

Marmara Denizi Madde (N,P) Dengelerine Ait Özet Bir Çalışma

**Yrd. Doç. Dr. Çolpan POLAT¹, Prof. Dr. Süleyman
TUĞRUL², Prof. Dr. Özden BAŞTÜRK²**

***¹İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü,
Müşküle Sokak, No:1, 34470, Vefa, İstanbul.***

Tel: (212) 528 25 39, 528 60 22-23, Faks: (212) 526 84 33

***²Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Enstitüsü, P.K.28, 33731,
Erdemli, İçel. Tel: (324) 521 24 06, 521 34 34, Faks: (324) 521 23 27,
E-posta: tugrul@soli.ims.metu.edu.tr, basturk@soli.ims.metu.edu.tr***

Özet

Marmara Denizi için basit bir iki-tabakalı kutu modele dayandırılarak yapılan bütçe hesapları, azot ve fosfor dinamisinin yönünde önemli bilimsel bilgiler sağlar. Alt ve üst tabaka sularına ait besin elementi bütçelerinin temel girdi ve çıktıları ile bu iki tabaka arasındaki dikey transferlerin tanımlanmasının yanısıra Akdeniz ve Karadeniz arasındaki madde alış-verişinin büyüklükleri hakkında da fikir verir.

Marmara Denizi'nin ince üst tabakasından daha tuzlu alt tabakasına inen partikül haldeki besin elementlerinin, diğer bir deyişle, Partikül Organik Maddenin (POM) %40-45'i çözünmüş anorganik azot ve reaktif fosfata dönüşmuş olarak İstanbul Boğazı yoluyla Karadeniz'e ulaşır. POM akısının diğer önemli bir bölümü dikey karışımıla, Karadeniz kökenli, ancak kısmi olarak da kendi bünyesi içindeki kara kökenli kirleticilerle beslenen Marmara yüzey sularına karışır. Burada yeni birincil üretime katkıda bulunurken diğer girdilerle birlikte kısmi olarak Çanakkale yüzey akıntısıyla Akdeniz'in Ege basenine ulaşır. Marmara basenindeki POM akısının göreceli olarak küçük bir bölümü ise sedimanda birikir. Tüm POM akısına, Karadeniz girdilerinin

katkısı ise %42 civarında olup alt tabakadan üst tabakaya taşınan madde ile kara kökenli girdilerin katkısı, sırasıyla, %33 ve %25 düzeyindedir.

Boğazlar yoluyla gerçekleşen madde değişimleri, su akışlarındaki ve kimyasal konsantrasyonlardaki günlük ve mevsimsel değişimlerden kaynaklanan bazı belirsizlikler içerir. Ancak, gene de, tahmini akılar bize iki tabaka arasında olduğu kadar boğazlar yoluyla komşu denizler arasındaki madde transferlerinin net büyülüüğünü gösterir. Karadeniz'den Marmara Denizi'ne olan besin elementi girdileri, rüzgarın etkili olduğu kişi karışım dönemleri dışında, yıl boyu Marmara ekosistemini kontrol eder. Bunun başlıca nedeni, Marmara üst tabaka sularının Karadeniz suları tarafından yılda en az iki kez yenilenmesidir. Diğer yandan, Marmara'dan Ege'ye taşınan yıllık besin elementi yükleri özellikle kuzey Ege ekosistemi için büyük önem taşır. Marmara alt sularına karışan Ege sularının kimyasal özellikleri burada kaldıkları 6-7 yıl boyunca oldukça değişir. Besin elementi konsantrasyonları yaklaşık 10-kat artarken çözünlümüş oksijen saboksik seviyelere ($30-50 \mu\text{M}$) düşer.

