

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ

İSTANBUL VE ÇANAKKALE BOĞAZLARINDA
AKINTI REJİMİ, SU KÜTLESİ DEĞİŞİMİ
ve KONTROL MEKANİZMALARI

DOKTORA TEZİ

M. Sc. Mustafa ÖZYALVAÇ

Fiziksel Oşinografi ve Deniz Biyolojisi Anabilim Dalı

Danışman
Prof.Dr. Halil İbrahim SUR

Temmuz, 2009

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ

MUSTAFA ÖZYALVAÇ tarafından hazırlanmış ve sunulmuş “İSTANBUL VE ÇANAKKALE BOĞAZLARINDA AKINTI REJİMİ, SU KÜTLESİ DEĞİŞİMİ ve KONTROL MEKANİZMALARI” başlıklı tez FİZİKSEL OŞİNOGRAFI VE DENİZ BİYOLOJİSİ Anabilim Dalında DOKTORA Tezi olarak kabul edilmiştir.

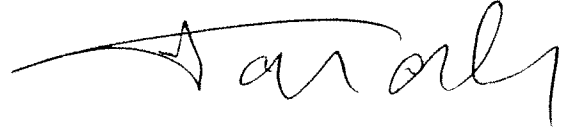
Tez Danışmanı

Prof. Dr. Halil İbrahim SUR



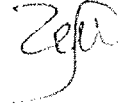
Jüri Üyesi

Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Zekai ŞEN



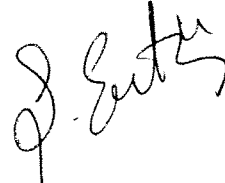
Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Hüsne ALTIOK



Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Şafak Nur ERTÜRK BOZKURTOĞLU



Tez Savunma Tarihi: 30 Temmuz 2009

ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Prof. Dr. Halil İbrahim SUR'a en içten dileklerle teşekkür ederim. Tezin nihai şeklini almasında katkıları bulunan değerli danışmanlarıma verdikleri destek ve sağladıkları bilimsel katkıdan dolayı ayrıca müteşekkirim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını esirgemeyen çalışma arkadaşlarıma ve çalışmamın uygulama kısmını destekleyen ve oşinografik verileri kullanmama mücade eden Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı ve bizatihi Tuğamiral Mustafa İPTEŞ'e teşekkürü borç bilirim.

Bu çalışmanın bitirilmesinde görülmeyen fakat büyük katkısı olan sevgili eşim Zehra ÖZYALVAÇ ve bana her zaman gördüğüm şeyleri anlamaya çalışmayı öğreten Fazlı ÖZYALVAÇ'a en derin minnetlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TABLO LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	viii
EK LİSTESİ.....	ix
I. GİRİŞ.....	1
1.1 Türk Boğazlar Sistemi.....	2
1.2 Bölgenin Ekonomik, Sosyo-Kültürel ve Çevresel Önemi.....	2
1.3 Tez Çalışmasının Genel Yapısı.....	4
II. TÜRK BOĞAZLAR SİSTEMİ.....	6
2.1 Teori.....	6
2.2 Yaklaşımlar ve Kabuller.....	7
2.3 Ortamdaki Düzensizlikler.....	7
2.4 Korolyus Döngüsü.....	8
2.5 Düşey Hareketler.....	9
2.6 İki Tabakalı ve Girişimli Akış.....	11
III. MATERYAL VE METOD.....	16
3.1 Tarihsel Ölçümler.....	16
3.2 İstanbul Boğazında Son Dönem Çalışmalar.....	21
3.3 Bölgenin Morfolojisi.....	22
3.3.1 İstanbul Boğazı.....	22
3.3.2 Çanakkale Boğazı.....	23
3.3.3 Marmara Denizi.....	24
3.4 Saha Çalışmaları.....	26
3.5 Kullanılan Cihazlar ve Ölçü Teknikleri.....	30
3.5.1 Akıntı ölçümleri.....	31
3.5.1.1 Akıntı verilerinde kalite kontrol.....	32
3.5.1.2 Akıntı ölçümlerinin akustik değerlendirmesi.....	33
3.5.2 Sıcaklık, iletkenlik, derinlik ölçümleri.....	38
3.5.3 Uzaktan algılama.....	39
3.5.4 Su Seviyesi ölçümleri.....	41
3.5.5 Meteorolojik ölçümler.....	41
3.5.6 Su bütçesi ölçümleri.....	43
IV. BULGULAR.....	48
4.1 Orta Hat Boyunca Akıntı Hızı, Sıcaklık, Tuzluluk ve Yoğunluk İlişkisi.....	48
4.1.1 Kış mevsimi (Şubat 2005) ölçüm sonuçları.....	49
4.1.2 İlkbahar mevsimi (Mayıs 2005) ölçüm sonuçları.....	52
4.1.3 Yaz mevsimi (Temmuz 2005) ölçüm sonuçları.....	57

	Sayfa
4.1.4 Sonbahar – Kış mevsimi (Kas. – Ara.) 2005 ölçüm sonuçları.....	62
4.2 Enine Kesitlerde Akıntı Yapısı.....	71
4.3 Düşey Hız ve Karışım.....	73
4.4 Sıcaklık, Tuzluluk ve Çözünmüş Oksijen Değişimleri.....	84
4.4.1 Sıcaklık, tuzluluk.....	84
4.4.2 Oksijen ve secchi disk sonuçları.....	92
4.5 Su Seviyesi Değişimleri Analizleri.....	95
4.6 Uzaktan Algılama Analizleri.....	98
4.7 Bütünleşik (Kompozit) Froude Analizleri.....	104
4.7.1 Kış mevsimi (Şubat 2005) İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında Bütünleşik Froude değerleri.....	105
4.7.2 İlkbahar mevsimi (Mayıs 2005) İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında Bütünleşik Froude değerleri.....	108
4.7.3 Yaz mevsimi (Temmuz 2005) İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında Bütünleşik Froude değerleri.....	111
4.8 Model Tahminlerinin Ölçülen Veri İle Düzeltilmesi.....	112
4.9 İstanbul ve Çanakkale Boğazlarındaki Debi Hesaplamaları.....	118
4.9.1 İstanbul ve Çanakkale Boğazlarındaki debi hesaplarına tesir eden fiziki yapı.....	118
4.9.2 Debi hesaplamalarına tesir eden akıntı ölçümleri.....	120
4.9.3 Tarihsel debi ölçüm sonuçları.....	121
4.9.4 2005 yılı mevsimsel debi ölçüm sonuçları.....	122
4.9.5 Marmara Denzinin su bütçesi ve Ege Denizine deşarj.....	126
V. TARTIŞMA VE SONUÇ	128
5.1 Sıcaklık, Tuzluluk ve Oksijen.....	128
5.2 Akıntı.....	130
5.2.1 İstanbul Boğazı akıntı yapısı.....	130
5.2.2 Çanakkale Boğazı akıntı.....	133
5.3 Ara Tabaka.....	136
5.4 Su Seviyesi.....	138
5.5 Sonuç.....	139
KAYNAKLAR.....	141
EKLER.....	145
ÖZGEÇMİŞ.....	165

ÖZET

İSTANBUL VE ÇANAKKALE BOĞAZLARINDA AKINTI REJİMİ, SU KÜTLESİ DEĞİŞİMİ ve KONTROL MEKANİZMALARI

Mustafa ÖZYALVAÇ

İstanbul ve Çanakkale Boğazları Marmara Denizi üzerinden Akdeniz ve Karadeniz arasında su değişimine imkan sağlayan bir sistem oluştururlar. Az tuzlu Karadeniz suyu üstte, daha ağır olan Akdeniz suyu ise dipte yer alarak yoğunluk farkından kaynaklanan kuvvetli bir tabakalaşmaya sebep olurlar. Karadeniz suyunu üst akıntı ile güneye hareket ettiren mekanizma su seviyesi farkından kaynaklanan barotropik kuvvettir. Alt tabaka olarak kuzeye ilerleyen Akdeniz suyuna ise yoğunluk farkından kaynaklanan baroklinik kuvvet etki eder. Bu sistem zamana, meteorolojik etkilere ve deniz tabanının morfolojisine bağlı olarak değişimler gösterir.

İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında 2005 yılı içinde mevsimlik olarak icra edilen kapsamlı dört adet ölçümde toplanan veriler incelenerek her iki Boğazdaki akıntı rejimleri, su kütlesi değişimi ve bunlar üzerindeki kontrol mekanizmaları detaylı olarak incelenmiştir. Bölgenin su sıcaklığı, tuzluluğu ve akıntı yapısı ile bu parametrelerin yer ve zaman ölçeğindeki değişim sınırları ve mekanizmaları bu tezin temel konusunu oluşturmaktadır.

Çanakkale Boğazı nispi olarak daha kararlı bir yapı arz etmekle beraber, İstanbul Boğazındaki akıntı rejiminin meteorolojik şartlara bağlı olarak çok hızlı değiştiği ve klasik çift yönlü akış paterni dışına çıkabildiği gözlenmiştir. Sonuçlardan ve daha önce yapılmış çalışmalardan da anlaşılacağı üzere özellikle İstanbul Boğazındaki dinamik yapı dikkat çekicidir. Bölgenin tam olarak anlaşılması için ölçümlerin kısa sürede icra edilmesi ve bir modelle desteklenmesi gerekmektedir. Modelin güvenilirliğini artırmak maksadı ile gerçek veriyi kullanarak modelin tahmin yeteneğini artırmayı amaçlayan bir teknik bu tez içinde denenmiş ve ümit verici sonuçlar alınmıştır.

ABSTRACT

THE CURRENT REGIME, EXCHANGE AND THE HYDROLOGIC CONTROL MECHANISM IN THE STRAIT OF ISTANBUL AND CANAKKALE

Mustafa ÖZYALVAÇ

İstanbul and Çanakkale Straits constitute a system that allows the Mediterranean and Black Sea to exchange water through the Sea of Marmara. Less saline Black Sea water on the top, and heavier Mediterranean water at the bottom trigger a strong vertical stratification. Barotropic force arising from the water level difference between the Black Sea and Mediterranean is the main driving mechanism of the upper layer. In the meanwhile baroclinic effect due to the density difference between the two basins causes the Mediterranean water to flow in the opposite direction. This system is subject to changes depending on the time, meteorological effects and the morphology of the sea bottom.

The current regime, the water exchange and the control mechanisms acting on the flow are studied by means of the data collected in four intensive oceanographic surveys in the Istanbul and Çanakkale Straits in 2005 on seasonal basis. The water temperature, salinity and the general flow regime and their change in spatial and time domain constitutes the main research goal of this thesis.

Although the Strait of Çanakkale represents a more stable flow structure, the Strait of Istanbul depending on the meteorologic impacts includes rapid changes in the regime and may go beyond the traditional two flow approach. As can be seen from the results and the previous works, the dynamic structure of the Strait of Istanbul attracts attention. Understanding the region thoroughly requires rapid and intense measurements as well as modelling effort. A test has been conducted to improve the reliability of a model by ensembling the forecast with the observed data to improve the prediction skills, and promising results are achieved.

TABLO LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1. Denizlerimizde 2000 – 2005 yılları arasında yakalanan balık miktarları..	4
Tablo 2. SBE 19 CTD cihazı teknik özellikleri.....	39
Tablo 3. İstanbul Boğazı ortalama düşey akıntı hızları (cm/s).....	77
Tablo 4. Çanakkale Boğazı ortalama düşey akıntı hızları (cm/s).....	77
Tablo 5. Çanakkale ve İstanbul Boğazlarında üst ve alt su katmanlarındaki zamana göre sıcaklık ve tuzluluk değişiminin ortalama değerleri.....	89
Tablo 6. Mareograf istasyonlarında ölçülen su seviyesi verilerine ait temel istatistiki bilgiler (cm).....	99
Tablo 7. İstanbul Boğazı'nda gözlenen Gelgit bileşenlerinin genlik değerleri.....	101
Tablo 8. İstanbul Boğazı'nda gözlenen Gelgit bileşenlerinin faz frekansları.....	102
Tablo 9. Değişik veri setleri ile model verisinin düzeltilme öncesi ve sonrası durumlarının kıyaslamaları.....	118
Tablo 10. İstanbul Boğazına ait hesaplanmış farklı kaynaklardaki debi değerleri....	122
Tablo 11. İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında hesaplanan mevsimlik ve ortalama alt ve üst akıntı değerleri (m/s), (Üst akıntı ortalaması / Alt akıntı ortalaması).....	123
Tablo 12. İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında hesaplanan mevsimlik ve ortalama debi değerleri (10^3 m ³ /s), (Üst akıntı ortalaması / Alt akıntı ortalaması).....	124
Tablo 13. İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında 2005 ve 2006 yıllarında gözlenen tabaka derinlikleri.....	126

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.	Türk Boğazlar Sistemi.....	2
Şekil 2.	İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışı üç boyutlu akıntı hızı bileşenleri.....	10
Şekil 3.	İstanbul Boğazı akıntı hızı bileşenlerinin derinliğe göre değişimi (a) Karadeniz çıkışı, (b) Kandilli – Bebek arası.....	11
Şekil 4.	İstanbul Boğazının genel yapısı (Gerdes,2002).....	12
Şekil 5.	Marsigli tarafından hazırlanmış İstanbul Boğazı Kitabının kapağı.....	16
Şekil 6.	Merz tarafından hazırlanmış “Boğazların Oşinografisi Atlası”nın İngilizce tıpkı basımının kapağı.....	17
Şekil 7	Türk Boğazlar Sistemi su bütçesi (Beşiktepe v.d. 1994).....	18
Şekil 8.	İstanbul Boğazı alt tabaka suyunun Karadeniz çıkışındaki yayılımı (Özsoy v.d. 2001).....	19
Şekil 9.	İstanbul Boğazından çıkan alt tabaka suyunun Karadeniz çıkışındaki düşey yayılımı (Özsoy ve Ünlüata 1997).....	20
Şekil 10.	İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışında Kıta Sahaneliği üzerinde yapılmış bir CTD ölçümü.....	20
Şekil 11.	İstanbul Boğazı morfolojisi.....	23
Şekil 12.	Çanakkale Boğazı morfolojisi.....	24
Şekil 13.	Marmara Denizi morfolojisi.....	25
Şekil 14.	İstanbul Boğazı ADCP hatları ve CTD istasyonları.....	27
Şekil 15.	Çanakkale Boğazı ADCP Hatları ve CTD istasyonları.....	28
Şekil 16.	Akıntı ölçer (ADCP).....	29
Şekil 17.	İstanbul Boğazı’nda bulunan su seviyesi ve meteoroloji ölçüm istasyonları...	30
Şekil 18.	Tekne ilerleme yönü, pruva ve akıntı arasındaki ilişki.....	33
Şekil 19.	ADCP ile toplanan akıntı veri kalite kontrol grafiği.....	34
Şekil 20.	Marmara Bölgesinde ADCP cihazından gönderilen ses sinyalinin akustik yayılım simülasyon sonuçları: (a) Ses hızı profili, (b) Ses ışınlarının yayılım paterni, (c) Ses hızı profili, (d) Ses enerjisinin su içinde uğradığı kayıplar.....	35
Şekil 21.	Marmara Denizi’nde icra edilmiş bir transmissiyometre ölçüm sonucu.....	37
Şekil 22.	Sinyal şiddeti, akıntı sürati ve yönü (Temmuz 2005, İstanbul).....	38
Şekil 23.	SBE 19 CTD Cihazı.....	39
Şekil 24.	İstanbul Boğazı Marmara çıkışı deniz suyu yüzey sıcaklık değişimi (www.shodb.gov.tr).....	40
Şekil 25.	Akıntı mevkii haritası ve akıntı yön bilgileri.....	44
Şekil 26.	Çanakkale Boğazı Ege çıkışı Temmuz 2005 dönemi akıntı düşey kesit Görünümü.....	45
Şekil 27.	Ortalama metodunda kabul edilen tabakalaşma yapısı ile alt ve üst akıntıların şematik gösterimi.....	46
Şekil 28.	Çanakkale Boğazı Marmara çıkışında akıntı hız vektörünün kuzey bileşeni (a) Ölçülmüş ve (b) Bütün kesite enterpole edilmiş (SHOD, 2005).....	47
Şekil 29.	Kış dönemi Taşkızak ve Pendik istasyonlarında ölçülen su seviyesi bilgileri.....	49
Şekil 30.	Çanakkale Boğazı Şubat 2005 dönemi oşinografik bilgileri.....	50

	Sayfa	
Şekil 31.	İstanbul Boğazı Şubat 2005 dönemi oşinografik bilgileri.....	51
Şekil 32.	İlkbahar dönemi Anadolu Kavağı, Taşkızak ve Pendik istasyonlarında ölçülen su seviyesi bilgileri.....	53
Şekil 33.	Çanakkale Boğazı Mayıs 2005 dönemi oşinografik bilgileri.....	55
Şekil 34.	İstanbul Boğazı Mayıs 2005 dönemi oşinografik bilgileri.....	56
Şekil 35.	A. Kavağı, Taşkızak ve Pendik istasyonlarında ölçülen su seviyesi bilgileri.	58
Şekil 36.	Çanakkale Boğazı Temmuz 2005 dönemi oşinografik bilgileri.....	60
Şekil 37.	İstanbul Boğazı Temmuz 2005 dönemi oşinografik bilgileri.....	61
Şekil 38.	İstanbul bölgesinde rüzgar yön ve şiddeti (01 – 30 Kasım 2005).....	62
Şekil 39.	Çanakkale bölgesinde hava basıncı ve rüzgar hızı değişimleri.....	63
Şekil 40.	Anadolu Kavağı, Taşkızak ve Pendik istasyonlarında ölçülen su seviyesi bilgilerinin günlük ortalaması (05 – 28 Kasım 2005).....	64
Şekil 41.	Anadolu Kavağı, Taşkızak ve Pendik istasyonlarında ölçülen su seviyesi bilgilerinin saatlik ortalaması (14 – 19 Kasım 2005).....	65
Şekil 42.	İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışında ölçülen CTD ve ADCP verileri (14 Kasım 2005).....	66
Şekil 43.	İstanbul Boğazı, Hamsi Limanı – Fil Burnu bölgesinde 2005 yılı içinde ölçülen akıntı verileri.....	67
Şekil 44.	İstanbul Boğazı Kdz. girişi Orkoz anında orta hat düşey akıntı hızı grafiği...	68
Şekil 45.	Çanakkale Boğazı Aralık 2005 dönemi oşinografik bilgileri.....	69
Şekil 46.	İstanbul Boğazı Kasım 2005 dönemi oşinografik bilgileri.....	70
Şekil 47.	İstanbul Boğazı kuzey girişi (a) Akıntı Hızı, (b) Sıcaklık, Tuzluluk Profili (16 Şubat 2005).....	72
Şekil 48.	İstanbul Boğazı kuzey girişi (a) akıntı ölçümünün coğrafi mevkii (üst) ve akıntı yönü (alt), (b) Aynı veri setinin kalite kontrol uygulanmış görünümü (16 Şub 2005).....	72
Şekil 49.	İstanbul Boğazı Temmuz 2005 döneminde düşey akıntı hızı.....	74
Şekil 50.	İstanbul Boğazı alt ve üst tabakalar düşey akıntı hızı (Temmuz 2005).....	75
Şekil 51.	Çanakkale Boğazı Temmuz 2005 döneminde düşey akıntı hızı (mm/s).....	76
Şekil 52.	Çanakkale Boğazı ortalama düşey akıntı hızı (Temmuz 2005).....	76
Şekil 53.	Gelibolu bölgesindeki düşey akıntı verileri (a) Şubat, (b) Mayıs, (c) Temmuz, (d) Kasım (Birimler cm/s).....	78
Şekil 54.	Gelibolu bölgesindeki düşey akıntı hız ortalama değerleri üst akıntı ve alt akıntı (a) Şubat, (b) Mayıs, (c) Temmuz, (d) Kasım.....	79
Şekil 55.	Normal şartlar altındaki üst ve alt tabaka ortalama düşey hız grafiği (18 Kasım 2005).....	80
Şekil 56.	Orkoz durumu üst ve alt tabaka ortalama düşey hız grafiği (17 Kasım 2005).	81
Şekil 57.	İstanbul Boğazı kuzeyinde (a) “Orkoz” ve (b) Çift yönlü akıntı rejimi anında akıntı hızının düşey eksenindeki dağılımı.....	82
Şekil 58.	İstanbul Boğazı kuzeyinde (a) “Orkoz” ve (b) Çift yönlü akıntı rejimi anında yüzey akıntı hızı ve yönü.....	83
Şekil 59.	İstanbul Boğazı Kasım 2005 dönemi düşey akıntı ölçüm sonuçları (a) Orkoz, (b) Güneyli akıntı şartlarında.....	83

	Sayfa
Şekil 60.	İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında 2005 yılı içinde gözlenen derinliğe göre sıcaklık ve tuzluluk değişimleri..... 86
Şekil 61.	Şiddetli Poyraz etkisinde İstanbul Boğazı kuzeyinde görülen sıcaklık ve tuzluluk yapısı..... 88
Şekil 62.	Çanakkale ve İstanbul Boğazlarında üst ve alt su katmanlarındaki zamana göre sıcaklık ve tuzluluk değişimi..... 90
Şekil 63.	İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında toplanan CTD verilerine ait T-S diyagramları..... 91
Şekil 64.	Ocak 2005 Dönemi İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında derinliğe göre çözülmüş oksijen değişimi..... 92
Şekil 65.	İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında Ocak 2005'te çözülmüş oksijenin ortalama değerleri..... 93
Şekil 66.	İstanbul (a) ve Çanakkale (b) Boğazları secchi disk verileri..... 94
Şekil 67	2005 yılı ölçüm dönemlerinde MODIS uydusundan alınan uzaktan gözlem verileri..... 97
Şekil 68.	Nisan – Ağustos 2005 döneminde ölçülen su seviyesi bilgileri..... 98
Şekil 69.	İstanbul Bölgesindeki su seviyesi değişimlerinin astronomik bileşenleri..... 100
Şekil 70.	A. Kavağı, Taşkızak ve Pendik istasyonları için bir haftalık gelgit tahmini.. 103
Şekil 71.	Boğazlarda talvek hattı boyunca mesafeler (km) (a) Çanakkale, (b) İstanbul..... 105
Şekil 72.	İstanbul Boğazı Şubat 2005 dönemi Bütünleşik Froude değerleri..... 106
Şekil 73.	İstanbul Boğazı Şubat 2005 dönemi yoğunluk değerleri..... 107
Şekil 74.	Çanakkale Boğazı Bütünleşik Froude ve yoğunluk değerleri (Şubat 2005)... 108
Şekil 75.	İstanbul Boğazı Bütünleşik Froude ve yoğunluk değerleri (Mayıs 2005)..... 109
Şekil 76.	Çanakkale Boğazı Bütünleşik Froude ve yoğunluk değerleri (Mayıs 2005)... 110
Şekil 77.	Tem. 2005 dönemi Bütünleşik Froude değerleri (a) İstanbul, (b) Çanakkale.. 111
Şekil 78.	Çanakkale Boğazı Şubat 2005 dönemi yoğunluk değerleri..... 112
Şekil 79.	Model tahmin sonuçları ve beş noktada ölçülen veriler..... 115
Şekil 80.	Model sonuçları, ölçülen veriler ve model verilerinin düzeltilmiş şekli..... 116
Şekil 81.	Model sonuçları, ölçülen veriler ve model verilerinin düzeltilmiş şekli..... 117
Şekil 82.	Çanakkale (a) ve İstanbul (b) Boğazları boyunca tuzluluğun düşey değişimi (Temmuz 2005)..... 120
Şekil 83.	Saniye (a) ve 60 Saniye (b) zaman ortalaması alınmış akıntı bilgileri..... 121
Şekil 84.	2005 ve 2006 yıllarında İstanbul ve Çanakkale Boğaz ağzlarında tabakalaşma yapısı..... 125
Şekil 85.	Türk Boğazları Sisteminde ölçümlerden elde edilen yıllık debi (km ³ /yıl) ve ortalama tuzluluk (psu) değerleri..... 127
Şekil 86.	İstanbul Boğazı yüzey akıntı hızı ortalamaları (m/s)..... 131
Şekil 87.	Değişik derinliklerde İstanbul Boğazı akıntı hızı ortalamaları..... 132
Şekil 88.	Çanakkale Boğazı yüzey akıntı hızı ortalamaları..... 134
Şekil 89.	Değişik derinliklerde Çanakkale Boğazı akıntı hızı ortalamaları..... 135
Şekil 90.	Şubat 2005 dönemi ara tabakalar (a) İstanbul, (b) Çanakkale..... 137

KISALTIMA LİSTESİ

A	: Tabaka kesit alanı
A₀	: Astronomik bileşen genliği
a	: Astronomik bileşen periyodu
ADCP	: Akustik Dopler Akıntı Profili Ölçer (Acoustic Doppler Current Profiler)
a_i	: x ₀ mevkii ve t anında model tarafından üretilen tahmin bilgisi
CTD	: İletkenlik, Sıcaklık ve Derinlik (Conductivity, Temperature and Depth)
E_{z1}, E_{z2}	: Birinci ve ikinci seviyelerdeki ışık şiddeti
F	: Froude sayısı
f	: Koriolis (coriolis)
G	: Kompozit Froude sayısı
g^l	: Azaltılmış gravite
H_s, H	: Kanal derinliği
h	: Tabaka kalınlığı
K_d	: Yayılım kaybı katsayısı
K1	: Ay ve güneşin günlük hareketleri
L	: Kanal uzunluğu
M2	: Ay'ın yarım günlük hareketi
MM	: Ay'ın Dünya etrafındaki yörüngesindeki mesafe ve dönüş hızı farklılıkları
MSF	: Ay ve Güneş'in birbirine karşı olan iki haftalık mevki değişimleri
O1	: Ay ve Güneş'in birbirine göre günlük değişimi
P	: Basınç
R_c	: Rossbi defarmasyon çapı
S	: x ₀ mevkii ve t anında ölçülerek toplanan bilgi
S2	: Dünya ve Güneş arasındaki mesafe ve dönüş hızı farklılıkları
T	: Periyot
t	: Zaman
u,v,w	: Kanal boyunca, kanala dik ve düşey hız bileşenleri
u_{b0}	: Dalga ilerleme hızı
W	: Kanal genişliği
W_s	: Rüzgar hızı
V₀	: Deniz yüzeyindeki akıntı
x,y,z	: Kanal boyunca, kanala dik ve düşey coğrafi eksenler
x₀	: Mevki
y₀	: Zamana göre su seviyesindeki değişim
ρ	: Yoğunluk
σ	: Düşey hız etkinlik faktörü
σ₀	: Yoğunluk
γ, q_{b0}	: Hidrolik teori analiz katsayıları
η	: Eğim
τ	: Sürtünme
Φ	: Enlem
μ	: Açısal hız
Ψ_j	: Düzeltme faktörü
ε_{min}	: Düzeltme sonrası sistemde oluşan minimum hata

EK LİSTESİ

- EK – 1** : Deniz ölçüm çalışmalarındaki meteorolojik gözlemler
EK – 2 : İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında düşey en kesitlerde akıntı yapısı
EK – 3 : İstanbul Boğazı'nda gelgit değerleri genlik ve frekansları

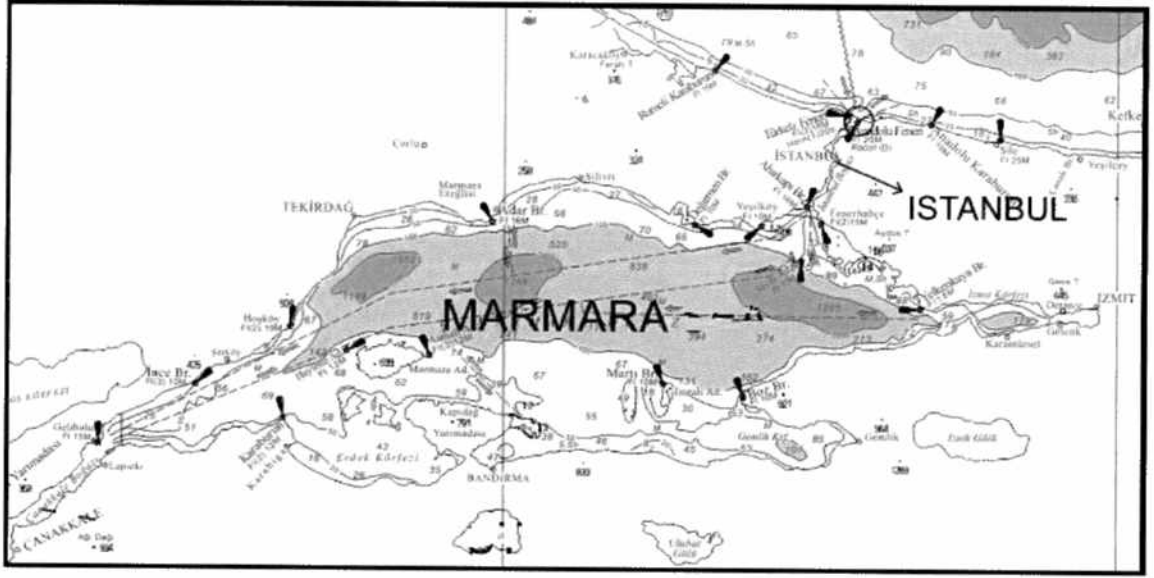
I. GİRİŞ

1.1. Türk Boğazlar Sistemi

Kelime anlamı olarak boğaz; iki farklı su kütlelerini birbirine bağlayan, iki kara parçası arasındaki dar geçit olarak tarif edilir. Boğazlar iki su kütlesi, yani denizler arasındaki etkileşimin ve su bütçesinin inceleneceği yerler olmakla beraber, kendi içlerindeki hidrodinamik etkiler ve meteoroloji gibi dış fiziki etkilerin de gözlendiği ilginç laboratuvar niteliğindedir. Bu çalışmada, Türk Boğazlar Sistemi (TBS) içindeki İstanbul ve Çanakkale Boğazlarını incelemek amaçlanmıştır.

Deniz trafiği, nakledilen insan ve yük miktarı, etrafında yaşayan nüfusun emniyeti ve sağlığı ile kıyadaki sanayi tesislerinin yanı sıra TBS'ni önemli kılan bir faktör de dünyada en tuzlu suya sahip denizlerden biri olan Akdeniz ile en az tuzlu denizlerinden biri olan Karadeniz'in sularına karşılıklı ve aynı anda geçiş imkânı sağlayan oşinografik yapısıdır. Sisteme İstanbul Boğazı'ndan giren az tuzlu sular üst tabakadan Ege Denizi'ne akarken aynı anda Çanakkale Boğazı'ndan giren daha tuzlu ve yoğun Akdeniz kökenli su Karadeniz'e akmaktadır.

İstanbul ve Çanakkale Boğazları ile Marmara Denizi'nden oluşan TBS Doğu Akdeniz'in Ege Havzası ile Karadeniz arasındaki su taşınımını sağlayan bir iç deniz ve tarihi bir su yolu konumundadır (Şekil 1). Boğazlar bölgesinin denizle etkileşimi, yoğun deniz trafiği, zor seyir şartları, bölgenin kesif nüfusu, ülke ekonomisindeki ağırlıklı yeri ve zengin kültür, tarih ve tabiat varlıkları sebebi ile ön plana çıkmaktadır. Bu durum deniz kaynaklı risklerin bertaraf edilmesini daha da önemlisi denizin insanların huzur ve refahına katkıda bulunan bir yapıda olmasını gerektirmektedir. Bir varlığın herhangi bir amaç için kullanılması onun tam olarak bilinmesi ile mümkündür. İşte bu noktada her iki boğazın fiziksel oşinografik şartlarının güncel verilerle anlaşılması büyük önem taşımaktadır.



Şekil 1. Türk Boğazlar Sistemi (TBS)

1.2. Bölgenin Ekonomik, Sosyo-Kültürel ve Çevresel Önemi

İstanbul Boğazı'ndan bir yılda yaklaşık 50.000 adet gemi transit geçmektedir. Bu gemilerin 4.500 adedi yanıcı/patlayıcı madde taşımaktadır (Otay ve Özkan 2003). Marmara Denizi ve Boğazlarda toplam 83 adet liman bulunmakta ve bu limanlarda yapılan yükleme boşaltma Denizcilik Müsteşarlığı TC Limanlar ve İskeleler Kataloğu verilerine göre takriben 44.6 milyon tondur. Yoğun deniz trafiği çevresel riskleri beraberinde getirmektedir. Yılda yaklaşık 50 bin, ayda yaklaşık dört bin, günlük 129 geminin geçtiği İstanbul Boğazı, Malaka Boğazı (Malezya)'ndan sonra dünyada en işlek ve en tehlikeli trafiğine sahip ikinci su yoludur. Uluslararası deniz trafiğine açık olan İstanbul Boğazı, Süveyş Kanalı (Mısır)'ndan üç kat, Panama Kanalı (Panama)'ndan dört kat ve Kiel Kanalı (Almanya)'ndan iki kat yoğun deniz trafiğine sahip olmaktadır (Ece, 2005).

TBS deniz yolu ile kuzey ve güney istikametleri birbirine bağlamakla beraber karasal olarak da geleneksel doğu ve batı dünyalarının da kesiştiği bir konumdadır. Bu durum TBS'nin iletişim ile doğalgaz ve elektrik gibi enerji hatları ve aynı zamanda da kara – demir yolları için bir köprü olmasına yol açmaktadır. TBS bu sebeple büyük ölçekli mühendislik

projelerine ev sahipliği yapmaktadır. ITUR (Italy, Turkey, Ukraine) fiber optik kablo hattı, halen mevcut iki köprü, 2006 yılı itibarıyla halen inşa edilmekte olan Marmaray Tüp Geçit Projesi ve yakın bir gelecekte Hazar havzasını Avrupa'ya bağlayacak olan doğalgaz boru hattı NABUCCO ilk akla gelen örnekler olarak sıralanabilir. Mega bütçelere sahip bu tip projelerin gerçekleştirilmesi TBS'nin bilimsel olarak çok iyi anlaşılmasını gerektirmektedir.

TBS'ne sahildar Marmara şehirlerinde yaşayan toplam nüfus 15,8 milyon olup Türkiye toplam nüfusunun yaklaşık % 25'sini oluşturmaktadır. Bu yoğun demografik yapı, yetersiz altyapı, plansız büyüme ve kanundışı yapılaşma sebebiyle ciddi insan kökenli kirliliğe sebep olmaktadır. Her ne kadar özellikle İstanbul'da son yıllarda katı ve sıvı atık yönetiminde kayda değer yatırımlar yapılmışsa da Marmara genelinde bu konuda alınması gereken çok yol olduğu bilinmektedir. Bu kapsamda İSKİ (İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi)'nin son 22 yılda gerçekleştirdiği yatırımlarla günde 1.9 milyon m³ atık suyu arıtma imkanına sahip olmasının (www.iski.gov.tr, 2006) büyük bir adım olduğunu söylemek yanlış olmaz.

TBS çevresel olarak incelendiğinde ilk göze çarpan husus oldukça farklı yoğunluğa sahip iki su kütlelerinin keskin bir tabakalaşma ile düşey olarak birbirlerinden ayrıldığıdır. İstanbul Boğazından giren Karadeniz kökenli su ile Çanakkale Boğazından giren suyun Boğazlardaki akış rejimleri, Marmara Denizi'nin bütçesi üzerindeki etkileri ve uğradıkları değişimler bu tezde detaylı olarak incelenecektir. Keskin yoğunluk farkı sebebi ile Marmara Denizi alt ve üst tabakları arasında büyük ölçekli bir su değişimi mevcut değildir. Bu durum özellikle alt tabaka suyunun oksijen bütçesi üzerinde, dolayısı ile biyolojik ve çevresel hususlarda, ayrı bir önem arz etmektedir. Karadeniz taban suyunun Hidrojen Sülfür içermesinin, başka bir deyişle anoksik olmasının sebebi de büyük ölçüde bölgenin taban suyunun en önemli kaynağı olan Akdeniz kaynaklı alt tabaka suyunun Marmara Denizinde geçirdiği evredir. İzmit, Gemlik, Bandırma gibi yoğun sanayii tesislerine ve gemi trafiğine ev sahipliği yapan körfezlerin kabul ettikleri atık yükü, hem sistemin genelinde hem de lokal olarak bu bölgelerde su kalitesi üzerinde büyük önem taşımaktadır.

Biyolojik açıdan Çanakkale Boğazı'ndan giren bol oksijenli Akdeniz suyu ile Karadeniz'den giren kara kökenli malzemeler sebebiyle, zengin besin tuzlarına sahip diğer su

kütlesi bu bölgenin tabii bir akvaryum görünümü arz etmesine sebep olmaktadır. TBS göçmen balıklara geçiş yolu oluşturması ve coğrafi olarak çok dar iki boğazla Akdeniz ve Karadeniz'i birbirine bağlaması sebebiyle ticari balıkçılık açısından ayrıca çok şanslıdır. Bu doğal coğrafi avantaj tarih boyunca etkisini göstermiştir. Bizans döneminde kullanılan bazı sikkelerde palamut balığının sembol olarak kullanılması kimi tarihçiler tarafından bu durumun bir ispatı olarak değerlendirilir (Ascherson, 1995).

Ülkemiz deniz ürünleri istihsalinde en yüksek miktar Karadeniz'den elde edilmekte iken, Marmara Denizi küçük hacmine rağmen Ege ve Akdeniz'in önünde ikinci sırayı almaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) Su Ürünleri İstatistikleri (2005) rakamlarına göre 2000 – 2005 yılları arasında Türkiye denizlerinde tutulan balık miktarları aşağıdaki tabloda sunulmuştur. Rakamlar incelendiğinde Marmara'da her yıl yaklaşık 30.000 – 40.000 ton arasında balık tutulduğu görülmektedir.

Tablo 1. Denizlerimizde 2000 – 2005 yılları arasında yakalanan balık miktarları (TÜİK, 2007)

Yıl	Karadeniz (%)	Marmara (%)	Ege (%)	Akdeniz (%)	Toplam (ton)
2000	78	10	9	3	460.521
2001	73	15	9	3	484.410
2002	77.42	13.79	6.59	2.18	522.744
2003	74.95	14.64	7.57	2.84	463.074
2004	76.89	13.28	7.43	2.4	504.897
2005	69.7	13.3	11.5	5.5	334.248

1.3. Tez Çalışmasının Genel Yapısı

Bu Tez çalışmasında genel itibarıyla, TBS üzerindeki her iki Boğazda bulunan su kütlelerinin mevsimlik zaman ölçeğinde nasıl bir fiziki yapıya sahip olduğunun anlaşılması, bu yapının kontrol mekanizmaları ve akıntıya tesir eden kritik durumlarının izah edilmesi

hedeflenmiştir. Bu maksatla toplanan veriler analiz edilmiş ve oşinografik – meteorolojik parametreler ayrıntılı olarak incelenmiştir. Tezin devam eden bölümlerinde ele alınan konular aşağıda kısaca özetlenmiştir. Bu amaçla 2. Bölümünde genel olarak Boğaz mekanizmaları üzerindeki oşinografik etkiler incelenmiştir. Bu bölüm aynı zamanda detaylı bir teorik özet olarak meselenin bilimsel altyapısını ortaya koymaktadır. 3. Bölümde saha çalışmaları, kullanılan cihazlar ve veri işlem gayretleri açıklanmıştır. Toplanan veriler tek tek ve mevsimlik bazda kıyaslamalı olarak 4. Bölümde değerlendirilmiştir. Bu bölümde aynı zamanda İstanbul Boğazı'nda toplanan su seviyesi verileri analiz edilmiş, uzaktan algılama sistemi ile toplanan deniz yüzeyi su sıcaklığı bilgileri değerlendirilmiş, su bütçesi ve havzalar arası etkileşim incelenmiş ve bir model tarafından üretilen tahmin bilgisi ile gerçek zamanlı ölçümün birleştirilmesine yönelik tahmin düzeltme işlemi test edilmiştir.

II. TÜRK BOĞAZLAR SİSTEMİ

Farklı yoğunluklarda suya sahip iki rezervuar (hazne) bir kanal ile birleştirildiğinde bir değişim akımı oluşacaktır. Yoğunluktaki düşey farklılıktan kaynaklanan baroklinik zorlama hafif suyu üstten diğer hazneye, ağır suyu da aynı şekilde alt tabaka olarak diğer tarafa yönelten bir kuvvet tatbik eder. Yatay düzlemdeki seviye farkı ise yüksek taraftaki suyun düşük tarafa akmasına sebep olur. Barotropik zorlama olarak adlandırılan bu kuvvet derinliğe göre değişmezken, yatay düzlemdeki yoğunluk farkı baroklinik kuvvetin derinliğe bağlı olarak artmasına sebep olur. Sürtünmenin ihmal edilmesi durumunda barolinik ve barotropik kuvvetler belli bir derinlikte eşitlenir ki bu seviyede akıntı hızı sıfır olacaktır.

2.1. Teori

Navier Stoke's denklemini kanal boyunca uyguladığımızda akış rejimi en ayrıntılı olarak şu şekilde ifade edilebilir.

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_i \frac{\partial u_i}{\partial x} + v_i \frac{\partial u_i}{\partial y} + w_i \frac{\partial u_i}{\partial z} - f v_i = -\frac{1}{\rho_i} \frac{\partial P_i}{\partial x} + \text{sürtünme} + \text{karışım} \quad (2.1)$$

Burada,

x,y,z = kanal boyunca, kanala dik ve düşey coğrafi eksenler

t = zaman

u,v,w = kanal boyunca, kanala dik ve düşey hız bileşenleri

f = koriolis (coriolis)

ρ = yoğunluk

P = basınç'tır

2.2. Yaklaşımlar ve Kabuller

Farklı su kütlelerine sahip iki havzayı birleştiren boğazlardaki hidrolik kontrolü en temel şekilde Stommel ve Farmer (1953) ifade etmiştir. Bu yaklaşım akış rejiminin kararlı olduğunu yani zamana bağlı olarak değişim arz etmediğini, kanala dik doğrultuda döngüsel hareketin olmadığını ve suyun sıkıştırılmaz olduğunu kabul eder. Koriolis parametresi de ihmal edilebildiği değerlendirilerek kanal boyunca oluşan hareketin sadece basınç gradyeni ile dengelendiği bir durum ortaya çıkar:

$$u_i \frac{\partial u_i}{\partial x} = -\frac{1}{\rho_i} \frac{\partial P_i}{\partial x} \quad (2.2)$$

Hidrostatik yapı ve düzgün bir geometriye sahip kanallarda akışın kararlılığına tesir eden faktörü Armi ve Farmer (1987) Bütünleşik (Kompozit) Froude sayısı G olarak ifade etmiştir:

$$G^2 \equiv F_1^2 + F_2^2 = \frac{u_1^2}{g' h_1} + \frac{u_2^2}{g' h_2} \quad (2.3)$$

Burada g' ile her iki tabakanın yoğunluğunun da su içindeki yerçekimi kuvvetine olan etkisini tek faktörde ifade etmek için “azaltılmış gravite” tabir edilen bir parametre kullanılmaktadır ki $g' = g (\rho_2 - \rho_1) / \rho_2$ olarak ifade edilir. Aynı denklemden “ g ” ise yer çekimi ivmesidir. “ h ” ile tabaka derinliği, “ u ” ile akıntı hızı ifade edilmektedir. İndisler ise sırası ile üst (1) ve alt (2) tabakaları ifade etmek için kullanılmıştır.

Akış rejimi üzerindeki en kritik mevki “kontrol noktası” olarak adlandırılır. Bu noktada Bütünleşik Froude sayısı kritik altı ($G^2 < 1$) bir değerden süper kritik'e ($G^2 > 1$) değişir. Momentumun korunumu ilkesi bize bu noktada akıntı şiddetinin de maksimum olması gerektiğini öngörür. Lawrence (1990) akışın kritik altı olması durumunda iç dalgaların kanal boyunca iletilemeyeceğini ifade ederek kritik akış analizinin ikinci bir yorumu yapmada kullanılabileceğini belirtmiştir.

2.3. Ortamdaki Düzensizlikler

Şu ana kadar akış rejimine tesir eden iki kuvvetten söz edildi: Barotropik ve baroklinik kuvvetler. Bunlardan birincisi havzalar arası su seviyesi farkından kaynaklanan ikincisi de su kütlelerini derinliğe göre değişen yoğunluk farklarından oluşmaktadır. Denklemlerin çözümünde bütün geometrik yapı sabit kabul edilmiştir. Ancak gelgit ve meteorolojik etkenlerle havzalar arasındaki zorlamayı barotropik zorlamayı oluşturan su seviyesi farkı zaman içerisinde değişmektedir. Aynı şekilde sistem içinde bulunan bir iç dalga da kanal boyunca ilerleyerek ortamdaki baroklinik şartların zaman içinde değişmesine sebep olacaktır.

Bu şartlar altında ilk kabullerden biri olan $\partial u / \partial t = 0$ yaklaşımı gerçek şartlar altında mümkün olmayacak ve $u \cdot \partial u / \partial x$ değerinden çok küçük olmaması halinde ihmal edilmemesi gerekecektir.

Su seviyesindeki değişikliğin genel kabuller dahilinde olması halinde her durum kendi içinde kararlı peş peşe anlar olarak kabul edilirler. Meseleyi basite indirmek için takip edilen bu metoda, kararlı-gibi (quasi steady) yaklaşımı denir.

Helfrich (1995) baroklinik değişiklikler içeren iç dalgaların da benzer şekilde analiz edilebileceğini ve dalganın ilerleme hızı (u_{b0}), kanal derinliği (H), kanaldaki sıgık (sill) derinliği (H_s) ve kanal uzunluğu (L) ile iç dalganın periyodu (T)'dan oluşan, aşağıda görülen, iki ayrı boyutsuz parametrenin birbirine oranı ile zamana bağlı olarak kanal içindeki akış yapısını analiz etmiştir.

$$\gamma \equiv (g^1 H_s)^{1/2} T/L \quad (2.4a)$$

$$q_{b0} = u_{b0} / (g^1 H)^{1/2} \quad (2.4b)$$

Gregg ve Özsoy (2002) 3 –5 günlük bir hava cephesinin oluşturduğu iç dalgasının 1.2 – 1.7 m/s hızla yaklaşık 7 saatte İstanbul Boğazını bir uçtan bir uca kat ettiğini dolayısı ile $7/120 \approx 1/17$ oranının Helfrich (1995) tarafından öngörülen $1/30$ oranına yakın olduğunu ve klasik hidrolik teorisinin İstanbul Boğazı için geçerli olduğu görüşünü ifade etmişlerdir.

2.4. Koriolis Döngüsü

Akış esnasında koriolis sebebi ile oluşacak yanal deformasyonun yarıçapı ile kanal genişliği arasındaki oran koriolisin akış rejimine olan etkisi hakkında bize fikir vermektedir. Rossbi deformasyon yarıçapı $R_c = (g' h_1)^{1/2}/f$ ile ifade edilmektedir. Burada “f” ile koriolis” kuvveti ifade edilmektedir.

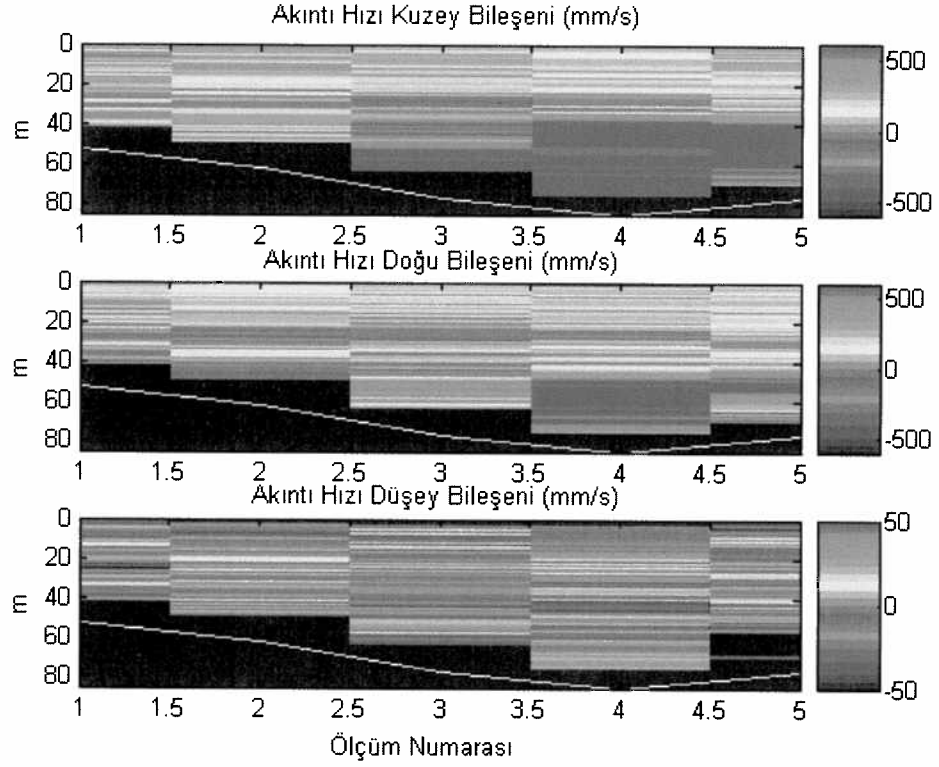
R_c İstanbul Boğazı için 20 – 30 km arasında değişmekte olup, Boğazın en geniş yerinin 3 km olduğu bilindiğinden hidrostatik şartların korunması bakımından koriolisin bir etkisinin olmadığı ortaya çıkmaktadır.

2.5. Düşey Hareketler

Hidrolik teori genelde düşey hızların ihmal edilebilir seviyede olduğunu kabul eder. Bu durum düşey basınç gradyenine tesir eden tek faktörün suyun yoğunluk yapısı olduğu anlamına da gelir. Düşey hızların hangi mertebeye kadar ihmal edilebilir olduğunun anlaşılması için kanalın ortalama derinliği (H) ve uzunluğu (L) arasındaki oran incelenmelidir (Gerdes, 2002).

$$\sigma \equiv (H/L)^2 \ll 1 \quad (2.5)$$

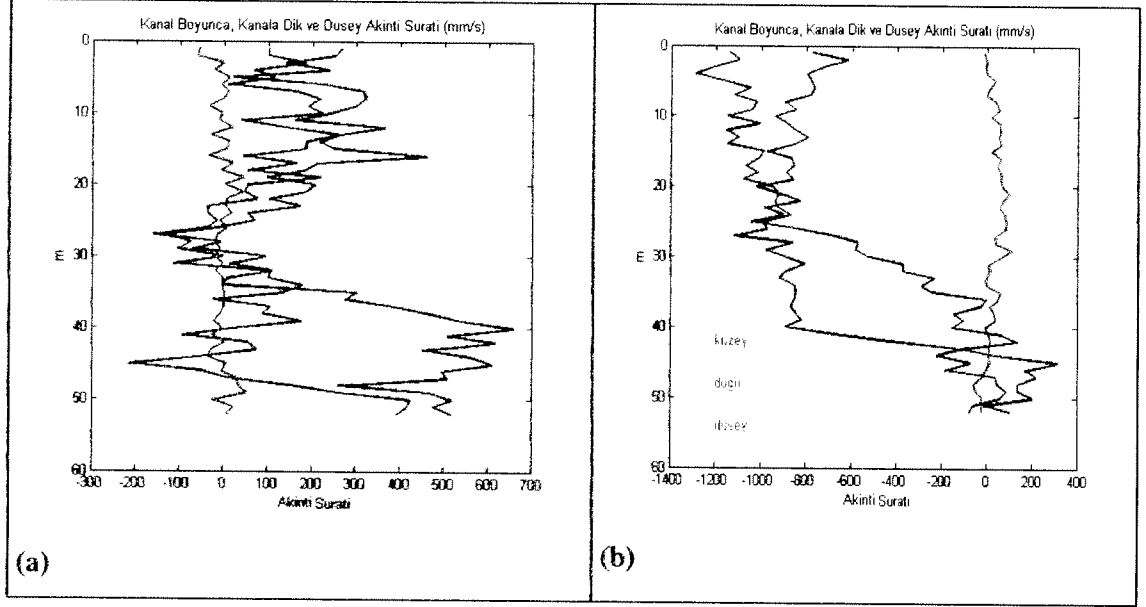
İstanbul ve Çanakkale Boğazları için bu değerlerin sırası ile yaklaşık 1.2×10^{-6} ve 7.8×10^{-7} olması nedeni ile düşey hızların hesaplamalarda ihmal edilebileceğini söylemek yanlış olmaz. Aynı zamanda Çanakkale Boğazının İstanbul’a nispetle daha hidrostatik bir yapı arz edeceği yorumu da yapılabilir. Aşağıdaki şekilde 17 Kasım 2005 tarihinde İstanbul Boğazı Karadeniz girişindeki doğu-batı eksenindeki bir akıntı kesitindeki akıntı hızının kuzey (u), doğu (v) ve düşey (w) bileşenleri görülmektedir (Şekil 2). Söz konusu veriler su yüzünden dibe doğru düşey olarak her bir metre aralıkta ölçülmüş üç boyutlu akıntı verilerinden oluşmaktadır.



Şekil 2. İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışı üç boyutlu akıntı hızı bileşenleri (17 Kasım 2005)

Kesitin en derin noktasına denk gelen dört numaralı aralık profil şeklinde ele alınıp bütün veri setinin ortalaması alındığında kuzey bileşenin 417 mm/s, doğu bileşenin 280 mm/s, düşey bileşenin ise -3.4 mm/s değerinde bir ortalamaya sahip olduğu görülmektedir (Şekil 3a). Toplam yatay hız vektörünün ($\sqrt{u^2 + v^2}$) 494 mm/s olduğu bu durumda düşey hızın toplam yatay hızdan 145.2 kez daha zayıf olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 3a). Boğazlardaki yatay morfolojik kıvrımların ve batimetrik değişimlerin oluşturduğu boğumlarda hidrostatik yapının daha kararsız oluşu sebebi ile nisbi olarak düşey hızlarda artış beklemek yanlış olmayacaktır. 15 Kasım 2005 tarihinde Kandilli – Bebek arasında bulunan İstanbul Boğazı boğum bölgesinin en derin noktasında yapılmış ölçümde akıntı kuzey bileşeni ortalamasının 797 mm/s, doğu bileşeninin ise 535 mm/s olduğu durumda düşey hız bileşeninin 27 mm/s olduğu görülmektedir. Toplam yatay hız bileşeninin 960 olduğu bu bölgede düşey hızın toplam yatay hıza oranı sadece 35.5 olmuştur (Şekil 3b). Kararlı durumda (İstanbul Boğazının kuzey girişinde) düşey hız yatay hız bileşeninin yaklaşık 145'te biri iken, nisbi olarak daha karmaşık

bir yer olan ve türbülansın arttığı Kandilli bölgesinde yaklaşık 10 kat artarak sadece 35'te biri durumuna gelmiştir.



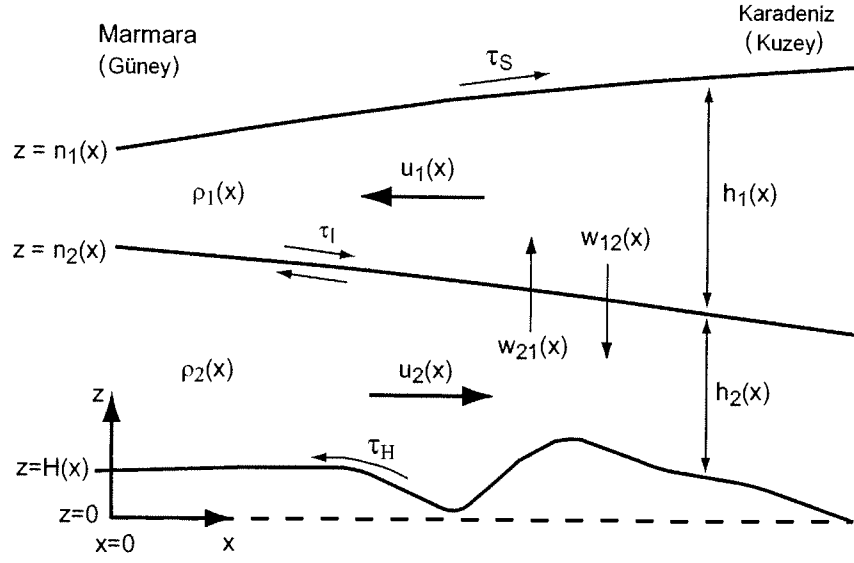
Şekil 3. İstanbul Boğazı akıntı hızı bileşenlerinin derinliğe göre değişimi (a) Karadeniz çıkışı*, (b) Kandilli – Bebek arası** (Düşey eksen derinlik, birim m)

2.6. İki Tabakalı ve Girişimli Akış

İki tabakalı, sürtünmeyi ve düşeydeki yoğunluk değişimlerini içeren boğaz ortamındaki akış Gerdes (2002) tarafından oldukça detaylı bir şekilde ifade edilmiştir. Değişken isimleri ve akış yönlerinin aşağıdaki şekilde gösterildiği yaklaşımda her iki tabaka için de suyun sıkıştırılmaz olduğu kabulü ile beraber giren ve çıkan hacimlerin aynı olacağı gerçeğinden hareket edilmiştir.

* 17 Kasım 2005

** 15 Kasım 2005



Şekil 4. İstanbul Boğazının genel yapısı (Gerdes, 2002)

Bu şekilde x eksenini ile İstanbul Boğazı kanal boyunca, z eksenini ile de derinlik gösterilmiştir. x eksenini kuzey istikametine doğru artı, z ise yukarı doğru artı kabul edilmiştir. 1 ve 2 numaraları ile, sırası ile, üst ve alt akıntı parametreleri alt indis olarak tanımlanmıştır. u yatay hız, w ise düşey hızı sembolize etmektedir. z tabakaları, η eğimleri, H su derinliği, W kanal genişliği, h ile tabaka kalınlıkları, ρ ile yoğunluk ve τ ile de (H : dip, l : tabaka, s ile de yüzey) sürüklenme gerilmelerini ifade edilmektedir.

$$\frac{d(u_1 A_1)}{dx} = W_1(w_{21} - w_{12}) \quad 2.6a$$

$$\frac{d(u_2 A_2)}{dx} = W_1(w_{12} - w_{21}) \quad 2.6b$$

Burada A_1 ve A_2 ile sırasıyla üst ve alt yüzey akım alanları ifade edilmektedir. W_1 ise ara tabaka boyunca kanal genişliğidir. W_1 kanalın şekline ve tabakanın derinliğine göre değişecektir.

Hesaba yoğunluğun da dahil edilmesi durumunda kütle korunumu gereği 2.6a ve 2.6b şu hale gelecektir.

$$\frac{d(\rho_1 u_1 A_1)}{dx} = W_1(\rho_2 w_{21} - \rho_1 w_{12}) \quad 2.7a$$

$$\frac{d(\rho_2 u_2 A_2)}{dx} = W_1(\rho_1 w_{12} - \rho_2 w_{21}) \quad 2.7b$$

Değişimin sadece kütlede değil aynı zamanda momentumda da olması ise denklemi şu hale getirir.

$$\frac{d(\rho_1 u_1^2 A_1)}{dx} = W_1(\rho_2 u_2 w_{21} - \rho_1 u_1 w_{12}) - A_1 \frac{dP_1}{dx} - A_1 \rho_1 (\tau_s + \tau_1 + \tau_{W1}) \quad 2.8a$$

$$\frac{d(\rho_2 u_2^2 A_2)}{dx} = W_1(\rho_1 u_1 w_{12} - \rho_2 u_2 w_{21}) - A_2 \frac{dP_2}{dx} - A_2 \rho_2 (-\tau_2 + \tau_{W2} + \tau_{H2}) \quad 2.8b$$

Bu denklemde τ ile sürüklenme gerilmeleri, $\frac{dP_i}{dx}$ $i = 1,2$ ile de tabaka boyunca ortalama yatay basınç gradyenti ifade edilmektedir. Yukarıda bulunan denklemlerin sol tarafında yataydaki momentum değişimini gösterirken sağ tarafta sırası ile yataydaki tabaka boyunca momentum, yataydaki basınç gradyenti ve en son olarak da sürtünme kuvvetleri yer almaktadır. Bu aşamada 2.6 numaralı denklemi Euler formuna transfer ettiğimizde 2.7a ve b aşağıdaki şekli alır.

$$u_1 \frac{d\rho_1}{dx} = \frac{W_1}{A_1} w_{21} (\rho_2 - \rho_1) \quad 2.9a$$

$$u_2 \frac{d\rho_2}{dx} = \frac{W_1}{A_1} w_{12} (\rho_1 - \rho_2) \quad 2.9b$$

Aynı yaklaşımla 2.8a ve b ise şu şekilde ifade edilebilir.

$$u_1 \frac{du_1}{dx} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \frac{W_1}{A_1} w_{21}(u_2 - u_1) - \frac{1}{\rho_1} \frac{dP_1}{dx} - (\tau_s + \tau_1 + \tau_{W1}) \quad 2.10a$$

$$u_2 \frac{du_2}{dx} = \frac{\rho_1}{\rho_2} \frac{W_1}{A_2} w_{12}(u_1 - u_2) - \frac{1}{\rho_2} \frac{dP_2}{dx} - (-\tau_2 + \tau_{W2} + \tau_{H2}) \quad 2.10b$$

Denklem 2.7 ve 2.8 yapılan yaklaşımlarla hem 2.9 ve 2.10 formuna sokularak aynı anda hem aşağı hem de yukarı taşınım terimlerine sahipken sadece tek taşınım terimine indirgenmiştir (w_{12} veya w_{21}). Sürtünme ve basınç gradyentinin ihmal edildiği ve sadece aşağı doğru taşınım var olduğu kabul edildiğinde üst tabakanın kütle ve momentumunu kaybedeceği ortaya çıkmaktadır. Bu durumda kanal boyunca bir momentum değişikliği olacaksa da aynı anda kütlenin de değişmesi sebebi ile momentum yoğunluğu sabit kalacaktır.

Birim kütle alan başına yatay basınç gradyenti integre edildiğinde her iki tabakanın basınç yapısını tabaka arakesit eğimleri ve yoğunluk cinsinden şu şekilde ifade edebiliriz.

$$\frac{1}{\rho_1} \frac{dP_1}{dx} = g \left(\frac{d\eta_1}{dx} + \frac{h_1}{2\rho_1} \frac{d\rho_1}{dx} \right) \quad 2.11a$$

$$\frac{1}{\rho_2} \frac{dP_2}{dx} = g \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \frac{d\eta_1}{dx} + \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2} \frac{d\eta_2}{dx} + h_1 \frac{1}{\rho_2} \frac{d\rho_1}{dx} + \frac{h_2}{2\rho_2} \frac{d\rho_2}{dx} \right) \quad 2.11b$$

Burada W_1 yerine kanalın düz bir geometriye sahip olduğu farz edilerek sabit bir genişlik (W) kullanılmıştır. Bu sayede alt ve üst tabaka kesit alanları (A_1 ve A_2) ve genişlik tabaka kalınlığı (h_1 ve h_2) cinsinden ifade edilmiştir. 2.11a incelendiğinde üst tabakadaki basınç değişimi üzerinde sadece üst tabaka su – hava arakesitinin ve yataydaki yoğunluk değişiminin

etkili olduğu, 2.11b’de ise (alt tabakada) bunlara ilave olarak ara tabaka eğimi (2.terim) ve alt tabaka boyunca yatay eksenindeki yoğunluk farkının (4. terim) etkili olduğu görülmektedir.

2.10a’da bulunan basınç gradyenti teriminin yerine 2.11’nin sağ tarafı yerleştirildiğinde ve 2.10a’dan 2.10b çıkarılırsa denklem her iki tabakadaki net ivmelenmenin farkına eşit olacaktır.

$$u_1 \frac{du_1}{dx} - u_2 \frac{du_2}{dx} = (u_2 - u_1) \left(\frac{\rho_2 w_{21}}{\rho_1 h_1} - \frac{\rho_1 w_{12}}{\rho_2 h_2} \right) - g \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2} \left(\frac{d\eta_1}{dx} - \frac{d\eta_2}{dx} \right) - g \left(h_1 \left(\frac{1}{2\rho_1} - \frac{1}{\rho_2} \right) \frac{d\rho_1}{dx} - \frac{h_2}{2\rho_2} \frac{d\rho_2}{dx} \right) - \tau_0 \quad 2.12$$

Bütün sürtünme katsayıları birleştirilerek τ_0 ($\tau_0 \equiv \tau_s + \tau_{11} + \tau_{w1} + \tau_{12} - \tau_{w2} + \tau_{H2}$) olarak ifade edilmişlerdir. 2.13’de $W_1 = W$ yaklaşımı ile 2.9 yerleştirildiğinde yataydaki yoğunluk değişimi ile karışım hızları arasında bir ilişki kurmak mümkün hale gelmiştir.

$$u_1 \frac{du_1}{dx} - u_2 \frac{du_2}{dx} = (u_2 - u_1) \left(\frac{\rho_2 w_{21}}{\rho_1 h_1} + \frac{\rho_1 w_{12}}{\rho_2 h_2} \right) - g \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2} \left(\frac{d\eta_1}{dx} - \frac{d\eta_2}{dx} \right) - g \left(\frac{w_{21}}{u_1} \left(\frac{\rho_2 - \rho_1}{2\rho_1} - \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2} \right) + \frac{w_{12}}{u_2} \frac{\rho_2 - \rho_1}{2\rho_2} \right) - \tau_0 \quad 2.13$$

$(\rho_2 - \rho_1) / \rho_2$ oranları “düşürülmüş yerçekimi” cinsinden ifade edildiğinde 2.13 aşağıdaki şekil alır ve bu yaklaşım İstanbul ve Çanakkale de dahil olmak üzere bir çok boğaz için kullanılabilir.

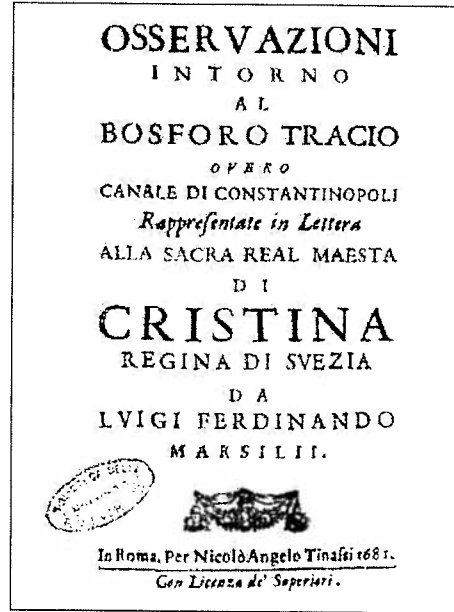
$$u_1 \frac{du_1}{dx} - u_2 \frac{du_2}{dx} - g' \frac{d\eta_2}{dx} = (u_2 - u_1) \left(\frac{w_{21}}{h_1} + \frac{w_{12}}{h_2} \right) - \frac{g'}{2} \left(\frac{w_{12}}{u_2} + \frac{w_{21}}{u_1} \right) - \tau_0 \quad 2.14$$

Eşitliğin sağ tarafındaki ilk terim tabakalar arası momentum değişimini, ikinci terim ise kanal boyunca yatay eksenindeki yoğunluk değişimlerini ifade etmektedir.

