

**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KIYILARDAN TOPLANAN MAKROALGLERİN FAYDALI ÜRÜN  
OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ:  
İSTANBUL ÖRNEĞİ**

**Hülya CİVELEK YÖRÜKLÜ**

**DOKTORA TEZİ**  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı  
Çevre Mühendisliği Programı

Danışman  
Prof. Dr. Ahmet DEMİR

Temmuz, 2020

**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KIYILARDAN TOPLANAN MAKROALGLERİN FAYDALI ÜRÜN  
OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ: İSTANBUL ÖRNEĞİ**

Hülya CİVELEK YÖRÜKLÜ tarafından hazırlanan tez çalışması 14.07.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Mühendisliği Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ahmet DEMİR

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. Ahmet DEMİR, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Bestami ÖZKAYA, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İbrahim DEMİR, Üye

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet Sinan BİLGİLİ, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İsmail TORÖZ, Üye

İstanbul Teknik Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Ahmet DEMİR sorumluluğunda tarafımca hazırlanan “Kıyılardan Toplanan Makroalglerin Faydalı Ürün Olarak Değerlendirilmesi: İstanbul Örneği” başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Hülya CİVELEK YÖRÜKLÜ

Bu alışma, TÜBİTAK Sanayi Ar-Ge Projeleri Destekleme Programı'nın "Atık Deniz Yosunlarının Geri Kazanım Uygulamalarının Araştırılması Ve Sürdürülebilir Atık Yönetim Modelinin Geliştirilmesi" isimli ve 3160227 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

*Her zaman en büyük destekçim olan,*

*Ellerimi hiç bırakmayan*

*Canım eşime ithafen*

## TEŞEKKÜR

---

Bu ilham verici ve sadece kağıt üzerinde kalmayıp ülke ekonomisine katkı sağlayabilecek tez konusunu çalışma fırsatını sunarak bana ufuk açan; öğrencisi olmaktan büyük gurur ve mutluluk duyduğum saygıdeğer danışman Hocam Prof. Dr. Ahmet DEMİR'e

Bu zorlu süreçte bana yol gösteren, tüm akademik süreçlerimde elinden gelen yardımı esirgemeyen, her alanda örnek olarak gördüğüm kıymetli Hocam sayın Prof. Dr. Bestami ÖZKAYA'ya,

Paylaştığı tecrübeleri ile tezimin şekillenmesinde önemli rol oynayan tezimin tez izleme komite üyesi sayın Prof. Dr. İbrahim DEMİR'e,

TÜBİTAK Sanayi Ar-Ge Projeleri Destekleme Programı dahilinde yürüttüğümüz ortak proje kapsamında verdiği destekten dolayı İSTAÇ A.Ş. yönetici ve çalışanlarına,

Üniversite ve sanayinin ortak çalışmasının bir çıktısı olarak ulusal ve uluslararası pazarda kullanılabilecek ürünleri geliştirmemizde verdikleri proje desteği ile yardımcı olan TÜBİTAK'a,

Tez süresince desteklerini hep hissettiğim, muhabbetimizin daim olmasını dilediğim dostlarım Dr. Emre Oğuz KÖROĞLU ve Aykut KARADENİZ'e,

Hayatımı bu noktaya taşıyabilmemde her türlü katkıyı sağlayarak beni bugünlere getiren, küçük kızlarının öğrencilik hayatına veda edişini -aslında bunun kendilerinin başarısı olduğunu bilmeden- heyecanla bekleyen, varlıklarına her gün şükrettiğim ve haklarını asla ödeyemeyeceğim canım annem Yeter ve babam İbrahim CİVELEK'e,

Sevgisini ve desteğini hep yanımda hissettiğim, tek başıma yürüyemeyeceğim taşlı yollara adeta çiçekler ekerek güzelleştiren, kelimelere sığdıramayacağım güzellikte bir yaşamı benimle paylaşan stres indirgeyicim, son reaktör kurucum, en büyük şansım olan eşim Okan YÖRÜKLÜ'ye

hayatıma kattıkları bilgelik, renk ve güzellikler için teşekkür ederim.

Hülya CİVELEK YÖRÜKLÜ

# İÇİNDEKİLER

---

|                                                                    |             |
|--------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>SİMGE LİSTESİ</b>                                               | <b>IX</b>   |
| <b>KISALTMA LİSTESİ</b>                                            | <b>X</b>    |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b>                                               | <b>XI</b>   |
| <b>TABLO LİSTESİ</b>                                               | <b>XV</b>   |
| <b>ÖZET</b>                                                        | <b>XVII</b> |
| <b>ABSTRACT</b>                                                    | <b>XIX</b>  |
| <b>1 GİRİŞ</b>                                                     | <b>1</b>    |
| 1.1 Literatür Özeti .....                                          | 1           |
| 1.1.1 Atık Yönetimi ve Döngüsel Ekonomi Kavramı.....               | 1           |
| 1.1.2 Atık Sorununun Boyutları ve Makroalg Yönetimi .....          | 4           |
| 1.1.3 Tez Konusunun Anlam ve Önemi.....                            | 6           |
| 1.1.4 Konunun Kapsamı.....                                         | 8           |
| 1.2 Tezin Amacı .....                                              | 12          |
| 1.3 Hipotez.....                                                   | 13          |
| <b>2 MAKROALGLER</b>                                               | <b>15</b>   |
| 2.1 Makroalglerin Biyolojik Özellikleri .....                      | 16          |
| 2.1.1 Kırmızı Alglar .....                                         | 16          |
| 2.1.2 Kahverengi Alglar .....                                      | 18          |
| 2.1.3 Yeşil Alglar .....                                           | 19          |
| 2.2 Makroalg Oluşumunu Etkileyen Faktörler.....                    | 21          |
| 2.2.1 Marmara Denizi Akıntı Hareketleri ve Makroalg Yönetimi ..... | 24          |
| 2.2.2 İstanbul Kıyı Alanlarında Makroalg Oluşumu ve Miktarı .....  | 29          |
| 2.3 Makroalglerin Faydalı Kullanım Alanları.....                   | 32          |
| 2.3.1 Gıda Endüstrisi.....                                         | 32          |
| 2.3.2 Farmasotik ve Kozmetik Endüstrisi.....                       | 34          |
| 2.3.3 Biyoenerji/Biyometan Üretimi.....                            | 35          |
| 2.3.4 Gübre Üretimi .....                                          | 36          |
| 2.3.5 Biyoplastik Üretimi .....                                    | 39          |
| <b>3 MATERYAL VE METOT</b>                                         | <b>42</b>   |
| 3.1 Makroalglerin Karakterizasyonu .....                           | 42          |

|          |                                                                      |           |
|----------|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.1.1    | Makroalg Numunelerinin Toplanması .....                              | 42        |
| 3.1.2    | Morfolojik Analizler .....                                           | 46        |
| 3.1.3    | Tuzluluk Analizi .....                                               | 46        |
| 3.1.4    | Ağır Metal Analizleri .....                                          | 47        |
| 3.1.5    | Elementel Analizler .....                                            | 48        |
| 3.2      | Makroalglerden Biyogaz Üretimi .....                                 | 49        |
| 3.2.1    | Substrat Karakteristiği .....                                        | 49        |
| 3.2.2    | Aşı Karakteristiği.....                                              | 50        |
| 3.2.3    | Reaktör Kurulumu.....                                                | 51        |
| 3.2.4    | Biyogaz Üretiminin Kinetik Modellenmesi.....                         | 55        |
| 3.3      | Makroalglerden Sıvı Gübre Üretimi.....                               | 56        |
| 3.3.1    | Laboratuvar Ölçekli Sistemde Sıvı Gübre Üretimi Çalışmaları .....    | 56        |
| 3.3.2    | Sıvı Gübrenin Bitki Büyümesi Üzerindeki Etkisi.....                  | 60        |
| 3.3.3    | Pilot Ölçekli Sistemde Sıvı Gübre Üretimi Çalışmaları .....          | 65        |
| 3.4      | Makroalglerden Kompost Üretimi .....                                 | 67        |
| 3.5      | Makroalglerden Biyoplastik Malzeme Üretimi.....                      | 71        |
| <b>4</b> | <b>DENEY SONUÇLARI</b>                                               | <b>73</b> |
| 4.1      | Makroalglerin Oluşum Miktarı.....                                    | 73        |
| 4.2      | Makroalglerin Karakterizasyonu .....                                 | 73        |
| 4.2.1    | Morfolojik Gözlemler .....                                           | 74        |
| 4.2.2    | Makroalglerin Tuzluluk Oranları.....                                 | 74        |
| 4.2.3    | Makroalglerin Ağır Metal İçerikleri .....                            | 76        |
| 4.2.4    | Makroalglerin Elementel Kompozisyonları.....                         | 81        |
| 4.3      | Makroalglerden Biyogaz Üretimi .....                                 | 84        |
| 4.3.1    | Biyogaz Üretim Miktarları .....                                      | 84        |
| 4.3.2    | Biyogazın İçeriği.....                                               | 89        |
| 4.3.3    | Kinetik Model Sonuçları.....                                         | 90        |
| 4.4      | Makroalglerden Sıvı Gübre Üretimi.....                               | 96        |
| 4.4.1    | Laboratuvarda Üretilen Sıvı Gübrenin Bitkiler Üzerindeki Etkisi..... | 96        |
| 4.4.2    | Pilot Ölçekli Sistemde Üretilen Gübre ile Yapılan Çalışmalar .....   | 117       |
| 4.5      | Makroalglerden Kompost Üretimi .....                                 | 121       |
| 4.6      | Makroalglerden Biyoplastik Üretimi .....                             | 125       |

|                                                                       |            |
|-----------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>5 DEĞERLENDİRMELER</b>                                             | <b>129</b> |
| <b>6 SONUÇ VE ÖNERİLER</b>                                            | <b>135</b> |
| 6.1 Oluşturulan Senaryolar .....                                      | 135        |
| 6.1.1 Makroalglerin Anaerobik Çürütücüye Yemek Atıklarıyla Beslenmesi | 135        |
| 6.1.2 Makroalglerin Anaerobik Çürütücüye Tek Başına Beslenmesi.....   | 137        |
| 6.1.3 Makroalglerden Sıvı Gübre Üretimi .....                         | 138        |
| 6.1.4 Makroalglerden Kompost Üretimi .....                            | 139        |
| 6.1.5 Makroalglerden Biyoplastik Üretimi .....                        | 140        |
| 6.2 Öneriler .....                                                    | 142        |
| <b>KAYNAKÇA</b>                                                       | <b>146</b> |
| <b>A YILLARA GÖRE TOPLANAN YOSUN MİKTARLARI</b>                       | <b>167</b> |
| <b>B MINITAB MATRİSLERİ</b>                                           | <b>177</b> |
| <b>TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR</b>                                      | <b>185</b> |

## SİMGE LİSTESİ

---

|                |                                                             |
|----------------|-------------------------------------------------------------|
| Co.            | Ağır metal konsantrasyonu (mg/L)                            |
| P <sub>0</sub> | Biyogaz üretim potansiyeli (m <sup>3</sup> /ton atık)       |
| λ              | Gecikme evresi (gün)                                        |
| k              | Hidroliz katsayısı (gün <sup>-1</sup> )                     |
| P              | Kümülatif biyogaz üretimi (m <sup>3</sup> /ton atık)        |
| R <sub>m</sub> | Maksimum biyogaz üretim hızı (m <sup>3</sup> /ton atık.gün) |
| X              | Mikroorganizma                                              |
| S              | Substrat                                                    |
| m              | Tartılan kuru yosun miktarı (g)                             |
| V              | Yosun ekstrakte edilirken kullanılan sıvı hacmi (mL)        |
| t              | Zaman (gün)                                                 |

## KISALTMA LİSTESİ

---

|                             |                                                                  |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------|
| ASTM                        | Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu             |
| BMP                         | Biyolojik metan potansiyeli                                      |
| C/N                         | Karbon/Azot oranı                                                |
| HRT                         | Hidrolik bekletme süresi                                         |
| İSTAÇ A.Ş.                  | İstanbul Çevre Yönetimi Sanayi ve Ticaret A.Ş.                   |
| ORP                         | Oksidasyon redüksiyon potansiyeli                                |
| PLA                         | Polilaktik asit                                                  |
| ppm                         | Milyon birimde bir birim                                         |
| ppt                         | Bin birimde bir birim                                            |
| psu                         | Pratik Tuzluluk Birimi (Practical Salinity Unit), ppt            |
| RSM                         | Yanıt yüzeyi metodolojisi (Response Surface Methodology)         |
| rpm                         | Dakikadaki devir sayısı                                          |
| S/X                         | Substrat/mikroorganizma oranı                                    |
| TGA                         | Termogravimetrik Analiz                                          |
| UKM <sub>substrat</sub>     | Substratın Uçucu Katı Madde içeriği                              |
| UKM <sub>aşı</sub>          | Aşının Uçucu Katı Madde içeriği                                  |
| UKM <sub>makroalg</sub>     | Makroalgin Uçucu Katı Madde içeriği                              |
| UKM <sub>mutfak atığı</sub> | Mutfak atığının Uçucu Katı Madde içeriği                         |
| UYA                         | Uçucu yağ asidi                                                  |
| 3R kuralı                   | Azaltım, yeniden kullanım, geri dönüşüm - reduce, reuse, recycle |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |    |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 1.1</b> | Atık yönetim hiyerarşisi .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 2  |
| <b>Şekil 1.2</b> | Doğrusal ve döngüsel ekonominin şematik gösterimi (Sillanpää ve Ncibi, 2019'dan uyarlanmıştır) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 3  |
| <b>Şekil 1.3</b> | Biyorafineri yaklaşımında üretim tercih sırası .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 4  |
| <b>Şekil 1.4</b> | Tez çalışması kapsamında yürütülen çalışmalar ve ölçekleri .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 11 |
| <b>Şekil 1.5</b> | Tezde ele alınan kaynak-sistem-servis ağı .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 14 |
| <b>Şekil 2.1</b> | Kırmızı alglerden bazı türler olan (a) <i>Schmitzia japonica</i> , (b) <i>Chondracanthus intermedius</i> , (c) <i>Chondracanthus tenellus</i> , (d) <i>Chondrus giganteus</i> , (e) <i>Chondrus ocellatus</i> , (f) <i>Gloiosiphonia capillaris</i> , (g) <i>Grateloupia asiatica</i> , (h) <i>Grateloupia catenata</i> , (i) <i>Grateloupia chiangii</i> . (Kimbara vd., 2014) ..... | 17 |
| <b>Şekil 2.2</b> | Kahverengi alglerden bazı türler olan (a) <i>Papenfussiella kuromo</i> , (b) <i>Colpomenia sinuosa</i> , (c) <i>Petalonia binghamiae</i> , (d) <i>Cutleria cylindrical</i> , (e) <i>Undaria pinnatifida</i> , (f) <i>Ecklonia cava</i> , (g) <i>Eisenia arborea</i> . (Kimbara vd., 2014) .....                                                                                       | 19 |
| <b>Şekil 2.3</b> | Yeşil alglerden bazı türler olan (a) <i>Ulothrix sp.</i> , (b) <i>Enteromorpha compressa</i> , (c) <i>Enteromorpha linza</i> , (d) <i>Ulva conglobate</i> , (e) <i>Ulva pertusa</i> , (f) <i>Chaetomorpha spiralis</i> , (g) <i>Cladophora japonica</i> , (h) <i>Codium latum</i> , (i) <i>Bryopsis plumosa</i> . (Kimbara vd., 2014) .....                                           | 20 |
| <b>Şekil 2.4</b> | Makroalg büyümesi ile (a) ışık, (b) deniz suyu sıcaklığı, (c) nütrient yoğunluğu arasındaki ilişki. (d) Nütrient yoğunluğunun sıcaklığa göre; (e) klorofil miktarın nütrient yoğunluğuna göre değişimi. ....                                                                                                                                                                          | 24 |
| <b>Şekil 2.5</b> | Marmara Denizi'nde dikey kesitte akıntı şeması.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 25 |
| <b>Şekil 2.6</b> | Marmara Denizi alt ve üst akıntıları (Beşiktepe vd., 2000).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 27 |
| <b>Şekil 2.7</b> | İstanbul kıyılarında biriken makroalgler ve toplanma çalışmaları .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 29 |
| <b>Şekil 2.8</b> | Kıyılarda biriken makroalglerin bertaraf yönetimi .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 30 |

|                  |                                                                                                                                                                                                                                                     |    |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 2.9</b> | Marmara Denizi üst akıntısı ve İstanbul kıyıları ve en sık birikimin gözlemlendiği noktalar .....                                                                                                                                                   | 31 |
| <b>Şekil 3.1</b> | Laboratuvar ortamına taşınan makroalglerin temizlenmesi .....                                                                                                                                                                                       | 46 |
| <b>Şekil 3.2</b> | Yosunun biyolojik yolla ekstrakte edilmesinde kullanılan reaktörler .....                                                                                                                                                                           | 58 |
| <b>Şekil 3.3</b> | Farklı gübrelerin 5 farklı konsantrasyonu ile beslenmek üzere ekilmiş tere tohumlarının yetiştirilme ortamı .....                                                                                                                                   | 62 |
| <b>Şekil 3.4</b> | Çimlenmiş tere tohumları .....                                                                                                                                                                                                                      | 63 |
| <b>Şekil 3.5</b> | Makroalglerin öğütülmesi işleminde kullanılan sebze doğrama makinesi ...                                                                                                                                                                            | 66 |
| <b>Şekil 3.6</b> | Sıvı gübre üretiminde kullanılan pilot ölçekli anaerobik reaktör .....                                                                                                                                                                              | 67 |
| <b>Şekil 3.7</b> | Kompost biyoreaktörlerinin hazırlanma aşaması .....                                                                                                                                                                                                 | 70 |
| <b>Şekil 3.8</b> | Kompost reaktörlerinin sıcaklık ölçümlerinin takibi için geliştirilen yazılımın reaktörlerle görünümü .....                                                                                                                                         | 70 |
| <b>Şekil 3.9</b> | Atık karışımı ile beslenmiş ve strafor kapaklar ile yalıtılmış biyoreaktörler                                                                                                                                                                       | 71 |
| <b>Şekil 4.1</b> | Makroalglerin karbon-azot içeriklerinin ve oranlarının aylara göre değişimi .....                                                                                                                                                                   | 83 |
| <b>Şekil 4.2</b> | Farklı miktarlardaki makroalg ve mutfak atıkları karışımlarının S/X oranı 0,5 g UKM <sub>substrat</sub> /g UKM <sub>aşı</sub> için biyogaz oluşum eğrileri.....                                                                                     | 85 |
| <b>Şekil 4.3</b> | Farklı miktarlardaki makroalg ve mutfak atıkları karışımlarının S/X oranı 2 g UKM <sub>substrat</sub> /g UKM <sub>aşı</sub> için biyogaz oluşum eğrileri. ....                                                                                      | 86 |
| <b>Şekil 4.4</b> | Farklı miktarlardaki makroalg ve mutfak atıkları karışımlarının S/X oranı 4 g UKM <sub>substrat</sub> /g UKM <sub>aşı</sub> için biyogaz oluşum eğrileri. ....                                                                                      | 87 |
| <b>Şekil 4.5</b> | Farklı miktarlardaki makroalg ve mutfak atıkları karışımlarının S/X oranı 6 g UKM <sub>substrat</sub> /g UKM <sub>aşı</sub> için biyogaz oluşum eğrileri. ....                                                                                      | 88 |
| <b>Şekil 4.6</b> | Reaktörlerin gaz kompozisyonları .....                                                                                                                                                                                                              | 89 |
| <b>Şekil 4.7</b> | Aynı makroalg:mutfak atığı oranında beslenmiş ve farklı S/X oranında işletilmiş biyoreaktörlerin a) biyogaz üretim potansiyellerinin (P <sub>0</sub> ) ve b) maksimum biyogaz üretim hızlarının (R <sub>m</sub> ) sınıflandırılarak gösterimi ..... | 92 |

|                   |                                                                                                       |     |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 4.8</b>  | Fiziksel yollarla ekstrakte edilmiş gübrelerin bitkinin boy uzaması üzerindeki etkisi .....           | 103 |
| <b>Şekil 4.9</b>  | Biyolojik yollarla ekstrakte edilmiş gübrelerin bitkinin boy uzaması üzerindeki etkisi .....          | 104 |
| <b>Şekil 4.10</b> | Fiziksel yollarla ekstrakte edilmiş gübrelerin bitkinin yaprak sayısı üzerindeki etkisi .....         | 106 |
| <b>Şekil 4.11</b> | Biyolojik yollarla ekstrakte edilmiş gübrelerin bitkinin yaprak sayısı üzerindeki etkisi .....        | 107 |
| <b>Şekil 4.12</b> | Fiziksel yollarla ekstrakte edilmiş gübrelerin bitkinin ağırlığı üzerindeki etkisi .....              | 109 |
| <b>Şekil 4.13</b> | Biyolojik yollarla ekstrakte edilmiş gübrelerin bitkinin ağırlığı üzerindeki etkisi .....             | 110 |
| <b>Şekil 4.14</b> | Fiziksel yollarla ekstrakte edilmiş gübrelerin toprağın nem tutma kapasitesi üzerindeki etkisi .....  | 111 |
| <b>Şekil 4.15</b> | Biyolojik yollarla ekstrakte edilmiş gübrelerin toprağın nem tutma kapasitesi üzerindeki etkisi ..... | 112 |
| <b>Şekil 4.16</b> | Bitkinin ağırlığı üzerinde etkili olan parametreler.....                                              | 114 |
| <b>Şekil 4.17</b> | Bitkinin boy uzunluğu üzerinde etkili olan parametreler.....                                          | 115 |
| <b>Şekil 4.18</b> | Bitkinin yaprak sayısı üzerinde etkili olan parametreler .....                                        | 115 |
| <b>Şekil 4.19</b> | Toprağın nem tutma kapasitesi üzerinde etkili olan parametreler .....                                 | 116 |
| <b>Şekil 4.20</b> | Pilot ölçekli anaerobik sistemin zamana bağlı pH ve ORP değişimi .....                                | 118 |
| <b>Şekil 4.21</b> | Pilot ölçekli sistemde üretilen sıvı gübreler ambalajlanarak sergilenmiştir                           | 121 |
| <b>Şekil 4.22</b> | Kompost reaktörlerinin nem içeriklerinin zamana bağlı değişimi .....                                  | 123 |
| <b>Şekil 4.23</b> | Kompost reaktörlerinin zamana bağlı sıcaklık değişimleri .....                                        | 124 |
| <b>Şekil 4.24</b> | Farklı oranlarda deniz yosunu ve PLA karıştırılarak elde edilmiş biyoplastikler .....                 | 125 |
| <b>Şekil 4.25</b> | PLA-deniz yosunu kompozitlerinin mekanik özellikleri.....                                             | 126 |

|                   |                                                                                |     |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 4.26</b> | PLA-deniz yosunu kompozitlerinin TGA grafikleri .....                          | 127 |
| <b>Şekil 6.1</b>  | Senaryo 1: Makroalglerin anaerobik organik atıklarla beslenmesi koşulu .       | 136 |
| <b>Şekil 6.2</b>  | Senaryo 2: Makroalglerin anaerobik çürütücüye doğrudan beslenmesi koşulu ..... | 138 |
| <b>Şekil 6.3</b>  | Senaryo 3: Makroalglerden fermente sıvı gübre üretimi.....                     | 139 |
| <b>Şekil 6.4</b>  | Senaryo 4: Makroalglerden kompost üretimi .....                                | 140 |
| <b>Şekil 6.5</b>  | Senaryo 5: Makroalglerden biyoplastik üretimi .....                            | 141 |

## TABLO LİSTESİ

|                   |                                                                                                                             |    |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 1.1</b>  | Tez çalışmasında ele alınan başlıklar, yürütülen çalışmalar ve çalışılan ölçekleri .....                                    | 9  |
| <b>Tablo 2.1</b>  | Alglerde bulunan temel pigmentler (Pereira ve Neto, 2014'ten uyarlanmıştır). .....                                          | 16 |
| <b>Tablo 3.1</b>  | Makroalglerin örneklenme tarihleri ve noktaları .....                                                                       | 43 |
| <b>Tablo 3.2</b>  | Makroalglerin mikrodalga işlemiyle parçalanma basamakları .....                                                             | 48 |
| <b>Tablo 3.3</b>  | Biyogaz üretiminde kullanılan substratların karakterizasyonu .....                                                          | 50 |
| <b>Tablo 3.4</b>  | Biyometan reaktörlerine beslenen nütrient çözeltisi içinde bulunan makronütrientler ve konsantrasyonları .....              | 51 |
| <b>Tablo 3.5</b>  | Biyometan reaktörlerine beslenen nütrient çözeltisi içinde bulunan mikronütrientler ve konsantrasyonları .....              | 52 |
| <b>Tablo 3.6</b>  | BMP reaktörlerinin bileşenleri ve isimleri .....                                                                            | 54 |
| <b>Tablo 3.7</b>  | Laboratuvar ölçekli çalışmalarda üretilen yosun gübrelerinin isimleri, içerikleri ve elde ediliş yöntemleri .....           | 61 |
| <b>Tablo 3.8</b>  | Kompost reaktörüne beslenen atıklar ve karakterizasyonları .....                                                            | 68 |
| <b>Tablo 3.9</b>  | Reaktörlere beslenen atıkların kütlece oranları .....                                                                       | 69 |
| <b>Tablo 3.10</b> | Biyoplastik üretiminde kullanılan polilaktik asitin özellikleri .....                                                       | 72 |
| <b>Tablo 3.11</b> | Biyoplastik üretiminde kullanılan deniz yosununun karakterizasyonu .....                                                    | 72 |
| <b>Tablo 4.1</b>  | İstanbul kıyılarından toplanan deniz yosunlarının yıllara göre değişimi ...                                                 | 73 |
| <b>Tablo 4.2</b>  | Yıkanmış, yıkanmamış yosun numunelerinin ve deniz suyunun tuzlulukları .....                                                | 75 |
| <b>Tablo 4.3</b>  | Aylık periyotlarla toplanan makroalglerin ağır metal konsantrasyonları ..                                                   | 77 |
| <b>Tablo 4.4</b>  | Tarımda kullanılan gübre ve kompostların kullanımı için gerekli yönetmeliklerde belirtilen ağır metal limit değerleri ..... | 80 |
| <b>Tablo 4.5</b>  | Aylık periyotlarda alınan makroalg numunelerinin C, N, S oranları .....                                                     | 82 |

|                   |                                                                                   |     |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tablo 4.6</b>  | Dört farklı model kullanılarak bulunan kinetik katsayılar .....                   | 91  |
| <b>Tablo 4.7</b>  | Birim hacim ve zamanda her bir reaktörden üretilen biyogaz miktarları ..          | 94  |
| <b>Tablo 4.8</b>  | Tohumların beslendiği gübreye göre 6. güne kadar çimlenme sayıları .....          | 98  |
| <b>Tablo 4.9</b>  | Deney boyunca çimlenen toplam tohum sayısı.....                                   | 100 |
| <b>Tablo 4.10</b> | Pilot ölçekli sistemde üretilen gübrenin zamana bağlı karakteristiği .....        | 119 |
| <b>Tablo 4.11</b> | Pilot ölçekli sistemde üretilen gübrenin zamana bağlı ağır metal içerikleri ..... | 120 |
| <b>Tablo 4.12</b> | Kompost reaktörünün tabanından zamana bağlı toplanan su miktarı .....             | 122 |

## **Kıyılardan Toplanan Makroalglerin Faydalı Ürün Olarak Değerlendirilmesi: İstanbul Örneği**

Hülya CİVELEK YÖRÜKLÜ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Ahmet DEMİR

Sanayi devriminin ardından artan nüfusun ve taleplerin karşılanabilmesi için süregelen kaynak arayışları, döngüsel ekonomiyi destekleyerek yeni üretim mekanizmalarının oluşmasında etkin rol almıştır. Atık kategorisinde ele alınan malzemelerin ekonomiye kazandırılmasını da kapsayan döngüsel ekonomi anlayışı; hammadde ve ürünlerden maksimum faydanın sağlanmasını ve atık oluşumunu azaltarak çevresel sorunların önlenmesini hedefleyen atık yönetimi hiyerarşisini de destekler. Bu hiyerarşi, Sıfır Atık Projesi'nin hayata geçirilerek titizlikle takip edildiği ülkemizde de benimsenmiş, halihazırda “atık” kategorisinde ele alınan farklı malzemelerin hammadde olarak değerlendirilebilirliğinin önünü açmıştır.

Marmara Denizi'nde oluşarak İstanbul kıyılarında birikim gösteren makroalgler (deniz yosunları) de bu atıklardan biridir. İSTAÇ A.Ş. tarafından düzenli olarak toplanan makroalglerin toplam ıslak ağırlığı yıllık 5.000 tonu bulmakta ve halihazırda düzenli depolama sahalarına gönderilerek bertaraf edilmektedir. Bununla birlikte, makroalglerin biyoplastikten gıda endüstrisine kadar çok geniş bir yelpazede hammadde olarak kullanıldığı bilinmektedir.

Bu tez çalışmasında İstanbul kıyılarında birikip önemli bir çevresel sorun haline gelen makroalglerin döngüsel ekonomiye farklı senaryolarla dahil edilerek biyoenerji, gübre, kompost ve biyoplastik üretiminde değerlendirilmesi ele alınmıştır.

Atıkların geri kazanımı ile yüksek verimlilikle, yüksek ekonomik değere sahip, kolay üretilen ve ülke ekonomisi içinde kolay yer bulabilecek ürün üretiminin hedeflendiği bu çalışmada makroalglerin;

- Yıllık oluşum miktarları,
- Mevsimsel karakterizasyonu ve biyolojik proseslerde kullanılabilirliği,
- Biyogaz üretim potansiyeli ve kinetiği,
- Anaerobik çürütücülerde yardımcı besin olarak kullanımının optimizasyonu,
- Biyoenerji üretim tesislerinde kullanımının ticarileştirme ön çalışmaların yürütülmesi ile,
- Sıvı gübre üretiminde kullanımı, üretilen sıvı gübrenin optimizasyonu ve bitki gelişimine olan etkisi,
- Kompost üretiminde kullanımı,
- Biyoplastik üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabilirliği ile
- Sıvı gübre üretiminin pilot ölçekte gerçekleştirilerek ticari olarak kullanılabilir “fermente sıvı organik gübre” üretimi gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmalar neticesinde bu ürünlerin üretiminin yüksek verimle gerçekleşebildiği, İstanbul kıyılarından toplanan ve ıslak ağırlığı yıllık ölçekte 5.000 ton olan atık makroalglerin biyogaz üretiminde kullanılması halinde 144.000 m<sup>3</sup> metan, sıvı gübre üretiminde kullanılması halinde 45.000 m<sup>3</sup> sıvı gübre, kompost üretiminde kullanılması halinde 10.500 ton kompost ve yosun katkılı biyoplastik üretiminde kullanılması halinde 6.670 ton biyoplastik üretilbileceği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Makroalg, biyometan, sıvı yosun gübresi, kompost, biyoplastik

# **Conversion of Waste Macroalgae Collected from Coastal Area into Useful Products: The Case of Istanbul**

Hülya CİVELEK YÖRÜKLÜ

Department of Environmental Engineering

Doctor of Philosophy Thesis

Advisor: Prof. Dr. Ahmet DEMİR

After the industrial revolution, the search for new resources has increased to meet the increasing population and demands. This quest played an active role in the formation of new production mechanisms by supporting the circular economy. The circular economy, which also covers the recycling of waste materials to the economy; supports the waste management hierarchy, aiming at ensuring maximum benefit from raw materials and products and preventing environmental problems by reducing waste generation. This hierarchy has also been adopted in Turkey, where "Zero Waste Project" has been meticulously followed and paved the way for the utilization of different materials currently handled in the "waste" category.

Macroalgae (seaweed), which are formed in the Marmara Sea and accumulate on the shores of Istanbul, is one of these wastes. The total wet weight of the macroalgae collected by İSTAÇ Co. reaches up to 5,000 tons per year and is currently landfilled. However, it is known that macroalgae can be used as raw materials in a wide range of industry from bioplastics to the food industry. In this thesis, accumulated macroalgae on

the shores of Istanbul were included in the circular economy with different scenarios and valorized in bioenergy, fertilizer, compost, and bioplastics production.

The production of products with high efficiency and high economic value, which can be easily produced and which can easily find a place in the national economy with the recovery of wastes were aimed. Within this scope:

- Annual formation amounts,
- Seasonal characterization and usability in biological processes,
- Biogas production potential and kinetics,
- Optimization of usage in anaerobic digesters as cosubstrate,
- Carrying out pre-studies for the commercialization of its use in bioenergy production facilities,
- Use in liquid fertilizer production, its effect on plant development and concentration optimization,
- Use in compost production,
- Usability as an additive in bioplastics production of macroalgae and
- Pilot scale production of liquid fertilizer for a commercially available "fermented liquid organic fertilizer" production was evaluated.

As a result of the studies carried out, macroalgae collected from the shores of Istanbul can be used to produce these value-added product productions. It has been determined that if waste macroalgae collected from Istanbul shores with a wet weight of 5,000 tons per year are used in biogas, liquid fertilizer, compost and bioplastic production, 144,000 m<sup>3</sup> of methane, 45,000 m<sup>3</sup> of liquid fertilizer, 10,500 tons of compost and 6670 tons of seaweed-added bioplastics can be produced, respectively.

**Keywords:** Macroalgae, biomethane, liquid seaweed extract, compost, bioplastic

### 1.1 Literatür Özeti

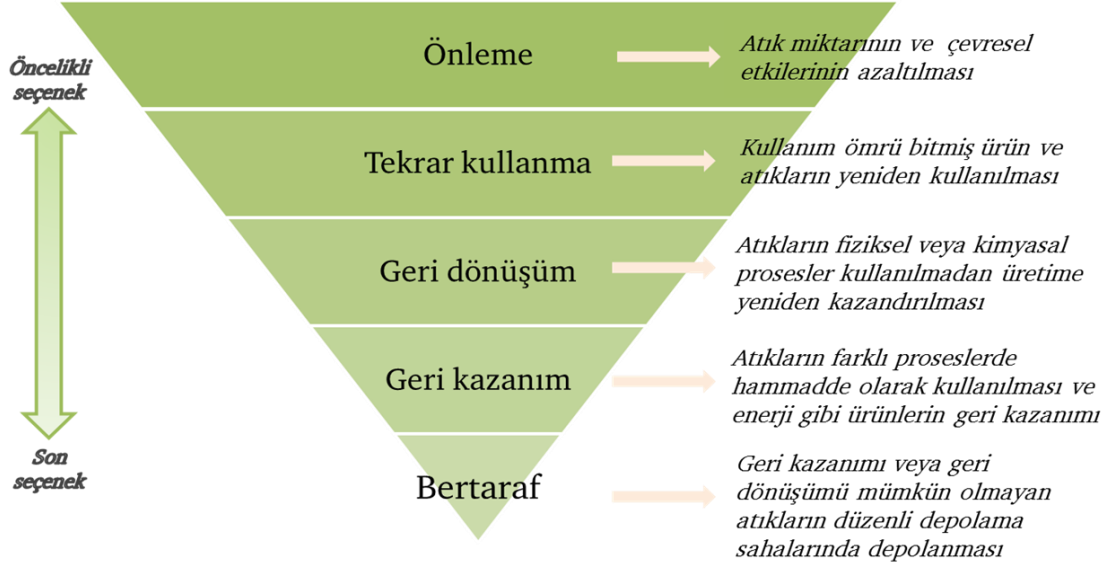
#### 1.1.1 Atık Yönetimi ve Döngüsel Ekonomi Kavramı

Son yıllarda ülkelerin ekonomilerinin ve insanların taleplerinin artması ile birlikte hammadde talebinde benzeri görülmemiş bir büyüme gözlemlenmektedir. Sürekli artan nüfus ise, dünyanın doğal kaynakları ve çevre üzerinde ciddi baskı oluşturmakta ve geri dönüşü olmayan negatif etkiler oluşturmaktadır. Hammadde olarak doğal kaynakların kullanılması yalnızca ulusal değil aynı zamanda küresel ölçekte ekonomik ve sosyal sorunlara da sebep olmaktadır.

Sınırsız taleplerin sınırlı kaynaklar ile giderilebilmesi için, kaynak verimliliğinin ve üretkenliğinin artırılması bir zorunluluktur. Kullanılan doğal kaynakların, elde etme, taşınma, dönüştürülme, tüketilme, geri kazanım ve bertaraftan oluşan doğal döngülerinin tekrarlanabilmesi ve bu döngü içinde verimli kullanılması, ana hedef olmalıdır. Bu da ancak atık yönetimi hiyerarşisini (Şekil 1.1) dikkate alan politikaların bireyler ve kurumlar tarafından benimsenmesi ile başarılabilir (OECD, 2020).

Bu politikalardan biri de tüm dünyada bilinen 3R kuralıdır (reduce, reuse, recycle – azaltım, yeniden kullanım, geri dönüşüm). Bu sayede sürdürülebilir malzeme kullanımı sürdürülebilir üretim sağlanabilir. Bu da, doğrusal ekonomiden döngüsel ekonomiye geçiş anlamına gelmektedir. Şekil 1.2’de doğrusal ve döngüsel ekonominin şematik gösterimi mevcuttur. Şekilde okların kalınlığı, prosesin gerçekleşme sayısını sembolize etmektedir. Doğrusal ekonomi, hammaddenin temin edildiği, kullanıldığı ve daha sonra yakıldığı veya atıldığı basit bir “üretim-tüketim-bertaraf” yapısıdır. Bu ekonomide üretimin azaltılması veya atıkların tekrar değerlendirilerek ekonomiye dahil edilmesi oldukça sınırlıdır. Ancak döngüsel ekonomi çok daha dinamik, esnek ve daha verimli bir “üretim-tüketim-geri

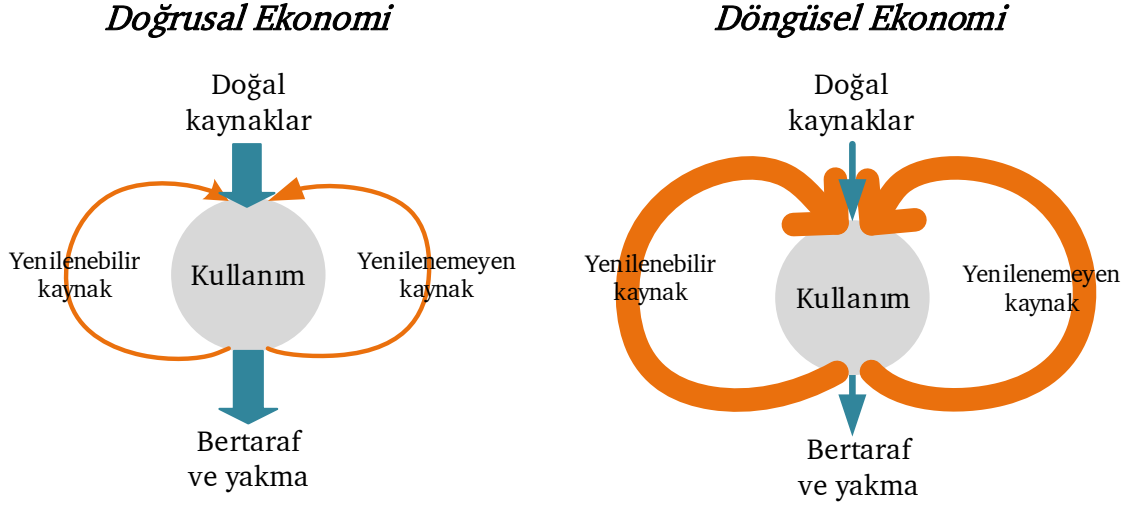
dönüşüm/geri kazanım” felsefesine sahiptir. Bu felsefede kaynaklar sistemde tekrarlı ve sürekli kullanılmaktadır (Sillanpää ve Ncibi, 2019).



**Şekil 1.1** Atık yönetim hiyerarşisi

Ülkemiz her ne kadar OECD ülkeleri arasında kişi başına en az miktarda atık üreten ülkelerden biri olsa da, yine bu ülkeler arasında geri dönüşüm yerine depolama uygulamasını kullanan ülkelerin başında gelmektedir (OECD 2020). Gerek çevresel sorunların önlenmesi, gerekse ekonomik kaygılar sebebiyle atık geri kazanım ve geri dönüşüm uygulamalarının artırılması en büyük gereksinimlerden biri olmalıdır. Bu sebeplerden dolayı sürdürülebilirlik, bir prosesin ekonomik başarısını simgeleyen en önemli parametrelerden biri haline gelmiştir.

Biyokütlenin düşük enerji ve maliyet harcanarak gıda, kimyasal, yakıt, enerji gibi pek çok farklı pazarlarda yer alabilecek ürün yelpazesine dönüştürülmesini tanımlayan biyorafineri yaklaşımı; mevcut piyasada kullanılan hammaddelerin yenilenebilir olmayışı, biyokütle kaynaklarının çok ve çeşitli olmaları gibi sebeplerden ötürü pek çok farklı pazarda yer edinebilmiştir. Sürdürülebilir ekonominin gelişmesini sağlarken, atık oluşumunu minimize eder ve iklim değişikliği gibi çevresel sorunların önlenmesinde aktif rol oynar. Biyokütlenin mevcut içeriğinin farklı işlemler uygulanarak değerlendirilmesini desteklediğinden, bu yaklaşımla sıfır atık oluşumu ile üretim bile sağlanabilir.

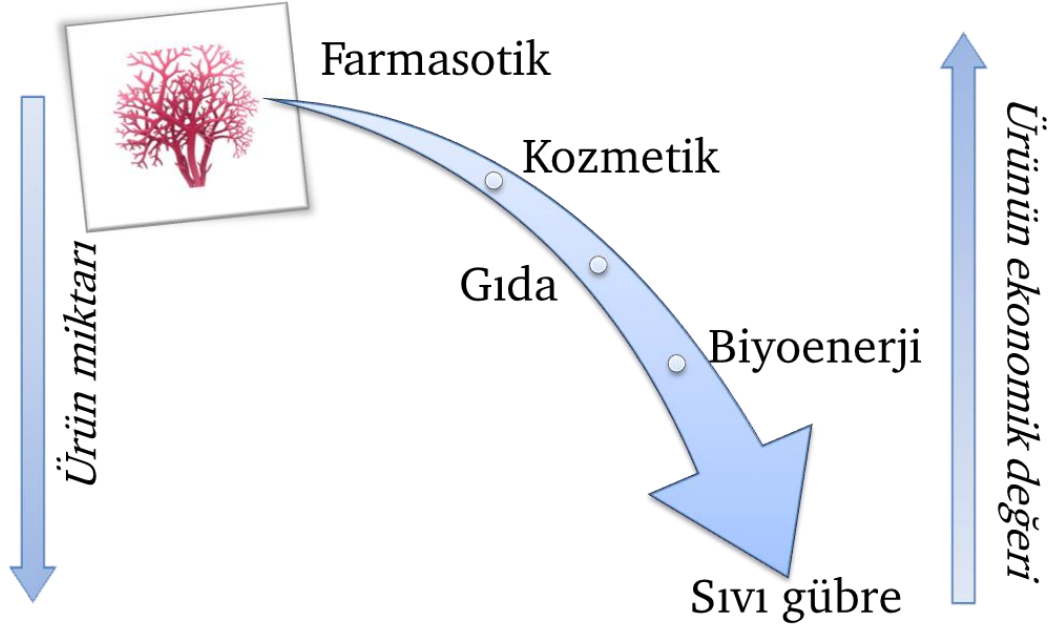


**Şekil 1.2** Doğrusal ve döngüsel ekonominin şematik gösterimi (Sillanpää ve Ncibi, 2019'dan uyarlanmıştır)

Uluslararası Enerji Ajansı'nın belirlediği görevlerin de etkisiyle, son yıllarda biyorafineri yaklaşımına olan ilgi artmıştır. Başlarda birinci (mısır, patates gibi tarımsal ürünler) ve ikinci (tarımsal atıklar) nesil biyokütle kullanılarak üretilen biyo-bazlı ürünler, gıda ve enerji rekabetinin artması ile birlikte yeni biyokütle arayışlarına yol açmıştır (Balina vd., 2017).

Deniz yosunları olarak da bilinen makroalgler, üçüncü nesil biyokütle kaynaklarıdır. Çoğalmaları sırasında karaya ihtiyaç duymamaları ve birinci nesil kaynaklar gibi gıda rezervleri olarak görülmemeleri, deniz yosunlarını karasal biyokütle kaynaklarına iyi bir alternatif haline getirir. Yapılarında bulunan değerli bileşenler ve yüksek CO<sub>2</sub> tüketim hızları, makroalgleri karbon ticaretinde de değerli kılmaktadır. Bu sebeple, deniz yosunlarının biyorafineri konseptinde ele alınması son zamanlarda büyük ilgi görmüştür.

Biyorafineri yaklaşımında biyokütlenin tek bir proste tek sefer kullanımından ziyade, ardışık proseslerde ve her bir prosesin çıktısının bir diğerinin hammaddesi olacak şekilde kullanımı önemlidir. Ardışık prosesler yüksek ekonomik değere sahip kimyasal, ilaç, gıda gibi ürünlerden daha düşük ekonomik değere sahip gübre, biyoenerji gibi ürünlere doğru akar (Şekil 1.3). Bu sayede biyokütleden maksimum ürün miktarı ve ekonomik fayda sağlanabilir. Bu yaklaşım, deniz yosunlarından faydalı ürün üretiminde de geçerlidir.



**Şekil 1.3** Biyorafineri yaklaşımında üretim tercih sırası

Biyorafineri yaklaşımıyla yola çıkılan bu tez çalışmasında, Marmara Denizi'nde oluşan ve kıyılarda birikerek önemli bir çevresel sorun haline gelen makroalglerin (deniz yosunlarının), döngüsel ekonomiye dahil edilerek değerlendirilmesi üzerine farklı senaryolar ele alınmıştır.

### 1.1.2 Atık Sorununun Boyutları ve Makroalg Yönetimi

Deniz yosunları olarak da bilinen makroalgler, çıplak gözle görülebilen ve bitkiye benzeyen çok hücreli canlılardır. Sucul ekosistemde, oksijen üretmek, herbivorlar için besin zincirinde yer almak ve balık, yengeç gibi canlılara korunak görevi üstlenmek gibi önemli roller oynarlar. Makroalgler tatlı su kaynakları, deniz ve okyanuslar gibi geniş bir yelpazede yaşayabilirler.

Makroalglerin kirlilik oluşturacak mertebede kıyılarda birikimi, genellikle makroalg patlaması olarak bilinen kontrolsüz çoğalma sonucu gerçekleşir. Makroalg patlamaları, makroalglerin mercan kayalık gibi çoğalmaya elverişli oldukları yerlerde aşırı çoğalması sonucu gerçekleşmektedir. Makroalg patlamaları dünyanın farklı noktalarında, insan kaynaklı kirlilik sebebiyle ve/veya kendiliğinden gerçekleşebilmektedir. Çoğalan makroalgler, yalnızca yaşadığı ortam olan sucul

ekosistemde değil, aynı zamanda birikim oluşturdukları kıyılarda da birçok çevresel ve ekonomik soruna sebep olurlar (Diaz vd. 2002; Fox vd. 2009; Teichberg vd., 2012).

Makroalg patlamalarının, dünyanın farklı noktalarında, belli frekanslarla veya ani olarak gerçekleşebildiği bilinmektedir. Ancak yapılan son çalışmalar, gözlemlenen bu patlamaların Güney Çin Denizi (Çin), Sarı Deniz (Çin), Garopaba sahili (Brezilya, Atlantik Okyanusu), Biscayne sahili (Florida) gibi genellikle şehirleşmenin ve tarım arazilerinin kıyıya yakın olduğu denizlerde görüldüğünü göstermiştir (Liu vd., 2019; Wang vd., 2020; Martins vd., 2016; Santos vd., 2020; Teichberg vd., 2012). Makroalg patlaması sonucu oluşan makroalgler, gerek birikim oluşturdukları noktada kötü koku ve çürüme sonucu H<sub>2</sub>S gibi zehirli gaz oluşumuna sebep olmalarıyla; gerekse üreme ortamları olan sucul sistemde mercanlar gibi birincil üreticileri yok etme ve çürümeleri sonucu oluşan anoksik ortamda balık gibi canlılara dolaylı yoldan zarar vermesiyle ciddi problemlere yol açar. Bahsedilen bu çevresel etkilerin yanında, biriktikleri sahil, plaj gibi alanları kullanılamaz hale getirmeleri, tatlı sularda oğaldıklarında ise çoğaldıkları suyun arıtım maliyetlerini artırmaları ve toplanma maliyetleri sebebiyle önemli ekonomik kayıplara da sebep olur (Lapointe vd., 2018).

Alg patlamalarının kontrolünde özellikle su rezervuarlarında ve kıyı alanlarında en sık kullanılan metotlar; bakır sülfat gibi herbisit (ot öldürücü kimyasallar) kullanımı gibi kimyasal metotlar, toplama gibi fiziksel yöntemler veya bu algleri tüketen farklı canlıları ortama taşıma gibi biyolojik yöntemlerdir. Ancak tüm bu metotlar, kesin bir çözüm olmamakla birlikte, oluşan makroalglerin kontrolsüz oluşumunu engellemeye kısa sürede çözüm de sunamazlar (Lapointe vd., 2018).

Alg patlaması gerçekleşmeden alınabilecek önlemler veya sağlanabilecek ortam şartları, atık oluşumunun engellenmesinde en etkin rolü oynayacaktır. Makroalglerin oluşumunu önlemek için su hareketlerini kısıtlamak, ortama gelen nütrient konsantrasyonunu azaltmak, tuzluluk seviyesini alglerin yaşayamayacağı seviyeye getirmek gibi çeşitli önlemler alınabilir. Ancak makroalg oluşumu deniz, okyanus gibi geniş alanlarda gerçekleşiyorsa, elbette ki bu önlemler alınamayacaktır. Bu gibi durumlarda ise, oluşan alglerin en çevreci yaklaşımla yönetilmesi önem taşır.

Alg patlamalarının gerçekleştiği durumlarda, oluşan bu makroalglerin çeşitli ekipmanlarla veya farklı biyolojik türler kullanılarak toplanması söz konusudur. Her ne kadar makroalgler otçul balıklar tarafından, mikroalgler de szcler tarafından tüketiliyor olsalar da, bir alg patlamasının ardından alglerin szc veya otullarla giderilmesi yetersiz kalacaktır. Bu yüzden ek bir arıtım yöntemi gereklidir. Bunun için akla ilk gelen ve en çok kullanılan yöntem oluşan makroalglerin fiziksel yollarla giderilmesidir. Bu yöntem çok geniş alanlarda grlen makroalg patlamalarında uygulanmıştır.

Bir diğer yöntem ise makroalglerin yerinde arıtımıdır. Bu işlem özellikle makroalgin hasat makineleriyle toplanmasına dayanır. Sönmemiş kireç ve bakır sülfat ilavesi ile giderilemeyen makroalg için bu yöntem oldukça kullanışlıdır. Bu sayede makroalgin faydalı ürün olarak çeşitli alanlarda kullanımı da sağlanabilir.

Makroalglerin yiyecek, kozmetik, tarım, biyoyakıt üretimi gibi pek çok alanda kullanılabildiği bilinmektedir. Ticari değerı ton kuru ağırlığı başına 400 \$ olan makroalglerin faydalı kullanımı, makroalg patlamalarından kaynaklı oluşan ekonomik kaybın minimize edilmesinde yardımcı olur. Ayrıca bu atıkların faydalı ürüne dnştrlmesi, döngüsel ekonomi yaklaşımıyla atık yönetiminde ele alınabilecek en sürdürülebilir yöntemlerden biridir.

### **1.1.3 Tez Konusunun Anlam ve nemi**

Gelişen ekonomilerin ve teknolojinin bir ürünü olarak, insanların gıda ve enerji başta olmak üzere pek çok ihtiyaçları artış göstermiş ve bu durum büyük bir üretim-tüketim ağı oluşmasına sebep olmuştur. Bu ihtiyaçların karşılanması için gerekli olan hammadde miktarı da üretimle birlikte artmaktadır. Yüzyıllar boyunca ekonomi, kaynağın kullanım ömrünün tek ürünle sınırlı kaldığı doğrusal ekonomi modeli ile işlemiştir. Ancak duyulan hammadde ihtiyaının doğal kaynaklarla karşılanamayacak noktaya gelmesiyle birlikte, hammadde kaynaklarının birden çok kez kullanımını veya kullanım ömrü tükenen bir ürünün farklı sistemlerde hammadde olarak kullanımını destekleyen döngüsel ekonomi modeline geçiş yapılmıştır. Nihai koşulda, “atık” kategorisinde ele alınan pek çok ürünün yüksek ekonomik değere sahip ürünlere dönüştürülebilirliği üzerinde durulmaya ve bu ürünlerin ekonomiye geri kazandırılmasına başlanmıştır.

Doğrusal ekonomi modeli ve artan tüketim, çevresel sorunları da beraberinde getirmiştir. Atıkların çevresel etkisini minimuma indirmeyi hedefleyen atık yönetimi hiyerarşisi de, doğrusal ekonomiden dögüsel ekonomiyi destekleyen bir yaklaşımdır. Atık azaltılmasının ana hedef olduğu bu modelde, minimize edilemeyen veya oluşumu önlenemeyen atıkların hammadde olarak kullanılarak farklı ürünlere dönüştürölmesi desteklenir. Atıkların depo sahalarına gönderilerek bertaraf edilmesi ise son seçenektir.

Dünyanın en kalabalık şehirlerinden olan İstanbul'da atıklar, halkın atıkları ayrı toplama alışkanlığının zayıf olması dolayısıyla depo sahalarına gönderilerek bertaraf edilmektedir. Ancak depo alanlarının sınırlı ve şehir merkezinden uzakta olması, atık yönetimini ekonomik ve çevresel açıdan zorlaştırır. Bertaraf edilmek üzere oluşan günlük atık miktarının çokluğu, depo sahalarının kullanım ömrünün azalmasına yol açmaktadır. Bu sebeple İstanbul gibi kalabalık şehirlerimiz başta olmak üzere, oluşan atıkların bertaraf dışında bir yönetim modelinde ele alınması; depo sahalarının etkin yönetimi, çevresel sorunların azaltılması ve dögüsel ekonomiye geçiş açısından büyük önem taşımaktadır.

İstanbul'da evsel atık dışında oluşan pek çok endüstriyel ve belediyesel atık da mevcuttur. Bu atıklardan biri de, kıyılarda biriken makroalglerdir (deniz yosunlarıdır). Marmara Denizi'nin alg büyümesine elverişli ortamı dolayısıyla özellikle yaz aylarında Marmara Denizi'nin tabanında yüksek yoğunlukta oluşan makroalgler, tabandan koparak kıyılarda birikmektedir. Toplam kıyı uzunluğu neredeyse 650 km olan İstanbul'da, özellikle yaz aylarında yoğun bir şekilde birikim gösteren makroalgler, İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin bir iştiraki olan İSTAÇ A.Ş. tarafından toplanmakta ve depo sahalarına götürölerek bertaraf edilmektedir. Ancak biriken makroalglerin çok yüksek miktarlara ulaşması, makroalglerin depo sahalarına taşınması sırasında önemli ekonomik ve çevresel sorunlar doğurmakta ve depo sahalarında önemli bir hacim kaplamaktadır. Üstelik yüksek nem içerikleri dolayısıyla, depo sahalarında bozunmaları sırasında sızıntı suyu oluşumuna önemli etki göstermektedir. Bu sebeple makroalglerin atık yönetim modeli çerçevesinde, bertaraftan farklı yöntemlerle yönetilmesi önem taşımaktadır. Bu amaçla yola

çıkılan bu tez çalışmasında, İstanbul kıyılarında biriken makroalglerden faydalı ürün üretilebilirliği ele alınmıştır.

Dünya üzerinde, makroalglerden faydalı ürün üretimi üzerine yapılmış pek çok çalışma mevcuttur. Makroalglerin biyoplastikten gıda endüstrisine, farmasotikten kağıt üretimine kadar pek çok alanda kullanıldığı bilinmektedir. Bu endüstrilerde kendiliğinden oluşmuş makroalgler kullanılabildiği gibi, özel olarak yetiştirilen ve hasat edilen makroalglerin kullanımı da oldukça yaygındır. Bu durum, makroalglerin ekonomik değerinin yüksek bir hammadde olduğunu göstermektedir.

Makroalglerin çok çeşitli alanlarda kullanımı, İstanbul kıyılarında biriken makroalglerin faydalı ürün üretiminde kullanılabiliirliğinin incelendiği bu tez çalışmasının yürütölmesinde yol gösterici olmuştur. Bu kapsamda makroalglerin tek başlarına veya farklı ürünlerle birlikte faydalı ürünlere dönüşümü incelenmiştir.

#### **1.1.4 Konunun Kapsamı**

İstanbul kıyılarında birikerek miktarı yıllık bazda binlerce tonu bulan makroalglerin faydalı ürünlere dönüştürölerek ticari değeri kazanması hedeflenmiştir. Ancak İstanbul kıyılarında biriken makroalgler, kendiliğinden oluşmuş ve kıyılara vurmuş deniz ürünleri olduğundan, bu makroalglerin gıda dışı ürünlerin üretiminde kullanımı ile sınırlı bırakılması uygun görölmüştür.

Bu doğrultuda, makroalglerden faydalı ürün üretimi öncelikle laboratuvar ölçekli sistemlerde ele alınmıştır. Faydalı ürün üretiminde sağlanacak optimum koşullar, laboratuvar ölçekli sistemlerde belirlendikten sonra, uygun görölen sistemler büyük ölçekli sistemlere de uyarlanmıştır.

Bu kapsamda, makroalglerden faydalı ürün üretiminin hedeflendiği bu tez çalışmasında ele alınan başlıklar, yürütölen deneysel çalışmalar ve bu çalışmaların ölçekleri Tablo 1.1’de listelenmiştir.

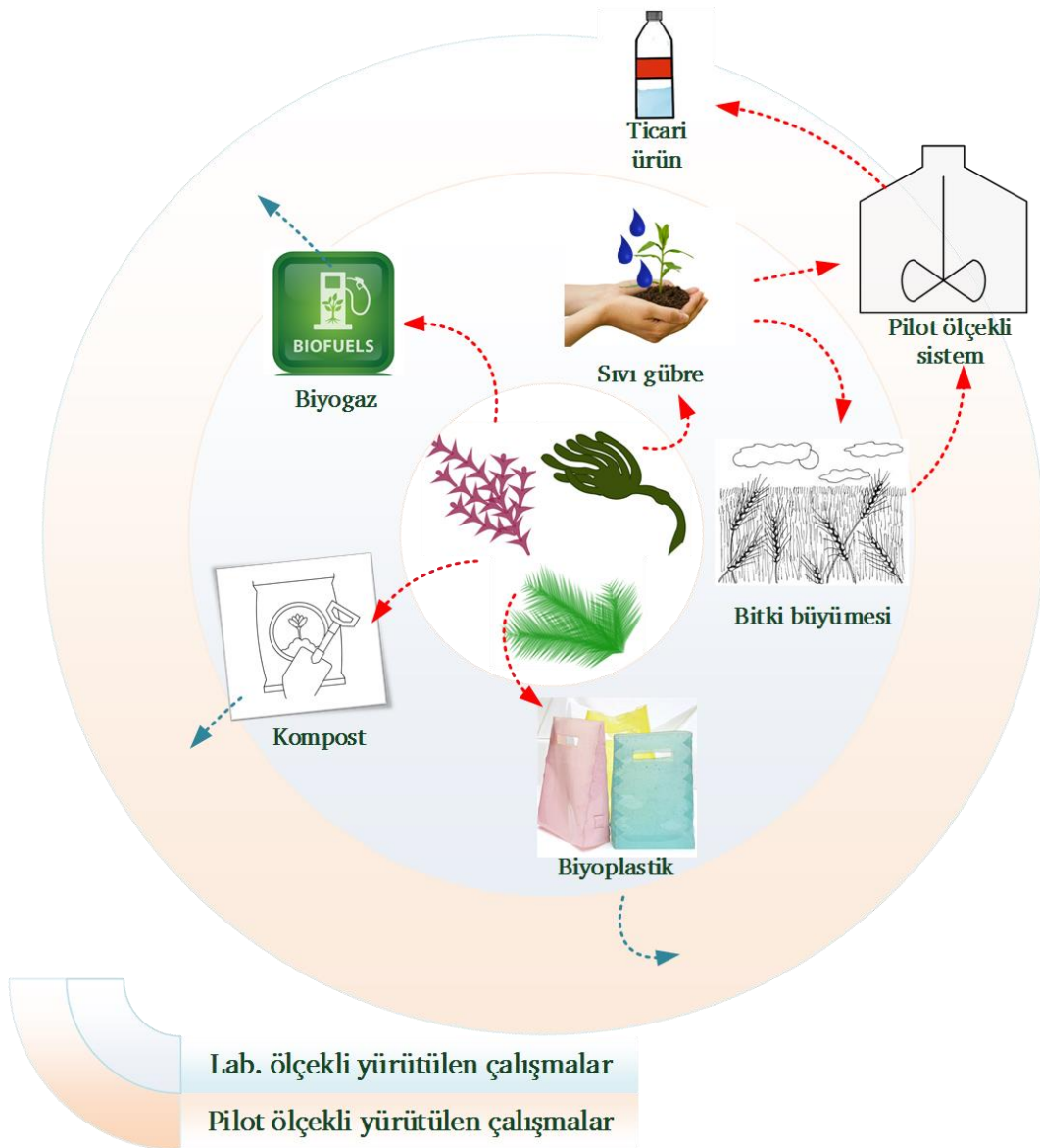
**Tablo 1.1** Tez çalışmasında ele alınan başlıklar, yürütülen çalışmalar ve çalışılan ölçekleri

| No  | Başlıklar                               | Yürütülen çalışmalar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Ölçek       |
|-----|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 1   | Numune temini                           | <ul style="list-style-type: none"><li>Birikim noktalarının takip edilmesi</li><li>Aylık periyotlarda numune toplanması (40 adet)</li></ul>                                                                                                                                                                                                                     | Arazi       |
| 2   | Makroalglerin karakterizasyonu          | Makroalglerin <ul style="list-style-type: none"><li>Morfolojik özellikleri</li><li>Tuzluluğu</li><li>Ağır metal içerikleri</li><li>Elementel analizleri</li></ul>                                                                                                                                                                                              | Laboratuvar |
| 3   | Makroalglerden biyogaz üretimi          | Makroalglerin <ul style="list-style-type: none"><li>Tek başlarına ,</li><li>Ko-substrat olarak beslendiklerinde</li><li>Farklı S/X oranlarında,</li></ul> biyogaz üretim potansiyellerinin belirlenmesi <ul style="list-style-type: none"><li>Biyogaz içeriğinin belirlenmesi</li><li>Biyogaz üretim verilerinin kinetik katsayılarının belirlenmesi</li></ul> | Laboratuvar |
| 4   | Makroalglerden sıvı gübre üretimi       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |
| 4.1 | Fiziksel yöntemlerle sıvı gübre üretimi | Makroalglerin <ul style="list-style-type: none"><li>Dondurma-çözme,</li><li>Ultrasese maruz bırakma,</li><li>Kaynatma,</li></ul> yoluyla ekstrakte edilmesi                                                                                                                                                                                                    | Laboratuvar |

**Tablo 1.1** Tez çalışmasında ele alınan başlıklar, yürütülen çalışmalar ve çalışılan ölçekleri (Devamı)

|     |                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                              |             |
|-----|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 4.2 | Biyolojik yöntemlerle sıvı gübre üretimi       | Makroalglerin <ul style="list-style-type: none"><li>• Aşılardan,</li><li>• Anaerobik çamur ile aşılarken,</li><li>• Maya ile aşılarken,</li><li>• Maya ve anaerobik çamur ile aşılarken,</li></ul> 15, 30 ve 60'ar gün fermente edilmesi                                                     | Laboratuvar |
| 5   | Sıvı gübrenin bitki gelişimi üzerindeki etkisi | Laboratuvar ortamında üretilen sıvı gübrenin <ul style="list-style-type: none"><li>• Çimlenen tohum sayısı,</li><li>• Bitkinin boy uzaması,</li><li>• Bitkinin yaprak sayısı,</li><li>• Bitkinin ağırlığı</li><li>• Toprağın nem tutma kapasitesi</li></ul> üzerindeki etkisinin incelenmesi | Laboratuvar |
| 6   | Makroalglerden ticari sıvı gübre üretimi       | Laboratuvar ölçekli sistemden elde edilen optimum koşulların pilot ölçekli sistemde işletilmesi                                                                                                                                                                                              | Pilot       |
| 7   | Makroalglerden kompost üretimi                 | Makroalglerin sebze atıkları ile farklı oranlarda karıştırılarak kompostlaştırılabilirliğinin incelenmesi                                                                                                                                                                                    | Laboratuvar |
| 8   | Makroalglerden biyoplastik üretimi             | Makroalglerin PLA ile farklı oranlarda karıştırılarak biyoplastik üretiminde kullanımı                                                                                                                                                                                                       | Laboratuvar |

Tez kapsamında yürütülen çalışmalar farklı ölçeklerde gerçekleştirilmiştir. Çalışmalara, araziden toplanan örneklerin karakterizasyonunun ardından laboratuvar ölçekli sistemlerde değerlendirilmesi ile başlanmıştır. Makroalglerin laboratuvar ölçekli sistemlerde hammadde olarak kullanımında bir engel olmadığı görülmüştür. Yürütülen çalışmalar Şekil 1.4'te şematik olarak betimlenmiştir. Şekilde görülen kırmızı oklar, tez kapsamında yürütülen üretim ağını göstermektedir. Mavi oklar ise ürünün pilot ölçeğe aktarılmasının uygunluğunu betimlemektedir.



