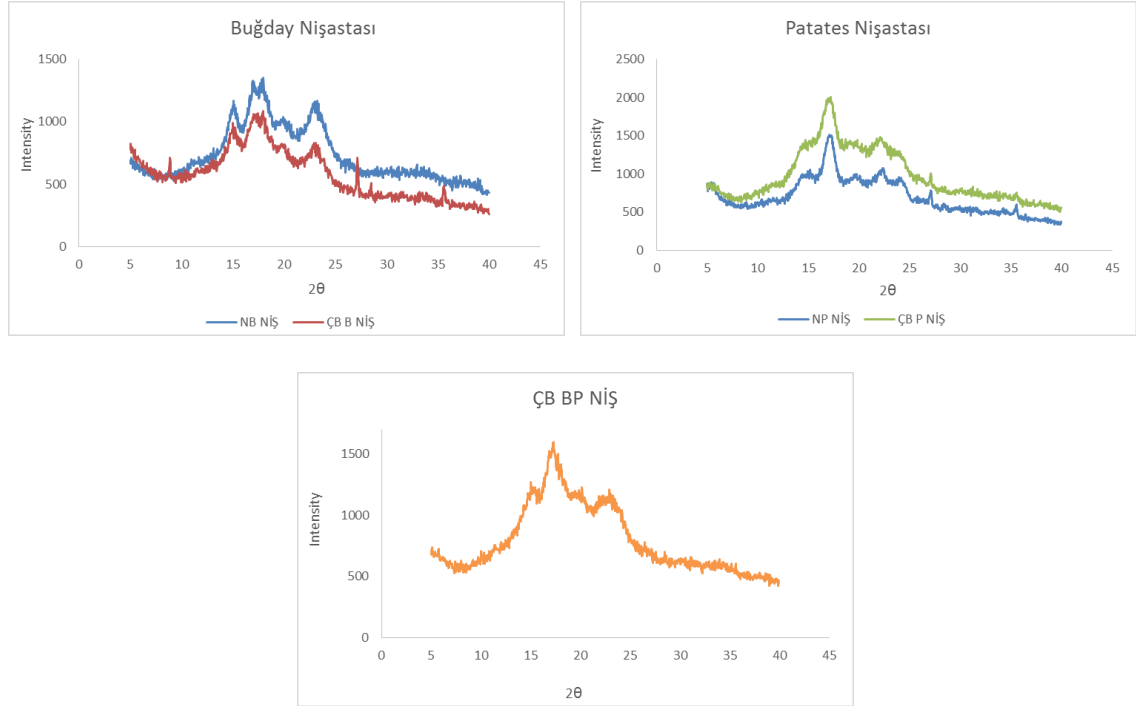
Çizelge Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..8. Normal buğday ve patates nişastaları ile çapraz bağlı buğday patates ve buğday-patates nişastası karışımlarının termal özellikleri

Örnek	Erime Sıcaklığı(°C)	Erime Isısı (j/g)
NB NİŞ	131,1	206,4
NP NİŞ	162,8	266,3
ÇB B NİŞ	164,8	182,7
ÇB P NİŞ	150,0	217,7
ÇB BP NİŞ	172,7	82,0

Benzer bir çalışmada DSC ile termal özellikleri belirlenen normal mısır nişastasının erime sıcaklığının 163,4 °C olduğu, çapraz bağlanmış mısır nişastasından üretilen tabakların erime sıcaklığının 146,8 °C'ye düştüğü bildirilmiştir (Polat vd 2013). Benzer çalışmalarda ise normal manyok nişastasının erime sıcaklığının 162,4 °C (Lee ve Hanna 2008) ve yine manyok nişastasından üretilen filmlerin erime sıcaklığının 165,4 °C (Tongdeesoontorn vd 2011) olduğu bildirilmiştir.

4.1.3. Çapraz bağlamının nişastanın yüzde kristallik değeri üzerine etkileri

Normal buğday ve patates nişastaları ile çapraz bağlı buğday, patates ve buğday-patates nişastası karışımlarının X-ışını kırınım analizi sonrası belirlenen desenler Şekil 4.3'te ve hesaplanan % kristallik değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..11. Normal ve çapraz bağlı buğday ve patates nişastalarının ve çapraz bağlı buğday patates nişastasının X-ışını kırınım desenleri

Nişastalarda genel olarak 2θ açısının 10 ile 25° arasında olması durumunda en yüksek pikleri vermiştir. Literatürde belirtilen mısır, buğday gibi tahıl nişastalarında 10 ile 25° arasında 4 adet keskin pik verdiği ve A tipi kristal yapıda olduğu belirtilmektedir. Fakat patates gibi yumru nişastalarında keskin pik sayısının daha az olduğu ve B-tipi kristal yapıda oldukları bildirilmektedir (Kubo vd 2008). Analiz sonucunda elde edilen desenler bu verilerle örtüşmektedir.

Çizelge 4.2'de görüldüğü üzere çapraz bağlama buğday nişastasının % kristallik değerini yükseltirken, patates nişastasının % kristallik değerini düşürmüştür. Çapraz bağlı buğday patates nişastası karışımının kristallik değeri ise buğday ve patates nişastalarının yaklaşık ortasında bir değer aldığı tespit edilmiştir.

Çizelge Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..9. Normal ve çapraz bağlı nişastaların % kristallik değerleri

Örnek	%Kristallik Değeri
Normal buğday nişastası(NB NİŞ)	9,49

Çapraz bağlı buğday nişastası(ÇB B NİŞ)	9,84
Normal patates nişastası(NP NİŞ)	10,63
Çapraz bağlı patates nişastası(ÇB P NİŞ)	8,95
Çapraz bağlı buğday-patates nişastası(ÇB BP NİŞ)	9,42

4.2. Köpük Tabak Üretiminde En Uygun Nişasta Kaynağının Belirlenmesi

4.2.1. Farklı nişasta kaynaklarından üretilen köpük tabakların genel özellikleri

Tabak üretimi sırasında 42g nişasta içeren 120ml'lik süspansiyon 1 numaralı kalıba dökülmüş ve iki kalıp arası mesafe 4mm'ye ayarlanmıştır. Ancak tabak üretimi sırasında oluşan buhar basıncı nedeniyle bazı karışımlar cihazın üst kalıbını kaldırması nedeniyle tabak kalınlıkları arasında farklılıklar olmuştur. Köpük tabakların üretiminde kullanılan nişasta çeşidi, tabakların kısa adı, tabakların pişme sıcaklık ve süreleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge **Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**10. Köpük tabak üretiminde kullanılan nişasta karışımları ve tabakların kısa adları, tabakların pişme sıcaklık ve süreleri

Köpük Tabak Üretiminde Kullanılan Çapraz Bağlı Nişasta Çeşidi	Tabakların kısa adı	Pişme Sıcaklığı (°C)	Pişme Süresi (S)
Mısır	M	195	400
Patates	P	185	300
Buğday	B	195	360
Buğday-Patates	BP	190	330
Mısır- Patates	MP	195	360
Mısır-Buğday	MB	195	360
Mısır- Buğday- Patates	MBP	195	360

Çapraz bağlı mısır nişastasından tabak üretmek için gereken sıcaklık ve süre değerlerinin en yüksek olduğu bulunmuştur. Çapraz bağlı buğday nişastasından tabak üretmek için gereken sıcaklık ve süre değerlerinin, Çapraz bağlı patates nişastasından tabak üretilmesi için gereken değerlerden yüksek olduğu bulunmuştur. Çapraz bağlı BP nişastasından tabak üretmek için gerekli olan sıcaklık ve süre değerlerinin ise bu değerlerin arasında olduğu tespit edilmiştir.

Farklı kaynaklardan elde edilen nişastalar ve bu nişastaların karışımları kullanılarak üretilen tabakların kalınlık, yoğunluk ve denge nem içeriklerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.4'te ve bu sonuçlara uygulanan Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ise Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge **Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**11. Farklı kaynaklardan elde edilen nişastalar ve bu nişastaların karışımları kullanılarak üretilen tabakların kalınlık, yoğunluk ve denge nem içeriklerine ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	Kalınlık			Yoğunluk			Denge Nem Miktarı		
	S.D.	K.O.	F	S.D.	K.O.	F	S.D.	K.O.	F
Nişasta kay.	6	6,68	21,10**	6	0,051	22,77**	6	3,27	8,36*
Hata	30	0,32		30	0,0023		6	0,39	

** : P<0.01 seviyesinde farklılığı göstermektedir.

* : P<0.05 seviyesinde farklılığı göstermektedir.

Çizelge **Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**12. Köpük tabakların kalınlık, yoğunluk ve denge nem içeriklerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Kısa Adı	Ortalama kalınlık (mm)	Yoğunluk (g/cm ³)	Denge nem miktarı (%)
M	4,72 ± 0,45 ^c	0,35±0,05 ^{a,b}	14,19 ± 0,96 ^a
P	4,71 ± 1,44 ^c	0,29±0,11 ^b	10,90 ± 0,33 ^b
B	6,75 ± 0,16 ^a	0,14± 0,02 ^d	10,69 ± 0,40 ^b
BP	6,33 ± 0,07 ^a	0,17±0,01 ^{c,d}	10,75 ± 0,19 ^b
MP	3,64 ± 0,16 ^d	0,40±0,03 ^a	10,80 ± 0,19 ^b
MB	5,53 ± 0,17 ^b	0,29±0,02 ^b	11,93 ± 1,10 ^b
MBP	5,52 ± 0,09 ^b	0,22±0,01 ^c	10,94 ± 0,19 ^b

Değerler “ortalama ± standart sapma” olarak verilmiştir. Farklı harfler ortalamaların Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi’ne göre (P<0.05) farklı olduğunu göstermektedir.

Çapraz bağlı buğday nişastasası ve çapraz bağlı buğday-patates nişastasından elde edilen tabakların (B ve BP) en kalın yapıya ve en düşük yoğunluğa sahip olduğu ve bu nedenle B, BP tabaklarının en fazla köpük yapıya sahip olan tabaklar olduğu söylenebilir. Mısır, mısır-patates nişastalarının karışımından elde edilen tabakların (M, MP) ise en ince yapıya ve en yüksek yoğunluğa sahip olduğu bulunmuştur.

Yapılan araştırmalar neticesinde nişasta bazlı köpük tabakların yoğunluğunun nişasta kaynağına, konsantrasyonuna, nişasta içerisindeki amiloz-amilopektin oranına (Shogren vd 1998), nişastanın modifikasyonuna (Uslu ve Polat 2012) ve diğer bileşenlerin konsantrasyonuna (Glenn vd 2001) bağlı olarak değiştiği bulunmuştur. Mısır buğday, patates ve manyok nişastalarından üretilen köpük ürünlerin yoğunluklarının sırasıyla 0,44, 0,09–0,22, 0,11–0,15 ve 0,14–0,48 g/cm³ olduğu bildirilmiştir (Shogren vd 1998, Shey vd 2006 Cinelli vd 2006; Glenn vd 2001; Preechawong vd 2004; Salgado vd 2008).

Özellikle çapraz bağlı buğday nişastasının köpük yapıyı teşvik ettiği, ancak tek başına kullanıldığında tabakların yüzeylerinde çatlaklar oluştuğu belirlenmiştir. Bu nedenle en düşük yoğunluğa sahip tabak üretimi için ÇB BP NİŞ kullanımının daha uygun olduğuna karar verilmiştir.

Üretilen köpük tabaklar 25 °C’de %50 nispi nemde şartlandırıldıktan sonra etüvde kurularak denge nem içerikleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler aşağıdaki Çizelge

4.5'te verilmiştir. Çapraz bağlı mısır nişastasından üretilen tabakların (M) denge nem miktarının (14.19 ± 0.96) en yüksek olduğu ve diğer tabakların denge nem miktarları arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark ($p \geq 0.05$) olmadığı belirlenmiştir. Benzer bir çalışmada (Polat 2011) glioksal ile çapraz bağlanmış mısır nişastasından üretilen tabakların denge nem içeriği % 10.31 ± 0.35 olduğu bildirilmiştir. Ayrıca farklı bir çalışmada manyok nişastasından üretilen köpük ürünlerde nem içeriğinin % 9.55 olduğu bulunmuştur. Bu farklılıkların da pişirme kalıbının farklı olduğundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Üretilen köpük tabakların renk değerlerine ait varyans analiz tablosu Çizelge 4.6'da, ve bu değerlere ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..13. Farklı kaynaklardan elde edilen nişastalardan ve bu nişastalarının karışımlarından üretilen tabakların renk değerlerinin varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	S.D.	L*		a*		b*		ΔE	
		K.O	F	K.O	F	K.O	F	K.O	F
Nişasta Kay.	6	37,08	7,73**	6,36	10,57**	113,33	14,86**	39,11	16,36**
Hata	30	4,79		0,60		7,63		2,40	

** : $P < 0.01$ seviyesinde farklılığı göstermektedir

Çizelge 4.10'da verilen renk değerleri incelendiğinde M ve MP tabaklarının daha açık renkte olduğu, B, MB ve MBP tabaklarının diğerlerine göre daha kırmızı ve M, B, MB ve MBP tabaklarının daha sarı olduğu belirlenmiştir.

Tabaklar toplam renk farkı bakımından karşılaştırıldığında ise M, MB ve MBP tabaklarının standart olarak kabul edilen BP tabağına göre önemli ölçüde farklı olduğu bulunmuştur.

Çizelge Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..14. Farklı kaynaklardan elde edilen nişastalardan ve bu nişastalarının karışımlarından üretilen tabakların renk değerleri ve Duncan gruplandırması

Kısa Adı	L*	a*	b*	ΔE
M	73,05±1,68 ^a	0,11±0,67 ^{c,d}	17,12±2,03 ^{a,b}	9,17±1,01 ^{a,b,c}
P	69,82± 2,91 ^{b,c,d}	-0,30±0,08 ^d	9,13±2,57 ^c	4,52±1,20 ^d
B	66,35± 1,44 ^e	2,34±0,91 ^a	18,29±2,18 ^{a,b}	8,22±2,42 ^{b,c}
MP	72,26± 1,57 ^{a,b}	0,97±0,94 ^{b,c}	15,48±3,40 ^b	7,68±2,35 ^c
MB	68,37± 2,15 ^{c,d,e}	2,086±0,69 ^a	19,68±1,21 ^a	9,69±1,12 ^{a,b}
BP	67,20± 1,26 ^{d,e}	0,36±0,97 ^{c,d}	10,46±4,21 ^c	0,00±0,00
MBP	70,11± 3,17 ^{b,c}	1,72±0,61 ^{a,b}	19,95±1,17 ^a	10,41±1,50 ^a

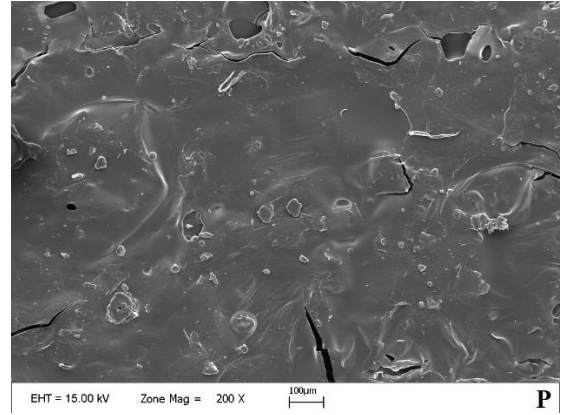
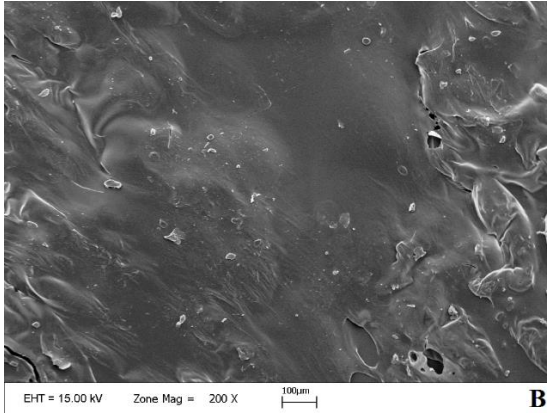
Değerler "ortalama ± standart sapma" olarak verilmiştir. Aynı sütunda verilen farklı harfler ortalamaların Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi'ne göre ($P < 0.05$) farklı olduğunu göstermektedir.

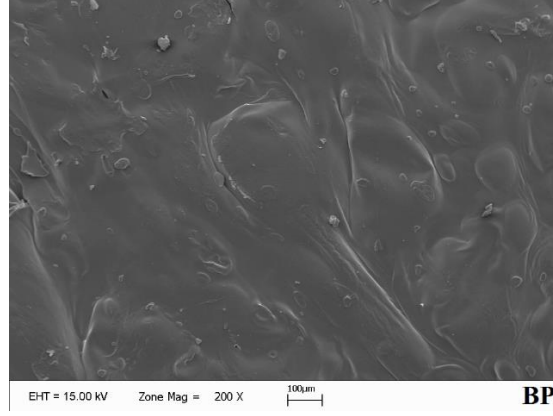
4.2.2. Köpük tabakların SEM görüntüleri

B, P ve BP tabaklarından alınan 0,5 cm²'lik örneklerin yüzeylerinin SEM görüntüleri Şekil 4.4'te, kesitlerinin SEM görüntüleri ise Şekil 4.5'te verilmiştir.

