

İstanbul Boğazı Su Kalitesinin Sayısal Modellenmesi

Özet

İstanbul Boğazı'nda su kalitesinin analizi için 3 boyutlu bir hidrodinamik model ve su kalitesi modeli Boğaz'a uygulanmıştır. Bu çalışmada İstanbul Boğazı'nın Avrupa ve Asya Kıyıları boyunca konumlanan beş adet evsel atıksu ön arıtma tesislerinin deniz deşarjlarından Boğaz alıcı ortamına verilen debiler dikkate alınmıştır. Herbir durum değişkeninin alıcı ortam içerisindeki dağılım ve yayılımları benzeştirilmiştir. Çalışmanın burada sunulan kısmında yalnızca Çözünmüş Oksijen durum değişkeni değerlendirilmiştir. Boğaz'daki hidrodinamik koşulların benzeştirilmesi için Mike3 Hidrodinamik yazılımı kullanılırken, durum değişkenleri arasındaki biyojeokimyasal süreç, dönüşüm ve etkileşimlerin benzeştirilmesi amacıyla Ecolab yazılımı kullanılmıştır. Hidrodinamik model, Boğaz'da toplanmış akıntı ölçümü verileri kullanılarak kalibre edilmiş ve doğrulanmıştır. Su Kalitesi modelinin kalibrasyonu ve doğrulanmasında ise bir aylık periyotlarla toplanmış ölçüm verileri kullanılmıştır. Model sonuçları hem kalibrasyon hem de doğrulama veri setleri için ölçümlerle iyi bir uyum sergilemiştir. Bu çalışma ve sonuçları geliştirilen hidrodinamik-su kalitesi bileşik modelinin, Boğaz'ın su kalitesini gerçekçi bir şekilde benzeştirebildiğini ve İstanbul Boğazı Ekosistemi'nin yönetimi ve planlanması çalışmalarında yol gösterici bir araç olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Su kalitesi, modelleme, benzeşim, difüzyon kirlilik

Giriş

İstanbul Boğazı Karadeniz'i Marmara Denizi, Çanakkale Boğazı ve Ege Denizi ile Akdeniz'e bağlayan dar ve derin bir su yoludur. İki tabakalı özel bir akım yapısına sahiptir. Yüksek yoğunluğa sahip Marmara Denizi suları alt akıntı ile Karadeniz'e taşınırken, daha düşük yoğunluklu Karadeniz suları üst akıntı ile Marmara Denizi'ne taşınmaktadır. Yoğunluk farkı Karadeniz ve Marmara Denizi arasındaki tuzluluk farkından kaynaklanmaktadır. Karadeniz ~18 psu ve Marmara Denizi ise ~38 psu tuzluluğa sahiptir. Bu yoğunluk farkı Boğaz'daki alt akıntıyı oluşturmaktadır. Karadeniz su seviyesi Marmara Denizi'ne göre daha yüksektir. Bu su seviyesi farkı ise Boğaz'daki üst tabaka akımını kontrol etmektedir. Su seviyesi farkı meteorolojik etkilere ve Karadeniz'in hidrolojik değişimlerine bağlı olarak zaman içerisinde değişiklik göstermektedir. Böylesi değişiklikler Boğaz'daki alt ve üst tabaka akımının kalınlığını, ara kesit düzleminin yerini ve akıntının şiddetini etkilemekte zaman zaman iki tabakalı yapının ortadan kalkmasına dahi neden olabilmektedir.

Bu yazı, İnşaat Mühendisleri Odası 7. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu'nda sunulmuştur.

Yüksek nüfus artışı ve artan endüstrileşme İstanbul Boğazı su kalitesini tehdit etmektedir. İstanbul şehrinin atıksuları ön arıtma tesislerinde işlendikten sonra derin deniz deşarjları yoluyla Boğaz'ın alt akıntısına verilmektedir. Ayrıca Karadeniz'den ve Marmara Denizi'nden de gelen ciddi boyutta bir kirlilik söz konusudur. İstanbul Boğazı'ndaki su kalitesi İSKİ adına İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri Enstitüsü'ndeki bir ekip tarafından 1996 yılından bu yana izlenmektedir. İzleme çalışmaları Karadeniz, Marmara Denizi ve İstanbul Boğazı'nda belirlenmiş istasyonlarda, çeşitli derinliklerde, aylık ya da mevsimlik anlık ölçümlerle gerçekleştirilmektedir. Bundan başka İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin mastır plan çalışmalarında kullanılmak üzere Danimarka Hidrolik Enstitüsü (DHI) tarafından 1993 yılında hazırlanan bir sayısal model de İstanbul Boğazı üzerinde yapılan planlama ve gidilen tasarruflara altlık oluşturmaktadır. Ancak o günden bu yana değişen koşullar, artan kirlilik yükü ve gelişen teknoloji gereği İstanbul Boğazı'nda su kalitesinin durumunun yeniden değerlendirilmesi, sistemdeki besi maddelerinin ve diğer su kalitesi durum değişkenlerinin maruz kaldığı taşınım ve dönüşüm süreçlerinin anlaşılacak İstanbul Boğazı için uygun bir su kalitesi modelinin kalibre edilmesi bir zorunluluk haline almıştır. Böylesi bir model İstanbul Boğazı'nda yapılacak planlamalar için daha sağlıklı bir altlık oluşturacak ve sisteme dair bilinmeyenlere daha doğru yanıtlar verebilecektir.

İstanbul Boğazı gibi karmaşık akım yapısına sahip sistemlerde su kalitesi dinamiklerini yalnızca biyolojik ve kimyasal süreçlerle benzeştirebilmek ya da öngörebilmek mümkün değildir. Böylesi sistemlerde su kalitesi sıcaklık ve tuzluluk değişimleri, hidrodinamik değişimler (dalga, akıntı, gel-git, türbülans karışımı, vb.), meteorolojik değişimler (rüzgâr, hava sıcaklığı, atmosferik basınç değişimleri, vb.) ve katı madde taşınım süreçlerinden de (birikim, tabandan su kolonuna ya da su kolonundan tabana geçiş, topaklaşma, vb.) etkilenmektedirler. Bu çalışmada İstanbul Boğazı'ndaki hidrodinamik yapıya da önemli ölçüde bağlı olan karmaşık su kalitesi süreçlerini anlamak için bileşik bir modelleme sistemi oluşturulmuştur. Bu çalışmanın öncelikli amacı en gelişmiş ve en güncel teknikleri ve verileri kullanarak İstanbul Boğazı'ndaki hidrodinamik yapıyı ve su kalitesi dinamiklerini ayrıntılı bir biçimde benzeştirebilmektir. Bu amaçla Danimarka Hidrolik Enstitüsü (DHI) tarafından geliştirilen Mike3 üç boyutlu hidrodinamik modelleme yazılımı ve Ecolab su kalitesi modelleme yazılımı bir arada kullanılmıştır. Her iki yazılım da dünyanın çeşitli yerlerinde su kütlelerinin hidrodinamiği ve su kalitesinin benzeştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak ilk kez bu çalışmada iki tabakalı akıntı yapısına sahip dar ve derin bir boğaz akımının hidrodinamiğinin ve su kalitesi dinamiklerinin benzeştirilmesinde kullanılmıştır.

Yöntem

Ölçüm Verileri

İstanbul Boğazı için böylesi bir hidrodinamik ve su kalitesi modelinin kurulması, farklı veri setlerini gerektirmektedir. Bu çalışmada kullanılan veri setleri şöyle sıralanabilir:

- Batimetrik Veriler: Bu çalışmada kullanılan batimetrik veriler Seyir , Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı'nın topladığı yüksek çözünürlüklü verilerden elde edilmiştir.
- Rüzgâr ve Atmosferik Basınç Alanları: Avrupa Orta Ölçekli Hava Tahmin Merkezi (ECMWF)'ten alınan 0.25° çözünürlüklü atmosferik basınç ve rüzgar hız bileşenleri kullanılmıştır.
- Su Seviyeleri: Devlet Demiryolları, Limanlar ve Hava Meydanları (DLH) Genel Müdürlüğü'nün Marmaray Bölge Müdürlüğü'nce 22.09.2004 ile 05.10.2005 tarihleri arasında, bir saatlik aralıklarla, İstanbul Boğazı'nın kuzey ve güney girişlerinde belirlenmiş iki istasyonda (Şekil 1'de D ve E İstasyonları) ölçülmüş su seviyesi verileri kullanılmıştır. Bu ölçümlerden elde edilen su seviyesi verilerinin ayrıntılı analizleri Aydoğan vd. (2010) ve Yüksel vd. (2008)'de bulunabilir.
- Sıcaklık ve Tuzluluk: Sıcaklık ve tuzluluğun Boğaz boyunca farklı noktadaki derinlik profilleri İSKİ tarafından aylık periyotlarla ölçülmektedir. Bu çalışmada İSKİ'nin K2 ve M8 istasyonlarında ölçülen tuzluluk ve sıcaklık profilleri modelin sınır koşullarının oluşturulmasında ve K0, B13, B7, B2 ve M3 istasyonlarında toplanan veriler ise model alanı içerisindeki başlangıç koşulunun oluşturulmasında kullanılmıştır.
- Akıntı Hızı Verileri: Yine DLH Genel Müdürlüğü'nün Marmaray Bölge Müdürlüğü'nce 24.09.2004 ile 03.01.2006 tarihleri arasında, bir saatlik aralıklarla, Şekil 1'de görülen B istasyonunda ölçülmüş akıntı hızı verileri kullanılmıştır. Akıntı hızı ölçümleri Recording Doppler Cur-

rent Profiler (RDCP) cihazı kullanılarak kaydedilmiştir. Yine bu çalışma kapsamında kullanılan sözkonusu akıntı hızı ölçümlerinin ayrıntılı değerlendirmeleri Aydoğan vd. (2010) ile Yüksel vd. (2008) çalışmalarında bulunabilir.

- Su Kalitesi Durum Değişkenleri: Çözünmüş oksijen durum değişkenine dair ölçüm verileri ISKI tarafından yayınlanan Su Kalitesi İzleme Raporlarından elde edilmiştir.

Yukarıda adı geçen tüm istasyonların lokasyonları Şekil 1'de görülebilir.

Bu çalışmada Boğaz'daki hidrodinamik koşulların benzeştirilmesi için Mike3 Hidrodinamik yazılımı kullanılmıştır. Mike3 Hidrodinamik modeli kıyı alanları ve okyanuslardaki akımların benzetimi amacıyla geliştirilmiştir. Yoğunluk değişimleri, batimetri ve meteorolojik koşullar, gelgit değişimleri, akıntılar ve diğer hidrografik şartlar gibi dış kuvvetleri dikkate alarak kararsız üç boyutlu akımları benzeştirmektedir.

Mike3 Hidrodinamik modeli, lineer olmayan üç boyutlu süreklilik ve momentumun korunumu denklemlerini çözmektedir. Bu iki ana denkleme ikinci mertebeye hassasiyette Alternatif Doğrultulu Kapalı sonlu farklar çözümü uygulamaktadır. Smagorinsky eddy formülasyonu, bir denklem türbülans kapama problemi (k model), iki denklem türbülans kapama problemi (k-ε model), düşeyde bir boyutlu karışık k-ε model, yatayda iki boyutlu Smagorinsky formülasyonu ile çözüm yapabilmektedir. Tuzluluk ve sıcaklığın taşınımında üçüncü mertebeye hassasiyete sahip açık sonlu farklar çözümü gerçekleştirilmektedir.

Newtonian akışkanların 3 boyutlu hidrodinamik modelinin kurulabilmesi için kütlelenin korunumu, momentumun korunumu, tuzluluk ve sıcaklığın korunumu prensipleri ile tuzluluk, sıcaklık ve basınca ilişkin yoğunluk durum denklemi dikkate alınmalıdır.

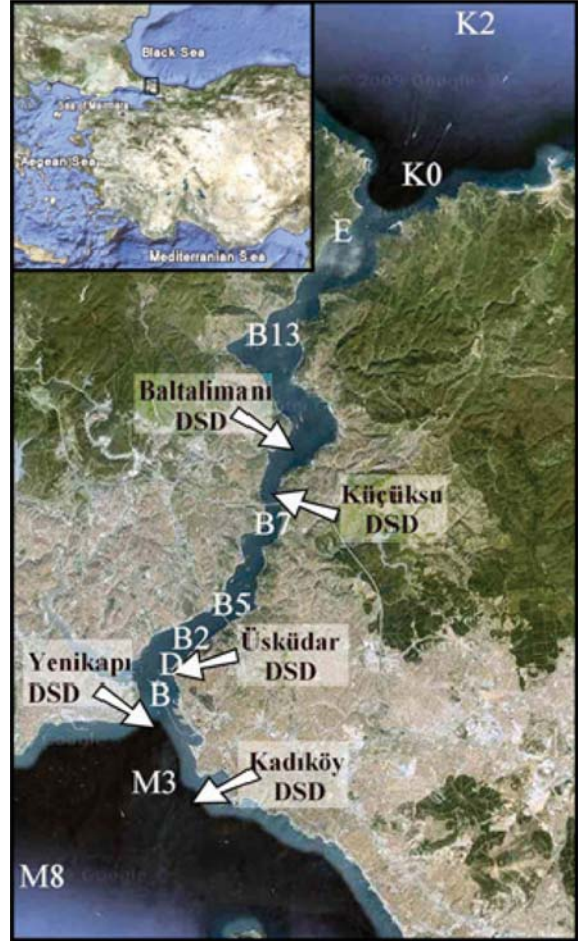
Mike3'ün matematiksel esası kütlelenin korunumu, türbülans ve değişken yoğunluk etkilerini de içeren 3 boyutlu Navier-Stokes Denklemleri ile tuzluluk ve sıcaklığın korunumuna dayanmaktadır.

Temel denklemlerin uzamsal ayrıklaştırılması için merkezi sonlu hacimler yöntemi kullanılmaktadır. Bu yaklaşımda model hacmi herhangi bir süreksizlik kalmayacak şekilde, birbiriyle girişimi olmayan hücrelere bölünmektedir. Bunun için düşey düzlemde yapılandırılmış ve yatay düzlemde ise yapılandırılmamış ağ sistemi uygulanmaktadır. Böylece model hacmi yatay yüzeyi üçgen ve düşey yüzeyi ise dörtgen olan prizmatik elemanlardan oluşmaktadır. Zamansal integrasyon için, yatay terimlerin açık, düşeydeki terimlerin ise kapalı olarak çözümlendiği yarı kapalı yaklaşım kullanılmaktadır.

Yine bu çalışmada su kalitesi durum değişkenleri arasındaki biyojeokimyasal süreç, dönüşüm ve etkileşimlerin benzeştirilmesi amacıyla Ecolab yazılımı kullanılmıştır. Ecolab sucül ekosistemlerde su kalitesi, ötrofikasyon, ağır metaller ve ekolojik benzetimler gibi amaçlarla kullanılabilen oldukça geniş kapsamlı bir sayısal araçtır.

Ecolab, Mike benzetim yazılımları ile birlikte çalışmaktadır. Bu yazılım kimyasal ve ekosistem durum değişkenleri arasındaki etkileşim ve süreçleri tanımlamak amacıyla geliştirilmiştir. Yine durum değişkenlerinin sedimantasyonuna dair fiziksel süreçler de tanımlanabilmektedir.

Yine Ecolab modeli Adveksiyon-Dispersiyon modeli ile birlikte çalıştırılarak adveksiyon-dispersiyon süreçleri ile taşınım mekanizmalarının da Ecolab benzetiminde dikkate alınması sağlanmaktadır.

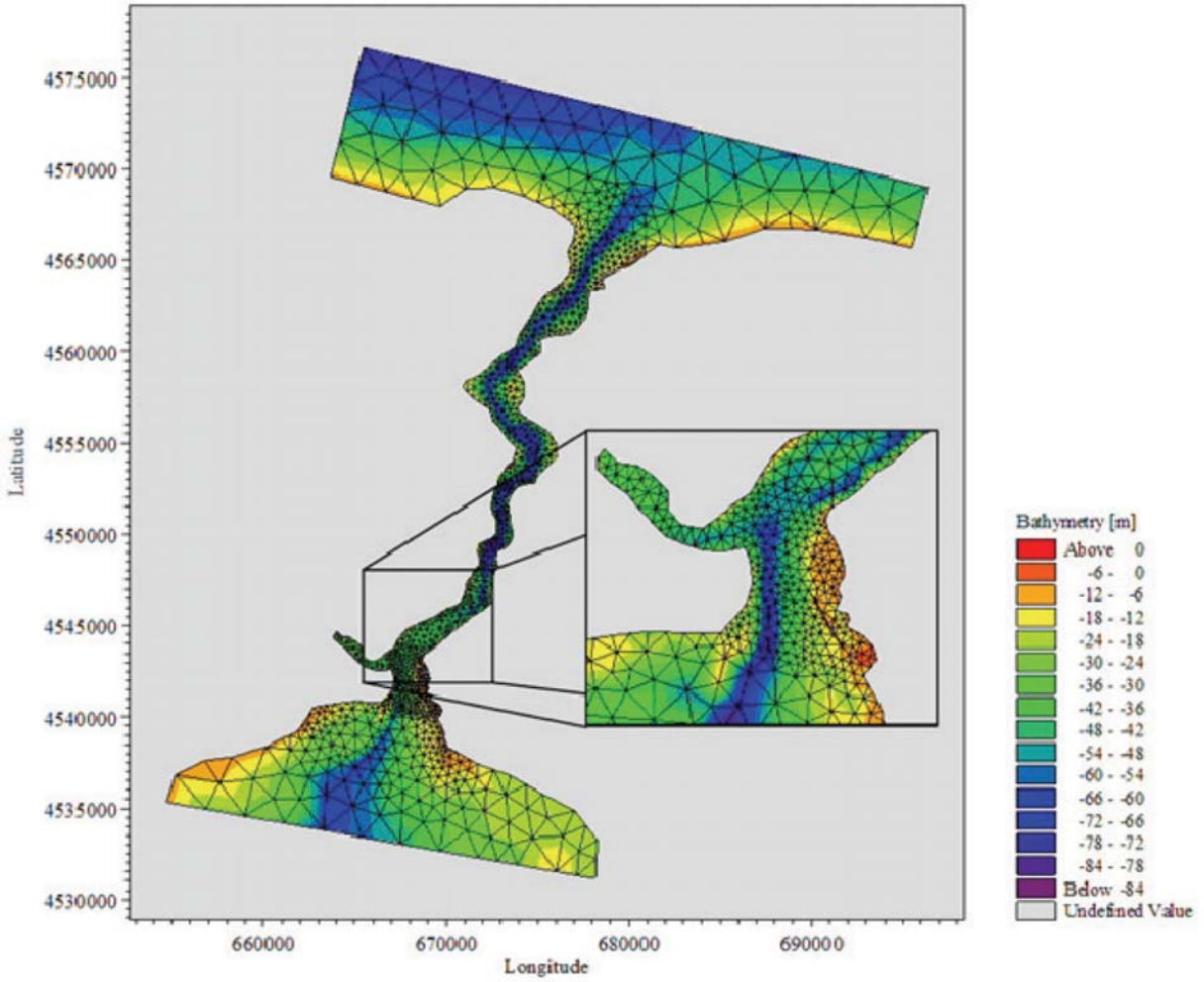


Şekil 1 - Çalışma Alanı (İstanbul Boğazı), Derin Deniz Deşarjları ve çalışmada kullanılan verilerin toplandığı istasyonlar.

Ekosistem durum değişkenleri Ecolab içerisinde her bir değişkenin değişim miktarını tanımlayan bir seri birbirine bağlı adi diferansiyel denklemlerle formüle edilmiştir. Ecolab durum değişkenlerine, maruz kaldıkları süreçlere ve birbirleriyle etkileşimlerine dair tüm bilgiler Ecolab şablonları içerisinde kullanıcıya sunulmaktadır.

Hidrodinamik Model Kurulumu

Bu çalışma için model alanını temsil eden hesap ağı Mike Zero Mesh Generator yazılımı kullanılarak Şekil 2'de gösterildiği gibi oluşturulmuştur. Pekçok farklı alternatifler arasından seçilen en uygun hesap ağı yatayda üçgen ve düşeyde ise dikdörtgen elemanlardan oluşmaktadır. Hesap ağı düşeyde 30 eşit aralıklı katmandan oluşmakta ve herbir katman 2047 eleman, 3293 yüzey ve 1246 düğüm noktası içermektedir.



Şekil 2 - Hesap Ağı ve İstanbul Boğazı Batimetrisi.

Hidrodinamik model 01.11.2004 ve 12.11.2004 tarihleri arasındaki akıntı hızlarını içeren bir veri seti kullanılarak kalibre edilmiştir. Bu süreç sonunda kalibrasyon parametreleri olarak seçilen Smagorinsky Sabiti için 0.28 ve Taban Pürüzlülüęü için 0.45 m değerleri elde edilmiştir. Kalibrasyon veri setinin değerlendirilmesinde uygunluk ölçütleri olarak Korelasyon katsayısı (R) ve Ortalama Kare Hatanın Karekökü (RMSE) kullanılmıştır. Bu iki ölçüt Denklem 1 ve 2'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

$$R(x,y)=\frac{\sum(O_i-\bar{O})(P_i-\bar{P})}{\sqrt{\sum(O_i-\bar{O})^2\sum(P_i-\bar{P})^2}} \quad (1)$$

$$RMSE=\left[\frac{1}{N}\sum_{i=1}^N(O_i-P_i)^2\right]^{0.5} \quad (2)$$

Bu ifadelerde O_i akıntı hızının ölçülmüş değeri, P_i akıntı hızının model benzetimi sonucunda elde edilmiş değeri ve N ise O-P veri çiftlerinin sayısını sembolize etmektedir.

Kalibrasyon sonucunda model sonuçları ile ölçüm verileri arasındaki uygunluk Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1 - Kalibrasyon veri setinin uygunluğu.

Derinlik (m)	-0.75	-5.75	-10.75	-15.75	-20.75	-23.75
R	0.78	0.87	0.90	0.87	0.81	0.70
RMSE (m/s)	0.41	0.19	0.17	0.37	0.46	0.38

Kalibrasyon aşamasının ardından Hidrodinamik model her bir mevsimi temsil eden 15 günlük dört ayrı veri seti kullanılarak doğrulanmıştır. Modelin doğrulanması aşaması için ölçüm değerleri ile model sonuçları arasındaki uygunluk Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2 - Doğrulama veri setinin uygunluğu.

Derinlik (m)	-0.75	-5.75	-10.75	-15.75	-20.75	-23.75
R	0.66	0.73	0.77	0.77	0.69	0.62
RMSE (m/s)	0.56	0.40	0.35	0.31	0.30	0.25

Su Kalitesi Modelinin Kurulumu

İstanbul Boğazı için su kalitesi modelinin kurulmasında Boğaz'ın her iki kıyısı boyunca yerleşmiş ve Boğaz'ın alt tabaka akıntısına deşarj olan beş adet evsel atıksu ön arıtma tesisi dikkate alınmıştır. Bu deniz deşarjları ile başlıca karakteristikleri Çizelge 3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3 - Çalışma Alanındaki Arıtma Tesisleri (AT), Derin Deniz Deşarjları (DDD) ve Bunların Başlıca Karakteristikleri.

AT	Arıtılmış Atıksu Debi Kapasitesi ($\times 10^3$ m ³ /gün)	2004 Yılında Arıtılmış Atıksu Ortalama Debisi ($\times 10^3$ m ³ /gün)	DDD (m)	Arıtma Düzeyi
Yenikapı	864	485.237	64	Ön
Üsküdar	77.76	27.896	47	Ön
Kadıköy	833	333.482	51.5	Ön
Küçüksu	640	98.931	67	Ön
Baltalimanı	130	91.525	70	Ön

Su kalitesi modeli sonuçları eldeki bir yıllık veri setinin ilk altı aylık kısmı için kalibre edilmiştir. Kalibrasyon sürecinde biyojeokimyasal süreçlerle ilişkili parametreler model sonuçları ile ölçüm verileri

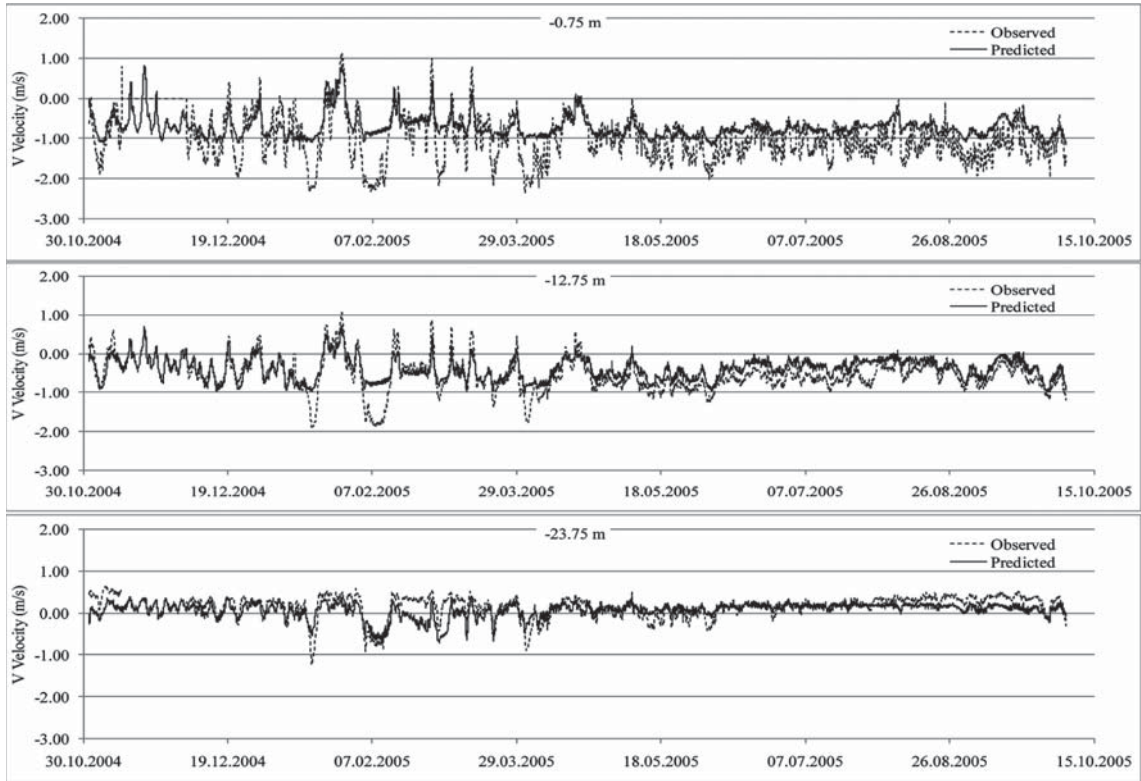
arasında tatmin edici bir uyum yakalanana kadar değiştirilmiştir. Çizelge 4'te kullanılan kalibrasyon parametreleri, bunların alt ve üst limit değerleri ve kalibrasyon sonucu elde edilmiş değerleri görülmektedir.

Kalibrasyon aşamasının ardından geri kalan altı aylık veri seti kullanılarak model doğrulanmıştır.

Hidrodinamik model sonuçları bir yıllık veri seti için ölçümlerle karşılaştırıldığında aralarındaki uyum Şekil 3'te görülmektedir.

Çizelge 4 - Kalibrasyon parametreleri, alt ve üst limit değerleri ve kalibre edilmiş değerleri.

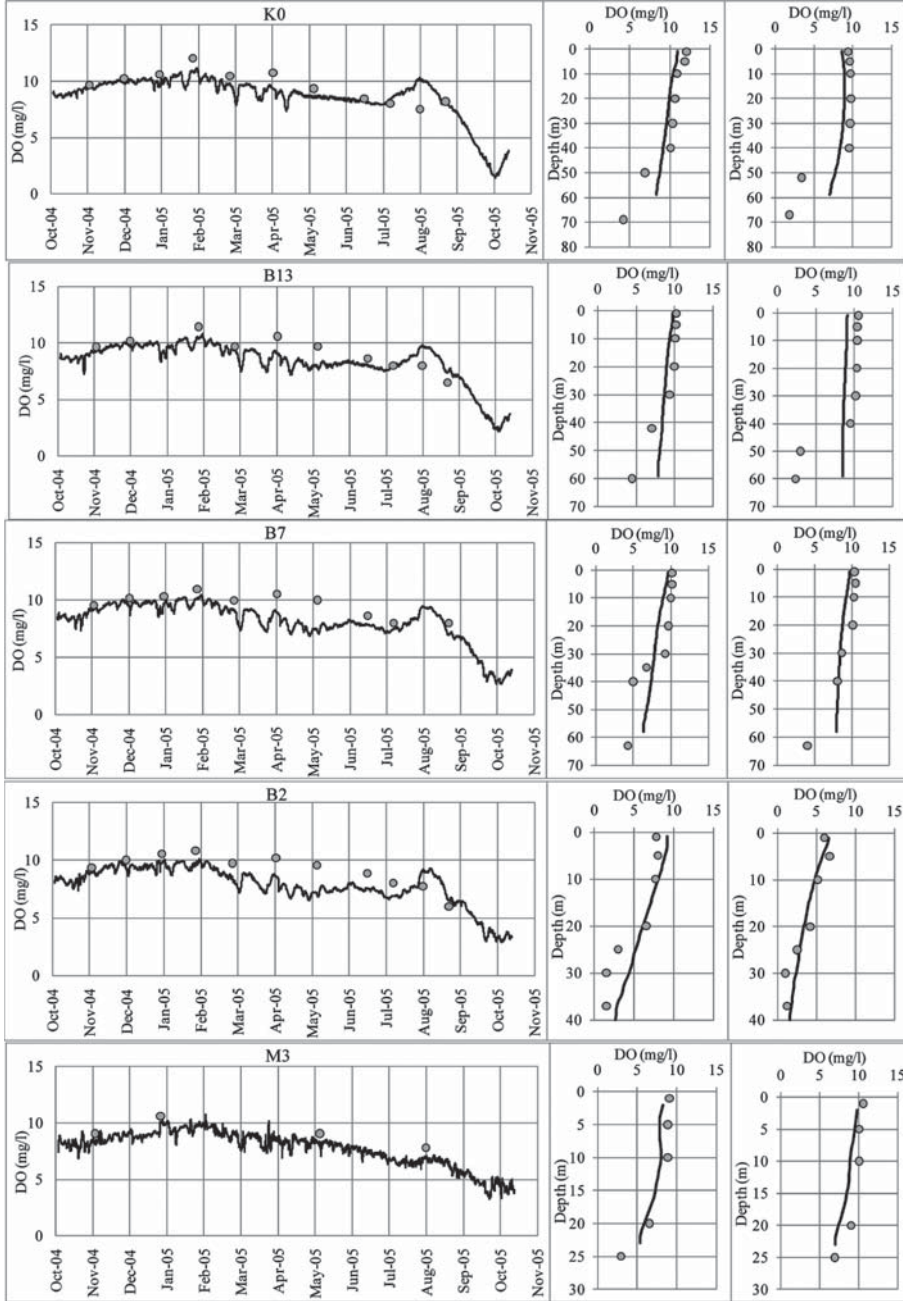
Parametre	Süreç	Birim	En Küçük Değeri	En Büyük Değeri	Kalibre Edilmiş Değer
20°C'de 1. Mertebeden Azalma Miktarı	BOI	/gün	0	5	0.2
Azalma Miktarı için Sıcaklık Katsayısı	BOI	-	1	1.2	1.07
Oksijen Yarı-Doygunluk Konsantrasyonu	BOI	mg/l	0	20	2
Öğle Vaktindeki En Büyük Oksijen Üretimi	Oksijen	/gün	0	40	2
Bitkilerin Solunum Miktarı	Oksijen	/gün	0	30	0
Solunum için Sıcaklık Katsayısı	Oksijen	-	1	1.2	1.08
Solunum için Yarı-Doygunluk Konsantrasyonu	Oksijen	mg/l	0	4	2
Katı Maddenin Oksijen İhtiyacı (KMOİ)	Oksijen	/gün	0	30	0.5
KMOİ için Sıcaklık Katsayısı	Oksijen	-	1	1.2	1.07
KMOİ için Yarı-Doygunluk Konsantrasyonu	Oksijen	mg/l	0	4	2



Şekil 3 - İstanbul Boğazı yüzey, orta tabaka ve alt tabaka akıntılarının ölçülen ve model tarafından tahmin edilen zaman serilerinin karşılaştırılması.

İstanbul Boğazı'ndaki hidrodinamik koşullar, su kalitesi durum değişkenlerinin uzamsal ve zaman-sal dağılım ve yayılımlarını etkileyen en önemli faktörlerin başında gelmektedir. Dolayısıyla çalışma alanı için kurulan hidrodinamik modelin doğruluğu, su kalitesi modelinin doğruluğu için oldukça önemlidir. Çizelge 1, Çizelge 2 ve Şekil 3'te sunulan değerlendirmeler, bu çalışmada geliştirilen modelin Boğaz'daki hidrodinamik koşulları ve iki tabakalı akıntı yapısını oldukça başarılı bir şekilde benzeştirebildiğini göstermektedir.

Şekil 4'te Çözünmüş Oksijen konsantrasyonlarının model tarafından tahmin edilen ve ölçülen değerleri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4 - Çözünmüş Oksijen konsantrasyonlarının model tarafından tahmin edilen değerleri ile ölçümlerin karşılaştırılması.

Sonuç ve Öneriler

Model sonuçları İstanbul Boğazı yüzey suyunda ÇO konsantrasyonunun doygunluk konsantrasyonuna yakın olduğunu göstermektedir. Üst tabakadaki konsantrasyon değerleri derine inildikçe azalmaktadır. Bu eğilim hem ölçüm verileri hem de model sonuçlarına dair derinlik profillerinde rahatlıkla gözlenebilmektedir. Bununla birlikte düşey profillerde ara tabaka civarında konsantrasyonlarda ani bir değişim meydana geldiği görülmektedir. Bu ani değişim K0 ve B13 istasyonlarında yaklaşık 40 m derinlikte gözlenirken, B7 istasyonunda 30-40 m aralığında, B2 istasyonunda 20 m derinlikte ve Boğaz'ın Marmara denizi girişindeki M3 istasyonunda ise 12 m derinlikte meydana gelmektedir.

Model çalışmasında dikkate alınan tüm istasyonlar benzer ÇO zaman serileri sergilemektedir. Bu zaman serilerinden Boğaz'da benzeşim dönemi içerisinde en yüksek ÇO konsantrasyonunun Şubat 2005'te ve en düşük konsantrasyonun ise Eylül 2005'te meydana geldiği görülmektedir. Model benzetimlerinden elde edilen zaman serileri Ağustos 2005'ten sonra konsantrasyonlarda ani bir düşüş olduğunu göstermektedir. Ancak bu dönem için elimizde ölçüm verisi bulunmamaktadır.

Su kalitesi dinamiklerini yüksek bir doğrulukla benzeştirebilen bir su kalitesi modelinin kurulması çok disiplinli ölçüm çalışmalarını gerekli kılmaktadır. Böylesi bir model için altlık oluşturacak ölçüm programı meteorolojik, batimetrik, hidrolojik, hidrodinamik ve taban karakteristiğine dair ölçümleri kapsmalıdır. Herbir ölçüm grubu için veri setlerinin çözünürlüğü ve ölçüm süresi de model kalitesi üzerinde etkili olacak değişkenlerdir. Bu çalışmada sadece bir yıllık ölçüm veri seti kullanılabilmiştir. Daha uzun veri setleri ile sistemlerin hidrodinamik ve su kalitesi özelliklerinin benzetiminde daha yüksek doğruluklar elde etmek mümkün olabilecektir. Böylesi bir modelin geliştirilmesinde bir diğer önemli faktör de ölçüm istasyonlarının konumlarıdır. Özellikle model sınırlarında ki karakteristik yapıyı yansıtacak nitelikteki verilerin mümkün olduğunca en doğru yerde toplanması önemlidir.

Kaynaklar

Aydoğan, B., Ayat, B., Öztürk, M.N., Çevik, E.Ö. ve Yüksel, Y., (2010), "Current velocity Forecasting in Straits with Artificial Neural Networks, a Case Study:Strait of İstanbul", *Ocean Engineering*, 37(5-6):443-453.

ISKI Su Kalitesi İzleme 2004 ve 2005 Yılı Raporları.

Yüksel, Y., Ayat, B., Öztürk, M.N., Aydoğan, B., Güler, I., Çevik, E.Ö., Yalçiner, A.C., (2008), "Responses of the Stratified Flows to Their Driving Conditions-A Field Study", *Ocean Engineering*, 35(13):1304-1321.