

AKDENİZ VE MARMARA DENİZİ'NDE IŞIKLI TABAKANIN İNCELENMESİ UZERİNE BİR ÇALIŞMA

Dilek Ediger, Çolpan Polat

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Enstitüsü
Erdemli, MERSİN

ÖZET

Akdeniz ve Marmara Denizi optik açıdan incelendiğinde farklı özelliklere sahiptirler. 1986 yılından beri bu denizlerimizde ODTÜ-Deniz Bilimleri Enstitüsü'ne ait R/V Bilim gemisi ile yapılan mevsimsel saha çalışmalarında elde edilen ışık, Secchi disk, klorofil-a bulguları fiziksel bulgularla birlikte değerlendirilmiştir.

Oligotrofik özelliğe sahip olan Akdeniz'de su kolonundaki ışık geçirgenliği yüksektir. Bu nedenle Secchi disk derinliği fazla (28-45 m) ışık sönüm katsayısı düşüktür ($0.03-0.08 \text{ m}^{-1}$) ve ışığın yüzeye oranla %1'e düştüğü derinlik ortalama 100 metredir. Akdeniz'de ışığın su kolonundaki geçirgenliği mevsimsel tabakalaşmadan etkilenmemektedir. Akdeniz'de bütün bir yıl boyunca birincil üretim için gerekli olan ışık miktarı su kolonu boyunca yeterlidir. Oligotrofik suların genel özelliği olan derin klorofil maksimumu çalışma yapılan alanda yaygın olarak gözlenmiştir.

Marmara Denizi'nde üstte Karadeniz orijinli az yoğun sularla, altta Akdeniz orijinli daha yoğun suların neden olduğu sürekli bir tabakalaşma vardır. Bu tabakalaşmadan dolayı optik özellikleri Akdeniz'e göre tamamen farklıdır. Işık geçirgenliği az, buna bağlı olarak da Secchi disk derinliği (8-14 m) düşüktür. Yaklaşık 20-30 metre derinlikte gözlenen yoğunluk tabakalaşması (piknoklin), yüzey ışığının %1'e düştüğü derinlik ile çakışmaktadır. Işık sönüm katsayısı ise yüksektir ($0.07-0.35 \text{ m}^{-1}$). Marmara Denizi'ndeki birincil üretim Akdeniz'in aksine ince bir karışım tabakası içine sıkışmıştır ve Akdeniz'deki üretime oranla yüksek bir seviyededir. Klorofil-

a'nın düşey dağılımındaki maksimum her zaman haloklin tabakasının üzerinde yer alır.

Anahtar kelimeler: Secchi disk, ışık geçirgenliği, sönüm katsayısı, klorofil-a, piknoklin, oligotrofik

SUMMARY

Mediterranean Sea and the Sea of Marmara show quite significant differences with respect to their optical properties. Light penetration characteristics of these seas were investigated with Secchi disc, light and chlorophyll-a interpreted with the physical data. These parameters have been monitored during the seasonal cruises of R/V Bilim since 1986.

Mediterranean Sea is one of the most transparent body of water due to its oligotrophic character. Therefore, Secchi disc depth is high (28-45 m), diffuse attenuation coefficient is low (0.03-0.08 m) and compensation depth is approximately 100m. The penetration of light in the water column isn't effected from seasonal pycnocline. Light is enough to maintain the photosynthesis in the water column throughout the year. The feature of Deep Chlorophyll Maximum has characteristic shape in oligotrophic waters where the same phenomena has also been observed in the study area.

The Sea of Marmara so has its characteristic permanent stratification which separates the highly saline Mediterranean waters of the lower layer and the less saline waters of Black Sea origine in the upper layer. So that the optical properties of the Sea of Marmara has shown quite different from Mediterranean sea.

As a result of the low light penetration of the water column, the Secchi disc depth is between 8-14 m. In the Sea of Marmara 1% of surface light depth is coincident with the depth of pycnocline which is approximately 20-30m. Diffuse attenuation coefficient is also high (0.07-0.25 m^{-1}).

In contrast to the Mediterranean Sea the productive zone in the Sea of Marmara limited to the narrower depth and primary production is relatively higher than Mediterranean. Maximum chlorophyll-a values of the water column are found mostly at depths above the pycnocline.

Key words: Secchi disc, light penetration, attenuation coefficient, chlorophyll-a, pycnocline, oligotrophic

Su kolonundaki ışık geçirgenliği genellikle bulanıklılık, öfotik derinlik ve biyolojik aktivite hakkında bilgi sağlamak için kullanılır.

Bitkisel kökenli ve tek hücreli organizmalardan olan fitoplanktonlar denizlerdeki besin zincirinin ilk halkasını oluşturdıklarından dolayı çok önemlidirler. Ayrıca diğer deniz canlıları için temel besin kaynağıdırlar. Birincil üreticiler olarak bilinen fitoplanktonlar sahip oldukları klorofil pigmenti sayesinde güneşin ışık enerjisini kullanarak suda enerjice zengin bileşikleri sentezleyebilirler. Fotosentez, dünya üzerindeki yaşamı olası kılan enerjiyi güneşten sağlayan çok önemli bir olaydır. Deniz ortamındaki besin tuzları, ışık, su kolonundaki yoğunluk tabakalaşması ve zooplankton yoğunluğu fitoplankton yoğunluğunu etkileyen önemli faktörlerdendir.

