

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI LİFLERDEN ÜRETİLMİŞ
KUMAŞLARIN KULLANIM VE
BİYOBOZUNURLUK PERFORMANSININ
İNCELENMESİ

Gökberk DEVRİM

Ekim, 2019

İZMİR

**FARKLI LİFLERDEN ÜRETİLMİŞ
KUMAŞLARIN KULLANIM VE
BİYOBOZUNURLUK PERFORMANSININ
İNCELENMESİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı**

Gökberk DEVRİM

Ekim, 2019

İZMİR

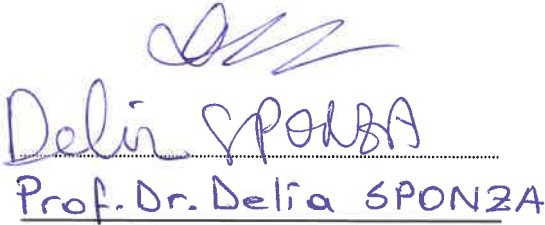
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

GÖKBERK DEVRİM, tarafından **DOÇ.DR. VİLDAN SÜLAR** yönetiminde hazırlanan **“FARKLI LİFLERDEN ÜRETİLMİŞ KUMAŞLARIN KULLANIM VE BİYOBOZUNURLUK PERFORMANSININ İNCELENMESİ”** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



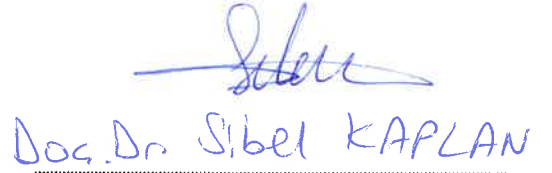
Doç. Dr. Vildan SÜLAR

Yönetici



Prof. Dr. Delia SPONZA

Jüri Üyesi



Doç. Dr. Sibel KAPLAN

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca her aşamada desteğini esirgemeyen, tezin oluşumu, düzenlenmesi ve değerlendirilmesi konusunda her türlü katkıda bulunan, bilgi birikimini, tecrübesini ve değerli zamanını benimle paylaşan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Vildan SÜLAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezim sırasında kullandığım iplik ve kumaş temini sırasında yardımcı olan Üniteks firmasına, bazı kumaşların tedarik edilmesinde yardımcı olan Doç. Dr. Sibel KAPLAN'a, araştırma ve yazım sırasında yardımlarını esirgemeyen Doç.Dr. Yasemin SEKİ ve Dr.Öğr.Üyesi Eren ÖNER'e, patlama mukavemeti ölçümündeki yardımları için Sun Tekstil firmasına, Dokuz Eylül Üniversitesi Müh.Fak. Tekstil Müh. Bölümü laboratuvarlarındaki yardımları için tekstil teknikeri Özlem Ergün'e ve Tuğba Can Akkurt'a, D.E.Ü.Müh.Fak.Metalurji ve Malzeme Müh.Bölümü'nden Arş.Gör.Oylum ÇOLPANKAN ve Doç.Dr.Aylin ZİYLAN'a, Dokuz Eylül Üniversitesi Müh.Fak. Çevre Müh. Bölümü laboratuvarlarındaki yardımları için numune kabul sorumlusu Yaşariye Okumuş'a, D.E.Ü.Müh.Fak.Çevre Müh.Bölümü Atık Su ve Mikrobiyoloji Laboratuvarlarının laboratuvar sorumluları velaboratuvar personeline, Çevre Müh.Bölümü'nden Sayın Prof.Dr.Delya SPONZA'ya, teşekkürü borç bilirim.

Maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen ve her zaman yanımda hissettiğim sevgili aileme sevgilerimi iletmekten onur duyarım.

2017.KB.FEN.034 No'lu BAP Projesi olarak yürütülmüş olan bu araştırmanın fonlanması konusunda Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkürlerimi sunarım.

Gökberk DEVRİM

FARKLI LİFLERDEN ÜRETİLMİŞ KUMAŞLARIN KULLANIM VE BİYOBOZUNURLUK PERFORMANSININ İNCELENMESİ

ÖZ

Bu çalışma kapsamında, farklı hammaddelere sahip kumaşların (pamuk, viskon, Modal, Tencel, polilaktik asit (PLA), polietilen tereftalat (PET) ve poliakrilonitril (PAN)) kullanım ve biyobozunurluk davranışları incelenmiştir. Biyobozunurluk testi için toprağa gömme yöntemi seçilmiş ve üç farklı gömme periyodu (bir, dört ve sekiz ay) uygulanmıştır. Kumaş üretimi ve biyobozunurluk testleri öncesinde, bu hammaddelerden üretilmiş olan ipliklerin, numarası, iplik bükümü, iplik kopma mukavemeti ve kopma uzaması, iplik düzgünsüzlük özellikleri değerleri test edilmiştir. Yapılan örme işlemleri sonrasında üretilen kumaşların yapısal, mekanik ve hava geçirgenliği özellikleri ölçülmüş ve kumaşların kullanım performansını incelemek için birbiriyle karşılaştırılmıştır.

Biyobozunurluk konusundaki önceki çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada, hem kumaşların biyobozunurluğu hem de kumaşların gömülü olduğu toprak numuneleri eş zamanlı olarak değerlendirilmiştir. Biyolojik bozunma davranışını değerlendirmek için görsel inceleme, fotoğraflama, ağırlık kaybı değerlerini belirleme ve morfolojik inceleme gibi farklı yöntemler kullanılmıştır. Bozunma davranışı sırasında toprak içeriğini incelemek için ise toplam organik karbon miktarı, toplam bakteri sayısı ve toplam mantar sayısı tespit edilmiştir. Yapılan çalışma, selülozik kumaş örneklerinin bir ay sonra bile fiziksel ve kimyasal olarak değiştiğini ortaya koymuştur. Sekiz aylık gömme periyodundan sonra ise selülozik liflerden üretilmiş olan tüm kumaşların toprak içerisinde tamamen kaybolduğu tespit edilmiştir. İlk dört aydan sonra sentetik kumaşlardan sadece PLA kumaşta ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Sekiz aylık gömme testi sonunda ise tüm sentetik kumaşlarda az da olsa ağırlık kaybı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Biyobozunurluk, tekstil, lif, SEM, FT-IR, toprak, TOC, bakteri, mantar

INVESTIGATION OF USAGE AND BIODEGRADABILITY PERFORMANCE OF FABRICS PRODUCED BY DIFFERENT RAW MATERIALS

ABSTRACT

In this study, usage and biodegradability behavior of fabrics with different raw materials (cotton, viscose, Modal, Tencel, polylactic acid (PLA), polyethylene terephthalate (PET) and polyacrylonitrile (PAN)) were investigated. Burial method was selected for biodegradability test and three different burial periods (one, four and eight months) were applied. Before fabric production and biodegradability tests, yarn count, yarn twist, yarn breaking strength and breaking elongation, yarn unevenness properties of the yarns made of these raw materials were tested. After knitting, fabric structural, mechanical and air permeability properties were measured and compared with each other to evaluate the usage performance of produced fabrics.

Unlike previous studies on biodegradability, this study simultaneously investigates both the biodegradability of fabrics and the soil samples that fabrics buried in. To evaluate the biodegradation behaviour of fabrics, different methods were used such as visual inspection, taking photographs, determination of weight loss and analysis of morphological changes. Total organic carbon content, total number of bacteria and total number of fungi were also determined to investigate the soil content during degradation behaviour. The study showed that cellulosic fabric samples changed physically and chemically even after one month burial period. After eight months of burial period, all fabrics having cellulosic fibres were completely disappeared in the soil. Weight loss occurred only in PLA fabric amongst synthetic fabrics after four months, At the end of the eight-month burial test, slightly weight loss values were obtained for all synthetic fabrics.

Keywords: Biodegradability, textile, fiber, SEM, FT-IR, soil, TOC, bacteria, fungi

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xi

BÖLÜM BİR – GİRİŞ 1

1.1 Tekstil ve Çevre.....	1
1.1.1 Sürdürülebilirlik.....	3
1.1.2 Bozunma	7
1.1.2.1 Kimyasal Bozunma.....	8
1.1.2.1.1 Oksidasyon.....	8
1.1.2.2 Fiziksel Bozunma.....	9
1.1.2.2.1 Fotobozunma.....	9
1.1.2.2.1 Termal Bozunma	9
1.1.2.2.3 Mekaniksel Bozunma.....	9
1.1.3 Biyotransformasyon.....	9
1.1.4 Biyobozunurluk (Biyodegradasyon).....	9
1.1.4.1 Biyobozunurluğun Genel Mekanizması	10
1.1.4.1.1 Aerobik Biyolojik Bozunma	12
1.1.4.1.2 Anaerobik Biyolojik Bozunma	13
1.1.4.2 Biyobozunur Malzemeler.....	14
1.1.4.2.1 Doğal Polimerler Veya Tarımsal Polimerler.....	14
1.1.4.2.2 Yarı Sentetik Polimerler.....	15
1.1.4.2.3 Mikrobiyel Poliesterler.....	15
1.1.4.3 Biyobozunur Lifler.....	16
1.1.4.4 Doğada Biyobozunur Plastiklere İhtiyaç Duyulmasının Nedenleri. 17	

1.1.4.5 Biyobozunurluk Testleri	18
1.1.4.5.1 Hazırlıklı Biyobozunurluk Testleri	19
1.1.4.5.2 Simülasyon Testleri.....	19
1.1.4.5.3 Doğal Biyobozunurluk Testleri.....	19
1.1.4.6 Tekstil Materyalleri İçin Kullanılan Biyobozunurluk Testleri ve Değerlendirme Yöntemleri	19
1.1.4.7 Tekstil Materyalleri İçin Kullanılan Ekolojik Etiketler	22
1.2 Tekstilde Atık	27
1.2.1 Türkiye’de Tekstil Atıkları	29
1.2.2 Avrupa Birliği’nde Tekstil Atıkları	30
1.3 Önceki Çalışmalar	32
1.4 Çalışmanın Amacı	43
BÖLÜM İKİ – MATERYAL VE YÖNTEM.....	44
2.1 Deneysel Çalışma İçin Üretilen Kumaşlarda Kullanılan İpliklerin Lif Özelliklerine İlişkin Genel Bilgiler.....	45
2.1.1 Pamuk (Co).....	45
2.1.2 Tencel™ Lyocell (CLY).....	46
2.1.3 Tencel™ Modal (CMD)	47
2.1.4 Viskoz (CV).....	48
2.1.5 Poli(laktik asit)(PLA)	49
2.1.6 Polietilen Tereftalat (PET).....	49
2.1.7 Akrilik (PAN)	50
2.2 İplik Özelliklerinin Belirlenmesi.....	50
2.3 Kumaş Özelliklerinin Belirlenmesi	52
2.4 Biyobozunurluk Test Düzenegi ve Biyobozunurluk Kontrolü İçin Toprağa Gömme Testleri	54
2.4.1 Toprağa Gömme Sonrasında Ağırlık Kaybının Belirlenmesi	56
2.4.2 Morfoloji Çalışması.....	57
2.4.3 FTIR Analizi.....	57
2.4.4 Toprak İçerisindeki Toplam Organik Karbon Miktarının Belirlenmesi..	57

2.4.5 Toprak İçerisindeki Toplam Mantar ve Bakteri Sayısının Belirlenmesi .	58
2.4.5.1 Toplam Bakteri Sayısı Tayini (Membran Filtrasyon Metodu ile ISO 6222)	58
2.4.5.2 Toplam Mantar Sayısı Tayini (SM 9610, Membran Filtrasyon Metodu ile).....	58
2.5 Sonuçların Değerlendirilmesi.....	59
BÖLÜM ÜÇ – ARAŞTIRMA BULGULARI VE YORUMLANMASI.....	60
3.1 İplik Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi	60
3.2 Kumaş Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi	61
3.2.1 Kumaşların Yapısal Özellikleri	61
3.2.2 Kumaşların Mekanik Özellikleri	62
3.2.3 Kumaşların Hava Geçirgenliği Özelliği	64
3.2.4 Biyobozunurluk Testi İçin Toprağa Gömme Sonrası Kumaşların Görsel İnceleme Sonuçları.....	64
3.2.5 Biyobozunurluk Testi İçin Toprağa Gömme Sonrası Kumaşların SEM Sonuçları.....	66
3.2.6 Biyobozunurluk Testi İçin Toprağa Gömme Sonrası Kumaşların Ağırlık Kaybı Sonuçları.....	70
3.2.7 Biyobozunurluk Testi İçin Toprağa Gömme Sonrası Kumaşların FTIR Analizi Sonuçları.....	75
3.3 Biyobozunurluk Testi İçin Toprağa Gömme Sonrası Toprakta Yapılan Analiz Sonuçları.....	81
3.3.1 Toplam Organik Karbon (TOC) Analizi Sonuçları	81
3.3.2 Toplam Bakteri ve Mantar Sayısı Sonuçları.....	83
BÖLÜM ÜÇ – SONUÇLAR	86
KAYNAKLAR	90

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Biyolojik olarak parçalanabilen liflerin yaşam döngüsü	7
Şekil 1.2 Polimerlerin bozunma çeşitleri	8
Şekil 1.3 Biyobozunurluğun genel mekanizması.....	11
Şekil 1.4 Kişi başına düşen giysilik lif tüketimi	28
Şekil 1.5 Dünya lif üretimi.....	29
Şekil 1.6 Pamuklu kumaşın belirli zaman aralıklarında biyobozunurluğu	34
Şekil 1.7 Pamuklu kumaşın belirli zaman aralıklarında biyobozunurluğu için FTIR analizi	34
Şekil 1.8 Kumaşların 90 günlük toprağa gömme testindeki biyobozunurlukları.....	36
Şekil 1.9 Pamuklu kumaşların ve poliester kumaşın 90 gün gömme sonunda SEM görüntüleri	36
Şekil 1.10 Farklı katkı maddeleri içeren tarım topraklarında gömülü kompozit numunelerin ağırlık kaybı	37
Şekil 1.11 Farklı katkı maddeleri ile takviye edilmiş PLA kompozitlerin yüzey morfolojisi	38
Şekil 1.12 İşlem görmüş ipek kumaşın kurutma öncesi (A), 30 günlük kurutma sonrası (B), 60 günlük kurutma sonrası SEM görüntüsü (C,D)	39
Şekil 1.13 İşlem öncesi (A) ve işlem sonrası (B) pamuklu kumaşların toprak gömme testinden sonra SEM görüntüleri.....	40
Şekil 1.14 a)Kontrol kumaşında bozunma davranışı b) karışım kumaşta bozunma davranışı	41
Şekil 1.15 Gömme testi uygulanan kumaşların mikroskopik görüntüleri.....	42
Şekil 2.1 Geçirimli elektron mikroskopu ile selülozik liflerde emilen suyun konumu (su karanlık olarak gözükür, selüloz parlak).....	47
Şekil 2.2 Mesdan otomatik büküm ölçeri	51
Şekil 2.3 Instron 4411 çok amaçlı mukavemet ölçeri	51
Şekil 2.4 Uster tester 4 iplik düzgünsüzlük ölçeri	52
Şekil 2.5 Nu- Martindale boncuklanma ve aşınma ölçeri	53
Şekil 2.6 James-Heal R&B kumaş kalınlık ölçeri.....	53

Şekil 2.7 James-Heal TruBurst pnömatik patlama mukavemeti ölçeri.....	54
Şekil 2.8 Toprak gömme testi için yaptırılan düzenek.....	55
Şekil 2.9 Kumaşlar toprağa gömüldükten sonra test düzeneğinin görünümü.....	55
Şekil 3.1 Farklı gömme periyotları için pamuk ve rejenere selüloz kumaşların fotoğrafları ve SEM görüntüleri (x500).....	67
Şekil 3.2 Farklı gömme periyotları için sentetik kumaşların fotoğrafları ve SEM görüntüleri (x500)	69
Şekil 3.3 Farklı gömme periyotları için kumaşların ağırlık kaybı değerleri	72
Şekil 3.4 Kontrol, 1 ay ve 4 ay gömülen pamuklu kumaş numunelerinin FTIR spektrumları.....	77
Şekil 3.5 Kontrol, 1 ay ve 4 ay gömülen Tencel™ Lyocell kumaş numunelerinin FTIR spektrumları	77
Şekil 3.6 Kontrol, 1 ay ve 4 ay gömülen Tencel™ Modal kumaş numunelerinin FTIR spektrumları	77
Şekil 3.7 Kontrol, 1 ay ve 4 ay gömülen viskon kumaş numunelerinin FTIR spektrumları.....	78
Şekil 3.8 Kontrol, 1 ay ve 4 ay gömülen PLA kumaş numunelerinin FTIR spektrumlar	78
Şekil 3.9 8 ay için gömülen PLA kumaş numunelerinin FTIR spektrumları	79
Şekil 3.10 Kontrol, 1 ay ve 4 ay gömülen PET kumaş numunelerinin FTIR spektrumları.....	79
Şekil 3.11 8 ay için gömülen PET kumaş numunelerinin FTIR spektrumları	80
Şekil 3.12 Kontrol, 1 ay ve 4 ay gömülen PAN kumaş numunelerinin FTIR spektrumları.....	80
Şekil 3.13 8 ay için gömülen PAN kumaş numunelerinin FTIR spektrumları	81
Şekil 3.14 Farklı gömme periyotlarından sonra toprakta toplam organik karbon sayısındaki değişim	82
Şekil 3.15 Farklı gömme periyotlarından sonra toprakta bulunan toplam bakteri sayısındaki değişim	84
Şekil 3.16 Farklı gömme periyotlarından sonra toprakta bulunan toplam mantar sayısındaki değişim	85

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1.1 Polimerlerde bozunma ve etkileri	8
Tablo 1.2 Bazı malzemelerin ortalama doğadaki parçalanma süreleri	10
Tablo 1.3 Biyobozunur polimerlerin bazı kullanımları.....	16
Tablo 1.4 Geleneksel polimerler ile biyobozunur polimerlerin fiyatları	17
Tablo 1.5 Çeşitli bağların FTIR değerleri	21
Tablo 1.6 Tekstilde kullanılan ekolojik etiketler	22
Tablo 1.7 Biyobozunurluk testinde kullanılan kumaşlara ait bilgiler	33
Tablo 2.1 Tipik pamuk lifinin bileşimi	46
Tablo 2.2 Lenzing Tencel™ Modal 1,3 dtex'e göre lif özellikleri	48
Tablo 2.3 Deneysel çalışmada kullanılan liflerin nem geri kazanma oranları	50
Tablo 2.4 Deneysel çalışmada kullanılan kumaşlarının kodları	56
Tablo 3.1 Deneysel çalışmada kullanılan ipliklere ait genel bilgiler	60
Tablo 3.2 Deneysel çalışmada kullanılan ipliklerin yapısal, mekanik ve düzgünsüzlük özellikleri.....	60
Tablo 3.3 Deneysel çalışma için üretilen kumaşların temel yapısal özellikleri.....	62
Tablo 3.4 Deneysel çalışmada kullanılan kumaşların boncuklanma değerleri.....	62
Tablo 3.5 Deneysel çalışmada kullanılan kumaşların patlama mukavemeti değerleri	63
Tablo 3.6 Deneysel çalışmada kullanılan kumaşların hava geçirgenliği değerleri ...	64
Tablo 3.7 Farklı toprak gömme periyotlarından sonra kumaşlar için yapılan görsel inceleme sonuçları.....	66
Tablo 3.8 Ağırlık kaybına etki eden faktörler için varyans analizi sonuçları	72
Tablo 3.9 Ağırlık kaybı değerleri için SNK sonuçları	74
Tablo 3.10 Deneysel çalışma kullanılan farklı liflerden üretilmiş kumaşların biyobozunurluk sonuçları için değerlendirme	74

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Tekstil ve Çevre

Dünya nüfusundaki sürekli artış ile birlikte modanın daha hızlı bir şekilde değişmesi tekstil tüketiminin artmasına sebep olmuştur. Günümüzde tekstil ürünleri giysilik ürünler dışında da birçok alanda kullanılmaktadır. Otomotiv, koruyucu, tarım, ev, medikal tekstilleri ve jeotekstiller gibi tüketimin yüksek olduğu teknik alanlarda kullanımının artmasıyla, tekstil ürünleri günlük yaşamamızda önemli bir yer edinmiştir. Giderek artan tekstil tüketimi sebebiyle kullanım sonrasında oluşan tekstil atıkları her geçen gün daha büyük bir çevre sorunu olmaya başlamıştır.

Her geçen gün artan tekstil üretimi ve tüketimi ile birlikte tekstil ürünlerinin çevresel etkileri daha fazla sorgulanır hale gelmiştir. Pamuklu bir t-shirt üretimi için tarladan ürüne kadar yaklaşık 2650 litre su harcanmakta, yine aynı ürün için t-shirt başına 160gram pestisit kullanıldığı bilinmektedir. Her saniye bir kamyon dolusu (2600kg), yılda 9,5milyon ton tekstil atığı doğaya bırakılmaktadır. Özellikle tekstil ürünlerinin dünya üzerindeki kirliliğinin yaklaşık %20'sine neden olduğu ifade edilmektedir. Gerek çevre konusunda ulusal ve uluslararası yasal mevzuatlar ve yaptırımlar gerekse çevre bilincinin giderek artması ile tekstil ürünleri bu açıdan incelenmeye başlanmıştır (Environmental impact of textiles, b.t.).

Günümüzde en çok kullanılan doğal lifler olan yün ve pamuğun yanısıra sentetik lifler özellikle de poliester lifinin kullanımı her geçen gün artmaktadır. Geleneksel olarak kullanılmaya devam eden liflerin tüketiminin yanısıra tüketici beklentileri doğrultusunda tasarlanan ve geliştirilen fonksiyonel ve yüksek performanslı tekstil lifleri ile ilgili araştırma ve geliştirme çalışmaları da giderek artan bir hızla devam etmektedir.

Yeni lifler geliştirirken ortaya çıkan çevresel gereksinimler günümüzde önceki yıllara göre çok daha yüksektir ve petrol esaslı sentetik lifler çevre dostu özelliğe sahip

olmadıkları için istenilen ekolojik kriterleri sağlamakta zorluk yaşanmaktadır. Sentetik liflerin biyolojik olarak parçalanamaması ve yenilenememesi temel problemleridir. Sentetik liflerin kullanımı petrol tüketimini önemli ölçüde arttırmıştır ve artan sentetik lif tüketimi ile her geçen gün artarak devam etmektedir. Doğal kaynakların tükenme tehlikesi ile birlikte petrol kaynakları da tükenme tehlikesi ile karşı karşıyadır. Petrol yenilenebilir olmayan (sürdürülebilir olmayan) bir kaynak olması nedeni ile mevcut tüketim miktarları aynı şekilde devam ederse mevcut fosil yakıtların sadece 50-60 yıl daha yetebileceği düşünülmektedir. Mevcut petrol tüketim oranının petrol üretim oranının 100.000 katı olduğu tahmin edilmektedir. Bu nedenle sürdürülebilirliğin günlük hayatın her aşamasında ön planda olması çevre dostu biyobozunur liflerin gelişimini hızlandırmaktadır (Zupin ve Dimitrovski, 2010).

Birçok farklı sektör petrol bazlı ürünlerin kullanımını, petrol miktarının azalmasına bağlı fiyat artışı ve çevreye verdiği zararlar sebebi ile azaltmaktadır. Yüksek petrol kullanımına sahip olan otomotiv sektörü yeni nesil araçlarda, kullanılan petrol miktarını azaltmak için destekleyici hibrit motorlar ve petrol tüketimini tamamen ortadan kaldıracak elektrikli araçlar üzerine çalışmalar gerçekleştirmektedir. Bu geliştirmelerdeki en büyük engel ise elektrikli araçlarda menzil için yüksek ağırlığa sahip pillerin kullanılmasıdır. Bu sebeple araçların hafifletilmesi için araç içerisinde ve dış parçalarda katman olarak daha çok tekstil ürünleri tüketilmektedir. Tekstil ürünlerinin hafif olması ve istenen özellikleri sağlayabilmesi nedeniyle tercih edilmesi göz önünde bulundurularak, tekstil ürünlerinde de sürdürülebilir yaklaşımda bulunulması, gelecekte yaşanacak sorunların önüne geçilmesi sağlayacaktır.

Tekstil ürünlerinin kullanım performansının yanısıra biyobozunurluk özelliğinin de değerlendirildiği tekstil ürünlerine çevreci bir bakış açısıyla yaklaşım yapan bu çalışmada öncelikle tekstil ürünlerinin çevresel etkileri konusunda kısa bilgiler verilerek sürdürülebilirlik, yaşam döngüsü kavramları açıklanmış ve biyobozunurluk konusunun önemi vurgulanmıştır.

1.1.1 Sürdürülebilirlik

Sanayi devriminden günümüze kadar ülkeler, ekonomik gelişmelerle doğal kaynakları önem vermeksizin kullanarak üretim ve tüketim miktarını artırmışlar, refah seviyesini yükseltme ve daha fazla gelişme çabasını esas almışlardır (Hayta, 2009). Bu çabalar ve artan nüfus ile birlikte hammadde ve enerji kaynaklarında hızlı bir artış gerçekleşmiştir.

Tüketicinin hızla artmasıyla sınırlı olan kaynakların, önemli derecede azaldığı fark edilmiştir. İnsanlar 1970'lere kadar sadece bireylerin refah seviyesinin yükseltilmesini amaçlayan ekonomik gelişmeye odaklansalar da 1970'li yılların başında çevre bilinci oluşmaya başlamış ve 1972 yılında düşünce kuruluşu olan Roma Kulübünün "Büyümenin Sınırları" adlı raporunun yayınlanmasıyla başlayan süreç, 1987 yılında "Sürdürülebilirlik" kavramının literatüre girmesiyle hız kazanmıştır (Hayta, 2009). Sürdürülebilirlik kavramının temeli 20.yüzyılda atılmasına rağmen günümüzde hala sürdürülebilir ürün üretimi ile artan tüketim miktarlarına çözüm yolu arayışına devam edilmektedir. Artan dünya nüfusu ile birlikte sınırlı olan kaynakların tüketilmesinin azaltılması ise giderek daha zorlaşmaktadır.

Sürdürülebilirlik kavramı 1987 yılında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (World Commission of Environment and Development-WCED) tarafından resmi olarak önemsenebilir ve tartışılmaya başlanmıştır. Brundtland raporu, sürdürülebilirlik kavramı üzerine kural ve temelleri içeren 20. yüzyılın en önemli yayınlarından birisidir. Brundtland raporunda sürdürülebilirlik kavramı "bugünkü neslin ihtiyaçlarının, gelecek nesillerin ihtiyaçlarından ödün verilmeksizin karşılanması" olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca raporda, sürdürülebilirlik kavramının amacına sahip çıkılmasının tüm ülkelerin ortak çıkarı olduğunu kabul etmektedir (Hayta, 2009). Bu sebeple tüm ülkeler tarafından ortak çıkar olduğu göz önünde bulundurularak, sürdürülebilir ürün üretimi gerçekleştiren firmaların üretimini sürdürmesi için teşvik edilmesi gerekmektedir.

Sanayileşme sonucu doğal kaynaklara olan talebin ve bu kaynaklar üzerindeki talebin artışının üretim-tüketim faaliyetlerinin sürdürülebilirliğinin sorgulanmasına sebep olmuştur. Toplumların gelişiminin sürdürülebilirliği sadece ekonomik yönden değerlendirilmesi yerine ekonomik, sosyal ve çevresel unsurları bir arada kapsayan bir değerlendirmeye gidilmeye başlanmıştır. Böylece kapsamlı bir kavram olan “sürdürülebilir kalkınma” kavramı yaratılmıştır. Sürdürülebilir kalkınmanın tanımında, ihtiyaç ve ödün verme kavramları yer almaktadır. İhtiyaç kavramı kullanılırken toplumların temel ihtiyaçları söz edilmekte iken ödün verme kavramıyla kısıt unsuru olduğu görülmektedir. Bu kısıtlama ile çevre açısından refah olmadıkça toplum ve ekonomi konusunda refahtan söz edilmesi mümkün değildir (Doğan, Seçme ve Akten, 2017).

Sürdürülebilirlik sıkça; biyolojik sistemlerin dayanması, çeşitliliğe sahip ve üretken olması olarak tanımlanmıştır. Ama yirmi birinci yüzyılda sürdürülebilirlik tanımı çok farklı yerlere gitmiştir. Bugün insanlık ve gezegenin kurtarılması için sürdürülebilirlik modelinin geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Konseptin kapsamı genişlemeye devam etmektedir. 2000’lerde genişletilmiş sürdürülebilirlik tanımı çevreye saygı duymak, evrensel insan hakları, ekonomik adalet, kültür ve barış için fikir içermektedir (What is sustainability, b.t.). Her ne kadar sürdürülebilirlik tanımı başlangıçta çevresel koruma olarak düşünülse de, aynı zamanda ekonomi, sosyal sorumluluk ve insan hakları gibi temel kavramları da kapsamı içerisine almaktadır. Eski model sürdürülebilirlik kavramı, tüketim ve sanayileşme, dünya nüfusunun artışını desteklememektedir. Eğer insanlar gelişmek için su, malzeme ve doğal kaynaklara ihtiyacı varsa, yeni bir yaklaşımda bulunmaları gerekmektedir (What is sustainability, b.t.).

Sürdürülebilir kalkınma sadece sürdürülebilir bir çevreyle ve küresel bütünleşme süreciyle oluşur. Küreselleşmekte olan dünyada, iklimlerin bozunması ve doğal kaynakların giderek azalması gibi sorunlar artmıştır. Bu yüzden, ekonomik büyüme ve kalkınmada, doğal kaynakların tükenmesinin önlenmesi için yenilenebilir olan ürünlerin önemi artmıştır. Aynı zamanda hızla artan nüfus doğal kaynakların aşırı tüketilmesine sebep olmuştur. Böylece “Yeşil Ekonomi” olarak adlandırılan kavram

oluşturulmuştur. Yeşil ekonomi, insan ve çevre gerekliliklerinin en iyi şekilde sağlanması ve gelecek nesillere sürdürülebilir olmasını sağlamaktır. Tüm dünyanın çevreci politikalara ve yatırımlara yönelmesiyle birlikte yenilenebilir ürün kavramı ortaya çıkmış ve yeşil ekonominin temelini oluşturmuştur. Küresel anlamda yeşil ekonomi, yalnızca çevre üzerinde değil finansal gelişme ve istihdam yaratma üzerinde de oldukça etkili olmuştur. Yeşil ekonominin sağlanması, sürdürülebilir kalkınma bakımından önemli bir adım olmasının yanı sıra geleceğe güvenle bakılmasını sağlamıştır (Yeşil ve sürdürülebilir ekonomi, b.t.).

Ekonomik etkinlik, kaynakların en optimum şekilde yönetilmesi anlamını taşımaktadır, ekolojik etkinlik ise yenilenebilir kaynakların yok edilmeden kullanılması, yenilenemeyen kaynakların tekrar faydalanma veya geri kazanma ile kullanımı anlamını içermektedir. Aşırı kullanım, doğal kaynakların bir daha yerine konulamayacak şekilde tüketilmesi demektir. Aşırı kullanım, kaynakların tamamen yok olması riskinin yanında ekolojik dengelerin bozunmasına ve küresel çevre sorunlarına sebep olmaktadır (Özdemir, 2006). Ekolojik dengenin bozunması ise diğer kaynakların devamlılığını etkileyebilmektedir.

Doğa faktörü, ekonomik gelişmeyi sınırlandırabilen veya gelişmeyi hızlandırabilen bir üretim elemanıdır (Özdemir, 2006). Sınırlı olan kaynakların giderek azalması, üretilecek ürünün elde edileceği hammadde kaynağına bağlı olarak fiyatını etkilemektedir. Üretime ilişkin faaliyetler, en önemli çevre kirlenme sebebidir. Ekolojik sorunlar, ekonominin büyümesini gerçekleştirmek isteyen toplumların ekolojik dengeleri ve değerleri dikkate almamasının sonucunda gerçekleşmektedir. Bu yüzden başta çevre kirliliği olmak üzere tüm ekolojik sorunlar, çevreyi göz önünde bulundurmeyen ekonomik büyümenin sonucu olmaktadır. Yenilenemeyen kaynakları kullanarak ekonomik büyüme sağlamak, kısa vadeli ülke borçları için para basmak gibi yapay bir çözümdür. Her iki durumda gelecekte borç almaktır. Kısa vadeli ülke borçları için para basmak enflasyona sebep olurken, yenilenemeyen kaynakların tüketilmesi ise çevre enflasyonuna neden olmaktadır. Ve çevreye olan borç hiçbir zaman geri ödenemez (Özdemir, 2006).

