

## Mersin Körfezi-Erdemli Kıtа Sahanlığı Yüzey ve Dip Sularında İnorganik ve Organik Fosfor Formlarının Zaman ve Mekan Ölçekli Değişimleri

Neslihan DOGAN-SAGLAMTIMUR<sup>1\*</sup>, Suleyman TUGRUL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Nigde University, Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, 51245 Nigde-TURKIYE

<sup>2</sup>Middle East Technical University, Institute of Marine Sciences, P.O.Box: 28, 33731 Erdemli/Mersin-TURKIYE

\*Corresponding author: neslihandogansaglamtimur@gmail.com

### Özet

Mersin Körfezi Erdemli kıtа sahanlığı yüzey ve dip sularında inorganik ve organik fosfor formlarının zaman ve mekan ölçekli değişimlerini belirlemek amacıyla, Aralık 2001-Aralık 2003 döneminde, seçilmiş üç istasyondan aylık hidrografik data ve suda fosfor formlarının ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen bulgular, toplam fosforun farklı fraksiyonları derişimlerinin kıyı istasyondan açık istasyona doğru azalma eğilimi gösterdiğini ortaya koymustur. Kıtа sahanlığında ölçülen toplam fosforun (çözünmүş+partikül) ana bileşenini, çözünmүş fosfor bileşiklerinin (TDP:56-97%) oluşturduğu; TDP'nin de büyük oranda organik-P (DOP) içeriği olduğu belirlenmiştir. Toplam partikül fosforun (PP) ana bileşeni organik-P (POP) bileşikleridir; ancak, nehir girdisiyle beslenen kıyı istasyonda, partikül inorganik fosforun (PIP), PP'ye katkısı çok belirgindir.

**Anahtar Kelimeler:** Akdeniz, besin maddeleri, fosfor, Mersin Körfezi.

### Spatial and Temporal Variations of Inorganic and Organic Forms of Phosphorus in the Surface and Deep Waters of Erdemli Shelf Zone of Mersin Bay

#### Abstract

The aim of this study was to understand spatial and temporal variations of inorganic and organic forms of phosphorus in the surface and deep waters of Erdemli shelf zone of the Mersin Bay. For this goal, time-series hydrographical and phosphorus data were obtained monthly at the three selected stations between December 2001 and December 2003. The present results have shown that the concentrations of different fractions of total phosphorus displayed a decreasing trend from nearshore to shelfbreak zone of the bay. Total phosphorus (dissolved+particulate) in the shelf water was dominated by dissolved-P fraction (TDP:56-97%) and dissolved organic-P (DOP) was principally the major constituent of the TDP in the shelf water. Similarly, particulate organic-P (POP) dominates the particulate-P (PP) pool; however, the contribution of particulate inorganic-P (PIP) to PP pool was more pronounced in the nearshore zone fed by riverine inputs.

**Keywords:** Phosphorus, nutrients, Mersin Bay, the Mediterranean Sea.

Saglamtimur ND, Tugrul S (2013) Spatial and Temporal Variations of Inorganic and Organic Forms of Phosphorus in the Surface and Deep Waters of Erdemli Shelf Zone of Mersin Bay. Ekoloji 22(88): 65-72.

### GİRİŞ

Akdeniz, sığ ve dar Sicilya boğazı ile birbirine benzer büyüklükteki doğu ve batı basenlerine ayrıılır. Doğu Akdeniz, birçok prosesi tetikleyen su kütlesi oluşumları ve ilişkilere sahip bir basen olarak dünyanın ilgisini çekmektedir (POEM Group 1992, Yılmaz ve Tuğrul 1998). Doğu Akdeniz açık suları dünya denizleri arasında, her zaman besin tuzları açısından fakir olarak gösterilen tipik bir örnektir (Krom ve ark. 2010, Manaşırlı ve ark. 2011, Tuğrul ve ark. 2011). Bu çalışmanın yapıldığı Erdemli kıtа sahanlığı, Kuzeydoğu Akdeniz'in en geniş kıtа

sahanlığıdır.

Deniz ekosistemlerinde toplam fosfor (TP) konsantrasyonları, oligotrofik denizden ( $0,05-0,07 \mu\text{M}$ ) besin elementlerince zengin nehir ağızlarına doğru gidildikçe 100 katı aşan ( $10-20 \mu\text{M}$ ) değişimler gösterir (Scanlan ve Wilson 1999). Deniz suyundaki fosfor, partikül ve çözünmүş formlarda bulunmaktadır. Toplam partikül fosfor (PP) çoğunlukla biyolojik madde kökenli organik bileşiklerin yapısındadır. Partikül organik fosfor (POP), az çalışılan bir form olup, oligotrofik ortamlarda  $10-20 \text{ nM}$  gibi düşük seviyelerdedir

Geliş : 15.11.2011 / Kabul: 24.04.2013

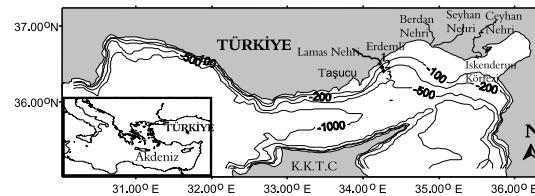
(Michaels ve ark. 1996). Sudaki toplam çözünmüş fosforun (TDP) temel bileşenleri ortofosfat, polifosfatlar ve çeşitli organik bileşiklerdir (Paytan ve McLaughlin 2007). Çözünmüş inorganik fosforun temel bileşeni olan ortofosfat, planktonik mikroorganizmalar için en fazla biyolojik erişilebilirliliktedir (Benitez-Nelson 2000). Önceki çalışmaların çoğu, deniz ekosisteminde P mevcudiyetini ortaya koymak için su kolonunda çözünmüş inorganik fosfat (DIP) değişimini ya da mikroorganizmalarca DIP alımının metabolik oranı üzerine odaklanmıştır (Perry ve Eppley 1981, Sorokin 1985, Sağlamtimur ve Tuğrul 2008). Çözünmüş organik fosfor (DOP), oligotrofik ekosistemlerinde konsantrasyon olarak DIP'dan oldukça fazla olduğundan, planktonik canlılar için diğer önemli fosfor kaynağıdır (Cavender-Bares ve ark. 2001, Suzumura ve Ingall 2004).

