



**T.C.  
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**MÜSİLAJDAN BİYOPLASTİK ÜRETİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Nazlı SOYDAN

Biyomühendislik Anabilim Dalı

**HAZİRAN 2022**

**T.C.  
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**MÜSİLAJDAN BİYOPLASTİK ÜRETİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**NAZLI SOYDAN  
(20424010006)**

**Biyomühendislik Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mete YILMAZ**

**Eş Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ömer Yunus GÜMÜŞ**

**HAZİRAN 2022**



BTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 20424010006 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Nazlı SOYDAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “Müsilajdan Biyoplastik Üretimi” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Prof. Dr. Mete YILMAZ** .....  
Bursa Teknik Üniversitesi

**Eş Danışman :** **Dr. Öğr. Üyesi Ömer Yunus GÜMÜŞ** .....  
Bursa Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Prof. Dr. Mete YILMAZ** .....  
Bursa Teknik Üniversitesi

**Doç. Dr. Nurhayat DALKIRAN** .....  
Bursa Uludağ Üniversitesi

**Dr. Öğr. Üyesi Aslıhan KAZAN** .....  
Bursa Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi** :  
**Savunma Tarihi** : 17.06.2022



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Bursa Teknik Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, Bursa Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğünün 210Y017 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

## İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Nazlı SOYDAN

İmzası:



*Sevgili Aileme,*

## ÖNSÖZ

Değerli danışmanım Prof. Dr. Mete YILMAZ ve değerli eş danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ömer Yunus GÜMÜŞ'e, yüksek lisans eğitimim boyunca her zaman ilgili, anlayışlı, yol gösterici oldukları ve benimle bilgi ve tecrübelerini paylaştıkları için çok teşekkür ederim.

Maddi katkı ve desteklerinden dolayı Bursa Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne ve Merkez Araştırma Laboratuvarı'na teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım sırasında bana yardımcı olan değerli arkadaşım Arş. Gör. Kübra ŞENTÜRK'e,

Hayatımın her döneminde yanımda olan, beni sevgi ile büyüten, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen annem Saliha SOYDAN ve babam Mustafa SOYDAN'a,

Hayatımın hem güzel hem zor zamanlarında yanımda olan canım arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Haziran 2022

Nazlı Soydan  
(Araştırma Görevlisi)

## İÇİNDEKİLER

|   | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| ÖNSÖZ.....  | vii          |
| İÇİNDEKİLER .....   | viii         |
| KISALTMALAR .....   | x            |
| SEMBOLLER .....   | xii          |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....  | xiii         |
| ŞEKİL LİSTESİ.....  | xiv          |
| ÖZET.....   | xv           |
| SUMMARY .....   | xvi          |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>   | <b>1</b>     |
| 1.1 Literatür Araştırması .....   | 3            |
| 1.1.1 Deniz müsilajı .....  | 3            |
| 1.1.2 Müsilaj oluşumunu etkileyen faktörler .....   | 5            |
| 1.1.3 Müsilajın etkileri .....  | 6            |
| 1.1.4 Biyoplastikler .....  | 6            |
| 1.1.5 PVA.....  | 12           |
| 1.1.5.1 PVA biyoplastikler.....   | 13           |
| <b>2. MALZEME VE YÖNTEM.....</b>  | <b>14</b>    |
| 2.1 Malzemeler.....   | 14           |
| 2.2 Müsilajın Toplanması Ve Toz Haline Getirilmesi .....  | 14           |
| 2.3 Müsilaj Biyoplastik Filmlerin Hazırlanması .....  | 15           |
| 2.4 Müsilaj-PVA Biyoplastik Filmlerin Hazırlanması.....   | 15           |
| 2.5 Biyoplastik Filmlerin Karakterizasyonu .....  | 17           |
| 2.5.1 Fouirer dönüşümü kızılötesi spektroskopisi – FTIR.....                                    | 17           |
| 2.5.2 Termogravimetrik analiz – TGA.....  | 17           |
| 2.5.3 Diferansiyel taramalı kalorimetre – DSC.....  | 18           |
| 2.5.4 X-Işını kırınım – XRD .....   | 18           |
| 2.5.5 Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS) ..... | 18           |
| 2.5.6 Ultraviyole-görünür bölge spektroskopisi – UV-Vis.....                                    | 18           |
| 2.5.7 Müsilaj-PVA biyoplastik filmlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi ..                   | 18           |
| 2.5.8 Müsilajın ve biyoplastik filmlerin antibakteriyel aktivitesinin incelenmesi .....         | 19           |
| <b>3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>   | <b>20</b>    |
| 3.1 Fouirer Transform Infrared Spektrofotometre – FTIR Sonuçları .....                          | 20           |
| 3.2 Termogravimetrik Analiz – TGA.....  | 22           |
| 3.3 Diferansiyel Taramalı Kalorimetre – DSC .....   | 23           |
| 3.4 X-Işını Kırınım – XRD .....   | 26           |
| 3.5 Taramalı Elektron Mikroskobu – SEM.....   | 27           |
| 3.6 Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi - EDS.....  | 30           |
| 3.7 Ultraviyole-Görünür Bölge Spektroskopisi – UV-Vis.....                                      | 32           |
| 3.8 Müsilaj-PVA Biyoplastik Filmlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi .....                  | 33           |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.9 Müsilajın ve Biyoplastik Filmlerin Antibakteriyel Aktivitesinin İncelenmesi | 36        |
| <b>4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>  | <b>39</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>  | <b>42</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>  | <b>48</b> |



## KISALTMALAR

|                  |  |
|------------------|--|
| <b>C</b>         | : Karbon                                     |
| <b>Cl</b>        | : Klorür                                     |
| <b>cm</b>        | : Santimetre                                 |
| <b>Cu</b>        | : Bakır                                      |
| <b>dk</b>        | : Dakika                                     |
| <b>DSC</b>       | : Diferansiyel taramalı kalorimetre          |
| <b>EDS</b>       | : Enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi    |
| <b>FTIR</b>      | : Fouirer dönüşümü kızılötesi spektroskopisi |
| <b>g</b>         | : Gram                                       |
| <b>H</b>         | : Hidrojen                                   |
| <b>J</b>         | : Joule                                      |
| <b>kV</b>        | : Kilovolt                                   |
| <b>mg</b>        | : Miligram                                   |
| <b>ml</b>        | : Mililitre                                  |
| <b>mm</b>        | : Milimetre                                  |
| <b>M-PVA</b>     | : Müsilaj-Polivinil alkol                    |
| <b>Na</b>        | : Sodyum                                     |
| <b>NaCl</b>      | : Sodyum klorür                              |
| <b>nm</b>        | : Nanometre (Dalga boyu)                     |
| <b>N/P oranı</b> | : Azot/Fosfat oranı                          |
| <b>O</b>         | : Oksijen                                    |
| <b>OH</b>        | : Hidroksit                                  |
| <b>pH</b>        | : Potansiyel hidrojen                        |
| <b>PHA</b>       | : Polihidroksialkanoat                       |
| <b>PVA</b>       | : Polivinil alkol                            |
| <b>rpm</b>       | : Dakikadaki devir sayısı                    |
| <b>SEM</b>       | : Taramalı elektron mikroskobu               |
| <b>TGA</b>       | : Termogravimetrik analiz                    |
| <b>UV</b>        | : Ultraviyole                                |

**UV-Vis** : Ultraviyole görünür ışık  
**XRD** : X-Işını kırınım  
**°C** : Santigrat derece



## SEMBOLLER

|              |                         |
|--------------|-------------------------|
| $A_k$        | : Kristalin alan        |
| $A_a$        | : Amorf alan            |
| $T_e$        | : Erime sıcaklığı       |
| $T_g$        | : Camsı geçiş sıcaklığı |
| $X_k$        | : % Kristalinite        |
| $\Delta H_e$ | : Erime entalpisi       |
| $\delta^-$   | : Kısmi negatif yük     |
| $\delta^+$   | : Kısmi pozitif yük     |
| $\emptyset$  | : Kütle kesri           |

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Çizelge 3.1</b> : Müsilaj ve biyoplastik filmlerin fonksiyonel gruplarının özeti.....  | <b>21</b> |
| <b>Çizelge 3.2</b> : DSC analizinden elde edilen veriler; $T_g$ : Camısı geçiş sıcaklığı, $T_e$ : Erime sıcaklığı, $\Delta H_e$ : Erime entalpisi. .... | <b>25</b> |
| <b>Çizelge 3.3</b> : Biyoplastik filmlerde kullanılan polimerin kristalinite değerleri. ....  | <b>27</b> |
| <b>Çizelge 3.4</b> : Müsilajın ve biyoplastik filmin test mikroorganizmaları üzerinde oluşturduğu zon çapları (mm). ....                                | <b>38</b> |

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|  |    |
|--|----|
| Şekil 1.1 : Marmara Denizi yüzeyinde biriken müsilaj. ....   | 3  |
| Şekil 1.2 : Müsilaj oluşumunu tetikleyen türlerden bazıları: A) <i>Thalassiosira rotula</i><br>B) <i>Skeletonema costatum</i> C) <i>Cyclotella</i> sp. ....  | 4  |
| Şekil 1.3 : Biyoplastik yayınlarının son 10 yıl bazında dağılımı.....  | 8  |
| Şekil 1.4 : Poli(vinil asetat)'ın hidrolizi ile PVA elde edilmesi. ....  | 12 |
| Şekil 2.1 : Müsilajın toplanıp toz haline getirilmesinin şematik gösterimi. ....   | 14 |
| Şekil 2.2 : Müsilaj biyoplastik film denemesi. ....  | 15 |
| Şekil 2.3 : Biyoplastik filmlerin üretiminin şematik gösterimi. ....   | 16 |
| Şekil 2.4 : Üretilen biyoplastik filmlerin artan müsilaj oranı ile morfolojik değişimi.<br>.....   | 17 |
| Şekil 3.1 : Biyoplastik filmlerin FTIR spektrumları.....   | 20 |
| Şekil 3.2 : Biyoplastik filmlerin TGA grafikleri. ....   | 22 |
| Şekil 3.3 : Müsilajın DSC grafiği. ....  | 23 |
| Şekil 3.4 : Müsilaj-PVA biyoplastik filmlerin DSC grafikleri.....  | 24 |
| Şekil 3.5 : Biyoplastiklerin XRD grafiği. ....   | 26 |
| Şekil 3.6 : Biyoplastiklerin 100x ve 5000x büyütmedeki SEM görüntüleri 1) 0M-PVA<br>(100x), 1a) %0M-PVA (5000x), 2) %5M-PVA (100x), 2a) %5M-PVA (5000x), 3)<br>%10M-PVA, 3a) %10M-PVA (5000x), 4) %15M-PVA (100x), 4a) %15M-PVA<br>(5000x). ....       | 28 |
| Şekil 3.7 : Biyoplastiklerin 100x ve 5000x büyütmedeki SEM görüntüleri 5) %20M-<br>PVA (100x), 5a) %20M-PVA (5000x), 6) %25M-PVA (100x), 6a) %25M-PVA<br>(5000x), 7) %40M-PVA, 7a) %40M-PVA (5000x), 8) %50M-PVA (100x), 8a)<br>%50M-PVA (5000x). .... | 29 |
| Şekil 3.8 : %0M-PVA biyoplastik filmin EDS görüntüsü.....  | 30 |
| Şekil 3.9 : %5M-PVA biyoplastik filmin EDS görüntüsü.....  | 31 |
| Şekil 3.10 : %40M-PVA biyoplastik filmin EDS görüntüsü.....  | 31 |
| Şekil 3.11 : Biyoplastik filmlerin UV-Vis spektrumları.....  | 32 |
| Şekil 3.12 : Müsilaj içeriğindeki Na ve Cl iyonları ile PVA'nın iyonik çapraz<br>bağlanmasının şematik gösterimi. ....   | 33 |
| Şekil 3.13 : Biyoplastik filmlerin gerilme değerleri. ....   | 34 |
| Şekil 3.14 : Biyoplastik filmlerin % kopma uzama değerleri.....  | 34 |
| Şekil 3.15 : Biyoplastik filmlerin elastik modül değerleri.....  | 35 |
| Şekil 3.16 : Biyoplastik filmlerin gerilme-gerinim grafikleri.....   | 36 |
| Şekil 3.17 : Diyaliz yapılmış (D (+)) ve yapılmamış (D (-))müsilajın antibakteriyel<br>test sonuçları.....   | 37 |
| Şekil 3.18 : %10M-PVA biyoplastik filmin antibakteriyel test sonuçları. ....   | 37 |

## MÜSİLAJDAN BİYOPLASTİK ÜRETİMİ

### ÖZET

Müsilaj oluşumunun, denizlerdeki besin zincirinin birincil üreticilerinden fitoplanktonun, belirli stres koşulları altında veya öldüklerinde salgıladıkları mukus benzeri organik maddelerle başladığı düşünülmektedir. 2021 yılında Marmara Denizi'nde deniz yüzeyini kilometrelerce kaplayan müsilaj, deniz yaşamının yanı sıra turizmi ve dolayısıyla ekonomiyi tehdit eden bir çevre felaketi haline gelmiştir. Müsilajın ortadan kaldırılması önleme, toplama ve bertaraf olarak üç aşamada gerçekleştirilir. Şu anda deniz müsilajı için ideal bir ortadan kaldırma yöntemi yoktur. Biyoplastiklerin alglerden, özellikle ürettikleri polisakkaritlerden yapılabildiği bilindiğinden, deniz müsilajının polisakkarit yapısı sayesinde plastik bir malzemeye dönüştürülme potansiyeli vardır.

Bu çalışmada, müsilajın faydalı bir ürüne dönüştürülmesi amacıyla biyoplastik filmlerde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Farklı oranlarda müsilaj ve biyobozunur bir polimer olan polivinil alkol (PVA) içeren biyoplastik filmler çözelti döküm (solvent casting) yöntemiyle üretilmiştir. Elde edilen kompozit filmlerin mekanik özellikleri, morfolojisi, kristal yapısı, termal ve optik özellikleri çeşitli karakterizasyon yöntemleri ile incelenmiştir.

Saf PVA filmler ile karşılaştırıldığında, %20 oranına kadar müsilaj içeriği mekanik özellikleri geliştirmiştir. Biyoplastik filmlerin müsilaj içeriği arttıkça filmler daha iyi bir UV koruma sağlamaktadır. Ayrıca biyoplastik film *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus* bakterilerine karşı antibakteriyel aktivite göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Müsilaj, biyoplastik, PVA, antibakteriyel, biyobozunur

## BIOPLASTIC PRODUCTION FROM MUCILAGE

### SUMMARY

Mucilage formation may start with mucus-like organic substances that the primary producers of the marine food chain, phytoplankton, secrete under certain stress conditions or when they die. Kilometers of the sea surface of the Sea of Marmara were covered in mucilage in 2021, which has become an environmental disaster that threatened marine life, tourism and the economy. Elimination of mucilage is carried out in three stages: prevention, collection, and disposal. There is currently no ideal removal method for marine mucilage. Since it is known that bioplastics can be made from algae, especially the polysaccharides they produce, marine mucilage has the potential to be converted into a plastic material thanks to its polysaccharide structure.

In this study, the usability of mucilage in bioplastic films was investigated to convert it into a useful product. Bioplastic films containing mucilage and the biodegradable polymer polyvinyl alcohol (PVA) in different proportions were produced by solvent casting method. The mechanical properties, morphology, crystal structure, thermal, and optical properties of the obtained composite films were investigated by various characterization methods.

Compared to pure PVA films, up to 20% mucilage content improved mechanical properties. As the mucilage content of the bioplastic films increased, the films provided a better UV protection. In addition, the bioplastic films showed antibacterial activity against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* bacteria.

**Keywords:** Mucilage, bioplastic, PVA, antibacterial, biodegradable

## 1. GİRİŞ

2021 yılının ortalarından itibaren artan deniz suyu sıcaklıkları ile Marmara Denizi yüzeyinde jelimsi, bazen köpüklü olarak görülen müsilaj yapısı gözlenmiştir. Müsilaj, çeşitli stres faktörlerinin denizdeki mikroorganizmaları özellikle fitoplanktonu etkilemesi ile üretilen veya salgılanan ekzopolimerik maddedir (Danovaro ve diğ, 2009). Müsilaj, deniz suyunda çeşitli formlarda bulunabilmektedir. Örneğin; 0,5 mm çapında deniz karı, 2-15 cm uzunluğunda iplik ve 4-5 m uzunluğa kadar bulut şeklinde yapılar oluşabilir (Mingazzini ve Thake, 1995). Deniz yüzeyinde ve dibinde oluşan anormal büyüklükteki müsilaj yapısı balıkçılık ve turizm için ciddi problemler oluşturmaktadır. Müsilaj olayı, tüm ekoloji üzerinde, özellikle bentik organizmalar üzerinde zararlı bir etkiye sahip olduğu için artan bir endişe kaynağıdır. Müsilajın deniz yüzeyini adeta örtmesi, oksijen ve ışık geçirgenliğini azalttığı için bazı sucul canlıların büyümesinin olumsuz yönde etkilenmesine, bazılarının ise ölümüne yol açmaktadır (Eren, 2021; Özalp, 2021).

Yapılan araştırmalar, iklim değişikliği, deniz suyundaki besin konsantrasyonu farklılıkları, N/P oranının değişmesi, evsel ve endüstriyel atıklar gibi etmenlerin müsilaj oluşumunu tetiklediğini göstermektedir (Bongiorni ve diğ, 2007; Mecozzi ve diğ, 2001; Mecozzi ve diğ, 2008).

Müsilajın ortadan kaldırılması için henüz ideal bir bertaraf yöntemi yoktur. Tez çalışmasında, Marmara Denizi'nde hem sucul canlıların yaşamını hem de çevreyi olumsuz etkileyen müsilajı yararlı bir ürüne dönüştürmek amacıyla müsilajdan biyoplastik film üretilmiştir.

Biyoplastik, nişasta, bitki, alg, bakteri gibi doğal veya yenilenebilir bir kaynaktan ticari bir ürüne dönüştürülen bir polimer olarak tanımlanmaktadır (Rudin ve Choi, 2013). Biyoplastiklerin çoğu doğru koşullar altında biyolojik olarak parçalanabilmektedir. Geri dönüştürülebilir oldukları için biyoplastikler, fosil yakıtların kullanımını sınırlayarak çevreyi korumaktadır.

Biyoplastikler, gıda paketlenme, biyomedikal, tarım ve hijyen gibi birçok endüstriyel uygulamada kullanım alanı bulmaktadır (Ashter, 2016b; Onen Cinar ve diğ, 2020; Sidek ve diğ, 2019).

Biyolojik olarak parçalanamayan ve bu yüzden uzun yıllar atık olarak çevrede biriken geleneksel plastikler, içerdikleri zararlı katkı maddeleri ve parçalandıklarında serbest kalan toksik kimyasallar sebebiyle hem doğayı hem de canlıların sağlığını ciddi şekilde etkilemektedir (Chia ve diğ, 2020; Zhang ve diğ, 2019). Ayrıca, fosil kaynaklı bu plastikler sera gazı emisyonlarına ve iklim değişikliğine de sebep olmaktadır (Venkatachalam, 2020). Bu zararlı plastiklere faydalı bir çözüm olabilecek biyoplastiklerin ise birçok avantajı bulunmaktadır. Örneğin biyoplastikler, çevre dostu, biyobozunur ve toksik olmayan malzemelerdir. Üretimleri için daha az enerji gerekir ve geri dönüşümleri daha kolay sağlanmaktadır. Biyoplastikler, fosil kaynaklı plastiklerle aynı işlevleri sağlayabilen onların yerini alabilecek sürdürülebilir bir alternatiftir (Thiruchelvi ve diğ, 2021; Venkatachalam, 2020).

Biyoplastikler doğal kaynaklı ürünler olduğundan, plastik üretimi için petrol tüketiminin 2025 yılına kadar %15–20 oranında azalması beklenmektedir. 2025 yılına kadar Asya ve Avrupa, biyoplastik pazarında en büyük paya sahip olacaktır. Şu anda, biyoplastik pazarının büyümesi, toplam plastik pazarının yaklaşık %10-15'ini kapsayan yıllık %10'dur. Bu sayı 2020 yılına kadar %25-30'a yükselecektir (Ashter, 2016a). Küresel plastik tüketimine yönelik artan taleple birlikte, yeşil malzemeleri ve bunları işlemenin yeni yollarını keşfetmeye yönelik birçok araştırma yapılmaktadır (Ashter, 2016b).

Bu tez çalışmasında, çözelti döküm metodu kullanılarak farklı oranlarda müsilaj ve PVA içeren biyoplastik filmler elde edilmiştir. Üretilen filmlerin morfolojisi, yapısı, mekanik ve termal özellikleri çeşitli karakterizasyon teknikleri (FTIR, SEM, EDS, DSC, TGA, UV-Vis) ile incelenmiştir. Saf PVA filmler ile karşılaştırıldığında, %20'ye kadarki müsilaj içeriklerinin mekanik özellikleri geliştirdiği belirlenmiştir.

Ayrıca filmlerdeki müsilaj oranı arttıkça UV-Vis geçirgenliği azalmıştır. Bu sonuç müsilaj oranının artması ile UV-Vis korumasının artacağını göstermektedir. Ek olarak, %10 müsilaj içeren biyoplastik filmin gram pozitif ve gram negatif bakteriler üzerinde antibakteriyel aktivitesi araştırılmıştır. %10 müsilaj içeren biyoplastik filmin

*Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus* bakterilerine karşı antibakteriyel özellik gösterdiği tespit edilmiştir.

## 1.1 Literatür Araştırması

### 1.1.1 Deniz müsilajı

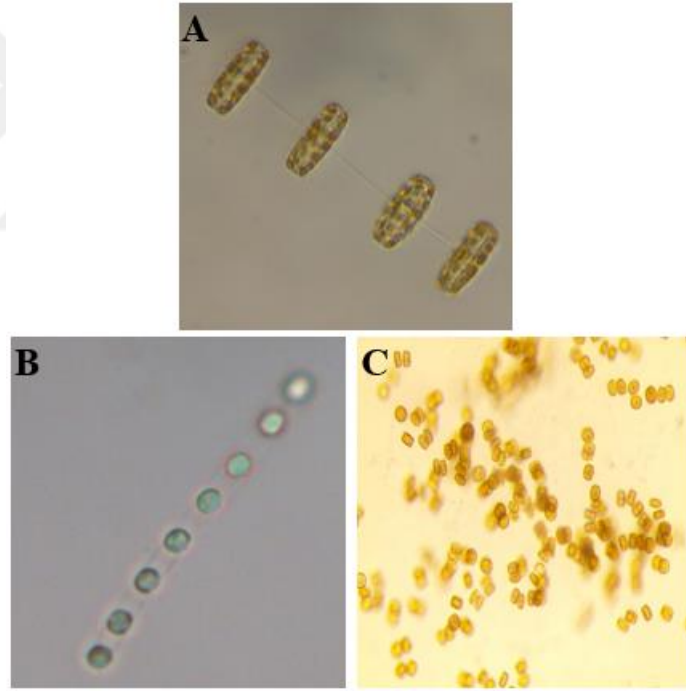
Deniz müsilajı, temel olarak fitoplankton tarafından üretilen, salgılanan veya ölümleri ile çevreye salınan hücre dışı polimerik organik maddelerden oluşmaktadır (Danovaro ve diğ., 2009; Eren, 2021). Müsilaj, deniz yüzeyinde oluşan ve uzunluğu birkaç kilometreye kadar ulaşabilen bazen köpüklü yapıda görülen yoğun ve viskoz bir dizi agrega olarak tanımlanabilmektedir (Şekil 1.1) (Kavzoglu ve diğ., 2021). Müsilaj oluşumunda bazı mikroalg türlerinin aşırı çoğalması ya da ölümü önemli bir rol oynamaktadır (Eren, 2021; Tas ve diğ., 2020). Bu aşırı çoğalma alg patlaması olarak da bilinmektedir. Alg patlamasına sebep olan stres faktörleri mikroalg olarak da bilinen fitoplanktonun hücre dışı madde salgılamasına sebep olmaktadır (Eren, 2021). Denizlerdeki prokaryotların hücre dışı enzimleri, belirli çevresel koşullarda (örneğin: düşük oksijen) bu ekzopolimerleri hidrolize etmede yetersiz kalmakta ve müsilaj oluşumu ve birikimi gözlenmektedir (Danovaro ve diğ., 2009).



Şekil 1.1 : Marmara Denizi yüzeyinde biriken müsilaj.

Fitoplankton (Mikroalgler), deniz ekosistemindeki canlıların hem besin hem de oksijen ihtiyacını karşılayan primer üreticidir. Mikroalg türlerinden bazıları özellikle

diyatomeler ve dinoflagellatlar müsilağ oluşumunda önemli bir rol oynamaktadır. Aslında diyatomeler, dünyanın farklı bölgelerindeki müsilağ örneklerinde sıklıkla görülen en önemli etken organizmalar olarak kabul edilmiştir (Pistocchi ve diğ, 2005). Bu fikir birçok diyatome türünün hücre dışı polisakkarit ürettiğini doğrulayan deneysel verilerle desteklenmiştir (Pistocchi ve diğ, 2005). Daha sonra polisakkarit salgılanmasının N/P oranındaki bir artışa bağlı olduğu ileri sürülmüştür (Myklestad, 1995). Sonraki araştırmalarda ise dinoflagellat türlerinin de müsilağ oluşumuna önemli bir katkısı olduğu anlaşılmıştır (Pistocchi ve diğ, 2005; Pompei ve diğ, 2003). Müsilağ oluşumunu tetiklediği düşünülen türlerden bazıları *Gonyaulax fragilis*, *Skeletonema costatum*, *Cyclotella* sp, *Thalassiosira rotula* ve *Cylindrotheca closterium* olarak rapor edilmiştir (Pistocchi ve diğ, 2005; Pompei ve diğ, 2003; Savun ve Gazioglu, 2021). Şekil 1.2’de tez çalışmasında kullanılan müsilağ örneklerinde tespit edilen bazı türlerin mikroskop ile çekilmiş fotoğrafları gösterilmektedir.



**Şekil 1.2 :** Müsilağ oluşumunu tetikleyen türlerden bazıları (Ozdelice ve diğ, 2011):  
A) *Thalassiosira rotula* B) *Skeletonema costatum* C) *Cyclotella* sp. (Şentürk ve diğ., hazırlık aşamasında).

Müsilağ, deniz salyası olarak da bilinmektedir. Yapışkan özelliğe sahip jelimsi yapısı ile virüsler, fitoplankton, bakteriler gibi farklı tür denizel mikroorganizmaları da içerebilmektedir. Müsilağ yapısında karbonhidratların yanı sıra proteinler, lipid ve

DNA ile silikon, alüminyum gibi inorganikler ve kalsiyum gibi iyonlar bulunmuştur (Öztürk, 2021).

Denizlerdeki müsilaj, birkaç kıyı bölgesinde ara sıra veya tekrar tekrar meydana gelen küresel bir olaydır (Fukao ve diğ., 2009; Innamorati, 1995; Mecozzi ve diğ., 2001). Müsilaj ilk olarak 1729'da Kuzey Adriyatik Denizi'nde görülmüştür (Innamorati, 1995). Dünya çapındaki araştırmalar, denizdeki müsilaj için iklim değişikliği, deniz suyundaki besin konsantrasyonu farklılıkları ve değişimlere mikroorganizmaların tepkisi gibi birden fazla tetikleyicinin mevcut olduğunu göstermektedir (Mecozzi ve diğ., 2001; Savun ve Gazioglu, 2021). Ayrıca, metallerin müsilaj agregasyonu oluşumu ve agrega boyutu üzerindeki etkisi hakkında bazı çalışmalar vardır. Bunlardan birine göre, deniz suyu pH değerlerinde üronik asitlerin karboksilik grupları tarafından metallerin kompleksleşmesi, agrega boyutunun artmasına neden olmaktadır (Mecozzi ve diğ., 2012). Yine bazı çalışmalar Cu ve Pb gibi metallerin varlığının müsilaj agregasyonu mekanizmasını etkilediğini göstermiştir (Mecozzi ve diğ., 2008). Karbonhidratların ve proteinlerin metallerle kompleksleşmesi organik maddenin agregasyonunu desteklerken, çalışmalar lipidler ve metallerin etkileşiminin agregasyon üzerinde hiçbir etkisinin olmadığını göstermiştir. Karbonhidratlar ve kalsiyum arasındaki etkileşimlerin müsilaj agregatlarını stabilize ettiği öne sürülmektedir.

Müsilaj, özellikle bentik organizmalar üzerinde zararlı bir etkisi olduğu için artan bir endişe yaratmaktadır. 2021 yılında Marmara Denizi aylarca balıkçıların ağını tıkayan, deniz yaşamını boğan, turizmi ve ekonomiyi tehdit eden müsilajla kaplanmıştır. Müsilaj Marmara Denizi'nde ilk kez meydana gelmemesine ve bölgeye özgü bir olay olmamasına rağmen, 2021 yılındaki müsilaj oluşumunun olumsuz etkileri çok fazladır (Savun ve Gazioglu, 2021).

### **1.1.2 Müsilaj oluşumunu etkileyen faktörler**

Fitoplankton çok sayıda çevresel stres etkenlerine duyarlıdır (Tas ve Yılmaz, 2015). Aşırı alg patlamaları hem iklim değişikliği hem de insan kaynaklı sebeplerden dolayı gerçekleşmektedir. Aşırı alg çoğalmaları her zaman müsilaj oluşumuna neden olmasa da müsilaj oluşumunu tetiklediği düşünülen faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Bongiorni ve diğ., 2007; Innamorati, 1995; Mecozzi ve diğ., 2001; Mecozzi ve diğ., 2008; Tas ve Yılmaz, 2015) :

- Artan deniz suyu sıcaklıkları
- Evsel ve endüstriyel atıklar
- Yetersiz arıtma seviyeleri
- Aşırı balıkçılık
- Denizlerde N/P oranının artması
- Tuzluluk değişimi
- Cu ve Pb gibi metallerin varlığı
- Denizlerdeki oksijen seviyesinin düşmesi

### **1.1.3 Müsilajın etkileri**

Birçok alg patlaması zararsız olsa da toksik olmayan türlerin kümeleşmesi bile zaman zaman ışık penetrasyonunu sınırlayan değişimlere, hipoksi ve anoksi gibi zararlı etkilere neden olabilir. Alg patlamaları ile ilgili en önemli sorunlardan biri, bazı fitoplankton türlerinin (örneğin dinoflagellatlar) ürettiği farklı toksin türlerinin balıklar, omurgasızlar ve insanlar üzerindeki zararlı etkisidir (Eren, 2021; Tas ve Yılmaz, 2015).

Ayrıca, müsilajın deniz yüzeyinde birikip ışık ve oksijen geçirgenliğini azaltması, balık ve bentik organizmaların ölümlerine neden olmaktadır (Eren, 2021; Özalp, 2021). Bunlara ek olarak müsilajın deniz yüzeyinde ve dibinde birikmesi turizmi ve balıkçılığı dolayısıyla ekonomiyi de olumsuz etkilemektedir (Danovaro ve diğ, 2009; Rinaldi ve diğ, 1995).

Müsilajın ortadan kaldırılması üç aşamada gerçekleştirilir: önleme, toplama ve bertaraf. Şu anda deniz müsilajı için ideal bir bertaraf yöntemi yoktur. Bu çalışmada, Marmara Denizi'nde hem deniz yaşamını hem de çevreyi olumsuz etkileyen müsilajdan biyoteknolojik bir ürün olan biyoplastik elde edilmiştir. Böylece müsilajı faydalı bir ürüne çevirmek amaçlanmıştır.

### **1.1.4 Biyoplastikler**

Geniş bir uygulama yelpazesine sahip olan plastikler, çoğunlukla petrol esaslı kaynaklardan elde edilen uzun moleküler zincirlere sahip yarı-sentetik veya sentetik organik polimerlerdir (Rajendran ve diğ, 2012). Çeşitli üstün özellikleri ve ev ürünleri, biyomedikal cihazlar, ilaç, otomobil, inşaat, ambalaj gibi birçok farklı alanda kullanılabilmesi sayesinde plastik tüketimi artmaya devam etmektedir (Chia ve diğ,

2020; Rajendran ve diğ, 2012; Venkatachalam, 2020). Bu yüksek tüketim, plastik üretiminde ve plastik atıklarda ciddi bir artışa neden olmaktadır. Plastik atıklar çok yavaş bozunur ve geri dönüşüm oranı düşüktür. Bu yüzden orijinal ürünler binlerce yıl denizlerde, doğada ve çöplüklerde kalmaktadır (Venkatachalam, 2020). Plastik atıklarla ilgili bertaraf sorunlarının üstesinden gelmek için henüz etkili bir yöntem uygulanmamıştır (Chia ve diğ, 2020).

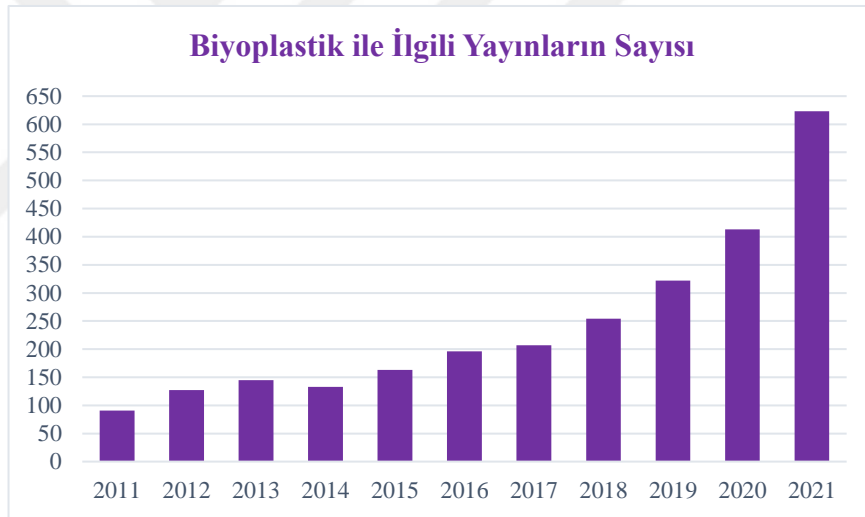
Sentetik plastiklerin birçoğu biyolojik olarak parçalanamaz ve tamamen bozulana kadar çok uzun yıllar boyunca atık olarak birikir. Ayrıca, petrol bazlı plastiklerin üretimleri sırasında zararlı katkı maddeleri kullanılmaktadır ve yakılmaları sırasında toksik kimyasallar açığa çıkmaktadır. Bu olumsuz özellikler hem insanların hem de diğer canlıların sağlığını etkileyerek bağışıklık sisteminin baskılanmasına, çeşitli hastalıkların ve yan etkilerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Plastikler, toksik katkı maddelerinin salınması nedeniyle su yaşamı için de risk oluşturmaktadır. Ayrıca, plastikler su sisteminde biriktikçe zamanla mikroplastik oluşumuna sebep olmaktadır. Mikroplastikler, deniz organizmaları tarafından kolaylıkla yutulabilen yarı sentetik veya sentetik parçacıklar olarak tanımlanabilir (Alam ve diğ, 2020).

Şu anda, dünyadaki enerjinin çoğu fosil kaynaklar kullanılarak elde edilmektedir. Fosil yakıt kaynaklarının plastik üretiminde ciddi oranda kullanılmasından dolayı yaklaşık 2050 yılına kadar bu kaynakların büyük ölçüde azalacağı ön görülmektedir (Min ve diğ, 2017). Bu nedenle yenilebilir kaynakların sürdürülebilir üretimde kullanılmasına gereksinim duyulmaktadır. Sentetik plastikler, sera gazı emisyonlarına, fosil kaynakların tükenmesine, iklim değişikliğine ve dolayısıyla küresel ısınmaya yol açmaktadır (Chia ve diğ, 2020; Min ve diğ, 2017; Thiruchelvi ve diğ, 2021; Zhang ve diğ, 2019). Tüm bu nedenlerden dolayı plastik üretimi için biyobozunur, çevreye duyarlı, sürdürülebilir alternatif hammaddelere ve bunlardan üretilen plastiklere ihtiyaç doğmuştur.

Biyoplastik, bitki, alg, bakteri, biyokütle ve biyolojik atıklar gibi yenilenebilir doğal kaynaklardan türetilen, biyolojik olarak parçalanabilen ve fosil kaynaklı plastiklere sürdürülebilir alternatif plastik olarak tanımlanabilir. (Min ve diğ, 2017; Thiruchelvi ve diğ, 2021). Biyoplastikler, toprakta bulunan bakteri ve mantar gibi mikroorganizmalar tarafından hiçbir toksik madde salmadan parçalanabilmektedir. Bunun yanında diğer avantajlı özellikleri sayesinde fosil kaynaklı plastiklere üstünlük

sağlamaktadır (Rajendran ve diğ, 2012; Thiruchelvi ve diğ, 2021). Biyoplastiklerin toksik olmaması, daha kolay geri dönüşüm yapılabilmesi, fosil yakıtların kullanımının az olması, üretiminde daha az enerjiye ihtiyaç duyulması, yenilenebilir hammaddelerden oluşturulması, çevre dostu ve sürdürülebilir olması bu özelliklere örnek olarak verilebilir (Chia ve diğ, 2020; Min ve diğ, 2017; Thiruchelvi ve diğ, 2021). Ayrıca, biyoplastikler petrol türevli plastiklerin işlevlerini aynı şekilde sağlayabilmektedir (Rajendran ve diğ, 2012).

Biyoplastikler paketlenme, tekstil, elektronik, ziraat, ilaç, medikal, yapıştırıcı ve boya gibi çeşitli endüstri alanlarında kullanılabilir (Cinar ve diğ, 2020; Nandakumar ve diğ, 2021; Sidek ve diğ, 2019). Biyoplastik üretimi ve kullanımına yönelik çalışmalar son 10 yılda giderek artmıştır. Şekil 1.3'te son 10 yılda yapılan biyoplastik çalışmalarının sayısı yer almaktadır (Web of Science'dan çekilmiştir, anahtar kelime: bioplastic.)



**Şekil 1.3 :** Biyoplastik yayınlarının son 10 yıl bazında dağılımı.

Biyoplastiklerin üretiminde farklı özelliklere sahip çeşitli malzemeler; ağırlıklı olarak mısır, patates, buğday, odun, süt proteinleri, gıda, soya ve yem bitkilerinden elde edilen nişasta gibi hammaddeler ve biyokütleden oluşan diğer atıklar kullanılmaktadır (Chia ve diğ, 2020; Erkmen, 2013; Thiruchelvi ve diğ, 2021). Perotto ve diğerleri (2018), çeşitli bitkisel atık malzemeleri (havuç, maydanoz, turp ve karnabahar) kullanarak biyoplastik elde etmişlerdir. Ürettikleri biyoplastikler biyobozunur, esnek ve çevre dostu olma özelliklerine sahiptir. Ayrıca araştırmacılar oksijen geçirgenliğini

iyileştirmek için filmlerde sentetik polimer kullanımını denemişlerdir (Perotto ve diğ, 2018).

Azevedo ve diğ. (2020), şeker kamışı atığından ekstrakte edilen sodyum silikat çözeltisi kullanarak, döküm yoluyla mısır nişastası ve patates nişastası bazlı biyolojik olarak parçalanabilen biyoplastikler hazırlamıştır. Çeşitli karakterizasyonlardan sonra mısır nişastası ile hazırlanan biyoplastiklerin, patates nişastası bazlı biyoplastiklerden daha iyi fiziksel, mekanik ve termal özelliklere sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Sodyum silikat çözeltisinin eklenmesi, her iki biyoplastiğin de mekanik ve termal özelliklerini iyileştirirken mantar oluşumunu önleyici etki göstermiştir (de Azevedo ve diğ, 2020). Sonuçlar, yenilenebilir kaynaklardan elde edilen biyoplastiklerin sentetik plastiklere alternatif olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Ancak bu malzemeler de çeşitli sınırlamalara sahiptir. Örneğin, biyokütle kaynağının yem ve gıda uygulamalarıyla rekabete girmesi büyük bir sorun oluşturmaktadır. Ayrıca, bu mahsuller büyük miktarlarda gübre, verimli toprak ve sulama suyu gerektirmektedir (Zeller ve diğ, 2013).

Biyoplastik üretimi için geniş ölçüde kullanılan bir diğ. kaynak bakterilerdir. Bakteri türlerinden birçoğu poli (hidroksialkanoat) (PHA) üretimi için kullanılmaktadır. *Klebsiella aerogenes* rekombinantları, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Bacillus megaterium* bu bakteri suşlarına örnek olarak verilebilir (Thiruchelvi ve diğ, 2021). Geleneksel plastiklere benzer fiziksel özellikler göstermesi sayesinde ilgi çeken PHA, biyolojik olarak sentezlenen bir plastiktir. PHA mikroorganizmalar sayesinde bozunmaktadır ve yenilenebilir kaynaklardan üretilmektedir (Chee ve diğ, 2010).

Wu (2014), PHA esaslı ve pirinç kabuğundan oluşan kompozit biyoplastik malzemeler üretmiştir. Akrilik asit aşılı PHA ve pirinç kabuğu içeren kompozitler, üstün mekanik özellikler sergilemiştir. Ayrıca biyoplastikler biyolojik olarak bozunabilmektedir. Ancak pirinç kabuğu içeren biyoplastikler sadece PHA'dan oluşan biyoplastiklere göre daha kısa sürede bozunmaktadır (Wu, 2014).

Faydalı özelliklerinin yanı sıra bakterilerden biyoplastik üretiminde bazı sınırlayıcı faktörler bulunmaktadır. Bu faktörlere, kontaminasyon riski, bakteri kültürleri için özel şartlara ihtiyaç duyulması ve spesifik aparatlar örnek olarak verilebilir (Erkmen, 2013).

Biyoplastik üretiminde yukarıda belirtilen kaynakların sınırlamalarının üstesinden gelmek aynı zamanda çevre güvenliğini sağlamak, gıda rekabetini önlemek için algler, sürdürülebilir bir alternatif olarak ilgi çekmektedir. Alglerin bu kadar ilgi çekmesini sağlayan özelliklerinden bazıları; besin kaynakları ile rekabet etmemesi, hızlı büyüme, fazla oranda biyokütle bulunabilmesi, kısa hasat süresi, yüksek değerli mahsullerin çıkarılabilmesi ve tarıma elverişli olmayan arazilerde dahi yetiştirilebilmesidir (Chia ve diğ, 2020; Cinar ve diğ, 2020; Min ve diğ, 2017; Thiruchelvi ve diğ, 2021).

Algler; denizde, tatlı sularda, toprakta, hayvanlarda ve bitkilerde (simbiyotik olarak) kısaca tüm dünyada bulunan organizmalardır. Klorofil içeriği sayesinde fotosentez yapan bu organizmalar, besin zincirinde önemli bir rol almaktadır. Tek hücreli, küçük türler ve aynı zamanda karmaşık çok hücreli türler olarak değişik alg suşları bulunmaktadır (Cebe, 2010; El Gamal, 2010).

Algler, fikobiliprotein, karotenoid, enzim, karbonhidrat, protein, lipit, pigment, selüloz, nişasta, antioksidan gibi doğal, biyoaktif ve değerli moleküllerin önemli bir kaynağı olarak kullanılmaktadır (Chu, 2012; Min ve diğ, 2017; Yan ve diğ, 2016). Güneş enerjisi kullanarak karbondioksiti yakalayabilme ve tutabilme ve ikincil metabolit üretme gibi yeteneklerinden dolayı fotosentetik deniz yosunları, biyoürünlerin üretimi için çekici hedeflerdir (Yan ve diğ, 2016). Tüm bu özellikleri sayesinde alglerin biyoyakıt (Adeniyi ve diğ, 2018), kozmetik (Thiyagarasaiyar ve diğ, 2020), hayvan yemi, gübre (Alam ve diğ, 2020), gıda (Wells ve diğ, 2017), ilaç (Gartia, 2018) ve biyoplastik (Cinar ve diğ, 2020) gibi birçok uygulama alanı vardır.

Literatürde müsilajdan biyoplastik üretimine yönelik çalışma bulunmamaktadır. Bu yüzden yapısal olarak benzer olan alg biyokütlesinden elde edilen biyoplastik çalışmaları özellikle incelenmiştir.

Alg biyoplastikleri, petrol bazlı plastiklerin yerine geçebilecek umut verici alternatif plastiklerdir. Algal biyoplastiklerin birçok avantajı bulunmaktadır. Örneğin, fosil yakıtların kullanımını azaltır, plastik kalitesini iyileştirir ve toksik değildir. Ayrıca, algler, gıda ve yem ile rekabete girmez, atık suyun iyileşmesini sağlar, zor çevre şartlarına tolerans gösterir ve karbondioksiti biyokütle üretiminde bir besin kaynağı olarak kullanabilir (Chia ve diğ, 2020; Thiruchelvi ve diğ, 2021).

Alg biyokütlesi, diğer organik maddeler yanında biyoplastik bileşenlerden biri olarak kullanılabilen protein ve polisakkaritleri de içerir. Alglerden elde edilen

polisakkaritler, biyoplastiklerin üretiminde fermentasyon yoluyla veya diğer biyopolimerler ile birlikte kullanılabilir (Cinar ve diğ, 2020).

Rochaa ve arkadaşları (2020), çoğunlukla *Scenedesmus obliquus* ve *Desmodesmus communis* türlerinden oluşan, aynı zamanda siyanobakteri türleri de içeren mikroalg konsorsiyum biyokütlesini ve ticari olarak satın alınmış *Arthrospira* biyokütlesi kullanarak biyoplastik elde etmişlerdir. Bu türlerden ayrı ayrı biyoplastik üretip karşılaştırmışlardır. Aynı zamanda ikisini birlikte kullanarak kompozit biyoplastik de üretmişlerdir. Çalışma sonucunda atık suda toplanan konsorsiyumdan yüksek termal stabiliteye ve düşük su absorpsiyonuna sahip biyoplastiklerin üretilebileceği anlaşılmıştır. Bu da algal biyokütlenin daha fazla değerlendirilmesini teşvik edecek bir sonuç olarak belirtilmiştir (Rocha ve diğ, 2020).

Sabathini ve arkadaşları (2018) ise *Chlorella* tozuna ultrasonik homojenizatör uygulayarak *Chlorella*-PVA bazlı biyoplastiğin mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. *Chlorella* içeriği biyoplastiğin çekme mukavemetini ve uzamasını arttırmıştır. Araştırmacılar filmin ekonomik ve sürdürülebilir bir gıda ambalajı plastik malzemesi olarak kullanılabilirliğini önermişlerdir (Sabathini ve diğ, 2018).

Alg havuzundan topladıkları *Microcystis* sp. biyokütlesinin yüksek oranda polihidroksibütirat konsantrasyonuna sahip olduğunu tespit eden Abdo ve Ali (2019) bu türü biyoplastik üretmek için kullanmıştır. Plastikleştirme kapasitesi ile ilgili olarak, alg biyokütlesi içeren biyoplastiğin kopma uzamasının, alg içermeyene göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, alg biyoplastiğinin iyi bir plastikleştirme kapasitesine sahip olduğu açığa çıkmıştır (Abdo ve Ali, 2019).

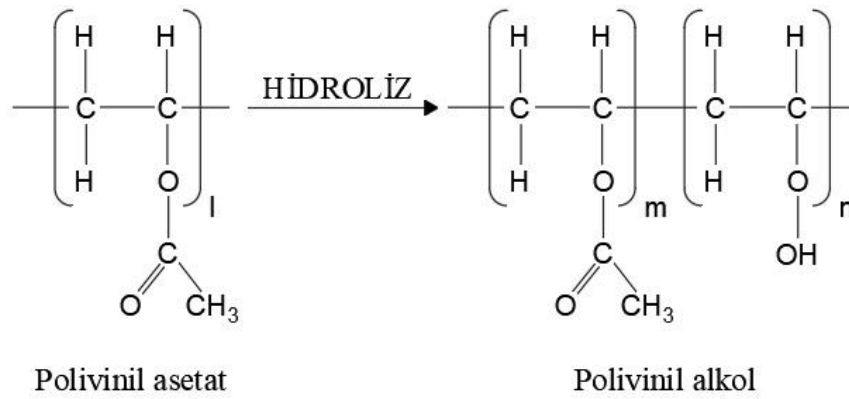
Alglerden özellikle ürettikleri polisakkaritlerden biyoplastik yapılabilmesi ve müsilağın da doğal polimer yapıda olduğunun bilinmesi ve çeşitli mikroorganizmalardan oluşan bir konsorsiyum içermesi nedeniyle Marmara Denizi'nde oluşan müsilağ kütesinin biyoplastiğe dönüştürülebileceği düşünülmüştür. Literatürde deniz müsilağından üretilen biyoplastik film bulunmamaktadır. Deniz müsilağından biyoplastik film ilk kez bu çalışmada üretilmiştir.

Tez çalışmasında ilk olarak sadece müsilağ kullanılarak biyoplastik üretimi denenmiştir. Fakat istenilen özelliklere sahip bir biyoplastik elde edilememiştir. Bu sebeple müsilağa ek olarak başka bir polimer daha kullanılmasına karar verilmiştir. Çalışmada kullanılacak polimer olarak iyi film oluşturma kapasitesi ve

biyobozunurluk gibi özellikleri sayesinde biyoplastik üretimine uygun olduğu bilinen poli (vinil alkol) (PVA) seçilmiştir.

### 1.1.5 PVA

PVA iyi bilinen ve önemli araştırmalarda ilgi çekici olan sentetik polimerlerden biridir. Hidrofilik özelliği sayesinde suda iyi çözünen PVA; vinil asetatın, poli(vinil asetat) ile sonuçlanan serbest radikal polimerizasyonu ve ardından poli(vinil asetat) zincirleri boyunca yer alan asetat gruplarının hidrolizi ile elde edilir (Şekil 1.4). Bu reaksiyon her zaman tam olarak gerçekleşmeyebilir. Bu yüzden PVA kısmen (%80,0-98,5), yüksek oranda (%98,5) ve tamamen (%100) hidrolize gibi farklı hidroliz dereceleriyle elde edilebilir. Sonuçta ana zinciri C-C atomlu, asılı asetat ve hidroksil grupları içeren bir kimyasal yapı gösterir. Ayrıca, PVA esas olarak polimerik zincir uzunluğundaki çeşitlilik nedeniyle farklı moleküler ağırlıklarda da bulunabilir (Gautam ve diğ, 2022). PVA tüm hidroliz derecelerinde suda çözünebilir ancak çözünürlüğü hidroliz derecesine, taktisite ve zincir uzunluğuna da bağlıdır. Yüksek oranda hidrolize PVA, yapısındaki güçlü hidrojen bağlarının kırılması için yüksek çözünme sıcaklıkları ve daha uzun süre gerektirir. Ancak PVA'nın polimer kristalleşmesini arttıracak kadar yüksek sıcaklığa uzun süre maruz bırakılmaması gerekmektedir (Teodorescu ve diğ, 2019).



**Şekil 1.4 :** Poli(vinil asetat)'ın hidrolizi ile PVA elde edilmesi.

PVA biyoyuymuluk, kolay işlenebilirlik, yüksek bariyer özelliği, iyi mekanik ve mükemmel kimyasal direnç ve toksik olmama gibi özellikleri sayesinde farklı endüstriyel alanlarda örneğin; farmasötik, kimya, tekstil, ambalaj ve biyoteknolojide kapsamlı olarak kullanılmaktadır (Gautam ve diğ, 2022; Pourciel ve diğ, 2003; Qian ve diğ, 2004; Raghul ve diğ, 2014; Teodorescu ve diğ, 2019; Terzioğlu ve diğ, 2021).

Ayrıca PVA hem aerobik hem de anaerobik koşullar altında biyobozunur özellik göstermektedir (Raghul ve diğ, 2014).

Yarı-kristal yapıda bir polimer olan PVA çeşitli doğal, yenilenebilir maddelerle ve polimerlerle karışımların ve kompozitlerin hazırlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Bonilla ve diğ, 2014). Yukarıda bahsedilen özelliklerine ek olarak üstün film oluşturabilme kapasitesi sayesinde biyobozunur film ve biyoplastik çalışmalarında da tercih edilmektedir (Cano ve diğ, 2015; Iritani ve diğ, 2021; Lusiana ve diğ, 2019; Silva ve diğ, 2013; Syamani ve diğ, 2020).

### **1.1.5.1 PVA biyoplastikler**

Biyoplastiklere artan ilgiye rağmen, sadece doğal, yenilenebilir maddelerle üretilen plastikler genelde geleneksel sentetik plastiklerle karşılaştırıldığında kırılabilirlik, zayıf stabilite ve zayıf mekanik özellikler gibi nedenlerle kullanımları sınırlıdır (Jufri ve diğ, 2022). Biyoplastik yapısını geliştirmek, özelliklerini iyileştirmek için polivinil alkol (PVA) eklenmektedir. Judawisastra ve arkadaşları (2017), tapyoka nişastasını ve PVA kullanarak biyoplastik üretmişlerdir. Tapyoka nişastasına PVA'nın eklenmesi, nişasta ile mükemmel bir uyumluluk göstermiş ve nişasta bazlı plastiklerin su alımını başarıyla azaltmış ve mekanik özelliklerini iyileştirmiştir (Judawisastra ve diğ, 2017).

Jufri ve arkadaşları (2022), kitosan-glutaraldehit/jelatin biyoplastik kompozitine PVA eklenmesinin fizikokimyasal özellikler üzerindeki etkilerini araştırmıştır. PVA'nın biyoplastik yapıya eklenmesi, biyoplastiklerin hidrofobikliğini, pH direncini, esnekliğini ve antibakteriyel aktivitesini arttırmıştır (Jufri ve diğ, 2022).

Sonuç olarak, diğer uyumlu malzemelerle birlikte kullanıldığında, PVA bir çapraz bağlayıcı gibi görev yapmaktadır ve istenilen çekme mukavemeti, kopma uzaması ve bariyer özelliklerine sahip filmler oluşturabilmektedir (Dominguez-Martinez ve diğ, 2017). Ayrıca PVA kullanımı kırılabilirliği azaltmakta ve mekanik özellikleri iyileştirmektedir.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM

### 2.1 Malzemeler

Çalışmada kullanılan müsilaj örnekleri, Haziran 2021 'de Mudanya'dan (40°23'01.4"N 28°51'32.2"E) toplanmıştır. Toplanan müsilajın, YSI multiparameter cihazı ile yapılan ölçümünde %57 oranında inorganik tuz içerdiği belirlenmiştir. Biyoplastik üretiminde müsilaja ek olarak PVA (Acros Organics, 95.5-96.5% hidrolize, moleküler ağırlığı yaklaşık 85,000-124,000), gliserol (Carlo Erba Reagents, 30°Be, Vegetal origin) ve asetik asit (Macron Fine Chemicals, glacial 99,5%) kullanılmıştır. Saf su, laboratuvardaki UV lambalı saf su cihazından (Millipore-Direct-Q 3 UV, Almanya) temin edilmiştir.

### 2.2 Müsilajın Toplanması Ve Toz Haline Getirilmesi

Mudanya Denizi yüzeyinden toplanan müsilaj tüplere dökülmüştür, ardından 3000 rpm'de 15 dakika santrifüjlenmiştir (Beckman-Coulter, Allegra X30R, USA). Santrifüjden sonra süpernatant ayrılmıştır ve müsilajın yeşil-kahverengi kısmı cam kaplara dökülmüştür. Etüvde (Mipro, MSİ 250, Türkiye) 50°C'de kurutulmuştur. Daha sonra kuru haldeki müsilaj, laboratuvar havanı ile toz haline getirilmiştir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Müsilajın toplanıp toz haline getirilmesinin şematik gösterimi.

### 2.3 Müsilaj Biyoplastik Filmlerin Hazırlanması

Müsilaj içerikli biyoplastik film denemesi için toz haldeki müsilaj ve plastikleştirici olarak gliserol kullanılmıştır. %15, %20, %25 ve %30 olmak üzere farklı oranlarda gliserol çözeltileri hazırlanmıştır (Dianursanti et al., 2018). Daha sonra gliserol çözeltileri 5'er ml saf suya eklenmiştir. Her çözelti 60°C'de 10 dakika karıştırılmıştır. Her karışıma 1 g müsilaj eklenmiş ve 120°C'de 30 dakika karıştırılmıştır. Daha sonra kalıplara dökülerek çeker ocakta 24 saat bekletilmiştir. Bu oranlar ve yöntem ile kristal içeren ve çabuk kırılan sert bir malzeme ortaya çıkmıştır (Şekil 2.2). Sadece müsilaj kullanıldığında istenilen özelliklerde bir yapıya sahip biyoplastik elde edilemediği için sonraki denemelerde müsilajın yanı sıra PVA kullanılmıştır.



Şekil 2.2 : Müsilaj biyoplastik film denemesi.

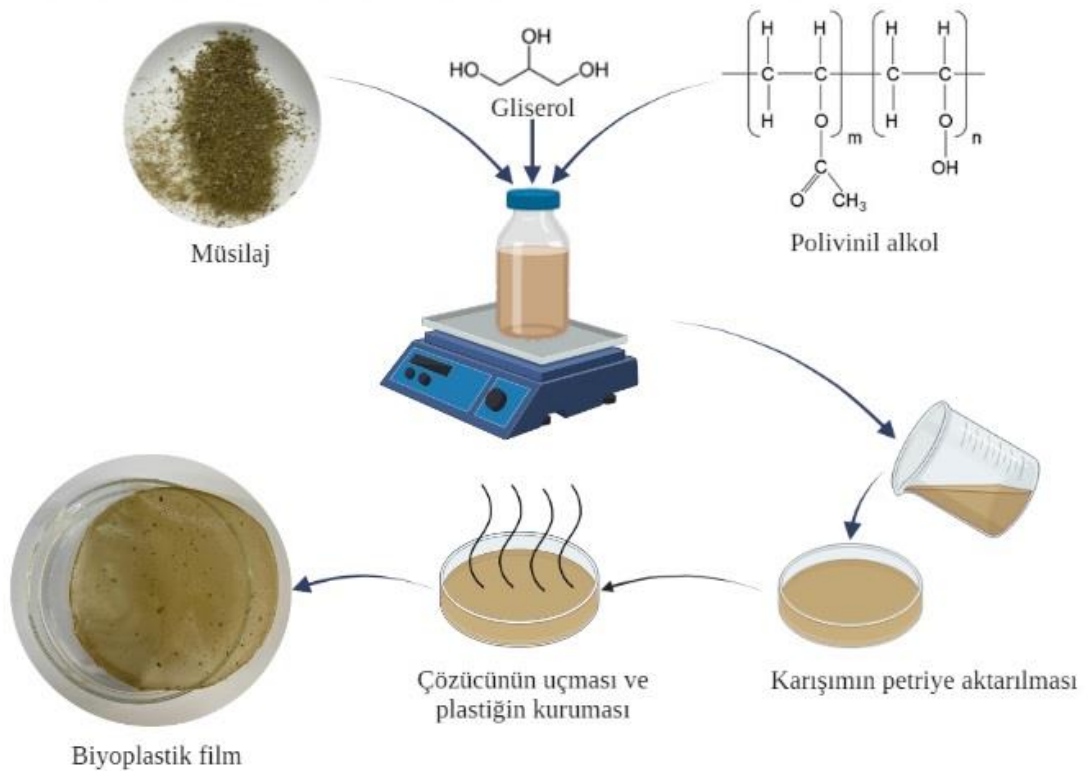
### 2.4 Müsilaj-PVA Biyoplastik Filmlerin Hazırlanması

Müsilaj ve PVA için aynı olacak şekilde çeşitli çözücüler (saf su, kloroform, tetrahidrofur, etil alkol, asetik asit) denenmiştir. Müsilaj suda tam olarak çözünmemiştir. Bunun nedeninin, polisakkaritlerin kimyasal ve 3 boyutlu yapısı ile farklı orijinli polimerlerden oluşan yüksek düzeyde dallanma kaynaklı olduğu düşünülmektedir (De Angelis ve diğ., 1993). Diğer çözücüler arasında en iyi sonuç veren çözücü hacimce %10'luk asetik asit çözeltisi olmuştur. Çalışmada deneylere asetik asit çözeltisi ile devam edilmiştir.

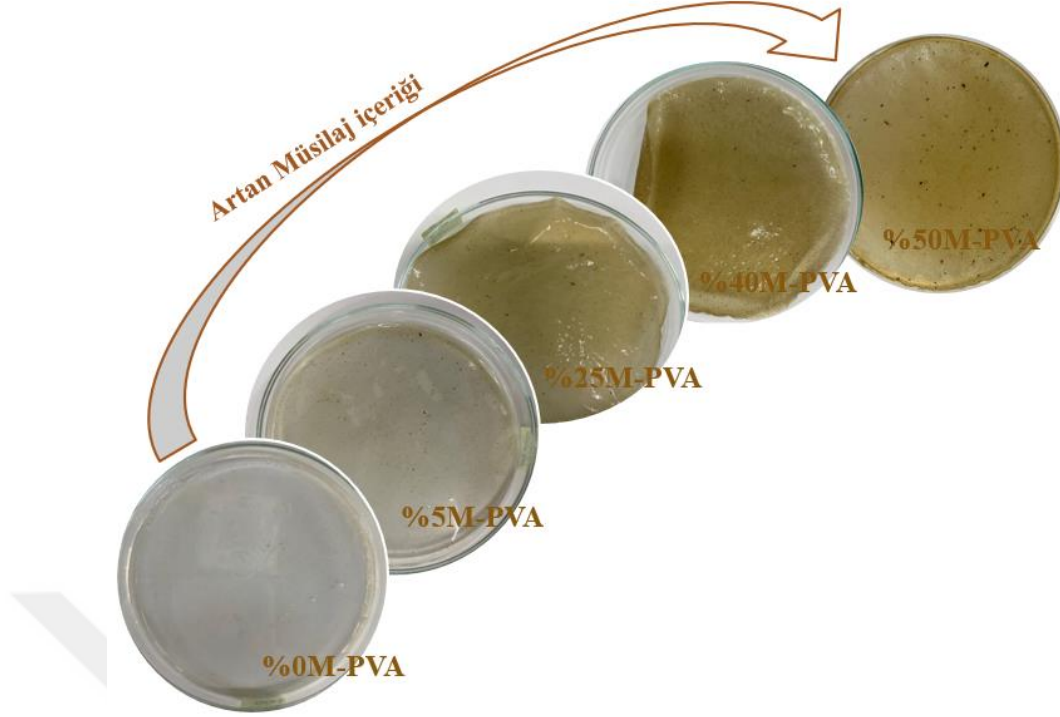
Müsilaj-PVA biyoplastik film üretimi için farklı içeriklerde çözeltiler hazırlanmış ve çözelti döküm metodu kullanılarak filmler oluşturulmuştur. Çeşitli denemeler sonucu

bir yöntem optimize edilmiştir. Optimize edilen yönteme göre farklı oranlarda müsilaj ve PVA miktarları kullanılarak biyoplastik film üretimleri yapılmıştır. Bunun için; toz haldeki müsilajdan belirli miktarlarda hassas terazide tartım yapılmış, daha sonra %10 asetik asit içerisinde koyulmuş ve manyetik karıştırıcıda 70-80 °C’de yaklaşık 1 saat karıştırılmıştır. Müsilaj çözüldükten ve oda sıcaklığına geldikten sonra karıştırıcıdan alınmıştır. Polimer için belirli miktarlarda PVA tartılmış, daha sonra %10 asetik asit içerisinde 80 °C’de çözülmüştür. Polimer çözüldükten ve homojen hale geldikten sonra polimer çözeltisi ve müsilaj çözeltisi toplam hacim tüm oranlarda 10 ml olacak şekilde karıştırılmıştır. Müsilajın polimere oranı %5, %10, %15, %20, %25, %40, %50 olacak şekilde müsilaj-polimer karışımları hazırlanmıştır. Plastikleştirici olarak her birine 0,4 gram gliserol eklenmiştir. Hazırlanan karışımlar oda sıcaklığında çeker ocakta cam petri kaplarına dökülmüştür. 2 gün boyunca çeker ocakta asetik asidin uçması ve viskoz haldeki karışımın biyoplastik formuna dönüşmesi sağlanmıştır. Biyoplastik filmlerin üretimi Şekil 2.3’te şematik olarak gösterilmiştir.

