

75013

**PRESİZYONLU HİDROGRAFİK ÖLÇMELERDE BAT-ÇIK
ETKİSİNİN GPS YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Y. Müh. Reha Metin ALKAN

75013

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21 Mayıs 1998

Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Temmuz 1998

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Emirhan ALGÜL

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Oğuz MÜFTÜOĞLU

Prof. Dr. Orhan BAYKAL

Prof. Dr. Turgut UZEL

Prof. Dr. Semih DEDEOĞLU

TEMMUZ 1998

**Y.O. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANLARI**

ÖNSÖZ

Üç tarafı denizlerle çevrili olmasına rağmen hidrografi konusunda henüz yeterli sayıda araştırmanın olmadığı günümüz Türkiye'sinde bir eksiği tamamlaması dileğiyle hazırladığımız bu çalışmanın gerçekleşmesinde her konuda değerli yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Emirhan ALGÜL başta olmak üzere,

Bir çok konuda yardımına başvurduğum Sayın Prof. Dr. Orhan BAYKAL'a, arazi çalışmalarında değerli yardımlarını aldığım Doç. Dr. Yunus KALKAN'a, Arş. Grv. Cankut Dağdal İNCE'ye, Dr. Ergin TARI'ya, Arş. Grv. Taner ÜSTÜNTAŞ'a, Har. Müh. Süleyman COŞGUN'a ve görüşlerini aldığım diğer hocalarıma ve mesai arkadaşlarıma,

Uygulamamızın gerçekleştirilmesinde emeğini hiç esirgemeyen, en az benim kadar iyi bir çalışma yapılması için ellerinden gelen tüm gayreti gösteren Sayın Fatih AKBULUT, Mehmet Ali BÖLÜK, İbrahim KANMAZ'a ve GÜLERMAK firmasına, ayrıca Alb. Ali KAPLAN'a,

Bu zamana kadar maddi ve manevi desteğini hiç eksik etmeyen sevgili anne ve babama,

Yazım konusundaki titiz çalışmasından dolayı Sayın Sis.KARAMAN'a
en derin ve içten teşekkürü bir borç biliyorum.

İstanbul, 1998

Reha Metin ALKAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
SEMBOL LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
2. HIDROGRAFİK ÇALIŞMALAR	3
2.1 Hidrografik Çalışmalara Etki Eden Parametreler	3
2.1.1 Suyun hareketleri	3
2.1.2 Suyun özellikleri	6
2.1.3 Atmosferin etkisi	6
2.2 Hidrografik Çalışmaların Uygulama Alanları	7
2.3 Hidrografik Çalışmaların Doğruluk Standartları	8
2.4 Hidrografik Ölçmelerde Yapılan Ön Çalışmalar	9
3. KONUM ÖLÇMELERİ	10
3.1 Konum Belirleme Yöntemleri	10
3.1.1 Optik yöntemler	11
3.1.2 Elektrometrik yöntemler	11
3.1.3 Akustik yöntemler	12
3.1.4 İnersiyal konum belirleme yöntemi	12
3.2 Yapay Uydulardan Yararlanarak Konum Belirleme	13
3.2.1 GPS sistemi hakkında genel bilgiler	15
3.2.2 GPS ile konum belirleme yöntemleri	15
3.2.2.1 Navigasyon çözümü	15
3.2.2.2 Taşıyıcı faz ölçüleri ile konum belirleme	17
3.2.3 GPS yöntemindeki hata kaynakları	19
3.2.4 GPS yöntemi ile jeodezik amaçlı ölçmeler	19
3.2.5 Kinematik ölçme yöntemi	19
3.2.6 Presizyonlu diferansiyel GPS (PDGPS)	22
3.2.7 GLONASS sistemi	24
3.3 Kıyı Şeridinin Ölçülmesi	25

4. DERİNLİKLERİN ÖLÇÜLMESİ (İSKANDİL)	26
4.1 Genel	26
4.2 Hidrografik Ölçmelerde Kullanılan Ölçme Taşıtları	27
4.3 Derinlik Ölçme Yöntemlerinin Sınıflandırılması	27
4.4 Derinliklerin Modern Yöntemlerle Ölçülmesi	28
4.4.1 Lazer yöntemi ile derinliklerin ölçülmesi	28
4.4.1.1 Airborne lazer yöntemi ile derinliklerin ölçülmesi	28
4.4.2 Uzaktan algılama yöntemi ile derinliklerin ölçülmesi	30
4.4.3 Fotogrametrik yöntemle derinliklerin ölçülmesi	30
4.4.4 Akustik derinlik ölçme yöntemi	31
4.4.4.1 Akustik derinlik ölçme aletleri	32
4.4.4.2 Sesin su içinde yayılma hızı	33
4.4.4.3 Akustik yöntemle ölçülen derinliklerin düzeltilmesi ve indirgenmesi	35
4.4.5 Bat-çık hareketi, yalpa ve boyuna salınım düzeltmelerinin hesabı	40
4.4.5.1 Bat-çık etkisinin GPS yöntemi ile yok edilmesi için bir yöntem önerisi	44
4.4.6 Diğer akustik derinlik ölçme yöntemleri	47
4.5 İskandil Yoğunluğu	51
4.6 Düşey Datumun Belirlenmesi	53
5. UYGULAMA	56
5.1 Çalışma Bölgesinin Tanıtımı	56
5.2 Bölgede Yapılan Jeodezik ve Hidrografik Çalışmalar	57
5.2.1 Jeodezik noktaların tesisi	58
5.2.2 Jeodezik noktaların yüksekliklerinin belirlenmesi	58
5.2.3 Kontrol noktalarının koordinatlarının belirlenmesi	59
5.2.4 Dur-git (Stop and Go) yöntemi ile kıyı çizgisinin ölçülmesi	62
5.2.5 Hidrografik ölçmeler	63
5.2.6 Ölçmelerde kullanılan hidrografi taşıtları	75
5.2.7 Bat-çık(heave) etkisinin GPS yöntemi ile yok edilmesi	76
5.2.8 Sayısal derinlik modeli	78
5.2.9 PDGPS ölçüleriyle belirlenen ortalama deniz seviyesi ile, mareograf okumalarının karşılaştırılması	90
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	93
KAYNAKLAR	96
EKLER	103
EK-A. Jeodezik Ağın Dengeleme Sonuçları	104
EK-B. Grafik Derinlik Çizimi	109
EK-C. Bat-çık Etkisinin Elimine Edilmesi İçin Yazılan Programın Listesi	111
EK-D. Ortalama Deniz Seviyesi İle Ölçüler Arasındaki Farklar	115
ÖZGEÇMİŞ	121

SEMBOL LİSTESİ

H_o	: Ortalama deniz seviyesinin yüksekliği
$2\pi/\eta_1$	: Bir ay günü
$2\pi/\eta_2$	: Bir güneş günü
ξ_1, ξ_2	: Ay ve güneşin saat açısı
dr	: Uydu konumundaki hata
b	: Kenar uzunluğu
ρ	: Uydu alıcı arası gerçek uzaklık
db	: Ölçülen kenarda meydana gelen hata
R_i	: i alıcısının konum vektörü
r^j	: j uydusunun konum vektörü
P_i^j	: i alıcısı ile j uydusu arasındaki ölçülen uzaklık vektörü
c	: Işığın boşluktaki yayılma hızı
dt	: GPS zamanına göre uydu saatinin hatası
dT	: GPS zamanına göre alıcı saatinin hatası
d_{ion}	: İyonosferik gecikme
d_{trop}	: Troposferik gecikme
$\phi^P(t_m)$	: Uydu sinyalinin alıcı tarafından ölçülen fazı
$\phi_m(t_m)$	: Alıcıda üretilen sinyalin, alıcı tarafından ölçülen fazı
$N_m^P(1)$	: Dalga boyunun tam sayısı bilinmeyen
t_m	: Alıcının saati
f	: Frekans
$\dot{R}$	: Toposentrik uzunluk oranı
κ/f^2	: 1. dereceden iyonosferik gecikme
$maks.\delta R$	: DGPS yönteminde ana istasyon ile kullanıcı arasındaki uzunluğa gelecek maksimum uzunluk hatası
d	: Alıcılar arası uzaklık
D	: Gezici istasyon ile uydu arasındaki uzaklık
c_s	: Işık/ses dalgasının sudaki yayılma hızı
t	: Ses impulslarının gidiş-dönüş zamanı
T	: Sıcaklık
P	: Basınç
s	: Tuzluluk
dH_v	: Hız düzeltmesi
$V_{ort.}$	: Çalışılan ortamdaki ortalama ses hızı
V_o	: Derinlik ölçerin kalibre edildiği ses hızı
dH_e	: Eğim düzeltmesi
α_e	: Derinlik ölçerin tepe açısı

β_e	: Sualtı zemininin eğimi
dH_a	: Derinlik ölçerin ayar düzeltmesi
dH_H	: Bat-çık (heave) düzeltmesi
dH_{PR}	: Boyuna salınım (pitch) ve yalpa (roll) düzeltmesi
H_d	: Düzeltilmiş derinlik değeri
H_{SK}	: Mareograf yardımıyla belirlenen ortalama su seviyesinin kotu
C	: Enine jirasyon yarıçapı
B	: Gemi genişliği
GM	: Enine metasantr yüksekliği
g	: Gravite sabiti
C_h	: Ölçme taşıtının düşey doğrultudaki hızı
α	: Boyuna salınım açısı
β	: Yalpa açısı
H_g	: İmpulsun gönderildiği andaki bat-çık hareketinin değeri
H_a	: İmpulsun alındığı andaki bat-çık hareketinin değeri
H_T	: Transdüserdeki bat-çık değeri
H_S	: Sensörde ölçülen bat-çık değeri
H_M	: Ölçme yapılan zaman aralığındaki ortalama deniz seviyesinin yerel kotu
h_A	: Elipsoidal kot
h_M	: Ölçme yapılan zaman aralığındaki ortalama deniz seviyesinin elipsoidal kotu
h_e	: Enterpole edilen noktanın kotu
h_i	: i . dayanak noktasının kotu
P_i	: i . dayanak noktasına verilecek ağırlık
S_i	: Enterpolasyon noktası ile i . dayanak noktası arasındaki yatay uzunluk
v_i	: Ölçülere gelecek düzeltmeler
$\bar{h}_i$	: Düzeltilmiş ölçüler
d	: Derinlik değeri

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No.</u>
Şekil 2.1. Anlık Deniz Seviyesinin Kotunun Belirlenmesi	4
Şekil 2.2. Hidrografik Ölçmelerin Uygulama Alanları	7
Şekil 3.1. Konum Belirleme Sistemleri ve Doğrulukları ...	14
Şekil 3.2. Kod Ölçüleriyle Konum Belirleme	16
Şekil 3.3. Yansıma Etkisi	24
Şekil 4.1. Airborne Lazer Yöntemi ile Derinlik Ölçümü	29
Şekil 4.2. Ses Hızının Grafik Olarak Belirlenmesi	34
Şekil 4.3. Bat-çık, Boyuna Salınım ve Yalpa Etkilerinin Geometrik Gösterimi	37
Şekil 4.4. Yalpa Etkisinin Kardanak Mafsallı Transdüser ile Ortadan Kaldırılması	38
Şekil.4.5. Modern Bir Hidrografik Çalışmaya Ait Akış Diyagramı	39
Şekil 4.6. Bir Derinlik Ölçüsünün Referans Yüzeyine İndirgenmesi .	40
Şekil 4.7. Bat-çık Hareketinin Geometrisi	43
Şekil 4.8. Herhangi Bir Ölçme Anında Teknenin Su Üzerindeki Konumu	45
Şekil 4.9. Bat-çık (Heave) Etkisinin GPS ve Klasik Jeodezik Ölçme Yöntemleri ile Giderilmesi	46
Şekil 4.10. Side-scan Sonar Sistemi	49
Şekil 4.11. Çok Hüzmeli (Beam'li) Akustik Derinlik Ölçme Sistemleri (Atlas-Hydrosweep Sistemi)	50
Şekil 4.12. Ortometrik Yükseklik ile Elipsoidal Yükseklik Arasındaki İlişki	55
Şekil 5.1. Uygulama Yapılan Bölge	57
Şekil 5.2. Nivelman Ağı Kanavası	58
Şekil 5.3. Statik GPS Ölçü Planı	61
Şekil 5.4. Mareograf Latasına Kot Taşınması	64
Şekil 5.5.a. 30. Temmuz.1997 Tarihinde Lata Mareografında Yapılan Okumalar	64
Şekil 5.5.b. 09.Eylül.1997 Tarihinde Lata Mareografında Yapılan Okumalar	65
Şekil 5.5.c. 07.Kasım.1997 Tarihinde Lata Mareografında Yapılan Okumalar	65
Şekil 5.6. Ölçmelerde Kullanılan Atlas Deso-15 Derinlik Ölçerinin Görünümü	66
Şekil 5.7. 09.Eylül.1997'de Derinlik Ölçmesi Yapılan Hatlar	67
Şekil 5.8. 07.Kasım.1997'de Derinlik Ölçmesi Yapılan Hatlar	67
Şekil 5.9. Bar-check Yöntemi ile Derinlik Ölçerin Ses Hızının Kalibrasyonu	68
Şekil 5.10. PROFIMAP'te Ölçme Planının Oluşturulması	69
Şekil 5.11. Ölçme Yapılan Bir Hattın Ait Derinlik Değerlerinin PROFIMAP'te Grafik Görünümü	70

Şekil 5.12.	Hatalı Bir Derinlik Değerinin Düzeltilmesi	71
Şekil 5.13.	GPS Anteni ile Derinlik Ölçmesi Yapılan Noktalar Arasındaki Dış Merkezlik	73
Şekil 5.14.	Derinlik Ölçer ve Bilgisayarın Tekneye Yerleştirilişi	74
Şekil 5.15.	GPS Anteninin Tekneye Yerleştirilmesi	75
Şekil 5.16.	Birinci Ölçmelerde Kullanılan Fiber Tekne	75
Şekil 5.17.	Bat-çık (Heave) Etkisinin GPS ve Klasik Jeodezik Ölçme Yöntemleri ile Giderilmesi	76
Şekil 5.18.	Düzeltilmelerin Hesaplandığı Programa Ait Akış Diyagramı	79
Şekil 5.19.	09.Eylül.1997 Tarihinde Yapılan Ölçmelere Ait Deniz Yüzeyi	80
Şekil 5.20.	09.Eylül.1997 Tarihinde Yapılan Ölçmelere Ait Deniz Dibi Topografyası	80
Şekil 5.21.	07.Kasım.1997 Tarihinde Yapılan Ölçmelere Ait Deniz Yüzeyi	81
Şekil 5.22.	07.Kasım.1997 Tarihinde Yapılan Ölçmelere Ait Deniz Dibi Topografyası	81
Şekil 5.23.a.	1. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi ile Ölçüler Arasındaki Farklar	83
Şekil 5.23.b.	2. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi ile Ölçüler Arasındaki Farklar	83
Şekil 5.23.c.	3. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi ile Ölçüler Arasındaki Farklar	83
Şekil 5.24.a.	1. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi ile Ölçüler Arasındaki Farklar	84
Şekil 5.24.b.	2. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi ile Ölçüler Arasındaki Farklar	84
Şekil 5.24.c.	3. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi ile Ölçüler Arasındaki Farklar	84
Şekil 5.25.	09.Eylül.1997 Tarihinde Yapılan Ölçülerle, Ortalama Deniz Seviyesi Arasındaki Farkların İstatistiki Dağılımı	85
Şekil 5.26.	07.Kasım.1997 Tarihinde Yapılan Ölçülerle, Ortalama Deniz Seviyesi Arasındaki Farkların İstatistiki Dağılımı	85
Şekil 5.27.a.	09.Eylül.1997 Uygulamasına ait Dengeleyen Eğrinin Bulunması (1. İterasyon)	88
Şekil 5.27.b.	09.Eylül.1997 Uygulamasına ait Dengeleyen Eğrinin Bulunması (2. İterasyon)	88
Şekil 5.28.a.	07.Kasım.1997 Uygulamasına ait Dengeleyen Eğrinin Bulunması (1. İterasyon)	89
Şekil 5.28.b.	07.Kasım.1997 Uygulamasına ait Dengeleyen Eğrinin Bulunması (2. İterasyon)	89
Şekil 5.28.c.	07.Kasım.1997 Uygulamasına ait Dengeleyen Eğrinin Bulunması (3. İterasyon)	90
Şekil 5.29.	Ortalama Deniz Seviyesinin PDGPS Yöntemi İle Hesabı ..	90

	<u>Sayfa No.</u>
Şekil D.a. 4. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi İle Ölçüler Arasındaki Farklar	116
Şekil D.b. 5. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi İle Ölçüler Arasındaki Farklar	116
Şekil D.c. 6. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi İle Ölçüler Arasındaki Farklar	116
Şekil D.d. 7. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi İle Ölçüler Arasındaki Farklar	117
Şekil D.e. 8. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi İle Ölçüler Arasındaki Farklar	117
Şekil D.f. 9. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi İle Ölçüler Arasındaki Farklar	117
Şekil D.g. 10. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi İle Ölçüler Arasındaki Farklar	118
Şekil D.h. 11. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi İle Ölçüler Arasındaki Farklar	118
Şekil D.ı. 4. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi İle Ölçüler Arasındaki Farklar	119
Şekil D.i. 5. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi İle Ölçüler Arasındaki Farklar	119
Şekil D.j. 6. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi İle Ölçüler Arasındaki Farklar	119
Şekil D.k. 7. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi İle Ölçüler Arasındaki Farklar	120
Şekil D.l. 8. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi İle Ölçüler Arasındaki Farklar	120

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No.</u>
Tablo 2.1. Genel Olarak Hidrografik Ölçmelerden Beklenen Konum Doğrulukları	8
Tablo 2.2. Hidrografik Ölçmelere Ait Doğruluk Standartları	9
Tablo 3.1. Elektromanyetik Dalga Frekanslarının Kullanım Alanları	11
Tablo 4.1. Derinliklerin Belirlenmesinde Kullanılacak Frekans Değerleri	32
Tablo 4.2. Derinlik Ölçmesi Yapılacak Noktalar Arasındaki Uzaklıklar	52
Tablo 5.1. Nivelman Özet Çizelgesi	59
Tablo 5.2. Jeodezik Noktaların Dengelenmiş Kartezyen Koordinatları (WGS-84)	60
Tablo 5.3. Leica System 300 GPS Alıcılarının Teknik Özellikleri	60
Tablo 5.4. Çalışma Bölgesindeki Geoid Ondülasyon Değerinin Hesabı	62
Tablo 5.5. Statik Ölçülerle, Dur-Git Ölçü Sonuçlarının Karşılaştırılması	63
Tablo 5.6. Deso 15 Akustik Derinlik Ölçer Aletinin Teknik Özellikleri	66
Tablo 5.7. Derinlik Ölçmesi Yapılmış Noktaların Düzeltilmiş Koordinat-Kot Değerleri Dosyası	73
Tablo 5.8. h_M ile h_i Değerleri Arasındaki Maksimum ve Minimum Farklar	82
Tablo 5.9. İterasyonlar Sonucu Ulaşılan h_M Değerleri ve k.o.h.'lar	87
Tablo 5.10. PDGPS ile Belirlenen H_M ile Mareograf Okumaları ile Bulunan H_M değerlerinin Karşılaştırılması	91

PRESİZYONLU HİDROGRAFİK ÖLÇMELERDE BAT-ÇIK (HEAVE) ETKİSİNİN GPS YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

ÖZET

21. yüzyıla girmemize bir kaç yıl kaldığı günümüzde, dünyanın nüfusu hızla artmaktadır. Bu artışa paralel olarak yalnızca karalardaki kaynaklardan yararlanma düşüncesi yeterli olmamaktadır. Günümüzde sadece deniz kaynakları ile ekonomilerinde büyük gelişmeler kaydetmiş bir çok ülke vardır. Denizde bulunan kaynakların ne denli önemli rezervler olduğuna hiç şüphe yoktur. Örneğin okyanus sularının altındaki buz kristallerinin içinde hapsolmuş doğal gazın, dünyanın enerji ihtiyacını onlarca yıl karşılayacak kapasitede olduğu bilinmektedir. Bunların dışında taşımacılık alanında da denizlerin ekonomik oluşu, konforu ve hızı ile önemli bir alternatiftir. Hızla gelişmekte olan ülkemiz, büyük bir kısmı denizlerle çevrili olmasına rağmen denizlerden yeterince yararlanamamaktadır. Bu kaynaklardan verimli şekilde yararlanmanın ilk adımı söz konusu su ortamlarının güvenilir ve doğru hidrografik haritalarının yapılmasıdır.

Bu çalışmada özellikle büyük ölçekli ve kritik bölgelerde yapılacak hidrografik haritaların konum ve derinlik bilgilerinin modern yöntemlerle yüksek doğruluklarla belirlenmesi amaçlanmıştır. Özellikle dalgalı ortamlarda ölçme taşıtının düşey yöndeki hareketi sonucu ortaya çıkan ve bat-çık (heave) etkisi olarak adlandırılan bozucu etkinin, ölçülen derinlik değerlerinden uzaklaştırılması için GPS ölçülerine dayalı bir yöntem önerilmiştir. Ayrıca klasik bir mareograf kurulmaksızın, GPS ve klasik ölçmeler birleştirilerek ölçme yapılan zaman aralığı için ortalama deniz seviyesinin belirlenmesi araştırılmıştır.

Yapılan çalışmanın sonucunda, ölçme taşıtının bat-çık etkisi sonucu derinliklerde 20 cm'ye ulaşan büyüklüklerde hataların olduğu görülmüş ve belli bir sınır değerini üzerindeki bat-çık değerine sahip ölçüler düzeltilmiştir. Ayrıca klasik mareograflara alternatif olarak önerilen yöntem klasik mareograf ile karşılaştırıldığında, aralarında 4-5 cm civarında bir farklılık olduğu görülmüştür. Dolayısıyla bu yöntem klasik mareografa ciddi bir alternatiftir. Bu yöntem ile belirlenen ortalama deniz seviyesinin kotunun doğruluğu $\pm (5-10)$ cm civarında bulunmuştur.

THE DETERMINATION OF THE HEAVE EFFECTS ON PRECISION HYDROGRAPHIC SURVEYS BY USING GPS METHOD

SUMMARY

Today, while the population of the world is increasing, it is not sufficient to expect to use only terrestrial resources. Sea resources, along with the nutrition, oil and other gas reserves, are as rich as the terrestrial resources. For example, it is known that the natural gas captured in the ice bergs found in the ocean have a capacity to supply the world's energy needs for a couple of decades. Water resources of the world compared to terrestrial resources are offering economic solution for all types of transportation along with having the comfort and speed. The first step to be able to benefit from the indicated water resources, is to create the hydrographic maps in an accurate and safe manner.

The maps that are mentioned above can be obtained by the hydrographic surveys including positioning by using the sounding method.

Hydrographic surveys are similar to the classical surveying methods in many aspects. The most important difference between these two indicated surveying methods, are not being able to physically see the surveying sites unlike the classical surveying methods and the continuous motion of the water surface. The factors that effect the water surface and causes its change are as follows;

- a-)* Meteorological Effects
- b-)* Oceanographic Changes
- c-)* Vertical Earth Crust Movement
- d-)* Astronomic Tides

The main reason of the changes on the water surface is meteorological, tides are not as significantly effective in Turkey. For example, the change of the tides in the Bosphorus ranges between 2.1 to 3.8 cm.

• Positioning Surveys

In a hydrographic surveying; positioning process is done for establishing control network, determining coastline and the position of the points on the horizontal plane which are sounded from the water surface. The most important factor that reduces the accuracy of the water surface measurements is the continuous movement of hydrographic surveying boat.

Positioning methods, used for hydrographic surveying, can be grouped in to 6 categories;

- 1-) Optical Methods,
- 2-) Electronical Methods,
- 3-) Acoustic Methods,
- 4-) Satellite Methods,
- 5-) Inertial Positioning Methods,
- 6-) Very Long Base Line Interferometer (VLBI),

Nowadays, optical methods is commonly used especially along the shoreline in practical surveying. However, improvements in GPS have shifted positioning surveying to satellite methods. As a result of the advantages of the GPS method such as being independent of weather conditions, having no requirement of the surveying points seeing each other, and being able to manage surveying during the night, it is being densely used for both terrestrial and hydrographic surveys. As a result of simultaneous surveys using at least two GPS receivers ± 2 cm vertical, and ± 3 cm horizontal accuracy can be provided. It is now possible to obtain the position of the mobile objects with in accuracy below 1 dm using the advanced kinematic On-The-Fly (KOTF) method. Besides having such a high accuracy, the most important advantage that it provides is to define the initial integer ambiguity of the vehicle in motion. To define the initial integer ambiguity is becoming especially difficult in static survey in the water environment. Real-time positioning can be obtained during measurements by adding a modem to the system. It is possible to obtain real-time surveys that are 7-10 km distant from the stationary (static) receiver using a classical modem.

Recently, GLONASS, which was launched in 1993 by the Russian Federation, and GPS satellite systems, make it possible to provide combined signals from the simultaneous use of 24 GLONASS and 24 GPS satellites.

Positioning is not only limited to the points that are obtained by depth measurements, but also can be used for shoreline measurements. As well as being able to benefit from the optical and GPS methods, it is possible to take advantages of using images for wide areas obtained from Remote Sensing Method. These images, for now, are limited to provide an accuracy of 1:25000 scale. The ease of wide area mapping for shoreline can be obviously seen by taking into consideration the images that covers 184 km $\times$ 186 km area which are obtained from LANDSAT TM.

• *Depth Measuring (Sounding)*

Sounding is the method of measuring with any technique vertical length of a line that intersects perpendicularly beginning from the water surface level and ending at the seabed relief.

Depth measuring methods can be classified into two groups as classical and modern. The classical method is sub-classified into three; latte sounding, robe sounding and mechanical. The precessions of these three methods respectively are $\pm (5-10)$ cm/6m, ± 10 cm/30m and $\pm 0.01 \cdot H$.

On the other hand, the modern method is divided into 4 classes:

- 1-) Laser Sounding
- 2-) Remote Sensing Sounding
- 3-) Photogrammetric Sounding
- 4-) Acoustic Sounding

The most common is the “Acoustic Sounding”. The basic theory behind this method is to measure accurately the travel time of sound impulses through the water and by using the velocity equality to calculate the depth.

$$H' = \frac{1}{2} t c$$

Where t , is travel time of transmitting and receiving of sound impulses, c ; sound velocity in the water and H' ; is depth.

The velocity (c) is a variable, which ranges between 1387 m/s and 1529 m/s with the concentration of salt, temperature, and depth of the water. The precession of depth using the “Acoustic Method” can be calculated by $\pm 0.5 \text{ m} \pm \%0.9 * H'$.

The acoustic sounding is the most precise depth measuring method. Thus, there are different types of measurement errors as in all measurements. The causes of the errors arise from misconductive surveys, surveying equipment, and the water environment. The measured depth values are to be calibrated by minimizing or canceling the last two indicated error sources.

$$H_d = H' + a + dH_V + dH_e + dH_a + dH_H + dH_{PR}$$

Where,

H_d ; the calibrated depth value,

H' ; measured depth value,

a ; transducer depth,

dH_V ; velocity correction,

dH_e ; slope correction,

dH_a ; calibration correction of equipment,

dH_H ; heave correction (the error caused by vertical movement of the surveying boat due to the waves),

dH_{PR} ; pitch and roll correction,

i-) Transducer depth correction (draft):

The transducer is released into the water until a specified depth during measurements. The measured depth is the distance between the transducer and the seabed relief. To be able to calculate the whole depth, the distance between the water surface and the transducer should be added to the measured depth.

ii-) Velocity correction:

The velocity of the sound in the water shows a variation with physical parameters of the surveying environment and the depth. If the theoretical and the experimental sound velocity values are different then a velocity correction should be added to the depth value. The mathematical equation is as follows;

$$dH_v = H' \frac{V_{\text{ort}} - V_o}{V_o}$$

iii-) Slope correction:

The sound impulses that are sent and bounces back from the seabed relief into the echo sounder follows the shortest path. The impulses that are sent in a conical shape have a negative effect on measurements especially when the seabed relief is rough. The slope correction can be defined as follows;

$$dH_e = H' \sin \frac{\alpha_e}{2} (\tan \beta_e - \tan \frac{\alpha_e}{4})$$

Where α_e ; beam width, β_e ; slope of the seabed relief.

iv-) Calibration of the equipment:

v-) Heave effect:

One of the important error sources of the hydrographic depth measurement is the error caused by vertical movement of the surveying boat, called heave effects, due to the waves. The heave effect causes a significant error in depth measurement especially in wavy water conditions. Heave effects can be canceled from measurements in two ways. These are;

a-) Data Filtering

b-) Measurement of the vertical movement of the hydrographic vessel

The second alternative is more suitable. The error intensity can be obtained by using either heave compensator or conducting measurements from a stationary point on shore to the surveying boat.

vi-) Pitch and Roll effects:

Using a heave sensor can eliminate these errors. However, the error effects can be minimized by using the following ways. The first way is to place the depth measurement equipment as close as possible to the center of gravity of the vessel. The other is to provide the vertical position of the transducer of the echo sounder with an apparatus.

In the application of this study, it has been especially emphasized to use a specified method to eliminate the heave effects without using a compensator.

- **Application**

There are two purposes of the study. These are;

i-)Heave, pitch and roll effects in depth measurements in wavy environments are undesirable. Especially heave movement, having a large effect, can be eliminated by a compensator. The first aim of this study is to combine both classical and GPS measurements in order to cancel the heave effects from the measurement and as a result of this to apply a method and algorithm to increase the depth measurements precision.

ii-)The second is, to define mean sea level by GPS measurement without using classical mareograph stations, which is necessary to construct in all hydrographic measurements.

To conduct these stated two goals, measurements have been done at two different times at both the European side of the Bosphorus and the Golden Horn located at the south mouth of the Bosphorus. For this purpose, Wild-Leica System 300 GPS receivers and Atlas-Deso 15 acoustic depth measurement systems have been employed. The position and the depth data from both receivers have been obtained simultaneously and input into laptop located at the measurement's vehicle. The PROFIMAP (Atlas Ltd.) software was used for this process.

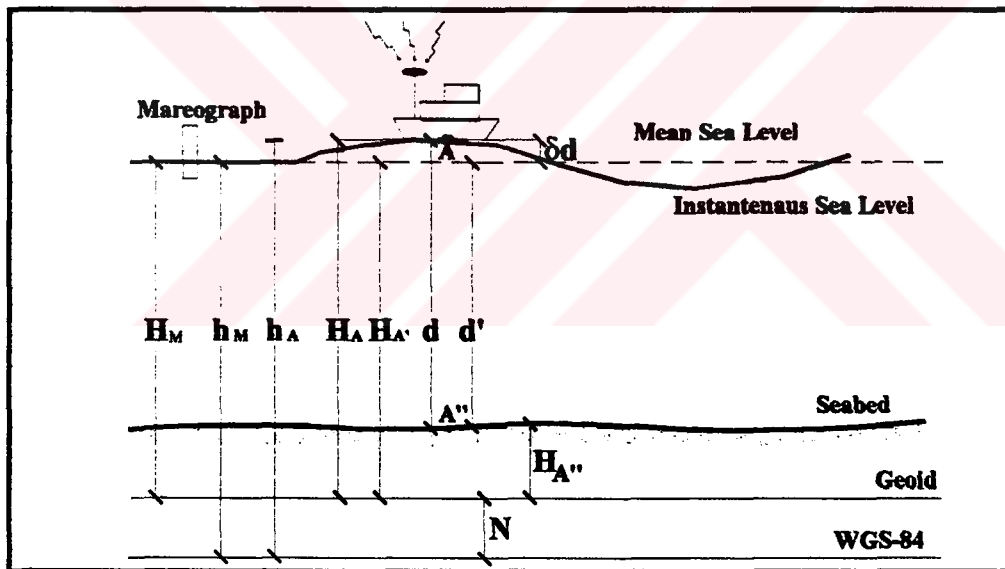


Figure1. Elimination of the Heave Effects Using GPS and Classical Survey Methods

As a result of the depth measurement, shown in Figure1, elevation of point A can be calculated as;

$$H_{A''} = H_M - d$$

Where H_M ; is the mean sea level elevation obtained from mareograph reading, d , measured depth.

However, the real elevation of the point A can be found by replacing d with d' in the following equation;

$$\delta d = d - d' = H_A - H_M = h_A - h_M$$

The value of δd found from the above equation can be neglected for depth measurements. In wavy environments, the error that has reach a few decimeters can be eliminated by extra measurements. h_A and h_M are used for this purpose in the above equation. Further explanation is given in the application section of this research.

The second goal of this study is to prove that the H_M value can be obtained by both mareograph reading and PDGPS measurements.

According to the Figure 1,

$$H_M = h_M - N$$

Where N is geoid undulation. The H_M value for both applications has been calculated after obtaining the N value in the surveying area. The comparison of classical mareograph readings and H_M values are indicated in the table below.

Table1. The Comparison of H_M Values from Both PDGPS and Mareograph Readings

Measurement Date	Time (minute)	$H_M = h_M - N_{ORT}$ (m)	Mareograph Readings Defined H_M (m)	Difference (cm)
Sept. 09, 1997	6	0.485 [*]	0.432	5.3
Nov. 07, 1997	30	0.365 ^{**}	0.406	-4.1

As can be seen from the above table this method gives good results. It provides an average sea level determination with a precision of $\pm (5-10)$ cm.

1. GİRİŞ

Hidrografik ölçmeler, yeryüzünün sularla örtülü kısımlarında jeodezik (konum belirleme ve derinlik ölçümü vb.) ve oşinografik çalışmaların yapılmasını kapsar. Su ortamında yapılan çalışmada, bir noktanın, herhangi bir koordinat sistemindeki yatay konumu ile, ortalama deniz (su) seviyesine göre derinliği ölçülür. Genel bir ifadeyle hidrografi, “yeryüzünün sularla örtülü rölyefinin ölçülmesi ve sonuçların hidrografi haritası adı verilen bir altlıkta gösterilmesi bilimidir” (Algül, 1983). Bir başka tanıma göre ise, “deniz yatağının doğasını ve yapısını saptamak için gerekli parametreleri bulma ve ölçme bilimidir” (Doğan, 1987). Diğer bir tanıma göre de, “yeryüzünün sularla kaplı kısmının ve bunlara ait kıyı bilgilerinin fiziksel özelliklerinin tanımlanması ve ölçümü ile ilgili uygulamalı bir bilim dalıdır” (Haskins, 1986).

Dünyanın yüzölçümünün yaklaşık $\frac{3}{4}$ 'ünü su ortamlarının oluşturduğu düşünülürse, hidrografik ölçmelerin önemi ve uğraşı alanının büyüklüğü ortaya çıkar. Nüfusun büyük bir hızla arttığı günümüzde artık sadece karalardaki kaynaklardan yararlanmak düşüncesi yeterli olmamaktadır. Bu kaynaklara ek olarak henüz büyük bir kısmından yararlanılmayan denizlerden yeni kaynakların elde edilmesi düşüncesi önem kazanmıştır. Gerçekten de denizler, beslenme, petrol ve diğer gazlar ile madenler yönünden karalar kadar zengindir. Ayrıca gerek ticari, gerekse yolcu taşımacılığında ekonomikliğı, konforu ve hızı ile kara ve hava taşımacılığına çok önemli bir alternatiftir.

Hidrografik ölçmelerin konusu sadece bunlarla sınırlı değildir. Örneğin baraj ve göllerde yapılan çok amaçlı çalışmalar da yine hidrografik çalışmaların kapsamına girmektedir. Çok büyük maliyetlerle yapılan barajlar, barajı destekleyen akarsulardan gelen rusubatlarla dolar. Barajların çok uzun süre amacına hizmet edebilmesi için dolma miktarının belirlenmesi ve kontrol altında tutulması gereklidir. Bunun için baraj göllerinin belirli zaman aralıklarında hidrografik haritalarının yapılması zorunludur. Sayılanların dışında deniz kirliliğı, tersane, liman, kanalizasyon deşarjı, yüksek gerilim hatlarının geçirilmesi, doğalgaz vb. boru hatlarının döşenmesi, boğaz, kanal vb. önemli

bölgelerde deniz taşıtlarına güvenli seyir yaptırılması gibi birçok proje ve çalışma için hidrografik ölçmeler ve haritalar yapılmaktadır.

Hidrografik ölçmeler, birçok yönden karada yapılan haritacılık çalışmalarına benzetilebilir. Deniz ölçmelerindeki en büyük olumsuzluk, dip topoğrafyasının görülemeyişi ve ölçme yapılırken kullanılan ölçme taşıtının motorunun durdurulsa bile, ortamdan dolayı sürekli hareket etmesidir. Ayrıca su ortamında sabit işaretlerin kurulması da mümkün değildir.

Bu çalışmada özellikle büyük ölçekli ve kritik bölgelerde yapılacak hidrografik haritalara ait konum ve derinlik bilgilerinin modern yöntemlerle yüksek doğruluklarla belirlenmesi amaçlanmıştır. Özellikle dalgalı ortamlarda ölçme taşıtının düşey yöndeki hareketi sonucu ortaya çıkan ve bat-çık (heave) etkisi olarak adlandırılan bozucu etkinin, ölçülen derinlik değerlerinden uzaklaştırılması için GPS ölçülerine dayalı bir yöntem önerilmiştir. Ayrıca tüm hidrografik ölçmelerde tesis edilmesi gerekli olan klasik mareograf istasyonlarını kullanmaksızın, GPS ve klasik ölçmeler birleştirilerek ortalama deniz seviyesinin belirlenmesi de amaçlanmıştır.

2. HİDROGRAFİK ÇALIŞMALAR

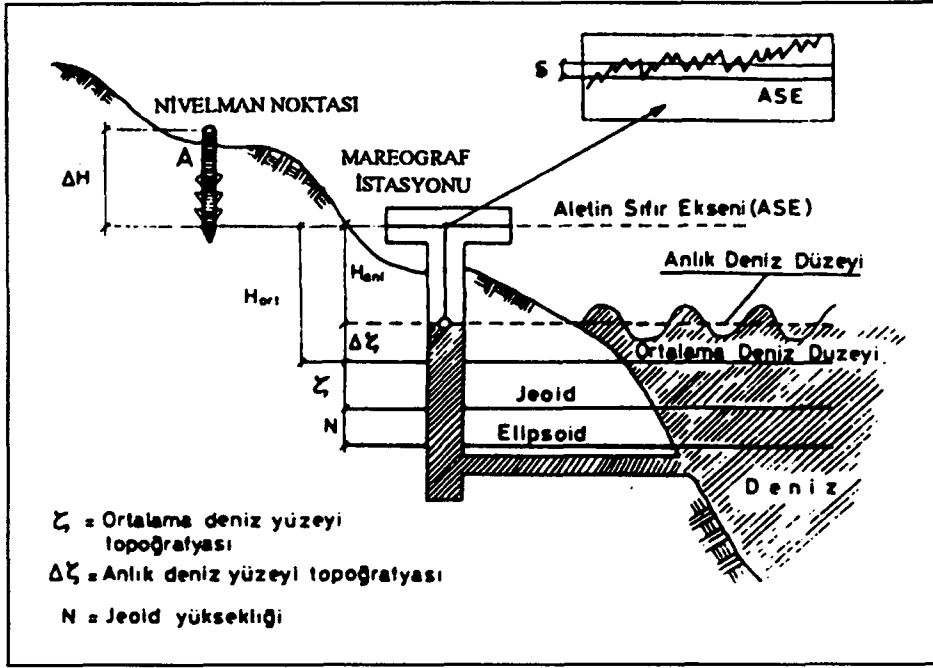
2.1 Hidrografik Çalışmalara Etki Eden Parametreler

Hava, su ve karaya ait birçok parametrenin ölçme işlemlerine etkisi büyüktür. Burada hidrografik çalışmalara etki eden suyun hareketleri, özellikleri ve atmosferin etkisi kısaca açıklanmıştır.

2.1.1 Suyun hareketleri

Hidrografik çalışmalarda yapılan derinlik ölçmeleri, ölçmelerin yapıldığı andaki suyun yatay ve düşey yöndeki çeşitli hareketlerinden etkilenir. Dalga olarak adlandırılan bu hareketlere sebep olan esas kuvvet gel-git olup, astronomik ve meteorolojik etkilere bağlı olarak ortaya çıkar (Ingham,1992). Ölçmelerin yapıldığı andaki su seviyesine göre belirlenen derinlik değerlerinin bir düşey datuma bağlanması gereklidir. İki tür datum vardır. Bunlar, karadaki nivelman datumu ve gel-git datumudur (Bannister ve Reymonds, 1991). Kara nivelman datumu genellikle çeşitli mühendislik hizmetlerinde kullanılırken, gel-git datumu ise daha çok seyir amaçlı yapılan çalışmalarda kullanılır. Gel-git datumunun belirlenebilmesi için bölgedeki gel-git bileşenlerinin hesaplanıp, göz önüne alınması gereklidir. Karadaki nivelman datumuna bağlantı çalışma bölgelerinde tesis edilen ve deniz seviyesinin değişimlerini gözlemek için kullanılan aletlerden yararlanılarak yapılır. Bunlar bölgeye tesis edilen ve emaye miralardan oluşan doğruluğu az olan basit mareograflar olabileceği gibi, modern yazıcı aletler de olabilir (Şekil 2.1).

Pratik çalışmalarda mareograf okumalarından elde edilen değerlerden yararlanarak ölçme yapılan zaman aralığındaki deniz yüzeyinin kotu belirlenir. Ölçülen derinlikler bu kottan çıkarılarak sonuca ulaşılır. Ancak genel olarak ele alındığında ve özellikle ülke düşey datumunun belirlenmesi çalışmalarında, deniz yüzeyini ve düzeyini değiştiren faktörler daha ayrıntılı olarak ele alınmalı ve bunların etkileri ortadan kaldırılmalıdır.



Şekil 2.1. Anlık Deniz Seviyesinin Kotunun Belirlenmesi

Deniz yüzeyini ve düzeyini değiştiren etkiler şu şekilde sıralanabilir (Hekimoğlu ve Şanlı, 1993);

- i-) Meteorolojik etkiler,
- ii-) Oşinografik olaylar,
- iii-) Düşey yerkabuğu hareketleri (izostatik ve tektonik hareketler gibi),
- iv-) Astronomik gel-git.

Bu etkiler sonucu deniz yüzeyinde meydana gelecek değişikliklerin büyüklüğü su yüzeyinin büyüklüğüne, kıyı şeridinde ve deniz dibinin jeomorfolojik yapısına bağlı olarak farklılık gösterir.

i-) Meteorolojik Etkiler: Bu etkilerin en başında gelenler, atmosferik basınç, sıcaklık değişimleri ve rüzgardır. Atmosferik basınç ile, deniz yüzeyi değişimi arasında ters orantı vardır. Somut bir ifadeyle, çalışılan bölgede 1 mbar'lık basınç değişimi, 180⁰'lik faz farkı ile deniz yüzeyinin 10 mm'lik değişimine sebep olur (Alpar, 1993, Hekimoğlu ve Şanlı, 1993). Sıcaklık değeri enleme bağlı olarak değişim gösterir. Deniz yüzeyini kimi durumlarda cm'ler mertebesinde, kimi zaman da metreler mertebesinde değiştiren meteorolojik bir etki de, rüzgarlardır.

ii-) Oşinografik Olaylar: Bu olayların başlıca nedenleri, deniz suyu yoğunluğunun değişimi ve çeşitli akıntılardır.

iii-) Düşey Yerkabuğu Hareketleri: Bunlar izostatik ve tektonik hareketler olarak da adlandırılabilir. Deniz seviyesi değişimleri karaya bağlı olarak yapılan ölçülere göre belirlendiğinden, karadaki düşey hareketler, deniz seviyesini değiştirecektir.

iv-) Astronomik Gel-Git: Deniz yüzeyini değiştiren en önemli bozucu etkidir. Ay ve güneşin dünyaya göre hareketlerindeki periyodiklikten kaynaklanan değişimlerin bileşimi herhangi bir yer ve zamandaki gel-giti belirler. Bu etkilerin ayıklanması için uzun süreli gözlenen mareograf değerlerinden yararlanarak harmonik analiz yöntemleri kullanılır.

Dünyanın tüm yüzeyinin 20 km'den daha fazla derinliğe sahip bir su tabakası ile kaplanmış olduğu düşünölsün. Bu yüzeye meteorolojik, atmosferik vb. gibi bozucu faktörlerin etki etmediği varsayölsün. Böyle bir su yüzeyi, eşpotansiyel bir yüzeyi tanımlayacaktır. Ayrıca, ay ve güneşin de ekvator düzleminde olduğu varsayölsün ($\delta_{ay}=0$, $\delta_{güneş}=0$). Bu cisimlerin de sabit hızla hareket ettiği ve sabit mesafeler kat ettiği düşünölse, böyle bir durumda ekvator üzerindeki herhangi bir noktadaki gel-git değeri;

$$h = H_0 + H_1 \cos(2\eta_1 t + \xi_1) + H_2 \cos(2\eta_2 t + \xi_2) \quad (2.1)$$

bağıntısı ile bulunur (Bomford, 1975). Burada; H_0 ; ortalama deniz seviyesinin yüksekliği (m), H_1 ; 0.267 m, H_2 ; 0.123 m, $2\pi/\eta_1$,bir ay günü, $2\pi/\eta_2$, bir güneş günü, ξ_1 ve ξ_2 ise, $t=0$ anındaki ay ve güneşin saat açısıdır. Diğer enlemlerde H_1 ve H_2 değeri daha da küçüktür. Bu ifade başka harmonik değeri eklenmesiyle daha da genişletilebilir. Ortalama deniz yüzeyi belirlenirken mareograf kayıtlarının basit bir ortalamasının alınmasının yetersiz olduğu açıktır. Bu yüzden ortalama deniz seviyesi yukarıda sıralanan bozucu etkilerden arındırılarak hesaplanır.

Ölkemiz denizlerinde çok yoğun olarak etkisi hissedilmeyen gel-git olayı (15-20 cm), bazı Kuzey Avrupa denizlerinde çok büyük değeri seviye farklılıklarına (4-5 m)

ulaşılabilmektedir. Söz konusu etkinin bazı durumlarda deniz taşıtlarının seyrini ne kadar etkileyeceği açıkça görülmektedir.

Uygulamanın yapıldığı İstanbul Boğazi bölgesindeki su yüzeyinde 5 cm'yi geçmeyen genlikte gelgit vardır. Ortalama maksimum (spring) gel-git aralığı 2.1 ila 3.8 cm arasındadır. İstanbul Boğazi'ndeki deniz seviyesi değişimlerinin esas nedeni meteorolojik etkilere dir. Örneğin rüzgarlar, su seviyesini bir gün gibi kısa bir sürede 40 cm kadar yükseltebilmektedir. Yapılan analizler sonucunda yıllık ortalama olarak yaklaşık 30 cm'lik su seviyesinde alçalma ve yükselmeler olduğu ortaya çıkmıştır. Astronomik etkenlerin denizlerimizdeki su seviyesi değişimleri üzerindeki etkileri yok denecek kadar azdır. Buna karşın su seviyesindeki değişimlere neden olan en önemli kuvvetler, mevsimler ve meteorolojik olaylardır (Alpar, 1993).

2.1.2 Suyun özellikleri

Derinliklerin ölçülmesinde kullanılan akustik aletler, ses dalgaları yaymak suretiyle ölçme işlemini gerçekleştirir. Suyun sıcaklık, tuzluluk ve temizliği su ortamında yayılan ses dalgalarının hızını etkiler. Sular ses dalgalarının iletimi için oldukça elverişli ortam olmasına karşın elektromanyetik dalgalar için elverişli bir ortam olamamaktadır (Ingham, 1992, Doğan ve Alpar, 1991). Derinlik ölçme işlemi en kısa yolu izleyecek biçimde gönderilen bir ses dalgasının gidiş-dönüş seyir süresinin ölçülmesi ve bu sürenin dalga'nın su ortamındaki yayılma hızıyla çarpılmasıyla elde edilir. Buradan anlaşılabilceği gibi, ses dalgasının su ortamındaki hızı bilinmelidir. Hız değeri ise, suyun sıcaklık, tuzluluk ve basınç (derinlik) değeri ile değişmektedir. Dolayısıyla hidrografik bir ölçmede suya ait bu parametreler ölçölüp dikkate alınmalıdır.

2.1.3 Atmosferin etkisi

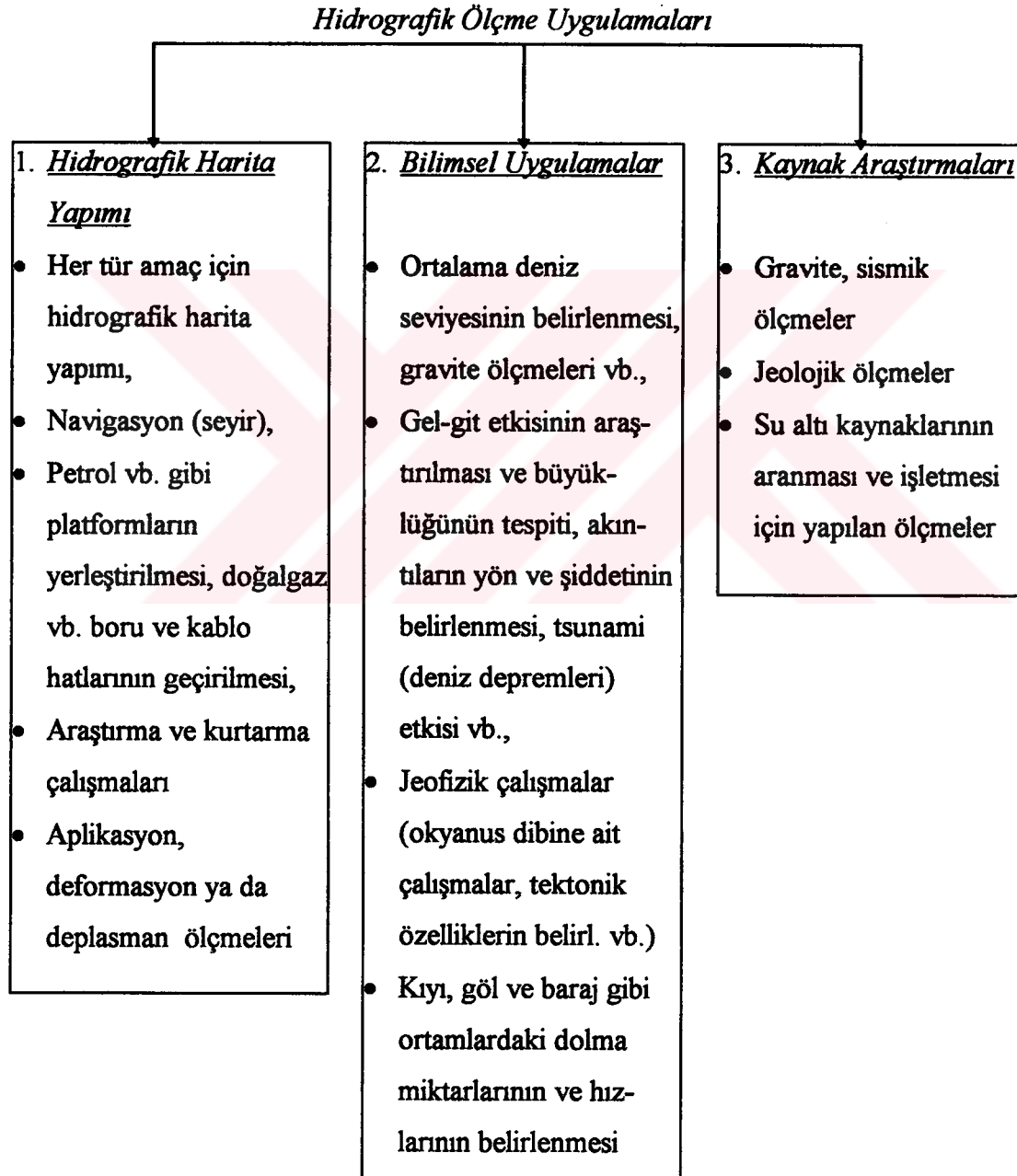
Hidrografik ölçmelerde konum belirleme işlemi hangi yöntemle yapılırsa yapılsın atmosfer, ölçmelere etki eden önemli bir faktördür. Heterojen bir yapıya sahip olan atmosfer, sıcaklık, basınç, nem, rüzgar hızı, bitki örtüsü gibi faktörlere bağlı olarak değişim gösterir.

Elektromanyetik dalgaları kullanan jeodezik aletlerle yapılan çalışmalarda, sıcaklık ve basınç değeri ölçölerek, ölçülerin doğruluğu arttırılabilir. Ancak hidrografik çalışmalarda ölçme taşıtının hareketli olması gibi önemli bir hata kaynağının yanında, söz konusu atmosferik hatalar çok küçük kalacaktır. Klasik sistemlerin kullanılması

durumunda yer küreselliği ve refraksiyon etkisi dikkate alınmalıdır. Konum belirlemede uydu sistemlerinin kullanılması durumunda özellikle troposferin ve iyonosferin etkisi anlamlı büyüklüklere ulaşır.

2.2 Hidrografik Çalışmaların Uygulama Alanları

Hidrografik ölçmeler çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. Hidrografik haritaların kullanılacağı yerlere ve kullanım amaçlarına bağlı olarak doğrulukları ve ölçekleri değişiklik gösterir. Genel olarak hidrografik ölçmelerin uygulama alanları aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (Şekil 2.2);



Şekil.2.2. Hidrografik Ölçmelerin Uygulama Alanları

2.3 Hidrografik Çalışmaların Doğruluk Standartları

Hidrografik çalışmalarda kullanılan ölçme taşıtları sürekli hareket halindedir. Herhangi bir noktadaki ölçme tekrarlanamaz. Bu nedenle hidrografide ulaşılan konum doğrulukları, kara ölçmelerinde ulaşılan konum doğruluklarından daha düşüktür. 1:10000 ve daha küçük ölçekli çalışmalarda hidrografi için gereken konum doğruluğu suyun derinliğine bağlıdır. Genel bir kural olarak, sığ sularda yapılan çalışmaların doğruluğu daha fazla olmalıdır. Ölçmelerin amacına, kullanılan alet ve yöntemlere göre değişim gösteren konum doğrulukları için Tablo 2.1'deki değerler verilebilir (Algül, 1985).

Tablo 2.1.Genel Olarak Hidrografik Ölçmelerden Beklenen Konum Doğrulukları

Uygulama Alanı	Relatif	Mutlak
<i>Kıta sahanlığı ve sınır belirleme</i>	$\pm (1-2) \text{ m}$	$\pm 10 \text{ m}$
<i>Büyük ölçekli harita çalışmaları</i>	$\pm (0.3-1) \text{ m}$	$\pm 1 \text{ m}$
<i>Oşinografik ve jeofiziksel çalışmalar</i>	-	$\pm (50-100) \text{ m}$
<i>Hidrografik kontrol ağ konumu (karada)</i>	$\pm (1-10) \text{ cm}$	-
<i>Uydu gözleme gemilerinin konumu</i>	-	$\pm (5-10) \text{ m}$
<i>Petrol, gaz ve maden araştırmaları</i>	$\pm (30-50) \text{ m}$	-
<i>Petrol ve gaz kuyularının konumu</i>	$\pm (5-10) \text{ m}$	$\pm 10 \text{ m}$
<i>Sualtı boru ve kablo döşemeleri</i>	$\pm (1-10) \text{ m}$	$\pm 10 \text{ m}$
<i>Denizaltı kontrol noktalarının konumu</i>	$\pm (0.3-10) \text{ m}$	-

1997 yılında Uluslararası Hidrografi Birliği (International Hydrographic Organisation, IHO) tarafından tanımlanan doğruluk kriterleri Tablo 2.2'de verilmiştir (IHO, 1997).

Tablo 2.2. Hidrografik Ölçmelere ait Doğruluk Standartları

	I. Derece	II. Derece	III. Derece	IV. Derece
<i>Örnek</i>	Önemli kanallar, demirleme alanları, limanlar vb.,	Seyir yapılan kanallar, rotaların belirlen. için yapılan harita.vb.,	200 m'ye kadar derinliği olan bölgeler,	Açık denizler,
<i>Konum Doğr.</i>	± 2 m	± 5 m	± 20 m	± 150 m
<i>Derinlik Ölçme Doğruluğu</i>	a=0.25 m b=0.0075 m	a=0.5 m b=0.013 m	a=1.0 m b=0.023 m	a=1.0 m b=0.023 m
<i>Sayısal Derinlik Modelinin Doğruluğu</i>	Modelleme yapılamaz, tamamı ölçülmelidir.	a=1.0 m b=0.026 m $\sqrt{a^2 + (b \cdot d)^2}$	a=2.0 m b=0.05 m	a=5.0 m b=0.05 m
<i>Max.Hat Aralığı</i>	10 m	100 m	200 m	500 m

1991 Ocak ayından itibaren, İngiliz Deniz Kuvvetleri %95.4 olasılıkla derinlik ölçmeleri için (± 0.5 m $\pm$ % 0.9* derinlik) standardını kabul etmiştir (Joseph, 1991).

2.4 Hidrografik Ölçmelerde Yapılan Ön Çalışmalar

Klasik kara çalışmalarında olduğu gibi, hidrografik çalışmalarda da çalışma öncesi bir planlama yapılması, yapılacak uygulamanın başarı ile sonuçlandırılabilmesi için çok önemlidir. Planlama yapmak için son yıllarda hemen hemen tüm büyük projelerde uygulanan Kritik Yörünge Yöntemi-Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği (CPM-PERT) gibi proje programlama tekniklerinin kullanılması uygun bir yaklaşımdır (Alkan, 1993). Planlama aşamasında yapılacak hazırlıklar şöyle sıralanabilir:

- Çalışma bölgesinin, önceden yapılmış kara ve hidrografik haritalarının sağlanması,
- Çalışmada kullanılabilecek yatay ve düşey kontrol noktalarının belirlenmesi,
- Bölgede mareograf istasyonunun olup olmadığının araştırılması,
- Arazi keşfinin yapılması,
- Kullanılacak tekne vb. araç-gereç temini ve çalışma ekibinin oluşturulması,
- Ölçmelerde uygulanacak yöntemlerin belirlenmesi.

3. KONUM ÖLÇMELERİ

3.1 Konum Belirleme Yöntemleri

Navigasyon, bulunan yeri ve hedefe ulaşmak için gidilecek yönü saptama tekniğidir. Günümüzün modern konum belirleme yöntemlerinin temelini yüzyıllar öncesinde yapılan navigasyon için geliştirilen bir takım alet ve yöntemler oluşturmaktadır. Navigasyon asıl başarısını, açık deniz seferleri ve okyanus geçişlerinde gerçekleştirmiştir. Amerika Kıtasının, Avusturalya ve Okyanusya'nın keşfi, bunun en iyi örnekleridir. Bu büyük keşiflerde sekstantın atası sayılabilecek çapraz çıta, çeyrek daire, usturlab ve bunun değişik türevleri kullanılmıştır (Alev, 1995). Navigasyonun bir teknik olarak uygulanabilmesi için kağıt ve pusulanın yaygın olarak kullanılması gerekmiştir.

Günümüzden yaklaşık 60 sene öncesinde, denizdeki bir kişi konum belirlemede yalnızca astronomik yöntemleri kullanmak zorundaydı. Bu navigatörler, bir günde 3 ya da 5 deniz milinden (yaklaşık 4-5 km ya da 9 km) daha fazla hata yapmadan konumunu belirledikleri 3 noktayı haritalarına işaretlerlerse kendilerini çok şanslı sayarlardı (Luse ve Malla, 1985). İnsanoğlunun daha hassas bir şekilde konum belirleme isteği modern teknoloji ile birleşince, çok kolay ve yüksek doğrulukla yapılabilen modern navigasyon teknikleri ortaya çıkmıştır. Bu yöntemlerin ilki, İkinci Dünya Savaşı sırasında kullanılmaya başlanan sıfır görüş koşullarında seyir yapma olanağı sağlayan Radar'dır. Bu yöntemden başka LORAN, Decca ve Omega gibi yöntemler de geliştirilmiştir. Ancak bu tür yer kaynaklı navigasyon araçlarının verimliliği yerkürenin eğriliği nedeniyle kıyılardan uzaklaştıkça azalmakta, hatta kimi zaman bazı bölgelerde sinyal alınamamaktadır. Bu gelişmelerin en son aşaması, GPS (Global Positioning System) ve GLONASS (Global Navigation Satellite System) sistemleri olarak ortaya çıkmıştır. Günümüzde uydu sistemlerinin Inertial Navigation System (INS) ile entegrasyonu yapılarak çok yüksek duyarlılığa ulaşılması ve uydu bazı yöntemlerin bazı dezavantajlarının ortadan kaldırılması çalışmaları ağırlık kazanmıştır.

Hidrografik çalışmalarda uygulanan konum belirleme yöntemlerini 6 grupta incelemek mümkündür. Bunlar:

- i-) Optik Yöntemler,
- ii-) Elektrometrik Yöntemler,
- iii-) Akustik Yöntemler,
- iv-) Uydu Yöntemleri,
- v-) İnersiyal Konum Belirleme Yöntemleri,
- vi-) Very Long Base Line Interferometre (VLBI)

3.1.1 Optik yöntemler

Optik olarak konum belirleme yöntemlerinde doğrultu ölçmelerinden faydalanılır. Yöntemlerin uygulanabilmesi için karadaki kontrol noktası ile, denizde konumu bulunacak noktaların birbirini görmesi gerektiğinden, ancak kıydan birkaç km uzaklığa kadar olan bölgelerde uygulanabilir.

Optik konum belirlemede kullanılan yöntemler, önden ve geriden kestirme yöntemleri, sabit doğrultu yöntemi, takeometrik yöntem vb. olarak sıralanır. Uygulanabilmesi için gereken açılar, işin doğruluğuna göre teodolit veya sekstant ile ölçülür. Günümüzde total stationlar yardımıyla bu işler hızlı ve kolayca yapılabilmektedir.

3.1.2 Elektrometrik yöntemler

Kıydan 3-5 km'den daha fazla uzaklıktaki çalışma alanlarında elektrometrik yöntemlerle konum belirlenmesi mümkündür. II. Dünya Savaşından sonra geliştirilen yöntemlerin temel ilkesi “kıydaki jeodezik noktalar ile su ortamındaki taşıt arasındaki uzaklığın veya uzaklık farklarının elektromanyetik dalgalarla ölçülmesidir” (Özgen ve Algül,1977). Bu özelliğinden dolayı yöntem, radyo konumlama olarak da adlandırılır (Nakipoğlu,1993). Tablo 3.1’de açık denizlerde konum belirlemede kullanılan elektromanyetik dalga frekansları verilmiştir.

Tablo 3.1. Elektromanyetik Dalga Frekanslarının Kullanım Alanları

Frekans	Kullan. Elektromanyetik Dalga Türü	Uygulama Alanı
300 GHz-300 MHz	Mikrodalga	Uzaklık $\leq$ 70 km
300 MHz-300 KHz	Radyo Dalgaları	Uzaklık $\leq$ 150 km
300 KHz-15 KHz	Radyo Dalgaları	Uzaklık $\leq$ 2000 km

Elektromanyetik konum belirleme yöntemleri geometrik çözüm yönünden, kutupsal, dairesel ve hiperbolik yöntem olarak gruplara ayrılır. Çoğunlukla dairesel ve hiperbolik yöntemler kullanılır (Napier ve Ashkenazi, 1987). Ancak uydularla konum belirlemenin çok büyük bir hızla uygulamaya girmesiyle yöntemler önemini yitirmiştir.

3.1.3 Akustik yöntemler

Akustik yöntemle konum belirlemede ses dalgalarının su içerisindeki yayılma ilkesinden yararlanılır. Kıyıdan uzak bölgeler için geliştirilmiş bir yöntem olmasına rağmen, kıyıya yakın bölgelerde ve sığ sularda da kullanılmıştır (Doğan ve Danışman, 1988). Ses dalgalarının su içerisinde yayılma hızı yaklaşık olarak 1500 m/s'dir. Bu hız ortamın sıcaklık, basınç ve tuzluluğuna bağlıdır. Ses dalgalarının gidebileceği uzaklık frekansına bağlı olarak sınırlıdır. Konum belirleme amaçlı aletlerde kullanılan ses dalgalarının frekansı, çoğunlukla 30 ila 100 KHz arasında değişir.

Uzun ve kısa bazlı olmak üzere iki tür akustik konum belirleme yöntemi vardır. Bunlardan uzun bazlı yöntem ile ± 10 m'lik doğruluğu elde etmek mümkündür. Kısa bazlı yöntemde ise ulaşılan doğruluk, su derinliğinin %1-2'si kadardır (Algül, 1985). Ancak presizyonlu çalışmalarda aletler kullanılmadan önce mutlaka kalibre edilmelidir (McCartney ve Stirling, 1986). Deniz tabanındaki hareketlerin yüksek doğrulukla belirlenmesine dönük, presizyonlu trisponderlar kullanılarak bir çok çalışma yapılmıştır (Spiess ve diğ., 1994 , Morton ve diğ., 1994).

3.1.4 İnersiyal konum belirleme yöntemi

Yöntemin prensibi, ölçmelerle bir başlangıç anındaki konumun belirlenmesi ve daha sonraki t_i zamanlarındaki koordinatların da hidrografi taşıtının üç boyutlu ivme vektörün yardımıyla hesaplanmasıdır. Yöntem aslında konumu bilinen bir noktadan başlamak üzere, yükseklik, hız ve konum bilgilerini veren bir parekete yönteminden ibarettir.

İnersiyal sistemler çevresel etkilerden bağımsız olarak çalışır (Napier ve Ashkenazi, 1987). Hız ve konum doğrulukları zamanın bir fonksiyonu olarak azalmaktadır. Buna karşılık hız bilgisinin sürekli olarak yenilenmesi ile çok yüksek duyarlılığa sahip sistemler geliştirilmiş ve bazı kara ölçmelerinde kullanılmıştır. Hız hataları Kalman Filtresi kullanılarak da ortadan kaldırılabilir. 3-5 dakikada bir hız bilgisi yenilenerek

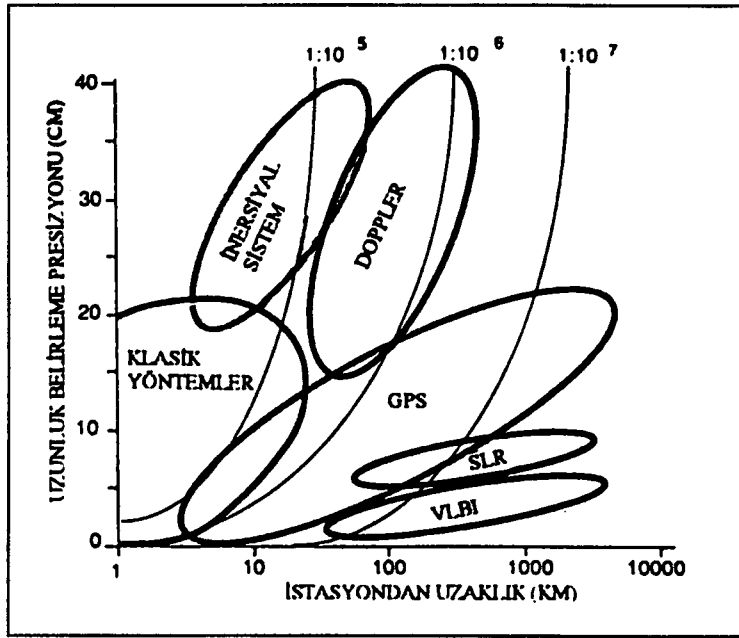
100 km'ye kadar olan uzaklıklarda, $\pm(10-20)$ cm'lik doğruluklara ulaşmak mümkündür.

Sistem bilgilerinin yenilenmesi hız ve konumun bağımsız olarak ölçümü ile sağlanabilir. Örneğin hız bilgileri bir Doppler hız ölçme aletinden, konum bilgileri de radyo, akustik ya da uydu sistemlerinden alınarak bilgiler otomatik olarak düzeltilip sistemin doğruluğu artırılabilir. Böyle bir sistem karmaşık yapısı ve pahalı bir donanım olması nedeniyle şimdilik ancak askeri amaçlı olarak kullanılmaktadır (Ingham, 1992).

3.2 Yapay Uydulardan Yararlanarak Konum Belirleme

1957 yılında ilk yapay uydu olan SPUTNIK'in fırlatılmasıyla yeni bir çağır açılmıştır. Bunu izleyen yıllarda değişik amaçlı diğer uydular uzaya fırlatılmıştır. Günümüzde iletişim, meteoroloji, jeodezik konum belirleme, uzaktan algılama, deniz seviyesi, dalga ve akıntı hareketlerinin izlenmesi amacıyla uzaya fırlatılmış binlerce yapay uydudan en etkin yararlanan grupların başında da, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği gelmektedir.

Günümüzde de kullanılan, çok yüksek hassasiyetle konum belirlemede yararlanılan SLR (Satellite Laser Ranging) uydularına ait ilk çalışmalar 1960'lı yıllarda başlamıştır. Dünya çapında presizyonlu ölçümler yapan 25 adet sabit SLR istasyonu vardır (1995 yılı itibarıyla) (Eren ve Uzel, 1995). Analizler sonucu istasyonların konumlarının, yörünge elemanlarının, dünyanın dönme parametrelerinin yüksek doğrulukla belirlenmesi mümkün olmaktadır. SLR gözlemleri sonucunda ulaşılan uzunluk ölçme doğruluğu $\pm(4-5)$ cm'dir (Sengoku ve diğ., 1997). Bunların dışında ARGOS, VLBI, Geostar, NAVSAT gibi uydularla konum belirlemeye dönük bir çok sistem vardır. Söz konusu sistemlerle yapılan çalışmalar sonucunda ulaşılan doğruluklar Şekil 3.1'de verilmiştir (Mueller, 1990).



Şekil 3.1. Konum Belirleme Sistemleri ve Doğrulukları

Sistemlerden özellikle 1984 yılından beri kullanılagelen NAVSTAR-GPS (NAVigation Satellite Timing And Ranging-Global Positioning System), klasik jeodezik ölçme yöntemlerine göre daha hassas, daha hızlı ve daha ekonomik olması nedeniyle, jeodezide çok yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Hava şartlarından bağımsız olarak çalışması, noktaların birbirini görme zorunluluğunun olmaması, ekonomik ve hızlı olarak konum belirlemeye olanak vermesi gibi büyük avantajlara sahip olan bu yöntem, klasik yöntemlere çok ciddi bir rakip olmuştur. GPS ile, noktalar arası uzunluğa, gözlem yapılan uydu sayısına, konfigürasyonuna ve ölçme süresine de bağlı olarak, $2 \cdot 10^{-6}$ ila $2 \cdot 10^{-8}$ oransal doğruluklarda noktaların koordinatlandırılması mümkündür (Eren ve Uzel, 1995).

GPS yönteminin yaygın olarak kullanılmasıyla birlikte, hidrografik ölçmeler de yeni bir çehre kazanmıştır. Bunun en önemli nedenleri, her zaman konum belirleme olanağının olması, uygulama kolaylığı, ucuz olması ve neredeyse tüm hidrografik çalışmalarda gereken doğruluklarda konum belirleme işlerini başarıyla karşılayabilecek düzeyde olmasıdır.

GPS yöntemi ile konum belirleme işlemi, sabit ve hareket halindeki objelerin konumlarının belirlenmesi olmak üzere iki şekilde yapılır. Bunlardan ilki, statik konum belirleme olarak adlandırılır. Örnek olarak jeodezik kontrol noktalarının 3 boyutlu

(3D) konumlandırılması verilebilir. İkincisine ise, kinematik konum belirleme adı verilir ve bir deniz aracının, hava taşıtının hareket halindeyken 3D konum bilgilerinin elde edilmesi örnek verilebilir. Uçak, gemi ve benzeri taşıtların navigasyonu amacıyla ya da aplikasyon vb. gibi jeodezik amaçlı çalışmalarda çalışmanın yapıldığı an, hemen orada koordinat değerlerinin elde edilmesi durumunda ise anlık (real-time) ölçmelerden söz edilir.

3.2.1 GPS sistemi hakkında genel bilgiler

NAVSTAR-GPS Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı'na geliştirilen uydu bazlı bir konum belirleme sistemidir. GPS sistemi üzerindeki çalışmalara Transit (Doppler) Sistemi'ndeki büyük başarılar sonucu 1973 yılında başlanmıştır. Transit sistemi ile yapılan çalışmalar sonucu bir noktanın konumu, 30 ila 50 uydu geçişine ait gözlemlerden hesaplanan presizyonlu uydu yörünge bilgileri kullanılarak $\pm(1.0-1.5)$ m'den daha iyi belirlenememiştir. Daha az hassasiyete sahip yörünge bilgilerinin kullanılması durumunda ise $\pm(2-5)$ m arasındaki doğruluklara ulaşılmıştır (Napier ve Ashkenazi, 1993).

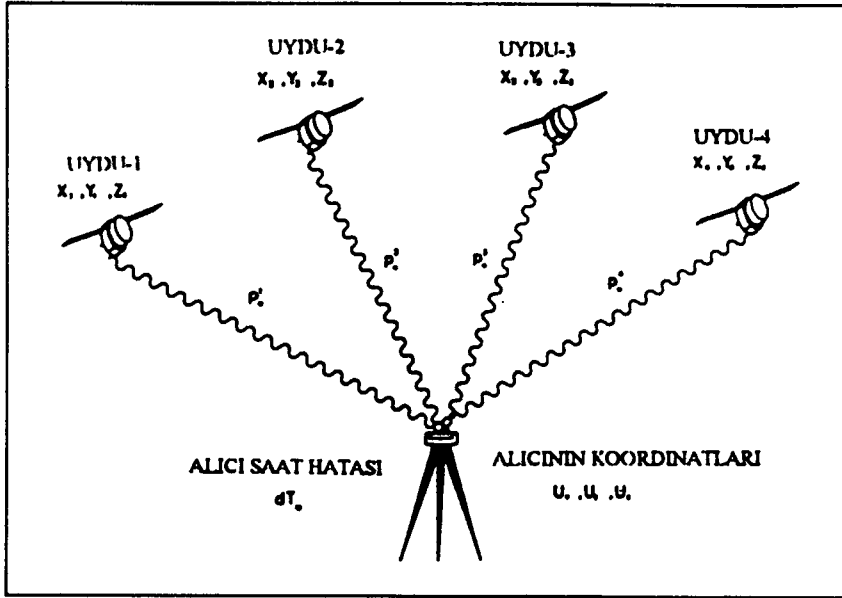
GPS ile dünyanın her hangi bir yerinde, hava koşullarından bağımsız ve noktalar arası görüş zorunluğu olmaksızın 3D konumlandırma mümkün olmaktadır. 1994 Aralık ayında tamamlanarak devreye giren GPS sistemi 3 ana bölümden oluşur. Bunlar,

- Uzay Bölümü,
- Kontrol Bölümü,
- Kullanıcı Bölümü'dür.

3.2.2 GPS ile konum belirleme yöntemleri

3.2.2.1 Navigasyon çözümü

Literatürde mutlak konumlandırma, tek nokta çözümü (Single-Point Positioning) olarak da adlandırılan yöntemde, konum belirleme işlemi kod ölçüleriyle yapılır (Sickle, 1996).



Şekil 3.2. Kod Ölçüleriyle Konum Belirleme

Çözüm için gerekli olan uyduların konum bilgileri BE verilerinden alınır. Yöntemin konum belirleme ilkesi, uydudan çıkan bir sinyalin alıcıya varıncaya kadar geçen seyir süresinin sinyalin yayılma hızı (c) ile çarpılarak, uydu-alıcı arasındaki uzaklığın belirlenmesidir. Örneğin, t_o anında çıkan bir sinyal, alıcıya t_1 anında varsın. Bu durumda uydu-alıcı arasındaki gerçek uzaklık:

$$\rho = c(t_1 - t_o) = \left[(X^1 - U_X)^2 + (Y^1 - U_Y)^2 + (Z^1 - U_Z)^2 \right]^{1/2} \quad (3.1)$$

bağıntısı ile bulunur (Şekil 3.2). Ancak sinyaller iyonosfer ve troposferden geçerken belli bir miktar gecikmeye uğrarlar. Dolayısıyla ölçülen uzunluk, gerçek uzunluk (ρ) değil, pseudorange olarak adlandırılan ölçülen uzunluk (P)'dir. Bu durumda uydu ile alıcı arasındaki ölçülen uzunluk aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir;

$$P = \rho + c(dt - dT) + d_{ion} + d_{trop} = \rho + c\delta t + d_{atm} \quad (3.2)$$

Burada; c ; ışık hızı (299792.458 km/s), dt ; GPS zamanına göre uydu saatinin hatası, dT ; GPS zamanına göre alıcı saatinin hatası, d_{ion} ; iyonosferik gecikme, d_{trop} ; troposferik gecikmedir (Eren ve Uzel, 1995).

Kod ölçüleriyle belirlenen uzunlukların (pseudorange) doğruluğu, 1 tam dalga boyunun %1'i mertebesinde. Bir başka deyişle C/A kod ölçüleri ile 3 m, P kod ölçüleri ile de 0.3 m doğrulukla uzunluklar belirlenebilir. Son gelişmeler, dalga boyunun %0.1'i incelikte de ölçmelerin yapılabileceğini göstermiştir (Hofman-Wellenhof ve diğ., 1992). Mutlak konumlamada C/A kod ölçüleri ile iki boyutta %95 istatistiki güvenle ± 100 m, üç boyutta ± 156 m doğrulukla konum belirlemek mümkündür (Kınık ve diğ., 1993). P kodu sadece askeri amaçlı olarak izin verilen kurumlarca kullanılabilir ve $\pm(10-20)$ m arasındaki doğrulukla konum belirlemeyi mümkün kılar (Leick, 1990). Verilen değerlerden de görülebileceği gibi C/A kod ölçüleri klasik yersel ölçmelerin gerektirdiği doğrulukları sağlamaktan çok uzaktır. Bunun için mutlak konumlama yerine, rölatif konumlama adı verilen başka bir yöntem kullanılır.

3.2.2.2 Taşıyıcı faz ölçüleri ile konum belirleme

Taşıyıcı faz ölçmeleri yardımıyla konum belirleme yöntemi kod ölçülerinden çok daha hassastır. Uydudan gelen taşıyıcı sinyal ile, alıcıda üretilen taşıyıcı sinyal arasındaki fark ölçülür. "Taşıyıcı Faz Farkı" olarak adlandırılan bu fark, bir i epogunda (zamanında) şu ifadeyle tanımlanır (Eren ve Uzel, 1995):

$$\Delta\phi = \phi^P(t_m) - \phi_m(t_m) + N_m^P(1) \quad (3.3)$$

Burada, $\phi^P(t_m)$; uydu sinyalinin alıcı tarafından ölçülen fazı, $\phi_m(t_m)$; alıcıda üretilen sinyalin alıcı tarafından ölçülen fazı, $N_m^P(1)$; tam sayı dalga boyu bilinmeyi, t_m ; alıcı saatindeki zamandır. Yukarıdaki bağıntı aşağıdaki eşitlikteki gibi daha açık bir şekilde ifade edilebilir (Wu ve Lin, 1996):

$$\Delta\phi = \frac{f}{c} \left[\rho + d_{trop} + (c - \dot{R})dT \right] - \frac{\kappa}{\lambda f^2} - N \quad (3.4)$$

Bağıntıda, f ; frekans, c ; ışığın boşluktaki hızı, ρ ; alıcı ve uydu antenlerinin faz merkezleri arasındaki gerçek uzunluk(m), d_{trop} ; troposferik gecikme, $\dot{R}$; toposentrik uzunluk oranı(m/s), dT ; alıcı saat hatası (s), κ/f^2 ; 1. dereceden iyonosferik

gecikme(m), κ ;sinyalin doğrultusundaki toplam elektron miktarının bir fonksiyonu, N ;tam sayı dalga boyu bilinmeyenidir.

Yukarıdaki bağıntılarda belirlenmesi güç olan değer, N ile gösterilen ve taşıyıcı dalga başlangıç faz belirsizliği olarak da adlandırılan, tam sayı dalga boyu bilinmeyenidir. Bir alıcı veri toplamaya başladığında herhangi bir uydudan kaydedilen ilk sinyalin tam dalga boyu sayısı olarak tanımlanabilecek N değerinin bulunması için bir çok algoritma geliştirilmiştir. Bu işlemler ölçmeler tamamlandıktan sonra bilgisayarda BERNESE, GAMIT gibi akademik yazılımlarla ya da alet üreticisi firmaların geliştirdiği yazılımlarla (Wild-Leica Firmasının SKI yazılımı gibi) yapılır. Bu işleme “post-process (değerlendirme)” adı verilir.

Uydu sayısının yanı sıra, uyduların geometrisi de konum belirleme işleminde doğruluğu etkileyen en önemli etkenlerdendir (Geotronics, 1994). Uyduların konfigürasyonu hakkında bilgi edinebilmek için DOP (Dilution Of Precision=Duyarlık Bozunumu) adı verilen bir faktörden yararlanılır. Ölçmeler için en uygun uydu kombinasyonu DOP değerinin 2 ile 4 arasında olduğu durumdur (Altınar, 1992). Prensipte olarak, en iyi konum belirleme koşulu sinyal alınan uyduların konumlarının birbirlerine uzak ve simetrik olmasıdır (Cosat Group, 1995). 4 ya da daha fazla uydu ile ölçme yapıldığında en iyi çözümü elde etmek için uyduların oluşturduğu geometrik şeklin hacminin mümkün olduğunca büyük olması gereklidir. PDOP, HDOP, VDOP, TDOP olmak üzere çeşitli DOP değerleri hesaplanır. Pseudo uzaklık ölçüleriyle elde edilen karesel ortalama hata σ_o olmak üzere mutlak koordinatların karesel ortalama hatası;

$$\sigma = DOP * \sigma_o \quad (3.5)$$

bağıntısı ile hesaplanır (Leick, 1990). Hem 3D koordinatlarının (PDOP), hem de saat bilinmeyeninin (TDOP) hatalarını içeren GDOP (General Dilution Of Precision) değeri;

$$GDOP = \sqrt{(PDOP)^2 + (TDOP)^2} \quad (3.6)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

3.2.3 GPS yöntemindeki hata kaynakları

GPS yöntemiyle konum belirleme işleminde kullanılan pseudorange ve taşıyıcı faz farkı ölçüleri uydu saatlerinin ayar bozukluğu, efemeris, iyonosferde ve troposferdeki gecikmeler, alıcı saatleri hataları, yansıma gibi faktörlerdeki belirsizlikler veya hatalar nedeniyle olumsuz olarak etkilenir (Eren ve Uzel, 1995). Konum bilgilerinin elde edilmesinde tekli, ikili ve üçlü fark yöntemleri uygulanır. Tekli fark yönteminde bir uydudan iki ayrı alıcı aynı anda veri alır ve uydunun saat hataları elemine edilir. İkili fark yönteminde iki alıcının aynı anda iki ayrı uydudan veri alması söz konusudur. İlave olarak alıcı saat hatalarının giderilmesine olanak verir. Üçlü fark yönteminde ise, aynı iki çift uydudan farklı zamanlarda alınan iki çift ikili farklardan yararlanılır. Önemli bir avantaj sağlamayan bu yöntem, bazı irdelemelerin dışında yaygın olarak kullanılmaz (Kınık ve diğ., 1993). Ölçmeler yapılırken mümkün olduğunca ufuk düzleminden itibaren 15° 'nin üzerindeki uydulardan sinyal alınır. Böylece troposferik hatalar daha aza indirgenmiş olur. 10° 'nin altındaki uydulardan sinyal alınmaz (Lachapelle ve diğ., 1992).

3.2.4 GPS yöntemi ile jeodezik amaçlı ölçmeler

Relatif konum belirleme işlemi ölçmelerin süresine, ölçme yapılan noktaların sabit veya hareketli olmasına bağlı olarak, statik, hızlı statik, tekrarlı ve kinematik ölçme yöntemleri olarak sınıflandırılır. Bu çalışmada hareketli bir taşıtta konum belirlemesi yapıldığı için yöntemlerden yalnızca “Kinematik Ölçme Yöntemi” hakkında bilgi verilecektir.

3.2.5 Kinematik ölçme yöntemi

Yöntemin uygulanmasında en az iki alıcı kullanılır. Bunlardan birisi koordinatı bilinen bir noktada sürekli sinyal alırken, hareket halindeki diğer alıcı da ölçü yapar. Hareketli alıcının konumunun belirlenmesinde kod ölçülerinden ve/veya taşıyıcı faz ölçülerinden yararlanılır. Taşıyıcı fazların kullanılması durumunda yönteme “Hassas Kinematik GPS Yöntemi”, kod ölçülerinin kullanılması durumunda “Diferansiyel GPS Yöntemi - DGPS” adı verilir.

Kinematik yöntemle konum belirleme işlemine başlanmadan önce, hareket edecek olan alıcının başlangıç tamsayı belirsizliği çözümlenmelidir. Bunun için Bilinen Baz (Known Baseline), Anten Değiştirme (Antenna Swap) gibi bazı yöntemlerden yararlanılır.

Kinematik ölçmelerde DGPS yöntemiyle, kod ölçülerinden yararlanarak $\pm(0.5-2.0)$ m relatif doğruluğa ulaşmak mümkündür (Leica, 1996a). Yöntemin prensibi, koordinatı bilinen bir noktada ölçme yapılırken, her bir uydudan yapılan pseudorange uzunluklardan elde edilen değerlerle, doğru koordinatlardan elde edilen uzunluklar arasındaki farkın düzeltme olarak hareketli alıcı veya alıcılara iletilmesidir. Bu düzeltmelerin iletilmesinde radyo vericilerden yararlanılır. Yöntemin başarısı, sabit-hareketli alıcılar arasındaki uzaklığa bağlı olarak değişmektedir. Aradaki uzaklık arttıkça, doğruluk azalır. Ana istasyon ile kullanıcı arasındaki uzunluğa ait maksimum hata;

$$\max. \delta R \approx \frac{d}{D} \delta R \quad (3.7)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Formülde, δR ; uydu efemeris hatasının büyüklüğü, d ; alıcılar arasındaki uzaklık, D ; gezici istasyon ile uydu arasındaki uzaklıktır (Kee ve Parkinson, 1991). DGPS yöntemi, uygulamasının kolaylığı, sağladığı doğruluk ve hızı gibi nedenlerle, klasik bir çok hidrografik çalışmada gereksinim duyulan doğrulukları rahatlıkla sağlayabilmektedir. Yapılan bir çalışmanın sonuçlarına göre hidrografide DGPS çalışmasının klasik ölçülere göre %40 daha üretken olduğu anlaşılmıştır (Kielland ve Casey, 1990). Selective Available (SA) etkisi DGPS yöntemi ile anlamlı olarak azaltılabilir (Lachapelle, 1990). Troposferik gecikme lokal nemlilik, sıcaklık ve yüksekliğin bir fonksiyonudur. Bu yüzden diferansiyel GPS düzeltmeleri troposferik hataları ortadan kaldıramaz (Brown, 1989).

Günümüzde konumu bilinen noktalarda 24 saat ölçme yaparak, ölçme anındaki her bir uydu için uzunluk düzeltmelerini hesaplayıp yayımlayan bir çok istasyon kurulmuştur. Bu düzeltmelerin kullanıcılara gönderilmesinde -dünyanın bazı kesimlerinde- yine bir uydu sistemi olan INMARSAT (INternational MARitime SATellite)'tan yararlanılır. INMARSAT 1979 yılında kurulmuş olan uluslararası bir organizasyondur. 50'nin üzerinde ülke bu organizasyonun içindedir (Bell, 1990). Ancak bu uydulardan dünyanın her yerinde yararlanılamaz. Diferansiyel düzeltmeler Kuzey Batı Avrupa ve Meksika Körfezi'nde INMARSAT uydularının birinden elde edilir (Weeks, 1992). Alıcılar arasındaki uzaklığın 100 km'den daha fazla olması durumunda, uzunluk

düzeltilmeleri DGPS'den beklenen doğruluğu sağlamaz. Bunun için Wide Area DGPS (WADGPS) olarak adlandırılan bir sistem geliştirilmiştir.

DGPS ölçmeleri yapıldığında 3 tür çözüm söz konusudur. Bunlar:

- i-)* Kod ölçüleri ile,
- ii-)* Faz ve Kod Ölçüleri birlikte,
- iii-)* Taşıyıcı Faz Ölçüleri ile

çözümdür (Heimberg ve Seeber, 1994). Birinci çözüm yönteminde yalnızca uzunluk düzeltilmeleri (relatif kod çözümü için) gönderilir. İkincisinde ise hareketli alıcıdaki taşıyıcı faz ölçüleri Kalman Filtreleme tekniği kullanılarak kod ölçüleri ile birleştirilir. Bunlardan ilk ikisinin kullanılması durumunda 1 ila 10 m arasında değişen değerlerde konum bilgilerini elde etmek mümkündür (Heimberg ve Seeber, 1994). Sadece kod ölçüleri ile yapılan ölçmelerde ise, 1 ila 5 m arasında değişen doğruluk değerlerine ulaşmak mümkündür (Kınık ve diğ., 1997). Bu doğruluk değerleri başta hidrografik ölçmeler olmak üzere bazı jeodezik uygulamalara yeterlidir. İlk iki yöntem DGPS olarak adlandırılır. Üçüncü çözüm yönteminde ise, 1 desimetrenin her zaman altında (çoğu zaman bir kaç cm mertebesinde) doğrulukla konum ve yükseklik belirleme işlemi yapılır (Heimberg ve Seeber, 1994). Bu yüzden yöntem “Presizyonlu Diferansiyel GPS (PDGPS)” olarak adlandırılır. Ulaşılabilecek bu doğruluk değerleri özel jeodezik uygulamalarda, presizyonlu hidrografik ölçmelerde ve özellikle sığ sularda yapılacak mühendislik çalışmalarında gerekli olan presizyonu sağlayacak mertebededir.

Kinematik ölçmelerin yapılabilmesi için başlangıç tam sayı belirsizliğinin belirlenmesi her zaman çok kolay çözülebilen bir problem değildir. DGPS kullanılması durumunda ise her çalışma için yeterli doğruluğu elde etmek mümkün değildir. Yüksek doğruluk beklenen bir çalışma yapılacaksa, taşıyıcı faz ölçülerini kullanarak çözüm yapılan PDGPS'in uygulanması mantıklı olacaktır. Kinematik GPS uygulama sonuçlarına yakın doğruluk veren, ancak kinematik ölçmelerde olduğu gibi başlangıç tam sayı belirsizliğinin klasik yöntemlere göre daha farklı olarak ancak çok daha kolayca çözümüne olanak veren yöntem, On-The-Fly (OTF) ya da On-The-Way (OTW)

yöntemidir. Yapılan bu çalışmanın uygulama kısmında kıyıdaki sabit noktaların ölçülmesinin dışındaki diğer tüm ölçmelerde OTF yöntemi kullanıldığı için, bu konu biraz daha detaylı olarak ele alınmıştır.

3.2.6 Presizyonlu diferansiyel GPS (PDGPS)

Kinematik yöntemle konum belirlenirken ölçmelere başlanmadan önce herhangi bir yöntemle -statik ölçmeler yapılarak- başlangıç tam sayı değeri belirlenir. Bunun için hem sabit, hem de hareketli konumdaki alıcılarla aynı uydulara bir kaç dakika gözlem gerekir. Ancak bunun iki dezavantajı vardır. Bunlardan birincisi, hareketli alıcının belirli bir süre sabit tutulmasındaki zorluktur. Örneğin hidrografik bir çalışmada bir gemide sabit olarak bir antenin tutulması çok güçtür. İkinci dezavantajı ise, ölçmeler yapılırken başlangıçta sinyallerin alındığı uydulardan bir veya birkaçından herhangi bir sebeple veri alınamamasıdır. (Cannon ve diğ., 1993). Bu dezavantajları ortadan kaldıran, özellikle hareketli objelerin yüksek doğrulukla konumlarının belirlenmesine olanak sağlayan yöntem, On-The-Fly (OTF) ya da On-The-Way (OTW) yöntemidir.

Kinematik OTF, başlangıç tam sayı belirsizliğinin statik olarak çözümünü gerektirmeden, hareket halindeki bir taşıttaki alıcıda yapılan ölçülerle bu belirsizliğin giderilmesini mümkün kılan bir yöntemdir (LEICA AG, 1996). OTF yönteminin ortaya çıkışı 1985’li yıllara dayanır. Bu yıllarda ABD National Geodetic Survey’den Dr. Benjamin Remondi, hareket halindeki bir alıcıdan alınan verilerle de başlangıç tam sayı belirsizliklerinin çözümünün yapılabileceğini kanıtlamıştır (DeLoach ve diğ., 1995).

Statik ölçmelerle 1-2 cm doğrulukla konum doğruluğunu elde etmek mümkündür. Yükseklikteki doğruluk değeri ise 2-3 cm civarındadır. Örneğin 10 km’den daha kısa bazlarda 2.5 cm doğrulukla yükseklik belirlenebilmektedir (Wu ve Lin, 1996). Bu çalışmadaki uygulamalarda kullanılan WILD-Leica System 300 aletleri için Dur-Git, Kinematik ve Kinematik OTF yöntemleri için konumda $\pm(1-3)$ cm ± 1 ppm, yükseklikte $\pm(2-4)$ cm ± 1 ppm doğruluk değerleri verilmektedir (Leica, 1996b).

Yükseklikte elde edilen doğrulukların daha düşük olmasının nedeni troposferik modellerdeki olası problemlerdir (Seeber ve diğ., 1994). Kinematik OTF tekniği, diferansiyel bir tekniktir ve çift frekanslı alıcılar üzerine kurulmuştur. Wild-Leica

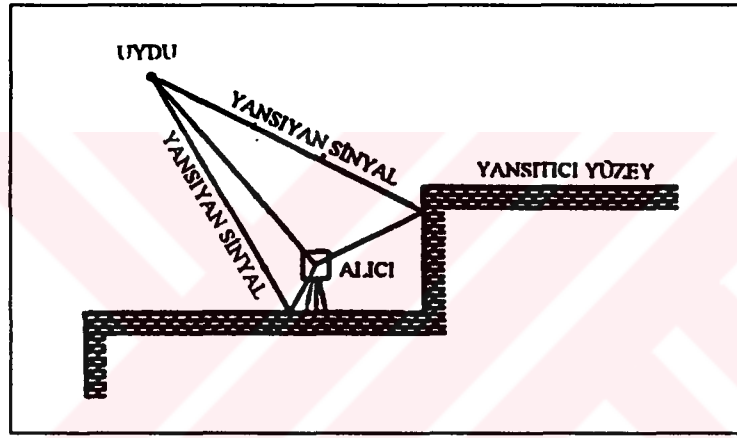
firmasının aletleriyle yapılan ölçmelerde en az 200 saniye süreyle hareketli alıcıdan ölçme yapılması gereklidir (Jackson, 1993). Genel olarak belirtilecek olursa bu süre kullanılan alıcıya bağlı olarak 1 ila 3 dakika arasındadır (Cannon ve diğ., 1993).

Yukarıda belirtilen doğruluklar kinematik uygulamaların yapıldığı hidrografik ölçmeler başta olmak üzere bazı jeodezik uygulamalarda gereğinden fazla gibi görünebilir. İlk bakışta çok önemli görünmeyen bu yüksek doğruluk bazı durumlarda gerçekten çok önemli olabilmektedir. Gemilerin maksimum kargo kapasitelerini kullanabilmeleri için derinliklerin yüksek doğrulukta ve güvenilir bir şekilde bilinmesi gereklidir. Örneğin bir geminin omurgası deniz dibinden en az 10 cm yukarıda olmalıdır. Özellikle sığ sularda bir kaç cm'lik bir yanlışlığın bile çok ciddi hasarlara yol açacağı ortadadır (DeLoach ve diğ., 1995). Ayrıca sualtı mühendislik yapılarının aplikasyonlarında, kıyıya yakın bölgelerde yapılacak mühendislik yapılarında presizyonlu derinlik ve konum ölçmeleri gereklidir. OTF yöntemi konum için bu ihtiyaçları karşılayabilecek çok etkin bir yöntemdir. Uygulanabileceği bir çok alan vardır. Bunlar; uydu altimetresi çalışmaları, hafriyat işleri, deniz seviyesi, okyanus dalgaları ve akıntılarının izlenmesi çalışmalarıdır (Abidin, 1994). Okyanuslar hakkında daha detaylı bilgiler elde etmek için TOPEX/Poseidon ve ERS-1 uyduları yörüngeye sokulmuştur. Bu uydulardan elde edilen verilerle daha iyi tahminlerin ve El-Nino gibi uzun periyodlu olayların modellenmesinin yapılabileceği düşünülmektedir. OTF tekniği ile bu uyduların yörüngelerinin belirlenmesi ve taşıdıkları altimetrelerin kalibrasyonu yapılmaktadır (DeLoach ve diğ., 1995).

OTF yöntemi ile ölçme yapılan anda doğrudan koordinatlar alınabileceği gibi (Real-Time), sonradan yapılan hesaplarla da çözüm yapılması mümkündür. Yöntem çözüm yaparken birinci aşamada kod ölçüleri yardımı ile alıcının (antenin) yaklaşık konumunu hesaplar. İkinci adımda ise, tam sayı dalga boyu belirsizliği belirlenir (Lachapelle ve diğ., 1993). Ambiguity Function Method, Least-Squares Ambiguity Search Technique, Extra-Wide-Laning, The Ambiguity-Mapping Function Technique, Kinematic GPS Without Static Initialization, Integrated On-The-Fly Ambiguity Resolution Technique ve Kalman Filter Technique'leri, çözüm için kullanılan en yaygın yöntemlerdir (Abidin, 1993 ve 1994, Hatch, 1990). Çözümün başarısı uygun uydu sayısı ve geometrisine, kullanılacak verilerin türüne ve kalitesine,

sabit-hareketli alıcılar arasındaki uzaklığa, diferansiyel yörünge ve atmosferik hatalara bağlıdır (Lachapelle ve diğ., 1993). OTF çözümünün performansını azaltan en önemli etken yansıma (multipath) etkisidir (Abidin, 1994). Güvenilir bir çözüm için sabit-hareketli alıcılar arasındaki uzaklığın 7 ila 10 km arasında olması gereklidir. Bu, yöntemin bir dezavantajıdır. DGPS yönteminde saniyede 100 baud(byte/saniye) veri aktarımı yeterli iken, OTF yönteminde bu miktar 2400 baud olmaktadır (Seeber ve diğ., 1994).

Yansıma etkisi, ölçme yapılan ortamda bulunan yansıtıcı yüzeyler nedeniyle uydudan çıkan sinyallerin antene doğrudan gelmeyip, yansıtıcı yüzeylerden gelmesidir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Yansıma Etkisi

Yansıma etkisi hem kod, hem de faz ölçülerine etki eder. Faz ölçülerine etkisi bir kaç cm'yi geçmezken, kod ölçülerine etkisi çok daha fazladır. Bu etki C/A kodunda 293 m, P kodunda ise 29.3 m, yani 1 tam dalga boyudur ve özellikle başlangıç tam sayı belirsizliğinin kod ölçüleriyle belirlenmesinde önemli bir hata kaynağı olur (Lachapelle ve diğ., 1992). Bu etkiden kaçınmak için mümkün olduğunca yansıtıcı yüzeylerin etkisinin az olduğu zaman aralıklarında ölçme yapılmalı, post-process yapılıyorsa ölçüler iyice irdelenmelidir. Ayrıca özel antenler kullanılarak bu etki azaltılabilir.

3.2.7 GLONASS sistemi

GPS uydularından başka Rusların GLONASS (Global Navigation Satellite System) olarak adlandırılan bir sistemi vardır. 1993 yılında devreye sokulmuş olan sistemde herbirinde 8 adet olmak üzere 3 yörünge düzleminde toplam 24 uydudan, dünyanın her yerinde en az 5 uydudan sinyal alınması mümkündür (Işık, 1997). Günümüzde

GPS ile GLONASS uydularının her ikisinden sinyal alıp, birlikte değerlendirme yapmaya dönük çalışmalar hız kazanmıştır. Bu durum özellikle yoğun yapılaşmış alanlarda daha kolay ölçmelerin yapılabilmesine, normal durumlarda daha fazla uydudan veri alınabileceği için daha kısa sürede, daha iyi sonuçlar alınmasına olanak sağlayacaktır.

3.3 Kıyı Şeridinin Ölçülmesi

Hidrografik çalışmanın sınırı, kıyı çizgisidir. Hidrografik haritanın kara ile bağlantısını sağlamak için kıyı çizgisi ve kıyı şeridinde gereksinim duyulan bazı detaylar ölçülür.

Kıyı çizgisi ve şeridi, küçük ölçekli çalışmalarda daha önce yapılmış kara haritalarından alınabilir. Aynı ölçekte bir kara haritası yoksa, büyük ölçekli haritalardan, küçük ölçekli haritalara dönüşüm yapılır. Bu mümkün değilse veya çalışma bölgesinde daha önce hiç harita yapılmamışsa veya mevcut haritaların presizyonu, yapılan iş için yeterli değilse, çalışma bölgesinin büyüklüğüne bağlı olarak ya klasik ölçmeler ya da fotogrametrik yöntemlerden yararlanılır.

Kıyı çizgisi ve şeridinin ölçülmesinde GPS yöntemini kullanmak da mümkündür. GPS kullanımında en büyük kısıtlayıcı faktörler olarak, su ortamından ortaya çıkabilecek yansıma etkisi ve kıyı şeridine çok yakın büyük ağaç vb. gibi uydulardan sinyal alınmamasına neden olacak engeller sayılabilir. GPS ölçmeleri, kinematik, dur-git gibi yöntemlerle gerçekleştirilir. Uzaktan algılama uydularından elde edilen görüntülerden yararlanarak da kıyı çizgisi belirlenebilir. Yöntemin uygulanması ve haritaların elde edilmesi zahmetli ve pahalı gibi görünse de çok büyük alanların küçük ölçeklerde (1:25000 ve daha küçük) haritasının yapılmasında büyük avantajlara sahiptir. Örneğin LANDSAT TM'e ait bir görüntü 184 km×176 km'lik bir alana karşılık gelmektedir. Kanada'nın kuzey sahil şeridinin tümü bu yöntemle çıkarılmıştır. Yapılan çalışmanın diğer yöntemlerle kıyaslandığında çok ekonomik olduğu görülmüştür. Bu çalışmada 1000 km'lik bir kıyı şeridinin haritasının yapım maliyeti, yaklaşık 465\$ olarak tahmin edilmiştir (Tomlins ve diğ., 1995).

4. DERİNLİKLERİN ÖLÇÜLMESİ (İSKANDİL)

4.1 Genel

Hidrografik çalışmalarda iskandil olarak adlandırılan bu işlem, ölçme yapılan zamandaki su yüzeyi ile bu yüzeye dik doğrultunun sualtı topoğrafyasını kestiği nokta arasındaki düşey uzunluğun herhangi bir yöntemle ölçülmesidir. Sualtı topoğrafyasını belirleyebilmek için su üzerinden bu yüzeye dik doğrultuda derinlik ölçmeleri yapılır. Derinlik ölçme işlemi ile sualtı noktalarının düşey doğrultudaki konumu belirlendiğinden iskandil, klasik haritacılıktaki nivelman ile eş anlamlıdır.

Kıtalar arası telgraf kablolarının okyanus altından geçirilmesi düşüncesiyle birlikte ilk kez derin sularda ileri teknik bir hidrografik çalışma 1860'lı yıllarda yapılmıştır (Wells ve diğ., 1991). 1872-1876 yılları arasında Royal Society of London tarafından finanse edilen HMS Challenger gemisinden yapılan hidrografik çalışmalarda yeni yöntem ve aletler geliştirilmiştir. Bu gemide dört yıl boyunca derin okyanuslarda çalışılmış, biyolojik, fiziksel ve oşinografik verilere ilave olarak beş yüz adet çok büyük derinlik ölçmesi yapılmıştır (Wells ve diğ., 1991).

Hidrografik çalışmalarda ses sinyallerinin kullanılmasına 1915 yılında başlanmıştır. 1920'li yılların sonunda pratik bir akustik derinlik ölçme aleti Kelvin-Hughes tarafından geliştirilmiştir (Wells ve diğ., 1991). Bunu 1927 yılında ABD tarafından geliştirilen başka bir aletin yapımı izlemiş, alete, "SOund NAvigation and Ranging" ifadesinin baş harfleri alınarak SONAR adı verilmiştir (Kurter, 1986). 1950'li yıllarda ise, transdüser teknolojisindeki ilerlemeler ve zamanın çok daha hassas ölçülebilmesi sonucu presizyonlu olarak derinlik ölçmek ve kaydetmek mümkün olmuştur (deMoustier, 1988).

4.2 Hidrografik Ölçmelerde Kullanılan Ölçme Taşıtları

Hidrografik ölçmelerde zorunlu olarak su üstü taşıtlarından yararlanılır. Çalışmada kullanılacak taşıtlar hidrografi gemisi, hidrografi botu veya sadece bot olarak adlandırılır (Özgen ve Algül, 1977). Bu ayrım taşıtın büyüklüğüne bağlı olarak yapılır.

Hidrografi taşıtının seçiminde esas belirleyici faktör çalışmanın kapsamıdır. Jeolojik veya jeofizik amaçlı bir çalışma yapılacağı zaman seçilecek taşıt ile hidrografik harita yapımında kullanılacak taşıt, donanım olarak birbirinden farklıdır. Bazı sığ sularda bir bottan ya da daha basit bir kayıktan yararlanılabilir. Genel olarak hidrografik bir çalışmada kullanılacak bir ölçme taşıtı şu özellikleri taşımalıdır:

- Taşıtın üzerinde ölçmeleri yapmaya olanak sağlayacak bir yer (platform) olmalıdır,
- Konum ölçmelerinde uydu tekniklerinden yararlanılacaksa, aletin anteninin uydulardan gelecek sinyalleri kesmeyecek ve yansıma yapmayacak şekilde kurulabileceği bir yer olmalıdır,
- Düşük hızlarda manevra yapabilmelidir,
- Ölçmeleri aksatmayacak şekilde yakıt tankına, personelin yiyecek, içecek vb. ihtiyaçlarını karşılayacak bir yapıya sahip olmalıdır,
- Hız ve yön göstergeleri bulunmalıdır,
- Akustik iskandil ölçmelerini etkilememesi için bir egzoz susturucusu olmalıdır.

Hidrografik çalışmanın verimli bir şekilde yapılabilmesi için taşıt çalışma bölgesine çok hızlı bir şekilde ulaşabilmelidir. Ayrıca 0.5 knot (1 knot=0.514 m/sn) hızda ve tekne gidiş doğrultusuna dik doğrultudaki 9 kuvvetindeki rüzgarda tamamen kontrol edilebilir olmalıdır (Cheverton, 1974). Ölçme taşıtındaki titreşimler mutlaka minimuma indirilmelidir.

4.3 Derinlik Ölçme Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Derinlik ölçme yöntemleri klasik ve modern olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Derinlik değerlerinin doğrudan okunduğu klasik yöntemler, kullanılan alete bağlı olarak üç sınıfa ayrılır. Bunlar; lata iskandili, ip iskandili, tel (mekanik) iskandildir.

Bu iskandil yöntemlerinden birincisi ile 6 m'ye kadar olan derinlikler $\pm(5\sim10)$ cm arasında değişen doğruluklarla belirlenir. İkinci yöntemde derinliği 30 metreyi geçmeyen sularda ±10 cm doğrulukla derinlik ölçmesi yapmak mümkündür. Üçüncü yöntemde ise, 30 m ile 2000 m arasında derinliğe sahip ortamlarda $\pm0.01*H$ (derinliğin %1'i) doğruluğunda ölçme yapmak mümkündür.

Modern yöntemler ise dört sınıfa ayrılır. Bunlar:

- Lazer iskandili,
- Uzaktan algılama ile iskandil,
- Fotogrametrik iskandil,
- Akustik iskandildir.

Sayılanların dışında hidrostatik ve termometrik iskandil olarak adlandırılan ve derin sularda ölçme yapmak için kullanılan özel uygulamaların dışında kullanımı olmayan, uygulanması güç iki yöntem daha vardır.

4.4 Derinliklerin Modern Yöntemlerle Ölçülmesi

4.4.1 Lazer yöntemi ile derinliklerin ölçülmesi

Yöntemin temel ilkesi, su yüzeyindeki bir lazer kaynağından düşey doğrultuda gönderilen ışık ışınlarının sualtı tabanına çarpıp, geri dönerek kaynağa ulaşınca kadar geçen seyir süresinin ölçülmesi esasına dayanır. Gönderilen ışığın sudaki yayılma hızı c_s bilindiği takdirde, su derinliği şu genel hız-zaman bağıntısı ile elde edilir;

$$H = \frac{1}{2} t c_s \quad (4.1)$$

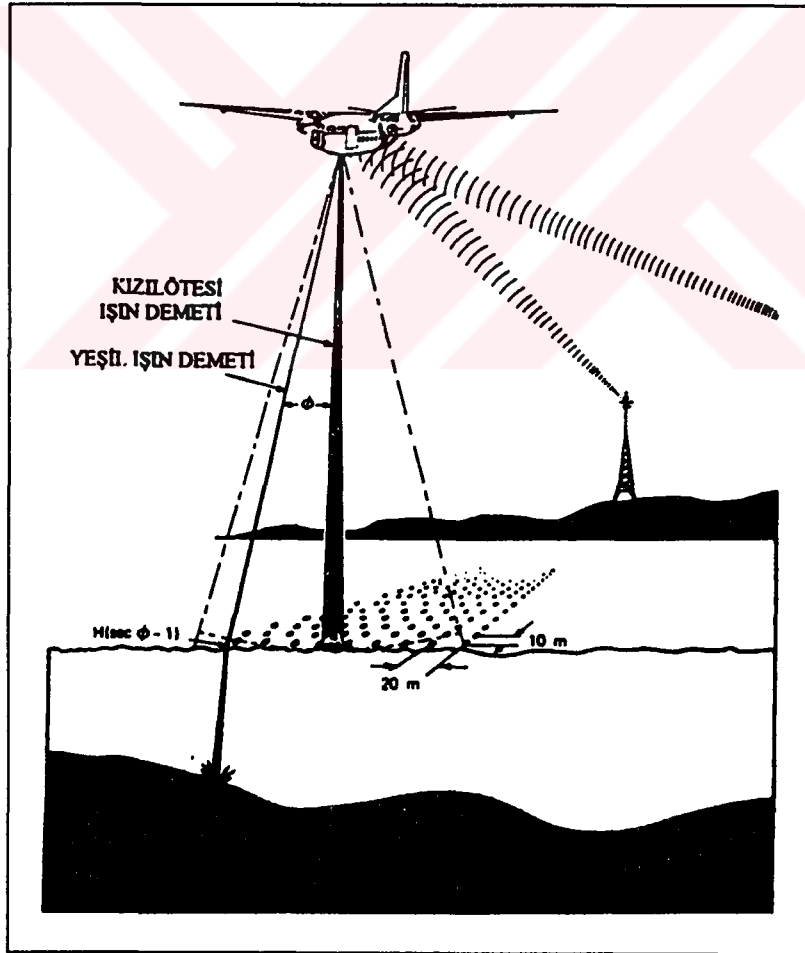
Işık dalgaları su içinde kuvvetli dağılma ve yutulma etkisine uğradığı için, dalga boyları $0.48 \mu\text{m}$ ile $0.55 \mu\text{m}$ arasındaki lazer ışınları kullanılır (Özgen ve Algül, 1977)

4.4.1.1 Airborne lazer yöntemi ile derinliklerin ölçülmesi

Temel ilkesi lazer iskandili ile aynı olmakla birlikte, sadece uygulama yapılan taşıtta değişiklik söz konusudur. Airborne lazer yönteminde $\approx 300\text{m}$ yükseklikte uçan hava taşıtına yerleştirilen bir alet kullanılır (Şekil 4.1). Derinlik belirlenmesinde lazer ışınlarından faydalanılır. Bu yöntem ancak sığ sularda ve kıyı kesimlerde uygulanabilir. Ortalama 20 ila 30 m arasında derinliğe sahip olan bölgelerde uygulama alanı bulan

yöntem ile ulaşılan doğruluk ± 0.20 m civarındadır (Ingham, 1992, Nakipoğlu, 1993). LARSEN 500 ve SHOALS (Scanning Hydrographic Operational Airborne Lidar Survey) gibi sistemlerle 40 m'ye kadar derinlikten bağımsız olarak tarama yapıp, ölçmeler yapılmıştır (Wells ve diğ., 1991).

Endonezya'da kullanılan Hawk Eye sistemi ile, 1 saatte 18 km^2 'lik bir kıyı bölgesinin haritası çıkarılmıştır. Bu çalışma klasik çok hüzmeli (beam'li) derinlik ölçerden elde edilen bir çalışmaya göre 5 kez daha verimlidir (Ello ve Sitepu, 1997). Bir başka lazer airborne derinlik ölçme sistemi olan LADS ile 1 saatte 50 km^2 'lik bir alanın ölçümü mümkün olmuştur (Spurling ve Perry, 1997). Ölçmelerin verimini ve doğruluğunu denizin dalga durumu, rüzgar, bulut gibi meteorolojik koşullar etkiler. Denizin bulanık olup-olmaması çalışmaları etkileyen bir başka faktördür. Bu tür sistemler dalgalı ve bulanık sular için uygun değildir.



Şekil 4.1 Airborne Lazer Yöntemi ile Derinlik Ölçümü

4.4.2 Uzaktan algılama yöntemi ile derinliklerin ölçülmesi

Yeryüzündeki cisimlerin elektromanyetik spektrumun değişik bölgelerde yansıttıkları veya yaydıkları ışınım farklılık gösterir (Örmeci, 1987). Bu farklılıklardan yararlanarak yeryüzündeki cisimler ve su ortamı (sıcaklık, su kalitesi, derinlik) hakkında bilgi edinilir. Bu amaç için Fransız'ların SPOT ve Amerika'lının LANDSAT uydularından yararlanılmaktadır.

Işınların suyun içinde ulaşabileceği derinlik kullanılan dalga boyunun bir fonksiyonudur. Bu da görünen bölgede suyun yansıtması, su yüzeyinin durumu, suda bulunan askıda maddeler ve suyun içinde yer aldığı ortamın tabanı ile yakından ilgilidir. En büyük derinlik değerine mavi-yeşil ışık kullanılarak ulaşılabilir. Örneğin LANDSAT TM (Thematic Mapper) uydularında 1. band (0.45-0.52) μm ve 2. band (0.52-0.60) μm spektrum genişliğine sahiptir. Bu nedenle, bu tür uygulamalar için en uygun olanıdır (Haagmans ve diğ., 1990).

Uzaktan algılama uydularından elde edilen veriler, atmosferik, geometrik ve radyometrik distorsiyon vardır. Bu nedenle bu veriler ancak bir dizi işlemle geçirilip, modellenerek kullanılabilir. Uzaktan algılama yöntemi ile, 20 m'ye kadar olan derinlikleri ölçmek mümkündür. Dolayısıyla bu yöntemle derinlik ölçmeleri sığ sularda kullanılabilir. Yöntemin ulaşılan doğruluğu ± 2 m'dir (Nakipoğlu, 1993, Haagmans, 1990).

Yöntemin en önemli avantajları, ölçmelerin tek bir hat yerine geniş alanlarda yapılabilmesi, ölçme yapılması tehlikeli olan bölgelerde uygulanabilmesi vb. dir (Doğan ve Alpar, 1994). Uydu verilerinden derinliklerin belirlenmesinden başka, okyanusların dalga yüksekliklerine bağlı olarak ortaya çıkan global çevre etkileri, rüzgar hızı ve yönü, deniz yüzey sıcaklığı, denize dökülen petrol vb. atıkların izlenmesi gibi birçok amaç için yararlanılmaktadır.

4.4.3 Fotogrametrik yöntemle derinliklerin ölçülmesi

Bu yöntemle derinliklerin belirlenebilmesi işlemi için hava taşıtlarından çekilen üç boyutlu hava fotoğraflarından yararlanılır. 20. yüzyılın başlarında kullanılmaya başlanan yöntemin hidrografik çalışmalar için yeterli doğruluğu sağlayıp kullanılması ancak 1950'li yıllarda mümkün olmuştur. Ölçme yapılacak olan su ortamının

bulanıklığına/temizliğine bağlı olarak yöntemle belirlenebilecek maksimum derinlik değişiklik göstermektedir. Bulanık sularda 3 m'ye kadar, temiz sularda ise 25 m'ye kadar olan bölgelerde derinlik belirleme işlemi yapılabilmektedir. Yöntemin presizyonu ortalama ± 0.40 m civarındadır.

4.4.4 Akustik derinlik ölçme yöntemi

Yöntemin temel ilkesi ses dalgalarının su içindeki yayılma ve yansıma özelliklerinden yararlanarak derinliklerin ölçülmesidir. Işık ve elektromanyetik dalgalara oranla ses dalgaları su ortamında daha iyi yayılmaktadır. Günümüzde su ortamında yapılan çalışmaların hemen hemen tümünde akustik yöntem kullanılmaktadır.

Su içerisindeki bir ses üretici tarafından sağlanan ses impulsları dairesel dalgalar halinde sualtı tabanına ulaşır. Tabana varan impulslar yansıyarak, üretildiği kaynağa (veya yanındaki alıcıya) geri döner. Bir impulsun gidiş-dönüş seyir süresi (t) ölçülürse, yayılma hızı (c_s) bilindiğinden, suyun derinliği aşağıdaki formülden hesaplanır;

$$H' = \frac{1}{2}tc_s \quad (4.2)$$

Ancak buradan elde edilen H' derinliği ham derinlik değeridir. Bu değere çeşitli düzeltmeler ve indirgemeler yapılarak gerçek derinlik değeri elde edilir.

Akustik iskandil yönteminde kullanılan aletlere ekolot, echo-sounder, fadometre vb. isimler verilir. Bundan sonra bu aletlerden akustik derinlik ölçer olarak bahsedilecektir. Bu yöntemin avantajları; derinlik ölçme işleminin otomatik olarak gerçekleştirilmesi, ölçmelerin aynı zamanda grafik olarak bir kağıda çizilebilmesi, akıntılı sularda akıntıdan etkilenmeden ölçme yapabilmesi, kişisel hataların en aza indirgenmesi, çok yüksek çalışma hızı ve yüksek verimlilik olarak sıralanabilir. Bazı akustik iskandil aletleri derinlik bilgilerinin yanında jeolojik, jeofizik vb. ilave bilgileri de verecek niteliktedir. Bu bilgilerin bazıları, balık sürülerinin büyüklüklerinin ve bulunduğu bölgelerin tespiti, batıkların bulunması, dip tabakaların doku ve bileşimlerinin ortaya çıkarılması vb.'dir (Doğan ve Alpar, 1989).

4.4.4.1 Akustik derinlik ölçme aletleri

Akustik derinlik ölçme aletleri transdüser olarak adlandırılan ses impulslarını gönderen ve alan birim ile, kontrol biriminden oluşur. Transdüser su içerisinde hidrografi taşıtının hareketi sonucu su ortamından çıkmayacak şekilde yerleştirilir. Gönderici ve alıcı olarak çalışan aynı özellikte iki ses aygıtından oluşur. Bir diyaframı etkileyerek titreşim oluşturan akustik enerji üretim aletleri, elektro-manyetik enerjiyi mekanik, yani ses enerjisine çevirmek suretiyle çalışırlar. Bir transdüserin yapımında iki fiziksel olaydan yararlanılır. Bunlar: manyetik vurma ve piyezo-elektrik etkisidir (Kurter, 1986).

Transdüserler tarafından üretilen impulsların frekansları, elde edilecek derinlik değerlerinin doğruluğunu etkileyen önemli faktördür. Genel olarak, yüksek frekansın kullanıldığı sistemler daha yüksek doğruluk sağlarlar. Sığ sularda yapılan hidrografik çalışmalarda 20 ile 200 kHz arasındaki frekanslar kullanılır. Derin sularda (okyanuslarda) ise 2 ile 20 kHz arasındaki frekanslar kullanılır (Wells ve diğ., 1991). Tablo 4.1’de genel olarak derinlikler için hangi frekansların kullanılabileceği görülmektedir.

Tablo 4.1. Derinliklerin Belirlenmesinde Kullanılacak Frekans Değerleri

Ses Dalgasının Frekansı	Derinlik (m)	Doğruluk
1 ila 15 kHz	< 10000	Düşük
20 ila 50 kHz	< 5000	Orta
30 ila 300 kHz	< 300	Yüksek

Sistemi oluşturan ikinci kısımda ise gönderilen ses impulsları ile geri alınan ses impulsları karşılaştırılır ve impulsun gidiş-dönüş seyir süresi olan t zamanı belirlenir. Hidrografik bir çalışmadan beklenen presizyon yönünden ses impulslarının gidiş-dönüş seyir süresinin $\pm(10^{-4} \sim 10^{-5})$ saniye doğrulukla ölçülmesi gereklidir (Algül, 1989). Buradan su derinlikleri hesaplanarak kayıt kağıtlarına belirli bir ölçekte çizilir. Kayıt kağıdı belirli hızda hareket ettirilebildiğinden, ünitelerin sürekli çalıştırılması ve hidrografi taşıtının hareketli olması halinde sualtı tabanının sürekli grafiği elde edilir. Son yıllarda geliştirilen aletlerin bilgisayar ile entegrasyonu sağlanarak, ölçülen derinlikler manyetik bir ortama da kaydedilebilmektedir.

4.4.4.2 Sesin su içinde yayılma hızı

Ses dalgasının içinde yayıldığı ortamdaki hızının belirlenebilmesi için ortamın fiziksel parametrelerinin bilinmesi gereklidir. Deniz suyunun ortalama yoğunluğu 1.026 gr/cm^3 kadardır. Yoğunluk, tuzluluk, basınç ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak değişiklik gösterir. Ses hızı için

$$1387 \text{ m/sn (sıcak sularda)} \leq c_s \leq 1529 \text{ m/sn (tuzlu, ılık sularda)}$$

sınır değerleri verilebilir (Nakiboğlu, 1993). Sesin yayılma hızı birkaç değişik yöntemle belirlenebilir.

i-) Formüller yardımıyla ses hızının bulunması : Bu işlem için geliştirilmiş birçok formül vardır. Formüllerin uygulanabilmesi için tuzluluk, sıcaklık gibi fiziksel büyüklüklerin ölçülmesi gereklidir. Ses hızının hesaplanmasında uygulanacak formüllerden birisi, Wilson tarafından geliştirilen;

$$c_s = 1449.14 + \Delta V_T + \Delta V_P + \Delta V_S + \Delta V_{STP} \quad (4.3)$$

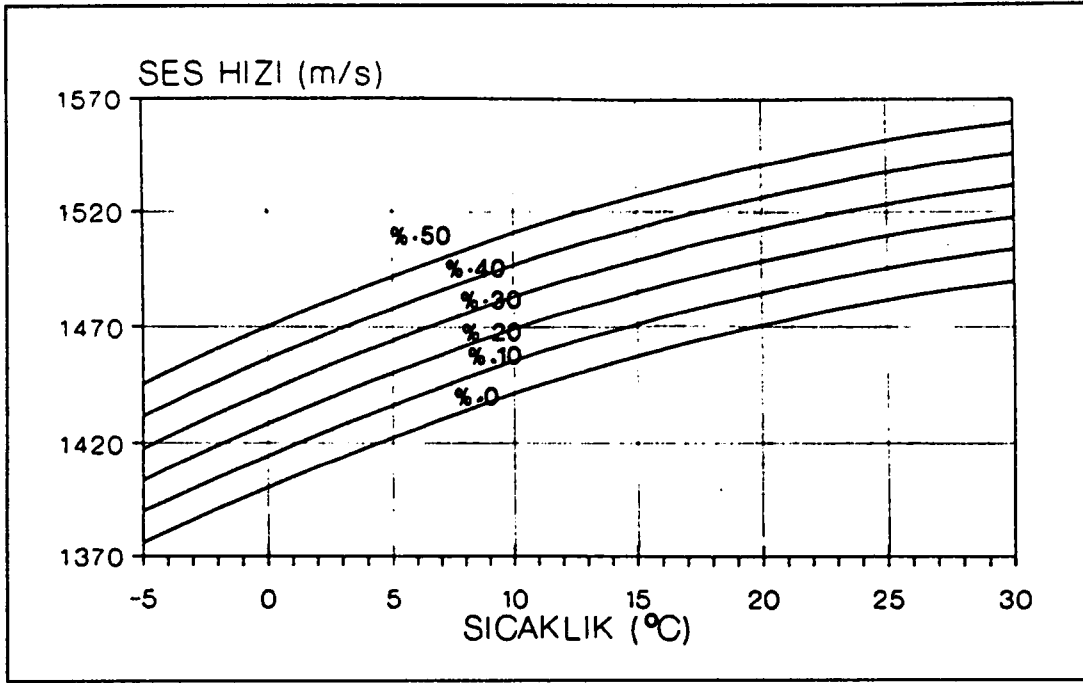
ifadesidir. Burada, T ; sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), P ; basınç (kg/cm^2), s ; tuzluluk (% 0.1) değerleridir. Birçok ölçme için yeterli olabilecek daha basitleştirilmiş formül ;

$$c_s = 1449.2 + 4.623T - 0.0546T^2 + 1.391(s - 35) \quad (4.4)$$

şeklinde (Doğan ve Alpar, 1992). Özellikle okyanuslar için Kinsley/Frey tarafından verilmiş bir başka formül de şöyledir (Doğan ve Alpar, 1992);

$$\begin{aligned} c_s = & 1449.05 + 45.7T - 5.21T^2 + 0.23T^3 + (1.333 - 0.126T + 0.009T^2)(s - 35) + \\ & (16.23 + 0.253T)(D(1 - 0.0026 \cos L)) + (0.213 - 0.1T)(D(1 - 0.0026 \cos L))^2 + \\ & (0.016 + 0.0002(s - 35)T)(D(1 - 0.0026 \cos L)) \end{aligned} \quad (4.5)$$

Formülde: T ; sıcaklık($^{\circ}\text{C}$)/10, L ; enlem, D ; derinlik(km), s ; tuzluluk(ppm) değerleridir. Aşağıda verilen şekil yardımıyla da ses hızı grafik olarak belirlenebilir. Örneğin 15°C sıcaklığı ve %0.10 tuzluluğu olan bir ortam için geçerli olan ortalama ses hızı yaklaşık 1470 m/s 'dir.



Şekil 4.2. Ses Hızının Grafik Olarak Belirlenmesi

ii-) Bar-check yöntemi ile ses hızının belirlenmesi: Ölçme yapılan ortamda bir yansıtıcı yüzey transdüserin altına gelecek şekilde belirli bir derinliğe indirilir. Bu durumda derinlik ölçerde okunan değerle, bilinen derinlik değeri karşılaştırılır. Gerçek derinlik ile kayıttan okunan derinlik arasındaki fark, kayıt okuma presizyonundan fazla ise, ya derinlik ölçerin ses hızı değiştirilir ya da ölçüler düzeltilir. Bu işlem birkaç farklı derinlikte yapılmalıdır. Böylece, hesaplanacak olan düzeltilmiş ses hızının doğruluğu artırılmış olur.

c_s^o , derinlik ölçerin derinliklerin hesabında kullandığı ses hızı; c_s , ortamdaki gerçek ses hızı; d , yansıtıcı yüzeyden elde edilen (bilinen) derinlik değeri ve d_g de aletten okunan derinlik değeri olmak üzere;

$$t = \frac{2d}{c_s} = \frac{2d_g}{c_s^o} \quad (4.6)$$

$$c_s = c_s^o \frac{d}{d_g} \quad (4.7)$$

Bu durumda herhangi bir derinlik değerine ait düzeltme;

$$d_{\text{düzelt.}} = d_g \frac{c_s}{c_o} \quad (4.8)$$

formülü ile bulunur. Bar-check yönteminin uygulanmasında, yansıtıcı yüzeyin 30 m'den daha derinlere indirilmesi gerçek derinlik okumasının doğruluğunu azaltacağından, sakıncalıdır (Ingham, 1992, Doğan ve Alpar, 1994).

Bunların dışında bir hızölçer (velocity-meter) yardımıyla da sesin hızı belirlenebilir. Ölçme taşıtında suya daldırılan aletle hız doğrudan doğruya ölçülür.

4.4.4.3 Akustik yöntemle ölçülen derinliklerin düzeltilmesi ve indirgenmesi

Akustik iskandil, en sağlıklı derinlik ölçme yöntemidir. Ancak tüm ölçmelere olduğu gibi bu ölçmelere de birtakım hatalar etki eder. Bunlar su ortamının neden olduğu hatalar (ses hızı hatası, su seviyesindeki düzensiz değişimlerden oluşan kaba hatalar vb.), aletsel hatalar (seyir süresi hatası vb.) ve kişisel hatalar (aletin hatalı düzenlenmesi, yanlış okuma, transdüser derinliğinin yanlış ölçülmesi vb.)dır. Bunlardan ilk iki gruba giren hataları en alt seviyede tutmak ya da tamamen ölçülerden uzaklaştırmak için ölçülen derinlik değerleri düzeltilmelidir. Düzeltilmiş derinlik değeri H_d ;

$$H_d = H' + a + dH_V + dH_e + dH_a + dH_H + dH_{PR} \quad (4.9)$$

bağıntısı ile belirlenir. Burada; H' ;ölçülen derinlik değeri, a ; transdüser derinliği, dH_V ; hız düzeltmesi, dH_e ; eğim düzeltmesi, dH_a ; aletin ayar düzeltmesi, dH_H ; dalgadan dolayı teknenin düşey yöndeki hareketi sonucu ortaya çıkan hata=bat-çık etkisi (heave) düzeltmesi, dH_{PR} : boyuna salınım(pitch) ve yalpa(roll) düzeltmesidir.

• **Transdüser derinliği düzeltmesi** : Ölçmeler yapılırken transdüser su yüzeyinden belirli bir derinliğe indirilir. Transdüserin altındaki derinlikler ölçüldüğünden, su yüzeyine göre derinliği belirlemek için transdüser ile su yüzeyi arasındaki uzaklık tüm derinlik değerlerine eklenmelidir. Bunun yerine kayıt kağıdının sıfır referansı (a) miktarı kadar kaydırılabilir. Modern ölçme donanımları ile yapılan çalışmalarda ise a

değeri ölçmelere başlamadan önce bilgisayara girilerek tüm derinlikleri otomatik olarak düzeltmek mümkündür.

• **Hız düzeltmesi** : Sesin su içindeki yayılma hızı ortamın fiziksel parametrelerine ve derinliğe bağlı olarak değişim gösterir. Aletin kalibre edildiği ses hızı değeri ile çalışma ortamındaki gerçek ses hızı değeri birbirinden farklı ise derinlik ölçülerine hız düzeltmesi getirilmelidir. Düzeltmenin matematiksel ifadesi:

$$dH_V = H' \frac{V_{ort} - V_o}{V_o} \quad (4.10)$$

şeklindedir (Algül, 1989). V_{ort} ; çalışılan ortam için geçerli olan ortalama ses hızı, V_o 'da derinlik ölçerin kalibre edildiği ses hızı değeridir. Derinliklerin bu şekilde düzeltilmesi yerine, çalışma ortamı için ortalama bir ses hızı belirleyip, derinlik ölçerin ses hızını bu değere ayarlayarak ölçmeleri yapmak daha pratik bir çözümdür. Ancak bunun için aletin ses hızının ayarlanabilir olması gereklidir.

• **Eğim düzeltmesi** : Akustik iskandil aletinden gönderilen ses impulsları en kısa yolu katetmek suretiyle zemine çarpıp geri dönerler. Bir koni şeklinde gönderilen bu impulslar özellikle eğimli su altı zeminlerde yapılan ölçmeleri olumsuz etkiler. Kullanılan transdüserin tepe açısı α_e , zeminin eğimi β_e olmak üzere eğim düzeltmesi;

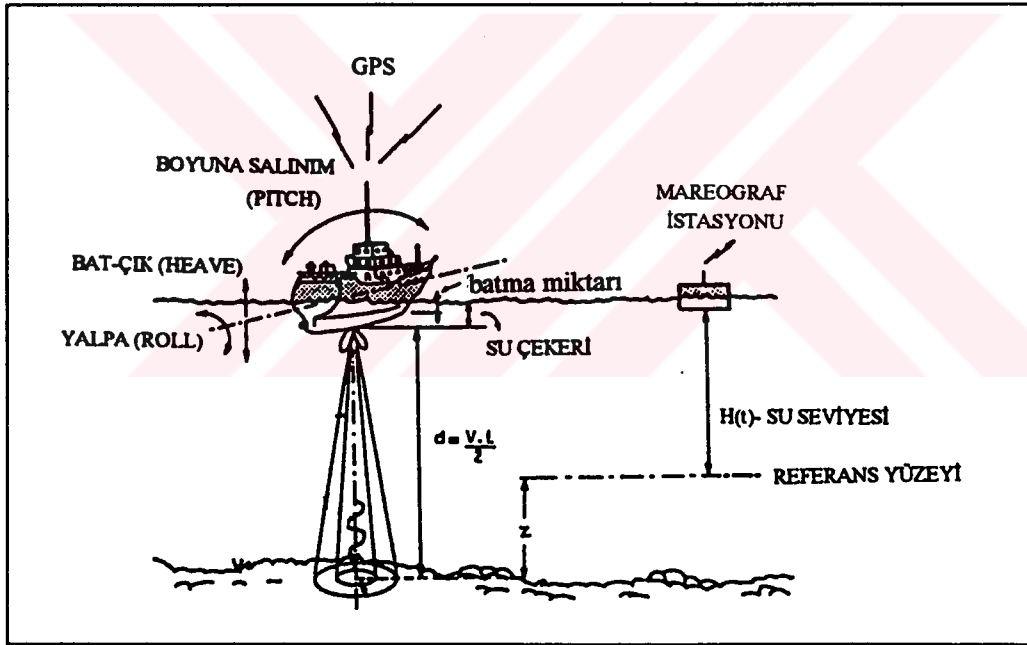
$$dH_e = H' \sin \frac{\alpha_e}{2} (\tan \beta_e - \tan \frac{\alpha_e}{4}) \quad (4.11)$$

bağıntısı ile hesaplanır (Algül, 1989). Sualtı zeminin eğiminin $\leq \alpha_e/4$ olması durumunda hatanın etkisi ihmal edilir. Eğim düzeltmesi değerini küçültmek ve ihmal edilebilir bir sınıra yaklaştırmak için ses konisinin çıkış açısı 2° 'den küçük olan yüksek frekanslı aletler geliştirilmiştir (Alpar, 1993).

• **Ayar düzeltmesi** : Derinlik ölçerin normal çalışma düzeninin bozulması veya yetersiz düzenlemeler sonucu ortaya çıkan hatadır. Su yoğunluğu ve derinliği bilinen bir yerde yapılan ölçmelerle hata miktarı belirlenir (Özgen ve Algül, 1977).

• **Bat-çık (heave) düzeltmesi** : Hidrografik derinlik ölçme işlemindeki önemli hata kaynaklarından birisi, ölçme taşıtının düşey yöndeki hareketi sonucu derinlik ölçülerinde ortaya çıkan, özellikle çok dalgalı ortamlarda yapılan ölçmelerde anlamlı olarak derinliklerin hatalı ölçülmesine neden olan “bat-çık etkisi” dir. Bu etki sonucu ortaya çıkan hataların büyüklüklerinin belirlenip ölçülerden etkisinin giderilmesi için 1980’li yıllardan bu yana birçok yöntem ve alet geliştirilmiştir.

• **Boyuna salınım (pitch) ve yalpa (roll) düzeltmeleri**: Ölçme aracının baş-kıç doğrultusundaki hareketine boyuna salınım (pitch), iskele-sancak doğrultusundaki hareketine ise yalpa (roll) adı verilir. Söz konusu bu etkilerin belirlenip ölçülerden uzaklaştırılması için son çeyrek yüzyılda çok sayıda alet geliştirilmiştir. Bu aletler kullanılarak yalpa ve boyuna salınım değerlerinin açı biriminde büyüklükleri ölçülür. Bat-çık, boyuna salınım ve yalpa etkileri Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



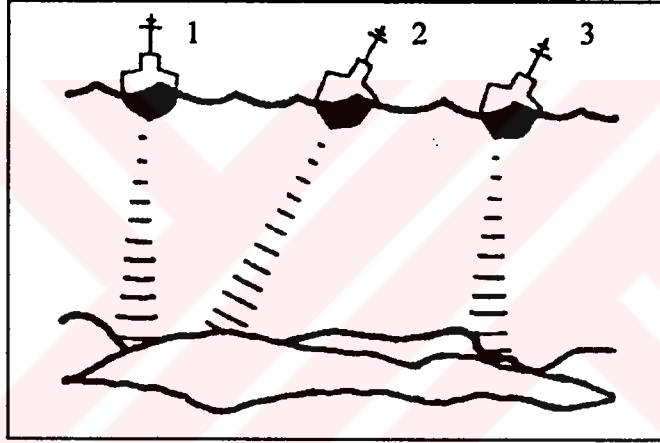
Şekil 4.3. Bat-çık, Boyuna Salınım ve Yalpa Etkilerinin Geometrik Gösterimi

Herhangi bir deniz aracının yalpa periyodu, geminin genişliği, enine jirasyon yarıçapı ve enine metasentr yüksekliği ile belirlenebilir. Bunun için birçok formül ve yaklaşım vardır. Ancak genel bir ilişki şu bağıntı ile verilir (Martin, 1994):

$$T_s = \frac{CB}{(GM)^{1/2}} \quad (4.12)$$

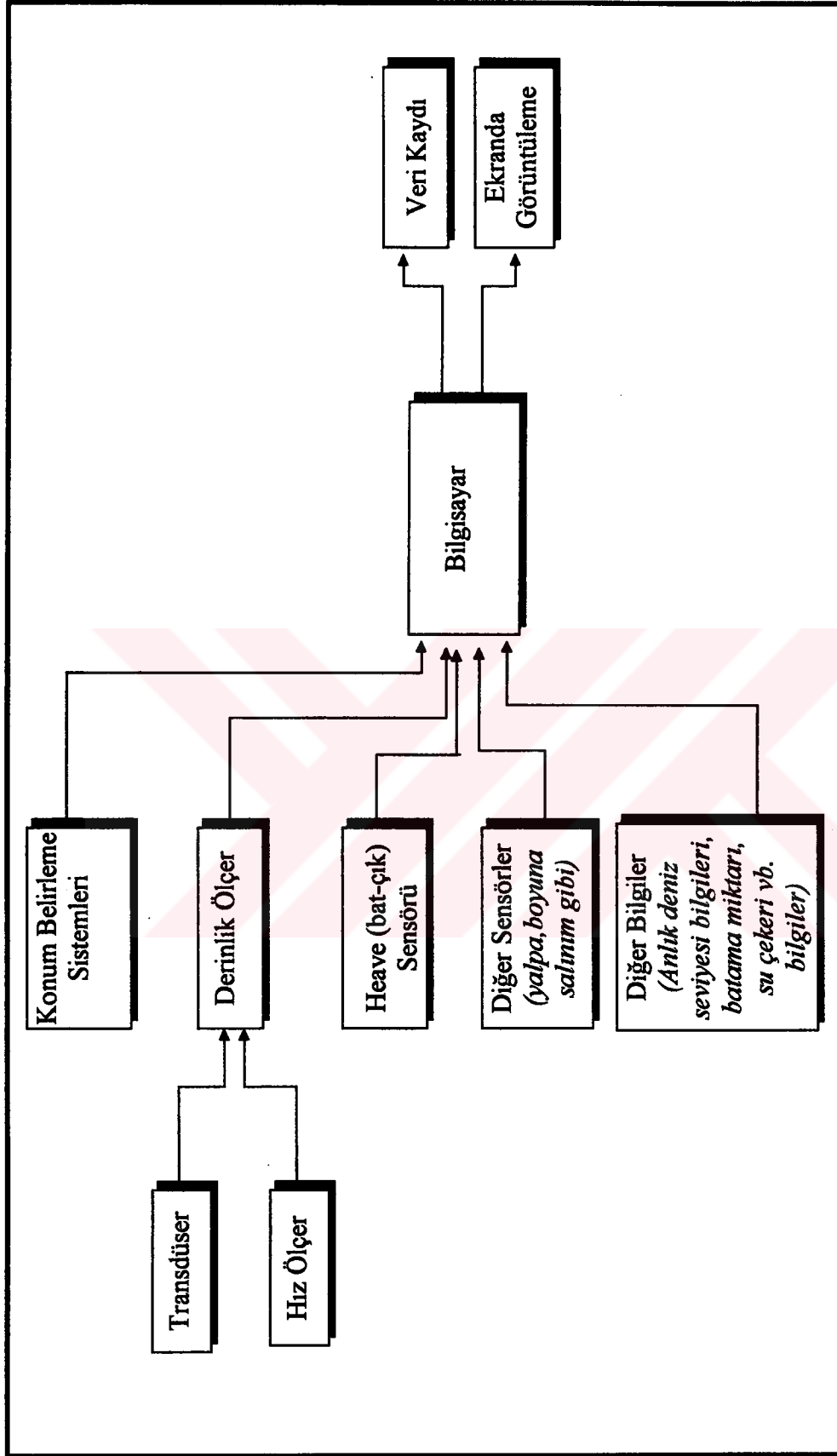
Burada, C ; 0.34 ila 0.46 arasında değişen enine jirasyon yarıçapı, B ; gemi genişliği (feet), GM ; enine metasantr yüksekliği (feet) dir.

Pratikte yalpa ve boyuna salınım etkilerini ortadan kaldırmak veya en aza indirmek için transdüserin kardani (çift eksenli) bir mafsalla taşıta yerleştirilerek sürekli olarak düşey konumda olması sağlanabilir. Aksi takdirde transdüser eğilerek, eğik derinliklerin ölçülmesine neden olacaktır (Şekil 4.4) (Özgen ve Algül, 1977). Ancak bu düzeneğin bat-çık etkisinin ortadan kaldırılmasına bir katkısı yoktur. Şekil 4.4’de 1 no.lu taşıt yalpa etkisi olmayan bir ortamda derinlik ölçme işlemini, 2. taşıt, yalpa etkisinin olduğu ancak kardani mafsallın kullanılmaması durumunu ve buna bağlı olarak derinliklerin hatalı ölçülmesini, 3. taşıt ise yalpa etkisinin olduğu ve kardani mafsallın kullanılması durumunda derinliklerin hatasız ölçümünü göstermektedir.



Şekil.4.4. Yalpa Etkisinin Kardani Mafsallı Transdüser ile Ortadan Kaldırılması

Şekil 4.5’de modern bir ölçme sisteminin akış diyagramı verilmiştir.

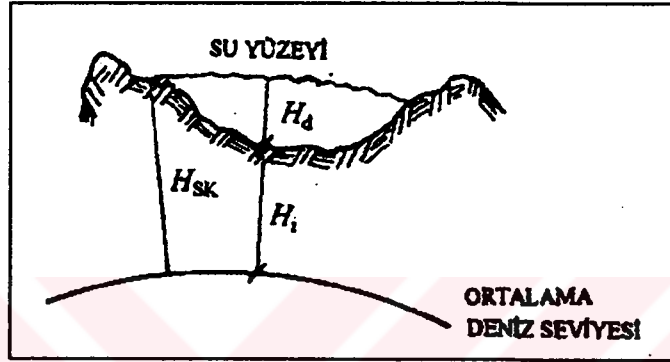


Şekil 4.5. Modern Bir Hidrografik Çalışmaya Ait Akış Diyagramı

Ölçülen derinlik değerleri düzeltildikten sonra ortak bir yüzeye indirgenmelidir. Bunun için ölçme yapılan zaman aralığındaki su ortamının değişimleri mareograf ölçmelerinden yararlanarak hesaplanır (Özgen ve Algül, 1977). Mareograf yardımıyla belirlenen ortalama su seviyesinin kotu H_{SK} , derinlik ölçmesi yapılmış herhangi bir noktanın referans yüzeyine göre kotu H_i ;

$$H_i = H_{SK} - H_d \quad (4.13)$$

bağıntısı ile hesaplanır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Bir Derinlik Ölçüsünün Referans Yüzeyine İndirgenmesi

4.4.5 Bat-çık hareketi, yalpa ve boyuna salınım düzeltmelerinin hesabı

1980 yılından itibaren söz konusu bu etkiler sonucu ortaya çıkan hataların belirlenip ölçülerden uzaklaştırılması için çalışmalar yapılmaktadır. Bu amaçla birçok yöntem ve alet geliştirilmiştir. Geliştirilen aletlerin bir kısmı, ölçmeler süresince ölçme taşıtının düşey hareket miktarını kaydedip, ölçmeler bittikten sonra değerlendirip ölçülere düzeltme getirecek şekildedir. Ancak modern sistemlerde bu işlem akustik derinlik ölçerin hemen üzerine monte edilen sensörler yardımıyla, hataların ölçme anında belirlenip derinlik ölçülerinden uzaklaştırılması şeklinde yapılır. Bu işlem için, ölçme taşıtındaki bir bilgisayar ve yazılımdan yararlanılır (örneğin Atlas firmasının geliştirdiği PROFIMAP yazılımı gibi). Bu bilgisayara konum bilgileri, boyuna salınım ve yalpa açıları, derinlik ölçerin transdüseri ile konum belirlemesi yapılan noktalar arasındaki dışmerkezlik parametreleri, transdüserin su yüzeyinden olan derinlik değeri, anlık deniz seviyesi bilgileri (mareograf okumaları), geminin batma miktarı (squat), su çekme miktarı (draft) gibi birçok bilgi girilmektedir. Böylece ölçmeler bittikten sonra elde edilen veriler, bir işlemden geçirildikten sonra (hatalı noktaların ayıklanması, GPS

kullanılıyorsa, yansıma etkisi sonucu ortaya çıkan hatalı konum bilgilerinin ayıklanması vb. gibi) doğrudan haritalarının çizilebilmesi mümkün olur.

1978 yılında kullanıma sunulan Datawell Elhi, Colubrook Type A ve Anschütz gibi bat-çık ölçme sistemleri, doğrudan derinlik ölçerin transdüserinin üzerine yerleştirilen sistemlerdir. 1980 yılında geliştirilen Datawell Hippy 120 C ve Applied Dynamics Europe Deico sensörlerinden özellikle Hippy 120 C aleti, çok iyi performans sağlayan bir sistemdir (van Woerden, 1986). Bat-çık etkisinin ortadan kaldırılması için değişik yöntemler vardır. Bunlar iki grupta ele alınabilir.

a-) Verilerin Filtrelenmesi: Bu işlem için ölçmelerin yapıldığı esnada kağıtlara yapılan kayıtlardan faydalanılarak büroda birtakım hesaplar yapılır. Özellikle düşük ölçme hızlarıyla yapılan çalışmalarda ve dip topoğrafyasının değişiminin çok az olduğu ortamlarda yapılan uygulamalar için etkili bir yöntemdir. Ancak deniz çalışmalarında uygulanması çok güçtür ve çalışmanın hızını da olumsuz olarak etkiler

b-) Ölçme Aracının Düşey Hareketinin Ölçülmesi: Daha etkili olan bu yöntemde ya kıyadaki sabit bir noktadan tekneye ölçmeler yapıp ya da söz konusu hareketin büyüklüğünün teknedeki sensörlerle belirlenip otomatik olarak, yapılan ölçülerden uzaklaştırılmasıyla hata giderilir.

Sensörler yardımıyla yapılan çalışmalarda, atmosferik koşullardan etkilenilmeden hata giderilir. Sistemin yüksek maliyeti sonucu (30 000-100 000 \$) sensörlerin kullanımı ancak büyük firmalar ve denizcilik enstitüleri ile sınırlı kalmış, ticari bir uygulama alanı bulamamıştır. Dolayısıyla bu hareketin ölçmelere olan etkisi çoğunlukla ihmal edilmektedir.

Söz konusu hareketlere neden olan en önemli etken, dalgadır. Özellikle küçük ölçme taşıtlarında yapılan ölçmelerde personelin taşıt içerisindeki hareketi de rastlantısal olarak bu etkilere neden olur. Dalga hareketi üç kategoride incelenebilir;

- i-) Gel-git dalgaları,
- ii-) Büyük dalgalar,
- iii-) Rüzgarın neden olduğu dalgalar.

Bunların içerisinde esas olarak rüzgar kaynaklı dalgalar ölçme taşıtının hareketine neden olur. Genlikleri 20 m'ye kadar ulaşan bu dalgaların periyotları 1 ila 20 saniye arasında olup, su yüzeyinde periyotları ile orantılı bir hızla hareket eder. Hız için şu bağıntı verilir (Hopkins, 1981):

$$v = \frac{Tg}{2\pi} \quad (4.14)$$

Burada v ; yayılma hızı, T ; dalga'nın periyodu, g ; gravite sabitidir.

Örneğin, 5 saniye periyodlu dalgalar (4.14) bağıntısına göre 15 knotluk ($\cong 7.7$ m/s) bir hızla ulaşır. Bu dalgaların etkisi sığ sularda azalır. Dalga'nın ulaşabileceği en büyük hız değeri;

$$v = \sqrt{gd} \quad (4.15)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada; d suyun derinliğidir. Kıyıya yakın bölgelerde dalgaların periyodu ortalama 5 ila 10 saniye arasındadır.

Ölçme taşıtının düşey doğrultudaki hareketinin periyodu ile düşey doğrultudaki harekete neden olan dalgaların periyotları birbirinden farklıdır. Ölçme taşıtının bat-çık hareketinin periyodu taşıtın rotasına ve hızına bağlı olarak değişir. Doppler etkisi ile açıklanabilecek bu olay;

$$T = \frac{\gamma}{1 - \frac{s}{S}} \quad (4.16)$$

bağıntısı ile ifade edilir (Hopkins, 1981). Burada T ; ölçme taşıtının bat-çık hareketinin periyodu, γ ; taşıta etki eden dalga'nın periyodu, S ; taşıta etki eden dalga'nın hızı ve s ; taşıtın dalga yönündeki hız bileşenidir. Bat-çık, yalpa ve boyuna salınım etkileri sadece derinlik ölçmelerine değil, derinlik ölçmesi yapılan noktanın konumuna da etki eder. Sığ sularda bat-çık hareketinin derinliklere olan etkisi, konum ölçmelerine olan

etkisinden yüzde olarak daha fazladır. Derin sularda durum tersine döner, bat-çık düzeltmesi derinliğin çok küçük bir yüzdesi mertebesindeyken, konum düzeltmesi anlamlı büyüklüklere ulaşır.

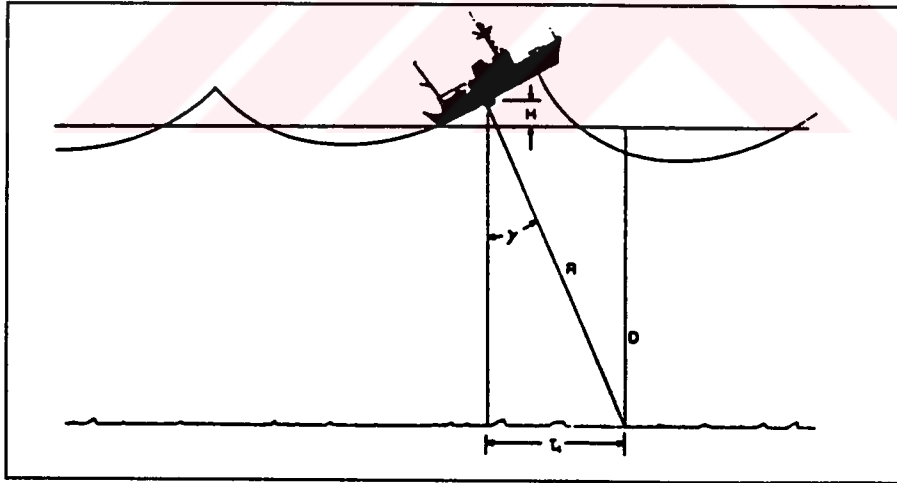
Bat-çık, yalpa ve boyuna salınım değerlerinin ölçüldüğü zaman ile transdüserden gönderilen sinyallerin zamanı eşzamanlı olmalıdır. Dalgaların sinüsoidal hareket yaptığı varsayımıyla ölçme taşıtının maksimum düşey hızı:

$$C_h = \frac{\pi H}{T} \quad (4.17)$$

bağlantısı ile hesaplanır (van Woerden, 1986). Burada, C_h ; ölçme taşıtının düşey doğrultudaki hızı (m/s), T ; bat-çık hareketinin periyodu (saniye), H da, genliğini göstermektedir. Örneğin 1 m genliğe sahip, 3 saniye periyotlu bir dalga karşısında ölçme taşıtının düşey hareket hızı;

$$C_h = \frac{\pi H}{T} = \frac{\pi \cdot 1 \text{ m}}{3 \text{ sn}} = 1.05 \text{ m/s} \quad (4.18)$$

olarak bulunur. Bir başka deyişle, 0.2 saniyelik bir zaman farklılığı, sonuçta yaklaşık 21 cm'lik bir hataya neden olur.



Şekil 4.7. Bat-çık Hareketinin Geometrisi

Bat-çık değeri, yalpa ve boyuna salınım açıları biliniyorken, düzeltilmiş derinlik değeri ve konum ölçmelerinde meydana gelen yatay yer değiştirme miktarları;

$$D = \frac{1}{2}(H_g + H_a) + R\sqrt{1 - \sin^2 \alpha - \sin^2 \beta} \quad (4.19)$$

$$L = R\sqrt{\sin^2 \alpha + \sin^2 \beta} \quad (4.20)$$

bağıntıları ile hesaplanır (Hopkins, 1981). Bağıntılarda D ; düzeltme getirilmiş doğru derinlik değeri, L ; yataydaki yer değiştirme hatası, α ; boyuna salınım açısı, β ; yalpa açısı, H_g ; impulsun gönderildiği andaki bat-çık hareketinin değeri, H_a ; impulsun alındığı andaki bat-çık hareketi değeri, R ; derinlik ölçerden okunan değerleri göstermektedir (Şekil 4.7).

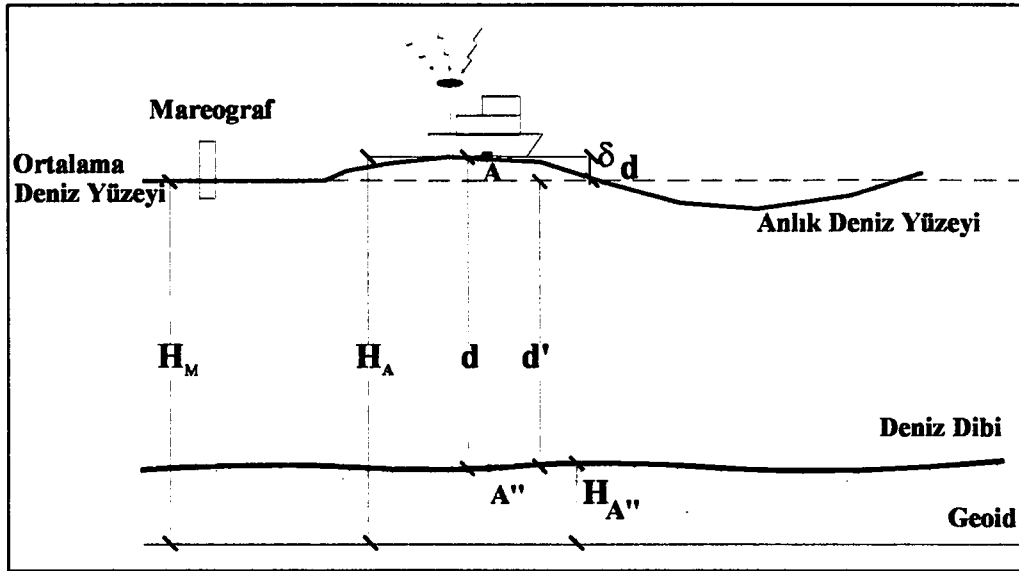
Transdüser ile diğer sensörler geometrik olarak aynı yerde değilse, transdüserdeki düzeltmeler hesaplanmalıdır. Bunun için;

$$H_T = H_S + X \sin \alpha + Y \sin \beta + Z(1 - \cos \gamma) \quad (4.21)$$

bağıntısı kullanılır (Hopkins, 1981). Burada, H_T ; transdüserdeki bat-çık değeri, H_S ; sensörde ölçülen bat-çık değeri, X ; sensör ile transdüser arasındaki uzaklığın, baş-kıç yönündeki bileşeni, Y ; sensör ile transdüser arasındaki uzaklığın, iskele-sancak yönündeki bileşeni ve Z de sensör ile transdüser arasındaki düşey uzaklıktır.

4.4.5.1 Bat-çık etkisinin GPS yöntemi ile yok edilmesi için bir yöntem önerisi

Hidrografik uygulamalarda çoğu kez durgun su yüzeyi bulmak olanaksızdır. Özellikle rüzgarlar ve hareket halindeki gemilerin oluşturduğu dalgalar sonucu ölçme taşıtı yükselip-alçalmakta veya sağa-sola yalpa yapmaktadır. Ölçmeler bu dalgaların herhangi bir yerinde yapılmakta fakat, durgun su yüzeyinde yapılmış gibi kabul edilerek kota dönüştürülmektedir. Son yıllarda özellikle gelişmiş ülkelerde bu hatayı ortadan kaldırmak için “bat-çık kompensatörleri” kullanılmaktadır. Ancak bu aletler çok pahalı olduğundan uygulamada yaygın olarak kullanılamamaktadır. Bu çalışmada yukarıda tanımlanan hata miktarının kompensatör kullanılmaksızın belirlenip ölçülerden uzaklaştırılması için bir yöntem önerilmektedir. Problemin geometrisi Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Herhangi Bir Ölçme Anında Teknenin Su Üzerindeki Konumu

Şekildeki derinlik ölçmesi yapılan bir A'' noktasının kotu:

$$H_{A''} = H_M - d \quad (4.22)$$

bağıntısı ile hesaplanır. H_M , mareograf okumaları ile bulunan, ölçme yapılan zaman aralığı için hesaplanan ortalama deniz seviyesinin kotu, d , derinlik ölçerden alınan düzeltilmiş derinlik değeridir. Ancak A'' noktasının gerçek kotu, bağıntıda d yerine d' değerinin konulmasıyla hesaplanan değerdir. Bir başka deyişle, şekle göre, gerçekte A'' noktasının kotu şu bağıntı ile hesaplanmalıdır:

$$H_{A''} = H_M - d' \quad (4.23)$$

Buradan görüldüğü gibi:

$$\delta d = d - d' = H_A - H_M \quad (4.24)$$

büyükliğindeki hata derinlik ölçülerinde ihmal edilmektedir. Dalgalı ortamlarda birkaç desimetre, hatta metre mertebesine ulaşan hata miktarının klasik aletlerle yapılan çalışmalarda bat-çık (heave) kompensatörü kullanılmadan elimine edilmesi olanaksızdır. Bu çalışmada GPS ile yapılan ölçülerle birlikte klasik ölçüler değerlendirilerek söz konusu hatanın ortadan kaldırılması için bir algoritma ve yöntem önerilmiştir.

eşitliği elde edilir. Bağıntıda, h_A ; ölçme yapılan herhangi bir noktanın elipsoidal yüksekliği (hesaplanmış bir büyüklük), h_M de ortalama deniz seviyesinin elipsoidal yüksekliğidir.

$$H_{A''} = H_M - d' \quad (4.26)$$

$$d' = d - (h_A - h_M) \quad (4.27)$$

olmak üzere A'' noktasının ortometrik yüksekliğinin hesabında kullanılması gereken bağıntı:

$$H_{A''} = H_M - (d - h_A + h_M) \quad (4.28)$$

şeklini alır.

(4.28) bağıntısından görülebileceği gibi, ölçülen d derinliklerine δd düzeltmelerini getirebilmek için h_M ile gösterilen ortalama deniz seviyesinin elipsoidal yüksekliğinin hesaplanması gereklidir. Bununla ilgili ölçme ve hesaplar uygulama bölümünde yer almaktadır.

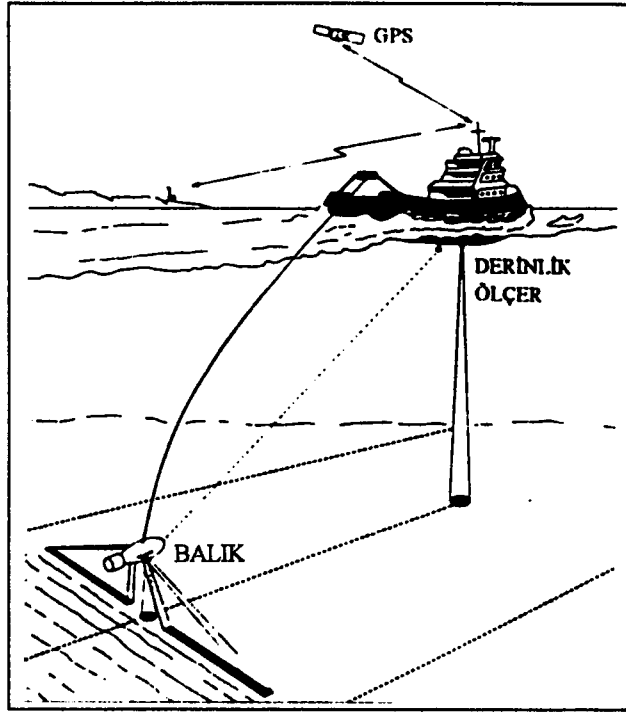
4.4.6 Diğer akustik derinlik ölçme yöntemleri

Hidrografik çalışmalarda kullanılan akustik iskandil aletleriyle hatlar üzerinde yapılan çalışmalar, çok zaman aldığından maliyetin yükselmesine neden olur. Özellikle sık hat (profil) aralığında ölçmeler yapıldığında, tek bir derinlik ölçer kullanılmasının zorluğu ve maliyetinin yüksek olacağı açıktır. Günümüzde ölçme taşıtının bir gidişinde tek iskandil aletinden elde edilenden daha fazla genişlikteki bir alanın derinlik bilgilerinin elde edilmesini olanaklı kılan sistemler geliştirilmiştir. Örneğin bu sistemlerden birisi olan Simrad EM-100 çok-hüzmeli (beam'li) sonarı 600 m'ye kadar olan derinlikteki çalışma alanlarında ölçme aracı bir hat üzerinde giderken derinliğin %75 ila %170 genişliğindeki bir şeridin derinlik değerlerini verebilmektedir (Wells, 1991). Bu tür sistemler, deniz haritacılığında geri kalmış, daha birçok hidrografik çalışmayı kısa sürede ve ucuza elde etmek isteyen ülkeler için çok uygundur. Bu sistemlerin ücreti (alet ve değerlendirme programları ile birlikte) tek bir akustik iskandil aletine göre

yüksek gibi görünse de uzun vadede düşünüldüğünde gerçek anlamda daha ucuzdur. Bu sistemlerin en önemli avantajı, kısa sürede daha fazla verinin toplanabilmesidir.

Bir akustik derinlik ölçer ile yapılan ölçmeler sonucunda ölçme yapılan profiller boyunca yüksek yoğunlukta, deniz dibi tabanına ait bilgiler elde edilebilir. Ancak bu tür bir ölçmede, ölçme hatları arasında kalan sualtı zeminine ait bilgiler elde edilemez. Hat aralıklarının sıklaştırılarak bu olumsuzluğun önüne geçilebilir (örneğin 20-25 m gibi aralıklarla ölçme yapmak gibi). Ancak bu durumda ölçmelerin hem süresi hem de maliyeti çok artar. Aşağıda sıralanan sistemler normal bir ölçme düzeni uygulayarak hatlar arası boşluk kalmayacak şekilde sualtı tabanına ait bilgilerin alınması için geliştirilmiştir. Burada ele alınan modern akustik derinlik ölçme aletleri, side-scan sonarlar, çok hüzmeli (beam'li) derinlik ölçerler ve sweep sistem olarak adlandırılan bir çok transdüserden oluşan bütünleşik sistemlerdir.

i-) Side-scan sonar sistemleri: Akustik derinlik ölçer ile sonar birbirinden farklıdır. Akustik derinlik ölçer aleti, sadece düşey doğrultuda yayın yapan bir sonardır ve temel ilkesi, eksenini yataydan hafifçe eğik olan bir akustik dalga demetinin oluşturulmasıdır. Oluşturulan bu demet, yatay düzlemde çok dar, düşey düzlemde de oldukça geniştir. Transdüserin sualtı topografyasındaki izdüşümündeki bir noktadan 500 metre ve daha fazla uzaklığa kadar yanındaki bölgelerden impuls almak mümkündür. En basit şekliyle bir side-scan sonar, transdüseri eğik olarak yerleştirilmiş ve derinlik olarak eğik uzunlukların elde edildiği bir derinlik ölçeridir. Bu yüzden side-scan sonar aletine eğik sonar adı da verilmektedir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Side-scan Sonar Sistemi

Ölçme verilerinin kayıt şekli isteğe bağlıdır. Örneğin günlük çalışmalar için video kayıtlarının kullanımı uygundur. Polaroid kameralar da yine aynı amaçla kullanılabilir.

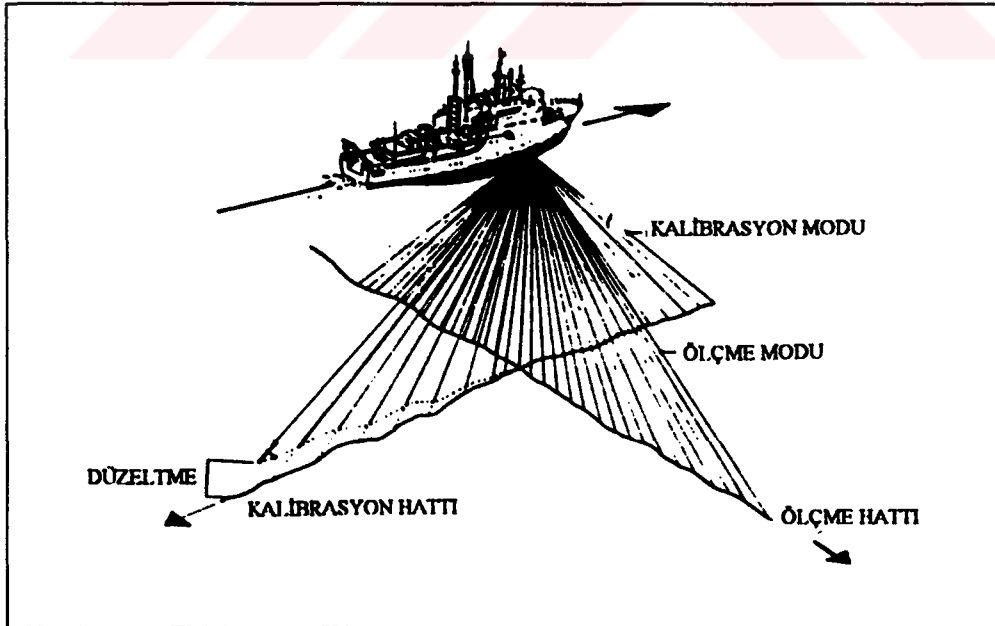
Günümüzde derinlik ölçmelerinde çok yaygın olarak kullanılan bu sistemlerle, sualtı topoğrafyasının tamamına ait bilgilerin (özelliklerin) alınması mümkün değildir. En iyi koşullarda yapılan çalışmalarda bile, deniz dibine ait bilgilerin ancak %80'i toplanabilmektedir. Bir başka deyişle deniz dibi özelliklerinin tanı oranı %80'dir. Side-scan sonar sistemleri nicel derinlik bilgilerinden çok, yansıma görüntülerini verirler. Bu görüntüler, kullanılan sistemlere bağlı olarak birkaç yüz metre genişlikteki bandlar halinde ve ± 1 metreden daha küçük bir çözünürlükle sualtı zeminine ilişkin bilgileri verir. Side-scan sonarlarla kaydedilen görüntülere sonograf adı verilir. Benzetmek gerekirse, sonograflar yüksekten devamlı olarak çekilen hava fotoğrafları gibidir. Sonograflar, görüntülerdeki bozulmalardan dolayı sualtı zemininin izometrik haritasını vermezler.

Özet olarak, side-scan sonar sistemleri ile oldukça geniş bandlar halinde taranan deniz dibine ait bilgileri elde etmek mümkündür. Çalışma sonucu elde edilen sonografların yorumlanması ve hidrografik bir althğa dönüştürülmesi masraflı ve zaman alıcı

çalışmaları gerektirmektedir. Bu sistemler, özellikle deniz dibinin homojen olduğu alanlar için kullanışlıdır. Deniz dibi topoğrafyasının düzensiz, engebeli olduğu alanlarda yapılan çalışmalarda sonardan alınan sonograflar çok fazla bozulmaya maruz kalan resimler vermektedir. Bu tür alanlarda, side-scan etkileri ile malzeme etkilerini birbirinden ayırt edip, tanımak son derece güçtür (Glittum ve diğ., 1986).

ii-) Çok hüzmeli (beam'li) akustik derinlik ölçme sistemler: Bazı yönlerden side-scan sonarlara benzeyen bu sistemlerden elde edilen doğruluklar, hemen hemen klasik akustik derinlik ölçerden elde edilen sonuçlar kadar iyidir. Sistemlerden daha iyi doğrulukta veri elde etmek için, yalpa ve boyuna salınım açıları da ölçülerek sisteme girilmelidir.

Bu sistemlerin çalışma prensibi, ölçme aracının altında bulunan sonarlardan değişik açılarla gönderilen bir çok sinyalin seyir süresi ile açı değerlerinin ölçülüp derinliklerin hesaplanmasıdır. Bazı firmaların geliştirdiği cihazlar eğik gönderilen sinyallerin gerçek zamanda kalibrasyonunu yapmak için, düşey doğrultuda da derinlik ölçüsü yapar (*Hydrosweep* Sistemi gibi). Hidrografik çok-hüzmeli (beam'li) ölçme sistemi olan *Hydrosweep*, 1986 yılında KRUPP Atlas Elektronik tarafından geliştirilmiştir (Edge ve diğ., 1990).



Şekil 4.11. Çok Hüzmeli (Beam'li) Akustik Derinlik Ölçme Sistemleri
(Atlas-Hydrosweep Sistemi)

Çok-hüzmeli (beam'li) sonarlara bir başka örnek olarak *SeaBeam* verilebilir. Bu sistem ile, derinliğin %75'i genişliğinde batimetrik profiller elde etmek mümkündür. Daha sonra geliştirilen sistemlerde bu profil genişliği, su derinliğinin %350'sine varmıştır. Bir başka sistem de *Simrad EM-100* çok-hüzmeli sonardır. Bu sistemlerde ise, su derinliğinin %75 ila %170 arasındaki genişliklerde tarama yapmak mümkündür (Wells ve diğ., 1991, Glittum ve diğ., 1986). *Simrad EM-12* sistemi ile tarama genişliği %200 ila %700 arasındadır ve buradan elde edilen çalışmaların doğruluğu su derinliğinin %0.1'i mertebesindedir. *Simrad EM-100* ile yapılan test çalışmalarında, 550 metreye varan eğik uzunluklarla ölçmeler yapılmış ve tüm hüzmelerde derinliğin %0.5'ten daha iyi sonuçlar elde edilmiştir (Glittum ve diğ., 1986). Bu konuda ilk geliştirilen sistemlerden olan *Hydrosweep* (Şekil 4.11) ile 15 knot hıza kadar su derinliğinin (maksimum 11 km) iki katı genişliğindeki alanlar, derinliğin %0.5'i doğrulukla taranabilmektedir (Edge, 1990). Pahalı olan sistemlerin birçok üreticisi olmasına rağmen çok yaygın olarak kullanılmamaktadır.

iii-) Tarama (sweep) sistemler: Sayılan bu sistemlerin dışında, ölçme aracının her iki yanına indirilen kanatların üzerine yerleştirilmiş, çok sayıda transdüserden oluşan “Kanal Tarama Sonarları”, “Sector-Scan Sonarlar”, “Parametrik Sonarlar” gibi birçok sistem de vardır (Ingham, 1992).

4.5 İskandil Yoğunluğu

Klasik bir harita alımında, arazinin tüm karakteristik noktaları ölçülür. Ancak hidrografik bir çalışmada sualtı tabanı doğrudan görülemediğinden çalışmalarda daha fazla yoğunlukta nokta alımı yapılması gerekir. Genel bir ifade ile derinlik ölçme yoğunluğu haritanın yapılış amacına, ölçeğe, sualtı zemininin topoğrafyasına bağlı olarak değişmektedir. Ortalama olarak, ölçme yapılan noktalar arası uzaklık harita üzerinde 0.5 ila 1.0 cm arasında olacak şekilde derinlik ölçmesi yapılır. Örneğin, 1:5000 ölçekli bir haritada 25 m ile 50 m arasında değişen aralıklarda ölçme yapılmalıdır. Sualtı zemininin çok düz olması durumunda bu aralıklar biraz daha genişletilebilir. Ölçmelerde akustik iskandil aletleri kullanılıyorsa ve derinlikler kayıt kağıtlarına kaydedilmişse, kağıt üzerinde enterpolasyon ile gerekli noktaların derinlik değerleri elde edilir. Bunun için sayısal derinlik modellerinden yararlanmak mümkündür.

Günümüz hidrografik çalışmalarının hemen tamamında akustik iskandil aletleri kullanılmaktadır. Bunlarla, ölçme yapılan hatlar boyunca sürekli olarak sualtı profilini izlemek mümkündür. Hat üzerinde ölçme aralıklarını belirleyen ana unsur, konum belirleme işlemidir. Özellikle GPS sistemi kullanılarak yapılan çalışmalarda bu sorun çözülmektedir. Çünkü GPS aleti ile, her 1 saniyede konum belirlenebilmektedir. Örneğin, 3 knot hızla giden bir ölçme aracında (hız sabit kalabilirse) her 1.5 metrede bir konum belirlenebilir. Dolayısıyla bu tür modern sistemlerde çalışma yapılması durumunda, hat boyunca ölçme yapılacak nokta sıklığının ayarlanması çok önemli ve gerekli değildir. Gereğinden çok fazla sıklıkta ölçme yapıp, daha sonra bunların bir kısmı atılabilir. Burada sorun, ölçmelerin süresini doğrudan doğruya arttıran (dolayısıyla maliyeti arttıran) ve ölçmelerin doğruluğunu etkileyen faktör olan ölçme hatları arasındaki uzaklıktır. Hidrografik ölçmeler, kıyıya dik ve birbirine paralel hatlar üzerinde yapılır. Tablo 4.2’de hatlar arası uzaklık ve doğrultu üzerindeki iskandil aralıkları için değerler verilmiştir (Özgen ve Algül, 1977).

Tablo 4.2. Derinlik Ölçmesi Yapılacak Noktalar Arasındaki Uzaklıklar

Derinlik Ölç. Yöntemi	İskandil Hatları Arası Uzaklıklar (cm)		Doğrultu Üzerinde İskandil Aralıkları (cm)	
	$\geq 1:40000$	$< 1:40000$	$\geq 1:40000$	$< 1:40000$
<i>Klasik Yönt.</i>	1.0	1.0-1.5	0.5-1.0	1.0
<i>Akustik Yöntem</i>	1.0	1.0-1.5	2.0-3.0	3.0-4.0

Ölçme yapılan profiler arası uzaklık doğrudan doğruya ölçeğe bağlıdır. 1:5000’den büyük ölçekli çalışmalar için hatlar arası uzaklık 25 m veya daha küçüktür (Grenier ve Hally, 1991). Ölçme hatları arasındaki uzaklık fazla ve sualtı zemininin topografyası da çok dalgalı ise (engebeli ise), daha sonraki değerlendirme işlemlerinde (enterpolasyonda) bazı hatalar ortaya çıkacaktır. Tersine topografya çok engebeli değilse, sık aralıklarla yapılan ölçme işlemleri gereksiz zaman ve parasal kayıplara neden olacaktır. Yapılacak enterpolasyon hatalarını doğuran önemli iki faktör; ölçme hatları arasındaki uzaklık ve sualtı topografyasının engebesidir (Kielland ve Dagbert, 1992).

4.6 Düşey Datumun Belirlenmesi

Dünyada gerek kara çalışmalarının bağlanması için gerekse deniz ölçmeleri için kullanılan birçok düşey datum vardır. Genelde düşey datum olarak ortalama deniz seviyesi (ODS) esas alınır. Ancak bunun bazı dezavantajları vardır (Kumar, 1997);

i-) Ortalama Deniz Seviyesi, eşpotansiyel bir yüzeyi tanımlamaz. Dolayısıyla jeoid ile çakışık değildir. Oysa düşey datum belirlenirken ODS'nin jeoid ile çakıştığı varsayılır. Yapılan çalışmalar sonucunda, ODS ile jeoid arasında zamana bağlı olarak değişen ve yüksekliği 1-2 metreyi bulan deniz yüzeyi topoğrafyasının olduğu anlaşılmıştır (Rapp, 1994). Bunun için global deniz seviyesi değişimlerinin izlenmesi amacıyla geliştirilmiş GLOSS (Global Sea Level Observing System) sistemlerinden yararlanılır.

ii-) Zaman içinde değişmediği varsayılan deniz seviyesinin aslında durağan olmadığı uydu altimetresi (uydu radar yükseklik ölçmeleri) verilerinin analizi, gelgit analizleri, oşinografik ve jeofiziksel çalışmalar sonucunda anlaşılmıştır (Hekimoğlu ve Şanlı, 1993). Hızlı sanayileşme sonucu olarak atmosferdeki karbondioksit gazı miktarı artmış ve bu artış ciddi boyutta iklim değişikliklerine neden olmuştur. Düşey yöndeki yerkabuğu hareketlerine de bağlı olarak tüm bu etkiler deniz yüzeyinin değişmesine neden olmaktadır (Hekimoğlu, 1990). Bu değişimin büyüklüğü yıllık ortalama 1-2 mm civarındadır. Düşey datum için referans yüzeyi olarak alınan jeoid zamanla değiştiği için jeoid belirlenirken bu değişimin göz önüne alınması gereklidir (Hekimoğlu, 1989).

iii-) Tüm gelgit gözlem istasyonları, kıyıya yakın bölgeler için bilgi vermektedir. Fakat bu veriler, açık denizlerde yapılan çalışmalarda yetersiz kalmaktadır.

iv-) Ortalama deniz seviyesinin yüksek doğrulukta belirlenebilmesi için düzenli ve kesintisiz 18.67 yıllık (1 lunar epoch) verilerin toplanması gereklidir.

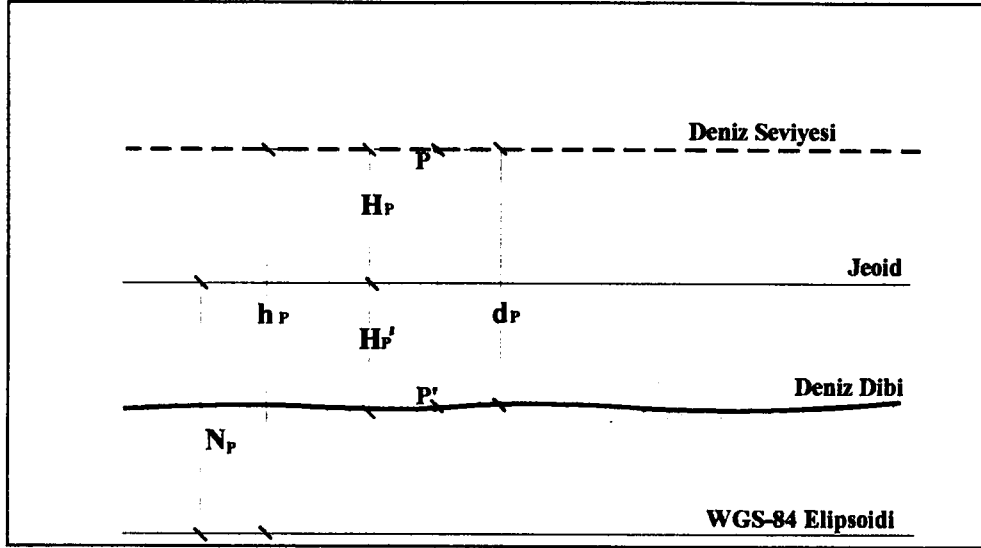
- v-) Denizlere sınırı olamayan ülkeler, ancak komşu ülkelerden datum transferi yapmak zorundadır.

Deniz çalışmaları için datum seçiminde son yıllardaki genel eğilim, En düşük astronomik gelgit (Lowest Astronomical Tide) seviyesinin kullanımı doğrultusundadır (Kumar, 1997).

Tüm dünyada, gerek kara ve gerekse denizler için ortak bir referans yüzeyinin belirlenmesi de mümkündür. Günümüzün en önemli jeodezik sorunlarından birisi, önce ulusal düşey datumun belirlenmesi, bunların bölgesel, kıtasal ve en son tüm dünya için ortak bir datumda birleştirilmesidir. GPS, uydu altimetreleri vb. gibi teknolojik gelişmeler, jeodinamik hareketlerin belirlenmesi ve deniz yüzeyinin global iklim değişiklikleri sonucu yükselmesi çalışmaları sonucu elde edilen veriler, tüm yeryüvarı için ortak bir datumun belirlenmesinin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Ülkeler arası datum farklılıkları birkaç metreyi bulmaktadır. Tüm dünya için yeni bir yüzeyin belirlenmesi sonucu mevcut tüm yükseklik ve derinlik değerlerinin yeni yüzeye göre yeniden hesaplanması gerekecektir. Burada sözü edilen jeoidin tüm dünyada belirlenmesi için, National Imagery and Mapping Agency (NIMA) ile National Aeronautics and Space Administration (NASA) çalışmalar yapmaktadır. Bu kuruluşların şimdiye kadar toplanmış gravite ve uydu altimetre verilerini kullanarak belirledikleri global jeoidin mutlak doğruluğu açık denizlerde ± 25 cm, kıyıya yakın olan bölgelerde de $\pm (0.5\sim 1)$ m arasındadır (Kumar, 1997). Böyle bir yüzeyin belirlenip kullanılmasının avantajları şöyle sıralanabilir:

- i-) Bu yüzey eşpotansiyel bir yüzey olacaktır. Dolayısıyla ODS'ndeki bazı sakıncalar, burada kendiliğinden ortadan kalkacaktır,
- ii-) Zamandan bağımsız olacaktır,
- iii-) Bir yerden başka bir yere değişim göstermeyecektir,
- iv-) Datum belirlenmesinde kullanılabilecek en önemli araçlardan biri olan GPS yöntemi, yüzey belirlendikten sonra da, klasik nivelman yerine rahatlıkla kullanılabilecek bir yöntem olacaktır.

Jeoidin tam olarak belirlenip ortak referans yüzeyi olarak alınmasıyla, GPS yöntemi kullanılarak problemin çözümü aşağıda açıklanmıştır (Şekil 4.12);



Şekil 4.12. Ortometrik Yükseklik ile Elipsoidal Yükseklik Arasındaki İlişki

Deniz seviyesine ait bir P noktasının GPS yöntemi ile belirlenen ve uygulamada doğrudan kullanılmayan elipsoidal yüksekliği h_P ve ortometrik yüksekliği H_P ise, Şekil 4.12'den;

$$H_P \approx h_P - N_P \quad (4.29)$$

yazılabilir. (4.29) bağıntısındaki N_P değeri, elipsoid ile jeoid arasındaki uzaklık, yani ondülasyon değeridir. H_P değerlerinin yeterli doğrulukta hesaplanabilmesi için, jeoidin yüksek doğrulukla belirlenmiş olması gereklidir. Bu durumda GPS yöntemi geometrik nivelmana doğruluk, hız ve maliyet açısından ciddi bir alternatif olacaktır. h_P değerinin ölçüldüğü anda P noktasında derinlik ölçer ile d_P derinlik bilgisi de ölçüldüyse, P noktasının deniz dibindeki izdüşümü olan P' noktasının ortometrik yüksekliği;

$$H_{P'} = d_P - H_P = d_P - (h_P - N_P) \quad (4.30)$$

bağıntısı ile hesaplanır (Şekil 4.12).

5. UYGULAMA

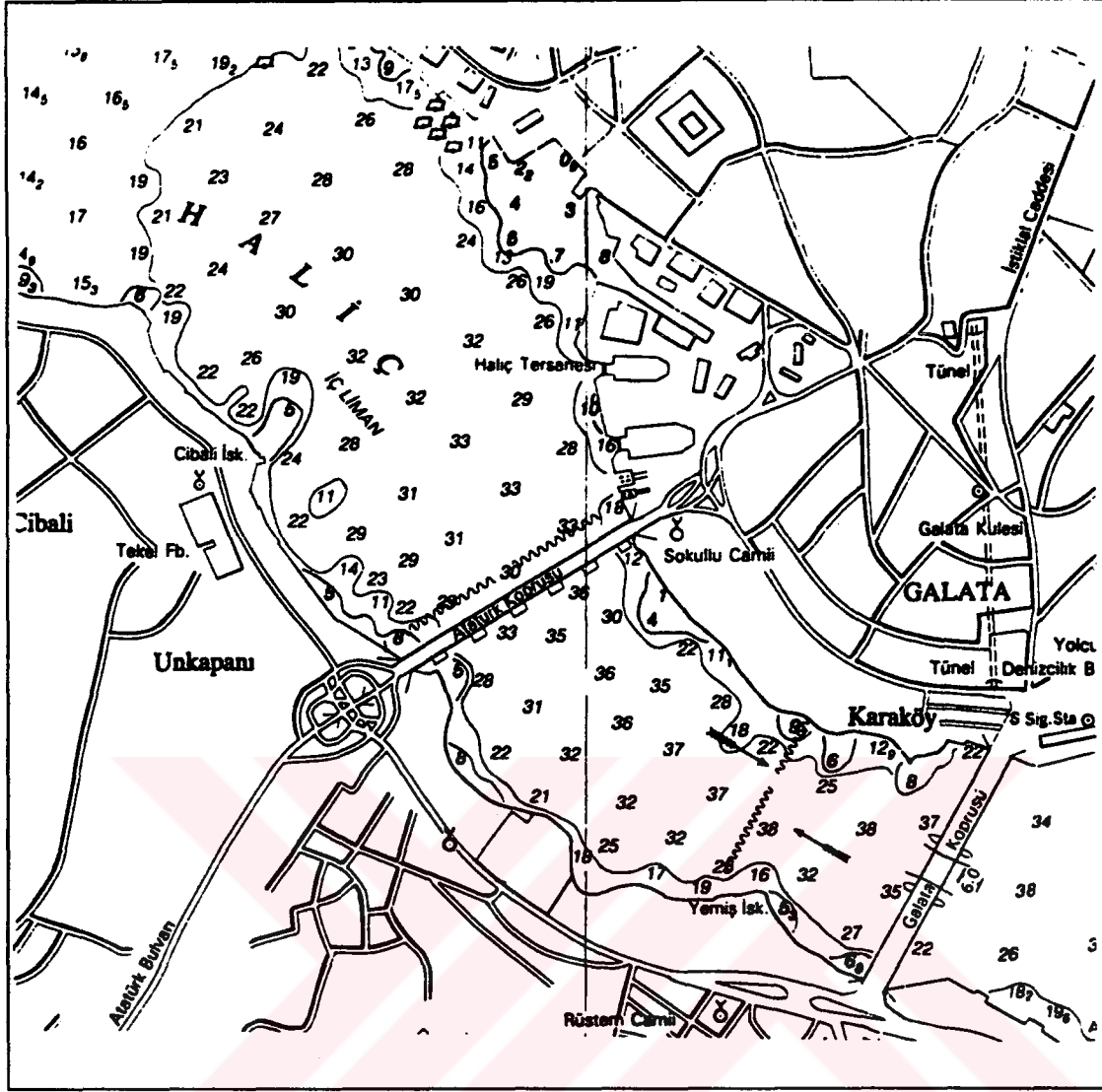
Yapılan bu çalışmada iki amaca ulaşmak istenmiştir. Bunlar:

- i-)* Dalgalı su ortamlarında bat-çık(heave), boyuna salınım(pitch) ve yalpa(roll) etkileri, derinlik ölçülerini ölçülerini olumsuz olarak etkileyen hareketlerdir. Özellikle bat-çık etkisi büyüklüğü daha fazla olan bir hareket olup, bir kompansatör yardımıyla elimine edilebilir. Çalışmada klasik ölçmeler ile GPS ölçmelerini birleştirmek suretiyle bat-çık hareketinin etkisini ölçülerden uzaklaştırmaya, böylece derinlik değerlerinin presizyonunu arttırmaya yönelik bir yöntem ve algoritma geliştirmek,
- ii-)* Tüm hidrografik ölçmelerde tesis edilmesi gerekli olan klasik mareograf istasyonlarını kullanmaksızın, GPS ölçmeleri ile ortalama deniz seviyesini belirlemektir.

Bu konuları araştırmak için öncelikle bir çalışma bölgesi belirlenmiştir. Daha sonra bu bölgede değişik tarihlerde 3 kez uygulama yapılmıştır. Ancak bunlardan 2. ve 3. uygulamalarda GPS verileri kaydedildiğinden, sadece bu ikisi çalışma kapsamına alınmıştır. 1. uygulamada GPS alıcısının kontrol ünitesine kayıt yapılmaksızın, anlık (real-time) olarak alınan veriler doğrudan bir notebook bilgisayar'a kaydedilmiştir. Son iki uygulamada ise buna ilave olarak GPS alıcısının kontrol ünitesine de kayıt yapılmıştır. Yapılan çalışmanın adımları aşağıda açıklanmıştır.

5.1 Çalışma Bölgesinin Tanıtımı

Uygulamalar İstanbul Boğazının Avrupa yakasında, boğazın güney girişi yakınında yer alan Haliç'te yapılmıştır (Şekil 5.1). Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesince (SHOD) hazırlanan 1:12500 ölçekli Haliç Bölgesi haritalarına bakıldığında 37 metreye ulaşan derinlikler olduğu görülmüştür. Bölgeye ulaşımın kolay olması, uygulamalarda kullanılabilecek hidrografik taşıtların temin edilebilirliği ve daha önce bölgede kurulmuş presizyonlu bir nivelman ağının varlığı (Kalkan ve diğ., 1996), Haliç'in çalışma bölgesi olarak seçimindeki en önemli belirleyici faktörler olmuştur.



Şekil 5.1. Uygulama Yapılan Bölge

5.2 Bölgede Yapılan Jeodezik ve Hidrografik Çalışmalar

Uygulama kısmında yapılan jeodezik çalışmalar şu başlıklar altında sıralanabilir:

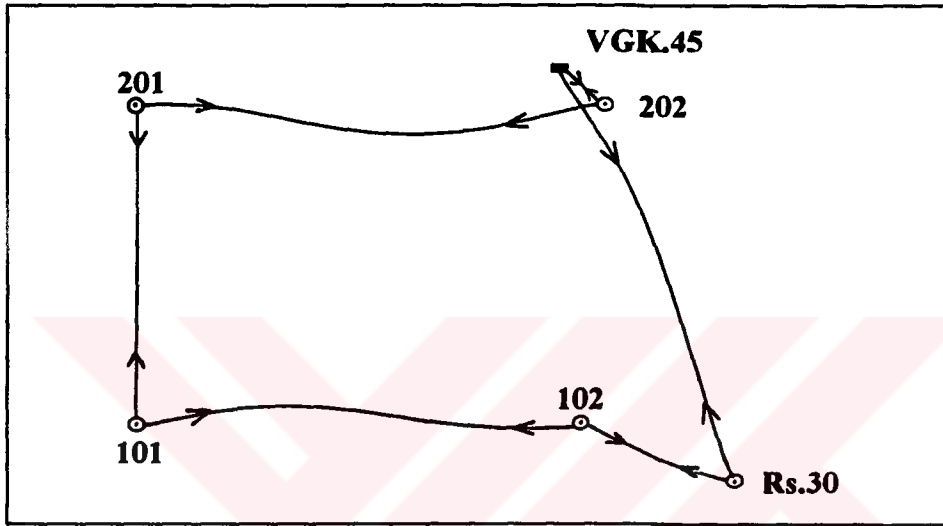
- 1-) Jeodezik noktaların tesisi,
- 2-) Jeodezik noktalara Rs'lerden kot taşınması,
- 3-) Kapalı bir şekil oluşturmak için yapılan karşılıklı trigonometrik nivelman ölçmeleri,
- 4-) Kontrol noktalarında yapılan statik GPS ölçmeleri,
- 5-) Kıyı çizgisinin dur-git (stop and go) GPS yöntemi ile ölçülmesi,
- 6-) Hidrografik ölçmeler ve mareograf okumaları.

5.2.1 Jeodezik noktaların tesisi

Bölgede çalışmaların jeodezik iskeletini oluşturmak için Eminönü yakasındaki 101 ve 102 no'lu noktalar ile, Karaköy yakasındaki 201 ve 202 no'lu noktalar olmak üzere 4 adet kontrol noktası tesis edilmiştir. Ayrıca karşılıklı trigonometrik nivelman için her iki yakada birer tane geçici nokta (N.1 ve N.2) tesis edilmiştir.

5.2.2 Jeodezik noktaların yüksekliklerinin belirlenmesi

Bu işlem için geometrik ve trigonometrik nivelman yöntemleri uygulanmıştır. Ölçmelere ilişkin kanava Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Nivelman Ağı Kanavası

Şekil 5.2'de görülebileceği gibi 201-202-VGK.45 noktalarının arasında ve 101-102-Rs.30 noktaları arasında, gidiş-dönüş olmak üzere Wild-Nak2 nivosu ile geometrik nivelman ölçmeleri yapılmıştır (VGK.45, Karaköy yakasındaki vadi geçiş nivelman noktası, Rs.30 ise Zindan Han'ın duvarındaki eski nivelman noktasıdır). Ağın doğu ucundaki 102 ile 202 numaralı noktalar VGK.45 ile Rs.30 noktalarına bağlanmıştır. Bu iki bağlantı noktası, daha önce bölgede kurulan nivelman ağına ait noktalar olup, birbirlerine vadi geçiş nivelmanı ve presizyonlu geometrik nivelman ölçüleri ile bağlanmış, dengelenmiş kotları olan noktalardır (Kalkan ve diğ., 1996). Ağın batı ucundaki 201 ve 101 noktaları arasında 23 Temmuz 1997 tarihinde Wild T.2 teodoliti ile eş zamanlı 15 tam seri düşey açı ölçülerek karşılıklı trigonometrik nivelman yapılmıştır. Hesaplar için gerekli olan kenarlar ise, TOPCON GTS-4 total station aleti ile ölçülmüştür. Böylece geometrik olarak kapalı bir nivelman ağı oluşturulmuştur. Nivelman hesabı sonucunda, 15 mm'lik bir kapanma hatası bulunmuştur. Nivelman

hesabı Tablo 5.1’de verilmiştir. Böylece tüm noktaların ülke nivelman ağına bağlı yerel kotları belirlenmiştir.

Tablo 5.1. Nivelman Özet Çizelgesi

N.N.	Gidiş Δh_i (m)	Dönüş Δh_i (m)	Ort. Δh_i (m)	Düzeltil. v_{h_i} (mm)	Düzeltil. Δh_i (m)	Kot (m)
<i>Rs.30</i>						3.000
	-1.819	1.815	-1.817	6	-1.811	
<i>102</i>						1.189
	-0.149	0.149	-0.149	0	-0.149	
<i>101</i>						1.040
	0.564	-0.614	0.589*	2	0.591	
<i>201</i>						1.631
	1.191	-1.190	1.191	4	1.195	
<i>202</i>						2.826
	-0.821	0.821	-0.821	3	-0.818	
<i>VGK.45</i>						2.008
$f_h = -0.992 - (-1.007) = 1.5 \text{ cm}$						

(*) Karşılıklı trigonometrik nivelman ile bulunmuştur.

5.2.3 Kontrol noktalarının koordinatlarının belirlenmesi

101, 102, 201 ve 202 no.lu noktaların koordinatları statik ölçme yöntemi uygulanarak GPS ölçmeleri ile belirlenmiştir. Ölçülerin doğruluğunu arttırmak ve kontrol sağlamak için 101-202 ve 201-102 kenarları da ölçülmüştür (Şekil 5.3). GPS ölçmeleri, 22 Temmuz 1997 tarihinde Wild-Leica System 300 alıcıları ile, 6 ila 7 uydudan her 5 saniyede bir ölçü alınmak suretiyle yapılmıştır. Her bir noktada 30 dakikadan daha fazla veri alınmıştır. Ölçmeler sırasında GDOP değerinin 3’den büyük olmadığı, zaman zaman 2’ye düştüğü görülmüştür. Wild-Leica firmasının SKI v.2.1 yazılımı kullanılarak değerlendirme yapılmış ve ağ dengelenmiştir. Ağın kapanması, kartezyen koordinatların dengelenmesi sonucu 6 mm ve dengeleme sonrası karesel ortalama hataları da 4.7 mm olarak hesaplanmıştır. Dengelenmiş koordinatlardan 30° dilim orta meridyeni ve 3° dilim genişliğine göre Gauss-Krüger projeksiyonundaki düzlem koordinatlar elde edilmiştir. Elde edilen dengelenmiş koordinatlar Tablo 5.2.’de, diğer işlemler ise EK-A’da verilmiştir.

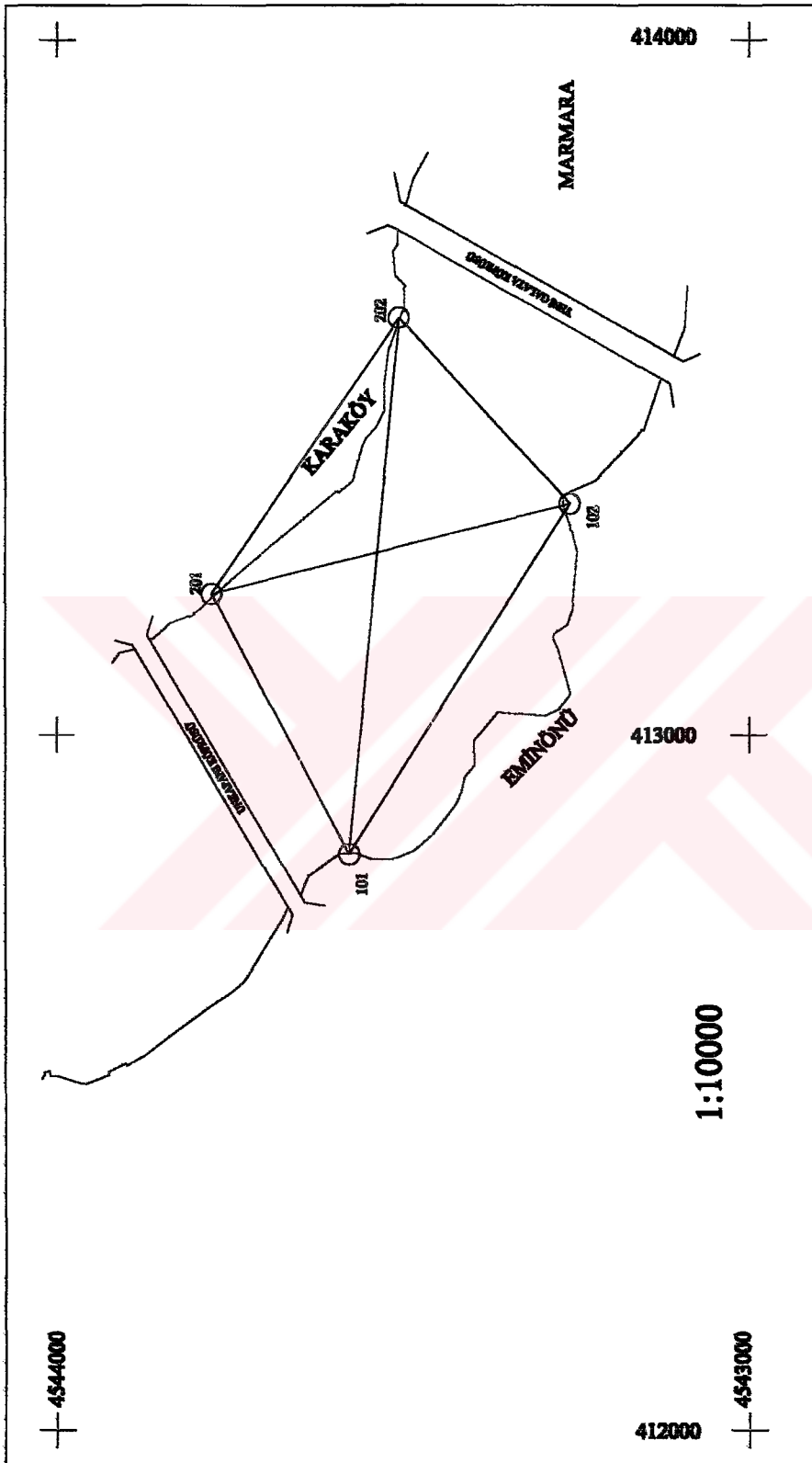
Tablo 5.2. Jeodezik Noktaların Dengelenmiş Kartezyen Koordinatları (WGS-84)

N.N.	Koordinatlar (m)	k.o.h. (m)
000101	X: 4216254.232	± 0.002
	Y: 2333604.155	± 0.002
	Z: 4164312.510	± 0.002
000102	X: 4216187.555	± 0.002
	Y: 2334147.476	± 0.001
	Z: 4164077.324	± 0.002
000201	X: 4215957.478	± 0.002
	Y: 2333865.220	± 0.001
	Z: 4164466.523	± 0.002
000202	X: 4215917.271	± 0.002
	Y: 2334300.190	± 0.001
	Z: 4164266.588	± 0.002

GPS System 300 alıcılarına ait teknik özellikler bir özet olarak Tablo 5.3’de verilmiştir (Leica, 1996b);

Tablo 5.3. Leica System 300 GPS Alıcılarının Teknik Özellikleri

<i>Frekans Sayısı</i>	: Çift Frekanslı
<i>Alıcı Kanalları</i>	: 9 L1 sürekli izleme, 9 L2 sürekli izleme
<i>L1 Kanalları</i>	: Taşıyıcı Faz, P1 kod, C/A kod
<i>L2 Kanalları</i>	: Taşıyıcı Faz, P2 kod
<i>Maksimum Uydu İzleme</i>	: 9’a kadar, L1 ve L2 sinyallerini birlikte izleyebilir
<i>İlk Faz Ölçme Süresi</i>	: 60 saniye
<i>Anten</i>	: Mikrostrip L1/L2 anteni
<i>Data Kaydı</i>	: PCMCIA, Type I SRAM kart- harici kart
<i>Ölçme Yapılabilecek Sıcaklıklar</i>	: -20°C; +50°C
<i>Baz Ölçme Doğrulukları</i>	: <u>Ölçme Şekli</u> <u>Doğruluk</u>
<i>(Faz Ölçüleri İle)</i>	Statik 5 mm + 1 ppm
	Hızlı (Rapid) Statik 5-10 mm + 1 ppm
	Tekrarlı
	(Re-occupation) 5-10 mm + 1 ppm
	Dur-git 10-20 mm + 1 ppm
	Kinematik 10-20 mm + 1 ppm



Şekil 5.3. Statik GPS Ölçü Planı

Nivelman ölçmeleri sonucu elde edilen yerel (H_i) kotlar ile, GPS ölçülerinin dengelenmesi sonucu bulunan elipsoidal (h_i) kotlardan yararlanarak çalışma bölgesine ait jeoid ondülasyon değerleri hesaplanmış ve Tablo 5.4’de gösterilmiştir.

Tablo 5.4. Çalışma Bölgesindeki Jeoid Ondülasyon Değerinin Hesabı

N.N	H_i (m)	h_i (m)	$N_i = h_i - H_i$ (m)	N_{ort} (m)
101	1.040	19.426	18.386	18.3848
102	1.189	19.577	18.388	
201	1.631	20.022	18.391	
202	2.826	21.200	18.374	

5.2.4 Dur-git (Stop and Go) yöntemi ile kıyı çizgisinin ölçülmesi

Çalışma alanının sınırlarını belirlemek için uygulama bölgesine ait kıyı çizgisi ölçülmüştür. Unkapanı köprüsünün kuzey-batısında yer alan kıyı çizgisinin askeri bölgenin içinde kalması ve tersane binaları ile onarımdaki büyük gemilerden dolayı GPS ile ölçme yapılamamıştır. Onun dışında kalan bölgelere ait kıyı çizgisi aynı alıcılar kullanılarak dur-git yöntemi ile ölçülmüştür. Ölçmelerde alıcılardan birisi 102 numaralı noktaya kurulmuş, diğeri gezici durumda iken her bir detay noktasında toplam 15 saniye ölçme yapılmıştır. Yaklaşık 2,5 kilometrelik kıyı çizgisi bir saatte ölçülmüştür.

Detay noktalarının koordinatları, 102 numaralı kontrol noktasının dengelenmiş koordinatları sabit alınarak hesaplanmıştır. WGS-84 elipsoidinde elde edilen bu koordinatlar bir yazılımla, 30° dilim orta meridyenine ve 3° dilim genişliğine göre Gauss-Krüger düzlem koordinatlarına dönüştürülmüştür. Böylece elde edilen kıyı çizgisi şekil.5.3’de gösterilmiştir.

Yapılan çalışmanın doğruluğunu kontrol etmek amacıyla, 102 hariç diğer 3 jeodezik kontrol noktasında da ölçme yapıp dengelenmiş statik ölçü sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır(Tablo 5.5).

Tablo 5.5. Statik Ölçülerle, Dur-Git Ölçü Sonuçlarının Karşılaştırılması

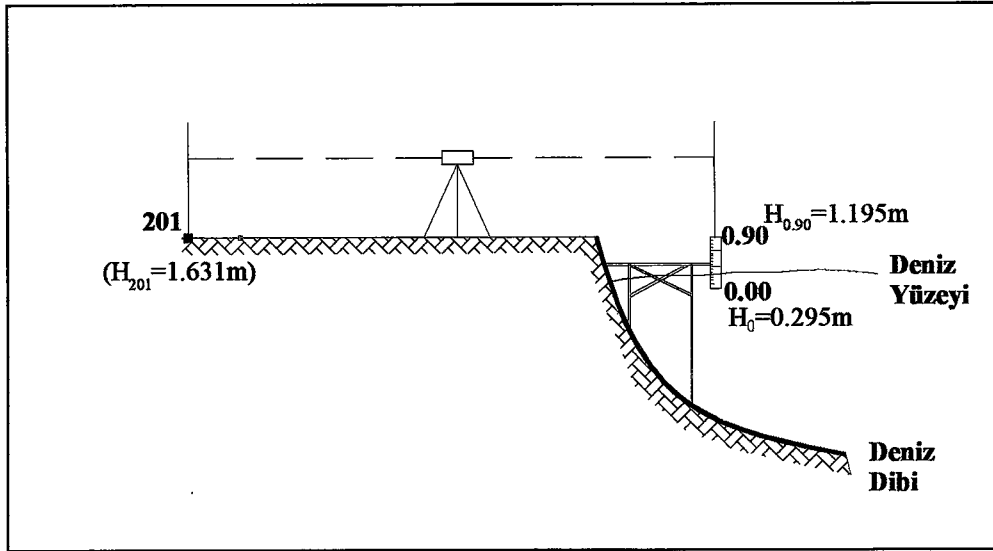
N.N	Statik Ölçü Sonuçları	Stop and Go Sonuçları	Fark (m)
201	Y= 413202.746 m	413202.750 m	-0.004
	X= 4543776.918 m	4543776.919 m	-0.001
	h= 20.035 m	20.022 m	0.013
202	Y= 413599.631 m	413599.637 m	-0.006
	X= 4543506.161 m	4543506.160 m	0.001
	h= 21.209 m	21.200 m	0.009
101	Y= 412828.201 m	412828.208 m	-0.007
	X= 4543577.703 m	4543577.701m	0.002
	h= 19.451 m	19.426m	0.025

5.2.5 Hidrografik ölçmeler

Kıyı çizgisi belirlendikten ve kıyadaki kontrol noktalarının dengelenmiş koordinatları hesaplandıktan sonra hidrografik ölçmelere geçilmiştir. Bu çalışmalar mareograf kurulması, derinliklerin ölçülmesi ve su üzerinde konum belirleme aşamalarından oluşmaktadır.

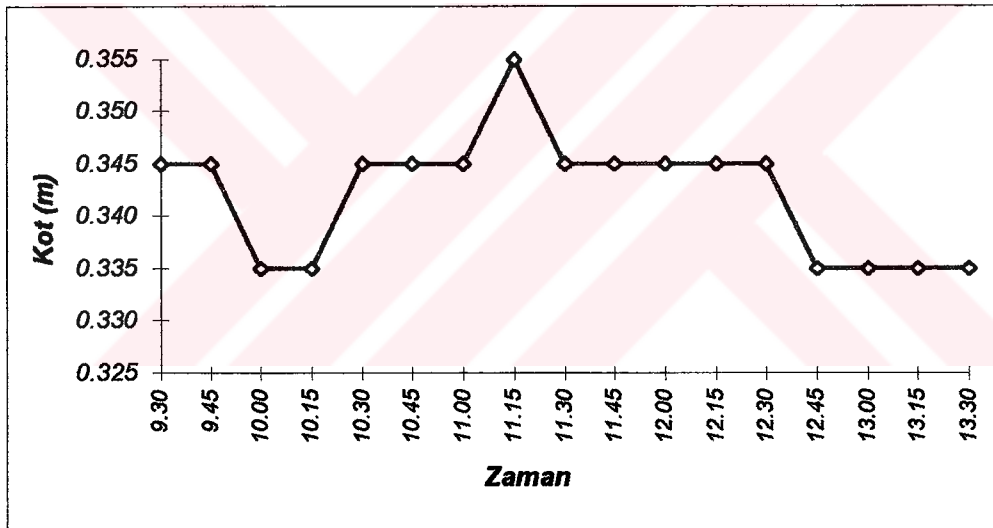
i-) Mareograf istasyonu tesisi ve okumaları: Ölçülen derinlikleri ortak bir düşey datuma bağlamak için çalışma bölgesindeki bir mareograftan yararlanılır. Gerçek anlamda bir mareograf istasyonu kaydedici cihazlarla donatılmış yüksek maliyetli tesislerdir. Küçük çaplı çalışmalarda bu denli büyük harcamalar yapılmaksızın, mümkün olduğunca suyun durgun olduğu yerde basit bir istasyon kurulur.

Bölgede ölçme yapılan zaman aralığındaki su seviyesini belirlemek için çalışmalar süresince korunabilecek bir yerde emaye miradan (lata) oluşan basit mareograf istasyonu tesis edilmiştir. Miranın sıfır seviyesine kot vermek için daha önce tesis edilmiş olan nivelman noktalarından yararlanılarak, gidiş-dönüş olmak üzere geometrik nivelman yapılmıştır. Ölçme düzeni şematik olarak Şekil 5.4'de gösterilmiştir.

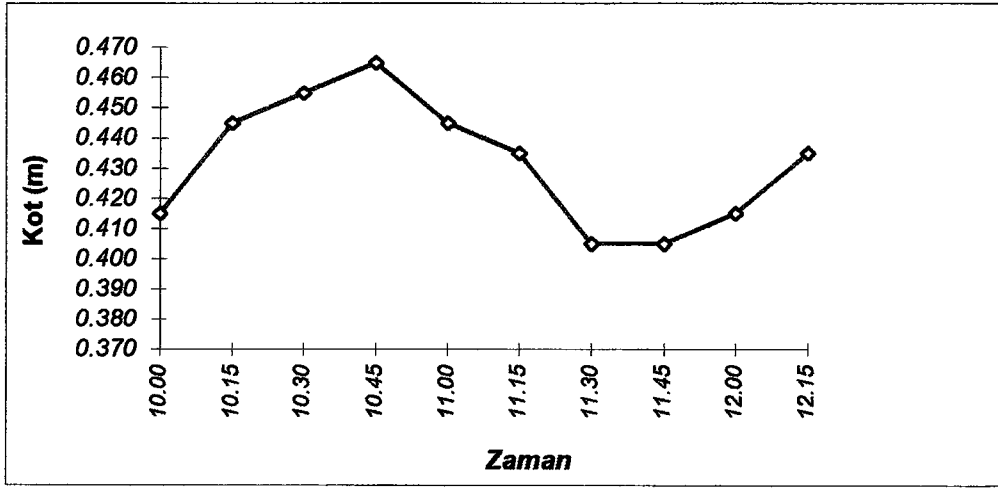


Şekil 5.4. Mareograf Latasına Kot Taşınması

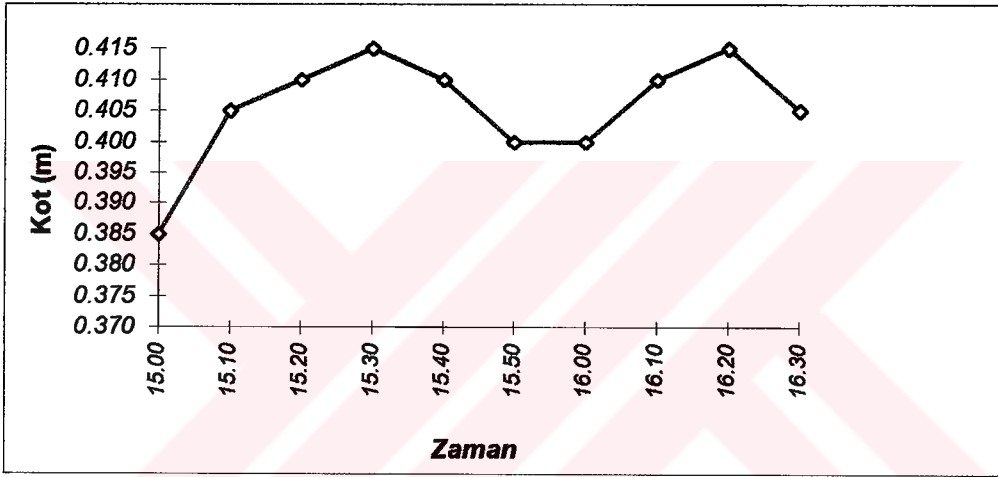
Mareograf latasında yapılan okumalar Şekil 5.5.a, b, ve c’de grafik olarak verilmiştir.



Şekil 5.5.a. 30.Temmuz.1997 Tarihinde Lata Mareografında Yapılan Okumalar



Şekil 5.5.b. 09.Eylül.1997 Tarihinde Lata Mareografında Yapılan Okumalar



Şekil 5.5.c. 07.Kasım.1997 Tarihinde Lata Mareografında Yapılan Okumalar

ii-) Derinliklerin ölçülmesi: Çalışma için üç ayrı zamanda üç bölgede ölçme yapılmıştır. Bunlardan ikinci ve üçüncüsünde GPS kontrol ünitesine veriler kaydedildiğinden, çalışmada bu iki veri grubu ele alınmıştır. Çalışmaların ilki 30.Temmuz.1997 tarihinde, (9^{30} - 13^{30}) saatleri arasında, ikincisi 09.Eylül.1997 tarihinde (10^{20} - 12^{20}) saatleri arasında ve sonuncusu da 07.Kasım.1997 tarihinde (15^{10} - 16^{20}) saatleri arasında yapılmıştır. Ölçmelerde Atlas Elektronik Firmasının Deso-15 derinlik ölçeri kullanılmıştır. Bu aletin transdüserden gelen verileri değerlendiren ve grafik derinlik kaydı yapan ana kısmı teknenin uygun bir yerine konulmuştur. Transdüser ise özel aparatlarla taşıta sabitlenmiştir. Transdüserin alt yüzeyi ile su yüzeyi arasındaki uzaklık değeri dikkatlice ölçülmüştür. Kullanılan derinlik ölçer Şekil 5.6'da, özellikleri de Tablo 5.6'da verilmiştir (Atlas Elektronik, 1994).

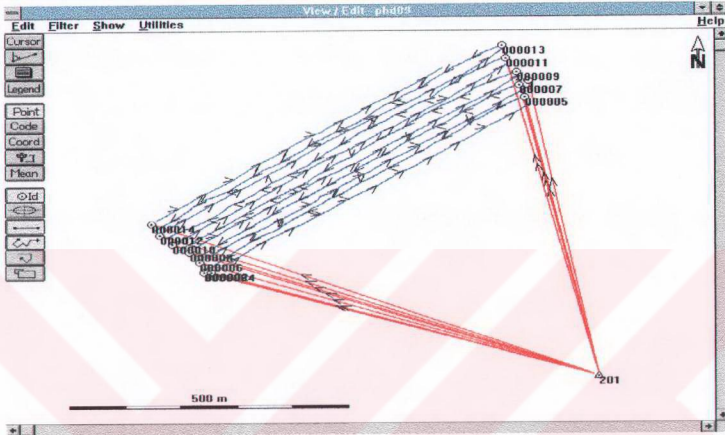


Şekil 5.6. Ölçmelerde Kullanılan Atlas Deso-15 Derinlik Ölçerinin Görünümü

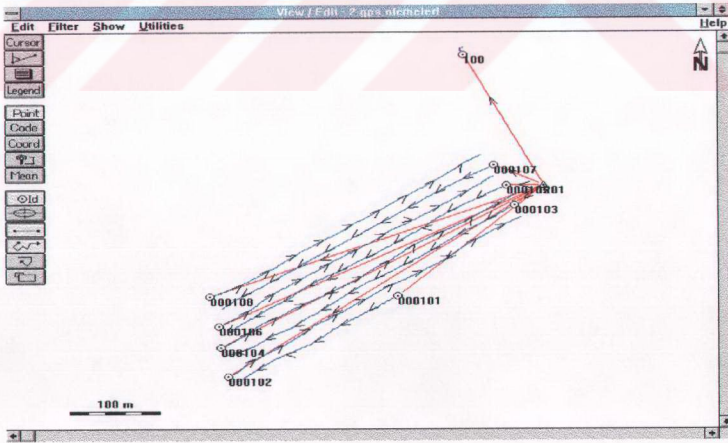
Tablo 5.6. Deso 15 Akustik Derinlik Ölçer Aletinin Teknik Özellikleri

<i>Derinlik Ölçme Aralığı</i>	: 0.5-650 m (transdüserle bağlı olarak)
<i>Kanal Sayısı</i>	: 1 veya 2
<i>Frekanslar</i>	: Çift frekanslı (33 kHz ve 210 kHz)
<i>Derinlik Göstergesi</i>	: 2 adet LCD ekran (ayrıca grafik çizim)
<i>İletişim Gücü</i>	: 300 W, 600 W ve 1000 W
<i>Direnç</i>	: 100 Ohm
<i>Çözümleme</i>	: 1 cm
<i>Doğruluk</i>	: 33 kHz'de 10 cm, 210 kHz'de 1 cm
<i>Ses Hızı Giriş Aralığı</i>	: 1400-1600 m/sn
<i>Bat-çık Kompensatörü</i>	: Bir arayüz ile kullanılabilir
<i>Sinyal Tekrarlama Frekansı</i>	: 1-20 sinyal/saniye
<i>Kayıt Kağıdı (Gen. / Uzun.)</i>	: 21 cm/40 m
<i>Kayıt Genişliği</i>	: 17.5 cm
<i>Boyutları (Yük./Gen./Uzun.)</i>	: 312 mm / 485 mm / 335 mm

Birinci çalışmada 10 metre hat aralığıyla, toplam 40 hat üzerinde, ikinci ve üçüncü çalışmada ise hat aralığı biraz daha geniş tutularak (15 metre) sırasıyla 11 ve 8 hat üzerinde sürekli derinlik ölçmeleri yapılmıştır (Şekil 5.7 ve Şekil 5.8). Hat boyunca her 2 metrede bir rutin olarak derinlikler ölçülüp, bilgisayara kaydedilmiştir.

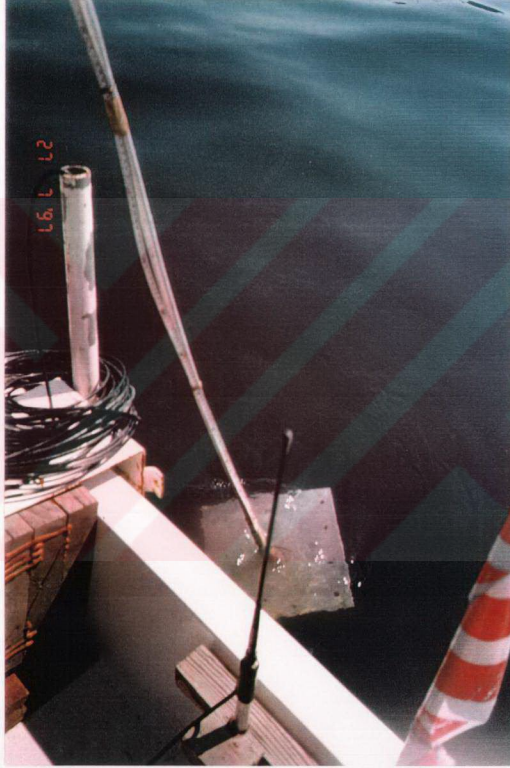


Şekil 5.7. 09.Eylül.1997'de Derinlik Ölçmesi Yapılan Hatlar



Şekil 5.8. 07.Kasım.1997'de Derinlik Ölçmesi Yapılan Hatlar

Çalışılan bölgede sesin su içindeki ortalama hızını belirlemek için bar-check yöntemi kullanılmıştır. Üzerine çelik şerit metre tutturulmuş, uç kısmının dibe saplanmaması için düz bir plakaya kaynatılmış çubuk kullanılarak değişik yerlerde derinlik ölçmeleri yapılmıştır (Şekil 5.9). Bu değerler alete el ile girilmiştir. Derinlik ölçer bu değere göre ölçme yapılan ortamdaki ortalama ses hızını hesaplamakta ve değiştirilinceye kadar da bu değeri kullanmaktadır. Ortalama ses hızı (1430 m/s) olarak hesaplanmıştır.

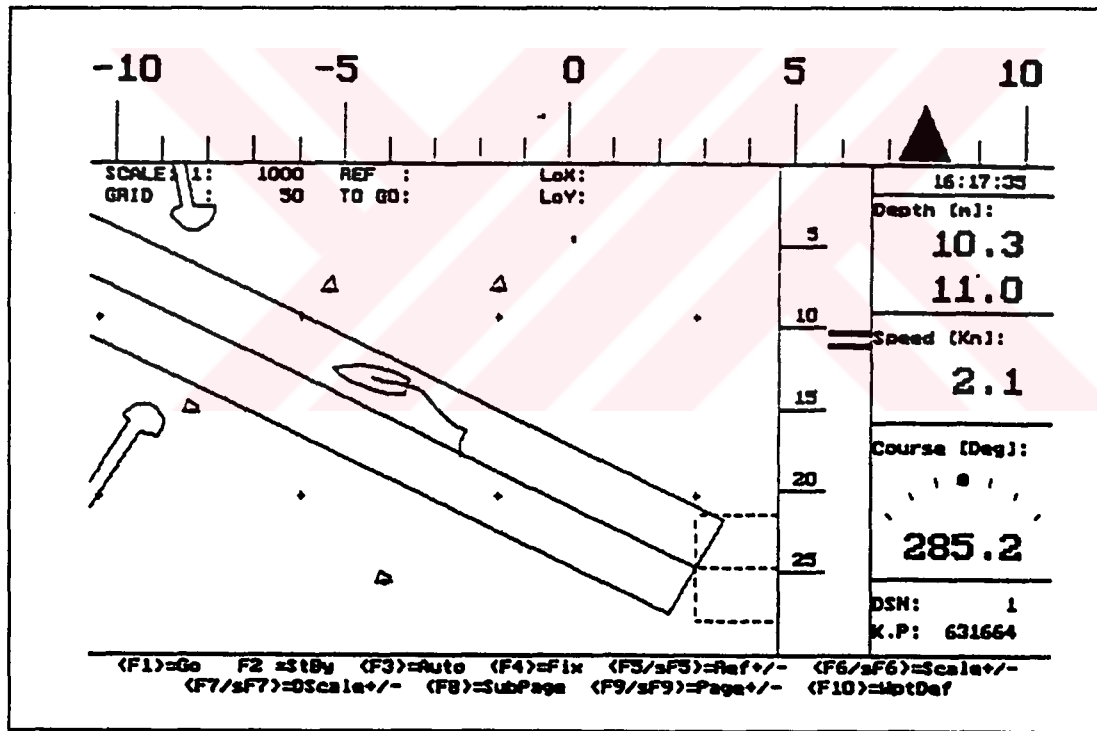


Şekil 5.9. Bar-check Yöntemi ile Derinlik Ölçerin Ses Hızının Kalibrasyonu

Dalgalı bir ortamda, bir deniz taşıtı üzerinde yapılan ölçme işlemlerinin daha önceden belirlenen hatlar üzerinde gerçekleştirilmesi güçtür. Klasik çalışmalarda bu işlem kıyıda ya da yakın çevredeki yüksek yapılardan (verici, minare, vb.) yararlanılarak yapılır. Ancak bu çalışmada klasik düzenlere başvurulmamış, modern ölçme donanımlarından

yararlanılmıştır. Atlas Electronic Firması tarafından geliştirilen PROFIMAP, bu konuda büyük yararlar sağlayan önemli bir araç olmuştur.

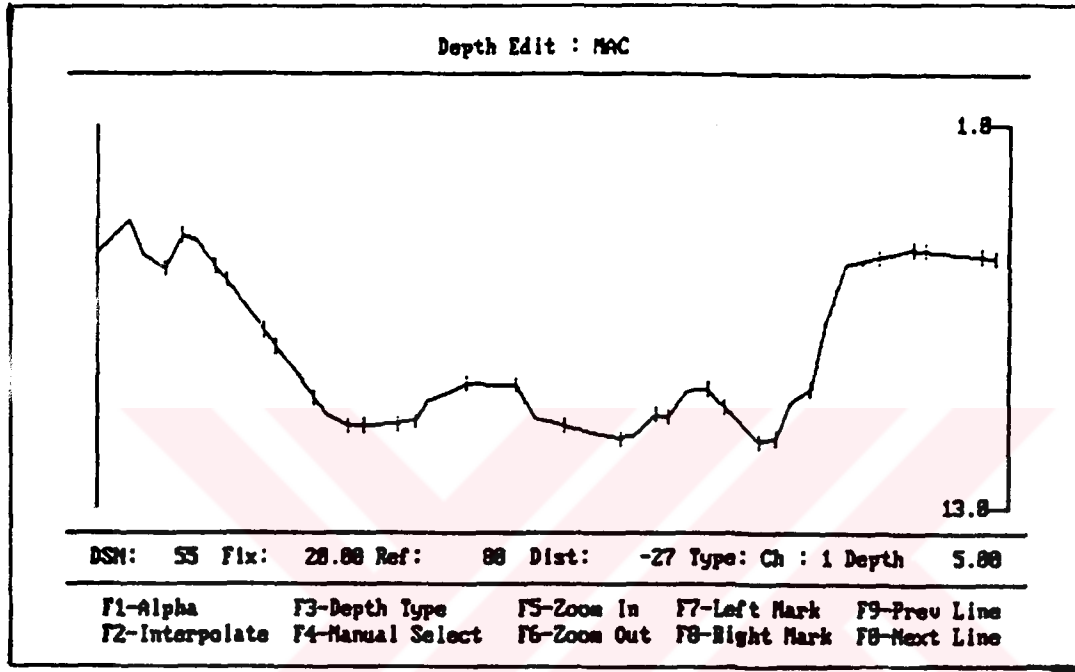
PROFIMAP, derinlik ölçer ve GPS alıcılarından gelen verileri teknedeki bir notebook bilgisayara başarıyla aktaran, görsel olarak ölçme aracının nerede olduğunu da gösteren bir yazılımdır. Programın çalışması için öncelikle çalışma bölgesinin kabaca sınırlarının bilgisayara girilmesi ve hattın yaklaşık ortasından geçen boy kesit doğrultusunu oluşturan noktaların koordinatlarının girilmesi gereklidir. Daha sonra kaç metrede bir hat geçirilecekse ona ait aralık değeri ile sola sağa doğru kaç metrelik bir kısımda ölçme yapılacağı da elle bu programa girilir. Bu veriler yardımıyla bilgisayar bir ölçme planı oluşturur. GPS'den alınan anlık (real-time) koordinat değerlerinden de yararlanılarak, ekranda temsili bir kayık resmi o anda hattın neresinde bulunduğunu gösterir (Şekil 5.10).



Şekil 5.10. PROFIMAP'te Ölçme Planının Oluşturulması

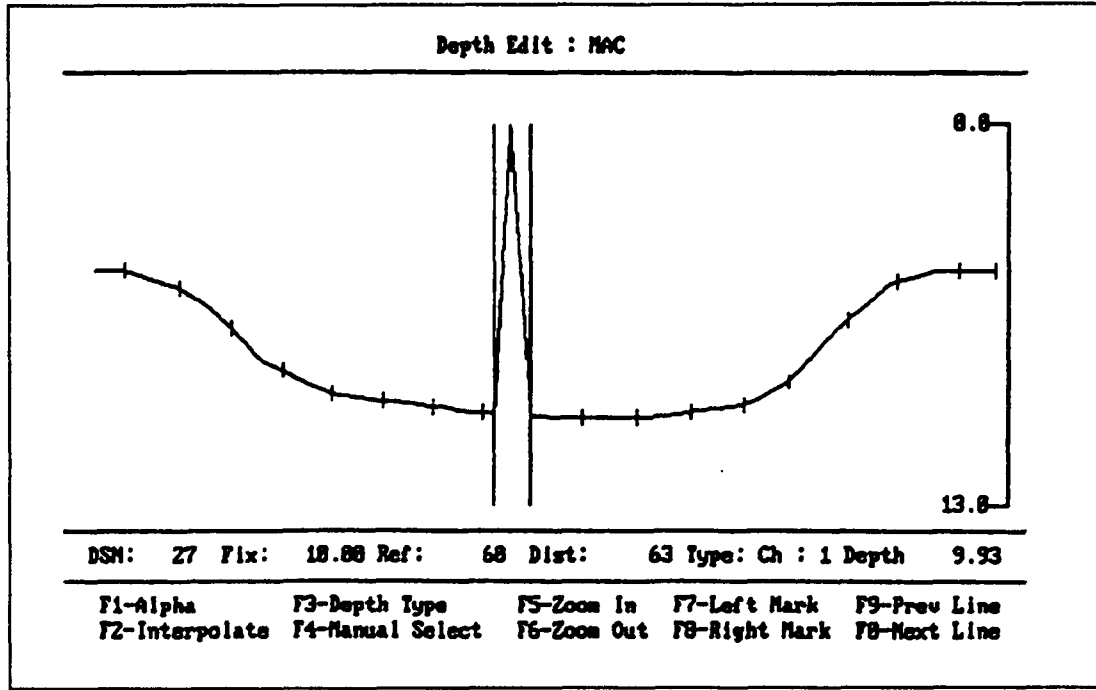
Tekneyi kullanan kişi bilgisayar ekranındaki konumuna bakarak hatta girmekte ve böylece ölçmeleri tamamlamaktadır. Bu arada, yazılım ile daha önce verilen değerlerde (örneğin 2 metrede bir gibi) hem derinlik ölçülmekte hem de o anda GPS'ten koordinat değerleri alınarak bilgisayara kaydedilmektedir. Böylece GPS alıcılarının hafızası kullanılmayarak önemli ölçüde veri aktarımı vb. gibi zaman

kaybettirici olumsuzluklar yok edilmektedir. Bilgisayarda derinlik bilgileri cihazın sayısal veri alma kısmından alınmasına rağmen daha sonra bazı yorumlar yapmak için grafik olarak da çizdirilmiştir. Ölçme yapılan hatlardan birine ait grafik çizim, örnek olarak Ek-B’de verilmiştir. Bu şekilde yapılan ölçmeler tamamlandıktan sonra büro çalışmasında tüm hatlardaki derinlik ölçüleri PROFIMAP yazılımıyla bilgisayarda görülüp, kayıt yapılan grafik kağıdıyla karşılaştırılmıştır (Şekil 5.11).



Şekil 5.11. Ölçme Yapılan Bir Hattın Ait Derinlik Değerlerinin PROFIMAP’te Grafik Görünümü

Ancak bazı durumlarda kaydedilen derinlik ile, grafik kayıt arasında farklılıklar olduğu görülmüştür (Şekil 5.12). Bu durumda grafik kayıtları esas alınıp, bilgisayardaki veriler buna göre düzeltilmiştir. Grafik kaydın yorumlanması deneyim gerektiren ancak verilerin doğruluğu açısından çok önem taşıyan bir işlemdir.



Şekil 5.12. Hatalı Bir Derinlik Değerinin Düzeltilmesi

Derinlik ölçülerinin çözünürlüğü ideal şartlarda 1 cm olarak verilmektedir (Atlas Elektronik, 1994). Ancak bazı etkilerden dolayı bu rakam birkaç cm ulaşmaktadır.

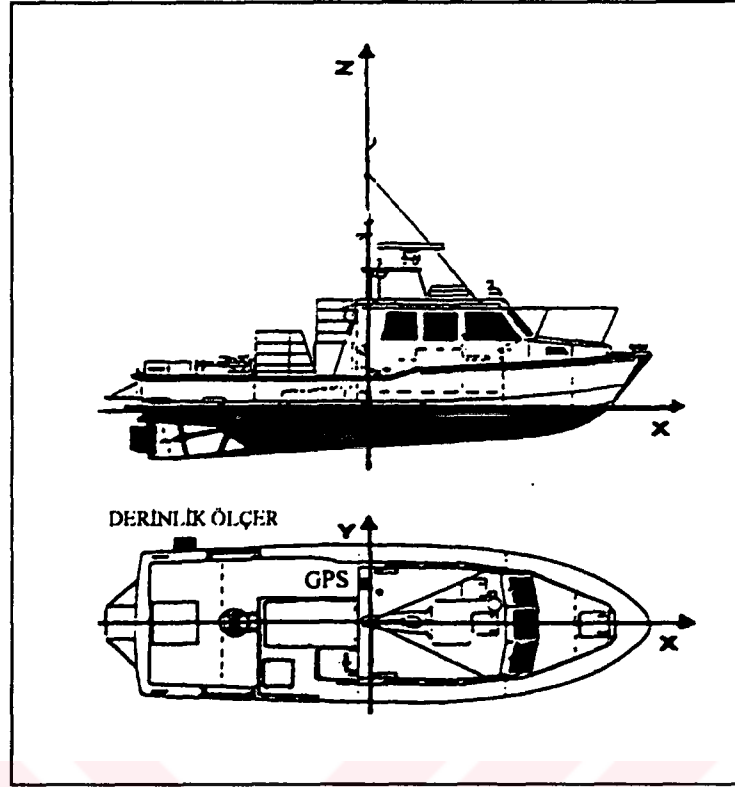
iii-) Konum bilgilerinin elde edilmesi: Kullanılan yazılım, hem derinlik ölçerden, hem de GPS alıcısından bir t_i zamanında eşzamanlı olarak veri almaya olanak sağlayacak şekildedir. Kullanılan GPS alıcılarının kontrol ünitesinin veri kayıt hafızası 2 MB'dır ve 2 saate yakın bir sürede dolmaktadır. Verilerin klasik aktarma işlemi ile bilgisayara aktarılması yaklaşık 1 saat zaman almaktadır. Çalışmalarda yardımını aldığımız ekibin (ve donanımın) zaman kısıtlaması bizi cihazların hafızası doluncaya kadar ölçme yapmaya zorlamıştır. Bu nedenle 2. ve 3. ölçmelerdeki hat sayısı biraz daha azalmıştır. Aslında GPS alıcılarına kayıt yapmak pratikte gereksizdir. Çünkü PROFIMAP yazılımı alıcıdan gelen koordinat bilgilerini cihazın hafızasına yüklenmeksizin doğrudan bilgisayara aktarabilecek şekilde dizayn edilmiştir. Ancak bu çalışmanın amacına hitap etmesi için kayıt alınması zorunlu olmuştur. Günümüzde 20 MB'a varan büyük veri kayıt kartları mevcuttur. Böyle bir çift kartın kullanılması durumunda söz konusu sorun ortadan kalkacaktır. GPS kontrol ünitesine 2. ve 3. uygulamalarda veri kaydı yapıldığı için, 1. uygulama verileri kullanılmamıştır. Bundan

sonra 09.Eylül.1997'de yapılan uygulama 1. uygulama; 07.Kasım.1997'de yapılan uygulamada 2. uygulama olarak anılacaktır.

Çalışmanın amacı klasik bir hidrografik haritanın yapılması değil, kıyıya yakın bölgelerde yüksek presizyonlu, büyük ölçekli bir hidrografik çalışma gerçekleştirmektir. Buradan hareketle konum doğruluğunun 1 dm'nin altında kalması için PDGPS yöntemi kullanılmıştır. Hareketli bir taşıtın üzerinde anten çok sağlam olarak tutulsa bile, teknenin hareketinden dolayı başlangıç tamsayı belirsizliğinin klasik yöntemlerle bulunması oldukça güçtür. Kıyıda bu işlemin yapılması ise çok zaman alıcıdır. Ölçmelerin herhangi bir yerinde faz sıçraması olduğunda, tekne ile kıyıya ulaşp, orada statik yöntemle başlangıç tamsayı belirsizliğinin çözümü ölçmelerin süresini artıran bir unsurdur. Bunun için hareket halindeki bir anten ile toplanan verilerden yararlanarak başlangıç tamsayı belirsizliğinin çözümünü yapmaya olanak sağlayan KOF yöntemi kullanılmıştır. KOF yöntemi ile ulaşılan doğruluklar her zaman 1 desimetrenin altındadır (Heimberg ve Seeber, 1994).

Yansıma etkisinin faz ölçülerine etkisi bir-kaç cm olarak verilmektedir (Lachapelle ve diğ., 1992). Çalışmada anlamlı bir yansıma etkisinin olmadığı daha sonra yapılan değerlendirmelerden görülmüştür.

Bat-çık, boyuna salınım ve yalpa etkilerinin konum ölçülerine etkisini minimuma indirmek için mümkün olduğunca ağırlık merkezine yakın bir noktaya anten yerleştirilmiştir. Ancak bu durumda konumu belirlenen nokta ile, derinlik ölçümü yapılan nokta arasında dışmerkezlik oluşmaktadır. Bu farklılık, X ve Y yönündeki dışmerkezlik değerleri ölçülerek bilgisayara girilmiş ve etkisi yok edilmiştir (Şekil 5.13).



Şekil 5.13. GPS Anteni ile Derinlik Ölçmesi Yapılan Noktalar Arasındaki Dış Merkezlik

Mareograf okumaları sonucu bulunan ortalama deniz seviyesinin kotu da bilgisayara (PROFIMAP'a) girilmiş ve sonuçta çalışma bölgesini temsil eden düzeltilmiş koordinat ve derinlik değerleri elde edilmiştir. Bu dosyaların küçük bir bölümü Tablo 5.7'de verilmiştir.

Tablo 5.7. Derinlik Ölçmesi Yapılmış Noktaların Düzeltilmiş Koordinat-Kot Değerleri Dosyası

<u>SERIAL</u>	<u>Sağa (m)</u>	<u>Yukarı (m)</u>	<u>Derinlik(m)</u>	<u>SERIAL</u>	<u>Sağa (m)</u>	<u>Yukarı (m)</u>	<u>Derinlik(m)</u>
412524.58,	4544016.18,	-7.03		412421.68,	4544126.19,	-12.41	
412526.99,	4544017.18,	-9.23		412422.54,	4544128.51,	-13.90	
412528.16,	4544018.11,	-10.44		412423.51,	4544129.03,	-14.68	
412529.67,	4544019.42,	-11.96		412425.42,	4544129.87,	-15.56	
412531.51,	4544020.60,	-13.08		412426.89,	4544130.77,	-16.61	
412533.14,	4544021.63,	-14.31		412428.39,	4544131.82,	-17.10	
412534.89,	4544022.59,	-15.65		412430.19,	4544133.11,	-18.13	
412536.51,	4544023.46,	-16.44		412431.65,	4544134.03,	-19.11	
412538.13,	4544024.36,	-18.01		412433.39,	4544135.14,	-19.60	
412540.17,	4544025.41,	-19.27		412435.30,	4544136.39,	-20.58	
412541.85,	4544026.14,	-20.26		412437.06,	4544137.59,	-20.88	
412543.74,	4544027.13,	-20.91		412438.61,	4544138.71,	-20.99	

GPS kontrol ünitesine kaydedilen veriler daha sonra SKI yazılımı ile işlenmiş ve her bir noktanın ϕ , λ ve h değerleri hesaplanmıştır. Yapılan ölçmelerin hepsinin tam sayı bilinmeyişi (integer ambiguity) değerleri başarıyla çözümlenmiştir. Şekil 5.14'de aletlerin tekne içindeki konumları gösterilmiştir.



Şekil 5.14. Derinlik Ölçer ve Bilgisayarın Tekneye Yerleştirilişi



Şekil 5.15. GPS Anteninin Tekneye Yerleştirilmesi

5.2.6 Ölçmelerde kullanılan hidrografi taşıtları

Ölçmelerde üç tür taşıt kullanılmıştır. Bunlardan ilki, 6 metrelik fiber-glas bir teknedir (Şekil 5.16). Bu tekne 30. Temmuz. 1997'de yapılan ölçmelerde kullanılmıştır.

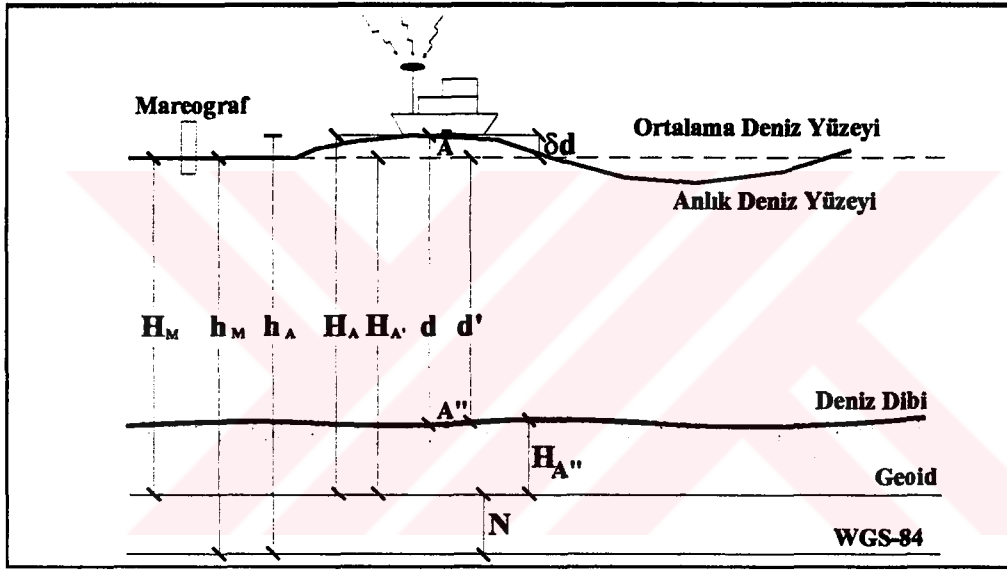


Şekil 5.16. Birinci Ölçmelerde Kullanılan Fiber Tekne

09.Eylül.1997’de yapılan ölçmede, Haliç Islah Projesi için özel olarak yapılan büyük bir saldan yararlanılmıştır. 07.Kasım.1997’de yapılan son ölçmede ise, meteorolojik koşullar nedeniyle bu iki taşıt kullanılamamış, bölgeden 8 metrelik ahşap bir balıkçı teknesi kiralanmıştır.

5.2.7 Bat-çık(heave) etkisinin GPS yöntemi ile yok edilmesi

Derinlik ölçülerinden bat-çık etkisinin giderilmesi için tarafımızdan ortaya konulan matematiksel model 4. Bölüm’de ayrıntılı olarak ele alınmıştır. (4.28) bağıntısından görülebileceği herhangi bir A'' noktasının ortometrik yüksekliğinin hesabı için h_M ile gösterilen ortalama deniz seviyesinin elipsoidal yüksekliğinin hesaplanması gereklidir. Söz konusu bağıntı ve şekil, aşağıda tekrarlanmıştır.



Şekil 5.17. Bat-çık (Heave) Etkisinin GPS ve Klasik Jeodezik Ölçme Yöntemleri ile Giderilmesi

$$H_{A''} = H_M - (d - h_A + h_M) \quad (5.1)$$

Bağıntıda, h_A ; ölçme yapılan herhangi bir noktanın elipsoidal yüksekliği (hesaplanmış bir büyüklük), h_M ’ de ortalama deniz seviyesinin elipsoidal yüksekliğidir. Çalışma süresince derinlik ölçmesi yapılan her bir noktanın derinlik bilgisi ile birlikte, GPS alıcısına elipsoidal enlem-boylam ve yükseklikler de kaydedilmiştir. Hata miktarı böylece elipsoidal yüksekliklerle ilişkilendirilmiştir. (5.1) bağıntısından görülebileceği gibi, ölçülen d derinliklerine δd düzeltmelerini getirebilmek için h_M ile gösterilen ortalama deniz seviyesinin elipsoidal yüksekliğinin hesaplanması gereklidir. Bunun

belirlenebilmesi için ölçmelere başlamadan önce tekne çalışma bölgesinde durgun bir yere çekilip belirli bir süre GPS alıcısıyla ölçme yapılmıştır. Bir başka deyişle, mareograf istasyonunun kurulduğu ortama benzer özellik taşıyan yakın bir yerde ortalama deniz seviyesinin elipsoidal yüksekliği belirlenmiştir. Birinci uygulamada her saniyede bir veri alınmak suretiyle 6', ikinci uygulamada da yine saniyede bir veri alınmak suretiyle 30' durulmuştur. Değerlendirme (post-process) yapılarak her bir ölçme anına (epoğa) ait ϕ , λ ve h değerleri elde edilmiştir ve bunlardan elde edilen ortalama h değerleri, bağıntılarda geçen h_M değerleri olarak alınmıştır. Çalışma bölgesinin küçük olmasından dolayı, şekilde jeoid ve WGS-84 elipsoidi düz bir çizgi ile gösterilmiştir. Yani küresellikten dolayı ortaya çıkabilecek hatalar göz ardı edilmiştir.

Ancak elde edilecek her $\delta d = (h_A - h_M)$ değeri, derinlik ölçülerine bat-çık(heave) düzeltilmesi olarak getirilmemiştir. δd farkları için bir sınır değer belirlenmiş ve bu değeri aşan ölçülere düzeltme getirilmiştir. h_M değerinin belirlendiği ortamda dalga hareketi minimuma yakın olsa da, deniz yüzeyi meteorolojik etkilerden ve gel-gitten dolayı mutlaka bir miktar yükselip alçalacaktır. Gel-git etkisinin Marmara Denizi'nde maksimum 3 cm civarında olduğu göz önüne alındığında, çalışmanın yapıldığı yerde (Haliç'te) bu etki ihmal edilebilir büyüklüktedir. Ancak yine de mareograf okumalarına bakıldığında çalışma süresince deniz seviyesinin maksimum ve minimum hareketleri arasında, birinci uygulamada 6 cm, ikinci uygulamada da 3 cm'lik fark olduğu görülmüştür. Derinlik ölçerin ölçme presizyonunun teorik olarak 1 cm olduğu, ancak bunun pratikte 2-3 cm olacağı göz önüne alınarak, sınır değerler için;

1. uygulamada; 6 cm + 3 cm = 9 cm
2. uygulamada; 3 cm + 3 cm = 6 cm

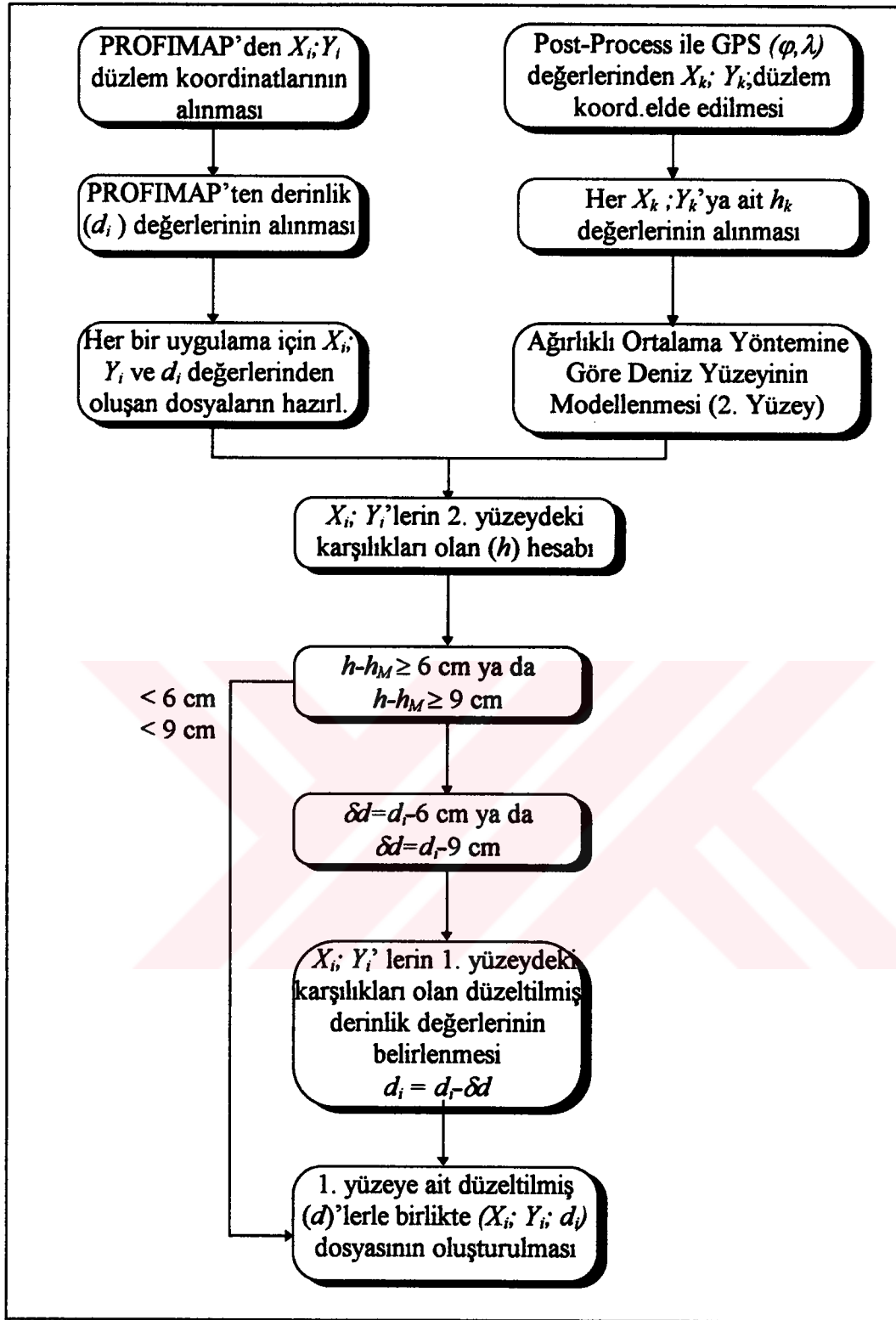
kabul edilmiş ve bu değerden daha büyük farklar, işaretlerine göre derinlik değerlerine düzeltme olarak getirilmiştir. Bu amaçla deniz yüzeyi modellenmiştir.

5.2.8 Sayısal derinlik modeli

Akustik iskandil ile ölçülen her bir derinlik değerine bat-çık etkisi dolayısıyla getirilmesi gereken düzeltmelerin hesabı için sayısal derinlik modelinden yararlanılmıştır. Sayısal derinlik modeli, esas olarak klasik sayısal arazi modelinden başka bir yöntem değildir. Tek fark klasik ölçmelerdeki aksine derinlik değerlerinin eksi değerlere sahip olmasıdır. Söz konusu düzeltmelerin hesap edilmesi için Şekil 5.18’de akış şeması verilen algoritmayı gerçekleştiren bir Q-Basic programı yazılmıştır (Ek-C). İlk adım olarak deniz yüzeyi modellenmiştir. Modelleme için geliştirilmiş bir çok farklı algoritma vardır. Literatürde verilen modelleme yöntemlerinin bazıları aşağıda sıralanmıştır (Petrie ve Kennie, 1987), (Schut 1976), (Watson ve Philip 1984), (Chiles ve Chauvet, 1975);

- i-)* Ağırlıklı aritmetik ortalama,
- ii-)* Polinom yüzeyi,
- iii-)* Multiquadrik yüzey,
- iv-)* Kayan yüzey,
- v-)* En küçük kareler,
- vi-)* Üçgenleme,
- vii-)* Kriging

Grafik derinlik kayıtları incelendiğinde ve genel deniz dip topoğrafyası göz önüne alındığında, deniz dibinde karada olduğu gibi düzensizliklerin, süreksizliklerin az olduğu görülmüştür. Dolayısıyla bu yöntemlerden herhangi birinin kullanılmasının bir sorun teşkil etmeyeceği düşünülmüştür. Enterpole edilecek noktaların karşılıklarının üst yüzeyin dışında olması ihtimaline karşılık ağırlıklı aritmetik ortalama yöntemi kullanılmıştır. Söz konusu durumda üçgenleme yönteminin kullanılması uygun değildir. Ölçüler her iki metrede bir ve sık aralıklarla yapıldığı için deniz dip topoğrafyası modellenmemiştir. Yukarıda sıralanan yöntemlerin düzensiz yüzeylerde nasıl sonuçlar vereceği konusu Yanalak (1997)’de ayrıntılı olarak incelenmiştir.



Şekil 5.18. Düzeltmelerin Hesaplandığı Programa Ait Akış Diyagramı

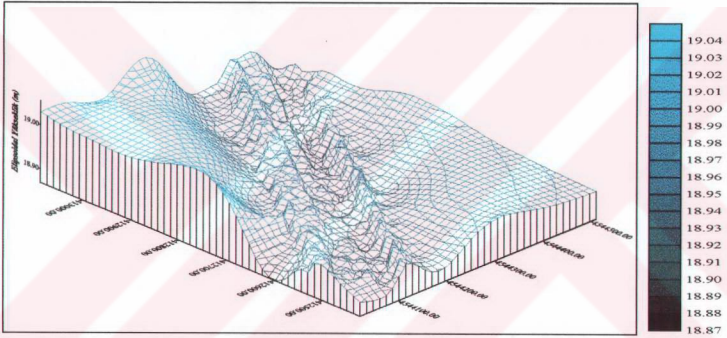
Hesaplarda kullanılan ağırlıklı ortalama yönteminin genel bir ifadesi aşağıdaki bağıntıda verilmiştir (Yanalak, 1997);

$$h_e = \sum_{i=1}^m P_i * h_i / \sum_{i=1}^m P_i \quad (5.2)$$

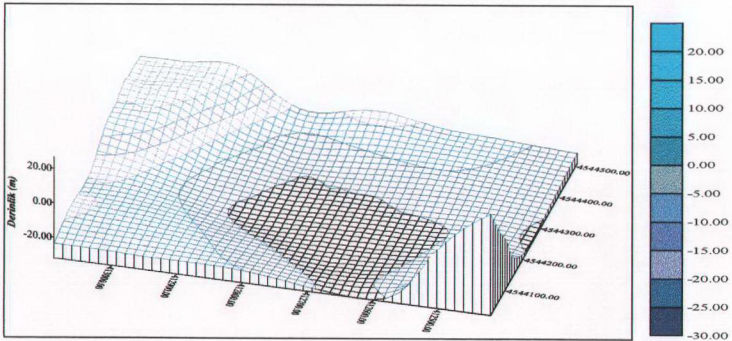
$$P_i = (S_i^2)^{-2} \quad (5.3)$$

Bağıntılarda, h_e ; entepole edilen noktanın kotu, h_i ; i . ölçme (dayanak) noktasının kotu, P_i ; i .dayanak noktasının kotuna verilecek ağırlık ve S_i ; entepolasyon noktası ile i . dayanak noktası arasındaki yatay uzunluk (m) değeridir.

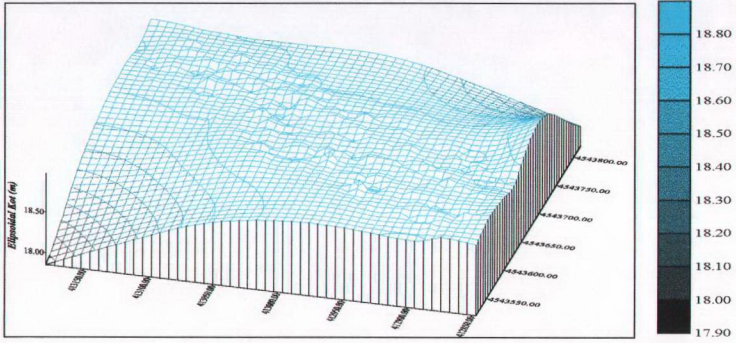
Şekil 5.19-5.22’de her iki çalışmaya ait X_i , Y_i , d_i ve X_k , Y_k , h_k değerlerine göre çizilmiş deniz yüzeyi ve deniz dibi topografyası verilmiştir.



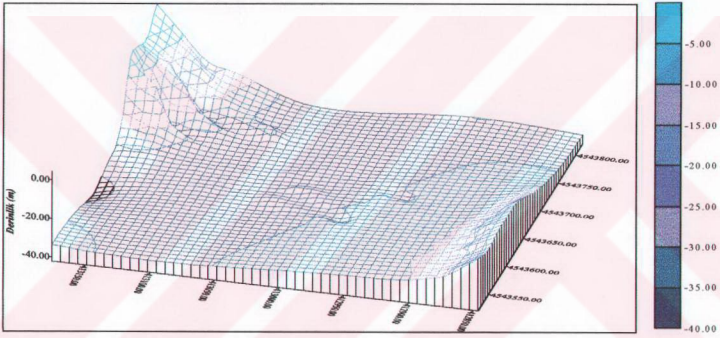
Şekil 5.19. 09.Eylül.1997 Tarihinde Yapılan Ölçmelere Ait Deniz Yüzeyi



Şekil 5.20. 09.Eylül.1997 Tarihinde Yapılan Ölçmelere Ait Deniz Dibi Topografyası



Şekil 5.21. 07.Kasım.1997 Tarihinde Yapılan Ölçmelere Ait Deniz Yüzeyi



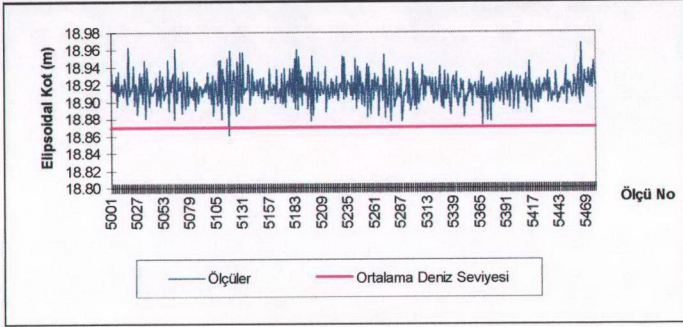
Şekil 5.22. 07.Kasım.1997 Tarihinde Yapılan Ölçmelere Ait Deniz Dibi Topografyası

h_M ile h_i değerleri arasındaki maksimum ve minimum farklar, her bir hat için ayrı ayrı Tablo 5.8’de verilmiştir.

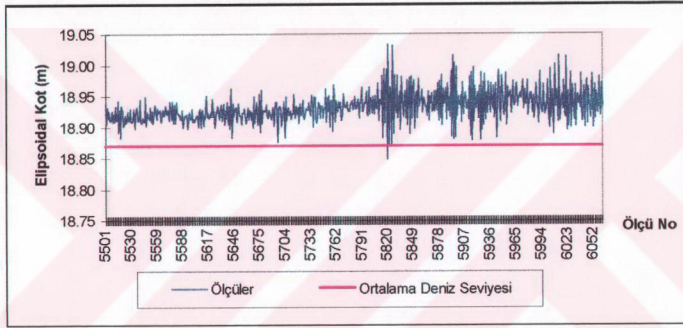
Tablo 5.8. h_M ile h_i Değerleri Arasındaki Maksimum ve Minimum Farklar

Hat No.	1. Uygulama (09.Eylül.1997)		2. Uygulama (07.Kasım.1997)	
	$\delta d_{\min} (cm)$	$\delta d_{\max} (cm)$	$\delta d_{\min} (cm)$	$\delta d_{\max} (cm)$
1. hat	-0.88	+9.66	-12.00	+11.33
2. hat	-2.13	+16.28	-17.64	+10.58
3. hat	-5.42	+21.40	-19.92	+18.78
4. hat	+0.56	+13.80	-16.86	+12.03
5. hat	-0.10	+10.50	-16.89	+9.40
6. hat	-9.32	+17.20	-16.80	+13.79
7. hat	-4.29	+14.94	-15.63	+12.94
8. hat	-5.35	+10.93	-13.76	+7.55
9. hat	-1.68	+7.46	-	-
10. hat	-0.14	+12.63	-	-
11. hat	+0.40	+9.62	-	-

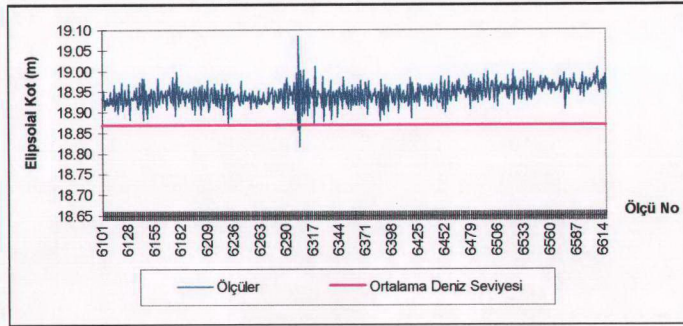
Ortalama deniz seviyesinin GPS yöntemiyle belirlenen elipsoidal yüksekliği (h_M) ile, ölçme yapılan su üzerindeki bir noktanın elipsoidal yüksekliği (h_i) değerleri birlikte her hat için çizilmiştir. Bunlara ilişkin çizimlerin bir kısmı şekil 5.23.a,b,c ve 5.24.a,b,c’de verilmiştir. Şekil 5.23’de verilen çizimler, 1. uygulamaya, 5.24’de verilenler de 2. uygulamaya aittir. Diğer hatlara ait çizimler ise Ek-D’de verilmiştir. Şekil 5.25 ve 5.26’da ise, ölçülen elipsoidal yüksekliklerle (h_i), ortalama deniz seviyesi (h_M) arasındaki farkların tüm ölçüler içindeki istatistiki dağılımı verilmiştir.



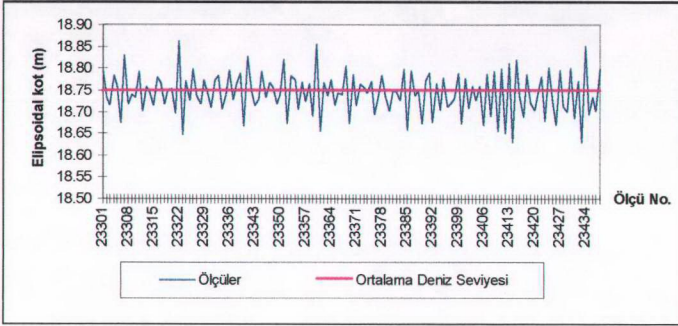
Şekil 5.23.a. 1. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi ile Ölçüler Arasındaki Farklar



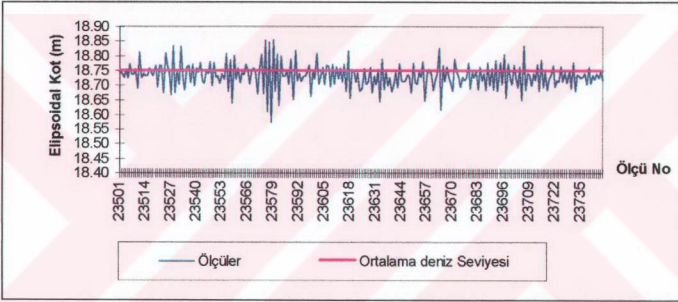
Şekil 5.23.b. 2. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi ile Ölçüler Arasındaki Farklar



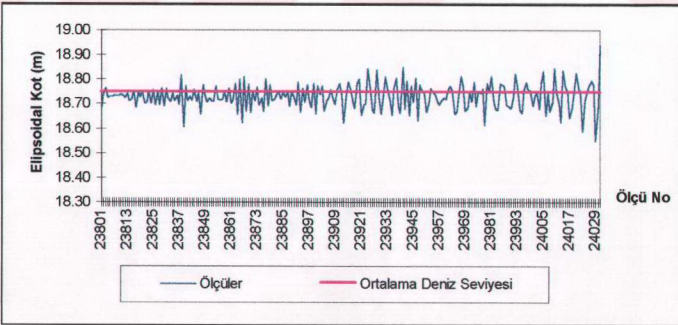
Şekil 5.23.c. 3. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi ile Ölçüler Arasındaki Farklar



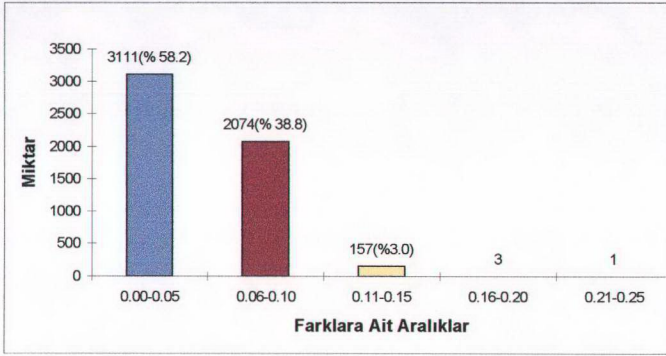
Şekil 5.24.a. 1. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi ile Ölçüler Arasındaki Farklar



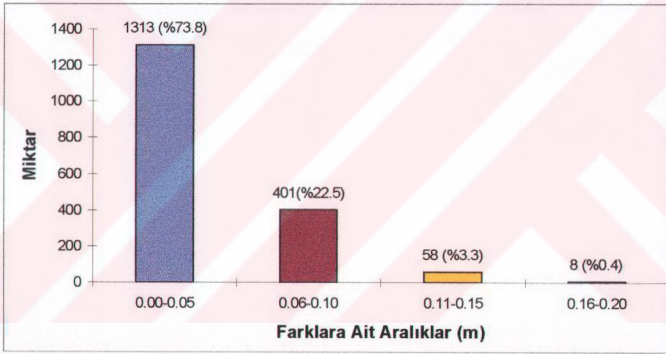
Şekil 5.24.b. 2. Hat' a Ait Ortalama Deniz Seviyesi ile Ölçüler Arasındaki Farklar



Şekil 5.24.c. 3. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi ile Ölçüler Arasındaki Farklar



Şekil 5.25. 09.Eylül.1997 Tarihinde Yapılan Ölçülerle, Ortalama Deniz Seviyesi Arasındaki Farkların İstatistiki Dağılımı



Şekil 5.26. 07.Kasım.1997 Tarihinde Yapılan Ölçülerle, Ortalama Deniz Seviyesi Arasındaki Farkların İstatistiki Dağılımı

Tüm hesaplarda kullanılan h_M değerlerinin GPS ölçüleriyle belirlenmesinde basit aritmetik ortalama alınmamıştır. 1. uygulama için 6 dakikalık (360 ölçü) ve 2. uygulama için yaklaşık 30 dakikalık (1650 ölçü) verinin içerisinde uyumsuz ölçüler olabileceği düşünülmüş ve tüm ölçülerin bir analizi yapılarak dengeleyen bir eğri hesaplanmıştır. Bu işlemler için izlenen hesap adımları aşağıda verilmiştir.

$$h = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 \quad (5.4)$$

bağıntısına göre, düzeltmelerin karelerinin minimum olması koşulu getirilerek dengeleyen eğri belirlenmiştir. Bağıntıdaki a_0 , a_1 , a_2 ve a_3 katsayılarının hesabı şu adımlarla yapılmıştır;

$$h_1 + v_1 = a_0 + a_1 t_1 + a_2 t_1^2 + a_3 t_1^3 \quad (5.5)$$

$$h_2 + v_2 = a_0 + a_1 t_2 + a_2 t_2^2 + a_3 t_2^3$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots$$

$$h_n + v_n = a_0 + a_1 t_n + a_2 t_n^2 + a_3 t_n^3$$

Bağıntılarda h_i ($i = 1, 2, \dots, n$), her bir ölçü için hesaplanan elipsoidal yükseklikler, v_i ($i = 1, 2, \dots, n$) bu ölçülere ait düzeltmeler, t_i ($i = 1, 2, \dots, n$) 'de ölçülerin kayıt sırası, n ; toplam ölçü sayıdır.

$$\underline{v} = \underline{A} \underline{x} - \underline{l} \quad (5.6)$$

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & t_1 & t_1^2 & t_1^3 \\ 1 & t_2 & t_2^2 & t_2^3 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & t_n & t_n^2 & t_n^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_n \end{bmatrix} \quad (5.7)$$

$$\underline{N} = \underline{A}^T \underline{P} \underline{A} \quad (5.8)$$

$$\underline{N}^{-1} = (\underline{A}^T \underline{P} \underline{A})^{-1} \quad (5.9)$$

$$\underline{x} = \underline{N}^{-1} \underline{A}^T \underline{P} \underline{l} = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} \quad (5.10)$$

$$\underline{v} = \underline{A} \underline{x} - \underline{l} \quad (5.11)$$

bağıntıları ile katsayılar ve düzeltmeler hesaplanmıştır. Düzeltilmiş ölçüler ($\overline{h_i}$);

$$\bar{h}_i = h_i + v_i \quad (5.12)$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır.

6 ve 30 dakikalık ölçülerin SKI yazılımı ile değerlendirilmesi (post-process) yapılarak elde edildiği daha önce belirtilmişti. Ölçülerin ağırlıklarının birbirine eşit olduğu ve korelasyonsuz olduğu varsayılarak P matrisi, birim matris olarak hesaplara katılmıştır. Ayrıca düzeltmelerin hesabından sonra karesel ortalama hatalar hesaplanmış, bulunan değerin üç katından daha büyük düzeltmeye sahip ölçüler ölçü kümesinden atılarak dengeleme işlemi baştan yapılmıştır. Karesel ortalama hata hesabında:

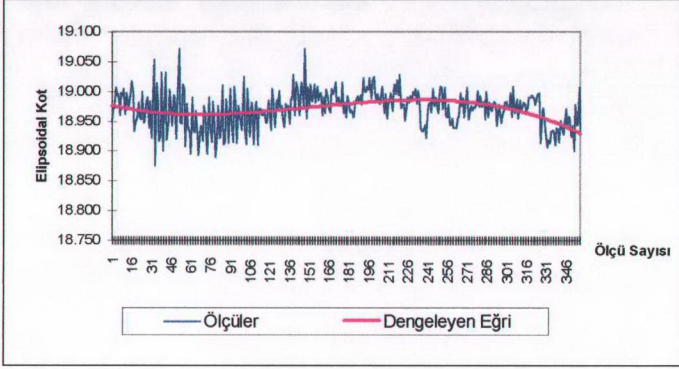
$$m_0 = \sqrt{\frac{[P_{vv}]}{n-1}} \quad (5.13)$$

bağıntısı kullanılmıştır. 1. uygulama için 2 iterasyon, 2. uygulama içinse 3 iterasyon sonucu karesel ortalama hataların 3 katından daha büyük düzeltmeye sahip ölçü kalmadığı görülmüştür. Her bir iterasyonda belirlenen dengeleyen eğrinin ölçülerinin aritmetik ortalaması ile elde edilen h_M ve karesel ortalama hata değerleri, Tablo5.9'da gösterilmiştir.

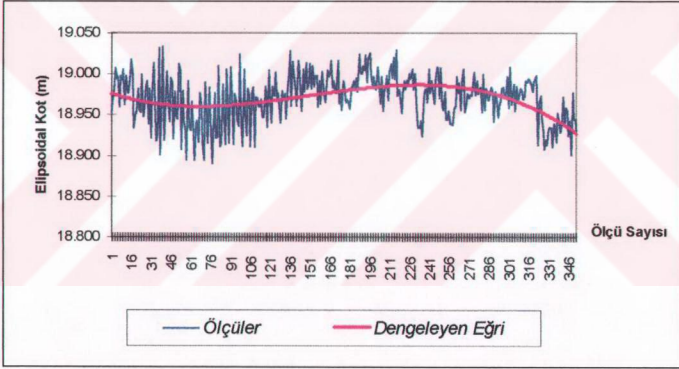
Tablo5.9. İterasyonlar Sonucu Ulaşılan h_M Değerleri ve k.o.h.'lar

Ölçme Tarihi	I. İterasyon	II. İterasyon	III. İterasyon
	h_m / m_0	h_m / m_0	h_m / m_0
1. Uygulama	18.9707 m	18.9701 m	-
09 Eylül 1997	± 2.85 cm	± 2.65 cm	-
2. Uygulama	18.7495 m	18.7496 m	18.7497 m
07 Kasım 1997	± 2.10 cm	± 2.07 cm	± 2.06 cm

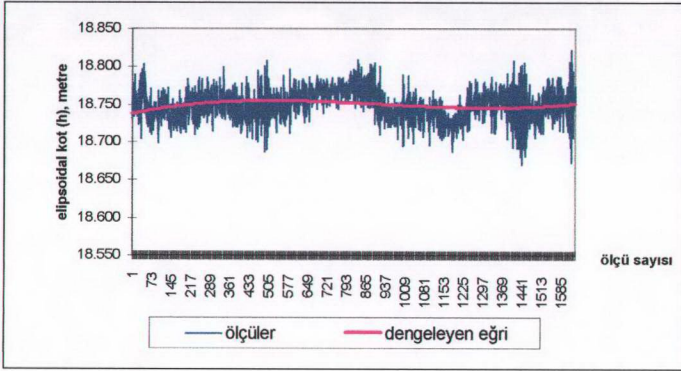
Bu işlemler sonucu elde edilen dengeleyen eğriler aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



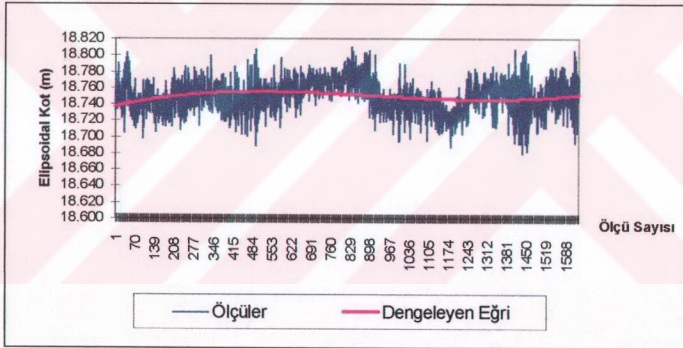
Şekil 5.27. a.09.Eylül.1997 Uygulamasına ait Dengeleyen Eğrinin Bulunması
(1. İterasyon)



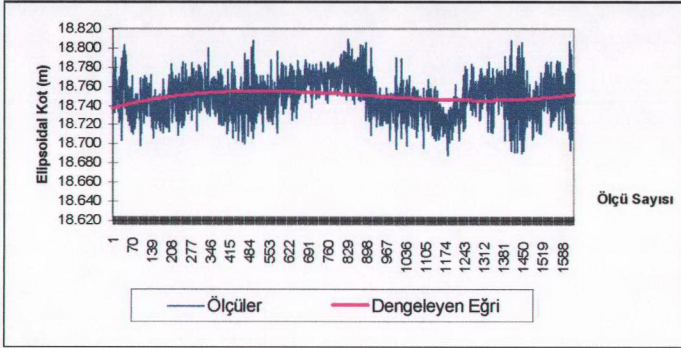
Şekil5.27.b.09.Eylül.1997 Uygulamasına ait Dengeleyen Eğrinin Bulunması
(2. İterasyon)



Şekil 5.28.a. 07.Kasım.1997 Uygulamasına ait Dengeleyen Eğrinin Bulunması
(1. İterasyon)



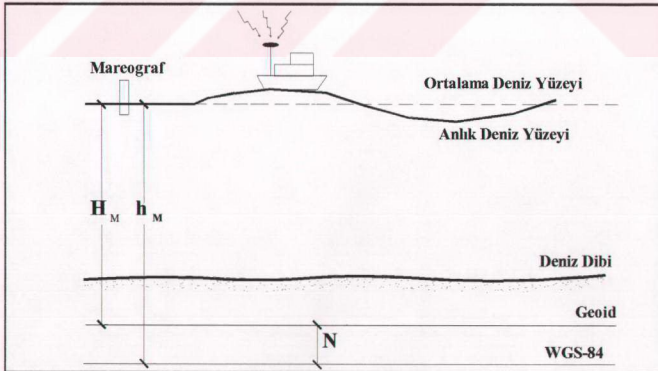
Şekil 5.28.b. 07.Kasım.1997 Uygulamasına ait Dengeleyen Eğrinin Bulunması
(2. İterasyon)



Şekil 5.28.c. 07.Kasım.1997 Uygulamasına ait Dengeleyen Eğrinin Bulunması (3. İterasyon)

5.2.9 PDGPS ölçüleriyle belirlenen ortalama deniz seviyesi ile, mareograf okumalarının karşılaştırılması

Bu çalışmada ulaşılmak istenen amaçlardan ikincisi, mareograf tesis edilmeden PDGPS yöntemi ile çalışma bölgesini temsil eden ortalama deniz (su) seviyesinin belirlenip belirlenemeyeceğidir. Bunun için ölçmelere başlamadan önce 6' (≈ 360 ölçü) ve 30' (≈ 1800 ölçü)'lık ölçülerin değerlendirilmesi (dengeleyen eğrinin belirlenmesi) sonrası hesaplanan h_M değerlerinden yararlanılmıştır (Şekil 5.29).



Şekil 5.29. Ortalama Deniz Seviyesinin PDGPS Yöntemi İle Hesabı

Şekle göre;

$$H_M = h_M - N \quad (5.14)$$

dir. Burada N daha önceden GPS yöntemi ve yersel ölçmelerle belirlenen jeoid ondülasyonudur. 2. uygulama, kurulan kontrol ağının biraz açığında, 1. uygulama ise ağ sınırları içindedir. Jeoid ondülasyonunun kurulan jeodezik ağa yakın bölgede ve denizde büyük bir değişim göstermeyeceği varsayımı ile her iki uygulama için ortalama deniz seviyeleri hesaplanmıştır. Hesaplar sonucu ulaşılan değerler ile mareograf okumaları sonucu ulaşılan değerler Tablo 5.10'da karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.10. PDGPS ile Belirlenen H_M ile Mareograf Okumaları ile Bulunan H_M değerlerinin Karşılaştırılması

Ölçme Tarihi	Süre (dakika)	$H_M = h_M - N_{ORT}$ (m)	Mareograf Okum. Belirlenen H_M (m)	Fark (cm)
09.Eylül.1997	6	0.485*	0.432	5.3
07.Kasım.1997	30	0.365**	0.406	-4.1

(*) Bu ölçmelerde, antenin ucu ile, durgun su yüzeyi arasındaki uzaklık hassas olarak ölçülmüş ve ortalama h_M 'den çıkarılmıştır (-10 cm).

(**) Burada, aradaki uzaklık yine hassas olarak ölçülmüş, ancak anten yüksekliği alete girilirken bu miktar kadar (20 cm) artırılmıştır.

Hesapların doğruluğunu etkileyen en önemli faktör, anteni taşıyan jalonun uç noktası ile deniz yüzeyi arasındaki uzaklığın ölçülmesindeki doğruluktur. Özellikle bu fark ölçüldükten sonra tekneye malzeme ve personel binmesi ya da inmesi, aracın düzensiz olarak batıp-çıkmasına neden olacağı için, önemli bir hata kaynağıdır. Benzer olarak ölçme sırasında yüklenen donanımın yerlerinin değiştirilmesi, personelin düzensiz hareketleri, özellikle küçük teknelerde önemli bir hata kaynağı olacaktır. Ölçmelerde kullanılan teknenin büyüklüğüne göre bu durumlar göz önüne alınmalı, mümkün olduğunca farkın ölçüldüğü andaki denge konumu, tüm ölçme süresince korunmalıdır. Söz konusu olumsuzluk bir önceki kısımda anlatılan düzeltmelerin sonucunu da aynen etkiler. Bu nedenle, başlangıçtaki denge konumunun ölçmeler boyunca korunması önem taşımaktadır.

Söz konusu edilen yöntemin uygulanmasında ölçmelere başlarken mevcut olan deniz seviyesinin tüm ölçmeler boyunca değişmediği varsayımı yapılmıştır. Ancak bu pratikte olanaksızdır. Herhangi bir dalga hareketi olmasa bile deniz yüzeyi gel-gitten dolayı az veya çok mutlaka etkilenip değişir. Mareograf ölçülerine bakıldığında deniz seviyesindeki maksimum ve minimum değerler arasındaki farkın 3-5 cm civarında olduğu görülmektedir. Ülkemizde gel-gitin etkisinin çok büyük olmadığı düşünüldüğünde, başlangıçta belirlenen h_M değerinin, ölçmelerin çok uzun sürmemesi nedeni ile ölçülerin tümünü temsil edebileceği açıktır. Birkaç saatlik ölçmeler süresince gel-git olsa bile (ülkemiz için) çok anlamlı bir deniz yüzeyi değişimi olmayacaktır. Ölçmelerin daha uzun sürmesi durumunda ise, ölçme aracının belirli periyotlarda (örneğin 6 saatte bir) durgun bir ortama çekilerek aynı işlemlerin tekrarlanması ile gel-git etkisinin büyüklüğü dikkate alınabilir.

Bu yöntemin uygulanmasında pratik bir zorluk, jeoid ondülasyonunun hesap edilmesidir. Ancak GPS yönteminin çok yaygın olarak hemen her jeodezik çalışmada kullanılabilir hale gelmesi, beraberinde presizyonlu bir jeoidin belirlenmesini zorlamaktadır. Yakın bir gelecekte bu jeoidin belirlenmesiyle çalışma yapılan herhangi bir bölgedeki ondülasyon kolaylıkla elde edilebilecek ve bu yöntem pratik olarak da rahatlıkla uygulanabilecektir. Burada belirlenen ortalama deniz seviyesinin doğruluğu, hidrografik amaçlı mareograf istasyonundaki okumaların hassasiyetinden çok fazla değildir. Mareograf okumaları sonucu belirlenen ortalama deniz seviyesinin doğruluğu bir kaç cm iken, bu yöntemin doğruluğu bu değerin bir kaç katı mertebesinde. Ancak, klasik hidrografik çalışmaların gerektirdiği doğrulukları karşılayabilecek sınırlar içinde kalmaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bölüm 5’de ayrıntılı olarak anlatıldığı şekilde Haliç’te iki ayrı zamanda, iki uygulama yapılmıştır. Bu uygulamaların gerek ölçme işlemlerinde, gerekse arazi sonrası yapılan hesaplamalarında aşağıda sıralanan sonuçlara ulaşılmıştır:

i-) Uygulamanın tüm aşamalarında konum belirleme işlemi GPS yöntemi ile yapılmıştır. Kara haritacılığının hemen her alanında rahatlıkla uygulanan bu yöntem, deniz haritacılığında da kullanılabilir. Su ortamının ve ölçme taşıtının hareketleri göz ardı edildiğinde, PDGPS yöntemi ile birkaç santimetrelilik doğruluklarla konum bilgilerinin elde edilmesi mümkün olmuştur. Her bir saniyede konum bilgilerinin alınması olası olduğu için, deniz çalışmalarında kullanılan klasik konum belirleme yöntemlerinin sakıncalarının çoğu ortadan kalkmaktadır. Örneğin düşük bir hız ile hareket eden ölçme aracı ile hiç durmaksızın sürekli konum belirlenebilir. Günümüz akustik ölçerleri de artık GPS aletleri ile birlikte eş zamanlı veri alabilecek kapasitededir. Bu iki alet birlikte bir bilgisayara bağlanarak hidrografik haritaların çok hızlı ve yüksek doğrulukla yapılması kolay olacaktır.

ii-) Bu çalışma içinde yapılan uygulamada 2,5 km’lik bir kıyı çizgisi, dur-git ölçme yöntemi ile 1 saatte ölçülmüştür. Bunun için bir sabit noktaya alet kurulmuş ve başka hiç bir jeodezik noktaya ihtiyaç duyulmamıştır. Aynı işin klasik yöntemlerle yapılması durumunda sadece jeodezik noktaların tesisi bile, bu süreyi aşacaktır. Dolayısıyla, kıyı çizgisinin belirlenmesi işlemi için GPS yöntemi mutlaka kullanılmalıdır.

iii-) Uygulamada, tekneye yerleştirilen bir bilgisayar ve bir yazılımdan (PROFIMAP) yararlanılmıştır. Bununla GPS-Derinlik ölçer cihazlarından eş zamanlı bilgiler alınıp kaydetmenin yanı sıra, daha önceden planlanan ölçme hatlarının tam üstünde gitmek de mümkün olmuştur. Derinlik ölçmelerinin tam bir hat üzerinde yapılması için gereken zahmetli işler, bu program sayesinde en aza inmiştir. Tekneyi kullanan kişi hat üzerinde gitmek için sürekli olarak kıyıda bazı işaretleri takip etmeye ve hatta girmeye çalışmak yerine, sadece önündeki ekrana bakarak hat üzerinde gitmektedir.

Yerleşim bölgelerinin dışında yapılan çalışmalarda her zaman nişan alınacak sabit tesislerin olmayacağı göz önünde bulundurulduğunda, böyle bir programın ne denli yarar sağlayacağı ve ölçme hızını arttıracacağı daha iyi görülecektir. Dolayısıyla, bu tür uygulamalarda bir bilgisayar programından yararlanılmalıdır.

iv-) Çalışmanın esas amaçlarından birisi, bat-çık etkisinin derinlik ölçülerinden uzaklaştırılmasıdır. Uygulama kısmında ayrıntılı olarak anlatılan GPS destekli bu yöntem ile, Haliç gibi dalgaların son derece az olduğu bir ortamda bile birkaç desimetreyi bulan bu hata, kompensatör olmaksızın ölçülerden uzaklaştırılmıştır. Ölçmelere başlamadan önce GPS alıcıları ile 20-30 dakikalık ilave bir ölçme ile söz konusu bu hata ölçülerden uzaklaştırılabilir. Bununla ilgili algoritmalar Bölüm 5.2.8’de verilmiştir. Bu sayede ölçülen derinlik değerlerinin doğruluklarının artırılması mümkün olmuştur.

v-) Çalışmanın ikinci amacı, mareograf tesis etmeden ortalama deniz seviyesinin ölçme yapılan zaman aralığındaki yükseltisinin belirlenmesidir. Bunun için PDGPS yöntemi ve ilave olarak klasik yersel ölçmelerden yararlanılmıştır. Yapılan hesaplar sonucunda 6 dakikalık PDGPS verileri ile klasik mareograf ölçüleri arasında 5.3 cm, 30 dakikalık PDGPS verileri ile klasik mareograf verileri arasında 4.1 santimetrelilik fark olduğu görülmüştür (Tablo 5.10). Bölüm 5.2.9’da anlatıldığı gibi yeterli bir süre (20’ – 30’) PDGPS ölçüleri yardımıyla mareograf tesis etmeksizin deniz seviyesinin yükseltisi belirlenebilir. Gerek bir önceki gerekse bu maddenin uygulanmasında dikkat edilmesi gereken bazı hususlar vardır. Bunlar ilgili bölümde açıklanmıştır. Bu yöntemin uygulanmasındaki en önemli olumsuzluk geoid ondülasyonunun bilinmesinin gerekmesidir. Uygulamalarda her bir jeodezik noktanın elipsoidal ve yerel kotu belirlenip, aralarındaki farklardan ondülasyon belirlenmiştir. Bu işlem pratikte zaman alıcı ve güç bir işlemdir. Ülkemizde aynı datuma bağlı nivelman noktalarının kimi zaman kendi içinde bile tutarlı olmadığı pratik çalışmalar sonucu görülmüştür. Buna karşılık ülke genelinde presizyonlu olarak geoid ondülasyon değerleri hızla belirlenip pratik kullanıma sunulmalıdır. Bu işlem aynı zamanda GPS’ten elde edilen yüksekliklerin de kullanılabilirliğini sağlayacaktır. PDGPS yöntemi ile ulaşılan bu doğruluklar, klasik bir çok hidrografik çalışmaya yetecek düzeydedir.

vi-) Mareograf istasyonları kurarak ortalama su seviyesi yükseltisinin belirlenmesi kıyıya yakın bölgelerde yapılan çalışmalarda doğru bir yaklaşımdır. Ancak kıyıdan uzak kesimlerde yapılacak çalışmalarda kıyı mareograflarının kullanımı doğru değildir. Bunun için yukarıda anılan yöntemin kullanımı çok yararlı sonuçlar verecektir.

vii-) PDGPS yöntemi ile ortalama su seviyesinin yükseltisinin belirlenmesi yönteminin uygulanması, klasik mareograflara göre oldukça kolaydır. Örneğin klasik bir basınçlı mareografa, tuzluluk-sıcaklık gibi parametrelerin ölçülmesi gereklidir. Yeni yöntemde buna benzer zorluklar yoktur. Yöntemin en büyük dezavantajı, sabit istasyon ile alıcı arasındaki uzaklığın belli bir sınırı aşamamasıdır. Aksi takdirde tam sayı bilinmeyenleri hesaplanamayacağından sonuç başarısız olur. İlave donanımlarla normalde 10 km olan bu uzaklık, birkaç katına çıkarılabilmektedir.

viii-) Uygulamada derinlik ölçüleri otomatik olarak bilgisayara kaydedilmiştir. Aynı zamanda derinlikler grafik olarak da çizdirilmiştir. Değerlendirme yapılırken bazı derinlik değerlerinin sıfır olduğu görülmüştür. Bu tür durumlarda kayıt kağıtlarından yararlanılmıştır. Dolayısıyla hidrografik ölçmelerde derinlik değerleri mutlaka grafik olarak da çizdirilmelidir.

ix-) Derinlik ölçmeleri, aletin 210 kHz frekans değeri kullanılarak yapılmıştır. Yüksek frekans ile ölçmelerin yapılması sayesinde daha yüksek doğrulukta derinlik değerleri elde edilmiştir. Ayrıca su altı zeminin eğiminden kaynaklanan “eğim hatasının” etkisinin azaltılmasında da önemli yarar sağlamıştır. Buradan hareketle ölçmelerde mümkün olduğunca küçük çıkış açılı (büyük frekanslı) aletler kullanılmalıdır.

KAYNAKLAR:

- Abidin, H. Z.,(1993)** “On-the-Fly Ambiguity Resolution:formulation and results”
Manuscripta Geodaetica, Springer-Verlag, 18, 380-405
- Abidin, H. Z., (1994)** “On-the-Fly Ambiguity Resolution”, GPS World, Vol:5 No:4,
April
- Alev, M., (1995)** “Denizde Navigasyon”, TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi
Sayı:331, Haziran
- Algül, E., (1983)** “Akustik İskandil Yöntemi ve Ölçülerin Değerlendirmesi”, İTÜ
Dergisi, Cilt-41, No:3-4
- Algül, E., (1985)** “Hidrografinin Konum Belirleme Yöntemlerine Genel Bakış” Harita
Dergisi, Sayı:94
- Algül, E., (1989)** “Akustik İskandil Yönteminde Presizyonlu Derinlik Belirlemesi İçin
Detaylı Hata Araştırması”, Profesörlük Takdim Tezi, İTÜ İnşaat
Fakültesi, İstanbul
- Alkan, R. M., (1993)** “Harita Projelerinin CPM-PERT Yöntemleri ile
Programlanması”, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi
- Alpar, B., (1993)** “Türkiye Denizlerindeki Su Seviyesi Değişimlerinin Akustik
Derinlik Ölçmelerine Etkilerinin Araştırılması”, İstanbul Üniversitesi,
Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Doktora Tezi
- Altınar, Y., (1992)** “Global Pozisyon Belirleme Sistemi’nin (GPS) Ana Hatları”
Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi, Sayı:71, 9-54
- Atlas Elektronik, (1994)** “Deso-15, Operating Instruction”
- Bannister, A., Raymonds, S., (1991)** “Surveying”, Longman Scientific and
Technical
- Bell, J.C., (1990)** “Satellite Communications for the Surveyor in Maritime and Land
Mobile Operations”, FIG XIX International Congress, pp.47-61,
Helsinki, Finland
- Bomford, G., (1975)** “Geodesy”, Oxford At The Clarendon Press, Sayfa:273
- Brown, A., (1989)** “Extended Differential GPS”, Navigation; Journal of the Institute
of Navigation, Vol:36, No:3, Fall, pp.107-127, USA

- Cannon, M. E., Lachapelle, G., Lu, G., (1993)** "Kinematic Ambiguity Resolution With High-Precision C/A Code Receiver", *Journal of Surveying Engineering*, Vol:119, No:4, November, pp. 147-155
- Cheverton, D., (1974)** "Hydrographic Survey Vessels", *The Hydrographic Journal*, Vol:1, No:3, January, London
- Chiles, J. P., Chauvet, P., (1975)** "Kriging: A Method for Cartography of the Sea Floor", *The International Hydrographic Review*, Vol:LII, No:1, Monaco, January, pp. 25-41
- Cosat Group, (1995)** "Satellite Configurations", *Survey Review*, Vol:33, No:257, pp.188-198, July 1995
- de Moustier, C., (1988)** "State of the Art In Swath Bathymetry Survey Systems" *International Hydrographic Review*, Monaco, LXV(2), July, pp.25-54
- DeLoach, S.R., Wells, D., Dodd, D., (1995)** "WHY On-the-Fly?", *GPS World*, Vol:6, No:5, May, pp.53-58
- Doğan, E., (1987)** "Deniz Haritacılığı ve Günümüzdeki Önemi", Prof. Burhan Tansuğ, Fotogrametri ve Jeodezi Sempozyumu", İstanbul
- Doğan, E., Danışman, M. A., (1988)** "Konum Belirlemede Uydu Sistemleri ve Geleceği", İ.Ü. Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü Bülteni, 27-44
- Doğan, E., Alpar, B., (1989)** "Kıyı ötesi Batimetri çalışmalarında Echo-Sounding Uygulamaları", İ.Ü. Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü Bülteni
- Doğan, E., Alpar, B., (1991)** "Derinlik Ölçmede Yeni Bir Teknik ve Güncel Gelişmeler", İ.Ü. Deniz Bilimleri Coğrafya Enstitüsü Bülteni, Sayı:7, İstanbul
- Doğan, E., Alpar, B., (1992)** "Sudaki Akustik Dalgaların Fiziksel Özellikleri ve Klasik Yandan Taramalı Sonarlar İçin Bir Uygulama", İ.Ü. Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü Bülteni
- Doğan, E., Alpar, B., (1994)** "Deniz ve Göllerde Derinlik Ölçme Sistem ve Yöntemleri", İ.Ü. Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü , İstanbul
- Edge, D., Schenke, H. W., Seeber, G., (1990)** "Hydrographic GPS Applications in Germany", FIG XIX International Congress, Helsinki, Finland, pp.120-127
- Ello, P. N., Sitepu, M. J., (1997)** "Digital Marine Resource Mapping of Indonesian Waters", *Hydrographic Symposium, XVth International Hydrographic Conference*, International Hydrographic Organization, 21-22 April, Monaco, pp.viii.2.1-viii.2.7

- Eren, K., Uzel, T. , (1995) “GPS Ölçmeleri”, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yayın No:301, İstanbul**
- Fisher, S., (1991) “The Origins of the Station Pointer” The International Hydrographic Review, LXVIII, July, Monaco, pp. 119-126**
- Geotronics AB, (1994) Special Publication, Publication No:571 730 288, Sweden**
- Glittum, M., Heier, O., Pohner, F., Vestgard, K., (1986) “Multibeam Echo Sounder System for Seabed Mapping” FIG XVIII International Congress of Surveyors, 1-11 June, Toronto, Canada, pp.213-230**
- Grenier, M., Hally, P., (1991) “Model for Determination of Cartographic and Hydrographic Priorities” The International Hydrographic Review, vol:LXVIII, July, Monaco, pp. 127-145**
- Haagmans, M. E. E., Vegt, H. J. W. vd., (1990) “(Differential) GPS and LANDSAT TM: Useful Tools in Hydrographic Surveying? Experiences Gained in the Netherlands Antilles”, FIG XIX International Congress, Helsinki, Finland, pp.63-77**
- Haskins, G. L., (1986) “Standarts in Hydrography-Are They Applicable?” Proceedings of the 5th Biennial International Symposium of the Hydrographic Society, Hydro’86, pp.1-9**
- Hatch, R., (1990)“Instantaneous Ambiguity Resolution”, Proceedings of IAG International Symposium, No:107, on Kinematic System in Geodesy, Surveying and Remote Sensing, Springer-Verlag, New York, pp.299-308**
- Heimberg, F., Seeber, G., (1994) “Some Considerations and Developments to the Operational Use of Differential GPS in Marine Geodesy”, Marine Geodesy, Vol:17, pp.121-138**
- Hekimoğlu, Ş., (1989) “Deniz Düzeyi Yükseliyor Mu?” Harita Dergisi Sayı:103, Ankara**
- Hekimoğlu, Ş., (1990) “Deniz Yüzeyinin Yüzyıllık Değişimlerinin Belirlenmesi” Harita Dergisi, Sayı:104**
- Hekimoğlu, Ş., Şanlı, D. U., (1993) “Düşey Datum Belirlemede Sorunlar ve Aşamalı Yaklaşım”, Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği (TUJJB) Genel Kurulu Bildiri Kitabı, 08-11 Haziran, Ankara, Sayfa:21-46**
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Collins, J., (1992) “GPS, Theory and Practice”, Springer-Verlag, Wien New York**
- Hopkins, R. D., (1981) “Heave-Roll-Pitch Correction for hydrographic and Multi-Beam Survey Systems”, The Hydrographic Journal, No:21, July, pp.5-11**

- IHO, (1997)** "IHO Standarts for Hydrographic Surveys", SP 44, 4th Ed., Monaco
- Ingham, A. E., (1992)** "Hydrography for the Surveyor and the Engineer", Oxford Blackwell Scientific Publications
- Işık, B. C., (1997)** "Küresel Astronominin Konusu Zaman ve Uydu Konumlama Sistemleri (GPS-GLONASS)", Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi, Sayı:82, Mayıs, 91-98
- Jackson, P., (1993)** "Ambiguity Resolution On The Fly for High-Accuracy Kinematic GPS Surveying", GIM, Geodetical INFO Magazine, November
- Joseph, M., (1991)** "Assessing the Precision of Depth Data" The International Hydrographic Review, vol: LXVIII, July, Monaco, pp. 113-118
- Kalkan, Y., Baykal, O., Alkan, R.M., İpbüker, C., (1996)** "Yeni Galata Köprüsü'nde Deformasyon Ölçmeleri", Teknik Rapor, İTÜ Araştırma Fonu, Proje No:339, İstanbul
- Kee, C., Parkinson, B. W., (1991)** "Wide Area Differential GPS", Navigation, Journal of the Institute of Navigation, vol:38, No:2, Summer, USA, pp.129-151
- Kielland, P., Casey, M., (1990)** "GPS Cost/Benefit for Hydrographic Surveying", GPS World, January/February, pp. 40-45
- Kielland, P. Dagbert, M., (1992)** "The Use of Spatial Statics in Hydrography" The International Hydrographic Review, Vol: LXIX(1), March, Monaco, pp. 71-92
- Kınık, İ., (1993)** "Global Konumlama Sisteminin (Global Positioning System, GPS) Tanıtımı", İller Bankası, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Eğitimi, 11-34
- Kınık, İ., Şahin, K., Şanlı, İ., (1993)** "Ankara Test Ağında GPS Ölçülerinin Değerlendirilmesi", Harita Dergisi, Sayı:110, Ocak, 6-37
- Kınık, İ., Kahveci, M., Ocak, M., (1997)** "Uzun Bazlarda DGPS Uygulamaları", Harita Dergisi, Sayı:117, Ocak, 1-7
- Kumar, M., (1997)** "Global Vertical Datum: To Survey Accurate Orthometric Heights and Depths", XVth International Hydrographic Conference, Hydrographic Symposium, 21-22 April, pp:(v.2.1-v.2.11)
- Kurter, A., (1986)** "Deniz Bilimcilerinin Büyük Yardımcısı: SONAR", İ.Ü. Deniz Bilimleri ve İşletmesi Enstitüsü Dergisi, Sayı:3, İstanbul, 27-46
- Lachapelle, G., (1990)** "GPS in the Marine Environment: Status, Trends and Prospects", FIG XIX International Cogress, pp. 108-118, Helsinki, Finland

- Lachapelle, G., Kielland, P., Casey, M., (1992)** "GPS for Marine Navigation and Hydrography", International Hydrographic Review, Monaco, LXIX (1), March, pp. 43-69
- Lachapelle, G., Cannon, M. E., Lu, G., (1993)** "A Comparison of P Code and High Performance C/A Code Receivers for on the fly Ambiguity Resolution", Bulletin Geodesique, 67:185-192
- Leica AG, (1996a)** "Guidelines to Stop and Go and Kinematic GPS Surveying" May
- Leica AG, (1996b)** "GPS Equipment, User Manual", Switzerland
- Leick, A., (1990)** "GPS, Satellite Surveying", A Wiley-Interscience Publication, USA
- Luse, J. D., Malla, R., (1985)** "Geodesy From ASTROLOBE to GPS-A Navigator's View", Navigation, Journal of the Institute of Navigation, Vol:32, No:2, Summer, USA, pp.101-113
- Martin, J. P., (1994)** "Roll Stabilization of Small Ships", Marine Technology, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Vol:31, Number:4, October, pp.286-295
- McCartney, M., Stirling, R. M., (1986)** "Calibration of Ultra-Short Baseline Acoustic Positioning Baseline Systems", Proceedings of the 5th Biennial International Symposium of the Hydrographic Society, Hydro'86, pp.13.1-13.15
- Morton, J. L., Normark, W., Tucker, S. P., (1994)** "Sea-Floor Horizontal Deformation Measurement Using Dual-Frequency Intelligent Transponder", Proceedings International Symposium on Marine Positioning, INSMAP 1994, International Partnership in Marine Positioning, University of Hannover, Germany, 19-23 September, pp.81-86
- Mueller, I., (1990)** "Satellite Positioning and The IAG", GPS'90/SPG'90, September,
- Nakiboğlu, M. S., (1993)** Hydrographic Surveying, Unpublished Lecture Notes, King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia
- Napier, M. E., Ashkenazi, V., (1987)** "Modern Navigation and Positioning Techniques", Navigation, Vol:40, No:2, İngiltere, pp.183-193
- Örmeci, C., (1987)** "Uzaktan Algılama", C.1, İTÜ İnşaat Fakültesi
- Özgen, G. M., Algül, E., (1977)** Mühendislik Ölçmeleri, I-Hidrografik Ölçmeler, Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul

- Petrie, G., Kennie, T. J., (1987)** "Terrain Modelling in Surveying and Civil Engineering", Computer Aided Design, vol:19, No:4, May,171-187,
- Rapp, H. R., (1994)** "Vertical Datums in Land and Marine Positioning" Proceedings International Symposium on Marine Positioning, INSMAP 1994, International Partnership in Marine Positioning, University of Hannover, Germany, 19-23 September, pp.95-99
- Schud, G.H., (1976)** "Review of Interpolation Method for Digital Terrain Models" The Canadian Surveyor, vo:30, No:5, December
- Seeber, G., (1993)** "Satellite Geodesy, Foundations, Methods and Applications" Walter de Gruyter, Berlin-New York,
- Seeber, G., Schmitz, M., Goldan, H.J., (1994)** "Precise GPS-Based Positioning at Sea", International Symposium on Marine Positioning, International Partnership in Marine Positioning-INSMAP 94, 19-24 September, Hannover, pp. 11-24
- Sengoku, A., Fujita, M., Matsumoto, K., Terai, K., Sasaki, M., (1997)** "Determination of Precise Positions of the Mainlands and Isolated Islands in the Japanese Territory", XV th International Hydrographic Conference, Hydrographic Symposium, pp. v.1.1-v.1.22, 21-22 April, Monaco
- Sickle, J. V., (1996)** "GPS for Land Surveyors", Ann Arbor Press, Inc., Chelsea, Michigan, USA
- Spiess, F. N., Purcell, G. H., Draget, H., (1994)** "Determination of Sea Floor Displacements Using Precision Transponders and GPS", Proceedings International Symposium on Marine Positioning, INSMAP 1994, International Partnership in Marine Positioning, University of Hannover, Germany, 19-23 September, pp.51-60
- Spurling, T., Perry, G., (1997)** "A New Generation Laser Airborne Depth Sounder", Hydrographic Symposium, XVth International Hydrographic Conference, International Hydrographic Organasation, 21-22 April, Monaco, pp.iv.1.1-iv.1.16
- Tomlins, G., Wainwright, P., Woods, M., (1995)** "Upgrating Nautical Charts in Canada's Arctic Using Landsat Thematic Mapper (TM)" Lighthouse, Edition:52, Fall, pp.31-39
- van Woerden, J. A., Karacsoni, I., Nieuwstraten, R., (1986)** "Heave Compensation for Hydrographic Surveys", Proceedings of Hydro'86, Southampton University, 16-18 December, pp.16:1-16:12
- Watson, D. F., Philip, G. M., (1984)** "Triangle Based Interpolation" Mathematical Geology, Vol:16, No:8, 779-795

- Weeks, C.G., (1992)** “The Price of ECDIS-Is it Worth Paying?”, International Hydrographic Review, LXIX (1), March, Monaco, pp.93-102
- Wells, D., Mayer, L., Clarke, J. E. H., (1991)** “Ocean Mapping:From Where? To What?”, CISM Journal ACSGC, Vol:45, No:4, Winter, pp.505-518
- Wells, D. E., Beck, N., (1986)** “Guide to GPS Positioning”, Canadian GPS Associates, Fredercton, N.B., Canada
- Wu, J., Lin, S., (1996)** “Levelling by GPS Relative Positioning With Carrier Phases”, Journal of Surveying Engineering, Vol:122, No:4, November, pp. 145-157
- Yanalak, M., (1997)** “Sayısal Arazi Modellerinden Hacim Hesaplarında En Uygun Enterpolasyon Yönteminin Araştırılması”, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi







EK-A. Jeodezik Ağın Dengeleme Sonuçları

Adjustment type : Free
 Number of observations : 18
 Number of unknowns : 12
 Degrees of freedom : 9
 Datum defect : 3
 Number of groups : 1

Sigma a priori : 0.0004 [m]
 Sigma a posteriori : 0.0047 [m]

Vectors:

From point	To point	Obs no.	DX	DY	DZ
000201	000101	01_001	296.753	-261.065	-154.014
000102	000101	01_002	66.673	-543.324	235.183
000202	000101	01_003	336.965	-696.034	45.923
000202	000201	01_004	40.204	-434.975	199.930
000102	000201	01_005	-230.078	-282.253	389.201
000102	000202	01_006	-270.284	152.712	189.262

Cartesian residuals:

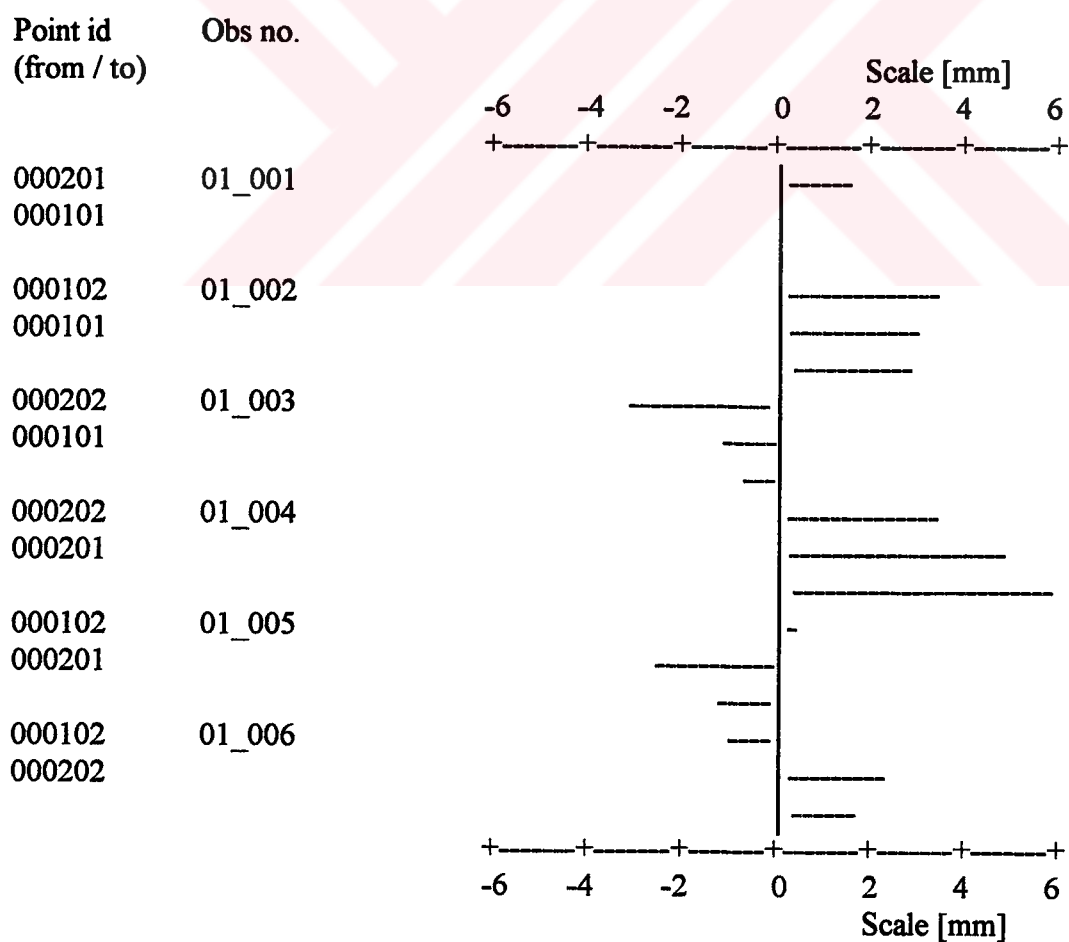


Table with Cartesian residuals:

From point	To point	Obs no.	dX	dY	dZ
000201	000101	01_001	0.0016	-0.0002	0.0002
000102	000101	01_002	0.0037	0.0030	0.0028
000202	000101	01_003	-0.0032	-0.0014	-0.0009
000202	000201	01_004	0.0036	0.0051	0.0059
000102	000201	01_005	0.0003	-0.0028	-0.0015
000102	000202	01_006	-0.0011	0.0023	0.0016

Outlier detection:

Critical tau value: 2.98 for tuned Alpha: 0.87 [%]

From point	To point	Obs no.	Stand. resid.	R[%]
000201	000101	01_001	0.63	45.62
		0.11	51.74	
		0.07	39.04	
000102	000101	01_002	0.66	66.76
		0.71	64.81	
		0.38	78.04	
000202	000101	01_003	1.21	40.63
		0.45	59.73	
		0.27	47.51	
000202	000201	01_004	0.75	65.28
		1.99	46.43	
		1.27	57.47	
000102	000201	01_005	0.15	34.31
		1.97	35.62	
		0.54	43.84	
000102	000202	01_006	0.35	47.40
		1.16	41.67	
		0.56	34.09	

Internal reliability (cartesian):

From point	To point	Obs no.	X	Y	Z	minimal detectable bias
000201	000101	01_001	0.0035	0.0029	0.0039	
000102	000101	01_002	0.0050	0.0038	0.0058	
000202	000101	01_003	0.0040	0.0033	0.0044	
000202	000201	01_004	0.0045	0.0031	0.0047	
000102	000201	01_005	0.0039	0.0025	0.0040	
000102	000202	01_006	0.0041	0.0029	0.0047	

External reliability (cartesian):

Point	dX	dY	dZ
000101	0.0001	0.0001	0.0001
000102	0.0007	0.0004	0.0008
000201	0.0005	0.0003	0.0005
000202	0.0006	0.0004	0.0005

Adjusted Cartesian coordinates:

000101	X:	4216254.2321	±	0.00193 [m]
	Y:	2333604.1550	±	0.00168 [m]
	Z:	4164312.5098	±	0.00215 [m]
000102	X:	4216187.5554	±	0.00198 [m]
	Y:	2334147.4756	±	0.00136 [m]
	Z:	4164077.3241	±	0.00214 [m]
000201	X:	4215957.4781	±	0.00180 [m]
	Y:	2333865.2200	±	0.00127 [m]
	Z:	4164466.5234	±	0.00189 [m]
000202	X:	4215917.2705	±	0.00202 [m]
	Y:	2334300.1898	±	0.00145 [m]
	Z:	4164266.5877	±	0.00205 [m]

2-D and 1-D confidence regions

Confidence level: 68.00 %

1D expansion factor: 0.9946

2D expansion factor: 1.5096

Point	Semi major axis	Azimuth	Semi minor axis	Height
000101	0.0021	14.2	0.0019	0.0028
000102	0.0017	155.3	0.0014	0.0029
000201	0.0017	155.4	0.0014	0.0025
000202	0.0016	175.6	0.0015	0.0029

Unit : m
 Coordinate type : Grid
 Reference ellipsoid : WGS 1984
 Projection set : GAUSS-KRU3

N. N.	Sağa (m)	Yukarı (m)	h (m)
101	412828.2076	4543577.7006	19.4262
102	413332.1694	4543259.8300	19.5765
201	413202.7501	4543776.9191	20.0219
202	413599.6365	4543506.1600	21.2002



EK-B. Grafik Derinlik Çizimi



***EK-C. Bat-çık Etkisinin Elemine Edilmesi için Yazılan
Programın Listesi***

```

DEFDBL A-H, T-Z
CLS
DIM NNb(5400)
DIM xb(5400)
DIM yb(5400)
DIM zb(5400)
DIM nni(4000)
DIM xi(4000)
DIM yi(4000)
DIM ent(4000)
PRINT
PRINT "          *** AGIRLIKLI ORTALAMA ILE ENTERPOLASYON ***"
PRINT "_____ "
INPUT "dayanak nokta sayisi:", nxyz1
INPUT "dayanak noktalarinin bulundugu DOSYA ADI: ", DOS1$
PRINT "_____ "
INPUT "enterpole edilecek nokta sayisi:", nxyz2
INPUT "enterpolasyon noktalarinin bulundugu DOSYA ADI: ", DOS2$
PRINT "_____ "
INPUT "kayit edilecek dosya adi ", DOS3$
ds1$ = DOS1$ + ".XYZ"
ds2$ = DOS2$ + ".XYZ"
ds3$ = DOS3$ + ".son"
OPEN "I", #2, ds1$
FOR i = 1 TO nxyz1
    INPUT #2, NNb(i), xb(i), yb(i), zb(i)
    ' PRINT NNb(i), xb(i), yb(i), zb(i)
NEXT i
CLOSE #2
OPEN "I", #2, ds2$
FOR i = 1 TO nxyz2
    INPUT #2, nni(i), xi(i), yi(i), rh
    ' PRINT Nni(i), xi(i), yi(i)
NEXT i
CLOSE #2
OPEN "o", #3, ds3$
PRINT "_____ "
PRINT "1.model ....  $p=1/s^k$  .....(k=1,2,3)"
PRINT "2.model ....  $p=1/e^{(s^2/k^2)}$ ...(k=3,4,5)"
PRINT "_____ "
50 INPUT "agirlik modelini seciniz(1,2):"; sec
INPUT "kullanilacak k sabitini seciniz:"; sbt
IF sec = 1 THEN GOTO 100
IF sec = 2 THEN GOTO 200
PRINT "!!! hata yaptiniz tekrar !!!"
GOTO 50
'.....:
100 'uzaklikla ters orantili agirlik alarak cozum
'.....:
FOR k = 1 TO nxyz2
    ex = xi(k): ey = yi(k)
    ' PRINT ex, ey
    entz1 = 0: entz2 = 0: topp1 = 0: topp2 = 0
    FOR i = 1 TO nxyz1
        s = SQR((ex - xb(i)) * (ex - xb(i)) + (ey - yb(i)) * (ey - yb(i)))
        s = s / 10
        p1 = 1 / (s ^ sbt)
        topp1 = topp1 + p1
        entz1 = entz1 + p1 * zb(i)
    NEXT i

```

```

        entz1 = entz1 / topp1
        ent(k) = entz1
    NEXT k
    FOR i = 1 TO nxyz2
        PRINT USING "#####.####.####.####.####.####"; nni(i); xi(i); yi(i);
    ent(i)
        PRINT #3, USING "#####.####.####.####.####.#### "; nni(i); xi(i); yi(i);
    ent(i)
    NEXT i
    GOTO 300
' .....
200 ' *** gauss fonksiyonu agirlik alinarak cozum ***
' .....
    FOR k = 1 TO nxyz2
        ex = xi(k): ey = yi(k)
        ' PRINT ex, ey
        entz1 = 0: entz2 = 0: topp1 = 0: topp2 = 0
        e = EXP(1)
        ' PRINT e
        FOR i = 1 TO nxyz1
            s = SQR((ex - xb(i)) * (ex - xb(i)) + (ey - yb(i)) * (ey - yb(i)))
            s = s / 1000
            p1 = e ^ (-(s * s) / (sbt * sbt))
            topp1 = topp1 + p1
            entz1 = entz1 + p1 * zb(i)
        NEXT i
        entz1 = entz1 / topp1
        ent(k) = entz1
    NEXT k
    FOR i = 1 TO nxyz2
        PRINT USING "#####.####.####.####.####.####"; nni(i); xi(i); yi(i);
    ent(i)
        PRINT #3, USING "#####.####.####.####.####.#### "; nni(i); xi(i); yi(i);
    ent(i)
    NEXT i
    CLOSE
300 END

```

DEFDBL A-H, T-Z

CLS

DIM nnb(4000)

DIM xb(4000)

DIM yb(4000)

DIM ZB(4000)

DIM FARK(4000)

DIM DUZ(4000)

DIM drn(4000)

PRINT

PRINT "_____"

INPUT " nokta sayisi:", nxyz1

INPUT " noktalarinin bulunduğu DOSYA ADI: ", DOS1\$

INPUT " derinliklerin bulunduğu DOSYA ADI: ", DOS2\$

PRINT "_____"

INPUT " kayıt edilecek dosya adi ", DOS3\$

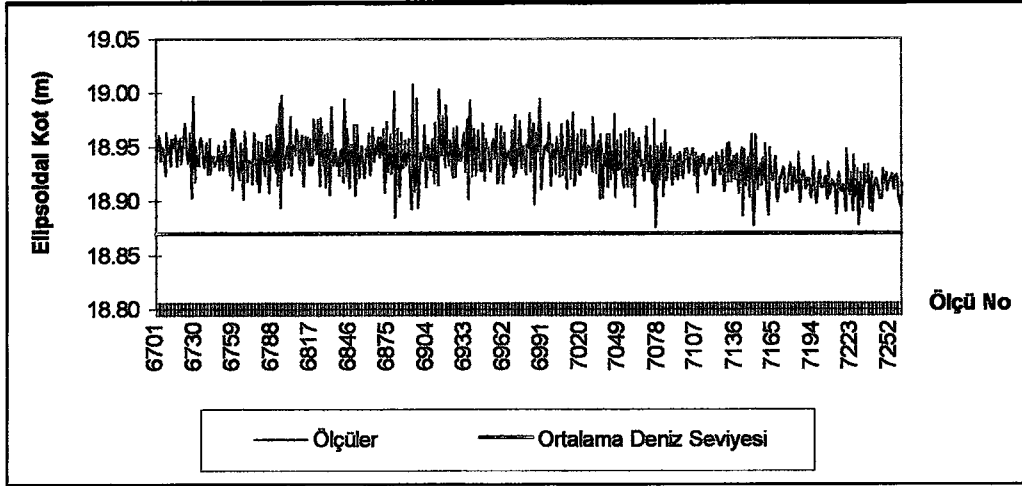
ds1\$ = DOS1\$ + ".son"

ds2\$ = DOS2\$ + ".xyz"

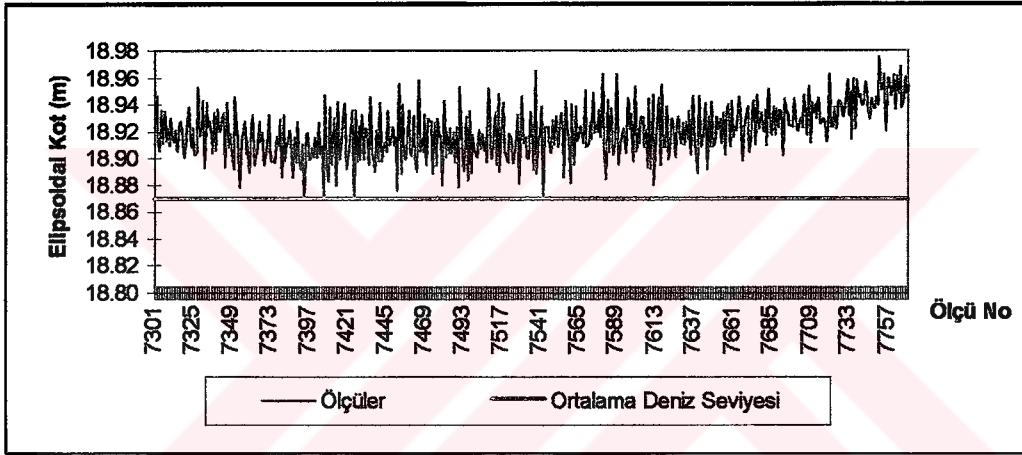
ds3\$ = DOS3\$ + ".frk"



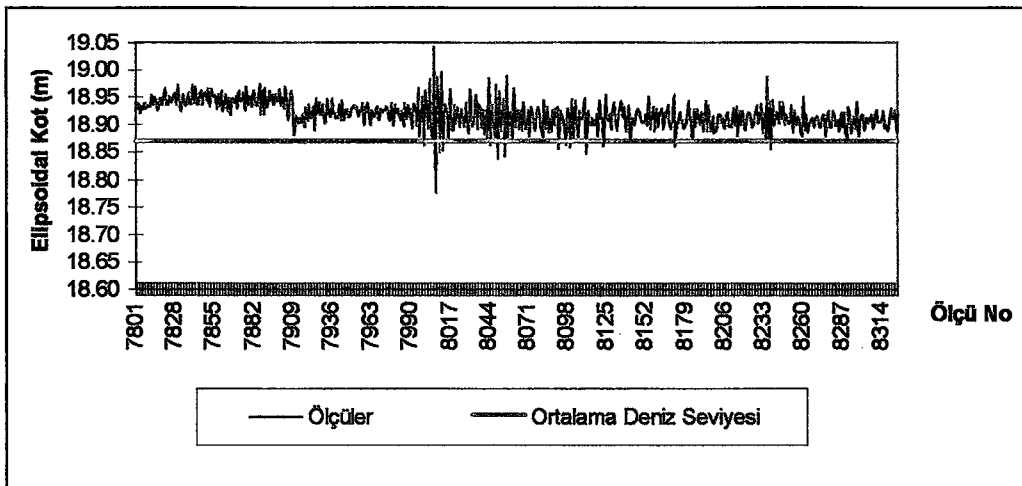
***EK-D. Ortalama Deniz Seviyesi ile Ölçüler Arasındaki
Farklar***

Eylül Uygulamasına Ait Sekiller :

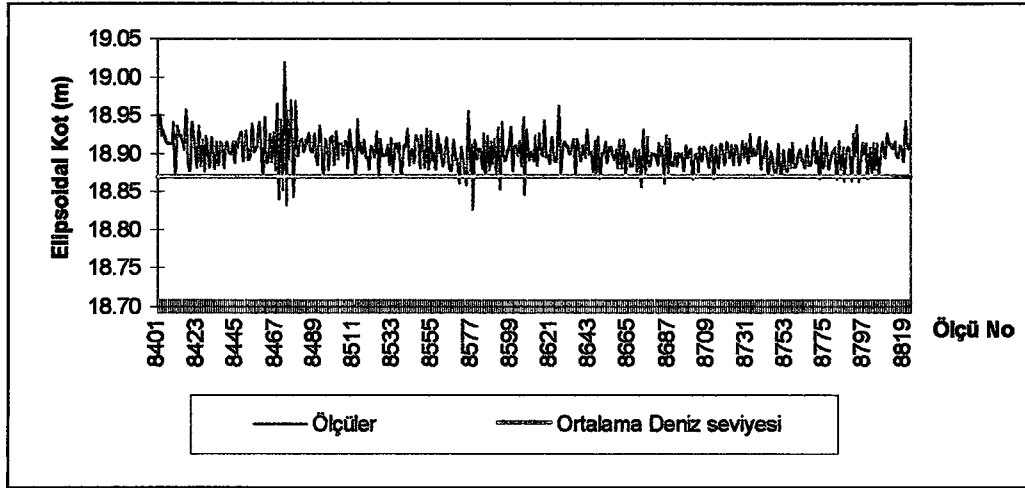
Şekil D.a. 4. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi ile Ölçüler Arasındaki Farklar



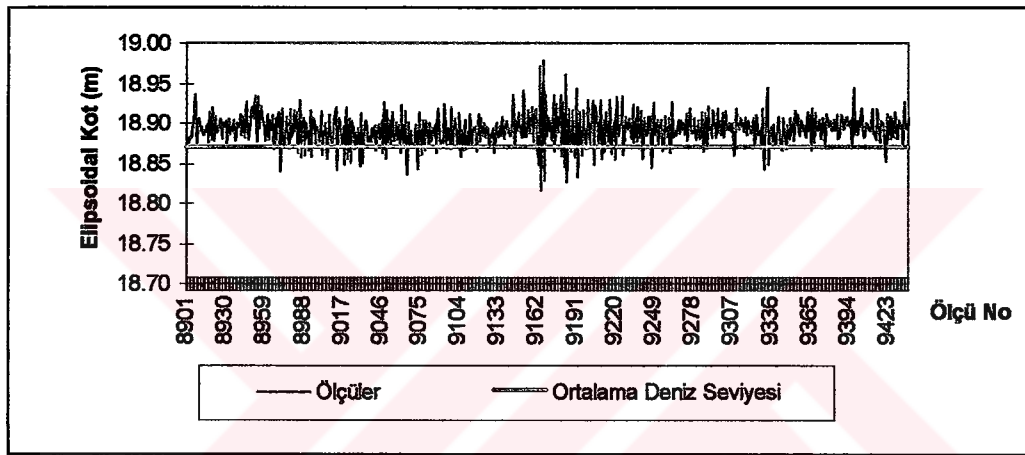
Şekil D.b. 5. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi ile Ölçüler Arasındaki Farklar



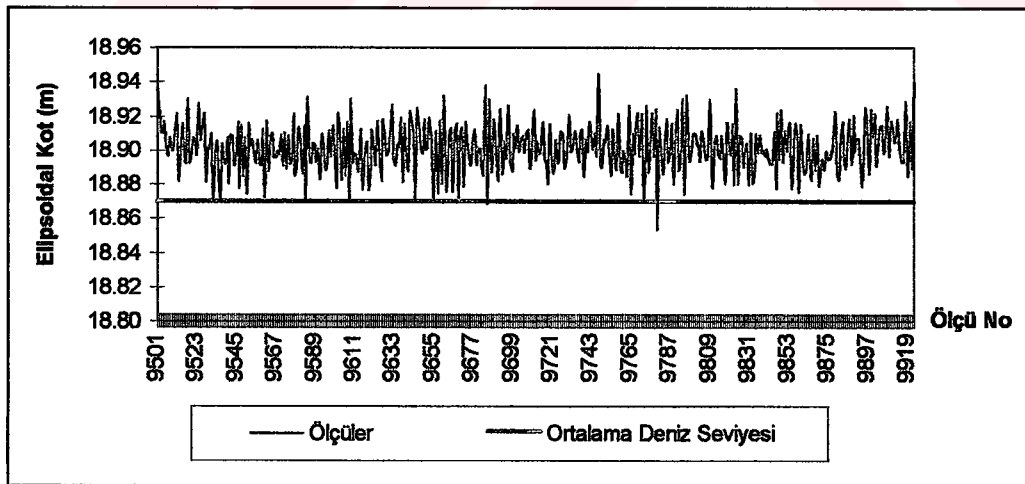
Şekil D.c. 6. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi ile Ölçüler Arasındaki Farklar



Şekil D.d. 7. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi ile Ölçüler Arasındaki Farklar

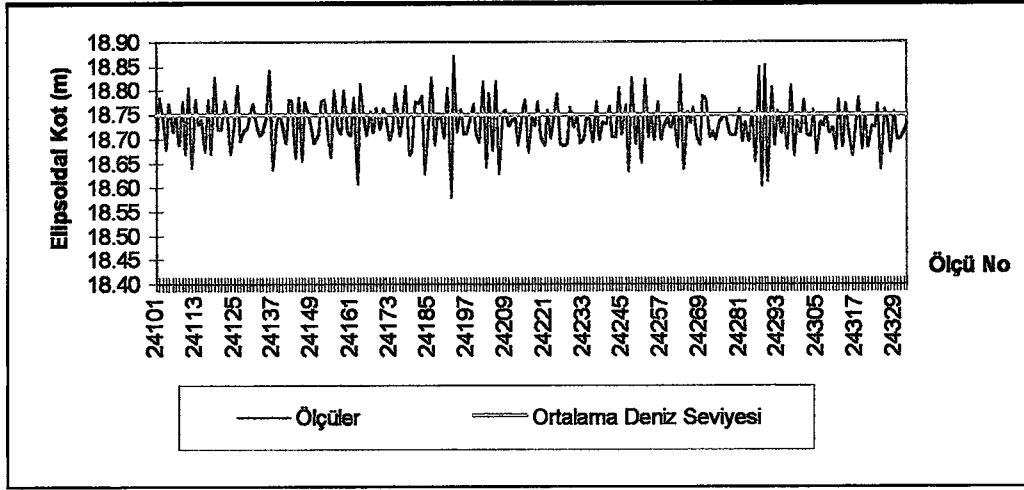


Şekil D.e. 8. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi ile Ölçüler Arasındaki Farklar

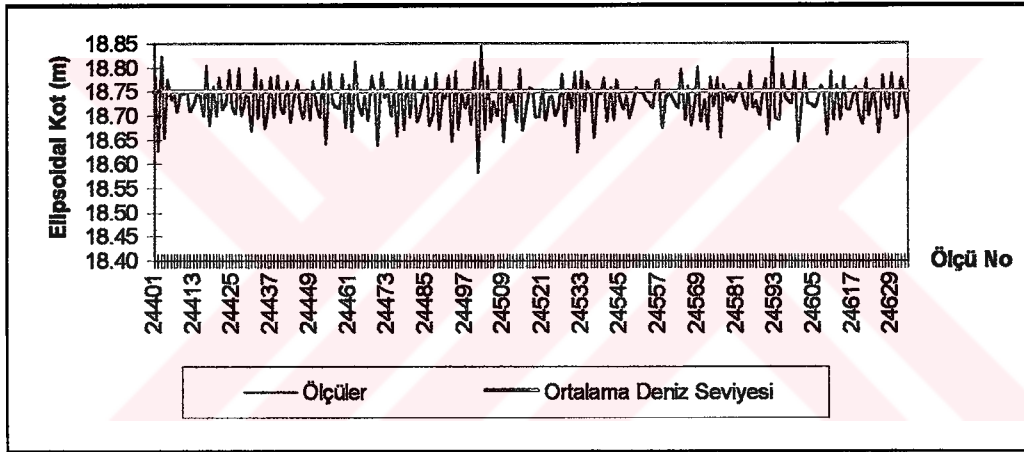


Şekil D.f. 9. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi ile Ölçüler Arasındaki Farklar

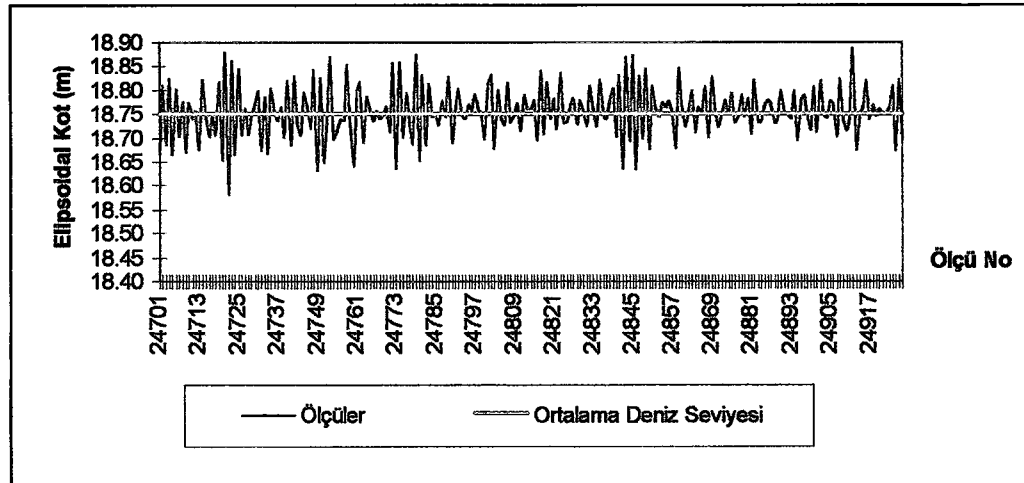
Kasım Uygulamasına Ait Sekiller :



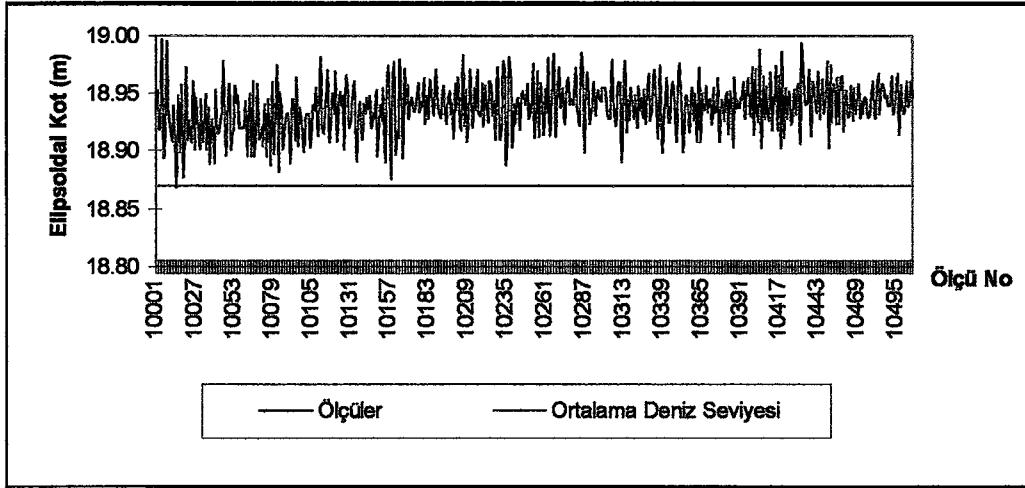
Şekil D.1. 4. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi ile Ölçüler Arasındaki Farklar



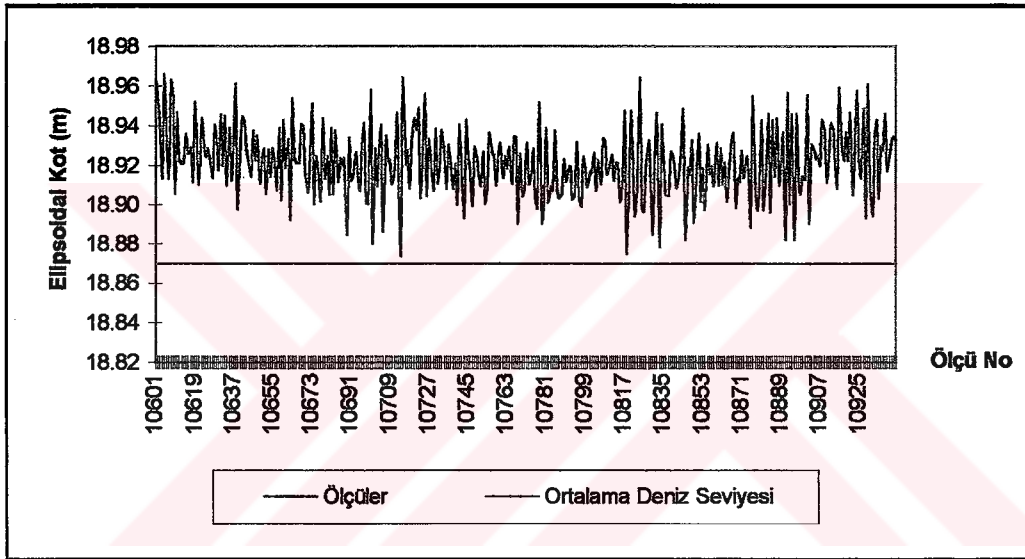
Şekil D.i. 5. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi ile Ölçüler Arasındaki Farklar



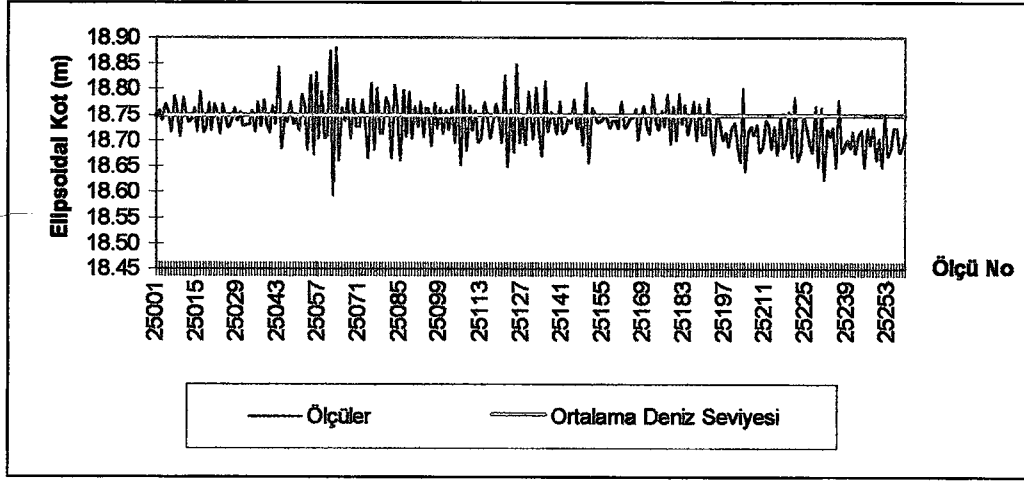
Şekil D.j. 6. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi ile Ölçüler Arasındaki Farklar



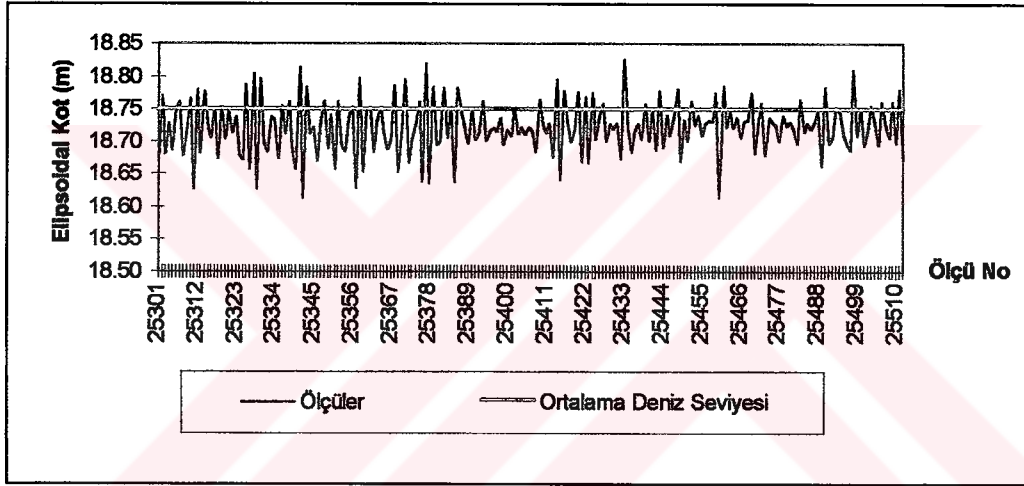
Şekil D.g. 10. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi ile Ölçüler Arasındaki Farklar



Şekil D.h. 11. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi ile Ölçüler Arasındaki Farklar



Şekil D.k. 7. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi ile Ölçüler Arasındaki Farklar



Şekil D.1. 8. Hat'a Ait Ortalama Deniz Seviyesi ile Ölçüler Arasındaki Farklar

ÖZGEÇMİŞ

1969 yılında Çorum'da doğmuştur. İlk, Orta ve Lise öğrenimini Çorum'da tamamlamış, 1986 yılında başladığı İTÜ İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü'nden 1990 yılında mezun olmuştur. Aynı yıl İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği programında yüksek lisans öğrenimine başlamış, 1993 yılında da tamamlamıştır. 1991 yılında beri, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Ölçme Tekniği Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.



19.05.2023
15.05.2023
15.05.2023