



PRODUCTION OF EASILY BIODEGRADABLE BIOPLASTIC USING MICRO AND MACRO ALGAE: AN EXPERIMENTAL RESEARCH

Zekiye ÖZÜKAYA*

Ela GÜZEY**

*Ayhan Sümer Anadolu Lisesi, Ankara, MEB, zekiyeozukaya@gmail.com, ORCID: 0009-0006-9416-0428

**Ayhan Sümer Anadolu Lisesi, Ankara, MEB, elaguzey@gmail.com, ORCID: 0009-0003-5070-2684

Received Date: 28.11.2023 Revised Date: 03.01.2024 Accepted Date: 10.01.2024

Copyright © 2024 Zekiye ÖZÜKAYA, Ela GÜZEY. This is an open access article distributed under the Eurasian Academy of Sciences License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT

People's demands for plastic materials in the world are increasing day by day. However, due to the reusable nature of plastic materials, these wastes constitute one of the most important environmental problems. It takes an average of 450 years for a simple plastic to decompose in nature. Unless another material is used to replace them, plastics will continue to be a serious and unstoppable threat to our world. This means that our lands and seas are filled with plastic. For a sustainable environment, it is necessary to turn to bioplastics that are biodegradable, non-toxic and non-oil-based, renewable and environmentally friendly. Bioplastics are plastics obtained from renewable biomass sources. In this study, micro and macro algae, which occupy a large space in our ecosystem, can grow rapidly in all renewable biomass resources, and have a significant effect on carbon dioxide absorption, were preferred in the production of bioplastics. Features such as the fact that algae do not compete with food sources, that they can be produced even in wastewater, and that they dissolve quickly in nature are also reasons why they are preferred to obtain bioplastics. This research is an experimental study and the data of the research was collected using the observation technique. In the study, the efficiency of algae in absorbing carbon dioxide was measured and bioplastic was produced from algae. It has been observed how long it takes for bioplastic obtained from algae to decompose compared to the plastic used in our daily lives by leaving it in nature. Research results have shown that bioplastics made from algae decompose 1800 times faster in nature than the plastics used today. The results also showed that bioplastics made from algae are advantageous due to their high carbon dioxide absorption. Making bioplastics obtained from algae instead of petroleum-based plastics, which pose a serious problem in environmental pollution, seems promising for our planet.

Keywords: Plastic, Bioplastic, Algae, Ecosystem, Environmental Pollution.

MİKRO VE MAKRO ALGLER KULLANILARAK DOĞADA KOLAY ÇÖZÜNEBİLİR BİYOPLASTİK YAPIMI: DENEYSSEL BİR ARAŞTIRMA

ÖZET

Dünyada insanların plastik malzemelere olan talepleri her geçen gün artmaktadır. Ancak, plastik malzemelerin kullanılıp atılma özelliğinden dolayı bu atıklar en önemli çevre sorunlarından birisini oluşturmaktadır. Basit bir plastiğin doğada çözünmesi ortalama 450 yıl sürmektedir. Yerlerine başka bir malzeme kullanılmadığı sürece plastikler dünyamızda ciddi ve durdurulamaz bir tehdit olmaya devam edecektir. Bu da kararlarımızın ve denizlerimizin plastiklerle dolması anlamına gelmektedir. Sürdürülebilir bir çevre için doğada çözünen, toksik ve petrol bazlı olmayan, yenilenebilir ve çevre dostu biyoplastiklere



yönelinmesi gerekmektedir. Biyoplastikler, yenilenebilir biyokütle kaynaklarından elde edilen plastiklerdir. Bu çalışmada biyoplastik yapımında ekosistemimizde büyük yer kaplayan, bütün yenilenebilir biyokütle kaynaklarında hızlı çoğalabilen ve karbondioksit emiliminde önemli etkisi olan mikro ve makro algler tercih edilmiştir. Alglerin besin kaynakları ile rekabet etmemesi, atık sularda bile üretiminin yapılması ve doğada hızlı bir şekilde çözümleri gibi özellikleri de biyoplastik elde etmek için tercih nedenleridir. Bu araştırma deneysel bir araştırmadır ve araştırmanın verileri gözlem tekniği kullanılarak toplanmıştır. Çalışmada alglerin karbondioksit emilimindeki verimi ölçülerek alglerden biyoplastik üretimi yapılmıştır. Algden elde edilen biyoplastiğin günlük hayatımızda kullanılan plastiğe göre ne kadar zamanda çözüldüğü doğaya bırakarak gözlenmiştir. Araştırma sonuçları alglerden yapılan biyoplastiklerin günümüzde kullanılan plastiklere göre doğada 1800 kat daha hızlı çözüldüklerini göstermiştir. Sonuçlar ayrıca alglerden yapılan biyoplastiklerin karbondioksit emilimlerinin yüksek olmasının da üstünlük sağladığına işaret etmiştir. Çevre kirliliğinde çok önemli bir sorun oluşturan petrol bazlı plastiklerin yerine alglerden elde edilen biyoplastik yapımı gezegenimiz için umut verici görünmektedir.

Anahtar Kelimeler: Plastik, Biyoplastik, Alg, Ekosistem, Çevre Kirliliği

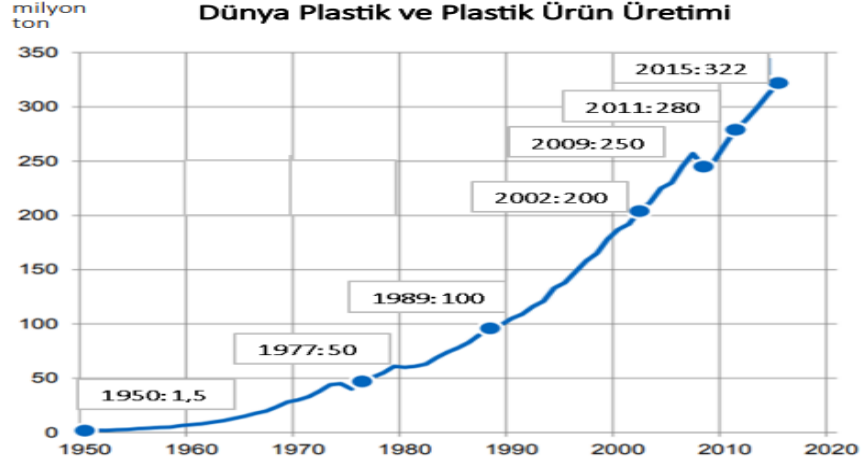
1. GİRİŞ

Günümüzde plastik atıklar iklim değişikliği ile beraber, en büyük iki çevre sorunundan biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Plastiklerin çok büyük bir bölümü çevreyi kirletmektedir. Plastiklerin çözünme süreleri yapıldıkları malzemeye, çevre şartlarına ve güneş ışığına bağlı olarak değişse dahi bu sürelerin çok uzun yıllar alması problemi daha da ciddi hale getirmektedir (Veri Kaynağı, 2024). Renkli plastik parçacıklarını yiyecek zannedip yiyen hayvanlar, midelerinden plastik çıkan ölmüş balinalar, burnuna plastik pipet takılı kalmış su kaplumbağaları, yediği plastik parçalardan dolayı ölen kuşlar gibi durumlar giderek daha fazla bir biçimde yaşanmakta ve plastik kaynaklı çevre kirliliğini daha görünür hale getirmektedir.

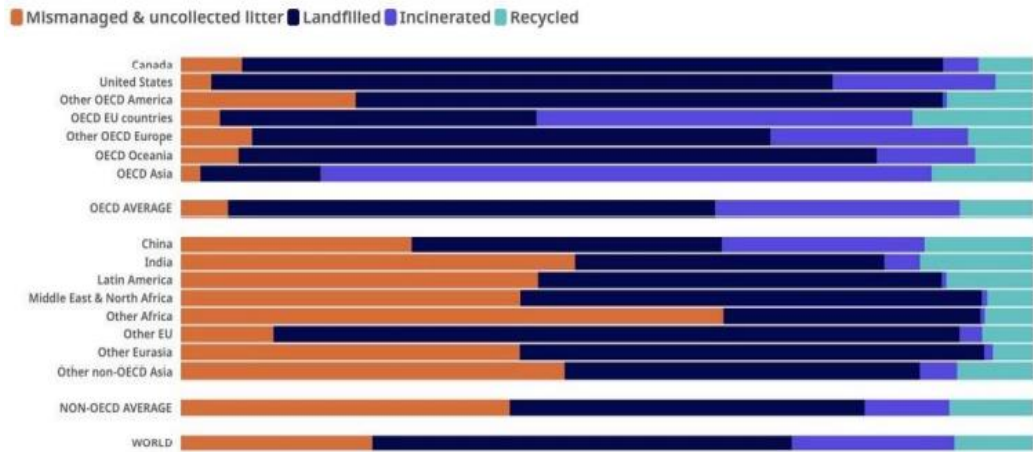
Plastiğin en sık tercih edilen ham maddesi petrol bazlı kaynaklardır. Plastik uzun moleküler zincirli sentetik veya yarı sentetik organik polimerlerdir ve plastiğin moleküler ağırlığı yüksektir. Plastikler ev ürünlerinden tıbbi cihazlara, inşaattan ambalajlamaya kadar hayatın hemen her alanında yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. Plastik malzemelerin tercih edilmesinin ardında yatan nedenler düşük maliyet, dayanıklılık, işlenebilirlik, esneklik ve sağlamlık özellikleridir (Atiwesh, 2021). Plastik malzemelere olan bu yüksek talep nedeniyle Şekil 1’de de görüldüğü gibi plastik üretimi her geçen yıl artmaktadır. 1970’lerde 50 milyon tonun altında olan dünya plastik üretimi 2015 yılında 320 milyon tonu aşmıştır. Plastik malzemelere karşı duyarlılığın ve farkındalığın artmış olmasına rağmen plastik üretiminin artmaya devam edeceği, dünya plastik üretimi miktarının 2050 yılında 1,2 milyar tona ulaşacağı öngörülmektedir (Sezgin, 2017). Petrol bazlı geleneksel plastiklerin çevreye yol açtığı zararlara ve üretimdeki artışa karşılık olarak plastik atıkların neden olduğu çevre sorunlarını çözecek bir uygulama henüz geliştirilmemiştir. Mevcut yıllık plastiğin üretimi için 200-400 milyon varil petrol kullanılmaktadır. Çoğunlukla tek kullanımlık olarak üretilen plastiklerin neredeyse yarısı çöpe gitmektedir (Şekil 2). Üretilen plastiklerin %22’si ise atık yönetim sistemlerinde kalmakta ve kontrolsüz çöp sahalarına gitmekte, açık ocaklarda yakılmakta veya karasal ve sucul ekosistemi bozarak kirletmektedir. Plastik atıkların sadece %9’u geri dönüştürülmektedir (OECD, 2022). Çöp olarak doğaya bırakılan bu plastiklerin parçalanması için çok uzun yıllar geçmesi gerektiğinden çevreye yayılmakta ve ciddi bir çevre sorunu oluşturmaktadırlar. Kara da ve denizde plastik kökenli kirlenme yaygınlaşmaktadır. Sentetik veya yarı sentetik kökenli lifler veya parçacıklar olan mikroplastikler ise deniz organizmaları tarafından yutma sırasında kolayca alınabilmekte ve bu canlılara zarar vermektedir (Soydan ve Yılmaz, 2022). Hem karadaki hem de



denizdeki plastikler insanlar, bitkiler ve hayvanlar için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Her yıl atık plastikler nedeniyle ölen kuşların ve memelilerin sayısının bir milyardan üzerinde olduğu tahmin edilmektedir (Serdar Mühendislik, 2024).

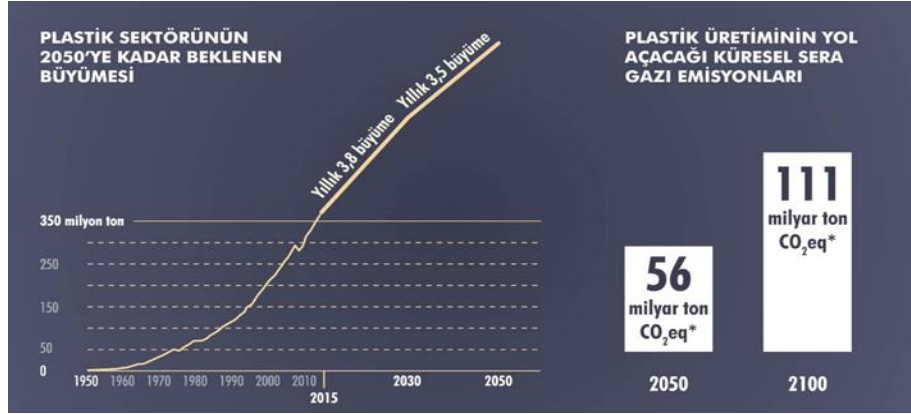


Şekil 1. Yıllara Göre Plastik Üretim Miktarları



Şekil 2. Plastik Atıklar

Plastiklerin atık olarak çevreye verdikleri zararın dışında fosil kaynaklar kullanılarak üretilmeleri nedeniyle üretim sırasında ortaya çıkan sera gazları da çevre için zarar verici bir etkiye sahiptir. Bu gazlar iklim değişikliğine ve küresel ısınmaya neden olmaktadır. Küresel sıcaklık artışını 1,5°C altında tutmak için 2050'ye kadar üretilmesi gereken azami sera gazı salımının 420 ile 570 milyar ton büyüklüğünde olduğu hesaplanmıştır. Bu miktarın 56 milyar tonunun sadece plastik üretimi nedeniyle olacağı tahmin edilmektedir. Diğer bir deyişle, küresel sıcaklık hedeflerinin tutturulabilmesi için kullanabileceğimiz karbon bütçesinin yüzde 10 ile yüzde 13'ünü plastik üretimi harcayacaktır (Şekil 3) (Eroğlu, 2021).



Şekil 3. Petrol Bazlı Plastiklerin Küresel Isınmaya Etkileri

Plastik üretimiyle ilgili bir diğer sorun da kaynakların sınırlı olmasıdır. Geleneksel plastik üretimi fosil kaynakların kullanılmasıyla elde edilmektedir. Fosil yakıt kaynaklarının 2050 yılına kadar tükeneceği tahmin edilmektedir. Bu da plastik üretiminin sürdürülebilirliğinin ortadan kalkmasına yol açabilir.

Plastik üretiminin ve kullanımının çevreye verdiği zararlar nedeniyle ve plastik üretilen kaynakların sınırlı olması nedeniyle malzeme üretebilmek için çevre dostu, doğada kolaylıkla parçalanabilen ve yenilenebilir kaynaklara ihtiyaç vardır. Bu ihtiyaca cevap verebilecek özellikleri taşıyan bir madde olarak biyoplastikler ön plana çıkmaktadır. Algler ise taşıdıkları pek çok avantaj nedeniyle biyoplastik üretmek için elverişli bir kaynaktır. Buradan hareketle çalışmada alglerin karbondioksit emilimindeki veriminin ölçülerek, çevre kirliliğine neden olan plastiğin yerine çevre dostu bir alternatif olan biyoplastiğin alg kullanarak elde edilmesi ve ayrıca, elde edilen biyoplastiğin doğada ve evde çözünme sürecinin gözlenerek geleneksel plastiğin çözünme süreciyle karşılaştırılması amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

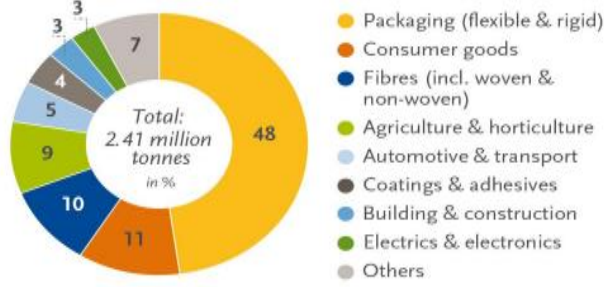
2.1. Biyoplastik

Biyoplastikler karbon kaynaklı yenilenebilir biyolojik ürünlerdir. Üretimleri için mısır, protein, şeker, lipit ve polisakkaritler veya mantarlar, algler ve bakteriler kullanılabilir. Biyoplastikleri tercih etmeyi gerektirecek pek çok neden sıralanabilir. Doğada biyobozunur olmaları, kendiliğinden çözünerek doğaya karışmaları, geri dönüşümlerinin zahmetsiz olması, çevre dostu olmaları, toksik olmamaları, yenilenebilir olmaları, daha az enerji kullanarak üretimlerinin mümkün olması bu nedenlerin önde gelenleridir. Sağladığı bu avantajlarla biyoplastikler petrol bazlı plastiklerin yerini alabilecek önemli bir alternatif oluşturmaktadırlar. Biyoplastiklerin üretiminin ve kullanımının artırılması sayesinde fosil yakıtların kullanımını azaltmak, atmosfer ve çevre tahribatını en düşük seviyeye indirmek ve geleceğe daha sağlıklı bir dünya bırakmak mümkün olabilecektir. Biyoplastik alanına olan ilgi ve yatırım artmakta ve biyoplastiklerin endüstriyel alanda, ambalaj malzemesi üretiminde ve tekstil sanayinde kullanımı artmaktadır. Bitkilerden üretilen naylonlar, lifler, elektronik, otomotiv, sağlık



ve spor gibi alanlarda biyoplastik ürünler yaygınlaşmaktadır (Pilatin, 2020). Aşağıda Şekil 4'te biyoplastik ürünlerin üretildikleri alanlar ve oranları gösterilmiştir.

Global production capacities of bioplastics in 2021 (by market segment)



Şekil 4. Biyoplastik Ürünlerin Üretildikleri Alanlar ve Oranları (Pogrell, 2022)

Günümüzde biyoplastikler ağırlıklı olarak mısır ve patates gibi karasal bitkilerden elde edilmektedir. Bu biyoplastiklere yönelik artan talep nedeniyle insanların yiyecek olarak kullandığı kaynakların birbirine rekabet yaratacağı tahmin edilmektedir. Aynı zamanda, tarımsal ürünlerden biyoplastik üretimi, verimli geniş arazi alanlarını, suyu ve besin maddelerini tüketecektir. Bu, biyoplastiklere karşı yaygın olarak kullanılan bir argümandır.

Bitkiler dışında bakteriler kullanılarak biyoplastik üretimi de iyi bilinen ve yaygın olarak kullanılan bir diğer kaynaktır. Klebsiella aerogenes rekombinantları, bacillus megaterium ve pseudomonas aeruginosa gibi çok sayıda bakteri türü hücrelerinde karbon ve enerji kaynağı olarak hücre içi polihidroksialkanoat (PHA) granülleri üretir. PHA biyolojik olarak sentezlenmiş bir plastiktir. PHA sentetik plastiklere benzer fiziksel özelliklere sahiptir. Dahası, PHA yenilenebilir kaynaklardan üretildiğinden çevre dostudur ve atıldığında mikroorganizmalar tarafından parçalanarak kolayca çözünmektedir. Bu avantajlarla birlikte bakterilerden biyoplastik üretiminin önünde bazı bariyerler de bulunmaktadır. Bakteri kültürlerinde belirli koşullara ihtiyaç duyulması, özel aparat ve altyapı gereği ve kontaminasyon riski bu bariyerlerin bazılarıdır (Soydan ve Yılmaz, 2022).

Ancak biyoplastikler sadece gıda kaynaklarıyla üretilmek zorunda değildir. Yukarıda bahsedilen biyoplastiklerin dezavantajlarını kapsamayan, gıda kaynaklarıyla rekabet etmeyen, atık kaynaklar üzerinde büyüme kabiliyetine sahip olan, verimli arazi olmaksızın çoğalabilen, çoğalma hızı ve kolaylığı ile diğer kaynakların önüne geçen ve yüksek lipid birikimi sağlayabilen algler biyoplastik üretimi için potansiyel olarak daha iyi bir biyokütle kaynağı olarak ön plana çıkmaktadır.

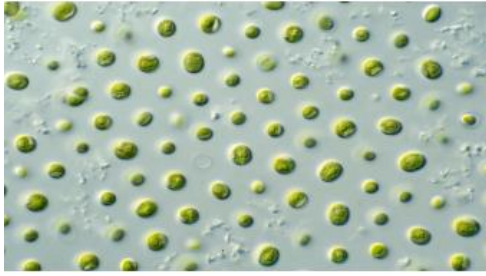
2.2. Biyoplastik Üretiminde Alglerin Kullanımı

Algler, fotosentetik, klorofil içeren basit ototrof organizmalardır. Yeryüzünün her yerinde bulunabilirler dahi %70 oranında deniz, göl ve nehir gibi su içerisinde yaşamaktadırlar. Karada ise toprak, ağaç ve kayalara tutunarak yaşayabilirler. Çok zorlu koşullarda yaşamda kalma kabiliyetleri vardır. Buzla kaplı alanlarda olduğu gibi 70°C



sıcaklıkta da yaşayabilmektedirler. Çok tuzlu su ortamlarında ve düşük ışık yoğunluğu altında yaşayabildikleri gibi ve yüksek basınç altında da yaşayabilmektedirler. Mikroalg olarak sınıflandırılan siyanobakteriler ve diyatomlar örneklerinde görülebileceği gibi tek hücreli olabildikleri gibi makroalg olarak sınıflandırılan kelp yosunu örneğinde görülebileceği gibi çok hücreli formları da bulunmaktadır. Algler gruplar halinde koloni oluşturabilmektedirler. Alglerin boyutları 3-10 μ ila 70cm arasında olabilmektedir. Bir gün içerisinde 50cm uzayabilirler (Pilatin, 2020).

Mikroalgere (Şekil 5) fitoplankton ve makroalgere (Şekil 6) deniz yosunu denir. Makroalgler ve mikroalgler arasındaki temel fark, makroalglerin aralarında büyük bir çeşitlilikten oluşan basit, ototrofik organizmalar olması, mikroalglerin ise mikroskobik alg türü olmasıdır. Bu iki alg türü de biyoplastik oluşturma potansiyeline sahiptir.



Şekil 5. Makroalg



Şekil 6. Mikroalg

Algler sağlık, kozmetik, biyoyakıt, gübre ve biyoplastik gibi ürünlerin yapımında kullanılabilir. Ancak, alglerin bilinen en etkili özellikleri çoğalma hızları ve atmosferdeki CO₂'yi fotosentez yoluyla diğer bitkilere kıyasla 200 kata kadar daha fazla emerek oksijen üretmeleridir. Oksijen üretiminin 70'inden sorumludurlar (Fermentalg, 2013).

Alglerin kimyasal bileşenlerinin protein, lipid, yağ asitleri, karbonhidrat, gliserol, doğal pigmentler ve canlılar için gerekli olan amino asitler açısından zengin oldukları görülmektedir. Alglerin ayrıca vitamin ve minerallere de sahip oldukları saptanmıştır. Algler polisakkaritler ve polifenoller gibi antibakteriyel ve antifungal ve antiviral özelliğe sahip biyoaktif maddeler de içermektedirler. Ancak alglerin esas kısmını polisakkaritler oluşturmaktadır ki bu biyoplastik üretiminde kullanılan temel unsurdur. Algler büyürken biyoplastik üretimi için biyomateryal veya bağlayıcı ajan olarak kullanılabilen polisakkaritler üretirler. Polisakkaritler, glikozit bağlarla birbirine bağlanmış basit şekerler olarak bilinen monosakkaritlerin stabilizatör, koyulaştırıcı ve emülgatör özellikteki polimerleridir (Özdemir, 2013).

Alglerden biyoplastik üretilirken ya doğrudan algler ya da alglerden elde edilen agar-agar, karragen ve aljinat gibi maddeleri kullanılmaktadır. Agar-agar, bazı kırmızı alglerden elde edilen kuru ve şekilsiz bir karbonhidrattır. Agar-agar, kaynatılınca akıcı hale gelirken soğutulunca jel haline gelir. Gelidium, Gracilaria, Hypnea, Pterocladia, Phylloplora gibi denizlerde yaşayan alglerden agar-agar elde edilebilir. Bu türdeki algler Türkiye'nin etrafındaki denizlerde de yaşamaktadır (Pilatin, 2020).

Karragen bir polisakkarittir ve kimyasal yapısı agar-agar'a çok benzerdir. Karragen ağartma ve kurutma yoluyla kırmızı alglerden filtrasyon yöntemiyle elde edilir. Karragen Gigartina türündeki alglerden elde edilebilmektedir ve bu türdeki algler ülkemiz denizlerinde bulunmaktadır (Pilatin, 2020).



Aljinat esmer alglerden elde edilmektedir. Aljinat'ın bileşimindeki Na⁺, K⁺ ve Mg⁺⁺ tuzları ve suda erimeyen ağır metaller plastik madde elde etmeye olanak sağlamaktadır. Aljinat ısıtılınca yumuşak hale gelirken kurutulduğunda sertleşir. Bununla birlikte, aljinat sıcakta koagülasyona uğramaz ve soğukta ise jel haline gelmez. Bu özellikleri nedeniyle aljinnattan boya, tekstil, kağıt, plastik, metalurji ve deri endüstrisinde apre edici, emülsiyon sağlayıcı olarak yararlanılmaktadır (Pilatin, 2020).

Alglerin biyoplastik yapımında kullanılmasının diğer biyokütlelere kıyasla çok sayıda avantajı vardır. Algler pestisitlere veya geniş arazi kullanımına ihtiyaç duymadan küçük, verimsiz alanlarda yetiştirilebilir. Diğer biyokütlelere kıyasla hızlı büyür, hasat edilmesi kolay ve ucuzdur. Ayrıca, alg patlamaları olarak bilinen hızlı artışlar, bazen salınan zararlı toksinler nedeniyle deniz canlılarının ölümlere neden olduğundan, okyanuslar gibi su ortamlarında bulunan fazla alglerin biyoplastik yapımı için kullanılması, balıkları ve diğer deniz yaşamının potansiyel olarak kurtarıcı özelliğe sahiptir. Bu özelliklerin yanında alglerin en çok bilinen özelliklerinin başında CO₂ emilimlerinin yüksek olması gelmektedir. Algler hem hızlı ve yüksek miktarda CO₂ emerler hem de CO₂'yi kalıcı olarak depolayabilmeleri sayesinde CO₂'nin atmosfere geri gitmesini engelleyerek sera etkisini azaltırlar (Pilatin, 2020).

3. YÖNTEM VE MATERYAL

Araştırmanın problemi; petrol bazlı plastiklerin çevre kirliliği yaratmasıdır. Belirlenen bu problemle ilgili literatür taraması yapılmıştır. Konuyla ilgili raporlar, makaleler, haberler, yüksek lisans ve doktora tezleri taranmıştır. Geleneksel plastiklerin çevreye verdiği zararlarına çözüm ararken, biyolojik olarak parçalanabilen, çevre dostu, karbondioksit emilimleri yüksek ve sürdürülebilir alternatif bir hammadde olarak alglerin potansiyelinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Buradan yola çıkarak biyoplastiklerin özellikleri ve alglerden biyoplastik üretimi ile ilgili literatür çalışması yapılmıştır. Ayrıca, bu araştırmanın konusuyla ilgili daha önce araştırma yapmış olan Mimar Teknoloji Uzmanı Kathryn Larsen ile görüşülerek bilgi alınmıştır.

Bu araştırmanın amacına uygun olarak alglerin CO₂ emilimindeki verimini göstermek, biyoplastik yapımı için uygun olduklarını oryaya koymak ve doğada çözümlenmelerinin geleneksel plastiklere göre çok daha hızlı olduğunu bilimsel olarak tespit etmek için deney yöntemi seçilmiştir. Gerçekleştirilen deney aşamaları gözlemlenmiş ve çeşitli elektronik araçlar kullanılarak kayıt edilmiştir.

Bu çalışmada mikroalg olarak spirulina kullanırken, makroalg olarak wakame deniz yosunu kullanılmıştır. Spirulina, genellikle mavi-yeşil algler olarak adlandırılan tek hücreli mikrop ailesinden bir siyanobakteri türüdür ve hem tatlı hem de tuzlu suda yetişebilmektedir. Bitkilere benzer biçimde siyanobakteriler de fotosentez yoluyla güneş ışığından enerji üretmektedirler (Leech, 2022). Wakame (*Undaria pinnatifida*) ise yeşil kahverengi alg ailesinde bulunan, Japon mutfağında yaygın olarak kullanılan yenilebilir bir deniz yosunu türüdür. Wakame Avustralya'da yabani olarak yetişmesine rağmen dünyanın birçok bölgesinde yetiştirilebilmektedir (Masterclass, 2021).

3.1. Deney Çalışması

Araştırmanın deney süreci 3 aşama gerçekleştirilmiştir:

Deneyin Birinci Aşaması: Alglerden Karbondioksit Emilimi

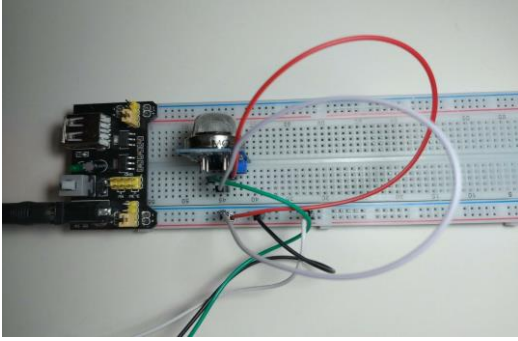


İlk aşamada algilerin değişkenlerle karşılaştırılarak, karbondioksit emilimindeki verimin ölçülmesi amaçlanmıştır. Bu aşamada kullanılan materyaller şunlardır:

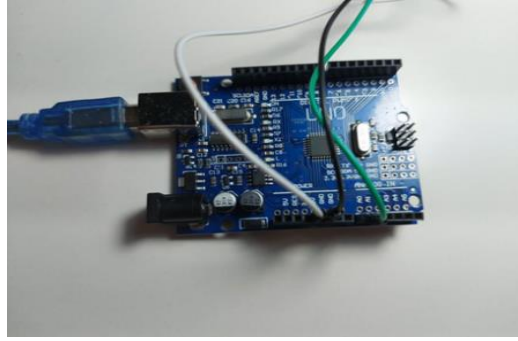
- Arduino
- Mq 135 CO2 sensör
- 3.3 / 5 V breadboard güç kartı
- Breadboard
- Renkli breadboard kabloları
- Mikroalg kültürü
- Beherglass

Projede ölçülmek istenen CO₂ değerlerini bulabilmek için MQ 135 karbondioksit sensörü kullanılmıştır. Bu sensörü breadboard üstüne, kullanılan koda uygun olacak şekilde yerleştirilmiştir. Breadboardun üstüne aynı zamanda verilen voltajı ayarlamak için güç kartı takılmıştır. Güç kartı prizden gelen voltajı 5 volta eşit olacak şekilde ayarlayarak sisteme gerektiği kadar güç vermiştir.

Hazırlanan breadboard düzeneği arduinonun analog çıkışına bağlanarak bilgisayardan verilerin elde edilmesi sağlanmıştır. Bu bağlantı renkli breadboard kabloları ile sağlanmıştır.



Şekil 7. Breadboard bağlantısı



Şekil 8. Arduinonun bağlantısı

Breadboard ile arduino arasındaki bağlantı kablolar aracılığıyla sağlandıktan sonra arduinoyu USB çıkışından bilgisayara bağlayarak arduino uygulaması ve kod uygulanabilir hale gelmiştir.

Sensor düzeneğinin hazırlıkları tamamlandıktan sonra bilgisayara arduinoyu çalıştıracak uygulama indirilmiştir. Bu uygulamaya proje için hazırlanan arduino elektronik giriş çıkış (I-O) kartına uygun kod yüklenmiş ve çalıştırılmıştır. Proje için hazırlanan kod kullanılarak sistem çalıştırılmıştır.



```

co2ppm_meter | Arduino 1.8.19
co2ppm_meter 5
#define anInput    A0
#define co2Zero    55

void setup()
{
  pinMode(anInput,INPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  int co2now[10];
  int co2raw = 0;
  int co2ppm = 0;
  int zzz = 0;

  for (int x = 0; x<10; x++)
  {
    co2now[x]=analogRead(A0);
    delay(200);
  }

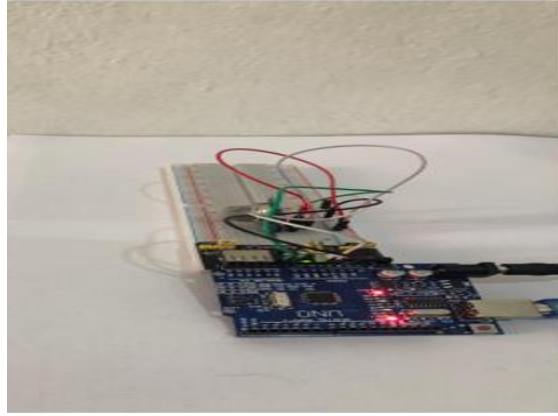
  for (int x = 0; x<10; x++)
  {
    zzz=zzz + co2now[x];
  }

  co2raw = zzz/10;
  co2ppm = co2raw - co2Zero;
}

```

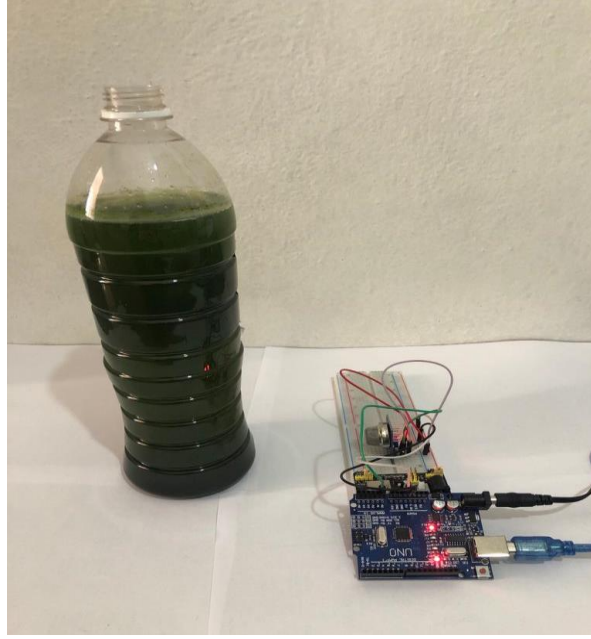
Şekil 9. CO₂ sensörü için hazırlanan kod

Deney, ev ortamında (yaklaşık 21 derece sıcaklıkta) gerçekleştirilmiştir. Deney düzenek hazırlanarak, değişkenlerle 3 farklı ölçüm yapılarak gerçekleştirilmiştir. İlk ölçüm, oda koşullarında, 21 derece sıcaklıkta, alg ve bitki kültürünün bulunmadığı bir odada gerçekleştirilmiştir. Deney saat 13.06 de başlamış ve 13.12 de sona ermiştir. Sensör çalıştırılarak bilgisayara bağlanmış ve CO₂ gazı verilmeden önceki değer ölçülmüştür. Veriler kaydedildikten sonra sensöre çakmak yardımıyla CO₂ gazı verilmiştir. Ortamdaki gaz artışı ve zaman kaydedildikten sonra CO₂ miktarının eski haline (çakmak yakılmadan önceki değerine) dönmesi için aradan geçen zaman ölçülmüş ve kaydedilmiştir (Şekil 10).



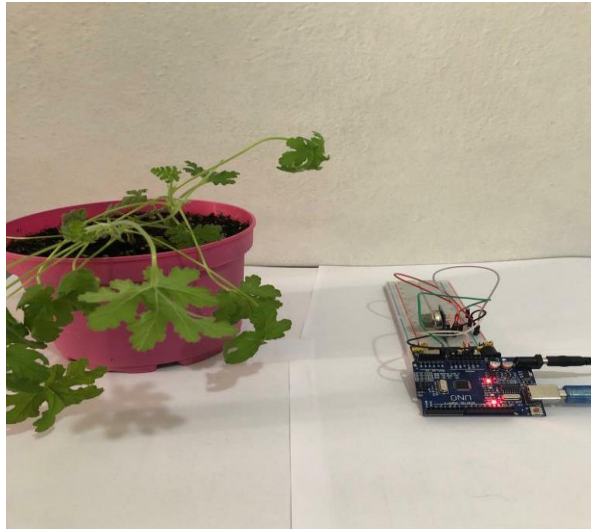
Şekil 10. CO₂ Miktarının Eski Haline Dönmesinin Ölçülmesi

İkinci ölçümde alg kullanılarak karbondioksit emilimi ölçülmüştür. Bu doğrultuda deney oda koşullarında, 21 derece sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Deney saat 13.22'de başlamış ve 13.22'de sona ermiştir. Odada ilk ölçümdeki CO₂ gazı verilmeden önceki ölçülen değerle başlanmıştır. Aynı değerle başlanarak tekrardan odaya çakmak yardımıyla CO₂ gazı verilmiş ve gaz artışı ile zaman kaydedilmiştir. Alglerin bulunduğu ortamdaki değerlerin daha hızlı bir şekilde eski haline döndüğü tespit edilerek veriler kayıtl edilmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. CO₂ Miktarının Eski Haline Dönmesinin Ölçülmesi

Üçüncü ölçüm, oda koşullarında, 21 derece sıcaklıkta, bitki kullanarak gerçekleştirilmiştir. Deney saat 13.35 de başlamış, 13.38 de sona ermiştir. Odada birinci ölçümdeki CO₂ gazı verilmeden önceki ölçülen değerle başlanmıştır. Aynı değerle başlanarak tekrardan odaya çakmak yardımıyla CO₂ gazı verilip, gaz artışı ile zaman kaydedilmiştir (Şekil 12).



Şekil 12. CO₂ Miktarının Artışının Ölçülmesi

Deneyin İkinci Aşaması: Makroalg ve mikroalg kullanarak biyoplastik elde etme.

Bu aşamada makro ve mikro alglerden biyoplastik elde etmek amaçlanmıştır. Deneyin bu aşamasında kullanılan malzemeler aşağıda listelenmiştir:

- Agar agar tozu (5gr)
- Wakame kurutulmuş deniz yosunu (5gr)



- Spirulina toz mikroalg (5gr)
- Bitkisel gliserin (5m)
- Su (240 ml)

Bu aşamada ilk olarak mikroalgden biyoplastik elde etmek için; gliserin, agar-agar, su ve spirulina toz kullanılmıştır. Makroalgden biyoplastik elde edilirken ise; agar-agar, gliserin, su ve wakame kurutulmuş deniz yosunu kullanılmıştır. Elde edilen karışımlar kuruduktan ve biyoplastik oluştuktan sonra deneyin gözlem aşamasına geçilmiştir.

Proje için hazırlanan karışım tarifi uygulanarak deney yapılmıştır. İlk olarak, spirulina mikroalg tozu karışımının hazırlanması gerçekleştirilmiştir. Bir kabın içine 240 ml musluk suyu konulmuştur. Suyun içine sırası fark etmeksizin 5 gram agar-agar tozu, 5 ml bitkisel gliserin ve spirulina tozu eklenmiştir (Şekil 13). Malzemeler karıştırılarak kaynayana kadar ısıtılmıştır (Şekil 14).



Şekil 13. Suya Malzemelerin katılması

Şekil 14. Malzeme Katılmış Suyun Isıtılması

Malzemeler karıştırılarak kaynayana kadar ısıtılmıştır (Şekil 15). Kaynama sıcaklığına geldiğinde kalıplara dökülerek soğuması ve kuruması için kuru bir ortamda bekletilmiştir (Şekil 16).



Şekil 15. Malzeme Katılmış Suyun Kaynatılması

Şekil 16. Kapa Alınarak Soğutulması

Makroalg biyoplastik yapımı için ise wakame kurutulmuş deniz yosunu karışımının hazırlanması gerçekleştirilmiştir. Mikroalgden biyoplastik elde edilirken uygulanan bütün adımlar aynı ölçüde tekrarlanarak bir kabın içine 240 ml musluk suyu konulmuştur (Şekil 17). Suyun içine sırası fark etmeksizin 5 gram agar-agar tozu, 5 ml bitkisel gliserin ve wakame kurutulmuş deniz yosunu eklenmiştir (Şekil 18).



Şekil 15. Musluk Suyu Konulmuş Kaplar



Şekil 16. Suyu Deniz Yosunu Eklenmesi

Malzemelerin karıştırma ve kaynatma işlemleri aynı sıcaklıkta tekrarlanmış ve kaynama sıcaklığına geldiğinde farklı kalıplara dökülerek kuruması için kuru bir ortamda bekletilmiştir (Şekil 19).



Şekil 17. Malzemenin Kurutulması

Deneyler sonucunda elde edilen mikroalg (Şekil 20) ve makroalg (Şekil 21) biyoplastikler kurduktan sonra kalıplardan çıkartılıp, kullanıma hazır hale gelmiştir.



Şekil 20. Mikroalg Biyoplastik



Şekil 21. Makroalg Biyoplastik



Deneyin Üçüncü Aşaması: Elde edilen biyoplastiğin doğada ve evde çözünme süreçlerinin gözlenmesi

Elde edilen biyoplastiklerin farklı ortamlarda çözünme sürecinin ve süresinin tespit edilmesi amacıyla her iki biyoplastik örneği de ev ortamı ve harici koşullar olmak üzere iki farklı koşulda test edilmiştir (Şekil 22).



Şekil 22. Biyoplastik Örneklerin Ev Ortamı ve Harici Koşullarda Test Edilmesi

İlk olarak; plastiğin doğada çözünme sürecini taklit etme amacıyla gözlem için dışarıda, yağmur ve güneş ışığı alan bir ortam seçilmiştir. Toprağın üzerine mikro ve makro alglerden elde edilen biyoplastik örnekleri yerleştirilmiştir. Biyoplastik örnekleri tamamen çözünene kadar dışarıda tutulmuş, elde edilen gözlemler detaylı bir şekilde raporlanmıştır. Gözleme 25.08.2022 tarihinde başlanmıştır. Gözlem süresince mikroalgden (Şekil 23) ve makroalgden (Şekil 24) elde edilen biyoplastik örnekleri aynı ortamda tutulmuştur.



Şekil 23. Mikroalg Biyoplastik



Şekil 24. Makroalg Biyoplastik

Gözlemler biyoplastikler tamamen çözünene kadar (ortalama 2 ay) devam etmiştir. Son gözlem 24.10.2022 tarihinde yapılmış ve algal biyoplastiklerin tamamen çözündüğü gözlemlenmiştir. Mikroalg (Şekil 25) ve makroalg (Şekil 26) biyoplastiklerin çözünmeden önceki son gözlemi 10.10.2022 tarihinde yapılmıştır.



Şekil 25. Mikroalg Biyoplastik



Şekil 26. Makroalg Biyoplastik

Mikroalg (Şekil 27) ve makroalgden (Şekil 28) elde edilen biyoplastik doğaya çözülmeye bırakılırken, kullanıma elverişliliğini ölçmek için aynı zamanda evde de kuru oda sıcaklığında bir ortama bırakılarak 25.08.2022 tarihinde gözlem yapılmaya başlanmıştır.

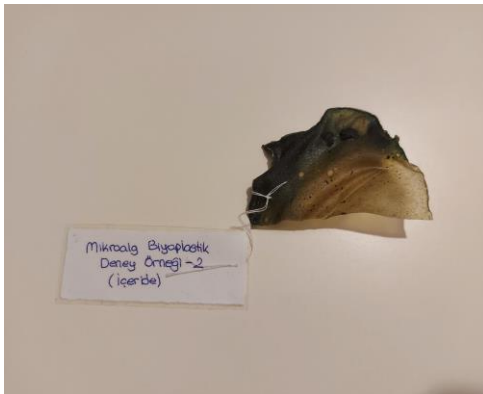


Şekil 27. Mikroalg Biyoplastik



Şekil 28. Makroalg Biyoplastik

Evde mikroalg (Şekil 29) ve makroalg (Şekil 30) biyoplastiklerde gözlem, doğada çözünme bittikten sonra da kullanışlılığını tespit etmek için 10.01.2023 tarihine kadar devam etmiştir.



Şekil 29. Mikroalg Biyoplastik



Şekil 30. Makroalg Biyoplastik



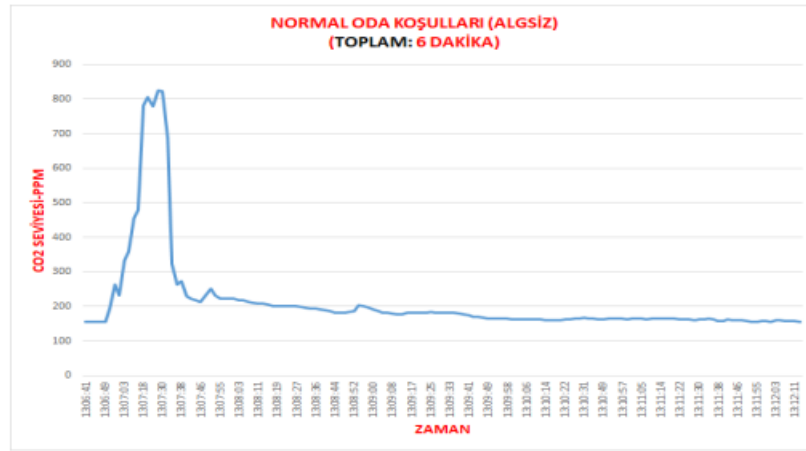
Deneyler ve gözlemler sonucunda istenilen bulguların elde edilmesiyle bulguların değerlendirilme aşamasına geçilmiştir.

4. BULGULAR

4.1. Karbondioksit Emilimiyle İlgili Bulgular

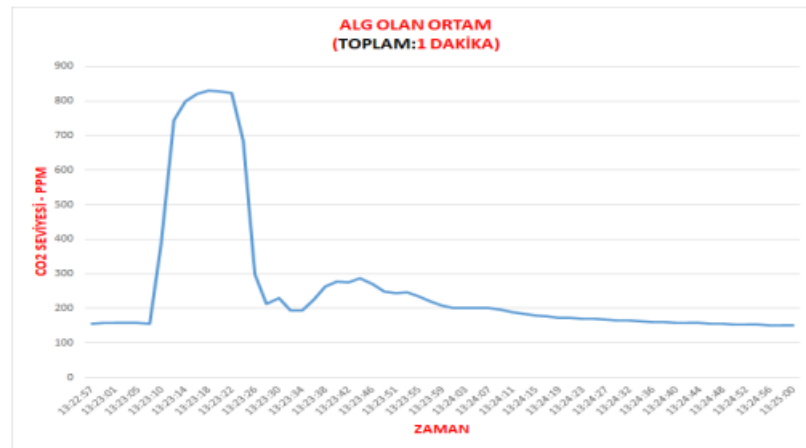
Yapılan 3 farklı deneyin ölçümü sonucunda istenilen verim elde edilerek alglerin bulunduğu ortamın CO₂ seviyesini her iki değişkenden fazla etkilediğini ve bu sayede büyük bir verim elde edildiği tespit edilmiştir.

Alglerin ve bitkilerin bulunmadığı oda koşullarında yapılan ölçüm sonucunda, saat 13.06 da yükseltile CO₂ değerinin, saat 13.12'de eski haline dönmesi 6 dakika sürmüştür (Şekil 31).



Şekil 31. CO₂ değerinin Normale Dönüşünün Gözlemlenmesi

Alglerin bulunduğu ortamda yapılan ölçüm sonucunda, saat 13.22 de yükseltile CO₂ değerinin saat 13.23'te eski haline dönmesi 1 dakika sürmüştür (Şekil 32).



Şekil 32. CO₂ değerinin Normale Dönüşünün Gözlemlenmesi

Yeşil bitkinin bulunduğu ortamda yapılan ölçüm sonucunda, saat 13.35 de yükseltile CO₂ değerinin saat 13.38'de eski haline dönmesi yaklaşık 3 dakika sürmüştür (Şekil 33).



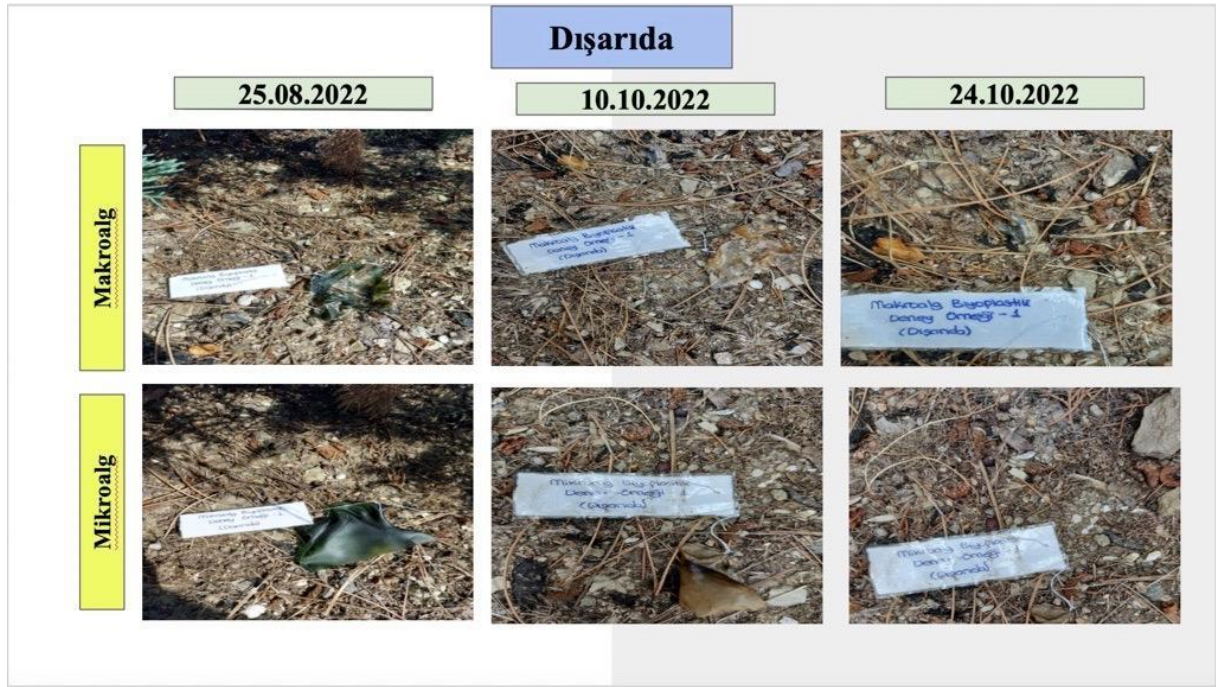
Şekil 33. CO₂ değerinin Normale Dönüşünün Gözlemlenmesi

CO₂ emilimiyle ilgili deney bulguları özetlenecek olursa, aynı koşullarda aynı miktarda CO₂'in normel seviyelere inmesi alglerin ve bitkilerin bulunmadığı oda koşullarında 6 dakika, yeşil bitkinin bulunmadığı oda koşullarında 3 dakika, alglerin bulunduğu oda koşullarında ise 1 dakika sürmüştür. Bu bulgular alglerin CO₂ emiliminin yüksek olduğu öngörüsünü desteklemektedir.

4.2. Elde Edilen Biyoplastiğin Doğada ve Evde Çözünmesiyle İlgili Bulgular

Yapılan deney sonucunda elde edilen biyoplastiklerin çözünme süreci 25.08.2022 tarihinde izlenmeye başlanmış ve 10.01.2023 tarihinde sona ermiştir.

Dışarıda yapılan gözlemlerde biyoplastiklerin verilen tarihler arasında tamamen çözüldüğü gözlenmiştir (Şekil 34).



Şekil 34. Dışarıda Bırakılan Biyoplastiğin Çözünme Süreci



Evde (oda koşullarında) yapılan gözlemlerde biyoplastik örneklerinin verilen tarihler arasında, dışarıda çözünen biyoplastiklere göre bir değişikliğin görülmediği, yalnızca renklerinin açıldığı ve kullanıma uygun olduğu tespit edilmiştir (Şekil 35).



Şekil 35. Ev Ortamındaki Biyoplastiğin Çözünme Süreci

Bu araştırma kapsamında alglerden üretilen biyoplastik örneklerinin ev ortamında ve harici ortamlarda çözünerek doğaya karışma hızlarının petrol bazlı plastiklere oranla çok daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Biyoplastik örneklerinin petrol bazlı plastiklere oranla yaklaşık olarak 1800 kat daha hızlı bir biçimde çözüldükleri saptanmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Endüstriyel ve bilimsel devrimlerden bu yana, dünyanın kaynakları tükenmeye devam etmektedir. Nüfusun tüketim ihtiyacı arttıkça, doğal kaynakların kullanımı ve bu tüketimin ürettiği atık miktarı da artmaktadır. Bilinçsizce kaynak kullanımı devam ettiği sürece doğaya verilen zarar gün geçtikçe artmaya devam edecektir. Günümüzde küresel ısınmaya ve çevresel faktörlerin bozulmasına en fazla yol açan sorunlardan birisi plastik kirliliğidir. Hem üretimi sırasında atmosfere kontrolsüz ve fazlaca salınan karbondioksit gazının iklim değişikliğine sağladığı olumsuz etki hem de insanlar tarafından tüketildikten sonra geri dönüşümü sağlanmadığı sürece yol açtığı çevre kirliliği her açıdan dünyamızda geri dönüşü olmayan değişimlere sebep olmaktadır.

Plastiğin getirdiği zararları gidermek amacıyla uygulanması gereken geri dönüşüm protokolleri, plastiğin üretim miktarının yanında yetersiz kalmaktadır. Yapılan araştırmalara göre plastik atıkların sadece %9'u geri dönüştürülmektedir. Geriye kalan miktar bir şekilde doğaya karışarak çevreye geri dönüşü olmayan zararlar vermektedir. Yaşamın her alanında kullanılan bir maddeyi birden hayatın içerisinden çıkartmak zor olabilir. Ancak, plastiğin daha az zararlı olan alternatifleriyle değiştirilmesi daha olasıdır. Doğaya zarar vermeyecek, üretimi verimli ve kolay olan, doğada çözünmesi petrol türevi plastiklere göre çok daha kısa olan biyoplastiklerin geleneksel plastiklerin yerini alabileceği ve petrol türevi plastiklerin getirdiği zararları ortadan kaldırdığı tespit edilmiştir. Biyoplastik üretiminde birçok doğal malzemenin kullanılmasına rağmen



çoğunun getirdiği ortak sorunlar vardır. Bunlardan birkaçı; hammadde üretim süresinin uzunluğu ve yetiştirilmesi için gereken verimli azlığıdır. Ancak bu sorunlara çözüm getirilebilecek ve normalden de fazla verim sağlayabilecek bir canlı vardır. Bu canlı Türkiye'deki tatlı ve tuzlu sularda da yaşayan Alglerdir. Alglerin diğer bitkilere göre daha hızlı çoğalmaları, verimli toprağa ihtiyaç olmadan yetiştirilebilmeleri, yetiştirilirken CO₂ emilimine katkı sağlamaları ve doğada kısa sürede çözümleri bu bitkileri değerli bir seçenek haline getirmektedir. Bu araştırmadan elde edile bulgular alglerin CO₂ emilimine katkı sağlamaları ve doğada kısa sürede çözümleri gerçeğini desteklemiştir. Deneylede tespit edilen verimlerini göz önünde bulundurarak, alglerin biyoplastik üretiminde kullanılmasının geleneksel plastik üretimi kaynaklı çevre sorunlarına bir çözüm olacağı düşünülmektedir. Korunmuş ve sürdürülebilir bir çevre için ve küresel çevre sorunlarına yeşil bir çözüm için alglerden üretilecek biyoplastiklerin kıymetli bir seçenek olduğu değerlendirilmektedir.

REFERENCES

- Atiweh, G. (2021). Environmental impact of bioplastic use: A review. *Heliyon*, 1-9.
- Eroğlu, D. (2021). *İklim değişikliği: Karbon bütçesinin yüzde 13'ü plastıklere mi gidecek? Plastiğin Yolculuğu*. <https://plastigin yolculugu.com/karbon-butcesi-plastiklere-mi/>, Erişim Tarihi: 20.01.2024.
- Fermentalg. (2013). *Fransa*, Libourne Patent No. 20130171702.
- Leech, B. J. (2022). *10 Health Benefits of Spirulina*. <https://www.healthline.com/nutrition/10-proven-benefits-of-spirulina>, Erişim Tarihi: 20.01.2024.
- Masterclass (2021). *Wakame Seaweed: 3 Ways to Use Wakame in Your Cooking*. <https://www.masterclass.com/articles/wakame-seaweed-guide>, Erişim Tarihi: 20.01.2024.
- OECD. (2022, 02 22). Plastic pollution is growing relentlessly as waste management and recycling fall short, says OECD. OECD: <https://www.oecd.org/newsroom/plastic-pollution-is-growing-relentlessly-as-waste-management-and-recycling-fall-short.htm>
- Özdemir, N. & Erkmen, J. (2013). Yenilenebilir Biyoplastik Üretiminde Alglerin Kullanımı. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 3(8), 89-104.
- Pilatin, S. (2020). Biyoplastik Üretiminde Algler. P. D. Karapınar içinde, *Fen ve Matematik Bilimlerinde Güncel Araştırmalar* (s. 29-37). Montenegro: Ivpe.
- Pogrell, H. (2022). Nordic Bioplastic Conference 2022. *Bioplastics Market Data 2021 - 2026* (s. 1-19). Copenhagen: European Bioplastics.
- Serdar Mühendislik (2024). *Plastik Atık Geri Kazanımı*. <https://www.serdar.com.tr/tr/plastik-atik-geri-kazanimi-ankara>, Erişim Tarihi: 20.01.2024.
- Sezgin, A. Ş. (2017). *Plastik Sektörü*. Türkiye İş Bankası.
- Soydan, N. & Yılmaz, M. (2022). Alglerden Biyoplastik Üretimi. *Plastik & Ambalaj Teknolojisi*.
- Veri Kaynağı, (2024). Plastikler: Çevreyi Ne Ölçüde Kirletiyoruz? <https://www.verikaynagi.com/genel/plastikler-cevreyi-ne-olcude-kirletiyoruz>, Erişim Tarihi: 20.01.2024.