Giriş

Akdeniz ve Karadeniz kökenli, farklı fiziksel ve biyokimyasal karaktere sahip su kütleleri, Çanakkale ve İstanbul Boğazları alt ve üst akıntılarıyla Marmara Denizi'ne taşınıp burada iki tabaklı bir yapı oluştururlar (Sorokin, 1983; Baştürk ve diğ., 1990; Beşiktepe ve diğ., 1994; Polat ve Tuğrul, 1995, 1996). Bu yapı içinde, Karadeniz kökenli üst tabaka sularının Marmara Denizi'nde kalış süresi 4-5 ay iken alt tabaka suları için bu değer 6-7 yıl düzeyindedir. İstanbul Boğazı Karadeniz girişinde 45-50 metreye kadar uzanan üst tabaka sularının ortalama tuzluluk değeri 17-18 iken bu değer 10-15 metere kalınlığındaki Marmara yüzey sularında 22-26 arasında değişir. Ara tabakanın altında Akdeniz kökenli su 38.5-38.6 tuzlulukla yıl boyu Karadeniz'e doğru akar.

Marmara Denizi'nde birincil üretimin üst tabaka ile sınırlı olması nedeniyle, alt tabaka sularına çeşitli dış ve iç kaynaklardan giren biyolojik olarak kullanılabilir besin elementi ve organik madde bileşiklerinin bir bölümünü biyokimyasal yollarla parçalanabilir fotosentetik organik madde oluşturur (Polat ve diğ., 1998). Bunun sonucunda oluşan etki ise alt tabaka sularının besin maddelerince dikkat çekici oranlarda zenginleşmesi ve çözünlümüş oksijence fakirleşmesidir. (Baştürk ve diğ., 1990; Polat, 1995). Marmara Denizi'nde buna neden olan çökelme mekanizmaları ve bakterilerin bu mekanizma ve madde çevrimindeki rolleri hakkında yapılmış detaylı çalışmalar yoktur. Ancak, üst su tabakasında oluşan fotosentetik partikül organik maddenin kişi karışımı ve ilkbahar patlaması ile birlikte alt sulara çöktüğü tahmin edilmiştir (Polat ve diğ., 1998).

Karadeniz'e ait su ve tuz dengeleri, İstanbul Boğazı'dan geçen acı su akısının Marmara Denizi'nden giren tuzlu su akısından yaklaşık olarak 2 kat daha fazla olduğunu ortaya koymuştur (Grasshoff, 1975; Sorokin, 1983). Su akıları ve kimyasal bulguların bir arada kullanıldığı İstanbul Boğazı'ndaki ilk organik karbon ve fosfor taşınamı tahminleri (Deuser, 1971; Fonselius, 1974) iki nedenden ötürü tartışmaya

açktır. Bunlardan ilki, bu araştırmacılar tarafından kullanılan su akılarının bugünkü tahminlerden yaklaşık %50 daha az olması (Ünlüata ve diğ., 1990; Beşiktepe, 1991), diğer ise her iki tabaka suyunun da son 20-30 yılda kara kökenli kirleticilerin girdilerinin artmasıyla kimyasal özelliklerinin değişmiş olmasıdır (Mee, 1992; Orhon ve diğ., 1994; Tuğrul ve Polat, 1995). Diğer taraftan, yapılan daha yakın tarihli bir tahminde (Orhon ve diğ., 1994) Karadeniz'den Marmara'ya taşınan azot ve fosfor akıları hesaplamış, ancak, bu hesaplamalarda sadece çözünmüş anorganik madde konsantrasyonları kullandığı için yapılan tahminler gerçek değerlerin altında kalmıştır.

Marmara Denizi, basen ve boğazlar boyunca kalıcı bir iki tabakalı yapıya sahip olması nedeniyle basit olarak iki tabakalı bir kutu olarak düşünülüp temel kimyasalların yıllık ortalama akışları, bu sistemin yıllık bazda zamana bağlı olarak değişmediği varsayımdan yola çıkarak hesaplanabilir. Bunun yanısıra, biyolojik olarak daha çabuk kullanıllabilen besin elementi konsantrasyonları (Polat ve Tuğrul, 1995, 1996) ve su akılarının (Özsoy ve diğ., 1994) gün içinde ve mevsimsel olarak önemli değişiklikler gösterdiği kaydedilmiştir.

Marmara Denizi'nin su dengesi, ilk kez, sınırlı bir sistematik veri setinin, zamana bağlı değişimin sıfır varsayıldığı ve maddenin korunumu prensibine dayalı kutu modele uygulanmasıyla oluşturulmuştur (Ünlüata ve Özsoy, 1986). Bu hesaplar, daha sonraki yıllarda uzun dönemli verilerin elde edilmesiyle yenilenmiştir (Ünlüata ve diğ., 1990; Beşiktepe, 1991; Özsoy ve diğ., 1994).

Basit bir kutu modele oturtulan bütçe hesapları, üst ve alt tabaka sularındaki kimyasal döngülerini direk olarak ilgilendiren temel girdi ve çıktılar hakkında bilimsel bir bilgi sağlarken bugüne kadar ilgili hiçbir ölçümün yapılmadığı bazı akıların büyütükleri hakkında da fikir verir. Örneğin, yüzeyden alt tabaka sulara çökelen parçacıklarla taşınan besin elementi miktarının büyülüklüğü dolaylı olarak alt su kütlesine giren ve çıkan madde arasındaki dengesizlikten tahmin edilebilir. Benzer şekilde, Marmara yüzey sularına giren kara kökenli kimyasal kirleticilerin yıl bazındaki yükleri de kurulan denge hesaplarından tahmin edilebilir.

Bu çalışmada yürütülen tahminlerin tümü aynı çalışma istasyonlarından toplanan uzun dönemli hidrokimyasal verilere dayanmaktadır. Bu veriler, ODTÜ-DBE tarafından 1986 yılında başlatılan mevsimsel izleme ve araştırma çalışmalarından elde edilmiştir.

Bütçe terimlerinin tanımlanması

Marmara Denizi ve Boğazların hidrokimyasal rejiminin bir yıl içinde zamandan bağımsız olarak değiştiği varsayıldığında Marmara Denizi'nin üst ve alt su kütlelerine giren ve çıkan kimyasalların dengede olması gereklidir. Bu önermenin ışığı altında, Çizim 1'deki iki-tabakalı kutu diagramı Marmara denizi alt ve üst sularındaki azot ve fosforun kaynak ve kayıplarını gösterir ve Eşitlik (1) alt su kütlesi için madde dengesini sağlar. Bu tabakanın yıl boyu keskin bir biçimde üst tabakadan ayrılmış ve birincil üretimin üst tabaka ile sınırlı olması alt tabakanın ayrı bir kutu olarak düşünülmesine olanak tanır.

Diger yandan, Eşitlik (2)'de olduğu gibi sistem iki-tabakalı tek bir kutu olarak düşünülüp karasal girdi hesaplanabilir.

$$F_{dl} + F_{mu} + F_{POM} = F_{bl} + F_{ml} + F_{sed} + F_{DN} \quad (1)$$

$$F_{bu} + F_{dl} + F_{ant} = F_{bl} + F_{du} + F_{sed} + F_{DN} \quad (2)$$

F_{bu} , F_{du} ; F_{dl} , F_{bl} : İstanbul ve Çanakkale Boğazları boyunca üst ve alt tabaka sularındaki yanal net akılar