Deniz yüzeyinden %1 ışık şiddeti derinliğine kadar olan tabaka öfotik tabaka olarak adlandırılır. %1 ışık şiddeti derinliği bu tabakanın alt sınırını belirler ve bu derinlikte gros fotosentez respirasyonla denge durumundadır (Parsons ve diğ., 1977).

Derin Klorofil Maksimumu (DKM) oligotrofik suların genel bir karakteristiği olduğu ve bu sularda fotosentetik aktiviteyi pikoplankton denilen 3 μ m den küçük hatta 1 μ m lik organizmaların oluşturduğu çeşitli literatürlerde açıklanmıştır (Waterbury ve diğ., 1979, Li ve diğ., 1983, Cullen, 1982). Doğu Akdeniz'de DKM'nin varlığı İsrail'li araştırmacılar tarafındanda çeşitli yayınlarla açıklanmıştır (Berman, 1984 ve 1986) Kuzeydoğu Akdeniz'de de 1986 yılından beri yapılan çalışmalarda DKM yaygın bir şekilde gözlenmiştir.

Bu çalışmada, ışık geçirgenliği ve Secchi disk derinliği ölçümleri aynı bölgedeki klorofil-a konsantrasyonları ve yoğunluk tabakalaşması ile birlikte incelenmiştir. Kuzeydoğu Akdeniz'de ve Marmara Denizi'nde kıyı ve açık istasyonlarda ölçülen ışık değerleri ilk kez bu çalışmada verilmiştir.

Berman'nın (1984) bulgularına göre, Akdeniz'de özellikle İsrail'in açık sularının ışık geçirgenliği diğer dünya denizlerine göre fazladır ve Secchi disk derinlik aralığı 33-46 metre olup ışık sönüm katsayısının aralığı $0.031-0.046 \text{ m}^{-1}$ 'dir. Megard ve Berman (1989) son çalışmalarında Doğu Akdeniz'in pelajik sularının ışık geçirgenliğinin diğer dünya denizlerine göre daha fazla olduğunu ve fitoplankton yoğunluğunun daha az olduğunu göstermişlerdir. Aynı çalışmada çözünmüş organik maddenin, karasal kaynaklı maddelerin ve algal kökenli olmayan diğer maddelerin ışık geçirgenliğine etkilerinin az olduğu gösterilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada sunulan veriler Şekil 1'de görülen bölgelerde Bilim gemisiyle 1986-1991 yılları arasında mevsimsel aralıklarla yapılan ölçümlerden elde edilmiştir. Optik özellikleri bakımından birbirinden farklı yapılar sergileyen Kuzeydoğu Akdeniz ve Marmara Deniz'i ışık geçirgenlikleri bakımından karşılaştırılmışlardır. Bu amaçla su kolonundaki ışık geçirgenliği, selenyum fotosel kullanılarak ölçülmüştür. Işık sönüm katsayıları (K_d), su kolonu boyunca elde edilen verilerle aşağıdaki formülün kullanılmasıyla hesaplanmıştır.

$$K_d (\text{m}^{-1}) = \frac{1}{z_1 - z_2} \ln \frac{E_{z_2}}{E_{z_1}} \quad (\text{Jerlov, 1968})$$

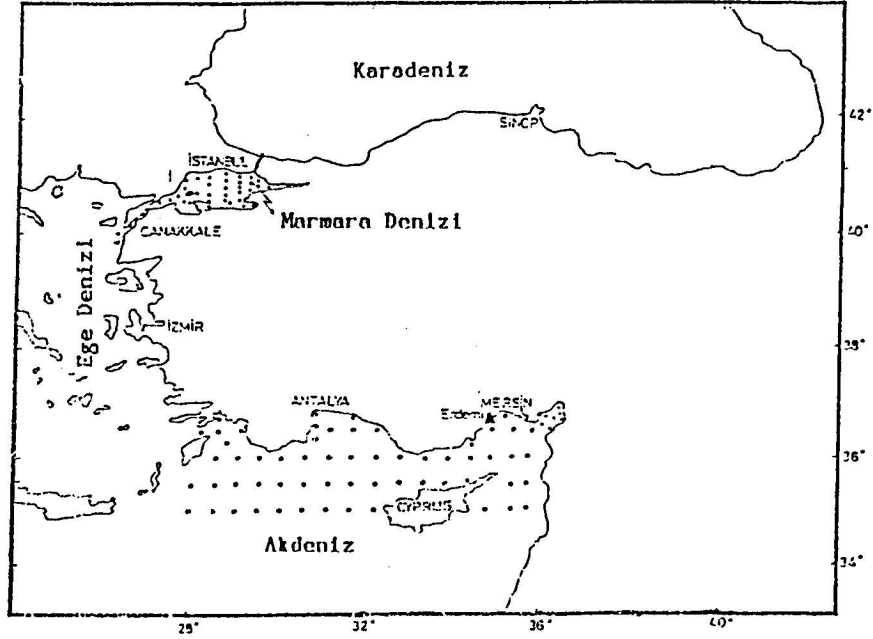
E: z derinliğindeki ışık şiddeti

z: derinlik, m

Secchi disk derinliği, 30 cm çapındaki beyaz bir disk kullanılarak ölçülmüştür. İstenilen derinlikler deki su örnekleri Nansen şişeleri ve Rozette su örnekleyicisi kullanılarak alınmıştır. Klorofil analizi için alınan sular $0.45 \mu\text{m}$ gözenekli membran filtrelerden süzülerek analiz edilene kadar buzlukta saklanmıştır.

Klorofil-a ölçümleri, Strickland ve Parsons(1972) de verilen standart florometrik metod kullanılarak yapılmıştır. Kalibrasyon spektrofotometrik ölçümlerle ve/veya sigma klorofil-a standartları kullanılarak yapılmıştır.

Su kolonunun fiziksel özellikleri, Sea-Bird Model 9 CTD probu kullanılarak elde edilmiştir.



Sekil 1. Çalışma alanlarını gösterir harita.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Kuzeydoğu Akdeniz

Giriş bölümünde değinildiği gibi Kuzeydoğu Akdeniz'in pelajik sularında yapılan çalışmalarda, Doğu Akdeniz'de özellikle İsrail'in pelajik sularında gözlediği partikül konsantrasyonunun az, ışık geçirgenliğinin yüksek olması gibi, özellikler gözlenmiştir. Tablo 1'den görüleceği gibi Kuzeydoğu Akdeniz'in pelajik sularında %1 ışık şiddeti derinlik aralığı 50-120 metre olup ortalama 106 m'dir. Elde edilen ışık sönüm katsayısı değerleri Tablo 2'de sunulmuştur. En düşük ışık sönüm katsayısı (K_d) 0.029 m^{-1} olarak hesaplanmıştır ve bu değer Smith ve Baker'ın(1978)'de yaptığı çalışmada oligotrofik sular için verdiği değere çok yakındır. Tablo 2 de verildiği gibi Kuzeydoğu Akdeniz için ortalama ışık sönüm katsayısı

$0.047 \pm 0.015 \text{ m}^{-1}$ 'dir, bu değer Berman'ın(1984)'de Güneydoğu Akdeniz için verdiği ($0.031-0.046 \text{ m}^{-1}$) değerlerle karşılaştırılabilir durumdadır. Megard ve Berman'ın (1989)'da aynı bölge için verdiği değerler $0.034-0.075 \text{ m}^{-1}$ aralığındadır. Tablo 3 de görüldüğü gibi Secchi disc derinlik aralığı 28-45 metredir.

Tablo 1. Yüzeye Oranla % 1 Işık Şiddeti Derinlikleri (m)

	MARMARA DENİZİ	KUZEYDOĞU AKDENİZ
Aralık	15-40	50-120
Ortalama	25 ± 6.9	106 ± 9

Tablo 2. Işık Sönüm Katsayıları (Kd m^{-1})

	MARMARA DENİZİ	KUZEYDOĞU AKDENİZ
Aralık	0.070-0.352	0.029-0.079
Ortalama	0.135 ± 0.045	0.047 ± 0.015

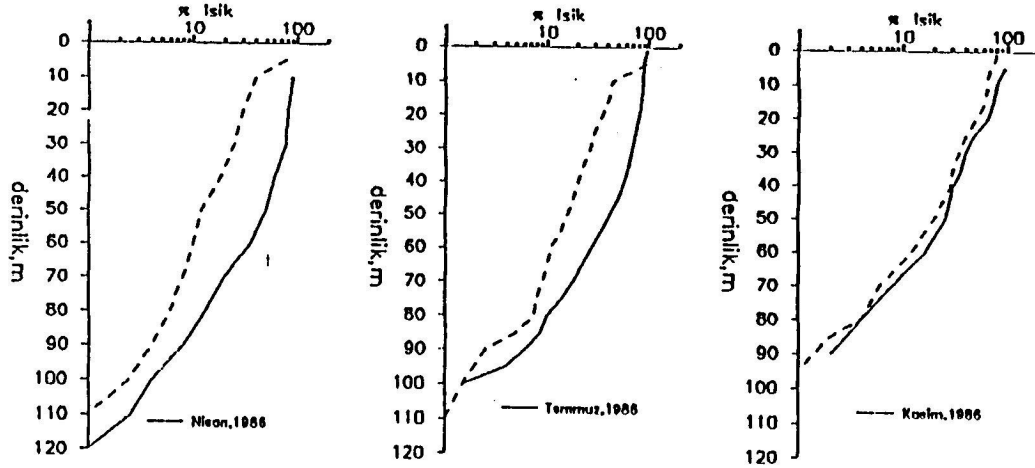
Tablo 3. Secchi Disk Derinlikleri (m)

	MARMARA DENİZİ	KUZEYDOĞU AKDENİZ
Aralık	8-14	28-45
Ortalama	9 ± 3	38 ± 4

Işık geçirgenliğinin derinliğe göre değişimini gösteren birkaç örnek Şekil 2'de verilmiştir. 1986 Nisan Temmuz ve Kasım aylarından seçilen örneklerde yüzey ışığının %1'e düştüğü derinlikler 90-120 m aralığındadır. Kuzeydoğu Akdeniz'de 1986-1991 yılları arasında ODTÜ-DBE tarafından yapılan çalışmalarda bölgede siklon ve anti-siklon döngülerin varlığı saptanmıştır. Siklon bölgelerin en önemli özelliği besin tuzları bakımından daha zengin olan alt suların ışıklı yüzey sularına taşınmasıdır. Buna etki eden bir diğer faktör de kış karışım koşullarıdır. Anti-siklonda durum tersine olmaktadır ve yüzey suları derinlere doğru çökmektedir. Bu olaydan dolayı siklon bölgelerinde besin tuzlarının miktarı üst su kolonunda artmakta bu da bu bölgelerde fitoplankton yoğunluğunun artmasına neden

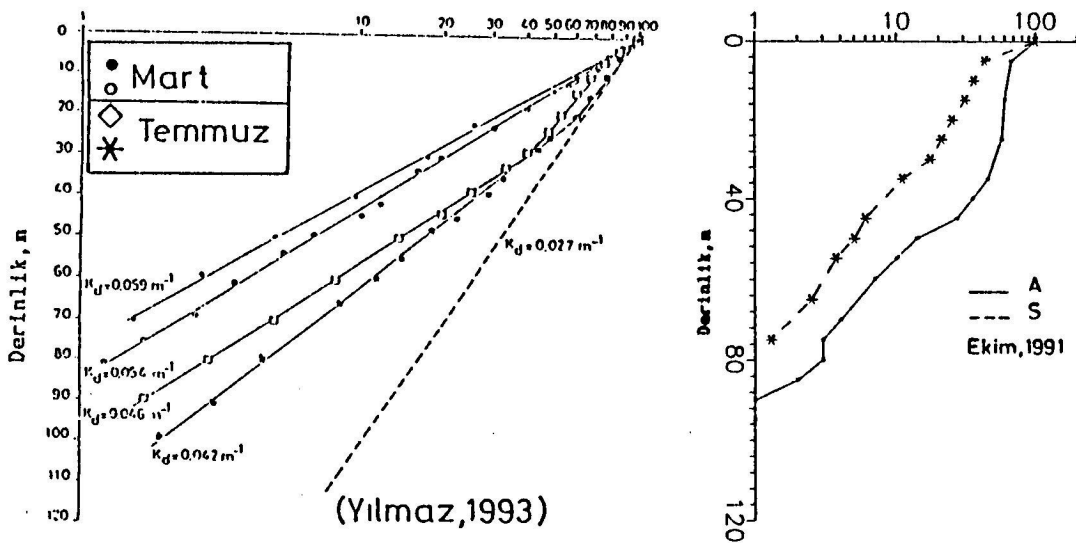
olmaktadır. Bu çalışmada, bu olay klorofil ve ışık geçirgenliği değerleri ile desteklenmiştir. (Şekil 3 ve 4b)

Yılmaz ve diğ., (1993) çalışmasına göre Temmuz 1988'de ölçüm yapılan bir siklon ve bir anti-siklon bölgesinde %1 ışık şiddeti derinlikleri karşılaştırıldığında siklon bölgede bu



Şekil 2. Akdenizde % ışık şiddetinin derinliğe göre değişimi.

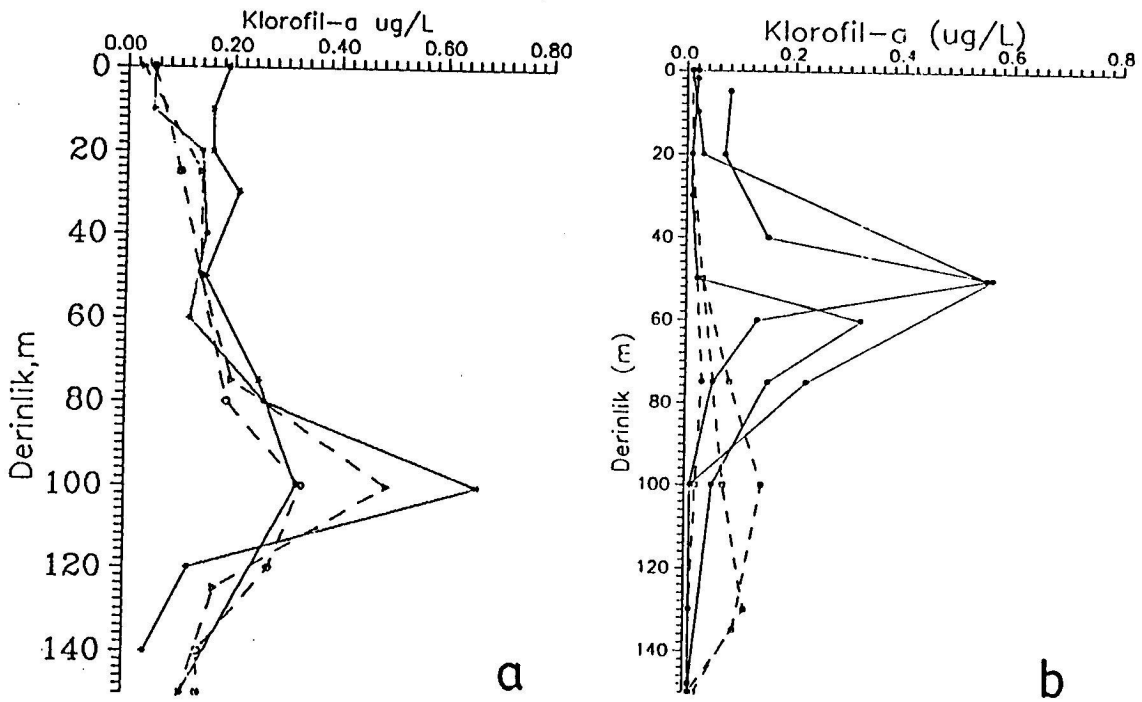
derinliğin 100 m, anti-siklon bölgede ise 115 m olduğu gözlenmiştir. Şekil 3 den, Mart 1989'da siklon ve anti-siklonlarda sırasıyla bu derinliğin 75 ve 85 m, Ekim 1991'de de 80 ve 100 m olduğu gözlenmiştir bunun nedeni siklon bölgelerde üretimin fazla olması bunda ışığın absorblanmasına neden olmasıdır. Şekil 3 aynı zamanda ışıklı tabakanın kış mevsiminde % ışık şiddeti der.