III. MATERYAL VE METOD

3.1. Tarihsel Ölçümler

Boğazlar bölgesinde ilk bilimsel kabul edilebilecek çalışma 1681 yılında İtalyan denizci (aynı zamanda diplomat, araştırmacı ve tüccar) Kont Luigi Ferdinando Marsigli (1658 – 1730) tarafından icra edilmiştir. Türk balıkçılar ve zamanın İngiltere Büyükelçisinden aldığı bilgiler doğrultusunda Kont Marsigli İstanbul Boğazının alt ve üst akıntıları, su kütlelerinin yoğunluğu ve oluşumları hakkında genç yaşı ve zayıf laboratuvar imkanlarına rağmen oldukça başarılı bir eser ortaya çıkarmıştır (Şekil 5). Kont Luigi kaleme aldığı kitabı İsveç Kraliçesi Cristina'ya ithaf edilmiş olup orijinal nüshası halen İtalya'nın Bologna şehrinde muhafaza edilmektedir.



Şekil 5. Marsigli tarafından hazırlanmış İstanbul Boğazı Kitabının kapağı

TBS Birinci Dünya Savaşı sırasında askeri ihtiyaçlar sebebi ile Alman bilim adamı Dr. Alfred Merz tarafından kapsamlı oşinografik ölçümlere sahne olmuştur. Merz (1918) ve

Möller (1928) tarafından yapılan çalışmalar İngiliz Hidrografi Dairesince 1941 yılında doğrudan İngilizce'ye tercüme edilerek tekrar basılmıştır. Merz tarafından hazırlanan Atlas zamanına göre oldukça kapsamlı ve güvenilir bir eser olarak dikkat çekmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Merz tarafından hazırlanmış “Boğazların Oşinografisi Atlası”nın İngilizce tıpkı basımının kapağı

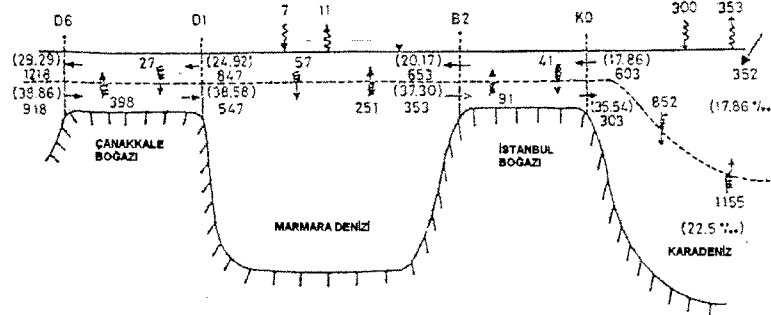
Son yıllarda ise TÜBİTAK ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü'nün (İSKİ) desteği ile Türk araştırmacılar tarafından çalışılmış ve gayet ayrıntılı analizler yapılmıştır. Stratejik, ekonomik ve tarihsel önemi sebebiyle Çanakkale Boğazına nispetle, araştırma gayretlerinin büyük ölçüde İstanbul Boğazına matuf olduğu dikkat çekmektedir. Kronolojik olarak incelendiğinde ilk çalışmaların Marmara ve Karadeniz arasındaki su seviyesi farkını tespit etmeye yönelik olduğu görülmektedir. Gunnerson ve Özturgut (1974), De Filipi (1986), Yüce (1986), Özsoy v.d. (1986, 1988) İstanbul Boğazının güney ve kuzey girişleri arasında yaklaşık 30 – 40 cm'lik bir seviye farkı olduğunu, su seviyesi değişiminin morfolojiye bağlı olarak Boğaz boyunca doğrusal olmayan bir şekilde değiştiğini tespit etmişlerdir. Su seviyesinin Karadeniz'de maksimum olduğu dönemin tatlı su girişindeki artışa bağlı olarak Nisan - Mayıs aylarında görüldüğü yine aynı kaynaklarda ifade edilmektedir.

Arısoy ve Akyarlı (1990) ise İSKİ adına atık su deşarj planlamaları için yapılmış çalışmada Karadeniz'deki maksimum su seviyesinin 1986 yılında Mart ayında gerçekleştiğini görmüşler ancak bunun mevsimsel bir meteorolojik etkiden kaynaklanmış olabileceğini söylemekle yetinmişlerdir. Su bütçesi, havzalar arası etkileşim ve kirleticilerin taşınması gibi

problemler Boğaz çıkışında deniz suyunun nasıl yayıldığıнын araştırılmasını gerektirmiştir. Bu konuda da oldukça kapsamlı çalışmalar yapılmış olup her iki boğazın iki su kütlelerinin davranışı da ayrıntılı olarak izah edilmiştir.

Diğer bir konu başlığı ise Boğaz içindeki hidrolik mekanizmanın incelendiği oşinografik çalışmalardır. Son iki konuya yönelik olarak icra edilen belli başlı çalışmalar kronolojik olarak sıralanacak olursa Çeçen v.d. (1981), Büyüközden v.d. (1985), Özsoy v.d. (1986, 1988), Yüce (1990), Oğuz v.d. (1990), Beşiktepe v.d. (1995), Di İorio ve Yüce (1999) olarak göze çarpmaktadır. Bu çalışmalardan Özsoy v.d. (1986, 1988) ve Beşiktepe v.d. (1995) İSKİ destekli İstanbul atık su deşarj projesinde toplanan verilerden faydalanmışlardır. Bu çalışmalarda İstanbul Boğazındaki genel hidrolik kontrol mekanizmaları, ara tabakanın yapısı, su bütçesi hesapları ve Boğaz çıkışında su kütlelerinin yayılımı detaylı olarak incelenmiştir. İlk defa bu çalışmada modern CTD (Conductivity, Temperature, Depth: Sıcaklık, İletkenlik, Derinlik) ve ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler: Akustik Dopler Akıntı Profilleyci) aletleri aynı anda kullanılmış ve barotropik etkinin gözlenmesi amacıyla İstanbul Boğazının her iki çıkışına (Anadolu Kavağı ve Fenerbahçe) mareograf cihazları kurulmuştur.

Ünlüata v.d. (1990) tarafından yayınlanan makalede TBS'nin genel hidrografik karakteristiği çarpıcı bir şekilde ifade edilmiştir. TBS'nin yıllık su ve tuz bütçesi, akıntı ve CTD ölçümlerinden faydalanılarak hesaplanmıştır. Bu çalışma başta Beşiktepe v.d. (1994) olmak üzere büyük ölçüde daha sonraki çalışma sonuçları ile paralellik arz etmektedir (Şekil 7).

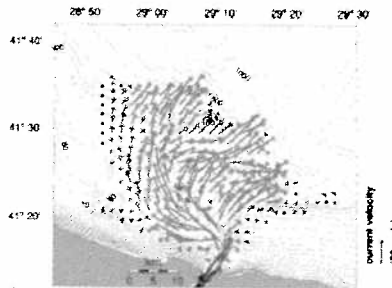


Şekil 7. Türk Boğazlar Sistemi su bütçesi (Beşiktepe v.d. 1994)

Di İorio ve Yüce (1999) ise NATO Sualtı Araştırma Merkezi (SACLANTCEN, bugünkü adı ile NURC: NATO Undersea Research Center) ve Türk Deniz Kuvvetleri işbirliği ile yürütülen kapsamlı bir gözlem çalışması ile toplanan verileri kullanarak Akdeniz kökenli tuzlu suyun İstanbul Boğazının Karadeniz çıkışında nasıl dağıldığını araştırmışlardır. Bunun için öncelikle NURC gemisi R/V Alliance ile bölgede Çok Bimli İskandil ile batimetrik ölçüm yapılmış, arkasından da kapsamlı bir CTD çalışması icra edilmiştir. Toplanan veriler ışığında İstanbul Boğazından alt akıntı ile çıkan Akdeniz kökenli suyun nasıl yayıldığı izah edilmiştir.

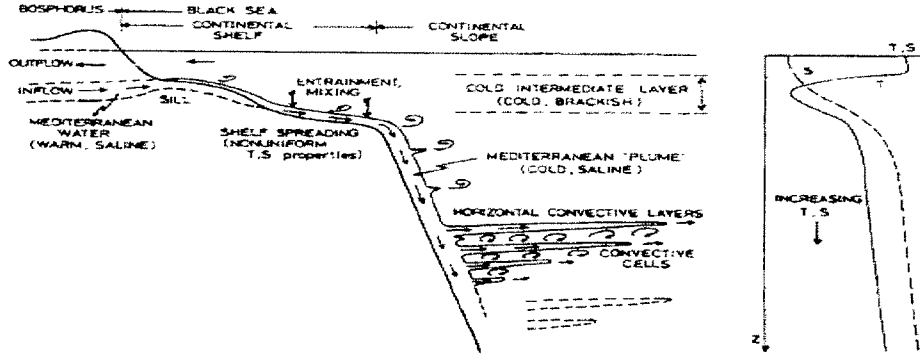
Oğuz v.d.(1990) İstanbul Boğazının Karadeniz ve Marmara çıkışlarındaki su seviyesi farkının Karadeniz tarafında 45 cm yüksek olması durumunda alt akıntının tamamen bloke olacağını modelleme sonucu bulmuştur. NURC ve SHOD (Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı) ise 26 Kasım – 14 Aralık 1995 tarihleri arasında icra ettiği ölçümlerde seviye farkının 40 cm olduğunda alt akıntının tamamen durduğunu gözlemiştir (SACLANT, 1998).

Aynı konuyu çalışan Gregg v.d. (1999) ve Özsoy v.d. (2001) hem batimetrik veriler hem de CTD ile çok daha kapsamlı çalışmalar yapmışlar, özellikle Özsoy v.d. (2001) model çalıştırarak ölçüm sonuçlarını teorik yaklaşımla gerçekleştirmiş ve hassas tespitlerde bulunmuştur. Bu çalışmanın sonuçları bize Karadeniz'e çıkan alt tabaka suyunun koriolis, sürtünme ve yoğunluğa bağlı olarak hareket ettiğini, Boğazın kuzey çıkışında bulunan yükseltiyi geçerek batimetrik formolojiyi takiben bir sualtı deresi gibi öncelikle batıya kıvrıldığını, bilahare düzleşen dip yapısının etkisi ile yayılarak tabakanın incelendiği ve coriolis etkisi ile hareket yönünün sağına doğru yöneldiğini ifade etmektedir (Şekil 8).



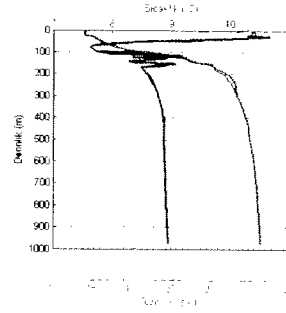
Şekil 8. İstanbul Boğazı alt tabaka suyunun Karadeniz çıkışındaki yayılımı (Özsoy v.d. 2001)

Karadeniz Kıta Sahanlığında derinliğin ani olarak artması ile yoğunluk farkından kaynaklanan etki sonucu alt tabaka suyunun süratle aşağı düştüğünü ve bu esnada da Karadeniz alt tabaka suyu ile karışma uğradığını ifade etmektedir. Bu karışım süreci de CTD ölçümlerinde gözlenmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. İstanbul Boğazından çıkan alt tabaka suyunun Karadeniz çıkışındaki düşey yayılımı (Özsoy ve Ünlüata 1997), (T sıcaklığı, S tuzluluğu ve Z derinliği göstermektedir)

İstanbul Boğazının çıkışındaki kanyondan aşağı düşen Akdeniz kökenli ağır suyun uğradığı değişim, Aralık 2005’de SHOD tarafından yapılan bir ölçümde tespit edilmiştir. Söz konusu CTD profilinin derinliğe göre sıcaklık ve tuzlulukta değişimi Şekil 10’da sunulmuştur. Anılan profilin sıcaklık verileri incelendiğinde, 100 – 200 m derinlik aralığında, Özsoy ve Ünlüata (1997) tarafından ifade edilen, yatay konvektif tabakalaşma ve konvektif hücreler sebebi ile oluşan 0.7 °C’ye yakın sıcaklık salınımı açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 10. İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışında Kıta Sahanlığı üzerinde yapılmış bir CTD ölçümü*

* SHOD Aralık 2005

3.2. İstanbul Boğazında Son Dönem Çalışmalar

2000 yılı ve sonrasında modern CTD ve ADCP cihazları ile İstanbul Boğazında yapılmış ve ürünleri akademik olarak yayınlanmış iki büyük ölçüm mevcuttur. Bunlardan Gregg ve Özsoy (2002) İstanbul Boğazındaki hidrolik kontrol mekanizmasını incelemektedir. ADCP ve Advanced Micro Profiler (AMP) adı verilen çok hassas CTD ile suyun tabakalaşması, sıcaklık, tuzluluk ve yoğunluğu ve ADCP ile genel akıntı yapısı araştırılmıştır. Toplanan veriler yardımı ile Boğazın kuzey ve güney girişi arasındaki su tabakasındaki değişim, su bütçesi ve akıntı rejimini kontrol eden mekanizma incelenmiş ve Boğazın morfolojisi ile ilişkilendirilmeye çalışılmıştır.

Çalışma sonuçları aşağıda özetlenmiştir:

1. Söz konusu makalede yer alan veriler 1994 yılı Eylül döneminde toplanmıştır. İstanbul Boğazında oldukça kuvvetli bir tabakalaşma mevcuttur. Tabaka kalınlığı en az 17 metredir. Marmara suyunun nerede ise yarısı, Karadeniz suyununsa yaklaşık % 20'si ara tabaka içinde yer almaktadır.
2. Boğaz boyunca yapılan akıntı ölçümlerinin ortalaması alındığında üst ve alt tabakaların debisi sırası ile $- 16.2 \times 10^3$ ve 11.0×10^3 m³/s bulunmuştur. Alt akıntının debisi düşük olmakla beraber ortalama sürat $u_2 = 0.5$ m/s, üst akıntının ortalama sürati ise yaklaşık $u_1 = 0.2$ m/s mertebesindedir.
3. Güneye akan üst tabakanın Boğazın Karadeniz giriş mevkiinde Sıcaklık (T), Tuzluluk (S) ve Yoğunluk (σ_0) değerleri sırası ile 21.8 °C, 18 psu ve 11.2 kg/m³ olurken çıkışta aynı sıra ile değerler 21.8 °C, 21.6 psu ve 14.2 kg/m³ olarak değişmiştir.
4. Aynı şekilde alt tabaka incelendiğinde Marmara girişinde suyun temel fiziksel özellikleri 14.7 °C, 35.6 psu ve 26.5 olurken çıkışta sırası ile 14.8 °C, 34.7 psu ve 25.8 kg/m³ şeklinde değişmiştir.

5. Alt akıntı üzerindeki en büyük kontrol mekanizması Karadeniz çıkışındaki Kuzey yükseltisidir .

6. Kullanılan ADCP'nin ilk 10 m derinliğe kadar akıntı verisi toplayamaması sebebi ile tam olarak anlaşılammış olsa da karışım mekanizmasının Üsküdar açıklarındaki Güney yükseltide en kuvvetli olduğu değerlendirilmiştir.

7. Boğazın batı yakasında alt akıntının etkilerinin yoğun olduğu (kuzeyli akıntı veya zayıf güneyli akıntı), Anadolu yakasında ise üst tabaka akıntısının yani güneyli akıntının baskın olduğu görülmüştür.

SHOD tarafından icra edilen çalışmalar kapsam, coğrafi bütünlük ve zaman serisi oluşturmaları bakımından büyük önem taşımakta olup ve şu ana kadar yapılan ölçümleri bir adım daha ileri götürecektir niteliktedir.

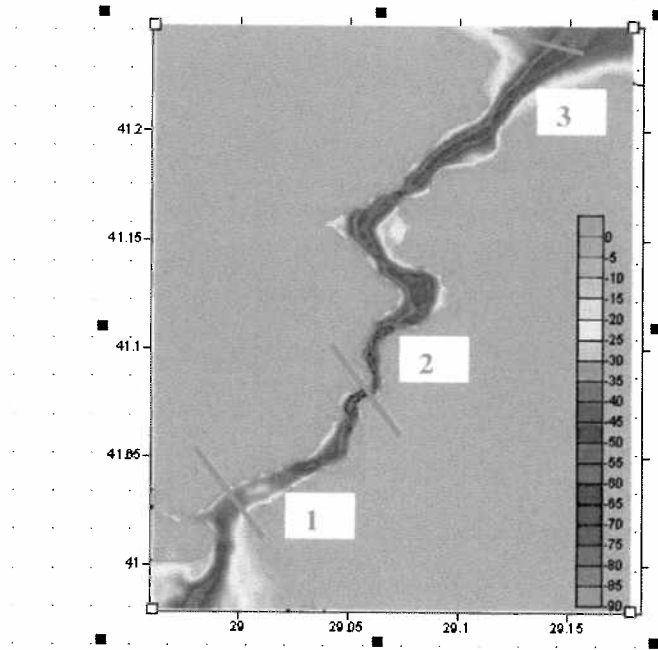
Bu çalışma ile TBS içerisinde bulunan İstanbul ve Çanakkale Boğazları'nın fiziksel oşinografik özellikleri incelenecek, yapılan gözlemler değerlendirilecek, etkin hidrolik mekanizma detaylı olarak tarif edilecek ve mekanizmada rol alan aktörlerin zamana göre ve birbirleri ile olan etkileşimi tarif edilecektir. Elde edilen sonuçlarla, bu toprakların sahipleri başta olmak üzere, bütün insanlığa hizmet edilmesi amaçlanmaktadır.

3.3. Bölgenin Morfolojisi

3.3.1. İstanbul Boğazı

İstanbul Boğazı yaklaşık 31 km uzunluğundadır. Derinlikler 28 – 110 metre arasında değişmekte olup, ortalama derinlik 35 m'dir. En derin yeri yaklaşık 110 m ile Kandilli açıklarındadır. Boğazın genişliği 0.7 km – 3.4 km aralığında değişir. Hidrolik etkilere tesir eden üç coğrafi mevki vardır. Bunlar Güneyden Kuzeye doğru sırası ile Üsküdar açıklarındaki sığlıktan oluşan sırt (silt) (1 numaralı bölge), Kandilli bölgesinde kanalın dar bölgesi ile geniş bölgesinin kesişim noktası olan kıvrımlı geçit (contraction) (2 numaralı

bölge), ve son olarak Boğazın Karadeniz çıkışındaki sığlıktan (3 numaralı bölge), oluşmaktadır. İlk iki bölge sırası ile Marmara girişinden itibaren sırası ile 3 ve 6 km mesafededir. Son bölge ise Karadeniz çıkışıdır (Şekil 11).



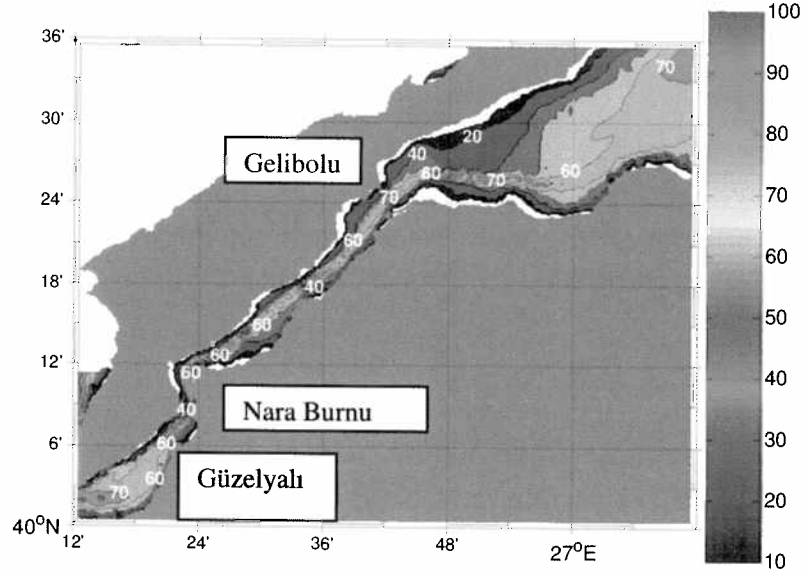
Şekil 11. İstanbul Boğazı morfolojisi

3.3.2. Çanakkale Boğazı

Çanakkale Boğazı yaklaşık 62 km uzunluğunda, genişliği 1.2 – 7 km arasında değişen bir kanal yapısı arz etmektedir. Ortalama derinliği 55 m olup, en dar yeri Ege Denizi girişinden kuzeye doğru 25 km mesafedeki Nara Burnudur. Orta hat boyunca ilerlendiğinde derinliklerin 50 – 90 m arasında değiştiği görülür.

Her iki boğaz birbiri ile kıyaslandığında İstanbul Boğazının gerek derinlik değişimleri gerekse yatay düzlemdeki kıvrımları sebebi ile daha karmaşık bir geometriye sahip olduğu görülmektedir. İlginç başka bir nokta da her iki boğazın güney çıkışlarına yakın bir bölgede (İstanbul'da Üsküdar açıkları, Çanakkale'de Güzelyalı açıkları) hidrolik sıçramaya imkan verebilecek bir sığlaşma görülmektedir. Çanakkale Boğazında etkin olan hidrolik sıçrama mekanizması İstanbul'daki kadar belirgin değildir. Çanakkale Boğazı'nın bir diğer ilginç yanı

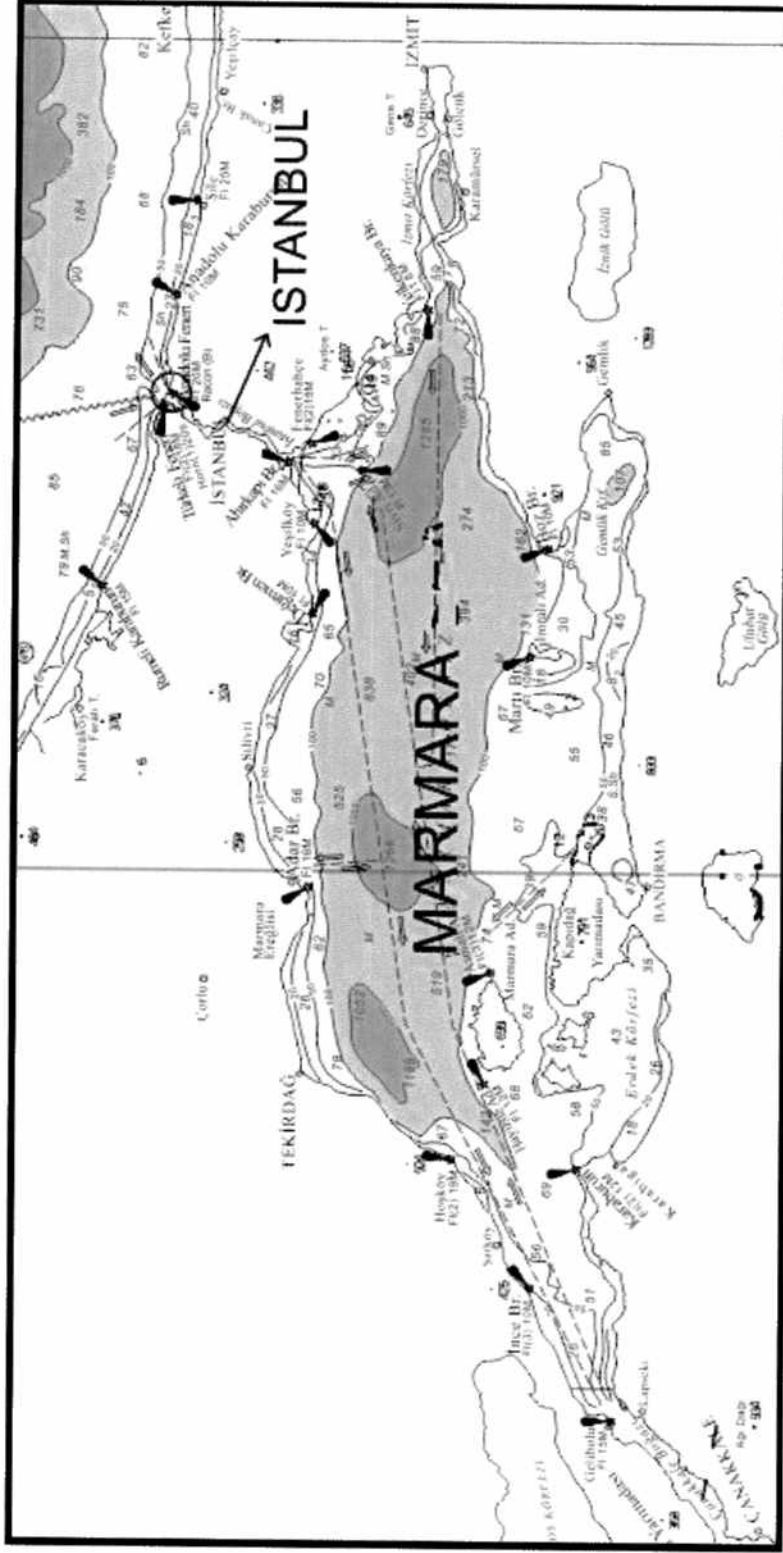
da kuzey çıkışında bulunan yaklaşık 70 m derinlikteki Marmara denizine uzanan huni şeklindeki dip yapısıdır (Şekil 12).



Şekil 12. Çanakkale Boğazı morfolojisi

3.3.3. Marmara Denizi

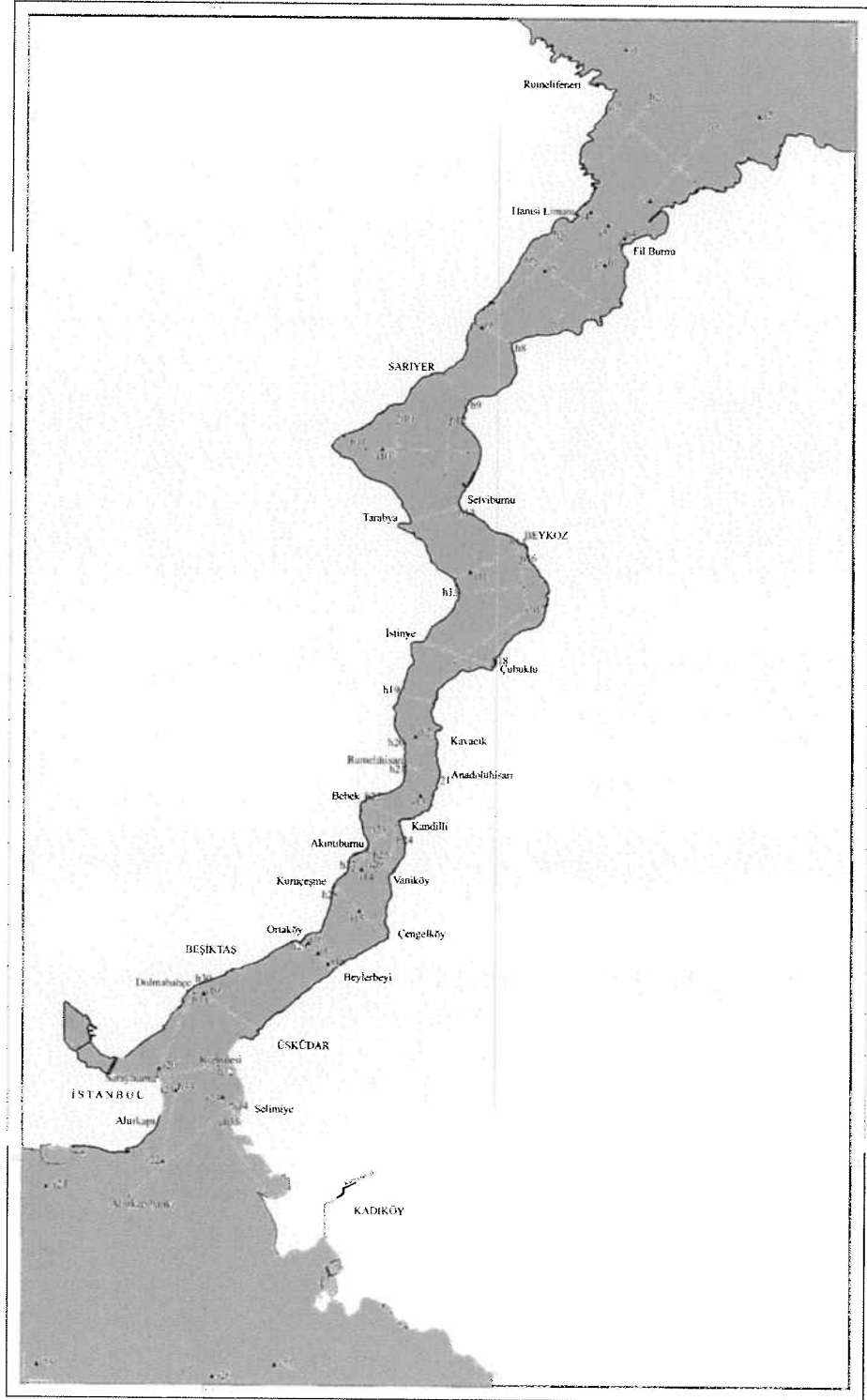
Marmara Denizi iki kıta arasında sıkışmış, nispeten küçük bir iç deniz olarak tanımlanmıştır (Ünlüata v.d. 1990, ve Beşiktepe v.d. 1994). Yüzey alanı 11.500 km² ve yaklaşık olarak da 3.378 km³ hacme sahiptir. Kuzeyden İstanbul Boğazı üzerinden Karadeniz, güney istikametinden de Çanakkale Boğazı vasıtası ile Ege Denizi'ne irtibatlıdır. Doğu – Batı istikametinde 240 km, kuzey-güney doğrultusunda ise 70 km'dir. Marmara Denizinin batimetrisi incelendiğinde güney yarısında bulunan 100 m derinliğe sahip geniş kıta sahanlığı ve kuzey yarımında bulunan doğu – batı eksenindeki üç adet çukur göze çarpmaktadır. Bunlar en doğudan batıya doğru sırası ile Çınarcık, Marmara Ereğlisi ve Tekirdağ çukurları olarak adlandırılır ve yine aynı sıra ile 1240, 1266 ve 1100 m derinliktedirler (Şekil 13).



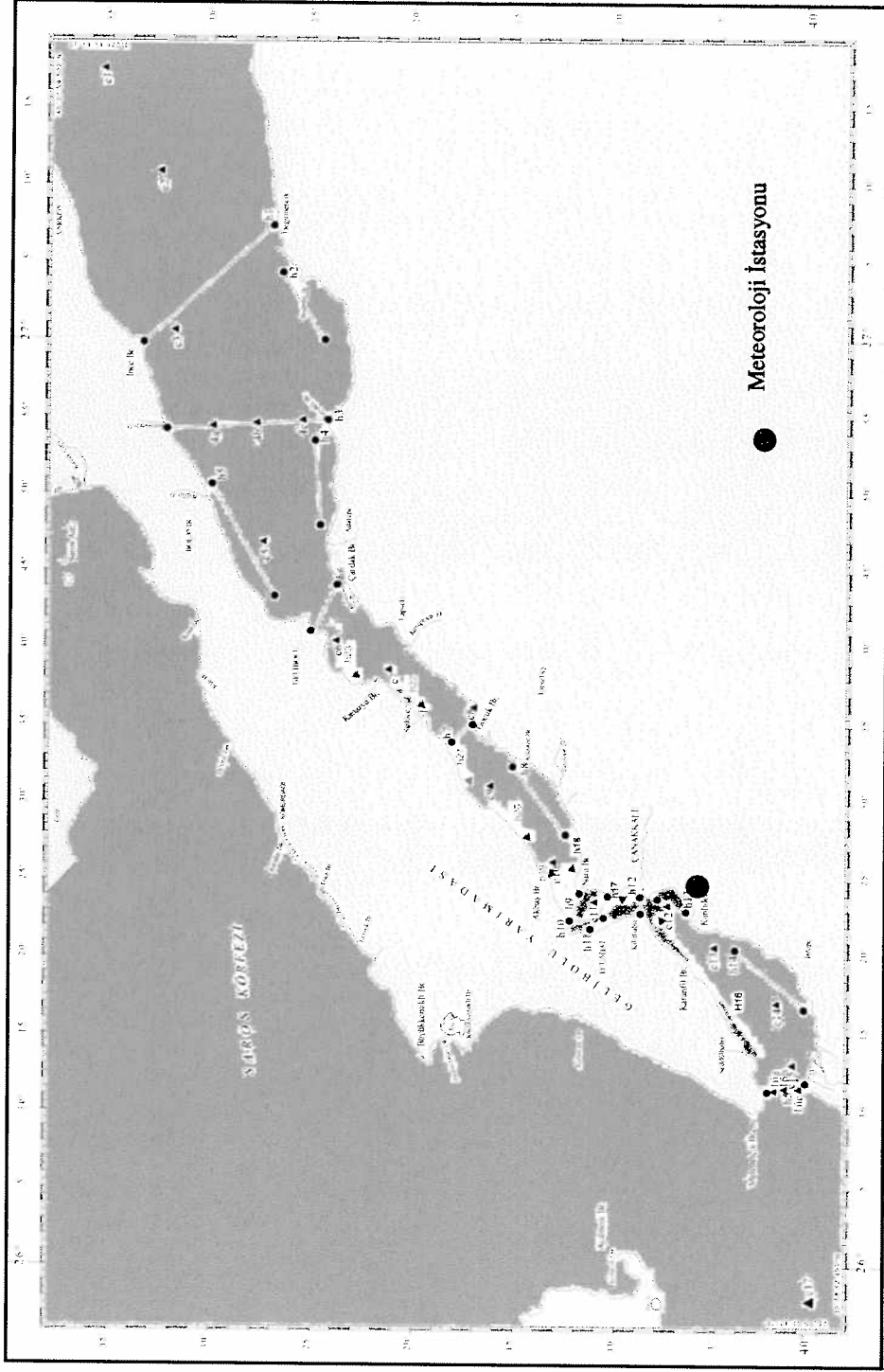
Şekil 13. Marmara Denizi morfolojisi (SHOD)

3.4. Saha Çalışmaları

Yukarıda açıklanan sebeplerle SHOD tarafından 2005 yılı içinde her dört mevsimde bir defa, İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında yoğun akıntı ve CTD ölçümleri icra edilmiştir. İcra edilen ölçümlerin koordinatlarını gösteren şekiller müteakip sayfalarda sunulmuştur. İstanbul Boğazında 31 noktada CTD ile sıcaklık, tuzluluk ve yoğunluk ölçümü ve ADCP ile 35 hatta akıntı ölçümü yapılmıştır. Çanakkale Boğazında ise 21 CTD ve 17 ADCP hattında veri toplanmıştır. Her iki bölgede ilave olarak kanal ortasında bulunan en derin hat (talveg hattı) boyunca güney – kuzey istikametinde akıntı ölçümü icra edilerek boğaz boyunca düşey akıntı yapısı tespit edilmiştir. Şekil 14'te İstanbul Boğazı ADCP hatları ve CTD istasyonları gösterilmiştir. Şekil 15'te ise Çanakkale Boğazı ADCP hatları ve CTD istasyonları verilmiştir.

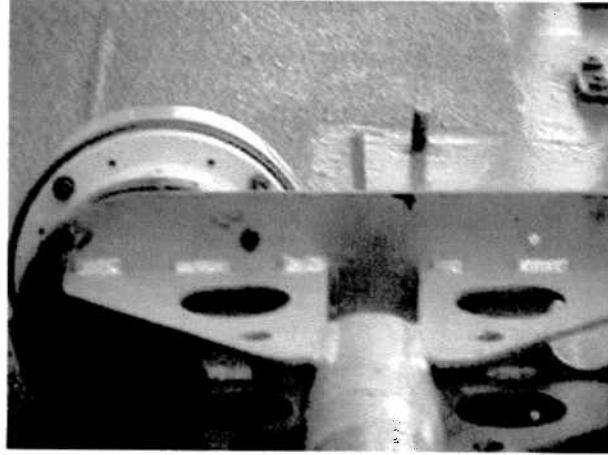


Şekil 14. İstanbul Boğazı ADCP hatları ve CTD istasyonları



Şekil 15. Çanakkale Boğazı ADCP Hatları ve CTD İstasyonları

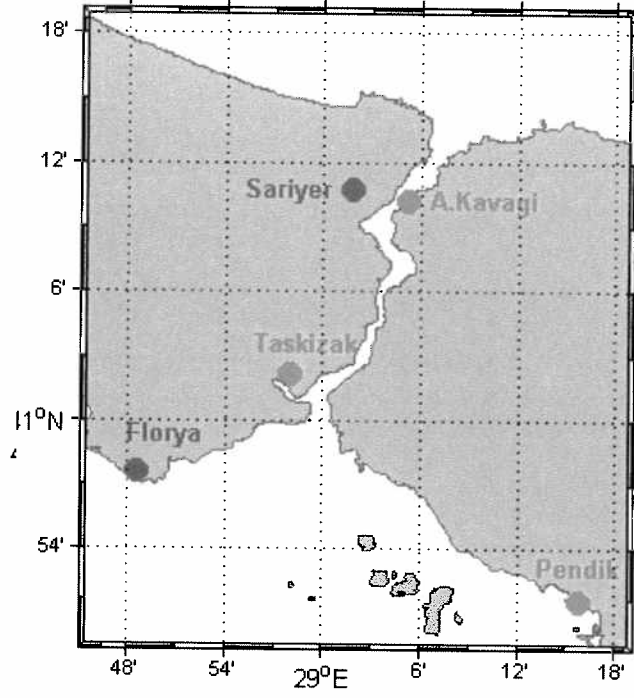
TCG ÇEŞME ve TCG ÇUBUKLU'nun su çekimlerinin fazla olması, gemi boyu ve teknik özellikleri sebebiyle Boğazlar gibi bölgelerde kolay manevra yapamadığı için, anılan çalışmalarda akıntı ölçümleri daha küçük olan TCG MESAHA-I botuna portatif ADCP (Şekil 16) monte edilerek icra edilmiştir. TCG MESAHA-I 21.28 m boyunda, 5 m eninde, 47 ton ağırlığında, çift pervaneli ve manevra yeteneği büyük gemilere göre nispeten daha iyi olan, sığ sularda araştırma yapmak üzere tasarlanmış bir araştırma teknesidir.



Şekil 16. Akıntı ölçer (ADCP)

TBS'de mevsime ve meteorolojik etkilere göre şiddeti değişen iki ayrı akıntı rejimi mevcudiyetindeki etkin güçler sırasıyla Akdeniz ve Karadeniz'deki deniz suyunun tuzluluk ve su seviyesi farkı ile meteorolojik etkenlerdir. Akıntı rejiminin tam analiz edilebilmesi için bu üç parametrenin de akıntı ile birlikte ölçülmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada yoğun ADCP hatları ve CTD istasyonlarına ilave olarak ulusal düzey referansla ilişkilendirilmiş su seviyesi bilgileri toplanmıştır. Su seviyesine düzey referans bilgileri Harita Genel Komutanlığı tarafından sağlanmıştır. Bilgiler ise şamandıra tipli, her on dakikada bir sayısal veri kaydı yapan otomatik mareograf (deniz seviye ölçer) cihazları ile toplanmaktadır. Su seviyesi ölçüm istasyonları İstanbul Boğazının kuzey girişini temsil etmek üzere Anadolu Kavağına, güney girişini temsilen de Haliç ve Pendik'e kurulmuştur. (Şekil 17)



Şekil 17. İstanbul Boğazı'nda bulunan su seviyesi ve meteoroloji ölçüm istasyonları

Verilerin değerlendirilmesinde önemli bir parametre olan meteorolojik bilgiler rüzgar yönü ve şiddeti, atmosferik basınç ve hava sıcaklığıdır. Bu bilgiler Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) Genel Müdürlüğü'ne bağlı gözlem istasyonlarından saatlik olarak temin edilmiştir. İstanbul Boğazının kuzey girişini temsilen Sariyer, Marmara girişini temsilen de Yeşilköy'de bulunan Florya istasyonundan temin edilen veriler kullanılmıştır.

3.5. Kullanılan Cihazlar ve Ölçü Teknikleri

Gemi üzerinde bulunan oşinografik ölçümler deniz suyunun üç boyutlu akıntısı ve derinliğe göre sıcaklık, iletkenlik ve çözünmüş oksijen ölçümlerinin yapılmasını kapsamaktadır. Sıcaklık, iletkenlik ölçümleri (CTD) SeaBird marka SBE 19 veya SBE 25 profil ölçer proplarla, akıntı ise yine derinliğe göre ölçüm yapabilen RDI marka Workhorse ADCP cihazı ile yapılmıştır. Her iki cihaz da çalışmalar öncesi kalibre ettirilerek güvenilir veri toplanmaya çalışılmıştır.

Boğazlar oşinografik ölçüm yapma bakımından zor bir bölgelerdir. Aynı anda iki ters yöne akan kuvvetli akıntılar, coğrafi olarak dar ve keskin dönüşlere sahip olması bölgede mesaha vasıtasının seyir yapmasını zorlaştırmaktadır. Deniz tabanına bırakılan zaman tabanlı ölçü aletleri atıldıkları yerden sürüklenilmekte ve gemi trafiğine tehlike oluşturabilmektedir. Aynı şekilde ölçüm yapan gemi de istenen mevkide ölçüm boyunca sabit kalamamakta, akıntı ve rüzgara tabi olarak sürüklenmektedir. Gemi trafiğini sadece bu amaçla durdurmanın mümkün olmaması sebebiyle deniz çalışmaları şartlar zorlanarak icra edilmiştir.

CTD cihazı ile yapılan ölçümlerde ölçüm cihazının dip akıntısı sebebi ile kimi istasyonlarda deniz tabanına kadar aşağı indirilemediği görülmüştür. Bu sebeple cihazın altına ağır bir ağırlık bağlanmış ve normal indirilme hızı olan 0.5 m/s'den bir miktar daha hızlı indirilmiştir. Bu durum örnekleme sıklığının sabit olması nedeniyle sık veri toplanmasına mani olduğundan aşağı derinlikleri ölçme ile yavaş yavaş cihazı aşağı indirme arasında en iyi nokta yakalanmaya çalışılmıştır.

ADCP ölçümlerinde ise ara tabakadaki askıdaki malzeme yoğunluğu ve sesin deniz suyunda ilerlerken yoğunluğa bağlı olarak kırılmasından kaynaklanan fiziki zorlamalar sebebiyle sinyalin alt tabakayı tam olarak ölçemediği durumlar gözlenmiştir. Özellikle debi hesaplamaları maksadıyla Boğaza dik (doğu – batı istikametinde) yapılan ölçümlerde teknenin düz bir rotada seyretmesinde ve sahile yakın kesimlerden veri toplanmasında manevra zorlukları yaşanmıştır. Her iki cihaz için de veri toplama usul ve esasları, karşılaşılan problemler ve çözüm metodları ilerleyen bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

3.5.1. Akıntı ölçümleri

Akıntı ölçümü maksadıyla 300 kHz. RDI Broadband ADCP kullanılmıştır. Mevkii bilgileri Sercel NR 203 Diferansiyel GPS ile toplanmıştır. Transduser tekneye sancak taraftan borda üzerinden portatif olarak sabitlenmiştir. Transduser derinliği yaklaşık bir metre olup, bir metre de kör derinlik olması sebebi ile ölçüm yapılan ilk derinlik üç metredir. Cihaz derinliğe göre veri toplama aralığı bir metre olacak şekilde ayarlanmıştır. Dolayısı ile deniz tabanına

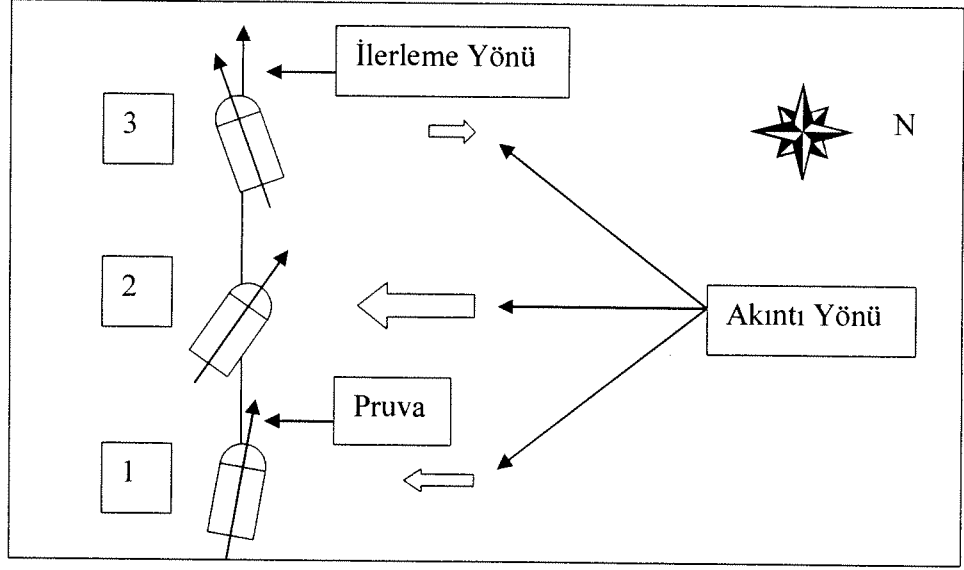
doğru dūşey ekseninde her bir metre seviyede üç boyutlu su akıntısı ölçülmüştür. RDI marka ADCP 300 kHz değerinde bir akustik sinyali eşit aralıklı dört ayrı transduserden dūşeyle 20° açı yaparak dibe göndermektedir. Su sütunu içinde aşığı ilerleyen ses sinyali su içindeki askıdaki katı malzeme, plankton vs. organik ve inorganik parçacıklara çarparak geri gelmekte ve bu geri gelen sinyal (bir başka deyişle reverberasyon yani kendi oluşturduğumuz gürültü) üzerindeki dopler kayması analiz edilerek her derinlikteki üç boyutlu akıntı ölçülebilmektedir. Mevcut ayarlama ile bu ölçümlerde kullanılan ADCP cihazı yaklaşık 100 m derinliğe kadar, her bir metre derinlik aralığında su sütunu boyunca akıntı ölçümü yapmaktadır.

3.5.1.1. Akıntı verilerinde kalite kontrol

ADCP cihazı her saniyede bir ölçüm yapmaktadır. Ancak toplanan verinin kararlı hale getirilmesi maksadı ile her 60 ve 180 saniyede bir zaman ortalaması alınmıştır. Teknede cayro olmaması sebebi ile ADCP üzerindeki manyetik pusuladan yön bilgisi alınmıştır. Geminin sac olması sebebi ile üzerinde yoğun manyetik sapma cihaz pusulasını büyük ölçüde etkilemiştir. ADCP çalışma prensibi olarak gemi hareket ettikçe suyun gemiye göre nisbi akış hızını ölçmektedir. Bu değerden gemi süratinin vektörel olarak çıkarılması durumunda su kütesinin hakiki sürati hesaplanmaktadır. Bu sebeple gemi rota ve süratinin çok hassas olarak bilinmesi gerekmektedir. Yukarıda bahsedilen manyetik ölçüm hatası, cihaz tarafından dipten sekme (bottom bounce) ve pusuladan alınan yön bilgileri ile oluşturulan iz ve GPS mevkilerinden alınan mevkilerle karşılaştırılmak sureti ile tespit edilmiş, bu hata miktarı her hat için ayrı ayrı ters olarak uygulanarak veriler yeni baştan işlenmiştir. Pusulada okunan ilerleme ile GPS'den temin edilen gemi mevkiileri arasındaki fark $\pm 5^\circ$ oluncaya kadar bu işlem devam etmiştir.

Manyetik sapma sebebi ile pusulada okunan değerin geminin hakiki ilerleme yönü olduğunu söylemek mümkün değildir. Özellikle Boğaz'a dik hatlarda coğrafi olarak sabit bir hat üzerinde gidebilmek için serdümen akıntı yönüne ters bir açıda dümene önleme vermek zorunda kalmıştır (Şekil 18 (1)). Aynı şekilde kanalın ortasında akıntı şiddetinin artması durumunda bu önleme açısı da artmış (Şekil 18 (2)), Boğazın diğer tarafında akıntının ters yönlü olması durumunda ise (Şekil 18 (3)) verilen önleme aksi yöne kaydırılarak ilerleme hattı ile gemi pruvası arasında ciddi farklılıklar oluşmuştur. Yukarıda bahsedilenler aşığıda

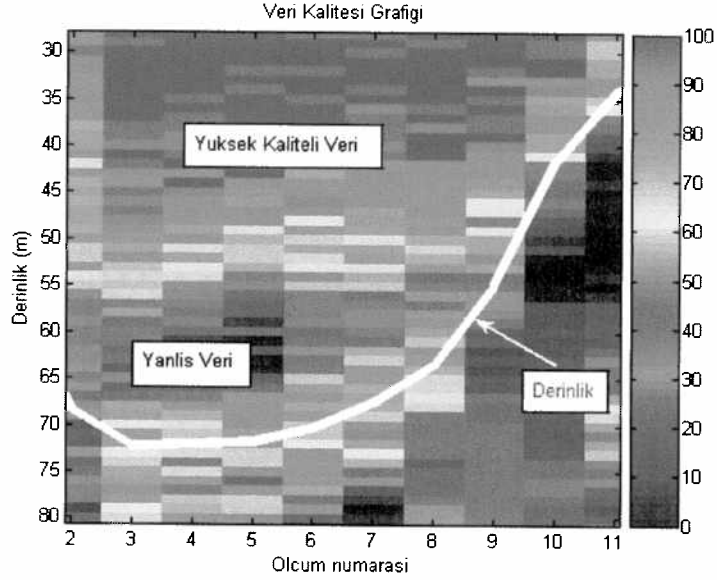
grafik üzerinde ayrıca izah edilmiştir. Dolayısı ile GPS ile toplanan ilerleme hattının doğrudan geminin pruvası kabul etmek aradaki açisal farkın büyük olduğu durumlarda mümkün olamamaktadır.



Şekil 18. Tekne ilerleme yönü, pruva ve akıntı arasındaki ilişki

ADCP ile toplanan akıntı verilerinde suyun yoğunluk farkından kaynaklanan ses enerjisini geçirme özelliğindeki değişiklikler ve suyun içindeki askıdaki katı madde yoğunluğundan dolayı kalite sorunları gözlenebilmektedir. Bu hatanın tespit edilebilmesi amacıyla ADCP cihazının dört ayrı transduserinden gönderilen sinyalden üretilen akıntı bilgisinin birbiri ile korelasyonuna bakılarak bir ön değerlendirme yapılmaktadır. Açıklanan teknikte aynı noktadan çok az bir açı farkı ile (20°) tabana bakan transduserlerin hepsinden de aynı akıntı şiddeti okuması gerektiği farz edilmektedir. Dört transduserden gelen verilerin de aynı olması durumunda korelasyonun yüksek olduğu, başka bir deyişle verinin kaliteli olduğu kabul edilmektedir. Bu parametre her ölçüm için ayrıca hesaplanmakta ve bir kalite kontrol mekanizması olarak kullanılabilir. Şekil 14'te İstanbul Boğazında doğu-batı hattında ölçülmüş bir hattın veri kalite grafiği görülmektedir. Yüze yakın veriler gayet kaliteli iken orta noktalarda ve zemine yakın kesimlerde veri kalitesindeki düşme açık bir şekilde

görülmektedir. Hat boyunca görülen beyaz çizgi ise ADCP tarafından ölçülen dip derinliğidir. 4. Bölümde sunulacak olan ölçüm sonuçları ve yorumlar yapılırken bahsedilen kalite kontrol mekanizması çalıştırılmış ve % 80 ve daha yüksek oranda kaliteye sahip veriler kullanılmıştır.

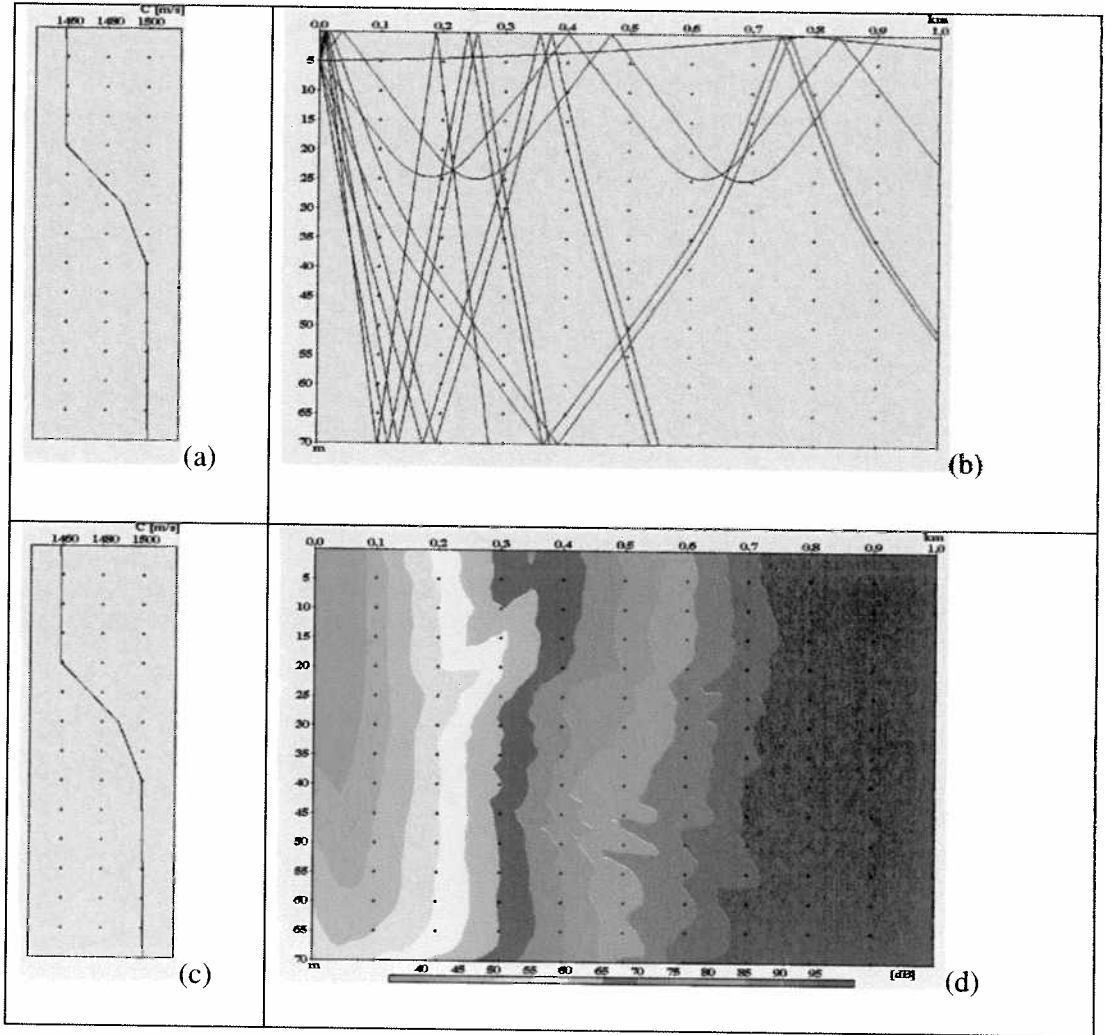


Şekil 19. ADCP ile toplanan akıntı veri kalite kontrol grafiği (veri kalitesi % olarak renk kodu ile, dip derinliği ise beyaz çizgi ile gösterilmiştir)

3.5.1.2. Akıntı ölçümlerinin akustik değerlendirilmesi

Deniz suyundaki yoğunluk farklılığından kaynaklanan tabakalaşmanın akustik ses yayılımına olan etkisinin ADCP cihazının performansı üzerindeki etkisi de ayrıca araştırılmalıdır. Bu konuda yüksek frekanslı seslerin su içindeki yayılımının benzeşimini yapan (simüle eden) LYBIN isimli bir model kullanılmıştır. LYBIN, sesin su içinde farklı yoğunluğa sahip tabakalar arasında ilerlerken, Snell kanunu gereği tabakalar içindeki hızların oranının ortama giriş açılarının sinüslerine olan oranların eşit olacağını varsayarak sesin su içindeki ilerleme problemini çözer. Yayılım kayıplarını ise dip derinliğine kadar olan kesimde küresel, daha uzak mesafeleri ise silindirik kabul ederek geometrik yaklaşımla hesaplar. Yazılım dipten sekmelerde ise dip tabiatının yapısına göre sert zeminlerden yüksek frekanslarda daha çok sinyalin yansıtacağını, yumuşak zeminlerde ise daha çok soğrulmaya imkan sağlanacağını değerlendirir.

Kış dönemi şartlarını benzeştirmek üzere yüzeyde su sıcaklığının 7 °C, tuzluluğun 18 psu, tabakalaşmanın 40 m derinliğinde ve alt tabaka suyunun 14 °C sıcaklık, 34 psu tuzluluğa sahip olduğu durumda derinlik 70 m ve zeminin orta sertlikte kum / çakıl kabul edilirse Şekil 20'de görüldüğü gibi bir ses yayılımı ve akustik enerji kaybı yaşanacaktır. Grafiklerdeki düşey eksen derinliktir (birim m), yatay eksen ise mesafedir (birim km).



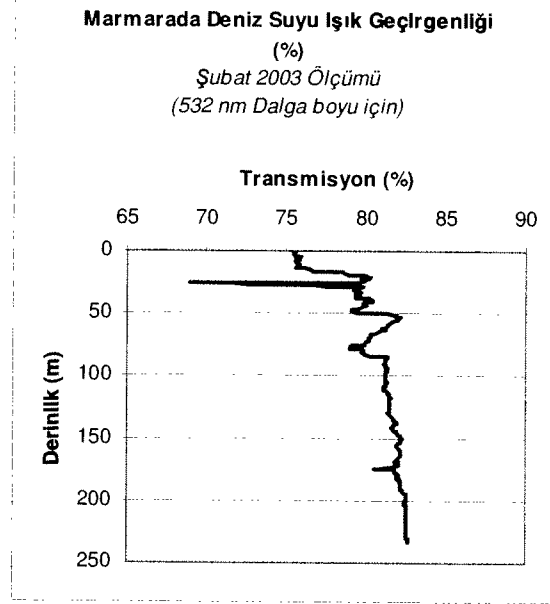
Şekil 20. Marmara Bölgesinde ADCP cihazından gönderilen ses sinyalinin akustik yayılım simülasyon sonuçları: (a) Ses hızı profili, (b) Ses ışınlarının yayılım pateni, (c) Ses hızı profili, (d) Ses enerjisinin su içinde uğradığı kayıplar

Şekil 20a'dan anlaşıldığına göre derinliğe doğru değişen tuzluluk etkin bir ses hızı yapısı olmaktadır. Ses hızı üst tabakalarda 1460 m/s değerinde iken alt tabakadaki tuzluluk artan

tuzluluğa bağılı olarak 1500 m/s değerine ulaşmaktadır. Pozitif gradyenli bu yapı yüzeyden deniz suyu içine gönderilen ses enerjisinin Snell yasası gereği yukarı doğru meyletmesini gerektirmektedir ki bu sonuçlarda (Şekil 20b) açık bir şekilde görülmektedir. Bu durum ses enerjisinin kaybına da yansımakta ve Şekil 20d'de sunulduğu gibi 70 m derinlikte 55 dB oranında bir kayıp olacağı hesaplanmaktadır.

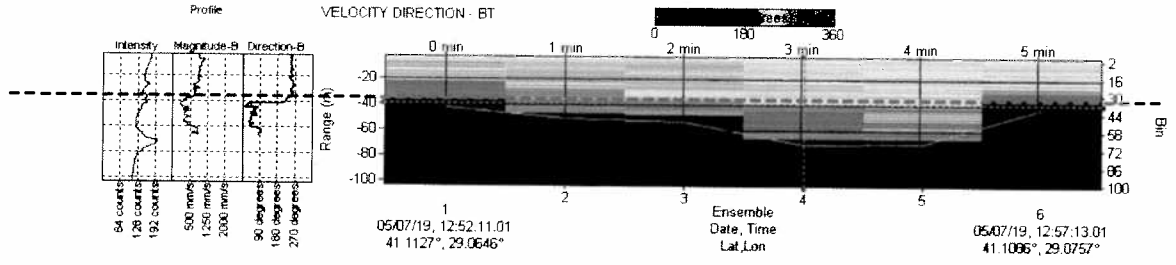
Ses sinyalinin tabaka geçişi esnasında kırılması ve bu büyük miktardaki enerji kaybı ADCP cihazının performansı üzerinde olumsuz etkiye sahip olacaktır. Ses enerjisinin bütünüyle tabakanın altına gitmemesi, dolayısı ile su içindeki askıdaki katı maddelere çarparak geri dönen sinyal üzerindeki dopler etkisinden yola çıkarak su parçacığının süratini hesaplayan bu cihaz alt tabaka için iyi neticeler vermeyecektir.

Ses sinyalinin tabaka altına penetrasyonu ile ilgili diğer bir husus da tabaka üzerinde biriken organik ve anorganik askıdaki malzeme miktarıdır. Alt ve üst su kütleleri arasında oldukça belirgin bir Sigma T (yoğunluk) farkı olması nedeniyle batmaya meyleden askıdaki katı maddeler ara tabaka üzerinde birikir. Bu birikim ses sinyalinin aynı şekilde alt akıntı bölgesine zayıflayarak girmesine sebep olur. Bu birikimin en güzel görülebileceği yer ışık geçirgenliği kayıtlarıdır. Aşağıdaki şekilde Şubat 2003 tarihinde Marmara Denizinde icra edilmiş bir transmisyon (geçirgenlik) kaybı grafiği görülmektedir. Bu bilgi 532 nm dalga boyunda çalışan, aralarında 20 cm mesafe olan bir ışık kaynağı ve alıcısı arasında gönderilen ışık enerjisinin yüzde kaçının kaynaktan alıcıya geçtiğinin ölçülmesi suretiyle üretilmiştir. Özellikle askıdaki katı malzemenin çok olması durumunda ışık enerjisi daha çok saçılma uğrayacak ve alıcı sensöre daha az oranda gelecektir. Şekil 21'de görüldüğü gibi % 75 – 80 aralığında bulunan ışık geçirgenliği tabaka derinliğinde (20 – 30 m aralığı) % 68 değerine düşmektedir. Bu bilgi bahsedilen derinlikte oldukça yoğun bir canlı – cansız madde birikimini göstermektedir. Işık enerjisi üzerinde görülen etkinin benzer şekilde, saçılma sebebi ile ADCP sinyali üzerinde de bir azalmaya sebep olacaktır.



Şekil 21. Marmara Denizi'nde icra edilmiş bir transmisyometre ölçüm sonucu

Gerek akustik enerjinin yön değiştirmesi, gerekse ara tabakadaki malzemeye çarpma sureti ile oluşan saçılma sebebi ile zayıflaması satıhtan gönderilen ADCP sinyalinin alt akıntı rejimine bu bölgede tam anlamı ile nüfuz edemeyeceği manasına gelmektedir. Bu durum toplanan akıntı verilerinde gözlenmiş olup, aşağıdaki şekilde bu durumun bir örneği gösterilmiştir. İstanbul Boğazı Çubuklu açıklarında, 05 Temmuz 2005 tarihinde yapılan ADCP ölçümünde bu durum çok açık bir şekilde görülmektedir. Şekil 22'de sağ tarafta görülen renkli grafik hat boyunca düşey olarak ölçülmüş akıntı yönü bilgisidir. Altta görülen mor renkli kesim alt akıntı rejimini, üstteki sarı bölge ise güneyli Karadeniz kökenli suyu göstermektedir. Ara tabakanın olduğu derinlik ise mavi kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Solda bulunan üç profil ise sırası ile düşey ekseninde 4 numaralı ölçüme ait, geri gelen sesin şiddeti, akıntı hızı ve akıntı yönüdür. Burada tabaka derinliği olan 35 – 40 m aralığında ses şiddetindeki artış açık bir şekilde görülmektedir. Bu durum az evvel ifade edilen akustik olayının ölçülen akıntı bilgisinde tezahürü olarak kabul edilmelidir. Intensity (ses şiddeti) başlıklı parametrenin en altından görülen uç değer ise deniz tabanından gelen yansımadır. ADCP cihazı bu şekilde aynen iskandil gibi dip derinliğini ölçmekte, buradan gelen sinyalin dopler etkisini hesaplayarak da yere göre tekne hızını ölçebilmektedir.



Şekil 22. Sinyal şiddeti, akıntı sürati ve yönü (Temmuz 2005, İstanbul)

3.5.2. Sıcaklık, iletkenlik, derinlik (CTD) ölçümleri

Fiziksel oşinografinin en temel parametreleri olan sıcaklık, tuzluluk ve yoğunluk CTD (Conductivity, Temperature and Depth) ölçer adı verilen cihazla ölçülür. CTD yüzeyden dibe doğru aşağı indirilerek profil şeklinde deniz suyunun sıcaklık, iletkenlik ve basınç değerlerini okur. CTD iletkenliği kullanarak belli ampirik formüllerle dayanarak tuzluluğu hesaplar, bilahare bu üç parametreyi (sıcaklık, tuzluluk, basınç) kullanarak her derinlik kademesi için yoğunluk ve ölçme cihazının o esnada bulunduğu derinliği hesaplar. Söz konusu deniz çalışmaları sırasında bu maksatla SeaBird marka SBE 25 veya SBE 19 model CTD'ler kullanılmıştır. SBE 25 bir saniyede sekiz ölçüm yaparken SBE 19 saniyede iki ölçüm yapmaktadır. Bu ölçümler istenen derinlik veya zaman aralığında ortalamaya tabi tutulabilmektedir. Bu tez çalışmasında kullanılan veriler her bir metre derinlik ortalamasında toplanmıştır. Cihazın deniz tabanına indirilme hızı 0.5 m/s civarında tutularak her bir metre derinlikte en az iki değer ölçmesi sağlanmıştır. Bu sayede özellikle tabaka derinliklerindeki hızlı değişimin tespit edilmesi hedeflenmiştir. Ancak yüksek akıntı hızı sebebi ile daldırılan CTD'nin salınımı, ölçüm teknesinin akıntı sebebi ile sürüklenmesi ve trafik sebebi ile her noktada uzun süre kalınmadığından ölçümlerin tamamında deniz tabanına kadar nüfuz edilememiştir. Bu cihazlardan SBE 19'un özellikleri Tablo 2'de sunulmuştur: Ayrıca şekil 23'te bu cihazın fotoğrafı verilmiştir.