Mersin Körfezi-Erdemli Kıt Sahipliği'nda besin maddesi dağılımlarını belirlemek için ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü, yaklaşık 20 yıldır sürecek araştırmalar yapmaktadır. Söz konusu veri bankasında sadece DIP ölçüm sonuçları vardır ve geleneksel yöntemle ölçülen düşük değerlerde belirsizlikler mevcuttur. Bu çalışma ile fosfor konusunda bölgedeki bilgi açığının doldurulması, fosforun su kolonundaki tüm inorganik ve organik formlarının belirlenmesi, zaman ve mekan ölçekli dağılımlarının ortaya konulması amaçlanmıştır.

#### MATERIAL VE METOT

Sistematik saha çalışmaları, kıyı (0.5 deniz mili uzaklıkta, >20 m toplam derinliğe sahip, 36°57'N 34°27'E koordinatlarında), orta (~4 deniz mili uzaklıkta, >100 m toplam derinliğe sahip, 36°43'N 34°36'E koordinatlarında) ve açık (~9 deniz mili uzaklıkta, >200 m toplam derinliğe sahip, 36°50'N 34°38'E koordinatlarında) istasyonlarda yapılmıştır (Şekil 1). Örneklemelerinde R/V Lamas ve R/V Erdemli araştırma teknelerinin kullanıldığı, Aralık 2001-Aralık 2003 dönemini kapsayan 2 yıllık bir zaman serisi çalışılmıştır.

Deniz ekosisteminde fosfor döngüsünü etkileyen çevresel faktörleri belirlemek amacıyla hidrografik parametreler (tuzluluk, sıcaklık ve yoğunluk) su kolonunda, Sea-Bird model CTD probu bir vinç yardımı ile sarkıtarak, yerinde ölçülmüştür. Fosfor formlarını belirlemek için deniz suyu örnekleri ise belirlenen derinliklerden Niskin şişeleri ile (5 ve 30 L kapasiteli) alınmıştır. TP analizi için, filtrelenmemişi deniz suyu örnekleri asitle



**Şekil 1.** Mersin Körfezi-Erdemli Kıt Sahipliği'nde belirlenen örneklemme istasyonlarının konumları (1: Kıyı, 2: Orta, 3: Açık).

yıkamış 125 mL'lik polietilen şişelere alınmış ve analize kadar dondurucuda yaklaşık -20°C'de saklanmıştır. PP ve PIP analizleri için deniz suyu örnekleri asitle yıkamış ve yüksek sıcaklıkta yanmış GF/F tipi filtrelerden süzülmüştür. Filtreler steril petri kaplarına konmuş ve sahada dondurucuda (-20°C) tutulmuştur; laboratuvara getirilince yaklaşık 40°C'de kurutulmuş ve analize kadar vakumlu desikatörde saklanmıştır. DIP analizi için, filtrelenmemiş deniz suyu örnekleri asitle yıkamış 1000 mL'lik mezurlara konmuş ve hemen analizlenmiştir. DIP örneklerinde tayin sınırı 1 nM'in altına inebilen, ön çökeltmeli MAGIC (MAGnesium-Induced Coprecipitation) metodu (Karl ve Tien 1992) kullanılmıştır. TP örneklerinde persülfatla parçalama (Menzel ve Corwin 1965, APHA 2005), PP örneklerinde HCl ile sıcak parçalama (Karl ve ark. 1990), PIP örneklerinde HCl ile soğuk parçalama (Keefe ve ark. 2004) yapılarak inorganik fosfatın açığa çıkması sağlanmıştır. Bu ön aşamalardan sonra, söz konusu fosfor fraksiyonlarında inorganik fosfat analiz metodu uygulanarak (Koroleff 1983) spektrofotometrede 880 nm'de ölçüm yapılmıştır. TDP, DOP ve POP konsantrasyonları ise hesaplanarak bulunmuştur.

#### BULGULAR

Hidrografik parametreler (tuzluluk, sıcaklık ve yoğunluk) su kolonunda kesintisiz olarak doğrudan ölçülmüştür. Sudaki fosfor fraksiyonları derişimleri ise belirlenmiş derinliklerden alınan örneklerde ölçülmüştür. Bu çalışmada, kıyı, orta ve açık istasyonların su kolonlarında iki temel tabaka olan yüzey ve dip su sonuçları deneysel ve istatistiksel verilere göre (yüzey ve dip sularında hidrografik bulgularda farklılığı ortaya koymak için Kruskal Wallis Test, fosfor fraksiyonlarının kendi içinde homojen olup olmadığını belirtmek için varyansların homojenliğini test eden Levene Testi -Levene's Test for Equality of Variances- kullanılarak) değerlendirilmiştir.

### Hidrografik Bulgular

Kıyı istasyon (İst. 1) düşük debili ( $2.2 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{yıl}$ ) Lamas Nehri'nin etkisi altındadır (Doğan-Sağlamtimur ve Tuğrul 2004); bu durum az tuzlu yüzey suyunun (2002 yılında 35,8-38,8 ppt ve 2003 yılında 37,0-39,3 ppt aralığında), tuzluluğu fazla dip (10 m) suyun (2002 yılında 36,9-39,4 ppt ve 2003 yılında 38,2-39,3 ppt aralığında) üstünde bulunmasıyla gözlemlenmiştir (Şekil 2a). Çalışmanın yapıldığı dönemde kış aylarında etkin düşey karışıntılarla yükselen tuzluluk, ilkbaharda nehir girdisi etkisi ve sıcaklık tabakalaşması ile belirgin düşüse geçmiştir. Kruskal Wallis Testi sonuçlarına göre bu istasyonun yüzey ve dip sularında tuzluluk bakımından istatistiksel olarak önemli ( $p < 0,05$ ) bir farklılık vardır. Kıyı istasyonda su sıcaklığı 2002 yılında 16,6-30,7°C, 2003 yılında ise 15,5-29,6°C aralığında değişmiştir. Kış aylarında Toros Dağlarından Lemas Nehri yoluyla gelen soğuk tatlı sular, kıyıya yakın suların sıcaklık dağılımına etki etmiştir (Uysal ve Köksalan 2006). Yüzey sıcaklığı ilkbahar-yaz aylarında yükselsek, hava sıcaklığının artmasıyla, örnekleme döneminin her iki Ağustos ayında (2002: 30,7°C, 2003: 29,6°C) en yüksek seviyeye ulaşmıştır (Şekil 2b). Kıyı istasyonun yüzey ve dip sularında Kruskal Wallis Testi sonuçlarına göre sıcaklık açısından istatistiksel olarak önemli ( $p > 0,05$ ) bir farklılık yoktur.

Orta istasyondan (İst. 2) Eylül 2002'den sonra örnekleme yapılmaya başlanmıştır. Yüzey suyu tuzluluk değerleri (39,3-39,7 ppt), 2002 yılı sonbaharında dip su (100 m) değerlerinden yüksektir. En düşük yüzey suyu tuzluluğu Mayıs ayında ölçülmüş, 2003 yılında ise 37,8-39,3 ppt aralığında bulunmuştur. Orta istasyonda tuzluluk, ilkbahar döneminde kısmen düşüktür. Bu durum ise ilkbaharda debileri artan Ceyhan, Seyhan, Berdan ve Deliçay Nehri sularının karıştığı doğu Akdeniz kita sahanlığı tuzlu sularının, doğu-batı yönlü genel akıntılarla, Erdemli bölgesi kita sahanlığına kadar seyrelerek etkili olduğuna işaret eder. Uydu görüntülerinden elde edilen yüzey akıntı ve sıcaklık dağılım haritaları (Örek 2007), bu etkinin varlığını desteklemektedir. Dip suda tuzluluk 2003 yılında genel olarak benzer bir eğilime sahiptir; Mayıs ayında 39,1 ppt olan tuzluluk, Eylülde 38,7 ppt seviyesine düşmüştür (Şekil 3a). Bu istasyonun yüzey ve dip sularında Kruskal Wallis Testi sonuçlarına göre tuzluluk bakımından istatistiksel olarak önemli ( $p > 0,05$ ) bir farklılık

yoktur. Yüzey suyu sıcaklığı Eylül 2002'de 27,9°C olup, Aralık ayında 19,5°C'ye kadar azalmıştır. 2003 yılında ise 17,2-29,9°C aralığında salınım göstermiştir. Dip sudaki sıcaklık eğilimi, 2002 sonbahar dönemi haricinde, yüzey sudaki eğilime benzerdir (Şekil 3b). Kruskal Wallis Testi sonuçlarına göre orta istasyonun yüzey ve dip sularında sıcaklık açısından istatistiksel olarak önemli ( $p < 0,05$ ) bir farklılık vardır.

Açık istasyonda (İst. 3) yüzey suyu tuzluluğunun bölgedeki nehir girdilerinden yağışlı ilkbahar döneminde kısmen belirgin (38,0-38,5 ppt), kurak dönemde çok düşük etkilendiği (39,0-39,5 ppt) gözlenmiştir. Dip su (200 m) tuzluluk değerleri ise zamana dayalı olarak daha düşük bir salınıma (38,9-39,3 ppt) sahiptir (Şekil 4a). Kruskal Wallis Testi sonuçlarına göre bu istasyonun yüzey ve dip sularında tuzluluk açısından istatistiksel olarak önemli ( $p > 0,05$ ) bir farklılık yoktur. Az tuzlu, soğuk ve daha yoğun olan dip suların yüzeye ulaşması beklenmez; yüzeydeki düşük tuzluluklar tatlı su kaynakıdır. Yüzey suyu sıcaklığı 2002 yılında 17,6-29,6°C, 2003 yılında ise 16,9-28,2°C aralığında değişim göstermiştir. Dip su sıcaklığı 2002-2003 döneminde 15,7-19,4°C aralığında değişmiştir (Şekil 4b). Açık istasyonun yüzey ve dip sularında sıcaklık bakımından Kruskal Wallis Testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli ( $p < 0,001$ ) bir farklılık vardır.

### Fosfor Fraksiyonları Bulguları

Çözünmüş ve partikül elementlerin karadan denize doğru taşımımında nehirler birincil yoldur. Bu çalışmada düşük debili ( $2.2 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{yıl}$ ) Lamas Nehri'nin, özellikle ilkbahar aylarında, toplam derinliği yaklaşık 20 m olan sıg kıyı istasyon için taşıyıcı durumunda olduğu bu noktadaki yüzey sularının düşük tuzluluk değerlerinden anlaşılmaktadır. Nehir suyunda Nisan-Aralık 2013 döneminde TP, TDP, DOP, DIP, PP, POP ve PIP konsantrasyonları sırasıyla  $0,25-6,69 \mu\text{M}$ ,  $0,13-3,28 \mu\text{M}$ ,  $0,05-2,12 \mu\text{M}$ ,  $0,03-1,16 \mu\text{M}$ ,  $0,07-3,81 \mu\text{M}$ ,  $0,04-2,39 \mu\text{M}$  ve  $0,02-1,79 \mu\text{M}$  aralığında değişmiştir (Tablo 1).

Kıyı istasyon yüzey ve dip su mevsimsel TP derişimleri 2002-2003 döneminde sırasıyla  $0,20-0,40 \mu\text{M}$  ve  $0,21-0,36 \mu\text{M}$  aralığındadır. Mayıs 2002'de su kolonu boyunca TP konsantrasyonlarında artış görülmüştür. 2003 yılında ise sadece yüzey suyu TP konsantrasyonları ilkbahar aylarında artmıştır (Şekil 2c). Orta istasyonda TP derişimleri

kıyıya göre azalma eğilimi göstermiştir; örnekleme döneminde yüzey suyunda  $0,14\text{--}0,25 \mu\text{M}$ , dip suda ise  $0,16\text{--}0,29 \mu\text{M}$  aralığında değişmiştir (Şekil 3c). Açık istasyonda TP derisi yüzey suyunda ( $0,11\text{--}0,26 \mu\text{M}$ ), dip sudakinden ( $0,13\text{--}0,32 \mu\text{M}$ ) daha düşüktür. Yüzey ve dip su TP değerleri en yüksek seviyeye, suların kariştiği Aralık 2002'de ulaşmıştır (Şekil 4c). Levene Testi sonuçlarına göre TP konsantrasyonları istatistiksel olarak kıyı istasyonun yüzey ve dip sularında homojen değildir ( $p<0,05$ ), orta ve açık istasyonların yüzey ve dip sularında ise homojendir ( $p>0,05$ ).

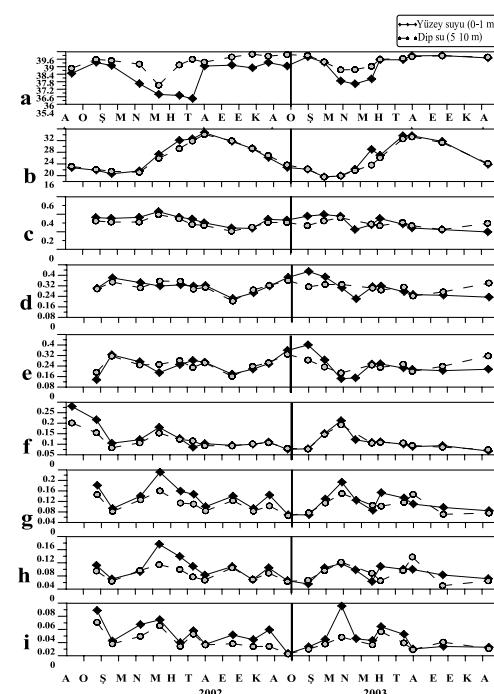
TP'nin ana bileşenini oluşturan TDP formu, kıyı istasyon yüzey ve dip sularında 2002-2003 döneminde  $0,14\text{--}0,35 \mu\text{M}$  ve  $0,12\text{--}0,28 \mu\text{M}$  aralığında salınmıştır. En yüksek TDP derisi su kolonunda Ocak-Şubat 2003 döneminde gözlenmiştir (Şekil 2d). Orta istasyonda ise 2002-2003 döneminde TDP yüzeyde  $0,09\text{--}0,23 \mu\text{M}$ , dipte  $0,13\text{--}0,27 \mu\text{M}$  aralığındadır. Orta istasyonda en yüksek TDP derimleri kış aylarında Aralık 2002-Şubat 2003 döneminde bulunmuştur (Şekil 3d). Açık istasyonda örnekleme döneminde yüzeyde ve dip suda TDP derisi sırasıyla  $0,07\text{--}0,24 \mu\text{M}$  ve  $0,12\text{--}0,28 \mu\text{M}$ 'dır. Kıyı ve orta istasyonlarda olduğu gibi bu bölgede de TDP kurak dönemde düşüktür, kış döneminde artış göstermiştir (Şekil 4d). Levene Testi sonuçlarına göre TDP konsantrasyonları kıyı, orta ve açık istasyonun yüzey ve dip sularında istatistiksel olarak homojendir ( $p>0,05$ ).

Kıyı istasyonda yüzey ve dip DOP konsantrasyonları 2002-2003 döneminde sırasıyla  $0,05\text{--}0,32 \mu\text{M}$  ve  $0,08\text{--}0,25 \mu\text{M}$  aralığında değişmiştir. En yüksek seviyeye Ocak 2003'te ulaşmıştır (Şekil 2e). Orta istasyonda DOP derimleri 2002-2003 döneminde yüzeyde  $0,05\text{--}0,22 \mu\text{M}$ , dip suda ise  $0,09\text{--}0,25 \mu\text{M}$  aralığındadır. Aralık 2002-Ocak 2003 döneminde DOP su kolonunda artış göstermiştir (Şekil 3e). Açık istasyonda DOP konsantrasyonları örnekleme döneminde yüzey ve dip suda sırasıyla  $0,05\text{--}0,22 \mu\text{M}$  ve  $0,08\text{--}0,25 \mu\text{M}$  aralığında salınmıştır; kış-ilkbahar döneminde artışlar belirgindir (Şekil 4e). Kita sahanlığı sularında TDP'nin ana bileşenini oluşturan DOP konsantrasyonları, Levene Testi sonuçlarına göre kıyı, orta ve açık istasyonun yüzey ve dip sularında istatistiksel olarak homojendir ( $p>0,05$ ).

Kıyı istasyonda yüzey suyu DIP derisi, karasal girdilerin zayıfladığı, kurak dönemde çok düşüktür

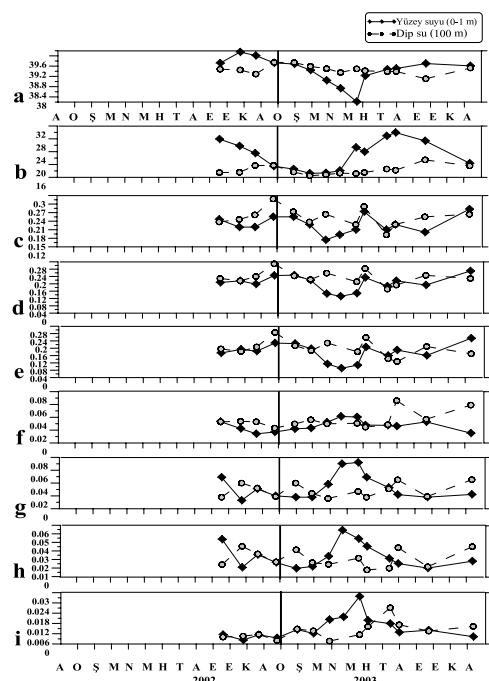
**Tablo 1.** Lamas Nehri suyunda ölçülen fosfor fraksiyonlarının 2003 yılı değişimleri (Tuğrul ve ark. 2004).

Örnekleme Tarihi	TP ( $\mu\text{M}$ )	TDP ( $\mu\text{M}$ )	DOP ( $\mu\text{M}$ )	DIP ( $\mu\text{M}$ )	PP ( $\mu\text{M}$ )	POP ( $\mu\text{M}$ )	PIP ( $\mu\text{M}$ )
04/04/2003	6,69	3,28	2,12	1,16	3,41	2,10	1,31
07/04/2003	6,32	2,51	1,97	0,53	3,81	2,02	1,79
28/05/2003	0,52	0,36	0,27	0,09	0,16	0,12	0,04
30/05/2003	0,46	0,25	0,17	0,08	0,21	0,16	0,05
03/06/2003	3,86	0,49	0,20	0,29	3,36	2,39	0,97
14/07/2003	0,41	0,30	0,22	0,08	0,11	0,07	0,05
01/08/2003	0,35	0,26	0,16	0,10	0,09	0,07	0,02
02/09/2003	0,33	0,13	0,05	0,09	0,17	0,17	0,04
22/09/2003	0,29	0,13	0,06	0,07	0,16	0,13	0,03
28/10/2003							0,03
06/11/2003							0,02
01/12/2003	0,25	0,17	0,14	0,03	0,09	0,06	0,03
11/12/2003	0,34	0,27	0,17	0,10	0,07	0,04	0,03
29/12/2003	0,64		0,45	0,19			

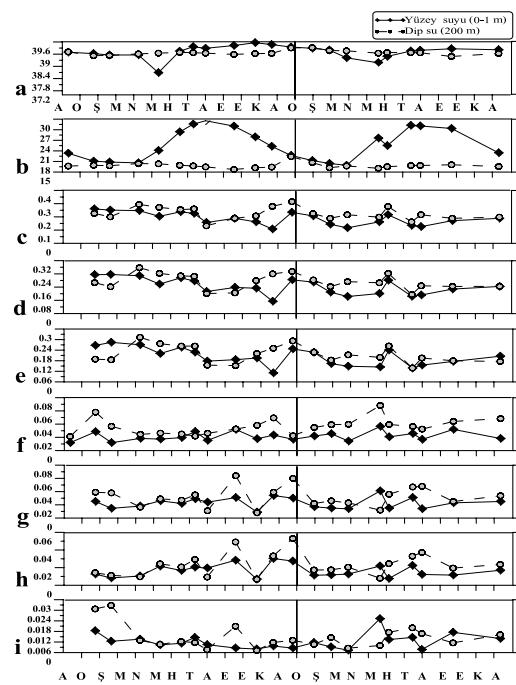


**Şekil 2.** Kıyı istasyon yüzey ve dip suyunda Aralık 2001-Aralık 2003 döneminde hidrografik parametrelerin (a: Tuzluluk (psu), b: Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )) ve fosfor formlarının  $\mu\text{M}$  düzeyde (c: TP, d: TDP, e: DOP, f: DIP, g: PP, h: POP, i: PIP) aylık değişimleri.

( $0,02\text{--}0,04 \mu\text{M}$ ). Mersin'de sel felaketinin görüldüğü Aralık 2001, nehir girdisinin yoğun olduğu Mayıs 2002 ve Mart 2003 aylarında yüzey suyunda ve dip suda DIP konsantrasyonu çok belirgin artışlar göstermiştir (Şekil 2f). Orta istasyon yüzey suyu DIP konsantrasyonları yaz-sonbahar ayları arasında  $0,02\text{--}0,04 \mu\text{M}$  gibi dar bir aralıktır. Beklenildiği gibi az tuzlu suyun üst tabakayı kapladığı Mart-Mayıs 2003 döneminde, yüzey suyu



**Sekil 3.** Orta istasyon yüzey ve dip suyunda Aralık 2001-Aralık 2003 döneminde hidrografik parametrelerin (a: Tuzluluk (psu), b: Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)) ve fosfor formlarının  $\mu$ M düzeyde (c: TP, d: TDP, e: DOP, f: DIP, g: PP, h: POP, i: PIP) aylık değişimleri.



**Sekil 4.** Açık istasyon yüzey ve dip suyunda Aralık 2001-Aralık 2003 döneminde hidrografik parametrelerin (a: Tuzluluk (psu), b: Sıcaklık ( $^{\circ}$ C)) ve fosfor formlarının  $\mu$ M düzeyde (c: TP, d: TDP, e: DOP, f: DIP, g: PP, h: POP, i: PIP) aylık değişimleri.

DIP değerleri kısmen artış göstermiştir; ancak 0,03-0,04  $\mu$ M seviyesine ulaşmıştır ve dip su değerlerine benzerdir. Dip su DIP derişimleri de düşüktür ve 0,02-0,07  $\mu$ M aralığında değişmiştir (Şekil 3f). Nehir etkisi uzağında kalan açık istasyon yüzey suyu DIP konsantrasyonları daha düşüktür. Yüzey suyu değerleri 0,01-0,04  $\mu$ M aralığında salınmıştır. Dip su DIP konsantrasyonu en yüksek 0,07  $\mu$ M seviyesine ulaşmıştır (Şekil 4f). Kıt sahanlığı sularında düşük olan DIP konsantrasyonları, Levene Testi sonuçlarına göre kıyı, orta ve açık istasyonun yüzey ve dip sularında istatistiksel olarak homojendir ( $p>0.05$ ).

Gerek karasal girdiler gerekse fotosentez ürünü partikül madde kaynaklı olan PP konsantrasyonları oldukça değişkendir; 2002-2003 döneminde kıyı istasyonun yüzey sularında 0,03-0,19  $\mu$ M, dip sularında ise 0,03-0,12  $\mu$ M aralığında salınmıştır. En düşük ve yüksek PP değerleri Mart-Eylül ayları arasında bulunmuştur (Şekil 2g). Orta istasyonda yüzey ve dip PP konsantrasyonları belirgin azalmıştır; yüzey suyunda 0,02-0,07  $\mu$ M, dip suda 0,016-0,045  $\mu$ M'dir (Şekil 3g). Açık istasyonda ise daha düşüktür; çalışma döneminde yüzey suyunda 0,009-0,04  $\mu$ M, dip suda 0,008-0,06  $\mu$ M aralığında değişim göstermiştir. 2003 yılı Mart-Mayıs ayları arasında yüzey suyu PP konsantrasyonu artarken, dip su PP konsantrasyonu azalmaktadır (Şekil 4g). Levene Testi sonuçlarına göre PP konsantrasyonları aynı dönemlerde kıyı ve orta istasyonların yüzey ve dip sularında istatistiksel olarak homojendir ( $p>0.05$ ); açık istasyonun yüzey ve dip sularında ise homojen değildir ( $p<0.05$ ).

Partikül organik fosfor (POP) kıyı istasyonda mevsimle oldukça değişkenlik göstermiştir; 2002-2003 döneminde yüzeyde 0,02-0,14  $\mu$ M ve dip suda 0,01-0,10  $\mu$ M aralığında salınmıştır (Şekil 2h). Besin elementleri girdisinin zayıfladığı orta istasyonda POP konsantrasyonu daha düşüktür (yüzey: 0,01-0,05  $\mu$ M ve dip su: 0,008-0,04  $\mu$ M); ilkbaharda (Nisan 2003) yüzey suyunda belirgin artış olurken, dip su değerleri düşük seyretmiştir (Şekil 3h). Örneklemme döneminde açık istasyonda POP konsantrasyonu çok düşüktür; yüzeyde 0,007-0,03  $\mu$ M ve dip suda 0,007 to 0,05  $\mu$ M aralığında değişmiştir (Şekil 4h). Levene Testi sonuçlarına göre de bölgenin yüzey ve dip sularındaki dağılımları istatistiksel olarak homojendir ( $p>0.05$ ).

Toplam partikül-P'nin küçük bileşenini oluşturan inorganik-P (PIP) kıyı istasyonda 2002-

2003 yılları arasında yüzeyde  $0,003\text{--}0,08 \mu\text{M}$ , dip suda  $0,003\text{--}0,05 \mu\text{M}$  aralığındadır (Şekil 2i). Karasal girdinin zayıfladığı orta istasyonda PIP konsantrasyonu düşmüştür (yüzeyde:  $0,002\text{--}0,03 \mu\text{M}$  ve dip suda:  $0,002\text{--}0,02 \mu\text{M}$ ). Yüzey tuzluluğunun azaldığı ilkbaharda PIP derişimi yükselişle geçmiş ve Mayıs 2003'te  $0,03 \mu\text{M}$ 'a ulaşmıştır. Dip su PIP ilkbaharda düşüktür; ancak yaz aylarında kısmen yükselmiştir ve  $0,02 \mu\text{M}$  seviyesindedir (Şekil 3i). Açık istasyonda 2002-2003 yılları arası yüzey ve dip su PIP derişimleri sırasıyla  $0,001\text{--}0,02 \mu\text{M}$  ve  $0,001\text{--}0,03 \mu\text{M}$  seviyelerindedir. Bu bölgede de ilkbaharda yüzey suyu PIP az da olsa yükselmiştir; dip sudaki artış Şubat 2002'de  $0,03 \mu\text{M}$  seviyesinde gözlenmiştir (Şekil 4i). Levene Testi sonuçlarına göre POP konsantrasyonları yüzey ve dip su dağılımları istatistiksel olarak homojendir ( $p>0,05$ ).

### TARTIŞMA

Besin maddelerince fakir olan doğu Akdeniz'in Mersin Körfezi kıyı sahanlığı sularındaki toplam fosforun başlıca kaynağı kıyıyı besleyen nehir sularıdır (Doğan-Sağlamtimur 2007, Tuğrul ve ark. 2007, Tuğrul ve ark. 2011). Sahra tozlarının etkin olduğu kurak/yağlılı dönemlerde ise atmosfer yoluyla taşınım doğu Akdeniz suları için önemli bir doğal kaynaktır (Markaki ve ark. 2003, Koçak ve ark. 2010). Bu çalışma sonuçlarına göre nehir girdilerinin etkin olduğu, tuzluluğu açık sulara göre göreceli düşük, sığ kıyı sularda belirgin fosfor artıları gözlenmiştir. Bu durumun, bölge kıyı sularını etkileyen başka tatlı su girdisi olmadığından, tuzluluk ve besin elementleri (fosfor, nitrat ve silikat) ilişkisinden (Doğan-Sağlamtimur ve Tuğrul 2004, Koçak ve ark. 2010), fosfor kirliliği yağış dönemlerinde belirgin artan -nitrat ve silikat iyonlarının zengin- Lamas nehri suları kaynaklı olduğu tahmin edilmektedir. Tuzluluk ve fosfor değişimleri arasındaki ilişkiye bakmak için Pearson korelasyon indeksi uygulanmış, bu tahmini destekler doğrultuda, kıyı istasyonda tuzluluk ile fosfor (TP, DIP) arasında önemli bir korelasyon ( $p<0,05$ ) bulunmuştur. Kış aylarındaki yoğun karışımların da sediman tabakasından dip sulara ve sığ bölgelerde yüzeşe kadar fosfor girdisi sağladığını, kış döneminde dip su fosfor artıları açıkça göstermiştir. Kıyı istasyonda nehir etkisi, üst suda sıcaklık tabakaşmasının başladığı ve rüzgar etkili yüzey akımları yoluyla nehir suyu girdisinin olduğu Nisan-Haziran dönemlerinde daha belirgin gözlenmiştir. Açık bölge yüzey sularında Mayıs 2002

ve Mart-Haziran 2003 dönemlerinde nehir etkisi belirgin olarak gözlenmiştir. Bölgedeki düşük tuzluluk değerleri ( $38,0\text{--}38,5 \text{ ppt}$ ), doğu Akdeniz bölgesi büyük nehirlerinin (Seyhan, Ceyhan ve Berdan) Mersin Körfezi kıyı sahanlığını etkilediği uyu电阻lerinden de (Örek 2007) takip edilmiştir.