**Şekil 1.4** Tez çalışması kapsamında yürütülen çalışmalar ve ölçekleri

## 1.2 Tezin Amacı

Bir mega kent olan ve depolanan günlük atık miktarının 16.000 tona ulaştığı İstanbul'da (Guven, 2019), depo sahasının verimli kullanılması ve oluşan atıkların atık hiyerarşisine dayanarak bertaraf dışında farklı yöntemlerle yönetilmesi önem arz etmektedir.

İstanbul kıyılarında ıslak ağırlığı yıllık 5.000 tonu bulan miktarda deniz yosunu birikmektedir. Marmara Denizi'nde oluşan ve çeşitli sebeplerden ötürü koparak İstanbul kıyı alanlarında biriken makroalglerin miktarı özellikle yaz aylarında önemli artış göstermektedir. İSTAÇ A.Ş. tarafından toplanarak bertaraf edilen bu deniz yosunlarının gerek taşınmaları sırasında maliyet oluşturmaları, gerekse depo alanlarında sızıntı suyu oluşumunu ciddi seviyede artırmaları sebebiyle atık yönetimi hiyerarşisi kapsamında ele alınıp bertaraf dışında farklı yönetim modelleri ile yönetilmesi, makroalglerden ekonomik fayda sağlanarak maliyet azaltma açısından önem taşımaktadır.

Bu tez çalışmasının temel amacı, İstanbul kıyı alanlarında biriken makroalglerin efektif yönetim planını belirleyerek döngüsel ekonomi modeli çerçevesinde değerlendirmektir. Sıfır Atık Projesi'nin ülkemizde benimsenerek ciddiyetle uygulandığı bu süreçte, atık yönetim maliyetlerinin düşürülmesini ve ekonomik faydanın sağlanmasını hedefleyen bir sanayi ar-ge çalışmasının da eş zamanlı olarak yürütülmesiyle birlikte, atık makroalglerin hammadde olarak kullanımı döngüsel ekonomi kapsamında aşağıda verilen amaçlarla değerlendirilmiştir:

- Makroalglerin oluşum miktarını belirlemek,
- Etkin atık yönetimi ve makroalglerin faydalı ürüne dönüştürülebilirliğinin ön tespiti için mevsimsel karakterizasyon yapmak,
- Makroalglerin farklı biyoproseslerde kullanılabilirliğine engel teşkil edebilecek inhibe edici bileşen içeriğini tespit etmek,
- İstanbul'da gıda atıkları ile beslenerek işletilmeye başlanacak olan anaerobik çürütücüye makroalglerin eş zamanlı olarak beslenmesi sonucu üretilebilecek biyogaz potansiyelini belirlemek,

- Makroalglerden sıvı gübre üretmek,
- Farklı metotlarla üretilen sıvı yosun gübrelerinin etkinliğinin bitki büyümesi üzerinde incelenerek en uygun gübre üretim metodunu ve konsantrasyonunu belirlemek,
- Makroalglerden kompost üretmek,
- Biyoplastik üretiminde kullanılabilirliğini tespit etmek,
- Bir atık yönetim modeli içerisinde bütün olarak ele alınarak üretilebilecek faydalı ürün veya ürünlerin belirlenmesi sonucu, makroalglerin atık yerine hammadde olarak ele alınmasını sağlamak.

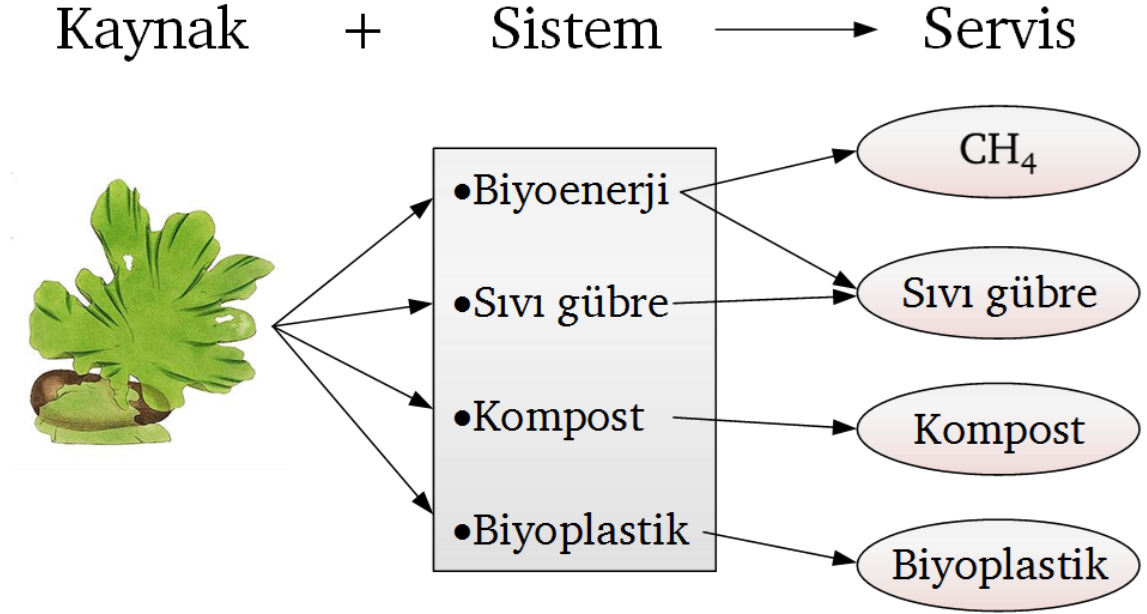
### 1.3 Hipotez

Basit yapılarına rağmen içerdikleri çok sayıda bileşenlerden ötürü farmasotik, biyoenerji üretimi, takviye edici gıda, gübre, agar ve karragenan üretimi gibi pek çok sektörde hammadde olarak veya gıda, hayvan yemi olarak direkt kullanılmaya elverişli olan makroalgler, son yıllarda ilgi odağı halindedir. Geniş bir yelpazede kullanılabilir olması, tüm dünyada doğal yollarla çoğalan yosunların daha fazla miktarda toplanmasına ve hatta özel olarak hasat edilmesine yol açmıştır.

Marmara Denizi'nde oluşup koparak İstanbul kıyılarında birikim gerçekleştiren deniz yosunları ise, kıyı temizlik birimlerince toplanarak bertaraf edilmektedir. Ancak yosunların bertaraf yerine geri kazanılarak farklı ürünlere dönüştürülebilirliği söz konusudur.

Bu tez kapsamında, İstanbul kıyılarında biriken bu deniz yosunlarının sürdürülebilir yönetimi ele alınmış olup, gıda dışı ürünler başta olmak üzere çok farklı alanlarda kullanılabilirliğinin söz konusu olduğu hipotezinden yola çıkılmıştır. Literatür taraması sonucu Marmara Denizi'nde oluşan ve kıyılarda biriken atık makroalglerin depolanması yerine, bu makroalglerin gübre, biyoenerji, biyoplastik gibi pek çok farklı ürün üretiminde hammadde olarak değerlendirilmesi söz konusudur. Tez kapsamında, makroalglerin kaynak olarak biyoenerji, gübre, kompost ve biyoplastik üretim sistemlerine beslenmesi ile üretilebilecek ürünler değerlendirilmiştir (Şekil 1.5). Üretilecek faydalı ürünlerin

ticari ölçeğe taşınarak atık makroalgler için ekonomik bir yönetim modelinin oluşturulabileceği hipotezi ile ilenilmiş ve bu hedefle üniversite-sanayi işbirliği ile yürütülecek bir projeye başvurulmuştur.



**Şekil 1.5** Tezde ele alınan kaynak-sistem-servis ağı

Bu tez çalışması, 5 ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde tezde yürütülen çalışmalar ve bu çalışmaların amaçları genel bir yaklaşımla ele alınmıştır. İkinci bölümde, literatür taranmış ve makroalgler, makroalglerin oluşum nedenleri, makroalglerden üretilebilecek faydalı ürünler hakkında daha önce yapılmış çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Çalışmalar sırasında yürütülen deneysel çalışmalar hakkında detaylı bilginin verildiği 3. bölüm olan Materyal Metot bölümünün ardından, 4. bölümde bu deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. 5. bölümde, bu bölüme kadar elde edilmiş sonuçlar özetlenerek toplu bir şekilde ele alınmıştır. Son bölüm olan 6. bölümde ise, makroalglerin etkin yönetimi için değerlendirilebilecek modeller ve bu yönetim modellerinde üretilebilecek ürünlerin miktarları değerlendirilmiştir.

Algler, fotosentez yapabilen, basit üreme sistemleri olan prokaryotik ya da ökaryotik ilkel bitkisel organizmalardır (Olgunoğlu, 2008). Oldukça basit organizmalar olan algler, ancak mikroskop altında gözlemlenebilen tek hücreli canlılardan, metrelerce uzunluğa erişebilen çok hücreli deniz yosunlarına kadar geniş bir yelpazeyi kapsar. Deniz, nehir, göl, toprak, kayalık bölgeler gibi farklı ortamlarda ve hatta bitki ve hayvanlarda ortak yaşar organizmalar olarak bulunabilmektedirler.

Algler, makroalgler ve mikroalgler olmak üzere ikiye ayrılır. Kıyı bölgelerde bulunan ve su yosunları olarak da bilinen makroalgler yeşil alg, kahverengi alg ve kırmızı alglerdir. Mikroalgler ise bentik ile kıyı bölgelerde ve okyanuslarda fitoplankton olarak yaşarlar (Kim, 2012).

Makroalgler, veya bir diğer deyişle deniz yosunları, kıyı bölgelerdeki kayalara veya taşlı zemine yapışarak yaşayan bitkimsi organizmalardır (Kılınç vd., 2013). Boyları 80 metreye kadar uzayabilen makroalglerin ortalama büyüme hızları; suda yaşamaları, türbülanslı difüzyon yapabilmeleri gibi sebeplerden ötürü karada yaşayan fotosentetik canlılarınkine kıyasla 2,5-4 kat fazladır (Show, 1981; Miyamoto, 1997; Ramirez, 2017). Önemli fotosentetik üreticiler olan makroalgler, özellikle deniz ve okyanus tabanlarında bulunarak oksijen üretiminde önemli rol oynar ve hayati üreticiler olarak hareket ederler. Besin zincirinde oynadıkları aktif rolün yanında, bulundukları ortamdaki su canlılarının üreme, barınma ve korunma yerleri olma görevini üstlenirler (Kim, 2012).

Makroalgler, yapılarında bulunan pigmentlerinin kendilerine verdikleri renklere göre kahverengi algler (*Phaeophyceae*), kırmızı algler (*Rhodophyceae*) ve yeşil algler (*Chlorophyceae*) olmak üzere üç gruba ayrılırlar. Bu üç gruba ait makroalglerin her birinin farklı biyokimyasal özellikleri vardır (Tablo 2.1).

## 2.1 Makroalglerin Biyolojik Özellikleri

Makroalglerin sınıflandırılması, renk, fotosentetik depo ürünlerinin kimyasal yapısı, fotosentetik membranlarının düzeni ve diğer morfolojik yapıları gibi çeşitli özelliklerine göre yapılır. 19. yüzyılın ortalarından beridir makroalglerin sınıflandırılması renklerine göre yapılır ve kahverengi, kırmızı ve yeşil olmak üzere 3 farklı grupta ele alınırlar (Kılınç vd., 2013).

### 2.1.1 Kırmızı Algler

Kırmızı algler (*Rhodophyceae*) yapılarında bulunan fikoeritin ve fikosiyanin pigmentlerinin, klorofil a, d,  $\beta$ - karoten ve ksantofillerin renklerini baskılamasından ötürü kırmızı renktedirler ve isimlerini bu renkten alırlar (Tablo 2.1). Hücre duvarlarında ticari değeri de bulunan selüloz, agar ve karragenan bulunur. Ayrıca birçok türü yiyecek olarak tüketildiğinden, birçok türü özel olarak yetiştirilmektedir ve bu ürünler çok büyük bir pazara sahiptir (Kim, 2012; Pereira ve Neto, 2014).

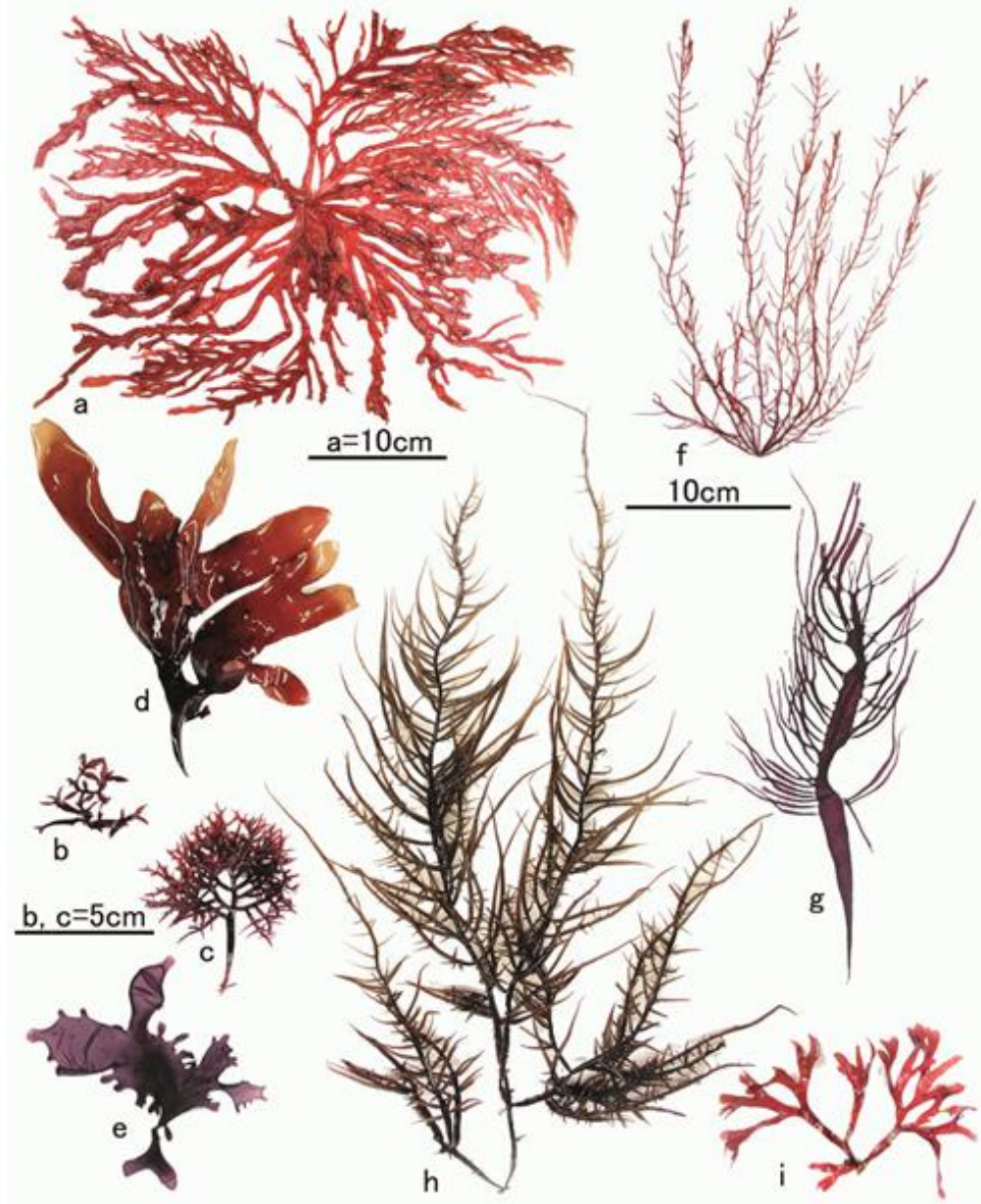
**Tablo 2.1** Alglerde bulunan temel pigmentler (Pereira ve Neto, 2014'ten uyarlanmıştır).

| Filum                                      | Klorofil | Karotenoid                                   | Ksantofil                    |
|--------------------------------------------|----------|----------------------------------------------|------------------------------|
| <i>Rhodophyta</i><br>(Kırmızı algler)      | a, d     | $\alpha$ -, $\beta$ - karoten                | Lutein                       |
| <i>Phaeophyceae</i><br>(Kahverengi algler) | a, c     | $\beta$ - karoten                            | Fukoksantin,<br>violaksantin |
| <i>Chlorophyta</i><br>(Yeşil algler)       | a, b     | $\alpha$ -, $\beta$ -, $\gamma$ -<br>karoten | Lutein,<br>Prasinoksantin    |

Büyük çoğunluğu denizde yaşayan yaklaşık 8.000 kırmızı alg türü vardır. Bu türler 40 m'den 250 m derinliğe kadar geniş bir yelpazede yaşayabilirler (Şekil 2.1). Kırmızı algler, diğer alg sınıfına kıyasla çok daha fazla miktarda önemli biyolojik aktif maddeye sahiptir.

Özellikle yoğurt, süt gibi gıda endüstrilerinde sıklıkla kullanılan bir ürün olan karragenan, genellikle bir kırmızı alg olan *Kappaphycus* ve *Betaphycus* türlerinden

elde edilmektedir. *Gracilaria*, *Gelidium*, *Pterocladia* gibi pek çok kırmızı alg türü ise, biyoteknoloji alanında yapılan laboratuvar çalışmalarında kullanılan agarın üretimi için çoğaltılır ve hasat edilir (Kim, 2012).



**Şekil 2.1** Kırmızı alglerden bazı türler olan (a) *Schmitzia japonica*, (b) *Chondracanthus intermedius*, (c) *Chondracanthus tenellus*, (d) *Chondrus giganteus*, (e) *Chondrus ocellatus*, (f) *Gloiosiphonia capillaris*, (g) *Grateloupia asiatica*, (h) *Grateloupia catenata*, (i) *Grateloupia chiangii*. (Kimbara vd., 2014)

### 2.1.2 Kahverengi Algler

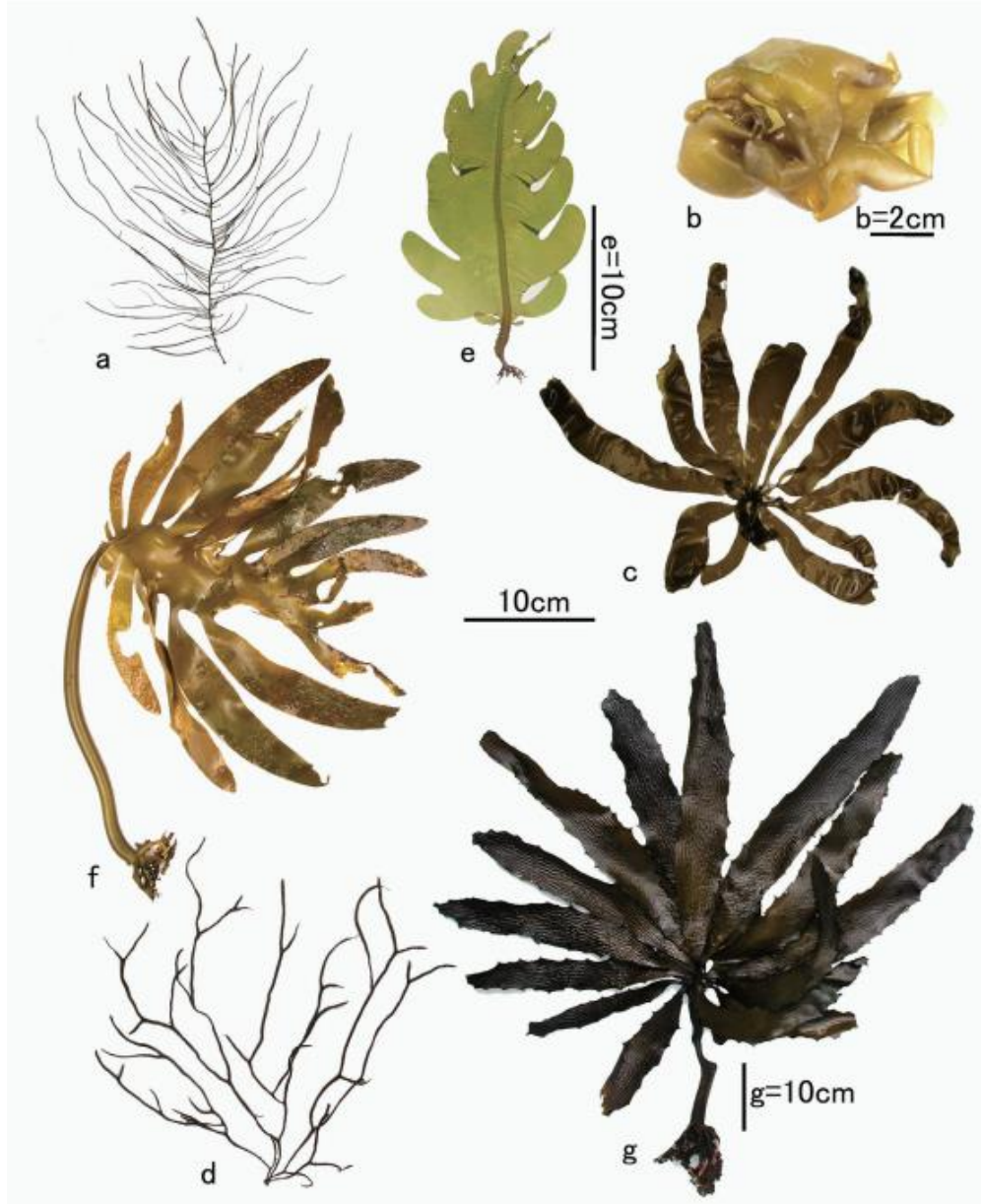
İsimlerini renklerinden alan kahverengi algler (*Phaeophyceae*), sarı-siyah renklerinde olan ve boyları metreleri bulabilen deniz yosunu türleridir. Yapılarında bulunan ksantofil pigmentlerinin ve fukoksantin; klorofil a, klorofil c,  $\beta$ -karoten rengini maskeleyerek sebebiyle bu rengi alırlar (Şekil 2.2, Tablo 2.1). Besinlerini kompleks polisakkarit, şeker ve yüksek alkoller olarak depolarlar. Boyları onlarca metreye ulaşabilir. Ürettikleri şekeri nişasta olarak depolamazlarken, çözünmeyen bir polimer olan ve çoğunlukla  $\beta$ -glukandan oluşan 'laminaran' olarak depolarlar. Hücre duvarlarını yüksek miktarda selüloz, aljinik asit ve uzun zincirli heteropolisakkaritler oluşturur. Bu kimyasallar, piyasa değeri yüksek olan kimyasallardır (Apostolidis ve Lee, 2012; Pereira ve Neto, 2014).

Kahverengi algler yeşil alglerin aksine, genellikle denizlerde yaşarlar. Kayalık kıyılarda yaşayan bu yosunlar, sucul bitki örtüsünün önemli bir bileşenidirler. Susuzluğa karşı oldukça dayanıklı olan bu türler, uygun koşullarda deniz altı ormanları oluşturabilirler. Bazı türleri, yapılarında bulunan ve radyasyon spektrumunun mavi kısmını kullanabilmelerini sağlayan fukoksantin pigmenti sayesinde, 100 metreden daha derin noktalarda bile yaşayabilirler.

Kahverengi algler, 250'den fazla cinse ve 1500'den fazla türe sahiptir. Sadece 5 cinsi tatlı sularda yaşarken, diğer türler deniz, okyanus, haliç ve acı sularda yaşarlar. Bazı kahverengi alg türleri, ana gövdelerinde bulunan hava keseleri sayesinde yüzebilirler. Bu sayede pek çok deniz canlısına yaşam alanı ve besin kaynağı olurlar.

Kahverengi algler, yapılarında bulunan yüksek fosfat sebebiyle yıllar boyunca gübre olarak kullanılmıştır. Üstelik iyot konsantrasyonları, denizdekenden 10.000 kat fazladır (Pereira ve Neto, 2014).

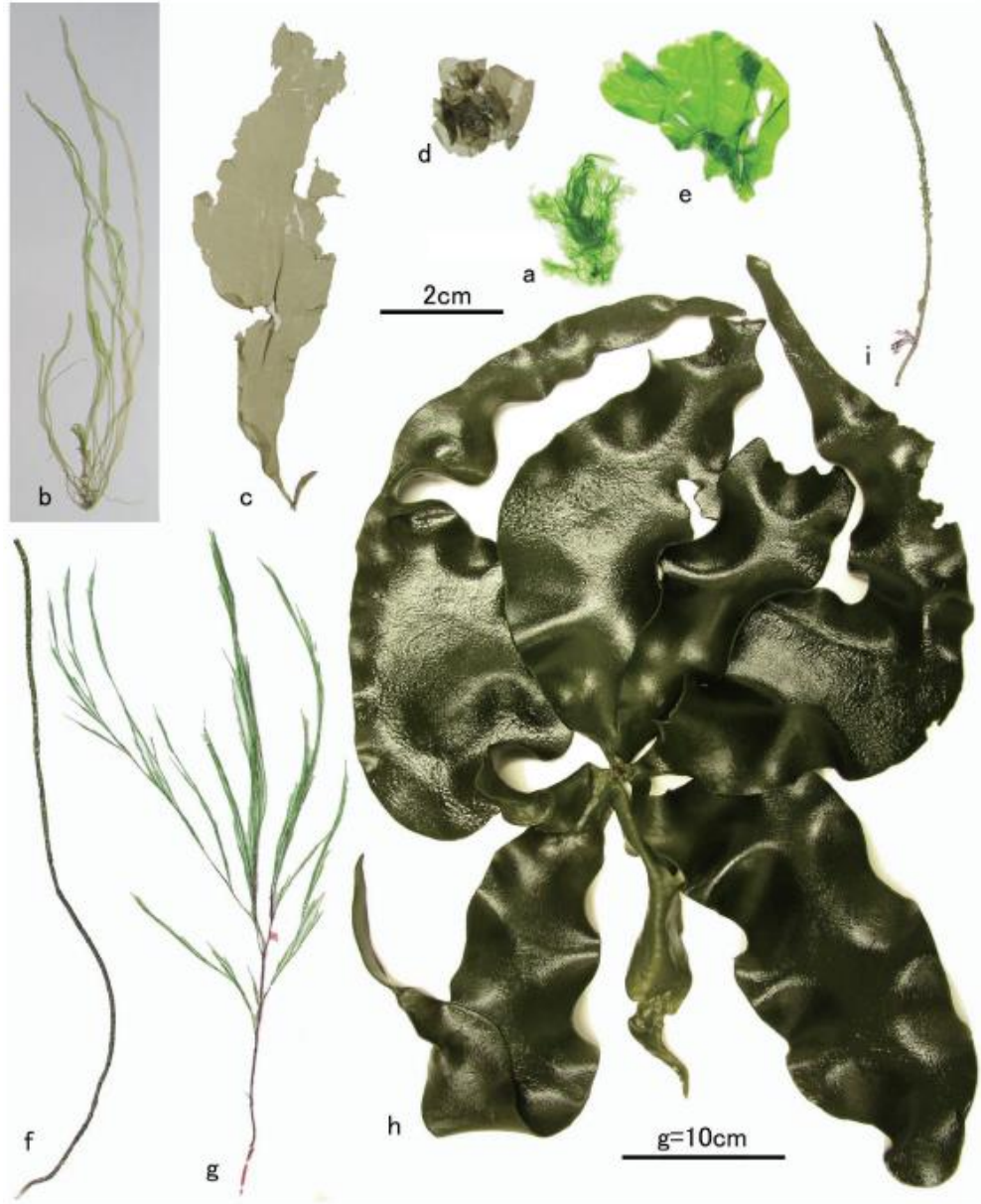
*Laminaria* gibi kahverengi alg türleri özellikle Asya'da deniz sebzesi olarak tüketildiğinden, özel olarak yetiştirilir ve hasat edilirler. *A. nodosum* ve *M. Pyrifera* gibi türler ise tekstil, kağıt, gıda ve süt ürünleri endüstrisinde yaygın olarak kullanılan ticari bir ürün olan fikokolloid alginat bakımından oldukça zengindirler ve bu sebeple önemli bir üretim ağı mevcuttur (Fleurence ve Levine, 2016).



**Şekil 2.2** Kahverengi alglerden bazı türler olan (a) *Papenfussiella kuromo*, (b) *Colpomenia sinuosa*, (c) *Petalonia binghamiae*, (d) *Cutleria cylindrical*, (e) *Undaria pinnatifida*, (f) *Ecklonia cava*, (g) *Eisenia arborea*. (Kimbara vd., 2014)

### 2.1.3 Yeşil Algler

Yeşil algler (*Chlorophyta*), tür sayısı ve çok soğuk bölgelerden simbiyotik yaşama kadar oldukça geniş bir habitata sahip olması bakımından dünyanın en çeşitli alg grubunu oluşturur (Taylor vd., 2009). Yapılarında bulunan klorofil a ve klorofil b sayesinde renkleri yeşildir ve görüntü olarak karasal bitkilere benzeyebilirler (Tablo 2.1, Şekil 2.3).



**Şekil 2.3** Yeşil alglerden bazı türler olan (a) *Ulothrix* sp., (b) *Enteromorpha compressa*, (c) *Enteromorpha linza*, (d) *Ulva conglobate*, (e) *Ulva pertusa*, (f) *Chaetomorpha spiralis*, (g) *Cladophora japonica*, (h) *Codium latum*, (i) *Bryopsis plumosa*. (Kimbara vd., 2014)

Gelişmiş canlılara benzer olarak, yapılarında  $\beta$ -karoten,  $\gamma$ -karoten ve yardımcı pigmentler olarak lutein, zeaksantin gibi birkaç sarımsı ve kahverengimsi renk veren pigmentler olan ksantofile sahiptirler (Barsanti ve Gualtieri, 2014; Fleurence ve Levine, 2016). Kloroplast içinde nişasta depolayabilirler. Bazı yeşil algler violaksantin, neoksantin, zeaksantin gibi pigmentleri de bulundurabilirler. Ayrıca,

özellikle *bryopsidales* takımının siphonein ve siphonoksantin pigmentleri içerdiği bilinmektedir (Hoek vd., 1995; Fleurence ve Levine, 2016).

*Chlorophyceae*, *Trebouxiophyceae*, *Bryopsidales* ve *Ulvophyceae* gibi 8 farklı sınıftan oluşan yeşil deniz yosunları bilinen 6000'in üzerinde türden oluşur. Ancak bunların sadece %10'u denizlerde yaşar. *Chlorophyceae* sınıfındaki yeşil algler, çoğunlukla tatlı su habitatlarında bulunur ve 6 sınıfı olan bu sınıfın yaklaşık 3330 türü bulunur. *Trebouxiophyceae* sınıfının, çoğunlukla karada veya tatlı sularda yaşayan beş sınıfı ve 700'den fazla taksonu vardır. Dünyanın birçok yerinde bulunabilen *Ulvophyceae* sınıfı ise İstanbul kıyılarında en sık görülen sınıflardandır. *Ulvophyceae*, deniz ürünü olarak tüketildiğinden özel olarak yetiştirilen türler bulundurulur (Fleurence ve Levine, 2016).

## 2.2 Makroalg Oluşumunu Etkileyen Faktörler

Makroalgler, gıda olarak tüketilebilmeleri ve farklı endüstrilerde doğrudan veya dolaylı yoldan hammadde olarak kullanıldıkları için, büyük bir pazara sahiptir. Bu sebeple doğada kendiliğinden oluşan makroalglerin toplanması veya makroalglerin özel olarak üretilerek hasat edilmesi durumu tüm dünyada oldukça yaygındır. Makroalglerin ticari amaçla toplanmasının yanı sıra, çevresel kirlilikten veya doğal döngüden kaynaklı makroalg patlamaları gözlemlenebilmektedir. İstanbul kıyılarında gözlemlenen makroalg birikimleri de, kendiliğinden oluşan ve istenmeyen makroalg oluşumlarından kaynaklı gerçekleştiğinden, makroalg üretiminin yanında, alg patlamalarına sebep olan faktörlerin de incelenmesi uygun bulunmuştur.

Gerek hasat edilmek istendiğinde, gerekse makroalg patlaması gibi istenmeyen döngüler gerçekleştiğinde, makroalglerin çoğalma koşullarının eğiliminin bilinmesi önem taşır. Fotosentetik canlılar olan makroalglerin çoğalmasındaki en temel faktörler ortama nütrient girişi, sıcaklık, bulanıklık, hidrografi, ışık, ışığın istikrarsızlığı ve alg büyümesi için uygun ortamı sağlayan gelgit hareketlerinin görüldüğü bölgenin genişliği olarak bilinir. Alg patlamalarının oluşumuna, kararlılığına ve etkinliğine sebep olan etmenler tam olarak açıklanamıyor olsalar da, bunların bazı belli fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörlere bağlı olduğu ve bu

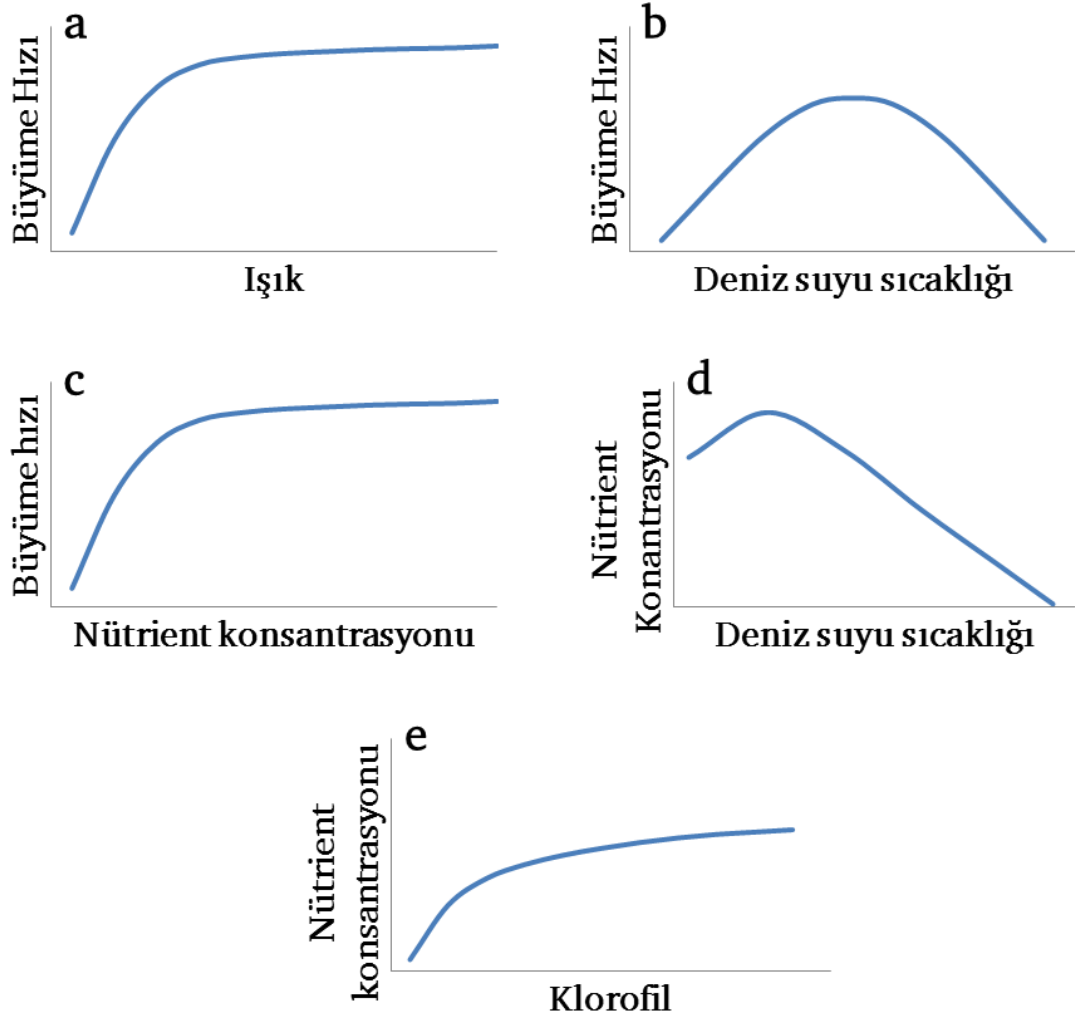
faktörlerin birbirleri ile etkileşim içinde oldukları bilinmektedir. Örneğin *Ulva sp.* ve *Enteromorpha sp.* gibi fırsatçı makroalgler gelgitin fazla olduğu veya bulanıklığın ışık yoğunluğunu sınırlandırdığı derinliklerde görülmezler. Bu sebeple haliçler gibi su hareketlerinin az olduğu bölgelerde alg patlamasını engellemek için, alg patlamasına sebep olabilecek diğer etmenlerin en aza indirilmesi gerekmektedir. Bu şartlar sağlandığında alg yoğunluğu, bahsedilen diğer fiziksel etmenlerin etkili olduğu belli bir sınıra kadar, nütrient konsantrasyonuna bağlı olacaktır (Wells vd., 2010).

Sudaki nütrient miktarının artışının temel nedeni genellikle insan kaynaklıdır. Sucul ortamların kirlenmesi sonucu yalnızca nütrient konsantrasyonunu artırmakla kalmaz, aynı zamanda içinde bulunan askıda katı madde, yüzey aktif madde ve bazen ağır metal veya pestisit gibi hidrokarbon asıllı kirletici unsurlar da ortamda görülür. Özellikle askıda katı madde, yüzey aktif madde gibi kirleticiler suyun bulanıklığını artırarak ışığın sudaki geçirgenliğini azaltır. Bu durum ise daha az ışıktaki yaşamaya elverişli olan kırmızı alg veya sığ sularda yaşamaya elverişli yeşil alg gibi spesifik alg türlerinin baskın gelmesine sebep olurken, bazı türlerinse yaşadıkları derinliklerin değişmesine sebep olur. Örneğin kahverengi alglerin yaşam derinliklerinin ve bu derinliklerde yaşayan tür ve çeşitlerin değişimi, o bölgeye deşarj yapıldığının bir göstergesidir. Işık geçirgenliğinin azalması yalnızca makroalg türlerini etkilemekle kalmaz, aynı zamanda deniz çayırlarının da fotosentezini engeller ve yaşamlarını tehdit eden bir unsur haline gelir. Işık geçirgenliğinin yanı sıra, alıcı su ortamına yapılan deşarjlar ortamdaki organik yükü de artıracığından, bölgedeki midye gibi süzerek beslenen canlıların ve makroalglerle beslenen otçulların sayılarının artmasına sebep olur. Süzerek beslenen canlılar ile makroalgler arasında yaşam alanı savaşı başlarken, otçullar da kahverengi algleri tüketir (Schramm ve Nienhuis, 1996).

Makroalgin büyümesine etki eden faktörler, yalnızca makroalg patlamalarının önlenmesi çalışmaları kapsamında kalmamıştır. Makro ve mikroalgler yiyecekten kozmetiğe, biyoplastik üretiminden enerji sektörüne kadar birçok alanda faydalı ürün olarak kullanıldığından, bunların özel olarak üretilmesi ve hasat edilmesi de yoğun ilgi görmektedir. Bu sebeple bu alglerin üretimini ve üretim verimini

artırabilmek için yapılan çalışmalar dünyanın birçok noktasında devam etmektedir. Örneğin Birleşik Devletler Enerji Bölümü makroalg çoğalmasının en uygun gerçekleşebileceği bölgeleri saptayabilmek ve bunu modelleyebilmek için çalışmalar yürütmüştür. Çalışmadaki amaç, makroalgin en verimli şekilde üretilebileceği bölgelerin saptanmasıdır. Yapılan çalışmalarda, makroalg büyümesini etkileyen faktörler modellenerek ele alınmıştır. Oluşturulan makroalg büyüme modeli zamana bağlı ve zamandan bağımsız birçok bileşenden oluşup, en temel üç faktör ışık ve şiddeti, deniz suyu sıcaklığı ve nütrient konsantrasyonu olarak belirlenmiştir. Tüm bu bileşenler ile makroalg büyümesi arasında karmaşık bir ilişki mevcuttur (Şekil 2.4).

Işık, güneşten gelen ışınların bulanıklık ve gölgeye bağlı bir fonksiyonu olup, makroalg büyümesini en çok etkileyen etmenlerden biridir. Sıcaklık da ışık gibi makroalglerin çoğalmalarını etkileyen başlıca faktörlerdendir. Makroalglerin büyümesinin deniz suyu sıcaklığından hem pozitif, hem negatif yönde etkilenebildiği görülmüştür (Roesijadi vd., 2011). Daha önce yapılmış çalışmalara göre makroalg büyümesi, su sıcaklığı 10 ile 16°C arasında iken optimum hızda, 5-10°C ile 16-21°C arasında iken yeteri miktarda çoğalabilmekte, 0-5°C ile 21-23°C arasında iken çoğalma verimi düşmekte, 23°C'nin üzerindeyken ise ortama adapte olamamaktadır (Bolton vd., 1982). Okyanus ve denizlerde görülen suyun yukarı yönde gerçekleşen akıntısı nütrient yoğunluğunu etkilemektedir. Su ortamındaki sıcaklık dikey yönde değişim gösteriyorsa, dikey yönde akış gerçekleşir. Gerçekleşen bu akış, dipte ve daha yüksek yoğunlukta bulunan nütrienti yüzeye taşır. Klorofil miktarı, nütrient konsantrasyonuna bağlı olarak değişim göstereceğinden dolayı, nütrient konsantrasyonunu sıcaklık ve klorofil miktarının takip edilmesi yoluyla izlemek mümkündür (Şekil 2.4d ve e).



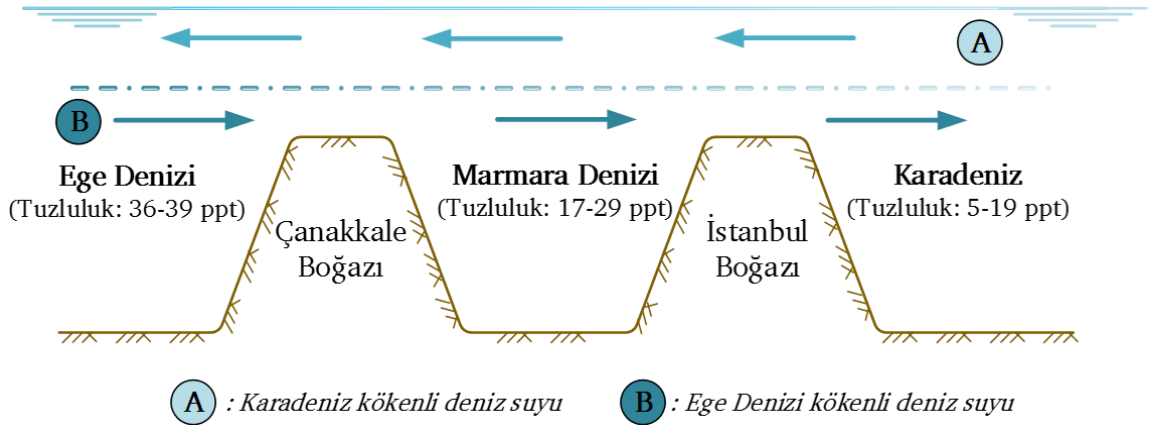
**Şekil 2.4** Makroalg büyümesi ile (a) ışık, (b) deniz suyu sıcaklığı, (c) nütrient yoğunluğu arasındaki ilişki. (d) Nütrient yoğunluğunun sıcaklığa göre; (e) klorofil miktarın nütrient yoğunluğuna göre değişimi.

### 2.2.1 Marmara Denizi Akıntı Hareketleri ve Makroalg Yönetimi

Marmara Denizi, Karadeniz ile Ege ve Akdeniz'i birbirine bağlayan bir iç denizdir. Karadeniz'e İstanbul'da, Ege'ye ise Çanakkale'de bulunan boğazlarla bağlanır. Yaklaşık olarak 240 km uzunluğu, 70 km genişliği vardır. Yüzölçümü 11.500 km<sup>2</sup>, en derin noktası ise -1390 m'dedir.

Normal deniz ve okyanuslarda akıntı dairesel iken, Marmara Denizi'nde bu akıntı daha çok doğu batı yönünde gerçekleşir. Bunun en temel nedeni, iki denizin birleşme noktasında olması ve ana akımın Karadeniz ve Ege Denizi arasında gerçekleşiyor olmasıdır. Akım iki deniz arasında gerçekleşiyor olsa da, Ege ve

Karadeniz’den gelen sular birbirlerine karışmazlar. Bunun nedeni, her iki denizden gelen suyun tuzluluk oranlarının ve dolayısıyla yoğunluklarının farklı olmasıdır. Karadeniz’den gelen akıntı, Marmara Denizi’ne İstanbul Boğazı üst akıntısı olarak katılmakta ve bölgeyi Çanakkale Boğazı’ndan yine üst akıntı olarak terk etmektedir. Ege’den gelen akıntı ise Çanakkale Boğazı’ndan alt akıntı olarak Marmara Denizi’ne katılmakta ve Marmara Denizi’ni İstanbul Boğazı’ndan alt akıntı olarak terk etmektedir. Dolayısıyla Marmara Denizi’nin oşinografik özellikleri, birbirine bağladığı iki deniz olan Ege Denizi ve Karadeniz’in kontrolü altındadır. Marmara Denizi’nde bulunan Karadeniz ve Ege Denizi kaynaklı sular yaklaşık olarak 25 m derinlikte yer alan keskin bir ara yüzey ile ayrılmışlardır (Beşiktepe vd., 2000). Karadeniz’den gelen suyun yoğunluğu daha az olduğundan, Marmara Denizi’nin üst yüzeyinden; Ege Denizi’nden gelen suyun yoğunluğu ise daha fazla olduğundan Marmara Denizi’nin alt kısmında hareket eder (Şekil 2.5).



**Şekil 2.5** Marmara Denizi’nde dikey kesitte akıntı şeması.

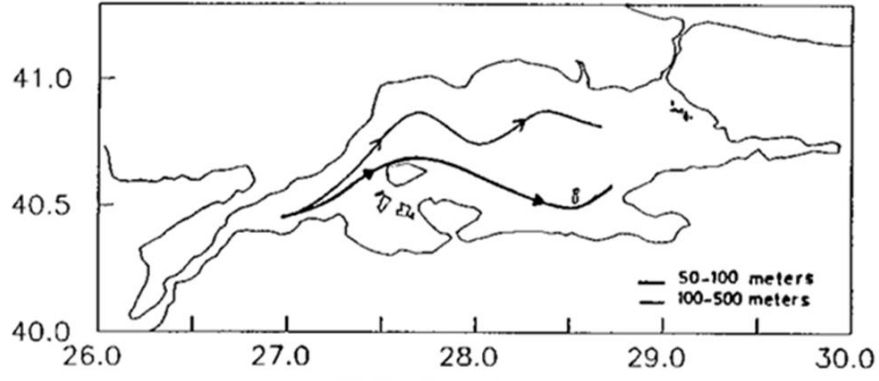
İstanbul Boğazı’nda yapılan çalışmalar boğazlardaki ve Marmara Denizi’ndeki su akıntı hızının, Karadeniz ve Ege Denizi’den gelen deniz sularının sıcaklık farkına göre değiştiğini ortaya koymuştur (Yüce, 1996). Çalışmaya göre su sıcaklık farkının en düşük olduğu ay olan Kasım ayında akıntı hızı maksimum düzeyde görülürken, sıcaklık farkı arttıkça akıntı hızının da azaldığı görülmüştür.

Marmara Denizi, Ege Denizi ve Karadeniz’e kıyasla oldukça küçük bir denizdir. Deniz dibi derinliklerinin de Marmara Denizi’nde görülen akımlar üzerinde oldukça önemli etkisi vardır. Marmara Denizi incelendiğinde, İstanbul Boğazı’nın güneyinde oldukça dar bir kıta sahanlığının olduğu ve bu sahanlığın doğu

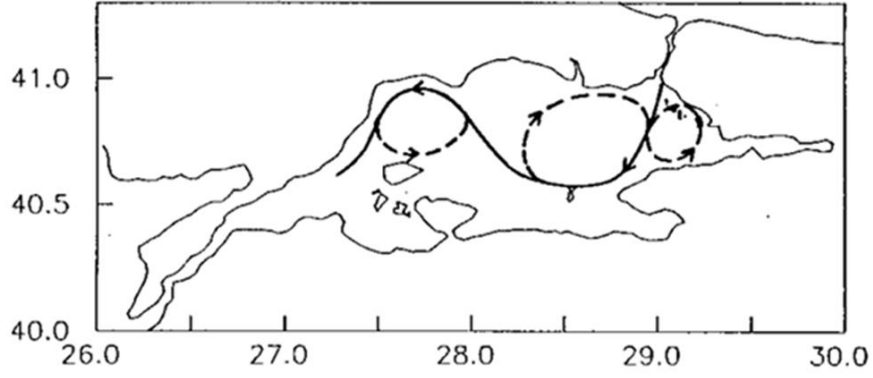
Marmara’da bulunan derinlikten ayrıldığı görülmektedir. Çanakkale Boğazı doğu yönünde genişleyerek Marmara Denizi’nin sıg güney kıta sahanlığına açılmaktadır. Bu kıta sahanlığı, güney kesimde bir kanal ile doğuya uzanmakta, buradan da taban eğimi ile birleşerek Batı Marmara derin çukuruna bir kanyon şeklinde ulaşmaktadır (Beşiktepe vd., 2000).

Bugüne kadar yapılmış akıntı ölçümleri, Marmara Denizi yüzey sularının dolaşımının havza boyutlarında ve saat yönünde bir döngüden oluştuğunu göstermiştir. İstanbul Boğazı’ndan Marmara Denizi’ne giren bir yüzey akıntısı, bu akımın kuvvetli olduğu ve rüzgar etkilerinin az olduğu durumda güneye doğru ilerlemektedir (Beşiktepe vd., 2000). Bu güçlü akım, güneyde Bozburun yarımadasına çarparak batıya dönmektedir (Özsoy vd., 2000). Marmara Denizi akıntı sistemi, Karadeniz ve Ege Denizi sıcaklıklarının ve sıcaklık farklarının mevsimsel olarak değişim göstermelerinden dolayı, mevsimsel olarak değişmektedir.

Yapılan çalışmalar göz önüne alındığında, Marmara Denizi’nde görülen alt ve üst akım şemaları Şekil 2.6’daki gibi olacaktır. Şekil incelendiğinde, alt akıntı sisteminin Çanakkale Boğazı’ndan gelerek Çanakkale Boğazının uzantısı olan deniz altı kanyonunu takip ettiği ve havzanın batısındaki çukura ulaştığı görülür. Daha sonra doğuya doğru havzanın derinliklerinde bir akıntı oluşturur. Ancak yaz aylarında sıcaklığın ve yoğunluğun değişmesiyle, Ege Denizi’nden gelen suların bir bölümü doğuya dönerek farklı bir yol izler ve havzanın güney kısmını etkiler.



(a) Alt akıntı sistemi



(b) Üst akıntı sistemi

**Şekil 2.6** Marmara Denizi alt ve üst akıntıları (Beşiktepe vd., 2000).

Marmara Denizi yüzey sularının dolaşımı incelenecek olursa, Şekil 2.6-b'de de gösterildiği gibi, İstanbul Boğazı'ndan gelen suyun havza içerisinde saat yönünde bir dolaşım oluşturduğu görülür. Karadeniz'den gelen akıntı ilk olarak güney yönünde hareket etmekte ve ardından batı yönüne saparak saat yönünde bir akım oluşturur. Bu genel yapı rüzgarın ve/veya Karadeniz'den gelen su miktarının oynamasıyla değişebilir.

Marmara Denizi'ndeki fauna ele alınırken, Marmara Denizi üzerindeki su hareketi de bu akım şemaları göz önünde bulundurularak değerlendirilmelidir. Marmara Denizi'nin yüzeyinde bulunan Karadeniz'den gelen su kütlesi, normal şartlar altında, dalga hareketleri, akıntının yarattığı karışım ve atmosfer ile olan direkt madde alış-verişi sonucunda, canlıların rahatlıkla yaşayabilmelerini, yumurtlama, gelişme, beslenme gibi fizyolojik gereksinimlerini karşılamaya yetecek kadar yani 5 mg/l veya daha üzerindeki miktarlarda suda çözünmüş oksijene sahiptir. Bu nedenle, üst su kütlesinin biyolojik verimi oldukça yüksektir. Buna karşın, Ege

Denizi'nden gelen ve atmosfer ile iletişimi kısıtlanan Marmara dip su kütlesi, canlıların normal yaşamlarını sürdürebilmeleri için gerekli suda çözünmüş oksijeni atmosferden alamamaktadır. Bu nedenle dipte kalan su kütesinin oksijen içeriği, normal yaşam koşulları için gerekli miktarın çok altında, 2 mg/l dolayında kalmaktadır. Üst su tabakalarının su sıcaklıkları, mevsimsel atmosferik koşullara bağlı olarak 6-25°C arasında periyodik değişimler gösterirken, alt su kütesinin sıcaklığı bütün yıl boyunca ortalama 14,2°C dolayında kalmaktadır. Tuzluluk açısından da aynı şey söylenebilir. Yüzey suları Karadeniz'e dökülen nehirlerin getirdiği veya bölgeye düşen yağışların miktarına bağlı olarak yüzde 1,8-2,5 tuzlulukta olabilirken, alt su kütesinin tuzluluğu ortalama yüzde 3,8 dolayında bir kararlılık göstermektedir. Bu iki düşey doğrultudaki denizin farklılıkları yalnızca bu üç faktör ile sınırlı değildir. Ancak bunlar dahi, Marmara'nın ekolojisinin ne kadar karmaşık bir yapıya sahip olduğunu göstermeye yetecek niteliktedir (Artüz, 2011).

Bu sebeple, Marmara Denizi bentik alg açısından oldukça zengindir. Küçük bir deniz olmasına rağmen, Marmara Denizi'nde 15 tür mavi-yeşil alg (*Cyanophyceae*), 105 tür kahverengi makroalg (*Phaeophyceae*), 225 tür kırmızı makroalg (*Rhodophyta*), 70 tür yeşil alg bulunur (Taşkın vd., 2008). Bunlardan bazıları *Ceratium sp.*, *Gonyaulax sp.*, *Noctiluca miliaris*, *Prorocentrum micans*, *Chaetoceros sp.*, *Coscinodiscus sp.*, *Leptocylindrus danicus*, *Rhizosolenia sp.*, *Thalassionema sp.*, *Favella ehrenbergi* olarak sıralanabilir. Ülkemiz kıyılarında bugüne kadar tespit edilmiş toplamda 709 türün 419'u Marmara Denizi'nde de tespit edilmiştir (Artüz vd., 2007).

Marmara Denizi'nin, alg oluşumu için oldukça uygun olan bu yapısı, özellikle yaz mevsimlerinde ciddi miktarda yosun oluşumuna yatak hazırlar. Oluşan bu deniz yosunları, belli bir süre sonra akıntı veya deniz canlılarının hareketleri sebebiyle koparak denizin üst akıntısına kapılırlar. Bu akıntı, Şekil 2.6-b'de de gösterildiği gibi özellikle İstanbul'un güney kıyılarına vurmaktadır. Bu durum, üst yüzeye çıkan deniz yosunlarının İstanbul'un kıyılarına vurmasına ve bu kıyılarda birikimine sebep olmaktadır.

### 2.2.2 İstanbul Kıyı Alanlarında Makroalg Oluşumu ve Miktarı

Karadeniz'den gelen deniz sularının Marmara Denizi ile kavuşumunun sağlandığı noktada bulunan İstanbul'un kıyı bölgelerinde, özellikle yaz aylarında güneş ışınlarının yoğunluğunun da artması sebebiyle yüksek miktarda makroalg birikimi gözlemlenmektedir. Oluşan bu makroalgler, İstanbul'un kıyı sathı temizliği ile ilgilenen ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin bir iştiraki olan İSTAÇ A.Ş. tarafından günlük olarak takip edilmekte ve düzenli olarak toplanmaktadır. Tez kapsamında yapılacak çalışmalar öncesinde, oluşan makroalglerin birikim noktaları ve oluşum miktarları incelenmiştir.

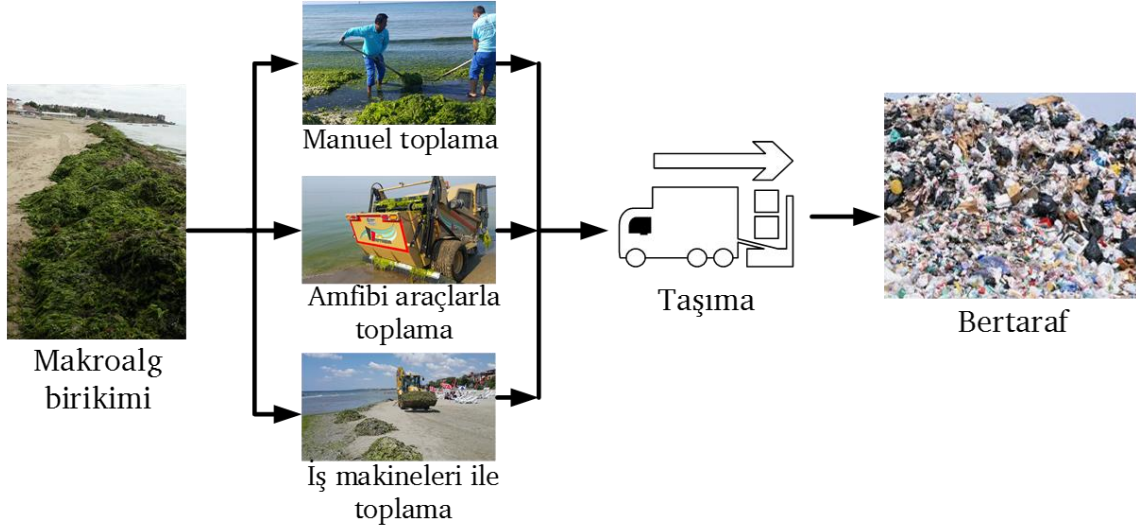
Marmara Denizi'nde oluşarak İstanbul kıyılarında biriken deniz yosunları, özellikle yaz aylarında ciddi mertebelere ulaşır. Şekil 2.7'de, Silivri'de yaz aylarında gerçekleşen alg birikimine ve bu alglerin toplanma çalışmalarına ait fotoğraflar verilmiştir.



**Şekil 2.7** İstanbul kıyılarında biriken makroalgler ve toplanma çalışmaları

Kıyılarda biriken deniz yosunları İSTAÇ A.Ş. Deniz Hizmetleri Müdürlüğü bünyesinde yürütülen atık deniz yosunlarının yönetimi ve kıyı temizliği çalışmaları kapsamında, İstanbul Büyükşehir Belediyesine bağlı 647 km'lik kıyı sathında (Ayat vd., 2007) 500 kişilik personel ile toplama, taşıma ve bertaraf operasyonları şeklinde sürdürülmektedir (Şekil 2.8). Makroalglerin toplanması, birikimin

yoğunluğuna ve kıyıdan uzaklığına bağlı olarak manuel veya amfibi araçlarla gerçekleştirilebilmektedir. Ancak özellikle yaz aylarında makroalg oluşumu hızlandığından, makroalglerin toplanması iş makineleri ile de gerçekleştirilebilmektedir.



**Şekil 2.8** Kıyılarda biriken makroalglerin bertaraf yönetimi

İstanbul kıyılarından toplanan bu makroalgler, çok hızlı bozundukları için toplandıktan hemen sonra düzenli depo sahalarına gönderilerek bertaraf edilmektedir. Bertaraf edilen bu makroalgler, kütlelerinin yaklaşık 1,1 katı kadar hacmi doldururlar. Örneğin 3.000 ton makroalg, yaklaşık 3.300 m<sup>3</sup>'lük hacme tekabül etmektedir. Üstelik hücre yapısında bulunan su muhtevasının yüksek olması (yaklaşık %90) sebebiyle, sızıntı suyu oluşumuna ciddi katkı sağlarlar.

Ancak makroalglerin faydalı ürün olarak kullanılması üzerine dünyada birçok çalışma yapılmış ve yapılmaktadır. Bu sayede hem makroalglerin depolanması için harcanan maliyet azalacak, hem de sürdürülebilir bir atık yönetimi uygulanabilecektir.

Marmara Denizi'nin tabanında ve yüzeyinde bulunan su kütlelerinde, güneş ışınlarının yoğunluğunun da artması sebebiyle özellikle yaz aylarında daha yoğun makroalg oluşumu gerçekleşir. Bazen deniz yüzeyinde oluşabilen veya deniz tabanında oluşarak denizin gelgit hareketleri, rüzgar gibi doğal yollarla koparak deniz yüzeyine çıkan makroalgler, büyük kütleler halinde dalgalarla birlikte kıyılara vururlar.

Marmara Denizi'nde oluşan makroalglerin sürüklenmesinde etkin rol oynayan akıntı, Şekil 2.6-b'de gösterilen üst yüzey akıntısıdır. Karadeniz'den gelen üst yüzey akıntısı, yosunların belli noktalarda birikmelerine sebep olur. Ancak yapılan tez çalışmasında, yalnızca İstanbul kıyıları baz alındığından, bu üst akıntının hareketlerinin İstanbul baz alınarak yeniden incelenmesi gerekmektedir. Akıntının İstanbul merkez alınarak gösterimi, Şekil 2.9'da verilmiştir.



**Şekil 2.9** Marmara Denizi üst akıntısı ve İstanbul kıyıları ve en sık birikimin gözlemlendiği noktalar

Şekil 2.9 incelendiğinde, Marmara Denizi'nde oluşan ve koparak akıntıya kapılan makroalglerin Avrupa yakasında en çok Silivri ve Büyükçekmece, Anadolu yakasında ise en çok Prens Adaları ve Maltepe kıyılarında biriktiği görülmektedir. Bu noktalar harita üzerinde kırmızı ile işaretlenmiştir. İstanbul'un kıyı sathı temizliği ile ilgilenen ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin bir iştiraki olan İSTAÇ A.Ş. tarafından düzenli olarak toplanan bu makroalglerin, yıllara ve bölgelere göre birikimleri incelendiğinde, alg birikiminin gözlemlendiği noktaların başında Büyükçekmece, Silivri ve Kadıköy olduğu görülür (Bkz: Ek 1).

Makroalglerin tür çeşitliliği ve miktarı, mevsimsel olarak değişim göstermektedir. Yaz aylarında sıcaklık değişimi başta olmak üzere nüfus artışı, güneş ışığının yoğunluğunun artması gibi sebepler, makroalglerin daha yoğun oluşumuna etki etmektedir. Bu değişim göz önüne alındığında, makroalglerden üretilecek olan

ürünün verimi ve kalitesi de değişkenlik gösterebilecektir. Bu durumun incelenmesi için, türlerin mevsimsel değişiminin ele alınması önem arz etmektedir.

## **2.3 Makroalglerin Faydalı Kullanım Alanları**

Deniz yosunları, dünyanın pek çok yerinde yüzyıllardır yiyecek veya gıda dışı ürün olarak değerlendirilmektedir. Çin, Kore ve Japonya gibi Uzakdoğu ülkelerinde deniz yosunları 2000 yılı aşkın bir süredir gıda olarak kullanılmaktadır. Batıdaki ülkelerde ise deniz yosunları geçmişte daha çok gıda dışı uygulamalarda kullanılmıştır. Örneğin Yunanistan'da M.Ö. 100 gibi eski tarihlerde deniz yosunlarının hayvan yemi olarak, Akdeniz ülkelerinde tıbbi amaçlı, İrlanda ve İskoçya'da ise çiftçiler tarafından toplanarak toprak iyileştirici olarak değerlendirildiği bilinmektedir (Tiwari ve Troy, 2015).

Tüm dünyada 33'ü yeşil alg, 75'i kahverengi alg ve 163'ü kırmızı algden ve diğerleri mavi-yeşil alglerden olmak üzere toplamda en az 291 alg türü çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır (McHugh, 2003). 1995 yılından sonra deniz yosunu üretim ve tüketiminde sürekli ve önemli bir artış gerçekleşmiştir. 1995 yılında yaklaşık 7,5 milyon ton olan yosun tüketimi, 2012 yılında bu değerin yaklaşık 3 katına çıkarak 21 milyon tona ulaşmıştır. Bu artış, deniz yosunlarının özel olarak yetiştirilmesine talebi de artırmıştır. 2012 yılına ait veriler incelendiğinde, tüketilen 21 milyon ton deniz yosununun 800.000 tonu kendiliğinden oluşan makroalglerden, kalan kısmın ise özel olarak yetiştirilen makroalglerden oluştuğu görülür. Yine 2012 yılında, tüm dünyada deniz yosunu üretiminin değeri, 10,1-16,1 milyar \$ olduğu tahmin edilmektedir (Tiwari ve Troy, 2015).

Makroalgler, basit yapılarına rağmen içerdikleri çok sayıda bileşenlerden ötürü farmasotik, biyoenerji üretimi, takviye edici gıda, agar ve karragenan üretimi gibi pek çok sektörde hammadde olarak veya gıda, hayvan yemi, gübre olarak direkt kullanılmaya elverişlidir (Khalil vd., 2017; Ghadiryanfar vd., 2016; Chin vd., 2020; Bikker vd., 2016; Zhou vd., 2019).

### **2.3.1 Gıda Endüstrisi**

Deniz yosunları, insan ve hayvanların doğrudan tüketimi için uygun olan ve sıklıkla kullanılan çok yönlü bir üründür. Halihazırda binlerce yıl önceden beridir özellikle

Çin, Kore yarımadası ve Japonya'nın bulunduğu bölgelerde gıda olarak, işlenmeden tüketilmektedirler. Ancak 2. Dünya Savaşı'nın ardından dünya nüfusunun da artmasıyla birlikte alternatif gıda arayışları ortaya çıkmış ve bu noktada makroalglerin gıda olarak kullanımı tüm dünyada önem kazanmıştır. Günümüzde en çok Uzakdoğu ülkelerinde bu amaçla tüketiliyor olsalar da, Güney Afrika, İngiltere, İrlanda, Amerika gibi ülkelerde de taze, kurutulmuş veya işlenmiş biçimde tüketimleri söz konusudur (Kılınç vd., 2013).

Yiyecek amaçlı kullanılan gıda türlerinin başında *Laminaria japonica*, *Undaria pinnatifida*, *Porphyra* ve *Sachharina* türleri gelir. Protein açısından oldukça zengin olan bu türler ayrıca önemli miktarda A, B1, B2, B6, B12, C vitaminleri ile niasin ve folik asit içerir (Gora vd., 2017; McHugh, 2002). İçerdikleri yüksek protein, polisakkarit, mineral, vitamin ve enzimler ile düşük yağ sebebiyle 21. yüzyılın süper gıdası olarak görülürler (McHugh ve Sinrod, 2018). Çünkü deniz suyunda bulunan mineralleri konsantre olarak yapılarında bulundurlar ve karasal bitkilere kıyasla 10-20 kat daha fazla mineral içermektedirler (Makkar vd., 2016).

Makroalgler, gıda amaçlı işlenmeden tüketilebildiği gibi, işlenerek gıda yan ürününe dönüştürülebilmektedir. Örneğin kahverengi algin hücre yapısında bulunan alginat ekstrakte edilerek dondurma, şekerleme gibi pek çok işlenmiş üründe kıvam artırıcı madde olarak kullanılabilir. Verilebilecek bir diğer örnek ise kırmızı alglerin yapısında bulunan agar ve karragenandır. Hidrokolloid olarak da isimlendirilen bu maddeler de doğal bir bitkisel jelatin özelliği taşıdığından, birçok gıdada kullanılmaktadır (McHugh, 2002). Yıllık 55.000 ton hidrokolloid üretimi için 1 milyon ıslak ton makroalg kullanılan bu pazarın değeri, 600 milyon doları bulmaktadır (McHugh, 2003, Kılınç vd., 2013).

Makroalgler, daha önce de bahsedilen zengin içeriklerinden dolayı hayvancılık için de değerli bir alternatif yemdir. Yapılan çalışmalarda deniz yosunları ile beslenen hayvanlarda et ve süt gibi ürünlerin verimliliğinde ve kalitesinde artış gözlemlendiği, üstelik bu hayvanların bağışıklık sistemlerinin güçlendiği not edilmiştir (Abudabos vd., 2013; Wang vd., 2013; Gahan vd., 2009; McDonnell vd., 2010; Makkar vd., 2016).

### 2.3.2 Farmasotik ve Kozmetik Endüstrisi

Konu hakkında yapılan akademik ve ticari çalışmaların da artmasıyla birlikte yaklaşık son 50 yılda makroalglerin yapısında bulunan kimyasallar keşfedilmeye başlanmış ve bu sayede alglerin gıda endüstrisi dışında kullanımı büyük ölçüde artmıştır (Ireland vd., 1993; Mayer ve Lehmann, 2000; Smit, 2004). Makroalgler, tüm deniz canlıları arasında gıda ve biyoaktif madde üretiminde en çok kullanılan üründür (Wijesekara vd., 2012). Bunun temel sebebi, maruz kaldıkları ekstrem koşullara adaptasyonları için ürettikleri yeni, ilginç ve dayanıklı bileşikleridir (Stengel ve Connan, 2015; Cikos vd., 2019).

Deniz yosunları çok eski zamanlardan beridir yapısında bulunan fukoidan sebebiyle ağrı kesici olarak kullanılmaktadır. Kurutulmuş deniz yosunlarının çeşitli yağ ve kremlerle karıştırılması ile hazırlanan kremler, eklem ağrılarının ve şişliklerinin giderilmesinde ve yaraları iyileştirmede kullanılmaktadır (Cikos vd., 2019).

Yeni ilaç arayışlarının sürdüğü günümüz dünyasında ise, alglerden ekstrakte edilerek kullanılan pek çok ilaç ve tıbbi gıda ürünleri bulunmaktadır. Özellikle kahverengi algler, yapılarında yüksek miktarda bulunan floroglusinol bazlı bir polifenol olan florotanin sebebiyle ilaç üretiminde en sık kullanılan makroalglerdir. Yapılan çalışmalarda bu kimyasalın antioksidan, ağrı kesici, anti-HİV, antikanser, bakteri öldürücü gibi pek çok tedavi edici özelliği bulunduğu belirtilmiştir (Thomas ve Kim, 2011; Nagayama vd., 2002; Shibata vd., 2007). Öte yandan, farklı makroalglerin ekstraktlarının anti-koagülan ve anti-leyşmanyal (bir tür parazit önleyici) özellikleri üzerine yapılmış çalışmalar da mevcuttur (Adrien vd., 2017; Bruno de Sousa vd. 2018; Cikos vd., 2019).

İçerdikleri yüksek protein, polisakkarit, polifenol ve farklı pigmentler, makroalglerin kozmetik sanayiinde de popüler bir hammadde haline getirmiştir. Şifalı etkisi, makroalg ekstraktlarının stabilizatör ve emülgatör olarak kullanımını sağlar (Agatonovic-Kustrin ve Morton, 2013). Makroalgler kozmetik sanayiinde güneş kremi, yaşlanma karşıtı krem, selülit karşıtı krem, nemlendirici krem, cilt beyazlatıcı krem gibi pek çok farklı ürünün üretiminde kullanılmaktadır (Bedoux vd., 2014; Wijesinghe ve Jeon 2011; Chan vd., 2011; Cikos vd., 2019).

### 2.3.3 Biyoenerji/Biyometan Üretimi

Makroalgler, yapılarında bulundurdıkları yüksek karbon ve düşük yağ içerikleri sebebiyle, biyoenerji üretiminde sıklıkla kullanılan bir hammadde haline gelmiştir. İlk olarak 2. Dünya Savaşı'nda ordunun ihtiyacını karşılamak üzere aseton üretiminde kullanılan makroalgler (Neushul vd., 1989), daha sonrasında biyogaz, biyoetanol gibi farklı biyoenerji üretim proseslerinde de kullanılmaya başlanmıştır. Makroalglerin yakma, gazifikasyon gibi termal proseslerde kullanılması üzerine yürütülmüş çalışmalar olmasına karşın (Duman vd., 2014; Choi vd., 2014), nem içeriklerinin çok yüksek olmasından ötürü bu proseslerde ekonomik fizibilitenin sağlanmadığı belirtilmektedir (Tabassum, 2016).

Biyometan üretiminin gerçekleştiği anaerobik çürütme prosesi, karışık mikrobiyal türlerin birlikte çalışması sonucu kompleks bir metabolik yolun izlenmesi ile gerçekleşir. Hidroliz olarak isimlendirilen ilk adımda kompleks organik moleküller daha basit moleküllere dönüşür. İkinci adımda (asitojenesis), karışık kültür içindeki asidojenik mikroorganizmalar, basit organik molekülleri gaz ( $H_2$  ve  $CO_2$  gibi) ve çözünmüş (UYA ve alkol gibi) formdaki metabolik ürünlere dönüştürürler. Üçüncü adımda, asitojenesis fazında üretilmiş olan ürünler asetojen mikroorganizmalar tarafından asetik asit ve hidrojene dönüştürülür (asetojenesis). Son adım olan metanojenesis fazında ise metanojenik mikroorganizmalar, daha önceki adımlarda üretilmiş olan  $CO_2$  ve  $H_2$ 'yi kullanarak metan üretimini gerçekleştirirler. Çoklu adımlardan oluşan bu proseste, sınırlayıcı adımlar söz konusu olabilir. Örneğin asitojen fazında ani ve yüksek miktarda UYA üretimi, ani pH düşüşüne sebep olacağından metanojen fazı durdurabilir. Bu koşulda metanojen faz, hız sınırlandırıcı adım olur. Veya kompleks yapıdaki substratların çürütülmesi sırasında, hidroliz aşaması hız limitleyici adım haline dönüşebilir. Bu sebeple sürekli ve hızlı biyogaz üretiminin gerçekleştirilebilmesi için işletme parametrelerinin optimizasyonun yapılması önem taşır. Farklı substrat kaynaklarının besleneceği sistemlerde en temel işletme parametreleri hidrolik bekletme süresi (HRT), organik yük (OLR veya  $S/X$ ) olduğundan, bu parametrelerin ön çalışmalar ile belirlenmesi önem taşır (Tabassum, 2016).

Makroalglerin anaerobik çürütülmesi, sistemin kolay işletilebilirliği ve nihai ürününün kolay ticarileştirilebilirliği açısından dikkat çekmektedir (Bruton vd., 2009). Yüksek organik madde içerikleri ve düşük lignin içerikleri, makroalgleri tercih sırasında tarımsal atıklar gibi daha kompleks yapıdaki atıkların önüne geçirir. Bu sebeple, deniz yosunlarından biyogaz eldesi üzerine yapılan çalışmalar son yıllarda artmıştır (Tedesco vd. 2013, McKennedy ve Sherlock, 2015; Zhang vd., 2017). Yapılan kesikli çalışmalarda genellikle, spesifik makroalg türleri kullanılmış olup, karışık alg türleriyle yapılmış çalışmalar sınırlıdır. Farklı makroalg türleri ile yürütülen Biyolojik Metan Potansiyeli (BMP) çalışmalarında, metan verimlerinin 80-500 mL CH<sub>4</sub>/g UKM arasında değişkenlik gösterdiği görülmüştür (McKennedy ve Sherlock, 2015; Debowski vd., 2015). *Ulva intestinalis* türünden 134 mL CH<sub>4</sub>/g UKM (Sabunas vd., 2017), *Ulva Lactuca* türünden 128-271 mL CH<sub>4</sub>/g UKM arasında (Allen vd., 2013; Allen vd., 2014), *Pelvetia canaliculata* türünden 283 mL CH<sub>4</sub>/g UKM (Rodriguez vd., 2018), *Saccharina latissimi* türünden ise 220 mL CH<sub>4</sub>/g UKM (Ometto vd., 2017) verim elde edildiği belirtilmiştir. Makroalglerin farklı organik atıklarla karıştırılarak çürütülmesi de söz konusudur (Vivekanand vd., 2012; Yörüklü vd., 2018). Bu sebeple ani makroalg patlamaları sonucu oluşan makroalglerin, halihazırda farklı atıklarla beslenen çürütücülere beslenmeleri de mümkündür.

#### **2.3.4 Gübre Üretimi**

Sürekli artan nüfus ile birlikte tarımsal ürünlere olan ihtiyaç da katlanarak artmaktadır. Bununla birlikte kaliteli ve hızlı ürün eldesini sağlayacak gübre ihtiyacı ve arayışları devam etmektedir. Kimyasal gübrelerin dezavantajlarının daha belirgin hale gelmesi ve üretim potansiyelinin kaynaklarla sınırlı olması, pazarın organik gübrelere kaymasına yol açmıştır. Organik gübre talebinin karşılanabilmesi için dikkat çeken seçeneklerden birisi ise deniz yosunlarıdır (Ruban ve Govindasamy, 2018).

Makroalglerin gübre olarak kullanılması yüzyıllardır bilinen ve kullanılan bir yöntemdir. Şimdiye kadar daha çok Uzakdoğu ülkelerinde kullanılsa da, makroalglerin bitki verimliliğini önemli ölçüde artırdığının öğrenilmesi ile birlikte tüm dünyada kullanılan bir metot haline gelmiştir. Makroalglerin nütrient, eser

element, organik bileşik içeriği açısından zengin oluşları ve doğal antibiyotik içerikleri, tarımda sıvı gübre olarak veya kompostlaştırılarak kullanımını destekler. Yosundan elde edilmiş bu ürünlerin çimlenme ve kök gelişimini tetiklemesi ve bitki dayanıklılığını artırması gibi pozitif etkileri olduğu bilinmektedir (Eyras vd., 2008).

Deniz yosunlarının gübre olarak kullanımının popüler hale gelmesi ile birlikte piyasada farklı markaların farklı yosun türleri ve farklı metotlar kullanılarak ekstrakte edilmiş sıvı gübreleri bulunmaktadır. Bazıları ülkemizde de satışa sunulan bu gübreler, Grower Maxicrop, Algifert, Goëmar GA 14, Kelpak 66, İgsaş seaweed, Seaweed-X, Somzyme, Power Organik Gübre gibi farklı marka ve etiketlerde satışa sunulmaktadır. Ülkemizde deniz yosunundan elde edilmiş sıvı ve katı formdaki gübrelerin kullanımı, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından 23 Şubat 2018 tarih ve 30341 sayılı nüshasında yayımlanan “Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelik” gereğince mümkündür.

Atık deniz yosunlarının sıvı gübre üretiminde kullanımının ekonomik analizinin yapıldığı bir çalışmada ise, makroalglerden pilot ölçekte sıvı gübre üretiminin fizibilite çalışmaları ele alınmıştır. Yapılan fizibilite çalışmalarında, atık makroalglerden sıvı gübre üretiminin sadece çevresel açıdan değil, ekonomik açıdan da önem kazandığı görülmüştür. Yapılacak olası yatırımın 10. yıldan sonra kâra geçtiği belirtilmiştir (Demir, 2019).

#### **2.3.4.1 Sıvı Gübre Üretimi**

Sıvı deniz yosunu gübreleri, deniz yosununun hücre yapısında bulunan bileşenlerin sıvı forma geçmesi için bir takım ekstraksiyon yöntemlerinin uygulanarak elde edilmiş ürünlerdir. Çok çeşitli türlerde deniz yosunlarından bu yöntemle elde edilmiş gübreler (Wang vd., 2018; Chanthini vd, 2018) toprak, kum gibi farklı ekim alanlarında (Wang vd., 2017; Anli vd., 2020), farklı mevsimsel şartlarda ve şeker kamışı, elma, biber gibi farklı ürünler üzerinde (Singh vd., 2018; Wang vd., 2016; Vijayakumar vd., 2019) denenmiştir. Sıvı gübrelerin, katı formdaki gübrelerle kıyasla daha kolay uygulanabilmeleri ve daha etkili olmaları, katı fazdaki gübrelerle kıyasla daha çok tercih edilmesini sağlar.

Deniz yosunu sıvı gübrelerinin, ürün verimi ve kalitesi ile inorganik besin maddelerinin topraktan emilimini arttırdığı, stres koşullarına, mantarlara ve böceklerle karşı direnç kazandırdığı kanıtlanmıştır (Chouliaras vd., 2009). Bunun yanı sıra, büyümeyi hızlandıran hormon (IAA ve IBA), sitokinin, gibberellin, vitamin, amino asit, antibiyotik, makro ve mikro besinleri içerirler. Yüksek organik madde içerikleri sayesinde toprağın nem tutma kapasitesini artırır (Thirumaran vd., 2009; Kim, 2012). Ayrıca yosunların yapılarında bulunan laminarin bitkilerin patojenlere karşı doğal savunmasını uyarırken, oksinler kök aktivitesini destekler, ozmotik stresi hafifletir ve klorofil üretimini artırır (Khan vd., 2009; Kim 2011).

Deniz yosunlarından sıvı gübre eldesinde kullanılan pek çok metot mevcuttur. Bu metotlardan bazıları asit ile hücrelerin parçalanarak homojenize edilmesi (Sharma vd., 2012), çok düşük sıcaklıklarda dondurularak parçalanması ve sıvılaştırılması (Herve ve Rouillier 1977), kaynatılarak özütlerinin sıvı forma geçirilmesi (Vinoth vd., 2012), farklı mikrobiyal kültürlerle fermente edilmesidir (Uchida ve Miyoshi, 2013; Akyurt vd., 2011; Ennouali vd., 2006).

#### **2.3.4.2 Kompost Üretimi**

Alg patlamaları sonucu oluşan yüksek miktardaki alglerin yönetiminde sıklıkla kullanılan yöntemler arasında alglerin kompostlaştırılması da vardır. Atık geri dönüşümünün sağlanması yoluyla döngüsel ekonomiye katkı sağlayan bu metot, ucuz ve kolay işletilebilirliği ile de dikkat çeker. Deniz yosunları, yüzyıllardır kompost başta olmak üzere pek çok farklı formda gübre ve toprak iyileştiriciye dönüştürülerek bitki büyümesini ve verimliliğini artırmak için kullanılmaktadırlar (Win ve Saing, 2008; Walsh, 2019).

Deniz yosunlarının kompostlaştırılmasında genellikle üç farklı metot kullanılır. Bu metotların ilki, pasif yığın metodudur. Bu metotta yığın kendi haline bırakılır ve doğal yollarla kendi kendine havalanır. İkinci metot olan aktarmalı yığın metodunda, yığının mekanik veya manuel karıştırılması sırasında havalanması sağlanır. Son metot ise tüm işletme koşullarının (havalandırma, nem, sıcaklık vb.) sürekli takip edilerek kontrol altında tutulduğu havalandırılmalı yığın metodudur (Han vd., 2014; Michalak ve Chojnacka, 2013). Elde edilen kompost kalitesi,

kullanılan hammaddelere, kompostlama süresine, kompostlama sonrası olgunlaştırılmasına göre değişebilmektedir (Vendrame ve Moore, 2005).

Makroalglerin kompost üretiminde kullanılması, gerek mikro ve makro element açısından zengin oluşu ile, gerekse kompleks kimyasalları yapısında bulundurmaları ile bitki gelişimini destekler. Bu sayede bitkinin hastalık direncini artırır ve yapısında bulunan sitokin, oksin, giberallin gibi bileşenleri sayesinde bitkinin hormonal gelişimini destekler. Üstelik nem tutma kapasitesini artırması ve biotayı düzenlemesi ile toprak iyileştirici görevi üstlenir (Lacatusu vd., 2015; Winberg vd., 2011). Üstelik endüstriyel veya evsel atıklardan elde edilen kompostlara kıyasla çok daha düşük konsantrasyonlarda pestisit ve bitki büyüme düzenleyicisi içermesi, makroalglerin pek çok kompostlaştırılabilir atığın önüne geçmesini sağlar (Morand vd., 1990; Michalak vd., 2017).

Kompost üretiminde sağlanması gereken temel kriterlerin başında C:N oranı gelir. Kullanılan atıkların türüne göre değişkenlik gösterse de, kompostlaştırma için ideal C/N oranının 20:1 ile 35:1 arasında olması gerekir (Haug, 1993; Christensen, 2011). Ancak makroalglerin C:N oranlarının bu değerden düşük olması sebebiyle, makroalgler genellikle tarımsal atık, mutfak atıkları gibi yüksek karbon içerikli atıklar ile karıştırılarak kompostlaştırılır. Ancak makroalglerin azotun yanında yüksek nem içeriyor olması, karışım oranlarının belirlenmesini karmaşıktırabilir. Bu sebeple makroalglerden kompost üretiminin ticari ölçeğe taşınabilmesi için çalışmalar yürütülmesine ve stabil bir reçetenin oluşturulmasına ihtiyaç vardır (Cole vd., 2016).

### **2.3.5 Biyoplastik Üretimi**

Genellikle petrolden üretilen karbon bazlı bir polimer olan plastiklerin kullanım alanları ve miktarı oldukça artmıştır (Gade vd., 2013). Dayanıklılığı, ucuzluğu, biyobozunmazlığı, esnekliği ve çok farklı alanlarda kullanılabilirliği, onları modern yaşamın her alanında kullanılabilen bir malzemesi haline getirmiştir. Ancak bu biyobozunmaya karşı gösterdikleri bu direnç, plastiklerin doğada parçalanmalarını da engellediğinden ciddi çevresel problemlere yol açmaları son yıllarda dikkat çekmektedir (Yusmaniar vd., 2019). Atık yöntemi kapsamında yakılmaları ile dioksin gibi kirli gazlar açığa çıkarılırlar. Geri dönüşüm prosesi ise plastikler için

oldukça zahmetlidir ve geri dönüşüm maliyetleri, plastiğin sıfırdan üretim maliyetini aşabilmektedir (Bird ve Benson, 1987; Gade vd., 2013; Rajendran vd., 2012). Üstelik petrol kaynakları her geçen gün daha da azalmaktadır (Hii vd., 2016). Tüm bu sebeplerden ötürü, sürdürülebilir ve çevre dostu polimerler kullanılarak plastiğe alternatif olabilecek malzemelerin üretimi acil bir eylem planı olarak ele alınmaktadır.

Bu noktada selüloz, polisakkarit, lipid ve protein gibi biyo-bazlı plastik ve kompozitler, günlük hayatta sıklıkla kullandığımız petrol bazlı plastiklere en iyi alternatif olarak sunulmaktadır (Mekonnen vd., 2013; Yusminar vd., 2019). Ambalaj, tıbbi malzeme, tarım malzemeleri gibi pek çok farklı alanda kullanılabilen biyoplastiklerin kullanımının 2019 yılında 2,11 milyon tona ulaştığı bilinmekte, 2023 yılında ise 2,62 milyon tona ulaşacağı düşünülmektedir (European bioplastics, 2019; Zhang vd., 2019; Rajendran vd., 2012). Deniz yosunları da içerdikleri yüksek karragenan, agar, aljinat gibi polisakkaritler sebebiyle biyoplastik üretimi çalışmalarında kullanılmaya başlanan bir malzeme olmuştur. Bu polisakkaritler, yalnızca biyobozunur olmaları ile değil, aynı zamanda gıda olarak tüketilebilir olmaları ile de son yıllarda dikkatleri çekmektedir (Hii vd., 2016).

Makroalglerden üretilen biyoplastiklerin mikrodalga radyasyonuna daha dirençli olduğu, daha az kırılğan ve daha dayanıklı olduğu gözlemlenmiştir (Gade vd., 2013). Ayrıca makroalgler farklı malzemelerle farklı oranlarla karıştırılarak da kullanılabilmekte ve bu özellikleri bu matrislerde de göstermektedir (Echeverria vd., 2017; Hassan vd., 2008; Jang vd., 2013; Zhang vd., 2019).

Makroalglerin yapısında bulunan polisakkaritlerin biyo-bozunur malzeme üretiminde direkt kullanımının yanı sıra, yine biyo-bozunur malzeme olan PLA ve PHA üretiminde de kullanılabilirler. Makroalglerin PLA ve PHA üretiminde kullanılabilen mısır, patates, buğday gibi tarımsal ürünlerden çok daha hızlı büyüebilmeleri ve yetiştirilmeleri için karasal alana ihtiyaç duymamaları, makroalglerden biyoplastik üretimine olan talebi artırmıştır (Venkatesan vd., 2016; Zhang vd., 2019).

Bunun yanında, makroalglerin biyobozunabilir biyo-bazlı bir alifatik polyester olan polilaktik asit (PLA) üretiminde kullanımı da mümkündür. PLA, günümüzde kullanılan biyoplastiklerin hammaddesi olan fosil bazlı polimerlere iyi bir alternatif olmuştur ve özellikle kullanım ömrü biten fosil bazlı plastiklerin doğada oluşturduğu problemlerin minimize edilmesinde sunduğu çözüm ile dikkatleri toplamıştır. Biyoplastik üretiminde kullanılmaya başlandığı ilk yıllarda, üretim maliyetleri sebebiyle medikal sektörü gibi sınırlı alanlarda kullanılmasına karşın, üretiminin artması ve ucuzlaması ile günümüzde pek çok alanda kullanılmaya başlanmıştır (Castro-Aguirre vd., 2016).

Laktik asit üretiminde kullanılan biyolojik ve kimyasal yöntem olmak üzere iki temel mekanizma mevcuttur. Kimyasal metodun pahalılığı sebebiyle, genellikle biyolojik metot kullanılır. Laktik asitin biyolojik olarak üretiminin gerçekleştirildiği laktik asit fermantasyonunda ise, mikroorganizmaların kolay tüketilebilir ve yüksek karbon içeriğine sahip bir substrata ihtiyacı vardır. Günümüzde substrat kaynağı olarak genellikle mısır, şeker pancarı gibi birinci nesil biokütle kullanılmaktadır. Bu noktada, makroalgler laktik asit fermantasyonunda substrat olarak kullanılabilecek, kolay üretilebilir, yüksek şeker içeren bir alternatif olarak görülür.

İstanbul kıyılarında biriken deniz yosunlarının (makroalglerin) faydalı ürün olarak değerlendirilebilirliği bu çalışma kapsamında ele alınmıştır. Bu kapsamda ilk olarak oluşan makroalglerin karakterizasyonu yapılmıştır. Ardından atık makroalgler kullanılarak biyogaz, sıvı gübre, kompost ve biyoplastik üretimi gerçekleştirilmiş ve hammadde olarak kullanılan makroalglerin faydalı ürün olarak kullanımı için en uygun seçenek önerilmiştir.

### 3.1 Makroalglerin Karakterizasyonu

İstanbul kıyılarında oluşan yosunların faydalı ürüne dönüştürülebilirliğinin sağlıklı olarak ele alınabilmesi için, makroalglerin karakteristiğinin bilinmesi, bir sonraki adımda yapılacak çalışmalara yön verilebilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Karakterizasyon çalışmaları kapsamında, bir yıl boyunca her ay İstanbul'un farklı noktalarından makroalg numuneleri toplanmıştır. Toplanan örneklerle tür çeşitliliği, tuzluluğu, ağır metal konsantrasyonları farklı biyolojik ve kimyasal karakterizasyon çalışmaları yürütülmüştür.

#### 3.1.1 Makroalg Numunelerinin Toplanması

Deniz yosunları 2016 yılı boyunca aylık periyotlarla İstanbul'un Silivri, Küçükçekmece ve Büyükçekmece gibi farklı ilçelerinden alınmıştır. Buna göre 2016 yılının Ocak ayında 2, Şubat ayında 3, Mart ayında 4, Nisan ayında 5, Mayıs ayında 4, Haziran ayında 4, Temmuz ayında 3, Ağustos ayında 2, Eylül ayında 4, Ekim ayında 3, Kasım ayında 1, Aralık ayında ise 5 olmak üzere 17 farklı noktadan toplam 40 farklı numune toplanmıştır. Numune noktaları, o ay içerisinde yüksek miktarda oluşumun gözlemlendiği noktalar baz alınarak belirlenmiştir. Alınan numunelerin toplandıkları ay, toplandıkları nokta ve bu noktaların koordinatları Tablo 3.1'de verilmiştir.

**Tablo 3.1** Makroalglerin örneklenme tarihleri ve noktaları

|    | Örneklem tarihi | Örneklem noktası               | Örneklem koordinatı          |
|----|-----------------|--------------------------------|------------------------------|
| 1  | Ocak            | Selimpaşa-Yakamoz              | 41°03'27.7"N<br>28°20'13.9"E |
| 2  | Ocak            | Selimpaşa-Araftepe             | 41°03'26.8"N<br>28°19'38.1"E |
| 3  | Şubat           | Selimpaşa Merkez Sahil         | 41°03'09.0"N<br>28°21'53.8"E |
| 4  | Şubat           | Selimpaşa-Gümüşyaka            | 41°02'29.0"N<br>28°01'51.0"E |
| 5  | Şubat           | Küçükçekmece-Florya            | 40°57'31.3"N<br>28°48'30.9"E |
| 6  | Mart            | Selimpaşa-Çanta                | 41°03'36.1"N<br>28°07'21.5"E |
| 7  | Mart            | Selimpaşa-Gümüşyaka            | 41°02'29.0"N<br>28°01'51.0"E |
| 8  | Mart            | Silivri-Semizkumlar            | 41°04'09.8"N<br>28°08'49.1"E |
| 9  | Mart            | Küçükçekmece-Florya            | 40°57'31.3"N<br>28°48'30.9"E |
| 10 | Nisan           | Selimpaşa-Celaliye Spor Kulübü | 41°02'36.5"N<br>28°24'48.4"E |
| 11 | Nisan           | Selimpaşa-Araftepe             | 41°03'26.8"N<br>28°19'38.1"E |
| 12 | Nisan           | Selimpaşa-Merkez Sahil         | 41°03'09.0"N<br>28°21'53.8"E |
| 13 | Nisan           | Selimpaşa-Ayazma               | 41°03'19.1"N<br>28°21'07.4"E |
| 14 | Nisan           | Küçükçekmece Gölü              | 41°00'05.4"N<br>28°46'01.6"E |
| 15 | Mayıs           | Selimpaşa-Yakamoz              | 41°03'27.7"N<br>28°20'13.9"E |

**Tablo 3.1** Makroalglerin örneklenme tarihleri ve noktaları (*Devamı*)

| Örneklem tarihi |         | Örneklem noktası           | Örneklem koordinatı          |
|-----------------|---------|----------------------------|------------------------------|
| 16              | Mayıs   | Selimpaşa-Merkez Sahil     | 41°03'09.0"N<br>28°21'53.8"E |
| 17              | Mayıs   | Küçükçekmece-Florya        | 40°57'31.3"N<br>28°48'30.9"E |
| 18              | Mayıs   | Büyükçekmece-Sahil         | 41°00'59.4"N<br>28°35'22.4"E |
| 19              | Haziran | Selimpaşa-Gümüşyaka        | 41°02'29.0"N<br>28°01'51.0"E |
| 20              | Haziran | Selimpaşa-Merkez Sahil     | 41°03'09.0"N<br>28°21'53.8"E |
| 21              | Haziran | Silivri-Sahil              | 41°04'40.3"N<br>28°13'53.1"E |
| 22              | Haziran | Küçükçekmece-Atatürk Köşkü | 40°58'22.3"N<br>28°47'01.7"E |
| 23              | Temmuz  | Silivri-Sahil              | 41°04'40.3"N<br>28°13'53.1"E |
| 24              | Temmuz  | Büyükçekmece Sahil         | 41°00'59.4"N<br>28°35'22.4"E |
| 25              | Temmuz  | Küçükçekmece-Florya        | 40°57'31.3"N<br>28°48'30.9"E |
| 26              | Ağustos | Selimpaşa-Gümüşyaka        | 41°02'29.0"N<br>28°01'51.0"E |
| 27              | Ağustos | Selimpaşa-Ayazma           | 41°03'19.1"N<br>28°21'07.4"E |
| 28              | Eylül   | Küçükçekmece-Atatürk Köşkü | 40°58'22.3"N<br>28°47'01.7"E |
| 29              | Eylül   | Büyükçekmece-Sahil         | 41°00'59.4"N<br>28°35'22.4"E |
| 30              | Eylül   | Selimpaşa-Merkez Sahil     | 41°03'09.0"N<br>28°21'53.8"E |

**Tablo 3.1** Makroalglerin örneklenme tarihleri ve noktaları (*Devamı*)

| Örneklem tarihi |        | Örneklem noktası       | Örneklem koordinatı          |
|-----------------|--------|------------------------|------------------------------|
| 31              | Eylül  | Selimpaşa-Ayazma       | 41°03'19.1"N<br>28°21'07.4"E |
| 32              | Ekim   | Silivri-Semizkumlar    | 41°04'09.8"N<br>28°08'49.1"E |
| 33              | Ekim   | Silivri-Sahil          | 41°04'40.3"N<br>28°13'53.1"E |
| 34              | Ekim   | Büyükçekmece-Sahil     | 41°00'59.4"N<br>28°35'22.4"E |
| 35              | Kasım  | Selimpaşa-Güzelkent    | 41°03'03.6"N<br>28°22'56.6"E |
| 36              | Aralık | Silivri-Gece Pazarı    | 41°03'27.9"N<br>28°20'13.7"E |
| 37              | Aralık | Silivri-Semizkumlar    | 41°04'09.8"N<br>28°08'49.1"E |
| 38              | Aralık | Silivri-Spor kent      | 41°03'21.6"N<br>28°21'04.5"E |
| 39              | Aralık | Selimpaşa Merkez Sahil | 41°03'09.0"N<br>28°21'53.8"E |
| 40              | Aralık | Selimpaşa-İlkkent      | 41°04'23.8"N<br>28°10'12.6"E |

Kıyılardan toplanan makroalg numuneleri, Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği laboratuvarına getirilmiştir. Makroalg numuneleri üzerinde bulunan kum, midye kabukları, balık yumurtaları gibi safsızlıklardan arındırmak için, çeşme suyu ile yıkama işlemine tabi tutulmuştur (Şekil 3.1). Bu sayede makroalg yüzeyinde kalan deniz suyu da uzaklaştırılmış ve tuzluluk da azaltılmıştır.



**Şekil 3.1** Laboratuvar ortamına taşınan makroalglerin temizlenmesi

En az üç kez yıkanan numuneler süzülerek 60°C sabit sıcaklıktaki etüvde (Elektromag E420P) 24-48 saat kurutulmuştur. Kurutulan numuneler, Renas marka CM25B model bitki öğütücüsünde öğütülmüş ve plastik poşetlerde deney öncesine kadar muhafaza edilmiştir.

### **3.1.2 Morfolojik Analizler**

Morfolojik analizler, kıyılardan toplanan makroalglerin laboratuvara getirilmesinin ve yıkanmasının ardından gerçekleştirilmiştir. Bu analizler, her bir numune setinin içerisinde karışık olarak alınmış türler ile gerçekleştirilmiştir. Türler, petri kabı içerisinde gözlemlenmiş ve farklı kaynaklardan yararlanılarak tür tanımlaması yapılmıştır (John, 2005; Wehr vd., 2015). Toplanan numuneler, kıyıya vurmuş ve zaman zaman çürümüş örnekler olduğundan, bu türleri morfolojik olarak saptamak her zaman mümkün olamasa da, her bir numune setinde birçok farklı kırmızı, kahverengi ve yeşil makroalg türü saptanmıştır.

### **3.1.3 Tuzluluk Analizi**

Tuzluluk ölçümleri, yıkanmış ve yıkanmamış makroalg numunelerinde yürütülmüştür. Bu sayede, hem yalnızca yosunun içeriğinde bulunan tuz miktarının tespiti, hem de yıkama işleminin tuzluluk giderimine etkisi gözlemlenmiştir. Ayrıca mukayese yapabilmek amacıyla, denizden alınan deniz suyu örneğinde de iletkenlik değeri ölçülmüştür.

Yıkanmış ve yıkanmamış numunelerden aynı miktarda (yaklaşık 20 g) alınmış ve bir Erlen'e konulmuştur. Numunelerin her birinin üzerine 100 mL saf su eklenmiştir. Numunelerin ağzı, numune kaybının önlenmesi amacıyla alüminyum folyo ile kapatılarak otoklav cihazında 20 dakika boyunca 121°C sıcaklıkta parçalanmaya bırakılmıştır. Bu sayede makroalg hücrelerinin çeperi parçalanmış ve hücre içerisinde bulunan tuz, suda çözünmüştür. Parçalamanın ardından soğuyan numunelerde iletkenlik değeri sıcaklık değeri ile birlikte ölçülmüş ve okunan mS/cm değeri Standart Metotlar'a göre tuzluluk birimine (psu veya ppt) dönüştürülmüştür. Her bir analiz iki örnekle çalışılmıştır. Makroalglerin içeriğinde bulunan tuz miktarı yalnızca iki numunede incelenmiş ve sonuçların tutarlı olmasından dolayı tekrarlanmamıştır.

#### **3.1.4 Ağır Metal Analizleri**

Aylık periyotlarla alınan deniz yosunu numuneleri (Tablo 3.1) yıkanıp kurutularak saklanmıştır. Kurutulan numuneler, numunelerin ağır metal konsantrasyonlarına etki etmelerini önlemek amacı ile metalle temas ettirilmemiştir. Bu sebeple numuneler öğütülmeden işleme alınmıştır. Ağır metal analizi için numuneler asit ilavesi ile Berghof Speedwave MWS-3+ mikrodalga cihazında parçalanmıştır.

Analiz için kuru numunelerden yaklaşık 2 gram tartılmış ve tartılan örnekler parçalama cihazına ait tüplere yerleştirilmiştir. Numunelerin üzerine 30 mL saf su ve 10 mL nitrik asit (HNO<sub>3</sub>) eklenmiş ve parçalama cihazında parçalanmıştır. Parçalama, 5 basamaklı olarak gerçekleştirilmiştir. Bu basamaklar ve basamaklarda uygulanan işlemler Tablo 3.2'de verilmiştir. Parçalanan numuneler 0,45 µm filtre kağıdından süzülerek ölçüme hazır hale getirilmiştir.

Ekstrakte edilen numuneler Perkin Elmer AAnalyst 400 atomik absorpsiyon cihazı ile ölçülmüştür. Ölçümü yapılan ağır metaller kadmiyum (Cd), bakır (Cu), nikel (Ni), kurşun (Pb), çinko (Zn) ve krom (Cr) olmuştur. Yosunlarda bu metallerin incelenmesindeki en büyük etmen, bu ağır metallerin Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından Resmi Gazete'nin 23 Şubat 2018 tarih ve 30341 sayılı nüshasında yayımlanan "Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelik"te yer almasıdır.

**Tablo 3.2** Makroalglerin mikrodalga işlemleriyle parçalanma basamakları

|                       | 1. Adım | 2. Adım | 3.Adım | 4. Adım | 5.Adım |
|-----------------------|---------|---------|--------|---------|--------|
| <b>Sıcaklık (°C)</b>  | 180     | 180     | 100    | 100     | 100    |
| <b>Basınç (bar)</b>   | 30      | 30      | 0      | 0       | 0      |
| <b>Zaman (dakika)</b> | 1       | 10      | 10     | 10      | 10     |
| <b>Güç (%)</b>        | 80      | 80      | 0      | 0       | 0      |

Yosun içinde bulunan ağır metal konsantrasyonu, tartılan yosuna ve ekstrakte işlemi uygulanırken kullanılan sıvı miktarı dikkate alınarak mg/kg cinsinden hesaplanmıştır. Hesaplanan ağır metal konsantrasyonu, yosunun kuru ağırlığı başına içerdiği ağır metal konsantrasyonunu vermektedir. (3.1) formülü ilr ağır metal konsantrasyonu aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\frac{mg \text{ ağır metal}}{kg \text{ kuru ağırlık}} = \frac{Co.*V}{m} \quad (3.1)$$

Denklemde yer alan harflerin açıklamaları ise şu şekildedir:

- Co.: Atomik absorpsiyon cihazında okunan ağır metal konsantrasyonu (mg/L)
- V: Yosun ekstrakte edilirken kullanılan sıvı hacmi (mL)
- m: Tartılan kuru yosun miktarı (g)

### 3.1.5 Elementel Analizler

Makroalglerin elementel içeriklerinin mevsimsel incelenmesi, makroalglerden üretilecek ürünlerin stabilitesinin sağlanması açısından önem taşır. Çünkü makroalglerden faydalı ürün üretiminde en önemli engel, oluşan atık makroalglerin elementel içeriklerinin mevsimsel bazlı değişimi olacaktır. Bu sebeple, makroalglerin element içeriklerinin mevsimsel değişimi incelenmiştir.

Elementel analizler kapsamında, kurutulmuş ve öğütülerek homojenize edilmiş makroalg numunelerinin yüzdece karbon (C), azot (N) ve kükürt (S) analizleri yapılmıştır.

### **3.2 Makroalglerden Biyogaz Üretimi**

Makroalglerin yapısında bulunan yüksek azot, makroalglerin biyometan üretiminde kullanılabilirliğini sınırlandırabileceğinden, makroalglerin biyogaz potansiyelleri hem tek başlarına hem de mutfak atıklarıyla karıştırılarak laboratuvar ölçekli kesikli sistemde incelenmiştir. Makroalglerin mutfak atığı ile karıştırılmasındaki birincil amaç, biyometanizasyon için gerekli olan C/N oranının sağlanmasıdır. İkincil amaç ise, İstanbul kıyılarında oluşan makroalglerin bertarafından sorumlu olan İSTAÇ A.Ş.'nin, mutfak atıkları ile beslenen bir biyometan üretim tesisini işleme açmak üzere olmasıdır. Bu çalışmada, makroalg ve mutfak atıkları farklı oranlarda karıştırılmış ve mutfak atıkları ile makroalglerin birlikte biyometan üretim potansiyelleri ele alınmıştır. Bu sayede, gerçek ölçekte mutfak atıkları beslenerek işletilen bir biyoreaktöre makroalglerin beslenmesi koşulu simüle edilmiş ve maksimum biyogaz eldesi için gerekli olan optimum oranlar belirlenmiştir. Optimum makroalg/mutfak atığı karışım oranının yanı sıra, optimum substrat/mikroorganizma (S/X) oranı da incelenmiştir.

#### **3.2.1 Substrat Karakteristiği**

Substrat kaynağı olarak kullanılan makroalgler, Aralık ayında Silivri'den toplanmış ve yıkanarak kurutulmuştur. Kurutulan makroalgler öğütülerek, biyogaz üretim potansiyeli çalışmalarında kullanılmıştır.

Substrat kaynağı olarak kullanılan bir diğer atık olan mutfak atıkları, İSTAÇ A.Ş. tarafından toplanmıştır. Biyoreaktöre beslenen mutfak atıkları; üniversite ve işyeri yemekhaneleri, market, hâl ve pazar yeri atıkları, alışveriş merkezlerinde, otel ve hastanelerde oluşan atıklar, restoran atıkları olmak üzere 12 farklı noktadan alınmıştır. Alınan örnekler İSTAÇ A.Ş. tarafından kurutulmuş ve atık karışımını temsil edecek şekilde karıştırılmıştır. Atık karışımının karakterizasyonu yine İSTAÇ A.Ş. tarafından gerçekleştirilmiştir. Makroalg ve mutfak atıklarının karakterizasyonu, Tablo 3.3'te verilmiştir.

**Tablo 3.3** Biyogaz üretiminde kullanılan substratların karakterizasyonu

| <b>Parametre</b>          | <b>Makroalg</b> | <b>Mutfak atığı</b> |
|---------------------------|-----------------|---------------------|
| <b>Nem (%)</b>            | 90              | 80                  |
| <b>UKM (%)*</b>           | 90              | 80                  |
| <b>Toplam karbon (%)*</b> | 27,9            | 42,8                |
| <b>Toplam azot (%)*</b>   | 2,3             | 3,0                 |
| <b>C/N</b>                | 12,1            | 14,3                |

\*Kuru ağırlık üzerinden ölçümleme yapılmıştır.

Makroalgin biyometan potansiyeli, makroalg ve mutfak atıklarının farklı oranlarda karıştırılması ile incelenmiştir. Aynı zamanda, makroalglerin biyoreaktöre hangi substrat/mikroorganizma (S/X) oranında beslenmesi gerektiği hakkında daha önce yapılmış çalışma bulunmadığından, tez çalışmaları kapsamında optimum S/X oranının tespiti çalışması da yürütülmüştür. S/X oranlarının hesaplanması, substratın (makroalg ve mutfak atığı) uçucu katı madde (UKM) miktarları üzerinden yürütülmüştür. UKM analizi, kurutulmuş örneklerin 550°C sabit sıcaklıkta yarım saat yakılmaları sonucu oluşan farktan hesaplanmıştır. Her bir numunenin UKM analizi ikili örneklem ile çalışılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda kurutulmuş mutfak atığının ve makroalgin UKM oranları sırasıyla %90 ve %80 olarak belirlenmiştir (Tablo 3.3). Yürütülen BMP çalışmalarında substrat beslemesi, her bir reaktörün S/X oranları baz alınarak gerçekleştirilmiştir. Bunun için her bir reaktöre aynı miktarda aşı ve farklı miktarda substrat beslemesi yapılmıştır. Bu sayede farklı organik yüklerde beslenen biyoreaktörlerin biyogaz verimlilikleri incelenmiştir.

### **3.2.2 Aşı Karakteristiği**

Biyoreaktörlerde kullanılan aşı çamuru, bir bira fabrikasının atıksuyunun mezofilik koşullarda arıtıldığı anaerobik bir reaktörden alınmıştır. Granül haldeki

aşının uçucu katı miktarı 45,78 mg UKM/L olarak bulunmuştur. Her BMP şişesine 5 mL (%10 v:v) aşı ilavesi yapılmıştır.

### 3.2.3 Reaktör Kurulumu

Makroalglerin biyometan üretim potansiyelleri, kesikli olarak işletilen reaktörlerde Biyolojik Metan Potansiyeli (BMP) deneyi ile tayin edilmiştir. Bu deney için 100 mL toplam hacme sahip cam reaktörler kullanılmıştır. Her bir reaktöre 0,229 g UKM'ye karşılık gelen 5 mL aşı, gerekli S/X oranını sağlayacak miktarda makroalg ve mutfak atığı ve 45 mL nütrient çözeltisi ilave edilmiştir. Reaktörlere beslenen mikroorganizmaların ihtiyacı olan makro ve mikro elementler ile vitaminler, hazırlanan nütrient çözeltisi ile reaktörlere beslenmiştir. Hazırlanan nütrient çözeltisinde kullanılan makronütrientlerin konsantrasyonları Tablo 3.4'te, mikronütrientler ile vitaminlerin konsantrasyonları ise Tablo 3.5'te verilmiştir. Makro ve mikronütrientlerin dışında, konsantrasyonları sırasıyla 0,5 g/L ve 2 g/L olacak şekilde sistein•HCl ve maya ekstraktı ilave edilmiştir (Yoruklu vd., 2018).

**Tablo 3.4** Biyometan reaktörlerine beslenen nütrient çözeltisi içinde bulunan makronütrientler ve konsantrasyonları

| Eklene Kimyasal                                    | Konsantrasyon |
|----------------------------------------------------|---------------|
| $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ | 10,7 g/L      |
| $\text{Na}_2\text{HPO}_4$                          | 3,2 g/L       |
| $\text{KH}_2\text{PO}_4$                           | 0,125 g/L     |
| $\text{NH}_4\text{Cl}$                             | 0,6 g/L       |
| $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$          | 0,11 g/L      |
| $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$          | 0,1 g/L       |
| $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$          | 2 mg/L        |

Her bir karışımın biyogaz potansiyeli çalışmaları, aynı şartlarda kurulan 2 ayrı reaktörle yürütülmüştür. Ayrıca bakterilerin içsel solunum fazında ürettikleri biyogaz miktarını tespit etmek amacıyla, substrat ilavesinin yapılmadığı bir çift kontrol reaktörü de kurulmuştur.

**Tablo 3.5** Biyometan reaktörlerine beslenen nütrient çözeltisi içinde bulunan mikronütrientler ve konsantrasyonları

| Eklenen Kimyasal                                                                   | Konsantrasyon | Eklenen Kimyasal                      | Konsantrasyon |
|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------------|---------------|
| H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>                                                     | 0,05 mg/L     | Nikotinik asit                        | 0,1 mg/L      |
| ZnCl <sub>2</sub>                                                                  | 0,05 mg/L     | Nikotinamid                           | 0,1 mg/L      |
| CuCl <sub>2</sub> •2H <sub>2</sub> O                                               | 0,038 mg/L    | DL-Pantotenik asit                    | 0,05 mg/L     |
| MnCl <sub>2</sub> •2H <sub>2</sub> O                                               | 0,041 mg/L    | B12 vitamini                          | 0,05 mg/L     |
| (NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> •4H <sub>2</sub> O | 0,05 mg/L     | p-aminobenzoik asit                   | 0,05 mg/L     |
| AlCl <sub>3</sub>                                                                  | 0,05 mg/L     | Piridoksin • HCl                      | 0,1 mg/L      |
| CoCl <sub>2</sub> •6H <sub>2</sub> O                                               | 0,05 mg/L     | D biotin                              | 0,02 mg/L     |
| NiCl <sub>2</sub> •6H <sub>2</sub> O                                               | 0,05 mg/L     | Tioktik asit                          | 0,05 mg/L     |
| EDTA                                                                               | 0,5 mg/L      | Folik asit                            | 0,02 mg/L     |
| Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub> •5H <sub>2</sub> O                                | 0,0263 mg/L   | Riboflavin                            | 0,05 mg/L     |
| NaWO <sub>4</sub> •2H <sub>2</sub> O                                               | 0,033 mg/L    | Tiamin • HCl                          | 0,1 mg/L      |
| Piridoksimin                                                                       | 0,25 mg/L     | Na <sub>2</sub> S • 9H <sub>2</sub> O | 0,24 g/L      |

Makroalglerin biyogaz potansiyellerinin tespitinde öncelikle farklı S/X oranları ele alınmıştır. Makroalg ve mutfak atıklarının 0,5, 2, 4 ve 6 g UKM substrat/g UKM aşırı oranlarında kesikli reaktörlerle işletilmesi sonucu ortaya çıkan biyogaz miktarı tespit edilmiştir. Ardından, farklı S/X oranlarındaki makroalg ve mutfak

atıklarının, kendi içlerinde farklı oranlarda karıştırılması sonucu elde edilen biyogaz miktarı tespit edilmiştir.

Makroalg ve mutfak atıkları, 0:3, 1:3, 2:3 3:0 oranlarında karıştırılarak biyoreaktöre beslenmişlerdir. Makroalglerin tek başlarına ve mutfak atıklarıyla karıştırıldıklarında elde edilebilecek biyogaz miktarlarının tespit edilebilmesi için toplamda 16 farklı biyoreaktör kurulmuştur. Kurulan reaktörler, reaktörlere eklenen makroalg/mutfak atığı oranları, reaktörlerin S/X oranları ve isimleri Tablo 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.6'da, reaktör isminde bulunan her bir sayının, reaktörün S/X oranını gösterdiği, her bir harfin ise makroalg:mutfak atığı oranını simgelediği görülmektedir. Yalnızca mutfak atığı ile beslenen reaktörler A harfiyle, beslenen makroalgin mutfak atığına oranının 1:2 olduğu reaktörler B harfiyle, beslenen makroalgin mutfak atığına oranının 2:1 olduğu reaktörler C harfiyle, yalnızca makroalg ile beslenen reaktörler ise D harfi ile kodlanmıştır. Yani yalnızca mutfak atığı ile beslenen reaktörler ise 0,5, 2, 4 ve 6 S/X oranları için sırasıyla 0,5A, 2A, 4A ve 6A olarak isimlendirilmiştir. Benzer şekilde, yalnızca makroalg ile beslenen reaktörler, 0,5, 2, 4 ve 6 S/X oranları için sırasıyla 0,5D, 2D, 4D ve 6D olarak isimlendirilmiştir.

Reaktör isimleri B ve C ile kodlanan reaktörler ise makroalg ve mutfak atığı karıştırılarak beslenen reaktörlerdir. Bu reaktörler arasından B ile kodlanan reaktörlerde (0,5B, 2B, 4B ve 6B), toplam substratın 1/3'ü makroalgden oluşmaktadır. Kalan 2/3'lük oranı ise mutfak atığı oluşturmaktadır. C ile kodlanan reaktörlerde ise (0,5C, 2C, 4C ve 6C), toplam substratın 2/3'ünü makroalg oluştururken, kalan 1/3'lük kısmını ise mutfak atığı oluşturmaktadır. Örneğin 2C reaktörü 2 g UKM<sub>substrat</sub>/g UKM<sub>aşı</sub> oranında S/X'e sahiptir ve toplam substratın 2/3'ünü makroalg oluşturmaktadır.

Her bir reaktöre aş ve nütrient ilavesi, kontrol reaktörleri hariç her bir reaktöre ise substrat ilavesi yapıldıktan hemen sonra, biyoreaktörün içinde bulunan çözünmüş olan oksijenin uzaklaştırılması için reaktörlerin her biri 5 dakika boyunca azot gazından geçirilmiştir. Ardından tüm reaktörler kauçuk tıpa ile kapatılmış ve 35 °C sabit sıcaklıkta ve 120 rpm hızla karıştırılarak, biyogaz üretimi

kararlı faza ulaşana kadar inkübe edilmiştir. Reaktörlerde üretilen biyogaz sürekli olarak takip edilmiştir. Oluşan gaz plastik şırınga yardımıyla periyodik olarak ölçülmüştür.

**Tablo 3.6** BMP reaktörlerinin bileşenleri ve isimleri

| S/X Oranı<br>$\left( \frac{g \text{ UKM}_{\text{substrat}}}{g \text{ UKM}_{\text{aşı}}} \right)$ | Reaktörün adı | Makroalg:Mutfak atığı oranı<br>$\left( \frac{\text{birim UKM}_{\text{makroalg}}}{\text{birim UKM}_{\text{mutfak atığı}}} \right)$ |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0,5                                                                                              | 0,5A          | 0:3                                                                                                                               |
|                                                                                                  | 0,5B          | 1:2                                                                                                                               |
|                                                                                                  | 0,5C          | 2:1                                                                                                                               |
|                                                                                                  | 0,5D          | 3:0                                                                                                                               |
| 2                                                                                                | 2A            | 0:3                                                                                                                               |
|                                                                                                  | 2B            | 1:2                                                                                                                               |
|                                                                                                  | 2C            | 2:1                                                                                                                               |
|                                                                                                  | 2D            | 3:0                                                                                                                               |
| 4                                                                                                | 4A            | 0:3                                                                                                                               |
|                                                                                                  | 4B            | 1:2                                                                                                                               |
|                                                                                                  | 4C            | 2:1                                                                                                                               |
|                                                                                                  | 4D            | 3:0                                                                                                                               |
| 6                                                                                                | 6A            | 0:3                                                                                                                               |
|                                                                                                  | 6B            | 1:2                                                                                                                               |
|                                                                                                  | 6C            | 2:1                                                                                                                               |
|                                                                                                  | 6D            | 3:0                                                                                                                               |

Her bir BMP reaktöründen elde edilen biyogaz kompozisyonları belirli aralıklarla incelenmiştir. Üretilen biyogazın CO<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub> bileşenleri, Shimadzu GC-2014 Gas Chromatograph cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

### 3.2.4 Biyogaz Üretiminin Kinetik Modellenmesi

16 farklı kesikli biyoreaktörün biyogaz oluşumları tamamlandıktan sonra, biyoreaktörlerin biyogaz üretim eğrileri dört farklı denklem kullanılarak modellenmiştir. Bu sayede mutfak atıkları ile işletilmeye aklime olmuş bir reaktöre makroalg ilavesi yapılması durumunda reaktörün vereceği tepkiler sayısal olarak da mukayese edilebilir hale dönüştürülmüştür. Kullanılan bu dört denklem, birinci derece kinetiği (3.2), modifiye Gompertz denklemi (3.3), lojistik fonksiyon (3.4) ve transferans denklemleridir (3.5).

Ele alınan ilk modelleme, birinci derece kinetik olmuştur. Formülasyonu aşağıda verilen bu model ile maksimum biyogaz verimi ( $P_0$ , m<sup>3</sup>/ton atık) ve hidroliz katsayısı ( $k$ , gün<sup>-1</sup>) bulunmuştur:

$$P = P_0 \{1 - \exp(-k * t)\} \quad (3.2)$$

Biyogaz üretim grafiğine uygulanması ile mikroorganizmaların büyüme kinetiklerinin incelenebildiği ve aşağıda denklemi verilen modifiye Gompertz denklemi, modellemede kullanılan ikinci denklemdir (Patil vd., 2012; Feng vd., 2013):

$$P = P_0 * \exp \left\{ -\exp \left( \frac{R_m * e}{P_0} (\lambda - t) + 1 \right) \right\} \quad (3.3)$$

Denklemden bulunan  $P$  kümülatif biyogaz üretimini (m<sup>3</sup>/ton atık),  $P_0$  biyogaz üretim potansiyelini (m<sup>3</sup>/ton atık),  $R_m$  maksimum biyogaz üretim hızını (m<sup>3</sup>/ton atık.gün),  $\lambda$  gecikme evresini (gün) göstermektedir.  $P$  ve  $t$  değerleri, reaktörlerden elde edilen sonuçlar olduğundan modelleme sırasında girdi olarak kullanılırken,  $P_0$ ,  $R_m$  ve  $\lambda$  değerleri doğrusal olmayan regresyon kullanılarak bulunmuştur. Bu kısaltmalar diğer modellerde aynı ifadeyi anlatmakta olup, modellerden elde edilen çıktılar benzer metotla bulunmuştur.

Modellemede kullanılan üçüncü formülasyon lojistik fonksiyonu olmuştur. Lojistik fonksiyonu, anaerobik modellemede sıklıkla kullanılan bir modeldir (Donoso-Bravo vd., 2010). Sigmoid bir eğri olan bu fonksiyon şu şekildedir:

$$P = \frac{P_0}{1 + \exp \left( 4R_m \frac{(\lambda - t)}{P_0} + 2 \right)} \quad (3.4)$$

Sayısal modellemede kullanılan son model transferans denklemi olmuştur. Transferans denklemi, metan üretimi baz alınarak biyogaz üretimini modelleyen bir denklemdir (Li vd., 2012) ve denklemi aşağıdaki gibidir:

$$P = P_0 \left\{ 1 - \exp \left( - \frac{R_m(t-\lambda)}{P_0} \right) \right\} \quad (3.5)$$

### 3.3 Makroalglerden Sıvı Gübre Üretimi

Makroalglerden sıvı gübre üretimi, laboratuvar ölçekli ve pilot ölçekli olmak üzere iki farklı ölçekte ele alınmıştır. Çalışmalar ilk olarak laboratuvar ölçekli ele alınmıştır. Laboratuvar ölçekli sistemde, sıvı gübre üretiminde kullanılabilecek optimum yöntem belirlenmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar ışığında, pilot ölçekli sistemde sıvı gübre üretimi çalışmaları sürdürülmüştür.

#### 3.3.1 Laboratuvar Ölçekli Sistemde Sıvı Gübre Üretimi Çalışmaları

Çalışmanın ilk bölümü olan laboratuvar ölçekli çalışmalarda, sıvı gübre üretimi ve üretilen bu gübrelerin bitkiler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sıvı gübre üretimi, fiziksel ve biyolojik yollar kullanılarak makroalg hücrelerinin ekstrakte edilmesi temeline dayandırılmıştır.

Çalışmalar kapsamında, Silivri'nin farklı noktalarından alınan yosun numuneleri çeşme suyuyla yıkanmış ve yabancı maddelerinden arındırılmıştır. Ardından bir bıçak yardımıyla 1 cm boyuna kadar küçültülen yosun numuneleri, farklı ekstraksiyon yöntemleri ile gübre haline getirilmiştir. Her bir yöntem için kullanılan yosun numuneleri bu örnek ile hazırlanmıştır.

##### 3.3.1.1 Fiziksel Yolla Ekstraksiyon

Makroalglerden fiziksel yolla ekstraksiyon prosesi, farklı fiziksel ekstraksiyon metotları kullanılarak yürütülmüştür. Bu yöntemler dondurma-çözme, ultrases uygulama ve kaynatma metotları olmuştur.

- ***Dondurma-Çözme Ekstresi***

Metodun amacı, dondurularak yapısı bozulan makroalgin hücre içinde bulunan özütünü suya bırakmasıdır. Sıcaklığın çok düşük seviyelere düşürülmesi oldukça maliyetli olacağından, deniz yosununun 24 saat boyunca -20° C'de tutulması ve

atık yosundan donma-çözölme yöntemi kullanılarak ekstrakt elde edilmesi uygun görölmüştür (Kim ve Chojnacka, 2015).

Yıkanan ve 1 cm'ye küçöltölen yosun numuneleri, bir plastik poşete yerleştirilmiş ve -20°C'de dondurulmuştur. Donmuş yosun numunesi ağırlıkça %10 olacak şekilde distile su ile seyreltilmiş ve 12 saat boyunca manyetik karıştırıcıda 150 rpm hızla karıştırılarak bekletilmiştir. Elde edilen karışım, elek boyutu 0,5 mm olan bir elekten süzülmüştür. Süzöntü, bitki yetiştirme çalışmalarında %100'lük sıvı gübre olarak kullanılmıştır. Elde edilen bu sıvı gübre, +4°C'de saklanmıştır.

- ***Ultrases Ekstresi***

Organik maddelerin ekstraksiyonunun hızlandırılmasında kullanılan ultrasonikasyon metodu, ucuz, hızlı, etkili ve sık kullanılan bir metot olması dolayısıyla bu çalışmada kullanılmıştır (Santos vd., 2009; Cravotto vd., 2008; Kadam vd., 2015). Çalışmalar kapsamında, 1 cm'ye kadar küçöltölmüş deniz yosunu numuneleri, hacimce %10 oranında distile su ile seyreltilmiş ve seyreltilmiş örnek, 10 dakika boyunca % 60 ultrasonik güç genliğinde ultrasona (Bandelin Sonopuls HD2070 Ultrason Homojenizatörü) maruz bırakılmıştır (Kadam vd., 2015b). Ultrases işleminin ardından numuneler 0.5 mm'lik elek çapına sahip bir elekten süzülmüştür. Hazırlanan ekstrakt konsantre (%100) gübre olarak değerlendirilmiştir. Süzöntü (filtrat), bitki yetiştirme deneylerinde kullanılmak üzere 4 °C'de saklanmıştır.

- ***Kaynatma Ekstresi***

Ekstrakt elde etmede sıklıkla kullanılan bir diğör fiziksel yöntem kaynatma işlemidir. Ancak yosun ekstresi eldesi için yürütölen çalışmaların pek çoğı, ıslak yerine kurutulmuş yosun ile gerçekleştirilmiştir (Anisimov vd., 2013; Ambika ve Sujatha, 2016; Mohanty vd., 2013). Bu sebeple bu çalışmada, kıyılardan getirilen örnekler yıkandıktan sonra 60 °C sabit sıcaklıkta kurutulmuştur. Kurutulan makroalgler kullanılan diğör yöntemlerde olduğı gibi 1:10 oranında distile su ile seyreltilerek kaynatma işlemine tabii tutulmuştur. Ancak yosunların nem muhtevası %90 olduğundan, elde edilen filtrat, ultrases ve dondurma-çözme

ekstraktlarından farklı olarak 10 kat seyreltilmiş ve seyreltilmiş örnekler % 100 konsantre olarak gübre olarak kabul edilmiştir

### 3.3.1.2 Biyolojik Yolla Ekstraksiyon

Makroalglerden sıvı gübre eldesi, fiziksel yöntemlerin yanı sıra biyolojik yöntemlerle de yürütülmüştür. Literatürde, biyolojik ekstraksiyon işleminin genellikle bakteri, maya gibi farklı anaerobik kültürlerle aşıl原因 anaerobik sistemlerde gerçekleştirildiği görülür. Bu nedenle, optimum ekstraksiyon metodunun tespiti için ekstraksiyon işlemi iki farklı tür kullanılarak incelenmiştir.

Çeşme suyu altında yıkanan ve boyutları 1 cm'ye düşürülen yosunlar, reaktör içerisindeki katı muhtevası yaklaşık %5 olacak şekilde, toplam hacmi 1000 mL olan cam reaktörlere beslenmiştir (Şekil 3.2). Reaktörlere aşı, substrat (makroalg) ve distile su ilavesinin ardından tüm reaktörler anaerobik koşulların sağlanabilmesi için azot gazından geçirilmiştir. Reaktörler, 35 °C sabit sıcaklıkta ve 120 rpm sabit hızda inkübe edilmiştir.



**Şekil 3.2** Yosunun biyolojik yolla ekstrakte edilmesinde kullanılan reaktörler

Reaktör işletim süresinin ekstraksiyon üzerindeki etkisini incelemek için her set için üç özdeş reaktör çalıştırılmıştır. Özdeş reaktörlerden her biri 15 günlük aralıklarla sonlandırılmıştır. Böylece gübre olarak kullanılmak üzere 15, 30 ve 60 gün biyolojik yolla ekstrakte edilmiş deniz yosunu özütleri elde edilmiştir. Elde

edilen her bir ekstrakt 0,5 mm süzgeçten geçirilmiş ve fiziksel yolla ekstrakte edilen gübrelerle aynı kuru madde/su oranını yakalamak için filtrat 5 kat seyreltilmiş ve seyreltilen örnekler % 100 (konsantre) gübre olarak kullanılmıştır.

- ***Aşı İlavesi Yapılmadan Fermantasyon***

Makroalglerin anaerobik koşulda aşı ilavesiz ekstrakte olabilirliği incelenmiştir. Bu kapsamda, makroalgler cam reaktörlere hiçbir aşı kültürü ilavesi yapılmadan beslenmiştir. Bu sayede makroalglerin doğal ortamlarından taşıdıkları mikroorganizmaların biyolojik bozunmayı etkinleştirme rolü incelenebilmiştir. Aşı ilavesinin yapılmadığı bu reaktörler de, diğer biyoreaktörler ile aynı çevresel koşullarda işletilmiştir.

- ***Anaerobik Çamur Aşılı Fermantasyon***

Konu hakkında yapılmış sınırlı sayıda çalışmadan yararlanılarak, bu çalışmada makroalglerin bir substrat olarak anaerobik çürütücüye beslenmesi ve süpernatantın bitki yetiştirilmesinde gübre olarak değerlendirilmesi koşulu ele alınmıştır (N'Yeurt ve Iese, 2015; Zhang vd., 2012). Bu çalışmada, sakız endüstrisi atık sularını arıtan anaerobik bir çürütücüden alınan granül aşı çamuru kullanılarak anaerobik biyoreaktör kurulmuştur. Her bir reaktöre, reaktörün toplam hacminin %1'ine kuru ağırlıkça karşılık gelen miktarda anaerobik çamur (%1 kuru ağırlık/toplam hacim) eklenmiştir.

- ***Maya Aşılı Fermantasyon***

Yosunların yüksek şeker içerikleri, makroalgleri etanol üretiminde yüksek potansiyelde verim sağlanabilecek bir atık haline getirir. Çalışmanın bu kısmında ise, makroalglerin etanol üretiminde kullanılan bir substrat olması koşulunda oluşan süpernatantın, sıvı gübre olarak değerlendirilebilirliği incelenmiştir (Baghel ve ark., 2015, Baghel ve ark., 2016). Bu kapsamda, makroalgler sabit sıcaklıkta (35 °C) *Saccharomyces cerevisiae* türü kullanılarak fermente edilmiş ve 15, 30 ve 60 günlerin sonunda oluşan süpernatant sıvı gübre olarak değerlendirilmiştir.

- **Anaerobik Çamur ve Maya Aşılı Fermantasyon**

Literatürde, anaerobik çamur ve *Saccharomyces cerevisiae* karışımı ile ekstraksiyon işleminin yürütüldüğü çalışmalar da mevcuttur (Ennouali vd., 2006). Bu sebeple, en verimli ekstraksiyon metodunun tespiti çalışmaları kapsamında, karışık anaerobik çamur kültürü ve *Saccharomyces cerevisiae* karışımı, miktarca reaktörün toplam hacminin %1'ine kuru ağırlıkça karşılık gelecek miktarda (%1 kuru ağırlık/toplam hacim) aşılmıştır.

Hazırlanan tüm gübreler incelendiğinde, 3'ü fiziksel yollarla elde edilmiş, 12'si ise biyolojik yollarla elde edilmiş olmak üzere toplamda 15 farklı gübre üretildiği görülür. Elde edilen bu gübreler, makroalglere uygulanan ekstraksiyon metodları ve isimlendirilmeleri ile birlikte Tablo 3.7'de toplu halde gösterilmiştir.

### **3.3.2 Sıvı Gübrenin Bitki Büyümesi Üzerindeki Etkisi**

Makroalglardan farklı metodlarla elde edilen sıvı gübrelerin bitki gelişimi üzerindeki etkisi; çimlenme hızının yüksek olması, ılık bölgelerde ve küçük alanlarda yetiştirilebilirliği, toprak isteği bakımından seçici olmayışı ve büyümesi için 10-15 °C sıcaklığın yeterli olması sebebiyle tere bitkisi (*Lepidium sativum*) üzerinden ele alınmıştır. Büyüme analizleri kapsamında, gübre konsantrasyonunun çimlenme, boy uzamasına ve gelişmeye etkisi incelenmiştir. Bunun için eşit büyüklük, renk ve ağırlığa sahip tere tohumları (*Lepidium sativum*, Euro) kullanılmıştır.

Gübreler, bitkiye uygulanması gereken optimum dozajın tespiti için çimlenme deneyleri yapılmadan önce farklı oranlarda seyreltilmiştir. Her bir gübre konsantrasyonu %1, %10, %25, %50 ve %100 olacak şekilde hazırlanmış ve beslemeler tohumlara bu konsantrasyonlarda ayrı ayrı beslenmiştir (Şekil 3.3). Böylece, gübre üretim çalışmalarının sonunda üretilen 15 farklı gübre (fiziksel yolla ekstrakte edilmiş 3 farklı gübre ile biyolojik yolla ekstre edilmiş 12 farklı gübre), 5 farklı oranda seyreltilmiştir. Bu da toplamda 75 farklı deney seti ile, sıvı gübrelerin bitki büyümesi üzerindeki etkisinin incelenmesi anlamına gelir.

**Tablo 3.7** Laboratuvar ölçekli çalışmalarda üretilen yosun gübrelerinin isimleri, içerikleri ve elde ediliş yöntemleri

| Gübrenin adı      | Ekstraksiyon Yöntemi                             | İşlem süresi |
|-------------------|--------------------------------------------------|--------------|
| Ultrases ekstresi | Ultrases                                         | 10 dk        |
| Dondurma ekstresi | Dondurma ve suda çözme                           | 12 saat      |
| Kaynatma ekstresi | Kaynatma                                         | 2 saat       |
| A15               | Aşı ilavesiz anaerobik proses                    | 15 gün       |
| A30               | Aşı ilavesiz anaerobik proses                    | 30 gün       |
| A60               | Aşı ilavesiz anaerobik proses                    | 60 gün       |
| B15               | Anaerobik çamur ilaveli anaerobik proses         | 15 gün       |
| B30               | Anaerobik çamur ilaveli anaerobik proses         | 30 gün       |
| B60               | Anaerobik çamur ilaveli anaerobik proses         | 60 gün       |
| C15               | Maya ilaveli anaerobik proses                    | 15 gün       |
| C30               | Maya ilaveli anaerobik proses                    | 30 gün       |
| C60               | Maya ilaveli anaerobik proses                    | 60 gün       |
| D15               | Anaerobik çamur ve maya ilaveli anaerobik proses | 15 gün       |
| D30               | Anaerobik çamur ve maya ilaveli anaerobik proses | 30 gün       |
| D60               | Anaerobik çamur ve maya ilaveli anaerobik proses | 60 gün       |



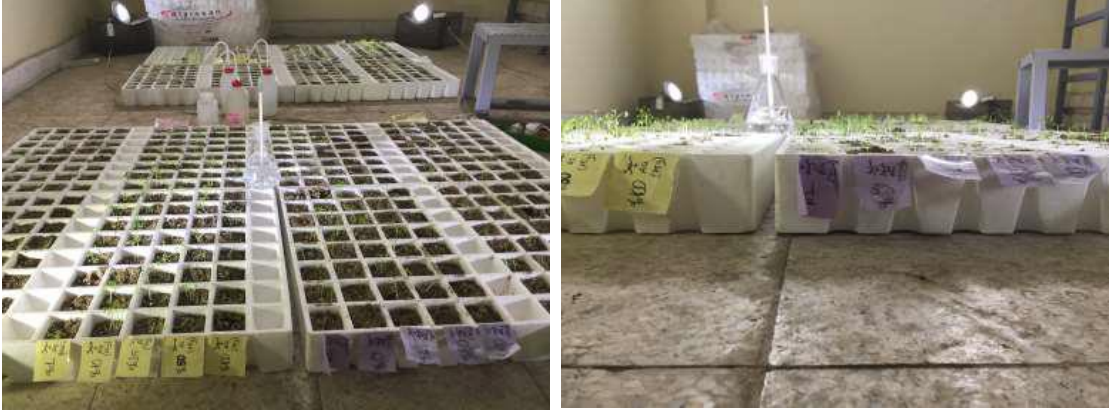
**Şekil 3.3** Farklı gübrelerin 5 farklı konsantrasyonu ile beslenmek üzere ekilmiş tere tohumlarının yetiştirilme ortamı

Tere tohumları, 50 mm x 50 mm genişliğe ve 64 mm yüksekliğe sahip 96 hücreli strafor fide viyollerine, her bir hücreye 4 tohum ekilmek suretiyle yetiştirilmiştir. Her bir konsantrasyon gübre için 8 hücreye ekim yapılmıştır. Yani 75 farklı gübrenin her biri için 8'er deneme yapılmıştır. Başka bir deyişle, her bir ekstrakt ve bu ekstraktların farklı uygulama konsantrasyonları, 32 tere tohumu (8 hücre x 4 tohum) üzerinde test edilmiştir. Bir 8 hücreli set ise, kontrol grubu olarak incelenmiş ve yalnızca klordan arındırılmış musluk suyu ile beslenmiştir.

Fide viyolleri kapalı bir ortamda, 15-20 °C sıcaklıkta tutulmuştur. 8'li hücre setlerinin her biri, her iki günde bir ilgili gübre ile 4 mL beslenmiştir.

Bitki yetiştirme çalışmalarında, gübrelerin hem tere tohumlarının çimlenmesi hem de çimlendirilmiş tohumların boy uzaması, yaprak sayısı ve toplam ağırlığı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Ekilen tohumlar 60 gün boyunca takip edilmiş, çimlenme süreleri ve büyüme hızları günlük olarak not edilmiştir. Bitki büyüme hızlarının yanı sıra, 60 günün sonunda, gübrenin toprağın nem tutma kapasitesi üzerindeki etkisi de incelenmiştir.

İlk çimlenmenin gözlenmesinin ardından, hücreler yine 15-20 °C'de 12 saatlik aydınlık ve 12 saat karanlık ortamda bekletilerek 60 gün süreyle incelenmiştir (Şekil 3.4). Ekilen tereler 60 günün sonunda kesici alet yardımı ile hasat edilmiştir.



**Şekil 3.4** Çimlenmiş tere tohumları

Çimlenme, 6 günlük bir süre boyunca günlük olarak gözlemlenmiş, çimlenen bitki (radikula) 3 mm'ye ulaştığında tohumların çimlendiği kabul edilmiştir. Çimlenme yüzdesi, toplam tohum sayısının çimlenen tohum sayısına bölünmesiyle belirlenmiştir.

Bitkinin boy uzaması, her bir viyole ekilen 4 tohumun ortalama uzunlukları üzerinden belirlenmiştir. Ancak gübrenin yaprak sayısına olan etkisi, her bir hücrede oluşan toplam yaprak sayısı üzerinden belirlenmiştir.

60 gün süren besleme esnasında, yosun gübresi konsantrasyonunun yüksek olduğu viyollerdeki toprağın sertleştiği ve sürekli ıslak kaldığı fark edilmiştir. Bunun üzerine yosun gübresinin, toprağın nem tutma kapasitesi üzerinde etkili olabileceği kanısına varılmıştır. Bu doğrultuda, tereler 60 günün sonunda hasat edildikten hemen sonra her bir ekstre ve konsantrasyondan toprak numuneleri alınmıştır. Alınan toprak numunelerinin ilk andaki ağırlıkları alınarak not edilmiştir. Ardından 60°C sabit sıcaklıktaki etüvlerde kurutularak nemi uçurulmuştur. Toprakta tutunan su uçurulduktan sonra tekrar tartılan numunelerin, aradaki fark alınarak nemliliği hesaplanmıştır. Bu sayede elde edilen yosun ekstraktlarının toprağın nem tutma kapasitesine olan etkisi incelenebilmiştir.

### **3.3.2.1 Bitki Büyümesi Sonuçlarının İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi**

Farklı gübrelerin farklı konsantrasyonları ile beslenen bitkilerin 60 gün sonunda ulaştıkları ağırlık, ortalama boy ve yaprak sayıları ile toprağın nem tutma kapasitesi farklılık göstermiştir. Bitki gelişimi; gübre üretim metodu, konsantrasyon, (biyolojik prosesler için) işlem süresi gibi çok sayıda değişkene bağlı olarak farklılık göstermiştir.

Proseslerin bitki gelişimi üzerindeki etkisinin analizine, gübrelerin üretim metodunun ayrıştırılması ile başlanmıştır. Fiziksel ve biyolojik metotlar kullanılarak üretilen gübreler, ayrı başlıklar altında incelenmiştir.

3 farklı fiziksel metot uygulanarak elde edilmiş gübreler, bitkilere 5 farklı konsantrasyonda seyreltilerek beslenmiştir. Yani fiziksel yöntemler kullanılarak elde edilmiş gübrelerin bitki gelişimi üzerinde etkili olan yalnızca 2 parametre vardır. Bu sebeple bu değerler yalnızca kontrol grubu ile kıyaslanmıştır. Ancak biyolojik yöntemlerle elde edilen gübrelerde, bitki gelişimi üzerinde etkili olan parametreler kullanılan aşı, fermantasyon süresi, sıvı gübre konsantrasyonu olmak üzere 3'tür. Üstelik kendi içinde birbiri ile benzerlik gösteren bu parametrelerin anlamlı yorumlanabilmesi için, istatistiksel yaklaşımla değerlendirilmeleri gerekir.

Bu sebeple, biyolojik yöntemler kullanılarak ekstrakte edilmiş gübrelerin bitki gelişimi üzerindeki etkisi, Minitab programı kullanılarak istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Bunun için, Minitab programında (Minitab 19) yanıt yüzeyi metodolojisi (Response Surface Methodology – RSM) kullanılarak istatistiksel yaklaşımla optimizasyon yapılmıştır. Özellikle biyolojik çalışmalarda sıklıkla kullanılan bu program, çıktı üzerinde etkili olan farklı değişkenlerin etkisinin aynı anda gözlemlenebilmesini ve değerlendirilebilmesini sağlar. Bu çalışma kapsamında oluşturulan matriste; kullanılan aşı, fermantasyon süresi ve sıvı gübre konsantrasyonu girdiler olarak tanımlanmıştır. Bitkilerin ortalama boy uzunlukları, ağırlıkları, yaprak sayıları ve toprağın nemliliği ise çıktı olarak değerlendirilmiştir.

Yürütülen çalışmada, girdi olarak kullanılan parametrenin çokluğu ve tek çıktı üzerinde değerlendirilmesinin mümkün olamaması sebebiyle, oluşturulan matris kullanılan aşı baz alınarak oluşturulmuştur. Buna göre, A (aşısız), B (anaerobik çamur aşılı), C (maya aşılı) ve D (anaerobik çamur ve maya aşılı) grubu fermente sıvı gübrelerin bitki gelişimi üzerindeki etkileri, farklı matrisler oluşturularak ele alınmıştır. Buna göre, her bir gübrenin (A, B, C ve D gübreleri) boy uzamasına, yaprak sayısına, gramaja ve toprak nemliliğine olan etkisi, her bir veri setinin sisteme yüklenerek sistemin oluşturduğu otomatik model ile yürütülmüştür. Bu sayede her bir sıvı gübrenin bitki gelişimi üzerindeki etkisi ayrı ayrı incelenebilmiştir. Her bir gübre için yürütülen işlem sayısı, ele alınan parametreler ve elde edilen sonuçları içeren matrisler, A, B, C ve D gübreleri için Ek olarak B başlığında verilmiştir.

Aşılama metodu baz alınarak bitki büyümesi üzerinde en etkili olan konsantrasyon ve fermantasyon süresi bulunduktan sonra ise, tüm veriler çoklu regresyon analizi gerçekleştirilerek toplu şekilde değerlendirilmiştir. Bu sayede, aşılama metodu da dahil olmak üzere, bitki büyümesi üzerinde en etkili parametre saptanabilmiştir.

### **3.3.3 Pilot Ölçekli Sistemde Sıvı Gübre Üretimi Çalışmaları**

Makroalglerden sıvı gübre üretimi laboratuvar ölçekli sistemde gerçekleştirilmiş ve farklı metotlarla üretilen gübrelerin bitki büyümesi üzerindeki etkisi incelenerek optimum sıvı gübre üretim metodu ve konsantrasyonu belirlenmiştir. Fiziksel ve biyolojik prosesleri kapsayan bu çalışmalar sonrasında, en verimli ekstraktın anaerobik aşı çamuru ile aşılansak 15-30 gün anaerobik koşullar altında çürütölerek elde edilen deniz yosunundan elde edildiğı görölmüştür.

Çalışmanın ikinci bölümü olan pilot ölçekli çalışmaların yürütöldüğü bu bölümde ise laboratuvar ölçekli sistemden elde edilen deneysel veriler pilot ölçekli sisteme uygulanmıştır. Pilot ölçekli çalışmalar için Silivri'den alınan yaklaşık 200 kg yosun, Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliğı Laboratuvarı'na plastik poşetler içerisinde getirilmiştir. Yosunlar çeşme suyu altında yıkanarak kum, tuzlu su, sucul canlı kalıntısı gibi yabancı maddelerden arındırılmıştır. Yıkanan yosunlar, Öztiryakiler L Series Cutter (8840.L45IV.00) markalı sebze doğrama cihazı (Şekil 3.5) yardımıyla boyutları 0,5 cm'nin altında inene değin öğütölmüştür.



**Şekil 3.5** Makroalglerin öğütülmesi işleminde kullanılan sebze doğrama makinesi

Öğütülen yosunlar, toplam hacmi 600 L olan, paslanmaz çelikten yapılmış sızdırmaz reaktöre (Şekil 3.6) beslenmiştir. Reaktör içi katı madde oranı %5 olacak şekilde, reaktör hacmi çeşme suyu ile 400 L'ye tamamlanmıştır. Ardından reaktörün kapakları kapatılarak anaerobik koşullar altında çürütülmüştür. Anaerobik tank, İSTAÇ A.Ş. tarafından sanayide özel olarak yaptırılmış olup, su ceketine , tank için pH'ının ölçülebildiği bir pH metre cihazına ve bir karıştırıcıya sahiptir. Bu sayede anlık pH ölçümü yapılabilmekte, sabit sıcaklıkta ve sürekli karıştırılarak işletilebilmektedir.

Reaktörde aşı çamuru olarak, bir sakız fabrikasının atıksuyunu arıtan anaerobik bir tanktan alınan granül çamur kullanılmıştır. Anaerobik koşullar altında işletilecek olan tanktaki metanojenik aktiviteyi sonlandırabilmek için anaerobik çamur, bir gece boyunca 0,5 g/L BESA (2-Bromoetanesulfonik asit) ile ön işleme tabi tutulmuştur. Böylece karışık anaerobik çamur kültürünün içinde bulunan metanojenler inhibe olmuş ve bu sayede anaerobik çürütücünün metanojen fazına geçmesi önlenmiştir.



**Şekil 3.6** Sıvı gübre üretiminde kullanılan pilot ölçekli anaerobik reaktör

Reaktörün pH'ı ilk olarak 6'ya ayarlanmış ve  $35 \pm 2$  sıcaklıkta fermantasyon işlemi başlatılmıştır. Günlük olarak pH ve oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP) kontrolü yapılmış, pH'ın 5,5-6,5 aralığının dışına çıkması durumunda 1 N ortofosforik asit veya 1 N NaOH ilavesiyle istenen aralığa çekilmiştir. Reaktör bu koşullar altında 30 gün boyunca işletilmiş ve sırasıyla 5., 10., 15. ve 30. günlerde reaktörden sıvı gübre numuneleri alınarak toplam fosfor, toplam (hümik+fulvik) asit ve suda çözünür potasyum analizleri yaptırılmıştır.

### **3.4 Makroalglerden Kompost Üretimi**

Makroalglerden kompost üretimi, laboratuvarında kurulan kesikli sistemlerde gerçekleştirilmiştir. Bilindiği üzere, bir atığın kompostlaştırılabilmesi için, C/N oranının 25-30 aralığında, neminin ise %50-60 aralığında olması gerekir (Christensen, 2011). Ancak kıyılardan toplanan makroalglerin, nem muhtevalarının yüksek olması ve C/N oranlarının çok düşük olmaları sebebiyle tek başına kompostlaştırılabilirmeleri mümkün değildir.

İstanbul'da halihazırda bir kompostlaştırma tesisi bulunmaktadır. Bu tesiste pazar yeri atıkları, market atıkları gibi organik atıklar kompostlaştırılmaktadır. Tez kapsamında, makroalglerin yönetiminde kullanılabilecek en fizibil yöntem arandığından, çalışmalar kapsamında makroalglerin bu tip organik atıklarla karıştırılması uygun bulunmuştur. Ancak pazar yeri atıkları gibi organik atıklarla makroalglerin karıştırılmaları ile uygun C/N oranı sağlansa da, nem oranının sağlanması mümkün değildir. Bu sebeple, uygun nem oranının sağlanabilmesi için gerekli miktarda talaş da eklenmiştir.

Reaktörlerin kurulması için gerekli olan makroalgler Silivri sahilinden Aralık ayında toplanmıştır. Pazar yeri atıklarını temsil etmesi için Yıldız Teknik Üniversitesi'nin yemekhanesinde oluşan yemek hazırlama atıkları alınmıştır. Reaktörlere beslenen atıkların karakterizasyonları, Tablo 3.8'de verilmiştir.

**Tablo 3.8** Kompost reaktörüne beslenen atıklar ve karakterizasyonları

| <b>Kompost reaktörüne beslenen atık</b> | <b>Nem (%)</b> | <b>C (%)*</b> | <b>N (%)*</b> |
|-----------------------------------------|----------------|---------------|---------------|
| Yosun                                   | 90             | 27,7          | 2,3           |
| Yemek hazırlama/sebze atığı             | 85             | 38,5          | 2,5           |
| Talaş                                   | 10             | 50            | 0,15          |

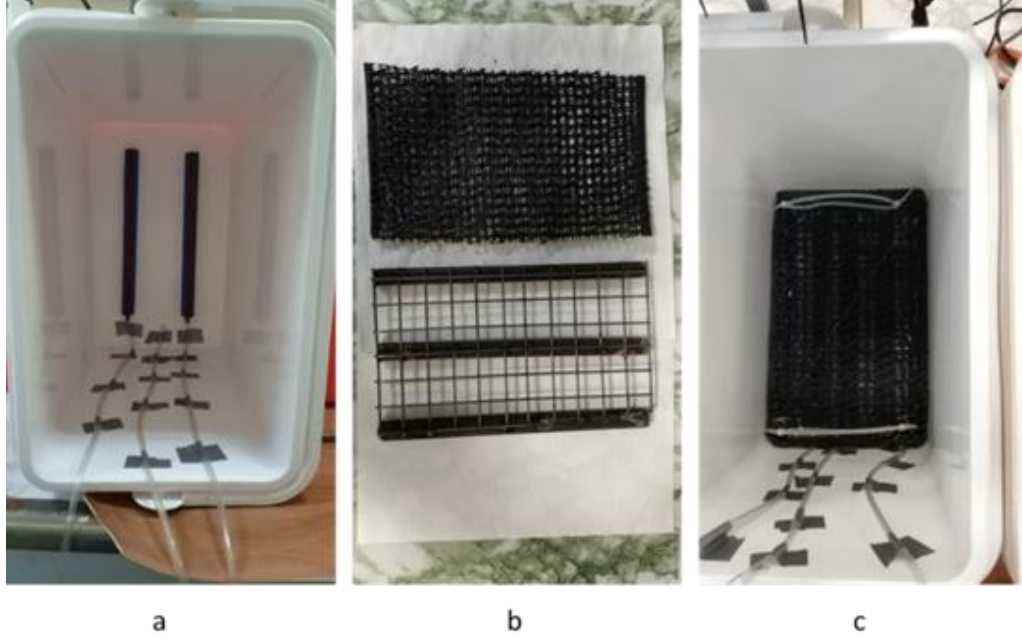
\*Kuru ağırlık üzerinden ölçümleme yapılmıştır

Tez kapsamında makroalglerin tek başlarına ve yemek atıklarıyla kompostlaştırılabilirliğinin ele alındığı bu çalışmalarda, makroalgler kompost reaktörlerine yemek hazırlama atıklarıyla %0, %10, %20, %50 ve %100 oranında karıştırılarak beslenmiştir. Nem muhtevasının istenen seviyeye getirilebilmesi içinse, gerekli miktarda talaş ilavesi yapılmıştır. Reaktörlere beslenen yosun, sebze atığı ve talaşın karışım oranları Tablo 3.9'da verilmiştir.

**Tablo 3.9** Reaktörlere beslenen atıkların kütlece oranları

| Reaktör adı | Makroalg:Sebze atığı<br>karışım oranı | Atık karışım oranı (%) |             |       |
|-------------|---------------------------------------|------------------------|-------------|-------|
|             |                                       | Makroalg               | Sebze atığı | Talaş |
| Reaktör - 1 | 0:100                                 | 0                      | 82          | 18    |
| Reaktör - 2 | 10:90                                 | 10                     | 70          | 20    |
| Reaktör - 3 | 20:80                                 | 20                     | 62          | 18    |
| Reaktör - 4 | 50:50                                 | 50                     | 31          | 19    |
| Reaktör - 5 | 100:0                                 | 82                     | 0           | 18    |

Kompost üretimi, 32 litre toplam hacme sahip termoslarda yürütülmüştür. Reaktörlerin ihtiyacı olan hava, akvaryum pompalarıyla sağlanmıştır. Kompost biyoreaktöründe mikroorganizmaların çoğalması, ısı ve nem kontrolünün sağlanması için akvaryum hava pompaları ile reaktöre beslenen havanın, reaktörde eşit dağılabilmesi için termosların tabanına tüm tabanı kaplayacak ve havanın her noktaya ulaşmasını sağlayacak hava taşları yerleştirilmiştir. Hava taşlarına beslenen havayı taşıyacak boruların yanı sıra, tabanda biriken suyun toplanması için bir de drenaj borusu yerleştirilmiştir (Şekil 3.7.a). Reaktöre beslenen atıkların hava taşlarına uygulayabileceği olası baskının engellenmesi içinse delik aralığı (3 cm)x(3 cm) olan demir ızgaralar hazırlanmış ve hava taşlarının hemen üzerine yerleştirilmiştir. Demir ızgaranın delik aralığı çok yüksek olduğundan, atıkların bu deliklerden hava taşlarına geçerek tıkanıklığa sebep olmasının önlenmesi içinse ızgara aralığı 0,2-0,4 cm olan bir süzgeç sabitlenmiştir (Şekil 3.7.b). Hava taşlarının üzerine sırasıyla demir ızgara ve tel süzgeç yerleştirilmiştir. Bu sayede hem beslenen havanın reaktörde eşit şekilde dağılması, hem de atıklardan süzülen suyun tabanda birikmesi ve bu sayede rahatlıkla uzaklaştırılabilmesi sağlanmıştır (Şekil 3.7.c).



**Şekil 3.7** Kompost biyoreaktörlerinin hazırlanma aşaması

Kompost üretiminde en önemli parametrelerden olan sıcaklık ise, özel bir yazılımın Raspberry-Pi cihazına entegre edilmesi ile ölçümlenmiştir. Bu özel yazılım sayesinde, 5 farklı reaktördeki sıcaklık değişimi dakikada bir kez ölçülerek reaktör işletimi boyunca otomatik olarak kaydedilmiştir (Şekil 3.8).



**Şekil 3.8** Kompost reaktörlerinin sıcaklık ölçümlerinin takibi için geliştirilen yazılımın reaktörlerle görünümü

Reaktörlerin hazırlanmasının ardından makroalgler ve sebze atıkları 1-3 cm büyüklüğünde parçalara bölünmüştür. Ek olarak, aşı görevi görmesi için paketlenmeye hazır kompost temin edilmiş ve bu kompostlar reaktörlerin kurulum aşamasında kullanılmıştır. Her bir reaktöre, reaktöre beslenen toplam

kütlenin %10'u kadar kompost aşısı eklenmiştir. Makroalg, sebze atığı, talaş ve kompost aşısı, homojen bir karışım elde edilinceye dek karıştırılmış ve nihayetinde reaktörlere beslenmiştir. Reaktörlerin soğumasını engellemek içinse termosların kapak kısmını kapatacak biçimde strafor hazırlanmış ve kapakları kapatılmıştır (Şekil 3.9). Reaktörde oluşan su buharının buharlaşabilmesi için strafor kapaklara delikler açılmıştır.



**Şekil 3.9** Atık karışımı ile beslenmiş ve strafor kapaklar ile yalıtılmış biyoreaktörler

Reaktörler sıcaklık değerleri oda sıcaklığına düşene ve beslenen ürünlerin tamamen parçalandıkları gözlemlenene kadar işletilmiştir.

### 3.5 Makroalglerden Biyoplastik Malzeme Üretimi

Makroalglerden biyoplastik üretim çalışmalarında bir biyoplastik olan polilaktik asit ve dolgu malzemesi olarak deniz yosunu kullanılmıştır. Çalışmalarda kullanılan polilaktik asit (PLA) Türkiye'den Resinex firmasından temin edilmiştir. Ürün ABD menşelidir (NatureWorks Firması) ve PLA 4032D kodu ile satılmaktadır. Kullanılan PLA'nın karakterizasyonu Tablo 3.10'da verilmiştir.

Matris oluşturmak için kullanılan deniz yosunları ise İstanbul Silivri'den temin edilmiştir. Karışık atık deniz yosunu numunesi türlerine ayrıştırılmadan kullanılmıştır. Silivri kıyılarından toplanan örnekler plastik torbalarla laboratuvarlara getirilmiş ve tuz, kum parçacıkları ve ölü organizmalar gibi safsızlıkları gidermek için musluk suyu ile yıkanmıştır. Temizlenmiş deniz yosunu örnekleri, bir gece boyunca 60°C'de kurutulmuştur. Deniz yosunu örneğinin karakterizasyonu Tablo 3.11'de verilmiştir. Kurutulmuş örnekler öğütücüde öğütülmüş ve 200 µm elek ile elenmiştir.

**Tablo 3.10** Biyoplastik üretiminde kullanılan polilaktik asitin özellikleri

| Özellik         | Birim             | Değer   |
|-----------------|-------------------|---------|
| Erime sıcaklığı | °C                | 145-160 |
| Geçiş sıcaklığı | °C                | 55-60   |
| Yoğunluk        | g/cm <sup>3</sup> | 1,24    |

Oluşturulan kompozitler çekme testi makinesine (Zwick, 1 kN) beslenerek gerilim-gerinim grafikleri elde edilmiştir. Ayrıca termal ayrışma sıcaklığı termogravimetrik analiz ile tespit edilmiştir.

**Tablo 3.11** Biyoplastik üretiminde kullanılan deniz yosununun karakterizasyonu

| Parametre           | Birim | Değer |
|---------------------|-------|-------|
| Su muhtevası        | %     | 90    |
| Toplam karbon (TC)* | %     | 27,9  |
| Toplam azot (TN) *  | %     | 2,3   |
| C/N                 | -     | 12,1  |

\*Kuru ağırlık üzerinden ölçümleme yapılmıştır

Biyoplastik üretimi, neminin uzaklaştığından emin olmak için bir gece boyunca 80°C sabit sıcaklıktaki vakumlu etüvde kurutulan PLA ve deniz yosunu numuneleri ile yapılmıştır. Kurutmanın ardından PLA, %8'lik (ağırlık:hacimce, w:v) kloroformda çözündürülmüştür. Son olarak sulu kompozit, ince polimer filmlerin yapılması için manuel işlemci ile hazırlanmıştır.

İnce polimer kompozitleri ASTM D882-12 standardına göre 50 mm uzunluk, 10 mm genişlik ve 2 mm kalınlığında hazırlanmıştır. Solüsyon içindeki kompozite deniz yosunu eklenmiş, 9000 rpm'de 90 saniyelik çözelti döküm yöntemi ve yüksek kesme mikseri kullanılarak 7000 rotasyonda hazırlanmıştır.

#### 4.1 Makroalglerin Oluşum Miktarı

Çalışmalar kapsamında ele alınan ilk olgu, İstanbul kıyılarında birikim gerçekleştiren makroalglerin miktarı olmuştur. Kıyılardan toplanan deniz yosunlarının 2013 yılından beri kaydı tutulmakta olup, toplanan yosun miktarları Tablo 4.1’de verilmiştir.

**Tablo 4.1** İstanbul kıyılarından toplanan deniz yosunlarının yıllara göre değişimi

| Yıllar | Toplanan yosun (kg) |
|--------|---------------------|
| 2013   | 5.128.450           |
| 2014   | 2.124.291           |
| 2015   | 5.457.690           |
| 2016   | 2.483.392           |
| 2017   | 3.570.410           |
| 2018   | 2.669.850           |

Tabloda görüldüğü üzere, toplanan makroalg miktarı yıllık bazda 5.000 tona kadar ulaşmaktadır. Aylık ortalama ~420 ton makroalge karşılık gelen bu miktar, yaz aylarında bu değerin 4 katına kadar çıkabilmektedir. Makroalglerin yıl içerisindeki bölgesel ve mevsimsel değişimlerinin verildiği tablolar, Ek (A) olarak ayrıca sunulmuştur. Ekler incelendiğinde, haziran ve eylül ayları arasında en yüksek birikimin gerçekleştiği, kış aylarında ise yosun birikiminin oldukça azaldığı ve hatta bazen hiç birikim gerçekleşmediği görülmektedir.

#### 4.2 Makroalglerin Karakterizasyonu

Kıyılardan toplanan makroalglerin faydalı ürüne dönüştürülebilirliğinin çalışıldığı bu araştırmada, elde edilecek ürünün kalitesini etkileyecek en önemli unsurlar, biriken makroalg miktarı ve karakteristiğidir. İSTAÇ A.Ş. tarafından toplanan

makroalglerin miktarının envanteri tutulmaktadır. Ancak toplanan bu makroalglerin karakterizasyonuna ait çalışma yürütülmediğinden, tez çalışması kapsamında aylık periyotta toplanan makroalglerin karakteristiği de ortaya konulmuştur.

#### **4.2.1 Morfolojik Gözlemler**

Makroalglerin mevsimsel tür değişimleri, morfolojik gözlemlerle yürütülmüştür. Makroalglerin koparak kıyıya ulaşması, makroalglerin gövde ve uç kısımlarında deformasyonlara sebep olmaktadır. Bu durum, makroalglerin morfolojik gözlemlerle tür tespitinin yapılmasında zorluklar çıkarmıştır. Ancak yapılan morfolojik gözlemler sonucunda dikkat çeken en önemli sonuç, soğuk aylarda daha çok kırmızı alg türlerinin, sıcak aylarda ise yeşil alg türlerinin daha çok gözlemlenmesi olmuştur.

Tüm bunlara ek olarak en sık rastlanan makroalg türleri; *Ceramium rubrum*, *Gracilaria sp.*, *Jania rubens*, *Gigartia acicularis*, *Halymenia sp.*, *Sphaerococcus coronopifolius*, *Dudresnaya sp.*, *Rhodymenia sp.*, *Laurencia obtusa*, *Ulva sp.*, *Chladophora pellucida*, *Enteromorpha intestinalis*, *Cystoseira compressa* olmuştur.

#### **4.2.2 Makroalglerin Tuzluluk Oranları**

İstanbul kıyılarından alınan deniz suyu örneği ile makroalglerin yıkanarak ve yıkanmadan yapılan iletkenlik ve tuzluluk ölçüm sonuçları Tablo 4.2’de verilmiştir. Ölçülen iletkenlik değerleri sıcaklığa bağlı bir formülasyon kullanılarak ppt (binde bir) biriminden tuzluluğa dönüştürülmüştür.

Yıkanmış yosunda ölçülen tuzluluk değeri, yalnızca hücre içinde bulunan tuzluluğu gösterir. Yıkanmamış yosunun tuzluluk değerine ise hem hücre içinde bulunan tuz miktarı, hem de yosunun yüzeyine yapışan deniz suyunun tuzu etki eder. Elde edilen değerler incelendiğinde, yosunun yıkanması ile işletilmesi planlanan sistemlere girecek tuz miktarını yarı yarıya azalacaktır.

**Tablo 4.2** Yıkanmış, yıkanmamış yosun numunelerinin ve deniz suyunun tuzlulukları

| Numune           | İletkenlik (mS/cm) | Tuzluluk (ppt) |
|------------------|--------------------|----------------|
| Yıkanmamış yosun | 9,18               | 5,4            |
| Yıkanmış yosun   | 4,76               | 2,5            |
| Deniz suyu       | 37                 | 25,6           |

Yapılan çalışmalarda deniz suyunun tuzluluğu da ölçülmüştür. Marmara Denizi'nin tuzluluk oranının mevsimsel değişim göstererek yıl içerisinde 17,5-28,8 psu (ppt) (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017) arasında değişkenlik göstermektedir. Çalışmalar kapsamında elde edilen sonuçlar, bu değer ile benzerlik göstermektedir. Deniz suyunun tuzluluğu ile yosunun tuzluluğu kıyaslandığında ise, arada çok ciddi bir fark olduğu görülür. Yosun, denizde bulunan tuzun yalnızca %10'u kadar tuzu bünyesinde tutmaktadır.

Makroalglerin yapısında bulunan tuz miktarının ölçülmesindeki temel sebep, bu tuzun makroalglerden biyoenerji gibi ürün üretiminde engel teşkil edip etmeyeceğinin tespitini sağlamaktır. Yapılan çalışmalar kapsamında, makroalglerden biyogaz, sıvı gübre ve kompost üretimi incelenmiştir. Kompost üretimi için baz alınan kriterler, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 5 Mart 2015 tarihinde yayınladığı 29286 sayılı Kompost Tebliği'nde yer almaktadır. Tebliğde, mineral iyonlar halindeki tuzların 10 dS/cm'den az olması gerektiği yazmaktadır. Yıkanmamış makroalglerin tuz içeriği dahi bu değeri aşmamaktadır. Bu sebeple makroalglerden kompost üretimi için tuzluluk bir engel oluşturmamaktadır. Sıvı gübre üretimi için dikkate alınan yönetmelik olan Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından Resmi Gazete'nin 23 Şubat 2018 tarih ve 30341 sayılı nüshasında yayımlanan Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelerle Dair Yönetmelik'te ise tuzluluk limitine dair bir bilgi bulunmamaktadır. Biyogaz üretiminde makroalglerin kullanılması durumunda önemli olan husus ise, başta metanojenler olmak üzere biyometan üretiminde rol

alan mikroorganizmaların tuzluluğa karşı inhibisyon limitleri olacaktır. Roberts vd.'nin (2016) yaptığı çalışmada, bir anaerobik çürütücünün aklime edilmesi halinde 31,1 g/L'ye kadar tuzluluğa dayanabildiği ve inhibe olmadan metan üretebildiği belirtilmiştir. Bu veriler de göstermektedir ki, makroalglerin tuz içerikleri faydalı ürün üretim proseslerinde negatif etki oluşturacak seviyelerde değildir.

#### **4.2.3 Makroalglerin Ağır Metal İçerikleri**

Makroalglerin yapısında bulunabilecek olası bir ağır metal, makroalglerden üretilecek olan faydalı ürünlerin büyük çoğunluğu biyolojik yollarla üretileceği için önem arz etmektedir. Bu sebeple İstanbul kıyılarından aylık periyotlarda toplanan makroalg numunelerinde kadmiyum (Cd), bakır (Cu), nikel (Ni), kurşun (Pb), krom (Cr) ve çinko (Zn) olmak üzere 6 farklı ağır metal ölçümü yapılmıştır. Yapılan ölçümlerin sonuçları Tablo 4.3'te verilmiştir.

**Tablo 4.3** Aylık periyotlarla toplanan makroalglerin ağır metal konsantrasyonları

|    | Ay    | Yeri                          | Ağır metal (mg/kg) |       |       |       |        |       |
|----|-------|-------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|--------|-------|
|    |       |                               | Cd                 | Pb    | Cr    | Cu    | Zn     | Ni    |
| 1  | Ocak  | Selimpaşa-Yakamoz             | 0,30               | 5,87  | 14,54 | 23,65 | 51,21  | 8,70  |
| 2  | Ocak  | Selimpaşa-Araftepe            | 0,24               | 5,91  | 12,09 | 42,78 | 72,20  | 11,41 |
| 3  | Şubat | Selimpaşa Merkez Sahil        | 0,22               | 11,10 | 12,60 | 40,84 | 72,56  | 9,35  |
| 4  | Şubat | Selimpaşa-Gümüşyaka           | 0,38               | 11,63 | 20,82 | 44,72 | 107,51 | 13,35 |
| 5  | Şubat | Küçükçekmece-Florya           | 0,46               | 19,15 | 24,53 | 73,06 | 226,88 | 8,83  |
| 6  | Mart  | Selimpaşa-Çanta               | 0,32               | 6,44  | 11,51 | 25,80 | 51,32  | 6,40  |
| 7  | Mart  | Selimpaşa-Gümüşyaka           | 0,34               | 8,16  | 18,67 | 35,91 | 59,58  | 11,18 |
| 8  | Mart  | Silivri-Semizkumlar           | 0,32               | 7,95  | 16,49 | 34,31 | 87,01  | 9,65  |
| 9  | Mart  | Küçükçekmece-Florya           | 0,22               | 9,27  | 5,84  | 43,20 | 64,02  | 3,83  |
| 10 | Nisan | Selimpaşa-Celaliye Spor Klübü | 0,20               | 11,11 | 11,15 | 39,45 | 52,66  | 7,50  |
| 11 | Nisan | Selimpaşa-Araftepe            | 0,18               | 10,29 | 9,71  | 27,25 | 63,99  | 6,46  |
| 12 | Nisan | Selimpaşa-Merkez Sahil        | 0,48               | 13,03 | 19,68 | 45,72 | 67,13  | 13,59 |
| 13 | Nisan | Selimpaşa-Ayazma              | 0,28               | 13,79 | 13,21 | 52,55 | 133,53 | 6,27  |
| 14 | Nisan | Küçükçekmece-Gölü             | 0,10               | 13,34 | 24,93 | 86,66 | 172,19 | 16,12 |
| 15 | Mayıs | Selimpaşa-Yakamoz             | 0,20               | 10,87 | 13,86 | 21,66 | 34,31  | 5,82  |
| 16 | Mayıs | Selimpaşa-Merkez Sahil        | 0,32               | 13,39 | 14,56 | 23,43 | 55,79  | 8,27  |
| 17 | Mayıs | Küçükçekmece-Florya           | 0,14               | 7,92  | 3,24  | 35,93 | 65,66  | 4,89  |

**Tablo 4.3** Aylık periyotlarla toplanan makroalglerin ağır metal konsantrasyonları  
(Devamı)

|    | Ay      | Yeri                       | Ağır metal (mg/kg) |       |       |        |        |       |
|----|---------|----------------------------|--------------------|-------|-------|--------|--------|-------|
|    |         |                            | Cd                 | Pb    | Cr    | Cu     | Zn     | Ni    |
| 18 | Mayıs   | Büyükçekmece-Sahil         | 0,32               | 9,18  | 13,14 | 37,31  | 91,37  | 10,08 |
| 19 | Haziran | Selimpaşa-Gümüşyaka        | 0,06               | 8,62  | 16,26 | 34,26  | 61,86  | 8,62  |
| 20 | Haziran | Selimpaşa-Merkez Sahil     | 0,16               | 10,76 | 14,55 | 41,32  | 89,43  | 11,46 |
| 21 | Haziran | Silivri-Sahil              | 0,54               | 11,84 | 19,57 | 38,79  | 92,36  | 12,24 |
| 22 | Haziran | Küçükçekmece-Atatürk Köşkü | 0,06               | 10,11 | 6,04  | 29,20  | 79,14  | 5,56  |
| 23 | Temmuz  | Silivri-Sahil              | 0,56               | 10,66 | 26,84 | 176,69 | 116,19 | 16,52 |
| 24 | Temmuz  | Büyükçekmece Sahil         | 0,50               | 10,79 | 28,40 | 30,34  | 51,77  | 10,81 |
| 25 | Temmuz  | Küçükçekmece-Florya        | 0,48               | 11,02 | 20,04 | 151,51 | 76,23  | 8,04  |
| 26 | Ağustos | Selimpaşa-Gümüşyaka        | 0,00               | 6,74  | 4,48  | 6,06   | 76,81  | 44,53 |
| 27 | Ağustos | Selimpaşa-Ayazma           | 0,00               | 6,75  | 1,74  | 5,99   | 73,36  | 25,06 |
| 28 | Eylül   | Küçükçekmece-Atatürk Köşkü | 0,00               | 7,90  | 8,52  | 11,04  | 134,94 | 28,51 |
| 29 | Eylül   | Büyükçekmece-Sahil         | 0,00               | 13,43 | 26,63 | 6,92   | 77,77  | 35,20 |
| 30 | Eylül   | Selimpaşa-Merkez Sahil     | 0,02               | 16,44 | 41,89 | 10,42  | 76,63  | 42,46 |
| 31 | Eylül   | Selimpaşa-Ayazma           | 0,00               | 10,59 | 13,30 | 7,57   | 97,18  | 16,53 |
| 32 | Ekim    | Silivri-Semizkumlar        | 0,00               | 9,46  | 13,63 | 6,69   | 88,02  | 16,41 |
| 33 | Ekim    | Silivri-Sahil              | 0,00               | 9,36  | 28,74 | 9,34   | 53,86  | 22,38 |

**Tablo 4.3** Aylık periyotlarla toplanan makroalglerin ağır metal konsantrasyonları  
(Devamı)

|                | Ay     | Yeri                   | Ağır metal (mg/kg) |       |       |        |        |       |
|----------------|--------|------------------------|--------------------|-------|-------|--------|--------|-------|
|                |        |                        | Cd                 | Pb    | Cr    | Cu     | Zn     | Ni    |
| 34             | Ekim   | Büyükçekmece-Sahil     | 0,00               | 10,15 | 9,69  | 6,29   | 126,93 | 16,18 |
| 35             | Kasım  | Selimpaşa-Güzelkent    | 0,22               | 15,99 | 11,30 | 9,56   | 35,56  | 18,66 |
| 36             | Aralık | Silivri-Gece Pazarı    | 0,29               | 8,48  | 10,85 | 21,81  | 40,91  | 6,17  |
| 37             | Aralık | Silivri-Semizkumlar    | 0,17               | 5,34  | 16,39 | 40,10  | 71,69  | 10,44 |
| 38             | Aralık | Silivri-Spor kent      | 0,19               | 8,71  | 16,56 | 31,44  | 59,25  | 12,47 |
| 39             | Aralık | Selimpaşa Merkez Sahil | 0,16               | 6,85  | 6,01  | 23,68  | 60,50  | 4,85  |
| 40             | Aralık | Selimpaşa-İlkkent      | 0,14               | 4,01  | 24,22 | 42,94  | 62,66  | 13,01 |
| Maksimum değer |        |                        | 0,56               | 19,15 | 41,89 | 176,69 | 226,88 | 44,53 |
| Minimum değer  |        |                        | 0,00               | 4,01  | 1,74  | 5,99   | 34,31  | 3,83  |
| Ortalama değer |        |                        | 0,21               | 10,06 | 15,66 | 36,90  | 80,80  | 13,70 |
| Standart sapma |        |                        | 0,17               | 3,12  | 8,06  | 34,19  | 36,76  | 9,47  |

Seçilen bu 6 ağır metal, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından Resmi Gazete'nin 23 Şubat 2018 tarih ve 30341 sayılı nüshasında yayımlanan Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelik'i referans alınarak seçilmiştir. Bu yönetmelikte bu ağır metaller için belirlenen sınır değerlere Tablo 4.4'te yer verilmiştir.

Makroalglerde ölçülen kadmiyum konsantrasyonları incelendiğinde, en yüksek konsantrasyonun 0,56 ppm (mg/kg), en düşük konsantrasyonun ise 0 ppm (mg/kg) olduğu görülmüştür. Sıvı gübre yönetmeliğinde ve kompost tebliğinde belirlenen limit değer 3 ppm olup, yosunda bulunan kadmiyum konsantrasyonu bu

değerin altında çıkmıştır. Kurşun için yönetmeliklerde belirtilen limit değer 150 ppm iken, yosun numunelerinde ölçülen en yüksek kurşun konsantrasyonu 19,15 ppm olarak ölçülmüştür. Benzer şekilde, sırasıyla krom, bakır, çinko ve nikel için belirtilen limit değerler 350, 450, 1100 ve 120 ppm iken, bir yıl boyunca alınan yosun numuneleri arasında ölçülen en yüksek konsantrasyonlar bu ağır metaller için yine sırasıyla 41,89; 176,69; 226,88 ve 44,53 ppm olmuştur.

**Tablo 4.4** Tarımda kullanılan gübre ve kompostların kullanımı için gerekli yönetmeliklerde belirtilen ağır metal limit değerleri

| Ağır metaller | Yönetmeliklerde limit konsantrasyonlar                                                        |                                      |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
|               | Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelik (mg/kg)* | Kompost Tebliği (mg/kg kuru madde)** |
| Kadmiyum (Cd) | 3                                                                                             | 3                                    |
| Bakır (Cu)    | 450                                                                                           | 450                                  |
| Nikel (Ni)    | 120                                                                                           | 120                                  |
| Kurşun (Pb)   | 150                                                                                           | 150                                  |
| Çinko (Zn)    | 1100                                                                                          | 1100                                 |
| Krom (Cr)     | 350                                                                                           | 350                                  |

\*: Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından Resmi Gazete'nin 23 Şubat 2018 tarih ve 30341 sayılı nüshasında yayımlanan "Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelik"

\*\* : Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 5 Mart 2015 tarihinde yayınladığı 29286 sayılı "Kompost Tebliği"

Yosunların ağır metal içerikleri, yosunların kuru ağırlıkları üzerinden hesaplanmıştır. Yosunun su muhtevasının yaklaşık %90 mertebelerinde olduğu hesaba katıldığında, elde edilen bu değerlerin oldukça düşük olması dikkat çekmektedir. Ölçümlerden elde edilen bu değerlerin, yosunun kuru formu yerine ıslak formu üzerinden hesaplanması ise ölçüm sonuçlarının 10 kat seyrelmesi anlamına gelmektedir. Bu da göstermektedir ki, İstanbul kıyılarından toplanan

yosunların ağır metal konsantrasyonları, bu yosunların gübre olarak kullanılmasına engel olmayacaktır.

Deniz yosunları, sucul ortamlardaki ağır metal kirliliğinin biyoindikatörleri olarak bilinirler (Akcali ve Kucuksezgin, 2011). Bu sebeple son yıllarda makroalglerin ağır metal konsantrasyonlarını izleyerek kirlilik takibinin yapılması oldukça popülerdir. Alp ve arkadaşlarının (2012) Mersin’de 4 farklı istasyondan yılın her ayı düzenli olarak aldığı numunelerde krom, mangan, demir, nikel, bakır, çinko, kurşun ve kadmiyum elementlerinin değişimi incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda, *Ulva sp.* ve *Enteromorpha sp.* türleri yosunlarda en çok demir, en az kadmiyum elementinin biriktiği belirtilmiştir. En yüksek krom konsantrasyonu 42,98 mg/kg, nikel konsantrasyonu 55,40 mg/kg, bakır konsantrasyonu 12,76 mg/kg, çinko konsantrasyonu 17,69 mg/kg, kurşun konsantrasyonu 3,25 mg/kg ve kadmiyum konsantrasyonu 0,11 mg/kg olarak not edilmiştir. İskenderun Körfezi’nde yürütülen benzer bir çalışmada da makroalg örneklerinde ağır metal birikiminin Fe>Zn>Pb>Cu>Cd şeklinde gerçekleştiği belirtilmiş ve ağır metal derişimlerinin türe göre değişkenlik gösterebildiği not edilmiştir (Olgunoğlu, 2008).

İstanbul Boğazı’ndan alınan yosun örneklerinde yapılan ağır metal analizleri sonucunda, sırasıyla krom, çinko, kurşun, bakır ve kadmiyum metallerinin en yüksek konsantrasyonları 9 mg/kg, 90,8 mg/kg, 9,5 mg/kg, 11,50 mg/kg ve 2,03 mg/kg olarak bulunmuştur (Kut vd., 2000). Yapılan çalışmada, yosun türleri ile biriken ağır metal konsantrasyonları arasında doğrudan bir ilişki olmadığı da not edilmiştir. Topçuoğlu vd. (2003) tarafından yapılan çalışmada, Sinop ve İstanbul-Şile’den toplanan yosunlarda ağır metal konsantrasyonları ölçülmüş ve Sinop’tan alınan yosun numunelerinde daha yüksek miktarda ağır metal içeriği tespit etmişlerdir. Ayrıca Karadeniz’den alınan numunelerde, Marmara Denizi ve boğazlardan alınan numunelere kıyasla daha az ağır metal konsantrasyonuna rastlanmış ve ağır metal değerlerinin yıllar içinde azalma gösterdiğini belirtmiştir.

#### **4.2.4 Makroalglerin Elementel Kompozisyonları**

Bir yıl boyunca aylık periyotlarla alınan makroalg numunelerinin karbon, azot ve kükürt içerikleri incelenmiştir. Aylık periyotlarda toplanan numunelerin

kariştirilmesiyla elde edilen numunelerin elementel analiz sonuçları Tablo 4.5'te verilmiştir.

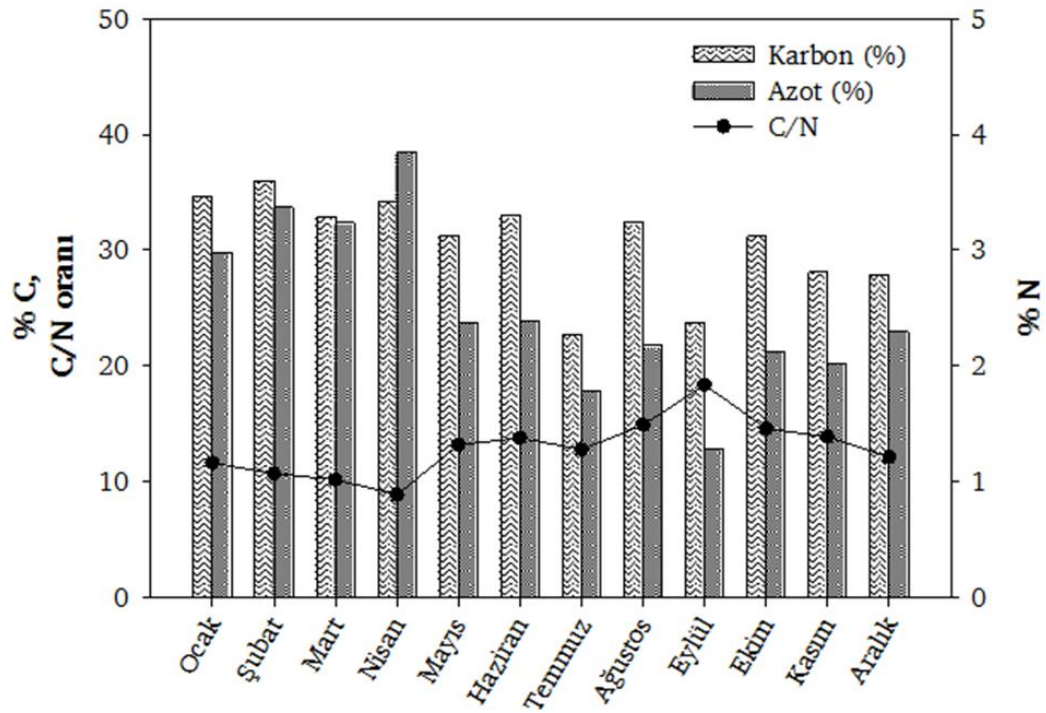
**Tablo 4.5** Aylık periyotlarda alınan makroalg numunelerinin C, N, S oranları

| Numunenin alındığı ay | Toplam C (%) | Toplam N (%) | C/N  | Toplam S (%) |
|-----------------------|--------------|--------------|------|--------------|
| Ocak                  | 34,7         | 2,98         | 11,6 | 1,52         |
| şubat                 | 36,0         | 3,37         | 10,7 | 1,15         |
| Mart                  | 32,9         | 3,24         | 10,2 | 1,48         |
| Nisan                 | 34,2         | 3,85         | 8,88 | 1,97         |
| Mayıs                 | 31,3         | 2,37         | 13,2 | 1,89         |
| Haziran               | 33,0         | 2,39         | 13,8 | 2,35         |
| Temmuz                | 22,7         | 1,78         | 12,8 | 1,27         |
| Ağustos               | 32,4         | 2,18         | 14,9 | 2,53         |
| Eylöl                 | 23,8         | 1,29         | 18,4 | 1,92         |
| Ekim                  | 31,2         | 2,13         | 14,6 | 1,96         |
| Kasım                 | 28,1         | 2,02         | 13,9 | 1,51         |
| Aralık                | 27,9         | 2,3          | 12,1 | 1,52         |

Elde edilen veriler ışığında, İstanbul kıyılarından toplanan makroalglerin toplam karbon içeriğinin %22,7 ile %36, toplam azot içeriğinin %1,29 ile %3,85, toplam kükört içeriğinin ise %1,15 ile %2,53 arasında değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir.

Makroalglerin karbon ve azot içeriklerinin mevsimsel değişimi grafik halinde şekil 4.1'de verilmiştir. şekil 4.1 incelendiğinde, karışık makroalg kültürünün genel olarak soğuk aylarda daha yüksek miktarda karbon ve azot içerdiği, buna karşın,

C/N oranlarının ise sıcak dönemlerde daha yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir.



**Şekil 4.1** Makroalglerin karbon-azot içeriklerinin ve oranlarının aylara göre değişimi

Literatürde, farklı türlerin elementel içeriklerinin mevsimsel değişimi hakkında yürütülmüş çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda genellikle spesifik türler ele alınmıştır. Tabassum ve arkadaşlarının 2016(a) yılında bir kahverengi alg türü olan *Ascophyllum nodosum*'un mevsimsel karakteristiğini incelediği çalışmada, makroalgin karbon ve azot içeriklerinin sırasıyla %33,6-40,9 ve %0,89-2,47 arasında değişiklik gösterdiği belirtilmiştir. Yine bir kahverengi alg türü olan *Laminaria Digitata*'nın mevsimsel karakteristik değişiminin incelendiği bir başka çalışmada ise, makroalgin karbon ve azot içeriklerinin sırasıyla %26,06-37,18 ve %0,93-3,95 arasında değişkenlik gösterdiği görülmüştür (Tabassum vd., 2016b). Bu kahverengi alg türlerinin karbon içekleri, İstanbul kıyılarından toplanan karışık alg kültürünün karbon içeriğinden yüksekken, azot içeriği ise İstanbul kıyılarından toplanan algin azot içeriğinden düşük kalmıştır. Bu durumun temel sebebinin, kahverengi alglerin yapısında diğer alglere kıyasla daha fazla karbonhidrat biriktirmesi olarak düşünülmektedir. Makroalg patlamasının görüldüğü noktalarda

yapılan elementel analizler incelendiğinde ise, genellikle *Ulva* türünden oluşan karışık alg türlerinin karbon içeriğinin %22,7 ile %40 arasında, azot içeriğinin ise %0,85 ile %4,45 arasında değiştiği görülür (Van Alstyne, 2016). Bu değerlerin, İstanbul kıyılarında birikim gösteren alg örnekleriyle daha yakın olduğu görülmektedir. Daha önceki bölümlerde de bahsedildiği üzere, İstanbul kıyılarında genellikle yeşil alg birikimi gerçekleşmektedir. Van Alstyne'nin yaptığı çalışmada belirtilen değerler ile bu çalışmada bulunan değerlerin benzerlik göstermesinin temelinde bu sebebin yattığı düşünülmektedir.

Farklı türlerin karbon ve azot içerikleri farklılık gösterebilse de, C/N oranının mevsim bazlı benzer yükseliş ve düşüşler oluşturduğu görülmektedir. *Ascophyllum nodosum* ve *Laminaria Digitata*'nın C/N oranlarının da, İstanbul'daki alglerin mevsimsel karakteristiğine benzer şekilde, sıcak dönemlerde soğuk dönemlerin 3 katına kadar çıkarak artış gösterdiği görülmüştür. Ancak alg patlaması gözlemlenen çalışmalarda, alg patlamalarının genellikle yaz mevsiminde gerçekleşmesinden ötürü mevsimsel değerlendirme yapılması mümkün olamamaktadır.

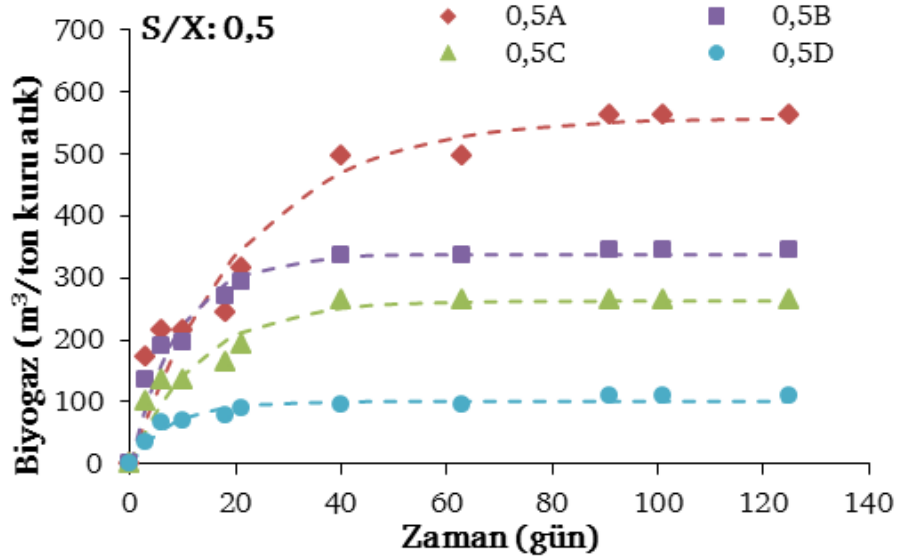
### 4.3 Makroalglerden Biyogaz Üretimi

#### 4.3.1 Biyogaz Üretim Miktarları

Çalışmanın bu bölümünde makroalgler (yosunlar), mutfak atıklarıyla beslenen bir sisteme beslenmiştir. Bu sayede makroalglerin bu sistemlere bir katkı ürünü olup olamayacağı incelenmiştir.

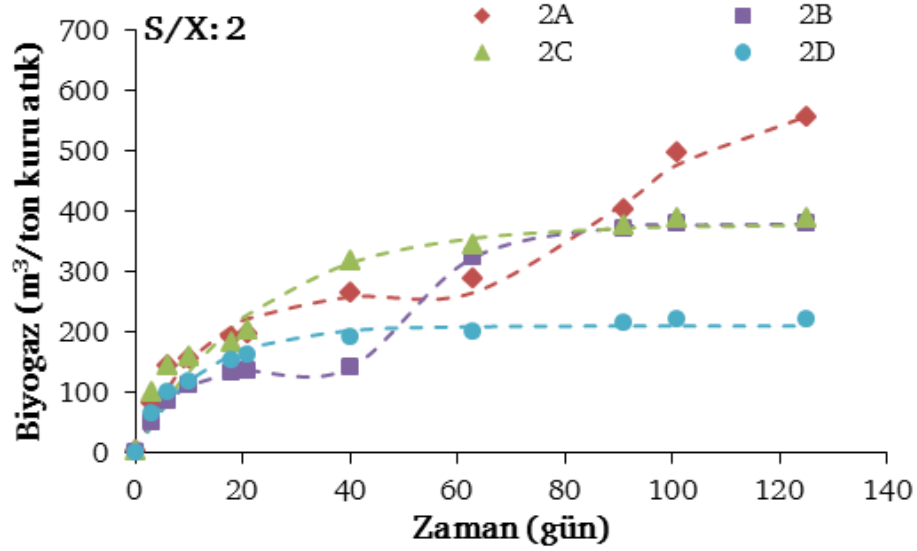
16 farklı biyoreaktörün kümülatif biyogaz üretim eğrileri Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te verilmiştir. Materyal Metot bölümünde reaktörlerin isimleri detaylıca anlatıldığı üzere, her bir reaktör isminde bulunan sayılar reaktörlerin işleme alındığı S/X oranını, harfler ise reaktöre substrat olarak beslenen atık karışım oranını simgelemektedir. A harfi yalnızca yemek atığı ile beslenen reaktörleri, B harfi makroalg:mutfak atığı oranının 1:2 olduğunu, C harfi makroalg:mutfak atığı oranının 2:1 olduğunu ve D harfi ise yalnızca makroalg ile beslenen reaktörleri göstermektedir. Örneğin 4C reaktörü, S/X oranı 4 g UKM<sub>substrat</sub>/g UKM<sub>aşı</sub> olan ve substrat olarak 2 birim makroalg, 1 birim mutfak atığı

ile beslenmiş reaktörü sembolize etmektedir. Şekilde, biyoreaktörlerden elde edilmiş veriler noktalar halinde gösterilmiştir. Kesikli çizgi ile gösterilen veriler ise Bölüm 3.2.4'te detaylı biçimde anlatılmış olan en uygun modelleme sonucunu göstermektedir.



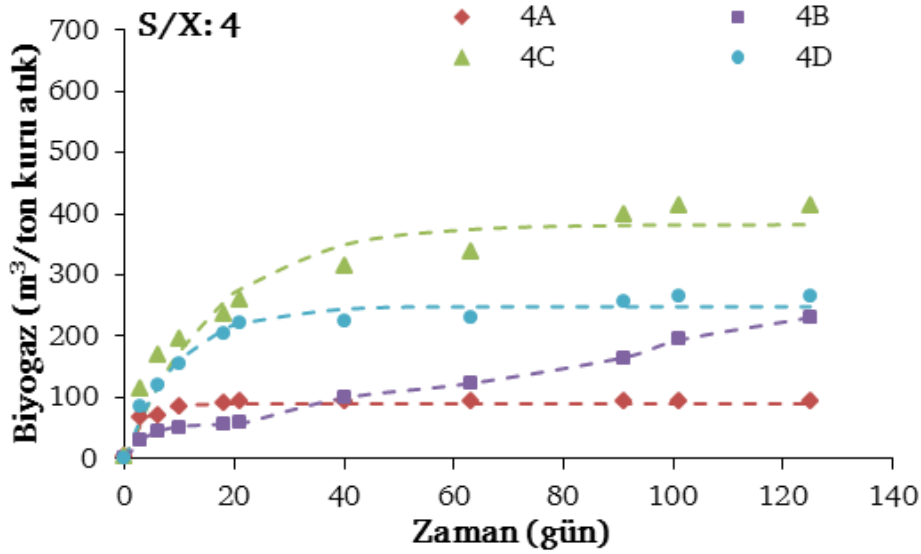
**Şekil 4.2** Farklı miktarlardaki makroalg ve mutfak atıkları karışımlarının S/X oranı 0,5 g UKM<sub>substrat</sub>/g UKM<sub>aşı</sub> için biyogaz oluşum eğrileri.

Substrat/mikroorganizma (S/X) oranı 0,5 g UKM<sub>substrat</sub>/g UKM<sub>aşı</sub> oranında işletilen reaktörlerde birim atık başına oluşan biyogaz miktarının zamana bağlı kümülatif artışı Şekil 4.2'de verilmiştir. Bu S/X oranında en yüksek biyogaz oluşumu, substrat olarak yalnızca mutfak atığı ile beslenen reaktörde (0,5A) gözlemlenmiştir. Ayrıca, reaktörlere makroalg ilavesi yapıldıkça biyogaz üretiminin azaldığı görülmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan en düşük S/X oranı olan bu oranda, birim atık başına en yüksek biyogaz oluşumu gözlemlenmiştir. Atıkların biyogaza dönüşümünün tek basamakta gerçekleştiği bu deney grubunda, en hızlı parçalanma gerçekleşmiştir. Reaktörün bu S/X oranında işletilmesi durumunda en yüksek biyogaz verimi elde edilecek olsa da, bu oranda işletilecek bir reaktör çok yüksek hacimlere ihtiyaç duyulacağından, bu sistem fizibil olmayacaktır.



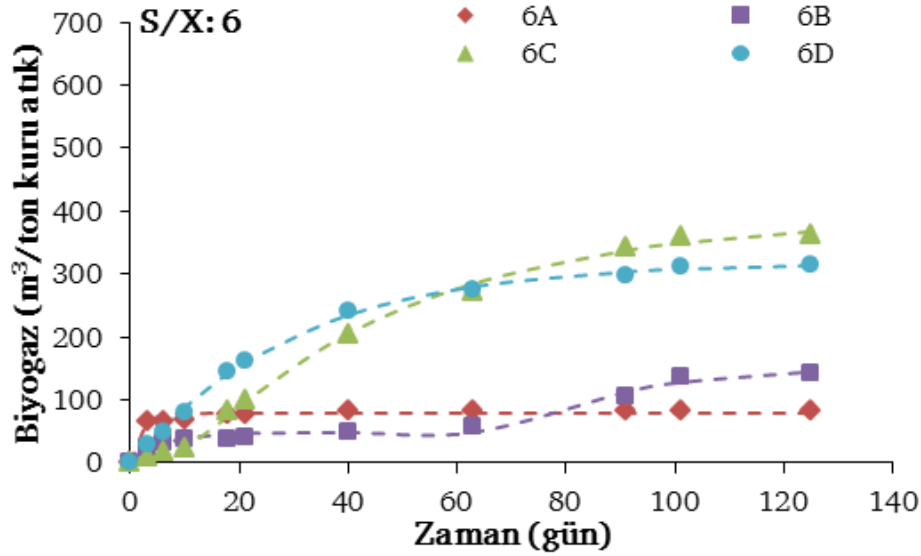
**Şekil 4.3** Farklı miktarlardaki makroalg ve mutfak atıkları karışımlarının S/X oranı 2 g UKM<sub>substrat</sub>/g UKM<sub>aşı</sub> için biyogaz oluşum eğrileri.

S/X oranı 2 g UKM<sub>substrat</sub>/g UKM<sub>aşı</sub> olan reaktörlerin zamana bağlı biyogaz oluşum eğrileri Şekil 4.3'te verilmiştir. Bu S/X oranında işletilen biyoreaktörlerde de, S/X=0,5 reaktörlerindeki gibi benzer şekilde, en yüksek biyogaz oluşumu substrat olarak yalnızca mutfak atıkları ile beslenen reaktörden (2A reaktörü) elde edilmiştir. Yine benzer şekilde, sisteme makroalg ilavesi yapılması ile birlikte biyogaz üretiminin azaldığı görülmektedir. Ancak tahmin edilebileceği üzere, bu S/X oranında beslenen substrat miktarı S/X=0,5 reaktörlerine kıyasla daha fazla olduğundan, kümülatif eğride durağan faza ulaşılması daha uzun zaman almıştır. Ayrıca mutfak atığının yüksek olduğu reaktörlerde iki basamaklı parçalanma da gözlenmiştir. Bu durum, bu S/X oranında mutfak atığı ve/veya makroalg ile beslenecek olan reaktörlerin yüksek hidrolik bekletme sürelerine ihtiyaç duyacakları anlamına gelmektedir.



**Şekil 4.4** Farklı miktarlardaki makroalg ve mutfak atıkları karışımlarının S/X oranı 4 g UKM<sub>substrat</sub>/g UKM<sub>aşı</sub> için biyogaz oluşum eğrileri.

Şekil 4.4'te ise, S/X oranı 4 g UKM<sub>substrat</sub>/g UKM<sub>aşı</sub> olan reaktörlerin zamana bağlı biyogaz oluşum eğrileri bulunmaktadır. Bu S/X oranında, ele alınan ilk iki orandan daha farklı bir sıralama mevcuttur. En yüksek biyogaz üretimi, substrat olarak 2 birim makroalg ve 1 birim mutfak atığı ile beslenmiş 4C reaktöründe gözlemlenmiştir. En düşük biyogaz oluşumu ise yalnızca mutfak atığı ile beslenen 4A reaktöründe gerçekleşmiştir. Mutfak atıklarından biyogaz üretimi için S/X oranının 2 g UKM<sub>substrat</sub>/g UKM<sub>aşı</sub>'nın altında olması gerektiği zaten bilinmektedir (Capson-Tojo vd., 2016; Capson-Tojo vd., 2017). Ancak bu çalışma ile, reaktöre makroalg ilavesi yapılması durumunda S/X oranının artırılabilirliği görülmektedir. Üstelik makroalglerden anaerobik çürütücünün S/X oranının artırılması durumunda daha verimli sonuçlar sergileyebildiği gözlemlenmiştir. Ancak bu S/X oranında işletilebilecek bir sisteme makroalgin tek başına değil, bir substrat ilavesi olarak verilmesi daha fizibil olacaktır.



**Şekil 4.5** Farklı miktarlardaki makroalg ve mutfak atıkları karışımlarının S/X oranı 6 g UKM<sub>substrat</sub>/g UKM<sub>aşı</sub> için biyogaz oluşum eğrileri.

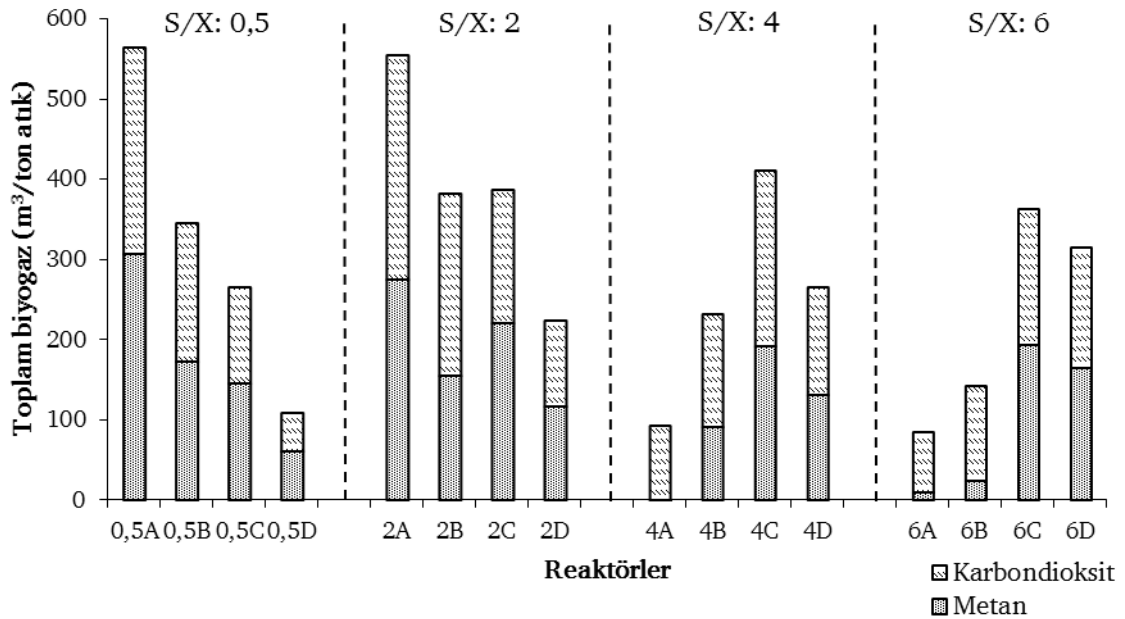
İncelenen en yüksek ve son S/X grubu olan ve g UKM aşısı başına 6 g UKM substrat ile beslenmiş reaktörlerden elde edilmiş kümülatif biyogaz sonuçlarının zamana bağlı değişimi Şekil 4.5'te verilmiştir. Bu reaktörler arasından en yüksek biyogaz oluşumunun gözlemlendiği reaktör, 2 birim makroalg ve 1 birim mutfak atığı ile beslenmiş reaktör (6C) olmuştur. En düşük biyogaz oluşumu ise beklendiği üzere yalnızca yemek atığı ile beslenen 6A reaktöründe gerçekleşmiştir. Bu gruptan elde edilen sonuçlar, S/X=4 grubundaki reaktörlerden elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir. S/X oranının 4 g UKM<sub>substrat</sub>/g UKM<sub>aşı</sub>'nın üzerine çıkması ile birlikte, biyogaz miktarının makroalg katkısının artmasıyla birlikte arttığı görülür. Ancak biyogaz miktarının yalnızca makroalg ile beslenen reaktör yerine makroalg-mutfak atığı karışımında daha yüksek olması, makroalglerin anaerobik çürütücüye bir yan substrat olarak beslenmesinin daha uygun olacağını göstermektedir.

S/X oranı 2 g UKM<sub>substrat</sub>/g UKM<sub>aşı</sub>'dan yüksek olan reaktörlerden elde edilen sonuçlar, mutfak atıklarından biyogaz üretimi ile S/X arasında ters bir orantı olduğunu göstermiştir. Bu durumun temel sebebinin, yemek atıklarının hızlı parçalanması sonucu ani ve yüksek miktarda uçucu yağ asidi (UYA) oluşumu olduğu düşünülmektedir. Yüksek UYA konsantrasyonlarının, metanojenik aktiviteyi inhibe ettiği bilinen bir gerçektir (Jiang vd., 2018). Shahbaz vd. (2018), yiyecek atıklarının yüksek S/X oranlarında anaerobik çürütücüde hızlı UYA

oluşumuna sebep olmasından ötürü sistemi inhibe edici etkiye sahip olduğunu, ancak düşük S/X oranlarında ise substrat karışımındaki gıda atığı miktarının biyogaz üretimini desteklediğini belirtmiştir. Yine bizim çalışmamıza benzer şekilde, daha önce gıda atıklarının pirinç sapı, bahçe atığı gibi atıklarla karışımlarının, S/X oranı ile arasındaki korelasyon incelenmiştir (Haider vd. 2015; Liu vd. 2009). Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlarda da, düşük S/X oranında gıda atıklarının miktarca yüksek olması, biyogaz üretimini desteklemektedir. Buna karşın, yüksek S/X oranlarında yiyecek atıklarının oranca artması, biyogaz üretimini negatif yönde etkilemektedir.

#### 4.3.2 Biyogazın İçeriği

Biyogaz miktarının ölçümünün yanı sıra, biyogaz kompozisyonu da belli periyotlarda takip edilmiştir. Biyogaz kompozisyonu olarak ölçülen iki parametre karbondioksit ve metan olmuştur. Bu iki bileşenin yüzdeleri, Şekil 4.6'da verilmiştir.



**Şekil 4.6** Reaktörlerin gaz kompozisyonları

Şekil 4.6 incelendiğinde, reaktörlerin metan içeriklerinin %3 ile %57 arasında değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Yüksek S/X oranlarında işletilen ve substrat olarak yalnızca mutfak atığı kullanılan biyoreaktörlerde (4A ve 6A), sadece biyogaz oluşum miktarlarının değil, aynı zamanda oluşan bu biyogazın metan miktarının

da düşük olduğu gör÷lmüştür. Yine biyogaz sonuçlarına benzer şekilde, yüksek S/X oranlarında makroalg ilavesinin yapılması ile biyometanizasyonun da artış göstererek, sistem inhibisyonunun önüne geçilebileceğı gör÷lmektedir.

#### **4.3.3 Kinetik Model Sonuçları**

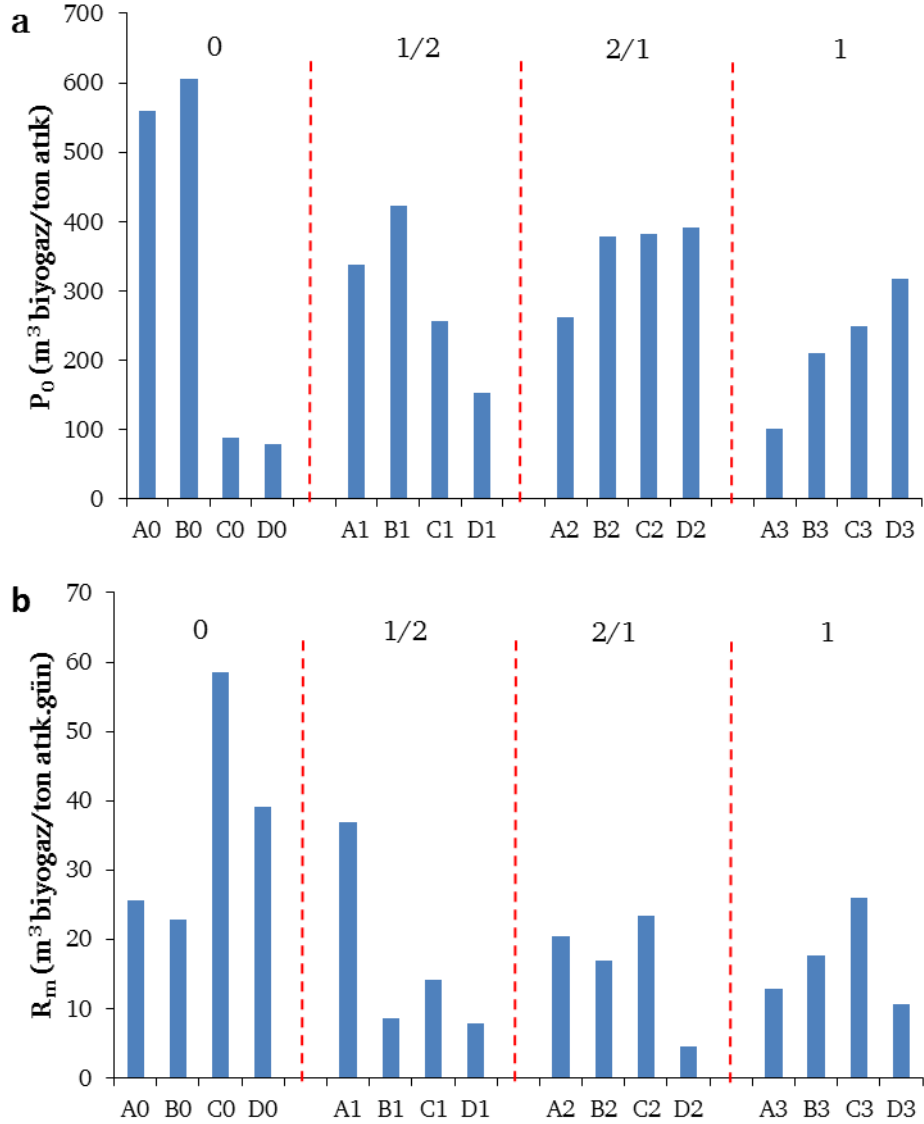
Makroalg ilavesinin, mutfak atıklarına aklime olmuş bir anaerobik çürütücüye yan ürün olarak beslenmesinin, sistemde oluşturacağı etkinin sayısal verilerle incelenebilmesi için, birinci derece kinetik, modifiye Gompertz denklemi, lojistik fonksiyonu ve transferans denklemi olmak üzere 4 farklı model kullanılmıştır. MS Excel programında doğrusal olmayan regresyon metodu ile en yüksek regresyon katsayısı bulunmuş ve kinetik katsayılar hesaplanmıştır. Hesaplanan kinetik katsayılar Tablo 4.6'da verilmiştir.

Kullanılan 4 farklı model arasında, en yüksek regresyon katsayısı birinci derece kinetik ve transferans denklemlerinde bulunmuştur. Ancak birinci derece denklem, iki kademeli parçalanmanın gerçekleştiğı 2A, 2B, 4B, 6B ve 6C reaktörlerinin biyogaz eğrilerinin modellenmesinde yetersiz kalarak oldukça başarısız sonuçlar vermiştir. Bu sebeple, transferans denklemi baz alınmış ve grafiklerde (Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5) transferans denkleminde (3.5) elde edilen veriler kullanılmıştır.

**Tablo 4.6** Dört farklı model kullanılarak bulunan kinetik katsayılar

| Reaktörler                                                     |     |      | Birinci derece denklem |      | Gompertz denklemi |                |     | Lojistik denklemi |                |     | Transferans denklemi |                |      |
|----------------------------------------------------------------|-----|------|------------------------|------|-------------------|----------------|-----|-------------------|----------------|-----|----------------------|----------------|------|
|                                                                |     |      | P <sub>0</sub>         | k    | P <sub>0</sub>    | R <sub>m</sub> | λ   | P <sub>0</sub>    | R <sub>m</sub> | λ   | P <sub>0</sub>       | R <sub>m</sub> | λ    |
| S/X değeri (g UKM <sub>substrat</sub> / g UKM <sub>aşş</sub> ) | 0,5 | 0,5A | 559                    | 0,05 | 551               | 16,5           | 0   | 550               | 15,4           | 0   | 559                  | 25,7           | 0    |
|                                                                |     | 0,5B | 337                    | 0,11 | 331               | 24,5           | 0   | 330               | 22,3           | 0   | 337                  | 36,9           | 0    |
|                                                                |     | 0,5C | 263                    | 0,08 | 261               | 12,5           | 0   | 265               | 10,7           | 0   | 263                  | 20,5           | 0    |
|                                                                |     | 0,5D | 101                    | 0,13 | 98                | 9,6            | 0   | 97                | 9,4            | 0   | 101                  | 13,0           | 0    |
|                                                                | 2   | 2A   | 631                    | 0,11 | 541               | 21,2           | 0   | 522               | 16,8           | 0   | 606                  | 22,9           | 0    |
|                                                                |     | 2B   | 380                    | 0,15 | 377               | 14,8           | 0   | 377               | 14,6           | 0,2 | 380                  | 21,9           | 0,02 |
|                                                                |     | 2C   | 379                    | 0,05 | 372               | 11,0           | 0   | 371               | 10,3           | 0   | 379                  | 16,9           | 0    |
|                                                                |     | 2D   | 211                    | 0,08 | 206               | 11,8           | 0   | 207               | 10,5           | 0   | 211                  | 17,8           | 0    |
|                                                                | 4   | 4A   | 89                     | 0,66 | 89                | 39,8           | 0,5 | 89                | 64,0           | 1,6 | 90                   | 29,9           | 0    |
|                                                                |     | 4B   | 257                    | 0,25 | 232               | 10,1           | 0,2 | 224               | 11,0           | 0,5 | 257                  | 14,3           | 0    |
|                                                                |     | 4C   | 382                    | 0,06 | 374               | 15,6           | 0   | 376               | 14,1           | 0   | 382                  | 23,4           | 0    |
|                                                                |     | 4D   | 248                    | 0,10 | 243               | 17,4           | 0   | 242               | 16,3           | 0   | 248                  | 26,0           | 0    |
|                                                                | 6   | 6A   | 79                     | 0,49 | 78                | 29,1           | 0,4 | 78                | 45,1           | 1,4 | 79                   | 39,2           | 0    |
|                                                                |     | 6B   | 153                    | 0,16 | 142               | 6,3            | 0   | 142               | 6,0            | 0   | 153                  | 7,9            | 0    |
|                                                                |     | 6C   | 387                    | 0,14 | 359               | 3,9            | 0,4 | 357               | 5,1            | 1,0 | 391                  | 4,6            | 0,01 |
|                                                                |     | 6D   | 320                    | 0,03 | 302               | 7,6            | 0,1 | 296               | 8,3            | 2,1 | 318                  | 10,8           | 0,4  |

Transferans denkleminde elde edilen sonuçların, beslenen substrat baz alınarak sınıflandırılmış gösterimi Şekil 4.7’de verilmiştir. Biyogaz oluşum potansiyellerinin, kümülatif biyogaz eğrileri ile benzerlik gösterdiği görülür.



**Şekil 4.7** Aynı makroalg:mutfak atığı oranında beslenmiş ve farklı S/X oranında işletilmiş biyoreaktörlerin a) biyogaz üretim potansiyellerinin ( $P_0$ ) ve b) maksimum biyogaz üretim hızlarının ( $R_m$ ) sınıflandırılarak gösterimi

Düşük S/X oranlarında makroalg ilavesi verimi düşürürken, S/X oranının artması ile birlikte bu etki pozitif yöne döner. Bu durumun temel sebebi, mutfak atıklarının kolay parçalanabilir içeriklerinin yüksek olması dolayısıyla hızlı bir şekilde uçucu yağ asitlerine (UYA) dönüşmesi ve sistemi inhibe etmesidir. Buna karşın makroalgler, mutfak atıklarına kıyasla daha zor ayrışır ve bu sebeple ani UYA

asidi oluşumu gerçekleşemez (Cogan ve Antizar-Ladislao, 2016). Bu da sisteme yüksek konsantrasyonda substrat beslense dahi inhibisyon oluşumunun önlenmesine yardımcı olur.

Bu çalışmada, makroalglerin İstanbul'da işleme yakın bir zamanda alınacak olan ve yiyecek atıkları ile işletilecek bir çürütücüye yan ürün olarak beslenmeleri koşulu ele alınmıştır. Bahsedilen sisteme, mutfak atıkları ile makroalglerin birlikte beslenmesi koşulunda üretilebilecek teorik biyogaz miktarları tespit edilmiştir.

Ancak reaktörün birim alanından birim zamanda üretilebilecek biyogaz miktarı, birim atıktan üretilebilecek biyogaz miktarından daha büyük öneme sahiptir. Çünkü sistem kararlı hale ulaştıktan sonra, sisteme beslenen ürün kadar biyogaz elde edilebilecektir. Elde edilebilecek biyogaz miktarı ise, sisteme beslenen atık miktarı ile doğru orantılı olacaktır. Bir diğer deyişle, kesikli reaktörde  $S/X$  olarak adlandırılan kavram, sürekli sistem için organik yük (OLR,  $\text{kg atık/m}^3 \text{ reaktör.gün}$ ) ile değerlendirilecektir.

Daha basit ve somut şekilde anlatılabilmesi için, kesikli kurulan tüm reaktörlerin  $1 \text{ m}^3$ 'lük sabit bir hacme sahip reaktörde yürütüldüğünü ve bu reaktörün hidrolik bekletme süresinin, her bir  $S/X$  oranı için sabit tutulduğunu varsayalım. Bu koşulda sistemden kazanılacak biyogaz miktarı,  $S/X$  oranına göre, bir diğer deyişle sisteme beslenen substrat miktarına göre değişecektir. Bu hesaplama göre en az substrat,  $S/X=0,5 \text{ g UKM}_{\text{substrat}}/\text{g UKM}_{\text{aşı}}$  reaktörlerine beslenecekken, en yüksek substrat miktarı ise  $S/X=6 \text{ g UKM}_{\text{substrat}}/\text{g UKM}_{\text{aşı}}$  reaktörlerine beslenecektir. Bu teoriye göre elde edilebilecek biyogaz miktarları Tablo 4.7'de topluca verilmiştir.

**Tablo 4.7** Birim hacim ve zamanda her bir reaktörden üretilen biyogaz miktarları

| <b>Reaktörü<br/>n adı</b> | <b>Organik yük<br/><math>\left(\frac{\text{ton atık}}{m^3 \text{ reaktör} \cdot \text{gün}}\right)</math></b> | <b>Biyogaz üretim<br/>potansiyeli <sup>(a)</sup><br/><math>\left(\frac{m^3 \text{ biyogaz}}{\text{ton atık}}\right)</math></b> | <b>Sürekli sistemde<br/>üretilebilecek biyogaz<br/>miktarı <sup>(b)</sup><br/><math>\left(\frac{m^3 \text{ biyogaz}}{m^3 \text{ reaktör} \cdot \text{gün}}\right)</math></b> |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0,5A                      | 0,5                                                                                                           | 563                                                                                                                            | 281                                                                                                                                                                          |
| 0,5B                      | 0,5                                                                                                           | 344                                                                                                                            | 172                                                                                                                                                                          |
| 0,5C                      | 0,5                                                                                                           | 264                                                                                                                            | 132                                                                                                                                                                          |
| 0,5D                      | 0,5                                                                                                           | 108                                                                                                                            | 54                                                                                                                                                                           |
| 2A                        | 2                                                                                                             | 552                                                                                                                            | 1105                                                                                                                                                                         |
| 2B                        | 2                                                                                                             | 380                                                                                                                            | 761                                                                                                                                                                          |
| 2C                        | 2                                                                                                             | 385                                                                                                                            | 771                                                                                                                                                                          |
| 2D                        | 2                                                                                                             | 222                                                                                                                            | 445                                                                                                                                                                          |
| 4A                        | 4                                                                                                             | 91                                                                                                                             | 365                                                                                                                                                                          |
| 4B                        | 4                                                                                                             | 230                                                                                                                            | 921                                                                                                                                                                          |
| 4C                        | 4                                                                                                             | 409                                                                                                                            | 1638                                                                                                                                                                         |
| 4D                        | 4                                                                                                             | 264                                                                                                                            | 1057                                                                                                                                                                         |
| 6A                        | 6                                                                                                             | 83                                                                                                                             | 498                                                                                                                                                                          |
| 6B                        | 6                                                                                                             | 142                                                                                                                            | 852                                                                                                                                                                          |
| 6C                        | 6                                                                                                             | 362                                                                                                                            | 2172                                                                                                                                                                         |
| 6D                        | 6                                                                                                             | 314                                                                                                                            | 1884                                                                                                                                                                         |

<sup>(a)</sup> Veriler biyogaz üretim potansiyelleri üzerinden hesaplanmıştır

<sup>(b)</sup> Veri, organik yük ile biyogaz üretim potansiyelleri çarpılarak hesaplanmıştır

Tablo 4.7’de verilen hesaplamalara göre, sabit bir hacimde işletilecek bir reaktörün, 6C reaktörünün işletim koşullarında işletilmesi halinde en yüksek biyometan üretim potansiyeline ulaşacağını göstermiştir. Buna göre reaktörün 6 ton atık/m<sup>3</sup> reaktör.gün organik yükünde işletilmesi ve reaktöre beslenen substrat içeriğinin 2 birim makroalgden ve 1 birim gıda atıklarından oluşması gerekmektedir. Bu koşullar sağlandığında, atıkların UKM ve nem içeriklerinin de bu çalışmadakine benzer olması halinde, reaktörün birim hacminden günlük bazda 2.172 m<sup>3</sup> biyogaz ve 1.155 m<sup>3</sup> metan elde edilebilecektir. Bu oranların seçilmesi, yalnızca maksimum biyoenerji üretimi için değil, aynı zamanda birim hacimde en fazla makroalg atığının geri kazanımının sağlanabilmesi açısından da önem taşır.

Gıda atıkları, yüksek organik içerikleri sebebiyle anaerobik çürütücülere beslenebilecek en ideal atıklar olarak görünmelerine rağmen, substrat olarak tek başlarına kullanılmaları ani UYA birikimine sebep olurlar (Xu vd., 2018). Bu durum sistem pH’nın ani düşüşüne yol açar ve metanojenlerin stabil çalışmaları için ciddi miktarda kimyasal sarfı ile birlikte sürekli kontrole ihtiyaç doğururlar. Bu sebeple substrat olarak yalnızca gıda atıklarının kullanıldığı anaerobik biyoreaktörlerde, sistemin organik yükünün düşük olması gerektiği, aksi halde anaerobik çürütücüde toksik metabolitlerin birikiminin gerçekleşeceği pek çok çalışmada not edilmiştir (Grimberg vd., 2015; Hecht ve Griehl, 2009).

Tez çalışması kapsamında yapılan çalışmalarda, sadece gıda atıkları beslenen anaerobik çürütücülerde oluşan bu ve bu gibi sorunların çözümünde, makroalglerin uygun bir katkı maddesi olarak kullanılabileceği görülmüştür. Son yıllarda makroalglerden biyogaz üretimi üzerine yapılmış çalışma sayısı fazla olsa da (Tabassum vd., 2018; Marques vd., 2014; Hermann vd., 2015), farklı atıklarla karıştırılarak kullanımının incelendiği çalışma sayısı sınırlı kalmıştır. Makroalglerin yan substrat kaynağı olarak kullanıldığı bu çalışmalarda da, makroalglerin sistem kararlılığının sağlanmasında ve ilave kimyasal gibi maliyetlerin azaltılmasında katkı sağladığı belirtilmiştir (Matsui ve Koike, 2010; Ertem vd., 2017). İstanbul odaklı ele alındığında da durum farklılık göstermemektedir. Makroalglerin kendiliğinden oluştuğu, toplanması ve bertarafı için harcanan maliyet ve çaba göz önünde tutulduğunda, depo sahalarına

gönderilmesi yerine bir çürütücüye ek ürün olarak beslenmesi hem biyogaz üretim veriminin artmasını sağlayarak maddi getiri sağlayacak, hem de atık geri kazanımını destekleyecektir.

#### **4.4 Makroalglerden Sıvı Gübre Üretimi**

Makroalglerden sıvı gübre üretimi çalışmaları kapsamında, çalışmalar iki farklı ölçekte yürütülmüştür. İlk aşamada laboratuvar ölçekli çalışılmış ve fiziksel ve biyolojik olmak üzere iki farklı yöntem kullanılarak sıvı gübre üretilmiştir. Üretilen sıvı gübreler, tere bitkisinin çimlenmesi ve büyümesi üzerinde denenmiştir. 3 farklı fiziksel ekstraksiyon metodu ile üç adet, 12 adet farklı biyolojik ekstraksiyon metodu ile on iki adet olmak üzere toplam 15 farklı sıvı gübre üretilmiştir. Üretilen bu sıvı gübreler %1, %10, %25, %50 ve %100'lük olmak üzere farklı konsantrasyonlarda hazırlanarak kullanılmıştır. Buna göre toplamda 15 gübre ve bu gübrelerin 5 farklı konsantrasyonundan oluşmak üzere 75 farklı set incelenmiştir.

İkinci aşamada ise, birinci aşamadan elde edilen deney sonuçlarına göre en verimli gübre üretim metodu seçilmiş ve bu yöntem pilot ölçekli sistemde denenmiştir. Regülasyonlar çerçevesinde incelenmesi gereken parametrelerin ölçümleri yapılmıştır.

##### **4.4.1 Laboratuvarda Üretilen Sıvı Gübrenin Bitkiler Üzerindeki Etkisi**

Laboratuvar ortamında üretilen farklı sıvı gübrelerin, bitki gelişimi üzerindeki etkisi tere bitkisi tohumu üzerinde incelenmiştir. Gübrelerin ekilen tohumlar üzerinde çimlenmeye, boy uzamasına ve yaprak sayısına olan etkisi incelenmiştir. Bitkiler hasat edildikten sonra ise gübrelerin toprağın nem tutma kapasitesine olan etkisi değerlendirilmiştir.

###### **4.4.1.1 Gübrenin Çimlenen Tohum Sayısına Olan Etkisi**

Tere tohumları, ekildikten sonra düzenli olarak gübrelenmiş ve çimlenmeleri günlük olarak takip edilmiştir. Tere tohumlarının optimum çimlenme sıcaklığının 15 ile 25°C arası olduğu dikkate alınarak, ortam sıcaklığının bu aralıkta kalmasına özen gösterilmiştir. Tere tohumlarının, ekim gününden 6 gün sonra çimlenmeye başladığı görülmüştür. Bu sebeple viyollerde 6. Güne kadar çimlenen tohum sayısı,

tohumların beslendiği gübre türüne göre not edilmiştir. Daha önceki bölümlerde detaylı bahsedildiği gibi, her bir gübrenin her bir konsantrasyonu toplamda 8 viyol üzerinde denenmiştir. İlk çimlenmenin görüldüğü viyollerin beslendiği gübre türleri ve çimlenmenin görüldüğü viyol sayısı Tablo 4.8'deki gibidir.

Tablo 4.8 incelendiğinde, ilk çimlenmenin görüldüğü gün olan 6. günde toplam 54 viyolde çimlenme gözlemlenmiştir. Gübre ile beslenen viyollerde çimlenme gözlemlenirken, yalnızca çeşme suyu ile beslenen kontrol viyollerinde çimlenme görülmemiştir. Kontrol grubunda ilk tohumun çimlenmesi 8. günde gerçekleşmiştir. Bu sebeple sıvı gübrelerin bitki çimlenmesini minimum %25 oranında hızlandırdığı söylenebilir. Çimlenen 54 tohumun 1'i fiziksel ekstraksiyondan (dondurma), kalan 53'ü ise biyolojik ekstraksiyondan elde edilen gübrelerle beslenen viyollerde gerçekleşmiştir.

Biyolojik yolla ekstrakte edilen gübrelerin çimlenme üzerindeki etkisi, fermentasyonda kullanılan aşı türüne ve gübre konsantrasyonuna göre değişim göstermektedir. Çimlenme gözlemlenen viyollerin 9'u yosunun tek başına fermente edilmesinden, 26'sı yosunun anaerobik çamur ile fermente edilmesinden, 10'u yosunun maya ile fermente edilmesinden ve 8'i yosunun anaerobik çamur ve maya karışımı ile fermente edilmesiyle üretilmiş gübrelerle beslenmiştir. Bu sayılar dikkate alındığında, B grubu gübrelerin (yosunun anaerobik çamur ile fermente edilmesi ile elde edilmiş gübre) çimlenme süresi üzerine en etkin etkiyi gösterdiği görülmektedir. 26 viyolde çimlenme ile bu değer, çimlenen toplam tohum sayısının %47'sine karşılık gelmektedir. Üstelik her bir gübrenin toplamda 40 viyole (5 konsantrasyon x 8 viyol) uygulandığı göz önünde tutulursa, B grubu gübrenin çimlenme üzerindeki etkisinin yüksek bir olasılıkla doğrulandığı görülebilir. İkinci en yüksek etkiyi gösteren gübre ise yosunun maya ile fermente edilmesi sonucu elde edilen C grubu gübreleri olmuştur. C grubu gübreler ile beslenen viyollerde toplamda 10 tohum çimlenmiş ve bu sayı, çimlenen toplam tohum sayısının %18'ine karşılık gelmektedir. Akyurt vd. (2011) tarafından yürütülen çalışmada 2 ay süreyle fermente edilen *Ulva* türü yosunların ıspanak ve brokoli bitkileri üzerindeki

**Tablo 4.8** Tohumların beslendiği gübreye göre 6. güne kadar çimlenme sayıları

| Gübreler                    | Gübre konsantrasyonları |     |     |     |      | TOPLAM |
|-----------------------------|-------------------------|-----|-----|-----|------|--------|
|                             | 1%                      | 10% | 25% | 50% | 100% |        |
| Kontrol                     |                         |     | 0   |     |      | 0      |
| Dondurma ekstresi           | 0                       | 0   | 1   | 0   | 0    | 1      |
| Ultrases ekstresi           | 0                       | 0   | 0   | 0   | 0    | 0      |
| Kaynatma ekstresi           | 0                       | 0   | 0   | 0   | 0    | 0      |
| A1 (Yosun-15 gün)           | 0                       | 0   | 2   | 0   | 0    | 2      |
| A2 (Yosun-30 gün)           | 0                       | 2   | 0   | 2   | 0    | 4      |
| A3 (Yosun-60 gün)           | 0                       | 0   | 0   | 2   | 1    | 3      |
| B1 (Yosun+A.Ç.-15 gün)      | 1                       | 4   | 4   | 0   | 0    | 9      |
| B2 (Yosun+A.Ç.-30 gün)      | 3                       | 1   | 1   | 1   | 0    | 6      |
| B3 (Yosun+A.Ç.-60 gün)      | 1                       | 2   | 6   | 2   | 0    | 11     |
| C1 (Yosun+Maya-15 gün)      | 0                       | 2   | 0   | 1   | 2    | 5      |
| C2 (Yosun+Maya-30 gün)      | 0                       | 0   | 3   | 0   | 2    | 5      |
| C3 (Yosun+Maya-60 gün)      | 0                       | 0   | 0   | 0   | 0    | 0      |
| D1 (Yosun+A.Ç.+Maya-15 gün) | 1                       | 2   | 0   | 0   | 0    | 3      |
| D2(Yosun+A.Ç.+Maya-30 gün)  | 0                       | 0   | 1   | 1   | 0    | 2      |
| D3(Yosun+A.Ç.+Maya-60 gün)  | 1                       | 0   | 0   | 1   | 1    | 3      |
| TOPLAM                      | 7                       | 13  | 18  | 10  | 6    | 54     |

etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada %25 oranında hızlanma görülürken, Akyurt vd.'nin çalışmasında üretilen sıvı organik gübrenin, brokoli bitkisinin çimlenme oranını %40 artırdığı not edilmiştir.

Çimlenme gözlemlenen viyol sayıları, gübre konsantrasyonları baz alınarak incelendiğinde, en yüksek sayıda çimlenen viyol sayısının %25 konsantrasyon ile beslenen viyollerde olduğu görülmektedir. Çimlenen 54 viyolün 18'i %25 konsantrasyonla beslenen tohumlarda, 13'ü %10 konsantrasyonla beslenen tohumlarda, 10'u %50 konsantrasyonla beslenen tohumlarda, 7'si %1 konsantrasyonla beslenen tohumlarda ve 6'sı %100 konsantrasyonla beslenen tohumlarda görülmüştür. Bu durum, materyal metot kısmında oranları belirtilen şekilde yosun ekstraktı elde edilmesi durumunda, gübrenin %25'e kadar seyreltilmesi ile maksimum çimlenme verimine ulaşılabileceğini göstermektedir.

Yosun gübreleri arasından çimlenme üzerinde en etkili olan ekstrakt ise yosun ve anaerobik çamurun 60 gün fermente edilmesi ile elde edilen gübre (B3) olmuştur. Bu gübre ile beslenen viyollerin toplamda 11'i çimlenme göstermiştir. Bu gübrenin çimlenme verimi üzerindeki en etkili konsantrasyonu ise %25 olmuştur (Tablo 4.8).

İlk 6 gün içerisinde gerçekleşen çimlenme sayısı önem arz ediyor olsa da, hasata kadar gerçekleşen çimlenme de önem arz etmektedir. Bazı viyollerdeki tohumların farklı sebeplerden ötürü çimlenemeyecek olması veya gübrenin tohumun çimlenmesine engel olabileceği ihtimaline karşın, hasata kadar çimlenen toplam tohum sayısı da göz önünde bulundurulmalıdır. Keza tohumun verimsiz olma olasılığı, farklı viyollere denk gelen topraklarda kalsiyum gibi farklı minerallerin bulunma olasılığı gibi durumlar, tohumların çimlenmesini engelleyebilecektir. Bu sebeple hasata kadar çimlenen toplam tohum sayısı da not edilmiştir. Her bir viyolde 4'er tohum olmak üzere, her bir gübre için toplamda 160 tohum ekilmiştir. Sadece kontrol grubunda 160 yerine 64 tohum üzerinde çalışılmıştır. Deney süresi boyunca çimlenen toplam tohum sayısı ise Tablo 4.9'da verilmiştir.

**Tablo 4.9** Deney boyunca çimlenen toplam tohum sayısı

| Gübreler                    | Gübre konsantrasyonları |     |     |     |      | TOPLAM |
|-----------------------------|-------------------------|-----|-----|-----|------|--------|
|                             | 1%                      | 10% | 25% | 50% | 100% |        |
| Kontrol                     |                         |     | 42  |     |      | 42     |
| Dondurma ekstresi           | 9                       | 19  | 22  | 15  | 1    | 66     |
| Ultrases ekstresi           | 9                       | 22  | 15  | 13  | 4    | 63     |
| Kaynatma ekstresi           | 12                      | 10  | 13  | 10  | 0    | 45     |
| A1 (Yosun-15 gün)           | 21                      | 21  | 12  | 7   | 1    | 62     |
| A2 (Yosun-30 gün)           | 15                      | 27  | 19  | 16  | 7    | 84     |
| A3 (Yosun-60 gün)           | 19                      | 13  | 8   | 9   | 4    | 53     |
| B1 (Yosun+A.Ç.-15 gün)      | 18                      | 26  | 19  | 23  | 8    | 94     |
| B2 (Yosun+A.Ç.-30 gün)      | 11                      | 14  | 17  | 14  | 1    | 57     |
| B3 (Yosun+A.Ç.-60 gün)      | 11                      | 10  | 24  | 17  | 2    | 64     |
| C1 (Yosun+Maya-15 gün)      | 18                      | 18  | 11  | 9   | 4    | 60     |
| C2 (Yosun+Maya-30 gün)      | 15                      | 14  | 20  | 8   | 5    | 62     |
| C3 (Yosun+Maya-60 gün)      | 21                      | 20  | 14  | 6   | 1    | 62     |
| D1 (Yosun+A.Ç.+Maya-15 gün) | 20                      | 20  | 14  | 7   | 0    | 61     |
| D2 (Yosun+A.Ç.+Maya-30 gün) | 16                      | 23  | 20  | 16  | 0    | 75     |
| D3 (Yosun+A.Ç.+Maya-60 gün) | 23                      | 17  | 11  | 18  | 3    | 72     |
| TOPLAM                      | 238                     | 274 | 239 | 188 | 41   | 980    |

60 günün sonunda, ekilen toplam 2400 tohumun 980'sinin çimlendiği gözlemlenmiştir. Kaynatma ekstresi ile beslenen viyoller ile kontrol grubu dışında kalan tüm tohumların %40'ının çimlendiği görülmektedir. Fiziksel ve biyolojik proseslerden elde edilmiş ekstrelerin nihai tohum çimlenmesi üzerindeki etkisi birbirine oldukça yakındır ve ortalama değerleri birbiriyle benzerlik gösterir. Bu da, tohum ve toprak kalitesinin her bir viyolde benzerlik gösterdiğinin bir ispatıdır. Bu veriler ışığında, ilk 6 gün içerisinde gözlemlenen çimlenme verileri, ekstrelerin çimlenme üzerindeki etkisinin gerçekliğini gösterir.

Yine de ekstrelerin tohumların çimlenmesi üzerindeki etkisi en verimsiz olandan en verimli olana doğru sıralanacak olunursa sıralama kaynatma, yosunun maya ile fermentasyon, ultrases, dondurma-çözme, yosunun tek başına fermentasyonu, anaerobik çamur ve maya ile birlikte fermentasyonu, anaerobik çamur ile fermentasyonu şeklinde olur. Benzer şekilde, gübrelerin yüzdelerinin de tohum çimlenmesi üzerinde benzer etkiye sahip olduğu görülür. Yine de tohumun çimlenmesinde en verimli yüzdenin bulunması gerekirse, bunun %10'luk gübre konsantrasyonu olduğu söylenebilir. Ayrıca gübre konsantrasyonunun %50 ve üstüne çıkması ile verimde önemli düşüşler gerçekleşir. %100 konsantre gübre ile beslenen viyollerde tohum çimlenme verimi %0'lara kadar düşerken, gübre konsantrasyonunun %25'in altına düşmesi ile bu oran %84'lere kadar çıkabilmektedir. Yosun ekstraktı konsantrasyonunun çimlenmeye etkisinin incelendiği bir çalışmada, düşük konsantrasyonda yosun ekstraktı ile beslenen tohumlarda %100'e varan çimlenme gerçekleşirken, yüksek konsantrasyonlarda gübre ile beslenen tohumlarda inhibisyon gözlemlenmiştir (Ganapathy Selvam vd., 2013). Bu durumun temel sebebinin, makroalgin yapısında bulunan bitki geliştirici biyokimyasal maddelerin bitki gelişimini olumlu etkilediği, ancak gübrede bulunan tuz konsantrasyonunun artması ile bitki gelişime yardımcı olan klorofilaz enziminin inaktive olduğu belirtilmiştir. Domates tohumları üzerinde çalışılan bir başka örnekte ise, tohum gelişiminin pozitif yönde etkilendiği belirtilmiştir (Hernandez-Herrera vd., 2014).

Materyal ve Metot kısmında belirtildiği üzere, biyolojik yöntemler kullanılarak elde edilen sıvı yosun gübrelerinin bitkinin boy uzaması, yaprak sayısı ve ağırlığı ile

toprağın nem tutma kapasitesi üzerindeki etkisi, değişkenlerin etkisinin analiz edilebilmesi için Minitab programı ile istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Bu sebeple, bu parametreler fiziksel ve biyolojik yöntemler kullanılarak elde edilmiş gübreler birbirinden ayrı kıyaslanmıştır.

#### **4.4.1.2 Gübrenin Bitkinin Boy Uzamasına Etkisi**

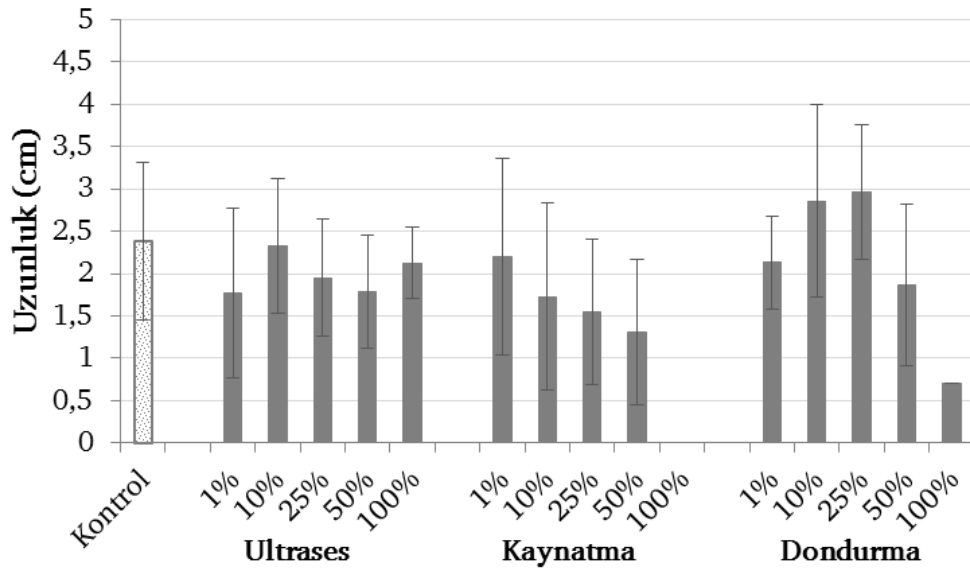
Biyolojik ve fiziksel metotlarla ekstrakte edilen deniz yosunlarının, tere tohumlarına uygulanması ile tohumların gelişimi incelenmiştir. Bitkinin gelişiminin incelenmesinde ele alınan bir diğer faktör de boy uzaması olmuştur. Fışkın gelişimi sürekli takip edilmiş ve 60 günün sonunda oluşan her bir fışkının ulaştıkları boy not edilmiştir. Ancak fiziksel yolla elde edilen sıvı gübrelerde incelenen tek bir kriter mevcutken (%1, %10, %25, %50 ve %100 olmak üzere farklı sıvı gübre konsantrasyonları), biyolojik yolla elde edilen sıvı gübrelerde incelenen iki kriter (% sıvı gübre konsantrasyonu ve 15, 30 ve 60 gün süren fermantasyon süresi) söz konusudur. Bu sebeple bu iki farklı metotla üretilen sıvı gübrelerden elde edilen veriler, farklı metotlar kullanılarak incelenmiştir.

- ***Fiziksel Ekstraksiyon Gübrelerinin Bitkinin Boy Uzamasına Etkisi***

Fiziksel yollarla elde edilen gübrelerin tere tohumlarının boy uzamasına olan etkisinin kontrol grubu ile kıyaslanarak gösterildiği grafik, Şekil 4.8'de verilmiştir.

Fiziksel yöntemlerle elde edilen üç farklı gübrenin (ultrases, kaynatma ve dondurma ekstreleri) bitkinin boy uzaması üzerindeki etkisi gübre konsantrasyona bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Kontrol grubunda gözlemlenen ortalama uzunluk 2,3 cm iken, yalnızca dondurma ekstresinin belirli konsantrasyonları (%10 ve %25) ile beslenen grubun bu değerin üzerine çıkabildiği, diğer grupların ise kontrol grubunun ortalama değerinden düşük kaldığı görülmektedir. Bu durum, fiziksel yöntemlerle ekstrakte edilen gübrelerin, bitkinin boy uzaması üzerinde etkin sonuçlar vermediğinin göstergesidir. Bunun yanında, bitkinin boy uzunluğunun, genellikle gübre konsantrasyonun artması ile birlikte azalma göstermesi dikkat çekmektedir. Bu durumun, topraktaki organik

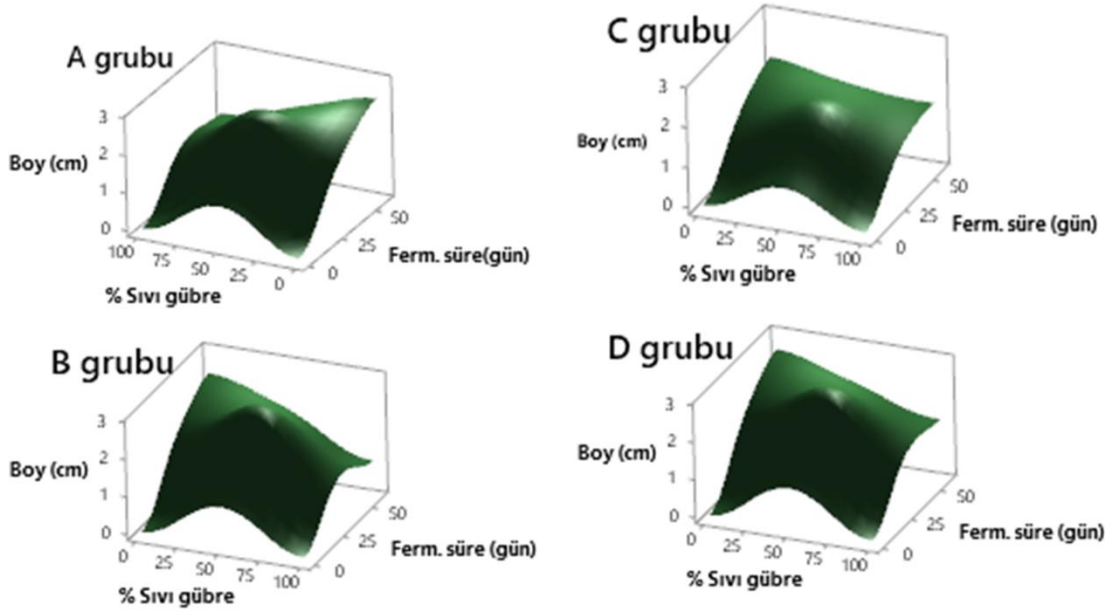
madde konsantrasyonunun artması ile birlikte toprağın sertleşmesinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir (Rawls vd., 2003).



**Şekil 4.8** Fiziksel yollarla ekstrakte edilmiş gübrelerin bitkinin boy uzaması üzerindeki etkisi

- ***Biyolojik Ekstraksiyon Gübrelerinin Bitkinin Boy Uzamasına Etkisi***

Biyolojik yöntemlerle ekstrakte edilmiş deniz yosununun bitki boyu üzerindeki etkisi; fermantasyonda kullanılan aşı kültürü, fermantasyon süresi ve üretilen gübrelerin konsantrasyonlarına göre değişkenlik göstermektedir. Bu sebeple her bir gübre ve konsantrasyonu ile beslenen bitkilerin ortalama boyları analiz edilirken, incelemeler bu üç farklı değişkene göre yürütülmüştür. Biyolojik yöntemlerle üretilen gübrelerin boy uzamasına olan etkisi Şekil 4.9'da verilmiştir. Şekilde A grubu gübreler aşı ilavesi yapılmadan fermente edilmiş gübreleri, B grubu gübreler anaerobik çamur ile aşılanarak fermente edilmiş gübreleri, C grubu gübreler maya ile aşılanarak fermente edilmiş gübreleri, D grubu gübreler ise hem anaerobik çamur hem de maya ile aşılanarak fermente edilmiş gübreleri temsil etmektedir.



**Şekil 4.9** Biyolojik yollarla ekstrakte edilmiş gübrelerin bitkinin boy uzaması üzerindeki etkisi

Şekil 4.9 incelendiğinde, bu gübreler ile beslenen tohumların, kontrol grubuna kıyasla daha yüksek boylara ulaşabildiği görülmektedir. Ancak bitkinin boy uzaması üzerinde aşırıdan ziyade fermantasyon süresi ve gübre konsantrasyonunun daha büyük etkisinin olduğu görülebilmektedir. Farklı aşilar ile aşıl原因an gübrelerin, boy uzaması üzerinde benzer etkiye sahip olduğu görülmektedir. Ancak gübre konsantrasyonunun ve fermantasyon süresinin değişmesi, boy uzaması üzerinde etkin rol oynamıştır. Farklı aşilar ile aşıl原因anmış gübrelerin her birinde, optimum fermantasyon süresinin yaklaşık 30 gün olduğu görülmektedir. Benzer şekilde, gübre konsantrasyonu yaklaşık %50 olduğunda, ortalama bitki uzunlukları en yüksek seviyeye ulaşmaktadır. Konsantrasyonun %100'e ulaşması ile birlikte, çimlenen tohum sayısı gibi, bitkilerin boy uzunluklarında da ciddi azalmalar gerçekleşmektedir.

Her bir gübrenin benzer konsantrasyonları, aşıl原因ama metodu değişmesine rağmen benzer kalmıştır. Bu sebeple bitkinin boy uzaması üzerinde etkin rol oynayan iki parametre, gübre konsantrasyonu ve fermantasyon süresi olarak belirlenmiştir.

Üretilen gübreler arasında B ve D grubu gübrelerinin, kontrol grubuna kıyasla en etkin sonucu verdiği görülmektedir. Özellikle gübre konsantrasyonunun %50

dolaylarında olması durumunda, bitkinin boy uzunluğu en yüksek değerlere ulaşmaktadır. Grafiklerde kullanılan değerler, her bir gübre ve konsantrasyon için ekilmiş olan 32 tohumun ortalama uzunlukları kullanılarak çizilmiştir. Bu grupta çimlenen tüm tohumların ortalama boyları, kontrol grubunda çimlenen tohumların ortalama uzunlukları ile kıyaslandığında da sonuç benzer olmaktadır. Bu durum, yosunlarla beslenen anaerobik çürütücüden çıkan anaerobik çürütücü üst suyunun gübre olarak kullanılması halinde, bitkinin boy uzaması üzerinde etkin rol oynayacağının bir göstergesidir.

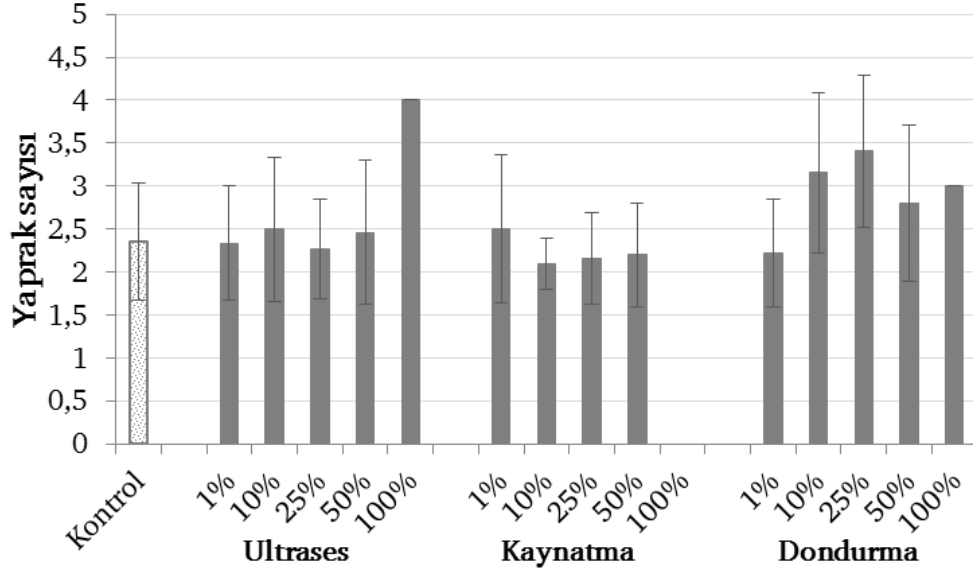
Yosunların anaerobik çürütücüye beslenmesinin ardından oluşan çıkış atıksuyunun ve çamurunun bitki gelişimi üzerindeki etkisini incelediği çalışmasında Akile vd. (2019), sıvı ve katı gübreleri bitkilere ayrı ayrı beslemiş ve gelişimlerini incelemiştir. Pozitif ve negatif kontrol grubu olarak su ve kimyasal gübrenin kullanıldığı çalışmada, kök uzunluğu, gövde uzunluğu, ağırlık gibi parametreleri ele almıştır. Kontrol, pozitif kontrol, çamur gübresi ve süpernatant gübresi arasından tüm parametrelerde en iyi sonucu veren gübre, sıvı yosun gübresi olmuştur. Özellikle fışkın uzunluğunun kontrol grubuna kıyasla %22-35 arasında arttığı belirtilmiştir.

#### **4.4.1.3 Gübrenin Bitkinin Yaprak Sayısına Olan Etkisi**

Biyolojik ve fiziksel yöntemlerle ekstrakte edilen deniz yosunlarının bitki gelişimi üzerindeki etkisi, yaprak sayısı üzerinden de ele alınmıştır. 60 günün sonunda çimlenen tohumların sahip olduğu yaprak sayıları not edilmiştir. Her bir yosunun tüm konsantrasyonlarının beslendiği 8 farklı hücrede bulunan 4'er tohumun her birinin yaprak sayısı belirlenmiş ve bu yaprak sayılarının ortalamaları kullanılarak değerlendirme yapılmıştır. Yalnızca çimlenen tohumlar incelendiğinden, çimlenmenin görülmediği tohumlar ortalamaya tabi tutulmamıştır.

- ***Fiziksel Ekstraksiyon Gübrelerinin Yaprak Sayısına Etkisi***

Boy uzaması çalışmalarının yürütüldüğü mantıkla benzer olarak, incelemeler fiziksel ve biyolojik yolla elde edilen gübreler için ayrı ayrı yapılmıştır. Kontrol grubu ile fiziksel yöntemlerle elde edilmiş sıvı gübrelerin yaprak sayısı üzerindeki etkilerinin gösterildiği grafik, Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



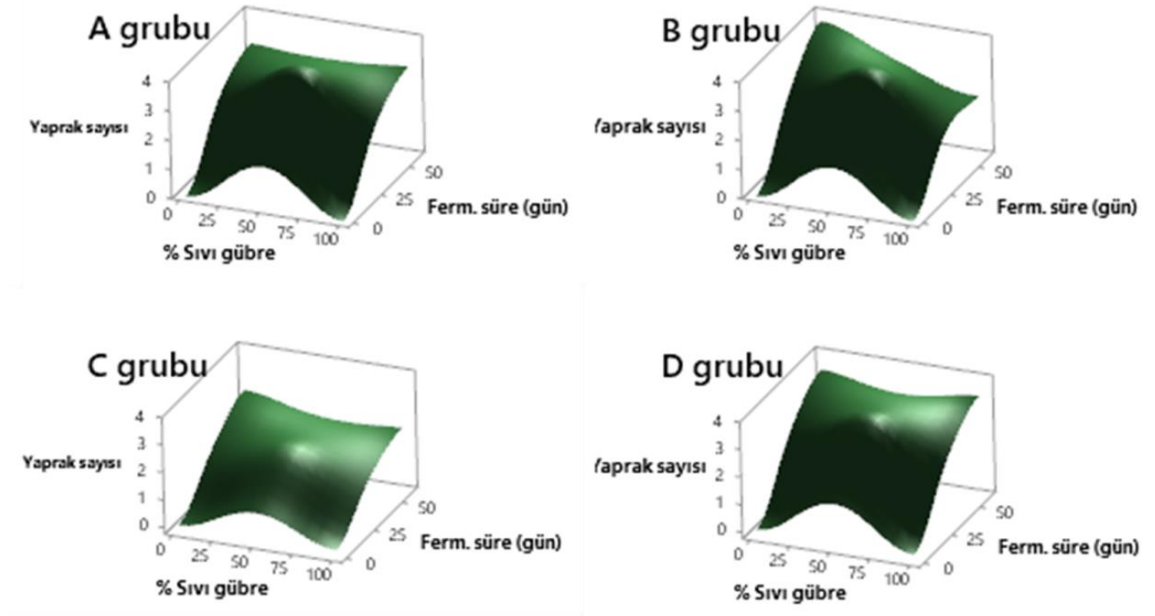
**Şekil 4.10** Fiziksel yollarla ekstrakte edilmiş gübrelerin bitkinin yaprak sayısı üzerindeki etkisi

Sıvı gübrelerin bitkinin boy uzamasında kontrol grubuna nazaran çok ciddi etkisi görülmemiş olsa da, yaprak sayısı üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmektedir. Fiziksel yolla ekstrakte edilmiş gübreler ve konsantrasyonları arasında en etkili sonuç vermiş olan grup, ultrases grubunun %100 konsantrasyonla beslenmiş olan grup gibi görünse de, bu grupta çimlenen tohum sayısının az olması, yanılığa sebep olmaktadır. Bu sebeple çimlenen tohum sayısının da çok olması, sonucun gerçekliğini ve istikrarını desteklemelidir. Bu bakış açısı ile incelendiğinde, fiziksel yöntemlerle ekstrakte edilmiş gübreler arasında bitkinin yaprak sayısını geliştirmesi bakımından en etkili yöntemin dondurma ile ekstraksiyon olduğu söylenebilir. Bu gübrenin özellikle %10 ve %25'lik konsantrasyonlarının bitkinin yaprak gelişimini, kontrol grubuna nazaran %25 ile %30 oranında artırdığı görülmektedir.

- ***Biyolojik Ekstraksiyon Gübrelerinin Yaprak Sayısına Etkisi***

Biyolojik ekstraksiyon metotları kullanılarak elde edilen sıvı gübrelerin yaprak gelişimi üzerindeki etkisi, Şekil 4.11'de görsel olarak sunulmuştur. Şekilde A grubu gübreler aşı ilavesi yapılmadan fermente edilmiş gübreleri, B grubu gübreler anaerobik çamur ile aşılansarak fermente edilmiş gübreleri, C grubu gübreler maya

ile aşılanarak fermente edilmiş gübreleri, D grubu gübreler ise hem anaerobik çamur hem de maya ile aşılanarak fermente edilmiş gübreleri temsil etmektedir.



**Şekil 4.11** Biyolojik yollarla ekstrakte edilmiş gübrelerin bitkinin yaprak sayısı üzerindeki etkisi

Fermente gübrelerin bitkinin yaprak gelişimi üzerindeki etkisi incelendiğinde, kullanılan tüm gübre türlerinin, kontrol grubundan daha verimli sonuçlar sergilediği görülebilir. Kontrol grubunda çimlenen tohumların ortalama yaprak sayısı 2,4 iken, fermente gübrelerin hepsinde bu değerin üzerine çıkılabilmektedir.

Her bir grubun fermantasyon süresi ve gübre konsantrasyonunun değerlendirilebildiği Şekil 4.11 incelendiğinde, tüm gübre gruplarında fermantasyon süresinin artmasıyla yaprak sayısının arttığı görülmektedir. Optimum gübre konsantrasyonu ise, boy uzaması deneylerinden elde edilen sonuçla benzer şekilde, %50 olmuştur. Aşı olarak mayanın kullanıldığı C grubunda en düşük verim gözlemlenirken, diğer gruplarda yaprak sayısının fermantasyon süresi ile direkt bir korelasyonu olduğu görülmektedir.

Yaprak sayısının artışı en yüksek seviyede etkileyen gübre, B grubu gübreleri olmuştur. Uygulanan gübre konsantrasyonunun yaprak sayısı üzerindeki etkisi ele alındığında, en verimli gübre konsantrasyonunun %50 ve altı olduğu görülür.

Konsantrasyonun %50'nin üzerine çıkması ile birlikte yaprak sayısında düşüşler olmuştur. Bu durum, üretilmesi muhtemel olan sıvı gübrenin taşınımını kolaylaştıracak ve maliyetin azalmasını sağlayacaktır.

Gübrenin uygulandığı neredeyse her bir çimlenmiş tohumun ortalama yaprak sayısının, kontrol grubundan daha fazla olması, yosun gübrelerinin yalnızca çimlenme üzerinde değil, aynı zamanda bitki gelişimi üzerinde de pozitif bir etkisinin olduğunu göstermektedir.

Sabir ve arkadaşlarının (2014) Tokat'ın Narince ilçesinde bulunan üzüm bağları üzerinde yaptığı çalışmada, asmalar iki yıl boyunca deniz yosunu ekstraktı ile beslenmiştir. İlk yılda yaprak genişliğinde, yaprağın kuru ve ıslak ağırlığında kontrol grubuna kıyasla yaklaşık %7'lik artış gerçekleşmiştir. Bu değer, ikinci yıl artış göstermeye devam etmiştir. Featonby-Smith ve Staden'in 1983 yılında piyasada soğuk pres yöntemiyle elde edilmiş sıvı yosun gübresi olarak satılan bir ürünü pancara besleyerek yürüttüğü çalışmada da, 1:500 oranında seyrelterek kullanılan gübrenin kök ve yaprak gelişimini desteklediği belirtilmiştir. Benzer şekilde farklı çalışmalarda, yosunun otoklavlanması ile elde edilmiş ekstraktın fasulye ve bamya tohumlarına %20 oranında seyreltilerek beslenmesinin, bitkide tohum çimlenmesini desteklediği ve kök gelişimini, yaprak sayısını, boy uzamasını ve ürün miktarını artırdığı belirtilmiştir (Thirumaran vd, 2009; Thirumaran vd., 2009b)

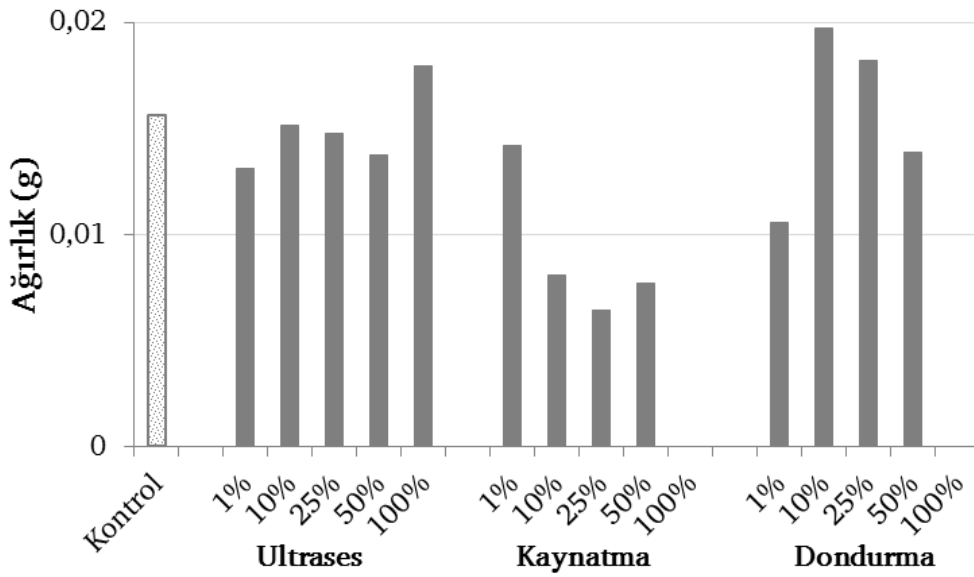
#### **4.4.1.4 Gübrenin Bitkinin Ağırlığına Olan Etkisi**

Farklı yöntemler kullanılarak elde edilen sıvı yosun gübrelerinin bitki gelişimi üzerindeki etkisinin ele alındığı son parametre, gübrenin bitkinin ağırlığına olan etkisidir. Daha önce bahsedildiği gibi, her bir gübrenin her bir konsantrasyonu 32 tohum üzerinde denenmiş ve çimlenen tohumlar 60 günün sonunda hasat edilmiştir. Ancak tek bir ürünün gramajı oldukça düşük kalmış ve tespiti mümkün olmamıştır. Bu sebeple bu 32 tohum içinde çimlenen tüm tohumlar toplu olarak değerlendirilmiş ve birlikte tartılmıştır. Son olarak, toplu tartılan ürünlerin ağırlığı çimlenen tohum sayısına bölünerek çimlenen bitkinin ortalama ağırlığı tespit edilmiştir. Çimlenen tohum sayısının az olduğu veya ölçülebilir ağırlığa ulaşmayan bitkilerde ise değerler sıfır olarak kaydedilmiştir. Kontrol grubunda ise ekilen

tohum sayısı da, diğer setlere ekilen tohum sayısına eşitlenecek şekilde oranlanmış ve 32 tohum üzerinden değerlendirme yapılmıştır.

- ***Fiziksel Ekstraksiyon Gübrelerinin Bitkinin Ağırlığına Etkisi***

Ağırlık ölçümleri incelemesi de, fiziksel ve biyolojik yöntemlerle ekstrakte edilmiş yosun gübrelerinin ayrı ayrı ele alınmasıyla yapılmıştır. Kontrol grubu ile fiziksel yöntemlerle elde edilmiş sıvı gübrelerin bitkinin ağırlığı üzerindeki etkilerinin gösterildiği grafik, Şekil 4.12’de gösterilmiştir.

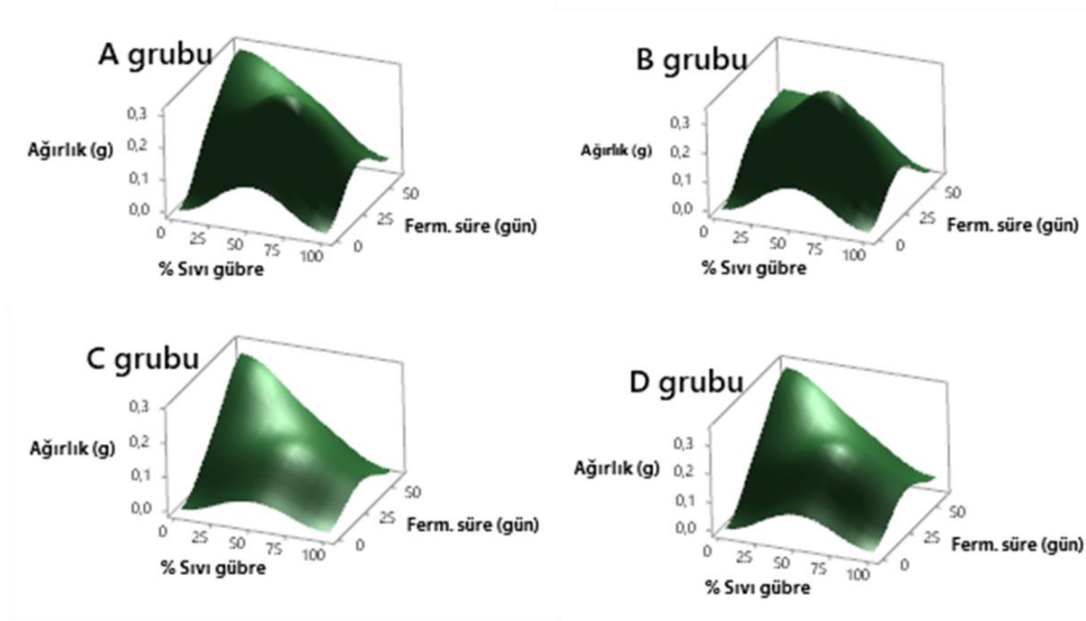


**Şekil 4.12** Fiziksel yollarla ekstrakte edilmiş gübrelerin bitkinin ağırlığı üzerindeki etkisi

Fiziksel yöntemler kullanılarak elde edilen sıvı yosun gübreleri arasında en etkili gübrenin dondurma ekstresi olduğu görülmektedir (Şekil 4.12). Fiziksel yöntemlerle ekstrakte edilmiş yosunların beslendiği tohumlarda çimlenen tohum sayısının oldukça az olmasından ötürü eksik veriler mevcut olmasına rağmen, dondurma ve ultrases ekstrelerinde en etkili konsantrasyonların %10 ile %25 olduğu görülebilmektedir. Her bir ekstrenin ortalama değerleri kontrol grubu ile kıyaslandığında, fiziksel ekstraksiyon yöntemlerinin bitki ağırlığı üzerinde büyük bir etkisinin olmadığı görülür.

- **Biyolojik Ekstraksiyon Gübrelerinin Bitkinin Ağırlığına Etkisi**

Biyolojik yöntemler kullanılarak üretilen sıvı yosun gübrelerinin bitkinin ağırlığı üzerindeki etkisi Şekil 4.13'te gösterilmiştir. Şekilde A grubu gübreler aşı ilavesi yapılmadan fermente edilmiş gübreleri, B grubu gübreler anaerobik çamur ile aşıl原因arak fermente edilmiş gübreleri, C grubu gübreler maya ile aşıl原因arak fermente edilmiş gübreleri, D grubu gübreler ise hem anaerobik çamur hem de maya ile aşıl原因arak fermente edilmiş gübreleri temsil etmektedir.



**Şekil 4.13** Biyolojik yollarla ekstrakte edilmiş gübrelerin bitkinin ağırlığı üzerindeki etkisi

Farklı aşı kültürleriyle fermantasyona tabi tutulan yosunlardan elde edilen gübrelerin bitkinin ağırlığı üzerindeki etkisinin fermantasyon süresinden ziyade konsantrasyona bağlı olduğu görülmektedir (Şekil 4.13). Konsantrasyonu %50 ve daha az sıvı gübreler, bitkinin ağırlığı üzerinde daha etkin rol oynamaktadır. Konsantrasyonun %100'e ulaşması ile birlikte, çimlenen tohum sayısı ve boy uzamasında olduğu gibi, bitkilerin boy uzunluklarında da ciddi azalmalar gerçekleşmektedir. Bitkinin ağırlığı üzerinde konsantrasyonla birlikte etkili olan bir diğer parametre ise fermantasyonda kullanılan aşıdır. Aşı olarak mayanın kullanıldığı C grubunun, bitkinin ağırlığı üzerinde çok düşük bir etkiye sahip olduğu görülebilmektedir. Buna karşın, aşı kullanılmayan A grubu gübreleri ile anaerobik çamur ve mayanın aşı olarak kullanıldığı D grubu gübrelerinin, çok

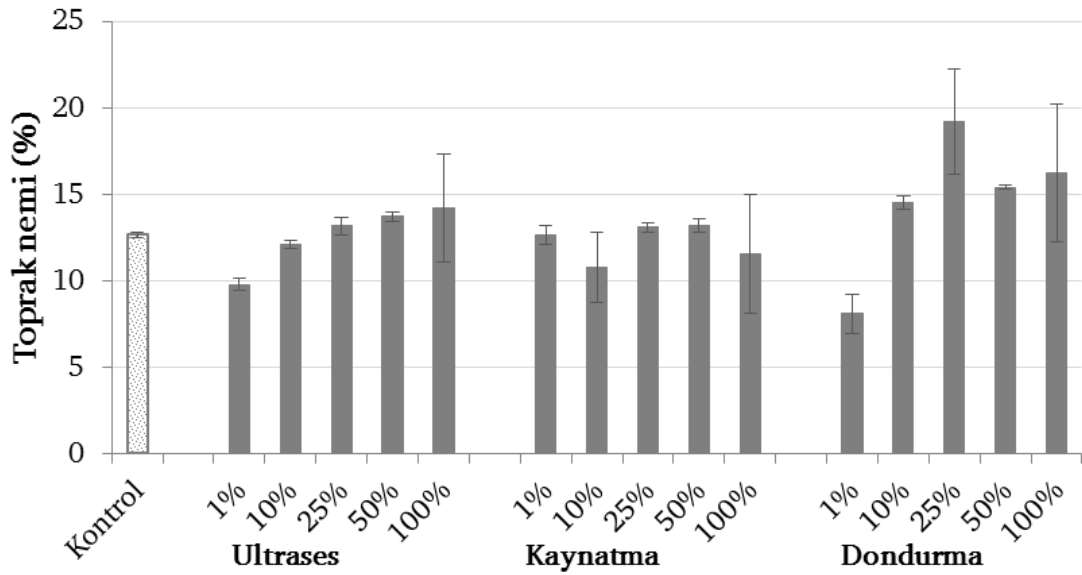
düşük konsantrasyonlarının oldukça etkili olduğu görülebilmektedir. Ancak ortalama değerler baz alınıp genel tablo çizildiğinde, B grubu gübrelerinin kontrol grubuna kıyasla en etkin sonucu verdiği görülmektedir. Gübre konsantrasyonunun %50 ve %10 arasında olması durumunda, bitkinin ağırlığı en yüksek değerlere ulaşmaktadır.

#### 4.4.1.5 Gübrenin Toprağın Nem Tutma Kapasitesine Etkisi

Elde edilen gübrelerin bitki büyümesi üzerindeki etkisinin yanı sıra toprağın nem tutma kapasitesi üzerindeki etkisi de ele alınmıştır. Toprak nemliliğinin ölçülmesindeki temel sebep, gübrenemeye başlanan toprak yapısının zaman içinde konsantrasyona bağlı yapısal değişiklik sergilemesi olmuştur.

- ***Fiziksel Ekstraksiyon Gübrelerinin Toprağın Nem Tutma Kapasitesine Etkisi***

Fiziksel yöntemler kullanılarak elde edilmiş sıvı yosun gübrelerinin ve çeşme suyunun, toprağın nemliliği üzerindeki etkisi Şekil 4.14'te görsel olarak gösterilmiştir.



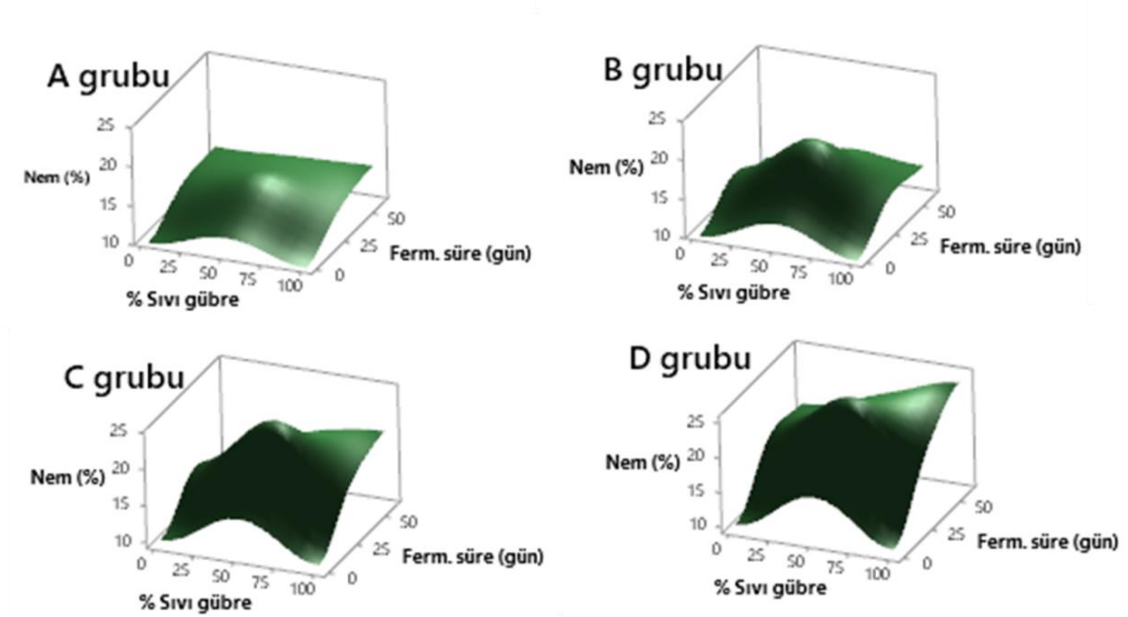
**Şekil 4.14** Fiziksel yollarla ekstrakte edilmiş gübrelerin toprağın nem tutma kapasitesi üzerindeki etkisi

Şekil 4.14'e göre, %25 ve üzeri konsantrasyonda beslenen gübreler, toprağın nem tutma kapasitesini kontrol grubunun nem tutma kapasitesine oranla artırmaktadır.

Gübre konsantrasyonunun artması ile birlikte, nem tutma kapasitesi de artmaktadır. Tüm yöntemler arasında, nem tutma kapasitesini en çok etkileyen ekstraksiyon yöntemi dondurma ekstresi olmuştur. Ancak bu etki oldukça zayıf olduğundan, fiziksel ekstraksiyon yöntemleri kullanılarak elde edilmiş sıvı gübrelerin, toprağın nem tutma kapasitesi üzerinde bir etkisinin olmadığı söylenebilir.

- ***Biyolojik Ekstraksiyon Gübrelerinin Toprağın Nem Tutma Kapasitesi Üzerindeki Etkisi***

Biyolojik yöntemler kullanılarak ekstrakte edilmiş sıvı deniz yosunlarının, toprağın su tutma kapasitesi üzerindeki etkisinin incelendiği grafikler ise Şekil 4.15'te verilmiştir. Şekilde A grubu gübreler aşı ilavesi yapılmadan fermente edilmiş gübreleri, B grubu gübreler anaerobik çamur ile aşılanarak fermente edilmiş gübreleri, C grubu gübreler maya ile aşılanarak fermente edilmiş gübreleri, D grubu gübreler ise hem anaerobik çamur hem de maya ile aşılanarak fermente edilmiş gübreleri temsil etmektedir.



**Şekil 4.15** Biyolojik yollarla ekstrakte edilmiş gübrelerin toprağın nem tutma kapasitesi üzerindeki etkisi

Şekil 4.15 incelendiğinde, toprağın nem tutma kapasitesini en az etkileyen ve kontrol grubu ile benzer bir profil çizen grubun deniz yosunlarının aşı ilavesi

yapılmadan fermente edildiği gübreler (A grubu) olduğu görülür. Bu grupta fermentasyon süresinin nem tutma kapasitesi üzerinde önemli bir etkisi gözlemlenmezken, sıvı gübre konsantrasyonunun %50 olması halinde en yüksek nem muhtevası görülür.

Aşı olarak anaerobik aşı ve mayanın tek başına ve birlikte kullanılması ile elde edilen gübrelerde de (B, C ve D grubu gübreleri), toprağın nem tutma kapasitesi üzerinde hem fermentasyon süresi, hem de sıvı gübre konsantrasyonları etkili olmuştur. Sıvı gübre konsantrasyonunun artması, nem tutma kapasitesini artırmıştır. Bu üç gübre için gübre konsantrasyonunun özellikle %50 ve üzerine çıkması ile toprağın su tutma kapasiteleri en yüksek değerlere ulaşmıştır. Bu durumun temel sebebi, gübre konsantrasyonu ile birlikte toprağa beslenen organik madde miktarının da artmasıdır. Organik içeriği yükselen toprakların yapılarının da sertleştiği ve nem tutma kapasitelerinin arttığı bilinen bir gerçektir (Bot ve Benites, 2005; Zodape vd., 2010).

Veriler ışığında, özellikle nem tutma kapasitesi düşük olan toprak yapısına sahip bölgelerde fermente deniz yosunu gübresinin kullanımı, toprak iyileştirici görevi görecektir. Bu ve benzeri öneriler, yürütülmüş benzer çalışmaların çıktısı olarak da değerlendirilmiş ve sunulmuştur (Kumari vd., 2012; Chapman, 2012). Yosun gübrelerinin kurak ve yarı kurak pek çok bölgede toprak iyileştiricisi olarak kullanılabileceğinden bahsedilmiştir (Yuan vd., 2019; Nabti vd., 2017).

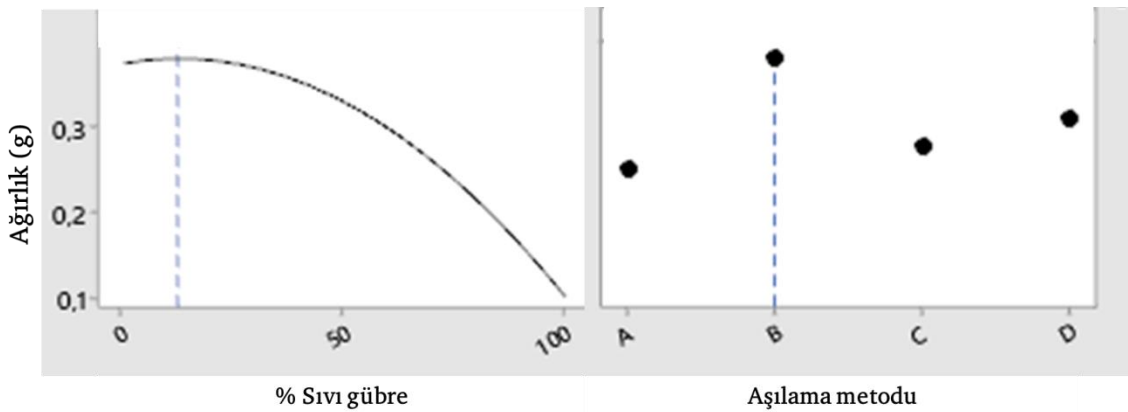
#### **4.4.1.6 Gübrelerin Etkinliğinin İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi**

Yosunların farklı yöntemlerle ekstrakte edilmesi yoluyla elde edilen gübrelerin etkinlikleri, bitki büyümesi üzerinde incelenmiştir. Biyolojik yöntemler kullanılarak elde edilen 4 farklı gübre ve bu gübrelerin zamana ve konsantrasyona bağlı etkileri bitkiler üzerinde gözlemlenmiştir. Ancak gerek incelenen gübre sayısının, gerekse ekim yapılarak etkilerinin incelendiği tohum sayısının çokluğu, tüm verilerin objektif değerlendirilmesini güçleştirmektedir. Bu sebeple, biyolojik yöntemlerle elde edilmiş gübrelerin bitki gelişimi üzerindeki etkisi Minitab programı kullanılarak modellenmiş ve yine bu program aracılığıyla istatistiksel analizleri yapılmıştır.

4 farklı fermantasyon şeklinin (A grubu: aşısız fermantasyon, B grubu: anaerobik aşı ilaveli fermantasyon, C grubu: maya aşılı fermantasyon, D grubu: anaerobik ve maya aşılı fermantasyon) 3 farklı zaman zarfında (15 gün, 30 gün ve 60 gün) uygulanması ile elde edilen sıvı gübrelerin 5 farklı konsantrasyonda hazırlanması ile (%1, %10, %25, %50 ve %100) elde edilmiş toplamda 60 farklı gübre bitki gelişimi üzerinde değerlendirilmiştir.

Bitki gelişiminin incelenmesi sırasında ele alınan parametreler bitkinin yaprak sayısı, boy uzaması ve ağırlığı iken, toprak üzerinde de nem tutma kapasitesi incelenmiştir.

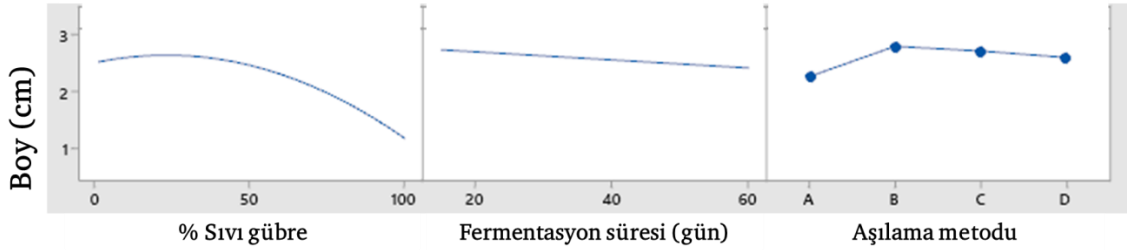
Yapılan istatistiksel analizler sonucu, bitki ağırlığı üzerinde etkili olan parametreler ve bu parametrelerin etkilerinin simgelandığı görseller Şekil 4.16'da verilmiştir. Mavi çizginin çekildiği noktalar, optimum sonucu vermektedir. Yapılan çalışmaların belirlenen model çerçevesinde analiz edilmesi sonucu, bitki ağırlığı üzerinde aşılama metodu ve sıvı gübre konsantrasyonu olmak üzere iki parametre etkili olmuştur.



**Şekil 4.16** Bitkinin ağırlığı üzerinde etkili olan parametreler

Sıvı gübrenin bitkiye düşük konsantrasyonlarda beslenmesi durumunda, bitki ağırlığının artış gösterdiği görülmektedir. Maksimum ağırlığa ulaşmak içinse gübre konsantrasyonunun %13 olması gerekmektedir. Tüm gübreler arasında ağırlığın artmasında en etkili olan gübre ise, anaerobik aşı ile aşılanarak fermente edilmiş B grubu gübreleri olmuştur. Model, bu koşulların sağlanması durumunda, bitki ağırlığının 0,38 gram ile maksimuma ulaşacağını %95 doğruluk öngörüsü ile belirtmektedir.

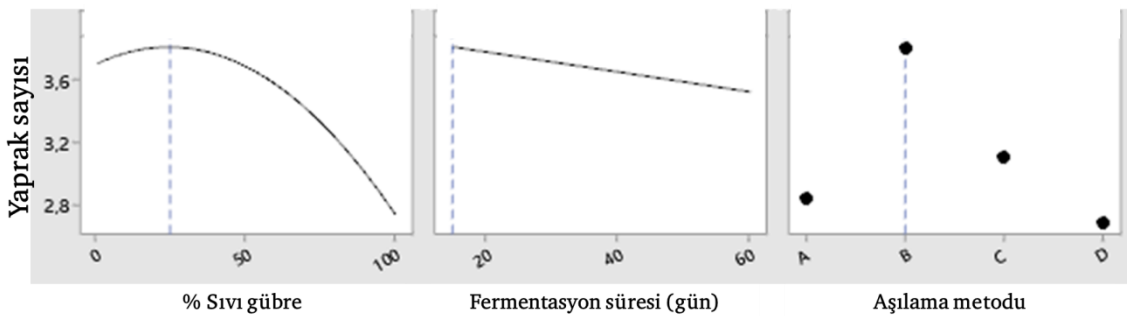
Yapılan istatistiksel modelleme ve sonucuna göre, bitkinin boy uzaması üzerinde etkili olan parametreler; sıvı gübre konsantrasyonu ve aşılama metodu olmuştur (Şekil 4.17). Gübrenin fermentasyon süresi, bitkinin boy uzaması üzerinde çok düşük bir etkiye sahiptir. Ancak bitki ağırlığında olduğu gibi boy uzamasında da en etkili iki unsur, sıvı gübre konsantrasyonu ve aşı olmuştur.



**Şekil 4.17** Bitkinin boy uzunluğu üzerinde etkili olan parametreler

Gübre konsantrasyonunun %17, fermentasyon süresinin 15 gün ve altı, fermentasyonun ise anaerobik aşı ile aşıl原因 olarak yapılması durumunda, optimum boy uzaması gerçekleşebilmektedir. Model, bu koşulların sağlanması durumunda, bitkinin ortalama uzunluğunun 3,02 cm'ye ulaşarak maksimum uzunluğun sağlanabileceğini %95 doğruluk öngörüsü ile belirtmektedir.

Gübrenin bitki gelişimi üzerindeki etkisinin incelendiği son parametre olan bitkinin yaprak sayısının incelendiği çalışmalardan elde edilen sonuçlar Şekil 4.18'de verilmiştir. Buna göre, bitkinin yaprak sayısı üzerinde fermentasyon süresi, gübre konsantrasyonu ve aşılama metodunun her biri etkilidir.

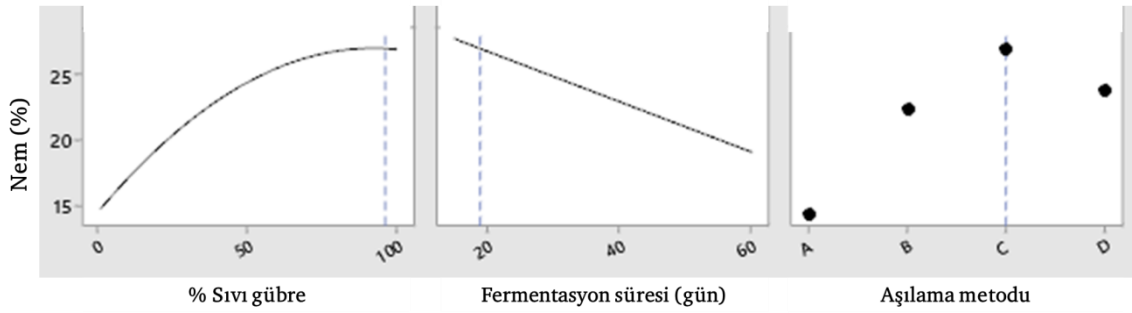


**Şekil 4.18** Bitkinin yaprak sayısı üzerinde etkili olan parametreler

Model sonuçlarına göre, yaprak sayısının maksimuma ulaşabilmesi için gerekli olan optimum gübre konsantrasyonu %25 iken, fermentasyon süresi 15 gün olmalıdır. Yaprak sayısının artması için aşılamanın ise kesinlikle anaerobik aşı ile

yapılması gereklidir. Diğer aşılardan yaprak sayısı üzerindeki etkinlikleri çok düşük kalmıştır. Minitab programından elde edilen sonuçlara göre, bu koşulların sağlanarak ortalama 3,81 yaprak ile maksimum yaprak sayısına ulaşılabileceği sonucuna varılmıştır.

Analizler sırasında ele alınan son parametre olan toprağın nem tutma kapasitesinin istatistiksel açıdan incelenmesi ile, nem tutma kapasitesi üzerinde gübre konsantrasyonu, fermentasyon süresi ve aşılama metodunun her birinin etkin olduğu görülmüştür (Şekil 4.19). Bitki gelişimi analizlerinde en etkili fermentasyon aşısı anaerobik aşı görünmesine rağmen, toprağın nem tutma kapasitesi üzerinde en etkili olan metot maya ile aşılanarak fermente edilen gübre (C grubu) olmuştur. Her ne kadar Şekil 4.15'te, D grubu gübrelerin toprağın su tutma kapasitesi üzerinde daha etkili olduğu görünse de, istatistiksel analizler bunun doğru olmadığını göstermiştir.



**Şekil 4.19** Toprağın nem tutma kapasitesi üzerinde etkili olan parametreler

Bitki gelişimi üzerinde düşük konsantrasyonlu gübreler daha etkili iken, toprağın nem tutma kapasitesi üzerinde bu etkiyi sürdürememiştir. Aynı durum fermentasyon süresi için de geçerlidir. Bitki gelişimi üzerinde kısa fermentasyon süreleri daha etkili sonuç verirken, nem tutma kapasitesinin artırılabilmesi için fermentasyon sürelerinin artırılması gerekecektir.

Bu çalışmadaki temel hedef, bitki gelişimini maksimum seviyede destekleyen gübrelerin üretilmesidir. Bu sebeple, anaerobik aşı ile aşılanarak fermente edilecek gübrelerin (B grubu), en uygun yöntem olarak seçilerek pilot ölçekli sistemde de kullanılması uygun bulunmuştur.

Laboratuvar ölçekli çalışmalardan elde edilen ham ve istatistiki açıdan değerlendirilmiş sonuçlara göre, yosundan sıvı gübre elde etmede kullanılabilecek en uygun metot yosunların anaerobik çamur ile ekstrakte edilmesidir. Çalışmaların başlangıcında deniz yosununun farklı hiçbir proste kullanılmadan direkt olarak gübreleştirilmesi koşulu ele alınmış olsa da, yapılan çalışmalar yosunların ilk olarak anaerobik çürütücülere beslenerek biyogaz eldesinde kullanılabileceğini ve çıkan çürütücü üst suyunun sıvı gübre olarak değerlendirilebileceğini göstermiştir.

Anaerobik çamur ile yosun fermentasyonu sonucu elde edilen sıvı gübrenin bitkinin çimlenmesi, boy uzaması, yaprak sayısı ve gramajı üzerinde önemli etkileri olmuştur. Bu metotla yosundan direkt gübre üretimi gerçekleştirildiğinde, yaklaşık %10'luk kayıp olduğu da varsayılarak, 1 kilogram ham (ıslak) deniz yosunundan yaklaşık 9 litre %100'lük sıvı gübre elde edilebilir. Bu gübrenin en az %50 oranına seyreltilmesi gerektiği hesaba katıldığında, 1 kilogram deniz yosunundan 18 litre ile 900 litre arasında sıvı gübre elde edilmesi mümkündür.

İstanbul'la benzer kıyı uzunluğuna sahip olan Litvanya'da yosundan biyogaz ve biyogübre eldesinin, özel olarak yetiştirilen deniz yosunlarından üretilmesinin ekonomik olabileceğinden bahsedilmektedir (Jekaterina Krastina vd., 2017).

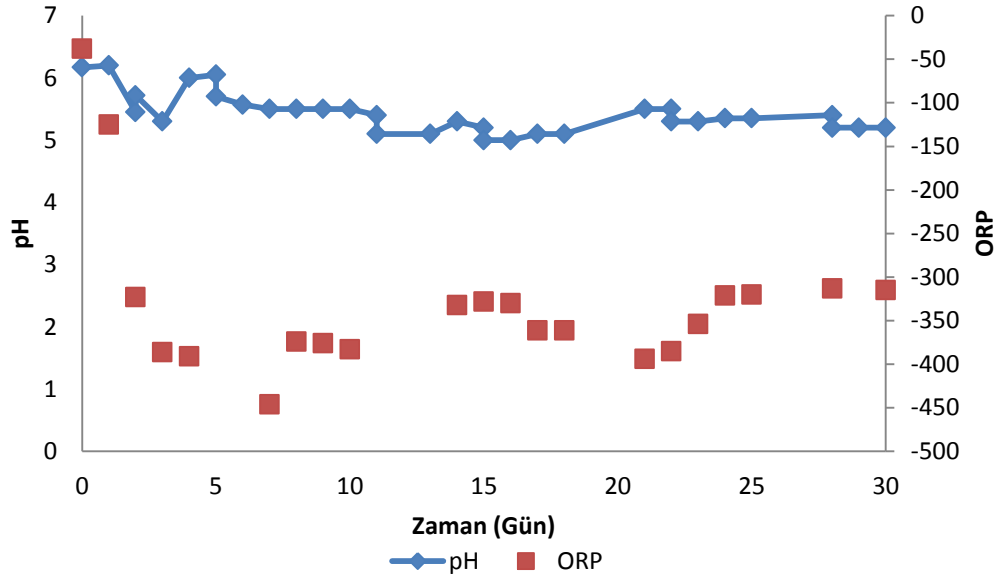
#### **4.4.2 Pilot Ölçekli Sistemde Üretilen Gübre ile Yapılan Çalışmalar**

Daha önce de belirtildiği üzere, atık deniz yosunlarından sıvı gübre üretimi laboratuvar ölçekli ve pilot ölçekli olmak üzere iki farklı şekilde ele alınmıştır. Laboratuvar ölçekli yürütülen çalışmalarda sıvı deniz yosunu gübresi eldesinde kullanılabilecek optimum ekstraksiyon metotları, bitki gelişimi üzerinde incelenerek belirlenmiştir. Fiziksel ve biyolojik prosesleri kapsayan bu çalışmalar sonrasında, en verimli ekstraktın anaerobik aşı çamuru ile 15-30 gün fermente edilen deniz yosunundan elde edildiği görülmüştür.

Çalışmanın ikinci bölümü olan pilot ölçekli çalışmalarda, İstanbul kıyılarından toplanmış atık deniz yosunlarının pilot ölçekli sisteme tek seferde beslenmesi sonucu sıvı gübre elde edilmiştir. Fermentasyon prosesinin yürütüldüğü bu sistemde pH sürekli olarak 5,5-6,5 değerleri arasında tutulmuştur. Anaerobik sistemin çalışma koşullarının stabilitesini takip etmek için sürekli olarak

oksidasyon redüksiyon potansiyeli (ORP) ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sistemin işletildiği süre boyunca takip edilen pH ve ORP değerleri Şekil 4.20’de verilmiştir.

Şekil 4.20’de görüldüğü gibi, sistemin pH’ı ilk 3 gün içinde sürekli olarak düşme eğilimindeyken, diğer günlerde sürekli olarak artış gösterme eğiliminde olmuştur. pH’ın değişim gösterdiği bu süreçlerde sisteme NaOH ve ortofosforik asit ilavesi ile müdahale edilerek pH istenen aralıkta (5,5-6,5) sabitlenmiştir.



**Şekil 4.20** Pilot ölçekli anaerobik sistemin zamana bağlı pH ve ORP değişimi

Sistemin işleyişi boyunca oksidasyon-redüksiyon potansiyeli değerini değiştirecek hiçbir müdahale yapılmamıştır. Başlangıç değerinin yüksekken, zamanla -300 dolaylarına düştüğü görülmektedir. Bu durumun başlıca sebebi, sistemin kurulum aşamasında sistemde kalan oksijenin ORP'yi yükseltmesidir. Anaerobik koşul kararlı hale geldikçe, ORP değerinin azaldığı görülmektedir.

İşletilen anaerobik reaktörden 5., 10., 15. ve 30. günlerde sıvı gübre numuneleri alınmış ve alınan numuneler Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı'na ait laboratuvarında analize gönderilmiştir. Temin edilen sonuçlar Tablo 4.10'da verilmiştir.

Sıvı gübrenin toplam asit, toplam fosfor ve suda çözünür potasyum değerleri incelendiğinde, diğer değerlerin 15 güne kadar sürekli olarak arttığı görülmektedir. 15 günden sonra ise toplam fosfor değeri hariç tüm değerler düşüş

göstermektedir. Buna göre, makroalglerden fermentasyon yoluyla sıvı gübre üretimi gerçekleştirmek için optimum zamanın 15 gün olduğuna karar verilmiştir.

**Tablo 4.10** Pilot ölçekli sistemde üretilen gübrenin zamana bağlı karakteristiği

| <b>Numune<br/>alınan<br/>günler</b> | <b>Toplam<br/>(Hümk+Fulvik)<br/>Asit (%)</b> | <b>Toplam<br/>Fosfor (%)</b> | <b>Suda çözünür<br/>potasyum (%)</b> |
|-------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| 5                                   | 0,67                                         | 0,00089                      | 0,01                                 |
| 10                                  | 2,14                                         | 0,00321                      | 0,01                                 |
| 15                                  | 2,44                                         | 0,08426                      | 0,12                                 |
| 30                                  | 1,91                                         | 0,10185                      | 0,11                                 |

Akça ve Kapur (2018)'e göre Türkiye'de kimyasal gübrelere alternatif olarak sunulabilecek gübrelerin üretiminde kullanılabilecek sebze kabukları gibi farklı hammaddeler arasında yosunlar azot, fosfor ve potasyum bakımından en zengin seçeneklerden biridir. Deniz yosunlarının gübreleştirilmesi ile bu bileşenler bitki yetiştirmede kullanılabilir forma ulaşacağından, yosun gübresi kullanımının yaygınlaştırılması ile kimyasal gübreye olan talep azalacaktır. Çalışmada bahsedilen fosfor ve potasyum değerleri, bu çalışmadan elde edilen sıvı gübre değerleri ile benzerlik göstermektedir. Bunun yanında, yosunun yapısında bulunan birçok iz element, aminoasit, vitamin ve büyüme hormonlarının, bitkinin yetişmesi için çok güçlü bir ortam oluşturacağı da ayrıca belirtilmiştir.

Sıvı gübrenin tarımda kullanılabilmesi için ele alınması gereken en önemli parametrelerden biri de sıvı gübrenin ağır metal içeriğidir. Yine Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı'na ait laboratuvarında incelenen sıvı gübrenin ağır metal sonuçları Tablo 4.11'de verilmiştir.

Elde edilen veriler incelendiğinde, ağır metal konsantrasyonlarının oldukça düşük seviyelerde olduğu görülmektedir. Ağır metal konsantrasyonları da, fosfor ve potasyum gibi zamanla birlikte sürekli olarak artış göstermiştir. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından Resmi Gazete'nin 23 Şubat 2018 tarih ve 30341

sayılı nüshasında yayımlanan “Tarımda Kullanılan Organik, Organomineral Gübreler ve Toprak Düzenleyiciler ile Mikrobiyal, Enzim İçerikli ve Organik Kaynaklı Diğer Ürünlerin Üretimi, İthalatı, İhracatı ve Piyasaya Arzına Dair Yönetmeliği”ne göre, nikel, krom, kurşun ve kadmiyum için üst limit konsantrasyonları sırasıyla 120, 350, 150 ve 3 ppm’dir. Ölçülen değerler yönetmelik ile kıyaslandığında, ağır metal limit konsantrasyonlarının aşılmadığı görülmektedir. Bu durum, üretilen sıvı gübrenin tarımda kullanılmasında bir sakınca olmadığını göstermiştir.

**Tablo 4.11** Pilot ölçekli sistemde üretilen gübrenin zamana bağlı ağır metal içerikleri

| Numune alınan günler | Ağır metal (ppm) |      |        |          |        |
|----------------------|------------------|------|--------|----------|--------|
|                      | Nikel            | Krom | Kurşun | Kadmiyum | Kobalt |
| 5                    | 1,17             | 2,92 | 2,08   | DLA      | 1,48   |
| 10                   | 1,32             | 1,08 | 2,07   | DLA      | 1,54   |
| 15                   | 1,87             | 1,21 | 2,44   | DLA      | 1,49   |
| 30                   | 2,22             | 2,12 | 2,95   | DLA      | 1,89   |

\*DLA: Deteksiyon (tespit) limitinin altında

İSTAÇ A.Ş. ile yürütülen TÜBİTAK Sanayi Ar-Ge Projeleri Destekleme Programı’nın “Atık Deniz Yosunlarının Geri Kazanım Uygulamalarının Araştırılması Ve Sürdürülebilir Atık Yönetim Modelinin Geliştirilmesi” isimli projesi kapsamında yürütülen çalışmalar sonunda, pilot ölçekli sistemden elde edilen fermente deniz yosunu gübreleri İstAlg ismi ile etiketlenerek pek çok kongre ve sergide sergilenmiştir. Şekil 4.21’de ambalajlanan sıvı yosun gübreleri yer almaktadır.



**Şekil 4.21** Pilot ölçekli sistemde üretilen sıvı gübreler ambalajlanarak sergilenmiştir

#### 4.5 Makroalglerden Kompost Üretimi

Makroalglerin kompost üretimi çalışmaları, laboratuvar ortamında kurulan ve sürekli sıcaklık takiplerinin yapıldığı özel tasarlanmış reaktörlerde yürütülmüştür. Çalışmalar kapsamında makroalglerin tek başlarına kompostlaştırılması ve sebze atıklarına katkı olarak karıştırılarak kompostlaştırılması ele alınmıştır. Buna binaen farklı oranda kompost ve sebze atıkları karıştırılmış, nem ve C/N oranının optimizasyonu için ise talaş ilavesi yapılmıştır. Tüm bileşenlerin karakteristiği Tablo 3.8’de verilmiştir. Her bir deney setine ise aşı olarak toplam kütlenin %10’u kadar kompost eklenerek işleme başlatılmıştır.

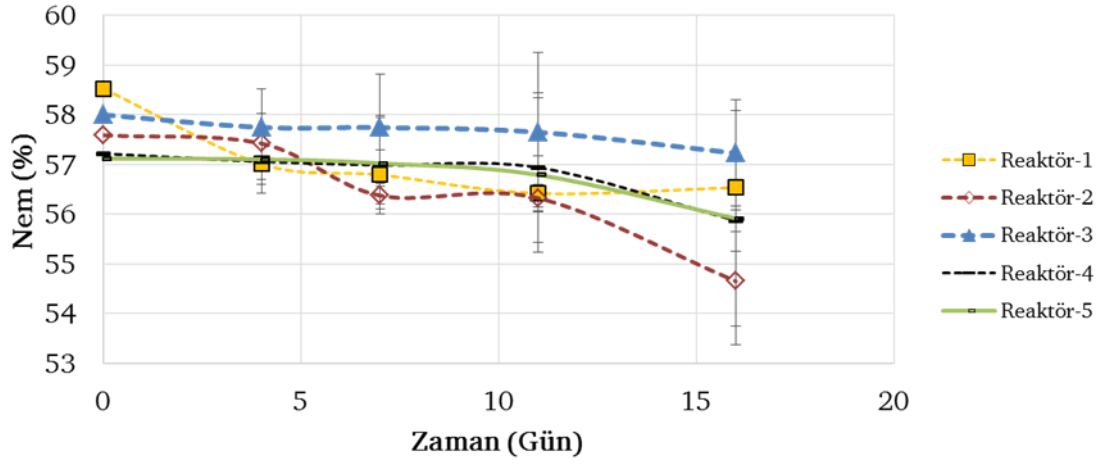
Eklenen tüm bileşenlerin homojen bir karışım haline getirilmesinin ardından reaktörlerin sıcaklıkları sabit değere ulaşana kadar toplamda 16 gün işletilmiştir. Reaktörlerin işletimi sırasında, reaktörün tabanında oluşan su düzenli olarak toplanmıştır. Reaktörler ve bu reaktörlerden toplanan su miktarları Tablo 4.12’de verilmiştir.

**Tablo 4.12** Kompost reaktörünün tabanından zamana bağlı toplanan su miktarı

| Reaktör adı | Yosun:Sebze atığı oranı | Reaktör tabanından toplanan su miktarı (mL) |        |        |        |         |         |
|-------------|-------------------------|---------------------------------------------|--------|--------|--------|---------|---------|
|             |                         | 4. gün                                      | 5. gün | 7. gün | 9. gün | 10. gün | 11. gün |
| Reaktör 1   | 0:100                   | 155                                         | 110    | 90     | 65     | 15      | 10      |
| Reaktör 2   | 10:90                   | 155                                         | 130    | 90     | 90     | 15      | 0       |
| Reaktör 3   | 20:80                   | 0                                           | 0      | 0      | 0      | 0       | 0       |
| Reaktör 4   | 50:50                   | 0                                           | 0      | 0      | 0      | 0       | 0       |
| Reaktör 5   | 100:0                   | 0                                           | 0      | 0      | 0      | 0       | 0       |

Çizelgede verilen değerler incelendiğinde, yalnızca 1 ve 2 numaralı reaktörlerde su birikimi olduğu görülmektedir. 2 numaralı reaktörden uzaklaştırılan su miktarı daha fazla olurken, 1 numaralı reaktör tabanında biriken su miktarı da oldukça yüksek olmuştur. Bu durumun temel sebebinin, %10-%90 oranında yosun ve sebze atığı karışımının en uygun işletim koşullarından biri olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Reaktörlerin tabanında biriken suyun uzaklaştırılması ve buharlaşma sonucu reaktör içerisindeki nem oranında düşüş gerçekleşmiştir. Bu sebeple reaktör içi nem muhtevası takip edilmiş ve yapılan ölçüm sonuçları Şekil 4.22’de verilmiştir.

Elde edilen nem analizleri incelendiğinde, reaktörlerin başlangıç nem değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Reaktörlerden toplanan su miktarları göz önünde bulundurularak tahmin edilen nem içerikleri ile numunelerin analizi sonucu elde edilen nem içeriklerinin standart sapması alınarak oluşturulan şekilde (Şekil 4.22), standart sapma değerlerinin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bu durum, reaktörlerden alınan numunelerin nem içeriklerinin teorik hesaplarla örtüşüğünün bir göstergesidir.

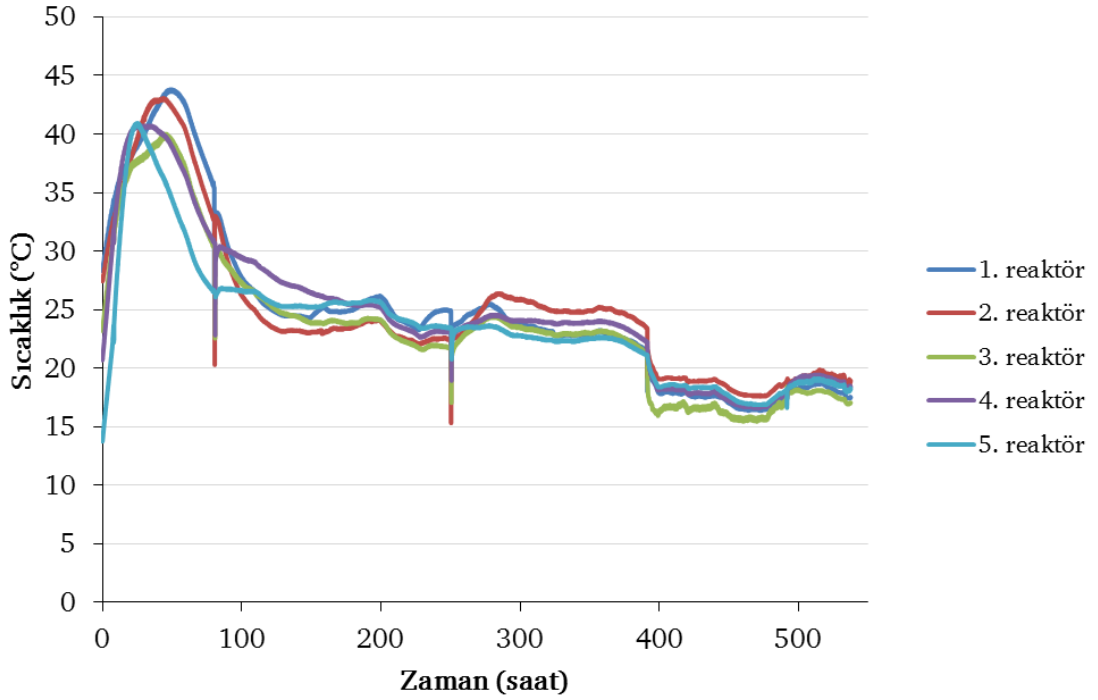


**Şekil 4.22** Kompost reaktörlerinin nem içeriklerinin zamana bağlı değişimi

Tüm reaktörlerin nem içeriklerinin sürekli olarak düşüş gösterdiği gözlemlenmektedir. 2 numaralı reaktörde en yüksek nem azalmasının görülmesinin temel sebebi, bu reaktör tabanından en yüksek miktarda suyun toplanmasıdır. Nem azalması açısından 2 numaralı reaktörü takip eden reaktör ise 1 numaralı reaktör olmuştur. Yine 1 numaralı reaktör tabanından da yüksek miktarda su uzaklaştırılmış, bu sebeple nem muhtevası hızlı bir düşüş sergilemiştir.

Kompost reaktörlerinin sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi ise Şekil 4.23'te verilmiştir. Reaktörler 3., 10. ve 16. günlerde karıştırıldığından, ani sıcaklık düşüşleri gözlemlenmiştir. Grafik incelendiğinde, sıcaklığın tüm reaktörlerde ilk 100 saat içerisinde maksimum sıcaklıklarına ulaştıkları görülmektedir. Bunun yanı sıra, ulaşılan maksimum sıcaklık karışım içerisindeki sebze atığı oranı düştükçe azalmaktadır. Bu durum, gerçek ölçekli bir sisteme makroalglerin yüksek oranda beslenmesinin, kompost üretimi üzerinde negatif etkiye sebep olabileceğini göstermektedir.

İstanbul'da İSTAÇ A.Ş. tarafından işletilmekte olan bir kompost tesisi mevcuttur. Halihazırda pazar yeri, hal, market atıkları gibi atıklarla işletilen ve günlük 1000 ton atık kapasiteli bu tesiste, yılda ortalama 20.000 ton toprağı ıslah edici, organik değeri yüksek kompost üretilmektedir. Yapılan çalışmalar, makroalglerin bu tesise yan ürün olarak beslenebileceğini göstermektedir.



**Şekil 4.23** Kompost reaktörlerinin zamana bağlı sıcaklık değişimleri

Deniz yosunlarının düşük C/N oranlarından ve yüksek nem içeriklerinden ötürü tek başlarına kompostlaştırılması mümkün değildir. Buna rağmen kompostlaştırma prosesi, kontrolsüz ve yüksek miktarda oluşmuş atık makroalglerin yönetiminde sıklıkla kullanılan bir metot olarak karşımıza çıkmaktadır. Makroalglerden kompost üretimi için karbon içeriği yüksek organik maddelerle karıştırılmaları şarttır. Literatürde makroalglerin tarımsal atık, deniz ürünleri atıkları, organik atık gibi çok çeşitli atıklarla karışımlarından kompost eldesi çalışmaları mevcuttur (Illera-Vives vd., 2015; Eyraş vd., 2008; Cole vd., 2016). Farklı reaktör tasarımlarının da denendiği bu çalışmalarda genellikle atık makroalgler kullanılmıştır (Mendo vd., 2006; Cuomo vd., 1995; Han vd., 2014).

Üretilen kompostların bitki verimliliği üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmaların sonuçları, kompostun bitki büyümesi ve meyve verimi üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Tere bitkisi üzerinde yapılan çalışmalarda bitkinin boyunu, ağırlığını ve makronütrient konsantrasyonunu artırdığı (Michalak vd., 2016; Michalak vd., 2017a; Michalak vd., 2017b), mısır bitkisi üzerinde yapılan çalışmalarda tohum çimlenmesini hızlandırdığı ve kök gelişimini desteklediği (Paungfoo-Lonhienne vd., 2017), taze fasulye üzerinde yapılan çalışmalarda ise

çiçeklenmeyi ve üretim verimini artırdığı (Abou El-Yazied vd., 2012) görülmüştür. Bu çalışmalardan yola çıkılarak, İstanbul kıyılarında biriken atık makroalglerin kompost üretiminde kullanılması ile atık yönetiminin yanı sıra ekonomik fayda da sağlanabilir.

#### 4.6 Makroalglerden Biyoplastik Üretimi

Makroalglerden biyoplastik üretimi, son yıllarda plastik atıklarının azaltılmasına yönelik çabaların artmasıyla birlikte dikkat çeken bir konu haline gelmeye başlamıştır. Dünyada biyoplastik üretiminde kullanılmak üzere özel makroalg türleri yetiştiriciliği yapan firmalar dahi faaliyet göstermektedir.

Tez çalışmaları kapsamında, kıyılardan toplanan atık makroalglerin biyoplastik üretiminde kullanılabilirliği ele alınmış olup, başlangıç parçacık boyutu 200  $\mu\text{M}$  olan deniz yosunu ile polimer kompozitler hazırlanmıştır. Hazırlanan biyoplastikler Şekil 4.24'te verilmiştir.

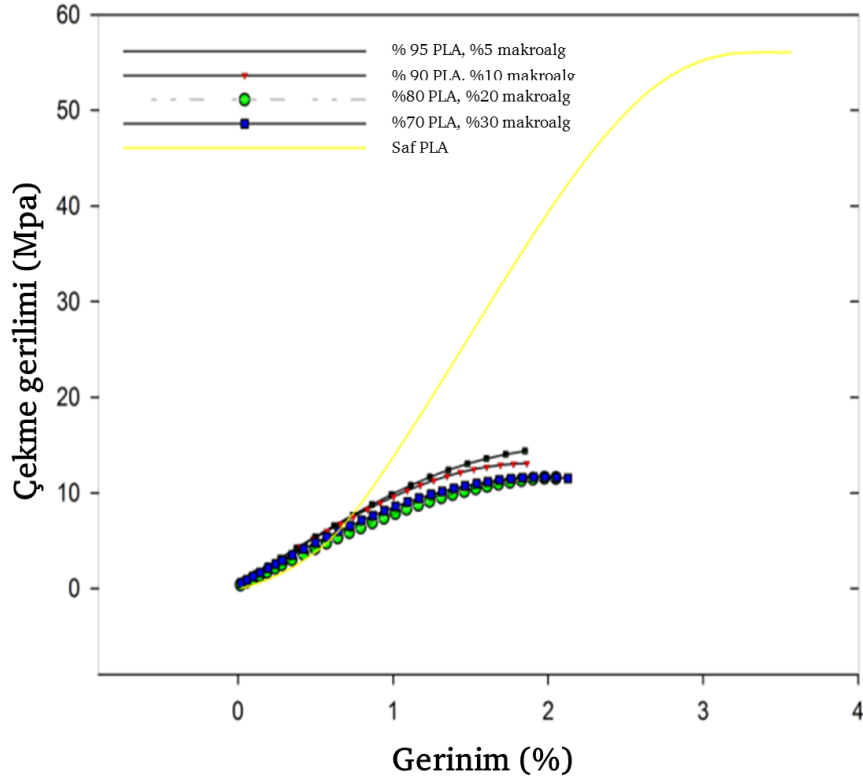


**Şekil 4.24** Farklı oranlarda deniz yosunu ve PLA karıştırılarak elde edilmiş biyoplastikler

Polimer mekanik özelliklerinin incelenmesi için yürütülen çalışmaların çıktıları Şekil 4.25'te verilmiştir.

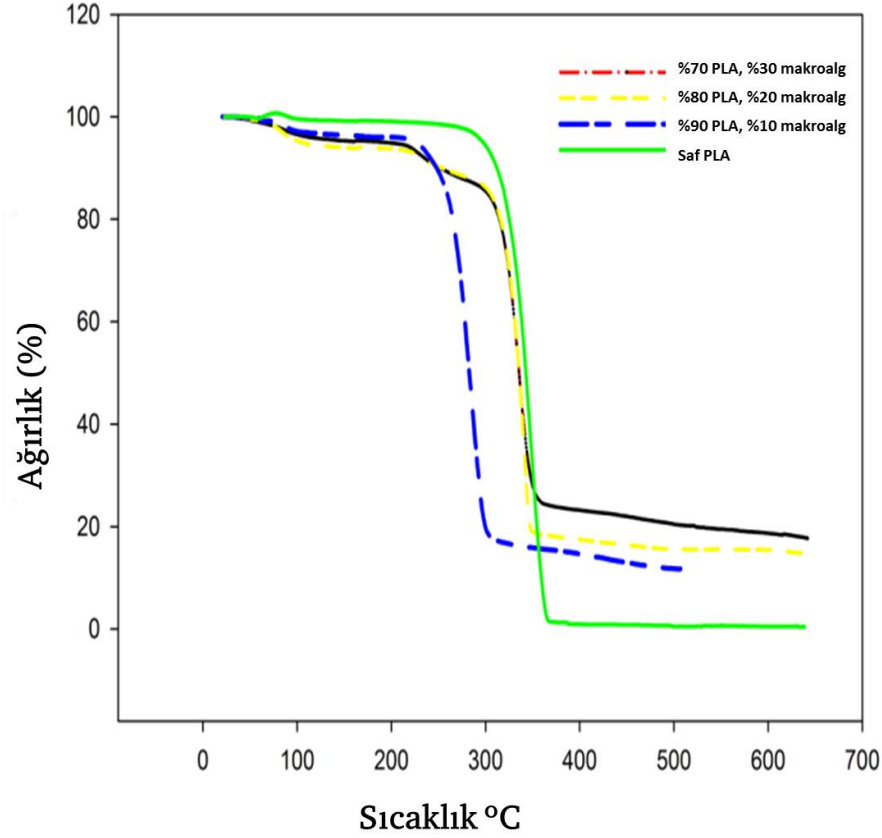
Çekme-germe analizi, bir plastiğin gevrekliğini veya elastikliğini gösteren bir analizdir. Bir malzemenin gerilimi artarken uzamasının (gerinim) da aniden artması, o malzemenin dayanıklı ancak gevrek olduğunu gösterir. Buna karşın, düşük gerilime dahi yüksek uzama katsayılarına ulaşması, malzemenin elastik olduğunun, kopmadan evvel oldukça uzayabileceğinin, ancak düşük bir gerilme ile kopabileceğinin ispatıdır. Şekil 4.25 incelendiğinde, deniz yosunu katkılı biyoplastiklerin, PLA'ya kıyasla daha elastik olduğu görülür. Bu durum, deniz

yosunu katkılı biyoplastiklerin, esnekliğin ön planda, dayanıklılığın ise ikinci planda olduğu ürünlerde kullanılabileceğini gösterir. Bu tür malzemeler genellikle türlü aletlerin tekerlek ve lastiklerinde, ayakkabı tabanlarında ve kablo yalıtım malzemelerinde tercih edilmektedir.



**Şekil 4.25** PLA-deniz yosunu kompozitlerinin mekanik özellikleri

Termogravimetrik analiz, malzemenin kontrollü bir hızla ısıtılması sonucu kütlesindeki değişimlerinin hassas teraziler yardımıyla ölçülmesi ile gerçekleştirilir. Bu analiz, çeşitli malzemelerin karakterizasyon özelliğini belirlemede kullanılabildiği gibi; maddenin erime, termal dekompozisyon, oksidasyon gibi her türlü termal davranışını incelemek için de kullanılmaktadır. Şekil 4.26'da farklı oranlarda karıştırılmış PLA-deniz yosunu kompozitlerinin termogravimetrik analiz (TGA) grafikleri verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, saf PLA'nın bozunma sıcaklığı  $\sim 300^{\circ}\text{C}$ 'dedir. Ancak PLA ile makroalglerin karıştırılması ile birlikte, bozunma sıcaklığı düşüş gösterir. TGA sonuçlarından, deniz yosunu miktarının artışının termal bozunma noktasının azalmasına neden olduğu görülmektedir.



**Şekil 4.26** PLA-deniz yosunu kompozitlerinin TGA grafikleri

Sonuç olarak, artan deniz yosunu bileşeni, biyoplastiğin dayanıklılığının azalmasına, ancak esnekliğinin artmasına sebep olmaktadır. Bunun yanı sıra, artan yosun katkısı biyoplastiğin bozunumunu kolaylaştırmaktadır. Bu durum, deniz yosunu katkısının biyoplastik üretiminde PLA ile karıştırılarak kullanılabileceğini göstermiştir. Ancak üretilen ürün, saf PLA'dan üretilen biyoplastiğe kıyasla daha düşük sıcaklıklara dayanıklı ve daha esnek olduğundan, buna uygun alanlarda kullanılması gerekecektir. Kullanım alanlarına verilebilecek örnekler arasında medikal ürünler, gıda ambalajları, ayakkabı tabanları bulunabilir.

Bu çalışmada, kurutulan deniz yosunlarının bir biyo-plastik olan PLA ile farklı oranlarda karıştırılarak ekstrüdere direkt beslenmesi koşulu ele alınmıştır. Ancak polilaktik asit (PLA) de, biyolojik bir prosten elde edilir. PLA üretimi, mikroorganizmalar tarafından kolay tüketilebilen ve yüksek konsantrasyonda karbon içeren substratların laktik aside dönüştürülmesi ve üretilen laktik asitin çeşitli metotlarla ekstrakte edilmesi sonucu gerçekleştirilir. Günümüzde laktik asit

fermantasyonu için genellikle şeker kamışı, şeker pancarı, patates, mısır gibi birinci nesil biyokütle kullanılmaktadır. Ancak bu ürünlerin aynı zamanda enerji üretiminde de kullanılıyor olması ve artan gıda fiyatları, biyolojik proseslerle hammadde olarak farklı substratların kullanımı arayışına yol açmıştır. İkinci nesil biyokütller olan tarımsal ve ormansal atıklar da, hidroliz maliyetleri ve miktar olarak yetersizliklerinden ötürü yeni arayışlara sebep olmuştur. Üçüncü nesil biyokütller olarak bilinen alglerin, birçok biyo-proseste kullanımı gerek maliyetlerin düşürülmesi, gerekse verimlilikleri sebebiyle biyorafineri yaklaşımında sıklıkla kullanılan materyaller haline gelmiştir.

Makroalglerin düşük lignin ve yağ içerikleri, mikroorganizmalar tarafından kolay ayrıştırılmalarını sağlar. Yüksek şeker içerikleri ise, biyoproses verimini artırmaktadır. Bu sebeple makroalglerden laktik asit üretim prosesi konusu son yıllarda dikkat çekmektedir (Chen vd., 2019; del Olmo vd., 2019). Bu sebeple makroalglerden üretilen biyoplastiklerin çok daha farklı alanlarda kullanımının sağlanabilmesi, makroalglerden PLA üretimi yapılması ile mümkün olabilecektir. Konu hakkında yürütülebilecek çalışmalarla üretim veriminin tespitinin ve üretilebilecek ürünlerin özelliklerinin analiz edilmesi, İstanbul kıyılarından toplanan atık makroalglerin kullanım alanlarının genişlemesine ve bu atıkların mali değerinin artmasına destek olacaktır.

Bu tez çalışmasında, İstanbul kıyılarında biriken ve halihazırda depo sahalarına gönderilerek bertaraf edilen makroalglerin (deniz yosunlarının) faydalı ürün olarak değerlendirilmesi ele alınmıştır. Bu kapsamda makroalglerden biyoenerji, sıvı gübre, kompost ve biyoplastik üretim potansiyelleri incelenmiştir. Üretilen ürünler arasında sıvı gübre üretiminin bitki gelişimi üzerindeki etkisi de ele alınmış ve optimum üretim koşulu bu yolla belirlenmiştir.

Çalışmaların ilk aşamasında, makroalglerden üretilecek ürünlerin kalitesini etkileyecek en önemli unsurlardan olan makroalg miktarı ve karakteristiği ele alınmıştır. Karakteristiğin belirlenmesi için, 2016 yılı boyunca, yosun oluşumunun yüksek olarak görüldüğü bölgelerden aylık periyotlarda numuneler toplanmıştır. 12 ay içerisinde 40 numune toplanmıştır. Toplanan numuneler laboratuvarlara plastik poşetler içerisinde getirilmiş ve çeşme suyu altında yıkanarak tuz, balık yumurtası, kum gibi safsızlıklardan arındırılmıştır.

Karakterizasyon çalışmalarının ilk basamağında, yosunlar morfolojik gözlemlerle tür tespitleri yapılmıştır. Gözlemler sonucu, bir yıl boyunca en sık rastlanan makroalg türleri *Ceramium rubrum*, *Jania rubens*, *Gigartia acicularis*, *Halymenia sp.*, *Sphaerococcus coronopifolius*, *Dudresnaya sp.*, *Rhodymenia sp.*, *Laurencia obtusa*, *Ulva sp.*, *Chladophora pellucida*, *Enteromorpha intestinalis*, *Cystoseira compressa* olmuştur. Bunun yanı sıra, yaz aylarında yeşil alg yoğunluğunun, kış aylarında ise kırmızı alg yoğunluğunun artması dikkat çekmiştir.

Karakterizasyon çalışmalarının ikinci basamağında makroalglerin tuzluluğu incelenmiştir. Bir deniz ürünü olan makroalglerden faydalı ürün elde etmede akla gelen ilk engel olabilecek ürün olan tuz konsantrasyonu, yıkanan ve yıkanmayan deniz yosunları üzerinde incelenmiştir. Bulunan değerler, deniz suyunun tuzluluğu ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Buna göre, yıkanmış deniz yosununun tuzluluk oranı 2,5 ppt olarak bulunmuştur. Bu değer, deniz suyunun tuzluluk oranının neredeyse 10'da birine (25,6 ppt), yıkanmamış deniz yosununun ise

yaklaşık yarısına (5,4 ppt) karşılık gelmektedir. Bu değerler ışığında, deniz yosununun yıkanması durumunda tuz konsantrasyonunun gübre, biyoenerji gibi ürünlerin üretilmesine bir engel teşkil etmeyeceği kanısına varılmıştır.

Makroalglerden faydalı ürün üretimi biyolojik prosesler kullanılarak yürütüleceğinden, atık makroalglerin ağır metal konsantrasyonunun incelenmesi de önem taşımaktadır. Bu kapsamda, 40 farklı örneğin kadmiyum, kurşun, krom, bakır, çinko ve nikel konsantrasyonları incelenmiştir. İncelenen 40 numune içinde en yüksek kadmiyum, kurşun, krom, bakır, çinko ve nikel konsantrasyonları sırasıyla 0,56; 19,15; 41,89; 176,69; 226,88 ve 44,53 mg/kg (ppm) olmuştur. Makroalglerden gübre üretimi de yapılacağından, bu ağır metal konsantrasyonları Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından Resmi Gazete'nin 23 Şubat 2018 tarih ve 30341 sayılı nüshasında yayımlanan "Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelik"i ile kıyaslanmış ve yosunlardaki ağır metal konsantrasyonlarının, yönetmelikte belirlenen limit değerlerini aşmadığı görülmüştür. Buna göre, makroalglerin tuzluluk ve ağır metal içeriklerinin, biyolojik yöntemlerle ürün eldesine bir engel oluşturmadığı görülmüştür.

Karakterizasyon çalışmaları çerçevesinde ele alınan dördüncü ve son parametre, yosunların elementel kompozisyonları olmuştur. Aylık periyotlarda toplanan numunelerin karıştırılmasıyla elde edilen numunelerin elementel analiz sonuçları yosunların toplam karbon içeriklerinin %22,7 ile %36, toplam azot içeriğinin ise %1,29 ile %3,85 arasında değişkenlik gösterdiğini; karbon ve azot içeriklerinin yaz aylarında daha az olduğunu göstermiştir. Buna karşın, C/N oranlarının yaz aylarında kış aylarına kıyasla daha yüksek olduğu dikkat çekmiştir.

Çalışmanın ikinci kısmında, deniz yosunlarından faydalı ürün eldesi çalışmalarına başlanmıştır. Ele alınan ilk ürün, biyogaz üretimi olmuştur. Makroalglerin yapısında bulunan yüksek azot, makroalglerin biyometan üretiminde kullanılabilirliğini sınırlandırabileceğinden, makroalglerin biyogaz potansiyelleri hem tek başlarına hem de mutfak atıklarıyla karıştırılarak laboratuvar ölçekli kesikli sistemde incelenmiştir. Makroalglerin mutfak atığı ile karıştırılmasındaki birincil amaç, biyometanizasyon için gerekli olan C/N oranının sağlanmasıdır.

İkincil amaç ise, İstanbul kıyılarında oluşan makroalglerin bertarafından sorumlu olan İSTAÇ A.Ş.'nin, mutfak atıkları ile beslenen bir biyometan üretim tesisini işleme açmak üzere olmasıdır. İşleme açılacak olan tesise makroalglerin de beslenmesi durumunda üretilebilecek biyogaz miktarının optimizasyonu niteliği taşıyan bu ön çalışmada, makroalg ve mutfak atıkları farklı oranlarda karıştırılmıştır. Farklı makroalg/mutfak atığı karışım oranlarının (0:3; 1:2; 2:1 ve 3:0 birim  $UKM_{makroalg}$ :birim  $UKM_{mutfak \text{ atığı}}$ ) yanı sıra, en önemli işletim parametrelerinden olan substrat/mikroorganizma (S/X) oranı da 0,5, 2, 4 ve 6 g  $UKM_{substrat}$ /g  $UKM_{aşı}$  olacak şekilde değiştirilerek incelenmiştir. Elde edilen veriler ışığında, makroalglerin yemek atığına aklime olmuş bir sisteme beslenmesinin, sistemin S/X oranının artırılması ile mümkün olduğu görülmüştür. S/X oranının 6 g  $UKM_{substrat}$ /g  $UKM_{aşı}$ 'ya kadar artırılmasıyla inhibe olan yemek atığı reaktörlerine makroalg beslenmesi durumunda, sistem inhibisyonu engellenebilecektir. Üstelik reaktörün 6 ton atık/m<sup>3</sup> reaktör.gün organik yükünde sürekli olarak işletilmesi ve reaktöre beslenen substrat içeriğinin 2 birim makroalgden ve 1 birim gıda atıklarından oluşması durumunda, biyogaz üretiminin maksimum seviyeye ulaştığı görülmüştür. Bu koşullar altında işletilen bir reaktörün birim hacminden günlük bazda 2.172 m<sup>3</sup> biyogaz ve 1.155 m<sup>3</sup> metan elde edilmesi mümkün olacaktır.

Faydalı ürün üretimi çalışmalarında incelenen bir diğer ürün ise yosunlardan sıvı gübre üretimi çalışmaları olmuştur. Sıvı gübre üretimi çalışmaları, laboratuvar ve pilot ölçekli olmak üzere iki basamakta incelenmiştir. Laboratuvarda yürütülen çalışmalarda optimum sıvı gübre üretim metodu, üretilen gübrelerin tere bitkisi gelişimi üzerinde incelenmiş; elde edilen sonuçlar doğrultusunda pilot ölçekli sistemde de sıvı gübre üretimi gerçekleştirilmiştir.

Laboratuvar ölçekli sıvı gübre üretimi, fiziksel ve biyolojik ekstraksiyon metotları kullanılarak yürütülmüştür. Kullanılan fiziksel metotlar dondurma-çözme, ultrasesle parçalama ve kaynatma olmuştur. Biyolojik ekstraksiyon metodunda ise, sıvı yosun gübrelerine (i) aşı ilave etmeden, (ii) anaerobik çamur ekleyerek, (iii) maya (*Saccharomyces cerevisiae*) ekleyerek ve (iv) anaerobik çamur ve mayayı birlikte ekleyerek 15, 30 ve 60 gün fermente edilmişlerdir. Bu sayede fiziksel metotlar kullanılarak 3, biyolojik metotlar kullanılarak 12 olmak üzere toplamda

15 farklı gübre elde edilmiştir. Bu gübreler ayrıca farklı konsantrasyonlara seyreltilmiş (%1, %10, %25, %50 ve %100) ve tere tohumlarının çimlenme, uzama, gelişme (ağırlık), yaprak sayısı ile toprağın nem tutma kapasitesi üzerindeki etkisi ele alınmıştır. Toplam 15 farklı gübre ve 5 farklı konsantrasyon, 8 hücre ve 32 tohum üzerinde denenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, fiziksel yöntemlerle elde edilen sıvı yosun gübrelerinin bitki gelişimi üzerinde etkisinin zayıf olduğu, anaerobik çamur aşıl原因arak fermente edilen yosun ekstraktlarının ise uygulandıkları bitkinin çimlenmesi, boy uzaması, yaprak sayısı ve gramajı üzerinde en iyi sonucu verdiği görülmüştür. Biyolojik ekstrelerin bitki gelişimi üzerindeki deneysel çalışmalardan elde edilen veriler oldukça farklı parametrelerin (farklı aşıl原因a metodu, farklı fermentasyon süreleri ve farklı konsantrasyon) etkisini sergilediğinden, Minitab Programı kullanılarak istatistiksel analiz yapılmış ve her bir parametrenin bitki gelişimi üzerinde en etkili olduğu değerler belirlenmiştir. Buna göre bitkinin boy uzaması, yaprak sayısı, ağırlığı ve boy uzunluğu üzerindeki en etkili gübre üretim metodunun anaerobik aşıl原因 ile 15 güne kadar fermente edilmiş yosun olduğu, en etkili konsantrasyonun ise bu gübrenin %10 ve %25 konsantrasyonları olduğu tespit edilmiştir. Toprağın nem tutma kapasitesi üzerinde en etkili olan gübre ise maya ile ekstrakte edilmiş gübreler ve bu gübrelerin yüksek konsantrasyonları olmuştur.

Laboratuvar ölçekli sonuçlardan elde edilen en iyi yöntem pilot ölçekli sistemde ele alınmış ve yosunlar anaerobik çamur ile aşıl原因arak 600 litre toplam hacme sahip sabit sıcaklıkta ve pH kontrollü işletilen bir anaerobik reaktörde fermente edilmiştir. Reaktör bu koşullar altında 30 gün boyunca işletilmiş ve sırasıyla 5., 10., 15. ve 30. günlerde reaktörden sıvı gübre numuneleri alınarak Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı akredite laboratuvarlarında analizleri yaptırılmıştır. Sıvı gübrenin toplam asit, toplam fosfor ve suda çözünür potasyum değerleri incelendiğinde, tüm değerlerin 15 güne kadar sürekli olarak arttığı görülmüştür. Bu sebeple, makroalglerden fermentasyon yoluyla sıvı gübre üretimi gerçekleştirmek için optimum zamanın 15 gün olduğuna karar verilmiştir. Ağır metal konsantrasyonları da fosfor ve potasyum gibi zamanla birlikte sürekli olarak artış gösterse de, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından Resmi Gazete'nin 23 Şubat 2018 tarih ve 30341 sayılı nüshasında yayımlanan "Tarımda Kullanılan

Organik, Organomineral Gübreler ve Toprak Düzenleyiciler ile Mikrobiyal, Enzim İçerikli ve Organik Kaynaklı Diğer Ürünlerin Üretimi, İthalatı, İhracatı ve Piyasaya Arzına Dair Yönetmeliği” kapsamında limit değerleri aşmamıştır.

Makroalglerden kompost üretimi çalışmaları da, yine laboratuvarında kurulan kesikli sistemlerde gerçekleştirilmiştir. Yosunlar uygun C/N oranının ve nemin sağlanabilmesi için mutfak atıkları ve talaş ile 5 farklı oranda karıştırılarak 32 litre toplam hacme sahip özel tasarlanmış termoslarda yürütülmüştür. Özel bir yazılımla dakikada bir sıcaklığın gözlemlendiği bu reaktörler belli aralıklarla karıştırılmış ve tabanda biriken suyu toplanmıştır. Yapılan sıcaklık ölçümlerinde, tüm reaktörlerde ilk 100 saat içerisinde maksimum sıcaklığa (40-44°C) ulaşıldığı görülmektedir. Ayrıca ulaşılan maksimum sıcaklık karışım içerisindeki sebze atığı oranı ile birlikte azalmaktadır. Bu durum, gerçek ölçekli bir sisteme makroalglerin yüksek oranda beslenmesinin, kompost üretimi üzerinde negatif etkiye sebep olabileceğini göstermiştir. Ancak sebze atıkları ile işletilen bir sisteme %20'ye kadar makroalg beslenmesinin, kompost üretimi üzerinde negatif bir etkisi olmayacaktır.

Makroalglerden faydalı ürün üretimi çalışmaları kapsamında ele alınan son ürün, biyoplastik üretimi olmuştur. Başlangıç parçacık boyutu 200 µm olan deniz yosunu ile hazırlanmış polimer kompozitler, PLA ile farklı oranlarda karıştırılarak üretilmiştir. Üretilen biyoplastiklerin mekanik özellikleri incelenmiş, deniz yosunu içeriğinin artmasıyla birlikte plastiğin dayanımının azalarak esnekliğinin arttığı görülmüştür. Termogravimetrik sonuçlar ise, deniz yosunu ağırlığının artmasıyla termal bozunma noktasının azaldığını göstermiştir. Bu durum, PLA ile deniz yosununun karıştırılması ile üretilen biyoplastiklerin, saf PLA'ya kıyasla daha kolay bozunabildiğini; deniz yosununun PLA ile karıştırılarak biyoplastik üretiminde kullanılabileceğini, üretilen biyoplastiğin ise yüksek dayanıma ihtiyaç duyulmayan, esnekliğin ön planda olduğu ve yüksek sıcaklıklara maruz kalınmayacak yerlerde kullanımının mümkün olacağını göstermektedir. Makroalglerin biyoplastik üretiminde katkı maddesi olarak kullanılmasının yanında, substrat olarak beslendikleri sistemlerden PLA üretimi de söz konusudur.

Ancak konu hakkında daha fazla çalışma yürütölerek biyoplastik üretiminde kullanılabilircek metotların optimizasyonunun yapılması daha uygun olacaktır.

Yapılan tez çalışması kapsamında, Marmara Denizi'nde oluşarak İstanbul kıyılarında biriken makroalgler, bir döngüsel ekonomi modeli çerçevesinde ele alınmıştır. Çalışma kapsamında makroalglerin miktarı ve karakterizasyonu tespit edilmiş, ardından makroalglerden biyogaz, sıvı gübre, kompost ve biyoplastik üretilmiştir. 4 farklı faydalı ürün üretimi için 5 farklı senaryo oluşturulmuş ve oluşturulan bu senaryolar kapsamında farklı yönetim modelleri, üretilebilecek faydalı ürün miktarları ile birlikte bu bölümde detaylıca açıklanmış, buna binaen öneriler sunulmuştur.

### **6.1 Oluşturulan Senaryolar**

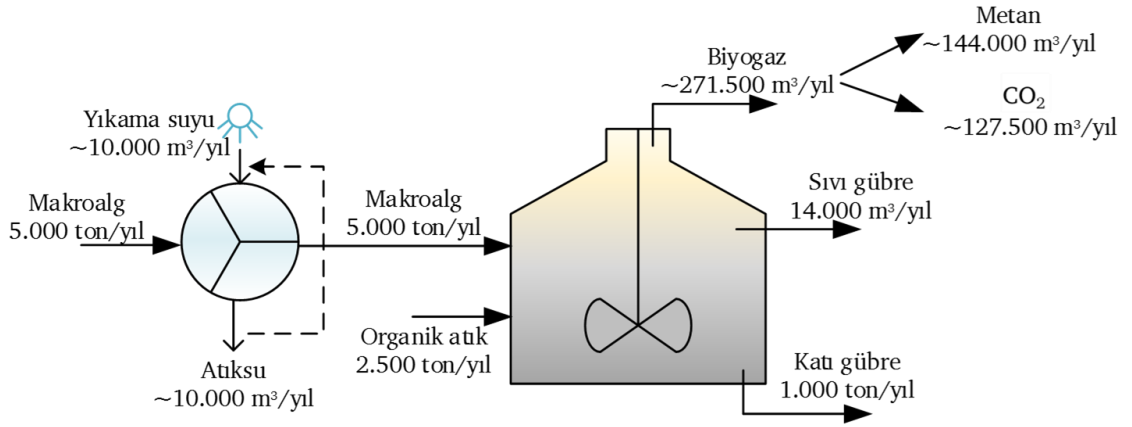
Oluşturulan senaryolarda, makroalglerin atık kategorisinden çıkarılıp ekonomik değere sahip farklı faydalı ürünlerin üretiminde kullanımı hedeflenmiştir. Makroalglerin biyogaz, sıvı gübre, kompost ve biyoplastik üretiminde değerlendirilmesi halinde ortaya çıkacak kütle dengesi ve şemalar, deneysel çalışmalardan elde edilen veriler kullanılarak belirlenmiştir.

İstanbul kıyılarında biriken makroalg miktarı, daha önce de belirtildiği gibi yıllara göre değişim göstermektedir (Tablo 4.1). Kıyılardan toplanan makroalg miktarı, 2013-2018 yılları arasında ıslak ağırlıkça 2.000 ton ile 5.000 ton, kuru ağırlıkça 200 ton ile 500 ton arasında değişim göstermektedir. Çalışma kapsamında oluşturulan senaryolarda yapılan hesaplamalar, deneysel çalışmalarda baz alınan değerler çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. İstanbul kıyılarında biriken makroalg miktarının maksimuma ulaşarak ıslak ağırlıkça 5.000 ton olduğu baz alınmıştır. Oluşan bu makroalglerin %10 katı madde içermesi, bu miktarın kuru ağırlıklarının 500 tona karşılık geldiğini gösterir.

#### **6.1.1 Makroalglerin Anaerobik Çürütücüye Yemek Atıklarıyla Beslenmesi**

Çizilen senaryoların ilki, makroalglerin organik atıklar ile beslenen bir anaerobik çürütücüye ek substrat kaynağı olarak beslenmesi koşuludur. Bu senaryoda,

kıyılardan toplanan makroalglerin İstanbul'da yemek atıkları ile beslenerek biyogaz üretimi yapmaya hazırlanan bir anaerobik çürütücüye beslenmesi koşulu ele alınmıştır. Çizilen senaryoda, ıslak ağırlığı 5.000 tona ulaşan makroalgler yıkanarak tuzluluğundan arındırılır ve kurutulmadan anaerobik çürütücüye beslenir. Reaktör içerisindeki katı madde muhtevasının laboratuvar ortamında yürütülen deneysel çalışmalardaki gibi %5 olduğu koşulun şematik gösterimi, Şekil 6.1'de verilmiştir.



**Şekil 6.1** Senaryo 1: Makroalglerin anaerobik organik atıklarla beslenmesi koşulu

Oluşturulan senaryoda, deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar baz alınarak üretilebilecek ürün miktarları hesaplanmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler kullanıldığı için, senaryo kapsamında hesaplanan ürün miktarı ve veriminde azalmaya sebep olacak farklı etmenler olmadığı düşünülmüştür. Buna göre, makroalglerin anaerobik çürütücüye organik atıklarla birlikte beslenmesi koşulunda makroalglerden yılda 144.000 m³ metan üretilmesi mümkündür. Bu senaryo, İstanbul'da işletilmeye hazırlanan ve yemek atıkları ile beslenecek olan anaerobik çürütücü baz alınarak hazırlandığından, atık makroalg yönetim planının hızlı bir biçimde işleme alınabilmesi için kilit rol oynamaktadır. Üstelik bu koşulun işleme alınması durumunda, bahsedilen anaerobik çürütücünün organik yükü de artırılabilir. Bu durum, sistemin birim zamanda daha fazla atığın bertarafında etkin rol alabileceğini göstermektedir. Ayrıca, ortaya çıkan anaerobik çürütücü üst suyu ve anaerobik çamur, sıvı ve katı gübreler olarak değerlendirilebilecektir. Yapılan hesaplamalara göre bu senaryo uygulandığında, biyogazın yanında yıllık 14.000 m³ sıvı ve %25 nem muhtevası olan 1.000 ton katı gübre elde

edilebilecektir. Ancak elde edilen bu gübrelerin, kullanım dozajının optimizasyonunun yapılması gerekmektedir. Bu sebeple, bu senaryodan elde edilebilecek maksimum fayda, optimizasyon çalışmaları neticesinde kesinleşebilecektir.

Bu senaryoda sağlanan fayda, üretilen ürünlerden elde edilecek fayda ile sınırlı değildir. Anaerobik çürütücüye beslenen organik atığın nem muhtevası %60-80 arasında değişkenlik gösterirken, anaerobik çürütücü içerisindeki katı madde oranının %10'un altında olması gerekir. Anaerobik çürütücü içerisindeki nem oranının bu orana getirilebilmesi içinse sisteme ilave su eklenmektedir. Makroalglerin anaerobik çürütücüye yemek atıkları ile beslenmesi koşuluyla, makroalglerin yapısında bulunan su muhtevası, anaerobik çürütücünün nem içeriğini doğal olarak dengeleyebilecek ve ilave su ihtiyacını azaltacaktır. Bu durum, elde edilen son ürünlerin yanında, reaktör işletimi sırasında kazanılan faydalardan olacaktır.

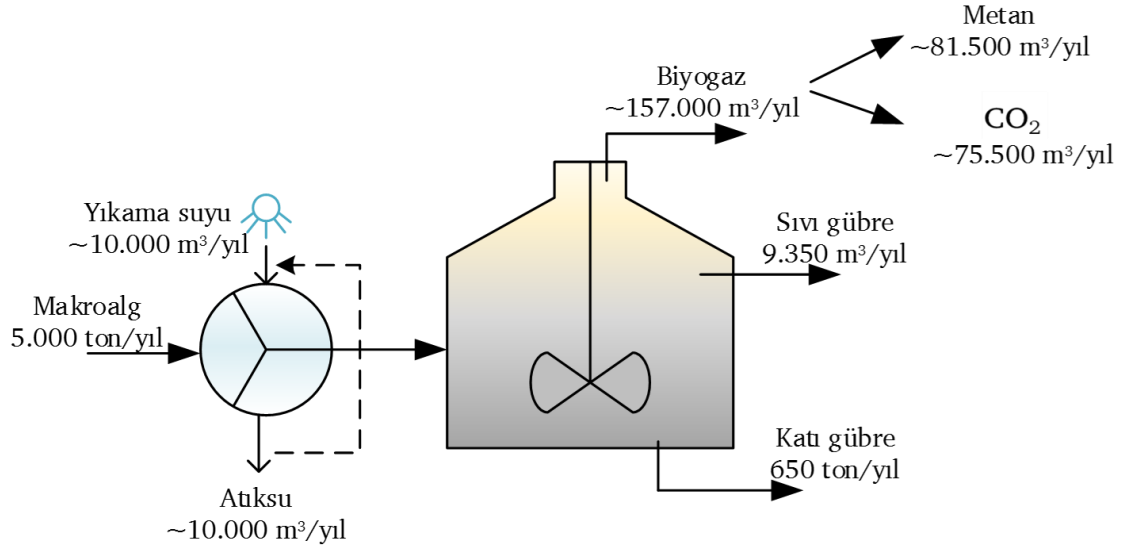
#### **6.1.2 Makroalglerin Anaerobik Çürütücüye Tek Başına Beslenmesi**

İncelenen ikinci senaryoda, makroalglerin anaerobik çürütücüye tek başlarına beslenmesi koşulu ele alınmıştır (Şekil 6.2). Bu senaryoda, ıslak ağırlığı 5.000 ton olan ve yıkanarak tuzundan arındırılan makroalgler, farklı atıklarla karıştırılmadan anaerobik çürütücüye beslenir.

Çizilen bu senaryoda da, deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar baz alınarak çıktılar hesaplanmıştır. Birinci senaryoya benzer şekilde, reaktör içerisindeki katı madde muhtevasının %5 dolaylarında olduğu göz önünde bulundurulmuştur.

Tez kapsamında yürütülen deneysel çalışmalardan elde edilen optimum sonuçlar göz önünde tutularak yapılan hesaplamalara göre, bu senaryoda yıllık bazda 81.500 m<sup>3</sup> metanın yanı sıra, 9.350 m<sup>3</sup> sıvı gübre ve 6500 ton %25 neme sahip katı gübre üretililebilecektir. Hesaplamalar yapılırken deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar kütle dengesine direkt olarak yerleştirilmiş, oluşan üründe verim ve miktar düşüşüne sebep olacak farklı etmenler olmadığı düşünülmüştür. Bu sistemden elde edilebilecek ürünler ticari olarak değerlendirilebileceği gibi,

İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı kurumlarda değerlendirilmesi de mümkündür.

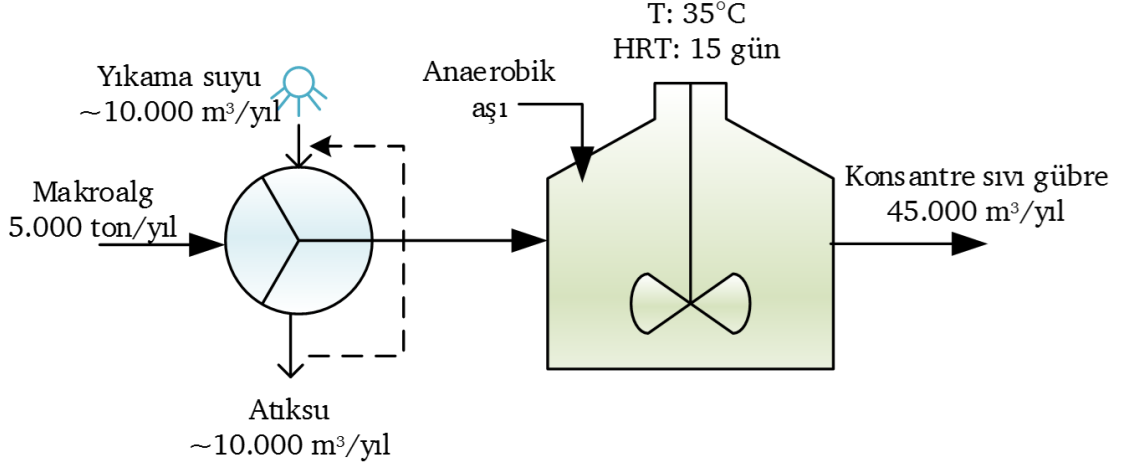


**Şekil 6.2** Senaryo 2: Makroalglerin anaerobik çürütücüye doğrudan beslenmesi koşulu

### 6.1.3 Makroalglerden Sıvı Gübre Üretimi

Makroalglerden sıvı gübre üretimi çalışmaları kapsamında yürütülen laboratuvar ve pilot ölçekli optimizasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlar doğrultusunda 3. senaryo fermente sıvı gübre üretimi üzerine kurulmuştur (Şekil 6.3). Yürütülen çalışmalardan elde edilen veriler, anaerobik çamur ile aşıl原因 makroalglerin 35°C sabit sıcaklıkta 15 güne kadar fermente edilmesi ile bitki gelişimi üzerinde en etkili olan sıvı gübre üretiminin gerçekleştirilebildiğini göstermiştir. Buna binaen, 3. senaryo ıslak ağırlığı 5.000 ton olan makroalglerin yıkanarak bu koşullar altında fermente edilmesi üzerine kurulmuştur.

Islak ağırlığı 5.000 ton olan makroalglerin, deneysel çalışmalarından elde edilen sonuçlar ışığında bir kütle dengesinde değerlendirilmesi ile yıllık bazda 45.000 m³ %100 konsantrasyona sahip sıvı gübre üretilebileceği görülmektedir. Laboratuvar ve pilot ölçekli sistemlerden elde edilen veriler, kütle dengesi hesaplamalarında ürün miktarında kayba sebep olacak herhangi bir etmen olmadığı düşünülerek direkt olarak kullanılmıştır.



**Şekil 6.3** Senaryo 3: Makroalglerden fermente sıvı gübre üretimi

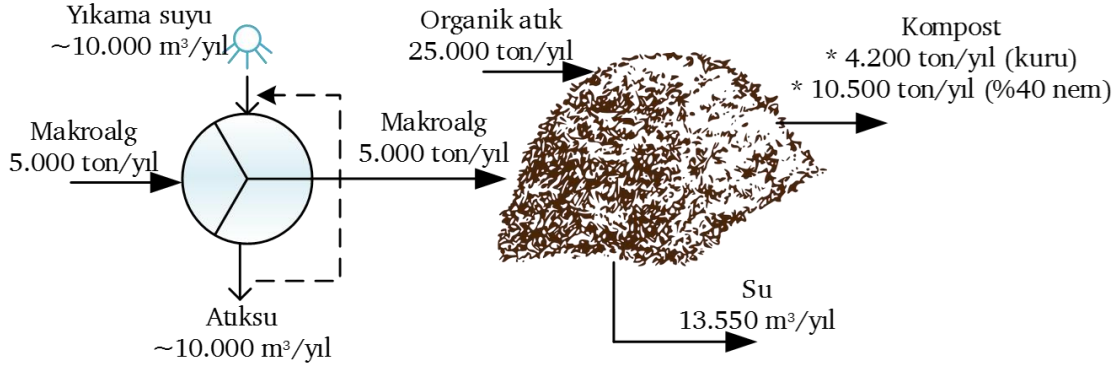
Bitki gelişimi analizlerinde yapılan deneyse çalışmalarda, optimum gübre konsantrasyonunun %10-25 olduğu saptanmıştır. Bu da, bu senaryodan elde edilecek %100 konsantrasyona sahip gübrenin, bitkilere uygulanırken 4 ile 10 kat arası seyreltilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu durumda, bu senaryodan elde edilebilecek sıvı gübre miktarının uygulamada 180.000 – 450.000 m³'lük gübreye eşit olduğu anlamına gelmektedir. Makroalglerden sıvı gübre üretimi üzerine yürütülmüş olan bu senaryodan elde edilebilecek ürün miktarının yüksek olması dikkat çekmektedir.

Tez kapsamında yürütülen çalışmalar, bu senaryoda da kullanılan metotla üretilen gübrenin bitki gelişimi üzerinde çok ciddi olumlu etkilerinin olduğunu göstermiştir. Sanayi Ar-Ge Projeleri Destekleme Programı kapsamında alınan proje desteğinin İSTAÇ A.Ş. ile birlikte yürütülmesi sonucu, İstAlg adında yeni bir fermente organik sıvı gübre üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu yeni organik sıvı gübre, İSTAÇ A.Ş. tarafından çeşitli etkinliklerde sergilenmiş ve kullanılmak üzere dağıtımı gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.21).

#### 6.1.4 Makroalglerden Kompost Üretimi

İstanbul kıyılarında biriken atık makroalglerin yönetimi kapsamında ele alınan 4. senaryo, makroalglerin kompost üretiminde kullanımı üzerine olmuştur (Şekil 6.4). Yapılan çalışmalar sırasında, makroalglerin tek başlarına kompostlaştırılmalarının güç olduğu, ancak farklı organik maddelere %10-%20

gibi düşük oranda katkı olarak beslendiklerinde kompostlaştırılabilir oldukları gözlemlenmiştir. Buna göre, makroalgler toplam karışımın %15'ini oluşturacak şekilde ve kurutulmadan organik atıklarla birlikte kompostlaştırıldıklarında ortaya çıkan tablo, kütle dengesi kurularak değerlendirilmiştir.



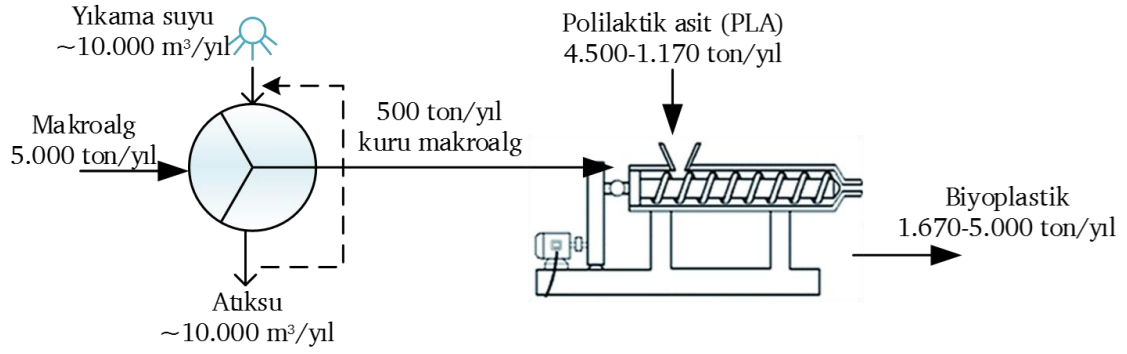
**Şekil 6.4** Senaryo 4: Makroalglerden kompost üretimi

Bu senaryonun işleme alınması durumunda, ıslak ağırlığı yıllık 5.000 ton olan makroalgler 25.000 ton organik atık ile karıştırılmıştır. Karışıma beslenen makroalglerin %90, organik atıkların ise %60 nem muhtevasına sahip olduğu göz önünde bulundurulduğunda, yıllık olarak nem oranı %40 olan 10.500 ton kompost üretimi gerçekleştirilebilecektir. Bu kompost üretilirken yaklaşık 13.500 m<sup>3</sup>'lük su oluşacak ve tahliye edilecektir.

Bilindiği üzere İstanbul'da İSTAÇ A.Ş. tarafından işletilen kompost tesisleri bulunmaktadır. Bu sebeple, bu seçenek de 1. senaryoya benzer şekilde, ilave bir maliyete sebep olmayacak ve atık makroalg yönetim planının hızlı bir biçimde işleme alınabilmesine yardımcı olacaktır.

#### 6.1.5 Makroalglerden Biyoplastik Üretimi

Ele alınan bu senaryoda, makroalglerin bir biyoplastik olan polilaktik asit (PLA) ile farklı oranlarda karıştırılarak biyoplastik üretiminde kullanılması koşulu ele alınmıştır. Laboratuvar koşullarında yapılan makroalg katkılı biyoplastik çalışmalarından elde edilen verilerin, büyük ölçeğe uyarlanması ile elde edilebilecek kütle dengesi Şekil 6.5'te görsel olarak sunulmuştur.



**Şekil 6.5** Senaryo 5: Makroalglerden biyoplastik üretimi

Bu senaryoda kullanılan makroalglerin, polilaktik asit ile karıştırılmadan önce kurutulmaları gerekmektedir. Bu sebeple, yıllık bazda 5.000 ton olan ıslak makroalgin kuru kütlesi, %10 katı madde içermesinden ötürü 500 tona karşılık gelmektedir.

Yapılan deneysel çalışmalarda kurutulmuş makroalgler polilaktik asit ile %10, %20 ve %30 oranında karıştırılmıştır. Elde edilen makroalg katkıli biyoplastik malzemenin, makroalg katkı oranına göre farklı özellik sergilediği tespit edilmiştir. Bu sebeple, üretilmesi hedeflenen biyoplastik karakteristiğine göre makroalg katkı miktarı değişkenlik gösterecektir. Üretilecek biyoplastiğin yüksek dayanıma ihtiyaç duyulmayan, esnekliğin ön planda olduğu ve yüksek sıcaklıklara maruz kalınmayacak yerlerde kullanımı söz konusu olduğunda, deniz yosunu katkısı daha yüksek (%30) olabilecektir ve yıllık bazda 500 tonu kuru makroalgden oluşan 1.670 ton makroalg katkıli biyoplastik üretilebilecektir. Bu seçenek, PLA kullanım miktarının ve maliyetinin azalması anlamına geldiğinden, oldukça avantajlı bir seçenektir. Plastik dayanımının daha yüksek olması istendiği koşullarda ise, makroalgin PLA'ya katkısı %10 gibi düşük seviyelerde tutulabilecektir. Makroalg katkısının biyoplastik karışımı içerisindeki oranının %10 seviyesinde tutulduğu bu koşulda ise, yıllık bazda 500 tonu kuru makroalgden oluşan 5.000 ton makroalg katkıli biyoplastik üretilebilecektir.

Bu senaryoda üretilen yosun katkıli biyoplastiğin pek çok farklı alanda kullanımı söz konusudur. Üretilen biyoplastik kompost poşeti, fide poşeti, plastik saksı gibi ürünlerin üretiminde kullanılabilir. Üretilen bu ürünler doğada çözünebilir

olduğundan, içerisindeki ürünler ile birlikte toprağa direkt olarak uygulanabilme kolaylığı sunacaktır.

## 6.2 Öneriler

Yapılan laboratuvar ve pilot ölçekli deneysel çalışmalar ve bu çalışmalar ışığında çizilen senaryolara göre, İstanbul kıyı alanlarında biriken makroalglerin döngüsel ekonomiye çok çeşitli yollarla kazandırılabilceğı görülmüştür. Ele alınan tüm senaryoların uygulanabilir ve ürün miktarı bakımından oldukça verimli olduğı görülmüştür.

Bununla birlikte, elde edilen veriler ışığında, makroalglerden biyogaz üretimi ve sıvı gübre üretimi, gerek üretim kolaylığı ve esnekliği gerekse sağladığı maddi kazanç sebebiyle makroalg yönetiminde kullanılabilecek en uygun çözümler olacaktır. Bu yöntemler tek başlarına kullanılabileceğı gibi, ardışık işletimi de yapılabilir. Makroalglerin anaerobik çürütücüye yemek atıkları ile beslenmesi ve biyogaz elde edilmesi; ardından ise reaktörden çıkan anaerobik çürütücü üst suyunun sıvı gübre olarak kullanılması (Senaryo 1), atık bertarafının çok yönlü ele alınabilmesi açısından en faydalı çözüm olacaktır. Üstelik bu seçenek, İstanbul'da yemek atıkları ile beslenen bir anaerobik çürütücünün işletime alınmak üzere olmasından ötürü uygulamaya kolayca ve ivedilikle geçirilebilir. Bu durum, atık makroalgin döngüsel ekonomiye daha kolay ve hızlı biçimde kazandırılabilceğini, bununla birlikte farklı alanlarda kullanılabilecek faydalı ürünlere dönüştürülebilmesi ile kullanım esnekliğinin de sağlanabilceğini göstermektedir.

Yürütölen tez çalışmasında, atık makroalg problemi İstanbul ölçeğinde ele alınmıştır. Bu sebeple, sunulan alternatif önerilerin de yine İstanbul ölçeğinde incelenmesi önem arz etmektedir. Çizilen senaryolar ve bu senaryolarda çizilen proseslerin belediye tarafından kolay işletilebilmesi ve üretilen ürünlerin kolay tüketilebilmesi koşulu dikkate alındığında, makroalglerin gübre üretiminde değerlendirilmesi (Senaryo 3) de dikkat çekmektedir. Makroalglerden gübre üretiminde kullanılacak portatif bir çürütücünün üretilmesi, hem birikimin yoğun olduğı dönemlerde işleme alınabilecek esnek bir sistem oluşturulmasında, hem de makroalglerin taşınma maliyetlerinin azaltımında önemli bir rol oynayacaktır.

Gerekli teçhizatın oldukça düşük maliyetlere üretilebileceği, bu sistemde gübre üretiminin çok kısa bekletme sürelerinde gerçekleşeceği ve üretilen gübrenin belediye tarafından peyzaj işlerinde veya satılarak değerlendirilebileceği göz önünde bulundurulduğunda, 3. senaryonun da makroalg yönetimi için önerilebilecek faydalı bir çözüm olduğu görülmektedir.

Atık makroalglerin yönetiminde makroalglerden kompost üretimi üzerine kurulmuş olan senaryo (Senaryo 4) incelendiğinde, yıllık bazda kuru ağırlığı 4200 ton olan makroalg katkılı kompost üretimi gerçekleştirilebildiği görülmektedir. Bu senaryoda da, Senaryo 1'e benzer şekilde, hazır bir kompost tesisi bulunmakta ve makroalg yönetimine hızlı bir alternatif olarak dikkat çekmektedir. Bu anlamda makroalglerden kompost üretimi ile hızlı bir çözüm oluşturulabilse de, sıvı gübreye kıyasla daha az miktarda faydalı ürün elde edilebilecektir. Bu sebeple makroalglerin yan besin olarak biyogaz üretiminde veya sıvı gübre üretiminde kullanımı daha ekonomik olacaktır.

Benzer şekilde, makroalglerin katkılı biyoplastik üretiminde kullanımı (Senaryo 5) da düşük miktarda (1.670-5.000 ton) ürün eldesi sağlamaktadır. Bu sebeple bu senaryodan üretilebilecek biyoplastik malzemenin yine belediye tarafından kompost poşeti, fide poşeti gibi farklı amaçlarla kullanımı, çevresel kirliliğin azaltımında örnek teşkil edecektir. Ancak üretilebilecek katkılı biyoplastik miktarının az olması, bu senaryonun uygulamaya geçirilmesinde ekonomik bir engel teşkil edecektir.

Makroalglerin anaerobik çürütücüye tek başlarına beslenerek biyogaz üretiminde değerlendirilmesi koşulu (Senaryo 2) ise, yeni bir tesis kurulumu ve işletimi gerektireceğinden ekonomik anlamda makul bir öneri olmayacaktır. Üstelik bu senaryoda, makroalglerin düzenli ve benzer miktarlarda sisteme beslenmesi gerekecektir. Ancak makroalg oluşumu yıl içerisinde dahi kontrolsüz ve düzensiz biçimde gerçekleşmektedir. Bu sebeple bu koşulun uygulanabilirliği oldukça zordur.

Çalışmalardan elde edilen çıktıların makroalg birikimlerinin gözlemlendiği İstanbul dışındaki yerleşim yerlerinde kullanımı da elbette mümkündür. Bu bölgelerde, oluşan makroalg miktarına ve yoğunluğuna göre önerilen senaryolar

dışında farklı senaryoların oluşturulması söz konusudur. Tez çalışması kapsamında oluşturulan sıvı gübre, kompost üretimi gibi senaryoların dışında, makroalg karakteristiğine göre gıda, kağıt, kozmetik sanayii gibi farklı sektörlerde kullanımı üzerine oluşturulabilecek farklı senaryolara dahil edilmesi de mümkündür.

Değerlendirilebilecek bir diğer husus ise, makroalglerin biyoplastik üretiminde katkı maddesi olarak kullanımı yerine, PLA üretiminde hammadde olarak kullanımıdır. Konu hakkında yapılabilecek çalışmalarda geliştirilebilecek sistemlerle, ülkemizde üretimi henüz çok sınırlı olan PLA gibi biyoplastik malzemelerin üretimi çok düşük maliyetlerle sağlanabilir.

Atık makroalglerin yönetimi için birden fazla senaryo sunulan bu çalışmada, bir yerine birden fazla senaryonun eş zamanlı işletiminin seçilmesi de mümkündür. Makroalglerden üretilebilecek biyoplastik ürünlerin, yine makroalglerden üretilmiş kompost ve sıvı gübrelerin ambalajı olarak kullanımı etkin atık yönetimine örnek bir model olabilecektir. Biyoplastiklerin tarımda fide poşeti olarak kullanımı da mümkündür. Biyoplastiklerin bu amaçla kullanımı ile, biyoplastiğin toprakta yok olma özelliğinden dolayı fideler poşetlerinden çıkarılmadan kullanılabilir. Bu sayede hem petrol bazlı plastiklerin kullanımının azalması sağlanarak çevresel sorunlara bir çözüm sunulacak, hem de ürün kullanım kolaylığı sağlanabilecektir.

Bu çalışmada ele alınan materyal bir atık türü olduğu için, makroalglerden gıda ve farmasotik malzeme gibi insan sağlığı üzerinde doğrudan etkin olabilecek ürünlerin üretimi üzerinde durulmamıştır. Ancak yapılan karakterizasyon çalışmalarında, döngüsel ekonomide etkin rol alabilecek olan bu makroalglerin eser miktarda ağır metal içerdiği görüldüğünden, makroalglerin ekonomik değeri çok daha yüksek olan bu tür ürünlere dönüşümü üzerine de çalışılmalıdır.

Makroalglerin bir çok sektörde kaynak olarak kullanıldığı ve yüksek ekonomik değere sahip ürün üretiminde etkin rol aldığı bilinmektedir. Bu tez çalışmasında makroalgler her ne kadar etkin bir atık yönetim modeline dahil edilmeye çalışılsa da, makroalglerin üretim çiftliklerinde özel olarak yetiştirilmesi ve hasat edilmesi de kıyı alanlarının uzunluğu 8.000 km'nin üzerinde olan ülkemizde

konusulmalıdır. Bu sayede, hem yeni bir iş sektörü, hem de özel makroalg türlerinin sektör bazlı üretimi gerçekleştirilerek ulusal ve uluslararası bir pazar oluşturulmuş olacaktır. Özel koşullarda spesifik türlerin yetiştirilmesi sayesinde, makroalglerden maddi değeri yüksek ticari ürünlerin üretimi de kolaylıkla gerçekleştirilebilecektir.

## KAYNAKÇA

- Abou El-Yazied, A., El-Gizawy, A. M., Ragab, M. I., & Hamed, E. S. (2012). Effect of seaweed extract and compost treatments on growth, yield and quality of snap bean. *Journal of American Science*, 8(6), 1-20.
- Abudabos, A. M., Okab, A. B., Aljumaah, R. S., Samara, E. M., Abdoun, K. A., Al-Haidary, A. A. (2013). Nutritional value of green seaweed (*Ulva lactuca*) for broiler chickens. *Italian Journal of Animal Science*, 12(2), e28.
- Adrien, A., Dufour, D., Baudouin, S., Maugard, T., Bridiau, N. (2017). Evaluation of the anticoagulant potential of polysaccharide-rich fractions extracted from macroalgae. *Natural product research*, 31(18), 2126-2136.
- Agatonovic-Kustrin, S., Morton, D. W. (2013). Cosmeceuticals derived from bioactive substances found in marine algae. *Oceanography*, 1(2), 106.
- Akça, E., Kapur, S., (2018). Kimyasal Gübre Yerine Kullanılabilecek Doğal Toprak Katkı Materyalleri ile Tarımsal Üretim Olasılıkları. Organomineral Gübre Çalıştayı, Mayıs 2018, İstanbul.
- Akcali, I., Kucuksezgin, F. (2011). A biomonitoring study: heavy metals in macroalgae from eastern Aegean coastal areas. *Marine pollution bulletin*, 62(3), 637-645.
- Akila, V., Manikandan, A., Sukeetha, D. S., Balakrishnan, S., Ayyasamy, P. M., & Rajakumar, S. (2019). Biogas and biofertilizer production of marine macroalgae: An effective anaerobic digestion of *Ulva* sp. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 18, 101035.
- Akyurt, İ., Şahin, Y., & Koç, H. (2011). Deniz Marulunun (*Ulva* sp.) Sıvı Organik Gübre Olarak Değerlendirilmesi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2), 55-62.
- Allen, E., Browne, J., Hynes, S., & Murphy, J. D. (2013). The potential of algae blooms to produce renewable gaseous fuel. *Waste management*, 33(11), 2425-2433.
- Allen, E., Wall, D. M., Herrmann, C., & Murphy, J. D. (2014). Investigation of the optimal percentage of green seaweed that may be co-digested with dairy slurry to produce gaseous biofuel. *Bioresource technology*, 170, 436-444.

- Alp, M. T., Ozbay, O., Sungur, M. A. (2012). Mersin Sahilinde Makroalg (Ulva Sp. ve Enteromorpha Sp.) ve Sedimentte Ağır Metal Düzeylerinin İncelenmesi. *Ekoloji*, 21(82), 47-55.
- Ambika, S., Sujatha, K. (2016). Organic Seed Treatment with Seaweed Nano Powders on Physiological Quality and Enzyme Activities in Aged Seeds of Pigeon Pea. *The Bioscan*, 11(1), 353-357.
- Anisimov, M. M., Chaikina, E. L., Klykov, A. G., Rasskazov, V. A. (2013). Effect of seaweeds extracts on the growth of seedling roots of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) is depended on the season of algae collection. *Agriculture Science Developments*, 2(8), 67-75.
- Anli, M., Kaoua, M. E., Boutasknit, A., ben-Laouane, R., Toubali, S., Baslam, M., Lyamlouli K., Hafidi M., Meddich, A. (2020). Seaweed extract application and arbuscular mycorrhizal fungal inoculation: a tool for promoting growth and development of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cv «Boufgous». *South African Journal of Botany*, 132, 15-21.
- Apostolidis., Lee, C. M. (2012). Brown seaweed-derived phenolic phytochemicals and their biological activities for functional food ingredients with focus on *Ascophyllum nodosum*. *Handbook of marine macroalgae: Biotechnology and Applied Phycology*.
- Artüz, M. L., Okay, I. A., Mater, B., Artüz, O. B., Gürseler, G., Okay, N. (2007). Bilimsel Açıdan Marmara Denizi. *Türkiye Barolar Birliği Yayınları*, 119.
- Artüz, M. L. (2011). Marmara ve Boğazların Ekolojisi Ve Değişimler. *Boğaziçi Üniversitesi Deniz Teknolojisi Sempozyumu*.
- Ayat, B., Üzmez, Z., Çevik, E. Ö. Yüksel, Y. (2007). İstanbul Kıyı Alanlarının Planlanması ve Yönetimi. 5. *Kentsel Altyapı Ulusal Sempozyumu*, 217-231.
- Balina, K., Romagnoli, F., & Blumberga, D. (2017). Seaweed biorefinery concept for sustainable use of marine resources. *Energy Procedia*, 128, 504-511.
- Barsanti, L., Gualtieri, P. (2014). *Algae: anatomy, biochemistry, and biotechnology*. CRC press. Beşiktepe, Ş. T., Özsoy, E., Abdullatif, M. A., & Oğuz, T. (2000).

Marmara Denizi'nin Hidrografisi ve Dolaşımı. *Marmara Denizi 2000 Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 11-12.

- Bat, L., Öztekin, A., Şahin, F., Arıcı, E., Özsandıkçı, U. (2018). An overview of the Black Sea pollution in Turkey. *Mediterranean Fisheries and Aquaculture Research*, 1(2), 66-86.
- Bedoux, G., Hardouin, K., Burlot, A. S., Bourgougnon, N. (2014). Bioactive components from seaweeds: Cosmetic applications and future development. In *Advances in Botanical Research* (Vol. 71, pp. 345-378). Academic Press.
- Bikker, P., van Krimpen, M. M., van Wikselaar, P., Houweling-Tan, B., Scaccia, N., van Hal, J. W., Huijen, W. J. J., Cone, J. W., López-Contreras, A. M. (2016). Biorefinery of the green seaweed *Ulva lactuca* to produce animal feed, chemicals and biofuels. *Journal of applied phycology*, 28(6), 3511-3525.
- Bird, K. T., & Benson, P. H. (1987). Seaweed cultivation for renewable resources.
- Bot, A., & Benites, J. (2005). The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustained food production (No. 80). *Food & Agriculture Org.*
- Bruno de Sousa, C., Lago, J. H. G., Macridachis, J., Oliveira, M., Brito, L., Vizetto-Duarte, C., Florindo C., Hendrickx S., Maes L., Morais T., Uemi M., Neto L., Dionisio L., Cortes S., Barreira L., Custodio L., Albericio F., Campino L, Varela J. (2019). Report of in vitro antileishmanial properties of Iberian macroalgae. *Natural product research*, 33(12), 1778-1782.
- Burton, T., Lyons, H., Lerat, Y., Stanley, M., & Rasmussen, M. B. (2009). A review of the potential of marine algae as a source of biofuel in Ireland. *Sustainable Energy Ireland*.
- Cadar, E., Mustafa, A., Tomescu, A., & Cherim, M. (2018). Studies regarding polluting agents in Black Sea algae. *Journal of Science and Arts*, 18(1), 255-264.
- Capson-Tojo, G., Rouez, M., Crest, M., Steyer, J. P., Delgenès, J. P., & Escudié, R. (2016). Food waste valorization via anaerobic processes: a review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 15(3), 499-547.

- Capson-Tojo, G., Trably, E., Rouez, M., Crest, M., Steyer, J. P., Delgenès, J. P., & Escudié, R. (2017). Dry anaerobic digestion of food waste and cardboard at different substrate loads, solid contents and co-digestion proportions. *Bioresource technology*, 233, 166-175.
- Castro-Aguirre, E., Iniguez-Franco, F., Samsudin, H., Fang, X., & Auras, R. (2016). Poly (lactic acid)—Mass production, processing, industrial applications, and end of life. *Advanced drug delivery reviews*, 107, 333-366.
- Chan, Y. Y., Kim, K. H., & Cheah, S. H. (2011). Inhibitory effects of *Sargassum polycystum* on tyrosinase activity and melanin formation in B16F10 murine melanoma cells. *Journal of Ethnopharmacology*, 137(3), 1183-1188.
- Chanthini, K. M. P., Senthil-Nathan, S., Stanley-Raja, V., Thanigaivel, A., Karthi, S., Sivanesh, H., Sundar, N. S., Palanikan,, R., Soranam, R. (2019). *Chaetomorpha antennina* (Bory) Kützing derived seaweed liquid fertilizers as prospective bio-stimulant for *Lycopersicon esculentum* (Mill). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 20, 101190.
- Chapman, V. (2012). Seaweeds and their uses. *Springer Science & Business Media*.
- Chen, C. C., Lan, C. C., Pan, C. L., Huang, M. Y., Chew, C. H., Hung, C. C., & Lin, H. T. V. (2019). Repeated-batch lactic acid fermentation using a novel bacterial immobilization technique based on a microtube array membrane. *Process Biochemistry*, 87, 25-32.
- Chin, Y. X., Chen, X., Cao, W. X., Sharifuddin, Y., Green, B. D., Lim, P. E., Xue, C. H., & Tang, Q. J. (2020). Characterization of seaweed hypoglycemic property with integration of virtual screening for identification of bioactive compounds. *Journal of Functional Foods*, 64, 103656.
- Choi, J., Choi, J. W., Suh, D. J., Ha, J. M., Hwang, J. W., Jung, H. W., Lee, K. W., Woo, H. C. (2014). Production of brown algae pyrolysis oils for liquid biofuels depending on the chemical pretreatment methods. *Energy conversion and management*, 86, 371-378.
- Chouliaras, V., Tasioula M., Chatzissavvidis, C., Therios, I. and Tsabolatidou, E. (2009) The effects of a seaweed extract in addition to nitrogen and boron

- fertilization on productivity, fruit maturation, leaf nutritional status and oil quality of the olive (*Olea europaea* L.) cultivar Koroneiki. *Journal of Food and Agriculture*, 89 (6), 984–988.
- Christensen, T. (Ed.). (2011). Solid waste technology and management. *John Wiley & Sons*.
- Cikoš, A. M., Jerković, I., Molnar, M., Šubarić, D., & Jokić, S. (2019). New trends for macroalgal natural products applications. *Natural product research*, 1-12.
- Cogan, M. and Antizar-Ladislao, B. (2016) 'The ability of macroalgae to stabilise and optimise the anaerobic digestion of household food waste', *Biomass and Bioenergy*, Vol. 86, pp.146–155, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.01.021>.
- Cole, A. J., Roberts, D. A., Garside, A. L., de Nys, R., & Paul, N. A. (2016). Seaweed compost for agricultural crop production. *Journal of applied phycology*, 28(1), 629-642.
- Cravotto, G., Boffa, L., Mantegna, S., Perego, P., Avogadro, M., & Cintas, P. (2008). *Improved extraction of vegetable oils under high-intensity ultrasound and/or microwaves. Ultrasonics sonochemistry*, 15(5), 898-902.
- Cuomo, V., Perretti, A., Palomba, I., Verde, A., & Cuomo, A. (1995). Utilisation of *Ulva rigida* biomass in the Venice Lagoon (Italy): biotransformation in compost. *Journal of applied phycology*, 7(5), 479.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ÇED, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü (2017). Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme Programı 2014-2016 yılı Marmara Denizi Özet Raporu.
- Dębowski, M., Zieliński, M., Rokicka, M., & Kupczyk, K. (2015). The possibility of using macroalgae biomass from natural reservoirs as a substrate in the methane fermentation process. *International Journal of Green Energy*, 12(9), 970-977.

- Demir, A.E. (2019). Atık Deniz Yosunlarının Geri Kazanımı ve Sıvı Gübre Olarak Kullanımının Fizibilitesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Diaz, P., Gappa, J. L., & Piriz, M. L. (2002). Symptoms of eutrophication in intertidal macroalgal assemblages of Nuevo Gulf (Patagonia, Argentina). *Botanica Marina*, 45(3), 267-273.
- Donoso-Bravo, A., Pérez-Elvira, S. I., & Fdz-Polanco, F. (2010). Application of simplified models for anaerobic biodegradability tests. Evaluation of pre-treatment processes. *Chemical Engineering Journal*, 160(2), 607-614.
- Duman, G., Uddin, M. A., & Yanik, J. (2014). Hydrogen production from algal biomass via steam gasification. *Bioresource technology*, 166, 24-30.
- Echeverria, C., Pahlevani, F., Gaikwad, V., & Sahajwalla, V. (2017). The effect of microstructure, filler load and surface adhesion of marine bio-fillers, in the performance of Hybrid Wood-Polypropylene Particulate Bio-composite. *Journal of Cleaner Production*, 154, 284-294.
- Ennouali, M., Elmoualdi, L., Ouhsine, M., & Elyachoui, M. (2006). Biotransformation of the fish waste by fermentation. *African Journal of Biotechnology*, 5(19).
- Ertem, F.C., Neubauer, P. and Junne, S. (2017) 'Environmental life cycle assessment of biogas production from marine macroalgal feedstock for the substitution of energy crops', *Journal of Cleaner Production*, Vol. 140, Part 2, pp.977-985.
- Eyras, M. C., Defosse, G. E., & Dellatorre, F. (2008). Seaweed compost as an amendment for horticultural soils in Patagonia, Argentina. *Compost science & utilization*, 16(2), 119-124.
- European Bioplastics, 2019; <https://www.european-bioplastics.org/market/>, 23.07.2020.
- Featonby-Smith, B. C., & Van Staden, J. (1983). The effect of seaweed concentrate and fertilizer on the growth of Beta vulgaris. *Zeitschrift für Pflanzenphysiologie*, 112(2), 155-162.

- Feng, L., Li, Y., Chen, C., Liu, X., Xiao, X., Ma, X., Zhang, R., He, Y., & Liu, G. (2013). Biochemical methane potential (BMP) of vinegar residue and the influence of feed to inoculum ratios on biogas production. *Bioresources*, 8(2), 2487-2498.
- Fleurence, J., Levine, I. (Eds.). (2016). Seaweed in health and disease prevention. *Academic Press*.
- Fox, S. E., Teichberg, M., Olsen, Y. S., Heffner, L., & Valiela, I. (2009). Restructuring of benthic communities in eutrophic estuaries: lower abundance of prey leads to trophic shifts from omnivory to grazing. *Marine Ecology Progress Series*, 380, 43-57.
- Gade, R., Tulasi, M. S., & Bhai, V. A. (2013). Seaweeds: a novel biomaterial. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 5(2), 975-1491.
- Gahan, D. A., Lynch, M. B., Callan, J. J., O'sullivan, J. T., & O'Doherty, J. V. (2009). Performance of weanling piglets offered low-, medium-or high-lactose diets supplemented with a seaweed extract from *Laminaria* spp. *Animal*, 3(1), 24-31.
- Ganapathy Selvam, G., Balamurugan, M., Thinakaran, T., & Sivakumar, K. (2013). Developmental changes in the germination, growth and chlorophyllase activity of *Vigna mungo* L. using seaweed extract of *Ulva reticulata* Forsskål. *International Research Journal of Pharmacy*, 4, 252-254.
- Ghadiryannfar, M., Rosentrater, K. A., Keyhani, A., & Omid, M. (2016). A review of macroalgae production, with potential applications in biofuels and bioenergy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 473-481.
- Gora, A., Rehman, S., Agarwal, D., & Rasool, S. I. (2018). Seaweeds: A sustainable resource for food and pharmaceutical industry in India. *Ecology, Environment and Conservation*, 24 (1), pp. (246-254)
- Grimberg, S.J., Hilderbrandt, D., Kinnunen, M. and Rogers, S. (2015) 'Anaerobic digestion of food waste through the operation of a mesophilic two-phase pilot scale digester-assessment of variable loadings on system performance', *Bioresource Technology*, Vol. 178, pp.226-229, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.09.001>.

- Guven, H., Wang, Z., & Eriksson, O. (2019). Evaluation of future food waste management alternatives in Istanbul from the life cycle assessment perspective. *Journal of Cleaner Production*, 239, 117999.
- Haider, M.R., Yousaf, S., Malik, R.N. and Visvanathan, C. (2015) 'Effect of mixing ratio of food waste and rice husk co-digestion and substrate to inoculum ratio on biogas production', *Bioresource Technology*, Vol. 190, pp.451–457, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.02.105>.
- Han, W., Clarke, W., & Pratt, S. (2014). Composting of waste algae: a review. *Waste management*, 34(7), 1148-1155.
- Hassan, M. M., Mueller, M., & Wagners, M. H. (2008). Exploratory study on seaweed as novel filler in polypropylene composite. *Journal of applied polymer science*, 109(2), 1242-1247.
- Haug, R. (1993). The practical handbook of compost engineering. *CRC Press, Inc.*, Boca Raton, USA.
- Hecht, C. and Griehl, C. (2009) 'Investigation of the accumulation of aromatic compounds during biogas production from kitchen waste', *Bioresource Technology*, Vol. 100, No. 2, pp.654–658.
- Hernández-Herrera, R. M., Santacruz-Ruvalcaba, F., Ruiz-López, M. A., Norrie, J., & Hernández-Carmona, G. (2014). Effect of liquid seaweed extracts on growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of applied phycology*, 26(1), 619-628.
- Herrmann, C., FitzGerald, J., O'Shea, R., Xia, A., O'Kiely, P. and Murphy, J.D. (2015) 'Ensiling of seaweed for a seaweed biofuel industry', *Bioresource Technology*, Vol. 196, pp.301–313, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.07.098>.
- Herve RA, Rouillier DL (1977) Method and apparatus for commuting marine algae and the resulting product. US Patent 4023734.
- Hii, S. L., Lim, J. Y., Ong, W. T., & Wong, C. L. (2016). Agar from Malaysian red seaweed as potential material for synthesis of bioplastic film. *J. Eng. Sci. Technol*, 1-15.

- Hoek, C., Mann, D., Jahns, H. M., & Jahns, M. (1995). *Algae: an introduction to phycology*. Cambridge university press.
- Illera-Vives, M., Labandeira, S. S., Brito, L. M., López-Fabal, A., & López-Mosquera, M. E. (2015). Evaluation of compost from seaweed and fish waste as a fertilizer for horticultural use. *Scientia Horticulturae*, 186, 101-107.
- Ireland, C. M., Copp, B. R., Foster, M. P., McDonald, L. A., Radisky, D. C., & Swersey, J. C. (1993). Biomedical potential of marine natural products. In *Pharmaceutical and bioactive natural products* (pp. 1-43). Springer, Boston, MA.
- Jang, Y. H., Han, S. O., Sim, I. N., & Kim, H. I. (2013). Pretreatment effects of seaweed on the thermal and mechanical properties of seaweed/polypropylene biocomposites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 47, 83-90.
- Jiang, Y., Dennehy, C., Lawlor, P.G., Hu, Z., McCabe, M., Cormican, P. and Gardiner, G.E. (2018) 'Inhibition of volatile fatty acids on methane production kinetics during dry co-digestion of food waste and pig manure', *Waste Management*, Vol. 79, pp.302–311, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.07.049>.
- John, D. M. (2005). The freshwater algal flora of the British Isles. *Cambridge univ. press*.
- Kadam, S. U., Tiwari, B. K., Smyth, T. J., & O'Donnell, C. P. (2015). Optimization of ultrasound assisted extraction of bioactive components from brown seaweed *Ascophyllum nodosum* using response surface methodology. *Ultrasonics Sonochemistry*, 23, 308-316.
- Kadam, S. U., O'Donnell, C. P., Rai, D. K., Hossain, M. B., Burgess, C. M., Walsh, D., & Tiwari, B. K. (2015b). Laminarin from Irish brown seaweeds *Ascophyllum nodosum* and *Laminaria hyperborea*: ultrasound assisted extraction, characterization and bioactivity. *Marine drugs*, 13(7), 4270-4280.
- Khalil, H. A., Saurabh, C. K., Tye, Y. Y., Lai, T. K., Easa, A. M., Rosamah, E., Fazita, M. R. N., Syakir, M. I., Adnan, A. S., Fizree, H. M., Aprilia, N. A. S., & Banerjee, A. (2017). Seaweed based sustainable films and composites for food and

- pharmaceutical applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 353-362.
- Khan, W., Rayirath, U. P., Subramanian, S., Jithesh, M. N., Rayorath, P., Hodges, D. M., Critchley, A.t., Craigie, J. S., Norrie J, & Prithiviraj, B. (2009). Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28(4), 386-399.
- Kılınç, B., Cirik, S., Turan, G., Tekogul, H., & Koru, E. (2013). Seaweeds for food and industrial applications. In *Food industry*. IntechOpen.
- Kim, S. K. (Ed.). (2012). Handbook of marine macroalgae: biotechnology and applied phycology. *John Wiley & Sons*.
- Kim, S. K., Chojnacka, K. (Eds.). (2015). Marine algae extracts: processes, products, and applications. *John Wiley & Sons*.
- Kimbara, K., Kometani, M., Matsuyama-Serisawa, K., & Serisawa, Y. (2014). A list of marine algae from Hamatome, Shizuoka Prefecture, central Japan.
- Krastina, J., Romagnoli, F., & Balina, K. (2017). SWOT analysis for a further LCCA-based techno-economic feasibility of a biogas system using seaweeds feedstock. *Energy Procedia*, 128, 491-496.
- Kumari, R., Kaur, I., & Bhatnagar, A. K. (2013). Enhancing soil health and productivity of *Lycopersicon esculentum* Mill. using *Sargassum johnstonii* Setchell & Gardner as a soil conditioner and fertilizer. *Journal of applied phycology*, 25(4), 1225-1235.
- Kut, D., Topcuoğlu, S., Esen, N., Küçükcezzar, R., & Güven, K. C. (2000). Trace metals in marine algae and sediment samples from the Bosphorus. *Water, Air, and Soil Pollution*, 118(1-2), 27-33.
- Kuznetsov, A., & Fedorov, Y. (2020). Oil Pollution of the Coastal Zone of the Black Sea in an Area of Intensive Navigation (Novorossiysk Bay, Kerch Strait) and the Dynamics of Natural Attenuation Process.

- Lacatusu, R., Capatana, R., Lacatusu, A. R., & Meghea, A. (2015). A new compost for organic farming. Testing by plants. In *SGEM2015 Conference Proceedings. 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM* (pp. 18-24).
- Lapointe, B. E., Burkholder, J. M., & Van Alstyne, K. L. (2018). Harmful macroalgal blooms in a changing world: causes, impacts, and management. *Harmful Algal Blooms: A Compendium Desk Reference*, 515-560.
- Li, L., Kong, X., Yang, F., Li, D., Yuan, Z., & Sun, Y. (2012). Biogas production potential and kinetics of microwave and conventional thermal pretreatment of grass. *Applied biochemistry and biotechnology*, 166(5), 1183-1191.
- Liu, G., Zhang, R., El-Mashad, H.M. and Dong, R. (2009) 'Effect of feed to inoculum ratios on biogas yields of food and green wastes', *Bioresource Technology*, Vol. 100, No. 21, pp.5103–5108.
- Liu, S., Jiang, Z., Wu, Y., Deng, Y., Chen, Q., Zhao, C., Cui, L., Huang, X. (2019). Macroalgae bloom decay decreases the sediment organic carbon sequestration potential in tropical seagrass meadows of the South China Sea. *Marine pollution bulletin*, 138, 598-603.
- Makkar, H. P., Tran, G., Heuzé, V., Giger-Reverdin, S., Lessire, M., Lebas, F., & Ankers, P. (2016). Seaweeds for livestock diets: a review. *Animal Feed Science and Technology*, 212, 1-17.
- Marquez, G.P.B., Santiañez, W.J.E., Trono Jr., G.C., Montañó, M.N.E., Araki, H., Takeuchi, H. and Hasegawa, T. (2014) 'Seaweed biomass of the Philippines: sustainable feedstock for biogas production', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 38, pp.1056–1068, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.056>.
- Martins, M. S., Massocato, T. F., Horta, P. A., & Barufi, J. B. (2016). First record of red macroalgae bloom in Southern Atlantic Brazil. *Algae*, 31(1), 33-39.
- Matsui, T. and Koike, Y. (2010) 'Methane fermentation of a mixture of seaweed and milk at a pilot-scale plant', *Journal of Bioscience and Bioengineering*, Vol. 110, No. 5, pp.558–563.

- Mayer, A. M., Lehmann, V. K. (2000). Marine pharmacology in 1998: marine compounds with antibacterial, anticoagulant, antifungal, anti-inflammatory, anthelmintic, antiplatelet, antiprotozoal, and antiviral activities; with actions on the cardiovascular, endocrine, immune, and nervous systems; and other miscellaneous mechanisms of action. *Pharmacologist*, 42(42), 62-69.
- McDonnell, P., Figat, S., & O'doherty, J. V. (2010). The effect of dietary laminarin and fucoidan in the diet of the weanling piglet on performance, selected faecal microbial populations and volatile fatty acid concentrations. *Animal*, 4(4), 579-585.
- McHugh, D. J. (2002). Prospects for Seaweed Production in Developing Countries. *FAO Fisheries Circular (FAO)*.
- McHugh, D. J. (2003). A guide to the seaweed industry. *FAO Fisheries Circular (FAO)*.
- McHugh, T., Sinrod, A. (2018). Seeing Opportunities in Seaweed. *Food Technology*, 72(11), 65-67.
- McKennedy, J., & Sherlock, O. (2015). Anaerobic digestion of marine seaweed: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 1781-1790.
- Mekonnen, T., Mussone, P., Khalil, H., & Bressler, D. (2013). Progress in bio-based plastics and plasticizing modifications. *Journal of Materials Chemistry A*, 1(43), 13379-13398.
- Mendo, T., Wosnitza, A., & Barrantes, J. G. (2006). Utilization of seaweed *Ulva* sp in Paracas Bay (Peru): experimenting with compost. *Journal of Applied Phycology*, 18, 27-31.
- Michalak, I., & Chojnacka, K. (2013). Algal compost-toward sustainable fertilization. *Reviews in Inorganic Chemistry*, 33(4), 161-172.
- Michalak, I., Tuhy, Ł., & Chojnacka, K. (2016). Co-Composting of Algae and Effect of the Compost on Germination and Growth of *Lepidium sativum*. *Polish Journal of Environmental Studies*, 25(3).

- Michalak, I., Miller, U., Tuhy, Ł., Sówka, I., & Chojnacka, K. (2017a). Characterisation of biological properties of co-composted Baltic seaweeds in germination tests. *Engineering in Life Sciences*, 17(2), 153-164.
- Michalak, I., Wilk, R., & Chojnacka, K. (2017b). Bioconversion of Baltic seaweeds into organic compost. *Waste and Biomass Valorization*, 8(6), 1885-1895.
- Miyamoto, K. (Ed.). (1997). Renewable biological systems for alternative sustainable energy production (Vol. 128). *Food & Agriculture Org.*
- Mohanty, d., Apdikary, S. P., Chattopadhyay, G. N. (2013). Seaweed Liquid Fertilizer (SLF) and its Role in Agriculture Productivity. *Development*, 25, 27.
- Morand, P., Charlier, R. H., & Mazé, J. (1990). European bioconversion projects and realizations for macroalgal biomass: Saint-Cast-Le-Guildo (France) experiment. *Hydrobiologia*, 204(1), 301-308.
- Nabti, E., Jha, B., & Hartmann, A. (2017). Impact of seaweeds on agricultural crop production as biofertilizer. *International journal of environmental science and technology*, 14(5), 1119-1134.
- Nagayama, K., Iwamura, Y., Shibata, T., Hirayama, I., & Nakamura, T. (2002). Bactericidal activity of phlorotannins from the brown alga *Ecklonia kurome*. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 50(6), 889-893.
- Neushul, P. (1989). Seaweed for war: California's World War I kelp industry. *Technology and Culture*, 30(3), 561-583.
- N'Yeurt, A. D. R., & Iese, V. (2015). Marine plants as a sustainable source of agri-fertilizers for small island developing states (SIDS). In *Impacts of Climate Change on Food Security in Small Island Developing States* (pp. 280-311). IGI Global.
- OECD 2020 raporu, Environment at a Glance Indicators – Circular economy, waste and materials, <https://www.oecd.org/environment/environment-at-a-glance/Circular-Economy-Waste-Materials-Archive-February-2020.pdf>

- Olgunoğlu M. P., (2008). İskenderun Körfezi Kıyısındaki Bazı Makroalg Türleri ve Çökeline Ağır Metal Birikimlerinin Mevsimsel Değişimi. *Doktora Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye.
- Ometto, F., Berg, A., Björn, A., Safaric, L., Svensson, B. H., Karlsson, A., & Ejlertsson, J. (2017). Inclusion of *Saccharina latissima* in conventional anaerobic digestion systems. *Environmental Technology*, 1-12.
- Özsoy, E., Beşiktepe, Ş., & Latif, M. A. (2000). Türk Boğazlar Sistemi'nin Oşinografisi. *Marmara Denizi 2000 Sempozyumu*, 11-12.
- Patil, J. H., Raj, M. A., Muralidhara, P. L., Desai, S. M., & Raju, G. M. (2012). Kinetics of anaerobic digestion of water hyacinth using poultry litter as inoculum. *International Journal of Environmental Science and Development*, 3(2), 94.
- Paungfoo-Lonhienne, C., Lonhienne, T. G., Andreev, A., Zhiltsova, L. V., Kovalev, S., Belov, A., Grebenyuk, I., Kinaev, N., Sagulenko, E. (2017). Effects of humate supplemented with red seaweed ('*Ahnfeltia tobuchiensis*') on germination and seedling vigour of maize. *Australian Journal of Crop Science*, 11(6), 690.
- Rawls, W. J., Pachepsky, Y. A., Ritchie, J. C., Sobecki, T. M., & Bloodworth, H. (2003). Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma*, 116(1-2), 61-76.
- Pereira, L., & Neto, J. M. (Eds.). (2014). Marine algae: biodiversity, taxonomy, environmental assessment, and biotechnology. *CRC Press*.
- Rajendran, N., Puppala, S., Sneha Raj, M., Ruth Angeeleena, B., & Rajam, C. (2012). Seaweeds can be a new source for bioplastics. *Journal of Pharmacy Research* Vol, 5(3), 1476-1479.
- Ramirez, C. H. V. (2017). Biogas production from seaweed biomass: a biorefinery approach. *Doktora Tezi*, Institute of Technology, Sligo, İrlanda.
- Roberts, K. P., Heaven, S., & Banks, C. J. (2016). Quantification of methane losses from the acclimatisation of anaerobic digestion to marine salt concentrations. *Renewable Energy*, 86, 497-506.

- Rodriguez, C., Alaswad, A., El-Hassan, Z., & Olabi, A. G. (2018). Improvement of methane production from *P. canaliculata* through mechanical pretreatment. *Renewable Energy*, 119, 73-78.
- Roesijadi, G., Coleman, A. M., Judd, C., Van Cleve, F. B., Thom, R. M., Buenau, K. E., Tagestad, J. D., Wigmosta, M. S., Ward, J. A. (2011). Macroalgae Analysis - A National GIS-based Analysis of Macroalgae Production Potential Summary Report and Project Plan (No. PNNL-21087). *Pacific Northwest National Laboratory (PNNL)*, Richland, WA (US).
- Ruban, P., & Govindasamy, C. (2018). Seaweed Fertilizers In Modern Agriculture. *Seaweed Fertilizers In Modern Agriculture*, 14(1), 4-4.
- Sabir, A., Yazar, K., Sabir, F., Kara, Z., Yazici, M. A., & Goksu, N. (2014). Vine growth, yield, berry quality attributes and leaf nutrient content of grapevines as influenced by seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*) and nanosize fertilizer pulverizations. *Scientia Horticulturae*, 175, 1-8.
- Sabunas, A., Romagnoli, F., Pastare, L., & Balina, K. (2017). Laboratory Algae Cultivation and BMP Tests with *Ulva intestinalis* from the Gulf of Riga. *Energy Procedia*, 113, 277-284.
- Santos, H. M., Lodeiro, C., & Capelo-Martinez, J. L. (2009). The power of ultrasound. In *Ultrasound in chemistry: analytical applications* (pp. 1-16). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Santos, R. O., Varona, G., Avila, C. L., Lirman, D., & Collado-Vides, L. (2020). Implications of macroalgae blooms to the spatial structure of seagrass seascapes: The case of the *Anadyomene* spp.(Chlorophyta) bloom in Biscayne Bay, Florida. *Marine Pollution Bulletin*, 150, 110742.
- Shahbaz, M., Ammar, M., Zou, D., Korai, R.M. and Li, X. (2018) 'An insight into the anaerobic co-digestion of municipal solid waste and food waste: influence of co-substrate mixture ratio and substrate to inoculum ratio on biogas production', *Applied Biochemistry and Biotechnology*, Vol. 187, No. 4, pp.1356–1370.

- Sharma S. H. S., Lyons G., McRoberts C., McCall D., Carmichael E., Andrews F., Swan R., McCormack R., Mellon R., (2012). Biostimulant activity of brown seaweed species from Strangford Lough: compositional analyses of polysaccharides and bioassay of extracts using mung bean (*Vigna mungo* L.) and pak choi (*Brassica rapa chinensis* L.). *Journal of Applied Phycology*, 24:1081–1091.
- Show, I. T. (1981). Marine biomass. In *Biomass Conversion Processes for Energy and Fuels* (pp. 57-77). Springer, Boston, MA.
- Shibata, T., Ishimaru, K., Kawaguchi, S., Yoshikawa, H., & Hama, Y. (2007). Antioxidant activities of phlorotannins isolated from Japanese Laminariaceae. In *Nineteenth International Seaweed Symposium* (pp. 255-261). Springer, Dordrecht.
- Sillanpää, M., & Ncibi, C. (2019). The Circular Economy: Case Studies about the Transition from the Linear Economy. *Academic Press*.
- Smit, A. J. (2004). Medicinal and pharmaceutical uses of seaweed natural products: a review. *Journal of applied phycology*, 16(4), 245-262.
- Song, M., Pham, H. D., Seon, J., & Woo, H. C. (2015). Marine brown algae: a conundrum answer for sustainable biofuels production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 782-792.
- Stengel, D. B., & Connan, S. (2015). Marine algae: a source of biomass for biotechnological applications. In *Natural products from marine algae* (pp. 1-37). Humana Press, New York, NY.
- Tabassum, M. R. (2016). Biomethane production from macroalgae. *Doktora tezi*, University College Cork, Munster, Irlanda.
- Tabassum, M. R., Xia, A., & Murphy, J. D. (2016). Seasonal variation of chemical composition and biomethane production from the brown seaweed *Ascophyllum nodosum*. *Bioresource technology*, 216, 219-226.
- Tabassum, M. R., Xia, A., & Murphy, J. D. (2016b). The effect of seasonal variation on biomethane production from seaweed and on application as a gaseous transport biofuel. *Bioresource technology*, 209, 213-219.

- Tabassum, M.R., Xia, A. and Murphy, J.D. (2018) Biomethane production from various segments of brown seaweed. *Energy Conversion and Management*, Vol. 174, pp.855–862, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.08.084>.
- Taşkın, E., Öztürk, M., Kurt, O., & Öztürk, M. (2008). The checklist of the marine algae of Turkey. *Ecem Kirtasiye*, Manisa, Turkey.
- Taylor, E. L., Taylor, T. N., & Krings, M. (2009). Paleobotany: the biology and evolution of fossil plants. *Academic Press*.
- Tedesco, S., Benyounis, K. Y., & Olabi, A. G. (2013). Mechanical pretreatment effects on seaweed-derived biogas production in co-digestion with sludge in Ireland. *Energy*, 61, 27-33.
- Teichberg, M., Martinetto, P., & Fox, S. E. (2012). Bottom-up versus top-down control of macroalgal blooms. In *Seaweed biology* (pp. 449-467). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Tiwari, B. K., Troy, D. J. (2015). Seaweed sustainability–food and nonfood applications. In *Seaweed Sustainability* (pp. 1-6). Academic Press.
- Thirumaran, G., Arumugam, M., Arumugam, R., Anantharaman, P. (2009) Effect of Seaweed Liquid Fertilizer on Growth and Pigment Concentration of *Abelmoschus esculentus* (L) medikus. *American-Eurasian Journal of Agronomy*, 2, 57–66.
- Thirumaran, G., Arumugam, M., Arumugam, R., & Anantharaman, P. (2009b). Effect of seaweed liquid fertilizer on growth and pigment concentration of *Cyamopsis tetragonoloba* (L) Taub. *American-Eurasian Journal of Agronomy*, 2(2), 50-56.
- Thomas, N. V., & Kim, S. K. (2011). Potential pharmacological applications of polyphenolic derivatives from marine brown algae. *Environmental toxicology and pharmacology*, 32(3), 325-335.
- Topcuoğlu, S., Güven, K. C., Balkıs, N., & Kırbaşoğlu, Ç. (2003). Heavy metal monitoring of marine algae from the Turkish Coast of the Black Sea, 1998–2000. *Chemosphere*, 52(10), 1683-1688.

- Uchida, M., & Miyoshi, T. (2013). Algal Fermentation—The Seed for a New Fermentation Industry of Foods and Related Products. *Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ*, 47(1), 53-63.
- Van Alstyne, K. L. (2016). Seasonal changes in nutrient limitation and nitrate sources in the green macroalga *Ulva lactuca* at sites with and without green tides in a northeastern Pacific embayment. *Marine pollution bulletin*, 103(1-2), 186-194.
- Vendrame, W., & Moore, K. K. (2005). Comparison of herbaceous perennial plant growth in seaweed compost and biosolids compost. *Compost science & utilization*, 13(2), 122-126.
- Venkatesan, J., Anil, S., Kim, S. K., & Shim, M. S. (2016). Seaweed polysaccharide-based nanoparticles: preparation and applications for drug delivery. *Polymers*, 8(2), 30.
- Vijayakumar, S., Durgadevi, S., Arulmozhi, P., Rajalakshmi, S., Gopalakrishnan, T., & Parameswari, N. (2019). Effect of seaweed liquid fertilizer on yield and quality of *Capsicum annum* L. *Acta Ecologica Sinica*, 39(5), 406-410.
- Vinoth S., Gurusaravanan P., Jayabalan N. *Journal of Applied Phycology* (2012), Effect of seaweed extracts and plant growth regulators on high-frequency in vitro mass propagation of *Lycopersicon esculentum* L (tomato) through double cotyledonary nodal explant. *Journal of Applied Phycology* , 24:5, 1329-1337.
- Vivekanand, V., Eijsink, V. G., & Horn, S. J. (2012). Biogas production from the brown seaweed *Saccharina latissima*: thermal pretreatment and codigestion with wheat straw. *Journal of Applied Phycology*, 24(5), 1295-1301.
- Walsh, K. T. (2019). Examining the Quality of a Compost Product Derived from *Sargassum* (*Sargassum fluitans* and *Sargassum Natans*). *American Society for Horticultural Science*, 1-6.
- Wang, S., Jia, Y., Wang, L., Zhu, F., & Lin, Y. (2013). *Enteromorpha prolifera* supplemental level: effects on laying performance, egg quality, immune

- function and microflora in feces of laying hens. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 25(6), 1346-1352.
- Wang, Y., Fu, F., Li, J., Wang, G., Wu, M., Zhan, J., Chen, X., & Mao, Z. (2016). Effects of seaweed fertilizer on the growth of *Malus hupehensis* Rehd. seedlings, soil enzyme activities and fungal communities under replant condition. *European Journal of Soil Biology*, 75, 1-7.
- Wang, Y., Xiang, L., Wang, S., Wang, X., Chen, X., & Mao, Z. (2017). Effects of seaweed fertilizer on the *Malus hupehensis* Rehd. seedlings growth and soil microbial numbers under continue cropping. *Acta Ecologica Sinica*, 37(3), 180-186.
- Wang, M., Chen, L., Li, Y., Chen, L., Liu, Z., Wang, X., Yan, P., Qin, S. (2018). Responses of soil microbial communities to a short-term application of seaweed fertilizer revealed by deep amplicon sequencing. *Applied Soil Ecology*, 125, 288-296.
- Wang, C., Jiao, X., Zhang, Y., Zhang, L., & Xu, H. (2020). A light-limited growth model considering the nutrient effect for improved understanding and prevention of macroalgae bloom. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-9.
- Wehr, J. D., Sheath, R. G., & Kociolek, J. P. (Eds.). (2015). *Freshwater algae of North America: ecology and classification*. Elsevier.
- Wells, E., Wilkinson, M., Wood, P., Scanlan, C., & Best, M. (2010). Water Framework Directive development of classification tools for ecological assessment: Macroalgae Species Richness. *UK TAG Report for Marine Plants Task Team*.
- Wijesekara, I., Senevirathne, M., Li, Y. X., & Kim, S. K. (2012). Functional ingredients from marine algae as potential antioxidants in the food industry. In *Handbook of Marine Macroalgae*, 398-402.
- Win, L.L. and Saing, K.M. (2008). Effectiveness of Myanmar brown seaweed (*Sargassum* spp.) extract as organic fertilizer in pot trial of rice. GMSARN International Conference on Sustainable Development: Issues and Prospects for the GMS: 1-4.

- Winberg, P. C., DeMestre, C., & Wills, S. (2011). Evaluating *Microdictyon umbilicatum* bloom biomass as an agricultural compost conditioner for native and commercial plants. *Report to Shoalhaven City Council*.
- Xu, F., Li, Y., Ge, X., Yang, L. and Li, Y. (2018) 'Anaerobic digestion of food waste-challenges and opportunities', *Bioresource Technology*, Vol. 247, pp.1047–1058, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.020>.
- Yoruklu, H. C., Korkmaz, E., Demir, N. M., Ozkaya, B., & Demir, A. (2018). The impact of pretreatment and inoculum to substrate ratio on methane potential of organic wastes from various origins. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 20(2), 800-809.
- Yuan, M., Xiao, H., Wang, R., Duan, Y., & Cao, Q. (2019). Effects of changes in precipitation pattern and of seaweed fertilizer addition on plant traits and biological soil crusts. *Journal of Applied Phycology*, 31(6), 3791-3802.
- Yusmaniar, Y., Syafei, D. I., Arum, M., Handoko, E., Kurniawan, C., & Asali, M. R. (2019). Preparation and characterization of Seaweed based Bioplastic Blended with Polysaccharides derived from various seeds of Avocado, Jackfruit and Durian. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1402, No. 5, p. 055097). IOP Publishing.
- Yüce, H. (1996). Mediterranean water in the Strait of Istanbul (Bosphorus) and the Black Sea exit. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 43(5), 597-616.
- Zhang, S., Hu, X., Ma, J., Ma, Z., Liu, X., & Cui, L. (2012). Study on feed fermented from seaweed waste. *African Journal of Microbiology Research*, 6(50), 7610-7615.
- Zhang, Y., Li, L., Kong, X., Zhen, F., Wang, Z., Sun, Y., Dung, P., & Lv, P. (2017). Inhibition effect of sodium concentrations on the anaerobic digestion performance of *Sargassum* sp. *Energy & Fuels*, 31(7), 7101-7109.
- Zhang, C., Show, P. L., & Ho, S. H. (2019). Progress and perspectives on algal plastics-A critical review. *Bioresource technology*, 121700.

- Zhou, G., Qiu, X., Zhang, J., & Tao, C. (2019). Effects of seaweed fertilizer on enzyme activities, metabolic characteristics, and bacterial communities during maize straw composting. *Bioresource technology*, 286, 121375.
- Zodape, S. T., Mukhopadhyay, S., Eswaran, K., Reddy, M. P., & Chikara, J. (2010). Enhanced yield and nutritional quality in green gram (*Phaseolus radiata* L) treated with seaweed (*Kappaphycus alvarezii*) extract. *Journal of Scientific & Industrial Research*, Vol. 69, pp.468-471.

## Yıllara Göre Toplanan Yosun Miktarları

## 2013 Yılında Yapılan Yosun Toplama Çalışmaları - Çıkarılan Atık Miktarı (kg)

| Yaka   | İlçe Adı     | Bölge Adı             | Ocak | Şubat  | Mart    | Nisan   | Mayıs   | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül  | Ekim   | Kasım  | Aralık | TOPLAM    |
|--------|--------------|-----------------------|------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| Asya   | Kadıköy      | Caddebostan           |      |        |         | 283.000 | 408.600 | 33.000  |        |         |        |        |        |        | 724.600   |
| Asya   | Tuzla        | Tuzla                 |      |        |         |         |         | 22.150  | 18.350 |         |        |        |        |        | 40.500    |
| Avrupa | Avcılar      | Avcılar İski Plajı    |      | 29.050 |         |         |         |         |        |         |        |        |        |        | 29.050    |
| Avrupa | Bakırköy     | Menekşe-Güneş Plajı   |      |        | 22.850  |         | 50.400  |         |        | 1.000   | 4.500  |        |        |        | 78.750    |
| Avrupa | Bakırköy     | Atatürk Köşkü         |      |        |         |         | 27.530  |         |        | 283.800 | 60.380 |        |        |        | 371.710   |
| Avrupa | Bakırköy     | Florya Sos. Tesisleri |      |        |         |         | 5.000   |         |        |         |        | 7.300  |        |        | 12.300    |
| Avrupa | Bakırköy     | Yeşilyurt Harp Okulu  |      |        |         |         |         |         |        |         |        |        | 9.750  | 29.000 | 38.750    |
| Avrupa | Bakırköy     | Güneş Plajı           |      |        |         |         |         |         |        |         |        | 22.050 |        |        | 22.050    |
| Avrupa | Büyükçekmece | Albatros Plajı        |      |        |         |         | 255.540 |         |        |         |        |        |        |        | 255.540   |
| Avrupa | Büyükçekmece | Mimarsinan            |      |        |         |         |         |         |        |         |        |        | 61.900 |        | 61.900    |
| Avrupa | Büyükçekmece | Karagül               |      |        |         |         |         | 4.500   | 12.000 |         |        |        |        |        | 16.500    |
| Avrupa | Büyükçekmece | Kumburgaz Gece Pazarı |      |        |         |         |         | 10.300  | 37.000 | 38.500  |        |        |        |        | 85.800    |
| Avrupa | Küçükçekmece | Beyazyalı Plajı       |      |        | 246.100 | 965.750 | 796.040 | 258.580 |        | 24.300  | 52.250 | 30.550 | 43.650 |        | 2.417.220 |
| Avrupa | Silivri      | Selimpaşa Yalıkent    |      |        |         |         | 96.280  |         | 33.000 |         | 81.800 |        |        |        | 211.080   |
| Avrupa | Silivri      | Selimpaşa Merkez      |      |        |         |         |         | 84.200  | 38.000 | 12.000  | 5.000  | 4.000  |        |        | 143.200   |

| 2013 Yılında Yapılan Yosun Toplama Çalışmaları - Çıkarılan Atık Miktarı (kg) (Devamı) |         |                    |   |        |         |           |           |         |         |         |         |         |         |        |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------------------|---|--------|---------|-----------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|-----------|
| Avrupa                                                                                | Silivri | Selimpaşa Sporkent |   |        |         |           |           | 44.000  |         |         | 134.000 | 28.000  |         |        | 206.000   |
| Avrupa                                                                                | Silivri | Selimpaşa Duruman  |   |        |         |           |           |         | 35.000  |         |         |         |         |        | 35.000    |
| Avrupa                                                                                | Silivri | Selimpaşa Kıyıkent |   |        |         |           |           |         | 38.000  | 9.000   |         | 40.500  |         |        | 87.500    |
| Avrupa                                                                                | Silivri | Selimpaşa Erseven  |   |        |         |           |           |         |         | 32.000  |         | 73.000  | 40.000  |        | 145.000   |
| Avrupa                                                                                | Silivri | Selimpaşa Yakamoz  |   |        |         |           |           |         |         | 8.000   | 117.000 |         |         |        | 125.000   |
| Avrupa                                                                                | Silivri | Selimpaşa Liman    |   |        |         |           |           |         |         | 13.000  |         |         |         |        | 13.000    |
| Avrupa                                                                                | Silivri | Selimpaşa Araptepe |   |        |         |           |           |         |         |         | 8.000   |         |         |        | 8.000     |
| TOPLAM ÇALIŞMA                                                                        |         |                    | 0 | 29.050 | 268.950 | 1.248.750 | 1.639.390 | 456.730 | 211.350 | 421.600 | 462.930 | 205.400 | 155.300 | 29.000 | 5.128.450 |

**2014 Yılında Yapılan Yosun Toplama Çalışmaları - Çıkarılan Atık Miktarı (kg)**

| Yaka   | İlçe Adı     | Bölge Adı                   | Ocak   | Şubat  | Mart   | Nisan  | Mayıs  | Haziran | Temmuz  | Ağustos | Eylül   | Ekim   | Kasım  | Aralık | TOPLAM  |
|--------|--------------|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|
| Asya   | Kadıköy      | Caddebostan                 |        |        |        |        |        |         |         |         |         |        |        |        | 0       |
| Asya   | Tuzla        | Tuzla                       |        |        |        |        |        |         |         |         |         |        |        |        | 0       |
| Avrupa | Avcılar      | Avcılar İski Plajı          |        |        |        |        |        |         |         |         |         |        |        |        | 0       |
| Avrupa | Bakırköy     | Menekşe-Güneş Plajı         |        |        |        | 12.500 | 49.300 |         |         |         |         |        |        |        | 61.800  |
| Avrupa | Bakırköy     | Atatürk Köşkü               |        |        |        |        |        |         | 101.950 | 95.350  | 23.600  |        |        |        | 220.900 |
| Avrupa | Bakırköy     | Florya Sos. Tesisleri       |        |        |        |        |        |         |         | 7.860   | 26.100  | 48.520 |        |        | 82.480  |
| Avrupa | Bakırköy     | Yeşilyurt Harp Okulu        |        |        |        |        |        |         |         |         |         |        |        |        | 0       |
| Avrupa | Bakırköy     | Güneş Plajı                 |        |        |        |        |        |         | 27.150  |         |         |        |        |        | 27.150  |
| Avrupa | Bakırköy     | Bakırköy Yeşilköy Çiroz     | 46.300 |        |        |        |        |         |         |         |         |        |        |        | 46.300  |
| Avrupa | Bakırköy     | Bakırköy Yeşilköy Rone Park |        | 26.450 | 12.800 |        |        |         |         |         |         |        |        |        | 39.250  |
| Avrupa | Büyükçekmece | Albatros Plajı              |        |        |        |        |        |         |         |         |         |        |        |        | 0       |
| Avrupa | Büyükçekmece | Mimarsinan                  |        |        |        | 6.000  |        |         |         |         |         | 70.450 |        |        | 76.450  |
| Avrupa | Büyükçekmece | Karagül                     |        |        |        |        |        | 6.000   |         |         |         |        |        |        | 6.000   |
| Avrupa | Büyükçekmece | Güzelce                     |        |        |        |        |        |         |         | 36.150  |         |        |        |        | 36.150  |
| Avrupa | Büyükçekmece | Celaliye                    |        |        |        |        |        |         |         | 4.000   | 38.101  |        |        |        | 42.101  |
| Avrupa | Büyükçekmece | Kamiloba                    |        |        |        |        |        |         |         |         | 48.560  |        |        |        | 48.560  |
| Avrupa | Büyükçekmece | Kumburgaz Gece Pazarı       |        |        |        |        | 18.750 |         | 90.700  | 265.750 | 147.700 | 12.600 | 27.750 |        | 563.250 |

| 2014 Yılında Yapılan Yosun Toplama Çalışmaları - Çıkarılan Atık Miktarı (kg) (Devamı) |              |                    |        |        |        |        |        |         |         |         |         |         |        |   |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---|-----------|
| Avrupa                                                                                | Küçükçekmece | Beyazyalı Plajı    |        |        |        |        | 29.650 | 28.800  | 11.350  | 46.550  |         |         |        |   | 116.350   |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Yalıkent |        |        |        |        |        | 24.750  | 6.750   |         |         | 64.400  | 24.300 |   | 120.200   |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Merkez   |        |        |        |        |        | 177.750 |         | 19.400  | 40.700  | 41.650  | 37.300 |   | 316.800   |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Sporkent |        |        |        |        |        | 114.500 | 6.750   |         |         |         |        |   | 121.250   |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Duruman  |        |        |        |        |        |         |         |         |         |         |        |   | 0         |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Kıyıkent |        |        |        |        |        |         | 48.500  |         |         |         |        |   | 48.500    |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Erseven  |        |        |        |        |        |         |         |         |         |         |        |   | 0         |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Yakamoz  |        |        |        |        |        |         | 139.250 |         |         |         |        |   | 139.250   |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Liman    |        |        |        |        |        |         |         |         |         |         |        |   | 0         |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Araptepe |        |        |        |        |        |         |         |         |         |         |        |   | 0         |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Gümüşyaka          |        |        |        |        |        |         |         |         | 11.550  |         |        |   | 11.550    |
| TOPLAM ÇALIŞMA                                                                        |              |                    | 46.300 | 26.450 | 12.800 | 18.500 | 97.700 | 351.800 | 432.400 | 475.060 | 336.311 | 237.620 | 89.350 | 0 | 2.124.291 |

**2015 Yılında Yapılan Yosun Toplama Çalışmaları - Çıkarılan Atık Miktarı (kg)**

| Yaka   | İlçe Adı     | Bölge Adı                   | Ocak    | Şubat   | Mart  | Nisan   | Mayıs   | Haziran | Temmuz  | Ağustos | Eylül   | Ekim   | Kasım   | Aralık  | TOPLAM           |
|--------|--------------|-----------------------------|---------|---------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|------------------|
| Asya   | Kadıköy      | Caddebostan                 | 343.400 | 119.200 |       |         |         |         |         |         |         |        | 364.650 |         | <b>827.250</b>   |
| Asya   | Tuzla        | Tuzla                       |         |         |       |         |         |         |         |         |         |        |         |         | <b>0</b>         |
| Avrupa | Avcılar      | Avcılar İski Plajı          |         |         |       |         |         |         |         |         |         |        |         |         | <b>0</b>         |
| Avrupa | Bakırköy     | Menekşe-Güneş Plajı         |         |         |       | 109.250 | 16.900  | 79.200  |         |         | 11.420  |        | 92.550  | 55.330  | <b>364.650</b>   |
| Avrupa | Bakırköy     | Atatürk Köşkü               |         |         |       | 18.250  |         | 29.500  | 56.470  | 55.380  | 16.700  |        |         | 12.550  | <b>188.850</b>   |
| Avrupa | Bakırköy     | Florya Sos. Tesisleri       |         |         |       |         |         |         |         |         |         |        |         |         | <b>0</b>         |
| Avrupa | Bakırköy     | Yeşilyurt Harp Okulu        |         |         |       |         |         |         |         |         |         |        |         |         | <b>0</b>         |
| Avrupa | Bakırköy     | Güneş Plajı                 |         |         |       | 89.300  | 37.500  |         |         |         |         |        |         |         | <b>126.800</b>   |
| Avrupa | Bakırköy     | Bakırköy Yeşilköy Çiroz     |         |         |       |         |         |         |         |         |         |        |         |         | <b>0</b>         |
| Avrupa | Bakırköy     | Bakırköy Yeşilköy Rone Park |         |         |       |         |         |         |         |         |         |        |         |         | <b>0</b>         |
| Avrupa | Büyükçekmece | Albatros Plajı              |         |         |       |         |         |         |         |         |         |        |         |         | <b>0</b>         |
| Avrupa | Büyükçekmece | Mimarsinan                  | 41.850  |         |       |         |         |         |         |         |         |        | 10.250  | 32.950  | <b>85.050</b>    |
| Avrupa | Büyükçekmece | Karagül                     |         |         |       |         |         |         |         |         |         |        |         |         | <b>0</b>         |
| Avrupa | Büyükçekmece | Güzelce                     |         |         |       |         | 121.300 | 21.750  |         |         |         |        |         |         | <b>143.050</b>   |
| Avrupa | Büyükçekmece | Celaliye                    |         |         | 4.100 |         |         |         | 2.000   | 77.450  |         |        |         |         | <b>83.550</b>    |
| Avrupa | Büyükçekmece | Kamiloba                    |         |         |       |         |         |         |         | 89.550  |         |        |         | 43.850  | <b>133.400</b>   |
| Avrupa | Büyükçekmece | Kumburgaz Gece Pazarı       | 6.850   |         |       |         | 48.650  | 331.980 | 446.550 | 335.500 | 366.500 | 53.350 | 15.250  | 122.600 | <b>1.727.230</b> |

| 2015 Yılında Yapılan Yosun Toplama Çalışmaları - Çıkarılan Atık Miktarı (kg) (Devamı) |              |                    |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| Avrupa                                                                                | Küçükçekmece | Beyazyalı Plajı    |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         | 0         |
| Avrupa                                                                                | Çatalca      | Ormanlı            |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         | 5.400   |         | 5.400     |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Yalıkent |         |         |         |         |         |         |         |         | 92.400  |         |         |         | 92.400    |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Merkez   | 109.900 | 55.560  |         |         |         |         | 159.550 | 69.000  |         | 55.200  |         |         | 449.210   |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Sporkent |         |         |         |         |         |         |         |         | 22.150  |         |         |         | 22.150    |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Parkköy  |         |         | 6.000   |         |         |         |         |         |         |         |         |         | 6.000     |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Duruman  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         | 0         |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Kiyıkent |         |         | 12.550  |         |         |         |         |         |         |         |         |         | 12.550    |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Silivri Merkez     | 60.350  |         | 6.800   |         |         |         |         |         |         |         |         |         | 67.150    |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Çanta              |         | 357.550 |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         | 357.550   |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Semizkum           | 34.000  |         |         |         |         |         | 81.800  | 36.700  | 15.800  |         |         |         | 168.300   |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Erseven  |         |         |         |         |         |         |         |         | 38.600  |         |         |         | 38.600    |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Yakamoz  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         | 0         |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Liman    |         |         |         |         | 42.550  |         |         |         | 46.200  |         | 98.550  |         | 187.300   |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Araptepe |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         | 0         |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Gümüşyaka          |         |         | 115.000 |         | 40.800  |         | 159.100 | 26.750  |         |         | 29.600  |         | 371.250   |
| TOPLAM ÇALIŞMA                                                                        |              |                    | 596.350 | 532.310 | 144.450 | 216.800 | 307.700 | 462.430 | 905.470 | 690.330 | 609.770 | 108.550 | 616.250 | 267.280 | 5.457.690 |

**2016 Yılında Yapılan Yosun Toplama Çalışmaları - Çıkarılan Atık Miktarı (kg)**

| Yaka   | İlçe Adı     | Bölge Adı                   | Ocak   | Şubat  | Mart | Nisan  | Mayıs   | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül  | Ekim   | Kasım  | Aralık | TOPLAM         |
|--------|--------------|-----------------------------|--------|--------|------|--------|---------|---------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|----------------|
| Asya   | Kadıköy      | Caddebostan                 |        |        |      |        |         |         |        |         |        |        |        | 67.200 | <b>67.200</b>  |
| Asya   | Tuzla        | Tuzla                       |        |        |      |        |         |         |        |         |        |        |        |        | <b>0</b>       |
| Avrupa | Avcılar      | Avcılar İski Plajı          |        |        |      |        |         |         |        |         |        |        |        |        | <b>0</b>       |
| Avrupa | Bakırköy     | Menekşe-Güneş Plajı         |        |        |      |        |         |         |        |         |        |        |        |        | <b>0</b>       |
| Avrupa | Bakırköy     | Atatürk Köşkü               |        |        |      |        |         |         |        |         | 7.900  |        |        |        | <b>7.900</b>   |
| Avrupa | Bakırköy     | Florya Sos. Tesisleri       |        |        |      | 58.560 | 12.660  |         |        |         | 12.550 | 10.600 |        |        | <b>94.370</b>  |
| Avrupa | Bakırköy     | Yeşilyurt Harp Okulu        |        |        |      |        |         |         |        |         |        |        |        |        | <b>0</b>       |
| Avrupa | Bakırköy     | Güneş Plajı                 |        |        |      |        |         | 52.550  |        |         |        |        |        |        | <b>52.550</b>  |
| Avrupa | Bakırköy     | Bakırköy Yeşilköy Çiroz     |        |        |      |        |         |         |        |         |        |        |        |        | <b>0</b>       |
| Avrupa | Bakırköy     | Bakırköy Yeşilköy Rone Park |        |        |      |        |         |         |        |         |        |        | 38.300 |        | <b>38.300</b>  |
| Avrupa | Büyükçekmece | Albatros Plajı              |        |        |      |        |         |         |        |         |        |        |        |        | <b>0</b>       |
| Avrupa | Büyükçekmece | Mimarsinan                  |        |        |      | 82.500 | 20.750  |         |        |         |        |        |        |        | <b>103.250</b> |
| Avrupa | Büyükçekmece | Karagül                     |        |        |      |        |         |         |        |         |        |        |        |        | <b>0</b>       |
| Avrupa | Büyükçekmece | Güzelce                     | 9.000  |        |      |        | 120.400 | 36.700  |        | 28.280  | 97.950 | 33.680 | 40.760 |        | <b>366.770</b> |
| Avrupa | Büyükçekmece | Celaliye                    | 36.250 | 66.750 |      |        |         |         |        |         |        |        |        |        | <b>103.000</b> |
| Avrupa | Büyükçekmece | Kamiloba                    |        |        |      |        |         |         |        |         |        |        |        |        | <b>0</b>       |
| Avrupa | Büyükçekmece | Kumburgaz Gece Pazarı       |        |        |      |        | 22.150  |         | 10.650 |         |        |        |        |        | <b>32.800</b>  |

| 2016 Yılında Yapılan Yosun Toplama Çalışmaları - Çıkarılan Atık Miktarı (kg) (Devamı) |              |                     |        |         |        |         |         |         |         |         |         |         |        |        |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|-----------|
| Avrupa                                                                                | Küçükçekmece | Beyazyalı Plajı     |        |         |        |         |         |         |         |         |         |         |        |        | 0         |
| Avrupa                                                                                | Çatalca      | Ormanlı             |        |         |        |         |         |         |         |         |         |         |        |        | 0         |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Yalıkent  |        |         |        |         |         | 60.200  |         |         | 161.981 | 62.800  |        |        | 284.981   |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Merkez    | 43.110 |         |        |         |         |         | 58.840  |         |         |         |        |        | 101.950   |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Sporkent  |        |         |        | 18.800  | 67.100  | 46.350  |         | 16.410  | 273.140 |         |        |        | 421.800   |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Parkköy   |        |         |        |         |         |         |         |         |         |         |        |        | 0         |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Duruman   |        |         |        |         |         | 12.800  |         |         |         |         |        |        | 12.800    |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Kırıkkent |        |         |        |         |         |         |         |         |         |         |        |        | 0         |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Silivri Merkez      |        |         | 68.850 | 21.700  | 38.700  |         |         |         |         |         |        |        | 129.250   |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Çanta               |        | 38.900  |        |         |         |         |         |         |         |         |        |        | 38.900    |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Semizkum            |        | 62.250  |        | 40.350  | 102.650 | 52.600  | 34.311  |         | 8.090   | 21.250  |        |        | 321.501   |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Erseven   |        |         |        |         |         |         |         |         |         |         |        |        | 0         |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Yakamoz   |        |         |        |         |         |         |         |         |         |         | 13.990 |        | 13.990    |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Liman     |        | 68.850  |        |         |         |         |         | 94.890  | 83.100  |         |        |        | 246.840   |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Araptepe  |        |         |        |         |         | 30.050  |         | 15.190  |         |         |        |        | 45.240    |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Gümüşyaka           |        |         |        |         |         |         |         |         |         |         |        |        | 0         |
| TOPLAM ÇALIŞMA                                                                        |              |                     | 88.360 | 236.750 | 68.850 | 221.910 | 384.410 | 291.250 | 103.801 | 154.770 | 644.711 | 128.330 | 93.050 | 67.200 | 2.483.392 |

**2017 Yılında Yapılan Yosun Toplama Çalışmaları - Çıkarılan Atık Miktarı (Kg)**

| Yaka   | İlçe Adı     | Bölge Adı                   | Ocak  | Şubat | Mart | Nisan  | Mayıs   | Haziran | Temmuz  | Ağustos | Eylül   | Ekim   | Kasım  | Aralık  | TOPLAM         |
|--------|--------------|-----------------------------|-------|-------|------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|----------------|
| Asya   | Kadıköy      | Caddebostan                 |       |       |      |        |         |         |         |         |         |        |        | 249.340 | <b>249.340</b> |
| Asya   | Tuzla        | Tuzla                       |       |       |      |        |         |         |         |         |         |        |        |         | <b>0</b>       |
| Avrupa | Avcılar      | Avcılar İski Plajı          |       |       |      |        |         |         |         |         |         |        | 6.600  | 7.850   | <b>14.450</b>  |
| Avrupa | Bakırköy     | Menekşe-Güneş Plajı         |       |       |      |        |         |         |         |         |         |        |        |         | <b>0</b>       |
| Avrupa | Bakırköy     | Atatürk Köşkü               |       |       |      |        | 40.290  | 47.850  | 128.100 | 150.500 | 80.950  |        |        |         | <b>447.690</b> |
| Avrupa | Bakırköy     | Florya Sos. Tesisleri       |       |       |      | 42.800 | 11.300  |         | 21.750  | 91.800  | 13.000  | 45.150 | 81.850 |         | <b>307.650</b> |
| Avrupa | Bakırköy     | Yeşilyurt Harp Okulu        |       |       |      |        |         |         |         |         |         |        |        |         | <b>0</b>       |
| Avrupa | Bakırköy     | Güneş Plajı                 |       |       |      |        |         |         |         | 28.750  | 25.950  |        |        |         | <b>54.700</b>  |
| Avrupa | Bakırköy     | Bakırköy Yeşilköy Çiroz     |       |       |      |        |         |         |         |         |         |        |        |         | <b>0</b>       |
| Avrupa | Bakırköy     | Bakırköy Yeşilköy Rone Park |       |       |      |        |         |         |         |         |         |        | 15.350 | 72.000  | <b>87.350</b>  |
| Avrupa | Büyükçekmece | Albatros Plajı              |       |       |      |        |         |         |         |         |         |        |        |         | <b>0</b>       |
| Avrupa | Büyükçekmece | Mimarsinan                  |       |       |      |        |         |         |         |         |         |        | 21.900 | 16.650  | <b>38.550</b>  |
| Avrupa | Büyükçekmece | Karagül                     |       |       |      |        |         |         |         |         |         |        | 70.730 |         | <b>70.730</b>  |
| Avrupa | Büyükçekmece | Güzelce                     |       |       |      | 23.330 |         |         |         |         |         | 99.850 |        |         | <b>123.180</b> |
| Avrupa | Büyükçekmece | Celaliye                    | 9.670 |       |      |        |         |         | 25.130  |         |         |        |        |         | <b>34.800</b>  |
| Avrupa | Büyükçekmece | Kamiloba                    |       |       |      |        |         |         |         |         |         |        |        | 54.050  | <b>54.050</b>  |
| Avrupa | Büyükçekmece | Kumburgaz Gece Pazarı       |       |       |      |        | 126.480 | 17.050  | 338.130 | 207.040 | 114.770 | 16.030 |        |         | <b>819.500</b> |

| 2017 Yılında Yapılan Yosun Toplama Çalışmaları - Çıkarılan Atık Miktarı (kg) (Devamı) |              |                    |        |        |        |         |         |         |         |         |         |         |         |         |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| Avrupa                                                                                | Küçükçekmece | Beyazyalı Plajı    |        |        |        |         |         |         |         |         |         |         |         |         | 0         |
| Avrupa                                                                                | Çatalca      | Ormanlı            |        |        |        |         |         |         |         |         |         |         |         |         | 0         |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Yalıkent |        |        |        | 23.890  |         | 22.050  |         |         | 193.910 | 45.160  | 40.380  |         | 325.390   |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Merkez   |        |        |        |         |         |         |         |         |         |         |         | 42.350  | 42.350    |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Sporkent |        |        |        | 7.670   |         |         |         |         |         |         | 54.770  |         | 62.440    |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Parkköy  |        |        |        |         |         |         |         |         |         |         |         |         | 0         |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Duruman  |        |        |        |         |         |         |         |         |         |         |         | 45.400  | 45.400    |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Kıyıkent |        |        |        |         |         |         |         | 35.700  |         |         |         |         | 35.700    |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Silivri Merkez     |        |        |        |         |         |         |         |         |         | 31.140  | 40.050  | 77.150  | 148.340   |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Çanta              |        |        |        |         |         |         |         |         |         |         |         |         | 0         |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Semizkum           |        |        |        |         |         |         |         |         |         |         |         |         | 0         |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Erseven  |        |        |        |         |         |         |         |         |         |         |         |         | 0         |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Yakamoz  |        |        |        |         |         |         | 22.230  |         | 76.590  |         |         |         | 98.820    |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Liman    | 75.400 | 45.570 | 54.870 | 20.670  | 27.300  | 35.100  | 87.850  | 85.200  | 10.570  |         |         |         | 442.530   |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Selimpaşa Araptepe |        |        |        |         |         |         |         |         |         | 10.450  |         |         | 10.450    |
| Avrupa                                                                                | Silivri      | Gümüşyaka          |        |        | 10.950 |         |         |         |         |         |         |         |         | 46.050  | 57.000    |
| TOPLAM ÇALIŞMA                                                                        |              |                    | 85.070 | 45.570 | 65.820 | 118.360 | 205.370 | 122.050 | 623.190 | 598.990 | 515.740 | 247.780 | 331.630 | 610.840 | 3.570.410 |

**A grubu (aşısız fermentasyon) gübrenin bitki gelişimi üzerindeki etkisinin incelenmesi için Minitab tarafından oluşturulan matris**

| #  | Parametreler |                           | Çıktılar |               |             |                 |
|----|--------------|---------------------------|----------|---------------|-------------|-----------------|
|    | % Sıvı gübre | Fermentasyon süresi (gün) | Boy (cm) | Yaprak sayısı | Ağırlık (g) | Toprak nemi (%) |
| 1  | 1            | 60                        | 2,49     | 2,95          | 0,30        | 13,68           |
| 2  | 50           | 30                        | 2,64     | 3,69          | 0,29        | 15,81           |
| 3  | 50           | 30                        | 2,64     | 3,69          | 0,29        | 15,81           |
| 4  | 100          | 0                         | 0        | 0             | 0           | 10              |
| 5  | 1            | 0                         | 0        | 0             | 0           | 10              |
| 6  | 1            | 0                         | 0        | 0             | 0           | 10              |
| 7  | 100          | 0                         | 0        | 0             | 0           | 10              |
| 8  | 100          | 60                        | 1,30     | 3,00          | 0,04        | 14,45           |
| 9  | 50           | 30                        | 2,64     | 3,69          | 0,29        | 15,81           |
| 10 | 1            | 60                        | 2,49     | 2,95          | 0,30        | 13,68           |
| 11 | 100          | 60                        | 1,30     | 3,00          | 0,04        | 14,45           |
| 12 | 1            | 60                        | 2,49     | 2,95          | 0,30        | 13,68           |
| 13 | 50           | 30                        | 2,64     | 3,69          | 0,29        | 15,81           |

**A grubu (aşısız fermentasyon) gübrenin bitki gelişimi üzerindeki etkisinin incelenmesi için Minitab tarafından oluşturulan matris (Devamı)**

| #  | <i>Parametreler</i> |                           | <i>Çıktılar</i> |               |             |                 |
|----|---------------------|---------------------------|-----------------|---------------|-------------|-----------------|
|    | % Sıvı gübre        | Fermentasyon süresi (gün) | Boy (cm)        | Yaprak sayısı | Ağırlık (g) | Toprak nemi (%) |
| 14 | 100                 | 0                         | 0               | 0             | 0           | 10              |
| 15 | 100                 | 0                         | 0               | 0             | 0           | 10              |
| 16 | 50                  | 30                        | 2,64            | 3,69          | 0,29        | 15,81           |
| 17 | 1                   | 0                         | 0               | 0             | 0           | 10              |
| 18 | 50                  | 30                        | 2,64            | 3,69          | 0,29        | 15,81           |
| 19 | 100                 | 60                        | 1,30            | 3             | 0,04        | 14,45           |
| 20 | 1                   | 0                         | 0               | 0             | 0           | 10              |
| 21 | 1                   | 60                        | 2,49            | 2,95          | 0,30        | 13,68           |
| 22 | 100                 | 60                        | 1,30            | 3             | 0,04        | 14,45           |

**B grubu (anaerobik çamur aşılı fermantasyon) gübrenin bitki gelişimi  
üzerindeki etkisinin incelenmesi için Minitab tarafından oluşturulan matris**

| #  | <i>Parametreler</i> |                              | <i>Çıktılar</i> |                  |                |                    |
|----|---------------------|------------------------------|-----------------|------------------|----------------|--------------------|
|    | % Sıvı<br>gübre     | Fermantasyon<br>süresi (gün) | Boy<br>(cm)     | Yaprak<br>sayısı | Ağırlık<br>(g) | Toprak<br>nemi (%) |
| 1  | 1                   | 60                           | 2,40            | 0,20             | 11,44          | 3,73               |
| 2  | 50                  | 30                           | 2,77            | 0,34             | 19,57          | 3,64               |
| 3  | 50                  | 30                           | 2,77            | 0,34             | 19,57          | 3,64               |
| 4  | 100                 | 0                            | 0               | 0                | 10             | 0                  |
| 5  | 1                   | 0                            | 0               | 0                | 10             | 0                  |
| 6  | 1                   | 0                            | 0               | 0                | 10             | 0                  |
| 7  | 100                 | 0                            | 0               | 0                | 10             | 0                  |
| 8  | 100                 | 60                           | 0,75            | 0,00             | 13,61          | 2,00               |
| 9  | 50                  | 30                           | 2,77            | 0,34             | 19,57          | 3,64               |
| 10 | 1                   | 60                           | 2,40            | 0,20             | 11,44          | 3,73               |
| 11 | 100                 | 60                           | 0,75            | 0,00             | 13,61          | 2,00               |
| 12 | 1                   | 60                           | 2,40            | 0,20             | 11,44          | 3,73               |
| 13 | 50                  | 30                           | 2,77            | 0,34             | 19,57          | 3,64               |
| 14 | 100                 | 0                            | 0               | 0                | 10             | 0                  |
| 15 | 100                 | 0                            | 0               | 0                | 10             | 0                  |
| 16 | 50                  | 30                           | 2,77            | 0,34             | 19,57          | 3,64               |

**B grubu (anaerobik çamur aşılı fermantasyon) gübrenin bitki gelişimi üzerindeki etkisinin incelenmesi için Minitab tarafından oluşturulan matris (Devamı)**

| #  | <i>Parametreler</i> |                           | <i>Çıktılar</i> |               |             |                 |
|----|---------------------|---------------------------|-----------------|---------------|-------------|-----------------|
|    | % Sıvı gübre        | Fermantasyon süresi (gün) | Boy (cm)        | Yaprak sayısı | Ağırlık (g) | Toprak nemi (%) |
| 17 | 1                   | 0                         | 0               | 0             | 10          | 0               |
| 18 | 50                  | 30                        | 2,77            | 0,34          | 19,57       | 3,64            |
| 19 | 100                 | 60                        | 0,75            | 0             | 13,61       | 2,00            |
| 20 | 1                   | 0                         | 0               | 0             | 10          | 0               |
| 21 | 1                   | 60                        | 2,40            | 0,20          | 11,44       | 3,73            |
| 22 | 100                 | 60                        | 0,75            | 0             | 13,61       | 2,00            |

**C grubu (maya aşılı fermantasyon) gübrenin bitki gelişimi üzerindeki etkisinin incelenmesi için Minitab tarafından oluşturulan matris**

| #  | <i>Parametreler</i> |                           | <i>Çıktılar</i> |               |             |                 |
|----|---------------------|---------------------------|-----------------|---------------|-------------|-----------------|
|    | % Sıvı gübre        | Fermantasyon süresi (gün) | Boy (cm)        | Yaprak sayısı | Ağırlık (g) | Toprak nemi (%) |
| 1  | 1                   | 60                        | 1,87            | 0,27          | 12,35       | 2,48            |
| 2  | 50                  | 30                        | 1,95            | 0,13          | 23,35       | 2,13            |
| 3  | 50                  | 30                        | 1,95            | 0,13          | 23,35       | 2,13            |
| 4  | 100                 | 0                         | 0               | 0             | 10          | 0               |
| 5  | 1                   | 0                         | 0               | 0             | 10          | 0               |
| 6  | 1                   | 0                         | 0               | 0             | 10          | 0               |
| 7  | 100                 | 0                         | 0               | 0             | 10          | 0               |
| 8  | 100                 | 60                        | 1,40            | 0,00          | 19,17       | 2,00            |
| 9  | 50                  | 30                        | 1,95            | 0,13          | 23,35       | 2,13            |
| 10 | 1                   | 60                        | 1,87            | 0,27          | 12,35       | 2,48            |
| 11 | 100                 | 60                        | 1,40            | 0,00          | 19,17       | 2,00            |
| 12 | 1                   | 60                        | 1,87            | 0,27          | 12,35       | 2,48            |
| 13 | 50                  | 30                        | 1,95            | 0,13          | 23,35       | 2,13            |
| 14 | 100                 | 0                         | 0               | 0             | 10          | 0               |
| 15 | 100                 | 0                         | 0               | 0             | 10          | 0               |
| 16 | 50                  | 30                        | 1,95            | 0,13          | 23,35       | 2,13            |

**C grubu (maya aşıli fermentasyon) gübrenin bitki gelişimi üzerindeki etkisinin incelenmesi için Minitab tarafından oluşturulan matris (Devamı)**

| #  | <i>Parametreler</i> |                           | <i>Çıktılar</i> |               |             |                 |
|----|---------------------|---------------------------|-----------------|---------------|-------------|-----------------|
|    | % Sıvı gübre        | Fermentasyon süresi (gün) | Boy (cm)        | Yaprak sayısı | Ağırlık (g) | Toprak nemi (%) |
| 17 | 1                   | 0                         | 0               | 0             | 10          | 0               |
| 18 | 50                  | 30                        | 1,95            | 0,13          | 23,35       | 2,13            |
| 19 | 100                 | 60                        | 1,40            | 0             | 19,17       | 2,00            |
| 20 | 1                   | 0                         | 0               | 0             | 10          | 0               |
| 21 | 1                   | 60                        | 1,87            | 0,27          | 12,35       | 2,48            |
| 22 | 100                 | 60                        | 1,40            | 0             | 19,17       | 2,00            |

**D grubu (anaerobik çamur ve maya aşılı fermantasyon) gübrenin bitki gelişimi üzerindeki etkisinin incelenmesi için Minitab tarafından oluşturulan matris**

| #  | <i>Parametreler</i> |                           | <i>Çıktılar</i> |               |             |                 |
|----|---------------------|---------------------------|-----------------|---------------|-------------|-----------------|
|    | % Sıvı gübre        | Fermantasyon süresi (gün) | Boy (cm)        | Yaprak sayısı | Ağırlık (g) | Toprak nemi (%) |
| 1  | 1                   | 60                        | 2,58            | 0,35          | 17,85       | 3,39            |
| 2  | 50                  | 30                        | 2,78            | 0,22          | 25,15       | 3,38            |
| 3  | 50                  | 30                        | 2,78            | 0,22          | 25,15       | 3,38            |
| 4  | 100                 | 0                         | 0               | 0             | 10          | 0               |
| 5  | 1                   | 0                         | 0               | 0             | 10          | 0               |
| 6  | 1                   | 0                         | 0               | 0             | 10          | 0               |
| 7  | 100                 | 0                         | 0               | 0             | 10          | 0               |
| 8  | 100                 | 60                        | 1,40            | 0,04          | 24,46       | 3,33            |
| 9  | 50                  | 30                        | 2,78            | 0,22          | 25,15       | 3,38            |
| 10 | 1                   | 60                        | 2,58            | 0,35          | 17,85       | 3,39            |
| 11 | 100                 | 60                        | 1,40            | 0,04          | 24,46       | 3,33            |
| 12 | 1                   | 60                        | 2,58            | 0,35          | 17,85       | 3,39            |
| 13 | 50                  | 30                        | 2,78            | 0,22          | 25,15       | 3,38            |
| 14 | 100                 | 0                         | 0               | 0             | 10          | 0               |
| 15 | 100                 | 0                         | 0               | 0             | 10          | 0               |

**D grubu (anaerobik çamur ve maya aşılı fermantasyon) gübrenin bitki gelişimi üzerindeki etkisinin incelenmesi için Minitab tarafından oluşturulan matris (Devamı)**

| #  | <i>Parametreler</i> |                           | <i>Çıktılar</i> |               |             |                 |
|----|---------------------|---------------------------|-----------------|---------------|-------------|-----------------|
|    | % Sıvı gübre        | Fermantasyon süresi (gün) | Boy (cm)        | Yaprak sayısı | Ağırlık (g) | Toprak nemi (%) |
| 16 | 50                  | 30                        | 2,78            | 0,22          | 25,15       | 3,38            |
| 17 | 1                   | 0                         | 0               | 0             | 10          | 0               |
| 18 | 50                  | 30                        | 2,78            | 0,22          | 25,15       | 3,38            |
| 19 | 100                 | 60                        | 1,40            | 0             | 24,46       | 3,33            |
| 20 | 1                   | 0                         | 0               | 0             | 10          | 0               |
| 21 | 1                   | 60                        | 2,58            | 0,35          | 17,85       | 3,39            |
| 22 | 100                 | 60                        | 1,40            | 0             | 24,46       | 3,33            |

## TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

---

İletişim Bilgisi: [civelekh@hotmail.com](mailto:civelekh@hotmail.com)

### Makaleler

1. Civelek Yoruklu, H., Demir, A., Ozkaya, B. (2020). Kinetic-Based Extrapolating of Methane Production Potential for Seaweed/Food Waste Matrixes. International Journal of Global Warming.

### Bildiriler

1. Civelek Yoruklu, H., Demir, A., Ozkaya, B. (2017). Anaerobic Co-Digestion Kinetics of Food Waste and Macroalgae Depending on Inoculum to Substrate Ratio. *2nd International Conference on Viable Energy Trends (InVenT-2017)*.

### Projeler

1. Atık Deniz Yosunlarının Geri Kazanım Uygulamalarının Araştırılması Ve Sürdürülebilir Atık Yönetim Modelinin Geliştirilmesi, *Tübitak*.