F_{mu} : Dikey karışım yoluyla üst tabakadan alt tabakaya katılım

F_{ml} : Dikey karışım yoluyla alt tabakadan üst tabakaya katılım

F_{sed} : Dibe çökelme yoluyla kayıp

F_{DN} : Denitrifikasyon yoluyla kayıp

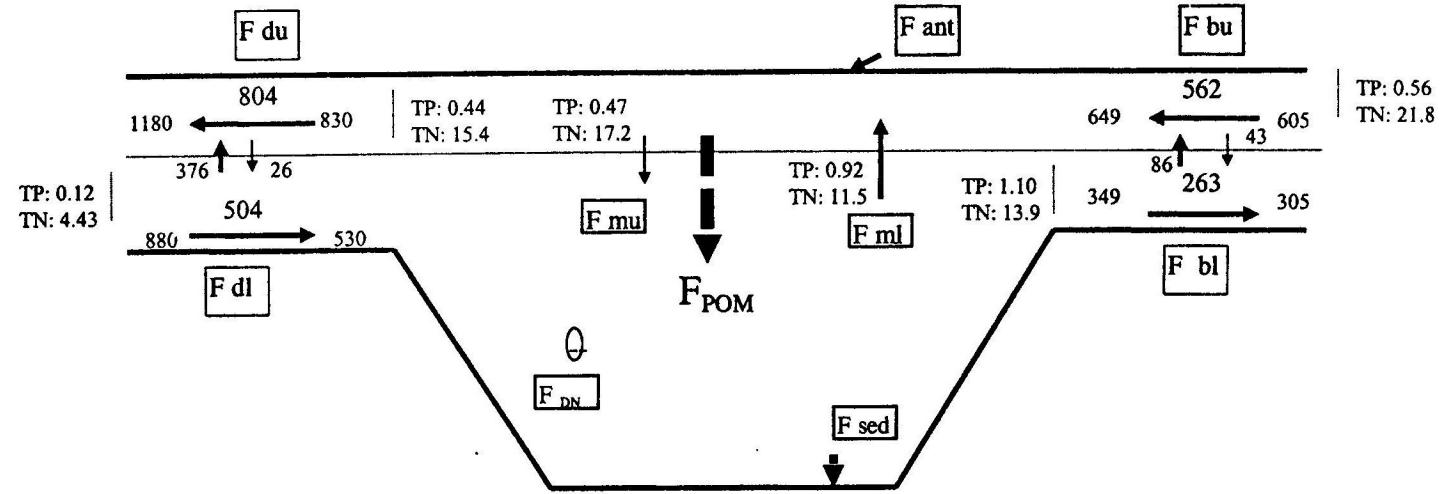
F_{POM} : Üst tabakadan alt tabakaya partikülerin çökelmesiyle taşınım

F_{ant} : Üst tabakaya karasal kaynaklardan girdi

Çizim 1'de bütçe terimlerinin bir özetinin yanısıra hesaplamalarda temel alınan su dengesi (Özsoy ve diğ., 1994) ve toplam fosfor (TP) ile toplam azot (TN) konsantrasyonları da (Polat, 1995; Polat ve Tuğrul, 1995, 1996) verilmiştir. Marmara Denizi ve Boğazlarda sistematik olarak yapılan ölçümler ve F_{sed} ile F_{DN} 'in güvenilir oranlarda tahmini F_{POM} akısının hesaplanması olanağ tanır. Çizim 1'de verilen kimyasalların yanal taşınımı (F_{bu} , F_{bl} , F_{du} ve F_{dl}) dikey karışımıla taşınımının etkisinden kurtarılmıştır. Bu bölgede daha önce yapılmış çalışmalarında (Polat ve Tuğrul, 1995, 1996) fosfor ve azotun bileşenlerinin (partikül, çözünmüş organik/anorganik) yanısıra bunların mevsimsel değişiklikleri üzerinde detaylı olarak durulmuştur. Özellikle Karadeniz ve Marmara üst sularında ve Çanakkale Boğazından Marmara'ya giren Akdeniz kökenli sularda çözünmüş anorganik ve partikül fraksiyonlarının önemli mevsimsel değişimler gösterdiği söylenebilir. Denge hesaplarında bu noktadan kaynaklı belirsizliği ortadan kaldırılmak için "toplum" konsantrasyonlar kullanılmıştır.

Bu çalışmada, F_{sed} , kimyasalların sedimandaki kuru ağırlık yüzdeleri ile gözeneklilik, yoğunluk ve çökelme hızını ilişkilendiren bağlantidan (Müller ve Suess, 1979) hesaplanmıştır. Bunun için, Marmara Denizi için verilen ortalama 100 cm/1000 yıl'lık çökelme hızı (Evans ve diğ., 1989; Ergin ve diğ., 1994) kullanılmıştır. Marmara Denizi derin orta baseni için ölçülen ortalama sediman fosfor ve azot içerikleri ise, sırasıyla, % 0.06 ve 0.14'tür (Polat, 1995). Sonuç olarak, F_{sed} , fosfor için 0.45×10^4 ton/yıl, azot içinse 0.10×10^5 ton/yıl olarak hesaplanmıştır.

Marmara Denizi gibi karalar arasına sıkışmış deniz ortamlarında denitrifikasyon yolu azot kaybı, F_{DN} , azot dengeleri için kritik olabilir. Özellikle yaz dönemlerinde, Marmara Denizi'nin yoğun olarak kirlenmiş kıyı sularının ve körfezlerinin denitrifikasyona elverişli bölgeler olduğu kaydedilmiştir (Tuğrul ve Morkoç, 1990; Polat, 1995). Ancak, yüzey sularındaki partikül madde ile alt sulardaki çözünmüş anorganik N:P oranları karşılaştırıldığında bu oranların çok benzer oldukları (Polat ve diğ., 1998), dolayısıyla da, basen genelinde kaydadeğer bir denitrifikasyon olmadığı söylenebilir. Ancak, gene de, hem sediman hem de sub-oksik alt sularda benzer ortamlar için kaydedilmiş ortalama değerler alınarak (Hattori, 1983) denitrifikasyon kaynaklı azot kaybı toplam 0.05×10^5 ton N y⁻¹ olarak hesaplanmıştır.



Çizim (1) - Kutu modelde kullanılan bütçe terimleri, su akıları (km^3y^{-1}) ve hesaplamalarda kullanılan toplam-P (TP), toplam-N (TN) konsantrasyonları ($\mu\text{mole L}^{-1}$)

Fosfor akıları

Çizim 1'de verilen yanal ve dikey su akıları ile yıllık ortalama TP konsantrasyonları Eşitlik (1)'e yerleştirildiğinde üst sudan partikül madde akısı (F_{POM}) halinde alt suya inen fosfor miktarı 2.03×10^4 ton y^{-1} olarak bulunur. Alt suya ait fosfor dengesi Çizelge 1'de kaynak ve kayıp terimleri bazında özetlenmiştir. Tablodan da anlaşılacağı gibi alt su kütlesine giren fosforun temel kaynağı yaklaşık %90 oranla partikül madde akısıyla gerçekleşmektedir. Çökelen bu madde (diğer kaynaklardan giren organik partikül/çözünmüşt fosfor ile birlikte), alt suda yaklaşık $1 \text{ mg L}^{-1} y^{-1}$ hızda bir oksijen kullanımı ile (Polat, 1995) büyük oranda (%80) çözünmüş anorganik forma ($\text{PO}_4\text{-P}$) dönüşüp İstanbul Boğazı alt akıntısıyla Marmara Denizi'ni terk eder. Diğer yandan, bu girdinin yaklaşık %40'lık bir bölümü basen içindeki dikey karışımımla üst su tabakasına taşınır ve burada fotosentez sırasında tekrar kullanılarak canlı biyokütlenin oluşmasına katkıda bulunur. F_{POM} ve F_{ml} arasındaki bu önemli fark, Marmara Denizi alt sularına partikülle taşınan fosforun yaklaşık yarısının kendi iç dinamiğinden kaynaklandığını, diğer kısmının ise Karadeniz ve karasal girdilerin (ırmak+atıksu deşarjları+atmosfer) etkisi altında olduğunu vurgular.

Karasal girdilerin (Fant) büyütüklüğü, Çizelge 2'de görüldüğü gibi üst su dengesinden veya sistemin iki-tabakalı tek bir kutu olarak kabul edildiği Eşitlik (2)'den hesaplanabilir. Yıllık girdi ve çıktıların zamandan bağımsız olduğu varsayıma dayanan bu ilişki ile atmosferik girdinin de dahil olduğu karasal kaynaklardan Marmara Denizi yüzey sularına karışan toplam fosfor miktarı 1.28×10^4 ton y^{-1} olarak hesaplanır. İrmak ve atıksu deşarjlarından Marmara Denizi yüzey sularına giren toplam fosfor miktarı 0.77×10^4 ton y^{-1} olarak tahmin edilmiştir (Tuğrul ve Polat, 1995). Bu değer, fosfor dengesinden hesaplanan toplam karasal girdi değerinden çıkarıldığında atmosferik fosfor girdisi hesaplanabilir ($\sim 0.5 \times 10^4$ ton y^{-1}).

Çizelge (1) - Marmara Denizi alt su tabakası için fosfor ve azot dengeleri.

ton y^{-1}	Girdi					Çıktı				
	F_{dl}	F_{mu}	F_{POM}	Toplam	F_{bl}	F_{ml}	F_{sed}	F_{DN}	Toplam	
$TP \times 10^4$ (%)	0.19 (8)	0.07 (3)	2.03 (89)	2.29	0.90 (39)	0.94 (41)	0.45 (20)	-----	2.29	
$TN \times 10^5$ (%)	0.31 (26)	0.12 (10)	0.77 (64)	1.20	0.51 (43)	0.54 (45)	0.10 (8)	0.05 (4)	1.20	

Azot akıları

Eşitlik (1)'deki F_{sed} ve F_{DN} değerleri, sırasıyla, 0.10×10^5 and 0.05×10^5 ton y^{-1} olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, toplam fosfor dengesine benzer şekilde hesaplanan yanal ve dikey taşınımrlarla birlikte Eşitlik (1)'e yerleştirildiğinde F_{POM} partikül azot cinsinde 0.77×10^5 ton y^{-1} olarak tahmin edilebilir. Çizelge 1'de bir özeti verilen toplam-N dengesinden de anlaşılacağı gibi F_{sed} ve F_{DN} akıları yolu ile alt sudan kayıp %12

seviyelerindedir. F_{POM} alt suya giren tüm toplam-N yükünün yaklaşık %65'ini oluştururken 1 mg L⁻¹y⁻¹ (Polat, 1995) seviyelerindeki oksijen kullanımı ile ortamı çözünmüş anorganik azot (özellikle NO₃-N) ile zenginleştirir. Alt sudan üst suya taşınan azot yükünün fotosentezde kullanılıp biyokütleye dönüsen ve zamanla tekrar alt suya inen bölümünü partikül akısının yaklaşık %50'si (Polat, 1995) civarındadır. Geriye kalan kısmı ise Karadeniz girdileri ve karasal girdilerle tamamlanır. Toplam azotun karasal girdilerle üst suya taşımımı (F_{ant}) 0.43×10^5 ton y⁻¹ olarak hesaplanmıştır.

Çizelge (2) - Marmara Denizi üst tabaka sularına ulaşan kimyasal akıların karşılaştırması.

	Girdi				Çıktı			
ton y ⁻¹	F _{m1} (Karışım)	F _{b1} (Karadeniz)	F _{ant} (Karasal)	Toplam	F _{mu}	F _{du}	F _{POM}	Toplam
TPx10 ⁴ (%)	0.94 (29)	0.98 (31)	1.28 (40)	3.20	0.07 (2)	1.10 (34)	2.03 (63)	3.20
TNx10 ⁵ (%)	0.54 (20)	1.71 (64)	0.43 (16)	2.68	0.12 (4)	1.79 (67)	0.77 (29)	2.68

Sonuçlar

Marmara Denizi gibi farklı hidrokimyasal özelliklerdeki iki deniz baseni arasında geçiş baseni olan ortamlarda, iki-tabakalı bir kutu modele dayanarak kurulan madde dengeleri denizler arasındaki yanal ve basen içindeki düşey taşınımalar hakkında sağlıklı bilimsel sonuçlar sunar. Bunların başında, Marmara Denizi için direk ölçüm değerleri bulunmayan POM akışı gelir.