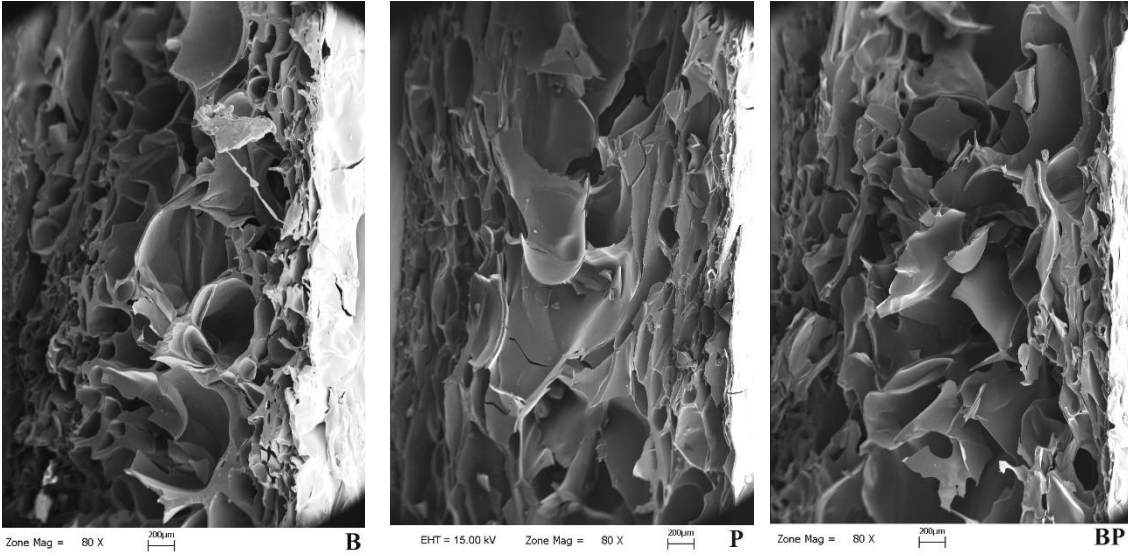
Şekil 4.4'te görüldüğü üzere B ve P tabaklarının yüzeylerinde pürüzlerin ve çatlakların olduğu BP isimli tabağın yüzeyinin daha pürüzsüz ve daha az çatlak olduğu görülmektedir. BP tabağının diğer tabaklara göre daha az su emmesinin nedenlerinden birinin, bu tabağın yüzey yapısının diğer tabaklardan daha iyi olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şekil 4.5 incelendiğinde tabakların kenar kısımlarında daha küçük gözenekler olduğu orta kısımdaki gözeneklerin daha büyük olduğu görülmektedir. BP ve B tabaklarının orta kısımdaki gözenek çaplarının, P'nin gözenek çapından daha büyük olduğu görülmektedir. BP ve B'nin P'ye göre daha büyük gözenek çapına sahip olması, bu tabakların yoğunluğunun daha düşük olmasına neden olmuştur.





Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..12. B, P ve BP tabaklarından alınan örneklerin yüzey SEM görüntüleri



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..13. B, P ve BP tabaklarından alınan parçaların kesit SEM görüntüleri

4.2.3. Tabakların yüzde su emme miktarı

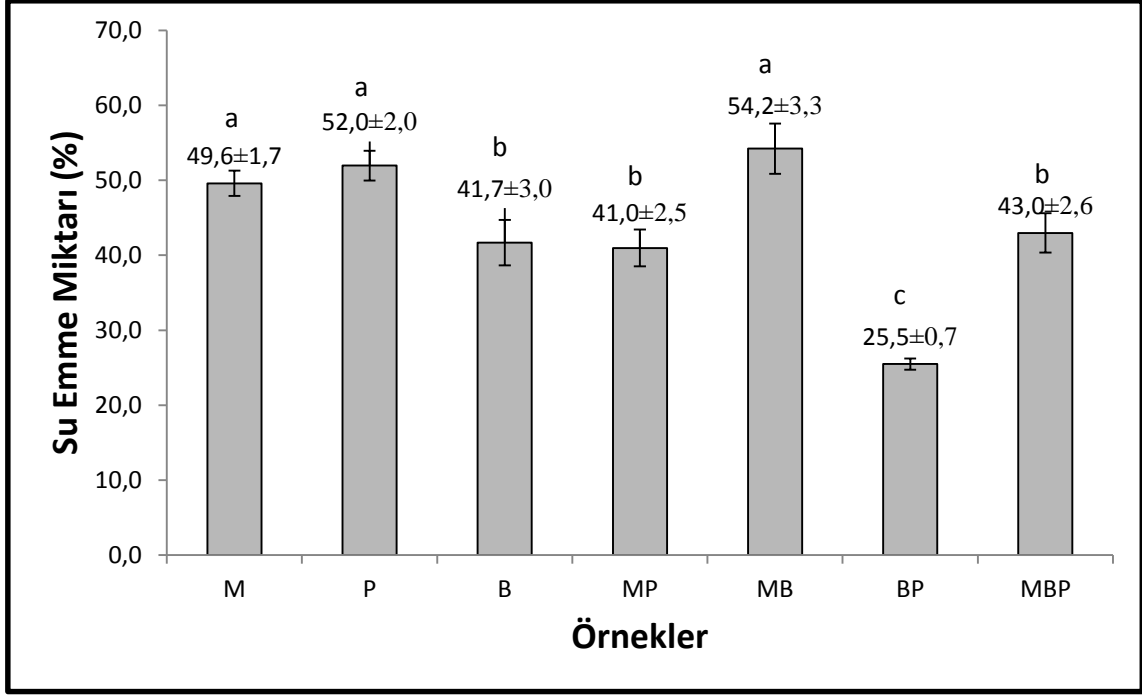
Üretilen tabakların 1 dakika süre ile saf suya daldırılması sonucu elde edilen yüzde su emme miktarlarına ait varyans analizi Çizelge 4.8’te su emme miktarlarını gösteren grafik ise şekil 4.4’te gösterilmiştir.

Çizelge Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..15. Farklı kaynaklardan elde edilen nişastalar ve bu nişastaların karışımları kullanılarak üretilen tabakların % su emme miktarlarına ait varyans analiz tablosu

Varyasyon Kaynakları	S.D.	K.O.	F
----------------------	------	------	---

Çapraz bağlama	6	185.59	31.27**
Hata	6	5.94	

** : P<0.01 seviyesinde farklılığı göstermektedir



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..14. Köpük tabaklara ait yüzde su emme miktarı değeri ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.

*:Farklı harfler ortalamaların birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Şekil 4.6'da görüldüğü üzere en az yüzde su emme miktarına sahip tabağın buğday-patates nişastasası karışımından üretilen tabak (BP, % 25,5±0.743) olduğu belirlenmiştir. Sadece mısır (M), sadece patatesten (P) veya mısır-buğday nişastasası karışımından (MB) üretilen tabakların yüzde su emme miktarlarının en yüksek olduğu bulunmuştur. Buğday (B), mısır-patates (MP) ve mısır- buğday-patates (MPB) karışımlarından elde edilen tabakların yüzde su emme miktarının orta seviyede olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada sadece çapraz bağlı mısır nişastasından üretilen tabağın su emme miktarı % 49,6 bulunurken, benzer bir çalışmada aynı nişasta kullanılarak üretilen tabakların su emme miktarının % 44.71±4.3 olduğu bulunmuştur (Polat 2011). Bu farkın tabakların şekilsel olarak farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Farklı bir çalışmada ise manyok nişastasası ve polilaktik asit (PLA) kullanılarak köpük ürünler üretilmiştir. Sadece manyok nişastasası kullanılarak üretilen köpük ürünlerin su emme miktarının % 127±4 olduğu nişastaya % 10 ve % 30 oranında PLA eklenerek üretilmiş ürünlerde sırasıyla % 96±2 ve % 77±3 olduğu bulunmuştur (Preechawong 2005).

4.2.4. Köpük tabakların mekanik özellikleri

Üretilen köpük tabakların mekanik özellikleri, tabakların taban kısımlarından kesilen 100X25 mm boyutlarındaki parçaların 25°C 'de, % 50±3 nispi nemde çalışan iklimlendirme dolabında 3 gün koşullandırıldıktan sonra bükme testi yapılarak belirlenmiştir. Test sonuçları kullanılarak Bükme mukavemeti (BM) (σ_f), Bükme boyut değişimi (BBD) (ϵ_f) ve elastik modülleri (EM) (E_f) hesaplanmıştır. Farklı nişasta kaynaklarından elde edilen çapraz bağlı nişastalardan ve bunların karışımlarından üretilen tabaklara ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.9'da ve bu sonuçlara uygulanan Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge **Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**16. Farklı kaynaklardan elde edilen nişastalar ve bu nişastaların karışımları kullanılarak üretilen tabakların mekanik özelliklerine ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	BM (σ_f)			BBD(ϵ_f)			EM (E_f)		
	S.D	K.O.	F	S.D	K.O.	F	S.D	K.O.	F
Nişasta kay.	6	5,34	16,21**	6	0,002	2,61*	6	4543,38	10,58**
Hata	36	0,33		36	0,001		36	429,26	

** : P<0.01 seviyesinde farklılığı göstermektedir

* : P<0.05 seviyesinde farklılığı göstermektedir

Çizelge 4.10 incelendiğinde MB'nin bükme mukavemetinin ve elastik modülünün diğer tabaklara göre önemli ölçüde yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni tabak üretimi sırasında yeterli miktarda köpük oluşmadığından dolayı tabakların çok sert olması olarak düşünülmektedir. Nitekim bu tabağın yoğunluğu da yüksek bulunmuştur. B'nin bükme mukavemetinin ikinci en yüksek olduğu, M'nin elastik modülünün ikinci en yüksek olduğu ancak M ile B'nin elastik modülleri arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark olmadığı, diğer tabakların bükme mukavemeti ve elastik modülleri arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark olmadığı görülmektedir.

Çizelge **Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**17. Tabakların mekanik özellikleri

Kısa Adı	Bükme Mukavemeti (σ_f) (Mpa)	Bükme Boyut Değişimi (ϵ_f) (%)	Elastik modülü (E_f) (MPa)
M	1,80± 0,44 ^{b,c}	5,14± 3,1 ^{b,c}	48,60± 26,84 ^b
P	1,15± 0,23 ^c	8,57± 2,5 ^{a,b}	14,65± 6,02 ^c
B	2,16± 0,62 ^b	6,14± 2,0 ^{a,b,c}	38,98±15,45 ^{b,c}

MP	1,23± 0,53 ^c	6,14± 4,1 ^{a,b,c}	24,62± 11,02 ^c
MB	3,70± 1,16 ^a	4,43± 1,0 ^c	89,00± 43,29 ^a
BP	1,81± 0,33 ^{b,c}	9,57± 4,6 ^a	21,75± 7,96 ^c
MBP	1,41± 0,25 ^c	6,29± 1,4 ^{a,b,c}	24,05± 8,35 ^c

Değerler “ortalama ± standart sapma” olarak verilmiştir. Aynı sütunda verilen farklı harfler ortalamaların Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi’ne göre (P<0.05) farklı olduğunu göstermektedir.

Bükme boyut değişimi ise tabakların esnekliğini gösteren bir parametredir. Buna göre BP en yüksek esnekliğe sahip tabak olduğu ancak P, MPB, B ve MP’nin boyut değişimi açısından BP ile aralarında önemli bir fark olmadığı tespit edilmiştir. En yüksek bükme mukavemetine sahip MB ile M’nin en düşük bükme boyut değişimine sahip tabaklar olduğu bulunmuştur. Patates nişastasının tabakların mukavemetini düşürdüğü, elastikiyetini ise artırdığı söylenebilir. Bunun nedeninin de bir yumru nişastası olan patates nişastasının mısır ve buğday nişastalarına göre daha yüksek oranda amilopektin içermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Sonuç olarak farklı nişasta kaynaklarından üretilen tabaklardan, suya karşı en dayanıklı tabağın çapraz bağlı buğday-patates nişastasından elde edilen tabaklar olduğu bulunmuştur. Ayrıca bu tabakların düşük yoğunluğa sahip olduğu, daha iyi köpük yapı gösterdiği ve daha esnek bir yapıda olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlar değerlendirildiğinde BP’nin diğer tabaklardan daha üstün özelliklere sahip olduğu saptanmış ve çapraz bağlı buğday-patates nişastasından daha gelişmiş özellikler sahip tabak üretebilmek için çeşitli lifler, lipitler ve dolgu malzemeleri eklenerek tabaklar üretilip, özellikleri incelenmiştir.

4.3. Köpük Tabak Üretiminde Kullanılabilecek Uygun Lif Çeşidinin Belirlenmesi

Tabak üretiminde kullanılacak uygun lif çeşidinin belirlenmesi için odun, buğday ve bambu lifleri denenmesi planlanmıştır. Öncelikle liflerin su emme miktarları arasında fark olup olmadığı belirlenmiş ve buğday lifinin % 588, odun lifinin % 747 ve bambu lifinin % 859 oranında su emdiği tespit edilmiştir. Duncan çoklu karşılaştırma testine göre buğday lifi diğer liflerden önemli ölçüde (p< 0,05) daha az su absorbe ettiği, odun ve bambu lifleri arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark olmadığı bulunmuştur. Uygun formülasyonun belirlenmesi için en az su emdiği belirlenen buğday lifi ile odun lifi çapraz bağlı buğday-patates nişastasına katılarak tabak üretilmesine karar verilmiştir.

Tabak üretimi sırasında hazırlanan süspansiyonun akıcı olması, bütün bir tabak oluşumu için önemli olduğu belirlenmiştir. Başlangıçta nişasta miktarının %10’u kadar lif katılarak tabak üretilmesi planlanmış ancak bu şekilde hazırlanan süspansiyonun kıvamının çok fazla artması nedeniyle bütün tabak üretilenmemiştir. Bu nedenle süspansiyonun kıvamını düşürmek için nişasta miktarı veya buğday, odun lif miktarları azaltılarak tabaklar üretilmiştir. Süspansiyondaki nişasta miktarı (%35) sabit tutularak lif oranı % 10’dan % 7’ye düşürülmüş veya süspansiyondaki nişasta miktarı düşürülüp, lif oranı (% 10) sabit tutularak tabaklar üretilmiştir. Üretilen tabakların su emme miktarlarına bakılarak uygun lif çeşidi ve oranı belirlenmiştir. Tabakların su emme miktarlarına ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.11’de ve Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge **Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**18. Farklı oranlardaki Buğday-Patates nişastası karışımına değişik oranlarda odun lifi ve buğday lifi ilave edilerek üretilen tabaklara ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	S.D.	K.O.	F
Lif çeşidi ve oranı	6	49,40	11,93
Hata	7	4,14	

** : P<0.01 seviyesinde farklılığı göstermektedir

Çizelge **Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**19. Odun ve buğday lifi eklenerek üretilen tabakların su emme miktarlarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Nişasta Oranı (%)	Lif çeşidi	Lif Oranı (%)*	Su Emme Miktarı (%)
35	Odun Lifi	7	27,267±1,5 ^a
30	Odun Lifi	10	25,150±3,3 ^a
32,5	Odun Lifi	10	23,750±3,7 ^a
35	Buğday Lifi	7	16,633±0,9 ^b
30	Buğday Lifi	10	23,300±2,4 ^a
32,5	Buğday Lifi	10	15,850±2,2 ^b

*: Kullanılan nişasta miktarına göre % lif miktarı

Değerler "ortalama ± standart sapma" olarak verilmiştir. Farklı harfler ortalamaların Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi'ne göre (P<0.05) farklı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.12 incelendiğinde, odun lifi ilave edilerek üretilen tabakların sadece çapraz bağlı buğday-patates nişastasından üretilen tabaklarla yaklaşık aynı oranda su emdiği tespit edilmiştir. Ancak buğday lifi ilavesinin tabakların su emme miktarını önemli ölçüde(p<0.05) azalttığı belirlenmiştir. Kullanılan lif miktarının tabak maliyetini azda olsa artırması da göz önünde bulundurularak % 35 oranında nişasta ve % 7 oranında buğday lifi kullanılarak suya karşı daha dayanıklı tabaklar üretilebileceği tespit edilmiştir.

4.4. Köpük Tabak Üretiminde Kullanılabilecek En Uygun Lipit Çeşidinin Belirlenmesi

Çapraz bağlı buğday-patates nişastasına nişastanın % 7'si kadar buğday lifi eklenerek üretilen tabakların suya karşı dayanımını daha da artırmak için tabak formülasyonlarına nişastanın % 5'i ve % 10'u kadar balmumu ve susuz hidrojene yağ ilave edilerek tabaklar üretilmiştir. Bu tabaklara ait Varyans analiz tablosu Çizelge 4.13'te, Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ise Çizelge 4.14'te verilmiştir.

Çizelge **Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**20. Lipit eklenerek üretilen tabakların su emme değerlerine ait varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	S.D.	K.O.	F
Lipit ilavesi	3	34,565	1783,62**
Hata	3	0,019	

** : P<0.01 seviyesinde farklılığı göstermektedir

% 10 susuz hidrojene yağ içeren tabağın (BPLS) su emme miktarının önemli ölçüde az olduğu(P<0.01) tespit edilmiştir. % 5 balmumu içeren tabak ile % 10 balmumu içeren tabakların su emme miktarları kıyaslandığında açısından istatistiksel açıdan önemli bir fark olmadığı belirlenmiştir. % 5 susuz hidrojene yağ içeren tabakların su emme miktarlarının ise lipit içeren diğer tabaklara göre en yüksek olduğu belirlenmiştir.

Çizelge **Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**21. Farklı kaynaklardan elde edilmiş lipitler eklenerek üretilen tabakların su emme miktarlarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Nişasta Oranı(%)	Buğday Lifi Oranı(%)	Lipit Çeşidi	Lipit Oranı*	Su Emme Miktarı**
35	7	-	-	16,63±0,90 ^a
35	7	Susuz hidrojene yağ	% 5	16,33±0,30 ^a
35	7	Susuz hidrojene yağ	% 10	6,41±0,01 ^c
35	7	Balmumu	% 5	10,39±0,04 ^b
35	7	Balmumu	% 10	9,42±0,09 ^b

*: Kullanılan nişasta miktarına göre % lif miktarı

** : Şartlandırılmış tabak ağırlıklarına göre % su emme miktarları

Değerler “ortalama ± standart sapma” olarak verilmiştir. Farklı harfler ortalamaların Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi’ne göre (P<0.05) farklı olduğunu göstermektedir.

4.5. Köpük Tabak Üretiminde Kullanılabilecek En Uygun Dolgu Malzemesinin Belirlenmesi

Tabak üretiminde buğday-patates nişastası karışımına dolgu malzemesi olarak nanokil(montmorillonite), SiO₂ ve ZnO nanoparçacıkları ve kaolen katılmıştır. Bunlardan SiO₂ nanoparçacıklarının kullanılış amacı tabaklara antibakteriyel etki sağlamak olduğundan yapılan analizler sonucunda SiO₂ içeren tabakların antibakteriyel etki göstermediği bulunmuş, bu nedenle kullanımından vazgeçilmiştir. Nanokil içeren tabakların su emme miktarları(% 30,7) nanokil içermeyen tabağa(% 25,50) göre daha yüksek olduğu için bu dolgu malzemesinin eklenmesinden de vazgeçilmiştir.

Tabak üretiminde, tabakların su emme miktarını düşüren ZnO nanoparçacıkları ve kaolen kullanılmasına karar verilmiştir. Bu tabaklara ait varyans analiz tablosu Çizelge 4.15’te ve Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.16’da verilmiştir.