“Günümüzde sürdürülebilirlik, çevre dengesi ile ekonomik büyümeyi birlikte alan, hem doğal kaynakların etkin kullanımını sağlayan ve çevresel kaliteye önem veren hem de gelecek kuşakların kendi ihtiyaçlarını tehlikeye sokmaksızın bugünkü ihtiyaçlarını karşılayabilen bir model olarak karşımızda duruyor” (Yaşam döngüsü analizi (LCA), b.t., s. 1).

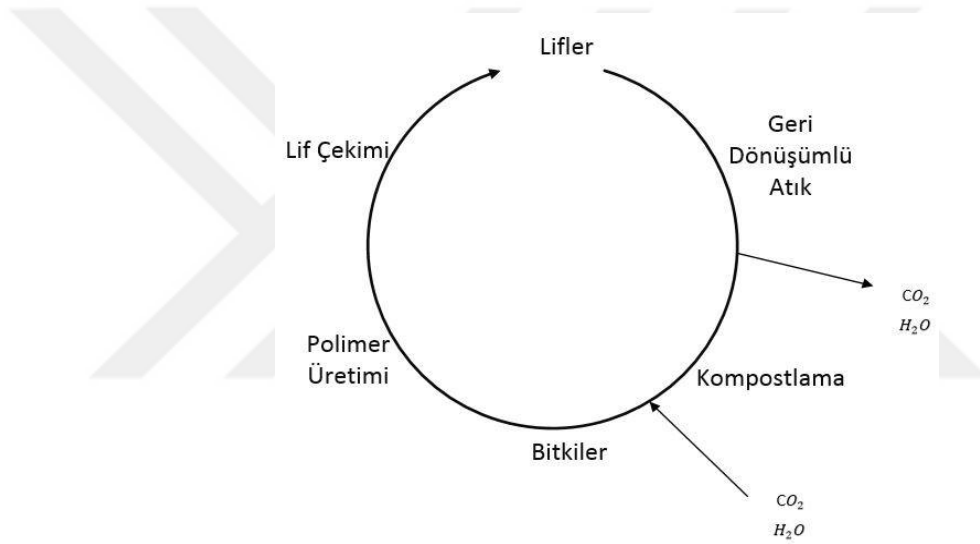
Son dönemde çevre ile ilgili konularda toplumsal hassasiyetin artmasıyla birlikte, proje aşamalarında verilen tüm kararların çevresel boyutu daha da önem kazanmıştır. Artan çevre duyarlılığı ile birlikte teknoloji ve yaşam düzeylerindeki gelişmeler sonucunda her tür projenin topluma maliyeti, performansı gibi özelliklerin yanı sıra doğal kaynakların kullanımı ve çevre sorunlarına yol açma olasılığı gibi bileşenler de karar verme süreçlerinde daha sık göz önünde bulundurulmaya başlanmıştır (Demirer, 2011, s. 7). Tüketicilerin ise artan çevre bilinciyle birlikte bu tür ürünlere yöneldiği görülmektedir.

Yaşam Döngüsü Analizi (YDA) 90’lı yılların başından bu yana ürün ya da hizmet üretiminde kullanılan hammaddelerin elde edilmesinden başlayarak, ilgili tüm üretim, sevkiyat, tüketici tarafından kullanım ve kullanım sonrası atık olarak bertarafı da kapsayan yaşam döngüsünün farklı aşamalarındaki çevresel etkilerini belirlemek, raporlamak ve yönetmek için kullanılmaktadır. YDA bir ürün ya da hizmetin tüm yaşam döngülerini ve bunların birbiriyle bağlantılarının bütünü kapsayacak şekilde değerlendirmektedir (Demirer, 2011, s. 7).

Böylece değerlendirilmekte olan ürün ya da hizmetin “beşikten mezara” bütün süreçlerinde ortaya çıkabilecek her tür çevresel etki ortaya konulmuş olmaktadır. “Beşikten mezara” bir ürün ya da sürecin yaşam döngülerinin tamamını kapsayan analiz çalışmaları için kullanılan bir kavram olup hammadde elde edilmesinden (“beşik”) ortaya çıkan atıkların tanımlanmasına (“mezar”) kadar geçilecek tüm süreçleri kapsamaktadır (Demirer, 2011).

Yaşam Döngüsü Analizinin Amacı;

- Hammadde tüketiminin azaltılması,
- Çevresel emisyonların dolayısıyla etkilerin azaltılması,
- Sosyal etmenlerin iyileştirilmesi ve/veya geliştirilmesi,
- Ekonomik ve çevresel faktörler arasındaki olumlu bağlantıları tanımlamak ve belirlemek (Yaşam döngüsü değerlendirmesi ydd, b.t.).



Şekil 1.1 Biyolojik olarak parçalanabilen liflerin yaşam döngüsü (Blackburn, 2005)

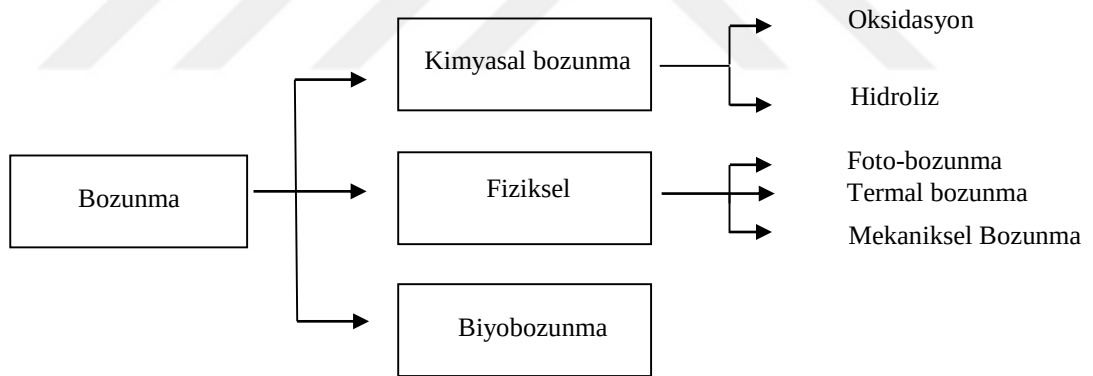
1.1.2 Bozunma

ASTM ve ISO, malzemenin yapısında, molekül ağırlığı ve mukavemeti gibi özelliklerinde oluşan kalıcı değişimleri bozunma olarak tanımlamıştır. Plastikler fiziksel, biyolojik ve kimyasal olarak değişime uğramaktadır. Bu proses, parçalanma ve mineralizasyon olarak ayrılmaktadır. Parçalanma aşamasında, plastikler kırılmalanmamakta, polimer zincirlerinde kopmalar gerçekleşmekte ve renklerinde değişim olmaktadır. Mineralizasyon aşamasında, oksijenli ve oksijensiz ortamda CO₂ ve H₂O gibi doğada bozunabilen daha basit bileşenlere dönüşmektedir (Melikoğlu, Aytaş, Cesur ve Bilek, 2017).

Tablo 1.1 Polimerlerde bozunma ve etkileri (Melikoğlu ve diğer., 2017)

Faktörler (gereklilik/aktivite)	Foto-Bozunma	Termal, oksidatif bozunma	Biyobozunma
Aktif ajan	UV-Işık, radyasyon	Oksijen ve ısı	Mikroorganizma
Isı gereksinimi	Gerekli değil	Yüksek ısı	Gerekli değil
Bozunma hızı	Başlangıçta yavaş, ilerleme aşamasında hızlı	Hızlı	Orta
Çevresel etki	Çevre dostu (radyasyon kullanılmadıysa)	Çevresel olarak kabul	Çevre dostu
Kabul edilebilirlik	Kabul edilebilir ama maliyet yüksek	Kabul edilemez	Ucuz ve kabul edilebilir

Polimerlerin bozunması, kimyasal bozunma, fiziksel bozunma ve biyobozunurluk olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Kimyasal bozunma, oksidasyon ve hidroliz olarak ikiye ayrılmaktadır. Fiziksel bozunma, termal bozunma, fotobozunma ve mekanik olarak gerçekleşmektedir. Biyobozunurluk sırasında, hidroliz ve oksidasyon birincil polimer bozunmasıdır (Arutchelvi ve diğer., 2008).



Şekil 1.2 Polimerlerin bozunma çeşitleri (Arutchelvi ve diğer., 2008)

1.1.2.1 Kimyasal Bozunma

1.1.2.1.1 Oksidasyon. Polimerler ısı ve atmosferik oksijene hassas oldukları için yaygın olarak oksidasyonla bozunmaktadır. Oksidasyon polimerlerde zincir bölünmesini uyarmakta, mekanik mukavemeti düşürmekte ve karbonil gruplarının sayısını arttırmaktadır. Oksidasyon sıcaklıkla doğru orantılı bir şekilde artış göstermektedir (Melikoğlu ve diğer., 2017).

1.1.2.2 Fiziksel Bozunma

1.1.2.2.1 Fotobozunma. Polimerlerin ışık ile atmosferik oksijende reaksiyona girme eğilimine fotobozunma denmektedir. UV ışınları absorbe edilmekte ve serbest radikaller oluşmakta ve daha sonrasında çözünerek bozunma gerçekleşmektedir (Melikoğlu ve diğer., 2017).

1.1.2.2.2 Termal Bozunma. Polimerler ısıdan birkaç aşamada etkilenmektedir. Isı etkisiyle kinetik enerji moleküller arası kuvvetleri aşarak polimeri yumuşatmaktadır. Daha sonrasında devam eden ısı ile birlikte molekül zincirleri koparak kimyasal değişim gerçekleşmektedir (Melikoğlu ve diğer., 2017).

1.1.2.2.3 Mekaniksel Bozunma. Polimerlere uygulanan mekanik etki, polimer morfolojisini değiştirerek bozunma hızını arttırmaktadır. Bozunmayı, polimer morfolojisinin etkilediği bilinmektedir (Melikoğlu ve diğer., 2017).

1.1.3 Biyotransformasyon

Biyotransformasyon, bir organizmada kimyasal bir bileşik üzerinde yapılan kimyasal modifikasyondur (veya değişikliklerdir). Bu modifikasyon CO_2 , NH_4^+ veya H_2O gibi mineral bileşiklerinde biterse, biyotransformasyona mineralleşme denir. Biyotransformasyon sadece hayvanlarda ve bitkilerde değil, aynı zamanda aerobik veya anaerobik koşullar altında mantarlar ve bakteriler gibi toprak mikroplarında da meydana gelmektedir (Gupta, 2018).

1.1.4 Biyobozunurluk (Biyodegradasyon)

Biyobozunurluk, mikroorganizmaların sahip olduğu enzimatik mekanizmalar yardımıyla polimerik malzemelerin karbondioksit, metan, su ve inorganik bileşiklere dönüştürülmesidir (Bağış ve diğer., 2015).

Tablo 1.2 Bazı malzemelerin ortalama doğadaki parçalanma süreleri (Ekici, 2011)

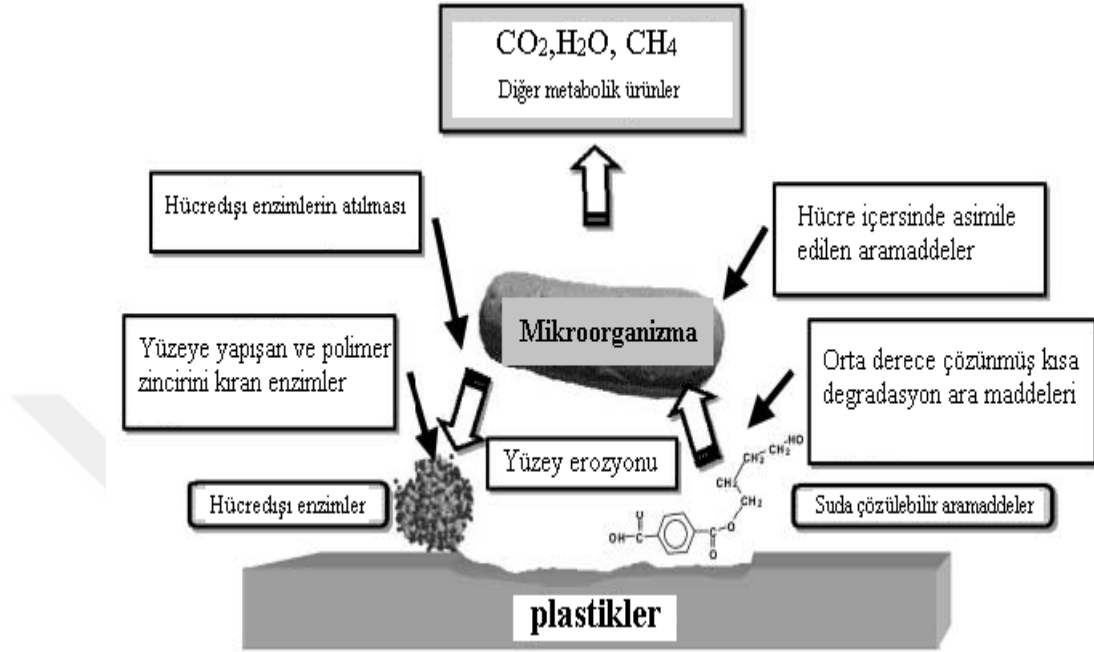
Ürün	Biyolojik parçalanma zamanı
Sebzeler	5 gün- 1 ay
Kağıt	2-5 ay
Pamuklu kumaş	6 ay
Portakal kabuğu	6 ay
Ağaç yaprakları	1 yıl
Yün çorap	1-5 yıl
Plastikle kaplanmış karton kutular	5 yıl
Deri ayakkabı	24-40 yıl
Naylon kumaş	30-40 yıl
Alüminyum teneke kutular	80-100 yıl
Cam şişeler	1 milyon yıl
Strafor bardaklar	500yıl-∞
Plastik poşetler	500yıl-∞

“Mikroorganizmalar soluduğumuz oksijenin neredeyse yarısını üretmektedir. Bir çevre kirleticisini ortamdan uzaklaştırmak için bakteri, fungus (mantar), alg ve bitki gibi organizmalardan yararlanılmasına biyolojik iyileştirme, bu organizmaların çeşitli zararlı kimyasal bileşikleri parçalayıp mineralize etmesine ise biyodegradasyon olarak tanımlanmaktadır” (Kumru, b.t., s. 1).

1.1.4.1 Biyobozunurluğun Genel Mekanizması

Biyobozunurluk heterojen bir proses olarak adlandırılmaktadır. Çünkü materyalin suda çözünmemesi, molekül boyutları ve mikroorganizmaların direkt moleküllerinin içine nüfus edememesi sebebiyle, kirleticiye hücre dışı enzim salgılamaktadır (Şekil 1.3). Sonuç olarak, eğer suda çözünür ara madde oluşumu için kirleticinin molar kütlesi yeteri kadar düşürülemezse, mikroorganizmaların içine girebilir. Hücre dışı enzimler kirletici içerisine nüfuz etmek için çok büyüktür, bu sebep ile sadece yüzeyde etkilidir. Çevresel faktörler bozunurluk için tek başına etkili değildir, en önemli etki mikrobiyelpopülasyon, mikrobiyel aktivite ve mikrobiyel çeşitliliğidir. Nem, sıcaklık, pH, tuzluluk, oksijen varlığı ve besin mikrobiyel bozunurluk için etkili

parametrelerdir. Bu yüzden bu kondisyon şartları testler için önemlidir. Başka komplike faktör ise materyalin olası yapısı ve kompozisyonudur (Müller, 2005).



Şekil 1.3 Biyobozunurluğun genel mekanizması (Müller, 2015)

Lifler, moleküllerin değişik şekillerde (rastgele veya paralel olabilir) düzenlenmesiyle oluşmaktadır. Liflerdeki amorf bölgeler moleküllerin rastgele veya düzensiz şekilde yerleşimiyle, kristalin bölgeler ise moleküllerin düzenli bir şekilde yer almasıyla oluşmaktadır. Liflerde, genellikle her iki bölge bir arada bulunmaktadır (örneğin pamukta %70 kristalin, %30 amorf bölge). Amorf bölge oranı daha yüksek olan lifler daha kolaylıkla bozunabilen bir davranış göstermektedir. Polimer zincirleri arasında hidrojen bağlarının bulunması, kristaliniteyi etkileyen en büyük kuvvettir. Ek olarak, yün ve ipek gibi bazı liflerin kovalent çapraz bağ içerdiği görülmektedir. Bu bağlar ise liflerin biyobozunur olma özelliğini düşürmektedir (Alay, 2016).

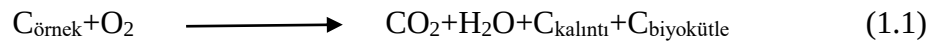
Bu yüzden biyobozunurluk testleri yapılırken çevre koşulları standartlara uygun olarak sağlanmalı ve testlerden önce materyalin karakteristik yapısı çeşitli analiz yöntemleriyle belirlenip test sırasında belirli aralıklar ile kontrol edilmelidir. Bu sebep ile bu çalışmada dış ortamın ve toprak içerisindeki sıcaklığın ve nem değerinin ölçümü

belirli aralıklar ile kontrol edilmiştir. Sonrasında çalışma içerisinde bahsedilecek olan ISO 11721-2:2003 standardındaki sabit nem değeri içerisinde tutulması amacıyla örneklerin bulunduğu topraklar belirli aralıklarda nemlendirilmiştir. Test materyalinin yüzey bozunmasını belirleyebilmek için SEM analizi yapılmıştır. Ayrıca mikrobiyel popülasyon, mikrobiyel aktivite miktarının belirlenmesi için gömme işlemi öncesinde ve her bir gömme işlemi bitiminde toprak içerisinde bulunan toplam bakteri ve mantar sayısı incelenmiştir.

Polimerlerin biyobozunması, depolimerizasyon ve mineralizasyon olmak üzere genellikle iki aşamada gerçekleşir. Depolimerizasyon, organizmanın dışında hidroliz, oksidasyon veya hücre dışı enzimler yoluyla olmaktadır. Bu proseste polimer zincirleri oligomerlere veya monomerlere ayrılır. Reaksiyonda oluşan monomer, glukoz olarak adlandırılır. Mineralleşme mikroorganizmaların içinde gerçekleşir. Monomerik ve oligometrik parçalar, mikroorganizmaların sindirimi için yeterince küçüktür. Bu parçalar hücrenin içine aktarılır ve mineralizasyon işlemi ile enerji olarak tüketilir (Hartikainen, 2015).

Biyobozunurluk CO₂ oluşumu veya O₂ tüketimi ile ilişkilendirilmektedir (Kumru, b.t.). Biyobozunurluk testlerinde bu sınıflandırma göz önünde bulundurularak değerlendirilmesi yapılmaktadır.

1.1.4.1.1 Aerobik Biyolojik Bozunma. “Aerobik biyolojik bozunma, oksijen varlığında mikroorganizmalar tarafından organik maddelerin parçalanmasıdır. Daha açık olarak, sadece oksijenin bulunduğu ortamda oluşma ya da canlı kalma yeterliliğine işaret eder; bu yüzden sistemin, ortamın ya da organizmanın yapısı, oksidatif koşullarla karakterizedir” (Aerobik ve anaerobik biyolojik bozunma, b.t., s. 1). Aerobik biyobozunma aşağıda verilen reaksiyona göre gerçekleşmektedir.



1.1.4.1.2 Anaerobik Biyolojik Bozunma. Anaerobik (oksijensiz ortamda) çürüme, anaerobik mikroorganizmaların aerobik mikroorganizmalara göre daha dominant olduğu ortamda gerçekleşmektedir. Atık alanında biyolojik olarak parçalanabilen atıklar, anaerobik çürümeyle oksijensiz bozunurlar. Normalde birkaç yılda bozunan kağıt ve diğer maddeler, anaerobik bir ortamda daha uzun sürede ve çok daha yavaş bozunurlar. Anaerobik biyobozunma aşağıda verilen reaksiyona göre gerçekleşmektedir (Aerobik ve anaerobik biyolojik bozunma, b.t.).



Anaerobik çürüme tesisleri, büyük enerji santrallerine göre sermaye gereksinimi daha az olduğu için Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı tarafından en faydalı enerji elde etme yöntemlerinden biri olarak kabul edilmiştir. Anaerobik çürüme teknolojilerinin kullanılması, sera gazı salınımlarının azaltılmasına farklı şekillerde yardımcı olabilir:

- Fosil yakıtların yerine kullanılması
 - Atık sahalarından sebep olduğu metan salınımını azaltmak
 - Endüstriyel olarak üretilen kimyasal gübrelerin kullanılmasına gerek kalınmaması
- (Aerobik ve anaerobik biyolojik bozunma, b.t.).

Anaerobik çürüme tesislerinde üretilen metan ve enerji, fosil yakıtlardan üretilen enerjinin yerine kullanılması sonucunda sera gazı salınımı azaltabilir. Bunun sebebi biyobozunur maddedeki karbonun, karbon döngüsünün bir parçası olmasıdır (Aerobik ve anaerobik biyolojik bozunma, b.t.). Anaerobik bozunmanın çevresel faydaları sebebi ile bu çalışmada kumaşların biyobozunurluk özelliklerinin karşılaştırılması için simülasyon testleri anaerobik bir ortam hazırlanarak yani toprağa gömme testleri ile gerçekleştirilmiştir.

1.1.4.2 Biyobozunur Malzemeler

Plastik malzemelerin ambalajlama, inşaat malzemeleri ve ticari ürünler ile hijyen ürünlerinde olduğu gibi birçok uygulama için ideal olmasını sağlayan dayanıklılık özellikleridir. Geleneksel petrol türevi plastikler, mikrobiyel degradasyona karşı dirençlerinden dolayı kolayca bozunamamakta, atık imha sorunlarına neden olmaktadır. Ek olarak, son zamanlarda petrol fiyatları belirgin şekilde artmıştır. Bu gerçekler, biyobozunur polimerlere ve özellikle de biyobozunur biyopolimerlere olan ilgiyi arttırmaya yardımcı olmuştur. Biyobozunur plastikler ve polimerler ilk olarak 1980'lerde sunulmuştur. Sentetikten, doğal polimerlere kadar birçok biyolojik olarak çözünebilir plastik kaynağı vardır. Doğal polimerler yenilenebilir kaynaklardan büyük miktarlarda bulunurken, sentetik polimerler yenilenemeyen petrol kaynaklarından üretilmektedir (Vrotman ve Tighzert, 2009).

Malzemedeki bozunma hücre dışı ve hücre içi olarak iki temel şekilde gerçekleşmektedir. Hücre dışı parçalanmada malzemeler, aerobik veya anaerobik koşullar altında mikroorganizmaların ürettiği endo ve ekzo enzimlerle katalizlenen biyokimyasal tepkimeler sonucunda bozunmaya uğrar. Biyobozunmanın ikinci adımında, hücre içine girebilecek kadar küçük hale gelmiş oligomerler mineralize edilmektedir. Bu tür malzemelerin parçalanması biyobozunmadan çok kimyasal bir reaksiyonun sonucunda gerçekleşmektedir. Mineralizasyon sonucunda organizma enerji kazanırken CO₂, CH₄, N₂ gibi gazların yanında tuzlar ve mineraller gibi organik yapılar açığa çıkmaktadır (Hazer, 2011).

1.1.4.2.1 Doğal Polimerler Veya Tarımsal Polimerler. Doğal polimerler, tüm organizmaların büyüme döngüleri sırasında doğada oluşturulmaktadır. Doğal biyobozunur polimerlere biyopolimerler denir. Polisakkaritler, nişasta ve selüloz olarak, bu doğal polimerlerin en karakteristik ailesini temsil etmektedir. Doğada en çok bulunan polimer selülozdur. Protein gibi diğer doğal polimerler, biyobozunur malzemeler üretmek için kullanılabilir. Bunlar iki ana yenilenebilir biyopolimer kaynağıdır. Bu tür polimerlerin mekanik özelliklerini geliştirmek veya bozunma oranlarını değiştirmek için, doğal polimerler genellikle kimyasal olarak

modifiye edilmektedir. Proteinler, termoplastik heteropolimerlerdir. Proteinlerin çoğu özellikle ipek, yün ve kollajen gibi lifli proteinler, çözünmez ve erimezler. Bu yüzden doğal formlarında kullanılmaktadır. Proteinlerin biyobozunması proteaz enzimleri tarafından gerçekleştirilir ve amin hidroliz reaksiyonudur (Vrotman ve Tighzert, 2009).

1.1.4.2.2 Yarı Sentetik Polimerler. PLA hammaddesi olarak genellikle mısır, nişasta ve şeker kamışı kullanılmaktadır. Doğada kolaylıkla çözünebilmesi için yüksek derece de oksijene ihtiyaç duyan pla hammaddesi sadece kompost tesislerinde işlem görmektedir. Kullanım alanı oldukça geniş olan biyoplastik hammaddelerinden biri olarak sofr ürünleri ve ambalaj plastik üretiminde en çok tercih edilen hammaddelerden biridir (PLA hammaddesi, ecoflex nedir, b.t., s. 1).

PLA suda çözünür değildir. Bununla birlikte, deniz ortamındaki mikroorganizmalar tarafından bozunmaktadır. PLA sert bir malzemedir, sertliği akrilik plastiğe benzemektedir (Vrotman ve Tighzert, 2009).

1.1.4.2.3 Mikrobiyel Poliesterler. Çalışmaların çoğu poli (β -hidroksialkanat)'lar (PHA) ile ilgilidir. Doğal poliesterleri temsil etmektedirler. PHA'ları hücre içi rezerv materyalleri olarak biriktiren çok sayıda bakteri vardır. PHA'lar tamamen biyobozunurdur (Vrotman ve Tighzert, 2009).

Tablo1.3 Biyobozunur polimerlerin bazı kullanımları (Vrotman ve Tighzert, 2009)

Ürün	Firma	Bileşim	Kullanım
Mater-Bi®	Novamont (İtalya)	Niştasta ve poliester	Yeşil atık toplama torbaları, zirai filmler, tek kullanımlık eşyalar.
Polynat®	Roverc'h (Fransa)	Çavdar unu (%80)	Tek kullanımlık eşyalar, çiçek kapları.
Ecofoam®	American Excelsior Company (Amerika)	Niştasta	Ambalaj plastikleri
Biopol®	Goodfellow (İngiltere)	PHB/PHV	Jiletler, şişeler
Eco-pla®	Cargill Dow (Amerika)	PLA	Hijyen ürünleri, spor kıyafetleri ve paketlenme
Bio-D®	Cirad (Fransa)	Pamuktohumundan çıkarılan proteinler	Tarımsal filmler
Ecoflex®	BASF (Almanya)	co-poliester	Tarımsal filmler
Eastar Bio®	Eastman (İngiltere)	co-poliester	Tarımsal filmler
BAK 1095®	Bayer (Almanya)	Poliester amid	Tek kullanımlık eşyalar, çiçek kapları

1.1.4.3 Biyobozunur Lifler

Bir materyal, ayrıştırıcılar yoluyla organizmaya zarar vermeden bir organizma tarafından yutulabilecek herhangi bir şey halinde daha basit maddelere (elementler ve bileşikler) parçalanabilirse, biyobozunur olarak tanımlanmaktadır. Liflerin biyobozunurluğu kimyasal yapılarına, moleküler ağırlıklarına ve moleküler yapılarına bağlıdır (Katkar ve Bairgadar, 2012).

Biyobozunur polimerleri üç ana katagoride sınıflandırılmaktadır. Bunlar:

1.Doğal polisakkaritler ve biyopolimerler:

Selüloz, alginatlar, yün, ipek, kitin, soya fasulyesi proteini vb.

2.Sentetik polimerler, özellikle de alifatik poliestерler:

Poli(laktid asit), poli(ϵ -kaprolaktan) vb.

3.Mikroorganizmalar tarafından üretilen poliestерler:

Poli(hidroksialkanoat) vb. (Blackburn, 2005).

Biyolojik olarak parçalanabilen polimerler ve bunlardan üretilen lifler atık imha sorunları için olası bir çözüm sunan çok çekici polimerlerdir, ama fiyatları oldukça yüksektir (Blackburn, 2005).

Bazı geleneksel polimerler ile bazı biyobozunur polimerlerin fiyatları Tablo 1.4’de verilmektedir.

Tablo 1.4 Geleneksel polimerler ile biyobozunur polimerlerin fiyatları (Blackburn, 2005)

	Materyal	Ortalama fiyat (\$/kg)
Geleneksel polimerler	Poli(propilen)	0,73
	Yüksek yoğunluklu poli(etilen)	0,82
	Poli(etilen tereftalat)	1,15
Biyobozunur polimerler	Poli(laktid asit)	3,30-6,60
	Poli(hidroksialkanoat)	8,80-13,90

Bu nedenle ancak insanların çevre konusunda daha bilinçli olması ve bunun sonucunda polimerlerin tüketiminin artmasıyla diğer liflere karşı rekabet gücü artabilecektir (Blackburn, 2005).

1.1.4.4 Doğada Biyobozunur Plastiklere İhtiyaç Duyulmasının Nedenleri

Biyobozunur plastiklere çevre sorunlarını önlemek amacıyla neden ihtiyacımız olduğuna dair bazı maddeler şöyle sıralanabilir:

- 2013 yılında piyasaya sürülen 200 bin ton pet şişenin, 85 bin ton atığının geri dönüşümü sağlandı; ekonomiye katkısı 120 milyon lira olmuştur (Noyan, 2014).
- Plajlardaki en önemli kirlilik kaynaklarından biri plastik şişelerdir.
- Her sene plastik kartların hammaddesi olan 75 milyon kilo PVC malzemesi ABD atık havuzuna girmektedir.
- Birçok polistren yemek kabı yağ ile kirlenmiştir ve geri dönüşüm için uygunsuz hale gelmektedir.
- Tek kullanımlık kağıt ve plastikten oluşan bebek bezleri belediyelerin çöp tesislerinde en yaygın bulunan üçüncü atıktır. Bir bebeğin yıllık bebek bezi ihtiyacı için yılda yaklaşık 200kg plastik tüketilmektedir (Neden doğada biyobozunur plastiklere ihtiyacımız var, b.t., s. 1).
- 1950’de dünya yılda sadece 2 milyon ton plastik şişe üretmiştir. O zamandan 2015 yılına kadar üretim yaklaşık olarak 200 kat artarak 381 milyon tona ulaşmıştır.
- 2015 yılına kadar toplamda 7,8 milyar ton plastik üretilmiştir. Bu da bugün yaşayan herkes için 1 tondan fazla plastik anlamına gelmektedir.
- 1980 yılından önce plastiğin geri dönüştürülmesi veya yakılması önemsiz olarak görüldüğü için %100’ü atılmıştır.
- 2015 yılında, küresel plastik atıklarının tahmini olarak %55’i atılmış, %25’i yakılmış ve %20’si geri dönüştürülmüştür.
- 2015 yılında en çok plastik üreten sektör %42 oran ile ambalaj sanayisidir, 146 milyon ton plastik kullanmıştır.
- 2015 yılında 47 milyon ton plastik üretimi ile tekstil en çok plastik üreten 4. Sektördür (Ritchie ve Roser, 2018).

1.1.4.5 Biyobozunurluk Testleri

Biyobozunurluk testleri genel olarak üçe ayrılmaktadır.

- Hazırlıklı biyobozunurluk testleri (Ready biodegradability tests)
- Simülasyon testleri (Simulation tests)

- Doğal biyobozunurluk testleri (Inherent biodegradability tests)

1.1.4.5.1 Hazırlıklı Biyobozunurluk Testleri. Aerobik koşullar altında gerçekleştirilmekte ve test numunesi ise yüksek konsantrasyona sahip olmalıdır. Çözülmüş organik karbon (DOC), biyokimyasal oksijen isteği (BOD) ve karbondioksit üretimi gibi spesifik olmayan değerler ölçülmektedir. Evsel atık su ve aktif çamur bu testlerde tipik mikroorganizmaları aşılama kaynağıdır. Aşılama biyobozunurluğu önceden adapte olacak şekilde olmamalıdır. Bu testte materyal hızlı ve nihai şekilde biyobozunurluğa uğrayabilmektedir (OECD guideline for testing of chemicals, b.t.).