Marmara Denizi alt sularına üst su tabakasından POM akısı ile taşınan fosfor ve azotun yaklaşık % 42'si Karadeniz yüzey akıntısı ile Marmara yüzey sularına ulaşan organik/anorganik besin maddelerinden oluşur. Bu girdi, Marmara yüzey sularını yıl boyu birkaç kez yenilediği için kış karışım dönemi dışında Marmara ekosistemini kontrol eden kritik bir öneme sahiptir. POM akısının geriye kalan kısmının %33'ünün kaynağı, Marmara Denizi alt sularından dikey karışımıyla üst suya taşııp burada yeni birincil üretimde kullanılan anorganik besin maddeleridir. Marmara Denizi yüzey sularına taşınan karasal girdilerin (ırmak+atıksu deşarjları+atmosfer) POM akısına katkısı ise %25 seviyesindedir. Bunda atmosferik girdinin daha etkili olduğunu varsayılmak yanlış olmaz. Çünkü, ırmak ve atıksu deşarjlarının daha çok kıyı suları etkilediği atmosferik girdinin ise basen genelinde etkili olduğu bilinmektedir.

POM akısının %80-90 'lık kısmı Marmara Denizi alt sularında yaklaşık 1 mg L⁻¹ y⁻¹ seviyesindeki oksijen kullanımı ile parçalanarak anorganik forma dönüşür ve bunun da %40-45'lik bölümü tuzlu alt su akıntısı ile Karadeniz'e ulaşır.

Zamana bağlı değişimin gözardı edildiği kutu modele dayanan Marmara Denizi azot ve fosfor dengesi, su akışlarındaki ve çözünmüş anorganik fraksiyonlardaki günlük

ve mevsimsel değişimler nedeniyle bazı belirsizlikler içerebilir. Bu nedenle, hesaplamalarda azot ve fosforun zamana bağlı değişimlerinin göz arı edilebileceği toplam konsantrasyon değerleri kullanılmış ve yukarıda verilen yüzde taşınım değerleri güvenilir seviyelere taşınmıştır. Ayrıca belirtmek gerekir ki, böyle bir çalışma ile temelde hedeflenen yanal ve düşey akıllar ile dış kaynaklardan taşınımın büyülüklerinin belirlenmesi ve bu değerlerin birbirleriyle karşılaştırılması sonucunda görelî etkilerinin anlaşılabilirliğidir. Böyle yaklaşımalar, model ve mühendislik çalışmalarının başlangıç aşamalarında yol gösterici olabileceği gibi kanun yapıcı ve uygulayıcılar için de belirleyici ve öncelikli unsurların saptanmasında faydalı olabilecektir.

Teşekkür

Bu uzun dönemli çalışmayı destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu'na ve Science for Stability Programı çerçevesindeki NATO Bilimsel Programlar Bölümüne teşekkür ederiz. Ayrıca, uzun dönemli, sistematik saha verilerinin toplanmasında emeği geçen R/V Bilim'in tüm personeline, seferlere katılan bilimsel personele ve laboratuvardaki çalışmalara destek veren bilimsel ve teknik ekibe ayrıca teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Baştürk, Ö., Tuğrul, S., Yılmaz A. and Saydam, A.C., (1990). "Oceanography of the Turkish Straits.", Third Annual Report, V.II., Institute of Marine Sciences, Middle East Technical University, 69 pp.

Beşiktepe, S.T., (1991). "Some aspects of the circulation and dynamics of the Sea of Marmara.", Ph.D. Thesis, Institute of Marine Sciences, Middle East Technical University, 226 pp.

Beşiktepe, S.T., Sur, H.I., Özsoy, E., Latif, M.A., Oğuz, T. and Ünlüata, Ü., (1994). "The circulation and the hydrography of the Marmara Sea.", Progress in Oceanography, 34: 285-334.

Deuser, W.G., (1971). "Organic carbon budget of the Black Sea.", Deep-Sea Research, 18: 995-1004.

Ergin, M., Bodur, M.N., Yıldız, M., Ediger, D., Ediger, V., Yemenicioğlu, S. and Yiçesoy, F., (1994). "Sedimentation rates in the Sea of Marmara: a comparison of results based on organic carbon-primary productivity and ^{210}Pb dating.", Continental Shelf Research, 14(12): 1371-1387.

Evans, G., Erten, H., Alavi, S.N., Von Gunten H.R. and Ergin, M., (1989). "Superficial deep-water sediments of the Eastern Marmara Basin.", Geo-Marine Letters, 9: 27-36.

Fonselius, S.H., (1974). "Phosphorus in the Black Sea.", *In: The Black Sea. Geology, Chemistry and Biology.* Amer. Assoc. petrol. And geologists, 20: 99-113.

Grasshoff, K., (1975). "Black Sea.", *In: Chemical Oceanography*, J.P. Riley and G. skirrow eds., Academic Press, Vol.2, 2nd ed.: 545-578.

Hattori, A., (1983). "Denitrification and dissimilatory nitrate reduction.", *In: Nitrogen In Marine Environment*, Academic Press, Inc., pp 191-232.

Mee, L.D., (1992). "The Black Sea in crisis: The need for concerted international action.", *Ambio*, 21(4): 278-286.

Müller, P.J. and Suess, E., (1979). "Productivity, sedimentation rate and sedimentary organic matter in the oceans-I. organic carbon preservation.", *Deep-Sea Research*, 26A: 1347-1362.

Orhon, D., Uslu, O., Meriç, S., Salihoglu, I. and Filibeli, A., (1994). "Wastewater management for Istanbul: Basis for treatment and disposal.", *Environmental Pollution*, 84:167-178.

Özsoy, E., Gaines, A.F., Latif, M.A., Tuğrul S. and others, (1994). "Monitoring via direct measurements of the modes of mixing and transport of wastewater discharges into the Bosphorus underflow.", Final Report, V.1-2, Institute of Marine Sciences, Middle East Technical University.

Polat, S.Ç., (1995). "Nutrient and organic carbon budgets of the Sea of Marmara: A progressive effort on the biogeochemical cycling of C, N, P.", Ph.D. Thesis, Institute of Marine Sciences, Middle East Technical University, Erdemli-Içel, 215 pp.

Polat, S.Ç. and Tuğrul, S., (1995). "Nutrient and organic carbon exchanges between the Black and Marmara seas through the Bosphorus Strait.", *Continental Shelf Research*, 15(9):1115-1132.

Polat S.Ç. and Tuğrul, S., (1996). "Chemical exchange between the Mediterranean and the Black Sea via the Turkish straits.", *In: Dynamics of Mediterranean Straits and Channels* (Ed. F. Briand), CIESM Science Series n° 2, Bulletin De L'Institut Oceanographique, Monaco, N° spécial 17, 1996, pp. 167-186.

Polat Ç., Tuğrul, S., Çoban, Y., Baştürk Ö. and Salihoglu, I., (1998). "Elemental composition of seston and the nutrient dynamics in the Sea of Marmara.", *Hydrobiologia*, 363: 157-167.

Sorokin Yu. I., (1983). "The Black Sea.", *In: Estuaries and Enclosed Seas, Ecosystems of the World.* B.H. Ketchum ed., Elsevier, Amsterdam: 253-291.

Tuğrul, S. and Morkoç, E., (1990). "Transport and water quality modelling in the Bay of Izmit.", Final report, TÜBITAK-Marmara Scientific and Industrial Research Center, Chemical Engineering Research Department, 104 pp.

Tuğrul, S., Polat, S.Ç., (1995). "Quantitative comparison of the influxes of nutrients to the Marmara Sea both from anthropogenic inputs and from the Black Sea.", Water Science and Technology, 32(2): 115-121.

Ünlüata, Ü. and Özsoy, E., (1986). "Oceanography of the Turkish Straits.", First Annual Report, Institute of Marine Sciences, Middle East Technical University,V.II, I:Oxygen deficiency of the Sea of Marmara.

Ünlüata, Ü., Oğuz, T., Latif, M.A., Özsoy, E., (1990). "On the physical oceanography of the Turkish Straits.", In: (J.Pratt, ed.) The Physical Oceanography of the Straits, NATO/ASI Series, Portrecht, Kluwer Academic Publishers, pp 25-60.