

Atıksu Kirliliğinin İzmit Körfesi'nin Fiziksel ve Biyokimyasal Özelliklerine Etkisi

Enis MORKOÇ

TÜBİTAK-MAM Çevre Mühendisliği Bölümü, Gebze-Kocaeli-TÜRKİYE

Süleyman TUĞRUL

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Enstitüsü, Erdemli-İçel-TÜRKİYE

Geliş Tarihi 21 / 12 /1992

Özet: Marmara Denizinin kuzeydoğusunda bulunan ve çok fazla atıksu verilen İzmit Körfesinde yıl boyunca varlığını sürdürten iki tabakalı su kütlesinin üst tabakasını Karadenizden gelen az tuzlu (binde 22-26), alt tabakayı ise Akdeniz kaynaklı çok tuzlu (binde 38,5) sular oluşturmuştur. Kirliliğin yoğun olduğu körfesin doğu bölgesinde Seki disk derinliği 3-4 metreyi geçmezken, orta ve batıda yaz aylarında 10-12 metreye ulaşmaktadır. En yüksek toplam organik karbon (4-5 mg/L), BOD₅ (1-1,5 mg O₂/L) ve besin elementleri derişimleri körfesin doğusunda ölçülmüştür. Ortalığındaki yüzey sularında yaz aylarında fosfat, nitrat ve silikat derişimlerinin sırasıyla 0,03, 0,1 ve 0,5 µM'a kadar düşüğü ve meteorolojik şartların kötüleştiği kiş aylarında fotosentezin azalması ve karışımının artması sonucu yaz değerlerinin 5-10 katına varan dikenli artışlar gözlenmiştir. Alt tabakada yaz aylarında 0,5-1,0 mg/L'ye kadar düşen çözümlü oksijen, kiş aylarında ancak 2,5 mg/L'ye kadar ulaşabilmektedir. Yüzey sularına giren besin elementleri miktarına bağlı olarak birincil üretim körfesde mevsimsel ve bölgesel değişimler göstermektedir; En yüksek günlük üretim Mart ayında orta bölgede kaydedilmiş olup, yıllık birincil üretim orta körfesde 300 g-C/m² mertebesindedir. Bu değer Karadeniz ve Marmara bölgenin 1 ila 3 kat yüksektir. Biyodeney sonuçlarına göre, körfesde birincil üretimi öncelikle fosfat ve silikat sınırlamaktadır. Atıksulardaki silikat doğal kaynaklı olduğundan, körfesin iyileştirilmesi için atıksularda organik madde arıtımı ile birlikte, dışarı bölgeye ve derinliğine bağlı olarak, inorganik azot ve fosfor arıtımı da gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Birincil üretim, klorofil-a, fotosentez, tabakalaşma, sınırlayıcı besin elementleri.

Effects of Wastewater Pollution on the Physical and Biochemical Characteristics of the İzmit Bay

Abstract: The bay of Izmit, located on the northeastern part of the Marmara Sea, receives a significant amount of wastewater. A two-layer water mass exists in the bay through out the year. The upper layer has been occupied by the less-salined waters (22-26 ppt) of Black Sea origin; whereas the lower layer contains saline (38,5 ppt) from Mediterranean waters. Sechi disc depth is as low as 3-4 meters in the most polluted eastern part of the bay, but 10-12 meters in the central region in the summer. The largest total organic carbon (4-5 mg/L), BOD₅ (1-1,5 mg O₂/L), and nutrient concentrations were measured in the eastern region. The nutrient concentrations in the surface waters of the central region were observed to be as low as 0,03, 0,1 and 0,5 µM for PO₄³⁻, NO₃⁻, and silicate, respectively. In winter conditions, because of both the low photosynthetic rate and intensive vertical mixing, the nutrient contents of the surface waters are five to ten times higher than that of summer values. Dissolved oxygen which decreased to the levels of 0,5-1,0 mg/L in the summer was observed to increase to a level of 2,5 mg/L only during the winter months. Primary productivity in the bay shows both seasonal and regional variations, this depends on the rate of nutrient input to the surface waters through wastewaters and from the nutrient-rich lower layer through vertical mixing. The largest daily production was recorded in the central region in March. The annual production was estimated to be about 300 g-C/m² which is 1-3 times larger than those reported for the Marmara and Black Sea. According to bioassay results, the primary production in the bay is primarily limited by silicate and phosphate ions. Since the silicate in wastewater is of natural origin, in order to recover the bay's ecosystem, inorganic nitrogen and phosphorus should be removed from wastewaters together with the removal of organic matter.

Key Words: Primary producton, chlorophyll-a, photosynthesis, stratification, limiting nutrient

Giriş

Marmara Denizinin Kuzeydoğusunda yer alan İzmit Körfezi bölgedeki hızlı nüfus artışı ve sanayileşmeye paralel olarak 70'li yıllarda beri yoğun bir kirlenmenin etkisi altındadır. Körfezi çevreleyen evsel ve endüstriyel kaynaklarda yapılan ölçümlerin (Orhon ve diğerleri, 1984) ve alıcı ortam modelleme çalışmasının (Tuğrul ve Morkoç, 1990) sonuçlarına göre, körfezin kıyı sularına atıksular yoluyla günde toplam 130 ton organik madde, 19 ton toplam azot ve 2.4 ton kadar da toplam fosfor girdisi olduğu tahmin edilmektedir. Bu kimyasal yük'lere ek olarak, atıksuların taşıdığı katı maddeler de körfezin doğusunda denizin dolmasına ve giderek siğlaşmasına neden olmaktadır.

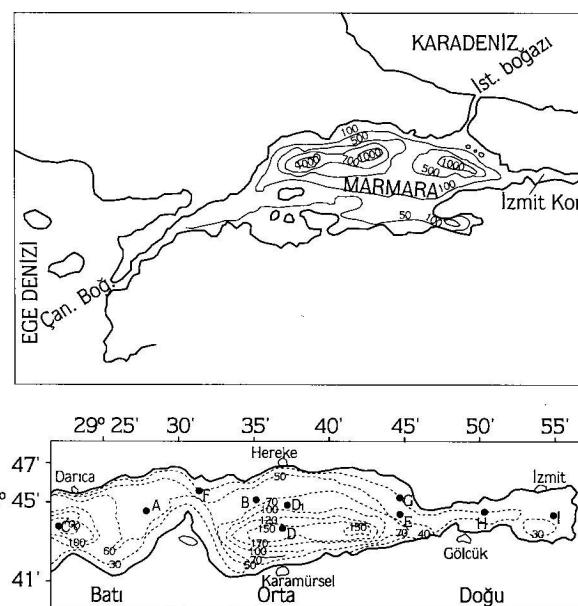
Yaklaşık 50 km yi bulan uzunluğu, 2 ila 10 km arasında değişen genişliği ve 310 km²'lik yüzey alanı ile yarı kapalı bir görüntü çizen İzmit körfezi-coğrafi ve oşinoğrafik özellikleri dikkate alındığında birbirine dar açıklıklarla bağlanmış doğu, orta ve batı olmak üzere üç bölgeye ayrılır (Şekil 1). Doğu bölgesi körfezin en küçük ve en sıç yeridir; yaklaşık 15 km uzunluğundaki bu bölgenin en derin yeri 35 metre olup, su hareketleri diğer bölgelere göre çok sınırlıdır. Körfezin en büyük parçasını 20 km uzunluğundaki orta bölgesi oluşturmaktadır; batı bölgesine geçiş noktası olan Dil burnu mevkiiinde 2 km'ye düşen eni, en geniş yerinde 10 km ye ulaşmaktadır. Orta bölgenin dip topografyası güney-kuzey yönünde önemli değişiklik gösterir. Su derinliği bölgenin kuzey alanında 60 metreyi geçmez, orta kesiminde 160 metreye kadar ulaşmaktadır. Yaklaşık 16 km uzunluğundaki batı bölgesinde su derinliği Marmaraya doğru gidildikçe artarak 200 metreye ulaşmaktadır.