1.1.4.5.2 Simülasyon Testleri. Aerobik ve anerobik koşullar altında yapılabilen testlerdir. Bu testlerde simülasyon doğal biyokütle, doğal toprak, doğal tortu ve belirli bir sıcaklık (belirli bir ortamı temsil edecek) ile sağlanmaktadır. Biyolojik bozunma hız sabitini belirlemek için tasarlanmış testlerde düşük bir test maddesi konsantrasyonu kullanılmaktadır (OECD guideline for testing of chemicals, b.t.).

1.1.4.5.3 Doğal Biyobozunurluk Testleri. Materyalin aerobik koşullar altında bozunurluğa sahip olması üzerine yapılan testlerdir. Bu testte spesifik (birincil biyobozunma) veya spesifik olmayan (nihai biyobozunma) değerleri ölçülmektedir. Test prosedürü test materyalinin mikroorganizma ile uzun süre temas etmektedir. Test materyali biyokütleyle göre çok daha az miktarda bulunmaktadır (OECD guideline for testing of chemicals, b.t.).

1.1.4.6 Tekstil Materyalleri İçin Kullanılan Biyobozunurluk Testleri ve Değerlendirme Yöntemleri

Tekstil materyallerinde biyobozunurluk testleri için genellikle ASTM D5988 ve ISO 11721-1:2001 ile ISO 11721-2:2003 kullanılmaktadır. ASTM D5988 laboratuvar koşulları altında materyallerin toprak içerisine aerobik bozunma derecesi olarak tanımlanmaktadır. Bir malzeme için ölçülen veya hesaplanan karbon içeriğinin bir sonucu olarak ifade edilen CO₂ üretimi zamana göre rapor edilmekte ve biyolojik

bozunabilirlik değerlendirilmektedir. Alternatif olarak, oksijen tüketimini veya biyokimyasal oksijen talebini (BOD) belirlenmektedir. Bu standartta deneyler desikatör gibi contalı hava geçirmez kap ile yapılmaktadır. Materyalin ağırlığı önceden bilinmeli ve karbon içeriği elemental analiz ile ölçülmelidir. Kullanılan toprağın pH'ı 6,0 ila 8,0 arasında olmalıdır. CO₂ miktarı ise baryum hidroksit çözeltisiyle (Ba(OH)₂) ile reaksiyona girmesi sonucunda baryum karbonat (BaCO₃) oluşumunu sonucunda belirlenmektedir (ASTM D 5988 – 12, 2012).

ISO 11721-1:2001 ile ISO 11721-2:2003 standartları ise toprağa gömme testleridir. Toprağın pH'ı 4,0 – 7,5 arasında olmalıdır. Test 29 °C sıcaklıkta %95-%100 bağıl nem olan şartlarda gerçekleştirilmelidir. Çıkarılan örnekler ölçüm yapılmadan önce etanol/su karışımı ile topraktan arındırılıp 10 dakika boyunca oda sıcaklığında kurutulmaya bırakılmalıdır (ISO 11721, 2001).

Biyobozunurluk testleri sonrasında biyobozunurluğun değerlendirilmesinde en çok kullanılan temel yöntemler: görsel inceleme, mikroskopik görüntüleme, morfolojik ve yapısal inceleme, bozunması beklenen materyalde ağırlık kaybı olarak sıralamak mümkündür.

Kızılötesi spektrofotometresi (IR) maddenin kimyasal yapısını yorumlamak için fonksiyonel grupların tanımlamasına olanak sağlayan en sık kullanılan ve en önemli analiz tekniğidir (Arshad ve Mujahid, 2011).

Tablo 1.5 Çeşitli bağların FTIR değerleri (Mass spectrometry and infrared spectroscopy, b.t.)

Bağ türü	Dalga sayısı (cm ⁻¹)
C≡N	2260-2220
C≡C	2260-2100
C= C	1680-1600
C= N	1650-1550
	1600 ve 1500-1430
C= O	1780-1650
C-O	1250-1050
C-N	1230-1020
O-H (Alkol)	3650-3200
O-H (Karboksilik asit)	3300-2500
N-H	3500-3300
C-H	3300-2700

İnsan gözü, 100m uzaklıkta ve aralarında 2,5 cm mesafe olan iki noktayı ayrı ayrı görmeye yetecek kadar iki noktayı birbirinden ayırabilme yeteneğine sahiptir. Yani, insan gözü çok ince ayrıntıları ayırım gücü sınırlılığı olduğu için görememektedir. Bu sebeple, görüntü iletimini sağlayan ışıık yolları merceklerle değiştirilerek, çok ince ayrıntıların görülebilmesini sağlayan çeşitli cihazlar geliştirilmiştir. Çok ince ayrıntıların incelenebilmesi için geliştirilen taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscope (SEM)) yüksek ayırım gücüne, görüntü ile numune analizini birleştirebilme özelliğine sahip olması sebebi ile günümüzde araştırmalarda yoğun olarak kullanılan bir cihaz haline gelmiştir (Erdin, 1986).

Daha önceden de bahsedildiği üzere biyobozunurluk prosesi genellikle yüzey aşındırma prosesi olduğu için yüzey topografyasının ve kompozisyonunun deney süresince incelenmesi biyobozunurluk konusunda fikir verme açısından oldukça önem teşkil etmektedir.

Ağılık kaybı biyobozunurluk testlerinde materyallerin biyobozunurluklarını karşılaştırmak için oldukça önemli bir nicel gözlemdir.

$$Ağırlık kaybı(\%) = \frac{M_b - M_A}{M_b} 100 \quad (1.3)$$

M_b = Biyobozunurluktan önce ölçülen ağırlık

M_a = Biyobozunurluktan sonra ölçülen ağırlık (Arshad, ve diğer., 2014).

1.1.4.7 Tekstil Materyalleri İçin Kullanılan Ekolojik Etiketler

Aşağıdaki tabloda tekstil alanında kullanılan belirli ekolojik etiketler hakkında bilgi verilmiştir.

Tablo 1.6 Tekstilde kullanılan ekolojik etiketler (All ecolabels on textiles, b.t.)

Amblem	Etiket adı	Özellikler
	Better Cotton Initiative	BCI, daha sürdürülebilir bir şekilde pamuk yetiştirmek için sosyal, çevresel ve ekonomik olarak kapsamlı bir üretim ilkeleri ve kriterleri grubunu teşvik etmektedir. BCI'nin Better Cotton'u yetiştirme aşamasından çıçıra kadar olan aşamaları izlemek için bir sistemi bulunmaktadır. Tüm pamuk tedarik zinciri oyuncularından oluşan BCI, 2010 yılında ilk “ Daha İyi Pamuk (Better Cotton)” hasadını yapmıştır.
	Bluesign Standard	Bluesign standardı, tekstil endüstrisinin rol aldığı ekolojik ayak izini birlikte azaltmak için tüm tekstil üretim zincirini bir araya getirmek üzere kurulmuştur. Bitmiş ürün testine odaklanmak yerine, hammaddeden kimyasal bileşenlere, karmaşık bir “Giriş Akışı Yönetimi” işlemine sahip kaynaklara kadar tüm giriş akışlarını analiz etmektedir. Üretimden önce, bileşenler ekotoksikolojik etkilerine göre değerlendirilip potansiyel olarak zararlı maddeler üretim başlamadan önce elimine edilebilmektedir. Tekstil üretim zincirinin tamamında “Mevcut En İyi Teknoloji (Best Available Technology (BAT))” kullanımı, ürünlerin performans gereksinimlerini azaltmadan çevre standartlarını karşılamasını sağlamaktadır.

Tablo 1.6 devamı

	Carbon Free	CarbonFree ürün sertifika etiketi, ürün emisyonları konusundaki farkındalığı arttırmayı ve karbon ayak izini azaltan şirketleri tanımayı amaçlamaktadır. Etiket, çevre dostu ürünler için büyüyen pazara, satın alma noktasında şeffaf, güvenilir ve kolayca erişilebilir bilgi için tüketici talebine yanıt olarak oluşturulmuştur. Bir ürünün karbon ayak izini belirleyerek, bu ayak izini mümkün olduğunca azaltarak ve ürünle ilgili kalan karbon emisyonlarını dengeleyerek, müşterilerine karbon nötr ürünler sağlamada anlamlı, güvenilir ve çevresel açıdan faydalı bir yol yaratmıştır.
	Carbon Reduction Label	Karbonazaltma etiketi, bir ürün veya hizmetin karbon ayak izinin ölçüldüğü ve sertifikalandırıldığı, ürün veya hizmet sahibinin takip eden iki yıl boyunca bu ayak izini azaltmayı taahhüt ettiğini gösterir. Bu, üretim, kullanım ve bertaraf etmedahil olmak üzere tam yaşam döngüsü değerlendirmesi anlamına gelmektedir. Sertifika iki yıl sonra tekrar değerlendirilmeli ve gerçek azaltmaların yapıldığı ispat edilmelidir.
	Compostability Mark of European Bioplastics	Kompostlanabilir ürünlerin, özel olarak geliştirilmiş işlemlerle üretilen malzemelerinin geri kazanımı için benzersiz bir etiketleme ile tanımlanmasını sağlamaktadır. Bu etiket, ürün bilgilerini atık bertaraf tesisi operatörlerine ve ürün imajını tüketicilere iletmektedir.

Tablo 1.6 devamı

	Cradle to Cradle	Cradle to Cradle Sertifikalı (CM) ürünler programı, bir şirkete eko-akıllı tasarım çabalarını göstermesini sağlamaktadır. Cradle to Cradle Sertifikasyonu, birçok özellik arasında başarı gerektiren üçüncü taraf sürdürülebilirlik etiketidir: • Tüm kullanım aşamalarında insan sağlığı ve çevre için güvenli malzemeler kullanımı • Geri dönüşüm veya kompostlama gibi malzemelerin yeniden kullanılması için ürün ve sistem tasarımı • Yenilenebilir enerji kullanımı • Suyun verimli kullanımı ve üretimle ilgili maksimum su kalitesi • Sosyal sorumluluk için şirket stratejileri. Cradle to Cradle sertifikası, Basic, Silver, Gold ve Platinum seviyelerinden oluşan dört aşamalı bir girişimdir.
	Global Green Tag	Global Green Tag, bilimsel ve yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) süreçleriyle desteklenen üçüncü taraf, yeşil ürün derecelendirme ve sertifikalandırma sistemidir. Program, aşağıdaki etkilere, faydalara dayanarak, ürünleri aynı işlevsel kategorideki ve aynı işlevsel amaçlarla oluşan ürünler gibi en kötü durum işlerine karşı değerlendirmektedir: • Ürün Sinerjisi • Sera emisyon noktası (ISO 14067) • İnsan sağlığı ve eko-toksisite • Yaşam döngüsü değerlendirmesi (ISO 14040-44) • Biyoçeşitlilik ve kaynak tüketimi • Kurumsal sosyal sorumluluk (Etik, ILO ve ISO 8000) Global Green Tag, Avustralya ve ABD'de tescilli bir sertifika markasıdır. Global Green Tag, bilimsel ve yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) süreçleriyle desteklenen üçüncü taraf, yeşil ürün derecelendirme ve sertifikalandırma sistemidir.

Tablo 1.6 devamı

	Global Organic Textile Standard	Küresel Organik Tekstil Standardı (GOTS), eko tekstil işleme alanındaki mevcut çeşitli standartlar ve taslak standartlarını birleştirmek ve tekstil ürünlerinin organik statüsünü sağlayan, hammaddelerin toplanmasından dünya çapında kabul gören gereklilikleri tanımlamak amacıyla geliştirilmiştir. Üreticilerin organik kumaş ve giysilerini, tüm satış pazarlarında kabul edilen bir sertifika ile tedarik etmeleri sağlamalıdır. Temel özellikler: • GOTS sertifikalı organik liflerin kullanılmasını gerektirmektedir • GOTS hem çevresel hem de sosyal kriterleri sağlamaktadır • GOTS kriterleri tüm proses aşamalarına uygulanabilmektedir • GOTS sertifikası, bağımsız yerinde denetimlere dayanmaktadır
	The Global Recycled Standard	The Global Recycled Standard'ı geri dönüştürülmüş içeriğe sahip ürünler üreten ve / veya satan şirketler için tasarlanmıştır. Standart, tüm tedarik zinciri için geçerlidir ve izlenebilirlik, çevre ilkeleri, sosyal gereksinimler ve etiketlemeyi ele almaktadır. Tekstil endüstrisi göz önünde bulundurularak geliştirilen GRS, herhangi bir sektördeki ürünlere de uygulanabilir.
	GreenPla	Biyobozunur plastik teknolojisinin (GreenPla) kurulması ve yaygın ticari kullanımının teşvik edilmesi amacı ile kurulmuştur.

Tablo 1.6 devamı

	Oeko-Tex Standard 100	Oeko-Tex Standard 100, üretimin her aşamasında tekstil hammaddeleri, ara ürünler ve son ürünler için dünya çapında tek tip bir test ve sertifikalandırma sistemidir. Sertifika, yasalarla yasaklanmış veya düzenlenmiş zararlı maddeler, sağlığa zararlı olduğu bilinen ancak resmi olarak yasaklanmayan kimyasal maddeler dahil olmak üzere birçok insan ekolojik özelliğini kapsar. Tekstil ürünleri, istisnasız olarak gerekli kriterleri karşılıyorsa Oeko-Tex Standard 100'e göre sertifikalandırılabilir. Oeko-Tex Standard 100, tüm perakende segmentlerinde (bugüne kadar verilen 65.000'den fazla sertifikaya dayanarak) dünya çapında milyonlarca üründe bulunmaktadır.
	Oeko-Tex Standard 1000	Ürünle ilgili Oeko-Tex Standard 100'ü tamamlamak için Oeko-Tex Standard 1000, tekstil işleme zinciri boyunca çevre dostu üretim sahaları için bir test, denetim ve belgelendirme sistemidir. Oeko-Tex Standart 1000'e göre sertifika almaya hak kazanmak için şirketler, çevre dostu üretim süreçleri için öngörülen kriterleri yerine getirmeli ve toplam üretimin en az %30'unun Oeko-Tex Standardı 100 kapsamında sertifikalandırıldığına dair kanıt sağlamalıdır. Ayrıca, şirketler Oeko-Tex 1000'in talep ettiği sosyal standartların yerine getirildiğini ispatlamalıdır.
	OK Biobased	OK biobased etiketi, ürünlerin kaynağı hakkında kapsamlı bir güvence sunmaktadır. Yenilenebilir hammaddelerin belirlenen yüzdesine dayanarak (% Biyo bazlı karbon), ürününüz bir yıldızlı biyo-bazlı, iki yıldızlı biyo-bazlı, üç yıldızlı biyo-bazlı veya dört yıldızlı biyo-bazlı olarak sertifikalandırılmaktadır.

Tablo 1.6 devamı

	USDA(United States Department of Agriculture) Biobased	USDA BioBased, biyo-bazlı ürünlerin satın alınmasını ve kullanımını artırmak için 2002 ABD Çiftlik Kanunu tarafından oluşturulan BioPreferred programına dayanan federal olarak yönetilen ve işletilen bir etikettir. 2008 Çiftlik Yasası (2008 tarihli Gıda Koruma ve Enerji Yasası) federal sektör için mevcut tercih edilen satın alma programını genişletti ve biyobazlı ürünlerin geniş çaplı tüketici pazarlaması için gönüllü etiketleme programını yeniden yetkilendirmiştir. Ürünlerde bulunabilecek ayrı bir logo olan etiket lanse edilmiştir. Birçok farklı ürün kategorisinde, dizel yakıt katkılarından çok amaçlı temizleyicilere kadar USDA'nın biyolojik olarak tercih edilen bir tanımı olacaktır.
---	--	--

BPI (Biodegradable Products Institute)'nin biyobozunur sertifikasyon etiketleri incelendiğinde, ASTM 6400, ISO 14851, ISO 14852, ISO 14855-1, ISO 14855-2, ASTM D5338 gibi aerobik test standartlarını ve ASTM 6868 gibi karbon 14 eskitme yöntemi bazlı biyo içerik miktarının belirlenmesi üzerine test standardını içerdiği görülmektedir (BPI certification scheme: compostable products, resins and intermediates according to ASTM D6400 and ASTM D6868, 2019).

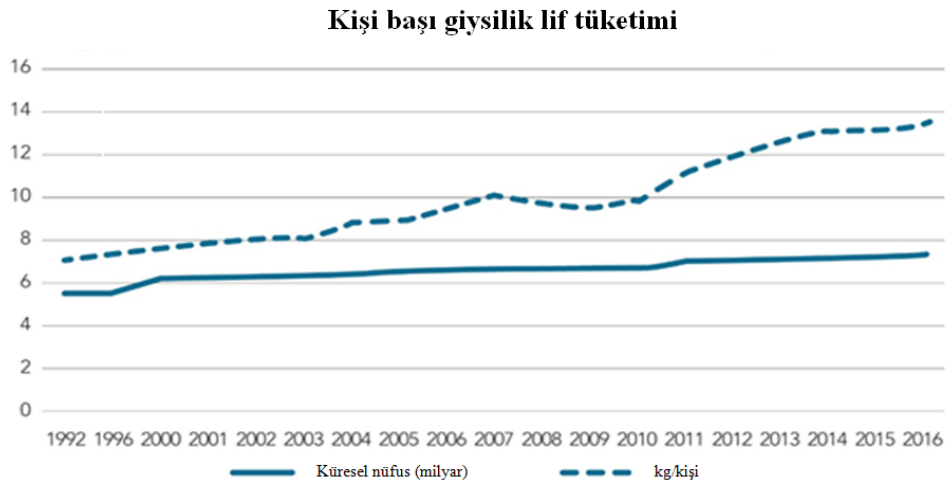
1.2 Tekstilde Atık

Euratex'e göre, 2017'de AB'deki tekstil ve giyim endüstrisi 181 milyar € ciroya sahiptir ve 1,7 milyon kişiyi istihdam eden 176400 şirketten oluşmaktadır. 2015 yılında Avrupa'daki toplam üretimde %5'lik bir istihdam ve %2'nin üzerinde katma değer yaratılmıştır (Şajn, 2019).

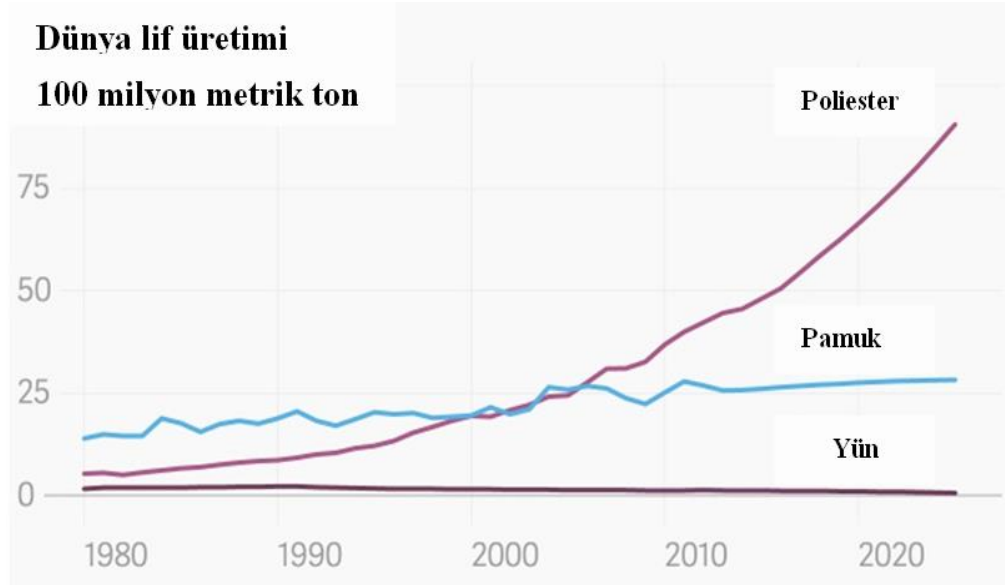
Euratex'e göre, AB tekstil ve konfeksiyon sektörü 2017 yılında 48 milyar € değerinde ürün ihraç etmiştir, bu da AB'yi dünyadaki en büyük ikinci ihracatçı yapmıştır (Şajn, 2019). Rakamlar incelendiğinde görüleceği gibi oldukça büyük istihdam sağlayan ve her geçen gün pazar payı büyüyen tekstil sektöründeki üretim ve

tüketim hızı baş döndürücü niteliktedir. Üretim ve tüketim miktarı artan tekstil sektörü için atıklar, tüketim öncesi (pre-consumer) ve tüketim sonrası (post-consumer) olmak üzere iki şekilde değerlendirilmektedir. Tüketim öncesi tekstil atığı, üretim sürecinde ortaya çıkan her türlü tekstil içerikli üretim atığı, telefler, kimyasal içeren sıvılar ve atık sular vb. olarak düşünülmektedir. Tüketim sonrası tekstil atığı ise tüketiciler tarafından farklı kullanım zamanları ve farklı kullanım şekilleri sonrasında aynı ürün için bile farklı zamanlarda oluşmaktadır. Tekstil materyalleri çok eskidikleri ve yıprandıkları veya modası geçtiği için, kısaca kullanışlı ömürlerini tamamladıkları zaman tüketiciler tarafından atılmakta, bazı tekstil atıkları ise kısmen tekstil sanayinde veya yan sanayi ürünü malzemeler için yeniden kullanılabilir.

İstatistiklere göre, 2014 yılında tüketiciler 2000 yılına göre %60 daha fazla tekstil ürünü almışlardır (Drew, 2017). Bu durum iki açıdan önem taşımaktadır. Daha çok tekstil ürünün üretilmesi daha çok tüketim öncesi atık ve yine daha çok tüketim sonrası atık anlamına gelmektedir hızlı moda (fast fashion) kavramının günlük hayata geçmesi, tüketicilerin tekstil ürünlerini daha kısa sürede tüketmesine neden olmaktadır. Doğal olarak kişi başına düşen lif tüketimi ve ortaya çıkacak atık miktarı da artmaktadır. Şekil 1.4’de bir kişi için giysi yapımında kullanılan lif tüketimi miktarı görülmektedir. Şekil 1.5’de ise dünyada bugün en çok kullanılmakta olan yün, pamuk ve poliester liflerinin üretim miktarlarına ilişkin tahminler verilmektedir.



Şekil 1.4 Kişi başına düşen giysilik lif tüketimi (With conscience, b.t.)



Şekil 1.5 Dünya lif üretimi (Vandermeulen, 2018)

1.2.1 Türkiye’de Tekstil Atıkları

Tekstil Türkiye’de ihracat açısından önemli bir yere sahiptir. 2014 yılında Türkiye’deki tüm sektörler bakımından 157,7 milyar dolarlık ihracatın 8,5 milyar dolarlık payı tekstil sektörü tarafından gerçekleştirilmiştir. 2014 yılında ise gerçekleştirilen toplam ihracat değeri 242,2 milyar dolar iken 9,7 milyar dolarlık kısmı tekstil sektörüne aittir. Yani, Türkiye’nin ihracatının %5,3’ü, ithalatının %4’ü ise tekstil ürünlerini oluşturmaktadır. Bu değerler incelendiğinde Türkiye tekstil ihracatı dünyada 6, Avrupa’da 3. sırada yer almaktadır (Önder ve Şahin, 2016).

Bu verilere baktığımızda ülkemiz bir tekstil ülkesi olup, atık miktarı da bu duruma bağlı olarak yüksektir.

2014 yılında 215.838 ton tekstil ve deri atığı oluşmuştur. Toplam oluşan bu miktarın;

- %19 u çöplüklerde depolanmakta,
- %26 sı düzenli depolama sahalarında depolanmakta,
- %52 si lisanslı firmalara gönderilmekte,
- %2 si enerji kazanımlı yakma tesislerinde yakılmakta,

- %1 i ise işyeri sahasında depolanmaktadır (TUIK, 2016).

Atık Bertaraf ve Geri Kazanım Tesisleri Anketi sonuçlarına göre ise 2014 yılında 259.212 ton tekstil ve deri atığı düzenli depolanmış ya da geri kazanımı sağlanmıştır (Çelik, 2016).

1.2.2 Avrupa Birliği'nde Tekstil Atıkları

Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde yaşayanlar harcamalarının yaklaşık %5'i kıyafet ve ayakkabılara, bunun %80'i kıyafete ve %20'si ayakkabıya harcanmaktadır. 2015 yılında AB vatandaşları 6,4 milyon ton yeni kıyafet aldıkları tahmin edilmektedir (kişi başı 12,66 kg). Avrupa Çevre Ajansı'nın (EEA) tahminlerine göre, 1996-2012 yılları arasında AB'de kişi başına alınan giysi miktarı %40 artmıştır. Aynı zamanda, Avrupa vatandaşları gardroplarındaki kıyafetlerin %30'undan fazlasını en az bir yıl boyunca kullanmamıştır. Bir kez atıldığında, giysilerin yarısından fazlası geri dönüştürülemez, ancak evsel atık olmasıyla sonuçlanır ve daha sonra yakma tesislerine veya çöp depolama alanlarına gönderilir. Tüketimdeki bu artışa çeşitli eğilimler de katkıda bulunmuştur. Bunlardan birisi, son birkaç yılda giysi fiyatlarındaki düşüştür. Aynı EEA raporuna göre, 1996 ile 2012 arasında giyim fiyatı sadece %3 oranında artmıştır, ancak genel olarak tüketici fiyatları %60 oranında artış göstermiştir. Bu, AB tüketici tüketimine göre, giyim fiyatının %36 oranında düştüğü anlamına gelmektedir (Şajin, 2019). Yani enflasyona göre giyim fiyatları karşılaştırıldığında ciddi oranda üretim fiyatlarının düştüğü görülmektedir. Günümüzde hammadde fiyatlarının sınırlı kaynaklar sebebi ile arttığı bilinmektedir. Bu durum da düşük malzeme kalitesinin kullanılmasını tetiklemektedir.

Diğer önemli eğilim ise “hızlı modanın (fast fashion)” yükselişi olmuştur. Çok uluslu perakende zincirleri tarafından özümsemiş, seri üretime, düşük fiyatlara ve büyük hacimli satışlara dayanmaktadır. İş modeli, üst düzey moda şovları yerine, kısa sürede ucuz fiyatlarla, genellikle düşük kaliteli malzemeler kullanarak ürün teslim etmeye dayanmaktadır. Hızlı moda, satın alınması için sürekli olarak yeni stiller sunmaktadır. Avrupalı hazır giyim şirketleri tarafından yılda ortalama yayınlanan

koleksiyon sayısı 2000'de ikiyken 2011'de beş olmuştur. Örneğin, Zara her yıl 24 ve H&M 12 ile 16 arasında yeni giyim koleksiyonu sunmaktadır. Bu durum, tüketicilerin ucuz giyim eşyalarını giderek “neredeyse tek kullanımlık” olan bozunabilir ürünler olarak görmelerini sağlamıştır ve bu ürünler yalnızca yedi ya da sekiz kez giyildikten sonra atılmaktadır (Şajn, 2019).

Avrupa Birliği (AB)'nde, yıllık ortalama 5,8 ton tekstil ürünü, tüketiciler tarafından atılır. Bu tekstil ürünlerinden sadece 1,5 milyon tonu (%25) hayır kuruluşları ve endüstriyel işletmeler tarafından geri dönüştürülür. Kalan 4,5 milyon ton atık, çöpe veya atık yakma tesislerine gitmektedir (Briga-Sá ve diğer., 2013).

AB'nin tekstil ve giyim tüketiminin çevresel etkilerinin, çeşitliliklerinden ve dünya genelinde görülmesinden dolayı tam olarak tahmin edilmesi güçtür. Küresel Moda Gündemi (Global Fashion Agenda (GFA)) tarafından 2017 yılında hazırlanan raporunda, AB'nin tekstil tüketiminden kaynaklanan çevresel ayak izi %4 ile 6 olarak tahmin edilmiştir (Şajn, 2019). Ayrıca ABD'de her yıl 13 milyon tondan fazla tekstil atığı üretilmektedir (Leblanc, 2016).

Dünyadaki konvansiyonel pamuklar için %25 pestisit kullanmaktadır ve kimyasal gübre kullanımında dördüncü sıradadır. Yetiştirilmesi sırasında ham ağırlığının %33'ü kadar gübreye ihtiyaç duymaktadır (Uygur, 2017).

2017 Moda Endüstrisinin Kalbi (Pulse of the Fashion Industry) raporuna göre, doğal lifler en yüksek çevresel etkiye sahiptir, ipek, doğal kaynakların tükenmesine ve küresel ısınmaya, pamuk, özellikle su kıtlığına ve yün, sera gazı (sera gazı) emisyonlarına aşırı derecede katkıda bulunmaktadır. Bununla birlikte, endüstri aynı zamanda daha az su, gübre ve böcek ilaçları gerektiren kenevir, keten ve ısırgan otu gibi daha az kullanılan doğal lifleri de test etmektedir (Pulse of the fashion industry, 2017).

Poliester, naylon, akrilik ve diğer sentetik lifler, dünyadaki kıyafetleri oluşturan malzemenin yaklaşık yüzde 60'ını oluşturmaktadır. Sentetik lifler ucuz ve son derece

çok yönlüdür, spor giysilerde esneme ve nefes alabilirlik, kışlık giysilerde sıcaklık ve sağlamlık sağlamaktadır. Bu lifler, okyanus plastik kirliliğine az ama yaygın bir şekilde katkıda bulunmaktadır. Sentetik liflere sahip kumaşlar, sadece yıkanma ile çevreye sızabilmektedir. Tahminler değişebilir, ancak tek bir çamaşır yıkamasında yüz binlerce lif giysilerimizden su kaynağına geçmektedir. Bu 5 milimetreden kısa ve çapları mikrometre ile ölçülen küçük lifler su kaynaklarına ulaşmaktadır. Her türlü deniz vahşi yaşamı ve hatta bizler tarafından yutulan mikroplastik kirliliğine eklenmektedir. Su kaynaklarında biriken plastiklerin çoğu bardak gibi bütün ürünler şeklinde değil, parçalanmış plastik parçaları şeklindedir (Resnick, 2019).

Çözünmüş ağaç hamurundan yapılan selülozdan türetilmiş rejenere selülozik lifler (Manmade cellulose (MMC)), AB pazarında kıyafetlerde kullanılan liflerin yaklaşık %9'unu oluşturmaktadır. En yaygın kullanılan viskoz olup, aynı zamanda rayon olarak da bilinmektedir. Yenilenebilir bitkilerden üretilmektedirler ve biyolojik olarak parçalanabilirler. Ancak asıl zorluk, MMC'lerin 1990'dan 2017'ye küresel üretimde iki katından fazlaya katlanması ve selülozun sürdürülebilir bir şekilde tedarik edilmesidir (Şajn, 2019). Bu çalışmada Tencel™ Modal, viskoz ve Tencel™ Lyocell gibi rejenere selülozik lifler kullanılmış ve biyobozunurluk sonuçları diğer lifler ile karşılaştırılmıştır.