Bu çalışmada kuzeydoğu Akdeniz Erdemli kıyı sahanlığı sularında TP derişiminin ve toplamı oluşturan fosfor fraksiyonlarının (organik/inorganik ve çözünmüş/partikül-P) kıyıdan aşağı doğru azaldığı gözlenmiştir. Yüzey sularında ölçülen farklı fosfor formlarının, TP derişimine göreceli katkıları belirlenmiştir. Mersin Körfezi Erdemli kıyı sahanlığı kıyı ve açık sularında ölçülen TP'un yarısından fazlasını (%56-97) TDP bileşeni oluşturmuştur; bu oranlar, diğer denizlerdeki genel dağılımlarla benzerlik gösterir (Ormaza-González 1990, Benitez-Nelson 2000, Liu ve ark. 2003, Tanaka ve ark. 2004). Diğer açık bölgelerin yüzey sularında olduğu gibi (Jackson ve Williams 1985, Smith ve ark. 1986, Orrett ve Karl 1987, Björkman ve Karl 1994, Karl ve Yanagi 1997), çözünmüş inorganik fosfat (DIP) ve partikül fosfor bileşenlerince fakir olan bu bölgenin açık yüzey sularında da TDP'un ana bileşenini (%69-95) DOP bileşikleri oluşturur.

Kıyı istasyonda, nehir debilerinin arttığı kış ve ilkbahar aylarında, TP derişiminde PP'nin katkısı belirgin olmuş ve %30-44 seviyesine kadar ulaşmıştır. Yoğun yağışlı ve nehir akışının arttığı dönemlerde karadan taşınan fosforun partikül -özellikle PIP- halde olduğu görülmüştür. Karasal kaynaklı PIP, çökelmeye meyilli olduğundan, orta ve açık bölge yüzey sularında PIP etkisi çok zayıflamıştır; bu nedenle açık sularda PP'nin ana bileşeni her zaman POP olmuştur. Benzer durum kıyı sularda nehir etkisi zayıfladığında gözlenmiştir. Kıyıdan aşağı doğru su kolonunda DIP ve PIP'un belirgin azalması, fosfor bileşiklerinin su kolonunda yüksek reaktiflikte ve kıyısal bölge sediman tabakasına taşımının önemini göstermektedir. Benzer özellik azot bileşikleri için geçerli değildir. Ancak nehir sularında beslenen kıyısal sularda yüksek olan birincil üretim sonucu, yüzey sularındaki besin elementleri hızlı tüketilir; nitrat, fosfat derişimleri kıyıdan aşağı doğru hızlı azalma eğilimi gösterir. Ancak organik azotun çevrimi daha uzun olduğundan, doğu Akdeniz kıyı sahanlığı yüzey sularındaki  $\text{NO}_3/\text{DIP}$  oranı değişimleri fiziksel karışımının yanısıra biyo-kimyasal tepkimele bağlı olarak genellikle azalan bir değişim

gösterir. Fosforca daha fakir olan bölge kıyı sularına karasal kaynaklardan ve deniz tabanından taşınan fosfor yükleri, kıyısal deniz ekosistemindeki biyolojik zenginliği/çeşitliliği kontrol eden temel faktörlerin başında gelmektedir. Bu nedenle, bölge suları için karasal/insan kaynaklı fosfor yüklerinin kontrolü ve azaltılması önemlidir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından desteklenen, YDABAG-102Y057 no'lu projenin bir parçasıdır. Deniz suyu örneklemesi ve analizi sırasında katkılarından dolayı ODTÜ-DBE teknik personeline (özellikle Saim Cebe ve merhum M. Emin Hatipoğlu'na), R/V Lamas ve R/V Erdemli teknelerinin kaptan ve gemicilerine teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- APHA (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. In: Eaton AD, Clesceri LS, Rice EW, Greenberg AE (eds), American Public Health Association, Washington, USA.
- Benitez-Nelson CR (2000) The biogeochemical cycling of phosphorus in marine systems. *Earth-Science Reviews* 51: 109-135.
- Björkman K, Karl DM (1994) Bioavailability of inorganic and organic phosphorus compounds to natural assemblages of microorganisms in Hawaiian coastal waters. *Marine Ecology Progress Series* 111: 265-273.
- Cavender-Bares KK, Karl DM, Chisholm SW (2001) Nutrient gradients in the Western North Atlantic Ocean: Relationship to microbial community structure, and comparison to patterns in the Pacific Ocean. *Deep-Sea Research* 48: 2373-2395.
- Doğan-Sağlamtimur N, Tuğrul S (2004) Effect of riverine nutrients on coastal water ecosystems: A case study from the Northeastern Mediterranean Shelf. *Fresenius Environmental Bulletin* 13 (11b) Suppl. Issue: 1288-1294.
- Doğan-Sağlamtimur N (2007) Seasonal variations of particulate and dissolved fractions of phosphorus and related hydrochemical parameters in the Northeastern Mediterranean Shelf Zone. PhD Thesis, Institute of Marine Sciences, Middle East Technical University, Erdemli, Turkey.
- Jackson GA, Williams PM (1985) Importance of dissolved organic nitrogen and phosphorus to biological nutrient cycling. *Deep-Sea Research Part A* 32: 223-235.
- Karl DM, Winn CD, Hebel DVW, Letelier R (1990) Particulate phosphorus (Chapter 11). Hawaii Ocean Time Series Program Field and Laboratory Protocols, 41-43.
- Karl DM, Tien G (1992) MAGIC: A sensitive and precise method for measuring dissolved phosphorus in aquatic environments. *Limnology and Oceanography* 37: 105-116.
- Karl DM, Yanagi K (1997) Partial characterization of the dissolved organic phosphorus pool in the oligotrophic North Pacific Ocean. *Limnology and Oceanography* 42: 1398-1405.
- Keefe CW, Blodnikar KL, Boynton WR, Clark CA, Frank JM, Kaumeyer NL, Weir, MM, Wood KV, Zimmermann CF (2004) Nutrient Analytical Services Laboratory Standard Operating Procedures. Special Publication Series No. SS-80-04-CBL.
- Koçak M, Kubilay N, Tuğrul S, Mihalopoulos N (2010) Long-term atmospheric nutrient inputs to the Eastern Mediterranean: sources, solubility and comparison with riverine inputs. *Biogeosciences Discuss* 7: 5081-5117.
- Koroleff F (1983) Determination of Phosphorus. In: Grasshoff K., Ehrhardt M., Kremling K (eds), *Methods of Seawater Analysis*, Verlag Chemie, Germany, 125-139.
- Krom MD, Emeis K-C, Van Cappellen P (2010) Why is the Eastern Mediterranean phosphorus limited?. *Progress in Oceanography* 85: 236-244.
- Liu SM, Zhang J, Chen HT, Wu Y, Xiong H, Zhang ZF (2003) Nutrients in the Changjiang and its tributaries. *Biogeochemistry* 62: 1-18.
- Manasirli M, Dursun A, Yeldan H (2011) Growth, Mortality Rate And Exploitations Rate of the Deep-Water Rose Shrimp (*Parapenaeus longirostris*) in the Babadillimanı Bight (Silifke-Mersin). *Ekoloji* 79: 38-44.
- Markaki Z, Oikonomou K, Kocak M, Kouvarakis G, Chaniotaki A, Kubilay N, Mihalopoulos N (2003) Atmospheric deposition of inorganic phosphorus in the Levantine Basin, eastern Mediterranean: spatial and temporal variability and its role in seawater productivity. *Limnology and Oceanography* 48(4): 1557-1568.

- Menzel DW, Corwin N (1965) The measurement of total phosphorus in seawater based on the liberation of organically bound fractions by persulfate oxidation. *Limnology and Oceanography* 10: 280-282.
- Michaels AF, Olson D, Sarmiento JL, Ammerman JW, Fanning K, Jahnke R, Knap AH, Lipschultz F, Prospero JM (1996) Inputs, losses and transformations of nitrogen and phosphorus in the pelagic North Atlantic Ocean. *Biogeochemistry* 35: 181-226.
- Ormaza-González FI (1990) Phosphorus in estuarine and open ocean oligotrophic waters: analytical and biogeochemical studies. PhD Thesis, University of Southampton, England.
- Orrett K, Karl DM (1987) Dissolved organic phosphorus production in surface seawater. *Limnology and Oceanography* 32: 383-395.
- Örek H (2007) Bio-optical properties of the Turkish Seas. PhD Thesis, Institute of Marine Sciences, Middle East Technical University, Erdemli, Turkey.
- Paytan A, McLaughlin K (2007) The oceanic phosphorus cycle. *Chemical Reviews* 107(2): 563-576.
- Perry MJ, Eppley RW (1981) Phosphate uptake by phytoplankton in the central North Pacific Ocean. *Deep-Sea Research I* 28: 39-49.
- POEM Group (1992) General circulation of the Eastern Mediterranean. *Earth-Science Reviews* 32: 285-309.
- Saglamtimur ND, Tugrul S (2008) Comparison of Offshore and River-Influenced Coastal Waters in the Eastern Mediterranean. *Ekoloji* 68: 17-23.
- Scanlan DJ, Wilson WH (1999) Application of molecular techniques to addressing the role of P as a key effector in marine ecosystems. *Hydrobiologia* 401: 149-175.
- Sorokin YI (1985) Phosphorus metabolism in planktonic communities of the eastern tropical Pacific Ocean. *Marine Ecology Progress Series* 27: 87-97.
- Smith SV, Kimmerer J, Walsh TW (1986) Vertical flux and biochemical turnover regulate nutrient limitation of net organic production in the North Pacific Gyre. *Limnology and Oceanography* 31: 161-167.
- Suzumura M, Ingall ED (2004) Distribution and dynamics of various forms of phosphorus in seawater: insights from field observations in the Pacific Ocean and a laboratory experiment. *Deep-Sea Research I* 51: 1113-1130.
- Tanaka T, Rassoulzadegan F, Thingstad TF (2004) Orthophosphate uptake by heterotrophic bacteria, cyanobacteria, and autotrophic nanoflagellates in Villefranche Bay, Northwestern Mediterranean: vertical, seasonal, and short-term variations of the competitive relationship for phosphorus. *Limnology and Oceanography* 49 (4): 1063-1072.
- Tuğrul S, Ediger D, Doğan-Sağlamtimur N, Yılmaz D (2004) Kuzeydoğu Akdeniz kıyı sularında fosfor ve azot bileşikleri değişimlerinin fitoplankton tür dağılımına etkisi. TÜBİTAK Proje No: YDABAG-102Y057, 108 s. [http://uvr.ulakbim.gov.tr/uvr/index.php?keyword=Kuzeydo%F0u+Akdeniz+k%FDy%FD+sular%FDnda+fosfor+ve&s\\_f=1&command=TARA&the\\_page=&the\\_ts=&cvtadi=TPRJ&cwid=3](http://uvr.ulakbim.gov.tr/uvr/index.php?keyword=Kuzeydo%F0u+Akdeniz+k%FDy%FD+sular%FDnda+fosfor+ve&s_f=1&command=TARA&the_page=&the_ts=&cvtadi=TPRJ&cwid=3)
- Tuğrul S, Yemenicioğlu S, Doğan-Sağlamtimur N (2007) Akdeniz kıyı alanları kirlilik kaynaklarında uzun süreli eğilim izleme: nehirler ve atıksular (2003-2006). *Turkish Journal of Aquatic Life* 5-8: 596-606.
- Tugrul S, Uysal Z, Erdogan E, Yucel N (2011) Changes of Eutrofication Indicator Parameters (TP, DIN, Chl-a and TRIX) in the Cilician Basin (Northeast Mediterranean). *Ekoloji* 80: 33-41.
- Yılmaz A, Tuğrul S (1998) The effect of cold- and warm- core eddies on the distribution and stoichiometry of dissolved nutrients in the Northeastern Mediterranean. *Journal of Marine Systems* 16: 253-268.
- Uysal Z, Köksalan İ (2006) The annual cycle of *Synechococcus* (cyanobacteria) in the northern Levantine Basin shelf waters (Eastern Mediterranean). *Marine Ecology-An Evolutionary Perspective* 27 (3): 187-197.