

## Tarabya ve İstinye Koyları'nda Üç Boyutlu Akıntı Yapısının Yıllık Ölçekte Değerlendirilmesi

Mehmet ÖZTÜRK<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34220, İstanbul

(Alınış / Received: 11.01.2017, Kabul / Accepted: 03.05.2017,  
Online Yayınlanma / Published Online: 20.09.2017)

**Anahtar Kelimeler**  
Tarabya Koyu,  
İstinye Koyu,  
Tabakalı Akım,  
Sayısal  
Modelleme,  
İstanbul Boğazı

**Özet:** Bu çalışmada İstanbul Boğazı'nın Avrupa yakasında yer alan ve şehrin deniz turizmi için önemli iki marinasının da bulunduğu Tarabya ve İstinye koylarındaki üç boyutlu yıllık akıntı yapısı, kalibrasyonu ve doğrulaması yapılmış olan sayısal model sonuçları kullanılarak analiz edilmiştir. İstanbul Boğazı'nda ana doğrultusuna göre önemli değişimin meydana geldiği Beykoz kıvrımının kuzeyindeki Tarabya Koyu ve güneyinde İstinye Koyu'nda akıntı hızı ve doğrultusunun yatay düzlemde ve derinlik boyunca önemli farklılıklar göstermektedir. Karadeniz'e daha yakın olan Tarabya Koyu'nda en büyük akıntı hızları Karadeniz ile Marmara Denizi arasındaki en yüksek su seviyesi farkı için gözlenmişken, daha güneydeki İstinye Koyu'nda ise Marmara ile Karadeniz arasındaki en yüksek su seviyesi farkı için gözlenmiştir. Ayrıca Marmara Denizi'nin Karadeniz'den daha yoğun olmasından kaynaklı kuzey yönündeki ilave hidrostatik kuvvet (baroklinik kuvvet) oluşmaktadır. Bunun sonucunda Tarabya Koyu'nda Karadeniz'in su seviyesinin Marmara Denizi'nden yüksek olduğu daha büyük su seviyesi farkları için oluşan akıntı hızı büyüklükleri, Marmara Denizi'nin Karadeniz'den yüksek olduğu daha düşük su seviyesi farklarında oluşmaktadır. Koyun geometrik özelliklerinin (giriş ağzı genişliği, ana kanala göre doğrultusu vb.) koy içerisindeki akıntı yapısı üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğu Tarabya ve İstinye koylarındaki üç boyutlu akıntı analizlerinden görülmüştür.

## Evaluation of Three Dimensional Flow Structure of Tarabya Bay and İstinye Bay on Annual Scale

**Keywords**  
Tarabya Bay,  
İstinye Bay,  
Stratified Flow,  
Numerical  
Modeling,  
İstanbul Strait

**Abstract:** In this study, annual three dimensional flow structure of Tarabya Bay and İstinye Bay which is on the European Side of the İstanbul Strait were analyzed from the calibrated and validated numerical model results of the strait. Tarabya and İstinye bays are positioned at the north and south of the Beykoz twist of the İstanbul Strait, respectively, where a significant shift occurs in the orientation of the strait resulting completely different flow behaviors both in horizontal and vertical domains in the bays. Due to being closer to Black Sea, peak current velocities in Tarabya Bay were obtained at highest water level

difference between Black Sea and Marmara Sea. In İstinye Bay, however, the same extreme current conditions were reached for the opposite situation: the highest level difference between Marmara Sea and Black Sea. Additionally, the additional baroclinic forcing occurs in the north direction due to the denser Marmara Sea water than Black Sea, which causes almost same-magnitude current velocities in Tarabya Bay in the case of lower water level differences of being Marmara Sea higher with the higher water level difference of Black Sea being higher. Geometrical features (width of the entrance and orientation) of the bays were seen to be the other important aspects on the flow structure.

\*Sorumlu yazar: meozturk@yildiz.edu.tr, meozturk@hotmail.com

### 1. Giriş

Birbirine bağlanan farklı hidrolojik (yağış, buharlaşma, tatlı su girişi vb.) özelliklere sahip su yollarında genellikle iki tabakalı akıntı yapısı meydana gelmektedir. İstanbul Boğazı akıntısı tipik bir iki tabakalı akım yapısı göstermektedir. Dünya üzerindeki diğer önemli tabakalı akım örnekleri için Atlas Okyanusu ile Akdeniz arasındaki Cebelitarık Boğazı [1], Kızıldeniz ile Hint okyanusu arasındaki Bab-el-Mandeb [3] ve Danimarka ile İsveç arasındaki Great Belt [5] boğazları verilebilir. Söz konusu su yollarındaki iki tabakalı akım dinamiğinin doğru tanımlanması buralardaki mühendislik yapılarının tasarımı, atık su uzaklaştırma politikalarının belirlenmesi ve ekolojik dengenin korunması açısından önem taşımaktadır.

İstanbul Boğazı güneybatı kuzeydoğu doğrultusunda doğu-batı yatayı ile yaklaşık 65° lik açı yapacak şekilde uzanan, Marmara Denizi ile Karadeniz'i birbirine bağlayan 31 km uzunluğunda bir su yoludur (Şekil 1). Akış yolu boyunca Boğaz doğrultusunda önemli değişimler meydana gelmektedir. İstanbul Boğazı uzunluğu boyunca farklı genişlik ve derinlik değerlerine sahiptir. Yüzeydeki genişliği 0,7 km ile 3,5 km arasında değişmekte olup ortalama genişliği 1,3 km'dir. Derinliği ise 30 m ile 100 m arasında değişen değerler almaktadır. Her iki uç bölgesinde

İstanbul Boğazı'nın akıntı yapısı üzerinde oldukça etkili olan iki eşik bulunmaktadır. Eşiklerden biri Marmara Denizi'nin kuzeyinde hemen Boğaz girişinde minimum ve maksimum 28 ile 35 m derinlikleri arasında bulunmakta olup her iki yanında bir kanal akımı oluşmasına neden olmaktadır [6,7]. Diğer eşik ise Boğaz'ın Karadeniz girişinin 3-4 km kuzeyinde olup, Boğaz'ın Karadeniz'deki doğal bir uzantısı gibi 60 m derinlikte 2 km boyunca dar bir kanal şeklinde uzanmaktadır. Taban eşiklerinin akıntı yapısı üzerindeki benzer etkileri Cebelitarık Boğazı için de söz konusu olmaktadır [13]. Kıvrımlı geometri, rüzgar yapısından kaynaklı kararsız etkiler ve komşu havzaların hidrolojik özelliklerindeki farklılıklar ile Boğaz boyunca yoğunluk farklılıkları ve tabakalar arası kütle alış verişinden kaynaklı karmaşık akıntı yapısı sekonder ve eddy çevrimlerinin oluşmasına neden olmaktadır [2,11].

Her ne kadar ekstrem meteorolojik koşullara bağlı olarak kuzey ve güney yönünde tamamen tek tabakalı homojen akım halleri görülse de, İstanbul Boğazı genel olarak iki tabakalı bir akım yapısına sahiptir (Şekil 2). Bunlar Karadeniz'den Marmara Denizi'ne doğru iki deniz arasındaki su seviyesi farkından kaynaklı güney doğrultusundaki üst tabaka akımı ve Marmara Denizi'nden Karadeniz'e doğru komşu denizler arasındaki yoğunluk (esas olarak

tuzluluk) farkından kaynaklı kuzey doğrultusundaki alt tabaka akımlarıdır. Akıntı hızları hem Boğaz boyunca ve hem de derinlikle zamansal olarak dikkate değer oranda değişim göstermektedir. Ayrıca Boğaz boyunca geometrisindeki menderesli yapıdan dolayı akıntı doğrultuları da değişim göstermektedir [8]. Yıllık zaman ölçeğinde genel olarak güneye doğru gerçekleşen üst tabaka akımına Karadeniz ile Marmara denizi arasındaki su seviyesi farkı neden olmaktadır. Söz konusu su seviyesi farkı ( $\Delta\eta$ ) -20 cm ile 60 cm arasında değişen değerler almaktadır [14]. Burada - (eksi) meteorolojik koşullar nedeniyle kısa süreliğine meydana gelen Marmara Denizi'nin su seviyesi farkının Karadeniz'den daha yüksek olması durumuna karşılık gelmektedir. İstanbul Boğazı'nın tipik akıntı yapısı olan İki tabakalı akım halinin yaklaşık olarak 10 cm ile 40 cm arasındaki su seviyesi farklarında varlığını koruyabildiğini hesaplamıştır [8].

İki deniz arasındaki tuzluluk farkı ise Marmara Denizi'nden Karadeniz'e doğru alt tabaka akıntısını beslemektedir. Tabakalar bir ara kesit ile birbirinden ayrılmaktadır. Üst tabakanın ortalama tuzluluğu Karadeniz'in bitiminde 18 ppt'dir. Bu değer kademeli olarak artarak güney çıkışında 23 ile 25 ppt değerine ulaşmaktadır (Şekil 2). Alt tabakadaki tuzluluk Boğaz'ın güney ucunda Marmara Denizi'nde 38 ppt'dir. Bu değer kuzeydeki eşiğin bulunduğu bölgede 33 ppt'ye düşmektedir [4].

Bu çalışmada İstanbul Boğazı'ndaki Tarabya ve İstinye koylarındaki akıntı yapısı üç boyutlu değişimi Karadeniz ile Marmara Deniz'i arasındaki değişik su seviyesi farkı koşulları için detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Her iki koy şehrin Avrupa yakası tarafında Boğaz'ın karaya doğru yaptığı girintiler olup, İstanbul Boğazı'nın en bilinen ve işlek noktalarındandır. Koylardaki üç boyutlu akıntı yapısının detaylı analizi oldukça

hareketli bir sosyal yaşama (çevresindeki tavernalar, balık lokantaları ve lüks yat ve tekneler için marinalar ile) sahip olan bu bölgelerde denizin kirliliği ile ilgili yerel ve merkezi idarelerin ve karar vericilerin doğru politikalar belirlemesi için yaşamsal bir önem taşımaktadır. Mevcut uzun süreli akıntı ölçümlerinin var olmaması nedeniyle Tarabya ve İstinye koylarındaki akıntı analizlerinde İstanbul Boğazı'nın üç boyutlu genel akıntı yapısının benzeştirilmesi için kurulan ve kalibre edilmiş olan sayısal model sonuçları kullanılmıştır. İstanbul Boğazı'nın akıntı yapısı Danimarka Hidrolik Enstitüsü (DHI) tarafından geliştirilen Mike 3 Hidrodinamik Model Esnek Ağ (Mike 3 HD Flow Model FM) akıntı modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1 Değerlendirme Metodu

Bu çalışma kapsamında İstanbul Boğazı'ndaki Tarabya ve İstinye koylarındaki akıntı yapısı sırasıyla I ve II noktalarında (Şekil 1) derinlik boyunca hız profilleri ile 5 değişik derinlikteki iki boyutlu akıntı haritaları aşağıda açıklandığı şekilde incelenmiştir.

Her iki koyda akıntı yapısında yatay düzlemde meydana gelen değişim beş derinlik (yüzeyde, tabanda ve 3 adet ara derinlikte) ve Karadeniz ile Marmara Denizi arasındaki dört su seviyesi farkı ( $\Delta\eta=-0.2, 0.1, 0.3$  ve  $0.6$  m) için değerlendirilmiştir. Su seviyesi farkı değerleri seçilirken iki adet ekstrem durum ( $\Delta\eta=-0.2$  ve  $0.6$  m), Boğaz'da tek tabakalı akımdan iki tabakalı akıma geçiş hali ( $\Delta\eta\approx 0.1$  m) ve ortalama su seviyesi farkı ( $\Delta\eta=0.3$  m) durumları dikkate alınmıştır.  $\Delta\eta=-0.2$  m ve  $\Delta\eta=0.6$  m su seviyesi farkları için Boğaz akımı sırasıyla kuzey yönünde (alt tabaka akımı yönü) ve güney yönünde (üst tabaka akımı) tek tabakalı akım yapılarına karşılık gelmektedir.

Boğaz'ın Karadeniz ve Marmara Denizi arasındaki yıllık su seviyesi farkı değişimine bağlı olarak Tarabya ve İstinye koylarında sırasıyla Şekil 1'de görülen I ve II noktalarındaki derinlik boyunca yıllık akıntı hızı ve yönü değişimleri değerlendirilmiştir.

Son olarak beş değişik su seviyesi farkı ( $\Delta\eta = -0.2, 0, 0.1, 0.3$  ve  $0.6$  m) için söz konusu iki noktadaki derinlik boyunca anlık akıntı hızı ve yönü profilleri detaylı olarak analiz edilmiştir. Şekil 1'deki I ve II noktaları ve su seviyesi farklarına ait temel bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.

## 2.2 Hidrodinamik Model

Mike 3 HD Flow Model FM kıyı alanları, halic, koy ve okyanus akımları gibi üç boyutlu akım yapısını modelleyebilen genel bir modelleme sistemidir. Değişken yoğunluk, batimetri ve dış kuvvetlerin (meteorolojik etkiler, gelgit kaynaklı su seviyesi değişimleri, akıntı ve diğer hidrografik koşullar) etkisini içeren üç boyutlu kararsız akımların modellenmesinde kullanılmaktadır. Mike 3 HD Flow Model FM kütle korunumu, Reynolds ortalamalı Navier-Stokes denklemleri, değişik yoğunluk etkilerini içeren durum denklemi, tuzluluk ve sıcaklığın korunumu denklemleri ile türbülans denklemlerini sonlu hacimler yaklaşımı kullanarak üç boyutlu olarak çözmektedir. Hidrodinamik model temel denklemleri konumsal ayrıklaştırmasında yatayda yapılandırılmamış üçgen ağ geometrisi, düşeyde ise yapılandırılmış dörtgen ağ geometrisi kullanılmaktadır (Şekil 3). Üç boyutlu hareket denklemlerinin çözümü sıkışamaz akışkan ve hidrostatik basınç dağılımı kabulü yapılarak çözülmektedir. Hesap şemasının çözümünde zamansal terimlerin ayrıklaştırması için yarı kapalı, konumsal terimlerin ayrıklaştırması için ise yatayda açık, düşeyde kapalı çözüm uygulamaktadır.

Model sınırlarında (İstanbul Boğazı'nın Marmara ve Karadeniz girişleri) hesap şeması stabilitesinin bozulabilme ihtimaline karşılık açık sınırlar gerçek konumlarından bir miktar içeride ( $7.5$  km her iki denize doğru, Şekil 1) tanımlanmışlardır.

Türbülans denklemlerinin çözümünde eddy viskozitesi kavramı dikkate alınmış, yatayda ve düşeyde Smagorinsky 1963 ve  $k-\epsilon$  yaklaşımları kullanılarak ayrı ayrı hesaplanmıştır. Sayısal model ile ilgili detaylı bilgi Kaynaklar listesinde verilen [9] ve [10] numaralı çalışmalarda bulunabilmektedir.

## 2.3 Hidrodinamik Modelin Ağ Yapısı, Başlangıç ve Sınır Şartları

Sayısal modelin ağ yapısı Mike 3 yazılımına ait Mike Zero Mesh Generator programı kullanılarak oluşturulmuştur. Ağ boyutları belirlenirken model alanı üç farklı bölgeye ayrılmıştır. Bunlar sırasıyla Karadeniz ve Marmara Denizi bölgesi, İstanbul Boğazı ana kanalı ve güney eşiğinin olduğu bölgelerdir. Güney eşiğine özel bir önem verilmesinin başlıca nedeni bu bölgede Boğaz topografyasında derinlik boyunca meydana gelen değişimden (sığlaşma) dolayı Boğaz'ın akıntı yapısı üzerinde meydana gelen belirleyici değişimdir. İstanbul Boğazı ana kanalı ve güney eşiği bölgesinde akıntı yapısının daha doğru benzeştirilmesi amacıyla daha küçük üçgen ağlar kullanılmıştır. Çok sayıda üçgen ağ boyutları denendikten sonra hem hesap zamanı maliyetini hem de model ile ölçüm sonuçları arasındaki farkı en az kılan ağ geometrilerinde karar kılınmıştır. Söz konusu iki kriteri sağlayan en uygun çözüm alternatifi için yataydaki ağ boyutları güney eşiğinin olduğu bölgede yaklaşık  $7500$  m<sup>2</sup>, Boğaz ana kanalının geri kalan bölümünde yaklaşık  $10,000$  m<sup>2</sup> ile  $30,000$  m<sup>2</sup> ve her iki açık denizde ise en fazla  $2,000,000$  m<sup>2</sup> değerlerini aldıkları görülmüştür. Bunun sonucunda yataydaki her bir düzlem

2047 üçgen ağdan oluştuğu hesaplanmıştır.

Düşey düzlemde işe dört farklı ağ çözünürlüğü denenmiştir. Bunlar sırasıyla 25, 30, 50 ve 100 sigma tabakalarıdır. Son iki tabaka sayısı için model sonuçlarının önemli bir değişiklik göstermediği (%1-2 mertebesinde değişim) için yatay ağ yapısını belirlerkenki mantık ile paralel olarak (hesap zamanı maliyeti ve doğruluğu arasındaki optimizasyon) düşeyde 50 sigma tabakası kullanılmasına karar verilmiştir.

Hidrodinamik denklemlerin zamansal çözümünde ise 600 saniye (10 dakika) değeri seçilmiştir. Bu değer sayısal modelin çözüm esnasında stabilitesinin (Courant-Friedrichs-Lewis kriteri) bozulmaması için izin verilen en büyük değer olan 0.8 'e karşılık gelmektedir. Denenmiş olan daha küçük zaman adımı değerlerinin hesap sonuçlarında önemli bir değişiklik yaratmadığı görülmüştür.

Su seviyesi için sınır şartı olarak Eylül 2004 ile Ocak 2006 tarihleri arasında T.C. Ulaştırma Bakanlığı (2005) tarafından Marmaray Tüp Geçiş projesi kapsamında Boğaz'ın Marmara ve Karadeniz girişlerine yakın noktalarda yapılan saatlik su seviyesi ölçümleri sayısal modele girilmiştir [9,14]. Temel denklemlerin çözümü sırasında su seviyesi girdisi için ihtiyaç duyulan ara değerler (her 10 dakikada bir) sayısal model tarafından lineer interpolasyon uygulanarak dikkate alınmaktadır. Sayısal modelin İstanbul Boğazı boyunca başlangıç su seviyesi eğimi için ise sınır şartlarına uygun olarak Boğaz boyunca üç boyutlu iterasyon yapılarak elde edilen su seviyesi tanımlanmıştır [9].

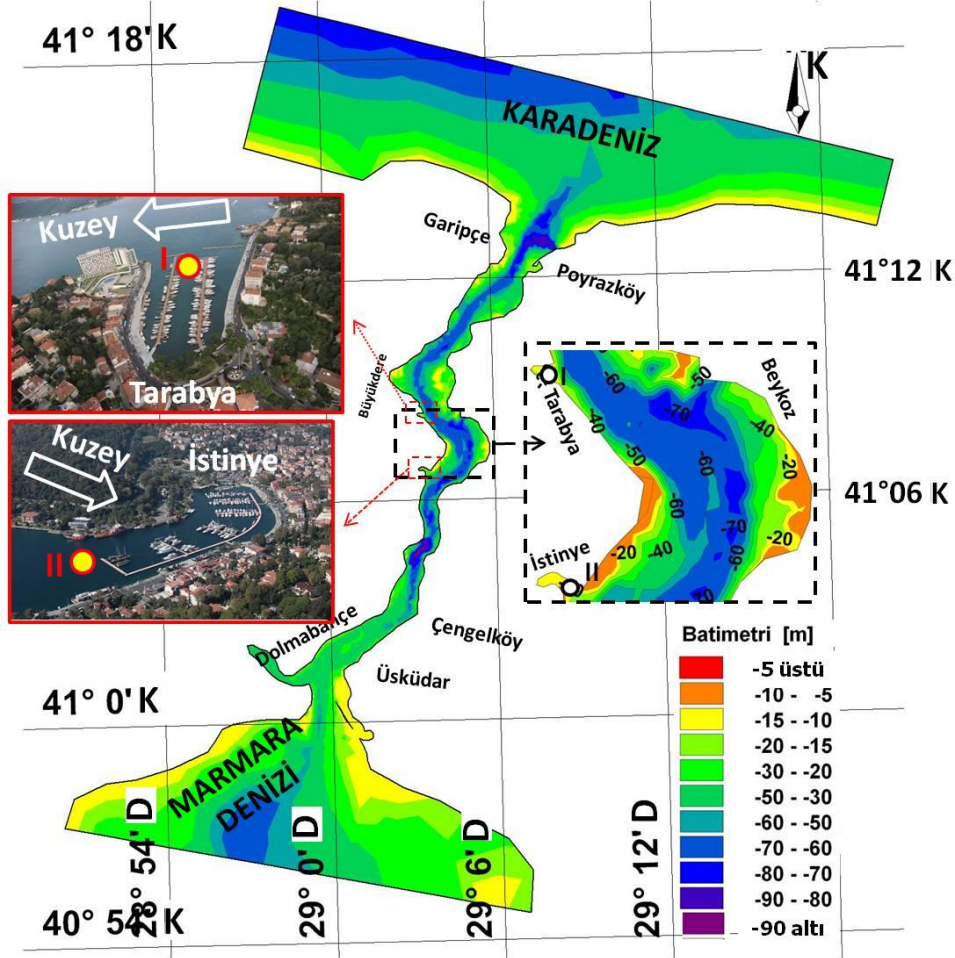
Tuzluluk ve Sıcaklık için gerekli sınır şartı için İstanbul Boğazı'nın kuzey ve güney girişlerinde yapılmış olan ölçümler tanımlanmıştır [11,12]. Söz konusu

ölçümler her ayın belirli bir anında derinlik boyunca anlık olarak yapılmış ve bunların her ayın ortalamasını yansıttığı kabul edilmiştir. Ölçümler noktasal olarak yapılmasına karşılık yatay doğrultuda da bir değişim olmadığı kabul edilmiştir. Başlangıç tuzluluk ve sıcaklıkları sırasıyla 38 psu ve 15°C olarak sabit değerler şeklinde modele girilmiştir [6].

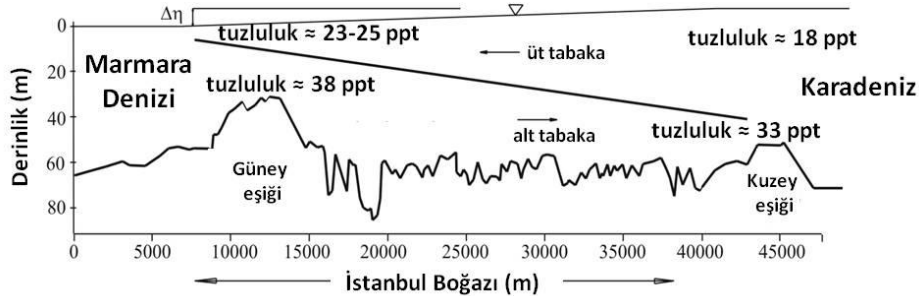
Atmosfer basıncı ve rüzgar kaynaklı kuvvetlerin İstanbul Boğazı akıntısı üzerindeki etkileri Avrupa Merkezli Orta Ölçekli Hava Tahmini (ECMWF) verileri kullanılarak dikkate alınmışlardır. ECMWF 0.5°×0.5° konumsal çözünürlüğe ve 6 saatlik zamansal çözünürlüğe sahip iki boyutlu meteorolojik tahmin haritaları şeklinde veriler sunmaktadır. Hidrodinamik modelin her bir hesap zaman adımına (10 dakika) karşılık gelen ECMWF değerleri lineer interpolasyon ile belirlenmiştir. ECMWF verilerinin, İstanbul Boğazı'ndaki Boğaziçi ve Fatih Sultan Mehmet köprülerinde 60 m yükseklikte ölçülen verilerin 10 m eşdeğere çevrilmesiyle elde edilen rüzgar verileri ile de karşılaştırılmıştır. Her iki verinin eğilimlerinin aynı olduğu ve en büyük değerlerinin yakın mertebelerde oldukları görülmüştür. Bunun sonucunda hem iki boyutlu olması hem de rüzgar verisi yanında atmosfer basıncı verisini de içermesi nedeniyle atmosferik kuvvetlerin hesabında ECMWF verilerinin dikkate alınmasına karar verilmiştir.

Böylesine karmaşık üç boyutlu bir akım alanına ait başlangıç şartlarını dikkate alınan olayın fiziğine yakın bir şekilde tanımlamak mümkün olmamaktadır. Dolayısıyla model sonuçları değerlendirilirken, sayısal model için tanımlanan başlangıç (su yüzü profili, tuzluluk ve sıcaklık gibi) koşullarından kaynaklanabilecek ve olayın fiziğini tam olarak yansıtmayabilecek model sonuçlardan kaçınmak amacıyla modelin

ısınma periyodu olarak değerlendirilebilecek başlangıçtaki birkaç saatlik model sonucu değerlendirilmemiştir.



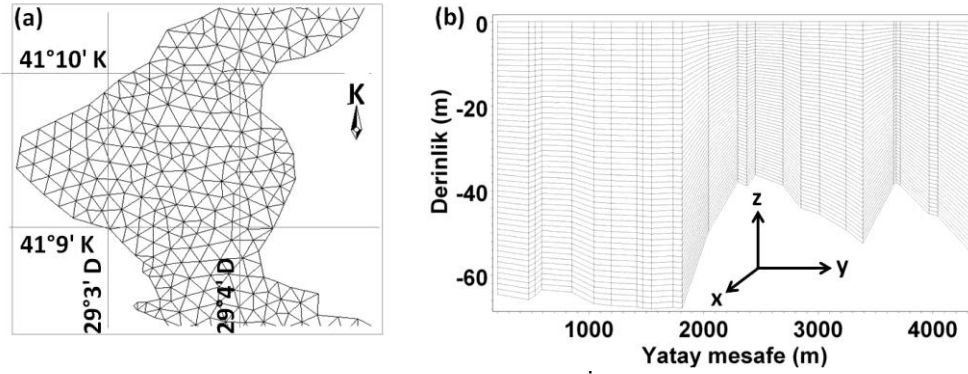
Şekil 1. İstanbul Boğazı geometrisi ve Tarabya Koyu ile İstinye Koyu'nun İstanbul Boğazı'ndaki konumları



Şekil 2. İstanbul Boğazı tabakalı akımının şematik gösterimi ve Boğaz'ın Marmara ve Karadeniz girişlerindeki ortalama tuzluluklar.

**Tablo 1.** İstanbul Boğazında derinlik boyunca akıntı analizi için dikkate alınan noktalar ve su seviyesi farkı değerleri. 4. kolondaki eksi değeri Marmara Denizi'nin su seviyesinin Karadeniz'den daha yüksek olduğuna işaret etmektedir.

Koy	Coğrafi Konumu	Derinlik (m)	Su Seviyesi Farkı ( $\Delta\eta$ ) (m)	Su Seviyesi Farkının Oluştığı Zaman
Tarabya	41°08'18.01"N 29°03'24.74"E	18.2	-0.2	27.01.2005 08:00
			0	28.12.2005 02:00
			0.10	01.02.2005 05:00
			0.30	25.11.2004 04:00
İstinye	41°06'46.83"N 29°03'32.31"E	19.5	0.60	12.10.2004 23:00



**Şekil 3.** Mike 3 HD Flow Model FM yaklaşımında İstanbul Boğazı için (a) yatay (b) düşey düzlemde dikkate aldığı ağ geometrileri

#### 2.4 Hidrodinamik Modelin Kalibrasyonu ve Doğrulaması

Sayısal model özellikle doğrusal olmayan fonksiyonların parametre tahmini ve optimizasyonunda yaygın olarak kullanılan genetik algoritmalar yöntemi kullanılarak kalibre edilmiştir. Kalibrasyon prosedürü ile ilgili detaylı bilgi [9]'da verilmiştir. Kalibrasyon için İstanbul Boğazı'nın Üsküdar açıklarına yerleştirilmiş olan akıntı ölçüm istasyonu verileri kullanılarak 1 aylık (Mart 2005) süre için ve üç farklı derinlikte (yüzeyden itibaren -5, -10 ve -15 m'de) gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon parametreleri olarak taban pürüzlülük katsayısı ( $c_f$ ), Prandtl sayısı ( $\tau_t$ ) ve batıklık katsayısı ( $c_{e3}$ ) dikkate alınmıştır.  $c_f$  tabaka hızları ve debileri,  $\tau_t$  difüzyon taşınım,  $c_{e3}$  ise derinlik boyunca

tabakalanma üzerinde etkili parametrelerdir. Her üç parametreye ait farklı değerler tanımlanarak 27 farklı model oluşturulmuş ve bu modeller arasında ölçümler ile en iyi uyumu elde eden modele ait parametre kombinasyonu bir yıllık akıntının modellenmesinde dikkate alınmıştır. Sayısal modellerin ölçümlerle uyumu hataların karelerinin kare kökünün ortalaması hata fonksiyonu dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

Sayısal model kalibre edilen parametre değerleri dikkate alınarak konumsal olarak da doğrulanmıştır. Bunun için kalibrasyon dönemi için Boğaz'ın güney çıkışına yakın başka bir akıntı ölçüm istasyonunun verileri sayısal model sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Konumsal doğrulamaya ait tahmin edilen ve ölçülen

hız değerleri arasındaki hatalar kalibrasyon dönemi ile oldukça benzer sonuçlar vermiştir.

### 3. Bulgular

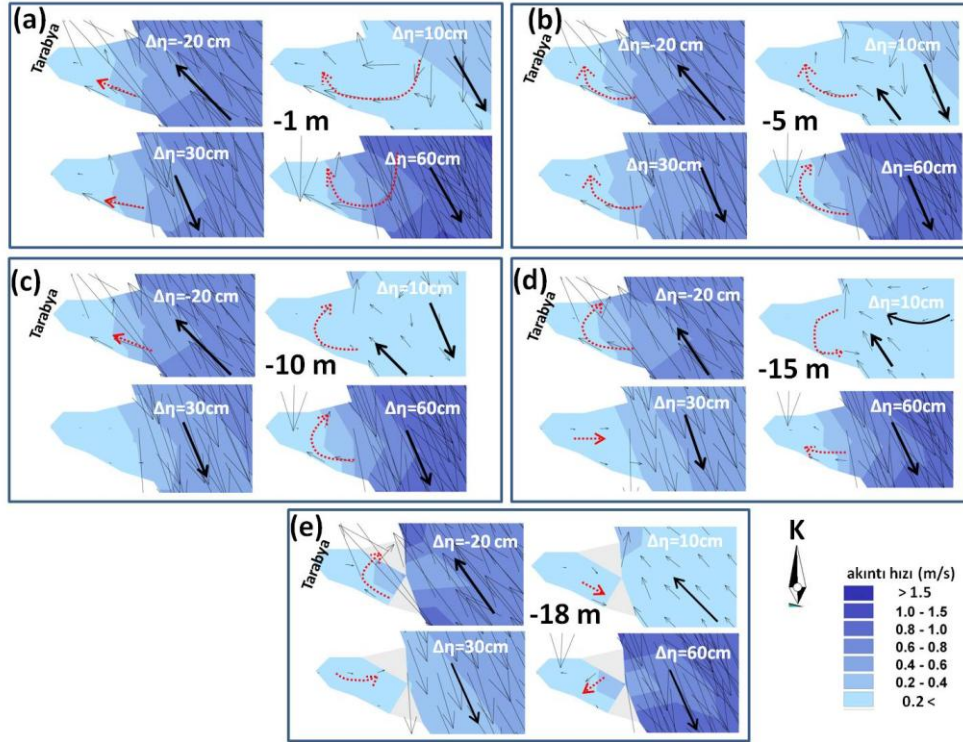
#### 3.1 İki Boyutlu Akıntı Haritaları

##### 3.1.1 Tarabya Koyu

Sırasıyla Şekil 4(a)-(e)'de Tarabya Koyu'nda Tablo 1'de verilen dört su seviyesi farkı ( $\Delta\eta=-0.20, 0.10, 0.30$  ve  $0.60$  m) için beş farklı derinlikteki akıntı haritaları verilmiştir. Dikkate alınan her derinlik için Tarabya Koyu'ndaki akıntının yönü tam çizgi şeklindeki kırmızı oklar ise Boğaz'daki ana akımın yönü ise tam dolu çizgili siyah oklar ile gösterilmiştir. Kanal tabanına yakın olan 15 ve 18 m derinlikleri hariç diğer dört derinlikte  $\Delta\eta=-0.20$  m için koydaki akıntının kuzeybatı yönündeki ana kanaldaki akıntıdan saatin dönüş yönünün tersine olacak şekilde çok az saptığı görülmektedir. Koy boyunca (yaklaşık doğu-batı) olacak şekilde bir akıntı yapısı olduğu Şekil 4(a)-(c)'de görülmektedir. 1 ve 5 m derinliklerde  $\Delta\eta=0.10, 0.30$  ve  $0.60$  m için Tarabya Koyu'nda saatin dönüş yönünde ana akıma ters yönde çeviriler görülmektedir. 10 m'de  $\Delta\eta=0.10$

ve  $0.30$  m için koy içersinde bir akıntıdan neredeyse söz edilememektedir (Şekil 4(c)-(d)). Yine bu derinlikte  $\Delta\eta=0.10$  m için akıntı ana kanalda kıyıya yakın bölgede kuzey yönündeyken kanal ortası kesiminde güneye doğrudur. 15 m derinlikte  $\Delta\eta=0.10$  m için Tarabya koyu açıklarında üst tabaka akıntısının saatin dönüş yönünde kuzeye doğru dönmeye başladığı Şekil 4(d)'deki akıntı hızının vektörel dağılımından görülmektedir. Bu durum 15 m derinliğin Boğaz'ın bu bölgesinde güney yönündeki üst tabaka akımından kuzey yönündeki alt tabaka akımına geçişin başladığı ara tabaka derinliğine karşı geldiğini göstermektedir. 18 m dışında dikkate alınan bütün derinliklerde  $\Delta\eta=0.6$  m için Tarabya Koyu'nda saatin dönüş yönünde olacak şekilde ana kanal akımının tersi istikamette bir akım yapısının geliştiği Şekil 4(a)-(d)'den görülmektedir. 18 m derinlikte diğer derinliklere göre farklı bir akıntı yapısının gelişmesinin bu derinlikte varlığı iyice belli olan yerel taban eşiğinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Şekil 4(e)).





**Şekil 4.** Tarabya Koyu'nda  $\Delta\eta = -0.20, 0.10, 0.30$  ve  $0.60$  m su seviyesi farkları için yüzeyden itibaren (a) 1 m, (b) 5 m, (c) 10 m, (d) 15 m ve (e) 18 m derinliklerdeki akıntı haritaları. Kesikli çizgili kırmızı oklar Tarabya Koyu'ndaki akıntının yönsel davranışını, tam çizgi şeklindeki siyah oklar ise Boğaz'daki ana akımın yönünü göstermektedir.

### 3.1.2 İstinye Koyu

İstinye Koyu'nda Tablo 1'deki  $\Delta\eta = -0.20, 0.10, 0.30$  ve  $0.60$  m su seviyesi farkları için 1, 5, 10, 15 ve 18 m derinliklerdeki akıntı haritaları Şekil 5(a)-(e)'de verilmiştir. Dikkate alınan her derinlik için İstinye Koyu'ndaki akıntının yönü kesikli çizgi şeklindeki kırmızı oklar ile Boğaz'daki ana akımın yönü ise tam dolu çizgili kırmızı oklar ile gösterilmiştir.  $\Delta\eta = -0.20$  m için 1 m'de yaklaşık koyun giriş ağzında kuzeybatı yönündeki akım koyun iç bölgelerinde batı doğrultusuna dönmüş (koy geometrisinin etkisi), derinlik boyunca ise saatin dönüş yönünde güneydoğuya dönmüştür (Şekil 5(a)-(e) sol üst paneller). Tarabya Koyu'nda ise aynı su seviyesi farkı için yüzeye yakın (1 m'de) batı-kuzeybatı yönündeki akım derinlik boyunca saat

yönünde saparak kuzey-kuzeydoğuya dönmüştür (Şekil 4(a)-(e) sol üst paneller).

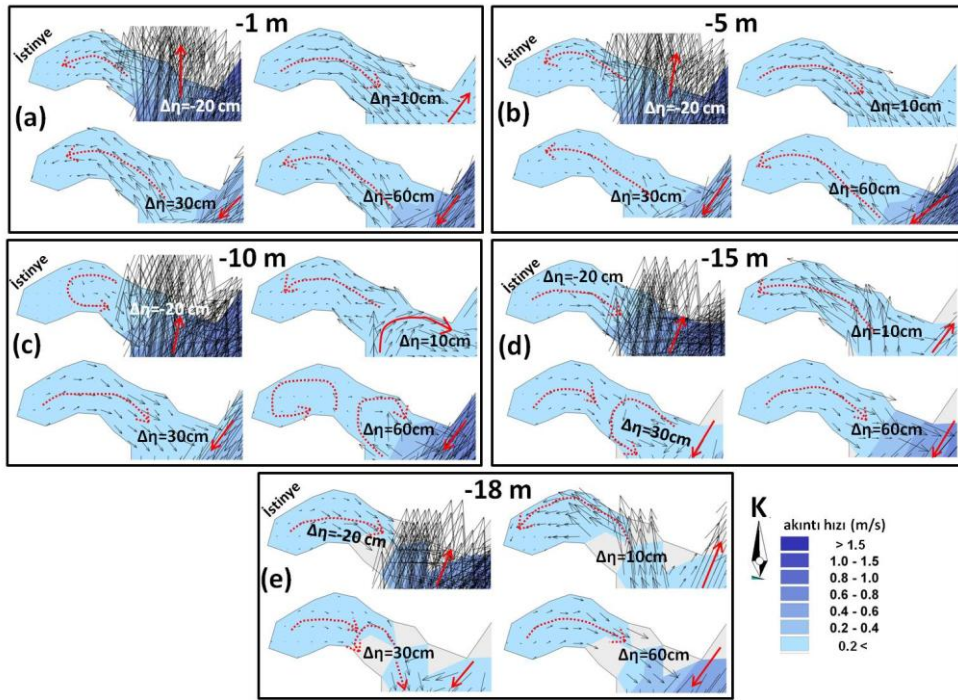
$\Delta\eta = 0.10$  m durumu için İstinye Koyu'ndaki akıntı yapısı  $\Delta\eta = -0.20$  m durumunun tam tersi bir seyir izlemiştir: 1 ve 5 m'de koydan Boğaz'a doğru bir akıntı (Şekil 5 (a)-(b) sağ üst paneller) yapısı gelişmiş. Tabana yakın diğer üç derinlikte ise akıntı tamamen ters yönde Boğaz'dan kıyıya doğru gerçekleşmektedir (Şekil 5(c)-(e) sağ üst paneller).

İstinye Koyu'nda  $\Delta\eta = 0.30$  m durumundaki akıntı yapısı dikkate alınan derinlikler için yönsel olarak  $\Delta\eta = -0.20$  m ile büyük benzerlikler göstermekle birlikte hız büyüklükleri

olarak küçük de olsa farklılıklar göze çarpmaktadır (Şekil 5(a)-(e) sol alt paneller).

$\Delta\eta = 0.60$  m'de 1 ve 5 m'lerde güney doğrultusundaki Boğaz akıntısına dik yönde İstinye Koyu'na doğru olan akıntı 10 m derinlikte koyun giriş ağzına yakın bölge hariç büyük oranda durgun bir hal almıştır. 15 ve 18 m derinliklerde ise akımı dik kesecek şekilde Boğaz'a doğru bir akım yapısı meydana gelmektedir.

Tarabya ve İstinye Koyları benzer konumsal ölçeklere sahip olmakla beraber geometrilerindeki farklılığın aynı su seviyesi farkı dikkate alındığında özellikle yönsel olarak farklı akım davranışı gösterdikleri Şekil 4(a)-(e) ve Şekil 5(a)-(e)'deki sonuçların birlikte değerlendirilmesinden görülmektedir.



**Şekil 5.** İstinye Koyu'nda  $\Delta\eta = -0.2, 0.10, 0.3$  ve  $0.6$  m su seviyesi farkları için yüzeyden itibaren (a) 1 m, (b) 5 m, (c) 10 m, (d) 15 m ve (e) 18 m derinliklerdeki akıntı haritaları. Kesikli çizgili kırmızı oklar İstinye Koyu'ndaki akıntının yönsel davranışını, tam çizgi şeklindeki kırmızı oklar ise Boğaz'daki ana akımın yönünü göstermektedir.

### 3.2. Derinlik Boyunca Hız Profillerinin Değişimi

İstanbul Boğazı'nda Ekim 2004 ile Ekim 2005 dönemi için Şekil 1'deki I ve II noktalarındaki akıntının (yön ve doğrultularının) derinlik boyuca yıllık değişimleri sırasıyla Şekil 6 ve -7'de verilmiştir. Şekiller üzerindeki kesik çizgiler belirli su seviyesi farkı ( $\Delta\eta = -0.2,$

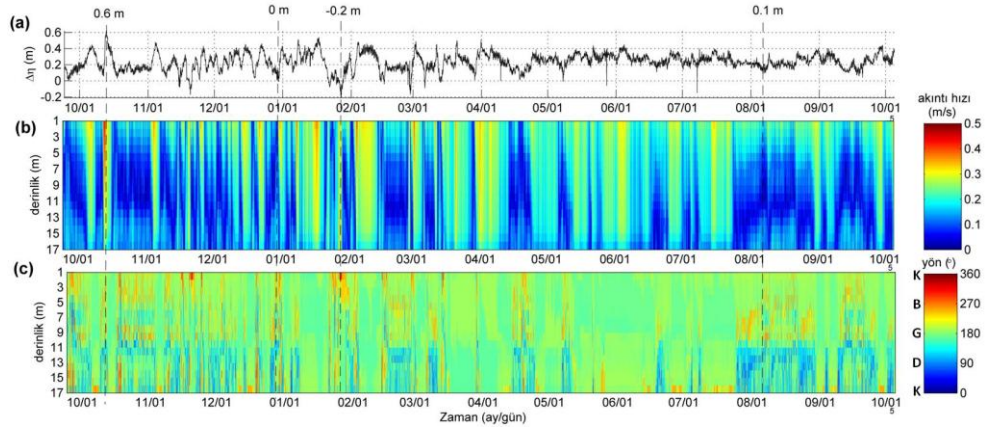
$0, 0.1$  ve  $0.6$  m) değerlerine karşılık gelen akıntı hızı ve yönü dağılımlarının okuyucu tarafından daha kolay takip edilebilmesi için çizilmişlerdir.

#### 3.2.1 Tarabya Koyu

Şekil 6 (b) ve (c)'de Ekim 2004 ile Ekim 2005 dönemi için Boğaz'ın su seviyesi farkı değişimine (Şekil 6(a)) karşılık

Tarabya Koyu'nun girişindeki I noktasında sırasıyla derinlik boyunca akıntı hızındaki ve yönündeki değişim görülmektedir. En büyük akıntı hızının  $\Delta\eta=0.6$  m su seviyesi farkı için 0.5 m/s ile yüzeyde ve yüzeye yakın derinliklerde gerçekleştiği Şekil 6(b)'den görülmektedir. Dikkate alınan noktada yılın önemli bir bölümünde tabana ve yüzeye yakın derinliklerde bir akım varlığı söz konusu iken ara derinliklerde neredeyse durgun akım bölgeleri olduğu Şekil 6(b)'den görülmektedir. Yılın büyük bölümünde görülen bu akıntı yapısı Tarabya Koyu'nda gerek kıyısındaki yerleşim yerlerinden veya gerekse Boğaz boyunca bu bölgeye taşınması muhtemel çeşitli kirleticilerin koy

içerisinde uzun süreli olarak hapsolmesine ve su kalitesinde ciddi bozulmalara yol açabileceği göz önünde tutulmalıdır. Söz konusu akıntı yapısında yüzeyde batı veya güneybatı yönündeki akıntının ara derinliklerde doğu veya güneydoğuya döndüğü Şekil 6(c)'den görülmektedir. Su seviyesi farkına benzer şekilde akıntının derinlik boyunca yönsel dağılımı da yılın ilkbahar sonu ve yaz dönemi boyunca derinlik boyunca yılın geri kalanına göre daha kararlı bir davranış göstermiştir. Bu durum aynı dönemde zamansal olarak daha az çalkantılı bir değişim gösteren su seviyesi farkı davranışıyla uyum göstermektedir.



**Şekil 6.** Ekim 2004 ile Ekim 2005 arasındaki dönem için (a) İstanbul Boğazı'ndaki su seviyesi farkının değişimi ve Tarabya'daki I noktasındaki (Şekil 1) hızın derinlik boyunca (b) büyüklük, (c) yön (K:kuzey, G: güney, D:doğu ve B:batı) olarak değişimi

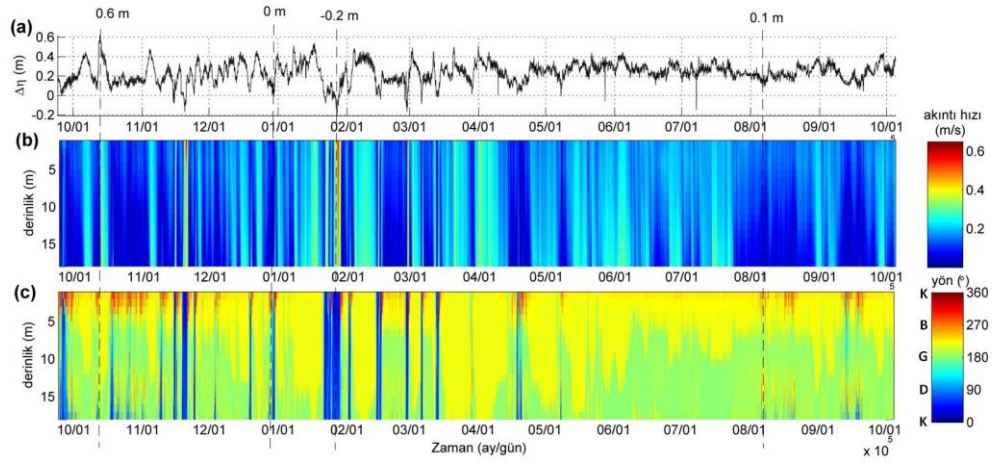
### 3.2.2 İstinye Koyu

İstinye Koyu'ndaki II noktasında derinlik boyunca akıntı hız ve yönünün İstanbul Boğazı'ndaki yıllık su seviyesi farkı değişimine bağlı olarak değişimi Şekil 7'de verilmiştir. İstinye Koyu'nun girişine yakın bir konumda bulunan II noktasında en büyük akıntı hızları (~0.6 m/s) Tarabya Koyu'ndan farklı olarak Marmara Denizi'nin su seviyesinin Karadeniz'den daha yüksek olduğu

$\Delta\eta=-0.2$  m su seviyesi farkı için elde edilmiştir. Boğaz'ın ana doğrultusundan önemli oranda saptığı Beykoz kıvrımının kuzeyindeki Tarabya Koyu'nda en büyük akıntı hızları  $\Delta\eta=0.6$  m su seviyesi koşulları için elde edilmiştir (Şekil 6(b)). Bunun en önemli nedeninin her iki koy ağzının ana kanala göre konumundan kaynaklandığı düşünülmektedir. İstinye Koyu'nun kuzey yönündeki akıntılara Tarabya Koyu'na göre daha açık olduğu Şekil

1'den görülmektedir. Diğer bir neden ise Tarabya Koyu'nun hemen çıkışındaki burun bu koyu güneye doğru olan Boğaz akıntılarına karşı korumaktadır. İstinye Koyu'nda ise hemen kuzeyindeki burun (Şekil 1) kuzey yönündeki akıntılar için ( $\sim \Delta\eta < 0.1$  m) akımı koyun içine doğru yönlendiren bir panel gibi davrandığı değerlendirilmektedir (Şekil 7(a)-(b)). İstinye Koyu'nda II noktasında akıntının yılın büyük bir bölümünde yüzeye yakın

derinliklerde güneybatı diğer derinliklerde ise güney yönünde olduğu Şekil 7 (c)'den görülmektedir. Yüzeyde batı, ara derinliklerde güney ve tabana yakın derinliklerde ise doğu yönünde olan akıntı davranışının yanında derinlik boyunca tamamen kuzey ve güney yönünde üniform akıntı hallerinin varlığı da dikkat çekmektedir (Şekil 7(c)).



**Şekil 7.** Ekim 2004 ile Ekim 2005 arasındaki dönem için (a) İstanbul Boğazı'ndaki su seviyesi farkının değişimi ve İstinye Koyu'ndaki II noktasındaki (Şekil 1) hızın derinlik boyunca (b) büyüklük, (c) yön (K:kuzey, G: güney, D:doğu ve B:batı) olarak değişimi.

### 3.3. Kritik Su Seviyesi Farkları için Derinlik Boyunca Akıntı Yapısının Anlık Değişimi

Bu bölümde son olarak İstanbul Boğazı'nda Tablo 1'de verilen belirli (kritik) su seviyesi farkları için ( $\Delta\eta = -0.2, 0, 0.1, 0.3$  ve  $0.6$  m) sırasıyla Tarabya ve İstinye koylarındaki I ve II noktalarındaki derinlik boyunca anlık akıntı hızı ve yönü değişimleri incelenmiştir (Şekil 8(a)-(b)). Bu çalışmada model çıktıları bir saatlik zamansal çözünürlükle değerlendirildikleri için, anlık kavramı ile İstanbul Boğazı'nda Karadeniz ile Marmara Denizi arasında söz konusu su seviyesi farklarının meydana geldiği saatin başında her iki koydaki derinlik

boyunca hız dağılımları kastedilmektedir.

$\Delta\eta = -0.2$  m ve  $0.6$  m dikkate alınan bir yıllık süre boyunca sırasıyla Marmara Denizi'nin Karadeniz'e ve Karadeniz'in Marmara Denizi'ne kıyasla en büyük su seviyesi farklarına karşılık gelmektedir.  $\Delta\eta = 0$  m Boğaz'ın su seviyesinin yaklaşık yatay olduğu, yaklaşık  $\Delta\eta = 0.1$  m Boğaz'da kuzey yönündeki tek tabakalı akım halinden iki tabakalı akıma geçişin olduğu su seviyesi farklarına karşılık gelmektedir.  $\Delta\eta = 0.3$  m ise yaklaşık olarak İstanbul Boğazı'nda yıllık ortalama su seviyesi farklarına karşı geldiği için dikkate alınmıştır. Bu su seviyesi farkında İstanbul Boğazı boyunca tipik iki tabakalı akım yapısı gelişmektedir.

Tarabya Koyu'ndaki I noktasında akıntı hızları en büyük değerlere  $\Delta\eta=0.6$  m için yüzeye yakın derinliklerde ulaştığı görülmektedir (Şekil 8(a)). Bu su seviyesi farkı için akıntı derinlik boyunca güney doğrultusunda olacak şekilde üniform bir yönsel dağılım göstermektedir. Genellikle güneyli yönlerde olan derinlik boyunca akıntı hızlarındaki en büyük değişimi  $\Delta\eta=0.30$  m'de görülmektedir: yüzeyde 0.3 m/s ve güney yönündeki akıntı hızı 13-15 m derinliklerde neredeyse durma noktasına gelmiş, tabana yakın derinliklerde ise 0.1 m/s'ye ulaşmış ve tekrar güneye dönmüştür. Akıntı hızı profillerinin şekli  $\Delta\eta=0.30$  ve 0.60 m için benzerlik göstermektedir. Yönsel dağılım için ise aynı benzerlikten söz edilemez.

İstanbul Boğazı boyunca kuzey yönünde tek tabakalı akım halinin söz konusu olduğu  $\Delta\eta=-0.20, 0$  ve 0.10 m su seviyesi farklarında ise farklı değerler almakla birlikte derinlik boyunca birbirine benzeyen ve diğer iki su seviyesi farklarına göre daha üniform bir davranış göstermiş olan hız profilleri dikkat çekmektedir (Şekil 8(a)). Ancak hızın derinlik boyunca yönsel dağılımı için benzer bir üniformalıktan söz edilememektedir. Burada dikkat çeken diğer bir nokta ise Marmara Denizi'nin Karadeniz'den 20 cm ( $\Delta\eta=0.20$  m) daha yüksek olduğu koşullarında Tarabya Koyu'ndaki akıntı hızlarının Karadeniz'in Marmara Denizi'nden 60 cm ( $\Delta\eta=0.60$ ) daha yüksek olduğu koşullardaki akıntı hızları ile aynı mertebelerde değerler aldıklarıdır. Mutlak değerleriyle dikkate alındıklarında iki su seviyesi farkı durumu arasındaki 40 cm'lik farka rağmen koy içerisinde yakın mertebede hızlar oluşmasının önemli bir nedeninin iki komşu deniz arasındaki yoğunluk farkının kuzey yönünde ilave bir hidrostatik basınç kuvveti yarattığı

akılda tutulmalıdır. Marmara Deniz'i ile Karadeniz arasındaki yoğunluk farkının yarattığı ilave kuvvetin (baroklinik kuvvet) dikkate alınan bu spesifik durum için yaklaşık 40 cm'lik su seviyesi farkından kaynaklı barotropic kuvvete karşılık geldiği söylenebilmektedir. Elbette bunun çok kaba bir yaklaşım olduğu göz önünde tutulmalıdır.

Şekil 8(b)'de İstinye Koyu'ndaki II noktasında beş adet su seviyesi farkına karşılık gelen derinlik boyunca akıntı hızı ve yönü dağılımları görülmektedir. Boğaz'da kuzey yönünde tamamen tek tabakalı akıntının söz konusu olduğu  $\Delta\eta=-0.2$  m su seviyesi farkı koşullar için ulaşılmıştır. Bu su seviyesi farkında akımın II noktasında derinlik boyunca yüzeyde kuzey doğu derinlerde ise hafif doğuya saptığı görülmektedir. Diğer en yüksek akıntı hızlarına Marmara Denizi ile Karadeniz'in yaklaşık aynı su seviyesine sahip olduğu  $\Delta\eta=0$  m için ulaşılmıştır (Şekil 8(b)). Bunun bir nedeni yukarıda açıklandığı gibi iki deniz arasındaki yoğunluk farkından kaynaklı baroklinik kuvvet ise diğeri de İstinye Koyu'nun konum olarak İstanbul Boğazı'nı güney girişine Tarabya Koyu'na göre daha yakın olmasıdır. Bu durum bu su seviyesi farkı için akıntının İstinye Koyu'na daha az enerji kaybı ile ulaşacağı anlamı taşımaktadır. Güney yönündeki akıntı için ise tersi durum geçerli olması beklenmektedir.  $\Delta\eta= 0$  m durumunda derinlik boyunca yönsel akıntı dağılımının  $\Delta\eta=-0.20$  m durumu ile tamamen aynı olduğu şekil 8(b)'den görülmektedir. Diğer üç su seviyesi farkında ( $\Delta\eta=0.10, 0.30$  ve 0.60 m) ise derinlik boyunca akıntı hızlarının önceki iki su seviyesi farkı durumuna göre daha düşük mertebede ( $<0.3$  m/s) değerler aldıkları görülmektedir. Ayrıca akıntı hız ve yönlerinin İstinye Koyu'nda dikkate alınan II noktasında Tarabya Koyu'ndaki I noktasına göre derinlik boyunca daha üniform bir davranış

gösterdikleri Şekil 8(a) ve (b)'nin bir arada değerlendirilmesinden görülebilmektedir.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada İstanbul Boğazı'ndaki Avrupa yakası tarafında bulunan Tarabya ve İstinye Koyları'nın üç boyutlu akıntı yapısı yıllık ölçekte analiz edilmiştir. Akıntı analizlerinde İstanbul Boğazı için kurulmuş olan kalibrasyonu ve doğrulaması yapılmış olan sayısal model kullanılmıştır. Dikkate alınan koylar birkaç yıl önce inşa edilen ve lüks ve süper lüks yatlara hizmet veren marinalara sahip, olup bu yönüyle hem kültürel hem de turistik açıdan önemli merkezlerin başında gelmektedir. Dolayısıyla buralardaki üç boyutlu akıntı yapısının doğru analiz edilmesi insan kullanımı veya Boğaz boyunca değişik kaynaklardan taşınacak olan kirleticilerin bu koylarda yol açabileceği potansiyel kirlenmenin önüne geçilebilmesi ve karar vericiler tarafından doğru politikaların belirlenmesi için oldukça önem taşımaktadır.

Çalışmanın önemli sonuçları aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

1) Koy giriş ağzının İstanbul Boğazı akıntısının ana akış göre konumu, koyun geometrisi ve boyutları koy içerisindeki çevrıntiler ve akıntı hız profilleri üzerinde belirleyici oldukları görülmüştür. Örneğin her iki koyun giriş ağzıları yaklaşık olarak aynı genişlikte olmakla beraber koyların buldukları noktalarda Boğaz'ın ana kanal doğrultusuna göre konumları ve geometrileri farklılık göstermektedir. Tarabya Koyu'nun İstanbul Boğazı'na göre doğrultusunda bir değişiklik söz konusu değildir. Tarabya Koyu'na göre daha büyük olan İstinye Koyu ise yay şeklinde bir doğrultuya sahiptir. Geometrilerindeki bu farklılıkların hem yatayda hem de düşeyde farklı akıntı davranışları meydana getirmiştir.

Örneğin İstinye Koyu'nun girişi kuzey yönündeki akıntılara Tarabya Koyu'na göre daha açıkken, kıvrımlı geometrisi koyun büyük bölümünü daha güçlü Boğaz akıntılarına karşı Tarabya Koyu'na göre daha korunaklı kılmıştır.

2) Koylardaki ekstrem akıntı koşullarının İstanbul Boğazı'nın Karadeniz ile Marmara Denizi arasındaki farklı su sevi farkı koşullarında meydana geldikleri görülmüştür. Boğaz'ın Karadeniz çıkışına daha yakın Tarabya Koyu'nda +60 cm su seviyesi farkı için ve yüzeyde meydana gelmiştir. Burada + (artı) işareti Karadeniz'in su seviyesinin Marmara Denizi'nden daha yüksekte olduğuna işaret etmektedir. Marmara Denizi'ne daha yakın İstinye Koyu'nda ise ekstrem akıntı koşulları -20 cm su seviyesi farkı koşullarında elde edilmiştir. Burada - (eksi) su seviyesi farkı Marmara'nın su seviyesinin Karadeniz'den daha yüksek olduğuna işaret etmektedir. Her iki durum da ekstrem su seviyesi farklarına karşılık gelip kuvvetli kuzeyli (+ 60 cm) ve güneyli (-20 cm) rüzgarlar sonucu meydana gelmektedirler.

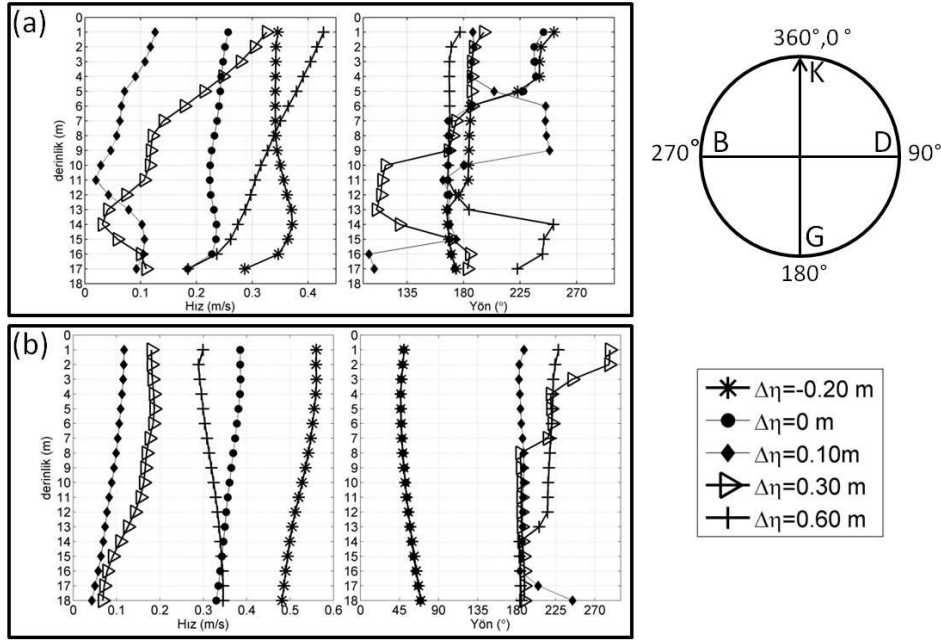
3) Tarabya ve İstinye koylarının girişine yakın noktalarda dikkate alınan akıntı hızı profillerinin yıllık değişiminden İstinye Koyu'nda Tarabya Koyu'na göre derinlik boyunca akıntı profillerinin daha üniform oldukları görülmüştür. Ayrıca Tarabya Koyu'nda yılın belirli zamanlarında yüzey ve tabana yakın bölgelerde akıntı olmasına rağmen ara derinliklerde akıntının olmadığı akıntı profilleri dikkat çekmektedir. Bu durum askıda taşınabilen kirleticilerin buralarda hapsolmesine ve daha sonraki bir zamanda tekrar yüzeye çıkmasına neden olabilecektir.

#### Teşekkür

Sayısal Modelde kullanılmak üzere İstanbul Boğazı'nın batimetrik

ölçümlerini sağlayan Deniz Kuvvetleri Komutanlığı Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesine, sayısal modelleme, kanal hidrolöği ve İstanbul Boğazı akımı konularında katkılarını esirgemeyen

Prof. Dr. Yalçın Yüksel'e ve bu çalışmanın içerik olarak geliştirilmesinde önemli katkılar sunan sayın hakemlere teşekkür ederim.



Şekil 8. İstanbul Boğazı'nda  $\Delta\eta = -0.2, 0, 0.1, 0.3$  ve  $0.6$  m su seviyesi farkları için (a) Tarabya Koyu'ndaki I, (b) İstinye Koyu'ndaki II noktasında derinlik boyunca anlık akıntı hızı ve yönü değişimi

#### Kaynakça

- [1] Armi, L. ve Farmer, D. 1988. The flow of mediterranean water through the Strait of Gibraltar. Progress in Oceanography, cilt 21, s.1-105.
- [2] Guler, I., Yuksel, Y., Yalciner, A.C., Cevik, E. ve Ingerslev, C. 2006. Measurement and Evaluation of the Hydrodynamics and Secondary Currents in and near a Strait Connecting Large Water Bodies-A Field Study, Journal of Ocean Engineering, cilt, 33, s. 1718-1748. DOI:10.1016/j.oceaneng.2005.10.016.
- [3] Murray, S. ve Johns, W., 1997. Direct observations of seasonal Exchange through the Bab el Mandab Strait. Geophysical Research Letter, cilt 24, s. 2557-2560.
- [4] Oğuz, T., Özsoy, E., Latif, M. A., Sur, H. İ. ve Ünlüata Ü. 1990. Modelling of Hydraulically Controlled Exchange Flow in the Bosphorus Strait, Journal of Physical Oceanography, Cilt 20, s. 945-965.
- [5] Ottesen Hansen, N. ve Moller, J. 1990. Zero bloccking solution fort he Great Belt Link. The Physical Oceanography of Sea Straits (editör L. Pratt), s. 153-170. Kluwer.
- [6] Özsoy, E., Oğuz, T., Latif, M.A., Ünlüata, C.Ü., Sur, H.İ., ve Beşiktepe, Ş. 1988. Oceanography of the Turkish Straits-Second Annual

- Report, Cilt 1, Physical Oceanography of Turkish Straits, Institute of Marine Science, METU, Erdemli.
- [7] Özsoy, E., Latif, M.A., Beşiktepe, Ş., Çetin, N., Gregg, M., Belekopytov, V., Goryachkin, Y., ve Vassile, D. 1998. The Bosphorus Strait: Exchange Fluxes, Currents and Sea-Level changes , in: L.I. Ivanov and T.Öğuz, Editors, Ecosystem Modeling as a Management Tool for the Black Sea, NATO Science Series 2: Environmental Security, Cilt. 1 ve 2, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- [8] Öztürk, M., Ayat, B., Aydoğan, B., Yüksel, Y. 2011. İstanbul Boğazı'nda Tabakalı ve Homojen Akım Koşullarına Ait Kritik Su Seviyesi Koşullarının Modellenmesi. 5. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, 12-16 Eylül 2011, İstanbul, Cilt 2, 603-610.
- [9] Öztürk, M.N., Ayat, B., Aydoğan, B. ve Yüksel, Y. 2012. 3D Numerical Modeling of Stratified Flow-Case Study of the Bosphorus Strait, ASCE Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Cilt 138, Issue 5, s. 406-419. DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)WW.1943-5460.0000132](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000132).
- [10] Öztürk, M. 2013. Numerical Modeling of Effect of Duration of Barotropic Forcing on Sea Strait Flow: Case Study of the Bosphorus Strait, ASCE Journal of Hydraulic Engineering, Cilt 139, Issue 11, s. 1199-1211. DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000783](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000783).
- [11] Sur, H.İ., Okuş, E., Güven, K.C., Yüksek, A., Altıok, H., Kırath, N., Ünlü, S., Taş, S., Aslan-Yılmaz, A., Yılmaz, N., Övez, S., Müftüoğlu, A. E., Karhan, Ü., Demirel, N., Cumalı, S. ve Aksu, A. 2004. Water Quality Monitoring Annual Report, ISKI (The Istanbul Water and Sewage Authority), Istanbul.
- [12] Sur, H.İ., Okuş, E., Güven, K.C., Yüksek, A., Altıok, H., Kırath, N., Ünlü, S., Taş, S., Aslan-Yılmaz, A., Yılmaz, N., Övez, S., Müftüoğlu, A. E., Karhan, Ü., Demirel, N., Cumalı, S. ve Aksu, A. 2005. Water Quality Monitoring Annual Report, ISKI (The Istanbul Water and Sewage Authority), Istanbul.
- [13] Wesson, J.C. ve Gregg, M.C. 1994. Mixing at Camarinal Sill in the Strait of Gibraltar. Journal of Geophysical Research, cilt 99, s. 9847-9878.
- [14] Yüksel, Y., Ayat, B., Öztürk, M.N., Aydoğan, B. Güler, I., Çevik, E.O. ve Yalçın, A.C., (2008), "Responses of the stratified flows to their driving conditions", Ocean Engineering, 35, 1304-1321. DOI:10.1016/j.oceaneng.2008.06.006.