

**KİTOSANIN KOMPOST ORTAMINDA DEGRADASYONUNUN
İNCELENMESİ**

**INVESTIGATION OF DEGRADATION OF CHITOSAN UNDER
COMPOSTING ENVIRONMENT**

EMİNE ALTUN

PROF. DR. HÜLYA YAVUZ ERSAN

Tez Danışmanı

PROF. DR. TÜLİN KUTSAL

Eş Danışman

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Biyomühendislik Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2016

EMİNE ALTUN' un hazırladığı "**Kitosanın Kompost Ortamında Degredasyonunun İncelenmesi**" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **BIYOMÜHENDİSLİK ANABİLİM DALI'** nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Hülya Yavuz Ersan

Danışman

.....

Prof. Dr. Emine Bayraktar

Başkan

.....

Yrd. Doç. Dr. Eda Çelik Akdur

Üye

.....

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Fatma SEVİN DÜZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Ailem'e

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

08/01/2016

EMİNE ALTUN

ÖZET

KİTOSANIN KOMPOST ORTAMINDA DEĞREDASYONUNUN İNCELENMESİ

Emine ALTUN

Yüksek Lisans, Biyomühendislik Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hülya YAVUZ ERSAN

Eş Danışman: Prof. Dr. Tülin KUTSAL

Ocak 2016, 61 Sayfa

Her geçen gün hızla artan nüfus, gelişen teknoloji ve değişen yaşam standardına paralel olarak oluşan atıkların hem içeriği değişmekte hem de miktarı hızla artmakta olup bunun önemli bir kısmını plastikler oluşturmaktadır. Plastikler, petrokimyasal kaynaklı sentetik polimerler olup dayanıklılık özelliklerinin yüksek olması ve ucuz maliyete sahip olmaları nedeniyle çok çeşitli ürünlerin oluşturulmasında üreticiler tarafından tercih edilmektedir. Doğaya bırakıldıklarında biyolojik olarak parçalanamamaları nedeniyle uzun yıllar yapılarını koruması hem çevre kirliliğine neden olmakta hem de buldukları ortamlardaki canlılığı tehdit etmekte olup kullanım alanlarının sınırlandırılması gerekmektedir. Bu yüzden doğada bozunabilen ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilen polimerler son yıllarda uygulamalarda daha çok tercih edilmekte olup kullanımları sonrası oluşan atıkların çevreye, toplum sağlığına ve ekonomiye uygun şekilde bertaraf edilmeleri konusu önemli hale gelmiştir. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de atıkların bertarafında yaygın olarak kullanılan düzenli depolama alanlarında bertaraf (landfill) yöntemine

önemli kısıtlamalar getirilmiştir. Bu kısıtlamaların başında atıkların depolanmasına dair yönetmelikte (26.03.2010) düzenli depolama tesislerinde bertaraf edilecek biyobozunur atık miktarının azaltılması gerekliliği gelmektedir.

Kompostlaştırma yöntemi, organik atıkların mikroorganizmaların aktiviteleri sonucu kontrollü olarak parçalanması işlemi olup biyobozunur atıkların bertarafında kullanılabilecek en uygun yöntemdir. Bu durum özellikle biyobozunur atık miktarı yüksek olan ülkemizde kompostlaştırma yönteminin önemini açıkça ortaya koymakta olup hazırlanma süreci devam eden “Biyobozunur Atık Yönetimi Yönetmeliği Taslağı” de bunu desteklemektedir. Başta kitosan olmak üzere çeşitli polimerler sahip oldukları üstün özellikler nedeniyle gıda endüstrisi, tarım, ilaç sanayisi gibi farklı sanayi kollarında uygulama alanı bulmaktadır. Toksik özellikte olmaması ve sahip olduğu polikatyonik özellik nedeniyle özellikle gıda endüstrisinde yiyeceklerin ambalajlanmasında gıdaların raf ömrünü uzatmak ve yapılarında bozunma meydana gelmeden korunmalarını sağlamak amacıyla film formunda kullanılmaktadır. Bu nedenle, kitosan ya da kitosan kompozit filmlerinin üretimine yönelik çalışmalar önem kazanmış olup bu amaçla yapılan çalışmaların sayısında görülen artış bunu desteklemektedir. Dolayısıyla, katı atıklar içerisindeki paylarını hızlı ve önemli miktarda arttıracak olan kitosan ve kitosan bazlı filmlerin doğaya geri kazandırılmaları sorunu hızla büyüyecektir. Mevcut literatürde kitosan ve benzeri polimerlerin kompost ortamındaki bozunma mekanizmalarına ait yeterli veri bulunmamaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında, kitosan filmlerin kontrollü kompost ortamındaki biyobozunma davranışı hem ASTM D 5338 hem de ISO 14855:1, 2013 standartlarına göre incelenmiştir. Kitosan filmleri, plastikleştirici olarak gliserol, çözücü olarak ise asetik asit kullanılarak çözücü uzaklaştırma yönteminden yararlanılarak elde edilmiştir. Elde edilen kitosan filmlerin karakterizasyon analizleri için FTIR, TGA ve DSC yöntemleri kullanılmıştır. Kitosan filmlerinin SEM görüntüleri incelendiğinde filmlerin homojen, düzenli ve pürüzsüz bir yapı sergilediği gözlenmiştir. Kitosan filmlerin antimikrobiyal özelliğinin belirlenmesi amacıyla agar difüzyon yönteminden yararlanılmıştır. Test organizmaları olarak gram-negatif bakteri olan *E. coli* türü, gram-pozitif bakteri olan *B. subtilis* türü kullanılmıştır. Elde edilen kitosan filmlerin antimikrobiyal özellik gösterdiğini hem FTIR analizi sonuçlarında kitosan filmlerin antimikrobiyal özelliği ile ilişkilendirilen 1405 cm^{-1} de

absorbsiyon bandına sahip olması hem de nötralize edilen filmlerin agar difüzyon testi sonuçları kanıtlamaktadır. Kitosan filmlerin kompost ortamında biyobozunmaya uğradığının kanıtı olarak karbondioksit oluşumu ile reaktörlerden alınan film örneklerinin optik ve SEM görüntüleri gösterilebilir. Elde edilen kitosan filmlerin kompost ortamında biyobozunma oranının 30 gün sonunda %31-%35 aralığında olduğu görülmüştür. Literatürde yer alan çalışmalar ile karşılaştırıldığında bu çalışmada kullanılan kitosan filmlerin ilk iki günde gözlenen yüksek bozunma hızlarına rağmen biyobozunma yüzdelerinin daha düşük olduğu görülmüştür. Kitosanın kompost ortamında bozunma mekanizması tam olarak bilinmemekle birlikte biyobozunma oranında görülen düşüşün, filmlerin elde edilme yöntemi, filmlerde yer alan gliserol miktarı, gliserolün kompost ortamına ekstrakte olma hızı ve süresi ile beraber kitosan filmlerin antimikrobiyal özelliği ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kitosan, Kompostlaştırma, Biyobozunma

ABSTRACT

INVESTIGATION OF DEGRADATION OF CHITOSAN UNDER COMPOSTING ENVIRONMENT

Emine Altun

Master of Science, Department of Bioengineering

Supervisor: Prof. Dr. Hülya YAVUZ ERSAN

Co-supervisor: Prof. Dr. Tülin KUTSAL

January 2016, 61 Pages

Due to the increase in population, developments in technology and changes of life standards, plastic production has been rapidly increasing both in variety and amount; which causes various health hazards consequently. Plastics are synthetic polymers derived from petrochemicals that are preferred by manufacturers in order to produce wide range of products for having high durability capacities and being cheaper. Usage of plastics must be limited due to their non-biodegradable characteristic that make them persistent for a long time in nature, to cause environmental pollution and to threat natural life. For this reason production of biodegradable polymers which are made from renewable raw materials come into prominence for applications in recent years. Moreover the removal of waste materials generated during the usage of these polymers considering the community health care and economy become important issue. Similar to all other countries

significant limitations have been brought to landfilling which is the commonly used waste disposal method in our country. One of the primary limitation in the landfill directive (26.03.2010) is the necessity of reducing the amount of biodegradable waste, which will be disposed to landfill sites.

Composting, that is one of the most suitable process that can be preferred for the removal of biodegradable wastes, is the controlled degradation process of the organic wastes by the activity of microorganisms. This reveals the importance of composting, especially in our country which has high amounts of biodegradable waste and the “Regulation on Biodegradable Waste Management” which is under preparation is also support this importance.

Notably chitosan and various other polymers have applications in different industries, such as agriculture, food and pharmaceutical industries, due to their superior properties. Chitosan films as a form of chitosan especially used in food packaging applications in order to extend their shelf life and preserve their structure without any disturbance on account of the non-toxic and polycationic characteristics of chitosan. Thus the number of studies towards characterization and synthesis of chitosan and chitosan based composite films have become more important which is supported by increase in the number of studies on these topics. The problem of recycling of chitosan and chitosan based films back to the nature will grow rapidly due to increase in the ratio of chitosan based materials within solid waste. Unfortunately current studies in literature remain incapable in clarifying the degradation mechanisms of the chitosan and chitosan like polymers in compost environment.

In this study, degradation behavior of chitosan in controlled compost environment was investigated according to both ASTM D 5338 and ISO 14855:1, 2013 standard test methods. Chitosan films were obtained by solvent casting method using glycerol as a plasticizer and acetic acid as a solvent. Characterization analysis of chitosan films were determined by using FTIR, TGA and DSC methods. SEM micrographs of chitosan films showed that surface of films are homogenous, smooth and neat.

Agar diffusion method was performed to determine antimicrobial properties of chitosan films. As a test organism gram-negative bacterium *E. coli* and gram-positive bacterium *B. subtilis* were used. Obtained chitosan films exhibit antimicrobial activity as confirmed by both FTIR results which includes an absorption band at 1405 cm^{-1} , that has been related to the antimicrobial properties of chitosan

films and agar diffusion test results of neutralized chitosan films. Carbon dioxide evolution with visual and SEM observations are proofs of the biodegradation of chitosan films in composting environment. Biodegradation amount of chitosan films were 31%-35% at the end of the 30 days in composting environment. In spite of the higher degradation rates of chitosan films used in this study in first two days, it was investigated that the percentages of biodegradation is lower by comparison with previous studies in literature. The degradation mechanism of chitosan in composting environment is not well understood yet, but the decrease in the amount of biodegradation is associated with the synthesis method of chitosan films, the amount of glycerol in films, the rate and time of extraction of glycerol from composting environment, the antimicrobial property of films.

Keywords: Chitosan, Composting, Biodegradation

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca yapmış olduğu eleştirilerle yol gösteren ve beni her koşulda destekleyip güven veren, pozitif enerjisiyle yanımda olan tez danışmanım sayın Prof. Dr. Hülya YAVUZ ERSAN' a,

Yapmış olduğu yönlendirmeleri ile tez çalışma konumun oluşmasında katkıda bulunan eş danışmanım sayın Prof. Dr. Tülin KUTSAL' a

Çalışmalarım sırasında değerli yardımlarını esirgemeyen ve laboratuvar imkanlarından yararlanmama izin veren sayın Yrd. Doç Dr. Eda ÇELİK AKDUR'A, 114Y559 numaralı 1001 projesi kapsamında tez çalışmalarımı maddi yönden destekledikleri ve bu projeden vermiş oldukları burs desteği için TÜBİTAK'a,

Tanıştığım zamandan beri, gerek tez çalışmalarım aşamasında gerekse tez yazım sürecimde yanımda olup destek veren, birlikte güzel ve keyifli anlar paylaştığım arkadaşlarım Gökçe Erdem'e, Zehra Tatlı Yıldırım'a, İlkay Koçer'e; yardımlarını esirgemeyen Dr. Özge Yüksel Orhan'a,

Hayatımın her anında yanımda olan ve arkadaşlıkları ile beni yalnız bırakmayan Memduha Akyol'a, Zeynep Harmandar'a ve Gizem Aydın'a,

Her türlü zorluğa rağmen beni destekleyen, bugünlere getiren, her zaman arkamda olduklarını hissettiren, varlıkları ile bana güç veren, değerli annem, abilerim ve babama, verdikleri karşılıksız emek ve sevgi için,

SONSUZ TEŞEKKÜRLER...

Emine ALTUN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1. Katı Atıklar.....	4
2.1.1. Katı Atıkların Sınıflandırılması	4
2.1.2. Katı Atık Yönetimi.....	5
2.1.3. Katı Atıkların Bertaraf Yöntemleri.....	6
2.1.3.1. Düzenli Depolama.....	7
2.1.3.2. Yakma.....	7
2.1.3.3. Piroliz.....	7
2.1.3.4. Geri Kazanım.....	7
2.1.3.5. Kompostlaştırma.....	8
2.2. Kompostlaştırma.....	8
2.2.1. Kompostlaştırma Evreleri.....	9
2.2.1.1. Mezofilik Evre.....	9
2.2.1.2. Termofilik Evre.....	9
2.2.1.3. Soğuma Evresi.....	10
2.2.1.4. Olgunlaşma Evresi.....	10
2.2.2. Kompostlaştırmada Etkili Olan Parametreler.....	11
2.2.2.1. Oksijen ve Havalandırma.....	11
2.2.2.2. Karbon(C), Azot(N) ve C/N Oranı.....	11
2.2.2.3. Sıcaklık.....	11
2.2.2.4. Nem İçeriği.....	12
2.2.2.5. Hidrojen İyonu Konsantrasyonu (pH).....	12
2.2.2.6. Partikül Büyüklüğü.....	12
2.2.2.7. Mikroorganizmalar.....	12
2.2.2.7.1. Bakteriler.....	13
2.2.2.7.2. Funguslar.....	13

2.2.2.7.3. Aktinomisetler.....	13
2.3. Biyobozunur Polimerler.....	14
2.3.1. Film Üretme Teknikleri.....	14
2.3.2. Kitosan.....	14
2.3.2.1. Kimyasal Yapısı ve Özellikleri.....	14
2.3.2.2. Kitosanın Antimikrobiyal Özelliği.....	16
2.4. Polimerlerin Bozunma Şekilleri.....	18
2.4.1. Mekanik Bozunma.....	18
2.4.2. Fiziksel Bozunma.....	18
2.4.3. Kimyasal Bozunma.....	18
2.4.3.1. Isıl Bozunma.....	19
2.4.3.2. Foto Bozunma.....	19
2.4.3.3. Termo Oksidatif Bozunma.....	19
2.4.3.4. Biyobozunma	19
2.5. Biyobozunma.....	19
2.5.1. Biyobozunma İçin Gerekli Unsurlar.....	19
2.5.2. Biyobozunma Basamakları.....	20
2.6. Kitosanın Enzimatik Olarak Biyobozunması.....	21
2.7. Kitosanın Kompost Ortamında Biyobozunurluğunun İncelenmesi İle İlgili Çalışmalar.....	22
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	24
3.1. Kullanılan Malzemeler.....	24
3.2. Kompost Reaktörlerinin Hazırlanması.....	24
3.3. Film Üretimi.....	25
3.3.1. Kitosan Film Çözeltilerinin Hazırlanması.....	25
3.3.2. Kitosan Filmlerinin Hazırlanması.....	25
3.3.2. Kitosan Filmlerin Karakterizasyonu.....	26
3.3.2.1. Fourier Transform Infrared (FTIR) Spektroskopisi.....	26
3.3.2.2. Termogravimetrik Analiz (TGA) Çalışmaları.....	26
3.3.2.3. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC).....	26
3.3.2.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	26
3.3.4. Kitosan Filmlerin Antimikrobiyal Özelliğinin İncelenmesi.....	27
3.4. Kitosanın Kompost Ortamında Biyobozunurluğunun İncelenmesi.....	28
3.4.1. CO ₂ ve O ₂ Analizi.....	28

3.4.2. pH ve Sıcaklık Analizi.....	28
3.4.3. Nem Analizi.....	29
3.4.4. Toplam Organik Karbon Miktarı (TOK) Tayini.....	29
4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR.....	30
4.1. Kitosan Filmlerin Elde Edilmesi.....	30
4.2. Kitosan Filmlerin Karakterizasyonu.....	30
4.2.1. FTIR Spektroskopisi.....	30
4.2.2. Kitosan Filmlerin Deasetilsyon Derecelerinin Belirlenmesi.....	32
4.2.3. TGA Çalışmaları.....	32
4.2.4. DSC Çalışmaları.....	33
4.2.5. SEM Görüntüleri.....	34
4.3. Kitosan Filmlerin Antimikrobiyal Özelliğinin İncelenmesi.....	35
4.4. Kitosan Filmlerin Kompost Ortamında Biyobozunurluğunun İncelenmesi.....	37
4.4.1. CO ₂ Analizi ve Biyobozunma Yüzdesi.....	38
4.4.2. O ₂ Analizi.....	40
4.4.3. pH Analizi.....	41
4.4.4. Sıcaklık Analizi.....	42
4.4.5. Nem Analizi.....	43
4.4.6. Toplam Organik Karbon Miktarı (TOK) Tayini.....	43
4.5. Kompostlaştırma Sonrası Kitosan Film Karakterizasyonu.....	43
4.5.1. Optik Fotoğraf ve SEM Görüntüleri.....	43
4.5.2. FTIR Spektroskopisi.....	46
4.5.3. TGA Çalışmaları.....	47
4.5.4. DSC Çalışmaları.....	47
5. SONUÇLAR.....	49
KAYNAKLAR.....	53
EKLER.....	60
ÖZGEÇMİŞ.....	61

1. GİRİŞ

Günümüzde ekonomik büyüme ile beraber hızla artmakta olan nüfus, gelişen teknoloji ile değişen yaşam standartları, sanayileşme ve kentleşme oranlarında gözlenen artışla birlikte oluşturulan katı atıkların hem kompozisyonu çeşitlenmekte hem de miktarları artmaktadır. Günümüzde polimerlerin çok büyük bir bölümü petrol kaynaklı olup düşük maliyete sahip olmaları ve dayanıklılık özellikleri nedeniyle çok çeşitli uygulama alanlarında kullanılmakta olup biyobozunur özellikte olmamaları nedeniyle doğaya bırakıldıklarında yalnız toprak kirlenmesine neden olmakla kalmayıp, hava, yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının kirlenmesine de neden olmaktadır. Bu nedenle yenilenebilir kaynaklı biyobozunur özellik gösteren polimerlerin çeşitli uygulamalara yönelik olarak kullanımları yaygınlaşmış olup bu durum katı atıklar içerisindeki paylarını arttırmaktadır. Bu yüzden uygun bertaraf yöntemi kullanılarak doğaya geri kazandırılmaları çevreye, toplum sağlığına ve ekonomiye olan olumsuz etkilerini ortadan kaldıracaktır.

Katı atıklardaki bu artış, çevre kirliliğinin önemli bir sebebi olmasının yanı sıra, insan sağlığı açısından risk oluşturan çeşitli hastalıkların bulaşmasına da yol açmaktadır [1]. Atık yönetiminin temel amacı, oluşturulan atıkların bertaraf edilmesinde çevreye, toplum sağlığına ve ekonomiye olan etkilerinin en aza indirilmesidir.

Katı atıkların bertaraf edilmesinde kullanılan başlıca yöntemler; yakma, düzenli depolama ve geri kazanımdır. Yakma yöntemi, daha çok ısı değeri yüksek olan atıklar için bir değerlendirme yöntemi olup atıkların hacimce yaklaşık olarak %90, ağırlık olarak ise %70 oranında azalmasını sağlamaktadır [2].

Düzenli depolama yöntemi, ekonomik olması ve uygulanabilirliğinin basit olması nedeniyle yaygın olarak kullanılan atık bertaraf yöntemidir [1]. Ancak uygun arazilerin bulunmadığı ve sağlıklı depolama sonucu sıvı-gaz sızıntılarının kontrol edilemediği durumlarda çeşitli çevresel sorunlar ile hastalık etkenleri ortaya çıkmaktadır.

Geri kazanım yöntemi, atıkların başka ürünlere veya enerjiye çevrilmesini sağlayarak toplam atık miktarını azaltan, tekrar kullanımlarını sağlayarak ekonomiye geri kazandıran, kazançlı bir yöntemdir. Özellikle Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerin oluşturdukları katı atık miktarı göz önüne alındığında, atıkların bertaraf

edilmesinde uygulanacak olan en uygun yöntem geri kazanım olup; hem ülke ekonomisinin hem de gelişmişlik düzeyinin artmasına katkı sağlamaktadır.

Ülkemizde oluşturulan katı atık miktarı 26 milyon tona ulaşmakta olup [3], bunun önemli bir kısmını biyobozunur organik atıklar oluşturmaktadır. Bu yüksek organik atık içeriği nedeniyle ülkemizde uygulanabilecek en uygun yöntem kompostlaştırmadır [4, 5]. Kompostlaştırma diğer yöntemler ile karşılaştırıldığında, çevre dostu olup ekonomik olarak uygunluğu sebebiyle dünya çapında önemi artan bir yöntemdir [6, 7].

Kompostlaştırma sürecinde organik katı atıkların bozunması oksijenli (aerobik) ya da oksijensiz (anaerobik) olarak gerçekleştirilebilmektedir. Uygulamada yaygın olarak oksijenli kompostlaştırma tercih edilmektedir. Kompostlaştırma prosesi, birbirini takip eden, sırasıyla mezofilik, termofilik, soğuma ve olgunlaşma evrelerinden meydana gelmektedir [8] ve bu evrelerin belirlenmesini sağlayan etken sıcaklık değişimidir [9]. Her bir evrede yer alan baskın mikrobiyal grup farklılık göstermektedir [10, 11].

Kitosan, doğada selülozdan sonra en çok bulunan polisakkarit olan kitinin, belirli oranlarda deasetile formunda bir biyopolimerdir. Doğada kitin deniz omurgalıların iskeletlerinde, böceklerin dış iskeletlerinde, bazı alglerde ve fungusların hücre duvarlarının bir bileşeni olarak bulunmaktadır [12, 13]. Kitosan toksik özellikte olmaması, biyobozunur ve antimikrobiyal özellikte olması sebebiyle gıda endüstrisi, ilaç sanayi, kozmetik endüstrisi, atık su arıtımı, biyoteknoloji gibi çeşitli alanlarda farklı formlarda ve içeriklerde kullanılmaktadır [13-15]. Kitosan, antimikrobiyal etkisini bakteriler ve funguslar üzerinde farklı düzeylerde göstermektedir [15]. Kitosanın antimikrobiyal özelliğinin etkinlik derecesi mikroorganizmanın türüne, kitosanın moleküler ağırlığına ve konsantrasyonuna, kitosanın fiziksel durumuna ve çevre koşullarına bağlı olarak değişmektedir [16]. Kitosan gibi çeşitli biyobozunur polimerlerin, sahip oldukları üstün özellikler nedeniyle çok sayıda uygulama alanı bulması ve oluşturulan atık miktarının artması sebebiyle, uygun atık bertaraf yönteminin kullanılması gerekmektedir. Biyobozunur polimerlerden elde edilen plastikler ile diğer kağıt, gıda ürünleri ve bahçe atıkları gibi biyo-atıkların bertaraf edilmesinde düzenli depolama yöntemi kullanıldığında, anaerobik koşullar altında CH₄ emisyonu gerçekleşmektedir. Bunun yanında düzenli depolama tesislerinde bertaraf edilecek biyobozunur atık miktarına gerek ulusal yönetmelikler (Atıkların

Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, 2010) gerekse uluslararası direktifler (99/31/EC Landfill Directive) sınırlamalar getirmekte olup bu tarz atıklar için kullanılabilir en uygun atık bertaraf yöntemi kompostlaştırmadır [17]. Film formundaki kitosan ya da kitosan kompozit atıklarının kompostlaştırılması, düzenli depolama sahalarına ya da yakmaya gönderilecek olan atık miktarının azaltmasının yanı sıra, bu yöntemler kullanıldığında oluşan gaz emisyonlarını da azaltacaktır [13].

Kitosanın kompost ortamında biyobozunurluğu ile ilgili çalışmalar az sayıda olmakla beraber yapılan çalışmalarda farklı içeriğe sahip film formundaki kitosan örneklerinin kompost ortamında aerobik olarak biyobozunma miktarları incelenmiştir [18, 19]. Farklı gliserol miktarları kullanılarak hazırlanan kitosan filmlerin kompost ortamında biyobozunma yüzdelerinin farklı olduğu gözlenmiştir. Kitosan filmlerin gliserol içerikleri ve antimikrobiyal özelliklerinin bozunmayı doğrudan etkilediği düşünülmekte ancak bu konuda literatürde yeterli veri bulunmamaktadır.

Kitosan filmlerin kompost ortamındaki bozunma mekanizmasının anlaşılmasına katkı sağlamak amacıyla yürütülen bu tez çalışmasında ASTM D 5338 ve ISO 14855:1, 2013 standartlarında belirtilen yöntemler temel alınarak kitosan filmlerin kontrollü kompost ortamındaki biyobozunma süreci incelenmiştir. Bu amaçla kompost reaktörleri çıkışıdaki karbondioksit miktarları tayin edilmiş ve reaktörler içerisindeki nem, sıcaklık, pH gibi parametreler düzenli olarak ölçülmüştür. Kitosan filmler asetik asidin çözücü olarak kullanıldığı, gliserolün plastikleştirici olarak eklendiği çözeltiden “Çözücü Uzaklaştırma Yöntemi” kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen kitosan filmlerin karakterizasyon analizleri için FTIR, TGA ve DSC yöntemleri kullanılmıştır. Kitosan filmlerin antimikrobiyal özelliğinin belirlenmesi amacıyla agar difüzyon yönteminden yararlanılmıştır. Test organizmaları olarak gram-negatif bakteri olan *E. coli* türü, gram-pozitif bakteri olan *B. subtilis* türü kullanılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Katı Atıklar

Katı atık; çeşitli faaliyetler sonucunda meydana gelen, toplum sağlığı ve çevrenin korunması için düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı maddeleri ve arıtma çamurunu ifade etmektedir.

2.1.1. Katı Atıkların Sınıflandırılması

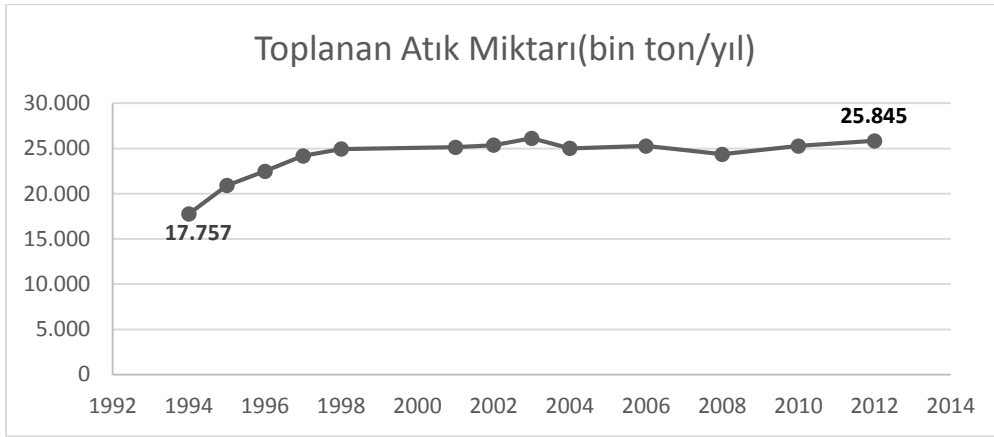
Katı atıklar oluştukları ortama göre evsel, endüstriyel ve ticari atıklar olarak sınıflandırılmakla birlikte atık kaynaklarına ve bileşenlerine göre de çeşitlilik gösterirler (Çizelge 2. 1).

Çizelge 2. 1. Katı Atık Kaynakları [20]

Kaynaklar	Atıkların Üretildiği Yerler	Katı Atık Tipi
Yerleşim yeri atıkları	Küçük ve büyük aileli konutlar, düşük, orta ve yüksek yoğunluklu apartmanlar vb.	Gıda, kâğıt, karton, plastik, tekstil, deri, bahçe, odun, cam, metal ve tehlikeli evsel atıklar
Ticari atıklar	Mağazalar, Ofisler, restoranlar, marketler, oteller, moteller vb.	Kâğıt, karton, plastik, ağaç, cam, metal, özel ve tehlikeli atıklar
Kurumsal atıklar	Okullar, hastaneler, hapishaneler, devlet merkezleri	Kâğıt, karton, plastik, ağaç, cam, metal, özel ve tehlikeli atıklar
Endüstriyel atıklar	İnşaat, fabrikasyon, kimyasal tesisler, güç tesisleri	Endüstriyel süreç atıkları, kauçuk, kül yapım ve yıkım atıkları
İnşaat ve yıkım atıkları	Yeni inşaat alanları, yol yapım çalışmaları vb.	Beton, tahta, toz, çelik, toprak vb.
Tarımsal atıklar	Meyve bahçeleri, üzüm bağları vb.	Gıda atıkları, tarımsal ve tehlikeli atıklar vb.
Arıtım yeri atıkları	Atık sular, endüstriyel arıtım atıkları vb.	Tesislerin uygulama atıkları, atık çamurlar
Belediye hizmet atıkları	Cadde temizliği, çevre düzenleme, parklar, plajlar vb.	Özel atıklar, park ve bahçelerde oluşan atıklar

2.1.2. Katı Atık Yönetimi

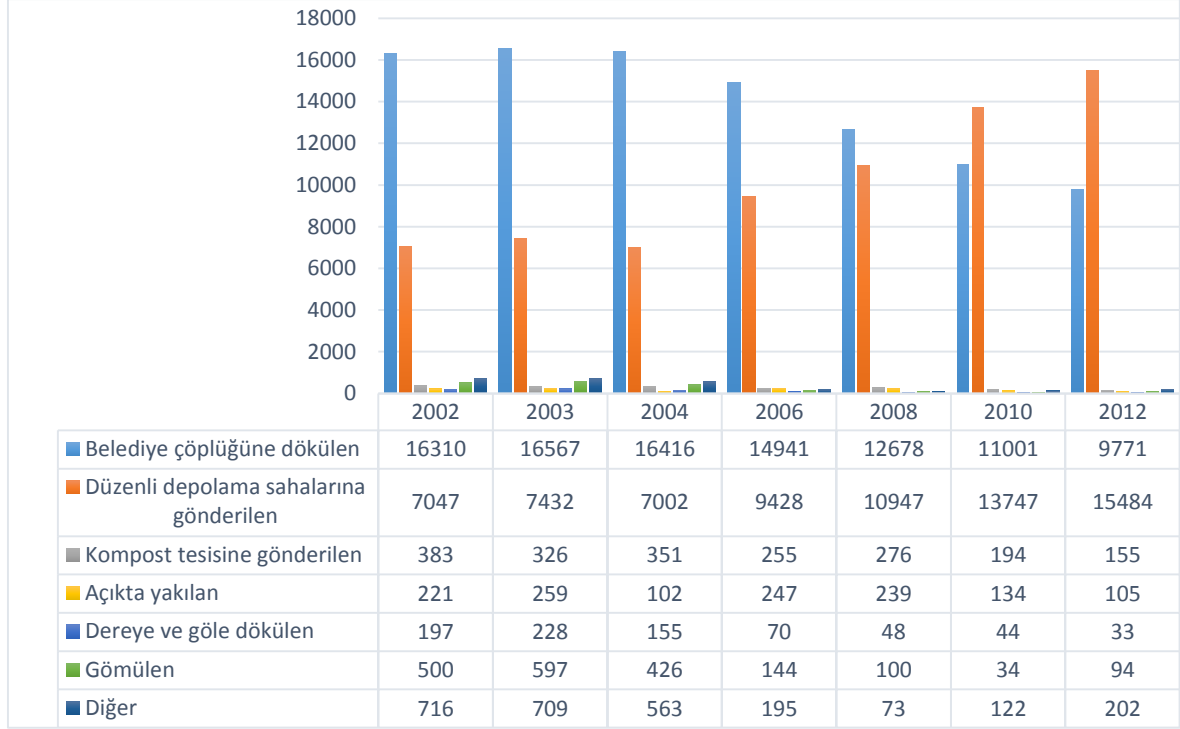
Son yıllarda kentleşme ve sanayileşme oranlarında meydana gelen artış ile beraber ilerleyen teknolojinin yaşam standartlarını değiştirmesi, tüketim alışkanlıklarının değişmesine, oluşturulan katı atıkların hem bileşiminin değişmesine hem de miktarının artmasına neden olmaktadır [1]. Türkiye İstatistik Kurumu 2014 yılı “Belediye Atık Göstergesi” ne göre ülkemizde 1994 yılında toplanan yıllık atık miktarı 17 757 bin ton iken, toplanan atık miktarı 2012 yılında 25 845 bin tona ulaşmıştır (Şekil 2. 1).



Şekil 2. 1. Toplanan Atık Miktarı [21]

Kişi başına düşen atık miktarının artışı, atık bertarafında yetersiz kalındığı durumlarda çevre kirliliği gibi önemli bir sorunun ortaya çıkmasına ve insan sağlığını tehdit eden çeşitli hastalıkların bulaşmasına da yol açmaktadır. Bu nedenle sağlıklı bir entegre atık yönetimi, öncelikli olarak atık oluşumunun kaynakta önlenmesini, üretilen atıkların kaynakta ayrıştırılmasını, geri dönüştürülebilir atıkların ekonomiye tekrar kazandırılmaları için yeniden kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanımı içine alan 3 temel yöntemden uygun olanın kullanımını, geri dönüştürülemeyen atıkların ise çevreye ve insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde uygun depolama alanlarında bertaraf edilmesini amaçlar [22]. Türkiye İstatistik Kurumu “Bertaraf Yöntemlerine Göre Belediye Atık Miktarı” na göre toplanan atıklar belediye çöplüklerine dökülerek, düzenli depolama sahalarına ya da kompost tesislerine gönderilerek, açıkta yakılarak, dereye veya göle dökülerek ve gömülerek bertaraf edilmektedir [23]. Bu göstergede yer alan veriler incelendiğinde 2002 yılında toplanan atık miktarının yaklaşık olarak %64’ü belediye çöplüğüne boşaltılırken bu oran 2012 yılına kadar düşüş göstererek %38’e ulaşmıştır. Buna karşılık düzenli

depolama sahalarına gönderilen atık miktarı 2002 yılında toplanan atığın %28'ini oluştururken bu rakam 2012 yılına kadar artış göstermiş ve %60'a ulaşmıştır. Belediye atık verileri ülkemizde son yıllarda atıkların bertarafında yaygın olarak kullanılan yöntemin "Düzenli Depolama Alanlarında Bertaraf Yöntemi" olduğunu göstermektedir (Şekil 2. 2).



Şekil 2. 2. Bertaraf Yöntemlerine Göre Belediye Atık Miktarları [23]

Ülkemizde üretilen atıkların önemli bir kısmını biyobozunur organik atıklar oluşturmaktadır. Ancak bu atıkların düzenli depolama sahalarında bertaraf edilmesine hem ulusal yönetmeliklerin (Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik,2010) hem de uluslararası direktiflerin (99/31/EC Landfill Directive) sınırlamalar getirmiştir. Bu nedenle bu tarz atıklar için yeniden kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanım yöntemlerinden uygun olanının seçilerek bertaraf edilmesi hem ülke ekonomisine hem de ülke gelişmişlik düzeyinin artmasına katkı sağlayacaktır.

2.1.3. Katı Atıkların Bertaraf Yöntemleri

Katı atıkların bertaraf edilmesinde kullanılan başlıca yöntemler; düzenli depolama, yakma, piroliz, gazlaştırma, geri kazanım ve kompostlaştırmadır. Atıkların bertaraf yönteminin seçilmesi sırasında mevcut atığın içeriği temel alınmaktadır.

2.1.3.1. Düzenli Depolama

Uygun araziler içerisinde atıkların yayılarak sıkıştırılması ve üst kısımlarının toprakla örtülerek bertaraf edilmesi yöntemidir. Diğer atık bertaraf yöntemleri ile karşılaştırıldığında maliyetinin daha düşük olması ve pratik olması nedeniyle uygulamada en çok tercih edilen yöntemlerden birisidir. Ancak depolama yapılacak olan arazilerin kullanımlarının iyi planlanmadığı, depolanacak olan atık hacminin ve miktarının aşıldığı sağlıksız depolamanın yapıldığı durumlarda sıvı-gaz sızıntıları kontrol edilememektedir. Buna bağlı olarak hem çevresel hem de toplum sağlığı açısından tehdit oluşturacak unsurlar ortaya çıkmaktadır. Bu duruma kanıt olarak, bir sera gazı türü olan metan (CH₄) emisyonunun %58'inin atık bertaraf yöntemi (düzenli ve düzensiz depolama) kaynaklı olduğu gösterilebilir [3].

2.1.3.2. Yakma

Katı atıkların özel olarak tasarlanmış fırınların yer aldığı tesislerde oksijen varlığında 800°C-1200°C'lik sıcaklıkta yakılması işlemidir. Atık hacminin azaltılması, diğer bertaraf yöntemleri ile ayrıştırılması mümkün olmayan atıkların imhası ve depolama sıkıntısının yaşandığı bölgelerde daha çok tercih edilen bir yöntemdir. Yüksek maliyet gerektirmesi ve organik içerik bakımından zengin olan evsel veya endüstriyel atıkların yakılması sırasında havaya toksik bileşikler yayılması nedeni ile uygulama alanı sınırlıdır [2].

2.1.3.3. Piroliz

Atıkların oksijensiz ortamda 500°C-1000°C'lik sıcaklıkta ısıtılması ile gerçekleşen parçalanma işlemidir. Piroliz işlemi sonucunda katran, gazlar, organik bileşikler, su ve odun kömürü gibi ürünler ortaya çıkmaktadır.

2.1.3.4. Gazlaştırma

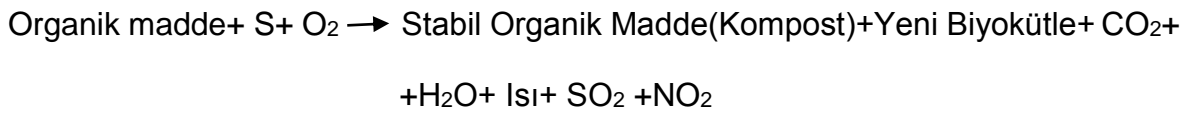
Tarım atıkları, gıda işleme sonrası oluşan atıklar, orman ürünleri ve atıkları gibi çeşitli biyokütle kaynaklarının yüksek sıcaklıkta bozunması ile yanabilir gaz elde etmek amacıyla yapılan atık bertaraf yöntemidir [24].

2.1.3.5. Geri Kazanım

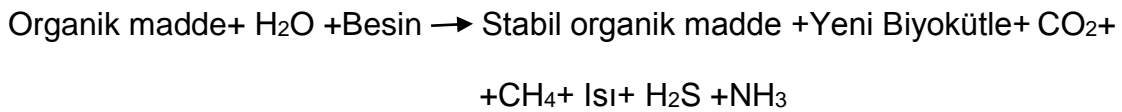
Geri kazanım, kullanım ömrü dolmuş olan atıkların çeşitli yöntemlerle başka ürünlere ya da enerjiye çevrilmesini sağlayarak atığın geri kazandırılması işlemidir [25]. Dolayısıyla geri kazanım yöntemi atıkların tekrar kullanım ve geri dönüşümlerini sağlayarak hem ekonomiye katkıda bulunması hem de çevreye uygun ürünlerin oluşumunu sağlaması nedeniyle kazançlı bir yöntemdir.

2.1.3.6. Kompostlaştırma

Kompostlaştırma; kontrollü koşullar altında organik atıkların mikroorganizmalar tarafından humus benzeri bir ürün olan komposta biyolojik parçalanması ve dönüştürülmesi işlemidir [26]. Kompostlaştırma ortamda oksijenin bulunma durumuna bağlı olarak aerobik ya da anaerobik olarak gerçekleşir. Aerobik kompostlaştırma ortamda oksijenin bulunduğu koşullarda organik atıkların mikroorganizmalar tarafından CO₂, H₂O'ya kadar parçalanarak, kararlı organik ürün olan kompost oluşumu ve ısının ortaya çıkması ile karakterize olan bir işlemdir. Aerobik kompostlaştırmada gerçekleşen tepkime [27];



Anaerobik kompostlaştırma ise ortamda oksijenin bulunmadığı koşullar altında organik atıkların biyolojik olarak CH₄, CO₂ ve organik asitler gibi son ürünlere dönüştürülmesi işlemidir. Anaerobik kompostlaştırma sırasında gerçekleşen tepkime [27];



Anaerobik koşullar altında bozunma hızının yavaş olması ve son ürünlerin koku oluşumuna sebep olması nedeniyle uygulamada yaygın olarak aerobik kompostlaştırma tercih edilmektedir.

2.2. Kompostlaştırma

Kompostlaştırma; oksijen, sıcaklık, nem, karbon/azot oranı gibi parametrelerin kontrol edildiği ortamlarda, çeşitli mikroorganizma grupları tarafından organik atıkların biyolojik olarak oksidasyona uğratılmaları işlemidir [28].

Kompostlaştırma sürecinde ilk olarak kolay ayrıştırılabilen organik materyallerin parçalanması gerçekleşmektedir. Sonraki basamakta ise daha zor ayrıştırılabilen bu nedenle de ayrışma hızı yavaş olan organik moleküllerin minerilizasyonu, en son adım olarak ise kararlı organik madde olarak ifade edilen kompostun humuslaşma işlemi gerçekleşir [28, 29].

Son ürün olarak ortaya çıkan kompost, toprağın su ve besin tutma kapasitesini arttırması nedeniyle toprağın mineral dengesinin korunmasını sağlayarak toprak

verimini yükseltmek amacıyla bahçe, tarım ve çevre düzenlemelerinde kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra kompost ilavesi ile çeşitli tarım ürünlerinin yetiştiği ortamlarda patojen olarak bulunan organizmaların üremesinin engellenmesi ve toprak kaynaklı bitki hastalıklarının biyolojik kontrolünün yapılması sağlanmaktadır [30, 31]. Kompost ilavesi ile toprak patojenlerinin üremesinin engellenmesine örnek olarak bitkilerin köklerini çürüten ya da onların solmasına neden olan patojen fungal bir tür olan *Fusarium* verilebilir [32]. Kompostun patojenlerin üzerine etkisini gösterme mekanizması kesin olarak kanıtlanmamış olmakla birlikte kompost ortamında bulunan yararlı mikroorganizmalar tarafından üretilen antibiyotiklerin etkili olduğu düşünülmektedir [30].

Dolayısıyla kompostlaştırma, doğaya uygun şekilde atıkların geri kazandırılmasını, hem kompostlaştırma işlemi sırasında yüksek sıcaklık nedeniyle patojen organizmaların bertaraf edilmesini hem de kompostlaştırma sonrasında son ürün olarak oluşturulan kompostun farklı uygulama alanlarında toprak verimini artırıcı olarak kullanılması nedeniyle organik atıkların bertarafında yaygın olarak kullanılması gereken bir yöntemdir.

2.2.1. Kompostlaştırma Evreleri

Kompostlaştırma süreci birbirini takip eden dört evreden, sırasıyla mezofilik evre, termofilik evre, soğuma ya da ikincil mezofilik evre ve olgunlaşma evresinden meydana gelmektedir. Bu evrelerin gerçekleşme süreleri kompostlanacak olan organik atığın içeriğine, ortam sıcaklığına, nem ve oksijen miktarına bağlı olarak değişebilmektedir [33].

2.2.1.1. Mezofilik Evre

Mezofilik evre, sıcaklığın 40°C'ye kadar yükseldiği, enerjice zengin, kolayca parçalanabilen bileşiklerin birincil ayrıştırıcılar olan bakteri, fungus ve aktinomisetlerden oluşan mezofilik mikroorganizmalarca hızlı bir şekilde ayrıştırıldığı başlangıç evresidir ve gerçekleşme süresi birkaç saatten birkaç güne değişmektedir [29, 30, 33].

2.2.1.2. Termofilik Evre

Sıcaklık 40°C'nin üstüne çıktığı zaman mezofilik mikroorganizmaların yerini, aktif hale geçen bakteri ve aktinomisetlerden oluşan termofilik mikroorganizmalar alır. Bu evrede proteinler ve yağların yanı sıra selüloz gibi bileşik yapıları karbonhidratlar parçalanmakla birlikte meydana gelen yüksek sıcaklık nedeniyle insan ve bitki

patojenlerinin ortamdan bertarafı gerçekleşmektedir [29, 30]. Termofilik evrenin süresi bertaraf edilecek olan organik atığın türüne bağlı olarak günlerce, haftalarca hatta aylarca sürebilmektedir. Bertarafı gerçekleştirilecek olan organik atığın içeriği gıda atıklarından oluşuyorsa termofilik evre birkaç hafta, ağaç atıklarından oluşuyorsa bu süre aylar mertebesine uzamaktadır.

2.2.1.3. Soğuma Evresi

İkincil mezofilik evre olarak da adlandırılan soğuma evresi, kompost ortamında bulunan kompleks yapılı besinlerin ulaşılabilirliğinin kısıtlanmasının ardından sıcaklık düşmesi nedeniyle termofilik evreyi takiben gerçekleşir. Bu evrede bakteri ve funguslardan oluşan mezofilik organizmalar tekrar ortamda baskın hale geçer [30].

2.2.1.4. Olgunlaşma Evresi

Kompostlaştırma işleminin son evresi olan olgunlaşma evresi sıcaklığın belirli bir değerde sabitlendiği ve kararlı son ürün olan kompostun oluştuğu evre olup süresi ise birkaç haftadan birkaç aya kadar uzayabilmektedir. Genellikle bu evrede bakteri gruplarının sayısı azalırken fungal grupların sayısında artış görülmektedir [29, 30].

2.2.2. Kompostlaştırmada Etkili Olan Parametreler

Kompostlaştırma işleminde etkili olan birçok parametre bulunmakta olup bu parametrelerin belirlenmiş olan optimum koşullarda tutulması bu sürecin veriminin korunması açısından önem taşımaktadır. Bu parametrelerin başında; oksijen ve havalandırma, karbon/azot oranı, sıcaklık, nem, pH, partikül büyüklüğü ve mikroorganizmalar gelmektedir.

2.2.2.1. Oksijen ve Havalandırma

Aerobik kompostlaştırma süreci oksijenin varlığına bağlı olarak gerçekleşmekte olup mikrobiyal aktivite için ortamda yeteri kadar oksijenin bulunması gerekmektedir. Ortamda yeteri kadar oksijenin bulunmadığı durumlarda anaerobik ortam oluşmakta ve mikrobiyal gruplar farklılaşmaktadır. Anaerobik kompostlaştırmada farklı biyokimyasal reaksiyonların gerçekleşmesi, bozunmanın daha yavaş olmasına ek olarak bozunma süresinin uzun olması ve bozunma sonucu ağır koku oluşumuna neden olan çeşitli ürünler ortaya çıkması nedeniyle ortamda bulunan oksijen seviyesi %6'nın üzerinde tutulmalıdır [34]. Bu seviyenin korunması ve anaerobik ortam koşullarının oluşmasının önüne geçilmesi için ortamın uygun bir sistem yardımıyla havalandırılması gerekmektedir [35]. Havalandırma düzeyi çok az

olduğunda bozunma yavaşlamakta, çok fazla olduğu durumlarda ise ortam kurumaktadır. Spence ve arkadaşları [36] ile Way ve arkadaşlarının [37] yaptıkları çalışmalarda reaktörleri alt kısımdan havalandırma yöntemini uyguladıklarında nem dengesizliğinin azaldığını ve ortam kurummasının önlendiğini belirtmişlerdir.

2.2.2.2. Karbon(C), Azot(N) ve C/N Oranı

Mikrobiyal aktivite için gerekli olan elementlerin başında karbon(C) ve azot(N) gelmektedir. Karbon mikroorganizmalar için temel enerji kaynağı iken azot ise hücre büyümesi ve fonksiyonu için gerekli olan enzimlerin, proteinlerin yapı taşı olan aminoasitlerin temel bileşeni olması nedeniyle büyüme faktörü olarak ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle aktif bir kompostlaştırma süreci için gerekli olan optimum C/N oranı aralığı 20:1-40:1'dir. C/N oranı 20:1 değerinin altında olduğunda ortamda fazla miktarda azot bulunmakta, bu durumda ise amonyak gazı oluşmakta ve istenmeyen kokuların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. C/N oranı 40:1 değerinin üzerinde olduğunda ise ortamda yeteri kadar azot olmadığı için mikrobiyal büyüme ile birlikte bozunma hızı yavaşlamaktadır. Bu nedenle teorik olarak optimum C/N oranı 30:1 olarak kabul edilmektedir [33, 34].

2.2.2.3. Sıcaklık

Kompost ortamında proteinlerin, yağların ve bileşik yapıları karbonhidratların bozunmasının büyük bir kısmının termofilik mikroorganizmalar tarafından gerçekleşmesi nedeniyle gerek ASTM gerekse ISO standardı tarafından sıcaklık değerinin 58°C civarında sabit olması önerilmektedir. Sıcaklığın 65°C'nin üzerine çıkması faydalı mikroorganizmaların ölmesine ve bozunma hızının yavaşlamasına neden olmaktadır [34]. Pagga ve arkadaşları [38] yapmış oldukları çalışmada kompost ortamının sıcaklığına bağlı olarak bozunma oranlarını karşılaştırmak için iki yöntem kullanmışlardır. İlk yöntemde, kompost ortamının sıcaklığını ilk gün 35°C'de, sonraki 4 gün 58°C'de, sonraki 28 gün boyunca 50°C'de, kompostlaştırma süresinin sonuna kadar ise 35°C'de tutmuşlardır. Kullanmış oldukları ikinci yöntemde ise 58°C'de sıcaklığı sabit olacak şekilde ayarlamışlardır. İki yöntemin kullanımı sonucunda bozunma hızlarının birbirinden farklı olduğu, aynı kompostlaştırma süresi sonucunda sıcaklığın sabit tutulduğu ikinci yöntemde bozunma oranı %93 iken birinci yöntemde bu oranın %88 olduğu gözlenmiştir.

2.2.2.4. Nem İçeriği

Kompost ortamında mikrobiyal bozunma organik materyal üzerindeki ince film tabakasında gerçekleşmektedir. Ortamın nem içeriği %30'un altına düştüğünde mikrobiyal faaliyet durmakta ve bozunma yavaşlamaktadır. Bu oran %65'in üzerine çıktığında ise hava boşlukları su ile yer değiştirdiğinden dolayı hava hareketi sınırlanmakta ve anaerobik ortam oluşumuna neden olmaktadır. Anaerobik ortam ise istenmeyen koku oluşumuna ve ayrışma hızında yavaşlamaya yol açmaktadır [33, 34].

2.2.2.5. Hidrojen İyonu Konsantrasyonu (pH)

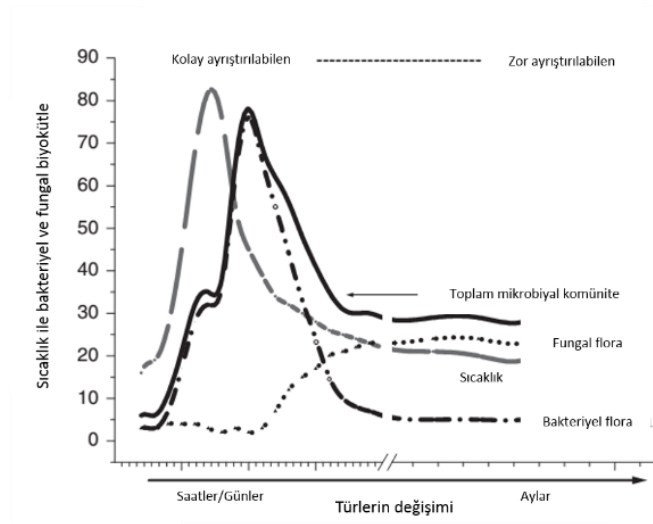
Kompostlaştırma işleminin sırasında biyobozunmanın gerçekleşmesinin sonucu olarak pH yükselmektedir. İşlemin başlangıcında ise karboksilik asit gibi çeşitli organik asitlerin oluşmasına bağlı olarak pH değerlerinde hafif de olsa düşüş görülebilmektedir. Kompost ortamında pH değerlerinin 7.0'ın çok altına düşmesi durumunda kompost asidifikasyonuna bağlı olarak mikroorganizmalar yok olmakta ve biyobozunma durmaktadır [34].

2.2.2.6. Partikül Büyüklüğü

İçeriği ne olursa olsun filmlerin kompost ortamında bozunması yüzey aşınmasına bağlı olarak gerçekleşmektedir. Dolayısıyla yüzey/hacim oranının artması mikrobiyal parçalamasının artmasına neden olmaktadır. Küçük boyutlu parçalar bozunmayı arttırmakla beraber yığının içerisindeki havanın dolaşmasını önlediğinden oksijenin mikroorganizmalarca kullanılmasını engellemekte ve ayrıştırma hızını düşürmektedir [34].

2.2.2.7. Mikroorganizmalar

Kompostlaştırma, kompostlanabilir atıkların uygun koşullar altında mikroorganizmalar tarafından biyolojik olarak parçalanması ile gerçekleşmektedir. Kompostlaştırmada yer alan baskın mikrobiyal grup her bir kompostlaştırma evresinde farklılık göstermektedir (Şekil 2. 3) [29]. Kompostlaştırma sürecinde organik ürünlerin ayrıştırılmasından daha çok bakteriler sorumlu olmakla birlikte ayrıştırma sürecine funguslar ve aktinomisetler de katılmaktadır. Kompostlaştırmada yer alan baskın mikrobiyal grup her bir kompostlaştırma evresinde farklı olmakla birlikte, ayrıştırılacak olan organik atığın içeriğine, ortam sıcaklığına, nem ve oksijen miktarına bağlı olarak da değişebilmektedir [10, 29].



Şekil 2.3. Kompostlaştırma süresince mikrobiyal gruplarda meydana gelen değişim [29]

2.2.2.7.1. Bakteriler

Kompostlaştırma işleminin başlangıcında hidrojeni, sülfürü, azotu oksitleyerek kullanan bakterilerin içinde yer aldığı mezofilik bakteriler baskın mikrobiyal grup olarak ortamda yer alır. Mezofilik bakterilere örnek olarak gram-negatif bakterilerden *Escherichia*, *Klebsiella*, *Aeromonas* ve *Alcaligenes* türleri, gram-pozitif türlerden ise *Enterococcus* ve *Bacillus* türleri verilebilir [30].

2.2.2.7.2. Funguslar

Kompostlaştırma sürecinde bileşik yapıları organik ürünlerin parçalanmasında yer alan fungal türler daha çok nemin azaldığı, sıcaklığın yükseldiği termofilik evrede baskın grup olarak bulunurlar. Kompost ortamında yer alabilecek fungal türlere örnek olarak *Thermomyces* spp, *Aspergillus*, *Mucor* ve *Rhizopus* verilebilir [30].

2.2.2.7.3. Aktinomisetler

Bakterilerin yüksek formu olarak tanımlanan filamentöz yapıları aktinomisetler, selüloz, lignin ve kitin gibi çok çeşitli karbon kaynaklarını kullanabilme yetenekleri nedeniyle kompost ortamında önem taşıyan aerobik saprofit organizmalardır. Sıcaklığın yüksek olduğu termofilik evrede bulunan *Thermoactinomyces* ve *Saccharomonospora* spp. gibi türler olduğu gibi, besin miktarının azaldığı kompostlaştırma evrelerinde yer alan aktinomisetler de bulunmaktadır. Bu grupta yer alan aktinomisetler bozunmayı arttırmak için hücre dışı enzimler salgılayarak karbon kaynaklarını kullanırlar [30].

2.3. Biyobozunur Polimerler

Her yıl yaklaşık olarak 140 milyon ton sentetik polimer üretilmektedir. Plastikler, petrokimyasal kaynaklı sentetik polimerler olup dayanıklılık özelliklerinin yüksek olması ve ucuz maliyete sahip olmaları nedeniyle çok çeşitli ürünlerin oluşturulmasında üreticiler tarafından tercih edilmektedirler. Uygulama alanlarının genişliği ile beraber kullanımları sonrası oluşturulan atık miktarı düşünüldüğünde uygun bertaraf yöntemi kullanılmadığında çeşitli çevresel sorunların ortaya çıktığı görülmektedir. Doğaya bırakıldıklarında uzun yıllar yapılarını korumaları çevre kirliliğine neden olmakla birlikte buldukları ortamlardaki canlılığı tehdit etmektedirler. Düzenli depolama ile bertaraf yönteminin bu tür atıklar için uygun olmaması, yakıldıklarında çevreye çeşitli zehirli gazların yayılması ve bu tür atıkların mikroorganizmalar tarafından doğada parçalanamaması [39] kullanım alanlarının sınırlandırılmasını gerektirmektedir. Bu yüzden doğada bozunabilen ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilen polimerler son yıllarda uygulamalarda daha çok tercih edilmektedir. Biyobozunur özellikte olmaları nedeniyle mikrobiyal aktivite sonucu karbondioksit, su ve çeşitli metabolik ara ürünlere kadar parçalanabilmektedirler. [39]. Biyolojik kaynaklı biyobozunur polimerlere örnek olarak nişasta, selüloz, lignin, kitin ve kitosanın içinde yer aldığı polisakkaritler; jelatin ve ipek gibi çeşitli proteinler ile bitkisel ve hayvansal kaynaklı yağlar verilebilir [17, 39].

2.3.1. Film Üretim Yöntemleri

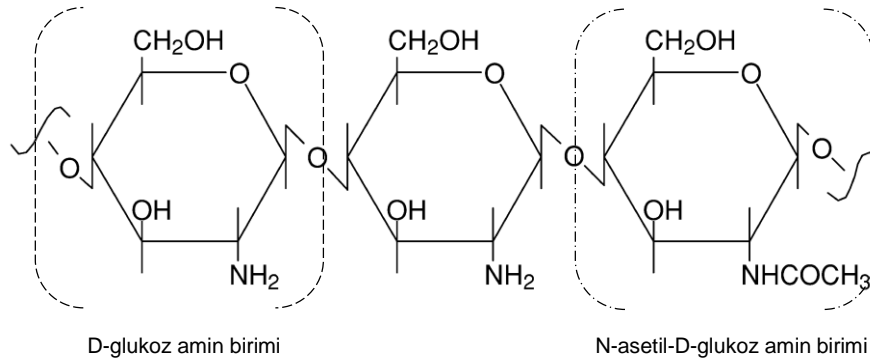
Polimer filmlerin üretim yöntemleri çok çeşitli olup bu yöntemlere örnek olarak ekstrüzyon, enjeksiyon kalıplama ve çözücü uzaklaştırma yöntemleri verilebilir. Ekstrüzyon yöntemi, filmlerin üretimi için kullanılan yaygın yöntemlerden birisi olup çalışma prensibi kapalı bölmede bulunan malzemeye yüksek basınç uygulanarak vida dişleri arasından kalıbın çıkış açıklığına iletilmesine dayanır. Enjeksiyon kalıplama yöntemi, sıcaklık kullanılarak eritilmiş termo plastik malzemelerin bir kalıba enjekte edilmesi ve soğumaya bırakılması sistemine dayanır. Düşük maliyeti ve yüksek hızda üretim yapılabilmesine olanak sağladığından dolayı uygulamalarda sıklıkla tercih edilen yöntemlerdendir. Çözücü uzaklaştırma yöntemi ise polimerin çözücü ile çözülmesinin ardından petrolere dökülmesi ve uygun sıcaklık altında çözücünün uzaklaştırılması prensibine dayanmakta olup uygulanabilirliğinin kolay olması, diğer yöntemlerde olduğu gibi kompleks cihazlar gerektirmemesi nedeniyle en çok kullanılan film üretme yöntemleri içerisinde yer almaktadır.

2.3.2. Kitosan

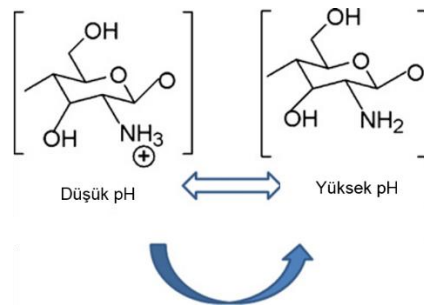
2.3.1.1. Kimyasal Yapısı ve Özellikleri

Kitin doğada kabuklu canlıların dış iskeletlerinde, bazı fungus ve alglerin hücre duvarlarının bileşeni olarak bulunan bir polimerdir [12]. Kitin selülozdan sonra doğada en çok bulunan ikinci polisakkarit olup N-asetil-D-glukoz amin birimlerinin β -(1,4)-glikozidik bağı ile bağlanmasından oluşan lineer bir yapıya sahiptir [40]. Selülozdan yapısal olarak farkı ikinci karbonunda yer alan asetamid grubunun yerini selülozda hidroksil grubunun almasıdır [41]. Kitinin hidrofobik yapısı hem suda hem de organik çözücülerde çözünmesine engel olduğundan uygulama alanı sınırlanmaktadır [42].

Kitosan ise kitinin alkali çözücüler kullanılarak belirli oranlarda deasetilasyonu sonucu elde edilen bir biyopolimerdir. Kitosan, kitinin deasetilasyonu ile elde edilebildiği gibi Zygomycetes funguslarında, *Chlorella* sp. alg türünde ve böceklerin kütikula tabakasında da bulunmaktadır [43]. N-asetil-D-glukoz amin ve D-glukoz amin birimlerinden oluşmakta (Şekil 2. 5) olan kitosan D-glukoz amin birimlerinde yer alan amino gruplarının asidik ortamlarda ($\text{pH} < 6$) protonlanması nedeniyle polikationik özellik gösteren bir polimerdir [42](Şekil 2. 6).



Şekil 2. 5. Kitosanın kimyasal yapısı [44]



Şekil 2. 6. Kitosanın amin grubunun asidik ortamda protonlanması [42]

Polikatyonik yapısı nedeniyle kitinden farklı olarak organik asitlerde çözünebilmekte olan kitosan, negatif yüklü polimerlere ek olarak makromoleküllerle de etkileşme özelliğine sahiptir. Yapısında amino grubu dışında iki aktif grup daha bulunmakta olup bunlar 3. ve 6. karbon (C) atomlarına bağlı olan hidroksil gruplarıdır. Bu aktif grupların uygulama yapılacak olan alana göre çeşitli şekillerde modifikasyona uğratılabilmesi geniş uygulama alanına sahip olmasına neden olmaktadır [45]. Kitosanın aktif gruplarının modifiye edilebilmesinin yanında biyobozunur, biyouyumlu yapıda olması ile birlikte toksik ve alerjenik özellik göstermemesi, aynı zamanda birçok araştırmacı tarafından kanıtlanmış olan antimikrobiyal özelliği nedeniyle başta gıda endüstrisinde gıda ambalajlanmasında olmak üzere, kozmetik, tarım, biyomedikal, arıtım sanayisi ve biyoteknoloji gibi alanların uygulamalarında tercih edilmesine neden olmaktadır [13-15] (Çizelge 2. 2).

Çizelge 2. 2. Kitosanın Kullanım Alanları [46]

Kullanım Alanları	Kitosan Uygulamaları
Gıda	Antimikrobiyal ajan Katkı maddesi Yenilebilir film eldesinde
Medikal-İlaç	Anti tümör ajan İlaç salım sistemlerinde taşıyıcı Yara iyileştirilmesinde yara bandı
Biyoteknoloji	İmmobilize edilen enzimler için taşıyıcı Biyoreaktörler Kromatografi Membran bileşeni
Çevre	Atık su arıtımı
Ziraat	Bitki tohumu kaplanması Bitki patojenlerine karşı
Kozmetik	Çeşitli kozmetik ürünlerinde nemlendirici

Kendine özgü özelliklerinden dolayı geniş uygulama bulan kitosan polimeri kullanılacağı uygulama alanına bağlı olarak film, nanopartikül, fiber gibi farklı formlarda üretilebilmektedir. Toksik özellikte olmaması ve sahip olduğu polikatyonik özellik nedeniyle özellikle gıda endüstrisinde yiyeceklerin ambalajlanmasında gıdaların raf ömrünü uzatmak ve bu süre boyunca yapılarında bozunma meydana gelmeden korunmalarını sağlamak amacıyla film formunda kullanılmaktadır [40]. Bu amaçla hazırlanan filmlerin seçici olarak gaz geçirgenliği göstermesi, mekanik

dayanımının güçlü olması da uygulamada tercih edilmesine neden olmaktadır [41]. Oluşturulan filmlerin istenilen özellikleri karşılması amacıyla içerik olarak sadece kitosandan oluşabildiği gibi çeşitli biyobozunur polimerlerle belirli oranlarda karıştırılarak kompozit şeklinde de elde edilmektedir [40]. Sadece gıda sanayisinde kullanıldığında bile, hem ambajlanması yapılacak olan gıdaların hem de bu amaçla hazırlanacak olan kitosan bazlı filmlerin çeşitliliği düşünüldüğünde, kitosan kaynaklı filmler nedeniyle oluşacak atık miktarının yüksek oranda artması kaçınılmaz bir sonudur.

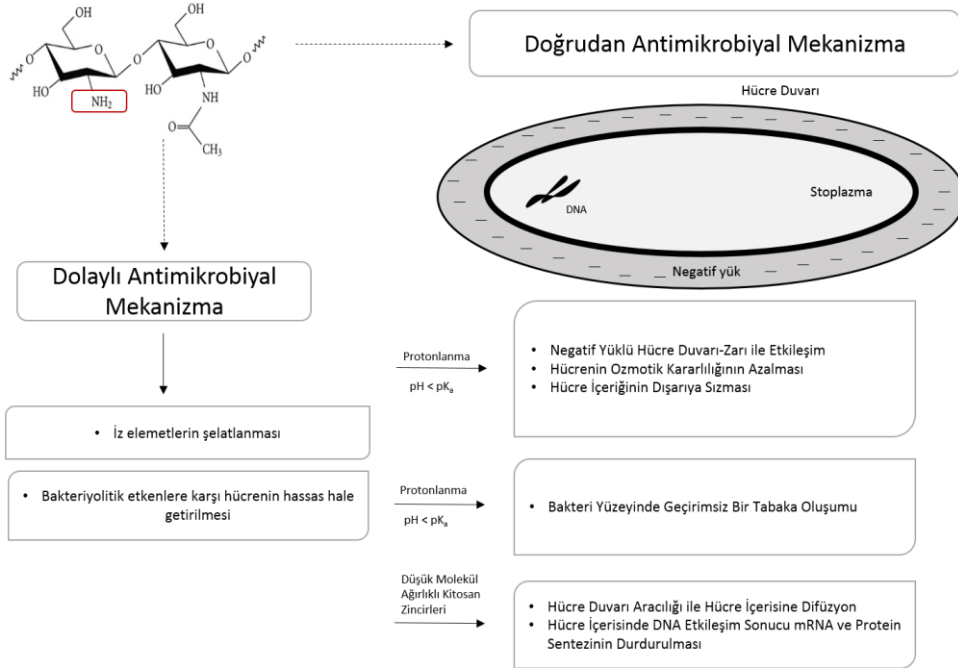
2.3.1.2. Kitosanın Antimikrobiyal Özelliği

Kitosan antimikrobiyal etkisi mikroorganizmanın türüne, kitosanın pozitif yük yoğunluğuna, moleküler ağırlığı, konsantrasyonu ve fiziksel durumu gibi çeşitli kimyasal özelliklerine ve çevresel faktörlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir [16]. Kitosanın antimikrobiyal etkinliğini gösterme derecesi hem bakteriler ve funguslar arasında hem de bakteriler arasında farklılık göstermektedir. Molekül ağırlığına göre antimikrobiyal özelliği de değişmekte olup mikrobiyal türe bağlı olarak düşük moleküler ağırlığa sahip olan kitosan polimerlerinin daha yüksek antimikrobiyal özelliğe sahiptir [16]. Polikasyonik yapısı ile antimikrobiyal derecesi arasında doğru orantı olduğundan ve polikasyonik yapının olmasını sağlayan amino gruplarının varlığı deasetilasyon derecesi ile arttığından deasetilasyon derecesi arttıkça kitosanın antimikrobiyal özelliği de artmaktadır [14].

Kitosanın antimikrobiyal özelliğini gösterme mekanizması tam olarak bilinmemekle birlikte doğrudan ya da dolaylı olarak bu etkisini Şekil 2. 6'da belirtildiği gibi gösterdiği düşünülmektedir. D-glukoz amin birimleri üzerinde yer alan amino gruplarının protonlanması ile polikasyonik özellik kazanan kitosan polimeri elektronegatif olan bakteriyel hücre yüzeyi ile etkileşime girerek antimikrobiyal özelliğini göstermektedir. Molekül ağırlığına bağlı olarak bu etkileşim iki şekilde sonuçlanmaktadır. Yüksek moleküler ağırlıklı kitosan zincirleri hücre yüzeyi ile etkileşime geçtiğinde hücre duvarının ozmotik kararlılığını azaltıp hücre içeriğinin dışarıya sızmasına neden olabildiği gibi hücre yüzeyinde geçirimsiz bir tabaka oluşturarak hücrenin yaşamsal faaliyetleri için gerekli olan maddelerin alımını engellemektedir. Düşük moleküler ağırlıklı kitosan zincirleri ise hücre içerisine difüze olması sonucu DNA ile etkileşime girmekte ve mRNA ile protein sentezinin durmasına neden olmaktadır. Dolaylı yoldan antimikrobiyal etkisini ise hücre

faaliyeti için gerekli olan iz elementleri şelatlaması yoluyla göstermektedir [14, 16, 43, 45, 47].

Gram-negatif ve gram-pozitif bakteriler üzerindeki etkisinin farklı olmasının en büyük sebebi, iki bakteri grubunun hücre duvar yapılarının farklı olmasıdır. Kitosan antimikrobiyal etkisini deasetilasyon derecesine de bağlı olarak gram-negatif bakteriler üzerinde daha fazla gösterdiğini belirten çalışmalar [48] olmakla birlikte bu etkisine karşı gram-pozitif bakterilerin daha hassas olduğunu gösteren çalışmalar da bulunmaktadır [49]. Kitosanın antimikrobiyal özelliği ile ilgili yapılan bir çalışmada *Staphylococcus aureus* (gram-pozitif) ve *Escherichia coli* (gram-negatif) kullanılmış olup, *S. aureus* için kitosanın moleküler ağırlığı arttıkça, *E. coli* için ise kitosanın moleküler ağırlığı azaldıkça antimikrobiyal etkinin arttığı gözlenmiştir [50]. Diğer bir çalışmada ise film formundaki kitosanın antimikrobiyal etkisi, *E. coli* ve *Lactobacillus plantarum* türleri kullanılarak, üremelerinde gözlenen inhibisyon aracılığıyla gösterilmiştir [51].



Şekil 2. 7. Kitosanın Antimikrobiyal Özelliğini Gösterme Mekanizması [47]

2.4. Polimerlerin Bozunma Şekilleri

Polimerler temel olarak mekanik, fiziksel ve kimyasal bozunmaya uğrarlar. Polimerlerin bozunması tek bir bozunma etkeni aracılığıyla olabildiği gibi birden fazla etkenin etkisiyle de gerçekleşebilmektedir.

2.4.1. Mekanik Bozunma

Mekaniksel bozunma öğütme, kesme, kırma, ezme, sürtünme, çizilme, aşınma, yırtma gibi mekanik gerilimler sırasında meydana gelen bölünmeleri ifade etmektedir [52].

2.4.2. Fiziksel Bozunma

Polimerlerin kimyasal yapısında ya da zincir boyutlarında değişiklik oluşmadan meydana gelen bozunma şeklidir. Uygulama alanın göre polimer içerisine eklenebilecek olan plastikleştiricinin, antioksidanlar gibi çeşitli maddelerin yapıdan uzaklaşır.

2.4.3. Kimyasal Bozunma

Polimerin kimyasal yapısında ışık, yüksek ısı, kimyasallar ya da mikroorganizmalar tarafından değişiklik meydana gelmesi yoluyla gerçekleşen bozunma şeklidir.

2.4.3.1. Isıl Bozunma

Isıl bozunma, yüksek ısının polimerin uzun molekül zincirlerini koparması ve daha kısa zincirli yapılar oluşturarak kimyasal yapının değişikliğe uğramasını sağlayan bozunma şeklidir. Isıl bozunma polimerin molekül ağırlığının değişmesine ek olarak polimerin sertlik, yumuşaklık ve renk gibi çeşitli fiziksel özelliklerinin de değişmesine neden olmaktadır [26].

2.4.3.2. Foto Bozunma

Foto bozunmaya karşı hassas olan polimerlerin troposferik güneş ışınlarının zararlı olan 315-400 nm dalga boyu aralığında olan UV-A ve 280-315 nm dalga boyu aralığındaki UV-B ışınlarını absorblanması sonucu gerçekleşir. Polimerlerin bozunmasında uygulanabilirliği olan bir yöntem olmasına rağmen yüksek maliyeti tercih edilebilirliğini azaltmaktadır [26].

2.4.3.3. Termo Oksidatif Bozunma

Polimerlerin sıcaklık ve oksijen aracılığıyla kimyasal yapılarında meydana gelen değişim olup bozunmanın hızlı bir şekilde gerçekleşmesine rağmen ortam sıcaklığından daha yüksek sıcaklığı gerektiğinden çevresel olarak uygulanabilirliği olmayan bozunma şeklidir [26].

2.4.3.4. Biyobozunma

Biyobozunma polimerlerin son ürün olan karbondioksit, su, tuz, mineral gibi çeşitli metabolik ürünlere kadar mikroorganizmaların faaliyeti sonucu parçalanması

işlemidir. Biyobozunma işlemi oksijen varlığında aerobik mikroorganizmalar tarafından yapılırken, oksijenin olmadığı durumlarda anaerobik mikroorganizmalar tarafından son ürün olana metanla birlikte çeşitli ürünlere kadar parçalanması ile gerçekleşir. Biyobozunma hem çevre dostu olması hem de maliyet açısından daha uygun olması nedeniyle çevresel uygulanabilirliği daha fazla olan bir yöntemdir [26].

2.5. Biyobozunma

2.5.1. Biyobozunma İçin Gerekli Unsurlar

Polimerlerin aerobik biyobozunmaları için gerekli olan temel unsurlar [34]:

Organizmalar: Gerçekleşen bütün biyobozunma süreçlerinde hedef polimerlere özgü enzimler aracılığıyla depolimerizasyon sürecini başlatabilen ve bu süreç sonucunda meydana gelen monomerler ile oligomerlerin minerilizasyonunu gerçekleştiren mikroorganizmaların varlığı temel unsurlardan biridir.

Çevre koşulları: Sıcaklık, nem, tuzlar ve oksijen biyobozunma süreci üzerinde etkili olan çevresel parametrelerdir.

Polimer özellikleri: Biyobozunmaya uğrayacak olan polimerin kimyasal bağları, dallanma şekli ve derecesi, polimerizasyon derecesi, hidrofobiklik derecesi, stereokimyasal yapısı, kristallliği ve diğer morfolojik özellikleri gibi.

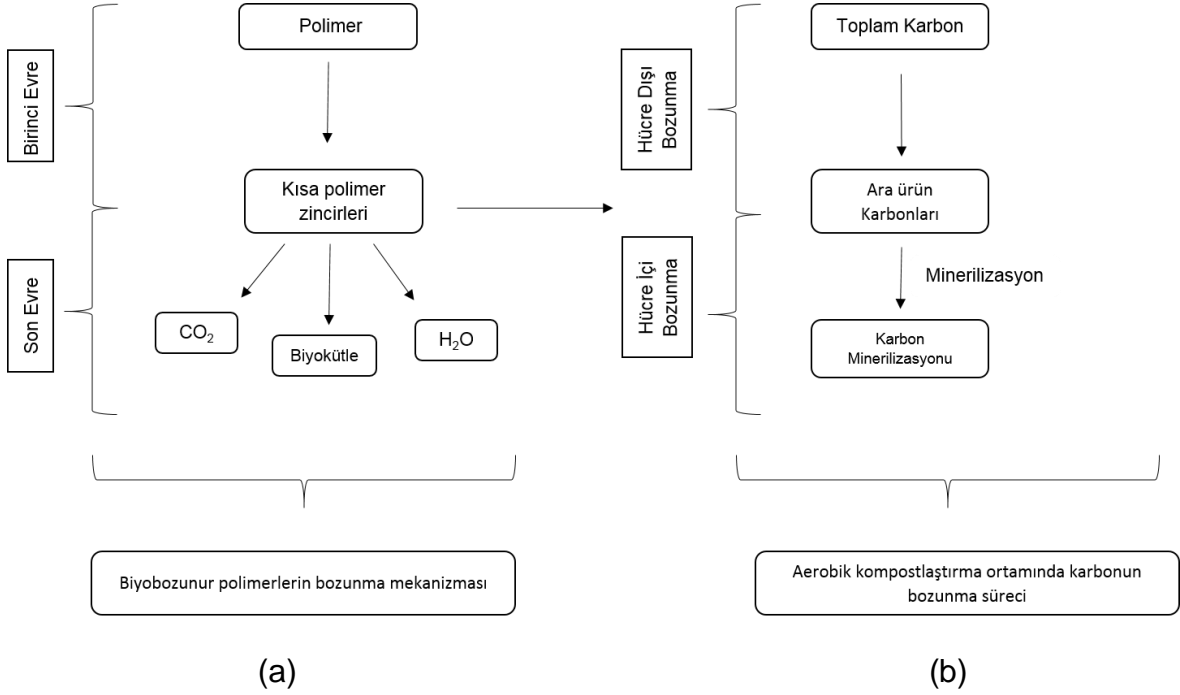
2.5.2. Biyobozunma Basamakları

Biyobozunma biyotik faktörlerin tek başına ya da abiyotik faktörlerle beraber etkileşimi sonucu gerçekleşmektedir [52, 53]. Abiyotik faktörler biyobozunmanın tamamlanması için tek başına yeterli olmayan faktörler olup biyobozunma hızı üzerinde etkili olan unsurlardır [52]. Biyobozunma, temel olarak depolimerizasyon ve minerilizasyon(asimilasyon) süreçlerinden oluşan iki basamakta gerçekleşir[34].

Depolimerizasyon: Biyobozunma basamakları aynı olmakla beraber polimerlerin çözünebilirlik özellikleri nedeniyle biyobozunmayı başlatan unsurlar değişiklik gösterebilmektedir. Suda çözünmeyen yapıya sahip olan bir polimer için mikroorganizmalar hücre dışı enzim sentezleyerek ya da serbest radikaller aracılığıyla polimerin depolimerizasyonunu başlatırlar [52, 53]. Depolimerizasyon sonucu suda çözünebilir daha küçük zincirli olan oligomerler, dimerler ve yapıtaşları olan monomerler elde edilmektedir.

Minerilizasyon: Depolimerizasyon işlemi sonrası mikrobiyal hücre içerisine alınabilecek boyutta olan moleküllerin hücre içerisine taşınmasının ardından çeşitli

metabolik yollarda kullanılırlar. Bu yapıların mikrobiyal aktivite ile asimilasyona uğraması sonucu karbondioksit, su, tuz, mineral gibi çeşitli metabolik ürünlere dönüşümü gerçekleştirirken yeni biyokütle oluşur [34, 52].



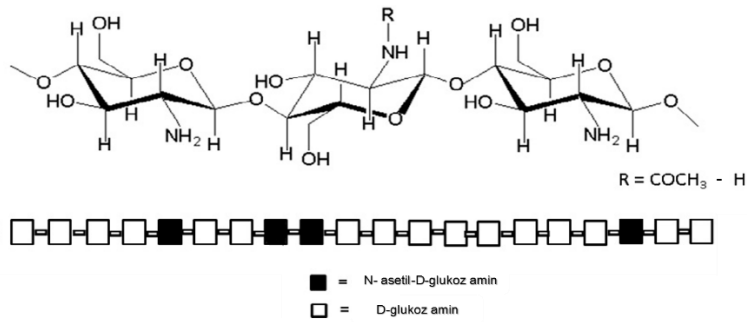
Şekil 2. 8. Biyobozunur polimerlerin biyolojik olarak bozunma mekanizması (a) ve aerobik kompostlaştırma sırasında karbon kaynaklarının kullanımı (b) [54]

Aerobik kompost ortamında gerçekleşen bozunma şekli biyobozunma olup abiyotik faktörler biyobozunma hızında ve depolimerizasyon aşamasında biyotik faktörlerle birlikte rol alırken (Şekil 2. 8), biyobozunmanın asıl gerçekleşmesini sağlayan ortamda yer alan minerilizasyon işlemini gerçekleştiren mikrobiyal gruplardır.

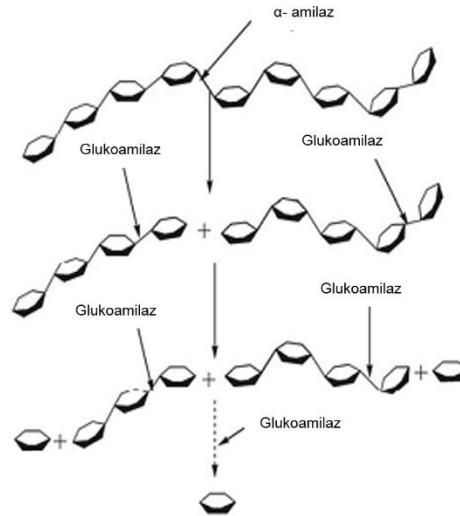
2.4.1.3. Kitosanın Enzimatik Olarak Biyobozunması

Kitosana özgü olan kitosanaz enzimine ek olarak çeşitli bileşiklerin parçalanmasında rol oynayan lizozim, kitinaz, selülaz, hemiselülaz, proteaz ve lipaz gibi kitosana özgü olmayan enzimler kitosanın enzimatik yolla parçalanmasını sağlamaktadır. Kitosanazlar *Bacillus* sp., *Janthinobacterium* sp., *Paenibacillus* sp., *Acinetobacter* sp., *Streptomyces* sp. gibi bakteri gruplarının ve *Aspergillus* sp., *Gongronella* sp., *Trichoderma* sp.'nin örnek olarak verilebileceği fungal gruplar tarafından sentezlenmektedir [55]. Belirli oranlarında deasetil durumda olan kitosan, yapısını oluşturan birimlerin dizilimine göre iki N-asetil birimi (A-A), asetil ve deasetil birim (A-D), deasetil birim ve asetil birim (D-A) ile son olarak iki deasetillenmiş birim (D-D) arasında olacak şekilde 4 farklı glikozidik bağ

bulundurmaktadır (Şekil 2. 9). Kitosanazlar hem kitosanda hem de kitinde yer alan iki N-asetil birimi (A-A) arasındaki bağ dışında kitosanın yapısında bulunan diğer bağların kırılmasını gerçekleştirirler. Kitinazlar ise asetilenmiş olan gruplar arasındaki bağları kırdıkları için hem kitosanın hem de kitinin enzimatik olarak parçalanmasında görev alırlar [55, 56]. α -amilaz ve glukoamilaz enzimleri ise kitosana özgü olmayan enzimler olup kitosanın enzimatik olarak parçalanmasında rol oynarlar. α -amilaz enzimi kitosanı oluşturan birimleri arasındaki β -(1-4) glikozidik bağını iç tarafından rastgele, glukoamilaz enzimleri ise bu bağları zincirin uç kısımlarından kırarak D-glukoz amin birimlerinin oluşmasını sağlar [57] (Şekil 2. 10).



Şekil 2.9. Kitosanın yapısını oluşturan birimlerin görüntüsü [55]

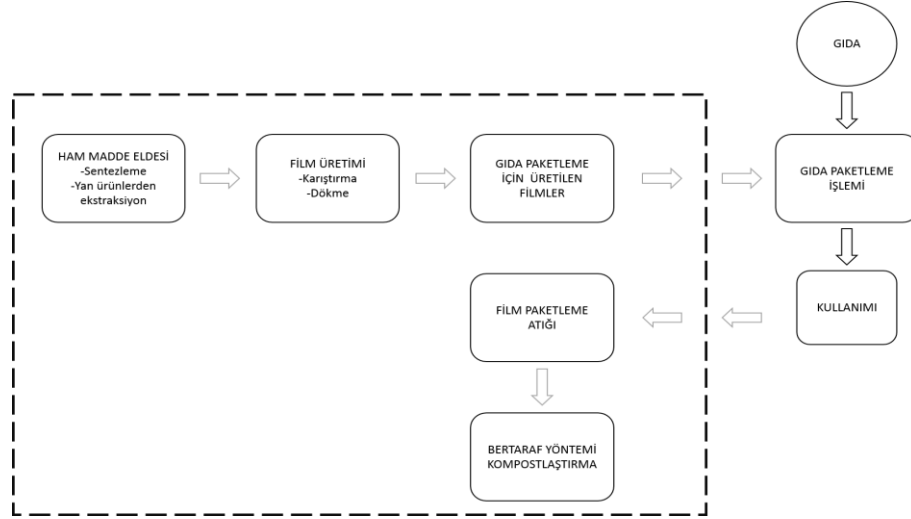


Şekil 2. 10. α -amilaz ve glukoamilaz enzimlerinin kitosan birimlerini enzimatik olarak parçalama şekli [57]

2.7. Kitosanın Kompost Ortamında Biyobozunurluğunun İncelenmesi İle İlgili Çalışmalar

Kitosan gibi çeşitli biyobozunur polimerlerin, sahip oldukları üstün özellikler nedeniyle çok sayıda uygulama alanı bulması ve oluşturulan atık miktarının artması sebebiyle, uygun atık bertaraf yönetiminin kullanılması gerekmektedir. Biyobozunur polimerlerden elde edilen plastikler ile diğer kağıt, gıda ürünleri ve bahçe atıkları gibi

biyo-atıkların bertaraf edilmesinde düzenli depolama yöntemi kullanıldığında, anaerobik koşullar altında CH₄ emisyonunun gerçekleşmesi ve uluslararası direktiflerin bu tür atıklar için bu yöntemi sınırlandırması nedeniyle, kullanılabilir en uygun atık bertaraf yöntemi kompostlaştırmadır (Şekil 2. 11). Film formundaki kitosan ya da kitosan kompozit atıklarının kompostlaştırılması, düzenli depolama sahalarına ya da yakmaya gönderilecek olan atık miktarının azaltmasının yanı sıra, bu yöntemler kullanıldığında oluşan gaz emisyonlarını da azaltacaktır [13].



Şekil 2. 11. Kitosan bazlı filmlerin kullanımı ve bertaraf şekli [13]

Kitosanın kompost ortamında biyobozunurluğu ile ilgili çalışmalar az sayıda olmakla beraber yapılan çalışmalarda farklı içeriğe sahip film formundaki kitosan örneklerinin kompost ortamında aerobik olarak biyobozunma miktarları incelenmiştir [18, 19]. Yapılan çalışmalarda 2 mm kalınlığında ve 2 cm x 2 cm olacak şekilde kitosan film örnekleri kullanılmıştır. Elde edilen filmler ile üçlü reaktör sisteminde, (i) sadece kompost ortamı, (ii) kompost ortamı ile referans materyal olarak selüloz bulunduğu ortam ve (iii) test edilecek kitosan örneklerinin yer aldığı kompost ortamı ile uygun koşullar altında kompostlaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar sonucunda elde edilen veriler incelendiğinde, kompostlaştırma sürecinin belirli zamanlarında referans materyal ile karşılaştırılan kitosan örneklerinin biyobozunma miktarlarında değişik düzeylerde azalmalar belirlenmiştir. Bu azalmaların nedeni olarak kitosan ve özellikle parçalanma ürünlerinin sahip oldukları antimikrobiyal özellik ile ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışmalarda kitosanın kompost ortamında biyobozunmasının 160 gün [19] veya 180 gün [18] gibi uzun bir sürede gerçekleşmesi, kompostlaştırma prosesinin verimi açısından bir kısıtlamadır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Kullanılan Malzemeler

Hazırlanan filmler için gerekli olan kitosan (low molecular weight,%75-85 deacetylated), plastikleştirici olarak gliserol ve çözücü olarak kullanılan asetik asit Sigma Aldrich' den temin edilmiştir.

Elde edilen kitosan filmlerinin antimikrobiyal özelliğini test etmek için kullanılan mikroorganizma gruplarından *Escherichia coli* (K12, CLM 24) Yrd. Doç. Dr. Eda Çelik Akdur'un laboratuvarından, *Bacillus subtilis* (ATCC 6633) türü ise Refik Saydam Ulusal Tıp Kültür Koleksiyon Birimi'nden alınmıştır.

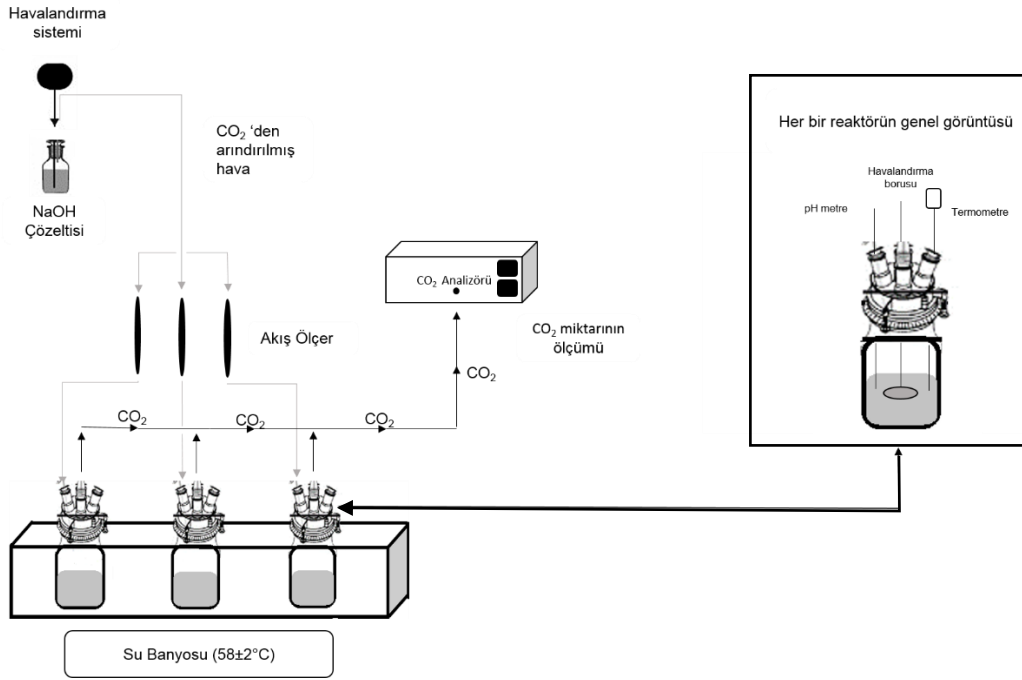
Kompostlaştırma işlemi için kullanılan olgunlaşmış kompost ise İSTAÇ A.Ş. tarafından alınmıştır. Temin edilen kompostun özellikleri hem ASTM D 5338 hem de TS-EN-ISO 14855-1,2013 standartlarında belirtildiği şekilde olup standartlar ekler kısmında verilmiştir.

3.2. Kompost Reaktörlerinin Hazırlanması

Araştırma süresince kullanılan kompostlaştırma sistemi hem ASTM D 5338 hem de TS-EN-ISO 14855-1,2013 standartlarında belirtilmiş olan koşullara uygun olacak şekilde hazırlanmıştır (Şekil 3. 1). Her biri 3L hacime sahip olan cam reaktörler standartlarda belirtilmiş olan sıcaklığın korunmasını sağlamak için su banyosu içerisine yerleştirilmiştir. Reaktörler içerisine beslenen hava, içeriğinde bulunan CO₂'i arındırmak için NaOH çözeltisinden geçirildikten sonra reaktörlere gönderilmiştir. Her bir reaktöre ulaşan hava miktarının ölçülmesi ve 0,3 L/dak olacak şekilde eşit olması için akış ölçerler kullanılmıştır. Kompost reaktörleri içerisinde meydana gelen sıcaklık değişimleri dijital termometre ile pH değişimleri ise toprak pH metresi kullanılarak düzenli aralıklarla belirlenmiştir. Kompostlaştırma sırasında biyobozunma ürünü olarak ortaya çıkan CO₂ ölçümü ise "Karbon dioksit/Oksijen Analizörü" yardımıyla yapılmıştır.

Hazırlanan kitosan filmlerin kompost ortamında biyobozunurluğunun incelenmesi sırasında hazırlanan sistem 3'lü reaktör sistemi şeklinde olup birinci reaktör içeriğinde sadece kompost, ikinci ve üçüncü reaktörde ise test edilecek olan kitosan filmlerinin eklendiği kompost-kitosan filmleri karışımı olacak şekilde hazırlanmıştır. İkinci reaktör üçüncü reaktörün tekrarı niteliğindedir. Reaktör içeriğinin hesaplanması sırasında standartta yer alan oranlar kullanılarak hesaplama

yapılmıştır. Hesaplama sırasında kullandığımız reaktörlerin hacminin $\frac{3}{4}$ 'ünün örneklerin karıştırılmasına izin verecek şekilde boş bırakılarak kullanılmış olan kompostun kuru ağırlığının, test edilen materyalin kuru ağırlığa oranının 600 g/100 g olacak şekilde ayarlamalar yapılmıştır. Elde edilen kitosan filmleri standartlarda belirtilmiş olan boyutlara uygun şekilde kesildikten sonra reaktörlere eklenmiştir. Termal analizlerin ve yüzey özelliklerin belirlenmesi amacıyla belirli aralıklarla reaktörlerden numune alınmış, nemlendirme işlemi sonrası reaktör içeriklerinin homojen şekilde karışması sağlanmıştır.



Şekil 3. 1. Kompostlaştırma Sistemi

3.3. Film Üretimi

3.3.1. Kitosan Film Çözeltilerinin Hazırlanması

Kitosanın (%1, w/v), asetik asit (%1, v/v) çözeltisi içerisinde homojen hale gelinceye kadar manyetik karıştırıcı ile oda sıcaklığında karıştırılmasıyla saf kitosan çözeltisi elde edilmiştir. Çözeltiye plastikleştirici olarak %20 (ml gliserol/g kitosan) oranında gliserol eklenmiş ve çözelti bir süre daha karıştırılmıştır. Kitosan çözeltisinden çözünmeyen partiküllerin uzaklaştırılması için santrifüj edilmiştir.

3.3.2. Kitosan Filmlerinin Hazırlanması

Kitosan filmleri çözücü buharlaştırma yöntemi kullanılarak elde edilmiştir [58-61]. Hazırlanan kitosan çözeltisi 25 ml olarak 90 mm çapındaki petri kutularına dökülmüş ve film oluşumu için oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Buharlaşma sonucu

elde edilen filmler uygun kesiciler kullanılarak petrilerden çıkartılmış kullanım aşamasına kadar uygun koşullar altında saklanmıştır. Filmler reaktörlere ilave edilmeden önce standartlara uygun olarak 1,5*1,5 cm boyutlarında olacak şekilde kesilmiştir. Kitosan filmlerin nötralizasyonu sırasında, filmler 0,1 M NaOH çözeltisinde 30 dakika bekletilmiş ardından ise distile su ile üç kez yıkanmıştır.

3.3.3. Kitosan Filmlerin Karakterizasyonu

3.3.3.1. Fourier Transform Infrared (FTIR) Spektroskopisi

Elde edilen kitosan filmlerin kimyasal yapılarının belirlenmesi için, Thermo Scientific Nicolet 6700 FT-IR cihazı kullanılmıştır. Alınan örneklerin ölçüm yapılan miktarları aynı olup, ölçümler oda sıcaklığında yapılmıştır. FTIR hesaplamaları yapılırken OMNIC programından yararlanılmıştır.

3.3.3.2. Termogravimetrik Analiz (TGA) Çalışmaları

Termogravimetri, belirli oranlarda arttırılan ya da azaltılan sıcaklık sonucunda test edilen örneğin kütlesinde meydana gelen kayıpların ya da kazanımların sıcaklığın veya zamanın bir fonksiyonu olarak incelenmesi sistemine dayanmaktadır. Elde edilen sıcaklık-kütle eğrileri TG eğrileri olup örneklerin termal kararlılığını gösterir. Elde edilen kitosan filmlerinin termal kararlılığı, TGA SII Exstar 6000 TG/DTA 6300 cihazı kullanılarak 0-600°C sıcaklık aralığında, 10°C/dak ısıtma hızı ile, azot ortamında analiz edilmiştir.

3.3.3.3. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) Çalışmaları

Diferansiyel taramalı kalorimetri analizi; parçanın ısıtılması, soğutulması ve eş sıcaklıkta tutulmasıyla oluşan enerji farklılıklarındaki değişimleri analiz eder. Enerji farklılıklarıyla, numunede nicel olarak gözlenen hal değişiminin ölçülmesini ve analiz edilmesini sağlar. Elde edilen kitosan filmlerinin termal özelliklerinin belirlenmesi için Perkin Elmer Diamond DSC cihazı kullanılmış ve 10°C/dak ısıtma hızı ile 0-300°C sıcaklık aralığında yapılmıştır.

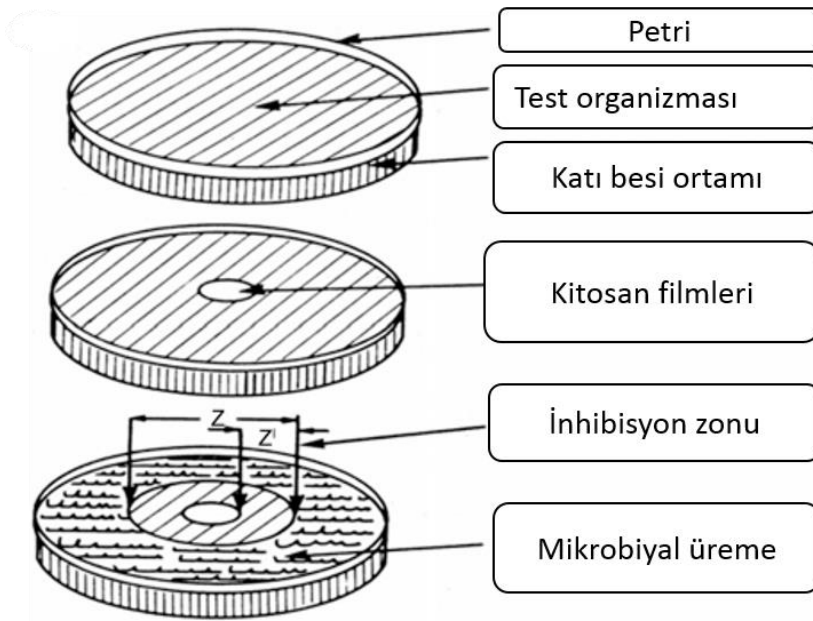
3.3.3.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Çalışma prensibi çok küçük bir alana odaklanan yüksek enerjili elektronlar ile yüzeyin taranması olan taramalı elektron mikroskobu (SEM) elde edilen kitosan filmlerin yüzey özelliklerinin incelenmesi için kullanılmıştır. Kullanılan bu görüntüleme yöntemi SEM, FEI Nova NanoSEM 430, USA ile gerçekleştirilmiştir.

3.3.4. Kitosan Filmlerinin Antimikrobiyal Özelliğinin İncelenmesi

Elde edilen kitosan filmlerin antimikrobiyal özelliğini test etmek için gram-negatif bakteri suşu olarak *Escherichia coli* (CLM 24) ve gram-pozitif bakteri suşu olarak ise *Bacillus subtilis* (ATCC 6633) suşu kullanılmıştır.

Kitosan filmlerin antimikrobiyal aktivitesinin ölçülmesi için agar difüzyon test yönteminden yararlanılmıştır [51, 62-65]. Bunun için kitosan filmleri 15 mm çapında dairesel olacak şekilde kesilmiş ve UV ışığı yardımıyla sterilize edildikten sonra test edilecek olan mikroorganizmanın inokule edildiği agar (katı besi yerlerinin) yüzeylerine yerleştirilmiştir. *Escherichia coli* suşu için LB (Luria-Bertani) agar, *Bacillus subtilis* suşu için TS (Tryptic Soy) agar kullanılmıştır. Agar difüzyon test yöntemi test edilecek materyalin agar yüzeyine difüze olması ve inkübasyon sonrası filmlerin etrafında bakteriyel gelişimin engellenmesi şeklinde gözlemlenen inhibisyon zon çaplarının ölçülmesine dayanan test yöntemidir (Şekil 3. 2).

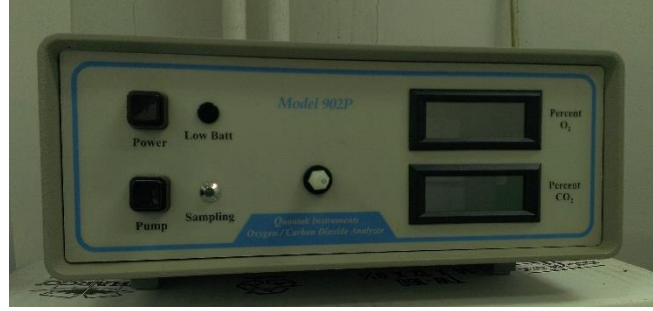


Şekil 3. 2. Kitosan filmlerinin antimikrobiyal özelliğinin incelenmesinde kullanılan agar difüzyon test yöntemi

3.4. Kitosanın Kompost Ortamında Biyobozunurluğunun İncelenmesi

3.4.1. CO₂ ve O₂ Analizi

Kompost ortamındaki biyobozunurluğunun belirlenmesinde en önemli parametre olan CO₂ ve O₂ ölçümü düzenli aralıklarla Karbondioksit/Oksijen Analizörü (Quantec Instruments 902P)(Şekil 3. 3) yardımıyla yapılmış, ölçülen değerler ise kayıt edilmiştir.



Şekil 3. 3. Karbondioksit/Oksijen Analizörü, Quantec Instruments 902P

3.4.2. pH ve Sıcaklık Analizi

Her bir reaktör içerisinde pH değerlerinde meydana gelen değişimler toprak pH metresi (Şekil 3. 4) kullanılarak, sıcaklık değerlerinde oluşan değişiklikler ise dijital termometre (Şekil 3. 5) kullanılarak belirlenmiştir.



Şekil 3. 4. Portatif Toprak pH metresi (Hanna HI 99121)



Şekil 3. 5. Dijital Termometre (LYK)

3.4.3. Nem Analizi

Alınan numunelerin içerisinde yer alan nem miktarları 105°C sıcaklıkta etüvde 24 saat boyunca kurutulduktan sonra ilk ve son tartımları arasındaki farktan yararlanılarak hesaplanmıştır. Tartım işlemlerinde “Shimadzu” markalı hassas terazi kullanılmıştır.

3.4.4. Toplam Organik Karbon (TOK) Miktarı Tayini

Kompost ortamından alınan örnekler 105°C’lik etüvde kurutulduktan sonra HCl asit ile muamele edilmiştir. Bu işlemin ardından 3 saat boyunca 105°C’lik etüvde tekrar kurumaya bırakılmıştır. Kurutma işlemi sona erdikten sonra toplam organik karbon miktarlarının belirlenmesi hizmet alımı yoluyla İSTAÇ A.Ş., İstanbul’da gerçekleştirilmiştir.

4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

4.1. Kitosan Filmlerin Elde Edilmesi

Kitosan filmleri hazırlanması sırasında çözücü olarak asetik asit kullanıldığında hem mekanik özelliklerin, su buharı geçirgenliği ve oksijen geçirgenliğinin daha iyi sonuçlar vermesi [66] hem de farklı miktarlarda kullanıldığında elde edilen filmlerin antimikrobiyal özelliğinin değişkenlik gösterdiği belirtilmiştir [67]. Plastikleştirici eklenmeden hazırlanan kitosan filmlerin kırılma kırılma göstermesi nedeniyle kullanım alanları sınırlanmaktadır. Kitosan filmleri hazırlanırken gliserol, etilen glikol, polietilen glikol, propilen glikol gibi çeşitli plastikleştiriciler kullanılabilir. Filmlerin uygulama alanına bağlı olarak plastikleştirici seçimi değişiklik göstermekte olup gıda paketlenmesi için hazırlanan kitosan filmlerinin zamana bağlı olarak yapısının değişmesinin önüne geçilmesi için düşük uçuculuk yüzdesine sahip olan plastikleştiriciler tercih edilmektedir. Yapılan çalışmalar kitosan film hazırlanırken %20 (w/w) oranında gliserol eklenmesinin filmlerin kırılma kırılma azaltarak daha esnek yapı kazanmasına neden olurken aynı zamanda uygun koşullar altında uzun süre filmlerin mekanik özelliklerinin değişmesini önlediğini göstermiştir [68]. Bu nedenle kitosan filmleri hazırlanırken, %1 (w/v) oranında kitosan film çözeltisi elde etmek için %1 (v/v) asetik asit, %20 (w/w) oranında gliserol kullanılmış ve çözücü uzaklaştırma yönteminden yararlanılmıştır.



Şekil 4. 1. Çözücü uzaklaştırma yöntemi ile elde edilmiş kitosan filmi

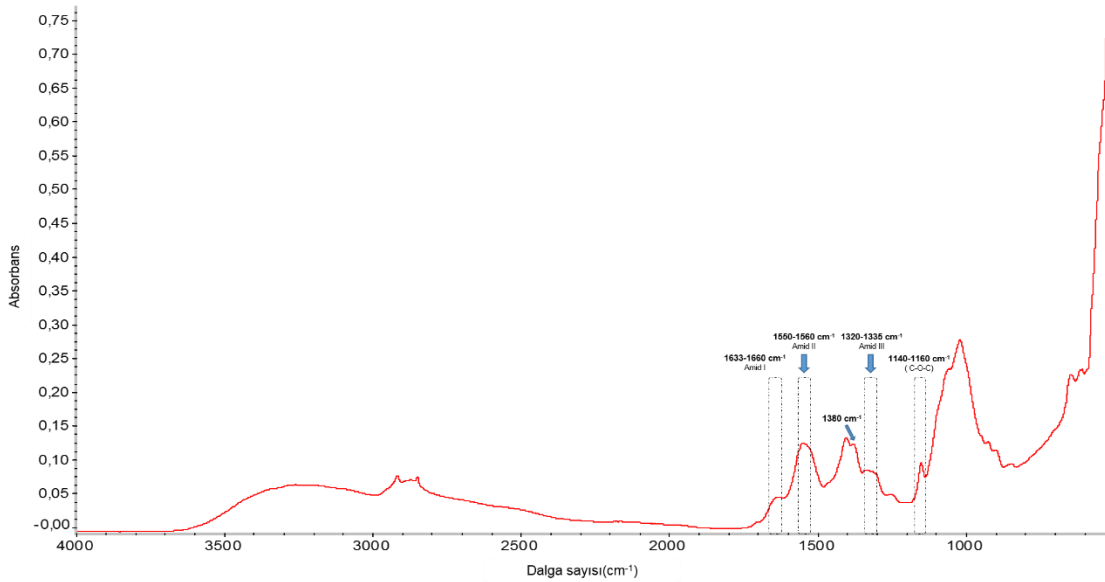
4.2. Kitosan Filmlerin Karakterizasyonu

4.2.1. FTIR Spektroskopisi

Literatürde kitosan filmlerinin kimyasal yapılarının belirlenmesi amacıyla yapılan FTIR analizi sonuçlarında $1633-1660\text{ cm}^{-1}$, $1538-1560\text{ cm}^{-1}$ ve $1320-1335\text{ cm}^{-1}$ absorpsiyon bant aralıkları kitosan filmler için karakteristik olup sırasıyla amid I

(C=O), amid II (N-H) ve amid III (C-N) bağlarını temsil ettiği belirtilmiştir [51, 69-71]. 1140-1160 cm^{-1} absorpsiyon bandı glukozamin birimleri arasındaki C-O-C bağlarını, 1380 cm^{-1} piki ise kitosanın tamamıyla deasetile olmadığını gösteren asetamido gruplarında yer alan CH_3 gruplarının C-H bağını ifade etmektedir [61, 72, 73]. 3100-3500 cm^{-1} absorpsiyon bant aralığı moleküller arası hidrojen bağlarını, N-H ve O-H gruplarındaki gerilme titreşimlerini göstermektedir [58, 61, 74, 75]. 1590 cm^{-1} absorpsiyon bandı ise amin gruplarını belirtmektedir [69, 70]. Amin gruplarının protonlanması ile 1550-1505 cm^{-1} bant aralığı simetrik amin deformasyonunu, 1625-1560 cm^{-1} bant aralığı asimetrik amin deformasyonunu göstermektedir [76]. Hem kitosan filmlerinin karakteristik pikleri hem de protonlanmış olan amin gruplarının deformasyon pikleri filmleri hazırlamak için kullanılan çözücünün türüne, içerisinde yer alan plastikleştiricinin türüne ve miktarına göre değişmektedir [44, 73, 77].

Şekil 4. 2 hazırlanan kitosan filmlerin kimyasal yapılarının belirlenmesi amacıyla yapılan FTIR analizi sonuçlarını göstermektedir. Kitosan filmler için karakteristik bağlar olan amid I, amid II ve amid III için sırasıyla 1640 cm^{-1} , 1550 cm^{-1} ve 1320 cm^{-1} absorpsiyon bantları elde edilmiştir. 1150 cm^{-1} glukozamin birimleri arasındaki C-O-C bağlarını, 1380 cm^{-1} piki CH_3 gruplarının C-H bağını göstermekte olup bu sonuçlar literatürde yer alan değerlerle uyum sağlamaktadır.

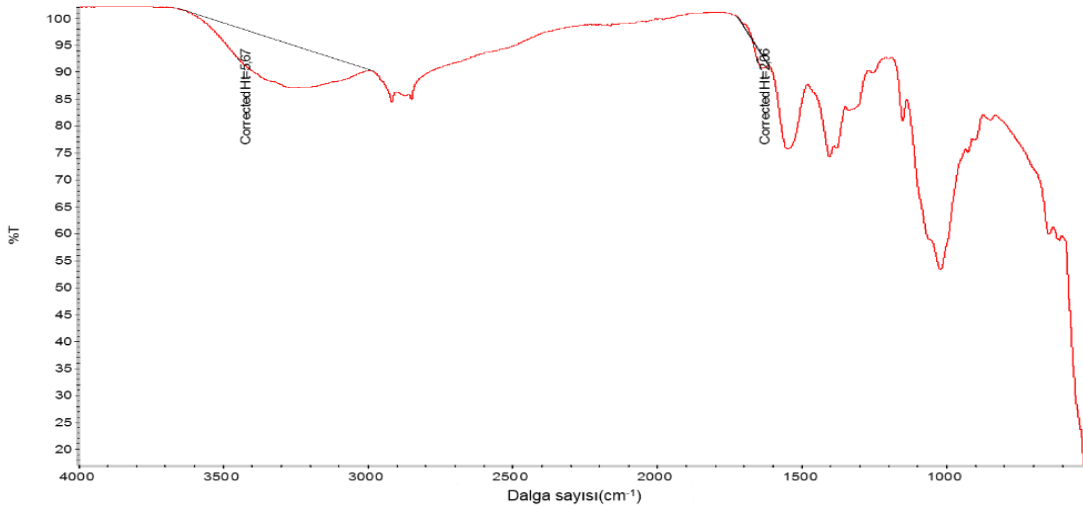


Şekil 4. 2. Kitosan filmler için FTIR spektrumları

4.2.2. Kitosan Filmlerin Deasetilasyon Derecesinin Belirlenmesi

Elde edilen kitosan filmlerin deasetilasyon derecelerinin belirlenmesi amacıyla aşağıda belirtilmiş olan eşitlikten [78] yararlanılarak Şekil 4. 3'te verilmiş olan FTIR analiz sonuçlarında yer alan taban çizgileri (baselines) kullanılmıştır. Deasetilasyon derecelerinin belirlenmesi için yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen filmler için bu oranın %69-%73 aralığında olduğu görülmüştür.

$$DD (\%) = 100 - \left[\left(\frac{A_{1655}}{A_{3450}} \right) \times \frac{100}{1.33} \right]$$



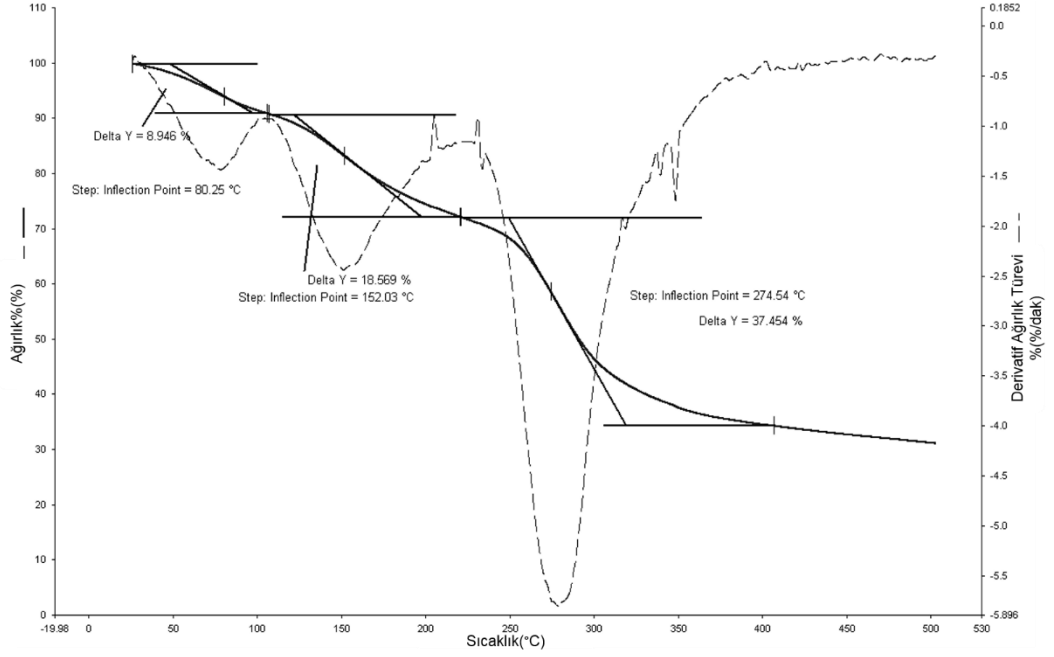
Şekil 4.3. Deasetilasyon derecelerinin hesaplanmasında kullanılan taban çizgileri

4.2.3. TGA Çalışmaları

Elde edilen kitosan filmlerinin TG analizine ilişkin sonuçlar Şekil 4. 3'te gösterilmiş olup grafik incelendiğinde 50-100°C, 150-200°C ve 250-300°C aralığında olmak üzere 3 bölgede kütle kaybı olduğu görülmektedir. 50-100°C aralığında görülen %8'lik kayıp yapıda bulunan suyun buharlaşmasından, 150-200°C aralığında gözlenen %18'lik ikinci kütle kaybı gliserolün yapıdan uzaklaşmasından, 250-300°C aralığında görülen %37'lik son kütle kaybı ise kitosan polimerinin bozunmasından kaynaklanmaktadır.

Leceta ve arkadaşları [51] yapmış oldukları çalışmada %30 oranında gliserol içeren kitosan filmlerin TG analizi sonucunda, saf gliserolün bozunma sıcaklığının 170°C'ta olmasına rağmen, 225°C'ta meydana gelen kütle kaybının gliserol kaynaklı olduğunu belirtmişlerdir. Plastikleştirici eklenmeden hazırlanan kitosan filmleri için 175°C'ta meydana gelen kütle kaybının ise adsorbe ve bağlı halde bulunan sudan kaynaklı olduğu ifade edilmiştir. Kurek ve arkadaşları [73] ise farklı çözücüler

kullanarak, plastikleştirici eklemeyen ve %30 oranında plastikleştirici olarak gliserol ekleyerek iki şekilde hazırlanmış oldukları filmlerde farklı bölgelerde kütle kayıpları gözlemlenmiştir. Plastikleştirici eklemeyen yapılan filmler 30-150°C, 150-417°C olmak üzere 2 bölgede, gliserolün eklendiği filmler ise 30-120°C, 120-215°C ve 215-417°C olmak üzere 3 bölgede kütle kaybı göstermiştir. Gliserolün eklendiği filmlerde, plastikleştirici eklenmeyen filmlerden farklı olarak 120-225°C gerçekleşen kaybın kaynağı olarak gliserolün bozunması gösterilmiştir.

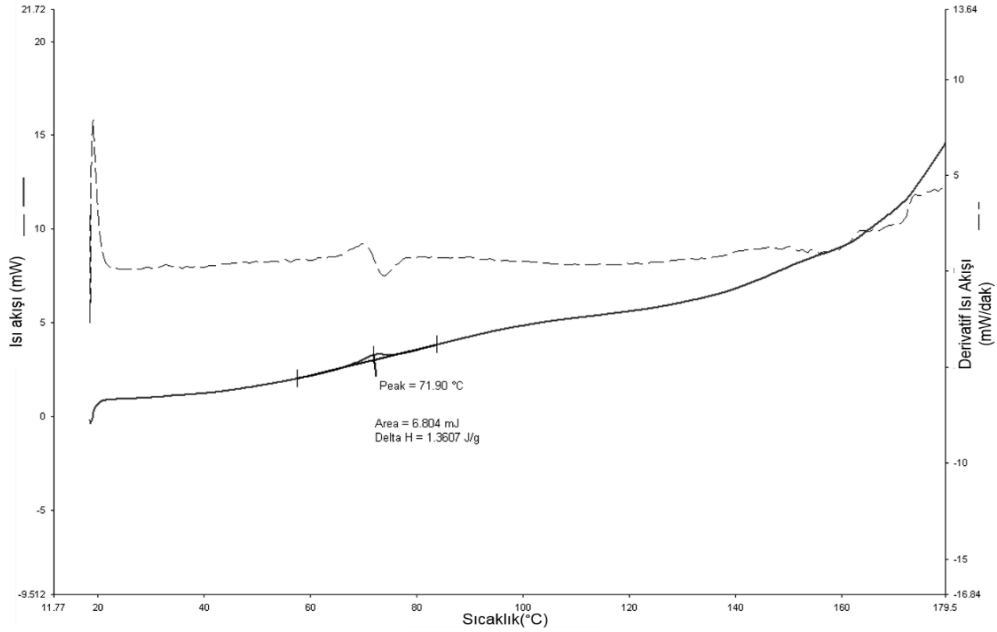


Şekil 4. 3. Kitosan filmler için TG analizi

4.2.4. DSC Çalışmaları

Camsı geçiş sıcaklığı (T_g) maddelerin fiziksel, mekaniksel, termal, elektriksel ve diğer özelliklerinde zaman, sıcaklık ve su aktivitesine bağlı olarak meydana gelen geçişi belirtmektedir. Kitosan filmlerinin camsı geçiş sıcaklığını belirlemek amacıyla yapılan DSC çalışması sonucu Şekil 4. 3' de gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde elde edilen kitosan filmleri için camsı geçiş sıcaklığının 71.9 °C olduğu görülmektedir. Camsı geçiş sıcaklığı kitosanın kristallenme derecesine, su miktarına, molar kütlesine, deasetilasyon derecesine ve makromolekül zincirindeki OH- ve amin gruplarının varlığı ile doğrudan ilişkili olup kitosanın farklı T_g değerlerine sahip olmasına neden olmaktadır [79, 80]. Bu nedenle kitosan veya kitosan içerikli kompozit filmler için ortak bir T_g değeri olması güçleşmektedir [73, 81].

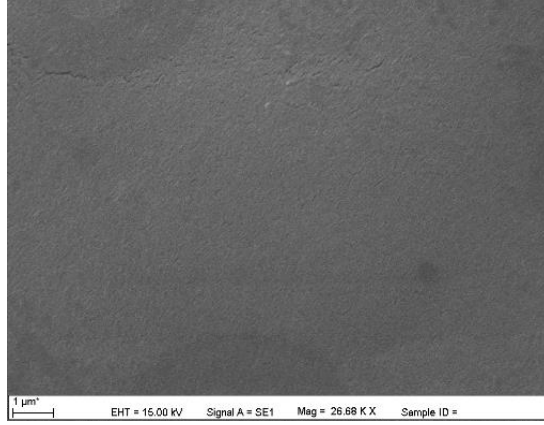
Sakurai ve arkadaşları [82] tarafından yapılan çalışmada kitosanın T_g değeri 203°C olarak ifade edilmiştir. Diğer bir çalışmada [83] ise nem içeriği düşük olan kitosan için camsı geçiş sıcaklığı 118°C iken nem içeriği yüksek olan kitosan için bu değer 61°C 'a kadar düşmesi ile kitosan içerisindeki su miktarının T_g değerini etkilediği gösterilmiştir. Farklı kitosan oranları kullanılarak elde edilen kompozit filmler için camsı geçiş sıcaklığın değiştiğini gösteren diğer bir çalışmada [81] sadece kitosan içeren filmler için bu değer 78.8°C olduğu belirtilmiştir. Yapılan bu çalışmalara ek olarak Suyatma ve arkadaşları [68] kitosan filmleri hazırlanırken kullanılan plastikleştirici miktarı ile T_g değerinin ters orantılı olduğunu, plastikleştirici miktarı arttıkça T_g değerinin azaldığını göstermişlerdir.



Şekil 4. 3. Kitosan filmler için DSC analizi

4.2.5. SEM Görüntüleri

Hazırlanan kitosan filmlerin yüzey özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan SEM analizi sonucu elde edilen görüntü Şekil 4. 4'te verilmiştir. Görüntü incelendiğinde kitosan filmlerin homojen, düzenli ve pürüzsüz bir yapı sergilediği gözlenmektedir.



Şekil 4. 4. Kitosan filmler için SEM görüntüsü (26.68 K x, 1µm)

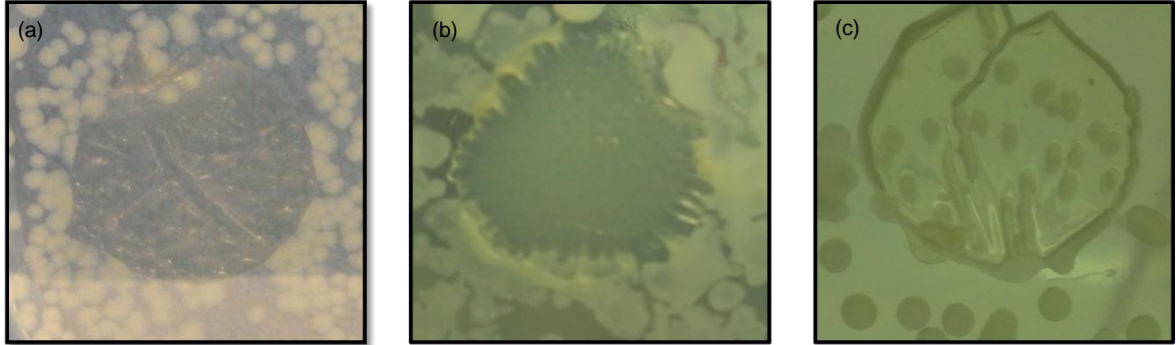
4.3. Kitosan Filmlerin Antimikrobiyal Özelliğinin İncelenmesi

Agar difüzyon yöntemi test edilecek olan materyalin agar yüzeyine difüze olarak materyalin etrafında bakteriyel üremenin engellenmesine bağlı olarak oluşan inhibisyon zonu çaplarının belirlenmesine dayanan, antimikrobiyal özelliğın test edilmesinde kullanılan bir yöntemdir. Test edilen kitosan filmlerin antimikrobiyal özelliğının belirlenmesi amacıyla gram negatif bakteri olarak *E. coli* türü, gram pozitif bakteri olarak ise *B. subtilis* türü kullanılmıştır. Kitosan filmlerin test edilen mikroorganizmaların üzerindeki antimikrobiyal etkisine dair elde edilen sonuçların görüntüleri Şekil 4. 5' de verilmiştir. Şekil 4. 5 (a) ve (b) incelendiğinde kitosan filmlerinin agar yüzeyi ile temas ettiği noktalarda üreme gözlenmezken, filmlerin etrafında mikrobiyal üremenin olduğu görülmektedir. Filmlerin etrafında inhibisyon zonu oluşmamasına neden olarak film halindeki kitosanın agar yüzeyine difüze olamaması gösterilmekte olup, filmlerin agarla temas ettiği noktalarda üreme gözlenmemesinin nedeni olarak ise antimikrobiyal etkinin ancak filmlerin bakteriyel hücrelerle direkt temas ettiği durumlarda oluşması gösterilmektedir [63, 84, 85]. Leceta ve arkadaşları [51] farklı kurutma sıcaklıklarında hazırlamış oldukları kitosan filmlerin antimikrobiyal özelliklerini karşılaştırmak için gram-negatif bakteri olarak *E. coli* türünü, gram-pozitif bakteri olarak ise *L. plantarum* türünü kullanarak agar difüzyon yönteminden yararlanmışlardır. Hem oda sıcaklığında hem de yüksek sıcaklıkta kurutarak elde ettikleri filmlerin etrafında inhibisyon zonu gözlenmezken oda sıcaklığında kurutmuş oldukları filmlerin agarla temas ettiği noktalarda üreme olmadığından filmlerin antimikrobiyal özellik gösterdiğini belirtmişlerdir. Yüksek sıcaklıkta kurutulan filmlerin ise antimikrobiyal özellik göstermediğinden dolayı filmlerin agarla temas ettiği noktalarda üremenin olduğunu gözlemlemişlerdir.

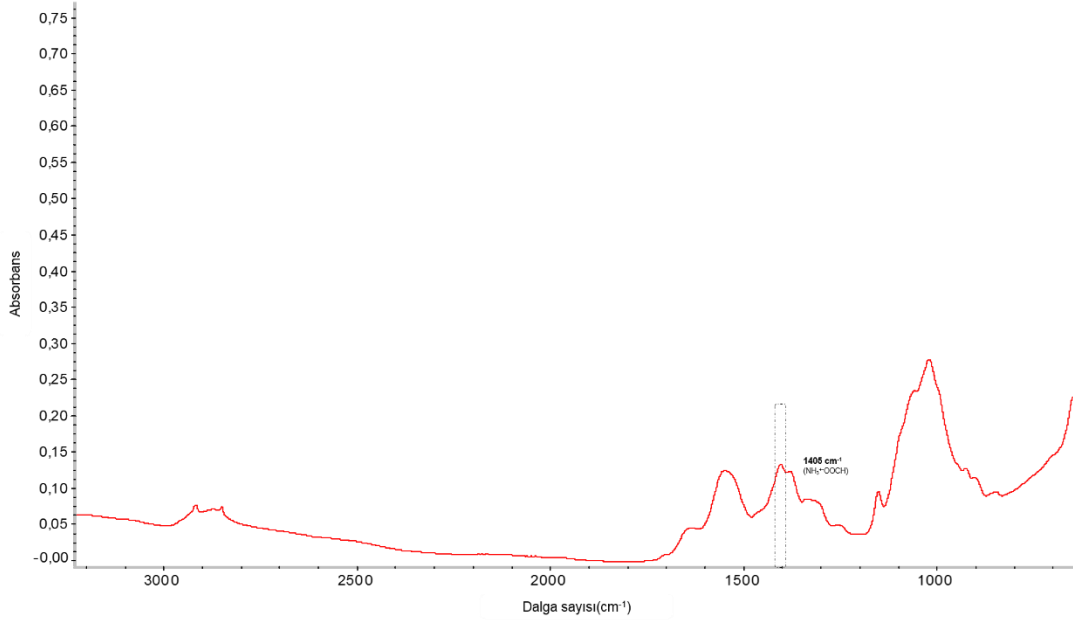
Kitosan filmlerin antimikrobiyal özelliğini test etmek için agar difüzyon yöntemi kullanılan diğer bir çalışmada [63] test organizmaları olarak *E. coli* ve *L. monocytogenes* türleri kullanılmıştır. Analiz sonucunda test edilen filmlerin etrafında her iki tür için de inhibisyon zonları gözlenmemiştir.

Elde edilen kitosan filmlerin antimikrobiyal özellik gösterdiğini hem FTIR analizi sonuçlarında kitosan filmlerin antimikrobiyal özelliği ile ilişkilendirilen 1405 cm^{-1} 'de absorpsiyon bandına sahip olması [69, 86, 87] (Şekil 4. 5) hem de nötralize edilen filmlerin agar difüzyon testi sonuçları kanıtlamaktadır.

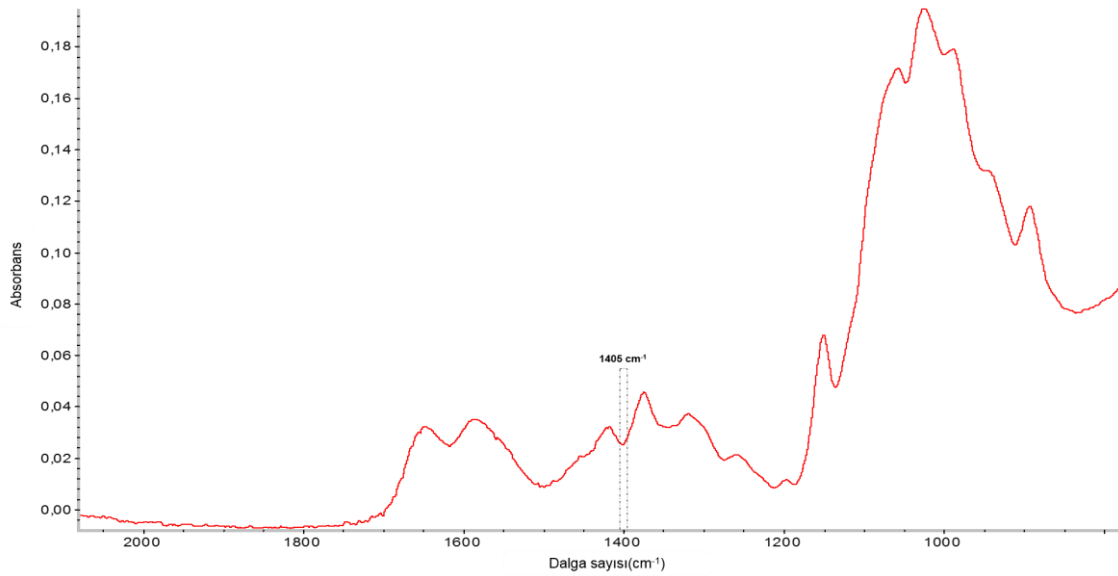
Kitosan filmlerin nötralizasyonu, kitosanın antimikrobiyal aktivitesi göstermesini sağlayan grupların inaktivasyonunu gerçekleştirmektedir [67]. Nötralize edilen kitosan filmler için yapılan agar difüzyon testi sonucunda bakteriyel grupların hem filmlerin agarla temas ettiği noktalarda hem de filmlerin çevresinde ürediği görülmüştür (Şekil 4. 5-c). Ayrıca nötralize edilen kitosan filmlerin FTIR analizi sonuçlarında, nötralize edilmeyen filmlerin aksine, kitosan filmlerin antimikrobiyal özelliği ile ilişkilendirilen 1405 cm^{-1} de absorpsiyon bandı yer almamaktadır (Şekil 4. 6).



Şekil 4. 5. Kitosan filmlerinin antimikrobiyal özelliğinin agar difüzyon testi ile incelenmesi a) *E. coli* türü üzerine etkisi b) *B. subtilis* türü üzerine etkisi c)Nötralize edilen kitosan filminin *B. subtilis* türü üzerine antimikrobiyal etkisi



Şekil 4. 5. Kitosan filmi için FTIR spektrumu



Şekil 4. 6. Nötralize edilen kitosan filmi için FTIR spektrumu

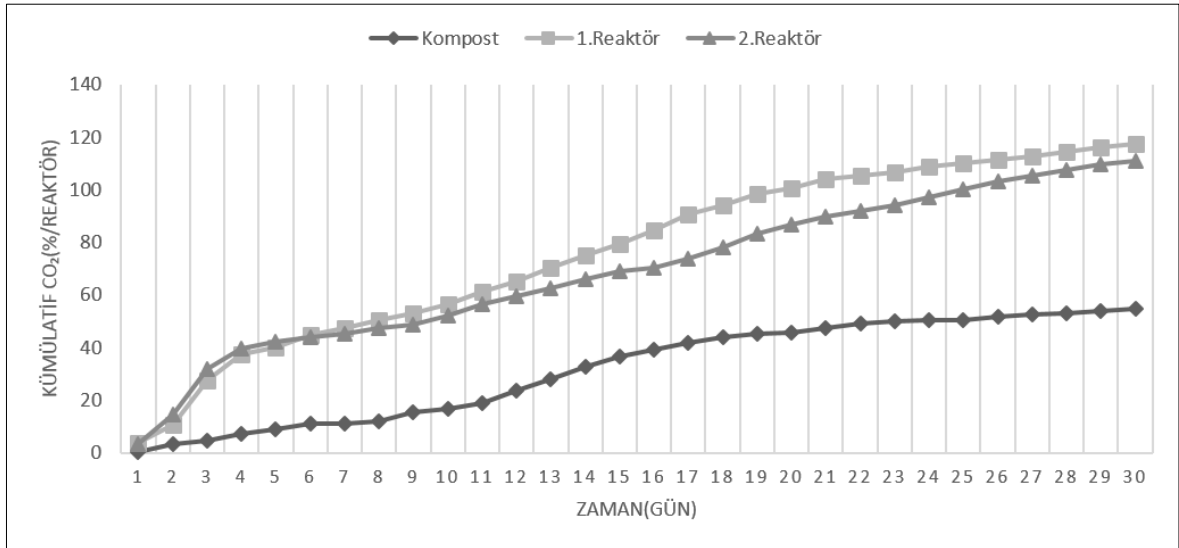
4.4. Kitosan Filmlerin Kompost Ortamında Biyobozunurluğunun İncelenmesi

Test edilecek olan kitosan filmlerin aerobik kompost ortamında biyobozunma davranışının incelenmesi sırasında mikrobiyal aktivite sonucu parçalanmasına kanıt olan karbon dioksit oluşumu kompostlaştırma süreci boyunca düzenli aralıklarla takip edilmiştir. Bu parametreye ek olarak kompost ortamında mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilen ayrıştırmanın olumsuz olarak etkilenmemesi için kompostlaştırma işlemi boyunca standartlarda yer alan değerlerde olması gereken nem, pH ve sıcaklık parametrelerinin kontrolü yapılmıştır. Aynı zamanda kompost

ortamı içerisinde kitosan filmlerinden kaynaklı organik karbon kaynaklarının mikroorganizmalarca kullanıldığını gösteren organik karbon miktarındaki değişimi belirlemek amacıyla “Toplam Organik Karbon (TOK) Analizi” de yapılmıştır.

4.4.1. CO₂ Analizi ve Biyobozunma Yüzdesi

Hem ASTM D 5338 hem de TS-EN-ISO 14855-1,2013 standartlarında belirtilmiş olan koşullara uygun olacak şekilde hazırlanan kompostlaştırma sisteminde, test edilen filmlerin kompost ortamında biyolojik olarak parçalanmasının kanıtı olarak ortaya çıkan CO₂ gazının ölçümleri düzenli aralıklarla yapılmış olup ilgili verilerin yer aldığı grafik şekil 4. 7’ de verilmiştir. Grafik incelendiğinde film içeren reaktörlerde herhangi bir adaptasyon (lag) evresi olmaksızın kitosan filmlerin mikroorganizmalar aracılığıyla parçalanmaya başladığı görülmektedir. Özellikle test edilen kitosan filmlerinin bulunduğu 1. ve 2. reaktörlerde 3.günde ölçülen CO₂ miktarı en yüksek seviyeye ulaşmıştır.



Şekil 4. 7. Aerobik kompostlaştırma sırasında oluşan kümülatif CO₂ grafiği

Her iki reaktör için meydana gelen biyobozunma yüzdeleri ASTM D 5338 ve TS-EN-ISO 14855-1,2013 standartlarında yer alan eşitlik (1) kullanılarak hesaplanmıştır. Kitosan filmler için elde edilen değerler kullanılarak oluşturulan biyobozunmaya ilişkin grafik Şekil 4. 8’de verilmiştir.

$$Dt = \frac{(CO_2)_T - (CO_2)_B}{ThCO_2} \times 100 \quad (1)$$

Dt : Biyodegradasyon yüzdesi

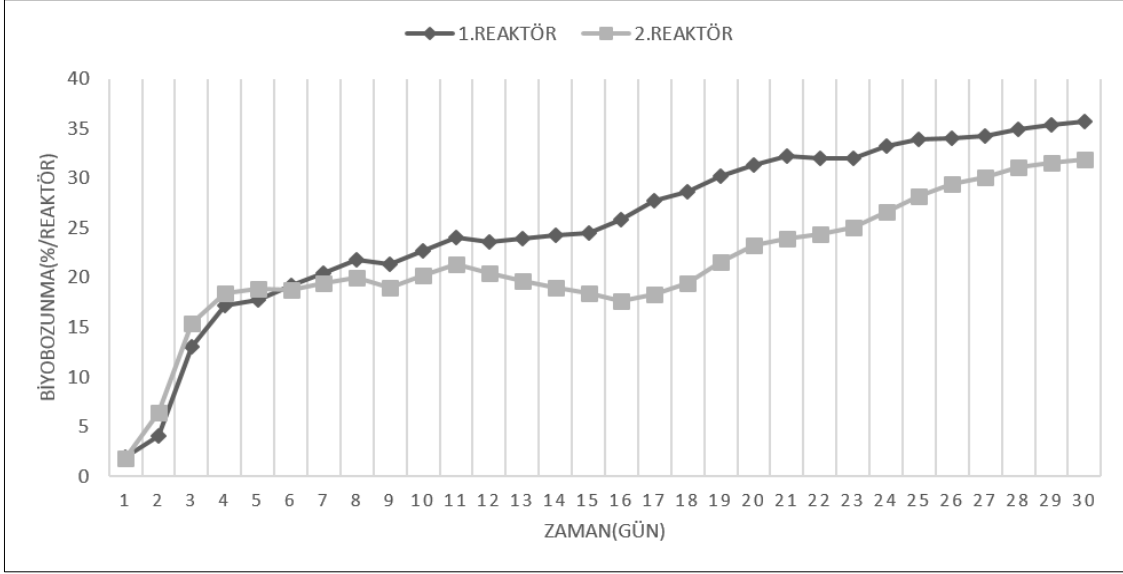
(CO₂)_T : Kompost reaktöründe açığa çıkan CO₂ miktarının kümülatif toplamı

$(CO_2)_B$: Boş reaktördeki ortalama kümülatif CO_2 miktarı

TH_{CO_2} : Oluşan teorik CO_2 miktarı

Oluşan teorik CO_2 miktarı ise standartlarında yer alan altta belirtilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$TH_{CO_2} = M_{TOT} \times C_{TOT} \times 44/12$$



Şekil 4. 8. Kitosan filmlerin kompost ortamındaki biyobozunma grafiği

Farklı oranlarda gliserol ve NaMMT içeren kitosan bazlı filmlerin aerobik kompostlaştırma ortamında biyobozunurluğu Dean ve arkadaşları [18] tarafından yapılan çalışmada incelenmiştir. Yapılan çalışmada sadece kitosan içeren filmler hariç diğer filmlerin ikinci haftayı takiben kompost ortamından ayırt edilemeyecek kadar küçük parçalara ayrıldığı belirtilmiştir. Sadece kitosan içeren filmlerin parçalanma hızının daha düşük olması kompost ortamı içerisinde diğer filmlere göre yapısını daha uzun süre korumasına neden olmuştur. Biyobozunma yüzdeleri incelendiğinde ise sadece kitosan içeren filmler hariç diğer filmlerin ilk iki hafta içerisinde %50 değerine ulaştığı, bu değer sadece kitosandan oluşan film için iki hafta sonunda %18 olarak elde edildiği belirtilmiştir. Üçüncü hafta içerisinde bütün kitosan bazlı filmlerin biyobozunma yüzdelerinde azalma görülmüş bunun nedeni olarak ise kitosanın kompost ortamında bozunması sırasında ortaya çıkan, mikroorganizmaların üremesini engelleyebilecek özellikte olan parçalanma ürünleri gösterilmiştir. Dördüncü haftayı takiben ise mikroorganizmaların üremesine

üzerinde olumsuz etki oluşturan parçalanma ürünlerinin bozunmasına bağlı olarak kitosan bazlı filmlerin bozunma yüzdelerinde tekrar artış görülmüştür. 180 gün sonunda kitosan bazlı filmlerin biyobozunma oranı %85 iken bu oran sadece kitosan içeren filmler için ancak %65'e ulaşabilmiştir. Bu nedenle gliserol miktarının da kitosan filmlerin kompost ortamında biyobozunma hızı ve miktarı üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir.

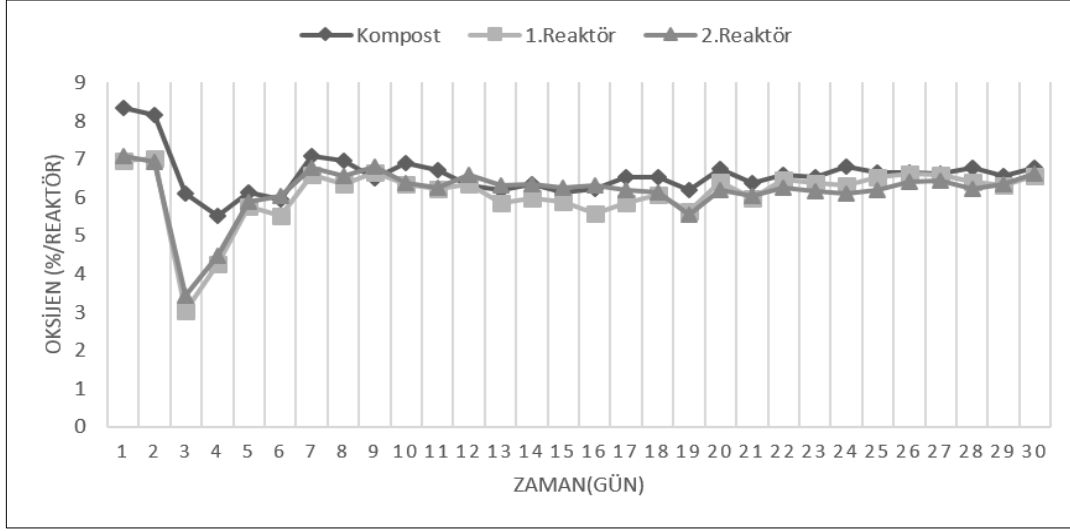
Xie ve arkadaşları [19] farklı oranlarda montmorillonit (aktif kil) kullanarak elde ettikleri nanobiyokompozitlerin aerobik kompost ortamında biyobozunma davranışını incelemiştir. Kompostlaştırma sonucu Dean ve arkadaşlarının çalışması ile benzerlik göstermekte olup kullanılan aktif kilin kitosan bazlı kompozitlerin biyobozunma durumu üzerinde etkili olmadığını belirlemiştir.

Literatürde yer alan kitosan bazlı filmlerin aerobik kompost ortamında biyobozunmasını inceleyen çalışmalarla yapılan araştırma karşılaştırıldığında, kitosan filmlerin kompost ortamında biyobozunma yüzdesi 30 gün sonunda %31- %35 aralığında olduğu görülmüştür. Literatürde yer alan çalışmalarda %25 oranında gliserol içeren kitosan filmlerin sadece kitosan içeren filmlere oranla daha fazla bozunmaya uğradığı tespit edilmiştir. Literatürde yer alan çalışmalar ile karşılaştırıldığında bu çalışmada kullanılan kitosan filmlerin ilk iki günde gözlenen yüksek bozunma hızlarına rağmen biyobozunma yüzdelerinin daha düşük olduğu görülmüştür. Kitosanın kompost ortamında bozunma mekanizması tam olarak bilinmemekle birlikte biyobozunma oranında görülen düşüşün nedeni filmlerin elde edilme yöntemi, filmlerde yer alan gliserol miktarı, gliserolün kompost ortamına ekstrakte olma hızı ve süresi ile beraber kitosan filmlerin antimikrobiyal özelliği ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

4.4.2. O₂ Analizi

Aerobik kompostlaştırma işlemi sırasında ortamda bulunan oksijen seviyesinin azalması, oksijenin mikroorganizmalarca kullanılarak organik materyallerin biyolojik olarak parçalandığının göstergesidir. Dolayısıyla mikrobiyal aktivitenin arttığı zamanlarda oksijenin metabolik işlemler için kullanımına bağlı olarak tüketilen oksijen miktarı da artmaktadır. Kompostlaştırma işlemi süresince reaktörler içerisindeki oksijen miktarının standartlarda belirtilmiş olan değerin (>%6) üzerinde olmasını sağlayacak şekilde gönderilen hava miktarları ayarlanmıştır. Şekil 4. 9 kompost reaktörlerinde meydana gelen oksijen değişimini göstermektedir. Grafik

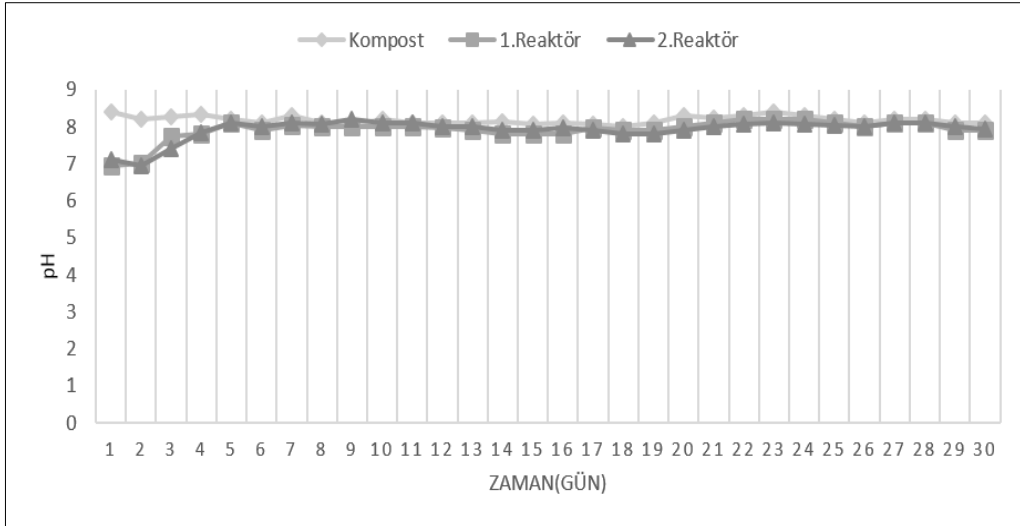
incelendiğinde en fazla oksijen tüketimi 1. ve 2. reaktörde 3.günde görülmekte olup bu değer %3 değerine ulaşmıştır. Özellikle test materyali olarak kitosan filmlerinin yer aldığı reaktörlerde hem karbondioksit oluşumunun hem de oksijen tüketiminin bu günde en yüksek seviyeye ulaşmış olması ortamda bulunan karbon kaynaklarının mikroorganizmalarca kullanıldığını, kitosan filmlerinin biyolojik olarak parçalandığını göstermektedir.



Şekil 4. 9. Kompost reaktörlerinde meydana gelen O₂ miktarı değişimi

4.4.3. pH Analizi

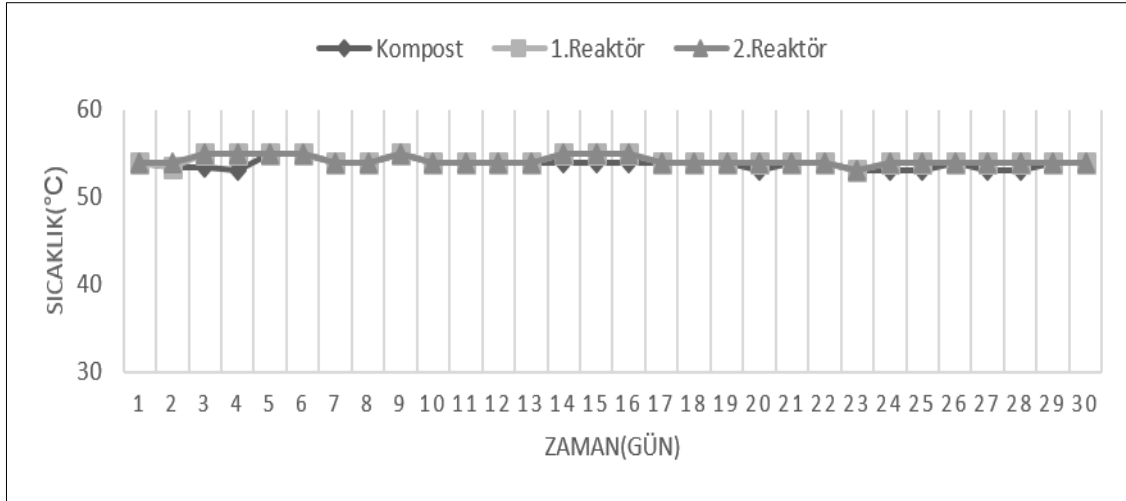
Kompostlaştırma süreci boyunca hem kitosan filmlerinin yer aldığı reaktörlerde hem de sadece kompost bulunan reaktörde meydana gelen pH değişimlerini gösteren grafik Şekil 4.10' da verilmiştir. Grafik incelendiğinde kompostlaştırma süreci boyunca pH değişim aralığının hem standartlarda belirtilmiş değer olan 7.0'nin çok altına düşmediği hem de biyobozunur polimerlerin kompost ortamında bozunurluğunu inceleyen çalışmada [27] mikrobiyal aktivite için belirtilen optimum pH değerleri olan 6,2- 8,5 aralığında olduğu görülmektedir. Kitosan filmlerinin yer aldığı reaktörlerde kompostlaştırma işleminin başlangıcında pH değerleri 6,9-7,1 arasında iken bu değerler mikrobiyal aktiviteye bağlı olarak kompostlaştırma işlemi süresince 7,9-8,1 aralığında ölçülmüştür.



Şekil 4. 10. Kompost reaktörlerinde meydana gelen pH değişimi

4.4.4. Sıcaklık Analizi

Reaktörler standartlarda belirtilmiş olan $58\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklık değerine sahip su banyosu içerisine yerleştirilmiş ve kompost ortam sıcaklığının 50°C üzerinde olması sağlanmıştır. Bu sıcaklığın korunması kitosan gibi kompleks yapıli bileşiklerin ayrıştırılmasının kompostlaştırmanın termofilik evresinde, termofilik organizmalarca gerçekleştirilmesi nedeniyle önemlidir. Aynı zamanda yapılan bir çalışmada kitosanın enzimatik olarak parçalanmasından sorumlu olan α -amilaz ve glukoamilaz enzimlerinin, kaynaklarına bağlı olarak, aktivite gösterebilmesi için optimal sıcaklık değerlerinin $45\text{-}55^{\circ}\text{C}$ olduğu gösterilmiştir [57]. Bu nedenle sıcaklığının 50°C üzerinde olması hem termofilik mikroorganizmaların ortamda bulunması hem de mikroorganizmalar tarafından oluşturulan enzimlerin aktivite gösterebilmesi için gereklidir. Kompostlaştırma süreci boyunca reaktörlerde meydana gelen sıcaklık değişimlerine dair grafik Şekil 4.11’de verilmiştir. Grafikte yer alan sıcaklık verileri kompost yığınının alt, orta ve üst kısımlarından ölçülen sıcaklık değerleri ortalamasını göstermekte olup sıcaklığın $53\text{-}56^{\circ}\text{C}$ arasında korunduğunu göstermektedir.



Şekil 4.11. Kompost reaktörlerinde meydana gelen sıcaklık değişimi

4.4.5. Nem Analizi

Reaktörlere konulan kompost içeriğinin nem oranı %16'dır. Kompostlaştırma işlemi başlamadan önce eklenecek olan distile suyun miktarının belirlenmesinin ardından standartlarda belirtilen %50 nem oranına sahip olacak şekilde nemlendirme işlemi yapılmıştır. Kompostlaştırma işlemi boyunca reaktörlerin nem oranları %50'nin altına düşmeyecek şekilde düzenli olarak nemlendirilmiş ve kompost karışımının homojen nem oranına sahip olması için karıştırılmıştır.

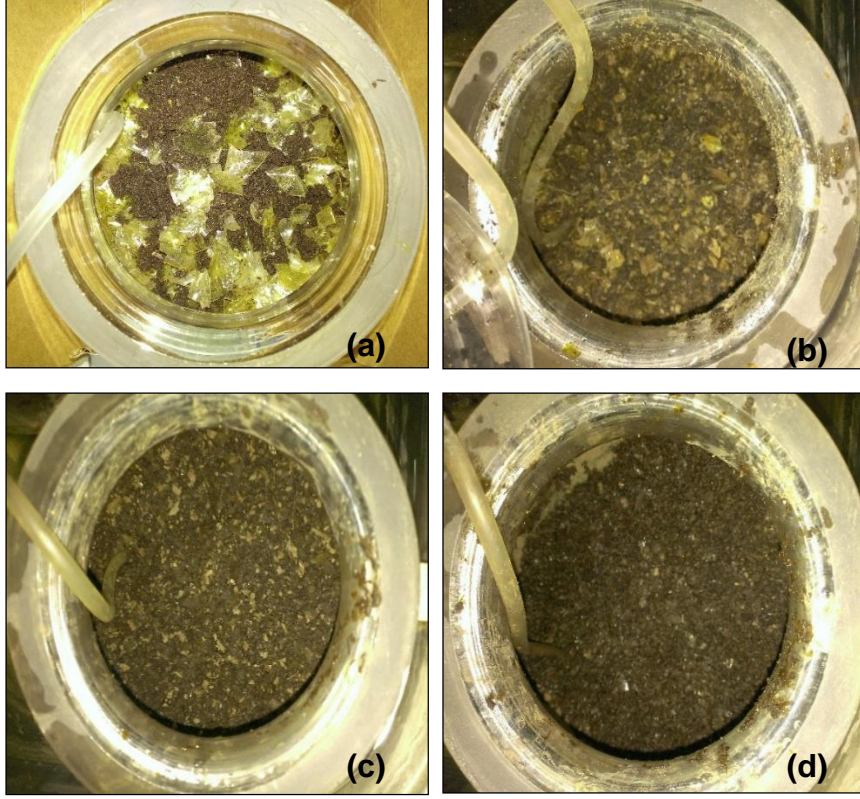
4.4.6. Toplam Organik Karbon (TOK) Analizi

Kompost ortamı içerisinde kitosan filmlerinden kaynaklı organik karbon kaynaklarının mikroorganizmalarca kullanıldığını gösteren organik karbon miktarındaki değişimi belirlemek amacıyla yapılan "Toplam Organik Karbon (TOC) Analizi" sonuçları kompostlaştırma işlemi başlangıcında sadece kompost içeren reaktör için %18 iken bu değer kitosan filmlerinin yer aldığı reaktör için %21 olarak elde edilmiştir. Kompostlaştırma işlemi sonrasında bu değerler sırasıyla %15,4 ve % 18'e düşmüştür. Bu sonuçlar kompost ortamlarında yer alan organik karbon kaynaklarının mikroorganizmalarca kullanıldığını göstermektedir.

4.5. Kompostlaştırma Sonrası Kitosan Film Karakterizasyonu

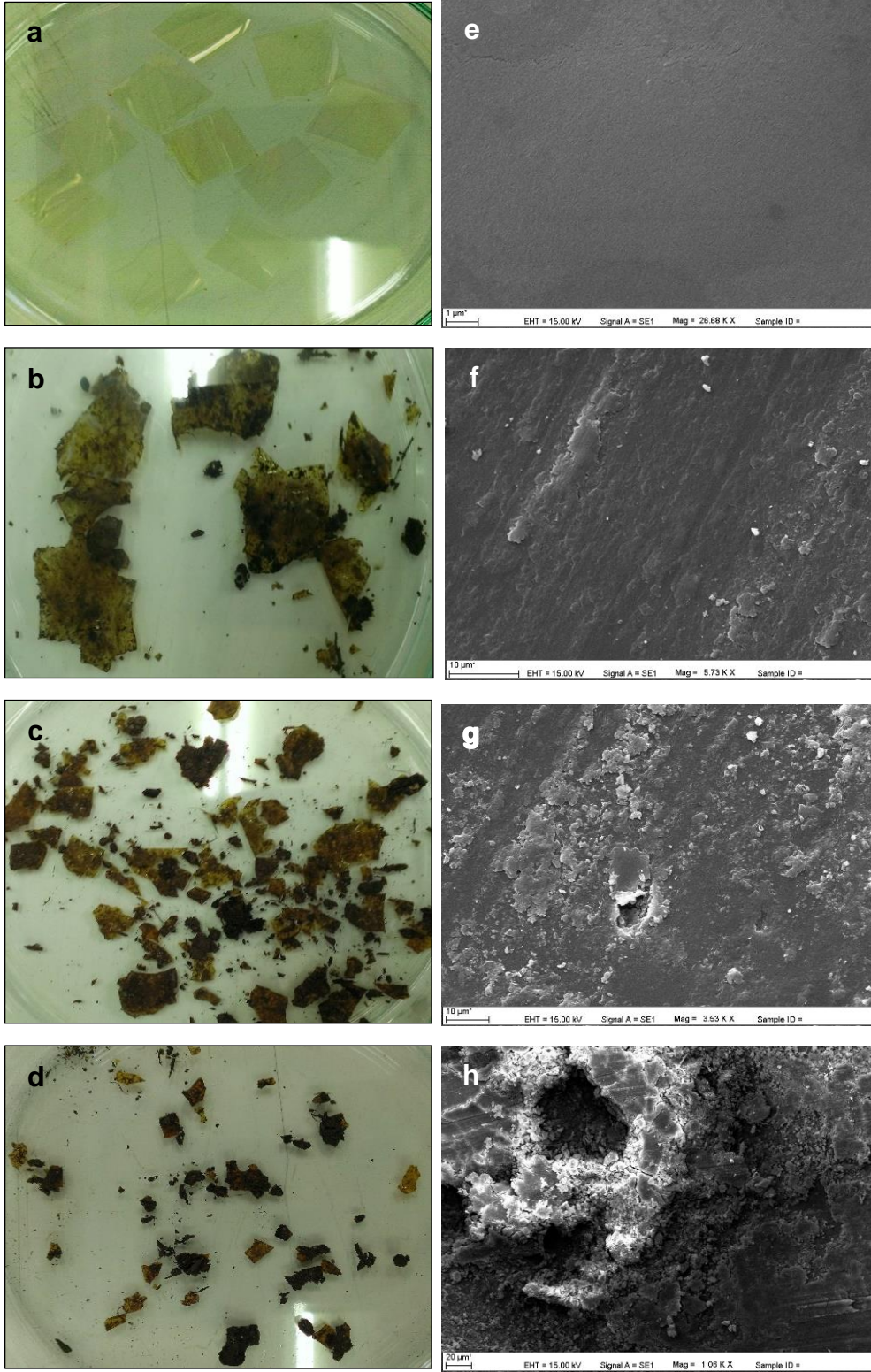
4.5.1. Optik Fotoğraf ve SEM Görüntüleri

Şekil 4.12 (a),(b),(c) ve (d) test edilen kitosan filmlerin sırasıyla 0.gün, 3. gün, 5. gün ve 7.günde reaktörler içerisindeki optik görüntülerini göstermektedir. Şekil incelendiğinde 3.günden itibaren kitosan filmlerin parçalanma oranlarının arttığı ve 7.günden itibaren kompost içeriğinden makroskobik olarak ayırt edilemeyecek kadar küçük parçalara ayrıldığını göstermektedir.



Şekil 4.12. Reaktörler içerisinde kitosan filmlerin optik görüntüsü (a) 0.gün, (b) 3.gün, (c) 5.gün, (d) 7.gün

Reaktörlerden alınan numunelerin hem optik hem de SEM görüntüleri karşılaştırmalı olarak Şekil 4.13'te verilmiştir. Optik görüntüler incelendiğinde 3. günden itibaren filmlerin daha küçük parçalara ayrıldığı, 5.gün filmlerin boyutsal olarak küçülmeye devam ettiği ve 7.gün parçalanma oranının en yüksek düzeye ulaştığı görülmektedir. SEM analizi sonucu elde edilen görüntülerden ise 0.gün yüzey pürüzsüz ve homojen iken 3.günden itibaren yüzey özelliklerinin değişmeye başladığı, 5.günde film yapısının daha pürüzlü hale geldiği ve homojenitesini kaybettiği, 7. günde ise filmlerin yüzeyinde oluşan çatlaklardan ve pordan bozunmanın ileri safhalara geçtiği anlaşılmaktadır.

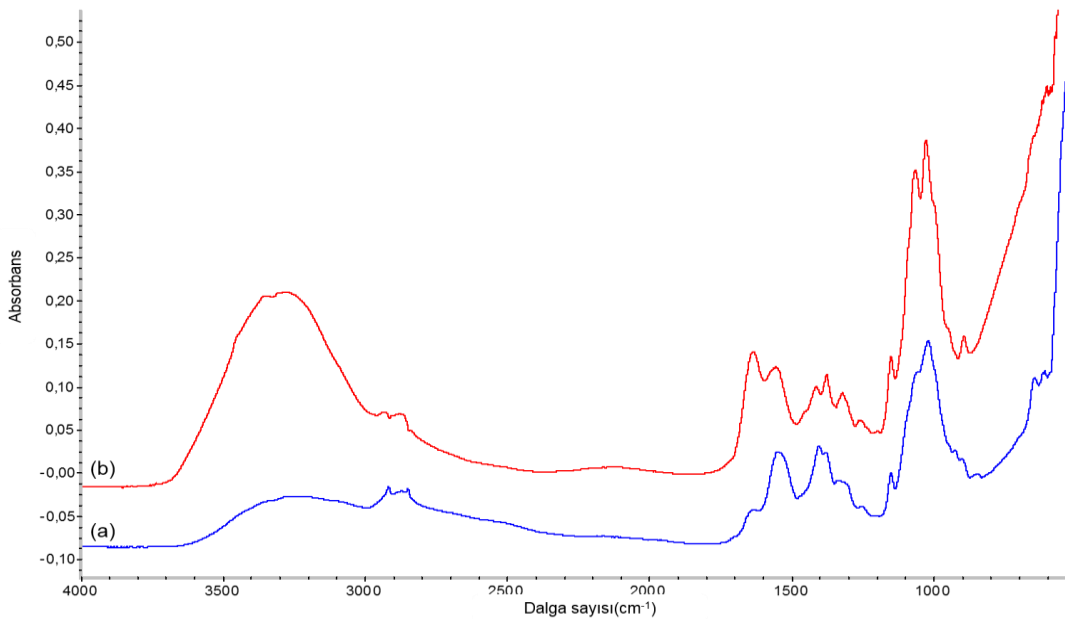


Şekil 4.13. Reaktörlerden alınan kitosan filmi numunelerinin optik (a) 0.gün, (b) 3.gün, (c) 5.gün, (d) 7.gün ve SEM (e) 0.gün (26.68 K x, 1µm), (f) 3.gün (5.73 K x, 10 µm), (g) 5.gün (3,53 K x, 10µm), (h) 7.gün (1,06 K x, 20 µm) görüntüleri

4.5.2. FTIR Spektroskopisi

Kitosan filmlerin kompost ortamında mikrobiyal aktivite sonucu bozunmaya uğradığının kanıtı kitosan polimerini oluşturan D-glukozamin birimleri arasındaki β -(1-4) glikozidik bağıdır. Mikroorganizmalar tarafından üretilen hücre dışı enzimler bu bağların kırılmasını sağlayarak kitosanın biyobozunmasına neden olmaktadır. Bu yüzden test edilen kitosan filmlerin mikrobiyal aktivite sonucu bozunma durumunun belirlenmesi sırasında, glukozamin birimleri arasındaki C-O-C bağının FTIR spektrumunda temsil ettiği absorpsiyon bandı ($1140-1160\text{ cm}^{-1}$) yüksekliklerinden yararlanılmıştır [61]. Bu absorpsiyon bandında meydana gelen değişimin incelenmesi sırasında referans bant olarak 1640 cm^{-1} (amid I) kullanılmıştır.

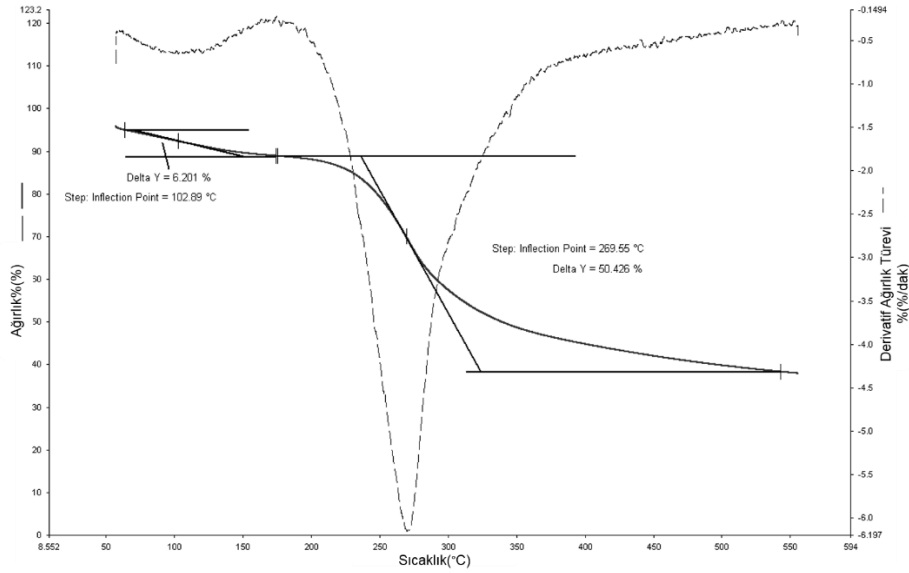
Kompostlaştırma işlemi sonrasında kitosan filmler için elde edilen FTIR spektrumu sonucu Şekil 4. 14'te verilmiştir. Kompost ortamındaki biyobozunma durumunu belirlemek için kitosan filmlerin kompostlaştırmadan önceki ve sonraki FTIR analizi sonuçlarına göre $1150\text{ cm}^{-1}/1640\text{ cm}^{-1}$ bantlarının yükseklik oranları karşılaştırılmıştır. Kompostlaştırmadan önce bu oran 3 iken kompostlaştırma sonrası 0,57'ye kadar düşmüştür. Hesaplamalar yapılırken kullanılan absorpsiyon band yükseklikleri ekler kısmında verilmiştir. Kompostlaştırmadan sonra kitosan filmler için bu oranın düşmesi kitosanın mikrobiyal enzimler aracılığıyla bozunmaya uğradığını göstermektedir.



Şekil 4. 14. Kompostlaştırma öncesi (a) ve sonrası (b) kitosan filmlerin FTIR spektrumu

4.5.3. TGA Çalışmaları

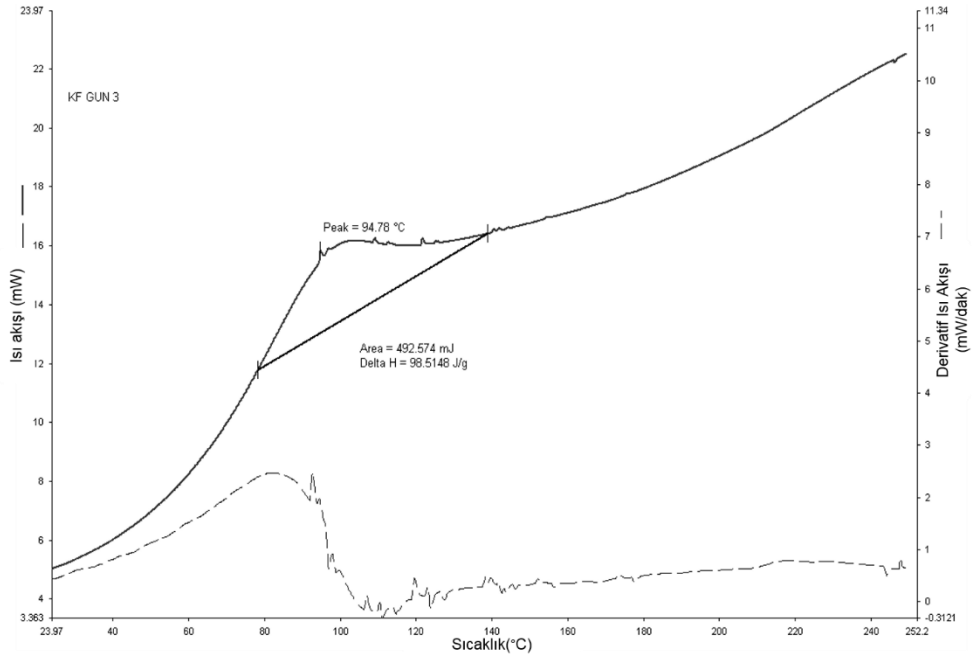
Kompostlaştırma sonrası reaktörlerden alınan kitosan filmlerinin TG analizine ilişkin grafik Şekil 4.15'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde gliserolün yapıdan uzaklaşmasına bağlı olarak kompostlaştırma öncesi gözlenen 150-200°C aralığındaki kütle kaybı (Şekil 4. 3), kompostlaştırma sonrasında gözlenmemekte olup kompostlaştırma sonrasında sadece 100-150°C ve 250-300°C aralığında olmak üzere 2 bölgede kütle kaybının meydana geldiği görülmektedir. 100-150°C aralığında görülen %6'lık kayıp yapıda bulunan bağlı suyun buharlaşmasından, 250-300°C aralığında görülen %50'lik kütle kaybı ise kitosan polimerinin bozunmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4. 15. Kompostlaştırma sonrası kitosan filmlerin TG analizi

4.5.4. DSC Çalışmaları

Kompostlaştırma sonrası kitosan filmlerinin camsı geçiş sıcaklığını belirlemek amacıyla yapılan DSC çalışması sonucu Şekil 4. 16' da gösterilmektedir. Elde edilen sonuç incelendiğinde kitosan filmleri için camsı geçiş sıcaklığının 94.78°C olduğu görülmektedir. Kitosan filmlerinin kompostlaştırmadan önceki camsı geçiş sıcaklığı ile karşılaştırıldığında daha yüksek çıkmasının nedeni olarak kitosanın yapısında bulunan suyun uzaklaşması gösterilebilir.



Şekil 4. 15. Kompostlaştırma sonrası kitosan filmlerin DSC analizi

5. SONUÇLAR

Kitosan biyobozunur yapıda, toksik olmayan, yüksek antimikrobiyal özelliğe sahip olan ve doğal olarak bulunan bir polimer olması nedeniyle başta gıda endüstrisinde özellikle yiyeceklerin paketlenmesinde, tarımda, ilaç ve kozmetik sanayisi gibi farklı sanayi kollarında uygulama alanı bulmasından dolayı katı atıklar içerisindeki payını arttırmakta olup hem çevreye hem de toplum sağlığına uygun olarak doğaya geri kazandırılması gerekmektedir. Bu nedenle bu tez çalışması kapsamında atık oluşturma kapasitesi oldukça yüksek olan kitosan polimerinden üretilen filmlerin aerobik kompost ortamındaki biyobozunma davranışı incelenmiştir. Karmaşık ve çok parametrelili olan kitosanın kompost ortamındaki bozunmasına açıklık getirilerek bozunma veriminin artırılmasına yönelik öneriler getirilmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen sonuçlarla birlikte bu sonuçlar doğrultusunda yapılması hedeflenen çalışmalar aşağıda belirtildiği gibidir.

1. Kitosan filmleri, plastikleştirici olarak gliserol, çözücü olarak ise asetik asit kullanılarak çözücü uzaklaştırma yönteminden yararlanılarak elde edilmiştir.
2. Elde edilen kitosan filmlerin karakterizasyon analizleri için FTIR, TGA ve DSC analizlerinden yararlanılmıştır.
3. Kitosan filmlerin FTIR analizi sonucunda kitosan filmler için karakteristik bağlar olan amid I, amid II ve amid III için sırasıyla 1640 cm^{-1} , 1550 cm^{-1} ve 1320 cm^{-1} absorpsiyon bantları elde edilmiştir.
4. TG analiz sonucunda 3 bölgede kütle kaybının gerçekleştiği görülmüştür. 50-100°C aralığında görülen %8'lik kayıp yapıda bulunan suyun buharlaşmasından, 150-200°C aralığında gözlenen %18'lik ikinci kütle kaybı gliserolün yapıdan uzaklaşmasından, 250-300°C aralığında görülen %37'lik son kütle kaybı ise kitosan polimerinin bozunmasından kaynaklanmaktadır.
5. Kitosan filmleri için DSC çalışma sonucu camsı geçiş sıcaklığının (T_g) 71.9 °C olduğu belirlenmiştir. Camsı geçiş sıcaklığı kitosanın kristallenme derecesine, su miktarına, molar kütlelerine, deasetilasyon derecesine ve makromolekül zincirindeki OH- ve amin gruplarının varlığı ile doğrudan ilişkili olup kitosanın farklı T_g değerlerine sahip olmasına neden olduğundan dolayı kitosan filmler için ortak bir T_g değeri belirlenmesinde güçlük yaşanmaktadır.

6. Kitosan filmlerinin SEM görüntüleri incelendiğinde filmlerin homojen, düzenli ve pürüzsüz bir yapı sergilediği gözlenmiştir.
7. Kitosan filmlerin antimikrobiyal özelliğinin belirlenmesi amacıyla agar difüzyon yönteminden yararlanılmıştır. Test organizmaları olarak gram negatif-bakteri olan *E. coli* türü, gram-pozitif bakteri olan *B. subtilis* türü kullanılmıştır. Elde edilen kitosan filmlerin antimikrobiyal özellik gösterdiğini hem FTIR analizi sonuçlarında kitosan filmlerin antimikrobiyal özelliği ile ilişkilendirilen 1405 cm⁻¹'de absorpsiyon bandına sahip olması hem de nötralize edilen filmlerin agar difüzyon testi sonuçları kanıtlamaktadır.
8. Kitosan filmlerin aerobik kompost ortamında biyobozunma davranışının incelenmesi sırasında mikrobiyal aktivite sonucu parçalanmasına kanıt olan karbondioksit oluşumu ve ortama beslenen hava içerisinde yer alan oksijen seviyesinde meydana gelen değişim kompostlaştırma süreci boyunca düzenli aralıklarla takip edilmiştir. Özellikle test materyali olarak kitosan filmlerinin yer aldığı reaktörlerde hem karbondioksit oluşumunun hem de oksijen tüketiminin 3.günden itibaren en yüksek seviyeye ulaşmış olması ortamda bulunan karbon kaynaklarının mikroorganizmalarca kullanıldığını, kitosan filmlerinin biyolojik olarak parçalandığını göstermektedir.
9. Kitosan filmlerin kompost ortamında biyobozunmaya uğradığının diğer bir kanıtı olarak reaktörlerden alınan film örneklerinin optik ve SEM görüntüleri gösterilebilir.
10. Ayrıca kitosanı oluşturan glukozamin grupları arasındaki glikozidik bağın kırılmasından sorumlu olan enzimleri üreten mikroorganizmalarca kitosanın kompost ortamında biyolojik olarak parçalandığını göstermek amacıyla glikozidik bağı temsil eden FTIR absorpsiyon bandının yüksekliğinin referans bandın yüksekliğine oranları kullanılmıştır. Kompostlaştırma sonrası alınan kitosan film numunelerinde bu oranın düşmesi kitosanın kompost ortamında biyobozunur olduğunu desteklemektedir.
11. Kitosan filmlerin kompost ortamında biyobozunma yüzdesi grafiği incelendiğinde elde edilen kitosan filmleri için biyobozunma yüzdesinin 30 gün sonunda %31-%35 aralığında olduğu görülmüştür. Literatürde yer alan çalışmalarla %25 oranında gliserol içeren kitosan filmlerin sadece kitosan içeren filmlere oranla

daha fazla bozunmaya uğradığı belirtilmektedir. Kitosan filmlerin biyobozunma yüzdesi literatürde yer alan çalışmalar ile karşılaştırıldığında bu çalışmada elde edilen değer ilk günlerdeki yüksek bozunma hızına rağmen daha düşüktür. Kitosanın kompost ortamında bozunma mekanizması tam olarak bilinmemekle birlikte biyobozunma oranında görülen düşüşün nedeni filmlerin elde edilme yöntemi, filmlerde yer alan gliserol miktarı, gliserolün kompost ortamına ekstrakte olma hızı ve süresi ile beraber kitosan filmlerin antimikrobiyal özelliği ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Kompostlaştırma işlemi sonrası yapılan TG analizi sonuçları yapıdan gliserolün uzaklaştığını göstermektedir. Dolayısıyla biyobozunma yüzdesinde görülen bu düşüş gliserol kaynaklı olabilir. Gliserol miktarının kitosan filmlerin kompost ortamında biyobozunma hızı ve miktarı üzerinde etkisi olduğu düşünülmeyle birlikte elde edilen kitosan filmlerin kullanılacağı uygulama alanına bağlı olarak kitosan filmler hazırlanırken kullanılan plastikleştirici oranının belirli sınırlar içerisinde olması gerekmektedir. Bunun nedeni olarak plastikleştirici miktarının filmlerin mekanik, hidrofobiklik gibi çeşitli özelliklerini değiştirmesidir. Bu nedenle elde edilen filmler içerisindeki gliserol miktarını arttırmak yerine kitosanın kompost ortamında parçalanmasında rol oynayan mikroorganizmaların belirlenmesi ve biyobozunma hızının artırılması çalışmaları araştırmaya değer konular olarak ön plana çıkmaktadır.

12. Toplam bozunma yüzdesinin düşük olmasına rağmen ilk iki günde gözlenen yüksek bozunma hızı da filmlerin çözücü uzaklaştırma yöntemi ile elde edilmiş olmasından kaynaklı olarak gliserolün yapıdan çok daha kolay uzaklaşması ile açıklanabilir. Ancak filmlerin kolay degrede olabilmesi için farklı polimerizasyon yöntemlerinin kullanılması elde edilecek filmlerin mekanik özelliklerini zayıflatacağından tercih edilmemektedir. Bu durumda yine yukarıda belirtildiği gibi kompost ortamında uygulanacak yöntemlerle degradasyonun hızlandırılmasına yönelik çalışmalar ön plana çıkmaktadır.

13. Bu çalışmada kitosanın kompost ortamında biyolojik olarak parçalandığı ve kullanılan filmlerin antimikrobiyal özelliklere sahip oldukları gösterilmiş olup degradasyon oranının artırılması ve prosesin hızlandırılmasında kompost ortamının mikrobiyal kompozisyonunun yanı sıra filmlerin antimikrobiyal özelliklerinin de etkili olduğu ve bu özelliğin filmlerin toplama ve saklama koşullarına bağlı olarak değişebileceği düşünülmektedir. Bu nedenle bu çalışma

sonucunda elde edilen verilere dayanarak bir sonraki hedef yüksek antimikrobiyal özellik gösteren filmlerin kompost ortamındaki davranışının incelenmesi ve bu süreçte rol oynayan mikroorganizmaların belirlenmesidir. Kompostlaştırma sürecinde rol oynayan mikrobiyal grupların tayin edilmesi hem kitosan filmlerin kompost ortamında biyobozunma mekanizmasının belirlenmesine katkıda bulunulmasının hem de kitosanın kompost ortamında biyobozunma süresinin kısaltılmasını ve verimin artırılmasını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Seng, B., Hirayama, K., Katayama-Hirayama, K., Ochiai, S., and Kaneko, H., Scenario analysis of the benefit of municipal organic-waste composting over landfill, Cambodia, *J Environ Manage*, 114, 216-24, **2013**.
- [2] Zhang, D.Q., Tan, S.K., and Gersberg, R.M., Municipal solid waste management in China: status, problems and challenges, *J Environ Manage*, 91, 1623-33, **2010**.
- [3] Anonim, TÜİK, Belediye Atık İstatistikleri <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=16170>, (Aralık, **2015**).
- [4] Kanat, G., Demir, A., Ozkaya, B., and Bilgili, M.S., Addressing the operational problems in a composting and recycling plant, *Waste Management* 26, 1384–1391, **2006**.
- [5] Neher, D.A., Weicht, T.R., Bates, S.T., Leff, J.W., and Fierer, N., Changes in Bacterial and Fungal Communities Across Compost Recipes, Preparation Methods, and Composting Times, *PLoS One*, 8, e79512, **2013**.
- [6] Castaldi, P., Garau, G., and Melis, P., Maturity assessment of compost from municipal solid waste through the study of enzyme activities and water-soluble fractions, *Waste Management*, 28, 534-540, **2008**.
- [7] Partanen, P., Hultman, J., Paulin, L., Auvinen, P., and Romantschuk, M., Bacterial diversity at different stages of the composting process, *BMC Microbiology*, 10:94, **2010**.
- [8] Amir, S., Merlina, G., Pinelli, E., Winterton, P., Revel, J.C., and Hafidi, M., Microbial community dynamics during composting of sewage sludge and straw studied through phospholipid and neutral lipid analysis, *J Hazard Mater*, 159, 593-601, **2008**.
- [9] Ryckeboer, J., Mergaert, J., Coosemans, J., Deprins, K., and Swings, J., Microbiological aspects of biowaste during composting in a monitored compost bin, *Journal of Applied Microbiology*, 94, 127-134, **2003**.
- [10] Alfreider, A., Peters, S., Tebbe, C.C., Rangger, A., and Insam, H., Microbial Community Dynamics During Composting of Organic Matter as Determined by 16S Ribosomal DNA Analysis, *Compost Science & Utilization*, 10, 303-312, **2002**.
- [11] Danon, M., Franke-Whittle, I.H., Insam, H., Chen, Y., and Hadar, Y., Molecular analysis of bacterial community succession during prolonged compost curing, *FEMS Microbiol Ecol*, 65, 133-44, **2008**.
- [12] Rinaudo, M., Chitin and chitosan: Properties and applications, *Progress in Polymer Science*, 31, 603-632, **2006**.
- [13] Leceta, I., Guerrero, P., Cabezudo, S., and Caba, K.d.I., Environmental assessment of chitosan-based films, *Journal of Cleaner Production*, 41, 312-318, **2013**.
- [14] Lim, S.-H. and Hudson, S.M., Review of Chitosan and Its Derivatives as Antimicrobial Agents and Their Uses as Textile Chemicals, *Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews*, 43, 223-269, **2003**.

- [15] Dutta, P.K., Tripathi, S., Mehrotra, G.K., and Dutta, J., Perspectives for chitosan based antimicrobial films in food applications, *Food Chemistry*, 114, 1173-1182, **2009**.
- [16] Kong, M., Chen, X.G., Xing, K., and Park, H.J., Antimicrobial properties of chitosan and mode of action: a state of the art review, *Int J Food Microbiol*, 144, 51-63, **2010**.
- [17] Song, J.H., Murphy, R.J., Narayan, R., and Davies, G.B., Biodegradable and compostable alternatives to conventional plastics, *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 364, 2127-39, **2009**.
- [18] Dean, K., Sangwan, P., Way, C., Zhang, X., Martino, V.P., Xie, F., Halley, P.J., Pollet, E., and Avérous, L., Glycerol plasticised chitosan: A study of biodegradation via carbon dioxide evolution and nuclear magnetic resonance, *Polymer Degradation and Stability*, 98, 1236-1246, **2013**.
- [19] Xie, D.F., Martino, V.P., Sangwan, P., Way, C., Cash, G.A., Pollet, E., Dean, K.M., Halley, P.J., and Avérous, L., Elaboration and properties of plasticised chitosan-based exfoliated nano-biocomposites, *Polymer*, 54, 3654-3662, **2013**.
- [20] Tchobanoglous, G. and Kreith, F., *Handbook of Solid Waste Management*, Second Edition, McGraw Hill Handbooks, **2002**.
- [21] Anonim, TÜİK, Belediye Atık Göstergeleri 1994-2012, http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1019, (Aralık, **2015**).
- [22] Sadasivam, B.Y. and Reddy, K.R., Landfill methane oxidation in soil and biobased cover systems-review, *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 13, 79-107, **2014**.
- [23] Anonim, TÜİK, Bertaraf Yöntemlerine Göre Belediye Atık Miktarı, http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1019, (Aralık, **2015**).
- [24] Tiftik, B.E., Çay Fabrikası Atığının Pirolizi ve Piroliz Ürünlerinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006*.
- [25] Anonim, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, www.csb.gov.tr/db/turkce/mevzuat/mevzuat627.doc, (Aralık, **2015**).
- [26] Shah, A.A., Hasan, F., Hameed, A., and Ahmed, S., Biological degradation of plastics: a comprehensive review, *Biotechnol Adv*, 26, 246-65, **2008**.
- [27] Mohee, R., Unmar, G.D., Mudhoo, A., and Khadoo, P., Biodegradability of biodegradable/degradable plastic materials under aerobic and anaerobic conditions, *Waste Manag*, 28, 1624-9, **2008**.
- [28] Sharma, V.K., Caudatelli, M., Fortuna, F., and Cornacchia, G., Processing of Urban and Agro-Industrial Residues by Aerobic Composting Review, *Energy Convers Mgmt*, 38, 453-478, **1997**.
- [29] Insam, H. and De Bertoldi, M., Microbiology of the composting process, *Compost Science and Technology*, 8, 25-48, **2007**.
- [30] Mehta, C.M., Palni, U., Franke-Whittle, I.H., and Sharma, A.K., Compost Its role, mechanism and impact on reducing soil-borne plant, *Waste Management*, 34, 607-622, **2014**.

- [31] Yu, Z., Zeng, G.-M., Chen, Y.-N., Zhang, J.-C., Yu, Y., Li, H., Liu, Z.-F., and Tang, L., Effects of inoculation with *Phanerochaete chrysosporium* on remediation of pentachlorophenol-contaminated soil waste by composting, *Process Biochemistry*, 46, 1285-1291, **2011**.
- [32] Postma, J., Montanari, M., and van den Boogert, P.H.J.F., Microbial enrichment to enhance the disease suppressive activity of compost, *European Journal of Soil Biology*, 39, 157-163, **2003**.
- [33] Ryckeboer, J., Mergaert, J., Vaes, K., Klammer, S., Clercq de, D., Coosemans, J., Insam, H., and Swings, J., A Survey of Bacteria and Fungi Occuring During Composting and Self-Heating Processes, *Annals of Microbiology*, 53, 349-410, **2003**.
- [34] Grima, S., Bellon-Maurel, V., Feuilloley, P., and Silvestre, F., Aerobic Biodegradation of Polymers in Solid State Conditions a Review of Environmental and Physicochemical Parameter Settings in Laboratory Simulations *Journal Polymers and hte Envirionment* 8, 183-195, **2002**.
- [35] Külcü, R. and Yaldiz, O., The composting of agricultural wastes and the new parameter for the assessment of the process, *Ecological Engineering*, 69, 220-225, **2014**.
- [36] Spence, K.E., Allen, A.L., Wang, S., and Jane, J., Soil and Marine Biodegradation of Protein-Starch Plastics, *Hydrogels and Biodegradable Polymers for Bioapplications*, 627, 149-158, **1996**.
- [37] Way, C., Wu, D.Y., Dean, K., and Palombo, E., Design considerations for high-temperature respirometric biodegradation of polymers in compost, *Polymer Testing*, 29, 147-157, **2010**.
- [38] Pagga, U., Beimborn, D.B., Boelens, J., and De Wilde, B., Determination of the Aerobic Biodegradability of Polymeric Material in a Laboratory Controlled Composting Test, *Chemosphere*, 31, 4475-4487, **1995**.
- [39] Makhijani, K., Kumar, R., and Sharma, S.K., Biodegradability of Blended Polymers: A Comparison of Various Properties, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45, 1801-1825, **2014**.
- [40] Aider, M., Chitosan application for active bio-based films production and potential in the food industry: Review, *LWT - Food Science and Technology*, 43, 837-842, **2010**.
- [41] Elsabee, M.Z. and Abdou, E.S., Chitosan based edible films and coatings: a review, *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*, 33, 1819-41, **2013**.
- [42] Dash, M., Chiellini, F., Ottenbrite, R.M., and Chiellini, E., Chitosan—A versatile semi-synthetic polymer in biomedical applications, *Progress in Polymer Science*, 36, 981-1014, **2011**.
- [43] Raafat, D. and Sahl, H.G., Chitosan and its antimicrobial potential--a critical literature survey, *Microb Biotechnol*, 2, 186-201, **2009**.
- [44] Brown, C.D., Kreilgaard, L., Nakakura, M., Caram-Lelham, C., Pettit, D.K., Gombotz, W.R., and Hoffman, A.S., Release of PEGylated granulocyte macrophage colony stimulating factor from chitosan glycerol films, *Journal of Controlled Release*, 72, 35-46, **2001**.

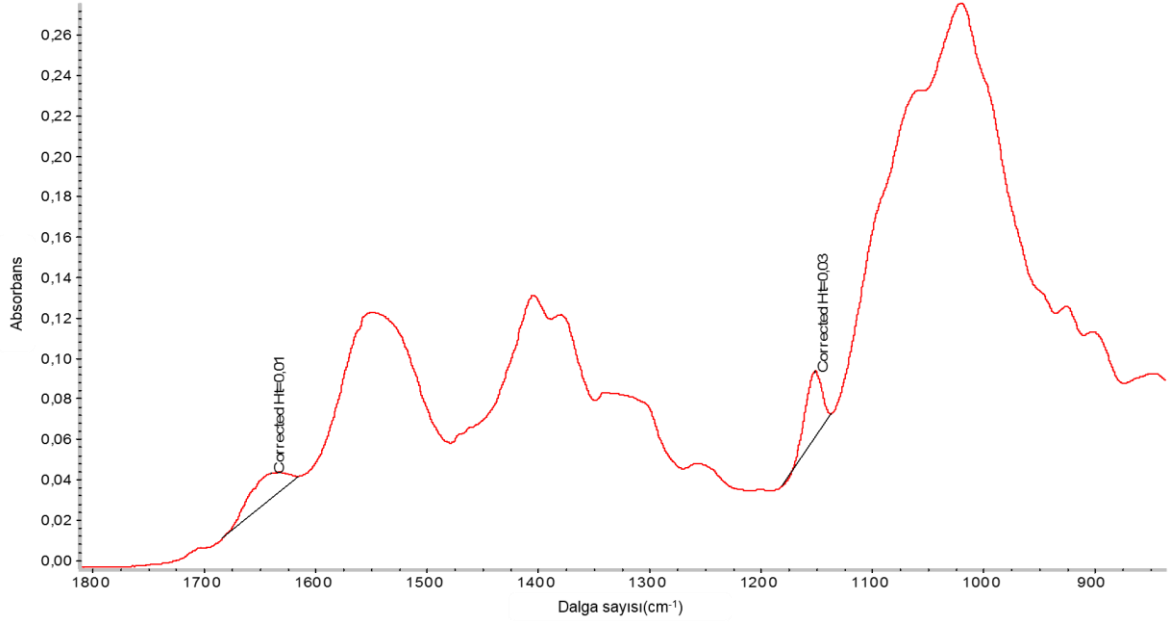
- [45] Goy, R.C., De Britto, D., and Assis, O.B.G., A Review of the Antimicrobial Activity of Chitosan, *Polimeros: Ciencia e Tecnologia* 19, 241-247, **2009**.
- [46] Xia, W., Liu, P., Zhang, J., and Chen, J., Biological activities of chitosan and chitooligosaccharides, *Food Hydrocolloids*, 25, 170-179, **2011**.
- [47] Coma, V., Recent Developments in Chitin and Chitosan Bio-based Materials Used for Food Preservation, *polysaccharide Building Blocks A sustainable Approach to the Development of Renewable Biomaterials*, **2012**.
- [48] Chung, Y.-c., Su, Y.-p., Chen, C.-c., Jia, G., Wang, H.-I., Wu, J.C.G., and Lin, J.-g., Relationship Between Antibacterial Activity of Chitosan and Surface Characteristics of Cell Wall, *Acta Pharmacol Sin*, 25, 932-936, **2004**.
- [49] Zhong, Z., Xing, R., Liu, S., Wang, L., Cai, S., and Li, P., Synthesis of acyl thiourea derivatives of chitosan and their antimicrobial activities in vitro, *Carbohydr Res*, 343, 566-70, **2008**.
- [50] Zheng, L.-Y. and Zhu, J.-F., Study on antimicrobial activity of chitosan with different molecular weights, *Carbohydrate Polymers*, 54, 527-530, **2003**.
- [51] Leceta, I., Guerrero, P., Ibarburu, I., Dueñas, M.T., and de la Caba, K., Characterization and antimicrobial analysis of chitosan-based films, *Journal of Food Engineering*, 116, 889-899, **2013**.
- [52] Lucas, N., Bienaime, C., Belloy, C., Queneudec, M., Silvestre, F., and Nava-Saucedo, J.E., Polymer biodegradation: mechanisms and estimation techniques, *Chemosphere*, 73, 429-42, **2008**.
- [53] Müller, R.J., Biodegradability of Polymers :Regulations and Methods for Testing, *Biopolymers Online*, CPL Press, UK, 365-374, **2005**.
- [54] Leejarkpai, T., Suwanmanee, U., Rudeekit, Y., and Mungcharoen, T., Biodegradable kinetics of plastics under controlled composting conditions, *Waste Manag*, 31, 1153-61, **2011**.
- [55] Thadathil, N. and Velappan, S.P., Recent developments in chitosanase research and its biotechnological applications: a review, *Food Chem*, 150, 392-9, **2014**.
- [56] Kim, S. and Rajapakse, N., Enzymatic production and biological activities of chitosan oligosaccharides (COS): A review, *Carbohydrate Polymers*, 62, 357-368, **2005**.
- [57] Pan, S.K., Wu, S.J., and Kim, J.M., Preparation of glucosamine by hydrolysis of chitosan with commercial alpha-amylase and glucoamylase, *J Zhejiang Univ Sci B*, 12, 931-4, **2011**.
- [58] Martínez-Camacho, A.P., Cortez-Rocha, M.O., Ezquerro-Brauer, J.M., Graciano-Verdugo, A.Z., Rodriguez-Félix, F., Castillo-Ortega, M.M., Yépiz-Gómez, M.S., and Plascencia-Jatomea, M., Chitosan composite films: Thermal, structural, mechanical and antifungal properties, *Carbohydrate Polymers*, 82, 305-315, **2010**.
- [59] Leceta, I., Peñalba, M., Arana, P., Guerrero, P., and de la Caba, K., Ageing of chitosan films: Effect of storage time on structure and optical, barrier and mechanical properties, *European Polymer Journal*, 66, 170-179, **2015**.

- [60] Leceta, I., Etxabide, A., Cabezudo, S., de la Caba, K., and Guerrero, P., Bio-based films prepared with by-products and wastes: environmental assessment, *Journal of Cleaner Production*, 64, 218-227, **2014**.
- [61] Kammoun, M., Haddar, M., Kallel, T.K., Dammak, M., and Sayari, A., Biological properties and biodegradation studies of chitosan biofilms plasticized with PEG and glycerol, *Int J Biol Macromol*, 62, 433-8, **2013**.
- [62] Goy, R.C. and Assis, O.B.G., Antimicrobial analysis of films processed from chitosan and N,N,N-trimethylchitosan, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 31, 643-648, **2014**.
- [63] Pereda, M., Ponce, A.G., Marcovich, N.E., Ruseckaite, R.A., and Martucci, J.F., Chitosan-gelatin composites and bi-layer films with potential antimicrobial activity, *Food Hydrocolloids*, 25, 1372-1381, **2011**.
- [64] Gomez-Estaca, J., Lopez de Lacey, A., Lopez-Caballero, M.E., Gomez-Guillen, M.C., and Montero, P., Biodegradable gelatin-chitosan films incorporated with essential oils as antimicrobial agents for fish preservation, *Food Microbiol*, 27, 889-96, **2010**.
- [65] Rao, M.S., Kanatt, S.R., Chawla, S.P., and Sharma, A., Chitosan and guar gum composite films: Preparation, physical, mechanical and antimicrobial properties, *Carbohydrate Polymers*, 82, 1243-1247, **2010**.
- [66] Caner, C., Vergano, P.J., and Wiles, J.L., Chitosan Film Mechanical and Permeation Properties as Affected by Acid, Plasticizer and Storage, *Journal of Applied Food Science* 63, 1049-1053, **1998**.
- [67] Fernandez-Saiz, P., Lagaron, J.M., and Ocio, M.J., Optimization of the biocide properties of chitosan for its application in the design of active films of interest in the food area, *Food Hydrocolloids*, 23, 913-921, **2009**.
- [68] Suyatma, N.E., Tighzert, L., and Copinet, A., Effects of Hydrophilic Plasticizers on Mechanical, Thermal, and Surface Properties of Chitosan Films, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 3950-3957, **2005**.
- [69] Fernandez-Saiz, P., Lagaron, J.M., and Ocio, M.J., Optimization of the Film-Forming and Storage Conditions of Chitosan as an Antimicrobial Agent, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 3298-3307, **2009**.
- [70] Pawlak, A. and Mucha, M., Thermogravimetric and FTIR studies of chitosan blends, *Thermochimica Acta*, 396, **2003**.
- [71] Khan, A., Khan, R.A., Salmieri, S., Le Tien, C., Riedl, B., Bouchard, J., Chauve, G., Tan, V., Kamal, M.R., and Lacroix, M., Mechanical and barrier properties of nanocrystalline cellulose reinforced chitosan based nanocomposite films, *Carbohydr Polym*, 90, 1601-8, **2012**.
- [72] Liu, M., Zhou, Y., Zhang, Y., Yu, C., and Cao, S., Preparation and structural analysis of chitosan films with and without sorbitol, *Food Hydrocolloids*, 33, 186-191, **2013**.
- [73] Kurek, M., Brachais, C.-H., Nguimjeu, C.M., Bonnotte, A., Voilley, A., Galić, K., Couvercelle, J.-P., and Debeaufort, F., Structure and thermal properties of a chitosan coated polyethylene bilayer film, *Polymer Degradation and Stability*, 97, 1232-1240, **2012**.

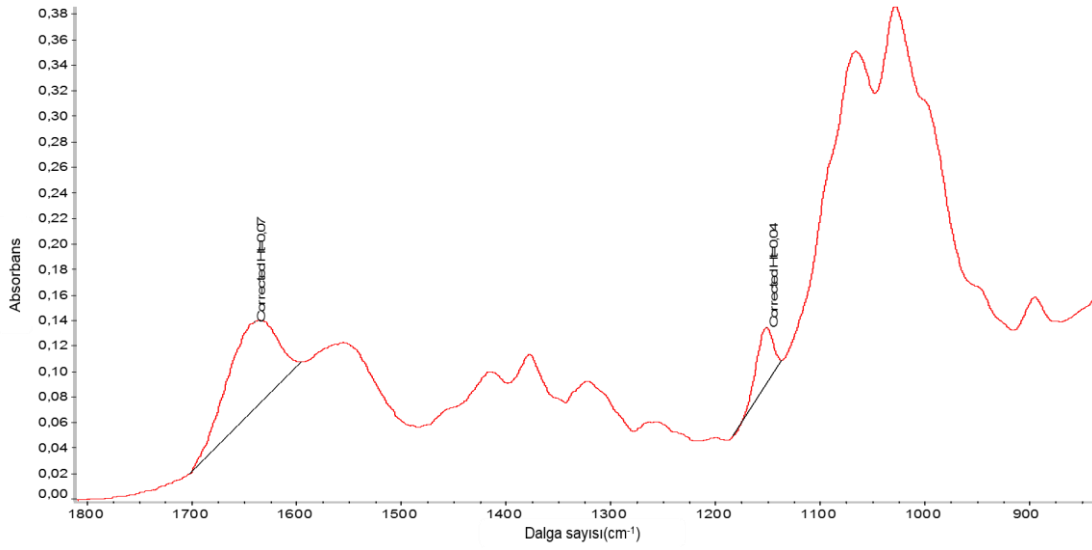
- [74] Altioek, D., Altioek, E., and Tihminlioglu, F., Physical, antibacterial and antioxidant properties of chitosan films incorporated with thyme oil for potential wound healing applications, *J Mater Sci Mater Med*, 21, 2227-36, **2010**.
- [75] Tran, C.D., Duri, S., Delneri, A., and Franko, M., Chitosan-cellulose composite materials: preparation, characterization and application for removal of microcystin, *J Hazard Mater*, 252-253, 355-66, **2013**.
- [76] Fundo, J.F., Galvis-Sanchez, A.C., Delgadillo, I., Silva, C.L.M., and Quintas, M.A.C., The Effect of Polymer/ Plasticiser Ratio in Film Forming Solutions on the Properties of Chitosan Films, *Food Biophysics*, 10, 324-333, **2015**.
- [77] Ritthidej, G.C., Phaechamud, T., and Koizumi, T., Moist Heat Treatment on Physicochemical Change of Chitosan Salt Films, *International Journal of Pharmaceutics*, 232, 11-22, **2002**.
- [78] Khan, T.A., Peh, K.K., and Ch'ng, H.S., Reporting degree of deacetylation values of chitosan: The influence of analytical methods, *Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Science*, 5, 205-212, **2002**.
- [79] Cervera, M., Heinamaki, J., Rasanen, M., Maunu, S., Karjalainen, M., Acosta, O., Colarte, A., and Yliruusi, J., Solid-state characterization of chitosans derived from lobster chitin, *Carbohydrate Polymers*, 58, 401-408, **2004**.
- [80] Rotta, J., Minatti, E., and Barreto, P.L.M., Determination of Structural and Mechanical Properties, Diffractometry, and Thermal Analysis of Chitosan and Hydroxypropylmethylcellulose(HPMC) Films Plasticized with Sorbitol *Cienc. Technol. Aliment., Campinas*, 31, 450-455, **2011**.
- [81] El-Hefian, E.A., Nasef, M.M., Yahaya, A.H., and Khan, R.A., Preparation and Characterization of Chitosan/Agar Blends: Rheological and Thermal Studies, *Journal of the Chilean Chemical Society*, 55, **2010**.
- [82] Sakurai, K., Maegawa, T., and Takahashi, T., Glass Transition Temperature of Chitosan and Miscibility of Chitosan/Poly(N-vinyl pyrrolidone) blends, *Polymer*, 41, 7051-7056, **2000**.
- [83] Dhawade, P.P. and Jagtap, R.N., Characterization of the Glass Transition Temperature of Chitosan and Its Oligomers by Temperature Modulated Differential Scanning Calorimetry, *Advances in Applied Science Research* 3, 1372-1382, **2012**.
- [84] Coma, V., Martial-Gros, A., Garreau, S., Copinet, A., Salin, F., and Deschamps, A., Edible Antimicrobial Films Based on Chitosan Matrix, *Food Microbiology and Safety*, 67, 1162-1169, **2002**.
- [85] Pranoto, Y., Rakshit, S.K., and Salokhe, V.M., Enhancing antimicrobial activity of chitosan films by incorporating garlic oil, potassium sorbate and nisin, *LWT - Food Science and Technology*, 38, 859-865, **2005**.
- [86] Lagaron, J.M., Fernandez-Saiz, P., and Ocio, M.J., Using ATR-FTIR Spectroscopy To Design Active Antimicrobial Food Packaging Structures Based on High Molecular Weight Chitosan Polysaccharide, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 2554-2562, **2007**.

- [87] Fernandez-Saiz, P., Ocio, M.J., and Lagaron, J.M., Film-forming process and biocide assessment of high-molecular-weight chitosan as determined by combined ATR-FTIR spectroscopy and antimicrobial assays, *Biopolymers*, 83, 577-83, **2006**.

EKLER



EK-1. Kompostlaştırma öncesi kitosan filmlerin biyobozunma oranını belirlemek için kullanılan referans bant pikinin (1640 cm^{-1}) ve glukozamin birimleri arasındaki C-O-C bağıni temsil eden 1150 cm^{-1} bant pikinin yükseklikleri



EK-2. Kompostlaştırma sonrası kitosan filmlerin biyobozunma oranını göstermek için kullanılan 1640 cm^{-1} ve 1150 cm^{-1} absorpsiyon piklerinin yükseklikleri

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı: Emine ALTUN

Doğum Yeri: Altındağ, Ankara

Medeni Hali: Bekar

E-posta: eminealtunn@gmail.com

Eğitim

Lise: 2003-2007 Ankara Kocatepe Mimar Kemal (Y.D.A.) Lisesi

Lisans: 2008-2012 Hacettepe Üniversitesi Biyoloji Bölümü

Yüksek Lisans:

Doktora:

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce

İş Deneyimi

Temmuz 2011-Ağustos 2011: Stajyer, Ankara Üniversitesi Biyoteknoloji Enstitüsü

Merkez Laboratuvarı, Genom Bilim

Deneyim Alanları

Biyoteknoloji uygulamaları

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

114Y559 numaralı TÜBİTAK 1001 Projesi

Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

-