Körfezin temel oşinografik özelliklerini ve kirlilik seviyesini belirlemeye yönelik ilk ciddi bilimsel araştırmalar 70 li yıllarda yapılmıştır (DAMOC, 1971; Kor, 1973). Bu çalışmalar genellikle sınırlı sayıda noktada, sınırlı sayıda kimyasal parametrenin ölçüm sonuçlarını içerdiğinden, zaman ve mekan ölçüğünde sistemin hidrografik ve biyokimyasal özelliklerini gösteren ilk sistematiğ veriler ancak 1984 ten sonra toplanmaya başlanmıştır (Baştürk ve diğerleri, 1985; Tuğrul ve diğerleri, 1989; METU, 1988). Burada sunulan ve tartışılan fiziksel ve biyokimyasal bulgular 1987-1989 arasında İzmit Körfezinde yaptığım oşinoğrafik ölçümlere dayanmaktadır.

Material ve Metot

Örnek Toplama: Körfezde yapılan oşinoğrafik çalışmalarında ODTÜ-Deniz bilimleri Enstitüsü'ne ait R/V

BİLİM gemisinin olanakları kullanılmıştır. Su örnekleri Şekil 1 de belirtilen noktalardan Hidro-Bios model Nansen şişelerde toplanmıştır. Besin elementleri ve toplam organik karbon tayini için örnekler 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 75, 100, 125 ve 150 metre derinliklerden alınmıştır. Klorofil-a örnekleri yüzeyden 30 metreye kadar, birincil üretim ölçümleri için ise yüzey ışık şiddetinin % 75, % 25, % 10 ve %1'e indiği derinliklerden alınmıştır. Biyodeney (birincil üretimi sınırlayıcı besin elementlerinin tanımlanması deneyi) örnekleri sadece 2,5 metre derinlikten alınmıştır.



Şekil 1. Marmara Denizi haritası ile İzmit Körfezindeki ölçme ve örnekleme noktaları

Örneklerin Korunması: Besin elementleri örnekleri % 10 luk HCl ile yıkamış 100 mL'lik polietilen şişelere alındı. Silikat örnekleri buz dolabında, fosfat ve nitrat örnekleri ise -20°C'de dondurularak korundu. Klorofil-a örnekleri (1-5 L) plastik kaplara alınarak bekletilmeden GF/C tipi (Göz genişliği 1,2 µm) filtre kağıtlarından süzüldü. Filtrede tutulan katı madde analize kadar dondurulmuş olarak saklandı. Biyodeney örnekleri (10 L) ise buz kutuları içinde laboratuvara taşındı ve 2 saat içerisinde deneysel çalışmalarında kullanıldı. Birincil üretim örnekleri 1 litrelilik koyu renkli polietilen şişelere konularak buz kutuları içinde soğuk olarak laboratuvara ulaştırıldı ve hemen analizi yapıldı.

Ölçüm Yöntemleri: Bu çalışmada uygulanan deneysel yöntemler kaynak kaynaklarında daha önce detaylı olarak

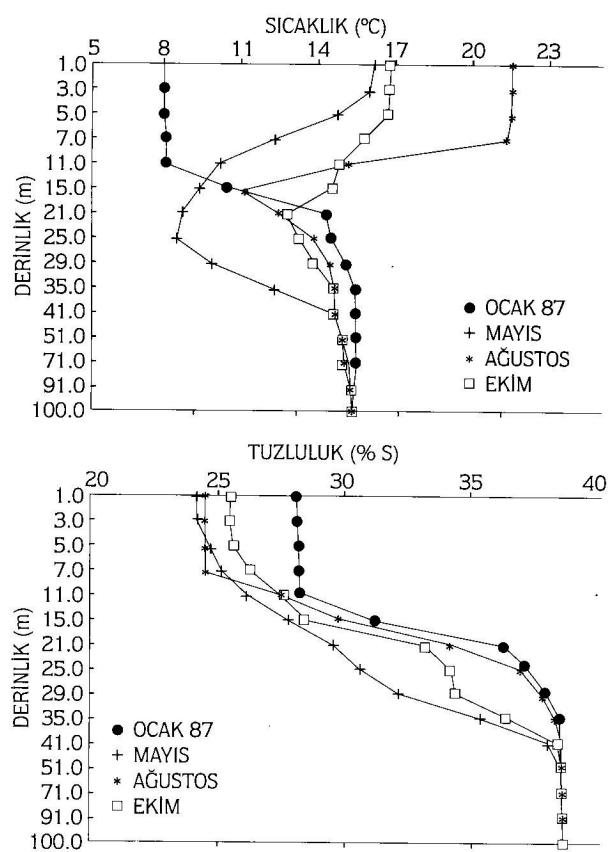
verildiğinden, burada çok kısa olarak tanımlanmaktadır. Besin elementlerinin tayini çok kanallı Technicon All model otomatik analiz cihazı kullanılarak yapıldı. Kuantitatif ölçümlerde cihazın kullanım kitapçığında verilen ve uluslararası standart yöntemler olarak da kabul edilen deneysel yöntemler uygulandı (Industrial Methods 1978). Filtre kağıtları üzerinde tutulan fitoplankton örneklerinin içeriği klorofil-a miktarlarının tayini aseton özütleme yöntemi ile yapıldı (Standard Methods, 1985). Sigma firmasından sağlanan klorofil-a standarı kullanılarak kalibrasyon eğrisi çizildi ve fluorometrede ölçülen örnek floresans değerleri ve süzülen su hacmi kullanılarak birim hacimdeki klorofil-a miktarı hesaplandı. Birincil üretim (fitoplankton üretimi) tayininde ilk kez Nielsen (Nielsen, 1952) tarafından uygulanan ve daha sonra Gargas (1975) tarafından daha da geliştirilen ^{14}C izotop tekniği kullanıldı. Denizden getirilen su örneklerinden 25 mL alınarak ^{14}C içerikli karbonat çözeltisi ilave edildi. Daha sonra örneklerin alındığı su sıcaklığına ayarlanmış, değişik ışık filtreleriyle donatılmış inkübasyon cihazında iki saat tutuldu. Sentezlenen plankton (organik madde)filtre kağıdından süzülerek çözeltiden ayrıldı. Özel organik çözelti içerisinde alınan filtre kağıdında organik madde olarak tutulan ^{14}C izotop miktarı sıvı fazlı izotop sayım cihazı yardımıyla çok hassas olarak ölçüldü. Nielsen (1952) tarafından verilen eşitlik kullanılarak birim zamandaki plankton üretimi hesaplandı. Sınırlayıcı besin elementlerini belirlemek için besin elementleri tek tek veya uygun karışımalar halinde deniz suyu örneklerine mikrogram/litre seviyesinde ilave edildi. ışık altında ve örneklerin alındığından su sıcaklığında 15 saat süreyle enkübe edildi. Daha sonra bunlardan 25 mL'lik alt örneklerle 2 μCi ^{14}C ilave edildi ve tekrar 2 saat süreyle inkübasyon cihazında tutularak ^{14}C kullanımı bulundu.

Deneysel Bulgular ve Tartışma

Izmir Körfezinde yapılan birincil üretim ve fitoplankton üretiminin sınırlayan besin elementlerinin tanımlanmasına yönelik araştırma sonuçlarının daha anlaşılabılır olması için önce körfezin temel fiziksel ve biyokimyasal özelliklerini zaman ve mekan ölçünde tariştirılmıştır.

Hidrografik özellikleri: Marmara Denizinin bir parçası olan Izmit Körfezinde iki tabakalı bir su kütlesi yıl boyunca varlığını sürdürmektedir. Boğaz üst akıntıları ile Marmaraya taşınan Karadeniz'in az tuzlu suları yüzey akıntıları yoluyla Izmit Körfezine girmekte ve 10-15 metrelük üst tabakayı meydana getirmektedir (Şekil 2). Bu tabakanın tuzluluğu mevsimsel değişim

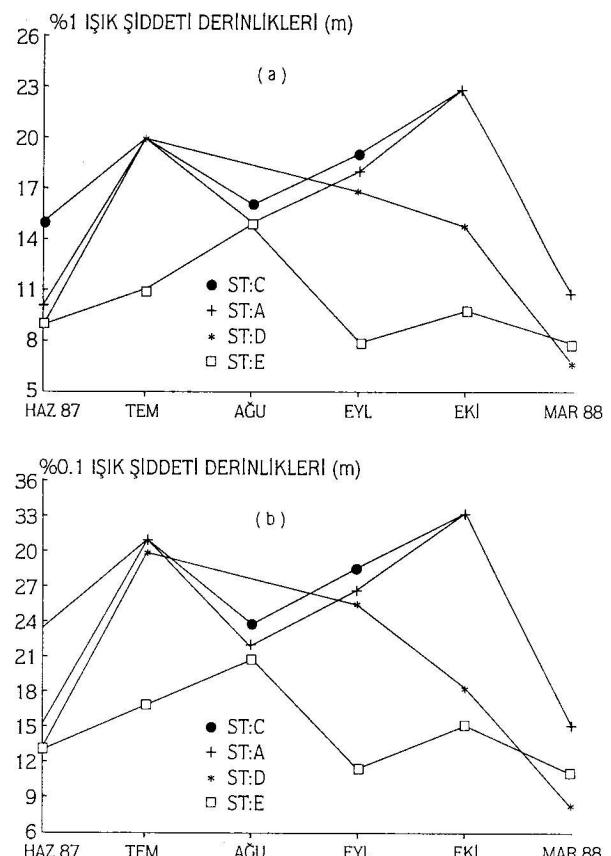
göstermektedir. Düşey karışımının zayıfladığı yaz aylarında binde 22-24 olan tuzluluk değerleri, kiş aylarında şiddetli kuzeydoğu rüzgarlarının neden olduğu karışımalar ve üst tabaka sularının soğuyarak yoğunluğunun artması sonucu zaman zaman binde 28-30'a kadar yükselmektedir (METU, 1988). Böyle durumlarda üst tabaka kalınlığı 5 metreye kadar düşmektedir. Alt tabakada ise Akdeniz kaynaklı ve tuzluluğu binde 38,5 olan daha yoğun bir su kütlesi mevcuttur. Bu iki tabakanın akıntı ve rüzgar etkisi ile karışması sonucu kalınlığı kiş aylarında kısmen artan 10-15 Metre kalınlığında geçiş (haloklin) tabakası vardır. Yaz aylarında üst tabaka sularının ısınması, ırzgar etkisinin ve boğaz akıntılarının azalması sonucu, gerek Marmara'da gerekse İzmir Körfezinde haloklin tabakası incelmektedir (Şekil 2). Tuğrul ve Morkoç (1990) tarafından gerçekleştirilen su kalitesi modelleme çalışmalarından az tuzlu üst tabaka sularının körfezdeki kalış süresinin yaz aylarında yaklaşık 1-1,5 ay olduğu hesaplanmıştır. Yaz döneminde körfezdeki kalış süresi 2 aydan fazla olan alt tabaka sularında da üst sulara benzer yatay akıntılar mevcuttur. Alt ve üst suların akıntılarının körfezin topografik özelliklerine bağlı değişimini öngören hidrodinamik model çalışması ODTÜ-Deniz Bilimleri Enstitüsü'nde gerçekleştirilmiştir (METU, 1986). **İşik Geçirgenliği:** Körfezin biyokimyasal özelliklerinin mevsimsel değişimi yukarıda kısaca değinilen iki tabakalı akıntı sisteminde kontrol edilmektedir (Tuğrul ve Morkoç, 1990). Güneş ışığının İzmit Körfezi sularındaki düşey dağılımına bakıldığından, körfezin orta bölgesinde % 1 lik ışık derinliğinin (otosentez ve solunumun dengelendiği derinlik) birincil üretimin yüksek olduğu Mart ayında 8 metrede sınırlandığı görülmektedir (Şekil 3a). Ekim ayında birincil üretimin azalması ve daha derinlere kayması sonucu % 1 lik ışık şiddeti derinliği artarak 25 metreye kadar diğer bir deyişle haloklin tabakası alt sınırına kadar uzanmaktadır (Morkoç ve Tuğrul, 1989). Tuzluluk tabakalanması nedeniyle partikül madde çökme hızı haloklin tabakası içerisinde düşmektedir. Körfezde 8 ila 25 metreler arasında değişen % 1 lik ışık şiddeti derinliği Marmara açık suları ile aynı seviyelerdedir (Göçmen, 1988). Şekil 3b den görüldüğü gibi, ışık şiddeti su kolonunda % 0.1'e indiği derinlik yaz sonunda ve sonbaharda artmaktadır (16-34 m), birincil üretimin arttığı ilkbahar aylarında ise azalmaktadır (9-16m). ışık geçirgenliğinin bir göstergesi olan Seki Disk derinliği (SDD) körfezin doğusunda 3-5 metreye kadar düşerken, körfezin orta ve batı bölgesinde mevsime bağlı olarak 5 ile 10 metre arasında değişmektedir (Tuğrul ve diğerleri, 1989).



Şekil 2. Sıcaklık ve tuzluluğun körfez sularında düşey dağılımı

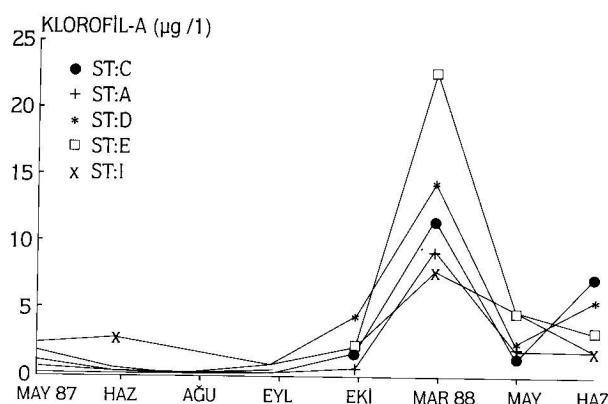
Organik Madde: Körfezin üst sularında 2 ila 5 mg/L arasında değişen TOK derişimi, alt tabakada yıl boyunca 0,7-1,0 mg/L mertebesindedir. En yüksek TOK değerleri (4-5 mg/L) her zaman kirliliğin yoğun olduğu doğu bölgesinin yüzey sularında ölçülmüştür. Üst tabakadaki TOK'ın % 10 ila % 30 arasında değişen miktarını POK oluşturmaktadır. Bu oran birincil üretimin arttığı aylarda yükselmekte ve diğer Mevsimlerde % 10 mertebesine düşmektedir. Körfezdeki TOK dağılımı (doğu bölgesi hariç) Marmaranın açık sularında ölçülen TOK değerlerine yakındır (Göçmen, 1988). Organik maddenin mikroorganizmalarca parçalanabilir miktarını gösteren BO₅ (Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı, 5 günlük) değerleri doğu bölgesinin üst sularında 1,0-1,5 mg-O₂/L arasında bulunmuştur; körfezin orta ve batısında ise yaz aylarında 0,5 mg/L iken kış aylarında 0,2 mg/L'ye kadar düşürülmüş gözlenmiştir.

Klorofil-a Üretken üst sularındaki fitoplankton yoğunluğunun bir göstergesi olan klorofil-a değerleri kör-



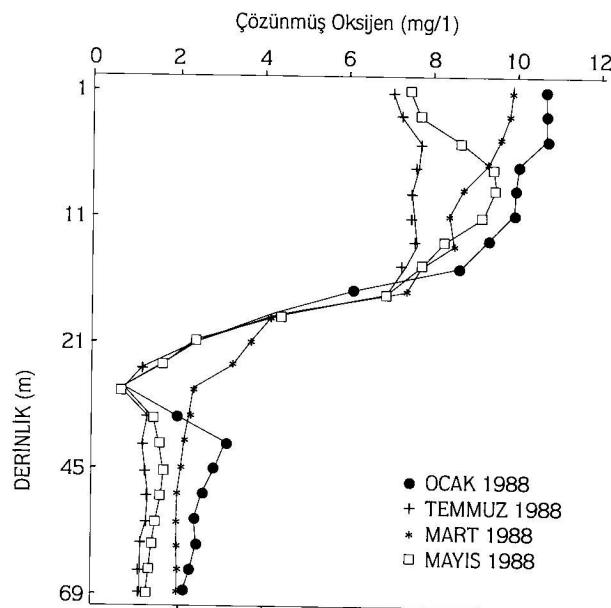
Şekil 3. a). Yüzey ışık şiddetinin İzmit Körfezinde % 1'e indiği derinlikler, b). Yüzey ışık şiddetinin İzmit Körfezinde : 0.1'e indiği derinlikler.

fezde batıdan doğuya gidildikçe artmaktadır. Körfezdeki klorofil-a ölçütleri Marmara ve Karadeniz değerlerinden en az iki kat fazladır (Göçmen, 1988; Sorokin, 1983). Şekil 4 den görüldüğü gibi, ilkbaharda yüzeye yakın derinliklerde gözlenen klorofil-a tepe değeri sıcaklık tabakaşmasının arttığı ve besin elementlerinin azaldığı yaz aylarında daha derinlere kaymaktadır. Su dolaşımının zayıfladığı yaz aylarında yüzey sularında besin elementlerinin azalmasıyla klorofil-a tepe değerlerinin (maksimum) derinliğe kaydığını görülmektedir. Yaz aylarında ölçülen düşük klorofil ve yüksek SDD değerlerinden, kıyıdan verilen İzmit bölgesi atık sularının ve bunların taşıdığı besin elementlerinin (azot, fosfor) bileşikleri körfezin açık sularına çok yavaş ulaştığı anlaşılmaktadır. Sonuç olarak klorofil-a'nın İzmit Körfezinin yüzey sularındaki değişimi yıllara göre farklılık göstermekle birlikte ilkbahar plankton patlaması ile her zaman Mart-Nisan aylarında gözlemlenmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Klorofil-a'nın İzmit Körfezi yüzey sularında değişimi

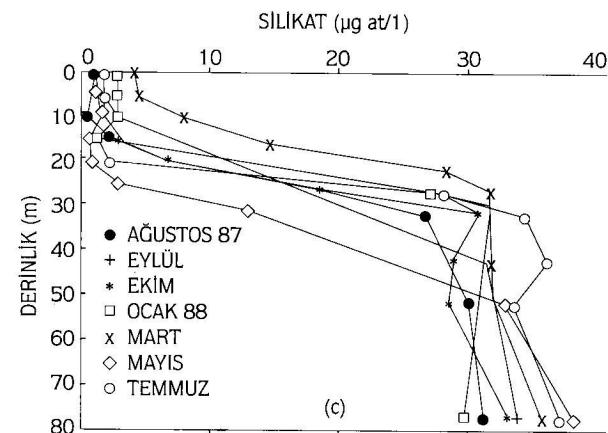
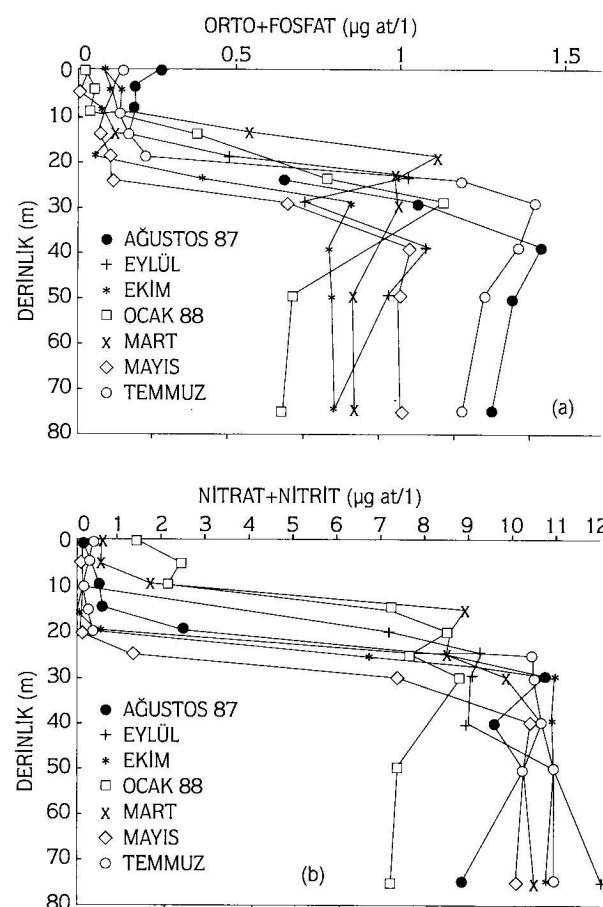
Çözünmüş Oksijen: Fotosentezin sürdürdüğü % 1 ışık derinliğine kadarki üst tabakada çözünmüş oksijen (ÇO) konsantrasyonu su sıcaklığına bağlı olarak yaklaşık doygunluk seviyesindedir. Mayıs 1988 de yaklaşık 10 metre derinlikte görülen ve yüzeye göre doygunluk değerini aşan ÇO'nun fitoplankton üretiminden kaynaklandığı klorofil-a değerlerinden açıkça görülmektedir. Haloklin tabakası içerisinde azalmaya başlayan ÇO, alt tabakaların başladığı 25-30 metrelerden tabana kadar, yıl boyunca 0,5 ila 2,5 mg/L arasında değişmektedir. (Şekil 5). Yaz aylarında alt tabakaaya akıntılar ve düşey karışıntımlarla giren ÇO'nun miktarı tüketimden az olduğundan alt tabakadaki ÇO Nisan-Mayıs aylarından başlayarak Eylül-Ekim aylarına kadar sürekli azalan bir değişim göstermektedir (Tuğrul ve diğerleri, 1989). Kış aylarında yukarıda sıralanan faktörler ters yönde değiştiğinden alt tabakada ÇO konsantrasyonu Ekim-Kasım aylarından başlamak üzere artmaktadır kiş aylarında 2,5-3 mg/L seviyesine kadar ulaşmaktadır (tuğrul ve diğerleri, 1989). Tuğrul ve Morkoç (1990) tarafından gerçekleştirilen çok tabaklı su kalitesi modelleme sonuçlarına göre körfez orta bölgesi alt tabaka sularında aylık ÇO azalma hızı Mayıs-Eylül ayları arasında yaklaşık 0,2 mg/L'dir. Ekim-Kasım aylarında alt sularındaki akıntıların artması ile bu tabakanın suları kısa sürede yenilendiğinden, derişimi 0,5 mg/L den 1,5-2,0 mg/L'ye kadar yükselir (Tuğrul ve diğerleri, 1989).



Şekil 5. Çözünmüş oksijenin körfezde düşey dağılımı

Besin Elementleri: Fotosentezde kullanılan temel besin elementlerinden orto-fosfat, nitrat ve diatom türü fitoplanktonların çoğalması sırasında dış kabuk yapısının oluşumunda yer alan reaktif silikatın körfez sularındaki düşey dağılımları yüzeyden haloklin tabakası alt sınıra doğru inildikçe artmaktadır. Alt tabakada (30 metrenin altında) en yüksek değerlere ulaşan besin elementleri derişimi bu tabaka içerisinde fazla mevsimsel değişim göstermemektedir (Şekil 6a-c). Birincil üretimin çevresel şartlar (ışık ve su sıcaklığı gibi) nedeniyle düştüğü ve dikey karışıntıların arttığı kış aylarında üst sular besin elementlerince zenginleşmektedir. Atıksular yoluyla körfezin yüzey sularına giren besin elementlerinin katkısıda dikkate alındığında gerek yaz gerek kış aylarında en yüksek besin elementleri her zaman kirliliğin yoğun olduğu doğu bölgeleri yüzey sularında gözlenmesi doğaldır. İlkbahardan sonbahara kadar üst sularda 0,03 ile 0,1 µM arasında değişen orto-fosfat derişimi, yüksek değerlere karasal kaynaklı kirlenmenin fazla olduğu doğu bölgesinde ulaşmaktadır (Şekil 6a). Kış aylarında üst tabakada 2-3 µM'a kadar yükselen nitrat derişimi, ilkbahar aylarında birincil üretimin artması ile Mayıs ayında 0,1 µM'un altına kadar düşmektedir (Şekil 6b). Karasal kaynaklı azot girdisinin yoğun olduğu doğu bölgelerinde, yaz aylarında üst tabakada 0,03-0,1 µM arası nitrit derişimi, kış aylarında ise 0,01-0,03 µM arası nitrit derişimi gözlenmektedir (Şekil 6c).

gesi yüzey sularında ise yaz aylarında $1.5 \mu\text{M}$ seviyesine varan nitrat değerleri kaydedilmiştir (Tuğrul ve diğerleri, 1989). Çoğalmaları esnasında sudaki reaktif silikat da kullanılan diatomların körfezde baskın fitoplankton türüne oluşturmazı (Uysal, 1987) ve ayrıca bölgeye tatlı su girdisinin sınırlı olması nedeniyle üst sularındaki silikat derişimi fitoplanktonların ilkbahar patlaması döneminde ani düşüşler göstermektedir. Mart ayında $5-10 \mu\text{M}$ arasında değişen üst su silikat derişimi yaz aylarında körfezin orta batı bölgelerinde $0.5-0.8 \mu\text{M}$ 'a kadar düşmektedir (Şekil 6c). Reaktif silikatın körfezde ve Marmara'nın açık sularındaki dikey dağılımı nitrat ve fosfat tuzları ile uyumludur (Göçmen 1988). Organik maddelerin ayrışması sonucu oluşan inorganik besin elementleri körfezin alt sularında oldukça yüksek derişimlerde bulunmaktadır. Körfezde sürekli olarak bulunan iki tabakalı su sistemi alt tabakalardaki besin elementlerinin üst tabakalara geçişini engellemektedir. Bu nedenle besin elementleri derişimi körfezin alt sularında bütün yıl boyunca yüksektir (Şekil 6c).



Şekil 6. orte-fosfat, nitrat+nitrit ve silikatın körfez sularında düşey dağılımı.

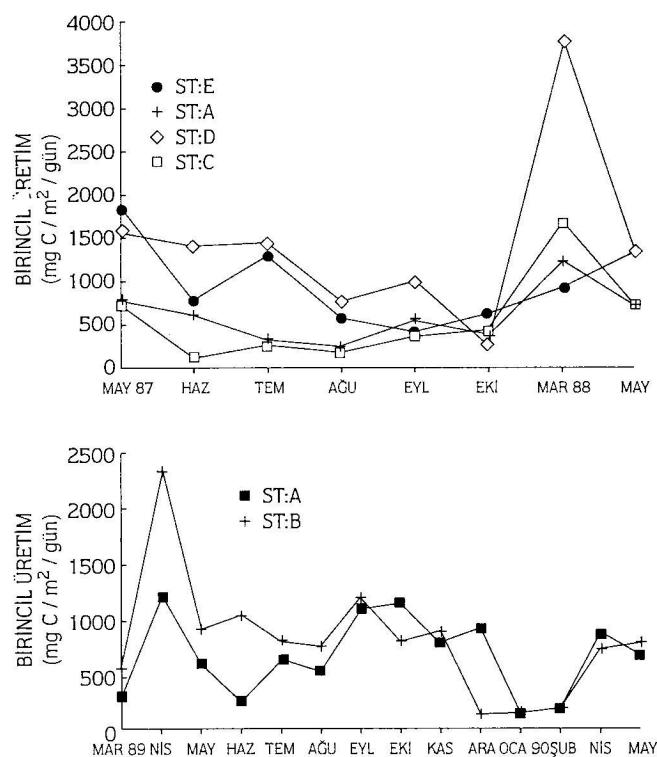
Birincil Üretim: İzmit Körfezinde 1987-1988 yılları arasında toplam 4 istasyonda yapılan birincil üretim sonuçlarına göre körfezde plankton patlaması (hızlı plankton çoğalması) ilkbahar aylarında olmaktadır (Şekil 7) ve en yüksek birincil üretim değeri Mart 1988 de ölçülmüştür. İkinci ve daha düşük seviyedeki plankton patlaması üst tabakanın soğumaya başladığı ve düşey karışımın kısmen artmaya başladığı Eylül ayında gözlenmiştir. İzmit bölgesindeki fitoplankton çoğalmasının mevsimsel değişimi iliman kuşakta yer alan denizlerle benzerlik göstermektedir. Marmara Denizi ve İzmit Körfezini doğrudan etkileyen Karadenizde de ilkbahar ve sonbaharda olmak üzere iki birincil üretim maksimumu vardır (Sorokin, 1983). Elde edilen deneyel bulgulara göre en yüksek birincil üretim Mart 1988'de D istasyonunda $3810 \text{ mg C/m}^2/\text{gün}$ olarak hesaplanmıştır. E istasyonunda ise en yüksek birincil üretim Mayıs 1987'de $1850 \text{ mg C/m}^2/\text{gün}$ olarak ölçülmüştür. Kişi aylarında ölçüm yapılmadığından, en düşük birincil üretim değeri ($120 \text{ mg C/m}^2/\text{gün}$) Haziran ayında C istasyonunda gözlenmiştir. Besin elementleri içerikli atıksular körfezin orta ve doğu bölgelerindeki sulara rüzgar ve karışımlara bağlı olarak değişen miktarlarda taşınmakta ve karışmaktadır. Dolayısıyla körfez içerisinde belirlenen noktalarda (Şekil 1) yapılan birincil üretim ölümleri aylık farklılıklar göstermekle birlikte genellikle yüksek bulunmuştur. Kirlenmenin daha az olduğu körfezin batı bölgesinde birincil üretim $560-600 \text{ mg C/m}^2/\text{gün}$ arasında değişmektedir. Farklı aylarda yapılan ölçüm sonuçları kullanılarak hesaplanan yıllık birincil üretim değerleri İzmit

Körfezinde batıdan kirlenmenin yoğun olduğu doğu bölgесine doğru gidildikçe iki kat artmaktadır. En yüksek yıllık üretim değeri 330 g C/m^2 olarak iç körfezde yer alan D istasyonunda bulunmuştur. Daha sonra 278 g C/m^2 ile E istasyonu gelmektedir. Körfezin batı bölgesindeki A ve C istasyonlarında ise yıllık birincil üretim miktarı $177-196 \text{ g C/m}^2$ arasında değişmektedir. Körfezin iç bölgelerindeki yıllık üretim seviyesi Marmara açık sularında bulunan değerlerden en az üç kat yüksektir (Göçmen, 1988). Fotosentezin var olduğu ışıklı üst tabakadaki (öfotik tabaka) birincil üretim ve klorofil-a derişimleri arasındaki ilişki bir çok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Smith ve Baker, 1978; Fountain ve Peters, 1986). Klorofil bulgularından birincil üretimin belirlenmesine çalışılmıştır. Klorofil, ışık şiddeti ve SDD verilerine dayanan birincil üretim hesaplamaları ilk kez Ryther ve Yentsch (1957) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmacılarca geliştirilen eşitliğin doğal dengesi bozulmuş Izmit Körfezine uygulanabilirliğini belirlemek amacıyla bu metodla da birincil üretim hesaplamaları yapılmış ve çok daha hassas olan ^{14}C yöntemiyle hesaplanan ve yukarıda tartışılan birincil üretim sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. İki farklı yöntemle elde edilen sonuçlar arasında belirgin farklar vardır. Bunun nedenide, klorofil-a'ya dayalı hesaplamalarda kullanılan asimilasyon sabitinin (ortamda bulunan fitoplanktonlarda birim zamanda sentezlenen karbonun klorofil-a ya oranı) Izmit Körfezinde çevresel koşullara ve plankton türlerine bağlı olarak önemli mevsimsel değişim göstergesidir. Karasal kaynaklı kirletici girdisinin yoğun olduğu Izmit Körfezinde bu sabitin 2.7 ile 70 arasında değiştiği hesaplanmıştır. Şekil 8 de görüleceği üzere değişken asimilasyon sabiti kullanılarak yapılan hesaplamalarından elde edilen üretim sonuçları ^{14}C yöntemi sonuçlarıyla oldukça uyumludur.

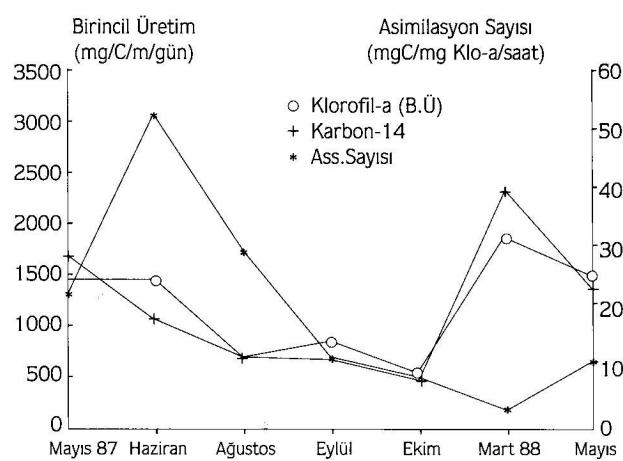
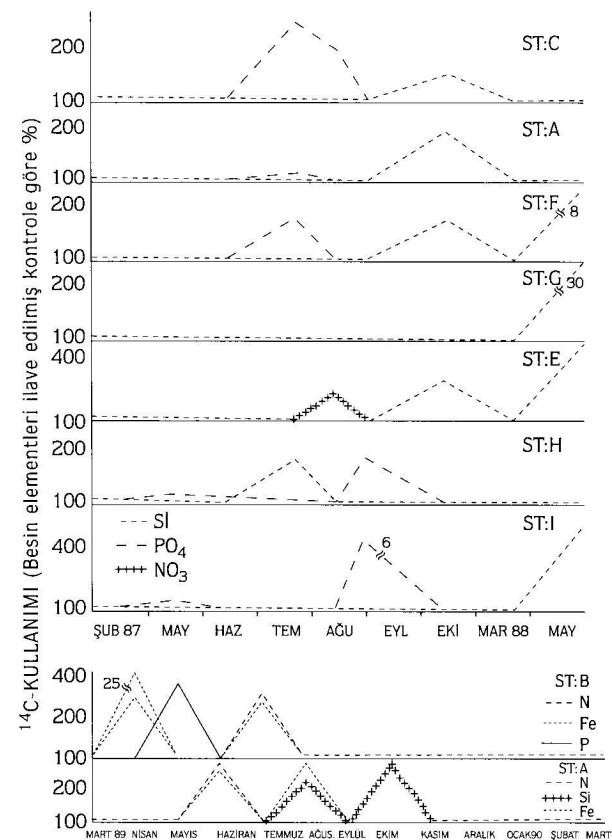
Sınırlayıcı Besin Elementleri: Fitoplanktonlar, yassıları ve çoğalmaları için gerekli olan besin elementlerini ihtiyaç duydukları oranlarda kullanıklarından, bu elementlerin sudaki azalmaları da tüketilme oranlarıyla yakından ilgilidir. Redfield (1963) fitoplanktonlardaki C:N:P oranını açık denizlerde ve okyanus sularında ortalamaya $106:16:1$ (mol olarak) olarak bulmuştur. Besin elementlerinden hangisinin sucul ortamda fitoplankton çoğalması üzerine sınırlayıcı parametre olabileceği konusunda bunların üst sularındaki (öfotik tabakadaki) oranlarının incelenmesiyle tahmin edilebilir. Fakat daha güvenilir sonuçlara biyodeney ölçümleriyle ulaşmak mümkündür. Zira, incelenen pa-

rametrelerin dışında başka elementlerinde (Fe, Co,Cu) sınırlayıcı faktör olduğu bilinmektedir (Meastrini ve diğerleri, 1984). Marmara ve izmit Körfezi alt sularındaki N:P oranı (mol olarak) 6-11 mertebesinde olup okyanuslardaki 16 lük orandan düşüktür. Alt ve üst sularındaki kimyasal bulguların değerlendirilmesinden, körfezde birincil üretimi sınırlayan parametrelerden birisinin olabileceği anlaşılmaktadır. Körfez ve Marmara sularında yaşanan planktonlardaki N:P oranı bilinmiyorsa da, Marmara üst sularında değişik derinliklerden toplanan partikül maddede N:P oranı 8 ile 12 arasındadır (Ç. Polat, yayımlamamış bulgu). Izmit Körfezi sularına verilen atıksularla ise N:P oranı yaklaşık 19 dur. Ayrıca Izmit Körfezi ve Marmara'da diatomların baskın fitoplankton türü olması nedeni ile (Uysal, 1987) silikatın da, azot ve fosfat ile birlikte, birincil üretimi sınırlayıcı rol oynaması olasıdır. Çünkü üretken İlkbahar ve yaz aylarında körfez ve Marmara'nın üst sularının bazı derinliklerinde silikat kontrasyonunun $0,5 \mu\text{M}$ 'un altına düşüğü gözlenmiştir. Besin elementi eklenmemiş kontrola bölünerek her deney setinin çeşitli aylarda yapılan biyodeney sonuçları Şekil 9 da verilmektedir. Burada her bir deney setine eklenen besin elementi veya elementleri karışımının fitoplankton çoğalmasına katkı derecesi hiçbir şey eklenmemiş kontrol deneyde kullanılan ^{14}C izotopu miktarına göre yüzde olarak değerlendirilmiştir. Yalnızca orto-fosfat ilave edilmiş deniz suyu örneklerinde birincil üretim Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında (C, F ve I istasyonları) kontrola göre 0,5 ile 6,0 kat artmaktadır. Mayıs 1989'da körfezin orta bölgelerinden (B istasyonu) alınan örneğe yapılan fosfat eklemesinin birincil üretimi 3,4 kat artırdığı gözlenmiştir. Toplam 8 istasyonda yapılan nitrat azotu eklemeli biyodeney sonuçlarına göre sadece E istasyonundan Ağustos 1987 de alınan örnekte birincil üretim kontrole kıyasla 2 kat yükselmiştir. İki hafta sonra tekrarlanan çalışmada hiç bir örnekleme noktasında azotun birincil üretimi sınırlayıcı rol oynamadığı görülmüştür (bkz. Şekil 9). 1989 da sürdürülen biyodeney sonuçlarına göre, A istasyonunda, sadece Haziran ayında nitrat azotu bu bölgedeki plankton çoğalmasında sınırlayıcı bir parametre olduğunu işaret etmektedir. Temmuz ayında ise benzer durum B istasyonunda görülmüştür. Azot ve fosforun birlikte ilave edildiği biyodeney sonuçları genellikle tek tek ilave edilenlerle uyumludur. Diğer bir deyişle her iki parametrenin eksikliğinin olduğu su külesi körfezde mevcut değildir. Reaktif silikatın körfezde mevsimsel ve bölgesel değişim gösterdiği daha önceki bölgelerde vurgulanmıştır. Reaktif silikat ilave edilmiş örneklerin

kontrol örnekteki ^{14}C kullanımına göre birincil üretimi artırıcı etkisi 1-30 arasında değişmektedir. Buna göre birincil üretimin silikat eksikliği nedeniyle en fazla sınırlandığı G noktasında silikat eklemesi Mayıs 1988 de fitoplankton çoğalmasını 30 kat artırmaktadır (bkz. Şekil 9). İzmit Körfezi'ne giren tatlı sularda N:P: Si oranı doğal kaynaklardan farklıdır. Çünkü bu sular körfeze fabika ya da evsel atıksuları olarak ve rildiğinden azot ve fosforca zenginleşmekte fakat silikat içeriğinde bir artış olmamakta ve sonuç olarak reaktiv silikat sınırlayıcı parametre olarak ortaya çıkmaktadır. 1989 yılında yapılan biyodeneylerde Fe elementinin A ve B noktalarında birincil üretimi arttığı gözlenmiştir. Nisan ayında 7,5 lik bir faktör ile sınırlayıcı olurken Temmuz ayında 2,7 ye düşmektedir (B istasyonu). A istasyonunda sırasıyla 2,6-2,7 arasında olduğu saptanmıştır. Sonbahar ve kış aylarında fotosentez üzerine etkisi olmadığı görülmektedir. Bunun nedenide muhtemelen yağmur suları ile demir elementinin körfeze taşınmış olmasıdır.



Şekil 7. Birincil üretim değerinin İzmit Körfezinde dağılımı.

Şekil 8. ^{14}C 'ye ve klorofil-a'ya dayalı birincil üretim (değişen asimilasyon sayısı kullanılarak) ve asimilasyon sayısının İzmit Körfezinde aylık değişimi

Şekil 9. İzmit Körfezinde birincil üretimi sınırlayan besin elementleri ve sınırlamanın büyüklüğü.

Sonuçlar

Izmir Körfezinde yıl boyunca gözlenen iki tabakalı su kültlesi sistemde oşinografik değişimleri kontrol eden temel faktördür. Farklı yoğunluğa ve farklı biyokimyasal özelliğe sahip bu iki tabakanın fiziksel karışımı ile oluşan haloklin geçiş tabakasının kalınlığı 10-15 metre arasında değişmektedir. Üst tabakada tuzluluk ve su sıcaklığı mevsimsel değişiklik gösterirken alt tabakanın tuzluluk ve sıcaklık değerleri yıl boyunca çok az değişmektedir. Hidrografik özellikleri Marmara ile uyumlu olan körfezin biyokimyasal özellikleri de Marmara'dan akıntılarla tışanan sularca kontrol edilmektedir. Kirliliğin yoğun olduğu doğu bölgesinde bu etkinin derecesi kısmen azalmaktadır. Körfezin orta ve batı bölgesinde öfotik tabakanın kalınlığı (otosentez derinliği) ilkbaharda 5 ile 7 metre arasında değişmektedir. Besin elementlerinin üst sulardaki azalmasına bağlı olarak, birincil üretimin ve klorofil-a maksimum değerleri yaz aylarında daha derinlere kaymaktadır. Fitoplankton üretimi yıl boyunca üst tabaka ve haloklin derinliklerinde sınırlandığından, alt tabakada gözlenen çözünmüş oksijen eksikliği - Marmaranın açık sularında olduğu gibi sürekli - alt tabakada kiş aylarında ancak 2,5 mg/L'ye kadar yükselen çözünmüş oksijen, yaz sonunda tekrar 0,5-1,0 mg/L'ye kadar düşmektedir. Bu çözünmüş oksijen derişimi balıkların alt sularda yaşamını sınırlamaktadır.

Boğazlardan giren su debilerindeki değişimlere, rüga, lara ve üst tabaka sularının soğuma zamanına bağlı olarak İzmit Körfezinin oksijen fakirleşmiş alt tabaka sularının yenilenmesi Ekim-Kasım aylarında artmaktadır. Bu dönemde alt tabakaya giren çözünmüş oksijen miktarının tüketimden fazla olması sonucu, körfez dip sularının oksijen derişimi 1.0 mg/L kadar artmaktadır.

Birincil üretimin arttığı ilkbahar aylarında üst sulardaki besin elementleri fotosentez sonucu tüketildiğinden, üst tabaka yaz boyunca besin elementlerince fkirdir. Çünkü karasal kaynaklı azot ve fosforun körfezin açık sularına yüzey akıntılarıyla taşınma hızı tüketimden yavaş olmaktadır. Bu nedenle ilkbahar aylarında en yüksek değerlere ulaşan günlük birincil üretim yaz aylarında önemli seviyede düşmektedir ve besin elementlerinin açık sulara girdisine bağlı olarak bölgesel değişimler göstermektedir. Yine de körfezde 300 g-C/m² olarak hesaplanan yıllık birincil üretimi, Marmara açık sularındaki üretimden en az üç kat yüksektir. Benzer şekilde partikül organik karbon ve klorofil değerleri de Marmara'da ölçüldenden yüksektir; örneğin, körfezin doğu bölgesinde sularının POK ve klo-

rofil-a derişimleri batıya göre en az 3-5 kat yüksektir.

Körfezin batı bölgesinde günlük birincil üretim genellikle orto-fosfat ve reaktif silikat tarafından kontrol edilmektedir. N/P oranı gerek körfezin gerekse Marmara'nın üst sularında düşük olmasına rağmen azotun birincil üretimi sınırlayıcı etkisi çok azdır. Bu da fitoplanktonların azot ihtiyacını başka kaynaklardan azot içerikli organik maddeler, serbest azot gibi yada fosfora göre daha az azot kullanıldığını işaret etmektedir. Reaktif silikatın üretimi sınırlayıcı rolü kirlenmenin yoğun olduğu körfezin doğusu ile orta bölgesinde daha belirgindir.

Bilindiği kadarı ile bu çalışma ülkemiz denizlerinde ¹⁴C yöntemiyle yapılan birincil üretim ve fitoplankton üretiminin sınırlayıcı besin elementlerinin belirlenmesine yönelik ilk uygulamadır. ¹⁴C sonuçlarına dayalı üretim bulguları klorofil-a'dan hesaplanan üretim sonuçlarında değişken asimilasyon sayısı kullanılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Biyodeney sonuçları körfeze boşaltılan atıksularda sadece azot gideriminin körfezdeki biyokimyasal kirlenmenin azaltılmasında beklenen katkıyı sağlamayacağını ortaya koymaktadır. Atıksu deşarj kriterlerinde fosforun da önemle dikkate alınması gerekmektedir.

Semboller

BOI ₅	: Biyolojik oksijen ihtiyacı
PO ₄	: Fosfat
NO ₃	: Nitrat
SDD	: Seki disk derinliği
TOK	: Toplam organik karbon
POK	: Partikül organik karbon
POM	: Partikül organik madde
ÇO	: Çözünmüş oksijen

Kaynaklar

Baştürk, Ö., Balkaş, T., Sunay, M., and Tuğrul, S., Determination of oceanographic characteristics and assimilation capacity of Izmit Bay, NATO TU-WATERs project, First annual report, May 1984-May 1985 period, TÜBİTAK-MRI publ. 173, 236 pp, 1985.

Blackman, F.F., Optima and limiting factors. Ann. Bot. 19, 281-295, 1905.

DAMOC, İstanbul region drinking water, sewerage and master plant and feasibility studies, UNDP/WHO project, 1971.

Fontain De La Y., Peters, R.H., Empirical relationship for marine primary production: the effect of environmental variables. Oceanological Acta., Vol. 9 No.1, 1986.

- Gargas, E., A manual for phytoplankton primary Production studies in the Baltic. The Baltic Marine Biologist in cooperation with the Danish Agency of Environmental Protection, 1975.
- Göçmen, D., Fluctuations of chlorophyll-a and primary production as related to physical, chemical and biological parameters in Turkish coastal waters. METU, IMS, Master thesis, 1988.
- Hayward, T.L., and Venric, L.E., Relation between surface chlorophyll, integrated cholorhyll and primary production. Mar. Biol., 69: 247-252, 1982.
- Industrial methods., No. 253-80E and 100-70 W/B Technicon Industrial System, 1978.
- Kor, N., The control of pollution in the Izmit Bay, TÜBİTAK Publ. No: MAG 211/A, 106 pp., 1974.
- Meastrini, S.Y., Banin, D.J., Droop, M.R., Phytoplankton as indicator of sea water quality: Bioassay approaches and protocols (In algae as ecological indicators, Eds. L.E. Shubert) Academic Press Inc. Publ. N.Y., 1984.
- METU Hydrodynamical modelling studies of Izmit Bay. Progress report. METU Publ., İÇEL-TURKEY, 1986.
- METU Data report for the hydrographic measurements carried out in the Bay of Izmit during November 1986-July 1988 period, TÜBİTAK-MRI Publ., 1988.
- Morkoç, E., Tuğrul, S., Determination of primary production and limiting nutrient in the Bay of Izmit. TUBITAK-MRC Publ., 1988.
- Morkoç, E., Karbon-14 teknigi kullanilarak birincil üretim ve sınırlayıcı besin elementlerinin mevsimsel değişiminin İzmit Körfezinde izlenmesi, İÜ-DBE, Doktora tezi 1991.
- Nielsen, S., The use of radioactive (¹⁴C) for measuring organic production in the sea. Royal Danish School of Pharmacy, Copenhagen, 1952.
- Orhon, D., Gönenç, E., Tünay, O., Akkaya, M., The prevention and the removal of the water pollution in Izmit Bay: Determination of technological aspects., ITU-Civil Eng. Publ., 373 pp. (in Turkish) 1984.
- Redfield, A.C., Ketchum, B.H., and Richards., The influence of organisms on the composition of the sea water. (In: The sea. Ideas and observations on progress in the study of the seas. Vol. 2. The composition of sea water. Comparative and descriptive oceanography. M.N. Hills Eds.) pp. 26-77. Interscience, N.Y., 1963.
- Ryther, J.H. and Yentsch C.S., The estimation of phytoplankton in the ocean from chlorophyll and light data. Limnol. Oceanogr., 2:281-286, 1957.
- Smith, R.C., Baker, K.S., The bio-optical state of ocean waters and remote sensing. Limnol. Oceanogr., 23: 274-259, 1978.
- Standard Methods for the examination of water and wastewater, APHA, AWWA, WPCP Publ., 16th ed., 1985.
- Tuğrul, S., Morkoç, E., Transport and water quality modelling in the Bay of Izmit. Final Report TÜBİTAK-MAM, 1990.
- Tuğrul, S., Morkoç, E., Okay, O., Determination of oceanographic characteristics and assimilation capacity of the Izmit Bay, In: 'Wastewater treatment and disposal studies'. Final report of NATO TU-WATERS project, TÜBİTAK-MRI Publ., 1989.
- Uysal, Z., Fate and distribution of plankton around the Bosphorus. METU-MSI, Master thesis, 1987.
- Sorokin, Yu. I., The Black Sea. In: Ecosystems of the world estuaries and enclosed seas, Eds. B.E. Ketchum. Elsevier Sci. Publ. Comp., 1983.