Şekil 3. Akdenizde siklon ve antisisiklon bölgelerde derinliğe göre ışık değişimi.

daha dar, yazın ise daha derin olduğunu göstermektedir.

Klorofil-a konsantrasyonunun derinliğe göre değişimi Şekil 4'de verilmiştir. oligotrofik suların genel özelliği olan Derin Klorofil Maksimumu (DKM) çalışılan bölgede yaygın bir şekilde gözlenmiştir. Şekil 4b'den görüldüğü gibi siklon bölgede klorofil-a konsantrasyonu daha yüksektir, ve derin klorofil maksimumu daha yukarıda yer almaktadır. Bunun nedeni bu bölgede karışım nedeniyle besin tuzlarının yukarı derinliklere pompalanmasıdır. Klorofil maksimumunun derinliği bölgelere göre değişmekle birlikte ortalama olarak 100 metredir ve mevsimsel termoklinden etkilenmemektedir. Tablo 4'den görüldüğü gibi DKM termoklin derinliğinin altında yer almaktadır. Oligotrofik suların bu genel özelliği (DKM) ışıklı tabakanın alt sınırında fitoplankton yoğunluğunun artması ile birlikte, bu artıstan bağımsız olarak birim hücre başına klorofil miktarının artmasından kaynaklanmaktadır. (Li ve Wood, 1988).



Şekil 4. a: Akdenizde klorofil-a konsantrasyonunun derinliğe göre değişimi. b: Akdenizde siklon ve anti-siklon bölgede klorofil-a konsantrasyonunun derinliğe göre değişimi.

Kuzeydoğu Akdeniz'de fitoplankton türleri tanımlamaları ve sayımları doğrultusundaki çalışmalara ait sonuçlar henüz yeterli düzeyde bulgu bazına erişilmediği için bu makale

kapsamına alınmamıştır. Klorofil konsantrasyonları ölçülerek DKM gözlenmiştir, bu maksimum ışık şiddetinin %1 ile %20 arasında bölgeden bölgeye değişen derinliklerde gözlenmektedir. Kuzeydoğu Akdeniz in Secchi disc derinliği, ışık geçirgenliği, ve klorofil-a değerlerine bakıldığında oligotrofik özellikte bir deniz olduğu sonucu elde edilmiştir.

Tablo 4. Maksimum Klorofil ve Termoklin Derinliği

AY-YIL	TERMOKLIN DER. (m)	MAKSİMUM KLO.DER. (m)
Nisan 1986	47-70	80-100
Temmuz 1986	45	115
Kasım 1986	35-70	100-120
Şubat 1987	mix	50-100
Mayıs 1988	10-50	75-100
Temmuz 1988	10-30	75-100
Ekim 1988	20-40	75-100
Mart 1989	mix	40-88
Ekim 1989	20-40	75-90
Mart 1990	mix	50-100
Ağustos 1990	10-50	60-100
Kasım 1990	20-40	50-100

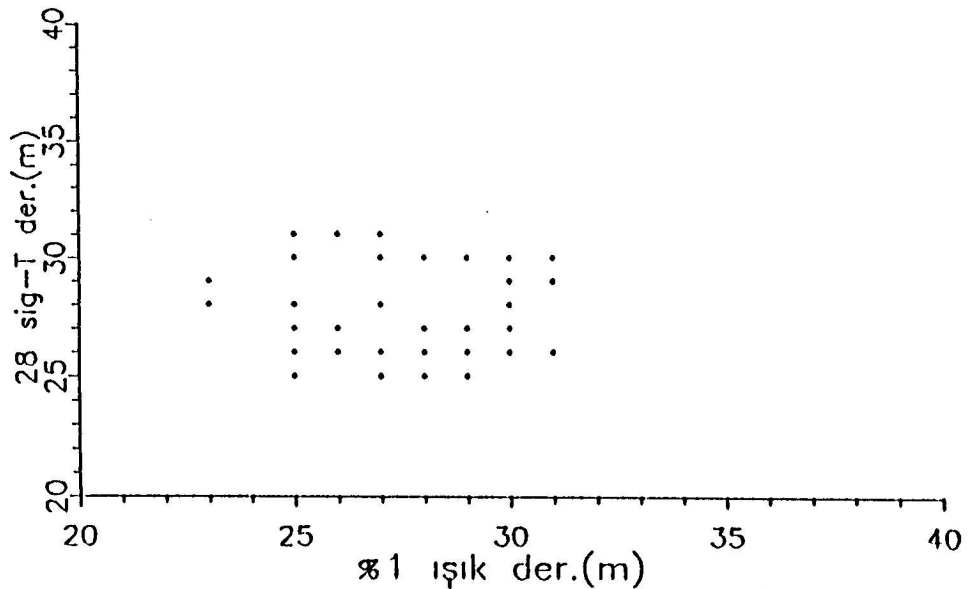
Marmara Denizi

Marmara Denizi, Karadeniz ve Ege Denizi'ne bağlı olarak Akdeniz arasında fiziksel ve kimyasal özellikleriyle bir geçiş denizi konumundadır. İki tabakalı su kolonu yapısı, İstanbul Boğazı ile üst tabakaya taşınan Karadeniz kökenli az tuzlu (20-22 ppt) sular ve Çanakkale Boğazı ile alt tabakaya taşınan Akdeniz kökenli tuzlu (38.5 ppt) suların hareketiyle oluşmaktadır. Farklı yoğunluklardaki bu iki su kütlesi 25-30 metrede ($\sigma_t \approx 28$) keskin ve sürekli varlığını koruyan bir tabakalaşmaya neden olmaktadır.

Marmara Denizi'nde yüzey ışığının %1'e düştüğü derinlik ya da başka bir değişle ışııklı tabakanın kalınlığı mevsimsel değişimler göz önüne alındığında 15-40 m arasında olup ortalama olarak 25 ± 6.9 metredir (Bkz. Tablo 1). Bu derinlik İstanbul

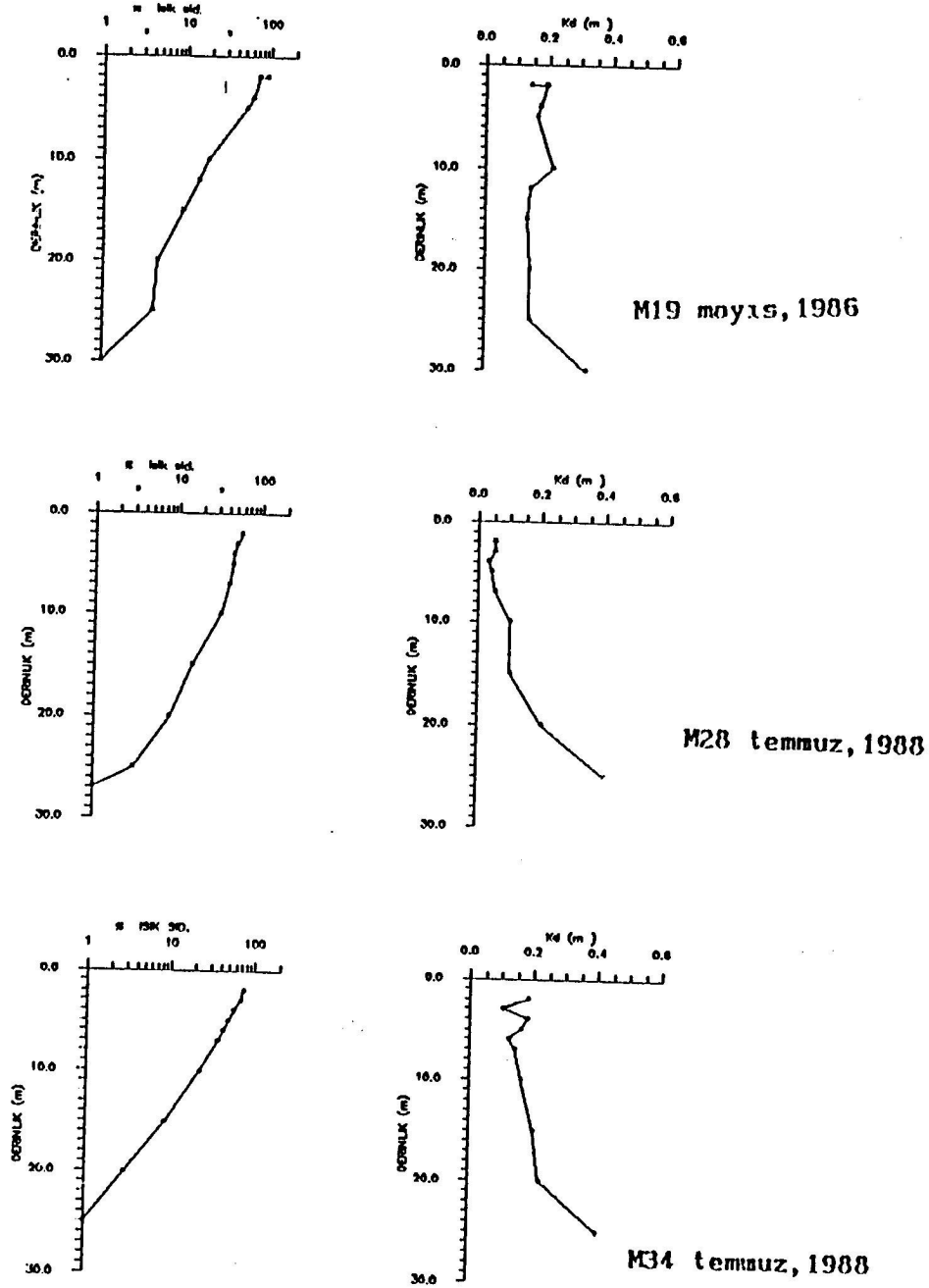
Bogazı'nın Marmara çıkışındaki kıyı istasyonlarda 22 ± 5.8 m açık istasyonlarda ise 32 ± 5.7 metredir. Tablo 2'de görüldüğü gibi ısıtık sönüm katsayısı $0.070-0.352 \text{ m}^{-1}$ aralığındadır ve tüm Marmara baseni için ortalama değer 0.135 m^{-1} 'dir. Ortalama Secchi disk derinliği ise sadece 9 metredir ve en son çalışmalarımızda bu derinliğin 4 metreye kadar düştüğü saptanmıştır. Marmara Denizi su kolonu optik özellikleri Akdeniz ile karşılaştırıldığında tamamiyle farklı olup ince bir ısıklı tabaka ve yüksek sönüm katsayısı ile tanımlanabilir.

Marmara Denizi'nin optik özelliklerinin en çarpıcı noktası %1 ısıtık yoğunluğu derinliği ile tabakalaşma derinliğinin çakışmasıdır. Bunun nedeni ise toplam sönüm katsayısının tuzluluk, çözünmüş ve partikül halde bulunan maddelerin konsantrasyonlarının bir fonksiyonu olmasıdır. Bunun sonucunda da Marmara Denizi'nin keskin tabakalı yapısı ısıklı tabakada üretilen ve diğer kaynaklardan katılan partikül maddeleri haloklin içinde bir süre tutarak ısıtık daha derinlere inmesine engel olmaktadır. Şekil 5 bu durumu özetlemektedir. Yüzey ısıtıkının %1'lik seviyesi her zaman için ve genel anlamda 20-35 m aralığına düşmekte bu da $\sigma_t \approx 28$ yüzeyinin 25-30 m derinliği ile çakışmaktadır.



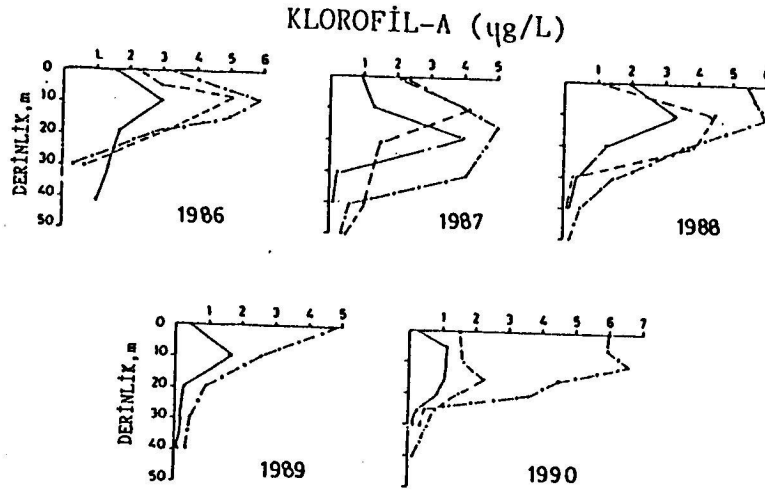
Şekil 5. Marmara Denizinde %1 ısıtık şiddeti derinliğin 28 s_t-T derinliği ile çakıştığını gösterir şekil.

Sekil 6 bağıl ışık yoğunluğunun yüzey ışığının yüzdesi olarak düşey dağılımını ve bunlara karşılık gelen sönüm katsayılarını göstermektedir. Görüldüğü gibi ışık haloklin derinliğinde kaybolmakta ve sönüm katsayısı 25-30 m aralığında artmaktadır. Sonuç olarak fitoplankton üretimi üst tabaka içinde olmakta ve klorofil maksimumuna 30 metrenin üzerinde rastlanmakta, bu derinliğin altında ise en düşük seviyelerine ulaşmaktadır (Sekil 7).

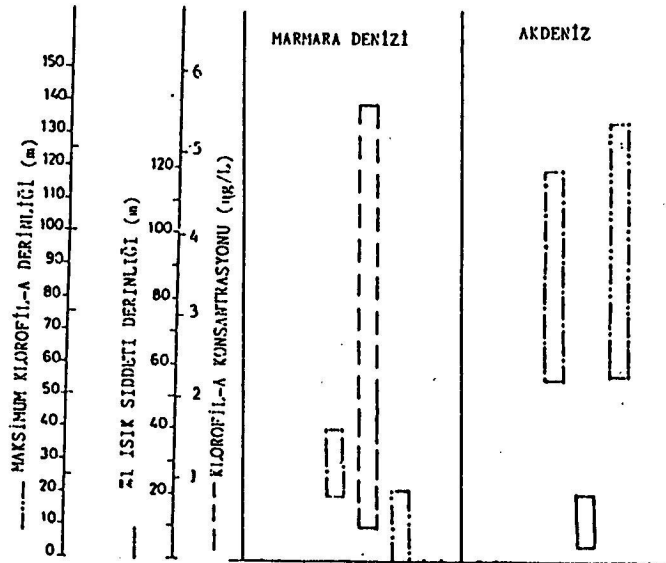


Sekil 6. Marmara Denizinde % ışık şiddeti ve sönüm katsayısının derinliğe göre değişimi.

Marmara Denizi'nde fitoplanktonlara besini Karadeniz kökenli sular, özellikle boğazın denize açıldığı bölgedeki yoğun düşey karışım ve üst tabakadaki besin tuzu döngüsü sağlar. (Baştürk ve diğ., 1990). Bunun doğal bir sonucu olarak da Marmara Denizi'ndeki klorofil-a konsantrasyonu Kuzeydoğu Akdeniz'dekinin 4-5 katı kadardır (Şekil 8). Üretimin bu denli yoğun olması su kolonunun ışık geçirgenliğini azaltmakta ve buna ek olarak İstanbul metropolitan atıkları ile Karadeniz'den taşınan biyolojik ya da kara kökenli partikül maddeler de bu yapıyı olumsuz yönde etkilemektedir.



Şekil 7. Marmara Denizinde klorofil-a konsantrasyonunun derinliğe göre değişimi.



Şekil 8. Maksimum klorofil-a derinliğinin, %1 ışık şiddeti derinliğinin ve klorofil-a konsantrasyonunun Marmara ve Akdenizde değişimlerini gösterir şekil.

KAYNAKLAR

- Baştürk Ü., Tugrul, S., Yılmaz, A., Saydam, C. (1990):
Oceanography of the Turkish Straits Third Annual Report
Vol.II. Health of Turkish Straits: Chemical and
Environmental Aspects of the Sea of Marmara, ODTÜ DBE
Erdemli İcel, sayfa 19-20.
- Berman, T., Townsend, D.W., El Sayed, S.Z., Trees, C.C., Azov, Y. (1984): Optical transparency and chlorophyll and primary productivity in the Eastern Mediterranean near Israeli coast. Oceanol. Acta. 7(3):367-371.
- Berman, T., Azov, Y., Schneller, A., Walline, P., Townsend, D.W. (1986): Extended transparency and phytoplankton distribution of the neritic waters overlying the Israeli coastal shelf. Oceanol. Acta. 9(4):439-447.
- Cullen, J.J. (1982): The deep chlorophyll maximum; comparing vertical profiles of chlorophyll-a. Can.J., Fish Aqua.Sci.. 39:791-803.
- Jerlov, N.G. (1968): Optical Oceanography, Elsevier Oceanography Series 5, Elsevier Amsterdam, 194p.
- Li, W.K.W., Subba Rao, D.W., Harrison, W.G., Smith, J.C., Cullen, J.J., Irwin, B., Platt, T. (1983): Autotrophic picoplankton in the tropical ocean. Science. 219:292-295.
- Li, W.K.W., Wood, A.M. (1988): Vertical distribution of North Atlantic ultra-phytoplankton: analysis by flow cytometry and epifluorescence microscopy. Deep-Sea Res.. 35(9):1615-1638.
- Megard, R.O., Berman, T. (1989): Effects of algae on the Secchi transparency of the southeastern Mediterranean. Limnol. Oceanogr.. 34(8):1640-1665.
- Parsons, T., Takahashi, M. and Hangrove, B. (1977): Biological Oceanographic Processes, Pergamon Press, Great Britain, 78-88 p. (2nd Ed).
- Smith, R.C., Baker, K.S. (1978): Optical classification of natural waters. Limnol. Oceanogr.. 23:260-267.
- Strickland, J.D.H., Parsons, T.R. (1972): A practical handbook of sea water analysis, Bull.Fish.Res.Board Can., 310p. (2nd Ed).
- Waterbury, J.B., Watson, S.W., Guillard, R.R.L., Brand, L.E.

(1979): Widespread occurrence of unicellular marine planctonic cyanobacterium. Nature. 227:293-294.

Yılmaz, A., Ediger, D., Baştürk, Ü., Tuğrul, S. (1993):

Phytoplankton fluorescence and deep chlorophyll maxima in the Northeastern Mediterranean. Oceanol. Acta (basımında).

Teşekkür: Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenen bu çalışmaya katkıda bulunan ODTÜ-Deniz Bilimleri Enstitüsü'ndeki araştırmacı ve teknik personel ile deniz saha çalışmalarına katkıda bulunan R/V Bilim gemisi personeline teşekkür ederiz.