1.3 Önceki Çalışmalar

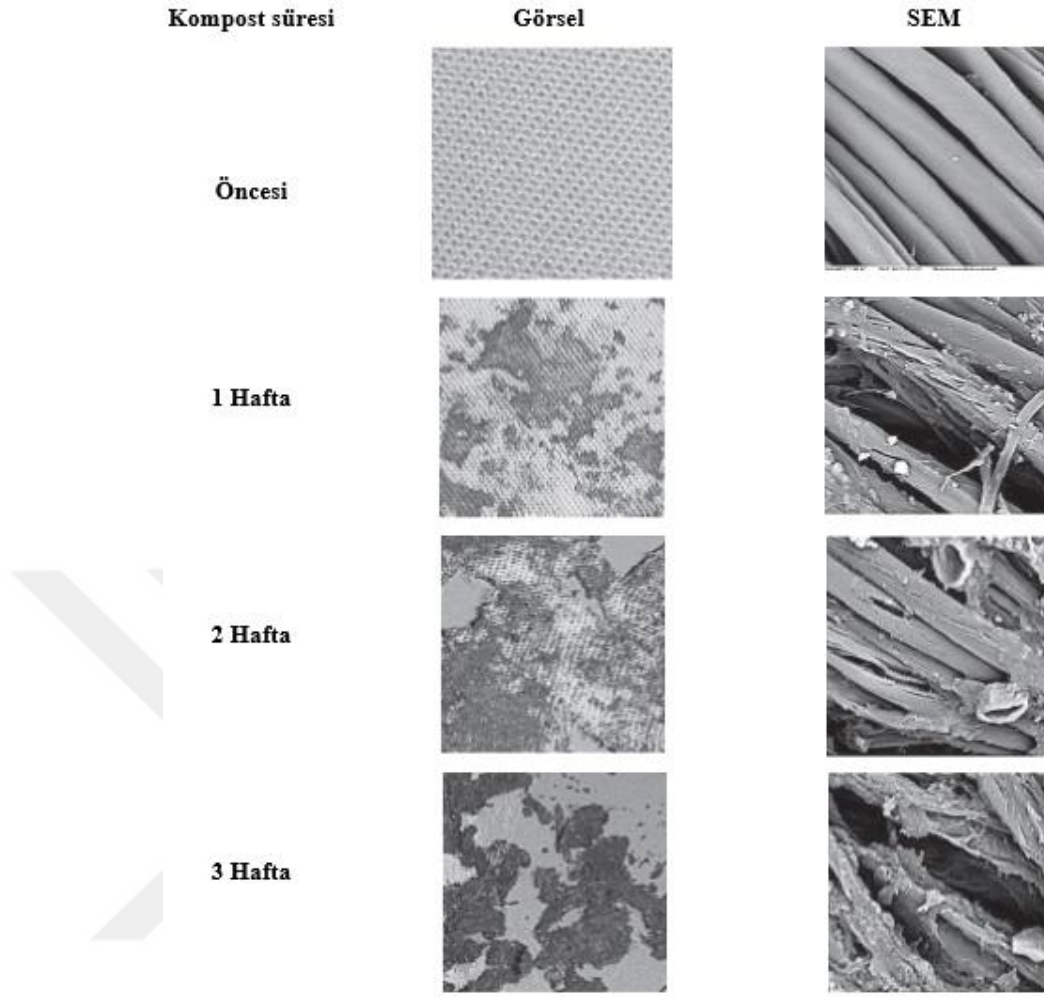
Bu bölümde yüksek lisans tezi kapsamında da kullanılan toprağa gömme sonucu biyobozunurluk incelemeleri yapan çalışmalara yer verilmiştir.

Arshad ve diğer. (2014) tarafından yapılan toprağa gömerek yapılan biyobozunurluk testinde pamuk, keten, jüt ve yün dokuma kumaşların biyobozunurlukları incelenmiştir. Çalışmada 1, 2 ve 3 hafta sonra kumaş örnekleri çıkarılarak görsel olarak incelenmiş ve FTIR analizi yapılarak gömülme öncesi ile karşılaştırılmıştır.

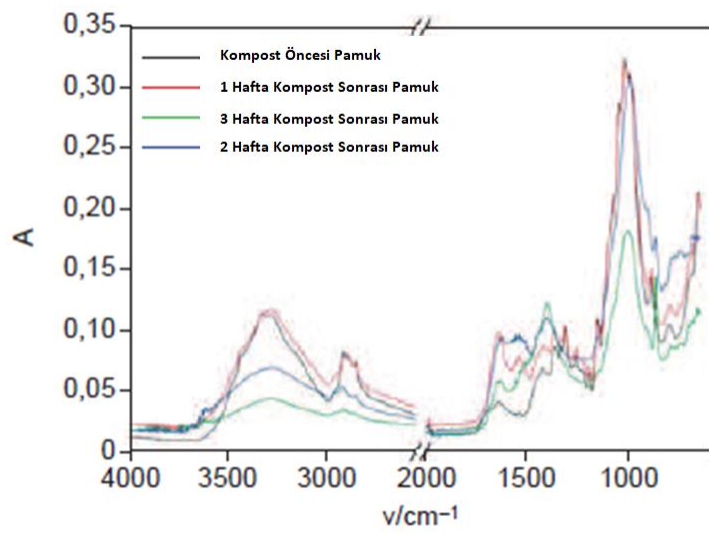
Tablo 1.7 Biyobozunurluk testinde kullanılan kumaşlara ait bilgiler (Arshad ve diğer., 2014)

Materyaller	Metrekare ağırlığı (g/m ²)	Liflerin çapı	
		Ortalama (μm)	Standart sapma (μm)
Pamuk	182	17,16	3,3
Jüt	263	68	17,9
Keten (linen)	211	24,38	5,8
Keten (Flax)	413	70,64	26,3
Yün	198	23,04	4,5

Arshad ve diğer. (2014) tarafından yapılan çalışmada numuneler 5x5cm² boyutlarındaki kare şekline kesilmiş ve 1000 ml kapasiteli beher içerisindeki toprağa gömülmüştür. Test sırasında kullanılan toprağın pH değeri 4,0-7,5 arasındadır. Test boyunca numuneler iklimlendirme cihazında tutulmuştur. Tanımlanan gömme süresinden sonra, numuneler, topraktan çıkarılarak ve oda sıcaklığında kurumaya bırakılmadan önce yaklaşık 10 dakika boyunca etanol/su (%70/30 hacim) solüsyon içinde durulanmıştır. Bu çalışmada test 4 hafta sürmüş ve her hafta örnekler çıkarılıp, SEM görüntüsü alınmış, FTIR ve TGA analizi gerçekleştirilmiş ve %ağırlık kayıpları hesaplanmıştır. Üçüncü haftada pamuk kumaşın çok fazla bozunduğu ve neredeyse topraktan ayırt edilemeyeceği görülmüştür. Keten kumaşın biyolojik olarak parçalanmasının diğer selülozik liflere kıyasla hızlı ve iki hafta sonra keten kumaşın topraktan ayrılmasının son derece zor olduğunu görmüşlerdir.



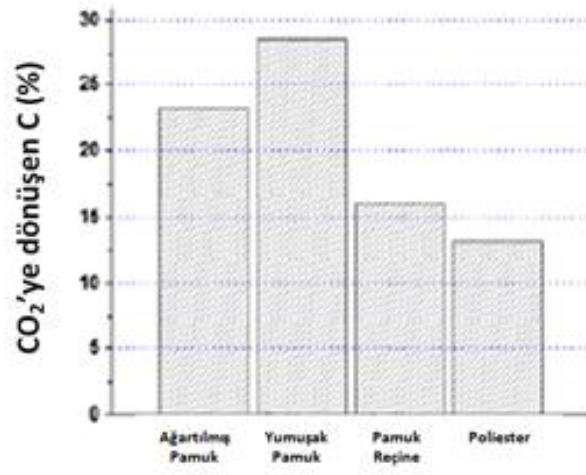
Şekil 1.6 Pamuklu kumaşın belirli zaman aralıklarındaki biyobozunurluğu (Arshad ve diğer., 2014)



Şekil 1.7 Pamuklu kumaşın belirli zaman aralıklarında biyobozunurluğu için FTIR analizi (Arshad ve diğer., 2014)

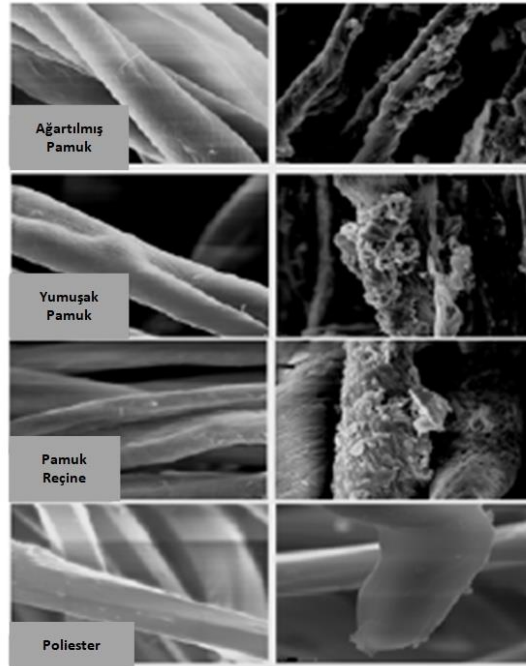
Referanslara göre selülozun spektrumları, özellikle 1372 cm^{-1} , 1336 cm^{-1} , 1313 cm^{-1} , 1280 cm^{-1} , 1160 cm^{-1} ve 1105 cm^{-1} de bantların azalmasını göstermiştir; amorf selüloz, yukarıda belirtilen kimyasal değişikliklerin yanı sıra numunelerin bozunduğunu göstermiştir (Arshad ve diğer., 2014).

Li ve diğer. (2010), bitim işlemi görmemiş pamuk, yumuşatıcı kullanılmış pamuk, reçine ile yumuşatılmış pamuk ve poliester olmak üzere 4 farklı örme kumaş biyobozunurluk testlerinde kullanmıştır. Kontrollü laboratuvar koşulları altında, üretilen karbondioksit izlenmiş, doğal toprakta ASTM D5988-03 yöntemi entegre edilerek biyobozunma oranı belirlenmiş ve enzim çözeltilerinde biyobozunmadan sonra gerçekleşen ağırlık kayıpları ölçülmüştür. Kumaş seti 3 ay boyunca Cornell Üniversitesi Kompostlama Tesisi'ne biyobozunurluk testleri için gömülmüş. ASTM D 5988-03 standardı, kontrollü laboratuvar koşullarında doğal toprağa temas eden kumaş malzemelerinin aerobik biyobozunmasının derecesini ve oranını değerlendirmek üzere tasarlanmıştır. Üretilen CO_2 miktarı, her malzeme için izlenmiş ve ölçülmüştür. Bu kumaşların bozunmadan önceki ve sonraki yapılarının incelenmesi için FTIR analizi, morfolojik değişimler için taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Tüm örnekler $2 \times 2\text{ cm}$ boyutlarında 25 şerit halinde kesilmiştir. Testler, oda sıcaklığında desikatörlerde gerçekleştirilmiştir. Her numune için, bir boş, pozitif kontrol ve pozitif kontrolde bir örnek, desikatörlere eklenmiştir. Boş olan desikatör içerisinde sadece doğal toprak; pozitif kontrol desikatörü içerisinde amonyum fosfat çözeltisinin eklendiği doğal toprak kullanılmıştır. Pozitif kontrolde bulunan örnek desikatöründe, kumaş numunelerinin ve amonyum fosfat çözeltisinin eklendiği doğal toprak bulunmaktadır. 90 günlük biyobozunurluk testi sonucunda ağartılmış pamuklu kumaş, yumuşatıcı uygulanmış pamuklu kumaş, reçine uygulanmış pamuklu kumaş ve poliester kumaşın biyobozunurlukları incelenmiştir. Karbondioksit olarak dönüşen karbon miktarı şekil 1.8'de verilmiştir. Poliester kumaş, başlangıçta hafif bir bozunma göstermiş ancak hem laboratuvar koşullarında hem de kompost ortamında test edildikten sonra hala tam olarak bozunmamıştır. Yumuşatıcı uygulanmış pamuklu kumaş yüksek bozunma oranına sahipken, reçine uygulanmış pamuklu kumaş daha yavaş bir bozunma oranı göstermiştir. Tüm pamuklu numuneler, kompost ortamında poliester numuneye göre önemli ölçüde bozunmuştur.



Şekil 1.8 Kumaşların 90 günlük toprağa gömme testindeki biyobozunurlukları (Li, Frey ve Browning, 2010)

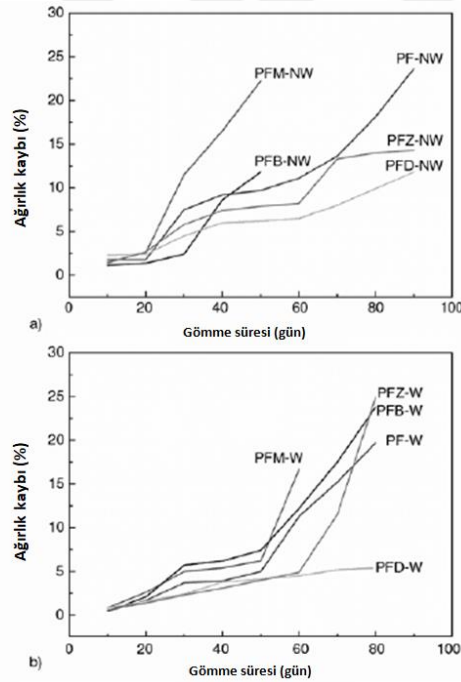
Şekil 1.8’de görüldüğü gibi farklı işlemler uygulanmış pamuklu kumaşlar her durumda poliesterden daha fazla biyobozunurluk göstermiştir.



Şekil 1.9 Pamuklu kumaşların ve poliester kumaşın 90 gün gömme sonunda SEM görüntüleri (Li, Frey ve Browning, 2010)

SEM görüntülerinde görüldüğü üzere pamukların yüzeyi oldukça bozunmuştur ama poliesterin yüzeyinde çok az bir bozunma görülmektedir (Li ve diğer., 2010).

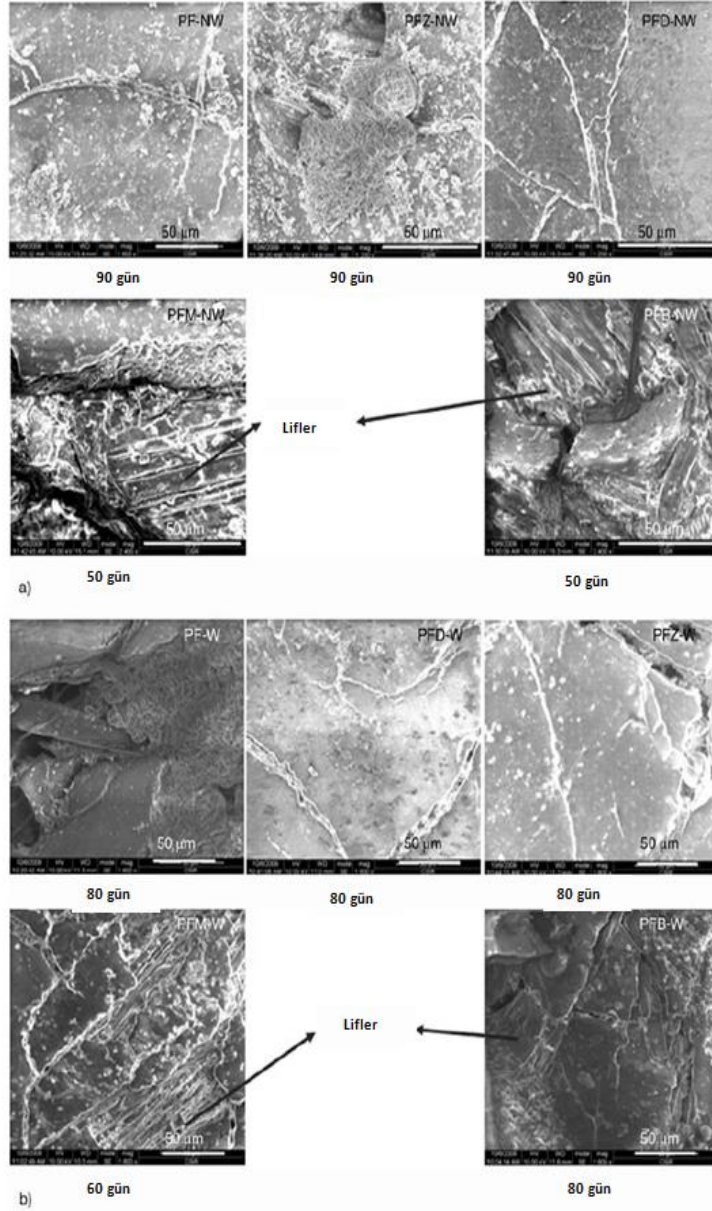
Kumar ve diğer. (2010), dokuma ve dokusuz yüzey keten lif takviyeli polilaktik asit (PLA) biyokompozitleri, biyodegradasyon için hızlandırıcı olarak amfifil (hem hidrofilik ve hidrofobik özellikler taşıyan kimyasal bileşikler) katkı maddeleriyle hazırlanmıştır. Hazırlanan kompozitler, biyolojik bozunma çalışmaları için tarım toprağına gömülmüştür. Farklı zaman aralıklarında biyobozunurluğı uğramış kompozit numunelerin ağırlık kayıpları belirlenmiştir. Biyolojik olarak bozunmuş kompozitlerin yüzey morfolojisi, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Ayrıca FTIR analizleri gerçekleştirilmiştir. Dokusuz yüzeylerden hazırlanan kompozitler, B, M, Z ve D'nin sırasıyla benzilik asit, mandelik asit, zein ve DCP'yi temsil ettiği PFB-NW, PFM-NW, PFD-NW, PFZ-NW olarak adlandırılmıştır. PF-NW, katkı maddeleri olmadan hazırlanan kompozitleri temsil etmektedir. Toprak bozunma testinde 20 günlük gömme testi gerçekleştirildikten sonra saf PLA'da yaklaşık %4,2 ağırlık kaybı gözlenmiştir. 20 gün sonra, saf PLA numuneleri kırılğan hale gelmiştir.



Şekil 1.10 Farklı katkı maddeleri içeren tarım topraklarında gömülü kompozit numunelerin ağırlık kaybı (Kumar ve diğer., 2010)

Şekil 1.11'de biyolojik olarak bozunmuş keten lif takviyeli kompozitlerin 90 günlük toprak gömülme süresi boyunca ağırlık kaybını göstermektedir. 90 gün sonra,

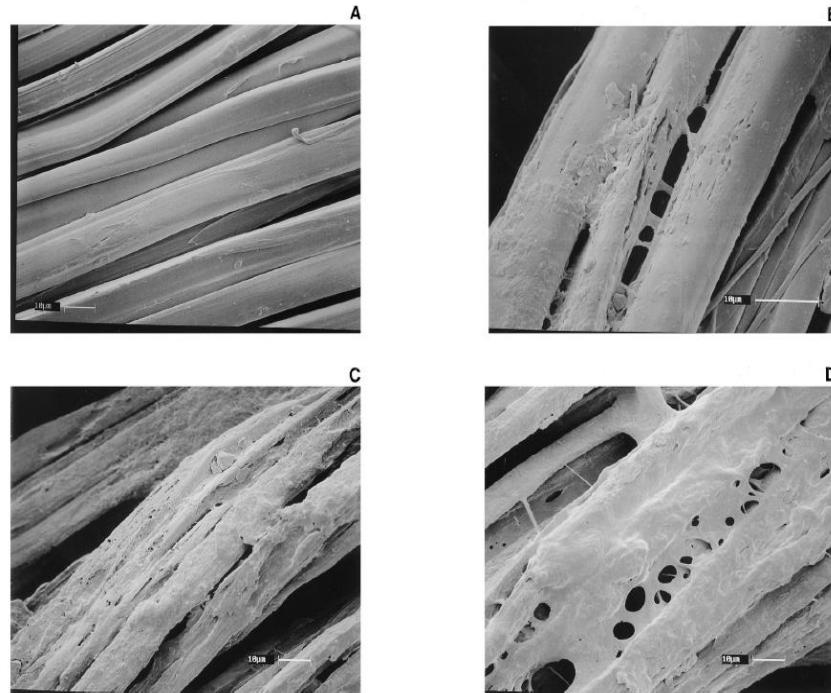
kompozit numuneler kısmen dağıldığı görülmüştür, bu yüzden topraktaki kompozitlerin biyodegradasyonu ile ilgili çalışma durdurulmuştur. Tüm örneklerin gömme süresindeki artışla ağırlık kaybı arttığı görülmüştür (Kumar ve diğer., 2010).



Şekil 1.11 Farklı katkı maddeleri ile takviye edilmiş PLA kompozitlerin yüzey morfolojisi (Kumar ve diğer., 2010)

Seves ve diğer. (1998), dimi ham ipek kumaş (82,9 g/m², pH 7) ve bir sabun çözeltisi (Marsilya sabunu, ağırlıkça %1) ile işlem görmüş ipek kumaş kullanmıştır. Örnekler 1x1 cm boyutunda kesilerek toprağa bırakılmıştır. Zengin kil içeriğine sahip

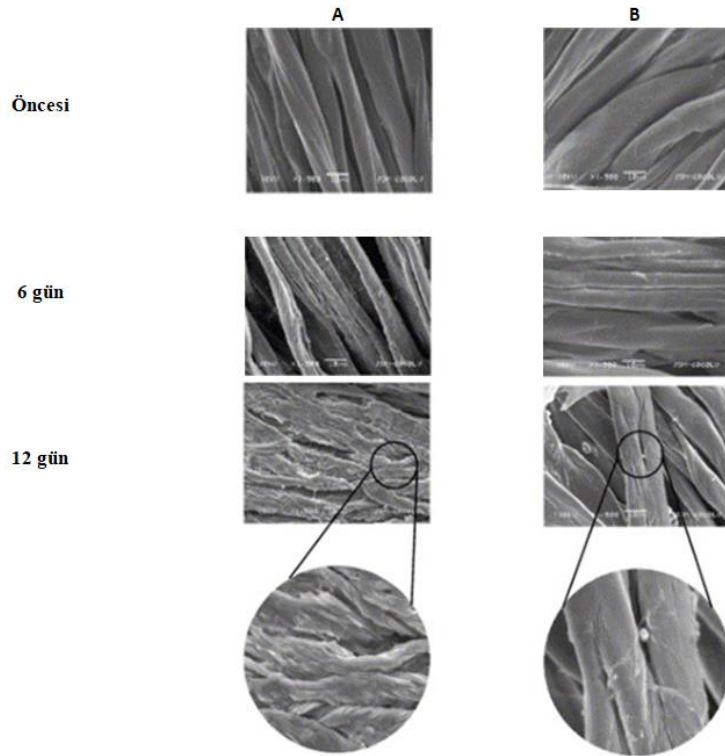
5g topraktan (pH 7, su içeriği %0) 30ml steril çözelti içinde süspansiyon haline getirilerek bulamaç hazırlamışlardır. Bulamaç, yaklaşık 30 dakika boyunca aralıklı olarak karıştırılmış ve toprak, soğukta 2 saat boyunca çökmeye bırakılmıştır. İpek numuneler, çökeltinin 4ml'sine batırılmıştır (pH 7-7,2) Oda sıcaklığında 1 saat bekletildikten sonra, numuneler geri alınmış, oda sıcaklığındaki kurumaya bırakılmıştır. Daha sonra su ile ıslatılmış ve filtre kağıdı tabakası içeren plaka içerisinde 28°C sıcaklıkta kurutulmaya bırakılmıştır. Bu kurutma işlemi 30 ve 60 gün olarak yapılmış ve SEM ile görsel olarak incelenmiştir. Ayrıca Instron 4501 test cihazında, ipekten alınan atkı ve çözgü ipliklerinin kopma dayanımı ve uzaması değerleri ASTM D2256-80 metoduna göre karşılaştırılmıştır. Toprakta bulunan bazı bakterilerin ipek üzerine yapışıp çoğalabildiği ve çalışma sonucunda ham ipeğin üzerinde daha çok bakteri olduğu görülmüştür.



Şekil 1.12 İşlem görmüş ipek kumaşın kurutma öncesi (A), 30 günlük kurutma sonrası (B), 60 günlük kurutma sonrası SEM görüntüsü (C,D) (Seves ve diğer., 1998)

Tomsic ve diğer.(2007), deneylerde %100 pamuklu dokuma kumaş (162 g/m²) kullanmıştır. Kumaş bir H₂O₂ banyosunda ağartılmış, NaOH çözeltisi içinde mercerize edilmiş ve seyreltilmiş CH₃COOH çözeltisi ile nötralizedilmiştir. İşlem görmüş ve işlem görmemiş pamuklu kumaşların toprak mikroflorasının etkisine karşı direncinin

belirlenmesi için ISO 11721-1: 2001 ve ISO 11721: 2003 standartlarına göre toprak gömme testi yapılmıştır. Kaplar, ticari kalite gübre ile doldurulmuştur. Deney sırasında su püskürterek nem sabit tutulmuştur. Toprağın pH değeri 4,0 ile 7,5 arasındadır. Pamuklu kumaş numuneleri 3, 6, 9 ve 12 günlük periyotlarda toprağa gömülmüştür. Tanımlanan inkübasyon süresinden sonra, numuneler test toprağından çıkarılmış, akan musluk suyuyla hafifçe çalkalanmış ve havayla kurutmadan önce 30 dakika boyunca %70 etanol içeren çözelti içersine daldırılmıştır. Çalışmada görsel gözlem, FTIR ve SEM analizi yapılmış, renk değişimi ve kopma dayanımı incelenmiştir. DMedHEU ile işlem görmüş pamuk kumaş daha hidrofobik olduğu ve amorf bölgeleri güçlendirdiği için biyobozunurluğa karşı işlem görmemiş pamuğa göre daha dirençli olduğu görülmüştür.



Şekil 1.13 İşlem öncesi (A) ve işlem sonrası (B) pamuklu kumaşların toprak gömme testinden sonra SEM görüntüleri (Tomsic ve diğer., 2007)

Alay ve Duran (2016), örme kumaşın biyolojik bozunma davranışı, 4, 12 ve 24 haftalık belirli bir test süresi boyunca standart laboratuvar koşullarında, ek mikroorganizma olmadan görsel ve ağırlık kaybı değerlendirmesiyle DIN EN ISO

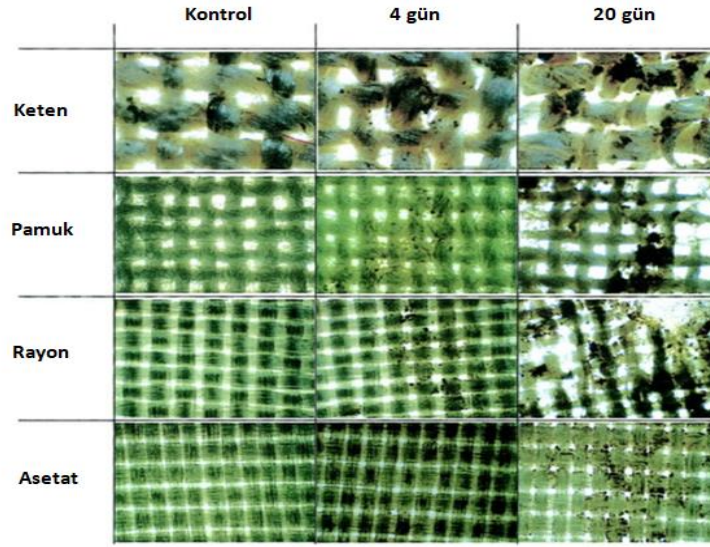
11721-1 standardına göre toprak gömme testi ile analiz etmiştir. Test süresinden sonra gömülü test örnekleri kaplardan alınmış, temizlenmiş, kurutulmuş ve 20°C’de ve %65°C’de kondisyonlanarak bozunma oranları belirlenmiştir. Örme kumaş %80 PLA, %15 lyocel ve %5 kitosan karışımına sahiptir. Kitosan içerdiği için kumaş antibakteriyel özelliğe sahiptir. Kontrol kumaşı olarak %100 pamuk içeriğine sahip kumaş kullanılmıştır. Ağırlık kaybına bakıldığında %100 pamuk kumaş, 24 hafta sonra %99,4 oranında bozunmuş, karışım kumaş %49,2 oranında bozunma göstermiştir.



Şekil 1.14 a) Kontrol kumaşında bozunma davranışı b) karışım kumaşta bozunma davranışı (Alay ve Duran, 2016)

Park ve Kang (2004), AATCC toprak gömme standardı 30-1993'e göre, kutu içerisi 11cm derinliğe kadar doğal toprak ile doldurmuştur. Her numune 2,5x15cm'lik parçalar halinde kesilmiş, ardından numunelerin kopma mukavemeti ölçülmüştür. Örnekler daha sonra toprağın 3cm derinine gömülmüş ve 28 gün boyunca bozunmasına izin verilmiştir. Bozunma süresi boyunca, toprağın neminin korunması için düzenli aralıklarla nemlendirilmiştir. Örnekler bozunduktan sonra, numuneler damıtılmış su ile durulanıp, kurutulmuş ve numunelerin kopma dayanımı ölçülmüştür.

Bu çalışmada pamuk, rayon, asetat ve keten kumaşlar kullanılmıştır. Tekrarlanan iki deney grubunda, keten en yüksek biyobozunurluğu göstermiştir. Kumaşlar gömme testinde 4. ve 20. günde çıkarılarak görsel olarak incelenmiş ve kopma dayanımı ölçülerek değer kaybı karşılaştırılmıştır.



Şekil 1.15 Gömme testi uygulanan kumaşların mikroskopik görüntüleri (Warnock ve Davis, 2011)

Warnock ve Davis (2011), Captina alüvyon toprağına gömülen %100 ipek, pamuk ve Lyocell dokuma kumaşların biyolojik bozunma oranlarını belirlemiştir. 14, 28, 42, 77 ve 112 gün toprağına gömme testinin ardından, kalan kumaş miktarı ve kopma mukavemetinin incelenmesi için kumaşlar toprak içerisinde çıkarılmıştır. Ilık ve nemli toprak koşulları altında kumaşın %50'sinin bozunması için gereken süre belirlenmiştir. Rayon, pamuk, Lyocell için bu süre sırasıyla 22, 40 ve 94 gün olarak belirlenmiştir.

Milosevic ve Krkobabic (2017), ASTM D 5988-03 standardına göre, laboratuvar koşullarında toprakla temas eden kumaşların biyolojik ayrışma derecesi değerlendirmiştir. Numuneler 2cmx2cm boyutunda 25 parça olarak kesilmiştir ve testler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Bozunma sırasında açığa çıkan ve test düzeneğinde bulunan KOH çözeltisi tarafından emilen CO₂ miktarı ölçülmüştür. Belirlenen zaman aralığından sonra, numuneler musluk suyuyla durulanmış, %70 etanol içeren çözeltiliye daldırılmış ve sabit ağırlığa ulaşılana kadar 45°C'de

kurutulmuştur. Biyolojik bozunmanın derecesi, kumaştaki ağırlık kaybı ile belirlenmiştir.

1.4 Çalışmanın Amacı

Farklı liflerden üretilmiş kumaşların kullanım ve biyobozunurluk performansının incelenmesi konulu bu çalışma içerisinde yenilenebilirlik ile birlikte geçen sürdürülebilirlik, biyobozunurluk, yaşam döngüsü analizi gibi temel kavramlar açıklanmış, sonrasında ise biyobozunurluk mekanizması ve biyobozunurluk testleri hakkında bilgiler verilmiştir. Tekstil ürünlerinin kullanım performansının yanısıra çevreci bir bakış açısıyla biyobozunurluk performansının da değerlendirildiği bu çalışmada tekstil atıklarıyla ilgili genel bilgiler verilerek biyobozunurluk konusunun önemi de vurgulanmıştır.

Çalışmanın amacı, farklı hammaddelere sahip kumaşların (pamuk, viskon, Modal, Tencel, polilaktik asit (PLA), polietilen tereftalat (PET) ve poliakrilonitril (PAN)) kullanım ve biyobozunurluk özelliklerinin eş zamanlı olarak incelemektir. Literatürde biyobozunurluk açısından önemli özelliklere sahip olduğu bildirilen PLA (polilaktik asit) lifleri bu çalışma için özel olarak seçilmiştir. Kumaşların kullanım ve biyobozunurluk özelliklerinin yanısıra bozunma için tanınan zamanın etkisi, bozunma ortamındaki mikroorganizmaların sayısı ve topraktaki toplam organik karbon miktarındaki değişim değerlendirilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda biyobozunurluğu incelemek amacıyla yapılan testler için önerilerde bulunulmuş ve ağırlık kaybı esas alınarak biyobozunurluk açısından bir değerlendirme skalası oluşturulmuştur.

BÖLÜM İKİ

MATERYAL VE YÖNTEM

Tez çalışması için selülozik ve sentetik esaslı olmak üzere farklı (pamuk, viskoz, Tencel™ Lyocell, Tencel™ Modal, polilaktik asit (PLA), polietilen tereftalat, poliakrilonitril) liflerinden üretilmiş, yapısal özellikleri birbirine yakın kumaşlar kullanılmıştır. Biyobozunur bir lif olduğunun bilinmesi sebebiyle son zamanlarda oldukça gündemde olan polilaktik asit (PLA) lifi ile çalışılması özellikle tercih edilmiştir.

Daha önceki bir çalışma için Çin Halk Cumhuriyeti'nden Ne 30 (19,7 tex) numarasına sahip PLA ipliği temin edilmiş, bu ipliklerle kumaş üretilmiştir. Temin edilen ipliklerin üretiminde kullanılan lifler, 1,3dtex inceliğinde ve ortalama 38mm uzunluğundadır. Deneysel çalışmada kullanılmak üzere temin edilen farklı hammaddeye sahip diğer iplikler de çoğunlukla Ne 40 (14,8 tex) numarasına sahiptir. Temin edilen iplikler kullanılarak yapısal özellikleri birbirine yakın örme kumaşlar üretilmiştir.

Deneysel çalışma dört ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla;

- hammaddelere karar verilmesi, karar verilen hammaddeleri içeren ipliklerin temini ve temin edilen ipliklerin özelliklerinin belirlenmesi,
- kumaş üretimi ve kumaş kullanım özelliklerinin belirlenmesi,
- biyobozunurluk test düzeneğinin hazırlanması ve kumaşların düzenek kullanılarak toprağa gömülmesi,
- belirli gömme süreleri sonrasında topraktan çıkarılan kumaşların görüntülerinin alınması, ağırlık kaybı testlerinin yapılması, karakterizasyon testleri ve kumaşların gömülü olduğu toprak örneklerinin içerdiği toplam organik karbon ve toplam mantar ve bakteri açısından test edilmesi şeklindedir.

İlk bölümde kumaş üretimi için iplik temini ve iplik özelliklerin belirlenmesi yer almaktadır. Temin edilen tüm iplikler temel yapısal, mekanik ve düzgünsüzlük

özellikleri açısından test edilmiştir. İkinci bölümde temin edilen iplikler kullanılarak örme kumaşlar üretilmiş ve üretilen tüm örme kumaşların yapısal özellikleri ve kullanım performansını etkileyecek önemli özellikleri test edilmiştir. Yurtdışından temin edilen PLA lifleri kullanılarak üretilmiş olan kumaşların performansı da diğer kumaşların performans özellikleriyle karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmanın üçüncü ve dördüncü bölümleri biyobozunurluk testlerinin yapılmasını ve testler sonucunda kumaş örneklerinin ve toprak örneklerinin incelenmesini kapsamaktadır.

Tekstil testlerinden önce, tüm iplikler ve kumaşlar en az 24 saat süre ile 65 ± 4 bağıl nem ve $20 \pm 2^\circ\text{C}$ koşullara sahip laboratuvar ortamında kondisyonlanmıştır. Tekstil testlerinin büyük bölümü D.E.Ü.Müh.Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Fiziksel Tekstil Testleri Laboratuvarında, patlama mukavemeti ölçümleri Sun Holding Ar-Ge Merkezi'nde yapılmıştır. Araştırma kapsamında üretilmiş olan toprağa gömme düzeneği D.E.Ü.ÇevreMüh. Bölümü Mikrobiyoloji Laboratuvarına kurulmuş ve tüm gömme testler bu laboratuvarında tamamlanmıştır. Gömme testlerinden sonra toprakta toplam organik karbon (TOC), mantar ve bakteri tayini testleri D.E.Ü. Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında, SEM ve FTIR analizleri D.E.Ü. Metalurji Malzeme Müh. Bölümünde yapılmıştır.

2.1 Deneysel Çalışma İçin Üretilen Kumaşlarda Kullanılan İpliklerin Lif Özelliklerine İlişkin Genel Bilgiler

Araştırmada kullanılan pamuk, Tencel™ Lyocell, Tencel™ Modal, viskoz, polilaktik asit, polietilen tereftalat ve poliakrilonitrillif içeriğine sahip ipliklerin ve üretilen kumaşların özelliklerine ilişkin bilgiler vermeden önce kullanılan hammaddelere ilişkin bilgiler bu bölümde verilmektedir.

2.1.1 Pamuk (Co)

Pamuk, selülozik tekstil lifi olmasının yanı sıra, en önemli doğal tekstil lifidir. Dünyada, giyim, ev ve endüstriyel ürünler üretmek için kullanılmaktadır. Doğal mum

içeriği, hem su penetrasyonuna hem de altta yatan polisakkaritlerin mikrobiyel degradasyonuna karşı koruyucu bir bariyer görevi görmektedir (Çağıltay, 2012).

Asitlere karşı dayanıksız, hidrolize olmaktadır, alkalilere karşı ise dayanıklıdır. Küf pamuğa zarar vermektedir. Uzun süre gün ışığına maruz kaldığında zayıflamaktadır. Pamuk liflerinin kristalin bölge oranı %65-70 olarak bilinmektedir (Çağıltay, 2012).

Tablo 2.1 Tipik pamuk lifinin bileşimi (Çağıltay, 2012)

Bileşen	Kompozisyon (% Kuru ağırlık)	
	Tipik %	Aralık %
Selüloz	95,0	88,0 – 96,0
Protein	1,3	1,1 – 1,9
Pektik maddeler	0,9	0,7 – 1,2
Balmumu	0,6	0,4 – 1,0
Toplam şeker	0,3	0,1 – 1,0
Organik asit	0,8	0,5 – 1,0
Pigment	Belirti	-
Diğerleri	1,4	-

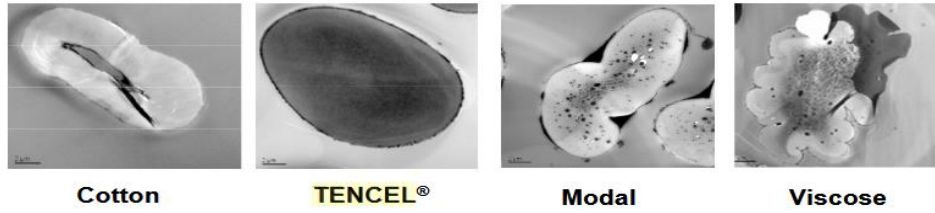
2.1.2 Tencel™ Lyocell (CLY)

Selüloz lifleri yüksek konfor lifleri grubuna dahil edilmektedir. Yeni rejenere selülozik lif teknolojisindeki önemli gelişmelerden biri de, selülozun çözülmesinde kullanılan N-metil-morfin-N-oksit (NMMO) kullanan Lenzing AG Şirketi'nin ticari markası olan Tencel™ Lyocell lif prosesidir. Tencel™ Lyocell'in genel ismi Lyocell'dir. Viskoza göre, daha az kirletici olan eğirme prosesine sahiptir. Odun hamurundan üretilmektedir. Çözeltinin %99'undan fazlası proses içerisinde geri dönüştürülmektedir ve bu da lif üretimini çevreci kılmaktadır (Badr, Hassanin ve Moursey, 2016).

Dairesel lif kesitine ve pürüzsüz bir yüzeye sahiptir. Diğer selüloz liflerine (viskoz) kıyasla, ıslak veya kuru olarak daha yüksek kopma mukavemetine sahiptir. Islak halde, lyocell kuru mukavemetinin %85'ini korur ve ıslak halde pamuktan daha güçlü olan tek insan yapımı selülozik liftir (Badr ve diğer., 2016).

Tencel™ Lyocell gibi selülozik lifler higroskopik, su emici ve hava alabilir yapıdadır. Su lif yapısı tarafından emilmektedir. Tencel™ Lyocell çok yüksek bir emme kapasitesine, eşsiz bir nano-fibril yapısına ve çok pürüzsüz bir yüzeye sahiptir (Firgo ve diğer., 2006).

Pamuk, Tencel™ Lyocell, Tencel™ Modal veya viskoz liflerinden çok daha az su emmektedir. Tencel™ Lyocell'in su dağılımı, tüm lif kesitinde eşittir. Tencel™ Modal ve viskoz, nanometre boyutundan mikrometre boyutlarına kadar geniş bir yelpazede gözenek büyüklüğü dağılımına ve oldukça kaba bir gözenek sistemine sahiptir. Tencel™ Lyocell'deki boşluklar, nanometre aralığında çok küçük ve oldukça düzgün yapıdadır. Tencel™ Lyocell, %90 bağıl nemde %20'ye kadar su emmektedir (Firgo ve diğer., 2006). Tencel™ Lyocell liflerinin kristalin bölge oranı %45 olarak bilinmektedir (White ve Firgo, 2013).



Şekil 2.1 Geçirimli elektron mikroskopu ile selülozik liflerde emilen suyun konumu (su karanlık olarak gözükür, selüloz parlak) (Firgo ve diğer., 2006)

2.1.3 Tencel™ Modal (CMD)

Tencel™ Modal lifleri yüksek yaş modülüne sahip viskoz rejenere selülozik liflerdir. Kayın ağacından elde edilmektedir. İpeksi görünüm, dayanıklı olması, iyi nem iletim özelliği sebebi ile günümüzde kullanımı artmıştır. Viskozun üretim prosesine göre ilave kimyasallar içermektedir. Kuru ve yaş mukavemeti daha iyidir. Yumuşak tutuma ve ipeksi görünüme sahiptir. Pamuk liflerinden %50 daha fazla nem absorbe etme özelliğine sahiptir (Özbağcı, 2008).

Tablo 2.2 Lenzing Tencel™ Modal 1,3 dtex'e göre lif özellikleri (Özbağcı, 2008)

Mukavemet (cN/tex)	35
Uzama (%)	13
Mukavemet (yaş) (cN/tex)	20
Uzama (yaş) (%)	15

Tencel™ Modal, ilk olarak Lenzing AG firması tarafından geliştirilmiştir ve kumaşın adını markalaştırmıştır, ancak şuan birçok üretici kendi versiyonlarını yapmaktadır.

BISFA (International Bureau for Standardization of Manmade Fibres) tarafından tanımlanan Tencel™ Modal, daha yüksek bir yaş modüle sahip olan ve %5 uzamada ıslak minimum mukavemet değerini karşılayan farklı bir viskoz rayon lif türüdür (Modal: fibre to fabric, b.t.). Tencel™ Modal liflerinin kristalin bölge oranı %39 olarak bilinmektedir (Schuster ve diğer., 2004).

2.1.4 Viskoz (CV)

Viskoz, 19. yüzyılda gerçekleştirilen araştırmalar sonucunda bulunmuştur. Viskoz liflerinin düşük maliyetli üretimi, düşük yaş mukavemetine rağmen pazar payını sürekli olarak korumasına sebep olmuştur. Günümüzde sahip olduğu tutum ve parlak görünüm özellikleri sebebiyle doğal ürünlere olan taleple birlikte viskoza olan talepte artmaktadır. Pamuk liflerinden daha düşük kopma dayanımına sahiptir ama daha yüksek nem alırlar. Ayrıca pamuk liflerine göre daha esnektirler. “Viskoz polimeri, %35-40 kristalin, %60-65 amorf bölgeden oluşmaktadır” (Özgüney, Körlü, Bahtiyari ve Bahar, 2006, s. 101).

Standart rayon lifleri viskoz olarak adlandırılmaktadır. Viskoz günümüzde en çok kullanılan rejenere selülozik liftir. Yaş mukavemeti oldukça düşüktür, bu yüzden üretimde çeşitli kimyasallar eklenerek daha yüksek yaş mukavemetine sahip olan Tencel™ Modal lifleri geliştirilmiştir (Özbağcı, 2008).

Yaş halde %50-60 arasında mukavemetini kaybeder. Yüksek sıcaklıkta sararır. Mantar ve bakterilere karşı rengi değişmekte ve mukavemeti düşmektedir (Çağıltay, 2012).

2.1.5 Poli(laktik asit)(PLA)

Polilaktik asit (PLA) hammaddesi olarak genellikle mısır, nişasta ve şeker kamışı kullanılmaktadır. Doğada kolaylıkla çözünebilmesi için yüksek derece de oksijene ihtiyaç duyan PLA hammaddesi sadece kompost tesislerinde işlem görmektedir. Kullanım alanı oldukça geniş olan biyoplastik hammaddelerinden biri olarak sofr ürünleri ve ambalaj plastik üretiminde en çok tercih edilen hammaddelerden biridir (PLA hammaddesi nedir, b.t., s. 1).

PLA polimeri sert, kırılkan ve kolayca parçalara ayrılan ve kopma uzaması %3-4 civarında olan bir malzeme olarak bilinmektedir. Fakat malzeme lif haline getirildiği zaman tamamen farklı bir sonuç ortaya çıkmakta; elde edilen lifler, ipeksi ve üretilen kumaşlar da yumuşak, cildi okşayan ve hoş bir yapıda olmaktadır. Lif halinde kopma uzaması %20'den %200'e kadar ayarlanabilmektedir (Elyaf pazarı için PLA potansiyeli, b.t., s. 1).

2.1.6 Polietilen Tereftalat (PET)

Poliester lifler, ağırlıkça en az %85 oranında dihidrik alkol ve tereftalik asit esteri içeren uzun zincirli bir polimer olan insan yapımı liflerdir. Yüksek sıcaklıklarda zayıf alkalilere karşı iyi direnç göstermektedir. Oda sıcaklığında güçlü alkalilere karşı sadece orta düzeyde direnç göstermekte ve yüksek sıcaklıklarda bozunmaktadır (Bendak ve El-Marsafi, 1991). PET liflerinin kristalin bölge oranı %65-85 olarak bilinmektedir (Sobuj, 2017).

Poliesterin nem geri kazanımı düşüktür, % 0,2 ile 0,8 arasında değişmektedir. Üretim yöntemine bağlı olarak geniş bir lif özelliğine sahiptir. Genel olarak gerilme derecesi arttıkça, daha yüksek kristalinlik ve daha büyük moleküler oryantasyon

sağlanmaktadır. Aynı zamanda uzama azalmaktadır. Moleküler ağırlıktaki artış, gerilme mukavemetini arttırmaktadır (Bendak ve El-Marsafi, 1991).

2.1.7 Akrilik (PAN)

Ağırlıkça en az %85 oranında akrilonitril birimine sahip herhangi bir uzun zincirli sentetik polimerden oluşan liflerdir. Akrilik, %65 bağıl nem ve 25°C sıcaklıkta %1,5-2 oranında nem geri kazanımına sahiptir. İyi bir termal stabiliteye sahiptir. Mineral asitlere karşı iyi bir dirence sahiptir. Zayıf alkalilere karşı direnci iyi iken, kuvvetli alkalilerden hemen etkilenmektedir (El-Gabry ve diğer., 2014). PAN liflerinin kristalin bölge oranı %50 olarak bilinmektedir (Edrington, 2017).

Tablo 2.3 Deneysel çalışmada kullanılan liflerin nem geri kazanma oranları (Conventional moisture regains of textiles, b.t.; Eichinger, 2012; Unique features of Birla Modal, b.t.)

İplik tipi	Nemin geri kazanımı (%)
Pamuk	8,5
Tencel™ Lyocell	11,5
Tencel™ Modal	13,0
Viskoz	13,0
Polilaktik asit	0,5
Polietilen Tereftalat	0,4
Poliakrilonitril	2,0

2.2 İplik Özelliklerinin Belirlenmesi

Çalışma kapsamında kullanılan ipliklerin numara, büküm, kopma mukavemeti, kopma uzaması, düzgünsüzlük, özellikleri kumaş üretimi öncesinde belirlenmiştir. İpliklerin yapısal özellikleri için numara ve büküm değerleri ölçülmüştür. Büküm ölçümü için Mesdan firmasının otomatik büküm ölçeri kullanılmıştır. TS EN ISO 2061 standardına göre tek katlı ipliklerde açma-kapama yöntemi ile 250mm ölçüm uzunluğunda çalışılarak metredeki büküm değerleri tespit edilmiştir.



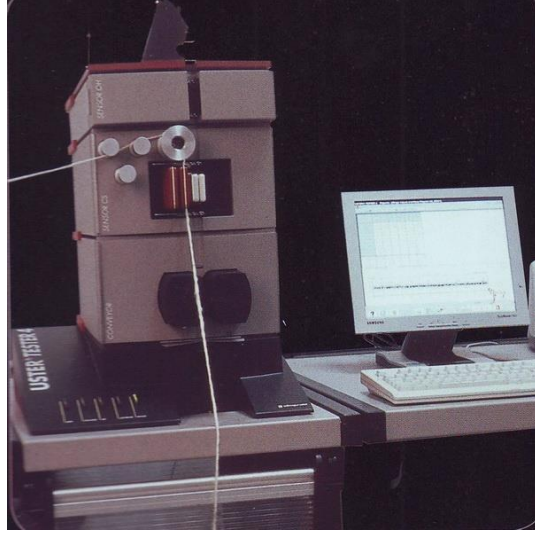
Şekil 2.2 Mesdan otomatik büküm ölçeri (Kişisel arşiv, 2018)

Kopma mukavemeti ve kopma uzaması, Instron 4411 çok amaçlı mukavemet ölçeri kullanılarak TS EN ISO 2062 standardına göre her iplikten 50 adet test yapılarak belirlenmiştir. Çeneler arası mesafe 250mm ve ölçüm hızı ise 250mm/dakika olarak ayarlanmıştır.



Şekil 2.3 Instron 4411 çok amaçlı mukavemet ölçeri (Tensile test machines, b.t.)

İplik düzgünsüzlük testlerinde UsterTester 4 cihazı kullanılmıştır. Ölçüm hızı 400m/dakika ve süre 1 dakika olarak ayarlanmıştır.



Şekil 2.4 Uster tester 4 iplik düzgünsüzlük ölçeri (Quality control, b.t.)

2.3 Kumaş Özelliklerinin Belirlenmesi

Üretilen ve temin edilen örme kumaşlar önce sıklık, ilmek iplik uzunluğu, birim alan kütlesi tayini yapılarak yapısal özellikleri açısından incelenmiştir. Kullanım performansını belirlemek için boncuklanma, hava geçirgenliği, patlama mukavemeti açısından test edilmiştir.

Deneysel çalışmada ilk olarak TS EN 14971 standardına göre her kumaş için sıklık ölçümü yapılmıştır. Her kumaş tipi için beş adet test yapıp ortalama değerleri alınmıştır.

Kumaşların birim alan kütlesi ölçümleri TS EN ISO 12127'ye göre yapılmıştır. Dairesel olarak hazırlanan test örnekleri kullanılarak birim alan kütlesi belirlenmiştir.

Kumaşların ilmek iplik uzunlukları için kumaşların 100 adet ilmek içeren kısmı kesilmiş ve 10'ar adet iplik çıkarılarak 1 gram ağırlık ile kıvrımları açılmıştır. Kıvrımları açılan ipliklerin uzunlukları ölçülerek ilmek sayısına (100) bölünmüştür. Çıkan sonuçlar ise mm cinsinden yazılarak, ilmek iplik uzunlukları belirlenmiştir.

Boncuklanma direnci testi James-Heal firmasının Nu-Martindale boncuklanma ve aşınma test cihazı ile yapılmıştır. TS EN ISO 12945'e göre hazırlanan dairesel test

örnekleri 2000 tur sürtme sonucunda değerlendirilmiştir. Standartta belirtilen subjektif değerlendirme kriterleri dikkate alınarak ve ışık kabini içerisinde boncuklanma derecesi (1 en kötü, 5 en iyi değer) verilmiştir.



Şekil 2.5 Nu- Martindale boncuklanma ve aşınma ölçeri (Kişisel arşiv, 2018)

Kumaşların kalınlık değerleri ise James-Heal firmasının R&B kumaş kalınlık ölçeri ile ölçülmüştür. Testlerden önce baskı miktarı 5g/cm^2 olarak ayarlanmıştır. Her bir kumaş için 5 adet test yapılmıştır



Şekil 2.6 James-Heal R&B kumaş kalınlık ölçeri (Kişisel arşiv, 2018)

Kumaşların hava geçirgenliği testleri ISO 9237 standardına göre 20cm^2 ölçüm alanında, 100Pa basınç ile gerçekleştirilmiştir. Her kumaş tipi için 10 adet test yapılmıştır.

Kumaşların mukavemet özelliği, James-Heal firmasının pnömatik patlama mukavemeti ölçeri Truburst cihazı kullanılarak ve 7cm² olan test alanında yapılan testler ile belirlenmiştir.



Şekil 2.7 James-Heal TruBurst pnömatik patlama mukavemeti ölçeri (Textile testing and control equipment, b.t.)

2.4 Biyobozunurluk Test Düzeneği ve Biyobozunurluk Kontrolü İçin Toprağa Gömme Testleri

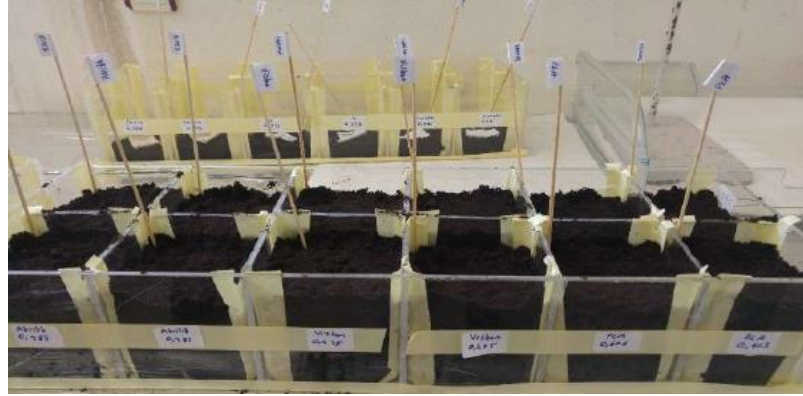
Toprağa gömme testleri için öncelikle gömme işleminin yapılacağı flexiglass kutulara yaptırılmıştır. Toprak olarak beyaz torf, siyah torf, su tutucu ve pH'ı (CaCl₂) 5,5-6,5 arasında olan toprak kullanılmıştır. ISO 11721 standardına göre biyobozunurluk testlerinde kullanılacak olan toprağın pH değeri 4,0 ile 7,5 arasında olmalıdır. Simülasyon testinin kısa dönem ve uzun dönem olması için 1, 4 ve 8 ay olmak üzere üç farklı gömme testi aralığı seçilmiştir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde 8 ay toprağa gömme testi uzun ölçüm aralığı olarak görülmektedir.

Her kumaş tipinden gömme öncesi kumaş numuneleri ayrılmış, bu kumaş örnekleri “**kontrol kumaşı**” olarak adlandırılmıştır ve karşılaştırma için kullanılmıştır. Deneysel çalışmadan her bir kumaş tipi ve gömme aralığı için üçer tekrar hazırlanmıştır. Her bir kumaş tipinden üçer adet test örneği kare şeklinde kesilmiş

(5cmx5cm) ve standart atmosfer koşulları altında ($20\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklık, $65\pm 4\%$ bağıl nem) tekstil test laboratuvarında kondisyonlama yapıldıktan sonra ağırlıkları tartılmıştır. ISO 11721 standardına göre test örnekleri 1000ml hacme sahip flexiglass kutu içerisine koyulmuştur. Toprak gömme testi için hazırlanan kutular Şekil 2.8’de gösterilmiştir. Şekilde görüleceği üzere, farklı kumaş tiplerini, tekrarları ve gömme aralıklarını düzenlemek için ufak bayraklar kullanılmıştır. Şekil 2.9’da kumaşlar gömüldükten sonra test düzeneğinin görünümü verilmektedir. Her tip kumaş için, üç tekrar kumaş farklı kutular içerisine gömülmüş ve kumaşlar gömme testi sırasında toprak yüzeyine paralel olarak yerleştirilmiştir.



Şekil 2.8 Toprak gömme testi için yaptırılan düzenek (Kişisel arşiv, 2018)



Şekil 2.9 Kumaşlar toprağa gömüldükten sonra test düzeneğinin görünümü (Kişisel arşiv, 2018)

Toprak gömme testi toplam 8 ay sürmüştür. Araştırmanın tamamı Dokuz Eylül Üniversitesi Laboratuvarlarında ve kontrollü koşullar altında yürütülmüştür. Kumaşlar gömüldükten sonra toprağın sıcaklığı ve bağıl nemi düzenli olarak kontrol edilmiş ve gerekirse su ile spreylenerek bağıl nem sabit tutulmuştur. Deneyler süresince ortalama sıcaklık $25\pm 4^{\circ}\text{C}$ ve ortalama bağıl nem $95\pm 4\%$ olmuştur.

1., 4., ve 8. ayın sonundagömülen kumaş örnekleri topraktan çıkarılmıştır. Gömme periyodu tamamlanan kumaş numunelerinin yanı sıra, kumaşların gömüldüğü toprak numuneleri de alınmış ve toprak analizi için dikkatle ayrılmıştır. Toprakтан çıkarılan kumaş numuneleri gerekirse elekten geçirilerek üzerindeki toprak birikintilerinden temizlenmiş, %30/70 etanol/su çözeltisi içerisinde hafifçe durulanmış, bir filtre kağıdı yardımıyla üzerindeki sıvı alınmış ve sonrasında ortam sıcaklığında kurutulmuştur. Bu aşamadan sonra kondisyonlanarak ağırlık kayıpları belirlenmiş ve karakterizasyon testleri yapılmıştır. Tablo 2.4’de deneysel çalışmada kullanılan kumaşların kodları verilmektedir.

Tablo 2.4 Deneysel çalışmada kullanılan kumaşlarının kodları

Kumaş tipi	Kontrol kumaşı (gömülmemiş, 0 ay)	1 ay gömülmüş	4 ay gömülmüş	8 ay gömülmüş
Pamuk (Co)	Co0	Co1	Co4	Co8
Tencel™ Lyocell (CLY)	CLY0	CLY1	CLY4	CLY8
Tencel™ Modal (CMD)	CMD0	CMD1	CMD4	CMD8
Viskoz (CV)	CV0	CV1	CV4	CV8
Polilaktik asit (PLA)	PLA0	PLA1	PLA4	PLA8
Polietilen tereftalat (PET)	PET0	PET1	PET4	PET8
Poliakrilonitril (PAN)	PAN0	PAN1	PAN4	PAN8

2.4.1 Toprağa Gömme Sonrasında Ağırlık Kaybının Belirlenmesi

Etanollü su ile durulanıp ortam sıcaklığında kurutulduktan sonra, test kumaşları, standart atmosfer koşullarına sahip bir tekstil laboratuvarında 24 saat kondisyonlanmıştır. Tartım için dört basamak duyarlığa sahip (0,0001 g) sahip bir terazi kullanılmıştır. Gömülen her bir kumaş tipinin ağırlığı kontrol kumaşlarının ağırlıkları ile karşılaştırılmıştır. Ağırlık kaybı yüzdesi aşağıdaki formülle hesaplanarak biyodegradasyonu değerlendirmek için kullanılmıştır.

$$Ağırlık kaybı(\%) = \frac{M_b - M_A}{M_b} 100 \quad (2.1)$$

W₁ başlangıç ağırlığına, W₂ toprağa gömme sonrasında ağırlığa karşılık gelmektedir.

2.4.2 Morfoloji Çalışması

Morfoloji çalışması için alınan SEM görüntüleri, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde yapılmıştır. Kontrol kumaşları ve farklı süreler için gömülüp çıkarılmış olan tüm numuneler JEOL-JJM 6060 model taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Test örnekleri altın kaplanarak hazırlanmış ve SEM görüntüleri 5kV'luk bir hızlanma voltajı ve 500X büyütme ile elde edilmiştir.

2.4.3 FTIR Analizi

FTIR analizi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde yapılmıştır. Gömme öncesi ve sonrası kumaş numunelerinin FTIR spektrumları bir Fourier Transform Kızılötesi Spektrometresi (Perkin ElmerSpectrum BX) kullanılarak kaydedilmiştir. Her spektrum, 2cm⁻¹ çözünürlükte 600-4.000 cm⁻¹aralığında kaydedilmiştir. Numunelerin spektrumu 25 taramadan elde edilmiştir.

2.4.4 Toprak İçerisindeki Toplam Organik Karbon Miktarının Belirlenmesi

Her gömme periyodu sonrasında her kumaş tipi için dikkatle ayrılan toprak numuneleri, içerdiği toplam organik karbon miktarı açısından test edilmiştir. Bu test, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarları tarafından yapılmıştır. Toprak örneklerinin toplam organik karbonmiktarı (TOC) SM 5310B'ye uygun olarak TOC-V SSM-5000A kullanılarak ölçülmüştür. Bu test yönteminde, ilk önce toprak 40°C'de kurutulmuştur. Kurutulmuş toprak, 200 delikli bir elekten elenmiş ve elek altındaki numuneden toplam 30mg'a

kadar toplam karbonu tartılmıştır. Cihazın toplam karbon fraksiyonu önce 900°C'de katalitik oksidasyon yöntemi ile yakılmıştır ve numuneden 20mg kadar inorganik karbon tartılmıştır. Fosforik asit, cihazın inorganik karbon kısmına eklenmiştir ve 200°C'de yakılmıştır. Toplam organik karbon değeri, toplam karbon değerinden inorganik karbon değeri çıkarılarak belirlenmiştir. TOC -V SSM-5000A ile yapılan bu analizde, toplam karbon ve inorganik karbon parçasında oluşan karbondioksit, oluşturulan kalibrasyon eğrisi ve NDIR (Non-Dispersi ve Infrared Dedection) yöntemi ile karşılaştırılmıştır.

2.4.5 Toprak İçerisindeki Toplam Mantar ve Bakteri Sayısının Belirlenmesi

Her gömme periyodu sonrasında her kumaş tipi için dikkate ayrılan ve steril bir kap içerisine dikkatle toplanan toprak numuneleri, içerdiği toplam mantar ve bakteri sayısı açısından test edilmiştir. Bu test, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarları tarafından yapılmıştır.

Toprak örneklerinin toplam bakteri ve mantar sayısı, sırasıyla ISO 6222 ve SM 9610 A-C-D'ye göre belirlenmiştir. Test yöntemleri aşağıda kısaca özetlenmektedir.

2.4.5.1 Toplam Bakteri Sayısı Tayini (Membran Filtrasyon Metodu ile ISO 6222)

10g toprak örnekleri 90ml %85 steril NaCl çözeltisi ile karıştırılmıştır. 250ml alikotlar halinde ve 30rpm'de 21 °C'de 200rpm'de karıştırılmıştır. Elüsyondan 1ml alınmış ve %0,9 salin (NaCl) içeren 9ml'lik bir tüp içinde seri seyreltme ile ilerletilmiştir. Uygun dilüsyonlardan sonra, numune 0,45µ gözenek çapındaki bir membran filtreden geçirilmiş ve triptik soya suyu ortamında kültürlenip, 22°C'de 48 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonucu oluşan kolonlar sayılmıştır.

2.4.5.2 Toplam Mantar Sayısı Tayini (SM 9610, Membran Filtrasyon Metodu ile)

Toplam mantar sayısı tayini, toplam bakteri sayısı prosedürüne benzer şekilde ele alınmıştır. Uygun seyreltme işlemine tabi tutulmuş numune 0,45µ gözenek çaplı bir

membran filtrasyonundan geçirilmiş ve aureomisin-gül bengal glikoz pepton, agar ortamına eklenmiş ve 5 gün 30°C'de inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonucu oluşan kolonlar sayılmıştır.

2.5 Sonuçların Değerlendirilmesi

Tez kapsamında elde edilen tüm veriler Windows Excel programına girilerek veriler görsel olarak özetlenmiş ve SPSS İstatistiksel Paket Programı kullanılarak biyobozunurluk değerleri üzerinde hammadde tipinin ve gömme zamanının etkisi için varyans analizleri yapılarak değerlendirilmiştir.



BÖLÜM ÜÇ

ARAŞTIRMA BULGULARI VE YORUMLANMASI

3.1 İplik Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deneysel çalışmada kullanılacak olan tüm iplikler materyal bölümünde de belirtildiği gibi hammaddeye göre kodlanmıştır. Tez kapsamında kullanılan ipliklere ait genel bilgiler Tablo 3.1’de; yapısal, Tablo 3.2’de mekanik ve düzgünsüzlük özellikleri verilmektedir.

Tablo 3.1 Deneysel çalışmada kullanılan ipliklere ait genel bilgiler

Hammadde	Kod	Numara	Eğirme teknolojisi
%100 Pamuk	CO	Ne 40/1	Ring
%100 Tencel™ Lyocell	CLY	Ne 40/1	Ring
%100 Tencel™ Modal	CMD	Ne 40/1	Ring
%100 Viskoz	CV	Ne 40/1	Ring
%100 Poli(laktik asit)	PLA	Ne 40/1	Ring
%100 Polietilen tereftalat	PET	Ne 40/1	Ring
%100 Akrilik	PAN	Ne 20/1	Ring

Tablo 3.2 Deneysel çalışmada kullanılan ipliklerin yapısal, mekanik ve düzgünsüzlük özellikleri

İplik kodu	Büküm (T/m)	Özgül mukavemet (cN/tex)	Kopma uzaması (%)	CVm (%)	Neps + %200(/km)
CO	881	20,9	16,2	12,26	26,3
CLY	970	21,0	9,9	13,84	310
CMD	838	18,84	11,2	12,88	170
CV	807	13,9	12,5	13,52	11,6
PLA	611	15,7	28,8	12,49	27,5
PET	900	16,0	8,8	12,44	20
PAN	432	21,0	19,71	14,46	2,2

İpliklerin ortalama büküm değerleri karşılaştırıldığında en yüksek büküm değeri Tencel™ Lyocell’e aittir (970T/m). En düşük değere ise akrilik iplikleri sahiptir (432

T/m). Diğer tüm ipliklerin metredeki büküm değerleri 800 ile 900 arasında değişmektedir.

Özgül mukavemet değerleri karşılaştırılmasında görüldüğü gibi en yüksek değer akrilik ve Tencel™ Lyocell ipliklere aittir (21cN/tex). En düşük özgül mukavemet değeri viskoz iplikte görülmektedir (13,9 cN/tex). Tablo 3.2. incelendiğinde düşük mukavemet değeri ile birlikte kopma uzaması (%28,8) diğer iplik tiplerine göre oldukça yüksek olan PLA iplikleri dikkat çekmektedir. Bir ipliğin gerektirdiği mukavemet ve uzama seviyesi, son kullanım alanına bağlıdır. Bazı son kullanımlar için daha yüksek dayanım sağlamak önemliyken, bazı kullanımlar için daha yüksek uzama değerlerine sahip olmak daha önemlidir. PLA ipliklerinin yüksek uzama kabiliyeti, son kullanım amaçlarına göre bazı önemli avantajlar sağlayabilir. PLA molekülünün şekli sarmaldır. Bu yapı gerilme özelliğini etkilemekte ve daha düşük iç gerilme modülü sağlamaktadır (Sülar ve diğer., 2016).

3.2 Kumaş Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Tez çalışma kapsamında temin edilen her bir iplik tipi için yapısal özellikleri birbirine yakın süprem kumaş üretilmiştir. Bu bölümde kumaşların temel yapısal, mekanik hava geçirgenliği özelliklerine ilişkin sonuçlara yer verilmektedir.

3.2.1 Kumaşların Yapısal Özellikleri

Tablo 3.3’de kumaşların temel yapısal özellikleri verilmektedir. Görüldüğü gibi birim alan kütlesi değerleri 80 ile 156g/m² değişmektedir. En düşük değer akrilik kumaşa aittir (81,4g/m²). Kumaş kalınlığı değerleri incelendiğinde ise en ince kumaşın pamuklu kumaş olduğu, en kalın kumaşın PLA kumaş olduğu görülmektedir. Yapısal özelliklerin incelenmesi kumaşın göstereceği performans özelliklerini belirlemede etkin rol oynamaktadır. Deneysel çalışmada kullanılan kumaşlara özel herhangi bir bitim işlemi uygulanmamış olup kumaşların taşıdığı performans özelliklerini doğrudan yapısal özellikleri ile ilişkilendirmek mümkündür.

Tablo 3.3 Deneysel çalışma için üretilen kumaşların temel yapısal özellikleri

Kumaş kodu	Sıklık (ilmek/cm)		İlmek iplik uzunluğu (mm)	Birim alan kütlesi (g/m ²)	Kumaş kalınlığı (mm) (baskı: 5g/cm ²)
	çubuk	sıra			
CO	18	15	3,24	155,6	0,60
CLY	9	12	4,49	118,2	0,77
CMD	9	12	4,54	118,9	0,65
CV	9	12	5,20	156,9	0,65
PLA	9	12	4,50	139,6	0,88
PET	9	12	4,51	132,8	0,76
PAN	9	12	4,84	81,4	0,64

3.2.2 Kumaşların Mekanik Özellikleri

Kumaşların mekanik özelliklerinin incelemek amacıyla yapılan patlama mukavemeti ve boncuklanma direnci sonuçları bu bölümde verilmektedir.

2000 tur sürtme sonucunda boncuklanma dereceleri subjektif olarak değerlendirilmiştir (Tablo 3.4). 2000 turda en kötü değer pamuk kumaşa aitken ardından Tencel™ Lyocell gelmektedir. Birçok kullanım alanı için boncuklanma açısından 3 değerine sahip olunması (en kötü 1 ve 5 en iyi olmak üzere) yeterli görülmektedir. Pamuk ve Tencel™ Lyocell dışındaki kumaşlar bu açıdan iyi olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 3.4 Deneysel çalışmada kullanılan kumaşların boncuklanma değerleri

Kumaş kodu	Boncuklanma derecesi
CO	1-2
CLY	2
CMD	3-4
CV	3-4
PLA	3-4
PET	3-4
PAN	4-5

Boncuklanma, sürtünme etkisiyle liflerin kumaş yüzeyinden dışarı doğru çıkması sonucunda oluşmaktadır. Kumaş yüzeyinde kullanım sırasında meydana gelen boncuklama, tüylenme oluşumu, dolaşma, büyüme ve yıpranma (koparak uzaklaşma) olmak üzere dört adımda gerçekleşmektedir. Kumaş yüzeyinde hav oluşumu, kumaş estetiğini ve bunun tüketiciler tarafından kabulünü etkileyebilir (Wang ve diğer., 2008). PLA kumaşların sürtünmeye maruz kalan yerlerde kullanılabileceği görülmüştür. İplik düzgünsüzlüğü yüksek olan Tencel™ Lyocell kumaş, aynı zamanda diğer kumaşlara göre kötü bir boncuklanma derecesini sahiptir. Kılıç ve Sülar (2012), belirttiği gibi, yüksek fibrilasyon derecesine sahip Tencel™ Lyocell lifleri tüylü iplik yüzeyine neden olmaktadır (Kılıç ve Sülar, 2012). Bu iplikler kullanılarak üretilen kumaşlarda boncuklanmanın görülmesi beklenen bir durumdur.

Tablo 3.5'te kumaşların patlama mukavemeti sonuçları görülmektedir. En yüksek patlama mukavemetini PET kumaş (576,1 kPa) gösterirken, en düşük patlama değerine viksoz kumaş sahiptir (151,6 kPa). Pnömatik patlama mukavemeti testinde, kumaş üzerine her yönde etkiyen akışkan basıncı ile kumaş patlamakta ve kumaş en düşük kopma uzamasına sahip olan doğrultuda patlama gerçekleşmektedir (Wang ve diğer, 2008). Çalışmada kullanılan ve üretildiği ipliklerin kopma uzaması yüksek olan kumaşlar beklendiği gibi diğer kumaş tiplerine göre iyi patlama mukavemeti değerleri göstermektedirler.

Tablo 3.5 Deneysel çalışmada kullanılan kumaşların patlama mukavemeti değerleri

Kumaş kodu	Basıncı (kPa)
CO	490,2
CLY	571,3
CMD	409,5
CV	151,6
PLA	461,2
PET	576,1
PAN	177,7

3.2.3 Kumaşların Hava Geçirgenliği Özelliği

Kumaşların hava geçirgenliğine ilişkin sonuçlar bu bölümde verilmektedir. Tablo 3.6'da kumaşların hava geçirgenliği özelliklerine ait sonuçlar görülmektedir.

Hava geçirgenliği, havanın kumaştan ne kadar iyi geçebileceğini belirleyen, kumaşın önemli bir transfer özelliğidir. Kumaştan hava akımının geçişi, esas olarak lif karakteristiğinden, iplik tüylülüğünden, büküm faktöründen, doğrusal yoğunluktan, sıklıklardan, kumaş kalınlığından, örgü yapısından, terbiye işlemlerinden etkilenmektedir. Yüksek hava geçirgenliği kumaşın nefes alabilir ve rahat olmasını sağlar (Sülar ve diğer., 2016). Hava geçirgenliği değerleri 1050,3 ile 3625 l/m²/s arasında değişmektedir. Bu sonuçlar tüm kumaşların hava geçirgenliğinin kullanım açısından uygun olduğunu göstermektedir.

Tablo 3.6 Deneysel çalışmada kullanılan kumaşların hava geçirgenliği değerleri

Kumaş kodu	Ortalama hava geçirgenliği (l/m ² /s)
CO	1310
CLY	3422
CMD	3273
CV	1050
PLA	2648
PET	3625
PAN	1992

3.2.4 Biyobozunurluk Testi İçin Toprağa Gömme Sonrası Kumaşların Görsel İnceleme Sonuçları

Lifler, filmler veya tekstiller gibi malzemelerin biyodegradasyonu, öncelikle fiziksel görünümüleriyle değerlendirilebilir. Fiziksel görünüşlerdeki değişiklikler çıplak gözle görülebilir. Bu nedenle kumaşlar topraktan çıkarılıp etanolü su ile çalkalandıktan sonra fotoğraflanmış, yapılan gözlemler not edilmiştir. Kumaşlar

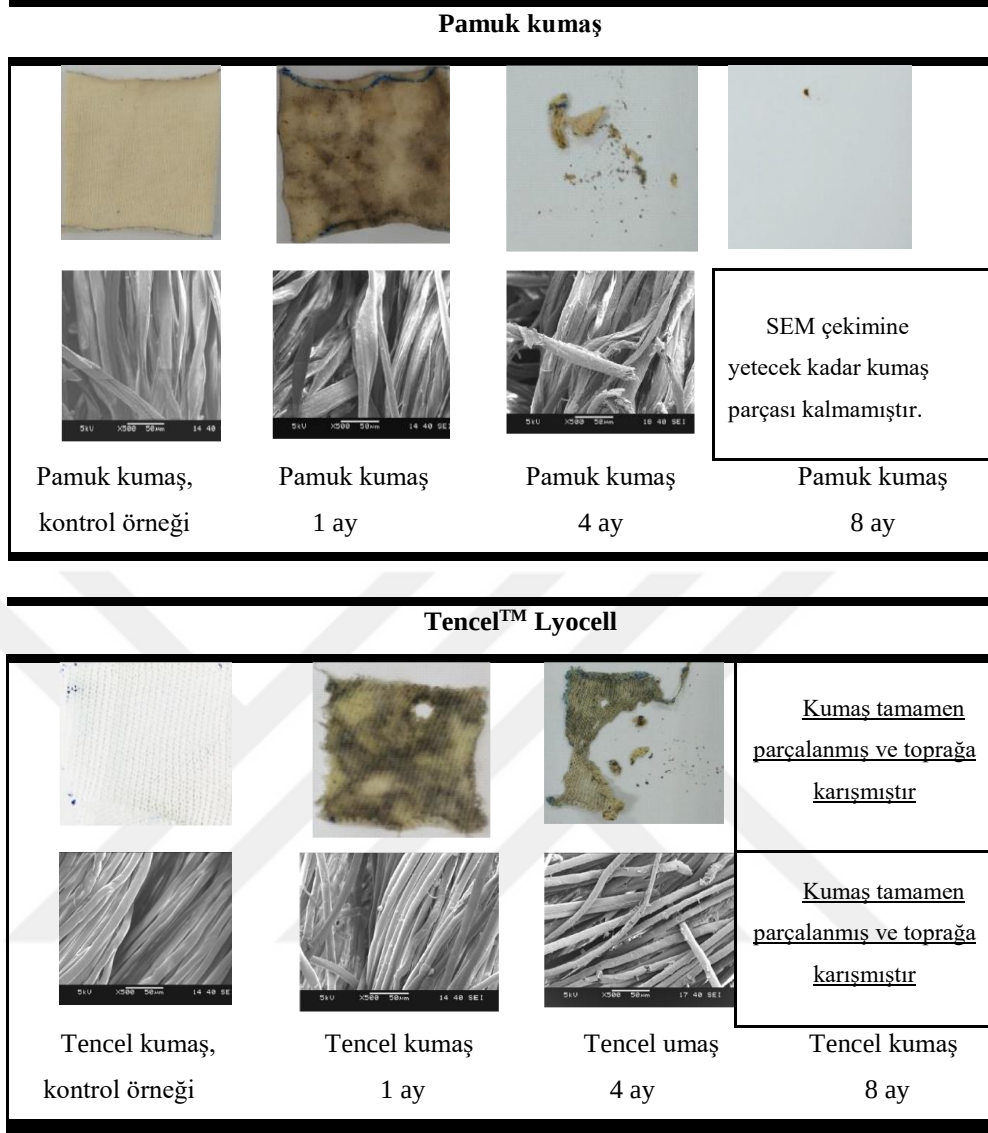
biyobozunurluk testi için toprağa gömülmeden önce ve sonra fotoğraf ve tarama elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscope, SEM) ile görüntülenmiştir (Şekil 3.1 ve 3.2). Toprağa gömme sonrasında görsel olarak incelenen ve rapor edilen değişiklikler Tablo 3.7'de listelenmiştir. Pamuk ve rejenere selüloz liflerinden yapılan kumaşlarda 1 aylık toprağa gömme sonrasında bile hafif bir bozunma gözlenmiştir. Bu sonuç, Arshad ve diğer. (2014), dört haftalık degradasyon için belirlenen bulgularına paraleldir. Kumaşların bazılarında renk değişimi, bazılarında renk değişimi ve parçalanma görülmüştür. Gömülmüş olan kumaşlar kontrol kumaşlarına göre daha ince ve daha kırılgan olarak değerlendirilmiştir. 1 aylık gömme periyodundan sonra belirgin değişim, Tencel™ Lyocell kumaşları için görülmüştür (şekil 3.1). 4 ay sonra, pamuk ve rejenere selüloz liflerinden üretilmiş olan kumaşlarda yüksek oranda bozunma görülmüş, kumaşların yapısı ve bütünlüğünün büyük oranda zarar gördüğü tespit edilmiştir. Gömme testi sonrasında sentetik kumaş örneklerinde (şekil 3.2), hafif renk değişiklikleri kaydedilmiştir. Bu, muhtemelen sentetik liflere sahip kumaş numunelerinin kimyasal ve morfolojik yapılarındaki küçük değişikliklerden kaynaklanmaktadır. Ayrıca bu sonuçlar, şekil 3.3'de verilen örneklerin ağırlık kayıpları değerleri ile uyumludur.

Tablo 3.7 Farklı toprak gömme periyotlarından sonra kumaşlar için yapılan görsel inceleme sonuçları

Kumaş kodu	Farklı toprak gömme periyotlarından sonra kumaşlar için gözlemler (kontrol örnekleriyle karşılaştırılarak)		
	1 aydan sonra	4 aydan sonra	8 aydan sonra
Co	Kırılğan ve renkte değişme	Toprakta ufak kumaş parçaları olarak kalmış	Kumaş tamamen parçalanmış, çok küçük bir parça kalmış
CLY	Kırılğan, renkte değişim, ufak delik	Renkte değişim, kırılğan	Kumaş tamamen ufalanmış vetoprağa karışmış
CMD	İncelme	Toprakta ufak kumaş parçaları	Kumaş tamamen ufalanmış vetoprağa karışmış
CV	İnce ve kırılğan	Toprakta ufak kumaş parçaları	Kumaş tamamen ufalanmış vetoprağa karışmış
PLA	Değişim yok	Nem alarak renkte hafifdeğişim	Nem alarak renkteartan değişim
PET	Değişim yok	Toprak parçaları kumaşın içine yerleşmiş, renktehafif değişim	Toprak parçaları kumaşın içine yerleşmiş,renkte değişim
PAN	Değişim yok	Renkte hafif açılma	Renkte hafif açılma

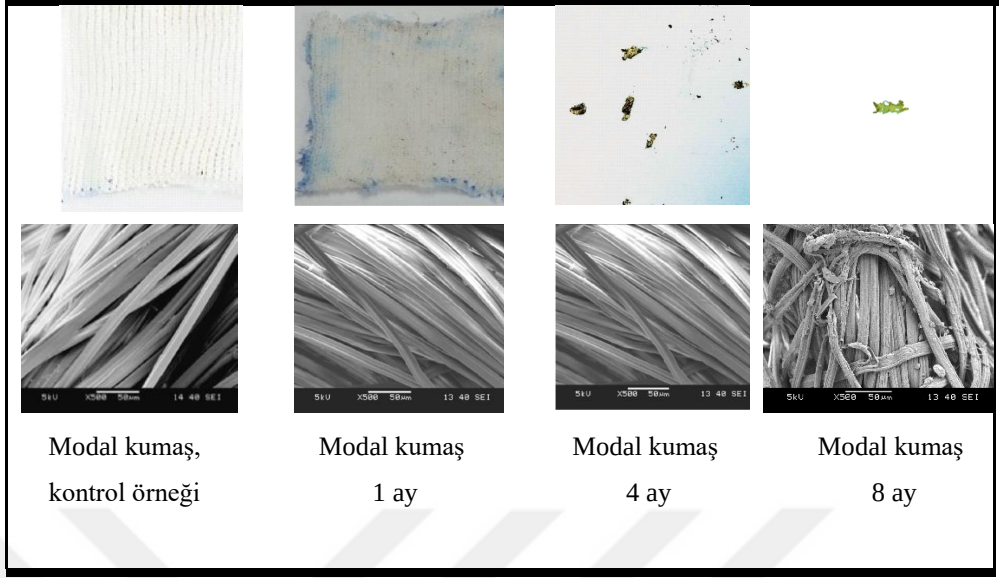
3.2.5 Biyobozunurluk Testi İçin Toprağa Gömme Sonrası Kumaşların SEM Sonuçları

SEM görüntüleri test kumaşlarının değişimlerini göstermektedir. 4 aylık toprak gömülme testinden sonra, kumaşlar belirgin şekilde bozunmuştur, kumaşların bütünlüğü ve yapısı neredeyse yok olmuştur. Pamuk ve Tencel™ Lyocell kumaşlarda lif kırılmaları öne çıkmaktadır ve Tencel™ Modal liflerinin 4 aylık gömme periyodundan sonra topraktan ayrılamaz görünmesi dikkat çekicidir. 4 aylık gömme testinden sonra, viskoz lifi içinde mikroorganizmaların kolonizasyonunun var olduğu görülmüştür. Selülozik kumaşlardaki önemli değişiklikler yüksek oranda hidrofilik karakterlerinden kaynaklanabilir. Viskoz lifleri için; amorf karakter, düşük polimerizasyon derecesi ve yüksek nem emilimi, mikroorganizma saldırısı üzerinde belirleyici bir rol oynamış olabilir. PET ve PAN kumaşlar için SEM görüntüleri örneklerde küçük değişiklikler olduğunu göstermiştir. Bu durum, bu polimerlerin kimyasal bileşimlerine dayanan yüksek direncine bağlı olabilir.



Şekil 3.1 Farklı gömme periyotları için pamuk ve rejenere selüloz kumaşların fotoğrafları ve SEM görüntüleri (x500) (Kişisel arşiv, 2018)

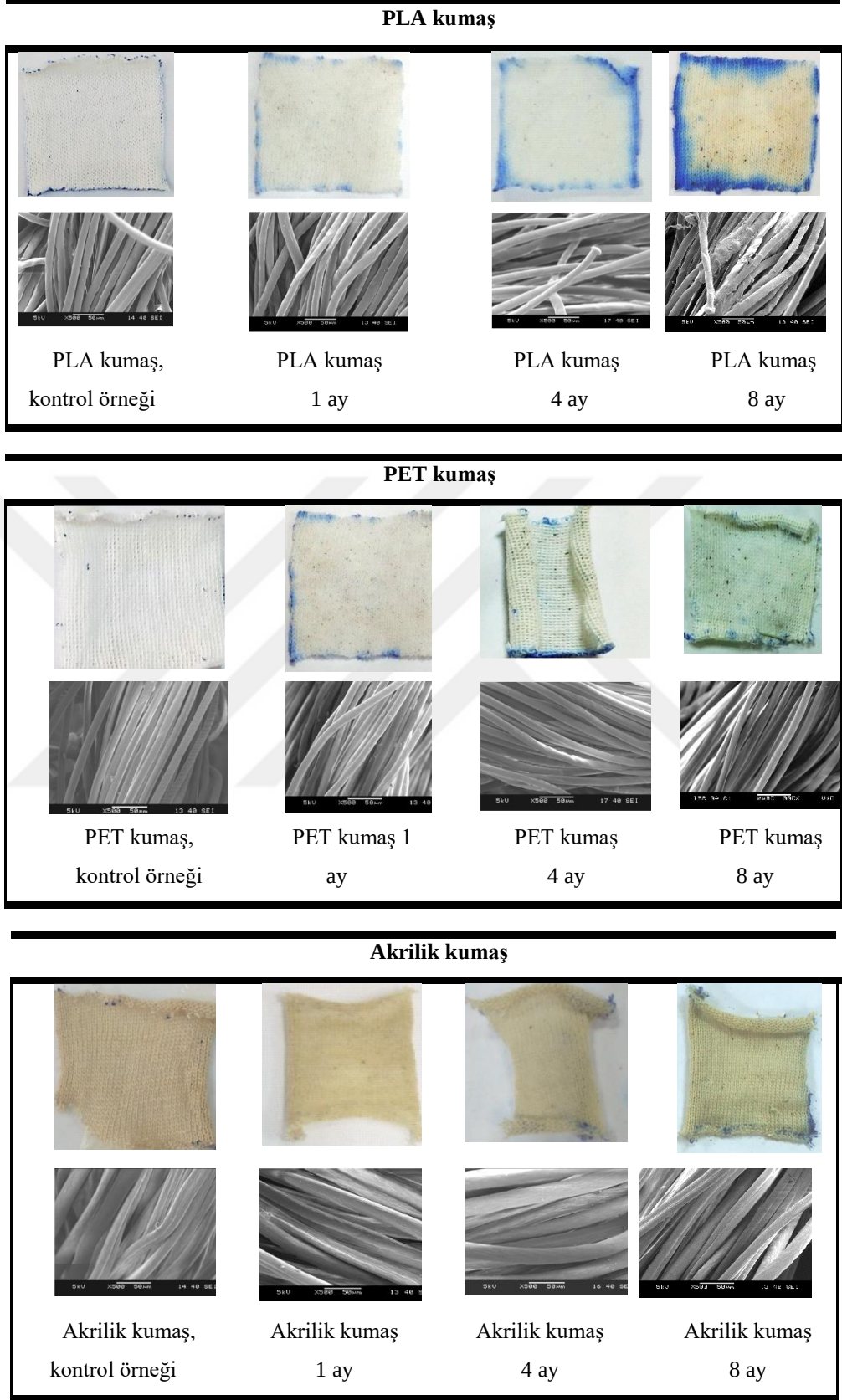
Tencel™ Modal kumaş



Viskon kumaş



Şekil 3.1 devamı



Şekil 3.2 Farklı gömme periyotları için sentetik kumaşların fotoğrafları ve SEM görüntüleri (x500)
(Kişisel arşiv, 2018)

3.2.6 Biyobozunurluk Testi İçin Toprağa Gömme Sonrası Kumaşların Ağırlık Kaybı Sonuçları

Ağırlıktaki değişimin hesaplanması, polimerlerin biyobozunurluğunun ölçülmesinin doğrudan bir yoludur (Yaacob ve diğer., 2016). Kumaşların 1 ay, 4 ay ve 8 ay sonra ağırlık kaybı şekil 3.3'de verilmiştir. Bu bölümde önce selülozik esaslı liflerden üretilmiş olan kumaşların, sonrasında sentetik esaslı liflerden üretilmiş olan kumaşların ağırlık kaybı değerlendirmelerine yer verilmektedir.

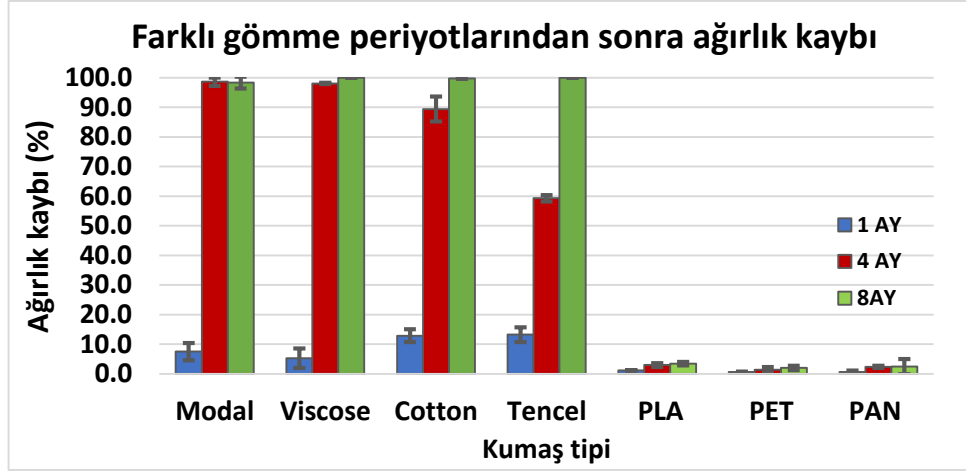
Selülozik lifler için ağırlık kayıpları, beklendiği gibi sentetik liflere kıyasla daha yüksektir. Daha yüksek nem ve su alımı, diğer bir deyişle daha yüksek hidrofilite, daha fazla bozunmaya neden olmaktadır (Yaacob ve diğer., 2016). Topraktaki mikroorganizmalar, kumaşların ağırlığında azalmaya neden olmuştur. Ayrıca, numunelerin kırılması ve bozunması, mikroorganizmanın kumaşa kolonizasyonunu kolaylaştırmaktadır.

1 aylık gömme periyodu boyunca, Tencel™ Lyocell kumaşındaki ağırlık kaybı diğer tipler arasında en yüksek düzeyde olmuştur, yani Tencel™ Lyocell kumaşın biyodegradasyonu 1 aylık gömme için daha hızlı olduğu anlamına gelmektedir. Ancak 4 aylık gömme periyodu için selülozik kumaşlar arasında Tencel™ Lyocell kumaşlar en düşük ağırlık kaybını göstermiştir. Tencel™ Lyocell liflerinin antibakteriyel yapıya sahip olduğu bilinmektedir (Luckachan ve Pillai, 2011). Selülozik lifler arasından Tencel™ Lyocell liflerinin, en düşük biyobozunurluğa sahip olmasının nedeni olabilir. 4 ayın sonunda, topraktaki Tencel™ Modal, viskon ve pamuklu kumaşlara ait parçacıkları görmek zor olmuştur. Özellikle Tencel™ Modal ve viskon kumaşlar, 4 ay süre ile toprak altında kaldıktan sonra neredeyse biyobozunumu tamamlamıştır.

Tencel™ Modal, birim hacim başına pamuktan %50 daha fazla higroskopik veya su emicidir (Moses ve Gnanapriya, 2016). Her ne kadar Tencel™ Modal, viskoz, pamuk ve Tencel™ Lyocell lifleri selülozik yapıya sahip olsa da, farklılık gösteren biyobozunma davranışlarına, farklı hammaddelerin sahip olduğu farklı kristallinite,

farklı polimer zincirleri ve farklı higroskopik davranışların neden olabileceği düşünülmektedir.

PET lifinin aromatik yapısı alifatik yapılara göre mükemmel fiziksel ve mekanik özelliklere sahiptir fakat bakteriyel veya mantar saldırılara karşı güçlü direnci çevre koşullarında düşük oranda parçalanabilirliğe neden olmaktadır (Chen ve diğer., 2008). Bu tez çalışması kapsamında da PET kumaşlar için oldukça düşük ağırlık kaybı elde edilmiştir. Chen ve diğer. (2008) tarafından yapılan çalışmada da 4 aylık gömme periyodundan sonra ağırlık kaybı tespit edilmemiştir. Tez çalışması kapsamında kullanılan PLA lifinden üretilmiş kumaşlara ait sonuçlar incelendiğinde, 4 aylık gömme periyodundan sonra biraz bozunma (%1,2 ağırlık kaybı) olmasına rağmen, araştırmada kullanılan biyobozunurluk ortamında biyobozunmanın kolay olmayacağı görülmüştür. Bu sonuç, Karamanlıoğlu ve diğer. tarafından yapılmış olan çalışma ile benzerlik göstermektedir. Karamanlıoğlu ve diğer. (2017) yapmış oldukları çalışmada, PLA filminin 25°C'de 120 gün boyunca toprağa gömüldüğünde, ağırlık kaybı olmadığını ve hiçbir bozunmanın belirlenmediğini açıklamaktadır. Akrilik lifinin, güveler ve kimyasal maddeler tarafından hasara karşı dirence sahip olduğu iyi bilinmektedir ve bu lif için bozunma beklenmemektedir. 4 aylık gömmeden sonra sadece renkte hafif bir açılma gözlenmiştir. Sekiz aylık toprağa gömme periyodundan sonra selülozik esaslı tüm liflerin çalışmada kullanılan koşullarda bozunduğu, viskon ve Tencel™ Lyocell kumaşların tamamen parçalanarak toprağa karıştığı görülmüştür. Sadece Tencel™ Modal ve pamuk lifinden üretilmiş kumaşlardan oldukça küçük bir parçası geriye kalmıştır. Sekiz ay sonunda sentetik lifler içerisinde ağırlık kaybı açısından öne çıkan bir lif veya kumaş tipi görülmemiştir.



Şekil 3.3 Farklı gömme periyotları için kumaşların ağırlık kaybı değerleri

Tablo 3.8’de ağırlık kaybına etki eden faktörler için varyans analizi sonuçları görülmektedir. Tablo 3.9’da ise farklı hammaddelerden üretilmiş kumaşlar için farklı gömme periyotları dikkate alındığında ağırlık kaybı sonuçlarının yer aldığı SNK (Student Newman-Keuls) testi sonuçlarına göre oluşan alt gruplar incelenmektedir. Tablo 3.8 değerlendirildiğinde, gömme periyodu ve hammadde cinsinin ağırlık kaybı sonuçları üzerindeki etkisinin %95 güven seviyesi için istatistiksel olarak önemli olduğu görülmektedir.

Tablo 3.8 Ağırlık kaybına etki eden faktörler için varyans analizi sonuçları

Varyasyon kaynağı	F	Sig.
Toprağa gömme periyodu (T)	12840,453	0,000
Hammadde cinsi (H)	8059,128	0,000
T*H	1661,319	0,000

Tablo 3.9 incelendiğinde 1 aylık gömme periyodu sonunda pamuk ve Tencel™ Lyocell liflerinden üretilmiş kumaşların biyobozunurluk açısından istatistiksel olarak aynı grupta yer aldığı ve değerlerinin diğer kumaş tiplerine göre en yüksek olduğu görülmektedir. 1 ay sonunda viskon ve Tencel™ Modal kumaşlar biyobozunurluk açısından aynı grupta yer almakta ve ikinci sırada bulunmaktadır. Sentetik esaslı kumaşlar, PLA da dahil olmak üzere biyobozunurluk açısından en kötü grupta yer almaktadır.

4 aylık gömme periyoduna ilişkin SNK sonuçları incelendiğinde, sentetik kumaşların biyoboznurluk açısından yine aynı ve değerleri en düşük olan grupta yer aldığı, Tencel™ Lyocell ve pamuk içeren kumaşların bu periyot sonunda farklı ağırlık kaybı değerleri göstererek farklı gruplarda yer aldığı görülmektedir. Tencel™ Modal ve viskon içeren kumaşlar ise dört ay sonunda en yüksek biyozunurluk değerlerine (%98) ulaşmış ve diğer kumaş tiplerinden ayrı bir grupta yer almıştır.

8 aylık gömme periyodu sonunda PLA lifi içeren kumaşın biyoboznurluk açısından diğer sentetik liflerden ayrıldığı ve yüksek bir değer gösterdiği görülmektedir. Bu gömme periyodu sonunda pamuk, viskon ve Tencel™ Lyocell kumaşlar aynı ve değerleri en yüksek olan (%99 ve üzeri) grupta yer almıştır.

Tablo 3.9 Ağırlık kaybı değerleri için SNK sonuçları

Ağırlık kaybı					
Student-Newman-Keuls ^{b,c}					
Hammadde	N	1 AY GÖMME PERİYODU SONUNDA			
		1	2	3	
PAN	3	0,6667			
PET	3	0,7000			
PLA	3	1,2000			
Viskon	3		5,2667		
Tencel™ Modal	3		7,5333		
Pamuk	3			12,9000	
Tencel™ Lyocell	3			13,2667	
Sig.		0,898	0,080	0,765	
Hammadde	N	4 AY GÖMME PERİYODU SONUNDA			
		1	2	3	4
PET	3	1,4000			
PAN	3	2,3667			
PLA	3	3,0333			
Tencel™ Lyocell	3		59,3333		
Pamuk	3			89,4333	
Viskon	3				98,1000
Tencel™ Modal	3				98,7000
Sig.		,286	1,000	1,000	,571
8 AY GÖMME PERİYODU SONUNDA					
		1	2	3	4
PET	3	2,0333			
PAN	3	2,5000			
PLA	3		3,4667		
Tencel™ Modal	3			98,4000	
Pamuk	3				99,7667
Viskon	3				100,0000
Tencel™ Lyocell	3				100,0000
Sig.		,103	1,000	1,000	,665

Biyobozunurluk sertifikasyon sistemleri incelendiğinde, malzemelerin biyoiçerik (%) miktarına göre puanlandırma sistemine sahip olduğu görülmektedir. Örneğin; Vinçotte firmasının sertifikası sürecinde, ürünlerin karbon 14 testi ile biyoiçeriği belirlenerek etiket üzerinde yüzde biyoiçerik miktarına göre yıldızlandırılmaktadır. (All ecolabels on textiles, b.t.). Biyoiçeriğin biyobozunurluk açısından önemli bir

parametre olduğu, ama biyo içerik miktarının biyobozunurluğu doğrudan belirleyen bir parametre olmadığı düşünülmektedir.

Vinçotte firmasının biyo içerik içeriğinden yararlanarak yapmış olduğu sınıflandırmadan esinlenerek ve **ağırlık kaybı değerleri esas alınarak** tez çalışmasında elde edilen sonuçlara göre kullanılan liflere biyobozunurluk için yıldız verilerek sınıflandırma yapılmıştır.

Tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçların biyobozunurluk açısından yıldız simgeleri ile yapılan değerlendirmesi Tablo 3.10’da görülmektedir.

Tablo 3.10 Deneysel çalışma kullanılan farklı liflerden üretilmiş kumaşların biyobozunurluk sonuçları için değerlendirme

Kumaş Kodu	Sınıflandırma için kriter: Ağırlık kaybı aralığı (%)	4 aylık sonunda sınıflandırma	8 aylık sonunda sınıflandırma
CMD	>80	★★★★	★★★★
CV	>80	★★★★	★★★★
CO	>80	★★★★	★★★★
CLY	40-60	★★★☆☆	★★★☆☆
PLA	< 20	☆☆☆☆	☆☆☆☆
PET	< 20	☆☆☆☆	☆☆☆☆
PAN	< 20	☆☆☆☆	☆☆☆☆

Biyobozunurluk açısından bu çalışmada iyi olarak değerlendirilen lif/lifler aslında üretimi sırasında çevreye daha fazla zarar veriyor olabilir. Daha sonra yapılacak çalışmalarda bu nokta da göz önünde bulundurulabilir.

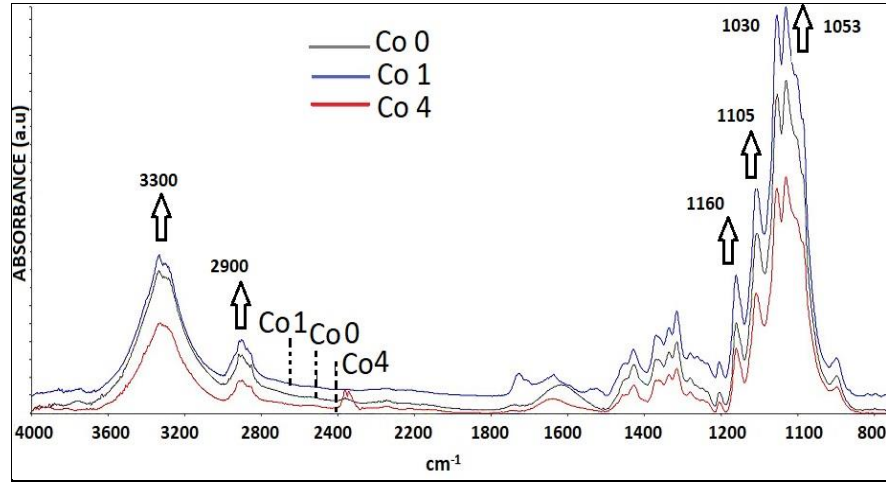
3.2.7 Biyobozunurluk Testi İçin Toprağa Gömme Sonrası Kumaşların FTIR Analizi Sonuçları

Biyobozunurluk incelemesi için yapılmış olan toprağa gömme testleri sonrasında kumaşların kimyasal yapısı üzerindeki değişimi incelemek için FTIR analizi yapılmıştır. Kontrol kumaşları ve farklı periyotlar için gömülen pamuk, Tencel™

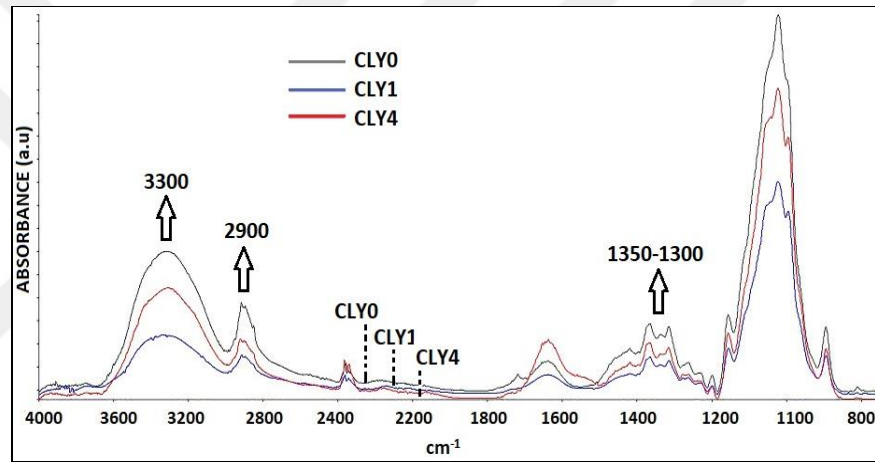
Lyocell, Tencel™ Modal, viskon, PLA, PET ve PAN kumaş numunelerinin FTIR spektrumları şekil 3.4-3.13'de sunulmuştur. 4 aylık gömme periyoduna sonuna kadar tüm kumaş numuneleri için FT-IR analizi yapılmış ve sonuçlar kontrol kumaşı ile birlikte verilmiştir. 8 aylık gömme periyodu sonunda ise diğer kumaşlar tamamen veya çok büyük oranda bozunduğu için sadece PLA, PET ve PAN liflerinden üretilmiş kumaşlar için FT-IR çekimi yapılabilmektedir.

Pamuk ve rejenere selüloz lifleri (viskoz, Tencel™ Lyocell ve Tencel™ Modal) için, 3330 ve 2900 cm^{-1} absorpsiyon bantlarındaki ana pikler, sırasıyla selülozun -OH gerilme ve C-H gerilme titreşimlerini göstermektedir (Kılınç ve diğer., 2016). 1640 cm^{-1} absorpsiyon bandındaki pik ise selülozdan emilen suyun -OH'ını göstermektedir (Carillo ve diğer., 2004). 1370 cm^{-1} absorpsiyon bandındaki pik CH bükülmesine ait olmaktadır. 1020 cm^{-1} 'de selülozun C-O gerilme piki görülmektedir. 1200, 1155 ve 895 cm^{-1} absorpsiyon bantlarındaki daha küçük pikler ise OH düzlem bükülmesi, C-O-C asimetrik gerilme ve C₁ grubu frekansı titreşimleri ilişkilendirilebilir (Seki ve diğer., 2016).

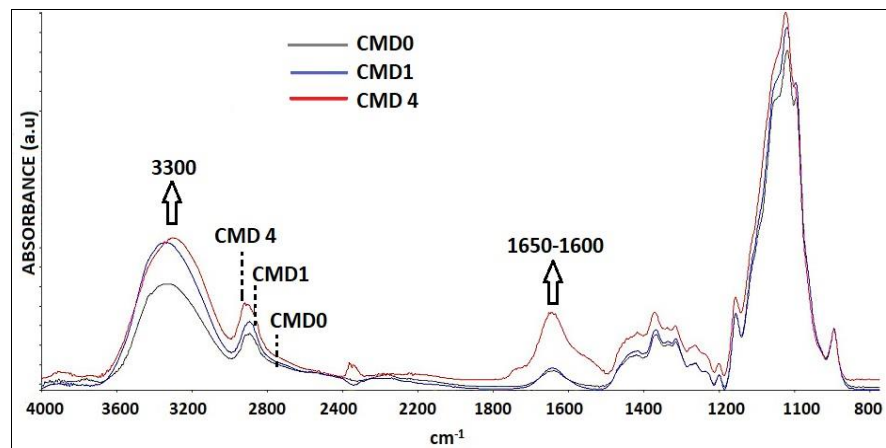
Pamuklu kumaşlar için fonksiyonel grupların yoğunluğu 4 aylık gömme testinde azalmıştır (Şekil 3.4). Özellikle, 3300 ve 2900 cm^{-1} 'deki piklerin yoğunluklarındaki azalma, OH bağlarının kopması ve selüloz zincirine organizmaların saldırısı nedeni ile selülozun metil ve metilen haline gelmesinin bir sonucudur (Li ve diğer., 2010). Fonksiyonel gruplardaki değişim temel olarak Tencel™ Lyocell lifleri için benzerdir. Bununla birlikte, C3'te (1053 cm^{-1}) C-C gerilmesi, C6 ve C-C gerilmesinde (1030 cm^{-1}) C-O gerilimi kompostlamanın ardından azalmıştır. Ek olarak, 1105 ve 1160 cm^{-1} 'deki absorpsiyon bantları enzim bozunmasına bağlı olarak azalmıştır. Bununla birlikte, viskoz ve Tencel™ Modal liflerin FTIR spektrumları (Şekil 3.5-3.7) için, fonksiyonel grupların yoğunlukları, toprak gömme testinden sonra artmıştır. Buna ek olarak, toprak gömme testinden sonra 1720, 1645 ve 1540 cm^{-1} 'de tespit edilen pikler karbonil grupları, absorbe edilen su ve amidII'yi göstermektedir (Oh ve diğer., 2005; Tomsic ve diğer., 2005).



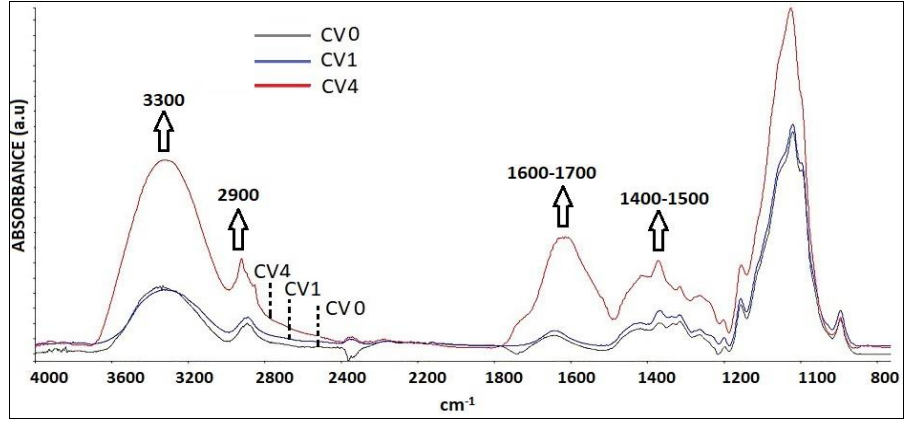
Şekil 3.4 Kontrol, 1 ay ve 4 ay gömülen pamuklu kumaş numunelerinin FTIR spektrumları



Şekil 3.5 Kontrol, 1 ay ve 4 ay gömülen Tencel™ Lyocell kumaş numunelerinin FTIR spektrumları

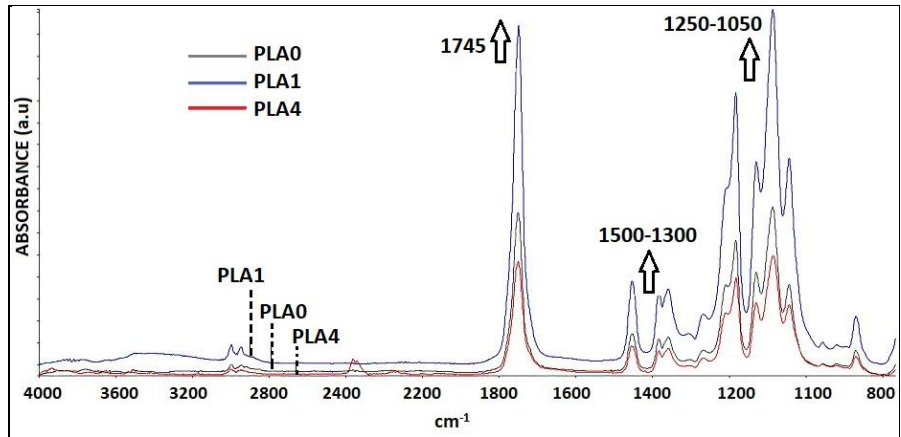


Şekil 3.6 Kontrol, 1 ay ve 4 ay gömülen Tencel™ Modalkumaş numunelerinin FTIR spektrumları

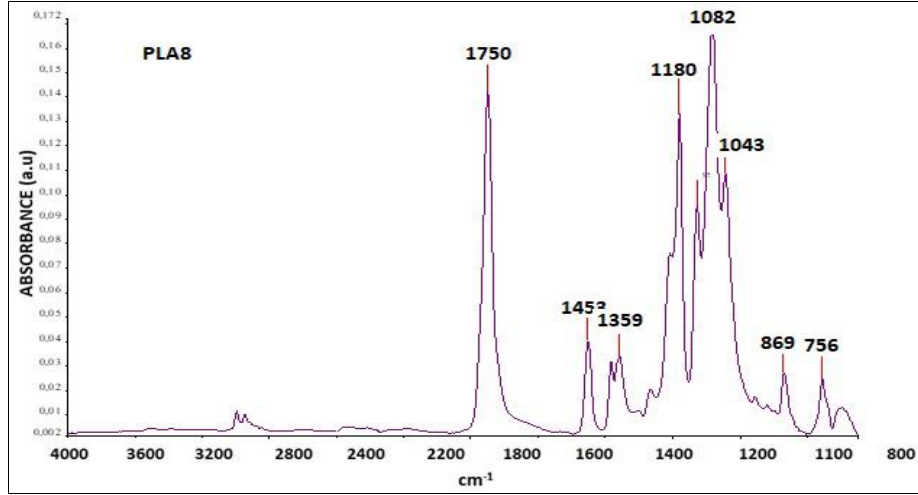


Şekil 3.7 Kontrol, 1 ay ve 4 ay gömülen viskon kumaş numunelerinin FTIR spektrumları

Kontrol ve gömülen PLA kumaşlarının FTIR spektrumu şekil 3.8’de ve şekil 3.9’da verilmiştir. 1745 cm^{-1} ’de bulunan pik, C = O gerilmesine karşılık gelmektedir. $1050\text{--}1250\text{ cm}^{-1}$ arasında tespit edilen absorpsiyon pikleri C-O ve C-O-C gerilme titreşimlerini göstermektedir. CH_3 gruplarında C-H’nin simetrik ve asimetrik deformasyonel titreşimleri $1300\text{--}1500\text{ cm}^{-1}$ arasında tespit edilmiştir (Pamula, Blazewicz, Paluszkiewicz ve Dobrzynski, 2001). Kontrol ve gömülü PLA örnekleri benzer FTIR spektrumları vermesine rağmen, fonksiyonel grupların yoğunlukları gömme testinden sonra değişim göstermiştir.

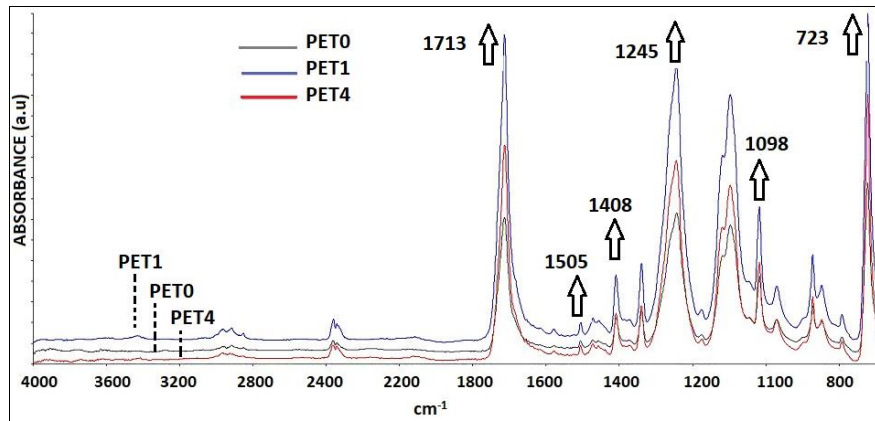


Şekil 3.8 Kontrol, 1 ay ve 4 ay gömülen PLA kumaş numunelerinin FTIR spektrumları

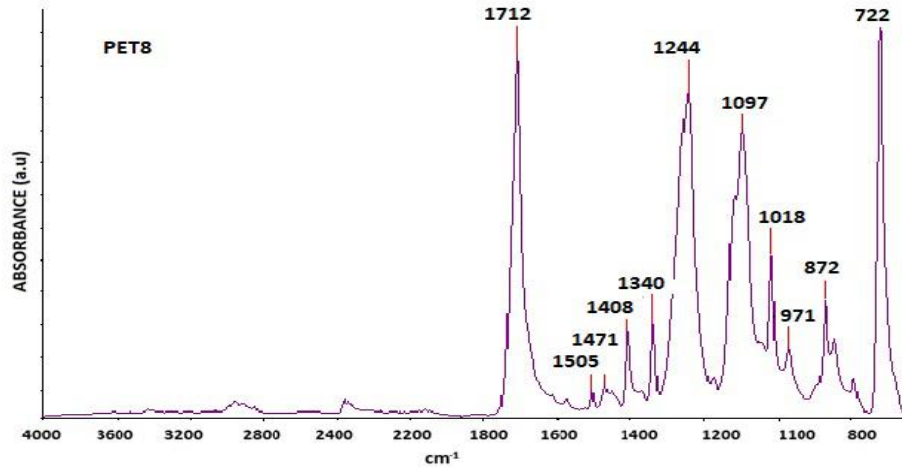


Şekil 3.9 8 ay için gömülen PLA kumaş numunelerinin FTIR spektrumları

Kontrol ve gömülen PET kumaşlarının FTIR spektrumu şekil 3.10 ve şekil 3.11’de verilmiştir. Kontrol PET kumaşı, 1713, 1245, 1098 ve 723 cm^{-1} ’de sırası ile C = O gerilme titreşim bandına, esterin C-O gerilme bandına, glikolün C-O gerilme bandına ve benzen halkasının varlığını gösteren pikler vermiştir (Donelli ve diğer., 2009; Li ve diğer., 2010; Seki ve diğer., 2016). Stabil bir grup olan aromatik halkaya ait olan 1408 cm^{-1} ’deki pik, PET’in karakteristik absorpsiyonudur (Li ve diğer., 2010). 1505 ve 1175 cm^{-1} ’de bulunan pikler, sırasıyla C-H bağları ve C-O gruplarının bükülme titreşimlerini göstermektedir (Huang ve Jang, 2009; Kamel ve diğer., 2011). Toprak gömme testinden sonra, PET kumaşların birbirleriyle benzer FTIR spektrumları, bu polimerlerin kimyasal bileşimlerine dayanan yüksek dirençlerine bağlı olabilir.

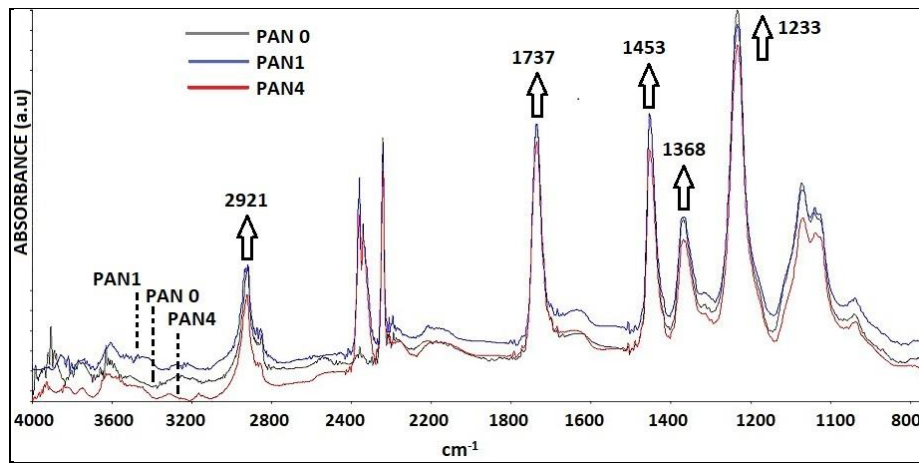


Şekil 3.10 Kontrol, 1 ay ve 4 ay gömülen PET kumaş numunelerinin FTIR spektrumları

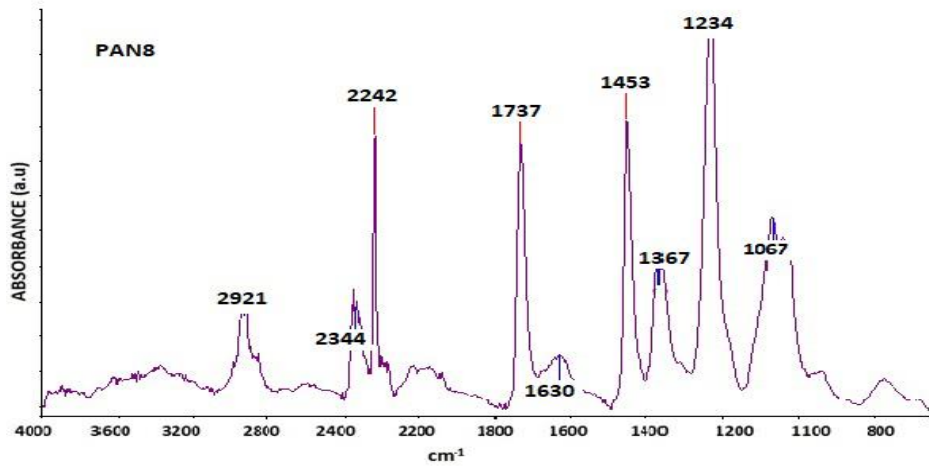


Şekil 3.11 8 ay için gömülen PET kumaş numunelerinin FTIR spektrumları

Kontrol ve gömülen PAN kumaşlarının FTIR spektrumu şekil 3.12 ve 3.13’de verilmiştir. Kontrol kumaş numunesi 2921, 2242, 1737, 1453, 1368, 1233 cm^{-1} ’de sırası ile CH , CH_2 ve CH_3 içerisinde CH bağları, nitril bağları, $\text{C} = \text{O}$ bağları ve farklı alifatik CH grubu titreşimlerini gösteren absorpsiyon pikleri vermektedir (Farsani, Raissi, Shokuhfar ve Sedghi, 2009; Wangxi, Jie ve Gang, 2003). Nitril gruplarını gösteren pik, gömme testinden sonra gözle görülür bir artış göstermiştir. Ancak, şekil 3.2’de gösterildiği gibi gömme testinden sonra PAN kumaşların yüzey morfolojisi ve ağırlık kaybı değerleri üzerinde önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. Bunun sebebi, PAN kumaşlarındaki organik madde veya mantar ve bakterilerin kalıntılarına bağlı olabilir.



Şekil 3.12 Kontrol, 1 ay ve 4 ay gömülen PAN kumaş numunelerinin FTIR spektrumları



Şekil 3.13 8 ay için gömülen PAN kumaş numunelerinin FTIR spektrumları

3.3 Biyobozunurluk Testi İçin Toprağa Gömme Sonrası Toprakta Yapılan Analiz Sonuçları

3.3.1 Toplam Organik Karbon (TOC) Analizi Sonuçları

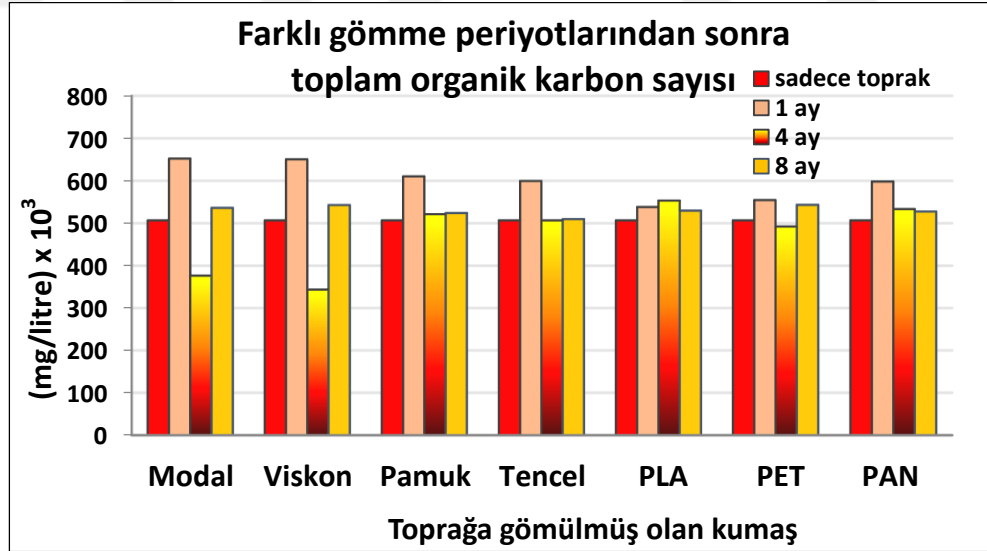
TOC analizi, topraktaki toplam organik karbon sayısını göstermektedir. Karbon, anaerobik bakteri ve mantar türleri için bir enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Mikroorganizmalar, polimerleri depolimerleştiren hücre dışı enzimleri salgırlar, çünkü polimerler uzun moleküller olan ve suda çözünmeyen yapılar içermektedir. Böylelikle, ayrışan materyaldeki tortular toprağa geçer ve biyobozunma meydana geldiğinde toplam karbon sayısında artışlara neden olur (Alshehrei, 2017). Bakteriler veya mantarlar tarafından tüketilen karbon molekülleri toprağın toplam organik karbon sayısında azalmaya neden olur. Şekil 3.14'de görüldüğü gibi, 1 aylık gömme testi sonrasında TOC değerleri artmıştır. Bu, topraktaki organik madde nedeniyle TOC'ye katkıda bulunabilecek artan bakteri sayısına bağlı olabilir. 4 ay sonra, Tencel™ Modal ve viskoz liflerinin gömülü olduğu toprak örneklerindeki TOC değerleri, biyobozunmanın bir sonucu olarak azalmıştır.

Tencel™ Modal liflerinden üretilmiş kumaşın gömülmüş olduğu toprakta toplam mantarların sayısındaki artış, bakterilerin etkisinin yanı sıra mantarların da bu lif için önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Bakteri popülasyonu 4 aylık aralıkta sabit kalmış ve maksimum seviyesine ulaşmıştır. Viskoz liflerinden üretilmiş

kumaşların gömülü olduğu toprakta, biyobozunma sırasında bakteri sayısı maksimum seviyeye ulaştıktan sonra bakteri popülasyonu azalmıştır ve bu aşamadan sonra mantarlar biyodegradasyon sağlamıştır.

8 aylık gömme testinden sonra Tencel™ Modal ve Viskon kumaşlarda toplam organik karbon sayısında yüksek bir artış görülmektedir. Bunun sebebinin parçalanmış olan Tencel™ Modal partiküllerinin sebep olabileceği düşünülmektedir. Viskon kumaş tamamen parçalanmış olarak gözlemlense, toprak içinde gözle görülemeyecek partiküller toplam organik karbon sayısını arttırmış olabilir. Pamuk ve Tencel™ Lyocell kumaşlarda TOC miktarı incelendiğinde bozunma olmasına rağmen neredeyse sabit kalan TOC miktarının toprak içersine ufak partiküllerin kalmamasından olabileceği düşünülmektedir.

PLA, PET ve PAN liflerinin gömülü olduğu topraklarda TOC değerleri belirgin şekilde değişmemiştir. Bu kumaşlar için TOC değerini değerlendirmek amacıyla daha uzun toprak gömme test sürelerinin gerekli olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.14 Farklı gömme periyotlarından sonra toprakta toplam organik karbon sayısındaki değişim

3.3.2 Toplam Bakteri ve Mantar Sayısı Sonuçları

Organik maddenin toprağa uygulanması mikrobik popülasyonu, mikrobiyal aktiviteyi ve enzim aktivitesini artırır. Serbest yaşayan bakteriler, besin kaynağı olarak toprak organik maddesine bağımlıdır ve aktiviteleri elverişli koşullar altında artmaktadır. Bununla birlikte, bazı bakteriler mantarların gelişimini engelleyen enzimleri salgılayabilirler. Buna göre, tekstil malzemelerinin biyodegradasyon davranışlarını farklı bir bakış açısıyla inceleyebilmek için kumaşların gömülü olduğu toprak örneklerinin toplam bakteri sayısı ve toplam mantar sayısı incelenmiştir. Toprakların toplam bakteri ve mantar sayıları şekil 3.15 ve şekil 3.16'da görülmektedir.

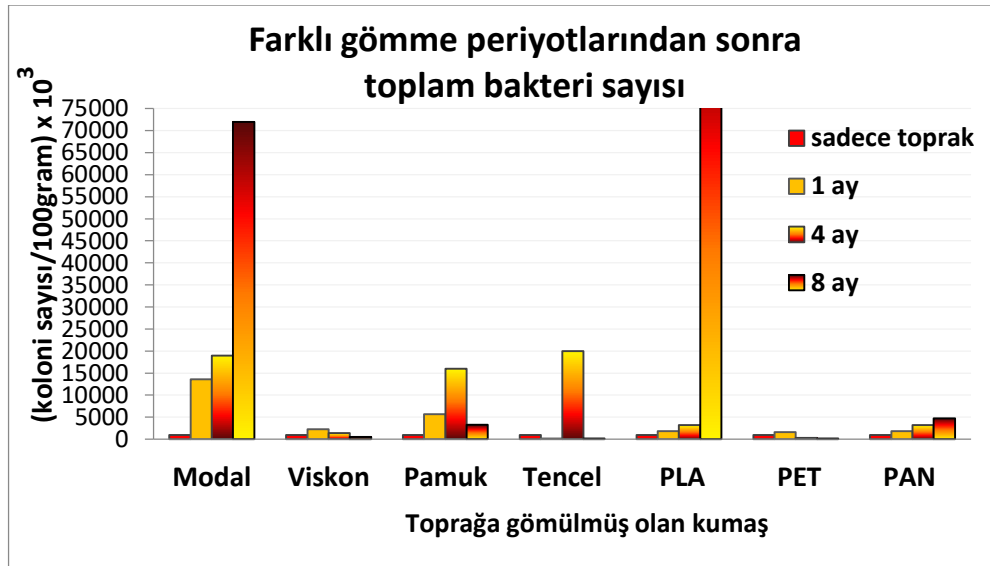
Sentetik liflerin toplam bakteri kolonisi sayısı, viskoz lifleri hariç, rejenere selüloz liflerinden belirgin bir şekilde farklıdır. Buna biyodegradasyon sırasında açığa çıkan kimyasal maddeler sebep olabilir. Bu nedenle, kimyasal maddeler çeşitli bakteri türlerinin sayılarının artması için elverişsiz koşullar oluşturabilir. Özellikle, viskon kumaşlar için diğer liflere kıyasla toprakta daha az toplam bakteri ve mantar tespit edilmiş olsa bile, çarpıcı ve hızlı bir şekilde bozunmuştur. Diğer selülozik lifler arasında viskozliflerinin en düşük kristal bölgeye sahip olması da daha az miktarda bakteri ve mantar ile en yüksek biyobozunma nedenlerinden biri olabilir. Bakteri sayısı diğer selülozik liflere kıyasla daha az olmasına rağmen, bakteri miktarı viskon kumaşı biyolojik olarak bozmak için yeterlidir. Tencel™ Lyocell ve Tencel™ Modal liflerinden üretilmiş kumaşların gömülü olduğu toprak örnekleri için en yüksek mikroorganizma miktarı belirlenmiştir.

Toprak örneklerinde toplam bakteri ve mantar sayısı genel olarak değerlendirilirse, 1 aylık gömme testinden sonra verilerde artış eğilimi olduğu görülür. Ayrıntılı olarak incelendiğinde, özellikle Tencel™ Modal lifleri için 1 aydan sonra biyodegradasyonun çok hızlı gerçekleştiği ve toplam bakteri miktarının 4 ay sonra önemli derecede arttığı görülebilir. Ek olarak, toplam mantarlar 1 ay sonunda önemli ölçüde artmış, ancak 4 aylık gömme döneminden sonra toplam mantar sayısı aynı kalmıştır. Bunun nedeni,

mantarların en üst düzeyde bozunmaya ulaşması ayrıca mantarların toprağa gömülmüş hedef kumaşa herhangi bir element bulamamış olması olarak değerlendirilebilir.

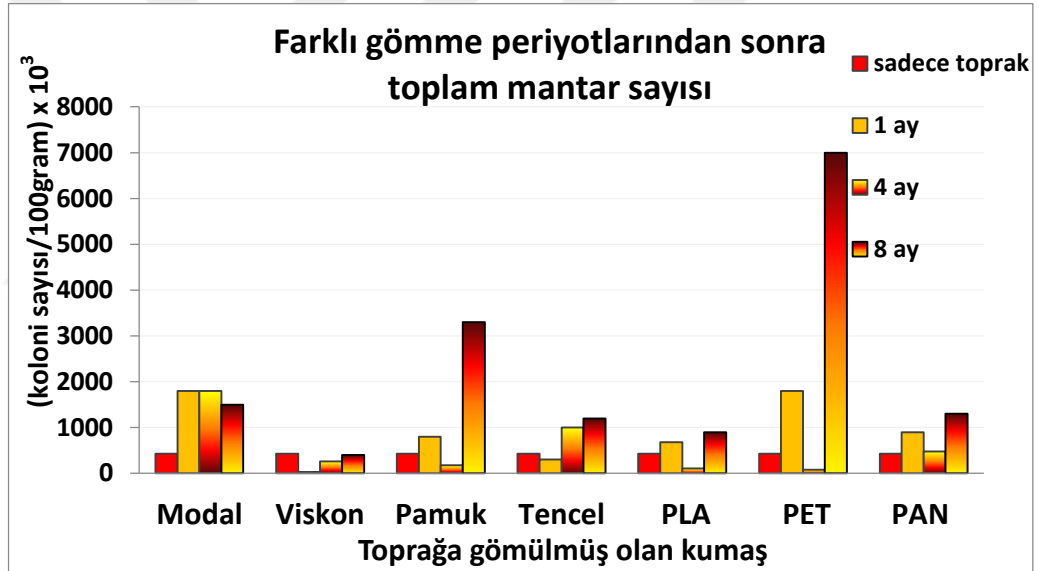
Sentetik liflerde, 1 ve 4 aylık gömme periyotları için toplam bakteri sayısında önemli bir değişiklik kaydedilmemiştir. 1 aylık gömme periyodunda tüm sentetik liflerden üretilmiş kumaşların gömülü olduğu toprak numuneleri için toplam mantar sayısı artmıştır. Öte yandan, kimyasal yapıları nedeniyle, PAN ve PET kumaş örnekleri bakteriler mantarlar tarafından kolayca biyolojik olarak bozunamamıştır.

8 aylık gömme testinden sonra Tencel™ Modal liflerinde bakteri popülasyonunda yüksek bir artış görülmüştür. Bu sebeple bozunmanın bakteriler tarafından gerçekleştirildiği söz edilebilir. Tencel™ Modal kumaşa benzer şekilde toplam bakteri miktarı artan Tencel™ Lyocell kumaşın, ağırlık kaybı sonucu incelendiğinde bu artış miktarının bozunma oranına bağlı olduğu düşünülmektedir. Viskon, pamuk ve PET kumaşlarda toplam bakteri sayısında azalma gözlemlenmiştir. Viskon ve pamuk kumaşın belirli bir bakteri türü veya mantar ile bozunduğu düşünülmektedir. PLA kumaşlar incelendiğinde bakteri popülasyonunun artmasına sebep olabilecek elverişli bir ortamın oluşturduğundan söz edilebilir. PAN kumaşlarda düşük olan ağırlık kaybı miktarı ile birlikte bakteri popülasyonunda büyük bir değişim görülmektedir.



Şekil 3.15 Farklı gömme periyotlarından sonra toprakta bulunan toplam bakteri sayısındaki değişim

8 aylık gömme testinden sonra Tencel™ Modal kumaşlarda toplam mantar sayısının azaldığı görülmektedir. Bozunma ile birlikte artan bakteri popülasyonu mantar popülasyonunu doğal seleksiyona uğratmış olabileceği düşünülmektedir. Viskon ve pamuk kumaşlarda artan ağırlık kayıpları ve azalan toplam bakteri sayısı göz önünde bulundurulduğunda artan mantar sayısının, bozunmanın mantarlar tarafından gerçekleştirilmiş olabileceğini göstermektedir. Tencel™ Lyocell, PLA ve PAN kumaşlarda artan toplam mantar ve bakteri sayısı sebebiyle bozunmanın her iki mikroorganizma tarafından gerçekleşebileceği düşünülmektedir. PET kumaşlardaki toplam bakteri sayısındaki azalma, mantarlar için uygun ortam oluşturmuş veya PET tarafından mantar için uygun ortam oluşturulduğu için bakteri popülasyonu doğal seleksiyona uğramış olabilir.



Şekil 3.16 Farklı gömme periyotlarından sonra toprakta bulunan toplam mantar sayısındaki değişim

BÖLÜM DÖRT

SONUÇLAR

Bu çalışmada, benzer yapısal parametrelere sahip olan Tencel™ Modal, viskoz, pamuk, Tencel™ Lyocell, polilaktik asit (PLA), polietilen tereftalat (PET) ve akrilik gibi bilinen lif türlerinden oluşan örme kumaşların toprak gömme testi ile biyobozunurluk davranışları incelenmiştir. Toprak gömme testi öncesinde, bu hammaddelerden üretilmiş olan ipliklerin, iplik bükümü, iplik kopma mukavemeti ve kopma uzaması, iplik düzgünsüzlüğü değerleri ile kumaşların yapısal (sıklık, ilmek iplik uzunluğu, birim alan kütlesi, kumaş kalınlığı), mekanik (patlama mukavemeti, boncuklanma direnci) ve hava geçirgenliği özellikleri ölçülmüş ve birbiriyle karşılaştırılmıştır.

Çalışmada gerçekleştirilen testler sonucunda PLA ipliklerden üretilmiş kumaşların iplik özellikleri geliştirilerek veya diğer ipliklerle karışım olarak kumaş üretilmesiyle giysilik kumaş olarak kullanılabileceği öngörülmüştür. PLA kumaş, çalışmada incelenen boncuklanma direnci gibikumaş özellikleri açısından viskon kumaşlardan daha iyi performans göstermesinin yanında, patlama direnci ve hava geçirgenliği gibi kumaş özellikleri açısından Tencel™ Modal ve Tencel™ Lyocell gibi rejenere selüloz kumaşlar ile benzer özellikler göstermiştir.

Farklı liflerden üretilmiş olan kumaşların biyobozunurluk özelliklerinin karşılaştırılması için kumaşlar toprağa gömülmüş ve üç farklı zaman periyodu sonrasında (1 ay, 4 ay ve 8 ay) gömülen kumaşlar çıkartılıp görsel olarak ve taramalı elektron mikroskopuyla kumaşların yüzeyleri incelenmiştir. Sonuçların sayısallaştırılması için bu periyotlar sonrasında çıkartılan numunelerde ağırlık kayıpları (%) ölçülmüş ve FTIR analizleri ile elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Ayrıca çalışmada kullanılan toprağa gömme periyotları sonrasında biyobozunurluğun toprak üzerine etkisi ve toprak içerisinde bulunan mantar ve bakteri sayısındaki değişim, topraktaki toplam organik karbon sayısındaki değişim incelenmiştir. Biyobozunurluğun mikrobiyolojik olarak incelenmesi amacıyla toprak içerisindeki

toplam organik karbon (TOC), bakteri ve mantar sayıları belirlenmiş ve lifler ve gömme zamanları için arşılaştırma yapılmıştır.

Morfolojik karakterizasyon, görsel incelemeler ve toprak analizleri sonucunda pamuk ve rejenere selülozik liflerin bu çalışmada tanımlanmış ortamda ve koşullarda biyobozunurluğa uğradığı, sentetik liflerin ise tanımlanmış gömme periyodları içerisinde ozunmadığı veya oldukça az bozunduğu görülmüştür.

Sentetik kumaş örneklerinin rengi bakteri enzimleri nedeniyle hafifçe açılmıştır. Bu kumaşların gömülü olduğu toprak örneklerinde bakteri ve mantar sayısının artmasına rağmen önemli bir bozunma gözlenmemiştir. 4 aylık gömme testi sonucunda yüksek biyobozunurluk özelliği ile bilinen PLA kumaşta %1,2 gibi bir ağırlık kaybı gerçekleşmiştir. Sentetik liflerden üretilmiş kumaşlar içerisinde en yüksek değer PLA için görülmüştür. Çalışmada uygulanan toprak gömme koşulları altında sentetik biyobozunmasının kolay olmadığı görülmüştür.

Selülozik liflerde, bakteri kalıntıları nedeniyle özellikle pamuk ve Tencel™ Lyocell kumaşlar için kumaş renklerinde kararma ve lekelenme gibi bir değişim görülmüştür. Selülozik kumaşlar yüksek higroskopik veya su emici özelliğe sahip olduğu için yüksek biyobozunurluk davranış gösterdiği düşünülmüştür. 4 aylık periyot sonucunda Tencel™ Modal kumaşın en yüksek biyobozunurluk özelliğe sahip olduğu görülmüştür.

Gömme testinin, kumaşların kimyasal yapısı üzerindeki etkisini incelenmesi için belirlenen gömme periyotlarının sonunda FTIR analizleri yapılmıştır. Selülozik kumaşlar için OH bağlarının kopması ve mikroorganizma saldırısı sebebi ile fonksiyonel grupların yoğunluğu 4 aylık gömme testinin sonunda azalmıştır.

Toprak gömme testinden sonra PET kumaşın FTIR spektrumunda önemli bir değişim görülmemiştir. Akrilik kumaş için nitril gruplarını gösteren pik, gömme testinden sonra gözle görülür bir artış göstermiştir.

Toplam organik karbon (TOC) sayıları incelendiğinde, 4 ay gömme testi sonucunda Tencel™ Modal ve viskoz liflerinin gömülü olduğu toprak örneklerinin TOC değerleri azalmıştır. TOC değerinin azalması bakteriler tarafından enerji için tüketildiğinin yani biyobozunurluğun sonucu olarak düşünülmektedir. Bununla birlikte, PLA, PET ve PET kumaşların gömülü olduğu topraklardaki TOC değerlerinde belirgin bir değişim görülmemiştir.

Viskon kumaş için diğer liflerle karşılaştırıldığında daha az toplam bakteri ve mantar sayısı toprakta tespit edilmiş olsa bile, çok hızlı bir şekilde bozunmuştur. Besin varlığında bakteri ve mantar popülasyonu belirli bir seviyeye kadar artış göstermektedir. Daha sonrasında bölünme yavaşlar. Sınırlı ortam, gıda ve enerji kaynaklarının azalması, metabolizma atıklarının artarak toksit maddelerin birikmesine sebep olması ve ortam pH'sinin azalması popülasyonun azalmasına sebep olmaktadır. Ayrıca, türleri kendi aralarında doğal seleksiyona uğrayarak popülasyonda azalma da görülebilmektedir.

Selülozik liflerin biyobozunurluk sonuçları, bu maddelerin, yüksek biyobozunurluklarından dolayı gömülerek atılmasının mümkün olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, çalışmada kullanılmak üzere seçilen lifler, kullanılan biyobozunurluk ortamı, tercih edilen değerlendirme periyotları ve tercih edilen biyobozunurluk testleri, biyobozunurluk testleri ile eş zamanlı olarak kumaşların gömülü olduğu topraklarda yapılan analizler tekstil ürünlerinin biyobozunurluk davranışına ayrıntılı bir bakış sağlayacaktır. İleriki çalışmalarda farklı biyobozunurluk ortamlarının denenmesi, gerek tekstil ürünlerinin bırakıldığı ortamlardaki farklı durumları simule etmek açısından gerekse tekstil kumaş atıklarının çevresel etkilerinin de eşzamanlı olarak değerlendirilmesi açısından yararlı olacaktır.

Atıkların nasıl bozunacağının değerlendirilmesi çok önemli olmakla birlikte önemli olan diğer noktalardan biri de üretim sırasında meydana çıkacak atığı azaltmak,

evreyeye zarar veren üretim yöntemlerinden ve kimyasallardan mümkün olduğu kadar kaçınmak ve/veya bunları azaltmak için çözümler dğnmektir.

Gelecek nesillere yağanabilir bir dünya bırakılabilmesi için atıkların azaltılması, evreyeye zarar veren her türlü üretim yöntemi için tedbirler alınması, biyobozunur ürünlerin kullanımının yaygınlağması gerektiği bütün dünya tarafından ortak olarak kabul edilmektedir. Giderek artan sürdürülebilirlik bilinci ile biyobozunur ürünlerin üretilmesinin ve kullanımının teğvik edilmesi için üretici ve tüketicie teğvik amaçlı uygulamalar yapılabilir.



KAYNAKLAR

- Aerobik ve anaerobik biyolojik bozunma*, (b.t.). 16 Kasım 2016, <http://polimernet.com/Docs/Aerobik%20&%20Anaerobik%20Bio-Bozunma.pdf>.
- Alay, E. (2016). *Biyobozunur antibakteriyel koku tutmayan örme kumaş geliştirilmesi*. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Alay, E., Duran, K. ve Korlu A. (2016). A sample work on green manufacturing in textile industry. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 3, 39-46.
- All ecolabels on textiles*, (b.t.). 20 Nisan 2019, <http://www.ecolabelindex.com/ecolabels/?st=category,textiles>.
- Alshehrei, F. (2017). Biodegradation of synthetic and natural plastic by microorganisms. *Journal of Applied & Environmental Microbiology*, 5(1), 8-19.
- Arshad, K. ve Mujahid, M. (2011). *Biodegradation of textile materials*. Yüksek Lisans Tezi, University of Boras, Boras.
- Arshad, K., Skrifvars, M., Vivod, V., Valh, J. V. ve Vončina, B. (2014). Biodegradation of natural textile materials in soil. *Tekstilec*, 57(2), 121-129.
- Arutchelvi, J., Sudhakar, M., Arkatkar, A., Doble, M., Bhaduri, S. ve Uppara P. V. (2008). Biodegradation of polyethylene and polypropylene. *Indian Journal of Biotechnology*, 7(1), 9-22.
- ASTM D 5988 – 12 (2012). Standart test method for determining aerobic biodegradation of plastic materials in soil. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Badr, A. A., Hassanin, A. ve Moursey, M. (2016). Influence of tencel/cotton blends on knitted fabric performance. *Alexandria Engineering Journal*, 55(3), 2439-2440.
- Bağış, C., Avcı, B., Yıldızci, E. Ş., Bozkurt, F., Başboğa, İ. H. ve Mengeloğlu, F. (2015). TiO₂ kullanımının PVA esaslı biyobozunur kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine etkisi. *Selçuk Teknik Dergisi*, 1, 998-999.

- Bendak, A. ve El-Marsafi, S. M. (1991). Effects of chemical modifications on polyester fibres. *Journal of Islamic Academy of Sciences*, 4(4), 275-276.
- Blackburn, R. S. (Ed.). (2005), *Biodegradable and sustainable fibres*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- BPI certification scheme: compostable products, resins and intermediates according to ASTM D6400 and ASTM D6868, (2019). 14 Ağustos 2019, https://bpiworld.org/resources/Documents/BPI_Certification_scheme_2019.pdf
- Briga-Sá, A., Nascimento D., Teixeira, N., Pinto, J., Caldeira, F., Varum, H. ve diğer. (2013). Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution. *Construction and Building Materials*, 38, 156.
- Carillo, F., Colom, X., Sunol, J. J. ve Saurino, J. (2004). Structural FTIR analysis and thermal characterisation of lyocell and viscose-type fibres. *European Polymer Journal*, 40(9), 2229-2234.
- Chen, Y., Tan, L., Chen, L., Yang, Y. ve Wang, X. (2008). Study on biodegradable aromatic/aliphatic copolyesters. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 25(2), 321-335.
- Conventional moisture regains of textiles, (b.t.). 15 Nisan 2019, http://www.puntofocal.gov.ar/notific_otros_miembros/chn441s1_t.pdf.
- Çağıltay, F. (2012). *Pamuklu örme kumaşlarda yağ sökme prosesinin incelenmesi ve iyileştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Demirer, N. G. (2011). Yaşam döngüsü analizi. *Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Yayınları-I*. 2 Şubat 2017, <https://rec.org.tr/wpcontent/uploads/2017/02/yda.pdf>.
- Doğan, M., Seçme, D. ve Akten, M. (2017). Sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde çevre ekonomisi ve çevre etiği ilişkisi, *Akademia Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2(3), 111.

- Donelli, I., Taddei, P., Smet, P. F., Poelman, D., Nierstrasz, V. A. ve Freddi, G. (2009). Enzymatic surface modification and functionalization of PET: a water contact angle, FTIR, and fluorescence spectroscopy study. *Biotechnology and Bioengineering*, 103(5), 845-856.
- Drew, D. (2017). *The apparel industry's environmental impact in 6 graphics*. 28 Ağustos 2019, <https://www.wri.org/blog/2017/07/apparel-industrys-environmental-impact-6-graphics>.
- Edrington, S. (2017). *The limits & effects of draw on properties and morphology of panbased precursor and the resultant carbon fibers*. Doktora Tezi, University of Kentucky, Kentucky.
- Eichinger, D. (2012). A Vision of the world of cellulosic fibers in 2020. T.Röder, (Ed.), *Lenzinger berichte* (90) içinde(1-7). Dornbirn: Lenzing AG.
- Ekici, Ö. K. (2011). Mikroorganizmaların çevreye hizmeti, *Bilim ve Teknik Dergisi*, (Haziran Sayısı), 74-77.
- El-Gabry L. K., El-Kheir, A. A., Salama, M., Mowafi, S. ve El-Sayed, H. (2014). Functional finishes of acrylic fibers using different technologies, *Journal Of Applied Sciences Research*, 10(3), 218.
- Elyaf pazarı için PLA potansiyeli, (b.t.). 4 Mayıs 2015, <http://www.biyoplastik.net/2013/10/elyaf-pazar-icin-pla-potansiyeli.html>.
- Environmental impact of textiles, (b.t.). 28 Ağustos 2019, <http://baosquared.com/fiber/benefits/>.
- Erdin, N. (1986). Tarama elektron mikroskopunun temel prensipleri ve numune hazırlama. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 36(2), 102.
- Farsani, R. E., Raissi, S., Shokuhfar, A. ve Sedghi, A. (2009). FT-IR study of stabilized PAN fibers for fabrication of carbon fibers. *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, 3(2), 161-164.

- Firgo, H., Schuster, K. C., Suchomel, F., Manner, J., Burrow, T. ve Abu-Rons, M. (2006). The functional properties of tencel - a current update. *Lenzinger Berichte*, 85(2006), 22-24.
- Gupta, P. K. (2018). *Illustrated toxicology: with study questions*, Cambridge; Academic Press.
- Hartikainen, S. (2015). *Biodegradability of nonwoven fabrics*. Lisans Tezi, Tampere University of Applied Sciences, Tampere.
- Hayta, A. B. (2009). Sürdürülebilir tüketim davranışının kazanılmasında tüketici eğitiminin rolü. *Ahi Evran Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 10(3), 144.
- Hazer, B. (2011). *Biyobozunur plastik ambalaj malzemeleri “çerçeve çalışması”*. 20 Nisan 2019, <http://www.bioplasttr.net/BIOPLASTICS.pdf>.
- Huang, W. ve Jang, J. (2009). Hydrophilic modification of PET fabric via continuous photografting of acrylic acid (aa) and hydroxyethyl methacrylate (hema). *Fibers and Polymers*, 10(1), 27-33.
- ISO 11721 (2001). Determination of resistance of cellulose-containing textiles to microorganisms – soil burial test. International Organization for Standardization, Geneva.
- Jeyakodi, M. ve Gnanapriya, K. (2016). Properties of modal fabric after formic acid treatment. *JECET*, 5(2), 31-44.
- Kamel, M. M., El Zawahry, M. M., Helmy, H. ve Eid, M. A. (2011). Improvements in the dyeability of polyester fabrics by atmospheric pressure oxygen plasma treatment. *The Journal of the Textile Institute*, 102(3), 220-231.
- Karamanlıoğlu, M., Preziosi, R. ve Robson, G. D. (2017). Abiotic and biotic environmental degradation of the bioplastic polymer poly (lactic acid). *Polymer Degradation and Stability*, 137, 122-130.

- Katkar, P. M. ve Bairgadar, S. M. (2012). *Textile waste recycling*. 30 Ekim, 2016, <http://www.fibre2fashion.com/industryarticle/28/2726/textile-waste-recycling1.asp>.
- Kılıç, G. B. ve Sölar, V. (2012). Frictional properties of cotton-tencel yarns spun in different spinning systems, *Textile Research Journal*, 82, 755.
- Kılınç, A. Ç., Atagür, M., Özdemir, O., Sen, I., Küçükdoğan, N., Sever, K. ve diğer. (2016). Manufacturing and characterization of vine stem reinforced high density polyethylene composites. *Composites Part B: Engineering*, 91, 267-274.
- Kumar, R., Yakubu, M. K. ve Anandjiwala, R. D. (2010). Biodegradation of flax fiber reinforced poly lactic acid, *Express Polymer Letters*, 4(7), 423-430.
- Kumru, M., *Piyasada bozunma özelliği gösteren plastiklere bakış*, 16 Kasım 2016, <http://www.kumrukimya.com/biyobozunur-plastikler-sunum.pdf>.
- Leblanc, R. (2016). *Recycling facts and figures*. 3 Kasım 2016, <https://www.thebalance.com/recycling-facts-and-figures-2878049>.
- Li, L., Frey, M. ve Browning, K. J. (2010). Biodegradability study on cotton and polyester fabrics. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 5(4), 42-53.
- Li, T. (2001). The science of clothing comfort. *Textile Institute Publications*, 31, 86.
- Luckachan, G. E. ve Pillai, C. K. S. (2011). Biodegradable polymers - a review on recent trends and emerging perspectives. *Journal of Polymers and the Environment*, 19(3), 637-676.
- Mass spectrometry and infrared spectroscopy*, (b.t.). 11 Kasım 2016, http://wps.prenhall.com/wps/media/objects/724/741576/chapter_13.html.
- Melikoğlu, A. Y., Aytas B. E., Cesur, S. ve Bilek S. E., (2017). Poliolefinlerin bozunma, biyobozunma mekanizmaları ve çevresel etkileri. *Çevre Bilim ve Teknoloji*, 2(1), 3-13.

- Milosevic, M., Krkobabic, A., Radoicic, M., Saponjic, Z., Radetic, T. ve Radetic, M. (2017). Biodegradation of cotton and cotton/polyester fabrics impregnated with Ag/TiO₂ nanoparticles in soil. *Carbohydrate Polymers*, 158, 77-84.
- Modal: fibre to fabric, (b.t.). 4 Mayıs 2015, <https://www.fibre2fashion.com/industry-article/5169/modal-fibre-to-fabric>.
- Müller, R. J. (2005). Biodegradability of polymers: regulations and methods for testing. A. Steinbüchel, (Ed.), *Biopolymers online* içinde (367-368), Braunschweig: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.
- Neden doğada biyobozunur plastiklere ihtiyacımız var?, (b.t.). 4 Mayıs 2015, <http://www.biyoplastik.net/2013/03/neden-dogada-biyobozunur-plastiklere.html>.
- Noyan, B. (2014). 85 bin ton pet şişe atığı toplandı, ekonomiye katkısı 120 milyon lira. *Fortune*. 20 Nisan 2015, <http://www.fortuneturkey.com/85-bin-ton-pet-sise-atigi-toplandi-ekonomiye-katkisi-120-milyon-lira-3022>.
- OECD guideline for testing of chemicals, (b.t.). 20 Aralık 2016, <http://www.oecd.org/chemicalsafety/testing/34898616.pdf>.
- Oh, S. Y., Yoo, D. I., Shin, Y. ve Seo, G. (2005). FTIR analysis of cellulose treated with sodium hydroxide and carbon dioxide. *Carbohydrate Research*, 340(3), 417-428.
- Önder, K. ve Şahin, M. (2016). Türkiye’de tekstil sektörünün üretim potansiyeli ve devlet teşviklerinin etkinliğinin analizi (2001-2015). *Maliye Dergisi*, (170), 28-29.
- Özbağcı, Ö. (2008). *Pamuk ve bazı rejenere selüloz esaslı süprem örgü kumaşların fiziksel ve boyutsal özellikleri*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Özdemir, E. (2006). *Çevre sorunlarının ekonomik niteliği bağlamında dışsallıkların ortadan kaldırılması (orman kaynaklarının dışsal faydalarının içselleştirilmesi)*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.

Özgüney, A. T., Körlü, A. E., Bahtiyari, M. İ. ve Bahar, M. (2006). Viskon liflerinin fiziksel özellikleri ve makromolekülerüstü yapısı. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 16(2), 100-101.

Pamula, E., Blazewicz, M., Paluszkiewicz, C. ve Dobrzynski, P. (2001). FTIR study of degradation products of aliphatic polyesters–carbon fibres composites. *Journal of Molecular Structure*, 596(1-3), 69-75.

Park, C. H., Kang, Y. K. ve Im, S. S. (2004). Biodegradability of cellulose fabrics. *Journal of Applied Polymer Science*, 94(1), 248-253.

PLA hammaddesi nedir?, (b.t.). 4 Mayıs 2015, <http://www.biyoplastik.net/2013/06/pla-hammaddesi-nedir.html>.

Pulse of the fashion industry, (2017). 27 Ağustos 2019, https://globalfashionagenda.com/wp-content/uploads/2017/05/Pulse-of-the-Fashion-Industry_2017.pdf.

Quality control, (b.t.). 21 Mayıs 2015, <http://www.carolina.ae/serv01.htm>.

Resnick, B. (2019). *More than ever, our clothes are made of plastic. Just washing them can pollute the oceans.* 27 Ağustos 2019, <https://www.vox.com/the-goods/2018/9/19/17800654/clothes-plastic-pollution-polyester-washing-machine>.

Ritchie, H. ve Roser, M. (2018). *Plastic Pollution.* 27 Ağustos 2019, <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>.

Šajn, N. (2019). Environmental impact of the textile and clothing industry. 12 Ağustos 2019, [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/633143/EPRS_BRI\(2019\)633143_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/633143/EPRS_BRI(2019)633143_EN.pdf).

- Schuster, K. C., Rohrer, C., Eichinger, D., Schmidtbauer, J., Aldred, P. ve Firgo, H. (2004). Environmentally friendly lyocell fibers. F. T. Wallenberger ve N. Weston, (ed.), *Natural fibers, plastics and composites* içinde(127). Boston: Springer Science+Business Media.
- Seki, Y., Seki, Y., Sarikanat, M., Sever, K., Durmuşkahya, C. ve Bozacı, E. (2016). Evaluation of linden fibre as a potential reinforcement material for polymer composites. *Journal of Industrial Textiles*, 45(6), 1221-1238.
- Seves, A., Romano, M., Maifreni, T., Sora, S. ve Ciferri, O. (1998). The microbial degradation of silk: a laboratory investigation. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 42(4), 203-211.
- Sobuj, S. R. (2017). *Crystalline and amorphous structure of fiber*. 10 Aralık 2018, <https://textilestudycenter.com/cry-str-fiber/>.
- Sülar, V., Öner, E., Devrim, G., Aslan, M. ve Eser, B. (2016) A Comparative study on performance properties of yarns and knitted fabrics made of biodegradable and conventional fibers, *Fibers and Polymers*, 17(12), 2085-2093.
- Tensile test machines*, (b.t.). 21 Mayıs 2015, <https://www.tts-ltd.co.uk/instron-4411>.
- Textile testing and control equipment*, (b.t.). 21 Mayıs 2015, <https://www.ptj.com.pk/Web-2010/11-10/Textile-Testing-James-Heal.htm>.
- Tomsic, B., Klemencic, D., Simoncic, B. ve Orel, B. (2011). Influence of antimicrobial finishes on the biodeterioration of cotton and cotton/polyester fabrics: leaching versus biobarrier formation. *Polymer Degradation and Stability*, 96(7), 1286-1296.
- Tomsic, B., Simoncic, B., Orel, B., Vilcnik, A. ve Spreizer, H. (2007). Biodegradability of cellulose fabric modified by imidazolidinone. *Carbohydrate Polymers*, 69(3), 478-488.
- TÜİK (2016). Çevre istatistikleri [27964695-622.03-E.26892].

- Unique features of Birla modal, (b.t.). 10 Mart 2019, <http://www.technotex.gov.in/Birla%20Modal.pdf>.
- Uygur, A. (2017). The future of organic fibers. *European Journal of Sustainable Development Research*, 2(1), 165-166.
- Vandermeulen, S. (2018). *Poly or cotton. which is better for the environment?*. 28 Ağustos 2019, <https://sjccoutureshop.com/blogs/news/poly-or-cotton-which-is-better-for-the-environment>.
- Vroman, I. ve Tighzert, L. (2009). Biodegradable polymers. *Materials*, 2(2), 307-344.
- Wang, X., Liu, X. ve Hurren, C. (2008). Physical and mechanical testing of textiles. J. Hu, (Ed.), *Fabric testing içinde* (103). Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Wangxi, Z., Jie, L. ve Gang, W. (2003). Evolution of structure and properties of PAN precursors during their conversion to carbon fibers. *Carbon*, 41(14), 2805-2812.
- Warnock, M., Davis, K., Wolf, D. ve Gbur, E. (2011). Soil Burial Effects on Biodegradation and Properties of Three Cellulosic Fabrics. *AATCC Review*, 11(1), 53-57.
- What is sustainability?, (b.t.). 19 Kasım 2016, www.sustainabilitydegrees.com/what-is-sustainability/.
- White, P. A. ve Firgo, H. (2013). Lyocell processes and products. V. I. Popa, (Ed.), *Pulp production and processing: from papermaking to high-tech products içinde* (330). Shawbury: Smithers Rapra Technology Ltd.
- With conscience, (b.t.). 28 Ağustos 2019, <https://textilebeat.com/with-conscience/>.
- Yaacob, N.D., Ismail, H. ve Ting, S. S. (2016). Soil Burial of Polylactic acid/paddy straw powder biocomposite. *Bioresources*, 1,(11) 1255-1269.
- Yao, B., Li, Y., Hu, J. Y., Kwok, Y. ve Yeung, K. (2006). An improved test method for characterizing the dynamic liquid moisture transfer in porous polymeric materials. *Polymer Testing*, 25(5), 677.

Yeşil ve sürdürülebilir ekonomi, (b.t.). 30 Ekim 2016, <http://www.iktisadi.org/yesil-ekonomi-ve-surdurulebilir-kalkinma.html>.

Yaşam döngüsü analizi (LCA), (b.t.). 12 Mart 2015, <http://www.yasamdongusuraporu.com/?gclid=COiLpOrdhdACFVIW0wodM3cA4A>.

Yaşam döngüsü değerlendirmesi ydd, (b.t.). 12 Mart 2015, <http://www.butekom.org/Data/SayfaEk/4db1810c-1847-4b7daf451cc747d7ec11.pdf>.

Zupin, Z. ve Dimitrovski, K. (2010). Mechanical properties of fabrics from cotton and biodegradable yarns bamboo, spf, pla in weft. A. Macar, (Ed.), *Woven fabric engineering*, içinde (25-28). Wilmington: Scitus Academics LLC.