

## Türkiye Denizleri Işık Etkileşimleri

Fethi BENGİL<sup>1\*</sup>, Sinan MAVRUK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Girne Amerikan Üniversitesi, Denizcilik ve Ulaştırma Yüksekokulu, Girne, KKTC

<sup>2</sup> Çukurova Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Deniz Biyolojisi Bölümü, Adana, Türkiye

\*Sorumlu Yazar: [fethibengil@gau.edu.tr](mailto:fethibengil@gau.edu.tr)

**Araştırma Makalesi**

Geliş 02 Kasım 2018; Kabul 04 Aralık 2018; Basım 01 Haziran 2019.

**Alıntılama:** Bengil, F., & Mavruk, S. (2019). Türkiye denizleri ışık etkileşimleri. *Acta Aquatica Turcica*, 15(2), 171-180. <https://doi.org/10.22392/actaquatr.478155>

### Özet

Bu çalışmada, Türkiye deniz alanlarında ışık özellikleri ve deniz suyu etkileşimlerini anlama ve zaman içerisindeki eğilimlerini değerlendirmek amacıyla Eylül 1997 ile Mart 2017 arasında uzaktan algılama ile elde edilen veri seti kullanılmıştır. Değerlendirme, ışık yoğunluğunun göstergesi olarak fotosentetik aktif ışımaya (PAR), deniz suyu etkileşiminin göstergesi olarak ise Öfotik derinlik (Zeu) ve PAR sönmülleme katsayısı (KdPAR) değişkenleri üzerinden yapılmıştır. Bulgular, ortamdaki ışık yoğunluğunun, zamana bağlı olarak değişiklik göstermemekle birlikte, Türkiye deniz alanlarında Zeu'nun genellikle artış eğiliminde olduğunu ve bu durumla ilişkili olarak KdPAR'ın yalnızca Karadeniz'de azalma eğiliminde olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, ışık yoğunluğundan öte, deniz suyundaki optik aktif maddelerin ışık etkileşimindeki değişimleri belirlediği anlaşılmıştır. Bu çalışmada sunulan parametrelerin, farklı bölgelerde geliştirilmiş deneysel ilişkilerden üretilen parametreler yerine, model çalışmalarında kullanılmasının, belirsizliği azaltmak konusunda avantaj sağlayacağı düşünülmektedir.

*Anahtar kelimeler:* Türkiye denizleri, ışık, fotosentetik aktif ışımaya, Öfotik derinlik, sönmülleme katsayısı

### Light Interactions of Turkish Seas

#### Abstract

In this study, data sets obtained by satellite remote sensing were used to understand light characterization and sea water-light interactions and evaluate inter-annual trends between September 1997 and March 2017. Photosynthetically active radiation (PAR) in terms of light intensity, and Euphotic depth (Zeu) and attenuation coefficient (KdPAR) in terms of light-seawater interaction were used for descriptive and time series analysis. As a result of this study, PAR showed no differences over the time period, while Zeu (mostly increasing) and KdPAR generally showed significant trends in the regions. It can be concluded that optically active constituents determine the interaction rather than light intensity in the regions. Additionally, it is expected that using these parameters in modelling studies will provide an advantage on reducing uncertainties that come from globally used bio-optical empirical relationships.

*Keywords:* Turkish Seas, light, photosynthetically active radiation, euphotic depth, attenuation coefficient

## GİRİŞ

Türkiye'yi çevreleyen denizler, gerek fiziksel gerekse biyolojik ve kimyasal olarak belirli özelliklere sahiptir. Örneğin, tatlı su girdisi yoğun olan ve kapalı bir sistem özelliği gösteren Karadeniz, yoğun tuzluluk seviyelerine sahip Akdeniz'e göre oldukça farklı fiziksel ve kimyasal deniz suyu özelliklerine sahiptir (Oğuz vd., 2004; Akpınar vd., 2016). Marmara Denizi ise bu iki deniz arasında hem yatay hem de dikey olarak geçiş özelliği göstermektedir (Beşiktepe vd., 1994; Yalçın vd., 2017) (Şekil 1). Bu geçiş durumu ayrıca Kuzey Ege Denizi'nin Çanakkale Boğazı çevresinde de görülmektedir (Zeri vd., 2014). Benzer şekilde, Ege Denizi'nin biyokimyasal özelliklerinin de kuzeyden güneyine doğru değişiklik gösterdiği de bildirilmiştir (Tzortzious vd., 2015).

Denizel ekosistemler, canlı ve cansız unsurları ve bu unsurlar arasındaki etkileşimler dolayısıyla oldukça dinamik sistemlerdir. Bu çalışmanın odak noktası olan ışık, cansız bir unsur olarak deniz ekosistemlerinin başlıca enerji kaynağıdır. Işığın sağladığı ısı enerjisi ile deniz suyu sıcaklığı değişmekte ve değişen enerjiye bağlı olarak da su hareketleri şekillenmektedir.

Ayrıca, ışık ile taşınan enerji fotosentetik bitkisel organizmaların üretimiyle besin ağına katılmakta ve besin zinciri sebebiyle, dolaylı olarak canlı unsurların düzenlenmesine kadar etki göstermektedir. Bununla birlikte, ışığın denizel ekosistemdeki kullanımı, farklı partikül ve çözünmüş maddelerden dolayı değişmekte; bu durum da gerek canlı gerekse cansız unsurlar (hepsi birlikte optik olarak aktif maddeler, OAM) arasındaki rekabeti tetikleyebilmektedir (Kirk, 2011). Bu durum, ortamın ışık yoğunluğunun yanında, OAM'ın ışık etkileşim özelliklerinden de oldukça etkilenmektedir.

Öfotik derinlik (Zeu) deniz yüzeyine gelen fotosentetik aktif ışığa (PAR) değerinin %1'ine ulaşana kadar ilerlediği su derinliğini ifade etmektedir (Kirk, 2011). Bu derinlik birincil üretimin önemli bir belirteci olmakla birlikte, ekosistemlerde su berraklığına ilişkin kalite indeksi olarak da değerlendirilmektedir (Lee vd., 2007). Işığın su derinliği boyunca azalışının ifadesi olan PAR sönümlenme katsayısı (KdPAR) birincil üretim miktarının belirlenmesinde önemli olan ayrı bir göstergedir. Deniz yüzeyine ulaşan PAR birincil üretim miktarının ve veriminin belirleyicisi olmanın yanında, su kolonu içerisindeki ilerleyişi ve bu ilerleyiş sırasındaki azalma yönündeki değişimi (KdPAR) su ve OAM ile olan etkileşimi ile belirlenmektedir. Bu sebeple, bu değişkenler deniz alanlarının üretim ve ekosistem özelliklerinin karakterize edilmesinde önem arz etmektedir.

Deniz suyunun optik özellikleri, bir ortamın ışık alma özelliklerinin yanı sıra OAM ile ışık arasındaki etkileşimi de ifade etmektedir. Işığın, sistemlerin birincil enerji kaynağı olması nedeniyle, biyo-optik özelliklerin anlaşılması, ekosistemdeki unsurların ve süreçlerin anlaşılmasında anahtar rol üstlenmektedir (Bengil ve Mavruk, 2018). Bunun yanında ekosistemlerin daha iyi anlaşılmasına yönelik modelleme çalışmalarının da önemli bir bileşenini oluşturmaktadır (Bengil vd., 2016).

Türkiye denizlerinde yapılmış oşinografik araştırmalar, fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler, ile süreçlerin anlaşılması konusunda katkı sağlamışlardır (Beşiktepe vd., 1994; Yılmaz, 2002; Oğuz vd., 2004). Bununla birlikte, son yıllara kadar biyo-optik özelliklerin anlaşılması üzerine yapılan çalışmalar yalnızca birkaç bölge ile sınırlı kalmıştır (Örek, 2007). Türkiye denizlerinin biyo-optik özelliklerini anlamak, zaman içerisindeki eğilimlerini değerlendirmek adına yapılan en kapsamlı çalışma Bengil ve Mavruk (2018) tarafından yapılmış olup, bu çalışma optik aktif maddeler ve bu maddelerin ışıkla etkileşimi üzerine odaklanmış; ortamdaki ışık miktarı ve ışığın deniz ortamı ile etkileşimini değerlendirmemiştir.

Burada sunulan çalışma ise fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine göre sınıflandırılmış Türkiye deniz alanlarında, ışık özellikleri ve deniz suyu ile etkileşimlerini anlama ve zaman içerisindeki eğilimlerini değerlendirme konularına odaklanmıştır. Çalışma kapsamında 1997 ve 2017 yılları arasındaki 20 yıllık süreçte ortamdaki ışık yoğunluğunun göstergesi olarak PAR, birincil üretimin gerçekleştiği derinlik aralığını işaret eden Zeu ve denizel alana giren PAR'nın azalma özelliklerini açıklayan KdPAR parametreleri hesaplanmış ve artış-azalış eğilimleri incelenerek bu eğilimlerdeki mekansal farklılıklar değerlendirilmiştir.

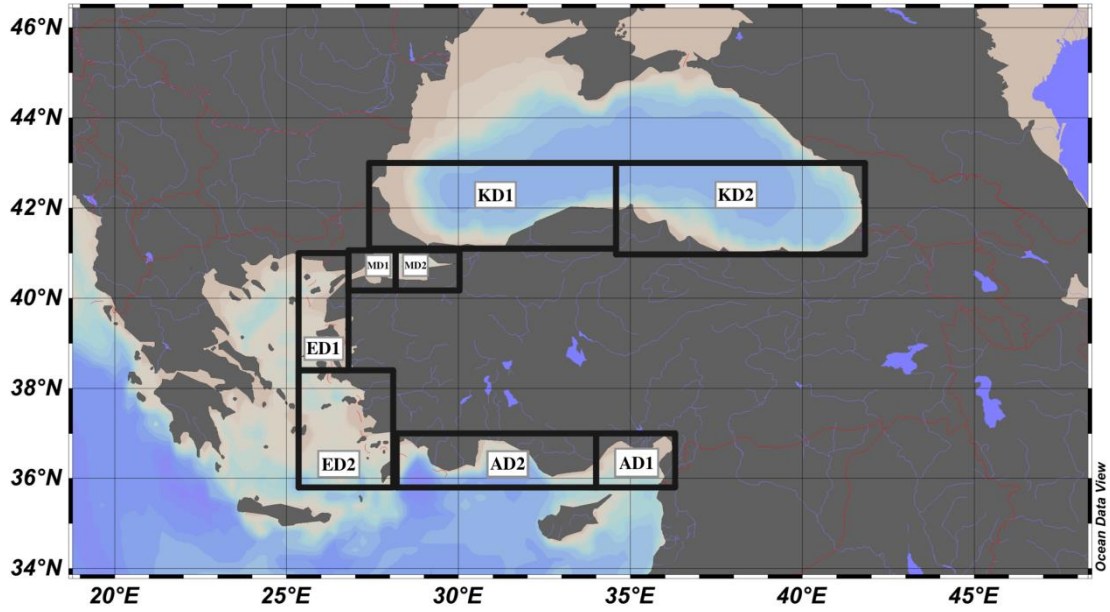
## MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında ışık ve ışık-deniz suyu etkileşimi ile ilişkili olarak PAR, Zeu ve KdPAR üzerine odaklanılmış, bu özelliklerin tanımlayıcı istatistikleri hesaplanmış ve zamana bağlı değişimleri değerlendirilmiştir. İncelenen veri seti GlobColor'dan elde edilmiş olup; GlobColor (<http://globcolour.info>) ACRI-ST tarafından geliştirilen, doğrulanmış ve dağıtımı yapılan Avrupa Uzay Ajansı Veri Kullanıcı Elementlerinden (ESA DUE) biridir. GlobColor kapsamında farklı uydu sensörlerinden elde edilen görüntüler ve bu görüntülerden üretilen optiğe bağlı ürünler birlikte kullanılarak sürekli bir veri seti oluşturulmaktadır. GlobColor sistemine ait veri setlerinin bilimsel ve teknik özellikleri GlobColor Ürünleri Kullanıcı Kılavuzunda sunulmuştur (GlobColor, 2017). Bu çalışmada kullanılan veri setleri Avrupa alanı altında sunulmakta olup 1 km<sup>2</sup> çözünürlüğe sahiptir. Eylül 1997 ile Mart 2017 tarihleri arasında sensörlerden elde edilen ürünlerin aylık ortalamalarının hesaplanması suretiyle birleştirilmiş olan, toplamda 235 farklı zamana ait görüntü seti kullanılmıştır. In-situ veri setleri ile olan yüksek uyum performansı dolayısıyla birleştirme yöntemi olarak Garver, Siegel ve Maritorea Modeli (GSM) kullanılmıştır (Maritorea ve Siegel, 2005).

Bengil ve Mavruk (2018) tarafından belirtildiği üzere bölgeler arası farklılıklardan oluşabilecek yanlışlıklardan dolayı Türkiye'yi çevreleyen deniz alanları özelliklerine göre gruplanarak alt bölgeler oluşturulmuş, analizler bu alt bölgeler temelinde yapılmıştır (Şekil 1). Her bir bölge için ele alınan değişkenlerin tanımlayıcı istatistiklerinin hesaplanması amacıyla, bölge içerisinde kalan ölçüm

değerlerinin hepsi kullanılmış ve 1997 Eylül ve 2017 Mart ayları arasındaki her bir örnekleme ayı için ortalama değerler hesaplanmıştır. Bölgelere ait özelliklerin sunulması amacı ile bu zaman aralığını ifade eden ortalama değer, ortalama değer standart sapması, en büyük ve en küçük değer her bir bölge için sunulmuştur.

Her bir parametreye ait aylık ortalama değerler kullanılarak oluşturulan zaman serileri, yerel regresyon yöntemi ile trend, mevsimsel etkiler ve kalıntılar olmak üzere üç bileşene ayrılmıştır (Cleveland vd., 1990). Ardından, mevsimsel etkilerden arındırılmış zaman serileri hesaplanmış ve analizlere bu veri setleri kullanılarak devam edilmiştir. Eğilimlerin yönü ve şiddeti parametrik olmayan Mann-Kendall sıra korelasyonu kullanılarak analiz edilmiştir (Hipel ve McLoad, 1994, kullanılan R kütüphanesi “Kendall”; McLoad, 2011). Lineer trendlerin eğimi Theil-Sen regresyonu kullanılarak hesaplanmış (Sen, 1968), bölgelerin eğimleri %95 güven aralıklarını hesaplamak suretiyle karşılaştırılmıştır (Bronaugh ve Werner, 2013, kullanılan R kütüphanesi “zyp”).



**Şekil 1.** Çalışma alanı ve Türkiye’yi çevreleyen denizlerde belirlenen alt bölgeler; sırasıyla, KD1: batı Karadeniz; KD2: doğu Karadeniz; MD1: doğu Marmara Denizi, MD2: batı Marmara Denizi, ED1: kuzey Ege Denizi, ED2: güney Ege Denizi, AD1: doğu Akdeniz, AD2: batı Akdeniz (Bengil ve Mavruk, 2019, değiştirilerek).

## BULGULAR

Ortalama öfotik derinlik  $23,02 \pm 5,34$  m (MD2) ile  $80,85 \pm 12,12$  m (AD2) arasında değişmiştir. İncelenen zaman dilimi içerisinde en yüksek öfotik derinlik değerinin  $102,61$  m ile Akdeniz’in batısında, en düşük öfotik derinliğin ise  $11,96$  m ile Marmara Denizi’nin batısında olduğu bulunmuştur (Tablo 1). Öfotik derinlik mevsimsel bir takım değişimler de sergilemiştir. Yaz aylarında genellikle en yüksek öfotik derinlik değerleri gözlenirken, en düşük değerlerin ise kış mevsimine denk geldiği görülmüştür.

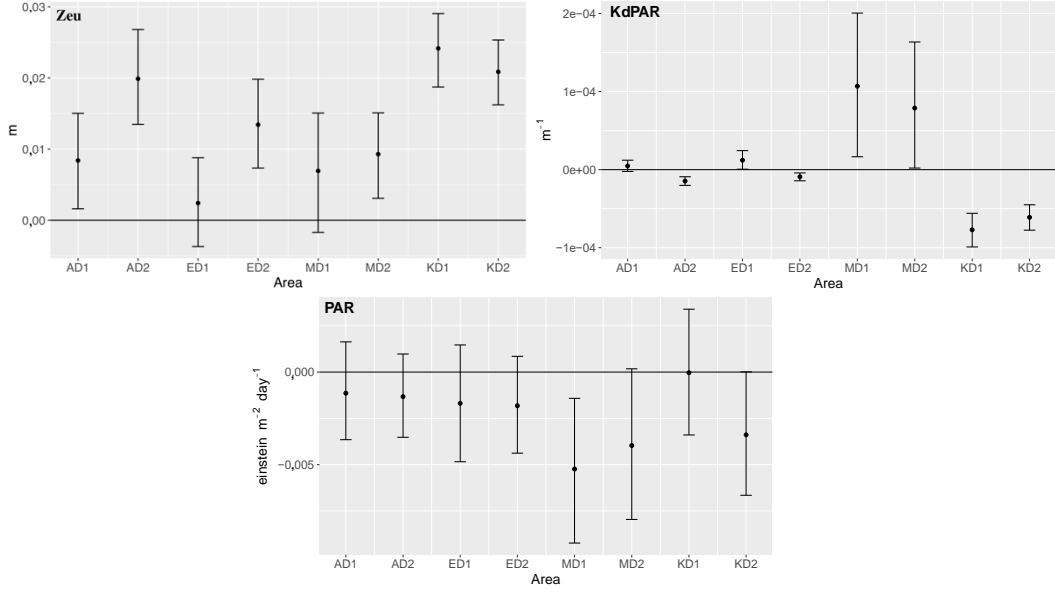
Denizde fotosentez için aktif ışığın sönümlenme katsayısı üzerine yapılan analizler sonucunda Türkiye denizlerinde ortalama KdPAR değerlerinin  $0,07 \pm 0,01$   $m^{-1}$  (AD2 ve ED2) ve  $0,25 \pm 0,07$  (MD2) arasında dağıldığını göstermiştir. Bölgeler bazında gözlenen en yüksek KdPAR değerleri aralığı  $0,09$  (AD2 ve ED2)  $m^{-1}$  ile  $0,53$  (MD1)  $m^{-1}$  arasındadır. En düşük değerlerin dağılım aralığı ise Akdeniz’in batı alt bölgesinde (AD2) görülen  $0,05$   $m^{-1}$  ile Marmara Denizi’nin doğu alt bölgesinde (MD2) gözlenen  $0,15$   $m^{-1}$  arasında olduğu tespit edilmiştir (Tablo 1).

**Tablo 1.** Türkiye denizlerinde çalışma kapsamında incelenen ışıkla ilişkili değişkenlerin özelliklerin tanımlayıcı istatistikleri

<b>Öfotik Derinlik (Zeu) (m)</b>								
	AD1	AD2	ED1	ED2	MD1	MD2	KD1	KD2
<b>Max</b>	97,30	102,61	76,17	98,13	40,31	36,63	48,66	48,76
<b>Min</b>	57,00	59,44	45,14	61,88	11,96	12,53	25,13	27,42
<b>Mean</b>	75,04	80,85	60,66	76,53	25,31	23,02	36,59	37,16
<b>sd</b>	10,69	12,12	8,17	9,49	6,33	5,34	5,23	4,81
<b>Fotosentetik aktif ışımının sönümlenme katsayısı (KdPAR) (m<sup>-1</sup>)</b>								
<b>Max</b>	0,10	0,09	0,14	0,09	0,53	0,49	0,21	0,18
<b>Min</b>	0,06	0,05	0,07	0,06	0,12	0,15	0,11	0,11
<b>Mean</b>	0,08	0,07	0,10	0,07	0,22	0,25	0,14	0,14
<b>sd</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,08	0,07	0,02	0,02
<b>Fotosentetik aktif ışıma (PAR) (einstein/m<sup>2</sup>/day)</b>								
<b>Max</b>	61,76	61,92	61,20	61,97	60,00	60,04	59,95	58,55
<b>Min</b>	11,66	13,83	9,33	12,65	6,56	6,84	6,90	7,90
<b>Mean</b>	38,77	39,22	35,51	38,09	33,03	32,69	31,81	31,57
<b>sd</b>	15,49	15,46	16,75	16,04	16,88	16,68	17,12	15,93

PAR değerleri  $31,57 \pm 15,93$  einstein/m<sup>2</sup>/day (KD2) ve  $39,22 \pm 15,46$  einstein/m<sup>2</sup>/day (AD2) arasında değişmiştir. Tespit edilen en düşük değerlerin dağılımı 6,56 einstein/m<sup>2</sup>/day (MD1) olmakla birlikte, en yüksek değer 61,97 einstein/m<sup>2</sup>/day (ED2) olarak tespit edilmiştir (Tablo 1). PAR mevsime bağlı olarak genellikle, yaz ayları (yüksek) ile kış ayları (düşük) arasında sinüzoidal bir dağılım göstermiştir.

Öfotik derinliğe ait zaman serilerindeki eğilimler değerlendirildiğinde, birbirine komşu alanlar olan kuzey Ege Denizi alt bölgesi ile batı Marmara Denizi alt bölgesi dışında anlamlı pozitif eğilimlerin olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2, Tablo 2). Gözlenen yıllık artış düzeyleri Karadeniz ile batı Akdeniz (AD2) ve doğu Marmara Denizi'nde (MD2) diğer bölgelere nazaran daha yüksektir (Tablo 2). Zaman serisi eğilimler KdPAR için Marmara Denizi ile kuzey Ege'de (ED1) zaman içerisinde artan doğrultuda bir eğilim sergilerken, Karadeniz genelinde anlamlı bir azalış eğilimindedir (Şekil 2, Tablo 2). Fotosentez için aktif ışıma değerlerinin ise Marmara Denizi'nin doğusu (MD2) dışında anlamlı bir eğilim sergilemediği tespit edilmiştir (Şekil 2, Tablo 2).



**Şekil 2.** Mevsimsel etkilerden arındırılmış bölgesel bazlı zaman serilerinin Theil-Sen regresyon eğimleri (Dikey çizgiler %95 güven aralığını göstermektedir).

**Tablo 2.** İncelenen ışıkla ilişkili değişkenlerin Türkiye denizlerindeki zamansal değişimini tanımlayan istatistikler ( $\tau$ :Mann Kendal Thau,  $\alpha$ : kesen,  $b_{sen}$ : Theil Sen regresyonu eğimi, GA: eğimin güven aralığı)

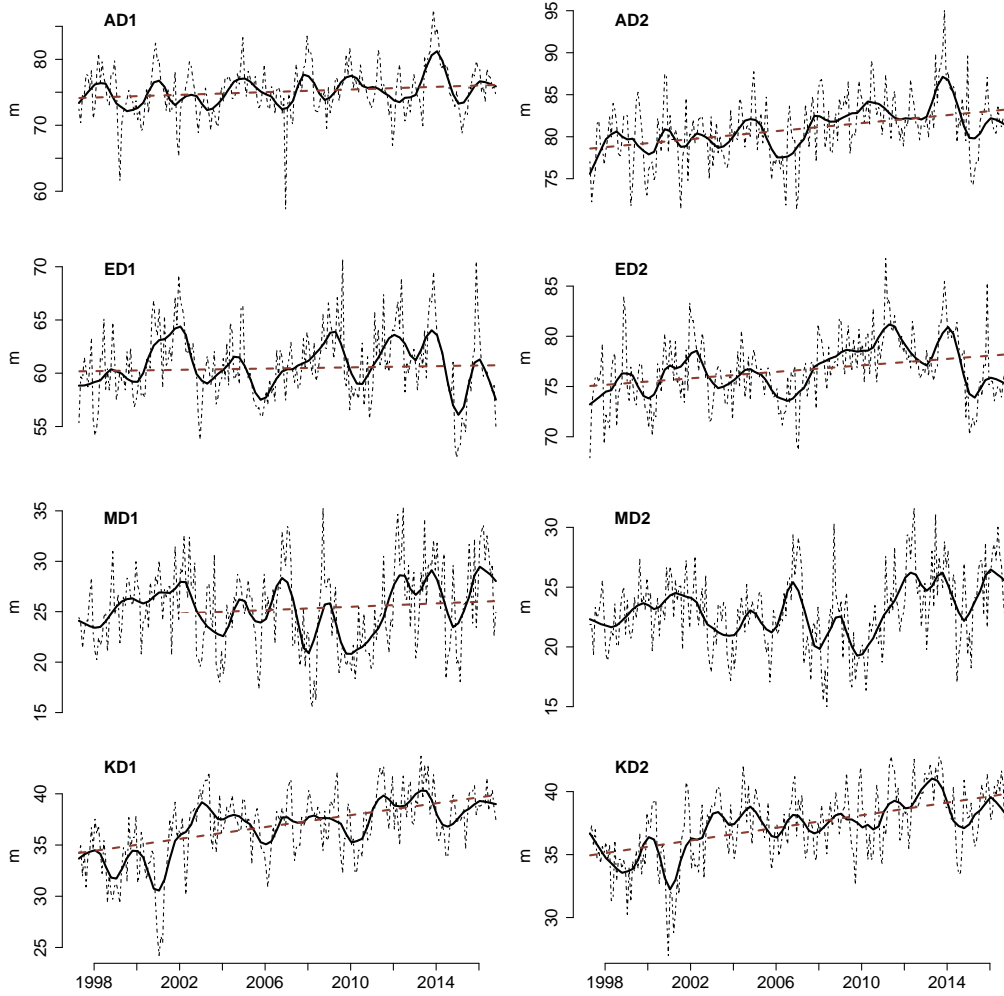
<b>Zeu</b>								
	AD1	AD2	ED1	ED2	MD1	MD2	KD1	KD2
$\tau$	0,11*	0,25***	0,04 <sup>ad</sup>	0,19***	0,07 <sup>ad</sup>	0,13**	0,36***	0,35***
$\alpha$	74,1	78,6	60,2	75,0	24,4	22,0	34,2	34,9
$b_{sen}$	0,008	0,020	0,002	0,013	0,007	0,009	0,024	0,021
$\pm$ %95 GA	0,007	0,007	0,006	0,006	0,008	0,006	0,005	0,004
<b>KdPAR</b>								
$\tau$	0,06 <sup>ad</sup>	-0,22***	0,09*	-0,16***	0,10*	0,09*	-0,30***	-0,30***
$\alpha$	0,07683	0,07096	0,09404	0,07371	0,20302	0,23375	0,14675	0,14120
$b_{sen}$	0,00000	-0,00001	0,00001	-0,00001	0,00011	0,00008	-0,00008	-0,00006
$\pm$ %95 GA	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00009	0,00008	0,00002	0,00002
<b>PAR</b>								
$\tau$	-0,04 <sup>ad</sup>	-0,05 <sup>ad</sup>	-0,05 <sup>ad</sup>	-0,06 <sup>ad</sup>	-0,12**	-0,08 <sup>ad</sup>	0,00 <sup>ad</sup>	-0,09 <sup>ad</sup>
$\alpha$	39,4	39,8	36,1	38,7	34,2	33,7	32,2	32,4
$b_{sen}$	-0,001	-0,001	-0,002	-0,002	-0,005	-0,004	0,000	-0,003
$\pm$ %95 GA	0,003	0,002	0,003	0,003	0,004	0,004	0,003	0,003

ad: anlamlı değil; \*: 0.05 önem seviyesinde anlamlı; \*\*: 0.01 önem seviyesinde anlamlı; \*\*\*: 0.001 önem seviyesinde anlamlı

## TARTIŞMA ve SONUÇ

Deniz çalışmalarında saha verilerinin elde edilmesinin zorluğu ve ışık temelli analizlerde su kolonu boyunca düzenli ölçümlerin yapılması gerekliliğinden dolayı öfotik derinlik gibi birincil üretimle ilişkili değişkenlerde, sıklıkla deneysel biyo-optik yöntemler kullanılmaktadır. Bu değişkenlerin tahmini, genellikle açık deniz su tiplerinde ışığa doğrudan etki yapan, OAM olan klorofil pigmenti üzerinden yapılmaktadır (Morel, 2009). Bununla birlikte, Türkiye deniz alanlarını da kapsayan bölge içerisinde, öfotik derinlik ve değişkenliği konusunda yapılan çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Ediger ve Yılmaz (1996a) tarafından öfotik derinlik Karadeniz'de 28-50 m, Marmara Denizi'nde 15-40 m, Akdeniz'de ise 50-120 m arasında değişim gösterdiği bildirilmiştir. Yılmaz vd. (1998) tarafından bildirildiği üzere, güney Karadeniz için öfotik derinlik dağılımı farklı mevsimlere ve bölgelere bağlı olarak 15-40 m arasında değişim göstermektedir. Benzer şekilde, Marmara Denizi'ni temsilen İstanbul Boğazı çevresinde öfotik derinliğin 15-21 m arasında değiştiği (Yılmaz vd., 1998), Marmara Denizi'nin ortalama öfotik derinliğinin ise 16.3 m olduğu (Yılmaz vd., 2000) bildirilmiştir. Bu çalışmaların değerleri ile karşılaştırıldığında uzaktan algılama görüntüleri ile elde edilmiş değerlerin, saha ölçümlerinin değişim aralıkları ile uyumlu olduğu görülmektedir. Önceki bulgularla benzer

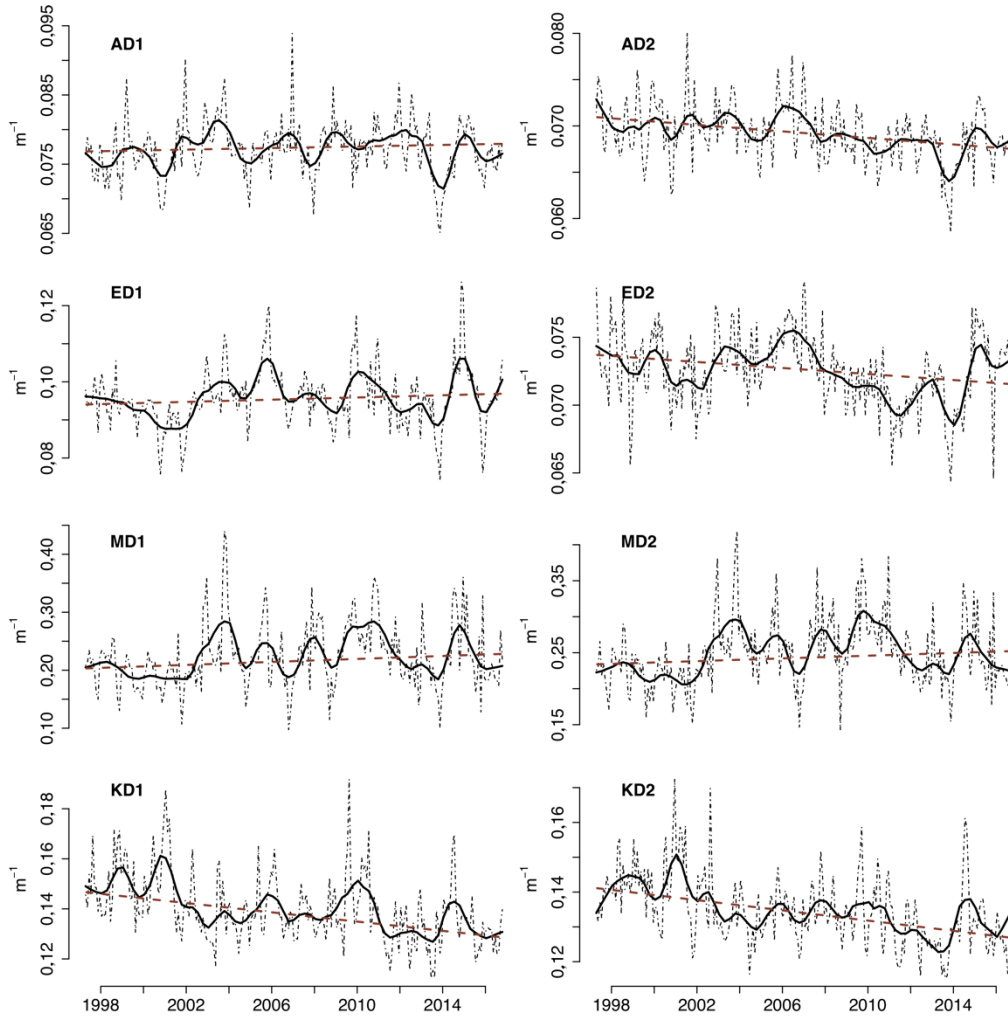
şekilde, Marmara Denizi alt bölgelerinin düşük öfotik derinliğe sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Marmara Denizi'ndeki OAM'lerin önemli bir kısmı karasal partiküllerden oluşmakta (Bengil ve Mavruk, 2018) ve bu partiküller de dar Karadeniz suyu tabakasında dağılım göstermektedirler (Uysal, 2006). Bu durum da ışığın, daha düşük derinliklerde %1 seviyesinin altına düşmesine yol açmaktadır. Akdeniz için yapılan başka bir çalışmada ise 55-95m aralığında öfotik derinlik değerleri rapor edilmiştir (Ediger ve Yılmaz, 1996b). Rodos girdap bölgesinde derinliğin daha dar bir aralıkta (45-80m) olduğu belirlenmiştir (Ediger vd., 1999). Öfotik derinlik üzerine Ege Denizi'nde Ignatiades vd. (2002) tarafından yapılan çalışmada güney ve kuzey Ege Denizi arasında farklılık olduğu bildirilmekle birlikte, tespit ettikleri değerlerin bu çalışmadaki değerlerden oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Her iki çalışmanın ortak vurguladığı sonuç ise kuzey Ege suları ile güney Ege suları arasında farklılık olmasıdır. Bununla birlikte, bu çalışma sonucunda birbirine komşu bölgeler olan ED2 ve AD2, su özellikleri olarak birbirinden çok farklı olmadığı görülmüştür. Bu açıdan bakıldığında Ignatiades vd. (2002) ve Ediger vd. (1999) tarafından gerçekleştirilen her iki çalışmanın Rodos girdap bölgesine yakın olmakla birlikte birbirinden oldukça farklı derinlik değerleri sunduğu görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen öfotik derinlik aralığı ise önceden sunulan değerlerin arasında yer almaktadır. Bu durumun, yapılan çalışmaların belirli bir dönemi kapsamaması ve bu kısıtlı zaman aralığına özgü biyojekimyasal özelliklerden kaynaklı farklılıkları yansıtabileceği sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada bulunan bu tanımlayıcı aralığın, kesintisiz uzun bir zaman serisi veri setinden elde edilmesinden dolayı, bölgeyi daha kapsamlı şekilde temsil edeceği düşünülmektedir.



Şekil 3. Öfotik derinliğin (Zeu) mevsim etkilerinden arındırılmış zaman serisi (kesikli ve noktalı) ile lineer (kesikli çizgi) ve lineer olmayan (düz çizgi) eğilimi.

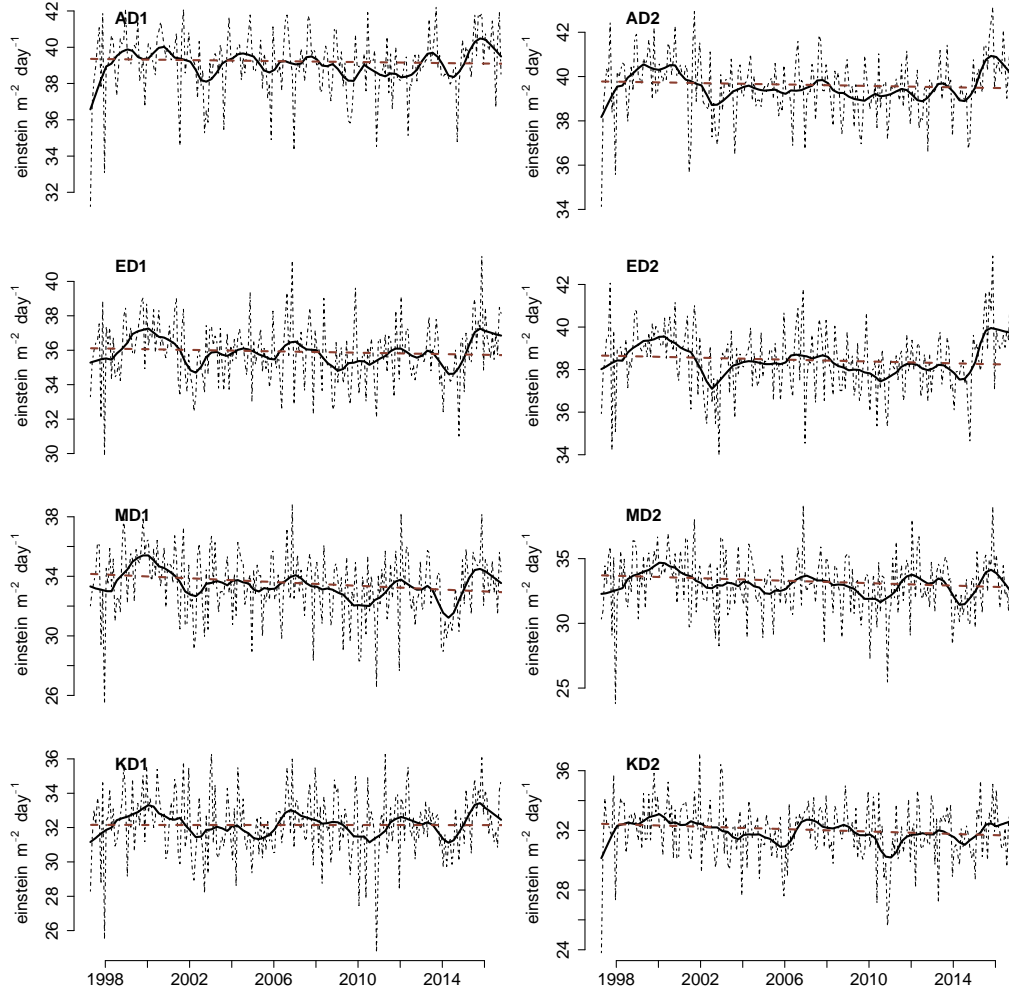
Denizde fotosentez için aktif ışığın sönümlenme katsayısı (KdPAR) üzerine yapılan çalışmalar öfotik derinlik çalışmalarına nazaran daha kısıtlıdır. Ediger ve Yılmaz (1996a) Türkiye'yi çevreleyen denizlerde KdPAR değerlerinin Karadeniz'de  $0,050 \text{ m}^{-1} - 0,160 \text{ m}^{-1}$ , Marmara Denizi'nde  $0,070 \text{ m}^{-1} - 0,352 \text{ m}^{-1}$  ve Akdeniz'de  $0,029 \text{ m}^{-1} - 0,079 \text{ m}^{-1}$  aralığında olduğunu bildirmiştir. Ignatiades vd. (2002) ise KdPAR değerlerinin Ege Denizi'nin kuzey ve güneyinde sırasıyla,  $0,051 \text{ m}^{-1} - 0,055 \text{ m}^{-1}$  ve  $0,037 \text{ m}^{-1} - 0,040 \text{ m}^{-1}$  arasında olduğunu bildirmiştir. Mevcut çalışmaların sonuçları kıyaslandığında, farklı çalışmaların benzer bölgesel farklılıklara işaret ettiği gözlenmekle birlikte, bu çalışmanın veri setini oluşturan uydu görüntülerinden elde edilen sonuçların, sistematik bir şekilde daha yüksek değerler verdiği görülmüştür. Konu hakkında yapılan çalışmaların azlığı ve mevcut çalışmaların da kısıtlı zaman aralıklarını temsil etmesi bu farklılıkların muhtemel nedeni olarak değerlendirilmiştir. Buna rağmen, uzaktan algılamanın sağladığı yüksek alan ve zamansal çözünürlük, bu çalışmada kullanılan veri setini, deneysel biyo-optik modeller ile üretilen tahminlerden avantajlı kılmaktadır.

Öfotik derinlik ve KdPAR değişkenlerinin zaman serisindeki zıt yönlü artış ve azalış eğimleri, önemli ipuçları vermektedir. Özellikle, Karadeniz'deki yüksek öfotik derinlik artış eğiliminin (Şekil 3) direkt olarak KdPAR değerlerinin azalma eğiliminden (Şekil 4) kaynaklandığını işaret etmektedir. Bu durumun temelini OAM kompozisyonunun ve miktarlarının değişiminden kaynaklı olabileceği düşünülmektedir (Bengil ve Mavruk, 2018). Benzer ilişkinin Marmara Denizi için anlamlı olmamasının nedeni ise dar su kolonuna sıkışmış olan OAM artışının, öfotik derinlik üzerinde tabakalı etki yaratması olabilir.



Şekil 4. Denizde fotosentez için aktif ışığın sönümlenme katsayısının (KdPAR) mevsim etkilerinden arındırılmış zaman serisi (kesikli ve noktali) ile lineer (kesikli çizgi) ve lineer olmayan (düz çizgi) eğilimi

PAR direkt olarak iklim ve atmosferle ilgili çalışmaların odak konusu olsa da, birincil üretimin enerji kaynağını oluşturmasından dolayı deniz araştırmaları için de önemli bir parametredir. PAR fiziksel-biyolojik modeller için önemli bir girdi oluşturmaktadır (Hamza vd., 2003; Bengil vd., 2016). Bu amaçla, Türkiye denizlerinin coğrafi konumları itibarıyla, deniz alanlarına ait değerlerin, istenilen zaman ve mekân ölçeğinde belirlenmesi bu çalışmada kullanılan veri seti ile mümkün olmuştur. Bulgular, denizlerdeki değişimin görünür ışıktaki artış ya da azalıştan öte, deniz içindeki unsurların dinamik yapılarından kaynaklandığını göstermiştir. Zaman serisi analizleri yalnızca MD1 bölgesinde azalış eğimi olduğunu göstermiştir (Şekil 5). Bununla birlikte, bölgedeki bu azalışın oldukça düşük bir değerde olduğu dikkat çekmektedir. Bu durum rastlantısal olarak sistematik atmosferik koşulların etkisi ile olabileceği gibi istatistiksel yaklaşımdan kaynaklı da ortaya çıkmış olabilir.



**Şekil 5.** Fotosentez için aktif ışımının (PAR) mevsim etkilerinden arındırılmış zaman serisi (kesikli ve noktalı) ile linear (kesikli çizgi) ve linear olmayan (düz çizgi) eğilimi.

Sonuç olarak, bu bulgular ışığında Türkiye deniz alanlarında ışık yoğunluğunun değişiklik göstermediği, deniz suyundaki OAM'lerin ışık etkileşimindeki değişimleri belirlediği görülmektedir. Biyo-jeokimyasal çalışmalarda farklı özelliklere sahip deniz alanları için geliştirilmiş deneysel biyo-optik modellerden elde edilen parametreler yerine, önceki çalışmaların bulguları ile uyumlu olduğu tespit edilmiş olan uzaktan algılama yöntemleri ile elde edilen parametrelerin kullanılmasının uygun olacağı düşünülmektedir. Ayrıca, gerçekleştirilecek fiziksel-biyolojik model çalışmalarında performansı geliştirmek amacıyla, birincil üretimin belirlenmesinde önemli olan, deniz ortamına giren görünür ışık enerjisi için gerekli parametrelerin (PAR, Kd, Zeu gibi), belirsizliği yüksek deneysel ilişkilerden türetilmesi yerine uzaktan algılama ile elde edilerek girdi olarak ya da asimilasyon amaçlı kullanımı da önem arz etmektedir. Bu yöntemin bir diğer avantajı ise ele alınan bölgelerde, herhangi



bir coğrafi konuma ait parametre elde edilebilmesinin yanında, 1 km<sup>2</sup> gibi oldukça yüksek çözünürlüğe sahip olduğundan, detaylı incelemelere olanak sağlamasıdır. Bu sayede, yapılan ölçümlerdeki farklılıkların yerel ölçekte fiziksel, kimyasal ya da biyolojik faktörlerden etkilenip etkilenmediğini de saptamak olanaklı hale gelmektedir. Bununla birlikte, düşük belirsizlik gerektiren hassas çalışmalarda uzaktan algılama yöntemleri ile elde edilen veri setlerinin kullanımının, yapılacak doğruluk analizlerine bağlı olacağı da unutulmamalıdır.