Tablo 2. SBE 19 CTD cihazı teknik özellikleri

Parametre :	Ölçme Aralığı :	Doğruluğu :	Ayırım :
İletkenlik (S/m)	0 ile 7 arasında	± 0.001	± 0.0001
Sıcaklık (°C)	-5 ile +35	± 0.01	± 0.001
Derinlik (m)	0 ile 600	$\pm \% 0.25$	$\pm \% 0.015$



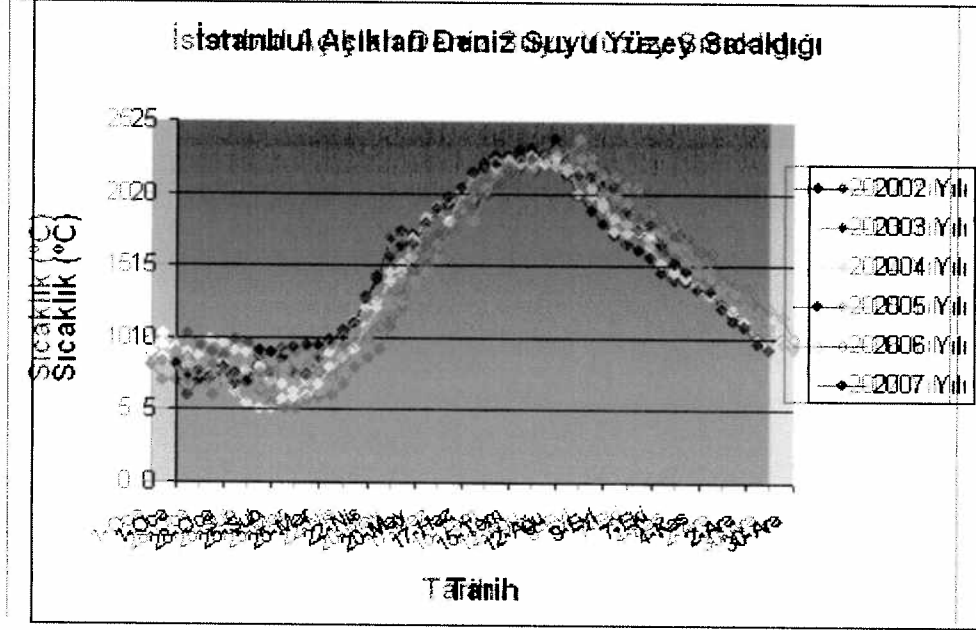
Şekil 23. SBE 19 CTD Cihazı

3.5.3. Uzaktan algılama

Ölçüm yapılan zaman aralığında ABD menşeli NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration) uydularına ait görüntüler Quorum marka uydu alıcı istasyonu ile indirilerek bölgenin yüzeydeki genel su dolaşım yapısı anlaşılmaya çalışılmıştır. NOAA uyduları ikisi görünür diğerleri kızılötesi bantlarda olmak üzere toplam beş bantta topladıkları görüntüyü gerçek zamanlı olarak yayınlamaktadırlar. Uydular güneşe eş zamanlı (senkron) kutupsal yörüngeye sahip olup uydular dünya üzerindeki herhangi bir mevkii üzerinden günde en fazla 2 – 3 görüntü alabilmektedirler. Görüntülerin yersel çözünürlüğü 1 km olduğundan büyük ölçekli analizler yapmak mümkün olmamakla beraber deniz yüzeyinin genel yapısının anlaşılması, su kütlelerinin cepheleşmesi ve karışım mekanizmalarının analiz edilmesi maksadı ile bu görüntülerden faydalanılmıştır. Ham uydu verileri çok büyük ebattaki verinin transfer edilebilmesi maksadıyla HRPT (High Resolution Picture Transmission) adı verilen

özel bir formatta sıkıştırılmış olarak yayınlanmaktadır. Bu veriler Map-X-Ocean adı verilen bir programla analiz edilerek deniz suyu yüzey sıcaklığı bilgileri üretilmiştir.

SHOD bünyesinde bulunan uydu alıcı sistemi İstanbul'da kuruludur. Ufuk mesafesi göz önünde bulundurulduğunda NOAA uydularından söz konusu sistem ile Hazar, Karadeniz, Marmara, Ege, Akdeniz ve Kızıldeniz'e ait görüntüler alınabilmektedir. Bu sistem ile alınan görüntülerden işlenerek Akdeniz ve Karadeniz'deki seçilmiş 10 nokta için üretilmiş deniz suyu sıcaklık bilgileri internet ortamında SHOD tarafından yayınlanmaktadır (www.shodb.gov.tr). İstanbul Boğazının Marmara Denizi çıkışına ait 2002 – 2007 arası deniz suyu yüzey sıcaklık değişimleri aşağıdaki Şekil 24'te gösterilmiştir.



Şekil 24. İstanbul Boğazı Marmara çıkışı deniz suyu yüzey sıcaklık değişimi (www.shodb.gov.tr)

Yararlanılan bir diğer kaynak da internet üzerinden temin edilen [h\(tp://modis.gsfc.nasa.gov\)](http://modis.gsfc.nasa.gov) MODIS (Moderate Range Imaging Spectrometer) uydusudur. MODIS verileri SEADAS isimli yazılımla işlenmiş ve Karadeniz girişinden Ege çıkışında

kadar olan bölgenin çalışma tarihlerindeki deniz suyu yüzey sıcaklık bilgileri üretilmiştir. Bu uydunun yersel çözünürlüğü 1000 m olup halen oşinografik maksatlarla açık kullanıma sahip en detaylı bilgilere bu kaynaklardan ulaşılabilmektedir.

3.5.4. Su seviyesi ölçümleri

Özellikle İstanbul Boğazındaki akıntı yapısı ve karışım mekanizmasının su seviyesi ile doğrudan ilişkisi bu tez kapsamında araştırılmıştır. Halk arasında “Orkoz” olarak tabir edilen ve güneyli rüzgarlar sebebi ile üst akıntının geleneksel yapının dışına çıkarak güney yerine kuzeye (Marmara’dan Karadeniz’e) akması durumu veya üst akıntının çok kuvvetli olması sebebi ile alt akıntıyı tamamen durdurması (bloke etmesi) durumlarının doğrudan su seviyesi ile alakalıdır. Şu ana kadar mevsime göre ve bu parametrelerin tamamının aynı anda ölçüldüğü bir veri kümesi olmaması sebebi ile bu çalışma büyük önem taşımaktadır.

Bölgenin genel akıntı yapısı ve su seviyesindeki ilişkinin bulunabilmesi maksadı ile İstanbul Boğazında; Karadeniz girişini temsilen Anadolu Kavağında, Marmara girişini temsilen Pendik’te ve bir adet de Taşkızak (Haliç)’ta olmak üzere üç noktada gelgit ölçer (mareograf) ile veri toplanmıştır. Bu maksatla bir Türk firması olan AKİM Elektronik imali OEL marka cihaz kullanılmıştır. Söz konusu cihaz denize düşey yerleştirilmiş bir boru içindeki şamandıranın düşey hareketinin sayısallaştırılması prensibi ile çalışmaktadır. OEL her bir dakikada bir ölçüm yapmakta ve bunun istenen zaman aralığında ortalamasını alabilmektedir. Bu tezde kullanılan veriler 10 dakikalık ortalamalardan oluşmaktadır.

3.5.5. Meteoroloji

Oşinografik yapı atmosfer ile her zaman etkileşim halindedir. Yağış ve ısınmadan kaynaklanan buharlaşma farklılıkları Akdeniz ve Karadeniz havzaları arasında iki temel oşinografik farklılığının oluşum sebebidir. Bunlardan birincisi daha az tatlı su girişi ve daha yüksek buharlaşma sebebi ile Akdeniz’de yaklaşık 40, Karadeniz’de yaklaşık 18 psu olan

tuzluluk farklılığıdır. İkincisi ise yine aynı sebeplerle oluşan Karadeniz'deki su seviyesinin nispeten daha yüksek olmasıdır. Tuzluluk farkı yoğunluğa tesir ederek yatay ekseninde bir basınç farkı oluşturur. Bu kuvvet Akdeniz suyunu Karadeniz'e iten en önemli güçtür. Aynı şekilde Karadeniz ile Akdeniz arasındaki su seviyesi farkı da Karadeniz suyunu Akdeniz'e hareket ettiren güçtür. Bu tezde Karadeniz ve Marmara arasındaki su seviyesi farklılığı araştırılmış olup takriben 33 cm civarında olduğu görülmüştür.

Yukarıda açıklanan temel etkilere ilave olarak mevsimlik yağış ve havzaya tatlı su girme mekanizmalarının etkisi ile mevsimlik/aylık ve rüzgar, basınç gibi meteorolojik faktörlerin saatlik seviyedeki değişiklikleri ile anlık meteorolojik farklılıklar yaşanmaktadır. Yağış ve buharlaşmadaki uzun dönemli (mevsimlik/aylık) değişim deniz suyundaki tuzluluk ve su seviyesi farkını değiştirirken rüzgar yüzey sürtünmesi ve su yığılımı sureti ile hem akıntı hızını artırmakta hem de su seviyesi farkını değiştirmektedir.

Deniz yüzeyi üzerindeki atmosferik basınç etkisi Proudman (1953) tarafından Ters Barometre Yasası (Inverted Barometer Law) ile açıklanmıştır. Bu yaklaşıma göre atmosferik basınçtaki 1 milibar artış su seviyesinde 1 cm düşmeye denk gelir. Literatürde bu farkın 2-3 cm'ye kadar çıkabildiğine dair sinoptik analizlere de rastlamak mümkündür (Rabinovich ve Monserrat, 1998)

Rüzgar, deniz yüzeyi ile oluşturduğu ara tabakada sürtünmeden kaynaklanan etki ile deniz sathına yatay yönde bir momentum transfer eder. Bu transferin sebep olduğu rüzgar ve deniz akıntısı arasındaki ilişki Pond ve Pickard (1983) tarafından aşağıdaki denklemlerle ifade edilmiştir.

$$\frac{V_0}{W_s} = \frac{0.0127}{(\sin|\Phi|)^{1/2}} \quad (\pm 10^\circ \text{ Enlemler dışında}) \quad 3.1$$

Burada,

V_0 = Deniz yüzeyindeki akıntı (m/s), W_s = Rüzgar hızı (m/s), Φ = Enlem derecesi($^\circ$)'dir.

Ampirik yaklaşımla oluşturulan bu ve benzeri denklemlerde değişik şartlarda yapılan ölçümlerde esen rüzgarın süratinin % 2 – 5 arasında değerlerde deniz akıntısı oluşturduğu gözlenmiştir. Bu durumda İstanbul Boğazı'ndaki akıntı üzerinde rüzgarın büyük bir etkisinin olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır.

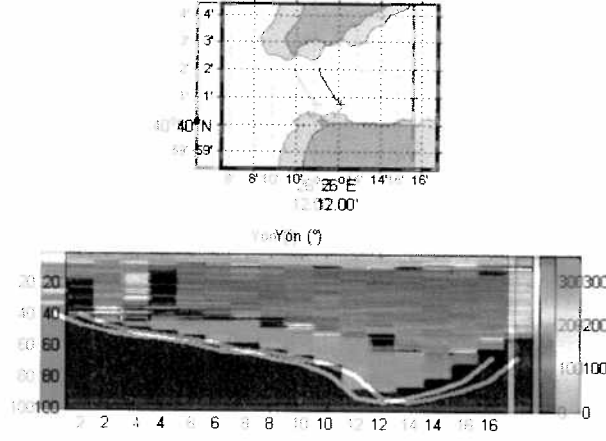
Yukarıda izah edilen sebeplerle, oşinografik mesahalar esnasında İstanbul Boğazı ve Çanakkale'de kayıt edilen hava sıcaklığı, basıncı ile rüzgar yön ve şiddeti bilgileri DMİ Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Anılan veriler saatlik zaman serisi olup, İstanbul Boğazı kuzey girişi temsilen Sarıyer, Marmara girişini temsilen Florya istasyonlarından alınmıştır. Aynı döneme ait Çanakkale şehir merkezinde bulunan ölçüm istasyonunda toplanan veriler de analiz edilmiştir. TBS'nin oşinografik yapısının meteorolojik faktörlerle ilişkisi bu tezde detaylı olarak incelenmiştir. Özellikle İstanbul Boğazındaki alt veya üst akıntının durma uç durumları ile bunların su seviyesi ve rüzgarla ilişkisi hakkında ayrıntılı analizler yapılmıştır.

3.5.6. Su bütçesi hesaplamaları

Bu tez çalışmasına esas teşkil eden deniz çalışmalarında her iki boğazda 10 gün içinde akıntı ve CTD ölçümleri icra edilerek eş zamanlı denecek sürede şartlar kayda geçirilmiştir. Doğu – batı (enlemesine) icra edilen ADCP hatlarında 60 saniyelik ortalama akıntı değerleri kullanılmış, Matlab yazılım dilinde geliştirilen bir algoritma ile alt ve üst akıntılar ayrı ayrı birer metrelik gridler (ağlar) halinde bölünmüştür.

ADCP cihazından aktarılan akıntı verisi öncelikle bir harita üzerine çizilerek mevki doğruluğu kontrol edilmiş, ölçüm yapılan hattın sahile göre hangi noktalar arasında bulunduğu ve ölçümün hangi istikamette yapıldığı görülmüştür. Ölçüm yapılmaya başlanan nokta kırmızı artı ('+') işareti ile gösterilmiştir. Bu sayede bütün veriler solda Trakya, sağda Anadolu olacak şekilde analiz edilmiştir. Bu maksatla hazırlanan Çanakkale Boğazı Ege çıkışına ait örnek bir görüntü Şekil 25'te sunulmuştur. Haritanın altında yer alan diğer grafik ise akıntı yönünü göstermektedir ve kuzey yönü 0 derece ile temsil edilmektedir. Akıntı yönü

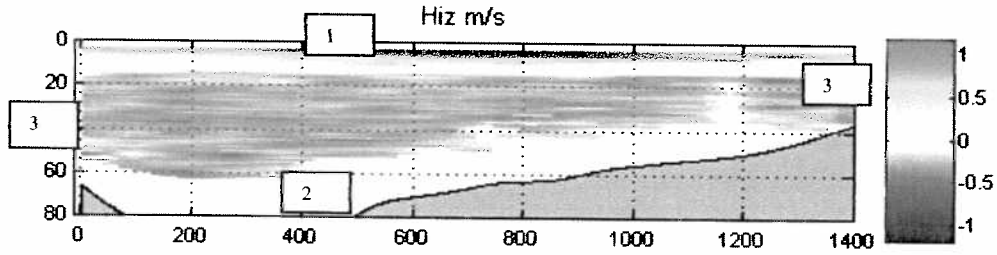
haritasında yer alan kalın beyaz çizgi ise ADCP cihazından alınan derinlik bilgisinden üretilen deniz tabanı derinliğidir.



Şekil 25. Akıntı mevkii haritası ve akıntı yön bilgileri (Çanakkale Boğazı, düşey eksen derinlik, birim m)

ADCP verilerinde dibe yakın bölgelerde veri kalitesi düşmektedir. Şekil 25'de tabanın hemen üzerinde görülen kırmızı bölge güney yönlü üçüncü bir akıntı olmayıp hatalı veridir. Bu bölgede bulunan düşük kaliteli veriler ADCP üzerindeki dört transdüser tarafından toplanan her bir veri kendi arasındaki korelasyon göz önünde bulundurularak sahip oldukları uyum doğrultusunda bir kalite kontrol kodu ile ilişkilendirilmektedir. Kalitesiz veriler veri kümesinden ayıklanmakta ve debi hesaplamalarında sadece yüksek kaliteli veriler kullanılmaktadır. Kaliteli veri akıntı vektörünün akış istikametine (genelde kuzey bileşenine) göre değerlendirilerek ayırt edilmekte ve ikinci bir defa işleme tabi tutularak akış yönüne göre alt - üst akıntıları birbirinden ayrılmaktadır. Söz konusu işlemler Matlab yazılımı ile kullanılarak gerçekleştirilmiştir ve bu maksatla üretilmiş örnek bir grafik Şekil 26'da sunulmuştur. Ölçüm bilgileri enlem – boylamdan mesafeye (metre) çevrilmiştir. Aşağıdaki şekilde Çanakkale Boğazı Ege Denizi çıkışına ait; sırası ile kesitin yön grafiğinin tamamı, hız grafiğinin tamamı, kalitesiz veriler ayıklandıktan sonra üst ve alt akıntının hız grafiği bulunmaktadır. Her iki su kütlesi, akıntı yönündeki farklılığın algılanması ile birbirinden ayrılmıştır

Bu işleme ilave olarak ölçümün başlangıç yönünden bağımsız olarak bütün grafiklerde sağ taraf doğu, sol taraf batı olacak şekilde çizilmiştir. Bu sayede ölçümün başlangıcı ve sonu olarak nisbi bir yaklaşım değil, bütün hesaplamala ve grafiklendirmede pusula yönleri esas alınarak tutarlılık sağlamıştır. Şekil 25 ve 26 aslında aynı veri kümesi olmasına rağmen bu sebeple yatay eksende simetrik olarak ters çevrilmiştir.



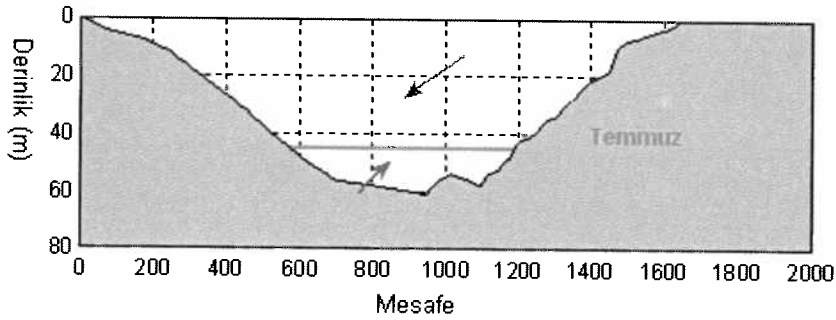
Şekil 26. Çanakkale Boğazı Ege çıkışı Temmuz 2005 dönemi akıntı düzey kesit görünümü. *

Şekil 25 ve 26'de görüldüğü üzere deniz aracının sahile derinlik ve manevra sebebi ile belli bir mesafeye kadar yaklaşabilmesi, akıntı verisinin kıyılarda toplanmasına imkan tanımamaktadır. Aynı zamanda ADCP cihazının ilk üç metre derinlikte bir kör saha ve deniz tabanına doğru inildikçe, yaklaşık 40 m derinlikten itibaren, kabul edilmeyen kalitesiz verilerin bulunduğu bir kesit mevcuttur. Bu durum ölçülen ve kullanılacak olan veri kümesinin kesit alanının sadece belli bir alanını kapsadığını göstermekte ve hesaplamalarda bir takım yaklaşımların olmasını gerektirmektedir. Bu şartlar altında kesitin tamamının ifade edilebilmesi maksadıyla iki ayrı yaklaşım denenmiştir.

1. Ortalama metodu olarak ifade edilen ilk yaklaşımda alt ve üst akıntı grupları kendi içlerinde birer metre aralıklarla hücrelere ayrılmıştır. Veri kümesi içinde bulunan her bir metre karelik hücre öncelikle akış istikametine göre alt ve üst akıntı rejimi olarak tasnif edilmiştir.

* Su Sathında Bulunan Üç Metre Kalınlığındaki Boş Kesim (1), Dibe Yakın Bölgelerdeki Kabul Edilmeyen Hatalı Verilerin Oluşturduğu Boşluk (2) ve Sahilin Sıfır Noktasına Gemi İle Yanaşamamaktan Kaynaklanan Ölçülemeyen Saha (3)

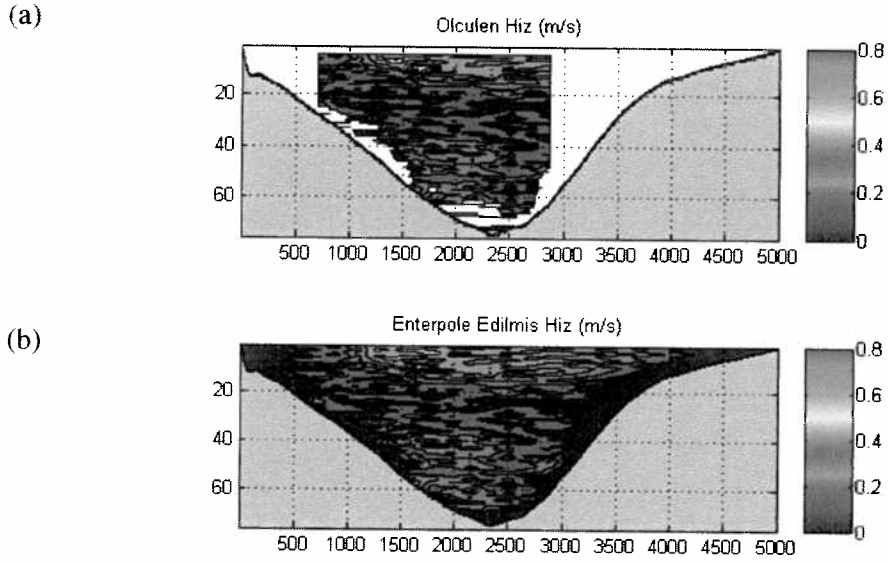
Bir sonraki adım olarak üst akıntı içinde bulunan hücrelerin hız değeri artı, alt akıntı içindeki hücrelerin hızı ise eksi olarak alınmış ve her iki grubun kendi içinde ortalamaları bulunmuştur. Toplanan veri takımı analiz edilerek yaklaşık bir tabaka derinliği bulunmuştur. Harita üzerinden sayısallaştırılarak elde edilen batimetri kesidinin tabaka altında kalan alanı ortalama alt akıntı hızı ile, tabaka üstünde kalan alan ise üst akıntı değeri ile çarpılarak toplam alt ve üst akıntı değerleri hesaplanmıştır. Bu yaklaşımda bütün kesit boyunca her iki tabaka için ölçüm ortalamasının sabit ve tabakanın da tam yatay eksende doğrusal olduğu kabul edilmiştir (Şekil 27). Ortalama yaklaşımı tabakalaşmanın bütün kesit boyunca düz değildir ve özellikle döngülerin olduğu kıyıya yakın bölgeler için hatalı sonuçlar verebilmektedir.



Şekil 27. Ortalama metodunda kabul edilen tabakalaşma yapısı ile alt ve üst akıntıların şematik gösterimi.

2. Entropolasyon olarak adlandırılan diğer bir yöntem ise batimetri kesidi üzerine ölçülen akıntının yerleştirilmesi, birer metre karelik gridlere (ağlara) bölünmesi, her gridin akım yönüne göre alt ve üst tabaka olarak tasnif edilmesi ve deniz tabanı boyunca akıntının sıfır olduğunun kabul edilerek mevcut ölçümün deniz tabanına doğru kübik olarak enterpole (iç değerlendirme) edilmesini öngörmektedir. Yüzeydeki ilk üç metrelik kör saha olarak adlandırılan kesim her iki yaklaşımda da ölçülen ilk üç metre ile (hakikatte 4, 5 ve 6. metreler) aynı kabul edilmiştir. Bu yaklaşımla kanalın orta kesiminden sahile (kenarlara) doğru gidildikçe azalan bir akıntı yapısı öngörülmüştür. Bütün kesiti kapsayan akıntı verisi alt ve üst olarak yine yöne bağlı olarak ayırt edilmiş ve müstakilen entegre edilerek toplam akıntı hesaplanmıştır. Verinin az olması durumunda, kıyıda ulaşılması gereken sıfır (0) değerine daha çabuk ulaşılmakta ve bu durum hem enterpolasyon hem de ortalama metodunun zayıf tarafını oluşturmaktadır.

İstanbul Boğazı Karadeniz girişinde icra edilen akıntı ölçümü haritadan alınmış derinlik üstünde gösterildiğinde kapladığı saha ve ekstrapole (dış değerleme) edilerek üretilen veri kümesine ait grafik Şekil 28’de sırası ile gösterilmiştir.



Şekil 28. Çanakkale Boğazı Marmara çıkışında akıntı hız vektörünün kuzey bileşeni (a) Ölçülmüş ve (b) Bütün kesite enterpole edilmiş

IV. BULGULAR

4.1. Boğazlarda Orta Hat Boyunca Akıntı Hızı, Sıcaklık, Tuzluluk ve Yoğunluk İlişkisi

Her iki boğazda yakın zamanlı olarak yapılan ADCP ve CTD ölçüm neticeleri müteakip sayfalarda sunulmuştur. Gerek akıntı gerekse sıcaklık – tuzluluk ilişkilerinde görüldüğü üzere tabakalaşma mevsime göre değişiklik arz etse de hafif suyun üstte, ağır suyun altta olduğu, üst tabakanın güneyde ince, kuzeye doğru çıkıldıkça derinleştiği bir yapı görülmektedir. Her iki su kütlelerinin de boğaz boyunca etkileşim içinde olduğu ve karışım sonucunda sıcaklık ve tuzluluk değerlerinde bir değişim olduğu ayrıca göze çarpmaktadır. Yoğunluk yapısının oluşumunda sıcaklıktan daha ziyade tuzluluk değeri etkilidir.

Çanakkale Boğazının Ege çıkışında Karadeniz kökenli üst tabakanın sadece 5 – 10 m kalınlıkta olduğu, buna karşılık Marmara tarafında ise üst tabakanın 20 – 30 m kalınlığa ulaştığı görülmektedir. Benzer şekilde İstanbul Boğazında Marmara girişinde 20 – 25 m olan tabaka, kuzeye doğru yükselip Karadeniz çıkışına gelindiğinde 40 – 50 m kalınlığa ulaşmaktadır. Bu durum her iki boğaz'da da üst tabakanın kuzeye doğru çıkıldıkça, alt tabakanın da güneye doğru inildikçe kalınlaşan bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

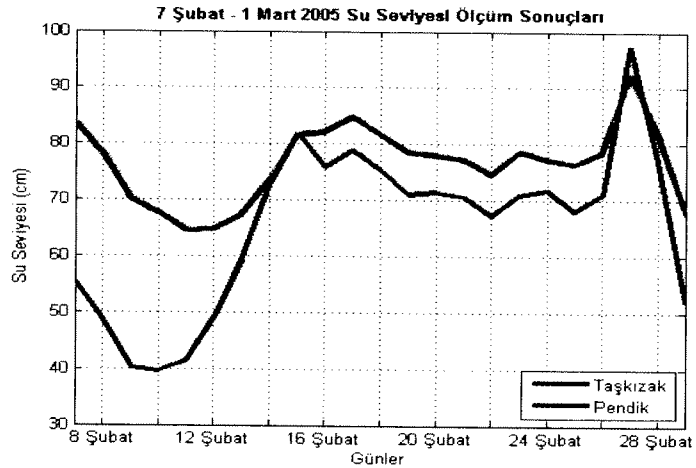
Akıntı hızı grafiklerinde alt akıntı yeşil ve mavi, üst akıntı ise sarı ve kırmızı renklerle gösterilmiştir. Sarı renk 0 – 0.5 m/s, kırmızı ise daha büyük hızları belirtmekte, aynı şekilde yeşil ve mavi ise sırası ile 0 – 0.5 m/s ve 0.5 ve daha büyük olan fakat ters yöndeki hızları göstermektedir.

Akıntı hızı, sıcaklık, tuzluluk ve yoğunluk grafiklerinde düşey eksen ile metre cinsinden derinlik, yatay eksen ise Çanakkale Boğazında boylam, İstanbul Boğazında ise enlem gösterilmiştir.

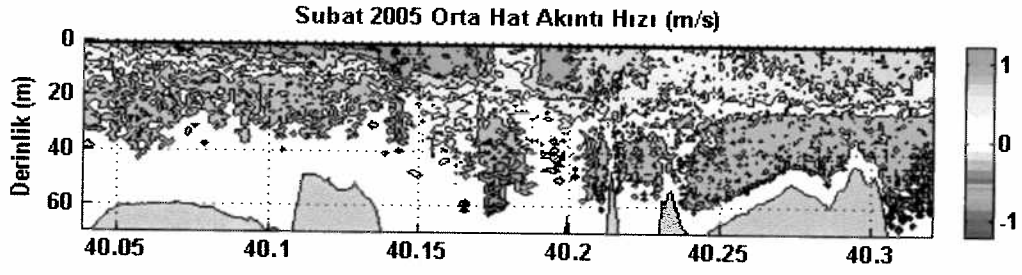
4.1.1. Kış mevsimi (Şubat 2005) ölçüm sonuçları

14 – 22 Şubat 2005 tarihlerinde icra edilen deniz çalışmalarında meteorolojik şartlar mevsim normalleri içerisindeydi. Hava sıcaklığı 4 – 12 °C aralığında değişmiş, rüzgar 3 – 15 m/s hızında ve genelde kuzey – kuzeydoğu yönlerinden esmiştir. Çalışmalar esnasında herhangi bir büyük cephe geçişi yaşanmamış, atmosferik şartlar mutedil bir yapı arz etmiştir. Hava şartlarına dair elde edilen kayıtlar EK-1’de sunulmuştur.

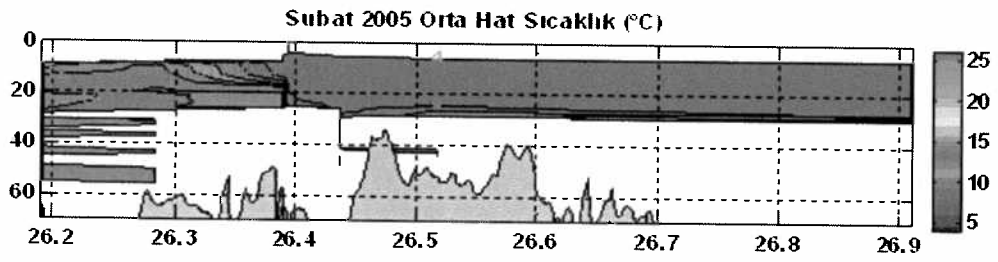
İstanbul Boğazının kuzey ve güney girişlerini temsil etmek üzere Anadolu kavağı ve Pendik’te, ayrıca Haliç Körfezinde (Taşkızak) ulusal eşelle irtibatlandırılmış mareograf istasyonlarında su seviyesi ölçümü yapılmıştır. Büyük bir şanssızlık eseri Şubat 2005 döneminde Anadolu Kavağı istasyonu arızalı olduğu için kayıt alınmamıştır. Taşkızak ve Pendik istasyonlarına ait günlük ortalama veriler Şekil 29’da, akıntı hızı, sıcaklık, tuzluluk ve yoğunluk grafikleri Şekil 30 ve 31’de sunulmuştur. Ölçümlerde İstanbul Boğazı Marmara girişinin takriben ulusal sıfırdan yaklaşık 76 cm civarında yukarıda olduğu görülmekte, fakat maalesef Karadeniz girişi ile olan ilişkisi görülememektedir.



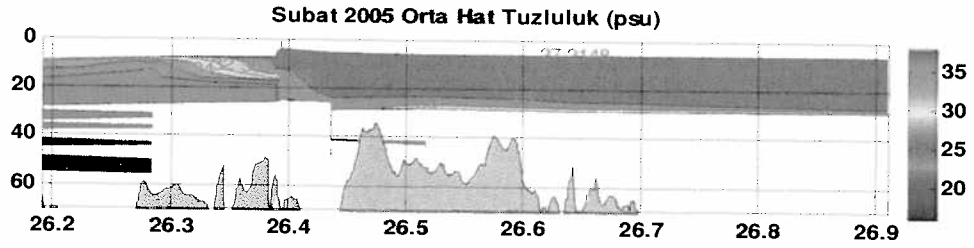
Şekil 29. Kış dönemi Taşkızak ve Pendik istasyonlarında ölçülen su seviyesi bilgileri



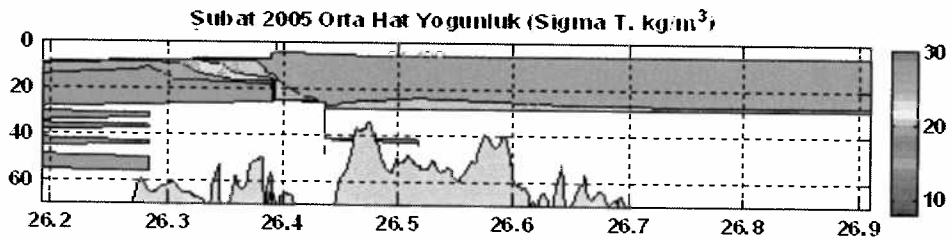
(a) Akıntı hızı (Yatay eksen boylam)



(b) Sıcaklık

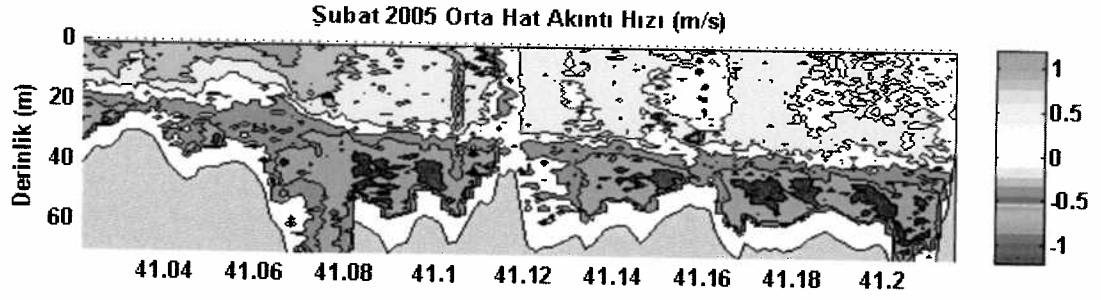


(c) Tuzluluk

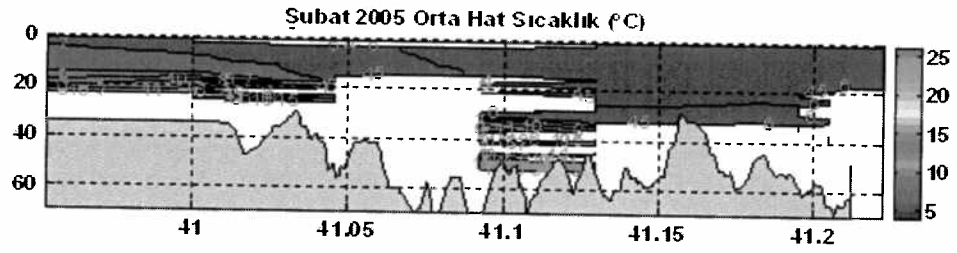


(d) Yoğunluk

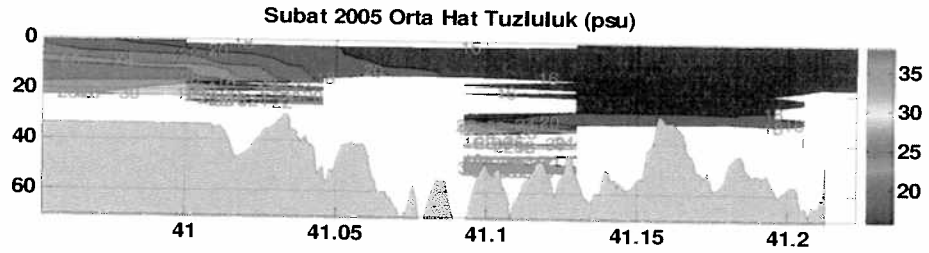
Şekil 30. Çanakkale Boğazı Şubat 2005 dönemi oşinografik bilgileri



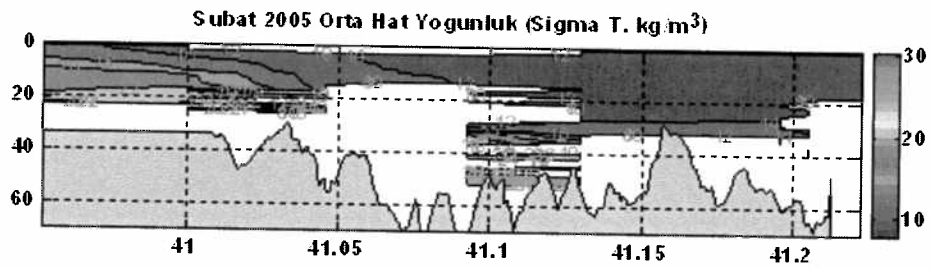
(a) Akıntı hızı (Yatay eksen enlem)



(b) Sıcaklık



(c) Tuzluluk



(d) Yoğunluk bilgileri

Şekil 31. İstanbul Boğazı Şubat 2005 dönemi oşinografik bilgileri

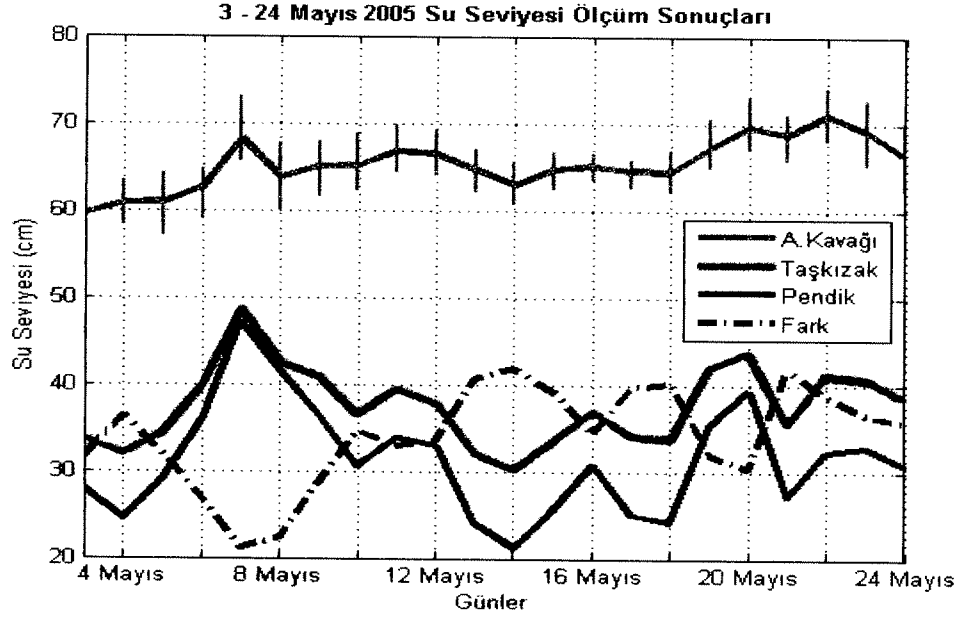
4.1.2. İlkbahar mevsimi (Mayıs 2005) ölçüm sonuçları

10 – 18 Mayıs 2005 tarihlerinde icra edilen deniz çalışmalarında hava sıcaklığı geceleri 12 – 15 °C aralığında gündüzleri ise 20 – 22 °C aralığında değişmiştir. Rüzgar genelde doğu / güney doğu istikametinden eserken 12 Mayıs 2005 tarihinden itibaren Marmara üzerindeki etkin yüksek basınç cephesi sebebi ile ani ve kararlı bir şekilde kuzeyden esmeye başlamıştır. Rüzgar sürati İstanbul'da bulunan istasyonların her ikisinde de 1.5 – 2 m/s , sadece cephe geçiş aralığı olan 12 – 16 Mayıs 2005 arasında 3 – 5 m/s hızlarında esmiştir. Çanakkale'de ise rüzgar nispeten şiddetli esmiş olup, gündüzleri 7 m/s hıza kadar artan değerlere ulaşmıştır. Çanakkale'de rüzgar hızındaki ilginç olan husus akşam periyotlarında İstanbul'daki değerle büyük ölçüde aynı olup gündüz saatlerinde nerede ise iki kat artarak zaman zaman 9 m/s değerine kadar ulaşmıştır. Cephe geçişi esnasında Çanakkale'de de rüzgar hızında belirgin bir artış gözlenmiştir.

Meteorolojik şartlara ilişkin dönem içindeki ilginç bir gözlem de hava basıncı ile ilgilidir. İstanbul Boğazının Karadeniz girişine nisbetle Marmara tarafında hava basıncı ortalama 2 mbar, Çanakkale'de ise yaklaşık 8 mbar daha yüksek ölçülmüştür. 12 Mayıs 2005 tarihinde yaşanan yüksek basınç geçişi bütün bölgelerde hissedilmiş, hava basıncını İstanbul'da 1010 mbar seviyesinden 1015 mbar seviyesine, Çanakkale'de ise 1015 mbar'dan 1020 mbar'a yükselmiştir. 14 Mayıs 2005'te hava basıncı her iki bölgede de en yüksek değerlere ulaşmış, 16 Mayıs itibarıyla da cephe geçişi öncesi normal değerlere inmiştir. Hava şartlarına dair elde edilen kayıtlar EK-1'de sunulmuştur.

İstanbul Boğazının kuzey ve güney girişlerini temsil etmek üzere Anadolu Kavağı ve Pendik'te, ayrıca Haliç Körfezinde (Taşkızak) ulusal eşelle irtibatlandırılmış mareograf istasyonlarında su seviyesi ölçümü yapılmıştır. Ölçüm sonuçları Şekil 32'de sunulmuştur. Ölçümler her 10 dakikada bir veri almak üzere icra edilmiş olup veriler günlük ortalama olarak grafiklere yansıtılmıştır. Her üç istasyona ait günlük ortalamalar farklı renklerle gösterilmiştir. Siyah kesik çizgilerle cm cinsinden Anadolu Kavağı ve Pendik arasındaki su seviyesi farkı ayrıca hesaplanarak İstanbul Boğazının güney ve kuzey çıkışları arasındaki su seviyesi farkını sembolize etmek üzere ayrıca gösterilmiştir. Anadolu Kavağı istasyonuna ait

kırmızı çizgi üzerinde görülen pembe renkli düşey çizgi ile yatay eksende bulunan tarih içinde su seviyesindeki minimum – maksimum değışiklik zarfı gösterilmiştir.



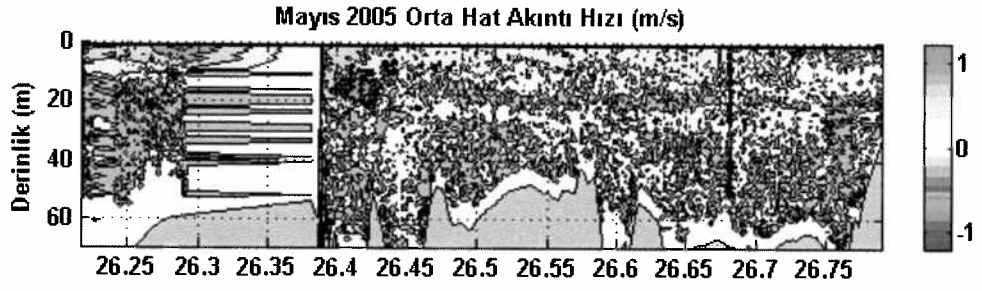
Şekil 32. İlkbahar dönemi Anadolu Kavağı, Taşkızak ve Pendik istasyonlarında ölçülen su seviyesi bilgileri *

12 – 16 Mayıs 2005 tarihleri arasında yaşanan cephe geçişi rüzgar şiddetinde yaklaşık 9 m/s ve hava basıncında 5 mbar civarında bir artışa sebep olmuştur. Rüzgar yönü ise doğu – güney doğudan, kuzey – kuzey doğu istikametine dönmüştür. Bu şartlar altında Anadolu Kavağı istasyonunda cm mertebesinde çok az bir düşüş görülürken, İstanbul Boğazı'nın güneyinde, Anadolu yakasında, bulunan Pendik istasyonunda su seviyesi yaklaşık 12 cm civarında azalmıştır. İstanbul Boğazının Karadeniz ve Marmara çıkışları arasındaki nisbi su seviyesi farkı buna bağlı olarak 34 cm iken 42 cm'ye çıkmıştır. Kuvvetli kuzeyli rüzgara bağlı olan Pendik istasyonundaki ani su seviyesi düşmesinin sebebi olarak yüzey yığılmasının (surge) olduğu değerlendirilmektedir.

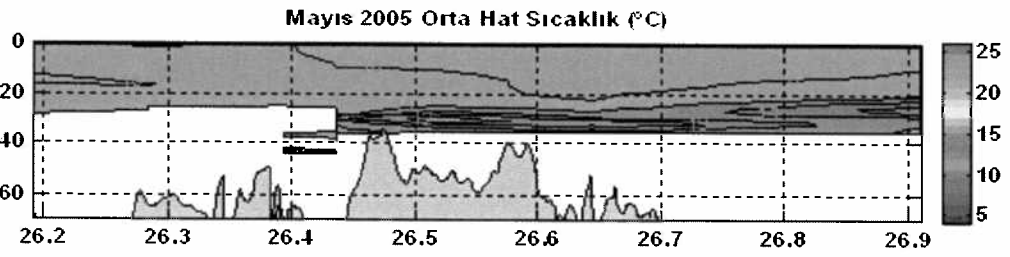
Çanakkale Boğazında gözlenen kanal boyunca akıntı, deniz suyu sıcaklığı, tuzluluğu ve yoğunluğuna ait değerler Şekil 33'te sunulmuştur. İstanbul Boğazına ait gözlem sonuçları ise

* Anadolu Kavağı ve Pendik istasyonları arasındaki su seviyesi farkı siyah kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Gün içindeki değışiklikler ise sadece Anadolu Kavağı istasyonu için tespit edilmiş ve kendi veri seti üzerinde düşey pembe renkle gösterilmiştir. (10 - 17 Mayıs 2005)

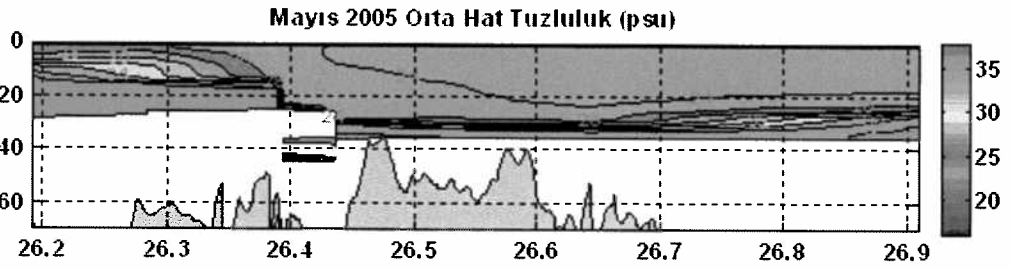
Şekil 34'te bulunmaktadır. Su seviyesindeki 40 cm civarında oluşan seviye farkının İstanbul Boğazındaki akıntı yapısına etkisinin alt akıntının tamamen bloke olma (durma) seviyesinde zayıflaması gerektiği Di Iorio ve Yüce (1999) tarafından yapılan sinoptik ve Oğuz v.d.(1990) tarafından yapılan teorik çalışmalarda ifade edildiği gibi bu gözlemde de tespit edilmiştir. Şekil 34a'da görüldüğü gibi alt akıntı özellikle İstanbul Boğazı'nın kuzey kesimlerinde tamamen kaybolmuş, Şekil 34b, c ve d'de görüldüğü üzere kuzey sığınağına yakın bir bölgede durduğu görülmektedir.



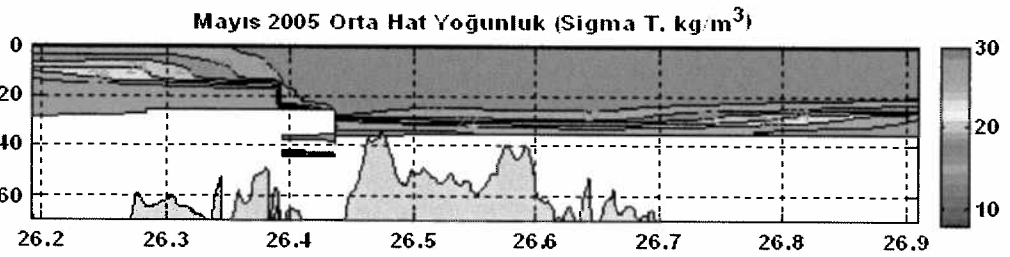
(a) Akıntı (Yatay eksen boylam)



(b) Sıcaklık

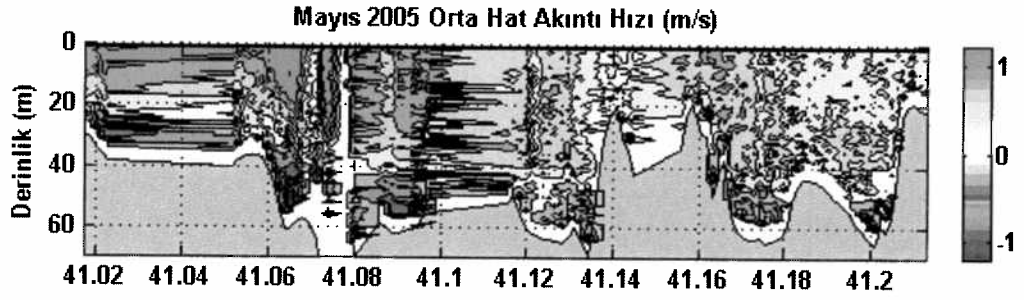


(c) Tuzluluk

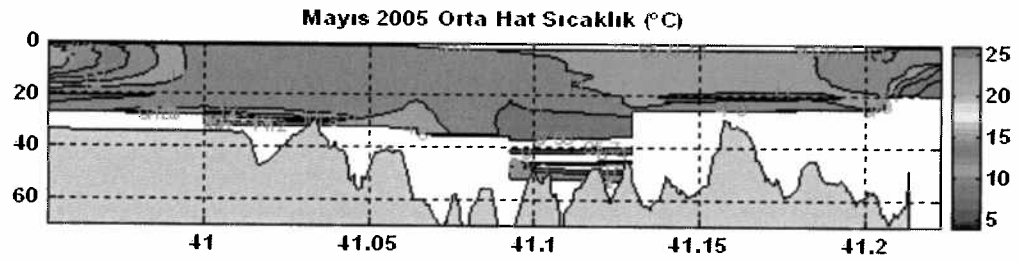


(d) Yoğunluk

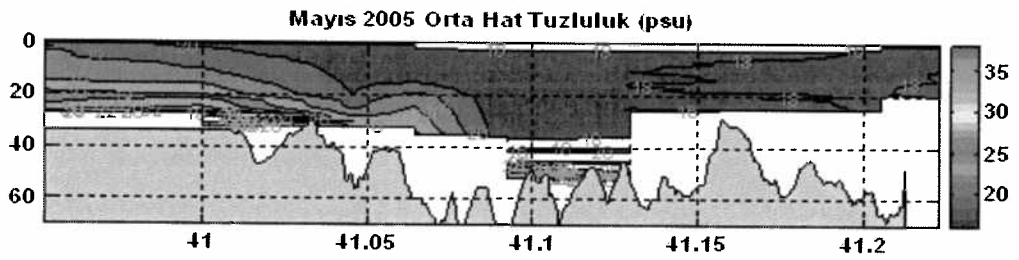
Şekil 33. Çanakkale Boğazı Mayıs 2005 dönemi oşinografik bilgileri



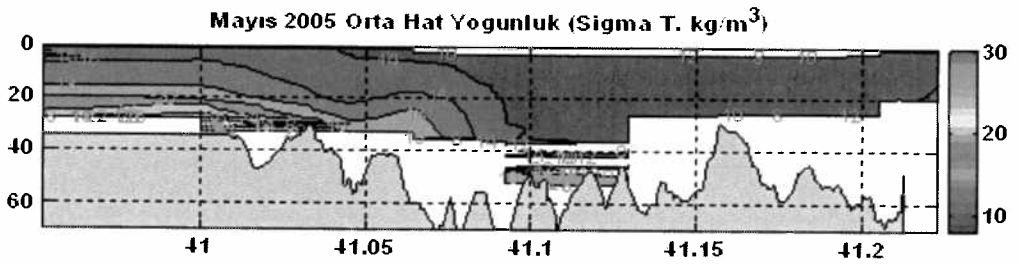
(a) Akıntı (Yatay eksen enlem)



(b) Sıcaklık



(c) Tuzluluk



(d) Yoğunluk

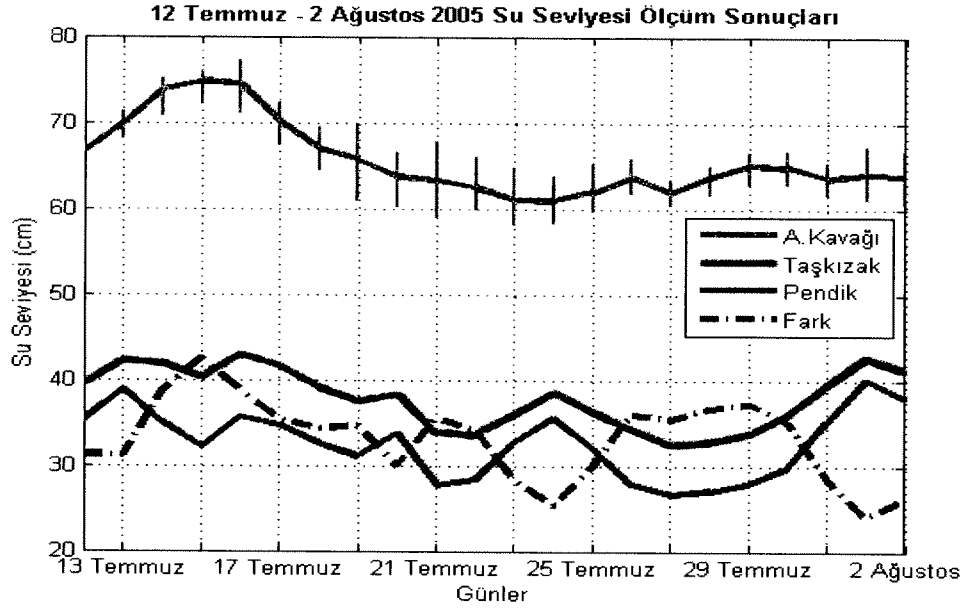
Şekil 34. İstanbul Boğazı Mayıs 2005 dönemi oşinografik bilgileri

4.1.3. Yaz mevsimi (Temmuz 2005) ölçüm sonuçları

19 – 27 Temmuz 2005 tarihlerinde icra edilen deniz çalışmalarında hava sıcaklığı geceleri 20 – 22 °C aralığında gündüzleri ise 28 – 32 °C aralığında değişmiştir. Rüzgar genelde kuzey doğu istikametinden esmiş, Florya istasyonunda 19 - 21 Temmuz 2005 arasında zaman zaman güneye değiştiği görülmüştür. Çalışma süresince hava şartlarında mevsim normalleri içerisinde seyretmiş herhangi bir meteorolojik anormalliğe rastlanmamıştır. Rüzgar sürati İstanbul'da bulunan istasyonların her ikisinde de 1.8 – 2.2 m/s, Çanakkale'de ise 4.3 m/s hızla esmiş olup, gündüzleri 8.1 m/s hıza kadar artan değerlere ulaşmıştır. Çanakkale'de rüzgar hızındaki ilginç olan husus akşam periyotlarında İstanbul'daki değerle büyük ölçüde aynı olup gündüz saatlerinde nerede ise iki kat artarak zaman zaman 9 m/s değerine kadar ulaşmasıdır.

Hava basıncı değerlerinin bütün çalışma süresince ortalaması alındığında bölgesel farklar açısından Mayıs ayına benzer bir durum görülmektedir. Dönem ortalaması Kireçburnu istasyonunda 1005.3 mbar, Florya'da 1006.7 mbar ve Çanakkale'de 1011.8 mbar olmuştur. EK-1'de sunulan saatlik kayıtlar incelendiğinde İstanbul Boğazının Karadeniz girişine nisbetle Marmara tarafında hava basıncı ortalama 2 mbar, Çanakkale'de ise yaklaşık 8 mbar daha yüksek görülmektedir.

19 – 26 Temmuz 2005 tarihleri arasında, İstanbul Boğazında, ulusal eşelle irtibatlanmış üç istasyonda su seviyesi ölçümü icra edilmiştir. İstanbul Boğazı'nın Karadeniz girişini temsilen Anadolu Kavağı'nda, Taşkızak ve Boğazın güney girişini temsilen de Pendik'te toplanan kayıtlar aşağıdaki grafikte gösterilmiştir. Toplanan veriler bir uyum arz etmesi maksadıyla bütün aylar aynı renkte işaretlenmiş, Anadolu Kavağı ve Pendik istasyonları arasındaki su seviyesi farkı siyah kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Gün içindeki değişiklikler ise sadece Anadolu Kavağı istasyonu için tespit edilmiş ve kendi veri seti üzerinde düşey pembe renkle gösterilmiştir (Şekil 35).



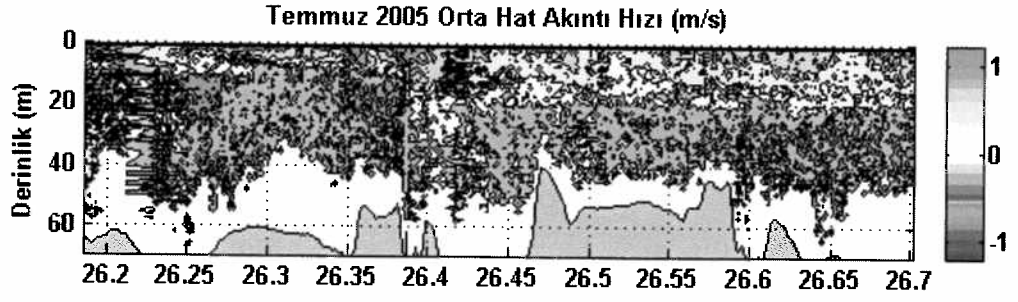
Şekil 35. Anadolu Kavağı, Taşkızak ve Pendik istasyonlarında ölçülen su seviyesi bilgileri *

Şekil 35’de sunulan su seviyesi kayıtları incelendiğinde; 19 – 26 Temmuz 2005 döneminde Marmara ve Karadeniz arasında ortalama olarak 32 cm, Marmara ve Haliç arasında ise yaklaşık 6 cm su seviyesi farkı olduğu görülmektedir. Anadolu Kavağı istasyonunda gün içinde 5 ile 10 cm arasında değişmektedir. 19 – 20 Temmuz 2005 tarihinde İstanbul Boğazı’nın Karadeniz girişinde rüzgar kuzeyli, Marmara girişinde ise güneyli esmesi sebebi ile Pendik’te su seviyesi yükselmiş, nisbi olarak aradaki fark da yaklaşık 5 cm düşüş kaydetmiştir. Her iki bölgede de rüzgarın nisbeten kuvvetlenip kuzeye dönmesi ile 21 Temmuz 2005’ten itibaren fark 30 cm’den 35 cm’ye çıkmıştır. Karadeniz ve Marmara’da su seviyesi değişimleri kendi dinamikleri ile bağımsız olarak hareket ederken Haliç’in coğrafi yakınlığı sebebi ile Karadeniz’e göre Marmara Denizi’ni daha yakın bir faz açısı ile takip ettiği görülmektedir.

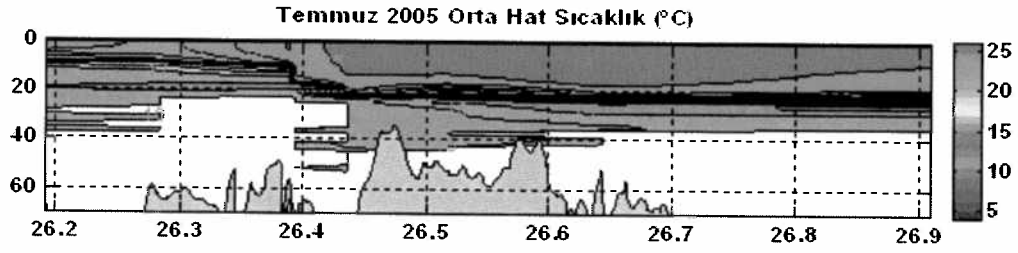
Karadeniz’e su girişinin yoğun yağış ve eriyen kar sularının taşındığı nehir sularının artması sebebi ile ilkbahar ve yaz döneminde diğer mevsimlere göre fazla olduğu

* Anadolu Kavağı ve Pendik istasyonları arasındaki su seviyesi farkı siyah kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Gün içindeki değişiklikler ise sadece Anadolu Kavağı istasyonu için tespit edilmiş ve kendi veri seti üzerinde düşey pembe renkle gösterilmiştir. (19 – 26 Temmuz 2005)

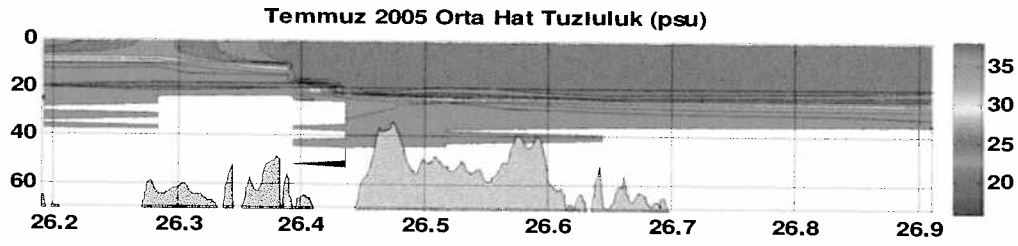
bilinmektedir. Bu durumda İstanbul Boğazındaki üst akıntının özellikle kuzeyli rüzgarların varlığında yüzey sürtünmesi sebebi ile, sonbahar ve kışa göre daha da kuvvetli olması gerekmektedir. Şekil 36 ve 37’de sırası ile Çanakkale ve İstanbul Boğazlarındaki düşey eksende akıntı hızı, sıcaklık, tuzluluk ve yoğunluk verileri gösterilmiştir. Akıntı şiddetinin Mayıs ayına (İlkbahar dönemine) göre her iki Boğaz’da da daha kuvvetli olduğu, ancak su seviyesi farkının kritik değer olan 40 – 45 cm aralığına ulaşamamış olması sebebi ile İstanbul’da alt tabakada bir blokaj (tam durma) yaşanmamıştır. Model (Oğuz v.d. 1990) ve gözlem (Di Iorio ve Yüce 1999) sonuçları Karadeniz ve Marmara havzaları arasındaki su seviyesi farkının İstanbul Boğazı’nda 40 – 45 cm aralığında bulunduğu oluşmuş barotropik zorlamanın alt tabakaya hareket veren baroklinik zorlamayı yenerek alt akıntının durmasına sebep olduğunu ifade edilmiştir.



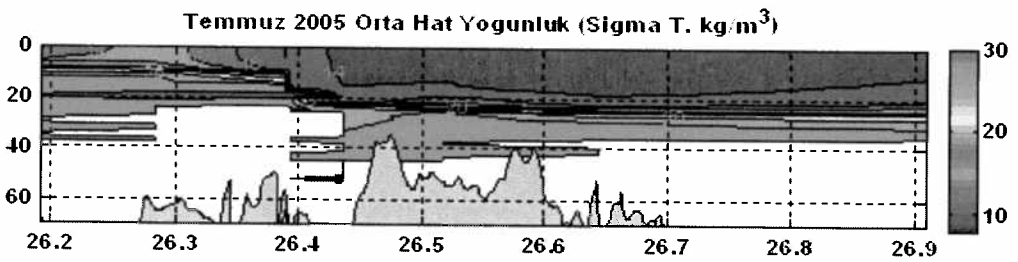
(a) Akıntı (Yatay eksen boylam)



(b) Sıcaklık

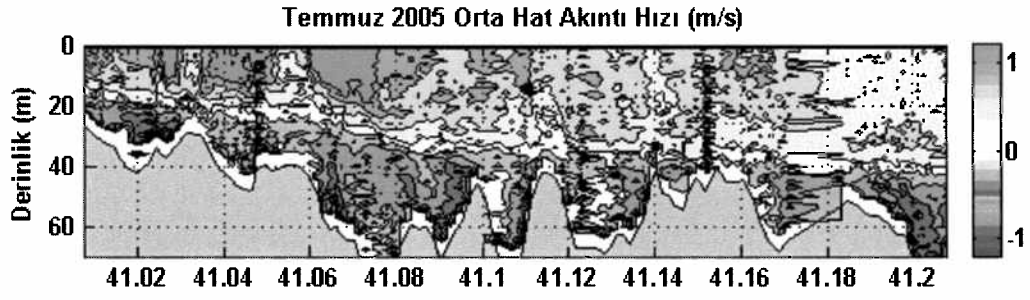


(c) Tuzluluk

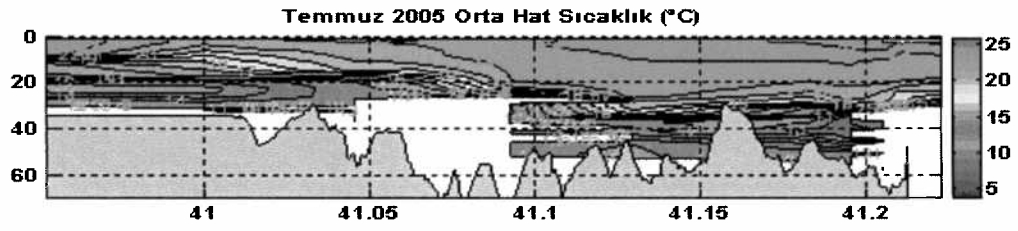


(d) Yoğunluk

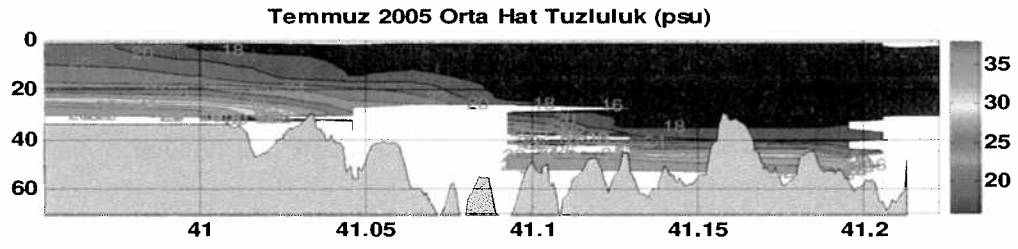
Şekil 36. Çanakkale Boğazı Temmuz 2005 dönemi oşinografik bilgileri



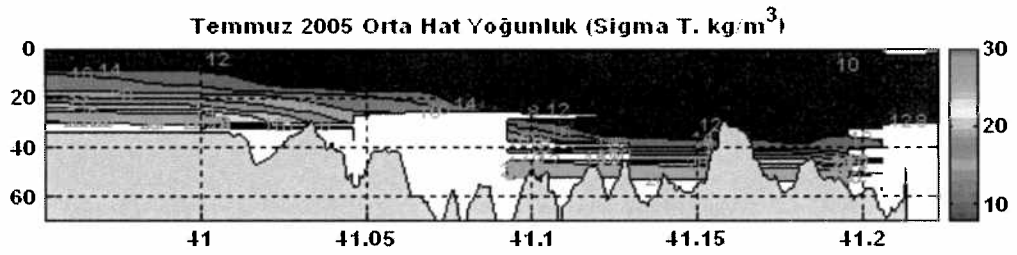
(a) Akıntı (Yatay eksen enlem)



(b) Sıcaklık



(c) Tuzluluk

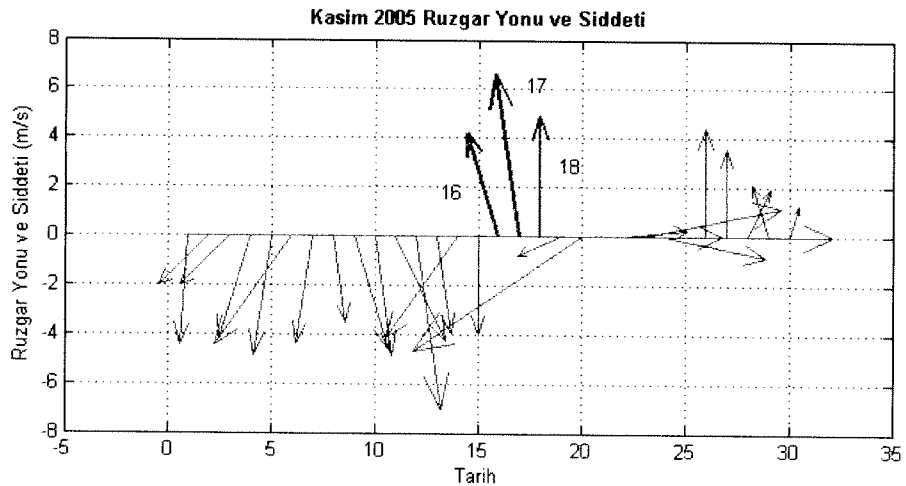


(d) Yoğunluk

Şekil 37. İstanbul Boğazı Temmuz 2005 dönemi oşinografik bilgileri

4.1.4. Sonbahar – Kış mevsimi (Kasım – Aralık 2005) ölçüm sonuçları

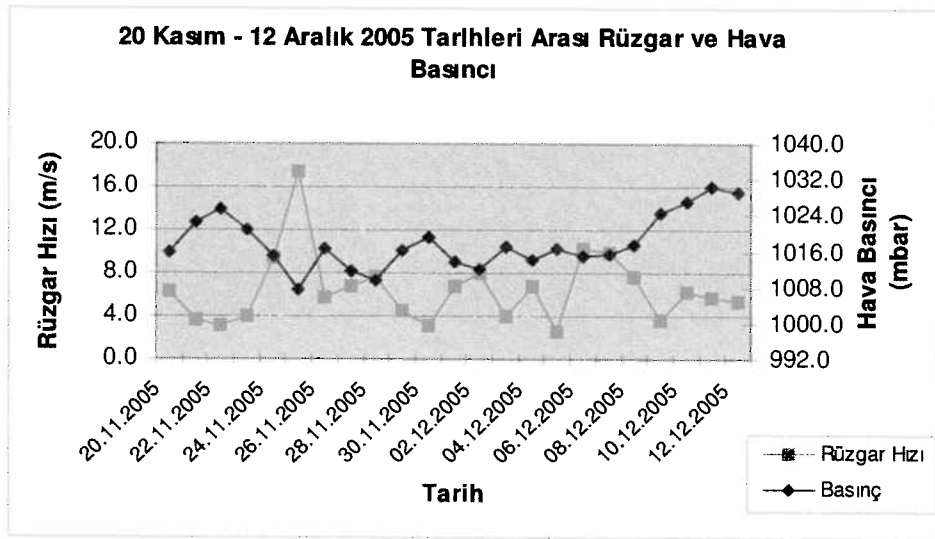
2005 yılı sonbahar dönemini temsilen yapılan deniz çalışmalarının ilk etabı 14 – 19 Kasım 2005 tarihleri arasında İstanbul Boğazı'nda icra edilmiştir. Hava ve deniz şartları sebebi ile MESAHA I Çanakkale'ye 27 gün sonra intikal edebilmiş ve bu bölgedeki ölçümler 12 – 20 Aralık 2005 tarihleri arasında yapılmıştır. İstanbul bölgesinde Kasım ayı içinde yapılan deniz çalışmalarında hava sıcaklığı geceleri 4 – 6 °C aralığında gündüzleri ise 15 – 16 °C aralığında değişmiştir. Çanakkale'de 11 – 16 Aralık 2005 tarihleri arasında 8 °C civarında seyreden hava sıcaklığı, önce 16 °C'ye kadar çıkmış, bilahare bölge üzerinde oluşan alçak basınç cephesinin etkisi ile çalışmanın son günlerinde –2 °C'ye kadar düşmüştür. İstanbul ve Çanakkale'de yapılan çalışmalarda rüzgar Kasım ayında genelde kuzeyli, ancak 16 – 18 Kasım 2005 tarihleri arasındaki deniz ölçüm periyodunda büyük ölçüde doğu – güneydoğu istikametinden esmiştir. Rüzgar hızı çalışmanın tamamı boyunca bütün bölgelerde 0 – 4 m/s aralığında olmuştur. Mayıs ve Temmuz aylarında Çanakkale'de görülen gündüz esen rüzgar şiddetinin geceye oranla iki kat artması durumu Kasım ve Aralık aylarında yaşanmamıştır. Weather Underground internet sitesinden (www.wunderground.com) temin edilen Kasım ayına ait İstanbul'daki rüzgar şiddeti ve yönü bilgileri aşağıda sunulmuştur. Rüzgar genelde bölgede kuzeyli iken, büyük bir tesadüf eseri 16 – 18 Kasım 2005 tarihleri arasındaki ölçüm günlerinde güneye dönmüş ve bu tarihlere ait vektörler kırmızı renk ile gösterilmiştir (Şekil 38).



Şekil 38. İstanbul bölgesinde rüzgar yön ve şiddeti (01 – 30 Kasım 2005)

14 – 19 Kasım 2005 tarihleri arasında İstanbul Boğazında icra edilen çalışmalar esnasında hava basıncı 1018 mbar'dandan 1000 mbar'a çok ani olarak düşmüştür. Bu periyotta Kireçburnu ve Florya istasyonlarında toplanan hava basıncına dair veriler birbiri ile nerede ise tamamen aynıdır. 14 Kasım 2005 tarihinde Çanakkale'de hava basıncı Kireçburnu'na göre 10 mbar daha yüksektir. Ancak ilerleyen günlerde bu fark 4 mbar'a kadar azalmaktadır. Aralık ayında Çanakkale'de yapılan deniz çalışmaları sırasında ise hava basıncı her üç istasyonda da 1030 mbar'dan süratle 1000 mbar'a düşmüştür. 17 Aralık 2005'ten itibaren tekrar yükselmeye başlamış ve 20 Aralık 2005 tarihinde Çanakkale'de 1030 mbar, Florya'da 1023 mbar ve Kireçburnu'nda 1020 mbar değerine kadar yükselmiştir.

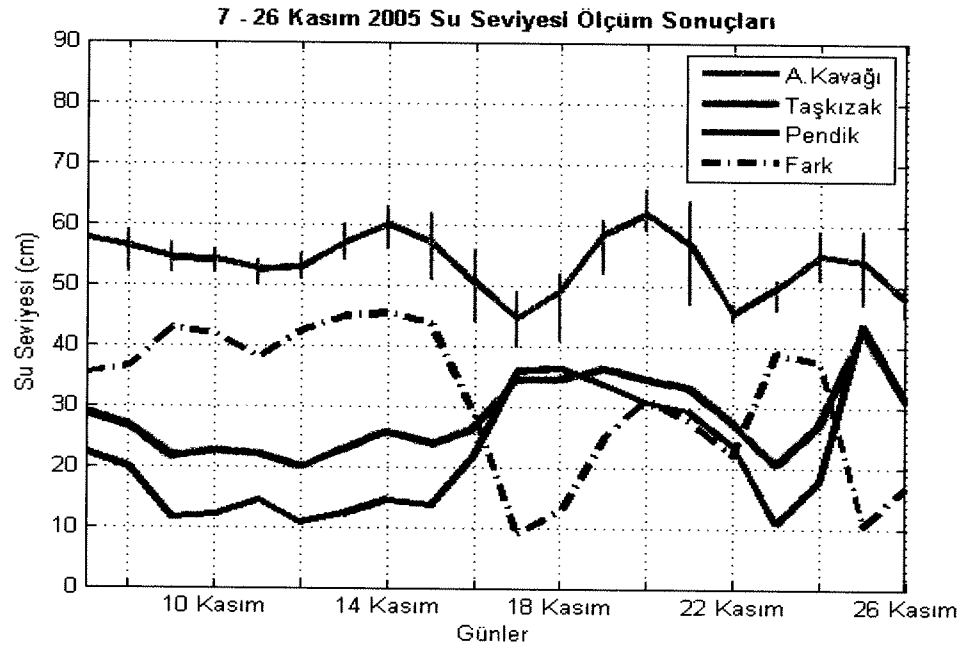
Çalışma yapılamayan zaman aralığına ait rüzgar ve hava basıncı bilgileri Şekil 39'da sunulmuştur. Bu dönemde rüzgar hızı ortalama 6.5 m/s olarak görünmektedir, en yüksek günlük ortalama hız 17.4 m/s 25 Kasım 2005 tarihinde yaşanmıştır. Atmosferik basınç ise 1012 mbar'dan 1008 mbar'a düşmüş, 9 Aralık 2005'e kadar 1010 – 1016 mbar aralığında bulunmuş, son üç günde ise doğrusal bir artışla 1032 mbar'a kadar yükselmiştir.



Şekil 39. Çanakkale bölgesinde hava basıncı ve rüzgar hızı değişimleri

14 – 19 Kasım 2005 tarihleri arasında, İstanbul Boğazında, ulusal eşelle irtibatlanmış üç istasyonda su seviyesi ölçümü icra edilmiştir. İstanbul Boğazının Karadeniz girişini temsilen Anadolu Kavağı'nda, Taşkızak ve Boğaz'ın güney girişini temsilen de Pendik'te toplanan

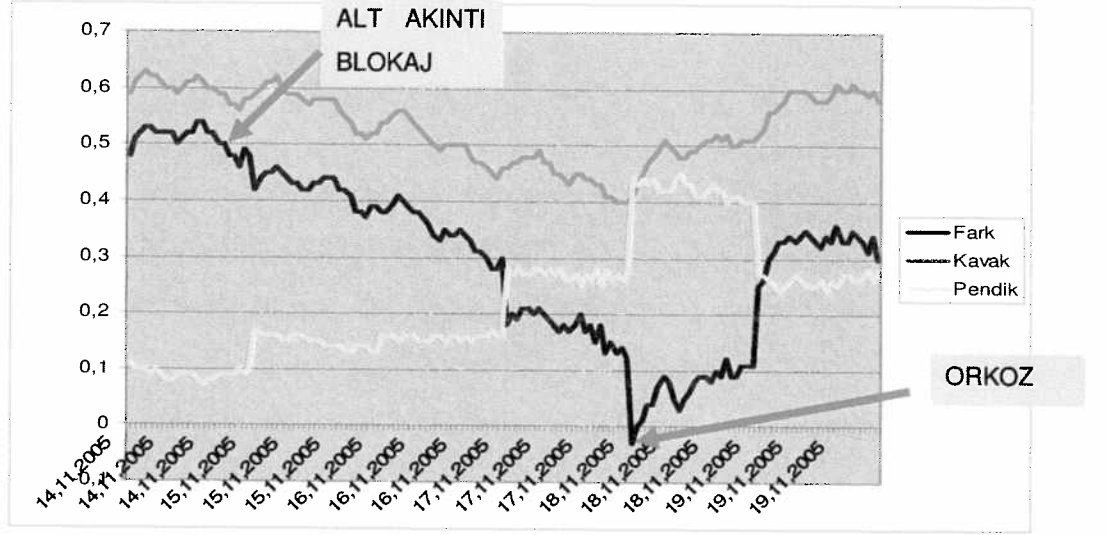
kayıtlar Şekil 40'da gösterilmiştir. Toplanan veriler bir uyum arz etmesi maksadıyla bütün aylar ayrı renkle işaretlenmiş, Anadolu Kavağı ve Pendik istasyonları arasındaki su seviyesi farkı siyah kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Gün içindeki değişiklikler ise sadece Anadolu Kavağı istasyonu için tespit edilmiş ve kendi veri kümesi üzerinde düşey pembe renkle gösterilmiştir.



Şekil 40. Anadolu Kavağı, Taşkızak ve Pendik istasyonlarında ölçülen su seviyesi bilgilerinin günlük ortalaması (05 – 28 Kasım 2005)

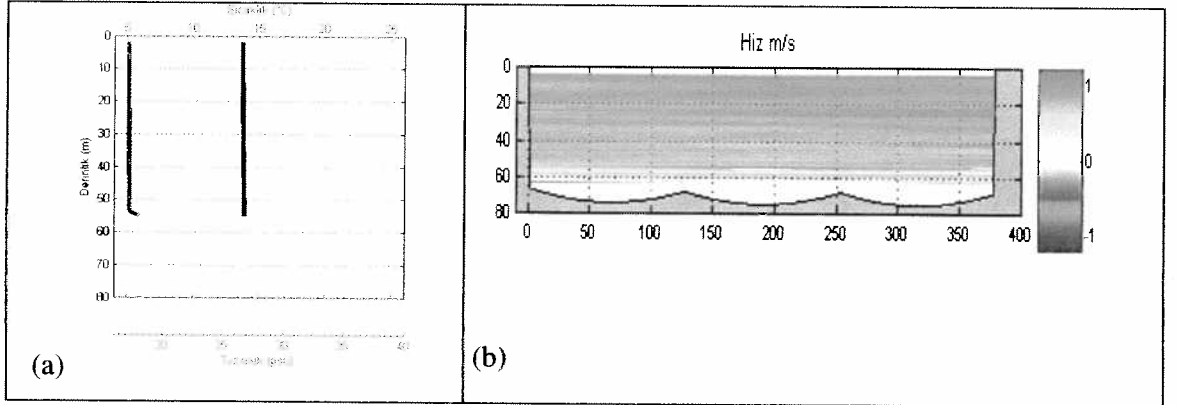
Şekil 40'da sunulan su seviyesi kayıtları incelendiğinde; 14 Kasım 2005 tarihinde kuzeyli rüzgarların etkisi ile su seviyesi farkının 50 cm olduğu görülmektedir. Anadolu Kavağı istasyonunda gün içindeki su seviyesi değişimi 7 ile 12 cm arasında değişmektedir. Dönem içinde güneyli rüzgarların esmeye başlaması ile, beş gün içinde, Anadolu Kavağı'nda su seviyesi 15 cm düşerken, Marmara'da bulunan Pendik istasyonunda 35 cm yükselmiştir. Haliç'in coğrafi yakınlığı sebebi ile, diğer dönemlerde olduğu gibi, Pendik istasyonunu takip ettiği görülmektedir.

Şekil 40'da sunulan veriler günlük ortalamalar olup, saatlik veriler incelendiğinde 18 Kasım 2005 tarihinde su A. Kavağı ve Pendik istasyonları arasındaki seviye farkı -3 cm'ye kadar düşmüştür. Aynı gün içinde bütün değerlerin ortalaması alındığında fark 8 cm'dir. (Şekil 41)



Şekil 41. Anadolu Kavağı, Taşkızak ve Pendik istasyonlarında ölçülen su seviyesi bilgilerinin saatlik ortalaması (14 – 19 Kasım 2005)

14 Kasım 2005 tarihinde, İstanbul Boğazının kuzey girişinde, Poyrazköy hizasında bulunan 5 numaralı istasyonda yapılan CTD ölçümleri Şekil 42a'da sunulmuş olup, görüldüğü üzere 55 m derinliğe Karadeniz kökenli su tabakası yer almaktadır. 14 Kasım 2005 günü saat 13:30'da Anadolu Kavağı – Rumeli Kavağı arasında yapılan doğu – batı istikametindeki toplanan akıntı verisi de aynı yapıya işaret etmektedir. Kesitteki akıntı yapısı incelendiğinde su tabakasının bir bütün halinde güneye aktığı, 56 m derinlikten itibaren yer alan alt tabakanın ise 16 cm/s hızla kuzeye aktığını görülmektedir (Şekil 42b).



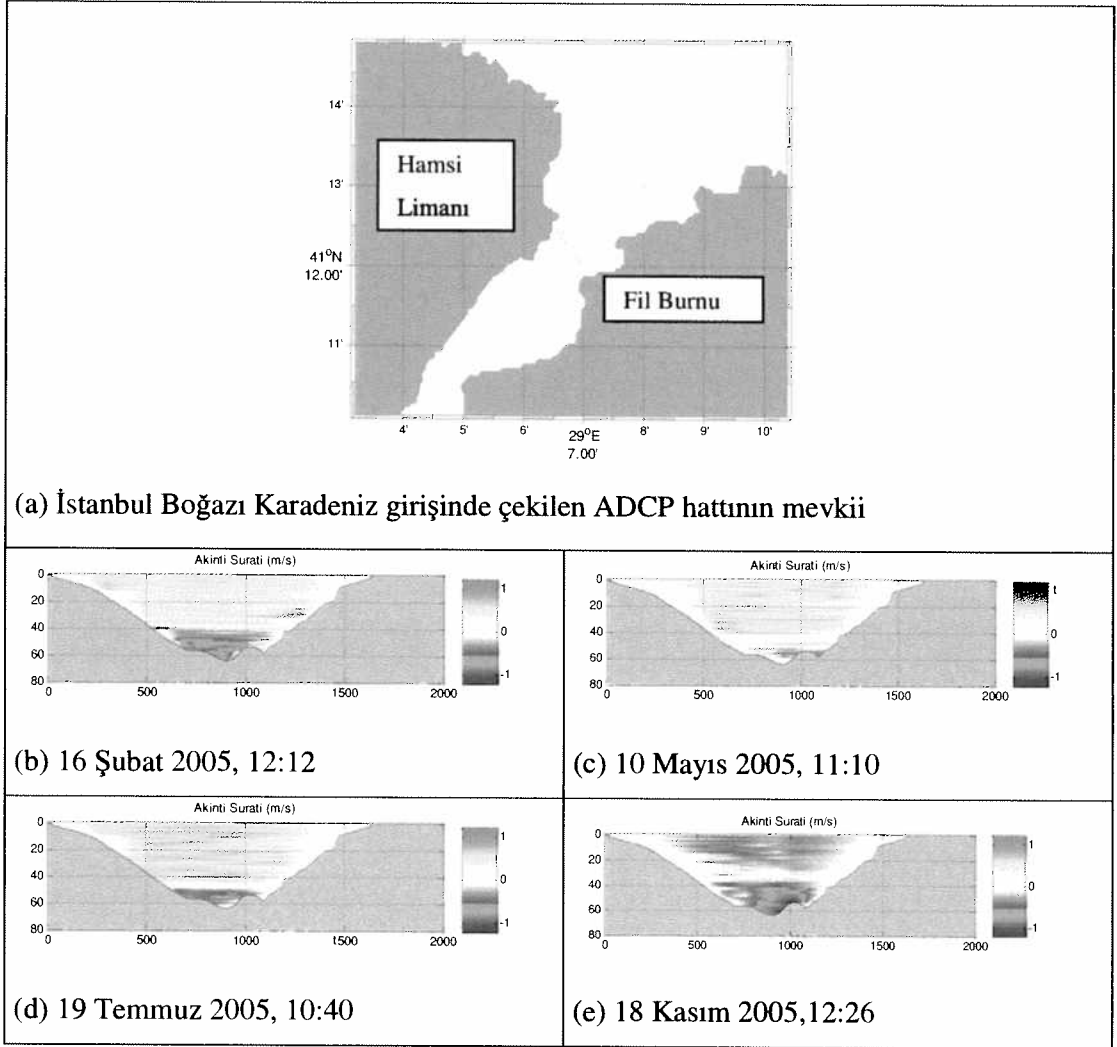
Şekil 42. İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışında ölçülen CTD ve ADCP verileri (14 Kasım 2005) *

15 – 16 Kasım 2005 tarihlerinde rüzgar hala kuzeyli ancak hızı 8 m/s'den 4 m/s'ye düşmüş, su seviyesi farkı da buna bağlı olarak 35 cm'ye kadar azalmıştır. Ancak 16 Kasım'da rüzgarın güneye dönmesi ile kuzey ve güney girişlerdeki su seviyesi farkındaki gerileme devam etmiş ve minimum değer olan -3 cm'ye inmiştir. Bu durumun bir göstergesi olarak 18 Kasım 2005 saat 10:35'de, İstanbul Boğazı Kuzey girişinde yapılan ölçümde diğer aşırı durum (ekstrem) olan Orkoz (ters akıntı) gözlenmiştir. Orkoz, İstanbul Boğazı'nda, bütün su kütlelerinin olduğu gibi kuzeye aktığı, çift akışlı yapının bozulduğu çok nadir rastlanan bir istisna durum olarak bilinir. Üst tabakanın da kuzeye aktığı bu durumda Karadeniz suyunun tam engellenmesi, yani İstanbul Boğazı'na girememesi senaryosu 18 Kasım 2005 tarihinde Fil Burnu hizasında yapılan ADCP hattında toplanan veri yardımı ile görüntülenmiştir. Bölgede yıl içinde icra edilen mevsimlik akıntı ölçüm sonuçlarının tamamı Şekil 43'te sunulmuştur. Anılan Şekilde düşey eksen derinlikleri (m), yatay eksen ise kanal boyunca mesafeyi (m) göstermektedir.

Ölçümler Şubat ve Temmuz aylarında tipik 40 – 50 m derinlikteki iki yönlü akış rejimine, Mayıs ayında kuvvetli üst akıntı sebebi ile bloke olmaya (engellenmeye) yakın, çok zayıf bir

* (a) Poyrazköy açıkları CTD profili, (b) Anadolu – Rumeli Kavağı arası ADCP hattı

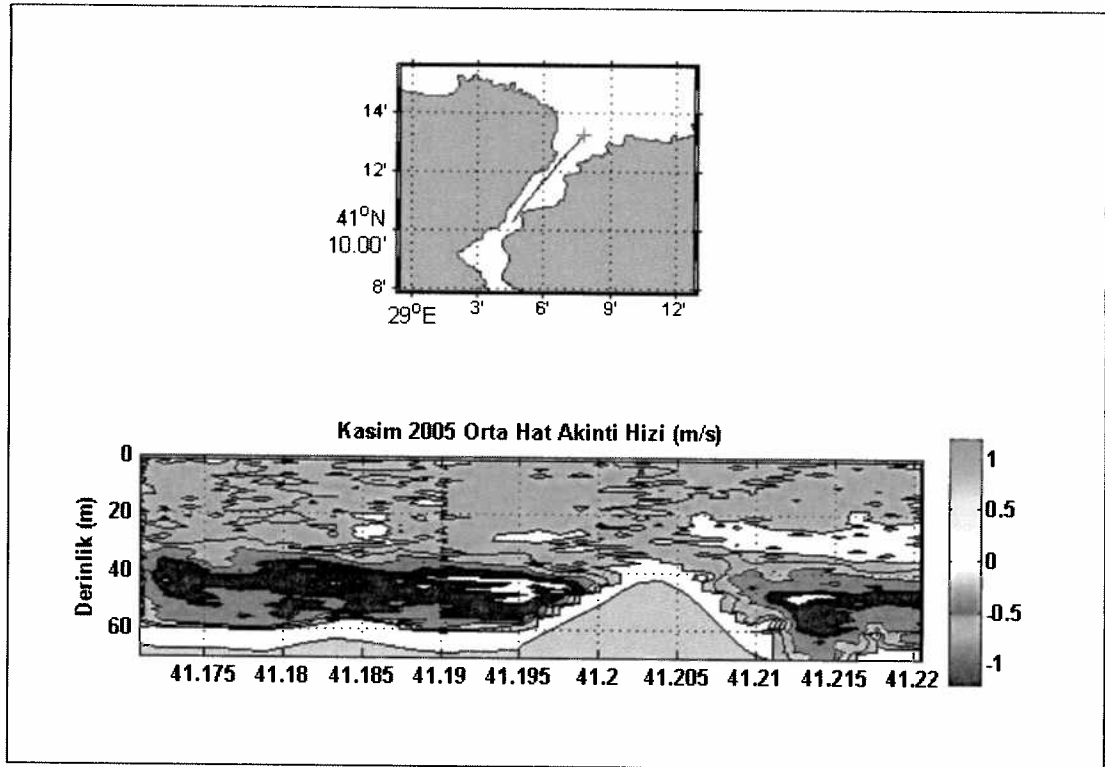
üst akıntıya işaret etmektedir. 18 Kasım 2005 tarihinde ise yaşanan Orkoz sebebi ile üst tabakanın da ters bir durum olarak kuzeye (Karadeniz'e) aktığı görülmektedir. Üst akıntının ortalama hızı 20 cm/s iken alt akıntı 80 cm/s ile kuzeye akmakta, alt akıntı 55 m derinlikten sonra kimi noktalarda 112 cm/s (yaklaşık 2.19 knot) hıza kadar ulaşmaktadır.



Şekil 43. İstanbul Boğazı, Hamsi Limanı – Fil Burnu bölgesinde 2005 yılı içinde ölçülen akıntı verileri

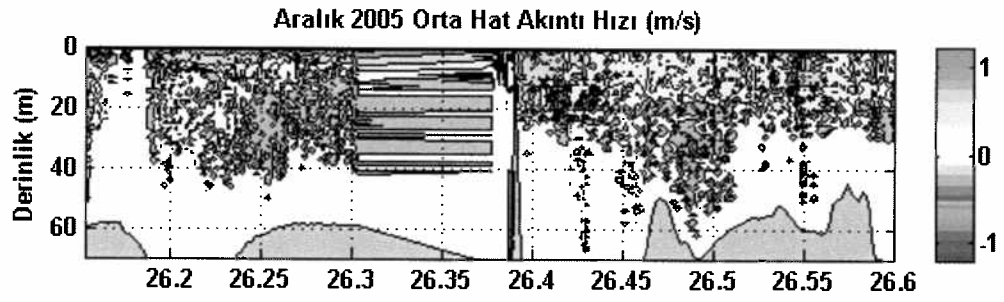
17 Kasım 2005 saat 12:46'da Boğazın kuzey çıkışı orta hattı üzerinde bir akıntı ölçümü icra edilmiştir. $42^{\circ} 12' N$ enlemi kuzeyine kadar dil şeklinde uzanan ve sathıtan 25 – 35 m derinlikler arasında bulunan yaklaşık 7 metre kalınlıkta çok zayıf (< 20 cm/s) bir güneyli

akıntı İstanbul Boğazının kuzey girişinde, Boğaza paralel çekilen ADCP hattında görülmektedir (Şekil 44). Ancak bu oluşumun $42^{\circ} 12' N$ enlemi hizasında son bulduğu ve bu noktada bulunan eşiği aşmadığı görülmektedir. Üst tabaka suyu 24 cm/s hızla, alt tabakada bulunan Marmara'nın dip suyu ise 40 m ve daha aşağı derinliklerde 88 cm/s (yaklaşık 1.5 knot) ortalama hızla kuzeye akmaktadır. 70 m derinlikte, alt tabaka suyu 113 cm/s hızla (yaklaşık 2 knot) maksimum değere ulaşmaktadır.

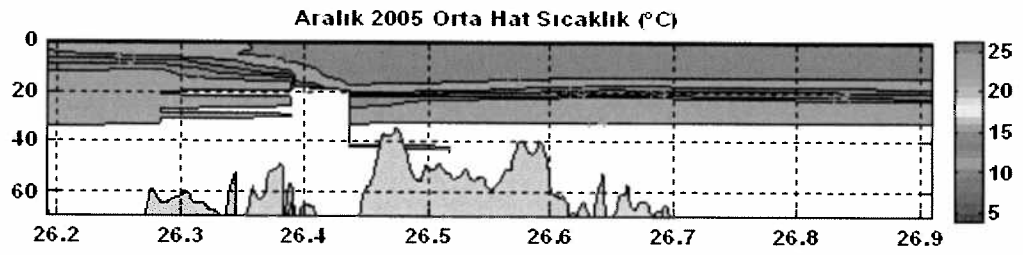


Şekil 44. İstanbul Boğaz Karadeniz girişi Orkoz anında orta hat düşey akıntı hızı grafiği

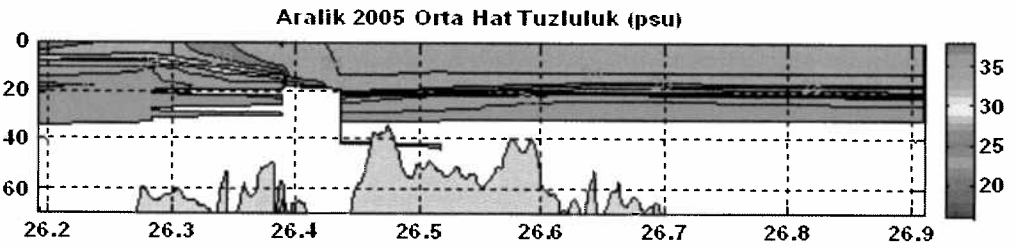
Sırası ile Çanakkale ve İstanbul Boğazlarında kanal boyunca toplanan CTD ve ADCP ölçümleri Şekil 45 ve 46'de sunulmuştur. Çanakkale Boğazı'nda akıntı ve CTD değerleri uyumlu iken, İstanbul Boğazında alt tabakanın akıntısı bloke olmuş iken sıcaklık, tuzluluk ve yoğunluk grafiklerinde mevcut görünmektedir. Bu durumun sebebi ADCP ve CTD ölçümleri arasındaki zaman farkıdır. Akıntı ölçümleri 18 Kasım 2005 tarihinde Orkoz sonrası dönemde, CTD ölçümleri ise üst akıntının tamamen engellendiği 14 Kasım 2005 tarihinde toplanmıştır. Dolayısı ile birbiri ile örtüşmeyen iki durum tespit edilmiş ve grafiklendirilmiştir.



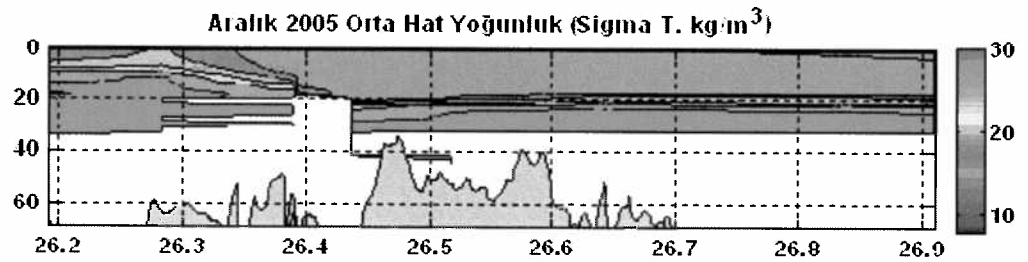
(a) Akıntı (Yatay eksen boylam)



(b) Sıcaklık

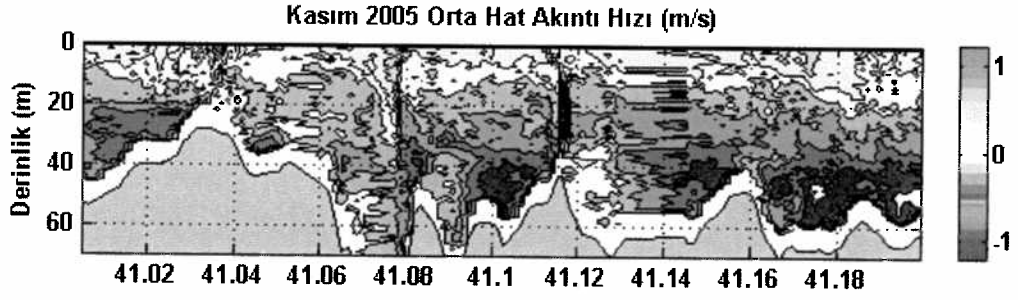


(c) Tuzluluk

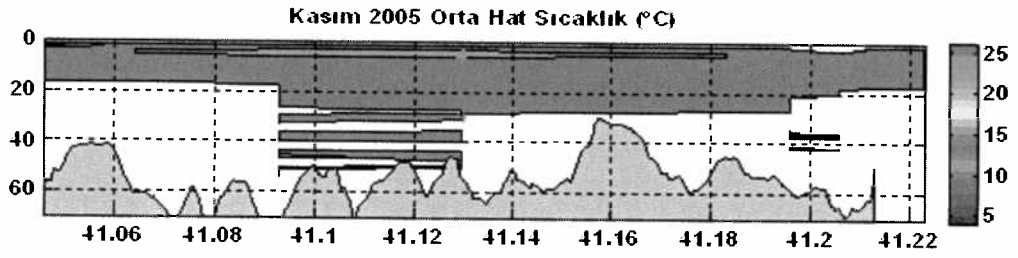


(d) Yoğunluk

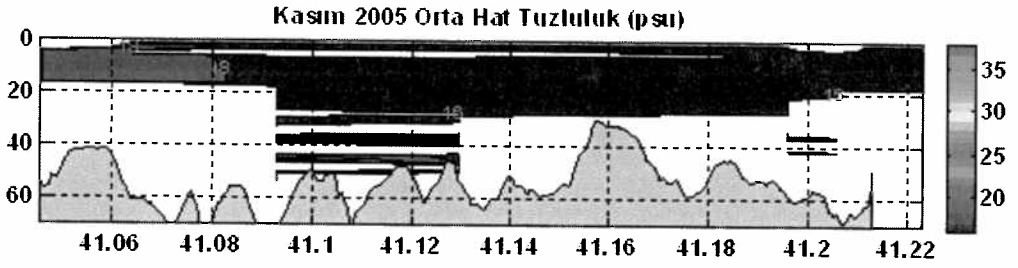
Şekil 45. Çanakkale Boğazı Aralık 2005 dönemi oşinografik bilgileri



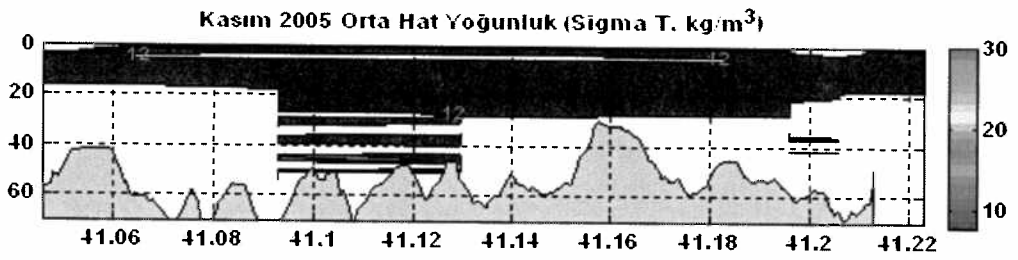
(a) Akıntı (Yatay eksen boylam)



(b) Sıcaklık



(c) Tuzluluk



(d) Yoğunluk

Şekil 46. İstanbul Boğazı Kasım 2005 dönemi oşinografik bilgileri

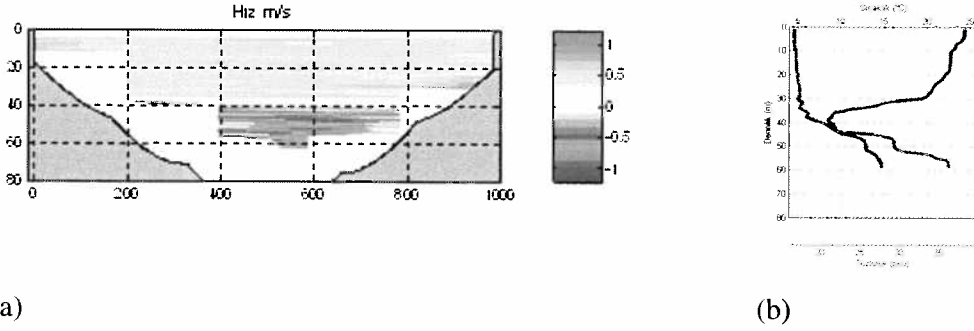
4.2. Enine Kesitlerde Akıntı Yapısı

İstanbul ve Çanakkale Boğazları'nda oşinografik yapının belli hatlar boyunca doğu-batı eksenindeki değişimini inceleme maksadı ile boğazlarda enine hatlarda da akıntı ve CTD ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm yapılan hatlarda toplanan akıntı verileri ve CTD istasyonlarında elde edilen sıcaklık, tuzluluk değerleri her mevsim için harita üzerinde, sırası ile kuzeyden güneye doğru akıntı kesitleri ve sıcaklık – tuzluluk profilleri olarak gösterilmiştir.

Bu hatlar İstanbul Boğazı'nda en kuzeyden itibaren Fil Burnu, Anadolu Kavağı, Beykoz, Kuzguncuk ve Beşiktaş hizalarında çekilmiştir. Çanakkale Boğazında ise sırası ile Gelibolu, Gocuk Burnu, Nara, Kilitbahir ve Mehmetçik Burnu mevkieinde enlemesine hat şeklinde ADCP ve noktasal CTD ölçümü icra edilmiş, toplanan veriler yine sırası ile kuzeyden güneye doğru alt alta, akıntı ve sıcaklık, tuzluluk ölçümleri ise aynı hizada gösterilmiştir.

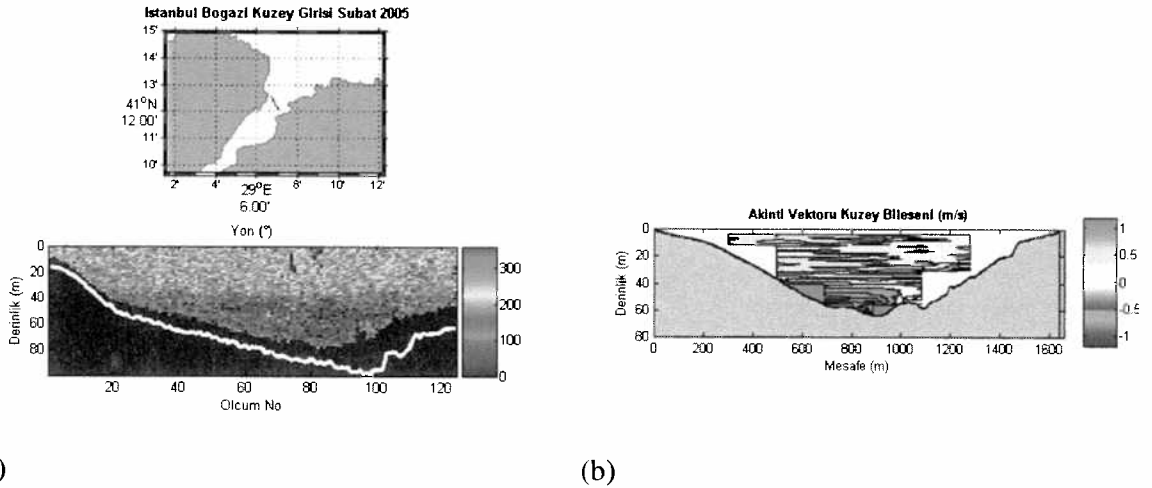
Alt ve üst akıntıyı ayırt etmek üzere farklı renk kodları kullanılmıştır. Üst akıntı için 0 – 0.5 m/s aralığı sarı, 0.6 ve üstü ise kırmızı renkle, alt akıntıda ise 0.6 m/s'ye kadar olan hızlar yeşil, daha yüksek olan değerler ise mavi renkle gösterilmiştir. Sıcaklık tuzluluk profilleri ise her iki bölgenin minimum ve maksimum değerleri yatay eksende limit olarak kabul edilmiş ve bu sayede mevsimsel kıyaslanmanın gözle kolayca yapılabilmesine imkan sağlanmıştır.

Akıntı diyagramlarında düşey eksen derinlik, yatay eksen ise doğu-batı istikameti olarak alınmıştır. Her grafik sol tarafında Avrupa, sağ tarafında Asya kıtaları olacak şekilde yerleştirilmiştir. Düşey akıntı kesitlerine ve aynı noktada yapılan CTD ölçümlerine bir örnek aşağıda sunulmuştur. (Şekil 47)



Şekil 47. İstanbul Boğazı kuzey girişi (a) Akıntı Hızı, (b) Sıcaklık, Tuzluluk Profili (16 Şubat 2005)

Her ne kadar bir kıydan diğer kıyıya derinlik sıfırdan sıfıra değişiyorsa da pratikte gemi ile tam sahile teğet olacak noktada ölçüme başlamak ve bitiş anında diğer tarafta tam uca değecek kadar yanaşmak mümkün değildir. Akıntı ölçümlerinde rastlanan bir sıkıntı da dibe yakın su kesiminden gelen akıntı bilgilerindeki kalite problemi olup bunun detaylı izahı Bölüm III'te yapılmıştır. Şekil 48a'da 16 Şubat 2005 tarihinde yapılmış akıntı ölçümünün coğrafi olarak mevkii üstte, toplanan akıntı verisinin yön grafiği ise altta sunulmuştur. Gerçekte mevcut olan dip morfolojisi (yüzey şekli) üzerine toplanan veri oturtulduğunda ve kalitesiz veriler ayıklandığında ise aynı veri kümesine ait akıntı vektörünün kuzey bileşeni Şekil 48b'de olduğu gibi görünmektedir.



Şekil 48. İstanbul Boğazı kuzey girişi (a) akıntı ölçümünün coğrafi mevkii (üst) ve akıntı yönü (alt), (b) Aynı veri setinin kalite kontrol uygulanmış görünümü (16 Şub 2005)

Ölçümlerin tamamında dikkat çeken özellikler şunlardır:

Akıntı ve yoğunluk farkından kaynaklanan tabakalaşmaların nerede ise aynı derinliklerde olduğu görülmektedir. Bunun istisnası alt ve üst akıntılar arasındaki hız farkının çok farklı olması durumunda, hızlı olan tabakanın momentum transferi ve sürtünme etkisi ile diğer tabakayı da sürüklemesidir. Bu durum tabaka kalınlığı üzerinde de etkisini göstermekte, alt ve üst tabakalar arasındaki hız farkının artması durumunda türbülanstaki artışa bağlı olarak tabaka kalınlığı da artmaktadır.

Boğazların kıvrım yapan bölgelerinde hidrolik etki gereği dönüş olan mevkilerde iç tarafta akıntı şiddetinin az hatta bazen ters yönde olduğu gözlemlenmiştir.

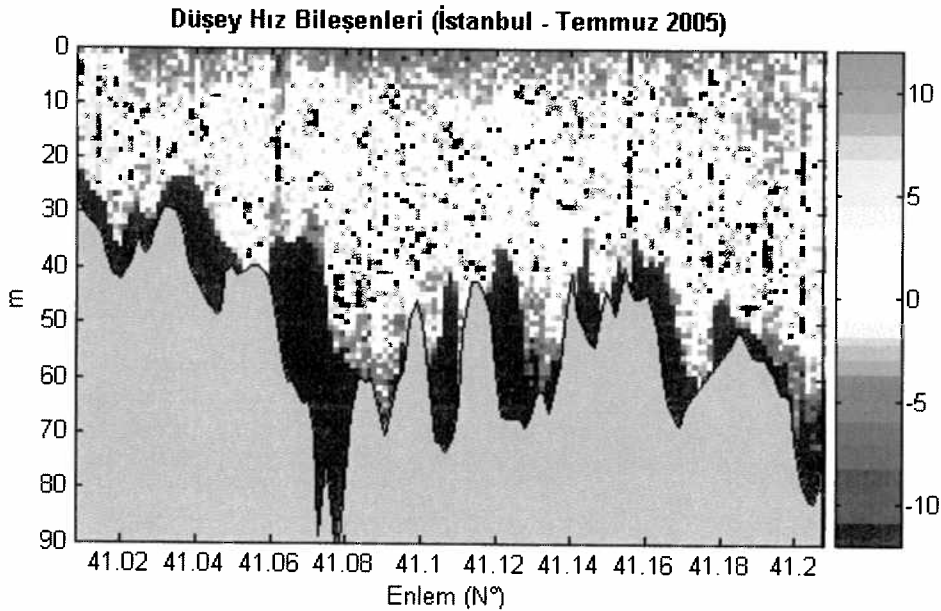
Akıntının en hızlı olduğu mevkii boğaz kesit alanının en dar yeri olan İstanbul'da Kandilli, Çanakkale'de Nara civarı olduğu görülmektedir. Bu bölgelerdeki hız artışı boğaz kesit alanındaki daralmadan kaynaklanmaktadır. İkinci olarak da İstanbul'da Üsküdar açıklarındaki sığlık ve Çanakkale'de Nara geçidinin güneyinde bulunan Ege Denizi çıkışına yakın sığlıkta akıntı süratinde artma görülmektedir. Bu durum ise derinliğin azalmasından kaynaklanan hidrolik sıçramadan kaynaklanmaktadır.

İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında 2005 yılında yapılan ölçümlerde toplanan düşey akıntı en kesit grafikleri ve bu mevkide toplanan CTD verilerin tamamı EK-2'de sunulmuştur.

4.3. Düşey Hız ve Karışım

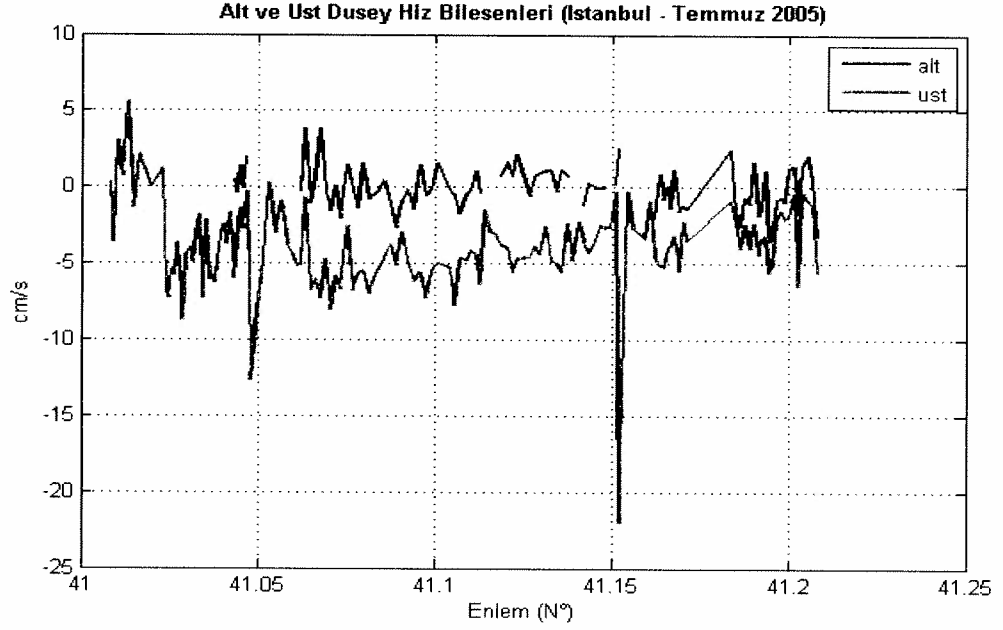
ADCP ile ölçülen akıntı bilgisi doğu – batı ve kuzey – güney olmak üzere iki yatay ve yukarı – aşağı olmak üzere de bir düşey bileşenden oluşmaktadır. Her bileşen vektör olarak kartezyen koordinat sistemine benzer bir şekilde ifade edilmektedir. İstanbul ve Çanakkale Boğazlarındaki düşey yönde oluşan karışımın incelenmesi amacıyla bu bölgelerde toplanan akıntı verilerinin düşey bileşenleri incelenmiştir. 2005 Temmuz ayında toplanan verilerden

elde edilen düşey hız bilgileri Şekil 49'da gösterilmiştir. Şekilde sarı ve kırmızı renkle gösterilen bölgeler pozitif hızı, yani yukarı doğru olan hareketi göstermektedir. Mavi ve tonları ise negatif hızları, başka bir deyişle aşağı doğru olan hareketi göstermektedir. Genel karışım mekanizmasından beklendiği üzere alt tabakalar yukarı ilerleme temayülü gösterirken, üst tabaka ise aşağı inmeye meyilindedir. Bu durum karışım mekanizmasının özünü oluşturmaktadır. Batimetrinin düşey hız yapısı üzerinde önemli bir rol oynadığı görülmektedir. Alt tabakanın üst ve orta kesiminde hızlar genelde yukarı doğru iken, dibe yakın olan kesimde derinlik arttıkça yukarı hareketlenme azalmaktadır.



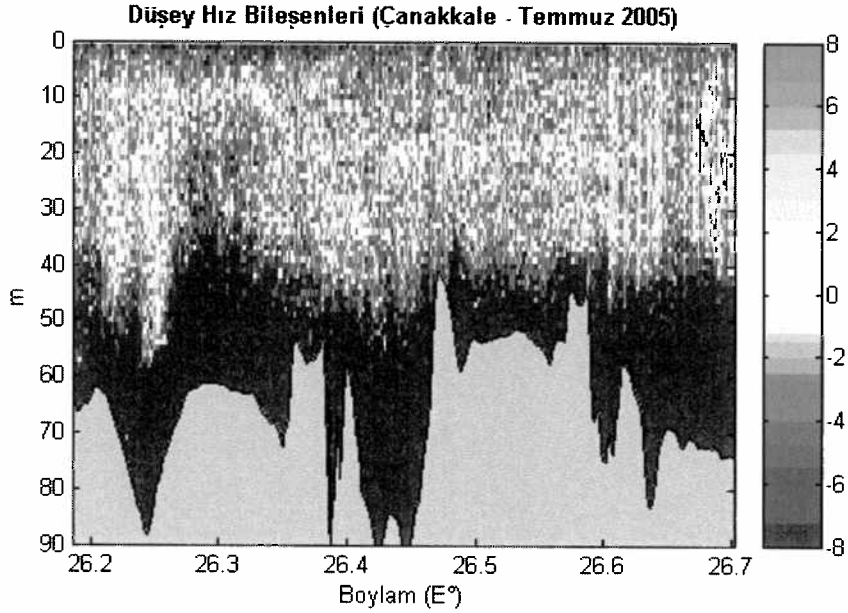
Şekil 49. İstanbul Boğazı Temmuz 2005 döneminde düşey akıntı hızı (cm/s)

Üst tabakanın ortalama düşey akıntı hızını temsil etmek üzere yüzeydeki 5-10 m'ler arası kısım, dipte ise tabaka altında kalan kesimde bulunan 10 m.'lik bir su kolunu (İstanbul Boğazı'ı Güney kesimde 30 – 40 m, kuzey yarısında ise 40 – 50 m'ler arası) arasında kalan su kesimlerinde ortalama alınmıştır. Bu şekilde bahsedilen derinlik kuşaklarındaki ortalama düşey hız boğaz boyunca hesaplanmıştır. Elde edilen veriler her iki tabaka için değişik renklerde, güneyden kuzeye doğru olmak üzere aşağıdaki grafikte sunulmuştur. (Şekil 50)



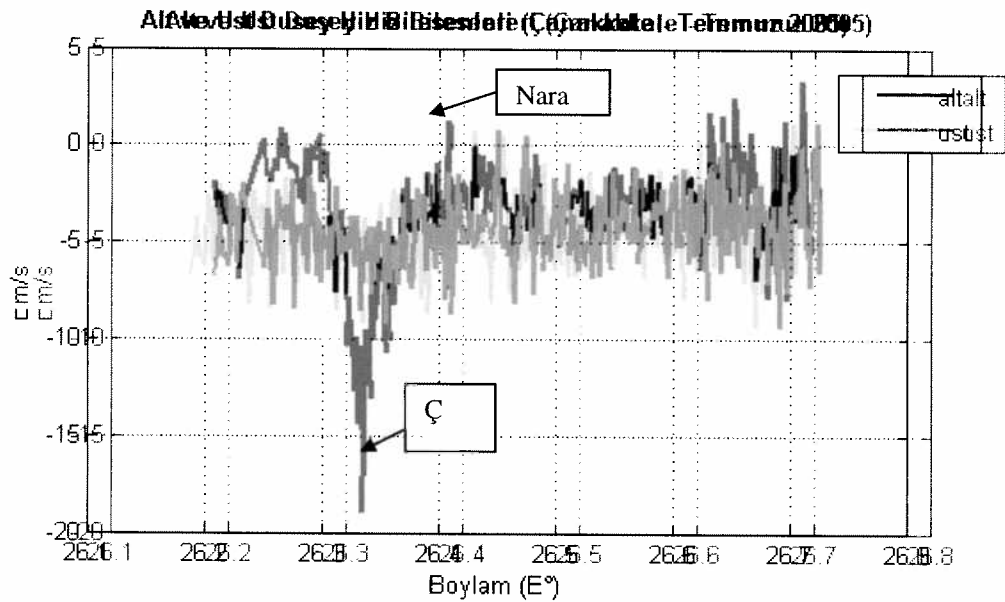
Şekil 50. İstanbul Boğazı alt ve üst tabakalar düşey akıntı hızı (Temmuz 2005)

Benzer şekilde Çanakkale Boğazı da çalışılmış ve sonuçlar Şekil 51'de sunulmuştur. Şekilden de görüldüğü üzere Çanakkale Boğazındaki alt akıntının pozitif (artı) süratle yukarı çıkma ve üst akıntı ile karışma temayülü İstanbul Boğazına göre daha zayıftır.



Şekil 51. Çanakkale Boğazı Temmuz 2005 döneminde düşey akıntı hızı (cm/s)

İstanbul Boğazında olduğu gibi Çanakkale Boğazında da her iki tabakanın sahip olduğu ortalama düşey akıntı verileri hesaplanmıştır. Buradan elde edilen sonuç 30- 35 m aralığındaki alt tabaka su kesiminin İstanbul Boğazı'ndan farklı olarak kuvvetli bir pozitif değere sahip olmadığı yönündedir. Şekil 52'de aynı dönemde Çanakkale Boğazı'ndaki ortalama alt ve üst akıntı düşey hızları görüntülenmiştir. Bu grafikte de benzer şekilde her iki tabakanın değerleri farklı renklerle sunulmuştur. Şekil 50 ve 52'de grafiklerin sol tarafı Ege girişini, sağ tarafı ise Marmara denizini göstermektedir. İstanbul Boğazında yatay eksen olarak enlem gösterilirken daha belirleyici olması amacıyla Çanakkale Boğazı grafiklerinde Boylam kullanılmıştır.



Şekil 52. Çanakkale Boğazı ortalama düşey akıntı hızı (Temmuz 2005)

Her iki boğazın alt ve üst tabakalarındaki düşey akıntı hızları incelendiğinde üst akıntının benzer bir davranış göstererek karışmak için yaklaşık -3 ve -5 cm/s hızla aşağı yöne doğru ilerlerken İstanbul Boğazında alt akıntı 0.5 ile 0.7 cm/s hızla pozitif değere sahip olduğu, buna karşılık Çanakkale Boğazında ortalama değerlerin tam ters olarak -0.7 ve -3.2 arasında değiştiği görülmektedir. Her ne kadar Şekil 52'de Akdeniz kökenli su kütlelerinin olduğu bölgede artı verilerin olduğu görülse de sistemin ortalama değerinin eksi olması yadırganacak

bir durum olarak değerlendirilmektedir. Genelde akıntı vektörünün düşey bileşenin artı hıza (yukarı hareket etmesi durumuna) sadece zayıf olmakla beraber sistemin kuzey girişinde sahip olduğu görülmektedir. Nara bölgesindeki ani sıkışmaya ve daralmaya bağlı olarak bu bölgede alt tabakanın yatayda yukarı ilerlediği, ancak sistemin güney çıkışındaki çukura yaklaşıldıkça çok kuvvetli bir şekilde her iki tabakanın da derinlikteki artışa bağlı olarak yerçekiminin etkisi ile yüksek eksi hızla aşağı ilerlediği görülmektedir. Bu bölge şekil üzerinde “Ç” ile gösterilmiştir.

Her iki boğazın dört mevsim için oluşturulmuş ortalama düşey akıntı hızı değerleri aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 3. İstanbul Boğazı ortalama düşey akıntı hızları (cm/s)

Tabakalar	Şub 05	May 05	Tem 05	Kas 05
Üst	-1.3	-2.8	- 3.8	-2
Alt	0.1	0.1	0.2	0.7

Tablo 4. Çanakkale Boğazı ortalama düşey akıntı hızları (cm/s)

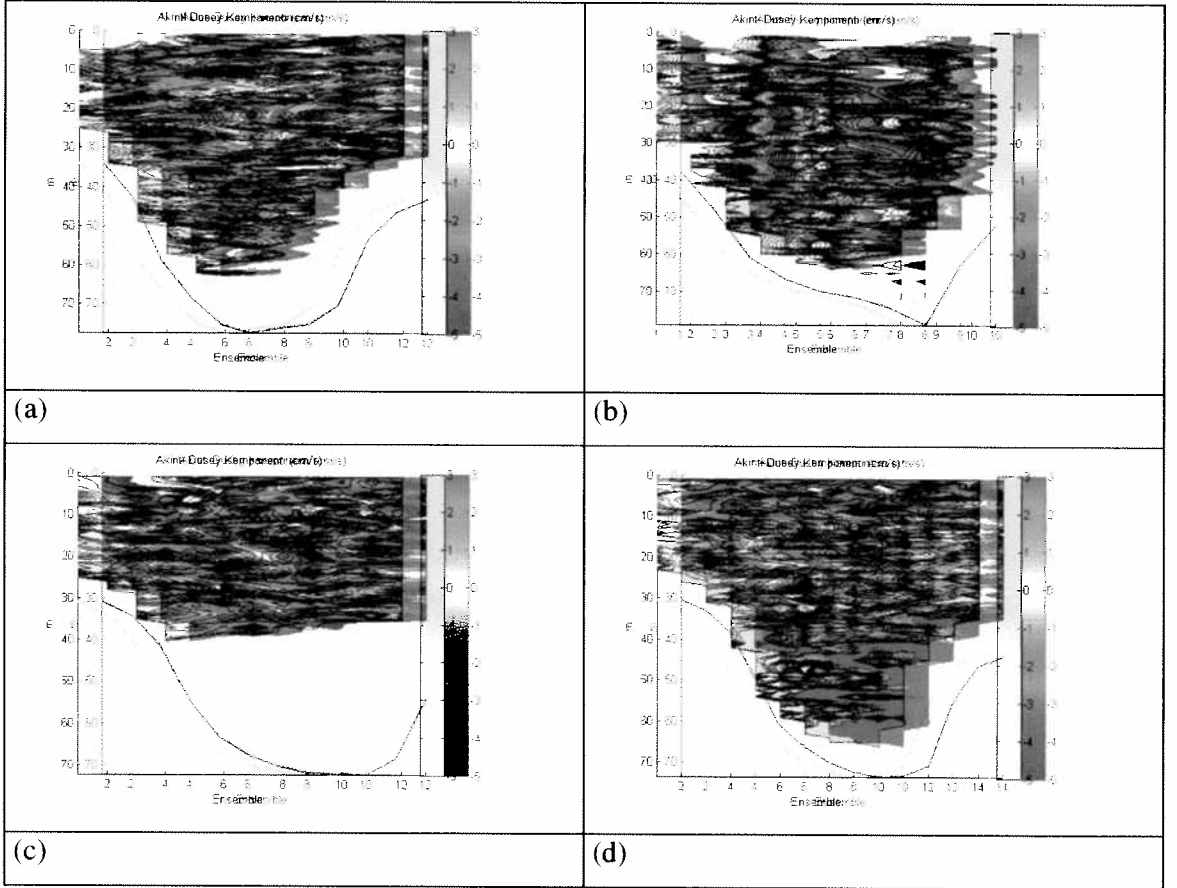
Tabakalar	Şub 05	May 05	Tem 05	Kas 05
Üst	-2.8	-4.2	-4.4	-3.5
Alt	-0.7	-1	-3.2	-1.8

Çanakkale Boğazındaki her iki tabakanın da ortalama olarak düşeyde aşağı ilerlemesi, akışkanlar mekaniğinin en temeli olan devamlılık ilkesi (Denklemler 2.1) göz önünde bulundurulduğunda kabul edilebilir bir durum değildir. Boğazın orta hattı üzerinde yapılan ölçümde üst tabakanın alt tabakaya girdiği, alt tabakanın ise deniz tabanına doğru hareket ettiği görülmektedir. Bu şekilde bir akış deniz tabanına su girmesi gibi kabul edilemez bir

sonuca ulaşmamıza sebep olmaktadır. Mevcut veriler ışığında sistemin daha fazla incelenmeye ihtiyacı olduğu değerlendirilmiştir.

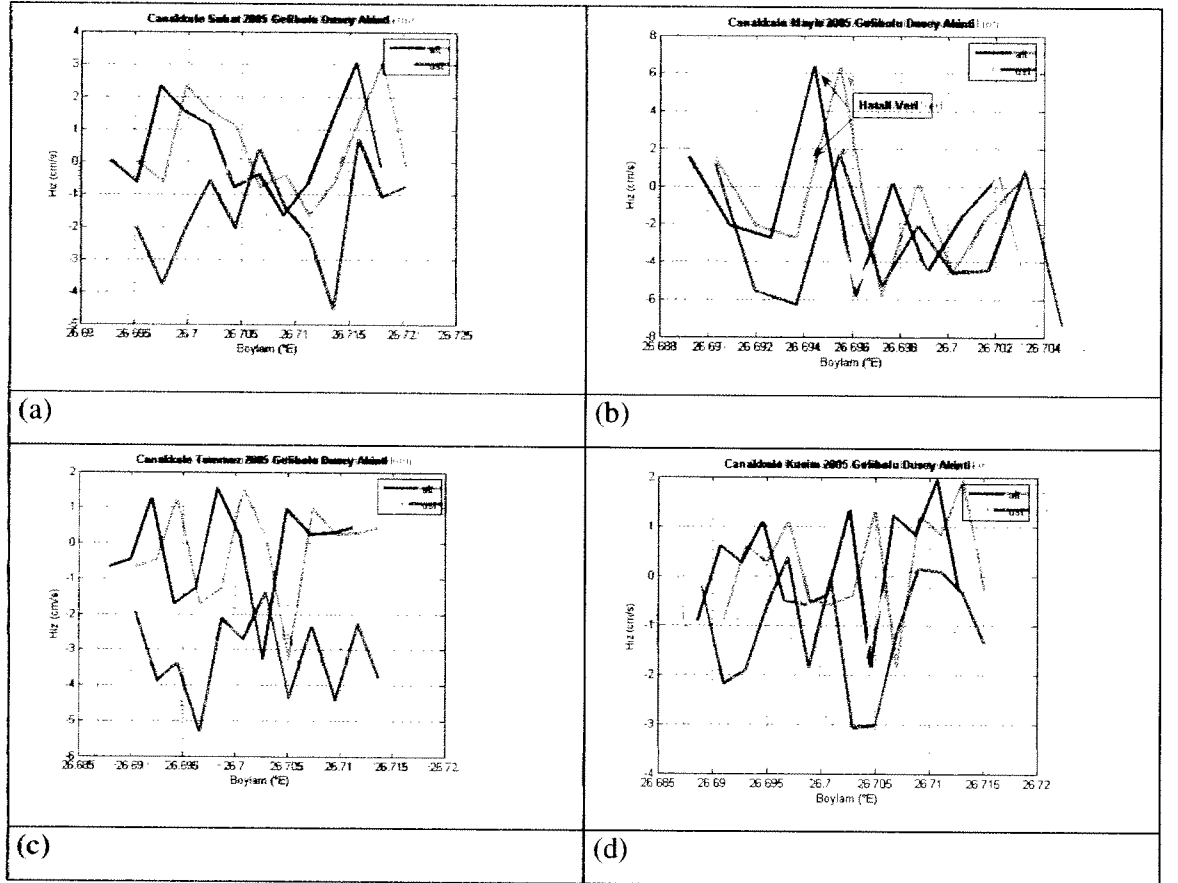
$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_i \frac{\partial u_i}{\partial x} + v_i \frac{\partial u_i}{\partial y} + w_i \frac{\partial u_i}{\partial z} - f v_i = -\frac{1}{\rho_i} \frac{\partial P_i}{\partial x} + \text{sürtünme} + \text{karisim} \quad 4.1$$

Çanakkale Boğazında bahsedilen kabul edilemez durumun araştırılması için sadece kuzey güney istikametinde orta hatta çekilen ADCP hattı değil, doğu-batı istikametinde çekilen sisteme dik hatlar da incelenmiştir. Şekil 53’de Gelibolu civarındaki enine kesitteki düşey hız verileri görülmektedir.



Şekil 53. Gelibolu bölgesindeki düşey akıntı verileri (a) Şubat, (b) Mayıs, (c) Temmuz, (d) Kasım (cm/s)

Bu verilerin, orta hatta toplanan verilerle aynı çerçeve içinde karşılaştırılabilmeleri maksadıyla aynı derinlik kuşaklarında (yüzey akıntısı için 5 - 10 m, alt akıntı için 30 - 40 m) ortalamaları alınmıştır. Bu şekilde boğaza dik hatlarda bu derinlik kademelerinde genel düşey akıntının nasıl bir yapı izlediği hakkında fikir sahibi olunabileceği değerlendirilmiştir. Bu maksatla yapılan analizler aşağıdaki grafikte sunulmuştur (Şekil 54).



Şekil 54. Gelibolu bölgesindeki düşey akıntı hız ortalama değerleri üst akıntı * ve alt akıntı **
(a) Şubat, (b) Mayıs, (c) Temmuz, (d) Kasım

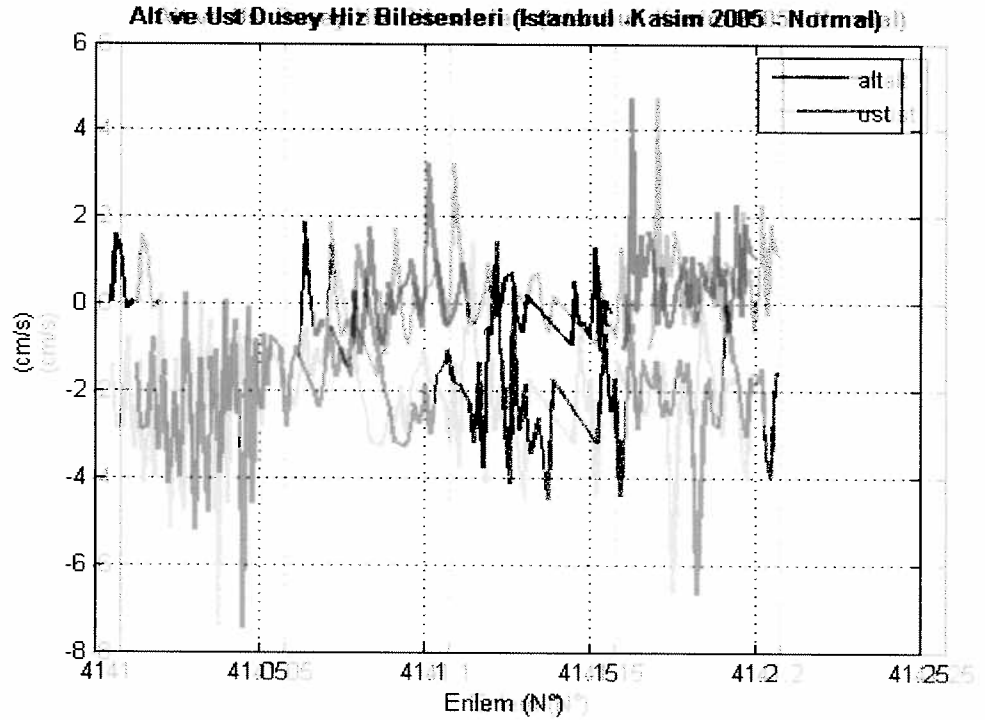
Bu analizler bize mevcut kabul edilemez durumu izah etmek için yeterli veri sağlamıştır. Şekiller incelendiğinde, Şubat ayında çok belirgin bir şekilde görüldüğü üzere, alt akıntı

* Kırmızı çizgi, 5-10 m derinlikler arası ortalama

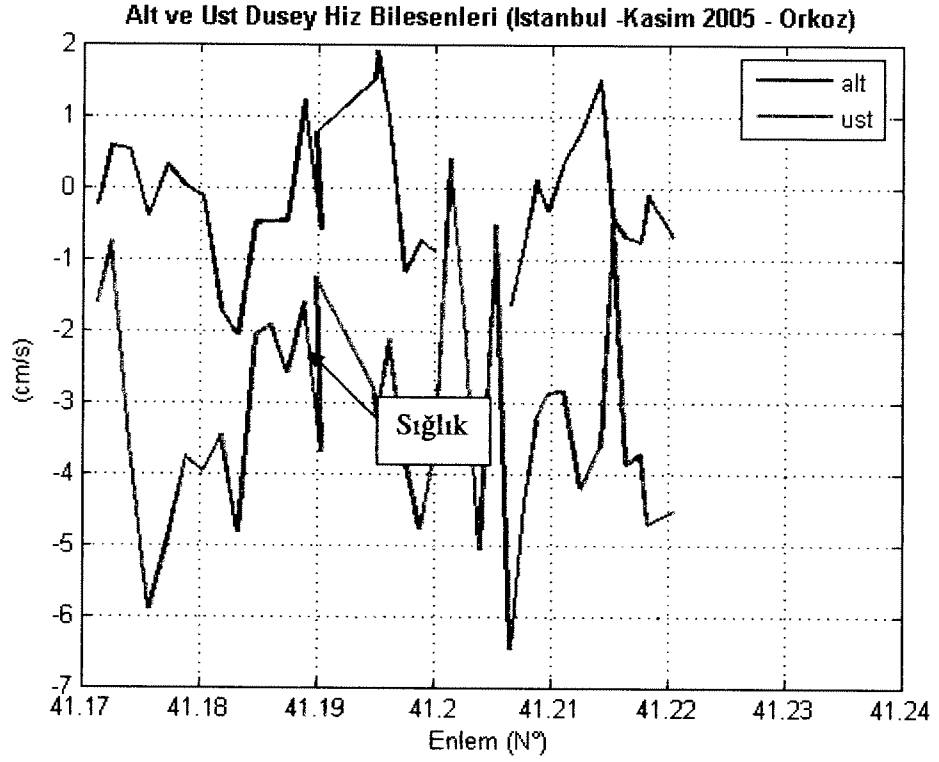
** Mavi çizgi, 30 – 40 m arası derinlikler arası ortalama

boğazın orta hattında aşağı gidiyor gibi görünse de kıyıya yakın olan taraflarında artı değere sahip olmakta yani yukarı istikamete – su sathına doğru – hareket etmektedir. Benzer mekanizma dört mevsimde de görülmektedir. Boğazın diğer bölgelerinde yapılan sınamalarda da benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Mantık sınırları içinde olmakla beraber, üst tabakanın alt tabaka ile karışmak için aşağı, alt tabakanın da tam tersi olarak üst tabaka ile karışmak için yukarı hareket etmesi durumu İstanbul Boğazı için de geçerlidir. Çanakkale Boğazı'nda İstanbul Boğazı'ndan farklı olarak alt tabakanın üst akıntı rejimi ile en çok karıştığı bölgeler orta hat değil kıyıya yakın bölgelerdir. Bu duruma devamlılık ilkesi ve akış esnasında deniz tabanının tatbik ettiği yüzey sürtünmesinin sebep olduğu değerlendirilmektedir.

Orkoz durumunda düşey karışımın nasıl etkili olduğu da incelenmiştir. İstanbul Boğazı'nda Kasım 2005 döneminde orkoz ve peşinden oluşan normal şartlar (üst tabakanın güneye akması) süresince yapılan ölçümlerde üst tabaka ve alt tabaka arasındaki düşey akıntı farklılıkları aşağıdaki grafiklerde sunulmuştur.

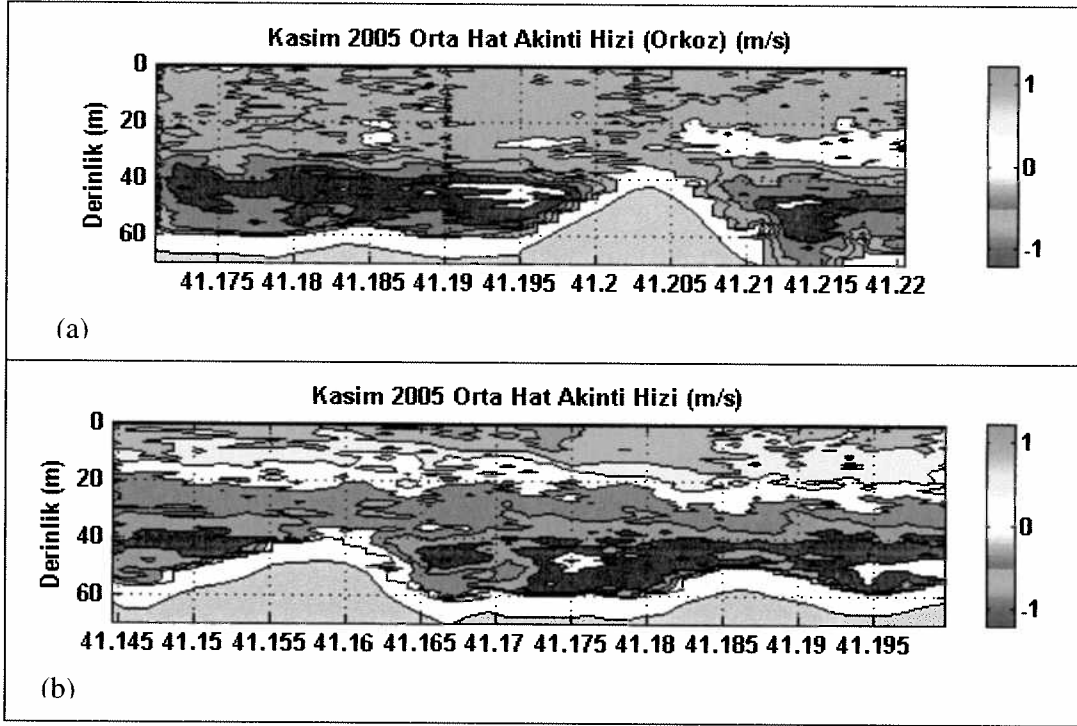


Şekil 55. Normal şartlar altındaki üst ve alt tabaka ortalama düşey hız grafiği (18 Kasım 2005)

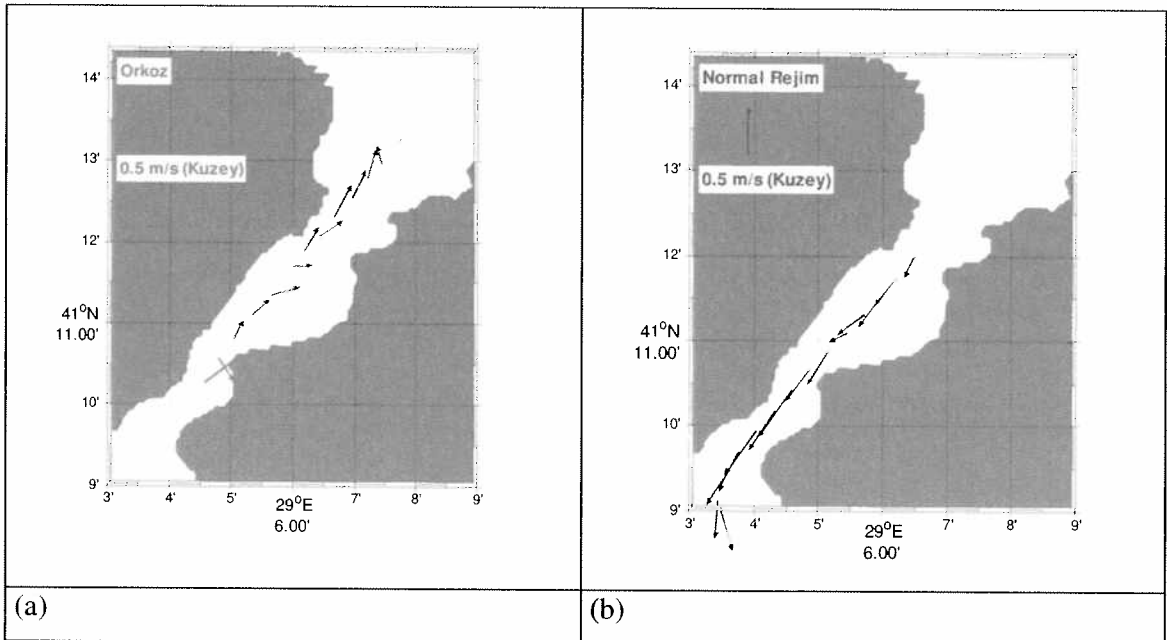


Şekil 56. Orkoz durumu üst ve alt tabaka ortalama düşey hız grafiği (17 Kasım 2005)

Orkoz durumundaki akıntı ölçümü İstanbul Boğazının sadece Karadeniz girişinde ölçülmüştür. Eldeki veriler sadece bu bölge ile kısıtlı kalsa da bize ilginç sonuçlar vermektedir. 17 Kasım 2005 tarihinde, İstanbul Boğazının kuzey girişinde gözlenen Orkoz akıntısının tam olarak nasıl bir genel akıntı yapısına sahip olduğu aşağıdaki şekilde görülmektedir (Şekil 57a). Güneyli rüzgârın değişmesi ile bir gün sonra (18 Kasım 2005) akıntı şartları normale dönmüş ve aynı bölgede oluşan akıntı yapısı Şekil 57b'de gösterilmiştir. Aynı döneme ait ölçüm mevkileri ve yüzeydeki akıntı değerleri oklu grafik olarak Şekil 58'de sunulmuştur.

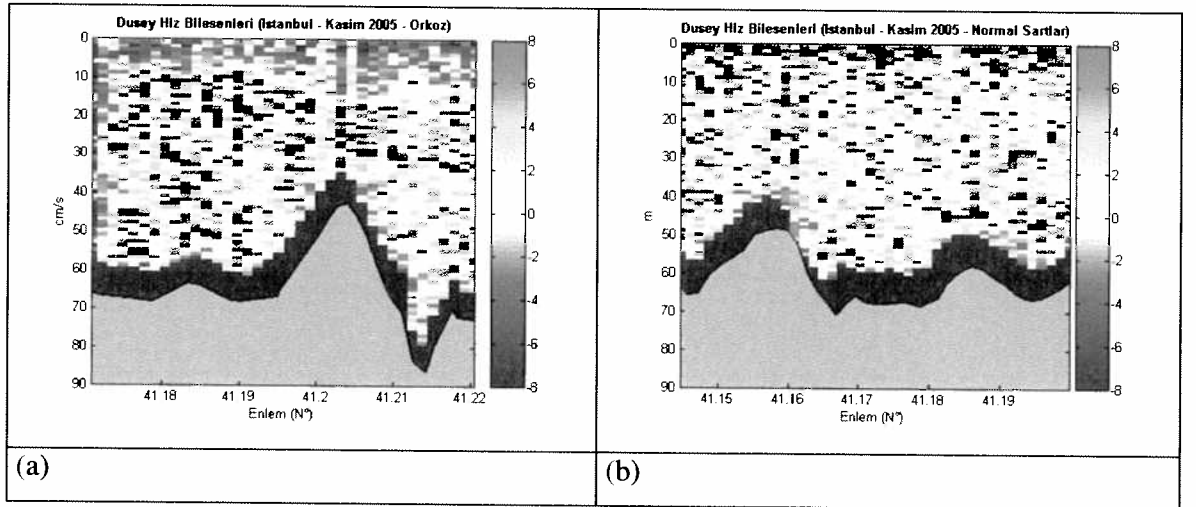


Şekil 57. İstanbul Boğazı kuzeyinde (a) “Orkoz” ve (b) Çift yönlü akıntı rejimi anında akıntı hızının düşey eksendeki dağılımı



Şekil 58. İstanbul Boğazı kuzeyinde (a) “Orkoz” ve (b) Çift yönlü akıntı rejimi anında yüzey akıntı hızı ve yönü

Orkoz döneminde Boğazın genelinde bir kuzeyli akıntı görülmektedir. Alt tabaka 0.5 – 1 m/s aralığında kuzeye (Karadeniz istikametine) akarken üst tabaka da aynı istikamete fakat >0.5 m/s hızla akmaktadır. 41°12' civarındaki sığlık bu dönemde büyük önem taşımaktadır. Hamsi limanı civarında bulunan bu sığlığın kuzeyinde üst tabakanın düşey hızı – 4 cm/s, alt tabakanın hızı ise – 1 cm/s iken, sığlığın güneyinde üst tabaka – 4 cm/s, alt akıntı – 0.8 cm/s değerindedir. Aynı dönem de normal şartlar altında yapılan ölçümlerde üst akıntı yaklaşık 0.4, alt akıntı ise – 2.8 cm/s değerindedir. Alt akıntının bu kadar kuvvetli bir şekilde eksi olması bu dönemde de Çanakkale Boğazında olduğu gibi kıyılarından alt tabaka suyunun su sathına doğru hareket halinde olmasını gerektirmektedir. Ancak bu durumu doğrulamak için maalesef ölçüm yapılamamıştır. Aynı bölgede toplanan düşey akıntı hızlarına ait düşey kesitlerinin tamamı aşağıdaki şekilde sunulmuştur. Şekiller incelendiğinde orkoz şartları altında orta hat boyunca yapılan ölçümlerde üst tabakanın daha kuvvetli bir düşey hızla aşağı hareket ettiği görülmektedir. Buna karşılık normal şartlar altında alt akıntının daha yüksek bir hızla yukarı doğru hareket içinde olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 59. İstanbul Boğazı Kasım 2005 dönemi düşey akıntı ölçüm sonuçları (a) Orkoz, (b) Güneyli akıntı şartlarında

4.4. Sıcaklık, Tuzluluk ve Çözünmüş Oksijen Değişimleri

4.4.1. Sıcaklık, tuzluluk

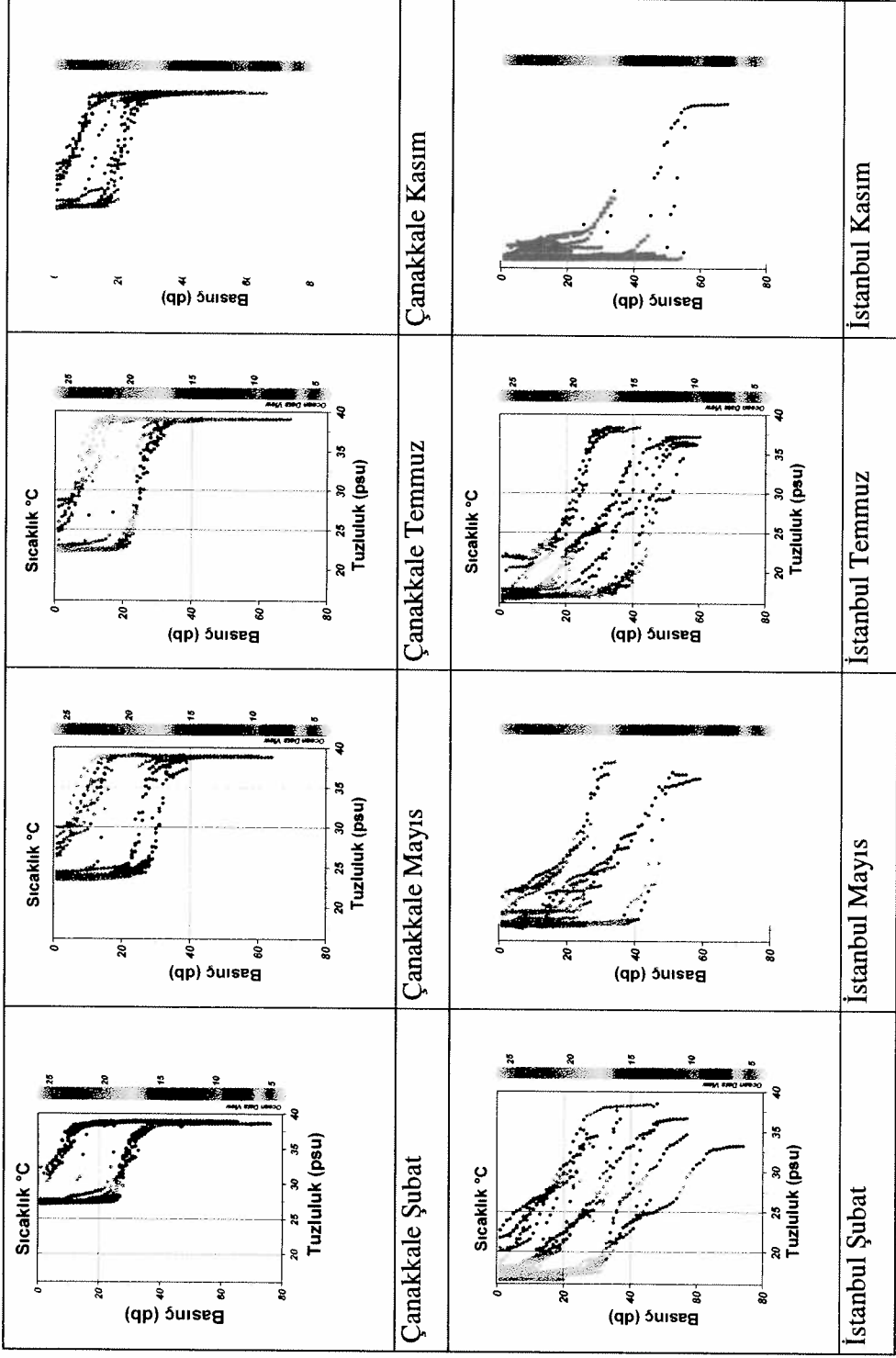
TBS sahip olduğu dip yüzey şekli (morfolojisi) ve birbirinden çok farklı iki su kütlelerinin aynı anda geçişine ev sahipliği yapması sebebi ile bu su kütlelerinin karışmasına ve özelliklerinin değişmesine sebep olmaktadır. Sıcaklık ve tuzluluk gibi temel parametrelerin değişiminde daha ziyade karışım önemli rol oynamakta ise de çözünmüş oksijen, besin tuzları ve planktonlar gibi kimyasal ve biyolojik parametrelerin değişiminde karışımın yanı sıra ışık geçirgenliği, plankton patlaması gibi biyolojik süreçlerdeki üretim ve tüketim mekanizmaları da önemli rol oynamaktadır. Bu tez kapsamında sıcaklık, tuzluluk ve çözünmüş oksijen parametrelerindeki zaman ve mekânsal değişimler incelenmiştir.

Akıntı yapısına bağlı olarak Karadeniz kökenli göreceli olarak daha az tuzlu ve hafif deniz suyu İstanbul Boğazından TBS'ne girer ve üst tabaka suyunu oluşturur. Aynı şekilde Ege Denizi üzerinden gelen Akdeniz kökenli daha tuzlu ve ağır su ise Çanakkale Boğazından sisteme girer. Her iki su kütlesi arasındaki yoğunluk farkının çok fazla olması sebebi ile düşey karışım oldukça zayıftır, başka bir deyişle düşey hızlar azdır. Bu durum özellikle alt tabakayı oluşturan Akdeniz kökenli suyun büyük ölçüde özelliklerini korumasına sebep olur. Konunun rakamlarla ifade edilmesi gerektiğinde Karadeniz'den üst akıntı ile giren suyun yoğunluğu 13- 14 kg/m³ (sigma theta) iken Marmara'ya girişte 15 – 16 kg/m³, Çanakkale Boğazına girişte 20 – 22 kg/m³, Ege'ye çıkarken ise 24 kg/m³ değerine ulaşmaktadır. Benzer şekilde Akdeniz kökenli alt tabaka suyu ise üstten giren az tuzlu suyun sebep olduğu derişim sebebi ile 29 kg/m³ değerinden, Marmara girişte 28.5 kg/m³, İstanbul Boğazına Marmara'dan girişte 27 kg/m³ ve nihayet Karadeniz'e çıktığı anda ise yaklaşık 24- 25 kg/m³ değerine düşmektedir.

Her iki boğaza giren ve çıkan su kütlelerinin sıcaklık ve tuzluluk değerlerinin derinliğe göre mevsimsel değişimini incelemek maksadı ile aşağıda açıklanan bölgelerdeki istasyonlar seçilerek bu parametrelerin analizi yapılmıştır. Özellikle boğazların kuzey ve güney girişlerinde bulunan istasyonlar seçilerek sistemlerin giriş ve çıkış noktalarındaki özellikler

tespit edilmiştir. Her boğazın güney ve kuzey bölgelerindeki istasyonlar birleştirilerek tek grafikte sunulmuştur.

2005 yılında dört mevsim boyunca yapılan sıcaklık ve tuzluluk değerleri grafik ve tablo ortamında aşağıda sunulmuştur. Grafiklerde düşey kesit olarak basınç, yatay ekseninde ise tabakalaşmanın temel sebebi olan tuzluluk gösterilmiştir. Ortaya çıkan profil şeklindeki verilere ise renk kodu ile sıcaklık değeri giydirilmiş ve aynı anda derinliğe göre sıcaklık ve tuzluluk olmak üzere iki ayrı parametre gösterilmiştir. Her bir grafikte ait olduğu bölge ve zamana ait giriş ve çıkış istasyonları mevcuttur. Bu sayede aynı zaman dilimi içindeki ve çalışılan bölgedeki değişim görselleştirilerek ifade edilmiştir. Grafikler tek tek incelendiğinde sisteme giren ve çıkan suya ait profiller kolayca ayırt edilebilmektedir. Bunun için tabaka derinlikleri kullanılmalıdır. Çanakkale Boğazında yaklaşık 10 m civarında olan tabakalaşma boğazın güney girişinde bulunan istasyonlara, 20 m civarında tabakalaşan su kütlesi ise boğazın Marmara tarafında bulunan kuzey uçtaki istasyonlara aittir. Aynı şekilde İstanbul Boğazında bulunan tabakalaşma ise boğazın Marmara (güney) girişinde yaklaşık 20 m, Karadeniz girişinde ise 40 m civarındadır.

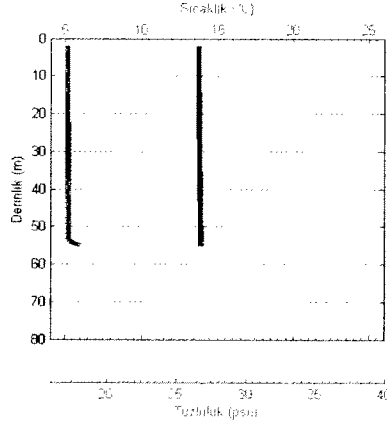


Şekil 60. İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında 2005 yılı içinde gözlenen derinliğe göre sıcaklık ve tuzluluk değişimleri

Bütün veri seti incelendiğinde sıcaklık ve tuzluluk parametrelerinin 2005 yılındaki değişimi aşağıda tabloda özetlenmiştir. Kasım ayında İstanbul Boğazında ölçüm yapılan tarihlerde yaşanan kuvvetli lodos (güneyli rüzgâr) fırtınası sebebi ile 16 - 18 Kasım 2005 tarihleri arasında Marmara Denizi tarafında ölçüm yapılamamıştır.

Kasım 2005 döneminde icra edilen ölçümlerde meteorolojik parametreler ve bunun İstanbul Boğazı akış rejimine olan etkileri konusunda oldukça ilginç bir durum yaşanmıştır. 15 Kasım 2005 tarihine kadar rüzgâr kuzey – kuzey doğu istikametinden ortalama 4 – 7 m/s hızla esmekteyken, müteakip üç gün boyunca ortalama 5 – 7 m/s hızla esen lodosa dönmüştür. Bu durumun Marmara ve Karadeniz arasındaki su seviyesi üzerinde dramatik bir değişiklik yarattığı gözlenmiştir. Kuzeyli esen günlerde Karadeniz'in su seviyesi Marmara'dan yaklaşık 50 cm yukarıda iken, rüzgârın ters yöne drisa etmesiyle Marmara Denizi'nin kuzey yakasında su seviyesinde keskin bir yükseliş, buna bağlı olarak da farkın azaldığı hatta 18 Kasım 2005 tarihinde Marmara'nın yaklaşık 3 cm daha yüksek seviyeye geldiği gözlenmiştir.

Bahsedilen rüzgâr ve su seviyesi oluşumunun deniz suyunun sıcaklık ve akıntı özelliklerine olan etkisi de bu dönemde gözlenmiştir. Seviye farkının 40 cm'den daha fazla olduğu ilk dönemde alınan CTD kayıtlarında 17.2 psu değerinde Karadeniz kökenli suyun ilk 50 m'de yer aldığı görülmüş (Şekil 61), güneyli havanın hâkim olduğu dönemin son günü Boğaz'ın kuzey girişinde yapılan ADCP ölçümünde ise akıntının bütün su kolunu boyunca tamamen kuzeye aktığı ve üst akıntının tamamen bloke olduğu tespit edilmiştir. Üç gün içerisinde bir uç durumdan diğer uç duruma, başka bir deyişle alt akıntının bloke olduğu durumdan üst akıntının bloke olduğu duruma geçiş olmuştur. Akdeniz kökenli tabakanın nerede ise tamamen bloke olduğu söz konusu durum Bölüm 4.1.4 ve 4.3'te ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Aynı şekilde dikkat çeken bir nokta da alt tabakanın bloke olduğu durumda Karadeniz kökenli suyun sıcaklık ve tuzluluk değerlerinin oldukça homojen (özdeş) olduğu, yani ortamda kuvvetli bir karışım yaşandığıdır.



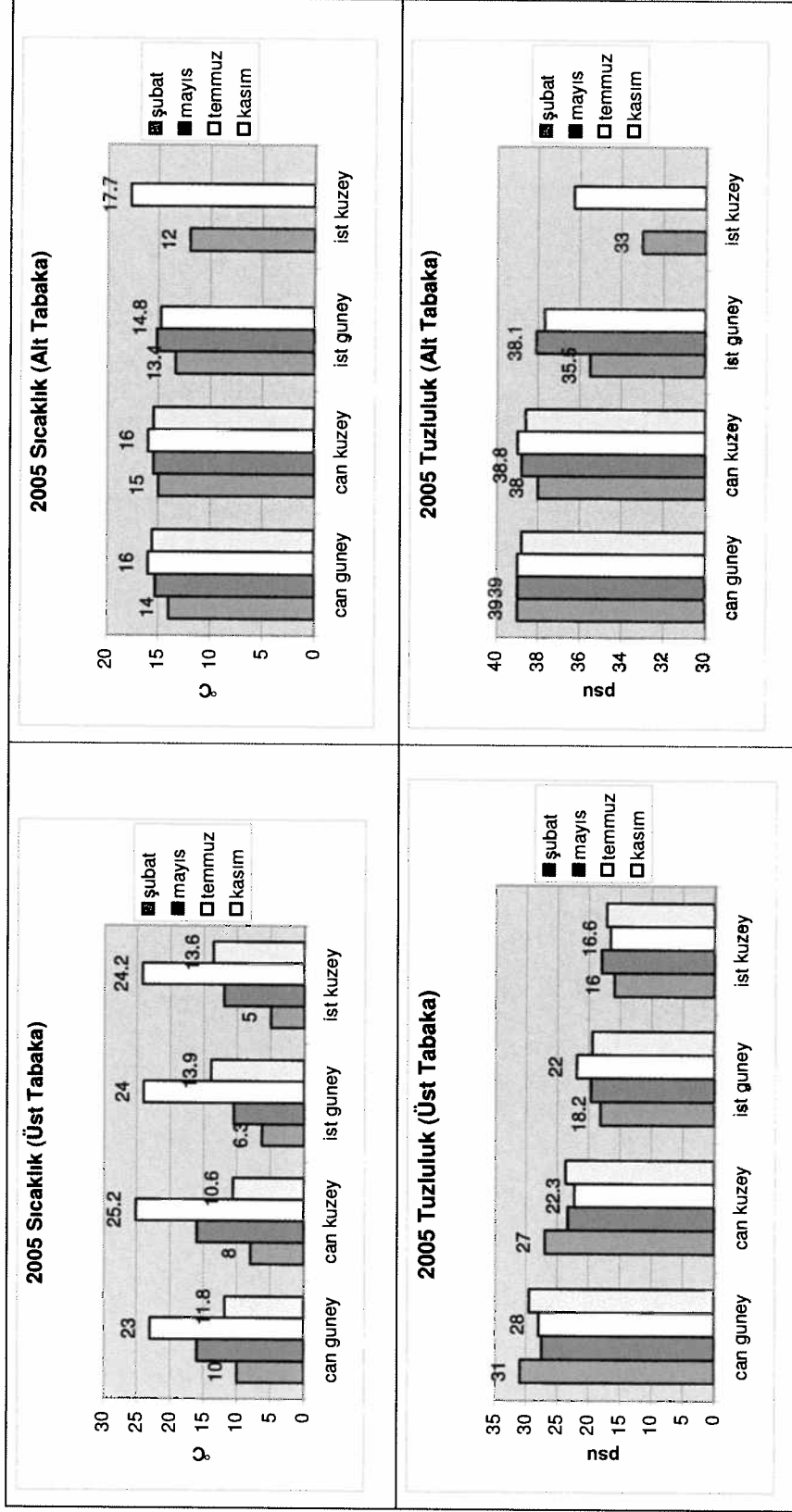
Şekil 61. Şiddetli Poyraz etkisinde İstanbul Boğazı kuzeyinde görülen sıcaklık ve tuzluluk yapısı

Bütün sonuçlar bir tablo ve bar grafiği halinde müteakip iki sayfada sunulmuştur (Tablo 5, Şekil 62). İstanbul Boğazı akıntı yapısının üst katmanında sıcaklık 5 ile 24.2 °C arasında değişmiş, tuzluluk ise nispeten homojen olup 16 ile 22 psu arasında değişmiştir. Alt tabaka ise daha homojen bir yapı göstermiş olup yıl içinde sıcaklık 12 ile 17 °C arasında, tuzluluk ise 33 ile 38.1 arasında değişmiştir.

Çanakkale Boğazında da benzer şekilde bir tuzluluk sıcaklık değişimi gözlenmiştir. Tuzluluk üst tabakada güneye ilerledikçe artmış, alt tabakada ise kuzeye çıktıkça azalmıştır. Çanakkale sisteminde yıllık değişimlere bakıldığında, sıcaklık üst katmanda 10 – 25.2 °C aralığında, tuzluluk ise 22.3 ile 31 psu arasında değişmiştir. Alt tabakada ise sıcaklık 14 ile 15.6 °C, tuzluluk ise 38 ile 39 psu arasında değişmiştir.

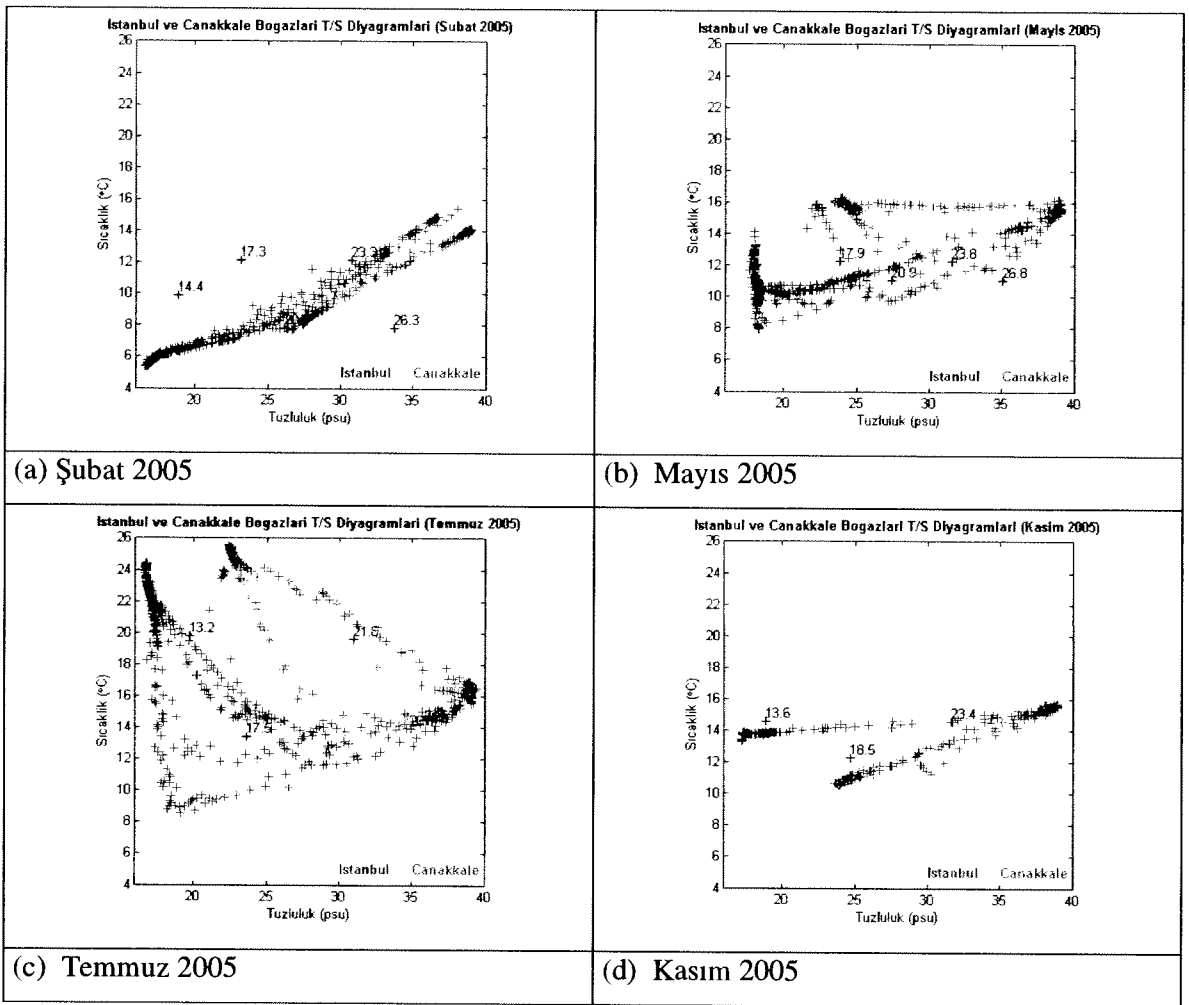
Tablo 5. Çanakkale ve İstanbul Boğazlarında üst ve alt su katmanlarındaki zamana göre sıcaklık ve tuzluluk değişiminin ortalama değerleri

		ÇANAKKALE						İSTANBUL					
		Boğazın Güneyi (Ege)			Boğazın Kuzeyi (Marmara)			Boğazın Güney (Marmara)			Boğazın Kuzey (Karadeniz)		
		T	S	Tabaka (m)	T	S	Tabaka (m)	T	S	Tabaka (m)	T	S	Tabaka (m)
Şubat 2005	Üst	10	31	2	8	27	25	6.3	18.2	14	5	16	26
	Alt	14	39	15	15	38	38	13.4	35.5	27	12	33	65
Mayıs 2005	Üst	16	27.5	3	16	23.4	21	10.5	19.7	22	12	18	-
	Alt	15.3	39	17	15.5	38.8	30	15.2	38.1	31	-	-	-
Temmuz 2005	Üst	23	28	5	25.2	22.3	19	24	22	15	24.2	16.6	42
	Alt	16	39	13	16	39	33	14.8	37.7	28	17.7	36.3	50
Kasım 2005	Üst	11.8	29.5	4	10.6	23.7	17	13.9	19.5	24	13.6	17.2	-
	Alt	15.6	38.8	11	15.5	38.6	23	-	-	-	-	-	-



Şekil 62. Çanakkale ve İstanbul Boğazlarında üst ve alt su katmanlarındaki zamana göre sıcaklık ve tuzluluk değişimi

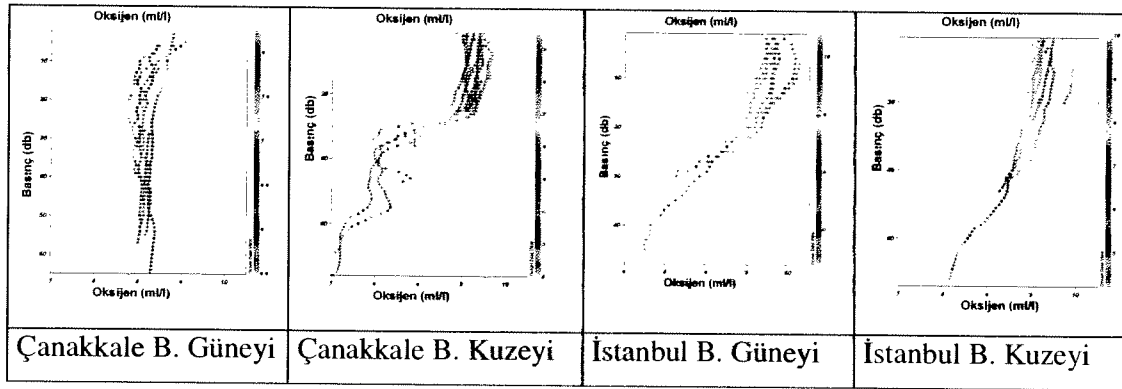
2005 yılında icra edilen CTD Ölçümlerinin T-S (Sıcaklık, Tuzluluk) diyagramları aşağıda sunulmuştur (Şekil 63). Bu grafiklerde toplanan verilerin tamamı İstanbul için mavi, Çanakkale Boğazı için kırmızı renkli olmak üzere iki değişik renkte gösterilmişlerdir. Tuzluluk değerleri her iki su kütlesi için de bütün yıl boyunca büyük ölçüde sabit kalırken, sıcaklıkta gözle görülür değişim sadece üst tabakada yaşanmıştır. Şubat ayında 5°C'ye kadar düşen üst tabaka suyu, Temmuz ayında 24°C'ye kadar yükselmiş, Mayıs ve Kasım aylarında ise 14°C civarında seyretmiştir.



Şekil 63. İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında toplanan CTD verilerine ait T-S diyagramları

4.4.2. Oksijen ve Secchi Disk sonuçları

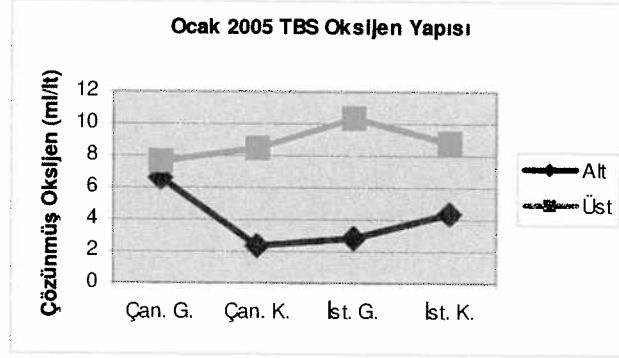
Deniz suyundaki biyolojik faaliyet ve etkileşim üzerinde en etkili olan parametrelerden biri su içinde bulunan çözünmüş oksijen miktarıdır. TBS içindeki oksijen yapısı özellikle Marmara Denizi'ndeki plankton patlaması, sisteme giren kara kökenli yüklerin dağılımı ve biyolojik aktivite ile tüketilmesi bakımından büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple Ocak 2005 döneminde yapılan deniz çalışmasında üzerinde kalibre edilmiş bir çözünmüş oksijen ölçme yeteneği olan bir SBE 25 kullanılarak sıcaklık ve tuzluluğun yanı sıra oksijen ölçümleri de icra edilmiştir. Toplanan veriler derinliğe göre değişen profil olarak Şekil 64'te sunulmuştur.



Şekil 64. Ocak 2005 Dönemi İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında derinliğe göre çözünmüş oksijen değişimi

Alt ve üst tabakalarda bulunan su kütlelerinin ortalama çözünmüş oksijen değerlerinin yere göre değişimi incelenmiştir. Sonuçlar Ege girişinden Karadeniz çıkışına doğru olmak üzere aşağıdaki grafikte gösterilmiştir (Şekil 65). Karadeniz kökenli üst tabakada bulunan su İstanbul Boğazının kuzeyinde 8.8 ml/l oksijene sahipken bu oran Marmara girişine ulaşıldığında 10.3 ml/l değerine çıkmıştır. Aynı dönemde, Gelibolu civarındaki Çanakkale güneyini temsil eden istasyonlarda oksijen kısmen düşerek 8.5 ml/l, boğazın Ege çıkışında ise daha da düşerek 7.6 ml/l değerine ulaşmıştır.

Ege'den alt tabaka vasıtası ile giren su kütlesi ise sırası ile Çanakkale Boğazının güneyinde 6.6 ml/l iken kuzeyinde oldukça düşerek 70 m derinlikte 2.4 ml/l değerine inmiştir. Aynı dönemde İstanbul Boğazının güneyinde 2.8 ml/l, kuzeyinde ise az bir artışla 4.3 ml/l olarak okunmuştur.



Şekil 65. İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında Ocak 2005'te çözülmüş oksijenin ortalama değerleri

Çanakkale Boğazındaki ani ve sert düşüşün sebebi olarak kuvvetli tabakalaşma ve akıntı rejiminin İstanbul Boğazına göre nispi olarak daha az türbülanslı olması, bir başka deyişle karışımın daha az olması sebep olarak ileri sürülmektedir. Bu durumda üst tabaka atmosfer ile etkileşim sayesinde oksijen ithal ederken, alt tabaka sadece üst tabaka ile karışım yolu ile oksijen alabilmektedir. Karışımın Çanakkale'nin kuzeyinde zayıf olması ve bunun yanı sıra Marmara kaynaklı alt tabaka suyunun oksijenin düşük olması sebebi ile alt tabakaya oksijen fazla girememektedir.

Bölgede icra edilen Secchi Disk ölçümleri suyun şeffaflığı, dolayısı ile muhteviyatı hakkında fikir vermektedir. İstanbul Boğazının kuzeyinde Secchi Disk'in görüldüğü derinlik Temmuz ayında 20 metreden, Marmara çıkışında 10 m'ye düşmüştür. Diğer dönemlerde 8 – 12 m aralığında bir değişim gözlenmiştir. Çanakkale Boğazında ise bölgenin tamamında ve her dört mevsimde de 8 – 12 m aralığında ölçülmüştür (Şekil 66). Su içinde ışık enerjisi Beer kuralı gereğince logaritmik olarak azalır (Denklem 4.2). Buradan hareketle Secchi Disk değerlerine bakarak TBS içinde alt tabakaya güneş ışığının az miktarda nüfuz ettiğini

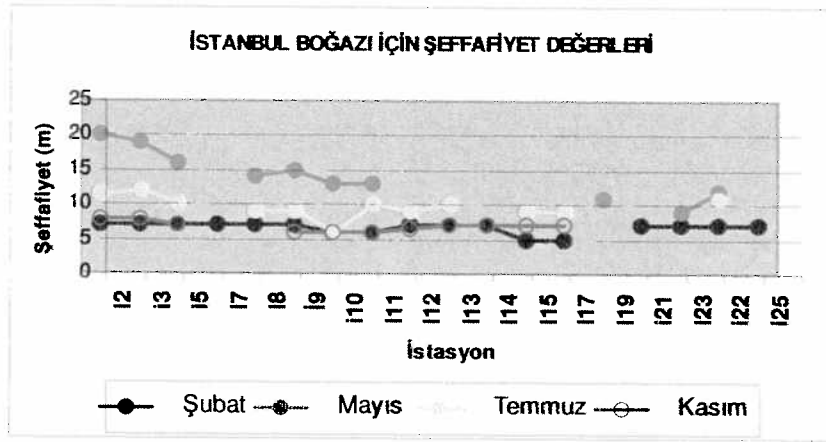
söylemek yanlış olmayacaktır. Bu durum sistemin oksijen dengesi üzerinde karışımla beraber rol oynayan ikinci mekanizmadır.

$$-K_d (\Delta z) = \ln (E_{z2} / E_{z1})$$

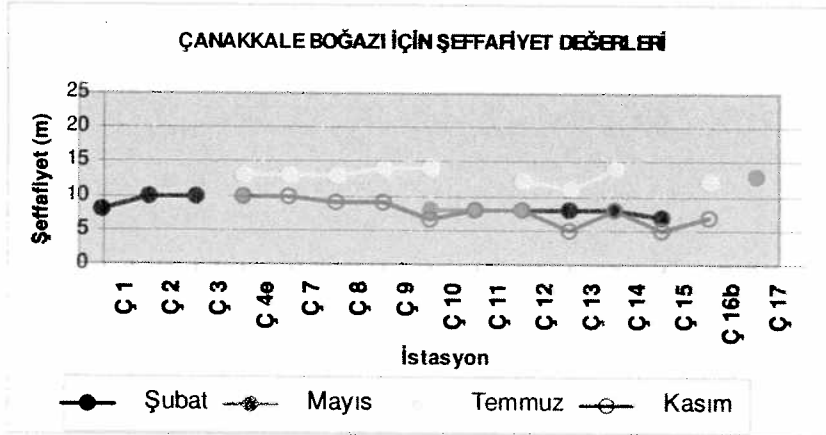
4.2

K_d = Yayılım kaybı katsayısı, Δz = Derinlik farkı

E_{z2} = İkinci derinlikteki ışık şiddeti, E_{z1} = Birinci derinlikteki ışık şiddeti



(a)



(b)

Şekil 66. (a) İstanbul ve (b) Çanakkale Boğazları Secchi disk verileri

4.5. Uzaktan Algılama Analizleri

Ölçüm yapılan dönemlerde TBS bölgesinde uzaktan algılama imkânları kullanılarak deniz suyu yüzey sıcaklığı ölçümü yapılmıştır. MODIS uydusu tarafından toplanan veriler NASA (National Aerospace and Space Administration)'ya ait internet sayfasından indirilmiştir. Ham veriler SEDAS isimli yazılımla işlenmiş ve elde edilen deniz suyu yüzey sıcaklığı verileri Matlab yardımı ile görüntülenmiştir (Şekil 67).

MODIS uydusu yeryüzünden 705 km yüksekte ve kutuplar üzerinden geçen dairesel bir yörüngede güneşe eş zamanlı olarak uçmaktadır. Uydu 620 nm ve 14.385 µm aralığında toplam 36 adet kanalda pasif ölçüm yapmaktadır. Toplanan veriler deniz suyu yüzey sıcaklığı, klorofil, bulutluluk, bulut yüksekliği ve sıcaklığı, ozon, hava sıcaklığı, gibi değişik bilgilerin üretilmesinde kullanılabilir. Görünür bantlardaki kanallarda toplanan verilerin yersel çözünürlüğü 250-500 m aralığında değişirken, deniz suyu yüzey sıcaklığı dahil diğer parametreler için gerekli kanallarda toplanan veriler 1000 m yersel çözünürlüğe sahiptir.

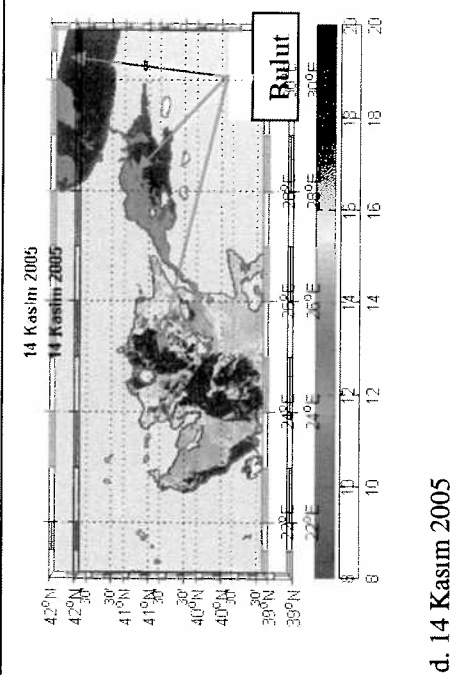
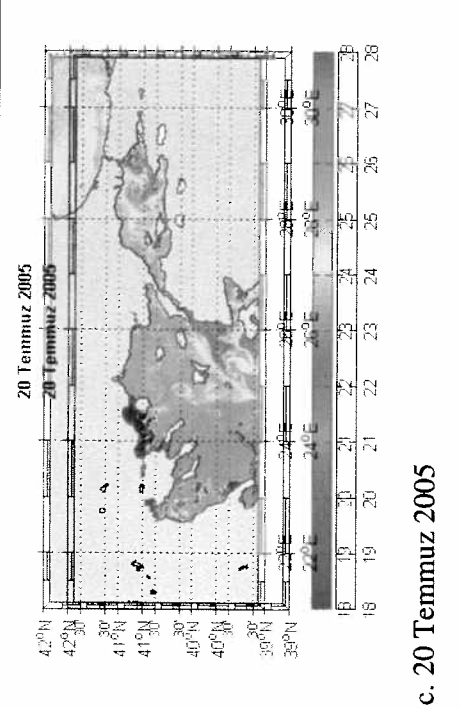
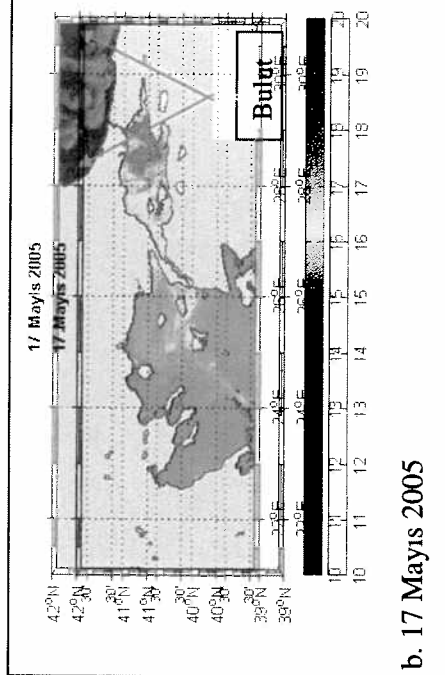
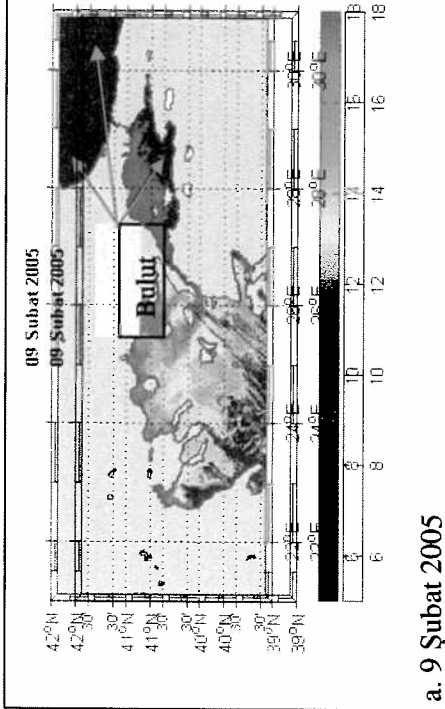
Analiz sonucunda elde edilen dört adet görüntü aşağıda sunulmuştur. 09 Şubat 2005 tarihinde elde edilen uydu görüntüsü incelendiğinde Çanakkale'de su sıcaklığının 6-8 °C aralığında olduğu görülmektedir. Aynı dönemdeki CTD ölçümlerinde ise aynı bölgede yüzey su sıcaklığının 8-10 °C aralığında olduğu gözlenmiştir. İstanbul Boğazındaki Karadeniz kaynaklı üst akıntı jet şeklinde önce güney-doğuya inerek sonra kuzey-batıya yönelip Çanakkale'ye doğru yayılarak ilerlemektedir. Ege çıkışında ise Karadeniz kökenli suyun batı istikametine yönelerek Yunanistan ana karasına doğru yönelerek Bozcaada hizasında doğu-batı ekseninde kuvvetli bir cephe oluşturmaktadır.

17 Mayıs 2005 tarihinde Marmara üzerinde hava açıkken güneybatı Karadeniz kısmen bulutludur. Özellikle İğneada – İstanbul Boğazı girişi arasında sahile paralel kesif bir bulut tabakası görülmektedir. İstanbul Boğazı'ndan ivmelenmiş olarak çıkan su kütesinin Marmara içinde doğrudan güneye ilerleyerek Bozburun yarımadasına çarpıp kıvrılarak kuzey-batıya yönelmektedir. Marmara'nın kuzey yamacındaki Ereğli ve Tekirdağ körfezlerine doğru bu menderesli akıntının saat yönü istikametine filamentler oluşturduğu tespit görülmektedir.

Ege'ye çıkan Karadeniz kökenli suyun bir jet şeklinde önce batıya ilerlediği bilahare kuzeye ve güneye yöneldiği görülmektedir.

20 Temmuz 2005 tarihinde alınan uydu görüntüsü incelendiğinde Marmara denizinde bulunan Karadeniz kökenli su 22 – 23 °C aralığında iken İstanbul Boğazından jet şeklinde çıkan suyun 20°C civarında olduğu görülmektedir. Aynı su kütlesi Marmara'nın doğusunda görülmekte, buna karşılık, Marmara'nın batısında kuzey Ege ile aynı sıcaklığa (24 – 26 °C) sahip su kütlesi yer almaktadır. Farklı sıcaklığa sahip bu su kütleleri kuzey Marmara'da yine kıvrımlı cephelemler oluşturmaktadır. Çanakkale Boğazından çıkan su kuzey Ege'de kuvvetli bir aşağı iniş göstermektedir. Kuzey Ege'de Karadeniz kökenli su doğrudan güney istikametine akmaktadır. Ölçüm anında rüzgarlar genel kuzeyden 4 m/s hızla esmektedir. Marmara'dan çıkan su 22-23 °C aralığında iken Akdeniz kökenli Ege suyu 25 – 26 °C aralığındadır. Kuzey Ege'de bu mevsimde sıcaklık ve (uydu görüntüsünden anlaşılmamakla beraber bilinen farklılıklar sebebi ile) tuzluluk farkından dolayı kuzey güney istikametinde kuvvetli bir cepheleşme olduğu görülmektedir.

14 Kasım 2005 tarihli uydu verisi incelendiğinde orta Karadeniz ve Marmara üzerindeki yoğun bulut dikkat çekmektedir. Marmara denizinde yüzey suyu sıcaklığı 9 – 10 °C arasında değişmektedir. Kuzey Ege'ye çıkan yüzey suları genel batıya ilerlemekte ve sıcaklığı ise yaklaşık 12 °C civarındadır. Akdeniz kökenli Ege yüzey suyu doğu batı istikametinde bir cephe oluşturmuş ve 15 °C ve daha üst sıcaklıkta sistemin güneyinde yer almıştır. Ölçüm anında rüzgar genel olarak doğu istikametinden 7 m/s hızla esmektedir.

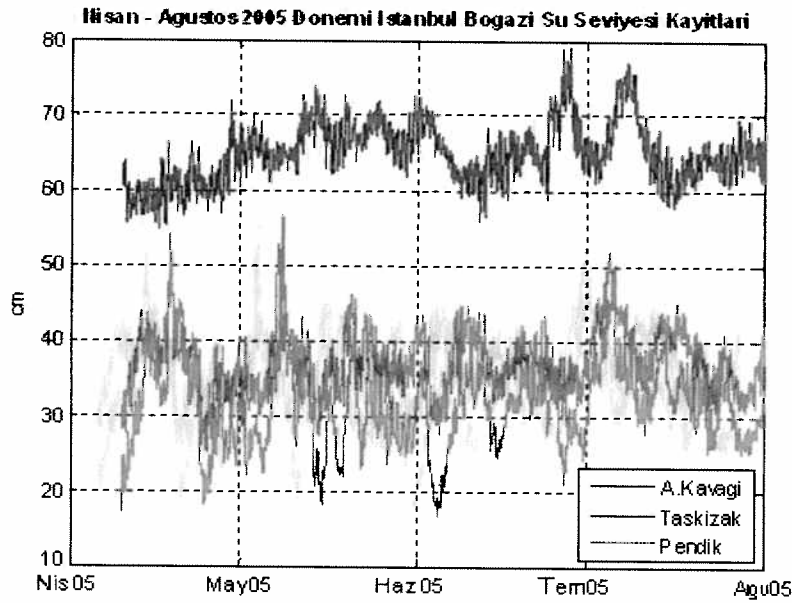


Şekil 67. 2005 yılı ölçüm dönemlerinde MODIS uydusundan alınan uzaktan gözlem verileri

4.6. Su Seviyesi Değişimleri Analizleri

TBS bünyesindeki akıntı rejimi ile su seviyesi arasında büyük bir ilişki olduğu gözlem sonuçlarının tartışıldığı bölümde görülmüştür. Santimetre mertebesindeki değişikliklerin akıntı sisteminin bütün mekanizmasını değiştirebildiği bilinmektedir. Bu sebeple bölgedeki gelgit yapısının incelenmesinin faydalı olacağı değerlendirilerek uzun dönemdeki gelgit yapısının anlaşılmasına yönelik analizler yapılmıştır.

İstanbul Boğazı'nda üç ayrı noktada gelgit ölçümü icra edilmiştir. Bunlar güneyden kuzeye sırası ile Marmara Denizi'nde Pendik bölgesinde, boğazın güney girişinde bulunan Haliç içindeki Taşkızak tersanesinde ve Boğazın kuzey girişini temsilen Anadolu Kavağı'ndadır. Ölçümler 1 cm hassasiyetinde Akım Elektronik imali OEL marka mareograflar ile 10 dakikada bir veri almak sureti ile yapılmıştır. OEL mareograflar, su seviyesindeki değişimi, denize düşey yerleştirilmiş bir boru içerisindeki şamandıranın aşağı yukarı hareketini taksimatlı tel üzerinden sayısallaştırılarak ölçmektedir. Her üç istasyonda da 9 Nisan – 08 Ağustos 2005 tarihleri arasında kesintisiz veri toplanmış ve sonuçlar Şekil 68'de sunulmuştur.



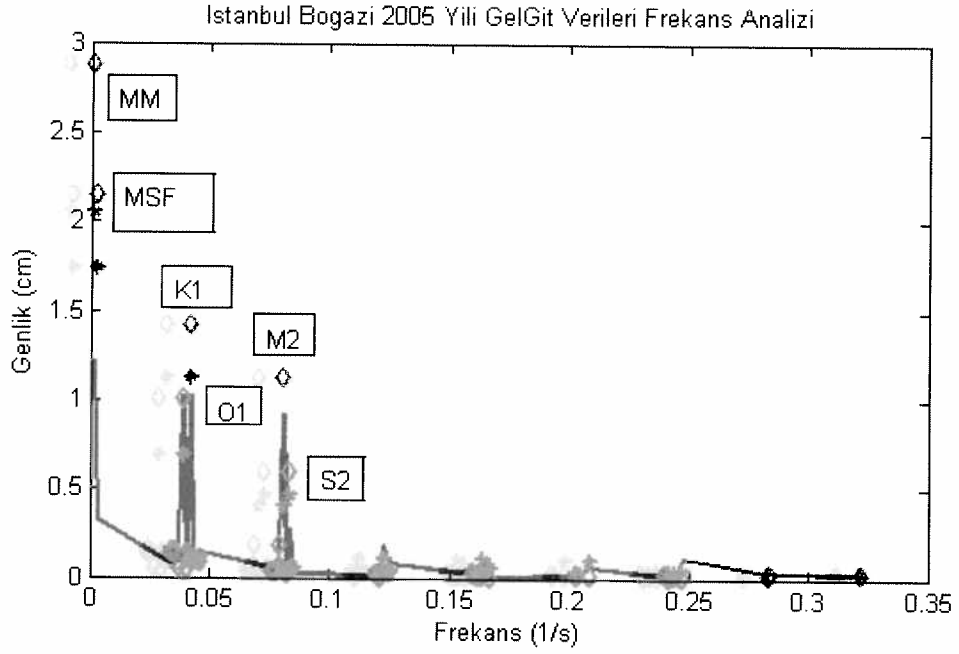
Şekil 68. Nisan – Ağustos 2005 döneminde ölçülen su seviyesi bilgileri

Ölçüm sonuçları incelendiğinde Anadolu Kavağı bölgesinde su seviyesinin Pendik'e göre ortalama 32.93 cm daha yüksek olduğu, farkın dönem içinde 6.1 cm'ye kadar düştüğü ve 53.3 cm'ye kadar da arttığı görülmektedir. Haliç'te bulunan Taşkızak bölgesi ile Pendik arasında ise ortalama 5.74 cm fark bulunmaktadır. Genelde bu iki istasyonun uyum içinde birbirini takip ettiği görülmektedir. Ölçüm sonuçlarının istatistiki analizi Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. Mareograf istasyonlarında ölçülen su seviyesi verilerine ait temel istatistiki bilgiler (birimler cm)

<u>İstasyon :</u>	<u>Minimum:</u>	<u>Maksimum:</u>	<u>Ortalama:</u>	<u>Standart Sapma:</u>
Pendik (1)	15	59	31.97	6.26
Taşkızak	24	59	37.71	4.81
A.Kavağı (3)	52	83	64.9	4.22
Fark (1 ve 3)	6.1	54.3	32.93	7.8

Toplanan veriler Pawlowicz v.d. (2002) tarafından geliştirilen Matlab uygulaması kullanılarak Fourier transformasyonu metodu ile zaman tabanından frekans tabanına aktarılmış, güneş ve ayın dünyaya göre konumlarındaki değişimin frekansına bağlı olarak incelenmiştir. Astronomik bileşenlere (başka bir deyişle frekansa) bağlı olarak genlikte ne kadar değişikliklerin olduğu hesaplanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde en büyük bileşenin Ay'ın dünya etrafındaki yörüngesindeki mesafe farklılığı ve dönüş süratindeki zaman içindeki değişiminden kaynaklanan etki (MM) olduğu görülmektedir. İkinci etken ise Ay ve güneşin birbirine göre durumlarının iki haftalık değişimlerinin sebep olduğu MSF olarak bilinen kuvvettir. Bu kuvvetlerin her bir istasyonda ne şiddette etkili olduğu Şekil 69'da sunulmuştur. Burada, sırası ile, Ay ve Güneş'in günlük hareketleri (K1), Ay'ın yarım günlük hareketleri (M2), Ay ve Güneş'in birbirlerine göre günlük değişiminden kaynaklanan kuvvet (O1) ve Dünyanın Güneş etrafındaki dönüş yörüngesi üzerindeki mesafe ve hız farklılıklarından kaynaklanan kuvvet (S2) ile gösterilmiştir.



Şekil 69. İstanbul Bölgesindeki su seviyesi değişimlerinin astronomik bileşenleri *

Her üç istasyon için elde edilen genlik değerleri tablo halinde aşağıda sunulmuştur. Pendik istasyonunda gözlenen en büyük değişimin sebebi olan MM bileşeninin yinelenme süresi uzun olmakla beraber 2.88 cm olduğu hesaplanmıştır. Gelgit kaynaklı su seviyesi değişimlerinin beklendiği üzere büyük su kütlelerine coğrafi yakınlığı sebebi ile Pendik istasyonunda daha fazla, arkasından Taşkızak en zayıf olarak da Anadolu Kavağı'nda bulunduğu görülmektedir.

* Frekans (1/saat)'a göre Genlik (cm) Değerleri (Anadolu Kavağı (Mavi düz çizgi), Taşkızak (Yeşil yıldız), Pendik (Kırmızı dörtgen))

Tablo 7. İstanbul Boğazı'nda gözlenen gelgit bileşenlerinin genlik değerleri

Bileşen:	Frekans : (1/s)	Periyod : (Saat)	Genlik (cm)		
			Pendik :	Taşkızak :	A.Kavağı :
MM	0,0015122	661.2	2,8819	2,0498	1,2152
MSF	0,0028219	354.3	2,1462	1,7399	0,3246
K1	0,041781	23.9	1,4228	1,1242	1,0272
M2	0,080511	12.4	1,128	0,40301	0,9249
O1	0,038731	25.8	1,0106	0,6961	1,0268
S2	0,083333	12	0,5997	0,4675	0,2805

Su seviyesi bilgilerine ait genlik bilgileri, değişim zarfının anlaşılmasına yardımcı olmaktadır. Bunun yanı sıra bu değişimin, bir başka deyişle açık denizlerden gelen uzun dalganın Pendik'ten başlayarak iç mahallere iletilme hızının ne olduğu da büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple gelgit enerjisinin istasyonlar arasındaki faz farkı ayrıca hesaplanmalıdır. Benzer şekilde Fourier transformasyonu yardımı ile üç istasyondaki gelgit enerjisinin her bileşeninin referans mevki olan Greenwich'e göre faz farkları hesaplanmıştır. Faz farkı olarak verilen değerler Denklem 4.3'te gösterilen "μ" değişkenidir. Her istasyon için değişik bir açılal fark olması sinyalin bu bölgeye ulaşma zamanının da değişik olmasına sebep olmaktadır. İstasyonlardaki gelgit bileşenleri (MM, MSF vs.) arasındaki açılal faz farklarını gösteren Tablo aşağıda yer almaktadır. Açılal ile zaman arasındaki ilişki ise müddet olarak ay gününün yarısı ile alakalıdır ve $360^\circ = 12.42$ saat olarak kabul edilmiştir.

$$y_0 = A_0 \cos(at + \mu)$$

4.3

y_0 = Zamana göre su seviyesindeki değişim

A_0 = Astronomik bileşen genliği

a = Astronomik bileşenin periyodu

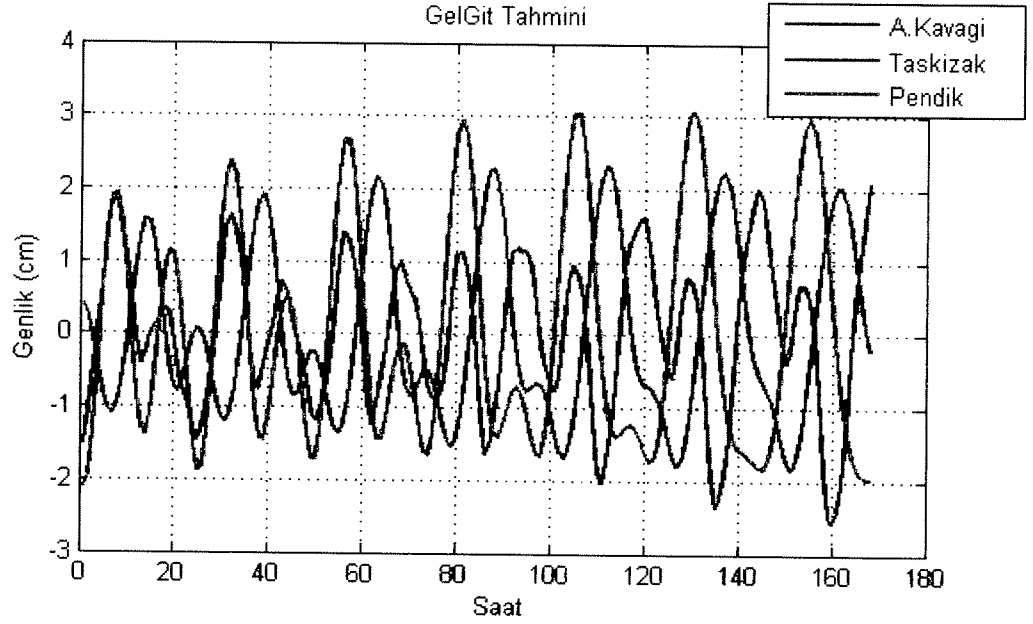
μ = Açılal faz farkı

Tablo 8. İstanbul Boğazı'nda gözlenen gelgit bileşenlerinin faz frekansları

Bileşen:	Frekans : (1/s)	Periyod : (Saat)	Faz Farkı (°)		
			Pendik :	Taşkızak :	A.Kavağı :
MM	0,0015122	661.2	34,369	25,210	234,92
MSF	0,0028219	354.3	279,08	265,94	25,338
K1	0,041781	23.9	28,076	117,07	299,85
M2	0,080511	12.4	54,122	241,84	27,006
O1	0,038731	25.8	353,92	110,61	193,61
S2	0,083333	12	36,536	241,23	123,92

Tablo 8 incelendiğinde MM bileşeni için Pendik ve Taşkızak arasında yaklaşık 9°, Pendik ve A.Kavağı arasında ise takriben 159° faz farkının mevcut olduğu görülmektedir. Bu durum MM sebebi ile oluşan uzun dalganın Pendik'ten Taşkızak'a yaklaşık 18.8 dakika, A.Kavağına ise 5.5 saat sonra ulaşacaktır. Benzer şekilde bütün bileşenlerin istasyonlar arası seyahat zamanlarının hesaplanması mümkündür.

Gelecekte kaynak olarak kullanılmak üzere toplam 35 adet bileşen genlikleri ve faz farkları hesaplanmış ve tablo halinde EK-3'te sunulmuştur. Bütün sinyallerin sinüsoidal olması ve genlik ile faz farklarının bilinmesi bütün bileşenlerin üst üste bindirilmesi (süperimpoze) durumunda, bize gelgitin tahmin edilebilmesi imkânını vermektedir. Bahsedilen işlem yapılmış, bir haftalık gelgit her üç istasyon için tahmin edilmiş ve sonuçlar Şekil 70'de sunulmuştur.



Şekil 70. Anadolu Kavağı, Taşkızak ve Pendik istasyonları için bir haftalık gelgit tahmini

Tahmin süresi bir yıl için çalıştırıldığında Pendik için 7.1 cm, Taşkızak için 4.5 cm, A. Kavağı içinse 5.7 cm civarında bir gelgit zarfının mevcut olduğu görülmektedir. Analiz sonuçları aşağıdaki yorumların yapılmasını mümkün kılmaktadır:

- Pendik bölgesi diğer istasyonlara nispetle açık denizlere daha yakın olması sebebi ile daha büyük bir gelgit kuvvetine maruz kalmaktadır,
- Taşkızak Haliç içinde yer alması sebebi ile üç istasyon arasında en düşük gelgit değişimine sahne olan bölgedir.
- Pendik bölgesi gelgit etkili kuvvetlere ilk maruz kalan bölgedir.
- Pendik ve Anadolu Kavağı bölgelerindeki farkın yıllık minimum – maksimum aralığının yaklaşık 9 cm civarındadır. Bu durum tek başına akıntı rejimini (blokaj, tam durdurma vs.) değiştirmeye yeterli değildir, ancak kritik eşiklere yaklaşıldığı durumlarda sebep olacağı birkaç cm değerindeki etki ile bu eşiklerin oluşum zamanı ve süresi üzerinde kısmi etkili olabileceği değerlendirilmektedir.
- Gözlenen su seviyesi bilgisi analiz edilerek gelgit kökenli değişimler hesaplanmıştır. Gelgitin etken olduğu değişimler genelde 3 – 5 cm civarında etkili iken, su seviyesindeki

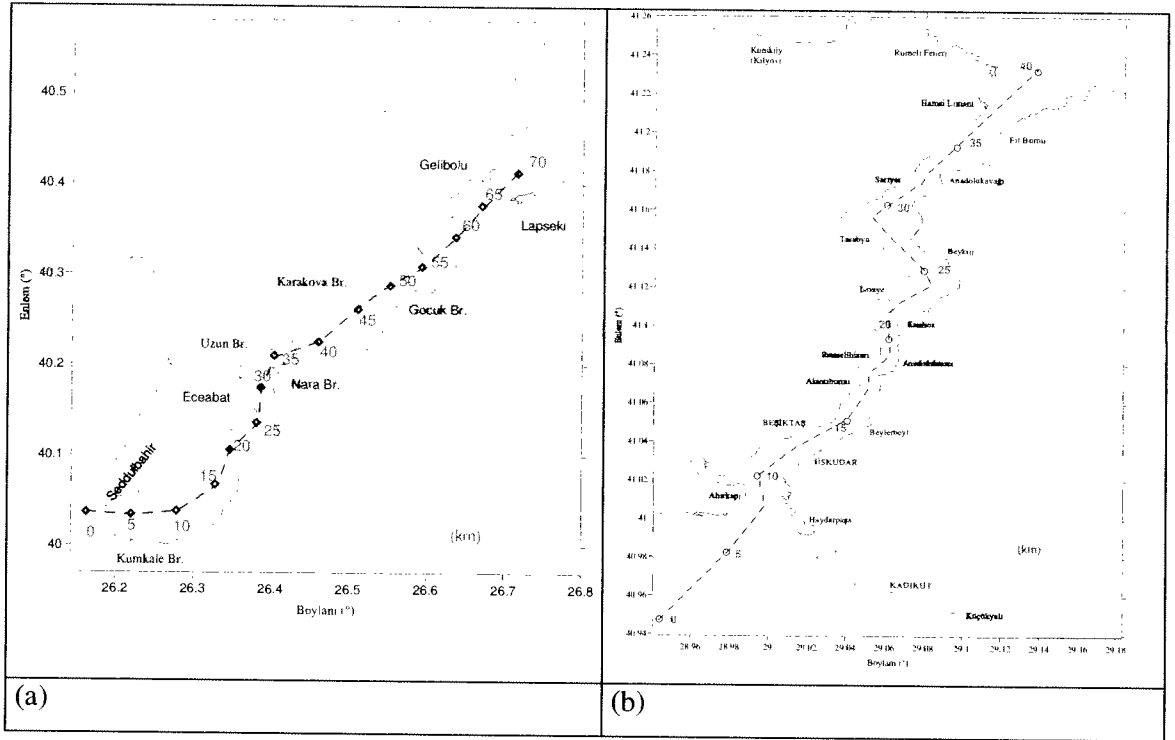
değişimin 30 – 50 cm (yaklaşık 10 katı büyük) olduğu görülmektedir. Bu durum, su seviyesi değişimlerinin, gelgit haricinde, meteorolojik etkenler ve su bütçesinin etkisine bağlı olduğuna işaret etmektedir.

4.7. Bütünleşik (Kompozit) Froude Analizleri

İki büyük su havzasını bir boğaz üzerinden birleştiren akış rejimindeki en kritik mevki “kontrol noktası” olarak adlandırılmaktadır. Momentum ve kütle korunumu ilkeleri gereği bu noktada akıntı şiddeti ve su değişiminin maksimum olması gerektiğini öngörülmektedir. Kontrol noktası, fiziki olarak yoğunluk farkından kaynaklanan potansiyel enerji ile akıntı hızından kaynaklanan kinetik enerjinin birbirine eşit olduğu nokta olarak tarif edilebilir. Genelde, coğrafi olarak derinlikteki sıkışma ve boğaz enkesitindeki daralma olan mevkilerde oluşmaktadır. Sıkışma kökenli kontrol noktaları daha çok alt akıntı rejimi üzerinde etkili olurken, daralma bölgelerindeki kontrol noktaları her iki akıntı sistemini de etkilidir. Armi ve Farmer (1987) kontrol noktasının mevkiini Bütünleşik Froude sayısının $G^2 = 1$ olduğu yer olarak tarif etmiştir. Lawrence (1990) akışın kritik altı olması durumunda iç dalgaların kanal boyuca iletilemeyeceğini ifade ederek, kritik akış analizinin ikinci bir kriter olarak kullanılabileceğini belirtmiştir (Denklem 2.3).

Denklem 2.3 kullanılarak her iki boğazda toplanan akıntı ve yoğunluk verileri analiz edilmiş ve Bütünleşik Froude sayıları (G^2) hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler her iki Boğaz’da güneyden kuzeye doğru uzanan talvek hattı boyunca grafiklerle gösterilmiştir. Mesafelerin coğrafi olarak hangi mevkiye denk geldiği müteakip sayfadaki haritalarda gösterilmiştir (Şekil 71).

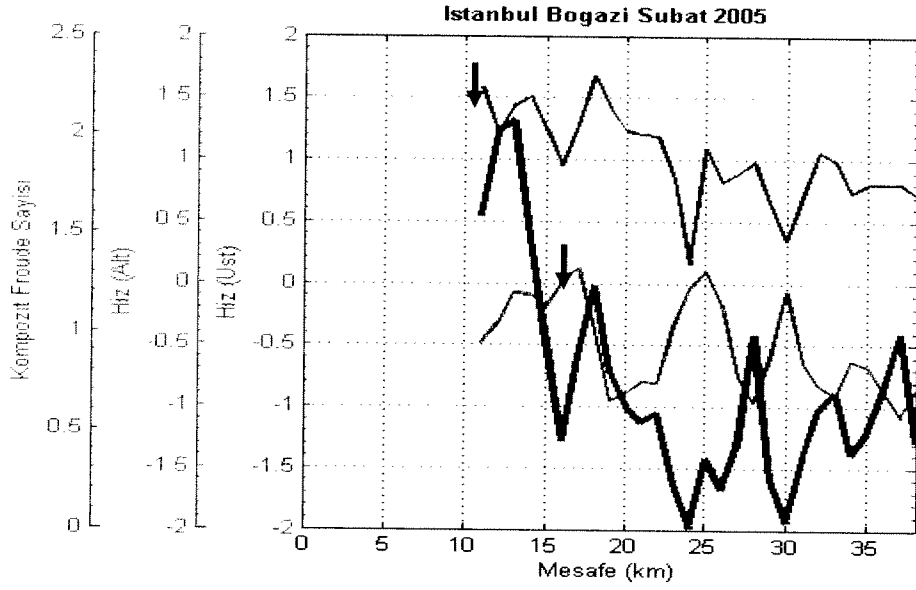
İstanbul Boğazında G^2 değerinin tepe değerine ulaşması sebebi ile dikkati çeken noktalar güneyden kuzeye doğru sırası ile Üsküdar açıklarındaki sığlık (12 km), Akıntı Burnu (17 km), Tarabya (27 km) ve Hamsi limanı açıklarındaki kuzey sığlığıdır (37 km). Aynı şekilde Çanakkale Boğazı incelendiğinde Güzelyalı civarında güneydeki sıkışma (12 km), Kepez’deki daralma (21 km), Kilitbahir (27 km) ve Nara Burnu (34 km)’dir.



Şekil 71. Boğazlarda talveg hattı boyunca mesafeler (km) (a) Çanakkale, (b) İstanbul

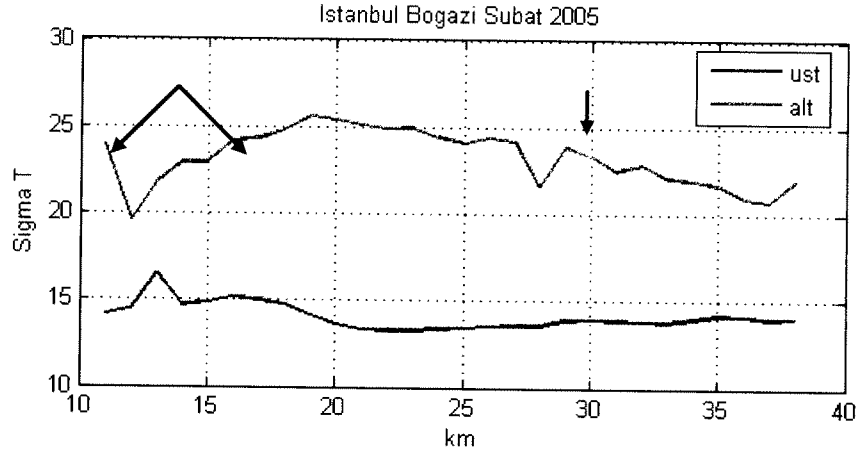
4.7.1. Kış mevsimi (Şubat 2005) İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında Bütünleşik Froude analizleri

Şubat 2005 döneminde İstanbul’da toplanan yoğunluk ve akıntı verilerinden üretilen G^2 değerleri aşağıdaki grafikte sunulmuştur. Siyah oklarla gösterilen noktalarda “1” değerini kesmiştir. Buralar sırası ile güney sıfırlığı ve Akıntı Burnu’dur. Tarabya civarında (27 km) yine bir artış gözlenmekte ancak kritik değere ulaşamamaktadır (Şekil 72).



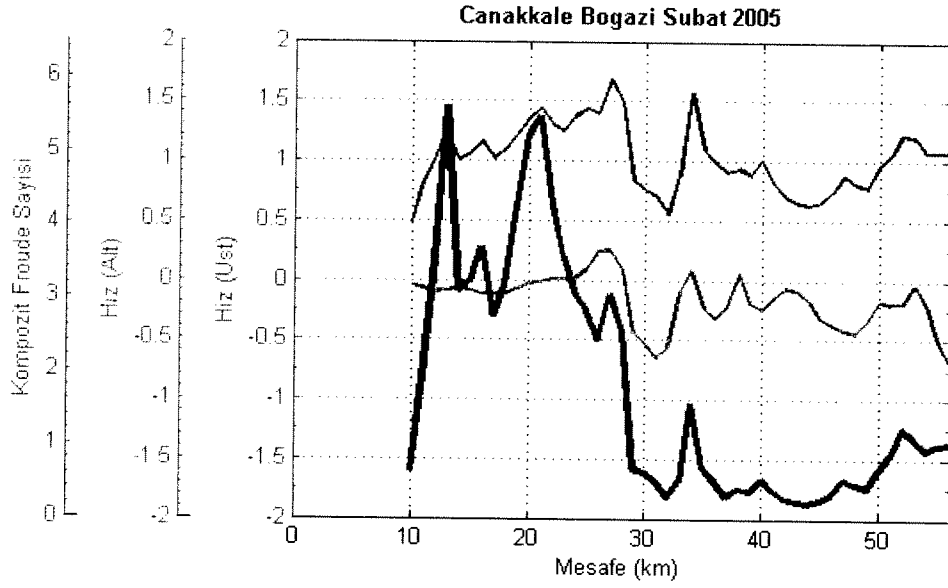
Şekil 72. İstanbul Boğazi Şubat 2005 dönemi Bütünleşik Froude değerleri

Bu hesaplamalar en kuvvetli karışımı İstanbul Boğazında 12 ve 17. km'ler arası olması gerektiğini öngörmektedir. Yoğunluğa ilişkin gözlemler aşağıda sunulmuş olup beklendiği şekilde yoğunluktaki en büyük değişim en kuvvetli karışımın göstergesi kabul edilmekte ve bahsedilen kontrol noktaları arasında (siyah oklar) etkili bir karışım mekanizması gözlenmektedir (Şekil 73). 27inci km'de Tarabya hizasında da (yeşil ok) kuvvetli olmayan bir karışım görülmektedir.

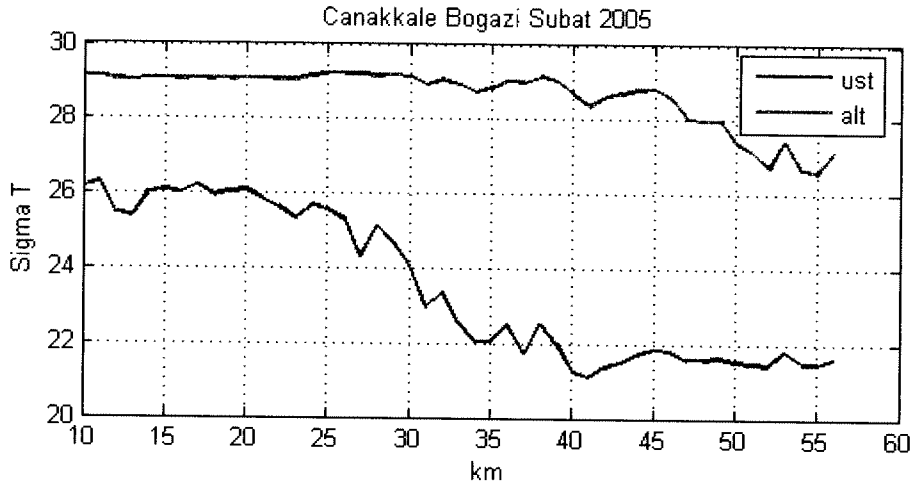


Şekil 73. İstanbul Boğazi Şubat 2005 dönemi yoğunluk değerleri

Aynı dönemde Çanakkale Boğazında icra edilen ölçümlerde toplanan yoğunluk ve akıntı verilerinden hesaplanan Bütünleşik Froude değerleri güneyden itibaren sırası ile Güzelyalı, Kepez, Kilitbahir ve Nara'da ani çıkışlar göstermektedir. Buradaki ilginç durum Kilitbahir'e kadar süperkritik yani $G^2 > 1$ durumunun sağlanmasıdır. Kilitbahir'de çok keskin bir düşüşle birin altına inerek kritik altı duruma geçmekte, Nara Burnunda tekrar kritik değer üzerine çıkarak bir kontrol noktası oluşturmaktadır (Şekil 74a). Kilitbahir ve Nara'da oluşan iki kontrol noktası en yüksek sürat ve en büyük karışım mekanizmasının bu arada olduğunu göstermektedir. Karışımın seviyesini görebilmek maksadı ile mesafeye göre yoğunluklardaki değişim Şekil 74b'de grafik olarak sunulmuştur. Şekil 74b'de görüldüğü her iki tabakanın yoğunluk değerlerinde de büyük değişim Kilitbahir – Nara arasında görülmektedir. Yoğunlukta değişimin karışımındaki şiddetin sebebi olduğu hatırlanmalıdır. Bu durumun sebebi Nara civarındaki topoğrafik yapıdır. Nara Boğazi hem en kesitte daralma hem de büyük bir dönüş ev sahipliği yaparak doğal bir karıştırıcı görevi yapmaktadır.



(a) Bütünleşik Froude



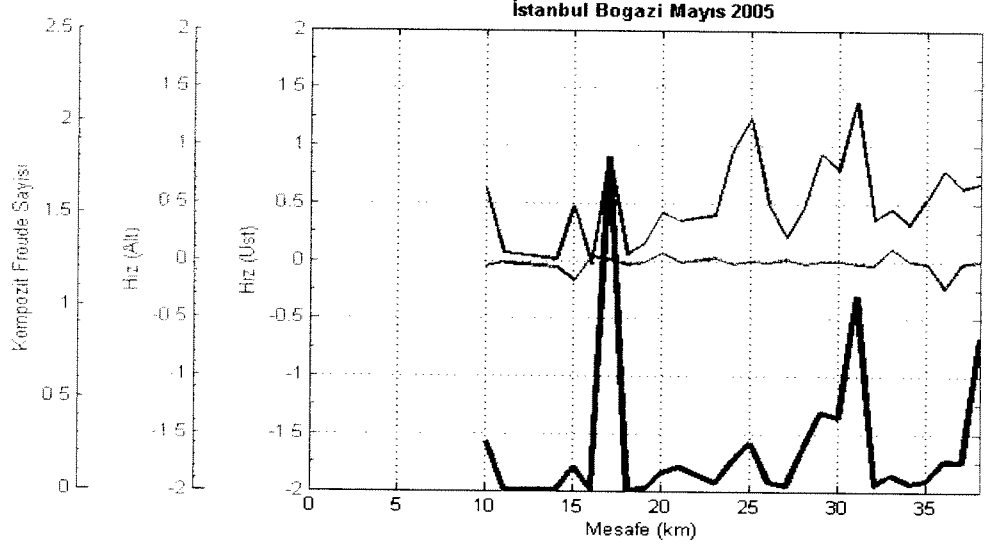
(b) Yoğunluk Değerleri

Şekil 74. Çanakkale Boğazı Bütünleşik Froude ve yoğunluk değerleri (Şubat 2005)

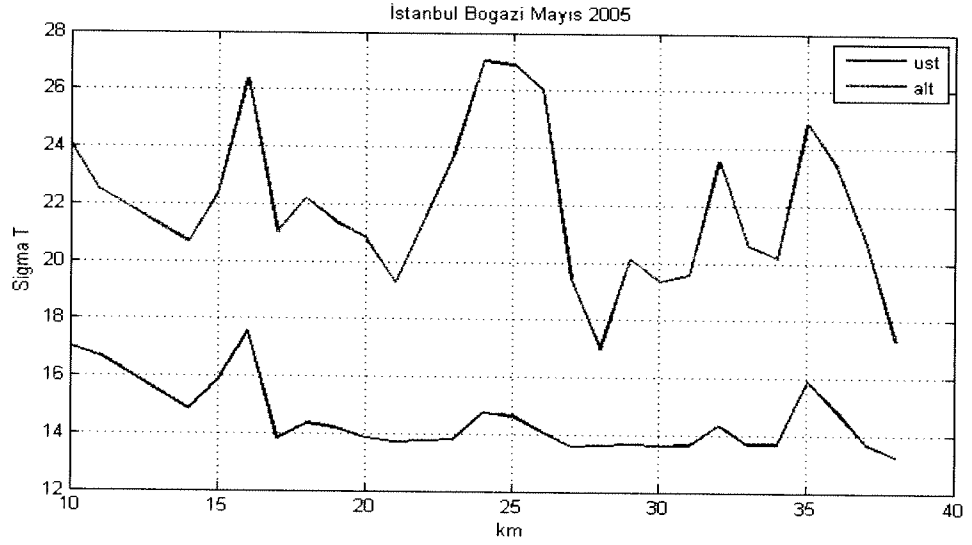
4.7.2. İlkbahar mevsimi (Mayıs 2005) İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında Bütünleşik Froude analizleri

Bu dönemde icra edilen ölçümlerde toplanan akıntı ve yoğunluk verileri analiz edilmiş ve hidrolik yapıya şekil veren mekanizma incelenmiştir. Bulunan sonuçlar İstanbul Boğazı'nda; Akıntı Burnu'nda kritik değerin (bir) aşıldığını (Şekil 75a), alt tabaka yoğunluğunda ise yine

Akıntı Burnu ve 24. km'de bulunan Yeniköy civarında büyük bir karışma işaret etmektedir. (Şekil 75b)



(a) Bütünleşik Froude

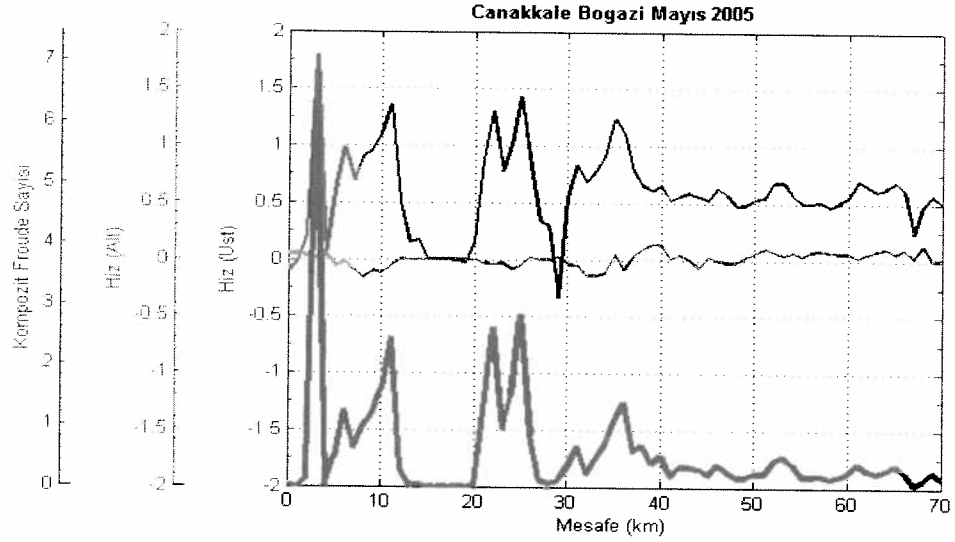


(b) Yoğunluk Değerleri

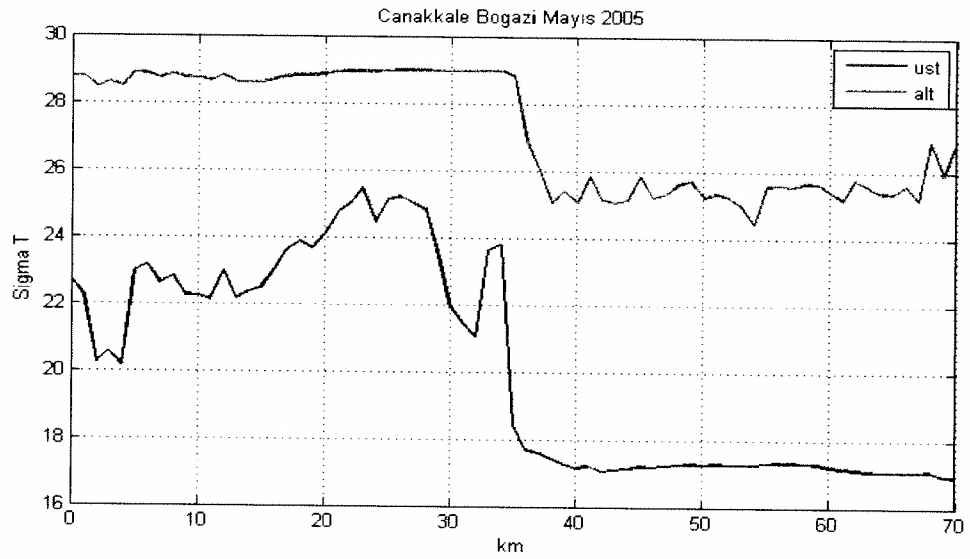
Şekil 75. İstanbul Boğazi Bütünleşik Froude ve yoğunluk değerleri (Mayıs 2005)

Çanakale Boğazi incelendiğinde ilginç bir görüntü karşımıza çıkmaktadır. Bu durumda Bütünleşik Froude değeri Boğaz'ın Ege çıkışında ve 10. ve 35 km'lerinde kritik değeri

aşmıştır. Yoğunluk ise 28 ve 33. km'ler arasındaki Kepez ve Nara arasında kalan bölgede büyük ölçüde değişmiştir. (Şekil 76)



(a) Bütünleşik Froude

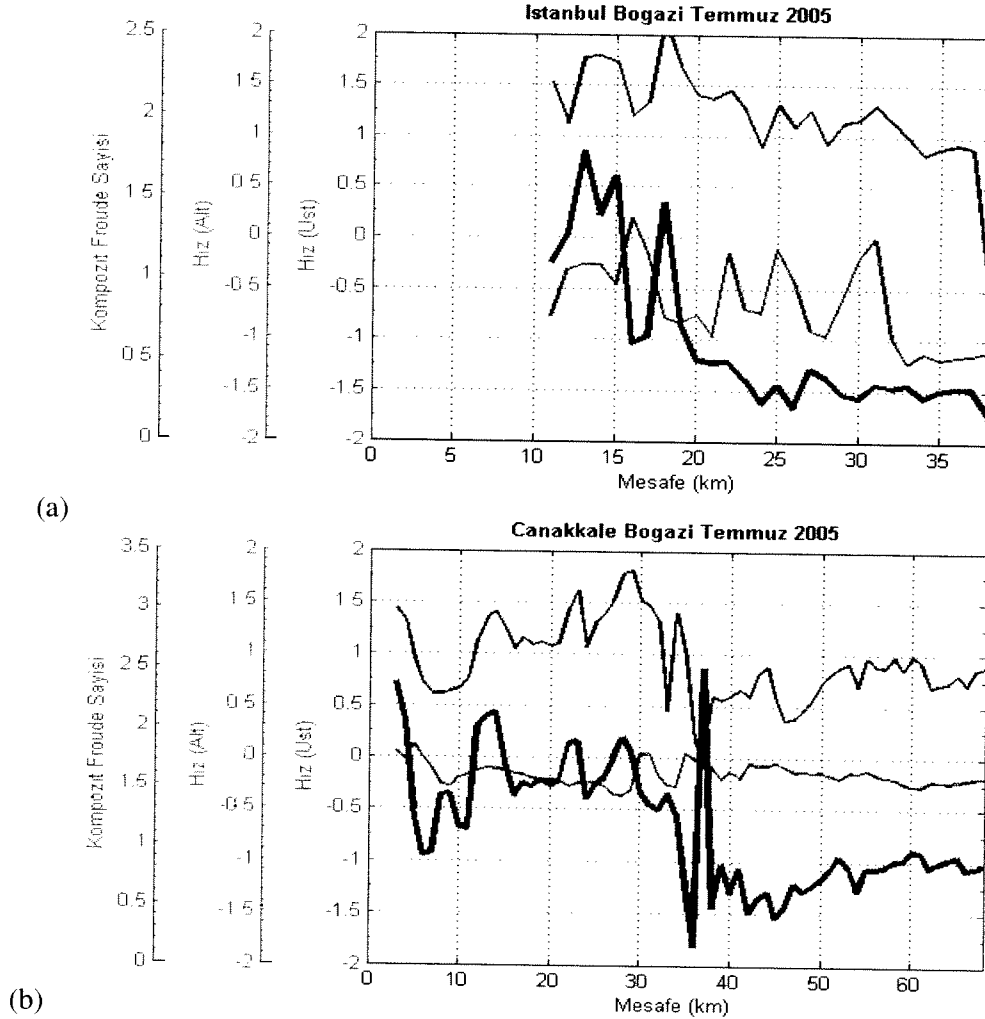


(b) Yoğunluk Değerleri

Şekil 76. Çanakkale Boğazi Bütünleşik Froude ve yoğunluk değerleri (Mayıs 2005)

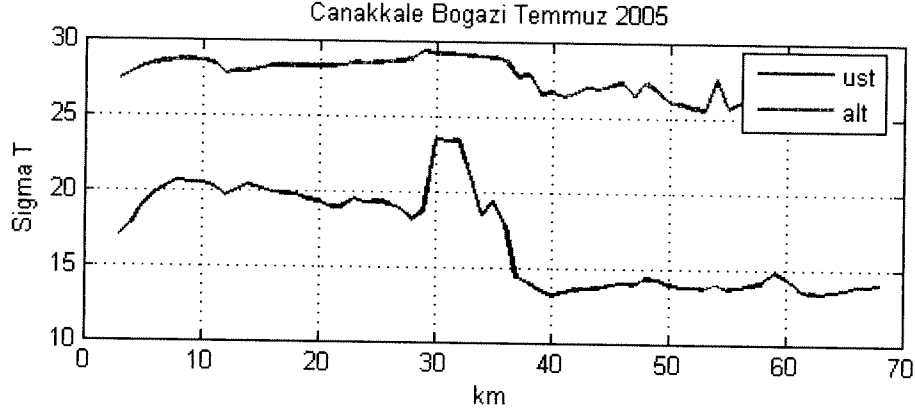
4.7.3. Yaz mevsimi (Mayıs 2005) İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında Bütünleşik Froude analizleri

Benzer şekilde Temmuz 2005 döneminde toplanan akıntı ve yoğunluk değerleri işleme tabi tutulmuş ve her iki boğazın da kontrol noktaları tespit edilmiştir. Benzer şekilde İstanbul'da yine 12 ve 17. km'lerde güney sığlık ve Akıntı Burnu civarında iki kontrol noktası oluşurken (Şekil 77a), Çanakkale'de Nara'ya kadar süperkritik yapı gözlenmiş, bu noktada (34. km) ani bir şekilde, kritik altı duruma geçilmiş, ani bir sıçrama ile kontrol noktası tesis edilmiş (Şekil 77b) ve tekrar kritik altı durum korunmuştur.



Şekil 77. Temmuz 2005 dönemi Bütünleşik Froude değerleri (a) İstanbul, (b) Çanakkale

Çanakkale’de bu dönemde yine en büyük karışım çok ani olarak Nara bölgesinde yaşanmıştır (Şekil 78). İlginç olan gözlemlerden biri de Çanakkale Boğazının 52. km’sinde bulunan Gocuk Burnu civarında Bütünleşik Froude sayısında minimal bir artış gözlenmiş olmasıdır. Bu noktada da sığlaşmadan ziyade en kesitte gözle görülür bir daralma mevcuttur.



Şekil 78. Çanakkale Boğazı Şubat 2005 dönemi yoğunluk değerleri

4.8. Model Tahminlerinin Ölçülen Veri ile Düzeltilmesi

İstanbul Boğazındaki akıntı rejimi mevsimlik ve gün içindeki anlık değişimlere bağlı olarak çok hızlı değişebilmektedir. Özellikle Kasım 2005 dönemindeki ölçüm bu durumu gösteren güzel bir örnek teşkil etmektedir. Akıntı rejiminde üç gün içerisinde Marmara akıntısının bloke olması, tam tersi Karadeniz akıntısının bloke olması ve bu blokajın kalkması durumları ayrı ayrı ölçülmüş ve bu durum Bölüm 4.1.4’te detaylı olarak incelenmiştir. Değişkenliğin bu kadar hızlı ve düzensiz oluşu bölgenin ölçüm yapmak sureti ile kararlı bir durumunun tanımlanmasını imkânsız kılmaktadır. Bir anda bir noktada ölçüm yaparken, gün sonunda diğer noktaya gelindiğinde şartların tamamen değişmesi söz konusudur. Bu durumu gözlemek aynı anda birden fazla noktada ve uzun süreli ölçüm yapılması ile mümkündür. Ancak her şeye rağmen her noktada, her zaman bütün parametrelerin ölçülmesinin fiziki olarak mümkün olmadığı gerçeğinden hareketle, TBS’ni anlama çalışmalarının ölçüm ve modelleme gayretlerinin paralel götürülmesinin faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

İstanbul ve Çanakkale Boğazları için geçmişte bazı şartların ve parametrelerin incelenmesi maksadıyla bilimsel içerikli modelleme çalışmaları olmuş, ancak bu çabalar olgunlaşarak operasyonel (günlük ihtiyaçlara cevap veren), güvenilir ve gerçekleşmiş bir modele dönüşmemiştir. 2008 yılı itibarıyla halen devam eden Marmaray projesi kapsamında Japon menşeli TAISEI firması tarafından bir ticari paket program çalıştırılmaktadır, ancak sonuçları paylaşımına açık değildir. Gelecekte TÜBİTAK destekli “Meteorolojik, Oşinografik Mükemmelliyet Ağı” (MOMA) projesi kapsamında bütün Marmara denizinin modellenmesini öngören bir çalışma yürütülmekte olup henüz bir ürün ortaya konmamıştır. Ancak, bölgenin modellenmesinin, hem operasyonel ihtiyaçlar (seyir emniyeti, arama kurtarma, petrol kirliliğine müdahale, kirlilik, balıkçılık, atık yönetimi vs.) hem de bilimsel olarak anlaşılması maksatlarına hizmet etmesi sebebi ile elzem olduğu düşünülmektedir.

Bölgenin girift topografyası ve dinamik koşulları güvenilir bir modelin geliştirilmesini de zorlaştırmaktadır. Bu sebeple çalışan modelin aynı anda ölçülmüş verilerle beslenerek hatasını öğrenmesinin ve bu hatayı diğer noktalara tatbik ederek kendini doğrultmasının önemli olduğu değerlendirilmektedir. İşte bu noktada genel akıntı rejiminin birkaç noktada icra edilmiş ölçüm verileri ile düzeltilmesine imkan veren NTOM isimli teknik (Leslie v.d., 2008) gelecekteki modelleme gayretlerine destek vermek maksadıyla bu tez içinde denenmiştir. NURC (NATO Sualtı Araştırma Merkezi) tarafından geliştirilen NTOM ölçülmüş değer ve model arasındaki hatayı tespit ederek, doğrusal yaklaşımla bir düzeltme katsayısı hesaplamaktadır. Düzeltme katsayısı aslında sistemin geçmiş dönemde veya anlık olarak yaptığı hata ile aynı manaya gelmektedir. Modelin aynı dönemde aynı hatayı yapacağını varsayarak gelecek dönemdeki hatasını gidermek, başka bir deyişle geçmişten ders alarak kendi kendini düzeltmesini sağlamaktır.

NTOM boğazlarda geleceğe yönelik model tahminlerinin (forecast) düzeltilmesi için kullanılabileceği gibi, bazı bölgelerde yapılan ölçümlerle model tahminleri arasındaki farkın bulunarak, bunu sisteme ters olarak tatbik ederek anlık tahminlerin de (nowcast) düzeltilmesi mümkündür. NTOM teorik olarak Denklem 4.4’te izah edilmiştir. Bu yaklaşımda aynı mevki ve zamanda ölçüm (S) ve model tahminleri (a_1) karşılaştırılmıştır. Aradaki fark hata olarak

değerlendirilmiş ve bunu (ε_{\min}) minimum yapmak maksadıyla doğrusal olarak bir düzeltme faktörü (Ψ_j) hesaplanmıştır.

$$\sum_{x_0} S(x_0; t) - \sum_i a_i \cdot \Psi_j(x_0; t) < \varepsilon_{\min} \quad 4.4$$

x_0 = Konum,

t = Zaman,

S = x_0 mevki ve t anında ölçülerek toplanan bilgi,

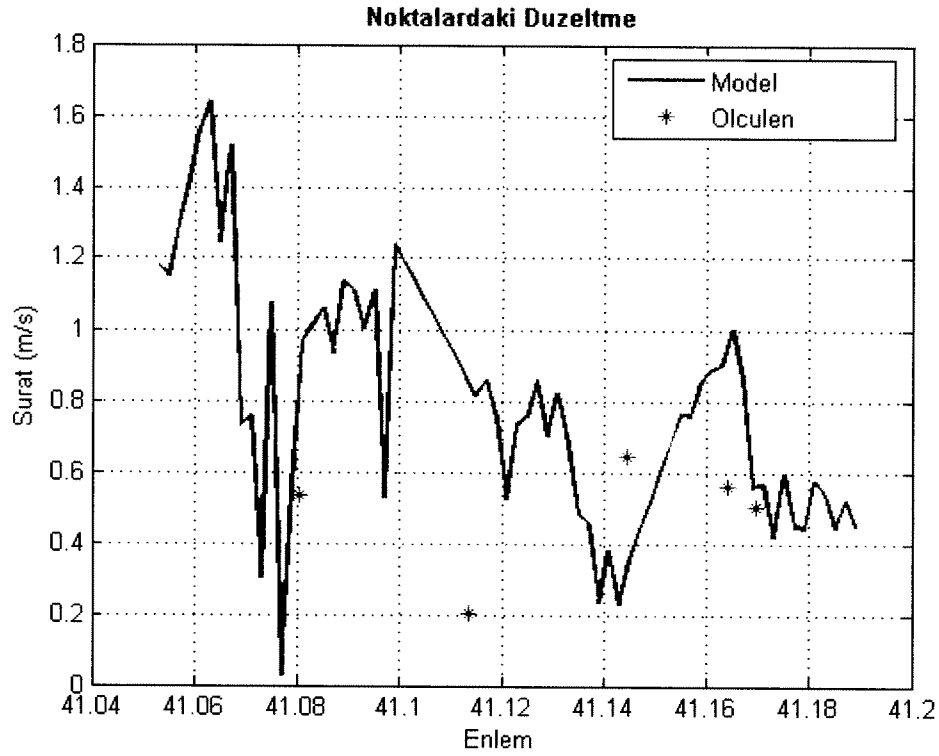
a_i = x_0 mevki ve t anında model tarafından üretilen tahmin bilgisi,

Ψ_j = Düzeltme faktörü,

ε_{\min} = Düzeltme sonrası sistemde oluşan minimum hata

Bu tezde anlık tahminlerin düzeltilmesine yönelik denemeler yapılmıştır. İstanbul Boğazının seyir emniyetinin sağlanması maksadıyla orta hatta toplanan akıntı verileri düzeltme işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlem yapılırken mevcut dört adet veri kümesi biri model, diğeri ölçülen veri olarak kabul edilmiştir. İstanbul Boğazında beş ayrı noktada akıntı ölçümü yapıldığı farz edilmiştir. Ölçülen değer olarak kabul edilen veri kümesinden bu noktalara ait veriler alınmış, model sonucu olarak değerlendirilen veri kümesi aralarındaki farka bağlı olarak düzeltilmiştir. Düzeltme öncesi ve düzeltme sonrası iki veri arasındaki fark kıyaslanmış ve farktaki değişim hesaplanmıştır. Düzeltme noktalarının seçiminin denemelerde büyük önem arz ettiği tespit edilmiştir. İlk denemede eşit coğrafi mesafe olması sebebi ile 41°04', 41°06', 41°08', 41°10', ve 41°12' (Kuzey enlemi) mevkilerindeki ölçüm değerleri ile düzeltme yapılmış ve her denemede arzu edilen sonuca ulaşamamıştır. Bu sebeple veri kümeleri arasında en büyük farklılıkların görüldüğü noktalarda ölçüm yapıldığı kabul edilerek akıntı ölçüm noktaları değiştirilmiştir. En doğru düzeltmeyi sağlamak için şu noktalarda ölçüm yapılmasının doğru olacağı denenerek bulunmuştur: 41°04.8' K, 41°06.6' K, 41°08.4' K, 41°09.84' K ve 41°10.2' K.

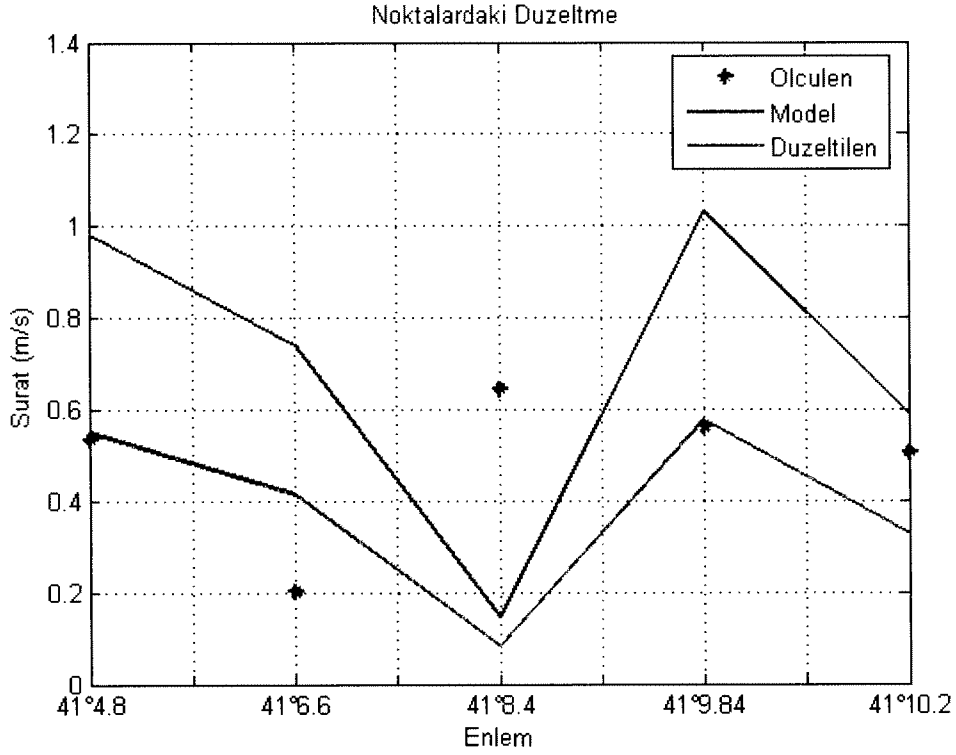
Uygulama daha detaylı olarak, grafiklerle şu şekilde ifade edilebilir. Elimizde İstanbul Boğazının orta hattının akıntı yapısına yönelik bir model tahmin bilgisi mevcuttur. Aynı zamanda boğazın beş ayrı noktasında sürekli ölçüm yapılmaktadır. Bu yapı Şekil 79'da gösterilmiştir. Yeşil çizgi ile enleme göre akıntı hızını göstermektedir. Bu denemede Mayıs 2005 döneminde toplanan veriler model verisi olarak, Kasım 2005 döneminde toplanan veriler de ölçülen veriler olarak simüle edilmiştir.



Şekil 79. Model tahmin sonuçları ve beş noktada ölçülen veriler

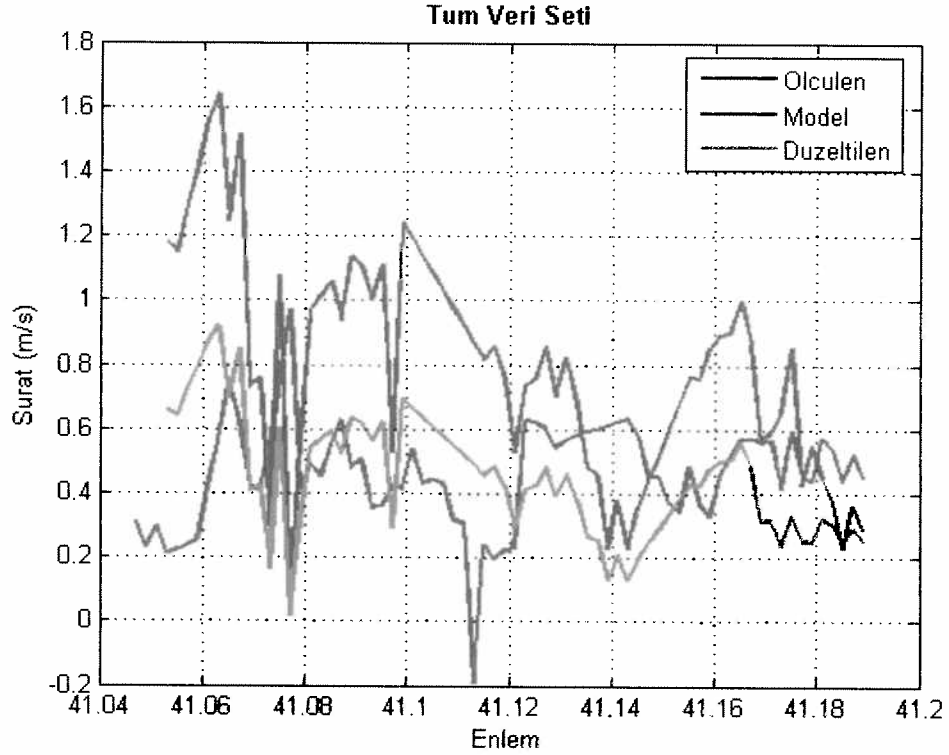
Aynı noktalardaki ölçülen ve tahmin edilen veriler analiz edilerek Ψ_j hesaplanmış ve model üzerinde sadece bu noktalarda düzeltme tatbik edilerek hata minimize edilmiştir. Düzeltilen, model tahmini ve ölçülen veri kümeleri aşağıdaki grafikte gösterilmiştir (Şekil 80). Burada mavi noktalarla ölçülen veri, yeşil çizgi ile model ve kırmızı düz çizgi ile düzeltilmiş veri görülmektedir. Model verisine göre düzeltilen verinin ölçüm noktalarına (mavi) oldukça yaklaştığı gözle dahi görülmektedir. Bu denemede beş noktadaki ortalama

hata sapması 0.4 m/s iken düzeltilmiş veri setinde ortalama hata 0.19 m/s olmuştur. Aynı işlemde $\Psi_j = 0.56$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 80. Model sonuçları, ölçülen veriler ve model verilerinin düzeltilmiş şekli

Hesaplanan Ψ_j değeri veri kümesinin tamamına tatbik edildiğinde bütün model düzeltilmiş olacaktır. Elimizde gerçek değer ne olduğu da bilindiğinden her üç veri kümesi (model, ölçülen ve düzeltilen) birbiri ile kıyaslandığında bütünde bir doğrultma yapıp yapılmadığı görülebilecektir. Bu işlem veri kümesinin tamamına tatbik edildiğinde ortaya çıkan sonuç Şekil 81'de sunulmuştur. Şekilde görüldüğü gibi oldukça belirgin bir düzeltme sağlanmış olup, bütün veri kümesindeki sapma 0.4 m/s iken düzeltilmiş veri kümesinin ortalama sapması 0.2 m/s olmuştur. Modelin tahmin yeteneğinde % 50 nispetinde bir doğrultma sağlanmıştır.



Şekil 81. Model sonuçları, ölçülen veriler ve model verilerinin düzeltilmiş şekli

Elde mevcut olan dört adet veri kümesi sırası ile biri model biri gerçek ölçüm şartlarını simüle etmek (benzeştirmek üzere) üzere dokuz ayrı senaryo test edilmiştir. Model ve ölçülen değer arasındaki fark ile düzeltilen değer ve ölçülen değer arasındaki fark her deneme için kıyaslanmıştır. Düzeltme tatbik edildikten sonraki sonuçlarda, ham model sonuçlarına göre gözle görülür bir oranda iyileşme sağlanmıştır.

Boğaz orta hattı boyunca akıntı hızı değerlerindeki farklardan oluşan sonuçlar Tablo 9'da gösterilmiş olup % 10 ile 50 arasında değişen aralıklarda, denemelerin hepsinde düzeltme sağlanmıştır. Bu denemelerde bir döneme toplanan veri model verisi, başka bir dönem ise gerçek ölçülmüş veri kabul edilmiştir. Bu yaklaşımla herhangi bir modelleme gayretinin gerçek ölçümle beslenmesi durumunda "kendi hatasından öğrenen model" haline getirilmesinin mümkün olabileceği değerlendirilmektedir.

Tablo 9. Değişik veri setleri ile model verisinin düzeltilme öncesi ve sonrası durumlarının kıyaslamaları*

No:	Model :	Ölçüm :	Fark (1): (5 Nokta)	Düzelme: (%)	Fark (2): (Tüm Veri)	Düzelme: (%)
1	Şubat	Kasım	0.15 / 0.18	16.6	0.19 / 0.24	20.8
2	Mayıs	Kasım	0.19 / 0.40	52.5	0.20 / 0.40	50
3	Temmuz	Kasım	0.16 / 0.34	52.9	0.19 / 0.44	56.8
4	Şubat	Temmuz	0.15 / 0.28	46.4	0.24 / 0.29	17.2
5	Mayıs	Temmuz	0.23 / 0.24	4.1	0.24 / 0.24	1
6	Kasım	Temmuz	0.26 / 0.34	23.5	0.34 / 0.44	22.7
7	Mayıs	Şubat	0.26 / 0.33	21.2	0.25 / 0.30	16.6
8	Temmuz	Şubat	0.11 / 0.28	60.7	0.18 / 0.29	37.9
9	Kasım	Şubat	0.18 / 0.18	1	0.23 / 0.24	4.1
10	Ortalama		0.18 / 0.28	35.6	0.22 / 0.32	31.2

4.9. İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında Debi Hesaplamaları

İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında icra edilen detaylı akıntı ölçümlerinin neticeleri kullanılarak her iki Boğaz'a giren ve çıkan alt ve üst tabaka sularının debileri mevsimlik olarak hesaplanmıştır. Bu maksatla kullanılan teknik ve yaklaşımlar kıyaslamalı olarak Bölüm 3'te açıklanmıştır. Hesaplamalara tesir eden fiziki yapılar ve sonuçlar ise aşağıda sunulmuştur.

4.9.1. İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında debi hesaplamalarına tesir eden fiziki yapı

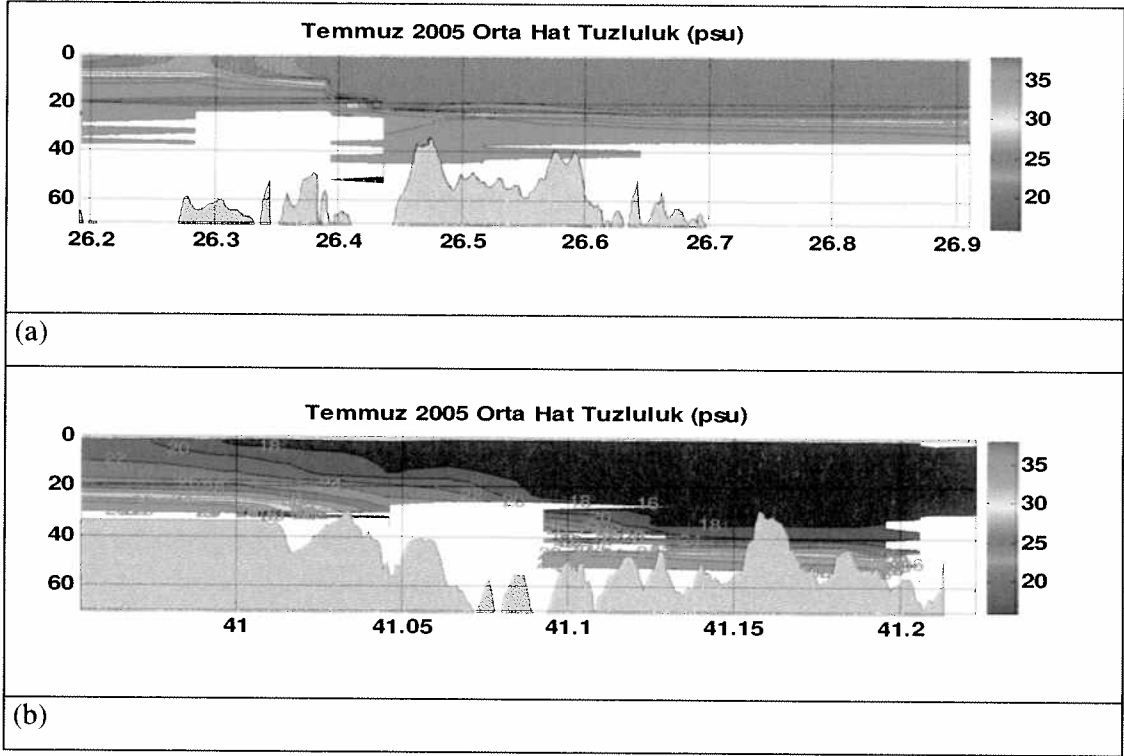
Bir iç deniz durumundaki Marmara tamamıyla Türkiye'ye aittir. Ulaşım, turizm, atık yönetimi ve aynı anda birbirinden çok farklı su kütlelerini aynı anda bünyesinde

* Fark 1: Sadece ölçüm noktalarındaki fark, Fark 2: Tüm veri setinde gözlenen fark

bulundurması sebebi ile biyolojik olarak büyük sosyo-ekonomik öneme sahiptir. Marmara Denizinin su bütçesine İstanbul ve Çanakkale Boğazları büyük ölçüde tesir etmektedir. Her iki boğaza giren ve çıkan su miktarının hesaplanması Marmara Denizi'nin su bütçesini anlamaya büyük ölçüde yardımcı olacaktır. Bu maksatla eş zamanlı olarak her iki boğazın giriş ve çıkışlarında akıntı ve CTD (Conductivity, Temperature, Depth) cihazları ile su sıcaklık ve tuzluluğu ölçülmüştür. Elde edilecek bilgilerin Marmara Denizi'nin biyolojisi, sirküle olma durumu, atık yönetimi ve tabakalar arası etkileşimin anlaşılması konularında büyük fayda sağlayacağı değerlendirilmektedir.

TBS tarafından coğrafi olarak bağlanan su kütleleri arasındaki tuzluluk farkı ve bundan kaynaklanan yoğunluktaki keskin değişim, sistem üzerinde baroklinik bir kuvvet uygulamaktadır. Bu kuvvet ve yoğunluk farkı sebebi ile TBS alt ve üst olmak üzere iki farklı akıntı rejimine sahiptir. Alt tabakada yer alan Akdeniz suyunun Çanakkale Boğazı'nda tuzluluğu ve yoğunluğu sırası ile 39 psu ve 1028.8 kg/m^3 olup, güneyden kuzeye doğru bir akıntı yapısına sahiptir. Aynı şekilde hafif olması sebebi ile üst tabakada yer alan Karadeniz suyu ise İstanbul Boğazında 17 psu tuzluluk ve 1010 kg/m^3 yoğunlukla kuzeyden güneye akar.

Temmuz 2005 tarihinde İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında icra edilmiş CTD ölçümlerinden elde edilmiş verilerden üretilmiş boğaz boyunca tuzluluk grafikleri aşağıda sunulmuştur (Şekil 82). Deniz suyunun fiziksel özelliklerindeki mevsimsel değişimler, atmosferik etkilere daha kuvvetli maruz kalması sebebi ile daha ziyade üst tabakada gözlenmekte olup kuvvetli tabakalaşma sebebi ile alt tabaka zaman boyutunda daha homojen (tektür) bir yapı arz etmektedir.



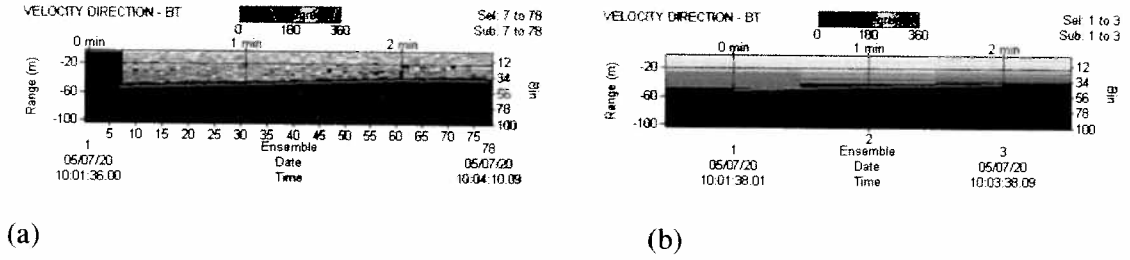
Şekil 82. Çanakkale (a) ve İstanbul (b) Boğazları boyunca tuzluluğun düşey değişimi (Temmuz 2005)

Boğazda enlemesine yani akıntı yönüne dik istikamette ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) ile deniz tabanına kadar olan düşey düzlemde akıntı ölçümü yapılmıştır. Bu ölçümler her iki boğazın güney ve kuzey uçlarında icra edilerek sisteme her iki yönden giren ve çıkan su kütlelerinin miktarı hesaplanmıştır. Bu işlem sonucunda, İstanbul ve Çanakkale Boğazlarındaki debiler ve Marmara Denizi'nin su bütçesinin hesaplanması amaçlanmaktadır.

4.9.2. Debi hesaplamasına tesir eden akıntı ölçümleri

ADCP normal şartlar altında her bir saniyede iki adet ölçüm yapmakta ve bunların istenen zaman aralığında ortalamasını almaktadır. Zaman tabanında alınan her ortalama bir "ensemble" (topluluk) olarak adlandırılmaktadır. Ensemble şeklinde toplanan veri, cihazın hassasiyeti sebebi ve ortamdaki hidrostatik olmayan etkiler, türbülans ve askıdaki katı madde değişimlerinin etkileri nedeni ile karmaşık bir görüntü arz etmektedir (Şekil 83a). Ortalama

alma aralığının çok uzun tutulması durumunda ise ortamdaki değişim detayları gözlenememektedir. Bu durumda, mümkün olan en sık aralık tercih edilmiş ve bunun da yaklaşık her 60 saniyede bir ölçüm olduğu gözlenmiştir. Bu aralıkta veri toplandığında hem verinin kalitesinin yüksek hem de akıntı rejiminin ayrıntılı olarak tespit edilebildiği görülmektedir (Şekil 83b).



Şekil 83. Saniye (a) ve 60 Saniye (b) zaman ortalaması alınmış akıntı yön bilgileri

4.9.3. Tarihsel debi ölçüm sonuçları

Boğazlardaki her iki debinin hassas bir şekilde ölçülmesi bir iç deniz olan Marmara ile Karadeniz arasındaki su alış verişinin anlaşılmasını sağlayacaktır. Son 20 yıl içinde yapılan çalışmalara bakıldığında Özsoy ve Ünlüata (1997), Beşiktepe v.d. (1994) ve Gregg ve Özsoy (2002) tarafından bu konunun incelendiği görülmektedir. İlk iki çalışmada bulunan debi bilgileri tuzluluk bütçesi göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Özsoy ve Ünlüata (1997) ve Beşiktepe v.d. (1994) çalışmalarında detaylı akıntı ölçümü yapılmamış ancak her iki Boğaz ve Marmara'da ölçümler icra edilmiştir.

Gregg ve Özsoy (2002) ise İstanbul Boğazı boyunca orta hatta ölçüm yapmış, bundan bir kilometrelik hat boyunca ortalama olarak bu değeri bütün kesit boyunca tek değer olarak su bütçesi hesaplarında kullanmıştır. Gregg ve Özsoy (2002) tarafından yürütülen çalışma 7 – 19 Eylül 1994 tarihleri arasında İstanbul Boğazında icra edilmiştir. Ölçümlerde R/V BİLİM üzerinde bulunan 150 kHz ADCP, gelişmiş bir CTD olan AMP (Advanced Micro Profiler) isimli cihaz ve tabakalaşmayı tam tespit edebilmek için 200 kHz frekansında çalışan bir plankton sonarı kullanmıştır. ADCP'nin düşük frekanslı olması sebebi ile su yüzünden

İtibaren ilk 10 m'lik su kesimine ait akıntı verisi toplanamamış ve su kolonu boyunca düşey olarak 4 m'lik derinlik ortalamaları alınmıştır. Yüzeydeki veri boşluğu sebebi ile ilk 10 m derinlikteki akıntı verisi için kabuller ve yakınsamalar kullanılmıştır. Özellikle İstanbul Boğazının güneyinde bulunan sığlık ve civarında üst akıntının daraldığı ve karmaşıklaştığı bölgede büyük veri kaybı olduğu ifade edilmiştir.

4.9.4. 2005 yılı mevsimlik debi ölçüm sonuçları

İstanbul Boğazı için Karadeniz ve Marmara girişlerinde yukarıda anlatılan metodoloji ile debi hesabı yapılmıştır. Bir numaralı metotla yapılan analizler Temmuz 2005 döneminde Karadeniz girişinden üst akıntı ile $23.2 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$ su girdiğini, fakat Marmara'ya $18.8 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$ deniz suyu ulaştığını göstermektedir. Aynı şekilde Marmara'dan alt tabaka yolu ile İstanbul Boğazına giren su miktarı $4.9 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$ olup, Karadeniz'e çıkan dip suyunun debisi ise yaklaşık $1.5 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak hesaplanmıştır.

Ünlüata v.d. (1990), Gregg ve Özsoy (2002) tarafından yapılan ölçüm sonuçları karşılaştırılmak için aşağıdaki tabloda bilgi olarak sunulmuştur. İlk çalışmada esas olarak, sistemdeki tuz bütçesinden yararlanılmıştır ve elde edilen değer de anlık bir ölçüm değil, yıl içinde olacağı varsayılan bir denge değeri şeklinde algılanmalıdır. Gregg ve Özsoy (2002) ise 1994 Eylül ayında yaptıkları kapsamlı çalışmanın sonucunda ölçüm periyoduna ait, boğazın debi değeri olarak Tablo 10'da sunulmuştur.

Tablo 10. İstanbul Boğazına ait hesaplanmış farklı kaynaklardaki debi değerleri

	ÜNLÜATA	GREGG
Üst Akıntı ($\times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$)	- 20	- 16.2
Alt Akıntı ($\times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$)	10	11

İstanbul ve Çanakkale Boğazlarına ait 2005 yılında icra edilmiş mevsimsel ölçümlerden elde edilen kuzey ve güney çıkışlardaki akıntı hızı enterpolasyon metodu ile hesaplanmış ve sonuçlar aşağıdaki tabloda sunulmuştur. Tabloda 11’de bulunan her kutu içinde yer alan ilk rakam üst tabakaya ait değeri, ikincisi ise alt tabakaya ait değeri göstermektedir.

Tablo 11. İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında hesaplanan mevsimlik ve ortalama alt ve üst akıntı değerleri (Birim: m/s), (Üst akıntı ortalaması / Alt akıntı ortalaması)

Mevsimler	Çanakkale Boğazı Ege Girişi	Çanakkale Boğazı Marmara Girişi	İstanbul Boğazı Marmara Girişi	İstanbul Boğazı Kdz. Girişi
Şubat	0.87 / 0.18	0.47 / 0.32	0.57 / 0.42	0.47 / 0.43
Mayıs	1.33 / 0.14	Veri Yok !	0.86 / 0.18	0.53 / 0.33
Temmuz	0.85 / 0.28	0.23 / 0.33	0.67 / 0.35	0.57 / 0.40
Kasım	0.93 / 0.12	0.30 / 0.15	1.21 / 0.3	0.27 / 0.72
Ortalama	1.07 / 0.20	0.33 / 0.26	0.82 / 0.31	0.52 / 0.38*

Türk Boğazlarındaki akıntı ölçümleri analizleri ile debi hesaplamalarında bölgenin çok dinamik bir yapıya sahip olduğu ve özellikle meteorolojik etkilere bağlı olarak birkaç gün içinde çok süratli bir şekilde değişim gösterebildiği görülmüştür. İstanbul bölgesindeki ölçümlerin tamamı günde 16 saatlik çalışma ile yaklaşık üç günde bitmektedir. Bu süre zarfında esen kuvvetli bir güneyli rüzgar, ölçüm periyodu başında normal bir akış mevcut iken sonunda bir ekstrem (uç) değer olan orkoz oluşmasına sebep olmakta ve sistemin bir bütün şeklinde analiz edilmesine imkan sağlamamaktadır. Aynı şekilde çok kuvvetli kuzeyli rüzgar durumunda alt akıntı İstanbul’da tamamen durabilmektedir. Özellikle, Kasım 2005 döneminde yapılan ölçüm tam bu şekilde bir geçiş dönemine denk gelmiştir. Ölçüme başlandığında esen kuvvetli kuzeyli rüzgar, Karadeniz girişinde su seviyesinin Marmara’ya göre 45 cm daha yüksek olmasını ve üst akıntının etkin, alt akıntının engellendiği bir durum oluştururken, 15 – 17 Kasım 2005 arasında esen kuvvetli güneyli rüzgar su seviyesi farkını

* Kasım Ayı hariç

sekiz cm'ye kadar düşürmüş, üst akıntının tamamen durarak ters akmasına (orkoz durumu) sebep olmuştur. İlk gün yapılan ölçümler alt akıntının olmadığı, son gün ise üst akıntının hiç olmadığı zamana denk gelmesi sebebi ile yapılan ölçümler bu mevsim için bir genelleme yapılmasına müsaade etmemektedir. Ancak yinede yapılan analiz ve hesaplamalar aşağıdaki tabloda dikkate sunulmuştur. Bölgede yapılan ölçümler esnasında rast gelinen bu tip ekstrem durumlar parantez içinde not olarak ilgili değerlerin yanına ilişitirilmiştir (Tablo 12).

Tablo 12. İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında hesaplanan mevsimlik ve ortalama debi değerleri (Birim: $10^3 \text{ m}^3/\text{s}$), (Üst akıntı ortalaması / Alt akıntı ortalaması)

Mevsimler	Çanakkale Boğazı Ege Girişi	Çanakkale Boğazı Marmara Girişi	İstanbul Boğazı Marmara Girişi	İstanbul Boğazı Kdz. Girişi
Şubat	33.4 / 21.8	37.8 / 11.6	14.3 / 9.1	18.1 / 3.5
Mayıs	47.2 / 23.5	Veri Yok !	28 / 2.9 **	18.8 / 0.8
Temmuz	36.2 / 43.7	9.9 / 20.3 ***	15.4 / 5.7	22.2 / 1.4
Kasım	31 / 18.72	21.5 / 6.3	35.4 / 1.4	0.3 / 11.9 (6.1 / 5.3) *
Ortalama	39.9 / 26.9	23.8 / 12.7	14.8 / 7.4 ****	19.7 / 2.4 ****

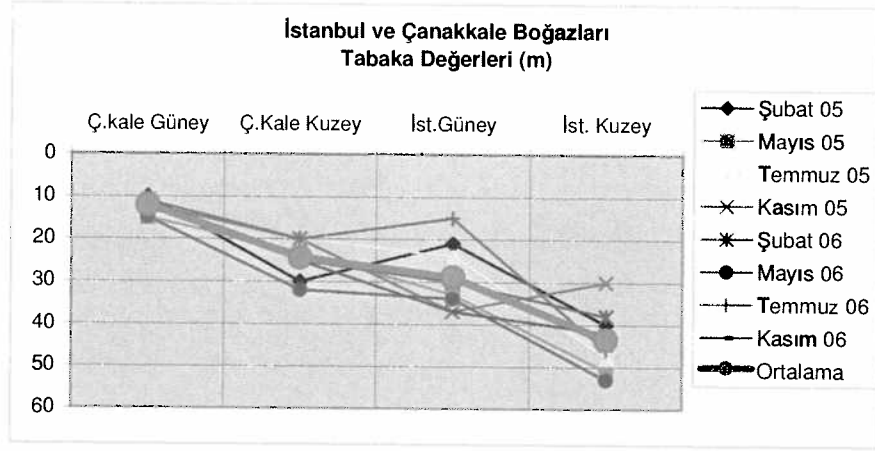
Her iki boğazdaki tabakalaşma ve bunun zamana bağlı değişimi sistem mekanizmasının anlaşılması için büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple her boğazın iki girişini kapsayan toplam dört kesitte dört mevsim boyunca tabakalaşma ölçülmüştür. Sonuçlar Karadeniz kökenli suyun “genel olarak” Ege girişinde 12 m, Gelibolu’da 24 m, İstanbul Boğazının Marmara kesiminde yine 28 m, Karadeniz çıkışında ise yaklaşık 43 m kalınlığında bir tabaka halinde bulunduğunu göstermektedir. Akıntı yapısından çıkarılan detaylı tabaka derinliği grafiği aşağıda sunulmuştur (Şekil 84).

* Orkoz, ($0.3 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$: Güneye akan Karadeniz kökenli su, $6.1 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$: Kuzeye akan Karadeniz kökenli su ve $5.3 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$: Kuzeye akan Marmara kökenli su

** Enterpolasyon analizi yapılamadığı için ortalama sürat ve kesit alanı kullanılarak hesaplandı

*** Sıradışı durum, çok kuvvetli alt akıntı

**** Mayıs ve Kasım Ayları hariç (Mayıs ayında alt akıntı, Kasım ayında üst akıntının tamamen bloke olma durumları mevcuttur)



Şekil 84. 2005 ve 2006 yıllarında İstanbul ve Çanakkale Boğaz ağzlarında tabakalaşma yapısı

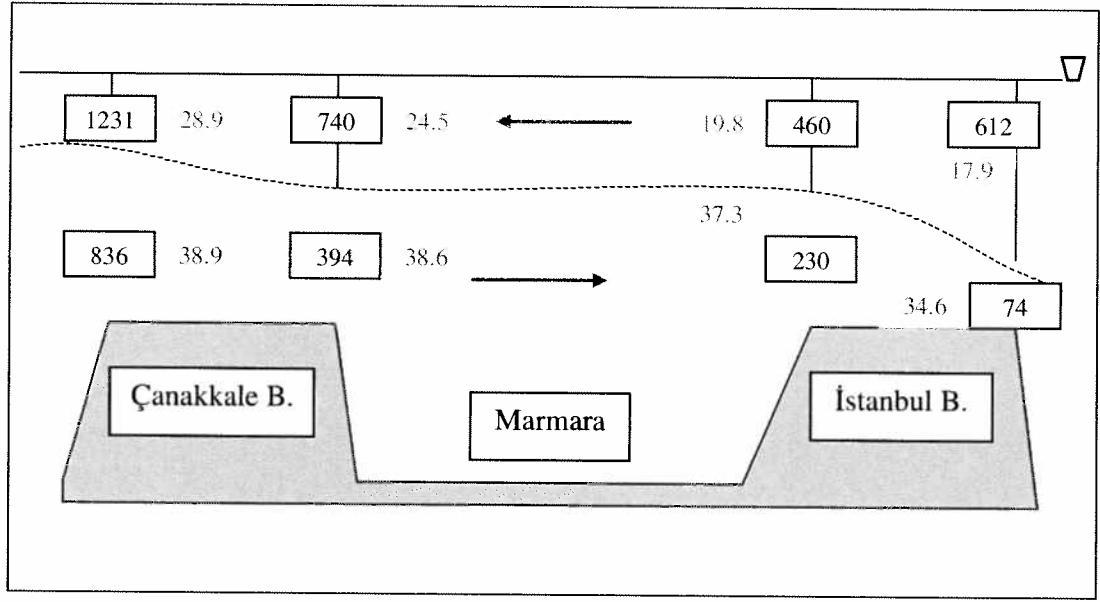
Aynı bilgiler zamana bağlı olarak incelendiğinde Karadeniz kökenli üst katmanı besleyen yağış ve tatlı sudaki azalmaya bağlı olarak Temmuz ölçümlerinde nisbi bir azalma görülmektedir. Bütün sonuçlar tablo halinde aşağıda sunulmuştur. İzlenimler İstanbul Boğazının daha dinamik ve karmaşık bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Veri kümesi incelendiğinde Çanakkale Boğazı Ege çıkışında iki yıllık süre içindeki değişimin standart sapması 1.9, Marmara çıkışında ise 4.6 m olmuştur. Buna mukabil İstanbul Boğazında ise güney ve kuzey çıkışlarında sırası ile 8 ve 9.3 m civarında olmuştur. İstanbul Boğazındaki değişkenliğin sebebi dip yüzey şeklindeki karmaşıklık ve Karadeniz'in etkisidir. İlginç olan yan, İstanbul Boğazının Çanakkale'den yaklaşık üç kat daha dar olması, tabakalaşmadaki standart sapmanın da bu değere yakın olarak yaklaşık üç kat daha fazla olduğudur (Tablo 13).

Tablo 13. İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında 2005 ve 2006 yıllarında gözlenen tabaka derinlikleri

	Ç.kale Güney	Ç.Kale Kuzey	İst. Güney	İst. Kuzey
Şubat 05	10	30	21	40
Mayıs 05	15	23	33	51
Temmuz 05	11	20	24	48
Kasım 05	12	20	37	30
Şubat 06	11	25	30	38
Mayıs 06	15	32	34	53
Temmuz 06	11	20	15	46
Kasım 06	11	25	37	42

4.9.5. Marmara Denzinin su bütçesi ve Ege Denizine deşarj

Elde edilen $10^3 \text{ m}^3/\text{s}$ biriminden debi değerleri $\text{km}^3/\text{yıl}$ birimine çevrildiğinde sırası ile üst tabakadan, bir yılda, Karadeniz'den İstanbul Boğazı'na 612 km^3 , Boğaz'dan Marmara Denizi'ne 460 km^3 , Marmara'dan Çanakkale Boğazı'na 740 km^3 ve Çanakkale Boğazı'ndan Ege'ye 1231 km^3 su akmaktadır. Sırası ile fakat ters istikamette Ege Denizinden Çanakkale ve İstanbul Boğazları üzerinden Karadeniz'e olan akı ise yıllık $836, 394, 230$ ve 74 km^3 olarak hesaplanmıştır. Akıntı rejiminde görülen tabakalaşma ise Çanakkale Boğazının Ege girişinde 12 , Marmara çıkışında 24 m ; İstanbul Boğazı'nın Marmara girişinde 28 , Karadeniz çıkışında ise yaklaşık 48 m olarak gözlenmiştir. TBS'nin yıllık debi ve ortalama tuzluluk değerleri Şekil 85'te gösterilmiştir. Söz konusu şekilde bulunan rakamlar mevsimlik ölçümlerin ortalaması olması sebebiyle anlık değişiklikler ve uç değerlere ait olağan dışı bilgileri de kapsamaktadır. Bu sebeple su veya tuz bütçelerinin dengesini sağlamak üzere değerler değiştirilmemiştir.



Şekil 85. TBS’de ölçümlerden elde edilen yıllık debi ($\text{km}^3/\text{yıl}$, kutu içinde gösterilmiştir) ve ortalama tuzluluk (psu) değerleri

Üst tabaka suyun sıcaklık değerleri mevsime göre 5 ve 24.2 °C arasında değişirken tuzluluk yıl içinde daha kararlı bir yapı göstererek Karadeniz girişinde 17.9 psu, İstanbul Boğazından Marmara’ya çıkışta 19.8 psu değerinde seyretmiştir. Marmara Denizi’nde oluşan karışım sebebi ile üst tabakada Çanakkale Boğazı’na yaklaştıkça tuzlulukta yoğun bir artış gözlenmiş ve tuzluluk 24.5 psu değerine ulaşmıştır. Ege Denizi’ne girişte ise özellikle Nara Burnu güneyindeki karışım ile 28.9 psu değerine ulaşır.

Alt tabaka atmosfer ile etkileşime girmediği için sıcaklık olarak daha stabil bir yapı arz eder. Sıcaklık bütün yıl içinde 12 – 16 °C aralığında değişirken, tuzluluk, ortalama olarak, Ege girişinde Akdeniz suyunun tipik değeri olan 38.9 psu’dan Marmara’ya girişte az tuzlu üst tabaka ile karışarak, 38.6 psu’ya, İstanbul Boğazı’nın Marmara girişinde daha da düşerek 37.3 psu ve en sonunda Karadeniz’e çıkarken 34.6 psu değerine ulaşır.

V. TARTIŞMA VE SONUÇ

5.1. Sıcaklık, Tuzluluk ve Oksijen

İstanbul ve Çanakkale Boğazlarının deniz suyu sıcaklık, tuzluluk ve oksijen değerleri incelendiğinde, Karadeniz ve Akdeniz havzalarındaki su bütçesi ilişkisinin temel yönlendirici mekanizma olduğu görülür. Karadeniz hacmine oranla tatlı su girişi yüksek, kuzeyde olması sebebi ile de Akdenize göre nisbeten daha serin bir iklime sahiptir. Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) Genel Müdürlüğü kayıtları incelendiğinde, Antalya’da yıllık ortalama hava sıcaklığının 18.1 °C, Zonguldak’ta ise 13.4 °C olduğu görülmektedir. Aynı şekilde bu iki bölgenin aldıkları yıllık yağış toplamalarının uzun dönem ortalaması sırası ile 1075.8 mm/yıl ve 1225.2 mm/yıldır.

Yukarıda bahsedilen meteorolojik durum Karadeniz sularının daha az tuzlu, Akdeniz sularının ise daha tuzlu olmasını gerektirmektedir. Toplanan veriler incelendiğinde Karadeniz’de deniz suyu tuzluluğunun yağışın yoğun olduğu kış ve ilkbahar döneminde yaklaşık 16 psu’ya kadar düştüğü, sıcak yaz dönemlerinde ise 18 psu civarında seyrettiği görülmektedir. İstanbul Boğazı’ndan geçiş esnasında alt tabaka ile etkileşim sonucu 18.2 ve 22 psu arasında bir değerle Marmara’ya girmektedir. Tuzlulukta alt tabaka ile karışımın en yüksek seviyede yaşandığı mevki Kandilli civarındaki boğum (dar kesit) noktasıdır.

Çanakkale Boğazı’nda da benzer bir şekilde güneye inildikçe üst akıntıda tuzluluk artmaktadır. Gelibolu civarında deniz suyu 23 –25 psu aralığında olup, güneyde Ege çıkışında 28 – 31 psu aralığında bir değere ulaşmaktadır. Burada dikkat çeken nokta az tuzlu olan Karadeniz kökenli bahar suyunun İstanbul’da Şubat ayında görülürken, Ege Denizi’ne Mayıs ayında, üç aylık bir faz farkı ile ulaşmasıdır.

Alt akıntı ise kuvvetli düşey tabakalaşma sebebi ile üst tabakaya nisbeten daha tekdeğer (homojen) bir tuzluluk yapısı arz etmektedir. Ege’den 39 psu değerle Çanakkale’ye giren

Akdeniz kökenli su Marmara'ya pek bir değişikliğe uğramadan 38 – 38.6 psu arasında bir değerle ulaşmaktadır. Marmara'yı geçerek İstanbul Boğazı'na girerken yıl içinde 35.5 ile 38.6 arasında bir değere sahip iken Karadeniz'e olan seyahatindeki en dramatik değişimi yine Kandilli civarındaki boğumda yaşayarak 33 – 36 psu arası bir tuzlulukla Karadeniz tabanına doğru yayılmaktadır.

Sıcaklık parametresi Karadeniz'de kış mevsiminde 5 °C'ye kadar düşmekte, yazın ise 24.2 °C'ye kadar çıkmaktadır. Ölçüm periyodunda Marmaya çıkan suyun sıcaklığında alt tabakanın etkisi gözlenmektedir. Kış döneminde üst tabakanın sıcaklığı İstanbul Boğazından geçiş esnasında 5 °C'den 6.3 °'ye artarken yaz dönemi 24.2 °C'den 22 °C'ye çıkmıştır. Çanakkale'ye girişte 8 – 10 °C arasında seyrederken, Ege çıkışında yıl içi uç değerler olarak Ocak ayında 10 °C, Temmuz ayında 23 °C civarında ölçülmüştür. İlginç olan husus, güneye inildikçe suyu ısıtan güneş enerjisindeki artışa rağmen alt tabakanın konduktif (temas kaynaklı) etkisi ile yaz dönemi yüzey suyundaki sıcaklığın düşmesidir. Aynı şekilde kış döneminde de alt tabakanın temas kaynaklı ısı transferinin etkisi gözlenmekte üst tabakayı kendi sıcaklığına yaklaştırarak ısıttığı görülmektedir. Yaz döneminde Karadeniz ve Ege çıkışındaki su sıcaklık farkı (ΔT) 1.2 °C iken kış dönemindeki fark yaklaşık 5 °C civarındadır. Bu noktada güneş kaynaklı ve konduktif ısı transferinin yanısıra düşey karışım ve tabakalar arası girişimin (entrainment) de etkili olduğu değerlendirilmektedir.

Alt tabakanın sıcaklığı ise bütün TBS boyunca en az değişime uğrayan parametredir. Ege denizinden girişte kış dönemi 14 °C, yaz dönemi 16 °C olan alt tabaka suyu, Karadeniz'e çıkışta yaz dönemi 17.7 °C sıcaklığa çıkmakta, kış dönemi ise 12 °C'ye düşmektedir.

Oksijen, sistem üzerinde biyolojik hayatı doğrudan etkileyen parametre olması ve Marmara alt suyuna oksijen şırınga eden mekanizma olması sebebiyle büyük önem taşımaktadır. 2005 Şubat ayında çözünmüş oksijen ölçere sahip CTD ile yapılan ölçüm sonuçları üst tabakada TBS boyunca 8 – 10 ml/lt miktarında bir çözünmüş oksijene işaret ederken, alt tabaka Çanakkale Boğazı güney girişinde 6 ml/t, Marmara çıkışında ise oldukça düşürek 2 ml/lt değerine ulaşmıştır. İstanbul Boğazı girişinde ise Marmara boyunca yaşanan hafif düşey karışım sebebi ile 2.8 ml/lt, Karadeniz çıkışında ise 4.3 ml/lt ölçülmüştür. İstanbul

Boğazı'nın belli kısımlarında ara yüzeyde kuvvetli bir düşey karışım yaşandığı tuzluluk verilerinden olduğu gibi çözülmüş oksijen verilerinden de anlaşılmaktadır. Karadeniz alt suyuna oksijen kazandırılması incelendiğinde; giren su miktarının Karadeniz havzasına oranının çok az olması ve taşıdığı oksijen oranının da düşük olması sebebi ile İstanbul Boğazının bu konuda pek yardımcı olamayacağı değerlendirilmektedir.

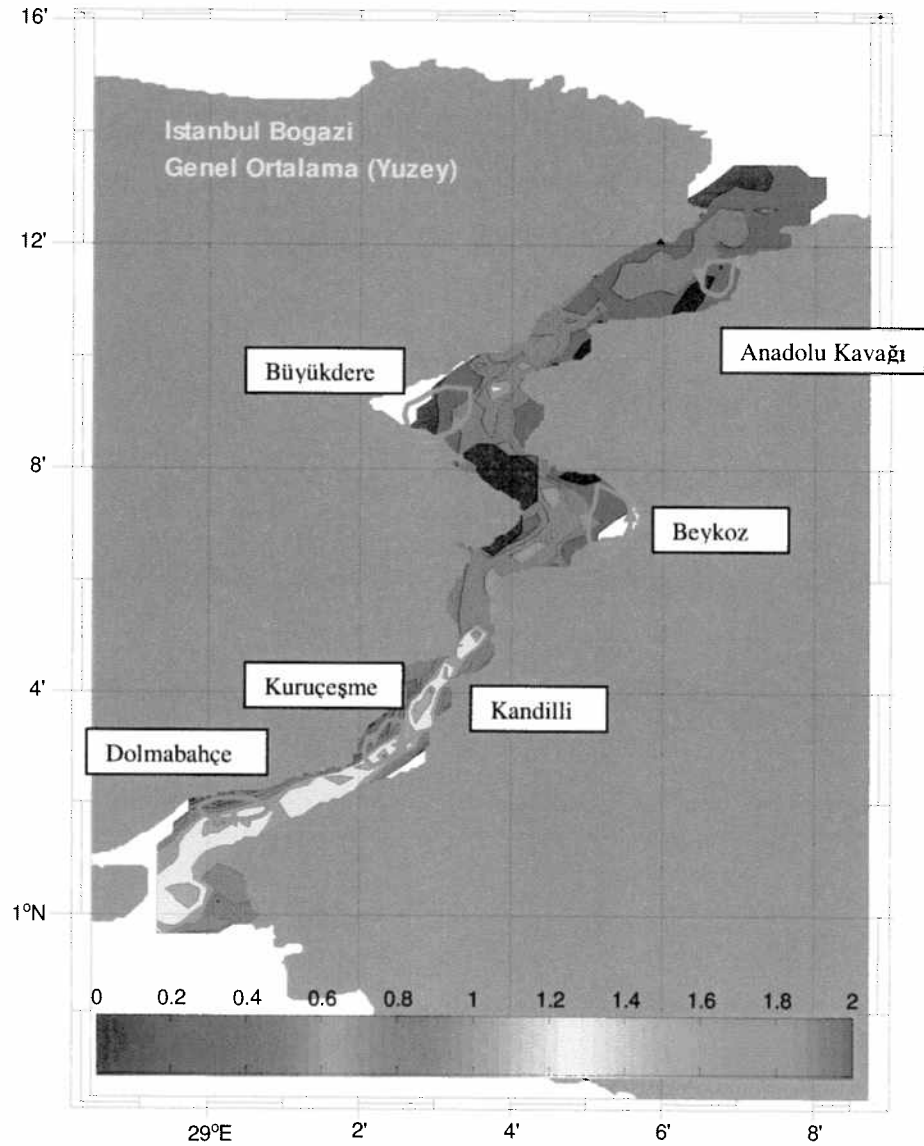
5.2. Akıntılar

5.2.1. İstanbul Boğazı akıntı yapısı

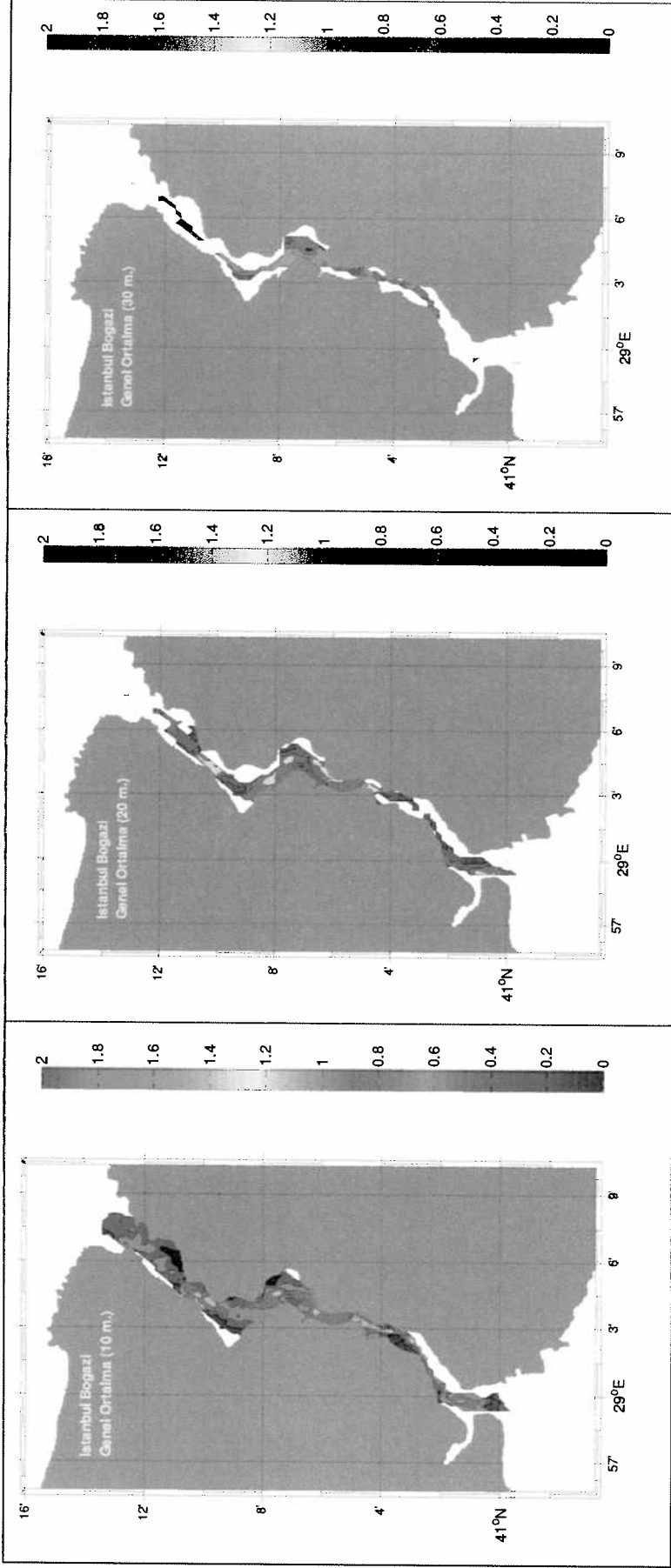
İstanbul ve Çanakkale Boğazlarındaki genel akıntı yapısını ifade edebilmek maksadı ile mevsimsel ölçümler birleştirilmiş ve sonuçlar Şekil 86 - 89'da sunulmuştur. İstanbul Boğazı'nda Kasım 2005 döneminde icra edilen mesahada aynı dönemde üst ve alt akıntıların sırasıyla engellendiği her iki uç durum da yaşandığı için bu döneme ait veriler ortalama hesabı içine alınmamıştır. Yüzey akıntı durumu incelendiğinde sırası ile en yüksek hız değerleri Salacak'ta 1.57 m/s, Kandilli'de 1.48 m/s, Vaniköy ve Sarayburnu'nda ise 1.41 m/s ve Kuleli açıklarında da 1.35 m/s olarak ölçülmüştür. Boğaz kuzeyinde sadece Anadolu Hisarı açıklarında 1.2 m/s değerine ulaşıldığı, bunun dışında 1 m/s'den daha düşük hız değerlerine rastlanmaktadır. Kandilli güneyinde ise genelde hız ortalama değerleri 1 m/s'nin üzerindedir. Boğazın girift topoğrafyası üçü Avrupa yakasına yakın ve saat yönü istikametinde, ayrıca ikisi de saat yönünün tersi istikamette ve Asya kıtasına bitişik bölgede toplam beş adet döngünün oluşmasına sebep olmaktadır. Saat yönü istikametinde olanlar kuzeyden güneye sırası ile Büyükdere koyu, Kuruçeşme ve Dolmabahçe açıkları iken, diğer yönde oluşan döngüler Anadolu Kavağı ve Beykoz'da görülmektedir (Şekil 86). Şekil 87'de ise sırasıyla 10, 20 ve 30 m derinlikteki akıntı yapısı sunulmuştur.

İstanbul Boğazı'nda ekstrem (sıra dışı, uç) koşul olarak adlandırılan alt akıntının bloke olması (engellenmesi) ile üst akıntının bloke olmaları mevsimsel su bütçeleri ve günlük meteorolojik etkilere bağlıdır. Karadeniz'den gelen su debisindeki artışa bağlı olarak yaz aylarında alt akıntının bloke olduğu durum oluşabilmektedir. Bu anda, Karadeniz ile Marmara arasında yaklaşık 45 cm civarında bir su seviyesi farkı oluşmakta olduğu gözlenmiştir.

Karadeniz'den gelen su debisinde düşmenin yanısıra 5 – 7 m/s'ye varan kuvvetli ve en az üç gün süreli lodos esmesi durumunda su seviyesi farkı -3 cm'ye düştüğünde üst akıntının bloke olduğu gözlenmiştir. İstanbul Boğazında ölçülen akıntı ile su seviyesi bilgileri ilişkilendirildiğinde alt akıntının tam bloke olması için Anadolu Kavağı ile Pendik bölgesindeki su seviyesi arasında 40 cm fark olması gerekmektedir. Bu iki istasyon arasındaki fark eksi değere düştüğünde bu defa üst akıntı tam olarak engellenmekte ve Orkoz yaşanmaktadır.



Şekil 86. İstanbul Boğazı yüzey akıntı hızı ortalamaları (m/s)

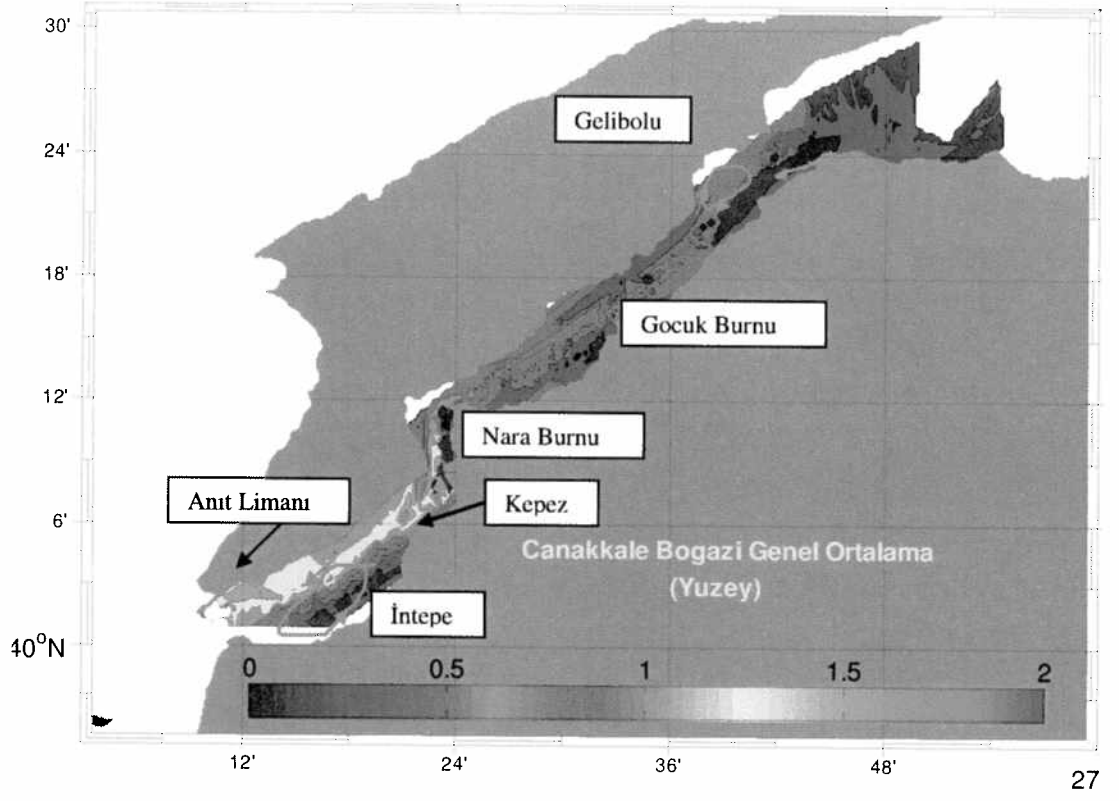


Şekil 87. Değişik derinliklerde İstanbul Boğazi akıntı hızı ortalamaları

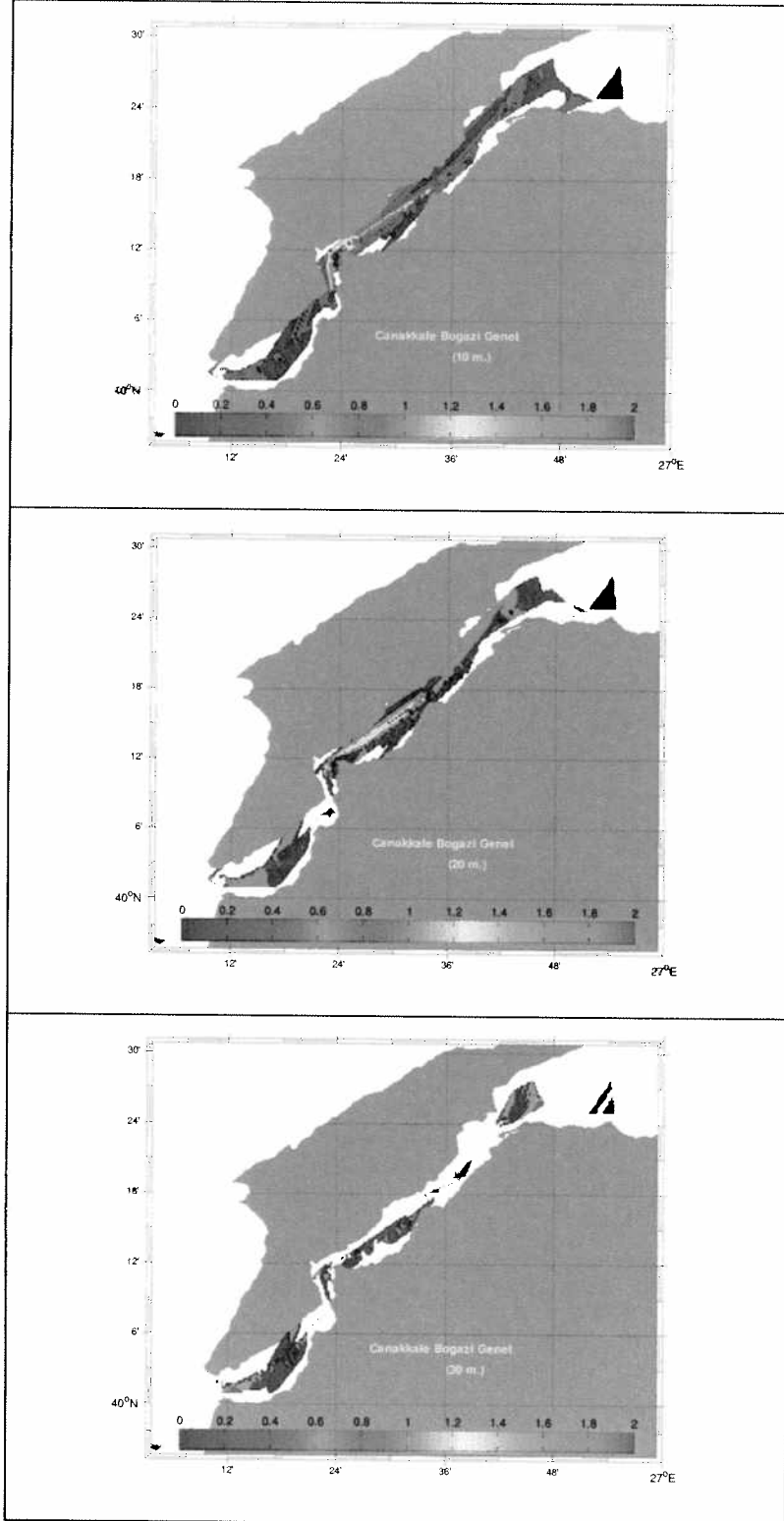
5.2.2. Çanakkale Boğazı akıntı yapısı

Çanakkale Boğazında 2005 yılında icra edilen dört adet mevsimlik ölçümde toplanan akıntı verilerinin tamamının ortalaması alınarak bölgenin ortalama akıntı yapısı çıkarılmıştır. Çanakkale Boğazında kuzey girişinde Gelibolu açıklarında ortalama akıntı 0.6 m/s civarında ölçülmüştür. Nara burnuna kadar olan boğazın kuzey yarısında genelde 0.6 ila 0.8 m/s hıza sahip nispeten homojen bir akıntı yapısı mevcuttur. Gelibolu'nun güneyinde yer alan Gocuk Burnu hizasında ise kesit alanındaki daralma sebebi ile akıntıda 1 m/s'ye ulaşan bir artış gözlenmektedir. Nara Burnu güneyi sistemde en kuvvetli akıntının gözleendiği mevkiidir ve Çanakkale şehir merkezi açıklarında ortalama hız 1.75 m/s değerine ulaşmıştır. Kepez burnu 1.5 m/s ile ikinci en yüksek hıza sahip bölgedir. Kepez burnu güneyinde, başka bir deyişle sistemin güney yarısında orta hatta akıntı hızı genelde 1.1 m/s iken, boğazın kuzey yamasında (Avrupa yakasında) 1 m/s, güneyinde (Asya yakasında) ise nispeten düşük 0.3 – 0.5 m/s hıza sahiptir. Çanakkale Boğazının akıntı yapısındaki ilginç bir durum da Ege çıkışında gözlenen durumdur. Ege çıkışının kuzeyinde Abide Burnu ile Anıt limanı hizasında kalan bölgede akıntı hızı 1.3 m/s değerine çıkmaktadır. Boğaz çıkışının güney yamasında Kumkale açıklarında ise 1.1 m/s hızla yine yüksek bir değere ulaşmaktadır.

Çanakkale Boğazının yüzey akıntıları incelendiğinde üç bölgede kuvvetli döngüye rastlanmıştır. Bunlar güneyden kuzeye doğru sırası ile İntepe limanında ve Kepez Burnu ile Nara arasında kalan Sarısığlar mevkiinde olmak üzere Anadolu yakası tarafında iki bölgede saat yönünün aksi istikametinde, Avrupa yakasında ise Gelibolu limanında saat yönü istikametinde olmak üzere toplam üç döngü mevcuttur. (Şekil 88). 10, 20 ve 30 m derinlikteki akıntılar ise Şekil 89'da sunulmuştur.



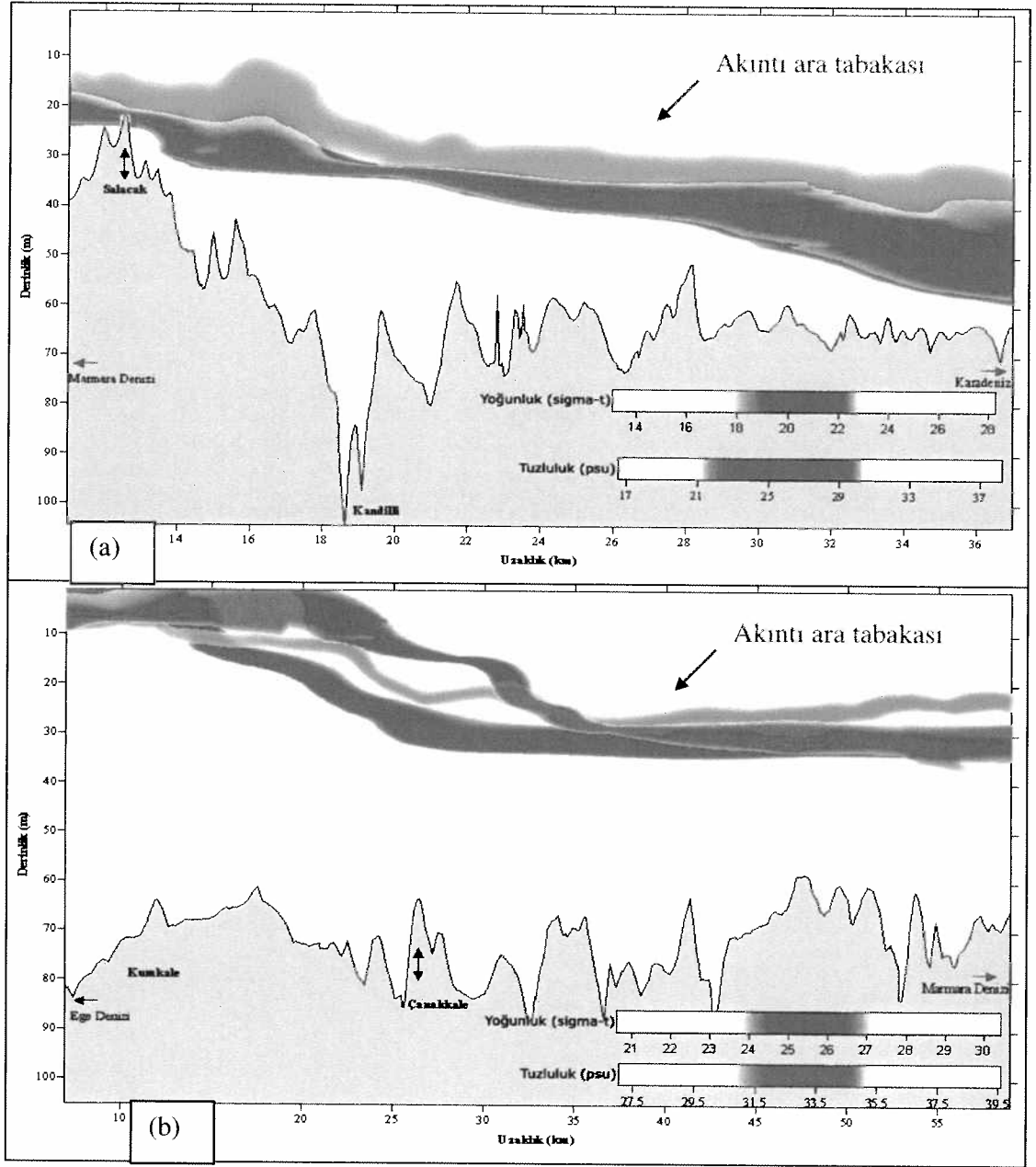
Şekil 88. Çanakkale Boğazi yüzey akıntı hızı ortalamaları



Şekil 89. Değişik derinliklerde Çanakkale Boğazi akıntı hızı ortalamaları

5.3. Ara Tabaka

TBS alt ve üst tabakalar arasındaki keskin yoğunluk farkından dolayı kuvvetli bir tabakalaşmaya maruz kalmışlardır. Alt ve üst akıntı değerlerinin sıfır olduğu ara kesit ile tuzluluk farklılığından kaynaklanan su kütlelerinin düşeyde oluşturduğu ara kesit birbiri ile her zaman tam örtüşmemektedir. Bu iki farklı ara kesitin kalınlığı da kanal içinde ilerledikçe değişmektedir. Şubat 2005 dönemine ait İstanbul ve Çanakkale Boğazlarına ait arakesitler üst üste incelendiğinde ortaya çıkan görüntü Şekil 90'da sunulmuştur. Her iki Boğaz'da da akıntı hızının sıfıra yakın olduğu akıntı kaynaklı ara tabaka tuzluluk kaynaklı ara tabakanın üzerindedir. İstanbul Boğazı'ndaki ara tabaka Çanakkale'ye oranla daha kalın olup hızın arttığı Kandilli civarında neredeyse 10 metreye ulaşmıştır. Çanakkale Boğazı'nda Güzelyalı hizasından sonra büyük bir karışım yaşanmakta ve Karadeniz kökenli su çok ince bir tabaka halini almakta ve akıntı ara tabakası ise sadece bu bölgede tuzluluk ara tabakasının altına inmektedir.



Şekil 90. Şubat 2005 dönemi ara tabakalar * (a) İstanbul, (b) Çanakkale

* Mavi bant tuzluluk, yeşil bant yoğunluk ara tabakasını, kırmızı bant ise akıntı hızının sıfır olduğu bölgeyi gösterir. Yatay eksen km'dir.

Düşey Karışım ve tabakalaşma birbiri ile yakın ilişki içindedir. Her iki Boğaz'da orta hat boyunca yapılan akıntı ölçümleri incelendiğinde İstanbul Boğazı üst tabakası ortalama olarak 3 cm/s hızla aşağıya, alt tabaka ise 0.7 cm/s hızla yukarıya hareket etmektedir. Çanakkale Boğazı'nda ise üst tabaka 3.7 cm/s hızla ortalama hızla aşağı hareket ederken, alt tabaka suyu da ilginç bir şekilde ortalama olarak 1.6 cm/s hızla aşağı hareket etmektedir. Bu durum Çanakkale Boğazında tabakalar arası düşey karışımın az olduğunu, sisteme giren su ve çıkan suyun eşit olmasını öngören süreklilik ilkesinin ise (continuity) sığ alanlarda yukarı çıkış mekanizması ile sağlandığını göstermektedir. Daha açık bir ifade ile Çanakkale Boğazında taban suyu orta hat boyunca değil, derinliğin az olduğu ve kıyıya yakın sahalarda yukarı çıkarak üst tabakaya karışmaktadır.

5.4. Su Seviyesi

2005 yılı Nisan – Ağustos ayları içinde alınan su seviyesi kayıtları incelendiğinde Anadolu Kavağı bölgesinin Pendik'e göre ortalama 32.9 cm daha yukarıda olduğu ölçülmüştür. Bu fark en çok 54.3 cm, en az 6.1 cm olmuştur. Pendik'te su seviyesine tesir eden en etkili astronomik bileşen Ay'ın dünya etrafındaki 27.5 günde tamamladığı zaman zarfındaki hızı ve dünyaya olan mesafesindeki farklılıktan kaynaklanan ve literatürde MM olarak gösterilen bileşendir. MM'in genliği Pendik'te 2.88 cm iken Anadolu Kavağı'nda 1.2 olarak hesaplanmıştır. Bölgenin gelgit yapısını anlamak maksadı ile zaman tabanında toplanan su seviyesi verileri frekans tabanına taşınarak sistem üzerinde en etkili 35 bileşenin genlik ve frekansları hesaplanmıştır. Rüzgar, hava basıncı, içsel dalgalar vs. etkenler hariç tutularak bu verilerle sadece astronomik kuvvetlerin etkili olduğu gelgit sinyali incelenmiş ve Pendik'te 7.1, Taşkızak'ta 4.5 ve Anadolu Kavağı'nda 5.7 cm civarında bir zarf içinde su seviyesi değişimi beklenebileceği değerlendirilmektedir.

14 – 19 Kasım 2005 tarihleri içinde rüzgar şiddeti ve yönü ile su seviyesi arasında, bunlara bağlı olarak da akıntı rejimine ait uç değer olarak değerlendirilebilecek bir durum yaşanmıştır. 14 Kasım ve öncesinde esen kuvvetli kuzeyli rüzgarlar Karadeniz ve Marmara arasındaki su seviyesi farkını 40 cm üzerine çıkarmış ve alt akıntının tamamen durmasına sebep olmuştur. 15 Kasım 2005 tarihinden itibaren üç gün süre ile ortalama 4 m/s hızla güneyli rüzgar esmiş ve su seviyesi arasındaki farkı 18 Kasım 2005 günü – 3 cm'ye kadar düşürmüştür. Aynı gün

icra edilen akıntı ölçümlerinde Orkoz tabir edilen üst akıntının alışılmışın dışında kuzeye aktığı görülmüştür.

5.5. Sonuç

Türk Boğazları Sistemi Asya ve Avrupa kıtalarını doğu – batı istikametinde birleştirmesi ve soğuk iklimde bulunan büyük ölçekte ekonomik ve politik güce sahip ülkelerle sıcak denizler arasında kuzey – güney yönünde bir geçit olması sebebi ile küresel manada büyük bir jeostratejik öneme haizdir. Bunun yanısıra 2000 yılı sayımına göre, Türkiye nüfusunun % 25'ine ev sahipliği yapmakta ve 2006 yılı rakamlarına göre Türkiye Gayri Safi Milli Hasılasının % 39.3'ünü üretmektedir. Marmara Bölgesi bir bütün olarak incelendiğinde insanlık adına kültür mirası olarak kabul edilen bir çok tarihi yapıya ve zengin doğal varlıklara sahiptir.

Bölgenin ekonomik, sosyal ve kültürel hayatı içinde İstanbul ve Çanakkale Boğazları ve Marmara Denizi büyük önem taşımaktadır. Bu tez, söz konusu deniz sisteminin anlaşılmasına ve bu sayede öncelikle bu coğrafyada yaşayanlar olmak üzere bütün insanlığa hizmet etmek üzere hazırlanmıştır. İcra edilen mevsimlik ölçümlerle TBS üzerinde bulunan her iki Boğaz'ın temel oşinografik özellikleri ayrıntılı olarak ortaya çıkarılmıştır. Her iki boğazda ölçümlerin müteakiben ve modern ölçü aletleri ile yapılmış olmaları sebebi ile bundan sonraki çalışmalara da büyük destek sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada çıkarılan önemli sonuçlardan biri de özellikle İstanbul Boğazı'nın çok karmaşık bir oşinografik yapıya sahip olduğu gerçeğidir. Sadece gemi üzerinden yapılan fiziki ölçümlerle İstanbul Boğazı'nın tam olarak anlaşılması oldukça zordur. Kasım 2005 döneminde yapılan ölçümde olduğu gibi bütün sistem üç günde bir uç durumdan diğerine geçebilmektedir. Bu sebeple gemi ile yapılan ölçümler özellikle dibe yerleştirilmiş ADCP cihazları ve CTD dizinleri ile zaman serisi alacak şekilde zenginleştirilmelidir.

Sabit istasyon sayısının fiziki imkanlar nedeni ile yeterli olamayacağından hareketle ölçümlerin aynı zamandan güvenilir bir modelle desteklenmesinin de ayrıca faydalı olacağına inanılmaktadır. Şu ana kadar İstanbul Boğazı belli parametrelerin ve senaryoların sınanması

maksatlı amaçlar dışında modellenmemiştir. Modelleme çalışmasının hem temel dinamiklerin daha detaylı anlaşılması, gemi trafiği hizmetleri kalitesinin artırılması ve çevresel konularda daha sağlıklı kararlar verilebilmesi maksadı ile çok önemli olduğu değerlendirilmektedir. Ancak sırf teorik yaklaşımlarla boğazların güvenilir bir şekilde modellenmesi oldukça zordur. Her yerde olduğu gibi bu bölgede çalıştırılacak bir modelin de güvenilir hale getirilmesi için başlangıç ve sınır değerlerinin en doğru şekilde girilmesi ve çalışmaya başladıktan sonra da sürekli kalibre edilmesi ve gerçekleşmesi gerekmektedir. Bu amaçla toplanacak gerçek zamanlı ölçüm verilerinden bir hata bilgisinin üretilmesi, buna göre müteakip tahmin periyodunda aynı hatanın yapılabileceğinin öngörülerek tahminin düzeltilmesi, bir nevi kendi hatasından ders çıkararak, akıllı bir sistem haline getirilmesine yönelik oldukça önemli olduğu değerlendirilen bir sinama yapılmıştır. Bu gayretlerin sonucu olarak gerçek zamanlı ölçülmüş veriler asimile edilerek tahmin yeteneklerinin artırılması hedeflenmiştir. Bu konuda, İstanbul Boğazı'nın muhtelif mevkiilerine yerleştirildiği farz edilen akıntı ölçerlerden toplanan veriler yine farazi model verilerine asimile edilmiş ve model tahmin yeteneğinin ne oranda artırılabilirdiği gözlenmiştir. Modelin kendi kendine yaptığı hatayı görüp bir sonraki tahmin periyodunda bu hatayı düzeltmesini öngören bu yaklaşım dokuz ayrı senaryoda test edilmiş ve ortalama % 31.2 oranında bir düzeltme sağlanmıştır.

En önemli husus ise bu noktadan sonra yapılması gerekenlerdir. Deniz suyunun temel özellikleri böyle ise bu bilgilerin insanlık yararına nasıl ve nerelerde kullanılabileceği araştırılmalıdır. Örnek olarak akustik özellikler incelenmiş ve belli dönemlerde tabaka altına yüksek frekanslı sinyalin 55 dB azalarak indiği görülmüştür. Marmara ve Karadeniz arasındaki su seviyesi farkının - 3 cm'ye düşmesi durumunda üst akıntının bloke olması söz konusudur. Bu durumda alt tabakaya verilen kanalizasyon atıklarının satih suyuna karışım ihtimali araştırılmalıdır. Araştırılması önemli bir başka konu ise ara tabakada bulunan organik ve inorganik varlıkların incelenmesi, mevcut fiziki rejimin plankton başta olmak üzere biota üzerindeki etkilerinin tespit edilmesidir.

Bu çalışmanın bundan sonraki araştırmalara faydalı olmasını diliyorum, son söz olarak yardımı olan herkese teşekkür ediyorum.

KAYNAKLAR

ARISOY, Y. & AKYARLI, A. (1990): Long term current and sea level measurements conducted at Bosphorus, Physical Oceanography of Sea Straits (ed. L. J. Pratt), 225–236. Kluwer Academic Publishers

ARMI, L. ve FARMER, D., (1987): A generalization of the concept of maximal exchange in a Strait, Journal of Geophysical Research 92 (C13), 14679–14680

ASCHERSON, N., (1995): The Black Sea, Hill and Wang, IBAN: NL54 PSTB 0002 9595 94

BEŞİKTEPE, Ş., SUR, H. I., ÖZSOY, E., LATİF, M. A., OĞUZ T. ve ÜNLÜATA, Ü. (1994): The circulation and hydrography of the Marmara Sea. Progress in Oceanography 34, 285–334.

BEŞİKTEPE, Ş., ÖZSOY, E. ve LATİF M. A. (1995): Sewage outfall plume in the two layer channel: An example of Istanbul outfall. Water Science and Technology 32 (2), 69–75.

BÜYÜKÖZDEN, A., YÜCE, H., ve BAYRAKTAR, T., (1985): Investigation of Mediterranean water along the Strait of Istanbul and in the Black Sea, Final Report, TÜBİTAK, Çevre Araştırmaları Grubu

ÇEÇEN, K., BEYAZIT, M., SÜMER M., GÜÇLÜER S., DOĞRUSAL M. ve YÜCE, H. (1981): Oceanographic and hydrolic investigations of the Bosphorus: Section I, Final Report, TÜBİTAK, İstanbul Technical University,

De FILIPPI, G.L., (1986): Current Analysis in the Marmara Bosphorus Junction, Associazione di Ingegneria Offshore e Marina Congress, Venice, (June 1986), Italy

Di IORIO, D. & YÜCE, H. (1999): Observations of Mediterranean flow into the Black Sea, Journal of Geophysical Research 104 (C2), 3091–3108

ECE J. N., (2005): İstanbul Boğazı'ndaki Deniz Kazalarının Seyir ve Çevre Güvenliği Açısından Analizi ve Zararsız Geçiş Koşullarında Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi

GERDES F., (2002): A Study of the Effects of Friction and Mixing on the Exchange Flow through the Bosphorus (Strait of Istanbul), Ph.D Thesis, Institute of Ocean Sciences, British Columbia, Canada

GREGG, M. C., ÖZSOY, E. ve LATİF, M. A. (1999): Quasi-steady exchange flow in the Bosphorus. *Geophysical Research Letters* 26 (1), 83–86.

GREGG, M. C. ve ÖZSOY, E., (2002): Flow, water mass changes, and hydraulics in the Bosphorus. *Journal of Geophysical Research* 107:200JC000485

GUNNERSON, C.G., ve ÖZTURGUT, E., (1974): The Bosphorus, The Black Sea geology, chemistry and biology, *American Assoc. Pet. Geol. Memoir* 20, Tulsa, Oklahoma, ABD

HELFRICH, K. R. (1995): Time-dependent two-layer hydraulic exchange flow. *Journal of Physical Oceanography* 25 (3), 359–373.

LAWRENCE, G. A., (1990): On the hydraulics of Boussinesq and non-Boussinesq two-layer flows. *Journal of Fluid Mechanics* 215, 457–480.

LESLIE W.G., ROBINSON A.R., HALEY P.J., LOGUTOV, O., MORENO P.A., LERMUSIAUX, P.F.J. ve COELHO E. (2008): Verification and training of real-time forecasting of multiscale dynamics for maritime rapid environmental assessment, *Journal of Marine Systems*, (69) 3-16.

MERZ, A., (1918): Die strömungen des Bosphorus und Dardanellen, *Verhandlungen, Deutsch. Geogr. Tages.*, Berlin, Deutschland, 20.

MÖLLER, L. (1928): Alfred Merz' Hydrographische untersuchungen in Bosphorus und Dardanellen, neue folge A., vol. 18. University of Berlin.

OĞUZ, T., ÖZSOY, E., LATİF, M.A., SUR, H.İ. ve ÜNLÜATA, Ü. (1990): Modelling of hydrolically controlled exchange of flow in the Bosphorus Strait, *Journal of Physical Oceanography*, Vol. 20, No:7, 945-965

OTAY E. ve ÖZKAN Ş., (2003): Stochastic Prediction of Maritime Accidents in the Strait of Istanbul, *Oil Spills, Oil Pollution and Remediation Conference*, (16 – 18 September 2003), İstanbul

ÖZSOY, E., OĞUZ T., LATİF M.A. ve ÜNLÜATA Ü., (1986): *Oceanography of the Turkish Straits, First Annual Report*, Inst. of Marine Sciences, Middle East Technical U., Vol. I

ÖZSOY, E., OĞUZ T., LATİF M.A. ve ÜNLÜATA Ü., SUR, H.İ. ve BEŞİKTEPE, Ş. (1988): *Oceanography of the Turkish Straits, Second Annual Report*, Inst. of Marine Sciences, Middle East Technical U., Vol. I

- ÖZSOY, E. ve ÜNLÜATA, Ü. (1997): Oceanography of the Black Sea: A review of some recent results, *Earth-Science Reviews* 42 (4), 231–272
- ÖZSOY, E., DI IORIO, D., GREGG, M. ve BACKHAUS, J.O. (2001): Mixing in the Bosphorus Strait and the Black Sea continental shelf: observations and a model of the dense water outflow, *Journal Marine Systems*, 31 (2001) 99-135
- PAWLOWICZ, R., BEARDSLEY, R. B. ve LENTZ, S. (2002): Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T TIDE., *Computers and Geosciences* 28, 929–937
- POND, S. ve PICKARD G.,(1983): *Introductory Dynamical Oceanography*, 109. Pergamon Press, New York, ABD
- PROUDMAN, J., (1953): *Dynamical Oceanography*. Methuen and Co., Londra, İngiltere
- RABINOVICH A.ve MONSERRAT S., (1998): Generation of meteorological tsunamis (Large amplitude seiches) near the Balearic and Kuril Islands, *Natural Hazards*. Kluwer Academic Publishers
- SACLANT UNDERSEA RESEARCH REPORT, (1998): Oceanographic measurements of the West Black Sea: November 26 to December 14,1995
- STOMEL H. ve FARMER, H. G., (1953): Control of salinity in an estuary by a transition, *Journal of Marine Research* 12, 13–20
- ÜNLÜATA, Ü, OĞUZ, T., LATİF, M. A. ve ÖZSOY, E. (1990): On the physical oceanography of the Turkish Straits. In *The Physical Oceanography of Sea Straits* (ed. L. J. Pratt), 25–60. Kluwer Academic Publishers
- YÜCE, H., (1986): İstanbul Boğazında su seviyesi değişimlerinin incelenmesi, *Bülten, İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü*, Cilt 2, Sayı 3
- YÜCE, H. (1990): Investigation of the Mediterranean water in the Strait of Istanbul and the Black Sea, *Oceanologica ACTA*, Vol 13, 177-186

Internet Adresleri:

www.iski.gov.tr : İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi

www.shodb.gov.tr : Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı

<http://modis.gsfc.nasa.gov> : Moderate Range Imaging Spectrometer

<http://wunderground.com> : Weather Underground

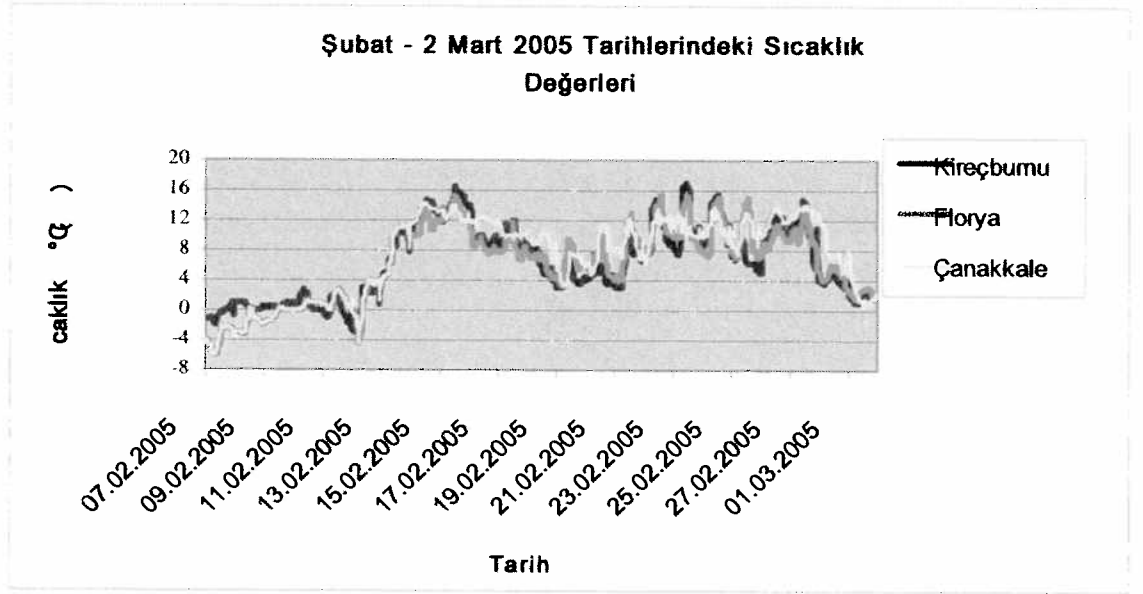
EKLER

EK LİSTESİ

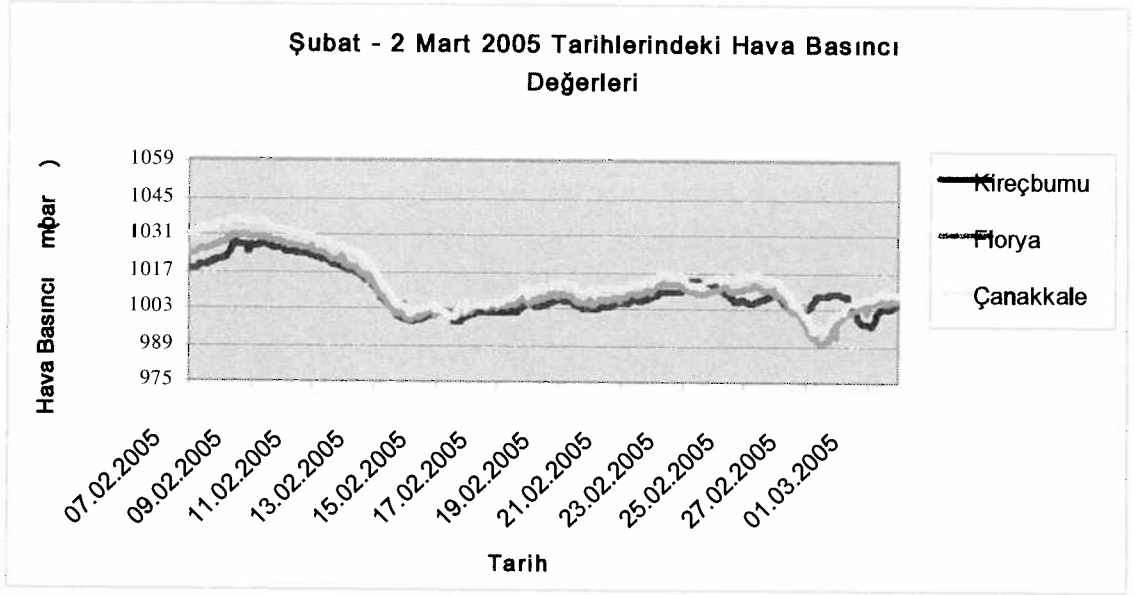
- EK – 1** : Deniz ölçüm çalışmalarındaki meteorolojik gözlemler
EK – 2 : İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında düşey en kesitlerde akıntı yapısı
EK – 3 : İstanbul Boğazı'nda gelgit değerleri genlik ve frekansları

EK-1: Deniz ölçüm çalışmalarındaki meteorolojik gözlemler

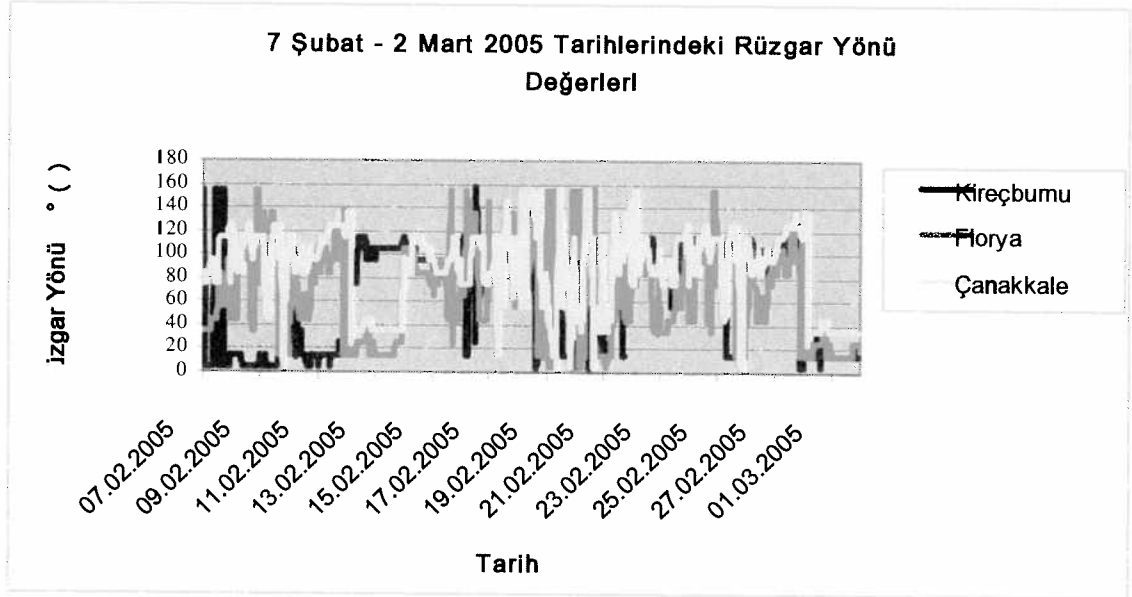
07 Şubat – 02 Mart 2005 tarihleri arasında İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında kayıt edilmiş meteorolojik gözlem sonuçları aşağıda yer almaktadır. Deniz çalışmaları 14 – 22 Şubat 2008 tarihlerinde icra edilmiştir.



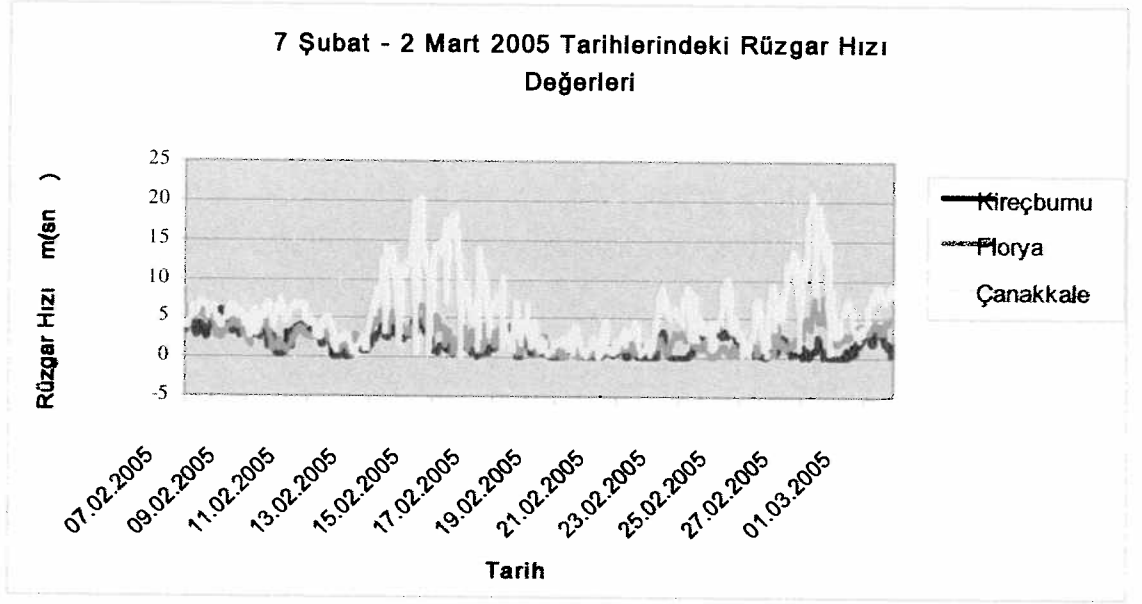
Şekil Ek 1.1. 07 Şubat – 02 Mart 2005 tarihlerinde Kireçburnu, Florya ve Çanakkale istasyonlarında ölçülen hava sıcaklıkları



Şekil Ek 1.2. 07 Şubat – 02 Mart 2005 tarihlerinde Kireçburnu, Florya ve Çanakkale istasyonlarında ölçülen hava basıncı

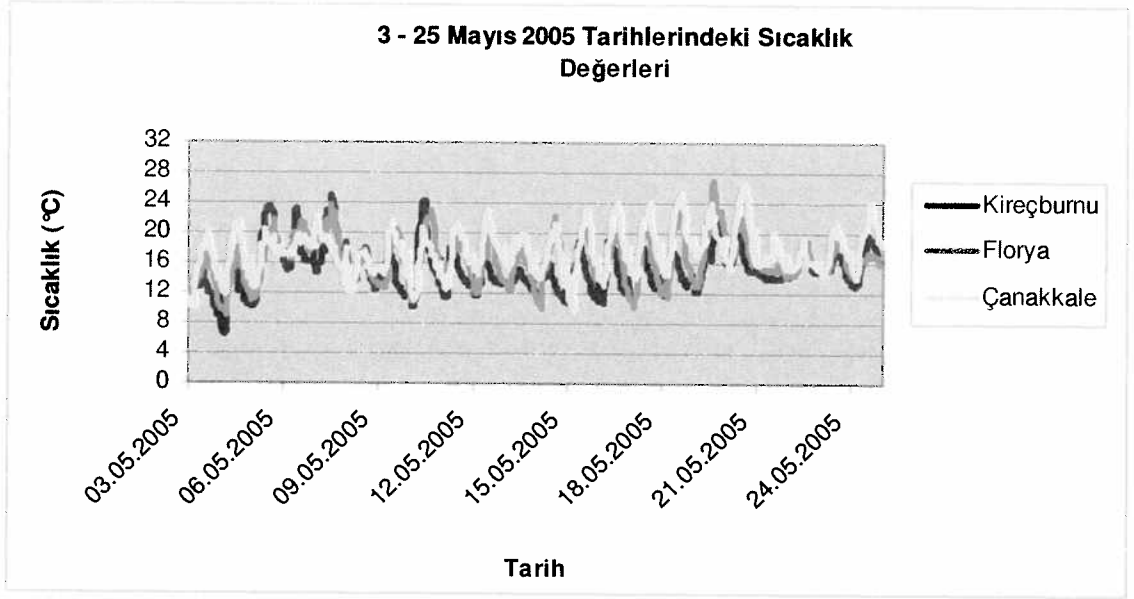


Şekil Ek 1.3. 07 Şubat – 02 Mart 2005 tarihlerinde Kireçburnu, Florya ve Çanakkale istasyonlarında ölçülen rüzgar yönü

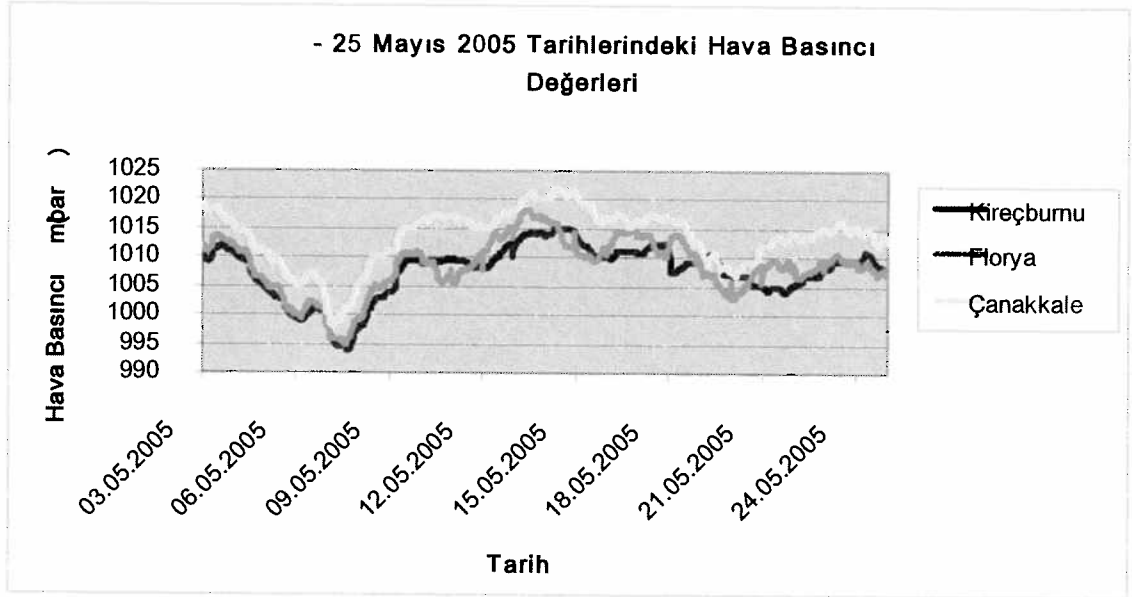


Şekil Ek 1.4. 07 Şubat – 02 Mart 2005 tarihlerinde Kireçburnu, Florya ve Çanakkale istasyonlarında ölçülen rüzgar hızı

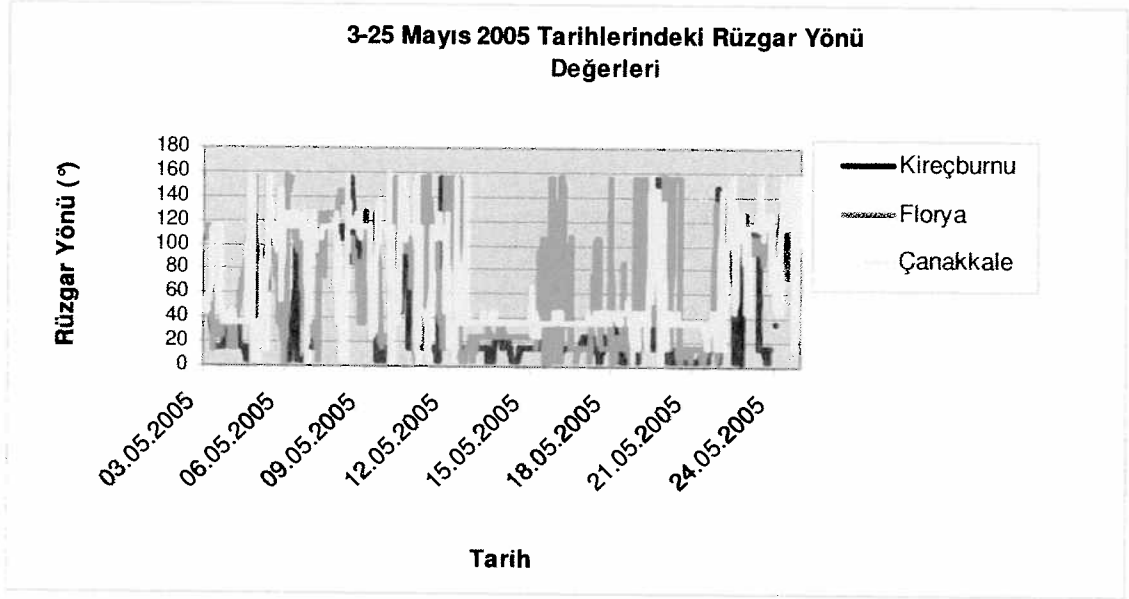
03 – 25 Mayıs 2005 tarihleri arasında İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında kayıt edilmiş meteorolojik gözlem sonuçları aşağıda yer almaktadır. Deniz çalışmaları 10 – 17 Mayıs 2005 tarihlerinde icra edilmiştir.



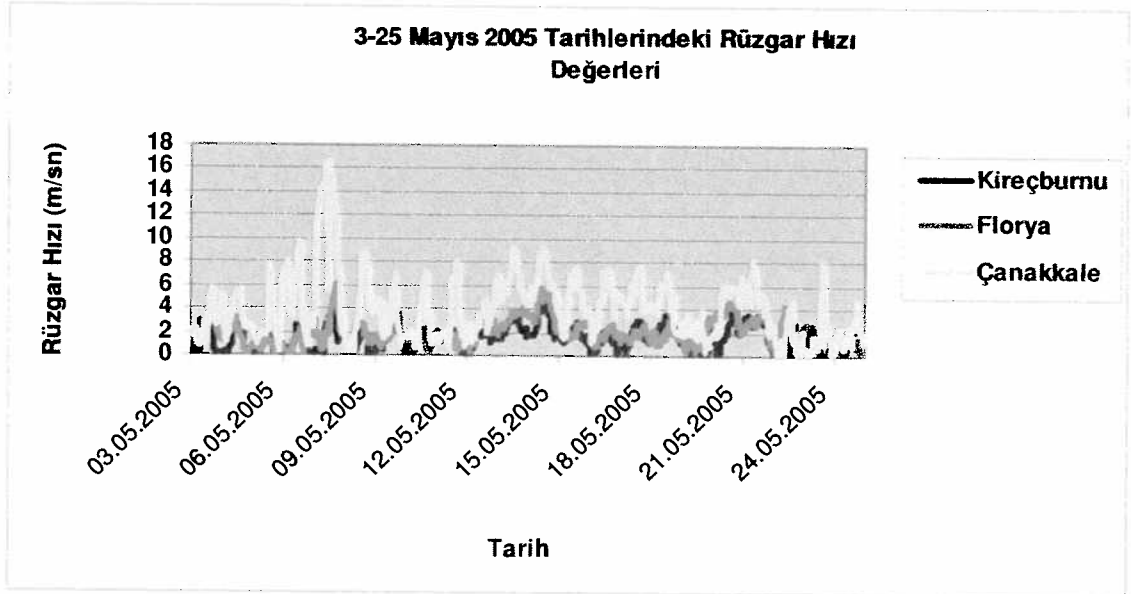
Şekil Ek 1.5. 03 – 25 Mayıs 2005 tarihlerinde Kireçburnu, Florya ve Çanakkale istasyonlarında ölçülen hava sıcaklıkları



Şekil Ek 1.6. 10 – 03 – 25 Mayıs 2005 tarihlerinde Kireçburnu, Florya ve Çanakkale istasyonlarında ölçülen hava basıncı

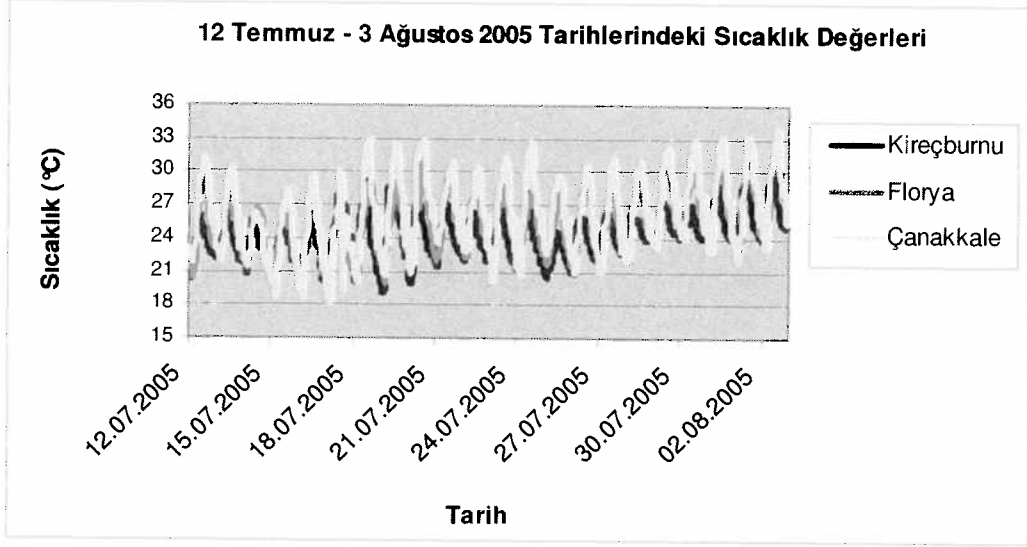


Şekil Ek 1.7. 03 – 25 Mayıs 2005 tarihlerinde Kireçburnu, Florya ve Çanakkale istasyonlarında ölçülen rüzgar yönü

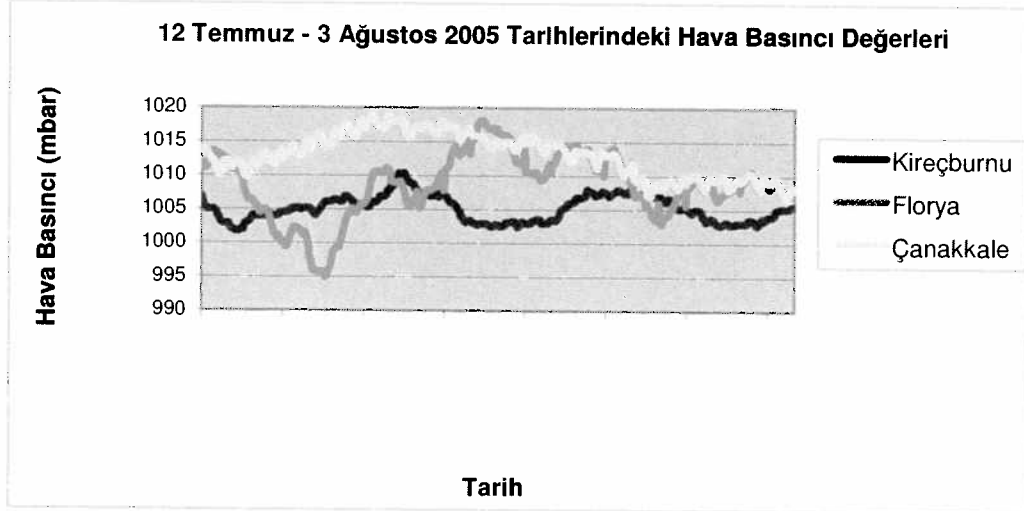


Şekil Ek 1.8. 03 – 25 Mayıs 2005 tarihlerinde Kireçburnu, Florya ve Çanakkale istasyonlarında ölçülen rüzgar hızı

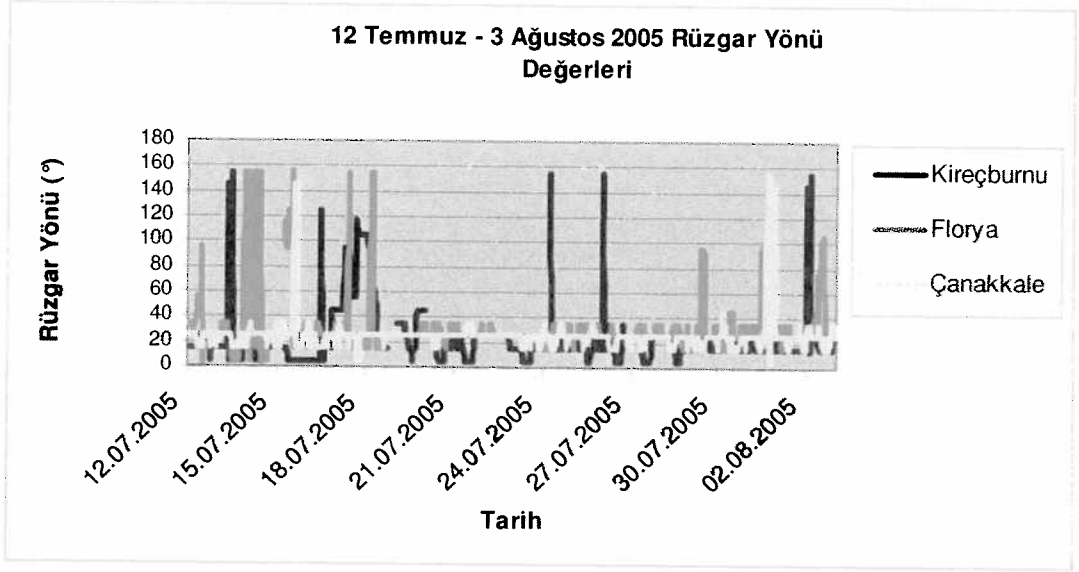
12 Temmuz – 03 Ağustos 2005 tarihleri arasında İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında kayıt edilmiş meteorolojik gözlem sonuçları aşağıda yer almaktadır. Deniz çalışmaları 19 – 26 Temmuz 2005 tarihlerinde icra edilmiştir.



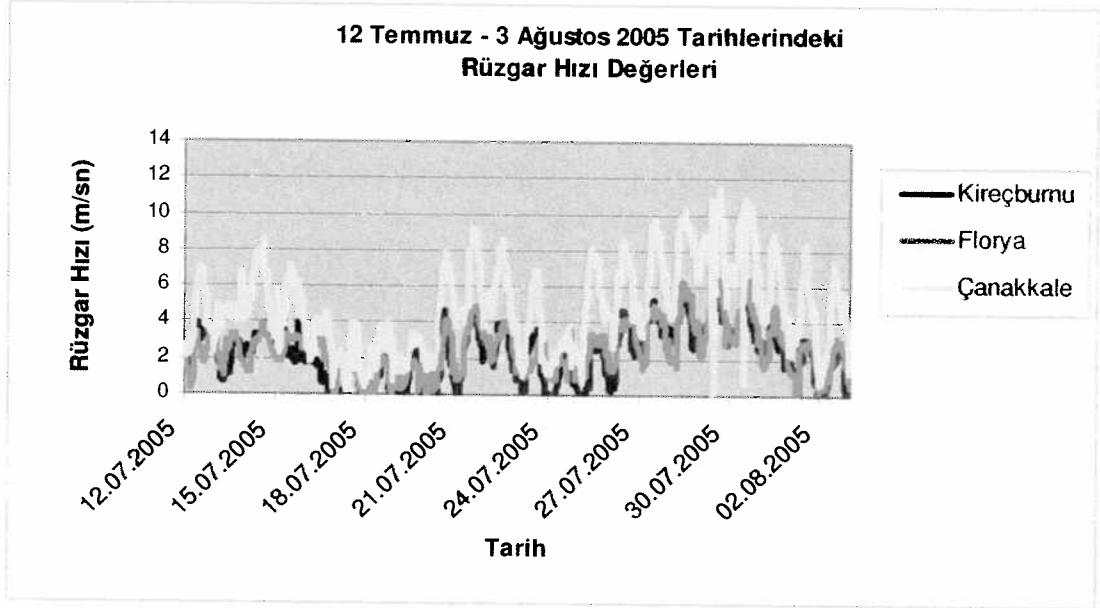
Şekil Ek 1.9. 12 Temmuz – 03 Ağustos 2005 tarihlerinde Kireçburnu, Florya ve Çanakkale istasyonlarında ölçülen hava sıcaklıkları



Şekil Ek 1.10. 12 Temmuz – 03 Ağustos 2005 tarihlerinde Kireçburnu, Florya ve Çanakkale istasyonlarında ölçülen hava basıncı

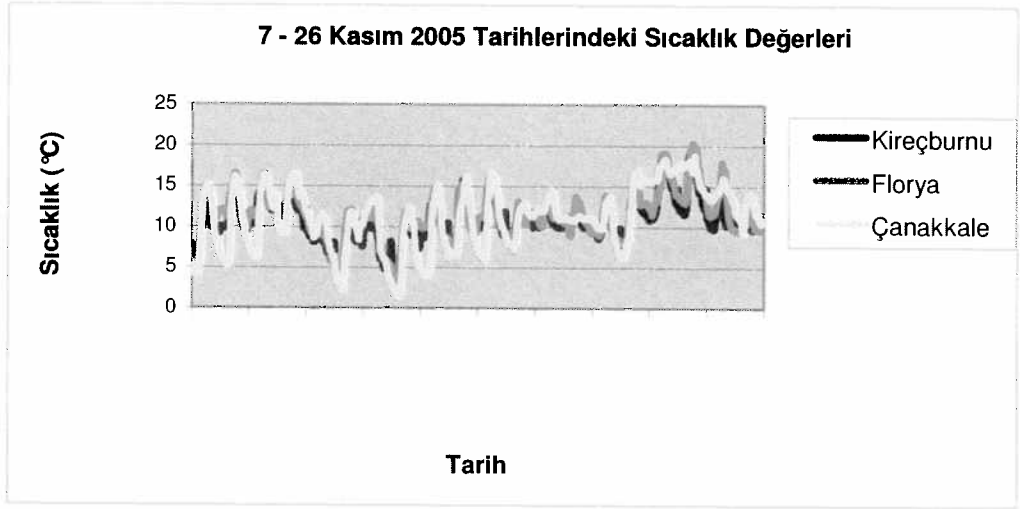


Şekil Ek 1.11. 12 Temmuz – 03 Ağustos 2005 tarihlerinde Kireçburnu, Florya ve Çanakkale istasyonlarında ölçülen rüzgar yönü

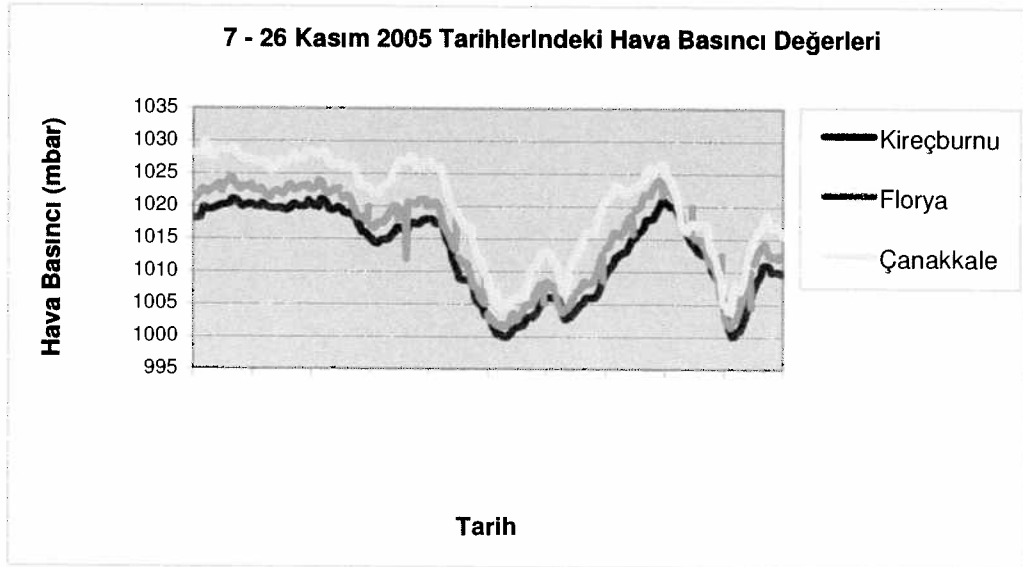


Şekil Ek 1.12. 12 Temmuz – 03 Ağustos 2005 tarihlerinde Kireçburnu, Florya ve Çanakkale istasyonlarında ölçülen rüzgar hızı

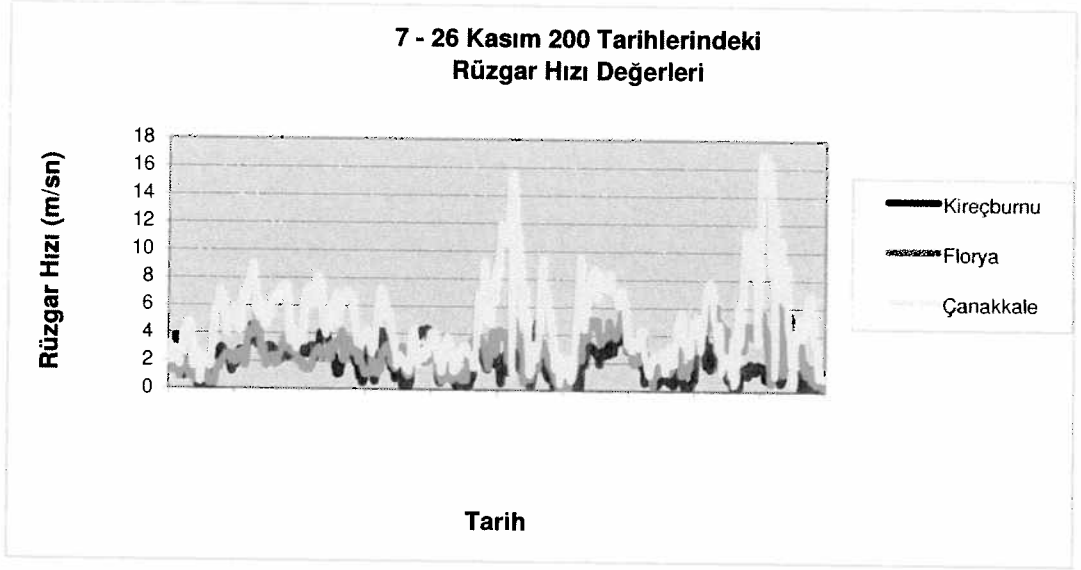
07 Kasım - 27 Aralık 2005 tarihleri arasında İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında kayıt edilmiş meteorolojik gözlem sonuçları aşağıda yer almaktadır. Deniz çalışması 14 – 19 Kasım ve 12 – 20 Aralık 2005 tarihleri arasında icra edilmiştir.



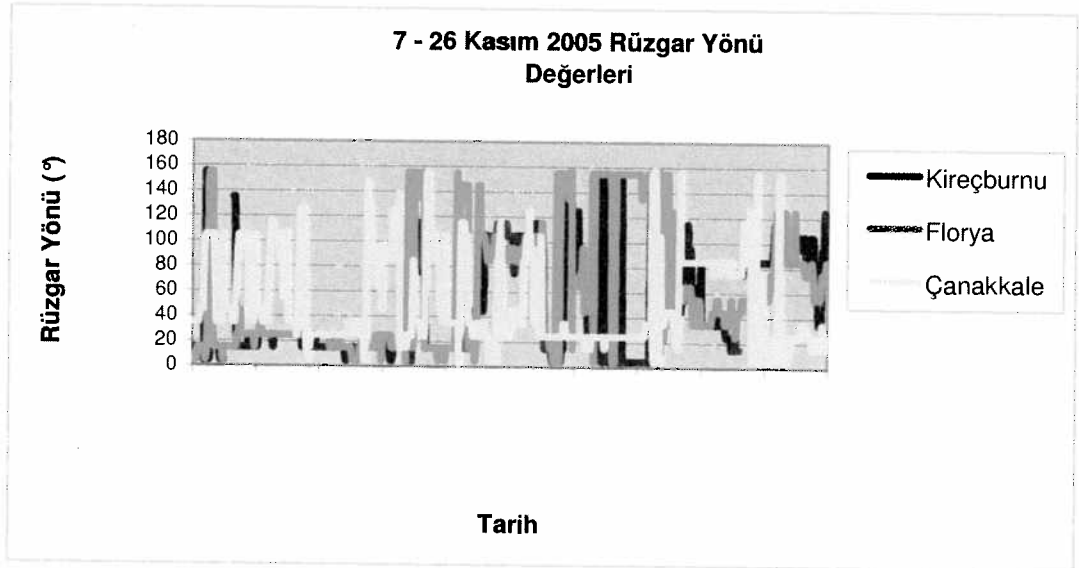
Şekil Ek 1.13. 07 Kasım - 27 Aralık 2005 tarihlerinde Kireçburnu, Florya ve Çanakkale istasyonlarında ölçülen hava sıcaklıkları



Şekil Ek 1.14. 07 Kasım - 27 Aralık 2005 tarihlerinde Kireçburnu, Florya ve Çanakkale istasyonlarında ölçülen hava basıncı

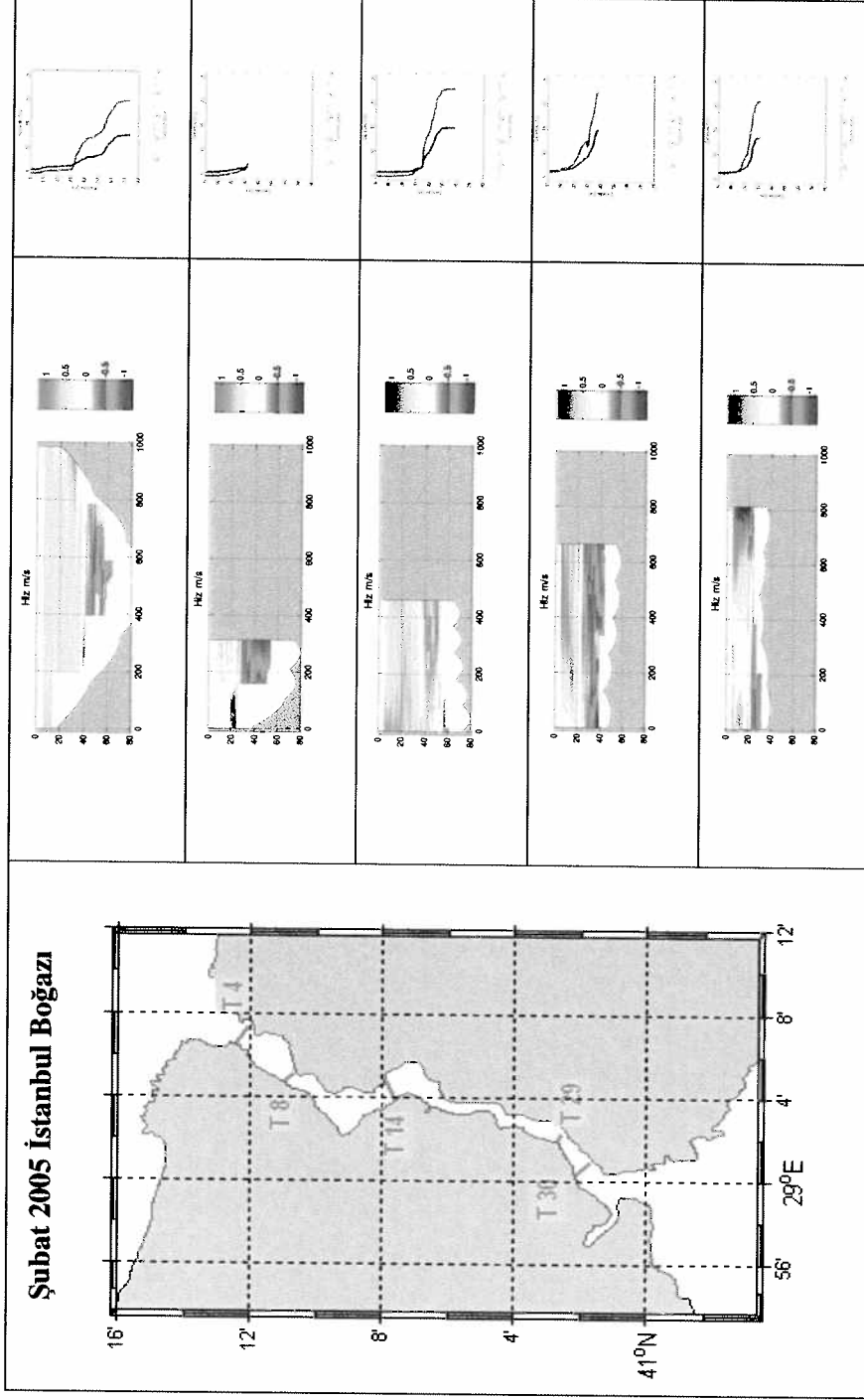


Şekil Ek 1.15. 07 Kasım - 27 Aralık 2005 tarihlerinde Kireçburnu, Florya ve Çanakkale istasyonlarında ölçülen rüzgar hızı

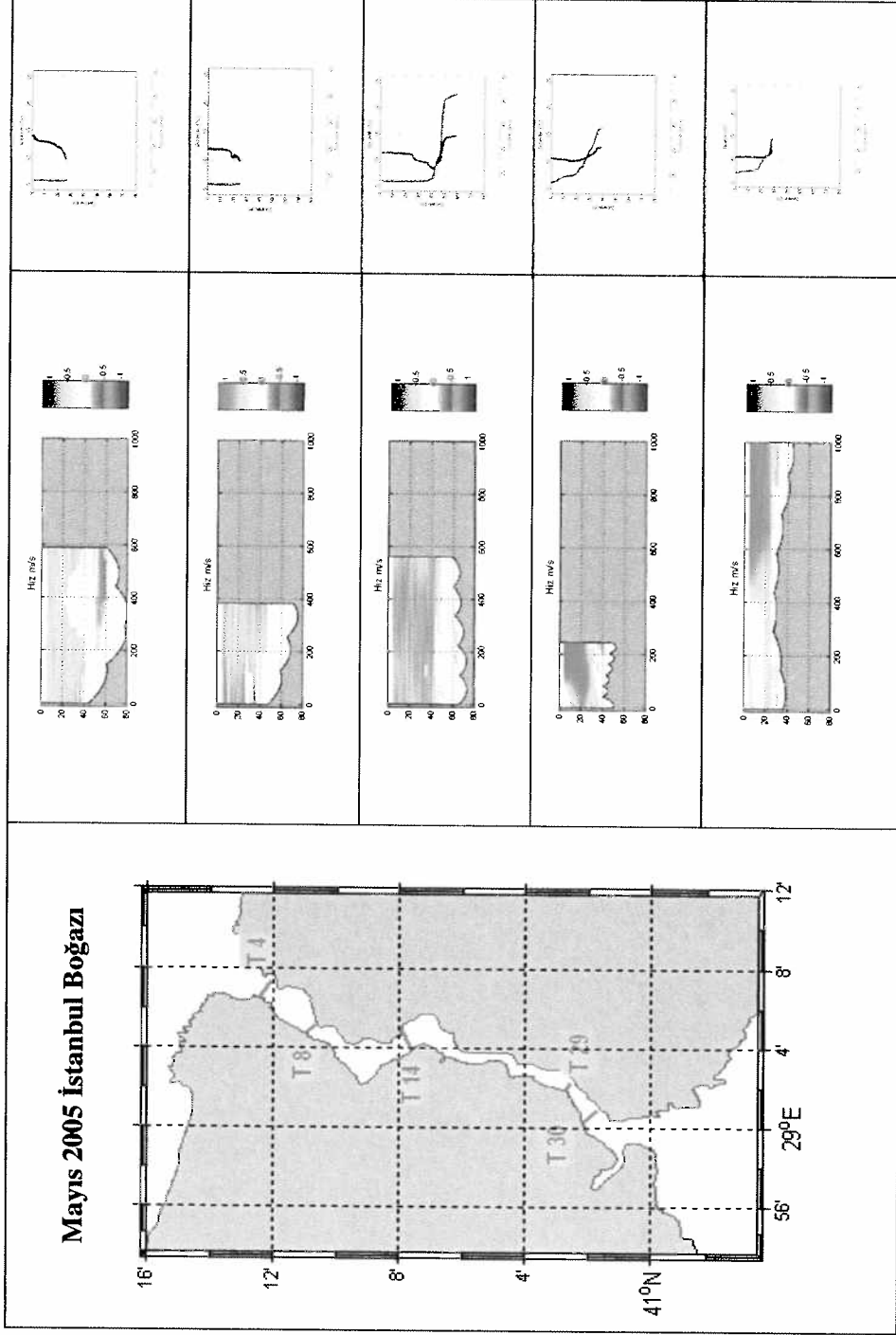


Şekil Ek 1.16. 07 Kasım - 27 Aralık 2005 tarihlerinde Kireçburnu, Florya ve Çanakkale istasyonlarında ölçülen rüzgar yönü

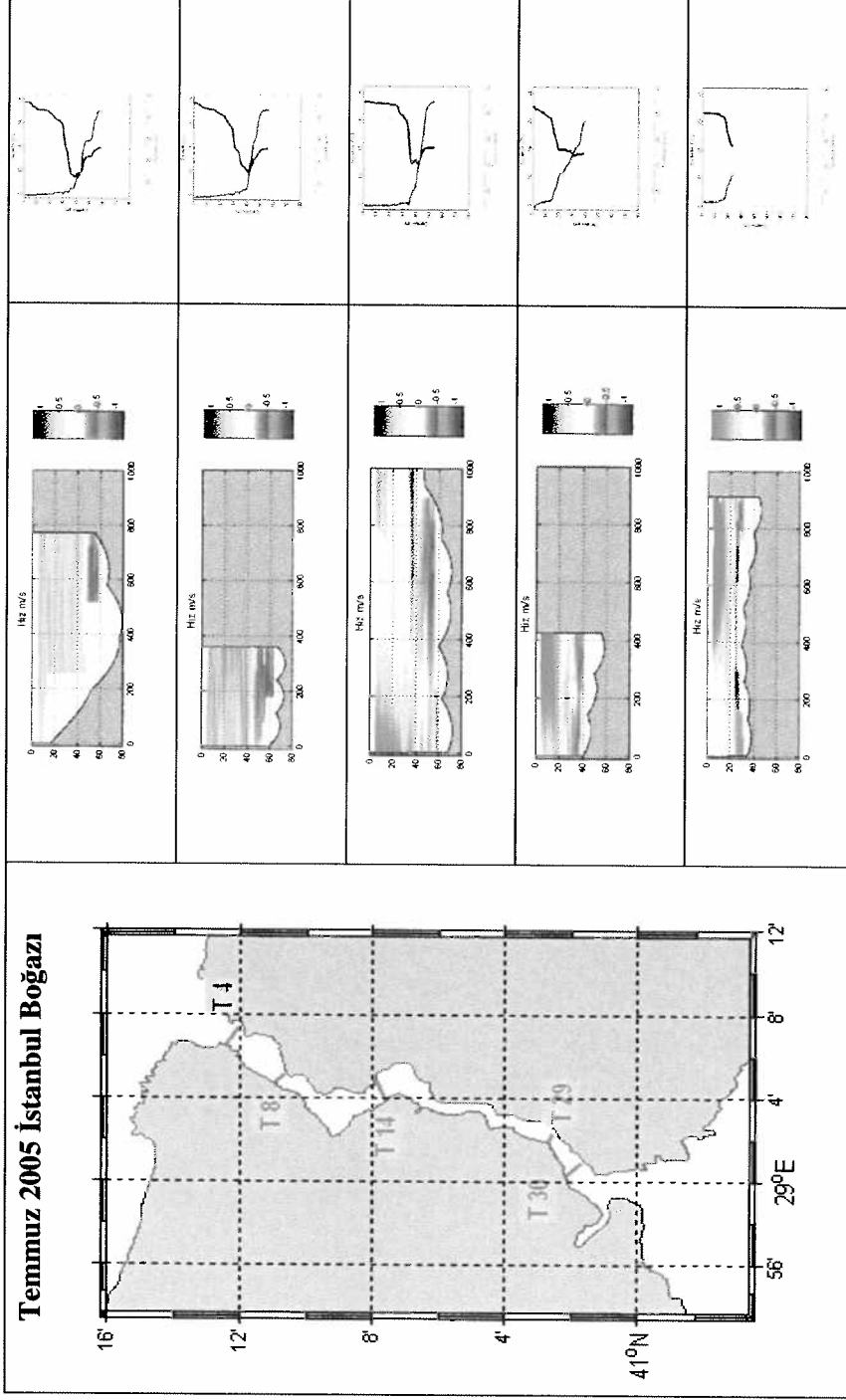
EK – 2: İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında düşey en kesitlerde akıntı yapısı



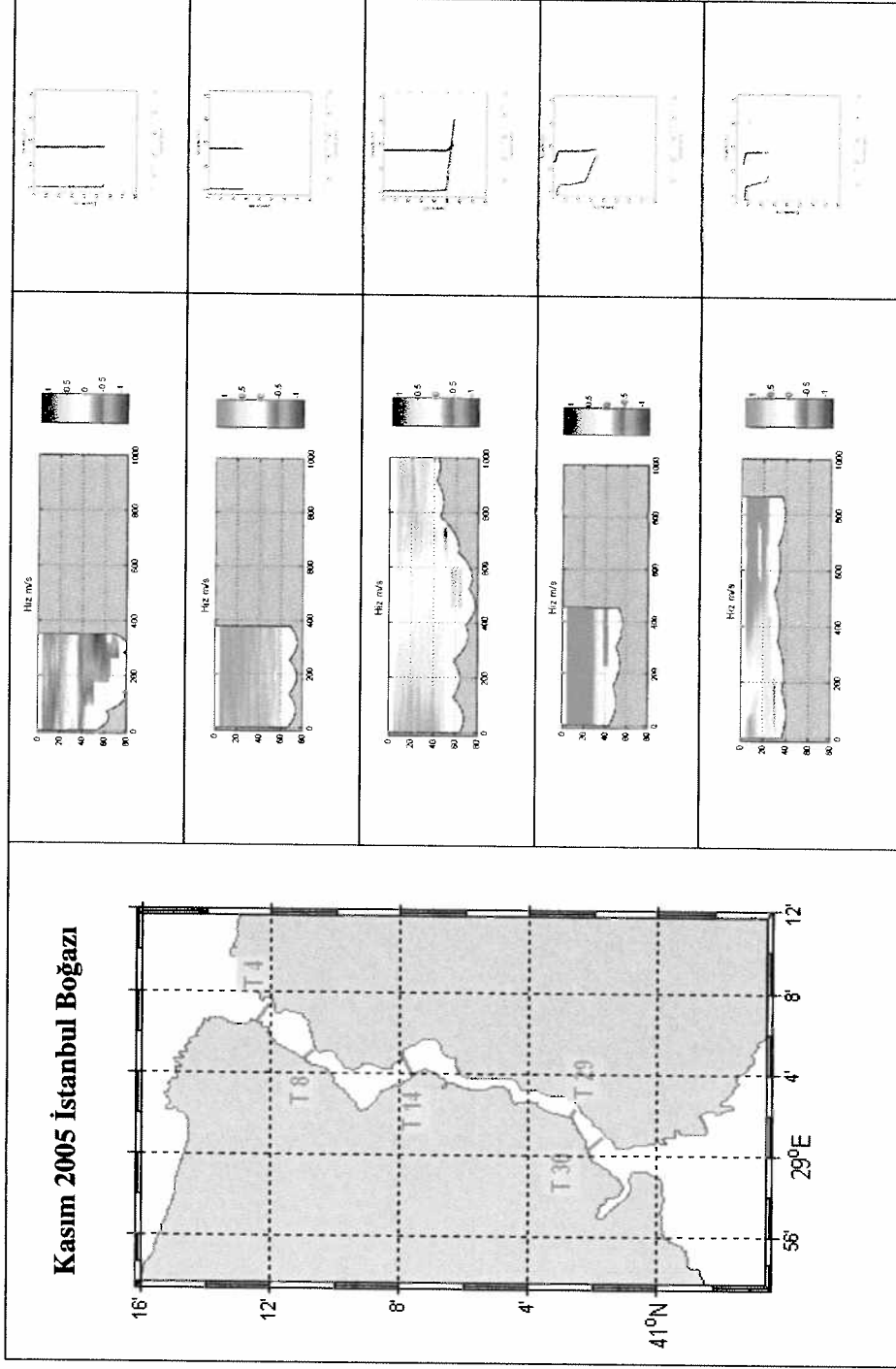
Şekil Ek 2.1. Yukarıdan aşağıya doğru sırası ile T4, T8, T14, T29 ve T30 numaralı hatlara ait akıntı ve CTD verileri



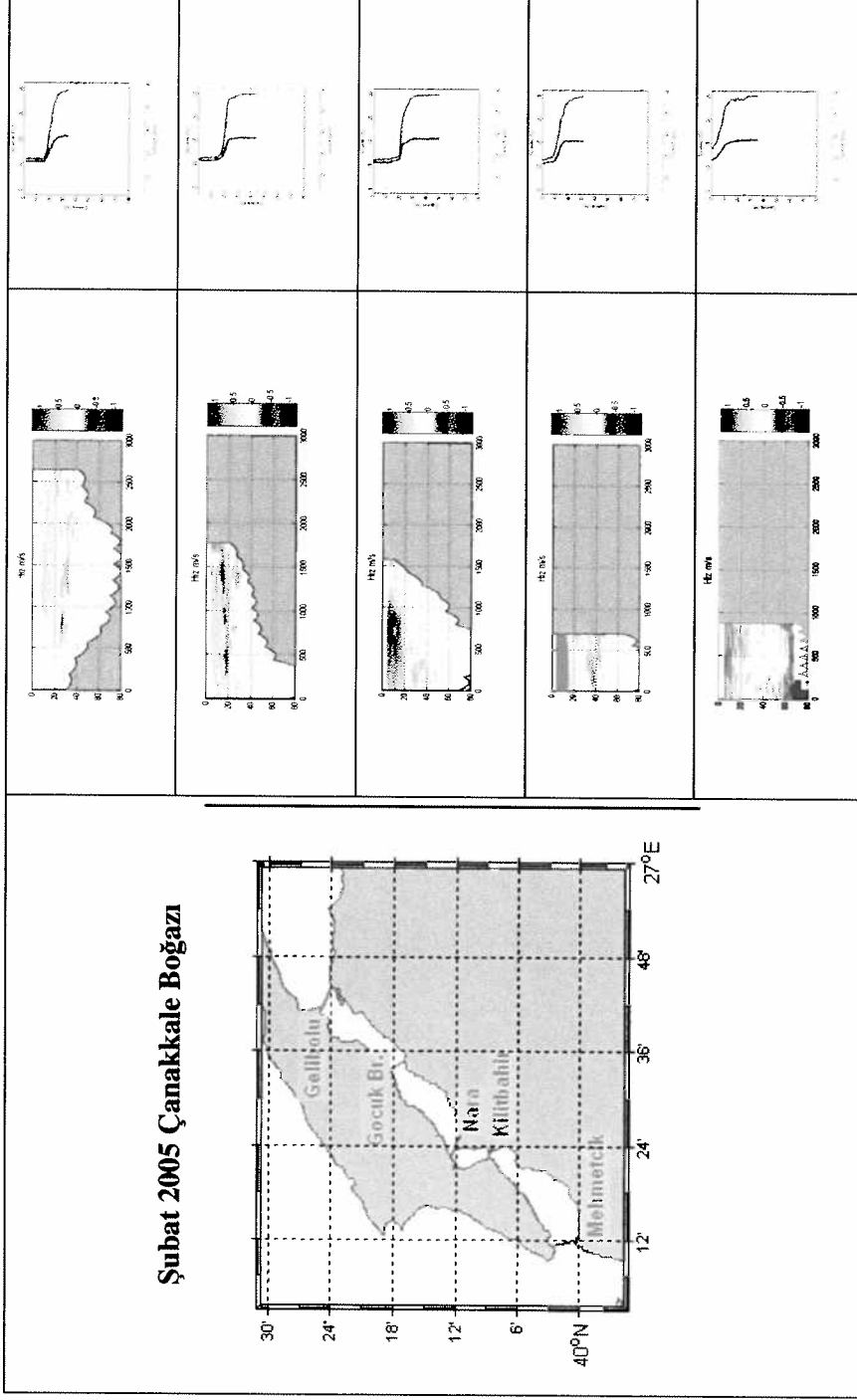
Şekil Ek 2.2. Yukarıdan aşağıya doğru sırası ile T4, T8, T14, T29 ve T30 numaralı hatlara ait akıntı ve CTD verileri



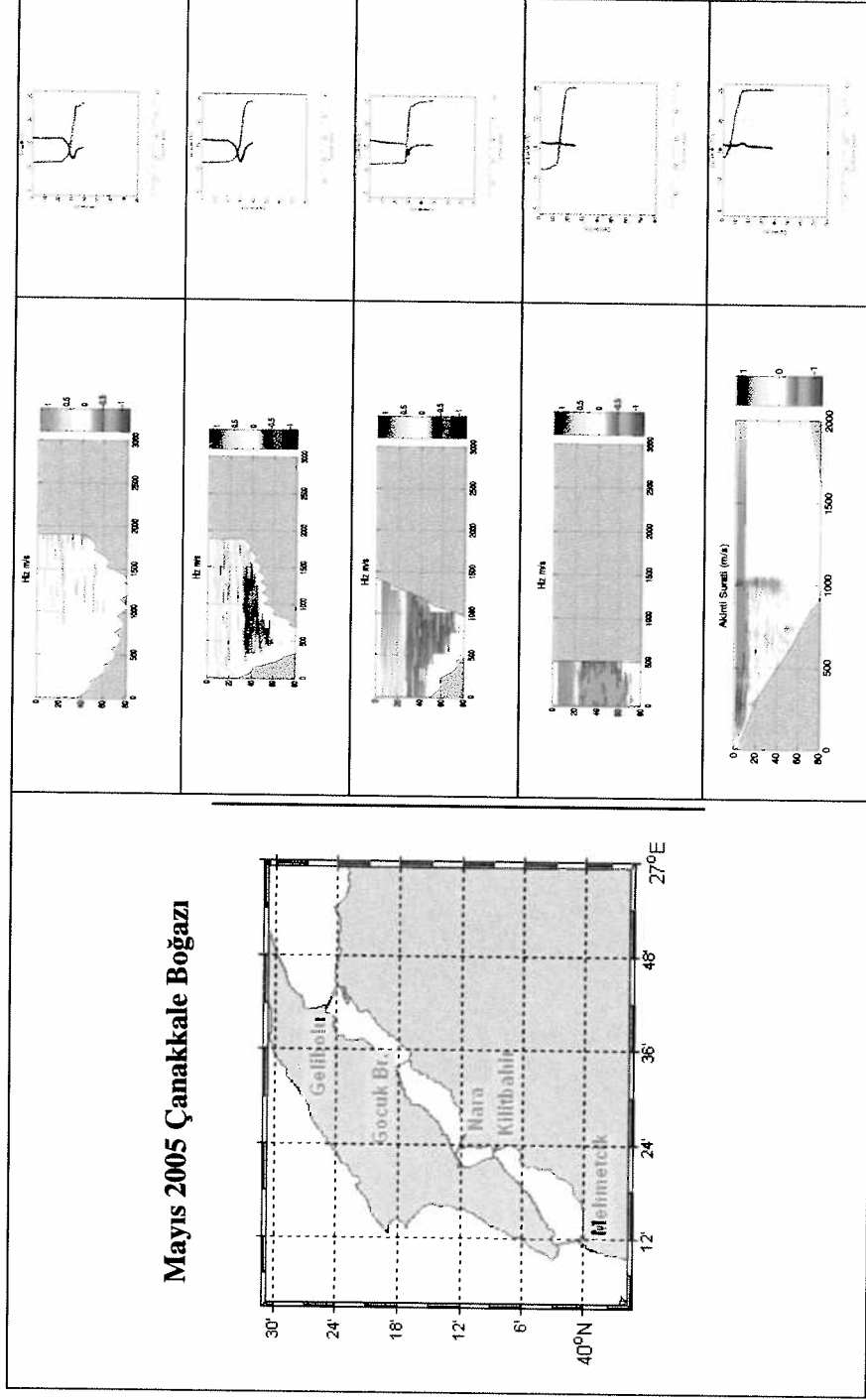
Şekil Ek 2.3. Yukarıdan aşağıya doğru sırası ile T4, T8, T14, T29 ve T30 numaralı hatlara ait akıntı ve CTD verileri



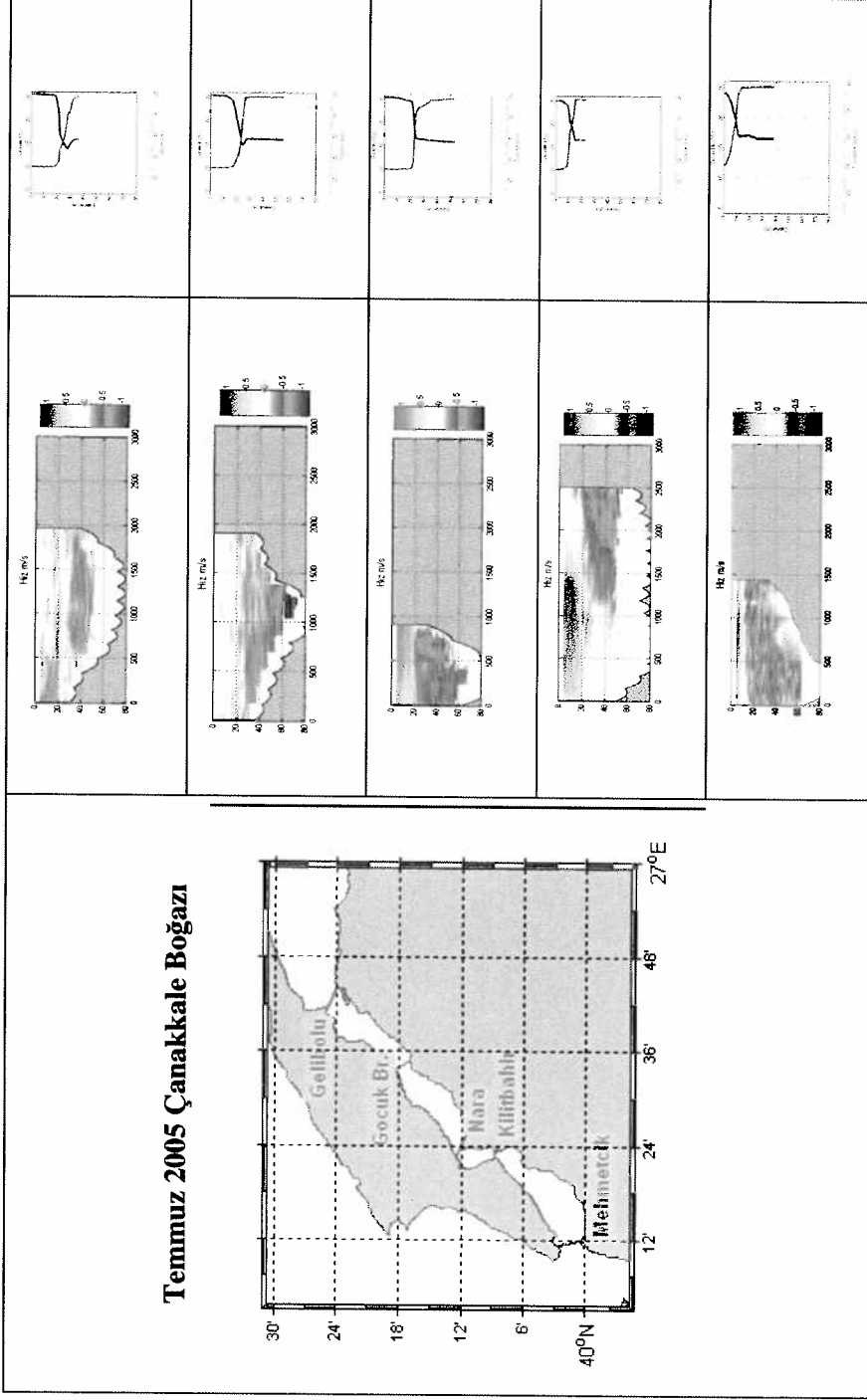
Şekil Ek 2.4. Yukarıdan aşağıya doğru sırası ile T4 (Orkoz), T8, T14, T29 ve T30 numaralı hatlara ait akıntı ve CTD verileri



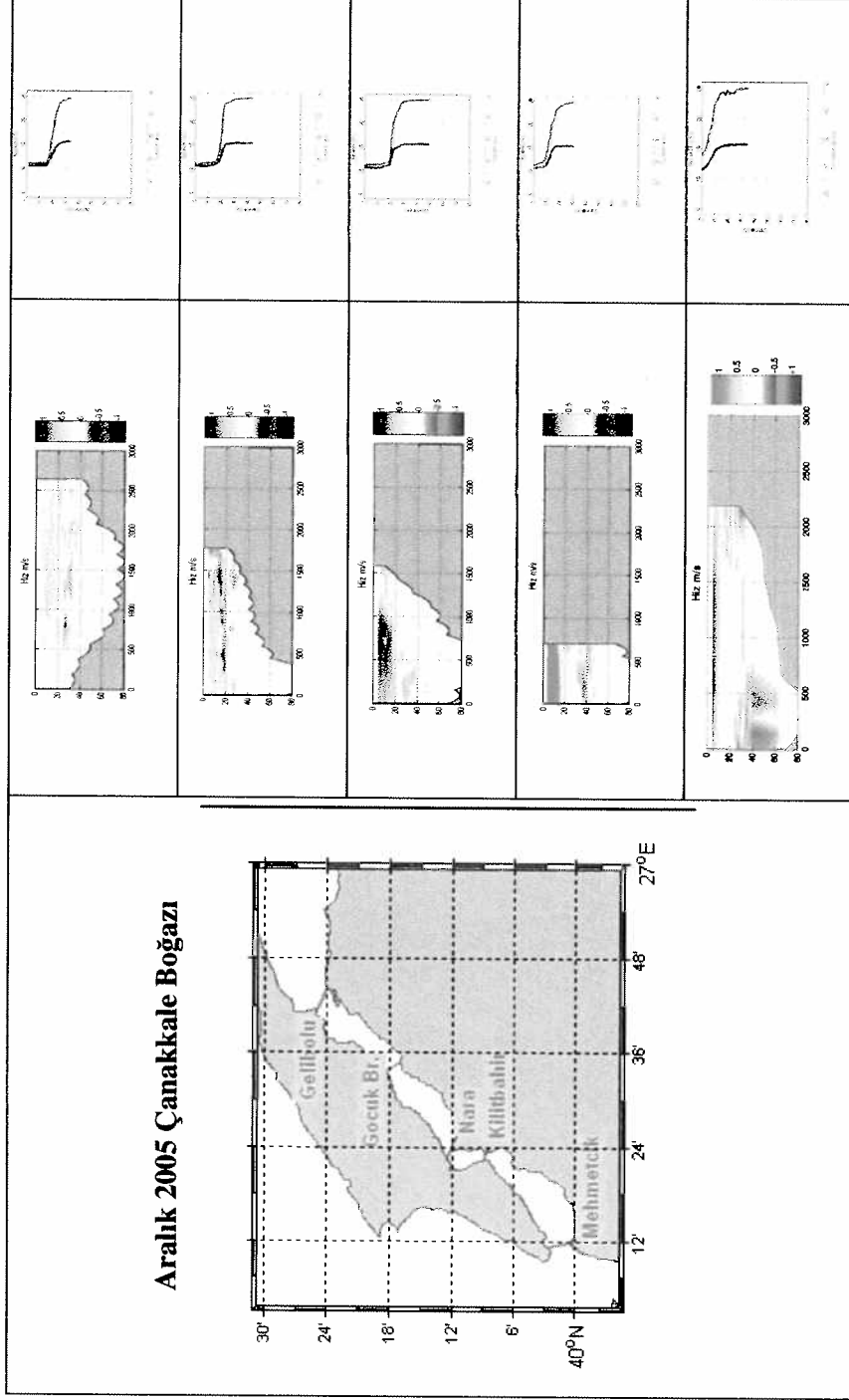
Şekil Ek 2.5. Yukarıdan aşağıya doğru sırası ile Gellibolu, Gocuk Br., Nara, Kilitbahir ve Mehmetcik hatlarına ait akıntı ve CTD verileri



Şekil Ek 2.6. Yukarıdan aşağıya doğru sırası ile Gelibolu, Gocuk Br., Nara, Kilitbahır ve Mehmetçik hatlarına ait akıntı ve CTD verileri



Şekil Ek 2.7. Yukarıdan aşağıya doğru sırası ile Gelibolu, Gocuk Br., Nara, Kilitbahir ve Mehmetcik hatlarına ait akıntı ve CTD verileri



Şekil Ek 2.8. Yukarıdan aşağıya doğru sırası ile Gellibolu, Gocuk Br., Nara, Kilitbahir ve Mehmetcik hatlarına ait akıntı ve CTD verileri

EK – 3: İstanbul Boğazı’nda gelgit bileşenleri genlik ve frekansları

Tablo Ek 3.1. Gelgit bileşenleri genlik değerleri

	Bileşen Adı	Frekans	Pendik	Taşkızak	A.Kavağı
1	MM	0,0015122	2,8819	2,0498	1,2152
2	MSF	0,0028219	2,1462	1,7399	0,32469
3	ALP1	0,034397	0,13842	0,1687	0,070177
4	2Q1	0,035706	0,15749	0,11162	0,069064
5	Q1	0,037219	0,055632	0,13709	0,16835
6	O1	0,038731	1,0106	0,69612	1,0268
7	NO1	0,040269	0,042313	0,15329	0,071662
8	K1	0,041781	1,4228	1,1242	1,0272
9	J1	0,043293	0,10408	0,073944	0,07556
10	OO1	0,044831	0,10195	0,10797	0,072977
11	UPS1	0,046343	0,085146	0,11947	0,14404
12	EPS2	0,076177	0,034319	0,049925	0,053235
13	MU2	0,077689	0,039819	0,056112	0,080312
14	N2	0,078999	0,18459	0,078128	0,13422
15	M2	0,080511	1,128	0,40301	0,92492
16	L2	0,082024	0,028698	0,04975	0,076886
17	S2	0,083333	0,59971	0,46752	0,28055
18	ETA2	0,085074	0,056437	0,056832	0,024694
19	MO3	0,11924	0,02888	0,040319	0,013332
20	M3	0,12077	0,0073946	0,020246	0,058479
21	MK3	0,12229	0,033225	0,11347	0,1891
22	SK3	0,12511	0,037253	0,050294	0,081127
23	MN4	0,15951	0,022182	0,052069	0,023288
24	M4	0,16102	0,015404	0,04101	0,020667
25	SN4	0,16233	0,01854	0,0052431	0,042851
26	MS4	0,16384	0,015513	0,10725	0,10464
27	S4	0,16667	0,0099567	0,062626	0,0064667
28	2MK5	0,2028	0,019734	0,041097	0,014711
29	2SK5	0,20845	0,012598	0,097566	0,059837
30	2MN6	0,24002	0,02478	0,028858	0,014241
31	M6	0,24153	0,0064696	0,032242	0,00276
32	2MS6	0,24436	0,011448	0,033879	0,019566
33	2SM6	0,24718	0,0072737	0,045125	0,11344
34	3MK7	0,28331	0,016737	0,038781	0,02644
35	M8	0,32205	0,0295	0,021053	0,025906

Tablo Ek 3.2. Gelgit bileşenleri frekans değerleri

S.No:	Bileşen Adı	Frekans	Pendik	Taşkızak	A.Kavağı
1	MM	0,0015122	34,369	25,210	234,92
2	MSF	0,0028219	279,08	265,94	25,338
3	ALP1	0,034397	249,77	38,683	50,509
4	2Q1	0,035706	68,838	170,05	331,09
5	Q1	0,037219	219,26	194,35	67,976
6	O1	0,038731	353,92	110,61	193,61
7	NO1	0,040269	177,54	29,106	151,72
8	K1	0,041781	28,076	117,07	299,85
9	J1	0,043293	162,28	318,14	41,848
10	OO1	0,044831	30,233	256,94	238,19
11	UPS1	0,046343	201,84	287,60	155,94
12	EPS2	0,076177	238,84	243,24	156,54
13	MU2	0,077689	81,386	314,29	266,01
14	N2	0,078999	215,69	25,901	303,86
15	M2	0,080511	54,122	241,84	27,006
16	L2	0,082024	77,875	173,94	268,69
17	S2	0,083333	36,536	241,23	123,92
18	ETA2	0,085074	190,56	329,39	252,38
19	MO3	0,11924	62,545	132,48	143,99
20	M3	0,12077	91,059	230,04	298,08
21	MK3	0,12229	202,81	43,436	35,476
22	SK3	0,12511	117,80	88,803	137,48
23	MN4	0,15951	68,169	27,315	154,36
24	M4	0,16102	199,53	90,187	346,39
25	SN4	0,16233	57,028	237,37	51,278
26	MS4	0,16384	278,35	273,48	148,66
27	S4	0,16667	219,03	309,88	356,53
28	2MK5	0,2028	243,06	216,36	101,79
29	2SK5	0,20845	108,57	294,22	339,08
30	2MN6	0,24002	254,19	17,204	344,68
31	M6	0,24153	169,61	243,51	268,50
32	2MS6	0,24436	244,97	105,78	96,009
33	2SM6	0,24718	269,17	149,36	95,891
34	3MK7	0,28331	88,215	218,06	335,32
35	M8	0,32205	62,274	99,159	270,74

ÖZGEÇMİŞ

- Doğum Tarihi : 20.10.1970
- Doğum yeri : Antakya
- Lise : (1984 – 1988), Deniz Lisesi
- Lisans : (1988 – 1992), Deniz Harp Okulu, Elektronik Bölümü
- Yüksek Lisans : (1996 – 1997), University of New Hampshire, Deniz Mühendisliği
- Çalıştığı Kurumlar : (1988 – devam ediyor), Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı