

**Karadeniz'de birincil üretim:  
Üretkenlikte beslenme mekanizmaları ve ışık adaptasyonu**

Ayşen YILMAZ, Mehmet Kadir YAYLA ve Yeşim ÇOBAN-YILDIZ

Orta Doğu Teknik Üniversitesi Deniz Bilimleri Enstitüsü P.K. 28, 33731, Erdemli-İÇEL

**Abstract:**

The data collected in the Black Sea during 1997-98 showed that, light penetrated down to 20-35m. The chlorophyll-a concentration ranged from <0.5 to 1.5  $\mu\text{g L}^{-1}$ . Sub-surface chlorophyll-a maxima formed near the base of the euphotic zone at all study points and a secondary one could be observed at low light levels in the nearshore regions during stratification seasons. Production rates were estimated between 62 and 785  $\text{mgC m}^{-2} \text{d}^{-1}$ . Bioassay experiments showed that, under optimum light conditions, the growth of phytoplankton is nitrogen limited in the open waters. Phosphorus seems to control the growth in the nearshore regions.

**Giriş:**

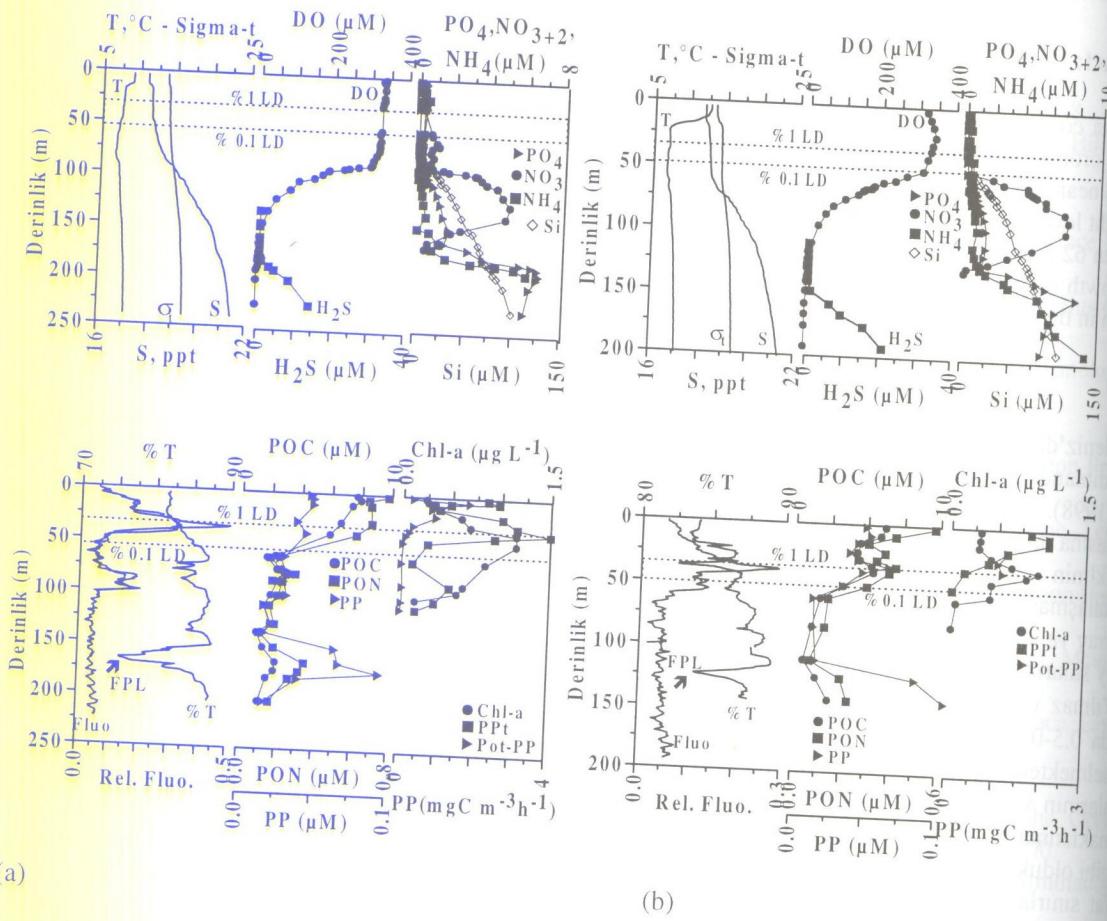
Karadeniz'de kıyısal alanlarda nehir girdilerine paralel düşey ve yatay taşınim mekanizmaları ile sedimandan olan girdiler besin tuzlarına kaynak oluşturmaktadır (Cociasu ve *dīg.*, 1996; Tuncer ve *dīg.*, 1998). Siklonik döngü sistemlerinin etkin olduğu derin basende ise besin tuzları ışıklı yüzey tabakasına daha çok düşey karışım ve nutriklinden difüzyon ile taşınmaktadır (Yılmaz ve *dīg.*, 1998a). Nutriklinin alt sınırı ile çıkışan sub-oksik tabaka ve altından besin tuzu aktarımı yoğunluk tabakalaşması nedeniyle sınırlıdır. Ayrıca bu tabakada denitrifikasyon ve redoksa bağlı prosesler de (Murray ve *dīg.*, 1995) bu taşınumu engellemektedir. Karadeniz'de nehir etkisi dışında kalan alanların yüzey sularında azot ve fosfor derişimi oldukça düşüktür (Tuğrul ve *dīg.*, 1992; Murray ve *dīg.*, 1995 ve Yılmaz ve *dīg.*, 1998a). Açık sularda genellikle 0.07-0.3  $\mu\text{M}$  aralığında değişen nitrat değerleri, kıyıda 0.5-0.8  $\mu\text{M}$  seviyesine kadar ve nehirlerin döküldüğü delta bölgesinde ise 6-8  $\mu\text{M}'a$  kadar yükselmektedir (Cociasu ve *dīg.*, 1996; Yılmaz ve *dīg.*, 1998a). Kıyılarda yüksek derişimde nitrat iyonlarının varlığı Karadeniz'i besleyen nehir sularında  $\text{NO}_3+\text{NH}_4/\text{PO}_4$  oranının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Tuna nehrinde bu oran 1960'lı yıllarda 11.7 gibi bir değerden 1990'lı yıllarda 22-33 gibi oldukça yüksek değerlere (Cociasu ve *dīg.*, 1996) ulaşmıştır. Bu nedenle, kıyı suları üretiminde fosfat sınırlayıcı elementtir. Siklonik döngülerin hakim olduğu açık sularda ise oksijence fakir ara tabakada 6-8 ve yüzey sularında 1-5 arasında değişen  $\text{NO}_3/\text{PO}_4$  oranı dikkate alındığında, bu suların nitrat iyonlarında oldukça fakir olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle açık deniz alanlarında fotosenteze dayalı fitoplankton üretimi azot bileşenlerince sınırlanmaktadır. Karadeniz'e toplam tatlı su girdisinin %70'ini oluşturan Tuna nehrinden gelen reaktif silikat derişiminde 1970'li yıllarda baraj açılmasını takiben günümüzde kadar 2/3 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir (Humborg ve *dīg.*, 1997). Bunun sonucunda Karadeniz yüzey sularında reaktif silikatın %60 oranında azalığı gözlenmiştir. Reaktif silikattaki bu azalma fitoplankton kompozisyonlarında 1990'lı yılların başında dramatik değişimlere neden olmuştur.

Karadeniz'de birincil üretim yıl boyunca ilkbahar ve sonbaharda olmak üzere iki kez pik değerlerle ullaşmaktadır (Vedernikov ve Demidov, 1993). Ancak son 10-15 yıldır ayrıca yaz fitoplankton patlamaları ve yüksek düzeyde birincil üretim hem kıyılarda hem de açık Karadeniz sularında gözlenmektedir (Hay ve *dīg.*, 1990; Yılmaz ve *dīg.*, 1998a; 1998b). Birincil üretim açık sularda bağıl olarak düşükken ( $50-200 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ ) (Vedernikov ve Demidov, 1993), kıyı alanlarında örneğin kuzeybatı kıta sahanlığında yüksektir ( $>400 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ ) (Bologa, 1985/1986; Bologa *et al.*, 1999).

**Sonuçlar ve Tartışma:**

Karadeniz'de ışıklı tabakanın kalınlığı veya pratik olarak ışığın yüzeydeki değere göre %1'e indiği derinlik (%1 LD) 20-35m olarak belirlenmiştir (Şekil 1). Fotosenteze bağlı biyolojik aktivite bu tabakada yoğunken, ışığın %0.1-1 aralığında da aktivite devam edebilmekte hatta bu sınırı da

zorlayarak <0.1 ışık derinliklerde fitoplankton populasyonları gözlenebilmektedir. Özellikle düşük göç yapabilen fotosentetik aktif planktonlar (*Rhizosolenia* sp.) bu prosesle rol oynamaktadır. Fotosentetik aktif proseslerin gözlendiği bu tabakada ışık sönüm katsayısi ise  $0.1\text{-}0.25 \text{ m}^{-1}$  aralığında hesaplanmıştır. Şekil 1'de Nisan 1998 döneminde birisi kıyı bölgesinde (M15R45), diğer ise merkez siklonik döngü alanında (M30V45) seçilen istasyonlarda hidrografik, hidrokimyasal ve fitoplankton biyokütlesi ve üretimi ile ilgili parametrelerin düşey dağılımı verilmektedir.



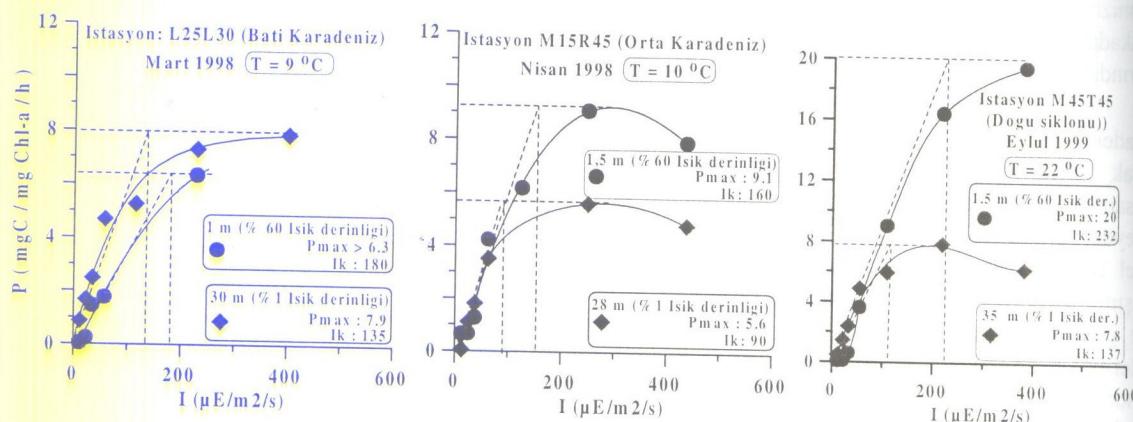
Şekil 1. Karadeniz'de Nisan 1998 döneminde, kıyısal M15R45 istasyonu (a) ve açık M30V45 istasyonunda (b) hidrografik, hidrokimyasal ve fitoplankton biyokütlesi ve üretimi ile ilgili parametrelerin düşey dağılımı

Şekilden görüleceği üzere  $\text{NO}_3^-$  maksimumu,  $\text{PO}_4^{2-}$  minimum ve maksimumları kıyı istasyonunda daha derinlerde, açık su istasyonunda yüzeye daha yakın olup, sub-oksik suların alt ve üst sınır derinlikleri ile yakından ilişkilidir. Bir başka deyişle kıyılarda nutriklin ışıklı tabakanın çok altında, siklonik alanlarda ise ışıklı tabakanın tabanıyla çakışmaktadır. Bölgesel bazda farklı derinliklerde olan bu yapılar tüm basende aynı yoğunluk düzlemlerinde yer alırlar (Yılmaz ve *diğ.*, 1998a).  $\text{NO}_3^-$  profilleri Karadeniz boyunca sub-oksik/anoksik geçiş tabakasında her zaman azalan bir değişim gösterirken, siklonik döngü alanlarında  $\sigma_t = 16.0$  olduğu derinlikte  $\text{PO}_4^{2-}$  minimumu gözlenmektedir. Ancak yataş akıntıların kuvvetli olduğu kıyısal kuşakta söz konusu minimum gözlenmemektedir. Nitrat iyonlarının çok düşük derişime indiği sülfürlü suların üst sınırında ise farklı redoks etkileşimleri sonucu  $\text{PO}_4^{2-}$  derişimi çok ince bir tabaka içerisinde hızla bir artış göstererek 4-8  $\mu\text{M}$ 'a kadar çıkmaktadır. Sülfürlü sularındaki ani  $\text{PO}_4^{2-}$  artışının nedeni, bu iyonların Fe, Mn-oksitlere tutunarak sülfürlü sulara katı fazda taşınması ve metal oksitlerin sülfürlü sularda indirgenerek çözünmesi sırasında birikim göstermesidir (Shaffer, 1986).  $\text{NO}_3^-$  iyonlarının artık bulunmadığı  $\text{H}_2\text{S}$ 'li suların üst derinliklerinde  $\text{PO}_4^{2-}$  profili önce sularda yaşayan havasız ortam bakterilerinin organik madde ayırtmasını  $\text{SO}_4^{2-}$  iyonlarını indirmeye

(Yilmaz ve dig., 1998b).

Zatosentez ürütünlü olan partikül organizmik maddelerin (POM) ana bileşenlerini oluşturan karbon (POC), zatoz (PON) ve fosfor (PP) derişimleri isikli tabakada görcrel olarak daha yükselskettir. POM degerlerinin tozosenetez ürütünlü olan partikül organizmik maddelerin (POM) ana bileşenlerini oluşturan karbon (POC), tabakada isen düşüklük doğalg seviyesinde ularısmaktadır. Sub-oksiğen/amonoksiğen eğrisi tabakası tipinde ( $G_1=16.0-16.3$ ) POM derişimlerin artısı gostererek tepe degerlerine ularısmaktadır. Bu artıslar partikül fosfor profilereinde daha belirgindir. Bunu nedenni siltifiliti tabakaya gelenise gokme hizi düşüklük ve programik  $MnO_2$  ve  $Fe(OH)_3$  katılarım, sunda gözlemlimi halede bulunan fosfatı dis yuzeylerinde adsorbsiyon yoluyla tutabilmesidir. İnorganik paristikülillerin yanisıra bakteri ve zooplankton türleri organizmaların bu nice tabakada (FPL) birikmesi söz konusudur. Bütün bunların sonucu olarak, isitilır tabakada 11-16 arasımda degişen PON/PP orani, PP/min tepe degerlerine ularıstığı siltifiliti sulaların surunuda kadar düşsereken POC/PP orani da 110-160'dan 30-35'e kadar düşmektedir.

Potansiyel fotosentetik aktivite ve fitoplankton biyokütlesinin maksimum olduğu derinliklerde populasyonun fotoadaptasyonu incelendiğinde klorofil başına organik karbon sentezinin artan sıcaklıkla ve klorofil-a konsantrasyonun azalması ile arttığı gözlenmiştir (Şekil 2). Sıcaklık tabakalaşmasının gözlendiği mevsimlerde üst karışım tabakasında ve tabaklaşmanın altında yaşayan fitoplankton populasyonlarının ışık adaptasyonlarının farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Bu çalışma döneminde üretim-ışık eğrisine ait parametreler değerlendirildiğinde, örneğin birim klorofil başına maksimum üretim ( $P_{max}$ ) yüzey suları için, 4-25 ve %1 ışık derinliği için 2-10 mg karbon(C)/mg klorofil(Chl)/saat aralığında hesaplanmıştır. Yarı doygunluk ışık sabiti ( $I_k$ ) ise, yüzey sularında daha yüksek ( $=135-360 \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ ), ışıklı tabakanın tabanında yaşayan populasyonlar için daha düşüktür ( $=50-135 \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ ). Üretim-ışık eğrilerinin başlangıç eğimleri ( $\alpha$ ) ise fotosentetik kapasitenin bir göstergesi olması bakımından ve ekosistem modellerinde en duyarlı parametrelerden birisi olması nedeniyle detaylı olarak incelenmiş ve bu çalışma döneminde yüzey suları için ortalama  $\alpha=0.05 (\text{mgC mgChl-a}^{-1} \text{ h}^{-1}) (\mu\text{Em}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}$  veya  $\alpha=0.02 \text{ d}^{-1} (\text{Wm}^{-2})^{-1}$  olarak hesaplanmıştır.



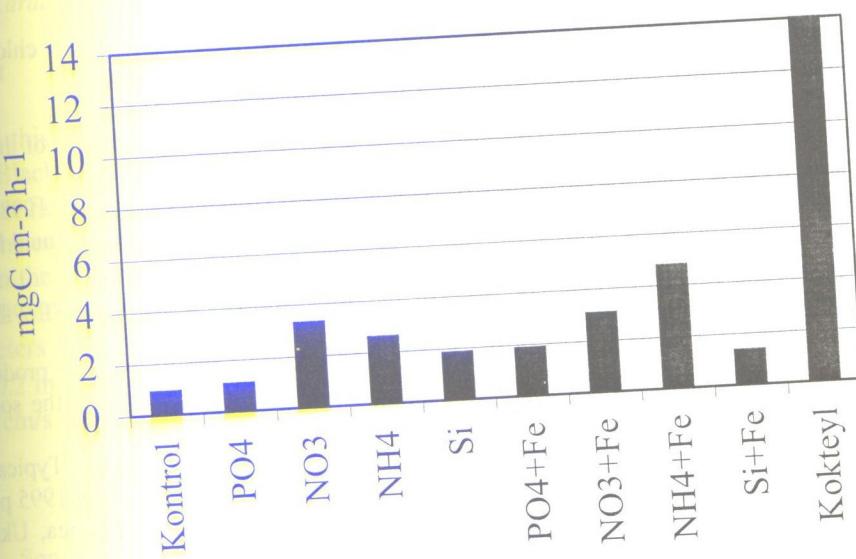
Şekil 2. Karadeniz'de farklı mevsimler için seçilen bazı istasyonlarda yüzey sularında ve ışıklı tabakanın tabanında elde edilen üretim-ışık eğrileri ve bağlı parametreler

Yapılan laboratuvar deneyleri Karadeniz'de birincil üretkenliğin kıyısal alanlarda fosfor tarafından, açık deniz alanlarında ise azot ile sınırlandığını göstermiştir. Açık denizde silikata da önemli düzeyde talep olduğu bu deneylerle anlaşılmıştır. Şekil 3'de bu amaçla yapılan besin tuzu ile zenginleştirme deneylerine örnek olarak derin basende siklonik döngü merkezinde seçilen bir istasyonda elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçlara göre, besin tuzu ile zenginleştirme, inkubasyon ve bunu takiben karbon-14 teknigi kullanılarak yapılan fotosentetik üretkenlik ölçümelerinde üretimin nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) ve amonyak ( $\text{NH}_4^+$ ) ve daha sonra demir (Fe) eklenmesiyle kontrol ve fosfatla ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) ile zenginleştirilmiş örneklerde göre 2-5 kat daha arttığı gözlenmiştir. Tüm besin tuzlarının birlikte eklendiği örnekte ise, karbon üretim hızı, kontrol örneğine göre 14 kat daha fazla seviyede olmuştur. Zenginleştirme deneylerinde tüm besin tuzlarının Karadeniz'de sahip olabilecekleri maksimum konsantrasyonlar göz önüne alınmıştır (Şekil 3). Ayrıca inkubasyon sırasında 2-6 saatlik sürelerle yapılan alt örneklemelerde yapılan besin tuzu analizleri de azot bileşenlerinin Karadeniz açık sularında sınırlayıcı besin tuzu olduğu konusunda destekleyici sonuçlar vermiştir: Ortamın  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonu azalırken  $\text{PO}_4^{3-}$  konsantrasyonunda değişim gözlenmemiştir. Bu yapının tam tersi bir yapı kıyı alanlarında ve kıyı akıntı boyunca çalışma yapılan istasyonlarda gözlenmiştir. Kıyısal alanlara azot girdisinin fosfora oranla artmış olması ile hem yüzey sularında (nehir alanlarına ve diğer kıyısal kaynaklara uzaklığa göre değişmektedir) hem de nutriklin tabakasında  $\text{NO}_3^-/\text{PO}_4^{3-}$  oranı çok yüksektir (40-80, Baştürk ve dig., 1997). Bu nedenle bu bölgelerde sınırlayıcı besin elementi fosfordur.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar Karadeniz'de ışıklı tabakada birincil üretkenliğe bağlı proseslerin çok dinamik olduğunu göstermiştir. Özellikle değişik ışık derinliklerinde yaşayan fotosentetik aktif organizmaların ışık adaptasyonları konusunda elde edilen sonuçlar ilgi çekicidir. Sınırlayıcı besin elementlerinin kıyı ve açık alanlar için farklı oluşunun belirlenmesi ile Karadeniz'de son 30 yılda

yaşanan ve daha çok nehirlerin etkisiyle ekosistemde görülen sağıksız değişimler daha iyi açıklanabilmiştir.

Nisan 1998, İstasyon M30V45, 35m



Şekil 3. Kardeniz'de Nisan 1998 döneminde doğu sıklonu merkezinde seçilen bir istasyonda (M30V45) yapılan besin tuzu zenginleştirilmesi ve karbon üretiminde gözlenen değişimler (Konrol: Besin tuzu eklenmemiş örnek; Kokteyl: Tüm besin tuzları ve demir eklenmiş örnek) (Besin tuzu zenginleştirme konsantrasyonları: PO<sub>4</sub>: 10  $\mu\text{M}$ , NO<sub>3</sub>: 20  $\mu\text{M}$ , NH<sub>4</sub>: 5  $\mu\text{M}$ , Si: 50  $\mu\text{M}$ , Fe: 0.2  $\mu\text{M}$ ).

#### Kaynaklar:

- Baştürk, Ö., S. Tuğrul, S. Konovalov and İ. Salihoglu, 1997. Variations in the vertical structure of water chemistry within the three hydrodynamically different regions of the Black Sea. In E. Özsoy & A. Mikaelyan (eds.), Sensitivity to Change: Black Sea, Baltic Sea and North Sea, NATO ASI Series, Kluwer Academic Publishers, 27: 183-196.
- Bologa, A.S., 1985/86. Planktonic primary productivity of the Black Sea: a review. Thalassia Jugoslavica 21/22(1/2):1-22.
- Bologa, A. S., P. T., Frangopol, V. I., Vedernikov, L. V., Stelmakh, O. A., Yunev, A. Yılmaz, and T. Oğuz, 1999. Distribution of planktonic primary production in the Black Sea. In: Environmental Degradation of the Black Sea: Challenges and Remedies, (Besiktepe et al., eds.), NATO Science Series, 2. Environmental Security, 56: 131-145. Kluwer Academic Publisher, Netherlands, 1999.
- Cociasu, A., L. Dorogan, C. Humborg & L. Popa, 1996. Long-term ecological changes in Romanian Coastal Waters of the Black Sea. Mar. Poll. Bull. 32: 32-38.
- Codispoti, L.A., G.E. Friederich, J.W. Murray & C.M. Sakamoto, 1991. Chemical variability in the Black Sea: Implications of continuous vertical profiles that penetrated the oxic/anoxic interface. Deep-Sea Res. 38: 691-710.
- Hay, B.J., S. Honjo, S. Kempe, V.A. Itekkot, E.T. Degens, T. Konuk & E. Izdar, 1990. Interannual variability in particle flux in the southwestern Black Sea. Deep-Sea Res. 37: 911-928.

- Humborg, C., V. Ittekot, A. Cociasu and B. v. Bodungen, 1997. Effect of Danube River dam on Black Sea biogeochemistry and ecosystem structure. *Nature*, 386: 385-388.
- Karl, D.M. and G.A. Knauer, 1991. Microbial production and particle flux in the upper 350m of the Black Sea. *Deep-Sea Res.* 38: 921-942.
- Murray, J.M., L.A. Codispoti & G.E. Freiderich, 1995. Oxidation-reduction Environments: The suboxic zone in the Black Sea. In C.P.Huang, C.R.O'Melia , J.J.Morgan (eds), *Aquatic Chemistry*, ACS Advances in Chemistry Series 244: 157- 176.
- Repeta, D.J. and D.J. Simpson, 1991, The distribution and recycling of chlorophyll, bacteriochlorophyll and carotenoids in the Black Sea. *Deep-Sea Res.* 38: 969-984.
- Shaffer, G., 1986. Phosphate pumps and shuttles in the Black Sea. *Nature* 321: 515-517.
- Tuğrul, S., Ö. Baştürk, C. Saydam and A. Yılmaz, 1992. Changes in the hydrochemistry of the Black Sea inferred from water density profiles. *Nature*, 359: 137-139.
- Tuncer, G., T. Karakaş, T.İ. Balkaş, C.F. Gökçay, S. Aygün, C. Yurteri and G. Tuncel, 1998. Land-based sources of pollution along the Black Sea coast of Turkey: Concentrations and annual loads to the Black Sea. *Mar. Pol. Bul.*, 36(6): 409-423.
- Vedernikov, V.I. and A.B. Demidov, 1993. Primary production and chlorophyll in the deep regions of the Black Sea. *Oceanology*, 33: 229-235.
- Yılmaz, A., Tuğrul, S., Polat, C., Ediger, D., Çoban, Y. and Morkoç, E., 1998(a). 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., O.A. Yunev, V.I. Vedernikov, S. Moncheva and A.S. Bologa, 1998(b). Typical and extreme phenomena of spatial distribution of chlorophyll-a in various seasons of 1990-1995 period, Presented at NATO TU-Black Sea Project: Symposium on Scientific Results, Crimea, Ukraine, June 15-19, 1997. In: *Ecosystem Modeling as a Management Tool for the Black Sea*, Vol. 1, 105-120, 1998, Kluwer Academic Publishers, Printed in the Netherlands.