TÜBİTAK

Marmara Denizi Yaz Dönemi Fitoplankton Dağılımının HPLC Pigment Analizleriyle Belirlenmesi

Program Kodu: 3001

Proje No: 117Y265

Proje Yürütücüsü:
Dr. Öğr. Üyesi Fuat DURSUN

Araştırmacılar:
Prof. Dr. Dilek EDİGER
Prof. Dr. Seyfettin TAŞ

Bursiyer:
Güzin GÜL

NİSAN 2019
İSTANBUL

ÖNSÖZ

Örnekleme çalışmaları, 16 – 26 Ağustos 2016 tarihleri arasında Marmara Denizi genelinde belirlenen toplam 27 istasyonda "Türkiye Denizlerinde Bütünleşik İzleme Faaliyetleri Kapsamında 2016 Yılı Yaz Dönemi Marmara Denizi ve Kuzey Ege Denizi Kirlilik ve Ekolojik Kalite İzleme ve Değerlendirme" projesi kapsamında İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü'ne ait R/V ALEMDAR II araştırma gemisi ile gerçekleştirilmiştir. Eş zamanlı olarak alınan örneklerde mikroskobik hücre sayım yöntemi ile fitoplankton analizleri ve HPLC' de marker pigment analizleri gerçekleştirilmiş olup, elde edilen veriler ışığında iki yöntem karşılaştırılmış ve HPLC yönteminin Marmara Denizi için uygulanabilirliği sorgulanmıştır.

Sefere katılan tüm bilimsel ekibe ve gemi personeline örnekleme çalışmalarındaki katkılarından dolayı ve özellikle de proje ekibine, projenin başarıya ulaşması için gösterdikleri çabadan dolayı teşekkürlerimi sunarım.

TÜBİTAK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ i
İÇİNDEKİLER ii
TABLOLAR LİSTESİ iii
ŞEKİLLER LİSTESİ iv
ÖZET v
ABSTRACT vi
1. GİRİŞ 1
2. LİTERATÜR ÖZETİ 3
3. GEREÇ VE YÖNTEMLER 8
3.1 Çalışma Bölgesi ve Örnekleme İstasyonları 8
3.2 Fitoplankton Bolluğunun Belirlenmesi 8
3.3 Marker Pigment Analizleri 10
3.3.1 HPLC' de Standart Eğri Oluşturulması 12
4. BULGULAR 14
4.1 Fitoplankton Kompozisyonu 14
4.2 Fitoplankton Bolluk Dağılımı 19
4.3 Baskın Türlerin Dağılımı 20
4.4 Yüzey Suyunda Klorofil-*a* ve Marker Pigment Değişimleri 20
4.5 Yüzey-Altı Maksimum (SSM) Derinliğinde Klorofil-a ve Marker Pigment Değişimleri 27
4.6 Bolluk Değerleri ve Pigment Konsantrasyonları Arasındaki İlişki ve Pigment Oranları 31
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 34
5.1 Öneriler 35
KAYNAKLAR 36

TÜBİTAK

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1. Alg gruplarının sahip oldukları fotosentetik pigmentler (Gibb vd., 2000). 4

Tablo 2. İstasyon bilgileri ve örnekleme derinlikleri 10

Tablo 3. Gradiyent sistem çalışma koşulları 11

Tablo 4. Marmara Denizi yüzey suyu ve yüzey-altı maksimum (SSM) klorofil-a derinliklerinde tespit edilen fitoplankton türlerinin bulundukları istasyonlar 15

Tablo 5. Fitoplankton bolluğunun yüksek olduğu (>10000 hücre L^{-1}) istasyonlardaki baskın türler ve bolluk değerleri (hücre L^{-1}) 20

Tablo 6. Yüzey suyuna ait klorofil-*a*/fukoksantin oranları 33

Tablo 7. Farklı çalışma bölgelerindeki klorofil-*a* / fukoksantin oranları karşılaştırması..... 35

TÜBİTAK

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Çalışma bölgesi ve örnekleme istasyonları 8

Şekil 2. Pigment standartlarına ait kromatogram 12

Şekil 3. MD5 istasyonundan alınan deniz suyu örneğine ait kromatogram..... 13

Şekil 4. Marmara Denizi yüzey suyunda fitoplankton türlerinin görülme sıklığına (*f*) göre sınıflandırılması 17

Şekil 5. Marmara Denizi yüzey-altı maksimum (SSM) klorofil-a derinliğinde fitoplankton türlerinin görülme sıklığına (*f*) göre sınıflandırılması 17

Şekil 6. Marmara Denizi yüzey suyunda bolluğa göre fitoplankton grup kompozisyonu 18

Şekil 7. Marmara Denizi yüzey-altı maksimum (SSM) klorofil-a derinliğinde bolluğa göre fitoplankton grup kompozisyonu 18

Şekil 8. Marmara Denizi yüzey suyunda fitoplankton bolluğunun gruplara göre dağılımı 19

Şekil 9. Marmara Denizi yüzey-altı maksimum (SSM) klorofil-a derinliğinde fitoplankton bolluğunun gruplara göre dağılımı 19

Şekil 10. Marmara Denizi yüzey suyunda klorofil-*a* değişimi..... 21

Şekil 11. Marmara Denizi yüzey suyunda fukoksantin değişimi 22

Şekil 12. Marmara Denizi yüzey suyunda peridinin değişimi..... 22

Şekil 13. Marmara Denizi yüzey suyunda 19'-Heksanoloksifukoksantin değişimi 23

Şekil 14. Marmara Denizi yüzey suyunda klorofil-c_1c_2 değişimi..... 23

Şekil 15. Marmara Denizi yüzey suyunda ß-karoten değişimi 24

Şekil 16. Marmara Denizi yüzey suyunda diadinoksantin değişimi 24

Şekil 17. Marmara Denizi yüzey suyunda zeaksantin değişimi 25

Şekil 18. Marmara Denizi yüzey suyunda 19'-Butanoloksifukoksantin değişimi 25

Şekil 19. Marmara Denizi yüzey suyunda klorofil-*b* değişimi..... 26

Şekil 20. Marmara Denizi yüzey suyunda alloksantin değişimi 26

Şekil 21. Marmara Denizi yüzey altı maksimum derinliğinde (SSM) klorofil-*a* değişimi 27

Şekil 22. Marmara Denizi yüzey altı maksimum derinliğinde (SSM) fukoksantin değişimi.... 28

Şekil 23. Marmara Denizi yüzey altı maksimum derinliğinde (SSM) peridinin değişimi 28

Şekil 24. Marmara Denizi yüzey altı maksimum derinliğinde (SSM) klorofil-c_1c_2 değişimi.... 29

Şekil 25. Marmara Denizi yüzey altı maksimum derinliğinde (SSM) ß-karoten değişimi..... 29

Şekil 26. Marmara Denizi yüzey altı maksimum derinliğinde (SSM) zeaksantin değişimi..... 30

Şekil 27. Marmara Denizi yüzey altı maksimum derinliğinde (SSM) 19'-Butanoloksifukoksantin değişimi..... 30

Şekil 28. Marmara Denizi yüzey altı maksimum derinliğinde (SSM) alloksantin değişimi..... 31

Şekil 29. Toplam fitoplankton-klorofil-*a* regresyon eğrisi ve denklemi 31

Şekil 30. Diyatom – Fukoksantin regresyon eğrisi ve denklemi..... 32

ÖZET

Bu çalışmada, Marmara Denizi'nde yaz dönemi (Ağustos 2016) fitoplankton kompozisyonu, marker pigment analizleri ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Marmara Denizi'ndeki toplam 27 istasyondan alınan yüzey suyu (0.5 m) örneklerinde ve 10 istasyondan yüzey-altı maksimum (SSM) klorofil-a derinliğinden alınan örneklerde klorofil-*a*, klorofil-c_1c_2, peridinin, 19'butanoloksifukoksantin, fukoksantin, zeaksantin, alloksantin,19'heksanoloksifukoksantin, diadinoksantin, klorofil-b ve ß-karoten pigmentlerine ait konsantrasyonlar Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (HPLC) yöntemiyle belirlenmiştir. Çalışma döneminde fitoplankton komünitesinde 3 ayrı sınıfta toplam 55 takson bulunmuştur. Bunlardan 26'sını diyatom, 27'sini dinoflagellat ve 2'sini de silikoflagellat türleri oluşturmuştur. Yüzey suyunda en yüksek fitoplankton bollukları diyatomların baskın olduğu İzmit Körfezi'ndeki (Körfez sonu) MD5 (444×10^3 hücre L^{-1}) ve Bandırma Körfezi'ndeki MD22 istasyonlarında (245×10^3 hücre L^{-1}) tespit edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, klorofil-*a* konsantrasyonu 0.034 - 1.058 µg L^{-1} aralığında, fukoksantin 0.013 - 0.439 µg L^{-1} ve 19'heksanoloksifukoksantin konsantrasyonları ise 0.015 - 0.108 µg L^{-1} aralığında değişmektedir. Çalışma alanında klorofil-*a*'ya ait en yüksek değerler İzmit Körfezi'ndeki (Körfez sonu) MD5 (1.05 µg L^{-1}) ve Bandırma Körfezi'ndeki MD22 istasyonlarında (0.872 µg L^{-1}) ölçülmüştür. Klorofil-*a* konsantrasyonu ile toplam fitoplankton bolluk değerleri arasında (r^2:0.84) ve fukoksantin konsantrasyonu ile diyatom bolluk değerleri arasında (r^2:0.95) anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir. Ayrıca İzmit Körfezi ve Bandırma Körfezi'ndeki yüksek fukoksantin konsantrasyonları (0.439 ve 0.321 µg L^{-1}) yüksek diyatom bolluğu ile ilişkilendirilmiştir. HPLC yöntemiyle gerçekleştirilen analizlerden elde edilen pigment konsantrasyonları ile fitoplankton bolluk değerleri arasında görülen anlamlı ilişkiler, marker pigmentlerin Marmara Denizi'ndeki fitoplankton kompozisyonunun taksonomik değerlendirilmesinde kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Fitoplankton, klorofil-*a*, pigment, Yüksek Performans Sıvı Kromatografisi, Marmara Denizi

ABSTRACT

In this study, summer (August 2016) phtytoplankton composition and pigment distribution of the Sea of Marmara were comparatively investigated. Surface (0.5 m) water samples from 27 stations and sub-surface maximum samples from 10 stations were collected. Chlorophyll-a, chlorophyll-c_1c_2, peridinin, 19'butanoyloxyfucoxanthin, fucoxanthin, zeaxanthin, alloxanthin, 19'hexanoyloxyfucoxanthin, diadinoxanthin, chlorophyll-b and ß-carotene concentratios were determined by High Performance Liquid Chromatography (HPLC). A total of 55 taxa were identified in 3 taxonomic classes, 26 taxa of these were diatoms, 27 taxa were dinoflagellates and 2 taxa was silicoflagellate. The highest total phytoplankton abundances in surface water samples were determined at MD5 station in İzmit Bay ((444 × 10^3 cells L^{-1}) and at MD22 station in Bandırma Bay (245 × 10^3 cells L^{-1}) where the diatoms were also dominant. During the study period, chl-a, fucoxanthin and 19'hexanoyloxyfucoxanthin concentrations varied between 0.034-1.058 µg L^{-1}, 0.013-0.439 µg L^{-1} and 0.015-0.108 µg L^{-1}, respectively. The highest chl-*a* values were measured at MD5 station in İzmit Bay (1.05 µg L^{-1}) and at MD22 station in Bandırma Bay (0.872 µg L^{-1}). There were significant relationships between HPLC determined chl-*a* concentrations and total phytoplankton abundances (r^2:0.84) and, between fucoxanthin concentrations and diatom abundances (r^2:0.95). High fucoxanthin concentrations (0.439 and 0.321 µg L^{-1}) revealed consistency with high diatom abundance in İzmit Bay and Bandırma Bay, The significant relationships between phytoplankton abundances and HPLC determined pigment concentrations revealed that these marker pigments can be used for taxonomic evaluation of phytoplankton composition of the Sea of Marmara.

Keywords: Phytoplankton, chlorophyll-*a*, pigment, High Performance Liquid Chromatography, Sea of Marmara

1. GİRİŞ

Fitoplankton, bir denizel ekosistemin verimliliğinin belirlenmesinde birincil gösterge olarak kullanılmaktadır. Çünkü bulunduğu ortam koşullarında meydana gelebilecek her türlü değişime hızlı bir şekilde yanıt verebilmektedir. Besin zincirinin ilk basamağında meydana gelebilecek değişimler ise bilindiği gibi tüm trofik seviyeyi etkileyebilmektedir. Denizel ekosistemlerde meydana gelen değişimlerin etkilerini anlayabilmek için fitoplankton gruplarının ve türlerinin hızlı ve en doğru şekilde tespit edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, fitoplankton ve fitoplankton biyokütle göstergesi olan klorofil-*a*, Su Çerçeve Direktifi'nde (SÇD) biyolojik kalite elemanı olarak belirlenmiş ve her iki parametreninde su kalitesini belirlemeye yönelik çalışmalarda sürekli olarak ölçülmesi önerilmektedir (Deniz İzleme Kılavuzları, 2017). Dünya denizlerinin geneline bakıldığında da fitoplankton komünite yapısındaki değişimler sürekli izleme programları ile takip edilmektedir. Ancak bu tür programların kısa zamanda ve geniş alanları kapsayacak şekilde yürütülmesi daha da önemlidir. Geleneksel olarak fitoplanktonik çalışmalar mikroskobik yöntemler kullanılarak yürütülmektedir. Ancak, zaman alan (örnek hazırlanması, çöktürülmesi vb.) ve ciddi anlamda uzmanlık gerektiren çalışmalar olması nedeniyle kısa zamanda fazla sayıda örnek çalışılmasına imkan vermemektedir (Koca, 2014). Ayrıca taksonomik olarak dış yapısal özellikleri bulunmayan pikoplankton (≤ 2 µm) gibi küçük grupların teşhisinde de sıkıntılar yaşanmaktadır (Mackey vd., 1996). Çoğu çalışmada tercih edilen bu yönteme alternatif olarak, son yıllarda başarılı bir şekilde uygulanan diğer bir yöntem ise fitoplankton gruplarının içerdiği marker pigmentlerin varlığına göre bölgenin fitoplankton kompozisyonunun karakterize edilmesidir. Pigmentlerin varlığı taksonlar içinde ya da arasında değişiklik gösterse de, marker pigmentlerin varlığı ve yoğunluğu sınıf ya da tür bazındaki fitoplankton dağılımını ortaya koymaktadır. Son yıllarda, mikroskobik çalışmalara alternatif olarak kullanılan Yüksek Performans Sıvı Kromatografisi (HPLC) yöntemiyle marker pigment analizleri, komünitelerin karakterize edilmesi ve bolluklarının belirlenmesi için kullanılan bir analiz yöntemidir.

Marmara Denizi, yoğun insan kaynaklı ve doğal baskıların altında gün geçtikçe kirlenen bir iç deniz durumundadır. Marmara Denizi'nde fitoplankton bolluğunu ve dağılımını belirlemek üzerine uzun zamandır devam eden kapsamlı izleme çalışmaları mevcuttur (Balkıs, 2004; Aktan vd., 2005; Deniz ve Taş, 2009; Balkıs ve Toklu Alıçlı, 2014; Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme İşi 2014-2016 Marmara Denizi Özet Raporu, 2017). Ancak, fitoplankton marker pigmentlerinin ölçülmesi ve klasik mikroskobik analizlerle karşılaştırmalı olarak incelenmesi

üzerine herhangi bir çalışma mevcut değildir. Sonuç raporunu sunduğumuz bu proje kapsamında, Ağustos 2016 döneminde Marmara Denizi'nden alınan deniz suyu örneklerinde marker pigment konsantrasyonları ve fitoplankton bolluk değerlerine ait bulgular verilmiştir. Eş zamanlı olarak alınan örneklerde mikroskobik hücre sayım yöntemi ile fitoplankton analizleri ve HPLC' de marker pigment analizleri gerçekleştirilmiş olup, elde edilen veriler ışığında iki yöntem karşılaştırılmış ve HPLC yönteminin Marmara Denizi için uygulanabilirliği sorgulanmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Fitoplankton, tüm sucul ortamlardaki besin zincirinin temelini oluşturmakta ve başlıcaları diyatom, dinoflagellat, kokolitofor, siyanobakteri olmak üzere birçok gruptan oluşmaktadır. Fitoplankton grupları besin elementleri döngüsünü, partikül maddelerin çökelme sürecini ve besin ağının verimliliğini etkileyerek denizel ekosistemler için önemli bir rol oynamaktadır (Smith ve Sakshaug, 1990). Bu yüzden hem fitoplankton kompozisyonunun hem de biyokütlesinin belirlenmesi aynı zamanda sürekli olarak izlenmesi özellikle pelajik ekosistem yapısını ve dinamiklerini anlama sürecinde büyük bir öneme sahiptir. Geleneksel olarak fitoplankton çalışmaları ışık mikroskobu, fluoresan ve elektron mikroskobu kullanılarak yürütülmektedir (Utermohl, 1958; Booth, 1993). Ancak, zaman alan (örnek hazırlanması, çöktürülmesi vb.) ve ciddi anlamda uzmanlık gerektiren çalışmalar olması nedeniyle kısa zamanda fazla sayıda örnek çalışılmasına imkan vermemektedir. Ayrıca taksonomik olarak dış yapısal özellikleri bulunmayan pikoplankton (≤ 2 µm) gibi küçük grupların teşhisinde de sıkıntılar yaşanmaktadır (Chisholm vd., 1988).

Fotosentetik pigmentler ise, fotosentezde sahip oldukları önemli rollerinden dolayı özellikle son yıllarda üzerinde çalışılan bir konu olarak güncelliğini korumaktadır (Vollenweider, 1974; Jeffrey vd., 1997). Güneş enerjisinin kimyasal enerjiye dönüştürülmesi alglerin kloroplastlarında bulunan klorofil ve diğer pigment maddeleri sayesinde olmaktadır. Genel olarak baskın (ana) pigment maddesi klorofil-*a* olmasına rağmen, birçok türde karotenler, ksantofiller ve fikobilinler ve klorofil *b*, *c*, *d* gibi yardımcı pigmentler bulunabilmektedir. Bütün bu fotosentetik pigmentler 400-700 nm arasındaki görünür ışığı absorblar fakat her pigment farklı ışık spektrumuna sahiptir. Örneğin klorofil-*a* en çok mavi (430 nm) ve kırmızı dalga boyundaki (680 nm) ışığı absorblarken yeşil ışığı yansıtır. β-Karoten ve fukoksantin gibi karotenoid pigmentler ve klorofil-*b*, 400-520 nm spektral aralıktaki ışığı absorblarken, fikoeritrin 490-570 nm spektral aralıktaki ışığı en iyi şekilde absorblar (Kaiser vd., 2005) (Tablo 1).

Klorofil-*a* fitoplankton canlı kütlesinin (biyokütle) tahmininde 50 yılı aşkın süredir kullanılan bir pigmenttir. Klorofil-*a*'nın yanı sıra fitoplanktonik gruplara özgü olan parmak izi niteliğindeki marker pigmentler kullanılarak fitoplankton biyokütlesi ve grupların toplam biyokütleye olan katkısı da kolaylıkla ortaya konulabilmektedir (Uitz vd., 2006). Örneğin peridinin, dinoflagellat grupları için belirleyici bir pigmenttir (Jeffrey vd., 1997) ve dinoflagellat grubunun toplam fitoplankton biyokütlesine olan katkısını belirlemek için marker olarak kullanılmaktadır. 19'-

Heksanoloksifukoksantin (HEX), fukoksantin (FUCO) ve 19'-Butanoloksifukoksantin (BUT) pigmentleri sırasıyla primnesiyofitler, diyatomlar ve krizofitler için marker pigment olarak kullanılabilmektedir (Wright ve Jeffrey, 1987; Barlow vd., 1997; Millie vd., 1993). Ancak bu bilgiyi basit klorofil ve feopigment analizlerinden elde etmek mümkün olmamaktadır (Wright vd., 1996). Son yıllarda, mikroskobik çalışmalara alternatif olarak kullanılan Yüksek Performans Sıvı Kromatografisi (HPLC) yöntemiyle pigment analizleri, komünitelerin karakterize edilmesi ve biyokütlesinin belirlenmesi için kullanılan ve oldukça güvenilir bir yöntem olarak kabul edilen bir yaklaşımdır. Bu yöntem sayesinde 50'den fazla fitoplankton pigmenti (klorofil-*a* ve diğer marker pigmentler) hızlı ve doğru bir şekilde tespit edilebilmektedir (Jeffrey vd., 1997; Mantoura ve Llewellyn,1983). Toplam fitoplankton biyokütlesi klorofil-*a* konsantrasyonuna bağlı olarak belirlenirken aynı zamanda alg sınıflarının varlığı marker pigmentlerin varlığına bağlı olarak tespit edilmektedir. Bu sayede her bir fitoplankton grubuna ait biyokütlenin toplam biyokütleye olan katkısı da klorofil-*a*:marker pigment oranına göre belirlenebilmektedir (Wright ve Jeffrey, 1987).

Tablo 1. Alg gruplarının sahip oldukları fotosentetik pigmentler (Gibb vd., 2000).

Pigment	**Kısaltması**	**Bulunduğu Taksonomik Gruplar**
Alloksantin	Allo	Krizofitler
19'-Butanoloksifukoksantin	But	Kriptofitler, Primnesiyofitler
Klorofil-*a*	Chl-*a*	Toplam alg canlı kütlesi (siyanofitler dahil)
Klorofil-*b*	Chl-*b*	Klorofitler, Prasinofitler
Klorofil-*c1 c2*	Chl-*c2*	Diyatomlar, Primnesiyofitler, Klorofitler, Dinoflagellatlar
Diadinoksantin	Diadino	Diyatomlar, Primnesiyofitler, Krizofitler
Divinyl Klorofil-*a*	DvChl *a*	Proklorofitler
Fukoksantin	Fuc	Diyatomlar, Primnesiyofitler, Krizofitler
19'-Heksanoloksifukoksantin	Hex	Primnesiyofitler
Lutein	Lut	Klorofitler, Prasinofitler
Peridinin	Per	Dinoflagellatlar
Beta karoten	ß-car	Prasinofitler
Zeaksantin	Zea	Siyanofitler, Proklorofitler

Marmara Denizi'nde mikroskobik çalışmalar ile fitoplankton dağılımını belirlemek üzerine uzun zamandır devam eden kapsamlı çalışmalar mevcuttur. Balkıs (2004) tarafından gerçekleştirilen Marmara Denizi genelini kapsayan böyle bir çalışmada, daha önceden yapılmış araştırmaların ışığında bir fitoplankton tür kontrol listesi oluşturulmuştur. Buna göre Marmara Denizi fitoplankton komünitesinde sekizi cins seviyesinde olmak üzere toplam 168 takson bildirilirken, bunlardan diyatomların 76 takson ile komünitenin %45.2' sini, dinoflagellatların ise 73 takson ile komünitenin %43.5' ini oluşturduğu tespit edilmiştir. Diğer çalışmalardan bazıları ise, Aktan vd. (2005) tarafından İzmit Körfezi'nde gerçekleştirilen

çalışma, Deniz ve Taş (2009) tarafından Marmara Denizi'nin kuzeydoğusunda yapılan çalışma ve Balkıs ve Toklu Alıçlı (2014) tarafından Bandırma Körfezi'nde Kasım 2006 – Ağustos 2008 arasında gerçekleştirilen çalışma olarak verilebilir.

Dünya denizlerinde ise birçok bölgede fitoplankton dağılımının ve çeşitliliğinin klasik mikroskobik yöntemle tespit edilmesine yönelik çalışmalarla birlikte, yeni bir yöntem olan HPLC pigment analizleri kullanılmış ve klasik yöntemle karşılaştırıldığında da hızlı ve oldukça iyi sonuçların elde edildiği birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalardan bazıları Ediger vd. (2001) tarafından yayımlanan, İrlanda batı kıyıları için fitoplankton ve marker pigmentlerin birlikte incelendiği çalışma; Rodriguez vd. (2002) tarafından Antarktik yarımadasında Gerlache ve Bransfield Boğazlarında yapılan çalışma; yine Rodriguez vd. (2003) tarafından İspanya'nın kuzeybatısındaki sabit bir istasyonda zaman serisi şeklinde yapılan çalışma; Silva vd. (2008) tarafından Lizbon Körfezi'nde sık aralıklarla ve uzun süreli gerçekleştirilen çalışma; Sa vd. (2013) tarafından, Mozambik kıyılarında gerçekleştirilen çalışma, Madhu vd. (2014) tarafından Hindistan'ın güneydoğu sahillerinde gerçekleştirilen çalışma olup, tüm bu çalışmalarda fitoplankton kompozisyonu ve biyokütlesi marker pigmentler ile birlikte çalışılmış ve çalışılan bölgeler özelinde değerlendirme yapılmış, bu değerlendirmeler ışığında mikroskop çalışmalarının tek başına yeterli olmadığı, ayrıca marker pigment analizleri yöntemiyle çok küçük boyutlu fitoplankton gruplarının bile toplam biyokütleye olan katkılarının belirlenebildiği ortaya konmuştur.

Türkiye Denizlerine bakıldığında ise bu tür çalışmaların oldukça az olduğu ancak son yıllarda bu konuya olan ilginin arttığı görülmektedir. Marmara Denizi özelinde fitoplankton pigmentleri üzerine herhangi bir çalışma gerçekleştirilmemişken, son dönemde Karadeniz ve Akdeniz özelinde bu konu üzerinde gerçekleştirilmiş çalışmalar bulunmaktadır. Türkiye denizlerinde ilk defa Ediger vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada, 2001 yılında güneybatı Karadeniz'deki fitoplankton kompozisyonu taksonomik analizlerle ve HPLC pigment analizleriyle belirlenmiştir. Mayıs 2001' de fitoplankton kompozisyonunda dinoflagellat, diyatom ve kokolitofor baskınlığı pigment verileriyle ortaya konurken, bu veriler fitoplankton hücre sayımları ve biyokütlesi ile de karşılaştırılmıştır. Örnekleme periyodu boyunca, gruba özgü pigment konsantrasyonları ile hücre sayıları arasında anlamlı bir ilişki ($p<0.0002$-0.001, $r= 0.56$-0.67) olduğu tespit edilmiştir. Çoklu lineer regresyon yöntemi ile hesaplanan chl-*a*/marker pigment oranları dinoflagellatlarda 1.2 (chl-*a*/peridinin), diyatomlarda 1.8 (chl-*a*/fukoksantin) ve kokolitoforlarlarda 2.66 (chl-*a*/19'-Heksanoloksifukoksantin) olarak belirlenmiştir. HPLC analizleriyle tespit edilen chl-*a* biyokütlesi gruplara özgü pigment biyokütlesinin toplamı ile iyi bir korelasyona ($p<0.001$, $r^2=0.95$) sahiptir. Bu çalışma

kapsamında fitoplankton kompozisyonunu belirlemek için gerçekleştirilen mikroskobik çalışmalar ve HPLC analizleri sonucunda elde edilen bulgular ışığında, Karadeniz özelinde fitoplankton gruplarının biyokütlesini belirlemek için HPLC analizlerinin kullanılmasının faydalı olacağı öngörülmektedir.

Yücel (2008) tarafından gerçekleştirilen başka bir çalışmada Kilikya baseni (Kuzeydoğu Akdeniz) yüzey fitoplanktonu klorofil ve pigment dağılımındaki yer ve zamana bağlı değişimler Kasım 2005 – Eylül 2007 tarihleri arasında incelenmiştir. Yüzey sularındaki klorofil derişimi 0.01 – 0.76 µg L^{-1} arasında değişirken, yüksek değerler genellikle nehir boşaltım alanlarında, iç körfezlerde ve upvelling alanlarında görülmüştür.

Eker-Develi vd. (2012) tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise Haziran 2006 dönemindeki kuzeybatı Karadeniz fitoplankton bolluğu hem mikroskobik çalışmalar hem de pigment ölçümleri yapılarak belirlenmiştir. Bu analizler sonucunda kıyı bölgelerinde diyatom *Chaetoceros curvisetus* baskın tür olarak görülürken, kıyıdan açıktaki istasyonlarda kokolitofor *Emiliania huxleyi* aşırı üreme seviyesinde tespit edilmiştir (3.3×10^6 hücre L^{-1}).

Koca (2014) tarafından Güneydoğu Karadeniz kıyılarında (Rize) gerçekleştirilen bir çalışmada ise, Nisan 2013-Mart 2014 döneminde Güneydoğu Karadeniz kıyılarındaki (Rize) pigment kompozisyonunun zamana bağlı değişimi ve diyatom/dinoflagellat oranları incelenmiştir. Çalışmada toplam 71 tür teşhis edilmiş olup bunların 41'ini dinoflagellat, 18 tanesini de diyatom türlerinin oluşturduğu belirlenmiştir. Bölgede baskın pigment olarak klorofil-*a* tespit edilmiş ve bunu sırasıyla fukoksantin, 19'-Heksanoloksifukoksantin ve peridinin takip etmiştir. HPLC sonuçlarına göre pigment konsantrasyonları ile hücre sayıları arasında pozitif bir ilişki tespit edilmiştir.

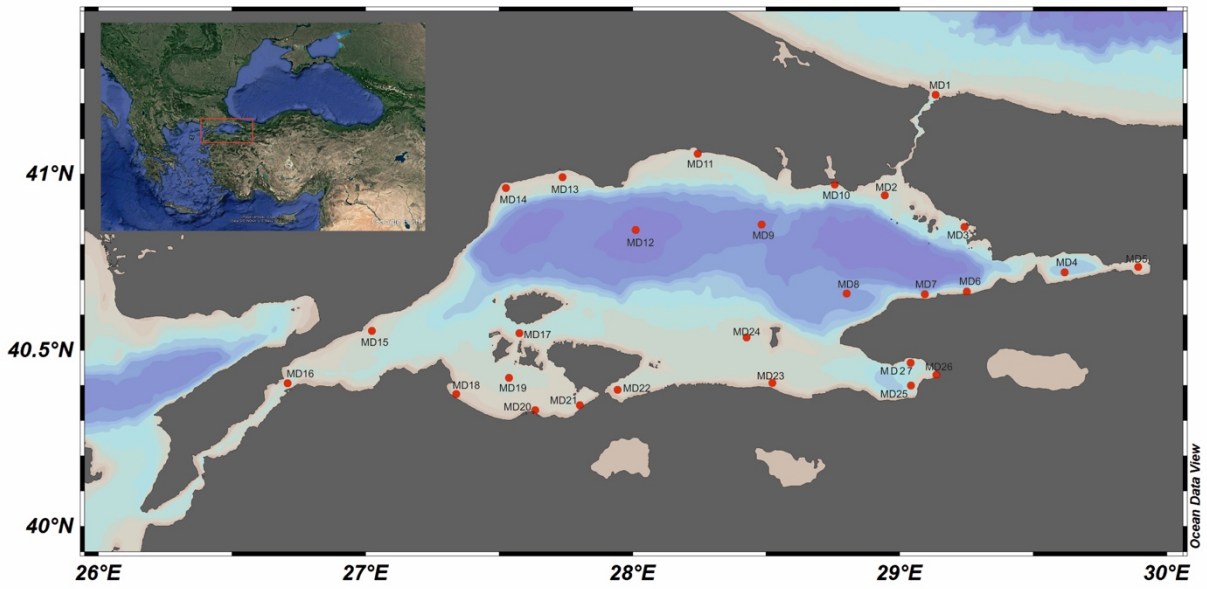
Ağırbaş vd. (2015) tarafından yayımlanan bir başka çalışmada ise Şubat-Aralık 2009 döneminde güneydoğu Karadeniz'deki fitoplankton komünite yapısı ve bolluğu mikroskop çalışmalarının ve HPLC pigment analizlerinin sonuçları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Her iki yöntemle elde edilen sonuçlara göre diyatomlar, dinoflagellatlar ve kokolitoforlar bölgenin fitoplankton komünite yapısını oluşturmaktadır. Marker pigmentler olarak tespit edilen fukoksantin, diadinoksantin, peridinin ve 19'-Heksanoloksifukoksantin sırasıyla diyatomlar, dinoflagellatlar ve kokolitoforlar ile istatistiksel açıdan anlamlı bir ilişki içerisindedir.

Özellikle son dönemde yapılan çeşitli çalışmalar (Türkmen, 2016; Yücel, 2017; Yücel vd., 2017; Genç, 2018) bu konuya olan ilginin arttığının ve HPLC yönteminin farklı çalışma bölgelerinde de sıklıkla kullanılmaya başlandığının bir göstergesi olarak kabul edilebilir.

3. GEREÇ VE YÖNTEMLER

3.1 Çalışma Bölgesi ve Örnekleme İstasyonları

Proje kapsamında saha çalışması gerçekleştirilmemiştir. Örnekleme çalışmaları, 16 – 26 Ağustos 2016 tarihleri arasında Marmara Denizi genelinde belirlenen toplam 27 istasyonda (Şekil 1), "Türkiye Denizlerinde Bütünleşik İzleme Faaliyetleri Kapsamında 2016 Yılı Yaz Dönemi Marmara Denizi ve Kuzey Ege Denizi Kirlilik ve Ekolojik Kalite İzleme ve Değerlendirme" projesi kapsamında İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü' ne ait R/V ALEMDAR II araştırma gemisi ile gerçekleştirilmiştir. Örneklemelerde 12'li rozet sistemine (SBE 911) bağlı, 5 L hacimli Niskin şişeleri kullanılmıştır. Rozet sistemine entegre edilmiş yerinde (in-situ) fluorometre aracılığıyla yüzey-altı maksimum (SSM) klorofil-a derinlikleri belirlenmiş ve örneklemeler 27 istasyonda yüzey (0,5 m) ve 10 istasyonda yüzey-altı maksimum (SSM) klorofil-*a* olmak üzere iki derinlikten (istasyonlara göre değişmektedir) gerçekleştirilmiştir (Tablo 2).



Şekil 1. Çalışma bölgesi ve örnekleme istasyonları

3.2 Fitoplankton Bolluğunun Belirlenmesi

Tablo 2' de belirtilen istasyon ve derinliklerden alınan deniz suyu örneklerindeki fitoplankton türlerinin kantitatif olarak belirlenmesi için cam şişelere alınan 250 mL hacimli su örnekleri 0.5 mL asidik lugol çözeltisi ile fikse edilerek, serin ve karanlık bir ortamda tutulmuştur (Throndsen, 1978). Laboratuvarda bekletilen örnekler, Utermöhl sedimantasyon yöntemine

uygun olarak (Utermöhl, 1958) ve tahmin edilen plankton yoğunluğuna bağlı olarak yeterli miktarda (10-50 mL) çöktürüldükten sonra tür teşhisleri ve hücre sayımları Leica DM IL LED model faz-kontrast ekipmanlı inverted ışık mikroskobu altında gerçekleştirilmiştir. Sayımlar sonucunda türlere ve gruplara ait bolluk değerleri (hücre L^{-1}) belirlenerek, istasyonlar bazında Marmara Denizi'nin yaz dönemi fitoplankton kompozisyonu belirlenmiştir.

Fitoplankton türlerinin istasyonlarda görülme sıklıklarına göre frekans yüzdeleri (f) aşağıdaki formüle (Formül 1) göre hesaplanmıştır:

$$\boldsymbol{f}(\%) = ((\frac{\boldsymbol{m}}{\boldsymbol{M}}) \times \mathbf{100}) \quad \text{(Formül 1)}$$

Burada m türün tespit edildiği örnek sayısını, M ise toplam örnek sayısını göstermektedir. Endeks değerleri toplam 5 frekans grubu içinde kategorize edilmiştir: Sürekli (%81-100); Bol (%61-80): Yaygın (%41-60); Az (%21-40); Nadir (<%21). Ayrıca çalışma alanında tespit edilen fitoplankton komünitesinde, istasyon bazında en yüksek bolluk değerlerine ulaşan türler her iki temel grupta ayrı olmak üzere baskın tür olarak belirlenmiştir.

Tablo 2. İstasyon bilgileri ve örnekleme derinlikleri

İstasyon	Örnekleme bölgesi	Örnekleme tarihi	Enlem	Boylam	İstasyon derinliği (m)	Örnekleme derinliği (m)
MD1	İstanbul Boğazı-Karadeniz çıkışı	16.08.16	41.22502	29.13340	68	0.5
MD2	İstanbul Boğazı-Marmara girişi	16.08.16	40.93998	28.94327	64	0.5
MD3	Tuzla-Adalar arası	18.08.16	40.85038	29.24163	38	0.5
MD4	İzmit Körfezi (Orta)	18.08.16	40.72163	29.61667	157	0.5
MD5	İzmit Körfezi (Körfez sonu)	18.08.16	40.73668	29.89167	28	0.5
MD6	Yalova kıyı	19.08.16	40.66667	29.25000	58	0.5
MD7	Çınarcık kıyı	19.08.16	40.65933	29.09333	133	0.5
MD8	Armutlu (Kuzey doğu)	19.08.16	40.66163	28.80000	310	0.5
MD9	Büyükçekmece (Açık)	22.08.16	40.85710	28.48158	820	0.5, 25 (SSM)
MD10	Küçükçekmece (Kıyı)	17.08.16	40.97065	28.75662	22	0.5
MD11	Silivri (Kıyı)	23.08.16	41.05772	28.24275	33	0.5, 19 (SSM)
MD12	Marmara Denizi (Orta Basen)	23.08.16	40.84180	28.01043	1050	0.5, 30 (SSM)
MD13	Marmara Ereğli	23.08.16	40.99166	27.73667	17	0.5
MD14	Tekirdağ	24.08.16	40.96072	27.52488	22	0.5
MD15	Şarköy	26.08.16	40.55510	27.02250	35	0.5, 27 (SSM)*
MD16	Çanakkale Boğazı (Giriş)	26.08.16	40.40655	26.70668	73	0.5, 27 (SSM)*
MD17	Marmara Adası (Güney)	25.08.16	40.54828	27.57457	59	0.5, 21 (SSM)
MD18	Karabiga-Adalar-Erdek Körfezi	25.08.16	40.37643	27.33908	12	0.5
MD19	Karabiga-Adalar-Erdek Körfezi	25.08.16	40.42202	27.53613	43	0.5, 22 (SSM)
MD20	Gönen Deresi	25.08.16	40.33010	27.63483	6	0.5
MD21	Erdek Körfezi	25.08.16	40.34382	27.80217	32	0.5
MD22	Bandırma Körfezi	22.08.16	40.38750	27.94350	35	0.5, 25 (SSM)
MD23	Susurluk Çayı (Giriş)	21.08.16	40.40808	28.52200	12	0.5
MD24	Bursa-Bayramdere (İmralı Adası)	21.08.16	40.53672	28.42517	45	0.5, 24 (SSM)
MD25	Gemlik Körfezi	20.08.16	40.46404	29.04062	85	0.5, 22 (SSM)
MD26	Gemlik Körfezi	20.08.16	40.43013	29.13720	20	0.5, 20 (SSM)
MD27	Gemlik Körfezi	20.08.16	40.40000	29.04100	68	0.5, 25 (SSM)

*****Şarköy'deki MD15 ve Çanakkale Boğazı girişindeki MD16 istasyonlarında hava muhalefeti nedeniyle yalnızca yüzey (0.5 m) örneklemesi yapılabilmiş, yüzey-altı maksimum (SSM) klorofil-*a* derinliğinden örnek alınamamıştır.

3.3 Marker Pigment Analizleri

Pigment analizleri, Mantoura ve Llewellyn (1983) tarafından oluşturulan ve Barlow vd. (1993) tarafından modifiye edilen yöntemle gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar çalışmaları kapsamında fitoplankton bolluk/biyokütle göstergesi olan klorofil-*a* ve 9 farklı fitoplankton grubunu (krizofitler, kriptofitler, primnesiyofitler, klorofitler, prasinofitler, diyatomlar, dinoflagellatlar,

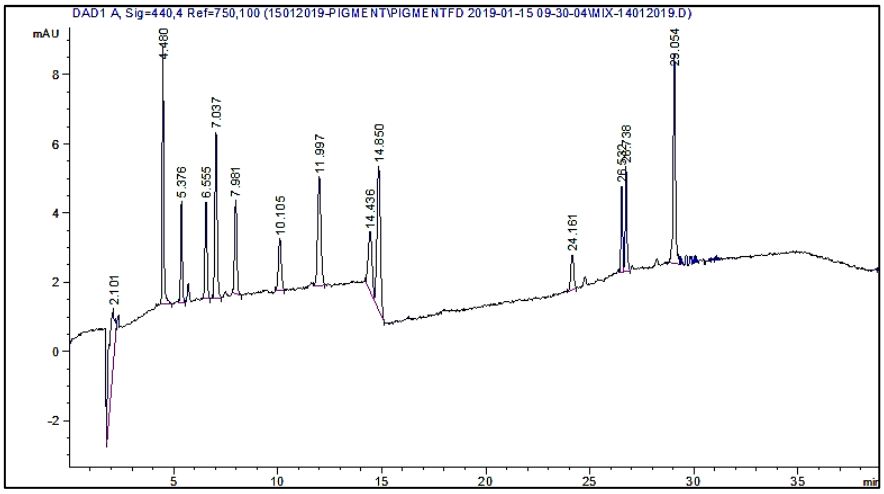
siyanofitler ve proklorofitler) temsil eden marker pigmentler olan alloksantin, 19'-Butanoloksifukoksantin, klorofil-a, klorofil-b, klorofil-c1 c2, diadinoksantin, divinyl klorofil-a, fukoksantin, 19'-Heksanoloksifukoksantin, lutein, peridinin, zeaksantin ve ß-karoten pigmentlerine ait ticari standartlar satın alınmış ve her bir pigment için kalibrasyon çalışmaları gerçekleştirilerek bunun sonucunda her bir pigmentin alıkonma zamanı (retention time) belirlenmiştir. Bu amaç doğrultusunda İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Deniz Araştırmaları Laboratuvarında bulunan Hewlett-Packard (HP) Agilent 1100 Yüksek Performans Sıvı Kromatografi (HPLC-UV) cihazı kullanılmıştır. HPLC yöntemi ile pigment analizleri için, Tablo 2' de belirtilen istasyon ve derinliklerden alınan 1 L hacimli deniz suyu örnekleri düşük vakum basıncında, (<0,5 atm) 25 mm GF/F (gözenek boyutu 0,7 µm) filtrelerden süzülmüş ve filtreler analiz edilinceye kadar sıvı azot içerisinde (-196°C) bekletilmiştir. Donmuş haldeki filtreler, kromatografik analizler öncesinde 5 mL hacimli %90'lık HPLC cinsi aseton içerisine alındıktan sonra, hücreler ultrasonikatör (1 dk, 60 Hz) ile 30 sn. boyunca parçalama işlemine tabii tutularak, bir gece +4°C' de ve karanlık ortamda bekletilerek pigmentlerin asetona nüfuz etmesi sağlanmıştır. Daha sonra örnek içerisindeki katı parçacıkları çöktürmek amacıyla, 3500 devir/dk. dönüş hızında 10 dk. boyunca santrifüj işlemi uygulanmıştır (Mantoura ve Llewelyn, 1983). Daha küçük partikülleri uzaklaştırmak için ise, santrifüj edilmiş örnek içerisinden 500 µL hacim alınarak 0,2 µm göz açıklığına sahip filtrelerden süzülüp, içerisine 500 µL hacimli 1M amonyum asetat çözeltisi ilave edilmiştir. Bu ekstrakttan 100 µL alınarak C8 HPLC kolonuna (3µ, 4.6×150mm) manuel olarak enjekte edilmiştir. Pigmentler, akış hızı; 1,0 mL dk^{-1} ve çift mobil faz sistemi kullanılarak (A: %70 metanol ve %30, 1M amonyum asetat ve B: %100 metanol) 440 nm dalga boyunda UV dedektörde analiz edilmiştir. Gradiyent sistem çalışma koşulları Tablo 3'de verilmektedir.

Tablo 3. Gradiyent sistem çalışma koşulları

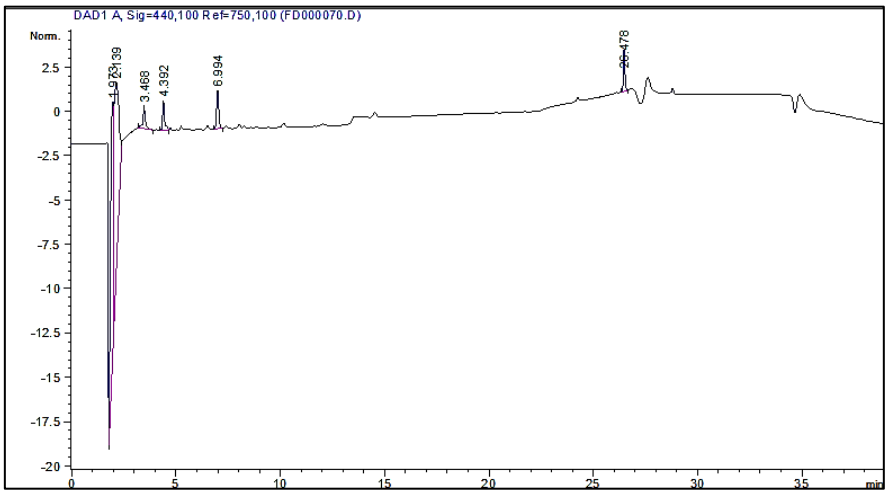
Zaman (dk)	Mobil faz A: %70 metanol ve %30 amonyum asetat (1M)	Mobil faz B: %100 metanol
0	75	25
1	50	50
20	30	70
25	0	100
32	0	100
39	75	25

3.3.1 HPLC' de Standart Eğri Oluşturulması

Marker pigment analizleri öncesinde ticari pigment standartları ile kalibrasyon çalışmaları gerçekleştirilmiş ve her bir pigmentin alıkonma zamanı (retention time) belirlenmiştir. Daha sonra ise deniz suyu örnekleri analiz edilerek, standart eğrideki pigmentlerin alıkonma zamanlarına göre deniz suyu örneklerindeki pigment içeriği belirlenmiştir. Kalibrasyonda kullanılan ticari standartlara ait ve İzmit Körfezi'ndeki (Körfez sonu) MD5 istasyonundan alınan örneğe ait kromatogramlar Şekil 2 ve Şekil 3'de verilmiştir. Şekil 2'ye bakıldığında ilk olarak ayrılan pigmentin klorofil-c_1c_2 olduğu ve daha sonra alıkonma zamanlarına göre sırasıyla peridinin, 19'butanoloksifukoksantin, fukoksantin, 19'heksanoloksifukoksantin, diadinoksantin, alloksantin, zeaksantin, lutein, klorofil-b, divinyl klorofil-*a,* klorofil-*a* ve ß-karoten pigmentlerinin ayrıldığı tespit edilmiştir.



Şekil 2. Pigment standartlarına ait kromatogram



Şekil 3. MD5 istasyonundan alınan deniz suyu örneğine ait kromatogram

Elde edilen kromatogram verileri doğrultusunda pigment konsantrasyonları ise, aşağıdaki denkleme (Formül 2) göre hesaplanmıştır:

$$\boldsymbol{Cp} = \frac{\boldsymbol{Ap \times Vext \times 10}}{\boldsymbol{B \times Vfilt \times Vinj \times 1000 \times Rf}} \quad \text{(Formül 2)}$$

Cp (μgL^{-1}) = Pigment konsantrasyonu; Ap (mAU*s)= Pik alanı; Rf ($ngmAU^{-1}$)= Kalibrasyon eğrisinin eğimi (ng $kolon^{-1}$) ; Vfilt (L)= Süzülen su hacmi; Vext (mL)= Ekstraksiyon için kullanılan çözücü hacmi; Vinj (µL)= Kromatografi sistemine enjekte edilen örnek hacmi; B= Tampon seyreltme faktörü

4. BULGULAR

4.1 Fitoplankton Kompozisyonu

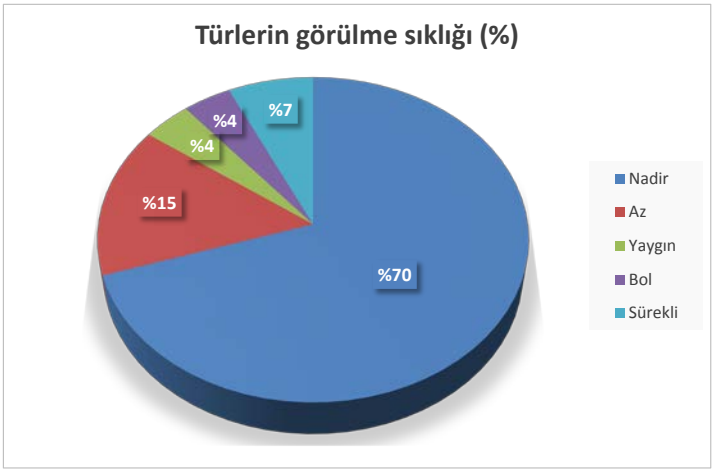
Bu çalışma kapsamında Marmara Denizi fitoplankton komünitesinde 3 ayrı sınıfta toplam olarak 55 takson bulunmuştur. Bunların 26'sını diyatom, 27'sini dinoflgellat ve 2'sini de silikoflagellat türleri oluşturmuştur. Diyatomlar arasında en sık rastlanan türler *Proboscia alata, Pseudo-nitzschia* sp. ve *Rhizosolenia hebetata* olurken, dinoflagellatlardan ise *Prorocentrum micans, Tripos furca, T. fusus* ve *T. trichoceros* olmuştur (Tablo 4).

Tablo 4. Marmara Denizi yüzey suyu ve yüzey-altı maksimum (SSM) klorofil-a derinliklerinde tespit edilen fitoplankton türlerinin bulundukları istasyonlar

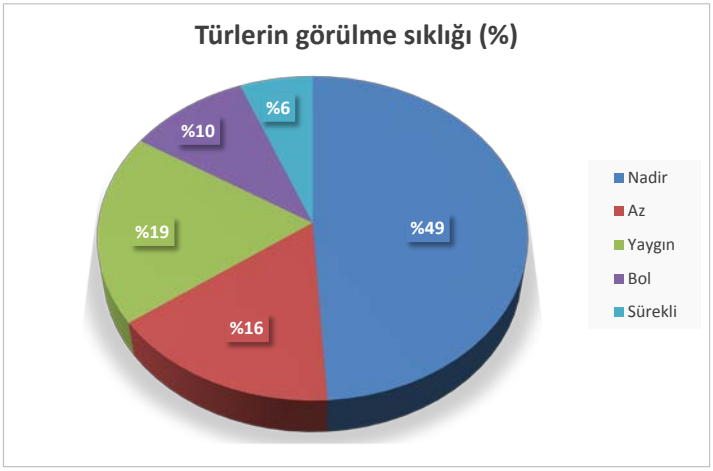
Türler	Bulundukları istasyonlar
Bacillariophyceae	
Chaetoceros affinis	MD12, MD17, MD27
Chaetoceros compressum	MD14, MD20, MD22
Chaetoceros constrictus	MD22
Chaetoceros curvisetus	MD11, MD22
Chaetoceros decipiens	MD2, MD7, MD10, MD11, MD12, MD20, MD26, MD27
Chaetoceros didymus	MD12
Chaetoceros lorenzianus	MD12
Chaetoceros peruvianus	MD9, MD11, MD12, MD26, MD27
Chaetoceros sp.	MD8, MD9, MD10, MD12, MD20, MD22, MD23, MD24
Coscinodiscus radiatus	MD8, MD11, MD27
Cylindrotheca closterium	MD1, MD2, MD5, MD8, MD9, MD10, MD11, MD12, MD17, MD22, MD23, MD24
Dactyliosolen fragilissimus	MD1, MD2, MD5, MD8, MD22
Guinardia delicatula	MD4, MD5, MD17
Guinardia striata	MD17, MD22
Gyrosigma sp.	MD20
Hemialus hauckii	MD10, MD16, MD19, MD20, MD21, MD27
Leptocylindrus danicus	MD5, MD10, MD20, MD22, MD23, MD26
Leptocylindrus minimus	MD10
Nitzschia longissima	MD3, MD5
Proboscia alata	MD1, MD3, MD4, MD5, MD6, MD7, MD8, MD9, MD10, MD11, MD12, MD13, MD17, MD22, MD23, MD24, MD25, MD26, MD27
Pseudo-nitzschia sp.	MD1, MD2, MD3, MD4, MD5, MD6, MD7, MD8, MD9, MD10, MD11, MD12, MD17, MD18, MD20, MD22, MD23, MD24, MD25, MD26, MD27
Pseudosolenia calcar-avis	MD1, MD2, MD3, MD4, MD23, MD26, MD27
Rhizosolenia hebetata	MD1, MD2, MD3, MD4, MD5, MD6, MD7, MD8, MD9, MD10, MD11, MD17, MD19, MD20, MD22, MD23, MD24, MD25, MD26
Rhizosolenia setigera	MD2, MD10, MD22
Skeletonema marinoi	MD9, MD10, MD12, MD20, MD23
Thalassionema nitzschioides	MD2, MD8, MD12, MD17, MD22, MD23, MD26, MD27
Dinophyceae	
Dinophysis acuminata	MD6
Dinophysis caudata	MD27
Diplopsalis lenticula	MD16, MD20
Gyrodinium spirale	MD14

Gyrodinium sp.	MD9, MD25, MD26, MD27
Katodinium glaucum	MD11, MD24
Noctiluca scintillans	MD6, MD9, MD18, MD19, MD21, MD24, MD26
Oxytoxum scolopax	MD3, MD4, MD5, MD9, MD11, MD19, MD22, MD24
Phalacroma rotundatum	MD6, MD23, MD24
Podolampas palmipes	MD9, MD11, MD19, MD22, MD24
Prorocentrum compressum	MD17
Prorocentrum micans	MD2, MD3, MD4, MD6, MD7, MD8, MD9, MD10, MD11, MD12, MD13, MD14, MD15, MD16, MD18, MD19, MD20, MD21, MD22, MD23, MD24, MD25, MD26, MD27
Prorocentrum scutellum	MD11, MD12, MD19, MD21, MD26
Prorocentrum triestinum	MD5, MD23, MD24
Protoperidinium conicum	MD24
Protoperidinium depressum	MD3
Protoperidinium divergens	MD1, MD3, MD8, MD10, MD16, MD20, MD21, MD24
Protoperidinium grande	MD24
Protoperidinium steinii	MD2, MD4, MD7, MD9, MD10, MD12, MD13, MD18, MD21, MD22, MD24, MD26
Protoperidinium sp.	MD25
Scrippsiella trochoidea	MD1, MD2, MD9
Tripos furca	MD1, MD2, MD4, MD6, MD7, MD8, MD9, MD10, MD11, MD12, MD13, MD14, MD15, MD16, MD17, MD18, MD19, MD20, MD21, MD22, MD23, MD24, MD25, MD26, MD27
Tripos fusus	MD1, MD2, MD3, MD4, MD5, MD6, MD7, MD8, MD9, MD10, MD11, MD12, MD13, MD14, MD15, MD18, MD19, MD20, MD21, MD22, MD23, MD24, MD25, MD26, MD27
Tripos horridus	MD3, MD4, MD6, MD7, MD16, MD18, MD24, MD25
Tripos lineatus	MD9, MD11, MD12, MD22, MD24, MD25
Tripos muelleri	MD7
Tripos trichoceros	MD2, MD3, MD7, MD8, MD9, MD10, MD11, MD12, MD13, MD14, MD15, MD16, MD17, MD18, MD19, MD20, MD21, MD23, MD24, MD25
Dictyochophyceae	
Dictyocha fibula	MD1, MD24, MD26, MD27
Dictyocha speculum	MD22

Yüzey suyu örneklerinde gözlenen türlerin %70'ini nadir rastlanan türler oluştururken, sürekli rastlanan türler ise sadece %7'sini oluşturmuştur (Şekil 4). Bu oranlar yüzey-altı maksimum (SSM) klorofil-a derinliğinde önemli ölçüde değişiklik göstermiştir. Bu derinlikten alınan deniz suyu örneklerinde ise türlerin %49'unu nadir rastlanan türler oluştururken, yaygın rastlanan türlerin oranı %19'a çıkmıştır (Şekil 5). Bu durum iki farklı su tabakası arasında fitoplankton tür kompozisyonunun değiştiğini göstermektedir.



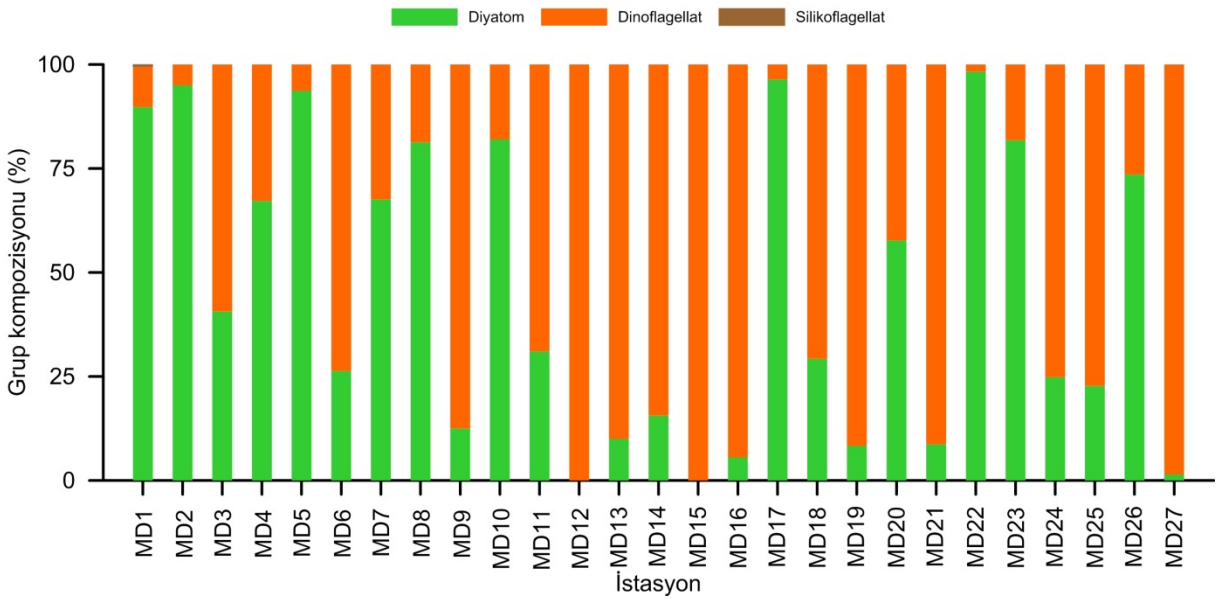
Şekil 4. Marmara Denizi yüzey suyunda fitoplankton türlerinin görülme sıklığına (*f*) göre sınıflandırılması



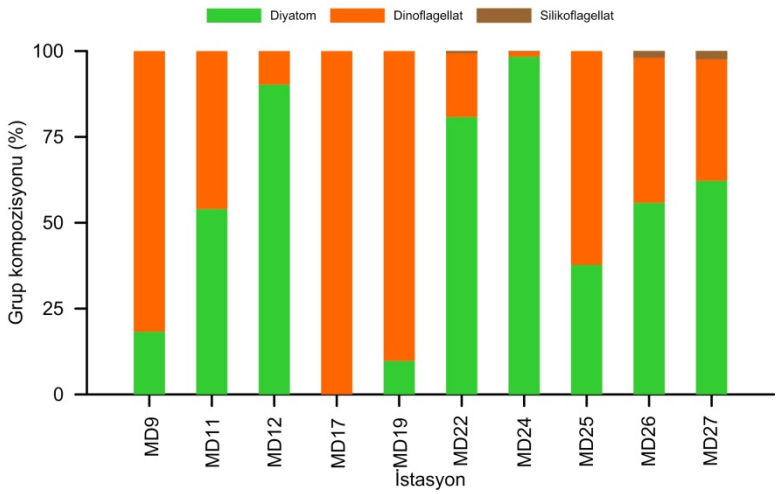
Şekil 5. Marmara Denizi yüzey-altı maksimum (SSM) klorofil-a derinliğinde fitoplankton türlerinin görülme sıklığına (*f*) göre sınıflandırılması

Bolluk değerlerine göre fitoplankton grup kompozisyonu dikkate alındığında diyatom ve dinoflagellatların iki ana grubu oluşturduğu görülmektedir. Bunlara bazı istasyonlarda çok düşük bir oranda silikoflagellatlar da dahil olmaktadır. Fitoplankton bolluğunun en yüksek olduğu İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışındaki MD1, İstanbul Boğazı Marmara girişindeki MD2, İzmit Körfezi'ndeki (Körfez sonu) MD5 ve Bandırma Körfezi'ndeki MD22 istasyonlarında diyatomların %90'ın üzerinde baskın olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6). Dinoflagellatların baskın olduğu istasyonlarda ise bolluk değerlerinin düşük olduğu dikkati

çekmektedir. Benzer durum yüzey-altı maksimum (SSM) klorofil-a derinliğinde de söz konusu olup fitoplankton bolluğunun yüksek olduğu Silivri kıyısındaki MD11, Marmara Denizi orta baseninde yer alan MD12 ve İmralı Adası yakınındaki MD24 istasyonlarında diyatomların baskın olduğu görülmektedir (Şekil 7).



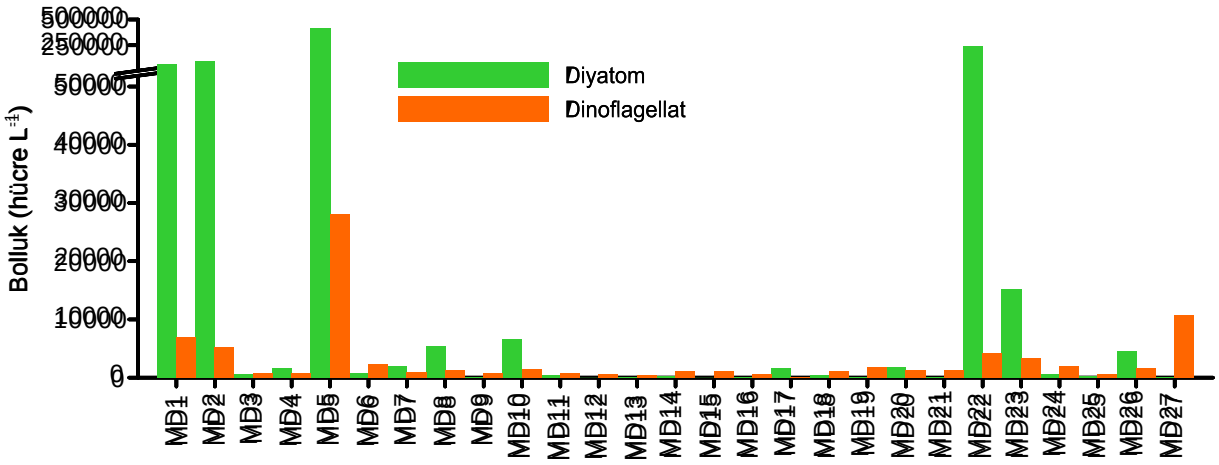
Şekil 6. Marmara Denizi yüzey suyunda bolluğa göre fitoplankton grup kompozisyonu



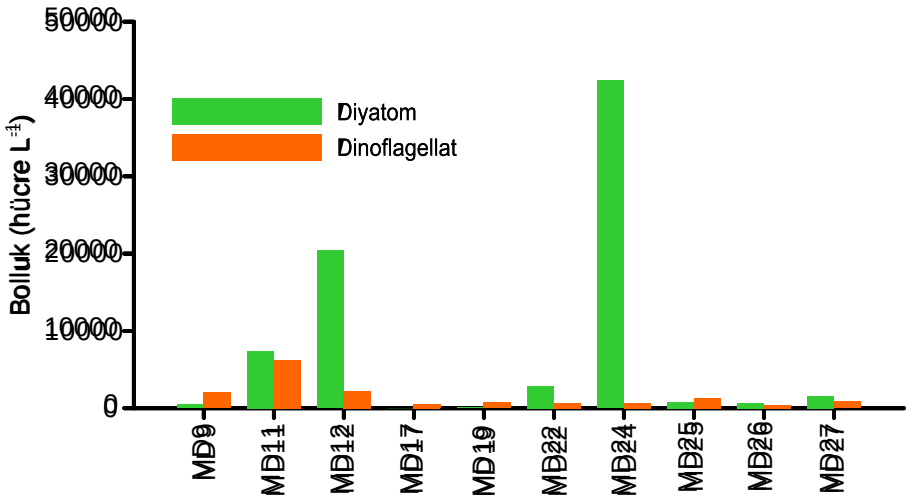
Şekil 7. Marmara Denizi yüzey-altı maksimum (SSM) klorofil-a derinliğinde bolluğa göre fitoplankton grup kompozisyonu

4.2 Fitoplankton Bolluk Dağılımı

Bu çalışma döneminde Marmara Denizi'nde fitoplankton bolluğunun birkaç istasyon dışında genellikle düşük olduğu (<10^4 hücre L^{-1}) görülmektedir. En yüksek bolluk değerleri İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışındaki MD1, İstanbul Boğazı Marmara girişindeki MD2, İzmit Körfezi'ndeki (Körfez sonu) MD5 ve Bandırma Körfezi'ndeki MD22 istasyonları yüzey suyunda sırasıyla 72×10^3 hücre L^{-1}, 108×10^3, 444×10^3 ve 245×10^3 olarak bulunmuştur (Şekil 8). Yüzey-altı maksimum (SSM) klorofil-a derinliğinde ise en yüksek değer İmralı Adası yakınındaki MD24 istasyonunda 43×10^3 hücre L^{-1} olarak bulunmuştur (Şekil 9). Fitoplankton bolluğunun yüksek olduğu tüm istasyonlarda diyatomların baskın grubu oluşturduğu görülürken, dinoflagellat grubunun genellikle düşük bir bolluk sergilediği görülmektedir.



Şekil 8. Marmara Denizi yüzey suyunda fitoplankton bolluğunun gruplara göre dağılımı



Şekil 9. Marmara Denizi yüzey-altı maksimum (SSM) klorofil-a derinliğinde fitoplankton bolluğunun gruplara göre dağılımı

4.3 Baskın Türlerin Dağılımı

En yüksek bolluk değerlerine sahip olan istasyonlarda elde edilen sonuçlara göre 5'i diyatom ve 5'i de dinoflagellat olmak üzere toplam 10 takson baskın olarak belirlenmiştir (Tablo 5). Bunlar arasında en yaygın olan türün diyatom *Cylindrotheca closterium* olduğu dikkati çekmektedir. Dinoflagellatlar arasında *Tripos* türlerinin yanı sıra *Prorocentrum triestinum*'un baskın türler olduğu görülmektedir (Tablo 5).

Tablo 5. Fitoplankton bolluğunun yüksek olduğu (>10000 hücre L^{-1}) istasyonlardaki baskın türler ve bolluk değerleri (hücre L^{-1})

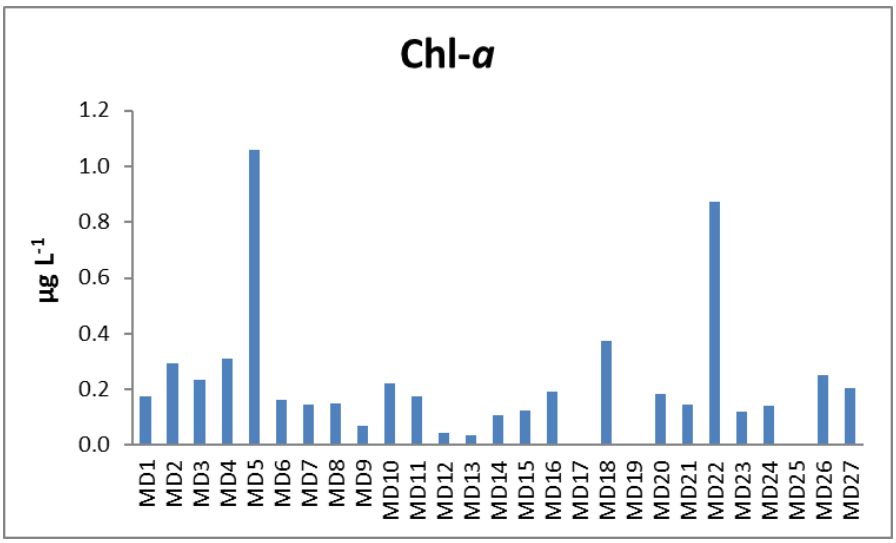
	İstasyonlar								
Baskın türler	MD1	MD2	MD5	MD11*	MD12*	MD22	MD23	MD24*	MD27
Bacillariophyceae									
Chaetoceros sp.						62400			
Cylindrotheca closterium	36750	78000	260000	5200			5980	40000	
Dactyliosolen fragilissimus			83200			68640			
Proboscia alata	21000				9620				
Pseudo-nitzschia sp.						35360			
Dinophyceae									
Tripos furca									3840
Tripos fusus		1560					1430		
Tripos lineatus				2160					
Prorocentrum micans						2080			
Prorocentrum triestinum			24960						5760
Diyatom bolluğu	64400	98800	416000	7320	20410	241280	15210	42400	160
Dinoflagellat bolluğu	7000	5200	28080	6240	2210	4160	3380	660	10800
Toplam bolluk	71750	104000	444080	13560	22620	245440	18590	43100	10960

***** Yüzey-altı maksimum (SSM) klorofil-*a* derinliğinden alınan örnekleri belirtmektedir.

4.4 Yüzey Suyunda Klorofil-*a* ve Marker Pigment Değişimleri

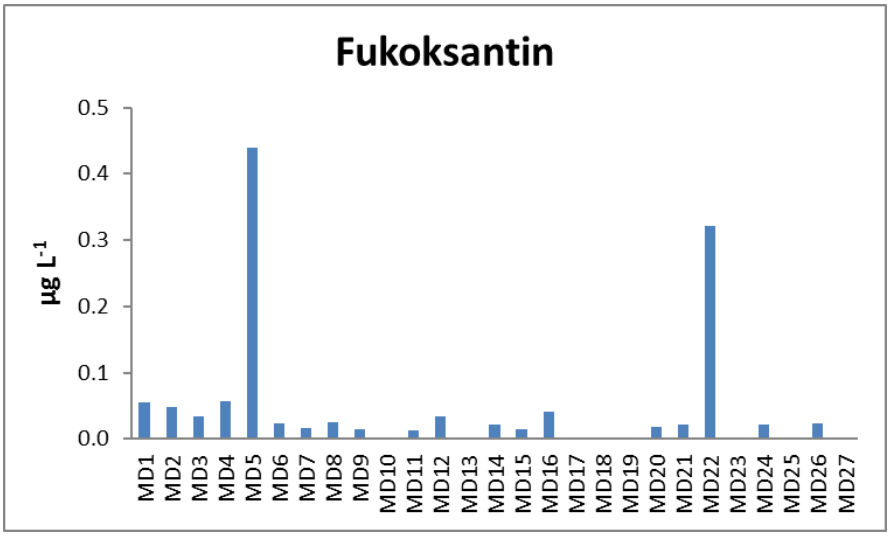
Yüzey suyu örneklerinde gerçekleştirilen kromatografik analizlerde 11 çeşit marker pigment ayırt edilmiştir. Fukoksantin ve klorofil-c_1c_2 hemen her istasyonda gözlenmiş olup, bu dönemde lutein ve divinyl klorofil-*a* hiçbir istasyonda tespit edilmemiştir. Diğer pigmentlere bakıldığında ise, peridinin İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışındaki MD1 ve Yalova kıyısındaki MD6'da, zeaksantin İzmit Körfezi'ndeki (Orta) MD4, Büyükçekmece açıklarındaki MD9 ve Bandırma Körfezi'ndeki MD22'de, 19'-Butanoloksifukoksantin Küçükçekmece kıyısındaki MD10'da ve klorofil-*b* ise yalnızca İzmit Körfezi'ndeki (Körfez sonu) MD5 istasyonunda gözlenmiştir.

Örnekleme dönemindeki klorofil-*a* değişimi Şekil 10'da verilmiştir. Bu döneme bakıldığında yaz mevsimi olması nedeniyle genellikle konsantrasyonların düşük olduğu ve 0.034 – 1.058 µg L^{-1} aralığında değiştiği görülmektedir. En yüksek değer İzmit Körfezi'nde (Körfez sonu) bulunan MD5 istasyonunda ölçülürken, Bandırma Körfezi'nde bulunan MD22 istasyonunda da nispeten (0.872 µg L^{-1}) yüksek değer tespit edilmiştir. En düşük değerlere (0.034, 0.042 ve 0.068 µg L^{-1}) ise sırasıyla Marmara Ereğlisi'ndeki MD13 ile Marmara Denizi orta basenindeki MD12 ve Büyükçekmece'deki (Açık) MD9'da rastlanmıştır. Marmara Adası'ndaki (Güney) MD17, Karabiga-Adalar-Erdek Körfezi arasındaki MD19 ve Gemlik Körfezi'ndeki MD25'de ise klorofil-*a* konsantrasyonları oldukça düşük olduğundan, HPLC belirleme limitinin de altında kalmış ve tespit edilememiştir.



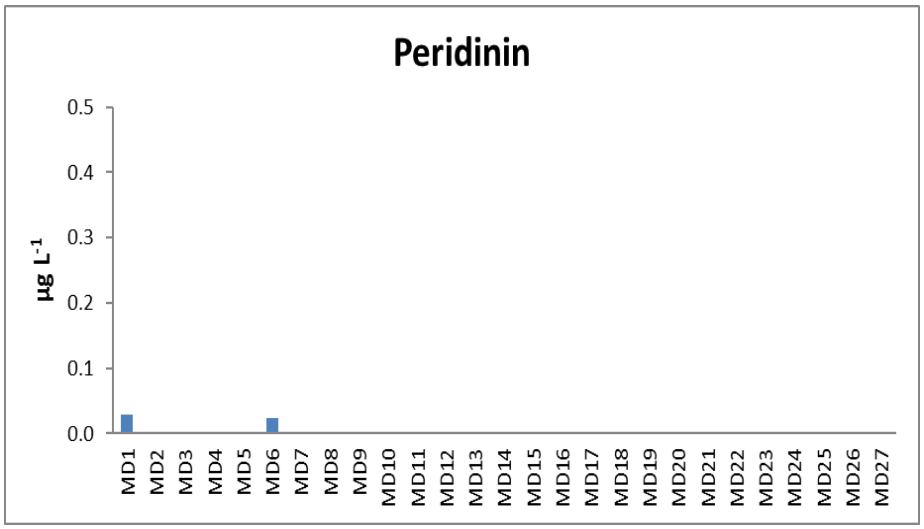
Şekil 10. Marmara Denizi yüzey suyunda klorofil-*a* değişimi

Örnekleme dönemindeki fukoksantin değişimi Şekil 11'de verilmiştir. Konsantrasyonların klorofil-*a* değerlerinde olduğu gibi düşük olduğu ve 0.013 – 0.439 µg L^{-1} aralığında değiştiği görülmektedir. En yüksek değer İzmit Körfezi'nde (Körfez sonu) bulunan MD5 istasyonunda ölçülürken, Bandırma Körfezi'nde bulunan MD22 istasyonunda da nispeten (0.321 µg L^{-1}) yüksek değer tespit edilmiştir. En düşük değerlere (0.013, 0.014 ve 0.014 µg L^{-1}) ise sırasıyla Silivri kıyısındaki MD11 ile Büyükçekmece açıklarındaki MD9 ve Şarköy'deki MD15'de rastlanmıştır. Küçükçekmece kıyısındaki MD10, Marmara Ereğlisi'ndeki MD13, Marmara Adası'ndaki (Güney) MD17, Karabiga-Adalar-Erdek Körfezi arasındaki MD18 ve MD19, Susurluk Çayı girişindeki MD23 ile Gemlik Körfezi'ndeki MD25 ve MD27'de ise fukoksantin tespit edilmemiştir.



Şekil 11. Marmara Denizi yüzey suyunda fukoksantin değişimi

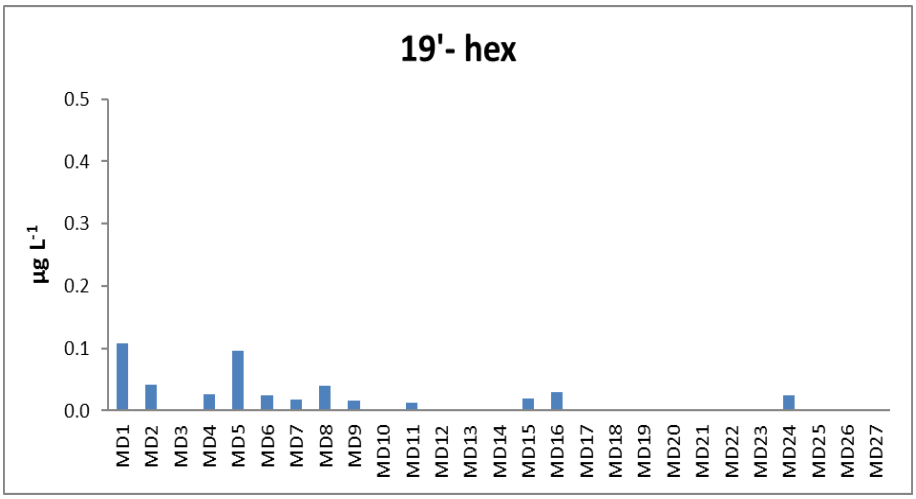
Örnekleme dönemindeki peridinin değişimi Şekil 12'de verilmiştir. Örnekleme yapılan toplam 27 istasyonunun 25'inde peridinin tespit edilmezken, bu pigmentin yalnızca İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışındaki MD1 ve Yalova kıyısındaki MD6 istasyonlarında ve sırasıyla 0.028 ve 0.024 µg L^{-1} olarak ölçüldüğü görülmektedir.



Şekil 12. Marmara Denizi yüzey suyunda peridinin değişimi

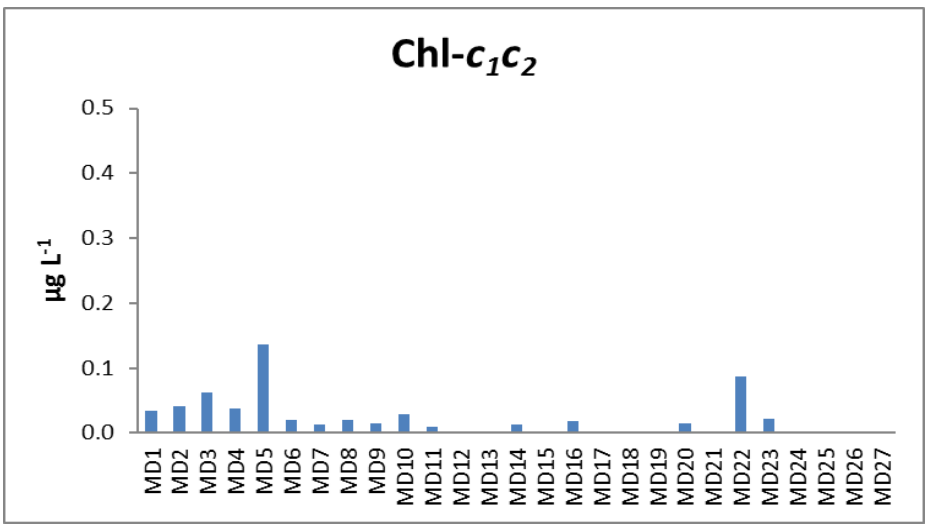
Örnekleme dönemindeki 19'-Heksanoloksifukoksantin değişimi Şekil 13'de verilmiştir. Örnekleme yapılan toplam 27 istasyonunun 12'sinde 19'-Heksanoloksifukoksantin tespit edilirken, konsantrasyonlar 0.013 – 0.108 µg L^{-1} aralığında değişmektedir. En yüksek değer İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışındaki MD1'de ölçülürken, İzmit Körfezi'nde (Körfez sonu) bulunan MD5 istasyonunda da nispeten (0.096 µg L^{-1}) yüksek değer tespit edilmiştir. En

düşük değerlere (0.013, 0.015 ve 0.018 µg L^{-1}) ise sırasıyla Silivri yakınındaki MD11 ile Büyükçekmece açıklarındaki MD9 ve Çınarcık kıyısındaki MD7'de rastlanmıştır.



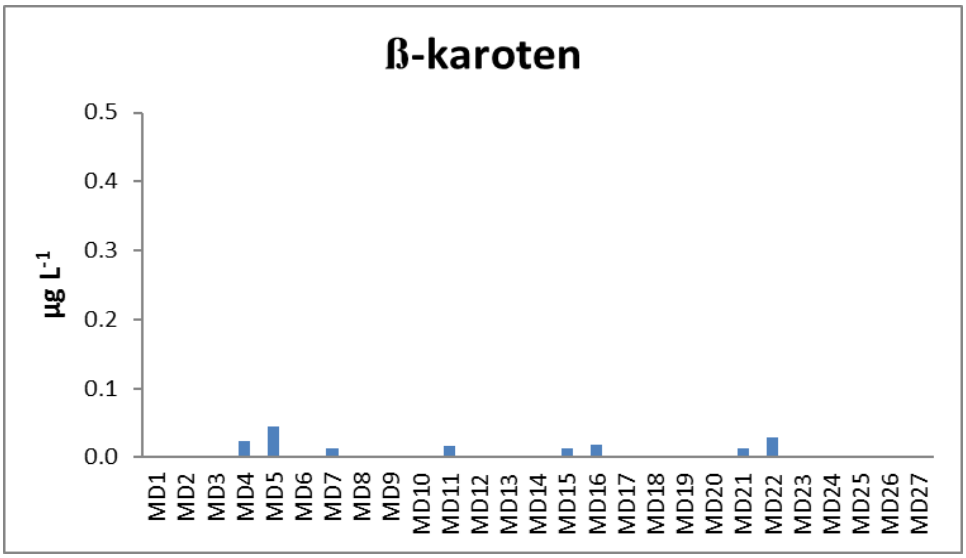
Şekil 13. Marmara Denizi yüzey suyunda 19'-Heksanoloksifukoksantin değişimi

Örnekleme dönemindeki klorofil-c_1c_2 değişimi Şekil 14'de verilmiştir. Örnekleme yapılan toplam 27 istasyonunun 16'sında klorofil-c_1c_2 tespit edilirken, konsantrasyonlar 0.010 – 0.137 µg L^{-1} aralığında değişmektedir. En yüksek değer İzmit Körfezi'nde (Körfez sonu) bulunan MD5 istasyonunda ölçülürken (0.137 µg L^{-1}), Bandırma Körfezi'nde bulunan MD22 istasyonunda da nispeten (0.088 µg L^{-1}) yüksek değer tespit edilmiştir. En düşük değerlere (0.010, 0.013 ve 0.014 µg L^{-1}) ise sırasıyla Silivri yakınındaki MD11 ile Çınarcık kıyısındaki MD7 ve Büyükçekmece açıklarındaki MD9' da rastlanmıştır.



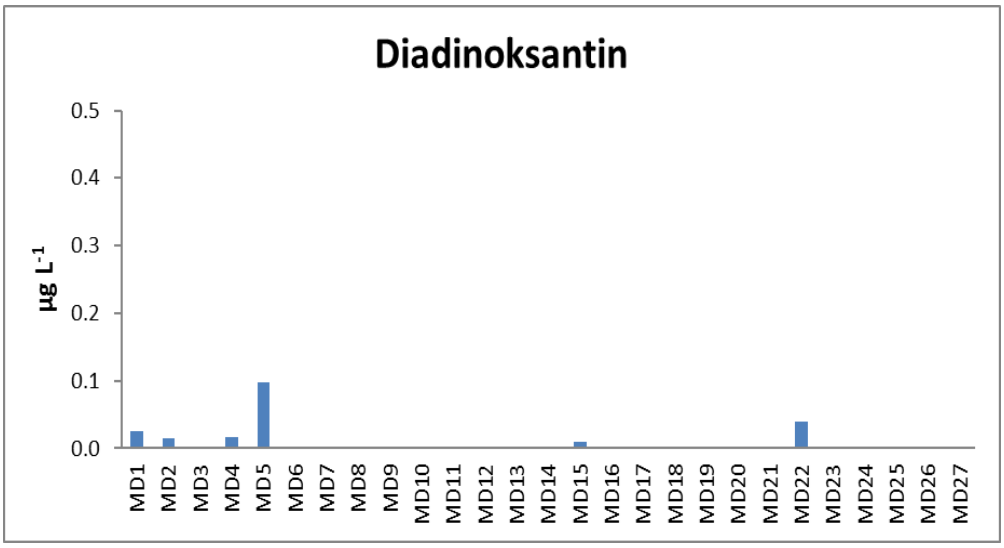
Şekil 14. Marmara Denizi yüzey suyunda klorofil-c_1c_2 değişimi

Örnekleme dönemindeki ß-karoten değişimi Şekil 15'de verilmiştir. Örnekleme yapılan toplam 27 istasyonunun yalnızca 8 tanesinde ß-karoten tespit edilirken, konsantrasyonlar 0.012 – 0.045 µg L^{-1} aralığında değişmektedir. En yüksek değer (0.045 µg L^{-1}) İzmit Körfezi'nde (Körfez sonu) bulunan MD5 istasyonunda ölçülürken, en düşük değere (0.012 µg L^{-1}) ise Erdek Körfezi'ndeki MD21' de rastlanmıştır.



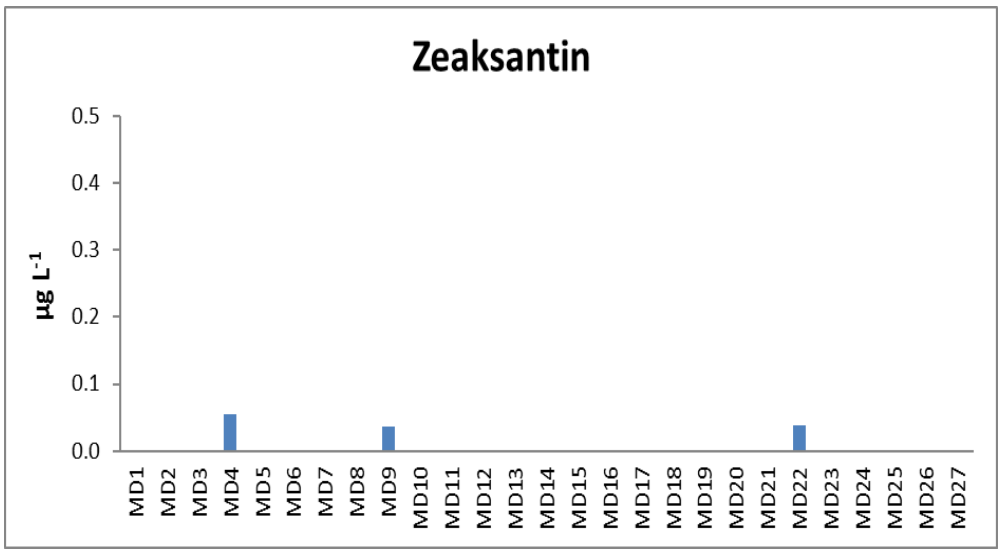
Şekil 15. Marmara Denizi yüzey suyunda ß-karoten değişimi

Örnekleme dönemindeki diadinoksantin değişimi Şekil 16'da verilmiştir. Örnekleme yapılan toplam 27 istasyonunun yalnızca 6 tanesinde diadinoksantin tespit edilirken, konsantrasyonlar 0.009 – 0.097 µg L^{-1} aralığında değişmektedir. En yüksek değer (0.097 µg L^{-1}) İzmit Körfezi'nde bulunan (Körfez sonu) MD5 istasyonunda ölçülürken, en düşük değere (0.009 µg L^{-1}) ise Şarköy'deki MD15'de rastlanmıştır.



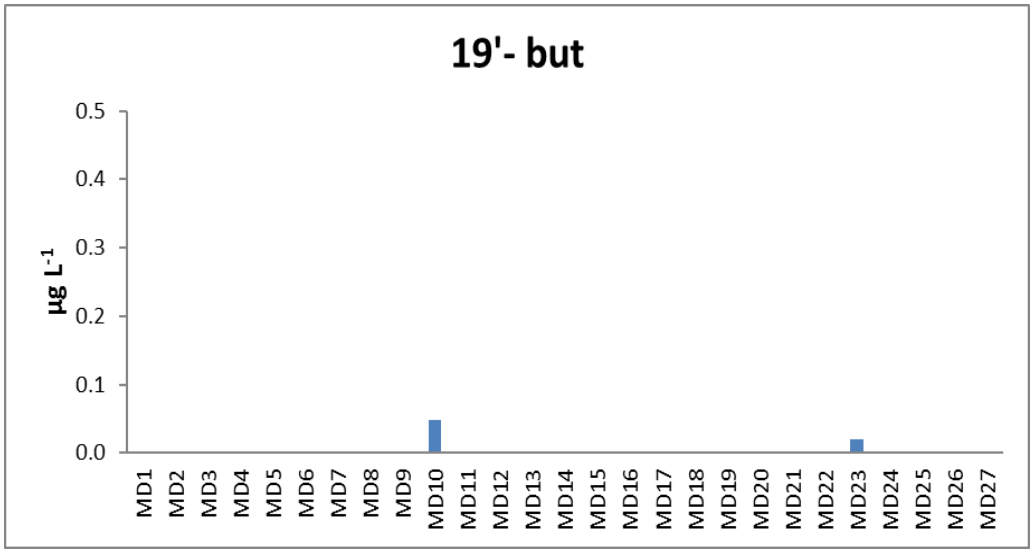
Şekil 16. Marmara Denizi yüzey suyunda diadinoksantin değişimi

Örnekleme dönemindeki zeaksantin değişimi Şekil 17'de verilmiştir. Örnekleme yapılan toplam 27 istasyonunun yalnızca 3'ünde zeaksantin tespit edilirken, konsantrasyonlar 0.037 – 0.056 µg L^{-1} aralığında değişmektedir. Konsantrasyon değişim aralığı oldukça düşük iken, en yüksek değer (0.056 µg L^{-1}) İzmit Körfezi'nde (Orta Körfez) bulunan MD4 istasyonunda ölçülmüştür.



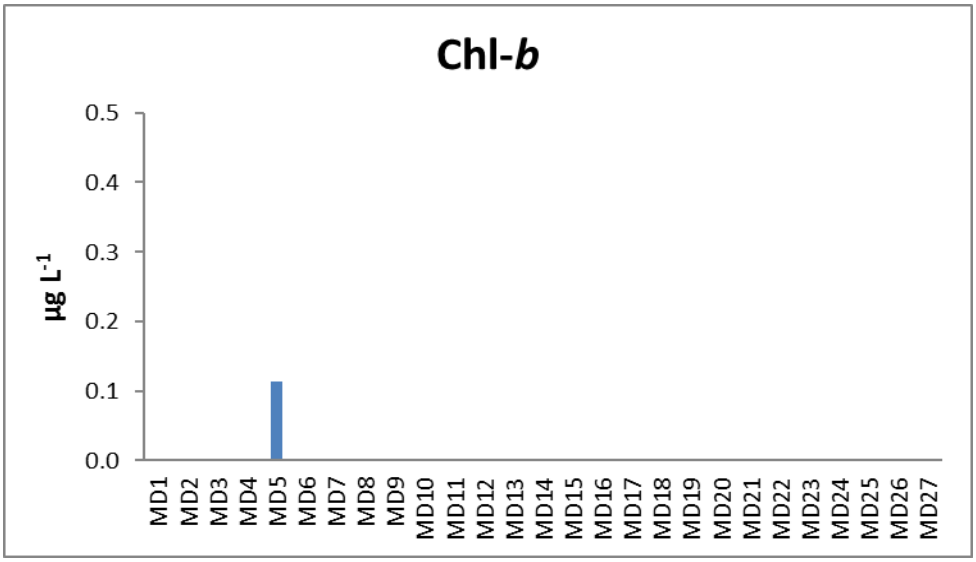
Şekil 17. Marmara Denizi yüzey suyunda zeaksantin değişimi

Örnekleme dönemindeki 19'-Butanoloksifukoksantin değişimi Şekil 18'de verilmiştir. Örnekleme yapılan toplam 27 istasyonunun yalnızca 2 tanesinde 19'-Butanoloksifukoksantin tespit edilirken, bu değerler Küçükçekmece kıyısındaki MD10 ve Susurluk Çayı girişindeki MD23 istasyonlarında sırasıyla 0.048 ve 0.020 µg L^{-1} olarak ölçülmüştür.



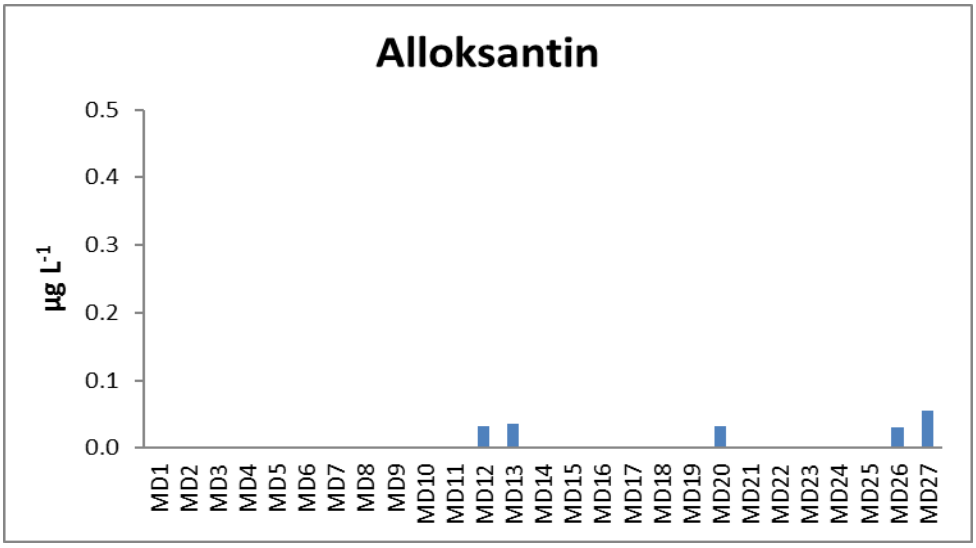
Şekil 18. Marmara Denizi yüzey suyunda 19'-Butanoloksifukoksantin değişimi

Örnekleme dönemindeki klorofil-*b* değişimi Şekil 19'da verilmiştir. Yalnızca İzmit Körfezi'nde bulunan (Körfez sonu) MD5 istasyonunda tespit edilen klorofil-*b*, 0.114 µg L^{-1} olarak ölçülmüştür.



Şekil 19. Marmara Denizi yüzey suyunda klorofil-*b* değişimi

Örnekleme dönemindeki alloksantin değişimi Şekil 20'de verilmiştir. Örnekleme yapılan toplam 27 istasyonunun yalnızca 5 tanesinde alloksantin tespit edilirken, konsantrasyonlar 0.031 – 0.056 µg L^{-1} aralığında değişmektedir. Konsantrasyon değişim aralığı oldukça düşük iken, en yüksek değer (0.056 µg L^{-1}) Gemlik Körfezi'nde bulunan MD27 istasyonunda ölçülmüştür.

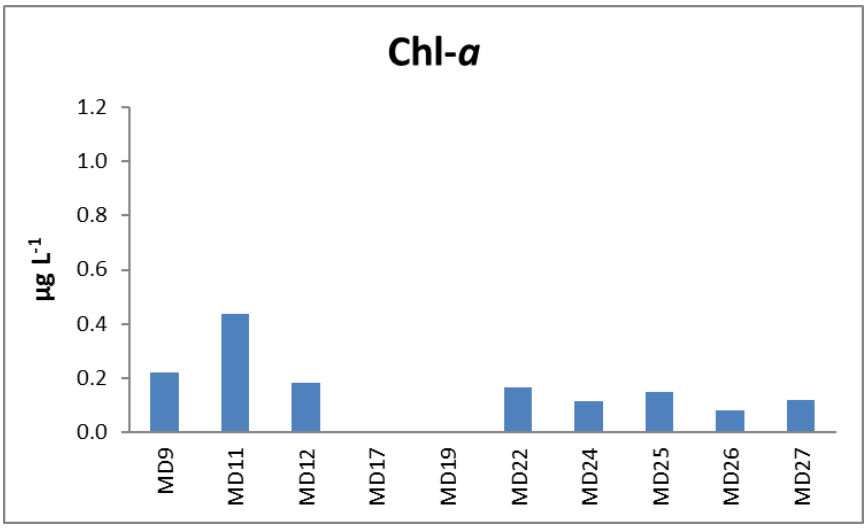


Şekil 20. Marmara Denizi yüzey suyunda alloksantin değişimi

4.5 Yüzey-Altı Maksimum (SSM) Derinliğinde Klorofil-a ve Marker Pigment Değişimleri

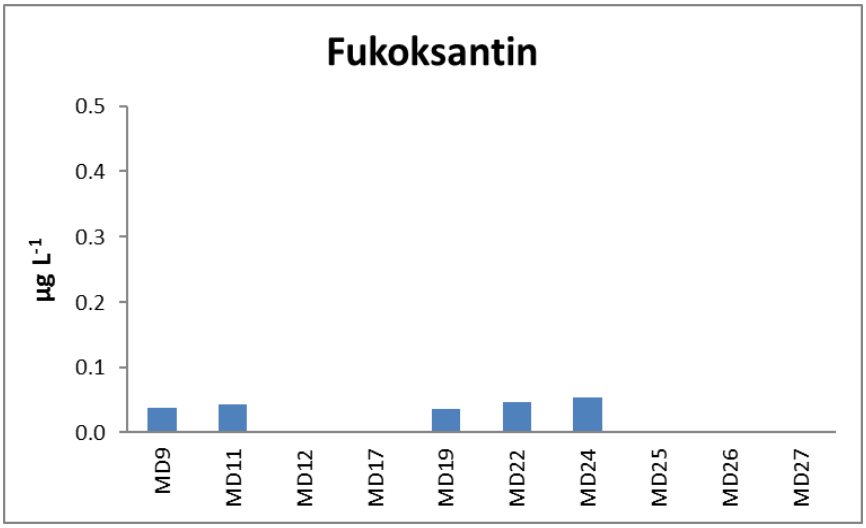
Yüzey-altı maksimum derinliğinde gerçekleştirilen kromatografik analizlerde 8 çeşit marker pigment ayırt edilmiştir. Yüzey suyu örneklerinde olduğu gibi, fukoksantin ve klorofil-c_1c_2 hemen her istasyonda gözlenmiş olup, bu dönemde lutein, divinyl klorofil-*a*, klorofil-*b*, 19'-Heksanoloksifukoksantin ve diadinoksantin hiçbir istasyonda tespit edilmemiştir. Diğer pigmentlere bakıldığında ise, peridinin ve alloksantin Silivri kıyısındaki MD11 ve Gemlik Körfezi'ndeki MD25'de, ß-karoten Silivri kıyısındaki MD11 ve Marmara Denizi orta baseninde yer alan MD12'de, zeaksantin ise yalnızca Büyükçekmece açıklarındaki MD9 istasyonunda gözlenmiştir.

Örnekleme döneminde yüzey-altı maksimum derinliğindeki klorofil-*a* değişimi Şekil 21'de verilmiştir. Bu döneme bakıldığında yaz mevsimi olması nedeniyle, yüzey suyu örneklerinde olduğu gibi genellikle konsantrasyonların düşük olduğu ve 0.08 – 0.44 µg L^{-1} aralığında değiştiği görülmektedir. En yüksek değer (0.44 µg L^{-1}) Silivri kıyısındaki MD11 istasyonunda ölçülürken, en düşük değere (0.08 µg L^{-1}) ise Gemlik Körfezi'ndeki MD26'da rastlanmıştır. Marmara Adası'ndaki (Güney) MD17 ve Karabiga-Adalar-Erdek Körfezi arasındaki MD19'da ise klorofil-*a* tespit edilmemiştir.



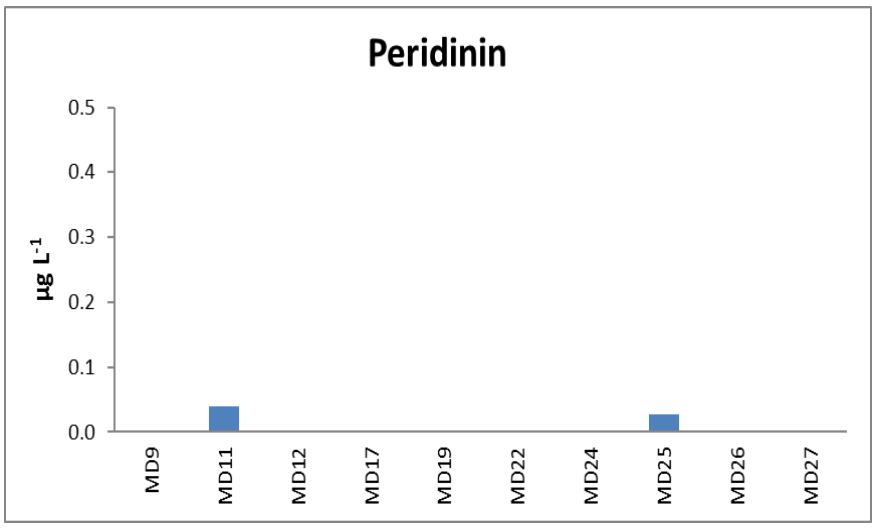
Şekil 21. Marmara Denizi yüzey altı maksimum derinliğinde (SSM) klorofil-*a* değişimi

Örnekleme döneminde yüzey-altı maksimum derinliğindeki fukoksantin değişimi Şekil 22'de verilmiştir. Örnekleme yapılan toplam 10 istasyonunun yalnızca 5 tanesinde fukoksantin tespit edilirken, konsantrasyonların oldukça düşük olduğu ve 0.04 – 0.05 µg L^{-1} gibi dar bir aralıkta değiştiği görülmektedir.



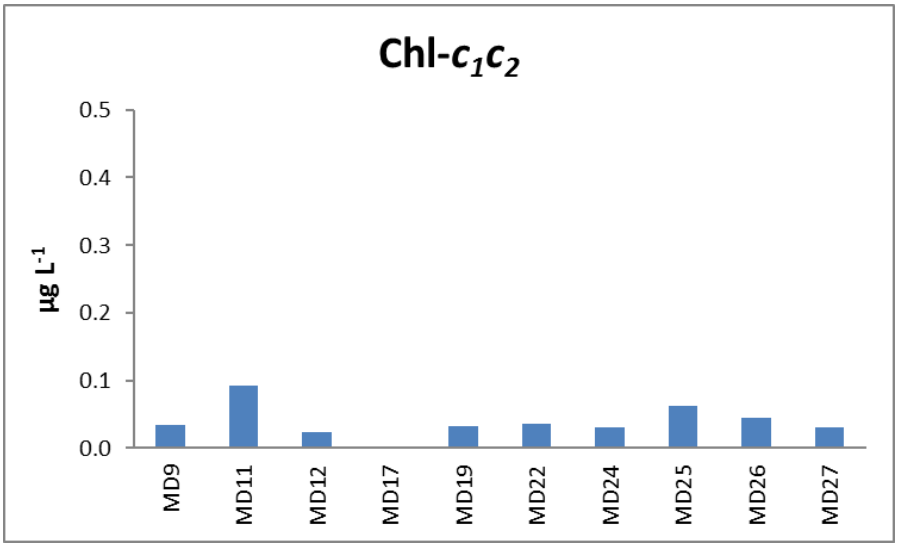
Şekil 22. Marmara Denizi yüzey altı maksimum derinliğinde (SSM) fukoksantin değişimi

Örnekleme döneminde yüzey-altı maksimum derinliğindeki peridinin değişimi Şekil 23'de verilmiştir. Örnekleme yapılan toplam 10 istasyonunun yalnızca 2 tanesinde peridinin tespit edilirken, bu değerler Silivri kıyısındaki MD11 ve Bandırma Körfezi'ndeki MD22 istasyonlarında sırasıyla 0.04 ve 0.03 µg L^{-1} olarak ölçülmüştür.



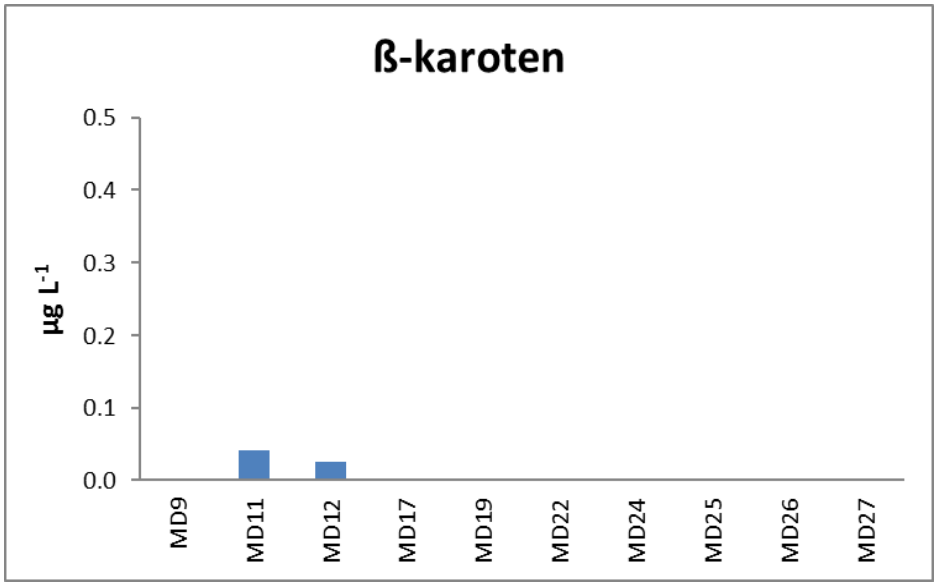
Şekil 23. Marmara Denizi yüzey altı maksimum derinliğinde (SSM) peridinin değişimi

Örnekleme döneminde yüzey-altı maksimum derinliğindeki klorofil-c_1c_2 değişimi Şekil 24'de verilmiştir. Klorofil-c_1c_2 değerlerinin oldukça düşük olduğu ve 0.02 – 0.09 µg L^{-1} aralığında değiştiği görülmektedir. En yüksek değer (0.09 µg L^{-1}) Silivri kıyısındaki MD11 istasyonunda ölçülürken, en düşük değere (0.02 µg L^{-1}) ise Marmara Denizi orta baseninde bulunan MD12' de rastlanmıştır. Marmara Adası'ndaki (Güney) MD17'de ise klorofil-c_1c_2 tespit edilmemiştir.



Şekil 24. Marmara Denizi yüzey altı maksimum derinliğinde (SSM) klorofil-c_1c_2 değişimi

Örnekleme döneminde yüzey-altı maksimum derinliğindeki ß-karoten değişimi Şekil 25'de verilmiştir. Örnekleme yapılan toplam 10 istasyonunun yalnızca 2 tanesinde ß-karoten tespit edilirken, bu değerler Silivri kıyısındaki MD11 ve Marmara Denizi orta baseninde bulunan MD12 istasyonlarında sırasıyla 0.04 ve 0.03 µg L^{-1} olarak ölçülmüştür.



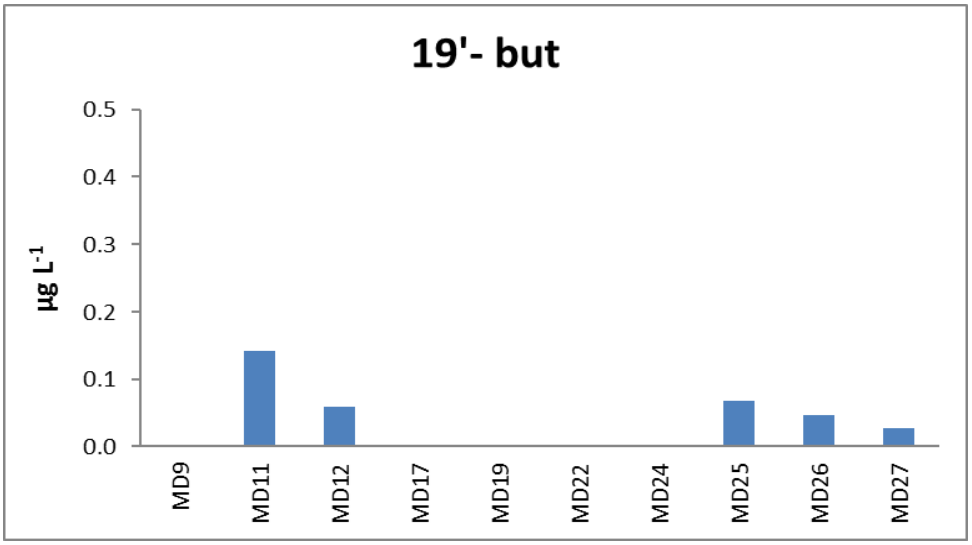
Şekil 25. Marmara Denizi yüzey altı maksimum derinliğinde (SSM) ß-karoten değişimi

Örnekleme döneminde yüzey-altı maksimum derinliğindeki zeaksantin değişimi Şekil 26'da verilmiştir. Yalnızca Marmara Denizi orta baseninde bulunan MD12'de tespit edilen zeaksantin, 0.04 µg L^{-1} olarak ölçülmüştür.



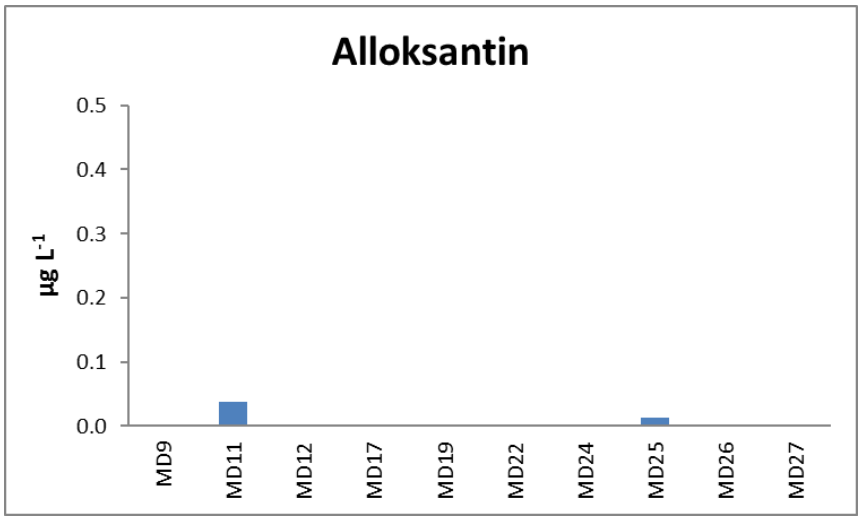
Şekil 26. Marmara Denizi yüzey altı maksimum derinliğinde (SSM) zeaksantin değişimi

Örnekleme döneminde yüzey-altı maksimum derinliğindeki 19'-Butanoloksifukoksantin değişimi Şekil 27'de verilmiştir. Örnekleme yapılan toplam 10 istasyonunun yalnızca 5 tanesinde 19'-Butanoloksifukoksantin tespit edilirken, konsantrasyonların 0.03 – 0.14 µg L^{-1} aralığında değiştiği görülmektedir. En yüksek değer (0.014 µg L^{-1}) Silivri kıyısındaki MD11 istasyonunda ölçülürken, en düşük değere (0.03 µg L^{-1}) ise Gemlik Körfezi'nde bulunan MD27'de rastlanmıştır.



Şekil 27. Marmara Denizi yüzey altı maksimum derinliğinde (SSM) 19'-Butanoloksifukoksantin değişimi

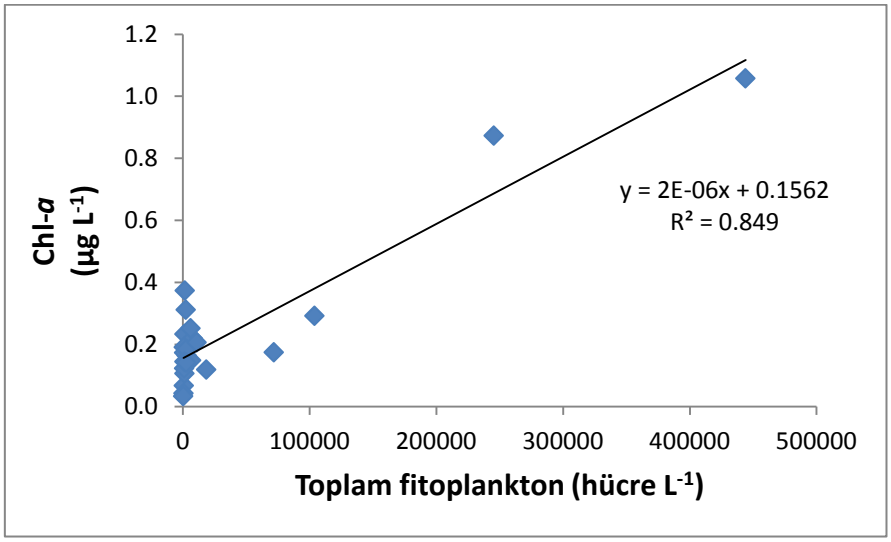
Örnekleme döneminde yüzey-altı maksimum derinliğindeki alloksantin değişimi Şekil 28'de verilmiştir. Örnekleme yapılan toplam 10 istasyonunun yalnızca 2 tanesinde alloksantin tespit edilirken, bu değerler Silivri kıyısındaki MD11 ve Gemlik Körfezi'ndeki MD25 istasyonlarında sırasıyla 0.04 ve 0.01 µg L^{-1} olarak ölçülmüştür.



Şekil 28. Marmara Denizi yüzey altı maksimum derinliğinde (SSM) alloksantin değişimi

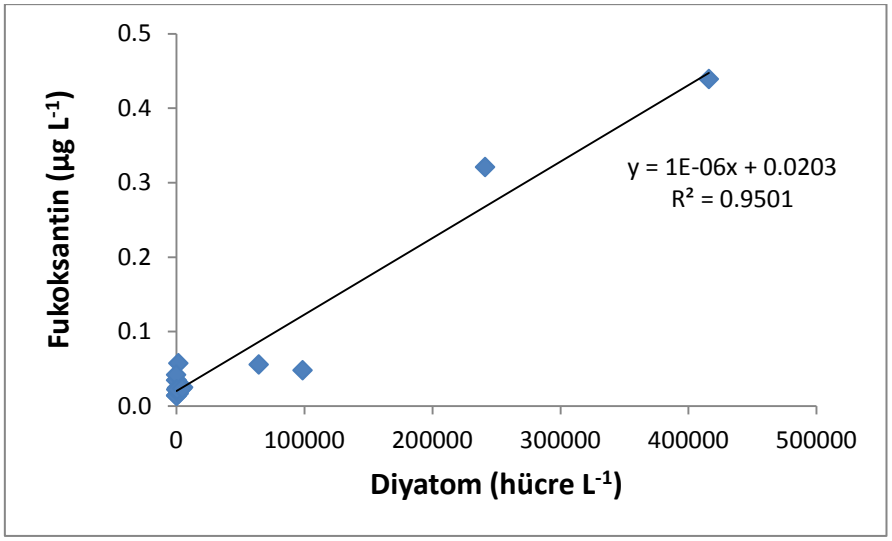
4.6 Bolluk Değerleri ve Pigment Konsantrasyonları Arasındaki İlişki ve Pigment Oranları

Toplam fitoplankton hücre sayısı ile klorofil-*a* konsantrasyonu arasındaki korelasyona ait grafik Şekil 29'da verilmektedir. Buna göre, özellikle hücre sayısının düşük olduğu istasyonlarda aradaki ilişkinin oldukça zayıf olduğu gözlenirken, artan hücre sayılarına paralel olarak klorofil-*a* ile olan korelasyonun kuvvetlendiği ve tüm istasyonlar göz önüne alındığında ise ilişki derecesinin iyi olduğu görülmektedir.



Şekil 29. Toplam fitoplankton-klorofil-*a* regresyon eğrisi ve denklemi

Çalışma döneminde genellikle diyatom grubuna ait türlerin varlığı tespit edilmiş olup marker pigment olarak da diyatomlara özgü fukoksantin pigmenti hemen hemen her istasyonun yüzeyinde gözlenmiştir. Diyatom hücre sayısı ile fukoksantin konsantrasyonu arasındaki korelasyona ait grafik Şekil 30'da verilmektedir. Buna göre, yine toplam fitoplankton - klorofil-*a* ilişkisinde olduğu gibi, özellikle hücre sayısının düşük olduğu istasyonlarda ilişkinin oldukça zayıf olduğu gözlenirken, artan hücre sayılarına paralel olarak fukoksantin ile olan korelasyonun kuvvetlendiği ve tüm istasyonlar göz önüne alındığında ise ilişki derecesinin kuvvetli olduğu görülmektedir.



Şekil 30. Diyatom – Fukoksantin regresyon eğrisi ve denklemi

Yaz dönemi Marmara Denizi için birincil üretimin en düşük olduğu dönem olarak bilinmektedir. Proje kapsamında gerçekleştirilen çalışma Ağustos ayında yapıldığından dolayı klorofil-*a* ve marker pigment oranları genel olarak düşük seviyededir. Örnekleme döneminde yüzey suyundaki klorofil-*a* değerlerinin fukoksantin değerlerine oranı hesaplanmış ve bu oranların 1.23 - 12.9 gibi geniş bir aralıkta değiştiği görülmektedir. (Tablo 6). En düşük oran (1.23) Marmara Denizi orta baseninde bulunan MD12'de hesaplanırken, >10'dan yüksek olan değerler ise (12.90, 10.41 ve 10.85) sırasıyla Silivri kıyısındaki MD11, Gönen Deresi girişindeki MD20 ve Gemlik Körfezi'ndeki MD26 istasyonlarında tespit edilmiştir. En yüksek değer (0.014 µg L^{-1}) Silivri kıyısındaki MD11 istasyonunda ölçülürken, en düşük değere (0.03 µg L^{-1}) ise Gemlik Körfezi'nde bulunan MD27'de rastlanmıştır.

Tablo 6. Yüzey suyuna ait klorofil-*a*/fukoksantin oranları

İstasyon	Chl-*a*/Fuc
MD1	3.15
MD2	6.10
MD3	6.75
MD4	5.46
MD5	2.41
MD6	6.75
MD7	8.83
MD8	5.92
MD9	4.76
MD11	12.90
MD12	1.23
MD14	4.80
MD15	8.78
MD16	4.59
MD20	10.41
MD21	6.57
MD22	2.72
MD24	6.53
MD26	10.85

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Marmara Denizi oldukça önemli bir iç deniz olup, sahip olduğu dinamikler ile yıllardır birçok araştırma grubunun ilgi odağı olmuştur. Sahip olduğu bu dinamiklerden dolayı bölge ile ilgili yapılacak çalışmalarda birçok faktörü bir arada düşünmek gerekmektedir.

Fitoplankton grupları birincil üretimi oluşturmalarından dolayı bir ekosistemin taşıma kapasitesinin belirlenmesinde birinci adım olarak kullanılabilmektedir. Sahip oldukları yüksek rejenerasyon yetenekleri ortam koşullarında ve besin zincirinde meydana gelebilecek her türlü değişme cevap verebilmeye imkan tanır. Besin zincirinin ilk halkasında meydana gelebilecek aksaklıklar tüm trofik seviyeyi etkiler. Ekosistemde meydana gelen değişimlerin etkilerini anlayabilmek için bu organizma gruplarının hızlı ve kısa bir zamanda tespit edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Dünyanın birçok yerinde fitoplankton biyokütlesindeki değişimler sürekli izleme programları ile takip edilmektedir. Yürütülen çalışmaların sağlıklı ve yorumlanabilir olması süreklilik arz etmelerine bağlıdır. Bu noktada sürekli izleme programlarının önemi daha da ön plana çıkmaktadır. Ancak bu tür programların kısa zamanda ve geniş alanları kapsayacak şekilde yürütülmesi daha da önemlidir (Koca, 2014).

Bu bağlamda çalışma bölgesinde HPLC tekniği kullanılarak yapılan taksonomik yaklaşımlar umut verici sonuçlar vermiştir. Aynı zamanda mikroskobik hücre sayımları ve HPLC sonuçları fitoplankton topluluklarının taksonomik olarak tanımlanmasında rahatlıkla kullanılabileceğini göstermiştir. Ayrıca her iki teknik birlikte kullanıldığında fitoplanktonun fizyolojik durumu hakkında da daha doğru sonuçlar verilebilir. Ancak bu alanda daha doğru bir şekilde yaklaşımlar yapabilmek için geniş ölçekli çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Çalışma dönemindeki pigment oranları ve Türkiye denizlerinde yüzey tabakasında hesaplanan klorofil-*a*/fukoksantin oranları Tablo 7' de sunulmaktadır. Çalışma bölgesinde elde edilen klorofil-a/fukoksantin oranlarının, diğer denizlerde elde edilen değerlerden düşük veya yüksek olduğu gözlenmiştir (Tablo 7). Bilindiği üzere mevsimsel ve çevresel faktörler bu oranları oldukça fazlaca etkilemektedir (Millie vd. 1993). Işık şiddeti ve besin tuzlarının derişimleri oranları etkileyen en önemli çevre koşullarının başında gelmektedir. Bu çevre koşulları da fitoplanktonun fizyolojik durumunu değiştirerek oranları etkilemektedir.

Tablo 7. Farklı çalışma bölgelerindeki klorofil-*a* / fukoksantin oranları karşılaştırması

Çalışma bölgesi	Chl-*a* / Fukoksantin	Dönem	Kaynak
Kuzeydoğu Akdeniz	5.35-26	Ağustos 2002, 2003	Yılmaz D., 2006
Batı Karadeniz	7.5-12	Mayıs, 2001	Ediger vd., 2006
Doğu Karadeniz	7.3-8.2	Ağustos, 2013	Ağırbaş vd., 2017
Marmara Denizi	1.23-12.9	Ağustos ,2016	Bu çalışma

Sonuç olarak, yapılan çalışmalar doğrultusunda marker pigment ölçümlerinin çalışma bölgesi için fitoplankton grubu tanımlanmasını destekleyici olduğu gözlenmiştir. Ortamda gözlenen fukoksantin pigmenti bize diyatom grubunun baskınlığını göstermiştir.

5.1 Öneriler

Bugüne kadar Marmara Denizi'nde gerçekleştirilen fitoplankton çalışmalarının küçük ölçekli ve genellikle mevsimlik olması bu çalışmaların oldukça zahmetli ve zaman alıcı olduğunun bir göstergesidir. Pigment analizleri ile örnekleme sıklığı artırılarak ve çalışma bölgeleri genişletilerek fitoplankton çalışmalarına katkı sağlanabileceği düşünülmektedir. Aynı zamanda belirlenen aşırı üreme dönemlerinin balıkçılık alanlarının seçilmesine de önemli katkılar yapacağı düşünülmektedir. Farklı grupların toplam fitoplanktona olan katkılarının tam olarak belirlenebilmesi için, HPLC tekniği ile marker pigment oranlarının belirlenmesinin ekosistemi anlama konusunda da katkılar sağlayacağı düşünülmektedir. Bu çalışma Marmara Denizi için bir ilk olup, çalışmanın ilerleyen dönemlerde sayısının artacağı düşünülen diğer çalışmalar içinde örnek teşkil edebilecek nitelikte olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Ağirbaş, E., Feyzioglu, A. M., Kopuz, U. ve Llewellyn, C. A. 2015. “Phytoplankton community composition in the south-eastern Black Sea determined with pigments measured by HPLC-CHEMTAX analyses and microscopy cell counts”, Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 95, 35-52.

Ağirbaş E., Koca L. ve Aytan U. 2017. "Spatio-temporal pattern of phytoplankton and pigment composition in surface waters of south-eastern Black Sea", Oceanologia, 59, 283-299.

Aktan, Y., Tüfekçi, V., Tüfekçi, H. ve Aykulu, G. 2005. “Distribution patterns, biomass estimates and diversity of phytoplankton in İzmit Bay (Turkey)”, Estuar. Coast. Shelf Sci., 64, 372-384.

Balkis, N. 2004. “List of phytoplankton of the Sea of Marmara” J. Black Sea/Medit. Env., 10, 123-141.

Balkis, N. ve Toklu-Alicli, B. 2014. “Changes in phytoplankton community structure in the Gulf of Bandırma, Marmara Sea in 2006-2008” Fresen. Env. Bull., 12, 2976-2983.

Barlow, R. G., Mantoura, R. F. C., Gough, M. A. ve Fheman, T. W. 1993. “Pigment signatures of the phytoplankton composition in the north-eastern Atlantic during the 1990 spring bloom” Deep-Sea Research II, 40, 459–477.

Barlow, R. G., Cummings, D. G. ve Gibb, S.W. 1997. “Improved Resolution of mono- and Divinyl Chlorophyll-as a and b and Zeaksantin and Lutein in Phytoplankton Extracts Using Reverse Phase C-8 HPLC”, Marine Ecology Progress Series, 161, 303-307.

Booth, B. C. 1993. “Estimating Cell Concentration and Biomass of Autotrophic Plankton using Microscopy”, Sayfa 199-205 in Kemp, P. F., Sherr, B. F. ve Cole, J. J., eds. “Handbook of Methods in Aquatic Microbial Ecology”, Lewis Publishers, Boca Raton, FL.

Chisholm, S. W., Olson, R. J., Zettle, E. R., Goericke, R., Waterbury, J. B. ve Welschmeyer, J. B. 1988. “A Novel Free-Living Prochlorophyte Abundant in the Oceanic Euphotic Zone”, Nature, 334, 340-343.

Deniz, N. ve Tas, S. 2009. “Seasonal variations in the phytoplankton community in the North-eastern Sea of Marmara and a species list”, Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 89, 269-276.

Deniz İzleme Kılavuzları. 2017. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı – Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, Ankara, 442 s.

Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme İşi 2014-2016 Marmara Denizi Özet Raporu. 2017. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı – Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, Ankara, 79s.

Ediger, D., Raine, R., Weeks, A. R., Robinson, I. S. ve Sagan, S. 2001. “Pigment signatures reveal temporal and regional differences in taxonomic phytoplankton composition off the west coast of Ireland”, Journal of Plankton Research, 23(8), 893-902.

Ediger, D., Soydemir, N. ve Kideys, A. E. 2006. “Estimation of phytoplankton biomass using HPLC pigment analysis in the southwestern Black Sea”, Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 53(17), 1911-1922.

Eker-Develi, E., Berthon, J. F., Canuti, E., Slabakova, N., Moncheva, S., Shtereva, G. ve Dzhurova, B. 2012. “Phytoplankton taxonomy based on CHEMTAX and microscopy in the northwestern Black Sea” Journal of Marine Systems, 94, 18-32.

Genç, N. 2018. “Güneydoğu Karadeniz'de pigmente dayalı fitoplankton boy gruplarının fotik bölge dinamiği”, Yüksek Lisans Tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi.

Gibb, S. W., Barlow, R. G., Cummings, D. G., Rees, N. W., Trees, C. C., Holligan, P. ve Suggett, D. 2000. “Surface phytoplankton pigment distributions in the Atlantic Ocean: an assessment of basin scale variability between 50 degrees N and 50 degrees S”, Progress in Oceanography, 45(3-4), 339-368.

Jeffrey, S.W., Mantoura, R. F. C ve Wright, S.W. 1997. “Introduction to marine phytoplankton and their pigment signatures”, Sayfa 37–84 in Mantoura, R. F. C ve Wright, S. W., eds. “Phytoplankton Pigments in Oceanography”, UNESCO Publishing, Paris.

Kaiser, M.J., Attrill, M. J., Jennings, S., Thomas, D.N., Barnes, D.K.A., Brierley, A.S., Polunin, N.V.C., Rafaelli, D.G. ve Williams, P.J.B., 2005. Marine Ecology, Processes, Systems and Impacts, Oxford University Pres, 557.

Koca, L. 2014. “Güneydoğu Karadeniz Kıyıları (Rize) Diatom/Dinoflagellat Oranları ve Pigment Kompozisyonunun Zamansal Değişimi”, Yüksek Lisans Tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi.

Mackey, M. D., Mackey, D. J., Higgins, H. W. Ve Wright, S. W. 1996. “CHEMTAX-a program for estimating class abundances from chemical markers: application to HPLC measurements of phytoplankton” Marine Ecology Progress Series, 144, 265-283.

Madhu, N. V., Ullas, N., Ashwini, R., Meenu, P., Rehitha, T. V. ve Lallu, K. R. 2014. “Characterization of phytoplankton pigments and functional community structure in the Gulf of Mannar and the Palk Bay using HPLC–CHEMTAX analysis” Continental Shelf Research, 80, 79-90.

Mantoura, R. F. C. ve Llewellyn, C. A. 1983. “The rapid determination of algal Chlorophyll-a and Carotenoid Pigments and Their Breakdown Products in Natural Waters by Reverse-Phase High Performance Liquid Chromatography”, Analytica Chimica Acta, 151, 297-314.

Millie, D. F., Paerl, H. W. ve Hurley, J. P. 1993. “Microalgal Pigment Assessments Using High Performance Liquid Chromatography: a Synopsis of Organismal and Ecological Applications”, Canadian Journal of Fisheries an Aquatic Sciences, 50, 2513-2527.

Rodriguez, F., Varela, M. ve Zapata, M. 2002. “Phytoplankton assemblages in the Gerlache and Bransfield Straits (Antarctic Peninsula) determined by light microscopy and CHEMTAX analysis of HPLC pigment data” Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 49(4), 723-747.

Rodrıguez, F., Pazos, Y., Maneiro, J. ve Zapata, M. 2003. “Temporal variation in phytoplankton assemblages and pigment composition at a fixed station of the Rıa of Pontevedra (NW Spain)” Estuarine, Coastal and Shelf Science, 58(3), 499-515.

Sá, C., Leal, M. C., Silva, A., Nordez, S., André, E., Paula, J. ve Brotas, V. 2013. “Variation of phytoplankton assemblages along the Mozambique coast as revealed by HPLC and microscopy”, Journal of Sea Research, 79, 1-11.

Silva, A., Mendes, C. R., Palma, S. ve Brotas, V. 2008. “Short-time scale variation of phytoplankton succession in Lisbon bay (Portugal) as revealed by microscopy cell counts and HPLC pigment analysis” Estuarine, Coastal and Shelf Science, 79(2), 230-238.

Smith, W. O. ve Sakshaug, E. 1990.” Polar Phytoplankton”, Sayfa 477-525 in Smith, W. O., eds. “Polar Oceanography, Part B: Chemistry, Biology and Geology” Academic Press, San Diego.

Throndsen, J. 1978. “Preservation and storage”, in Sournia, A., eds. “ Phytoplankton manual” , UNESCO.

Türkmen, P. 2016. “Güneydoğu Karadeniz Kıyıları (Artvin-Giresun) Pigment Kompozisyonunun Mevsimsel Değişimi”, Yüksek Lisans Tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi.

Uıtz, J., Claustre, H., Morel, A. ve Hooker, S. B. 2006. “Vertical distribution of phytoplankton communities in open ocean: An assessment based on surface chlorophyll” Journal of Geophysical Research Oceans

Utermohl, H. 1958. “Zur Vervollkommnung der quantitativen phytoplankton: Methodik Mitteilung Internationale Vereinigung Theoretische und Angewandte”, Limnologie, 9, 1–38.

Vollenweider, R. A. 1974. “A Manual on Methods for Measuring Primary Production in Aquatic Environments”, Blackwell Scientific Publications, doi: 10.1002/iroh.19700550415.

Wright, S. W. ve Jeffrey, S. W. 1987. “Fucoxanthin pigment markers of marine phytoplankton analysed by HPLC and HPTLC”, Marine Ecology Progress Series, 38, 259–266.

Wright, S.W., Thomas, D.P., Marchant, H.J., Higgins, H.W., Mackey, M.D. ve Mackey, D.J., 1996. “Analysis of Phytoplankton of the Australian Sector of the Southern Ocean:

Composition of Microscopy and Size Frequency Data with Interpretations of Pigment HPLC Data Using the CHEMTAX Matrix Factorization Program" Marine Ecology Progress Series, 144, 285-298.

Yılmaz, D. 2006. "Kuzeydoğu Akdeniz'de fitoplanktonun zamana bağlı olarak değişimi: Kompozisyon, iz-pigmentler ve birincil üretim", Doktora Tezi, ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü, 193s.

Yücel, N. 2008. "Kilikya Baseni Fitoplankton Pigment Dağılımı: Kuzeydoğu Akdeniz", Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü.

Yücel, N. 2017. "Fitoplankton Sınıflarının Belirlenmesinde HPLC ve Spektroflorometrik Yöntemlerin Karşılaştırılması", Yunus Araştırma Bülteni, 17(2), 163-170.

Yücel, N., Uysal, Z. ve Tuğrul, S. 2017. "Variability In Phytoplankton Pigment Composition In Mersin Bay", Turkish Journal of Aquatic Sciences, 32(1), 49-70.