Çizelge **Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**22. ZnO nanoparçacıkları ve kaolen içeren tabakların yüzde su emme miktarlarına ait varyans analiz tablosu

Varyasyon Kaynakları	S.D.	K.O.	F
Dolgu malzemesi ilavesi	5	93,016	142,04**
Hata	5	0,655	

** : P<0.01 seviyesinde farklılığı göstermektedir

Yapılan analizlerde tabak formülasyonuna katılan dolgu malzemesi miktarının su emme üzerine çok fazla etkisi olmadığı belirlenmiş ve % 1 oranında dolgu malzemesi

katılarak üretilen tabakların su emme miktarları da aynı oranda düştüğü bulunmuştur. Bu nedenle üretimlerde % 1 oranında dolgu malzemesi kullanılmasına karar verilmiştir.

Çizelge Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..23. ZnO nanoparçacıkları ve Kaolen içeren tabakların % su emme miktarları

Kısa Adı	Tabak İçeriği	Su emme (%)
BP	*ÇB BPN	25,50± 0,74 ^a
BPL	*ÇB BPN + Lif ^f	16,64± 1,25 ^b
BPLN	*ÇB BPN + Lif ^f + ZnO nanoparçacıkları	11,25± 0,59 ^c
BPLK	*ÇB BPN + Lif ^f + kaolen	11,34± 2,58 ^c
BPLKS	*ÇB BPN + Lif ^f + kaolen+susuz hidrojene yağ	10,27± 0,96 ^c
BPLNS	*ÇB BPN + Lif ^f + ZnO nanoparçacıkları+susuz hidrojene yağ	5,85± 0,29 ^d

*ÇB BPN: Çapraz bağlı buğday-patates nişastası

Lif^f: Buğday lifi

Değerler “ortalama ± standart sapma” olarak verilmiştir. Farklı harfler ortalamaların Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi’ne göre (P<0.05) farklı olduğunu göstermektedir.

4.6. Yardımcı Malzeme İlavesinin Tabakların Özellikleri Üzerine Etkisi

Tabak üretiminde kullanılan nişastalar ve nişasta karışımları arasında tabaklarda en fazla köpük yapıya, en pürüzsüz yüzeye, en düşük su emme miktarına ve en elastik yapıya sahip olduğu belirlenen çapraz bağlı buğday-patates nişastası karışımı kullanılması durumunda daha iyi özelliklere sahip tabaklar üretilebileceği tespit edilmiştir. Bunun yanında kullanılan lif çeşitlerinden buğday lifinin kullanılması durumunda en düşük su emme miktarına sahip tabak üretimi sağlanmış ve üretimlerde buğday lifi kullanılmasının daha uygun olduğuna karar verilmiştir. Ayrıca lipit olarak susuz hidrojene yağ kullanılması durumunda daha düşük su emme miktarlarına sahip tabaklar üretilebileceği tespit edilmiştir. Bunlara ilaveten, en düşük yoğunluk ve en düşük su emme miktarı sağlayan dolgu malzemesi olarak ZnO nanoparçacıkları ve kaolen kullanılmasına karar verilmiştir. Daha iyi olduğu belirlenen bu nişasta kaynağı ve yardımcı malzemeler kullanılarak tabaklar üretilmiş ve özellikleri test edilmiştir.

4.6.1. Tabakların genel özellikleri

Tabak üretiminde uygulanan sıcaklık ve süreler tabakların formülasyonuna göre değişiklikler göstermiştir. Yardımcı malzemeler eklenerek pişirilen tabakların pişme sıcaklık ve süreleri Çizelge 4.17’de verilmiştir.

Çapraz bağlı buğday-patates nişastasında üretilen tabağa lif ilavesinin tabağın üretim sıcaklığını 15 °C ve süresini ise 90 saniye artırdığı bulunmuştur. Bu artışın buğday lifinin suyu bağlama özelliği nedeniyle, suyun buharlaşarak uzaklaşmasını yavaşlatmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Nitekim lif içeren tabaklar 190 veya 195 °C’de pişirildiğinde, köpük yapıyı oluşturan su buharı miktarındaki düşüş nedeniyle tabağın yeterince köpük yapı içermediği gözlenmiştir. Ayrıca buğday lifinin suyu bağlama özelliği tabak üretiminde kullanılan karışımın kıvamını da artırdığı gözlenmiştir.

Buğday-patates nişastası ve lif içeren karışıma kaolen eklenmesi, tabak üretim sıcaklık ve süresini değiştirmezken, susuz hidrojene yağ ve ZnO nanoparçacıklarının ilavesi süreyi sırasıyla 30 ve 90 saniye kısalttığı bulunmuştur. Süredeki bu kısalmanın nedeninin bu malzemelerin hidrofobik özellik göstermesi ve nanoparçacıkların nişasta ve lif polimerleri arasında girerek kısmen de olsa bu polimerlerin su bağlama kapasitelerini düşürmesi nedeniyle olduğu düşünölmektedir.

Çizelge **Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..24.** Yardımcı malzemeler eklenerek pişirilen tabakların pişme sıcaklık ve süreleri

Kısa Adı	Tabak içeriği	Sıcaklık (°C)	Süre (S)
BP	*ÇB BPN	190	330
BPL	*ÇB BPN + Lif [†]	205	420
BPLS	*ÇB BPN + Lif [†] +susuz hidrojene yağ	205	390
BPLN	*ÇB BPN + Lif [†] + ZnO nanoparçacıkları	205	330
BPLK	*ÇB BPN + Lif [†] + kaolen	205	420
BPLKS	*ÇB BPN + Lif [†] + kaolen+susuz hidrojene yağ	205	390
BPLNS	*ÇB BPN + Lif [†] + ZnO nanoparçacıkları+susuz hidrojene yağ	205	330

*ÇB BPN: Çapraz bağlı buğday-patates nişastası
Lif[†]: Buğday lifi

Çapraz bağlı buğday-patates nişastasına çeşitli yardımcı malzemeler eklenerek üretilen tabakların kalınlık, yoğunluk ve denge nem içeriği değerlerine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.18'de ve Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ise Çizelge 4.19'da verilmiştir.

Çizelge **Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..25.** Yardımcı malzemeler ilave edilerek üretilen tabakların kalınlık, yoğunluk ve denge nem içeriği değerlerine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Kalınlık			Yoğunluk			Denge Nem Miktarı		
	S.D.	K.O.	F	S.D.	K.O.	F	S.D.	K.O.	F
Yardımcı malzemeler	6	0,30	8,71**	6	0,0056	69,12**	6	1,22	6,69*
Hata	18	0,03		18	8,1x10 ⁻⁵		6	0,18	

** : P<0.01 seviyesinde farklılığı göstermektedir.

* : P<0.05 seviyesinde farklılığı göstermektedir.

Çizelge **Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**26. Yardımcı malzemeler eklenerek üretilen tabakların kalınlık, yoğunluk ve denge nem içeriği değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Kısa Adı	Kalınlık (mm)	Yoğunluk (g/cm ³)	Denge nem içeriği (%)
BP	6,32±0,08 ^c	0,170±0,008 ^b	10,75± 0,19 ^{a,b}
BPL	7,11±0,09 ^a	0,115±0,013 ^d	9,97± 0,60 ^{b,c}
BPLN	6,99± 0,44 ^{a,b}	0,165±0,006 ^b	11,78± 0,59 ^a
BPLK	6,75± 0,15 ^b	0,215±0,006 ^a	9,83± 0,32 ^{b,c}
BPLS	7,04± 0,06 ^{a,b}	0,148±0,005 ^c	9,59± 0,26 ^c
BPLKS	6,76± 0,14 ^b	0,223±0,010 ^a	10,51± 0,58 ^{b,c}
BPLNS	6,88± 0,06 ^{a,b}	0,160±0,012 ^{b,c}	9,67± 0,06 ^{b,c}

Değerler “ortalama ± standart sapma” olarak verilmiştir. Aynı sütunda verilen farklı harfler ortalamaların Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi’ne göre (P<0.05) farklı olduğunu göstermektedir.

Nişasta bazlı köpük tabakların, piyasada hâlihazırda kullanılmakta olan polistiren tabaklara göre en önemli dezavantajlarından biri yoğunluklarının daha yüksek olmasıdır. Tabakların yoğunluğunun yüksek olması boş ambalajın nakliyesi ve ürünlerin ambalajlandıktan sonra nakliye edilmesi sırasında gerekli olan enerji miktarının artmasına neden olacaktır. Tabakların yoğunluğu, köpük oluşumunun artması ile düşmektedir. Tabaklara katılan yardımcı malzemelerin su tutma miktarı da tabakların yoğunluğunu etkilemektedir.

Çizelge 4.19’da görüldüğü gibi, eklenen yardımcı malzemelerin hepsi tabakların kalınlığını istatistiksel açıdan önemli (p<0.01) ölçüde artırdığı belirlenmiştir. Bütün tabaklarda kalınlık ve yoğunluğun paralel bir şekilde değiştiği görülmektedir. En düşük yoğunluğa sahip BPL tabağının(0,115 ± 0,013 g/cm³), aynı zamanda en kalın(7.11±0.09 mm) yapıya sahip olduğu belirlenmiştir. Başka bir deyişle tabak formülasyona % 7 buğday lifi eklenmesi tabak yoğunluğunu BP’ye göre % 32,4 oranında düşürdüğü bulunmuştur. Diğer yardımcı malzemelerin ilavesi tabakların yoğunluğunu BPL’ninkine göre önemli ölçüde yüksektir. Ancak yine de BPLS tabağının da yoğunluğunun BP tabağından önemli ölçüde(p<0.05) az olduğu, BPLN ve BPLNS tabaklarının ise BP ile aynı yoğunluğa sahip olduğu, fakat BPLK ve BPLKS tabaklarının yoğunluklarının BP tabağına göre önemli ölçüde(p<0.05) yüksek olduğu tespit edilmiştir. Tüm bu sonuçlar dikkate alındığında buğday lifi eklenmesi tabak yoğunluğunu düşürdüğü, susuz hidrojene yağ ilavesinin yoğunluk üzerinde pek etkisi olmadığı, kaolen ilave edilmesi büyük ölçüde ve çinko oksit nanoparçacıkları eklenmesi ise az miktarda tabak yoğunluğunu artırdığı tespit edilmiştir. Tabakların yoğunlukları arasındaki bu farklılığın en önemli nedenlerinden birinin katılan toz yardımcı malzemeler arasındaki yığın yoğunluğu farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Zira katılan toz yardımcı malzemelerin yığın yoğunlukları karşılaştırıldığında buğday lifinin(0,09 g/cm³) çinko oksit nanoparçacıklarının(0,35 g/cm³) ve çapraz bağlı buğday-patates nişastasından(0,62 g/cm³) daha düşük bir yoğunluğa sahip olduğu ve kaolenin (0,85 g/cm³) çapraz bağlı buğday-patates nişastasından daha yüksek yığın yoğunluğuna sahip olduğu bilinmektedir.

BPLS tabağının denge nem içeriğinin diğer tabaklardan önemli ölçüde(p<0.05) az olduğu ve BPLN tabağının ise denge nem içeriğinin BP haricindeki tabaklardan önemli

ölçüde($p<0.05$) yüksek olduğu bulunmuştur. Diğer tabakların denge nem içerikleri arasında ise istatistiksel açıdan önemli bir fark olmadığı tespit edilmiştir.

Üretilen köpük tabaklarda ölçülen CIE-Lab renk değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.20’de, bu değerlere ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ise Çizelge 4.21’de verilmiştir. Yardımcı malzeme eklenerek üretilen tabakların, L^* , a^* ve b^* değerleri, BP tabağının L^* , a^* ve b^* değerlerinden önemli ölçüde ($p<0.01$) farklı olduğu görülmektedir.

Çizelge **Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**27. Yardımcı malzeme ilave edilerek üretilen köpük tabakların renk değerlerine ait varyans analizi

Varyasyon Kaynağı	S.D.	L^*		a^*		b^*		ΔE	
		K.O	F	K.O	F	K.O	F	K.O	F
Yardımcı malzemeler	6	74,37	77,23**	13,04	104,67**	88,16	74,40**	45,79	118,45**
Hata	12	0,96		0,12		1,18		0,39	

** : $P<0.01$ seviyesinde farklılığı göstermektedir

Çizelge **Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**28. Yardımcı malzeme ilave edilerek üretilen köpük tabakların renk değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Kısa Adı	L^*	a^*	b^*	ΔE
BP	67,67±0,02 ^c	-0,22±0,06 ^c	7,60±0,68 ^d	0,00±0,00 ^d
BPL	77,38±0,31 ^b	-0,18±0,12 ^c	11,39±1,62 ^{b,c}	10,32±0,44 ^c
BPLN	80,31±0,80 ^a	-1,18±0,20 ^d	11,74±1,83 ^b	13,36±0,62 ^b
BPLK	74,22±0,26 ^c	2,72±0,31 ^b	20,38±0,64 ^a	12,393±0,45 ^b
BPLS	76,97±0,63 ^b	-0,35±0,12 ^c	9,48±1,35 ^{c,d}	9,91±0,76 ^c
BPLKS	71,02±2,22 ^d	-1,18±0,10 ^d	13,16±1,83 ^b	14,79±0,55 ^a
BPLNS	81,57±0,56 ^a	4,22±0,85 ^a	21,90±1,00 ^a	12,83±0,64 ^b

Değerler “ortalama ± standart sapma” olarak verilmiştir. Aynı sütunda verilen farklı harfler ortalamaların Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi’ne göre ($P<0.05$) farklı olduğunu göstermektedir.

Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre eklenen bütün yardımcı malzemeler L^* değerinin artmasına yani tabakların renginin açılmasına neden olmuştur. BPLN ve BPLNS tabakları ise en açık renge sahip tabaklar olduğu görülmektedir.

Tabakların a^* değerlerinde her ne kadar istatistiksel açıdan önemli bir fark olduğu görünmekteyse de deskriptif olarak a^* değerlerindeki bu farkın çok anlamlı olmadığı düşünülmektedir.

Tabakların b^* değerleri incelendiğinde özellikle BPLK ve BPLNS tabaklarının diğer tabaklardan daha sarı olduğu tespit edilmiştir.

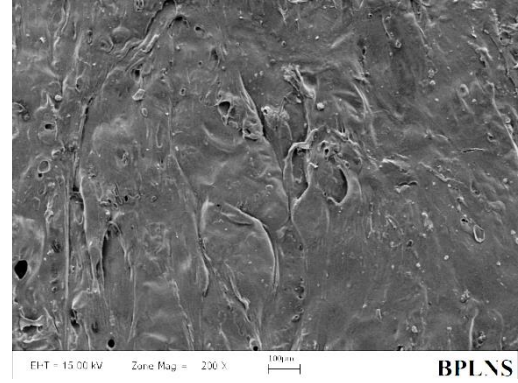
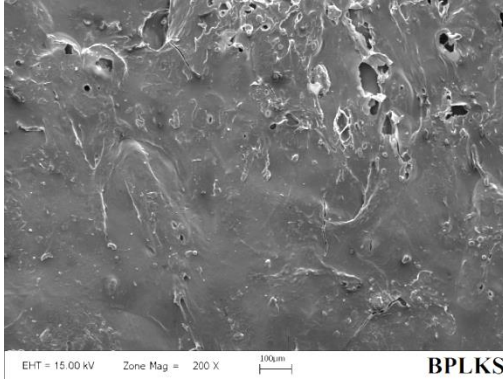
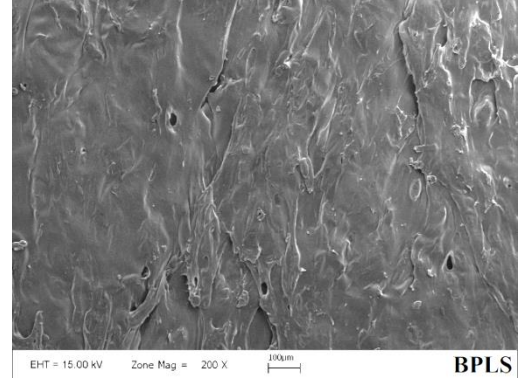
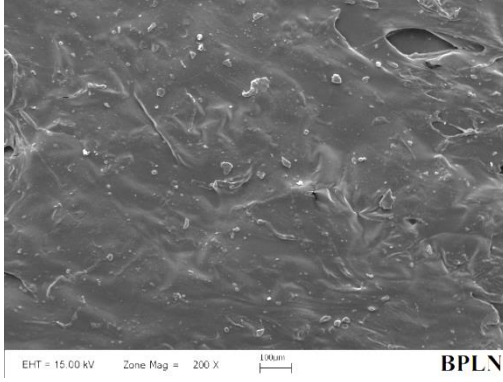
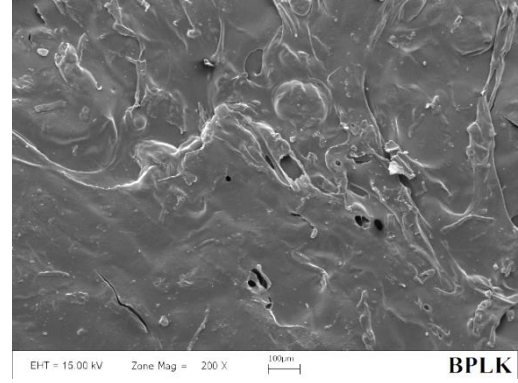
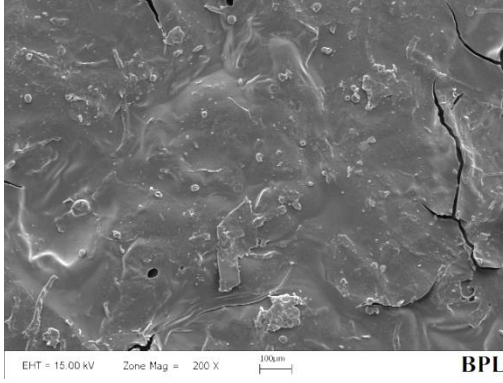
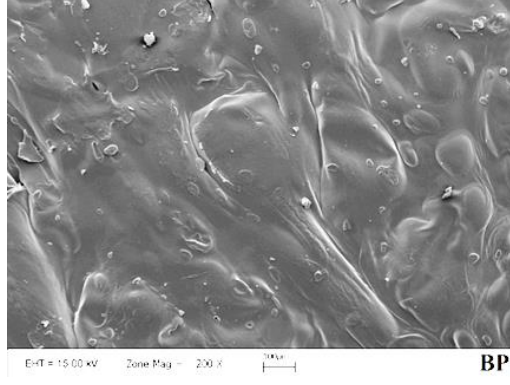
4.6.2. SEM görüntüleri

Çapraz bağlı buğday-patates nişastası karışımına yardımcı malzemeler ilave edilerek üretilen tabak yüzeylerinin SEM görüntüleri Şekil 4.7’de ve kesit görüntüleri ise Şekil 4.8’de verilmiştir.

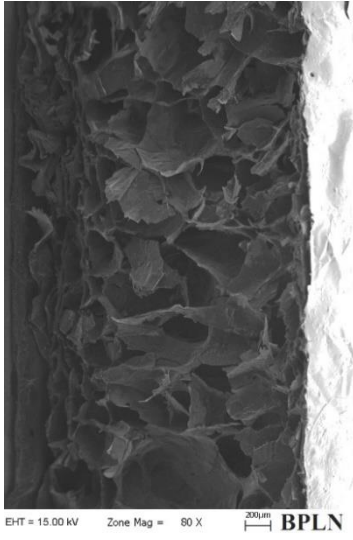
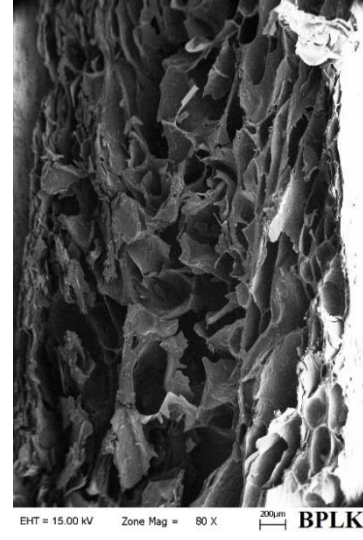
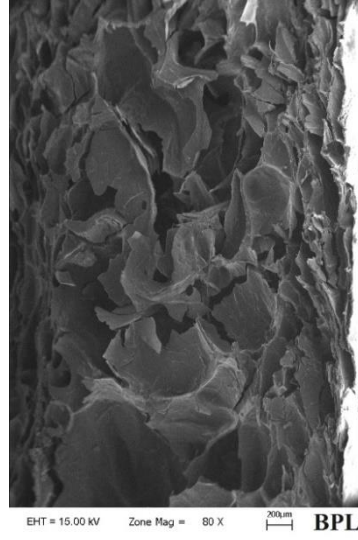
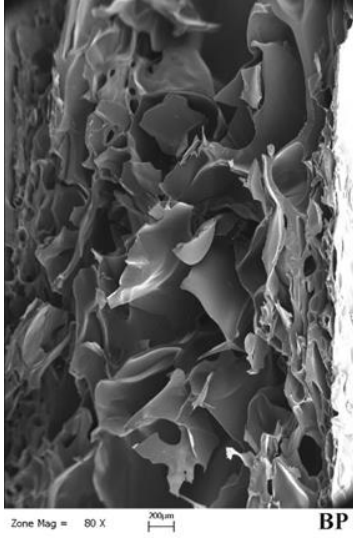
Şekil 4.7 incelendiğinde çapraz bağlı buğday-patates nişastası karışımına lif ilave edilerek üretilen tabakların yüzeylerinde az da olsa çatlaklar vardır. Diğer tabaklarda bu çatlaklar görülmezken, kaolen içeren tabaklarda küçük delikler olduğu görülmektedir. Kaolen ve lif içeren tabakların su emme miktarlarının az da olsa fazla olmasının nedeninin yüzeylerindeki bu çatlak ve delikler olduğu düşünülmektedir.

Şekil 4.8’de verilen kesit görüntülerinde ise tabaklardan yoğunluğu en düşük olan BPL’nin diğer tabaklara göre daha kalın bir yapıda olduğu ve gözenek yapısının daha düzgün ve gözeneklerin daha büyük olduğu olduğu görülmektedir. Susuz hidrojene yağ içeren tabaklarda (BPLS, BPLNS, BPLKS) gözenekler arasında yağ tabakacıklarının yerleştiği gözlenmektedir.

Kaolen içeren tabaklarda (BPLK, BPLKS) gözenek çaplarının küçüldüğü görülmektedir. Yani kaolen ilavesinin tabakların köpük yapısını olumsuz şekilde etkilediği dolayısıyla tabak yoğunluğunu artırdığı bulunmuştur.



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..15. BP ve yardımcı malzemeler kullanılarak üretilen diğer tabakların yüzey SEM görüntüleri



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..16. BP nişastasına yardımcı malzemeler ilave edilerek üretilen tabakların kesit SEM görüntüleri

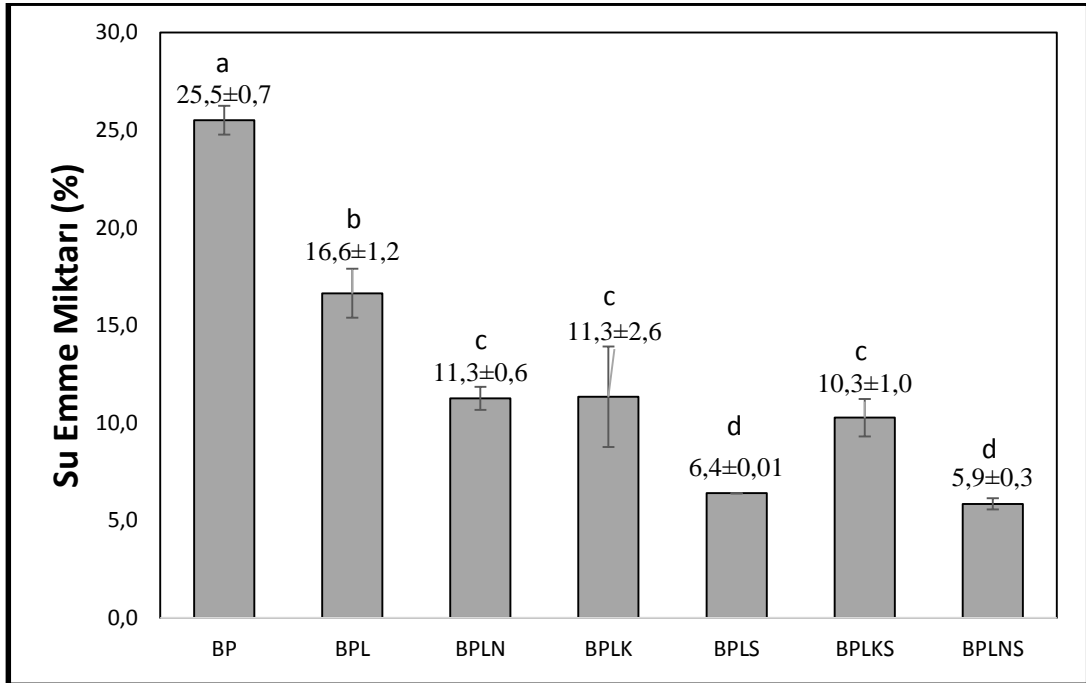
4.6.3. Yardımcı malzeme ilavesinin tabakların yüzde su emme miktarları üzerine etkileri

Nişasta bazlı köpük tabaklarının kullanımını önemli ölçüde etkileyen en önemli özelliklerden biri su emme miktarının yüksek olmasıdır. Su emme miktarını azaltmak için su emme miktarı en düşük olduğu belirlenen buğday patates nişastası karışımlarından üretilen tabaklara buğday lifi, ZnO nanoparçacıkları, kaolen ve susuz hidrojene yağ eklenmiş ve üretilen tabaklar 3 gün 25°C'de % 50 nispi nemde koşullandırıldıktan sonra su emme miktarları belirlenmiştir. Elde edilen su emme miktarlarına ait varyans analiz tablosu Çizelge 4.22'de Duncan Çoklu Karşılaştırma testi sonuçları ise Şekil 4.9'da verilmiştir.

Çizelge **Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..**29. Yardımcı malzemeler ilave edilerek üretilen tabakların yüzde su emme miktarlarına ait varyans analiz tablosu

Varyasyon Kaynakları	S.D.	K.O.	F
Yardımcı malzemeler	6	91,80	128,77**
Hata	6	0,71	

** : P<0.01 seviyesinde farklılığı göstermektedir



Şekil **Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..**17. Yardımcı malzeme ilave edilerek üretilen köpük tabakların su emme miktarları

*:Farklı harfler ortalamaların birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

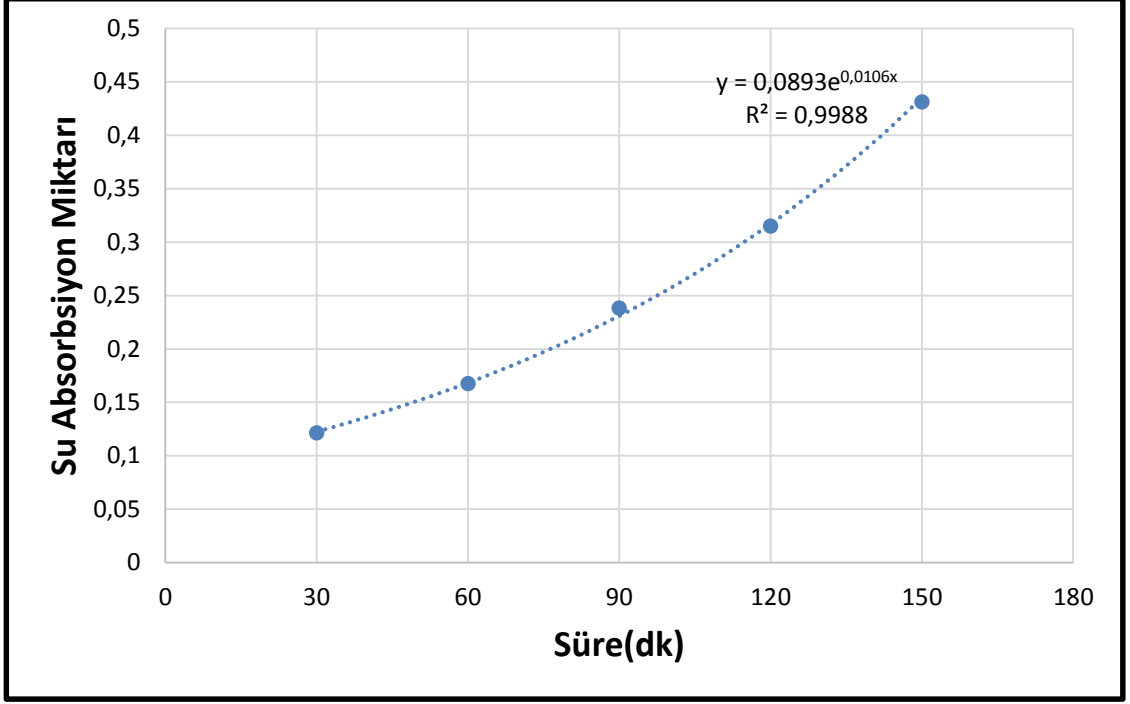
Şekil 4.9’da görüldüğü üzere eklenen bütün yardımcı malzemelerin tabakların su emme miktarını önemli ölçüde düşürdüğü belirlenmiştir. Çapraz bağlı buğday-patates nişastası ve buğday lifinden üretilen tabağın (BPL), BP tabağına göre % 34,7 oranında daha az su emdiği ayrıca BPL tabağına çinko oksit nanoparçacıkları, kaolen, susuz hidrojene yağ tek tek veya karışım halinde eklendiğinde tabakların su emme miktarının daha da düştüğü bulunmuştur. BPLS ve BPLNS tabaklarının diğer tabaklara oranla önemli ölçüde ($p<0.01$) daha az su absorbe ettiği ve bu iki tabağın su emme miktarları arasında istatistiksel açıdan fark olmadığı belirlenmiştir. BPLS ve BPLNS tabaklarının BP tabağına göre sırasıyla % 74.9, % 77.1 oranlarında daha az su emdiği belirlenmiştir.

Lif eklenen tabakların yüzeylerinin düzgün ve pürüzsüz bir yapıya sahip olması ve pişme sırasında çatlamların olmaması su emme miktarını doğrudan etkilemektedir. Dolgu maddesi olarak kullanılan kaolen ve ZnO nanoparçacıklarının eklenmesi, liflerin aralarında kalan boşlukları doldurarak, tabak yüzeylerini daha da pürüzsüz hale getirmesiyle su emme miktarları daha da düşmüştür. Bunlara ilave olarak tabakların formülasyonuna lipit olarak susuz hidrojene yağ katılması da nişastanın suya karşı olan ilgisini azaltarak su emme miktarını önemli ölçüde düşürmektedir. Tabakların formülasyonuna % 10 oranında susuz hidrojene yağ eklenmesinin tabakların su emme miktarını azaltmakta en başarılı yardımcı malzeme olduğu belirlenmiştir.

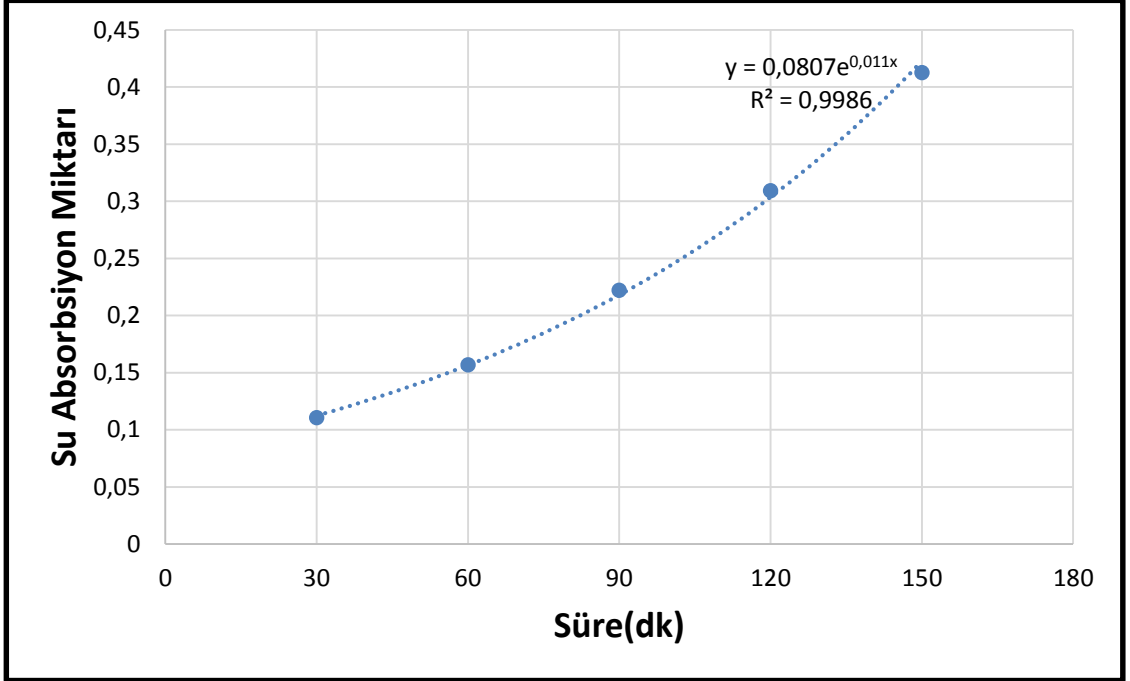
Çapraz bağlı mısır nişastasına her birinden % 10 olmak üzere kaolen, mısır lifi ve balmumu ilave edilerek üretilen köpük tabakların su emme miktarının yalnızca çapraz bağlı buğday nişastasından üretilen tabaklara göre % 79,5 daha düşük miktarda su emdiği bildirilmiştir (Polat vd 2013). Bu literatür sonuçları, bu araştırma sonuçlarıyla paralellik göstermektedir. Farklı bir çalışmada ise 72 g manyok nişastası, 20 g odun lifi, 8 g ayçiçeği proteini ve 210 g su kullanılarak hazırlanan süspansiyondan üretilen köpük ürünlerin su emme miktarı % 27 olarak bulunmuştur (Salgado vd 2008).

4.6.4. Su emme hızı

Üretilen tabaklardan su emme miktarları en düşük olduğu belirlenen BPLS ve BPLNS tabaklarında su emme hızı tayini yapılmış ve sonuçlar Şekil 4.10 ve 4.11’deki grafiklerde verilmiştir.



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..18. BPLS adlı tabağın su emme hızı



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..19. BPLNS adlı tabağın su emme hızı

Her iki tabağın su emme hızının üstel olarak arttığı ve bu iki tabağın su emme hızı grafiklerinin ve grafiklerden elde edilen matematiksel denklemlerin birbirine çok benzediği tespit edilmiştir. Yapılan bir çalışmada çapraz bağlı mısır nişastasına lif ve balmumu eklenerek üretilen tabakların su emme hızı tayini yapılmış ve 30. dakikadaki su emme miktarı % 18,17 olarak bulunmuştur(Polat 2011). Bu çalışmada üretilen BPLS ve BPLNS tabaklarının 30. dakikadaki su emme miktarları ise sırasıyla % 12.1 ve 11.1 olduğu tespit edilmiştir.

4.6.5. Mekanik özellikler

Çapraz bağlı buğday-patates nişastası ve yardımcı malzemeler kullanılarak üretilen köpük tabakların mekanik özellikleri, tabakların taban kısımlarından kesilen 100X25 mm boyutlarındaki parçalarda bükme testi yapılarak belirlenmiştir. Test sonuçları kullanılarak hesaplanan bükme mukavemeti (σ_f), bükme boyut değişimi (ϵ_f) ve elastik modülleri(E_f)'ne ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.23'te, Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ise Çizelge 4.24'te verilmiştir.

Çizelge **Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**30. Yardımcı malzemeler içeren köpük tabaklarda yapılan bükme testi sonuçlarına ait varyans analizi tablosu

Varyasyon Kaynağı	Bükme Mukavemeti (σ_f) (Mpa)		Bükme Boyut Değişimi (ϵ_f) (%)		Elastik modülü (E_f) (MPa)		
	S.D.	K.O	F	K.O	F	K.O	F
Yardımcı Malzemeler	6	2,34	35,39**	0,003	1,83*	1203,63	7,08**
Hata	33	0,07		0,002		170,03	

** : P<0.01 seviyesinde farklılığı göstermektedir

* : P<0.05 seviyesinde farklılığı göstermektedir

Çizelge 4.24 incelendiğinde genel olarak yardımcı malzeme içeren tabakların bükme mukavemeti BP tabağından daha düşük olduğu, tabakların bükme boyut değişiminde ise istatistiksel açıdan önemli bir farkın olmadığı görülmektedir. Ancak lif ve kaolen eklenerek üretilen BPLK tabağının bükme mukavemetinin diğer tabaklardan önemli ölçüde ($p<0.05$) yüksek olduğu, bükme boyut değişiminin ise düşük olduğu bulunmuştur. Yine BPLK tabağının elastik modülünün diğer tabaklardan önemli ölçüde ($p<0.05$) yüksek olduğu fakat diğer tabakların elastik modülleri arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark olmadığı ($p<0.05$) tespit edilmiştir. BPLK tabağının bükme mukavemetinin ve elastik modülünün yüksek olması bu tabağın tam bir köpüksü yapıya sahip olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

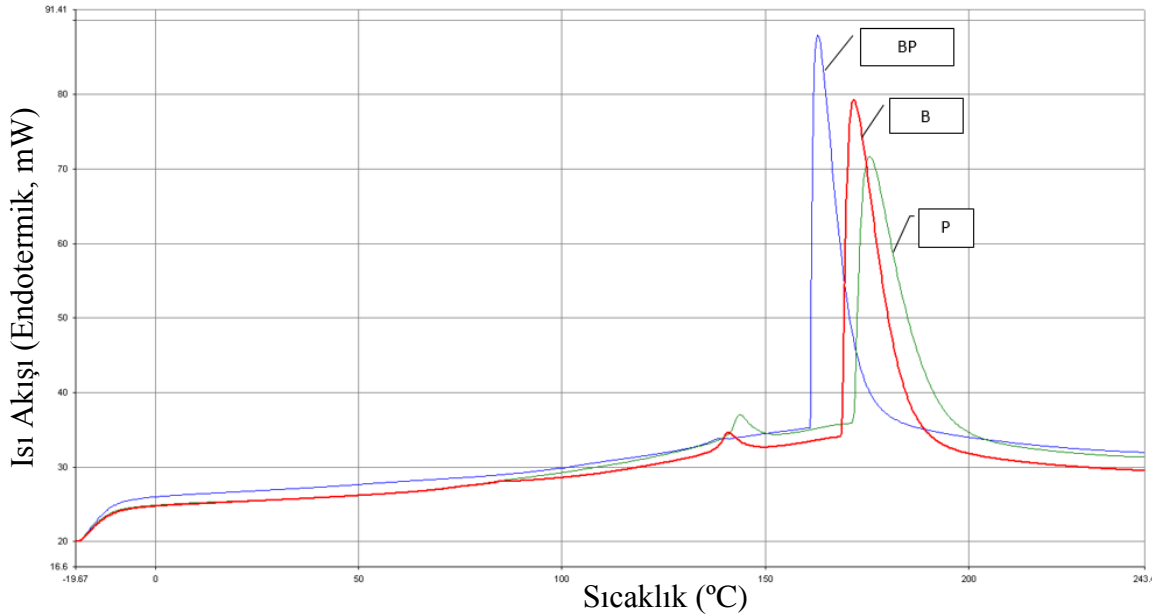
Çizelge **Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..31.** BP + yardımcı malzemeler ilave edilerek üretilen tabakların mekanik test sonuçları ve Duncan gruplandırmaları

Kısa Adı	Bükme Mukavemeti (σ_f) (Mpa)	Bükme Boyut Değişimi (ϵ_f) (%)	Elastik Modülü (Ef) (MPa)
BP	1,81±0,33 ^b	0,10±0,05 ^a	21,75±7,96 ^b
BPL	0,75±0,14 ^c	0,06±0,02 ^{a,b}	14,91±4,52 ^b
BPLN	1,61±0,32 ^b	0,09±0,05 ^{a,b}	24,82±19,14 ^b
BPLK	2,45±0,13 ^a	0,04±0,01 ^b	56,57±9,11 ^a
BPLS	1,03±0,19 ^c	0,05±0,02 ^{a,b}	22,28±6,22 ^b
BPLKS	1,04±0,30 ^c	0,08±0,03 ^{a,b}	15,07±7,18 ^b
BPLNS	0,95±0,29 ^c	0,08±0,06 ^{a,b}	21,72±21,44 ^b

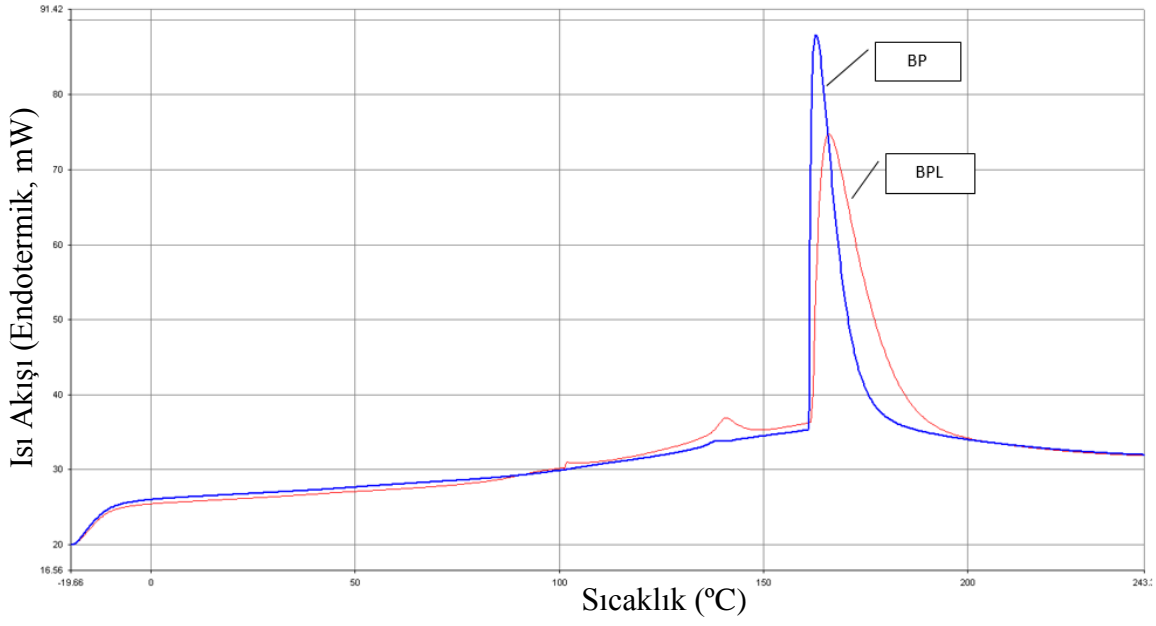
Değerler “ortalama ± standart sapma” olarak verilmiştir. Aynı sütunda verilen farklı harfler ortalamaların Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi’ne göre (P<0.05) farklı olduğunu göstermektedir.

4.6.6. Termal özellikler

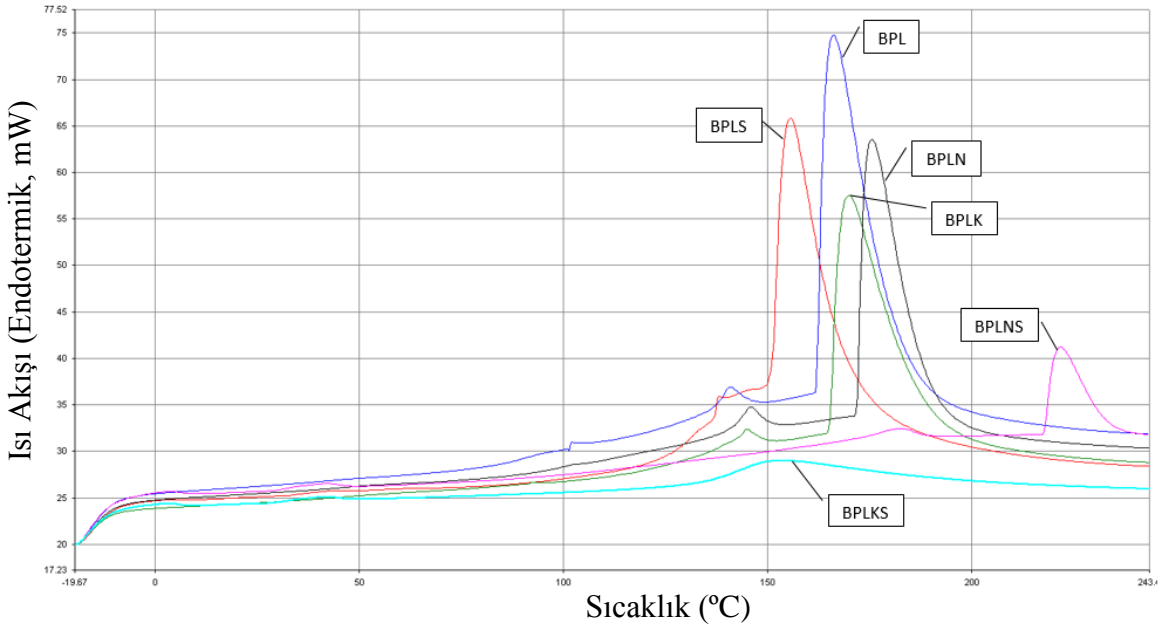
Üretilen köpük tabakların ve yardımcı malzemelerin termal özellikleri kademeli taramalı kalorimetre (DSC) ile belirlenmiştir. Elde edilen sıcaklık-ısı akış hızı eğrileri Şekil 4.12, 4.13, 4.14 ve 4.15’te verilmiştir. Bu eğriler kullanılarak erime sıcaklıkları ile erime ısıları belirlenmiş ve bu değerler Çizelge 4.25 ve 4.26’da verilmiştir.



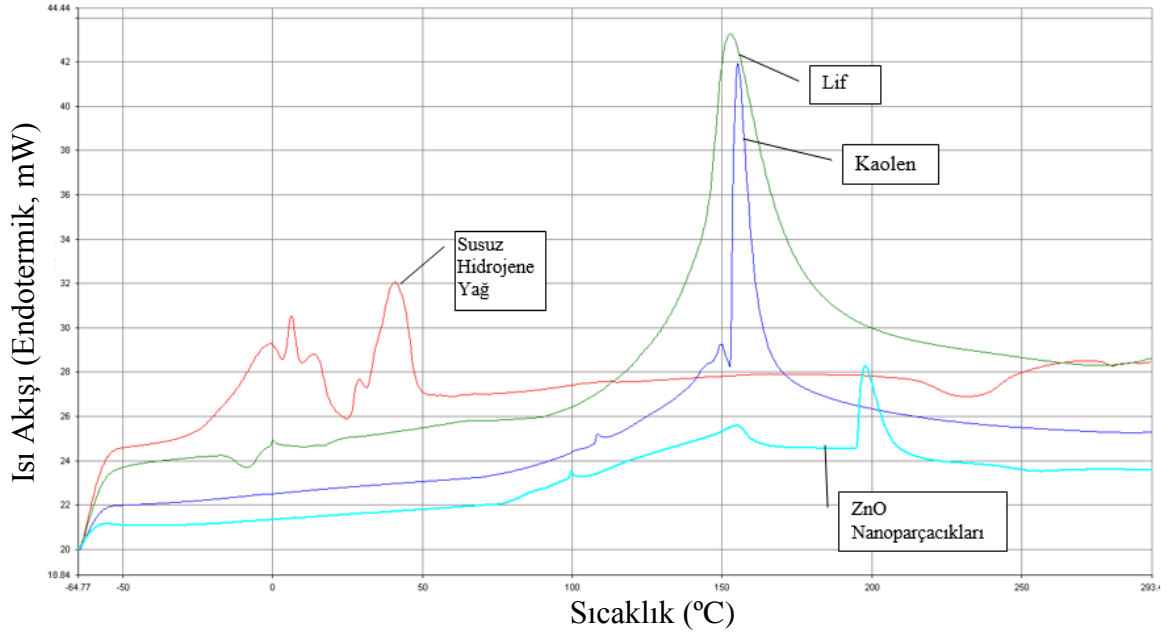
Şekil **Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..20.** Çapraz bağlı buğday, patates ve buğday patates nişastasından üretilen tabaklara ait DSC eğrileri



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..21. Çapraz bağlı buğday-patates nişastasından ve bu nişastaya lif eklenerek üretilen tabakların DSC eğrileri



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..22. Çapraz bağlı buğday-patates nişastası karışımına yardımcı malzemeler ilave edilerek üretilen tabakların DSC eğrileri



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..23. Yardımcı malzemelerin DSC eğrileri

Şekil 4.14 ve 4.15 birlikte incelendiğinde BPLS, BPLNS ve BPLKS tabaklarının DSC eğrilerinde 0-50 °C arasındaki dalgalanmaların sebebinin yapılarında bulunan susuz hidrojene yağdan kaynaklandığı görülmektedir. Ayrıca BPLN ve BPLNS tabaklarının erime sıcaklıklarının diğer tabaklara göre daha yüksek olmasının sebebinin içeriğinde bulunan ZnO nanoparçacıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..32. Çapraz bağlı buğday patates ve buğday-patates nişastasını karışımına yardımcı malzemeler ilave edilerek üretilen tabakların termal özellikleri

Örnek	Erime Sıcaklığı(°C)	Erime Isısı (j/g)
B	173,73	158,30
P	175,87	148,34
BP	162,88	137,44
BPL	166,15	153,61
BPLK	169,81	116,50
BPLN	175,06	103,03
BPLS	155,65	101,63
BPLKS	153,03	80,71
BPLNS	221,79	33,46

Çizelge **Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**33. Köpük tabak üretiminde kullanılan yardımcı malzemelerin termal özellikleri

Örnek	Erime Sıcaklığı(°C)	Erime Isısı (j/g)
Buğday Lifi	152,75	167,89
ZnO Nanoparçacıkları	197,59	9,57
Kaolen	155,12	30,31
Susuz Hidrojene Yağ	40,82	22,05

Çapraz bağlı buğday-patates nişastasından üretilen tabağın (BP) hem erime sıcaklığının hem de erime ısısının yalnızca buğday veya yalnızca patates nişastasından üretilen tabaklarinkinden (B, P) düşük olduğu bulunmuştur. Lif ilavesi BP tabağının hem erime sıcaklığını hem de erime ısısını artırmış, ancak diğer yardımcı malzemelerin (kaolen, nanoparçacık, susuz hidrojene yağ) eklenmesi tabakların erime sıcaklığını farklı şekillerde etkilerken, erime ısılarını düşürdüğü görülmüştür. BPLNS tabağının 221,79 °C olan erime sıcaklığı diğer tabakların erime sıcaklıklarından oldukça yüksek olduğu ve diğer tabakların erime sıcaklıklarının 153 ile 175 °C arasında değiştiği belirlenmiştir. BPLNS tabağının sıcaklığa karşı en dayanıklı tabak olduğu görülmektedir.

Benzer bir çalışmada, çapraz bağlı mısır nişastasından üretilen tabakların 146,8 °C erime sıcaklığının, kaolen ve balmumu ilave edilerek üretilen köpük tabaklarda sırasıyla 140,9 ve 114,1 °C'ye düştüğü, ayrıca lif ve diğer kombinasyonların erime sıcaklığının yükseldiği, bunun sebebinin de bu yardımcı malzemelerin, nişastanın dallanmış amilopektin segmentinin kristal bölgeleriyle etkileşime girmesiyle amilopektinin hareketliliğini azaltarak sıcaklığı artırdığı olarak bildirilmiştir (Polat vd 2013).

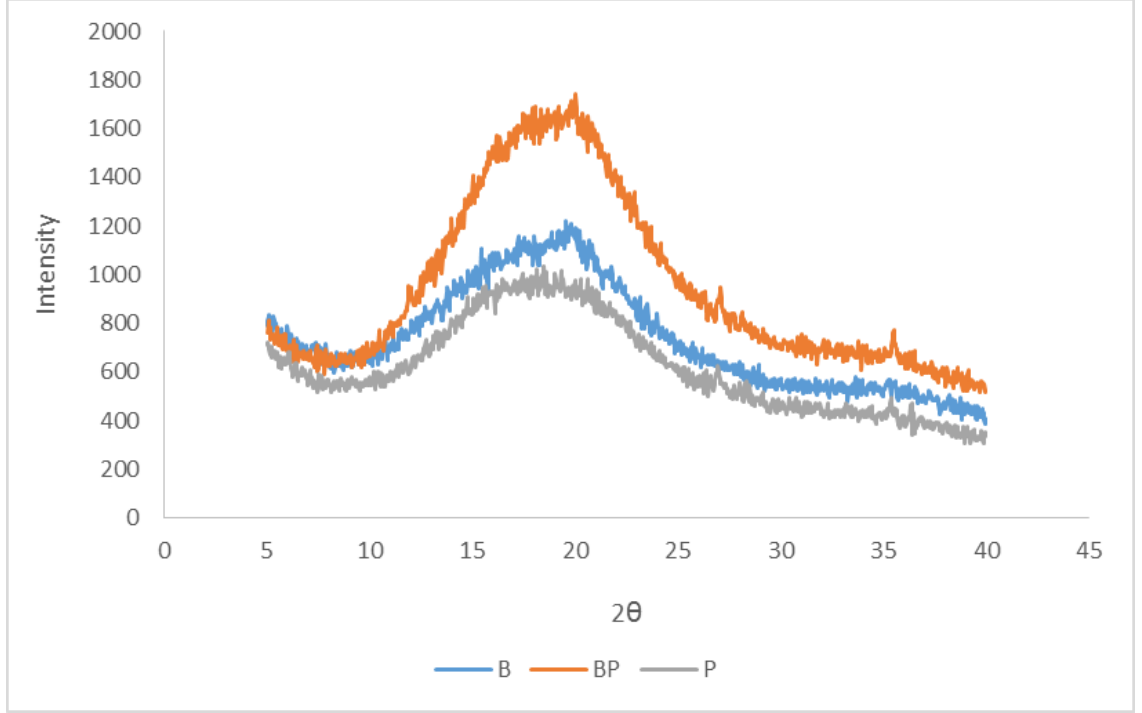
4.6.7. X-ışını kırınım analizi

Çapraz bağlı buğday, patates ve buğday-patates nişastasından üretilen tabakların X-Işını kırınım desenleri Şekil 4.16'da, yardımcı malzemeler içeren köpük tabakların X-Işını kırınım desenleri Şekil 4.17'de ve tabakların yüzde kristallik değerleri ise Çizelge 4.27'de verilmiştir.

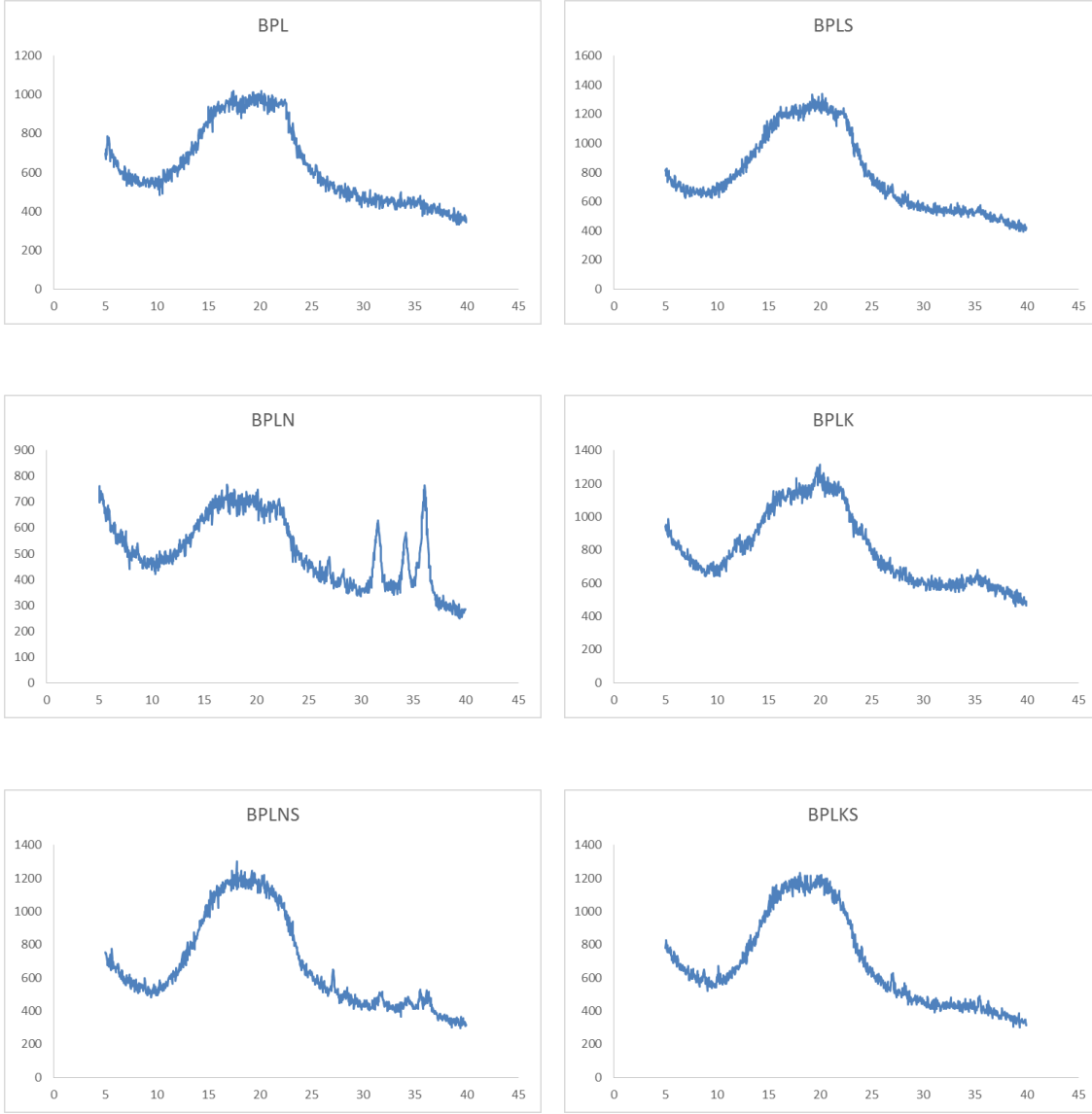
Çizelge **Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**34. Tabakların % kristallik değerleri

Örnek	% Kristallik Değeri
B	6,00
P	6,46
BP	6,31
BPL	6,80
BPLK	6,75
BPLN	10,46
BPLS	6,57
BPLNS	8,63
BPLKS	8,18

Çapraz bağlı buğday, patates ve buğday-patates nişastasından üretilen tabakların (B,P ve BP) X-Işını kırınım desenleri incelendiğinde BP tabağının kırınım yoğunluğunun B ve P tabaklarından daha yüksek olduğu ancak yüzde kristallik değerinin B ile P tabaklarının yüzde kristallik değerlerinin arasında olduğu görülmektedir.



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..24. Yardımcı malzeme içermeyen köpük tabakların X-Işını kırınım desenleri



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..25. Yardımcı malzeme içeren köpük tabakların X-Işını kırınım desenleri

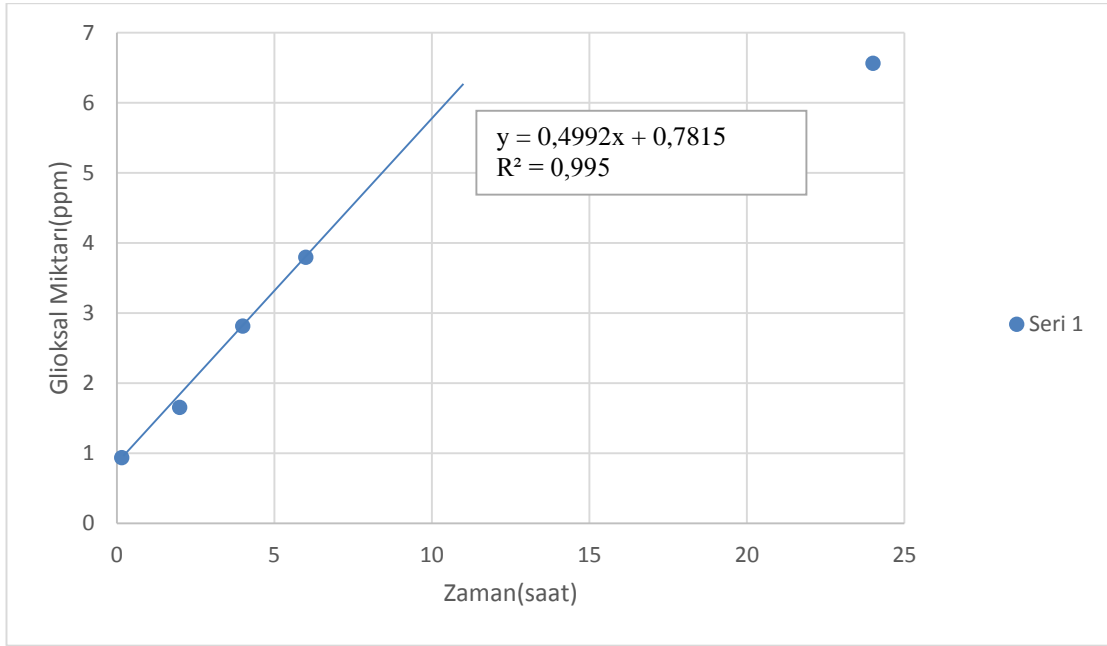
Yardımcı malzeme içermeyen tabakların yüzde kristallik değeri nişastalara göre oldukça düşük olduğu belirlenmiştir. Ancak tabaklara ZnO nanoparçacıkları ilave edilmesinin tabakların yüzde kristallik değerini artırmıştır. Lif, kaolen ve susuz hidrojene yağın ikili kombinasyonlar halinde tabaklara ilavesi tabakların % kristallik değerini az da olsa artırmıştır. Ancak lif, kaolen ve susuz hidrojene yağın üçlü kombinasyonu tabakların % kristallik değerini önemli ölçüde artırmıştır.

Nişasta granülleri ile karşılaştırıldığında, üretilen tabaklardan elde edilen kristallik değerinin genel olarak azaldığı görülmektedir. Bunun da nişastanın yapısındaki kristal bölgenin azalıp amorf bölgenin artması sonucu gerçekleştiği düşünülmektedir. Tabak üretiminde uygulanan sıcaklığın etkisiyle nişastanın jelatinizasyonu sonucunda düzenli haldeki kristal yapının bozulması, soğuma sırasında tekrar kristal yapı oluşsa da yardımcı

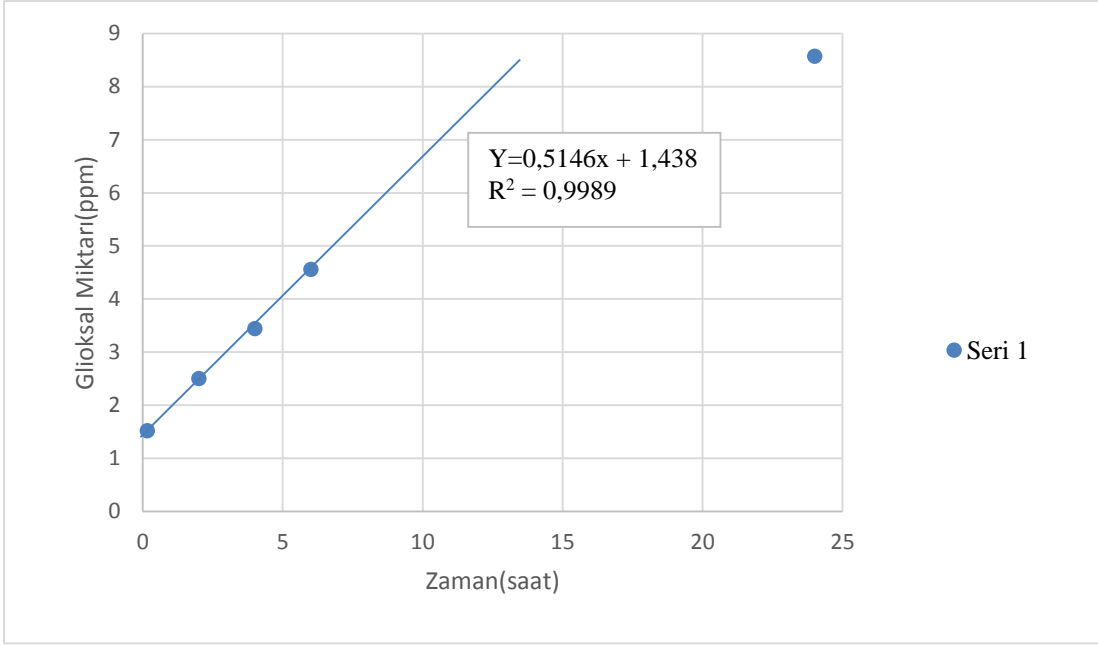
malzemelerden dolayı fazla düzenli hale geçememesi sonucunda olduğu düşünülmektedir.

4.6.8. Migrasyon

Suya karşı en dayanıklı oldukları belirlenen BPLS ve BPLNS tabaklarında gıda benzeri olarak kullanılan saf suya, zamanla glioksal migrasyonu belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar şekil 4.16 ve 4.17’de verilmiştir. Migrasyon testleri 4 tekerrürlü olarak yapılmıştır.



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..26. BPLS tabağından glioksal migrasyon hızı



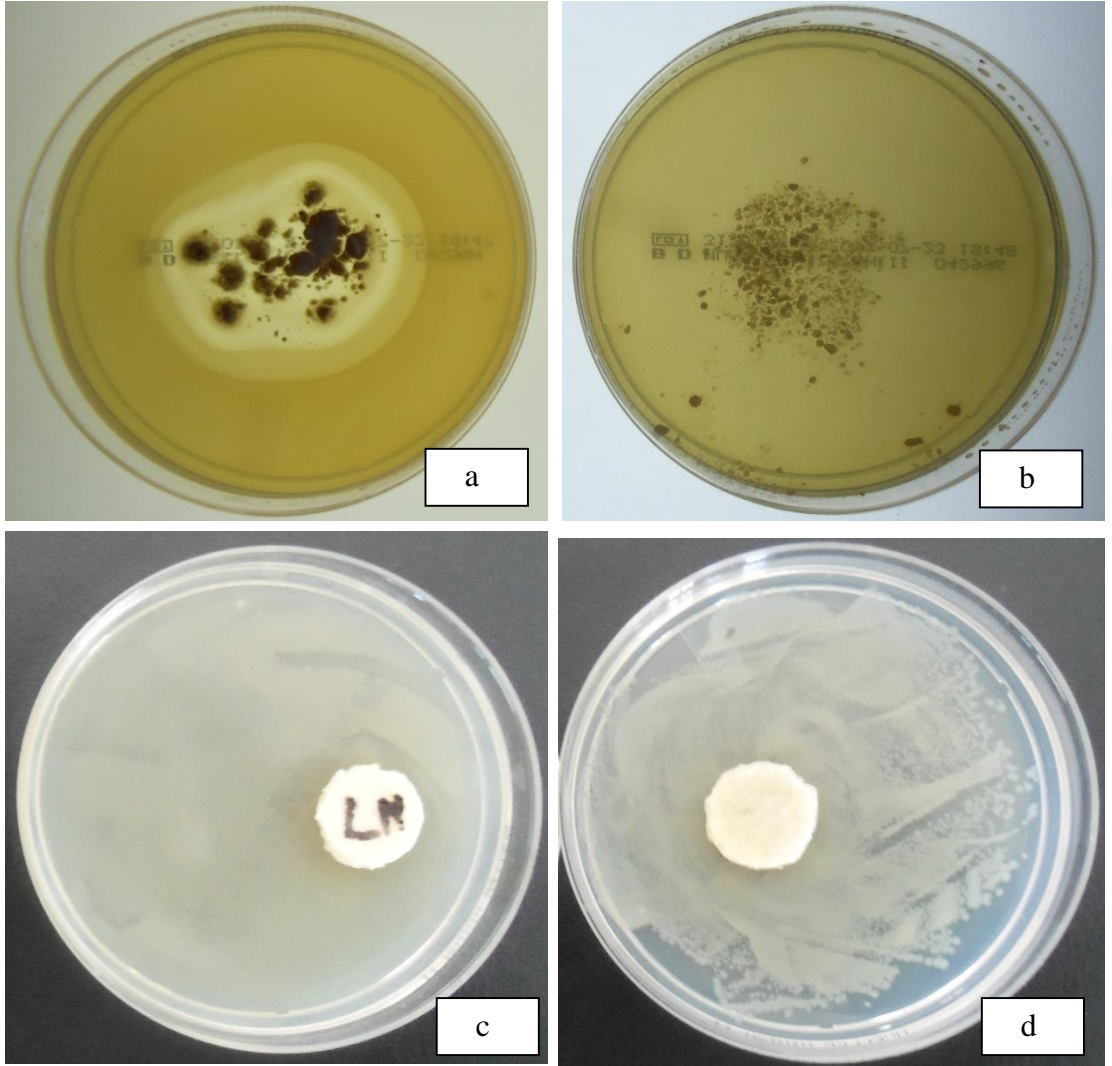
Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..27. BPLNS tabağından glioksal migrasyon hızı

BPLS ve BPLNS tabaklarından glioksal migrasyon hızı grafikleri incelendiğinde migrasyon hızının ilk 6 saat boyunca doğrusal bir artış gösterdiği, 24 saatin sonunda ise glioksal migrasyonunun azalarak arttığı görülmektedir. Bunun yanı sıra ilk altı saatteki glioksal migrasyon hızı grafiklerinin eğimlerine ve 24. saatteki glioksal migrasyon miktarlarına bakıldığında BPLS tabağından BPLNS tabağına göre daha az miktarda glioksalın migrasyonla saf suya geçtiği görülmektedir.

Migrasyon analizinin yapılmasının temel nedeni, ambalaj malzemesinin yapısında bulunan ve insan sağlığını olumsuz yönde etkileyebilen bileşiklerin miktarının tespit edilmesidir. Tabakların üretiminde kullanılan nişastanın çapraz bağlanmasında kullanılan glioksalın bira, şarap, yoğurt gibi fermente ürünlerde yaklaşık 1 ppm kadar bulunduğu bildirilmiştir (Barros vd 1999). Ancak daha yüksek konsantrasyonlarda glioksalın insan sağlığına zararlı olabileceği düşünülmektedir. Birleşik Alman Risk Araştırma Enstitüsü (BfR) tarafından gıda ile temas eden kağıtların inceltirmesinde ve suya karşı dayanımının artırılmasında kullanılan glioksalın son üründen 1 saatte migrasyonla maksimum 1,5 ppm/dm² geçme istenmektedir (Anonim 2013). Yapılan migrasyon analiz sonucunda BPLS tabağının 1 dm²'sinden 1 saatte 0,85 ppm, BPLNS tabağının 1 dm²'sinden ise 1,3 ppm glioksal migrasyonu olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre üretilen tabaklardan migrasyonla geçen glioksal miktarının BfR'nin belirlediği sınırdan daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

4.6.9. Antibakteriyel etki

Yapılan testlerle silisyum dioksit ve çinko oksit nanoparçacıklarının ve bu parçacıkları içeren tabakların bir Gram-negatif bakteri olan *Escherichia coli*'nin XL1-Blue suşu üzerinde antibakteriyel etkisi belirlenmiştir. Sadece çinko oksit nanoparçacıkları içeren petrilerde inhibisyon zonu oluşurken sadece silisyum dioksit nanoparçacıkları ve tabaklardan kesilen parçaların bulunduğu petrilerde herhangi bir inhibisyon zonu oluşmadığı belirlenmiştir (Şekil 4.20). Bu nedenle, her ne kadar çinko oksit nanoparçacıklarının antibakteriyel etkisi olsa da, %1 oranında çinko oksit içeren tabakların antibakteriyel etki göstermediği sonucuna varılmıştır.



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..28. Nanoparçacıkların ve nanoparçacık içeren tabakların antibakteriyel etkisi. a: çinko oksit nanoparçacıkları, b: silisyum dioksit nanoparçacıkları, c: BPLN tabağı, d: BPLNS tabağı

5. SONUÇ

Bu çalışmada, öncelikle nişasta bazlı köpük tabak üretimi için makine tasarlanmış ve bu makinenin üretimi yaptırılmıştır. Daha sonra farklı kaynaklardan elde edilmiş nişastalar ve çeşitli yardımcı malzemeler kullanılarak nişasta bazlı köpük tabak üretim olanakları araştırılmış ve bunların fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir.

Öncelikle mısır, buğday ve patates nişastaları ayrı ayrı ve karışımlar halinde, glioksal kullanılarak çapraz bağlanmıştır. Buğday - patates nişastasının çapraz bağlanması sırasında tepkimeye giren glioksal miktarı belirlenmiş ve nişastanın % 0,76'sı kadar glioksalın nişastanın çapraz bağlanmasında kullanıldığı tespit edilmiştir.

5.1. Köpük Tabak Üretimi İçin Uygun Nişasta Kaynağının Ve Yardımcı Malzemelerin Belirlenmesi

Nişasta kaynağının belirlenmesi

Çapraz bağlanan bu nişastalardan % 35'lik süspansiyonlar hazırlanıp, uygun sıcaklık ve sürelerde kalıp içerisinde pişirilerek köpük tabaklar üretilmiş ve bu tabakların yoğunluğu, su emme miktarı, mekanik özelliklerine bakılarak köpük tabakların üretimi için en uygun nişasta kaynağı belirlenmiştir.

Yapılan analizler sonucunda yeterince köpük yapı oluşturduğu gözlemlenen tabakların mekanik özelliklerinin yaklaşık aynı olduğu ancak çapraz bağlı buğday-patates nişastasından üretilen tabağın (BP) yoğunluğunun ($0,17\text{g/cm}^3$) ve su emme miktarının (% 25,5) diğer tabaklara göre daha düşük olduğu bulunmuştur. Dolayısıyla tabak üretmek için en uygun nişasta kaynağının çapraz bağlı buğday-patates nişastası karışımı olduğu belirlenmiştir. BP tabağının taramalı elektron mikroskobu (SEM) altında yapılan incelemelerde yüzey yapısının yeterince düzgün olduğu ve gözenek yapısının kenar kısımlarda daha küçük, orta kısımda daha büyük olduğu gözlemlenmiştir.

Köpük tabak üretmek için en iyi nişasta kaynağı olduğu belirlenen çapraz bağlı buğday-patates nişastası karışımına farklı oranlarda ve farklı kaynaklardan elde edilmiş lif, lipit ve dolgu malzemeleri eklenerek tabakların özelliklerinin daha da geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Lif çeşit ve oranının belirlenmesi

Odun ve buğday lifleri çapraz bağlı buğday-patates nişastasına ayrı ayrı eklenerek tabaklar üretilmiş, bu tabakların yüzde su emme miktarına bakılarak uygun lif çeşit ve oranı belirlenmiştir. Buna göre en az su emen buğday lifi (% 588) eklenerek üretilen tabakların su emme miktarının, odun lifi eklenerek üretilen tabaklardan önemli ölçüde ($p < 0.05$) az olduğu bulunmuştur. Kullanılan lif miktarının tabak maliyetini azda olsa artırması da göz önünde bulundurularak % 35 oranında nişasta ve nişastanın % 7'si oranında buğday lifi kullanılarak suya karşı daha dayanıklı ve % 34,8 daha az su emen tabağın (BPL) üretilebileceği tespit edilmiştir.

Lipit çeşit ve oranının belirlenmesi

Çapraz bağlı buğday-patates nişastası karışımına nişasta miktarının % 7'si kadar buğday lifi ve % 5 ve % 10'u kadar balmumu veya susuz hidrojene yağ ilave edilerek tabaklar üretilmiş, su emme miktarını % 74,9 oranında azaltan susuz hidrojene yağ eklenerek (% 10) suya karşı daha dayanıklı tabağın(BPLS) üretilebileceği belirlenmiştir.

Dolgu malzemesi çeşit ve oranının belirlenmesi

Buğday-patates nişastası, buğday lifi ve nişastanın % 1 veya 5'i kadar nanokil(montmorillonite), ZnO nanoparçacıkları veya kaolen katılarak tabaklar üretilmiştir. Nanokil içeren tabak, nanokil içermeyen BPL tabağın göre daha yüksek oranda su emdiği belirlenmiş ve dolgu malzemesinin kullanımından vazgeçilmiştir. % 1 veya % 5 oranında ZnO nanoparçacıkları veya kaolen ilavesi, tabakların su emme miktarlarını aynı oranda azalttığı bulunmuş, bu nedenle % 1 oranında ZnO nanoparçacıkları veya kaolen eklenerek tabakların üretilmesine karar verilmiştir.

Sonuç olarak yapılan analizlerde tabak üretimi için en uygun nişasta kaynağının çapraz bağlı buğday-patates nişastası karışımı, en uygun lif çeşidinin buğday lifi, en uygun lipit çeşidinin susuz hidrojene yağ ve en uygun dolgu malzemesinin çinko oksit nanoparçacıkları veya kaolen olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca buğday lifinin, susuz hidrojene yağın ve dolgu malzemelerinin sırasıyla nişastanın % 7'si % 10'u ve % 1'i kadar eklenmesine karar verilmiştir. Bu sonuçlara göre çapraz bağlı buğday-patates nişastasına belirlenen oranlarda yardımcı malzemeler eklenerek tabaklar üretilmiş ve özellikleri test edilmiştir.

5.2. Yardımcı Malzeme İçeren Nişasta Bazlı Köpük Tabakların Özellikleri

Genel Özellikleri

Yalnızca çapraz bağlı buğday-patates nişastasından üretilen tabaklar 190°C'de 330 saniyede pişerken, yardımcı malzeme ilave edilerek üretilen bütün tabakların pişme sıcaklıkları 205 °C'ye çıkmıştır. Pişme sürelerine bakıldığında ise lif + çinko oksit nanoparçacıkları içeren tabağın pişme süresi yardımcı malzeme içermeyen tabakla aynı iken diğer tabakların pişme süreleri 60 ila 90 saniye arasında artmıştır.

Yardımcı malzeme ilavesi bütün formülasyonlarda tabak kalınlığını artırmıştır. Çapraz bağlı buğday-patates nişastasına yalnızca lif ilave edilerek üretilen tabağın(BPL) kalınlığının en fazla, yoğunluğunun ise en düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu tabağın yoğunluğunun sadece çapraz bağlı buğday-patates nişastasından üretilen tabağa göre % 32,4 oranında daha düşük olduğu bulunmuştur. Diğer yardımcı malzemeleride içeren tabakların yoğunluklarının ise BPL tabağıninkine göre yüksek olduğu, ancak BPLS, BP'den daha düşük, BPLN ve BPLNS tabaklarının ise BP ile aynı yoğunluğa sahip olduğu bulunmuştur. Buğday lifi eklenmesi tabak yoğunluğunu düşürdüğü, susuz hidrojene yağ ilavesinin yoğunluk üzerinde pek etkisi olmadığı, kaolen ilave edilmesi büyük ölçüde ve çinko oksit nanoparçacıkları eklenmesi ise az miktarda tabak yoğunluğunu artırdığı tespit edilmiştir.

Tabakların kesit SEM görüntülerinde, yoğunluğu en düşük olan BPL'nin diğer tabaklara göre daha kalın bir yapıda olduğu ve gözenek yapısının daha düzgün ve gözeneklerin daha büyük olduğu görülmektedir. Yine yoğunlukları BP tabağına göre düşük olan BPLS ile aynı olan BPLN ve BPLNS tabaklarının da kalınlıklarının fazla olduğu ve gözeneklerinin kaolen içeren tabaklara göre daha büyük olduğu görülmüştür.

Lif ve susuz hidrojene yağ ilavesinin, tabakların denge nem içeriğini kısmen azalttığı bulunmuştur. Diğer yardımcı malzemelerin ilavesi tabakların denge nem içeriklerini etkilememiştir.

Tabak üretiminde eklenen bütün yardımcı malzemeler L* değerinin artmasına yani tabakların renginin açılmasına neden olmuştur. BPLN ve BPLNS tabakları ise en açık renge sahip tabaklar olduğu bulunmuştur.

Yüzde su emme miktarı ve hızı

Yardımcı malzemelerin ilavesi tabakların su emme miktarını önemli ölçüde azaltmıştır. Yüzde su emme miktarı en düşük olan tabaklar çapraz bağlı buğday-patates nişastasına, lif, susuz hidrojene yağ (BPLS) ve lif, çinko oksit nanoparçacıkları, susuz hidrojene yağ (BPLNS) eklenerek üretilen tabaklar olduğu belirlenmiştir. Bu tabakların BP tabağına göre sırasıyla % 74.9 ve % 77.1 oranlarında daha az su emdiği belirlenmiştir.

Su emme miktarı en düşük olduğu belirlenen BPLS ve BPLNS tabaklarında su emme hızı tayin edilmiştir. Bu iki tabağın su emme hızı grafiklerinin ve grafiklerden elde edilen matematiksel denklemlerin birbirine çok benzediği ve su emme hızının üstel olarak arttığı belirlenmiştir.

Mekanik Özellikler

Yardımcı malzeme içeren tabakların bükme mukavemetinin genel olarak BP tabağından daha düşük olduğu, tabakların bükme boyut değişiminde ise istatistiksel açıdan önemli bir farkın olmadığı bulunmuştur.

Termal Özellikler

Çapraz bağlı buğday-patates nişastasından üretilen tabağın hem erime sıcaklığının hem de erime ısısının yalnızca buğday veya yalnızca patates nişastasından üretilen tabaklarınkinden düşük olduğu bulunmuştur. Çapraz bağlı buğday-patates nişastasına lif ilavesi, tabağın hem erime sıcaklığını hem de erime ısısını artırmış, ancak diğer yardımcı malzemelerin(kaolen, nanoparçacık, susuz hidrojene yağ) eklenmesi tabakların erime sıcaklığını farklı şekillerde etkilerken, erime ısılarını düşürdüğü görülmüştür. Lif, çinko oksit nanoparçacıkları ve susuz hidrojene yağ eklenerek üretilen tabağın 221,79 °C olan erime sıcaklığı diğer tabakların erime sıcaklıklarından oldukça yüksek olduğu ve diğer tabakların erime sıcaklıklarının 153 ile 175 °C arasında değiştiği belirlenmiştir. Buna göre sıcaklığa karşı en dayanıklı tabağın çapraz bağlı buğday-patates nişastasına lif, çinko oksit nanoparçacıkları ve susuz hidrojene yağ ilave edilerek üretilen tabak olduğu tespit edilmiştir.

Kristallik değerleri

Yardımcı malzeme içermeyen tabakların yüzde kristallik değerinin, çapraz bağlı nişastaların yüzde kristallik değerine göre oldukça düşük olduğu belirlenmiştir. Bunun yanında tabaklara ZnO nanoparçacıkları ilave edilmesinin tabakların yüzde kristallik değerini artırdığı tespit edilmiştir. Lif, kaolen ve susuz hidrojene yağın ikili kombinasyonlar halinde tabaklara ilavesi ile tabakların yüzde kristallik değeri, az da olsa artmıştır. Ayrıca lif, kaolen ve susuz hidrojene yağın üçlü kombinasyonu tabakların % kristallik değerini önemli ölçüde artırmıştır.

Migrasyon

Yapılan migrasyon analiz sonucunda BPLS tabağının 1 dm²'sinden 1 saatte 0,85 ppm, BPLNS tabağının 1 dm²'sinden ise 1,3 ppm glioksal migrasyonu olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre üretilen tabaklardan migrasyonla geçen glioksal miktarının BfR'nin belirlediği sınırdan (1 saatte migrasyonla maksimum 1,5 ppm/dm²) daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Antibakteriyel etki

Yapılan analizler sonucunda çinko oksit nanoparçacıklarının antibakteriyel etkiye sahip olduğu, ancak nanoparçacık içeren tabakların antibakteriyel etkiye sahip olmadığı tespit edilmiştir.

Yapılan tüm analizler sonucunda 2 farklı bileşime sahip tabakların diğer denen bileşimlere sahip tabaklara göre daha iyi olduğu belirlenmiştir. Bunların çapraz bağlı buğday-patates nişastası, nişasta miktarının % 7'si kadar buğday lifi, % 10'u kadar susuz hidrojene yağ karışımından ve bu karışıma nişastanın % 1'i kadar ZnO nanoparçacıkları ilave edilerek üretilen tabaklar olduğu belirlenmiştir. Ancak ZnO nanoparçacıkları içeren tabakların beklenen antibakteriyel etkiyi göstermemesi nedeniyle bu yardımcı malzemenin eklenmesinin de gereksiz olduğu sonucuna varılmıştır. Bu nedenle diğer tabaklara göre daha üstün özelliklere sahip olan çapraz bağlı buğday-patates nişastası karışımına, nişasta miktarının % 7'si kadar buğday lifi ve % 10'u kadar susuz hidrojene yağ ilave edilerek üretilen tabağın gıda ambalajlaması ve servisi için en uygun tabak olduğu, her türlü kuru gıdaların ambalajlanmasında sorunsuzca kullanılabileceği gibi, sıvı gıdaların ve su aktivitesi çok yüksek gıdaların kısa süreli ambalajlanmasında da kullanılabileceği belirlenmiştir.

6. KAYNAKLAR

- ANDERSON, J. M., and Shive, M. S. Biodegradation and biocompatibility of PLA and PLGA microspheres. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 28, 5–24, (1997).
- ANONİM 2007 European manufacturers of expanded polystyrene. [Online]. <http://www.eumeps.org/faq_4435.html?psid=xwctaave#ankerthree>
- ANONİM 2009. Glioksal as a starch crosslinker. <http://www.intermediates.basf.com/en/intermed/products/glioksal/innovation/crosslinker-for-starch.htm>.
- ANONİM 2010. Beeswax – Wikipedia, the free encyclopedia (Online). <http://en.wikipedia.org/wiki/Beeswax>, (Erişim tarihi 10.12.2010)
- ANONİM 2011, Türkiye ve Dünya’da Plastik Tüketimi. http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=502 (Erişim tarihi 15.03.2011).
- ANONİM 2012a, Starch. <http://www.lsbu.ac.uk/water/hysta.html#sou> (Erişim Tarihi: 21.12.2012).
- ANONİM 2012b, Glyoxal in application. <http://www.intermediates.basf.com/chemicals/glyoxal/applications> (Erişim Tarihi 02.08.2012)
- ANONİM 2013a, Plastik Ambalajlar. <http://www.ambalaj.org.tr/sayfa-26-plastik-ambalajlar.htm> (Erişim tarihi 12.03.2013)
- ANONİM 2013. Paper and board for food contact. <http://bfr.zadi.de/kse/faces/resources/pdf/360-english.pdf> (Erişim tarihi 12.03.2013)
- AVELLA, M., De Vlieger, J. J., Errico, M. E., Fischer, S., Vacca, P., and Volpe, M.G. Biodegradable starch/clay nanocomposite films for food packaging applications. *Food Chemistry*, 93, 467–474 (2005).
- AVEROUS, L., and BOQUILLON, N. 2004. Biocomposites based on plasticized starch: thermal and mechanical behaviours, *Carbohydrate Polymers*, 56: 111–122.
- BARROS, A., RODRIGUES, J. A., ALMEIDA P. J., and OLIVA-TELES, M.T. 1999. Determination of glyoxal, methylglyoxal, and diacetyl in selected beer and wine, by hplc with uv spectrophotometric detection, after derivatization with o-phenylenediamine. *J. Liq. Chrom. & Rel. Technol.*, 22(13): 2061–2069
- BİLİADERİS C.G., PAGE C.M., SLADE L., and SİRETT R.R., 1985. Thermal behavior of amylose-lipid complexes, *Carbohydrate Polymers*, 5 (5): 367-389.
- BİRD A.R., BROWN I.L., and TOPPING D.L. 2000. Starches, resistant starches, the gut microflora and human health. *Current Issues in Intestinal Microbiology* 1: 25-37.
- CHEN M.C., HORNG G., YEH C., and CHIANG B.H. 1996. Antimicrobial and Physicochemical Properties Of Methylcellulose and Chitosan Films Containing A Preservative, *Journal of food processing and preservation*, 20: 379-390.

- CINELLI, P., CHIPELLINI, 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.
- COHEN, R., ORLOVA, Y., KOVALEV, M., UNGAR, Y., and SHIMONI, E. 2008. Structural and Functional Properties of Amylose Complexes with Genistein. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56(11): 4212–4218. doi:10.1021/ jf800255c. PMID 18489110.
- DAVIS, J.P., SUPATCHAREE, N., KHANDELWAL, R.L. and CHIBBAR, R.N. 2003. Synthesis of Novel Starches in Planta: Opportunities and Challenges. *Starch/Stärke*, 55: 107–120.
- DINGES J.R., COLLEONI C., JAMES M.G., and MYERS A.M. 2003. Mutational analysis of the pullulanase-type debranching enzyme of maize indicates multiple functions in starch metabolism. *The Plant Cell*. 15(3): 666-680.
- DONOVAN J. W. 1979, Phase transitions of the starch–water system. *Biopolymers*, 18: 263–275.
- EL-TAHLAWY, K., VENDITTI, R.A. and PAWLAK, J. 2008. Effect of alkyl ketene dimer reacted starch on the properties of starch microcellular foam using a solvent exchange technique. *Carbohydrate Polymers*, 73(1): 133–142.
- EL-TAHLAWY K., VENDITTI, R.A. and PAWLAK, J.J. 2007. Aspects of the preparation of starch microcellular foam particles crosslinked with glutaraldehyde using a solvent exchange technique. *Carbohydrate Polymers*, 67(3): 319–331.
- EMAMIFAR, A., KADIVAR M., SHAHEDI M., and SOLEIMANIAN-ZAD S. 2010. Evaluation of nanocomposite packaging containing Ag and ZnO on shelf life of fresh orange juice, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11: 742–748,
- ERICKSON M. 2006. Starches. *Central Washington University*.
- EUVERINK, G.J.W., and BINNEMA, D.J. 1998. Use of modified starch as an agent for forming a thermoreversible gel. WO9815347(Patent).
- FRANZ, R. and WELLE, F. 2003. Recycling packaging materials. In R. Ahvenainen (Ed.), *Novel food packaging techniques* (pp. 497–515). Cambridge: E-Publishing Inc.
- GANJYAL, G.M., WEBER, R. and HANNA, M.A. 2007. Laboratory composting of extruded starch acetate and polylactic acid blended foams. *Bioresource Technology*, 98(16): 3176–3179.
- GLENN, G.M., ORTS, W. J. and NOBES, G.A.R. 2001. Starch, fiber and CaCO₃ effects on the physical properties of foams made by a baking process. *Industrial Crops and Products*, 14(3): 201–212.

- GONZALEZ, R., CARRARA, C. , TOSÌ, E., AÑÓN, M.C., and PÍLOSO, A. 2007. Amaranth starch rich fraction properties modified by extrusion and fluidised bed heating. *Food Science and Technology/LWT* 40: 136-143.
- HANSEN M.R., BLENNOW A., PEDERSEN S. and ENGELSEN S.B. 2009. Enzyme modification of starch with amyloamylase results in increasing gel melting point., *Carbohydrate Polymers*. 78(1): 72-79.
- IOVINO, R., ZULLO, R., RAO, M.A., CASSAR, L., and GIANFREDA, L. 2008. Biodegradation of poly(lactic acid)/starch/coir biocomposites under controlled composting conditions. *Polymer Degradation and Stability*, 93: 147–157.
- ITAVAARA, M., KARJOMAA, S., and SELİN, J.F. 2002. Biodegradation of polylactide in aerobic and anaerobic thermophilic conditions. *Chemosphere*, 46: 879–885.
- KARİM, A.A., SUFHA, E.H., and ZAİDUL, I.S.M. 2008. Dual modification of starch via partial enzymatic hydrolysis in the granular state and subsequent hydroxypropylation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56: 10901-10907.
- KAUR, L., SINGH, J., and SINGH, N. 2006. Effect of cross linking on some properties of potato (*Solanum tuberosum* L.) starches. *Journal of the Science and Food Agriculture*, 86: 1945–1954.
- KAUR B., ARİFFİN F., BHAT R., and KARİM A.A., 2012. Progress in starch modification in the last decade, *Food Hydrocolloids*. 26(2): 398-404
- KORD B., 2010. Investigation on the effects of nanoclay particles on mechanical properties of wood polymer composites made of high density polyethylene - wood flour. *Iranian journal of wood and paper science research*. 25(1 (32)): 91-101.
- KORD B., 2011a. Nanofiller reinforcement effects on the thermal, dynamic mechanical, and morphological behavior of hdpe/rice husk flour composites. *BioResources* 6(2): 1351-1358.
- KÖKSEL H., ŞAHBAZ F. ve ÖZBOY Ö., 2003. Influence of Wheat-Drying Temperatures on the Birefringence and X-Ray Diffraction Patterns of Wet-Harvested Wheat Starch. *Cereal Chemistry*. 70(4): 481-483.
- KUBO A., YUGUCHI Y., TAKEMASA M., SUZUKI S., SATOH H., and KITAMURA S., 2008. The use of micro-beam X-ray diffraction for the characterization of starch crystal structure in rice mutant kernels of waxy, amylose extender, and sugary1, *Journal of Cereal Science*, 48(1): 92-97
- LEPOT N., VAN BAELE M.K., VAN DEN RUL H., D'HAEN J., PEETERS R., FRANCO D., and MULLENS J. 2010. Influence of Incorporation of ZnO Nanoparticles and Biaxial Orientation on Mechanical and Oxygen Barrier Properties of Polypropylene Films for Food Packaging Applications, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 120, 1616–1623.

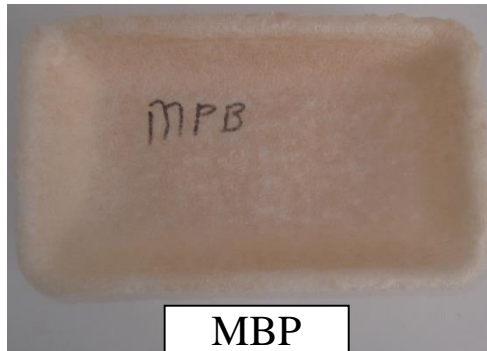
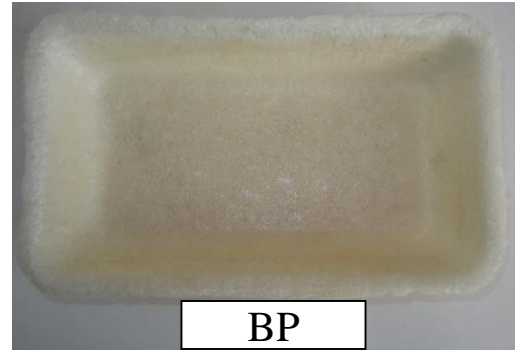
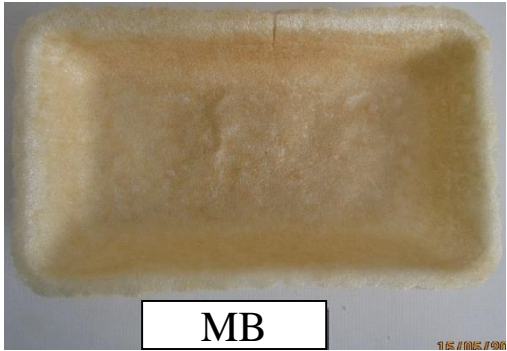
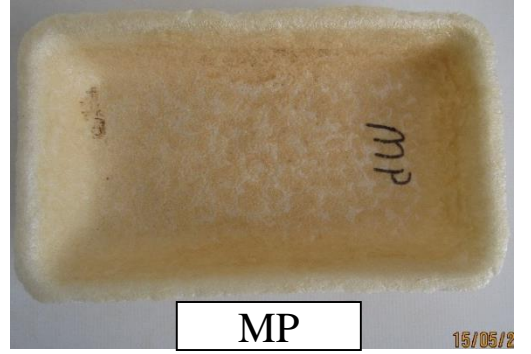
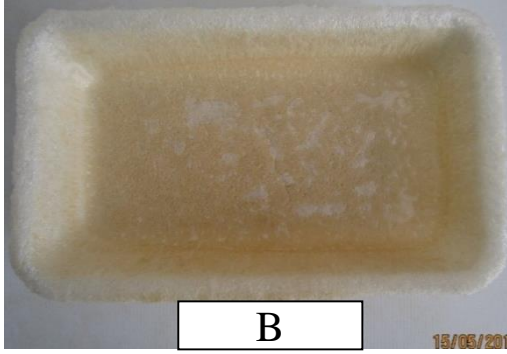
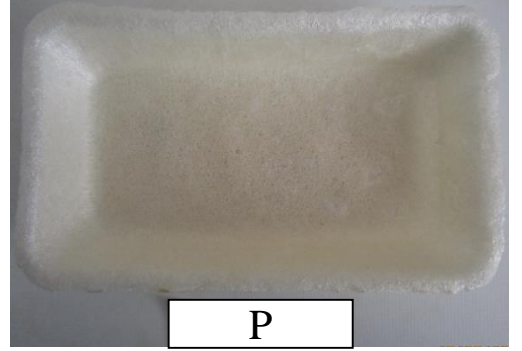
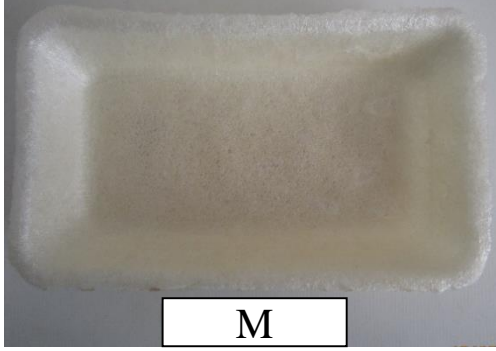
- LÍ J-Y. and YEH A-I., 2001. Relationships between thermal, rheological characteristics and swelling power for various starches, *J. Food Engineering* 50: 141-148.
- LÍ R.S., and KENYON G.L., 1995. A Spectrophotometric Determination of α -Dicarbonyl Compounds and Its Application to the Enzymatic Formation of α -Ketobutyrate, *Analytical Biochemistry*, 230(1): 37-40.
- MA X., CHANG P.R., YANG J., and YU J. 2009. Preparation and properties of glycerol plasticized-pea starch/zinc oxide-starch bionanocomposites, *Carbohydrate Polymers*, 75: 472–478.
- MAJEED K., JAWAÍD M., HASSAN A., ABU BAKAR A., ABDUL KHALİL H.P.S., SALEMA A.A., and INUWA I., 2013. Potential materials for food packaging from nanoclay/natural fibres filled hybrid composites, *Materials & Design*, 46:391-410
- MANOI, K. and RİZVİ, S.S. H. 2010. Physicochemical characteristics of phosphorylated cross-linked starch produced by reactive supercritical fluid extrusion. *Carbohydrate Polymers*, 81(3): 687–694.
- NIELSEN S.S. 1998. Food Analysis Second Edition. Aspen Publication. Maryland, USA. Pp: 630.
- PATEL, S., VENDİTTİ, R.A., PAWLAK, J.J., AYOUB, A. and RİZVİ, S.S.H. 2009. Development of cross-linked starch microcellular foam by solvent exchange and reactive supercritical fluid extrusion. *Journal of Applied Polymer Science*, 111: 2917–2929.
- POLAT S., 2011, Gıda ambalajlanması ve servisinde kullanılabilecek nişasta bazlı köpük tabak üretimi,(Yüksek Lisans Tezi), Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi.
- POLAT S., USLU M.K., AYGÜN A. ve 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.
- PREECHAWONG, D., PEESAN, M., SUPAPHOL, P., and RUJİRAVANİT, R., 2005. Preparation and characterization of starch/poly (L-lactic acid) hybrid foams. *Carbohydrate Polymers*. 59 (3): 329–337.
- PUKKAHUTA C., SHOBSNGOB S. and VARAVİNİT S. 2007. Effect of Osmotic Pressure on Starch: New Method of Physical Modification of Starch. *Starch/Stärke*, 59: 78–90.
- RAJAN A., PRASAD V.S. and ABRAHAM T.E., 2006. Enzymatic esterification of starch using recovered coconut oil. *Int. J. Biol. Macromolecules*, 39: 265-272.
- RAJAN A., SUDHA J.D. and ABRAHAM T.E., 2008. Enzymatic modification of cassava starch by fungal lipase. *Industrial Crops Prod.*, 27: 50-59.

- ROSTAN E. F., DE BUYS H.V., MADEY D.L., and PİNNELL S.R., 2002. Evidence supporting zinc as an important antioxidant for skin, *International Journal of Dermatology*, 41: 606–611.
- SALDAMLI İ. 2007. Gıda Kimyası. Ankara, Hacettepe Üniversitesi Yayınları, 587 s.
- SALGADO, P.R., SCHMİDT, V.C., MOLİNA, S.E., MAURİ, A.N. and LAURİNDİ, 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.
- SARKO, A., and H.C.H. WU. 1978. The Crystal Structures of A-, B- and C-Polymorphs of Amylose and Starch. *Starch* 30: 73-78.
- SHARMA G. 2003. Digital Color Imaging Handbook. CRC Press, New York, USA. 751 p.
- SHARMA R., SİSSONS M.J., RATHJEN A.J., and JENNER C.F. 2002. The Null-4A Allele at the Waxy Locus in Durum Wheat affects Pasta Cooking Quality, *Journal of Cereal Science*, 35(3): 287-297.
- SHEY, J., İMAM, 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., 1992. Effect of moisture content on the melting and subsequent physical aging of cornstarch, *Carbohydrate Polymers*, 19 (2): 83-90.
- SHOGREN, R.L., LAWTON, J.W., DOANE, W.M. and TİEFENBACHER, K.F. 1998. Structure and morphology of baked starch foams. *Polymer*, 39(25): 6649–6655.
- SHOGREN R.L. LAWTON, J.W. and TİEFENBACHER K.F., 2002. Baked starch foams: starch modifications and additives improve process parameters, structure and properties, *Industrial Crops and Products*, 16: 69-79,
- SİLVA, M.C., İBEZİM, E.C., RİBEİRO, T.A.A., CARVALHO, C.W.P. and ANDRADE, C.T. 2006. Reactive processing and mechanical properties of cross-linked maize starch. *Industrial Crops and Products*, 24(1): 46–51.
- SİNGH, N. SİNGH J., KAUR L., SİNGH S.N. and SİNGH G.B. 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources, *Food Chem.* 81: 219-231.
- STEENEKEN P.A.M., and WOORTMAN A.J.J., 2009. Identification of the thermal transitions in potato starch at a low water content as studied by preparative DSC. *Carbohydrate Polymers*, 77: 288–292.
- SUN L., RİPPON J.A., COOKSON P.G., KOULAEVA O., and WANG X. 2009. Effects of undoped and manganese-doped zinc oxide nano particles on the colour fading of dyed polyester fabrics. *Chemical Engineering Journal*, 147: 391–398.

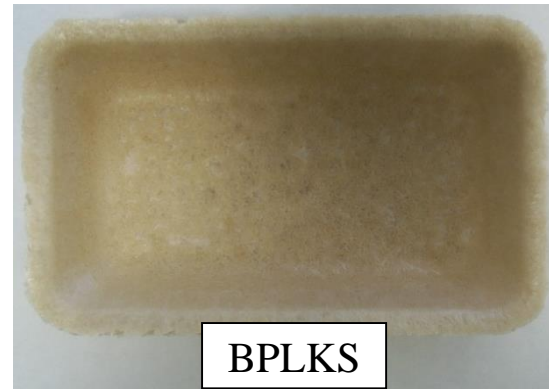
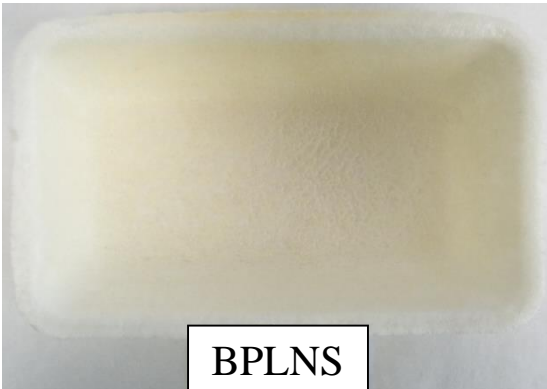
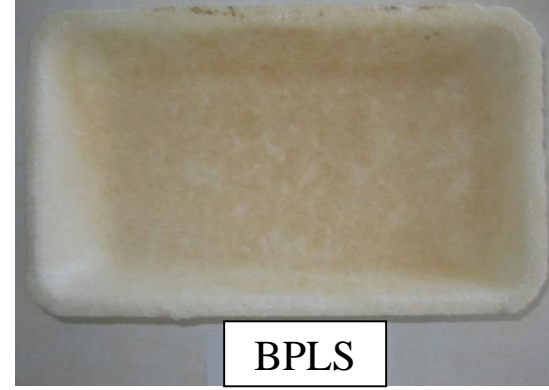
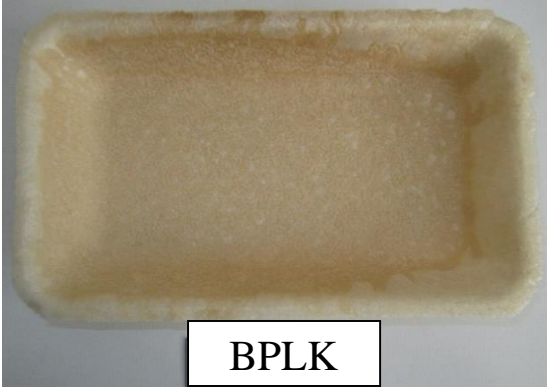
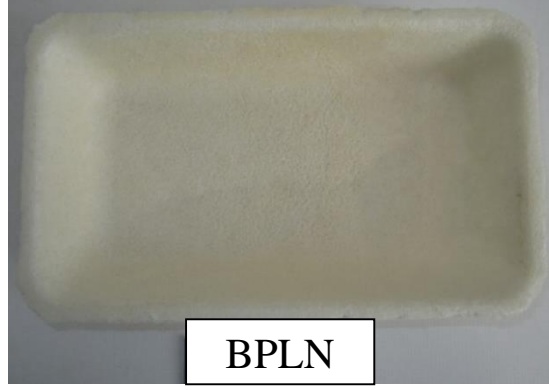
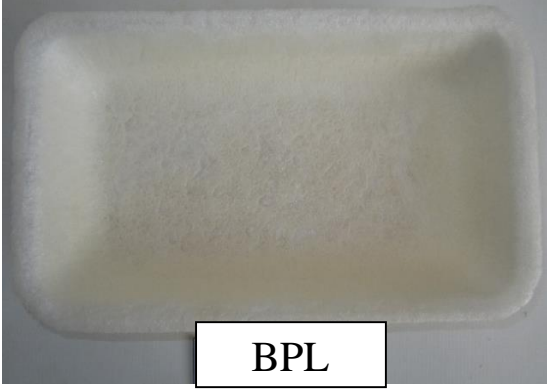
- SZYMONSKA J., KROK F., and TOMASIK P. 2000. Deep-freezing of potato starch. *International Journal of Biological Macromolecules*. 27(4): 307-314.
- SZYMONSKA J., KROK F., KOMOROWSKA-CZEPIRSKA E., and REBILAS K., 2003. Modification of granular potato starch by multiple deep-freezing and thawing, *Carbohydrate Polymers*, 52(1):1-10
- TANG S., ZOU P., XIONG H., TANG H., 2008. Effect of nano-SiO₂ on the performance of starch/polyvinyl alcohol blend films *Carbohydr. Polym.* 72:521-526.
- TONGDEESOONTORN, W., MAUER, L.J., WONGRUONG, S., SRIBURI, P., and RACHTANAPUN, P., 2011. Effect of carboxymethyl cellulose concentration on physical properties of biodegradable cassava starch-based films. *Chemistry Central Journal*. <http://dx.doi.org/10.1186/1752-153X-5-6>.
- UMEMOTO T., YANO M., SATOH H., SHOMURA A., and NAKAMURA Y. 2002. Mapping of a gene responsible for the difference in amylopectin structure between japonica-type and indica-type rice varieties. *Theoretical and Applied Genetics*. 104(1): 1-8
- USLU M.K. ve POLAT S. 2012. Effects of glyoxal cross-linking on baked starch foam. *Carbohydrate Polymers* 87: 1994– 1999.
- ÜÇÜNCÜ, M., 2007. Gıda Ambalajlama Teknolojisi, Meta Basım, İzmir. 879 s.
- VAN SOEST J. J. G., BENES K., DE WIT D. and VLIEGENTHART J. F. G., 1996. The influence of starch molecular mass on the properties of extruded thermoplastic starch. *Polymer*. 37: 35-43.
- VARAVINIT, S., PAISANJIT, W., TUKOMANE, T., and PUKKAHUTA, C. 2007. Effects of osmotic pressure on the crosslinking reaction of tapioca starch. *Starch/Stärke*, 59: 290-296.
- VLIEGER, J.J. 2003. Green plastics for food packaging. In R. Ahvenainen (Ed.), *Novel food packaging techniques* Cambridge: E-Publishing Inc. (pp. 519–533).
- YU L., and CHRISTIE G., 2001. Measurement of starch thermal transition using differential scanning calorimetry. *Carbohydrate Polymers*. 43(2): 179-184.
- ZELEZNAK, H.F. and HOSENEY, R.C. 1997. The glass transition in starch. *Cereal Chemistry*, 64: 121–124.

7. EKLER

Ek 1. Farklı kaynaklardan elde edilen nişastalar çapraz bağlanarak üretilen tabakların fotoğrafları



Ek 2. Buğday-Patates nişastası karışımına yardımcı malzemeleri ilave edilerek üretilen tabakların fotoğrafları



ÖZGEÇMİŞ

Ahmet AYGÜN 1987 yılında Sivas'ta doğdu. İlk ve orta dereceli öğrenimini Sivas'ta tamamladı. 2005 yılında girdiği Akdeniz Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nden 2010 yılında Gıda Mühendisi olarak mezun oldu. Eylül 2010 Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Halen aynı Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir.