

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MARMARAY PROJESİ KAPSAMINDA
GERÇEKLEŞTİRİLEN HİDROGRAFİK ÖLÇMELER**

Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Ahmet ÇELİKKIRAN

**FBE Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Geomatik Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez danışmanı : Doç. Dr. Halil ERKAYA (YTÜ)

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ÖNSÖZ	xiv
ÖZET	xv
ABSTRACT	xvi
1. GİRİŞ	1
2. KONUM BELİRLEME YÖNTEMLERİ	2
2.1 Küresel Konumlama Sistemi (GPS)	2
2.1.1 GPS Hata Kaynakları	3
2.1.2 GPS ile Konum Belirleme	4
2.1.2.1 Mutlak Konum Belirleme	4
2.1.2.2 Bağıl Konum Belirleme	4
2.1.2.3 Diferansiyel Konum Belirleme	5
2.1.3 GPS ile Ölçme Yöntemleri	6
2.1.3.1 Statik Ölçme Yöntemi	6
2.1.3.2 Hızlı Statik Ölçme Yöntemi	6
2.1.3.3 Tekrarlı Ölçme Yöntemi	7
2.1.3.4 Dur - Git Ölçme Yöntemi	7
2.1.3.5 Kinematik Ölçme Yöntemi	7
2.1.3.6 Real Time Kinematik GPS (RTK-GPS)	7
2.1.4 GPS ile Elde Edilen WGS-84 Sistemi'ndeki Koordinatların ED-50 Sistemi'ne Dönüşümü	8
2.1.4.1 İki Boyutlu Benzerlik Dönüşümü ile Parametrelerin Hesaplanması	8
2.1.4.2 Üç Boyutlu Benzerlik Dönüşümü ile Parametrelerin Hesaplanması	9
2.2 Akustik Sistemler	9
2.2.1 Uzun Bazlı Yöntem	10
2.2.2 Kısa Bazlı Yöntem	10
2.2.3 Çok Kısa Bazlı Yöntem	11
3. AKINTI HIZI ÖLÇMELERİ	12
3.1 Hareket Halindeyken Akıntı Hızı Ölçümleri	12
3.1.1 Sontek ADP	12
3.1.1.1 Çalışma Prensipleri	13
3.1.2 RDI ADCP	15

3.2	Sabit Haldeyken Akıntı Hızı Ölçümleri	16
3.2.1	RDGP-600	16
4.	DERİNLİK ÖLÇMELERİ	17
4.1	Akustik İskandil	19
4.1.1	Çalışma Prensipleri	19
4.1.2	Hata Kaynakları	19
5.	KONUM VE DERİNLİK ÖLÇÜMLERİNDEKİ STANDARTLAR	21
5.1	IHO Standartlarına Göre Ölçüm Alanlarının Sınıflandırılması	21
5.1.1	Özel Derece	21
5.1.2	1a. Derece	22
5.1.3	1b. Derece	22
5.1.4	2. Derece	22
5.1.5	Konumlama	23
5.1.6	Veri Kalitesi	23
5.1.7	Derinlik Ölçümü	24
5.1.8	Yatay ve Düşey Kontrol Noktalarının Seçimi	24
5.2	DSİ Tarafından Hidrografik Harita Yapımında Uygulanan Yöntem ve Esaslar	25
5.2.1	Yatay ve Düşey Kontrol Noktalarının Seçimi	25
5.2.2	Derinlik Ölçümü	25
5.2.3	Konum Belirleme	25
5.2.4	Hidrografik Haritalar	25
6.	UYGULAMALAR	26
6.1	İstanbul Boğazı Çalışma Bölgesi GPS Çalışmaları	27
6.1.1	Çalışma Bölgesi için Dönüşüm Parametrelerinin Hesaplanması	28
6.1.1.1	Çalışma Bölgesine Ait 2 Boyutlu Dönüşüm Parametreleri	29
6.1.1.2	Çalışma Bölgesine Ait 3 Boyutlu Dönüşüm Parametreleri	30
6.1.2	Çalışma Bölgesi RTK-GPS Sistemi	31
6.1.3	RTK-GPS ile Yüksekliğin Belirlenmesi	32
6.1.4	Çalışma Bölgesine Ait GPS Kalibrasyonları	33
6.1.5	RTK-GPS Ölçme Yöntemi Uygulaması	35
6.1.5.1	Yöntem	35
6.1.5.2	RTK-GPS Alıcısının Gereksinimleri	36
6.1.5.3	Sistemin Gereksinimleri	37
6.1.5.4	Sistemin Çalışma Bölgesinde Uygulanması	38
6.2	Çalışma Bölgesinde Kazı, Dolgu ve Düzleme İşleri	41
6.2.1	Çalışma Bölgesinde Dolgu İşleri	41
6.2.1.1	Dolgu İşleri için Kullanılan Ekipmanlar ve Özellikleri	41
6.2.1.2	Sonar Kurulumu	41
6.2.1.3	Dolgu İşlerinde Navigasyon	44
6.2.2	Çalışma Bölgesinde Düzleme İşleri	45
6.2.2.1	Düzleme İşlerinde Navigasyon	46
6.2.3	Çalışma Bölgesinde Kazı İşleri	47
6.2.3.1	Kazı İşlerinde Navigasyon	48
6.2.4	Kalibrasyonlar	50
6.3	Çalışma Bölgesinde Akıntı Hızı Ölçümleri	55
6.3.1	Sontek ADP Ölçümleri	55
6.3.1.1	Ölçüm İçin Gerekli Ekipmanlar ve Hazırlıkları	55
6.3.1.2	Ölçümün Yapılması	57

6.3.1.3	Ölçüm Verilerinin Değerlendirilmesi	59
6.3.2	RDI ADCP Ölçümleri	63
6.3.2.1	Ölçüm Ekipmanları ve Hazırlıkları	63
6.3.2.2	Ölçümün Yapılması	64
6.3.2.3	Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi	65
6.3.3	Aanderaa RDCP-600 Ölçümleri	66
6.3.3.1	Sabit İstasyon Ölçüm Sonuçları	68
6.4	Çalışma Bölgesindeki Batimetri Ölçümleri.....	70
6.4.1	Ölçüm Ekipmanları.....	70
6.4.2	Ölçüm Teknesi.....	72
6.4.3	Ölçüm Aletlerinin Kurulumu.....	73
6.4.4	Ölçüm Ekipmanları ve Ofsetlerinin Belirlenmesi	75
6.4.4.1	RTK-GPS ve Ofsetleri.....	75
6.4.4.2	Hareket Sensörü ve Ofsetleri	77
6.4.4.3	Gyro Pusula ve Ofsetleri.....	78
6.4.4.4	Çok Bimli Akustik İskandil ve Ofsetleri	79
6.4.5	Ölçme İşlemleri	82
6.4.6	Aletlerin Kontrolü.....	83
6.4.6.1	RTK-GPS Kontrolü	83
6.4.6.2	Gyro Pusula Kontrolü	83
6.4.6.3	Hareket Sensörü Kontrolü	84
6.4.7	Ölçüm Öncesi Hazırlıklar	85
6.4.7.1	Planlama	86
6.4.7.2	Test Ölçümü	87
6.4.7.3	El İskandili Ölçümü.....	88
6.4.7.4	Ses Hızı Ölçümü	89
6.4.8	Çalışma Bölgesi için Tolerans Değerleri.....	90
6.4.9	Batimetrik Ölçümün Yapılması.....	91
6.4.10	Batimetrik Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi (Ofis İşleri)	93
6.4.11	Çalışma Bölgesinde Batimetrik Ölçüm Sonuçlarını Etkileyen Önemli Faktörler.....	101
6.4.11.1	Test Ölçümü Sonuçları	101
6.4.11.2	Sesin Sudaki Hızının Değişimi.....	102
7.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	110
	KAYNAKLAR.....	112
	EKLER	114
	Ek 1 RDCP-600 sabit istasyonlarının ölçümlerine ait akıntı hızı grafikleri.....	115
	ÖZGEÇMİŞ.....	122

SİMGE LİSTESİ

A	Derinlik hatası
a	Ölçek
A'	GPS anteninden su seviyesine olan yükseklik
B	Hata faktörü
b	Dönüklük
B'	RTK-GPS ile elde edilen yükseklik
BD	Veri toplanmaya başlayacağı aralık
C	Sesin sudaki hızı
C0	Orijinal hız saptamada kullanılan ses hızı
CS	Sütun boyları
Ct	Doğru ses hızı
D	Derinlik
E'	Elde edilecek derinlik
f	Basıklık
F ₀	Gönderilen sinyal
F _d	Alınan sinyal Doppler değişimi
F _s	Gönderilen sinyalin frekansı
H	Ortometrik yükseklik
h	Elipsoidal yükseklik
H _a	GPS tarafından ölçülen yükseklik
H _a	Boru uzunluğu
H _b	Su yüzeyinden GPS anteni yüksekliği
H _b	Su yüzeyinden üstte kalan boru uzunluğu
H _c	Jalon yüksekliği
H _c	Su yüzeyinden altta kalan boru uzunluğu
H _d	Taş döküm borusunun su yüzeyinden yüksekliği
H _d	Derinlik
H _e	Total station yüksekliği
H _f	Nirengi noktasının geometrik yüksekliği
H ₁	Boru üzerinden deniz tabanına olan mesafe
H _m	Deniz dibine indirilen demir çubuğun jalon bitiminden itibaren boyu
H _r	Demir çubuk bitiminden itibaren jalon boyu
H _s	Sonarın okuduğu değer
H _t	Total station geometrik yüksekliği
k ₀₁	Öteleme parametresi
k ₀₂	Öteleme parametresi
kHz	Frekans
N	Geoit yüksekliği
NC	Sütun sayısı
S	Sonardan okunan değer
S'	Tuzluluk
T	Sıfır seviyesi farkı
T'	Su sıcaklığı
tx	x eksenindeki öteleme değeri
ty	y eksenindeki öteleme değeri
V	Total station ile okunan kot farkı
V'	Parçacıkların bağıl hızı
V0	Orijinal hız
V _t	Dengelenmiş hız
vx	x ekseni artık hata miktarı

v_y	y eksenini artık hata miktarı
V_{xyz}	Hız
Δr_x	x eksenini dönüklüğü
Δr_y	y eksenini dönüklüğü
Δr_z	z eksenini dönüklüğü
ΔS	Ölçek farklılığı
Δx	x eksenini ötelemesi
Δy	y eksenini ötelemesi
Δz	z eksenini ötelemesi
φ	Dönüklük açısı
λ	Ölçek

KISALTIMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ADCP	Acoustic Doppler Current Profiler
ADP	Acoustic Doppler Profiler
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
DGPS	Differential Global Positioning System
DSİ	Devlet Su İşleri
DZ.K.K.	Deniz Kuvvetleri Komutanlığı
ED-50	European Datum 1950
GGA	Global Positioning System Fixed Data
GPS	Global Positioning System
IHB	International Hydrographic Bureau
IHO	International Hydrographic Organization
INS	Inertial Reference System
NMEA	National Marine Electronics Association
PC	Personal Computer
RDGP-600	Recording Doppler Current Profiler 600
RDI	RD Instruments
RS-232	Recommended Standard 232
RTK-GPS	Real Time Kinematic Global Positioning System
SHODB	Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı
ST.	Station
TUTGA	Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı
UEE	User Equipment Error
URE	User Equivalent Range Error
URE	User Range Error
WGS-84	World Geodetic System 1984

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Mutlak konum belirleme	4
Şekil 2.2 Bağıl konum belirleme	5
Şekil 2.3 Diferansiyel konum belirleme	5
Şekil 2.4 Uzun bazlı yöntem (Aydın, vd., 2007).....	10
Şekil 2.5 Kısa bazlı yöntem (Aydın, vd., 2007)	11
Şekil 2.6 Çok kısa bazlı yöntem (Aydın, vd., 2007)	11
Şekil 3.1 Sontek ADP.....	12
Şekil 3.2 Sinyal gönderiliş geometrisi.....	13
Şekil 3.3 Doppler Etkisi	13
Şekil 3.4 Sinyalin tarama aralıkları	14
Şekil 3.5 Akıntı profili.....	15
Şekil 3.6 RDI ADCP	15
Şekil 3.7 RDCP-600	16
Şekil 5.1 %95 Güvenirlik seviyesine uygun maksimum hata grafiği (NOS, 2000).....	23
Şekil 5.2 Tek bimli ve çok bimli akustik iskandiller (Aydın, vd., 2005)	24
Şekil 6.1 İstanbul Boğazı çalışma bölgesi.....	26
Şekil 6.2 İstanbul Boğazı çalışma bölgesi hava fotoğrafları	26
Şekil 6.3 İstanbul Boğazı çalışma güzergahına ait derinlikler ve doğal tipkesit.....	27
Şekil 6.4 Ağ tasarımı, kontrol nirengileri ve çalışma bölgesi	28
Şekil 6.5 Baz istasyonunda kullanılan harici modem.....	31
Şekil 6.6 Baz istasyonu ve kontrol noktası.....	31
Şekil 6.7 Elipsoidal yükseklik, ortometrik yükseklik ve geoit ondülasyonu arasındaki ilişki .	32
Şekil 6.8 Çalışma bölgesindeki RTK-GPS ile elde edilen yüksekliğin kalibrasyonu.....	32
Şekil 6.9 Çalışma bölgesindeki çalışmalara ait RTK-GPS kontrol tutanağı (22.05.2008 kalibrasyonu).....	33
Şekil 6.10 Çalışma bölgesine ait RTK-GPS verilerinin anlık değişimleri ve karşılaştırmaları (22.05.2008 kalibrasyonu)	34
Şekil 6.11 Line amplifier	36
Şekil 6.12 GPS holder	37
Şekil 5.13 Hiper GGD alıcı, Antennex modem anteni, GPS holder ve Satel harici modem ...	38
Şekil 6.14 Vinç operatörü navigasyon ekranı ve navigasyon bilgisayarı.....	39
Şekil 6.15 Vinç telinin yükseklik kontrolü için işaretlenmesi.....	39
Şekil 6.16 Çalışma bölgesinde navigasyon sistemi kullanılarak indirilen çuvallar	39

Şekil 6.17 Hypack Programı navigasyon haritası ve koordinatlar	40
Şekil 6.18 Bomun navigasyon haritası üzerindeki pozisyonu.....	40
Şekil 6.19 Çalışma bölgesinde kullanılan Kongsberg marka sonar	41
Şekil 6.20 Çalışma bölgesinde kullanılan gemi ve donanımı.....	42
Şekil 6.21 Çalışma bölgesi dolgu işleri ve sonar taraması	42
Şekil 6.22 04.01.2007 tarihinde çalışma bölgesinde sonarın bağlanması ve ofsetlerin ölçülmesi.....	43
Şekil 6.23 07.01.2007 tarihli çalışmada sonarın tarama anındaki programın görüntüsü	43
Şekil 6.24 07.01.2007 tarihinde çalışma anındaki navigasyon ekranı.....	44
Şekil 6.25 Armarin 3 Gemisi ile dolgu yapılan bölgede derinliğin elde edilmesi	44
Şekil 6.26 Sualtı greyderi ve sonarın konumu.....	45
Şekil 6.27 16.05.2006 tarihinde yapılan test çalışması.....	45
Şekil 6.28 Armarin 3 Gemisi'ne ait aletlerin kurulum düzeni	46
Şekil 6.29 Armarin 3 Gemisi'nde bilgilerin toplandığı kontrol odası ve transponder sistemi .	47
Şekil 6.30 Kanyu Dubası.....	47
Şekil 6.31 Kanyu Dubası'nda kazı işlemlerinde kullanılan ekipmanların konumu	48
Şekil 6.32 Kazı işlemleri ve tel boyları	49
Şekil 6.33 Kazı öncesi ve kazı sonrası enkesitler.....	49
Şekil 6.34 Armarin 3 Gemisi'nde GPS ile elde edilen yüksekliğin kontrolü.....	50
Şekil 6.35 Armarin 3 Gemisi için sonar kalibrasyonu.....	50
Şekil 6.36 Armarin 3 Gemisi'nde çok bimli sonar ölçümü.....	51
Şekil 6.37 Armarin 3 Gemisi'nde el iskandili yöntemiyle sonar kalibrasyonu.....	52
Şekil 6.38 Kanyu Dubası'ndaki RTK-GPS sisteminin klasik yöntemle kontrolü.....	53
Şekil 6.39 04.10.2008 'de çalışma bölgesinde Kanyu Dubası için kazı işlemleri öncesi yapılan RTK-GPS ve gyro pusula kalibrasyon raporu	54
Şekil 6.40 ADP 'nin boruya bağlanması	55
Şekil 6.41 Borunun ölçüm botuna monte edilmesi.....	56
Şekil 6.42 Dahili gyro pusula kalibrasyonu ve ölçüm parametreleri	57
Şekil 6.43 Ölçüm botunun içi ve ölçüm bilgisayarını	57
Şekil 6.44 Ölçüm programı	58
Şekil 6.45 Akıntı ölçümü programı (15.10.2008 çalışma bölgesi ölçümü).....	59
Şekil 6.46 ViewADP Programı	59
Şekil 6.47 Akıntı yönü ve skalası (15.10.2008 çalışma bölgesi ölçümü).....	60
Şekil 6.48 Akıntı hızı ve skalası (15.10.2008 çalışma bölgesi ölçümü).....	60
Şekil 6.49 Akıntı hızı ölçümü değerleri (15.10.2008 çalışma bölgesi ölçümü)	61

Şekil 6.50 Akıntı hızı ölçümü değerleri (15.10.2008 çalışma bölgesi ölçümü)	61
Şekil 6.51 Akıntı hızı ve yönünün derinliklere göre dağılımı (15.10.2008 çalışma bölgesi ölçümü)	62
Şekil 6.52 Akıntı hızı ve yönü dik profilleri (15.10.2008 çalışma bölgesi ölçümü)	62
Şekil 6.53 Krom boruya ADCP montajı.....	63
Şekil 6.54 Borunun ölçüm teknesinin yan kısmına montajı	63
Şekil 6.55 Vmdas programında ölçüm (08.08.2008 çalışma bölgesi ölçümü).....	64
Şekil 6.56 Ölçümünün açısız düzeltilmesinin yapılması (08.08.2008 çalışma bölgesi ölçümü)	65
Şekil 6.57 Ölçüm verisinin WinADCP programında değerlendirilmesi (08.08.2008 çalışma bölgesi ölçümü).....	65
Şekil 6.58 Akıntı hızı grafiği ve skalası (08.08.2008 çalışma bölgesi ölçümü).....	66
Şekil 6.59 RDCP-600 kurulumu ve anlık veri kaydetme	66
Şekil 6.60 RDCP-600 Bloğu.....	67
Şekil 6.61 Ana bilgisayara gelen anlık veri görüntüsü.....	67
Şekil 6.62 İstanbul Boğazı çalışma bölgesinde bulunan RDCP-600 istasyonları	68
Şekil 6.63 İstanbul Boğazı çalışma bölgesinde bulunan Element-2 Bölgesi	70
Şekil 6.64 Armarin-10 ölçüm teknesi	72
Şekil 6.65 Armarin-10 Teknesi'ndeki kurulumun yapıldığı delikler.....	73
Şekil 6.66 Genel hatlarıyla Armarin-10 ölçüm teknesindeki ekipman yerleşimi.....	73
Şekil 6.67 Transdüser ve borusunun Armarin-10 Teknesi'ne kurulmuş hali	74
Şekil 6.68 Armarin-10 Teknesi içine kurulan gyro pusula, RTK-GPS ve hareket sensörü	74
Şekil 6.69 Armarin-10 Teknesi'nde bulunan aletlerin plan üzerindeki konumu.....	75
Şekil 6.70 Armarin-10 ölçüm teknesinin GPS yerleşimi ve ofsetlerinin belirlenmesi.....	76
Şekil 6.71 Hypack Programı'nda ofsetlerin girilmesi ve ekipmanların bağlantı ayarları	76
Şekil 6.72 Sıfır seviyesi farkı hesaplama metodu.....	76
Şekil 6.73 Yalpa ve eğim açısının gösterimi ve tespiti	77
Şekil 6.74 Bat-çık miktarının gösterimi ve tespiti.....	78
Şekil 6.75 Armarin-10 ölçüm teknesindeki hareket sensörü yerleşimi ve ofsetlerinin belirlenmesi.....	78
Şekil 6.76 Ölçüm esnasında gyro pusula ile tespit edilen teknenin kuzeyle yaptığı açı	79
Şekil 6.77 Armarin-10 teknesindeki gyro pusula yerleşimi ve ofsetlerinin belirlenmesi.....	79
Şekil 6.78 Çok bimli ve tek bimli akustik iskandilin deniz tabanını görüntüleme açıları (Tepe açısı).....	80
Şekil 6.79 Aynı ölçme hattı boyunca tek bimli ve çok bimli iskandilin taradığı alanlar	80
Şekil 6.80 Tek ve çok bimli iskandille yapılan ölçmelerde aynı alana ait ayrıntı haritası	80

Şekil 6.81 Bimlerin gönderilme açıları.....	81
Şekil 6.82 Genel hatlarıyla derinlik hesabı.....	81
Şekil 6.83 Boğaz çalışmalarında genel hatlarıyla ölçüm adımları	82
Şekil 6.84 Çalışma bölgesinde batimetrik ölçüm öncesi RTK-GPS kontrolü.....	83
Şekil 6.85 Çalışma bölgesinde batimetrik ölçüm öncesi gyro pusula kontrolü raporu (14.12.2008 testi)	84
Şekil 6.86 Çalışma bölgesinde batimetrik ölçüm öncesi hareket sensörü kontrolü raporu (14.12.2008 testi)	85
Şekil 6.87 Çalışma bölgesinde uygulanan batimetrik ölçme adımları	85
Şekil 6.88 Element-2 Bölgesi için ölçme genişlikleri ve bindirme oranları.....	86
Şekil 6.89 Element-2 Bölgesi için ölçüm rotası ve ses hızı ölçme noktası planı	86
Şekil 6.90 Ölçüm sonrası Hypack Programı'nda yalpa verisi düzeltme miktarı hesabı	87
Şekil 6.91 Ölçüm sonrası Hypack Programı'nda gyro pusula verisi düzeltme miktarı hesabı	87
Şekil 6.92 El iskandili ölçümü yapılan bölge (15.12.2008)	88
Şekil 6.93 El iskandili ve akustik iskandil sonuçlarının karşılaştırılması (15.12.2008).....	88
Şekil 6.94 Element-2 Bölgesi'ndeki ses hızı ham verisi ve kaydedilme anı (15.12.2008)	89
Şekil 6.95 Element-2 Bölgesi'ne ait metrelerce göre ayrıştırılmış ses hızı verisi (15.12.2008)	90
Şekil 6.96 Hypack Programı ED-50 koordinat sistemi parametreleri	91
Şekil 6.97 Hypack ölçüm modülü ve anlık veriler (15.12.2008 ölçümü)	92
Şekil 6.98 Ölçüm anında alınan bimlerin derinliklere göre görüntüsü (15.12.2008 ölçümü)..	92
Şekil 6.99 Taranan alanın ve deniz tabanı profilinin incelenmesi (15.12.2008 ölçümü)	93
Şekil 6.100 Genel olarak ofis işlerinde izlenen adımlar	94
Şekil 6.101 Test ölçümü sonucunda bulunan düzeltmelerin gerçek ölçüme işlenmesi.....	94
Şekil 6.102 Ses hızı verisinin Hypack değerlendirme modülündeki profili (15.12.2008)	95
Şekil 6.103 Sıfır seviyesi farkı verisinde tespit edilen parazit (15.12.2008).....	95
Şekil 6.104 Parazitlerin elimine edildiği sıfır seviyesi farkı verisi (15.12.2008).....	96
Şekil 6.105 Değerlendirme aşamasında 15.12.2008 ölçümüne ait bat-çık miktarı	96
Şekil 6.106 Eğim, yalpa ve kuzeyle yapılan aç verisi (15.12.2008 ölçümü)	97
Şekil 6.107 Derinlik verilerinin filtrelenmesi.....	97
Şekil 6.108 Filtrelenmiş derinlik verileri (15.12.2008 ölçümü)	98
Şekil 6.109 Parazitlerden elimine edilmiş ölçüm verisi (15.12.2008 ölçümü)	98
Şekil 6.110 2*2 metrelik nokta dosyası oluşturulması (15.12.2008 ölçümü)	99
Şekil 6.111 4808 noktadan oluşan 2*2 metrelik nokta dosyası (15.12.2008 ölçümü)	99
Şekil 6.112 15.12.2008 batimetrik ölçümüne ait eş yükselti haritası.....	100
Şekil 6.113 15.12.2008 batimetrik ölçümüne ait nokta haritası	100

Şekil 6.114 15.12.2008 batimetrik ölçümüne ait enkesit çizimi	101
Şekil 6.115 Test ölçümü yapılmadığı takdirde ortaya çıkan hatalı enkesit sonucu.....	101
Şekil 6.116 Test ölçümü sonucu bulunan düzeltmelerin ham verilere eklenmesiyle ortaya çıkan gerçek enkesit sonucu.....	102
Şekil 6.117 Ölçümün yapıldığı güne ait rüzgar hızı grafiği	102
Şekil 6.118 Ölçümün yapıldığı güne ait dalga boyu grafiği.....	103
Şekil 6.119 Ölçümün yapıldığı güne ait hava basıncı grafiği.....	103
Şekil 6.120 Ölçümün yapıldığı güne ait su seviyesi değişim grafiği	103
Şekil 6.121 Ölçümün yapıldığı güne ait akıntı hızı grafikleri	104
Şekil 6.122 14.06.2006 tarihli ölçümün Hypack Programı'nda değerlendirilmesi.....	104
Şekil 6.123 Ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.....	105
Şekil 6.124 Ölçüm sonuçlarının standart sapmalarının karşılaştırılması	106
Şekil 6.125 Ses hızı dosyalarının karşılaştırılması	106
Şekil 6.126 Ses hızı ölçümlerinin yapıldığı A Bölgesi (Ocak,2009)	107
Şekil 6.127 Ses hızının günlere göre değişimi (Ocak,2009)	109

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Ölçme yöntemlerindeki doğruluklar	8
Çizelge 4.1 Derinlik ölçme yöntemlerine ait ölçme derinlikleri ve doğrulukları.....	18
Çizelge 5.1 Hidrografik ölçme alanları için minimum standartların özeti (IHO,2008)	22
Çizelge 6.1 Çalışma bölgesi nirengi noktalarına ait WGS–84 Sistemi’ndeki koordinatlar	28
Çizelge 6.2 Çalışma bölgesi nirengi noktalarına ait ED–50 Sistemi’ndeki koordinatlar.....	29
Çizelge 6.3 Çalışma bölgesi nirengi noktalarına ait dengelenmiş WGS–84 ve bilinen ED–50 Sistemi’ndeki koordinatlar.....	29
Çizelge 6.4 Çalışma bölgesi için hesaplanan 2 boyutlu dönüşüm parametreleri	29
Çizelge 6.5 İstanbul Boğazı için hesaplanan 3 boyutlu dönüşüm parametreleri.....	30
Çizelge 6.6 Çalışma bölgesi parametreleri.....	30
Çizelge 6.7 03.04.2008’de Armarin 3 Gemisi çalışma bölgesinde düzleme işlemleri öncesi yapılan su altı greyderi navigasyon sistemi kalibrasyon sonuçları.....	53
Çizelge 6.8 03.04.2008’de Armarin 3 Gemisi çalışma bölgesinde dolgu işlemleri öncesi yapılan sonar ve çok bimli akustik iskandil kalibrasyon sonuçları.....	53
Çizelge 6.9 03.04.2008’de Armarin 3 Gemisi çalışma bölgesinde dolgu işlemleri öncesi yapılan RTK-GPS yüksekliği kalibrasyon sonuçları.....	53
Çizelge 6.10 03.04.2008’de Armarin 3 Gemisi çalışma bölgesinde dolgu işlemleri öncesi yapılan RTK-GPS koordinatları kalibrasyon sonuçları.....	54
Çizelge 6.11 İstanbul Boğazı çalışma bölgesindeki istasyonlara ait ekipman, istasyon ve koordinat bilgileri.....	68
Çizelge 6.12 A, B, C istasyonları için ölçüm başlangıç ve bitiş zamanları.....	69
Çizelge 6.13 Batimetrik ölçme aletleri.....	71
Çizelge 6.14 Element-2 Bölgesi batimetrik ölçüm verilerinin değerlendirmesinde kullanılacak test ölçümü sonuçları ve proje şartnamesinde verilen toleranslar	88
Çizelge 6.15 Çalışma bölgesindeki batimetrik ölçmeler için Marmaray Proje’si şartnamesinde belirtilen tolerans değerleri	90
Çizelge 6.16 Aynı ay içerisinde farklı günlere ait 5 adet ses hızı ölçüm verisi (Ocak,2009)	108

ÖNSÖZ

Lisans, yüksek lisans ve tez çalışmam boyunca sahip olduğu bilgi, tecrübe ve desteği benden esirgemeyen, bu niteliklerine gelecekte de fazlasıyla ihtiyaç duyacağım değerli hocam Sayın Doç. Dr. Halil Erkaya 'ya tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında ihtiyacım olan her konuda fikrini ve önerilerini aldığım, hiç bir zaman benden yardımını esirgemeyen tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca bana her konuda destek olan, desteklerini bana her zaman hissettiren ve sevgileriyle bana güç veren aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

Ahmet ÇELİKKIRAN

Ağustos, 2009

ÖZET

Ülkemizin üç tarafı denizlerle çevrili olup, yaklaşık 900 km²'yi geçen göllere, 7000 km'yi gecen kıyılara, yaklaşık 1200 adet gölet ve baraja sahip bulunmaktadır. Deniz projelerinin arttığı bu dönemde hidrografik ölçmeler değer kazanmıştır. Hidrografi; denizler, nehirler ve diğer sular ile bunları çevreleyen kıyı şeridindeki seyir emniyeti ve kolaylığı için bilinmesi gereken bütün temel unsurları ölçen, inceleyen ve bunları denizcilerin kullanmalarına elverişli bir şekilde yayınlayan bilim dalıdır (BKK, 1973). Ülkemizdeki tersane, tüp geçit inşaatları gibi mühendislik projelerinde aktif olarak hidrografik ölçmeler yapılmaktadır. Bunun dışında akıntı modellemesi, dalga boyu tespiti, deniz kirliliği, atık su deniz deşarjı, doğalgaz ve su boru hatları gibi birçok çalışmada çeşitli ölçümler yapılmaktadır.

Ölçüm aletlerinin senkronize bir şekilde kullanılarak hidrografik ölçme yapılması ve sonuçların test edilmesi oldukça zordur. Gerekli hassasiyetin yakalanabilmesi için deniz tabanı, derinliği ve su özellikleri gibi birçok unsur göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu çalışmada amaçlanan; İstanbul Boğazı Marmaray Projesi çalışma bölgesinde yapılan hidrografik ölçme ham verilerinin ve sonuçlarının hassas bir şekilde elde edilmesidir. Çalışmalar yüksek akıntı hızına sahip ve dip topografyasının çok engebeli olduğu bir bölgede yapılmıştır.

Çalışma bölgesinde sonar, akıntı hızı ve batimetri ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçmelerde sonuçlara etki eden faktörler belirlenmiş ve hassasiyetleri araştırılmıştır. Tüm ölçüm çalışmalarının öncesinde ve sonrasında yapılan işlemler anlatılmıştır. Kurulum, ölçüm ve değerlendirme aşamalarında önemli adımlar belirlenmiştir. Batimetri ölçümlerine etki eden ses hızı ölçümleri farklı saat ve günlerde yapılarak kendi aralarında ve ölçüme etkisi konusunda karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak; İstanbul Boğazı çalışma bölgesinde yapılan hidrografik ölçmelerde ölçüm öncesi ve sonrası yapılan adımlar incelenmiş, istenilen hassasiyetlerin elde edilebilmesi için yapılması gerekenler anlatılmıştır. Çalışma bölgesinde aynı konumda ama farklı saatte yapılan ölçümlerin sonuçlarının değiştiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Hidrografik ölçmeler, batimetrik ölçüm, İstanbul Boğazı, akıntı hızı, sonar, ses hızı ölçümü.

ABSTRACT

Our country has got lakes approximate over than 900 km² as per area, coasts over than 7000 km as per length, barrages, bonds about 1200 pieces and also is surrounded with seas of its three side. The hydrographic surveys are gained value because of increasing marine projects. Hydrography is a science that surveys and examines all the necessary basic items and issues these basic items practical using by mariners for cruising safety and easiness at the seas, rivers and other water sources together with surrounding these coastlines (BKK, 1973). In our country, within engineering projects such as shipyard, tube constructions etc., hydrographic surveys are performed actively. Other than this, in various studies such as current modeling, wave height computation, sea pollution, waste water sea discharging, natural gas and water pipe lines, various surveys are also carried out.

Hydrographic survey application with synchronized using of all related equipments and testing of results are considerably difficult. For necessary accuracy, many components such as sea bed, sea depth and sea water conditions have to be considered.

The purpose of this study is accurate obtaining of committed hydrographic survey raw datas and results at the working region of Marmaray Project at Bosphorus Strait. The studies were performed at the region which has got high surface current and rough sea bed topography.

At the working region; the sonar, current velocity and bathymetric surveys were performed. In these surveys; factors which effect the results, were determined and their accuracies were sought. Before and after all related surveys, performed processes were explained. The basic steps were clarified during installation, survey and processing operations. Sound velocity surveys which affect the bathymetric survey results directly, were performed at different times and were compared each other and regarding the effects to the survey.

As a result; performed hydrographic surveys at the Bosphorus Strait, the steps was analyzed before and after surveys and for obtaining accuracies, the necessities was explained. At the working region, changing of survey results which were performed at the same position but different hours was appeared.

Keywords: Hydrographic surveys, bathymetric survey, Bosphorus Strait, current velocity, sonar, sound velocity survey.

1. GİRİŞ

Ülkemiz üç tarafı denizlerle çevrili olup, birçok körfeze, yaklaşık 900 km²'yi geçen göllere, 7000 km 'yi gecen kıyılara, yaklaşık 1200 adet gölet ve baraja sahip bulunmaktadır. Günümüzde deniz ve nehir gibi sularla kaplı alanlarda uygulanan mühendislik projelerinin artmasından dolayı hidrografik ölçmeler büyük önem kazanmıştır. Hidrografi; denizler, nehirler ve diğer sular ile bunları çevreleyen kıyı şeridindeki seyir emniyeti ve kolaylığı için bilinmesi gereken bütün temel unsurları ölçen, inceleyen ve bunları denizcilerin kullanmalarına elverişli bir şekilde yayınlayan bilim dalıdır (SHODB,1973). Ülkemizdeki tersane, tüp geçit inşaatlar gibi mühendislik projelerinde aktif olarak hidrografik ölçmeler yapılmaktadır. Bunun dışında akıntı modellemesi, dalga boyu tespiti, deniz kirliliği, atık su deniz deşarjı, doğalgaz ve su boru hatları gibi birçok çalışmada çeşitli ölçümler yapılmaktadır.

Hidrografik ölçmelerde ölçüm süresince tüm aletlerin senkronize bir şekilde kullanılarak ölçüm yapılması ve sonuçların test edilmesi oldukça zordur. Gerekli hassasiyetin yakalanabilmesi için deniz tabanı, derinliği ve su özellikleri gibi birçok unsur göz önünde bulundurulmalıdır.

Bütün unsurların dikkate alındığı bu çalışmada amaçlanan; İstanbul Boğazı Marmaray Tüp Geçit Projesi kapsamında gerçekleştirilen hidrografik ölçmeler, hassasiyetleri ve sonuçlarının hassas bir şekilde elde edilmesidir. İstanbul Boğazı çalışma bölgesi yüksek akıntı hızına sahip ve dip topografyasının değişkenli olduğu bir bölge olduğu için yapılan hidrografik ölçmelere etkileri ve hassasiyetleri araştırılmıştır. Ayrıca ölçüm sonuçlarını değiştirebilecek etkenlerin belirlenmesi de çalışmanın diğer bir amacıdır. Önemi ise yüksek akıntı hızına sahip İstanbul Boğazı'nda inşa edilen projenin dünyanın en derin tüp geçit projesi olmasıdır.

Çalışma giriş bölümü ile 7 bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde genel hatlarıyla konum ölçmeleri anlatılmıştır. Üçüncü bölümde akıntı hızı ölçümleri anlatılmıştır. Dördüncü bölümde ise derinlik ölçmeleri anlatılmıştır. Beşinci bölümde konum ve derinlik ölçmelerindeki standartlar ele alınmıştır. Altıncı bölümde çalışma bölgesinde yapılan uygulamalar anlatılmış ve son bölümde sonuç ve öneriler yer almaktadır.

İstanbul Boğazı çalışma bölgesinde yapılan hidrografik ölçmelerde ölçüm öncesi ve sonrası yapılan adımlar incelenmiş, istenilen hassasiyetlerin elde edilebilmesi için yapılması gerekenlerin anlatılması amaçlanmıştır. Çalışma bölgesinde aynı yerde, farklı saatte yapılan ölçümlerin sonuçlarının değiştiği görülmüştür.

2. KONUM BELİRLEME YÖNTEMLERİ

Hidrografik ölçmelerle derinliği ölçülen noktaların yatay düzlemdeki konumunu, başka bir deyişle planimetrik konumunu saptamak gerekmektedir (Özgen ve Algül,1977). Yatay konum belirleme için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemleri sıralayacak olursak;

- Sekstant
- Optik yöntemler
- Elektro-optik yöntemler
- Akustik yöntemler
- İnersial yöntemler
- Küresel konum belirleme sistemi

Marmaray Projesi kapsamında belirtilen yöntemler içerisinde küresel konum belirleme sistemi ve akustik konum belirleme yöntemi kullanılmıştır.

2.1 Küresel Konumlama Sistemi (GPS)

Günümüzde hidrografik ölçmelerde en çok tercih edilen konumlama yöntemi olarak kullanılmaktadır.

Transit sistemin gelişmiş bir şekli olan NAVSTAR GPS, ABD Savunma Dairesi tarafından tüm dünyada üç boyutlu konum belirlemek ve navigasyon amacıyla geliştirilmiştir. GPS alıcısı ile uydu sinyalleri yardımıyla;

- Herhangi bir yer ve zamanda,
- Hemen her türlü hava koşulunda,
- Küresel bir koordinat sisteminde,
- Yüksek duyarlılıkta,
- En ekonomik şekilde,
- Anında ve sürekli şekilde konum, hız ve zaman belirlemesi yapılabilir.

GPS; araçların navigasyonu, arama-kurtarma, hedef bulma, kadastral ölçmeler, araç takip sistemleri, CBS veri tabanlarının geliştirilmesi, turizm, ormancılık, spor vb. amaçlar için sivil

ve askeri alanlarda kullanılmaktadır. GPS ile noktalar arası görüş zorunluluğu ortadan kalkmıştır. Ölçümler gece ve gündüz, her türlü hava koşulunda 24 saat yapılabilmektedir. Konum doğruluğu mm hassasiyetinde elde edilmektedir. GPS sistemi üç bölümden oluşmaktadır. Bunlar uydulardan oluşan Uzay Bölümü, tüm sistemi yöneten Kontrol Bölümü ve alıcıların bulunduğu Kullanıcı Bölümü'dür. GPS için genel olarak iki temel koordinat sistemi mevcut olup, bunlar uzay sabit ve yer sabit koordinat sistemleridir (Kahveci ve Yıldız,2001).

2.1.1 GPS Hata Kaynakları

GPS günümüzde en yüksek doğrulukla küresel konum belirleme ve navigasyon sistemidir. Buna karşın zayıf tarafları da bulunmaktadır. GPS sonuçlarını etkileyen bazı düzenli ve düzensiz hatalar bulunmaktadır. Bu hata kaynakları:

- Uydu hataları
- Uydu efemeris hataları
- Uydu saat hataları
- Sinyal yayılma hataları
- İyonosferik etki
- Troposferik etki
- Sinyal yansıması
- Alıcı hataları
- Anten faz merkezi hatası
- Taşıyıcı dalga faz belirsizliği ve faz kesiklikleri

Uydu-alıcı arasındaki ham uzunluğun toplam hatası UERE olarak adlandırılmaktadır.

UERE;

- Uydu saatindeki hatalar,
- Uydu navigasyon mesajındaki hatalar,
- Uydu yörüngelerinin hesabında yapılan hatalar,

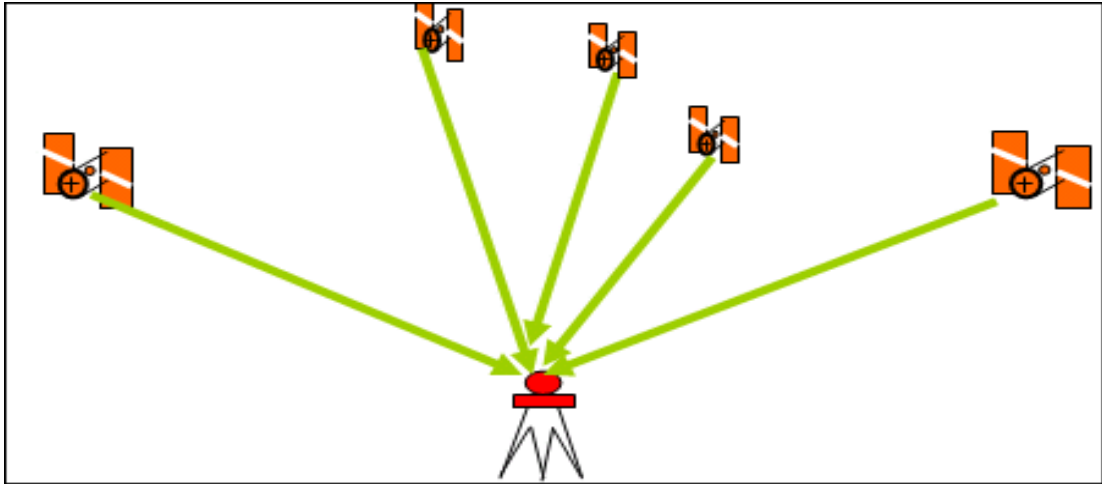
- Alıcı saatindeki hatalar,
- Gözlem anında alıcı işlemcisi tarafından iyonosferik model hesabında yapılan hataların bir fonksiyonudur.

UERE 'nin uzay ve kontrol bölümlerine ilişkin kısmı URE olarak adlandırılmaktadır. UERE 'nin alıcıya ilişkin kısmına UEE denmektedir. Navigasyon mesajı içerisinde yayınlanan ve uydu-alıcı uzaklığına ilişkin hata miktarını ifade eden bir katsayıya URA denilmektedir.

2.1.2 GPS ile Konum Belirleme

2.1.2.1 Mutlak Konum Belirleme

Mutlak konum belirlemede 4 ya da daha fazla uydudan tek bir alıcıya kod ölçümleri yapılarak alıcının üzerinde bulunduğu noktanın koordinatları belirlenmektedir (Şekil 2.1).

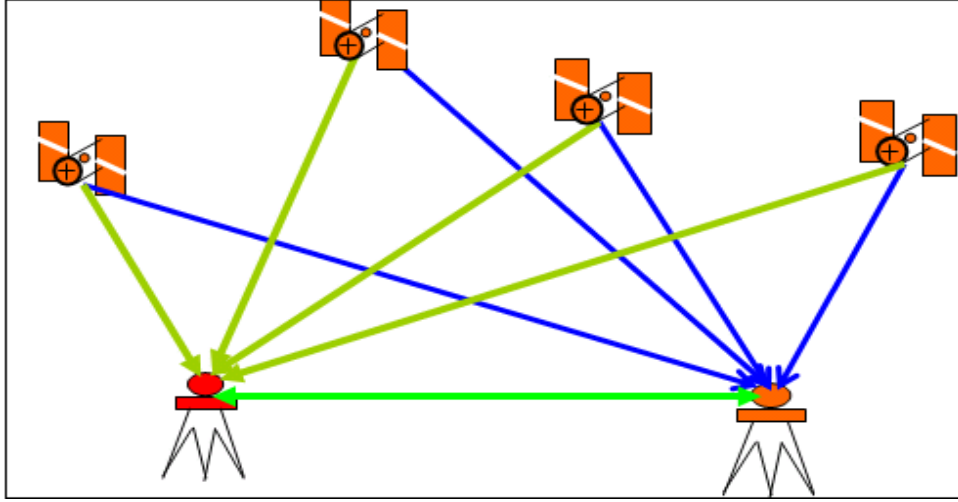


Şekil 2.1 Mutlak konum belirleme

Yöntem, sinyalin uydudan çıkışından alıcıya varışına kadar geçen zaman ve ışığın hızı çarpılarak elde edilen ham uzaklıklar ve uydu koordinatları ile uzay geriden kestirme hesabı ile belirlenmesine dayanmaktadır.

2.1.2.2 Bağıl Konum Belirleme

Bağıl konum belirleme, koordinatları bilinen bir noktaya göre başka bir noktanın koordinatlarının belirlenmesi olarak tanımlanmaktadır. Böylece 2 nokta arasındaki baz vektörü bulunmaktadır. İki ayrı noktaya kurulan iki ayrı alıcı ile aynı uydulara eş zaman aralığında kod ve taşıyıcı faz gözlemleri yapılmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Bağlı konum belirleme

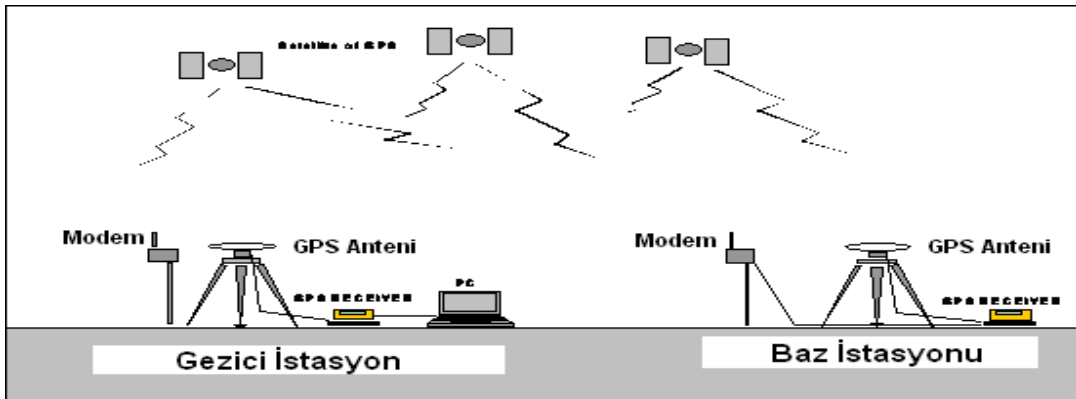
Bağlı konumla elde edilen doğruluk mutlak konumla elde edilen doğruluktan daha fazladır ve 0.01 – 100 ppm arasında değişmektedir.

2.1.2.3 Diferansiyel Konum Belirleme

Navigasyon uygulamalarında gereksinim duyulan daha yüksek doğruluğa erişmek için kullanılan yöntemdir. Biri koordinatı bilinen referans noktasına, diğeri koordinatı bulunacak yeni noktada olmak üzere iki alıcı en az 4 uyduya pseudo uzunluk ölçümleri yaparak anlık konum belirlenmektedir (Şekil 2.3).

Diferansiyel GPS' de değerlendirme iki türlü yapılmaktadır. Bunlar:

- Yeni noktanın koordinatlarına düzeltme getirilir.
- Ölçülen pseudo uzunluklara düzeltme getirilir.



Şekil 2.3 Diferansiyel konum belirleme

2.1.3 GPS ile Ölçme Yöntemleri

Jeodezik amaçlı çalışmalarda genellikle bağıl konum belirleme yöntemi kullanılmaktadır. Faz gözlemleri yapılarak bağıl konum belirlemede beş ayrı yöntem vardır;

- Statik ölçme yöntemi
- Hızlı statik ölçme yöntemi
- Tekrarlı ölçme yöntemi
- Dur – git ölçme yöntemi
- Kinematik ölçme yöntemi (Kahveci ve Yıldız,2001).

2.1.3.1 Statik Ölçme Yöntemi

Statik yöntem;

- Çok yüksek doğruluk istendiğinde
- Uzun bazlar ölçüldüğünde
- Ülke nirengi ağlarının güncelleştirilmesinde
- Deformasyon ölçmelerinde
- Yer kabuğu hareketlerinin incelenmesinde
- Mevcut arazi durumu başka bir tekniğe uygun olmadığında, kullanılan en iyi sonuçların elde edildiği yöntemdir.

İki ya da daha fazla GPS alıcısı ile en az 1 saatlik eş zamanlı ölçüm yapılmaktadır. Noktalar arasında kapalı geometrik ağlar oluşturulmaktadır. Böylelikle baz vektörleri belirlenir ve baz vektörleri yardımıyla konumu bilinen bir noktaya dayanarak, istenilen noktanın koordinatları hesaplanmaktadır.

2.1.3.2 Hızlı Statik Ölçme Yöntemi

Statik yöntemle göre daha kısa süreli ölçümler yapılarak duyarlı sonuçlar elde edilmektedir. Alıcılardan biri sabit bir noktada sürekli gözlem yaparken, diğeri yeni noktalarda 5–30 dakika arası gözlem yapar. İyonosferik etkinin minimum olduğu kısa bazlarda en ideal sonuçları vermektedir.

2.1.3.3 Tekrarlı Ölçme Yöntemi

Bu yöntem bir ya da iki saatlik ölçüm süresinin başlangıç ve sonunda değişen uydu geometrisinden yararlanmak için bir noktanın birkaç kez ölçülmesi esasına dayanmaktadır.

Zayıf uydu geometrisi olduğunda veya tek frekanslı alıcılar kullanıldığında bu yöntem uygun olmaktadır.

2.1.3.4 Dur - Git Ölçme Yöntemi

Dur-git yönteminde bir alıcı sürekli olarak konumu bilinen bir noktada ölçüm yapar. Koordinatı bilinen başka bir noktaya da gezici alıcı konularak 2 dakika boyunca gözlem yapılmaktadır. Böylelikle tamsayı belirsizliği çözülmüş olunur. Daha sonra gezici alıcı ile koordinatı bilinmeyen noktalarda 15–60 saniye kadar ölçüm yapılır.

Uydu sayısı 4'ün altına düşerse tamsayı bilinmeyi tekrar belirlenmelidir.

2.1.3.5 Kinematik Ölçme Yöntemi

Kinematik konumlamada bir alıcı koordinatı bilinen bir noktada sürekli sabit kalarak ölçüm yapılmaktadır. Diğer bir alıcı ise hareketlidir, koordinatı bilinen bir noktadan başlayarak yeni noktalara kurulmaktadır. Başlangıçta tamsayı bilinmeyeninin çözümü için bir süre statik ölçü yapılmalıdır.

Bu yöntemde de uydu sayısının 4'ün altına düşmemesine dikkat edilmelidir. Aksi takdirde tamsayı bilinmeyi tekrar belirlenmektedir.

2.1.3.6 Real Time Kinematik GPS (RTK-GPS)

Ölçme prensibi DGPS 'e benzer, fakat taşıyıcı faz gözlemleri kullanılarak yapılmaktadır. Bu yöntemle arazinin koordinatlarını $\pm 2 - 3$ cm doğrulukla belirlemek mümkün olmaktadır.

Bu yöntemde sabit istasyonda hesaplanan düzeltmeleri yayınlayan bir radyo vericisi ve radyo sinyallerini alan bir radyo alıcısı kullanılmaktadır. RTK ile ilgili yazılımların kullanılarak, sistem ayarlarını yapan bir veri kontrol ünitesi de mevcuttur. Bu kontrol ünitesi yardımıyla arazide anlık konum bilgilerine ulaşılmaktadır. Böylece aplikasyon işlemleri gibi uygulamalar iyi bir duyarlılıkta kısa sürede elde edilmektedir (Kahveci ve Yıldız,2001).

Ölçme yöntemlerine ait doğruluklar Çizelge 2.1 'de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Ölçme yöntemlerindeki doğruluklar

Ölçme Yöntemi	Baz Ölçüm Doğruluğu	Oransal Doğruluk Sınırları
Statik	5 mm + 1 ppm	1/100000 – 1/5000000
Hızlı Statik	5 – 10 mm + 1 ppm	1/100000 – 1/1000000
Dur – Git	1- 2 cm + 1 ppm	1/100000 – 1/1000000
Tekrarlı	5 – 10 mm + 1 ppm	1/50000 – 1/500000
Kinematik	1- 2 cm + 1 ppm	1/100000 – 1/1000000

2.1.4 GPS ile Elde Edilen WGS–84 Sistemi’ndeki Koordinatların ED–50 Sistemi’ne Dönüşümü

Ülkeler kendi jeodezik çalışmaları için koordinat sistemleri kurmaya çalışmış, farklı elipsoidler kullanmıştır. Bunun sonucunda farklı koordinat sistemleri ortaya çıkmıştır.

Çalışma bölgesinde şartname gereği tüm ölçmelerde ED–50 Koordinat Sistemi kullanılmaktadır. GPS ile elde edilen WGS–84 Sistemi koordinatlarının ED–50 Sistemi’ne dönüşümü için gerekli parametreler 2 farklı metot kullanılarak hesaplanmıştır. Bu metotlar;

- İki boyutlu benzerlik dönüşümü
- Üç boyutlu benzerlik dönüşümü

2.1.4.1 İki Boyutlu Benzerlik Dönüşümü ile Parametrelerin Hesaplanması

Karada yapılan jeodezik ölçmelerde kullanılmak üzere iki boyutlu dönüşüm parametreleri (2.1) eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır (Demirtaş,2006).

$$\begin{aligned} x'_i &= k_{01} + \lambda x_i \cos \varphi - \lambda y_i \sin \varphi \\ y'_i &= k_{02} + \lambda x_i \sin \varphi + \lambda y_i \cos \varphi \end{aligned} \quad (2.1)$$

(2.1) eşitliğinde;

x'_i, y'_i : WGS–84 koordinatları

k_{01}, k_{02} : Öteleme parametreleri

φ : Dönüklük açısı

λ : Ölçek olarak gösterilmiştir.

Hesaplanan parametreler yardımıyla ED-50 Sistemi'ndeki koordinatlar (2.2) eşitliği kullanılarak elde edilmiştir (Demirtaş,2006).

$$\begin{aligned} Y &= b*x + a*y + ty \\ X &= a*x - b*y + tx \end{aligned} \quad (2.2)$$

2.1.4.2 Üç Boyutlu Benzerlik Dönüşümü ile Parametrelerin Hesaplanması

Çalışma bölgesindeki hidrografik ölçmelerde kullanılmak üzere 3 boyutlu dönüşüm parametreleri (2.3) eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır (Demirtaş,2006).

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{WGS-84} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + (1 + \Delta S) \begin{bmatrix} 1 & -R_z & R_y \\ R_z & 1 & -R_x \\ -R_y & R_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ED-50} \quad (2.3)$$

(2.3) eşitliğinde;

X,Y,Z: Kartezyen dik koordinatlar

ΔX , ΔY , ΔZ : Ötelemeler

R_x , R_y , R_z : Dönüklüler

ΔS : Ölçek farklılığını ifade etmektedir.

Çalışma bölgesinde hidrografik ölçmeler yapılırken, hesaplanan üç boyutlu dönüşüm parametreleri kullanılarak ED-50 Sistemi'ndeki koordinatlar elde edilmiştir.

2.2 Akustik Sistemler

Okyanus ve denizlerde yapılan petrol arama, kanal açma ve zemin iyileştirme çalışmaları gibi mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır. Sistem akustik dalga gönderen bir vericiye sahip bulunmaktadır. Gönderilen akustik dalga sesin sudaki hızına bağlı olarak bir veya birden fazla alıcıya ulaşmaktadır. Alıcı ve vericiler arasındaki uzunluklar üç yöntemle belirlenmektedir. Bunlar uzunluk ölçümü, açı ölçümü ve iki düzlem yardımıyla konum belirleme yöntemleridir.

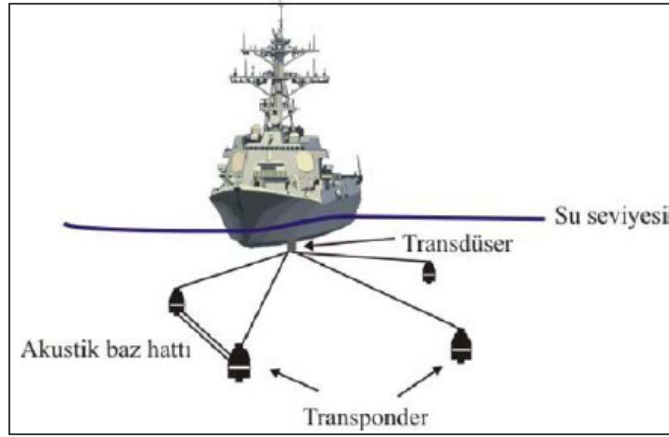
Akustik konum belirleme yöntemi ise genel olarak üçe ayrılmaktadır. Bu yöntemler;

- Uzun bazlı yöntem
- Kısa bazlı yöntem
- Çok kısa bazlı yöntem

Marmaray Projesi kapsamında deniz tabanını iyileştirme çalışmalarında kullanılan sualtı greyderinin konumlaması akustik sistem kullanılarak yapılmıştır. Yöntem olarak kısa bazlı yöntem seçilmiştir.

2.2.1 Uzun Bazlı Yöntem

Uzun bazlı yöntem büyük sahalarda ya da yüksek doğruluk gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadır. Üç veya daha fazla koordinatları bilinen transponderler deniz tabanına sabitlenmektedir. Transponderler ölçme gemisi altında bulunan transdüser ile sorgulanmaktadır (Şekil 2.4). Deniz tabanına yerleştirilen transponder arasındaki akustik baz hatlarının uzunlukları 50 metreden 6 kilometreye kadar suyun derinliğine, deniz tabanı topografyasına, kullanılan akustik frekansa ve ortam koşullarına bağlı olarak değişmektedir (Aydın, vd., 2007).

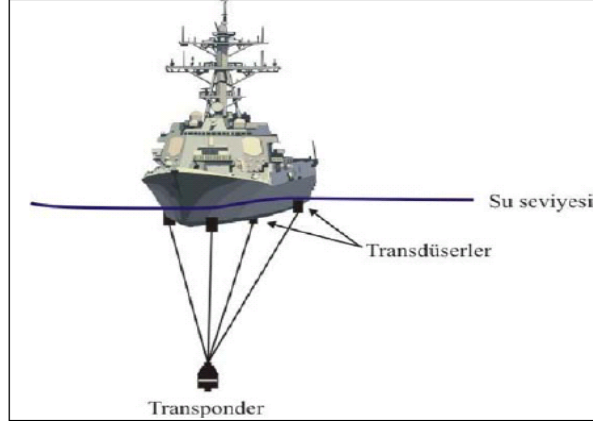


Şekil 2.4 Uzun bazlı yöntem (Aydın, vd., 2007)

2.2.2 Kısa Bazlı Yöntem

Uzun bazlı yöntemdeki gibi deniz tabanındaki transponderler arasına bir ağ kurmak yerine, kısa bazlı yöntemde bu ağ, ölçme gemisi altında kurulmuştur. Şekil 2.5'de gemi altına monte edilmiş transdüserler ve ağ yapısı görülmektedir.

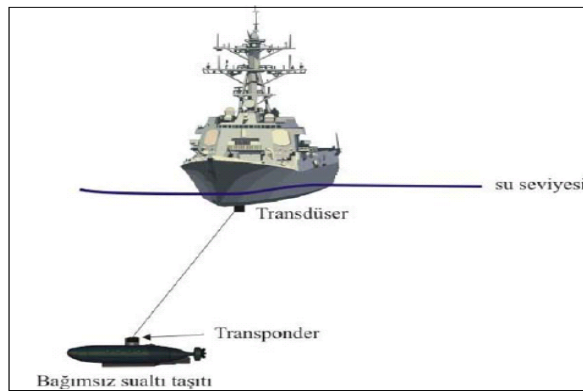
En az 3 veya 4 transdüser gemi omurgasına geminin boyutlarına göre aralarında 10-100 metre olacak şekilde yerleştirilmiş ve gemideki akustik işlemciye bağlanmıştır. Su altı hedefleri ve bıkınlardan dönen sinyaller, merkezi işlemciye ulaşmakta ve burada gemi ile bıkınlık arasındaki yatay ofset değeri hesaplanmaktadır.



Şekil 2.5 Kısa bazlı yöntem (Aydın, vd., 2007)

2.2.3 Çok Kısa Bazlı Yöntem

Çok kısa bazlı yöntemde, diğer yöntemlerde olduğu gibi ne sualtında ne de geminin omurgasına yerleştirilmiş bir akustik ağ bulunmamaktadır. Geminin altına monte edilmiş tek bir transdüserden gönderilen akustik dalga su altında hareket eden üzerlerine transponder monte edilmiş olan insansız denizaltılar, uzaktan kumandalı denizaltılar veya herhangi bir objeden geri dönerek tekrar gemiye ulaşmakta ve arada geçen zamana göre de uzunluk hesaplanmaktadır (Şekil 2.6). Çok kısa bazlı yöntemde konum geminin GPS'inden alınmakta ve dinamik konumlandırılmış taşıtlar için basit bir konum bilgisi sağlamaktadır (Aydın, vd., 2007).



Şekil 2.6 Çok kısa bazlı yöntem (Aydın, vd., 2007)

3. AKINTI HIZI ÖLÇMELERİ

Akıntı hızı, denizlerde yapılan mühendislik çalışmaları için en önemli unsurlardan biridir. Deniz inşaatı işlerinin işleyişi, bitiş sürelerinin tahmini, çalışmaların yapılabilmesi için akıntı hızı ölçümleri yapılmaktadır. Akıntı hızı belirlenmesi, modellenmesi ve ileriye dönük tahmin edilebilmesi planlama sürecinde önemli etkenlerden biridir.

Günümüzde akıntı hızı belirlemek için birçok ekipman üretilmiştir. Bu ekipmanlar çalışma, kurulum ve özelliklerine göre 2 ana gruba ayrılabilir;

- Hareket halinde akıntı hızı ölçümü
- Sabit halde akıntı hızı ölçümü

3.1 Hareket Halindeyken Akıntı Hızı Ölçümleri

Bot üzerine kurulan ve bot hareket halindeyken ölçüm yapılan aletler için bu gruba yapılmıştır. Bu tip aletlerde ölçüm deniz yüzeyinden deniz tabanına doğru yapılmaktadır. Ülkemizde yapılan hareketli haldeyken akıntı hızı ölçümlerinde genelde Sontek ADP ve RDI ADCP aletleri kullanılmaktadır.

3.1.1 Sontek ADP

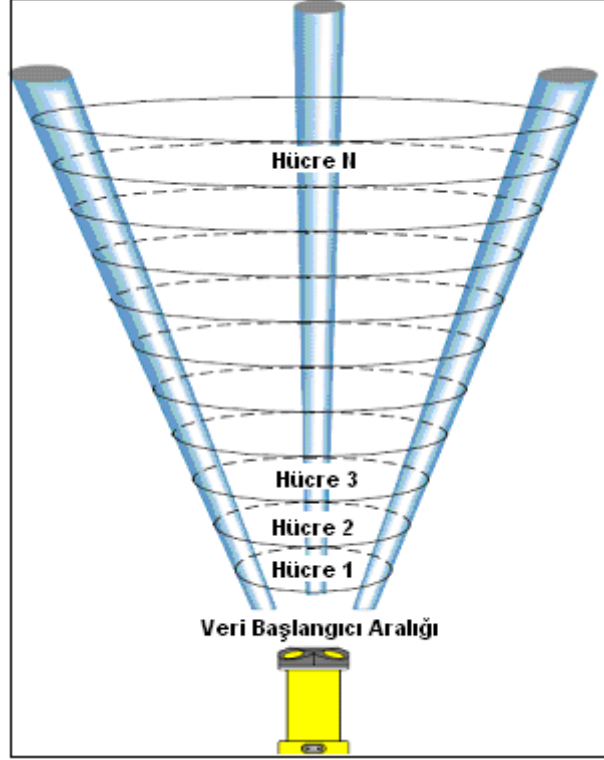
Sontek Firması'na ait olan bu alet 3 yönde attığı sinyallerle akıntı hızını belirleyerek derinliklere göre akıntı hızını belirlemektedir. Kolay kurulumuna sahip olup, diğer aletlere göre daha hafiftir. Bu nedenle çalışma bölgesindeki ölçüm teknesinde en çok kullanılan Sontek Firması'na ait akıntı hızı ölçer olmuştur (Şekil 3.1).



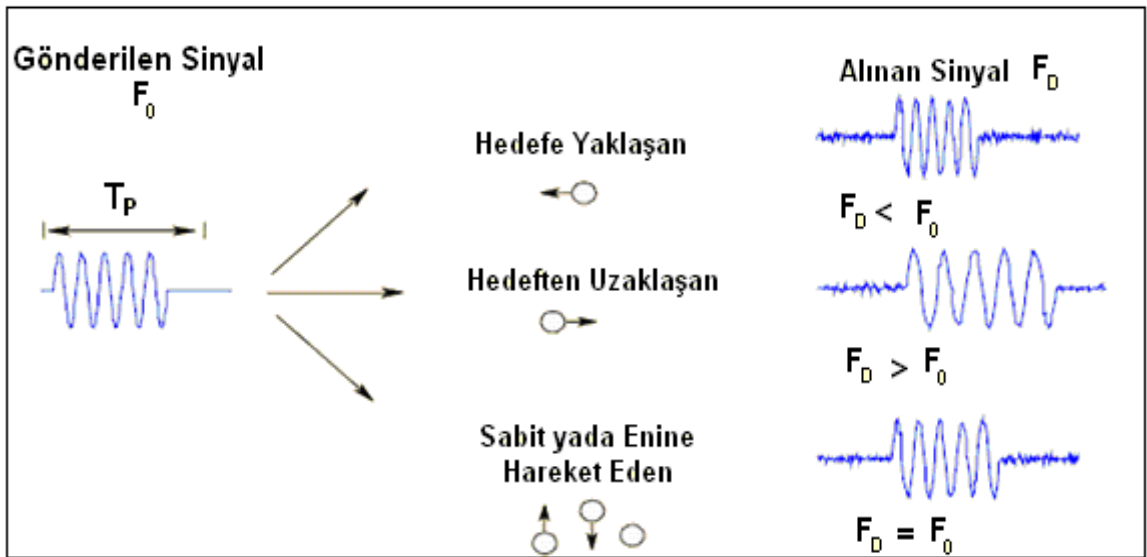
Şekil 3.1 Sontek ADP

3.1.1.1 Çalışma Prensibi

Kısaca akıntı hızı ölçerler Doppler Etkisine göre çalışmaktadır. Ölçümlerde kullanılan Sontek ADP 'de Şekil 3.1 'de görüldüğü gibi 3 akustik transdüser bulunmaktadır. Bunlardan ayrı yönlerde sinyaller çıkmakta ve geri toplanmaktadır (Şekil 3.2). Geri toplanan sinyallerdeki Doppler Etkisi saptanmakta ve sesin sudaki hızı yardımıyla akıntı hızı hesaplanmaktadır.



Şekil 3.2 Sinyal gönderiliş geometrisi



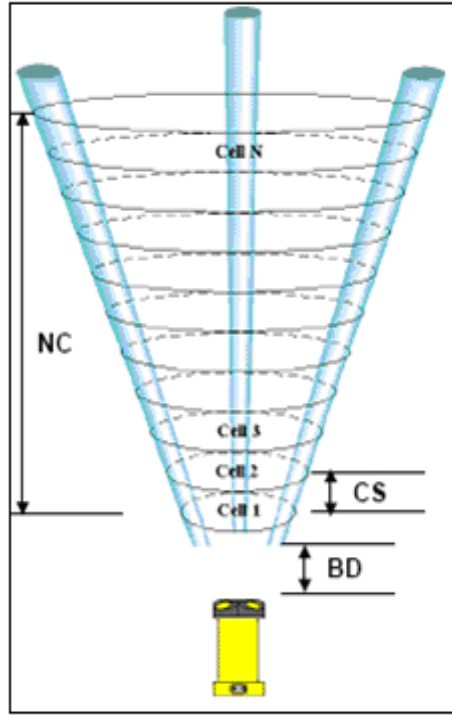
Şekil 3.3 Doppler Etkisi

Şekil 3.3 'te görüldüğü üzere, gönderilen sinyal tekrar geri alındığında Doppler değişimine uğramış halde alınmaktadır.

$$Fd=(-2Fs)*(V/C) \quad (3.1)$$

Gönderilen sinyalin frekansı (F_s), sesin sudaki hızı (C), alınan sinyal Doppler değişimi (F_d), parçacıkların bağlı hızı (V) olarak belirtilmiştir. Bulunan Doppler değişimi akıntı hızıyla orantılıdır.

Akıntı hızı verisi kartezyen koordinat sistemi içerisinde. Genelde akıntı ölçerler içerisine kuzeyle yapılan açıyı belirlemek için pusulalar konulmaktadır. Böylece kartezyen koordinatlar coğrafi koordinatlara dönüştürülebilmektedir. En çok kullanılan sistem, coğrafi koordinat sistemidir (East-North-Up).

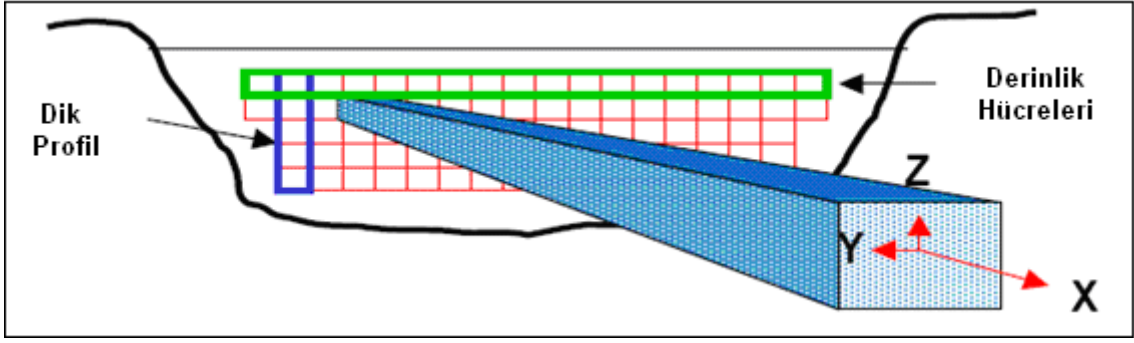


Şekil 3.4 Sinyalin tarama aralıkları

Şekil 3.4 'te veri toplamaya başlayacağı aralık (BD), sütun boyları (CS), sütun sayısı (NC) ölçümün yapılacağı bölgenin özelliklerine göre katsayılar belirlenmekte ve ADP bu katsayılar göre veri toplamaya başlamaktadır.

$$Modelleme Alanı = BD + (NC + 0.5) * CS \text{ olarak hesaplanmaktadır.} \quad (3.2)$$

Bu katsayılar dışında sıcaklık, tuzluluk, ses hızı, veri alma aralığı, koordinat sistemi gibi birçok katsayı ölçüm aleti ayarlarına girilmektedir.



Şekil 3.5 Akıntı profili

Şekil 3.5 'de görüldüğü gibi x,y,z yönünde modelleme alanı satır ve sütunlara bölünerek akıntı hızı belirlenmektedir.

Akıntı hızı belirlenirken dikkat edilmesi gereken, sesin sudaki hızıdır. Buna bağlı olarak su sıcaklığı ve suyun tuzluluğudur.

- Su sıcaklığındaki 10 C 'lik değişim akıntı hızının doğruluğunu % 2 etkilemektedir.
- Suyun tuzluluğundaki 12 ppt (parts per trillion) 'lik değişim akıntı hızının doğruluğunu %2 etkilemektedir.

Doğru akıntı hızı (V_t), ölçümde belirlenen akıntı hızı (V_o), doğru ses hızı (C_t), sitemde kayıtlı olan ölçüm anındaki ses hızı (C_o) olarak verilmiştir.

$$V_t = V_o * (C_t / C_o) \quad (3.3)$$

Bu şekilde katsayıların önemi ortaya çıkmaktadır.

3.1.2 RDI ADCP

RDI Firması'na ait bir akıntı ölçerdir (Şekil 3.6). Daha çok akademik çalışmalarda kullanılması uygundur. Kullanım olarak pratik bir alet değildir.



Şekil 3.6 RDI ADCP

Çalışma prensibi aynen Sontek ADP 'de olduğu gibi Doppler Etkisi'ne dayalıdır.

3.2 Sabit Haldeyken Akıntı Hızı Ölçümleri

3.2.1 RDCP-600

Aanderaa Firması'na ait RDCP-600, genelde sabit şekilde deniz dibine yerleştirilerek akıntı ölçümü sağlayan bir alettir (Şekil 3.7). Anlık olarak veri almak mümkün olduğu gibi kendi kendine kayıt yapabilme özelliğine de sahiptir. Genelde bir bölgede bırakılarak gerekli ayarlamalar yapıldıktan sonra aynı koordinattan sabit bir şekilde uzun süreler ölçüm yapmak için kullanılmaktadır. Bunun sayesinde bölgenin akıntı karakteristiği belirlenmiş olup, akıntı hızı tahminleri için altlık oluşturmaktadır.



Şekil 3.7 RDCP-600

Bu akıntı hızı ölçerinin de çalışma prensibi Doppler Etkisi'ne dayalıdır.

4. DERİNLİK ÖLÇMELERİ

Sualtı topografyasının belirlenmesi ve bir altlık üzerine aktarılması işlemine batimetri adı verilmektedir (IHO, 1998). Batimetrik ölçüm kapsamında yapılan jeodezik çalışmaların iki ana bileşeni bulunmaktadır. Bunlar derinlik ölçmeleri ve derinliklere ait konum ölçmeleridir. Konum ölçmeleri Bölüm 2’de ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Derinlik ölçmeleri;

- Lata iskandil
- Mekanik iskandil
 - Tel yöntemi
 - İp yöntemi
- Akustik iskandil
- Hava (Airbone) lazer iskandil ile gerçekleştirilebilmektedir.

Lata iskandil yöntemi 5 metreden daha sığ sularda genişlikleri 4–6 cm çapında olan çubuklar ile uygulanmaktadır. Bu çubuklar üzerinde ölçü bölmeleri bulunmaktadır ve bu çubuklara iskandil latası denmektedir. Mekanik iskandil yöntemi ise tel ve ip yöntemi olarak 2’ye ayrılmaktadır. İp yönteminde; bölümlendirme yapılmış ipin ucuna metal bir ağırlık bağlanarak düşey bir şekilde suya batması hedeflenmekte ve ölçmeler yapılmaktadır. Tel yönteminde, ip yöntemindeki ip yerine tel kullanılmaktadır. Sadece telin kolay boşalması ve geri sarılması için makara sisteminden yararlanılmaktadır. Bu yöntemlerde akıntı hızı, ölçüm teknesinin hızı, okuma yanlışlıkları vb. önemli hata kaynakları olduğu için hassasiyeti oldukça düşüktür. Hava (Airbone) lazer iskandil yönteminde; lazer tarayıcı (LIDAR), yüksek doğruluklu INS (Inertial Reference System) ve GPS küçük bir helikopter veya uçağa yerleştirilerek altta kalan alanın sayısal haritası çıkarılmaktadır (Kalkan ve Alkan, 2005). Bu yöntemin dezavantajları ise 40–50 metre derinliğe kadar ölçüm yapılabilmesi ve hassasiyetinin akustik iskandile göre daha düşük olmasıdır. Doğrudan ve dolaylı sonuç veren derinlik ölçme yöntemlerinden en hassas olanı akustik iskandil yöntemidir.

Batimetrik ölçümler zahmetli ve uzmanlık gerektiren işlerdendir. Harita mühendisliğinin görevlerinden olmasına rağmen, ülkemizde eğitim programları içinde yeterli ağırlıkta değildir. Deniz ölçmelerinin uygun bir şekilde yapılması için ölçmelerin planlanması, birçok kontrolün yapılması, ölçmelere etkilerin belirlenmesi vb. adımların uygulanması gerekmektedir.

Deniz ölçmelerinde doğruluk değerlerinin belirlenebilmesi için birçok inceleme yapmak gerekmektedir. Bu incelemeler bize yaptığımız işin ne kadar doğru olduğunu ve olacağını göstermektedir. Tabii ki kısıtlı ekipmanlarla yapılan ölçmelerde böyle hassas sonuçları da aramak yersiz olmaktadır.

Ülkemizde yapılan deniz çalışmalarında batimetrik ölçmelere gerekli önem verilmemektedir. Kontroller için düzenli birimler bulunmamakta ve çok az kişi tarafından ölçümler yapılmaktadır. Bu yüzden deniz için verilen tüm veriler kabullenilmektedir ve sağlaması yapılamamaktadır.

Akustik iskandiller ile yapılan batimetrik ölçmelerin dışında deniz tabanı kazı, dolgu ve düzleme işlerinde yaygın olarak sonar kullanılmaktadır. Deniz tabanında yapılan zemin iyileştirmelerindeki kazı ve dolgu işlemleri deniz taban yapısının daha sağlam hale getirilmesi için yapılmaktadır. Düzleme işleri ise dolgu yapılan bölgelerde tabana dolgu yapılan malzemenin sıkıştırılması ve düzleşmesi için yapılmaktadır. Kazı, dolgu ve düzleme işlerindeki anlık derinliğin belirlenmesi için en uygun yöntem sonar kullanımıdır. Çünkü kurulum ve kullanım açısından diğer derinlik ölçme aletlerine göre daha kolay ve daha dayanıklıdır. Düzleme işleri için birçok metot uygulanmaktadır. Kullanım kolaylığı ve hassasiyet dikkate alındığında sualtı greyderleri ön plana çıkmaktadır. Su altına yerleştirilen greyderin konumunun tespitinde transponderler kullanılmaktadır. İstenilen konum hassasiyetine göre transponder sayıları çoğaltılabilmektedir. Genelde kazı, dolgu ve düzleme işlerinde konum belirlemede yüksek hassasiyete sahip RTK-GPS yöntemi kullanılmaktadır.

Derinlik ölçmelerindeki tüm yöntemlerde doğruluk değerleri birbirinden farklıdır. Yöntemlere ait doğruluklar Çizelge 4.1 'de verilmiştir (Kalkan ve Alkan, 2005).

Çizelge 4.1 Derinlik ölçme yöntemlerine ait ölçme derinlikleri ve doğrulukları

Doğrudan Sonuç Veren Yöntemler	• Lata İskandili Yön.	$5 m \pm (5-10 cm)$
	• Mekanik İskandil Yön.	
	İp Yön.	$30 m \pm 10 cm$
	Tel Yön.	$2000 m \pm 0.01*derinlik$
Dolaylı Sonuç Veren Yöntemler	• Airborne Laser İskandili	$20-30 m \pm 0.2 m$
	• Akustik İskandil Yön.	<i>Bir kaç cm</i>

Anlaşıldığı üzere akustik iskandil yöntemiyle elde edilen doğruluk diğer yöntemlere göre daha üstündür. Tabii ki sadece akustik iskandille yapılan ölçümler değil, ölçüme etki eden diğer faktörlerin de belirlenip sonuçlara eklenmesiyle bu doğruluklar elde edilmektedir.

4.1 Akustik İskandil

Derinlik belirlemede en sık kullanılan yöntem akustik iskandil yöntemidir. Akustik iskandil yönteminde gerçek zamanlı veri toplama sistemleri kullanılarak çok bimli ve tek bimli iskandiller ile ölçümler yapılmaktadır. Çok bimli akustik iskandiller yardımıyla derinlik profili daha kısa zamanda ve daha hassas olarak elde edilmektedir (Aydın, vd., 2005). Bim sayısının artmasıyla hassasiyet de artmaktadır. Ayrıca çok bimli akustik iskandil ile bölge için daha fazla ayrıntı elde edilebilmektedir. Çok ve tek bimli iskandillerle yapılan çalışmalara ait karşılaştırmalar altıncı bölümde ele alınmıştır.

4.1.1 Çalışma Prensipleri

Su yüzeyinden transdüser aracılığıyla sesin sudaki hızına bağlı sinyaller su tabanına doğru yönlendirilmektedir. Su tabanından yansıyan ekonun, sinyalin çıkış zamanı ile geliş zamanı arasındaki sürenin yarısıyla sudaki ses hızını çarparak aletle su tabanı arasındaki o anki derinlik değeri belirlenmektedir (4.1) (IHO,2005).

$$H = V \cdot t / 2 \quad (4.1)$$

Ses hızı, ses hız ölçer tarafından suyun sıcaklığı, tuzluluğu ve derinliğe bağlı olarak hesaplanmaktadır. Ses hızı değerinin hesaplanmasıyla tek bimli veya çok bimli akustik iskandil sistemi sayısal veya grafik olarak anlık derinlik bilgisini vermektedir.

4.1.2 Hata Kaynakları

Akustik iskandil sistemlerinde hassasiyetin yakalanabilmesi için derinlik bilgisi ile birlikte birçok faktörde belirlenmelidir.

Çok bimli iskandil sistemleriyle, özellikle derin sularda geniş bir alan tarandığında, deniz tabanındaki iskandil değeri ile GPS sisteminin anteni arasındaki mesafe çok büyük olabilir. Bu sebeple iskandil değerlerinin mevki doğruluğu, aynı zamanda gyro pusula ile sağlanan yön doğruluğuna, bim açısına ve su derinliğine bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca yalpa, bat-çık miktarı, tekne eğimi, sıfır seviyesi farkı vb. etkenlerde iskandil değeri doğruluğunda etkili olmaktadır.

Bununla beraber dik olmayan bimler kullanımı, sonar bimlerinin transmisyon ve alımı sırasındaki yanlış gemi oryantasyonu gibi etkenlerin neden olduğu ilave hatalar da ortaya çıkabilmektedir (IHO, 2008).

Hata kaynakları genel olarak 7 adımdan oluşmaktadır;

- Mevki bulma sistemi hatası,
- Derinlik ölçme hatası,
- Işın yolu modeliyle birleşen belirsizlik,
- Ölçüm teknesi pruvasındaki hata,
- Transdüserin doğru monte edilmemesinden kaynaklanan sistem nokta hataları
- Gemi hareket sensörünün (yalpa, bat-çık miktarı, eğim) hatası,
- Aletler arası senkronizasyonun sağlanamaması.

Bu hataların tespitinde kullanılan tüm aletlerin senkronize bir şekilde çalışmasıyla bir kaç cm'lik hassasiyet yakalanmaktadır.

5. KONUM VE DERİNLİK ÖLÇÜMLERİNDEKİ STANDARTLAR

Türkiye’de hidrografik ölçmelere verilen önem 1999 Marmara Depreminden sonra daha da artmıştır. 2004 yılında temeli atılan ve deniz işlerinin 2009’ da bitmesi planlanan Marmaray Tüp Geçit Projesi’nde de her aşamada hidrografik ölçmelerin gerekliliği görülmektedir. Ülkemizde hidrografik ölçmeler kamu ve özel kurumlar tarafından, farklı ölçme aletleri ve yöntemleri kullanılarak farklı hassasiyet ve güvenilirlikte yapılmaktadır. Her kurum, kendi standartlarına bağlı ölçümler yapmaktadır. Bunun sonucunda değişik standartlar ortaya çıkmaktadır. Genel olarak uygulamalarda Dz.K.K.Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı tarafından hidrografik harita üretiminde kullanılan Uluslararası Hidrografi Örgütü (IHO)’nün S44 ölçme standartları kullanılmaktadır. Hidrografik ölçmelerde ulusal standartların oluşturularak, işin niteliğine ve alanın özelliklerine göre ölçmelerde kullanılacak alet ve yöntemler belirlenerek hidrografik haritalar üretilmelidir. 1921 yılında kurulmuş olan Uluslararası Hidrografi Bürosu ’nun (IHB), 1970 yılında üye ülkelerce ismi IHO olarak değiştirilmiştir. IHO ’nün görevi, hidrografi dairelerinin koordinasyonunu sağlamak, deniz haritası üretiminde standardizasyonu oluşturmak ve hidrografik ölçmelerin yapılması için güvenilir ve etkili yöntemler tespit etmektir. Türkiye 1969 yılında bu kuruluşa üye olmuştur. Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı (SHOD), IHO faaliyetlerinde Türkiye’yi temsil etmektedir. Uluslararası Hidrografi Örgütü (IHO) içerisinde çok sayıda çalışma grupları bulunmaktadır. IHO, “Özel Yayın No:44” adı altında hidrografik ölçmelerde uyulması tavsiye edilen standartları güncellemeler yaparak yayınlamaktadır.

5.1 IHO Standartlarına Göre Ölçüm Alanlarının Sınıflandırılması

Hidrografik ölçümü yapılacak alanlar, doğruluk gereksinimlerine göre dört dereceye ayrılmıştır.

5.1.1 Özel Derece

Özel derece hidrografik ölçümler mühendislik standartlarına ulaşmaktadır. Kullanımlarının, dip yapısının gemiler için potansiyel tehlike oluşturduğu bölgeler ile sınırlandırılması hedeflenmiştir. Limanlar, iskeleler ve kanallar örnek olarak verilebilir. Hata kaynakları en aza indirgenmiştir. %100 dip araştırması için, birbirine yakın hatların, çok transdüserli veya yüksek çözünürlüklü çok bimli akustik iskandillerle birlikte kullanımını içermektedir. Kullanılan iskandil sistemleriyle 1 metreküpten büyük cisimler ayırt edilebilmektedir.

5.1.2 1a. Derece

Limanlar, önerilen hatlar, iç kanallar ve yoğun ticari trafik olan kıyı bölgeleri gibi, omurga altı geçişinin özel dereceye göre daha az kritik olduğu ve dip yapısının jeofiziksel özelliklerinin gemiler için daha az tehlikeli olduğu bölgeler için amaçlanmıştır. 1a. Derece ölçüm alanlarının derinliği, 100 m 'den az olan alanlarla sınırlandırılmaktadır. Dip araştırması Özel derece kadar hassas olmasa da, dip karakteristiği ve su altında bulunan engel riskinin gemiler için potansiyel tehlike oluşturduğu alanlarda, dip araştırması daha hassas yapılmalıdır. Kullanılan iskandil sistemleriyle, 40 m derinliğe kadar 2 metreküpten, 40 m 'den derin bölgelerde derinliğinin %10'undan daha büyük cisimlerin tespiti yapılmalıdır.

5.1.3 1b. Derece

1b. Derece hidrografik ölçüm alanları, Özel Derece ve 1a. derece alanların dışında kalan, 200 m 'den sığ ve o bölgede çalışması beklenen gemi tiplerini tehlikeye sokacak sualtı engellerinin olmadığını belirleyecek bölgeler için amaçlanmıştır. Dip karakteristiği ve sualtında bulunan engelin geçiş yapacak gemiler için potansiyel tehlike oluşturacağı alanlarda, tam dip araştırması yapılmaktadır.

5.1.4 2. Derece

2. derece hidrografik ölçüm alanları, Özel Derece, 1a. ve 1b. Derece alanların dışında kalan 200 m'den daha derin bölgeler için amaçlanmıştır. Çizelge 5.1'de minimum standartlar verilmiştir.

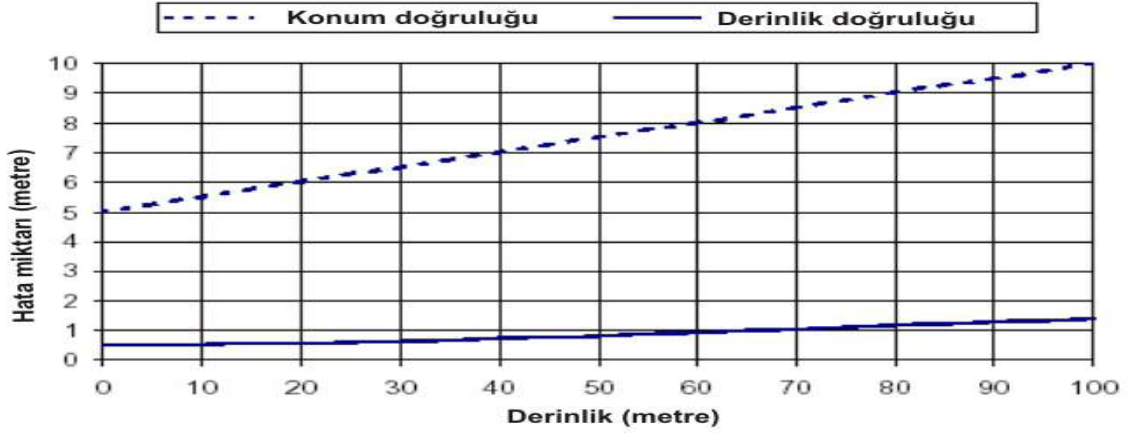
Çizelge 5.1 Hidrografik ölçme alanları için minimum standartların özeti (IHO,2008)

DERECE	Özel	1a	1b	2
Saha Örnekleri	Limanlar, yanaşma yerleri	Limanlar, tavsiye edilen kanallar ve derinliği 100 m.'ye kadar olan bazı kıyıları	Özel Derece ve 1. Derece ile kapsanmamış veya derinliği 200 m.'ye kadar olan alanlar	Özel Derece, 1. ve 2. Derece ile kapsanmamış denizler
Konum Doğruluğu (%95 güvenilirlik)	2 m.	5 m. + derinliğin %5'i	5 m. + derinliğin %5'i	20 m. + derinliğin %5'i
İndirgenmiş Derinlikler İçin Derinlik Doğruluğu (%95 güvenilirlik)	a = 0.25 m. b = 0.0075	a = 0.5 m. b = 0.013	a = 0.5 m. b = 0.013	a = 1.0 m. b = 0.023
%100 Dip Araştırması	Zorunlu	Zorunlu	Zorunlu Değil	Uygulanmaz
Sistem Tespit Kabiliyeti	1metreküpten büyük cisimler	40 m.'den sığ derinliklerde 2 metreküpten; 40 m.'den sonra derinliğin %10'undan büyük engeller	Uygulanmaz	Uygulanmaz
Maksimum Hat Aralığı	%100 dip kaplaması zorunlu olduğu için uygulanmaz	%100 dip kaplaması zorunlu olduğu için uygulanmaz	Ortalama derinliğin 3 katı veya 25m.	Ortalama derinliğin 4 katı

Derinlik doğruluğunun hata limitlerini belirlemek için;

$$md = \pm \sqrt{[a^2 + (b \times d)^2]} \quad (5.1)$$

Sabit derinlik hatası (a), derinliğe bağlı hataların toplamı (bxd), derinliğe bağlı hata faktörü (b), derinlik (d) ve %95 güvenirlilik seviyesine uygun derinlik doğruluğu (md) olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.1 %95 Güvenirlilik seviyesine uygun maksimum hata grafiği (NOS, 2000)

5.1.5 Konumlama

Konum hatası (%95 güvenirlilikte) ölçüm alanı verileriyle birlikte kaydedilmelidir (IHO,2008).

Koordinat sistemi olarak WGS-84 kullanımı, dönüşümlerde yaşanabilecek problemleri de ortadan kaldırmaktadır. Verilerin toplanmasından önce ve sonra klasik yöntemlerle gerekli kalibrasyonlar yapılmalıdır.

Sahilde bulunan referans noktaları, jeodezik ölçme metotlarıyla 1/100000 doğruluğunda tespit edilmelidir. Bu noktaların tespitinde GPS sistemleri kullanıldığında, hata miktarı % 95 güvenirlilikte 10 cm'yi aşmamalıdır.

5.1.6 Veri Kalitesi

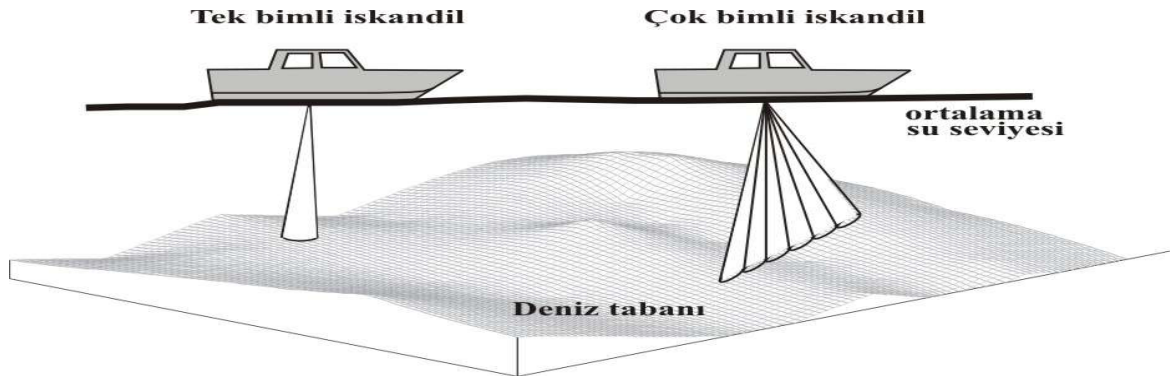
IHO tarafından, veri kalitesinin belirlenmesi için bazı bilgilerin kaydedilmesi istenmiştir. Böylece toplanan verilerin daha sonra başka kullanıcılar tarafından kullanımı için kolaylık sağlaması amaçlanmıştır.

- Tarih, alan, kullanılan cihazlar, ölçüm alanı bölgesi ve ismi
- Kullanılan datum, elipsoit, koordinat sistemleri
- Yapılan kalibrasyonlar ve sonuçları
- Sesin sudaki hızının ölçümü
- Gel-git bilgileri

Bu bilgilerin ölçüm verilerine eklenmesi önerilmektedir. Bu şekilde verilerin depolanmasında çıkabilecek karışıklıklar önlenebilecek, ileriki zamanlarda ihtiyaç halinde tekrar kullanılabilir.

5.1.7 Derinlik Ölçümü

Derinlik ölçümleri gerçek zamanlı veri toplama sistemleri kullanılarak tek bimli veya çok bimli iskandiller ile yapılmaktadır (Şekil 5.2). Çok bimli akustik iskandiller ile ölçüm sahasının derinlik taraması daha kısa zamanda ve daha hassas olarak elde edilmektedir.



Şekil 5.2 Tek bimli ve çok bimli akustik iskandiller (Aydın, vd., 2005)

5.1.8 Yatay ve Düşey Kontrol Noktalarının Seçimi

Hidrografik ölçmelerde, ölçme yapılacak bölge yakınlarındaki Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) noktaları, 1. derece nirengiler ve çeşitli araklıklarla kalibresi yapılan pilyeler, yatay konum noktası olarak kullanılmaktadır.

Düşey datum için, ortalama su seviyesi alınmaktadır. Gel-git değerleri bölgeye yakın olan mareograf istasyonlarından temin edilebilir.

5.2 DSİ Tarafından Hidrografik Harita Yapımında Uygulanan Yöntem ve Esaslar

5.2.1 Yatay ve Düşey Kontrol Noktalarının Seçimi

Haritası yapılacak olan barajın çevresini kapsayacak şekilde yeteri sıklıkta nirengi ve poligon noktası tesis edilmektedir. Noktalar GPS ile ölçülmekte ve ülke sisteminde ED50 datumunda koordinat değerleri hesaplanmaktadır.

5.2.2 Derinlik Ölçümü

Derinlik ölçmeleri 20 cm doğruluğu sağlayacak şekilde iskandil latası, el iskandili veya akustik iskandil aletleriyle yapılmaktadır. İskandil latası derinliği en fazla 3 metre olan sularda kullanılmaktadır. Bu ölçme için 4 metrelik miralar kullanılabilir. El iskandili, zorunlu durumlarda derinlikleri 10 metreye kadar olan sularda kullanılmaktadır. Doğrudan sonuç veren derinlik ölçme aletleri ile mümkün olduğunca düşey doğrultuda ölçüm yapılması gerekmektedir. ELAC Hydrostar 4300 akustik iskandil aleti, tek bimli, 0.2-1000 metre menziline sahip, çift frekanslı, 33kHz 'de 1 cm çözünürlüğe ulaşan, grafik kağıda çizebilen ve sayısal olarak verileri bilgisayara aktarabilen bir derinlik ölçme aletidir.

5.2.3 Konum Belirleme

Konum belirlemede uygulanan yöntemler;

- Sekstant ile sahil hattındaki en az 3 yatay kontrol noktasına sol ve sağ açılar ölçülerek grafik geriden kestirme yöntemi,
- En az 2 yatay kontrol noktasından, tekneye monte edilmiş işarete önden kestirme yöntemi,
- Takeometrik yöntem,
- Radyo modem kullanılarak infrared elektronik takeometre yöntemi,
- RTK-GPS yöntemidir.

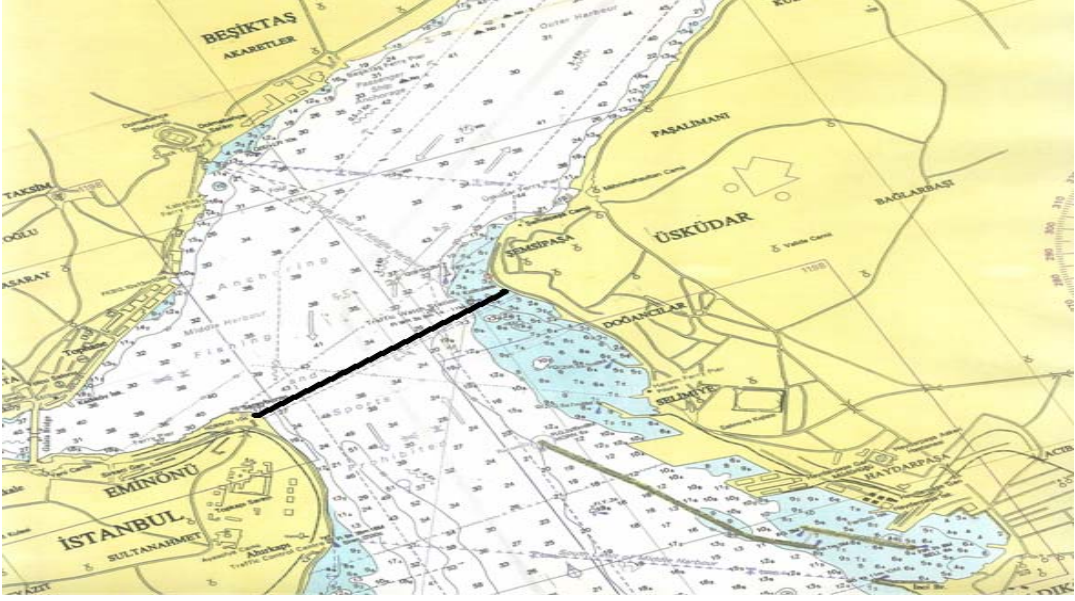
5.2.4 Hidrografik Haritalar

Hidrografik ölçmeler sonucu ED-50 datumunda ve dilim orta meridyeni 3 derecelik olan haritalar üretilmektedir.

6. UYGULAMALAR

Uygulama Marmaray Tüp Geçit Projesi kapsamında batırılacak tüplerin bölgelerinin hazırlanması aşamalarında yapılan ölçmelerden oluşmaktadır.

Çalışma bölgesi Üsküdar ile Sarayburnu arasındaki 1.4 km 'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 6.1). Çalışmalar 17 adet gemi ve tekneden oluşan bir filoda gerçekleştirilmiştir.

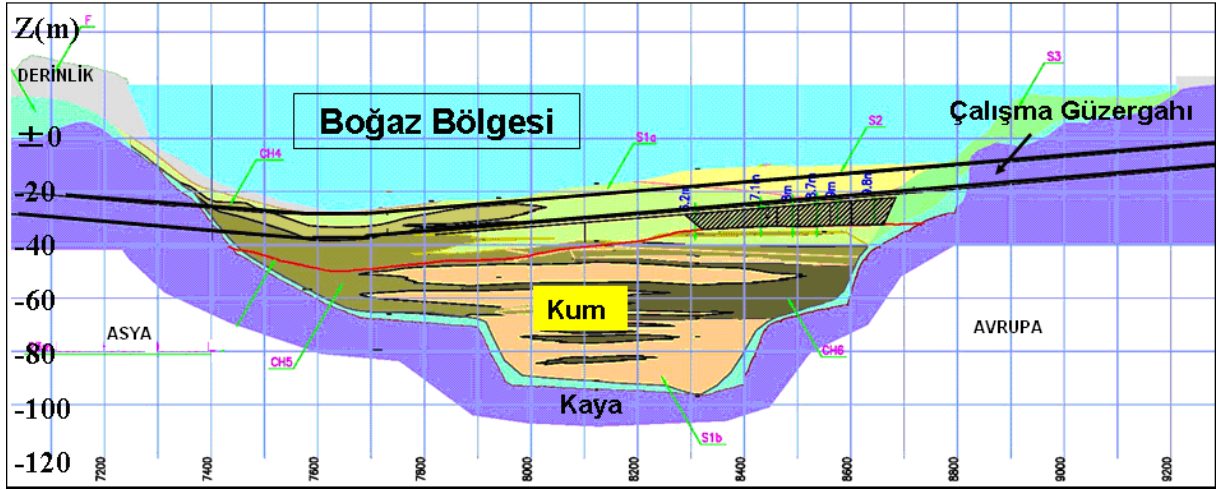


Şekil 6.1 İstanbul Boğazı çalışma bölgesi

Çalışma bölgesi, stratejik konumu nedeniyle gemi trafiğine kapatılmamıştır (Şekil 6.2). Yoğun trafik altında yapılan tüm hidrografik ölçümlerde yüksek hassasiyet yakalayabilmek için tüm aletlerin gerekli kalibrasyonları yapılmıştır.



Şekil 6.2 İstanbul Boğazı çalışma bölgesi hava fotoğrafları



Şekil 6.3 İstanbul Boğazı çalışma güzergahına ait derinlikler ve doğal tipkesit

Şekil 6.3'te görüldüğü gibi ölçmeler İstanbul Boğazı'nda maksimum 60–61 metre derinliğe kadar yapılmıştır. Büyük Ada bölgesinde ise 65 metre derinliğe kadar ölçümler yapılmıştır. Deniz tabanının büyük kısmının kum olması nedeniyle kazı işleri kolayca yapılmış ve genelde ölçümlerde herhangi bir parazit olmadan sorunsuz tamamlanmıştır.

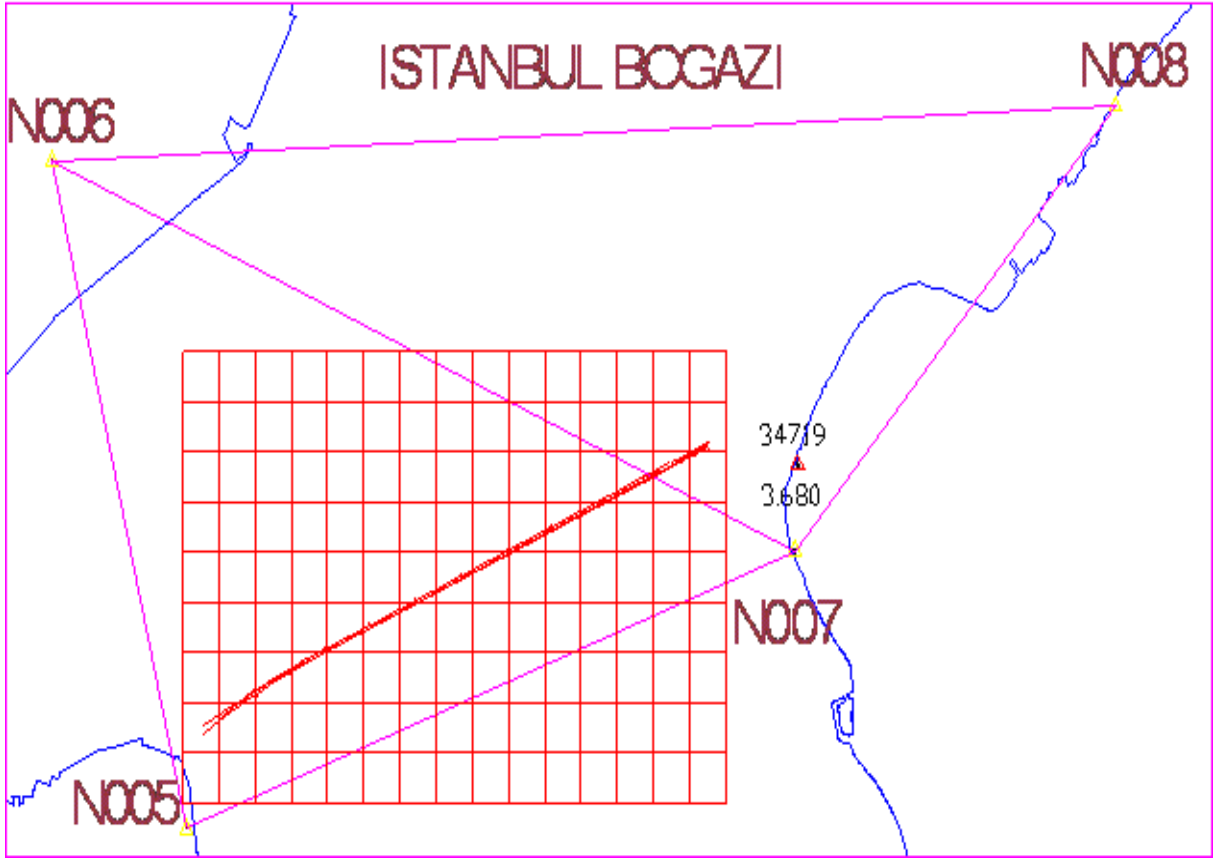
Çalışma bölgesi ve çevresinde birçok ölçüm yapılmıştır. Bu ölçümler akıntı hızı ölçümleri, batimetrik ölçümler, deniz taban taraması ölçümleri, sonar ölçümleri, ses hızı ölçümleri, deniz seviyesi ölçümleri, GPS ölçmeleri, kara ölçümleri gibi birçok ölçmeden oluşmaktadır. Bunların büyük kısmını akıntı hızını belirleme ölçümleri ve batimetrik ölçümler oluşturmaktadır. Bu ölçmelerde sonuçlara etki eden faktörler belirlenmiş ve ölçmelerin hassasiyetleri araştırılmıştır. Tüm ölçüm çalışmaları öncesi ve sonrasında yapılan işlemler anlatılmıştır. Kurulum, ölçüm ve değerlendirme aşamalarında önemli adımlar belirlenmiştir. Batimetri ölçümlerine etki eden ses hızı ölçümleri farklı saat ve günlerde yapılarak kendi aralarındaki farklar ve ölçüme etkileri karşılaştırılmıştır. Kısaca bu ölçmeler ile Marmaray Projesi kapsamında yapılan deniz işlerinde yüksek hassasiyet yakalanması hedeflenmiştir.

6.1 İstanbul Boğazı Çalışma Bölgesi GPS Çalışmaları

İstanbul Boğazı çalışma bölgesinde yapılan çalışmalarda konum belirleme yöntemi olarak RTK-GPS yöntemi esas alınmıştır. Proje kapsamında çalışan tüm deniz araçlarına RTK-GPS sistemi kurulmuş ve her araca GPS ile uyumlu çalışabilen program ve haritalar yerleştirilmiştir. Akıntı ölçmeleri, batimetrik ölçmeler, çapa işleri, kazı, dolgu ve düzleme işleri gibi cm hassasiyeti gerektiren birçok işte RTK-GPS yöntemi kullanılmıştır.

6.1.1 Çalışma Bölgesi için Dönüşüm Parametrelerinin Hesaplanması

Proje datumu ED-50 datumu olduğu için WGS-84 datumundan ED-50 datumuna dönüşüm gerçekleştirilmiştir. Parametreler iki boyutlu ve üç boyutlu olarak hesaplanmıştır. Statik GPS ölçümü 5 nirengide yapılmıştır (Şekil 6.4). Nirengi noktaları çalışma bölgesini tamamen kapsamakta ve çalışma bölgesi çevresindeki sahillerde bulunmaktadır. Statik ölçüler aynı zamanda başlatılan 8 saatlik ölçümlerden oluşmaktadır. Ölçümler 5 adet Trimble 5700 GPS ile yapılmıştır. GPS verilerinin değerlendirilmesi ve dengelemesi Trimble Tgoffice programında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.4 Ağ tasarımı, kontrol nirengileri ve çalışma bölgesi

Çizelge 6.1 Çalışma bölgesi nirengi noktalarına ait WGS-84 Sistemi'ndeki koordinatlar

Nokta	N.5	N.6	N.7	N.8
Enlem	41°00'58,21761"N	41°01'41,23232"N	41°01'16,76699"N	41°01'45,84787"N
Boylam	28°59'12,56354"E	28°58'56,00232"E	29°00'24,14848"E	29°01'01,65106"E

Çizelge 6.2 Çalışma bölgesi nirengi noktalarına ait ED–50 Sistemi’ndeki koordinatlar

Nokta	N.5	N.6	N.7	N.8
X	4543049,509m	4544380,988m	4543602,530m	4544489,742m
Y	414810,697m	414439,196m	416489,854m	417376,167m
H	43,203m	72,900m	41,353m	40,029m

Çizelge 6.3 Çalışma bölgesi nirengi noktalarına ait dengelenmiş WGS–84 ve bilinen ED–50 Sistemi’ndeki koordinatlar

Nokta	WGS–84 Dengelenmiş Koordinatlar		ED–50 Koordinatlar	
	Y	X	Y	X
N.6	414404.904	4544195.215	414439.198	4544380.992
N.5	414776.396	4542863.748	414810.696	4543049.504
N.7	416455.538	4543416.756	416489.856	4543602.533
N.8	417341.845	4544303.956	417376.164	4544489.740

6.1.1.1 Çalışma Bölgesine Ait 2 Boyutlu Dönüşüm Parametreleri

Çalışma bölgesi koordinat dönüşümlerinde kullanılmak üzere 2 boyutlu dönüşüm parametreleri hesaplanmıştır.

Dönüşüm parametreleri hesabı Topcon Pinnacle programında yapılmıştır. Parametreler kullanılarak (2.2) eşitliği ile WGS–84 koordinatları hesaplanmıştır.

Çizelge 6.4 Çalışma bölgesi için hesaplanan 2 boyutlu dönüşüm parametreleri

Parametre	Hesaplanan
a	1.000010155422
b	-0.000003893833
tx	138,011520964196
ty	47,778077370152

6.1.1.2 Çalışma Bölgesine Ait 3 Boyutlu Dönüşüm Parametreleri

İstanbul Boğazı çalışmaları hidrografik ölçmelerinde kullanılmak üzere 3 boyutlu dönüşüm parametreleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar Trimble Tgoffice programından yararlanarak belirlenmiştir. (2.3) formülüne dayalı olarak parametreler hesaplanmıştır (Çizelge 6.5).

Çizelge 6.5 İstanbul Boğazı için hesaplanan 3 boyutlu dönüşüm parametreleri

Delta X	84,00
Delta Y	102,31
Delta Z	129,88
Rx	1,00000
Ry	0,01830
Rz	0,00030
Delta S	0,47380

Navigasyon programları ölçüm yapacakları koordinat sistemine ait parametrelere ihtiyaç duymaktadır. Çalışma bölgesi çalışmalarında Çizelge 6.6' da verilen parametreler kullanılmıştır. Bu parametreler tüm hidrografik çalışmalarda kullanılan programlarda kontrollü bir şekilde girilmiştir.

Çizelge 6.6 Çalışma bölgesi parametreleri

Dilim Orta Boylamı	30°00'00,0000"E
Referans Enlemi	00°00'00,0000"N
Dilim Genişliği	3
Ölçek Faktörü	1

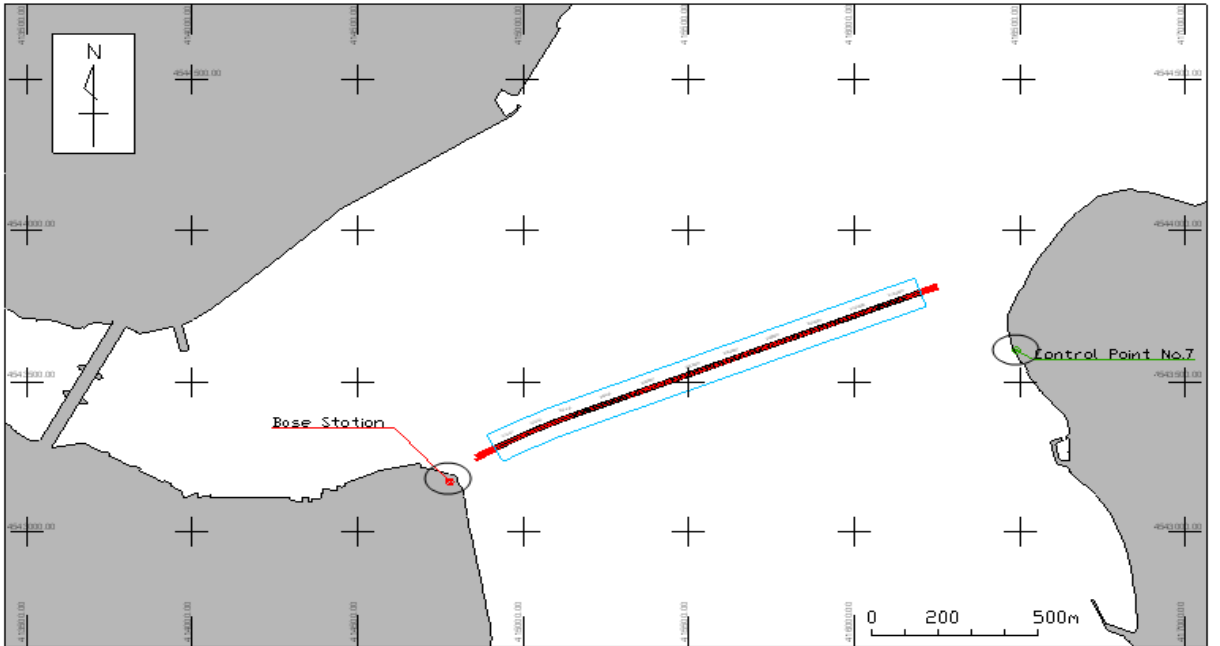
6.1.2 Çalışma Bölgesi RTK-GPS Sistemi

RTK-GPS baz istasyonu Sarayburnu civarında 18 metre civarında bir kuleye kurulmuştur. Kule, mevki olarak çalışma bölgesine hakim ve sinyal yansımalarının en az olabileceği bir konumda inşa edilmiştir (Şekil 6.6).

İstanbul Boğazı ve çevresinde birçok iş için kullanılan RTK yönteminde düzeltme denklemlerinin kesintiye uğramaması için baz istasyonu için 5 Watt büyüklüğünde harici modem kullanılmıştır (Şekil 6.5). Frekans ise 443.1375 mHz seçilmiştir.



Şekil 6.5 Baz istasyonunda kullanılan harici modem

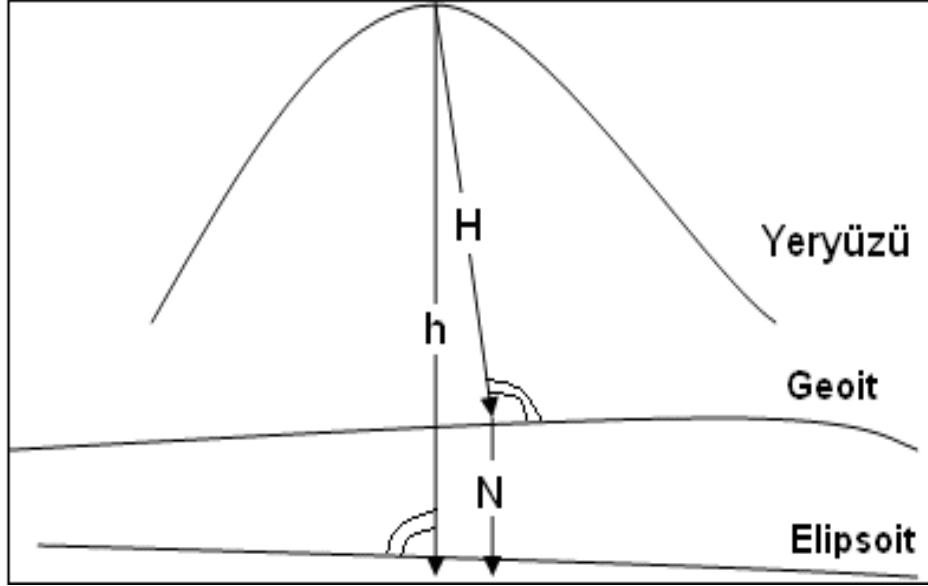


Şekil 6.6 Baz istasyonu ve kontrol noktası

Baz istasyonunun kalibrasyonu için daha önceden kotu ve koordinatını bilinen N.7 noktasına RTK-GPS kurulmuş ve 2 dakikalık ölçüler alınmıştır. Modem aracılığıyla baz istasyonundan gelen düzeltme sinyallerinin doğruluğu teyit edilmiştir.

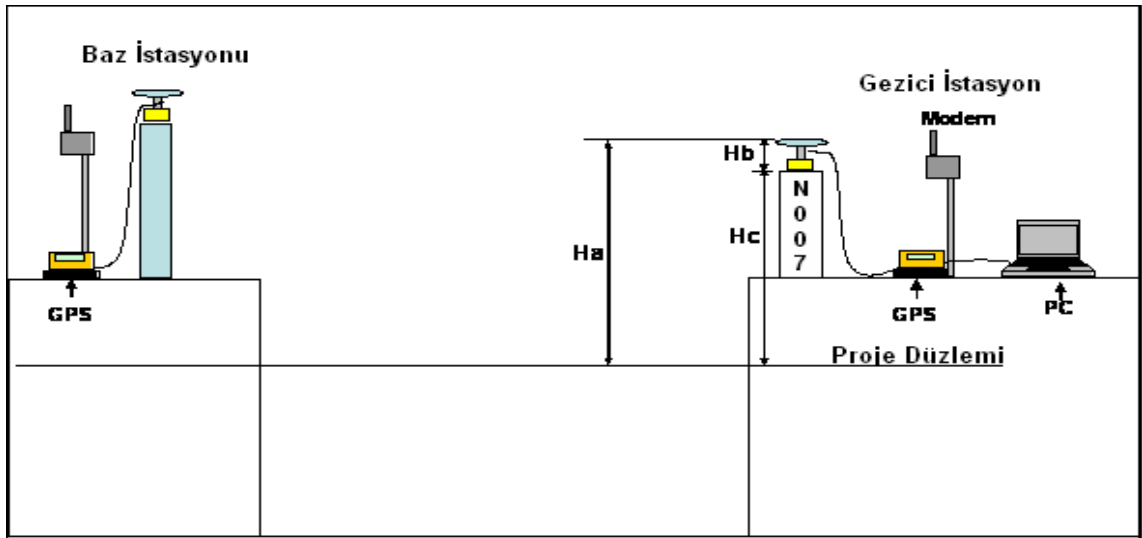
6.1.3 RTK-GPS ile Yüksekliğin Belirlenmesi

GPS ile geometrik yüksekliklerin belirlenmesi için yine RTK-GPS yöntemi kullanılmıştır. Statik GPS ölçmeleriyle elde edilen elipsoidal yükseklikler ve klasik yöntemlerle elde edilen yükseklikler ile geoid ondülasyonu belirlenmiştir.



Şekil 6.7 Elipsoidal yükseklik, ortometrik yükseklik ve geoid ondülasyonu arasındaki ilişki

İstanbul Boğazı çalışma bölgesi için geoid ondülasyonu değeri 36.41 m olarak hesaplanmıştır. GPS anteninin ortometrik yüksekliği klasik yöntemlerle hesaplanmıştır. Bu değerlere dayalı olarak baz istasyonunun elipsoidal yüksekliği girilmiştir. RTK-GPS yöntemiyle belirlenen yükseklik değeri test ölçümleri yapılarak kalibre edilmiştir (Şekil 6.8).



Şekil 6.8 Çalışma bölgesindeki RTK-GPS ile elde edilen yüksekliğin kalibrasyonu

Şekil 6.8' den;

Ha: RTK-GPS 'le elde edilen referans yüzeyi ile anten arasındaki yükseklik

Hb: Anten yüksekliği

Hc: Nirengi noktasının ortometrik yüksekliği

Proje düzlemi: Geoit

Buradan;

$$Hc-(Ha-Hb) < (+/-) 10 \text{ cm sağlaması aranmıştır.} \quad (6.1)$$

(6.1)'de verilen 10 cm eşitliği proje şartnamesinde belirtilmiştir. Şekil 6.8 'deki test ölçümü ayda birkaç kez tekrarlanarak proje toleransları korunmuştur.

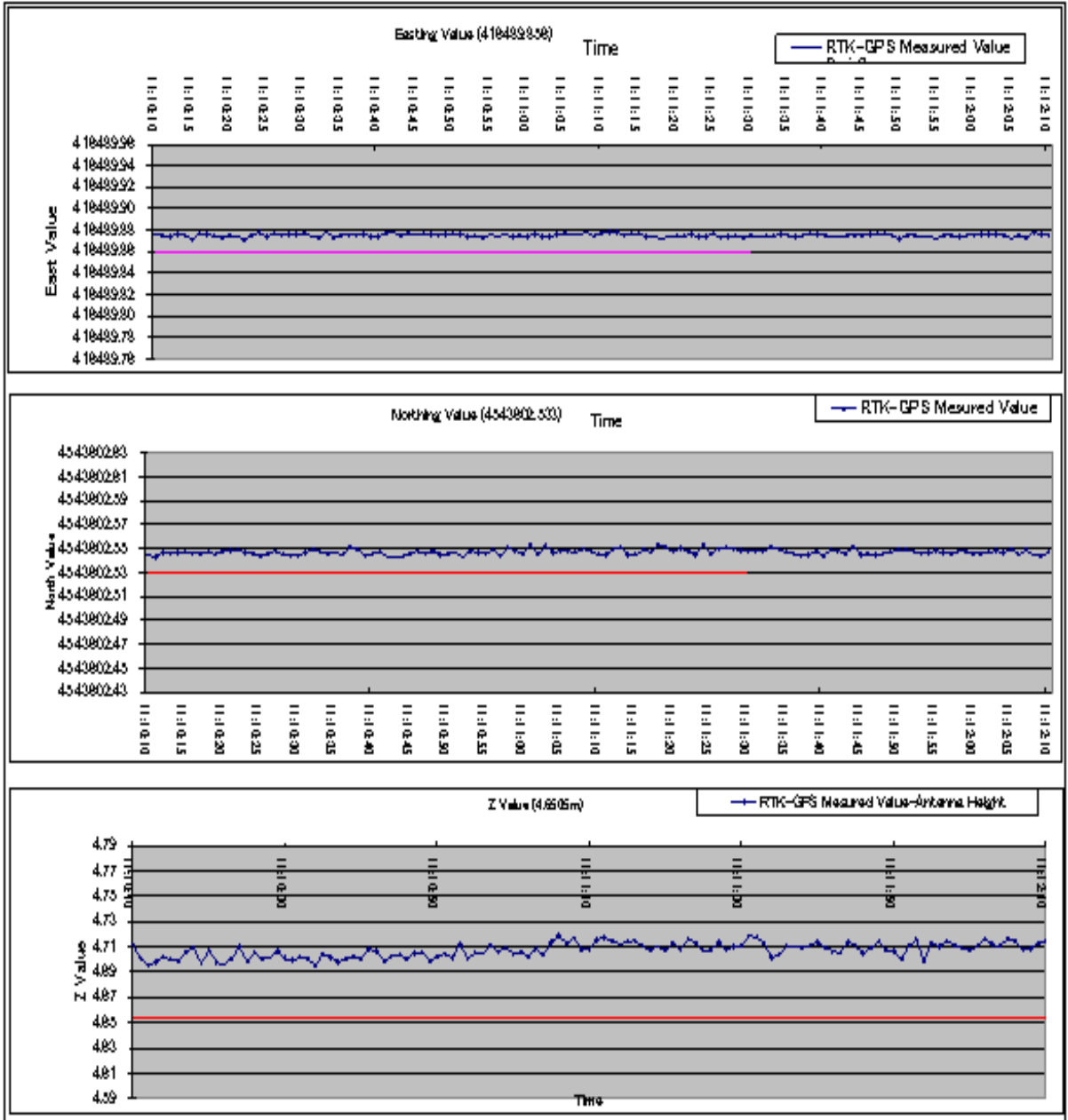
6.1.4 Çalışma Bölgesine Ait GPS Kalibrasyonları

BAZ İSTASYONU					
Baz Noktası ID:SB-1	GPS Tipi	Anten Yüksekliği (m)	Baz İstasyonu Koordinatları		
			X m	Y m	Z m
	Hiper GGD	1.88	414778.008	4543186.353	17.804

GEZİCİ ÜNİTE					
Kontrol Noktası ID:No.7	GPS Tipi	Anten Yüksekliği (m)	Baz İstasyonu Koordinatları		
			X (A) m	Y (B) m	Z (C) m
	GB-500	0.16	416489.856	4543602.533	4.861
	Data Sayısı	GPS Tarafından Ölçülen Ortalama Değerler			
	121	X (A') m	Y (B') m	Z (C') m	
		416489.871	4543602.550	4.861	

Sonuçlar		
Fraklar		
X (A-A')m	Y (B-B')m	Z (C-C')-Anten Yüksekliği (m)
-0.015	-0.017	-0.050

Şekil 6.9 Çalışma bölgesindeki çalışmalara ait RTK-GPS kontrol tutanağı (22.05.2008 kalibrasyonu)



Şekil 6.10 Çalışma bölgesine ait RTK-GPS verilerinin anlık değişimleri ve karşılaştırmaları (22.05.2008 kalibrasyonu)

Şekil 6.9 ve Şekil 6.10 'da görüldüğü üzere x,y,h yönündeki değişimler saptanmıştır. 22.05.2008 tarihinde yapılan bu çalışmada 121 adet anlık RTK-GPS verilerinin olması gereken x ve y değerlerinden yaklaşık 2 cm farklı olduğu görülmüştür. Elde edilen yükseklikte ise ortalama 5 cm fark tespit edilmiştir. Şekil 6.10' dan anlaşıldığı üzere yükseklik verisindeki sapmalar x ve y yönündeki sapmalardan daha büyük olmuştur. RTK-GPS kontrolleri sonrası istenilen hassasiyetler yakalandığı takdirde çalışmalara başlamış ve sık aralıklarla kontroller devam etmiştir. Birçok farklı kullanım modeli oluşturulmuş ve tüm işlerde yüksek konum doğruluğu yakalanmıştır.

6.1.5 RTK-GPS Ölçme Yöntemi Uygulaması

Sabit olmayan zeminlerde istenilen doğruluğun elde edilmesi ve anten uzaklığına bağlı olmayan konumlama işlemleri için bu uygulama yapılmıştır. Anlık konum belirleme birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir.

Doğruluğun yüksek olmasını istediğimiz mühendislik çalışmalarında RTK yöntemi en çok tercih ettiğimiz kesintisiz bir navigasyon yöntemidir. Tabi ki uydu sayısının yeterli olduğunu, GPS'in kurulu olduğu çevrenin olumsuz etkilerinin az olduğunu düşünürsek kullanabileceğimiz en iyi navigasyon sistemi olmaktadır. Tabi bu yöntem bilgisayar programlarıyla senkronize edilip, data aralıkları belirlenip, alıcıdan gerekli koordinatları istenilen formatta alınıp, çalışmak istenilen koordinat sistemine ayarlanmasıyla ihtiyaçlara cevap vermektedir. Bu yüzden sadece ölçme yöntemi için değil, birçok faktör incelenerek alıcılar seçilmelidir.

Örnek olarak 42 metrelik bir boma sahip vinç düşünürsek ve bomun indireceği malzemenin yerini tespit etmek istersek, nelere ihtiyaç duyacağımızı planlamamız gerekmektedir.

6.1.5.1 Yöntem

Öncelikle konumlamanın nasıl yapılacağı belirlenmeli ve nelere ihtiyaç olunacağına karar verilmelidir. İlk yöntemde GPS ve gyro pusula kullanarak vincin ofsetlerinden oluşan bir konumlama sistemi ele alınmaktadır. Tabi ki bu yöntemde vinç bomunun düşey açısını da saptayabileceğimiz bir ekipmana ihtiyacımız olmaktadır. Ayrıca bunların tümünü değerlendirebilecek bir navigasyon programı gerekmektedir.

İkinci yöntemde, GPS antenini bom ırgatının dik geldiği yere, bomun en üstüne kurmakla bu problemi halledilebilmektedir ama bunun için programlar ve farklı ekipmanlar gerekmektedir.

Bu iki çözüm içinden en uygun olanı ikinci çözümdür. Çünkü birincisinin yapılabilmesi için birçok pahalı ekipmana ihtiyaç duyulmaktadır. Buna ek olarak kurulum süresi de uzamaktadır. İkincisinde ise sadece GPS sisteminden yararlanılacağı için daha ucuz olması bir yana sistemi kurmak da birincisi kadar zahmetli olmayacaktır.

Konumlama sisteminin ikinci öneriyle yapmak istersek; ilk olarak yerden 42 metre uzaktaki hareketli bir yere GPS anteni kurabilmek için en az 70-80 metre anten kablosu kullanmamız gerekmektedir. Bunun mümkün olabilmesi içinde Line Amplifier denilen bir nevi veri akışını güçlendirici istasyon, anfi kullanılmaktadır (Şekil 6.11). Bu şekilde kalın kablolar kullanılarak 70-80 metrelik bir kablo elde edilebilmektedir.



Şekil 6.11 Line amplifier

Tabi ki bu yöntemi kullanabilmek için bom uzunluğunun 45 metreyi aşmaması ve kablonun bir yere takılmaması için birisinin devamlı olarak kabloyu koruması gerekmektedir. Bu yöntemin sağlıklı bir şekilde işlemesi için hassas olan GPS kablosunun zarar görmemesi ve bom uzunluğunun sabit olması gerekmektedir. Bundan dolayı zahmetli ve zor bir yöntemdir.

Diğer bir yöntem ise alıcı ve anteni bomun üstüne kurmaktır. Böylece bomun uzunluğu ve anten kablosu problemi aşılmış olacaktır. Bu yöntemde önemli olan alıcıdan gelen verinin bilgisayara aktarılmasıdır. Bunun için çeşitli çözümler vardır ama çıkış portlarının çakışmaması ve kesintisiz bir bağlantı için modem kullanmak gerekmektedir. Bir diğer önemli problem ise GPS 'in düşeyliğinin nasıl sağlanacağıdır. Çünkü bomun düşey konumda yapacağı hareketlerde açı değişeceğinden, GPS 'in konumlandıracağı yer ile malzemenin döküleceği yer arasında farklılık çıkacaktır.

6.1.5.2 RTK-GPS Alıcısının Gereksinimleri

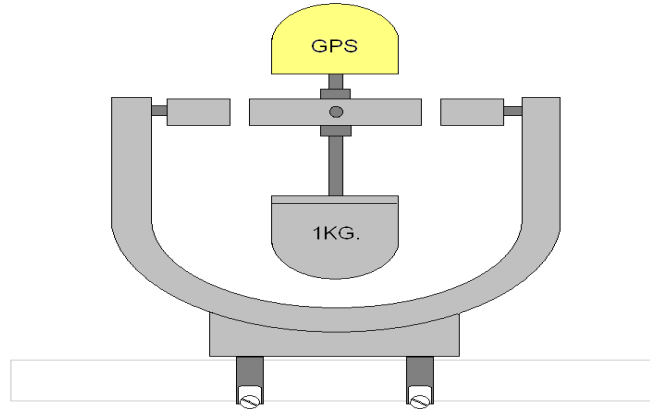
GPS alıcısında iki modem kullanılır, birinci modem baz istasyonundan gelen düzeltmeleri yapacak, ikinci modem ise alıcıdan düzeltilmiş olarak çıkan anlık konum bilgisini bilgisayara göndermemizi sağlayacaktır.

Alıcıda bulunan port özelliklerinin aşağıdaki gibi olması bu sistemin kurulabilirliğini göstermektedir.

- p power_out
- Signal ground

- I Clear to send
- 0 Request to send
- I Receive data
- O Transmit data

Bu özelliklere sahip 2 portun olması alıcının çift modem kullanımı için uygun olduğunu göstermektedir. Bu seçim yapıldıktan sonra GPS anteninin devamlı düşeyliğini sağlamak amacıyla bir ekipman daha gerekmektedir. Bunun için tarafımdan geliştirilen ismine GPS Holder ismini verdiğim basit bir düzenek tasarlanarak anten için 45 derecelik hareket kabiliyeti kazandırılmıştır (Şekil 6.12).



Şekil 6.12 GPS holder

Hazırlanan bu düzenek sayesinde bomun +/- 45 derecelik düşey hareketinde anten daima düşey kalmış ve deniz dibine yerleştirilen çuvalların koordinatları +/- 2 cm hassasiyetinde elde edilmiştir.

6.1.5.3 Sistemin Gereksinimleri

Alıcı-bilgisayar, alıcı-baz istasyonu arasındaki iletişim için 3 adet modeme ihtiyaç vardır. Bu modemlerin frekansları arasındaki enterferansı önlemek için 2 farklı frekans kullanılmalıdır ve gerekli ayarlamalar modeme de yapılmalıdır.

Bu ayarlamalar ile 2 frekans arasında 0,3625 Mhz'lik ya da daha büyük bir fark olması sistemin çalışması için yeterli olmaktadır. İsteğe bağlı olarak modeme çeşitli adreslemeler, alıcı-verici modlarının açılıp kapanması, şifre işlemleri gibi birçok ayar yapılabilmektedir. Ama en önemli olanı, frekanslar arasındaki farktır. Gerekli fark verilmediği sürece baz

istasyonundan gelen sinyal enterferans olacak ve GPS düzeltmeleri almayacaktır. Bilgisayar için modeminde desteklediği RS-232 portunun kullanılması uygundur. Burada dikkat edilmesi gereken, alıcının modemi hangi baud-rate'te desteklediğidir. Genelde baud rate 9600 kullanılmaktadır.

Bir diğer husus konumlama için program seçimidir. Bunun için birçok alternatif vardır. Birkaç örnek vermek gerekirse; Hydropro, Hypack, Mapsource, Toposurvey başta olmak üzere, birçok navigasyon programını kullanmak mümkün olmaktadır. Önemli olan programa uygun formatta alıcıdan veri alabilmektir. Bunun dışında alıcıya ek güç üniteleri eklenerek çalışma süresi arttırılabilmektedir.

6.1.5.4 Sistemin Çalışma Bölgesinde Uygulanması

Bu sistem denizin 41 metre altındaki tüplerin riske girmeden yan boşluklarının doldurulması için yapılmıştır. Yan boşluklar; tüp ile şev arasındaki boşluklardır. Riske girilmemesinin sebebi ise tremi borusu kullanıldığında borunun tüpe çarpma olasılığının olmasıdır. Her biri 500 kg ağırlığında olan ve 8 çuvaldan oluşan kütleleri navigasyon sistemiyle suyun 41 metre altına indirmek için yapılan bu sistemde, öncelik x ve y koordinatlarıdır. Yüksekliğin tespit edilmesinde vinç teli kullanılmaktadır. Vinç teli metrelerce ayrılarak boyama işlemi yapılmıştır (Şekil 6.15). Navigasyon için alıcı, modem ve program seçildikten sonra bom telin kesiştiği doğrultuya GPS Holder bağlanmış ve sistem kurulmuştur (Şekil 6.13).



Sekil 5.13 Hiper GGD alıcı, Antennex modem anteni, GPS holder ve Satel harici modem



Şekil 6.14 Vinç operatörü navigasyon ekranı ve navigasyon bilgisayarı



Şekil 6.15 Vinç telinin yükseklik kontrolü için işaretlenmesi



Şekil 6.16 Çalışma bölgesinde navigasyon sistemi kullanılarak indirilen çuvallar

6.2 Çalışma Bölgesinde Kazı, Dolgu ve Düzleme İşleri

Boğazın altına yerleştirilecek tüplerin sağlam zemine oturtulması için öncelikle gevşek olan kumlu zemin kazılarak temizlenmekte; sonra da projede öngörülen kota kadar sağlam malzeme (kaya vb.) doldurulmaktadır. Doldurulan malzeme düzlendikten sonra tüpler yerleştirilmektedir. Tüpleri yerleştirme işlemi tamamlanınca, tüplerin üzeri doğal zemin kotuna kadar (kaya vb.) malzeme ile doldurularak su altı tabanının topografyası doğal durumuna getirilmekte ve tüplere dışarıdan gelecek darbelere karşı korumaktadır

6.2.1 Çalışma Bölgesinde Dolgu İşleri

Çalışma bölgesinde çeşitli zamanlarda 2 sene süreyle dolgu işleri yapılmıştır. Dolgu işleri 1.4 km'lik alanın tamamında yapılmıştır. Dolgu işlerinde kullanılacak ekipmanların özellikleri seçilirken çalışma bölgesinin topografyası ve işin hassasiyeti dikkate alınmıştır.

6.2.1.1 Dolgu İşleri için Kullanılan Ekipmanlar ve Özellikleri

Ssonar Kongsberg Simrad Firması'na aittir (Şekil 6.19). Frekansı 675 Khz, bim genişliği $1.7^{\circ} * 1.7^{\circ} - 0.9^{\circ} * 30^{\circ}$ derece, maksimum tarama derinliği 3000 m, çözümüleme aralığı 19mm, örnekleme aralığı 2.5 mm, tarama açısı 360° ve tarama hızı 15 sn/ 360° olarak üretilmiştir.

Çalışmalarda Topcon GPS alıcıları kullanılmıştır. Kanal sayısı 40, ölçme doğruluğu yatayda 0.01 m + 1 ppm düşeyde ise 0.015 m +1 ppm 'dir. Bu aletlere ek olarak harici modem, harici modem anteni, bilgisayar ve Kongsberg Simrad Firması'na ait MS-1000 adlı ölçme programı kullanılmıştır.

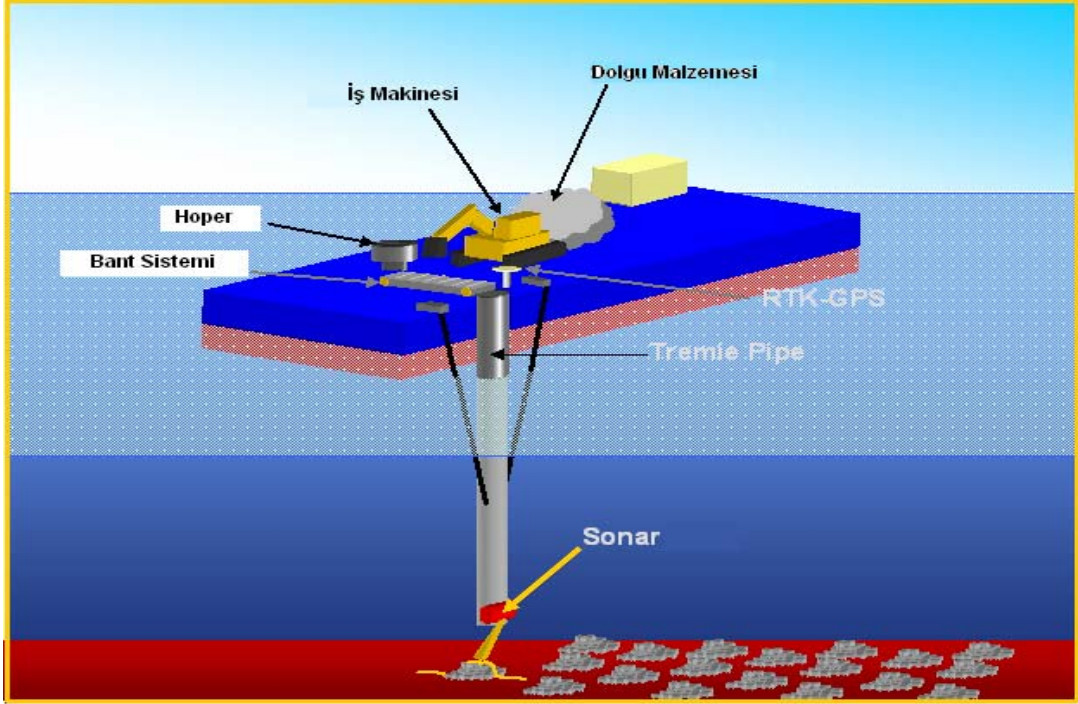


Şekil 6.19 Çalışma bölgesinde kullanılan Kongsberg marka sonar

6.2.1.2 Sonar Kurulumu

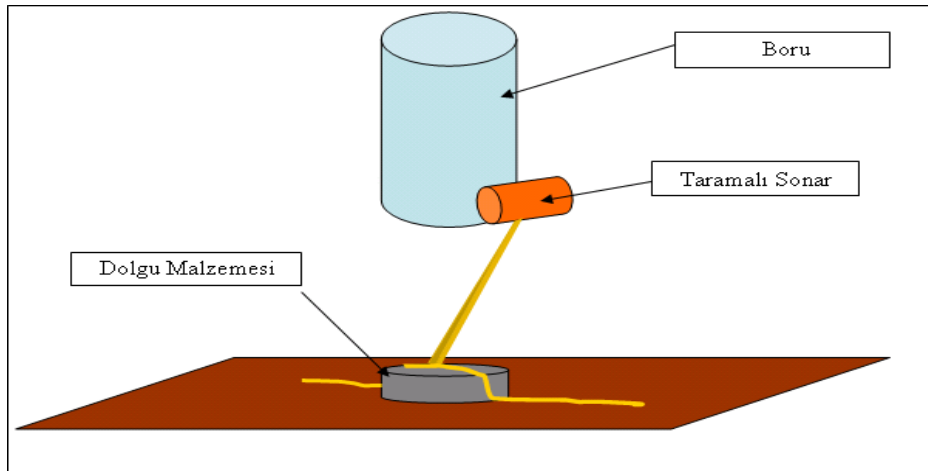
Çalışma bölgesinde kuvvetli akıntı nedeniyle deniz yüzeyinden dolgu yapmak çok zordur. İstanbul Boğazı çalışma bölgesindeki dolgu işlerinde deniz yüzeyinden bırakılan malzemenin deniz tabanına ulaşmaya kadar ortalama %80'inin dolgu yapılmak istenen noktanın dışına gittiği tespit edilmiştir. Bu problemi aşmak için Armarin 3 Gemisi'ne 36 metrelik bir boru

takılması tasarlanmıştır. Bu boru daha derin yerlerde 52 metreye kadar uzayabilmektedir. Sonar ise boru ucuna monte edilmiştir. Ölçümlerde genelde sonar ile deniz tabanı arasında 5 metrelik mesafe bırakılmıştır. Bu şekilde derinliğin azalmasıyla ölçüm hassasiyetinin artırılması sağlanmıştır.

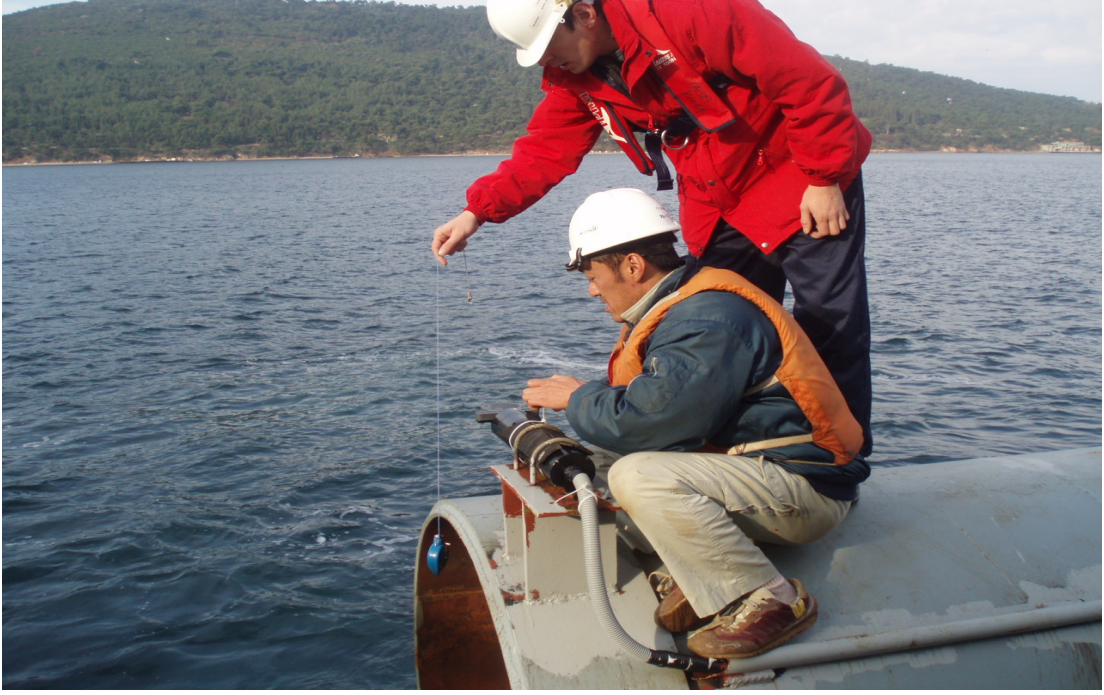


Şekil 6.20 Çalışma bölgesinde kullanılan gemi ve donanımı

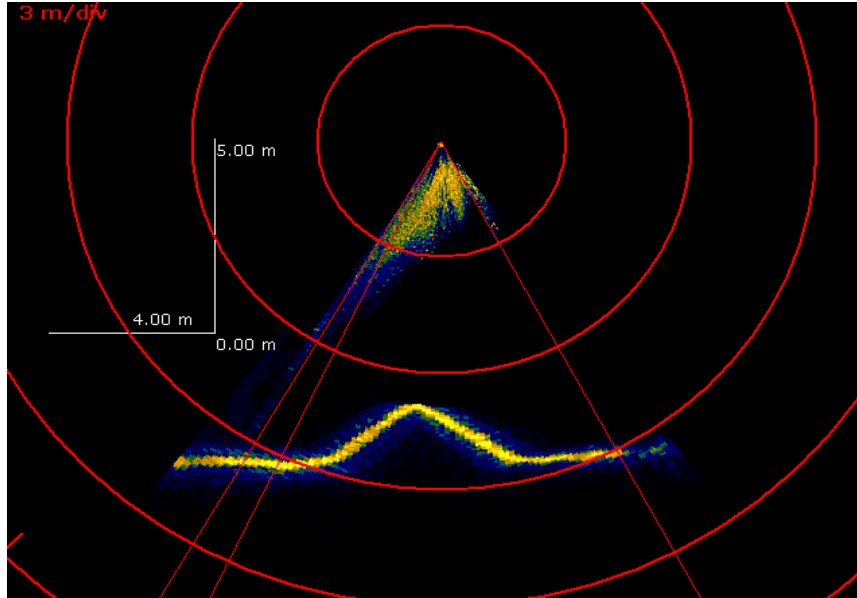
Şekil 6.20'de görüldüğü üzere sonarın tarama merkezi iz düşümüne GPS anteni yerleştirilmiştir. Sonar, boru ucuna monte edilerek borudan bırakılan taşın yüksekliklerini vermektedir.



Şekil 6.21 Çalışma bölgesi dolgu işleri ve sonar taraması



Şekil 6.22 04.01.2007 tarihinde çalışma bölgesinde sonarın bağlanması ve ofsetlerin ölçülmesi

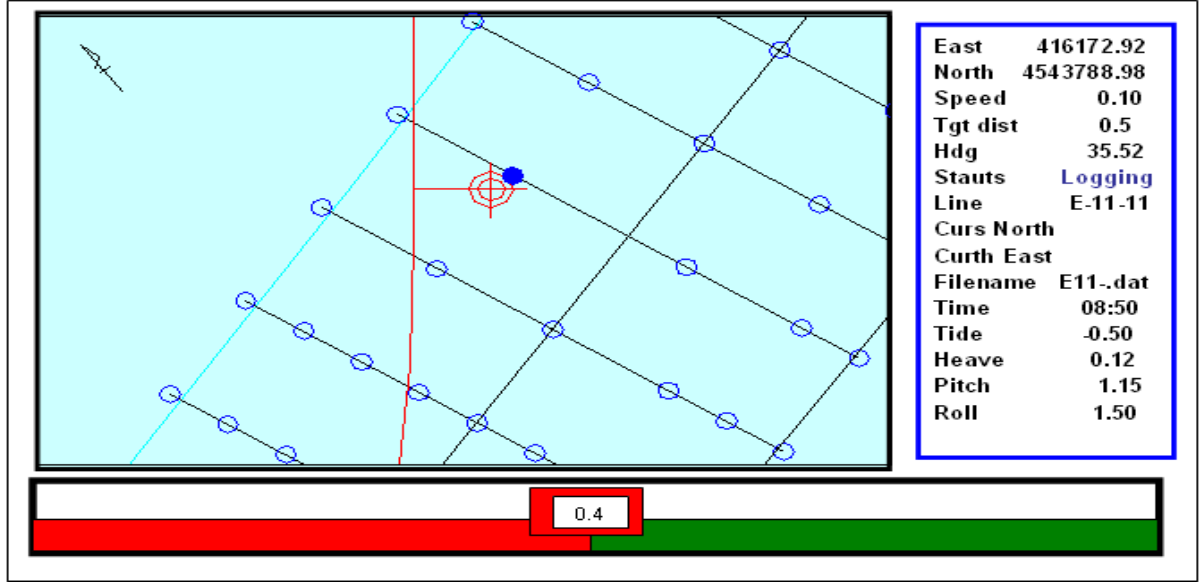


Şekil 6.23 07.01.2007 tarihli çalışmada sonarın tarama anındaki programın görüntüsü

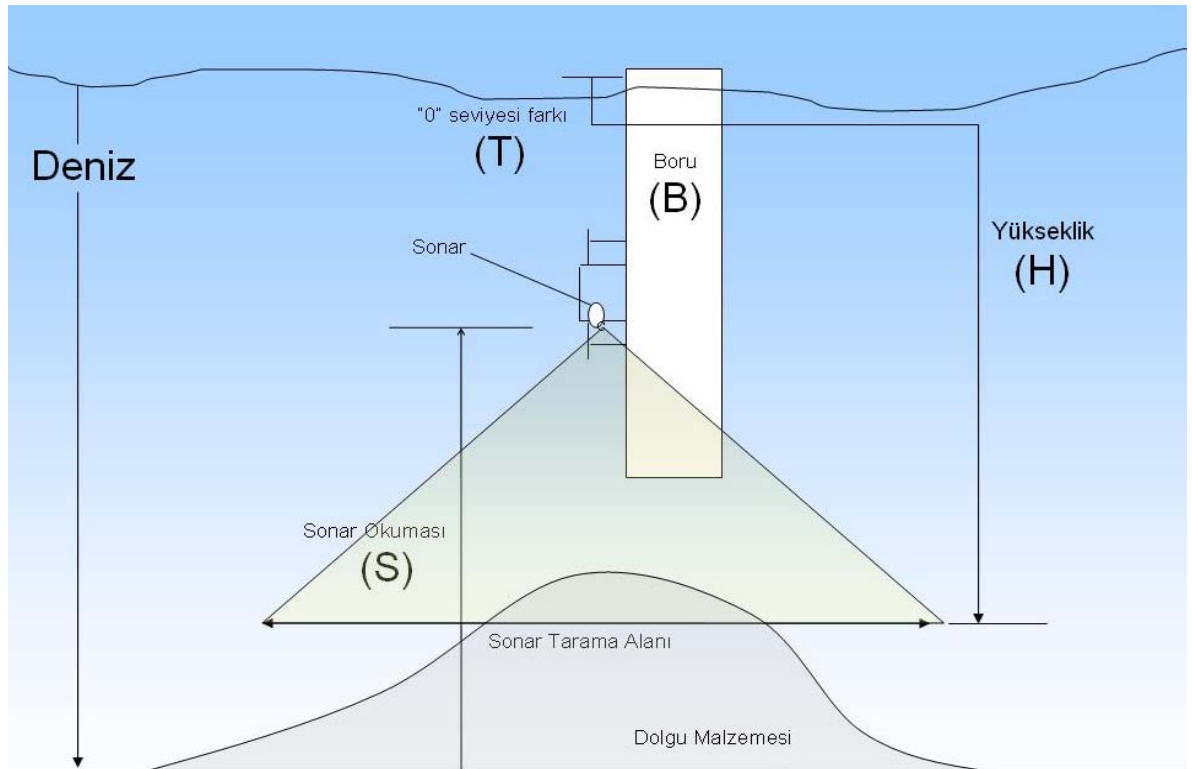
Şekil 6.23 'teki sarı ile gösterilen çizgi sonar taramasıyla elde edilen zemine ait kesittir. Sonarın konumu deniz tabanından itibaren 5 metre yukarıda olacak şekilde Tremie Borusu yüksekliği ayarlanmıştır. Yükseklik sonardan itibaren 1.26 metre tespit edilmiştir. Sonarın deniz tabanına yakın olmasından dolayı yükseklik 2 cm' lik hassasiyetle belirlenmiştir. Sarı ve mavi noktalar yukarıdan aşağıya doğru inen sonar ile tespit edilmiş dolgu malzemesidir.

6.2.1.3 Dolgu İşlerinde Navigasyon

Dolgu yapılacak yerin su üstündeki konumu gitme RTK-GPS ile sağlanmıştır. Uyumlu bir navigasyon programı kullanılarak bulunulan ve gidilecek koordinatlar görüntülenmiş ve bu verilere göre manevralar gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.24).



Şekil 6.24 07.01.2007 tarihinde çalışma anındaki navigasyon ekranı



Şekil 6.25 Armarin 3 Gemisi ile dolgu yapılan bölgede derinliğin elde edilmesi

İşlem yapılacak noktanın derinliği; koordinatları, sıfır seviyesi farkı, sonarın konumu ve anten ofsetleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Dolgu işleri yapılırken (Şekil 6.25);

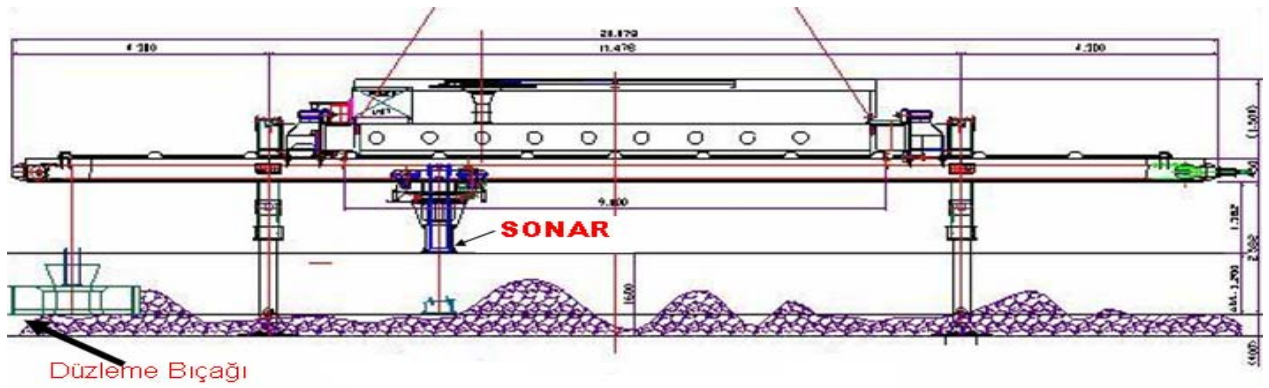
Sonardan okunan değer (S), boru uzunluğu (B), sıfır seviyesi farkı (T), yükseklik(H) olduğunda;

$$H=S+B-T \text{ olarak hesaplanmıştır.} \quad (6.2)$$

İstanbul Boğazı çalışma bölgesi çevresindeki çalışmalarda 27.11.2008 tarihi itibariyle sonar yardımıyla 1148430 ton taş dolgu yapılmıştır. Dolgu yüksekliklerinin hesapları yapılarak eksik bölgeler tamamlanmıştır.

6.2.2 Çalışma Bölgesinde Düzleme İşleri

Çalışma bölgesinde zemin iyileştirme çalışmalarında dolgu yapılan yerlerin düzleme işlerinde sonar kullanımı en pratik yöntem olarak seçilmiştir. İstanbul Boğazı çalışmalarında su altı greyderi altına sonar yerleştirilmiştir (Şekil 6.26). Greyderin düzleme bıçağıyla birlikte hareket ederek düzlenen alanı tespit etmiştir.



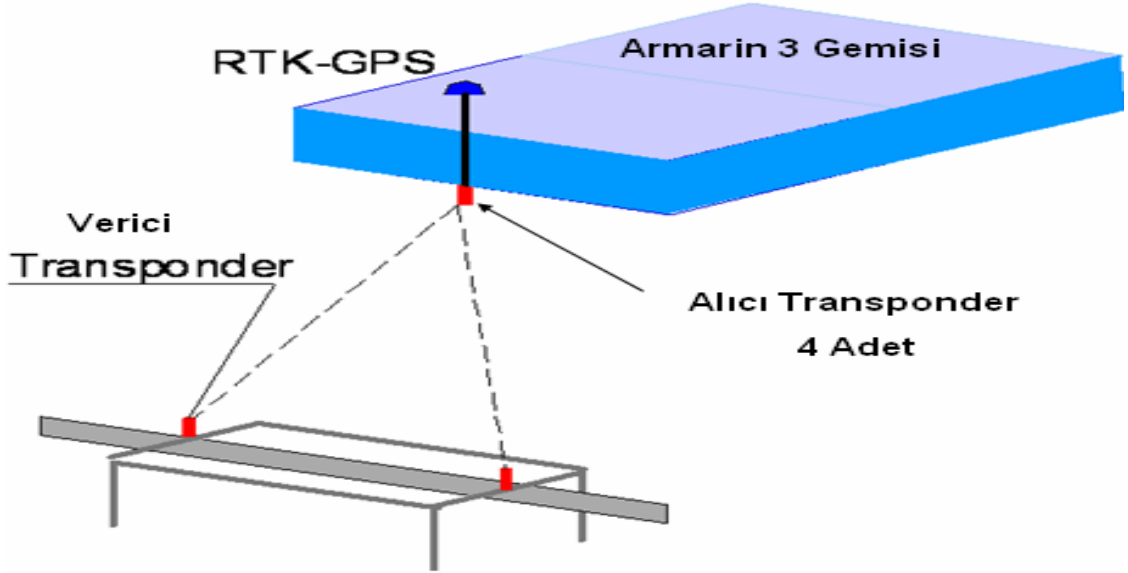
Şekil 6.26 Sualtı greyderi ve sonarın konumu



Şekil 6.27 16.05.2006 tarihinde yapılan test çalışması

6.2.2.1 Düzleme İşlerinde Navigasyon

Sualtı greyderinin düzlediği yerlerin ölçümleri sonar tarafından yapılmıştır. Konumlanması ise sualtı greyderinde bulunan transponderler yardımıyla hesaplanmıştır. Transponderler kendi aralarında üçgenler oluşturarak uzaklık ve açıya bağlı akustik yöntemle konum belirlemektedir. Transponder verici ve alıcılardan oluşmaktadır. GPS verisi veya herhangi bir koordinat bilgisi gelmesi halinde hesaplamalar dahilinde verici transponderlerin yeri 70 cm'lik hassasiyette kestirilebilmektedir. İstanbul Boğazı çalima bölgesi düzleme çalışmalarında 4 adet transponder alıcı, 2 adet transponder verici transponder kullanılmıştır (Şekil 6.28). Fazla sayıda alıcı kullanılmasının nedeni oluşturulacak üçgenlerin çok olmasını sağlamaktır. Bu nedenle hassasiyet de doğru orantılı olarak artmıştır.



Şekil 6.28 Armarin 3 Gemisi'ne ait aletlerin kurulum düzeni

4 adet transponder alıcı Armarin 3 Gemisi'nin ön kısmına yerleştirilmiştir. Hemen alıcıların üstüne RTK-GPS anteni yerleştirilmiştir. Sarayburnu civarında bulunan baz istasyonundan alınan düzeltmeler sonucu GPS istenen hassasiyete ulaşmıştır. Aynı zamanda sıfır seviyesi değerleri RTK-GPS kullanılarak elde edilmiştir. GPS verileri, transponder bilgileri, sonar okumaları ve sıfır seviyesi değerleri Trimble Firması'na ait Hydropro programında birbirleriyle senkronize bir şekilde birleştirilmiştir. Böylece düzlenen bölgenin derinlikleri aynen programda görsel olarak yansıtılmıştır. Bölge değişimleri ve yeni bölgeye konumlandırmalar Hydropro programı kullanılarak yapılmıştır. Hydropro programına gelen tüm veriler NMEA protokolüne ait olan GGA formatında gönderilmiştir. Zaman gecikmesi problemi yaşamamak için GPS verileri programa girmeden önce zamanlayıcıdan geçirilmiştir.



Şekil 6.29 Armarin 3 Gemisi'nde bilgilerin toplandığı kontrol odası ve transponder sistemi

İstanbul Boğazı çalışma bölgesinde belirtilen metotlarla 330 bölgeyi aşan alanda düzleme yapılmıştır. Düzlemeden sonra yapılan batimetrik ölçmelerle deniz tabanı kotunun proje şartnamesinde öngörülen değerlere uygunluğu teyit edilmiştir. Ayrıca sonar okuma değerleri ve batimetrik ölçümün derinlik değerleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan değerlerde farkların 20 cm' den küçük olduğu görülmüştür.

6.2.3 Çalışma Bölgesinde Kazı İşleri

Denizlerde yapılan zemin iyileştirme çalışmalarında doğal zemin, projenin gerektirdiği kotta kazılarak yerine kaya veya beton dolgu yapılmaktadır. Kazıların yapılabilmesi için batimetrik haritalardan yararlanılarak kazılacak bölgeler ve kazı miktarları hesaplanmaktadır. Kullanım ve kurulum kolaylığından dolayı kazı esnasında yeni derinlikleri belirleyebilmek amacıyla sonarlar kullanılmaktadır.

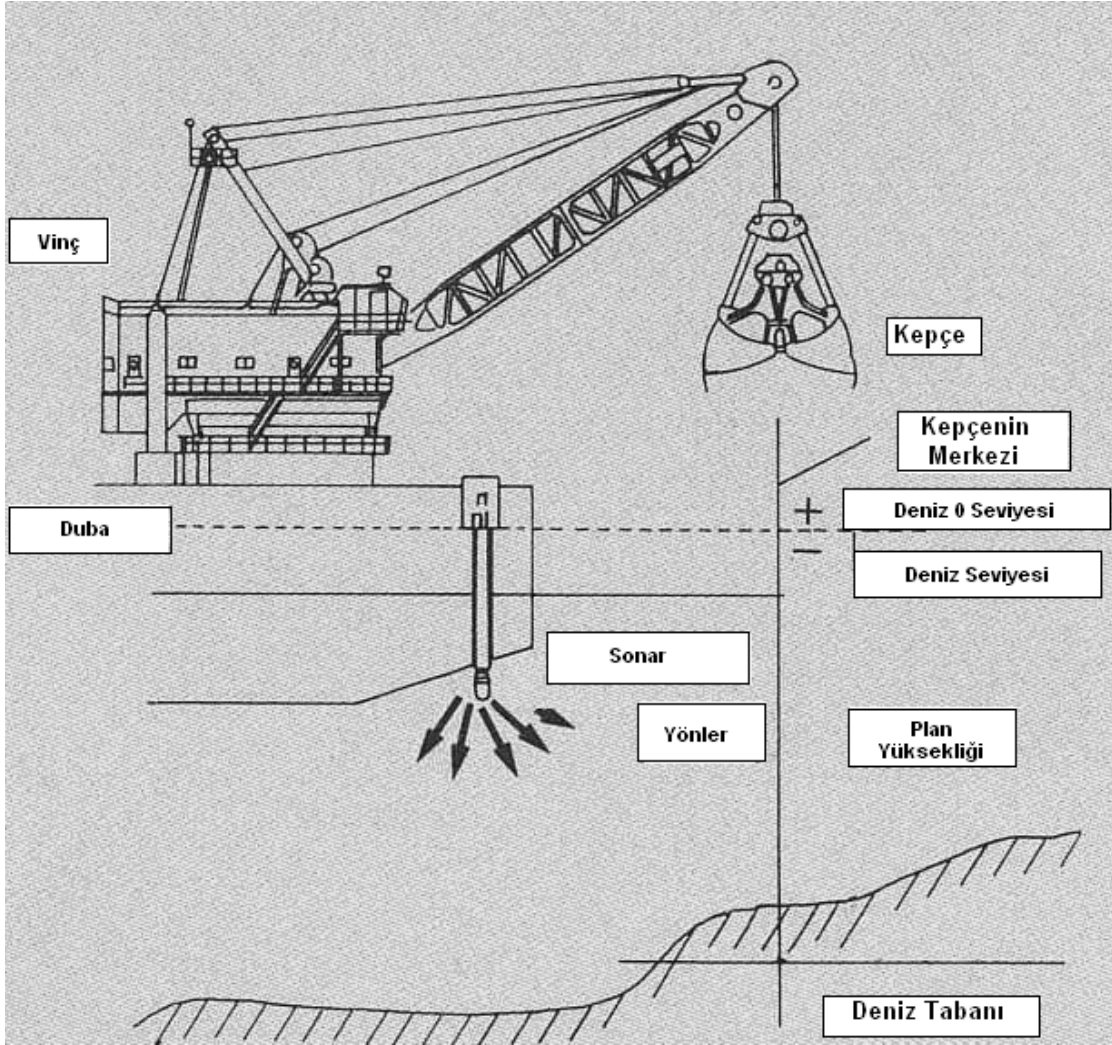
Çalışma bölgesinde proje hattı güzergahında sualtı tabanından ortalama 15 metre daha derine doğru kazı işleri yapılmıştır. Kazılar Kanyu Dubası tarafından yapılmıştır (Şekil 6.30). Kazı işlerinde sonar duba altına monte edilmiş ve kepçe hisasında ölçümler yaparak işin devamlılığı sağlanmıştır.



Şekil 6.30 Kanyu Dubası

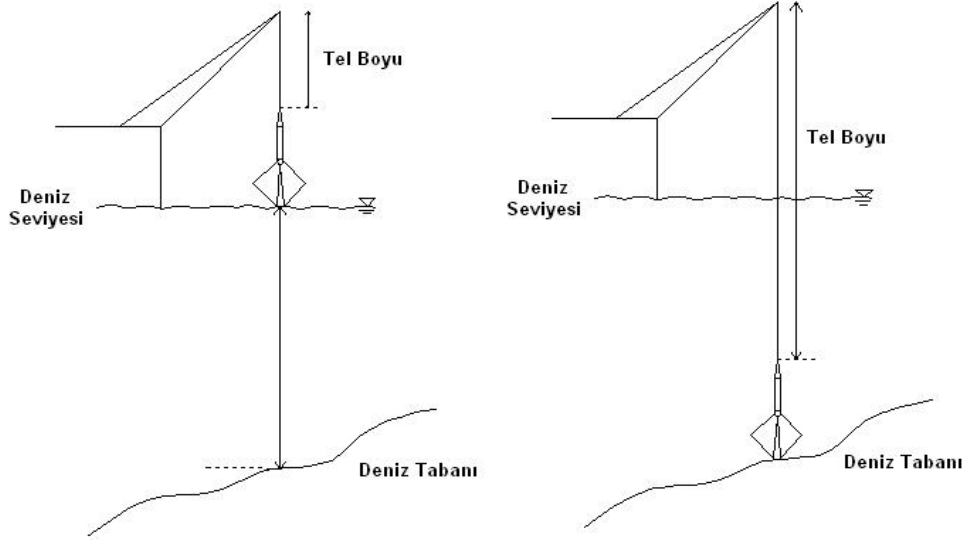
6.2.3.1 Kazı İşlerinde Navigasyon

Navigasyon işleri Kanyu Dubası'nın üst tarafına kurulan RTK-GPS sistemiyle sağlanmıştır. Dubanın yönünün kontrolü için gyro pusula kullanılmıştır. Deniz tabanı kot değerleri sonarla ölçülerek bilgisayara aktarılmıştır. Deniz sıfır seviyesi farkı ise Üsküdar Bölgesi'nde bulunan mareograf istasyonundan modemler aracılığı ile dubaya aktarılmıştır. Tüm bu değerler senkronize bir biçimde navigasyon programında toplanmış ve kazı işleri yapılmıştır.



Şekil 6.31 Kanyu Dubası'nda kazı işlemlerinde kullanılan ekipmanların konumu

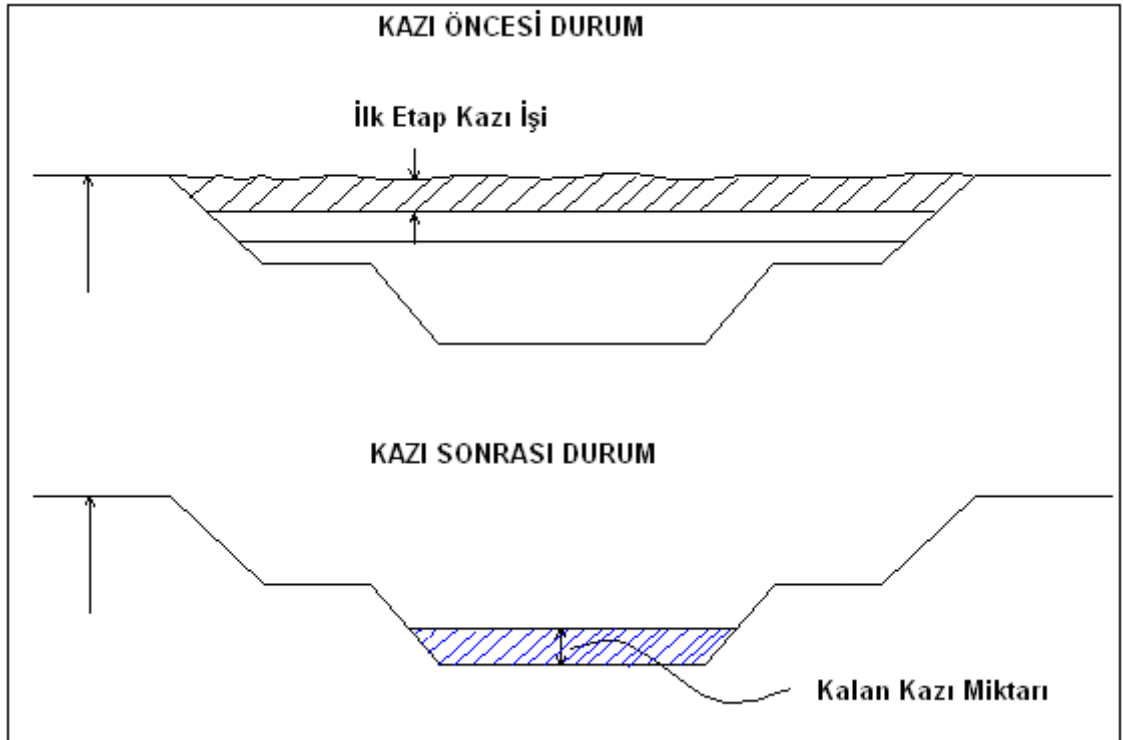
Kazı işlemlerinde GPS ile belirlenen konuma gelindiğinde, Şekil 6.31'de görülen sonar kullanılarak kepçenin ineceği düzlemin kotu okunmaktadır. Daha sonra kepçe bulunduğu konumdan dik bir şekilde aşağıya indirilerek kazı işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu işlemden sonra tekrar sonar okuması değerlendirilmekte ve duruma göre kazıya devam edilmektedir. Deniz seviyesi değişimleri anlık olarak Üsküdar'da bulunan mareograf istasyonundan gelen değerlerle belirlenmiştir.



Şekil 6.32 Kazı işlemleri ve tel boyları

Kepçenin deniz tabanına inen tel uzunluğu ile sonardan okunan değer arasında karşılaştırma yapılarak değer doğruluğu teyit edilmektedir.

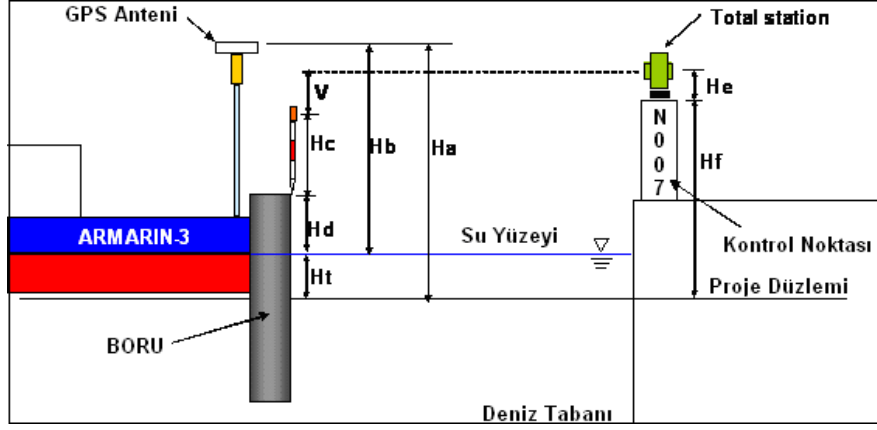
Kazı yapılacak bölgelerde kazılardan önce ve sonra batimetrik ölçümler yapılarak bölgelere ait enkesitler üretilmiştir (Şekil 6.33). Bu enkesitlere göre diğer etapta kazı işlemleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.33 Kazı öncesi ve kazı sonrası enkesitler

6.2.4 Kalibrasyonlar

İstanbul Boğazı ve çevresinde yapılan kazı, dolgu ve düzleme işlerinde kullanılan ölçüm aletleri belirli aralıklarda kontrol edilmiştir. Sonar, GPS, Gyro pusula ve diğer aletlerin çeşitli kalibrasyonlar ile doğruluğu teyit edilmiş ve hata değerlerinin proje toleransları içinde olduğu görülmüştür.

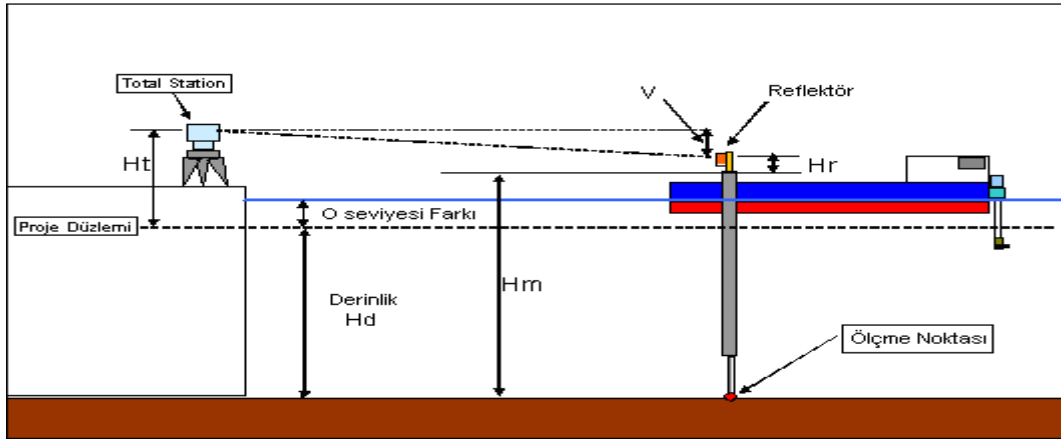


Şekil 6.34 Armarin 3 Gemisi'nde GPS ile elde edilen yüksekliğin kontrolü

Şekil 6.34 'te GPS tarafından ölçülen yükseklik (H_a), su yüzeyinden GPS anteni yüksekliği (H_b), jalon yüksekliği (H_c), taş döküm borusunun su yüzeyinden yüksekliği (H_d), total station yüksekliği (H_e), nirengi noktasının ortometrik yüksekliği (H_f), sıfır seviyesi farkı (H_t), total station ile ölçülen kot farkı (V) ile gösterilmiştir. Proje düzlemi ise geotri ifade etmektedir.

$$(H_f + H_e - V - H_c - H_d) - (H_a - H_b) < (+/-) 10 \text{ cm olması aranmıştır.} \quad (6.3)$$

Proje şartnamesinde belirtilen 10 cm 'lik tolerans değeri içinde kalan hesaplamalarda GPS ile alınan ortometrik yüksekliğin doğruluğu teyit edilmiştir.



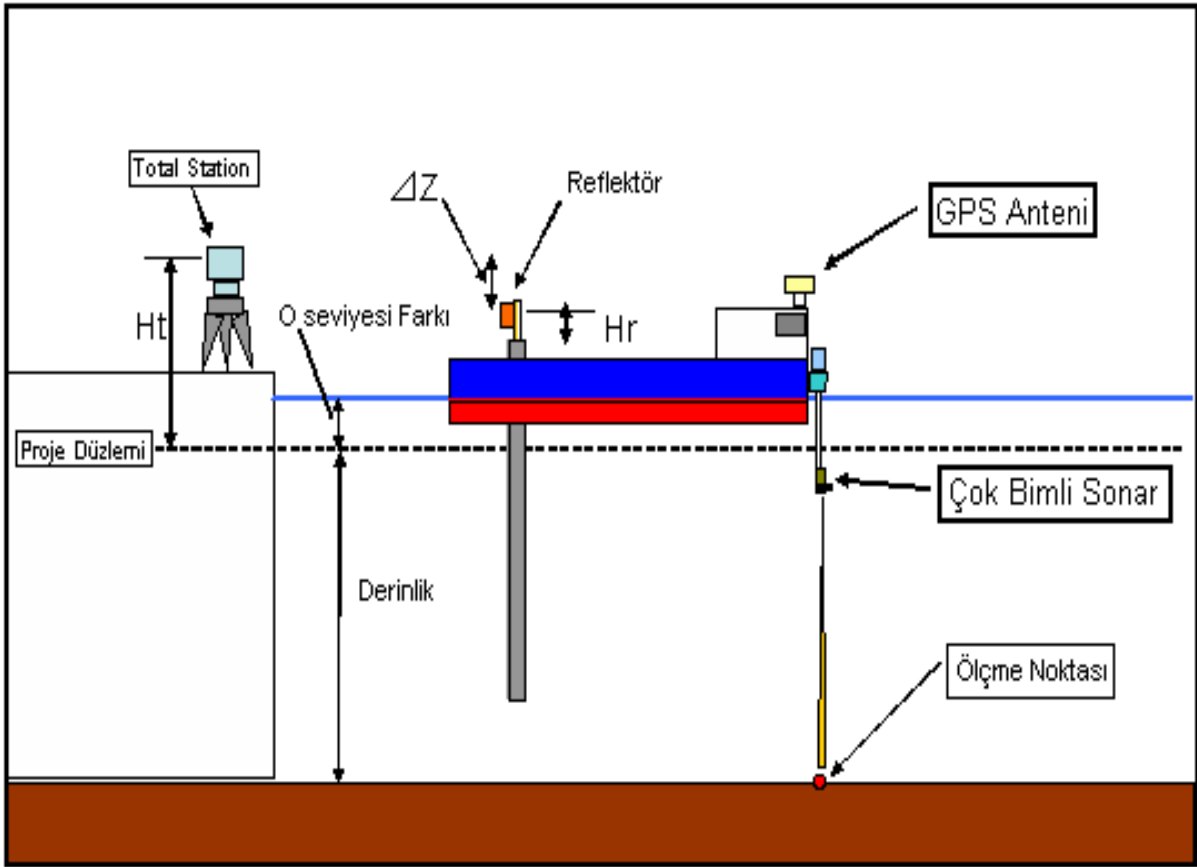
Şekil 6.35 Armarin 3 Gemisi için sonar kalibrasyonu

Şekil 6.35 'de total station ortometrik yüksekliği (Ht), total station ile okunan kot farkı (+/-V), demir çubuk bitiminden itibaren jalon boyu (Hr), deniz dibine indirilen demir çubuğun jalon bitiminden itibaren boyu (Hm), derinlik (Hd) olarak gösterilmiştir.

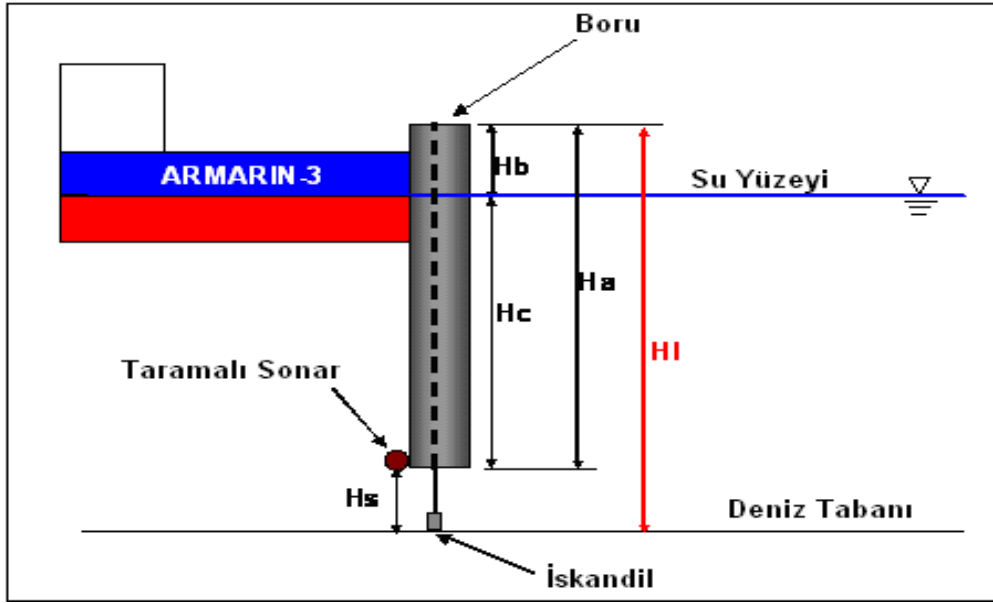
$$Ht+V-(Hr+Hm)-Hd<(+/-) 20 \text{ cm} \quad (6.4)$$

Burada yapılan kontrole sonardan okunan değer ve karadan klasik yöntemlerle belirlenen değer arasındaki karşılaştırma yapılmış ve proje şartnamesinde belirtilen 20 cm 'lik tolerans içinde olup olmadığı teyit edilmiştir. Kara ölçümleri projede belirtilen nirengilerden yapılmıştır. Sarayburnu tarafı için N.5, Üsküdar tarafı içinse N.7 numaralı nirengi kullanılmıştır.

Son olarak yükseklik kontrolünde sonarın ve çok bimli akustik iskandilin doğruluk karşılaştırması için Armarin 3 Gemisi'nin ön tarafına monte edilen çok bimli akustik iskandil, kalibrasyon noktasının tam üstüne gelecek şekilde gemi kaydırılıp ölçüm yapılmıştır. Şekil 6.36 'da görülen şekilde çok bimli sonar, ölçümlene yapılan nokta üstünde ölçme yapmaktadır. Ölçümden sonra karadan, sonardan ve çok bimli akustik iskandilden elde edilen değerler karşılaştırılmıştır.



Şekil 6.36 Armarin 3 Gemisi'nde çok bimli sonar ölçümü



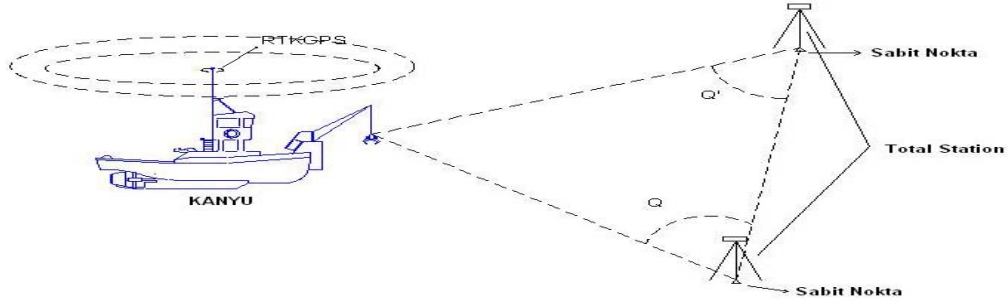
Şekil 6.37 Armarin 3 Gemisi'nde el iskandili yöntemiyle sonar kalibrasyonu

Şekil 6.37 'de boru uzunluğu (H_a), su yüzeyinden üste kalan boru uzunluğu (H_b), su yüzeyinden altta kalan boru uzunluğu (H_c), boru uzunluğu ve borunun deniz içinde kalan ucu ile deniz tabanı arasında kalan uzunluğun toplamı (H_l), sonarın okuduğu değer (H_s) ile gösterilmiştir.

$$(H_l - H_b) - (H_c + H_s) < (+/-) 20 \text{ cm} \quad (6.5)$$

Çalışma bölgesindeki kazı, dolgu ve düzleme çalışmalarında sonar okuma değerlerini başka bir şekilde kontrol etme yöntemi olarak el iskandili kullanılmıştır. Akıntı şartları uygun olduğunda el iskandili yöntemi pratik şekilde uygulanmıştır. Proje şartnamesinde sonar okuması hata sınırı 20 cm olarak verilmiştir.

Kazı, dolgu ve düzleme çalışmalarında konumlandırma için kullanılan GPS belirli aralıklarda kara ölçüleriyle kontrol edilmiştir. Karaya kurulan total station ile GPS anteninin dik iz düşümüne konan reflektöre yatay mesafe ve yatay açı okumaları yapılmıştır. Kara ölçüleri için proje bölgesindeki nirengiler kullanılmıştır. Karadan ölçme esnasında GPS değerleri kayıt altına alınıp, klasik ölçümle hesaplanan koordinatlarla karşılaştırılmıştır. İki yöntemle belirlenen koordinat değerleri arasındaki hata sınırı şartname gereği 10 cm olarak kabul edilmiştir. Ayrıca gemi veya dubanın suya batma miktarı değiştikçe navigasyon ve sonar programlarında ofset girdileri güncellenmiş ve kalibrasyonlar tekrar edilmiştir. Suya batma miktarının değişmesiyle GPS anteninin su yüzeyine olan mesafesinin de değiştiği için GPS ile elde edilen sıfır seviyesi farkında normal olmayan değerler saptanmıştır.



Şekil 6.38 Kanyu Dubası'ndaki RTK-GPS sisteminin klasik yöntemle kontrolü

İstanbul Boğazı çalışmalarında yukarıda belirtilen tüm kalibrasyonlar sık aralıklarla kazı, dolgu ve düzleme işleri öncesi yapılmıştır. 03.04.2008 tarihinde düzleme ve dolgu işlemleri öncesi yapılan kalibrasyon değerleri ve sonuçları Çizelge 6.7, Çizelge 6.8, Çizelge 6.9, Çizelge 6.10'da verilmiştir.

Çizelge 6.7 03.04.2008'de Armarin 3 Gemisi çalışma bölgesinde düzleme işlemleri öncesi yapılan su altı greyderi navigasyon sistemi kalibrasyon sonuçları

Ölçme Noktası	Karadan Ölçmelerle Elde Edilen Koordinatlar (M)		Su Altı Greyderi Transponder ve GPS sistemiyle Elde Edilen Koordinatlar(G)		Fark(M-G)		Tolerans (m)	Sonuç
	N(m)	E(m)	N(m)	E(m)	N(m)	E(m)		
Referans Noktası	4543544,73	415556,56	4543544,77	415556,59	-0,040	-0,026	+ \ - 0.1	OK / NG
Tel1	4543552,26	415554,65	4543552,70	415554,90	-0,440	-0,246	+ \ - 1.0	OK / NG
Tel 2	4543548,95	415563,20	4543549,10	415562,75	-0,150	0,454	+ \ - 1.0	OK / NG

Çizelge 6.8 03.04.2008'de Armarin 3 Gemisi çalışma bölgesinde dolgu işlemleri öncesi yapılan sonar ve çok bimli akustik iskandil kalibrasyon sonuçları

No.	Ölçme Noktası	Ölçme noktası Koordinatları		Derinlik Bilgileri			Farklar		Tolerance Level(m) Borudaki sonar	Tolerance Level(m) Çok Bimli Sonar	Borudaki sonar Sonuç	Çok Bimli Sonar Sonuç
		N(m)	E(m)	Karadan Ölçüm (L)	Sonar Ölçümü(T)	Çok Bimli Sonar (M)	L-T	L-M				
1	1	4543544,36	415567,08	51,20	51,05	51,14	0,150	0,060	+ \ - 0.2	+ \ - 0.1	OK / NG	OK / NG

Çizelge 6.9 03.04.2008'de Armarin 3 Gemisi çalışma bölgesinde dolgu işlemleri öncesi yapılan RTK-GPS yüksekliği kalibrasyon sonuçları

GPS ANTENİ YERİ	Ölçme Noktası	Karadan Ölçülen Yükseklik(m) (LH)	GPS ile Ölçülen Yükseklik(m) (GH)	Fark (LH-GH)	Tolerans(m)	Sonuç
BORU ÜSTÜ	1	6.081	6.132	-0.041	0.1	OK / NG

Çizelge 6.10 03.04.2008'de Armarin 3 Gemisi çalışma bölgesinde dolgu işlemleri öncesi yapılan RTK-GPS koordinatları kalibrasyon sonuçları

GPS ANTENİ YERİ	Ölçme Noktası	Plan Koordinatları (m)		Karadan Ölçülen Koordinatlar		GPS İle Ölçülen Koordinatlar		Fark(M-G)		Tolerans (m)	Sonuç
		N(m)	E(m)	N(m)	E(m)	N(m)	E(m)	N(m)	E(m)		
BORU ÜSTÜ	1	4543554,22	415564,63	4543554,18	415564,70	4543554,10	415564,75	0,080	-0,050	0,1	OK / NG

03.04.2008 tarihinde yapılan kalibrasyonlarda yatayda maksimum 8 cm' lik fark tespit edilmiştir. Sonar ile belirlenen yükseklikte 15 cm' lik fark saptanmıştır. Çok bimli akustik iskandil sisteminden elde edilen ölçüm sonuçlarında ise 6 cm' lik fark tespit edilmiştir. Buradan boru üzerine monte edilmiş sonarın hassasiyetinin çok bimli akustik iskandile göre daha az olduğu anlaşılmıştır. Yapılan çalışmalarda yatayda ve düşeyde saptanan farkların proje şartnamesinde verilen tolerans değerlerinin içerisinde kaldığı görülmüştür. 04.10.2008 tarihinde Kanyu Dubası'nda bulunan gyro pusula ve RTK-GPS için N.7 nirengisinden kara ölçümleri yapılmıştır.

GPS ve Gyro Pusula Kontrolü

Çalışma Bölgesi Boğaz E-1

Tarih 4 Oct 2008

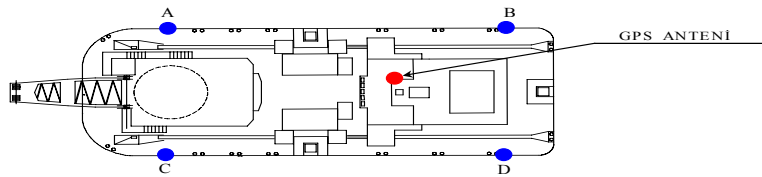
□ GPS

Ölçme Noktası	GPS Değerleri (P)		Karadan Klasik Yöntemle Elde Edilen Koordinatlar (M)		Fark (M - P)	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
GPS - Anteni	4,543,355.134	414,984.275	4,543,355.093	414,984.338	-0.04	0.06

□ Kuzeyle Yapılan Aç

Ölçme Noktası	Karadan Klasik Yöntemle Elde Edilen Koordinatlar (M)		Kuzeyle Yapılan Aç (Derece)		Fark (G1 - G2)
	X (m)	Y (m)	Kara Ölçümüyle Hesaplanan (G1)	KANYU Gyro Pusula Değeri (G2)	
KANYU (A)	4,543,330.926	414,963.978	202° 36' 1"	203.40°	-0.80°
KANYU (B)	4,543,372.469	414,981.275			
KANYU (C)			Ondalık (G1)		
KANYU (D)			202.60°		

KANYU Ölçme Noktaları



Şekil 6.39 04.10.2008 'de çalışma bölgesinde Kanyu Dubası için kazı işlemleri öncesi yapılan RTK-GPS ve gyro pusula kalibrasyon raporu

Yapılan kalibrasyonda yatayda GPS değerleriyle karadan alınan ölçümler sonucunda maksimum 6 cm' lik fark tespit edilmiştir. Gyro pusula açısında ise 1 derecelik sapma olduğu görülmüştür. Bu değerler proje toleransları içerisinde kaldığı için çalışmalara devam edilmiştir. Ayrıca ölçme işlemlerinin doğruluklarının kontrolü için tüm aletlerin periyodik bakımları üretici firmalar tarafından 2 sene aralıklarla yapılmıştır.

6.3 Çalışma Bölgesinde Akıntı Hızı Ölçümleri

6.3.1 Sontek ADP Ölçümleri

Çalışma bölgesinde belirli bir hat belirlenmiş ve ölçmeler aynı hat üzerinde bölge özelliklerine göre birkaç kez yapılmıştır. Çalışma bölgesi için günde 4 kez ölçüm kararlaştırılmış olup ölçüm hattı 1.5 km olarak belirlenmiştir.

6.3.1.1 Ölçüm İçin Gerekli Ekipmanlar ve Hazırlıkları

Ekipman listesi;

- Sontek ADP
- GPS (Topgun)
- Jeneratör (Honda)
- Bilgisayar (Panasonic)
- Ölçüm programı (Sontek Current Surveyer)
- Güç çevirici

Ekipmanlar sağlandıktan sonra, ADP 'nin ölçüm teknesine monte edilmesi gerekmektedir. Farklı şekillerde monte etmek mümkündür. Önemli olan alet suya girdikten sonra, tekne hareket ederken titreşimi önlemektir. Bu yüzden alete yakın kısımlardan halatlar bağlanarak ölçüm teknesinde uygun yerlerden gerdirilmiştir. Alet krom boru üzerine bağlanmıştır (Şekil 6.40). Aletin sıfır seviyesinden su içindeki yüksekliği 2 metre olarak ayarlanmıştır.



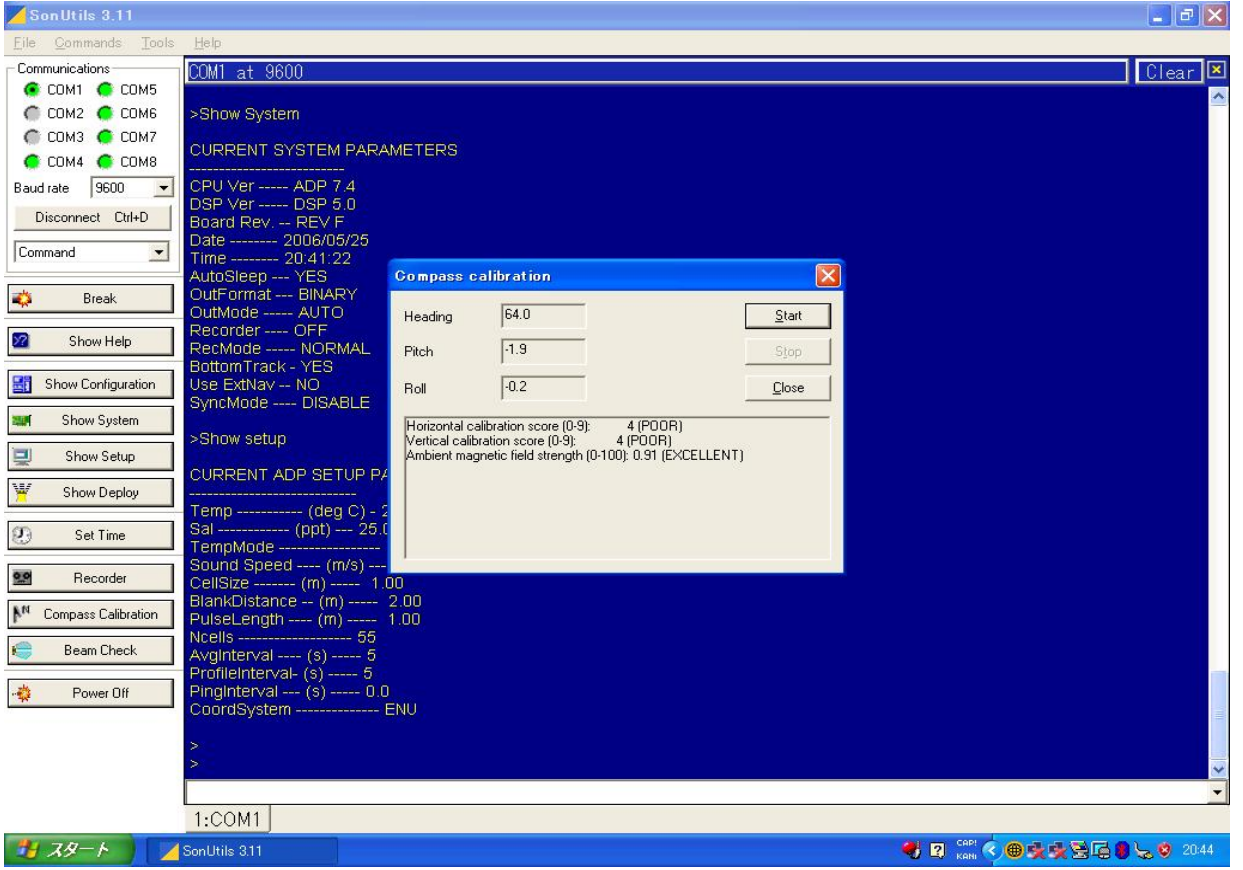
Şekil 6.40 ADP 'nin boruya bağlanması



Şekil 6.41 Borunun ölçüm botuna monte edilmesi

Boru ölçüm botunun yan tarafına Şekil 6.41 'de görüldüğü gibi bağlanmıştır. Bağlantı esnasında akıntı hızı ölçerin sıfır seviyesinden 2 metre daha aşağıda olması sağlanmıştır.

Bağlantılar yapıldıktan sonra ADP aletinin içerisinde bulunan gyro pusulanın kalibre edilmesi gerekmektedir. Ölçüm esnasında akıntı yönünün doğruluğu bu kalibrasyona bağlıdır. Şekil 6.42 'de görüldüğü üzere, kalibrasyon botun saat yönünde iki tam tur atmasından sonra tamamlanmıştır. Aynı şekilde kalibrasyon raporunun özeti de sunulmuştur. Kalibrasyonun ardından gerekli parametrelerden su sıcaklığı, ölçümleme aralığı, satır sayısı, sütun sayısı, ilk ölçüme başlayacağı derinlik, puls uzunluğu, tuzluluk, koordinat sistemi, toplam sütun sayısı gibi İstanbul Boğazı'nın derinliğine ve su karakteristiğine uygun değerler saptanmıştır. Bununla birlikte akıntı hızı ölçümleri ses hızına bağlı belirlendiği için çalışma bölgesinde ses hızı ölçerle 3 günlük periyotlarda ses hızı belirlenmiştir. Değerler belirlendikten sonra alet içerisine gönderilmiş ve hafızasına kayıt yapması sağlanmıştır.



Şekil 6.42 Dahili gyro pusula kalibrasyonu ve ölçüm parametreleri

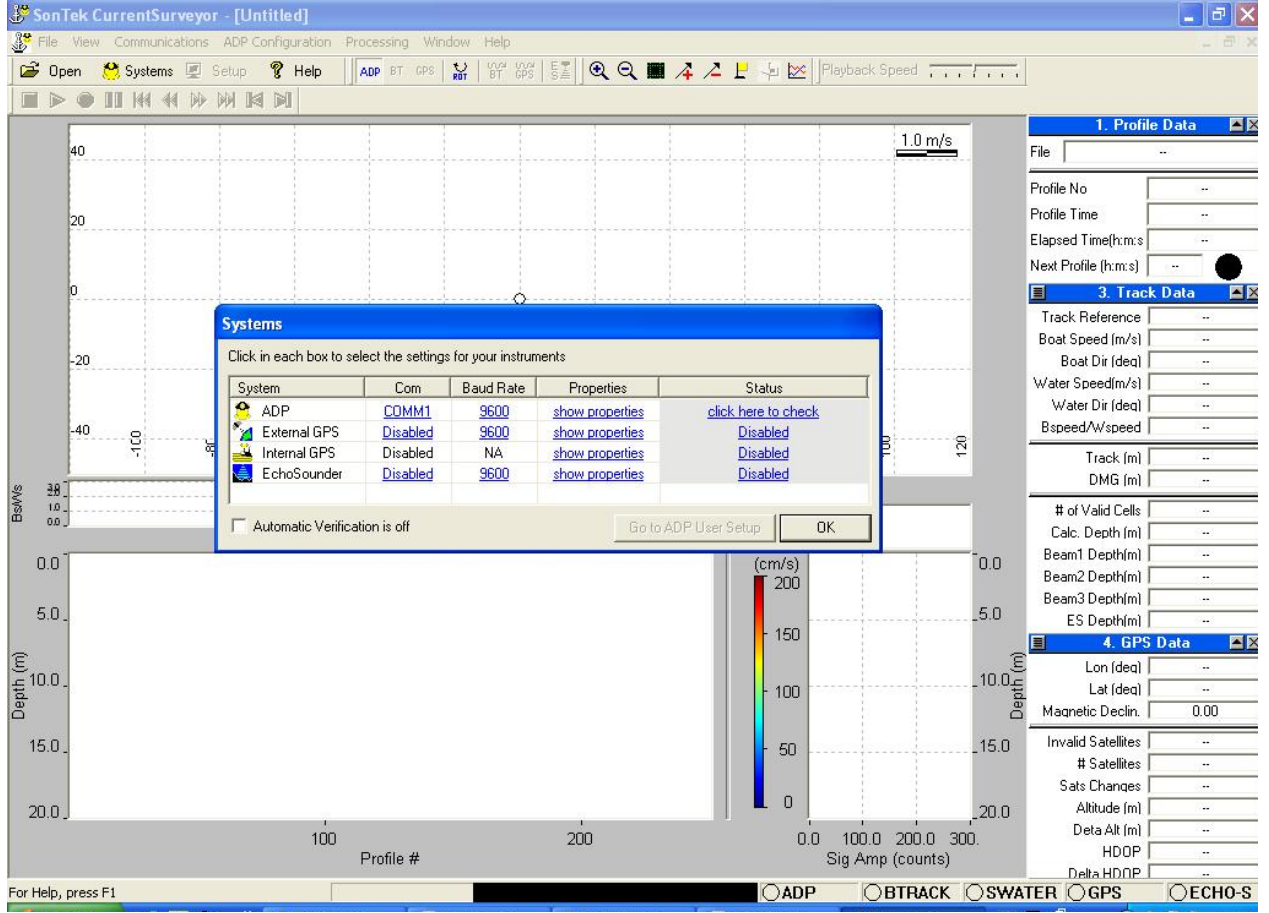
6.3.1.2 Ölçümün Yapılması

Tüm kurulumun ardından ölçüm botu içerisinde gerekli hazırlıklar tamamlanmıştır.



Şekil 6.43 Ölçüm botunun içi ve ölçüm bilgisayarı

Gerekli ayarlamalar yapıldıktan sonra Sontek Firması'na ait Current Surveyer programı çalıştırılmaktadır (Şekil 6.44).



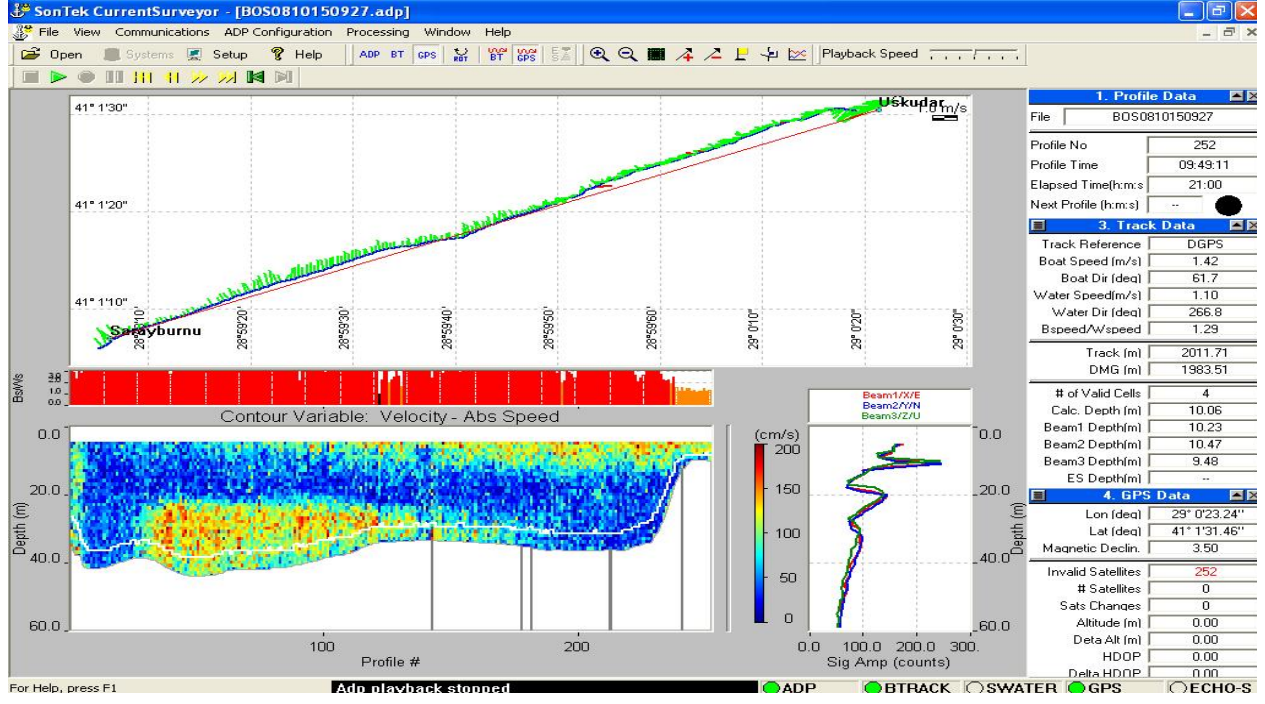
Şekil 6.44 Ölçüm programı

Program başlatıldıktan sonra sistem ayarlamaları yapılmaktadır. ADP 'nin bilgisayara bağlantısı RS-232 portundan sağlanmaktadır. Bu port ölçüm programındaki sistem ayarlarından seçilmektedir. Ölçüm esnasında ölçüm yapılan yerin koordinatlarının belirlenebilmesi için GPS verisi gerekmektedir. Buradaki çalışmalarda da ADP borusunun tam üzerinde GPS anteni yerleştirilerek ölçümler yapılmıştır.

Ölçümler yapılırken dikkat edilmesi gereken bir diğer ayrıntı ise akıntı hızının GPS değerlerine mi yoksa dip değişimlerine göre mi hesaplanacağıdır. Boğaz ölçmelerinde dip değişimlerine göre akıntı hızı belirlenmiştir. GPS ile ölçme yöntemi olarak RTK kullanılmıştır.

Şekil 6.45 'de görüldüğü üzere, ölçüm yapılacak güzergah ve botun seyri, anlık olarak gösterilmektedir. Sağ taraftaki kutucuklarda dosya ismi, profil numarası, profil zamanı, akıntı

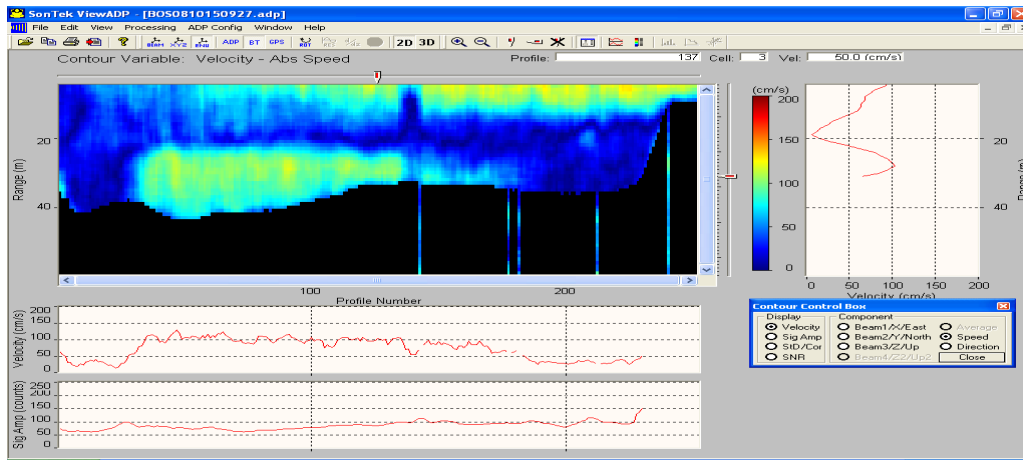
hızı, botun kuzeyle yaptığı açı, bot hızı, hesaplanan derinlik, birinci sinyalin derinliği, ikinci sinyalin derinliği, üçüncü sinyalin derinliği, enlem, boylam, manyetik sapma değerleri ölçüm esnasında her bir yeni veri alındığında gösterilmektedir. Alttaki profil ise derinliğe göre akıntı hızını renksel olarak göstermektedir. Renklerin skalası yine şeklin yanında belirtilmiştir.



Şekil 6.45 Akıntı ölçümü programı (15.10.2008 çalışma bölgesi ölçümü)

6.3.1.3 Ölçüm Verilerinin Değerlendirilmesi

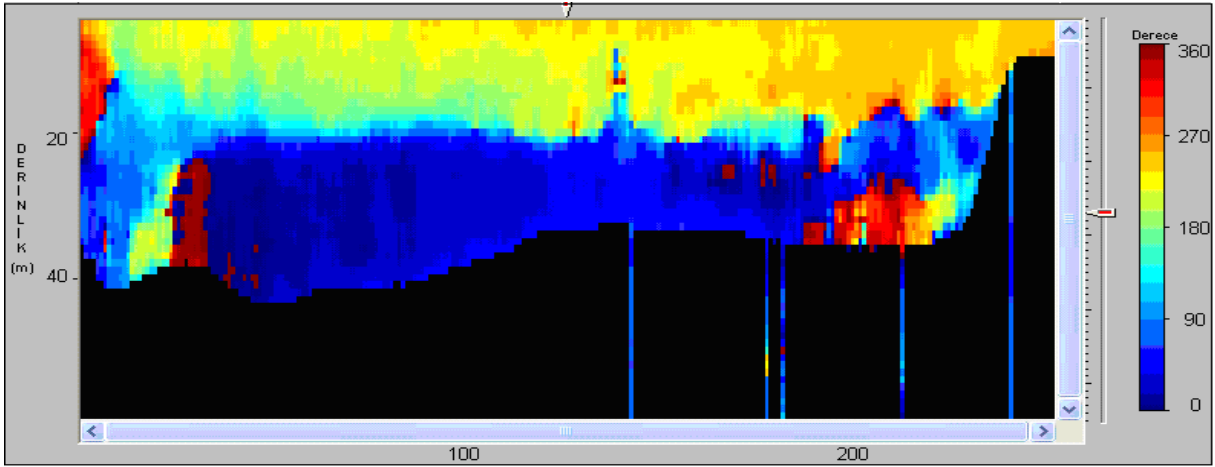
Ölçüm tamamlandığında kaydedilen dosya yine Sontek Firması'na ait Viewadp Programı'nda değerlendirilmektedir (Şekil 6.46).



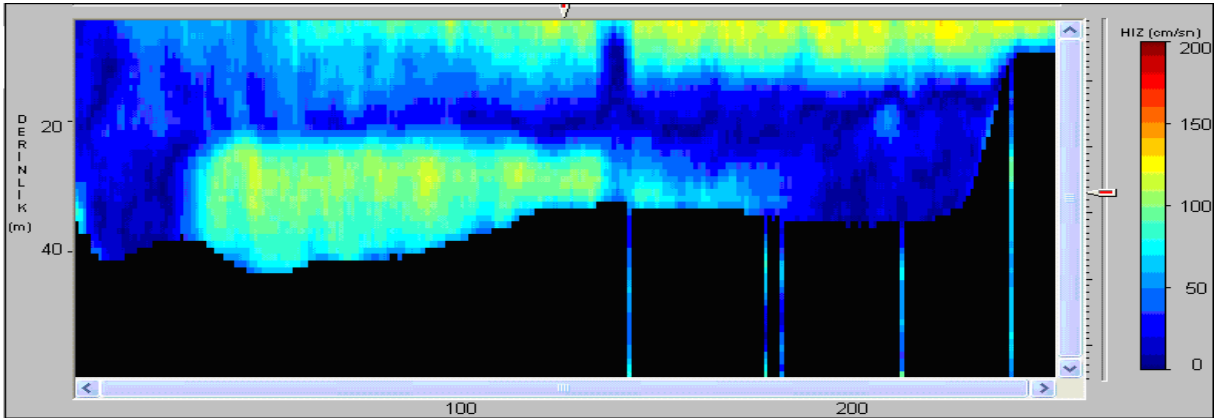
Şekil 6.46 ViewADP Programı

Değerlendirme yapıldıktan sonra istenilen bilgiler sayısal olarak alınabilmektedir. Sayısal bilgiler alındıktan sonra da istenilen modelleme veya grafik oluşturulabilmektedir.

Çalışma bölgesinde yapılan çalışmalarda koordinatlar, derinliklere göre akıntı hızları ve yönleri sayısal olarak alınmıştır. Şekil 6.47 'de sağ tarafta bulunan dereceye ait renk skalasından anlaşıldığı üzere 15.10.2008 tarihine ait üst akıntı açısı 180 derece olduğu görülmüştür. Alt akıntı ise 20 derece olarak saptanmıştır. Şekil 6.48 'de sağ tarafta bulunan hız skalasındaki renkler baz alındığında 15.10.2008 tarihine ait üst akıntı ortalama şiddeti 1.2 m/sn, ortalama alt akıntı şiddeti ise 0.5 m/sn olarak tespit edilmiştir.



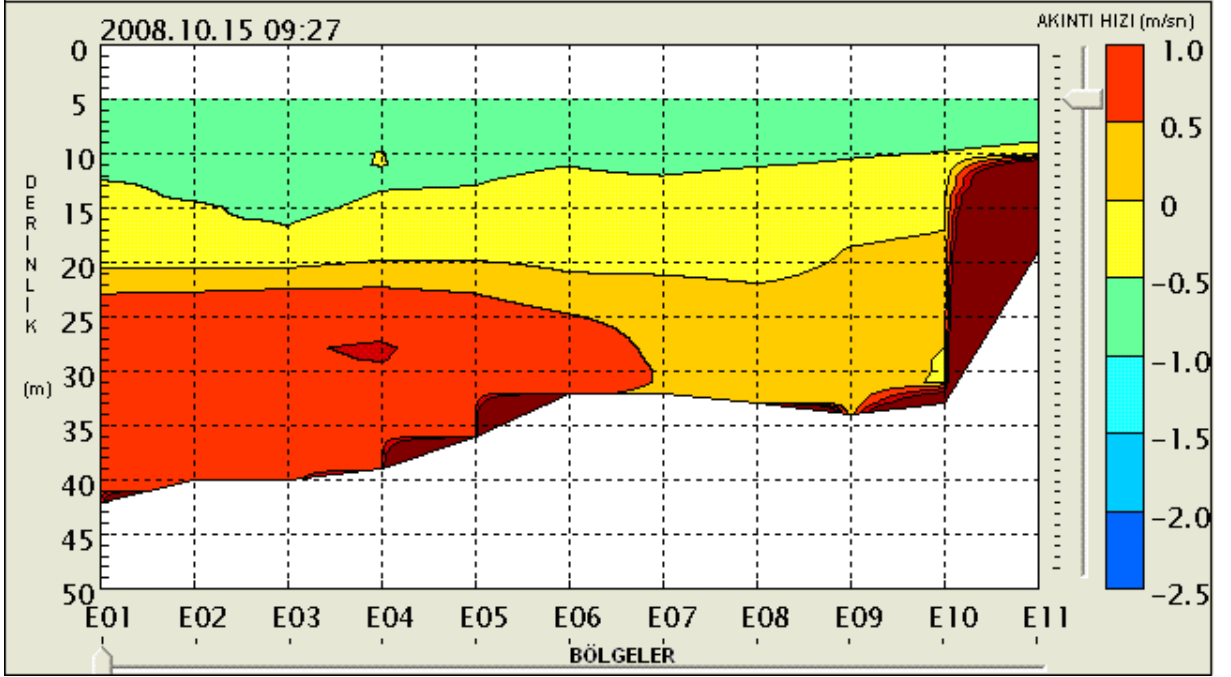
Şekil 6.47 Akıntı yönü ve skalası (15.10.2008 çalışma bölgesi ölçümü)



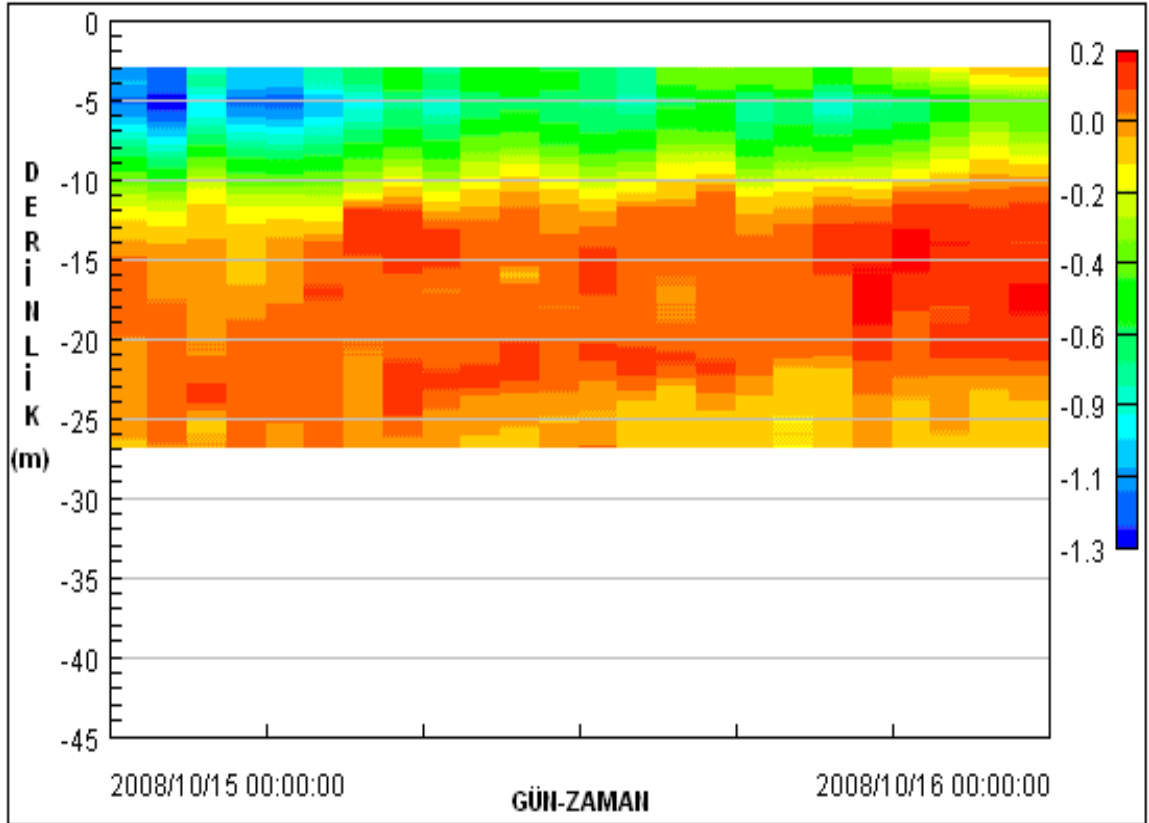
Şekil 6.48 Akıntı hızı ve skalası (15.10.2008 çalışma bölgesi ölçümü)

Şekil 6.47 ve Şekil 6.48 'deki profillerde görülen çizgiler ADP' nin bağlı olduğu borunu titreşmesi sonucunda veya deniz trafiği sebebiyle ölçülen su yüzeyinde oluşan değişimden kaynaklanmış bozuk verilerdir. Bu verilerin elimine edilebilmesi için sayısal ortamda teke tek silinmesi gerekmektedir.

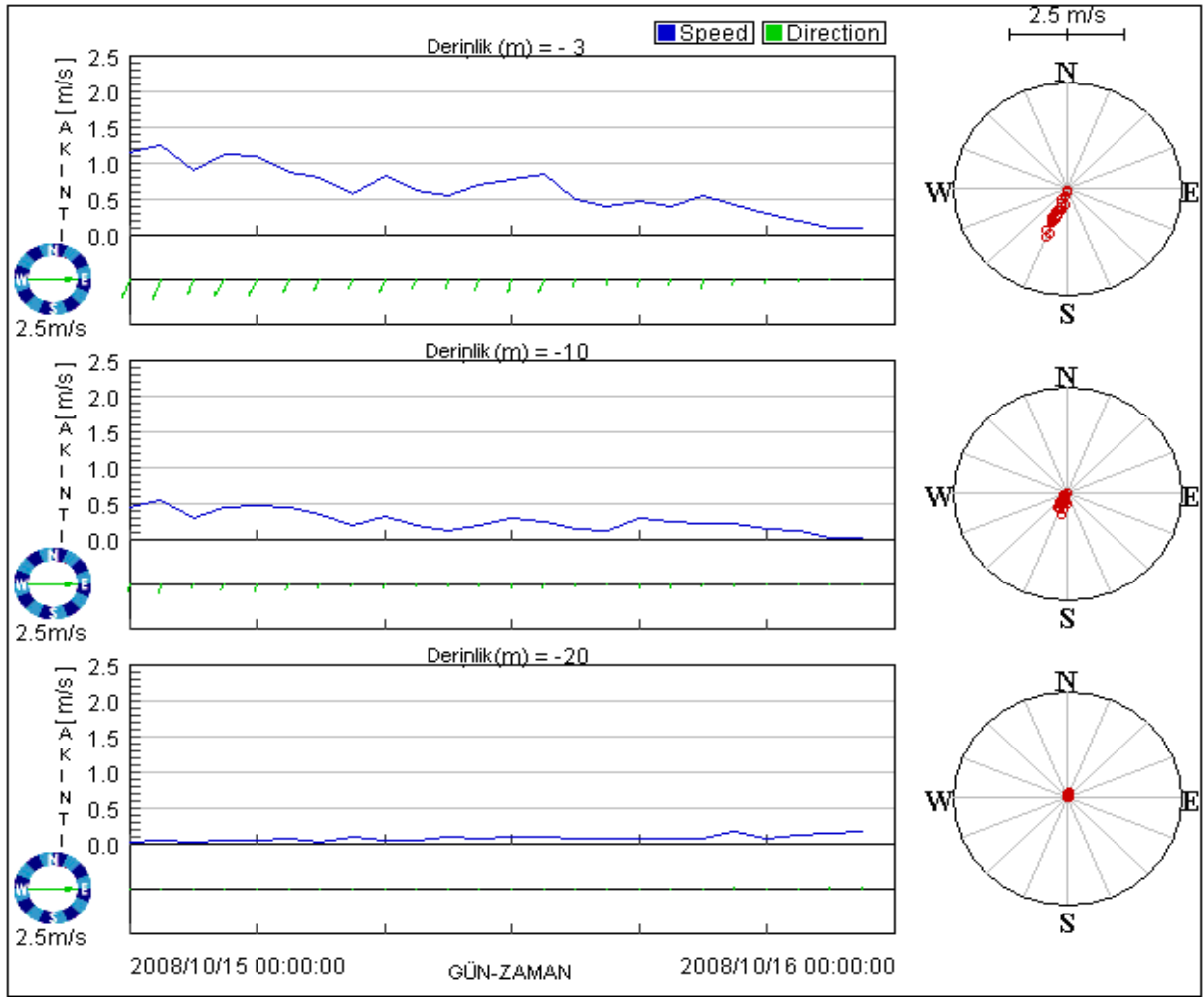
Koordinatlara göre bölgelere ayırma, derinliklere göre sınıflandırma ve benzeri çalışmalar 15.10.2008 ölçümü için Şekil 6.49, Şekil 6.50, Şekil 6.51 ve Şekil 6.52 'de gösterilmiştir.



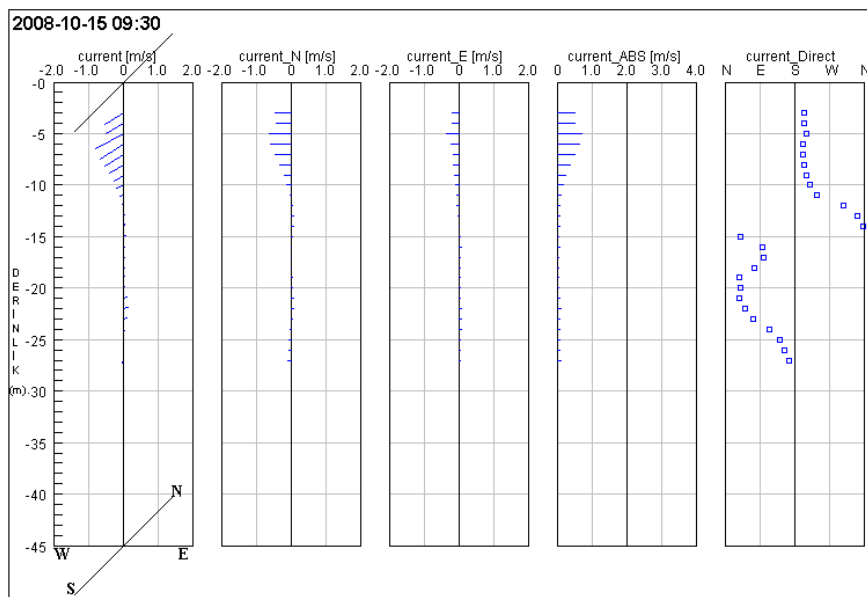
Şekil 6.49 Akıntı hızı ölçümü değerleri (15.10.2008 çalışma bölgesi ölçümü)



Şekil 6.50 Akıntı hızı ölçümü değerleri (15.10.2008 çalışma bölgesi ölçümü)



Şekil 6.51 Akıntı hızı ve yönünün derinliklere göre dağılımı (15.10.2008 çalışma bölgesi ölçümü)



Şekil 6.52 Akıntı hızı ve yönü dik profilleri (15.10.2008 çalışma bölgesi ölçümü)

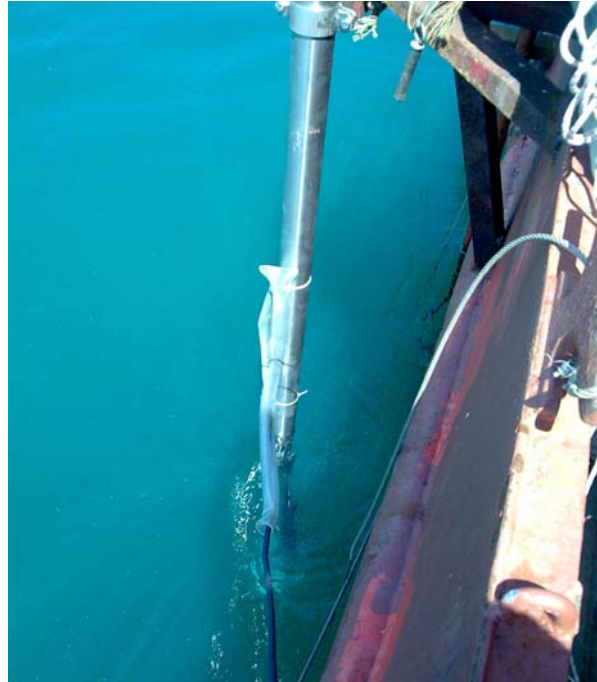
6.3.2 RDI ADCP Ölçümleri

6.3.2.1 Ölçüm Ekipmanları ve Hazırlıkları

Genelde hareketli ölçüm çalışmaları için kullanıldığından Sontek marka ADP ile aynı ekipmanlara ihtiyaç vardır. Çalışma bölgesindeki çalışmalarda ADCP Şekil 6.53 ve Şekil 6.54'te görüldüğü gibi boruya monte edilerek ölçüm teknesine bağlanmıştır.



Şekil 6.53 Krom boruya ADCP montajı

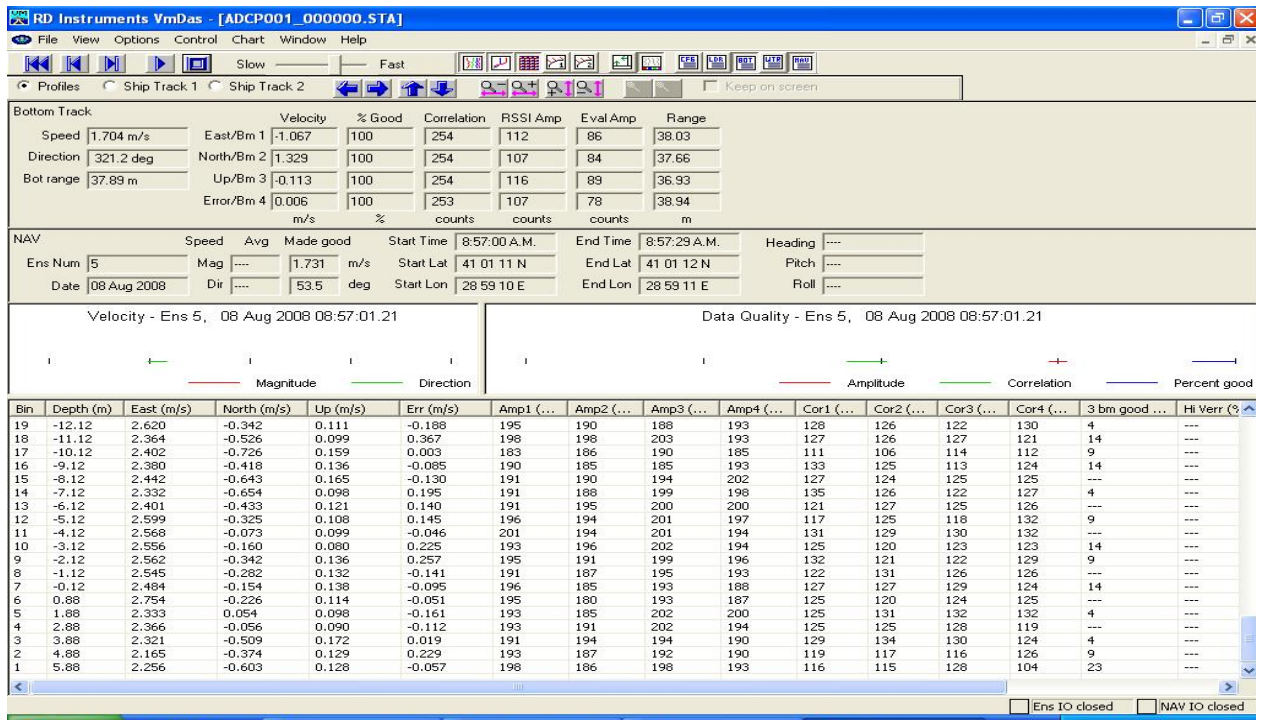


Şekil 6.54 Borunun ölçüm teknesinin yan kısmına montajı

Akıntı hızı ölçerin en az 2 metresinin su içinde kalması sağlanmıştır. Teknenin suya batma miktarının 1 metre civarında olmasından dolayı ADCP aleti için bir etkilenme söz konusu olmamıştır.

6.3.2.2 Ölçümün Yapılması

Ölçüm RDI Firması'na ait VmDas adlı programda yapılmaktadır (Şekil 6.55). Bu programda İstanbul Boğazı için gerekli olan parametreler bir dosya ile alete iletilmektedir. Bu dosya içerisinde derinlik bilgisi, satır sayısı, sütun sayısı, ölçüme başlayacağı derinlik, ölçüm aletinin bulunduğu derinlik, ölçme aralığı gibi parametreler bulunmaktadır.

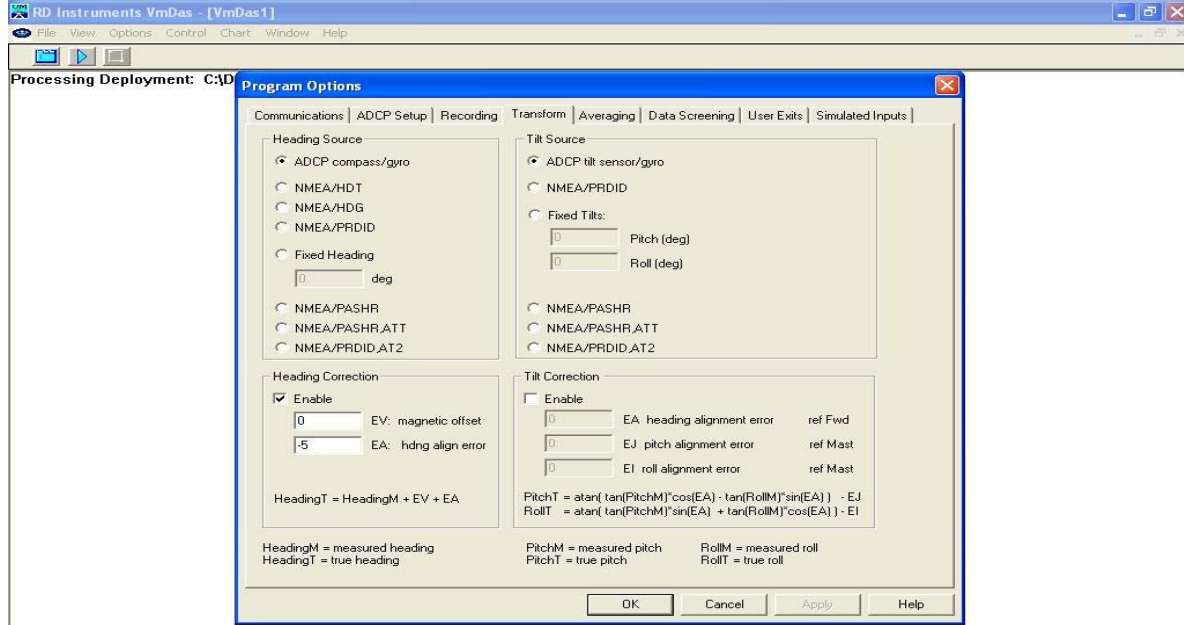


Şekil 6.55 Vmdas programında ölçüm (08.08.2008 çalışma bölgesi ölçümü)

Şekil 6.55 'de ölçme anındaki anlık verileri göstermektedir. Ölçüm anında tespit edilen derinlikler ve derinliklere ait akıntı hızları ölçme ekranında görülmüştür. Buna göre maksimum derinlik -37.89 m ve maksimum akıntı hızı 2 m/sn olarak tespit edilmiştir. Çalışma bölgesindeki ölçümlerde bu akıntı hızı ölçer için de referans dip değişimlerine göre akıntı hızı hesaplanması alınmıştır. Ölçüm esnasında anlık olarak derinliklere göre akıntı hızı ve yönü görülmektedir. Ayrıca enlem, boylam, kuzey açısı ve tüm derinliklerdeki 3 yöne ait akıntı hızı değerleri ölçüm esnasında hesaplanabilmektedir. Ölçüm tamamlandıktan sonra alınan verilere Vmdas programında rota açısı düzeltilmesi yapıldıktan sonra Winadc programında değerlendirme aşamasına geçilmektedir.

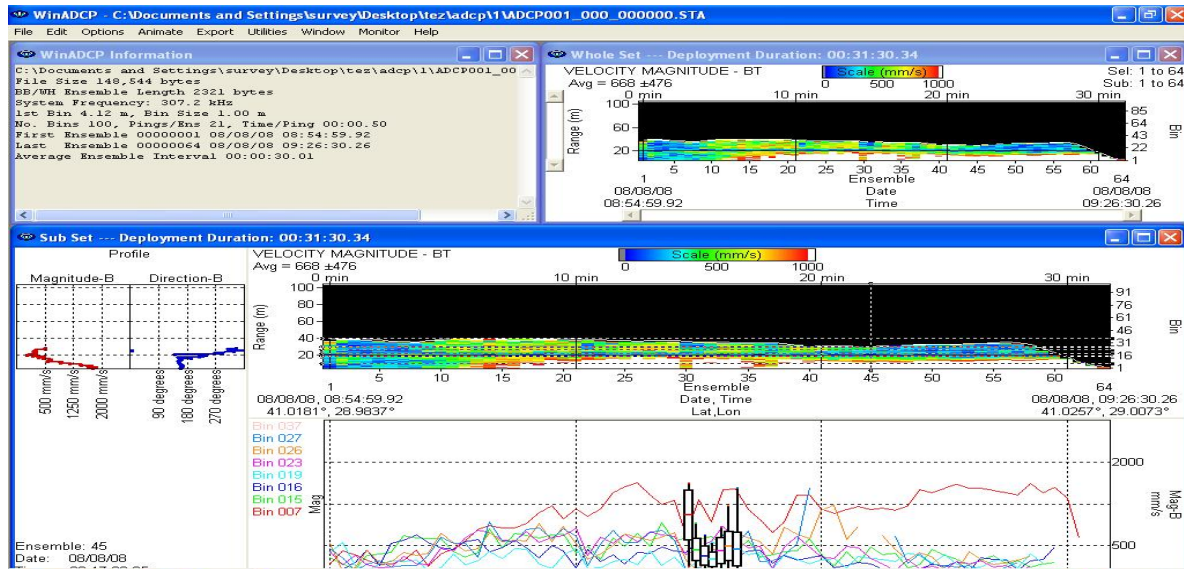
6.3.2.3 Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Ölçüm tamamlandıktan sonra alınan verilere Vmdas programında rota açısı düzeltilmesi yapıldıktan sonra Winadcw programında değerlendirme gerçekleştirilmektedir.



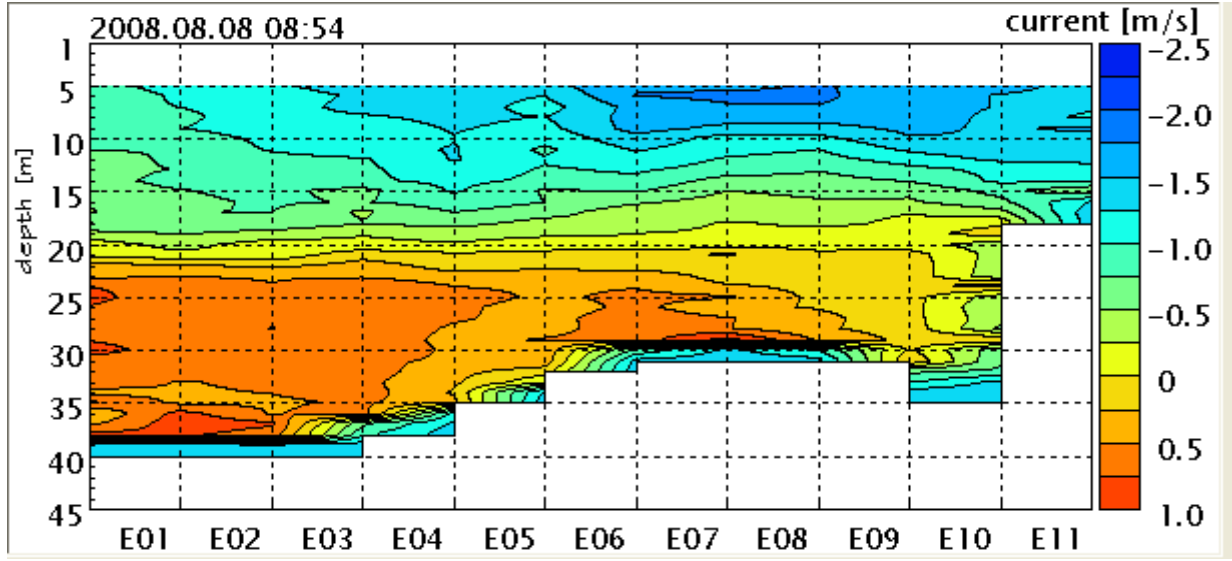
Şekil 6.56 Ölçümünün açısız düzeltilmesinin yapılması (08.08.2008 çalışma bölgesi ölçümü)

Şekil 6.56 'da görüldüğü üzere, ölçüm yapılırken ADCP ve GPS' in belirlediği kuzeyle yapılan açının değerleri arasında -5 derecelik fark saptanmış, verilere -5 derecelik düzeltme getirilmiştir. Bu farkın giderilmesiyle akıntı yönündeki kaba hata giderilmiştir.



Şekil 6.57 Ölçüm verisinin WinADCP programında değerlendirilmesi (08.08.2008 çalışma bölgesi ölçümü)

WinADCP programında değerlendirme aşaması bitirildikten sonra sayısal bilgilerden çeşitli modeller yapılmıştır.

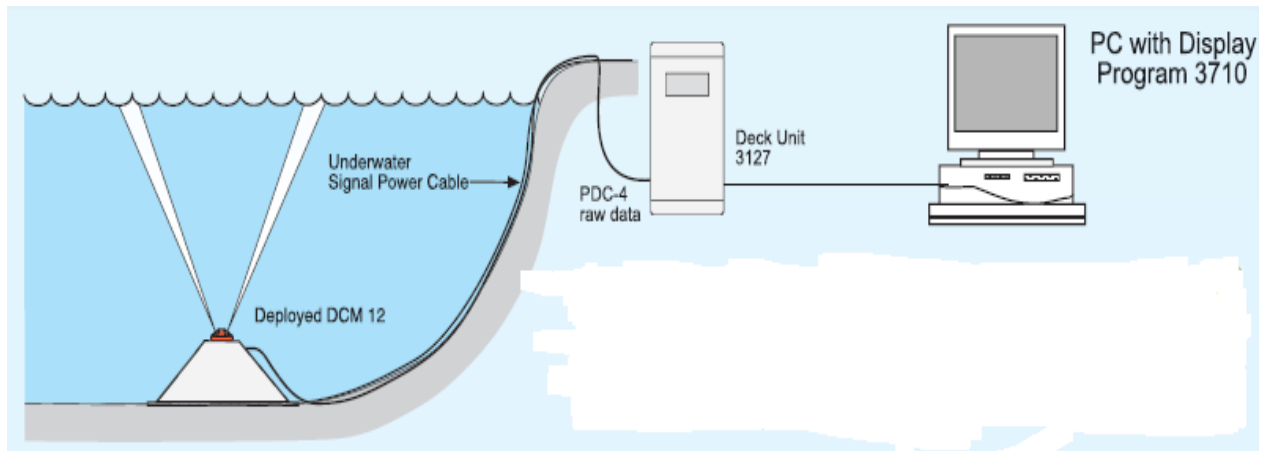


Şekil 6.58 Akıntı hızı grafiği ve skalası (08.08.2008 çalışma bölgesi ölçümü)

Şekil 6.58 'de 08.08.2008 İstanbul Boğazı çalışma güzergahına ait derinliklere göre 1*1m sütunlardan oluşan akıntı hızı grafiği verilmiştir. Bu veriye göre 08.08.2008 tarihindeki çalışmada en yüksek akıntı hızı yüzeyde 2.2 m/sn, dipte 1.1 m/sn olarak tespit edilmiştir.

6.3.3 Aanderaa RDCP-600 Ölçümleri

Sabit olarak yapılan ölçümler için kullanılmaktadır. Veri anlık olarak alınabileceği gibi alet deniz tabanına bırakılıp 60 gün kadar belirlenen aralıklarda ölçüm yaparak kendi hafızasına kaydedebilmektedir. İstanbul Boğazı ölçmelerinde iki yöntemde kullanılmıştır.

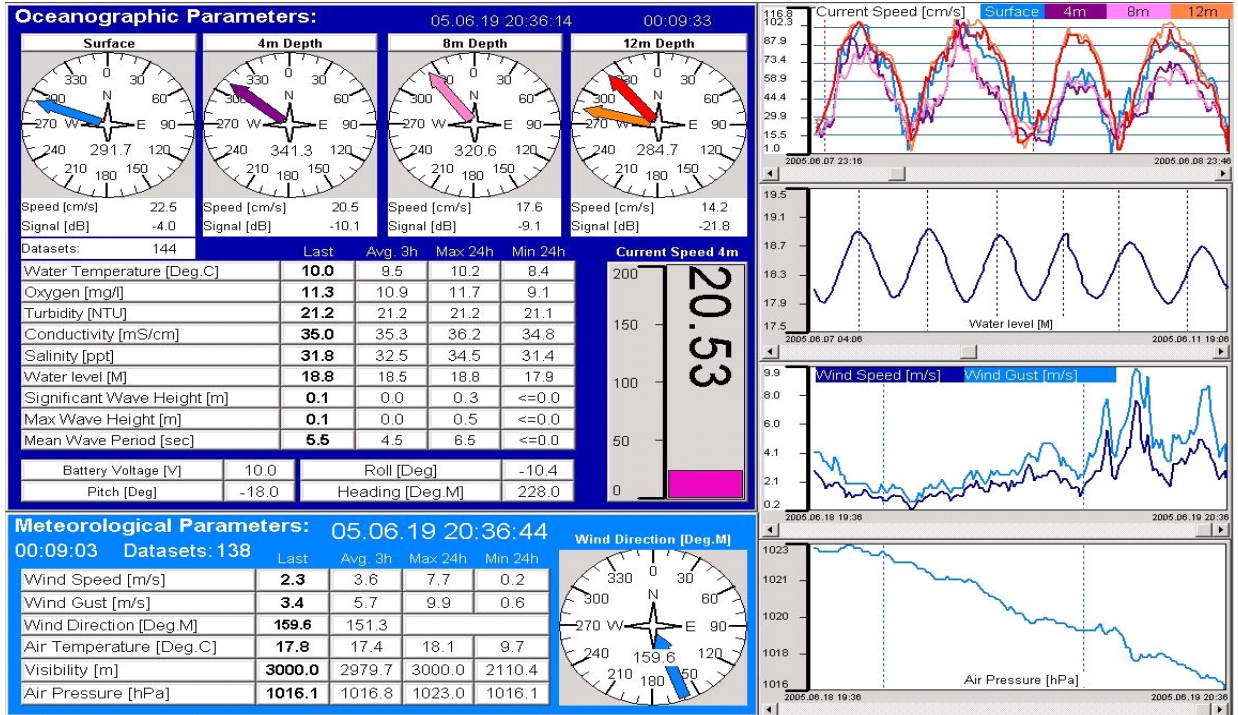


Şekil 6.59 RDCP-600 kurulumu ve anlık veri kaydetme

Şekil 6.59 'da görüldüğü gibi çalışma bölgesindeki akıntı hızının tahmin edilebilmesi için akıntı hızı verileri deniz dibine yerleştiren RDCP-600 tarafından ölçülerek 24 saat boyunca kayıt altına alınmıştır. Alınan veriler ile günlük tahminler karşılaştırılarak modellenmenin doğruluğu ortaya çıkmıştır. Anlık olarak veri gönderme işlemi sürerken alet hafızasına da veri kaydı devam etmiştir. Gelen verilerden grafikler üretilip günlük karşılaştırmalar yapılmıştır.

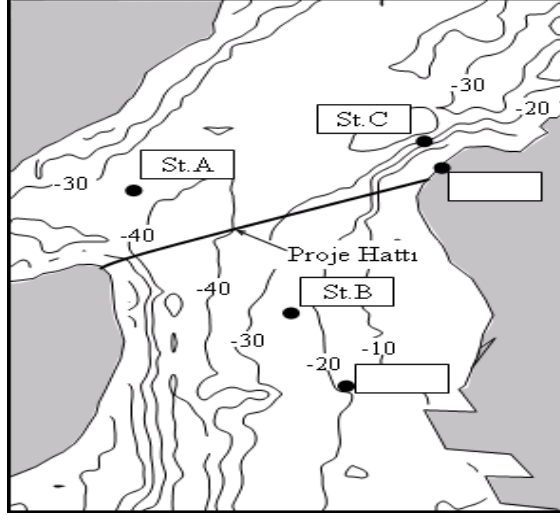


Şekil 6.60 RDCP-600 Bloğu



Şekil 6.61 Ana bilgisayara gelen anlık veri görüntüsü

İstanbul Boğazı çalışma bölgesinde yapılan çalışmalarda 3 adet RDCP-600 kullanılarak bölgenin karakteristik özellikleri çıkartılmaya çalışılmıştır (Şekil 6.62). Ayrıca bu ölçümler ADP ve ADCP ölçümleriyle desteklenmiştir. İstasyon A, B ve C bölgelerine RDCP-600 yerleştirilmiştir. Çalışma 25 Eylül 2004 -10 Nisan 2005 tarihleri arasında yapılmıştır.



Şekil 6.62 İstanbul Boğazı çalışma bölgesinde bulunan RDCP-600 istasyonları

Çizelge 6.11 İstanbul Boğazı çalışma bölgesindeki istasyonlara ait ekipman, istasyon ve koordinat bilgileri

Ekipman	İstasyon	Enlem ve Boylam	Derinlik (m)
RDCP-600	A	41 ⁰ 05' 26.7'' N 28 ⁰ 59' 20.9'' E	35
RDCP-600	B	41 ⁰ 00' 52.4'' N 28 ⁰ 59' 53.6'' E	26
RDCP-600	C	41 ⁰ 01' 35.1'' N 29 ⁰ 00' 30.1'' E	1:35, 2:31 3:30, 4:29

6.3.3.1 Sabit İstasyon Ölçüm Sonuçları

Tüm istasyonlardan elde edilen verilerin durumuna göre tekrarlı ölçümler yapılmıştır. Çizelge 6.12 'de verilen zamanlara ait grafikler üretilmiştir (Ek 1).

Çizelge 6.12 A, B, C istasyonları için ölçüm başlangıç ve bitiş zamanları

İstasyon A	Başlangıç	Bitirme
1	24.09.04 07:01	12.11.04 12:01
2	08.01.05 16:01	24.02.05 10:01
3	24.02.05 15:01	13.04.05 13:01
İstasyon B	Başlangıç	Bitirme
1	24.09.04 07:01	13.11.04 14:01
2	04.12.04 18:01	10.01.05 14:01
3	25.02.05 16:01	08.04.05 10:01
İstasyon C	Başlangıç	Bitirme
1	24.09.04 14:01	15.11.04 11:01
2	24.01.05 20:01	23.02.05 15:01
3	23.02.05 21:01	12.04.05 13:01

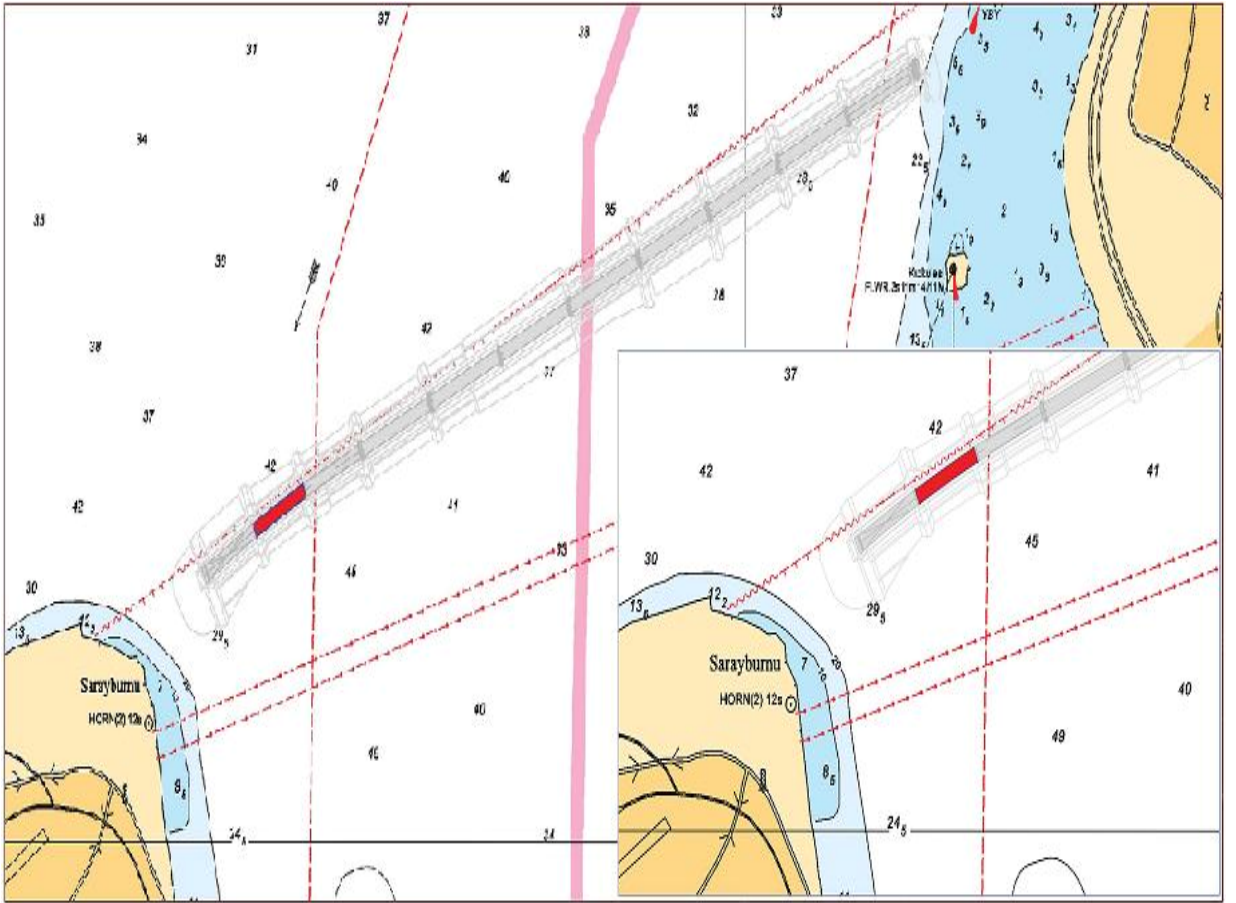
Ek 1' de verilen grafikler İstasyon A, İstasyon B ve İstasyon C' ye ait kuzey yönlü üç boyutlu ve iki boyutlu akıntı hızı profilleridir. Bu profillerde 7 m, 15 m ve 25 m derinliklerdeki akıntı hızları verilmiştir. Bu grafiklere göre en yüksek kuzey yönlü akıntı hızı İstasyon B için tespit edilmiştir. Yüze en yakın referans noktası olan -7 metredeki maksimum akıntı hızı 2 m/sn olarak saptanmıştır. Tüm grafikler incelendiğinde çalışma bölgesinde akıntı hızının en fazla olduğu aylar ekim, ocak ve şubat ayları olmuştur. Akıntı hızının en düşük olduğu bölge ise İstasyon A olarak görülmüştür.

Akıntı hızı ölçümleri 2004 yılı itibariyle başlamış, Temmuz 2009'da sona erdirilmiştir. Bu süreç içerisinde Marmaray projesi güzergahı boyunca -6 metre derinlikte maksimum 3.0 m/sn, minimum 0.5 m/sn akıntı tespit edilmiştir. Proje şartnamesinde belirtilen iş güvenliği maddeleri gereği -15 metre derinliğe kadar olan akıntı hızı ortalaması 1.5 m/sn geçmesi durumunda deniz çalışmaları durdurulmuştur. Bu yüzden tüm sonuçlar grafiksel olarak ifade edilip incelenmiştir. Bu incelemeler sonunda sayısal verilerden yararlanılarak akıntı hızı tahminleri için modellemeler ve çalışmalar yapılmıştır. Akıntının modellenmesi için hareketli ve sabit halde yapılan ölçmeler birbirleriyle ilişkilendirilmiştir. Bu sayede farklı marka akıntı hızı ölçerler karşılaştırılmış ve doğrulukları teyit edilmiştir. Ayrıca akıntı tahminlerinin yapılabilmesi için gerekli rüzgar, su seviyesi verileri gibi bilgiler kurulan diğer istasyonlardan sağlanarak tüm verilerin birleşimi sağlanmıştır.

6.4 Çalışma Bölgesindeki Batimetri Ölçümleri

Çalışma bölgesi olarak İstanbul Boğazı'nda halen devam etmekte olan Marmaray Tüp Geçit Projesi'nde yapılan ölçümler ele alınmıştır. Proje için oldukça önemli olan hidrografik ölçmeler 5 yıl boyunca yapılmıştır. İstanbul Boğazı çalışma bölgesinde yapılan tüm batimetri ölçümleri çok bimli akustik iskandil kullanarak yapılmıştır. Kalibrasyonlar ve 3 metreden daha sığ yerler için tek bimli akustik iskandil kullanılmıştır.

Çalışma bölgesi içerisinde batimetrik haritası üretilecek alan için Element-2 Bölgesi seçilmiştir (Şekil 6.63).



Şekil 6.63 İstanbul Boğazı çalışma bölgesinde bulunan Element-2 Bölgesi

6.4.1 Ölçüm Ekipmanları

İstanbul Boğazı batimetri çalışmalarında kullanılan aletlerin tümünün birbirine senkronize edilerek uyum içinde çalışması sağlanmıştır. Çizelge 6.13 'de belirtildiği üzere tüm aletlerin isimleri, markaları ve özellikleri belirtilmiştir.

Çizelge 6.13 Batimetrik ölçme aletleri

İsim	Marka	Üretici	Özellikleri
Çok Bimli Akustik İskandil	SEABAT 9001	RESON	Frekans Yaklaşık. 455 kHz Görüntüleme açısı: 1.5° (Tam Açık) Bim Sayısı: 60 Çözümleme: 0.05 m Veri Güncelleme: 2.5,5,10m Sıralama= 15 kez/Sn. 25m Sıralama =13 kez/Sn. 50m Sıralama=7 kez/Sn. 100m Sıralama = 3.5 kez/Sn. 200m Sıralama = 2 kez/Sn.
RTK-GPS	Baz İstasyonu MS-750	Trimble	Kanal Sayısı: 9 Ölçme Doğruluğu: Yatay Dönüklük: 0.01 m + 2 ppm Düşey Dönüklük: 0.02 m + 2 ppm
	Gezici sistem: MS-750	Trimble	Kanal Sayısı: 9 Ölçme Doğruluğu: Yatay Dönüklük: 0.01 m + 2 ppm Düşey Dönüklük: 0.02 m + 2 ppm
Haraket Sensörü	Dynamic Motion Sensor (DMS-05)	TSS /ELAC	Bat-Çık miktarı Doğruluğu: 5cm yada 5% Yalpalama ve Eğim Doğruluğu: ±0.1° (Dinamik) ±0.05° (Statik)
Gyro Pusula	MERIDIAN SURVEYOR GYROCOMPASS	TSS./SG Brown	Doğruluk:0.05°(Statik) 0.2°(Dinamik) İzleme Hızı : 200°/Sn.
Ses Hızı Ölçer	Smart Sensor	Applied Microsystems	Ölçüm Sıralaması: 1,400 – 1,550 m/s Doğruluk: ±0.06 m/s Çözümleme: 0.015 m/s
Ölçme Programı	HYPACK 8.9	Coastal Oceanographics Inc.	

Bütün aletlerin kalibrasyonları ve bakımları üretildiği fabrikada belirli aralıklarda yapılmıştır. Ölçüm sahasında ölçüm öncesi ve sonrası klasik yöntemler uygulanarak, ölçümü yapan kişi tarafından basit kontroller yapılmıştır.

6.4.2 Ölçüm Teknesi

Hidrografik ölçmelerde ölçüm botunun özellikleri ölçümün hassasiyeti bakımından önemlidir. Botun genişliği, boyu, yüksekliği, hızı, draftı, yalpalığı, pervaneleri, yaşam mahallinin büyüklüğü, manevra kabiliyeti gibi birçok husus ölçümün kalitesi ve güvenliği için önem arz etmektedir. Kurulum planını dikkate alarak botun seçimi yapılmalıdır. İstanbul Boğazı çalışmalarında 5 farklı ölçüm teknesi kullanılmıştır. Bunların içinden Armarin-10 isimli tekne sadece ölçüm için tasarlanmış ve kurulumun daha sağlam olması için bota birçok ayrıntı eklenmiştir (Şekil 6.64).



Şekil 6.64 Armarin-10 ölçüm teknesi

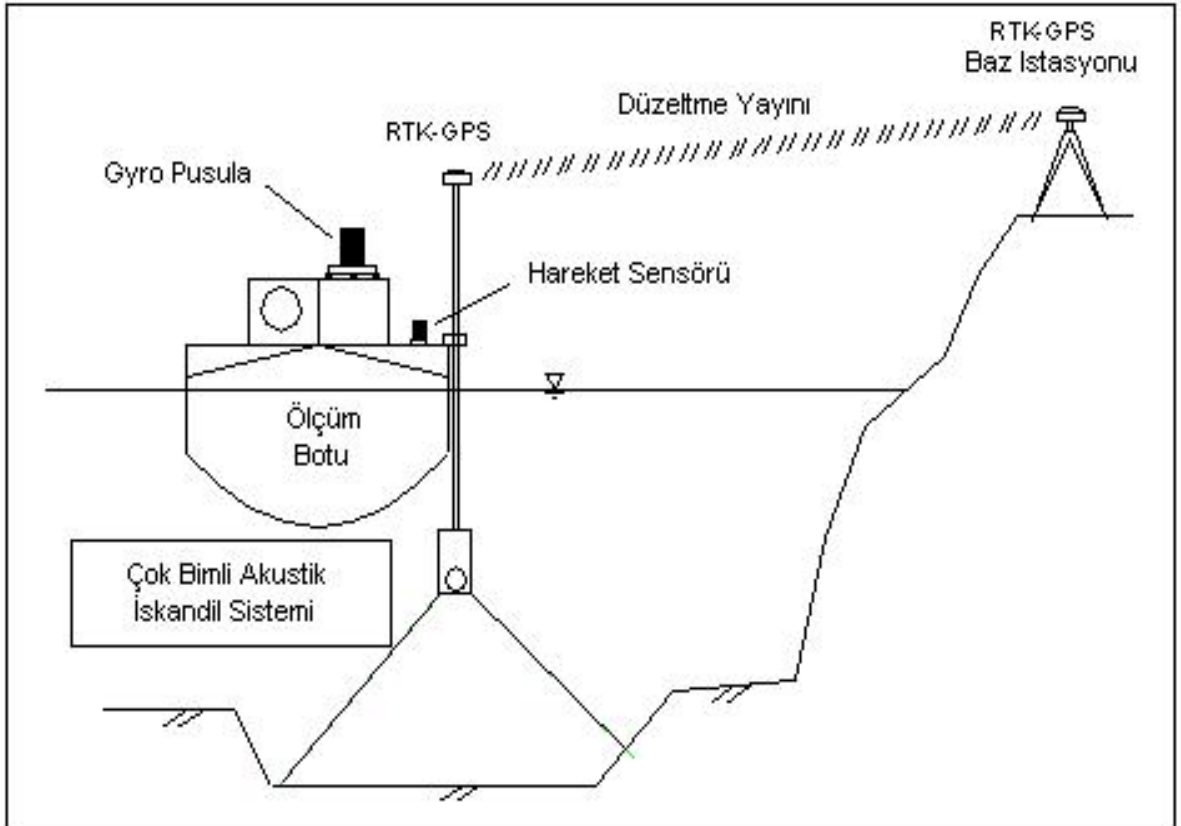
Tekne, yüksek akıntı nedeniyle metal olarak üretilerek dayanıklılığı arttırılmıştır. Ayrıca kaynak ve kesim işleri olabileceğinden, ağaç tekneye göre daha kullanışlı olması tercih sebebidir. Manevra kabiliyetinin artırılması için çift pervane monte edilmiştir. Aletlerin kurulumuna yardımcı olabilmesi için 2 tonluk vinç eklenmiştir. Yaşam mahalli, ekipmanların kurulum düzenine göre yapılmıştır. Teknenin yalpalama miktarının azaltılması için gerekli yalpalık ve draft sağlanmıştır. En önemlisi ise aletlerin denize giren kısımları için bordo üstünde, uygun genişlikte delik açılmıştır (Şekil 6.65). Bunun sebebi, herhangi bir şekilde teknenin sağ ya da sol tarafından darbe alması durumunda deniz içinde bulunan ekipmanların zarar görmemesidir.



Şekil 6.65 Armarin-10 Teknesi'ndeki kurulumun yapıldığı delikler

6.4.3 Ölçüm Aletlerinin Kurulumu

Genel hatlarıyla, batimetrik ölçümlerde gerekli olan derinlik ve koordinat bilgilerinin en hassas şekilde elde edilmesidir. İstanbul Boğazı çevresi çalışmalarında RTK-GPS yöntemi kullanılarak koordinatlar en hassas şekilde belirlenmiştir. Çok bimli akustik iskandil, hareket sensörü ve gyro pusula sayesinde istenilen doğrulukta derinlikler elde edilmiştir. Aletlerin hassasiyetleri dışında kurulumları da oldukça önemlidir. Yapılan uygulamalarda genel olarak ekipman kurulumu ölçüm botunun en uygun yerlerine yapılmıştır (Şekil 6.66).



Şekil 6.66 Genel hatlarıyla Armarin-10 ölçüm teknesindeki ekipman yerleşimi

Ölçüm aletlerinin kurulumu esnasında en önemli unsur hepsinin sabitlenmesidir. Titreme, yerinden kayma vb. hareketler oluştuğunda, ölçüm yapılan alanın gerçek derinliklerinde ve koordinatlarında sapmalar meydana gelmektedir. Bu yüzden Armarin-10 Teknesi'nde deniz içine giren transdüser, çelik halatlar yardımıyla bordoya gerdirilmiştir (Şekil 6.67). Yaşam mahalli içindeki aletler ise çeşitli yöntemlerle kaymayacak şekilde yerleştirilmiştir.



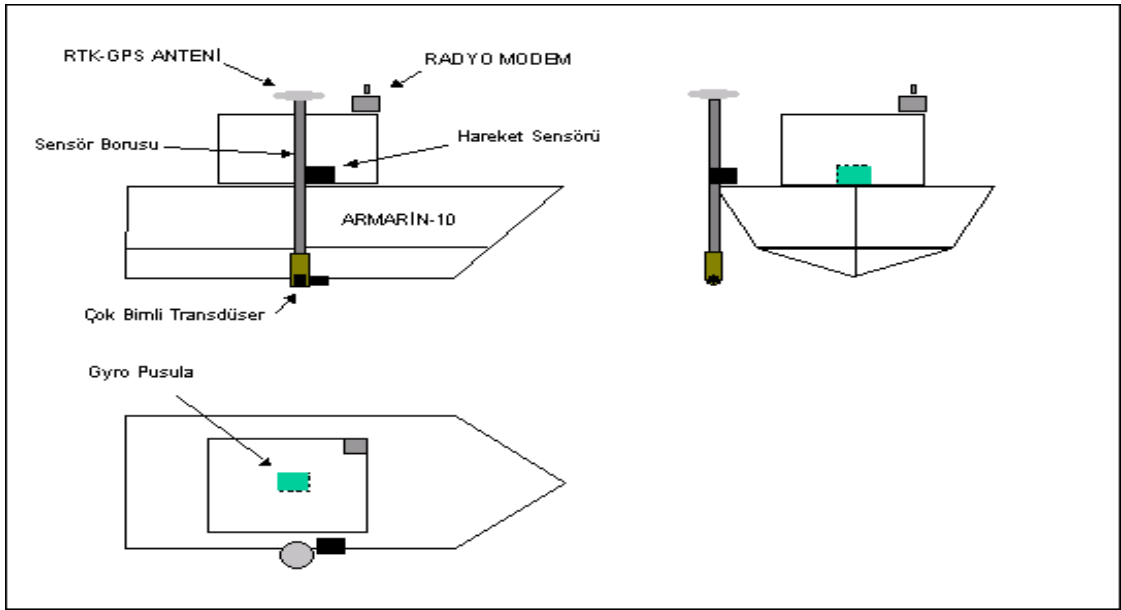
Şekil 6.67 Transdüser ve borusunun Armarin-10 Teknesi'ne kurulmuş hali



Şekil 6.68 Armarin-10 Teknesi içine kurulan gyro pusula, RTK-GPS ve hareket sensörü

6.4.4 Ölçüm Ekipmanları ve Ofsetlerinin Belirlenmesi

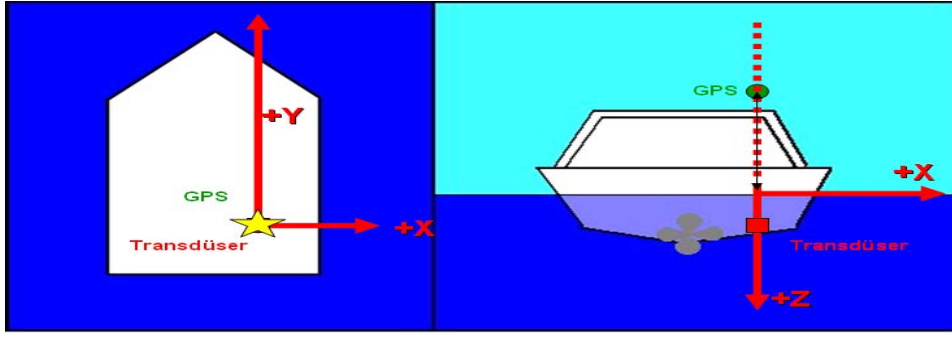
Tüm aletlerin kurulumunun tamamlanmasının ardından, ofsetlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Ofsetlerin belirlenme işlerinin tekne planı üstünden bilgisayar ortamında yapılıp, daha sonra klasik yöntemlerle kontrolü sağlanmalıdır. Ölçüme etki eden en önemli faktörlerden birisi olan ofsetlerin belirlenmesi, doğrudan ölçüm sonuçlarına etki etmektedir. Bunun sebebi ölçülen noktanın yatayda ve düşeyde doğru kestirilebilmesidir. Tüm aletlerin birbirine bağlı çalışabilmesi için tek bir orijine göre ofsetlenmesi gerekir. Çünkü tüm ölçme programlarında aletler bir orijine göre tanımlanmaktadır. Ofsetler genelde ölçüm botunun baş kısmına ya da transdüserin bulunduğu yere göre düzenlenmektedir. Bu çalışmada tüm aletlerin ofsetleri transdüsera göre hesaplanmıştır. Bunun sebebi ise ölçme programında transdüsera herhangi bir ofset değeri girmeden kurulumu gerçekleştirmektir. Böylece programda görüntülenen derinlik değeri transdüserin tam düşeyinde bulunan noktanın derinliği olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.69 Armarin-10 Teknesi'nde bulunan aletlerin plan üzerindeki konumu

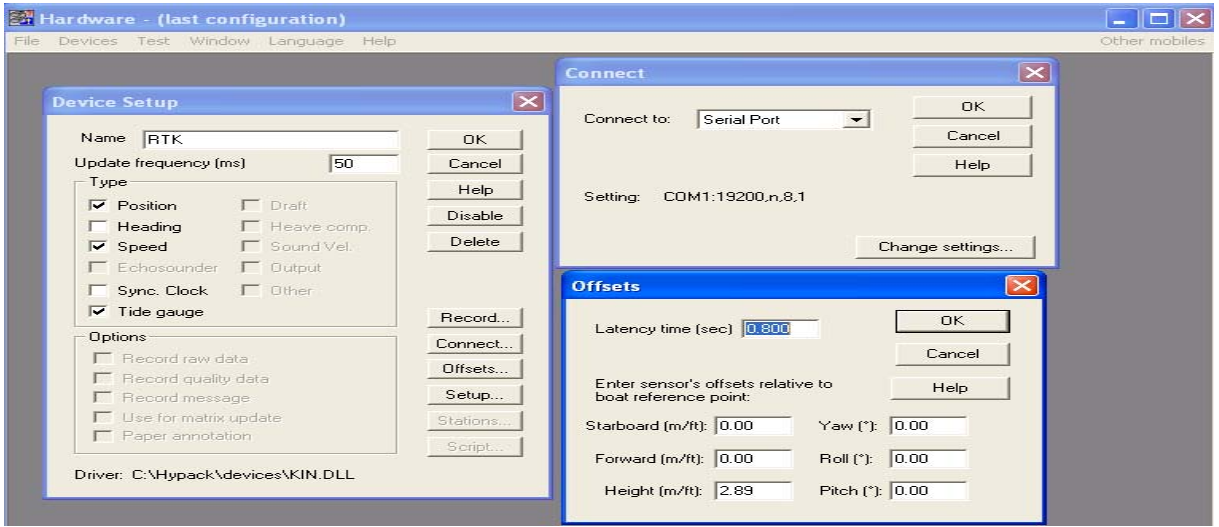
6.4.4.1 RTK-GPS ve Ofsetleri

İstanbul Boğazı batimetri ölçümlerinde koordinatları ve sıfır seviyesini hassas bir şekilde belirlemek için RTK-GPS yöntemi kullanılmıştır. Sarayburnu Bölgesi'nde bulunan baz istasyonundan tüm bölgeyi kapsayacak şekilde devamlı yayın yapılmıştır. Ölçüm teknesinde transdüser borusunun üst kısmına GPS anteni monte edilmiş ve transdüsera göre ofsetleri hesaplanmıştır.



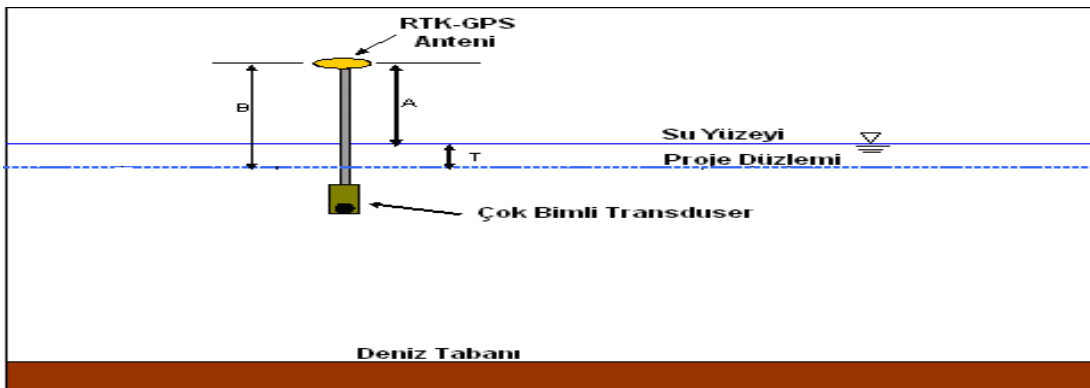
Şekil 6.70 Armarin-10 ölçüm teknesinin GPS yerleşimi ve ofsetlerinin belirlenmesi

Transdüser orijin alınarak belirlenen ofsetler, Hypack Programı'nın donanım menüsünden ilgili hanelere girilmiştir. Böylece alınan kot ve koordinat birbirine ilişkilendirilmiştir.



Şekil 6.71 Hypack Programı'nda ofsetlerin girilmesi ve ekipmanların bağlantı ayarları

Ofsetler girildikten sonra program otomatik olarak sıfır seviyesi farkını hesaplamaktadır.



Şekil 6.72 Sıfır seviyesi farkı hesaplama metodu

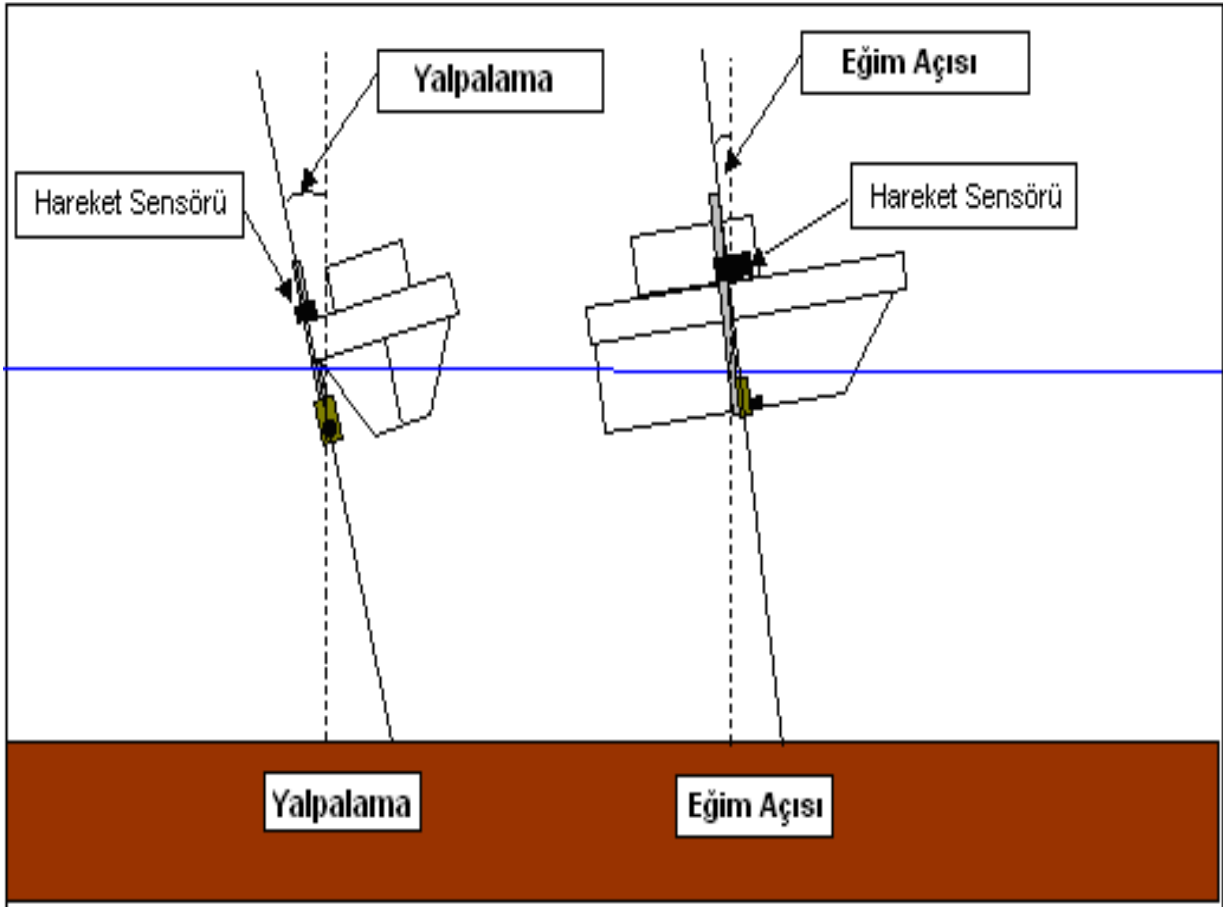
Şekil 6.72 'de RTK-GPS ile elde edilen yükseklik değeri (B), GPS anteninden ortalama su seviyesine olan yükseklik ofseti (A), sıfır seviyesi farkı (T) olarak gösterilmiştir.

$$T=B-A \quad (6.6)$$

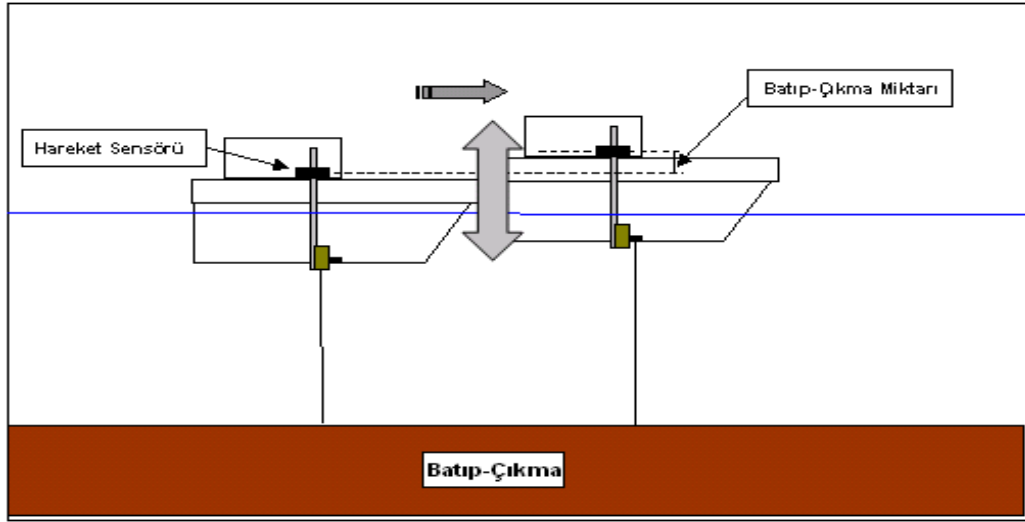
(6.6) formülüyle sıfır seviyesi farkı hesaplanmaktadır. RTK-GPS ile belirlenen bu değer doğruluğu, ofsetlerin hesaplanmasındaki hassaslığa doğrudan bağlıdır. Bu yüzden ölçüm botunda elde edilen sıfır seviyesi farkı Üsküdar mareograf istasyonundan alınan anlık verilerle karşılaştırılmış ve böylece ofsetlerin doğruluğu anlaşılmıştır.

6.4.4.2 Hareket Sensörü ve Ofsetleri

Ölçme esnasında teknenin bat-çık miktarı, yalpalama ve eğim açısının tespiti (baş-kıç açısı), ölçüm sonuçlarını doğrudan etkilemektedir. Bu yüzden batimetrik ölçmelerde hareket sensörü kullanmak çok önemlidir. Özellikle bat-çık değerlerinin kestirilmesi, doğru sıfır seviyesi tespiti için çok büyük bir önem arz etmektedir. Ofsetlerin belirleneceği nokta, üretici firma tarafından sensörün kılavuzu içerisinde verilmiştir.



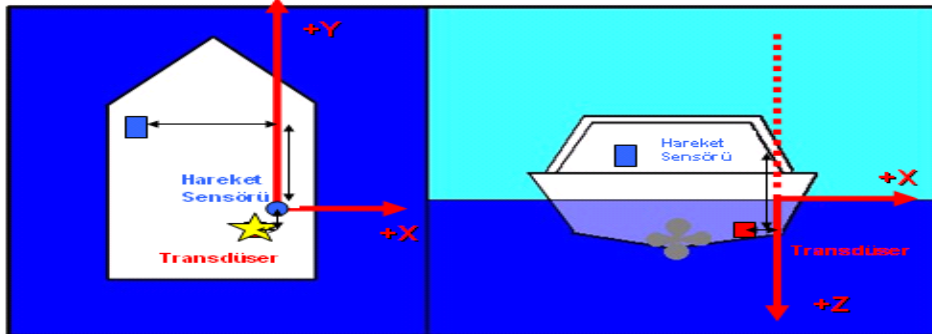
Şekil 6.73 Yalpa ve eğim açısının gösterimi ve tespiti



Şekil 6.74 Bat-çıkma miktarının gösterimi ve tespiti

Çalışma bölgesinde tüm ölçmelerde hareket sensörü kullanılmıştır. Sensör, teknenin yaşam mahalli içerisine monte edilmiştir.

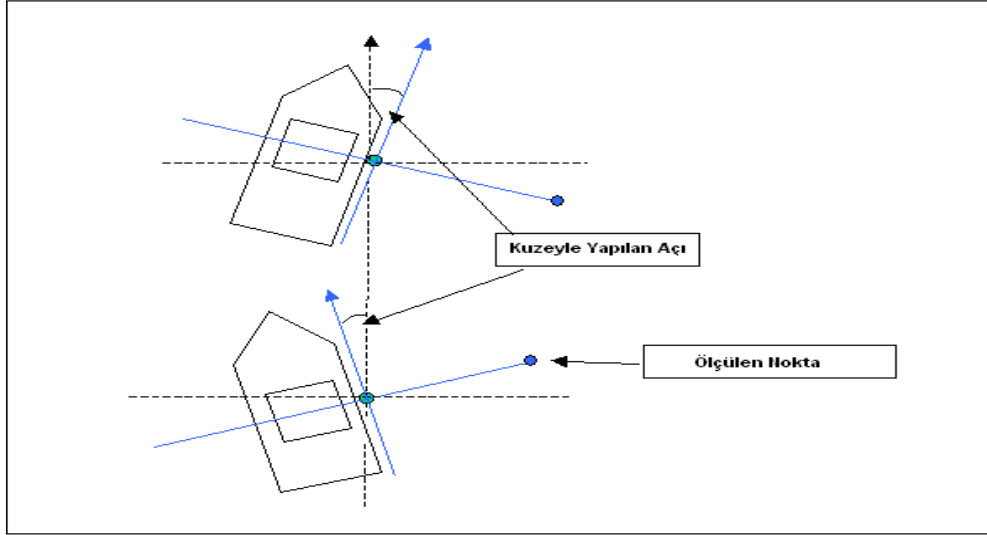
Daha sonra hareket sensörünün transdüserine göre ofsetleri belirlenip, dalganın az olduğu bir bölgede kalibrasyonu yapılmıştır. Belirlenen ofsetler Hypack Programı'na girilmiştir.



Şekil 6.75 Armarin-10 ölçüm teknesindeki hareket sensörü yerleşimi ve ofsetlerinin belirlenmesi

6.4.4.3 Gyro Pusula ve Ofsetleri

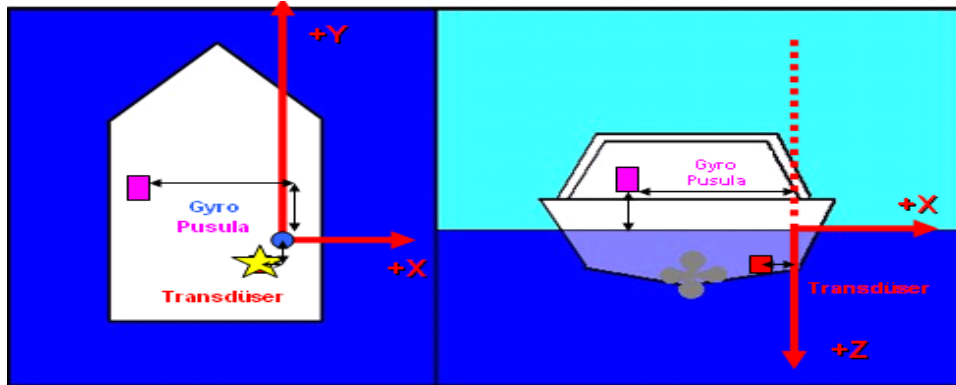
Çok bimli akustik iskandil ile ölçüm yapılırken kuzeyle yapılan açının bilinmesi gerekmektedir. Tam düşey doğrultudaki bim haricinde diğer bimlerin hangi yüzeye çarptığı bu şekilde belirlenmektedir. Ölçüm teknesinin RTK-GPS koordinat bilgileri ve gyro pusulanın kuzey açısının birlikte kullanımıyla navigasyon sistemi oluşturulmaktadır. Günümüzde gyro pusula yerine çift GPS anteni kullanılarak ölçüm teknesinin kuzeyle yaptığı açı saptanabilmektedir.



Şekil 6.76 Ölçüm esnasında gyro pusula ile tespit edilen teknenin kuzeyle yaptığı açı

Proje kapsamındaki tüm ölçmelerde doğruluğu +/- 0.3 derece olan Gyro pusula kullanılmıştır. Gyro pusula ölçüm teknesinin yaşam mahalli içerisine sabitlenmiştir.

Kurulum tamamlandıktan sonra gyro pusulanın transdüser olan ofsetleri plan üzerinde hesaplanmıştır. Daha sonra bu ofsetler Hypack Programı'na girilmiş ve bağlantı işlemleri tamamlanmıştır.

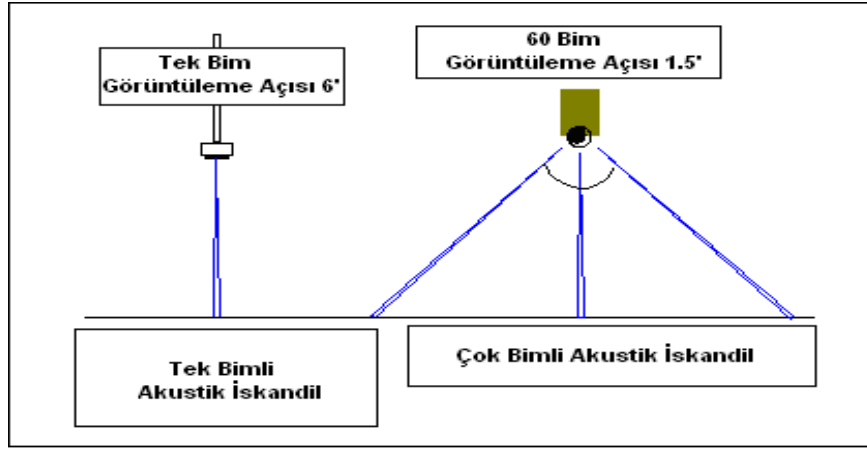


Şekil 6.77 Armarin-10 teknesindeki gyro pusula yerleşimi ve ofsetlerinin belirlenmesi

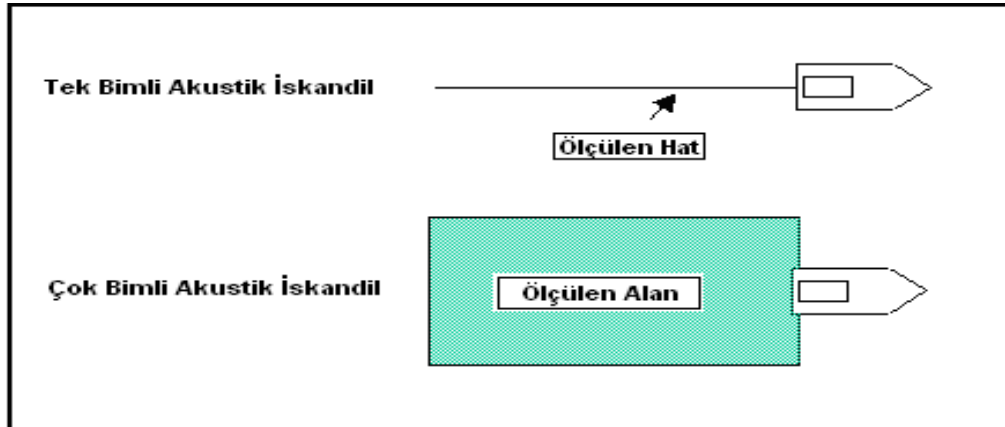
6.4.4.4 Çok Bimli Akustik İskandil ve Ofsetleri

İstanbul Boğazı çalışma bölgesi içerisinde 4 metreden derin tüm alanlarda çok bimli akustik iskandil kullanılmıştır. İskele çevresi, karaya yakın bölgeler, tüp havuzları gibi alanlarda güvenlik açısından tek bimli akustik iskandil kullanılmıştır. Tek bimli ve çok bimli akustik iskandil arasında hassasiyet ve ölçme süresi bakımından birçok fark saptanmıştır.

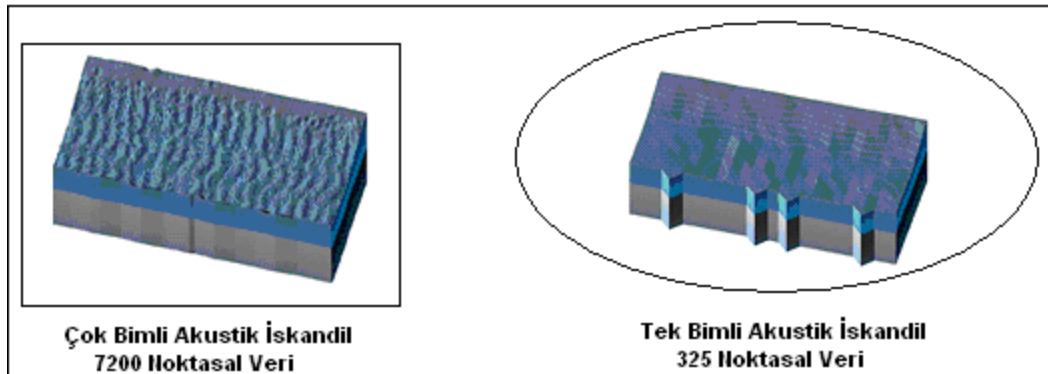
Çalışmalarındaki hassasiyetin yüksek olması gerektiğinden, önemli tüm bölgelerde çok bimli akustik iskandil ile ölçümler yapılmıştır.



Şekil 6.78 Çok bimli ve tek bimli akustik iskandilin deniz tabanını görüntüleme açıları (Tepe açısı)

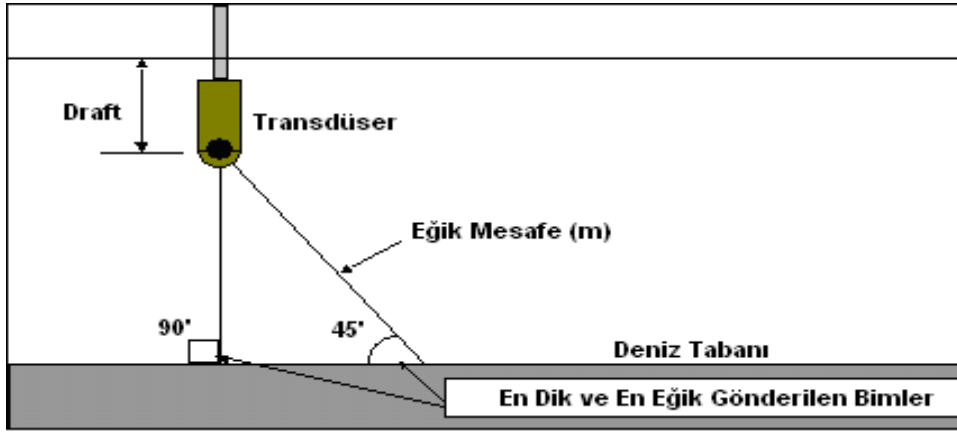


Şekil 6.79 Aynı ölçme hattı boyunca tek bimli ve çok bimli iskandilin taradığı alanlar



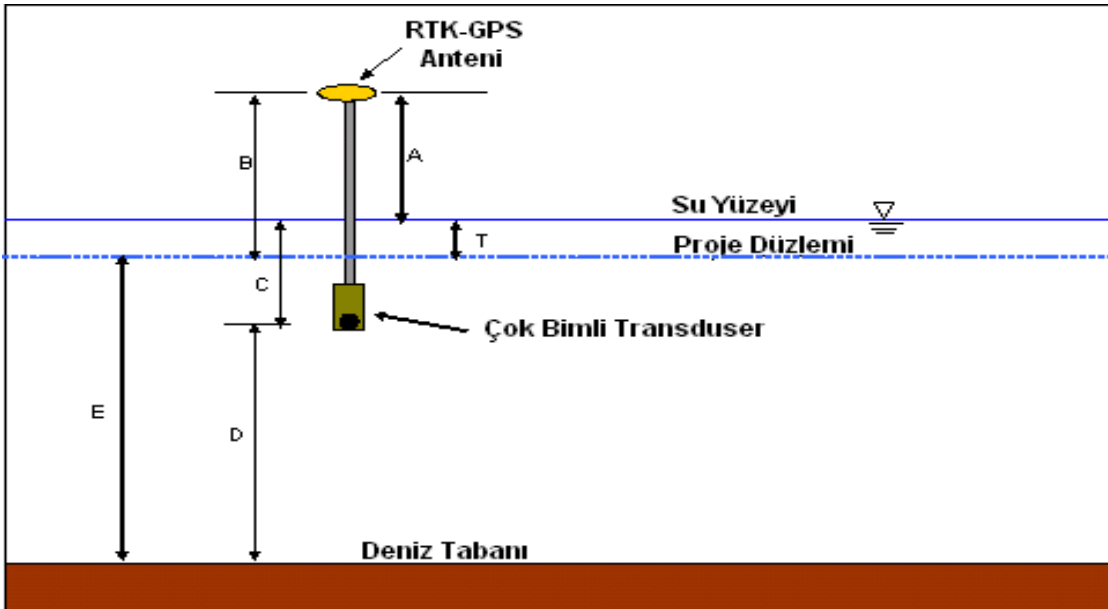
Şekil 6.80 Tek ve çok bimli iskandille yapılan ölçmelerde aynı alana ait ayrıntı haritası

Element-2 Bölgesi çalışmasında kullanılan çok bimli akustik iskandil, 60 adet ayrı derecede bım göndererek ölçme yapmaktadır. Aynı anda gönderilen bu bımlerin en son açısı 45 derece ile tabana ulaşmaktadır (Şekil 6.81).



Şekil 6.81 Bımlerin gönderilme açıları

Derinlikler, belirlenen hataların elemine edilmesiyle elde edilmiştir. Genel hatlarıyla derinlik, proje düzleminde (geoit) deniz tabanına olan mesafeyi vermektedir. Bunun hesabı için birçok veri Hypack Programı ile toplanmış ve verilerin değerlendirilmesi yapılmıştır.



Şekil 6.82 Genel hatlarıyla derinlik hesabı

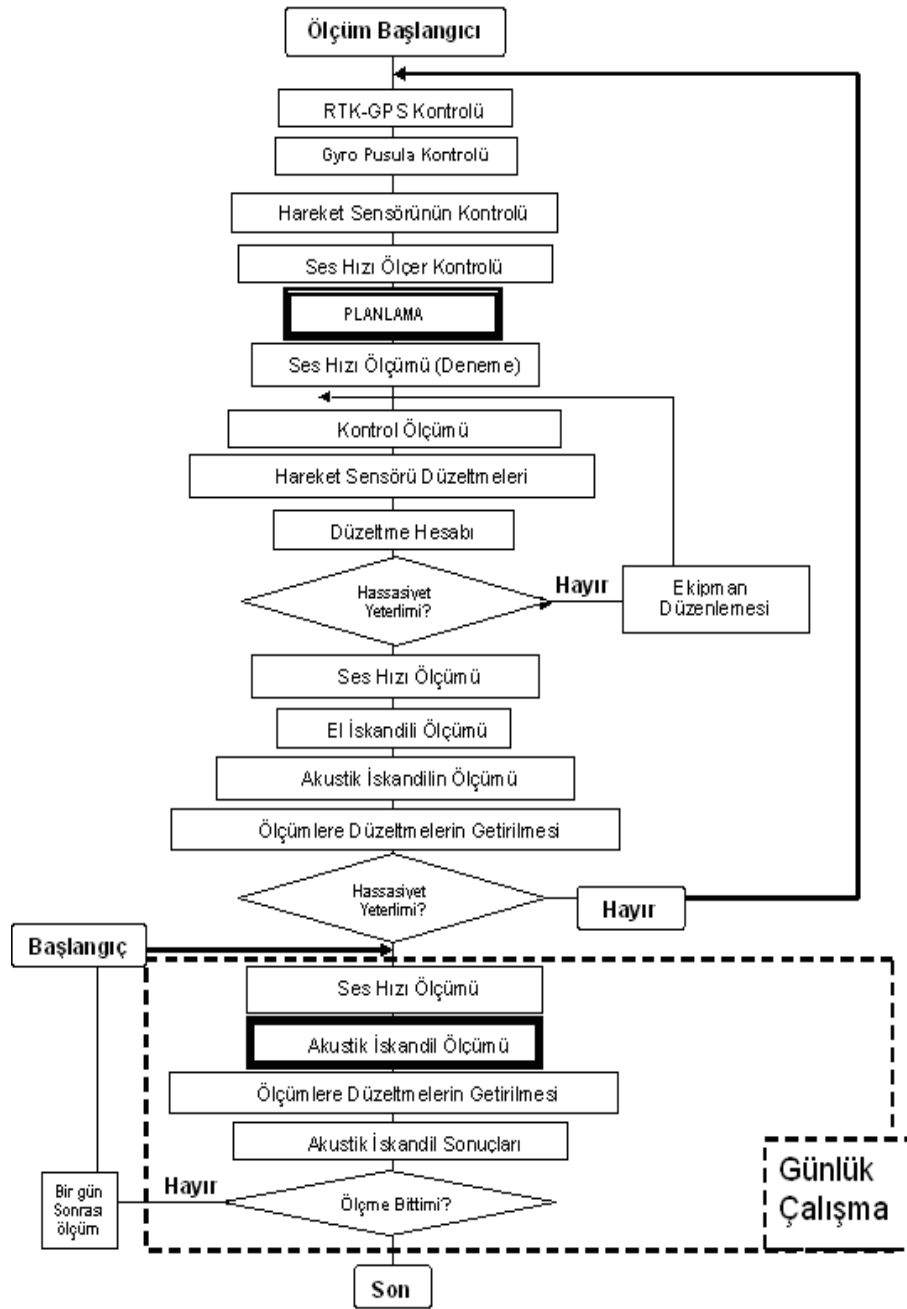
Şekil 6.82 'de elde edilecek derinlik (E), transdüser ile elde edilen derinlik (D), transdüser ile ortalama su seviyesi farkı (C), 0 seviyesi farkı (T), RTK-GPS ile elde edilen yükseklik değeri (B), GPS anteninden ortalama su seviyesine olan yükseklik ofseti (A) olarak gösterilmiştir.

$$E = C + D - T \quad (6.7)$$

Çalışma bölgesindeki tüm ölçmelerde transdüser orijin olarak alındığı için sadece transdüser ile ortalama su seviyesi programa ofset olarak girilmiştir.

6.4.5 Ölçme İşlemleri

Tüm aletlerin kurulum ve ofsetlerinin tamamlanmasının ardından ölçme işlemlerine geçilmiştir. Ölçme işlemleri belirli bir plan içerisinde yürütülmüştür (Şekil 6.83).



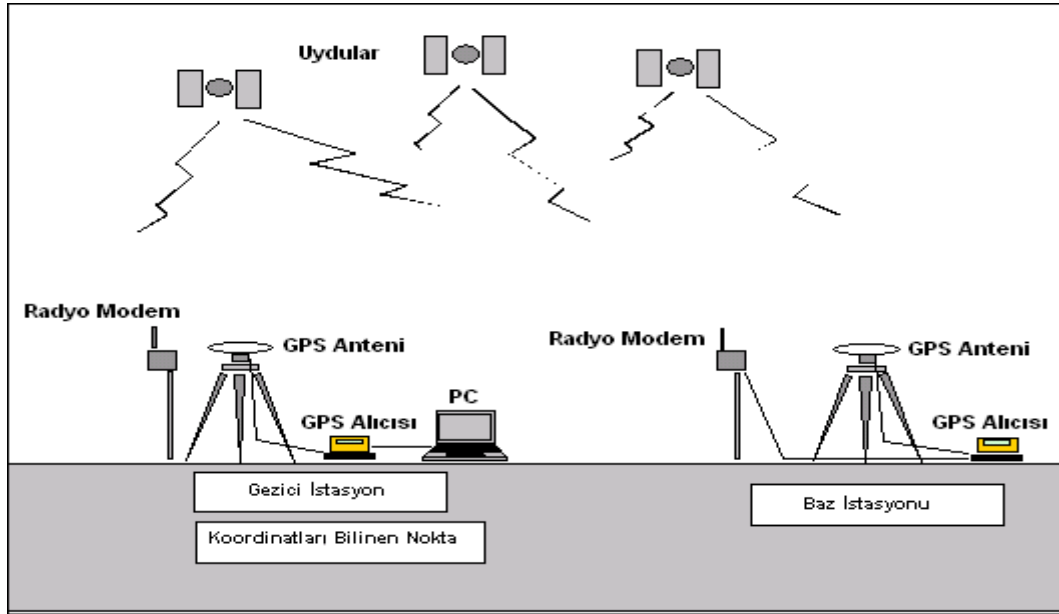
Şekil 6.83 Boğaz çalışmalarında genel hatlarıyla ölçüm adımları

6.4.6 Aletlerin Kontrolü

Tüm ekipmanlar üretici firmalarına gönderilip, kalibrasyonlarının yapılması sağlanmıştır. Yapılan kalibrasyonlar 2 sene aralıklarla tekrarlanmıştır. Bunların dışında ölçme öncesi çalışma alanında klasik yöntemler ile aletlerin doğruluğu test edilmiş ve yapılabilecek kaba hatalar önlenmiştir. Kontrol sonuçlarının proje şartnamesinde belirtilen toleranslar dışında çıkması durumunda 2 senenin dolması beklenmeden ilgili ekipman üretici firmasına gönderilmiştir.

6.4.6.1 RTK-GPS Kontrolü

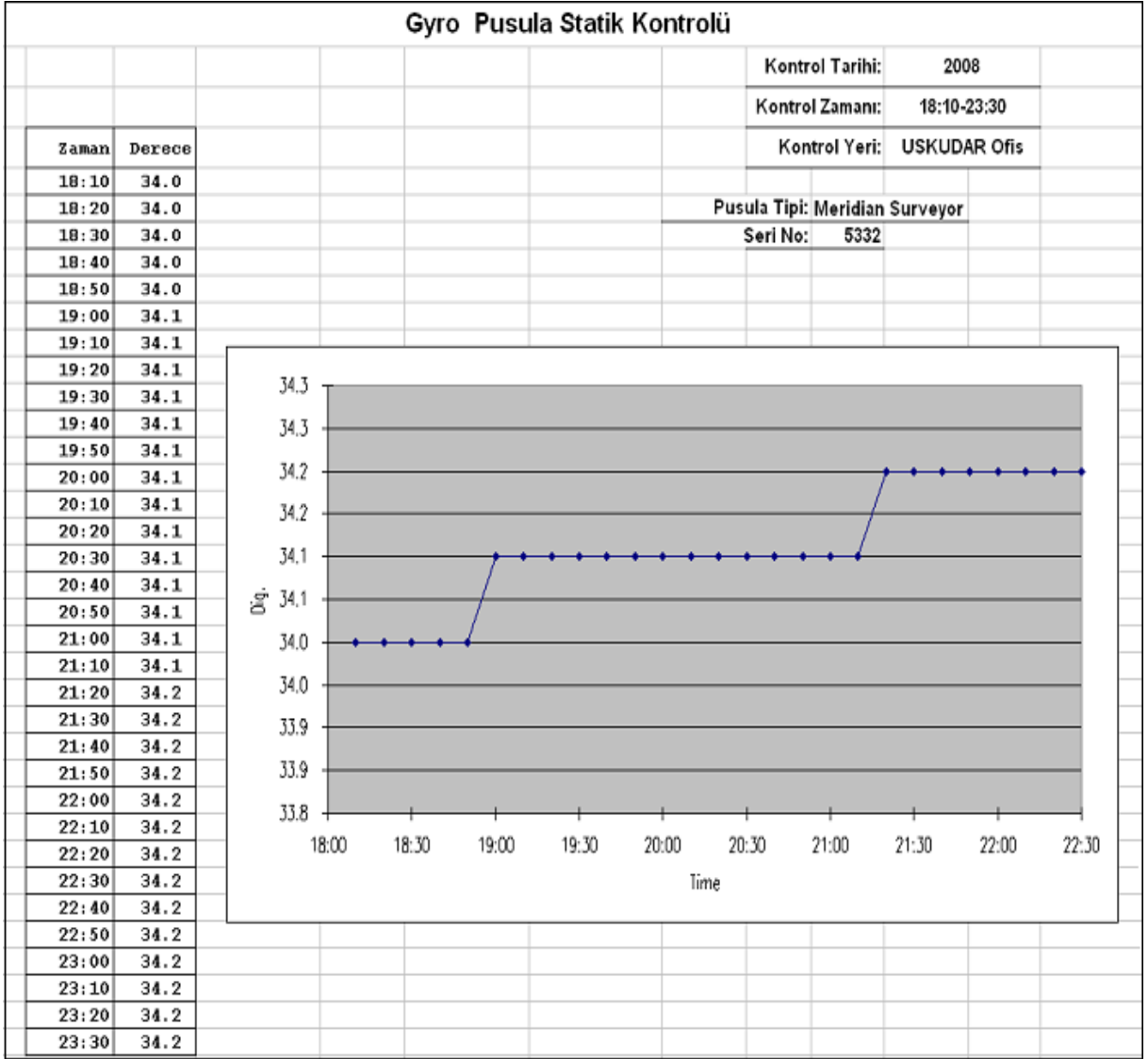
İstanbul Boğazı çalışmalarında kullanılan RTK-GPS yöntemi, her ölçüm öncesi kontrol edilmiştir (Şekil 6.84). Kontrol için kotu ve koordinatları bilinen bir noktaya gezici RTK-GPS kurulmuştur. Yaklaşık 100 adet veri bilgisayar yardımıyla kayıt edilmiş ve ortalaması alınarak gerçek koordinatlarından farkları saptanmıştır. Bu şekilde baz istasyonundan gönderilen düzeltmelerin doğruluğu belirlenmiştir.



Şekil 6.84 Çalışma bölgesinde batimetrik ölçüm öncesi RTK-GPS kontrolü

6.4.6.2 Gyro Pusula Kontrolü

Gyro pusula kontrolü sabit bir ortamda çalıştırılmış ve statik konumda yaklaşık 3 saatlik veri bilgisayara kaydedilmiştir. Sabit bulunduğu ortamın olması gereken kuzey açısı, total station kullanılarak hesaplanmış ve kaydedilen verilerle karşılaştırılmıştır. Belirlenen farkların proje şartnamesinde verilen +/- 0.3 dereceyi aşmadığı görülmüştür.

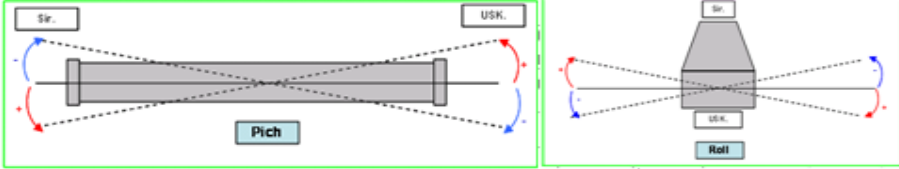


Şekil 6.85 Çalışma bölgesinde batimetrik ölçüm öncesi gyro pusula kontrolü raporu
(14.12.2008 testi)

Gyro pusulanın sabit olmasına rağmen Şekil 6.85’de görülen grafikteki sapmalar tespit edilmiştir. Bu sapmalar gyro pusulanın üretici firmasının verdiği hassasiyet değerleri içerisinde kaldığı için pusula üretici firmaya gönderilmemiştir.

6.4.6.3 Hareket Sensörü Kontrolü

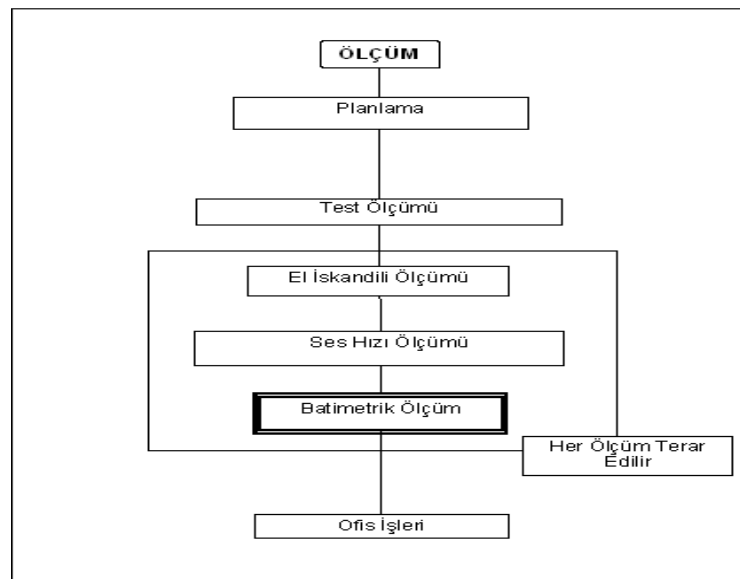
Hareket sensörü kontrolü için liman içi ve dalganın az olduğu bölgede total station ile ölçümler yapılmıştır. Ölçüm sonuçları hareket sensörü sonuçlarıyla karşılaştırıldıktan sonra gerekli düzeltmeler ölçümden önce yapılmıştır. Düzeltme sonrası tekrar total station ile ölçümler yapıp, hareket sensörü değerleriyle karşılaştırılmıştır. Çıkan farklar şartnamede verilen sınırları aşmamıştır (Şekil 6.86).

Hareket Sensörü Kontrolü			
Kalibrasyon Öncesi Ölçüm		Kontrol Tarihi:2008	
Hareket Sensörü Değerlerinden Ölçüm Değeri		Düzeltilme Değeri	
Eğim	0°52'12" (0.87°)	0°3'18" (0.055°)	-0°48'54" (-0.815°)
Yalpa	0°51'00" (0.85°)	0°0'36" (0.01°)	-0°50'24" (-0.84°)
			
Kalibrasyon Sonrası Ölçüm		Kontrol Tarihi:2009	
Hareket Sensörü Değerlerinden Ölçüm Değeri		Farklar	Sonuçlar
Eğim	0°8'48" (0.08°)	0°2'53" (0.048°)	OK / Hayır
Yalpa	0°3'00" (0.05°)	0°00'43" (0.012°)	OK / Hayır
Kontrol Eden:			Ahmet ÇELİKKIRAN

Şekil 6.86 Çalışma bölgesinde batimetrik ölçüm öncesi hareket sensörü kontrolü raporu (14.12.2008 testi)

6.4.7 Ölçüm Öncesi Hazırlıklar

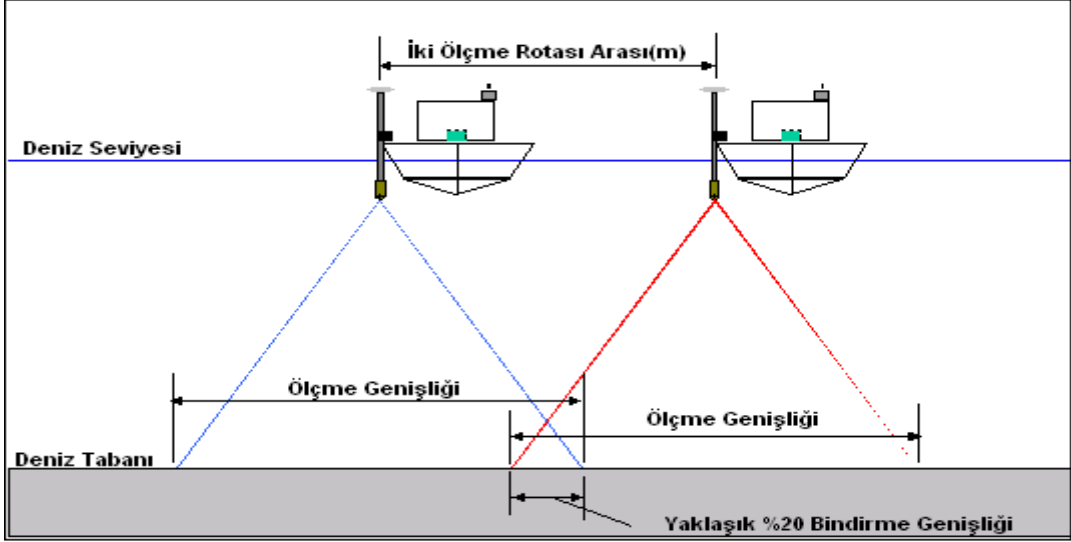
Gerekli test ve kalibrasyonların ardından batimetrik ölçüm öncesi hazırlıklar sırasıyla planlanmıştır (Şekil 6.87).



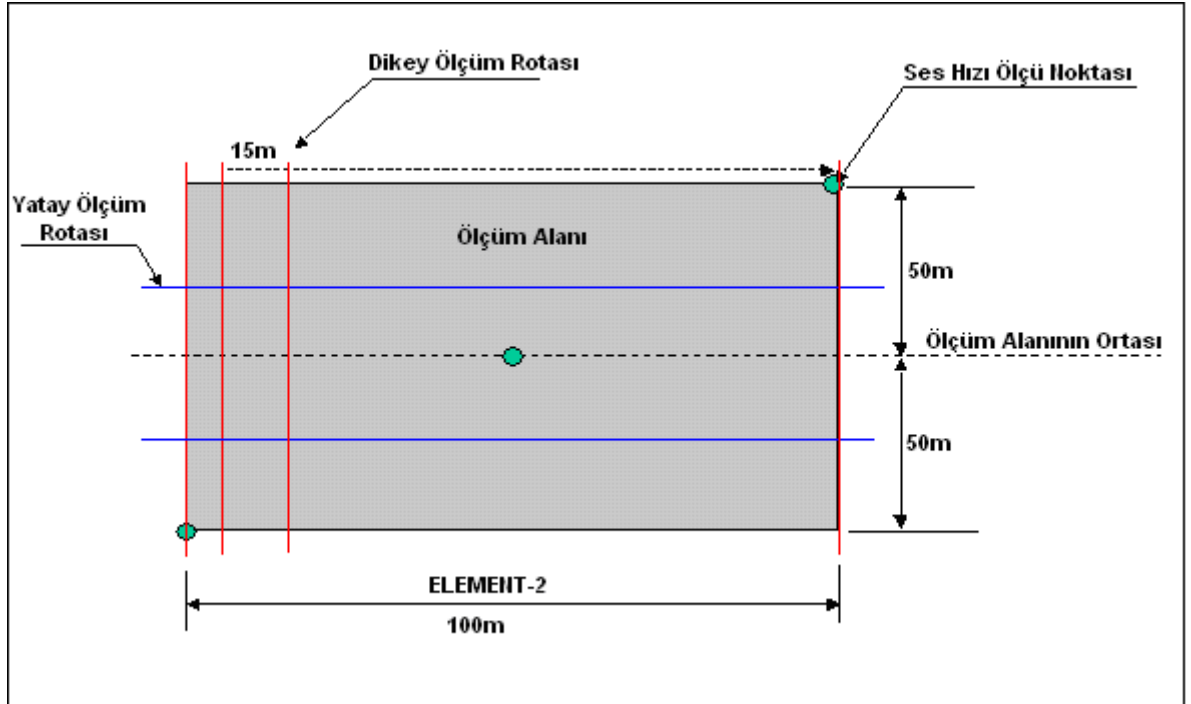
Şekil 6.87 Çalışma bölgesinde uygulanan batimetrik ölçme adımları

6.4.7.1 Planlama

Batimetrik ölçümü yapılacak olan Element-2 Bölgesi'nin ölçüm rotaları, altlığı ve ses hızı ölçüm noktası Hypack Programı'nda çizilmiştir. Hassas bir ölçüm için ölçme rotalarında %20 bindirme oranı dikkate alınarak planlama yapılmıştır. Bölgede kareyaj oluşturacak şekilde yatayda 25 metrelik, dikeyde ise 15 metrelik ölçüm rotaları çizilmiştir. Ses hızı ölçümü için bölgenin tam ortası seçilmiştir. Bunun sebebi tüm ölçüm bölgesine hakim olmasıdır.



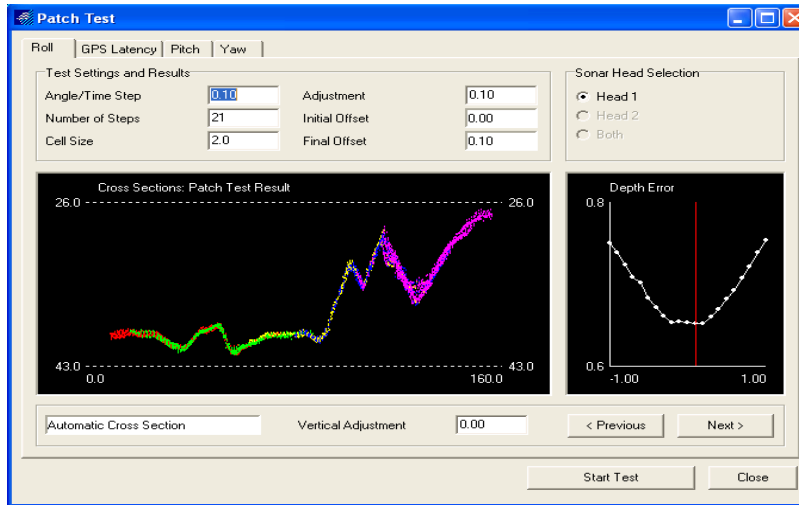
Şekil 6.88 Element-2 Bölgesi için ölçme genişlikleri ve bindirme oranları



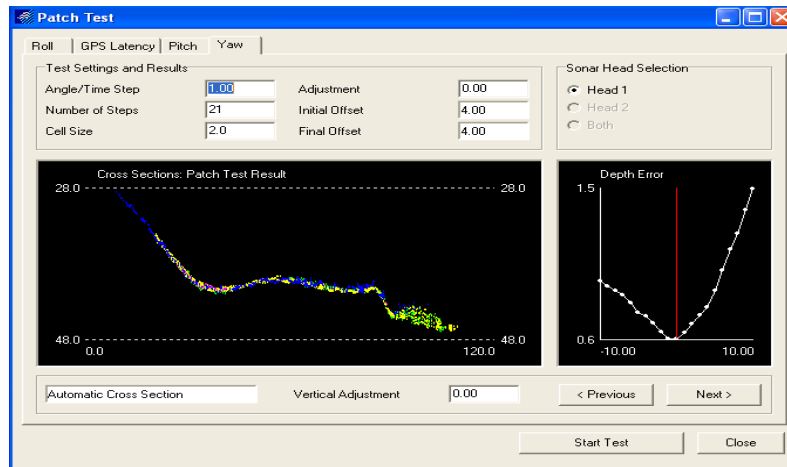
Şekil 6.89 Element-2 Bölgesi için ölçüm rotası ve ses hızı ölçme noktası planı

6.4.7.2 Test Ölçümü

İstanbul Boğazı çalışmalarında test ölçümü aletlerin birbirleri arasındaki senkronizasyon, dönüklük gibi parametrelerin hesaplanabilmesi için belirli aralıklarla yapılmaktadır. Ölçüm yapılan bölge sabit bir bölge olup, daha önceki ölçüm verileri her zaman saklı tutulmaktadır. Test ölçümü sonucunda Hypack Programı ile kalibrasyon değerleri saptanmaktadır (Şekil 6.90) (Şekil 6.91). Şekillerde görünen derinlik hata grafiğinin “U” şeklinde çıkması düzgün dağılımlı hata olduğunu göstermektedir. Düzgün dağılımlı derinlik hatasının saptandığı değerler kaydedilip diğer testlere geçilmiştir. Element-2 Bölgesi için batimetrik ölçüm öncesi test ölçümü yapılmıştır. Bunun sonucunda yalpalama, eğim ve açı düzeltmeleri hesaplanmıştır (Çizelge 6.14). Hesaplanan değerler daha sonra değerlendirme aşamasında kullanılmak üzere saklanmıştır.



Şekil 6.90 Ölçüm sonrası Hypack Programı'nda yalpa verisi düzeltme miktarı hesabı



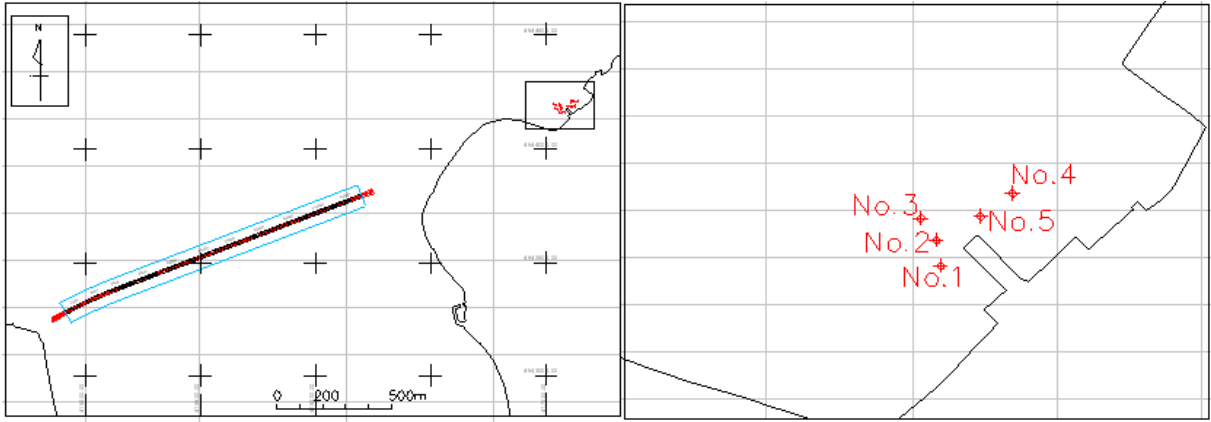
Şekil 6.91 Ölçüm sonrası Hypack Programı'nda gyro pusula verisi düzeltme miktarı hesabı

Çizelge 6.14 Element-2 Bölgesi batimetrik ölçüm verilerinin değerlendirilmesinde kullanılacak test ölçümü sonuçları ve proje şartnamesinde verilen toleranslar

Konu	Hesaplanan	Tolerans	Sonuç
Eğim Açısı (Derece)	-1.0	±3.0	OK
Yalpa (Derece)	0.0	±3.0	OK
Gyro pusla açısı (Derece)	4.0	±5.0	OK

6.4.7.3 El İskandili Ölçümü

Hypack ekranına gelen derinlik bilgisinin doğruluğunu test edebilmek için el iskandili ile ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler için yaklaşık 4 metre derinlikteki dalgaın az olduğu bir bölgede, el iskandili transdüser hizasından tutularak 5 noktadan değerler alınmıştır (Şekil 6.92). Transdüserden alınan değer ile el iskandili ölçümleri karşılaştırılmıştır (Şekil 6.93). Alınan farklar tolerans değeri içinde kaldığından kurulumda herhangi bir hata olmadığı anlaşılmıştır.



Şekil 6.92 El iskandili ölçümü yapılan bölge (15.12.2008)

Nokta	El İskandili						Akustik İskandil			Farklar (a)-(b)	Sonuçlar
	Zaman	Y	X	Z(a1) m	0 Seviyesi (a2) m	Z(a=a1-a2)	Y	X	Z (b)		
1	08:45	417073.03	4544167.16	8.77	0.10	8.67	417073.00	4544167.00	8.76	-0.09	OK / Hayır
2	08:49	417070.80	4544180.25	9.12	0.06	9.06	417071.00	4544180.00	9.08	-0.02	OK / Hayır
3	08:55	417063.01	4544191.59	10.29	0.06	10.23	417063.00	4544192.00	10.29	-0.06	OK / Hayır
4	09:03	417108.94	4544204.36	11.21	0.08	11.30	417109.00	4544204.00	11.35	-0.05	OK / Hayır
5	09:10	417092.96	4544192.59	10.22	0.09	10.31	417093.00	4544193.00	10.33	-0.02	OK / Hayır

Şekil 6.93 El iskandili ve akustik iskandil sonuçlarının karşılaştırılması (15.12.2008)

6.4.7.4 Ses Hızı Ölçümü

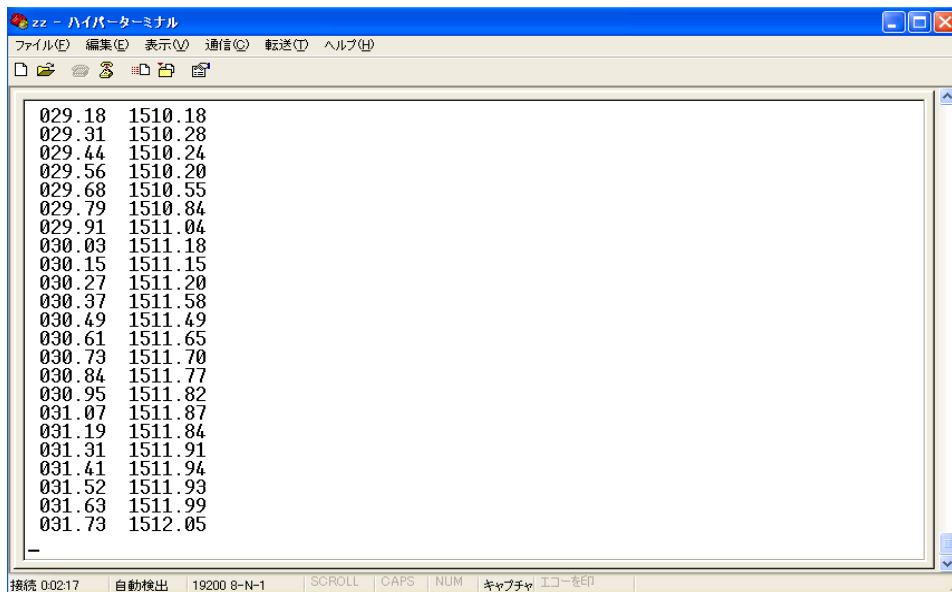
Akustik iskandil ölçmelerinde en önemli faktörlerden biri olan ses hızı ölçmeleri derinliği doğrudan etkilemektedir. Çünkü batimetri ölçmeleri esnasında transdüserden çıkan sinyaller sesin sudaki hızına göre ilerlemektedir. Derinlik transdüserden çıkan ve alınan sinyal sürelerine belirlenmektedir. Ölçme esnasında ses hızı transdüser için sabit olup genelde 1500 m/sn olmaktadır. Bu yüzden sabit ses hızı değerinin gerçek ses hızı ile düzeltilmesi gerekmektedir. Sesin sudaki hızını derinlik, tuzluluk ve su sıcaklığı belirlemektedir. Ses hızı formülleri ölçme işlemi yapılan bölgedeki deniz veya suyun karakteristik özellikleri göz önünde bulundurularak seçilmelidir.

$$c(D,S,T) = 1448.96 + 4.591T - 5.304 \times 10^{-2}T^2 + 2.374 \times 10^{-4}T^3 + 1.340 (S-35) +$$

$$1.630 \times 10^{-2}D + 1.675 \times 10^{-7}D^2 - 1.025 \times 10^{-2}T(S - 35) - 7.139 \times 10^{-13}TD^3 \text{ (Mackenzie, 1981)} \quad (6.8)$$

Formül (6.8) 'de su sıcaklığı (T), tuzluluk (S) ve derinlik (D) değerleri ses hızı tespiti için ilişkilendirilmiştir.

Element-2 Bölgesi batimetrik ölçümü için alanın ortasında ölçüm öncesi ses hızı ölçümü yapılmıştır. Ses hızı ölçer yaklaşık 40 metreye kadar ulaşmıştır. Ölçüm sonrası ham veri derinliklere göre ayrıştırılmıştır (Şekil 6.95). Ses hızı ölçerin ulaşacağı derinliğin artmasıyla batimetri ölçümünün hassasiyeti de artmaktadır. Asıl önemli olan ölçümde kaydedilen maksimum derinliğe kadar ses hızı değerlerinin alınabilmesidir.

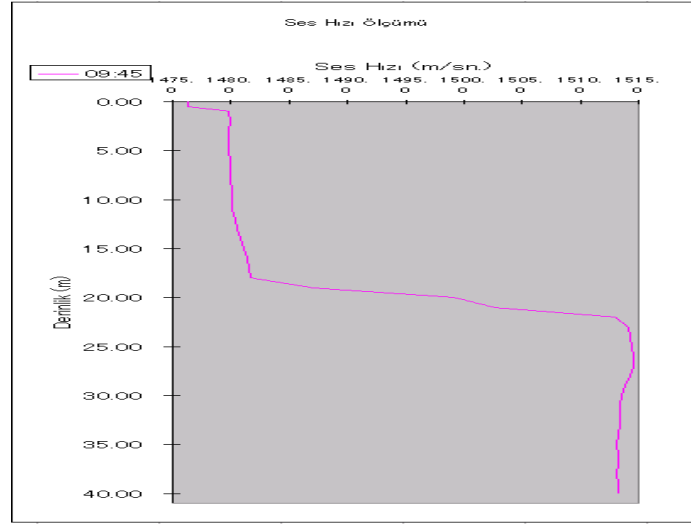


The screenshot shows a terminal window titled 'zz - ハイパーターミナル' (zz - HyperTerminal). The window displays a list of data points in two columns: depth (D) and sound speed (c). The data points are as follows:

029.18	1510.18
029.31	1510.28
029.44	1510.24
029.56	1510.20
029.68	1510.55
029.79	1510.84
029.91	1511.04
030.03	1511.18
030.15	1511.15
030.27	1511.20
030.37	1511.58
030.49	1511.49
030.61	1511.65
030.73	1511.70
030.84	1511.77
030.95	1511.82
031.07	1511.87
031.19	1511.84
031.31	1511.91
031.41	1511.94
031.52	1511.93
031.63	1511.99
031.73	1512.05

The terminal window also shows a status bar at the bottom with the following information: 接続 002:17 | 自動検出 | 19200 8-N-1 | SCROLL | CAPS | NUM | キャプチャ | エコーを印

Şekil 6.94 Element-2 Bölgesi'ndeki ses hızı ham verisi ve kaydedilme anı (15.12.2008)



Şekil 6.95 Element-2 Bölgesi'ne ait metrelere göre ayrıştırlmış ses hızı verisi (15.12.2008)

Şekil 6.95 'de görüldüğü üzere ses hızı değeri 1475 m/sn' den 1515 m/sn' ye kadar çıktığı tespit edilmiştir. Ölçme esnasında sabit alınan ses hızı değeri 1500 m/sn olduğu için gerçek ses hızı değerleriyle elde edilecek derinliklerin farklı olacağı bu şekilde görülmüştür.

6.4.8 Çalışma Bölgesi için Tolerans Değerleri

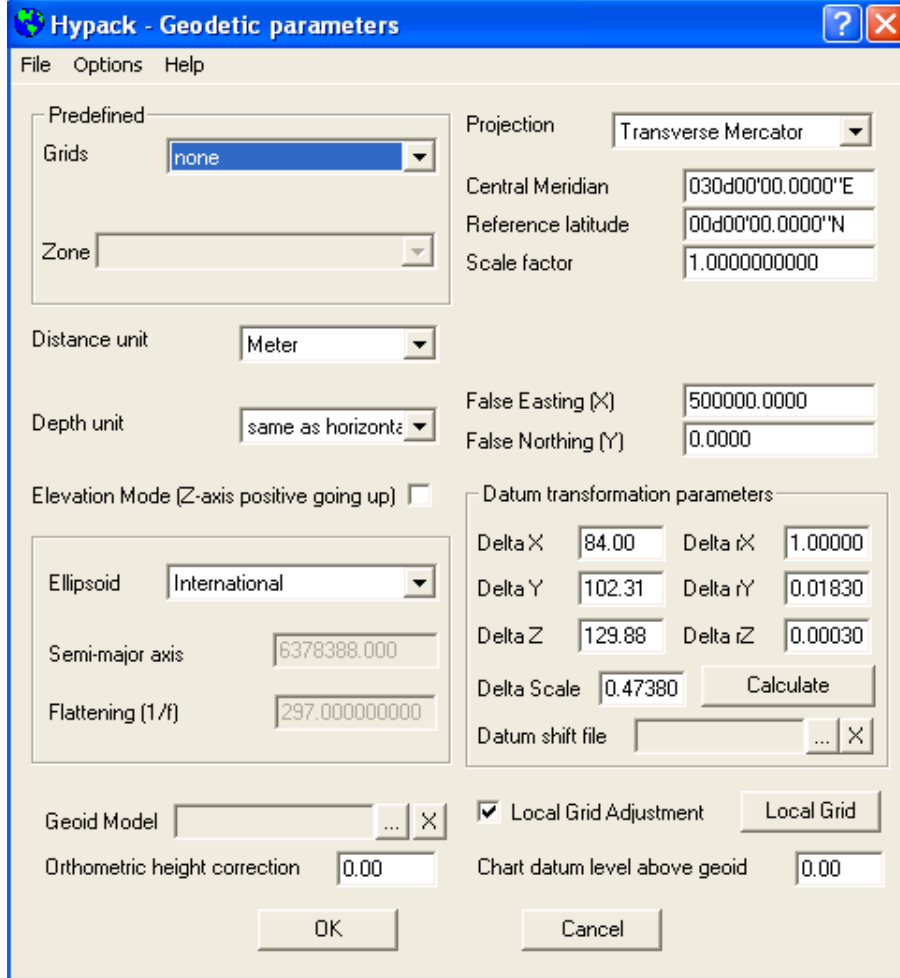
Çalışma bölgesinde tüm ölçülen değerlerle ilgili toleranslar işle ilgili proje şartnamesinde verilmiştir. Yaklaşık 5 sene boyunca yapılan tüm ölçmeler ve kalibrasyonlarda bu toleranslar göz önünde bulundurulmuştur (Çizelge 6.15). Uygulama alanı olan Element-2 Bölgesi'nde de bu toleranslar göz önünde bulundurulmuştur.

Çizelge 6.15 Çalışma bölgesindeki batimetrik ölçmeler için Marmaray Proje'si şartnamesinde belirtilen tolerans değerleri

Değer	Tolerans
Eğim açısı	±3.0°
Yalpalama	±3.0°
Gyro pusula Açısı	±5.0°
Derinlik	±10 cm
RTK-GPS Yatayda	±10 cm
Enkesit Çakışması	±10 cm

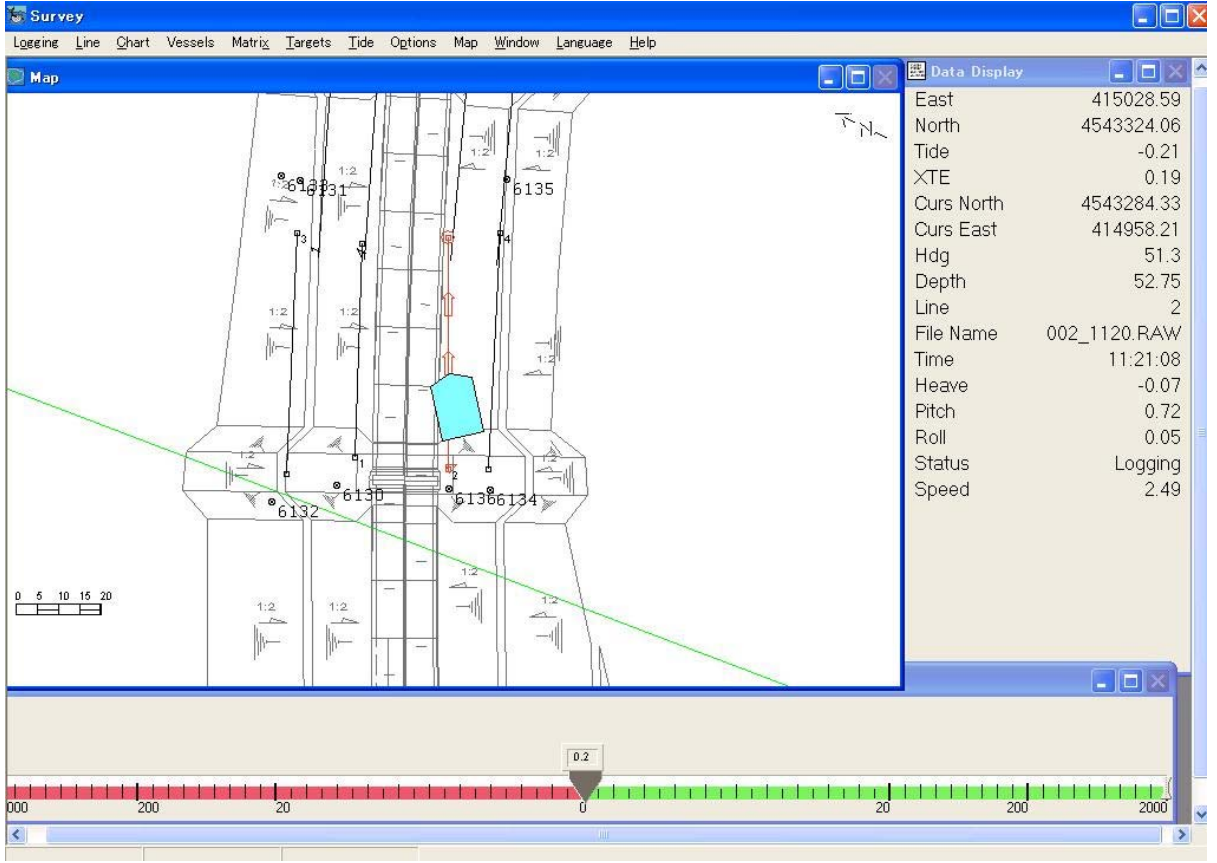
6.4.9 Batimetrik Ölçümün Yapılması

İstanbul Boğazı Element-2 Bölgesi ölçümleri Hypack Programı ile yapılmıştır. Ölçme işlemi ED-50 koordinat sistemi kullanılarak yapılmış, tüm altlık ve ölçme rotaları bu koordinat sisteminde planlanmıştır. Hesaplanan 3 boyutlu dönüşüm parametreleri Hypack Programı'na girilmiştir (Şekil 6.96). Böylelikle WGS-84 koordinat sistemiyle GPS' ten alınan veriler, otomatik olarak ölçüm ekranına ED-50 grid koordinat sistemiyle yansımıştır. Çalışmalarda kullanılan tüm ölçüm aletleri ölçüm esnasında izlenmiş ve kontrol edilmiştir.



Şekil 6.96 Hypack Programı ED-50 koordinat sistemi parametreleri

Ölçüm 15.12.2008 tarihinde saat 11:10'da başlamıştır. Ölçüm esnasında Hypack Programı'nın batimetri ve ölçüm modülünde, bulunulan noktanın ED-50 grid koordinatları, 0 seviyesi farkı, kuzeyle yapılan açı, derinlik, ölçüm rotasının numarası, kayıt edilen dosya ismi, zaman, bat-çık miktarı, eğim açısı, yalpa açısı ve bot hızı gibi bilgiler anlık olarak izlenmiştir. Ayrıca tüm bimplere ait yansımalar çok bimli akustik iskandil sisteminin ekranından kontrol edilmiştir. Ölçüm yapılırken bot hızının maksimum 1,5 m/sn olmasına dikkat edilmiştir.

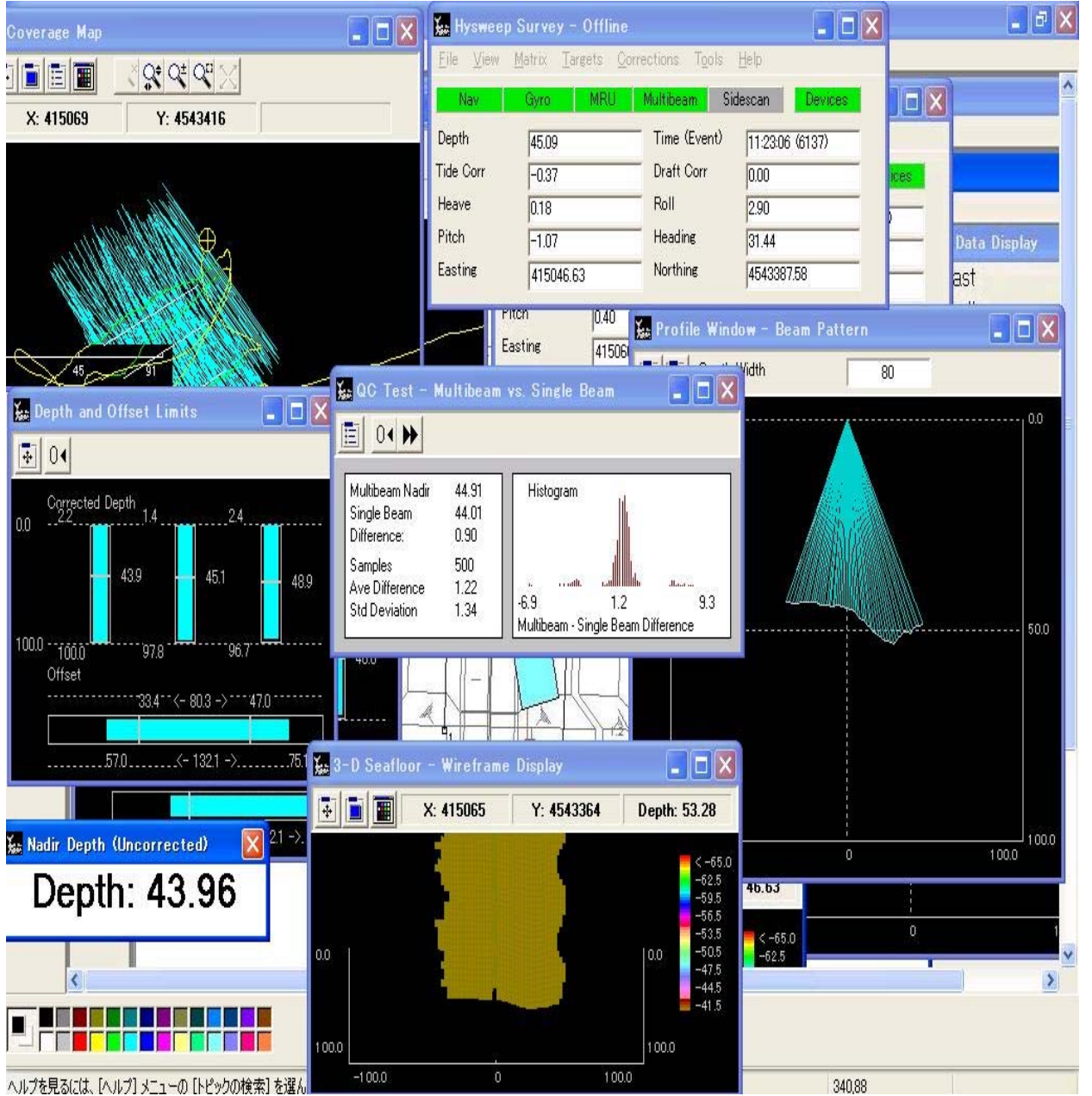


Şekil 6.97 Hypack ölçüm modülü ve anlık veriler (15.12.2008 ölçümü)



Şekil 6.98 Ölçüm anında alınan birimlerin derinliklere göre görüntüsü (15.12.2008 ölçümü)

Ölçüm esnasında taranan alan, ofset limitleri, profil penceresi ve 3 boyutlu deniz tabanı incelenmiştir. Bu incelemeye göre ölçüm rotası sıklaştırılması veya ölçülen rotanın tekrar ölçülmesi gibi çözümlere gerek olmadığı görülmüştür (Şekil 6.99).

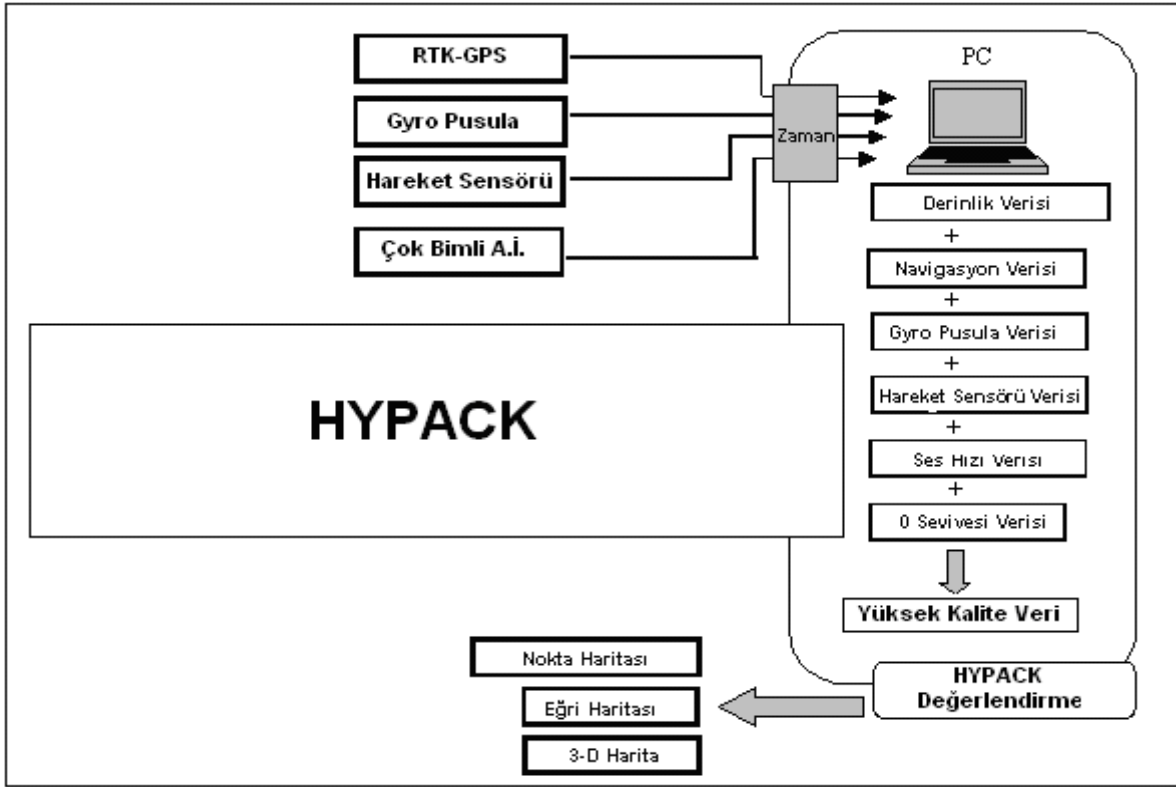


Şekil 6.99 Taranan alanın ve deniz tabanı profilinin incelenmesi (15.12.2008 ölçümü)

15.12.2008 tarihinde tüm ölçüm rotalarının tamamlanmasıyla Element-2 Bölgesi batimetrik ölçüm işi saat 12:10 'da sonlandırılmıştır.

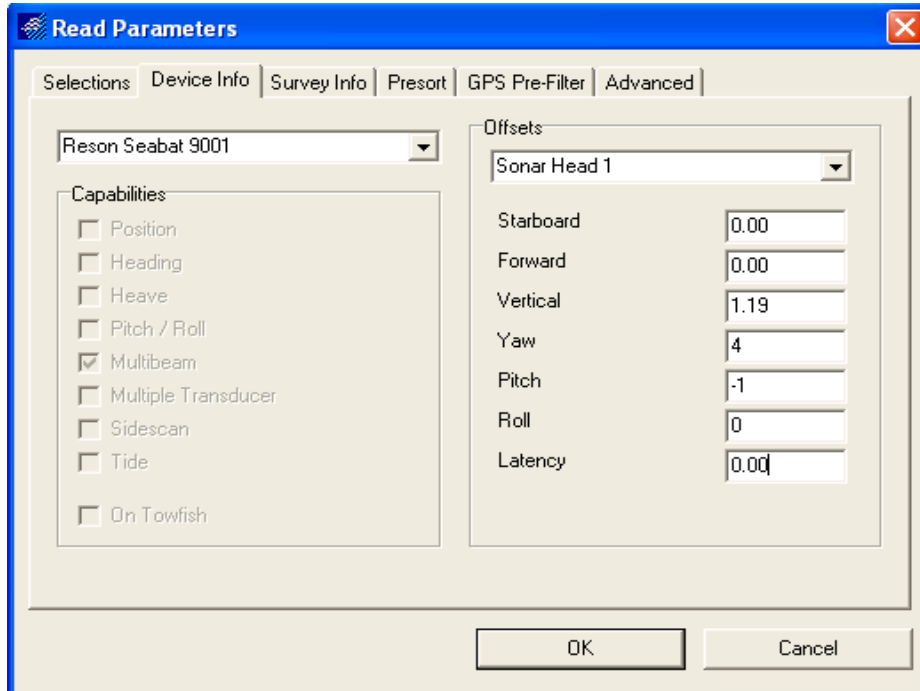
6.4.10 Batimetrik Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi (Ofis İşleri)

Ölçümün tamamlanmasının ardından ham veriler ölçüm bilgisayarından alınmıştır. Tüm ölçüm aletlerinden gelen veriler ham veri olarak kaydedilmiştir. Ham verilerin değerlendirilmesi yine Hypack Programı yardımıyla yapılmıştır. Tüm verilerin senkronizasyonu ve birleşimi Hypack Programı'nda sağlanmıştır.

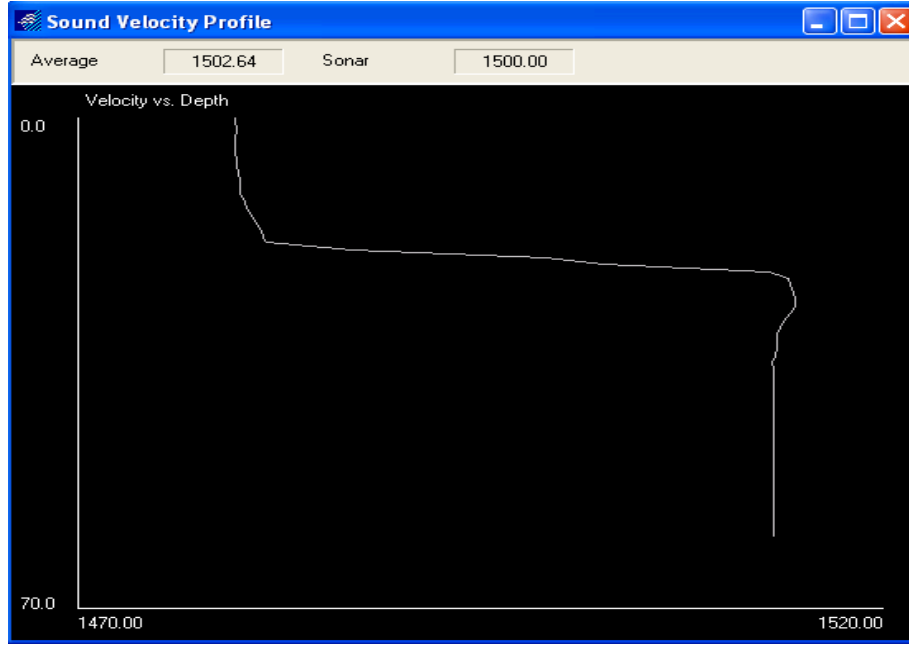


Şekil 6.100 Genel olarak ofis işlerinde izlenen adımlar

15.12.2008 tarihinde değerlendirme aşamasında, test ölçümü sonucunda çıkan düzeltme parametreleri ve ses hızı verileri Hypack Programı'na işlenmiştir (Şekil 6.101) (Şekil 6.102).

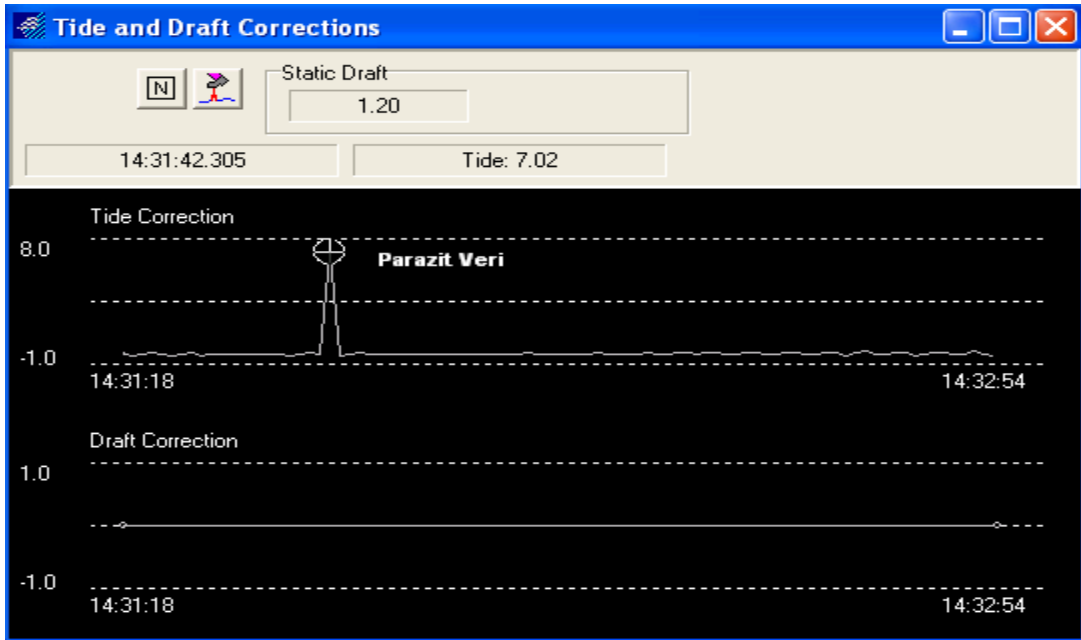


Şekil 6.101 Test ölçümü sonucunda bulunan düzeltmelerin gerçek ölçüme işlenmesi

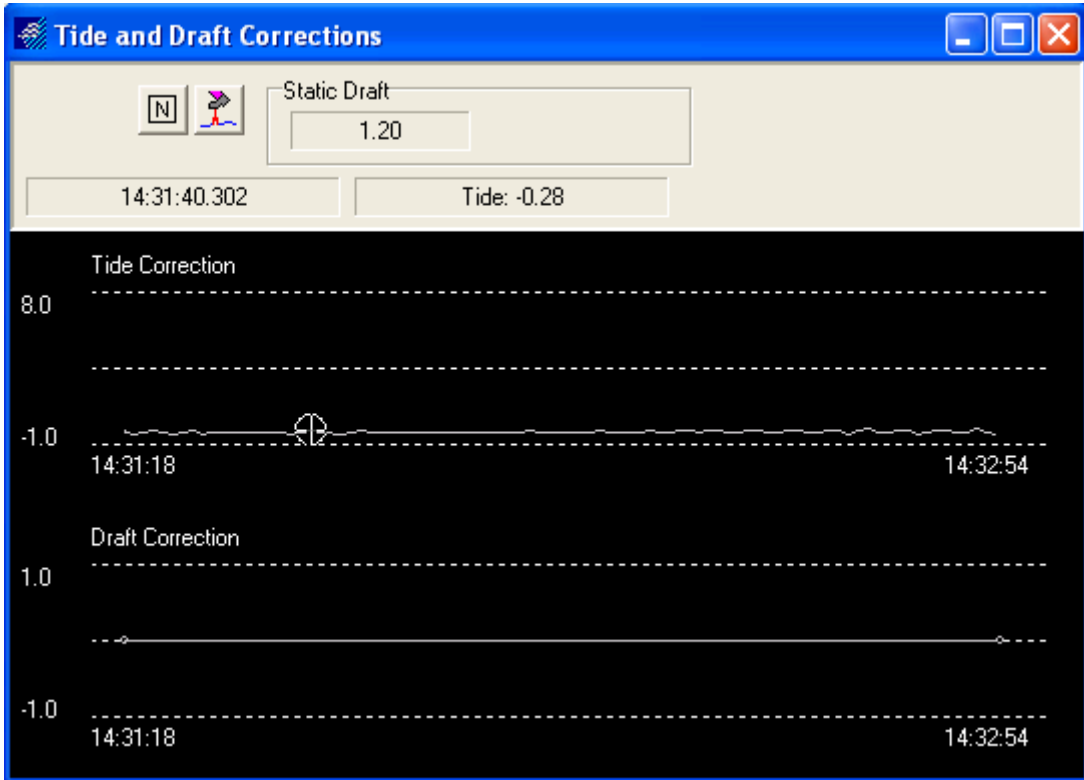


Şekil 6.102 Ses hızı verisinin Hypack değerlendirme modülündeki profili (15.12.2008)

Şekil 6.102’ de Hypack Programı değerlendirme modülündeki ses hızı grafiği gösterilmiştir. Hypack Programı değerlendirme aşamasında ses hızı ölçümünde toplanan veriler otomatik olarak derinliklere göre ayrılmıştır. Derinlik verileri ise toplanan tüm ses hızı verilerinin ortalamasıyla değerlendirilmiştir. Ölçüm anında GPS düzeltmelerinden veya uydu sayısı yetersizliğinden dolayı kayıt edilen sıfır seviyesi farkları değerlendirme aşamasında elimine edilmiştir (Şekil 6.103) (Şekil 6.104).

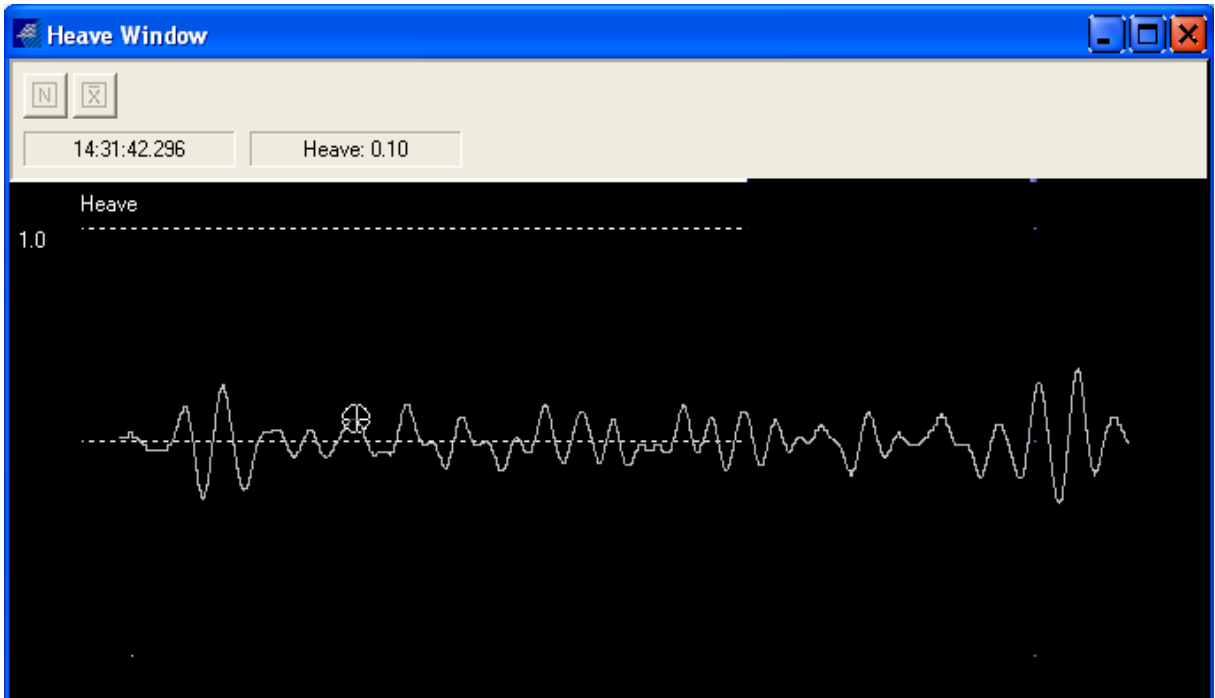


Şekil 6.103 Sıfır seviyesi farkı verisinde tespit edilen parazit (15.12.2008)

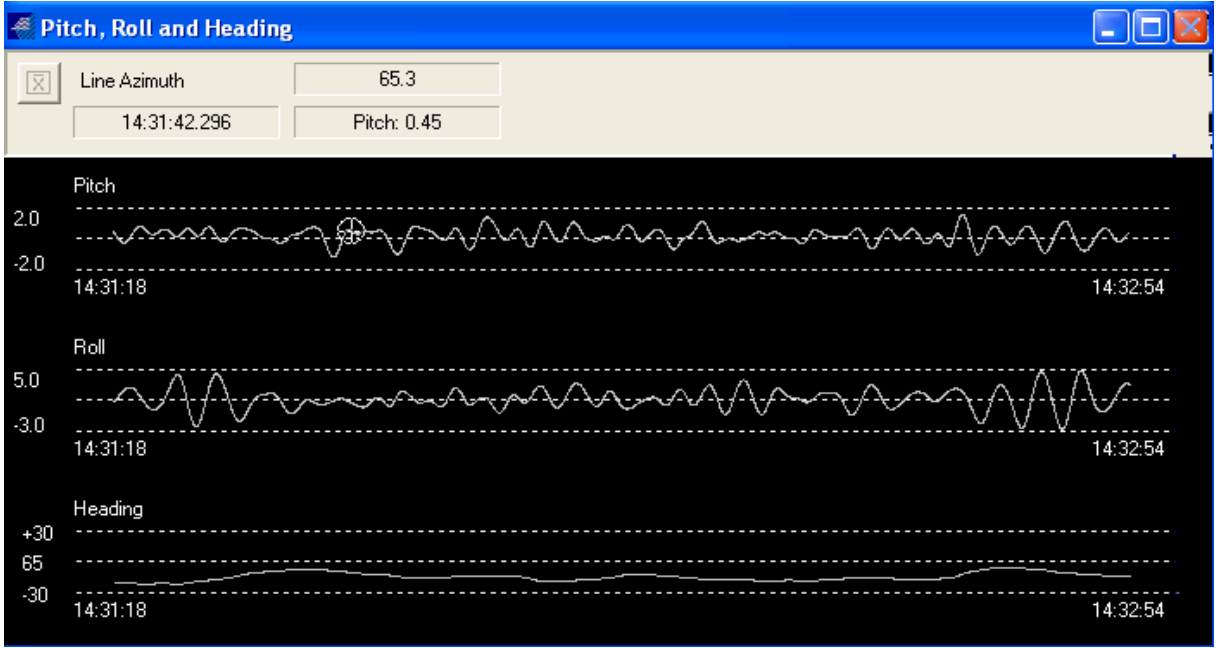


Şekil 6.104 Parazitlerin elimine edildiği sıfır seviyesi farkı verisi (15.12.2008)

Derinlik parazitlerinin silinmesinden önce kayıt edilen tüm veriler kontrol edilmiş ve herhangi bir problem olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 6.105) (Şekil 6.106).



Şekil 6.105 Değerlendirme aşamasında 15.12.2008 ölçümüne ait bat-çık miktarı



Şekil 6.106 Eğim, yalpa ve kuzeyle yapılan açı verisi (15.12.2008 ölçümü)

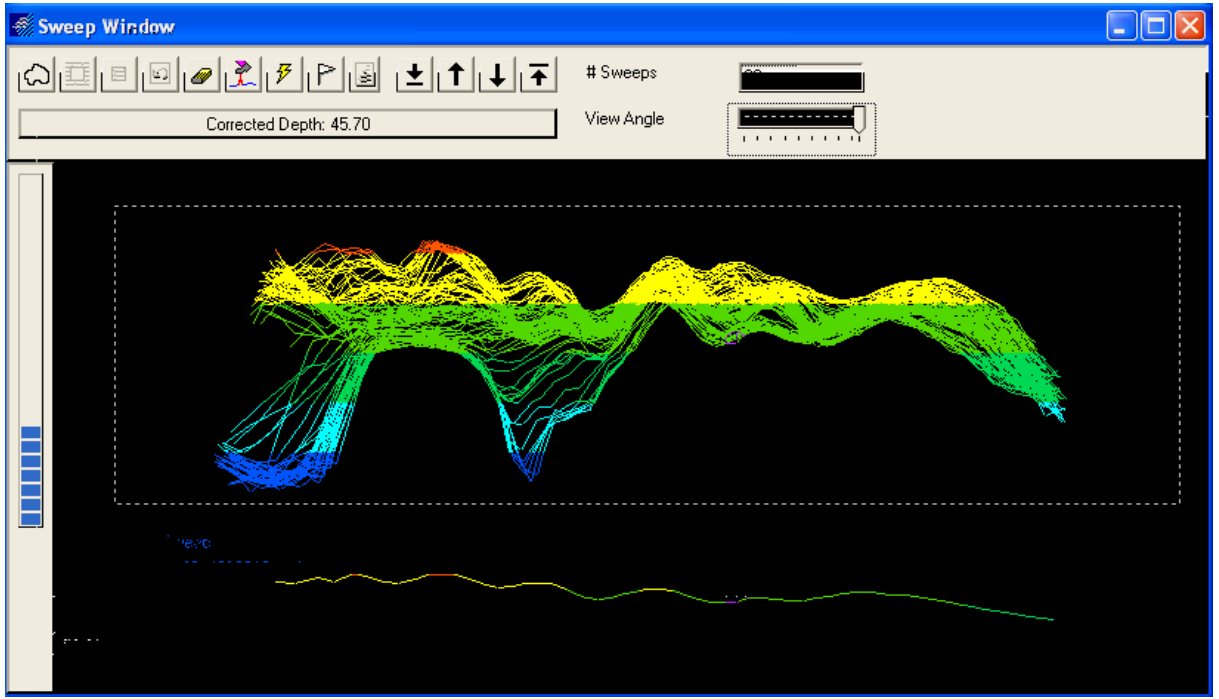
Tüm verilerin kontrolü tamamlandıktan sonra derinlik verilerini parazitlerden temizleme ekranına geçilmiştir (Şekil 6.107). Öncelikle derinlik verileri belirli ölçütlere göre filtrelenmiştir (Şekil 6.108). Filtrelemede veri kalitesi, minimum derinlik, maksimum derinlik ve bimlerin maksimum gönderilme açısı dikkate alınmıştır.

The 'Search and Filter Options' dialog box is shown with the following settings:

- Min Depth: 5.00
- Max Depth: 70.00
- Beams: [Empty]
- Edit Phase 2**
 - Port Angle Limit: 40
 - Starboard Angle Limit: 40
 - Port Offset Limit: 50.00
 - Starboard Offset Limit: 50.00
 - Spike Limit: 0.00
 - Quality Limit: 3
 - Filter Overhang and Undercut Topography
 - Use Hysweep Survey Limits
- Number of Filter Passes: 3

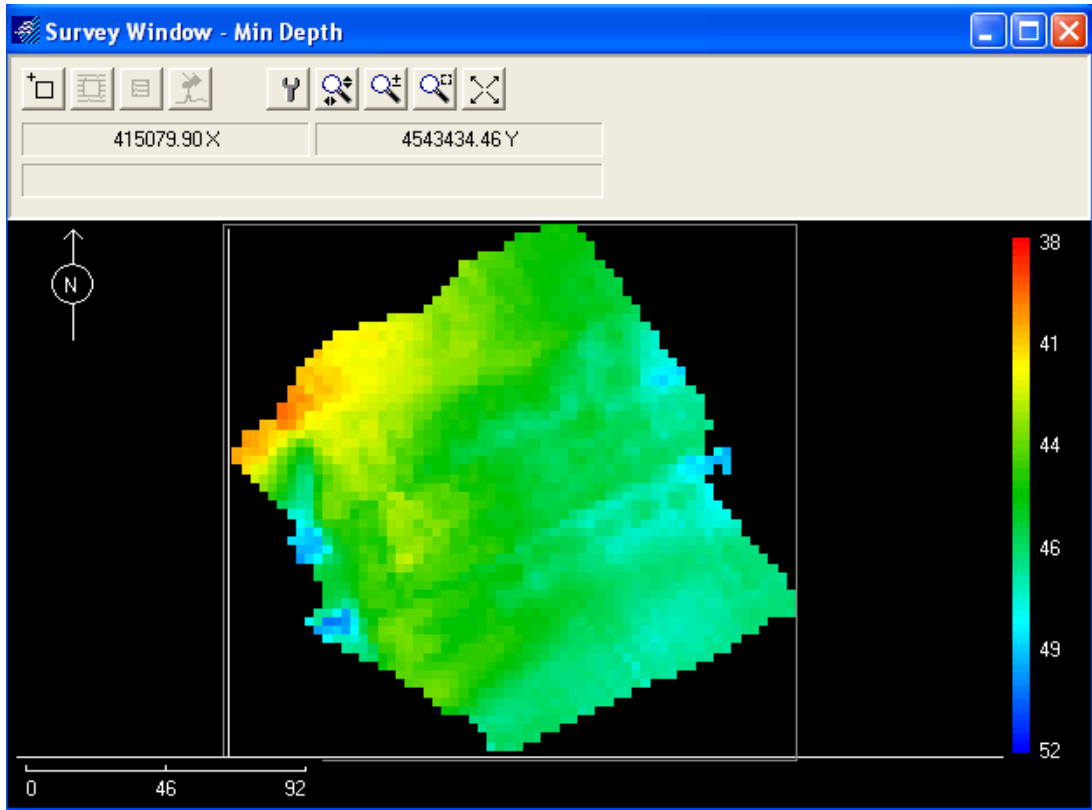
Buttons: Run Filters, Reset All, OK, Begin Search, Apply, Cancel

Şekil 6.107 Derinlik verilerinin filtrelenmesi



Şekil 6.108 Filtrelenmiş derinlik verileri (15.12.2008 ölçümü)

Derinlik verilerindeki parazitler önce otomatik olarak sonra el ile elimine edilerek hassas veriler elde edilmiştir (Şekil 6.109).



Şekil 6.109 Parazitlerden elimine edilmiş ölçüm verisi (15.12.2008 ölçümü)

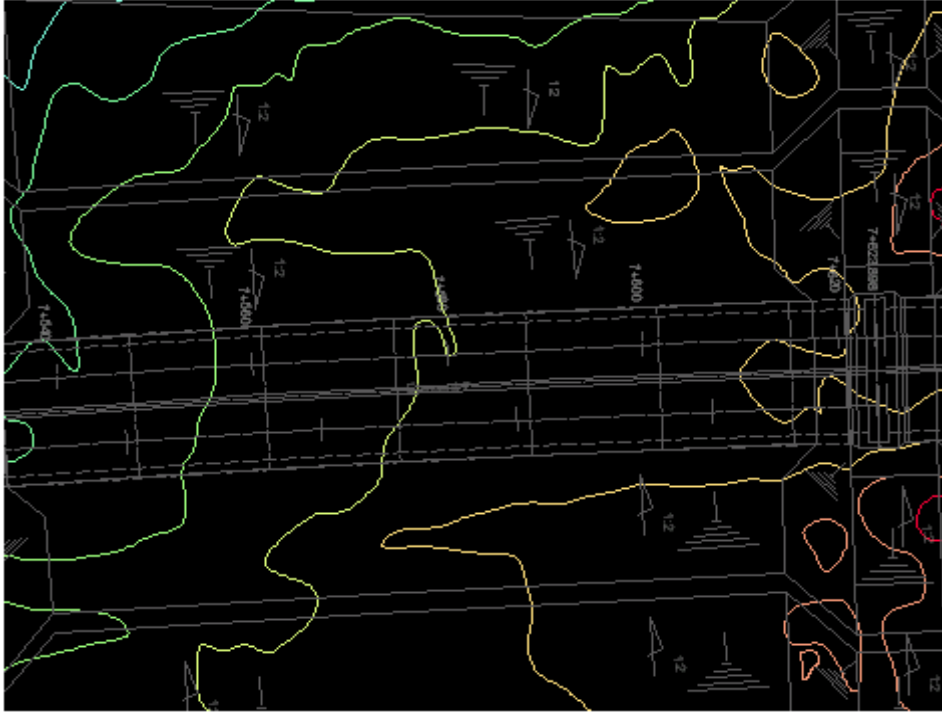
Değerlendirme aşamasının son kısmında 2*2 metrelik nokta dosyası oluşturulmuştur (Şekil 6.110) (Şekil 6.111).

Şekil 6.110 2*2 metrelik nokta dosyası oluşturulması (15.12.2008 ölçümü)

1	Y	X	Z	28	414960.00	4543358.00	40.63
2	414952.00	4543356.00	40.42	29	414960.00	4543360.00	40.85
3	414952.00	4543358.00	40.45	30	414960.00	4543362.00	41.06
4	414954.00	4543354.00	40.78	31	414960.00	4543364.00	40.45
5	414954.00	4543356.00	40.77	32	414960.00	4543366.00	40.39
6	414954.00	4543358.00	40.53	33	414962.00	4543346.00	43.47
7	414954.00	4543360.00	40.33	34	414962.00	4543348.00	43.67
8	414956.00	4543352.00	41.46	35	414962.00	4543350.00	43.28
9	414956.00	4543354.00	41.27	36	414962.00	4543352.00	42.59
10	414956.00	4543356.00	40.78	37	414962.00	4543354.00	42.12
11	414956.00	4543358.00	40.72	38	414962.00	4543356.00	41.62
12	414956.00	4543360.00	40.29	39	414962.00	4543358.00	41.56
13	414956.00	4543362.00	40.21	40	414962.00	4543360.00	41.05
14	414958.00	4543350.00	42.03	41	414962.00	4543362.00	40.74
15	414958.00	4543352.00	42.02	42	414962.00	4543364.00	40.72
16	414958.00	4543354.00	41.33	43	414962.00	4543366.00	40.67
17	414958.00	4543356.00	41.00	44	414964.00	4543344.00	44.11
18	414958.00	4543358.00	40.60	45	414964.00	4543346.00	44.22
19	414958.00	4543360.00	40.52	46	414964.00	4543348.00	43.81
20	414958.00	4543362.00	40.36	47	414964.00	4543350.00	43.43
21	414958.00	4543364.00	40.50	48	414964.00	4543352.00	43.27
22	414958.00	4543366.00	40.55	49	414964.00	4543354.00	42.99
23	414960.00	4543348.00	42.81	50	414964.00	4543356.00	42.70
24	414960.00	4543350.00	42.67	51	414964.00	4543358.00	41.64
25	414960.00	4543352.00	42.38	52	414964.00	4543360.00	40.99
26	414960.00	4543354.00	41.89	53	414964.00	4543362.00	41.21
27	414960.00	4543356.00	41.30	54	414964.00	4543364.00	40.88
28	414960.00	4543358.00	40.63	55	414964.00	4543366.00	40.88
29	414960.00	4543360.00	40.85	56	414964.00	4543368.00	40.75

Şekil 6.111 4808 noktadan oluşan 2*2 metrelik nokta dosyası (15.12.2008 ölçümü)

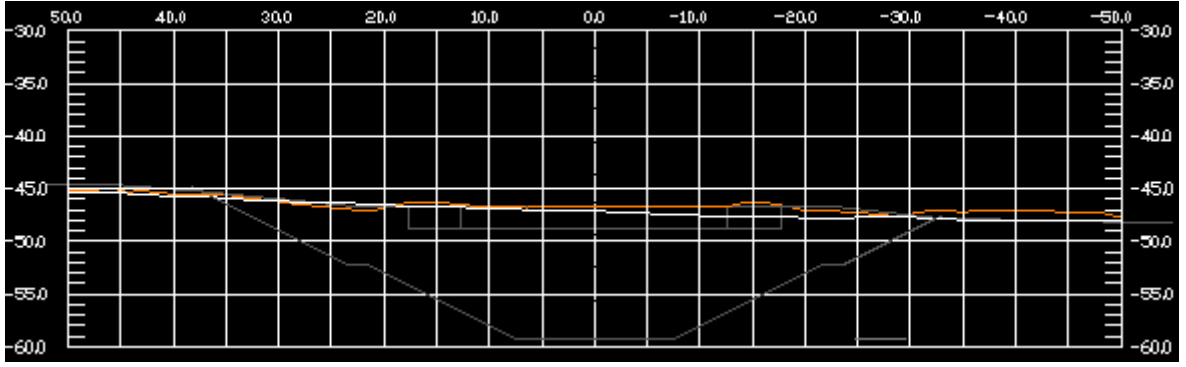
Nokta dosyasının oluşturulmasının ardından Hypack Programı'nda Element-2 Bölgesi'ne ait eş yükselti haritası, nokta haritası ve enkesitler hazırlanmıştır (Şekil 6.112) (Şekil 6.113) (Şekil 6.114). Böylece ofis işleri tamamlanmış ve uygun şekilde arşivleme yapılmıştır.



Şekil 6.112 15.12.2008 batimetrik ölçümüne ait eş yükselti haritası



Şekil 6.113 15.12.2008 batimetrik ölçümüne ait nokta haritası



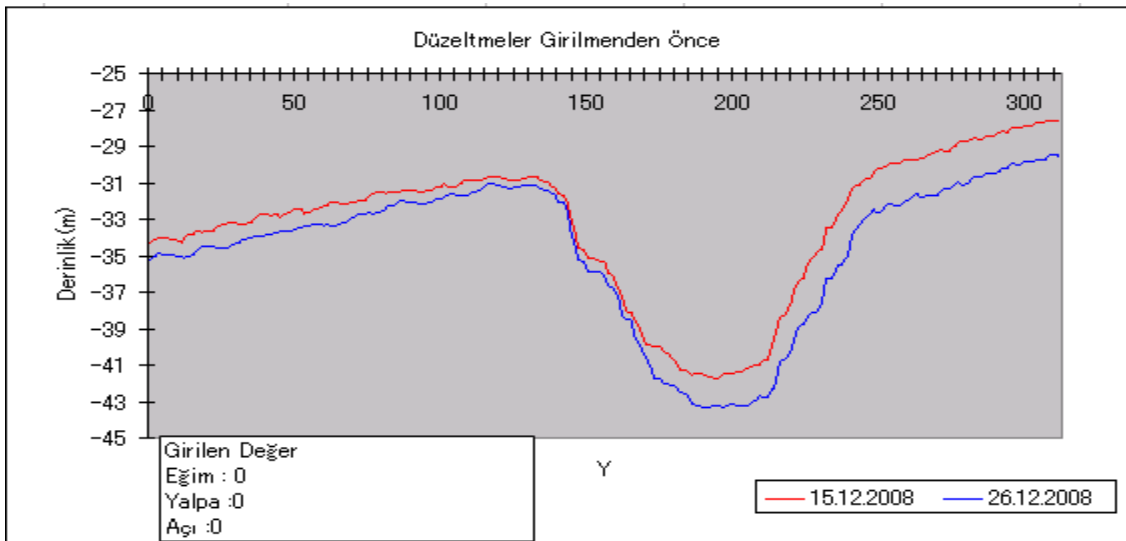
Şekil 6.114 15.12.2008 batimetrik ölçümüne ait enkesit çizimi

6.4.11 Çalışma Bölgesinde Batimetrik Ölçüm Sonuçlarını Etkileyen Önemli Faktörler

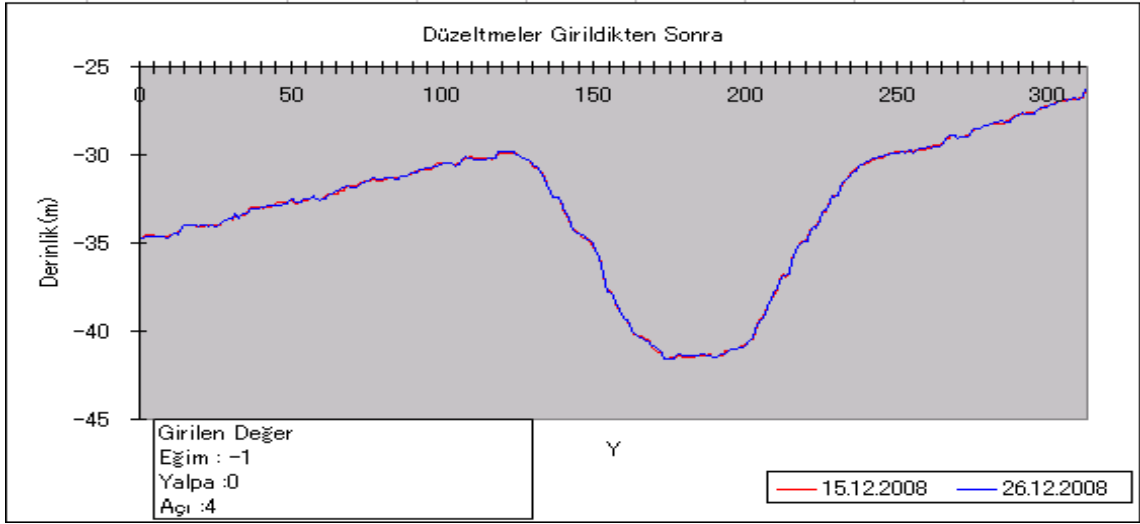
Batimetrik ölçüm sonuçlarını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. İstanbul Boğazı çalışma bölgesindeki çalışmalarında sesin sudaki hızının değişiminin ve test ölçümü sonuçlarının belirlenmesinin oldukça önemli olduğu görülmüştür.

6.4.11.1 Test Ölçümü Sonuçları

Test ölçümüyle elde edilen düzeltmelerin kullanımının ne kadar önemli olduğunun belirlenebilmesi için aynı alanda farklı zamanda yapılan başka bir batimetrik ölçüm sonucu sabit alınmıştır. 15.12.2008 ölçümünün değerlendirme sonuçlarında elde edilen enkesitlerden bir tanesi 26.12.2008 tarihinde yapılan ölçümde elde edilen aynı kilometreye ait enkesit üzerine çakıştırılmıştır. Şekil 6.115'de test ölçümü yapılmadığında alınan sonuçlar, Şekil 6.116'da ise test ölçümü yapıldığından elde edilen karşılaştırmalar gösterilmiştir.



Şekil 6.115 Test ölçümü yapılmadığı takdirde ortaya çıkan hatalı enkesit sonucu

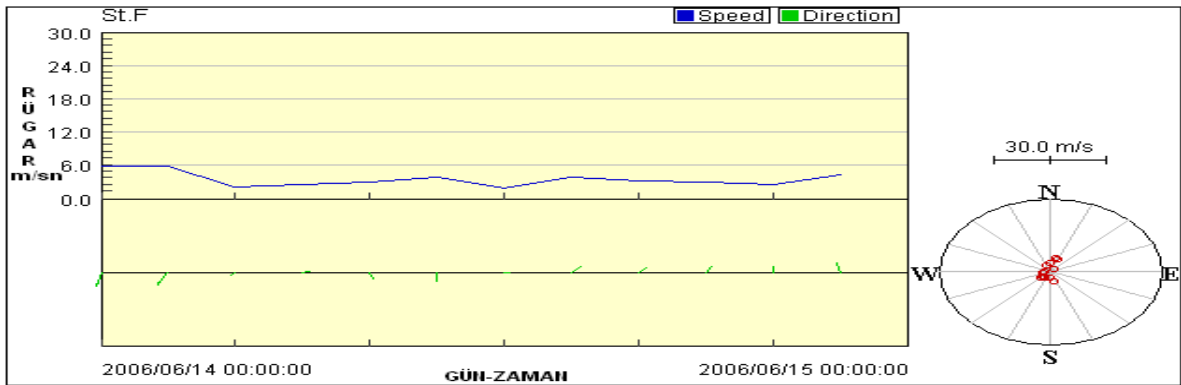


Şekil 6.116 Test ölçümü sonucu bulunan düzeltmelerin ham verilere eklenmesiyle ortaya çıkan gerçek enkesit sonucu

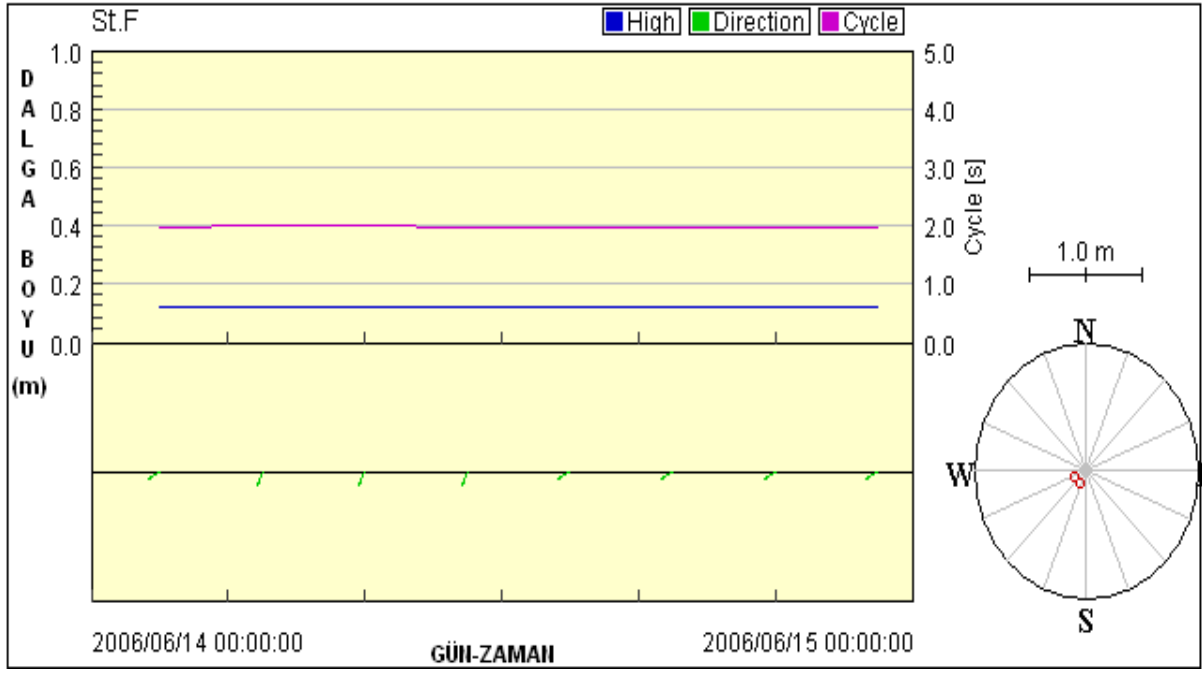
Yukarıda şekillerde görüldüğü üzere düşeyde 1 metreye yakın hata tespit edilmiştir. Daha önceden yapılmış testlerde ise açısız ve yataysal sapmalar olduğu görülmüştür. Test ölçümü sonuçlarının değerlendirme aşamasında belirlenmesi ve ölçüm sonuçlarına eklenmesinin oldukça önemli olduğu anlaşılmıştır.

6.4.11.2 Sesin Sudaki Hızının Değişimi

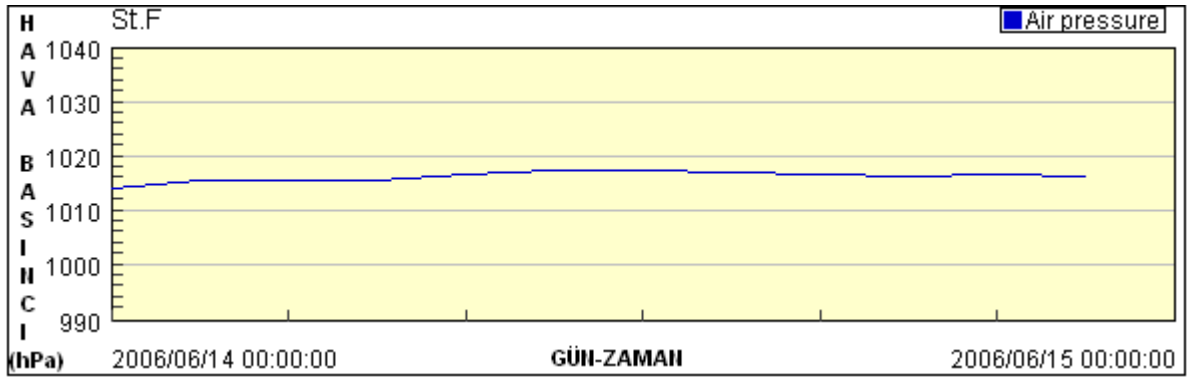
Ses hızı değişiminin batimetri sonuçlarına etkisini gösterebilmek için çalışma bölgesinde çeşitli ölçümler yapılmıştır. Bu çalışmada sesin sudaki hızının verileri, batimetrik ölçümden 3 saat önce ve 1 saat sonra olmak üzere 2 kere alınmıştır. Aynı zamanda 8 saatlik periyotta akıntı ölçümleri yapılmıştır. Bunun dışında rüzgar, hava sıcaklığı, hava basıncı, su seviyesi ve dalga boylarındaki değişimler çalışma süresince sık aralıklarla kaydedilmiş ve zamana bağlı grafikleri verilmiştir (Şekil 6.117) (Şekil 6.118) (Şekil 6.119) (Şekil 6.120) (Şekil 6.121).



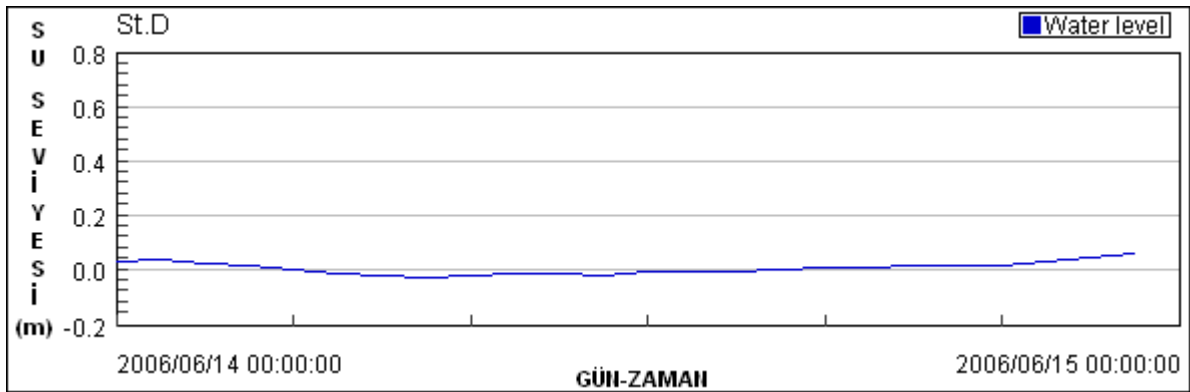
Şekil 6.117 Ölçümün yapıldığı güne ait rüzgar hızı grafiği



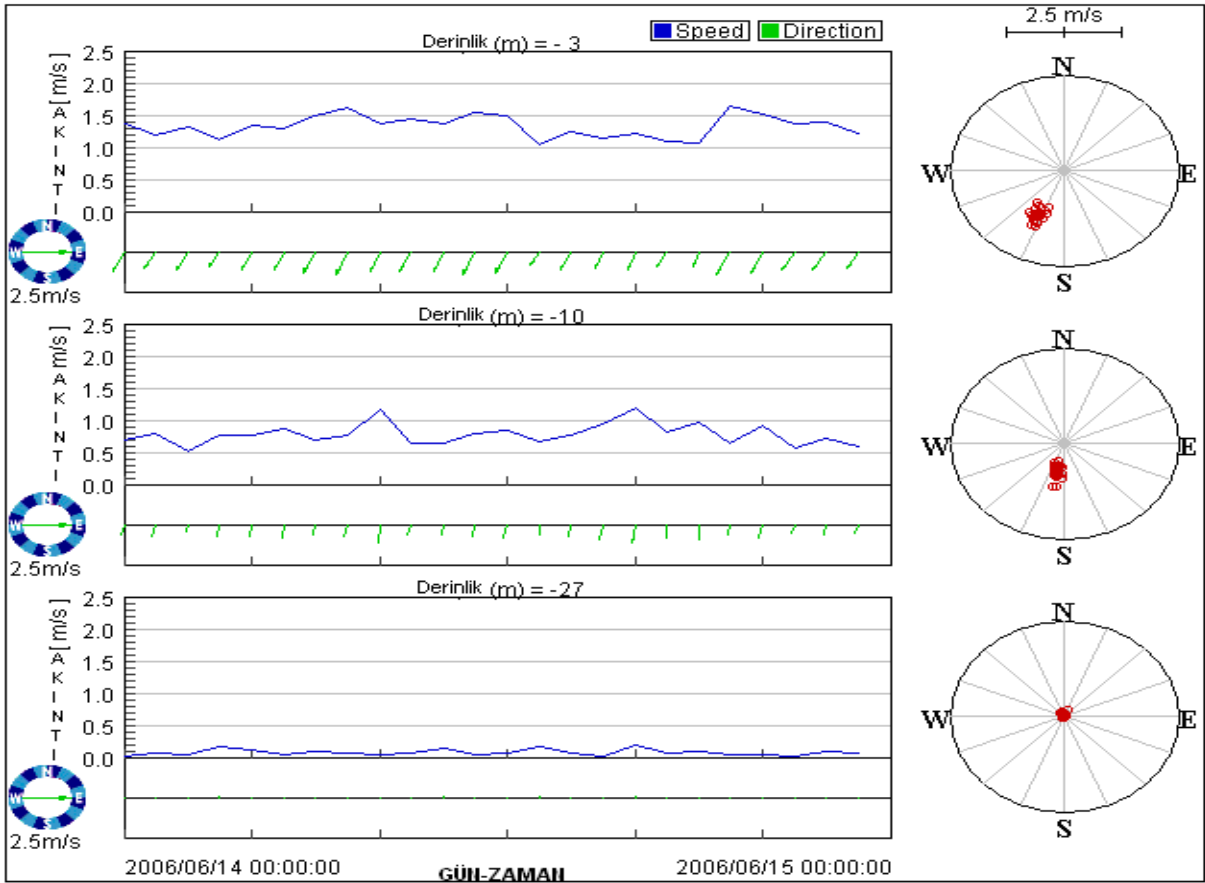
Şekil 6.118 Ölçümün yapıldığı güne ait dalga boyu grafiği



Şekil 6.119 Ölçümün yapıldığı güne ait hava basıncı grafiği

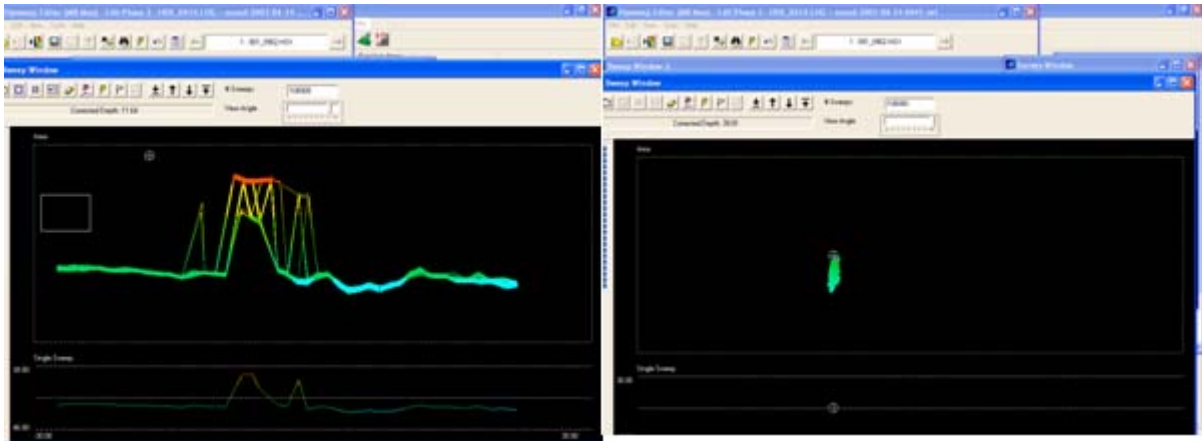


Şekil 6.120 Ölçümün yapıldığı güne ait su seviyesi değişim grafiği



Şekil 6.121 Ölçümün yapıldığı güne ait akıntı hızı grafikleri

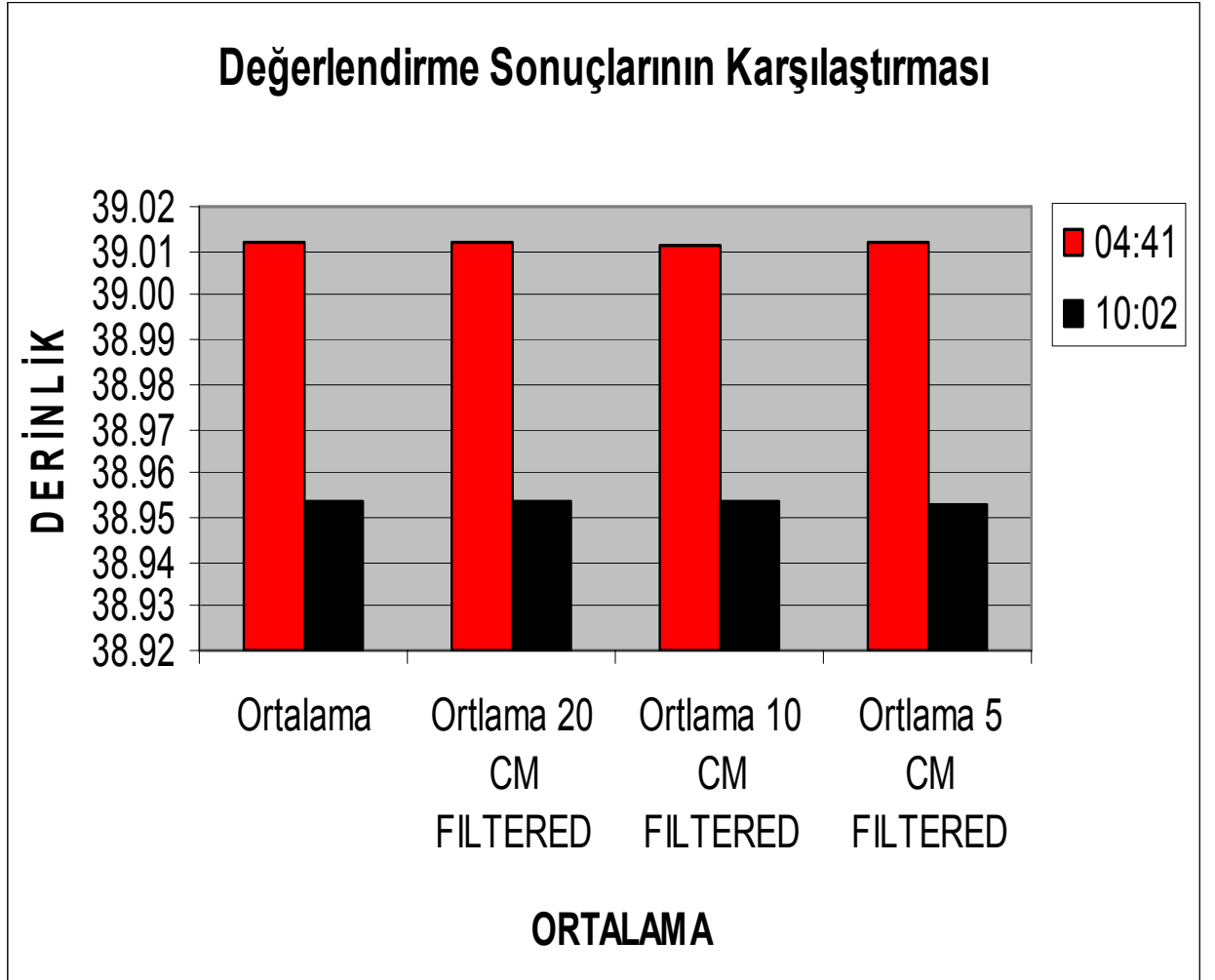
Şekillerden anlaşıldığı üzere, rüzgar ve akıntı hızları dışında diğer değerlerde büyük değişimler olmadığı görülmüştür. Ölçüm 14.06.2006 tarihinde saat 09:02 'de başlamıştır. Sesin sudaki hızının ölçümleri ise 04:41 ve 10:02 saatlerinde yapılmıştır. İlk yapılan ölçümün koordinatları baz alınarak ses hızı ölçümleri yapılmıştır. Batimetrik ölçüm Hypack Programı ile yapılmış ve değerlendirilmiştir (Şekil 6.122).



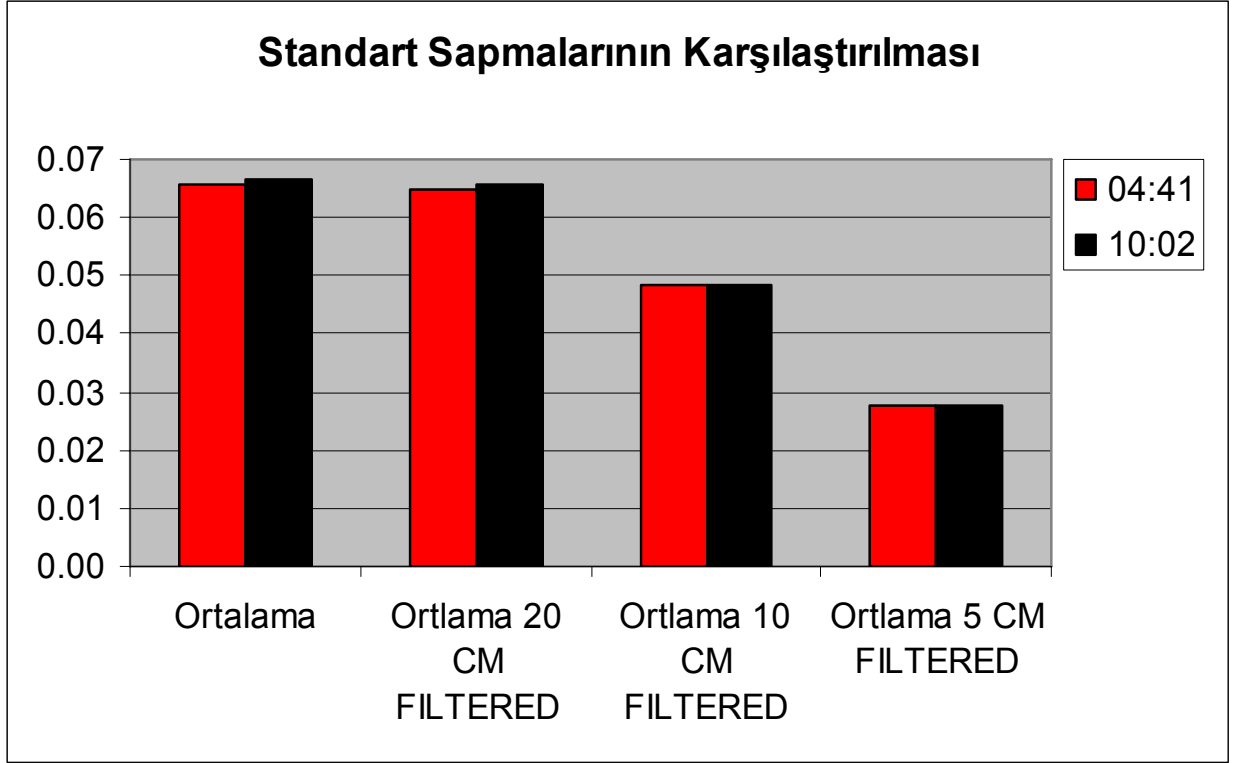
Şekil 6.122 14.06.2006 tarihli ölçümün Hypack Programı'nda değerlendirilmesi

Farklı ses hızı dosyalarıyla değerlendirilen batimetrik ölçümde aynı düzleme ait 2087 nokta elde edilmiştir. Bundan sonraki adımda farklı saatlerde alınmış 2 ses hızı dosyasıyla değerlendirilen aynı ölçüm verisinden elde edilen yükseklik değerleri karşılaştırılmıştır.

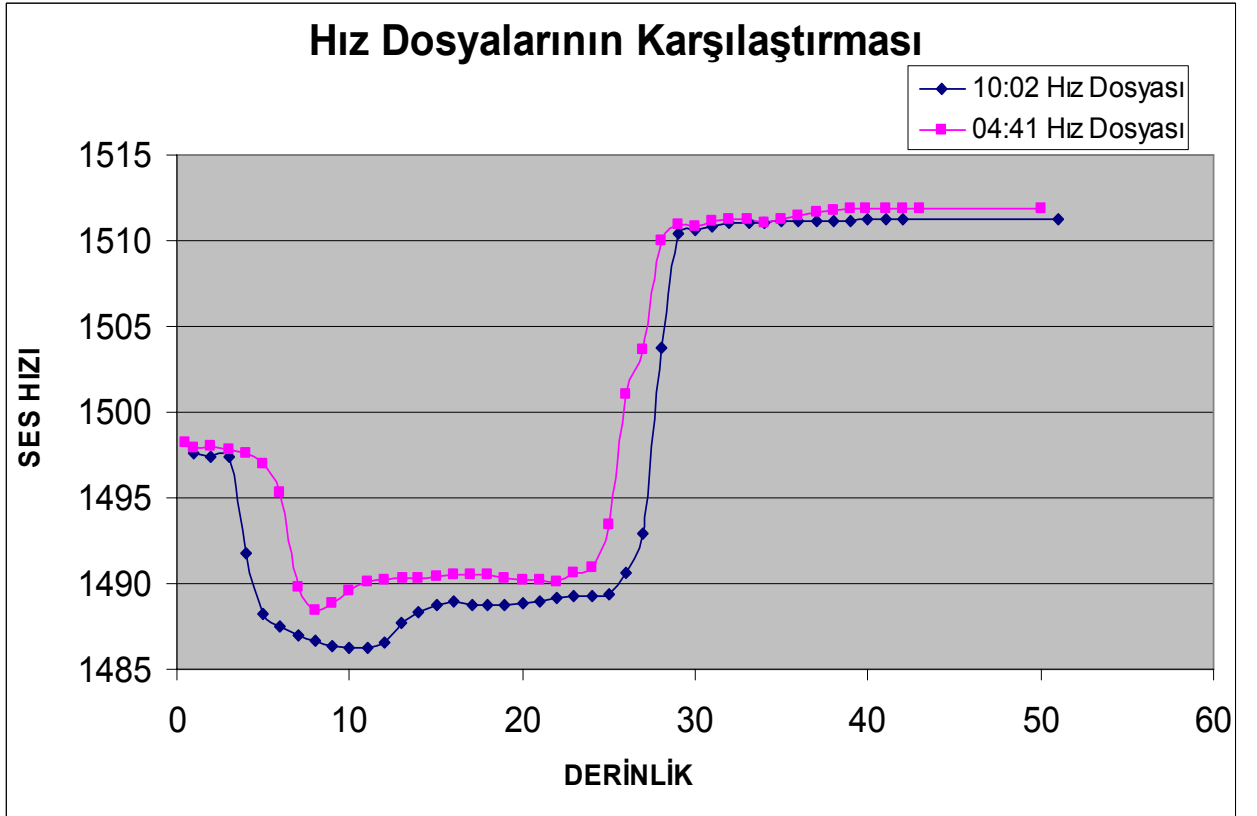
Saat 04:41' deki sesin sudaki hızının ölçümüyle değerlendirilen verinin sonuç yüksekliği 39.01 m, 10:02 'deki ölçümle değerlendirilen verinin sonuç derinliği 38.95 m bulunmuştur. Bu sonuçlara göre aynı batimetrik ölçme verisinin farklı ses hızı verileriyle değerlendirilmesinden 6 cm fark tespit edilmiştir. Sonuçların Excel 'de standart sapmaları hesaplanmıştır. İkinci kez kontrol için yapılacak değerlendirmedeki farklılıklardan kaçınmak ve ortak bir değerlendirme sistemini oluşturabilmek amacıyla standart sapmaları 20 cm'den, 10 cm'den ve 5 cm'den büyük olanlar şeklinde veriler elimine edilerek filtrelenmiştir (Şekil 6.123). Bu filtrelemelerden sonra her biri için ortalamalar alınmış ve karşılaştırılmıştır (Şekil 6.124).



Şekil 6.123 Ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.124 Ölçüm sonuçlarının standart sapmalarının karşılaştırılması

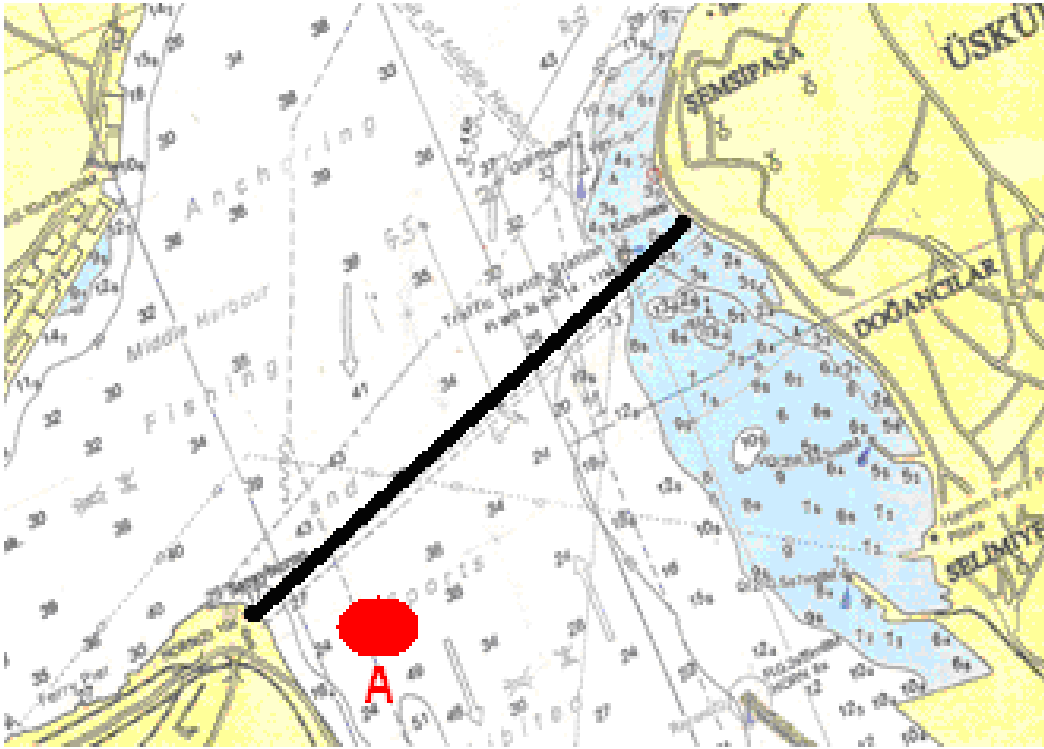


Şekil 6.125 Ses hızı dosyalarının karşılaştırılması

Şekil 6.125'deki ses hızı farklılıkları incelendiğinde, değişimin en büyük sebeplerinin akıntı hızı ve rüzgar olduğu anlaşılmıştır. Dalga boyu, hava basıncı, su seviyesi değişimleri küçük değerler olup göz ardı edilmiştir.

Rüzgar hızındaki artış, yüzey akıntısının artmasının nedenlerinden olmuştur. Ayrıca orta katmanlarda ayrılan Marmara ve Karadeniz sularının farklı yön ve hızdaki akıntıları da başka bir etkidir. Bu faktörlere bağlı olarak -10 metre ve -27 metredeki akıntı hızlarının artması, ses hızında düşmeye sebep olmuştur. Dip akıntısındaki değişim çok küçük olduğu için dipteki ses hızı değişimi de küçük olmuştur.

Ses hızlarının değişimi ile ilgili diğer bir çalışma ise Ocak 2009'da yapılmıştır. 04.02.2009, 10.02.2009, 13.02.2009, 16.02.2009, 19.02.2009 tarihlerinde çalışma bölgesi içerisinde A noktasında 5 ayrı ses hızı ölçümü yapılmıştır (Şekil 6.126). Ölçüm yapılan A bölgesinin derinliği yaklaşık -50 metre olarak saptanmıştır. Ölçümlerde ise son derinlik -46 metre olarak alınmıştır. Tüm ham verilerin ortalamaları alınarak derinliğe göre ses hızları belirlenmiştir.



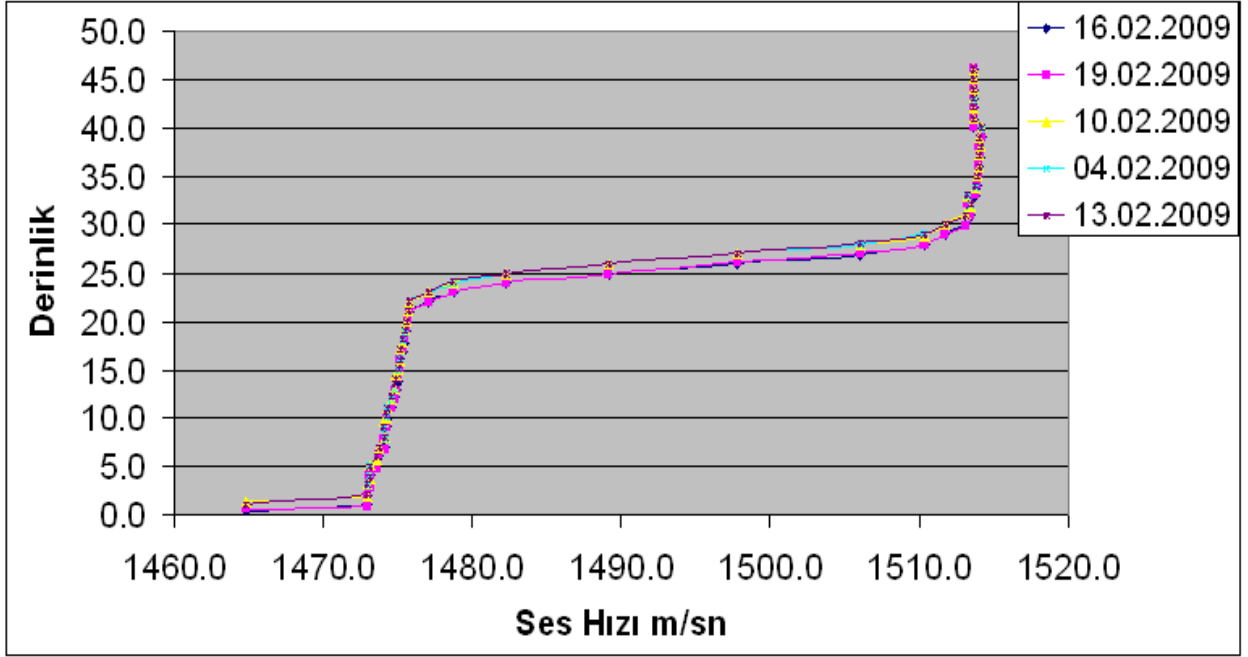
Şekil 6.126 Ses hızı ölçümlerinin yapıldığı A Bölgesi (Ocak,2009)

Ölçüm sonuçları gerekli düzenlemeler sonunda çizelgeye girilmiştir. Derinliklere göre sınıflandırılmış ses hızlarındaki değişimler Çizelge 6.16'da incelenmiştir. Bu inceleme sonunda ilk olarak derinliğin artışıyla ses hızının da arttığı tespit edilmiştir.

Çizelge 6.16 Aynı ay içerisinde farklı günlere ait 5 adet ses hızı ölçüm verisi (Ocak,2009)

04.02.2009		10.02.2009		13.02.2009		16.02.2009		19.02.2009	
Derinlik	Ses Hızı m/sn	Derinlik	Ses Hızı m/sn	Derinlik	Ses Hızı m/sn	Derinlik	Ses Hızı m/sn	Derinlik	Ses Hızı m/sn
1.1	1462.2	1.3	1474.1	1.0	1464.8	0.5	1462.1	0.6	1461.5
2.1	1462.5	1.9	1473.9	2.1	1472.9	1.1	1461.7	0.9	1452.9
3.0	1462.4	3.2	1474.5	3.1	1472.9	2.0	1462.7	1.9	1461.1
4.1	1462.6	3.8	1474.8	4.0	1473.1	3.1	1463.1	2.9	1461.7
5.1	1462.8	5.1	1474.8	5.0	1473.1	4.1	1463.4	4.1	1461.7
6.1	1462.9	5.7	1474.9	6.1	1473.6	5.1	1463.8	4.7	1461.9
7.0	1463.1	6.9	1474.9	6.9	1473.8	6.1	1463.9	6.2	1461.9
7.8	1463.3	8.0	1475.0	8.0	1474.1	7.0	1464.0	6.8	1462.1
8.9	1464.2	9.7	1475.1	9.1	1474.0	7.9	1464.2	7.9	1462.9
10.1	1464.8	10.0	1475.1	10.2	1474.2	9.1	1464.4	9.1	1462.7
11.2	1466.8	11.0	1475.2	11.1	1474.3	9.8	1465.3	10.1	1462.8
12.0	1468.1	11.9	1475.8	12.3	1474.6	11.2	1466.1	11.0	1462.9
13.0	1470.6	13.0	1476.1	13.6	1474.8	12.3	1467.0	12.0	1463.1
14.0	1472.4	14.5	1478.1	14.1	1474.9	12.9	1467.4	12.9	1463.0
14.9	1473.2	15.0	1478.9	15.1	1475.0	13.8	1467.8	14.1	1463.0
16.1	1473.9	15.9	1479.6	16.0	1475.1	14.9	1467.8	15.0	1463.4
17.0	1474.7	17.0	1480.1	17.1	1475.1	16.2	1467.9	16.0	1463.5
18.0	1475.0	17.9	1481.9	18.1	1475.3	16.9	1468.1	17.0	1463.8
18.9	1476.3	19.1	1486.0	19.0	1475.5	17.9	1468.2	18.1	1464.3
20.0	1485.7	20.0	1490.2	19.9	1475.6	19.0	1477.6	19.0	1464.4
21.1	1508.1	21.1	1496.7	21.1	1475.7	20.0	1497.0	20.1	1466.3
22.0	1511.3	21.9	1505.6	22.1	1475.8	21.0	1504.8	21.0	1474.9
23.0	1512.8	22.9	1509.0	22.9	1477.1	22.0	1511.9	21.9	1490.5
23.9	1513.3	24.0	1511.7	24.1	1478.7	23.0	1513.8	23.0	1498.6
25.0	1513.6	25.0	1513.2	25.0	1482.3	24.0	1513.8	24.0	1500.0
26.0	1513.7	26.0	1513.4	26.0	1489.2	25.0	1513.3	25.0	1505.4
27.0	1513.9	27.0	1513.7	27.0	1497.8	26.0	1513.0	26.1	1509.6
27.9	1514.2	28.0	1514.1	28.1	1506.1	26.9	1512.9	27.0	1510.5
29.1	1514.3	28.9	1514.1	29.0	1510.4	28.0	1513.0	28.0	1511.9
30.0	1514.3	30.0	1513.8	30.0	1511.7	29.0	1512.9	29.0	1512.7
31.0	1514.2	31.1	1513.3	31.0	1513.1	30.1	1513.1	29.9	1513.2
32.0	1514.0	31.9	1513.1	32.1	1513.5	31.0	1513.0	31.0	1513.2
33.0	1513.7	33.0	1513.1	33.1	1513.2	32.1	1512.8	32.1	1513.2
33.9	1513.4	33.9	1513.2	34.0	1513.8	33.0	1512.6	33.1	1513.1
35.0	1513.3	35.0	1513.2	35.0	1513.9	34.0	1512.5	34.1	1513.3
35.9	1513.1	36.0	1513.2	36.0	1514.0	35.0	1512.4	35.1	1513.2
37.1	1512.9	37.1	1513.3	37.1	1514.0	36.0	1512.4	36.1	1513.5
38.0	1512.9	38.0	1513.3	38.0	1514.1	37.0	1512.4	37.1	1513.1
39.0	1512.9	39.0	1513.3	39.0	1514.0	38.0	1512.5	38.0	1513.1
39.9	1513.0	40.0	1513.4	40.1	1514.2	39.1	1512.5	39.0	1513.2
41.0	1513.0	41.0	1513.4	41.0	1513.7	40.0	1512.5	40.0	1513.2
42.1	1513.0	42.0	1513.3	42.1	1513.7	41.0	1512.6	41.0	1513.2
42.9	1513.0	43.0	1513.4	43.0	1513.7	42.1	1512.5	42.0	1513.4
44.0	1513.0	44.0	1513.5	44.0	1513.7	43.0	1512.6	43.0	1513.3
45.0	1513.0	45.0	1513.5	45.0	1513.7	44.0	1512.6	44.0	1513.3
46.0	1513.0	46.0	1513.5	46.0	1513.7	46.0	1512.6	46.0	1513.3

Çizelge 6.16’da verilen ses hızı ve derinlik değerleri kullanılarak ses hızının günlere göre değişim grafikleri elde edilmiştir (Şekil 6.127).



Şekil 6.127 Ses hızının günlere göre değişimi (Ocak,2009)

Şekil 6.127 'den en büyük ses hızı değişiminin -23. metreyle -30. metre arasında olduğu görülmüştür. Bu değişiminde 15–20 metreden sonra başlayan Marmara Denizi suyundan kaynaklandığı anlaşılmıştır. Bu iki deniz arasındaki farklı akıntı hızı ve yönlerinin ses hızında en çok değişime sebep olduğu tespit edilmiştir. Aynı ay içerisinde birbirine yakın tarihlerde ölçüm yapılmasına rağmen ses hızlarında tespit edilen farklılıklar, İstanbul Boğazında yapılacak hidrografik ölçmelerde ses hızı ölçümlerinin ne kadar önemli olduğunu göstermiştir. Tüplerin batırılacağı bölgedeki batimetri çalışmalarında ses hızına dayalı derinlik bilgilerindeki değişim şartname gereği en aza indirgenmiştir. Ses hızındaki bu değişimleri en aza indirebilmek için İstanbul Boğazı çalışma bölgesi batimetri çalışmalarında ses hızı ölçümleri, ölçüm süresinin uzunluğuna göre 2 saatlik aralıklarla yapılmıştır.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma bölgesinde zemin iyileştirme çalışmaları için yapılan kazı, dolgu ve düzleme işlerinde anlık derinlik bilgisi için sonar verileriyle birlikte birçok veri birleştirilmiştir.

Konum belirleme için RTK-GPS yöntemi kullanılarak yatayda 2 cm hassasiyet yakalanmıştır. Sabit olamayan zeminlerde gerçekleştirilen kazı, dolgu ve düzleme uygulamalarında; klasik yöntemle kontrol edilen RTK-GPS için yatayda maksimum 8 cm, yükseklik için ise maksimum 4 cm sapma olduğu görülmüştür. Derinlik ölçmeleri için klasik yöntemle elde edilen yüksekliğe göre sonar kullanımında maksimum 15 cm, çok bimli akustik iskandil için 6 cm fark saptanmıştır. Böylece akustik iskandil sisteminin sonar ölçümünden daha hassas sonuçlar elde ettiği anlaşılmıştır. Fakat akustik iskandil sonuçları için ölçme, değerlendirme gibi birçok adım gerektiğinden dolayı anlık derinlik belirleme işlemi için uygun olmadığı anlaşılmıştır. Bu yüzden sonar ölçmelerinde deniz tabanı ve sonar arasındaki mesafe azaltılarak hassasiyetin artırılması sağlanmıştır. Ayrıca Üsküdar'da bulunan mareograf istasyonundan gelen değerler ile GPS ile elde edilen sıfır seviyesi farkı değerleri karşılaştırılmış farklılığın genellikle 3 cm olduğu görülmüştür. Karşılaştırılan iki değer arasındaki farkın 5 cm' den büyük olması durumunda tüm ofsetler yeniden düzenlenmiştir. Ölçüm yapılan tekne, duba, gemi vb. araçlarda draft miktarının bilinmesi ve değişimlerinin takip edilmesinin ölçme doğruluğunu etkilediği anlaşılmıştır.

İstanbul Boğazı çalışma bölgesindeki akıntı hızı ölçmeleri uygulamalarındaki bazı verilerde parazitler tespit edilmiştir. Bu parazitlerin yoğun boğaz trafiğinin su yüzeyinde oluşturduğu değişimler ve aletlerin bağlı oldukları boruların titreşimi sonucunda olduğu ölçüm anında oluşan parazitlerden anlaşılmıştır. GPS ve akıntı hızı ölçerlerle belirlenen akıntı yönü değerleri karşılaştırılmış ve aralarındaki fark akıntı verilerine eklenmiştir. Böylece akıntı yönündeki kaba hata önlenmiştir. Uygulamalarda çalışma güzergahı boyunca maksimum akıntı hızı 2 m/s olarak tespit edilmiştir. Akıntının en fazla olduğu bölge çalışma güzergahının ortası, en düşük akıntı hızına sahip olan bölge ise çalışma bölgesinin Sarayburnu mevkiine yakın olan kısmı olarak tespit edilmiştir.

Basit kurulum, kullanım, değerlendirme ve navigasyon olanağına sahip ADP aletinin mühendislik çalışmalarında kullanımının uygun olduğu görülmüştür. ADCP aletinin topladığı verilerin çeşitliliği, verilerin akademik yazılımlara uyumlu olması, değerlendirme aşamasında araştırmacıya bırakılan ayarlamalar gibi uzmanlık gerektiren ayrıntılardan dolayı daha çok akademik çalışmalar için tercih edilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Akıntı hızı tahminleri için ise

deniz tabanında sabit halde veri alabilen, uzun süreli ölçümler için dahili hafıza ve bataryaya sahip, isteğe bağlı olarak bölgesel veri toplayabilen RDCP-600 aletinin kullanımının pratik olduğu görülmüştür.

İstanbul Boğazı çalışma bölgesindeki çalışmalarında sesin sudaki hızının değişiminin ve test ölçümü sonuçlarının belirlenmesinin oldukça önemli olduğu görülmüştür. Test ölçümlerinin yapılmadığı takdirde ölçüm sonuçlarında yataysal, düşey ve açıl olarak sapmalar tespit edilmiştir. Yapılan uygulamada test ölçümü düzeltmelerinin eklenmediği verilerde düşeyde 1 metreye yakın sapma olduğu görülmüştür. Bununla beraber doğru test ölçüm sonuçlarının belirlenebilmesi için test ekranındaki derinlik hata grafiğinin “U” şeklinde olması gerektiği anlaşılmıştır. Bir diğer etken olan sesin sudaki hızı ise yüksek akıntı hızı ve bölgede iki farklı deniz suyunun bulunması nedeniyle kısa sürede değiştiği görülmüştür. Çalışma bölgesinde 4 saatlik aralıklarla alınan 2 ses hızı verisi ile değerlendirilen batimetri ölçümünde 6 cm’ lik fark tespit edilmiştir. Diğer bir uygulamada ise aynı noktaya ait 5 ses hızı incelenerek 3 günlük sürede ses hızında aynı derinliğe ait 30 m/sn gibi büyük değişimler olduğu görülmüştür. Çalışma bölgesindeki ses hızı değişimlerinin en fazla 23 ve 30 metre derinliklerinde olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeninin boğaz bölgesinde yüksek akıntı hızı nedeniyle deniz suyu tuzluluğunun ve sıcaklığının çok kısa sürede değişmesi olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca genelde 20. metreden sonra ses hızında görülen büyük artışın Karadeniz suyundan Marmara Denizi suyuna geçilmiş olmasından kaynaklandığı görülmüştür. Bununla beraber çalışmalarda deniz suyunun sıcaklığının azalıp, derinlik ve tuzluluğun artması ile ses hızının da arttığı anlaşılmıştır. Çalışma bölgesindeki bu değişimler dikkate alınarak batimetri ölçme süresine bağlı ses hızı belirlemeleri saatlik, test ölçümleri ise sık aralıklarla yapılmıştır.

Tüm hidrografik çalışmalarda aletlerin düzgün, sabit ve titreşim oluşturmayacak şekilde kurulması, test ve kalibrasyonların sık aralıklarla tekrar edilmesi, çalışılan bölgeye göre ölçmelere etki eden faktörlerin belirlenip önlemlerin alınması, güvenilir kontrol noktalarının seçilmesi, ölçüm esnasında tekne hızının minimum olması ve alet bakımlarının üretici firmalar tarafından yapılması önerilmektedir. Ülkemizin bulunduğu coğrafi konum gereği denizdeki mühendislik çalışmalarının giderek artacağı da düşünüldüğünde, hidrografik çalışmalarda istenilen doğrulukların ve kontrollerin sağlanabilmesi için deniz ölçmeleri üstüne eğitimin daha da derinleştirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Alkan, R.M., (1998), “Presizyonlu Hidrografik Çalışmalar için GPS Yöntemi ile Bat-Çık (Heave) Etkisinin Giderilmesi”, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aydın, Ö., Erkaya, H., Hoşbaş, R.G., Aykut, N.O., (2005), “Hidrografik Ölçmelerde Standartların Önemi”, Tmmob Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 28 Mart-1 Nisan 2005, Ankara.
- Aydın, Ö., Erkaya, H., Hoşbaş, R.G., Aykut, N.O., (2007), “Sualtında Akustik Konumlandırma”, Tmmob Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 2-6 Nisan 2007, Ankara.
- Aydın, Ö., Soycan M., (2004), “GPS Tekniği Ders Notları”, YTÜ, İstanbul.
- BKK, (1973), “Seyir ve Hidrografi Hizmetleri Kanunu”, 1738, 7 Haziran 1973, Ankara.
- CO(Coastal Oceanographics), (2006), “User’s Manual Hypack”, USA.
- Çelikkıran, A., (2007), “Denizde Ses Hızı Değişimlerinin Batimetrik Ölçüm Sonuçlarına Etkisi”, HKMO Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 3. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 24 -26 Ekim 2007, Konya.
- Çelikkıran, A., (2007), “RTK-GPS Ölçme Yönetiminin Farklı Kullanımları”, HKMO Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 3. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 24 -26 Ekim 2007, Konya.
- Demirtaş,Ü., (2006), “Bölgesel Koordinat Dönüşümleri”, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, İstanbul.
- Eren, K., Uzel, T.,(1995), “GPS Ölçmeleri”, Yıldız Teknik Üniversitesi Matbaası, Yayın No:301, İstanbul.
- Erkaya, H., (1995), “İleri Hidrografik Ölçmeler Ders Notları”, YTÜ, İstanbul.
- Erkaya, H., Hoşbaş, R.G., (1998), “Hidrografik Ölçmeler Ders Notları”, YTÜ, İstanbul.
- IHO, (2005), “Manuel on Hyrography”, 1th Edition, Special Publication M-13, Monaco.
- IHO,(2008), “IHO Standards For Hydrographic Surveys”, Special Publication No:44, 5th Edition, Monaco.
- Kahveci, M., Yıldız, F., (2001), “Global Konumlama Sistemi”, Nobel Yayınları, Ankara.
- Kalkan, Y., Alkan, R.M., (2005), “Sularla Kaplı Alanlarımız ve Hidrografik Ölçmeler”, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 28 Mart-1 Nisan 2005, Ankara.
- NOS, (2000), “National Ocean Service RTK Team Final Report”, Office of Coast Survey, Center for Operational Oceanographic Products and Services, Office of National Geodetic Survey, USA.
- Özgen, G., Algül, E., (1977), “Mühendislik Ölçmeleri 1-Hidrografik ölçmeler”, Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul.
- SHODB, (2004), “Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı Tanıtım Kitapçığı”, İstanbul.
- SonTek, YSI., (2000), “Sontek ADP Introductory Documentation”, Version 5.0, USA.

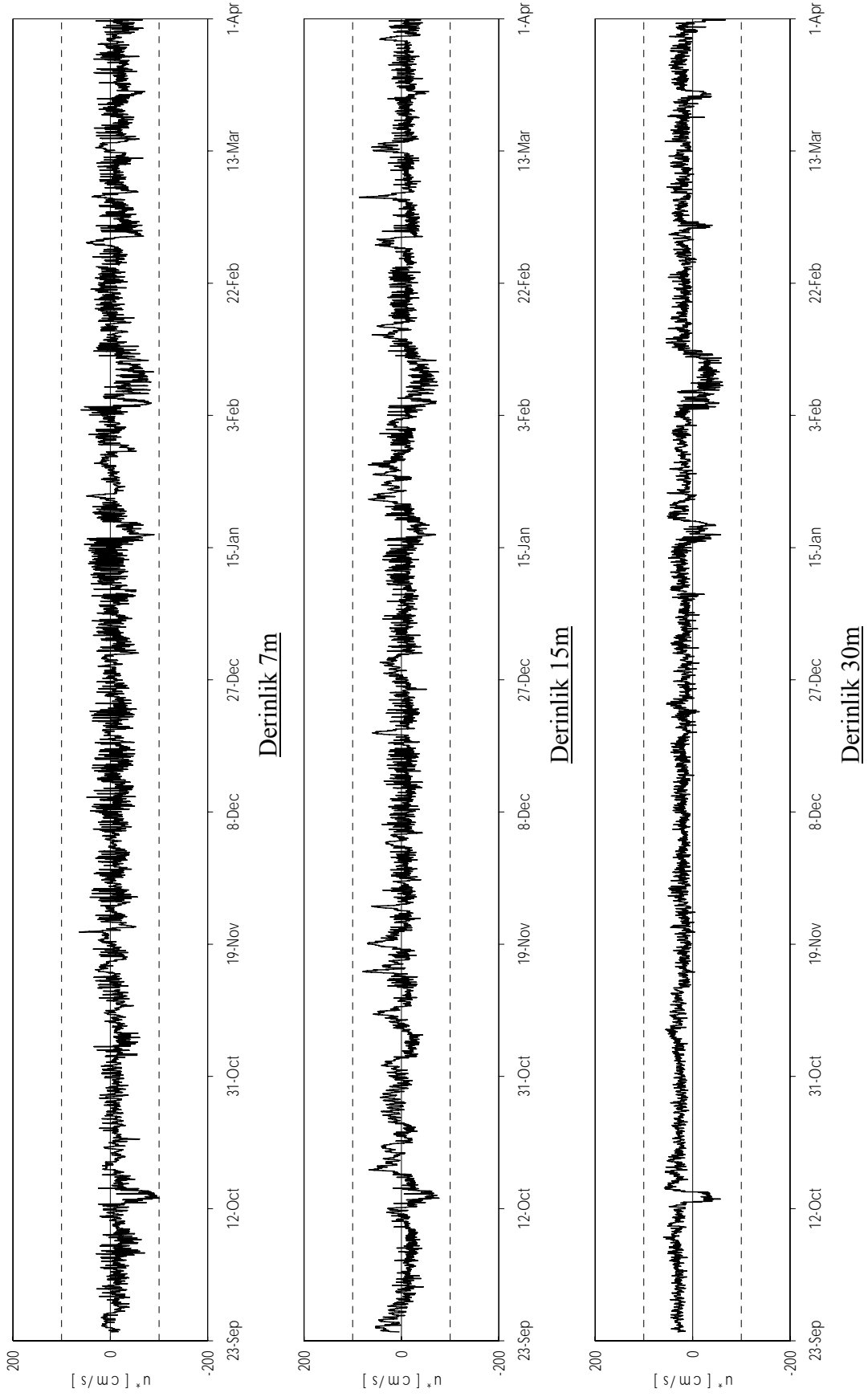
SonTek, YSI., (2005), "Riversurveyor System Manual", Software Version 4.30,USA.

TAISEI, Çelikkıran, A., (2006), "Method Statement for Bathymetric Survey",Marmaray Project Contract BC1,İstanbul.

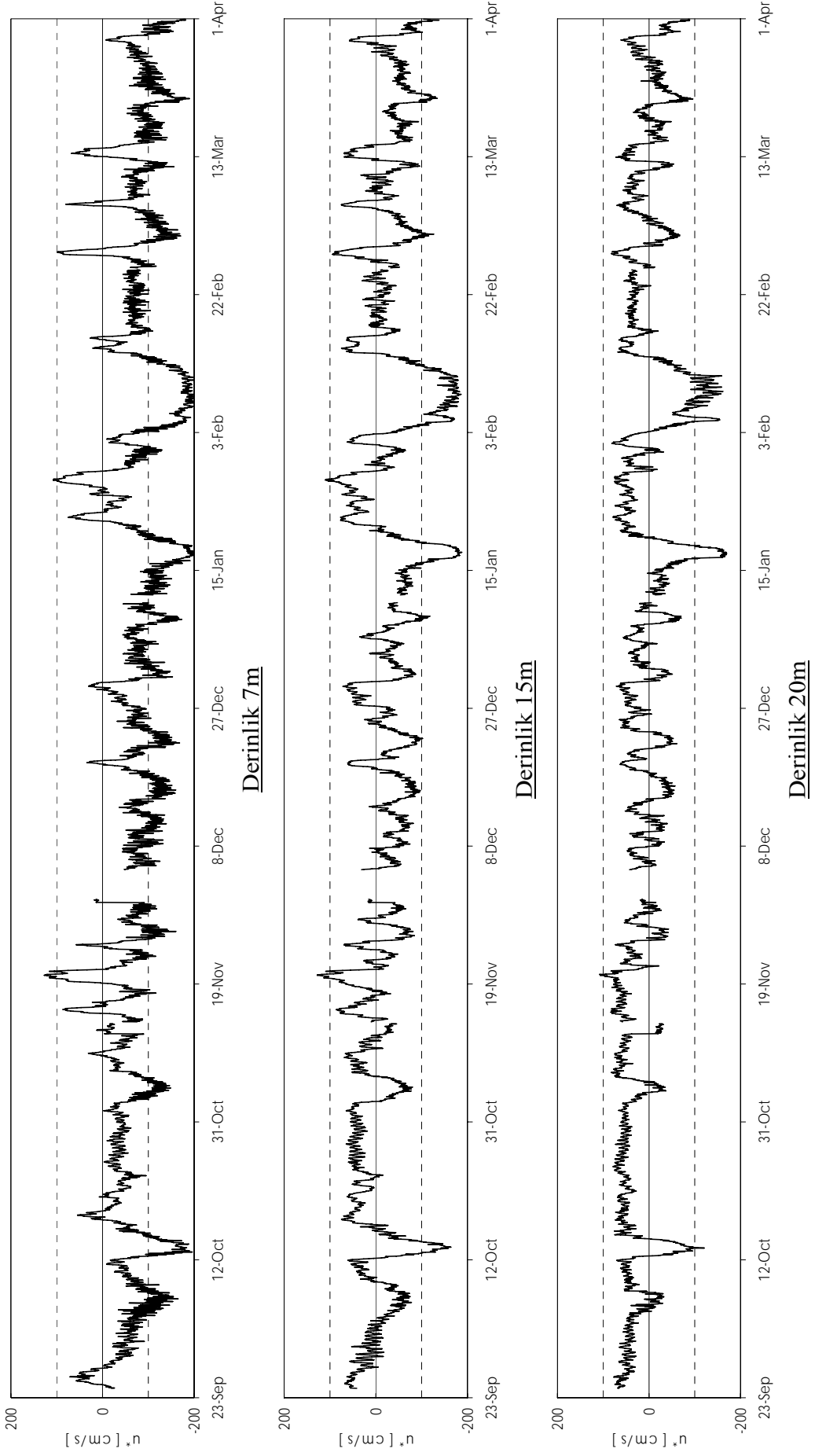
EKLER

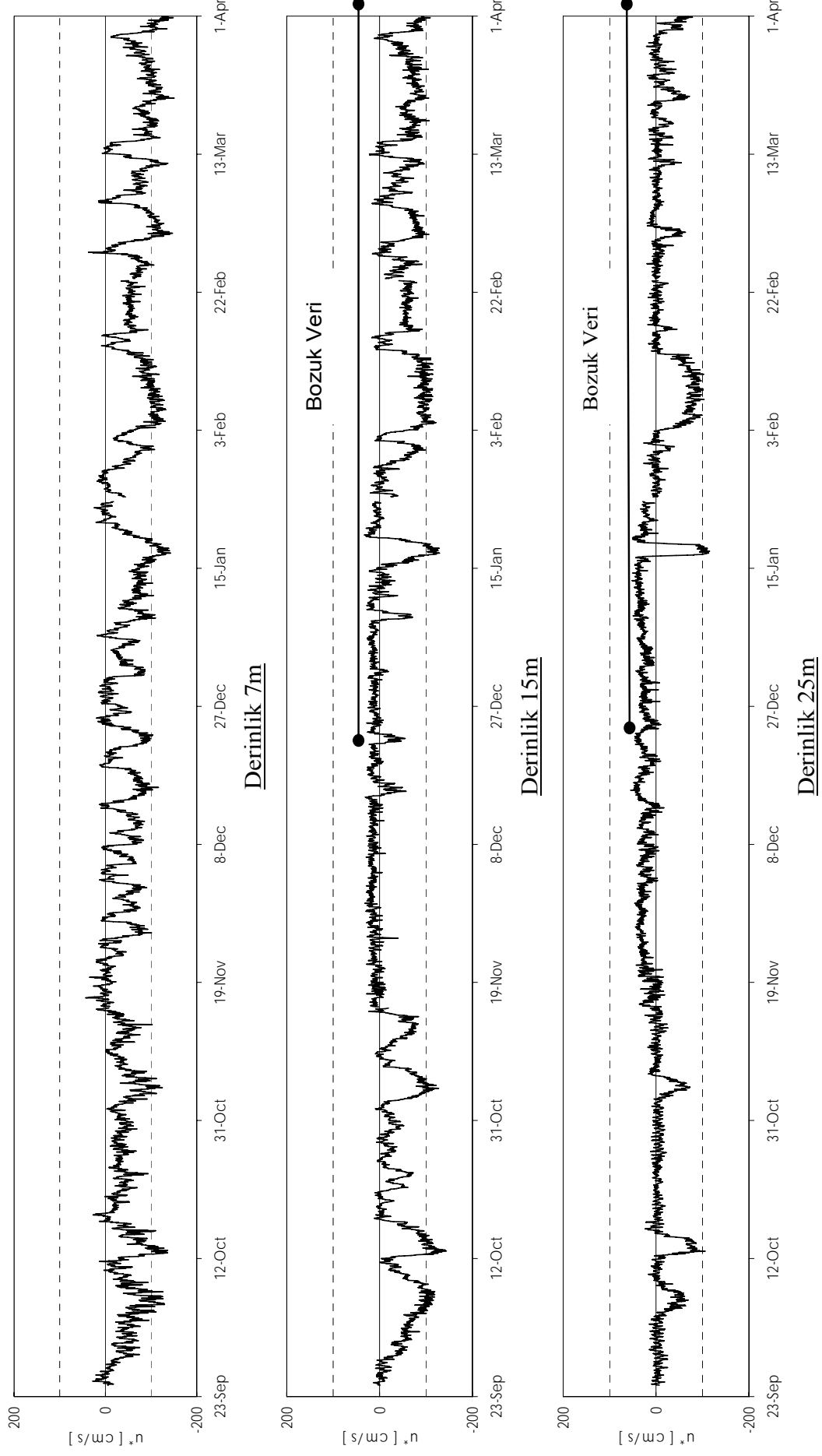
Ek 1 RDCP-600 sabit istasyonlarının ölçümlerine ait akıntı hızı grafikleri

Ek 1 RDCP-600 sabit istasyonlarının ölçümlerine ait akıntı hızı grafikleri

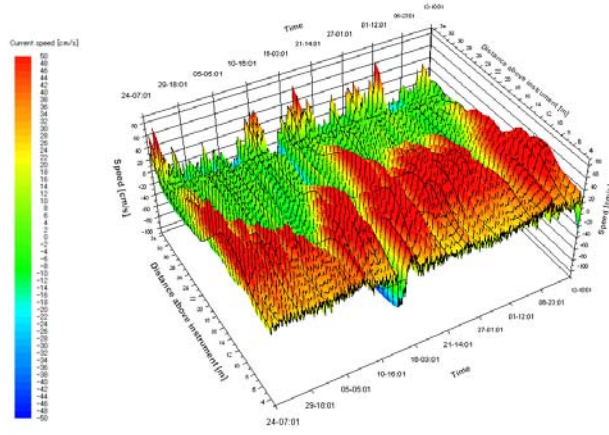


Şekil Ek 1.1 İstasyon A kuzey yönlü akıntı hızı grafiği

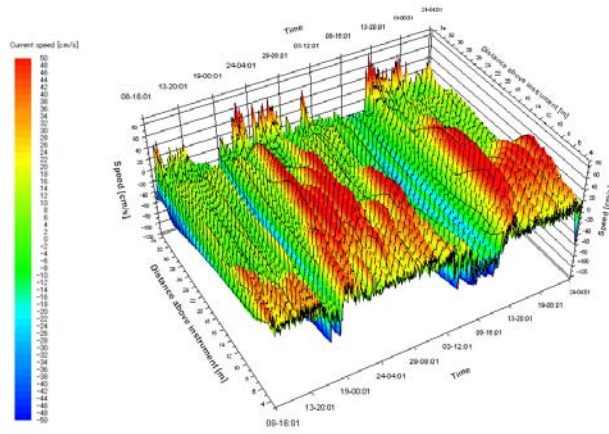




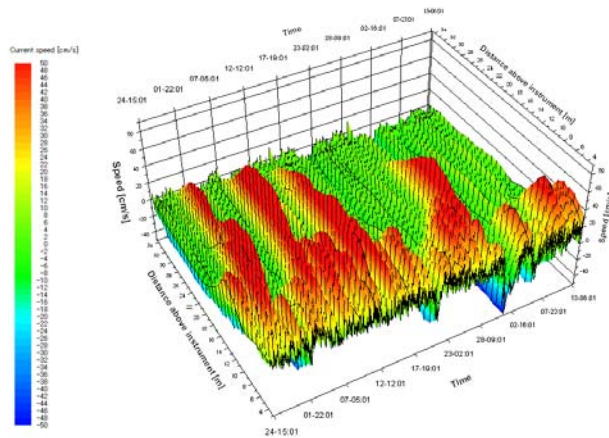
Şekil Ek 1.3 İstasyon C kuzey yönlü akıntı hızı grafiği



24.09.04 07:01 □ 12.11.04 12:01

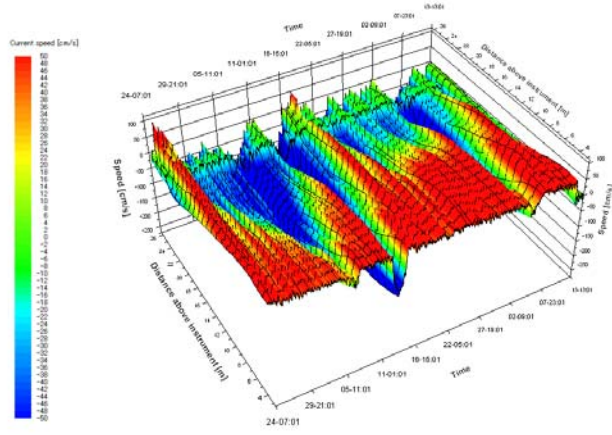


08.01.05 16:01 □ 24.02.05 10:01

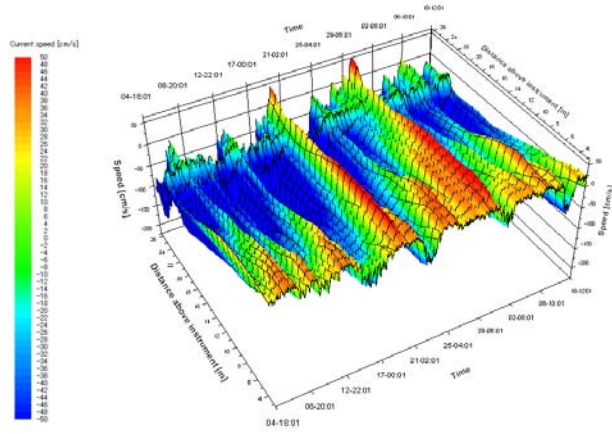


24.02.05 15:01 □ 13.04.05 13:01

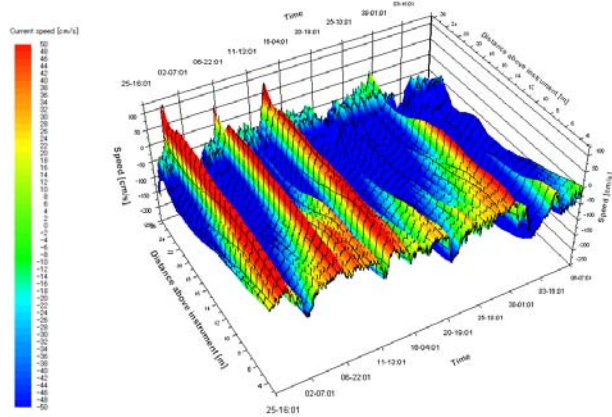
Şekil Ek 1.4 İstasyon A kuzey yönlü akıntı hızı profili (2004-2005 çalışma bölgesi ölçümü)



24.09.04 07:01 □ 13.11.04 14:01

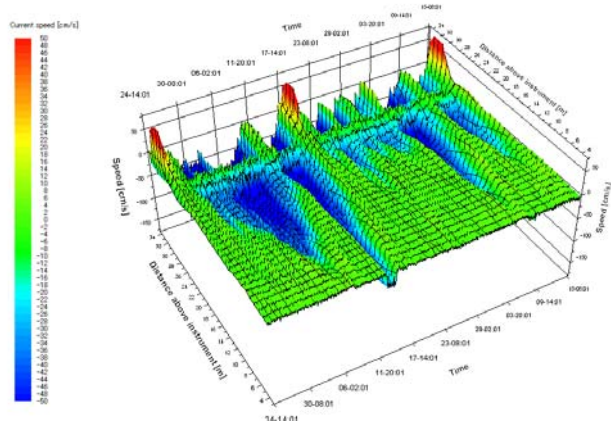


04.12.04 18:01 □ 10.01.05 14:01

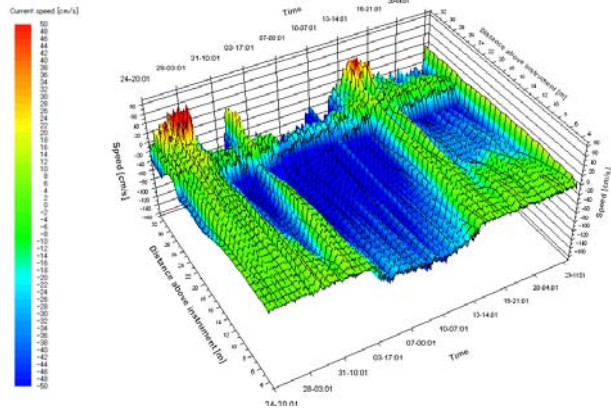


25.02.05 16:01 □ 08.04.05 10:01

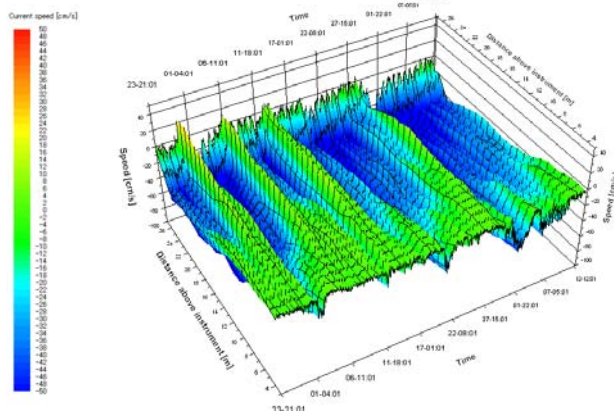
Şekil Ek 1.5 İstasyon B kuzey yönlü akıntı hızı profili (2004-2005 çalışma bölgesi ölçümü)



24.09.04 14:01 □ 15.11.04 11:01

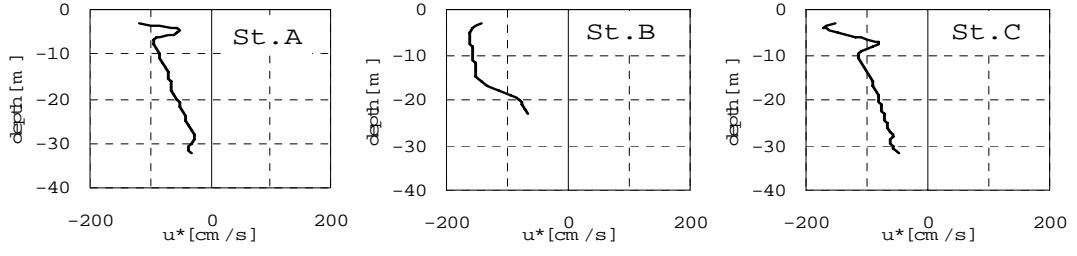


24.01.05 20:01 □ 23.02.05 15:01

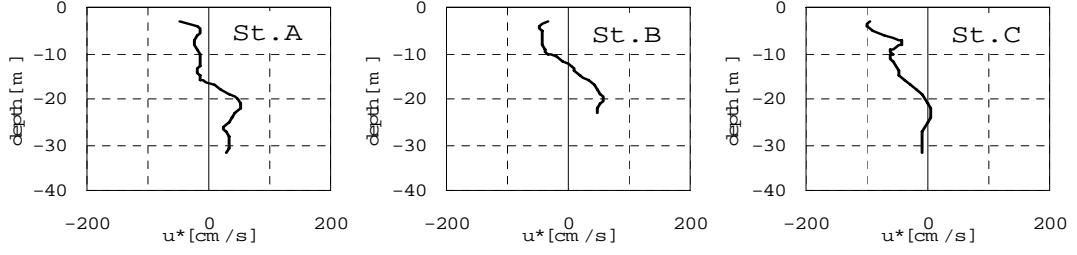


23.02.05 21:01 □ 12.04.05 13:01

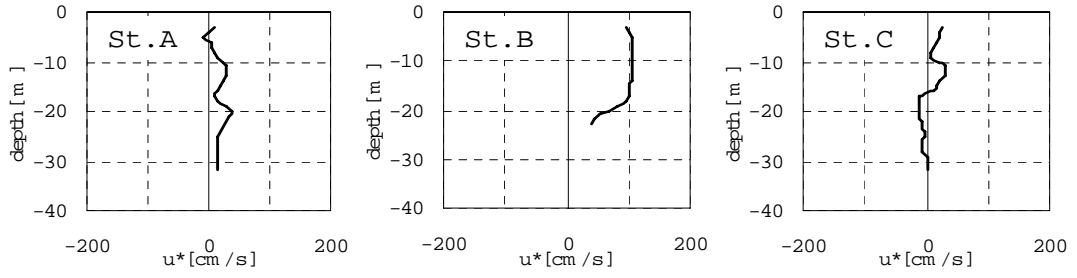
Şekil Ek 1.6 İstasyon C kuzey yönlü akıntı hızı profili (2004-2005 çalışma bölgesi ölçümü)



Ekim 13, 2004 21:00



Kasım 11, 2004 10:00



Kasım 19, 2004 19:00

Şekil Ek 1.7 Kuzey yönlü akıntı hızının düşey profili (2004-2005 çalışma bölgesi ölçümü)

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 15.04.1982

Doğum yeri Kütahya

Lise 1997-2000 Kütahya Süper Lisesi

Lisans 2000-2005 Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi,
Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2007-2009 Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı,
Geomatik Programı

Çalıştığı kurum(lar)

2005-2006 Rota İnşaat
Yakuplu Bulvarı İnşaatı-Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisi

2006-devam ediyor Taisei Corporation Marmaray Projesi
Batırma Tünel Bölümü-Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisi