

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİYEL TASARIM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**SÜRDÜRÜLEBİLİR DOĞAL ELYAF BAZLI TEKSTİL
AMBALAJ TASARIMI, GELİŞTİRİLMESİ VE
İNCELENMESİ**

**Hazırlayan
Tuba Ezgi YİĞİT**

**Danışman
Prof. Dr. Cem SİNANOĞLU
2.Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Esra AKGÜL**

Yüksek Lisans Tezi

**Temmuz 2025
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİYEL TASARIM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**SÜRDÜRÜLEBİLİR DOĞAL ELYAF BAZLI TEKSTİL
AMBALAJ TASARIMI, GELİŞTİRİLMESİ VE
İNCELENMESİ**

**Hazırlayan
Tuba Ezgi YİĞİT**

**Danışman
Prof. Dr. Cem SİNANOĞLU
2.Danışman
Dr. Öğr. Üyesi ESRA AKGÜL**

Yüksek Lisans Tezi

**Temmuz 2025
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Tuba Ezgi YİĞİT

İmza

“Sürdürülebilir Doğal Elyaf Bazlı Tekstil Ambalaj Tasarımı, Geliştirilmesi ve İncelenmesi” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Tuba Ezgi YİĞİT

Danışman

Prof. Dr. Cem SİNANOĞLU

2.Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Esra AKGÜL

Endüstriyel Tasarım Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Cem SİNANOĞLU

TEŞEKKÜR

Bana çalıőmalarım süresince her türlü yardımını ve fedakârlığı sağlayan, her zaman yanımda hissettiğim ve sonsuz fedakârlığıyla bana güç veren babam başta olmak üzere aileme en derin teşekkürlerimi ve minnettarlığımı sunarım. Yüksek lisans eğitimin ve tez çalışmam boyunca bilgisi, tecrübeleri ve yol göstericiliği ile bana rehberlik eden değerli danışmanım Prof. Dr. Cem SİNANOĞLU'na ve Dr. Öğr. Üyesi Esra AKGÜL'e, ayrıca süreçte sağladıkları malzeme ve teknik destek için Eren Holding, Mumo ve Yeşil Kundura firmalarına teşekkür ederim.

Tuba Ezgi YİĞİT

Temmuz 2025, KAYSERİ

SÜRDÜRÜLEBİLİR DOĞAL ELYAF BAZLI TEKSTİL AMBALAJ TASARIMI, GELİŞTİRİLMESİ VE İNCELENMESİ

Tuba Ezgi YİĞİT

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2025
Danışman: Prof. Dr. Cem SİNANOĞLU
2. Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Esra AKGÜL

ÖZET

Bu çalışmada, farklı doğal elyaf içeriklerine sahip tekstil yüzeyleri balmumu esaslı kaplamalarla fonksiyonel hale getirilmiştir. Kaplamanın, kumaşların mekanik, fiziksel ve antibakteriyel özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada balmumu solüsyonu kullanılarak, pamuk, organik pamuk, keten, kenevir, tencel ve yün kumaşlar kaplanmış ve tekstil bazlı ambalajlar geliştirilmiştir. Daha sonra tekstil bazlı ambalajların, mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Ayrıca E. coli ve S. aureus bakterilerine karşı antibakteriyel testler uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, balmumu kaplamasının kumaş cinsine bağlı olarak çekme mukavemeti ve uzama değerlerinde değişimlere yol açtığını göstermiştir. Bazı kumaşlarda çekme dayanımı artarken, bazı örneklerde uzama kabiliyeti belirgin şekilde yükselmiştir. Antibakteriyel testler ise balmumunun tek başına bakteri üremesini engellemede yeterli olmadığını ortaya koymuştur. Ek olarak tasarlanan tekstil bazlı ambalajlara kullanıcı testi yapılarak, gözlemler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, doğal ve biyolojik olarak parçalanabilen balmumu tekstil yüzeylerinde sürdürülebilir kaplama malzemesi olarak kullanılmış olup, sürdürülebilir tekstil bazlı ambalajlar elde edilmiştir. Ayrıca farklı elyaf yapılarına sahip kumaşlarla elde edilen bu ambalaj alternatiflerinin performansları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Balmumu, doğal elyaf, tekstil yüzeyi, mekanik özellikler, antibakteriyel etki, sürdürülebilir kaplama

DESIGN, DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF SUSTAINABLE NATURAL FIBER BASED TEXTILE PACKAGING

Tuba Ezgi YİĞİT

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master Thesis, July, 2025

Supervisor: Professor Dr. Cem SİNANOĞLU

2. Supervisor: Assistant Professor Dr. Esra AKGÜL

ABSTRACT

In this study, textile surfaces with different natural fibre contents were functionalized with beeswax-based coatings. An investigation was conducted into the effects of the coating on the mechanical, physical and antibacterial properties of the fabrics. In the course of the study, cotton, organic cotton, linen, hemp, tencel and wool fabrics were coated with a solution of beeswax, and textile-based packaging was developed. The mechanical and physical properties of the textile-based packages were then investigated. Antibacterial tests were also performed against *E. coli* and *S. aureus* bacteria. The findings demonstrated that the application of the wax coating resulted in alterations in tensile strength and elongation values, which were contingent on the type of fabric. While tensile strength increased in some fabrics, significant increases in elongation ability were observed in other samples. Antibacterial tests revealed that beeswax alone is not sufficient to inhibit bacterial growth. Furthermore, user testing was conducted on the designed textile-based packaging, and observations were recorded. In this study, natural and biodegradable beeswax was utilised as a sustainable coating material on textile surfaces, resulting in the production of sustainable textile-based packaging. Furthermore, the performance of these packaging alternatives, when utilised with fabrics exhibiting varying fibre structures, was examined.

Keywords: Beeswax, natural fiber, textile surface, mechanical properties, antibacterial effect, sustainable coating

İÇİNDEKİLER

SÜRDÜRÜLEBİLİR DOĞAL ELYAF BAZLI TEKSTİL AMBALAJ TASARIMI, GELİŞTİRİLMESİ VE İNCELENMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK	iii
ONAY:	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET.....	vi
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	x
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Problem Durumu	2
1.2. Araştırmanın Amacı	2
1.3. Ambalaj.....	3
1.4. Ambalaj ve Önemi	5
1.5. Ambalaj Çeşitleri	6
1.6. Ambalaj Tasarımı ve Estetiğinin Önemi.....	7
1.7. Ambalaj Atıklarının Çevresel Etkileri.....	9
1.8. Ambalaj ve Gıda Güvenliği.....	10
1.9. Ambalajın İnsan Üzerindeki Etkileri.....	11
1.10. Sürdürülebilir Ambalajlar	12
1.11. Sürdürülebilir Ambalajların Önemi	13
1.12. Literatürde Sürdürülebilir Ambalaj ile İlgili Çalışmalar	15
1.13. Tekstil Tabanlı Ambalajlar	16
1.14. Tekstil Ambalajlarının Kullanılabilirliği	19

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Malzeme	21
--------------------	----

2.2. Metod	24
3. BÖLÜM	
BULGULAR	
3.1. Mekanik Testler	32
3.2. Hava Geçirgenliği Test Sonuçları	36
3.3. Antibakteriyellik Testi	36
4. BÖLÜM	
TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER	
4.1. Mekanik Performans Açısından Sonuçlar	42
4.2. Antibakteriyellik Özelliklerin Değerlendirilmesi	43
4.3. Tekstil Bazlı Sürdürülebilir Ambalajların Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi.....	43
4.4. Tasarlanmış Kullanım Alternatifleri	44
4.5. Öneriler	45
KAYNAKÇA	46
EKLER	55
ÖZGEÇMİŞ.....	56

KISALTMALAR

AgNPs	: Nanogümüş
AgNPs-N1	: Nanogümüş Solüsyonu ile Tek Kat Kaplamalı Pamuk Kumaş
N1	: Tek Kat Kaplamalı Pamuk Kumaş
N1.1	: Çift Kat Kaplamalı Pamuk Kumaş
N2	: Tek Kat Kaplamalı Organik Pamuk Kumaş
N2.1	: Çift Kat Kaplamalı Organik Pamuk Kumaş
N3	: Tek Kat Kaplamalı Kenevir Kumaş
N3.1	: Çift Kat Kaplamalı Kenevir Kumaş
N4	: Tek Kat Kaplamalı Keten Kumaş
N4.1	: Çift Kat Kaplamalı Keten Kumaş
N5	: Tek Kat Kaplamalı Tencel Kumaş
N5.1	: Çift Kat Kaplamalı Tencel Kumaş
N6	: Tek Kat Kaplamalı Yün Kumaş
N6.1	: Çift Kat Kaplamalı Yün Kumaş

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Kaplanmış kumaş özellikleri	27
Tablo 2.2.	Testler ve test standartları	28
Tablo 3.1.	Kaplamasız kumaşların çekme mukavemeti, uzama miktarı ve yırtılma dayanımı test sonuçları	32
Tablo 3.2.	Aşınma mukavemeti ve yüzey pürüzlülüğü test sonuçları.....	34
Tablo 3.3.	Tek katlı balmumu ile kaplanmış kumaşların hava geçirgenliği test sonuçları	36
Tablo 3.4.	N1, N3 ve N6 numaralı kaplanmış kumaşların antibakteriyellik test sonuçları	37
Tablo 3.5.	AgNPs-N1 numaralı kaplanmış kumaşların antibakteriyellik test sonuçları	38
Tablo 3.6.	Yıkama sonrası AgNPs-N1 numaralı kaplanmış kumaşın antibakteriyellik test sonuçları.....	39
Tablo 3.7.	Farklı ambalajların saklama süresine etkisinin değerlendirilmesi	40

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Numune kumaşların hazırlanması.....	25
Şekil 2.2.	Solüsyonun uygulanma işlemi.....	25
Şekil 2.3.	Hazırlanan solüsyon	26
Şekil 2.4.	Kaplanmış kumaş görselleri	27
Şekil 2.5.	Çekme mukavemeti ve uzama miktarı testi.....	28
Şekil 2.6.	Test için hazırlanan numuneler	29
Şekil 2.7.	Aşınma mukavemeti ve yüzey pürüzlülüğü testi	29
Şekil 2.8.	Hava geçirgenliği testi	30
Şekil 3.1.	Balmumu ile kaplanmış kumaşların çekme mukavemeti, uzama miktarı ve yırtılma dayanımı test sonuçları	33
Şekil 4.1.	Tekstil bazlı ambalajların kullanım örnekleri	44
Şekil 4.2.	Tekstil bazlı ambalajların tasarım alternatifleri	44
Şekil 4.3.	Tekstil bazlı ambalajların günlük kullanım örnekleri.....	45

GİRİŞ

Günümüzde çevre dostu ambalaj malzemelerine olan ihtiyaç her geçen gün daha fazla hissedilmektedir. Özellikle tek kullanımlık plastik ambalajların doğada uzun süre kaybolmadan kalması ve bunun canlı yaşamını tehdit etmesi, bu konuda sürdürülebilir alternatifler geliştirilmesini zorunlu hale getirmiştir. Bu nedenle son yıllarda doğal elyaflardan üretilen tekstil yüzeylerinin ambalaj malzemesi olarak kullanımı dikkat çekmeye başlamıştır. Bu tür tekstil yüzeylerinin geri dönüşebilir ve biyolojik olarak parçalanabilir yapıları sayesinde plastik bazlı ambalajlara iyi bir alternatif olabileceği düşünülmektedir. Balmumu ise doğal, yenilenebilir ve biyobozunur yapısıyla tekstil yüzeylerinde su itici, koruyucu ve bariyer özelliklerini artırmak amacıyla tercih edilen bir kaplama malzemesi olarak öne çıkmaktadır. Bu tez çalışmasında farklı doğal elyaf içeriğine sahip tekstil yüzeyleri balmumu ile kaplanmış ve bu kaplamanın ambalaj kullanımına uygunluk açısından kumaşların mekanik, fiziksel ve antibakteriyel özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu şekilde hem tekstil tabanlı ambalaj malzemelerinin çevre dostu bir alternatif olarak kullanılabilirliği değerlendirilmiş hem de balmumu kaplamanın bu alana sağlayabileceği katkılar ortaya konmuştur. Çalışmanın bulgularının, ileride tekstil bazlı sürdürülebilir ambalaj çözümleri geliştirilmesine yönelik yapılacak araştırmalara da yol göstermesi amaçlanmaktadır.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Problem Durumu

Dünyamızın nüfusu arttıkça başta temel ihtiyaçlar olmak üzere tüketimde doğrusal olarak artmaktadır. Bu artış ambalaj tüketiminin de artmasına neden olmaktadır. Ambalajın görevi ürünü dış etkenlerden korumak, muhafaza etmek ve tasarımıyla bunu tüketiciye görsel olarak sunarak ürünün satın alınabilirliğini artırmaktır. Ambalajların büyük çoğunluğu tüketiciye ulaştıktan sonra işlevini bitirip atık haline gelmektedir. Son yıllarda plastik gıda ambalajları kullanımında artış olduğu gözlemlenmiştir. Bu artışın sebebi plastiklerin alternatif ambalajların özelliklerine göre maliyetinin nispeten düşük olması, çeşitli şekillere girebilmesi, hafif ve dayanıklı olması avantaj sağlamıştır [1]. Özellikle polietilen (PE), polipropilen (PP) ve polietilen tereftalat (PET) gibi plastik malzemeler fiziksel ve kimyasal özellikleri sebebiyle gıda ile temas uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [2,3]. Plastik ambalaj kullanımı çevreye ve insan sağlığına karşı risk oluşturmaktadır. Araştırmalar sonucunda plastiğin özellikle endokrin sistem bozuklukları, kanserler ve gelişim bozuklukları gibi hastalıkların başlığı altında insan sağlığını olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir [4]. Ambalajların gıda ile temasında kimyasalların gıda ile etkileşimi gerçekleşebilir. Bunlar ürünün paketlenme şekli, ısıl muamelesi ve depolama sıcaklığı, UV ışınına maruz kalışı, saklama süresi, plastiğin ve gıdanın kimyasal özelliklerine göre değişkenlik göstermektedir [4,5]. 2040 yılına kadar hem karada hem de okyanusta yaklaşık 1,3 milyar ton plastiğin çevremize karışacağı öngörülmektedir [6].

1.2. Araştırmanın Amacı

Son zamanlarda tüketicilerin artan çevre bilinci ile çevre dostu ürünlere yönelim artmaktadır. Günlük yaşamımızda kullandığımız tek kullanımlık gıda ambalajlarında

plastik ve benzer içerikli ürünler sıklıkla tercih edilmektedir. Bu ürünlerin çevre dostu ürünlere göre maliyetinin nispeten düşük olması ve kullanışlı olması tüketiciye cazip gelmektedir. Her ne kadar kullanım açısından kolaylık sağlıyor olsa da günlük atık yükünü arttırmaktadır. Çevreye dolaylı olarak da insan sağlığına karşı risk oluşturmaktadır. Aynı zamanda gıdalarla olan etkileşiminde zararlı maddelerinde gıdaya geçişine neden olabilmektedir. Gıda türlerine göre etkileşime girdiği ürünün kalitesini düşürür ve daha hızlı bozulmasına sebep olmaktadır. Yaygın kullanımı olan zararlı plastik gıda ambalajlarına alternatif olarak doğal içerikli ambalajlar üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Literatürde, biyopolimerlerden üretilmiş yenilebilir ambalajlar üretilmiştir. Yenilebilir bir madde tabakası doğrudan gıda maddelerine kaplanabilir veya gıda ambalajı olarak işlev görecektir şekilde uygulanabilir [6]. Mumlu kağıtlar paketlenmiş gıdaların raf ömrünü uzatmak için potansiyel uygulamalara sahiptir [7]. Bu çalışmada tekstil tabanlı sürdürülebilir ambalaj tasarımı geliştirilmesi hedeflenmiştir. Gıdaların korunması ve saklanması için doğal liflerden elde edilen kumaşlar balmumu bazlı solüsyon ile kaplanarak elde edilen ürünlerin mekanik özellikleri incelenmiş olup, antibakteriyellik özellikleri de incelenmiştir. Ayrıca antibakteriyellik özellikler kazandırmak için nanogümüş ile çalışmalar da yapılmıştır.

1.3. Ambalaj

Ambalaj; eşyaları güvende tutmayı, taşımayı, depolamayı, pazarlamayı kolaylaştırmayı ve tüketicileri güvende tutmak için çok önemlidir. Tüm bu nedenlerden dolayı ambalajlama fikri gıda mühendisliği, malzeme bilimi, lojistik ve çevre bilimleri gibi alanlarda önemli bir çalışma konusu haline gelmiştir [8]. Literatürde ambalaj türleri iki ana gruba ayrılmaktadır. Ambalajlar, tedarik zincirindeki rollerine göre birincil, ikincil ve üçüncül olarak kullanılan malzeme türüne göre ayrılırlar. Ürünün etrafını saran ilk ambalaj katmanına birincil ambalaj adı verilir. Süt kartonları, plastik içecek şişeleri ve ilaç ambalajları gibi fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik tehlikelere karşı eşyaları temiz ve güvende tutmaktadır. Ayrıca birincil ambalajlar, müşteriler için marka bilgisi ve besin değeri gibi önemli bilgiler içerir ve pazarlama amacına da hizmet eder [8]. Oluklu kutular, tepsiler ve shrink ambalajlı paketlerden oluşan İkincil paketleme, bir grup birincil paketi bir araya getirerek bunların taşınmasını ve nakledilmesini kolaylaştırmaktır. Perakende satış kuruluşlarında bu paketlemeler rafların hızlı bir şekilde doldurulması ve ana malların nakliye sırasında güvende tutulması açısından önemlidir. Üçüncül ambalajlamanın temel

amacı, büyük miktarlardaki ürünlerin depolanmasını ve taşınmasını kolaylaştırmaktır. Üzerinde kutular veya büyük kasalar bulunan paletler yüklemeyi kolaylaştırarak ve hasar tehlikesini azaltarak lojistiğin daha iyi çalışmasını sağlamaktadır [9]. Malzeme temelli bir bakış açısıyla ambalajlama biçimlerinin nasıl çalıştıklarını, kimyasal olarak nasıl tepki verdiklerini ve çevreyi nasıl etkiledikleriyle yakından ilgilidir.

Plastikler, herhangi bir ürünü paketlemek için kullanılan en yaygın malzemelerdir. Bu paket malzemelerinden en bilinenleri Polietilen (PE), polipropilen (PP), polietilen tereftalat (PET) ve polistiren (PS)'dir. Bunlar, esnek, hafif ve ucuz termoplastiklerdir. Gazları, nemi ve kokuları dışarıda tutmak için çok uygundur. Çeşitli ambalaj taleplerini karşılamak için filmlere, sert kaplara veya köpük tepsilere dönüştürülebilirler [10]. Son zamanlarda tüketiciler, çevre için geri dönüştürülebilir kağıt ve karton ambalajları tercih etmektedirler. Ancak kağıdın nem ve gaza karşı bir bariyer olarak doğal sınırlamaları, tipik olarak plastik veya alüminyum katmanlarla lamine edilmesi gerektiği anlamına gelir. Bu da kullanılabilirliği ve geri dönüşümü zorlaştırabilir [11]. Metal ambalajlar, özellikle de alüminyum ve teneke kutular, yiyecekleri taze tutma konusunda oldukça iyi malzemelerdir. Bu da onları konserve yemekler ve içecekler gibi uzun süre dayanması gereken şeyler için mükemmel kılar. Metaller ışığa, oksijene ve mikrobiyolojik kirlenmeye karşı neredeyse tamamen koruma sağlarlar ancak bunları yapmak için çok fazla enerji harcar ve daha ağır olmalarına neden olur. Bu durumda nakliye maliyetlerini yükseltir [10]. Cam ambalaj kimyasallarla tepkimeye girmez ve gazların ya da nemin içeri girmesine izin vermez. Bu, asitli yemekler ve yüksek kaliteli içecekler için çok önemlidir ancak cam ağırdır ve kolayca kırılabilir. Bu yüzden taşınmasını zorlaştırır ve taşındığında daha fazla kirliliğe neden olur. Birçok işletme, çevre üzerindeki etkilerini azaltmak için yeniden doldurma sistemleri kullanarak bununla başa çıkmaktadır [12]. Son birkaç yılda biyopolimer bazlı ambalajlar üzerine çok sayıda çalışma yapılmıştır. Biyopolimerler nişasta, selüloz, kitosan ve hatta süt proteinleri gibi doğal kaynaklardan elde edilir. Yenilenebilirler ve genellikle doğal olarak parçalanırlar. Dutta ve Sit'in çalışmalarına göre, Biyopolimerler parçalanabilir ve yeniden kullanılabilir gibi görünse de mekanik mukavemetleri, bariyer nitelikleri ve üretim maliyetleri ile ilgili çözülmesi gereken sorunlar olduğunu belirtmektedir. Buna ek olarak, antibakteriyel maddeler veya tazelik göstergeleri içeren aktif ve akıllı ambalajlar gibi yeni ambalaj trendleri, ambalajı sadece bir şeyleri tutmak ve korumaktan daha faydalı hale getirmektedir. Ambalajlama kararları,

koruyucu ve lojistik görevlerinin yanı sıra ekonomik ve sosyal değişkenler üzerinde de büyük bir etkiye sahiptir [13]. Khademi Kord ve Pazirandeh'in çalışmalarında Volvo Logistics için paketleme çözümlerinin tüm maliyetinin sadece malzemelerin fiyatından daha fazla etkilendiğini göstermiştir. Ambalajın ne kadar kolay taşınabildiği, ne kadar temiz olduğu ve ne kadar verimli taşınabildiği gibi diğer hususlar da rol oynamaktadır. Dolayısıyla, en iyi ambalajı seçmek genellikle teknik performans ile lojistik ve ergonomik faktörler arasında bir denge bulmak anlamına gelir [9]. Doğru ambalaj türünü seçmek, ürünleri güvende tutmak, tüketicileri güvende tutmak ve markaları öne çıkarmak için çok önemlidir. Aynı zamanda küresel sürdürülebilirlik hedeflerine ve döngüsel ekonomi hedeflerine ulaşmak için de önemlidir.

1.4. Ambalaj ve Önemi

Ambalaj, ürünle ilgili ilk izlenimin oluştuğu, marka ile tüketici arasındaki ilk fiziksel ve psikolojik temas noktasıdır. Ambalajın sadece koruyucu bir kabuk değil; aynı zamanda bir pazarlama aracı, bilgi kaynağı ve algı yönlendirici olduğu giderek daha çok kabul görmektedir. Bu kapsamda, ambalaj tasarımının tüketici davranışları üzerindeki etkisi, özellikle tekstil gibi estetik yönü ağır basan sektörlerde oldukça belirgindir [14]. Ambalajın görsel ve yapısal öğeleri örneğin renk, doku, yazı tipi, görsel hiyerarşi ve kullanılan malzeme türü tüketicinin ürünü nasıl algıladığını doğrudan etkiler. Tekstil ambalajlarında kumaş dokusu, doğallık algısı yaratmakta ve ürünle özdeşleşen bir duygusal deneyim sunmaktadır. Liu ve Song (2020), tekstil sektöründeki çevreci ambalaj tasarımlarının, özellikle genç tüketicilerde "marka otantikliğini" artırdığını ve satın alma niyetini olumlu etkilediğini belirtmiştir [15]. Tekstil ambalajları aynı zamanda tüketicide güven duygusu yaratır. Tek kullanımlık plastik ambalajlara kıyasla, pamuklu veya bez bazlı ambalajlar daha "kalıcı", "değerli" ve "sahip olunmaya değer" bir ürün izlenimi uyandırır. Underwood ve Klein'in (2002) bulgularına göre, ambalajda kullanılan görsel öğeler (örneğin kumaşın türü, dokusu, sade ya da işlemeli oluşu) tüketici zihninde markayla özdeşleştirilir ve marka sadakati oluşumunda doğrudan etkili olur [16]. Tüketici davranışı açısından sürdürülebilirlik kavramı da giderek daha belirleyici hale gelmektedir. Ambalajın tekrar kullanılabilir veya geri dönüştürülebilir olması, ürüne karşı olumlu tutum geliştirilmesini sağlar. Ambalajın "çevre dostu" mesajı taşıması, tüketicinin kendisini sorumlu bir birey olarak görmesine katkı sağlar ve bu da satın alma kararını etik bir zemine oturtur [15].

1.5. Ambalaj Çeşitleri

Ambalaj, ürünün iyi görünmesini sağlar ve tüketiciye ürün hakkında bilgi vermektedir. Ambalaj sadece bir şeyleri korumanın bir yolu olmaktan çıkıp ürün tanımlama ve pazarlama stratejisinin önemli bir unsuru haline gelmiştir. Üretim yöntemlerindeki gelişmeler, ticaret ve müşteri ihtiyaçları bu durumu tetiklemiştir. Ambalajlar artık ne için kullanıldığına, nasıl yapıldığına ve yapımında kullanılan malzemelere göre çok sayıda çeşide ayrılmaktadır.

Kağıt ve kartondan yapılan ambalajlar sektördeki en yaygın türlerden biridir. Kraft kağıt uzun süre dayandığı ve kolay kırılmadığı için ağır veya keskin kenarlı ürünlerin paketlenmesinde kullanılmaktadır. Sülfite ve parşömen kağıtları da yağ veya sudan zarar görmedikleri için gıda ambalajları için kullanılmaktadır. Kuru gıda, ayakkabı ve tekstil gibi birçok sektör hem nakliye hem de sergileme için karton kutular kullanılmaktadır. Karton kutular aynı zamanda ürünlerin tanıtımı ve marka bilinirliğinin artırılması için de önemlidir [17].

Plastik ambalajlar modern ambalajlamada işinin en önemlidir. İnsanlar hafif, güçlü ve çok farklı şekillerde yapılabildiği için bu malzeme kategorisini çok fazla tercih etmektedir. Torbalar, streç filmler, şişeler, yoğurt ve margarin kapları gibi pek çok şeyde farklı plastik türleri kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları polietilen (PE), polipropilen (PP), Polipropilen polistiren (PS) ve polietilen tereftalattır (PET). Plastikler gazların ve nemin kolayca geçmesine izin vermez, bu da yiyecekleri taze tutmak. Ancak çevrede uzun süre parçalanmadan kalırlar, bu da ekosistem için büyük bir sorundur [18]. Bu nedenle son yıllarda parçalanabilen veya geri dönüştürülebilen plastikler yapmak için gün geçtikçe daha fazla çaba sarf edilmektedir.

Cam ambalajlar özellikle gıda ve içecek endüstrisinde çok önemlidir. Kimyasal olarak reaksiyona girmez ve tamamen geri dönüştürülebilir. Reçel, bal, zeytin ve içecekler gibi pek çok şey camla paketlenir. Berrak ve parlak olduğu için insanların içindeki şeyi görmesini sağlar. Bu özelliği tüketici tarafından satın alma olasılıklarını artırır. Cam çok narin olduğundan dolayı taşırken ve saklarken dikkatli olmak gerekmektedir. Bu nedenle cam ambalajlar satılmadan önce genellikle karton veya plastik taşıyıcılarla güçlendirilir [19].

Metal ambalajlar genellikle alüminyum, çelik veya kalaydan yapılmaktadır. Başta konserve ve içecek kutuları olmak üzere pek çok ürünün uzun süre dayanabilmesi için tercih edilmektedir. Bunun en önemli sebeplerinden biri uzun süre taze kalmalarını sağladığı için tüketiciler bu ambalajları tercih eder. Metal ambalajlar ışığı, havayı ve nemi dışarıda tutarak ürünlerin daha uzun süre dayanmasını sağlar. Ayrıca kabın iç kısmındaki cila veya film kaplamalar, gıdanın metale doğrudan temas etmesini engelleyerek ürünün tadını ve kalitesini korur [18]. Modern üretim yöntemleri, metal kutulara renkli tasarımlar basılmasını da mümkün kılmaktadır. Bu sayede tüketiciler marka ve ürün bilgilerini doğrudan ambalajın üzerinde görebilmektedir.

Ahşap ve doğal lif bazlı ambalajlar çoğu zaman geleneksel yöntemlerle kullanılmaktadır. Ahşap kasalar ve kutular taze meyve ve sebzeleri taşımak için çok sık kullanılır. Bunlar ürünlerin pazarda taşınmasını ve sergilenmesini kolaylaştırır. Pamuk atıkları ve selüloz da aynı şekilde doğal kaynaklı alternatif ambalaj malzemeleri olarak kabul edilen yarı sentetik polimerlerin yapımında kullanılabilir [17].

Kompozit ve işlevsel ambalajlar ise farklı niteliklere sahip malzeme katmanlarının bir araya getirilmesiyle oluşturulur. Karton, plastik ve alüminyum içeren kompozit malzemeler güçlüdür ve eşyaların hasar görmesini engeller. Bu özellikle ışığa ve oksijene karşı hassas olan süt ve meyve suyu gibi ürünlerin paketlenmesi için önemlidir. Ayrıca, son birkaç yılda aktif paketlenme (oksijen emiciler veya nem düzenleyiciler gibi), akıllı paketlenme (sıcaklık veya tazelik gösteren etiketler gibi) ve antimikrobiyal yüzeyler gibi yenilikçi fonksiyonel paketlenme çözümleri daha yaygın hale gelmiştir. Bu modern çözümler hem üreticilerin hem de müşterilerin kaliteyi daha uzun süre korumasını sağlamaktadır [11,20]

1.6. Ambalaj Tasarımı ve Estetiğinin Önemi

Günümüzde ürün ambalajlarının tasarımı, satın alma kararlarını etkilemede faydacı nitelikleri kadar önemlidir. Ambalaj, artan rekabet, farklı tüketici istekleri ve pazar seçeneklerinin bolluğu nedeniyle sadece koruyucu bir önlem olmaktan çıkıp pazarlama ve marka iletişimi için stratejik bir araca dönüşmüştür. Literatürde yer alan çok sayıda çalışma, ambalajın görünümünün -rengi, şekli, yazı karakteri, imgeleri, malzemesi ve bilgilerini kapsayacak şekilde- tüketicilerin satın alma kararlarını doğrudan etkilediğini göstermektedir [21-25]. IJNRD tarafından Filipinler'de yürütülen bir saha araştırması,

renk, şekil, görüntü, yazı tipi stili, malzeme ve ürün bilgileri gibi ambalajın tüm estetik unsurlarının tüketicilerin satın alma kararlarını önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymuştur. Araştırma, kutu üzerindeki yazı tipi ve içeriğin ürüne olan inancı aşıladığını, renklerin ise dikkat çektiğini ve satın alma olasılığını artırdığını belirlemiştir [21]. Tanzania'daki küçük işletme sahipleriyle yapılan ayrı bir çalışma, ambalaj etiketlerinin, malzeme kalitesinin ve rengin satın alma kararlarını önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Bulgular, ambalaj kalitesi vasatın altında olduğunda, tüketicilerin tipik olarak ürünleri güvenilir olarak algıladıklarını ve sıklıkla ithal alternatifleri tercih ettiklerini göstermiştir. Bu durum, gelişmekte olan ekonomilerde, yenilikçi ve çekici ambalaj tasarımlarının tüketici tercihlerini etkilemek için çok önemli olduğunu göstermektedir. Araştırmacılar Zimbabve'deki süt ürünleri ambalajlarında renk, malzeme, tipografi ve kullanım talimatlarının tüketici tercihleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Sonuçlar, etkili ambalaj entegrasyonunun müşterilerin ürüne ilişkin algılarını olumlu yönde etkilediğini ve dolayısıyla satın alma olasılığını artırdığını göstermiştir. Ambalaj, süt ürünleri gibi sık satın alınan gıda kategorilerinde özellikle önemlidir, çünkü rafta “sessiz bir satış elemanı” görevi görerek tüketicileri satın almaya ikna eder [23]. Bir nöropazarlama çalışması, estetik açıdan hoş ambalajların tüketicilerin beyinlerinin nükleus akumbens ve ventromedial prefrontal korteks dahil olmak üzere ödülle ilgili bölgelerinde daha fazla aktivasyonu uyardığını ortaya koymuştur. Reimann ve meslektaşları fMRI kullanarak estetik açıdan hoş ambalajların sade ambalajlara kıyasla daha uzun süreli karar verme sürecine yol açtığını, daha yüksek maliyetlere rağmen tercih edildiğini ve beyinde önemli bir ödül tepkisi ortaya çıkardığını göstermiştir. Sonuçlar, ambalaj tasarımının yalnızca görsel bir unsur olmadığını, tüketici edinimini etkileyen önemli bir psikolojik özellik olduğunu göstermektedir. Görsel olarak çekici olan ve dikkat çeken tüm tasarım unsurları, çağdaş pazarlamanın sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşması için çok önemlidir. Minimalist tasarımlar, sade tipografi ve geri dönüştürülebilir veya biyolojik olarak parçalanabilir malzemelerin kullanımı, yalnızca bir markayı tanımlamakla kalmayıp aynı zamanda çevresel sorumluluk taahhüdünü de ileten estetik seçimleri örneklemektedir. Sürdürülebilir ambalaj tasarımı sadece estetik bir çekiciliğe sahip olmakla kalmaz, aynı zamanda tüketici satın alımları için önemli bir etik teşvik işlevi görür. Bunun nedeni, bireylerin çevre konusunda giderek daha bilinçli hale gelmesidir. Ambalaj tasarımı aynı zamanda müşterilerin duygularını, algılarını ve

çevrelerini etkileyerek marka sadakatini artırır ve kuruluşa sürdürülebilir bir rekabet avantajı sağlar.

1.7. Ambalaj Atıklarının Çevresel Etkileri

Şu anda küresel olarak en önemli çevre sorunlarından biri ambalaj atıklarıdır. Fosil türevli plastik ambalajlar, üretimden bertarafa kadar tüm yaşam döngüsü boyunca çevreyi önemli ölçüde etkilemektedir. Yaşam döngüsü değerlendirmeleri (LCA'lar), ambalaj atıklarının iklim değişikliği, deniz kirliliği, toprak bozulması, ekotoksikite ve ozon tabakasının incilmesi gibi çeşitli çevresel sorunlara önemli ölçüde katkıda bulunduğunu tutarlı bir şekilde göstermiştir [26,27]. Ambalaj endüstrisi, küresel olarak üretilen tüm plastiklerin yaklaşık %37'sini tüketmektedir. Bunun %60'ından fazlası, ağırlıklı olarak tek kullanımlık ürünler olarak gıda ve içecek ambalajlarına aittir [28]. Küresel olarak plastik ambalajların sadece yaklaşık %14'ünün geri dönüştürülüyor olması endişe vericidir. Bariyer özelliklerini geliştirmek için yaygın olarak kullanılan karmaşık çok katmanlı plastik filmler, geri dönüşüm süreçlerini karmaşıktırmakta ve dolayısıyla toplam geri kazanım oranlarını azaltmaktadır [29]. Plastik bazlı ambalajların çevre üzerindeki göze çarpan bir sonucu, ekosistemlerde kalıcı olan makro, mikro ve nano-plastik parçacıklara ayrışmasıdır. Mikroplastikler toprak sağlığını ve tarımsal topraklardaki biyolojik aktiviteyi olumsuz etkilemektedir. Su ekosistemlerinde, deniz organizmalarının sindirim sistemlerine sızarak belki de ölümlere veya popülasyonlarında azalmaya yol açarlar. Bu durum, ekosistem hizmetlerinin devamlılığı açısından önemli bir risk oluşturmaktadır [30]. Ayrıca, plastik ambalaj üretimi önemli miktarda fosil kaynak tüketmekte ve atmosfere önemli miktarda sera gazı salmaktadır. Küresel petrol tüketiminin yaklaşık %2-4'ü sadece plastik üretimi için kullanılmaktadır. Bu süreçten kaynaklanan CO₂, SO₂ ve NO_x emisyonları hava kalitesini daha da kötüleştirmekte ve küresel ısınmaya katkıda bulunmaktadır. Ayrıca, işlenmiş atık sular ve atık sular su kirliliğine önemli ölçüde katkıda bulunarak ekosistem üzerindeki baskıyı daha da artırmaktadır. Buna karşılık, doğal ve biyo-bazlı ambalaj alternatifleri çevre için çok daha faydalıdır. Ahşap, kenevir, pamuk, selüloz veya biyopolimerler gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edilen ambalajlar daha düşük bir karbon ayak izi sergiler ve kullanım sonrası biyolojik süreçlere yeniden entegrasyonu kolaylaştırır. Biyolojik olarak parçalanabilir ve kompostlanabilir çözümler, tehlikeli atık kalıntısı olmadan toprağa yeniden entegre olur. Bu da geleneksel plastiklerle ilişkili kalıcı çevresel sorunları

hafifletmektedir [31]. Ekolojik ambalaj alternatifleri üretim sırasında tipik olarak daha güvenli kimyasallar kullanır ve bu da daha az uçucu organik bileşik (VOC) ve zararlı yan ürün emisyonuna neden olur [32]. Elde edilen önemli kanıtlar, ekosistem sağlığını korumak ve iklim hedeflerine ulaşmak için plastik bazlı ambalajlardan doğal alternatiflere geçişin acil bir ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Bu tür doğal ambalajlar döngüsel ekonomiyi destekler ve zaman içinde sera gazı emisyonlarını ve zararlı çevresel etkileri azaltır.

1.8. Ambalaj ve Gıda Güvenliği

Gıda ambalajı, raf ömrünü uzatmak, nakliye ve depolama sırasında fiziksel hasara karşı koruma sağlamak ve müşterilere hijyenik teslimatı garantilemek için önemli bir araçtır. Son çalışmalar, kimyasal maddelerin ambalaj malzemelerinden gıdaya geçişinin hem gıda kalitesi hem de insan sağlığı açısından önemli endişeler yarattığını göstermektedir [33,34]. Kullanımı kolay ve ekonomik verimliliği nedeniyle yaygın olan plastik ambalajlar, sıklıkla gıdaya sızabilen monomerler, plastikleştiriciler, stabilizatörler ve renkler içerir. Göç oranı, temas süresi, sıcaklık, pH ve ambalajın fiziksel özellikleri gibi çeşitli parametrelerden etkilenir. Çok sayıda çalışma, PE, PP ve PVC gibi plastiklerde bulunan bisfenol A (BPA) ve ftalatlar gibi maddelerin endokrin bozucu olarak işlev gördüğünü ve kanserojen ve mutajenik özelliklere sahip olduğunu açıkça göstermiştir [33,34]. Ayrıca, PET şişelerde uzun süre tutulan suda yüksek antimon ve alüminyum konsantrasyonları tespit edilmiştir [34]. Benzer şekilde, teneke ve alüminyum kutular gibi metal bazlı ambalajlar da belirgin endişeler yaratmaktadır. Metal iyonlarının gıdaya göçü özellikle asidik gıdalarda belirgindir. Teneke kutuların iç kaplamasının hasar görmesi, kalay seviyelerinin tehlikeli sınırları aşmasına yol açabilirken, alüminyuma uzun süre maruz kalmanın nörolojik sistem üzerinde zararlı etkilere yol açtığı görülmüştür [34,35]. Kimyasal göçle ilişkili tehlikeleri azaltmak için, biyolojik olarak parçalanabilir ve doğal ambalaj malzemelerinin benimsenmesi son yıllarda önemli bir önem kazanmıştır. Selüloz, nişasta, kitin ve kitosan dahil olmak üzere bitkilerden elde edilen biyopolimerler, yenilenebilir kökenleri ve çevrede hızlı biyolojik olarak parçalanabilirlikleri nedeniyle çevre dostu bir alternatif sunar. Dahası, katkı maddelerine olan gereksinimlerinin azalması, zararlı maddelerin gıdaya geçme olasılığını azaltmaktadır [36,37]. Kitin ve kitosan bazlı biyolojik olarak parçalanabilir filmler, doğal olarak antibakteriyel özellikler sergiler ve bu da gıda yüzeylerinde patojen çoğalmasını engelleyerek kimyasal

koruyuculara olan ihtiyacı azaltır [37]. Nişasta bazlı ambalajlar özünde biyolojik olarak parçalanabilir ve uygun formülasyonlarla nem ve gaz bariyeri nitelikleri geliştirilebilir ve bu da kapsamlı uygulamayı kolaylaştırır [37]. Dahası, selüloz veya nişastayı kitosan, polilaktik asit (PLA) veya bitki proteinleriyle birleştiren kompozit biyofilmlerin oluşturulması, su buharı geçirgenliği, mekanik mukavemet ve antimikrobiyal etkinlik gibi kritik performans göstergelerinin uyumlu bir şekilde geliştirilmesini sağlar ve böylece gıda güvenliği için ek avantajlar sağlar [36,37]. Son araştırmalar, biyopolimer bazlı ambalaj malzemelerinin çevresel sürdürülebilirliği desteklediğini ve tehlikeli kimyasalların gıdaya geçme olasılığını en aza indirerek tüketici sağlığını büyük ölçüde geliştirdiğini göstermiştir [38].

1.9. Ambalajın İnsan Üzerindeki Etkileri

Gıda ambalajı, çağdaş toplumda sadece ürünlerin taşınması ve korunmasına değil, aynı zamanda kamu sağlığının korunmasına da hizmet eden çok önemli bir unsurdur. Ambalajlama için kullanılan malzemenin türü, ambalajın güvenliğini veya insan sağlığına yönelik potansiyel tehlikelerini önemli ölçüde etkilemektedir. Yaygın olarak kullanılan plastik ve metal ambalajların, sentetik kimyasallar ve diğer zararlı bileşiklerin varlığı nedeniyle halk sağlığı için risk oluşturduğu yaygın olarak kabul edilmektedir [5,39,40]. Bu bileşikler zaman içinde sadece gıdanın lezzetini bozmakla kalmaz, aynı zamanda vücutta birikerek potansiyel olarak uzun vadeli sağlık sorunlarına yol açar. Örneğin, plastik ambalajlar, üretimi sırasında tamamlanmamış polimerizasyon süreci nedeniyle sıklıkla vinil klorür, polistiren ve akrilamid gibi artık monomerler içerir. Endüstriyel uygulamalarda kullanılan BPA ve ftalatlar gıdaları kirletebilir ve endokrin sistemi bozarak potansiyel olarak hormonal dengesizliklere, metabolik bozukluklara ve üreme sağlığı sorunlarına yol açabilir [5,39,40]. Çok sayıda çalışma, bu bileşiklerin sadece kısa vadede değil, aynı zamanda uzun süreli maruziyette de zararlı olduğunu ve potansiyel olarak ciddi sağlık sonuçlarına yol açtığını göstermektedir [5,39]. Alüminyum, kurşun ve kadmiyum gibi ağır metaller, korozyon veya yetersiz iç kaplamalar nedeniyle metal bazlı ambalajlar yoluyla gıdalara bulaşabilir. Bu durum böbreklerde ve sinir sisteminde tehlikeli birikimlere yol açabilir [42,43]. Plastik ve metal kaplar şüphesiz insan sağlığı açısından çeşitli riskler taşımaktadır. Doğal, biyolojik olarak parçalanabilen ve biyo-bazlı ambalajlar, doğanın döngüleriyle sorunsuz bir şekilde uyum sağladığından en uygun seçimdir [11,41]. Bu ambalaj çözümleri nişasta, selüloz, kitosan veya polilaktik asit gibi

bitki bazlı polimerlerden oluştuğu için sentetik toksinlerden yoksundur. Bu durum, gıda ile temas eden ambalajların tüketicileri zararlı maddelere maruz bırakma riskinin ihmal edilebilir düzeyde olduğunu göstermektedir [39,11]. Bu doğal malzemeler, plastiklerin aksine endokrin bozuculardan, kanserojenlerden veya ağır metallere yoksundur. Bireylerin sağlığını tamamen korurlar [11, 41]. Çevre dostu ambalajlar çevreye fayda sağlar ve bu da halk sağlığını çeşitli şekillerde olumlu etkiler. Mikroplastik kirliliği, çevrede hızla ayrıştıkları ve tehlikeli kalıntılar bırakmadan ekosistemlere yeniden entegre oldukları için azaltılır. İbrahim ve meslektaşlarının araştırması, bu biyo-bazlı ambalaj alternatiflerinin minimum karbon etkisine sahip olduğunu göstermektedir. Bu da küresel iklim değişikliğini azaltmakta ve uzun vadede toplum sağlığını korumaktadır [11]. Versino ve arkadaşları, bu malzemelerin sürdürülebilir kaynaklardan geldiğini, dolayısıyla çevre bilincini artırdığını ve toplumsal bilgiyi teşvik ettiğini vurgulamaktadır [41]. Tüketici açısından bakıldığında, doğal ambalajların güveni artırdığı açıktır. Tüketiciler, gıdalarıyla temas eden ambalajın bitkisel malzemelerden elde edildiğini bildiklerinde ürünü daha sağlıklı, daha taze ve daha güvenli olarak algılamaktadır. Bu da satın alma kararlarını derhal etkilemektedir [41]. Ayrıca, doğal aktif ambalaj teknolojisindeki son gelişmeler, bu malzemelerin oksijeni emerek veya mikropları yok ederek, çevre dostu ve zararlı olmayan kimyasallar kullanarak raf ömrünü uzatmasını sağlamaktadır.

1.10. Sürdürülebilir Ambalajlar

Son yıllarda tek kullanımlık plastik ambalajların çevresel zararlarına karşı artan toplumsal farkındalık, alternatif ambalaj çözümlerine olan ilgiyi artırmıştır. Sürdürülebilir ambalaj çözümlerinden biri de tekstil bazlı ambalaj ürünleridir. Tekstil ambalajları, döngüsel ekonomi vizyonunun somutlaştığı uygulamalardan biridir. Özellikle pamuk, keten, jüt gibi doğal liflerden üretilen tekstil temelli ambalajlar, çok kez kullanılabilirlik, biyoçözünürlük ve tamir edilebilirlik gibi avantajları sayesinde döngüsel sistemlere entegre edilebilmektedir [44]. Bu tür ambalajlar, hem bireysel tüketimde hem de perakende lojistiğinde çevreci alternatifler sunar. Örneğin birçok tekstil markası, ürünlerini plastik yerine pamuklu torbalar içinde sunarak ambalajı da markanın sürdürülebilirlik kimliğinin bir parçası haline getirmektedir. Döngüsel tekstil ambalaj sistemlerinin bir diğer avantajı da lojistik süreçlerde yeniden kullanıma olanak tanınmasıdır. Klävins ve arkadaşlarının (2022) gerçekleştirdiği bir çalışmada, geri

dönüştürülmüş tekstil liflerinden üretilmiş ambalajların, klasik karton kutulara kıyasla hem çevresel etki hem de maliyet açısından daha avantajlı olduğu gösterilmiştir. Bu ambalajlar, defalarca kullanılabilmekte, kolay onarılabilmekte ve kullanım ömrü sona erdiğinde yeniden ipliğe dönüştürülebilmektedir. Böylece “ürün-ambalaj-atık” zinciri yerine “ürün-ambalaj-yeniden kullanım-yeniden üretim” döngüsü oluşmaktadır [45]. Ayrıca tüketici tarafında da bu tür ambalajların tercih edilme eğilimi artmaktadır. Doğal görümlü kumaş ambalajlar, özellikle çevre duyarlılığı yüksek bireylerde “etik tüketim” davranışını desteklemekte ve markaların sürdürülebilirlik algısını güçlendirmektedir. Bu yönüyle tekstil bazlı ambalajlar sadece lojistik süreçte değil, pazarlama ve marka stratejilerinde de önemli bir rol oynamaya başlamıştır [44]. Tekstil ambalaj sistemleri, hem çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamakta hem de uzun vadede ekonomik fayda yaratmaktadır. Bu nedenle ambalaj tasarımında “yeniden kullanılabilirlik” ve “doğal lif tabanlı üretim” gibi unsurlar ön plana çıkarılmalı, özellikle tek kullanımlık ambalajlara alternatif oluşturacak tekstil bazlı çözümler desteklenmelidir.

1.11. Sürdürülebilir Ambalajların Önemi

Ambalaj sektörü, dünyayı iyileştirmeyi amaçlayan halk arasında artan çevresel kaygılar nedeniyle son yıllarda önemli bir dönüşüm geçirmiştir. Geçmişte kullanılan plastik ve metal ambalajlar bozulmadan yüzyıllarca dayanabilmekte ve potansiyel olarak mikroplastik kontaminasyonu gibi önemli sorunlara yol açmaktadır. Üretim sırasında ortaya çıkan kimyasallar gıdaları kirleterek insan sağlığına zarar verebilir [46]. Sürdürülebilir ambalaj, bertaraf edildikten sonra hızlı bir şekilde ayrışması ve üretimden bertarafa kadar tüm yaşam döngüsü boyunca çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkisinin azaltılması nedeniyle çok önemlidir. Sürdürülebilir ambalajlamanın temel konsepti, plastikler yerine biyopolimerler, doğal mumlar ve diğer organik malzemelerin kullanılmasıdır. Shershneva, biyolojik olarak parçalanabilen ambalajların geleneksel plastiklere kıyasla önemli ölçüde daha düşük karbon ayak izine sahip olduğunu ve gıda atıklarıyla birlikte kompostlanabildiğini ileri sürmektedir. Araştırması, biyolojik olarak parçalanabilen ambalajların bireylerin çevresel sorumluluk duygusunu geliştirdiğini göstermektedir [46]. Çok sayıda deneme, çeşitli malzemeler ve metodolojiler kullanarak sürdürülebilir ambalaj çözümlerinin geliştirildiğini göstermiştir. Örneğin, Bykov ve arkadaşları, elma sosundan elde edilen yenilebilir filmleri incelemiş ve plastikleştirici miktarının artırılmasının filmlerin lezzetini ve dokusunu önemli ölçüde değiştirdiğini

tespit etmiştir. Bu durum, biyopolimer filmlerin yapısal performansının ambalaj kalitesini artırmak için potansiyel olarak geliştirilebileceğini göstermiştir [47]. Küresel nüfusun hızla artması, sanayileşme ve değişen tüketici alışkanlıkları ambalaja olan talebi önemli ölçüde artırmıştır. Bu da doğal kaynakların tükenmesini hızlandırmakta ve kirlilik seviyelerini tehlikeli eşiklere yükseltmektedir. Fosil yakıtlardan elde edilen plastik ambalajlar çevrede yüzyıllarca kalabilmekte, mikroplastik kirliliği ve ekosistem dengesinin bozulması gibi önemli sorunlara yol açmaktadır. Çevre dostu ambalaj seçenekleri, gezegenin gelecek nesiller için sağlıklı kalmasını sağlamak için gereklidir. Sürdürülebilir ambalajlama, hammadde alımından bertarafına kadar tüm yaşam döngüsü boyunca çevresel etkiyi azaltmak için biyolojik olarak parçalanabilir, geri dönüştürülebilir ve yenilenebilir malzemeler kullanmayı amaçlamaktadır. Otoni ve diğerleri, biyo-bazlı ambalaj çözümlerinin sadece plastik atıkları azaltmakla kalmayıp aynı zamanda yenilenebilir kaynakların kullanımını teşvik ederek karbon ayak izini azalttığını ve ekosistemler üzerindeki baskıyı hafiflettiğini ileri sürmektedir [26]. Araştırmaları, nanoteknolojik bileşenlerin bir biyopolimer matrisine dahil edilmesinin, ambalaj filmlerinin gaz ve nem bariyeri özelliklerini geliştirdiğini ve dolayısıyla ürün tazelikliğini uzattığını göstermektedir [26]. Bitkilerden elde edilen selüloz nanokristaller (CNC'ler), son zamanlarda yapılan çalışmalarda büyük ilgi gören en ilgi çekici doğal malzemeler arasında yer almaktadır. Jonas Van Rie ve Thielemans, çeşitli bitki kaynaklarından elde edilen CNC'lerin yüksek bir en-boy oranı ve sağlam bir kolloidal stabilite sergilediğini keşfetti. Bu da onları biyopolimer bazlı ambalaj filmlerinde mükemmel takviye maddeleri haline getirmektedir [48]. Çalışma, CNC'lerin tipik olarak organize sıvı kristal fazlar oluşturduğunu, filmlerin gaz bariyer özelliklerini geliştirdiğini ve dayanıklılıklarını uzattığını göstermektedir [48]. Bitkilerden elde edilen bu nano yapılar, çevre dostu ve daha verimli ambalaj malzemelerinin üretimini kolaylaştırmaktadır. Denizden elde edilen biyopolimer ulvan ve doğal karnauba balmumunun bir araya getirilmesi, sürdürülebilir ambalaj malzemelerinin mükemmel bir örneğini teşkil etmektedir. Schmitz ve arkadaşları, ulvan filmlerde karnauba mumu kullanımının nem bariyeri özelliklerini önemli ölçüde geliştirdiğini ve su buharı geçirgenliğini %30'un üzerinde azalttığını göstermiştir [49]. Bu iyileştirme, ürünlerin nemden daha etkili bir şekilde korunmasını sağlayarak küflenme ve bozulma olasılığını azaltmakta ve gıda israfının önlenmesine yardımcı olmaktadır. Balmumu kaplamaların doğrudan ambalajlara uygulanması, çevresel sürdürülebilirliği arttırmak için tartışmasız

en ikna edici yöntemdir. Montana Üniversitesi'ndeki araştırmacılar, balmumu ile aşılansmış pamuklu bezlerin, gıdaların tazeliğini uzun süre korumada plastik poşetlerden önemli ölçüde daha iyi performans gösterdiğini ortaya koyan bir deney gerçekleştirmiştir [50]. Akron Üniversitesi'nde yapılan bir çalışma, balmumu kaplı sargıların plastik streç filme kıyasla ekmek üzerinde küf oluşumunu yaklaşık 3 ila 4 gün daha uzun süre engellediğini göstermiştir [51]. Sonuçlar, plastikten balmumu bazlı alternatiflere geçişin sadece çevresel etkiyi en aza indirmekle kalmayıp aynı zamanda insan sağlığını da daha doğal bir şekilde koruduğunu göstermektedir. Çevre dostu ambalajların yalnızca çevreyi korumakla kalmayıp aynı zamanda gıda güvenliğini, raf ömrünü ve tüketici sağlığını da önemli ölçüde geliştirdiğini göstermektedir. Biyomimetik teknikler, balmumu kaplamalar, selüloz nanokristaller ve karnauba ile aşılansmış ulvan filmlerle örneklenen ambalaj endüstrisinde performansı önemli ölçüde artırabilir.

1.12. Literatürde Sürdürülebilir Ambalaj ile İlgili Çalışmalar

Szulc ve arkadaşları, pamuk/viskon/polyester karışımı kumaşları balmumu kullanarak modifiye ettikleri ek bir deney gerçekleştirmişlerdir. Bu yüzeylerin antibakteriyel özellikler sergilediğini ve küflenmeye karşı koruma sağladığını belirtmişlerdir. Çalışma, balmumunun antibakteriyel özelliklerini gösteren “balmumu ile modifiye edilmiş tekstillerin küf gelişimi üzerinde inhibe edici etkiler sergilediğini” açıkça belirtmiştir [52].

Beck ve arkadaşları, Montana Üniversitesi'nde balmumu emdirilmiş pamuklu bezlerin gıda tazeliğini korumak için geleneksel plastik torbalara alternatif olma potansiyelini araştırmak için bir çalışma yürütmüştür. “Gıdaların bozulmasının polietilen torbalara kıyasla belirgin bir şekilde ertelendiğini” ve balmumu kumaşların gıdaları korumada üstün olduğunu belirtmişlerdir [50].

Skiver, Akron Üniversitesi'nde ekmek gibi ürünler için plastik streç filme kıyasla balmumu kaplı sargıların etkinliğini değerlendirmek üzere bir araştırma yürütmüştür. Çalışma, “balmumu sargılarının plastik sargılara kıyasla küf oluşumunu yaklaşık 3-4 gün geciktirdiğini” kesin olarak belirtmiştir. Bu da balmumu ambalajların plastiklerin yerine kullanılabilmesine dair önemli bir kanıt teşkil etmektedir [51].

Deniz yosunlarından ve doğal balmumlarından elde edilen biyopolimerler, çevre dostu ambalaj üretimi için yenilikçi yöntemlerdir. Brezilya Federal Üniversitesi'nden Schmitz ve arkadaşları, karnauba balmumu içeren ulvan filmler geliştirmiş ve “karnauba balmumunun dahil edilmesinin su buharı geçirgenliğini %30'un üzerinde azaltarak ulvan filmlerin bariyer özelliklerini geliştirdiğini” ve böylece ambalajın etkinliğini önemli ölçüde artırarak neredeyse plastiklerle eşleştiğini bildirmiştir [53].

Alexander ve arkadaşları, mısır nişastası ve pirinç samanından elde edilen biyolojik olarak parçalanabilir köpüklerin balmumu, karnauba ve kandelilla gibi doğal mumlarla kaplandığında su emilimini önemli ölçüde azalttığını ve hidrofobikliği artırdığını tespit etmiştir. Araştırmaları, “su emiliminin balmumu kaplamasıyla önemli ölçüde azaldığını ve hidrofobikliği artırdığını” göstermiş ve doğal balmumu kullanımının biyopolimer bazlı ambalajların dayanıklılığını uzattığını ve nem direncini artırdığını ortaya koymuştur [54].

Asad Samani ve arkadaşları, deniz yosunundan elde edilen sülfatlı polisakkaritlerle antioksidan, biyolojik olarak parçalanabilen filmler geliştirmiştir. Bu da bir başka ilgi çekici örnek teşkil etmektedir. Araştırma, “deniz yosunu sülfatlı polisakkarit filmlerin etkili bir oksijen bariyeri olarak işlev gördüğünü ve raf ömrünü uzattığını” açıkça göstermiştir [55]

1.13. Tekstil Tabanlı Ambalajlar

Ambalaj tasarımında sürdürülebilirliğin sağlanması yalnızca ürünün üretiminde çevreci malzemelerin kullanılması ile sınırlı değildir; aynı zamanda ürün ömrü sonrasındaki geri dönüşüm veya bertaraf süreçleri de bu döngünün önemli bir parçasıdır. Tekstil tabanlı ambalajlar, özellikle pamuk, keten gibi doğal liflerden üretildiğinde çevresel etki açısından önemli avantajlara sahiptir. Ancak bu tür malzemelerin geri dönüşüm süreçleri, içerdikleri kaplama, boyar madde veya fonksiyonel katkı maddelerine göre değişiklik gösterebilir [56]. Tekstil esaslı ambalajlar, özellikle yeniden kullanım (reuse) potansiyelleri sayesinde ömürleri boyunca çevreye olan etkilerini minimize edebilirler. Pamuklu kumaşlardan yapılan ambalajlar yıkanabilir, tamir edilebilir ve farklı amaçlar için tekrar değerlendirilebilir. Gıda ambalajlarının güvenliği, sadece fiziksel dayanıklılık veya estetik unsurlarla sınırlı değildir; aynı zamanda ambalajın gıda ile doğrudan temas ettiğinde sağlığa zarar vermeyecek yapıda olması esastır. Bu bağlamda “gıdayla temas eden malzemeler (food contact materials – FCM)” için gerek Avrupa Birliği’nde gerekse

FDA gibi otoritelerce belirlenmiş katı mevzuatlar bulunmaktadır. Doğal lifler; biyolojik olarak parçalanabilirlik, yenilenebilirlik ve düşük çevresel etki gibi avantajlarıyla ambalaj sektöründe giderek daha fazla tercih edilmektedir. Pamuk, keten, jüt ve kenevir gibi selülozik lifler, hem fiziksel dayanım hem de bariyer özellikleri açısından değerlendirilerek çeşitli ambalaj uygulamalarında kullanılabilir hale gelmiştir [57]. Pamuk lifleri, lif uzunluğu, mukavemeti ve hava geçirgenliği bakımından ambalaj uygulamalarında öne çıkan bir malzemedir. Lifin iç yapısında bulunan spiral yapılar, iyi bir esneklik ve mekanik dayanıklılık sağlar. Bu özellikler, taşıma ve depolama sırasında ürünün fiziksel olarak korunmasına katkı sunar. Ayrıca pamuk, iyi bir su emme kapasitesine sahiptir; bu, ürünün nem dengesini koruması açısından önemlidir. Ancak aynı zamanda bu özellik nem geçişine açık yapısı nedeniyle nem bariyerinin dışarıdan sağlanmasını gerekli kılar [58]. Keten ve jüt gibi lifler ise daha rijit ve yüksek mukavemetlidir. Özellikle keten lifi düşük elastiklik ve yüksek çekme dayanımına sahiptir. Bu özellik, daha sağlam ve formunu koruyan ambalaj formları için avantaj sağlar. Fakat bu liflerin yüzey yapıları pamuk kadar yumuşak olmadığından, doğrudan gıdayla temasta sınırlamalar doğurabilir. Doğal lif bazlı ambalajların bir diğer önemli performans kriteri ise gaz ve su buharı geçirgenliği (permeabilite) dir. Kumar ve Krishnan (2020), doğal liflerin kendi başlarına yeterli bariyer oluşturmadığını, ancak balmumu, kitosan, nişasta ya da bitkisel yağ bazlı kaplamalarla birlikte kullanıldığında gaz ve nem geçirgenliklerinin önemli ölçüde azaltılabildiğini belirtmiştir. Bu kombinasyonlar, ürünün raf ömrünü uzatırken aynı zamanda ambalajın nefes alabilirliğini de korur. Ayrıca doğal liflerin ısıya dayanıklılık, UV geçirgenliği ve kimyasal direnç gibi özellikleri de ambalaj performansı açısından göz önünde bulundurulmalıdır. Pamuk ve jüt gibi lifler, düşük sıcaklıklarda deformasyona uğramaz; ancak kimyasal temizlik ajanlarına karşı hassasiyet gösterebilir. Bu nedenle ambalaj tasarımı yapılırken bu tür özellikler göz önüne alınarak, gerekirse çok katmanlı (composite) yapılar tercih edilebilir [59]. Doğal lifler fiziksel dayanıklılık, nefes alabilirlik ve çevresel sürdürülebilirlik açısından ambalaj sistemlerine önemli katkılar sağlar. Ancak performanslarının optimize edilmesi için kaplama ve çok katmanlı yapı çözümleri ile desteklenmeleri gereklidir. Özellikle pamuk gibi liflerin balmumu veya gümüş nanoparçacıklarla kaplanması, hem işlevselliği hem de raf ömrünü artırarak yüksek performanslı tekstil ambalajlar ortaya koymaktadır. Tekstil esaslı ambalajların gıdayla temasında kullanılabilirliği, yapılarında bulunan lifin doğası kadar, kaplama ve katkı malzemelerinin migrasyon potansiyeli ile de doğrudan ilişkilidir

[60]. Pamuk gibi doğal lifler, yapısal olarak inert kabul edilse de; doğrudan gıdayla temas etmesi durumunda liften lif kopması, nem çekme veya mikrobiyal kontaminasyon gibi riskler barındırabilir. Bu risklerin azaltılması amacıyla tekstil ambalajlar çoğu zaman balmumu gibi doğal bir kaplama ile desteklenir. Balmumu, uzun süredir gıda ambalajlarında kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Hidrofobik yapısı sayesinde nem ve gaz geçişini azaltır; ayrıca migrasyon testlerinde düşük geçiş oranlarına sahiptir ve toksikolojik açıdan güvenli kabul edilmektedir [61]. Ancak ambalajın güvenlik değerlendirmesi yalnızca balmumu ile sınırlı değildir. Fonksiyonel tekstil ambalajlarında sıklıkla kullanılan gümüş nanoparçacıklar (AgNPs), antibakteriyel etkileri nedeniyle tercih edilse de, gıdaya geçiş durumunda toksikolojik açıdan değerlendirilmelidir. Yapılan çalışmalarda gümüş nanoparçacıkların düşük konsantrasyonlarda antimikrobiyal etkilerini sürdürdüğü, ancak aşırı kullanıldığında sindirim sisteminde olumsuz etkiler yaratabileceği gösterilmiştir (Bumbudsanpharoke et al., 2015). Bu nedenle, gümüş içeren tekstil ambalajların doğrudan temas yerine dolaylı koruma sağlayacak biçimde (örneğin sekonder ambalaj gibi) kullanılması daha uygun bir yaklaşımdır [62]. Gıda ile temas eden malzemeler için Avrupa Birliği'nin 1935/2004/EC ve 10/2011/EU numaralı düzenlemeleri, kullanılacak katkı maddelerinin göç sınırlarını (Specific Migration Limits - SML) belirler. Bu düzenlemelere göre gümüş için maksimum geçiş miktarı 0.05 mg/kg olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla balmumu kaplanmış, gümüş nanoparçacıklı kumaşların gıdayla doğrudan temas ettirilmeden önce migrasyon testlerinden geçirilmesi gereklidir [63]. Tekstil tabanlı ambalajların gıdayla temas güvenliği, kullanılan lif türü, kaplama maddesi ve fonksiyonel katkıların yapısal özelliklerine bağlıdır. Balmumu kaplama, gıda güvenliği açısından doğal ve güvenilir bir bariyer oluştururken, gümüş nanoparçacıklar dikkatli formülasyon ve uygulama koşulları gerektirir. Bu tür kompozit tekstil ambalajlar, gerekli migrasyon testleri ve toksisite analizleriyle desteklendiğinde, fonksiyonel ve güvenli ambalaj çözümleri sunabilir. Balmumu kaplı tekstil ürünleri, özellikle ev tipi kullanımda peynir, ekmek, sebze, meyve gibi çabuk bozulan ürünlerin sarılarak saklanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Balmumunun doğal antibakteriyel özelliği ve nefes alabilirliği, gıda ürünlerinin nem dengesini koruyarak küflenme veya bozulmayı geciktirir. Bu uygulama, gıdanın doğrudan plastikle temas etmesini önleyerek sağlık açısından da avantaj sunar. Beard ve arkadaşları (2020), balmumu ambalajların tüketici memnuniyetini artırdığını ve 100'den fazla yıkama sonrasında bile etkisini koruduğunu belirtmiştir [64].

1.14. Tekstil Ambalajlarının Kullanılabilirliği

Gıda ambalajları, sadece ürünün raf ömrünü uzatmakla kalmaz; aynı zamanda tüketici sağlığı açısından güvenlik bariyeri görevi de görür. Ancak ambalajda kullanılan malzemenin niteliği, bu güvenliğin temel belirleyicisidir. Plastik bazlı ambalajlar düşük maliyetli, hafif ve esnek olmaları nedeniyle yaygın olarak kullanılır; fakat bu malzemelerin özellikle gıdayla temasında ortaya çıkardığı kimyasal riskler literatürde sıklıkla tartışılmaktadır [65]. Polietilen (PE), polipropilen (PP), polistiren (PS) ve PVC gibi geleneksel plastiklerin içerdiği katkı maddeleri arasında en dikkat çekenler bisfenol A (BPA), fitalatlar ve stiren türevleridir. Bu maddeler özellikle sıcak gıda ile temas, asidik içerikler veya uzun süreli bekleme koşullarında ambalajdan gıdaya geçiş yapabilir [66]. Avrupa Birliği bu geçişleri sınırlamak amacıyla 10/2011/EU sayılı yönetmelikte belirli Göç Limitleri (Specific Migration Limits - SML) getirmiştir. Örneğin BPA için maksimum geçiş sınırı 0.05 mg/kg'dır [28]. Ancak bazı çalışmalarda bu sınırların üzerinde göçlerin gerçekleştiği ve bu durumun hormonal dengenin bozulması, bağışıklık sistemi sorunları ve nörotoksik etkilerle ilişkili olabileceği rapor edilmiştir [67]. Plastik ambalajların çevresel etkisi de bir diğer endişe kaynağıdır. Yılda yaklaşık 400 milyon ton plastik üretilmekte, bunun %40'ından fazlası ambalaj sanayinde kullanılmakta ve sadece %9'u geri dönüştürülebilmektedir. Geri kalan büyük çoğunluğu doğaya atılmakta ve zamanla mikroplastığe dönüşerek su yollarını ve toprakları kirletmektedir [68]. Bu noktada tekstil tabanlı ambalajlar, hem sağlık hem çevre açısından dikkat çeken bir alternatif oluşturmaktadır. Özellikle pamuk, keten ve jüt gibi doğal liflerden üretilen kumaş ambalajlar, zararlı kimyasal içermemesi, mikroplastik salınımı yapmaması ve tekrar kullanılabilir olmasıyla öne çıkar [65]. Balmumu kaplamalı kumaş ambalajlar gibi bazı türler, hem gıdayı nemden koruyacak şekilde su itici hale getirilmekte hem de doğal yapılarından ötürü göç riski taşımamaktadır. Bu tip kumaşlar, Avrupa Birliği'nin gıdayla temas eden malzemeler için belirlediği düzenlemeler çerçevesinde migrasyon testlerinden geçirilerek sertifikalandırılabilir [61]. Ayrıca tekstil ambalajlar, ürünün nefes alabilirliğini artırdığı için özellikle ekmek, meyve-sebze gibi taze ürünlerde nem dengesinin korunmasına da katkı sağlar. Böylece hem ürünün tazeliği korunur hem de küflenme veya bozulma riski azalır. Doğal antibakteriyel özellikler kazandırılmış kumaşlarla bu koruyuculuk daha da artırılabilir [69]. Tüketici tarafında da önemli bir değişim gözlemlenmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, "doğal", "yeniden

kullanılabilir” ve “kimyasal içermeyen” ambalajlara yönelik tüketici talebinin arttığı görülmektedir. Bu, markaları çevre dostu ambalaj seçeneklerini değerlendirmeye ve plastikten uzaklaşmaya yönlendirmiştir [62]. Özellikle organik gıda markalarının pamuklu kese ya da balmumu kaplı kumaş ambalajlara yöneldiği görülmektedir. Tekstil tabanlı sürdürülebilir ambalajlar geliştirilmesi için, doğal lif yapısına sahip olan altı farklı dokuma kumaş belirlenmiş ve bu kumaşlar Eren Holding'ten tedarik edilmiştir. Tedarik edilen doğal lifli kumaşlar; balmumu solüsyonu ile Mumo Doğal Ürünler firmasında, iki farklı yoğunlukta kaplanarak üretilmiştir. Üretilen numunelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışmada elde edilen ürünlerin antibakteriyellik özellikleri de incelenmiş olup, antibakteriyellik özelliği kazandırılması için nanogümüş ile denemeler yapılmıştır.

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

Tekstil tabanlı sürdürülebilir ambalajlar geliştirilmesi için, doğal lif yapısına sahip olan altı farklı dokuma kumaş belirlenmiş ve bu kumaşlar Eren Holding'ten tedarik edilmiştir.

Tedarik edilen doğal lifli kumaşlar; balmumu solüsyonu ile Mumo Doğal Ürünler firmasında, iki farklı yoğunlukta kaplanarak üretilmiştir. Üretilen numunelerin mekanik özellikleri incelenmiştir.

Çalışmada elde edilen ürünlerin antibakteriyellik özellikleri de incelenmiş olup, antibakteriyellik özelliği kazandırılması için nanogümüş ile denemeler yapılmıştır.

2.1. Malzeme

Doğal liflerden elde edilen; pamuk, organik pamuk, kenevir, keten, tencel ve yün olmak üzere altı farklı dokuma kumaş kullanılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan liflerin genel özellikleri aşağıda verilmiştir.

Pamuk ve Organik Pamuk Lifleri

Pamuk lifi, doğal kökenli bir selülozik lif olup, tekrarlayan birim formülü $(C_6H_{10}O_5)_n$ olan bir polisakkaritten oluşur. Pamuk liflerinin büyüme koşullarını lifin genetik yapısı ve çevresel faktörleri etkilemektedir. Bu faktörler nem, sıcaklık ve toprağın özellikleridir [70]. Liflerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, renklerine bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Renkli lifler, genellikle daha fazla vaks içerdiklerinden beyaz liflere göre daha düşük nem emme kapasitesine sahiptir. Yapılan ölçümlere göre; beyaz liflerin nem tutma oranı %8,5 iken, kahverengi liflerde bu oran %7,6, yeşil liflerde ise %5,1'dir [71,72]. Organik pamuk lifleri ile konvansiyonel pamuk lifleri arasındaki farklar, esas olarak yetiştirme süreçlerinden kaynaklanmaktadır. Konvansiyonel pamuk üretimi,

kimyasal gübreler ve pestisitler gibi sentetik maddelerin kullanılmasıyla gerçekleşir. Organik pamuk, kimyasalların kullanılmadığı çevre dostu yöntemlerle yetiştirilmektedir. Organik üretim süreçleri toprak sağlığının korunması, biyolojik çeşitliliğin desteklenmesi ve doğal döngülerin sürdürülebilirliğine odaklanmaktadır. Bu süreçler, organik pamuk liflerinin genellikle daha saf ve kimyasal kalıntılardan arındırılmış özelliklere sahip olmasına neden olur.

Kenevir Lifi

Kenevir (*Cannabis*), Cannabinaceae familyasına ait, odunsu yapıya sahip bir yıllık bitkidir. Kenevir, doğal yapısı gereği dayanıklılık, yüksek mukavemet ve nem emiciliği sağlayan bitkisel bir lifdir. Yıllık lif veriminin yüksek oluşu, keneviri sürdürülebilir üretim açısından avantajlı kılarken, bu liften üretilen kumaşlarda boncuklanma sorununa rastlanmaması, malzemenin yüzey kalitesini ve uzun ömürlü kullanımını desteklemektedir. Tüm bu özellikleriyle kenevir, tekstil alanında fonksiyonel ve çevre dostu çözümler sunan alternatif bir lif kaynağı olarak öne çıkmaktadır [73].

Keten Lifi

Keten bitkisinin gövdesinin enine kesiti incelendiğinde, çeşitli tabakalardan oluşan bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Bu yapının en dış kısmında, lif demetlerini saran bir epidermis tabakası yer almaktadır. Epidermisin altında, gövde boyunca kökten yukarı doğru uzanan, mekanik dayanımı yüksek lif yığınları bulunmaktadır. Bu lifler, bitkinin yapısal bütünlüğünü sağlayan ve tekstil sanayisinde değerlendirilen kuvvetli gövde lifleridir. Bu lifler, 264 MPa ile 2000 MPa arasında değişen çekme mukavemeti değerleriyle tanımlanmakta ve bu özellikleri sayesinde çeşitli mühendislik uygulamalarında tercih edilen doğal takviye malzemeleri arasında yer almaktadır [74-79].

Tencel Lifi

Lyocell kumaş, ticari adıyla Tencel olarak bilinmektedir. Odun hamurundan elde edilen selüloz bazlı bir tekstil malzemesidir. Özellikle yüksek nem emme ve buharlaştırma kapasitesi sayesinde, hava geçirgenliği oldukça iyidir. Bu özelliği kullanıcıya konfor sağlarken aynı zamanda bakteri oluşumunu engellemeye yardımcı olur. Lyocell lifleri,

yüksek mukavemet ve dayanıklılık göstererek kırılmaya ve yırtılmaya karşı dirençli bir yapı sunar [80].

Yün Lifi

Yün lifi, son yıllarda çevre mühendisliği alanında dikkat çeken, sürdürülebilirlik potansiyeli yüksek ve giderek daha fazla ilgi gören biyobazlı bir malzeme olarak öne çıkmaktadır [81-83]. Yün lifi, sahip olduğu yüksek mukavemet, neme karşı dengeli direnç, doğal termal konfor sağlayabilme kapasitesi ve alev geciktirici yapısıyla sürdürülebilir tekstil uygulamaları için önemli bir hammadde olarak öne çıkmaktadır [81,83-85].

Antibakteriyellik Özelliklerinin İncelenmesi için Kullanılan Bakteriler

Escherichia coli (E. coli)

Escherichia coli (*E. coli*), Enterobacteriaceae ailesine mensup bir bakteri türü olarak, insanlar ve diğer sıcakkanlı hayvanların gastrointestinal sistemlerinde en yaygın rastlanan kommensal mikroorganizmalardan biridir. Ayrıca, bazı suşları önemli patojen özellikler göstererek çeşitli enfeksiyonlara yol açabilir [86,87]. *Escherichia coli*, hem insanlarda hem de hayvanlarda sık karşılaşılan pek çok bakteriyel enfeksiyonun önde gelen nedenlerinden biridir. Özellikle enterit, idrar yolu enfeksiyonları, septisemi ve yenidoğan menenjit gibi çeşitli klinik tablolarla ilişkilendirilmektedir. Ayrıca, evcil ve çiftlik hayvanlarında görülen ishal vakalarıyla da yakından bağlantılıdır.

Staphylococcus aureus (S. aureus)

Staphylococcus aureus enfeksiyonları, konak savunma mekanizmalarını aşarak vücutta kalıcı ve şiddetli enfeksiyonlara yol açan zorlu hastalık tablolarına neden olur. Bu bakteri, günümüzde hastane kaynaklı enfeksiyonlarda ciddi bir sorun haline gelmiştir. Hafif dereceli deri enfeksiyonlarından, ölümcül zatürre ve sepsise kadar geniş bir hastalık yelpazesine yol açabilmektedir. Bu bakteri, hem insanlarda hem de hayvanlarda görülen enfeksiyonlar ve gıda zehirlenmeleri ile ilişkili önemli virülans faktörleri arasında yer alan çeşitli ekzotoksinler üretir [88]. *Staphylococcus aureus*, basit deri enfeksiyonlarından, enfektif endokardit ve toksik şok sendromu gibi ciddi ve yaşamı

tehdit edici hastalıklara kadar geniş bir klinik tabloyla ilişkilendirilen, yaygın karşılaşılan Gram-pozitif bir hastane enfeksiyonu etkenidir.

Tekstil Yüzey Kaplama Solüsyonu: Balmumu Bazlı Solüsyon

Balmumu solüsyonunun içeriğinde balmumu, hindistan cevizi yağı ve çam ağacı reçinesi bulunmaktadır. Doğal bir ürün olarak değerlendirilen balmumu bal arılarından elde edilir. Uzun yıllardır tekstil endüstrisinde çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Sahip olduğu özgün kimyasal ve fiziksel özellikler sayesinde, tekstil uygulamalarında önemli bir malzeme olarak ön plana çıkmaktadır. Balmumu, doğal bir sakız polimeri niteliği taşımakta olup, tekstil yüzeylerinde ince film tabakaları oluşturarak kaplama işlevi görebilme kapasitesine sahiptir. Bu özelliği özellikle fonksiyonel tekstil ürünlerinin geliştirilmesinde potansiyel bir katkı malzemesi haline getirmektedir [89-93].

Hindistan cevizi yağı, polimer endüstrisinde alternatif bir plastikleştirici olma potansiyeline sahiptir [94]. Aynı zamanda esansiyel yağlar gıdalarda raf ömrünün uzun olmasına yardımcı olan doğal, antioksidan, biyokoruyucu veya antimikrobiyal etkileri nedeniyle gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır [95,96]. Solüsyonun içeriğinde bulunan çam reçinesi doğada kolay bulunması ve doğal olması ile alternatiflerine göre avantaj sağlamaktadır. Çam reçineleri ambalaj uygulamalarında mekanik performansı iyileştirme yeteneği göstermiştir [97].

2.2. Metod

% 100 Pamuk, % 100 organik pamuk, % 100 kenevir, % 100 keten, % 100 tencel ve % 100 yün olan kumaşlar test edilmek ve kaplanmak için 30x30 cm boyutunda hazırlanmıştır. Boyutlandırılan numuneler Şekil 2.1’de görülmektedir. 30x30 cm boyutunda hazırlanan numuneler içeriği balmumu, çam ağacı reçinesi ve hindistan cevizi yağından oluşan balmumu solüsyonu ile bir ve iki kat olarak kaplanmıştır. Kaplanan kumaşların özellikleri Tablo 2.1’de görülmektedir. Mekanik ve antibakteriyel olarak test edilen numuneler sonucunda antibakteriyel özellik kazandırmak için yeni bir balmumu solüsyonu hazırlanmıştır. Balmumu, çam ağacı reçinesi, hindistan cevizi yağı ve nanogümüşten (AgNPs) oluşan yeni bir solüsyon hazırlanmıştır. Hazırlanan solüsyon ile doğal lifli kumaşlar kaplanıp AATCC 147 test metoduna göre test edilmiştir.



Şekil 2.1. Numune kumaşların hazırlanması

Balmumu solüsyonunun uygulanması

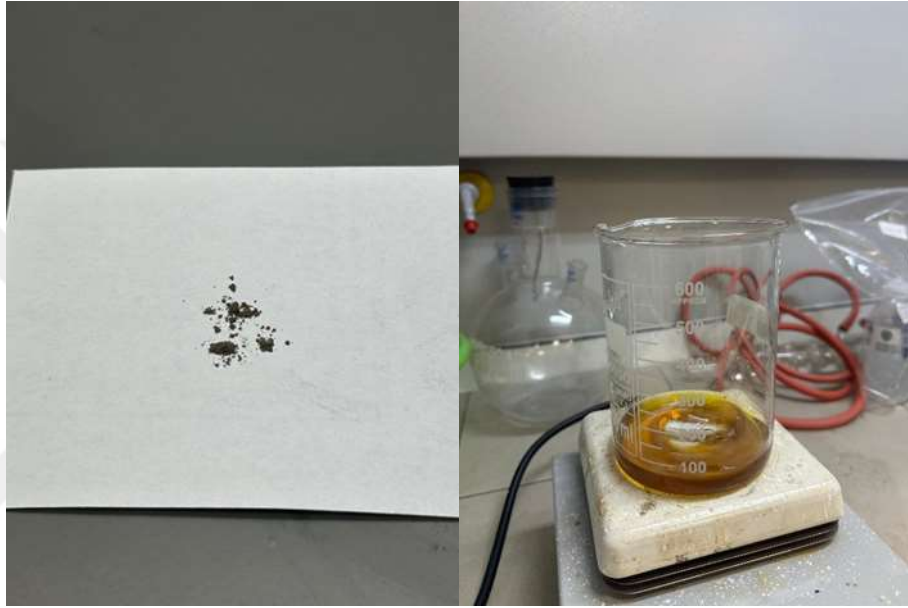
Balmumu, çam ağacı reçinesi ve hindistan cevizi yağından oluşan solüsyon, sıcak plaka üzerinde fırça yardımı ile Şekil 2.2’de gösterildiği gibi bir kat ve iki kat olmak üzere numunelere uygulandı.



Şekil 2.2. Solüsyonun uygulanma işlemi

Nanogümüş (AgNPs) ile balmumu solüsyonunun hazırlanması ve uygulanması

Laboratuvar ortamında hassas terazi ile 0,0108 gr nanogümüş (48-79nm) ile balmumu solüsyonu hazırlanmıştır. Kaplanacak numunelerin boyutu antibakteriyellik testinin petri kabına göre hazırlanmıştır. 0,0108 gr nanogümüş ile 36 gr balmumu solüsyonunu $60 \pm 1^\circ\text{C}$ 'de, 60 dakika boyunca karıştırıldı (Şekil 2.3). Elde edilen solüsyon ile hazırlanan numune kumaşlar homojen bir şekilde kaplandı.



Şekil 2.3. Hazırlanan solüsyon

Tekstil tabanlı sürdürülebilir ambalaj tasarımı elde etmek için, doğal lifler ile elde edilen kumaşlara balmumu solüsyonu tek kat ve çift kat olarak uygulanmıştır. Elde edilen ürünlerin antibakteriyel özellikleri de gram pozitif ve gram negatif bakteriler aracılığı ile incelenmiştir. Ayrıca antibakteriyel özellik kazandırabilmek için nanogümüş (AgNPs) içeren balmumu solüsyonu da hazırlanarak kullanılmıştır. Elde edilen kaplanmış kumaşların özellikleri Tablo 2.1'de verilmiş ve kaplanmış kumaşlar Şekil 2.4'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Kaplanmış kumaş özellikleri

Kod	Cins	Boyut	İşlem/kaplama yoğunluğu	Ağırlık
N1	%100 Pamuk	30x30cm	Tek kat	22 gr
N2	%100 Organik pamuk	30x30cm	Tek kat	22 gr
N3	%100 Kenevir	30x30cm	Tek kat	28gr
N4	%100 Keten	30x30cm	Tek kat	23gr
N5	%100 Tencel	30x30cm	Tek kat	25gr
N6	%100 Yün	30x30cm	Tek kat	170 gr
N1.1	%100 Pamuk	30x30cm	Çift kat	30 gr
N2.1	%100 Organik pamuk	30x30cm	Çift kat	31gr
N3.1	%100 Kenevir	30x30cm	Çift kat	35 gr
N4.1	%100 Keten	30x30cm	Çift kat	28 gr
N5.1	%100 Tencel	30x30cm	Çift kat	31gr
N6.1	%100 Yün	30x30cm	Çift kat	200gr



Şekil 2.4. Kaplanmış kumaş görselleri

Mekanik Testler

Ürünlerin son kullanım alanlarını tespit edebilmek için dikkate alınan en önemli özelliklerin başında mekanik özellikleri gelmektedir. Elde edilen tekstil tabanlı sürdürülebilir ambalaj ürünlerinin, mekanik özellikleri ve antibakteriyellik özellikleri

incelenmiştir. Bu kapsamda, yırtılma mukavemeti, çekme mukavemeti, aşınma testi, hava geçirgenliği, yüzey pürüzlülüğü ve uzama testleri yapılmıştır. Yapılan testler ve standartları Tablo 2.2’de verilmiştir.

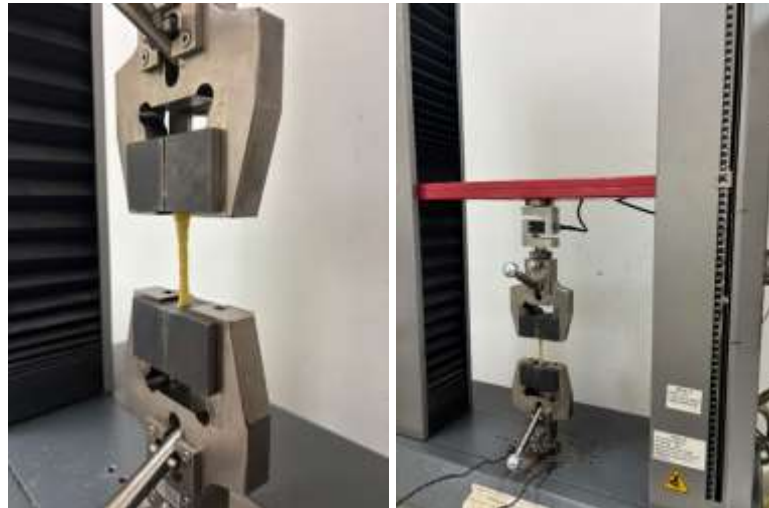
Tablo 2.2. Testler ve test standartları

Testler	Test standartları
Çekme mukavemeti	TS 4119 EN ISO 3376
Uzama miktarı	TS 4119 EN ISO 3376
Yırtılma mukavemeti	TS 4118-2 EN ISO 3377-2
Aşınma mukavemeti	TS EN 20344
Yüzey pürüzlülüğü	TS EN 20344
Hava geçirgenliği	TS 391 EN ISO 9237

Ayrıca geliştirilen ürünlerin antibakteriyellik özellikleri, AATCC 147 standartlarına göre gram negatif bakterilerden *Escherichia coli* (ATCC 25922) ve gram pozitif bakterilerden *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538) ile incelenmiştir. Üretilen numunelerin malzemesinin performansı gözle muayene metoduna göre test edilmiştir.

Çekme Mukavemeti, Uzama Miktarı ve Yırtılma

Standart bıçakla kesilen malzemeler Zwick marka test cihazına bağlanıp teste tabi tutulmuştur (Şekil 2.5). Bu test cihazı çekme mukavemeti, uzama miktarı ve yırtılma sonuçlarını vermektedir. Çekme mukavemeti TS 4119 EN ISO 3376 standartlarına göre yapılmıştır. Uzama miktarı TS 4119 EN ISO 3376 standartlarına göre yapılmıştır. Yırtılma mukavemeti TS 4118-2 EN ISO 3377-2 standartlarına göre yapılmıştır.



Şekil 2.5. Çekme mukavemeti ve uzama miktarı testi

Aşınma Mukavemeti ve Yüzey Pürüzlülüğü

Şekil 2.6'daki gibi hazırlanan numunelere, Satra TM31 test cihazında Martindale metoduyla aşınma testi yapılmıştır (Şekil 2.7). Sonuçlar, gözle muayene edilerek belirlenmektedir. Ürünler, ıslak aşınma için 18.500 devir, kuru aşınma için 25.600 devir olacak şekilde teste tabi tutulmuştur. Test edilen numunelerin, ilgili devir sayıları tamamlandığında makineden çıkarılır ve herhangi bir yırtılma varsa numune testi geçememiş sayılır. Numunelerde aşınma testi sonucunda yırtılma yoksa kullanıma uygundur kararı verilir. Uygulanan testler TS EN 20344 standartlarına göre yapılmıştır.



Şekil 2.6. Test için hazırlanan numuneler



Şekil 2.7. Aşınma mukavemeti ve yüzey pürüzlülüğü testi

Hava Geçirgenliği Testi

Hava geçirgenliği testi ile belirli bir basınç farkı altında hava hacmini ölçer ve lifli malzemeden zamanla geçen hava miktarını ölçerek, malzemenin nefes alabilirliğini nicel olarak belirler. Numuneler test edilmek üzere 20x20cm boyutunda hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelere, TS 391 EN ISO 9237 standartlarına göre hava geçirgenliği testi yapılmıştır (şekil 2.8). Cihaz elektronik kontrollüdür ve hava geçişi dm^3/dk cinsinden kaydedilir.



şekil 2.8. Hava geçirgenliği testi

Antibakteriyellik Testi

rnlerin, antibakteriyellik testi için Gram negatif bakterilerden Escherichia coli (ATCC 25922) ve Gram pozitif bakterilerden Staphylococcus aureus'a (ATCC 6538) bakterileri seçilmiştir. Bu bakterilere karşı, ürünlerin antimikrobiyal etkinlikleri AATCC 147 standartlarına göre test edilmiştir. Gram negatif bakterilerden Escherichia coli (ATCC 25922) ve Gram pozitif bakterilerden Staphylococcus aureus'a (ATCC 6538) bakterileri ile hazırlanan bakteri konsantrasyonu petri kaplarına paralel çizgiler halinde aşılanmıştır. Hazırlanan numune ürün, aşılanan bakteri kolonileri ile temas edecek şekilde yerleştirilmiştir. Bakteriler numune ürün üzerinde kolaylıkla reyebilsinler diye 37 °C'de 24 saat süre ile etüvde bekletilmiştir. Bu test metodu ile numunenin antibakteriyel etki gösterip göstermediği belirlenmektedir. AATCC 147 test standardında yapılan testlerde

kalitatif (nitel) sonuçlar elde edilmektedir. Bu çalışmada, balmumu solüsyonu ve nanogümüş katkılı balmumu solüsyonu olmak üzere iki farklı solüsyon ile kaplanmış numunenin antibakteriyel özellikleri incelenmiştir.

Kullanılabilirliğin Gözlemlenmesi

Tasarlanan ürünlerin kullanım performansını incelemek için gözleme yoluyla kullanıcı testi yapılmıştır. Bu gözlem için, pamuk ve organik pamuk içerikli iki kumaş, N1, N2, N3, N4, N5, N6 kodlu ambalaj kumaşlar ve 2 çeşit polietilen (buzdolabı poşeti ve market poşeti) kullanılmıştır. Ürünlerin performansını gözlemek için çilek kullanılmıştır. Meyve aynı anda geliştirilen ve pazarda bulunan tüm ambalaj ürünlerinin içerisine yerleştirip 8 gün boyunca buzdolabında bekletilmiştir. 8 gün sonra yerleştirilen meyveler numunelerden çıkartılıp fiziksel durumları göz ile muayene yolu ile gözlemlenmiştir. Tasarlanan ürünlerin, meyvelerin taze kalma süreleri üzerindeki etkisi, klasik ürünlerle karşılaştırılarak gözlemlenmiştir.

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Mekanik Testler

Çekme mukavemeti, uzama miktarı ve yırtılma test sonuçları

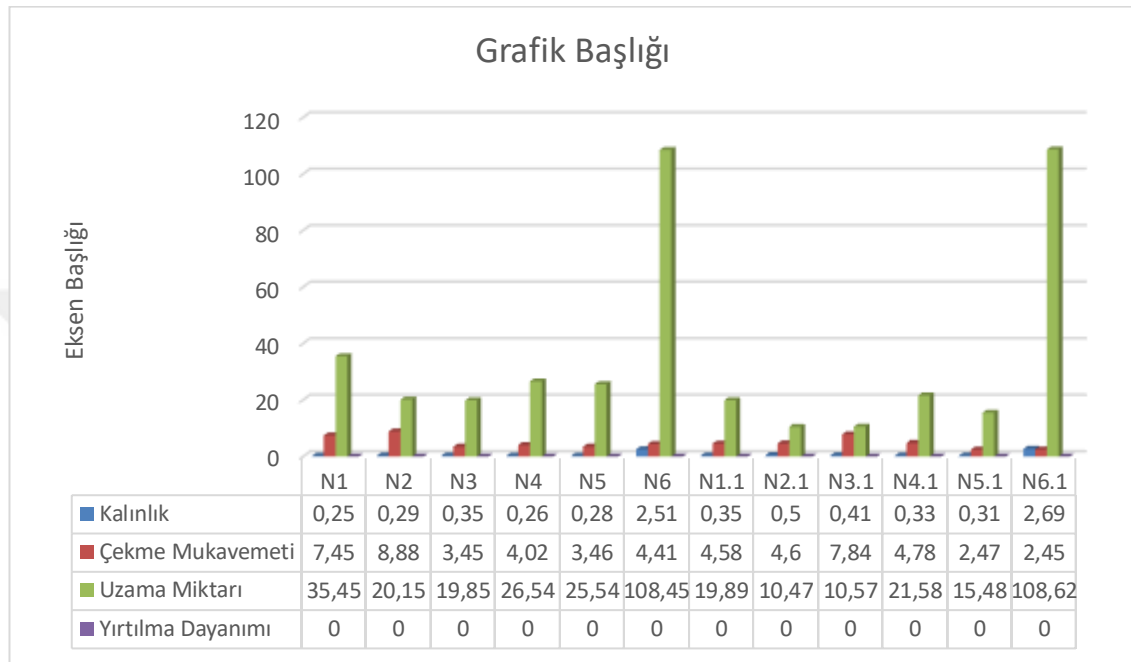
% 100 Pamuk, % 100 organik pamuk, % 100 kenevir, % 100 keten, % 100 tencel ve % 100 yün olan kaplamasız kumaşlara çekme mukavemeti, uzama miktarı testleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, Tablo 3.1' de verilmiştir.

Tablo 3.1. Kaplamasız kumaşların çekme mukavemeti, uzama miktarı ve yırtılma dayanımı test sonuçları

Örnek kumaşlar	Kalınlık	Çekme Mukavemeti	Uzama Miktarı
% 100 Pamuk	0,21	5,07	10,4
% 100 Organik Pamuk	0,19	4,99	9,89
% 100 Kenevir	0,22	5,03	11,14
% 100 Keten	0,21	5,04	15,47
% 100 Tencel	0,17	5,64	14,78
%100 Yün	1,21	47,87	66,1

Kaplamasız kumaşlardan en kalın özelliğe sahip olan %100 yün kumaş, en düşük kalınlığa ise %100 Tencel kumaşın sahip olduğu tespit edilmiştir. En yüksek çekme mukavemetine sahip olan %100 yün kumaş, en düşük çekme mukavemetine ise %100 organik pamuk kumaşın sahip olduğu tespit edilmiştir. En fazla uzama miktarına sahip olan %100 yün kumaş, en düşük uzama miktarına ise %100 organik pamuk kumaşın sahip olduğu tespit edilmiştir.

Balmumu ile elde edilen tüm örnek kumaşlara çekme mukavemeti TS 4119 EN ISO 3376 standartlarına, uzama miktarı TS 4119 EN ISO 3376 standartlarına ve yırtılma mukavemeti TS 4118-2 EN ISO 3377-2 standartlarına göre yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 3.1’de görülmektedir.






Şekil 3.1. Balmumu ile kaplanmış kumaşların çekme mukavemeti, uzama miktarı ve yırtılma dayanımı test sonuçları

Balmumu ile kaplanmış kumaşlardan en kalın özelliğe sahip olan N6.1 (çift kat kaplamalı yün kumaş), en düşük kalınlığa ise N1 (tek kat kaplamalı pamuk kumaş) numaralı kaplanmış kumaş olduğu tespit edilmiştir. En yüksek çekme mukavemetine sahip olan N2 (tek kat kaplamalı organik pamuk kumaş), en düşük çekme mukavemetine ise N6.1 (çift kat kaplamalı yün kumaş) numaralı kaplanmış kumaş olduğu tespit edilmiştir. En fazla uzama miktarına sahip olan N6.1 (çift kat kaplamalı yün kumaş), en düşük uzama miktarına ise N2.1 (çift kat kaplamalı organik pamuk kumaş) numaralı kaplanmış kumaş olduğu tespit edilmiştir. Kaplanmış kumaşlarda balmumunun sağladığı elastikiyet nedeni yırtılma verisi alınamamıştır. Grafik 3.1’de gösterilmiştir.

Balmumu ile kaplanmış kumaşlara aşınma mukavemeti ve yüzey pürüzlülüğü testleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Aşınma mukavemeti ve yüzey pürüzlülüğü test sonuçları

Malzeme	Islak Aşınma 12.800 Devir	Kuru Aşınma 25.600 Devir	Göz ile Muayene Sonucu	Yüzey Pürüzlülüğü	Görsel
N1	Aşınma yok	Aşınma yok	Kırılma,çatlama ve deforme gözlenmemiştir.	Uygun	
N2	Aşınma yok	Aşınma yok	Kırılma,çatlama ve deforme gözlenmemiştir.	Uygun	
N3	Aşınma yok	Aşınma yok	Kırılma,çatlama ve deforme gözlenmemiştir.	Uygun	
N4	Aşınma yok	Aşınma yok	Kırılma,çatlama ve deforme gözlenmemiştir.	Uygun	
N5	Aşınma yok	Aşınma yok	Kırılma,çatlama ve deforme gözlenmemiştir.	Uygun	
N6	Aşınma yok	Aşınma yok	Kırılma,çatlama ve deforme gözlenmemiştir.	Uygun	

N1.1	Aşınma yok	Aşınma yok	Kırılma,çatlama ve deforme gözlenmemiştir.	Uygun	
N2.1	Aşınma yok	Aşınma yok	Kırılma,çatlama ve deforme gözlenmemiştir.	Uygun	
N3.1	Aşınma yok	Aşınma yok	Kırılma,çatlama ve deforme gözlenmemiştir.	Uygun	
N4.1	Aşınma yok	Aşınma yok	Kırılma,çatlama ve deforme gözlenmemiştir.	Uygun	
N5.1	Aşınma yok	Aşınma yok	Kırılma,çatlama ve deforme gözlenmemiştir.	Uygun	
N6.1	Aşınma yok	Aşınma yok	Kırılma,çatlama ve deforme gözlenmemiştir.	Uygun	

Balmumlu kumaşların 12.800 devirde ıslak aşınma testinde ve 25.600 devirde kuru aşınma testinde aşınma tespit edilmemiştir. Kumaşların göz ile muayene sonucunda kırılma, çatlama ve deforme gözlenmemiştir. Yüzey pürüzlülüğü kullanıma uygun görülmüştür.

3.2. Hava Geçirgenliği Test Sonuçları

Tek katlı balmumu ile kaplanmış kumaşlara hava geçirgenliği testi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3. Tek katlı balmumu ile kaplanmış kumaşların hava geçirgenliği test sonuçları

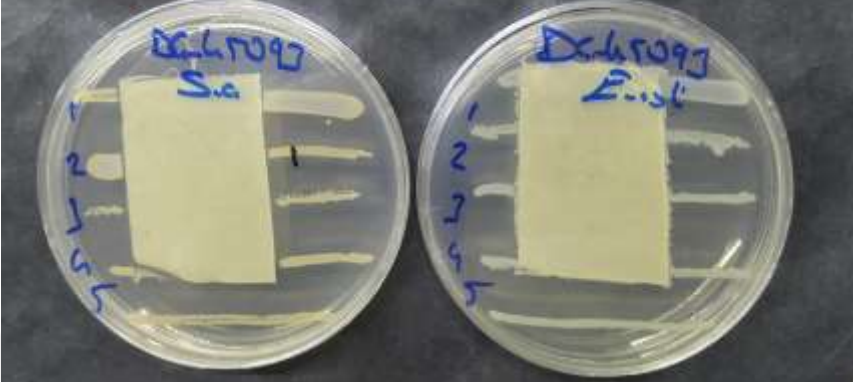
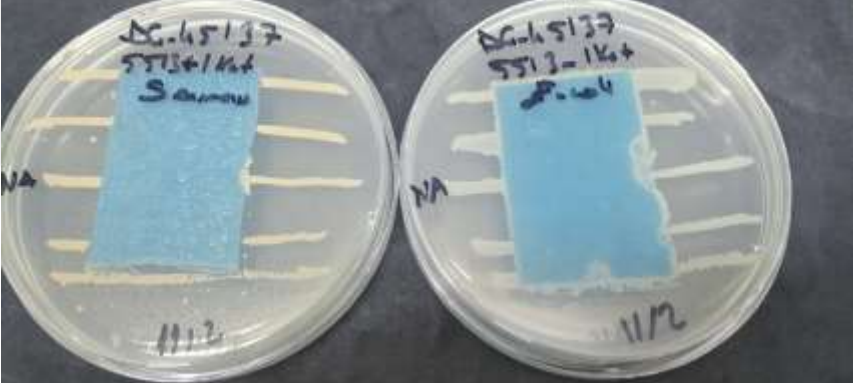
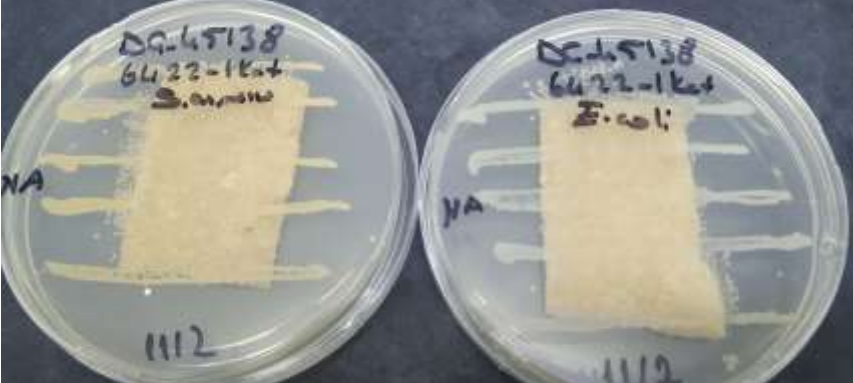
Tek katlı örnekler	Hava Geçirgenliği (g/m ²)
N1 (Tek kat kaplamalı pamuk)	35,67 g/m ²
N2 (Tek kat kaplamalı organik pamuk)	23,67 g/m ²
N3 (Tek kat kaplamalı kenevir)	37,67 g/m ²
N4 (Tek kat kaplamalı keten)	29,67 g/m ²
N5 (Tek kat kaplamalı tencel)	26,00 g/m ²
N6 (Tek kat kaplamalı yün)	25,33 g/m ²

Elde edilen sonuçlara göre, en fazla hava geçirgenliği N3 (tek kat kaplamalı kenevir kumaş) numaralı kaplanmış kumaşın olduğu tespit edilmiştir. En az hava geçirgenliğine sahip olan kumaşında N2 (tek kat kaplamalı organik pamuk kumaş) numaralı kaplanmış kumaş olduğu tespit edilmiştir.

3.3. Antibakteriyellik Testi

N1 (tek kat kaplamalı pamuk), N3 (tek kat kaplamalı kenevir) ve N6 (tek kat kaplamalı yün kumaş) numaralı kaplanmış kumaşlar E. Coli ve S. Aureus bakterileri ile AATCC 147 test metoduna göre test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.4'te gösterilmiştir.

Tablo 3.4. N1, N3 ve N6 numaralı kaplanmış kumaşların antibakteriyellik test sonuçları


Kumaşlar	AATCC 147	
N1 (tek kat kaplamalı pamuk)		
N3 (tek kat kaplamalı kenevir)		
N6 (tek kat kaplamalı yün)		

N1 numaralı kaplanmış kumaş ile E. Coli bakteri kültürü arasında üreme görülmeyen kısım 0,0 mm olduğu gözlemlenmiştir. N1 numaralı kaplanmış kumaş ile S. Aureus bakteri kültürü arasında üreme görülmeyen kısım 0,1 mm olduğu tespit edilmiştir. N3

(tek kaplamalı kenevir kumaş) ve N6 (tek kaplamalı yün kumaş) numaralı kaplanmış kumaş ile E. Coli bakteri kültürü arasında üreme görülmeyen kısım 0,0 mm olduğu gözlemlenmiştir. N3 (tek kaplamalı kenevir kumaş) ve N6 (tek kaplamalı yün kumaş) numaralı kaplanmış kumaş ile S. Aureus bakteri kültürü arasında üreme görülmeyen kısım 0,0 mm olduğu gözlemlenmiştir. Bu kumaşların antibakteriyel özelliklerinin olmadığı tespit edilmiştir.

AgNPs içeren solüsyon ile hazırlanmış AgNPs-N1 (nanogümüş solüsyon ile tek kat kaplamalı pamuk) numaralı kaplanmış kumaş E. Coli ve S. Aureus bakterileri ile AATCC 147 test metoduna göre test edilmiştir. AgNPs-N1 numaralı kaplanmış kumaşın test sonucu Tablo 3.5'te verilmiştir.

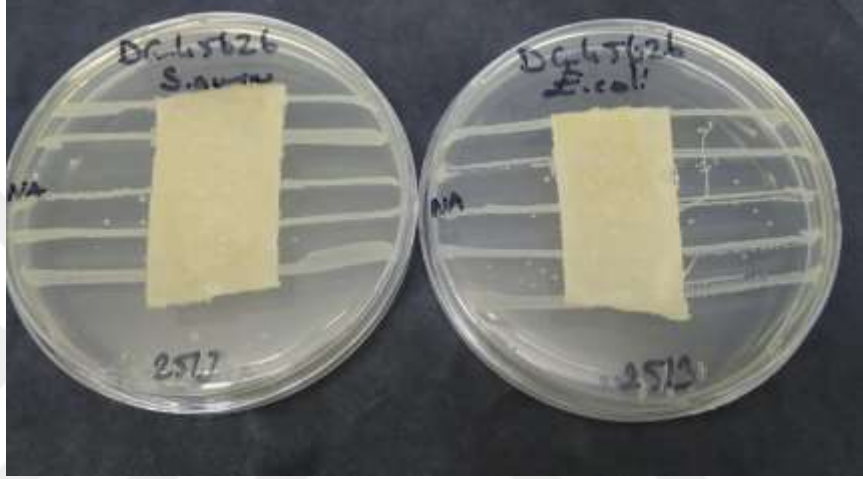
Tablo 3.5. AgNPs-N1 numaralı kaplanmış kumaşların antibakteriyellik test sonuçları

Malzeme	AATCC 147
AgNPs - N1	

AgNPs-N1 numaralı kaplanmış kumaş ile E. Coli bakteri kültürü arasında üreme görülmeyen kısım 0,0 mm olduğu gözlemlenmiştir. AgNPs-N1 numaralı kaplanmış kumaş ile S. Aureus bakteri kültürü arasında üreme görülmeyen kısım 0,1 mm olduğu tespit edilmiştir. Bakterilerin azaldığı gözlemlenmiştir.

Yıkama sonrası AgNPs-N1 numaralı kaplanmış kumaşın E. Coli ve S. Aureus bakterileri ile AATCC 147 test metoduna göre test edilmiştir. Yıkama sonrası AgNPs-N1 numaralı kaplanmış kumaşın test sonucu Tablo 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.6. Yıkama sonrası AgNPs-N1 numaralı kaplanmış kumaşın antibakteriyellik test sonuçları






















Malzeme	AATCC 147
Yıkama sonrası AgNPs - N1	










Yıkama sonrası NanoAg-N1 numaralı kaplanmış kumaş ile E. Coli bakteri kültürü arasında üreme görülmeyen kısım 0,0 mm olduğu ve S. Aureus bakteri kültürü arasında üreme görülmeyen kısım 0,0 mm olduğu tespit edilmiştir. Bakterilerin arttığı gözlemlenmiştir.

Ambalajların gıda saklama süresine etkisinin değerlendirilmesi

Tekstil bazlı sürdürülebilir yeni nesil ambalajın kullanım deneyimi için, N1, N2, N3, N4, N5, N6, %100 organik pamuklu kumaş, %100 pamuklu kumaş, buzdolabı poşeti, market poşeti kullanılarak, domates, muz ve çilek meyvesinin 1 haftalık saklama süreleri gözlemlenmiştir. Gözlem sonuçlarını en iyi fotoğraflayarak görselleştirebildiğimiz çilek meyvesi olmuştur. Deneyde, çileklerin farklı saklama ambalajları içerisindeki ilk gün, 4. Gün ve son gün kullanım durumu fotoğflanarak, Tablo 3.8'de gösterilmiştir.

Tablo 3.7. Farklı ambalajların saklama süresine etkisinin değerlendirilmesi

Malzeme	1. Gün	4. Gün	8. Gün
N1 (tek kat kaplamalı pamuk)			
N2 (tek kat kaplamalı organik pamuk)			
N3 (tek kat kaplamalı kenevir)			
N4 (tek kat kaplamalı keten)			
N5 (tek kat kaplamalı tencel)			
N6 (tek kat kaplamalı yün)			
% 100 organik pamuklu kumaş			

% 100 pamuklu kumaş			
Buzdolabı poşeti			
Market poşeti			

Çileklerin 8 günlük saklama süresinin ardından gerçekleştirilen görsel değerlendirme sonuçlarına göre, en az bozulma belirtileri N2 (tek kat kaplamalı organik pamuk) ve N6 (tek kat kaplamalı yün) numaralı kaplanmış kumaşlarda sağlandığı gözlemlenmiştir. Ayrıca domateslerde, çilek deneyinde kullanılan aynı ambalaj örnekleri (N1, N2, N3, N4, N5, N6) ve klasik ambalajlarla birlikte 8 gün süreyle buzdolabında saklanmış ve fiziksel durumları değerlendirilmiştir. Deney sonunda, çileklerde gözlemlenen belirgin küflenme ve renk değişimlerinin aksine domateslerde görsel olarak küf veya yüzeysel bozulma saptanmamış, ancak tüm ambalaj tiplerinde elle temas sırasında belirgin bir yumuşama tespit edilmiştir. N2 (tek kat kaplamalı organik pamuk) ve N6 (tek kat kaplamalı yün) örneklerinde domateslerin dokusunu nispeten daha uzun süre koruduğu, yumuşamanın daha sınırlı kaldığı görülmüştür. N3 (kenevir) ve N4 (keten) kaplamalı numunelerde orta düzeyde yumuşama kaydedilmiştir. N1 (pamuk) ve N5 (tencel) kaplamalı ambalajlarda ise domateslerin daha hızlı dokusal bütünlük kaybı yaşadığı gözlemlenmiştir. Plastik poşet örneklerinde (buzdolabı poşeti ve market poşeti) ise içerideki kapalı atmosferin etkisiyle en fazla yumuşama ve nem birikimi meydana gelmiştir.

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

Farklı doğal elyaf içeriklerine sahip tekstil yüzeylerinin balmumu esaslı kaplamalarla fonksiyonelleştirilmesi amaçlanmış ve bu kaplamaların kumaşların mekanik, fiziksel ve antibakteriyellik özellikleri üzerindeki etkileri çok yönlü olarak değerlendirilmiştir.

4.1. Mekanik Performans Açısından Sonuçlar

Kaplamalı kumaşlarda balmumu uygulamasının hem çekme mukavemeti hem de uzama değerlerinde belirgin değişimlere yol açtığı gözlemlenmiştir. Özellikle N2 numaralı kaplamalı kumaş 8,88 N ile en yüksek çekme mukavemetine ulaşırken, N6.1 numaralı kumaş %108,62 uzama değeri ile en yüksek esnekliğe sahip olmuştur. Bazı numunelerde (örneğin N5.1 ve N6.1), düşük çekme mukavemeti ile yüksek uzama miktarının bir arada bulunması, kaplamanın bazı kumaş türlerinde mukavemeti sınırlayıp daha elastik bir yapı kazandırabildiğini göstermektedir.

Yırtılma dayanımı ölçümlerinde ise balmumu kaplamanın yapısı nedeniyle test verisi alınmamıştır. Balmumunun yüzeyde oluşturduğu yarı rijit katman, kumaşın yırtılma anındaki deformasyonunu sınırlamış ve cihazla ölçüm yapılmasını engellemiştir. Bu durum, balmumu kaplı kumaşların dayanıklı olmasına rağmen belirli test koşullarında ölçüm kısıtı oluşturabileceğini göstermektedir. Kaplamalı tüm kumaşlarda yapılan ıslak (12.800 devir) ve kuru (25.600 devir) aşınma testlerinde hiçbir numunede gözle görülür aşınma tespit edilmemiştir. Ayrıca kırılma, çatlama ya da deformasyon gibi herhangi bir fiziksel bozulma da gözlenmemiştir. Bu sonuçlar, balmumu kaplamanın kumaş yüzeyine yüksek mekanik direnç kazandırdığı ve uzun süreli kullanımda yüzey bütünlüğünü koruduğunu göstermektedir. Yüzey pürüzlülüğü açısından da tüm kaplanmış kumaşların uygun değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu da kaplamanın sadece dayanıklılığı değil, estetik ve dokunsal kaliteyi de olumlu etkilediğini

göstermektedir. Hava geçirgenliği testlerinde kaplamanın, kumaşların hava alışverişi özellikleri üzerinde belirli bir etkisi olduğu görülmüştür. N3 numaralı kaplanmış kumaş en yüksek hava geçirgenliğini (37,67) sağlarken, N2 numaralı kumaş en düşük geçirgenlik değerine (23,67) sahip olmuştur. Bu farkın kumaş türüne, dokuma sıklığına ve balmumu emilim oranına bağlı olarak oluştuğu değerlendirilmiştir.

Bu bağlamda, balmumu kaplamasının nefes alabilirlik performansını tamamen ortadan kaldırmadığını ancak kumaş yapısına bağlı olarak azaltabildiğini göstermektedir. Gıda ambalajı gibi uygulamalarda bu parametre oldukça önemlidir çünkü düşük geçirgenlik nem birikimine, yüksek geçirgenlik ise ürünün çabuk kurumasına neden olabilir. Bu açıdan dengeli geçirgenliğe sahip kaplamalar (örneğin N4 ve N5) gıda ambalajı uygulamaları için daha uygun olabilir.

4.2. Antibakteriyellik Özelliklerin Değerlendirilmesi

AATCC 147 test metoduna göre gerçekleştirilen antibakteriyellik testleri yalnızca N1, N3 ve N6 numaralı balmumu kaplamalı kumaşlara uygulanmış ve bu numunelerde E. Coli ve S. Aureus bakterilerine karşı herhangi bir antibakteriyel etki tespit edilmemiştir. Bu durum, balmumunun tek başına antibakteriyel bir özellik kazandırmak için yeterli olmadığını göstermektedir.

Antibakteriyel etkiyi oluşturmak amacıyla gümüş nanoparçacık (AgNPs) içeren solüsyon ile kaplanmış AgNPs-N1 numaralı kumaş üzerinde gerçekleştirilen testte ise S. Aureus bakterisi için 0,1 mm'lik bir inhibisyon bölgesi gözlemlenmiştir. Ancak bu etkinin yıkama sonrası tamamen kaybolduğu tespit edilmiştir. Literatürde antibakteriyel özellikleriyle bilinen nanogümüşün, ürüne beklenen antibakteriyel etkinliği kazandıramamasının nedeni, balmumunun gümüş nanoparçacıkların yüzeyini tamamen kaplayarak bu partiküllerin aktif yüzey etkileşimini engellemesidir. Elde edilen bu bulgular, gümüş nanoparçacıklı kaplamaların kısa süreli antibakteriyel etki gösterebildiğini ancak kalıcılıklarının sınırlı olduğunu ortaya çıkarmıştır.

4.3. Tekstil Bazlı Sürdürülebilir Ambalajların Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi

Çalışmada kullanılabilirliğin araştırılması için çileklerin farklı kaplamalı kumaşlarda ve pazarda bilinen ambalajlarda saklanması ile gözlem yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara

göre; N2 ve N6 numaralı kaplanmış kumaşların, 8 gün boyunca çilekleri en iyi koruyan ve en az bozulmanın gerçekleştiği ambalajlar olduğu tespit edilmiştir. Karşılaştırmalı gözlemlere göre bu tekstil bazlı sürdürülebilir ambalajlar, meyvelerde renk değişimi, çürüme ve deformasyonu en aza indirmiştir. Bu durum, balmumu kaplamalı kumaşların meyve/sebze gibi bozulabilir gıdaların saklanması için uygun bir alternatif olabileceğini göstermektedir. Ayrıca doğal lifli kumaşların nefes alabilir yapısı ile balmumunun nem ve mikroorganizma geçişini sınırlandırıcı etkisinin bir araya gelmesi, gıdaların saklanması ve taşınmasında kullanılabilir olduğunu ortaya çıkarmıştır.

4.4. Tasarlanmış Kullanım Alternatifleri

Geliştirilen tekstil bazlı ambalajlar çeşitli form ve ebatlarda kullanılabilir. Günlük kullanımda, dolap içerisinde çeşitli gıdaların saklanması için, ekmek gibi yarı kuru gıdaların kurumaması için, streç filmlere alternatif olarak şişelerde, kaplarda muhafaza edilen ya da doğrudan gıdaların yüzeyini kapatmak için kullanılan formlar Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Tekstil bazlı ambalajların kullanım örnekleri

Tekstil bazlı ambalajlar, üretim sınırları içerisindeki boyutlar dikkate alınarak, kese, zarf, külah şeklinde tasarlanabilir. Tasarım alternatifleri Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Tekstil bazlı ambalajların tasarım alternatifleri

Tasarlanan ürünler Şekil 4.3.'teki gibi pratik olarak günlük yaşamda kullanılmaktadır.



Şekil 4.3. Tekstil bazlı ambalajların günlük kullanım örnekleri

4.5. Öneriler

Bu çalışmada elde edilen bulgular genel olarak değerlendirildiğinde, balmumu esaslı kaplamaların doğal lifli tekstil yüzeylerine kazandırdığı mekanik dayanım, yüzey koruması ve belirli ölçüde hava geçirgenliği özellikleri sayesinde gıda ambalajı gibi uygulamalar için potansiyel bir alternatif oluşturduğu sonucuna varılabilir. Bununla birlikte balmumunun tek başına antibakteriyel bir etki sağlamadığı, gümüş nanoparçacıklarıyla (AgNPs) birlikte kullanıldığında ise bu etkinin sınırlı ve geçici olduğu tespit edilmiştir. Bu durum ilerleyen çalışmalarda balmumu kaplamaların farklı antibakteriyel ajanlar veya çok katmanlı sistemlerle desteklenerek hem mikrobiyal bariyer özelliklerinin artırılması hem de bu etkinin uzun süreli hale getirilmesi yönünde araştırmalar yapılmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Çalışmada farklı kumaş türlerinde hava geçirgenliğinin değişkenlik göstermesi kaplama parametrelerinin kumaşın dokuma yapısına ve lif özelliklerine uygun şekilde optimize edilmesi gerektiğini göstermiştir. Özellikle nem ve hava alışverişinin kritik olduğu gıda ambalajı uygulamalarında bu optimizasyonun ürün performansı açısından belirleyici olacağı değerlendirilmektedir. İlerleyen süreçte farklı doğal liflerin veya lif karışımlarının kullanılması, kaplamaların uzun dönem performanslarının izlenmesi ve laboratuvar ölçeğinde elde edilen sonuçların endüstriyel üretime adaptasyonu için proses parametrelerinin modellenmesi önem arz etmektedir. Ayrıca kullanıcı beklentilerini ve tüketici algısını değerlendirmeye yönelik çalışmalar bu tür tekstil bazlı sürdürülebilir ambalajların yaygınlaşmasına katkı sağlayacak önemli veriler sunacaktır.

KAYNAKÇA

1. Gökmenoğlu, G., Bayındırlı, A., & Bayındırlı, B. 1995. Interactions between food and packaging material. **The Journal of Food**, **20**(6).
2. Shin, C., Kim, D. G., Kim, J. H., Kim, J. H., Song, M. K., & Oh, K. S. 2021. Migration of substances from food contact plastic materials into foodstuff and their implications for human exposure. **Food and Chemical Toxicology**, **154**, 112373.
3. Athenstädt, B., Fünfroeken, M., & Schmidt, T. C. 2012. Migrating components in a polyurethane laminating adhesive identified using gas chromatography/mass spectrometry. **Rapid Communications in Mass Spectrometry**, **26**(?).
4. Durusoy, R., & Karababa, A. O. 2011. Plastic food packaging and health. **TAF Preventive Medicine Bulletin**, **10**, 87–96.
5. Muncke, J. 2009. Exposure to endocrine disrupting compounds via the food chain: Is packaging a relevant source?. **The Science of the Total Environment**, **407**.
6. Lau, W. Y., Shiran, Y., Bailey, R. M., Cook, E., Stuchtey, M. R., Koskella, J., Velis, C. A., Godfrey, L., Boucher, J., Murphy, M. B., Thompson, R. C., Jankowska, E., Castillo, A. C., Pilditch, T. D., Dixon, B., Koerselman, L., Kosior, E., Favoino, E., Gutberlet, J., ... Palardy, J. E. 2020. Evaluating scenarios toward zero plastic pollution. **Science**, **369**(6509), 1455–1461.
7. Jahangiri, F., Mohanty, A., Pal, A. K., Clemmer, R., Gregori, S., & Misra, M. 2024. Wax coatings for paper packaging applications: Study of the coating effect on surface, mechanical, and barrier properties. **ACS Environmental Au**, **5**(2).
8. Marsh, K., & Bugusu, B. 2007. Food packaging roles, materials and environmental issues. **Journal of Food Science**, **72**(9), R39–R55.
9. Khademi Kord, H., & Pazirandeh, A. 2008. Comparison of different packaging materials and solutions on a cost basis for Volvo Logistic Corporation. *Master's thesis*, University of Borås.
10. Dolci, G., Puricelli, S., Cecere, G., Tua, C., Fava, F., Rigamonti, L., & Grosso, M. 2024. How does plastic compare with alternative materials in the packaging sector? **Waste Management & Research**, **43**(1), 50–62.

11. Ibrahim, I. D., Hamam, Y., Sadiku, E. R., Ndambuki, J. M., Kupolati, W. K., Jamiru, T., Eze, A. A., & Snyman, J. 2022. Need for sustainable packaging: An overview. **Polymers**, **14**(4), 739.
12. Cruz, R. M. S., Krauter, V., Krauter, S., Agriopoulou, S., Weinrich, R., Herbes, C., Scholten, P. B. V., Uysal-Unalan, I., Sogut, E., Kopacic, S., Lahti, J., Rutkaite, R., & Varzakas, T. 2022. Bioplastics for food packaging: Environmental impact, trends and regulatory aspects. **Foods**, **11**(3), 322.
13. Dutta, D., & Sit, N. 2024. A comprehensive review on types and properties of biopolymers as sustainable bio-based alternatives for packaging. **Food Biomacromolecules**, **1**.
14. Silayoi, P., & Speece, M. 2007. The importance of packaging attributes: A conjoint analysis approach. **European Journal of Marketing**, **41**(11/12), 1495–1517.
15. Liu, Y., & Song, H. 2020. Eco-packaging design in textile industry: A case study of sustainable branding. **Sustainability**, **12**(7), 2821.
16. Underwood, R. L., & Klein, N. M. 2002. Packaging as brand communication: Effects of product pictures on consumer responses to the package and brand. **Journal of Marketing Theory and Practice**, **10**(1), 58–68.
17. Çetiner, Ş. 2025. Ambalajlama. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Çine Meslek Yüksekokulu.
18. Sezgin, A., Öztürk, B., & Kalaycı, D. B. 2019. Packaging materials used in food system. *In Proceedings of International Conference* (pp. 153–161).
19. Atasever, N., & Şengir, S. 2018. Packaging as a popular graphic design element: Temporary design practices. In **6th International Printing Technologies Symposium Proceedings Book** (pp. 781–792).
20. Sastre, R. M., de Paula, I. C., & Echeveste, M. E. S. 2022. A systematic literature review on packaging sustainability: Contents, opportunities, and guidelines. **Sustainability**, **14**(17), 10004.
21. Cabasag, M. D. F., Plando, M. K. C., Coscos, R. B., & Lucindo, J. D. A. 2024. The influence of aesthetic packaging elements on consumers' purchasing intention. **International Journal of Novel Research and Development**, **X**(X).
22. Lomayani, J. 2021. The role of packaging in consumer buying behavior: A case of small-scale entrepreneurs in Tanzania. **British Journal of Marketing Studies**, **X**(X).

23. Mutsikiwa, M., & Marumbwa, J. 2013. The impact of aesthetic package design on consumer purchase decisions: A case of dairy products in Zimbabwe. **IOSR Journal of Business and Management**, X(X).
24. Shah, K. 2023. Impact of packaging on consumer buying behaviour. **International Journal of Scientific Research in Engineering and Management**, X(X).
25. Reimann, M., Zaichkowsky, J., Neuhaus, C., Bender, T., & Weber, B. 2010. Aesthetic package design: A behavioral, neural, and psychological investigation. **Journal of Consumer Psychology**, 20(4), 431–441.
26. Otoni, C. G., Avena-Bustillos, R. J., McHugh, T. H., Ventura, M. R., & Tapia-Blácido, D. R. 2022. Use of nanocellulose in bio-based food packaging. **Polymers**, 14(X),.
27. Farrukh, A., Mathrani, S., & Sajjad, A. 2022. A systematic literature review on environmental sustainability issues of flexible packaging. **Sustainability**, 14(8), 4737.
28. Plastics Europe. 2021. Plastics – the Facts 2021: An analysis of European plastics production, demand and waste data. Brussels: PlasticsEurope.
29. Ceballos-Santos, S., de Sousa, D. B., González García, P., Laso, J., Margallo, M., & Aldaco, R. 2024. Exploring the environmental impacts of plastic packaging: a comprehensive life cycle analysis for seafood distribution crates. **Science of the Total Environment**, 951, 175452.
30. Pongrácz, E. 2007. The environmental impacts of packaging. In M. Kutz (Ed.), **Handbook of Environmental Degradation of Materials**. Wiley.
31. Heller, M. C., Paine, K., Cecco, L., & Keoleian, G. 2015. Life cycle assessment of food packaging and waste (CSS Report No. CSS15-05). University of Michigan.
32. Guillard, V., Gaucel, S., Fornaciari, C., Angellier-Coussy, H., Buche, P., & Gontard, N. 2018. The next generation of sustainable food packaging: materials, production and design. **Food Engineering Reviews**, 10(3), 115–136.
33. Popovic, I., Jakovljevic, M., & Radovanovic, S. 2023. Migration of chemical compounds from packaging polymers into food: A review. **Cellulose Chemistry and Technology**.
34. Yildirim, Z., Aygun, H., & Coskun, S. 2025. Food packaging and chemical migration: A food safety perspective. **KKU Journal of Food Science**,.

35. Kumar, P., Yadav, H., & Kumar, P. 2025. Migration of chemical substances from packaging materials into packaged foods: A mini-review. **International Journal of Agricultural and Food Science**,.
36. Sari, N., Gunawan, A., & Pratiwi, Y. 2022. Biodegradable food packaging: Benefits and adverse effects. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**,.
37. JFSFQ Editorial Board. 2024. Biodegradable packaging in the food industry. **Journal of Food Science and Food Quality**.
38. Nair, S. S., Zhu, J. Y., Deng, Y., & Ragauskas, A. J. 2020. Sustainable biopolymers and composites for food packaging applications: A review. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, 8(8), 2491–2521.
39. Lacourt, C., Mukherjee, K., Garthoff, J., et al. 2024. Recent and emerging food packaging alternatives. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**.
40. Schrenk, D. 2014. Food packaging materials and their potential impact on human health (doctoral dissertation). Technische Universität Kaiserslautern.
41. Versino, F., Ortega, F., Monroy, Y., et al. 2023. Sustainable and bio-based food packaging. **Foods**, X(X), (sayfa aralığı eksik).
42. Mukhi, S., Rukmini, M. S., Reghupathi, I., et al. 2024. Effect of food packaging on human health. **Journal of Chemical Health Risks**.
43. Senna Mukhi, S., Rukmini, M. S., Reghupathi, I., et al. 2024. Trends in food packaging. **Journal of Chemical Health Risks**,.
44. Sillanpää, M., & Ncibi, M. C. 2019. A sustainable textile and clothing supply chain: Environmental and social aspects of circularity. **In Sustainable Textiles**.
45. Klāvins, M., Grīnberga-Zālīte, G., Stašāns, A., & Urtāns, A. 2022. Design of reusable textile packaging from recycled materials: Case study in circular logistics. **Sustainability**, 14.
46. Shershneva, E. G. 2022. Biodegradable food packaging: Benefits and adverse effects. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, 988.
47. Bykov, D. E., Eremeeva, N. B., Makarova, N. V., Bakharev, V. V., Demidova, A. V., & Bykova, T. O. 2017. Influence of plasticizer content on organoleptic, physico-chemical and strength characteristics of apple sauce-based edible film. **Foods and Raw Materials**, 5(X).

48. Van Rie, J., & Thielemans, W. 2019. Diffusion and phase behavior of cellulose nanocrystals obtained from different plant sources. **Langmuir**, **35**.
49. Schmitz, L., Alarcon, O. E., & do Amaral, D. S. 2023. The enhancing effect of carnauba wax on ulvan films: a strategy for sustainable food packaging. (Master's thesis). Universidade Federal de Santa Catarina.
50. Beck, D. E., Lane, K. M., Shiel, C. A., & Welke, K. F. 2021. The impact of beeswax-impregnated cotton cloths on food spoilage compared to standard storage methods. (Master's thesis). University of Montana.
51. Skiver, S. 2023. Evaluation of beeswax wraps as an alternative to single-use plastics. (Master's thesis). The University of Akron.
52. Szulc, J., Machnowski, W., Kowalska, S., Jachowicz, A., Ruman, T., Steglińska, A., & Gutarowska, B. 2020. Beeswax-Modified Textiles: Method of Preparation and Assessment of Antimicrobial Properties. **Polymers**, **12**.
53. Schmitz, L., Alarcon, O. E., & do Amaral, D. S. 2023. Carnauba wax as a strategy to produce improved ulvan films for sustainable food packaging. (Master's thesis). Universidade Federal de Santa Catarina.
54. Alexander, I., Sodri, A., & Mizuno, K. 2023. The effect of different natural waxes to hydrophobic properties of starch-based biodegradable foams. **Journal of Environmental Science and Sustainable Development**, **6**.
55. Asad Samani, M., Babaei, S., Naseri, M., Majdinasab, M., & Mohammadi Nafchi, A. 2023. Development and characterization of a novel biodegradable and antioxidant film based on marine seaweed sulfated polysaccharide. **Food Science & Nutrition**, **11**.
56. Muthu, S. S. 2014. Assessing the environmental impact of textiles and the clothing supply chain. In *Environmental Footprints and Eco-design of Products and Processes* (p. 17). Springer.
57. Mohanty, A. K., Misra, M., & Drzal, L. T. 2005. *Natural fibers, biopolymers, and biocomposites*. CRC Press.
58. Shahid, M., & Mohammad, F. 2013. Recent advancements in natural dye applications: a review. **Journal of Cleaner Production**, **53**.
59. Kumar, R., & Krishnan, P. 2020. Barrier properties of biodegradable packaging materials: A review. **Polymer-Plastics Technology and Materials**, **59**.

60. Silvestre, C., Duraccio, D., & Cimmino, S. 2011. Food packaging based on polymer nanomaterials. **Progress in Polymer Science, 36.**
61. Turbé, A. W., Jarett, R., Lemoine, S., & Ferrer-Mairal, L. 2017. Wax-based edible coatings for food packaging: Safety and barrier properties. **Trends in Food Science & Technology, 67.**
62. Bumbudsanpharoke, N., Ko, S., & Kim, K. 2015. Nanomaterials for the development of bioactive food packaging. **Food Packaging and Shelf Life, 3.**
63. Avrupa Komisyonu. 2011. Commission Regulation (EU) No 10/2011 on plastic materials and articles intended to come into contact with food. Official Journal of the European Union.
64. Beard, M. R., McClelland, R., Jenkins, L., & Thomas, S. 2020. Reusable beeswax wraps as sustainable food packaging alternatives: Durability and consumer perceptions. **Sustainability, 12.**
65. Singh, P., & Yadav, M. 2021. Comparative assessment of natural textile-based packaging and conventional plastic wraps. **Packaging Sustainability Review, 7.**
66. Fasano, E., Bono-Blay, F., Cirillo, T., Montuori, P., & Lacorte, S. 2012. Migration of phthalates, alkylphenols and bisphenol A from plastic containers and evaluation of risk. **Food Control, 27.**
67. Grob, K. 2002. Potential health risks from migration of substances from food contact materials. **Food Additives & Contaminants, 19.**
68. Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., & Law, K. L. 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. **Science, 347.**
69. Lee, Y., & Kim, H. J. 2022. Functional finishing of eco-friendly textile packaging with antifungal agents. **International Journal of Clothing Science and Technology, 34.**
70. Palamutcu, S., Soydan, A. S., Avinc, O., Günaydin, G. K., Yavas, A., Kılıvcım, M. N., & Demirtaş, M. 2019. Physical properties of different Turkish organic cotton fiber types depending on the cultivation area: Is it a sustainable solution? **Textile Science and Clothing Technology.**
71. Yüksel, M. F., Şenel, G., & Atav, R. 2021. Doğal renkli pamuk: Genel özellikleri ve tekstil alanında yapılan önceki çalışmalar. **Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 33.**

72. Gong, W., Du, X., Jia, Y. H., & Pan, Z. 2018. Color cotton and its utilization in China. **In Cotton Fiber: Physics, Chemistry and Biology** (pp. 117–132).
73. Kaya, S., & Öner, E. 2020. Kenevir liflerinin eldesi, karakteristik özellikleri ve tekstil endüstrisindeki uygulamaları. **Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, **11**.
74. Gebarowski, T., Jeskowiak, I., & Wiatrak, B. 2022. Investigation of the properties of linen fibers and dressings. **International Journal of Molecular Sciences**, **23**.
75. Paul-Victor, C., Dalle Vacche, S., Sordo, F., Fink, S., Speck, T., Michaud, V., & Speck, O. 2017. Effect of mechanical damage and wound healing on the viscoelastic properties of stems of flax cultivars (*Linum usitatissimum* L. cv. Eden and cv. Drakkar). **PLoS One**, **10**, e017.
76. Satyanarayana, K. G., Arizaga, G. G. C., & Wypych, F. 2009. Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers—An overview. **Progress in Polymer Science**, **34**.
77. Charlet, K., Eve, S., Jernot, J. P., Gomina, M., & Breard, J. 2009. Tensile deformation of a flax fiber. **Procedia Engineering**, **1**.
78. Morvan, C., Andème-Onzighi, C., Girault, R., Himmelsbach, D. S., Driouich, A., & Akin, D. E. 2003. Building flax fibres: More than one brick in the walls. **Plant Physiology and Biochemistry**, **41**.
79. Hughes, M. 2012. Defects in natural fibres: Their origin, characteristics and implications for natural fibre-reinforced composites. **Journal of Materials Science**, **47**.
80. Helmy, N. K., Othman, H. A., & Hassabo, A. G. 2024. Manufacturing and usage of Lyocell fabric. **Egyptian Journal of Chemistry**, **67**.
81. Daria, M., Krzysztof, L., & Jakub, M. 2020. Characteristics of biodegradable textiles used in environmental engineering: A comprehensive review. **Journal of Cleaner Production**, **268**.
82. Johnson, N., Wood, E., Ingham, P., McNeil, S., & McFarlane, I. 2003. Wool as a technical fibre. **Journal of the Textile Institute**, **94**.
83. Corscadden, K. W., Biggs, J. N., & Stiles, D. K. 2014. Sheep's wool insulation: A sustainable alternative use for a renewable resource? **Resources, Conservation and Recycling**, **86**.

84. Galán-Marín, C., Rivera-Gómez, C., & Petric-Gray, J. 2010. Effect of animal fibres reinforcement on stabilized earth mechanical properties. **Journal of Biobased Materials and Bioenergy**, **4**.
85. Ye, Z., Wells, C., Carrington, G., & Hewitt, N. 2006. Thermal conductivity of wool and wool–hemp insulation. **International Journal of Energy Research**, **30**.
86. Kaper, J. B., Nataro, J. P., & Mobley, H. L. 2004. Pathogenic *Escherichia coli*. **Nature Reviews Microbiology**, **2**.
87. Allocati, N., Masulli, M., Alexeyev, M. F., & Di Ilio, C. 2013. *Escherichia coli* in Europe: An overview. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, **10**.
88. Zhu, Z., Hu, Z., Li, S., Fang, R., Ono, H. K., & Hu, D. L. 2023. Molecular characteristics and pathogenicity of *Staphylococcus aureus* exotoxins. **International Journal of Molecular Sciences**, **25**.
89. El-Moez, S., Mohamed, A., & Hassabo, A. 2025. The applications and benefits of beeswax gum in the textile industry. **Journal of Textiles, Coloration and Polymer Science**, **22**.
90. Szulc, J., Machnowski, W., Kowalska, S., Jachowicz, A., Ruman, T., Stegłńska, A., & Gutarowska, B. 2020. Beeswax-modified textiles: Method of preparation and assessment of antimicrobial properties. **Polymers**, **12**.
91. Abbass, A., Pavia, M. C., Oliveira, D. V., Lourenço, P. B., Fangueiro, R., & Alves, N. M. 2022. The potential of beeswax colloidal emulsion/films for hydrophobization of natural fibers prior to NTRM manufacturing. **Key Engineering Materials**, **916**.
92. Brito-Pereira, R., Ribeiro, C., Tubio, C. R., Castro, N., Costa, P., & Lanceros-Méndez, S. 2023. Beeswax multifunctional composites with thermal-healing capability and recyclability. **Chemical Engineering Journal**, **453**.
93. Diyana, Z. N., Jumaidin, R., Selamat, M. Z., & Suan, M. S. M. 2021. Thermoplastic starch/beeswax blend: Characterization on thermal, mechanical and moisture absorption properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, **190**.
94. Bhasney, S. M., Patwa, R., Kumar, A., & Katiyar, V. 2017. Plasticizing effect of coconut oil on morphological, mechanical, thermal, rheological, barrier, and

optical properties of poly(lactic acid): A promising candidate for food packaging.

Journal of Applied Polymer Science, 134.

95. El Sawi, S. A., Ibrahim, M. E., El-Rokiek, K. G., & El-Din, S. A. S. 2019. Allelopathic potential of essential oils isolated from peels of three citrus species. **Annals of Agricultural Sciences, 64.**
96. Sharma, S., Barkauskaite, S., Jaiswal, A. K., & Jaiswal, S. 2021. Essential oils as additives in active food packaging. **Food Chemistry, 343.**
97. Pavon Vargas, C. P., Aldas, M., López, J., Joaquin, H.-F., & Arrieta, M. P. 2021. Films based on thermoplastic starch blended with pine resin derivatives for food packaging. **Foods, 10.**

EKLER

EK 1. Balmumu ile Kaplanmış Kumaşların Çekme Mukavemeti, Uzama Miktarı ve Yırtılma Dayanımı Test Sonuçları

Balmumu kaplı kumaş örnekleri	Kalınlık	Çekme Mukavemeti	Uzama Miktarı	Yırtılma Dayanımı
N1	0,25	7,45	35,45	Mumlandığı için yırtılma verisi alınmıyor.
N2	0,29	8,88	20,15	Mumlandığı için yırtılma verisi alınmıyor.
N3	0,35	3,45	19,85	Mumlandığı için yırtılma verisi alınmıyor.
N4	0,26	4,02	26,54	Mumlandığı için yırtılma verisi alınmıyor.
N5	0,28	3,46	25,54	Mumlandığı için yırtılma verisi alınmıyor.
N6	2,51	4,41	108,45	Mumlandığı için yırtılma verisi alınmıyor.
N1.1	0,35	4,58	19,89	Mumlandığı için yırtılma verisi alınmıyor.
N2.1	0,5	4,6	10,47	Mumlandığı için yırtılma verisi alınmıyor.
N3.1	0,41	7,84	10,57	Mumlandığı için yırtılma verisi alınmıyor.
N4.1	0,33	4,78	21,58	Mumlandığı için yırtılma verisi alınmıyor.
N5.1	0,31	2,47	15,48	Mumlandığı için yırtılma verisi alınmıyor.
N6.1	2,69	2,45	108,62	Mumlandığı için yırtılma verisi alınmıyor.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Tuba Ezgi YİĞİT

Uyruğu: Türkiye (T.C)

Doğum Tarihi ve Yeri:

Medeni Durum:

e-mail:

Yazışma Adresi:

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği	2020
Lise	Özel En Eğitim Anadolu Lisesi, Mersin	2016

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2023-Halen	Altındağ Belediyesi	Endüstriyel Tasarım Mühendisi
2022-2023	MondiHome	Ar-ge Uzman Yardımcısı

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

-