## KAYNAKLAR

- Akpınar, A., Yılmaz, E., Fach, B. A., & Salihoğlu, B. (2016). Physical oceanography of the Eastern Mediterranean Sea. In: Turan, C., Salihoğlu, B., Özgür Özbek, E., Öztürk, B. (Eds.), *The Turkish Part of the Mediterranean Sea; Marine Biodiversity, Fisheries, Conservation and Governance*. Turkish Marine Research Foundation (TUDAV), Turkish Marine Foundation, İstanbul, 1-14.
- Bengil, F., & Mavruk, S. (2018). Bio-optical trends of seas around Turkey: An assessment of the spatial and temporal variability. *Oceanologia*, 60(4) <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2018.03.004>.
- Bengil, F., & Mavruk, S. (2019). Warming in Turkish seas: comparative multidecadal assessment. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 19(1), 51-57 [http://doi.org/10.4194/1303-2712-v19\\_1\\_06](http://doi.org/10.4194/1303-2712-v19_1_06)
- Bengil, F., McKee, D., Beşiktepe, S. T., Sanjuan Calzado, V., & Trees, C. (2016). A bio-optical model for integration into ecosystem models for the Ligurian Sea. *Progress in Oceanography*, 149, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2016.10.007>.
- Beşiktepe, S., T., Sur, H. I., Özsoy, E., Latif, M. A., Oğuz, T., & Ünlüata, Ü. (1994). The circulation and hydrography of the Marmara Sea. *Progress in Oceanography*, 34(4), 285-334, [http://dx.doi.org/10.1016/0079-6611\(94\)90018-3](http://dx.doi.org/10.1016/0079-6611(94)90018-3).
- Bronaugh, D., & Werner, A. (2013). zyp: Zhang + Yue-Pilon trends package.
- Cleveland, R. B., Cleveland, W.S., McRae, J.E., & Terpenning, I. (1990). STL: a seasonal-trend decomposition procedure based on loess. *Journal of Official Statistics*, 6(1), 3-73.
- Ediger, D., & Yılmaz, A. (1996a). Variability of light transparency in physically and biochemically different water masses: Turkish Seas. *Fresenius Environmental Bulletin*, 5(3), 133-140.
- Ediger, D., & Yılmaz, A. (1996b). Characteristics of deep chlorophyll maximum in the Northeastern Mediterranean with respect to environmental conditions. *Journal of Marine Systems*, 9, 291–303. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0924-7963\(96\)00044-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0924-7963(96)00044-9).
- Ediger, D., Tuğrul, S., Polat, S. C., Yılmaz, A., & Salihoğlu, I. (1999). Abundance and elemental composition of particulate matter in the upper layer of north-eastern Mediterranean. P. Malanotte-Rizzoli and V.N. Eremeev (eds), *The Eastern Mediterranean as a Laboratory Basin for the Assessment of Contrasting Ecosystems*, 241-266. 1999 Kluwer Academic Publishers, Printed in Netherlands.
- GlobColor (2017). GlobColor Product User Guide. GlobColor internet sitesinden, [http://www.globcolour.info/CDR\\_Docs/GlobCOLOUR\\_PUG.pdf](http://www.globcolour.info/CDR_Docs/GlobCOLOUR_PUG.pdf) adresinden alınmıştır.
- Hamza, W., Ennet, P., Tamsalu, R., & Zalesny, V. (2003). *Aquatic Ecology*, 37, 307. <https://doi.org/10.1023/A:1025836929341>.
- Hipel, K. W., & McLeod, A. I. (1994). Time Series Modelling of Water Resources and Environmental Systems, Elsevier, Amsterdam, 1013 pp.
- Ignatiades, L., Psarra, S., Zervakis, V., Pagou, K., Souvermezoglou, E., Assimakopoulou, G., & Gotsis-Skretas, O. (2002). Phytoplankton size-based dynamics in the Aegean Sea (Eastern Mediterranean). *Journal of Marine Systems*, 36(1-2), 11-28, [http://dx.doi.org/10.1016/S0924-7963\(02\)00132-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0924-7963(02)00132-X).
- Kirk, J. T. O. (2011). *Light and photosynthesis in aquatic ecosystems*. Cambridge University Press (3rd ed.). Cambridge: Cambridge University Press. [http://doi.org/10.1016/0304-3770\(95\)90010-1](http://doi.org/10.1016/0304-3770(95)90010-1)
- Lee, Z., A. Weidemann, J. Kindle, R. Arnone, K. L. Carder, and C. Davis (2007). Euphotic zone depth: Its derivation and implication to ocean-color remote sensing, *Journal of Geophysical Research*, 112, C03009, doi:10.1029/2006JC003802
- Maritorena, S., & Siegel, D. A. (2005). Consistent merging of satellite ocean color data sets using a bio-optical model. *Remote Sensing of Environment*, 94(4), 429-440, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2004.08.014>.
- McLeod, A. I. (2011). Kendall: Kendall Rank Correlation and Mann- Kendall Trend Test.
- Morel, A. (2009). Are the empirical relationships describing the bio-optical properties of case 1 waters consistent and internally compatible? *Journal of Geophysical Research*, 114, C01016, doi:10.1029/2008JC004803.
- Oğuz, T., & Gilbert, D. (2007). Abrupt transitions of the top-down controlled Black Sea pelagic ecosystem during 1960-2000: evidence for regime-shifts under strong fishery exploitation and nutrient enrichment modulated by climate-induced variations. *Deep-Sea Research Part 1: Oceanographic Research Papers*, 54 (2), 220-242, <http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr.2006.09.010>.
- Oğuz, T., Tuğrul, S., Kıdeys, A., Ediger, V., & Kubilay, N. (2004). Physical and biogeochemical characteristics of the Black Sea. In: Robinson, A.R., Brink, H.K. (Eds.), *The Sea. Harvard Univ. Press*, 1331-1369.

- Örek, H., 2007. Bio-optical Characteristics of Turkish Seas. Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Pohlert, T. (2016). Package 'Trend': Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection. R Package. 26. , <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.2633.4243>.
- R Core Team (2016). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria Available from: <http://www.R-project.org/> (accessed 15.11.16).
- Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression based on Kendall's Tau. *Journal of American Statistical Association*, 63, 1379-1389.
- Tzortziou, M., Zeri, C., Dimitriou, E., Ding, Y., Jaffé, R., Anagnostou, E., Pitta, E., & Mentzafou, A. (2015). Colored dissolved organic matter dynamics and anthropogenic influences in a major trans-boundary river and its coastal wetland. *Limnology and Oceanography*, 60(4), 1222-1240, <http://dx.doi.org/10.1002/lno.10092>.
- Uysal, Z. (2006). Vertical distribution of marine cyanobacteria *Synechococcus* spp. in the Black, Marmara, Aegean, and eastern Mediterranean seas. *Deep-Sea Research Part II Topical Studies in Oceanography*, 53, 1976-1987. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2006.03.016>
- Yalçın, B., Artüz, M. L., Pavlidou, A., Çubuk, S., & Dassenakis, M. (2017). Nutrient dynamics and eutrophication in the Sea of Marmara: data from recent oceanographic research. *Science of the Total Environment*, 601-602, 405-424, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.179>.
- Yılmaz, A. (2002). Türkiye Denizlerinin Biyojeokimyası: Dağılımlar ve Dönüşümler. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 26, 219-235
- Yılmaz, A., Tuğrul, S. Polat, S. C, Ediger, D., Çoban, Y., & Morkoç, E. (1998). On the production, elemental composition (C, N,P) and distribution of photosynthetic organic matter in the Southern Black Sea. *Hydrobiologia*, 363, 141-156.
- Yılmaz, A., Yayla, M. K., Yıldız Y., & Tuğrul S. (2000). Primary production, availability/uptake of nutrients and photo-adaptation of phytoplankton in three interconnected regional seas: Black Sea, Sea of Marmara and Eastern Mediterranean. "JGOFs, Open Science Conference, Ocean Biogeochemistry: A New Paradigm", p.76.