Biyoplastik filmlerin morfolojisi, müsilaj içeriğinin artması ile Şekil 2.4’te gösterildiği gibi değişmiştir. Numune adları müsilaj içeriğine göre verilmiştir. Örneğin, %5 oranda müsilaj içeren numunenin adı %5M-PVA olarak isimlendirilmiştir.



**Şekil 2.3 :** Biyoplastik filmlerin üretiminin şematik gösterimi.



Şekil 2.4 : Üretilen biyoplastik filmlerin artan müsilaj oranı ile morfolojik değişimi.

## 2.5 Biyoplastik Filmlerin Karakterizasyonu

Müsilaj eklenmiş biyoplastiklerin yüzey morfolojisini incelemek için Taramalı Elektron Mikroskopisi (SEM) kullanılmıştır. Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), yapıdaki bağları incelemek için kullanılmıştır. Biyoplastiklerin termal karakterizasyonu için Termogravimetrik analiz (TGA) ve Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) kullanılmıştır. Elastik modül ve uzama gibi mekanik özelliklerini belirlemek için bir çekme mukavemeti testi yapılmıştır. Filmlerin kristal yapısını incelemek için X-Işını Kırınım (XRD) analizi kullanılmıştır.

### 2.5.1 Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi – FTIR

Müsilaj – PVA biyoplastik filmlerin yapısal analizi Nicolet-iS50 FT-IR spektroskopisi kullanılarak yapılmıştır. FTIR spektrumları  $400\text{ cm}^{-1}$ - $4000\text{ cm}^{-1}$  aralığında  $4\text{ cm}^{-1}$  çözünürlükte 16 tarama ile elde edilmiştir.

### 2.5.2 Termogravimetrik analiz – TGA

Biyoplastik filmlerin termal stabilitesi Ta/SDT650 termal gravimetrik analizör kullanılarak incelenmiştir. Biyoplastik filmler 30-35 mg olacak şekilde küçük parçalara ayrılmıştır. TGA analizleri  $10\text{ }^{\circ}\text{C/dk}$  azot atmosferinde  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  ile  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$

arasında gerçekleştirilmiştir. Farklı sıcaklıklarda biyoplastik filmlerin % ağırlık kaybı kaydedilmiştir.

### **2.5.3 Diferansiyel taramalı kalorimetre – DSC**

Biyoplastik filmlerin termal özellikleri ve kristallik yüzdelерinin değışimi, DSC (DSC25, TA Instruments, ABD) cihazı ile belirlenmiştir. Numunelerin ağırlıkları 9-10 mg arasında olacak şekilde tartılarak 10 °C/dk azot atmosferinde 70 °C ile 300 °C arasında sıcaklıkta incelenmiştir.

### **2.5.4 X-Işını kırınım – XRD**

Hazırlanan biyoplastiklerin X-ışını difraktogramları kristal yapılarını incelemek için 5-90 °C arasında ve 2 °C/dk tarama hızında gerçekleştirilmiştir (Bruker AXS/Discovery D8).

### **2.5.5 Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS)**

Biyoplastik filmlerin morfolojisini, içerdığı kristal yapıları ve müsilajın matriksteki dağılımını gözlemek için taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS) kullanılmıştır (Carl Zeiss / Gemini 300, Almanya). Numuneler testten önce ince bir altın-paladyum tabakası ile kaplanmıştır. Hızlanma voltajı 5.0 kV'da tutulmuştur.

### **2.5.6 Ultraviyole-görünür bölge spektroskopisi – UV-Vis**

Üretilen biyoplastik filmlerin geçirgenliğini incelemek için UV-Vis absorbans spektrumları, bir SHİMADZU-UV3800 UV-Vis-NIR spektrofotometresi kullanılarak elde edilmiştir. Taramalar, 0,5 nm aralıklarla 200-900 nm aralığında toplanmıştır. Her numune için müsilaj içermeyen PVA film referans olarak alınmıştır.

### **2.5.7 Müsilaj-PVA biyoplastik filmlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi**

Biyoplastik filmlerin mekanik özellikleri, evrensel mekanik test cihazı (SHİMADZU-AGS-X, Japonya) ile ASTM D 882-02 (2002) yöntemine göre belirlenmiştir. Mekanik özellikleri belirlemek için numune hazırlama cihazı (INSTRON -6054.000) ile 1 x 8 cm boyutlarında filmler hazırlanmıştır. Çeneler arası mesafe 60 mm ve çekme hızı 500

mm/dk olarak ayarlanmıştır. Testler üç tekrar halinde yapılmış ve ortalama sonuçlar standart sapmalar ile beraber verilmiştir.

### **2.5.8 Müsilajın ve biyoplastik filmlerin antibakteriyel aktivitesinin incelenmesi**

Toz haldeki müsilajın ve %10M-PVA biyoplastik filmin antibakteriyel özellikleri yaygın olarak kullanılan ve iyi bilinen bir yöntem olan disk difüzyon yöntemi ile incelenmiştir. Antibakteriyel test için gram pozitif bakteri olarak *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 ve gram negatif bakteri olarak *Escherichia coli* ATCC 25922 kullanılmıştır.

Antibakteriyel aktivite incelenmeden önce diyaliz yapılmış ve diyaliz yapılmamış olan toz haldeki müsilaj örneklerinin tuzlulukları ölçülmüştür. Bunun için toz müsilaj örneklerinden belirli miktarlarda tartılarak saf su içerisinde vorteks yapılmıştır. YSI multiparameter cihazı ile diyaliz yapılmamış toz müsilajın tuzluluğu %57, diyaliz yapılmış olan toz müsilajın tuzluluğu ise %1 olarak ölçülmüştür.

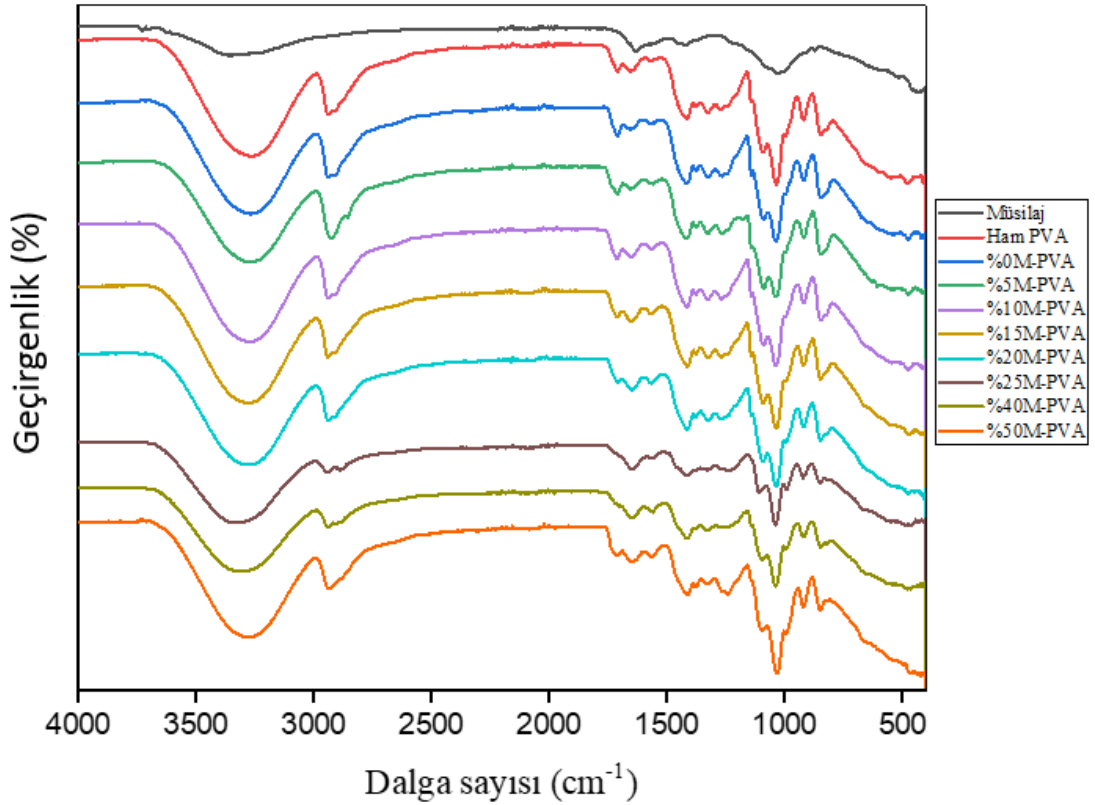
Toz haldeki müsilajın antibakteriyel aktivitesi için; diyaliz yapılmış ve yapılmamış olan müsilaj örneklerinden 0,5 g tartılmıştır ve manuel pres makinesinde (Manuel MSE LP/M2S10, Türkiye) 3 ton kuvvet kullanılarak 1,6 cm çapında disk haline getirilmiştir. *S.aureus* ve *E.coli* sıvı kültürlerinin türbiditesi 0.5 McFarland'a ayarlanmıştır (Kaya ve diğ., 2018). Daha sonra işaretlenmiş olan petrilere sıvı kültürlerden 100'er mikrolitre alınarak yayma plak yöntemi ile ekim yapılmıştır. Her bir petrideki bakteriler dragalski çubuğu ile ekildikten sonra üzerlerine diskler yerleştirilmiştir. Petriler 24 saat boyunca 37 °C'de inkübasyona bırakılmıştır.

Biyoplastik filmlerde %10M-PVA içeriğinin seçilmesinin nedenleri; (1) %5M-PVA ve %10M-PVA içeriğine sahip olan filmlerin mekanik özelliklerinin diğer filmler ile kıyaslandığında daha iyi olması ve (2) %10M-PVA oranına sahip filmin müsilaj içeriğinin %5M-PVA filmine göre daha fazla olması ve böylece daha çok müsilaj değerlendirilmesinin sağlanmasıdır. %10M-PVA biyoplastik filmin antibakteriyel aktivitesinin incelenmesi için filminden 1,6 cm çapında parçalar kesilmiştir. Müsilaj diskleri için kullanılan aynı yöntem ile antibakteriyel test uygulanmıştır. Biyoplastik filmin hem gram pozitif (*S.aureus*) hem de gram negatif (*E.coli*) bakterilerine karşı antibakteriyel etkinliği incelenmiştir.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Üretilen biyoplastik filmlerde müsilaj ve PVA arasındaki etkileşimi anlamak, filmlerin yapısını incelemek ve özelliklerini belirlemek için FTIR, TGA, DSC, XRD, SEM-EDS, UV analizleri ile mekanik test ve antibakteriyel test yapılmıştır. Karakterizasyon sonuçları bu bölümde verilmiştir.

#### 3.1 Fourier Transform Infrared Spektrofotometre – FTIR Sonuçları



Şekil 3.1 : Biyoplastik filmlerin FTIR spektrumları.

FTIR analizi, deniz müsilajı ile PVA arasındaki etkileşimi anlamak için yapılmıştır. Deniz müsilajı örneğinin, toz haldeki ham PVA'nın ve biyoplastik filmlerin FTIR spektrumları Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Müsilajın ve biyoplastik filmlerin fonksiyonel grupları Çizelge 3.1'de özetlenmiştir.

Protein ve karbonhidratların hidroksil gruplarının bantları (O-H bağları), müsilaj, PVA ve biyoplastik film örneklerinde 3240-3350  $\text{cm}^{-1}$  aralığında yer almaktadır. Biyoplastik filmin yapısına müsilaj eklendikçe yani müsilaj oranı arttıkça hidroksil pik şiddetinin arttığı ve pikin kaydığı görülmektedir. Bu kaymanın PVA'nın yapısındaki hidroksil ile müsilajın hidrojen bağı yapmasından veya iyonik çapraz bağlanmadan kaynaklandığı düşünülmektedir. Hidroksil gruplarının sayısındaki artış daha fazla hidrofilik film oluştuğu sonucunu vermektedir (Abral ve diğ, 2020).

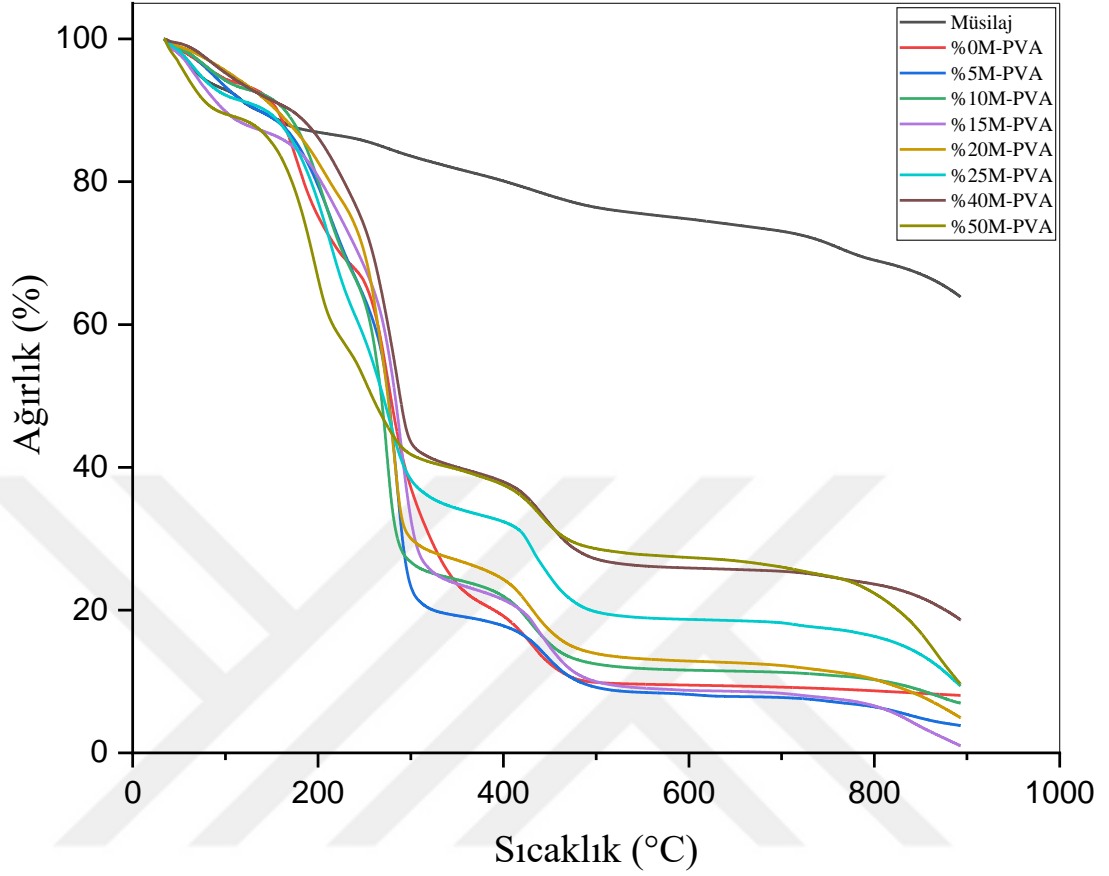
**Çizelge 3.1 :** Müsilaj ve biyoplastik filmlerin fonksiyonel gruplarının özeti.

| Dalga sayısı ( $\text{cm}^{-1}$ ) | Fonksiyonel grup             |
|-----------------------------------|------------------------------|
| 3240-3350                         | O-H germe bandı              |
| 2942                              | C-H germe bandı              |
| 2904                              | C-H germe bandı              |
| 2840                              | O-H germe bandı              |
| 1709                              | C=O germe bandı              |
| 1654                              | C=C germe bandı              |
| 1634                              | N-H bükme                    |
| 1560-1570                         | C=C germe bandı              |
| 1415-1430                         | C-C germe bandı<br>O-H bükme |
| 1325                              | CH <sub>2</sub> titreşim     |
| 1240                              | C-H sallama                  |
| 1091                              | C-O germe bandı              |
| 1025-1040                         | C-O germe bandı              |

Biyoplastik filmlerde ve PVA'da görülen 2850 ile 2960  $\text{cm}^{-1}$  arasındaki zayıf bantlar karbonhidratların, lipidlerin ve proteinlerin alifatik -CH<sub>2</sub> ve -CH gruplarından kaynaklanmaktadır. Bu pikler müsilajın spektrumunda görülmemektedir. Müsilajın spektrumunda 1634  $\text{cm}^{-1}$  ve 1567  $\text{cm}^{-1}$ 'deki bantlar amid I ve amid II protein yapılarına aittir (Mecozzi ve diğ, 2012).

Müsilaj, PVA ve biyoplastik filmlerin tümünde görülen 1025-1040  $\text{cm}^{-1}$  arasındaki bant, polisakkaritlerin ve karbonhidratların -CO grubuna aittir (Mecozzi ve diğ, 2012). Müsilaj ilavesi ile PVA'nın kristal yapısındaki değişiklik, PVA'daki kristal ve amorf fraksiyon arasındaki orana denk gelen 1090-1100  $\text{cm}^{-1}$  arasındaki piklerin geçirgenlik oranından gözlemlenebilir (Abral ve diğ, 2020). Bu geçirgenlik piklerinde görülen kaymalar müsilaj ve PVA'nın etkileşimi ile gerçekleşmiştir.

### 3.2 Termogravimetrik Analiz – TGA



Şekil 3.2 : Biyoplastik filmlerin TGA grafikleri.

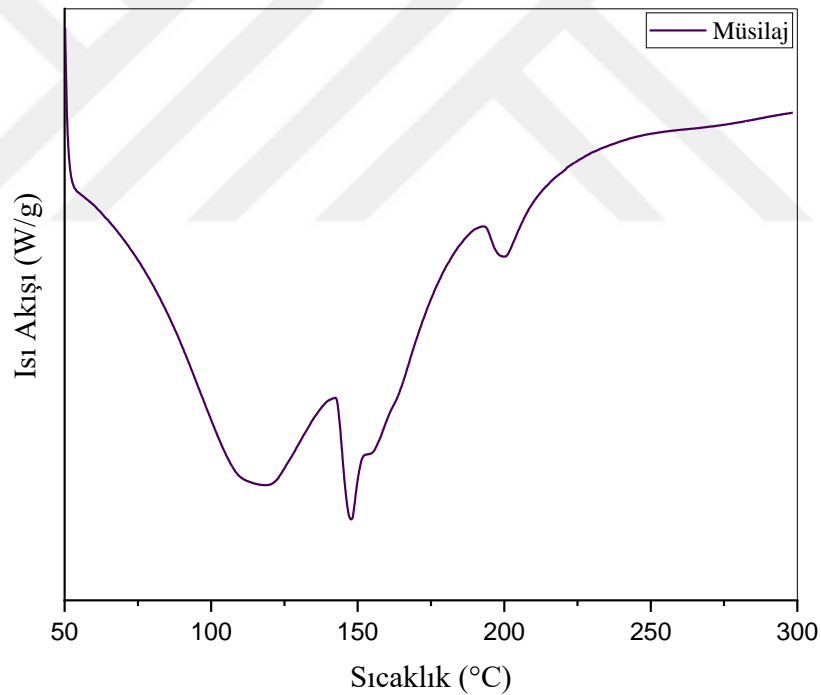
Numunelere karşılık gelen termogramlar Şekil 3.2’de verilmiştir. 100 °C'nin altındaki kütle kaybı, emilen nem kaybından kaynaklanmaktadır. Müsilaj iki aşamalı bozunma göstermektedir. Birinci bozunma 200°C - 500°C arasında, ikinci bozunma ise 750°C’den sonra gerçekleşmektedir. İlk bozunma polisakkarit yapısından kaynaklanmaktadır (Braz ve diğ, 2007). İkinci bozunma ise NaCl içeriğinden gelmektedir (Broström ve diğ, 2011).

PVA üç aşamalı kütle kaybına uğramaktadır. Saf PVA için birinci kütle kaybı 180 °C-220 °C arasında gerçekleşmektedir. Büyük kütle kaybının ikinci aşaması, su, aldehytler ve metil ketonlar gibi hidroksil gruplarının kaybına bağlı olarak 250 °C ila 310 °C arasında değişen sıcaklık aralığındadır. Üçüncü aşama 400 °C ila 480 °C arasında gerçekleşmektedir ve polien yapıları bozunur. Bozunma ürünleri karbon ve hidrokarbonlardır. PVA polimerinin bozunma sıcaklıkları literatüre göre ufak farklılıklara sahiptir (Devangamath ve diğ, 2020). Bunun sebeplerinden biri PVA’daki

vinil asetat oranına bağı olarak sıcaklığın değişebilmesidir. Ayrıca filmlerde asetik asit kullanılmıştır. Asetik asit içeriğinden dolayı da sıcaklık farklılığı ortaya çıkabilmektedir.

TGA grafiğinde 600 °C'den sonraki kısım inorganik katkı oranını göstermektedir. Müsilaj oranı arttıkça inorganik katkı oranı artmaktadır. Ancak %5M-PVA ve %15M-PVA biyoplastik numuneleri bu ilişkiyi bozmaktadır. %5, 10, 15 ve 20 oranında müsilaj içeren filmlerin 800 °C'den sonra da bozunduğu görülmektedir. Ancak bu filmlerin tuz içeriği fazla değildir. Bu yüzden kalıntı miktarı %0M-PVA'dan az görülmektedir. %25, 40 ve 50 oranında müsilaj içeren biyoplastiklerde ise tuz içeriği fazla olduğu için bozunma olsa da kalıntı miktarı müsilaj içermeyen filmde (%0M-PVA) daha fazla görülmektedir.

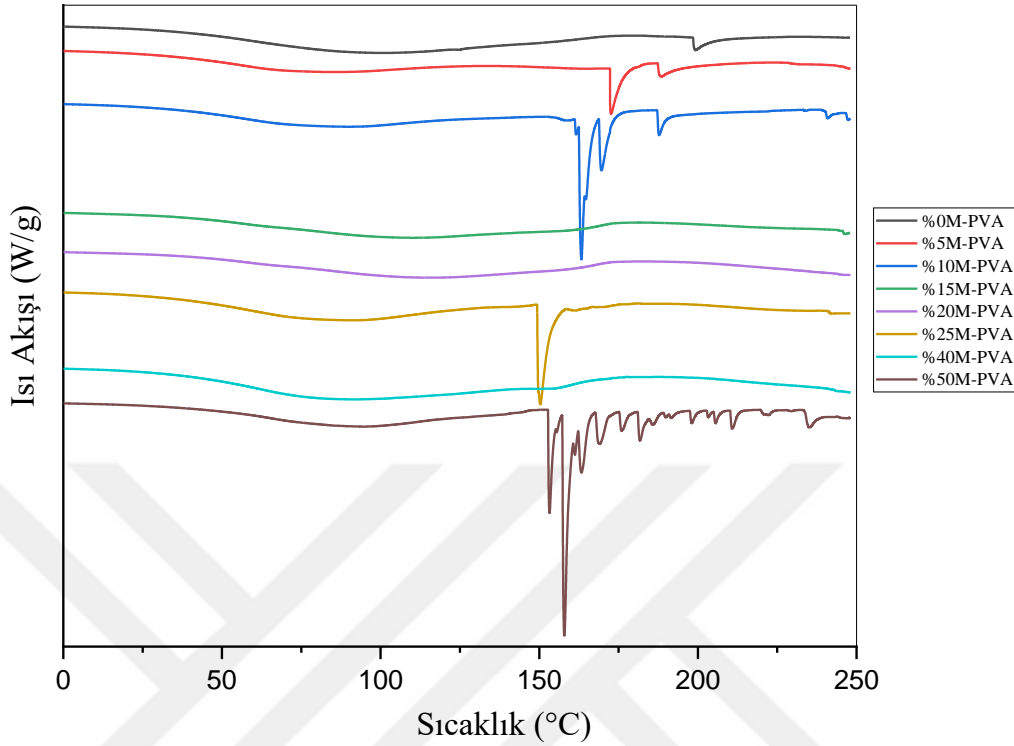
### 3.3 Diferansiyel Taramalı Kalorimetre – DSC



Şekil 3.3 : Müsilajın DSC grafiği.

Müsilajın, biyoplastik filmlerin termal özellikleri üzerindeki etkisi, DSC kullanılarak incelenmiştir. Müsilajın ve biyoplastik filmlerin camsı geçiş sıcaklığı (T<sub>g</sub>), erime sıcaklığı ve erime entalpisi Çizelge 3.2'de verilmiştir. Numunelerin DSC termogramları Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te sunulmaktadır.

Müsilajın erime sıcaklığı literatürdeki değer ile yakın 148°C olarak bulunmuştur (Munir ve diğ, 2021). Müsilajın camsı geçiş sıcaklığı 116.5°C olarak bulunmuştur.



**Şekil 3.4 :** Müsilaj-PVA biyoplastik filmlerin DSC grafikleri.

Müsilaj içermeyen PVA filmin (%0M-PVA) camsı geçiş sıcaklığı, rapor edilen değerden daha düşük olan 65.6 °C olarak bulunmuştur. Camsı geçiş sıcaklığındaki bu azalmanın, PVA'nın %10 asetik asit çözeltisi ile hazırlanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Patel ve diğ, 2014). %0M-PVA için entalpi 8.05 J/g olarak bulunmuştur.

%0M-PVA filmden %25M-PVA filme kadar camsı geçiş sıcaklığı, başlangıçta 65'ten 53-62 °C'ye düşmüştür. Ancak müsilaj oranını %40 ve %50'ye yükselttiğimizde, camsı geçiş sıcaklığı 76 °C'ye yükselmiştir. Bir polimerin Tg'si ne kadar yüksek olursa, bariyer özellikleri o kadar yüksek olur (Amin ve diğ, 2019). Çünkü camsı geçiş sıcaklığı (Tg), bileşenlerin biyopolimer ile karışabilirliğini ve tutarlılığını gösterir. Erime sıcaklığındaki değişimin de müsilaj içeriği ile değiştiği gözlemlenmiştir. Müsilajın ilk bozunma sıcaklığı, TGA sonucunda da gösterildiği gibi 200 °C'dir.

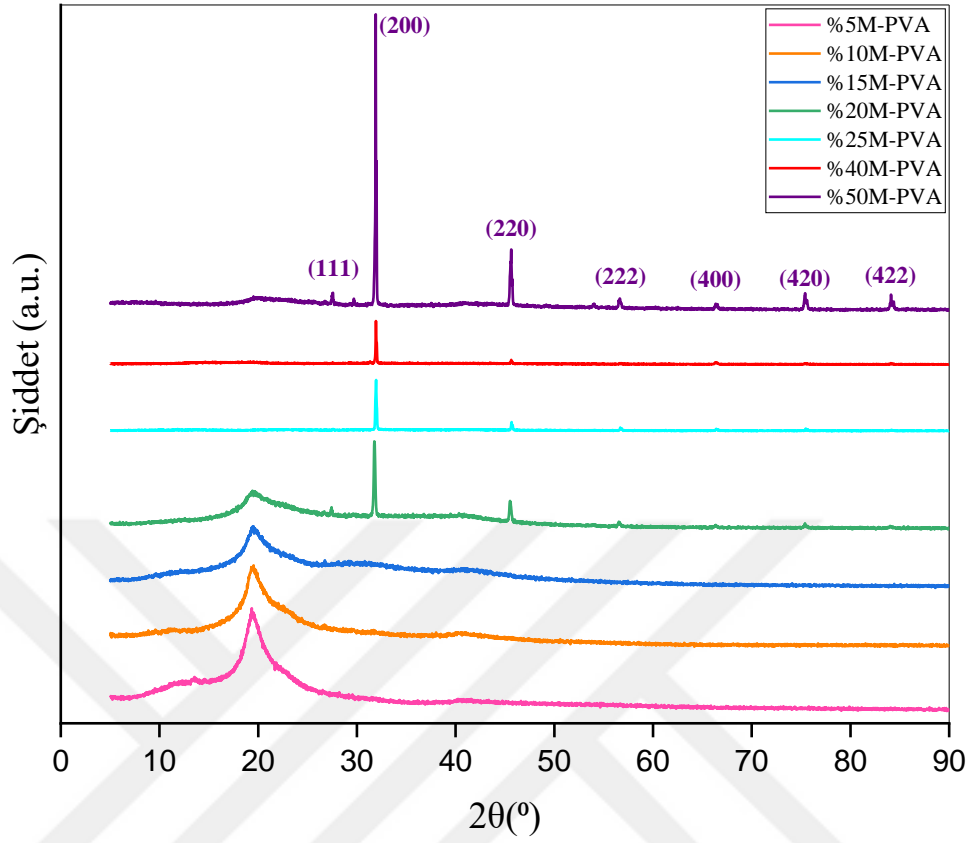
**Çizelge 3.2 :** DSC analizinden elde edilen veriler;  $T_g$ : Camlı geçiş sıcaklığı,  $T_e$ : Erime sıcaklığı,  $\Delta H_e$ : Erime entalpisii.

| Numune   | $T_g$<br>(°C) | $T_e$<br>(°C) | $T_{e2}$<br>(°C) | $T_{e3}$<br>(°C) | $\Delta H_e$<br>(J/g) | $\Delta H_{e2}$<br>(J/g) | $\Delta H_{e3}$<br>(J/g) |
|----------|---------------|---------------|------------------|------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|
| Müsilaj  | 116.5         | 148.01        | 200.84           | -                | 25.418                | 5.0065                   | -                        |
| %0M-PVA  | 65.61         | 199.48        | -                | -                | 8.0526                | -                        | -                        |
| %5M-PVA  | 55.91         | 172.62        | 188.48           | -                | 12.583                | 9.8369                   | -                        |
| %10M-PVA | 60.37         | 162.09        | 169.19           | 187.69           | 33.482                | 12.778                   | 9.4102                   |
| %15M-PVA | 53.61         | 91.58         | -                | -                | -                     | -                        | -                        |
| %20M-PVA | 55.42         | 97.39         | -                | -                | -                     | -                        | -                        |
| %25M-PVA | 62.60         | 149.61        | -                | -                | 30.932                | -                        | -                        |
| %40M-PVA | 76.54         | 143.17        | -                | -                | 1.4372                | -                        | -                        |
| %50M-PVA | 76.05         | 152.80        | 156.42           | -                | 14.436                | 34.065                   | -                        |

%50M-PVA filmine ait 175 °C-250 °C arasında görülen çoklu piklerin müsilajın termal bozunmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. TGA sonucunda da 200°C civarında müsilajın bozunmasının başladığı tespit edilmişti. Böylece, TGA ve DSC sonuçları örtüşmektedir.

Biyoplastik filmlerde 200 °C'deki pikte müsilaja PVA eklenmesi ile pik kayma göstermiştir. Sonrasında müsilaj oranı arttıkça PVA kristalinitesi kaybolmuştur. Ayrıca PVA filminde görülmeyen 175 °C civarındaki pik müsilaj ilavesi ile biyoplastik filmlerde ortaya çıkmıştır. Müsilaj içeriği arttıkça pik kaymıştır. %15M-PVA ve sonrasında polimerin kristalinitesinin azalması veya kaybolmasının mekanik özellikleri de etkilediği düşünülmektedir.

### 3.4 X-Işını Kırınım – XRD



Şekil 3.5 : Biyoplastiklerin XRD grafiği.

Biyoplastik filmlerin XRD grafikleri Şekil 3.5'te verilmiştir. PVA için XRD modeli,  $2\theta = 20^\circ$ 'deki kristal yansımanın, PVA'nın kristal düzlemine karşılık gelen özelliği olduğunu göstermektedir.  $20^\circ$ 'ye kadar olan pik genişliği polimerin amorf durumunu göstermektedir (B. Aziz ve diğ, 2017; Nangia ve diğ, 2019). Ayrıca, keskin tepe noktalarının olmaması PVA'nın yarı kristal yapısını göstermektedir. Müsilaj oranı arttıkça polimerin amorf durumunu gösteren pik azalarak kaybolmuştur. %5, %10 ve %15 oranında müsilaj içeren biyoplastik filmlerin XRD modeli, PVA'nın XRD modeliyle eşleşmektedir (B. Aziz ve diğ, 2017; Nangia ve diğ, 2019). %15 oranında müsilaj içeren film ayrıca tuz kristallerinden gelen düşük bir pik göstermektedir. %20 müsilaj içeriği ve daha fazlasında ise tuz kristallerinden gelen pikler giderek artmıştır. NaCl kristal yapılarına sahip müsilaj içeren PVA filmlerinin karakteristik pikleri NaCl'nin XRD modeli ile eşleşmektedir (Rabiei ve diğ, 2020). Müsilaj içeriği arttığında, kristal pikler ve şiddetleri artmaktadır.

Polimerin kristalinitesi denklem (3.1) kullanılarak XRD grafiklerinden hesaplanmıştır ve değerler Çizelge 3.3’ de verilmiştir. Sonuçlara göre müsilaj oranı arttıkça polimerin kristalinitesi azalmıştır. Sonuç olarak tuz içeriğinin artması ile polimer kristalinitesi azalmaktadır (Tretinnikov ve Zagorskaya, 2012).

$$X_k = \frac{A_k}{(A_k + A_a)} \quad (3.1)$$

$X_k$ : Kristalinite

$A_k$ : Kristalin alan

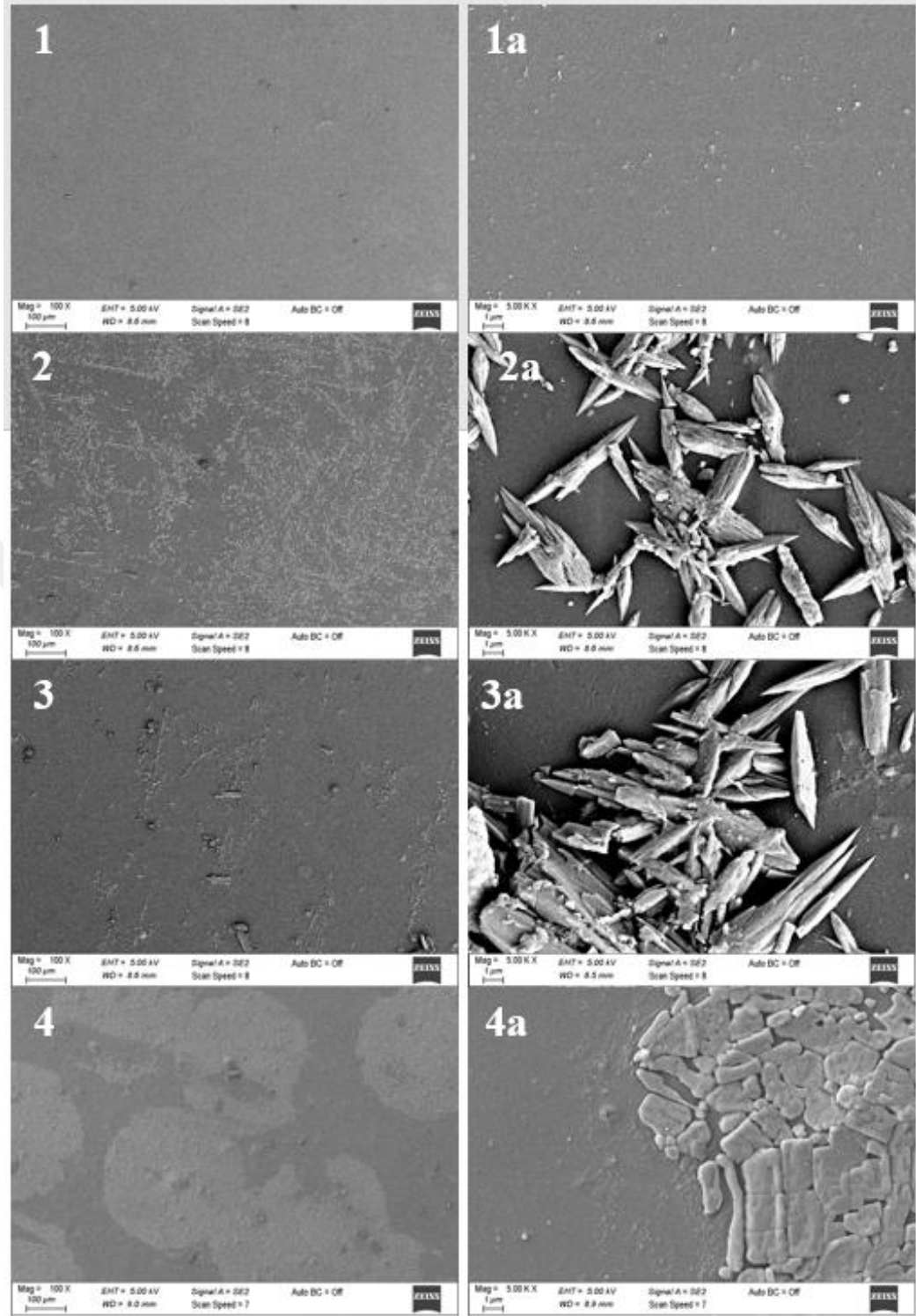
$A_a$ : Amorf alan

**Çizelge 3.3** : Biyoplastik filmlerde kullanılan polimerin kristalinite değerleri.

| Numune   | Kristalinite (%) |
|----------|------------------|
| %5M-PVA  | 41,20            |
| %10M-PVA | 38,18            |
| %15M-PVA | 37,72            |
| %20M-PVA | 34,98            |

### 3.5 Taramalı Elektron Mikroskobu – SEM

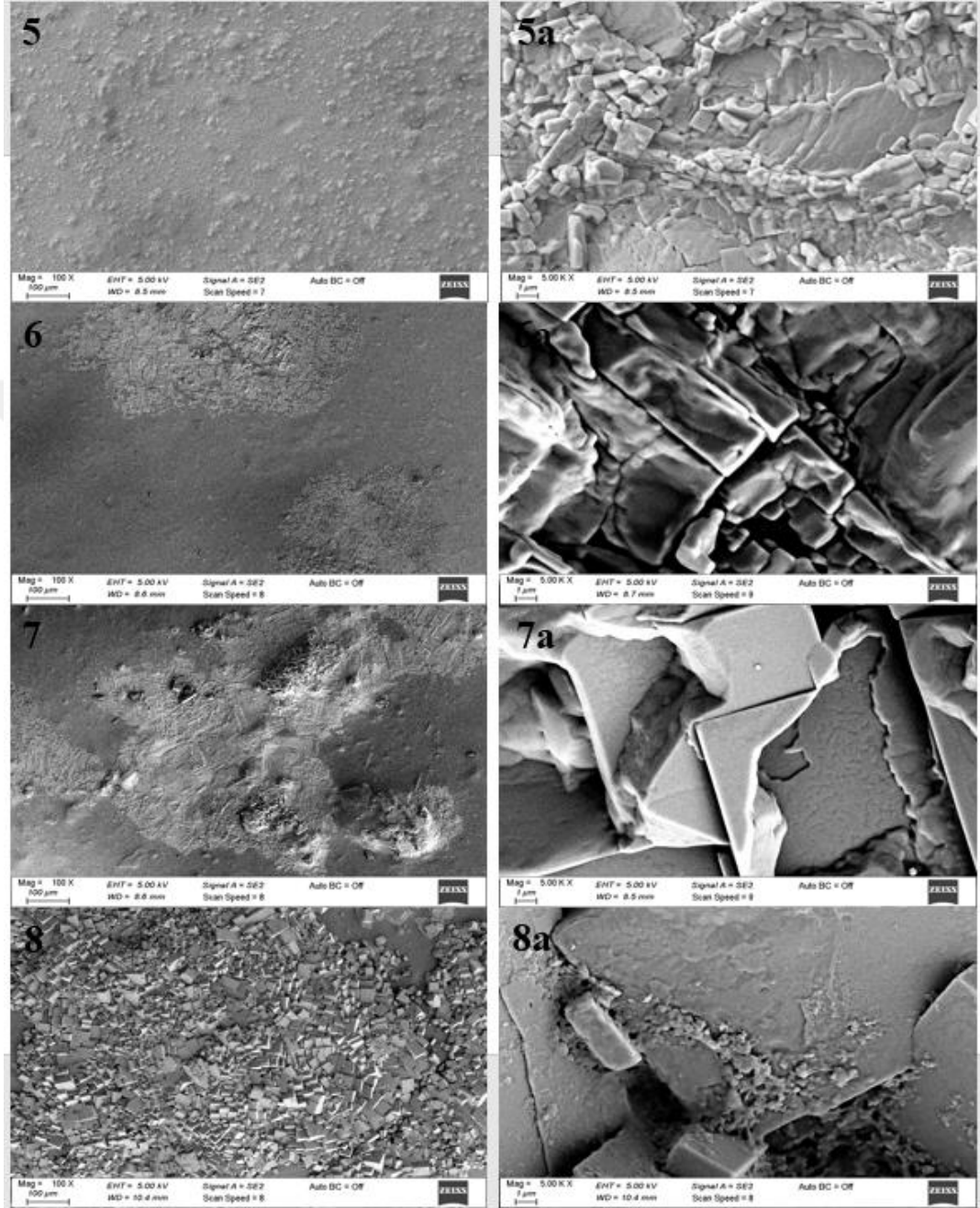
Üretilen biyoplastik filmlerin 100x ve 5000x büyütmelelerdeki SEM görüntüleri Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de gösterilmektedir. Şekil 3.6’daki SEM görüntülerine göre %5 ve %10 müsilaj içeren biyoplastik filmde müsilajlar yassı tanecikler olarak kıymık şeklinde görülmektedir. Müsilaj içermeyen, sadece PVA ve gliserolden üretilen filmde ise herhangi bir katkı bulunmadığı anlaşılmaktadır.



**Şekil 3.6 :** Biyoplastiklerin 100x ve 5000x büyütmedeki SEM görüntüleri 1) 0M-PVA (100x), 1a) %0M-PVA (5000x), 2) %5M-PVA (100x), 2a) %5M-PVA (5000x), 3) %10M-PVA, 3a) %10M-PVA (5000x), 4) %15M-PVA (100x), 4a) %15M-PVA (5000x).

%15, %20, %25, %40, %50 müsilaj içeren biyoplastik filmlerin SEM görüntülerine (Şekil 3.6 ve Şekil 3.7) bakıldığında ise tuz kristallerinin bulunduğu görülmektedir. %40 ve %50 müsilaj içeren biyoplastiklerde tuz kristallerinin arttığı açıkça

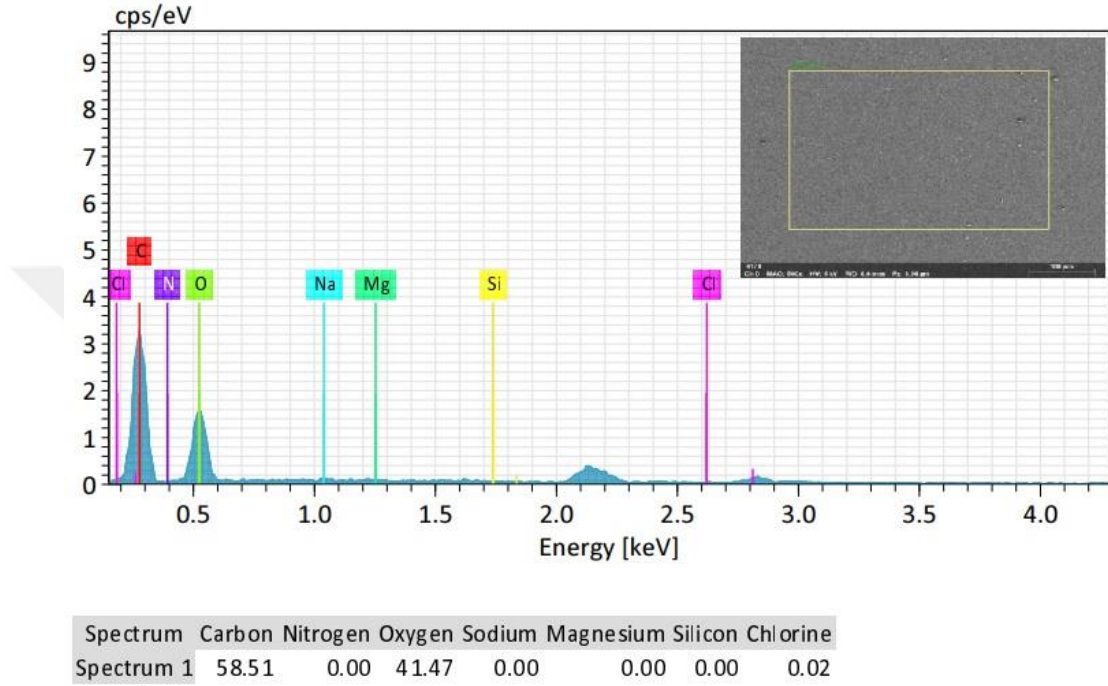
gözlemlenmektedir. Sonuç olarak müsilaj oranı arttıkça biyoplastik filmlerin kristal içeriği artmaktadır. Yukarıda verilen diğer analizlerle birlikte SEM görüntüleri bu sonucu doğrulamaktadır.



**Şekil 3.7 :** Biyoplastiklerin 100x ve 5000x büyütmedeki SEM görüntüleri 5) %20M-PVA (100x), 5a) %20M-PVA (5000x), 6) %25M-PVA (100x), 6a) %25M-PVA (5000x), 7) %40M-PVA, 7a) %40M-PVA (5000x), 8) %50M-PVA (100x), 8a) %50M-PVA (5000x).

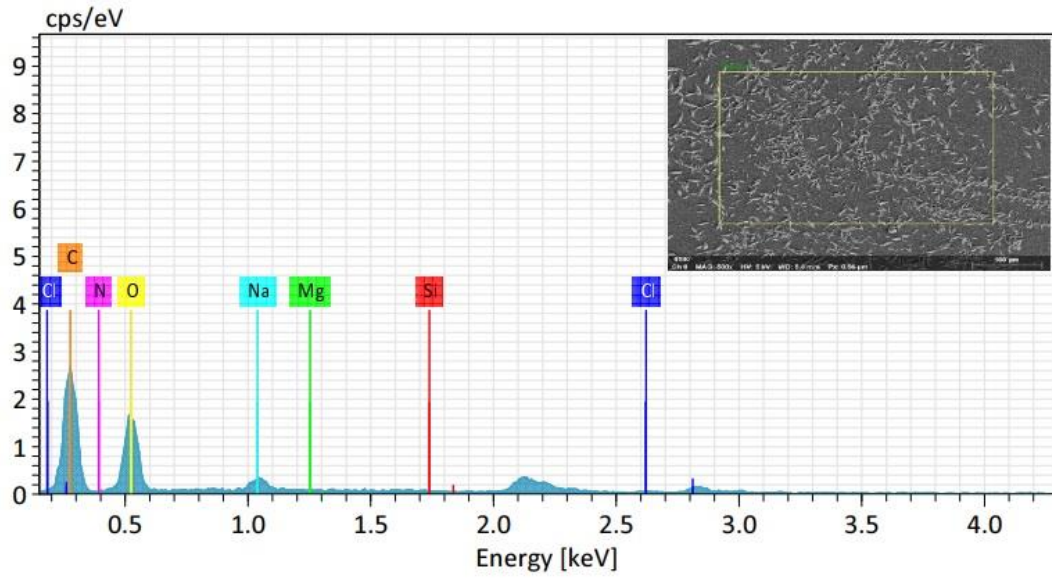
### 3.6 Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi - EDS

Biyoplastik filmlerin bazılarının EDS görüntüleri Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da verilmiştir. Şekil 3.8'e göre müsilaj içermeyen (%0M-PVA) biyoplastik filmde kristal formlara ve C ve O haricinde bir atoma rastlanmamıştır. Bu da filmin müsilaj içermediğini sadece polimer matrisi olduğunu ispatlamaktadır.

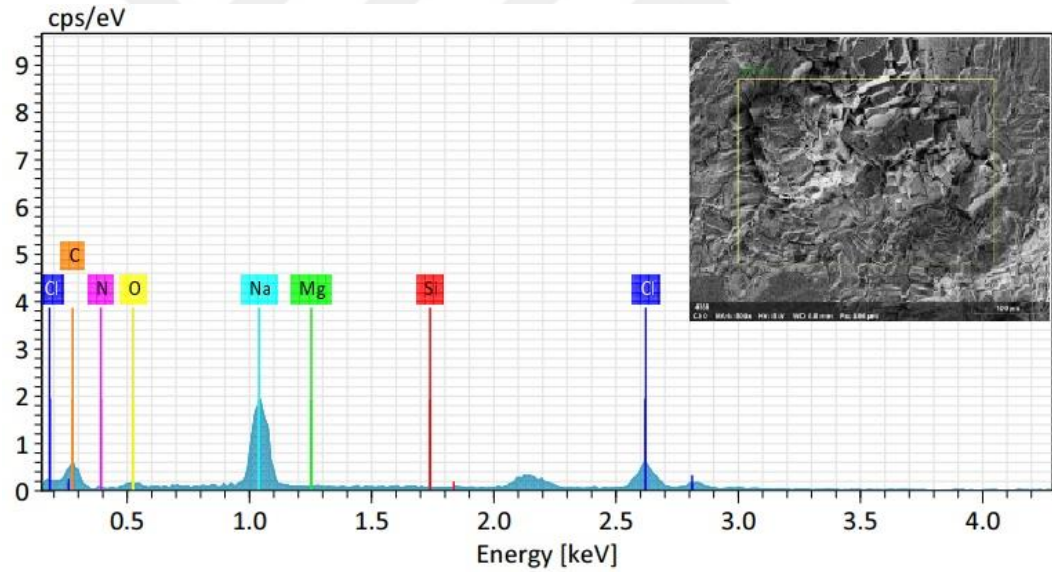


Şekil 3.8 : %0M-PVA biyoplastik filmin EDS görüntüsü.

Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'a bakıldığında filmlerin matrisinde Na ve Cl iyonlarının bulunduğu görülmektedir. Bu iyonlar müsilajdan gelmektedir. EDS analizine göre SEM görüntülerindeki kristal yapıların NaCl tuzu olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'daki EDS analizi karşılaştırıldığında biyoplastik filmin müsilaj oranı arttıkça Na ve Cl iyonlarının miktarının arttığı görülmektedir. Bu da yine SEM görüntülerinde müsilaj oranının artması ile kristal yapıların arttığını doğrulamaktadır.



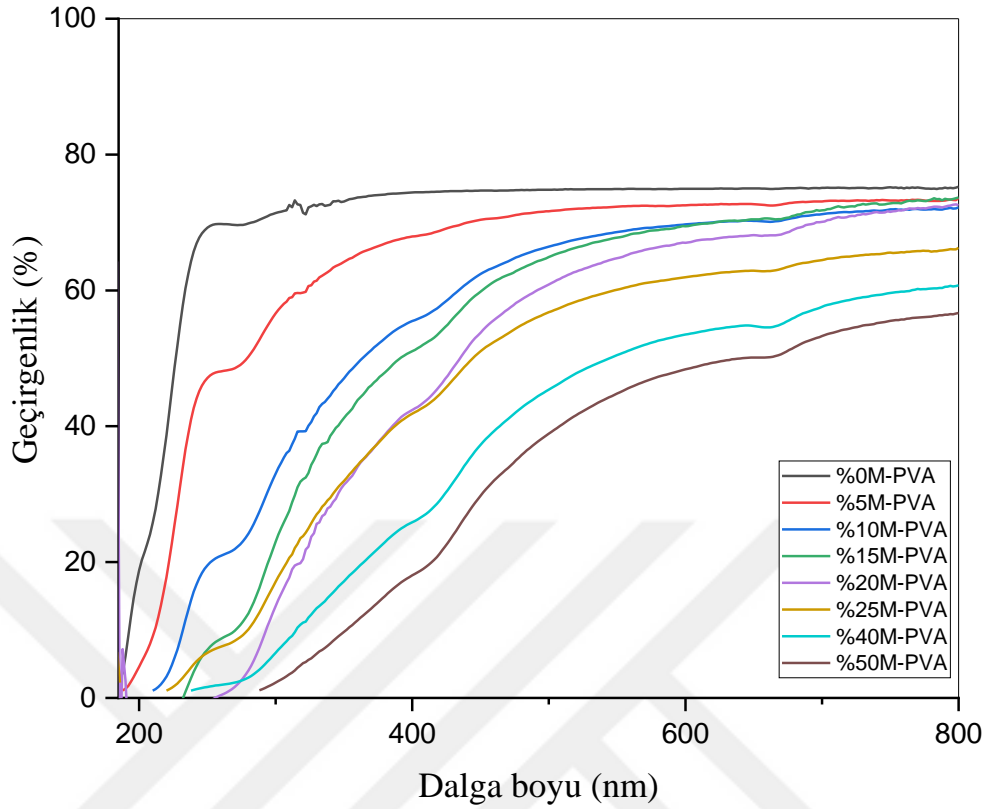
Şekil 3.9 : %5M-PVA biyoplastik filmin EDS görüntüsü.



Şekil 3.10 : %40M-PVA biyoplastik filmin EDS görüntüsü.

Belirli bir orandan sonra (%15 müsıaj içeriği ve daha fazlası) matris iyonik doygunluğa ulaşmaktadır ve fazla iyonlar tuz kristalleri şeklinde yapıda heterojen bölgeler oluşturmaktadır.

### 3.7 Ultraviyole-Görünür Bölge Spektroskopisi – UV-Vis



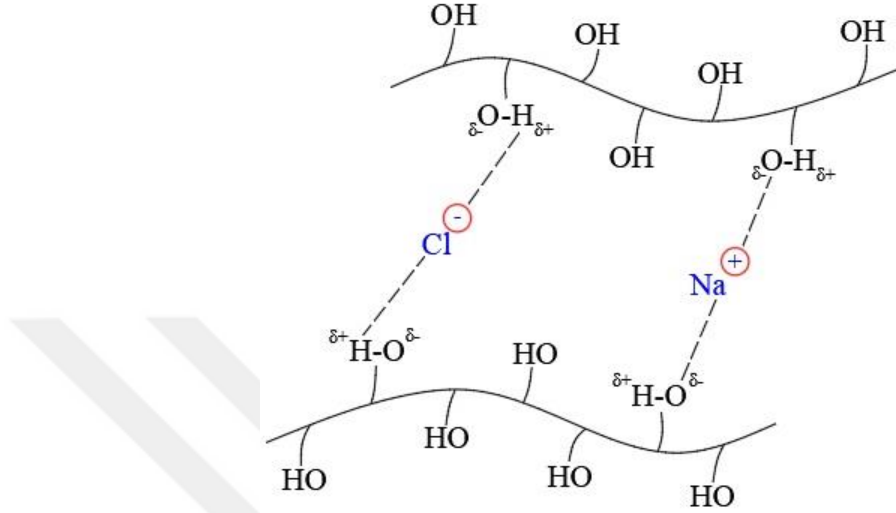
**Şekil 3.11** : Biyoplastik filmlerin UV-Vis spektrumları.

Biyoplastik filmlerin UV-Vis geçirgenlik spektrumları Şekil 3.11’de verilmiştir. Güneş, UV-Vis ışığının ultraviyole (UV) bölgesi, UVC (220–280 nm), UVB (280–320 nm) ve UVA (320–400 nm) kategorilerine giren dalga boylarını içerir (Wang ve diğ, 2017).

Çalışılan UV-Vis aralığında %0M-PVA filmin 800 nm’den 220 nm’ye kadar %75’lik bir geçirgenliğe sahip olduğu ve bu dalga boyu aralığında ışık geçirgenliğinde herhangi bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Bu sonuç PVA filmin görünür bölgedeki bütün dalga boyundaki ışıkları geçirdiğini göstermektedir (Wang ve diğ, 2017). Müsilaj içeren biyoplastik filmlere bakıldığında ise artan müsilaj ile geçirgenliğin azaldığı görülmektedir. %20M-PVA filmi için geçirgenlik 400 nm’de %40’a kadar düşmüştür. %5M-PVA numunesinde geçirgenlikteki azalma 400 nm’den sonra görülürken artan müsilaj oranıyla geçirgenliğin azalmaya başladığı dalga boyunun 600 nm’ye kaydığı görülmektedir. Bu sonuç ise filmlerdeki müsilaj oranı arttıkça daha iyi bir UV-Vis koruma sağlayacağını göstermektedir.

### 3.8 Müsilaj-PVA Biyoplastik Filmlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Müsilajın PVA filmlerin mekanik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir ve sonuçta saf PVA film ile karşılaştırıldığında, %20'ye varan müsilaj içeriğinin biyoplastiklerin mekanik özelliklerini geliştirdiği tespit edilmiştir.

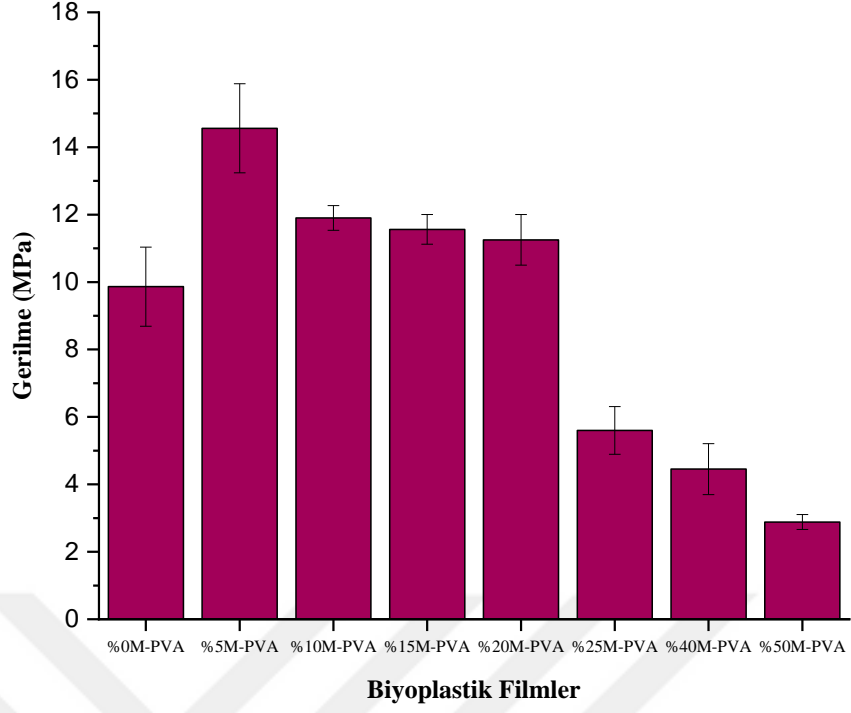


Şekil 3.12 : Müsilaj içeriğindeki Na ve Cl iyonları ile PVA'nın iyonik çapraz bağlanmasının şematik gösterimi.

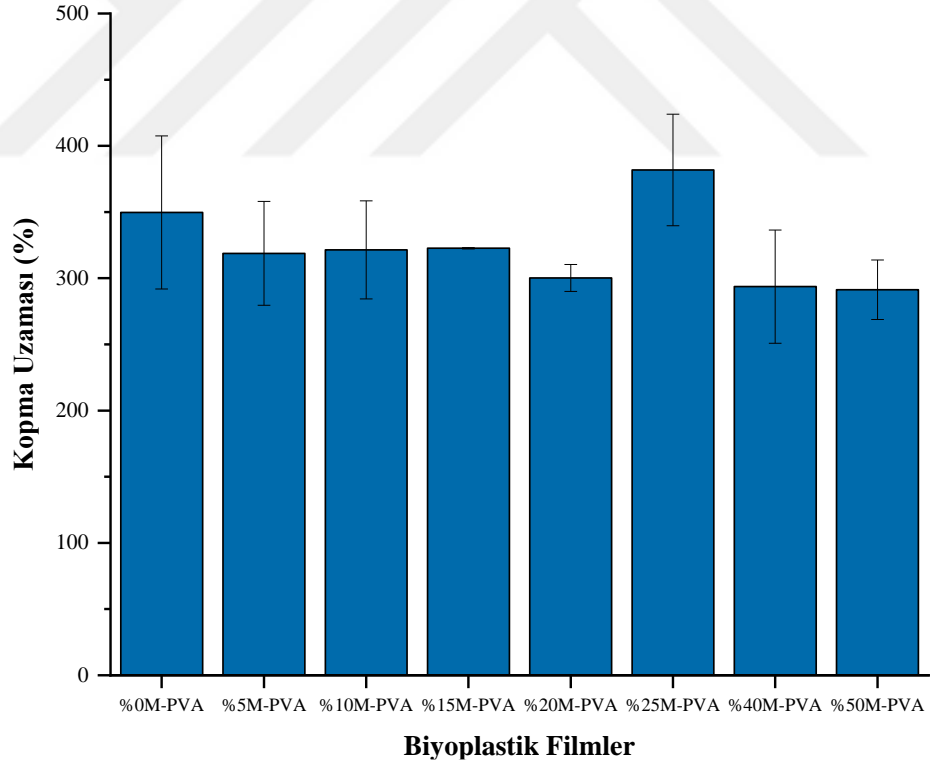
%0M-PVA ve %20M-PVA filmin çekme dayanımı sırasıyla 9,86 MPa ve 11,25 MPa olarak belirlenmiştir (Şekil 3.13). Bu durum, iyonik çapraz bağlanmanın, içeriği %20'ye kadar olan filmleri güçlendirdiği şeklinde açıklanabilir. Filmlerdeki PVA ve müsilaj arasındaki iyonik çapraz bağlanma Şekil 3.12'deki gibi oluşmaktadır.

Ayrıca, %15 ve %20 müsilaj içeriğindeki filmlerin iyonik çapraz bağlanması ve heterojenliği arasında bir rekabet vardır. Müsilaj oranı arttıkça heterojenlik arttığından %25, %40 ve %50 müsilaj içeren filmlerin mekanik özellikleri zayıflamıştır (Şekil 3.13). Biyoplastik filmlerde müsilaj arttıkça tuz kristallerinin arttığından ve bunun mekanik özellikleri etkileyebileceğinden bahsedilmiştir. Mekanik testlerin sonuçları bu ifadeyi doğrulamıştır.

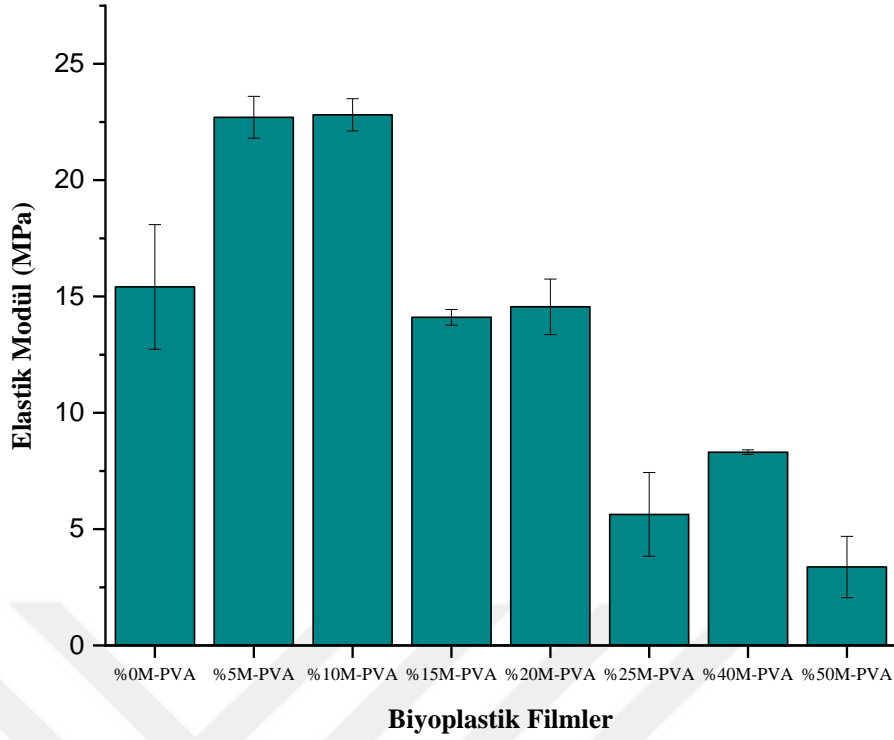
Biyoplastik filmlerin kopma uzama değerlerine bakıldığında ise müsilaj eklenmesinin olumsuz bir etki oluşturmadığı görülmektedir (Şekil 3.14). Kopma uzama değerleri filmler için yakın sonuçlar vermiştir.



**Şekil 3.13 :** Biyoplastik filmlerin gerilme değerleri.



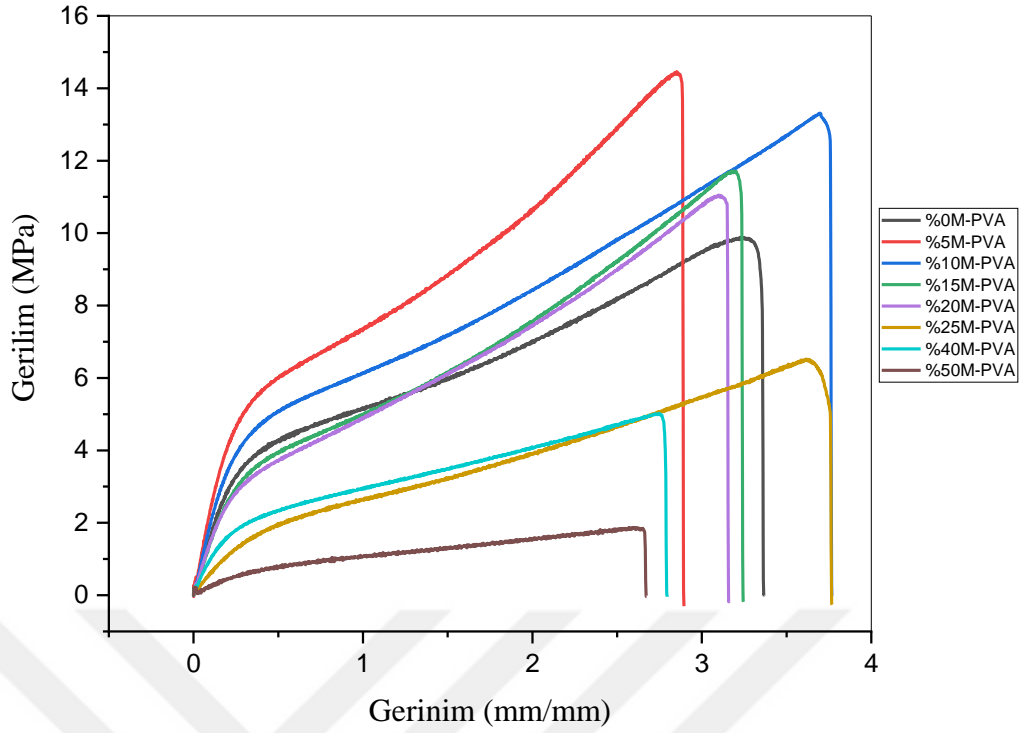
**Şekil 3.14 :** Biyoplastik filmlerin % kopma uzama değerleri.



**Şekil 3.15 :** Biyoplastik filmlerin elastik modül değerleri.

Biyoplastik filmlerin elastik modül değerleri karşılaştırıldığında, %5 ve %10 oranında müsilaj içeren filmlerin elastik modül değerlerinin en yüksek olduğu ve %15 ile %20 müsilaj içeren filmlerin ise saf PVA filminin elastik modül değerine yakın olduğu görülmektedir (Şekil 3.15). Buradan belli oranda müsilaj ilavesinin elastik modülü geliştirdiği sonucuna ulaşılmaktadır.

Tüm numunelerin gerilim - gerinim eğrileri elde edilmiş ve Şekil 3.16'da gösterilmiştir. PVA biyoplastik filme müsilaj eklenmesi ile gerilim - gerinim eğrileri değişmekte ve eklenen müsilaj oranına bağlı olarak farklı özelliklerde eğriler görülmektedir. Gerilim-gerinim eğrileri müsilaj oranı %20'ye kadar arttıkça çekme mukavemetindeki artışı açıkça göstermektedir. Ayrıca, biyoplastik filmler arasında %10M-PVA'nın yüksek gerilim ile üstün esneklik sergilediği görülmektedir. Bu da %10 oranında müsilaj içeren filmin daha yavaş ve daha düzgün bir oranda kırılma göstereceğini ifade etmektedir. %25, %40 ve %50 oranında müsilaj içeren filmlerin mekanik özelliklerinin zayıfladığı gerilim gerinim eğrileri ile de doğrulanmaktadır.



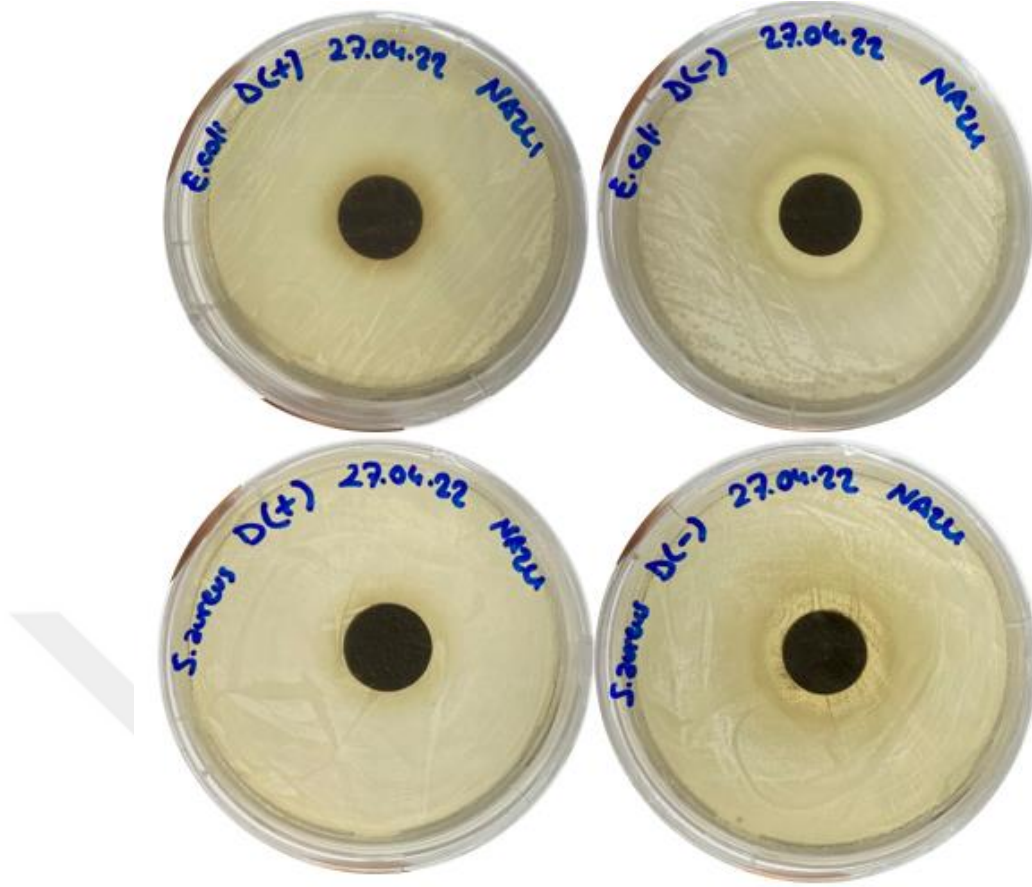
Şekil 3.16 : Biyoplastik filmlerin gerilme-gerinim grafikleri

### 3.9 Müsilajın ve Biyoplastik Filmlerin Antibakteriyel Aktivitesinin İncelenmesi

Disk halindeki diyaliz yapılmış (D (+)) olan müsilaj örnekleri *E.coli* ve *S.aureus* bakterilerine karşı antibakteriyel aktivite göstermemiştir. Diyaliz yapılmamış (D (-)) olan müsilaj örnekleri ise hem *E.coli* hem de *S.aureus* bakterilerine karşı antibakteriyel aktivite göstermiştir (Şekil 3.17).

Müsilaj disklerin antibakteriyel aktivitesinin farklı olması tuz içeriğinden kaynaklanmaktadır. Diyaliz yapılmış müsilaj %1 oranında tuz içerirken diyaliz yapılmamış olan müsilaj %57 oranında tuz içermektedir. Bu da diyaliz yapılmamış müsilaj disklerin etrafında inhibisyon zonu oluşumunu sağlamıştır.

%10M-PVA biyoplastik filmi hem *E.coli* hem de *S.aureus* bakterisine karşı antibakteriyel etki göstermiştir ve filmlerin etrafında zon oluşumu gözlemlenmiştir (Şekil 3.18).



Şekil 3.17 : Diyaliz yapılmış (D (+)) ve yapılmamış (D (-))müsilajın antibakteriyel test sonuçları.



Şekil 3.18 : %10M-PVA biyoplastik filmin antibakteriyel test sonuçları.

Filmler bakteri yayılmış agar üzerine koyulduğunda katlanma eğilimi göstermişlerdir. Yine de zon oluşumu açıkça görülmektedir. Ayrıca filmler PVA içeriğinden dolayı inkübasyon sonrası şişme özelliği de göstermiştir.

Numunelerin oluşturduğu inhibisyon çapları ölçülmüş ve değerler Çizelge 3.4'te verilmiştir.

**Çizelge 3.4** : Müsilajın ve biyoplastik filmin test mikroorganizmaları üzerinde oluşturduğu zon çapları (mm).

| Numune<br>Bakteri | D(+) Müsilaj Disk | D(-) Müsilaj Disk | %10M-PVA |
|-------------------|-------------------|-------------------|----------|
| <i>E.coli</i>     | -                 | 25.31             | 31.66    |
| <i>S.aureus</i>   | -                 | 24.67             | 30.27    |



#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

2021 yılı Marmara Denizi'nde gerçekleşen deniz müsilajının deniz sütununu ve özellikle yüzeyini kaplaması birçok olumsuz etkiye sebep olmuştur. Bu olay müsilajın önlenmesi ve bertarafı için yapılan araştırmaları büyük ölçüde hızlandırmıştır. Ancak henüz etkili bir bertaraf yöntemi bulunamamıştır. Müsilaj, özellikle karbonhidrattan oluşan ancak yapısında lipid, protein ve inorganikler ile kalsiyum gibi iyonları da içeren bir maddedir. Çoğunlukla, fitoplanktonun ve denizdeki diğer mikroorganizmaların bazı stres koşulları nedeniyle ürettikleri veya salgıladıkları ekzopolisakkarit yapılardan oluşmaktadır. Jelimsi ve yapışkan yapısı ile üzerine iyonlar, bazı mikroorganizmalar yapışabilmektedir. Müsilajın faydalı bir ürüne dönüştürülerek değerlendirilmesi için müsilajdan biyoplastik film elde edilebileceği düşünülmüştür.

Bu tez çalışmasında, deniz müsilajı ve PVA içeriğinden oluşan biyoplastik filmler çözelti döküm metodu ile başarıyla üretilmiştir. Üretilen biyoplastik filmlerin FTIR, TGA, DSC, XRD, SEM-EDS, UV-Vis gibi karakterizasyonları yapılmıştır. Ayrıca filmlerin mekanik özellikleri ve antibakteriyel aktivitesi incelenmiştir.

Filmlerin FTIR analizine göre, biyoplastik filmlerdeki müsilaj oranı arttıkça hidroksil pik şiddetinin arttığı ve pikin kaydığı görülmektedir. Bu kaymanın PVA'nın yapısındaki hidroksil ile müsilajın hidrojen bağı yapmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca,  $1090-1100\text{ cm}^{-1}$  arasındaki piklerde müsilaj ilavesi ile kaymalar gözlemlenmektedir. Bu geçirgenlik piklerinde görülen kaymalar müsilaj ve PVA'nın etkileşimi ile gerçekleşmiştir.

TGA sonuçlarına göre müsilaj iki aşamalı bozunma gösterirken PVA üç aşamalı bozunma göstermektedir. PVA'nın bozunma sıcaklıklarında literatür ile karşılaştırıldığında ufak farklılıklar görülmesinin, filmler üretilirken asetik asit kullanılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. TGA grafiklerine göre müsilaj oranı arttıkça inorganik katkı oranı artmaktadır. Ancak %5M-PVA ve %15M-PVA biyoplastik numunelerinde katkı oranı PVA'ya göre daha az görülmektedir. Bunun sebebi bu filmlerin  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den sonra da bozunmaya devam etmesi ancak tuz içeriğinin

fazla olmamasıdır. %25, %40 ve %50 oranında müsilaj içeren biyoplastiklerde ise tuz içeriği fazla olduğu için bozunma olsa da kalıntı miktarı müsilaj içermeyen filminden (%0M-PVA) daha fazla görülmektedir.

SEM görüntülerinde müsilaj içeren biyoplastik filmlerde kristal yapılar gözlemlenmektedir. EDS analizinde ise müsilaj içeren biyoplastik filmlerde Na ve Cl iyonlarına rastlanmıştır. Böylece SEM görüntülerindeki kristal yapının NaCl tuzu olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca SEM görüntülerinde müsilaj oranı arttıkça biyoplastik filmlerdeki kristal içeriğin arttığı açıkça görülmektedir. Bu tuz kristallerinin artması film yapısının heterojen hale gelmesine yol açmaktadır.

Biyoplastik filmlerin UV-Vis geçirgenliği incelendiğinde müsilaj içermeyen ~~filmin~~ filmin görünür bölgedeki bütün dalga boyundaki ışıkları geçirdiği görülmüştür. Müsilaj içeren biyoplastik filmlerde ise artan müsilaj oranıyla geçirgenliğin azalmaya başladığı dalga boyunun 600 nm'ye kaydığı görülmektedir. Bu sonuç, filmlerdeki müsilaj oranı arttıkça filmlerin daha iyi bir UV-Vis koruma sağlayacağını göstermektedir.

PVA filmlerdeki müsilaj içeriği, %20 müsilaj oranına kadar olan filmlerin mukavemetini arttırmıştır ve mekanik özellikleri olumlu yönde etkilemiştir. Bu durum iyonik çapraz bağlanmanın, içeriği %20'ye kadar olan filmleri güçlendirdiği şeklinde açıklanmaktadır. %15 ve %20 müsilaj içeriğindeki filmlerin iyonik çapraz bağlanması ve heterojenliği arasında bir rekabet vardır. Müsilaj oranı arttıkça heterojenlik arttığı için %25, %40 ve %50 müsilaj içeren filmlerin mekanik özellikleri zayıflamıştır. Filmlerin elastik modül ve kopma uzama değerlerinin ise PVA film ile karşılaştırıldığında benzer olduğu görülmektedir. Hatta %5M-PVA ve %10M-PVA filmlerin elastik modül değerleri %0M-PVA'dan daha yüksektir.

Disk haline getirilen müsilajın diyaliz yapılmış ve yapılmamış örneklerinin disk difüzyon yöntemi ile antibakteriyel aktivitesi incelenmiştir. Diyaliz yapılmamış müsilaj hem *E.coli* hem de *S.aureus* bakterilerine karşı inhibisyon zon oluşturarak antibakteriyel etki göstermiştir. Diyaliz yapılmış olan müsilajın inhibisyon zonu oluşturmaması müsilajın içerdiği tuz sayesinde antibakteriyel aktivite gösterdiği sonucunu vermiştir. Biyoplastik filmlerin antibakteriyel özelliğinin incelenmesi için mekanik özellikleri geliştiren filmler arasından müsilaj içeriği daha fazla olan %10M-PVA seçilerek disk difüzyon yöntemi uygulanmıştır. %10M-PVA film iki test

mikroorganizmasına karşı inhibisyon zonu oluşturarak antibakteriyel etki göstermiştir. Üretilen filmin antibakteriyel özelliğe sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Literatür incelemeleri sonucunda deniz müsilajından biyoplastik üretimi ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu tez çalışmasında deniz müsilajından biyoplastik film üretimi ilk kez çalışılmıştır ve bu sonuçların müsilajın değerlendirilmesi ile ilgili gelecek çalışmalar için önemli olduğu düşünülmektedir. Biyoplastik filmlerin birçok kullanım alanı bulunmaktadır. Üretilen müsilaj içerikli biyoplastik filmler de iyi mekanik özellikleri, antibakteriyel ve UV-Vis koruması özellikleri sayesinde ambalajlarda ve koruyucu film uygulamalarında kullanılabilir. Eğer filmler gıda ambalajında kullanılacaksa oksijen geçirgenliği ve migrasyon özellikleri incelenmelidir. Biyoplastik filmler, doğal organik bir madde olan müsilaj ve biyobozunur olduğu bilinen PVA ile elde edildiğinden, filmlerin biyobozunur özelliğe sahip olduğu düşünülmektedir. Bu yüzden biyoplastik filmlerin biyobozunurluk özellikleri incelenebilir.

## KAYNAKLAR

- Abdo, S. M. ve Ali, G. H.** (2019). Analysis of polyhydroxybutrate and bioplastic production from microalgae. *Bulletin of the National Research Centre*, 43(1), 97. doi:10.1186/s42269-019-0135-5
- Abral, H., Atmajaya, A., Mahardika, M., Hafizulhaq, F., Kadriadi, Handayani, D., Sapuan, S. M. ve Ilyas, R. A.** (2020). Effect of ultrasonication duration of polyvinyl alcohol (PVA) gel on characterizations of PVA film. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(2), 2477-2486. doi:https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.12.078
- Adeniyi, O. M., Azimov, U. ve Burluka, A.** (2018). Algae biofuel: Current status and future applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 316-335. doi:https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.067
- Alam, M. A., Xu, J.-L. ve Wang, Z.** (2020). *Microalgae Biotechnology for Food, Health and High Value Products*.
- Amin, R., Chowdhury, M. ve Kowser, A.** (2019). Characterization and performance analysis of composite bioplastics synthesized using titanium dioxide nanoparticles with corn starch. *Heliyon*, 5, e02009. doi:10.1016/j.heliyon.2019.e02009
- Ashter, S. A.** (2016a). 1 - Introduction. In S. A. Ashter (Ed.), *Introduction to Bioplastics Engineering* (pp. 1-17). Oxford: William Andrew Publishing.
- Ashter, S. A.** (2016b). 10 - New Developments. In S. A. Ashter (Ed.), *Introduction to Bioplastics Engineering* (pp. 251-274). Oxford: William Andrew Publishing.
- B. Aziz, S., Abdulwahid, R., Rasheed, M., Abdullah, O. ve Ahmed, H.** (2017). Polymer Blending as a Novel Approach for Tuning the SPR Peaks of Silver Nanoparticles. *Polymers*, 9, 486. doi:10.3390/polym9100486
- Bongiorni, L., Armeni, M., Corinaldesi, C., Dell'Anno, A., Pusceddu, A. ve Danovaro, R.** (2007). Viruses, prokaryotes and biochemical composition of organic matter in different types of mucilage aggregates. *Aquatic Microbial Ecology*, 49, 15-23. doi:10.3354/ame01126
- Bonilla, J., Fortunati, E., Atarés, L., Chiralt, A. ve Kenny, J. M.** (2014). Physical, structural and antimicrobial properties of poly vinyl alcohol–chitosan biodegradable films. *Food Hydrocolloids*, 35, 463-470. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.07.002
- Braz, R., Hechenleitner, A. A. W. ve Cavalcanti, O.** (2007). Extraction, structural modification and characterization of lotus roots polysaccharides (*Nelumbo nucifera* Gaertn). Excipient with potential application in modified drug delivery systems. *Latin American Journal of Pharmacy*, 26, 706-710.
- Broström, M., Enestam, S., Backman, R. ve Mäkelä, K.** (2011). Condensation in the KCl–NaCl system. *Fuel Processing Technology*, 105, 142–148. doi:10.1016/j.fuproc.2011.08.006
- Cano, A. I., Cháfer, M., Chiralt, A. ve González-Martínez, C.** (2015). Physical and microstructural properties of biodegradable films based on pea starch and PVA. *Journal of Food Engineering*, 167, 59-64. doi:https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.06.003

- Cebe, A.** (2010). Alglerin genel özellikleri, kullanım alanları ve eczacılıktaki önemi. *Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi*, 39, 237-264. doi:10.1501/Eczfak\_0000000568
- Chee, J. Y., Yoga, S., Lau, N.-S., Ling, S., Abed, R. ve Sudesh, K.** (2010). Bacterially produced polyhydroxyalkanoate (PHA): Converting renewable resources into bioplastic. In (Vol. 2, pp. 1395-1404).
- Chia, W. Y., Ying Tang, D. Y., Khoo, K. S., Kay Lup, A. N. ve Chew, K. W.** (2020). Nature's fight against plastic pollution: Algae for plastic biodegradation and bioplastics production. *Environmental Science and Ecotechnology*, 4, 100065. doi:https://doi.org/10.1016/j.ese.2020.100065
- Chu, W. L.** (2012). Biotechnological applications of microalgae. *JeJSME*, 6, S24-S37.
- Cinar, S., Chong, Z. K., Kucuker, M. A., Wiczorek, N., Cengiz, U. ve Kuchta, K.** (2020). Bioplastic Production from Microalgae: A Review. *Int J Environ Res Public Health*, 17(11). doi:10.3390/ijerph17113842
- Danovaro, R., Fonda Umani, S. ve Pusceddu, A.** (2009). Climate change and the potential spreading of marine mucilage and microbial pathogens in the Mediterranean Sea. *PLoS one*, 4(9), e7006-e7006. doi:10.1371/journal.pone.0007006
- De Angelis, F., Barbarulo, M. V., Bruno, M., Volterra, L. ve Nicolett, R.** (1993). Chemical composition and biological origin of 'dirty sea' mucilages. *Phytochemistry*, 34(2), 393-395. doi:https://doi.org/10.1016/0031-9422(93)80015-K
- de Azevedo, L. C., Rovani, S., Santos, J. J., Dias, D. B., Nascimento, S. S., Oliveira, F. F., Silva, L. G. A. ve Fungaro, D. A.** (2020). Biodegradable Films Derived from Corn and Potato Starch and Study of the Effect of Silicate Extracted from Sugarcane Waste Ash. *ACS Applied Polymer Materials*, 2(6), 2160-2169. doi:10.1021/acsapm.0c00124
- Devangamath, S. S., Lobo, B., Masti, S. P. ve Narasagoudr, S.** (2020). Thermal, mechanical, and AC electrical studies of PVA-PEG-Ag2S polymer hybrid material. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31(4), 2904-2917. doi:10.1007/s10854-019-02835-3
- Dominguez-Martinez, B. M., Martínez-Flores, H. E., Berríos, J. D. J., Otoni, C. G., Wood, D. F. ve Velazquez, G.** (2017). Physical Characterization of Biodegradable Films Based on Chitosan, Polyvinyl Alcohol and Opuntia Mucilage. *Journal of Polymers and the Environment*, 25(3), 683-691. doi:10.1007/s10924-016-0851-y
- El Gamal, A. A.** (2010). Biological importance of marine algae. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 18(1), 1-25. doi:https://doi.org/10.1016/j.jsps.2009.12.001
- Eren, Z.** (2021). The Relationship of Harmful Algae Bloom and Mucilage Outbreak in the Marmara Sea. *Environmental and Natural Studies*, 3(2), 182-192. doi:10.53472/jenas.985310
- Erkmen, J.** (2013). Yenilenebilir Biyoplastik Üretiminde Alglerin Kullanımı. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*.
- Fukao, T., Kimoto, K., Yamatogi, T., Yamamoto, K. i., Yoshida, Y. ve Kotani, Y.** (2009). Marine mucilage in Ariake Sound, Japan, is composed of transparent exopolymer particles produced by the diatom *Coscinodiscus granii*. *Fisheries Science*, 75, 1007-1014.
- Gartia, B.** (2018). The Role of Algae in Pharmaceutical Development. 4.
- Gautam, L., Warkar, S. G., Ahmad, S. I., Kant, R. ve Jain, M.** (2022). A review on carboxylic acid cross-linked polyvinyl alcohol: Properties and applications. *Polymer Engineering & Science*, 62(2), 225-246. doi:https://doi.org/10.1002/pen.25849

- Innamorati, M.** (1995). Hyperproduction of mucilages by micro and macro algae in the Tyrrhenian Sea. *Science of The Total Environment*, 165, 65-81.
- Iritani, K., Nakanishi, A., Ota, A. ve Yamashita, T.** (2021). Fabrication of Novel Functional Cell-Plastic Using Polyvinyl Alcohol: Effects of Cross-Linking Structure and Mixing Ratio of Components on the Mechanical and Thermal Properties. *Global Challenges*, 5(8), 2100026. doi:<https://doi.org/10.1002/gch2.202100026>
- Judawisastra, H., Sitohang, R., Marta, L. ve Mardiyati.** (2017). Water absorption and its effect on the tensile properties of tapioca starch/polyvinyl alcohol bioplastics. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 223, 012066. doi:10.1088/1757-899X/223/1/012066
- Jufri, M., Lusiana, R. A. ve Prasetya, N. B. A.** (2022). Effects of Additional Polyvinyl Alcohol (PVA) on the Physiochemical Properties of Chitosan-Glutaraldehyde-Gelatine Bioplastic. 2022, 25(3), 7. doi:10.14710/jksa.25.3.130-136
- Kavzoglu, T., Tonbul, H., Colkesen, I. ve Sefercik, U.** (2021). The Use of Object-Based Image Analysis for Monitoring 2021 Marine Mucilage Bloom in the Sea of Marmara. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 8, 529-536. doi:10.30897/ijegeo.990875
- Kaya, M., Khadem, S., Cakmak, Y. S., Mujtaba, M., Ilk, S., Akyuz, L., Salaberria, Asier M., Labidi, J., Abdulqadir, A. H. ve Deligöz, E.** (2018). Antioxidative and antimicrobial edible chitosan films blended with stem, leaf and seed extracts of Pistacia terebinthus for active food packaging. *RSC Advances*, 8(8), 3941-3950. doi:10.1039/C7RA12070B
- Lusiana, S. W., Putri, D., Nurazizah, I. Z. ve Bahrudin.** (2019). Bioplastic Properties of Sago-PVA Starch with Glycerol and Sorbitol Plasticizers. *Journal of Physics: Conference Series*, 1351(1), 012102. doi:10.1088/1742-6596/1351/1/012102
- Mecozzi, M., Acquistucci, R., Di Noto, V., Pietrantonio, E., Amici, M. ve Cardarilli, D.** (2001). Characterization of mucilage aggregates in Adriatic and Tyrrhenian Sea: structure similarities between mucilage samples and the insoluble fractions of marine humic substance. *Chemosphere*, 44(4), 709-720. doi:[https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(00\)00375-1](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(00)00375-1)
- Mecozzi, M., Pietroletti, M. ve Conti, M. E.** (2008). The complex mechanisms of marine mucilage formation by spectroscopic investigation of the structural characteristics of natural and synthetic mucilage samples. *Marine Chemistry*, 112(1), 38-52. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marchem.2008.05.007>
- Mecozzi, M., Pietroletti, M., Scarpiniti, M., Acquistucci, R. ve Conti, M. E.** (2012). Monitoring of marine mucilage formation in Italian seas investigated by infrared spectroscopy and independent component analysis. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(10), 6025-6036. doi:10.1007/s10661-011-2400-4
- Min, H., Kamal, S., Rehman, M., rehman, s., Nazli, Z.-I. H., Yaqoob, N., noreen, r. ve Ikram, S.** (2017). Algae Based Polymers Blends and Composites. In.
- Mingazzini, M. ve Thake, B.** (1995). Summary and conclusions of the workshop on marine mucilages in the Adriatic Sea and elsewhere. *Science of The Total Environment*, 165(1), 9-14. doi:[https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04538-C](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04538-C)
- Munir, A., Youssef, F. S., Ishtiaq, S., Kamran, S. H., Sirwi, A., Ahmed, S. A., Ashour, M. L. ve Elhady, S. S.** (2021). Malva parviflora Leaves Mucilage: An Eco-Friendly and Sustainable Biopolymer with Antioxidant Properties. *Polymers*, 13(23), 4251. doi:10.3390/polym13234251

- Myklestad, S. M.** (1995). Release of extracellular products by phytoplankton with special emphasis on polysaccharides. *Science of The Total Environment*, 165(1), 155-164. doi:[https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04549-G](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04549-G)
- Nandakumar, A., Chuah, J.-A. ve Sudesh, K.** (2021). Bioplastics: A boon or bane? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 147, 111237. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111237>
- Nangia, R., Shukla, N. ve Sharma, A.** (2019). Frequency and temperature-dependent impedance spectroscopy of PVA/PEG polymer blend film.
- Onen Cinar, S., Chong, Z. K., Kucuker, M. A., Wieczorek, N., Cengiz, U. ve Kuchta, K.** (2020). Bioplastic Production from Microalgae: A Review. *Int J Environ Res Public Health*, 17(11). doi:10.3390/ijerph17113842
- Ozdelice, N., Atabay, H., Türetgen, I., Albayrak, S., Balkis, H. ve Tüfekçi, V.** (2011). Role of single-celled organisms in mucilage formation on the shores of Bykada Island (the Marmara Sea). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 91, 771-781. doi:10.1017/S0025315410000081
- Özalp, H. B.** (2021). A preliminary assessment of the mass mortality of some benthic species due to the mucilage phenomenon of 2021 in the Çanakkale Strait (Dardanelles) and North Aegean Sea (IN PRESS).
- Öztürk, D., Erşahin.** (2021). Marmara Denizi'nin Ekolojisi: Deniz Salyası Oluşumu, Etkileşimleri ve Çözüm Önerileri. *Türkiye Bilimler Akademisi*, 15-47. doi:10.53478/TUBA.2021.002
- Patel, A. K., Bajpai, R. ve Keller, J. M.** (2014). On the crystallinity of PVA/palm leaf biocomposite using DSC and XRD techniques. *Microsystem Technologies*, 20(1), 41-49. doi:10.1007/s00542-013-1882-0
- Perotto, G., Ceseracciu, L., Simonutti, R., Paul, U. C., Guzman-Puyol, S., Tran, T.-N., Bayer, I. S. ve Athanassiou, A.** (2018). Bioplastics from vegetable waste via an eco-friendly water-based process. *Green Chemistry*, 20(4), 894-902. doi:10.1039/C7GC03368K
- Pistocchi, R., Trigari, G., Serrazanetti, G. P., Taddei, P., Monti, G., Palamidesi, S., Guerrini, F., Bottura, G., Serratore, P., Fabbri, M., Pirini, M., Ventrella, V., Pagliarani, A., Boni, L. ve Borgatti, A. R.** (2005). Chemical and biochemical parameters of cultured diatoms and bacteria from the Adriatic Sea as possible biomarkers of mucilage production. *Sci Total Environ*, 353(1-3), 287-299. doi:10.1016/j.scitotenv.2005.09.020
- Pompei, M., Mazziotti, C., Guerrini, F., Cangini, M., Pigozzi, S., Benzi, M., Palamidesi, S., Boni, L. ve Pistocchi, R.** (2003). Correlation between the presence of *Gonyaulax fragilis* (Dinophyceae) and the mucilage phenomena of the Emilia-Romagna coast (northern Adriatic Sea). *Harmful Algae*, 2(4), 301-316. doi:[https://doi.org/10.1016/S1568-9883\(03\)00059-3](https://doi.org/10.1016/S1568-9883(03)00059-3)
- Pourciel, M. L., Launay, J., Sant, W., Conédéra, V., Martinez, A. ve Temple-Boyer, P.** (2003). Development of photo-polymerisable polyvinyl alcohol for biotechnological applications. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 94(3), 330-336. doi:[https://doi.org/10.1016/S0925-4005\(03\)00463-5](https://doi.org/10.1016/S0925-4005(03)00463-5)
- Qian, D., Du, G. ve Chen, J.** (2004). Isolation and Culture Characterization of a New Polyvinyl Alcohol-Degrading Strain: *Penicillium* sp. WSH02-21. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 20(6), 587. doi:10.1023/B:WIBI.0000043172.83610.08

- Rabiei, M., Palevicius, A., Dashti, A., Nasiri, S., Monshi, A., Vilkauskas, A. ve Janusas, G. (2020).** Measurement Modulus of Elasticity Related to the Atomic Density of Planes in Unit Cell of Crystal Lattices. *Materials*, 13(19), 4380. Retrieved from <https://www.mdpi.com/1996-1944/13/19/4380>
- Raghul, S. S., Bhat, S. G., Chandrasekaran, M., Francis, V. ve Thachil, E. T. (2014).** Biodegradation of polyvinyl alcohol-low linear density polyethylene-blended plastic film by consortium of marine benthic vibrios. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(7), 1827-1834. doi:10.1007/s13762-013-0335-8
- Rajendran, N. N., Puppala, S., Raj, M. S., Angeeleena, B. R. ve Rajam, C. V. (2012).** Seaweeds can be a new source for bioplastics. *Journal of Pharmacy Research*, 5, 1476-1479.
- Rinaldi, A., Vollenweider, R. A., Montanari, G., Ferrari, C. R. ve Ghetti, A. (1995).** Mucilages in Italian seas: the Adriatic and Tyrrhenian Seas, 1988–1991. *Science of The Total Environment*, 165, 165-183.
- Rocha, C. J., Álvarez-Castillo, E., Estrada Yáñez, M. R., Bengoechea, C., Guerrero, A. ve Orta Ledesma, M. T. (2020).** Development of bioplastics from a microalgae consortium from wastewater. *Journal of Environmental Management*, 263, 110353. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110353>
- Rudin, A. ve Choi, P. (2013).** Chapter 13 - Biopolymers. In A. Rudin & P. Choi (Eds.), *The Elements of Polymer Science & Engineering (Third Edition)* (pp. 521-535). Boston: Academic Press.
- Sabathini, H. A., Windiani, L., Ismail, D. ve Gozan, M. (2018).** Mechanical Physical Properties of *Chlorella*-PVA based Bioplastic with Ultrasonic Homogenizer. *E3S Web of Conferences*, 67, 03046. doi:10.1051/e3sconf/20186703046
- Savun, B. ve Gazioglu, C. (2021).** Mucilage Problem in the Semi-Enclosed Seas: Recent Outbreak in the Sea of Marmara. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 8, 402-413. doi:10.30897/ijegeo.955739
- Sidek, I., Syed draman, S. f., Abdullah, S. ve Anuar, N. (2019).** CURRENT DEVELOPMENT ON BIOPLASTICS AND ITS FUTURE PROSPECTS: AN INTRODUCTORY REVIEW. *INWASCON Technology Magazine*, 03-08. doi:10.26480/itechmag.01.2019.03.08
- Silva, F., Di Medeiros Leal, M. C., Batista, K. ve Fernandes, K. (2013).** PVA/Polysaccharides Blended Films: Mechanical Properties. *Journal of Materials*, 2013. doi:10.1155/2013/413578
- Syamani, F. A., Kusumaningrum, W. B., Akbar, F., Ismadi, Widyaningrum, B. A. ve Pramasari, D. A. (2020).** Characteristics of bioplastic made from modified cassava starch with addition of polyvinyl alcohol. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 591(1), 012016. doi:10.1088/1755-1315/591/1/012016
- Tas, S., Kus, D. ve Yilmaz, I. N. (2020).** Temporal variations in phytoplankton composition in the north-eastern Sea of Marmara: potentially toxic species and mucilage event. *Mediterranean Marine Science*, 21, 668-683. doi:10.12681/mms.22562
- Tas, S. ve Yilmaz, I. N. (2015).** Potentially harmful microalgae and algal blooms in a eutrophic estuary in the Sea of Marmara (Turkey). *Mediterranean Marine Science*, 16, 432-443. doi:10.12681/mms.1042
- Teodorescu, M., Bercea, M. ve Morariu, S. (2019).** Biomaterials of PVA and PVP in medical and pharmaceutical applications: Perspectives and challenges. *Biotechnol Adv*, 37(1), 109-131. doi:10.1016/j.biotechadv.2018.11.008

- Terzioğlu, P., Güney, F., Parın, F. N., Şen, İ. ve Tuna, S.** (2021). Biowaste orange peel incorporated chitosan/polyvinyl alcohol composite films for food packaging applications. *Food Packaging and Shelf Life*, 30, 100742. doi:https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100742
- Thiruchelvi, R., Das, A. ve Sikdar, E.** (2021). Bioplastics as better alternative to petro plastic. *Materials Today: Proceedings*, 37, 1634-1639. doi:https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.176
- Thiyagarasaiyar, K., Goh, B.-H., Jeon, Y.-J. ve Yow, Y.-Y.** (2020). Algae Metabolites in Cosmeceutical: An Overview of Current Applications and Challenges. *Marine drugs*, 18(6), 323. doi:10.3390/md18060323
- Tretinnikov, O. N. ve Zagorskaya, S. A.** (2012). Determination of the degree of crystallinity of poly(vinyl alcohol) by FTIR spectroscopy. *Journal of Applied Spectroscopy*, 79(4), 521-526. doi:10.1007/s10812-012-9634-y
- Venkatachalam, P.** (2020). BIOPLASTIC WORLD:A REVIEW. *Advanced Scientific Research*, 11(3), 43-53.
- Wang, Y., Su, J., Li, T., Ma, P., Bai, H., Xie, Y., Chen, M. ve Dong, W.** (2017). A Novel UV-Shielding and Transparent Polymer Film: When Bioinspired Dopamine–Melanin Hollow Nanoparticles Join Polymers. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 9(41), 36281-36289. doi:10.1021/acsami.7b08763
- Wells, M. L., Potin, P., Craigie, J. S., Raven, J. A., Merchant, S. S., Helliwell, K. E., Smith, A. G., Camire, M. E. ve Brawley, S. H.** (2017). Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. *Journal of applied phycology*, 29(2), 949-982. doi:10.1007/s10811-016-0974-5
- Wu, C.-S.** (2014). Preparation and Characterization of Polyhydroxyalkanoate Bioplastic-Based Green Renewable Composites from Rice Husk. *Journal of Polymers and the Environment*, 22(3), 384-392. doi:10.1007/s10924-014-0662-y
- Yan, N., Fan, C., Chen, Y. ve Hu, Z.** (2016). The Potential for Microalgae as Bioreactors to Produce Pharmaceuticals. *Int J Mol Sci*, 17(6). doi:10.3390/ijms17060962
- Zeller, M. A., Hunt, R., Jones, A. ve Sharma, S.** (2013). Bioplastics and their thermoplastic blends from *Spirulina* and *Chlorella* microalgae. *Journal of Applied Polymer Science*, 130(5), 3263-3275. doi:https://doi.org/10.1002/app.39559
- Zhang, C., Show, P.-L. ve Ho, S.-H.** (2019). Progress and perspective on algal plastics – A critical review. *Bioresource Technology*, 289, 121700. doi:https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121700

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyadı** : Nazlı SOYDAN

**Doğum Tarihi ve Yeri** :

**E-posta** :

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2019, Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalürji Fakültesi, Biyomühendislik (İngilizce)
- **Yüksek Lisans** : 2022, Bursa Teknik Üniversitesi, Biyomühendislik Anabilim Dalı

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- **Uzun Dönem Ar-Ge Stajyeri** - Spinamer Sağlık Ürünleri San. ve Tek. Ltd. Şti.
- **Üretim-İşletme Stajyeri** - VSY Biyoteknoloji ve İlaç San. A.Ş
- **Laboratuvar Stajyeri** - Bursa Özel Biyotıp Laboratuvarı
- **Araştırma Görevlisi** – Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü

### TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- SOYDAN NAZLI (2022). Mechanical Properties of Marine Mucilage/PVA Composite Films. International Conference on Emerging Sources in Science. (Özet Bildiri / Sözlü Sunum) (Yayın No: 68) (Sertifika Kodu: 4471434)

### DİĞER ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- SOYDAN NAZLI (2019). Aloe Vera Yüklü Aljinat ve PLGA Esaslı Yara Örtü Malzemesi Üretimi. 7. Ulusal Biyomühendislik Öğrenci Kongresi / Ege Üniversitesi. (Sözlü Sunum)