



T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ KOORDİNASYON BİRİMİ

**MARMARA DENİZİNDE ORTAYA ÇIKAN MÜSİLAJ İÇERİĞİNİN
ÖRNEKLENMESİ KARAKTERİZASYONU VE TANIMLANMASI İLE
GENİŞ PERSPEKTİFLİ ÇÖZÜM ÜRETMEK İÇİN ÜNİVERSİTE
ARAŞTIRMA ALTYAPISININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Proje No: FHD-2021-4587

Hızlı Destek Projesi

SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü: Prof. Dr. Didem ÖZÇİMEN

Kimya-Metalurji Fakültesi/Biyomühendislik Bölümü

Araştırmacılar:

Prof.Dr. Kutsal BOZKURT (Fizik)
Prof.Dr. Mehmet Sinan BİLGİLİ (Çevre Müh.)
Prof.Dr. Nurten VARDAR (Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği)
Prof.Dr. Uğur Buğra ÇELEBİ (Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği)
Doç.Dr. Hanife SARI ERKAN (Çevre Müh.)
Doç.Dr. Berna AYAT AYDOĞAN (İnşaat Müh.)
Dr.Öğr.Üyesi Özgür DEMİR (Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği)
Arş.Gör. Hülya CİVELEK YÖRÜKLÜ (Çevre Müh.)

Kasım 2021

İSTANBUL

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	1
ABSTRACT	2
1. GİRİŞ	3
2. ÇALIŞMA SONUÇLARI	11
3. MARMARA DENİZİ MÜSİLAJ PROBLEMİNE ÇÖZÜM İÇİN ÜNİVERSİTEMİZ BÜNYESİNDE FARKLI BİRİMLERDE YAPILAN ÇALIŞMALARIN ÖN BULGULARI	32
4. MARMARA DENİZİ MÜSİLAJ PROBLEMİNİ ÇÖZÜM İÇİN ÜNİVERSİTEMİZ BÜNYESİNDE YÜRÜTÜLMESİ VEYA DIŞ KAYNAKLI BAŞVURU YAPILMASI PLANLANAN PROJELER	49
5. REFERANSLAR	64

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. Marmara Havzasındaki Noktasal Kirlilik* Yüğü Değerleri	6
Tablo 2. Marmara Havzasındaki Yayılı Kirlilik Yüğü Değerleri	7
Tablo 3. Mileston marka Mikrodalga yakma sisteminde uygulanan sıcaklık programı	14
Tablo 4. Agilent marka 7700 model ICP-MS cihazında analit optimum parametreleri	14
Tablo 5. Agilent marka 7700 model ICP-MS cihazına ait hassasiyet cevapları	15
Tablo 6. Agilent marka 7700 model ICP-MS cihazına ait rezolüsyon cevapları.....	15
Tablo 7. Cihaz diğer parametre değerleri.....	15
Tablo 8 Cihaz koşulları	16
Tablo 9. Farklı noktalardan alınan müsilaj örneklerinin ağır metal içeriklerinin karşılaştırılması	22
Tablo 10. Deniz Suyunun Genel Kalite Kriterleri	23
Tablo 11. Müsilaj Örneklerinin Termal Analiz Sonuçları	29
Tablo 12. Müsilajlı deniz suyu ve deniz suyu örneklerinin karşılaştırması	29
Tablo 13. Deniz Suyunun Genel Kalite Kriterleri	29
Tablo 14. Farklı mikroalg kültürleri ile müsilaj örneklerinin muamelesinin sonuçları	42
Tablo 15. Ambarlı müsilaj örneklerinin gideriminde probiyotik bakteri ve mikroalg ile etkileşiminin pH'a etkisi	48
Tablo 16. Yerinde izleme çalışmaları yapılacak istasyonların tahmini koordinatları.....	52
Tablo 17. İzleme çalışmaları yapılacak Marmara Denizi'ne dökülen derelerin bilgileri.....	53
Tablo 18. Hesaplanan İndeksler ve Formülleri	64

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Marmara Denizi Müsilaj Görüntüleri (Anadolu Haber Ajansı, 2021).....	3
Şekil 2. Marmara Havzası kentsel hassas alanlar haritası.....	7
Şekil 3. Marmara Havzası nitrata hassas alanlar haritası.....	8
Şekil 4. Susurluk Nehir Havzasında önemli noktasal kaynaklı baskıların bulunduğu kıta içi yerüstü su kütleleri.....	9
Şekil 5. Susurluk Nehir Havzası yerüstü suyu kütlelerinin risk değerlendirmesi.....	9
Şekil 6. Marmara Denizi'nde müsilaj örneklerinin toplandığı istasyonlar	12
Şekil 7. Ambarlı müsilaj örneği mikroskopik inceleme	13
Şekil 8. Beylikdüzü müsilaj örneği mikroskopik inceleme	13
Şekil 9. Bostancı (Beyaz sıvı) müsilaj ağır metal analiz sonuçları	17
Şekil 10. Bostancı (Siyah sıvı) müsilaj ağır metal analiz sonuçları	18
Şekil 11. Bostancı (Siyah kül) müsilaj ağır metal analiz sonuçları.....	18
Şekil 12. Bostancı (Beyaz kül) müsilaj ağır metal analiz sonuçları.....	18
Şekil 13. Bostancı (Siyah-1) müsilaj ağır metal analiz sonuçları	19
Şekil 14. Bostancı (Beyaz-1) müsilaj ağır metal analiz sonuçları	19
Şekil 15. Marmara Ereğlisi (ALE-1) müsilaj ağır metal analiz sonuçları.....	20
Şekil 16. Marmara Ereğlisi (M-ER-3) müsilaj ağır metal analiz sonuçları	20
Şekil 17. Ambarlı müsilaj ağır metal analiz sonuçları	21
Şekil 18. Beylikdüzü müsilaj ağır metal analiz sonuçları	21
Şekil 19. Beylikdüzü kurutulmuş müsilaj ağır metal analiz sonuçları.....	22
Şekil 20. Ambarlı sıvı numunesi FTIR analizi	24
Şekil 21. Beylikdüzü sıvı numunesi FTIR analizi	25
Şekil 22. Ambarlı kalıntı numunesi FTIR analizi	26
Şekil 23. Beylikdüzü kalıntı numunesi FTIR analizi	27
Şekil 24. Müsilaj örneklerine ait toksisite analiz sonuçları	28
Şekil 25. Sanayi dalgıcı ve su altı robotu ile gerçekleştirilen operasyondan müsilaj su altı görüntüleri.....	30
Şekil 26. Su altı robotu ile 15-30 metre derinlikten alınan görüntüler	32
Şekil 27. Çalışmada kullanılan mikroalg türleri	33
Şekil 28. Deney başlangıcında Ambarlı örneklerinin mikroalgal kültürler ile etkileşimi	33
Şekil 29. Deney başlangıcında Beylikdüzü örneklerinin mikroalgal kültürler ile etkileşimi ..	34
Şekil 30. Deneyin 1. gününde Ambarlı örneklerinin mikroalgal kültürler ile etkileşimi	35
Şekil 31. Deneyin 1. gününde Beylikdüzü örneklerinin mikroalgal kültürler ile etkileşimi ..	36
Şekil 32. Deneyin 3. gününde Ambarlı örneklerinin mikroalgal kültürler ile etkileşimi	37
Şekil 33. Deneyin 3. gününde Beylikdüzü örneklerinin mikroalgal kültürler ile etkileşimi ..	38
Şekil 34. Deneyin 4. gününde Ambarlı örneklerinin mikroalgal kültürler ile etkileşimi	39
Şekil 35. Deneyin 4. gününde Beylikdüzü örneklerinin mikroalgal kültürler ile etkileşimi ..	40
Şekil 36. Ambarlı ve Beylikdüzü müsilaj örneklerinin gideriminde probiyotik bakteri <i>Bacillus spp.</i> etkileşimi	43
Şekil 37. Müsilaj numunelerinde <i>Bifidobacterium</i> bakterisinin etkisinin araştırılması	45

Şekil 38. Müsilaj numunelerinde Bifidobacterium etkisiyle ph ve viskozite takibi çalışmaları	46
Şekil 39. Müsilaj numunelerinde Bifidobacterium ve pH etkisi.....	47
Şekil 40. Ambarlı müsilaj örneklerinin gideriminde probiyotik bakteri ve mikroalg ile ikili etkileşimi (1.gün).....	48
Şekil 41. Ambarlı müsilaj örneklerinin gideriminde probiyotik bakteri ve mikroalg ile ikili etkileşimi (2.gün).....	48
Şekil 42. Akarsularda kullanılan biyochar torbaları örnek uygulamalar (solitudelakemanagement.com, hopatconglakeregionalnews.com, lakehopatcongfoundation.org)	51
Şekil 43. Marmara Denizi ve Doğu Akdeniz’de deniz suyu sıcaklıklarının uzun dönemli değişim eğilimi ($^{\circ}\text{C}/\text{yıl}$).....	55
Şekil 44. Müsilaj temizleme platformu.....	57
Şekil 45. Platform tekne montajı	58
Şekil 46. Platform tekne montajı	58
Şekil 47. Oksijenlendirme sistemi	59
Şekil 48. GEE platformu.....	63

ÖNSÖZ

Son dönemde sahillerde, özellikle de Marmara Denizi'nde büyük ölçekte gözlenen müsilajın görsel, ekolojik ve ticari anlamda olumsuz etkilerinin kamuoyunda da gündem oluşturan bir çevre kirliliği sorunu olması nedeniyle, bu konuda ileriye yönelik kalıcı çözümler üretmek adına, proje çalışmasında üniversitemizin farklı disiplinlerde çalışan bölümlerinin problem çerçevesinde ortak noktada buluşturulması, konuyla ilgili kullanılabilecek araştırma altyapısının tespiti, yerinden örnekleme yapılarak sorunun tanımlanması, müsilaja neden olan deniz canlılarının tanımlanması, sorunun tanımı ve boyutlarının ortaya konulması amacıyla çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi BAP Koordinasyon Birimi tarafından FHD-2021-4587 numaralı proje ile desteklenmiş olup, BAP Birimine teşekkürlerimizi sunarız.

ÖZET

Müsilaj (deniz salyası), biyolojik ve kimyasal birçok koşulun bir araya gelmesiyle oluşan, fitoplankton, alg ve bakterilerin aşırı çoğalması, deniz sıcaklığının yükselmesi ve buna bağlı olarak bakteriyel aktivitelerin artmasıyla oluşan sümüksü, yapışkan bir yapıdır. Marmara Denizi'nde etkili olan müsilaj, deniz sıcaklığının yüksek olması ve denizin durgun olması nedeniyle etkinliğini artırmaktadır. Bu durum gözle görülür çevre kirliliği yaratırken, balıkçıların avlanmasını engellemekte ve denizdeki canlı çeşitliliğinin de azalmasına neden olmaktadır. Bu durum ülkemizde son yıllarda yaşanan en büyük çevre felaketlerinden birisi olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 6 Haziran tarihinde bu olumsuz durumla ilgili Marmara Denizi için acil eylem planı açıklanmıştır. Bu konuyla ilgili olarak, özellikle Marmara Denizi'ne kıyısı olan İstanbul'da ki mevcut gelişmiş üniversitelerin ilgili altyapısını kullanarak çözüm üretmek adına çalışmalara dahil olması çok büyük önem arz etmektedir.

Son dönemde sahillerde, özellikle de Marmara Denizi'nde büyük ölçekte gözlenen müsilajın görsel, ekolojik ve ticari anlamda olumsuz etkilerinin kamuoyunda da gündem oluşturan bir çevre kirliliği sorunu olması nedeniyle, bu konuda ileriye yönelik kalıcı çözümler üretmek adına, üniversitemizin farklı disiplinlerde çalışan bölümlerinin problem çerçevesinde ortak noktada buluşturulması, konuyla ilgili kullanılabilecek araştırma altyapısının tespiti amacıyla, yerinden örnekleme yapılarak sorunun tanımlanması adına, müsilaja neden olan deniz canlılarının tanımlanması, sorunun tanımı ve boyutlarının ortaya konulması amacıyla ön çalışmaların gerçekleştirilebilmesi için proje başvurusu yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Müsilaj, deniz salyası, çevre kirliliği, ekoloji

ABSTRACT

Mucilage (sea saliva) is a slimy, sticky structure that is formed by the combination of many biological and chemical conditions, the overgrowth of phytoplankton, algae and bacteria, the rise in sea temperature and the corresponding increase in bacterial activities. Mucilage, which is effective in the Sea of Marmara, increases its effectiveness due to the high sea temperature and the stagnant sea. While mucilage creates visible environmental pollution, it also prevents fishermen from fishing and causes a decrease in the biodiversity in the sea. This situation clearly reveals that it is one of the biggest environmental disasters in our country in recent years.

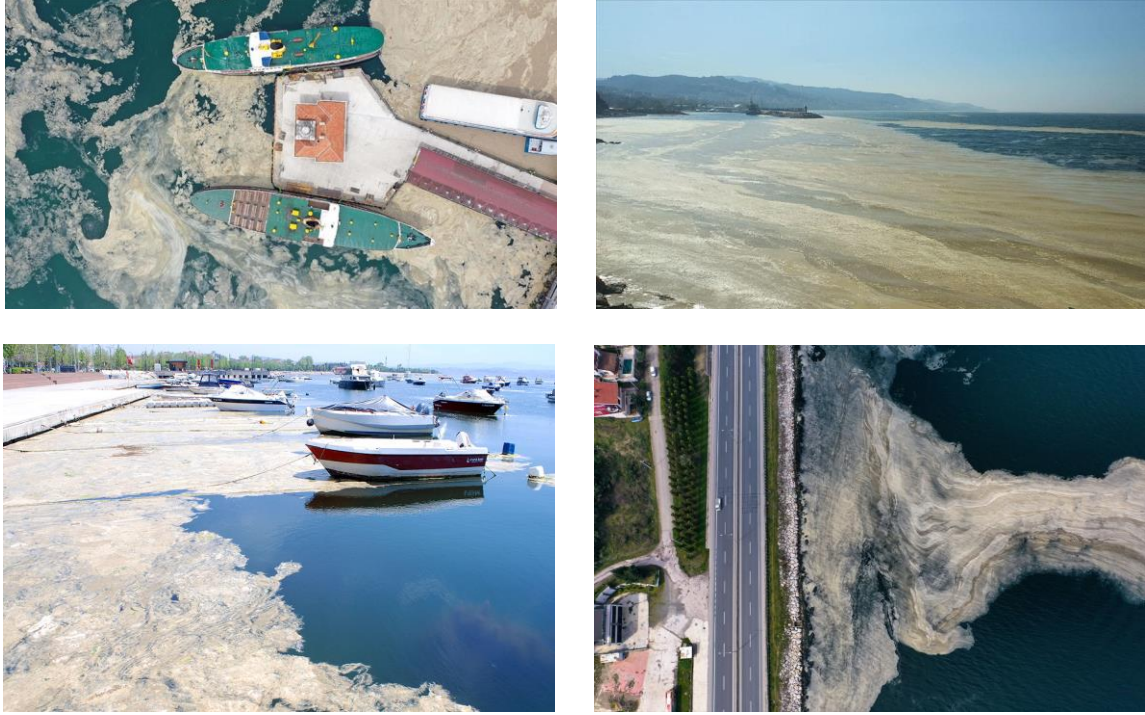
The Ministry of Environment and Urbanization announced an emergency action plan for the Marmara Sea on June 6 regarding this negative situation. Regarding this issue, it is of great importance that the existing developed universities, especially in Istanbul, which has a coast on the Marmara Sea, are included in the studies to produce solutions by using the relevant infrastructure.

Since the visual, ecological and commercial effects of mucilage, which has been observed on a large scale recently on the coasts, especially in the Marmara Sea, is an environmental pollution problem that is also on the agenda of the public, in order to put forth permanent solutions for the future, it is necessary to cooperate with the departments of our university working in different disciplines within the framework of the problem. A project application has been made in order to carry out preliminary studies in order to identify the sea microorganism that cause mucilage, to determine the definition and dimensions of the problem.

Key Words: Mucilage, sea saliva, environmental pollution, ecology

1. GİRİŞ

“Projede; Marmara Denizi’nde ortaya çıkan müsilaj içeriğinin farklı noktalardan örneklemelerle alınarak karakterizasyonlarının yapılması, içeriğindeki mevcut mikroorganizmaların tanımlanması ile müsilaj sorununun (Şekil 1) neden kaynaklandığının tespiti sonrasında, probleme uzun vadeli kalıcı çözüm üretmek adına, konuya dahil üniversitemiz bölüm ve araştırmacılarının katılımı ile farklı bakış açılarının değerlendirilmesi, bu konuda üniversite araştırma altyapısının belirlenmesi, dış kaynaklı proje hazırlığı ve başvurularının yapılmasına öncü olması hedeflenmiştir.”



Şekil 1. Marmara Denizi Müsilaj Görüntüleri (Anadolu Haber Ajansı, 2021)

Mevsimsel değişiklikler ve küresel ısınma, denizlerin biyolojik yapısını önemli ölçüde etkiler. Denizlerde müsilaj oluşumu, çeşitli deniz organizmaları tarafından özel mevsimsel ve trofik koşullar altında üretilen organik maddelerin toplanmasıdır. Deniz salyası olarak da bilinen müsilaj, birikmiş kütle, köpük birikimi, floklar, bulut veya müsilajlı ve mukuslu aglomerasyon oluşumu şeklindedir ve parçacıklı organik malzemeler, esas olarak bazı jelatinli veya kremsi parçacıklardan veya kütlelerden meydana gelir (Özalp 2021). Aynı zamanda, içinde çok sayıda maddenin bulunduğu yalancı bir bentos oluşturur ve bu parçacıklar kıyı bölgesini neredeyse tamamen kaplar. Bazı araştırmalar bu oluşumların deniz algleri tarafından üretilen maddeler olan ekzopolimerik yapılardan oluştuğunu göstermiştir. Deniz ortamındaki müsilajın kökeni esas olarak planktonik organizmalar ve bentik filamentli algler olmak üzere iki ajana dayanmaktadır. Balıkçılık, turizm ve su ürünleri yetiştiriciliği gibi insan faaliyetleri üzerinde ciddi etkileri olan müsilaj oluşumunun 17. yüzyıldan itibaren Adriyatik Denizi’nde meydana geldiği bildirilmektedir. Müsilaj oluşumu ile fitoplankton arasındaki ilişki 19. yüzyılın sonlarında ve 20. yüzyılın başlarında yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir. Rinaldi ve diğerleri (1995), hücre dışı polisakkarit maddesi ürettiği bilinen diatomların müsilaj oluşumunda etkili olduğunu ve bakterilerin bu oluşuma katıldığını bildirmiştir (Rinaldi et al. 1995). Daha sonraki çalışmalar, dinoflagellatların da hücre dışı

müsilajlar ürettiğini göstermiştir (MacKenzie et al. 2002) ve ayrıca dinoflagellat *Gonyaulax fragilis* (Schutt) Kofoid, 1911'de Adriyatik Denizi'ndeki müsilaj oluşumunda yer aldığı belirtilmiştir (Pompei et al. 2003). Ek olarak, müsilaj agregatları, alglerin mikrobiyal bir enfeksiyona patolojik bir tepkisi olarak bir hiperüretimin sonucudur ve bu hipotez bazı laboratuvar deneyleriyle desteklenmiştir (Balkis et al. 2011a).

Müsilaj oluşturan diatom türleri, erken zamanlardan beri iyi çalışılmış olmasına rağmen, dinoflagellatların müsilaj oluşumuna katkısı az sayıda araştırmada incelenmiştir. *Skeletonema costatum* ve *Cylindrotheca closterium* türleri müsilaj oluşturan iyi bilinen diatom türleridir (Marchetti 1990; Mingazzini et al. 1995; Najdek et al. 2005; Urbani et al. 2005). Bir diğer gruptan olan *Gonyaulax hyalina* ve *G. fragilis*, Tasman Körfezi'nde, Katalonya sularında, Adriyatik Denizi'nde ve son olarak Kuzey Ege'de bir dizi ilgili ve yeni araştırma dahil olmak üzere farklı denizlerde müsilaj üreticileri olarak rapor edilmiştir (MacKenzie et al. 2002; Pistocchi et al. 2005; Pompei et al. 2003). *Prorocentrum micans* ise aynı türden başka bir müsilaj üreticisidir (Pompei et al. 2003). Yukarıda bahsedilen çalışmaların hemen hemen hepsinde, hücre dışı salgıların (temelde karbonhidrat formundaki) yüksek organik karbon içeriğinin, farklı tipte müsilaj oluşumlarının ana nedeni olduğu söylenmiştir (Tüfekçi et al. 2010).

Müsilaj oluşumu, Akdeniz'de (ve özellikle Adriyatik Denizi ve dünyadaki diğer denizler için) 18. ve 19. yüzyıllardan beri iyi bilinmesine ve kaydedilmesine rağmen, 1980'lerden beri daha sık olarak Akdeniz'in diğer bölgelerinde de kaydedilmeye başlanmıştır.

Marmara Denizi'nde 1970 döneminden beri ciddi boyutlara ulaşan bir ötrifikasyon olayı yaşanmaktadır. Marmara Denizi sularına bırakılan organik kökenli atıklar, bazı balık türlerinin bu su kütlesinden uzaklaşmasına veya kaybolmasına yol açmış, buna karşın organik atıklardan yararlanan ve kirli sulardan etkilenmeyen başta bazı algler olmak üzere, belirli türlerde kütsel çoğalmalar gözlenmeye başlamıştır (Artüz, 2008). Müsilaj oluşumu Akdeniz'dekine benzer şekilde 1990'lardan bu yana zaman zaman Marmara Denizi'nde de gözlenmiştir ve çoğunlukla balıkçılar tarafından fark edilmiştir. O günlerde herhangi bir izleme veya deneysel araştırma çalışmaları ne yazık ki yürütülmemiştir. Geçmişte en büyük olay 1992 yılında denizin batı kesiminde, Erdek Körfezi çevresinde meydana gelmiştir ve bu olay su sporcuları tarafından su altı kamerası ile kaydedilmiştir (Tüfekçi et al. 2010).

Türkiye Denizlerinde bir diğer müsilaj oluşumu 2007 yılında Marmara Denizi'nde gözlenmiştir. Son bulgular, müsilaj oluşumunun Marmara Denizi, İstanbul Boğazı ve Çanakkale Boğazı'ndan oluşan Türk Boğazları da dahil olmak üzere Türkiye kıyılarında ezici bir şekilde etkili olduğunu göstermiştir (Altın et al. 2015; Balkis et al. 2011a; Okyar et al. 2015; Özalp 2021; Toklu-Alicli et al. 2020).

Tüfekçi vd. (2010) tarafından 2007-2008 yılları arasında Marmara Denizi'nde müsilaj oluşumu süresince fitoplankton bolluğu ve çevresel şartlar incelenmiştir (Tüfekçi et al. 2010). Çalışmada farklı istasyonlardan alınan örneklerde müsilaja neden olduğu bilinen *Gonyaulax fragilis*, *Skeletonema costatum* ve *Cylindrotheca closterium* baskın türlerine ilave olarak *Thalassiosira rotula* türü de yüksek miktarda bulunmuştur. Kasım 2007 yılında yapılan örneklemede İzmit Körfezi-Değirmendere istasyonunda 83600 hücre/L konsantrasyonunda *Gonyaulax fragilis* tespit edilirken, Ocak 2008'de aynı istasyonda *G. fragilis*'in hücre sayısı 96,250 hücre/L olarak saptanmıştır. Diğer yandan Kasım 2007'de aynı istasyonda baskın diatom türü olan *T. Rotula* konsantrasyonu sırasıyla 131,040 hücre/L bulunurken, Ocak 2008'de *C. closterium* diatom türü yaygın olarak belirlenmiştir (161,250 hücre/L) (Tüfekçi et al. 2010).

Son zamanlarda, müsilağ, örtü fasiyesinin dolaşması ve fizyolojik süreçleri askıya alması, muhtemelen zamanla anoksiye neden olması gibi olumsuz etkileri nedeniyle mercanlar, korallijenli ve deniz otu yatakları gibi deniz bentik toplulukları üzerindeki en zararlı etkiler arasında sıklıkla ilişkilendirilmiştir. Aynı zamanda müsilağ oluşumu pelajik balıkçılığı da olumsuz etkilemektedir (Özalp 2021). Müsilağ oluşumunun zamanlaması çoğunlukla beklenmedik ve değişkendir, çünkü hem yaz hem de kış aylarında büyük ölçekli müsilağ oluşumları yapılan çalışmalarda rapor edilmiştir (Devescovi and Iveša 2007). Planktonik bollukları kötü etkileyen müsilağ olayları sırasındaki ekolojik değişikliklerin anlaşılmasının, deniz habitatlarındaki besin zincirinin daha fazla izlenmesi için de son derece önemli olduğu belirtilmektedir (Yılmaz 2015).

Marmara Denizi, yaklaşık 70 km genişliğinde ve 250 km uzunluğunda, 11.500 km² yüzey alanına ve maksimum 1.390 m derinliğe sahip küçük bir havzadır. Avrupa ve Asya kıtaları arasında yer alan Marmara Denizi, İstanbul Boğazı ve Çanakkale Boğazı ile birlikte Türk Boğazlar Sistemini oluşturmaktadır (Balkis et al. 2011b; Beşiktepe et al. 1994). Karadeniz'den gelen %17,6 tuzluluk içeren sular, aşırı akıntı ile İstanbul Boğazı'ndan Marmara Denizi'ne akarken, Ege Denizi'nden gelen sular (tuzluluk yaklaşık %38,5) Çanakkale üzerinden alt akıntı ile Marmara Denizi'ne taşınmaktadır (Toklu-Alicli et al. 2021). Birbirine karışmayan bu iki tabaka arasında yaklaşık 25 m derinliğinde bir ara tuzluluk tabakası bulunur. Bu derin tuzlu sular düşük oksijen içeriğine sahiptir ve hem acı hem de tipik deniz suyu içeren Marmara Denizi'nin fauna ve florası çok çeşitlidir (Toklu-Alicli et al. 2021). Türkiye nüfusunun yaklaşık %20'sinin Marmara Denizi çevresindeki illerde yaşaması ve Türkiye'nin sanayi üretiminin büyük bir bölümünün ağırlıklı olarak İstanbul-İzmit arasında olması, Marmara Denizi'nin sosyo-ekonomik önemini artırmaktadır (Balkis-Ozdelice et al. 2020). Marmara Denizi, Karadeniz ülkelerinin deniz ticareti açısından önemli bir araç olup, istenilen düzeyde olmasa da deniz, rekreasyon ve turizm için kullanılmaktadır. Diğer yandan Marmara Denizi, insan faaliyetlerinden kaynaklanan evsel ve endüstriyel atıkların denize deşarjı sebebiyle ciddi oranda atık yükü ile baskı altındadır. Özellikle Türk Boğazlar Sistemini (TSS) oluşturan Marmara Denizi ile Çanakkale Boğazı ve İstanbul Boğazı'nda son yıllarda artan deniz trafiği ve İstanbul Boğazı'ndan gelen Karadeniz kaynaklı kirleticiler bu baskıyı daha da artırmaktadır (Balkis-Ozdelice et al. 2020).

Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde üretilen evsel atıkların %90'ının, endüstriyel atıklarının ise %70'inin herhangi bir arıtma uygulanmadan veya basit bir ön arıtma sonrasında kıyı bölgelerine deşarj edildiği bilinmektedir. Deniz ekosistemleri belirli bir atık yükünü tolere edebilir ve bir süre sonra bu atıklar gerek seyrelme yoluyla gerekse de denizde bulunan biyokimyasal reaksiyonlar neticesinde bertaraf edilebilir. Marmara Denizi gibi yarı kapalı denizlerde sürekli olarak yapılan bu atıksu deşarjları kirletici yükünü arttırmakta ve artan besin maddeleri ile aşırı alg oluşumuna neden olabilmektedir. Fitoplankton topluluğundaki türlerden çevreye en çok uyum sağlayan türler baskın hale gelerek aşırı çoğalarak deniz suyunun rengini değiştirmekte ve böylece kırmızı gelgit olayları meydana gelmektedir. Su kolonundaki aşırı organik yük artışının sürekliliği de sedimentlerde organik madde birikmesine neden olabilir ve bu organik maddenin ayrışması dip sularda anoksik bir ortam sağlayarak bentik yaşamı olumsuz etkileyebilir (Balkis 2003).

Marmara Denizi Susurluk Nehir Havzası ve Marmara Havzası'ndan kaynaklanan önemli noktasal ve yayılı kirlilik kaynaklarının baskısı altındadır. Marmara Denizi kıyılarında bulunan İstanbul, İzmit, Bursa gibi pek çok ilde gerçekleştirilen endüstriyel ve sosyal faaliyetler bir iç deniz olarak kritik öneme sahip olan Marmara Denizi'nde kirliliğin günden güne artmasına sebep olmaktadır. Bahsi geçen illerden Marmara Denizi'ne yıllık bazda önemli bir atıksu yükünün girdiği bilinmektedir. İstanbul ilinde bulunan pek çok ön arıtma,

biyolojik ve ileri biyolojik atıksu arıtma tesisleri atıksularını deniz deşarjı veya derin deniz deşarjı yoluyla Marmara Denizi İstanbul kıyılarına ve Boğaz'a deşarj etmektedir.

Marmara Havzası, Marmara Denizi'ne dökülen Susurluk Nehri haricindeki tüm akarsuların yağış alanlarını kapsamaktadır. Marmara Havzası'nın toplam alanı; yapay alanlar, tarımsal alanlar, orman ve yarı doğal alanlar, ıslak alanlar ve su yüzeyleri dahil olmak üzere 2.308.464 ha olup; havza izdüşümü alanının Türkiye izdüşümü alanına oranı % 3 kadardır. Nüfus ve alan bilgilerine göre havza genelinin nüfus yoğunluğu 777 kişi/km² olup; TÜİK tarafından Türkiye geneli için hesaplanan 104 kişi/km² değerinden çok yüksektir.

Ülke nüfusunu 22,5%'inin yaşadığı Marmara Havzası, özellikle İstanbul'un tarihi ve doğal özellikleri nedeniyle her yıl 10 milyonu aşkın turiste ev sahipliği etmesi nedeniyle kentsel atıksu üretimi en fazla olan havzadır.

Bununla birlikte kentsel atıksu arıtım oranı da en yüksek havzadır. Atıksu arıtma tesisi inşaatı devam etmekte olan Balıkesir'in Gönen, Kocaeli'nin Dilovası, Tekirdağ'ın Şarköy, Çanakkale'nin Lapseki ilçeleri ile Kırklareli'nin Demirköy ilçesi dışındaki bütün il ve ilçe merkezlerinden kaynaklanan sular arıtılmaktadır. Havza genelinde 9 tanesi İstanbul'da, 4 tanesi Kocaeli'de, 4 tanesi Çanakkale'de 2 tanesi Bursa'da, 1 tanesi Yalova'da olmak üzere toplam 20 adet İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi bulunmaktadır. İstanbul'da 8, Bursa ve Tekirdağ'da 2'şer tane olmak üzere toplam 12 tesiste atıksular fiziksel ön arıtmadan sonra derin deniz deşarjı ile bertaraf edilmektedir. Ayrıca Havzada 81 tesiste ikincil arıtma ile atıksular bertaraf edilmektedir. Ancak İstanbul'un bazı bölgeleri başta olmak üzere özellikle kıyıdaki yerleşimlerde ön arıtmadan sonra derin deniz deşarjı yapılmaktadır. Bu durum Marmara Denizi'nin su kalitesi üzerinde önemli bir baskı oluşturmaktadır.

Ülkemizdeki sanayileşmenin en yoğun olduğu havza olan Marmara Havzası'nın endüstriyel atıksu altyapısına bakıldığında, toplam 31 adet organize sanayi bölgesinde (OSB) kuruluş aşamasında olanlarla birlikte çok sayıda endüstriyel atıksuların arıtıldığı arıtma tesisi bulunmaktadır. Havzada bulunan münferit sanayi tesisleri kendi AAT'lerinde arıttıkları atıksuları doğrudan deşarj etmekte veya ön arıtmadan sonra belediye kanalizasyonlarına vermektedir. Küçük sanayi sitelerinden kaynaklanan atıksular çoğunlukla arıtılmadan deşarj edilmektedir. OSB atıksu arıtma tesislerinin hiç çalıştırılmaması veya verimli çalıştırılmaması ise, belediye kanalizasyonuna deşarj edilen OSB veya tekil sanayi atıksularının AAT niteliklerine uygun veya yeterli ön arıtmadan geçirilememesi havzada önemli bir baskı oluşturmaktadır.

Bunun dışında, bölgede tavuk yetiştiriciliği başta olmak üzere havzada gerçekleştirilen hayvancılık faaliyetleri de yayılı kirlilik açısından büyük önem taşımaktadır.

Marmara Havzası'ndaki kirliliğin yoğun olarak; kentsel doğrudan deşarjlar, katı atık düzensiz depolama sahaları, endüstriyel atıksular ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklandığı görülmektedir. "Türkiye'de Havza Bazında Hassas Alanların ve Su Kalitesi Hedeflerinin Belirlenmesi Projesi" kapsamında belirlenen kirlilik yükleri Tablo 1 ve Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 1. Marmara Havzasındaki Noktasal Kirlilik* Yüğü Değerleri

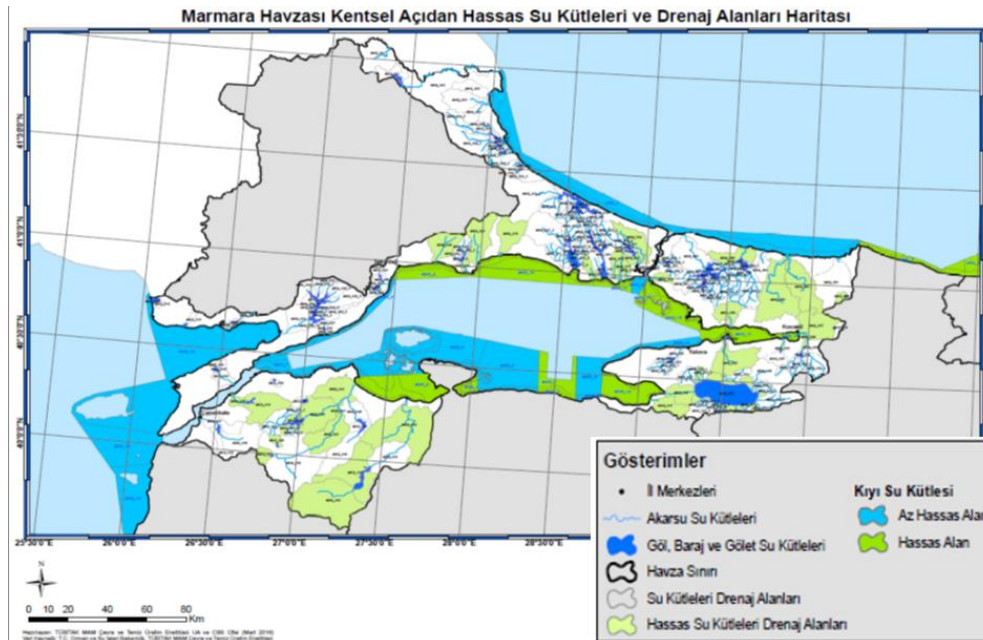
Toplam Azot (TN) (ton/yıl)	Toplam Fosfor (TP) (ton/yıl)	Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) (ton/yıl)
3856,7	539,9	49814,8

Tablo 2. Marmara Havzasındaki Yayılı Kirlilik Yükü Değerleri

Toplam Azot (TN) (ton/yıl)	Toplam Fosfor (TP) (ton/yıl)
9278,8	506,9

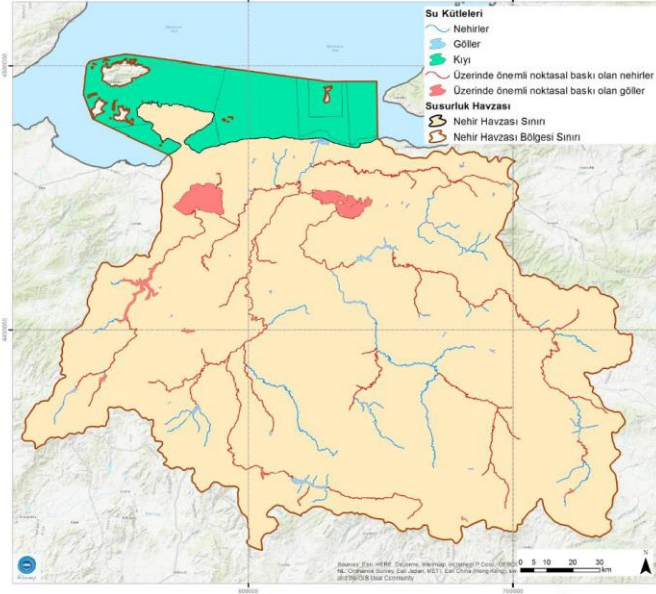
Marmara Havzası'nda "Türkiye'de Havza Bazında Hassas Alanların ve Su Kalitesi Hedeflerinin Belirlenmesi Projesi" kapsamında belirlenen besin elementleri (azot ve fosfor) açısından kirlenmiş ve/veya kirlenme tehdidi altındaki su kütleleri ve drenaj alanları incelendiğinde, 65 adet hassas su kütlesi tespit edilmiştir.

Hassas su kütlesinin drenaj alanı ile bu su kütlesinin membasında bulunan ve hassas su kütlesinde baskı oluşturarak su kalite hedeflerinin sağlanamamasına sebep olan kentsel atıksu drenaj alanlarını Marmara Havzası için gösteren kentsel açıdan hassas su kütleleri ve drenaj alanları haritası Şekil 2’de verilmiştir.

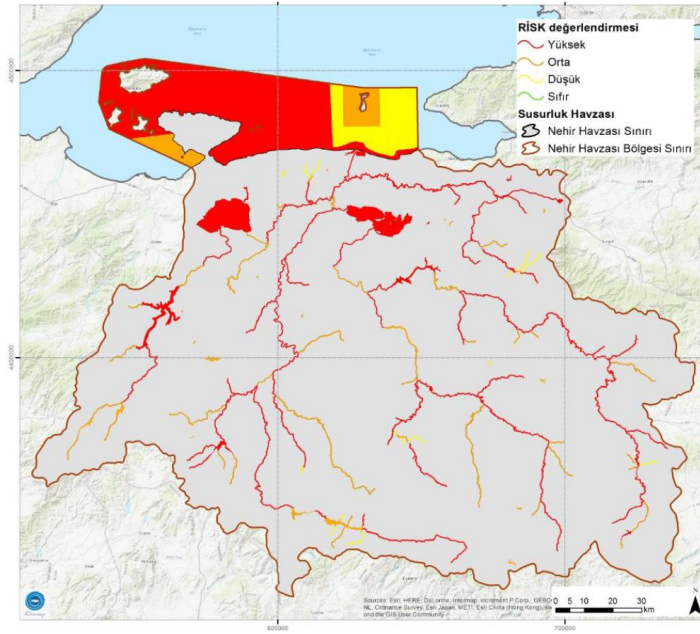


Şekil 2. Marmara Havzası kentsel hassas alanlar haritası

Ötrofik olduğu belirlenen veya gerekli tedbirler alınmazsa yakın gelecekte ötrofik hale gelebilecek tabii tatlı su göllerini, diğer tatlı su kaynaklarını, haliçler ve kıyı sularını etkileyen nitrata oluştığı tarımsal ve tarım dışı arazileri ihtiva eden drenaj alanlarını Marmara Havzası için gösteren nitrata hassas alanlar haritası ise Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 4. Susurluk Nehir Havzasında önemli noktasal kaynaklı baskıların bulunduğu kıta içi yerüstü su kütleleri



Şekil 5. Susurluk Nehir Havzası yerüstü suyu kütlelerinin risk değerlendirmesi

Susurluk Havzası'ndaki yeraltı suyu kütlelerindeki kalite açısından önemli baskılar ise düzenli atık depolama sahaları, jeotermal santraller, sulama alanları, kentsel ve endüstriyel alanlar, sulanmayan zeytin ve üzüm bağı alanları, zeytinyağı fabrikaları, madencilik alanları olarak belirlenmiştir. Susurluk Nehir Havzası'nda endüstriyel deşarjlara ilişkin tedbirler programı kapsamında yer alan temel tedbirler, endüstriyel atık arıtma tesislerinin (AAT) inşasından oluşmaktadır. Baskı-Etki Analizine göre havzada 66 adet önemli endüstriyel deşarj bulunmaktadır. Bunlardan 41'i, çıkış sularını ortama deşarj etmeden önce arıtırken, geri kalanı herhangi bir atık su arıtma olmaksızın doğrudan deşarj etmektedir. Endüstriyel AAT'lerin inşasına yönelik ise toplamda 14 tedbir tanımlanmıştır. Diğer yandan Baskı-Etki Analizine göre Susurluk Havzası'nda madencilik faaliyetlerine ilişkin 17 önemli deşarjın bulunduğu ve bunlardan üçünün çıkış sularının arıtıldığı bildirilmiştir. Ayrıca Susurluk Havzası'nda zeytinyağı fabrikalarından kaynaklanan 27 deşarj, Baskı-Etki Analizinde önemli

baskılar olarak dikkate alınmıştır. Zeytinyağı fabrikaları için sıvı ve katı atıkları için gazlaştırma tesisleri inşası başta olmak üzere dört çeşit tedbir tanımlanmıştır (Susurluk Nehir Havzası Yönetim Planı, 2018).

Susurluk Havzası'nda 40 adet katı atık depolama sahası, Baskı-Etki Analizinde önemli baskılar olarak dikkate alınmış ve bunlardan sadece üçünün düzenli katı atık depolama sahası olduğu bildirilmiştir. Katı atık depolama sahalarına ilişkin ise düzensiz katı atık depolama sahalarının kaldırılmasına ilişkin tedbirler ve Simav Belediyesi'nde yeni bir düzenli atık depolama sahasının inşası, işletimi, izlenmesi ve kontrolü olmak üzere iki tür tedbir tanımlanmıştır.

Jeotermal atık su, metal içeriği açısından zengindir ve yüksek sıcaklıktadır. Termal kirlilik, oksijen dengesinde bozulmaya ve ekolojik sorunlara neden olur. Belirli kirleticilerden Arsenik (As), bor (B), florür (F) ve silis (Si) jeotermal sulara bulunan ortak elementlerdir. Susurluk'ta 244 jeotermal alan bulunmakla birlikte havzada hiçbir jeotermal tesis bulunmadığı bildirilmiştir. Jeotermal su, turizm, ısınma ve yün yıkama amacıyla kullanılmaktadır. Yukarıda bahsi geçen baskılara ilave olarak Susurluk Nehir Havzası'nda jeotermal deşarjlara yönelik jeotermal atıksuyun alındığı formasyona reenjeksiyonu ve yerüstü sularına deşarj edilmeden önce arıtılması olmak üzere 2 farklı tür tedbir belirlenmiştir (Susurluk Nehir Havzası Yönetim Planı, 2018).

2020 yılının sonlarından itibaren Marmara Denizi'nin çeşitli bölgelerinde ortaya çıkan ve gün geçtikçe artarak tüm Marmara Denizi'ne yayılan müsilaj problemi, özellikle İstanbul ili Kadıköy-Tuzla hattı boyunca kıyı kesimlerde birikim göstermeye başlamasıyla birlikte gerek medya gerek resmi kuruluşlar tarafından ciddi bir problem olarak ele alınmıştır. 2021 yılının Haziran ayında ise Çevre ve Şehircilik Bakanlığı müsilaj probleminin olası nedenleri ve çözüm önerileri üzerine seferberlik başlatmış ve böylece izleme ve temizleme çalışmaları ivme kazanmıştır. 3 Haziran 2021 tarihinde Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA) tarafından gerçekleştirilen değerlendirme toplantısında, Müsilaj-Deniz Salyası Değerlendirme Raporu paylaşılmıştır (TÜBA 2021). Özellikle mevcut atıksu arıtma tesislerinin kapasitesinin yetersiz oluşundan bahsedilen raporda, kısa ve uzun vadeli çözüm önerilerinin belirlenmesi ve acil eylem planı oluşturularak uygulamaya konulmasının gerekliliği vurgulanmıştır. 6 Haziran 2021 tarihinde 22 maddeden oluşan Marmara Denizi Koruma Eylem Planı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından açıklanmış ve Marmara Denizi Bütünleşik Stratejik Planı'nın 3 ay içerisinde hazırlanacağı ve gerekli çalışmaların bu plan çerçevesinde yürütüleceği belirtilmiştir. Marmara Bölgesi'ndeki atıksuların yüzde 53'ünün ön arıtım, yüzde 42'sinin ileri biyolojik arıtım ve yüzde 5'inin biyolojik olarak arıtıldığına dikkat çekilen raporda öncelikli olarak Marmara Denizi'ne ulaşan evsel ve endüstriyel atıksuların ileri biyolojik arıtma yöntemleri ile arıtılması ve bu kapsamda mevcut arıtma tesislerinin membran prosesler gibi yenilikçi teknolojilerle revize edilmesinin gerekliliği vurgulanmıştır. Diğer yandan Marmara Denizi'ne deşarj yapan atıksu arıtma tesislerinin deşarj standartlarının 3 ay içerisinde güncellenerek hayata geçirileceği ve bu çalışmaların Marmara Denizinin hassas yapısını dikkate alınarak yürütüleceği ve uygulamaya konulacağı bildirilmiştir. Marmara Denizi'nde bir diğer önemli kirlilik kaynağı olan gemilerin atıksularının boşaltılmasının önlenmesi için de ivedi bir şekilde düzenleme yapılacağı belirtilmiştir. Kamuoyu ile paylaşılan eylem planının tamamında bütüncül bir yaklaşım izleneceği görülmektedir.

Müsilaj gibi kirlenmeler sadece kısa vadeli değil uzun vadeli çözümler isteyen sorunlar olup, kirlilik kaynakları ile mücadelenin mevcut sorunları çözmenin yanında soruna uzun vadede kalıcı çözümler de içermesi gerekmektedir.

Konuyla ilgili olarak, özellikle Marmara Denizi'ne kıyısı olan İstanbul'da ki mevcut gelişmiş üniversitelerin ilgili altyapısını kullanarak çözüm üretmek adına çalışmalara dahil olması çok büyük önem arz etmektedir.

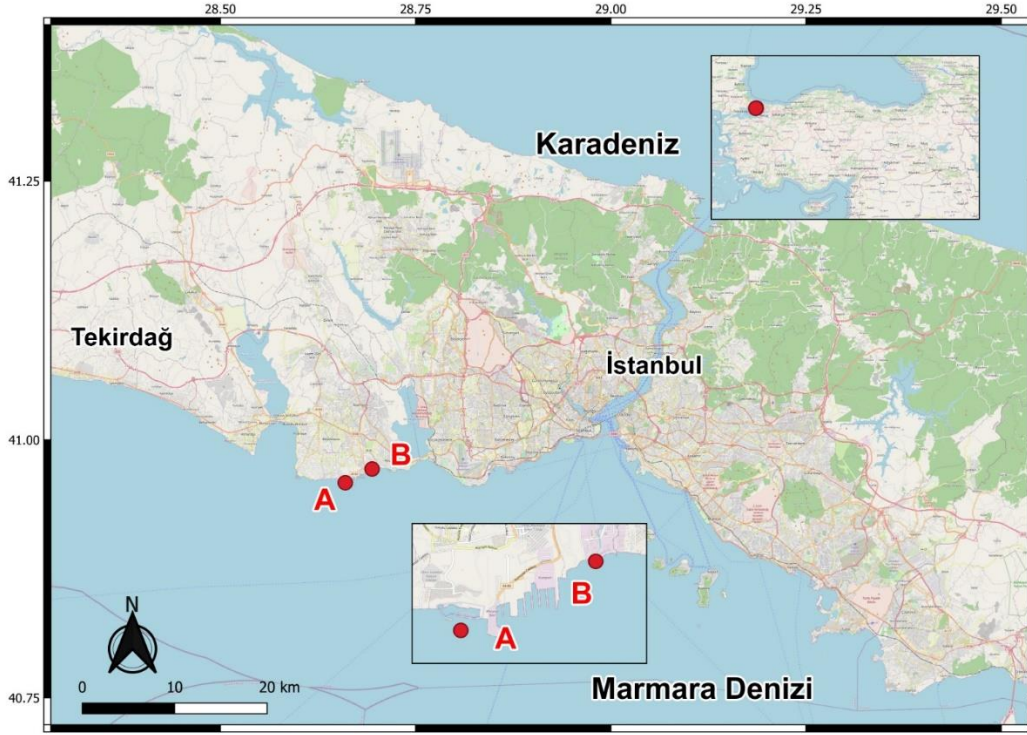
Bu bağlamda, ileriye yönelik kalıcı çözümler üretmek adına, üniversitemizin farklı disiplinlerde çalışan bölümlerinin problem çerçevesinde ortak noktada buluşturulması, konuyla ilgili kullanılabilecek araştırma altyapısının tespiti, yerinden örnekleme yapılarak sorunun tanımlanması ve boyutlarının ortaya konulması amacıyla yürütülen proje çalışmasının ön bulguları ve üniversite altyapısıyla gerçekleştirilebilecek yeni proje önerileri raporda sunulmuştur.

2. ÇALIŞMA SONUÇLARI

-MÜSİLAJ KARAKTERİZASYONU

a. Örnekleme

Çalışmada analiz edilen müsilağ örnekleri 12 Haziran 2021 tarihinde, Beylikdüzü ($40^{\circ}57'31''N$ / $28^{\circ}39'36''E$) ve Ambarlı ($40^{\circ}58'18''85$ / $28^{\circ}41'39''66$) bölgelerinden açık deniz yüzeyinden toplanmıştır (Şekil 6).

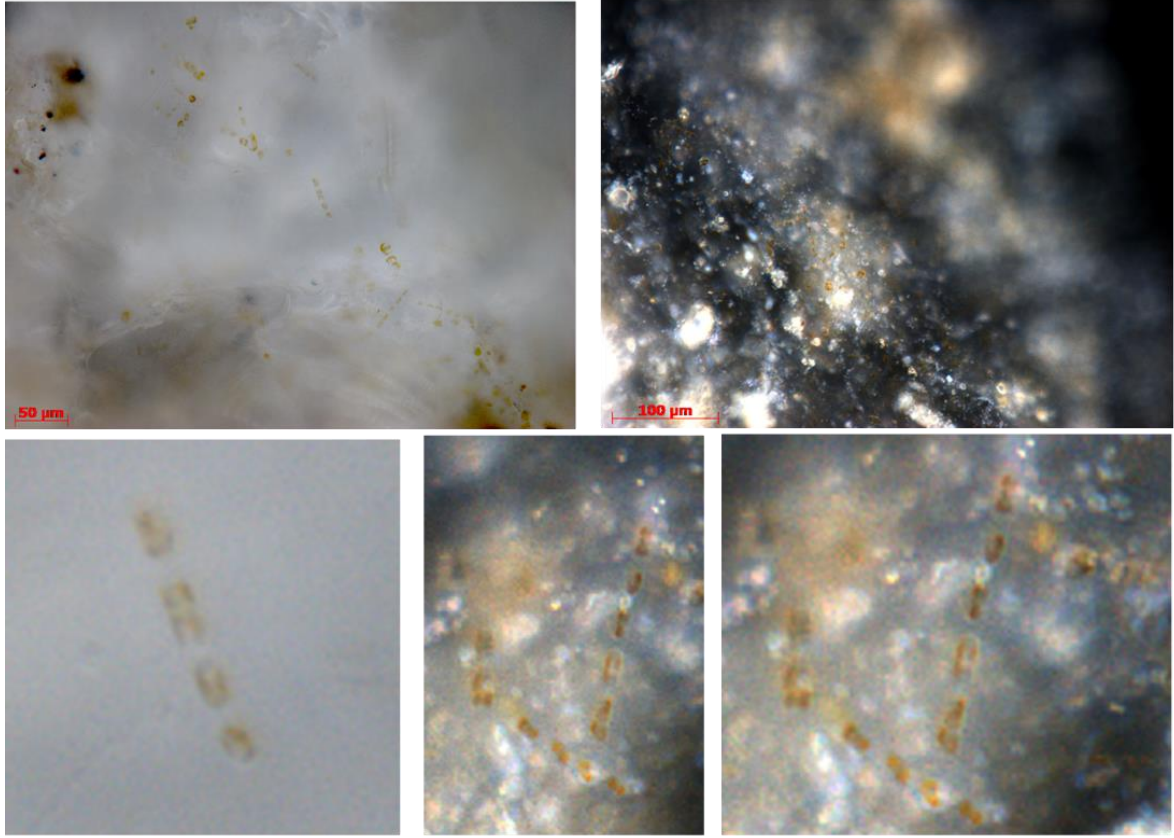


Şekil 6. Marmara Denizi'nde müsilaj örneklerinin toplandığı istasyonlar (A: Ambarlı, B: Beylikdüzü)

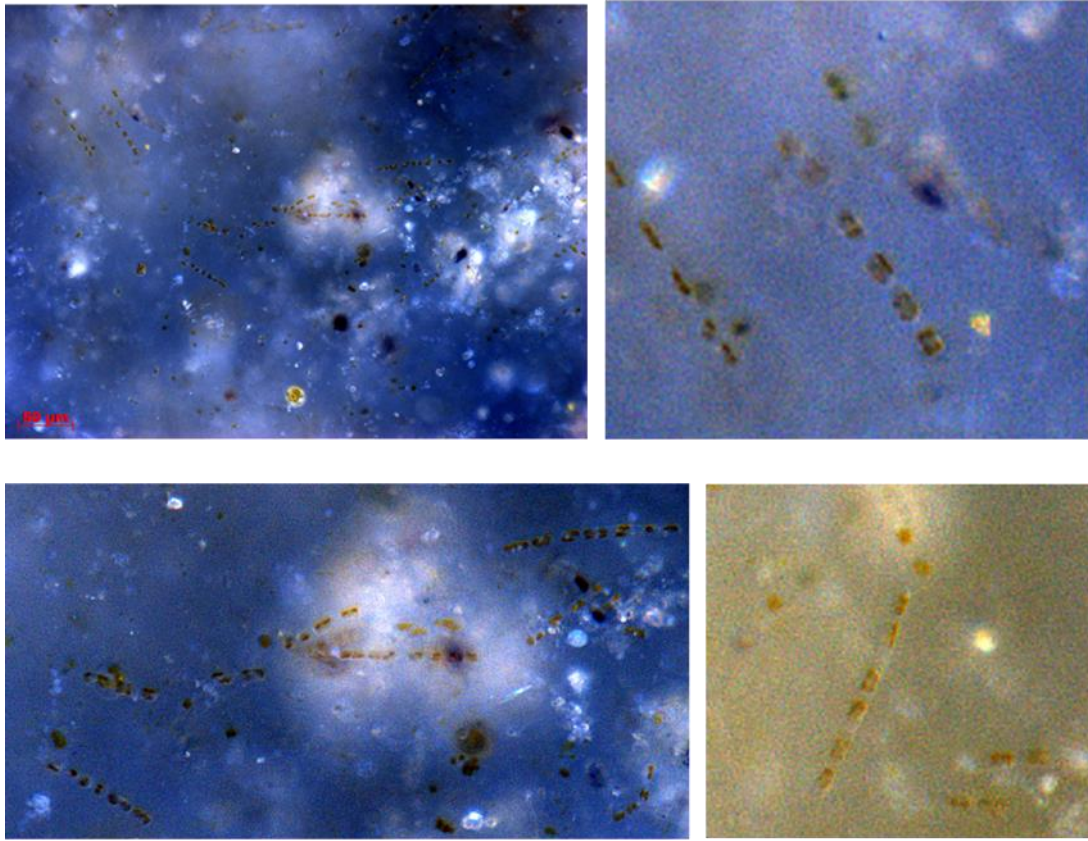
b. Mikroskopik İnceleme

Ambarlı ve Beylikdüzü müsilaj örnekleri Zeiss Axio Zoom marka mikroskop kullanılarak x270 büyütme ile incelenmiştir (Şekil 7-8). Müsilaj örneklerinin mikroskopik incelemesinde iki bölgeden alınan örneklerde *Skeletonema costatum* türü deniz diatomunun baskın olduğu net olarak gözlenmiştir. *Skeletonema costatum*, uzun zamandır kıyı deniz fitoplanktonunun en göze çarpan ve yaygın üyelerinden biri olarak kabul edilmektedir. Bu türün 2007-2008 yılında Marmara Denizi'nde gözlenen müsilaj agregatlarında da gözlenmiş olan ve müsilajdan sorumlu olduğu bilinen diatom türlerinden biri olduğu bilinmektedir (Urbani vd., 2005). Bu türün Adriyatik Denizi'nde de daha önce büyük ölçekli pelajik müsilaj oluşturan türlerden biri olduğu bildirilmiştir (Mingazzini ve Thake, 1995). Tespit edilen ve müsilajdan sorumlu olduğu düşünülen dominant *S. costatum* türünün çoklu doymamış aldehitler ürettiği ve bu aldehitlerin bazı deniz canlılarının üremesini etkilediği, özellikle deniz kestanesi embriyolarının bölünmesini engellediği bildirilmiştir (Hansen vd., 2004; D'Ippolito vd., 2002).

Diatom türlerinin müsilaj oluşumunda daha fazla etkili olmasının nedeni, diatomların müsilaj agregatları içinde daha iyi gelişebilmeleri ve çoğalabilmeleridir (Pompei ve diğerleri, 2003; Tinti vd., 2007). Ayrıca müsilajdan sorumlu olarak görülen fitoplanktonların, örnekleme alanı ve dönemine bağlı olarak baskın türlerin farklılığına göre değişebileceği de göz önünde bulundurulmalıdır (Revelante ve Gilmartin, 1991). Sunulan bu raporda, sadece Ambarlı ve Beylikdüzü müsilaj örnekleri mikroskopik ön değerlendirilmesinde en baskın olarak görülen tür tanımlanmış olup, müsilaj örneklerinde az oranda mevcut, farklı türlerde mikroalgler ile organik ve inorganik kalıntılarda gözlenmiştir. Üniversitemiz tarafından Marmara Denizi'nin farklı noktalarından toplanan örneklerin incelemeleri ileriki dönemde ortaya koyulacaktır.



Şekil 7. Ambarlı müsilaj örneği mikroskopik inceleme



Şekil 8. Beylikdüzü müsilaj örneği mikroskopik inceleme

c. Musilaj Numuneleri Ağır Metal Analizi Sonuçları

Ambarlı ve Beylikdüzü müsilağ örneklerinin ayrıntılı ağır metal analizi yapılmış olup, Ambarlı ve Beylikdüzü örneklerinin yanısıra Bostancı İskelesi'nden ve Marmara Ereğlisi'nden tarafımıza ulaştırılan az miktarda müsilağ örnekleriyle de ayrıntılı ağır metal analizi gerçekleştirilmiş ve aşağıda sunulmuştur.

Yöntem: Musilaj numunelerinden belli bir miktarda tartılan örnekler PTFE kaplar içerisinde asit karışı ile muamele edildikten sonra Mileston marka mikrodalga çözündürme cihazına konularak belli bir sıcaklık altında çözündürme işlemine tabi tutulmuştur. 45dk'lık çözündürme ve soğutma işleminden sonra ultra saf su ile hacimlerine tamamlanmıştır. Agilent marka 7700 model ICP-MS sistemi ile analizler gerçekleştirilmiştir (Tablo 3-6). Optimum koşullar altında Bostancı İskelesi örnekleri cihaza verilmeden önce farklı koşullarda ön işleme tabi tutularak Beyaz sıvı, Siyah sıvı, Siyah kül, Beyaz kül, Siyah-1 ve Beyaz-1 şeklinde kodlanarak, Marmara Ereğlisi'nden iki noktadan alınan örnekler ise ALE-1 ve M-ER-3 olarak kodlanarak hazırlanmış ve hazırlanan numunelerde Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Hg, Pb elementlerinin tayini eşzamanlı olarak eser seviyelerde gerçekleştirilmiştir.

Cihaz Parametreleri:

Tablo 3. Mileston marka Mikrodalga yakma sisteminde uygulanan sıcaklık programı

Süre, min	Sıcaklık, C°	Güç, watt
0-5	100	1000
5-10	100	1000
10-15	150	1000
15-20	150	1000
20-25	180	1000
25-35	180	1000

Tablo 4. Agilent marka 7700 model ICP-MS cihazında analit optimum parametreleri

Ayar modu	Kütle	Analit	Analit/ISTD	ISTD (iç standart)	İntegrasyon süresi/kütle(sec)
1: He	52	Cr	Analit	45	1
1: He	59	Fe	Analit	45	0,1
1: He	59	Co	Analit	45	0,1
1: He	60	Ni	Analit	45	1
1: He	63	Cu	Analit	45	0,1
1: He	66	Zn	Analit	72	0,1
1: He	75	As	Analit	72	1

1: No gas	111	Cd	Analit	115	1
1: No gas	208	Pb	Analit	209	0,1
1: No gas	201	Hg	Analit	209	1

Tablo 5. Agilent marka 7700 model ICP-MS cihazına ait hassasiyet cevapları

Sensitivity			
Kütle	7	89	205
Aralık	1.0E4	2.0E4	2.0E4
Cevap	8252.58	18243.38	13196.05
RSD,%	1.8	1.5	1.7
İntegrasyon süresi	0.100 sec		
Oksit	156/140	1.29%	
Çift Yük	70/140	1.47%	

Tablo 6. Agilent marka 7700 model ICP-MS cihazına ait rezolüsyon cevapları

Resolusyon/Aksis			
Kütle	7	89	205
Pik Yüksekliği	8267	18468	13243
Aksis	7.00	89.00	205.00
Pikin %50 genişliği (W-50%)	0.64	0.60	0.60
Pikin %10 genişliği (W-10%)	0.76	0.76	0.77
İntegrasyon süresi	0.100 sec		
Örnekleme süresi	22.740 sec		

Cihaza uygulanan RF değerleri, taşıyıcı gaz akış hızı, Plazma gazı akış hızı, Spray odacığı sıcaklığı, P/A faktör gibi parametreler için seçilen değerler aşağıda Tablo 7-8’de verilmiştir.

Tablo 7. Cihaz diğer parametre değerleri

Torch	Hardware Settings		
	Name	Value	Unit
	Torch H	0,7	mm
	Torch V	-0,1	mm
Plasma Correction	Hardware Settings		
	Name	Value	Unit
	Carrier Gas Offset	0	L/min
Resolution/Axis	Hardware Settings		
	Name	Value	Unit
	Mass Gain	132	
	Mass Offset	125	
	Axis Gain	1,0001	
	Axis Offset	0,1	
EM	Hardware Settings		
	Name	Value	Unit
	Discriminator	6	mV
	Analog HV	1555	V
	Pulse HV	1441	V

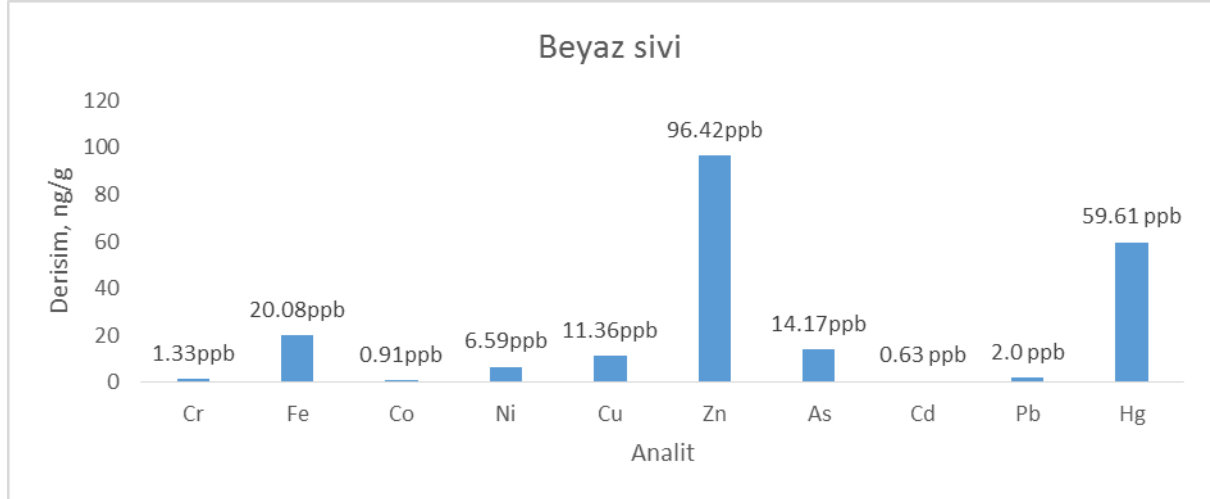
Tablo 8 Cihaz koşulları

RF güç	1550 W
Reflect güç	< 30
Taşıyıcı gaz akış hızı	1.0 mL/min
Plazma gaz akışı	15 mL/min
Yardımcı gaz akış hızı	0.9 mL/min
Spray odacığı sıcaklığı	2 °C
Kütle aralığı	5-250 amu
P/A faktör	7-89-205

Cihaz optimum koşulları elde edildikten sonra analize geçilmiştir.

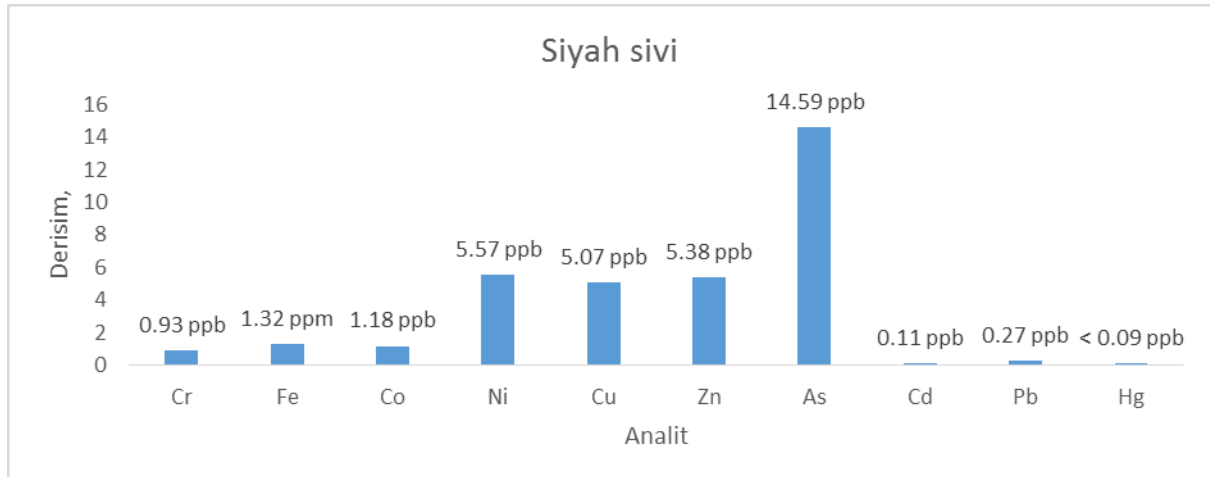
Bostancı İskelesi ve Marmara Ereğlisi'nden alınan müsilağ örneklerinin analiz sonuçları aşağıda sunulmuştur:

Bostancı'dan alınan beyaz sıvı kodlu örnekte Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb, Hg analitlerinin derişimleri sırasıyla; 1.33 ± 0.04 ng/g, 20.08 ± 0.31 ng/g, 0.91 ± 0.05 ng/g, 6.59 ± 0.12 ng/g, 11.36 ± 0.32 ng/g, 96.42 ± 2.74 ng/g, 14.17 ± 0.58 ng/g, 0.63 ± 0.02 ng/g, 2.00 ± 0.03 ng/g, 59.61 ± 2.50 ng/g derişimlerinde bulunmuştur (Şekil 9).



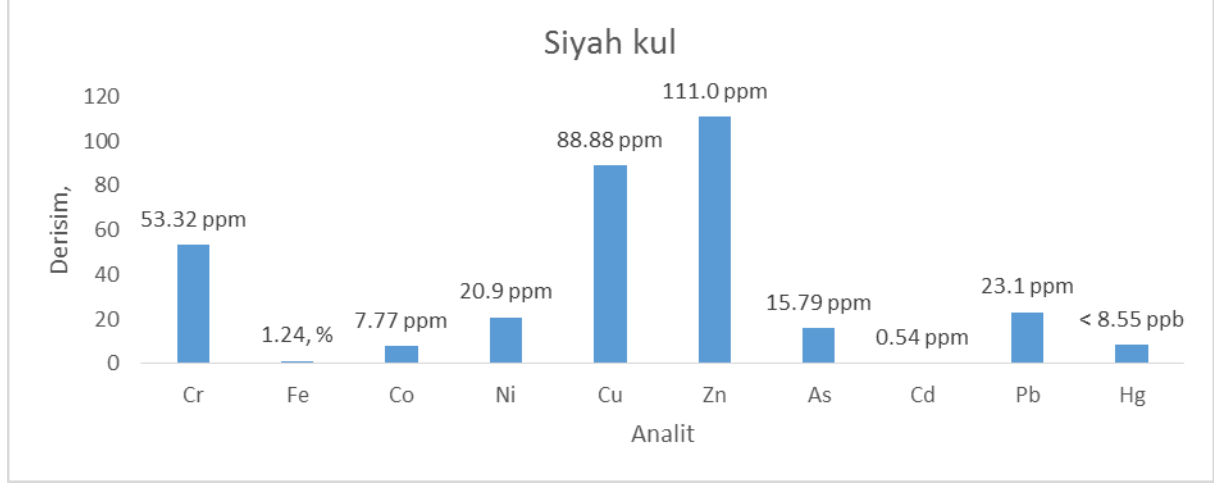
Şekil 9. Bostancı (Beyaz sıvı) müsilağ ağır metal analiz sonuçları

Bostancı'dan alınan siyah sıvı kodlu örnekte Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb, Hg analitlerinin derişimleri sırasıyla; 0.93 ± 0.03 ng/g, 1.32 ± 0.02 ($\mu\text{g/g}$), 1.18 ± 0.06 (ng/g), 5.57 ± 0.11 ng/g, 5.07 ± 0.14 ng/g, 5.38 ± 0.15 ng/g, 14.59 ± 0.60 ng/g, 0.11 ± 0.01 ng/g, 0.27 ± 0.01 ng/g, < 0.09 ng/g derişimlerinde bulunmuştur. Hg derişimi dedeksiyon limitinin altında kaldığından gözlemlenmemiştir (Şekil 10).



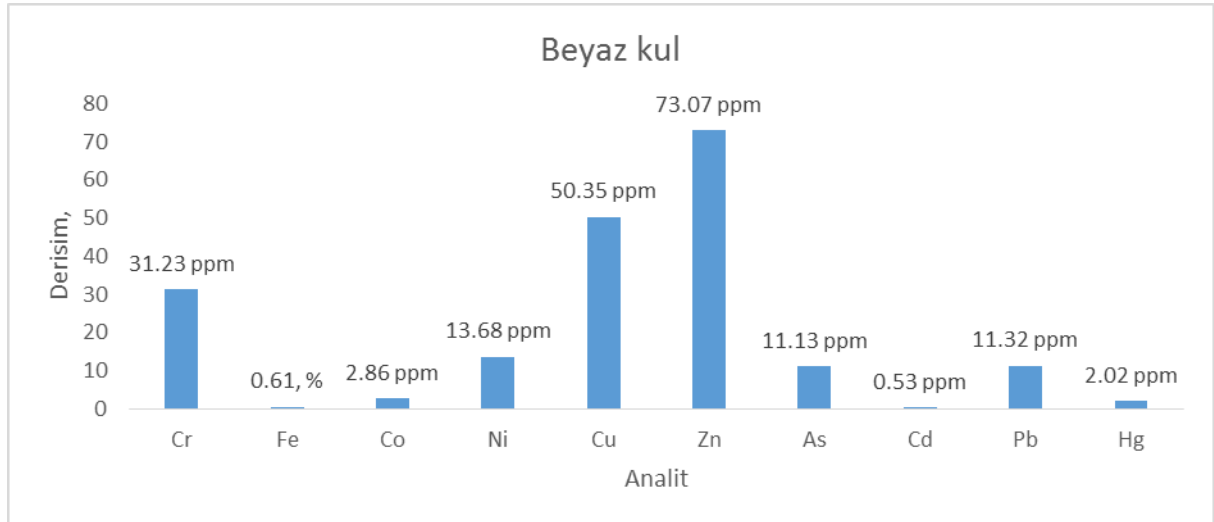
Şekil 10. Bostancı (Siyah sıvı) müsilağ ağır metal analiz sonuçları

Bostancı'dan alınan siyah kül kodlu örnekte Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb, Hg analitlerinin derişimleri sırasıyla; $53.32 \pm 1.47 \mu\text{g/g}$, $12426 \pm 188 (\mu\text{g/g})$, $7.77 \pm 0.40 (\mu\text{g/g})$, $20.90 \pm 0.40 \mu\text{g/g}$, $88.88 \pm 2.52 \mu\text{g/g}$, $111.0 \pm 3.2 \mu\text{g/g}$, $15.79 \pm 0.65 \mu\text{g/g}$, 537.2 ± 15.9 , $23.10 \pm 0.33 \mu\text{g/g}$, $< 8.55 \text{ ng/g}$ derişimlerinde bulunmuştur. Hg derişimi dedeksiyon limitinin altında kaldığından gözlemlenmemiştir (Şekil 11).



Şekil 11. Bostancı (Siyah kül) müsilağ ağır metal analiz sonuçları

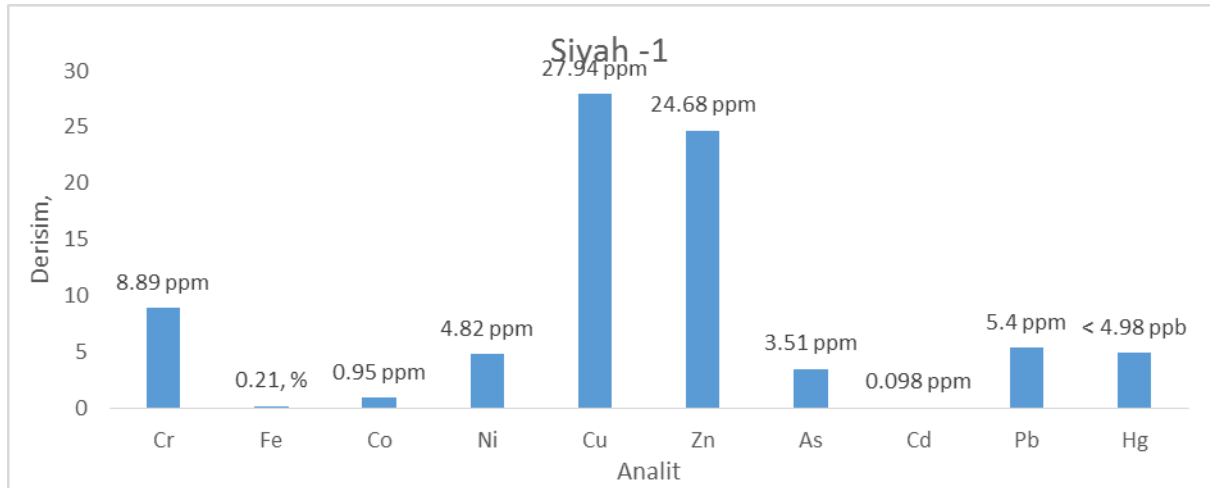
Bostancı'dan alınan beyaz kül kodlu örnekte Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb, Hg analitlerinin derişimleri sırasıyla; $31.23 \pm 0.86 \mu\text{g/g}$, $6119 \pm 93 (\mu\text{g/g})$, $2.86 \pm 0.15 (\mu\text{g/g})$, $13.68 \pm 0.26 \mu\text{g/g}$, $50.35 \pm 0.95 \mu\text{g/g}$, $73.07 \pm 1.38 \mu\text{g/g}$, $11.13 \pm 0.46 \mu\text{g/g}$, $533.3 \pm 15.8 \text{ ng/g}$, $11.32 \pm 0.16 \mu\text{g/g}$, $2.02 \pm 0.08 \mu\text{g/g}$ derişimlerinde bulunmuştur (Şekil 12).



Şekil 12. Bostancı (Beyaz kül) müsilağ ağır metal analiz sonuçları

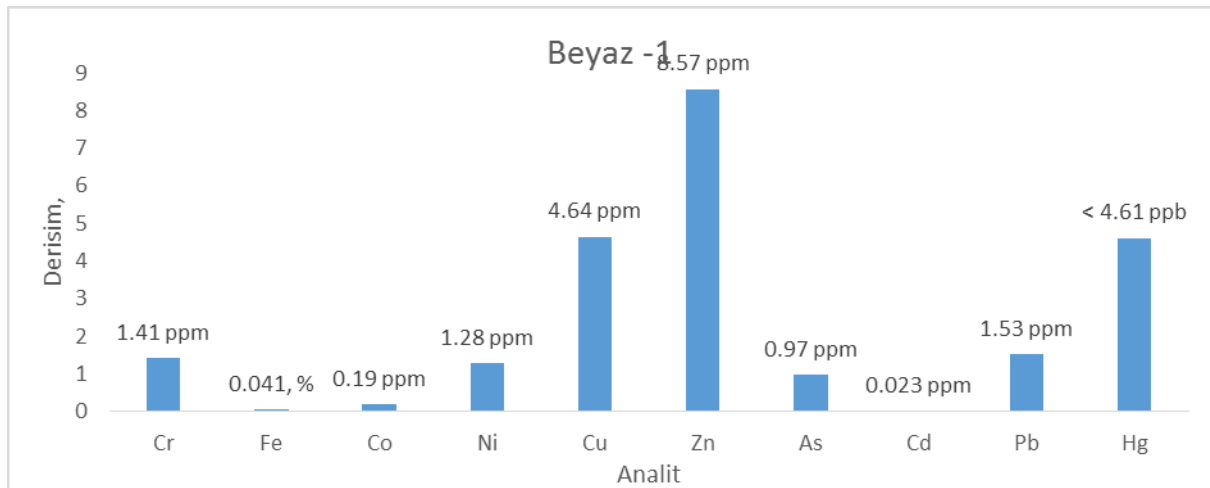
Siyah-1 kodlu örnekte Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb, Hg analitlerinin derişimleri sırasıyla; $8.89 \pm 0.24 \mu\text{g/g}$, $2124 \pm 32 (\mu\text{g/g})$, $0.95 \pm 0.05 (\mu\text{g/g})$, $4.82 \pm 0.09 \mu\text{g/g}$, $27.94 \pm 0.53 \mu\text{g/g}$, $24.68 \pm 0.47 \mu\text{g/g}$, $3.51 \pm 0.14 \mu\text{g/g}$, $98.38 \pm 2.91 \text{ ng/g}$, $5.40 \pm 0.08 \mu\text{g/g}$, < 4.98

ng/g, olarak bulunmuştur. Toksik özellik gösteren Hg derişimi dedeksiyon limitlerinin altında kaldığından gözlenmememiştir (Şekil 13).



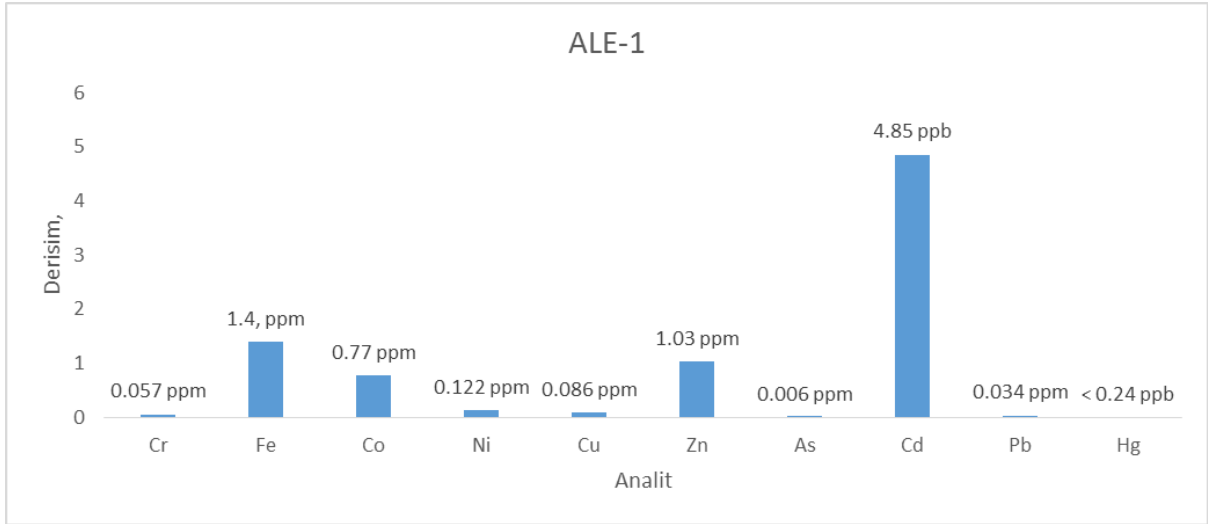
Şekil 13. Bostancı (Siyah-1) müsilağ ağır metal analiz sonuçları

Beyaz-1 kodlu örnekte Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb, Hg analitlerinin derişimleri sırasıyla; $1.41 \pm 0.04 \mu\text{g/g}$, $407.3 \pm 6.2 (\mu\text{g/g})$, $0.19 \pm 0.01 (\mu\text{g/g})$, $1.28 \pm 0.02 \mu\text{g/g}$, $4.64 \pm 0.09 \mu\text{g/g}$, $8.57 \pm 0.16 \mu\text{g/g}$, $0.97 \pm 0.04 \mu\text{g/g}$, $23.38 \pm 0.69 \text{ ng/g}$, $1.53 \pm 0.02 \mu\text{g/g}$, $< 4.61 \text{ ng/g}$, olarak bulunmuştur. Toksik özellik gösteren Hg derişimi dedeksiyon limitlerinin altında kaldığından gözlenmememiştir (Şekil 14).



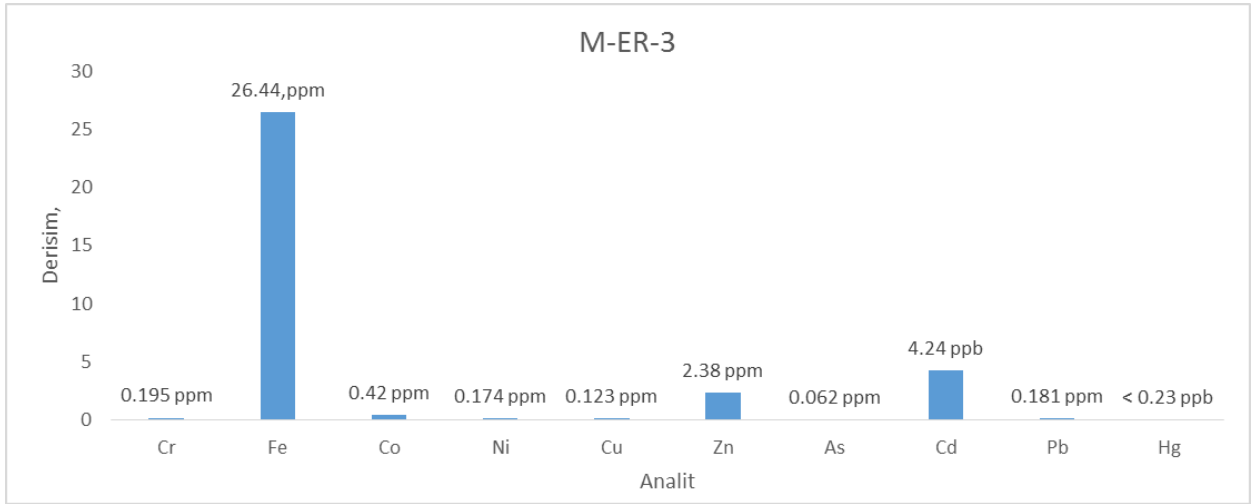
Şekil 14. Bostancı (Beyaz-1) müsilağ ağır metal analiz sonuçları

Marmara Ereğlisi'nden alınan ALE-1 kodlu örnekte Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb, Hg analitlerinin derişimleri sırasıyla; $0.057 \pm 0.002 \mu\text{g/g}$, $1.40 \pm 0.05 \mu\text{g/g}$, $0.77 \pm 0.04 \mu\text{g/g}$, $0.122 \pm 0.002 \mu\text{g/g}$, $0.086 \pm 0.002 \mu\text{g/g}$, $1.03 \pm 0.03 \mu\text{g/g}$, $0.006 \pm 0.001 \mu\text{g/g}$, $4.85 \pm 0.14 \text{ ng/g}$, $0.034 \pm 0.001 \mu\text{g/g}$, $< 0.24 \text{ ng/g}$ olarak bulunmuştur. Toksik özellik gösteren Hg derişimi dedeksiyon limitlerinin altında kaldığından gözlenmememiştir (Şekil 15).



Şekil 15. Marmara Ereğlisi (ALE-1) müsilağ ağır metal analiz sonuçları

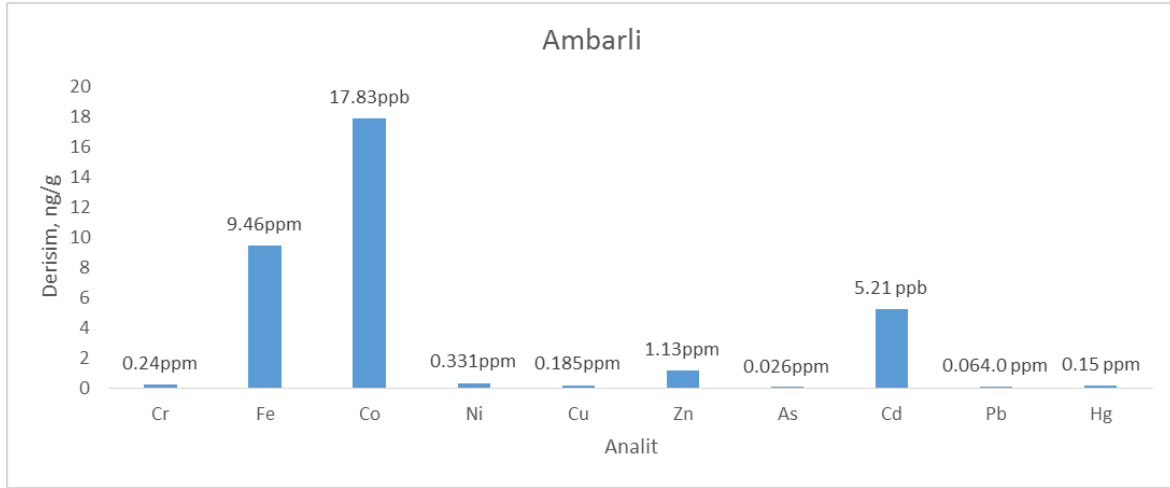
Marmara Ereğlisi'nden alınan M-ER-3 kodlu örnekte Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb, Hg analitlerinin derişimleri sırasıyla; $0.195 \pm 0.005 \mu\text{g/g}$, $26.44 \pm 0.40 \mu\text{g/g}$, $0.42 \pm 0.02 \mu\text{g/g}$, $0.174 \pm 0.003 \mu\text{g/g}$, $0.123 \pm 0.003 \mu\text{g/g}$, $2.38 \pm 0.07 \mu\text{g/g}$, $0.062 \pm 0.003 \mu\text{g/g}$, $4.24 \pm 0.13 \text{ ng/g}$, $0.181 \pm 0.003 \mu\text{g/g}$, $< 0.23 \text{ ng/g}$ olarak bulunmuştur. Toksik özellik gösteren Hg derişimi dedeksiyon limitlerinin altında kaldığından gözlenmemiştir (Şekil 16).



Şekil 16. Marmara Ereğlisi (M-ER-3) müsilağ ağır metal analiz sonuçları

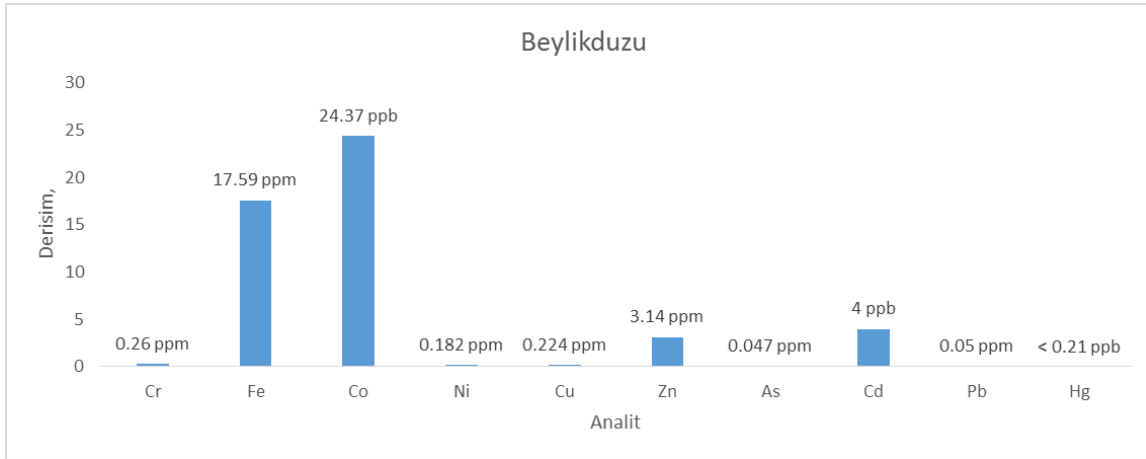
Ambarlı ve Beylikdüzü'nden alınan müsilağ örneklerinin analiz sonuçları aşağıda sunulmuştur:

Ambarlı'dan alınan örnekte Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb, Hg analitlerinin derişimleri sırasıyla; $10.240 \pm 0.007 \mu\text{g/g}$, $9.46 \pm 0.14 \mu\text{g/g}$, $17.83 \pm 0.92 \text{ ng/g}$, $0.331 \pm 0.006 \mu\text{g/g}$, $0.185 \pm 0.005 \mu\text{g/g}$, $1.13 \pm 0.03 \mu\text{g/g}$, $0.026 \pm 0.001 \mu\text{g/g}$, $5.21 \pm 0.15 \text{ ng/g}$, $0.064 \pm 0.001 \mu\text{g/g}$, $0.15 \pm 0.10 \mu\text{g/g}$ olarak bulunmuştur. Co, Cd elementlerin derişimi düşük seviyelerde (ppb) görülürken Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Pb elementleri ppm mertebelerinde görülmüştür. Toksik özellik gösteren Hg derişimi dedeksiyon limitlerinin altında kaldığından gözlenmemiştir (Şekil 17).



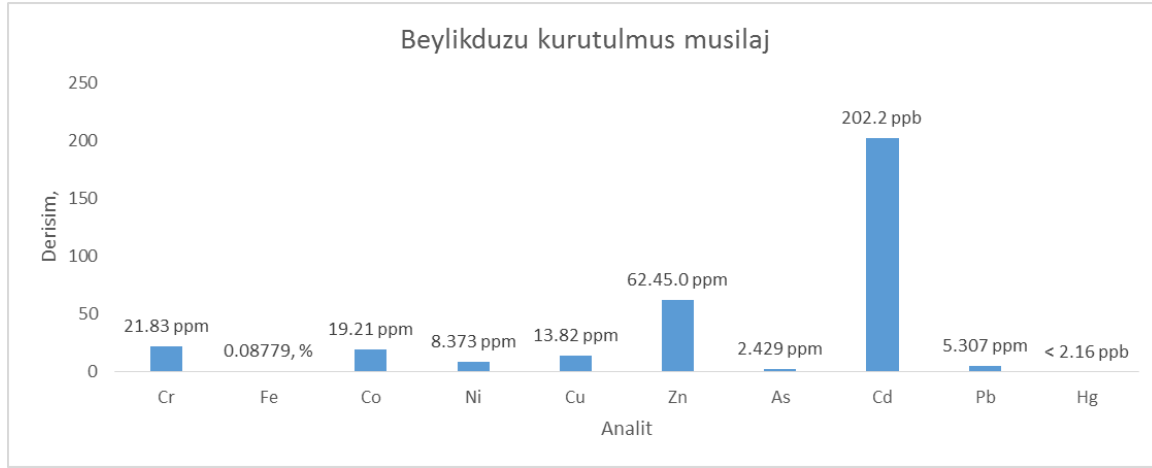
Şekil 17. Ambarlı müsilağ ağır metal analiz sonuçları

Beylikdüzü’den alınan örnekte Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb, Hg analitlerinin derişimleri sırasıyla; $0.260 \pm 0.007 \mu\text{g/g}$, $17.59 \pm 0.27 \mu\text{g/g}$, $24.37 \pm 1.27 \text{ ng/g}$, $0.182 \pm 0.003 \mu\text{g/g}$, $0.224 \pm 0.006 \mu\text{g/g}$, $3.14 \pm 0.09 \mu\text{g/g}$, $0.047 \pm 0.002 \mu\text{g/g}$, $4.00 \pm 0.12 \text{ ng/g}$, $0.050 \pm 0.001 \mu\text{g/g}$, $< 0.21 \text{ ng/g}$ olarak bulunmuştur. Co, Cd elementlerin derişimi düşük seviyelerde (ppb) görülürken Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Pb elementleri ppm mertebelerinde görülmüştür. Toksik özellik gösteren Hg derişimi dedeksiyon limitlerinin altında kaldığından gözlenmemiştir (Şekil 18).



Şekil 18. Beylikdüzü müsilağ ağır metal analiz sonuçları

Beylikdüzü’den alınan ve kurutulan müsilağ örneğinde yapılan analizler sonucu Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb, Hg analitlerinin derişimleri sırasıyla; $21.83 \pm 0.60 \mu\text{g/g}$, $877.9 \pm 13.3 \mu\text{g/g}$, $19.21 \pm 1.00 \mu\text{g/g}$, $8.373 \pm 0.158 \mu\text{g/g}$, $13.82 \pm 0.39 \mu\text{g/g}$, $62.45 \pm 1.77 \mu\text{g/g}$, $2.429 \pm 0.099 \mu\text{g/g}$, $202.2 \pm 5.9 \text{ ng/g}$, $5.307 \pm 0.076 \mu\text{g/g}$, $< 2.16 \text{ ng/g}$ olarak bulunmuştur. Toksik özellik gösteren Hg derişimi dedeksiyon limitlerinin altında kaldığından gözlenmemiştir (Şekil 19).



Şekil 19. Beylikdüzü kurutulmuş müsilağ ağır metal analiz sonuçları

Ambarlı, Beylikdüzü ve Marmara Ereğlisi'nin karşılaştırmalı örnekleri aşağıda tablo halinde sunulmuştur:

Ölçüm öncesi, farklı yöntemlerle (kurutma, yakma) hazırlanan numunelerden, cihaza aynı formda sıvı olarak beslenen numuneler (Tablo 9 ve 10' da mavi ile işaretlenmiştir) kendi içinde karşılaştırıldığında en yüksek ağır metal içeriğine sahip olanlar tabloda koyu olarak belirtilmiştir. Kurutularak ve yakılma sonrası elde edilen müsilağ kül örneklerinde sıvı formlardaki örneklerle göre daha yüksek ağır metal değerlerine ulaşılması doğaldır.

Tablo 9. Farklı noktalardan alınan müsilağ örneklerinin ağır metal içeriklerinin karşılaştırılması

Örnek	Cr, µg/g	Fe, µg/g	Co, µg/g	Ni, µg/g	Cu, µg/g
Ambarlı	0.240 ± 0.007	9.46 ± 0.14	17.83 ± 0.92 ng/g	0.331 ± 0.006	0.185 ± 0.005
Beylikduzu	0.260 ± 0.007	17.59 ± 0.27	24.37 ± 1.27 ng/g	0.182 ± 0.003	0.224 ± 0.006
Beylikduzu kuru müsilağ	21.83 ± 0.60	877.9 ± 13.3	19.21 ± 1.00	8.373 ± 0.158	13.82 ± 0.39
ALE-1	0.057 ± 0.002	1.40 ± 0.05	0.77 ± 0.04	0.122 ± 0.002	0.086 ± 0.002
M-ER-3	0.195 ± 0.005	26.44 ± 0.40	0.42 ± 0.02	0.174 ± 0.003	0.123 ± 0.003
Beyaz sıvı	1.33 ± 0.04 ng/g	20.08 ± 0.31 (ng/g)	0.91 ± 0.05 (ng/g)	6.59 ± 0.12 ng/g	11.36 ± 0.32 ng/g
Siyah sıvı	0.93 ± 0.03 ng/g	1.32 ± 0.02	1.18 ± 0.06 (ng/g)	5.57 ± 0.11 ng/g	5.07 ± 0.14 ng/g
Siyah kül	53.32 ± 1.47	12426 ± 188	7.77 ± 0.40	20.90 ± 0.40	88.88 ± 2.52
Beyaz kül	31.23 ± 0.86	6119 ± 93	2.86 ± 0.15	13.68 ± 0.26	50.35 ± 0.95
Siyah-1	8.89 ± 0.24	2124 ± 32	0.95 ± 0.05	4.82 ± 0.09	27.94 ± 0.53
Beyaz-1	1.41 ± 0.04	407.3 ± 6.2	0.19 ± 0.01	1.28 ± 0.02	4.64 ± 0.09

Örnek	Zn, µg/g	As, µg/g	Cd, ng/g	Pb, µg/g	Hg, , µg/g
Ambarli	1.13 ± 0.03	0.026 ± 0.001	5.21 ± 0.15	0.064 ± 0.001	0.15 ± 0.1
Beylikduzu	3.14 ± 0.09	0.047 ± 0.002	4.00 ± 0.12	0.050 ± 0.001	< 0.21 ng/g
Beylikduzu kuru musilaj	62.45 ± 1.77	2.429 ± 0.099	202.2 ± 5.9	5.307 ± 0.076	< 2.16 ng/g
ALE-1	1.03 ± 0.03	0.006 ± 0.001	4.85 ± 0.14	0.034 ± 0.001	< 0.24 ng/g
M-ER-3	2.38 ± 0.07	0.062 ± 0.003	4.24 ± 0.13	0.181 ± 0.003	< 0.23 ng/g
Beyaz sivi	96.42 ± 2.74 ng/g	14.17 ± 0.58 ng/g	0.63 ± 0.02 ng/g	2.00 ± 0.03 ng/g	59.61 ± 2.50 ng/g
Siyah sivi	5.38 ± 0.15 ng/g	14.59 ± 0.60 ng/g	0.11 ± 0.01 ng/g	0.27 ± 0.01 ng/g	< 0.09 ng/g
Siyah kul	111.0 ± 3.2	15.79 ± 0.65	537.2 ± 15.9	23.10 ± 0.33 µg/g	< 8.55 ng/g
Beyaz kul	73.07 ± 1.38	11.13 ± 0.46	533.3 ± 15.8	11.32 ± 0.16 µg/g	2.02 ± 0.08
Siyah-1	24.68 ± 0.47	3.51 ± 0.14	98.38 ± 2.91	5.40 ± 0.08 µg/g	< 4.98 ng/g
Beyaz-1	8.57 ± 0.16	0.97 ± 0.04	23.38 ± 0.69	1.53 ± 0.02 µg/g	< 4.61 ng/g

Su kirliliği kontrolü yönetmeliği tabloları incelendiğinde (Tablo 10) müsilaçlı deniz suyu örneklerinin tüm ağır metaller için deniz suyu kriter değerlerinin çok üstünde olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 10. Deniz Suyunun Genel Kalite Kriterleri

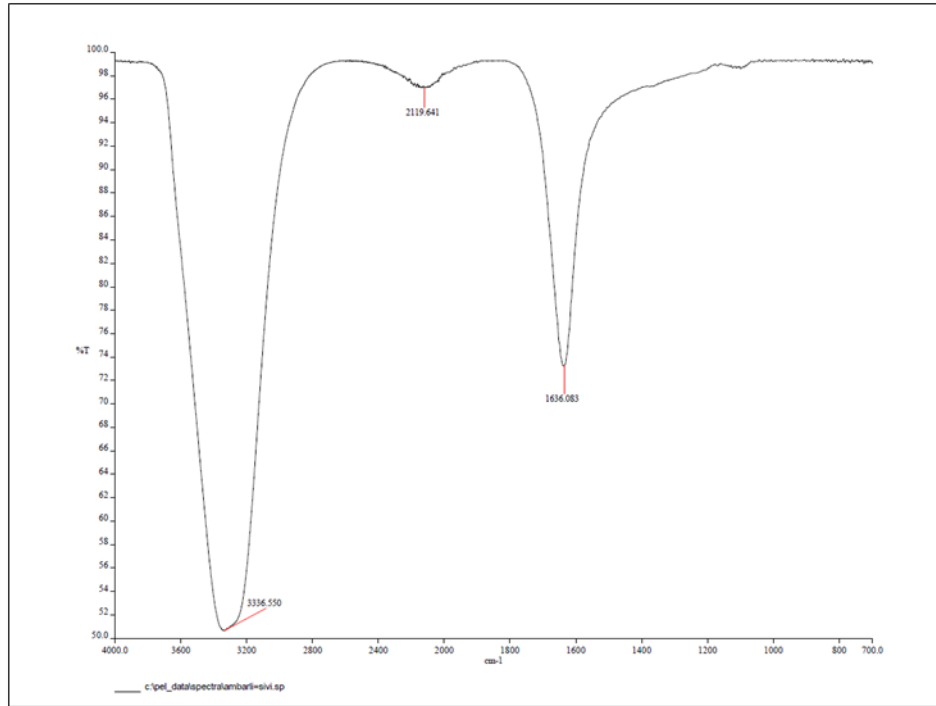
Parametre	Kriter
Çeşitli ağır metaller	
Bakır, (mg/L)	0.01
Kadmiyum, (mg/L)	0.01
Krom, (mg/L)	0.1
Kurşun, (mg/L)	0.1
Nikel, (mg/L)	0.1
Çinko, (mg/L)	0.1
Civa, (mg/L)	0.004
Arsenik, (mg/L)	0.1

Yapılan incelemeler sonrasında farklı bölgelerden alınan müsilaç örneklerinin toksik etkiye sahip farklı tipte ağır metallerden, farklı oranlarda içerdiği belirlenmiştir. Sonuç olarak farklı bölgelerde ki kirlenici kaynakların farklılığı sebebiyle bu sonuçlara ulaşılması doğal bir sonuçtur. Müsilaçın toksik etkisinin olup olmadığıyla ilgili olarak, sadece tek noktadan elde edilmiş müsilaçın analizi ile tek tip bir değerlendirme yapılması mümkün değildir.

Marmara Denizi'nde artan kirliliğe ağır metallerin etkisinin yüksek derecede olması, yapılan ölçümlerde balıkçıların kanında aşırı bakır ve midyelerde kurşun gibi ağır metal birikimi ile literatürde ki bilimsel çalışmalarda ortaya koyulmuştur (Ergül ve Aksan, 2013; Çamur vd., 2021). Bakır ve kurşunun müsilağ oluşumu üzerindeki etkileri de gösterilmiştir (Mecozzi vd., 2008). Ağır metaller gibi toksik kirleticiler genellikle endüstriyel kaynaklı atıklardan ortaya çıkmaktadır (Hornbuckle vd., 1993). Demir gibi bazı iz elementler de azot döngüsünde katalizör rolü oynayarak müsilağ oluşumuna katkıda bulunabilir. Bu endüstriyel kaynaklı toksik maddelerin genellikle kanserojendir ve üreme sisteminde kalıcı bozukluklara ve ayrıca akut ölümlere neden olabileceği bildirilmiştir (LaGrega vd., 1994; Taşdemir 2002).

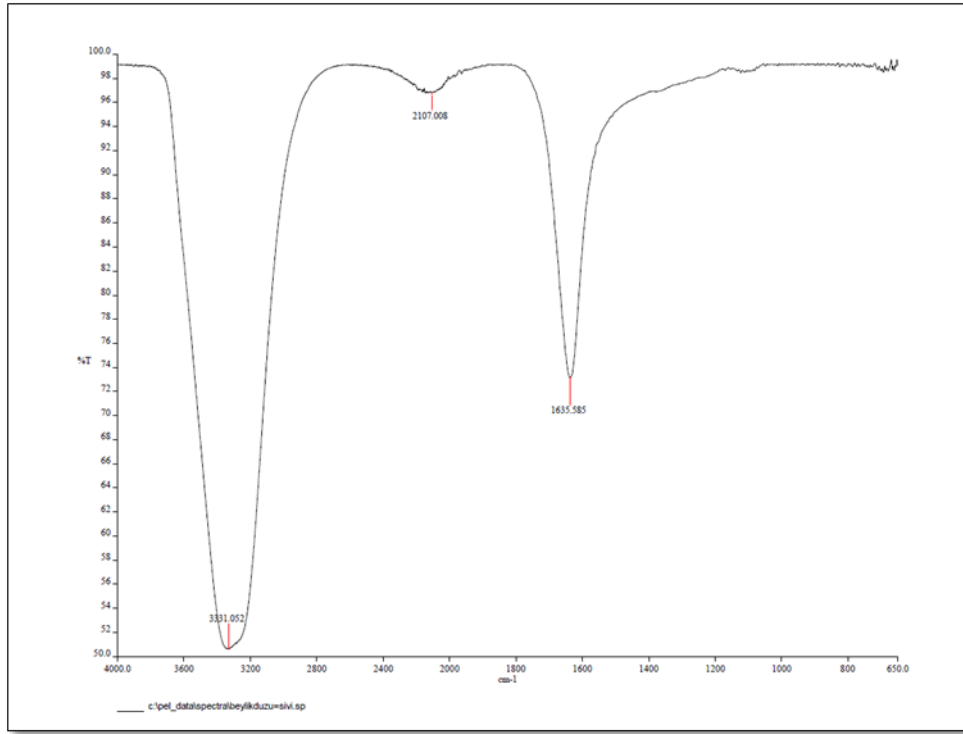
d. Müsilaj Numunelerinin FTIR Analizi

Ambarlı ve Beylikdüzü'nden alınan müsilağ numuneleri hiçbir işlem uygulanmadan, Perkin Elmer Spectrum 100 FT-IR cihazının ATR ünitesinde doğrudan ölçülmüştür. Ölçüm sonucunda alınan grafikler ve yorumları aşağıda sunulmuştur:



Şekil 20. Ambarlı sıvı numunesi FTIR analizi

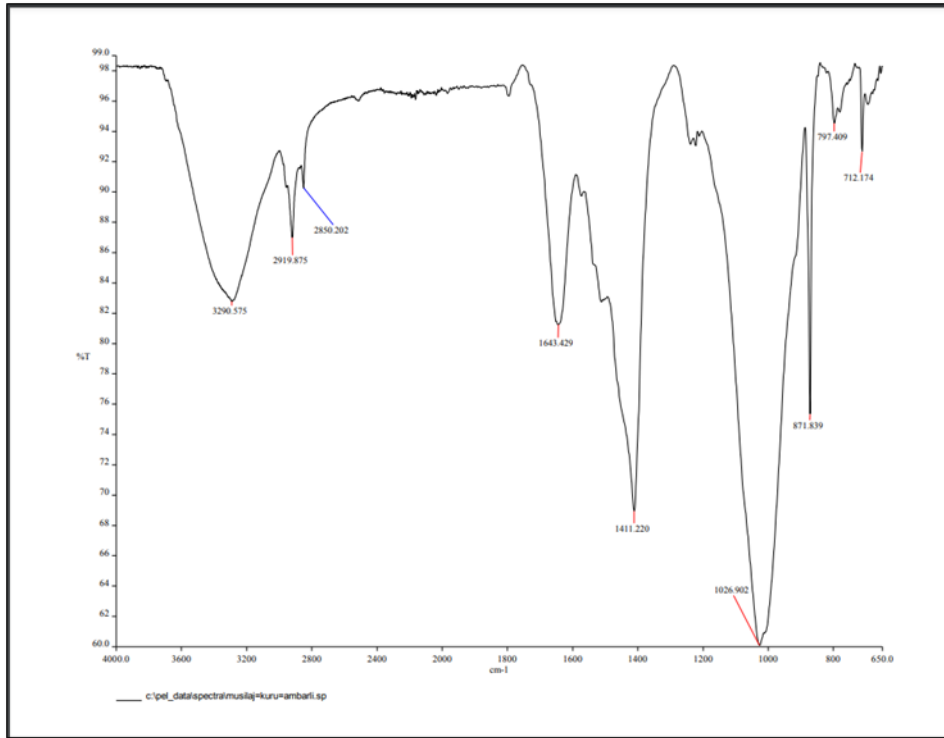
Ambarlı sıvı numunesinde 3336.55 cm⁻¹'deki pik O-H bağlarına aittir (su piki). 2119.64 cm⁻¹'deki pik $-C\equiv N$ (nitril) fonksiyonel grubuna sahip organik bileşiklerin varlığını göstermektedir. 1636.08 cm⁻¹'deki pik C=O çift bağlarına sahip (karbonil grubu) organik bileşiklerin varlığına işaret etmektedir (Şekil 20).



Şekil 21. Beylikdüzü sıvı numunesi FTIR analizi

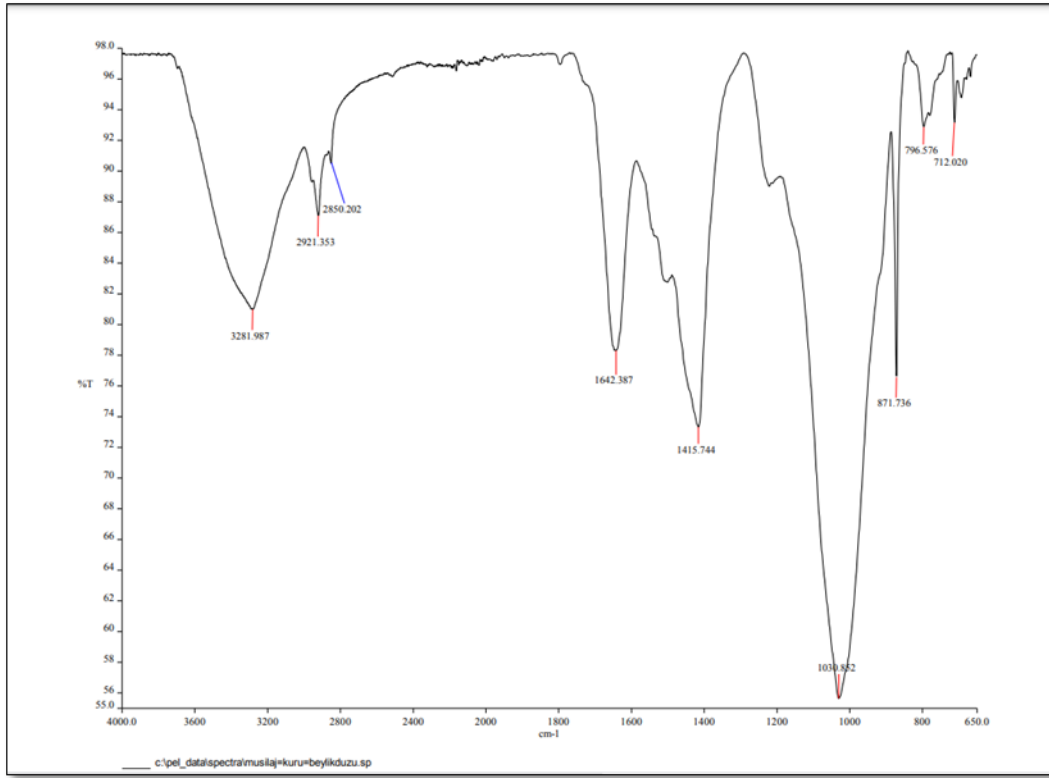
Beylikdüzü sıvı numunesinde 3331.05 cm^{-1} 'deki pik serbest O-H bağlarına ait olup, numunenin su içeriğini göstermektedir. 2107.00 cm^{-1} 'deki pik $\text{—C}\equiv\text{N}$ (nitril) fonksiyonel grubuna sahip organik bileşiklerin varlığını göstermektedir. 1635.58 cm^{-1} 'deki pik C=O çift bağlarına sahip (karbonil grubu) organik bileşiklerin varlığına işaret etmektedir (Şekil 21).

Ambarlı ve Beylikdüzü'nden alınan müsilaç numuneleri mavi bantlı süzgeç kağıdından süzülerek, kalıntıları iki gün boyunca kurutulmuş ve elde edilen kuru materyal Perkin Elmer Spectrum 100 FT-IR cihazının ATR ünitesinde doğrudan ölçülmüştür. Ölçüm sonucunda alınan grafikler ve yorumları aşağıda sunulmuştur:



Şekil 22. Ambarlı kalıntı numunesi FTIR analizi

Ambarlı kalıntı numunesindeki 3290.57 cm⁻¹, 797.40 cm⁻¹ ve 712.17 cm⁻¹'deki pikler alifatik alkol bağlarının varlığını işaret etmektedir. 2919.87 cm⁻¹, 2850.20 cm⁻¹ ve 1411.22 cm⁻¹'deki pikler alkil grubu içeren moleküllere aittir. 1643.42 cm⁻¹'deki pik C=O çift bağları içeren ester, karboksilli asit, keton ve aldehit gibi moleküllerin varlığını göstermektedir. 1026.90 cm⁻¹'deki pik C-O tek bağlarına aittir ve 1643.42 cm⁻¹'deki pikle beraber ester bileşiklerinin varlığını göstermektedir (Şekil 22).



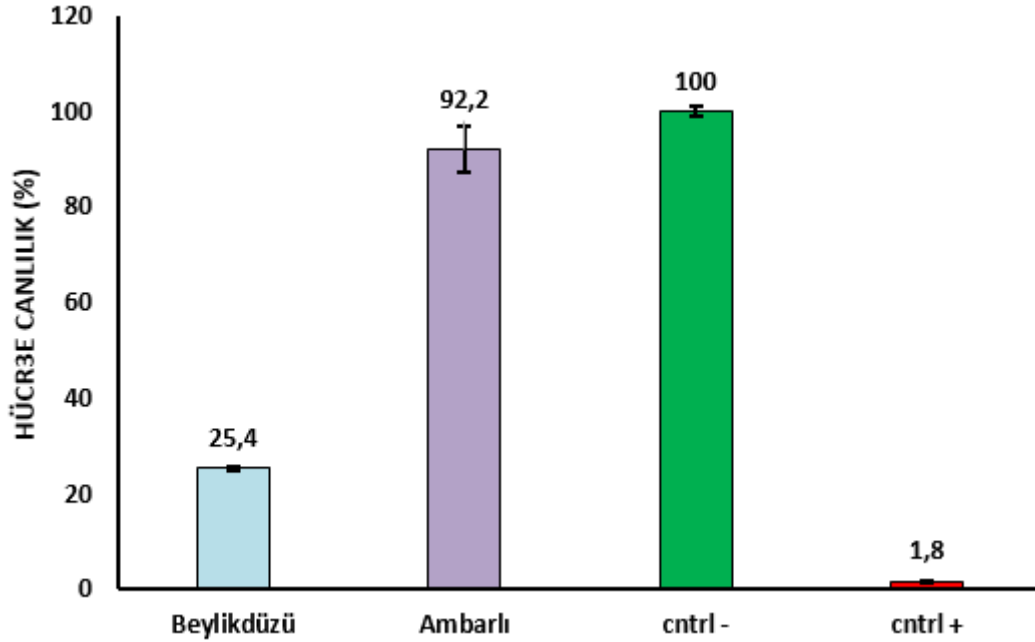
Şekil 23. Beylikdüzü kalıntı numunesi FTIR analizi

Beylikdüzü kalıntı numunesinde 3281.98 cm^{-1} , 796.57 cm^{-1} ve 712.02 cm^{-1} 'deki pikler alifatik alkol bağlarının varlığını göstermektedir. 2921.35 cm^{-1} , 2850.20 cm^{-1} ve 1415.74 cm^{-1} 'deki pikler alkil grubu içeren moleküllerin varlığını işaret etmektedir. 1642.38 cm^{-1} 'deki pik C=O çift bağları içeren ester, karboksilli asit, keton ve aldehit gibi moleküllerin varlığını göstermektedir. 1030.85 cm^{-1} 'deki pik C-O tek bağlarına aittir ve 1642.38 cm^{-1} 'deki pikle beraber ester bileşiklerinin varlığını göstermektedir (Şekil 23).

e. Müsilaj Toksisite analizi

Müsilajın insan deri hücreleri üzerinde toksisitesinin incelenmesi amacıyla CCD1072-SK insan fibroblast hücre hattı kullanılarak, Ambarlı ve Beylikdüzü müsilaj örnekleriyle toksisite analizi yapılmıştır.

Yöntem: 96 kuyucuklu plaka içine CCD1072-SK insan deri fibroblast hücre hattı her kuyuda 10^5 hücre/ml olacak şekilde ekildi. 24 saat 37°C CO_2 'li inkübatörde hücreler tutunmaya bırakıldı. 24 saat sonunda numuneler 8 tekrarlı olacak şekilde kuyulara eklendi. 24 saat sonra plate üzerinde MTT canlılık testi yapılmak üzere kuyulara MTT solüsyonu eklendi. Pozitif kontrol olarak %1 fenol çözeltisi, negatif kontrol olarak sadece medium kullanılmıştır. Sonuçlar negatif kontrol %100 canlı kabul edilerek hesaplanmıştır.



Şekil 24. Müsilaj örneklerine ait toksisite analiz sonuçları

Yapılan toksisite analiz sonuçları değerlendirildiğinde, Ambarlı müsilaj örneği ile, insan fibroblast örneklerinin 24 saatlik etkileşimi sonrası hücre canlılığının %92.2 değerine, Beylikdüzü müsilaj örneği ile insan fibroblast örneklerinin 24 saatlik etkileşimi sonrası ise hücre canlılığının %25.4 değerine düştüğü, müsilajın elde edildiği bölgeye bağlı olarak toksik etkisinin değiştiği ve Beylikdüzü bölgesinden elde edilen müsilaj örneklerinin Ambarlı müsilaj örneklerine göre çok daha toksik etki gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 24).

f. Müsilaj Örneklerinin Termogravimetrik Analiz Sonuçları

Ambarlı ve Beylikdüzü'nden toplanan müsilaj örneklerinin etüvde kurutma sonrası termal analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda TA Instruments marka SDT Q600 model termogravimetrik analiz cihazı kullanılmıştır ve aşağıda belirtilen prosedürler uygulanmıştır:

- Nem İçeriği tespiti için: Örnekler 105 °C sıcaklığa 20 °C/dak inert ortamda hızla ısıtılmıştır ve bu sıcaklıkta kütle değişimi olmayıncaya kadar bekletilmiştir (yaklaşık 30 dakika). Oluşan kütle kaybı nem içeriğini belirtmektedir.
- Kül İçeriği tespiti için: Örnekler 600 °C sıcaklıkta kuru hava ortamında yakılmıştır ve kütle değişim olmayıncaya kadar bu sıcaklıkta bekletilmiştir. Reaksiyon sonucu kalan kütle kül içeriğini belirtmektedir.
- Uçucu Madde içeriği tespiti için: Örnekler 100 °C sıcaklıktan 600 °C sıcaklığa 40 °C/min hızla inert ortamda ısıtılmıştır ve final sıcaklığında yaklaşık 10 dakika bekletilmiştir. Bu aşama gerçekleşen kütle kaybı uçucu madde miktarını belirtmektedir.
- Sabit Karbon içeriği tespiti için: nem içeriği, kül içeriği ve uçucu madde içeriği toplamının %100'den çıkarılmasıyla hesaplanmıştır.

Müsilaj örneklerinin termal analiz sonuçları Tablo 11'de gösterilmiştir. Veriler incelendiğinde müsilaj örneklerinin kül içeriklerinin oldukça fazla ve sabit karbon içeriklerinin ise oldukça düşük olduğu gözlenmiştir.

Tablo 11. Müsilaj Örneklerinin Termal Analiz Sonuçları

	Nem (%)	Kül (%)	Uçucu Madde (%)	Sabit Karbon (%)
Ambarlı	14.83	66.13	18.37	0.68
Beylikdüzü	21.25	66.58	10.25	1.92

g. Müsilajlı Deniz Suyu ve Deniz Suyu Örneklerinin Fiziksel Özellikleri

Ambarlı ve Beylikdüzü’nden elde edilen müsilajlı deniz suyu örnekleri ile müsilajsız deniz suyu literatür örneklerinin karşılaştırılması aşağıda sunulmuştur (Tablo 12). Müsilajlı deniz suyu örneklerinin, deniz suyu örneğine göre daha asidik karakterde, daha yüksek iletkenliğe sahip ve daha az çözünmüş oksijen içerdiği görülmüştür.

Tablo 12. Müsilajlı deniz suyu ve deniz suyu örneklerinin karşılaştırması

	Ambarlı Müsilaj Örneği	Beylikdüzü Müsilaj örneği	Marmara deniz suyu örneği	Ref.
pH	6,39	6,88	7.90-9.38 ⁽¹⁾	Çevikbilen vd. 2020
İletkenlik (µS/cm)	31.2	30.9	1.85-3.36 ⁽¹⁾	Çevikbilen vd. 2020
TDS (mg/L)	18.81	18.64	24 ⁽²⁾	Akgül vd. 2008
Tuzluluk (%)	19.45	19.29	12.54 - 25.3 ⁽³⁾	Kopuz ve Gökberk. 2020
Direnç (kΩ.cm)	32	32.2	-	
Çözünmüş oksijen (mg/L)	0.46	2.98	3.50-15.62 ⁽⁴⁾	Balkıs ve Toklu- Alıçlı, 2014

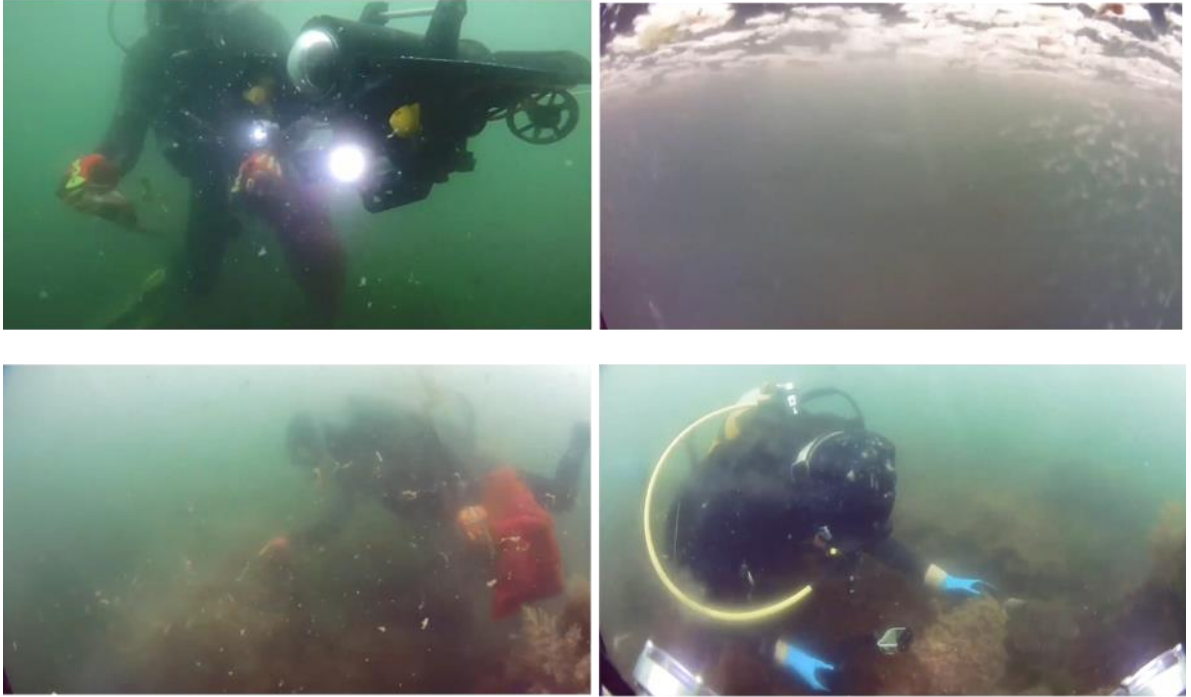
Su kirliliği kontrolü yönetmeliği tabloları incelendiğinde (Tablo 13) müsilajlı deniz suyu örneklerinin çözünmüş oksijen değeri açısından deniz suyu genel kalite kriter değerlerinin çok altında olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 13. Deniz Suyunun Genel Kalite Kriterleri

Parametre	Kriter
pH	6.0-9.0
Renk ve bulanıklık	Doğal
Çözülmüş oksijen (mg/L)	Doygunluğun % 90'ından fazla

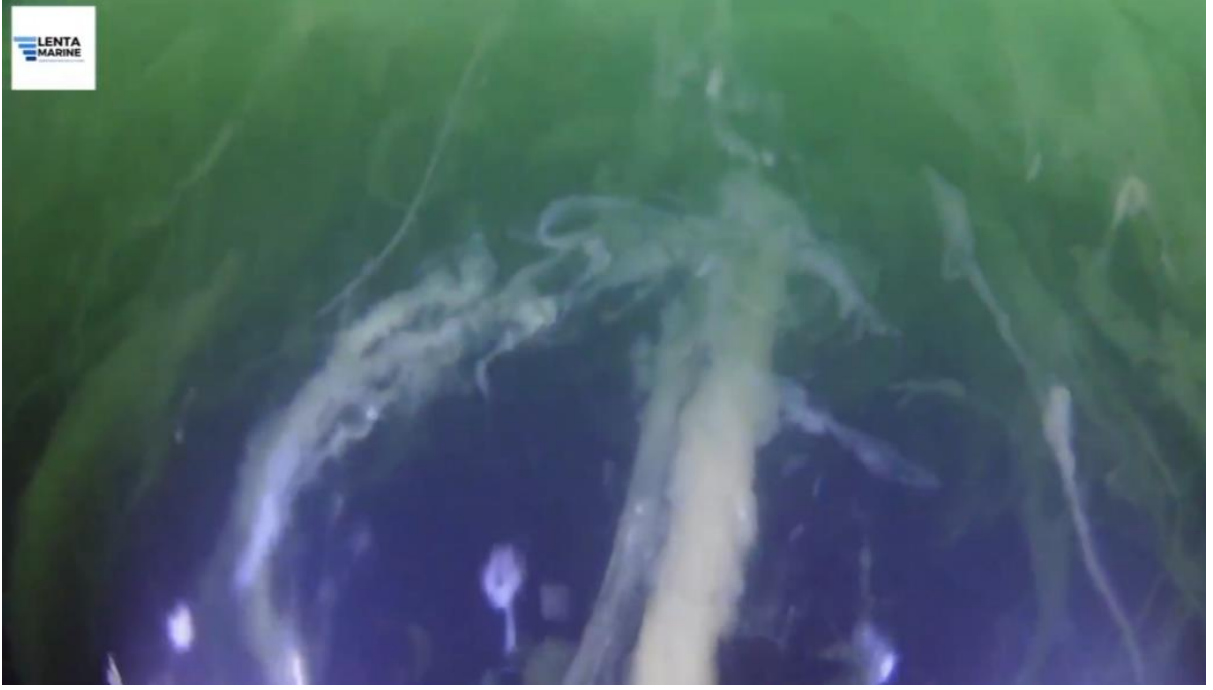
h. Deniz İçinde Farklı Derinliklerde Müsilaj Yoğunluğu Görüntüleme Çalışmaları

Üniversitemiz imkanlarıyla müsilaj örnekleme çalışmaları devam etmektedir. YTÜ Teknopark Kuluçka Şirketi Lenta Marine, su altı müsilaj görüntüleme ve örnekleme kapsamında projemize destek vermektedir. Sanayi dalgıcı ve su altı robotu ile gerçekleştirilen operasyondan müsilaj su altı görüntüleri ile dalgıcıların dalamayacağı derinliklerde net görüntü alan Arat su altı robotu ile farklı derinliklerden alınan müsilaj görüntüleri aşağıda sunulmuştur. 15-30 metre arasında müsilajın çok yoğun olduğu gözlenmiştir (Şekil 25-26).



Şekil 25. Sanayi dalgıcı ve su altı robotu ile gerçekleştirilen operasyondan müsilaj su altı görüntüleri





Şekil 26. Su altı robotu ile 15-30 metre derinlikten alınan görüntüler

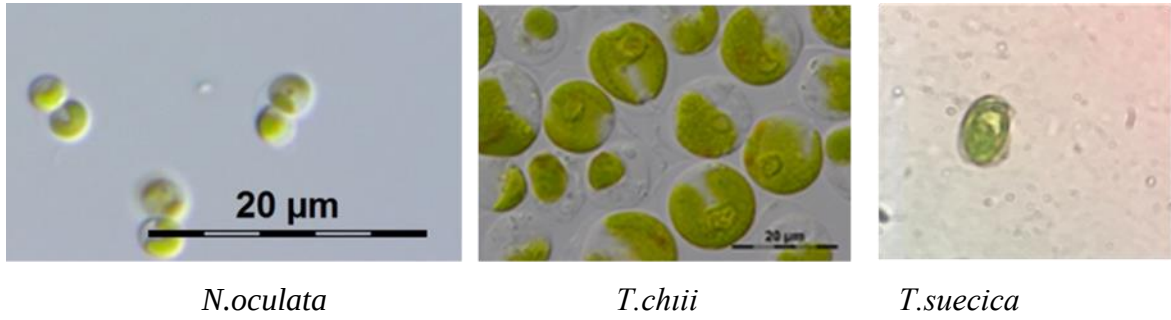
3. MARMARA DENİZİ MÜSİLAJ PROBLEMİNE ÇÖZÜM İÇİN ÜNİVERSİTEMİZ BÜNYESİNDE FARKLI BİRİMLERDE YAPILAN ÇALIŞMALARIN ÖN BULGULARI

a. Farklı tipte mikroorganizmalar kullanılarak müsilaj giderimi

Prof. Dr. Didem ÖZÇİMEN

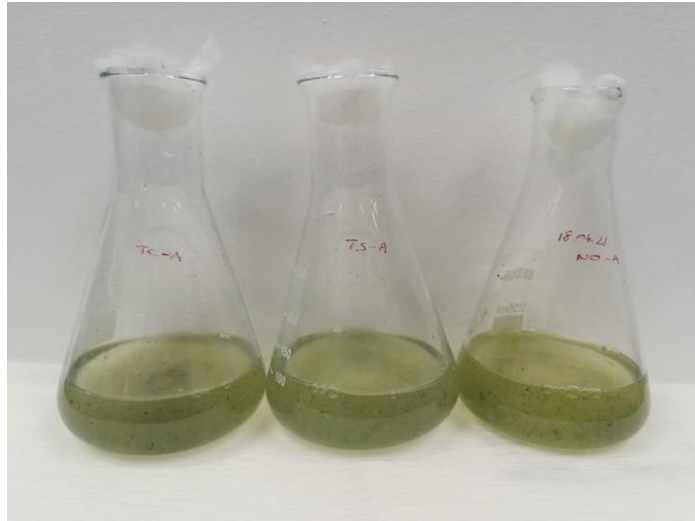
i. Müsilaj gideriminde deniz mikroalglerinin etkisinin incelenmesi

Müsilaj gideriminde deniz mikroalglerinin etkisinin incelenmesi amacıyla, Beylikdüzü ve Ambarlı'dan alınan müsilaj örnekleri, *N. oculata*, *T. suecica* ve *T. chuii* deniz mikroalglerinin büyüme ortamlarına eklenmiştir.

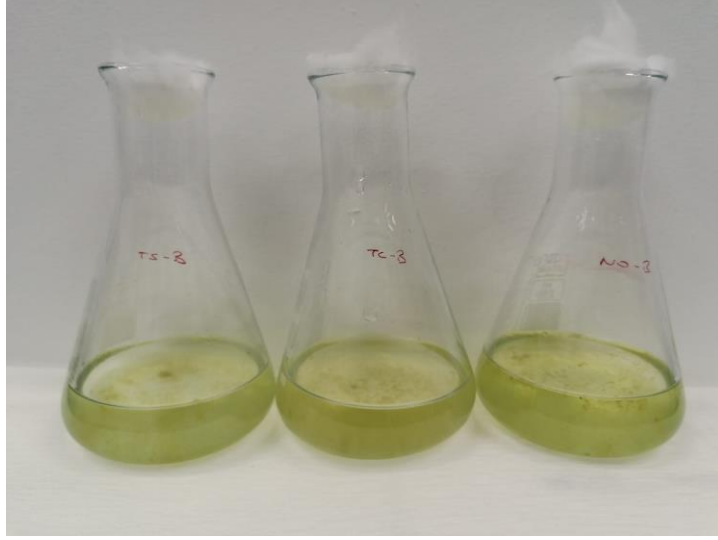


Şekil 27. Çalışmada kullanılan mikroalg türleri

100 ml'lik çalışma hacimleri 10 ml mikroalg kültürü içermektedir. Deneysel çalışma 250 ml'lik erlenlerde gerçekleştirilmekte olup, görsel, pH, iletkenlik, TDS, tuzluluk, çözünmüş oksijen parametrelerindeki değişimler incelenmiştir (Şekil 28-29).



Şekil 28. Deney başlangıcında Ambarlı örneklerinin mikroalg kültürleri ile etkileşimi



Şekil 29. Deney başlangıcında Beylikdüzü örneklerinin mikroalgal kültürler ile etkileşimi

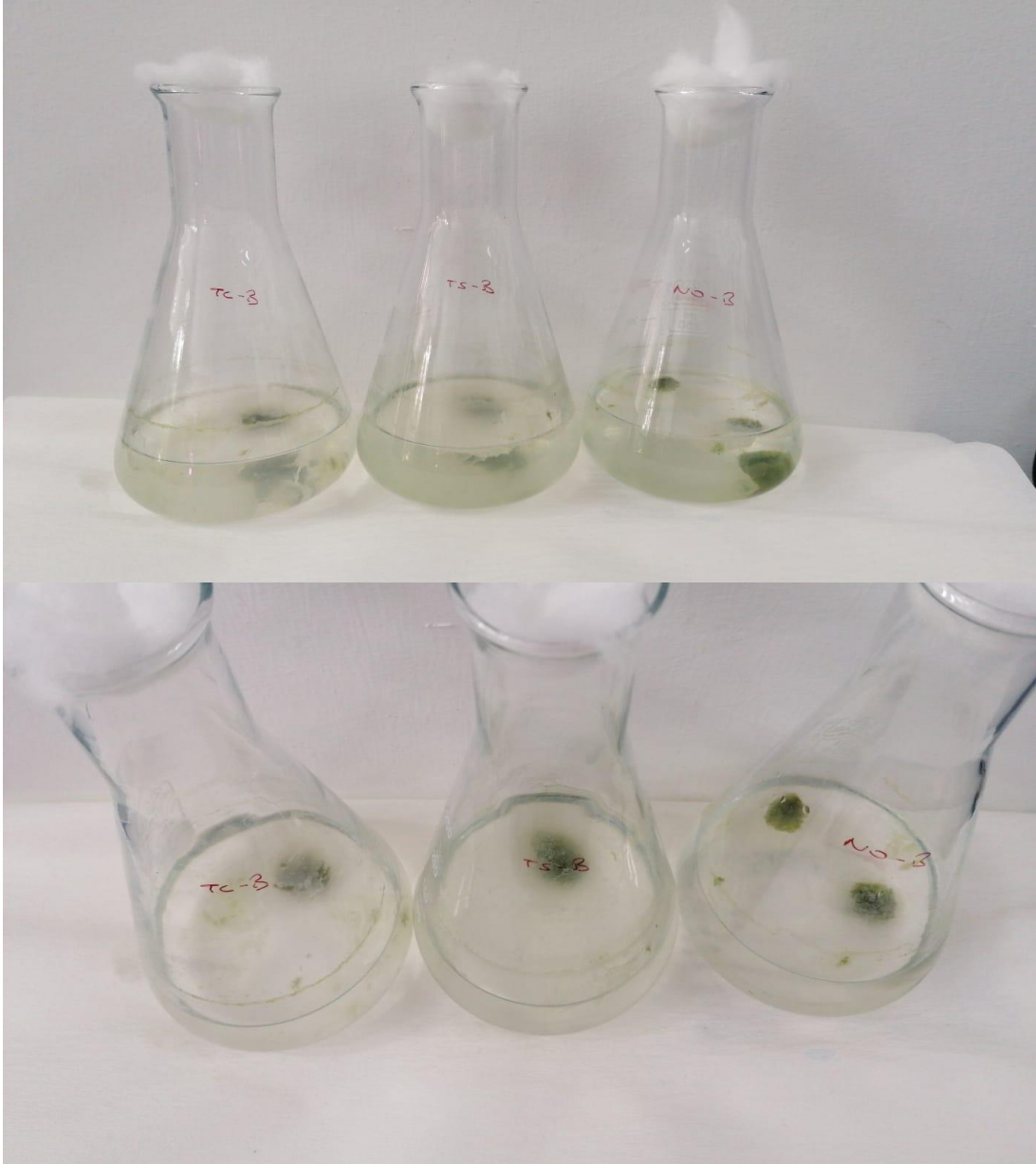
1. gün

Deneysel çalışma sürecinde 1. gün örneklerde görsel olarak belirgin bir değişim gözlemlenmiştir. İki müsilaj örneğinde de mikroalglerin müsilaj ile agreve olduğu ve birlikte çöktüğü gözlenmiştir. Ayrıca suyun renginde iyileşme gözlenmiştir. Ambarlı örneklerinin bulunduğu kültürlerde medium renginin Beylikdüzü örneklerine göre daha berrak olduğu gözlenmiştir.

Şekil 30 ve 31’de 1. günde müsilaj örneklerinin mikroalgler ile olan etkileşimi gösterilmektedir.



Şekil 30. Deneyin 1. gününde Ambarlı örneklerinin mikroalgal kültürler ile etkileşimi

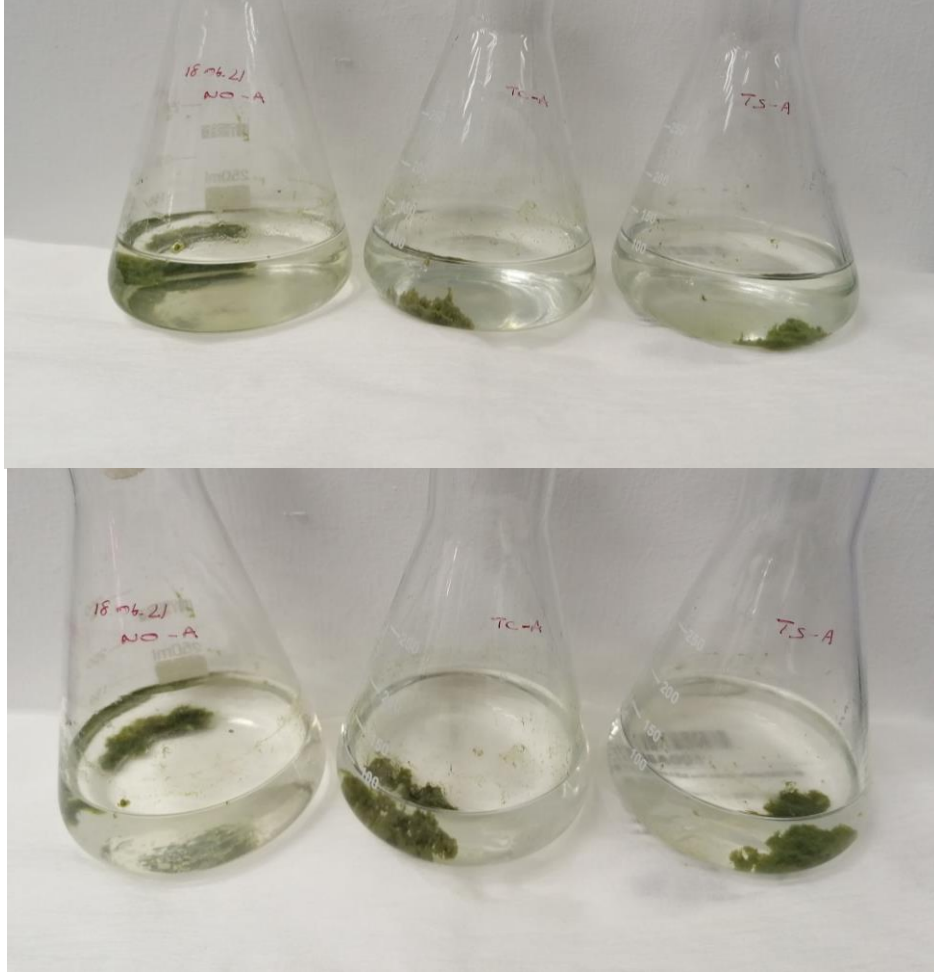


Şekil 31. Deneyin 1. gününde Beylikdüzü örneklerinin mikroalgal kültürler ile etkileşimi

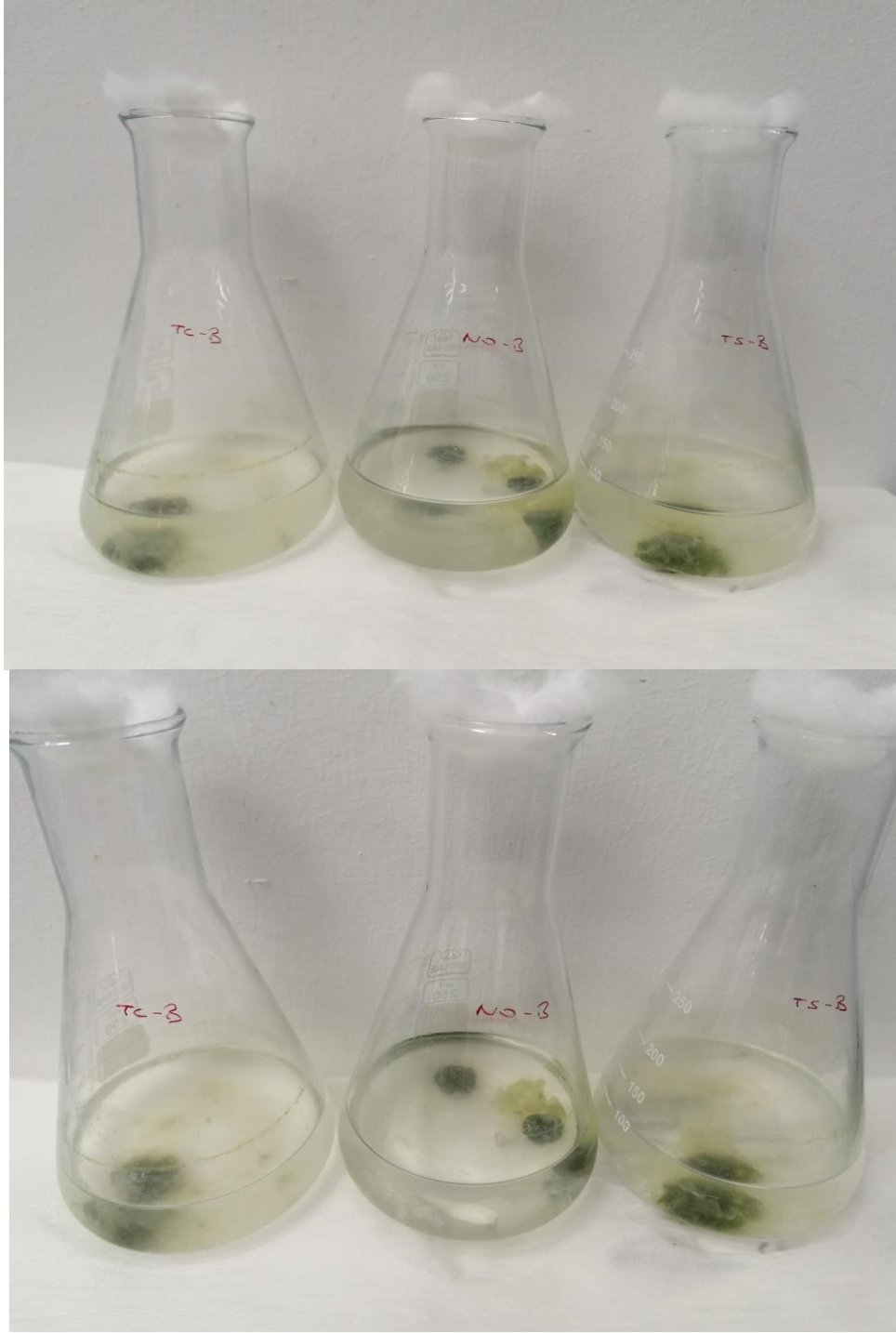
Kültürlerin pH, iletkenlik, TDS, tuzluluk ve çözünmüş oksijen miktarındaki değişimler Tablo 14’de verilmiştir. Tablo 14 incelendiğinde, Ambarlı müsilaajındaki pH ve çözünmüş oksijen miktarlarındaki değişim dikkat çekmektedir. Buna karşın Beylikdüzü örneklerinde pH’da kısmen bir yükselme olmuş, çözünmüş oksijen miktarlarında artış gözlemlenmemiştir.

3. gün

Deneysel çalışmanın 3. gününde mikroalglerin agrege kalmaya devam ettiği görülmüştür. Ambarlı örneklerinin bulunduğu kültürlerde kültür rengi hala berrak gözükmemektedir, ancak Beylikdüzü örneklerinde ise sıvı kültürün yüzeyinde hafif bulanık bir tabakanın varlığı gözlenmiştir. Şekil 32 ve 33'de 3. günde müsila örneklerinin mikroalgler ile olan etkileşimi gösterilmektedir.



Şekil 32. Deneyin 3. gününde Ambarlı örneklerinin mikroalgal kültürler ile etkileşimi

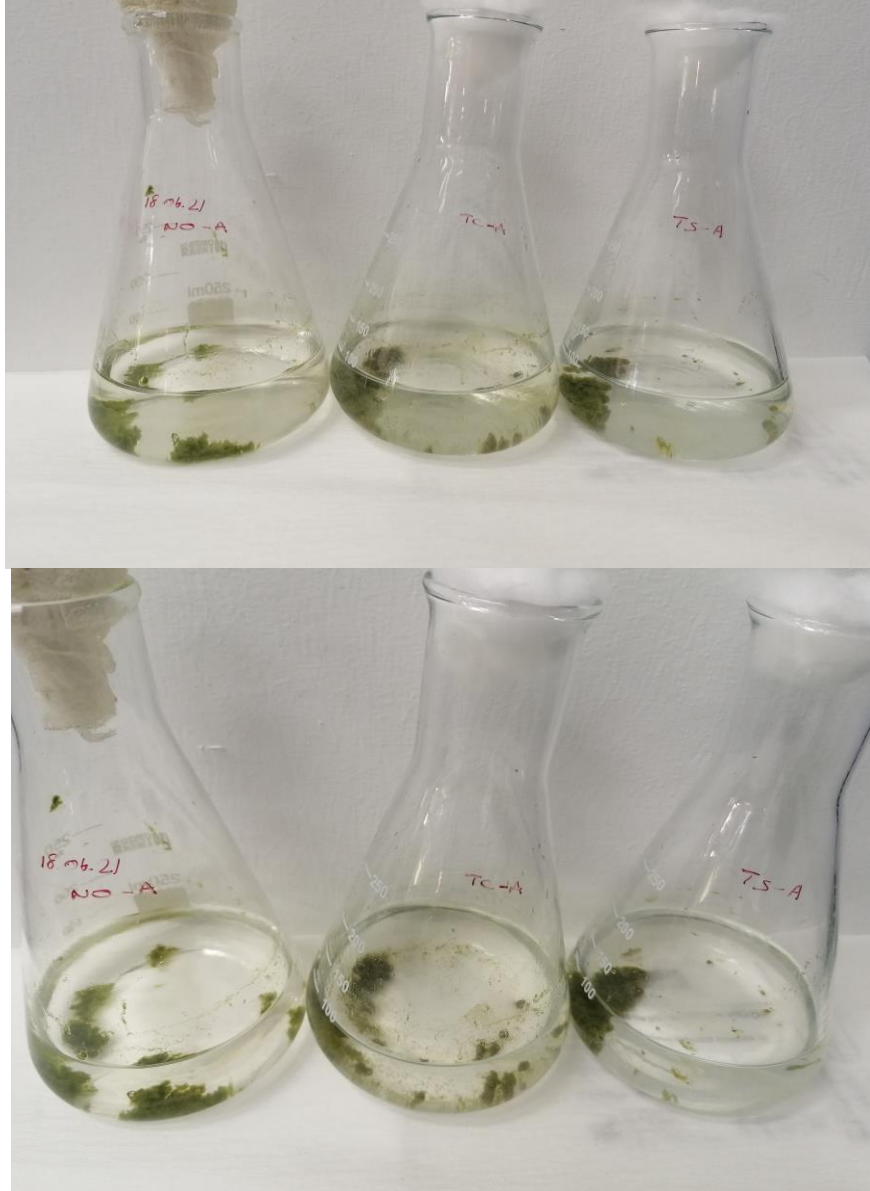


Şekil 33. Deneyin 3. gününde Beylikdüzü örneklerinin mikroalgal kültürler ile etkileşimi

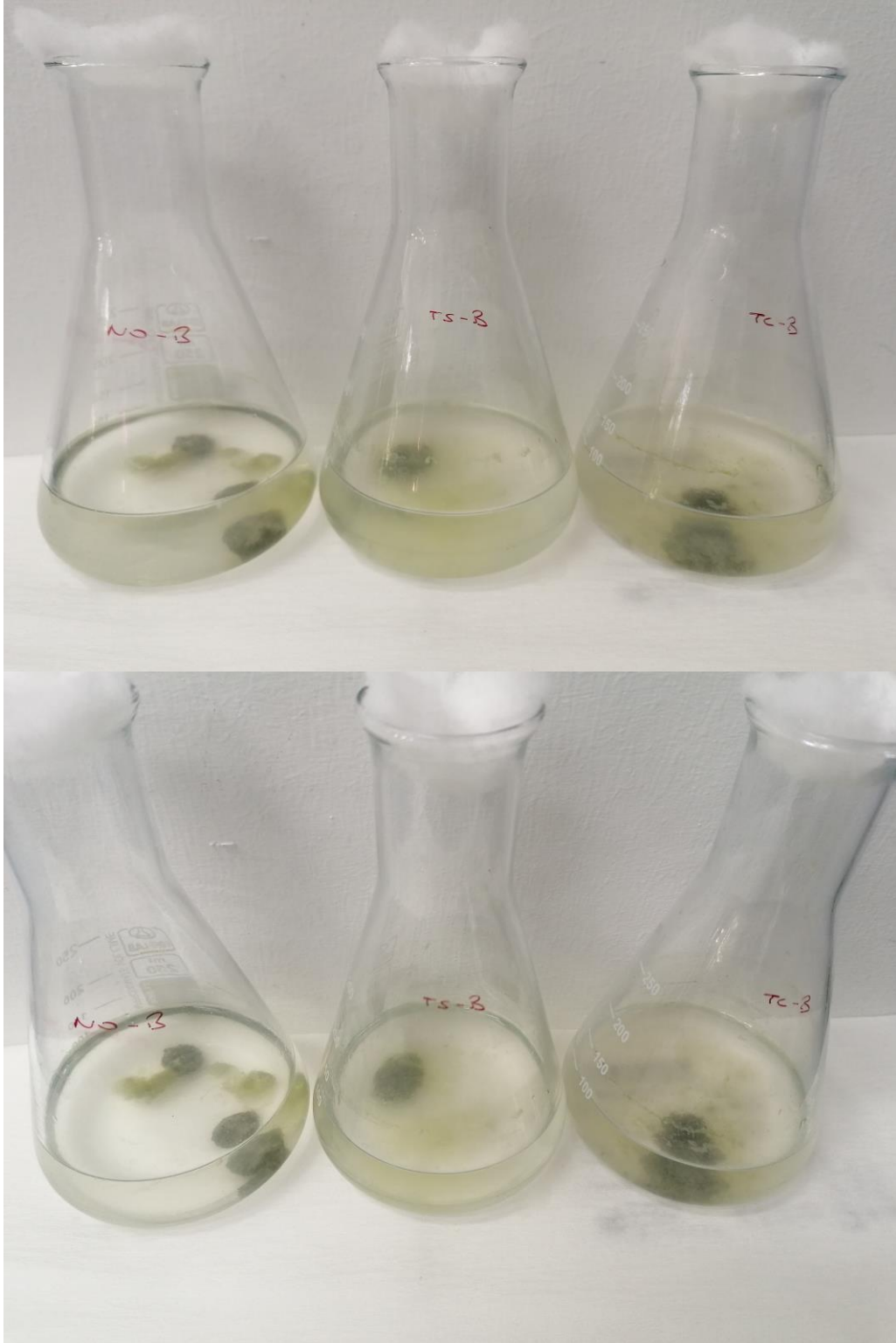
Kültürlerin pH, iletkenlik, TDS, tuzluluk ve çözülmüş oksijen miktarındaki değişimler Tablo 14’de verilmiştir. Tablo 14 incelendiğinde, Ambarlı müsilaajındaki pH ve çözülmüş oksijen miktarları 1.günün sonundakine benzer miktarlarda belirlenmiştir. Beylikdüzü örneklerinde ise pH’da değişiklik olmamış, çözülmüş oksijen miktarlarında da kısmen artış ve azalış gözlemlenmiştir.

4. gün

Deneysel çalışmanın 4. gününde mikroalglerin agregat şeklinde kalmaya devam ettiği görülmüştür. Ambarlı örneklerinin bulunduğu kültürlerde görünür de değişiklik gözlemlenmemiş olup, Beylikdüzü örneklerinde ise agregat halinde bulunan mikroalglerin çevresinde de beyaz bir tabaka oluşumu gözlemlenmiştir. Şekil 34 ve 35'te 4. günde müsila örneklerinin mikroalgler ile olan etkileşimi, Tablo 1' de pH, iletkenlik ve çözünmüş oksijen gibi parametrelerdeki değişim gösterilmektedir. Beylikdüzü örneklerinde çözünmüş oksijen seviyesi bir miktar düşmüştür.



Şekil 34. Deneyin 4. gününde Ambarlı örneklerinin mikroalgal kültürler ile etkileşimi



Şekil 35. Deneyin 4. gününde Beylikdüzü örneklerinin mikroalgal kültürler ile etkileşimi
5.gün

Deneyisel çalışmanın 5. gününde mikroalglerin agregat şeklinde kalmaya devam ettiği ve örneklerin bulunduğu kültürlerde görünür bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Kullanılan mikroalgler 1. günden itibaren özellikle Ambarlı müsilaj örneklerini içeren suların görüntülerini belirgin bir şekilde iyileştirmiştir. Ancak Ambarlı örneklerindeki iyileşmenin

Beylikdüzü örneklerine göre daha fazla olduğu, bununda kullanılan mikroalg türlerinin ve müsilajın alındığı bölgelerdeki müsilaj içeriğinin farklılığından dolayı olduğu düşünülmektedir. Çalışmalar ön çalışmalar olup, farklı bölgelerden daha fazla miktarlarda gelecek numunelerle daha büyük ölçekli çalışmaların yapılması düşünülmektedir.

Müsilaj ile etkileşim sonrası mikroalglerin canlılığının tespiti

Müsilaj ile etkileşim sonrası müsilajı toplamış ve müsilajla agrege haldeki mikroalglerin canlılığının tespiti için agregat halindeki mikroalgler alınarak F2 mediumunda yetiştirilmeye bırakılmıştır. Mikroalglerin büyümesi UV-spektrofotometre yoluyla takip edilmiş, mikroalglerin canlılıklarının devam ettiği ve ilerleyen günlerde dahi fotosentez yaparak ortamın çözünmüş oksijen değerlerini yüksek oranda arttırdıkları tespit edilmiştir.

Genel çerçevede müsilajın ekolojik sonuçları özetlenirse; düşük çözünmüş oksijen seviyeleri suda yaşayan canlıların ölümüne sebebiyet verecek ve besin zincirinin bozulmasına neden olacaktır. Bu sebeple müsilaja neden olan baskın türler olan ve bir kısmı canlılar için çok zararlı olabilen toksinler salgılayan diatom türleri ile biyolojik savaş için zaten denizlerde doğal olarak bulunabilen ve farklı sektörlerde değerlendirilen, herhangi bir toksin salgılamayan, fotosentez yaparak denizin çözünmüş oksijen seviyesini arttırarak yarar sağlayan faydalı denizel mikroalg türleri seçilerek, müsilajlı bölgelere dışarıdan takviye edilerek çözüm üretme sağlanabileceği düşünülmektedir. Müsilajın gideriminde biyolojik çözümler üretilmesi önem arz etmektedir. Bakterilerden farklı olarak mikroalglerin fotosentez yaparak oksijen üretmesi ve müsilaja sebep olan diatom türleriyle ortamdaki nitrojen ve fosfat besininin kullanımında yarışa girmesi avantaj yaratabilir.

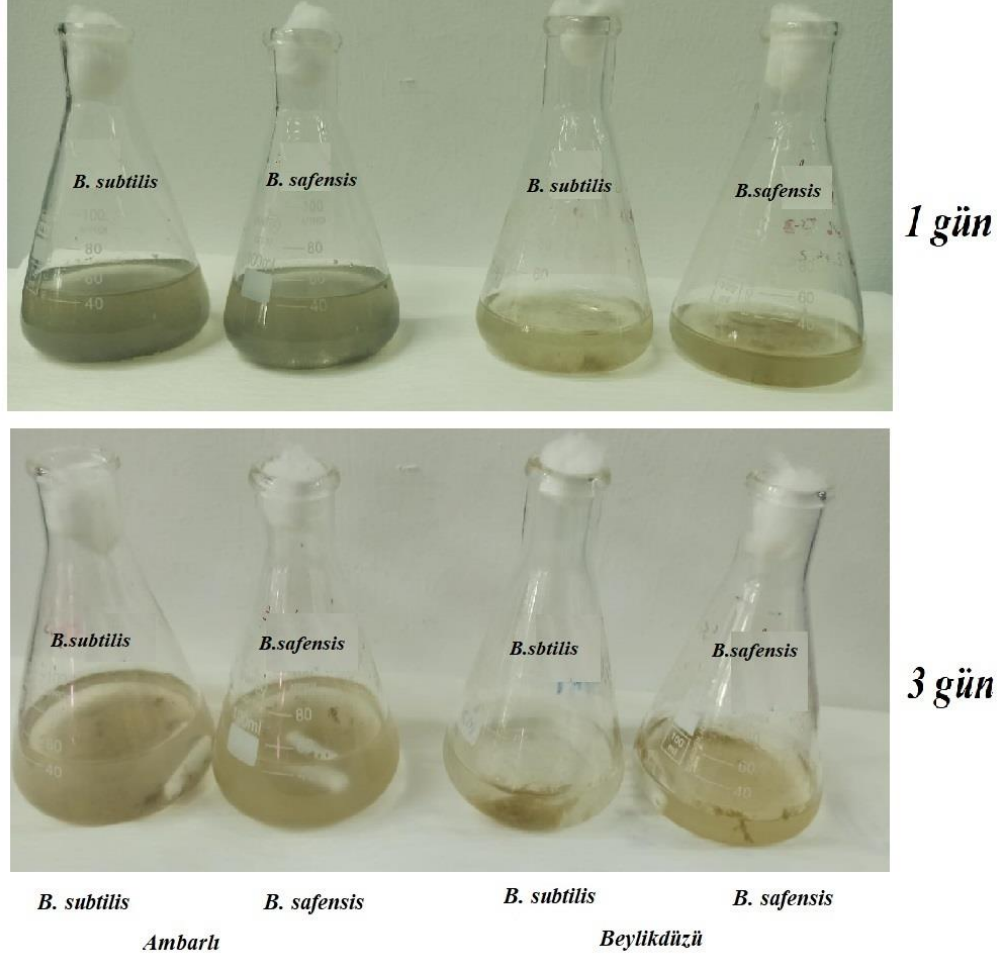
Tablo 14. Farklı mikroalg kültürleri ile müsilağ örneklerinin muamelesinin sonuçları

			1.gün						3.gün						4.gün						5.gün						
	A	B	NO-A	TC-A	TS-A	NO-B	TC-B	TS-B	NO-A	TC-A	TS-A	NO-B	TC-B	TS-B	NO-A	TC-A	TS-A	NO-B	TC-B	TS-B	NO-A	TC-A	TS-A	NO-B	TC-B	TS-B	Marmara deniz suyu örneği
pH	6.39	6.88	7.7	7.7	7.8	7.4	7.1	7.3	7.7	7.7	7.7	7.2	7.1	7.2	7.2	7.4	7.4	7.2	7	6.9	7.3	7.6	7.6	7.2	7.2	7.2	7.90-9.38 ⁽¹⁾
İletkenlik (µS/cm)	31.2	30.9	35.5	35.4	35.1	41.5	40.3	38.1	36	35.7	35.5	41.9	40.6	40.2	35.9	35.7	35.4	41.4	40.5	38.7	36.4	36	35.8	41.8	40.8	40.4	1.85-3.36 ⁽¹⁾
TDS (mg/L)	18.81	18.64	21.7	21.65	21.48	25.6	24.8	23.5	21.9	21.8	21.6	25.9	25.1	24.8	21.9	21.7	21.6	25.7	25	23.8	22.2	22	21.8	25.9	25.2	24.9	24 ⁽²⁾
Tuzluluk (%)	19.45	19.29	22.5	22.4	22.1	26.6	25.7	24.3	22.7	22.6	22.4	26.9	26	25.7	22.6	22.5	22.3	26.6	25.9	24.6	22.9	22.7	22.6	26.8	26.1	25.8	12.54 - 25.3 ⁽³⁾
Direnç (kΩ.cm)	32	32.2	28.1	28.3	28.4	24.1	24.9	25.1	27.7	27.9	28.1	23.9	24.6	24.9	27.9	28	28.2	24.1	24.7	25.9	27.5	27.8	28	23.9	24.5	24.8	-
Çözünmüş oksijen (mg/L)	0.46	2.98	7.7	7.4	7.6	1.29	0.56	1.24	7.87	7.93	7.9	2.04	0.99	1.13	7.92	7.82	7.84	2.1	1.5	0.3	7.22	7.60	7.53	0.73	1.2	0.17	3.50-15.62 ⁽⁴⁾

A: Ambarlı müsilağ, B: Beylikdüzü müsilağ, NO-A: Ambarlı müsilağı içerikli *N. oculata* kültürü, TC-A: Ambarlı müsilağı içerikli *T. chuii* kültürü, TS-A: Ambarlı müsilağı içerikli *T. suecica* kültürü, NO-B: Beylikdüzü müsilağı içerikli *N. oculata* kültürü, TC-B: Beylikdüzü müsilağı içerikli *T. chuii* kültürü, TS-B: Beylikdüzü müsilağı içerikli *T. suecica* kültürü

ii. Müsilaj gideriminde *Bacillus* türü bakterilerin aktivitesinin incelenmesi:

Müsilaj gideriminde *Bacillus* türü probiyotik bakterilerin aktivitesini görebilmek için ön çalışmalar yapılmıştır. Beylikdüzü ve Ambarlı'dan alınan müsilaj örneklerine *B. subtilis* ve *B. safensis* probiyotik bakteri türleri eklenmiştir. Deneysel çalışma 250 ml'lik erlenlerde 150 rpm sürekli karıştırma koşullarında ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmekte olup 40 ml'lik çalışma hacimleri %1 bakteri kültürü içermektedir.



Şekil 36. Ambarlı ve Beylikdüzü müsilaj örneklerinin gideriminde probiyotik bakteri *Bacillus* spp. etkileşimi

Çalışmanın üçüncü gününde *Bacillus* türleri ortamdaki müsilajı besin olarak tüketerek çoğalmışlardır. Çalışmada kullanılan *B. subtilis* türünün her iki müsilaj örneği için de daha iyi etki gösterdiği gözlenmiştir (Şekil 36).

b. Müsilaj numunelerinde *Bifidobacterium* bakterisinin etkisinin araştırılması

Prof.Dr.Kutsal Bozkurt
Dr.Öğr.Üyesi Hüseyin Sancar Bozkurt

i. Müsilaj Numunelerinde *Bifidobacterium* Etkisiyle pH, Koku ve Renk Takibi

Müsilaj numunelerinde *Bifidobacterium* aktivitesini incelemek amacıyla iki grup numunede düzenli pH, görüntü ve koku takibi yapılmıştır.

Grup 1: Sıvı Müsilaj (İşlem Görmüş Numune Sıvı Kısmı)

Başlangıç pH: 7.5

Grup 1-A: 25 mL müsilaj + 10 mL distile su + 2 kapsül bifidobacterium

Grup 1-B: 25 mL müsilaj + 10 mL distile su + 4 kapsül bifidobacterium

Grup 1-C: 25 mL müsilaj + 10 mL distile su + 6 kapsül bifidobacterium

Grup 2: Katı Siyah Müsilaj (İşlem Görmüş Pellet Numune)

Başlangıç pH: 7.3

Grup 2-A: 25 mL müsilaj + 10 mL distile su + 2 kapsül bifidobacterium

Grup 2-B: 25 mL müsilaj + 10 mL distile su + 4 kapsül bifidobacterium

Grup 2-C: 25 mL müsilaj + 10 mL distile su + 6 kapsül bifidobacterium

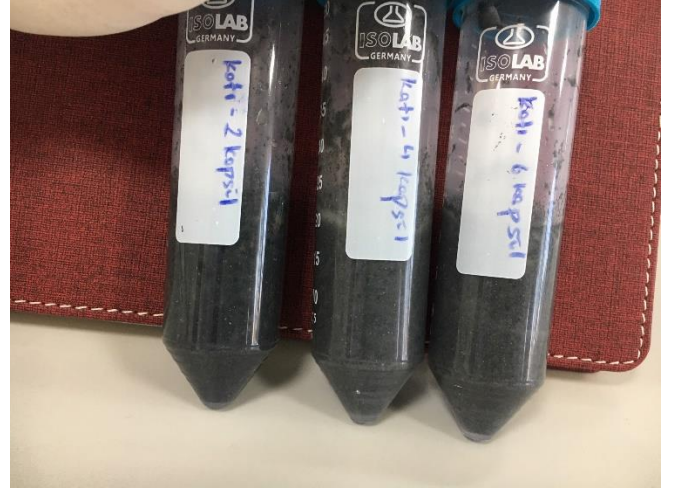
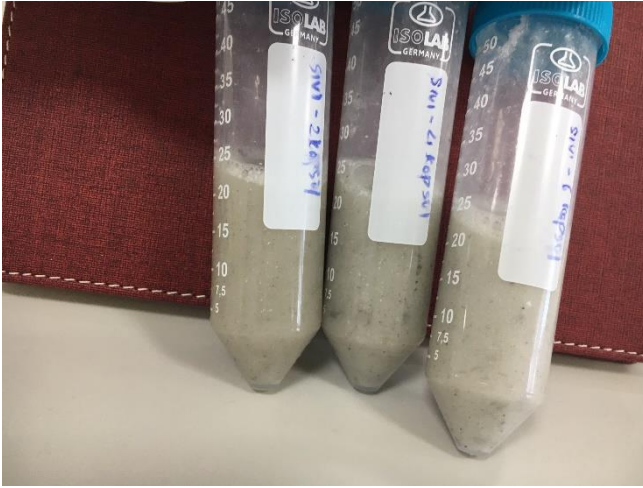
pH ölçüm sonuçları:

	1.gün	3. gün	4.gün	6. gün	8.gün	10. gün
<u>Grup 1-A</u>	6.55	6.41	6.20	5.82	5.59	5.43
<u>Grup 1-B</u>	6.24	5.96	5.94	5.84	5.80	5.78
<u>Grup 1-C</u>	5.86	5.55	5.55	5.70	5.50	5.47
<u>Grup 2-A:</u>	6.50	6.00	6.00	6.32	6.22	6.18
<u>Grup 2-B</u>	6.38	6.00	6.00	5.40	5.32	5.30
<u>Grup 2-C:</u>	6.33	5.92	5.96	5.19	5.23	5.18

- ✓ Grup 1’de renk değişimi olmadığı ancak koku da yoğun bir ağırlaşma olduğu tespit edilmiştir.
- ✓ Grup 2’de katı numunenin jel formunu alarak sıvılaştığı, renk değişimi olmadığı ve kokuda yoğun bir artış olduğu tespit edilmiştir.



1. GÜN



10. GÜN

Şekil 37. Müsilaj numunelerinde *Bifidobacterium* bakterisinin etkisinin araştırılması

ii. Müsilaj Numunelerinde *Bifidobacterium* Etkisiyle pH ve Viskozite Takibi

Müsilaj numunelerinde *Bifidobacterium* aktivitesini incelemek amacıyla iki grup numunede düzenli pH ve viskozite takibi yapılmıştır.

Grup 1: Beylikdüzü Müsilaj + 6 kapsül bakteri

anaerobik ortam

Başlangıç pH: 6.89

Başlangıç viskozite: 491,9 mPa/s

Grup 1: Ambarlı Müsilaj + 6 kapsül bakteri

anaerobik ortam

Başlangıç pH: 7.20

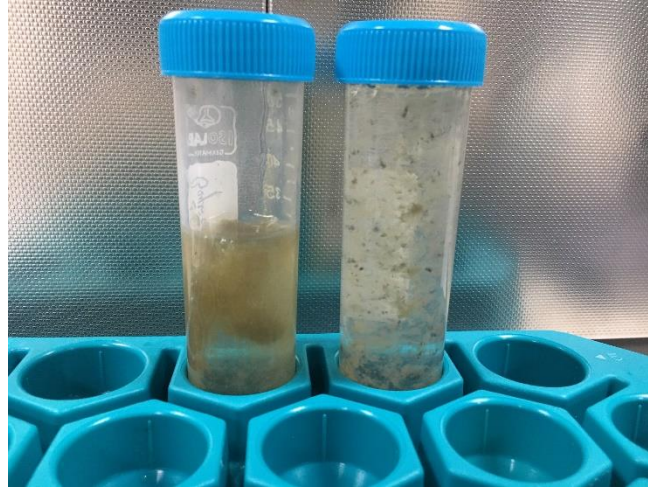
Başlangıç viskozite: 270,0 mPa/s

pH ölçüm sonuçları:

	1.gün	3. gün	4.gün	6. gün
<u>Grup 1</u>	6.89	5.35	5.20	5.15
<u>Grup 2</u>	7.20	5.60	5.30	5.23

Viskozite ölçüm sonuçları:

	1.gün	3. gün	4.gün	6. gün
<u>Grup 1</u>	491,9 mPa/s	317,6 mPa/s	304,8 mPa/s	302,4 mPa/s
<u>Grup 2</u>	270,0 mPa/s	263,7 mPa/s	255,4 mPa/s	250,8 mPa/s



Şekil 38. Müsilaj numunelerinde Bifidobacterium etkisiyle ph ve viskozite takibi çalışmaları

Grup 1: Beylikdüzü Müsilaj + 6 kapsül bakteri

aerobik ortam

Başlangıç pH: 6.87

Grup 1: Ambarlı Müsilaj + 6 kapsül bakteri

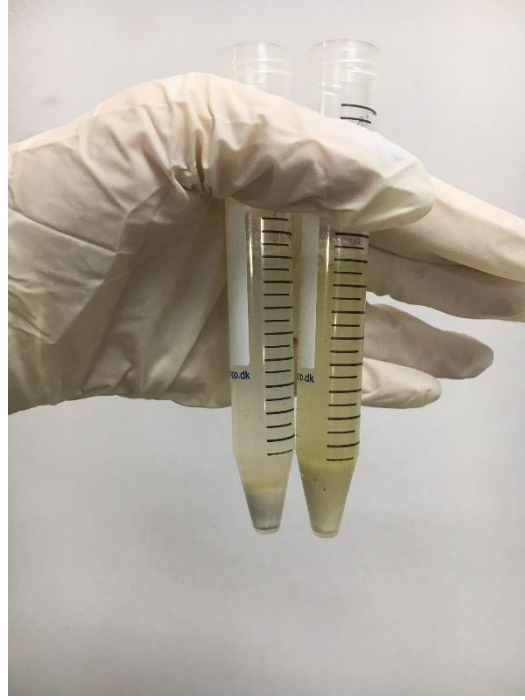
aerobik ortam

Başlangıç pH: 7.18

pH ölçüm sonuçları:

	1.gün	3. gün	4.gün	6. gün
<u>Grup 1</u>	6.80	6.30	5.20	5.17
<u>Grup 2</u>	7.18	6.65	6.20	6.25

Aerobik ortamda müsilaj ile muamele edilen bakterilerde falconun dibine çökelti oluşturduğu gözlenmiştir.



Şekil 39. Müsilaj numunelerinde *Bifidobacterium* ve pH etkisi

iii. Ambarlı müsilaj örneklerinin gideriminde *Bifidobacterium* bakterisi ve mikroalg ile ikili etkileşiminin incelenmesi

Prof.Dr. Didem Özçimen

Çalışmanın bu kısmında *Bifidobacterium longum* probiyotik bakterisi ile mikroalglerin birlikte kullanımının müsilaj üzerine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada örnekler 50 ml'lik santrifüj tüplerinde aşağıdaki şekilde hazırlanmıştır:

- 1) Blank
- 2) 35 ml müsilaj örneği içerisine 2 kapsül probiyotik bakteri
- 3) 35 ml müsilaj örneği içerisine 4 kapsül probiyotik bakteri
- 4) 35 ml müsilaj örneği içerisine 6 kapsül probiyotik bakteri
- 5) 3 ml *N. oculata* deniz mikroalgi + 32 ml müsilaj örneği +2 kapsül probiyotik bakteri
- 6) 3 ml *N. oculata* deniz mikroalgi + 32 ml müsilaj örneği +4 kapsül probiyotik bakteri
- 7) 3 ml *N. oculata* deniz mikroalgi + 32 ml müsilaj örneği +6 kapsül probiyotik bakteri
- 8) 3 ml *N. oculata* deniz mikroalgi + 32 ml müsilaj örneği

Örneklerin pH değerleri incelenerek ve görsel olarak probiyotik bakterilerin ve deniz mikroalglerinin müsilaj giderimindeki ikili etkisi incelenmiştir.

Sonuçlar

Ambarlı müsilaj örneklerinin gideriminde probiyotik bakteri ve mikroalg ile ikili etkileşiminin incelenmesi çalışmasında Şekil 40 ve 41'deki örnekler elde edilmiştir. Bu örneklerde

probiyotik bakterinin etkisiyle yoğun beyaz bir renk oluşumu ve kötü bir koku gözlemlenmiştir. Örneklerin pH'ları incelendiğinde ise probiyotik bakteri içerikli tüm örneklerde pH'ın düşük olduğu görülmüştür (Tablo 1). Ambarlı müsilağ örneklerine eklenen probiyotik bakteri miktarı arttıkça pH'ın daha fazla azaldığı görülmüştür. Buna karşın sadece *N. oculata* içeren örnekte pH'da kısmen bir artış gözlemlenmiştir.



Şekil 40. Ambarlı müsilağ örneklerinin gideriminde probiyotik bakteri ve mikroalg ile ikili etkileşimi (1.gün)



Şekil 41. Ambarlı müsilağ örneklerinin gideriminde probiyotik bakteri ve mikroalg ile ikili etkileşimi (2.gün)

Tablo 15. Ambarlı müsilağ örneklerinin gideriminde probiyotik bakteri ve mikroalg ile etkileşiminin pH'a etkisi

	Örnek	1	2	3	4	5	6	7	8
1.gün	pH	6.5	5.42	5.13	4.79	5.3	4.9	4.65	6.7
2. gün	pH	6.7	5.7	5.5	5.0	5.6	5.6	4.7	6.3

Çalışmalarda bakteriler tarafından oluşturulan asidik ortama mikroalglerin uyum sağlayamadığı ön bulgularına ulaşılmış olup çalışmalar devam etmektedir.

4. MARMARA DENİZİ MÜSİLAJ PROBLEMİNİ ÇÖZÜM İÇİN ÜNİVERSİTEMİZ BÜNYESİNDE YÜRÜTÜLMESİ VEYA DIŞ KAYNAKLI BAŞVURU YAPILMASI PLANLANAN PROJELER

a. Arıtma Tesisi Atık Arıtma Çamuru ve Diğer Atıklardan Üretilen Uygun Maliyetli Biyochar ve Aktif Karbon Materyaller Kullanılarak Akarsuların veya Tesislerin Denize Deşarj Noktalarına Yakın Bölgelerde Ağır Metal, Azot ve Fosfor Yüklerinin Azaltılması

Prof. Dr. Didem ÖZÇİMEN

Marmara Denizi'ne dökülen akarsuların denizi ciddi oranda kirlettiği bilinmekte olup, bu bağlamda kirli akarsulara acilen önlem alınması gerekmektedir. Yurtdışında göl, gölet ve diğer sucul alanlarında kullanım örnekleri de bulunan kısa vadede çözüm üretecek doğal bir yöntem olan, akarsuların denize bağlanma noktalarına yakın yataklarda biyocharlarla doldurulmuş torbalar kullanılarak, akarsuların taşıdığı ağır metal ve tekstil boyaları gibi toksik maddeler ile azot ve fosfat içerikli bileşiklerin adsorplanması çözüm üretebilecek bir uygulamadır. Biyocharların ve aktif karbonların üretim optimizasyonu ve kirlilik giderme özelliklerinin iyileştirilmesi çalışmaları uzun zamandır araştırma grubu ile uzun zamandır çalışılmaktadır (Özçimen ve Ersoy-Meriçboyu 2008, 2009, 2010a,b, Özyurtkan vd. 2008). Hatta atıksu arıtma tesislerinin arıtma çamurlarından elde edilmiş char ve aktif karbon materyallerle bilimsel çalışmalar yapılmış, başarılı sonuçlar alınmıştır (Özçimen ve Salan, 2016). Ayrıca park, bahçe ve tarımsal atıklar gibi lignoselülozik yapıdaki atık biyokütle kaynakları ile deniz kenarlarından atık olarak toplanan makroalgler de rahatlıkla biyochar ve aktif karbon üretiminde değerlendirilerek, sıfır atık yaklaşımıyla, atıklardan elde edilmiş materyallerin çevre kirliliğini azaltmada kullanımı biyoekonomi ve döngüsel ekonomi kapsamında, uygun maliyetle kirli akarsu kaynaklı deniz kirliliğini azaltmada önemli bir çözüm yöntemi olarak düşünülmektedir (Koçer vd. 2018).

Biyochar kullanımı, son yıllarda çevresel uygulamalarda azot ve fosfor yüklerini azaltmada kullanılan bir teknolojidir. Sucul ekosistemlerin gelişmesi için gerekli olan uygun miktarlarda fosfor ve azot gibi besinlerin dış kaynaklı olarak, insan etkisi ve yağmur suyu akışı yoluyla göllere, göletlere ve denizlere verilen fazla besin, alg patlamalarına neden olabilir. Su kalitesi sorunu bulunan havzalarda, göl veya gölet için dengeyi yeniden sağlamak veya bu sorunları proaktif olarak önlemek, besin yönetimindeki en son teknoloji olan biyochar ile doğal olarak sağlanabilir.

Biyochar, ince tozdan talaş boyutuna kadar parçacıklar halinde üretilebilir, bu nedenle onu suya vermenin en iyi yolu, ürünü içeren ancak su temasına izin veren geçirgen torbalardır. Bu torbalar su sütununa asılabilir veya suyun malzemenin içinden veya içinden akmasının en muhtemel olduğu kısımlara yerleştirilebilir. Zamanla, torbalar tüm bağlanma yerleri ve gözenekler dolana kadar alandaki kirleticileri, askıda katı maddeleri veya diğer istenmeyen maddeleri sudan emer. Su kalitesine bağlı olarak biyochar torbaları, iki yıla kadar aktif kalabilir. Kullanıldıktan sonra, torbalar, toprakların ve diğer peyzaj düzenlemelerinin su tutma ve besin konsantrasyonunu zenginleştirmek için rahatlıkla yeniden kullanılabilir.



Şekil 42. Akarsularda kullanılan biyochar torbaları örnek uygulamalar
(solitudelakemanagement.com, hopatconglakeregionalnews.com,
lakehopatcongfoundation.org)

Bu kapsamda üniversitemiz altyapısıyla, yukarıda belirtilen farklı biyokütle atıklarından elde edilecek biyochar adsorbentlerin Marmara Deniz’ine deşarj yapan akarsulardan alınacak su örneklerinde ağır metal, azot ve fosfor yüklerini azaltma kapasitelerinin incelenmesi, adsorpsiyon modellerinin çıkarılması, biyocharların özelliklerini bu amaca uygun olarak geliştirme, üretim optimizasyonu, maliyeti düşürme ve biyoekonomik etkilerinin ayrıntılı incelenmesi planlanmaktadır. Ar-Ge sonrası büyük çaplı üretim ve pilot uygulamalar için, büyük ölçekli retort sistemine ihtiyaç duyulacaktır. Yüksek maliyetli ama kalıcı çözümler sunacak olan atık suların ileri arıtılması ve ileri teknolojik yöntemlerin yürütülmesi büyük önem arz etmekte olup, ucuz maliyetli ve müsila sorunu çözümü için kısa vadede katkı sunabilecek yukarıda önerilen yöntem yaklaşımının uygulamaya konulmasının önemli olacağı kanaatindeyiz.

b. Marmara Denizi'ne Deşarj Edilen Evsel ve Endüstriyel Atıksuların İzlenmesi ve Karakterizasyonu Çalışmaları

Prof.Dr.Mehmet Sinan Bilgili

Doç.Dr.Hanife Sarı

Ar.Gör.Dr. Hülya Civelek Yörüklü

Önerilen projede, Marmara Denizi kıyılarında bulunan İstanbul'dan denize deşarj yapılan koordinatlarda deşarj hattı sonunda su jeti ile denize boşaltılan atıksuların karakterizasyonlarının kurulması planlanan istasyonlarda anlık olarak ölçümlerinin yapılması ve takibinin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. İstanbul haricinde Marmara Denizi kıyılarında bulunan diğer illerin (İzmit, Bursa, Tekirdağ, Yalova, Balıkesir ve Çanakkale) deşarj noktaları da ilerleyen süreçte proje kapsamına alınabilir. Tablo 16'da yerinde online ölçüm yapılacak istasyonların tahmini koordinatları verilmiştir. Bu koordinatlarda su jetinden dağılan atıksu bulutunun tam yerinin tespiti için, YTÜ Teknopark'da faaliyet gösteren Lenta Marine tarafından geliştirilen insansız su altı görüntüleme cihazı Arat kullanılacaktır. Ölçümü yapılacak kirlilik parametreleri ise pH, iletkenlik, çözünmüş oksijen (ÇO), toplam çözünmüş madde (TÇM), toplam organik karbon (TOC), amonyak azotu (NH₃-N), nitrit ve nitrat azotu (NO₂-N ve NO₃-N) ve ortofosfat (PO₄⁻³) olarak seçilmiştir.

Deniz ortamında seçilen pilot istasyonlarda 4 farklı mevsimde anlık ölçümlerin yanı sıra farklı derinliklerden su kolonundan da numuneler alınarak YTÜ Çevre Mühendisliği Araştırma Laboratuvarında ve YTÜ Merkez Laboratuvarında toplam çözünmüş madde (TÇM), toplam organik karbon (TOC), amonyak azotu (NH₃-N), nitrit ve nitrat azotu (NO₂-N ve NO₃-N) ve ortofosfat (PO₄⁻³) analizleri gerçekleştirilecektir. Numune alımı esnasında multiparametre cihazı ile deniz suyunun pH, iletkenlik, ÇO ve TÇM değerleri tespit edilecektir. Böylece farklı mevsimlerde alınan numunelerin karakterizasyonu, online ölçümlerle kaydedilen değerlerle karşılaştırılarak referans niteliği taşıyacaktır.

Tablo 16. Yerinde izleme çalışmaları yapılacak istasyonların tahmini koordinatları

No	Mevki	Enlem	Boylam
İstanbul			
1	DSD 1 AHIRKAPI (YENİKAPI) DERİN DENİZ DEŞARJI	41° 0'6.67"K	28°59'31.61"D
2	DSD 2 KADIKÖY DERİN DENİZ DEŞARJI	40°59'57.96"K	28°59'35.07"D
3	DSD 3 ÜSKÜDAR DERİN DENİZ DEŞARJI	41° 1'46.72"K	29° 0'43.42"D
4	DSD 4 KÜÇÜKSU DERİN DENİZ DEŞARJI	41° 4'49.43"K	29° 3'40.10"D
5	DSD 5 BALTALIMANI DERİN DENİZ DEŞARJI	41° 5'44.96"K	29° 3'27.91"D
6	DSD 6 PAŞABAHÇE DERİN DENİZ DEŞARJI	41° 6'33.86"K	29° 4'38.34"D

7	DSD 7	BÜYÜKÇEKMECE DERİN DENİZ DEŞARJI	40°58'11.69"K	28°32'3.37"D
8	SD 1	TUZLA DENİZ DEŞARJI (1.KADEME)	40°49'54.46"K	29°15'17.31"D
9	SD 2	TUZLA DENİZ DEŞARJI (2.KADEME)	40°50'4.06"K	29°15'11.87"D
10	SD 3	BÜYÜKADA DENİZ DEŞARJI	40°51'55.04"K	29° 9'22.52"D
11	SD 4	HEYBELİADA DENİZ DEŞARJI	40°51'58.71"K	29° 4'45.85"D
12	SD 5	BURGAZADA DENİZ DEŞARJI	40°52'58.52"K	29° 2'47.42"D
13	SD 6	KINALIADA DENİZ DEŞARJI	40°53'38.53"K	29° 3'10.42"D
14	SD 7	KÜÇÜKÇEKMECE DENİZ DEŞARJI	40°57'59.04"K	28°45'44.06"D
15	SD 8	SİLİVRİ DENİZ DEŞARJI	41° 2'31.51"K	28°20'44.68"D
16	SD 9	SİLİVRİ DENİZ DEŞARJI (1.KADEME)	41° 3'37.99"K	28°13'57.12"D
17	SD 10	ÇANTA DENİZ DEŞARJI	41° 2'41.31"K	28° 6'1.67"D

Ayrıca Marmara Denizi'ne dökülen tüm derelerde karakterizasyon çalışması yapılarak, kurak ve yağışlı havalarda denize taşınan yağmur suyu ve kanalizasyon suyu taşkınlarının ve yayılı kaynaklardan yüzeysel akışa geçen kirleticilerin katkısı belirlenmiş olacaktır. İzleme yapılacak derelere ait bilgiler Tablo 17'de sunulmuştur.

Tablo 17. İzleme çalışmaları yapılacak Marmara Denizi'ne dökülen derelerin bilgileri

No	Dere adı	Doğduğu yer	Döküldüğü yer
1	Alibey Deresi	Tayakadın	Haliç
2	Haramidere	Akçaburgaz	Marmara Denizi
3	Çayırbaşı Deresi	Bahçeköy	İstanbul Boğazı
4	Kâğıthane Deresi	Tayakadın	Haliç
5	Kuşdili Deresi	Kayışdağı	Marmara Denizi
6	Tavukçu Deresi	Sultançiftliği	Marmara Denizi
7	Ayamama Deresi	Habipler	Marmara Denizi
8	Sazlıdere	Boyalık	Küçükçekmece Gölü
9	Göksu Deresi		İstanbul Boğazı

10	Küçüksu Deresi		İstanbul Boğazı
11	Halkalı Deresi		Küçükçekmece Gölü
12	Nakkaşdere		Küçükçekmece Gölü
13	Eşkinöz Deresi		Küçükçekmece Gölü
14	Ambarlı Deresi		Marmara Denizi
15	Çakıl Deresi		Büyükçekmece Gölü
16	İstinye Deresi	Hacıosman	İstanbul Boğazı

c. Marmara Denizi’nde Müsilaj Temizleme Çalışması Kapsamında Toplanan Deniz Salyasının Biyogaz ve/veya Biyoplastik Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Prof.Dr.Mehmet Sinan Bilgili

Doç.Dr.Hanife Sarı

Ar.Gör.Dr. Hülya Civelek Yörüklü

Marmara Denizi’nde farklı mikroalg türlerinin baskın hale gelmesi sonucu gerçekleşen müsilaj problemi için kirlilik önleme çalışmalarının acilen hayata geçirilmesinin yanında, toplanan müsilajın değerlendirilmesi de önem taşımaktadır. Denizlerden ve kıyılardan toplanan müsilaj, toplama çalışmaları esnasında deniz suyundan arındırılmadığından katı madde içeriği oldukça düşüktür. Bu durum, müsilajın ön işleme tabi tutulmadan depo sahalarına gönderilmesini imkansız kılmaktadır.

Bu sebeple, halihazırda deniz yüzeyini kaplamış olan ve toplama çalışmaları sürdürülen müsilajın depo sahalarına gönderilmek yerine döngüsel ekonomiye kazandırılmaları, önem taşımaktadır. Krizi fırsata çevirmek adına önemli bir fırsat olan bu süreçte, müsilajın biyogaz ve biyoplastik üretiminde değerlendirilmesi üzerinde çalışmalar yürütülmesi planlanmaktadır.

Literatürde daha önce kahve gibi müsilajlı biyokütlelerin müsilajından biyogaz üretimi ele alınmış olsa da, mikroalglerden kaynaklı müsilajın anaerobik çürütücülere beslenmesi üzerine çalışma bulunmamaktadır. Hernandez ve ark.’ın 2014 yılında hayvansal atıklara kahve müsilajı ilavesi yaparak biyohidrojen üretimi gerçekleştirdiği çalışmasında, kahve müsilajı ilavesinin biyogaz ve biyohidrojen üretim verimini artırdığı belirtilmiştir (Hernandez et al., 2014). Bu veriden ve algal ve kahve müsilajlarının yapısal olarak benzerliğinden hareketle, Marmara Denizi’nde oluşan müsilajın da Marmara Bölgesi’nde işletilmekte olan biyogaz tesislerine beslenebilirliği değerlendirilecektir. Toplanan müsilaj yaklaşık %80 nem muhtevasına ulaştırıldıktan sonra, yemek atıkları veya hayvansal atıklar gibi organik atıklarla karıştırılacaktır. Bunun için organik atıklar ve müsilaj farklı oranlarda karıştırılarak optimizasyon çalışmaları yürütülecektir. 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. Marmara Denizi’nin tuzluluk seviyesinin ise yaklaşık 25 mg/L olduğu göz önünde tutulduğunda, toplanan müsilajdan gelen tuzun, çürütücü verimini etkilemeyeceği öngörülmektedir.

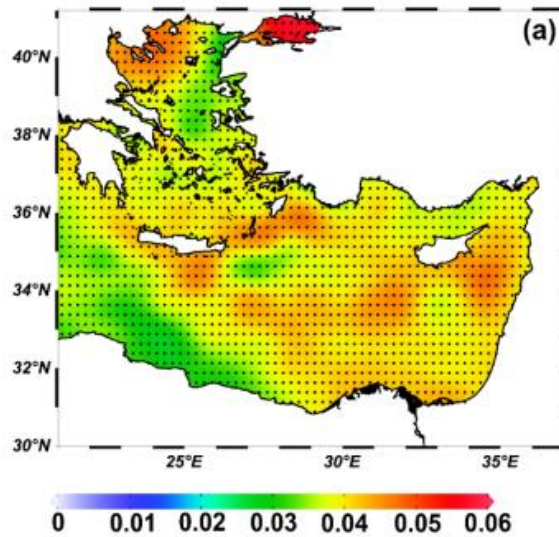
Oluşan müsilajın ekonomik katkı sağlayacak ürünlere dönüştürülebilirliğinin incelenmesi kapsamında ele alınabilecek bir değer başlık ise, müsilajın yapısında bulunan polimerin ekstrakte edilerek biyopolimerik ürün üretiminde değerlendirilmesidir. Bitki ve

mikroorganizmalardan üretilen müsilağın %75'i polisakkarittir ve bu polisakkaritler gıda ambalajı gibi pek çok alanda polimerik matris geliştirmek için kullanılırlar. Gliserol, sorbitol, polivinil alkol gibi farklı plastikleştiricilerle karıştırılan müsilağ polisakkaritlerinin çekme direnci ve termal dayanıklılıklarının artırıldığı çok sayıda çalışma da mevcuttur (Rai et al., 2021).

d. Meteo-hidro-oşinografik etkenlerin müsilağ patlamaları ile ilişkilerinin incelenmesi

Doç.Dr. Berna AYAT AYDOĞAN

Geçmiş çalışmalarda Akdeniz'deki yerel müsilağ patlamalarının Meteo-hidro-oşinografik koşullar ile ilişkisi ortaya koyulmaya çalışılmıştır (Deserti vd. 2005, Grilli vd. 2005a, Giani vd. 2005, Grilli vd. 2005b, Barale vd. 2005). Ancak bu ilişki ortaya konulabilmişse dahi veri setlerinin kısıtlı oluşu nedeniyle bütüncül bir niceliksel inceleme gerçekleştirilememiştir. Ayrıca geçmiş çalışmalar yerel ölçekte kalmıştır ve Marmara Denizi için böyle bir çalışmaya rastlanmamıştır. Günümüzde bu etkilerin daha doğru bir şekilde ortaya koyulabilmesi için çok daha uzun (yaklaşık 40 yıllık), yüksek çözünürlüklü ve güvenilir veri setleri mevcuttur. Bu proje kapsamında bu veri setleri incelenerek müsilağ patlamalarının ortaya çıktığı meteo-hidro-oşinografik koşullar belirlenebilecektir. Böylece bölgesel iklim modelleri çıktıları kullanılarak olası müsilağ sorunlarının ve bu bakımdan risk taşıyan deniz alanlarının önceden tahmin edilmesi mümkün olabilecektir. Bu amaçla incelenecek meteorolojik değişkenler; rüzgâr hızları ve atmosferik basınçlar, deniz fırtınaları, deniz suyu sıcaklıkları, tatlı su giriş debileri, yağış yükseklikleri, deniz suyu sıcaklıkları ve akıntı hızlarıdır. Şekil 43'de Doğu Akdeniz ve Marmara Denizi'nde Deniz suyu sıcaklıklarının son 39 yıldaki değişim eğilimi gösterilmiştir (Çarpar vd. 2020, Aydoğan ve Ayat 2018, Saraçoğlu vd. 2021, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü 2017).



Şekil 43. Marmara Denizi ve Doğu Akdeniz'de deniz suyu sıcaklıklarının uzun dönemli değişim eğilimi ($^{\circ}\text{C}/\text{yıl}$)

Marmara Havzası Koruma Eylem Planı (2017)'de belirlenen 15 hedeften biri "İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisinin Tespiti"dir. Bu çalışmanın bu hedefe yönelik önemli bir katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Marmara Havza Koruma Eylem Planı (2017)'nin genel olarak kısıtlı sayıdaki ölçümlerle toplanan verilerden elde edilen bilgiler ışığında hazırlandığı görülmektedir. Ölçüm verileri doğası gereği hem zamansal hem de uzamsal kısıtlamalar içermektedir. Ancak bu ölçümlerle kalibre edilmiş ve doğrulanmış modeller bize yine zamansal ve uzamsal ölçekte daha ayrıntılı ve bütüncül değerlendirmeler sunma ve yönetim ve planlama senaryolarının olası sonuçlarını değerlendirme imkânı verecektir.

Proje tamamlandıktan sonra bir devam projesi olarak Marmara Denizi için çeşitli iklim ve kirlilik yükü senaryolarının değerlendirilebileceği, gerekirse temizleme çalışmalarının planlanmasına altlık oluşturabilecek bir operasyonel akıntı ve su kalitesi modeli geliştirilmelidir. Böylesi bir model hem geleceğe dönük bir kaç günlük tahminler yapılması hem de çeşitli çözüm senaryolarının etkilerinin değerlendirilmesi açısından çok faydalı olacaktır. Halihazırda 119Y415 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında Marmara Denizi ve Türk Boğazlar Sistemini içine alan bir hidrodinamik model geliştirilmektedir. Bu modelin operasyonel boyuta taşınması ve senaryo analizlerinde kullanılması müsilaaj sorununun çözümüne önemli katkılar sağlayabilecektir.

(Kaynak Gereksinimleri: Burada önerilen tüm çalışmalar için üniversitemizin kaynakları yeterlidir. İhtiyaç duyulan tek kaynak iyi donanımlı doktora öğrencileri ve onların çalışmalarını destekleyecek burslardır. Bu araştırmacıların yetiştirilmesi üniversitemizin ARGE vizyonu ile yakın ve orta vadede yaşanması çok muhtemel benzer sorunlara karşı altyapısına ve marka değerine yakışır katkılar koymasını sağlayacaktır.)

e. Deniz Çevresi Atık (Müsilaaj) Toplama Yönetimi

GEMİ İNŞAATI VE DENİZCİLİK FAKÜLTESİ

Prof. Dr. Nurten Vardar

Prof. Dr. Uğur Buğra Çelebi

Doç Dr. Bekir Şener

Dr. Öğr. Üyesi Özgür Demir

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Yurtseven

Ar. Gör. Dr. Taner Coşgun

Amaç ve kapsam:

Müsilaaj gibi yayılcı organizmaların deniz yüzeyinden toplanması, ayrıştırılması ve bertaraf edilmesine yönelik toplama sistemleri ile uzun vadede deniz dibinin canlandırılması için kullanılacak olan oksijenlendirme sisteminin tasarlanması amaçlanmaktadır.

Bu sistemlerin tasarlanması ve uygulanması Gemi İnşaatı, Çevre, , Kimya ve Biyoteknoloji mühendisliği vb. alanlarını kapsamaktadır.

Çözüm önerileri mevcut durumun aciliyeti düşünülerek iki ana başlık altında sunulmuştur. Bunlar: Acil durum eylem planı ile orta ve uzun vade eylem planı şeklinde tasarlanmıştır.

Acil durum eylem planı:

Müsilaaj toplama platformu

Deniz çevresi için hazırlanan risk bazlı değerlendirmeler sonucunda birincil olarak, oluşan müsilaajın deniz yüzeyinden toplanarak bertaraf edilmesini sağlayacak bir deniz platformunun oluşturulması olarak belirlenmiştir.

Marmara Denizi'ndeki müsilaajın yüzeyden ve x m. su kolonundan hızlı ve acil bir şekilde temizlenmesi ile deniz yaşamının kısa sürede tekrar oksijen ve güneş ışığı ile buluşması ve

ekosistemin yaşama şansının artırılması sağlanabilir. Bu amaçla kurumlar ve özel sektör kuruluşlarının mevcut imkân ve kabiliyetlerinden maksimum seviyede faydalanılarak, kısa süre içerisinde müdahale edebilecek bir deniz platformu ve bileşenleri tasarlanacaktır. Bu platform, mevcut teknelere kolay ve hızlı bir şekilde entegre edilerek kullanılabilir. Böylece süre ve maliyet kaybının da önüne geçilecektir. Yüzeyden ve x derinlikten toplanan müsilaaj, platform üzerindeki tanklarda depolanacak ve bertaraf edilecektir.

Platform bileşenleri:

- Konveyör sistemi,
- Ayrıştırma levhası
- Depolama sistemi



Şekil 44. Müsilaaj temizleme platformu

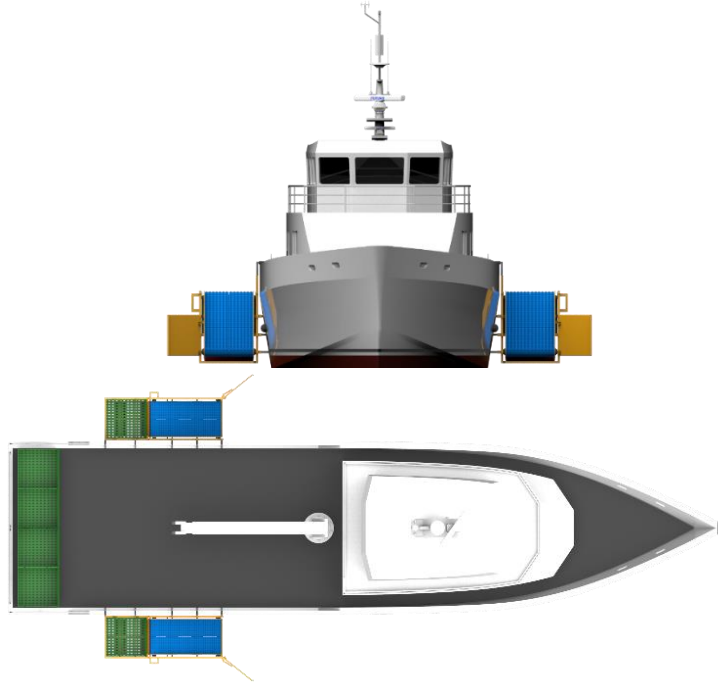
Şekil 44’de görüldüğü gibi müsilaaj temizleme platformu tahrik sistemi olmayan bir yapıda tasarlanmıştır ve istenilen boy ve genişlik ölçülerinde imal edilebilir.

Bu deniz platformu:

- Mevcut teknelere kolayca entegre edilebilecektir.
- Kendi kendini sevk edebilir /çekilebilir deniz aracı olarak tasarlanabilir.
- Deniz temizleme operasyonlarının daha kolay ve hızlı yapılması sağlanacaktır.
- Platform minimum maliyet ve imalat süresi gerektirecek şekilde tasarlanmıştır.
- Platform gerekli olması durumunda su üzerinde yüzebilecektir.
- Farklı boyut ve kapasitelerde kolayca üretilebilecek platformlar farklı tipte ve boyutta tekne yapılarına kolayca entegre edilebilecektir.



Şekil 45. Platform tekne montajı



Şekil 46. Platform tekne montajı

Tasarım ve imalatı gerçekleştirilen müsilaj toplama platformu mevcut tekneler üzerine hızlı ve kolay bir şekilde takılabilecektir. Şekil 45 ve Şekil 46 da teknenin her 2 yanında platform montajı görüntüsü verilmiştir.

Orta ve uzun vadede eylem planı

Orta vadede eylem planı

Yukarıdaki bölümde portatif olarak tasarlanan “Müsilaj toplama platformu”;

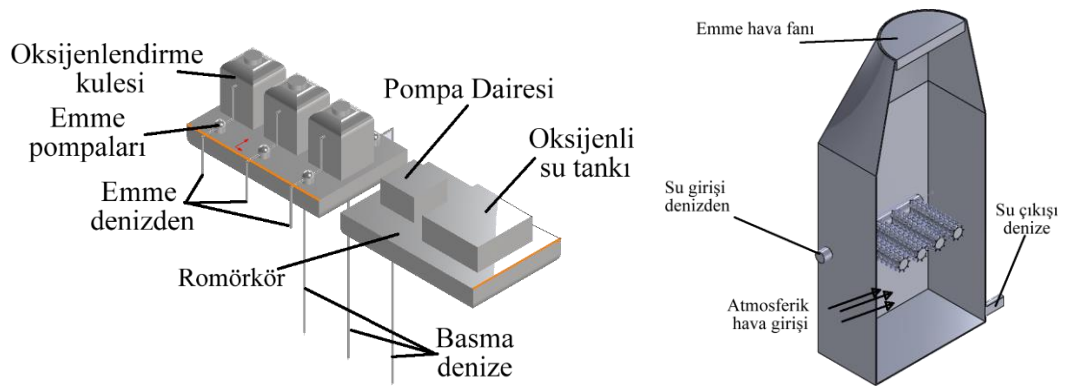
İstenilirse orta vadede kalıcı olacak biçimde bir genel yüzey temizleme deniz aracı olarak da dizayn ve imal edilebilir.

Orta-Uzun vadede eylem planı

Deniz Suyunu Oksijen Bakımından zenginleştirme sistemi

Yapılan değerlendirmeler neticesinde ikincil olarak, deniz dibindeki yaşamın sürdürülebilmesi ve geri kazanılabilmesi amacıyla deniz suyunun oksijen bakımından zenginleştirilmesi hedeflenmektedir.

Bu sistemde deniz suyu doğrudan pompalarla pulverizasyon kulelerine gönderilerek, kule içerisinde atmosferden alınan hava ile karıştırılır. Oksijen açısından zenginleşmiş olan deniz suyu sirkülasyon pompaları ile bir kolektöre gönderilir. Kolektörden denize tahliye edilir.



Şekil 47. Oksijenlendirme sistemi

Şekil 47’de görüldüğü gibi pulverizasyon kuleleri ve kolektör tahrik sistemi olmayan bir platform üzerindedir. Bu sistem deniz suyunun oksijen bakımından zenginleştirilmesi prensibi ile çalışmaktadır. Deniz suyunun denizden sisteme ve sistemden denize santrifüj pompalarla sirkülasyonu sağlanacaktır. Denize doğrudan gaz gönderilmesi durumunda gaz sirkülasyonu kompresör ile yapılır. Suyun ana akışkan olarak kullanılması durumunda kullanılan santrifüj pompalar çok daha az enerji ile çalışacaktır.

- 1 birim hacim zenginleştirilmiş su içerisinde 1 birim Oksijen varlığına karşılık, 1 birim hacim hava içerisinde 0,075 birim çözünebilir oksijen varlığı beklenmektedir.(Havadaki oksijenin su altında hacimsel olarak 1/1000 ölçek ile çözüldüğü varsayılmaktadır.
- Bu şartlarda; zenginleştirilmiş su ile operasyonda kullanılacak enerji miktarı, kompresör ile su altına doğrudan hava gönderilmesinde kullanılacak enerjinin 1/300 katıdır.

Yeşil Tersane Dönüşümü (Tersaneler İçin Çevre Yönetim Sistemi Kurulması)

Marmara Denizi kıyılarında bulunan tersanelerin, Marmara Denizi Koruma Eylem Planı’nda belirtilen çevreci üretim süreçlerinin yaygınlaştırılması için, çevresel risk temelli süreç iyileştirme çalışmaları yapılacaktır. Bu sayede, otomasyon ve robotik teknolojilerinin de kullanıldığı yeni nesil tersanelere dönüşüm sağlanacak ve atık kaynağında önlenecektir.

f. Müsilaj Takibi İçin Harita Mühendisliği Proje Önerisi

Prof Dr. Füsün Balık Şanlı YTÜ/ Harita Müh. Böl

Doç.Dr. Fatih Gülgen YTÜ/ Harita Müh. Böl

Dr. Öğr. Gör. Uğur Acar YTÜ/ Harita Müh. Böl

Öğr. Görv. Osman Salih Yılmaz YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü / Harita Müh anabilim Dalı/ Uzaktan Algılama ve CBS Bilim Dalı Doktora Öğrencisi

**Manisa Celal Bayar Üniversitesi Demirci Meslek
Yüksekokulu Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü/Coğrafi
Bilgi sistemleri Programı**

Türkiye'nin en önemli denizlerinden birisi olan Marmara Denizi'nde Dünya'nın dönüş (koriolis) gücünden kaynaklanan dairesel hareketler yerine Doğu – Batı yönünde bir akıntı gözlenir. Bu akıntı tuzluluk oranı %1,8-%2,0 arasında değişen Karadeniz sularını Akdeniz'e doğru taşır. Marmara Denizi'nde tuz oranları değişimden dolayı Batı-Doğu doğrultusunda bir dip akıntı gözlenir. Bu dip akıntı Marmara Denizi'nde iki farklı suyun tabaka oluşumuna neden olur (Artüz, 2002).

Marmara Denizi'nde gözlemlenen bu akıntılar, çevresindeki konumlanmış illerin sürekli gelişiminden kaynaklı denizdeki kirliliğin artması ve deniz sıcaklığının yükselmesi son yıllarda Marmara Denizi'ndeki biyolojik aktivitenin artmasına neden olmuştur. Bu biyolojik aktivitenin sonucunda oluşan planktonlar denizdeki balık sayısı ve türlerindeki azalmadan da kaynaklı olarak aşırı miktarda çoğalarak deniz yüzeyine de çıkan müsilaj oluşumuna neden olmaktadır. Müsilaj, çok geniş anlamda deniz karı, kümelenmiş kütle, köpük birikimi, yumak oluşumu ve mukus aglomerasyonu olarak da bilinir (Özalp, 2021). Denizdeki müsilajın oluşumuna temelde planktonik organizmalar ve ipliksi alglerin neden olduğu bilinmektedir (Schiaparelli et al., 2007). Zamanla oluşan ve kaybolan müsilajın gözlemlenmesi ve takibi deniz canlıları ve biyolojik yaşam için önemlidir (Artüz, 2002). Marmara Denizi'nde balıkçılar tarafından görünme tarihi 1990'lı yıllara dayanan deniz salyası olarak da bilinen müsilaj son olarak da 2021 Mart-Mayıs aylarında yoğun olarak gözlemlenmiştir (Tufekçi et al., 2010).

Deniz yüzeyindeki bu değişimler günümüzde coğrafi mekanla ilişkili büyük veri kümelerinin takibi ve izlenmesi uydu teknolojileri sayesinde yapılabilmektedir. Bu teknolojilerinin kullanımı günümüzde uzaktan algılama (UA) teknikleri ile mümkün olmaktadır. UA, En genel tanımıyla yeryüzündeki coğrafi varlıklara temas etmeksizin onlar hakkında bilgi edinme sanatı olarak tanımlanır. Diğer taraftan aynı coğrafi alana ilişkin farklı zamansal, mekânsal ve spektral çözünürlükte veri sağlayabilmesi nedeniyle UA tekniği, çevresel gözlemlerin takibinde çok büyük avantajlar sağlar. UA, ucuz ve hızlı veri sağlaması nedeniyle sürdürülebilir çevre yönetiminden iklim değişikliğine, arazi örtüsü/kullanımı değişiminden jeolojik uygulamalara kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir (Khatami et al., 2016). UA ile coğrafi mekanla ilişkin bilgileri 40 yıla varan değişimlerini tespit etmek mümkündür. Özellikle su yüzeylerindeki bu değişimler çeşitli sınıflandırma algoritmaları ve uydu görüntülerinde kullanılan bantların cebirsel işlemine dayanarak üretilen indeksler sayesinde mümkündür. En temel yaklaşımla UA tekniklerinde kontrollü sınıflandırma için kullanılan En Çok Benzerlik (Maximum Likelihood Classification,MLC), Rastgele Orman (Random Forest, RF) ve Destek Vektör Makinaları (Support Vector Machines, SVM) (Haque and Basak, 2017; C. Wang et al., 2018) bilenen algoritmalarıdır. Bunun yanında kontrolsüz sınıflandırma için ise K-Means (K-Ortalama kümeleme) algoritması ve İteratif veri Analiz Yöntemi (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique Algorithm - ISODATA) en çok tercih edilen algoritmalarıdır (Martinez, 2003). Sınıflandırma yanı sıra hedef sınıfı diğer sınıflardan ayırmak

için kullanılan indeksler ise bitki örtüsünü diğer detaylardan ayırt etmek için, normalleştirilmiş bitki örtüsü farkı (Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (Rouse et al., 1974), su yüzeylerini toprak ve diğer karasal yüzeylerden ayırmak için normalleştirilmiş su örtüsü farkı (Normalized Difference Water Index - NDWI) (McFeeters, 1996) indeksleri kullanılmaktadır. Özellikle kentsel alanda ve sığ sularda su yüzeyini oluşabilecek gölgelik alanlardan ayırt edebilmek için yakın kızıl ötesi NIR bant yerine kısa dalga kızıl ötesi (SWIR) bant kullanan modifiye edilmiş NDWI (MNDWI) (Xu, 2006), su yüzeylerini gölgelik ve gölgelik olmayan yüzeyler için otomatik çıkaran ayrı ayrı geliştirilmiş otomatik su çıkarma indeksleri (Automatic Water Extraction Index AWEInsh ve AWEIsh) indeksleri geliştirilmiştir (Feyisa et al., 2014).

Yukarıda bahsedilen algoritma ve indeksler kullanılarak su yüzeylerini diğer detaylardan arındırmak için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Qiao et al. (2012), uydu görüntüsü üzerinden hem spektral hem de mekânsal bilgileri ilgilendiren uyarlanabilir bir su çıkarma yöntemi önermiştir. Sun et al. (2012), uzaktan algılanan görüntülerde su özelliklerinin hızlı bir şekilde çıkarılması için iki yeni yöntem önermiştir. İlk yöntem, indeksleri ve bant değerlerini kullanan piksel tabanlı bir prosedürdür. İkinci yöntem, piksel tabanlı sınıflandırmaları nesne tabanlı görüntü bölütleme ile entegre eden bir sistematik kullanır. Kaplan and Avdan (2017), Sentinel-2 görüntülerinde piksel ve nesne tabanlı sınıflandırma yöntemlerini birleştirerek daha doğru sonuçlar elde etmiştir. Guo et al. (2017), Landsat görüntülerinde yakın kızıl ötesi (NIR) ve kısa dalga kızıl ötesi (SWIR) bantları yerine ağırlıklı ortalama değer kullanarak ağırlıklı NDWI indeksini geliştirmiştir. Yang et al. (2018), pikselleri bir su indeksi hesaplamasına göre su kütlelerine benzer bir tepkiye sahip olabilecek olası bir gürültü haritasını tahmin ederek otomatik bir gürültü giderme stratejisi önermiştir. Lv et al. (2020), piksel altı ölçeğindeki pikselleri tanımlamak için çift eşik kullanan yeni bir mekânsal-spektral tanımlama yöntemi geliştirmiştir. Liu et al. (2020), orta çözünürlüklü görüntüleme spektrometresi (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer-MODIS) görüntülerini kullanarak Tibet Platosu'nda rutin olarak açık su bölüntü haritalarını otomatik olarak oluşturmak için kapsamlı bir piksel altı su haritalama algoritması kullanmıştır. Su yüzeyinde algilerin aşırı çoğalması sonucu su yüzeylerinde oluşabilecek musilaj gibi oluşumların tespit edilmesi amacıyla ise Zibordi and Hooker (2000) Adriyatik denizinde musilajı optik olarak gözlemlenmesinden başka bir çalışma görülmemiştir.

UA teknikleri kullanılarak yapılan bu çalışmalar, klasik uzaktan algılama yaklaşımları kullanılarak yapılmaktadır. Yani uydu görüntülerinin bilgisayar ortamına indirilerek ticari ya da açık kaynak kodlu yazılımlarla analiz edilmektedir. Bu işlem yeterli depolama alanları ve güçlü bilgisayarlar yeterli personel, zaman ve işgücü sorunlarını beraberinde getirmektedir. Bu kapsamda gerçekleştirilecek uzun süreli analizler proje bütçelerinde ek maliyetlerin ortaya çıkmasına neden olur (Zurqani et al., 2019). Günümüzde bu dezavantajı ortadan kaldırmak için Google firması tarafından, geniş alanlardaki insan yerleşimlerini haritalamak, geçmiş değişimleri incelemek ve mevcut tahminleri sürekli güncellemek için GEE platformu geliştirilmiştir (Patel et al., 2015). Bulut ortamında çalışan GEE, Landsat ve Sentinel görüntülerinin tüm arşivlerine kolay ve eş zamanlı erişebilmektedir (Xiong et al., 2017). GEE uygulama program ara yüzü (API) sayesinde JavaScript ve Python kodlama dilleri ile geliştirme ve petabayt ölçeğinde verilere ulaşma ve analiz olanağı sağlar (Dong et al., 2016; Goldblatt et al., 2016). GEE küresel odunsu bitki ve orman değişimi (Johansen et al., 2015), kentsel alanların izlenmesi (Goldblatt et al., 2016; Patel et al., 2015), ekili tarım arazilerinin izlenmesi (Shelestov et al., 2017), arazi örtüsü çalışmaları (Huang et al., 2017; X. Liu et al., 2018), taşkın önleme ve acil durum çalışmaları (Liu et al., 2018), yangın alanlarının takibi (Gibson et al., 2020), petrol platformlarının tespiti (Wong et al., 2019), kıyı gelgit dairelerinin belirlenmesi (Wang et al., 2020) gibi birçok alanda kullanılmıştır.

Haritalar, yalnızca statik resimler biçiminde değil, aynı zamanda internetin gelişmesiyle, kaynak kodlar kullanarak web ortamında dinamik olarak da yayınlanmaktadır. (Bostock ve Davies 2013, Horbiński ve Medyńska-Gulij 2017, Edler ve Vetler 2019). Bu amaçla an çok kullanılan web ortamında yayın kütüphanelerinden bir tanesi Leaflet kütüphanesidir. Leaflet, Projede kullanılan GEE'nin kullandığı kodlama dili olan JavaScript'i kullanan açık kaynak kodlu ve sürekli güncellenen bir kütüphanedir. (Peterson 2014a). Küçük dosya boyutu dokunmaya dayalı etkileşim desteği sayesinde aynı zamanda mobil cihazlar için de etkileşimli haritalar hazırlamak için en iyi kütüphane olarak kabul edilir (Peterson 2014b) (Donohue ve diğerleri 2013, Roth ve diğerleri 2014). OpenStreetMap (Açık kaynak kodlu haritalar) tabanı ile çalışmak için tasarlanmış olsa bile, diğer haritalama servisleriyle (Muehlenhaus 2014) ve farklı koordiant sistemlerinde raster haritaların yayınlanması için kullanılabilmektedir. Aynı zamanda, GeoJSON (Geographic JavaScript Object Notation) dosya desteği sayesinde nokta, çizgi, alan gibi vektör verileri de desteklemektedir (Donohue ve ark. 2013).

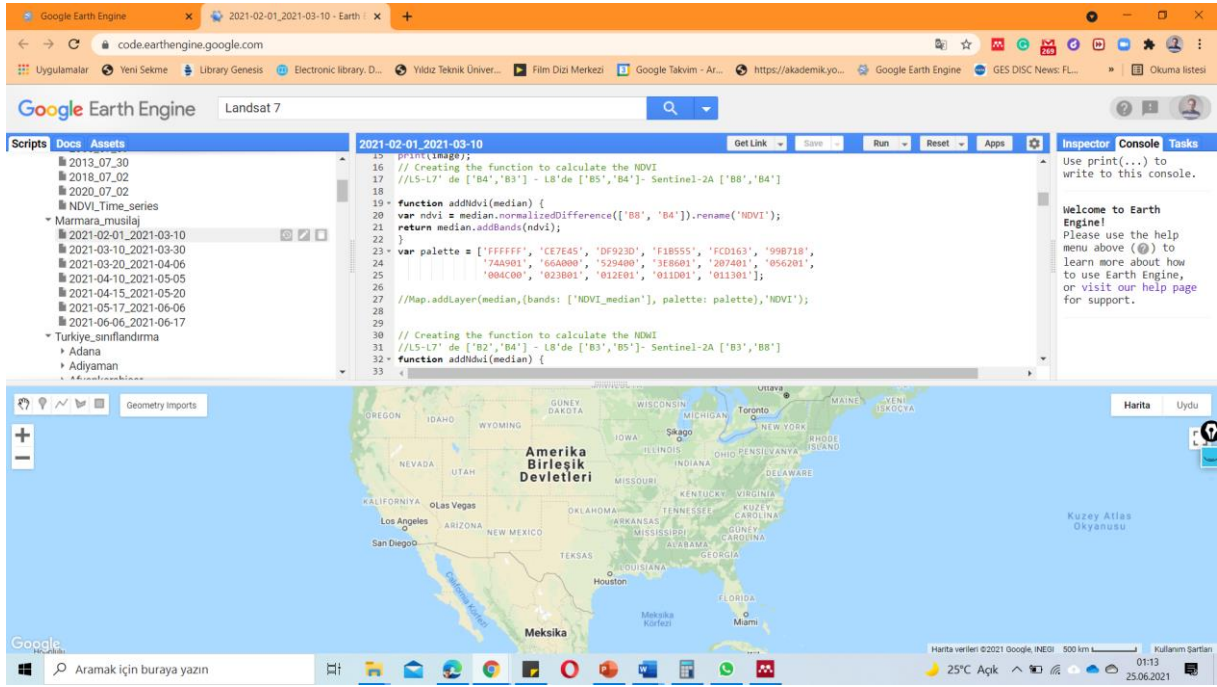
Önerilen bu projede, Marmara denizinde görülen musilajın hızlı bir şekilde tespiti, yayılımı ve deniz üzerinde kapladığı alanın hesaplanarak haritalanması amaçlanmıştır. Bu amaçla, Marmara denizindeki musilaj Sentinel-2 görüntüleri üzerinden RF algoritması ve çeşitli indeksler kullanılarak GEE platformunda JavaScript kodlama dili kullanılarak yazılacak kod ile tespit edilecektir. Yazılacak olan kod ile musilaj kullanılan donanım ve yazılımdan bağımsız tamamen bulut ortamında dakikalar içerisinde tespit edilmesi hedeflenmektedir. Bu sayede musilajın takibi yayılımı ilerlemesi ya da azalması belirlenebilecek ve musilaj çalışmasında bulunan paydaşlara yol gösterecektir.

Sunulan projede, GEE platformunda elde edilen sonuçlar, leaflet kütüphanesi kullanılarak web ortamında yayınlanacaktır. Periyodik olarak elde edilen sonuçlar, altlık haritalar kullanılarak görselleştirilecek ve kullanıcılarına interaktif bir harita deneyimi sunacaktır. Oluşturulacak portal ile, portala giriş yetkisi olan kullanıcılar bu interaktif haritaya ulaşabileceklerdir. Kullanıcılar çeşitli ölçeklerde harita görüntüleyebilecek aynı zamanda, çevirici olarak çeşitli istatistiklere ulaşabileceklerdir. Kullanıcılara belirli konularda coğrafi sorgu yapma imkanı da verilecektir.

Yapılacak olan çalışma aşağıdaki iş paketlerine ayrılmıştır:

Yapılacak olan bu proje aşağıdaki gibi altı iş paketine ayrılarak açıklanmıştır.

1. İş paketinde, GEE ortamında tüm Marmara Denizi sınırları tespit edilecek ve belirlenen sınırlar GEE ortamına alınacaktır. Daha sonra bu sınırlar içerisinde ilgili tarihlere ait uydu görüntülerini getiren kod Javascript kodlama diliyle yazılacaktır. GEE ara yüzü görüntüsü ve örnek kod Şekil 48'de verilmiştir.



Şekil 48. GEE platformu

2. NDVI, bitki indeksi Rouse ve ark. tarafından 1974 yılında geliştirilmiştir (Rouse et al., 1974). Bitki örtüsü tarafından yansıtılan kırmızı ve yakın kızılötesi ışığı kullanır. Sağlıklı bitki örtüsü, kendisine çarpan görünür ışığın çoğunu absorbe edip yakın kızıl ötesi ışığın büyük bölümünü yansıtırken, sağlıklı veya seyrek bitki örtüsü görünür ışığın çoğunu ve yakın kızıl ötesi ışığın çok azını yansıtır (Rouse et al., 1974). Belirli bir piksel için NDVI hesaplamaları her zaman (-1) ile (+1) arasında değişen bir sayı ile sonuçlanır (Arekhi et al., 2019).EVI, NDVI benzer ve bitki örtüsü yeşilliğini ölçmek için kullanılabilir. EVI, yüksek biyokütle bölgelerinde gelişmiş hassasiyet ile bitki örtüsü sinyalini optimize etmek ve gölgelik arka plan sinyalinin ayrılması ve atmosfer etkilerinin azaltılması yoluyla iyileştirilmiş bitki örtüsü izlemesi için geliştirildi (Huete et al., 2002). Su kütlesi çıkarma indeksleri, su kütleleri ve arka plan özellikleri arasındaki farkı artırmak için kullanılır. İki veya daha fazla spektral bandın aritmetik işlemine dayanır. Suyu, spektral özelliklerine göre diğer ayrıntılardan arındırmak için uygun bir eşik değeri kullanılır. Suyu, spektral özelliklerine göre diğer tüm detaylardan arındırmak için suyun NDWI indeksi geliştirilmiştir. Bu indeks yeşil dalga boyunu kullanarak suyun yansımalarını maksimuma çıkarmak, su da ise NIR'in yansımalarını minimuma indirmek için uygundur. Bitki örtüsünde ve toprakta NIR'yüksek yansıma gösterirken suda ise tam tersi durum söz konusudur. Bu özellikler tasarlanan indekste su pozitif değerler alırken su olmayan diğer detaylar sıfır yada negatif değerler alacaktır (McFeeters, 1996a). Sığ sularda oluşabilecek bitki örtüsü, kent bölgelerinde oluşabilecek gölgelerin etkisini en aza indirmek için NIR bandı yerine SWIR bandı kullanılarak MNDWI indeksi tasarlanmıştır (Xu, 2006). Su yüzeylerini gölgelik ve gölgelik olmayan yüzeyler için otomatik çıkaran ayrı ayrı geliştirilmiş automatic water extraction index AWEInsh ve AWEIsh su çıkarma indeksleri geliştirilmiştir (Feyisa et al., 2014).

İş paketinde gerekli indekslerin hesaplanması için kod yazılacaktır. Hesaplanacak indeksler ve formülleri Tablo 18'de verilmiştir.

Tablo 18. Hesaplanan İndeksler ve Formülleri

İndeks	Kısaltma	Formül
Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	$\frac{NIR - RED}{NIR + RED}$
Enhanced Vegetation Index	EVI	$(2,5x(NIR - RED))/(NIR + (2,4xRED) + 1)$
Normalized Difference Water Index	NDWI	$\frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR}$
Modifed Normalized Difference Water Index	MNDWI	$\frac{GREEN - SWIR1}{GREEN + SWIR1}$
Automated Water Extraction Index	AWEI_nsh	$4x(GREEN - SWIR1) - (0,25xNIR + 2,75xSWIR2)$

- İş paketinde hesaplanan indeksler kullanılarak RF algoritması ile sınıflandırma yapılacaktır. RF algoritması, karar ağaçları kümelerine göre tahmin ve sınıflandırma yapar (Breiman, 2001). Aynı ayrı oluşturulan karar ağaçları bir karar ormanı oluşturmak için bir araya getirilir. Karar ağaçları, veri setinin rastgele seçilen bir alt kümesidir (Liaw and Wiener, 2002). Sınıflandırma ve regresyon karar ağaçları, en iyi tahmini yapabilmek için kullanıcıyı sonuca götürecek karar ormanlarını birbirinden farklı şekilde oluşturulur. RF, verileri daha etkili tahminler için yinelemeler yaparak diğer yöntemlere göre önemli bir avantaj sağlar (Breiman, 2001). Bu proje çalışmasında çalışma sahası çeşitli sınıflara ayrılacaktır. Bu amaçla, su, kara ve musilaj olmak üzere üç farklı sınıfı ayrılıp sınıflandırma çalışması yapılacaktır. Sınıflandırmada Sentinel-2A/2B uydu görüntülerinde görünür bölge, Red edge bantlar, kırmızıötesi bantlar ve hesaplanan bant indeksleri kullanılacaktır. Ayrıca sınıflandırma doğruluk sonuçları Kappa istatistik testi kullanılarak test edilecektir.
- Elde edilen sonuçlar Yıldız Teknik Üniversitesi tarafından sağlanan bir portalde sunulacaktır. Bu işlem için Leaflet kütüphanesi kullanılacaktır. Kullanıcılar portale bir şifre ile dahil olacaktır. Portal içerisindeki interaktif haritalar sayesinde kullanıcılar, ilgilendikleri bölgenin haritalarına daha detaylı olarak ulaşabilecek ve haritaları isterlerse belirli formatlarda bilgisayarlarına indirebileceklerdir. Portal ayrıca kullanıcılarına çevrimiçi istatistikler, değişim haritaları ve zaman serisi analizleri sunacaktır. Kullanıcılar isterse daha önceden tanımlı olan coğrafi sorgular yapabileceklerdir. Kodlamalar Python ve Javascript kütüphanesi kullanılacaktır.

Proje Çıktıları:

Proje çalışmasında bu konudaki üniversite altyapısı tespit edilmiş, projedeki iş adımları başarıyla tamamlanmış ve

-Çalışmaların sonuçları, proje ekibi tarafından Çevre ve Şehircilik Bakanlığı İl Müdürlüğü'nde bakanlık yetkililerine sunularak konuyla ilgili değerlendirmeler yapılarak sorun çözümüne katkı sunulmuştur.

-"TÜBİTAK 1001 - Müsilaj Araştırmaları Özel Çağrısı" kapsamında proje başvurusu yapılmıştır.

-YÖK 100/2000 kapsamında "Denizel Ekosistemlerinin Sürdürülebilirliği, Denizel Müsilaj, Biyoçeşitlilik, Rezervlerin Korunması, Hassas ve Koruma Alanlarının Belirlenmesi, Deniz Kirliliği, Kıyısız Alan Tahribatı" tematik alan için üniversitemiz adına başvuru yapılmış ve 3 adet kontenjan alınarak, üniversitemizde bu alanda tez çalışması yapacak 3 farklı bölümden doktora öğrencisine YÖK 100/2000 bursu bağlanmıştır.

REFERANSLAR

- “Biochar installations on Lake Hopatcong”
<https://www.lakehopatcongfoundation.org/news/biochar-installations>
- “Biochar: A Natural Solution to Safely Filter Excess Nutrients”,
<https://www.solitudelakemanagement.com/blog/biochar-natural-solution-safely-filter-excess-nutrients/>
- “Removes Variety of Pollutions and Phosphours”
353:115–125. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.09.011>
- Adriatic Sea in the period June 1999-July 2002. Part II: Nutrients transport. *Sci Total Environ* Akgul, D., Çakmakçı, M., Kayaalp, N., & Koyuncu, I. (2008). Cost analysis of seawater desalination with reverse osmosis in Turkey. *Desalination*, 220(1-3), 123-131.
- Altın A, Ozen O, Ayyildiz H (2015) Temporal variations of the demersal fish community in the shallow waters of Çanakkale Strait, North Aegean Sea, during the course of a mucilage event
- Antoni, S., Bantan, R. A., Al-Dubai, T. A., Lubis, M. Z., Anurogo, W., & Silaban, R. D. (2019). Chlorophyll-a, and Sea Surface Temperature (SST) as proxies for Climate Changes: Case Study in Batu Ampar waters, Riau Islands. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 273(1), 012012. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/273/1/012012>
- Arekhi, M., Goksel, C., Balik Sanli, F., & Senel, G. (2019). Comparative Evaluation of the Spectral and Spatial Consistency of Sentinel-2 and Landsat-8 OLI Data for Igneada Longos Forest. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(2), 56. <https://doi.org/10.3390/ijgi8020056>
- Artüz M.L., (2008) Marmara Denizi Geneline Gözlemlenen Karışık Alg Patlaması Konusunda Rapor
- Artüz, L. M. (2002). Marmara ve Boğazların Ekolojisi ve Değişimler. B.Ü.Deniz Teknolojisi Sempozyumu, February.
- Aydoğan B, Ayat B (2018) Spatial variability of long-term trends of significant wave heights in the Black Sea. *Appl Ocean Res* 79:20–35. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2018.07.001>
- Balkis, N., & Toklu-Alıçlı, B. (2014). Changes in phytoplankton community structure in the Gulf of Bandırma, Marmara Sea in 2006-2008.
- Balkis N (2003) Seasonal variations in the phytoplankton and nutrient dynamics in the neritic water of Büyükçekmece Bay, Sea of Marmara *Journal of Plankton Research* 25:703-717
- Balkis N, Atabay H, Türetgen I, Albayrak S, Balkis H, Tüfekçi V (2011a) Role of single-celled organisms in mucilage formation on the shores of Buyukada Island (the Marmara Sea) *Marine Biological Association of the United Kingdom* 91:771
- Balkis N, Atabay H, Türetgen I, Albayrak S, Balkis H, Tüfekçi V (2011b) Role of single-celled organisms in mucilage formation on the shores of Buyukada Island (the Marmara Sea) *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 91:771
- Balkis-Ozdelice N, Durmus T, Toklu-Alicli B, Balci M (2020) Phytoplankton composition related to the environmental conditions in the coastal waters of the Gulf of Erdek *Indian Journal of Geo-Marine Sciences (IJMS)* 49:1545-1559
- Barale V, Schiller C, Tacchi R, Marechal C (2005) Trends and interactions of physical and bio-geochemical features in the Adriatic Sea as derived from satellite observations. *Sci Total Environ* 353:68–81. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.09.060>
- Beşiktepe ŞT, Sur Hİ, Özsoy E, Latif MA, Oğuz T, Ünlüata Ü (1994) The circulation and hydrography of the Marmara Sea *Progress in Oceanography* 34:285-334 [doi:https://doi.org/10.1016/0079-6611\(94\)90018-3](https://doi.org/10.1016/0079-6611(94)90018-3)

- Bostock, M. and Davies, J., 2013. Code as cartography. *The Cartographic Journal*, 50 (2), 129–135. 50th Anniversary Special Issue. doi:10.1179/0008704113Z.000000000078 [Taylor & Francis Online], [Web of Science®],
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Cardall, A., Tanner, K., & Williams, G. (2021). Google Earth Engine Tools for Long-Term Spatiotemporal Monitoring of Chlorophyll -a Concentrations Research Article. *Open Water Journal*, 7(1), 1–20.
- Casey, K. S., & Cornillon, P. (1999). A comparison of satellite and in situ–based sea surface temperature climatologies. *Journal of Climate*, 12(6), 1848–1863.
- Cavalli, R. M. (2018). Comparison of split window algorithms for retrieving measurements of sea surface temperature from MODIS Data in Near-Land Coastal Waters. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(1), 8–11. <https://doi.org/10.3390/ijgi7010030>
- Chen, Y., Duan, S. B., Labed, J., & Li, Z. L. (2019). Development of a split-window algorithm for estimating sea surface temperature from the Chinese Gaofen-5 data. *International Journal of Remote Sensing*, 40(5–6), 1621–1639. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1488295>
- Çamur, D., Topbaş, M., İltir, H., Albay, M., Ayoğlu, F.N., Can, M., Altın, A., Demirtaş, Y., Parlak-Somuncu, B., Aydın, F., Açıkgöz, B. (2021). Heavy metals and trace elements in whole-blood samples of the fishermen in Turkey: The fish/ermen heavy metal study (FHMS). *Environmental Management*, 67(3), 553–562.
- Çarpar T, Ayat B, Aydoğan B (2020) Spatio-Seasonal Variations in Long-Term Trends of Offshore Wind Speeds Over the Black Sea; an Inter-Comparison of Two Reanalysis Data. *Pure Appl Geophys* 177:3013–3037. <https://doi.org/10.1007/s00024-019-02361-7>
- Çevikbilen, G., Başar, H. M., Karadoğan, Ü., Teymur, B., Dağlı, S., & Tolun, L. (2020). Assessment of the use of dredged marine materials in sanitary landfills: A case study from the Marmara sea. *Waste Management*, 113, 70-79.
- Deserti M, Cacciamani C, Chiggiato J, et al (2005) Relationships between northern Adriatic Sea mucilage events and climate variability. *Sci Total Environ* 353:82–88.
- Devescovi M, Iveša L (2007) Short term impact of planktonic mucilage aggregates on macrobenthos along the Istrian rocky coast (Northern Adriatic, Croatia) *Marine pollution bulletin* 54:887-893
- D'Ippolito, G., Romano, G., Iadicicco, O., Miralto, A., Ianora, A., Cimino, G., & Fontana, A. (2002). New birth-control aldehydes from the marine diatom *Skeletonema costatum*: characterization and biogenesis. *Tetrahedron Letters*, 43(35), 6133-6136.
- Dong, J., Xiao, X., Menarguez, M. A., Zhang, G., Qin, Y., Thau, D., Biradar, C., & Moore, B. (2016). Mapping paddy rice planting area in northeastern Asia with Landsat 8 images, phenology-based algorithm and Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment*, 185, 142–154. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.016>
- Donohue, R.G., Sack, C.M., and Roth, R.E., 2013. Time series proportional symbol maps with Leaflet and jQuery. *Cartographic Perspectives*, 76, 43–65.
- Edler, D. and Vetler, M., 2019. The simplicity of Modern audiovisual web cartography: an example with the open-source JavaScript Library leaflet.js. *Kartographische Nachrichten. Journal of Cartography and Geographic Information*, 69, 51–62. doi:10.1007/s42489-019-00006-2 [Crossref],
- Ergül, H.E., Aksan, S. (2013). Evaluation of non-essential element and micronutrient concentrations in seafood from the Marmara and Black Seas. *Journal of Black Sea/Mediterranean Environment*, 19(3), 312–331.

Estep, K.W., Hornbuckle, K.C., Achman, D.R., Eisenreich, S.J. (1993). Over-water and over-land polychlorinated biphenyls in Green Bay, Lake Michigan. *Environmental Science & Technology*, 27(1), 87–98.

Feyisa, G. L., Meilby, H., Fensholt, R., & Proud, S. R. (2014). Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 140, 23–35. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029>

Giani M, Rinaldi A, Degobbis D (2005) Mucilages in the Adriatic and Tyrrhenian Sea: An

Gibson, R., Danaher, T., Hehir, W., & Collins, L. (2020). A remote sensing approach to mapping fire severity in south-eastern Australia using sentinel 2 and random forest. *Remote Sensing of Environment*, 240(February), 111702. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111702>

Goldblatt, R., You, W., Hanson, G., & Khandelwal, A. K. (2016). Detecting the boundaries of urban areas in India: A dataset for pixel-based image classification in google earth engine. *Remote Sensing*, 8(8), 634. <https://doi.org/10.3390/rs8080634>

Grilli F, Marini M, Degobbis D, et al (2005) Circulation and horizontal fluxes in the northern

Grilli F, Paschini E, Precali R, et al (2005) Circulation and horizontal fluxes in the northern Adriatic Sea in the period June 1999-July 2002. Part I: Geostrophic circulation and current measurement. *Sci Total Environ* 353:57–67. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.09.008>

Guo, Q., Pu, R., Li, J., & Cheng, J. (2017). A weighted normalized difference water index for water extraction using landsat imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 38(19), 5430–5445. <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1341667>

Hansen, E., Ernsten, A., Eilertsen, H.C. (2004). Isolation and characterization of a cytotoxic polyunsaturated aldehyde from the marine phytoplankter *Phaeocystis pouchetii* (Hariot) Lagerheim. *Toxicology*, 199, 207–217.

Haque, M. I., & Basak, R. (2017). Land cover change detection using GIS and remote sensing techniques: A spatio-temporal study on Tanguar Haor, Sunamganj, Bangladesh. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 20(2), 251–263. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.12.003>

Hernández, M. A., Susa, M. R., & Andres, Y. (2014). Use of coffee mucilage as a new substrate for hydrogen production in anaerobic co-digestion with swine manure. *Bioresource technology*, 168, 112–118.

Horbiński, T. and Medyńska-Gulij, B., 2017. Geovisualisation as a process of creating complementary visualisations: static two-dimensional, surface three-dimensional, and interactive. *Geodesy and Cartography*, 66 (1), 45–58. doi:10.1515/geocart-2017-0009 [Crossref], [Web of Science ®], <http://www.hopatconglakeregionalnews.com/index.php/news/lake-information/4524-further-hab-work-on-lake-hopatcong-four-locations-get-biochar-designed-to-prevent-habs> <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.09.009>

Huang, H., Chen, Y., Clinton, N., Wang, J., Wang, X., Liu, C., Gong, P., Yang, J., Bai, Y., & Zheng, Y. (2017). Mapping major land cover dynamics in Beijing using all Landsat images in Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment*, 202, 166–176.

Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1–2), 195–213.

introduction. *Sci Total Environ* 353:3–9. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.09.006>

Jang, J. C., & Park, K. A. (2019). High-resolution sea surface temperature retrieval from Landsat 8 OLI/TIRS data at coastal regions. *Remote Sensing*, 11(22). <https://doi.org/10.3390/rs11222687>

Jiménez-Muñoz, J.-C., & Sobrino, J. A. (2008). Split-window coefficients for land surface temperature retrieval from low-resolution thermal infrared sensors. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 5(4), 806–809.

- Johansen, K., Phinn, S., & Taylor, M. (2015). Mapping woody vegetation clearing in Queensland, Australia from Landsat imagery using the Google Earth Engine. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 1, 36–49. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2015.06.002>
- Kaplan, G., & Avdan, U. (2017). Object-based water body extraction model using Sentinel-2 satellite imagery. *European Journal of Remote Sensing*, 50(1), 137–143. <https://doi.org/10.1080/22797254.2017.1297540>
- Khatami, R., Mountrakis, G., & Stehman, S. V. (2016). A meta-analysis of remote sensing research on supervised pixel-based land-cover image classification processes: General guidelines for practitioners and future research. *Remote Sensing of Environment*, 177, 89–100.
- Koçer A.T., İnan B., Özçimen D. (2018). Adsorption of Remazol Brilliant Blue R by raw and carbonized macroalgal wastes, *Environmental Research & Technology*, 1(4):40-46.
- KOPUZ, E. B., & Gökberk, K. A. R. A. (2020). Water Quality in Marmara Sea. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(4), 2431-2437.
- LaGrega, M.D., Buckingham P.L., Evans, J.C. (1994). The environmental resources management group: Hazardous waste management. Singapore: McGraw-Hill.
- Liaw, A., & Wiener, M. (2002). Classification and regression by randomForest. *R News*, 2(3), 18–22.
- Liu, C., Shi, J., Liu, X., Shi, Z., & Zhu, J. (2020). Subpixel mapping of surfacewater in the Tibetan Plateau with MODIS data. *Remote Sensing*, 12(7), 1–20. <https://doi.org/10.3390/rs12071154>
- Liu, C.-C., Shieh, M.-C., Ke, M.-S., & Wang, K.-H. (2018). Flood prevention and emergency response system powered by google earth engine. *Remote Sensing*, 10(8), 1283.
- Liu, X., Hu, G., Chen, Y., Li, X., Xu, X., Li, S., Pei, F., & Wang, S. (2018). High-resolution multi-temporal mapping of global urban land using Landsat images based on the Google Earth Engine Platform. *Remote Sensing of Environment*, 209, 227–239.
- Lv, Y., Gao, W., Yang, C., & Fang, Z. (2020). A novel spatial–spectral extraction method for subpixel surface water. *International Journal of Remote Sensing*, 41(7), 2477–2499. <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1693073>
- MacKenzie L, Sims I, Beuzenberg V, Gillespie P (2002) Mass accumulation of mucilage caused by dinoflagellate polysaccharide exudates in Tasman Bay, New Zealand Harmful Algae 1:69-83
- Marchetti R Algal blooms and gel production in the Adriatic Sea. In: Proc. Workshop" Eutrophication-related phenomena in the Adriatic Sea and in other Mediterranean coastal zones", Water Poll. Res. Rep, 1990. pp 21-42
- Martinez, E. M. (2003). Remote Sensing Techniques for Land Use Classification of Rio Jauca Watershed Using Ikonos Images. 1–5.
- McFeeters, S. K. (1996b). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- McFeeters. (1996a). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- McMillin, L. M. (1975). Estimation of sea surface temperatures from two infrared window measurements with different absorption. *Journal of Geophysical Research*, 80(36), 5113–5117.
- Mecozzi, M., Pietroletti, M., Conti, M.E. (2008). The complex mechanisms of marine mucilage formation by spectroscopic investigation of the structural characteristics of natural and synthetic mucilage samples. *Marine Chemistry*, 112(1-2), 38–52.

- Mingazzini M, Colombo S, Ferrari G (1995) Application of spectrofluorimetric techniques to the study of marine mucilages in the Adriatic Sea: preliminary results *Science of the total environment* 165:133-144
- Mingazzini, M., Thake, B. (1995). Summary and conclusions of the workshop on marine mucilages in the Adriatic Sea and elsewhere. *The Science of the Total Environment*, 165, 9–14.
- Mishra, S., & Mishra, D. R. (2012). Normalized difference chlorophyll index: A novel model for remote estimation of chlorophyll-a concentration in turbid productive waters. *Remote Sensing of Environment*, 117, 394–406. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.10.016>
- Muehlenhaus, I., 2014. Web cartography: map design for interactive and mobile devices. Boca Raton: CRC Press. Taylor & Francis Group.
- Najdek M, Blažina M, Djakovac T, Kraus R (2005) The role of the diatom *Cylindrotheca closterium* in a mucilage event in the northern Adriatic Sea: coupling with high salinity water intrusions *Journal of plankton research* 27:851-862
- Okyar Mİ, Üstün F, Orun DA (2015) Changes in abundance and community structure of the zooplankton population during the 2008 mucilage event in the northeastern Marmara Sea *Turkish Journal of Zoology* 39:28-38
- Ouma, Y. O., Noor, K., & Herbert, K. (2020). Modelling Reservoir Chlorophyll- a, TSS, and Turbidity Using Sentinel-2A MSI and Landsat-8 OLI Satellite Sensors with Empirical Multivariate Regression. *Journal of Sensors*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8858408>
- Özalp HB (2021) First massive mucilage event observed in deep waters of Çanakkale Strait (Dardanelles), Turkey *Journal of the Black Sea/Mediterranean Environment* 27
- Özalp, H. B. (2021). First massive mucilage event observed in deep waters of Çanakkale Strait (Dardanelles), Turkey. *J. Black Sea/Mediterranean Environment*, 27(1), 49–66.
- Özçimen, D., Ersoy-Meriçboyu, A. (2008). A Study on the Carbonization of Grapeseed and Chestnut Shell. *Fuel Processing Technology*, 89(11), 1041-1046. (SCI/SCI Expanded)
- Özçimen, D., Ersoy-Meriçboyu, A. (2009). Removal of Copper from Aqueous Solutions by Adsorption onto Chestnut Shell and Grapeseed Activated Carbon. *Journal of Hazardous Materials*, 168(2), 1118-1125. (SCI/SCI Expanded)
- Özçimen, D., Ersoy-Meriçboyu, A. (2010). Adsorption of Cu (II) onto Hazelnut Shell and Apricot Stone Activated Carbons. *Adsorption Science and Technology*, 28(4), 327-340. (SCI/SCI Expanded)
- Özçimen, D., Ersoy-Meriçboyu, A. (2010). Characterization of Biochar and Bio-oil Samples Obtained from Carbonization of Various Biomass Materials. *Renewable Energy*, 35(6), 1319-1324. (SCI/SCI Expanded)
- Özçimen, D., Salan, T. (2016). Removal of Reactive Dye Remazol Brilliant Blue R from Aqueous Solutions by Using Anaerobically Digested Sewage Sludge Based Adsorbents. *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly*, 22 (2), 167–179.
- Özyurtkan, M., Özçimen, D., Ersoy-Meriçboyu, A. (2008). Investigation of the Carbonization Behaviour of Hybrid Poplar. *Fuel Processing Technology*, 89(9), 858-863. (SCI/SCI Expanded)
- Pareeth, S., Salmaso, N., Adrian, R., & Neteler, M. (2016). Homogenised daily lake surface water temperature data generated from multiple satellite sensors: A long-term case study of a large sub-Alpine lake. *Scientific Reports*, 6(April), 1–14. <https://doi.org/10.1038/srep31251>
- Patel, N. N., Angiuli, E., Gamba, P., Gaughan, A., Lisini, G., Stevens, F. R., Tatem, A. J., & Trianni, G. (2015). Multitemporal settlement and population mapping from landsat using google earth engine. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 35(PB), 199–208. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.09.005>
- Peterson, G.N., 2014a. GIS cartography. A guide to effective map design. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press.

- Pistocchi R et al. (2005) Relevance of the dinoflagellate *Gonyaulax fragilis* in mucilage formations of the Adriatic Sea *Science of the Total Environment* 353:307-316
- Pompei M et al. (2003) Correlation between the presence of *Gonyaulax fragilis* (Dinophyceae) and the mucilage phenomena of the Emilia-Romagna coast (northern Adriatic Sea) *Harmful algae* 2:301-316
- Pompei M., Mazziotti C., Guerrini F., Cangini M., Pigozzi S., Benzi M., Palamidesi S., Boni L., Pistocchi R. (2003). Correlation between the presence of *Gonyaulax fragilis* (Dinophyceae) and the mucilage phenomena of the Emilia-Romagna coast (northern Adriatic Sea). *Harmful Algae*, 2, 301–316.
- Price, J. C. (1984). Land surface temperature measurements from the split window channels of the NOAA 7 Advanced Very High Resolution Radiometer. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 89(D5), 7231–7237.
- Qiao, C., Luo, J., Sheng, Y., Shen, Z., Zhu, Z., & Ming, D. (2012). An Adaptive Water Extraction Method from Remote Sensing Image Based on NDWI. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 40(3), 421–433. <https://doi.org/10.1007/s12524-011-0162-7>
- Rai, P., Mehrotra, S., Priya, S., Gnansounou, E., & Sharma, S. K. (2021). Recent advances in the sustainable design and applications of biodegradable polymers. *Bioresource technology*, 124739.
- Revelante N., Gilmartin G. (1991). The phytoplankton composition and population enrichment in gelatinous “macroaggregates” in the northern Adriatic during the summer of 1989. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 146 (2), 217-233.
- Rinaldi A, Vollenweider RA, Montanari G, Ferrari CR, Ghetti A (1995) Mucilages in Italian seas: the Adriatic and Tyrrhenian Seas, 1988–1991 *Science of The Total Environment* 165:165-183 doi:[https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04550-K](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04550-K)
- 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.
- Roth, E.R., et al., 2014. A process for keeping pace with evolving web mapping technologies. *Cartographic Perspectives*, 78, 25–52. [Crossref],
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. *NASA Spec*, 351, 309.
- Saraçoğlu, Ayça, Aydoğan, Burak, Ayat, Berna, Saraçoğlu E (2021) Under Review.
- Schiaparelli, S., Castellano, M., Povero, P., Sartoni, G., & Cattaneo-Vietti, R. (2007). A benthic mucilage event in North-Western Mediterranean Sea and its possible relationships with the summer 2003 European heatwave: short term effects on littoral rocky assemblages. *Marine Ecology*, 28(3), 341–353.
- Schneider, K., & Mauser, W. (1996). Processing and accuracy of landsat thematic mapper data for lake surface temperature measurement. *International Journal of Remote Sensing*, 17(11), 2027–2041. <https://doi.org/10.1080/01431169608948757>
- Shelestov, A., Lavreniuk, M., Kussul, N., Novikov, A., & Skakun, S. (2017). Exploring Google earth engine platform for big data processing: Classification of multi-temporal satellite imagery for crop mapping. *Frontiers in Earth Science*, 5, 17.
- Smith, W. L., Rao, P. K., Koffler, R., & Curtis, W. R. (1970). The determination of sea-surface temperature from satellite high resolution infrared window radiation measurements. *Monthly Weather Review*, 98(8), 604–611.
- Sun, F., Sun, W., Chen, J., & Gong, P. (2012). Comparison and improvement of methods for identifying waterbodies in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 33(21), 6854–6875. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.692829>
- T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (2017) Marmara Havzası Koruma Eylem Planı, Ankara.

Taşdemir, Y. (2002). Marmara Denizi: kirleticiler ve çevre açısından alınabilecek tedbirler. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7(1), 39–45.

Tinti, F., Boni, L., Pistocchi, R., Riccardi, M., Guerrini, F. (2007). Species-specific probe, based on 18S rDNA sequence, could be used for identification of the mucilage producer microalga *Gonyaulax fragilis* (Dinophyta). *Hydrobiologia*, 580, 259–263.

Toklu-Alicli B, Balkis-Ozdelice N, Durmus T, Balci M (2021) Relationship between environmental factors and zooplankton diversity in the Gulf of Bandırma (the Sea of Marmara) *Biologia* 76:1727-1736

Toklu-Alicli B, Polat S, Balkis-Ozdelice N, Science S (2020) Temporal variations in the abundance of picoplanktonic *Synechococcus* (Cyanobacteria) during a mucilage event in the Gulfs of Bandırma and Erdek Estuarine, Coastal and Shelf Science 233:106513

Tufekçi, V., Balkis, N., Polat Beken, Ç., Ediger, D., & Mantıkçı, M. (2010). Phytoplankton composition and environmental conditions of a mucilage event in the Sea of Marmara. *Turkish Journal of Biology*, 34(2), 199–210. <https://doi.org/10.3906/biy-0812-1>

TÜBA (2021).

Tüfekçi V, Balkis N, Beken ÇP, Ediger D, Mantikci M (2010) Phytoplankton composition and environmental conditions of the mucilage event in the Sea of Marmara *Turkish Journal of Biology* 34:199-210

Urbani R, Magaletti E, Sist P, Cicero AM (2005) Extracellular carbohydrates released by the marine diatoms *Cylindrotheca closterium*, *Thalassiosira pseudonana* and *Skeletonema costatum*: Effect of P-depletion and growth status *Science of The Total Environment* 353:300-306 doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.09.026>

Urbani, R., Magaletti, E., Sist, P., Cicero, A.M. (2005). Extracellular carbohydrates released by the marine diatoms *Cylindrotheca closterium*, *Thalassiosira pseudonana* and *Skeletonema costatum*: Effect of P-depletion and growth status. *Science of The Total Environment*, 353 (1–3), 300–306.

Walton C.C. (1988). Nonlinear Multichannel Algorithms for Estimating Sea Surface Temperature with AVHRR Satellite Data. *Journal of Applied Meteorology*, 27, 115–124.

Wang, C., Jia, M., Chen, N., & Wang, W. (2018). Long-term surface water dynamics analysis based on landsat imagery and the Google Earth Engine Platform: A case study in the middle Yangtze River Basin. *Remote Sensing*, 10(10), 1635. <https://doi.org/10.3390/rs10101635>

Wang, L., Xu, M., Liu, Y., Liu, H., Beck, R., Reif, M., Emery, E., Young, J., & Wu, Q. (2020). Mapping freshwater chlorophyll-a concentrations at a regional scale integrating multi-sensor satellite observations with google earth engine. *Remote Sensing*, 12(20), 1–18. <https://doi.org/10.3390/rs12203278>

Wang, X., Xiao, X., Zou, Z., Chen, B., Ma, J., Dong, J., Doughty, R. B., Zhong, Q., Qin, Y., Dai, S., Li, X., Zhao, B., & Li, B. (2020). Tracking annual changes of coastal tidal flats in China during 1986–2016 through analyses of Landsat images with Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment*, 238(November 2018). <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.11.030>

Wong, B. A., Thomas, C., & Halpin, P. (2019). Automating offshore infrastructure extractions using synthetic aperture radar & Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment*, 233(November 2018), 111412. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111412>

Xiong, J., Thenkabail, P. S., Gumma, M. K., Teluguntla, P., Poehnelt, J., Congalton, R. G., Yadav, K., & Thau, D. (2017). Automated cropland mapping of continental Africa using Google Earth Engine cloud computing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 126, 225–244. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.01.019>

Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025–3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>

- Yang, X., Qin, Q., Grussenmeyer, P., & Koehl, M. (2018). Urban surface water body detection with suppressed built-up noise based on water indices from Sentinel-2 MSI imagery. *Remote Sensing of Environment*, 219, 259–270. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.09.016>
- Yilmaz IN (2015) Collapse of zooplankton stocks during *Liriope tetraphylla* (Hydromedusa) blooms and dense mucilaginous aggregations in a thermohaline stratified basin *Marine Ecology* 36:595-610
- Zibordi, G., & Hooker, S. B. (2000). Marine optical measurements of a mucilage event in the northern Adriatic Sea. 45(2), 322–327.
- Zurqani, H. A., Post, C. J., Mikhailova, E. A., & Allen, J. S. (2019). Mapping Urbanization Trends in a Forested Landscape Using Google Earth Engine. *Remote Sensing in Earth Systems Sciences*, 2(4), 173–182.