

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SIĞ SULARDAKİ HİDROGRAFIK ÖLÇMELERDE
ÇOK BİMLİ İSKANDİLLERİN KULLANIMI VE
HATA ANALİZİ**

Jeodezi ve Fotogrametri Yük. Müh. Nedim Onur AYKUT

**FBE Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Anabilim Dalı Geomatik Programında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 26 Haziran 2009

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Ömer AYDIN (YTÜ)

Juri Üyeleri : Doç.Dr.Halil ERKAYA (YTÜ)

: Doç.Dr.Yunus KALKAN (İTÜ)

: Doç.Dr.Reha Metin ALKAN (İTÜ)

: Doç.Dr.İbrahim KOÇ (YTÜ)

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖNSÖZ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1 Hidrografik Ölçmelerin Tarihsel Gelişimi	3
1.2 Hidrografik Ölçmelerin Uygulama Alanları	4
1.2.1 Kıyı Mühendisliği Uygulamaları	5
1.2.2 Seyir Haritalarının Üretimi	6
1.2.3 Askeri Uygulamalar	6
1.2.4 Çevresel Ölçümler	6
1.2.5 Baraj Alanlarındaki Uygulamalar	7
1.2.6 Jeofiziksel Araştırmalar	7
1.2.7 Sualtı Kaynak Araştırmaları	7
1.3 Hidrografik Ölçmelerde Standardizasyon	7
2. HİDROGRAFIK ÖLÇMELERDE DÜŞEY DATUMUN BELİRLENMESİ	11
2.1 Düşey Datum	11
2.2 Deniz Seviyesi Değişimleri	13
2.2.1 Gelgit Etkileri	14
2.2.2 Meteorolojik Etkiler	15
2.2.3 Oşinografik Etkiler	16
2.2.4 Düşey Yer Kabuğu Hareketleri	16
2.2.5 İklim Değişmesi (Global Isınma)	17
2.3 Ortalama Deniz Seviyesinin Belirlenmesi	17
2.4 Türkiye’de Deniz Seviyesi Değişimlerini Belirleme Çalışmaları	17
3. DERİNLİK ÖLÇMELERİ	21
3.1 Derinlik Ölçme Yöntemleri	21
3.1.1 Akustik Yöntem	21
3.1.2 Havadan Lazer İskandil Yöntemi	22
3.2 Ses Dalgalarının Fiziksel Özellikleri	23
3.3 Deniz Suyunda Ses Hızının Belirlenmesi	23

3.3.1	Ampirik Eşitlikler	24
3.3.1.1	Chen ve Millero Eşitliği (1977).....	25
3.3.1.2	Del Grosso Eşitliği (1974).....	26
3.3.1.3	Medwin Eşitliği (1975).....	27
3.3.1.4	MacKenzie Eşitliği (1981).....	27
3.3.1.5	Coppens Eşitliği (1981)	28
3.3.1.6	Derinlik/Basınç İlişkisi Eşitlikleri	28
3.3.2	İletkenlik, Sıcaklık ve Derinlik Ölçme Aleti	29
3.3.3	Derinlik Termometresi	29
3.3.4	Ses Hızı Profili Ölçer.....	30
3.3.5	Bar Kontrolü Yöntemiyle Ses Hızının Belirlenmesi	31
3.4	Akustik Derinlik Ölçme Aletleri	33
3.4.1	Tek Bimli İskandil Aletleri.....	33
3.4.1.1	Tek Bimli İskandil Aletlerinde Deniz Tabanı Kaplaması	34
3.4.1.2	Tek Bimli İskandil Aletlerinin Parametreleri	35
3.4.1.3	Tek Bimli İskandil Aletlerinde Hata Kaynakları ve Kalite Kontrol.....	35
3.4.1.3.1	Deniz Tabanının Eğimine Bağlı Hata.....	35
3.4.1.3.2	Ses Hızına Bağlı Hata.....	36
3.4.1.3.3	Zaman Ölçümüne Bağlı Hata	37
3.4.1.3.4	Ölçme Teknesinin Draftına, Çökmesine ve Oturmasına Bağlı Hata.....	37
3.4.1.3.5	Ölçme Teknesinin Yalpa, Boyuna Salınım ve Batçık Hareketlerine Bağlı Hata ..	39
3.4.1.3.6	Kayıt Okumaları ve Çözünürlüğe Bağlı Hata.....	41
3.4.1.3.7	Yorumlamaya Bağlı Hata	41
3.4.1.3.8	Tek Bimli İskandil Ölçmelerinde Derinlik İndirgemesi.....	42
3.4.2	Çok Bimli İskandil Sistemleri	42
3.4.2.1	Dünya Çapında Çok Bimli İskandil Sistemlerinin Kullanımı	42
3.4.2.2	ÇBİ Sistemlerini Oluşturan Donanımlar	43
3.4.2.3	Ölçme Teknesindeki Donanımların Dış Merkezlik Ölçmeleri.....	45
3.4.2.4	Çok Bimli İskandilin Çalışma Prensibi	47
3.4.2.5	ÇBİ Sistemlerinin Kalite Kontrol Yöntemleri.....	49
3.4.2.5.1	Konumlama Zaman Gecikmesi	49
3.4.2.5.2	Boyuna Salınım Artık Hatası.....	50
3.4.2.5.3	Tekne Rotasından Sapma Artık Hatası.....	50
3.4.2.5.4	Yalpa Artık Hatası	51
3.4.2.6	ÇBİ Sistemlerinde Derinliğe Etki Eden Hata Kaynakları	52
3.4.2.6.1	Ses Hızına Bağlı Hata.....	52
3.4.2.6.2	Ölçme Teknesinin Yalpa, Boyuna Salınım ve Batçık Hareketlerine Bağlı Hata ..	55
3.4.2.6.3	Ölçme Teknesinin Draftına, Çökmesine ve Oturmasına Bağlı Hata.....	57
3.4.2.7	Çok Bimli İskandil Sistemleriyle Yapılan Ölçmelerde Maliyet Analizi.....	60
3.5	Ölçme Teknesinin Draft Değerinin Belirlenmesi	62
4.	KONUM ÖLÇMELERİ	67
4.1	Optik Yöntemler	68
4.2	Elektromanyetik Yöntemler	68
4.3	Akustik Yöntemler	68
4.4	Global Konum Belirleme Sistemi (GPS).....	69
4.4.1	Gerçek Zamanlı Kinematik GPS Yöntemi	70
4.4.2	NMEA (National Marine Electronics Association) Veri Formatı.....	71
4.4.3	RTK GPS Verilerinin Filtrelenmesi	73
4.4.3.1	Hareketli Ortalama	74

4.4.3.2	Median Filtreleme.....	76
5.	UYGULAMA	78
5.1	Uygulamada Kullanılan Aletler ve Donanımlar	78
5.1.1	GPS Alıcısı	78
5.1.2	Elac Seabeam 1180 Çok Bimli İskandil Sistemi	79
5.1.3	Elac Hydrostar Hareket Algılayıcı	82
5.1.3.1	Doğrusal İvmeölçer	83
5.1.3.2	Açısal Değişim Algılayıcıları	85
5.1.3.3	Hareket Algılayıcısının İşleyiş Adımları.....	86
5.1.4	Atlas Deso 14 Tek Bimli İskandil Aleti	87
5.1.5	Diğer Aletler	88
5.1.6	Ölçme Teknesi Hakkında Genel Bilgiler.....	88
5.2	Ses Hızının Suyun Fiziksel Özelliklerine göre Hesaplanması ve Bar Kontrolü Yöntemiyle Belirlenmesi	89
5.2.1	Suyun Fiziksel Özellikleri Ölçülerek Ses Hızının Belirlenmesi	89
5.2.2	Bar Kontrolü Yöntemiyle Ses Hızının Belirlenmesi	92
5.3	Ölçme Teknesinin Dinamik Draft Değerinin Belirlenmesi	94
5.3.1	Ölçme Teknesindeki Alet ve Donanımların Dış Merkezlik Değerlerinin Ölçülmesi ve Hesaplanması	94
5.3.2	Ölçme Sahası ve Hazırlık Aşamaları	97
5.3.3	Ölçmelerin Yapılması	99
5.3.4	Statik Draftın Belirlenmesi	100
5.3.5	Veri Senkronizasyonu.....	102
5.3.6	Dinamik Draftın Belirlenmesi	102
5.3.6.1	Hat Üzerinde 1.Periyod Ölçmeleri	103
5.3.6.2	Hat Üzerinde 2.Periyod Ölçmeleri	108
5.3.6.3	Hat Üzerinde 3.Periyod Ölçmeleri	109
5.3.6.4	Hat Üzerinde Yapılan Periyod Ölçümlerinin Karşılaştırılması	111
5.3.6.5	Sonradan Kinematik Değerlendirme	112
5.4	ÇBİ Ölçmelerinde Derinlik Doğruluğunun Hesaplanması.....	113
5.4.1	Ses Hızı Profilineki Eğim Değişimine Bağlı Derinlik Doğruluğu	113
5.4.2	Transdüserin Yüzündeki Ses Hızı Değişimine Bağlı Derinlik Doğruluğu.....	116
5.4.3	Ölçme Teknesinin Yalpa, Boyuna Salınım ve Batçık Hareketlerine Bağlı Derinlik Doğruluğu	117
5.4.4	Ölçme teknesinin Draftına, Çökmesine ve Oturmasına Bağlı Derinlik Doğruluğu	119
5.4.5	Gelgite Bağlı Derinlik Doğruluğu	120
5.4.6	Toplam Derinlik Doğruluğu	120
5.5	Çok Bimli İskandil ile Tek Bimli İskandil Verilerinin Karşılaştırılması	123
5.5.1	ÇBİ ve TBİ Verilerinin Koordinatlarının Hesaplanması.....	123
5.5.2	Verilerin Karşılaştırılması	124
6.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	126
	KAYNAKLAR.....	128
	EK	133
	ÖZGEÇMİŞ.....	135

SİMGE LİSTESİ

Δn	Mareograf istasyonu alet sıfırı ile dayanak noktası arasındaki yükseklik farkı
H_{DYT}	Deniz yüzeyi topografyası
H_{ODS}	Mareograf istasyonu alet sıfırının ODS' den olan yüksekliği
t	Zaman
d	Derinlik
v	Hız
c	Sesin su içinde yayılma hızı
ρ_0	Su yoğunluğu
P	Basınç
T	Sıcaklık
S	Tuzluluk
φ	Enlem
c_0	Akustik iskandil aletinin ayarlı olduğu ses hızı
ϕ, θ	Bim açısı
σ	Doğruluk
δ	Hata
δt	Zaman ölçümündeki hata
θ_R, ψ	Yalpa açısı
θ_P, θ	Boyuna salınım açısı
ϕ	kuzeyden sapma
y	Kaplama uzunluğu
R	Uzaklık
ε_i	Fark
h_T	Transdüserdeki yükseklik değişimi

KISALTMA LİSTESİ

AUV	Autonomous Underwater Vehicles
BF	Body Frame
C&GS	Coast and Geodetic Survey
CTD	Conductivity, Temperature, and Depth
ÇBİ	Çok Bimli İskandil
DGPS	Diferential GPS
DYT	Deniz Yüzeyi Topografyası
EKKY	En Küçük Kareler Yöntemi
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile
HAT	Highest Astronomical Tide
HGK	Harita Genel Komutanlığı
HRP	Heave Roll Pitch
IHO	International Hydrographic Organization
INS	Inersial Navigation System
ISO	International Organization for Standardization
LAT	Lowest Astronomical Tide
LIDAR	Light Detection And Ranging
LL	Local Level
MSL	Mean Sea Level
NMEA	National Marine Electronics Association
NOS	National Ocean Service
ODS	Ortalama Deniz Seviyesi
PDOP	Percent Dilution of Position
PPK	Post-process Kinematic
ROV	Remotely Operated Vehicle
RP	Referans Point
RTK	Real-Time Kinematic
SASS	Sonar Array Sounding System
SHODB	Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı
SMA	Swedish Maritime Administration

SVP	Sound Velocity Profiler
TBİ	Tek Bimli İskandil
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TUDES	Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi
TUDKA	Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı
TWTT	Two Way Travel Time
UNB	University of New Brunswick
USACE	The United States Army Corps of Engineers
USGS	US Geological Survey
UTM	Universal Transverse Mercator
VRU	Vertical Reference Unit
WGS84	World Geodetic System 1984

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Tel iskandil (Theberge, 1989)	4
Şekil 1.2 Hidrografik ölçmelerin uygulama alanları	5
Şekil 1.3 Derinlik doğruluğu standartlarının karşılaştırılması.....	10
Şekil 2.1 Yükseklikler arasındaki ilişki	11
Şekil 2.2 Düşey datum belirleme (Yıldız, vd., 2003)	12
Şekil 2.3 Eşel kullanılarak su seviyesi değişiminin ölçümü.....	13
Şekil 2.6 TUDES kapsamındaki mareograf istasyonları (Yıldız, vd., 2003)	19
Şekil 2.7 TUDES' in temel çalışma yapısı (Yıldız, vd., 2003)	19
Şekil 3.1 Derinlik ölçme yöntemleri.....	21
Şekil 3.2 Akustik derinlik ölçümünün temel prensibi	22
Şekil 3.3 LİDAR Batimetri (Guenther, vd., 2000)	22
Şekil 3.4 CTD aleti (Seabird, 2008)	29
Şekil 3.6 Ses hızı profili ölçer (Reson, 2006).....	30
Şekil 3.7 Bar kontrolü.....	31
Şekil 3.8 Akustik iskandil aletleri	33
Şekil 3.9 TBİ deniz tabanı kaplaması.....	35
Şekil 3.10 Eğimli deniz tabanı (IHO, 2005).....	36
Şekil 3.11 Ölçme teknesinin draftı, oturması ve çökmesi (USACE, 2002)	38
Şekil 3.12 Teknenin yalpa, batçık ve boyuna salınım hareketleri	39
Şekil 3.13 Yalpa etkisinin gösterimi	40
Şekil 3.14 ÇBİ sistemlerinin ülkelere göre kullanım oranları (Aykut ve Birkan, 2007).....	43
Şekil 3.15 ÇBİ sistemi ve arayüzleri	43
Şekil 3.16 Tekne üzerine monte edilen donanımlar (Godin, 1997).....	44
Şekil 3.17 Referans noktasından olan dış merkezlik değerleri (Godin, 1997).....	45
Şekil 3.18 Üç eksenindeki dönüşüm açıları.....	46
Şekil 3.19 ÇBİ çalışma yöntemi (Godin, 1997)	47
Şekil 3.20 Zaman gecikmesinin belirlenmesi (Godin, 1997; IHO, 2005).....	49
Şekil 3.21 Boyuna salınım artık hatasının tesbiti (IHO, 2005)	50
Şekil 3.22 Rotadan sapma artık hatasının belirlenmesi (IHO, 2005)	51
Şekil 3.23 Yalpa artık hatasının belirlenmesi (IHO, 2005)	52
Şekil 3.24 Ses hızı profili ve bim gönderimi (IHO, 2005)	53
Şekil 3.25 Ses hızına bağlı bim yönlendirme hatası (IHO, 2005)	55
Şekil 3.26 Yalpa ve boyuna salınım etkisine bağlı derinlik hatası (IHO, 2005; Godin, 1997)	56

Şekil 3.27 Tekne geometrisi	59
Şekil 3.28 Tekne draftı	62
Şekil 3.29 Drafttaki kana rakamları.....	62
Şekil 3.30 Omurga altı geçiş derinliği (Gourlay, 2007)	63
Şekil 3.31 Ölçme teknesinin statik ve dinamik draftı.....	64
Şekil 3.32 Ölçme teknesinin batçık hareketleri ve draft değişimi	65
Şekil 3.33 Ölçme teknesinin draftı ile elipsoidal yükseklikler arasındaki ilişkiler	66
Şekil 4.1 GPS ile konum belirleme yöntemleri (Langley, 1998)	70
Şekil 4.2 RTK GPS çözüm algoritması (Aydın, vd., 2004)	71
Şekil 4.3 Hareketli ortalamanın çalışma yöntemi.....	74
Şekil 4.4 Veride sıçrama.....	75
Şekil 4.5 Hareketli ortalama yöntemine göre filtrelenmiş veri	75
Şekil 4.6 Orjinal veri ile filtrelenmiş veri arasındaki farklar.....	76
Şekil 4.7 Median filtre yöntemiyle filtrelenmiş veri	77
Şekil 4.8 Orijinal veri ile filtrelenmiş veri arasındaki farklar.....	77
Şekil 5.1 Thales Z-Max GPS alıcısı ve modemi	78
Şekil 5.2 V şeklindeki transdüserler	79
Şekil 5.3 Transdüser monte açısı.....	80
Şekil 5.4 Seabeam 1180 ÇBİ veri toplama yöntemi.....	80
Şekil 5.5 Seabeam 1180 bim iletim yöntemi.....	81
Şekil 5.6 Elac Hydrostar Hareket algılayıcı (Elac, 1997).....	82
Şekil 5.7 Dik koordinat sisteminin eksenleri.....	83
Şekil 5.8 Dayanıklı kütlenin ivmelenmenin etkisiyle yönünü değiştirmesi (Elac, 1997).....	84
Şekil 5.9 Bulma ve geri besleme ağı (Elac, 1997).....	84
Şekil 5.10 Basit sarkaç (Elac, 1997).....	85
Şekil 5.11 Dairesel kütlenin titreşim resmi (Elac, 1997).....	86
Şekil 5.12 Hareket algılayıcısının işleyiş şeması (TSS, 1998).....	87
Şekil 5.13 Atlas Deso 14 iskandil ve transdüseri	88
Şekil 5.14 Ses hızının belirlenmesi için seçilen proje bölgesi (Google Earth).....	89
Şekil 5.15 Ölçmelerde kullanılan SBE19 CTD Aleti.....	90
Şekil 5.16 Ampirik eşitliklerle hesaplanan ses hızları.....	91
Şekil 5.17 Bar kontrolü levhası ve transdüserin altına doğru indirilmesi	92
Şekil 5.18 İskandil kağıdına çizilen bar kontrolü ölçümleri.....	93
Şekil 5.19 Ses hızının bar kontrolü yöntemiyle hesaplanması (0-10 metre).....	93

Şekil 5.20 Ses hızının bar kontrolü yöntemiyle hesaplanması (0-4 metre)	94
Şekil 5.21 Ölçme teknesinin üç boyutlu modeli.....	95
Şekil 5.22 Ortak noktaların tekne üzerindeki yerleri.....	95
Şekil 5.23 Tekne üzerindeki alet ve donanımlar arasındaki uzunluklar.....	96
Şekil 5.26 Su seviyesi değişimleri için yükseklikler arası ilişkiler	98
Şekil 5.27 Statik draft RTK GPS ölçüleri.....	101
Şekil 5.28 Ölçme teknesinin statik draft değeri.....	102
Şekil 5.29 Ölçme güzergahı	103
Şekil 5.30 1.Periyod ölçmelerdeki elipsoidal yükseklik verisi.....	103
Şekil 5.31 Hareket algılayıcı tarafından ölçülen yalpa açısı	104
Şekil 5.32 Hareket algılayıcı tarafından ölçülen boyuna salınım açısı.....	104
Şekil 5.33 Yalpa ve boyuna salınım hareketinin ölçülen elipsoidal yükseklik değerlerine etkisi	105
Şekil 5.34 1.Periyod ölçmelerdeki düzeltilmiş elipsoidal yükseklik verisi.....	105
Şekil 5.35 1.Periyod ölçmelerdeki ölçme teknesinin dinamik draftı.....	106
Şekil 5.36 1.Periyod ölçmelerdeki ölçme teknesinin batçık hareketi.....	106
Şekil 5.37 1.Periyod ölçmelerdeki ölçme teknesinin çökme hareketi.....	107
Şekil 5.38 2.Periyod ölçmelerdeki düzeltilmiş elipsoidal yükseklik verisi.....	108
Şekil 5.39 2.Periyod ölçmelerdeki ölçme teknesinin dinamik draftı.....	109
Şekil 5.40 2.Periyod ölçmelerdeki ölçme teknesinin çökme hareketi.....	109
Şekil 5.41 3.Periyod ölçmelerdeki düzeltilmiş elipsoidal yükseklik verisi.....	110
Şekil 5.42 3.Periyod ölçmelerdeki ölçme teknesinin dinamik draftı.....	110
Şekil 5.43 3.Periyod ölçmelerdeki ölçme teknesinin çökme hareketi.....	110
Şekil 5.44 Ölçme teknesinin çökmesi	111
Şekil 5.45 Ölçme teknesinin statik ve dinamik draftı.....	112
Şekil 5.46 Kinematik değerlendirme	112
Şekil 5.47 RTK ve Kinematik değerlendirme farkları	113
Şekil 5.48 Ses profilindeki eğim değişimine ve ses hızına bağlı derinlik doğruluğu.....	114
Şekil 5.49 Ses hızının derinliğe göre değişimi	116
Şekil 5.50 Transdüser yüzündeki ses hızı değişimine bağlı derinlik doğruluğu	117
Şekil 5.51 Boyuna salınım açısının derinlik doğruluğuna etkisi ($\sigma_{d\theta P}$)	117
Şekil 5.52 Yalpa açısının derinlik doğruluğuna etkisi ($\sigma_{d\theta R}$).....	118

Şekil 5.53 Farklı bim gönderme açılarındaki 5°'lik yalpa açısının derinlik doğruluğuna etkisi	118
Şekil 5.54 Ölçme teknesinin statik draft belirleme doğruluğu	119
Şekil 5.55 ÇBİ ile yapılan geniş bim açılı ölçmelerde derinlik doğruluğu (2σ)	121
Şekil 5.56 ÇBİ ile 5 knot hızla yapılan dar bim açılı ölçmelerde derinlik doğruluğu (2σ)..	121
Şekil 5.57 ÇBİ ile 10 knot hızla yapılan dar bim açılı ölçmelerde derinlik doğruluğu (2σ)	122
Şekil 5.58 70 m derinlikte ÇBİ ve TBİ verilerinin karşılaştırması.....	124
Şekil 5.59 35 m derinlikte ÇBİ ve TBİ verilerinin karşılaştırması.....	124

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.2 USACE Derinlik Ölçme Doğruluğu Standartları (USACE, 2002)	9
Çizelge 1.3 SMA Derinlik Ölçme Doğruluğu Standartları (Wells ve Monahan, 2002).	9
Çizelge 2.1 Mareograf istasyonlarının konum ve yükseklik değerleri (Yıldız, vd., 2003).	18
Çizelge 3.1 Chen ve Millero (1977) katsayıları	25
Çizelge 3.2 Del Grosso (1974) katsayıları	27
Çizelge 3.3 Katsayı değerleri	28
Çizelge 3.4 ÇBİ ölçmelerinde maliyet hesabı	61
Çizelge 3.5 Örnek bir alan için ölçüm maliyeti.....	61
Çizelge 4.1 Akustik yöntemler ile konumlandırmadaki standart frekanslar (IHO, 2005)	69
Çizelge 4.2 POS cümlesindeki tanımlamalar	72
Çizelge 4.3 Konum bilgisinin niteliği	73
Çizelge 4.4 UTM cümlesindeki tanımlamalar.....	73
Çizelge 5.1 Ölçme yöntemleri ve doğrulukları (Thales, 2005)	79
Çizelge 5.2 Elac Seabeam 1180 ÇBİ sistemi teknik özellikleri	82
Çizelge 5.3 Derinliğe göre deniz tabanı kaplaması	82
Çizelge 5.4 Hareket algılayıcının genel özellikleri (Elac, 1997).....	83
Çizelge 5.5 Chen&Millero ve Medwin eşitlikleri kullanılarak hesaplanan ses hızı değerleri .	90
Çizelge 5.6 MacKenzie ve Coppens eşitlikleri kullanılarak hesaplanan ses hızı değerleri.....	91
Çizelge 5.7 Ortak noktaların koordinatları	95
Çizelge 5.8 Ortak noktaların tekne koordinat sistemindeki koordinatları.....	96
Çizelge 5.9 Tekne koordinat sistemine dönüştürülmüş koordinatlar	96
Çizelge 5.10 Bina terasındaki ve iskele üzerindeki noktaların koordinatları (WGS84)	97
Çizelge 5.11 Eşel okumaları.....	100
Çizelge 5.12 Teknenin ağırlığındaki değişimin drafta etkisi.....	108
Çizelge 5.13 Suyun fiziksel özelliklerine göre hesaplanan ses hızı değeri	115
Çizelge 5.14 Toplam derinlik doğruluğunun hesaplanmasında kullanılan örnek değerler	120
Çizelge 5.15 Toplam derinlik doğruluğunun hesaplanmasında kullanılan örnek değerler	122

ÖNSÖZ

Hidrografik ölçmeler, diğer mühendislik uygulamalarının yanında daha az uygulaması olan bir alandır. Ülkemizin üç tarafının denizlerle çevrili olduğu düşünüldüğünde, bu alanlardan en iyi yararlanılabilmesi için, denizlerimizin topografyasını hassas olarak belirlememiz gelmekte ve bunun için de hidrografik ölçmeler daha büyük önem taşımaktadır.

Hidrografik ölçmeler alanında bana bu çalışma fırsatını veren ve her zaman beni destekleyen ve yönlendiren, bilgilerini ve deneyimlerini benimle paylaşan Saygıdeğer Hocam Prof.Dr.Ömer AYDIN' a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamda bilgisi ile bana yol gösteren Sayın Hocalarım Doç.Dr.Halil ERKAYA ve Doç.Dr.İbrahim KOÇ' a, uygulamadaki deneyimlerini benimle paylaşan, bu konudaki yayınları ile de beni yönlendiren Sayın Doç.Dr.Yunus KALKAN' a ve Sayın Doç.Dr.Reha Metin ALKAN' a, teşekkürlerimi sunarım.

Doktora çalışmam süresince benden yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocalarım Yrd.Doç.Dr.R.Gürsel HOŞBAŞ, Doç.Dr. Engin GÜLAL, Doç.Dr.Uğur DOĞAN ve tüm Hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın her aşamasında yanımda olan değerli arkadaşlarım Arş.Gör.Burak AKPINAR' a, Arş.Gör.Ercenk ATA' ya, Yrd.Doç.Dr.Hediye ERDOĞAN' a, Arş.Gör. Taylan ÖCALAN' a, Arş.Gör.Fatih POYRAZ' a ve adını burada sayamadığım arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Askerlik görevim sayesinde hayatımın bir yılının geçtiği ve belki de hidrografik ölçmeler konusunda araştırma yapma kararını aldığım Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığında, çalışmalarımda büyük yardımlarını gördüğüm başta Daire Komutanları olmak üzere tüm Mesaha Kısım Personeline teşekkür ederim.

Doktora çalışmam süresince benden manevi ve maddi olarak yardımlarını esirgemeyen ve her zaman destek olan aileme de teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmamın bilime ve Ülkemize yararlı olmasını temenni ederim.

Ağustos 2009

Nedim Onur AYKUT

ÖZET

1807 yılında Fransız fizikçi Dominique Francois Jean Arago' nun ilk kez su derinliğinin ses dalgaları ile ölçülebileceğini öne sürmesinden günümüze kadar hidrografik ölçmelerde farklı birçok yöntem kullanılmıştır.

Başlangıçta çubuklar, ip veya tel iskandiller ile yapılan hidrografik ölçmelerde, daha sonraları akustik yöntemler kullanılmaya başlanmıştır. 1980' li yıllarda Küresel Konum Belirleme Sisteminin (GPS) kullanılmaya başlanmasıyla hidrografi alanındaki gelişmeler hızlanmıştır. 1990' lı yıllardan itibaren Çok Bimli İskandil (ÇBİ) sistemlerinin GPS ile entegre kullanılmasıyla hidrografik ölçmeler altın çağına girmiş ve günümüzde uçaktan yapılabilir hale gelmiştir.

Teknolojinin sunduğu yeni ulaşım çeşitlerinden biri olan deniz tabanına yerleştirilen tüp geçit inşaatları, petrol platformlarının inşası gibi mühendislik çalışmaları ile seyir emniyeti açısından gemiler için omurga-altı geçiş derinliğinin az olduğu kanal, boğaz gibi alanlara ait hidrografik bilgilerin toplanması hassas ölçmeler gerektirmektedir. Bu ölçmelerde yüksek doğruluk ancak hata kaynaklarının en aza indirilmesiyle sağlanabilir.

Hidrografik ölçmelerde derinlik ölçümü birçok hatadan etkilenmektedir. Bunların başında derinlik belirlemedeki ana bileşen olan ses hızının belirlenmesi gelmektedir. Ölçme teknesinin su üzerindeki yalpa, boyuna salınım, batçık, çökme, oturma gibi hareketleri ile gelgit ölçümü de derinlik ölçümüne etki eden önemli faktörlerdendir. Çalışmada ÇBİ sistemleriyle toplanan her bir derinlik ölçümünün derinlik doğruluğu ile maliyeti yapılan analizler ile belirlenmiştir.

Akustik derinlik ölçme yöntemleri incelenerek, Tek Bimli İskandil (TBİ) ve ÇBİ sistemleriyle toplanan verilerin derinlik değerleri birbirleriyle karşılaştırılmış ve derinlik farkları hesaplanmıştır. Derinliklerin ölçümünde temel girdi olan ses hızı değeri, suyun fiziksel özellikleri kullanılarak ampirik algoritmalar yardımıyla hesaplanmış, TBİ aletleriyle bar kontrolü yöntemiyle yapılan derinlik ölçümünde hesaplanan ses hızıyla karşılaştırılmıştır.

Su seviyesi ile transdüser arasındaki yükseklik farkı teknenin draft değeri olarak ifade edilmektedir. Teknenin draftı, teknenin batıp çıkması, hızından dolayı çökmesi, oturması gibi düşey yöndeki tüm hareketlerden etkilenmektedir. Bu çalışmada ölçme teknesinin batçık-yalpa-boyuna salınım (HRP) hareketi de teknede bulunan hareket algılayıcı aletle ölçülmüştür. Ölçme teknesinin dinamik draft değeri RTK GPS ile belirlenmiş olup, HRP ve GPS verileri senkronize edilerek teknenin farklı hız derecelerine göre çökme miktarları hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hidrografik ölçmeler, ses hızı, akustik yöntem, çok bimli iskandil (ÇBİ), RTK GPS, teknenin batçık-yalpa-boyuna salınım hareketleri, hata ve maliyet analizi, dinamik draft.

USING THE MULTIBEAM ECHOSOUNDER SYSTEMS IN SHALLOW WATER HYDROGRAPHIC SURVEYING AND ERROR BUDGET ANALYSIS

ABSTRACT

In 1807 Dominique Francois Jean Arago made the first specific suggestion that water depths might be measured by sound propagation. From past to present different methods had been used for hydrographic surveys.

Hydrographic surveys had been conducted with different methods such as rod, lead line and wire cable in the past and the later acoustic methods were used. When Global Positioning System (GPS) were used in the field of hydrography in 1980, the development has accelerated. From 1990 to present, Multibeam Echosounder Systems (MBES) are widely integrated with GPS hydrographic surveying has entered into gold age, and today can be made from aircraft.

High precision measurements are needed for the construction of tube tunnels placed to seabed and the engineering works such as construction of oil platforms and the navigational safety of ships for the underkeel clearance. High precision can be achieved on these works if the error sources can be minimized.

In hydrographic surveying, depth measurement is effected by many errors. One of these errors is sound velocity determination which is the main component of depth measurement. Survey vessel's roll, pitch, heave, squat and settlement movements and the tide measurement have important effects for depth measurements. In this study, depth budget analysis and cost analysis are calculated for MBES.

Acoustics depth measurements methods are examined, Single Beam Echosounder Systems (SBES) and MBES datas are compared with each other. As a result of this, depth differences are calculated. Sound velocities were calculated with the help of empirical algorithms by using physical properties of water. At the same area, bar check method was applied for SBES measurements to determine the velocity of sound and compared with the other values.

The height difference between water and transducer level is expressed as draught of the survey vessel. Draught of the vessel is affected by all vertical movements such as vessel's heave, squat, settlement movements. In this study, heave, roll, pitch movements of the survey vessel were measured by the HRP sensor of the vessel. Dynamic draught of vessel was determined by RTK GPS measurements. HRP and GPS measurements were synchronized and vessel squats were calculated for different vessel speeds.

Keywords: Hydrographic surveying, sound velocity, acoustic method, MBES, RTK GPS, heave-roll-pitch movements of survey vessel, error budget analysis and cost analysis, dynamic draft.

1. GİRİŞ

Hidrografi, navigasyon ve mühendislik amaçlı olmak üzere, açık deniz faaliyetleri, araştırma, çevre koruma gibi amaçlar için sularla kaplı alanların ölçülmesini ve kıyıların belirlenmesini konu edinen uygulamalı bir bilim dalıdır (IHO, 2007).

1738 sayılı Seyir ve Hidrografi Hizmetleri kanunundaki tanıma göre hidrografi, denizler, nehirler ve diğer sular ile bunları çevreleyen kıyı şeridindeki seyir emniyeti ve kolaylığı için bilinmesi gereken bütün temel unsurları ölçen, inceleyen ve bunları denizcilerin kullanmalarına elverişli bir şekilde sunan bilim dalıdır.

Bir başka tanıma göre hidrografi, bir bölgenin akarsuları, göllerinin bütünü, sualtı topografyasını ve doğasını belirlemek için gerekli parametreleri bulma ve ölçme bilimi olarak tanımlanmıştır (Özgen ve Algül, 1977).

Sularla kaplı bölgelerden en verimli biçimde yararlanmak için bu bölgelerin sualtı topografyasının güncel olarak bilinmesi önemlidir. Bu topografya, günümüzde modern ölçme sistemleri ile belirlenebilmektedir. Hidrografik ölçmelerdeki iki temel işlem, suyun üzerindeki noktaların yatay koordinatlarının belirlenmesi ve bu noktada yapılan derinlik ölçümleridir. Geçmişte klasik teodolitlerle kıydan yapılan kestirmeler ile hesaplanan yatay koordinatlar günümüzde GPS teknolojisi ile çok daha kolay belirlenmektedir. Diferansiyel GPS ve RTK (Real-Time Kinematic) GPS yöntemlerinin kullanılmasıyla hidrografide konum belirlemedeki zorluk aşılmış ve konum doğruluğu değeri artırılmıştır.

Hidrografik ölçmelerdeki bir diğer temel işlem de derinlik ölçmeleridir. *Bathos* ve *Metry* kelimelerinin bir araya gelmesiyle oluşan batimetri, hidrografide derinlik anlamına gelmektedir. Bazı kaynaklarda batimetrik ölçmeler olarak da tanımlanan derinlik ölçmeleri geçmişte ip, lata ve tel iskandiller yardımıyla yapılırken günümüzde akustik ve havadan lazer iskandil yöntemleri kullanılarak yapılmaktadır.

Yerkürenin yüzde 71'nin sularla kaplı olduğu düşünüldüğünde hidrografik ölçmeler bilim dünyasında büyük bir uğraş alanıdır. Ülkemizde kıyılarımızın uzunluğu yaklaşık 8340 km' yi bulmaktadır. Kıyı alanlarımızdan daha verimli yararlanmak amacıyla limanların planlanması, kıyı erozyonunun önlenmesi, kıyıların, limanların ve balıkçı barınaklarının kumlanmaya karşı korunması gibi kıyı mühendisliği çalışmalarında hidrografik ölçmelere gereksinim duyulmaktadır.

Denizlerde yapılan mühendislik çalışmaları ancak hassas hidrografik ölçmeler ile gerekli doğruluklara ulaşmaktadır. Bu sebeple su ortamı gibi hareketli bir ortamda yapılan ölçmelerde hata kaynaklarını en aza indirmek gerekmektedir.

Derinlik ölçümünün temel prensibi ses dalgalarının deniz tabanına gönderilip geri gelmesiyle geçen sürenin sesin su içinde yayılma hızı ile çarpılmasından ibarettir. Bu sebeple derinlik ölçmelerinde ses hızının doğru belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada ses hızı suyun sıcaklık, tuzluluk ve basınç değerlerine göre ampirik algoritmalar kullanılarak hesaplanmıştır. Tek bimli iskandil aletleriyle yapılan derinlik ölçmelerinde ses hızının belirlenmesi için kullanılan bir başka yöntem ise bar kontrolü (bar-check) yöntemidir. Her iki yöntemle ölçmeler yapılmış, değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Hidrografik ölçmelerde kullanılan akustik yöntemler tanımlanmış, sığ sularda (derinliği 50 m'den az) çok bimli iskandil (ÇBİ) sistemlerinin kullanımı açıklanarak ÇBİ sistemleri ile ölçülen her bir derinlik değeri için hata analizi yapılmıştır.

Hata analizi kapsamında, ses hızının belirlenmesi, ölçme teknesinin yalpa, boyuna salınım ve batçık hareketlerinin tespiti, teknenin draft değişiminin dinamik olarak belirlenmesi, gelgit seviyelerin ölçümü gibi faktörler dikkate alınmıştır. Bu çalışmayla ölçmelerde kullanılan sistem ve donanımların doğruluk değerlerine bağlı olarak ölçülen her bir değer için derinlik doğruluğu hesaplanmıştır.

Hidrografik ölçmelerde derinlik doğruluğunu etkileyen faktörlerden biri de ölçme teknesinin draft değişimidir. Bu çalışmada bu değişimin dinamik olarak belirlenmesi için RTK GPS yöntemi kullanılarak ölçmeler yapılmıştır. Ölçmeler süresince teknenin yapmış olduğu yalpa, boyuna salınım, batçık ve kuzeyden sapma hareketlerini belirlemek için teknede bulunan hareket algılayıcı aletten yararlanılmıştır. Hareket algılayıcı ve RTK GPS kullanılarak toplanan veriler senkronize edilerek ölçme teknesinin dinamik draft değeri belirlenmiş ve teknenin 5 knot, 8 knot ve 10 knot' lık hızları için çökme miktarları hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler hata analizinde değerlendirilerek derinlik doğruluğunun belirlenmesine katkı sağlamıştır.

Sığ sularda ÇBİ sistemleriyle yapılan ölçmelerdeki doğruluk değerleri hesaplanarak bu değerlerin öngörülen hidrografik standartlara uygun olup olmadığı tespit edilmiştir.

Ayrıca, ÇBİ verileri TBİ verileri ile karşılaştırılmış, enterpolasyon yapılmaksızın her bir TBİ verisine karşılık gelen ÇBİ verileri hesaplanmış ve derinlik farkları belirlenmiştir. Tespit

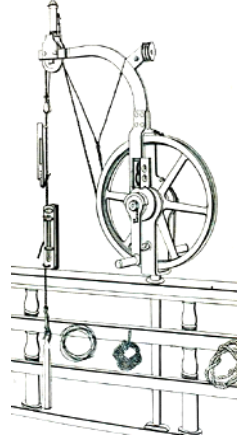
edilen derinlik farklarının Uluslararası Hidrografi Örgütünün Özel Yayın No:44 standartlarında özel dereceli alanlar için tanımlanan sınır değerler altında kaldığı belirlenmiştir.

Bu çalışma altı ana bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde, hidrografik ölçmeler ile ilgili genel tanımlamalar yapılarak, çalışmanın amacı ve bu çalışma kapsamında yapılanlar kısaca açıklanmıştır. İkinci bölümde düşey datumun belirlenmesi ve deniz seviyesi değişimleri hakkında bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde derinlik ölçme yöntemleri sınıflandırılarak ampirik ses hızı algoritmaları verilmiş, TBİ aletleri kullanılarak yapılan ölçmeler için bar kontrolü yöntemiyle ses hızının hesaplanması konusunda ayrıntılı açıklamalar yapılmıştır. Ayrıca akustik ölçme yöntemleri, bu yöntemler ile toplanan verilerdeki hata kaynakları ve analizi ile kalite kontrol yöntemleri anlatılmıştır. Hidrografik ölçmelerde ölçme teknesinin dinamik draftının nasıl belirleneceği şekiller ve eşitlikler yardımıyla açıklanmıştır. Dördüncü bölümde konum belirleme yöntemleri, bu yöntemlerden biri olan ve günümüzde hidrografik ölçmelerde çok kullanılan RTK GPS yöntemi hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiştir. Beşinci bölüm uygulama bölümüdür. Bu bölümde uygulamalarda kullanılan alet ve donanımlar hakkında bilgiler verilmiştir. Ses hızının belirlenmesine yönelik ölçmeler ve hesaplamalar yapılarak TBİ aletleri kullanılarak bar kontrolü yapılmış ve sığ sularda bu yöntemle ses hızı değeri hesaplanmıştır. RTK GPS yöntemiyle ölçme teknesinin düşey yöndeki hareketlerini belirlemek için ölçmeler yapılmış olup, teknedeki hareket algılayıcı ölçümleriyle senkronize edilerek teknenin dinamik draftı belirlenmiştir. ÇBİ sistemleriyle toplanan verilerin hata analizi yapılarak ÇBİ verileri için derinlik doğruluğu hesaplanmıştır. ÇBİ ve TBİ verileri karşılaştırılarak derinlik farkları hesaplanmıştır. Altıncı bölümde ise sonuçlar ve öneriler yer almaktadır.

1.1 Hidrografik Ölçmelerin Tarihsel Gelişimi

1807 yılında Fransız fizikçi Dominique Francois Jean Arago ilk kez su derinliğinin ses dalgaları ile ölçülebileceğini öne sürmüştür. Sudaki ses hızı ilk kez 1828 yılında oldukça hassas bir şekilde Daniel Calladon ve Charles Strum tarafından Genova Gölünde 1435 m/sn olarak ölçülmüştür (Theberge, 1989).

İngiliz Sir William Thomson 1872 yılında mekanik iskandil aletini bulmuştur. Bu tarihten sonraki 50 yılda çok farklı tel iskandil aletleri geliştirilmiştir. Bunlardan en önemlisi İngiliz gemilerinde kullanılan Lucas İskandil aleti ile Coast and Geodetic Survey (C&GS) tarafından kullanılan derin su iskandil aletleridir (Theberge, 1989).



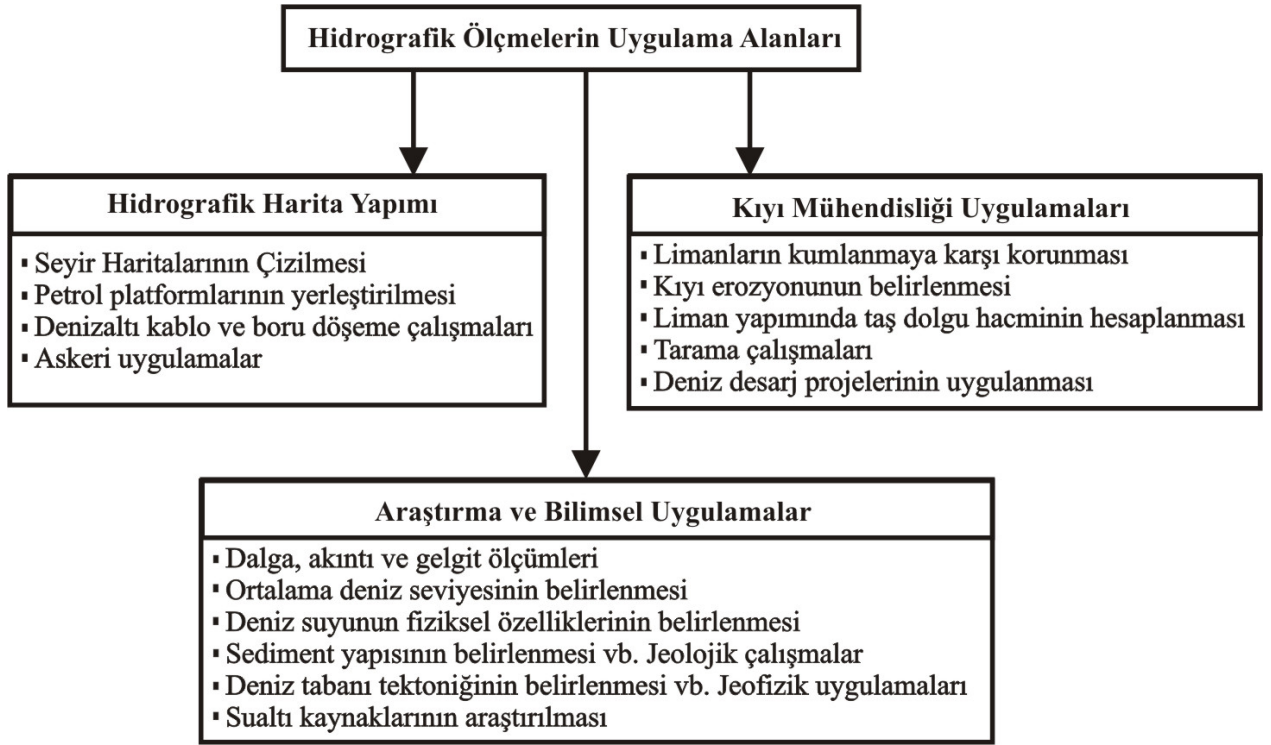
Şekil 1.1 Tel iskandil (Theberge, 1989)

1910 yılında Robert Blake ve William Gunn ile gönderilen ekonun 2 saniye sonra deniz tabanından geri dönmesinin farkına varmış, bir seferinde Fessenden, yatay ve düşey ekoların su içinde oluşturulacağını göstermiştir. Bu dönüm noktası daha yeni teknolojilerin gelişmesinde altlık olmuştur. 1922 yılında Harvey Hayes'in iskandiliyle derinlik ölçmeleri yapılmış ve şimdiki Güney Kaliforniya Kıta Sınırı alanlarını kaplayan ilk batimetrik harita üretilmiştir. C&GS tarafından 312 Fathometer aletini izleyen birçok iskandil aleti üretilmiştir. Bu gelişmeler 1960' lı yılların başına kadar sürmüştür. Bu yıllarda okyanus araştırmaları için önemli buluşlar yapılmıştır. Bunlardan biri Scripps Oşinografi Kurumu tarafından yapılan ve kullanılan yandan taramalı sonar sistemidir. Diğer buluş ise Çok Bimli İskandil (ÇBİ) sistemleridir. Sonar Array Sounding System (SASS) olarak bilinen ilk ÇBİ 1963 yılında kullanılmıştır. 1968 yılında bugünkü Sea Beam olarak bilinen ÇBİ aletleri üretilmeye başlanmıştır. 1980' li yıllara kadar bu gelişmeler ışığında gelinmiştir (Theberge, 1989).

1990' lı yıllardan sonra gelişen havadan lazer iskandiller ile özellikle boğaz, kanal gibi sığ alanlar ile kıyı alanlarında ölçmeler yapılmakta ve sayısal arazi modelleri kolaylıkla oluşturulmaktadır.

1.2 Hidrografik Ölçmelerin Uygulama Alanları

Geçmişe bakıldığında kıtalar arasında insan ve yük taşımacılığı gemiler ile yapılmaktaydı. Bu sebeple, denizlerin derinliklerinin ölçülmesi tarih boyunca gemilerin seyri için vazgeçilmez olmuştur. İlk olarak hidrografik ölçmelerden seyir alanında yararlanılmıştır. Günümüzde hidrografik ölçmeler birçok disiplini bir araya getiren ve uygulama alanları (Şekil 1.2) açısından farklı disiplinlere hizmet eden bir uğraş alanı haline gelmiştir.



Şekil 1.2 Hidrografik ölçmelerin uygulama alanları

1.2.1 Kıyı Mühendisliği Uygulamaları

Dünyada kıyı alanları hem yerleşim hem de rekreasyon alanları olarak diğer yerlere oranla daha çok tercih edilmektedir. 8300 metreden uzun bir kıyı şeridinde sahip olan ülkemizde de kıyı alanları hem turistik hem de yaşam alanı olarak önemli bir yere sahiptir. Kıyı alanları, halkın ve turistlerin koşu, bisiklete binme, tekne kullanma, balık tutma gibi fiziksel aktiviteler ile yeme, içme, dinlenme, eğlence gibi sosyal aktivitelerin yapıldığı alanlardır.

Kıyı Mühendisliği, kıyılardaki ve denizlerdeki doğal kaynakların en verimli biçimde kullanılması için yapılan planlama ve mühendislik çalışmalarında, “doğa-insan” etkileşimindeki dengeyi kuracak çözümler üreterek bu bölgelerde sürdürülebilir gelişmeyi sağlayan bir uygulama alanıdır (Ergin, 2005). Kıyı alanlarının yoğun bir gelişme içinde olması, turistik tesisler ve bazı eğlence anlayışları bu alanların bozulmasına yol açabilmektedir (Yüksel, 2005). Kıyı alanları hassas nitelikleri ile erozyona karşı eğilimli alanlar olup, bu alanların korunması gerekmektedir.

Kıyı erozyonunun önlenmesi, kıyıların su baskınlarından korunması, limanların planlanması, tasarımı ve yapımı, limanların kumlanmaya karşı korunmaları, deniz desarjlarının projelendirilmesi, kıyı çizgisinin değişiminin belirlenmesi gibi kıyı mühendisliği

uygulamalarında (Yüksel, 1998) hidrodinamik yapının belirlenmesi ve doğru modellenmesi gerekmektedir. Hidrodinamik yapının belirlenmesinde, derinlik ölçümleri, akıntı, dalga ve gelgit ölçümleri, deniz seviyesi değişimi, deniz suyunun özelliklerinin belirlenmesi, su kalitesi ve sediment yapısının belirlenmesi ve kıyı çizgisi ölçümleri yapılması gereklidir.

Yat limanları, dalgakıranlar ve balıkçı barınakları gibi yapay kıyı yapılarının yapımı sırasında, denize dökülecek taş miktarının hesaplanmasında, denizaltı kablo ve boru döşeme çalışmalarında, genelde limanların kumlanmasından dolayı yapılan tarama çalışmalarında hidrografik ölçmelerden yararlanılmaktadır.

1.2.2 Seyir Haritalarının Üretimi

Gemilerin, okyanuslarda, denizlerinde ve bazı göllerde, emniyetli seyir yapmaları için gerekli olan Seyir Haritaları (Deniz Haritaları) ülkelerin hidrografi daireleri tarafından üretilmektedir. Hidrografi daireleri genelde Deniz Kuvvetleri (NAVY) bünyesinde bulunmaktadır.

Türkiye’de 1973 yılında yayımlanan 1738 sayılı Seyir ve Hidrografi Hizmetleri Kanunu’na göre Türkiye Denizlerinde yapılacak olan tüm araştırma ve faaliyetlerin koordinatörlüğü ile seyir haritaların üretimi, basılması ve arşivlenmesi Deniz Kuvvetleri Komutanlığı Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı tarafından yapılmaktadır. Kağıt ve elektronik seyir haritalarına altlık olan bilgiler hidrografik ölçmeler ile toplanmaktadır.

1.2.3 Askeri Uygulamalar

Ülke savunması amacıyla, mayın haritaların oluşturulması, sualtı askeri mühimmatın yerlerinin belirlenmesi, savaş durumunda çıkarma yapmak için kullanılabilecek olan alanların ve çevrelerinin hidrografik durumlarının belirlenmesi gibi askeri amaçlı uygulamalarda da hidrografik ölçmelerden büyük ölçüde yararlanılmaktadır.

1.2.4 Çevresel Ölçümler

İskele, liman, balık çiftliği gibi kıyılarda ve denizlerde yapılacak olan uygulamaların çevresel etkilerinin değerlendirilmesi (ÇED) için hidrografik ve oşinografik ölçmelerden yararlanılmaktadır.

1.2.5 Baraj Alanlarındaki Uygulamalar

Hidrografik ölçmeler ile baraj göletlerindeki su hacmi belirlenmekte ve barajların sağlayacağı su kapasitesi tespit edilmektedir. Ayrıca, doğal ve yapay göllerde biriken sediment miktarı ile baraj kıyı erozyon hareketlerini de belirlemek amacıyla da hidrografik ölçmelerden yararlanılmaktadır (Şapçılar ve Fakıoğlu, 2003).

1.2.6 Jeofiziksel Araştırmalar

Deniz tabanındaki jeofiziksel araştırmalar, sualtındaki fayların tesbiti, deniz tabanı tektoniğinin belirlenmesi gibi çalışmalarda hidrografik ölçmelerden yararlanılmaktadır. Çok bimli iskandiller ile toplanan hidrografik veriler altlık olmak üzere sismik ve yandan taramalı sonar görüntülerinin yorumlanmasıyla deniz tabanı tektoniği hakkında bilgiler elde edilmektedir.

1.2.7 Sualtı Kaynak Araştırmaları

Okyanus, deniz ve göllerde sualtı kaynaklarının araştırmalarında, kaynakların yerlerinin belirlenmesinde ve petrol gibi ürünlerin çıkarılmasında, petrol platformlarının yerlerinin planlanması, yerleştirilmesi ve sondaj çalışmalarında hidrografik ölçmeler büyük önem taşımaktadır.

1.3 Hidrografik Ölçmelerde Standardizasyon

İnsanoğlu yaşamı süresince, karışıklıktan kurtulma ve belirli bir düzen oluşturma çabası içerisinde olmuştur. Sahip olunan kaynakları, hizmetleri veya ürünleri optimum değerlendirme çabalarının bir ürünü olan standardizasyon, insanlık için zorunluluk değil ancak gerekliliktir.

Standart, imalatla, anlayışta, ölçme ve deneyde bir örnekliktir. Standardizasyon ise, belirli bir faaliyetle ilgili olarak ekonomik fayda sağlamak üzere bütün ilgili tarafların yardım ve işbirliği ile belirli kurallar koyma ve bu kuralları uygulama işlemidir.

1947 yılında Cenevre’de kurulan Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO), global anlamda mal ve hizmet değişimini kolaylaştırmaya yönelik uluslararası standartların oluşmasında temel organizasyon durumundadır. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), ulusal standartların oluşmasında ve uluslararası standartların takibinde görevli bir kuruluştur.

Dünya’da uluslararası standardizasyon çalışmalarını sürdüren ISO gibi birçok örgüt bulunmaktadır. Hidrografi alanında, Uluslararası Hidrografi Örgütü (IHO) hidrografik ölçme standartlarını düzenleyen bir birimdir. 1921 yılında kurulmuş olan Uluslararası Hidrografi Bürosu, 1970 yılında üye ülkeler tarafından ismi IHO olarak değiştirilmek suretiyle yeniden organize olmuştur. IHO ’nun görevi, hidrografi dairelerinin faaliyetlerini koordine etmek, deniz harita ve dokümanlarında standardizasyonu sağlamak, hidrografik ölçmelerin yapılması için güvenilir ve etkili yöntemler tespit ve kabul etmek, hidrografi bilimleri ve oşinografi teknikleri geliştirmektir.

IHO ’nun şu anda 80 üyesi bulunmakta olup, bu sayının yeni üyelerin de katılması ile artması beklenmektedir. Türkiye 1969 yılında bu örgüte üye olmuştur. Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı, IHO faaliyetlerinde Türkiye’yi temsil yetkisine sahiptir.

Uluslararası Hidrografi Örgütü bünyesinde çok sayıda komisyon, komite ve çalışma grupları bulunmaktadır. Hidrografik Ölçmeler için standartlar S44 Çalışma Grubu tarafından düzenlenmektedir.

IHO, “Özel Yayın No:44 (S44)” ün oluşturulmasındaki amaç, hidrografik ölçmelerdeki asgari standartları belirlemek, bu standartlara göre toplanacak verilerin denizciler tarafından güvenle kullanılabilmesi için yeterince doğru ve verilerdeki konumsal belirsizliklerin yeterince tanımlanmış olmasını sağlayacak şekilde belirlemektir (Birkan, 2003). Bazı ülkelerin kendilerine özgü hidrografik ölçme standartları bulunmaktadır. Amerika’ da ABD Mühendis Ordu Piyadeleri (USACE) standartları ve İsveç’de ve bazı Baltık ülkelerinde kullanılan İsveç Denizcilik Dairesi (SMA) standartları, Özel Yayın no.44’ün tüm şartlarını sağlayan ancak daha yüksek ölçme doğruluğuna sahip, ülkelere özgü standartlardır.

Çizelge 1.1 IHO Derinlik Ölçme Doğruluğu Standartları (IHO, 2008)

Ölçme Türü	Özel	1a	1b	2
Alan Tanımları	Omurga altı geçişi kritik olan alanlar	Omurga altı geçişi daha az kritik olan 100 metreden sığ fakat gemiler için tehlikeli cisimlerin olduğu alanlar	Omurga-altı geçişi nin hesaba katılmadığı 100 metreden sığ alanlar	100 metreden derin alanlar
İzin verilebilir maksimum düşey doğruluk (%95 güvenilirlik seviyesi)	a = 0.25 m. b = 0.0075	a = 0.5 m. b = 0.013	a = 0.5 m. b = 0.013	a = 1.0 m. b = 0.023

IHO Özel Yayın No.44' ün, 2008 yılında yürürlüğe giren 5.baskısında, hidrografik ölçmeler çalışmanın niteliğine göre, özel, 1a, 1b ve 2. derece olmak üzere 3 türde sınıflandırılmıştır (Çizelge 1.1).

Derinlik doğruluğu Çizelge 1.1' de verilen a ve b değerlerini kullanılarak (1.1) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

$$m_d = \pm \sqrt{a^2 + (b \times d)^2} \quad (1.1)$$

Bu eşitlikte, a derinliğe bağlı olmayan hata bileşeni, b derinliğe bağlı hata bileşeni katsayısı, d derinlik ve m_d %95 güvenirlilik seviyesine uygun derinlik doğruluğudur.

USACE, hidrografik çalışmaları, Navigasyon ve Kazı uygulamaları ile genel ölçmeler adı altında iki grupta sınıflandırmıştır. Kazı uygulamalarında ölçmeden beklenen doğruluk deniz dibi topografyasına göre değişiklik göstermektedir (USACE, 2002). Dip yapısının sert olduğu ve ilk kez kazı yapılacak olan ölçmeler ile dip yapısının daha yumuşak olduğu ölçmeler için farklı derinlik doğruluğu standartları oluşturulmuştur (Çizelge 1.2).

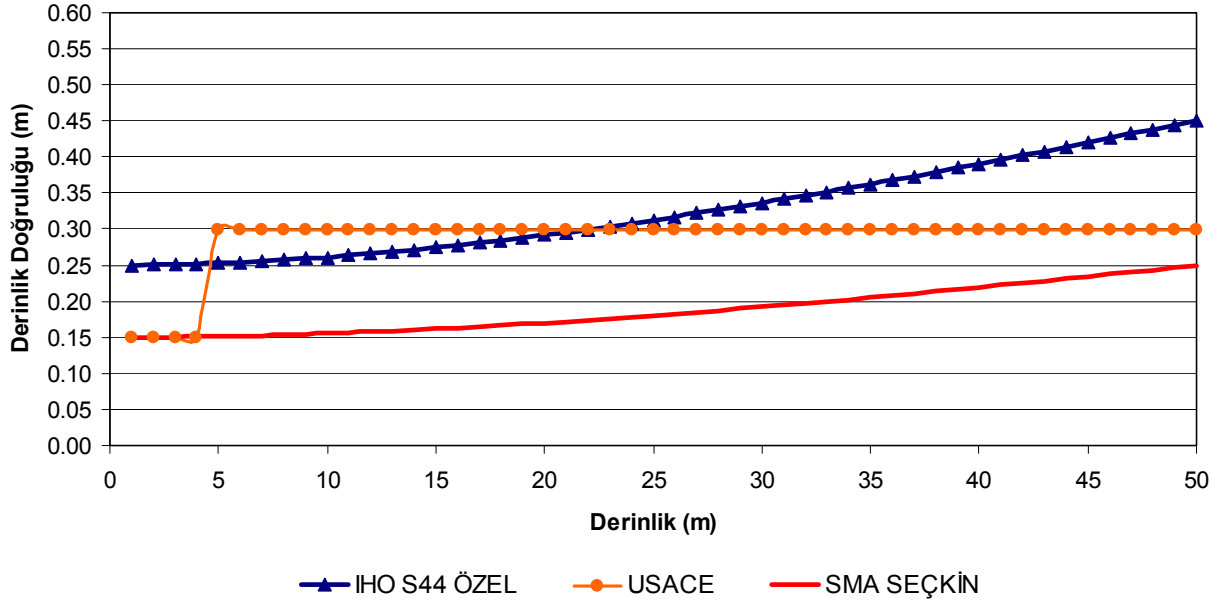
Çizelge 1.2 USACE Derinlik Ölçme Doğruluğu Standartları (USACE, 2002)

Yöntem	Derinlik (m)	Navigasyon ve Kazı Uygulamaları		Genel Ölçmeler
		Sert Dip Yapısı	Yumuşak Dip yapısı	
Mekanik	< 4.5	0.075 m	0.075 m	0.15 m
Akustik	< 4.5	0.15 m	0.15 m	0.30 m
Akustik	4.5 < d < 12	0.30 m	0.30 m	0.60 m
Akustik	> 12	0.30 m	0.60 m	0.60 m

Çizelge 1.3 SMA Derinlik Ölçme Doğruluğu Standartları (Wells ve Monahan, 2002).

Ölçme Türü	SMA Seçkin	SMA Özel	SMA 1.	SMA 2.	SMA 3.
İzin verilebilir maksimum derinlik hatası (%95)	a=0.15 m b=0.0040	a=0.25 m b=0.0075	a=0.5 m b=0.013	a=1 m b=0.023	a=1 m b=0.023
Uygulanabilir Maksimum Derinlik	-	20 m	100 m	100 m	Limit Yok

SMA' nın derinlik ölçme doğruluğu standartları yukarıda Çizelge 1.3' de verilmektedir. SMA hidrografik çalışmaları, seçkin, özel, 1.derece, 2.derece ve 3.derece olarak sınıflandırmıştır. (Wells ve Monahan, 2002). Derinlik doğruluğu (1.1) eşitliğiyle hesaplanmaktadır.



Şekil 1.3 Derinlik doğruluğu standartlarının karşılaştırılması

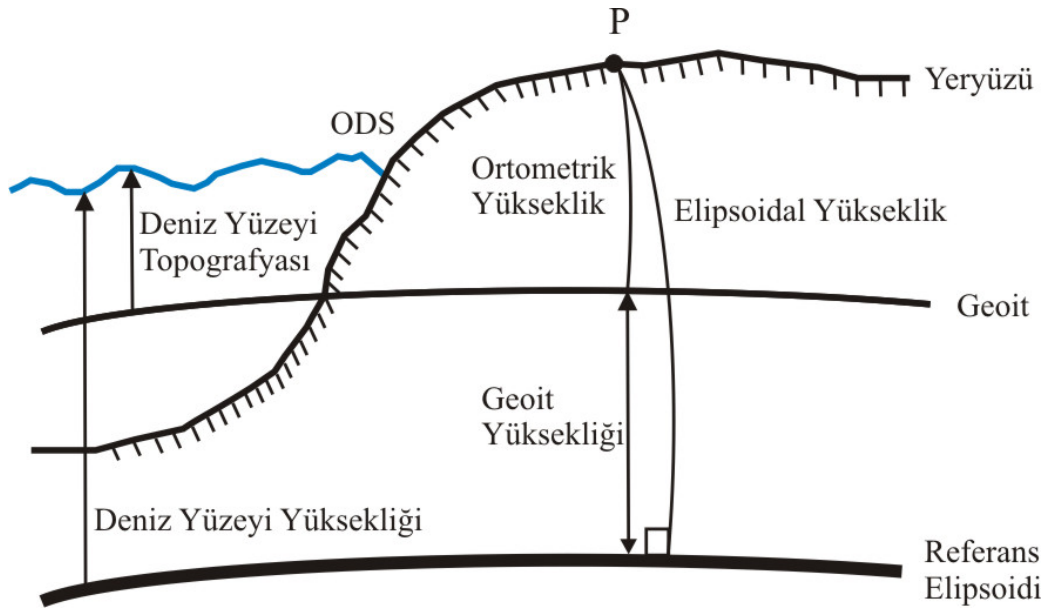
Özellikle 40-50 metreden sığ sularda yapılan hidrografik ölçmelerde, kıyı mühendisliği uygulamalarında derinlik ölçme doğrulukları IHO standartlarına göre daha yüksektir. Şekil 1.3'de sığ sular için IHO S44 özel, SMA Seçkin ve USACE Sert dip yapısı için uygulanan derinlik doğruluğu standartları karşılaştırılmıştır. Derinlik doğrulukları hesaplanırken Çizelge 1.1, Çizelge 1.2 ve Çizelge 1.3'deki doğruluk değerleri esas alınmıştır.

2. HİDROGRAFİK ÖLÇMELERDE DÜŞEY DATUMUN BELİRLENMESİ

Hidrografik ölçmelerde su altındaki herhangi bir noktanın konumu ve derinliği ölçülmektedir. Bu konum gerçek zamanlı belirlenebilir ya da sonradan hesaplanabilir. Derinlik ölçümü yeryüzündeki yükseklik ölçümü ile benzer olarak düşünülebilir. Yükseklik deniz yüzeyine göre pozitif yöndeyken derinlik negatif yöndedir. Buradaki fark derinlik ölçmelerinin su gibi hareketli olan bir yüzey üzerinde yapılmasıdır. Derinliğin belirlenmesinde sadece deniz tabanına olan düşey uzaklığın belirlenmesi yetmez. Bunun yanında yüzeyin dinamik olmasından dolayı dalga, gelgit gibi etkilerin de belirlenerek ölçülerden arındırılması gerekmektedir.

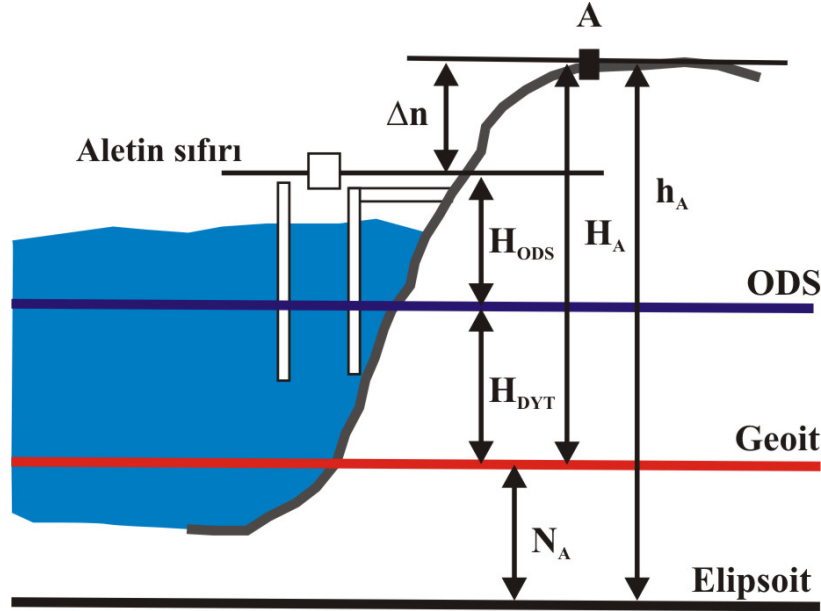
2.1 Düşey Datum

Düşey datum, karalarda veya denizlerde yapılan yükseklik ve derinlik ölçülerinin dayandırıldığı başlangıç veya referans yüzeyidir. Denizlerde akıntı, dalga, tuzluluk, sıcaklık, yoğunluk farkı, gelgit ve meteorolojik etkilerden arındırılmış durgun deniz yüzeyinin karalar içinde de devam etmesiyle oluşan eşpotansiyelli yüzey geoit olarak adlandırılmaktadır. Yapılan araştırmalar, geoit ile ortalama deniz seviyesinin (ODS) tam çakışmadığını, bu değişimin 1-2 metreye kadar ulaşabildiğini ortaya koymuştur. Geoit ile ODS arasında oluşan bu fark deniz yüzeyi topografyası (DYT) olarak adlandırılmaktadır (Hekimoğlu ve Şanlı, 1993; Yıldız, vd., 2003).



Şekil 2.1 Yükseklikler arasındaki ilişki

Kuramsal bir yüzey olan geoit yeryüzünün asıl biçimi olarak alınmaktadır (Yıldız, vd., 2003). Jeodezik amaçlı çalışmalarda ortometrik yüksekliklerin belirlenmesinde yerin gravite alanı içersinde eş potansiyelli yüzeylerden biri olan geoit veya geoide yakın bir yüzey olan ODS, geometrik yüksekliklerin belirlenmesinde ise uydu tekniklerindeki gelişmelere paralel olarak yeri en iyi temsil eden global elipsoit (örneğin WGS84) düşey datum olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2.2 Düşey datum belirleme (Yıldız, vd., 2003)

Düşey datum bir dayanak noktasının ortometrik yüksekliğinin belirlenmesi ile oluşturulmaktadır (Hekimoğlu ve Şanlı, 1993; Ayhan, vd.,1994; Yıldız, vd., 2003). Şekil 2.2’de, A dayanak noktasının geoit yüksekliğinin belirlenmesinde ODS ve DYT’ nin kullanımı gösterilmektedir.

$$H_A = H_{ODS} + \Delta n + H_{DYT} \quad (2.1)$$

Bu eşitlikteki simgeler aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

H_A : Dayanak noktasının ortometrik yüksekliği

Δn : Mareograf istasyonu alet sıfır ile dayanak noktası arasındaki yükseklik farkı

H_{ODS} : Mareograf istasyonu alet sıfırının ODS’ den olan yüksekliği

H_{DYT} : Deniz yüzeyi topografyası

Dayanak noktasına ait elipsoit yüksekliği ile geoit yüksekliğinin bilinmesi durumunda deniz yüzeyi topografyası aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir.

$$H_{DYT} = h_A - (H_{ODS} + \Delta n + N_A) \quad (2.2)$$

2.2 Deniz Seviyesi Değişimleri

Hidrografik ölçmelerde deniz seviyesi değişimleri ölçme süresince belirlenerek derinlik verilerine düzeltme olarak getirilir. Eğer ölçme sahasına yakın bir yerde bir mareograf istasyonu bulunuyorsa su seviyesi değişimleri bu istasyondan temin edilebilir. Eğer bölgede böyle bir imkan yok ise, ortometrik yüksekliği bilinen bir nivelman noktasından çalışma bölgesine kot taşınarak bir eşel yardımıyla su seviyesi değişimleri belirlenebilir. Eşel, hafif olması için genelde alüminyum malzemeden imal edilmektedir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Eşel kullanılarak su seviyesi değişiminin ölçümü

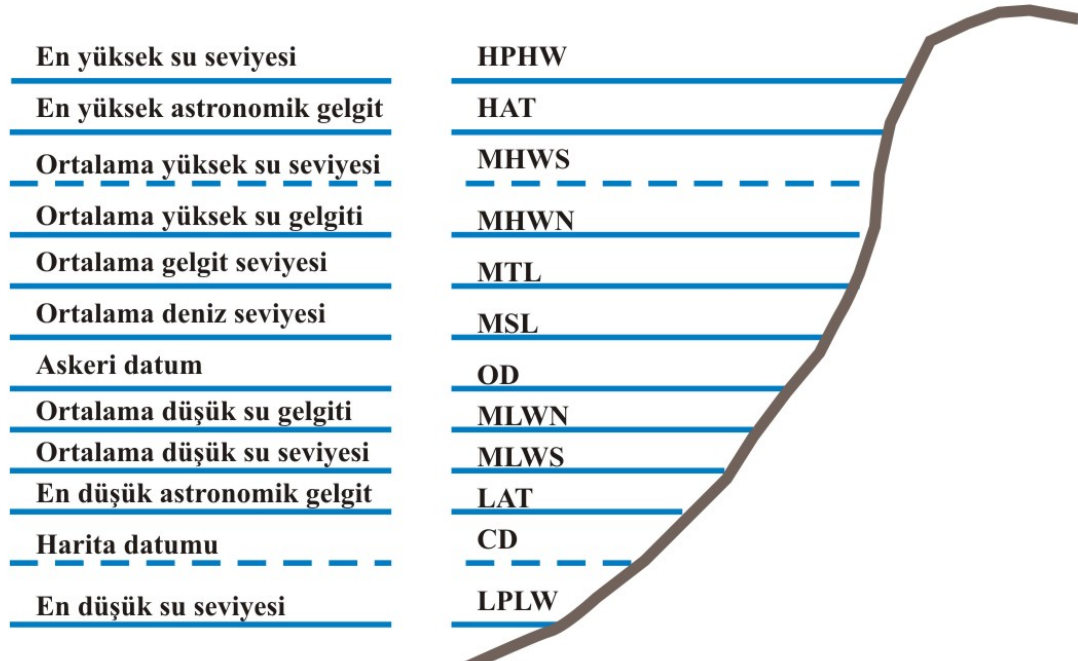
ODS denilince tüm zamansal değişimlerden arınmış bir durağan deniz seviyesi anlaşılır. Ancak deniz seviyesi meteorolojik, düşey yer kabuğu, oşinografik, gelgit ve global iklim değişmesi vb. birçok nedenlerden dolayı değişmektedir (Hekimoğlu ve Şanlı, 1993; Ayhan, vd., 1994; Yüksek, vd., 2005).

2.2.1 Gelgit Etkileri

Ay ve güneş, kütleleri nedeniyle denizler üzerinde bir çekim etkisi uygular. Astronomik gelgit olarak adlandırılan bu etki kısa veya uzun periyotlu olabilir. Kısa periyotlu gelgitler yarım günlük ya da günlük olurken uzun periyotlu gelgitler aylık ya da yıllık olabilir (Ayhan, vd., 2003). En uzun gelgit periyodu 18.6 yıldır (Demir, 2005).

Gelgit büyüklüğü bazı denizlerde milimetre mertebesindeyken bazı denizlerde metrelerce olabilir. Deniz seviyesi bir ay gününde (24 saat 50 dakika) iki kez yükselir iki kez alçalır. Ardarda gelen bu yükselme ve alçalmaların genlikleri birbirinden farklıdır. Ancak bu hareket periyodik olduğundan istenilen herhangi bir zamandaki yükselme ve alçalma miktarı hesaplanabilir (Alkan, 1998).

Hidrografik çalışmalarda ODS (Mean Sea Level-MSL) esas alındığı gibi, deniz seyir haritalarının üretiminde en alçak astronomik gelgit düzeyi datum (LAT) olarak alınmakta veya işin niteliğine göre mühendislik uygulamalarında en yüksek astronomik gelgit değeri (HAT) referans olarak da alınmaktadır. LAT, HAT ve MSL arasındaki ilişkiler deniz seviyesi verilerinin analizinden hesaplanmaktadır. Aşağıdaki şekilde gelgit seviyelerinin terminolojik sınıflandırılması görülmektedir.



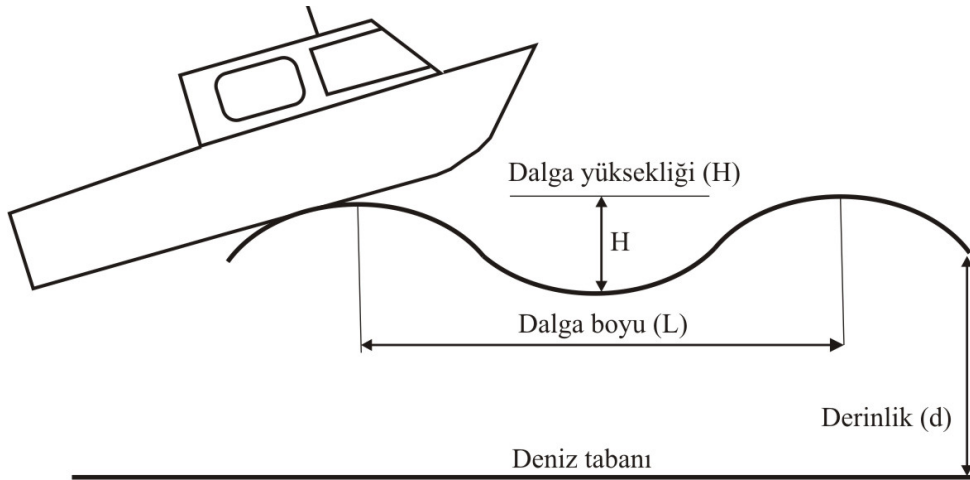
Şekil 2.4 Gelgit seviyeleri ve terminolojik sırası (Abbott, 1996)

2.2.2 Meteorolojik Etkiler

Deniz seviyesini değiştiren meteorolojik etkiler, atmosferik basınç, sıcaklıktaki değişimler ile rüzgarın etkileridir. Atmosfer basıncının yükselmesi deniz seviyesinde alçalmaya, azalması ise yükselmeye neden olur. Atmosfer basıncındaki 1mbar'lık değişim deniz seviyesinde yaklaşık 1 cm lik değişime yol açmaktadır (Hekimoğlu ve şanlı, 1993; Ayhan, vd., 1994).

Hava sıcaklığının değişmesi enleme bağlıdır ve genellikle deniz yüzeyinin kutuplardan ekvatora doğru eğilmesine neden olur. Sığ kıyılarda karadan denize esen rüzgarlar deniz seviyesini alçaltır, denizden karaya esen rüzgarlar ise suyu kıyıya doğru iter ve deniz seviyesini yükseltir (Hekimoğlu ve şanlı, 1993). Bu hareket dalga kabarması olarak da tanımlanmaktadır (Yüksel, vd., 2005).

Dalga hareketinin en belirgin özelliği periyodik bir yapıya sahip olmasıdır. Rüzgar dalgaları periyotlarını koruyarak uzun mesafeler katetmek suretiyle kıyıya ulaşırlar. Bu dalgalar kıyıya yaklaştıklarında azalan derinliğin etkisiyle dalga boyları ile yayılma hızları azalmaya başlamakta ancak yükseklikleri artmaktadır. Dalgalar derin su, geçiş ve sığ su dalgası olarak sınıflandırılabilir (Yüksel, vd., 1998).



şekil 2.5 Dalga ile ilgili gösterimler

Dalga yayılma hızı dalga boyunun periyoduna oranı olarak tanımlanmakta ve m/sn cinsinden ifade edilmektedir. Sığ sularda yapılan hidrografik çalışmalar için sığ suda dalga yayılma hızı c aşağıdaki eşitlik ile tanımlanabilir (Yüksel, vd., 1998). Bu eşitlikte g , gravite sabiti olup dalga yayılma hızı derinliğin bir fonksiyonudur.

$$c = \sqrt{g \cdot d} \quad (2.3)$$

Derin sularda ise dalga yayılma hızı (2.4) eşitliği ile hesaplanmakta olup, T dalganın peryodudur.

$$c = \frac{gT}{2\pi} \quad (2.4)$$

Ölçme teknesine etki eden maksimum dalga yüksekliği H aşağıdaki eşitlik ile belirlenebilir (Massel, 1998):

$$H_{maks} = d \left[\frac{\sqrt{1 + 0.01504 d_*^{-2.5}} - 1}{0.1654 d_*^{-1.25}} \right] \quad (2.5)$$

Burada d_* ,

$$d_* = \frac{d}{gT^2} \quad (2.6)$$

eşitliği ile verilmektedir.

Çok bimli iskandiller ile yapılan derinlik ölçmelerinde transdüserlerden gönderilen akustik dalganın zamanı ile ölçme teknesindeki yalpa, boyuna salınım (başvurma) ve batçık algılayıcısının hareket belirleme zamanları senkronize biçimde bir bilgisayar tarafından yönetilmektedir. Dalga etkisinden dolayı ölçme teknesinin hareketi algılayıcı sistem ile belirlenmekte ve derinlik verilerine gerçek zamanlı düzeltme getirilmektedir.

2.2.3 Oşinografik Etkiler

Deniz suyunun yoğunluğunun değişmesi ve okyanus akıntılarının incelenmesi oşinografi biliminin ilgi alanı içindedir. Su kolonlarındaki sıcaklık değişimin neden olduğu genleşme veya büzülme ile deniz suyu yoğunluğu değişmektedir. Bu yoğunluk değişimi deniz seviyesinde de değişmelere neden olmaktadır (Hekimoğlu ve Şanlı, 1993).

2.2.4 Düşey Yer Kabuğu Hareketleri

Deniz seviyesini değiştiren etkilerden biri de düşey yer kabuğu hareketlerdir. Deniz yüzeyi karadaki bir dayanak noktasına göre ölçülmektedir. Eğer kara zaman içinde çökerse deniz seviyesi yükselmekte ya da kara yükselir ise deniz seviyesi alçalmaktadır. Düşey yer kabuğu hareketleri, plakaların sınırlarındaki tektonik hareketler, sedimentasyon, suyun veya petrolün çekilmesi nedeniyle çökme ve buzul çağı sonrası yükselme vb. nedenlerine bağlı olarak

meydana gelmektedir (Hekimoğlu ve Şanlı, 1993; Ayhan, vd., 1994; Yıldız, vd., 2003).

2.2.5 İklim Değişmesi (Global Isınma)

İklim değişikliği, atmosferdeki karbondioksit miktarının sanayileşme sebebiyle dışarıya atılan karbondioksit gazından dolayı sürekli artmasıyla ilişkilidir (Ayhan, vd., 2003). Atmosferdeki karbondioksit miktarının sürekli artışı, atmosferdeki yıllık ortalama sıcaklığın artmasına neden olur. Global ısınma sonucunda özellikle kutuplardaki buzullar erimeye başlar ve dolayısıyla deniz seviyesi yükselebilir (Hekimoğlu ve Şanlı, 1993).

2.3 Ortalama Deniz Seviyesinin Belirlenmesi

Ortalama deniz seviyesi zamana bağlı tüm değişimlerden ve düşey yer kabuğu hareketlerinden arınmış ve karadaki bir dayanak noktasına göre belirlenmiş ortalama bir değer olarak tanımlanır (Hekimoğlu ve Şanlı, 1993; Yıldız, vd., 2003). Deniz seviyesi ölçülerinin analizinden genellikle uzun süreli deniz seviyesi değişimleri belirlenmektedir. Deniz seviyesinin saatlik ortalamalarından günlük, günlük ortalamalarından aylık ve aylık ortalamalarından elde edilen yıllık ortalamalar hesaplanmaktadır (Yıldız, vd., 2003).

2.4 Türkiye’de Deniz Seviyesi Değişimlerini Belirleme Çalışmaları

Türkiye’deki deniz seviyesi ölçme çalışmalarına 1927 yılında Fransızlar tarafından İskenderun’da bir mareograf istasyonu kurulmasıyla başlanmış ve 1934 yılına kadar deniz seviyesi ölçümleri yapılmıştır. Düşey datumun belirlenmesinde kullanılmak için 1935 yılında Harita Genel Komutanlığı tarafından Antalya’ da bir mareograf istasyonu kurulmuştur. 1936 yılında İzmir Karşıyaka’da bir istasyon daha kurulmuştur. 1983 yılına kadar Türkiye kıyılarında mareograf istasyonu kurma ve işletme sorumluluğu Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü sorumluluğundayken, Antalya-I, Karşıyaka, K.Ereğli, İskenderun, Trabzon, Samsun, Bodrum-I ve Gölcük’ de mareograf istasyonları ile deniz seviyesi ölçümlerine devam edilmiştir (Yıldız, vd., 2003).

1983 yılında mareograf istasyonları kurma ve işletme yetkisinin Harita Genel Komutanlığı’ na devredilmesiyle eski istasyonların tamamı iptal edilmiş, 1984 yılında Erdek, 1985 yılında Antalya-II ve 1985 yılı sonlarına doğru Bodrum-II ve Menteş mareograf istasyonları kurulmuştur. 1984-1998 yılları arasında işletilen bu mareograf istasyonları ile ilgili özet bilgiler Çizelge 2.1’ de görülmektedir.

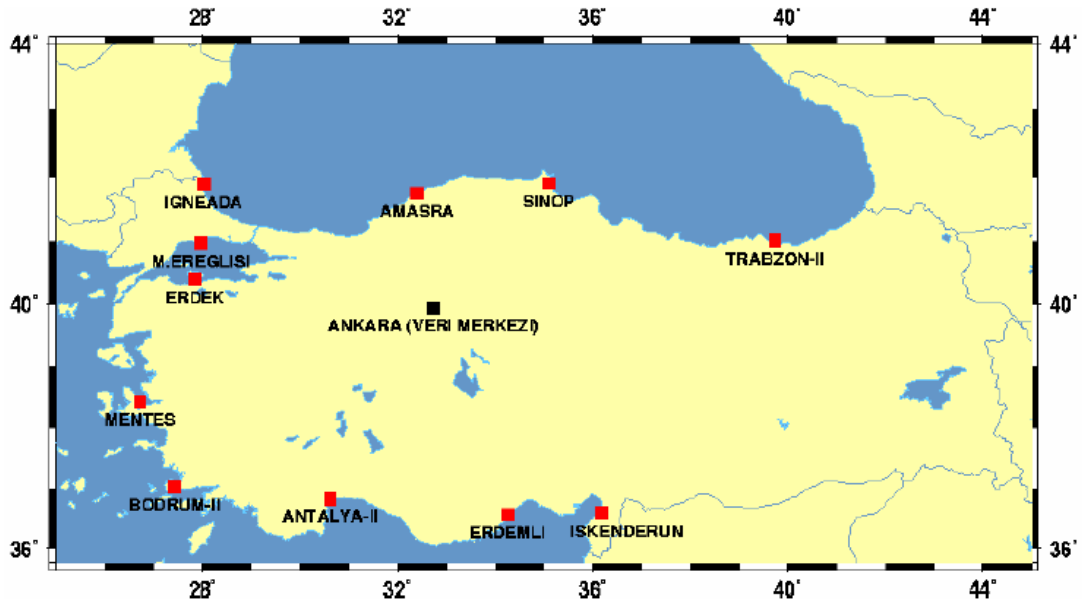
Çizelge 2.1 Mareograf istasyonlarının konum ve yükseklik değerleri (Yıldız, vd., 2003).

İstasyon	Enlem	Boylam	Δn (m)	Mareograf datumu (m)
Antalya-II	36°56'	30°37'	0.8960	2.520
Bodrum-II	37°02'	27°25'	0.8967	3.475
Menteş	38°26'	26°43'	0.6851	3.442
Erdek	40°23'	27°51'	0.7721	3.363

Mareograf istasyonu alet sıfırının düşey yöndeki yer değiştirmesinin belirlenmesi ve mareograf istasyonu dayanak noktasındaki düşey hareketlerin saptanması amacıyla her mareograf istasyonu yakınında bulunan asıl mareograf dayanak noktasından başlayan ve kara içine doğru 2-3 km uzanan Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı (TUDKA) bağlantılı yerel nivelman ağları oluşturulmuştur.

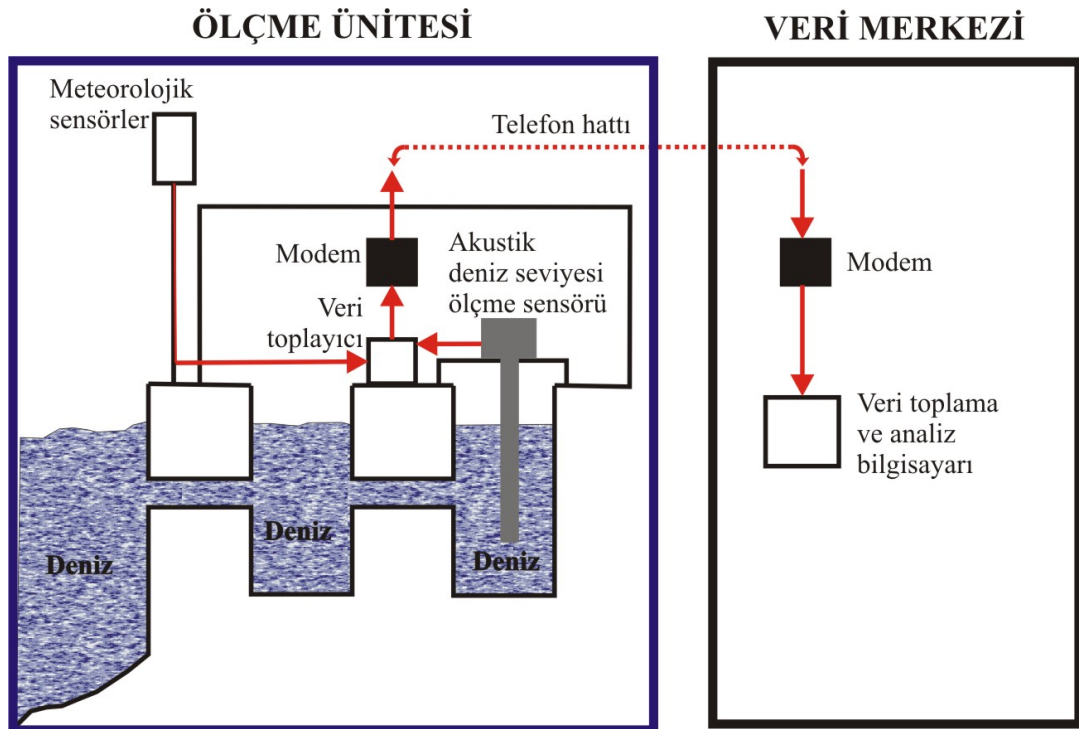
1985-1998 yılları arasında kullanılan analog mareograf istasyonlarının işletilmesindeki mekanik aksamalardan kaynaklanan arızalarının oluşturduğu hataları ortadan kaldırmak için 1998 yılı sonlarından itibaren analog istasyonlar yerine sayısal ve otomatik mareograf istasyonları kurulmaya başlanmıştır. Sayısal sistemler önce, Antalya-II ve Bodrum-II mareograf istasyonlarına, 1999 yılı ortalarında Menteş ve Erdek mareograf istasyonlarına kurulmuş olup, mareograf istasyonları modernize edilerek Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi (TUDES)'nin ilk bölümü hayata geçirilmiştir. 2000 yılında KKTC Girne limanına, 2001 yılında Amasra/Bartın'a, 2002 yılında İğneada ve Trabzon'da, 2003 yılında ise Erdemli/Mersin'de sayısal ve otomatik mareograf istasyonları kurulmuştur (Yıldız, vd., 2003).

2008 yılında TUDES, Türkiye kıyılarında bulunan Erdek, Trabzon, Sinop, Amasra, Marmara Ereğlisi, İğneada, Menteş, Bodrum, Antalya, İskenderun ve Erdemli olmak üzere 11 adet sayısal mareograf istasyonu ile Ankara'da bulunan bir veri merkezinden oluşmaktadır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 TUDES kapsamındaki mareograf istasyonları (Yıldız, vd., 2003)

Şekil 2.7' de TUDES' in çalışma yapısı görülmektedir. Ölçme ünitesi ve veri merkezi olarak iki kısımdan oluşmaktadır.



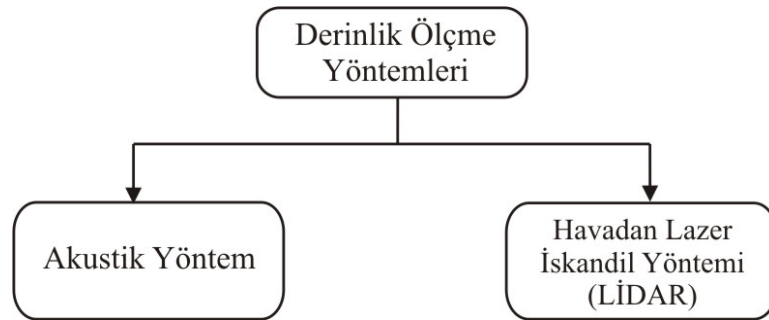
Şekil 2.7 TUDES' in temel çalışma yapısı (Yıldız, vd., 2003)

TUDES' in ölçme ünitesinde deniz seviyesi, atmosferik basınç, hava sıcaklığı, nem, rüzgar hızı, rüzgar yönü ölçen aletler ile algılayıcılar bulunmaktadır. Bu aletlerin gücü güneş enerjisi tarafından doldurulan batarya ile sağlanmaktadır. Deniz seviyesi, bir PVC ses tüpünün içinde bir noktada üretilen ses dalgalarının deniz yüzeyine çarpıp geri dönmesi yöntemine göre belirlenmektedir. Sesin gidiş dönüş süresi ve ortam içindeki hızı bilindiğine göre alet ile anlık deniz seviyesi arasındaki düşey uzaklık hesaplanmaktadır (Yıldız, vd., 2003). Veri merkezinde toplanan ve arşivlenen veriler ilgili değerlendirme yazılımları ile değerlendirilerek deniz seviyesi ölçülerinin analizi yapılmaktadır.

3. DERİNLİK ÖLÇMELERİ

3.1 Derinlik Ölçme Yöntemleri

Sualtının topografik durumunu belirlemek amacıyla yapılan derinlik ölçmeleri çekül doğrultusunda yapılmaktadır. Yapılan bu işleme iskandil adı verilmektedir (Özgen ve Algül, 1977). Günümüzde derinlik ölçme yöntemlerini iki kısımda sınıflandırmak mümkündür (Şekil 3.1). Geçmişte tel, lata ve ip iskandiller kullanılarak yapılan derinlik ölçmeleri günümüzde akustik yöntemler ile havadan lazer iskandil yöntemleri kullanılarak yapılmaktadır.



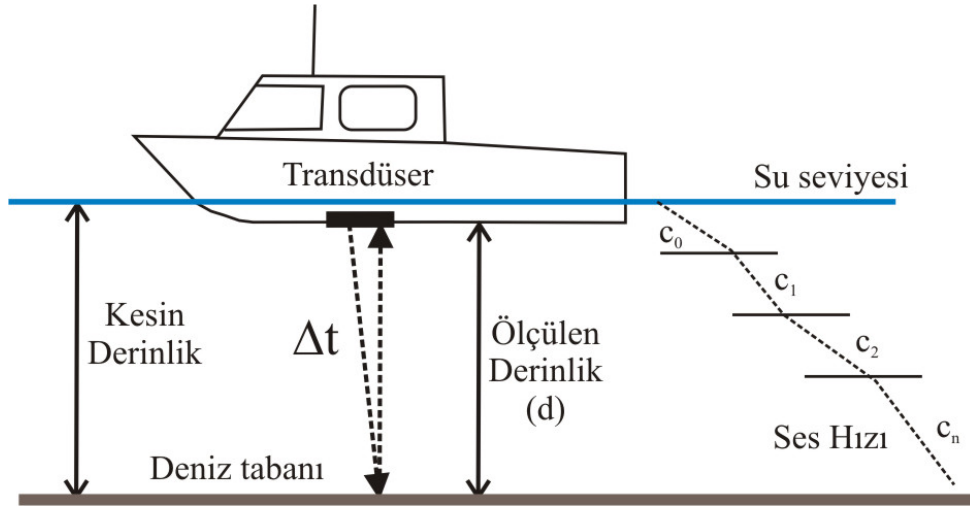
Şekil 3.1 Derinlik ölçme yöntemleri

3.1.1 Akustik Yöntem

Ses dalgalarının su içinde yayılma ve yansıma özelliklerinden yararlanılarak derinlikler elde edilmektedir. Transdüserden (ses üretici) üretilen pulsun, deniz tabanına ulaşip geri dönmesi arasında geçen zamanın belirlenerek derinliklerin ölçülmesi yöntemin temel prensibidir (Özgen ve Algül, 1977; USACE, 2002). Bir başka deyişle, bir hat boyunca seyreden ölçme teknesinin altındaki derinliklerin akustik dalga yayılma prensiplerine göre ölçülerek, o hat boyunca sualtı topografik profilinin çıkarılmasıdır (Doğan ve Alpar, 1994). Ses dalgalarının su içinde yayılma hızı c bilindiğinden, gönderilen ve alınan akustik pulsar arasındaki zaman Δt ölçülerek, su derinliği d , (3.1) bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

$$d = \frac{1}{2} c \Delta t \quad (3.1)$$

Akustik derinlik ölçümünde, d derinliği, transdüser ile deniz tabanı arasındaki düşey uzunluktur (Şekil 3.2). Ölçülen bu değere çeşitli düzeltmeler ve indirgemeler yapılarak gerçek derinlik değeri elde edilir (Alkan, 1998). Akustik yöntem, kullanılan aletler ve donanımlar Bölüm 3.5’ de detaylı olarak incelenmiştir.

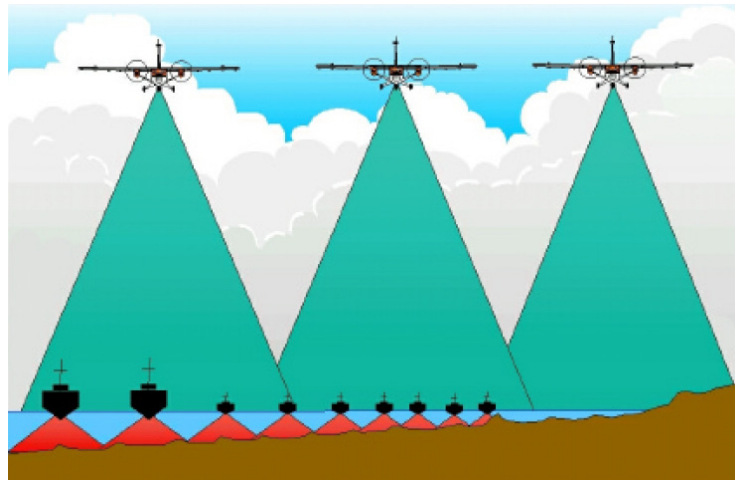


Şekil 3.2 Akustik derinlik ölçümünün temel prensibi

(3.1) eşitliğinden de görüleceği üzere akustik yöntemle derinlik ölçümündeki temel bileşen ses dalgalarının su içindeki yayılma hızıdır. Su ortamı değişken bir yapıya sahip olduğundan ses hızının belirlenmesi de bazı faktörlerden etkilenmektedir. Bu sebeplerden dolayı su ortamında ses hızının yüksek doğruluklu olarak belirlenmesi gerekmektedir.

3.1.2 Havadan Lazer İskandil Yöntemi

Havdan lazer iskandil (LIDAR) yöntemi, günümüzde uçaktan veya helikopterden dalga boyları 0.48-0.55 mμ arasında olan kırmızı ve yeşil lazer ışınları gönderilerek yapılan bir derinlik ölçme yöntemidir (Cracknell, 1999). Gönderilen kırmızı lazer ışını deniz yüzeyinden, yeşil ışın ise deniz tabanından yansımaktadır. Bu iki yansıma zamanı arasındaki zaman farkı ölçülerek yeşil ışının su yüzeyinden tabana ulaştığı ve döndüğü zamanla karşılaştırılmaktadır.



Şekil 3.3 LİDAR Batimetri (Guenther, vd., 2000)

Boğaz, kanal gibi sığ sularda kullanılabilen bu yöntem ile akustik derinlik ölçme yöntemlerinden daha çabuk sonuç alınabilmektedir (Cracknell, 1999). Havadan Lazer İskandil yönteminde üç farklı sistem bütünleşik kullanılmaktadır. Sistem, LIDAR (lazer tarayıcı), inersiyal konum belirleme sistemi (INS) ve GPS' in entegrasyonu ile çalışmaktadır (Kalkan ve Alkan, 2005).

3.2 Ses Dalgalarının Fiziksel Özellikleri

Su, katı, hava gibi ortamlarda yayılan basınç değişimleri ses olarak tanımlanmaktadır. Ses dalgaları, 16 Hz ile 20 Mhz frekansları arasında mekanik titreşim yapan cisimlerin bir ortamda oluşturdukları dalgalardır (Başaran, 1981).

Frekansı 16 Hz ile 16 kHz arasında olan seslere işitilebilir ses dalgası ya da sonik ses dalgaları denilmektedir. Dalga boyları büyük olduğundan enerjilerinin dar bir alan içinde demetlenmesi olanaksızdır. Buna karşın su içinde dağılması ve yutulması zor olup derin sularda yapılan ölçmelerde kullanılmaktadır (Özgen ve Algül, 1977; Gausland, 1998).

Frekansı 16 KHz ile 10 GHz arasındaki seslere ultra ses dalgası denilmektedir. Ultra seslerin dalga boyları küçük olduğundan, bu seslerin dar bir alanda demetlenmesi ve yönlendirilmesi mümkün olmaktadır. Demetlenmiş ultra ses koni şeklinde bir yüzey içinde yayılmaktadır (Özgen ve Algül, 1977). Ultra ses dalgaları su içinde fazla yutulduklarından sığ sularda yapılan derinlik ölçmelerinde kullanılmaktadır. Deniz suyunda ses dalgaları havadakinden yaklaşık 4 kat daha hızlı ilerlemektedir. Bu sebeple derinlik ölçmelerinde akustik dalgalar kullanılmaktadır.

Her ses dalgası belirli miktarda akustik enerji taşımaktadır. Bu enerji, hidrofon denilen aletler ile ölçülmektedir. Hidrofon, akustik dalgayı elektrik enerjisine çeviren bir alettir. Hidrofon aletleri yardımıyla transdüser ve sualtı akustik cihazlarının kalibrasyonu ile sualtında akustik testler yapılmaktadır. Ses dalgasının genliği, dalganın taşıdığı akustik enerjiye bağlıdır. Genliği büyük olan dalga daha çok enerji taşımaktadır. (L-3 Communications, 2000).

3.3 Deniz Suyunda Ses Hızının Belirlenmesi

Sesin su içindeki yayılma hızı, suyun yoğunluğuna dolayısıyla suyun sıcaklığına, tuzluluğuna ve basıncına bağlı olarak değişmektedir (Özgen ve Algül, 1977). Bu parametreler yanında hava kabarcıkları ve biyolojik organizmalar da ses hızını etkilemektedir (Alkan, vd., 2006). Bunun yanısıra sesin fiziksel özelliklerine de bağlıdır.

Ses dalgaların deniz suyundaki ortalama hızı, deniz suyu sıcaklığının 0 °C, tuzluluğun 35 ppt (%0.35) ve basıncın 760 mmHg olduğu normal koşullar altında, 1500 m/s olarak kabul edilmiştir (Ingham, 1992).

Deniz yüzeyinin sıcaklığı dünyanın konumuna, mevsimlere ve günün saatlerine göre değişiklik göstermektedir. Sıcaklık değişimi karmaşık bir yapı olup hidrografik ölçmelerde suyun içindeki davranışı bilinemediğinden duyarlı tahmini yapılması oldukça zordur.

Tuzluluk, su içindeki çözülmüş tuzların ve diğer minerallerin miktarıdır. Uygulamada deniz suyu içindeki tuz miktarı direk ölçülememektedir. Klor miktarı ve elektriksel iletkenliği özellikleri ölçülebilmektedir. Su içindeki klor miktarı suyun tuzluluğunu göstermektedir.

Basınc da diğer faktörler gibi sesin su içinde yayılma hızını etkilemektedir. Basınc, su derinliğine bağlı olarak değişmektedir. Su yoğunluğu sıcaklığa, tuzluluğa ve basınca bağlıdır.

Ses hızı aşağıda sıralanan birbirinden farklı yöntemler ve aletler kullanılarak belirlenmektedir (Alkan, vd., 2006):

- Ampirik Eşitliklerle
- Derinlik Termometresi
- Ses Hızı Ölçer
- Bar Kontrolü Yöntemi

3.3.1 Ampirik Eşitlikler

Ses hızını belirleme eşitliklerinin hepsinde derinlik ve basınç değişkenleri bulunmaktadır. Ses hızı değeri hesaplanırken bu değişkenler yanında ölçüm yapılan enlem, su sıcaklığı ve tuzluluk da önemli bir rol oynamaktadır (Pike ve Beiboer, 1993).

Ses hızını hesaplaması için S.Kuwahara (1939), Wood (1949) Wilson (1960) tarafından eşitlikler oluşturulmuştur (Özgen ve Algül, 1977; Pike ve Beiboer, 1993).

Del Grosso (1974) ve Chen&Millero (1977) eşitlikleriyle sıcaklık, tuzluluk ve basınç değişkenlerine bağlı olarak ses hızı değeri hesaplanmıştır (Pike ve Beiboer, 1993).

Basit ve hızlı hesaplamalar için, Medwin (1975), Mac Kenzie (1981) ve Coppens (1981) eşitlikleri kullanılmaktadır. Ses hızı basınç/derinlik değişkenleri kullanılarak hesaplanmaktadır.

3.3.1.1 Chen ve Millero Eşitliği (1977)

UNESCO eşitliği olarak da bilinen uluslararası eşitlik, Chen ve Millero 'nun 1977 yılında oluşturduğu eşitliğe dayanmaktadır. Bu eşitlik Mackenzie (1981) ve Coppens (1981) eşitliklerine göre daha karmaşık olup, derinlik değişimlerinden çok basınç değişimlerini değişken olarak almaktadır. Derinliği 1000 metreye kadar olan sularda kullanılmaktadır. Wong ve Zhu (1995)'de, 1977 Chen ve Millero denklemi 1990 sıcaklık ölçütlerine göre aşağıdaki şekilde yeniden düzenlenmiştir:

$$c(S, T, P) = C_w(T, P) + A(T, P)S + B(T, P)S^{3/2} + D(T, P)S^2 \quad (3.2)$$

$$\begin{aligned} C_w(T, P) = & (C_{00} + C_{01}T + C_{02}T^2 + C_{03}T^3 + C_{04}T^4 + C_{05}T^5) + \\ & (C_{10} + C_{11}T + C_{12}T^2 + C_{13}T^3 + C_{14}T^4)P + \\ & (C_{20} + C_{21}T + C_{22}T^2 + C_{23}T^3 + C_{24}T^4)P^2 + \\ & (C_{30} + C_{31}T + C_{32}T^2)P^3 \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned} A(T, P) = & (A_{00} + A_{01}T + A_{02}T^2 + A_{03}T^3 + A_{04}T^4) + \\ & (A_{10} + A_{11}T + A_{12}T^2 + A_{13}T^3 + A_{14}T^4)P + \\ & (A_{20} + A_{21}T + A_{22}T^2 + A_{23}T^3)P^2 + \\ & (A_{30} + A_{31}T + A_{32}T^2)P^3 \end{aligned} \quad (3.4)$$

$$B(T, P) = B_{00} + B_{01}T + (B_{10} + B_{11}T)P \quad (3.5)$$

$$D(T, P) = D_{00} + D_{10}P \quad (3.6)$$

Bu eşitliklerde, T Sıcaklık (0-40°C), S tuzluluk (0-40 ppt) ve P (0-1000 bar) biriminde basınçtır (Wong ve Zhu, 1995). (3.3), (3.4), (3.5) ve (3.6) eşitliklerinde kullanılan katsayılar Çizelge 3.1'de sıralanmıştır (Pike ve Beiboer, 1993):

Çizelge 3.1 Chen ve Millero (1977) katsayıları

A ₀₀	1.389	A ₂₁	9.1041E-9	C ₀₁	5.03711	C ₂₁	-1.7107E-6
A ₀₁	-1.262E-2	A ₂₂	-1.6002E-10	C ₀₂	-5.80852E-2	C ₂₂	2.5974E-8
A ₀₂	7.164E-5	A ₂₃	7.998E-12	C ₀₃	3.3420E-4	C ₂₃	-2.5335E-10
A ₀₃	2.006E-6	A ₃₀	1.100E-10	C ₀₄	-1.47800E-6	C ₂₄	1.0405E-12
A ₀₄	-3.21E-8	A ₃₁	6.649E-12	C ₀₅	3.1464E-9	C ₃₀	-9.7729E-9
A ₁₀	9.4742E-5	A ₃₂	-3.389E-13	C ₁₀	0.153563	C ₃₁	3.8504E-10
A ₁₁	-1.2580E-5	B ₀₀	-1.922E-2	C ₁₁	6.8982E-4	C ₃₂	-2.3643E-12

A ₁₂	-6.4885E-8	B ₀₁	-4.42E-5	C ₁₂	-8.1718E-6	D ₀₀	1.727E-3
A ₁₃	1.0507E-8	B ₁₀	7.3637E-5	C ₁₃	1.3621E-7	D ₁₀	-7.9836E-6
A ₁₄	-2.0122E-10	B ₁₁	1.7945E-7	C ₁₄	-6.1185E-10		
A ₂₀	-3.9064E-7	C ₀₀	1402.388	C ₂₀	3.1260E-5		

3.3.1.2 Del Grosso Eşitliği (1974)

UNESCO eşitliğine alternatif bir algoritma olan Del Grosso (1974) eşitliğinde de basınç değişimi, sıcaklık ve tuzluluk değerlerine göre ses hızı hesaplanmaktadır (Del Grosso, 1974). 1000 metreden derin sular için oluşturulan bu eşitlikte sıcaklık, basınç ve tuzluluk değişkenler, birimleri ile değer aralıkları aşağıda gösterilmiştir.

$$T : \text{Sıcaklık (}^{\circ}\text{C)} \quad 0 < T < 30^{\circ}\text{C}$$

$$S : \text{Tuzluluk (ppt)} \quad 30 < S < 40 \text{ ppt}$$

$$P : \text{Basınç (kg/cm}^2\text{)} \quad 0 < P < 1000 \text{ kg / cm}^2$$

Wong ve Zhu (1995)'de, Del Grosso eşitliği 1990 sıcaklık ölçütlerine göre yeniden düzenlenmiştir.

$$c(S, T, P) = C_{000} + \Delta C_T + \Delta C_S + \Delta C_P + \Delta C_{STP} \quad (3.7)$$

$$\Delta C_T(T) = C_{T1}T + C_{T2}T^2 + C_{T3}T^3 \quad (3.8)$$

$$\Delta C_S(S) = C_{S1}S + C_{S2}S^2 \quad (3.9)$$

$$\Delta C_P(P) = C_{P1}P + C_{P2}P^2 + C_{P3}P^3 \quad (3.10)$$

$$\Delta C_{STP}(S, T, P) = C_{TP}TP + C_{T3P}T^3P + C_{TP2}TP^2 + C_{T2P2}T^2P^2 + C_{TP3}TP^3 + C_{ST}ST + C_{ST2}ST^2 + C_{STP}STP + C_{S2TP}S^2TP + C_{S2P2}S^2P^2 \quad (3.11)$$

(3.8), (3.9), (3.10) ve (3.11) eşitliklerinde kullanılan katsayılar Çizelge 3.2' de gösterilmektedir (Wong ve Zhu, 1995).

Çizelge 3.2 Del Grosso (1974) katsayıları

C_{000}	1402.392	C_{ST}	-0.1275936E-1
C_{T1}	0.5012285E1	C_{TP}	0.6353509E-2
C_{T2}	-0.551184E-1	C_{T2P2}	0.2656174E-7
C_{T3}	0.221649E-3	C_{TP2}	-0.1593895E-5
C_{S1}	0.1329530E1	C_{TP3}	0.5222483E-9
C_{S2}	0.1288598E-3	C_{T3P}	-0.4383615E-6
C_{P1}	0.1560592	C_{S2P2}	-0.1616745E-8
C_{P2}	0.2449993E-4	C_{ST2}	0.688441E-4
C_{P3}	-0.8833959E-8	C_{S2TP}	0.4857614E-5
		C_{STP}	-0.3406824E-3

3.3.1.3 Medwin Eşitliği (1975)

Ses hızını hesaplamada 1000 metreye kadar hızlı hesaplamalar için kullanılan Medwin (1975) eşitliğinde değişkenlerin değer aralıkları $0 \leq T \leq 35^\circ\text{C}$, $0 \leq S \leq 45$ ppt, $0 \leq D \leq 1000$ m.'dir. Medwin eşitliğinde (3.12) sıcaklık (T), basınç (P) ya da derinlik (D) ile tuzluluk (S) yeterli doğrulukla ölçülmelidir (Alkan, vd., 2006).

$$c = 1449.2 + 4.6T - 0.055T^2 + 0.00029T^3 + (1.34 - 0.010T)(S - 35) + 0.016D \quad (3.12)$$

3.3.1.4 MacKenzie Eşitliği (1981)

Ses hızının hesaplarken 8000 metreye kadar hızlı hesaplamalar için kullanılan Mackenzie (1981) eşitliği, su içinde sesin yayılma hızının derinliğe (D), sıcaklığa (T) ve tuzluluğa (S) bağlı olarak belirlenmesi üzerine geliştirilmiştir (Mackenzie, 1981).

$$c(D, S, T) = 1448.96 + 4.591T - 5.304 * 10^{-2} T^2 + 2.374 * 10^{-4} T^3 + 1.340(S - 35) + 1.630 * 10^{-2} D + 1.675 * 10^{-7} D^2 - 1.025 * 10^{-2} T(S - 35) - 7.139 * 10^{-13} TD^3 \quad (3.13)$$

(3.13) eşitliğinde değişkenlerin birimleri ile değer aralıkları aşağıdaki gibidir.

T : Sıcaklık ($^\circ\text{C}$) $2 < T < 30^\circ\text{C}$

S : Tuzluluk (ppt) $25 < S < 40$ ppt

D : Derinlik (m) $0 < D < 8000$ m

3.3.1.5 Coppens Eşitliği (1981)

4000 metre derinliğe kadar geçerli olan Coppens (1981) eşitliğinde $t = T/10$ olarak alınmaktadır. Derinlik kilometre biriminde olup, tuzluluğun 0-40 ppt, sıcaklığın ise 0-35 °C aralığında değişen ölçmelerde ses hızı hesaplamalarında kullanılmaktadır.

$$c(D, S, t) = c(0, S, t) + (16.23 + 0.253t)D + (0.213 - 0.1t)D^2 + [0.016 + 0.0002(S - 35)](S - 35)tD \quad (3.14)$$

$$c(0, S, t) = 1449.05 + 45.7t - 5.21t^2 + 0.23t^3 + (1.333 - 0.126t + 0.009t^2)(S - 35) \quad (3.15)$$

3.3.1.6 Derinlik/Basınç İlişkisi Eşitlikleri

Yaklaşık 1 km su derinliği 101 bar basınca karşılık gelmektedir. Basınç değerinden derinlik değerini hesaplamak için geçerli olan uluslararası eşitlik aşağıdaki gibi yazılabilir (Pike ve Beiboer, 1993):

$$D = \frac{[C_1(P_b * 10) + C_2(P_b * 10)^2 + C_3(P_b * 10)^3 + C_4(P_b * 10)^4]}{[g(\varphi) + 1/2 g' * P_b]} + \Delta d \quad (3.16)$$

(3.16) eşitliğinde C_1 , C_2 , C_3 ve C_4 katsayı değerleri Çizelge 3.3' de gösterilmiştir. $g(\varphi)$ aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$g(\varphi) = 9.780318 * (1.0 + 5.2788E-3 * \sin^2 \varphi + 2.36E-5 * \sin^4 \varphi) \quad (3.17)$$

Çizelge 3.3 Katsayı değerleri

C_1	9.72659	C_3	2.279E-10	g'	2.184E-5 m.s ⁻² bar ⁻¹
C_2	-2.2512E-5	C_4	-1.82E-15		

(3.16) ve (3.17) eşitliklerindeki terimler:

φ : Enlem (derece)

$g' = 2.184E-5 \text{ m.s}^{-2}\text{bar}^{-1}$

P_b : Hidrostatik basınç (bar)

Δd : jeopotansiyel anomali (J/kg).

(3.16) eşitliğinde Δd değeri tuzluluk değerinin 35 ppt ve sıcaklık değerinin 0°C olduğu normal

koşullarda sıfırdır. Bu eşitlik yeniden düzenlendiğinde, ± 0.03 m doğruluğunda (3.18) şeklini almaktadır (Leroy ve Parthiot, 1998):

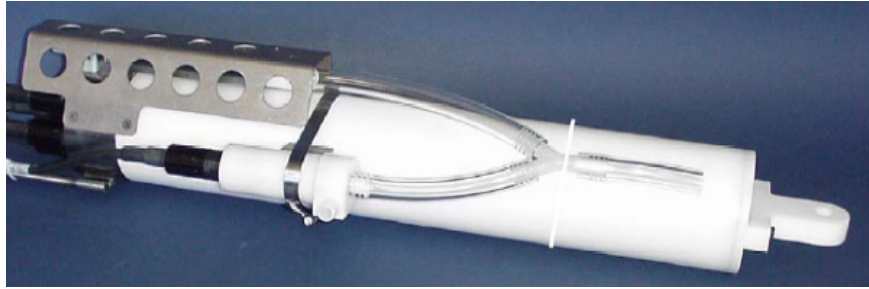
$$D = \frac{9.7266 * 10^2 P - 2.512 * 10^{-1} P^2 + 2.28 * 10^{-4} P^3 - 1.8 * 10^{-7} P^4}{9.7803(1 + 5.3 * 10^{-3} \sin^2 \varphi) + 1.1 * 10^{-4} P} \quad (3.18)$$

Derinlik değerinden basınç değerini hesaplamak için “Leroy’un basit denklemi” adı verilen (3.19) eşitliği kullanılmaktadır (Leroy ve Parthiot, 1998). Burada P dbar birimindedir:

$$P = 1.0052405(1 + 5.28 * 10^{-3} \sin^2 \varphi) D + 2.36 * 10^{-6} D^2 \quad (3.19)$$

3.3.2 İletkenlik, Sıcaklık ve Derinlik Ölçme Aleti

İletkenlik-Sıcaklık-Derinlik (Conductivity-Temperature-Depth-CTD) ölçme aleti, deniz suyundaki iletkenlik, sıcaklık ve basınç değerlerini ölçen ve kaydeden bir alettir (Şekil 3.4). Bir yazılım yardımıyla bilgisayara aktarılan değerlerden ampirik eşitliklerle ses hızı hesaplanmaktadır.



Şekil 3.4 CTD aleti (Seabird, 2008)

3.3.3 Derinlik Termometresi

Derinlik termometresi (batitermograf) farklı derinliklerde sıcaklık değerini derinliğin bir fonksiyonu olarak ölçen bir alettir. Bu ölçüme batitermografik ölçüm adı verilmektedir. Basit olarak, aletin kabloya bağlı olan bir donanımı deniz dibine doğru indirilmekte ve farklı derinliklerde ölçülen elektriksel direnç derinlik ve sıcaklığa dönüştürülmektedir (Şekil 3.5). Alet ses hızını sıcaklık-derinlik ilişkisiyle ortamdaki tuzluluk miktarının bilindiğini ya da bilinmediğini varsayarak belirlemektedir (Alkan, vd., 2006).



Şekil 3.5 Derinlik termometresi (USGS, 2008)

3.3.4 Ses Hızı Profili Ölçer

Ses hızı profili (Sound Velocity Profiler-SVP) ölçerler hidrografik ölçmelerde daha çok tercih edilen ve kullanılan aletlerdir (Şekil 3.6). Bu aletlerde derinliği ölçmek için kullanılan bir basınç sensörü, bir transdüser ile yansıtıcı bulunmaktadır (IHO, 2005).

Ses hızı, transdüserden gönderilen akustik dalganın yansıtıcıya çarpması ve geri dönmesi arasındaki zaman farkına göre hesaplanmaktadır. Basınç sensörü ile de aletin indirildiği derinlik değeri belirlenmekte ve farklı derinliklerde ses hızı hesaplanmaktadır (IHO, 2005). Ses hızı profili ölçen aletler ile direk ölçülen ses hızı, deniz suyundaki ses hızının yayılmasını etkileyen sıcaklık, iletkenlik ve basınç faktörlerini de içinde bulundurmaktadır (USACE, 2002). Bazı aletlerde sıcaklık ölçme sensörü de bulunmaktadır.



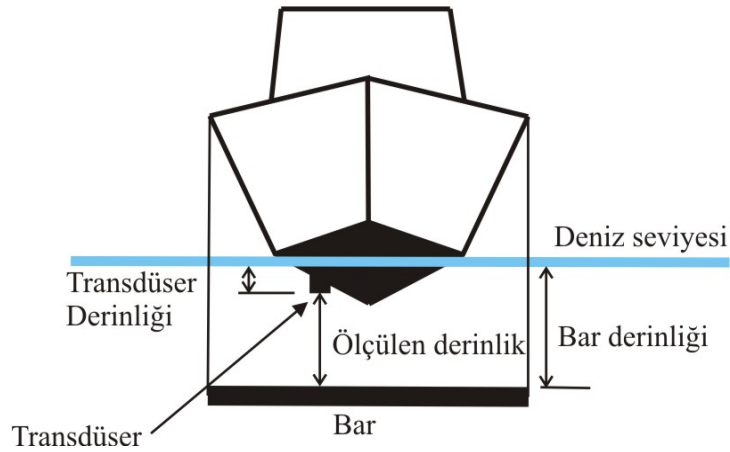
Şekil 3.6 Ses hızı profili ölçer (Reson, 2006)

Hızölçer aletler (velocity meter) ile de ses hızını derinliğin bir fonksiyonu olarak belirlemektedir (USACE, 2002).

3.3.5 Bar Kontrolü Yöntemiyle Ses Hızının Belirlenmesi

Akustik iskandillerin çalışma prensibinin, gönderilen ses ekosunun deniz tabanından yansıyor gelmesi arasındaki zamanın, ses hızı ile çarpımının yarısına eşit olması nedeniyle, yapılan ölçümlerde ses hızının doğru belirlenmesinin önemi büyüktür.

Bar kontrolü (bar check) genelde tek bimli akustik iskandiller ile yapılan ölçmelerde iskandil ile ölçülen derinlik değerlerinin, gerçek derinlik değerleri ile uyumlu olup olmadığını belirlemek için yapılan bir testtir (Şekil 3.7). Gerçek derinlikle, kayıttan okunan derinlik arasındaki fark birbirinden farklı ise ya iskandil aletinin ses hızı değiştirilmekte ya da ölçüler düzeltilmektedir (Alkan, 1998). Bunun için derinlik ölçümüne başlanmadan önce ve sonra, ölçüm yapılacak olan sahada bar kontrolü yapmak gerekmektedir.



Şekil 3.7 Bar kontrolü

c_0 , akustik iskandil aletinin ayarlı olduğu ses hızı; c , ortamdaki gerçek ses hızı; d_b , bar derinliği; d , ölçülen derinlik değeri olmak üzere ses hızı aşağıdaki şekildedir (Alkan, 1998);

$$t = \frac{2d_b}{c} = \frac{2d}{c_0} \quad (3.20)$$

$$c = c_0 \frac{d_b}{d} \quad (3.21)$$

Bu durumda herhangi bir derinlik değerinin düzeltilmiş değeri, d_c ,

$$d_c = d \frac{c}{c_0} \quad (3.22)$$

etliğiyle hesaplanabilir (Alkan, 1998).

Bar kontrolü yapıldıktan sonra su ortamındaki ses hızının hesaplanması için iskandil aleti kullanılarak ölçülen derinlikler ile bar derinlikleri karşılaştırılarak fark değerleri hesaplanır. İki değişken arasında doğrusal bir ilişki bulunduğundan bu ilişki doğrusal bir fonksiyonla ifade edebilir (Teng, 2003).

$$y = b_o + b_1 x \quad (3.23)$$

(3.23) eşitliği regresyon eşitliği olarak tanımlanmaktadır. Kesişim değeri (b_o) ile eğim değeri (b_1) regresyon katsayılarıdır. Regresyon denklemi gözlemlenen veriyi en iyi dolduran bir doğruyu temsil etmektedir. Burada x , bağımsız değişken olup, y ise bağımlı değişkendir. En uygun regresyon katsayıları En Küçük Kareler Yöntemiyle hesaplanabilir (Teng, 2003; Doğan ve Alpar, 1994).

$$\sum y_i = n \cdot b_o + b_1 \sum x_i \quad (3.24)$$

$$\sum x_i \cdot y_i = b_o \sum x_i + b_1 \sum x_i^2 \quad (3.25)$$

Burada b_1 hesaplanan ses hızı değerini göstermektedir. Yeni ses hızı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$c = c_o + b_1 c_o \quad (3.26)$$

Bar kontrolü yöntemi sığ sularda yapılan ölçümlerde kullanılmaktadır. 30 m' den derinde bar kontrolü yapılması doğruluğu azaltacağından sakıncalıdır (Alkan, 1998). 200 metreden derin sularda ses hızı düzeltilmesinin hesaplanmasına gerek bulunmamaktadır. Standart değer olarak 1500 m/s alınmalıdır (USACE, 2002).

Bar kontrolü ölçme teknesinin transdüser ve draft derinliğinin hesaplanması için de yapılmaktadır (Meador, 2002). Bar ya da levhaların çok ağır olmamasına da dikkat edilmelidir.

Ölçme sonrasında yapılacak olan bar kontrolü sonucunda ses hızında bir değişiklik varsa, bu değer hesaplanır ve tüm ölçülere düzeltme olarak getirilir. Düzeltilmiş derinlikler su ortamının fazla değişmediği sahalarda, limanlarda, 5-15 m derinliklerde aşağıdaki eşitlik ile bulunabilir (USACE, 2002).

$$d_c = \left[\left(\frac{bar_i - bar_{i+1}}{d_i - d_{i+1}} \right) (d_o - d_i) \right] + bar_i \quad (3.27)$$

(3.27) eşitliğinde,

d_c : düzeltilmiş derinlik,

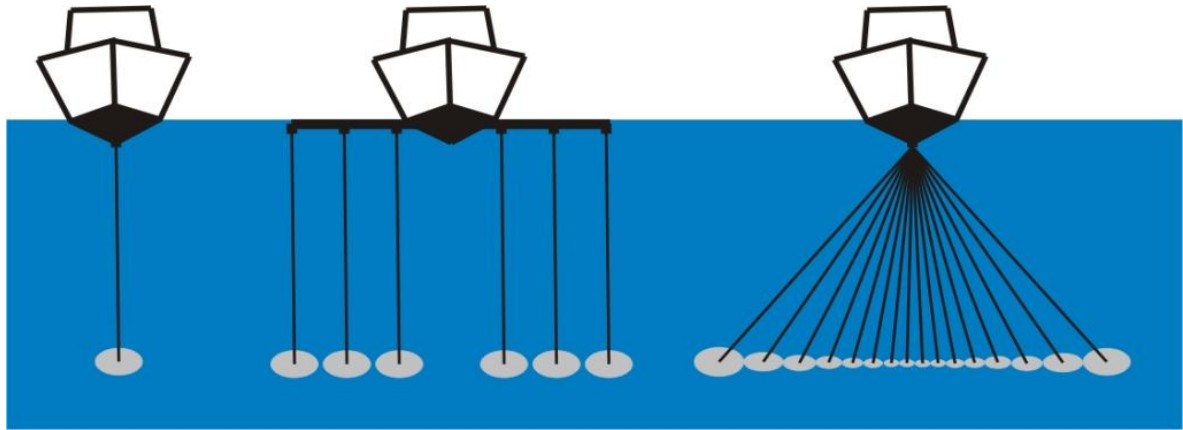
d_o : düzeltilecek derinlik,

bar_i : i noktasındaki bar derinliği,

d_i : i noktasında kaydedilen derinliktir.

3.4 Akustik Derinlik Ölçme Aletleri

Akustik enerji deniz tabanına doğru düşey yönlendirilmiş bim şeklinde gönderilmektedir (IHO, 2005). Akustik iskandil aletleri bim yapısına göre tek bimli iskandil (TBİ) ve çok bimli iskandil (ÇBİ) aletleri olarak iki kısımda sınıflandırılabilir (Şekil 3.8a, c). Bunlar yanında çok sayıda TBİ aletleri ile donatılan çok transdüserli sistemler de hidrografik ölçmelerde kullanılmaktadır (Şekil 3.8b).



a) Tek Bimli

b) Çok Transdüserli

c) Çok Bimli

Şekil 3.8 Akustik iskandil aletleri

3.4.1 Tek Bimli İskandil Aletleri

Tek bimli iskandil (TBİ) aletleriyle yapılan ölçmelerde akustik bim düşey olarak bir yöne doğru gönderilmektedir. Bu sebeple bu aletlere tek bimli iskandil aletleri adı verilmektedir. Akustik bim, su ortamı içinde yayılarak deniz tabanına ulaşmakta, tabandan yansımakta ve tekrar transdüserine ulaşmaktadır. İskandil aletinde sayısal formata dönüştürülen sinyal, değerlendirilerek derinlik değeri belirlenmektedir (IHO, 2005).

Transdüserden sualtı zeminine gönderilen ses dalgaları ile yansiyarak geri dönen ve belirli oranda kuvvetlendirilen ses dalgalarının elektriksel enerjileri kontrol kayıt ünitesinde karşılaştırılarak seyir süreleri otomatik olarak kayıt edilmektedir. Ekograf, bilinen bir ses hızı değerine göre kalibre edildiğinden, su derinliği elektronik sistem içinde hesaplanmaktadır. Bu şekilde belirlenen derinlik değeri, ekografin cinsine göre ya bir ekranda sayısal olarak görüntülenmekte ya da bir kayıt kâğıdı üzerine çizilmektedir. Kayıt kâğıdı sürekli hareket ettirilebildiğinden, ünitelerin sürekli çalıştırılması ve ölçme teknesinin hareket ettirilmesi durumunda, kayıt ünitesinde belirli bir ölçekte sualtı zemininin derinlik profili elde edilmektedir.

Günümüzde derinlik ölçümü yapılırken kontrol kayıt ünitesi bir bilgisayara bağlanmakta ve ilgili hidrografi yazılımı kullanılarak sayısal olarak da ölçüler kaydedilmektedir. Windows, NT ve UNIX tabanında çalışabilen hidrografi yazılımları yardımıyla derinlik, konum, sensör bilgileri senkronize edilmekte, ölçülen derinliğe gelgit, vb. düzeltmeler getirilerek gerçek derinlik değerleri hesaplanmaktadır.

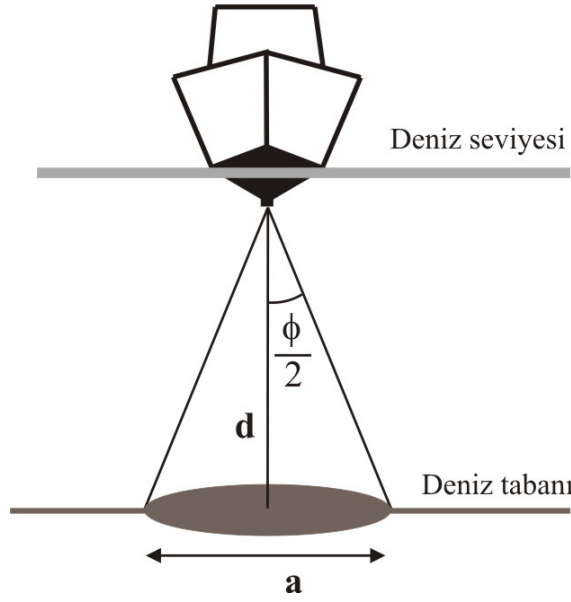
Akustik iskandil aletlerini çalıştırmak için gemilerde jeneratörler, küçük teknelerde akümülatör gibi enerji kaynakları kullanılmaktadır. Bunlar 12, 24, 32 volt doğru akım ve 110, 220 volt alternatif akım üreteçleridir.

Tek bimli iskandil aletleri sığ sular için çift frekanslı olarak üretilmektedir. Böylelikle deniz tabanının sediment yapısı hakkında bilgi elde edilmektedir.

3.4.1.1 Tek Bimli İskandil Aletlerinde Deniz Tabanı Kaplaması

TBİ' lerde deniz tabanı kaplaması (3.28) eşitliği ile belirlenmektedir (IHO, 2005). Bu eşitlikte; a , deniz tabanında kapladığı alan; d , derinlik ve ϕ , bim açısıdır.

$$a = 2d \tan \frac{\phi}{2} \quad (3.28)$$



Şekil 3.9 TBİ deniz tabanı kaplaması

3.4.1.2 Tek Bimli İskandil Aletlerinin Parametreleri

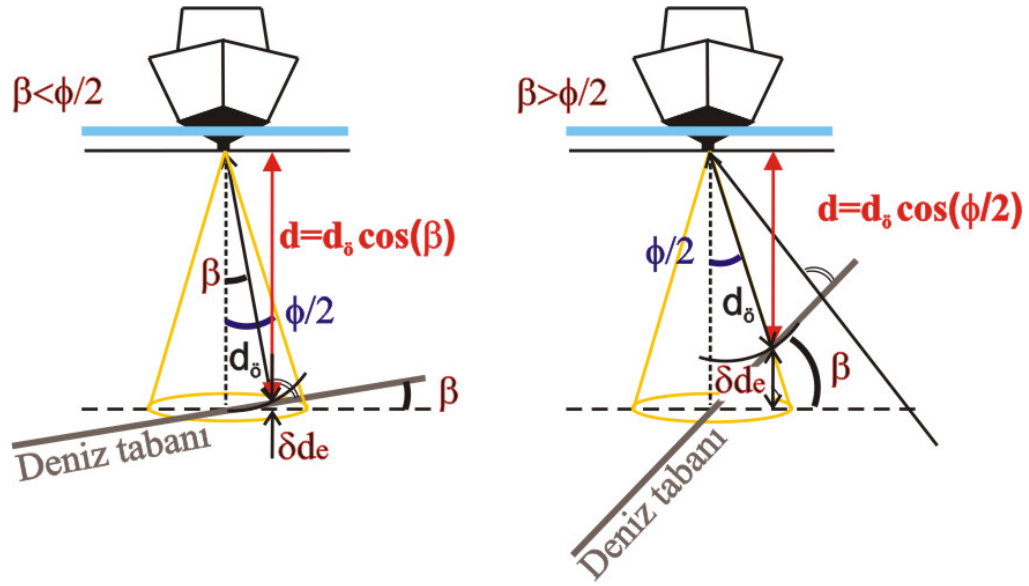
TBİ aletinin parametreleri yüksek doğruluk ve anlaşılır bir kayıt elde etmek amacıyla doğru ayarlanmalıdır. Bu parametreler, güç, kazanç, puls uzunluğu, ölçek, faz ölçeği, draft, kağıt hızı ve sesin su içinde yayılma hızı olarak sıralanabilir (IHO, 2005).

3.4.1.3 Tek Bimli İskandil Aletlerinde Hata Kaynakları ve Kalite Kontrol

Derinlik belirlemedeki hata kaynakları üç kısımda incelenebilir. Kaba hatalar, düzenli hatalar ve düzensiz hatalardır. Kaba hatalar genelde iskandil aletlerinin mekanik ve elektronik donanımlarındaki arızalardan meydana gelmektedir. Düzenli hatalar, ölçme teknesinin hareketinden, transdüser ve diğer sensörlerin yerleştirilmesindeki hatalardan kaynaklanmaktadır. Bu tip hatalar sistemin kalite kontrolü yapılırken tespit edilmekte ve giderilmektedir. Düzensiz hatalar ise derinlik verisinde kalmakta olup, sadece istatistiksel yöntemler ile belirlenmektedir.

3.4.1.3.1 Deniz Tabanının Eğimine Bağlı Hata

Transdüserden gönderilen akustik dalgalar Şekil 3.9’ daki gibi konik şekilde yayılmakta ve deniz tabanına çarpıp geri dönmektedir. Deniz tabanı düz ise ölçülen derinlik (3.1) eşitliği ile belirlenmektedir. Ancak deniz tabanı her zaman düz bir yapıya sahip değildir.



Şekil 3.10 Eğimli deniz tabanı (IHO, 2005)

Deniz tabanının eğimli olduğu durumda (Şekil 3.10) konik şeklinde yayılan dalgalar eğimin üst kısmına rastlayan ses konisinin kenar pulsları olacaktır (Algül ve Özgen, 1977). Böyle durumlarda derinlik ölçümündeki hata δd_e , hem bim genişliğine hem de deniz tabanının eğimine bağlıdır (IHO, 2005). ϕ bim açısı, β deniz tabanı eğimi, d_0 ölçülen derinlik, d derinlik değeri olmak üzere (3.29) ve (3.30) eşitlikleri ile derinlik ölçümünde deniz tabanının eğiminden kaynaklanan hata değeri δd_e hesaplanmaktadır.

$$\delta d_e = d_0 \left(\frac{1}{\cos \beta} - 1 \right) \quad \beta < \frac{\phi}{2} \quad (3.29)$$

$$\delta d_e = d_0 \left(\frac{1}{\cos \frac{\phi}{2}} - 1 \right) \quad \beta > \frac{\phi}{2} \quad (3.30)$$

3.4.1.3.2 Ses Hızına Bağlı Hata

Sesin su içindeki yayılma hızı ortamın fiziksel parametrelerine ve derinliğe bağlı olarak değişim göstermektedir (Alkan, 1998). İskandil aletinde ayarlı olan ses hızı ile çalışma sahasındaki ses hızı birbirinden farklı ise, derinlikteki değişim (3.34) eşitliğiyle belirlenir (IHO, 2005).

$$d = \frac{1}{2} c t \quad (3.31)$$

$$\delta d_c = \frac{1}{2} t \delta_c \quad (3.32)$$

$$t = \frac{2d}{c} \quad (3.33)$$

$$\delta d_c = d \frac{\delta_c}{c} \quad (3.34)$$

Bu eşitliklerde δd_c ses hızı değişiminin derinliğe etkisi, δ_c ortamdaki ses hızı ile iskandil aletinde ayarlı ses hızının farkı, c ise iskandil aletindeki ayarlı ses hızıdır.

Ses hızı hatasının büyüklüğü, ses hızını belirlemedeki doğruluğa, ses hızındaki geçici değişime ve ses hızının uzaysal değişimine bağlı değişim göstermektedir (IHO, 2005). Derinlik ölçmesi yapılacak sahada ses hızının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle ölçme öncesi ve sonrasında mutlaka ses hızı belirleyen aletler ile ses hızı belirlenmesi yapılmalıdır.

3.4.1.3.3 Zaman Ölçümüne Bağlı Hata

İskandil aleti gönderilen ses dalgasının deniz tabanından yansıyıp tekrar alete dönmesi arasındaki zamanı ölçmekte ve böylelikle derinlik değerini hesaplamaktadır. Zaman ölçümündeki hata δt , zaman ölçümünden kaynaklanan derinlik hatasını (δd_t) direk olarak etkilemektedir (IHO, 2005). (3.31) eşitliğinde akustik dalga'nın seyir süresi δt kadar hatalı olursa, zamandaki farklılığın derinliğe etkisi aşağıdaki şekilde olacaktır.

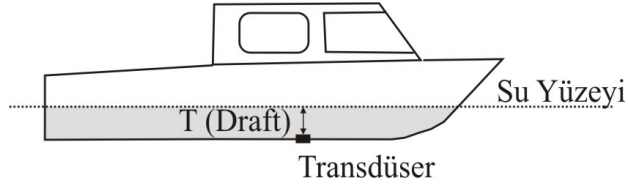
$$\delta d_t = \frac{1}{2} c \delta t \quad (3.35)$$

Modern iskandil aletlerinde zaman ölçümündeki hata oldukça az ve sabit değerdir. Bu hata kalite kontrol ölçmeleriyle belirlenebilmektedir.

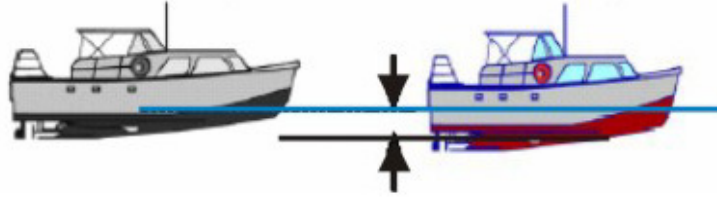
3.4.1.3.4 Ölçme Teknesinin Draftına, Çökmesine ve Oturmasına Bağlı Hata

Ölçme teknesine monte edilen transdüser belli bir derinliğe kadar indirilmektedir. Ölçüm yapılırken transdüserin altındaki derinlik değerleri ölçülmektedir. Su yüzeyi ile transdüser arasındaki yükseklik farkına draft adı verilmektedir (Şekil 3.11a). Ölçme teknesinin draft değeri tüm ölçülen derinlik değerlerine eklenmelidir. Draft, toplam derinlik doğruluğunu da etkileyen ana etkenlerden biridir. Eğer tek bimli iskandil ölçümü için büyük bir tekne kullanılıyorsa, bu teknenin kullandığı yakıt miktarı, vb. draft değişiminin başlıca nedenleridir.

Draft hatası $\delta d_{(draft)}$ derinlik hatasını direk etkilemektedir (IHO, 2005).



(a) Ölçme teknesinde draft



(b) Ölçme teknesinin oturması



(c) Ölçme teknesinin çökmesi

Şekil 3.11 Ölçme teknesinin draftı, oturması ve çökmesi (USACE, 2002)

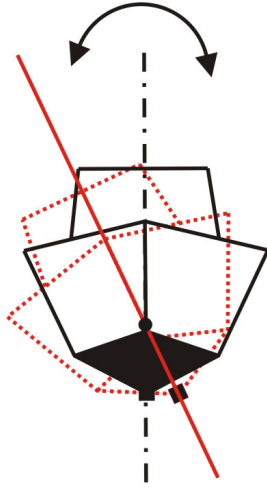
Ölçme teknesinin oturması, ölçme teknesinin ölçüme başlamadan önceki durağan haliyle, ölçme zamanındaki hareketli hali arasındaki fark olarak tanımlanmakta olup, derinlik ölçümüne $\delta d_{(oturma)}$ kadar etki etmektedir. Genelde bu etki sığ su ölçmelerinde dikkate alınmalıdır (IHO, 2005).

Ölçme teknesinin çökmesi, teknenin hızına bağlı olarak drafttaki değişim olarak tanımlanabilir (USACE, 2002). Derinlik ölçümüne $\delta d_{(çökme)}$ kadar etki etmektedir. Su seviyesine göre transdüserin konumundan kaynaklanan toplam hata δd_T aşağıdaki eşitlik ile belirlenir.

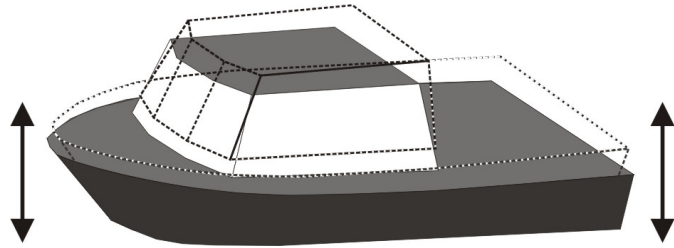
$$\delta d_T = \sqrt{\delta d_{draft}^2 + \delta d_{oturma}^2 + \delta d_{çökme}^2} \quad (3.34)$$

3.4.1.3.5 Ölçme Teknesinin Yalpa, Boyuna Salınım ve Batçık Hareketlerine Bağlı Hata

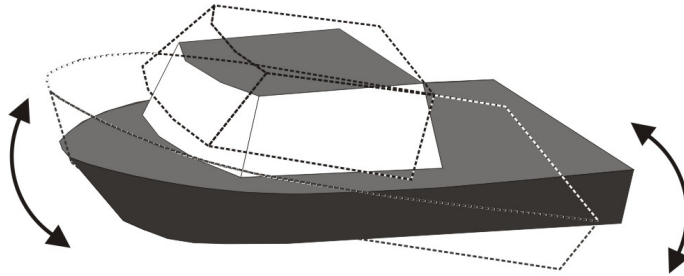
Denizdeki dalga gibi çalkantılardan dolayı ölçme teknesi yalpa, batçık ve boyuna salınım hareketleri yapmaktadır (Şekil 3.12). Yalpa hareketi, ölçme teknesinin sağ ya da sola yatmasından kaynaklanan hareket, batçık hareketi teknenin düşey yönde batıp çıkmasından kaynaklanan hareket ve boyuna salınım hareketi ise teknenin baş-kıç doğrultusunun hareketi olarak tanımlanmaktadır.



a) Yalpa hareketi



b) Batçık hareketi



c) Boyuna salınım hareketi

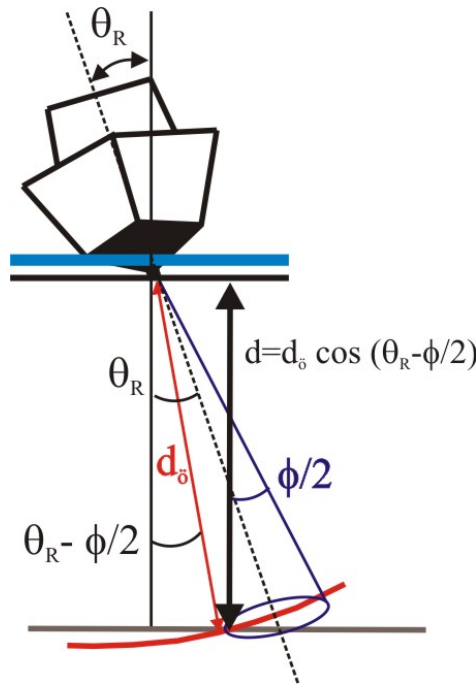
Şekil 3.12 Teknenin yalpa, batçık ve boyuna salınım hareketleri

Tek bimli iskandil aletleriyle yapılan ölçmelerde ölçme teknesinin yalpa ve boyuna salınım hareketinin derinliğe olan etkisi, ancak yalpa θ_R ve boyuna salınım θ_P açılarının bim açısının yarısından ($\phi/2$) büyük olduğu koşullarda geçerlidir (IHO, 2005). Geniş bim açılı iskandil aletleriyle yapılan ölçmelerde ölçme teknesinin yalpa ve boyuna salınımı çoğunlukla derinliği etkilememektedir.

$$\delta d_{yalpa} = d_{\delta} (1 - \sec(\theta_R - \frac{\phi}{2})) \quad \theta_R > \frac{\phi}{2} \quad (3.35)$$

$$\delta d_{yalpa} = 0 \quad \theta_R < \frac{\phi}{2} \quad (3.36)$$

Dar açılı iskandil aletlerinde (3.35) ve (3.36) eşitlikleri ile δd_{yalpa} hatası belirlenmektedir. Şekil 3.10' da yalpa açısı θ_R ile boyuna salınım açısı θ_p yer değiştirildiğinde yukarıdaki eşitliklerle boyuna salınım hatası da belirlenmektedir (IHO, 2005).



Şekil 3.13 Yalpa etkisinin gösterimi

Batçık etkisi, ölçme teknesinin düşey yöndeki hareketi sonucu derinlik ölçülerinde ortaya çıkan, özellikle dalgalı ortamlarda yapılan ölçmelerde anlamlı bir şekilde derinliklerin hatalı ölçülmesine neden olmaktadır (Alkan, 1998). Batçık etkisi batçık kompensatörleri veya inersiyal sistemler yardımıyla belirlenmektedir (IHO, 2005).

Batçık kompensatörleri transdüserlerin üzerine, transdüserler ile aynı düşey ekseninde olacak şekilde yerleştirilmelidir. Derinlik değerine ölçülen batçık hareketi h_{ϕ} düzeltme olarak getirilmelidir.

Batçık hareketi ölçme teknesinin ağırlık merkezine mümkün olduğu kadar yakın bir yere yerleştirilen inersiyal sistemler yardımıyla da belirlenebilmektedir. Transdüser ölçme teknesine monte edilmiş olduğundan teknenin koordinat sistemindedir. Ancak ölçme teknesinin koordinat sistemi ile inersiyal sistemin koordinat eksenleri arasında az da olsa bir fark bulunmaktadır (IHO, 2005). İki sistemin düşey yöndeki z eksenleri arasındaki bu fark ölçme teknesinin yaptığı yalpa ve boyuna salınım hareketlerine bağlı olarak değişim göstermekte ve batçık hareketini h_i kadar etkilemektedir.

Ölçme teknesinde inersiyal sistemler kullanılıyor ise batçık hareketi (3.37) eşitliği ile ifade edilmektedir. Aşadaki eşitlikte h_o ölçülen batçık değerini, h_i ise hesaplanan batçık değerini göstermektedir.

$$h_T = h_o + h_i \quad (3.37)$$

Eksenler arasındaki farkın neden olduğu batçık hareketi h_i (3.38) eşitliği ile hesaplanmaktadır (IHO, 2005). Bu eşitlikte (x, y, z) ölçme teknesinin koordinat sistemindeki transdüserin koordinat değerleridir. Batçık miktarı aşağıdaki eşitlikten elde edilir.

$$h_i = -x \sin(\theta_p) + y \cos(\theta_p) \sin(\theta_R) + z (\cos(\theta_p) \cos(\theta_R) - 1) \quad (3.38)$$

Batçık hareketine bağlı toplam hata (3.39) eşitliği ile belirlenmektedir.

$$\delta h = \delta h_o + \delta h_i \quad (3.39)$$

3.4.1.3.6 Kayıt Okumaları ve Çözünürlüğe Bağlı Hata

Derinlik ölçmelerindeki kayıt okumaları ve çözünürlük hatası iskandil aletinin çalışma koşullarına bağlıdır (IHO, 2005). Analog aletlerde temiz görüntü elde etmek için operatör ölçme sırasında gerekli ayarları yapmaktadır. Dijital aletlerde ise ölçme sırasında analog aletler kadar ayar yapmaya gerek olmamakla birlikte değerlendirme aşamasında kontroller yapılmalıdır. Analog aletler ile yapılan ölçmeler sonucu derinlik profillerinin kağıt üzerinden okunması sırasında oluşan hata δd_{okuma} , kağıdı okuyan kişinin deneyimine bağlı olarak değişmektedir.

3.4.1.3.7 Yorumlamaya Bağlı Hata

Bir ekonun izini yorumlanması hidrografın sorumluluğundadır. Yanlış ekolar, birden fazla eko ve çift frekanslı transdüser kullanıldığı durumlarda deniz tabanındaki farklı sediment yapılarından kaynaklanan eko farkları yorumlamaya bağlı hata olarak tanımlanmaktadır.

3.4.1.3.8 Tek Bimli İskandil Ölçmelerinde Derinlik İndirgemesi

Hidrografik çalışmalarda ölçülen derinlik değerleri yukarıda sıralanan hatalardan arındırıldıktan sonra kullanılan düşey datuma gelgit düzeltmesi yapılarak indirilmelidir. Hidrografik çalışmalarda gelgit, ölçme bölgesine kurulan bir eşel ya da bölgede bulunan bir mareograf istasyonu yardımıyla belirlenmektedir. Gelgitin belirlenmesine bağlı olan derinlik hatası $\delta_{d(gelgit)}$, kıyıdan açıkta bir noktadaki gelgit ile kıyıdaki gelgit değeri arasında gelgitin etki uzaklığını belirlemek (Adams, 2004) için ölçülen gelgit hatası $\delta_{d(co-gelgit)}$ ile kıyıda ölçülen gelgit hatasına $\delta_{d(\delta-gelgit)}$ bağlıdır (IHO, 2005).

Yukarıda açıklanan hatalara bağlı olarak derinlik hatası aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$\delta_d = \delta_{dc} + \delta_{dt} + \delta_{dh} + \delta_{dT} + \delta_{d(okuma)} + \delta_{d(gelgit)} \quad (3.40)$$

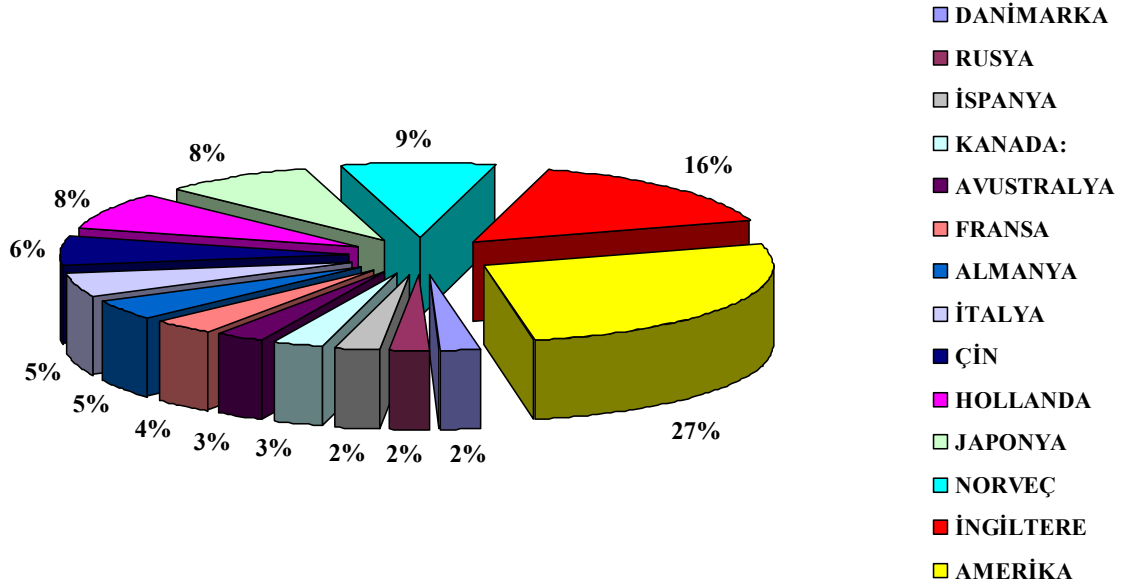
3.4.2 Çok Bimli İskandil Sistemleri

Çok bimli iskandil sistemleriyle yapılan ölçmelerde transdüserlerden değişik açılarla birçok akustik bim aynı anda gönderilmektedir. Birden fazla bimin gönderilmesi sebebiyle bu sistemler çok bimli iskandil sistemleri olarak adlandırılmaktadır. ÇBİ sistemlerinin temel prensibi deniz tabanına doğru gönderilen bimlerin seyir süresi ile açı değerlerinin ölçülüp derinliklerin hesaplanmasıdır (Edge, vd., 1990). Tüm ÇBİ sistemleri, bimlerin iki yönlü seyir zamanını (Two Way Travel Time) ve açığı ölçerek fiziksel ve matematiksel yöntemler ile derinlik değerini hesaplamaktadır (Blacquire ve Woerde, 1998).

3.4.2.1 Dünya Çapında Çok Bimli İskandil Sistemlerinin Kullanımı

Uluslararası Hidrografi Örgütünün “Worldwide Seafloor Swath-Mapping Systems” adlı yazısı (IHO, 2007) esas alınmak suretiyle dünyada kullanılan çok bimli iskandil sistemlerinin ülkelere göre kullanım oranları belirlenmiştir (Şekil 3.14).

Bu sıralamada Amerika Birleşik Devletleri %27’lik bir oranla birinci sırada olup, % 16’lık oranla İngiltere, %9’luk oranla Norveç, %8’lik oranla Japonya ve Hollanda, %6’lık oranla Çin ve aşağıdaki şekilde görülen ülkeler izlemektedir. Türkiye bu sıralamada oldukça geridedir. Bir deniz ülkesi olmamıza karşın Türkiye’de deniz araştırmalarına ayrılan kaynak oldukça azdır.



Şekil 3.14 ÇBİ sistemlerinin ülkelere göre kullanım oranları (Aykut ve Birkan, 2007)

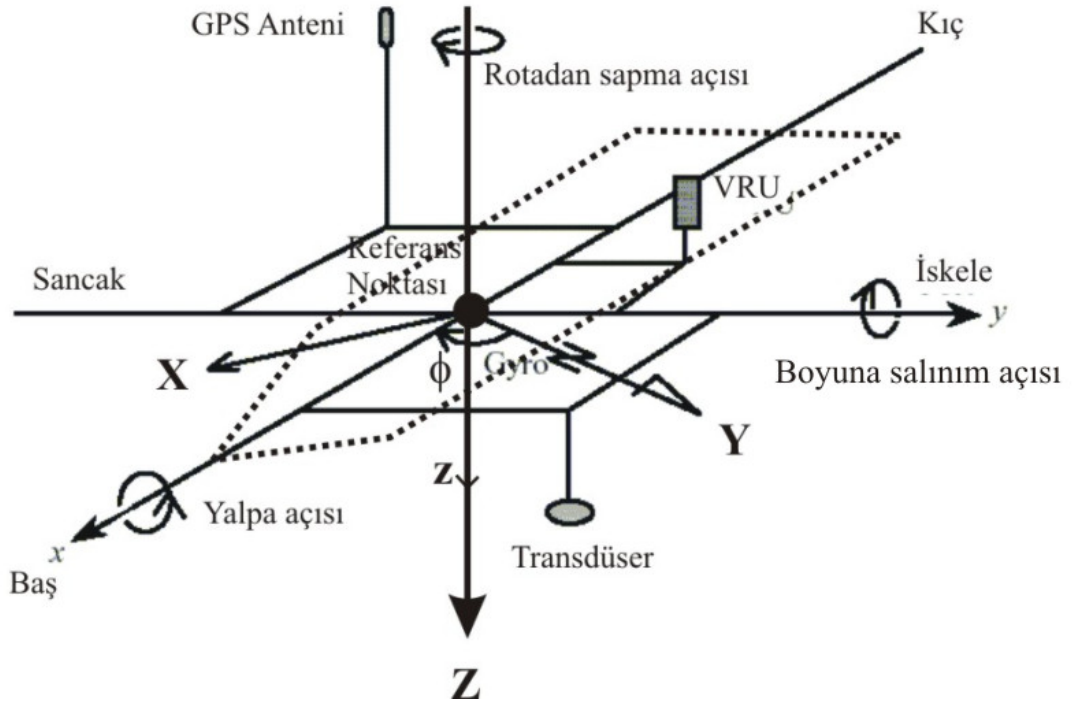
3.4.2.2 ÇBİ Sistemlerini Oluşturan Donanımlar

ÇBİ sistemi tekneye monte edilmiş olan transdüser, konum belirleme sistemi, cayro pusula ve batçık-yalpa-boyuna salınım kompensatörü, vb. birçok donanımdan oluşmaktadır. Şekil 3.15’de ÇBİ sistemi ve arayüzleri görülmektedir.



Şekil 3.15 ÇBİ sistemi ve arayüzleri

ÇBİ sistemini oluşturan donanımlar tekneye aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi monte edilebilirler.



Şekil 3.16 Tekne üzerine monte edilen donanımlar (Godin, 1997)

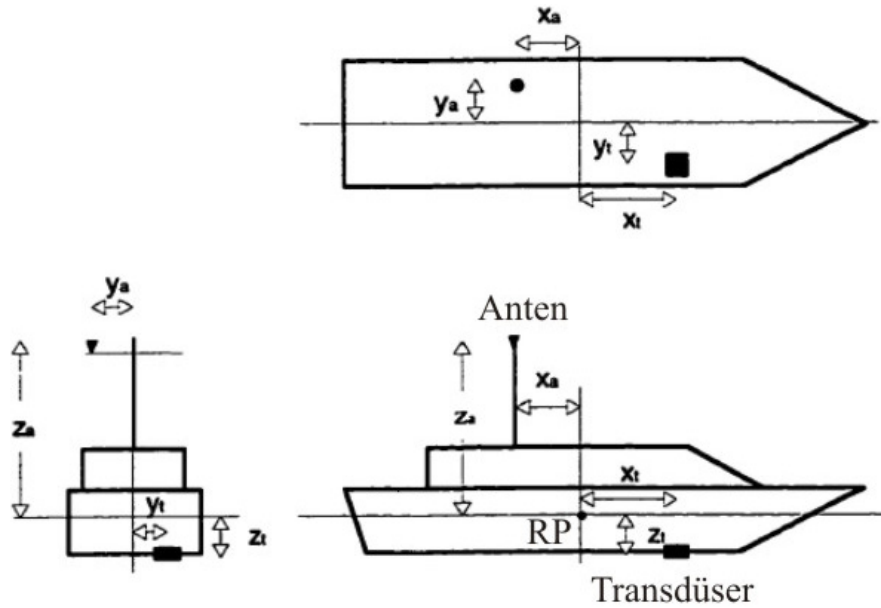
Düsey referans birimi (VRU) ölçme teknesinin yalpa, boyuna salınım (başvurma) ve rotadan çıkma hareketlerini ölçen algılayıcılardan oluşmaktadır. Kuzeyden sapma açısı (ϕ), teknede bulunan cayro pusula tarafından belirlenmektedir. Bu açı, teknenin coğrafi kuzey ile pruva (baş-kıç) doğrultusu arasında yaptığı açıdır. Konumlama sistemi teknenin XY (ϕ , λ) coğrafi koordinatlarını vermektedir. Rotadan sapma teknenin salınımı nedeniyle düşey eksen etrafındaki hareketidir.

Lokal seviye (LL), Y eksenine Coğrafi Kuzey doğrultusunda, X eksenine Doğu doğrultusunda ve Z eksenine ise aşağı doğru yönde olan uzaysal bir referans ağıdır. Tekne koordinat sisteminin (BF) x eksenine teknenin baş-kıç doğrultusunda, olup y eksenine teknenin sancak-iskele doğrultusundadır. Her iki sistemin başlangıç noktaları aynı olup, Z eksenleri birbirine çakışıktır (Şekil 3.16). İki sistem arasında dönüşüm için bir P matrisinden yararlanılır (Godin, 1997). (3.41) eşitliğinde ψ , yalpa açısını, θ boyuna salınım açısını, ϕ ise kuzeyden sapma açısını ifade etmektedir.

$$P = \begin{bmatrix} \cos \theta \sin \phi & -\cos \theta \cos \phi & -\sin \theta \\ -\cos \psi \cos \phi - \sin \psi \sin \theta \sin \phi & \sin \psi \sin \theta \cos \phi - \cos \psi \sin \phi & -\sin \psi \cos \theta \\ -\sin \psi \cos \phi + \cos \psi \sin \theta \sin \phi & -\sin \psi \sin \phi - \cos \psi \sin \theta \cos \phi & \cos \psi \cos \theta \end{bmatrix} \quad (3.41)$$

3.4.2.3 Ölçme Teknesindeki Donanımların Dış Merkezlik Ölçmeleri

Ölçme teknelerinde ÇBİ sistemlerini oluşturan donanımların teknenin referans noktasına (RP) göre dış merkezlik değerlerinin bilinmesi gerekmektedir (Şekil 3.17). Dış merkezlik ölçümleri tekne tersanede kızak üzerindeyken yapılmalıdır.



Şekil 3.17 Referans noktasından olan dış merkezlik değerleri (Godin, 1997)

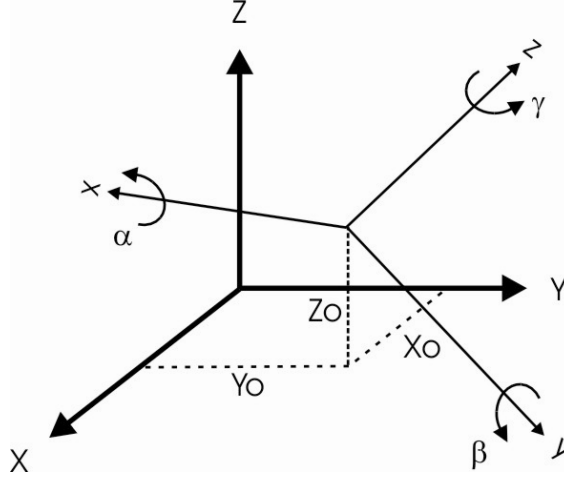
Tersanede ölçme teknesi etrafında bir poligon ağı oluşturularak, poligon noktalarından teknenin kritik yerlerine, donanımların monte edildiği noktalara ölçmeler yapılmalıdır. Yapılan ölçüm ve hesaplamalar sonrasında tekne üzerindeki donanımların koordinatları hesaplanır.

Ölçme teknesi kızakta az da olsa sağa ya da sola yatık, baş ya da arka tarafı yüksek veya alçak olarak durmaktadır. Bu farkların giderilmesi ve tekne koordinat sistemine geçiş için üç boyutlu bir koordinat dönüşümü gerekmektedir.

Üç boyutlu dönüşümün matematiksel modelinin matris gösterimi (3.42) eşitliği ile verilmektedir. (Alkan, 2001; Karaali, 1999; Wolf ve Ghilani, 1998).

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + \lambda \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} \\ d_{12} & d_{22} & d_{23} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (3.42)$$

(3.42) eşitliğindeki dönüşüm matrisi D , (3.43) eşitliği ile ifade edilmektedir.



Şekil 3.18 Üç eksenli dönüşüm açıları

$$D = \begin{bmatrix} \cos \beta \cos \gamma & \cos \alpha \sin \gamma + \sin \alpha \sin \beta \cos \gamma & \sin \alpha \sin \gamma - \cos \gamma \sin \beta \cos \alpha \\ -\sin \gamma \cos \beta & \cos \alpha \cos \gamma - \sin \alpha \sin \gamma \sin \beta & \sin \alpha \cos \gamma + \cos \alpha \sin \gamma \sin \beta \\ \sin \beta & -\sin \alpha \cos \beta & \cos \beta \cos \alpha \end{bmatrix} \quad (3.43)$$

(3.42) eşitliğinin çözümünde 7 parametrelilik Benzerlik dönüşümü için Bursa-Wolf modelinden yararlanılmıştır. Bursa-Wolf modeli (3.44) eşitliği ile tanımlanmaktadır (Wolf, H., 1963; Bursa, M., 1966).

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} + (1+k) \begin{bmatrix} 1 & \varepsilon_z & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_z & 1 & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (3.44)$$

Bu eşitlikte; x, y, z 1.sistemin koordinatları, X, Y, Z 2.sistemin koordinatları olmak üzere t_x, t_y, t_z , öteleme parametreleri; $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$, eksenler etrafındaki dönüklükler; k ise ölçek faktörüdür. (3.44) eşitliğindeki bilinmeyenlerin bulunması için dengelemeli çözümde; A katsayılar matrisi, l küçültülmüş ölçüler ve x bilinmeyenler matrisleri olup, (3.45), (3.46) ve (3.47) eşitlikleri ile gösterilmiştir. Bilinmeyenlerin bulunması için her iki sistemde de en az 3 ortak nokta olması gerekmektedir. (3.47) eşitliğindeki bilinmeyenler dengeleme hesabı yapılarak hesaplanmaktadır.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -Z_i & Y_i & X_i \\ 0 & 1 & 0 & Z_i & 0 & -X_i & Y_i \\ 0 & 0 & 1 & -Y_i & X_i & 0 & Z_i \end{bmatrix} \quad (3.45)$$

$$l = \begin{bmatrix} x_i - X_i \\ y_i - Y_i \\ z_i - Z_i \end{bmatrix} \quad (3.46)$$

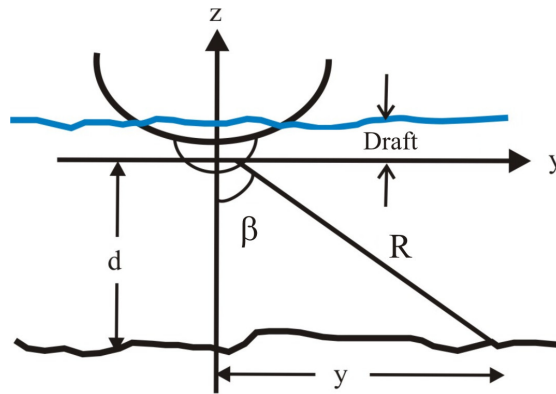
$$x^T = [t_x \ t_y \ t_z \ \varepsilon_x \ \varepsilon_y \ \varepsilon_z \ k] \quad (3.47)$$

Dönüşüm sonrasında tekne üzerindeki GPS, HRP, ÇBİ, TBİ, vb.alet ve donanımların koordinatları artık tekne koordinat sistemdedir. Tekne üzerindeki bir referans noktasına göre bu donanımların dış merkezlik değerleri hesaplanabilir.

3.4.2.4 Çok Bimli İskandilin Çalışma Prensibi

Akustik yöntemle derinlik ölçümünde temel prensip transdüserden gönderilen ses dalgasının deniz tabanına yansıyor geri dönmesi ve bu zamanın ölçülerek ortamdaki ses hızı ile çarpılıp derinliklerin hesaplanmasıdır. Tek bimli iskandil aletleri ile yapılan ölçmelerde akustik bim düşey olarak bir yöne gönderilmekte ve büyük alanların ölçümü için birbirine paralel birçok hat çekmek gerekmektedir. ÇBİ sistemlerinde ise tek bir hatta bir yelpaze şeklinde her yöne doğru akustik bim gönderilmektedir.

ÇBİ transdüserleri çapraz fan geometrisine sahiptir. Gönderilen ve alınan sıra “L” ya da “T” şeklindedir. Her dizi bir çizgi boyunca eşit aralıklı birbirleriyle benzer çoklu transdüser elemanından oluşmaktadır. Gönderilen her bir sıra bir ping olarak adlandırılmaktadır. Bir ping ile tüm bimler gönderilip geri alınmaktadır (USACE, 2002).



Şekil 3.19 ÇBİ çalışma yöntemi (Godin, 1997)

ÇBİ Sistemlerinin genel çalışma yöntemi Şekil 3.19' da görülmektedir. Burada β , bim açısı; R , uzaklık; y , kaplama uzunluğu; d ise hesaplanan derinliktir. Derinlik (3.48) eşitliği ile kaplama uzunluğu ise (3.49) eşitliğiyle belirlenmektedir.

$$d = R \cos \beta = -z \quad (3.48)$$

$$y = R \sin \beta = d \tan \beta \quad (3.49)$$

Derinlik değişik açılarla deniz tabanına farklı uzaklıklar katederek gönderilen akustik bimler değerlendirilerek yukarıda verilen eşitlikler yardımıyla hesaplanmaktadır. Bim açıları ölçme teknesinde bulunan hareket sensörünün ölçtüğü yalpa açısı ile gerçek zamanlı olarak düzeltilmekte ve derinlik değeri düzeltilmiş bim açısı kullanılarak hesaplanmaktadır. Ölçülen derinlik transdüserden deniz tabanına olan yükseklik olup tekne koordinat sisteminde (3.50) eşitliği ile ifade edilir. Bu eşitlikte i bim sayısıdır (Godin, 1997).

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix}_{BF} = \begin{bmatrix} 0 \\ -r \sin \beta_i \\ r \cos \beta_i \end{bmatrix} \quad (3.50)$$

Tekne sisteminden lokal sisteme dönüşüm için (3.51) eşitliği kullanılır (Alkan, 2001).

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{LL} = P \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{BF} \quad (3.51)$$

(3.51) eşitliğindeki P dönüşüm matrisi (3.41) eşitliği yardımıyla hesaplanabilir. (3.52) eşitliği lokal sistemdeki koordinat değerlerini, (3.53) eşitliği ise tekne koordinat sistemindeki koordinatları göstermektedir.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{LL} \quad (3.52)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{BF} \quad (3.53)$$

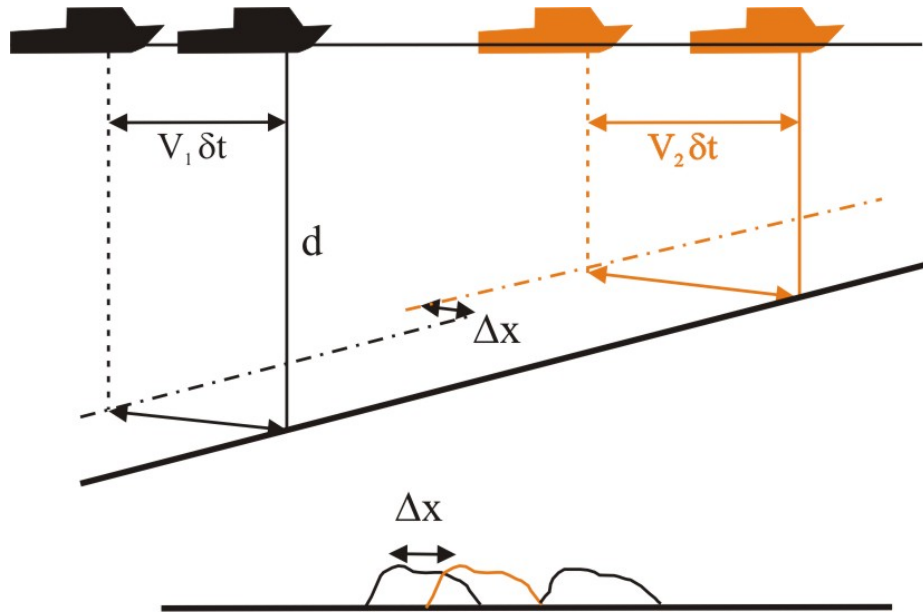
3.4.2.5 ÇBİ Sistemlerinin Kalite Kontrol Yöntemleri

ÇBİ Sistemleri karmaşık bir yapıya sahip olduğundan her ölçme döneminden önce, sisteme yeni bir alet eklendikten sonra veya sistemde herhangi bir değişiklik yapıldıktan sonra kalite kontrolleri yapılmalıdır. Artık hataları belirlemek için yapılan kalite kontrol ölçümleri dört aşamadan oluşmaktadır (Godin, 1997; USACE, 2002; IHO, 2005):

- Konumlama Zaman Gecikmesi
- Boyuna Salınım Artık Hatası
- Tekne Rotasından Sapma Artık Hatası
- Yalpa Dış Merkezliği Artık Hatası

3.4.2.5.1 Konumlama Zaman Gecikmesi

Konumlama zaman gecikmesi, derinlik ölçüm zamanı ile konum belirleme zamanı arasındaki zaman gecikmesidir. Bu zaman gecikme hatası, aynı yönde farklı hızlarda en az 2 hat boyunca eğimli bir deniz tabanı üzerinde yapılan derinlik ölçümü ile belirlenmektedir.



Şekil 3.20 Zaman gecikmesinin belirlenmesi (Godin, 1997; IHO, 2005)

Zaman gecikmesi δt , (3.54) eşitliği ile belirlenmektedir. Bu eşitlikte; Δx , ölçme teknesinin v_1 ve v_2 hızlarında ölçülen deniz tabanındaki noktalar arasındaki yatay uzaklıktır (Şekil 3.20).

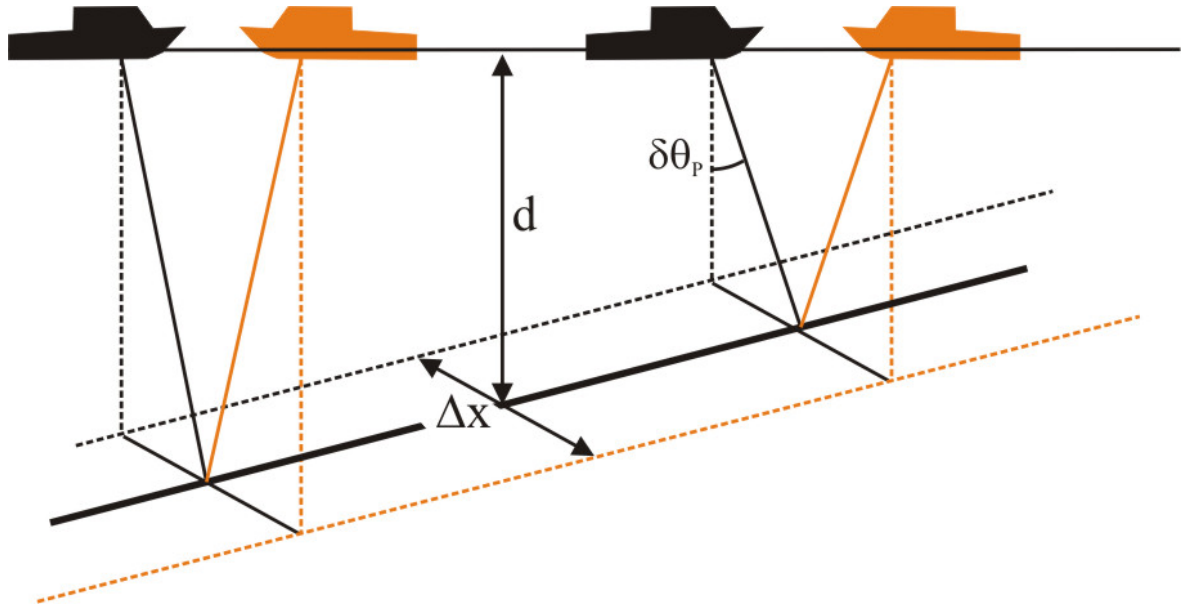
$$\delta t = \frac{\Delta x}{v_2 - v_1} \quad (3.54)$$

3.4.2.5.2 Boyuna Salınım Artık Hatası

Boyuna salınım artık hatası, ölçme teknesinin yatay düzlemine dik olarak yerleştirilen atalet ölçme ünitesi (INS) ile transdüserlerin düşey eksenleri arasındaki açıdır (IHO, 2005). Boyuna salınım artık hatasının belirlenmesi için ölçme teknesiyle, aynı hızla, aynı hatta, birbirine zıt yönde seyir yapılarak derinlik ölçümü yapılmalıdır. Bu artık hatanın belirlenmesi için deniz tabanı eğimli ve karakteristik noktaları ayırt edilebilir olmalıdır (Şekil 3.21).

Boyuna salınım artık hatası $\delta\theta_p$, (3.55) eşitliği ile belirlenmektedir. Bu eşitlikte Δx , iki derinlik profili arasındaki yatay uzunluk, d ise derinlik değeridir. Boyuna salınım artık hatası belirlenmeden önce mutlaka konumlama zaman gecikmesi hatası tespit edilmelidir.

$$\delta\theta_p = \arctan\left(\frac{\Delta x}{2 \cdot d}\right) \quad (3.55)$$



Şekil 3.21 Boyuna salınım artık hatasının tesbiti (IHO, 2005)

3.4.2.5.3 Tekne Rotasından Sapma Artık Hatası

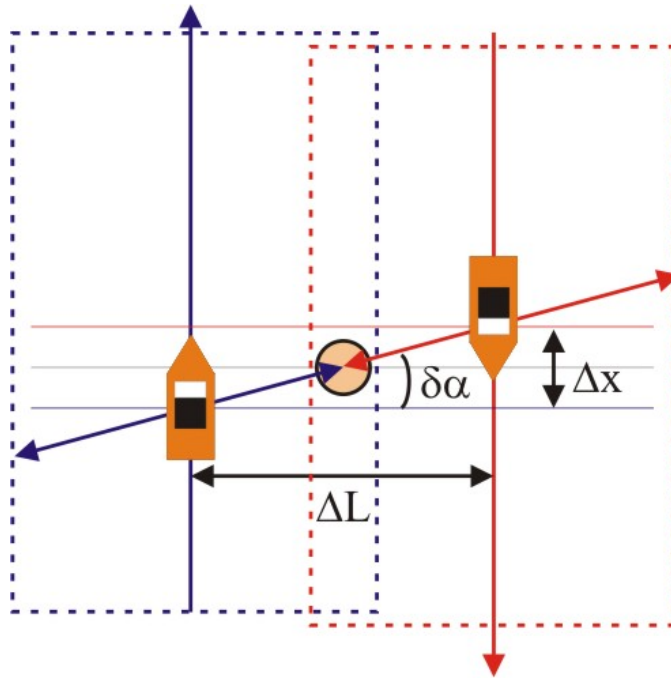
Tekne rotasından sapma artık hatası, ölçme teknesinin baş-kıç istikametinde kuzeyden sapma sensörü ile transdüserlerin yerleştirilme eksenleri arasında kalan yatay düzlemdeki açıdır (IHO, 2005). Bu artık hatanın giderilmesi için, ölçme teknesi sığ suda topuk gibi bir batimetrik nesnenin üzerinde ÇBİ sisteminin dış bimlerini kullanarak, aynı hızda, karşılıklı ve aralıkları

eşit, maksimum %20 birbirini kaplayacak şekilde 2 hat çekerek (IHO, 2005) seyir yapması gerekmektedir (Şekil 3.22).

Rotadan sapma artık hatası $\delta\alpha$, (3.56) eşitliğiyle belirlenmektedir (IHO, 2005). Bu eşitlikte ΔL , 2 hat arasındaki uzunluk, Δx ise batimetrik nesne ile birbirine yakın karşılıklı hatlar arasındaki yatay uzunluktur.

$$\delta\alpha = \arctan\left(\frac{\Delta x}{\Delta L}\right) \quad (3.56)$$

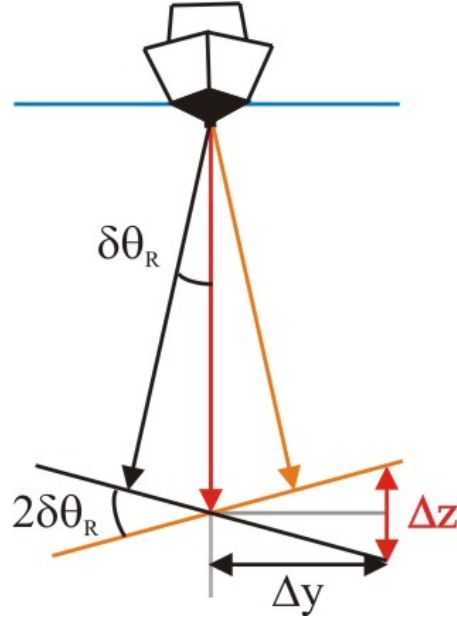
Rotadan sapma artık hatası belirlenmeden önce konumlama zaman gecikmesi ile boyuna salınım artık hatasının yukarıda anlatılan yöntemlere göre belirlenip düzeltilmesi gerekmektedir.



Şekil 3.22 Rotadan sapma artık hatasının belirlenmesi (IHO, 2005)

3.4.2.5.4 Yalpa Artık Hatası

Yalpa artık hatası, ölçme teknesinin enine düzleminde atalet ölçme ünitesi ile transdüserin düşey eksenleri arasında kalan açıdır. Yalpa artık hatasının belirlenmesi için ölçme teknesi ile düzgün bir deniz tabanı üzerinde, aynı hızda karşılıklı olarak aynı hat üzerinde seyir etmek gerekmektedir (IHO, 2005). Yalpa artık hatası belirlenmeden yukarıda açıklanan diğer artık hatalar mutlaka giderilmeli ve sonrasında en dış bimler kullanılarak derinlik ölçümü yapılmalıdır. Yalpa artık hatası derin sularda daha iyi belirlenir (USACE, 2002).



Şekil 3.23 Yalpa artık hatasının belirlenmesi (IHO, 2005)

Yalpa artık hatası $\delta\theta_R$, (3.57) eşitliği ile belirlenmektedir. Bu eşitlikte Δz , bitişik hatlardaki dış bimler arasındaki düşey uzunluk, Δy ise deniz tabanı kaplama uzunluğunun yarısıdır (Şekil 3.23).

$$\delta\theta_R = \arctan\left(\frac{\Delta z}{2 \cdot \Delta y}\right) \quad (3.57)$$

3.4.2.6 ÇBİ Sistemlerinde Derinliğe Etki Eden Hata Kaynakları

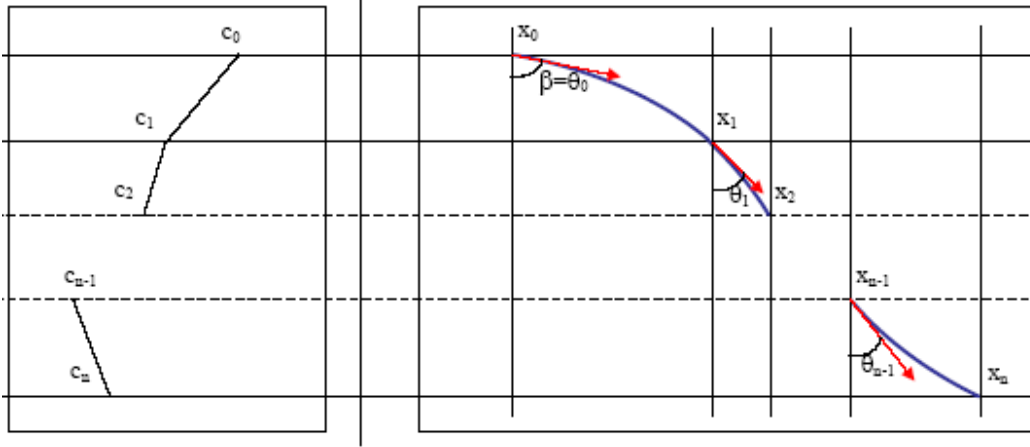
ÇBİ sistemlerinde yapılan hidrografik ölçmelerde, tek bimli iskandillerle yapılan ölçmelerdeki hata kaynaklarına (Bölüm 3.4.1.3) benzer ve farklı olmak üzere derinliği etkileyen hata kaynakları bulunmaktadır. Başlıca hata kaynakları aşağıda sıralanmıştır.

3.4.2.6.1 Ses Hızına Bağlı Hata

Ses hızının belirlenmesindeki ya da su ortamının değişimindeki hata, akustik bimin deniz tabanından yansıma çözümünü etkileyecek olup, ölçülen derinlik değerini etkileyecektir.

Akustik dalganın su içinde izi ile akustik dalganın hızı Snell kanunlarına göre tanımlanır. (3.58) eşitliğinde c_i ses hızı, θ_i , d_i derinliğinde düşeyle akustik dalga izinin yaptığı açı (Şekil 3.24) ve K ise Snell katsayısıdır.

$$\frac{\sin \theta_0}{c_0} = \dots = \frac{\sin \theta_i}{c_i} = K \quad (3.58)$$



Şekil 3.24 Ses hızı profili ve bım gönderimi (IHO, 2005)

Katmandaki ses hızı eğim değerinin iki ölçüm arasında sabit olduğu varsayılırsa i katmanındaki eğim g_i aşağıdaki eşitlik ile tanımlanabilir.

$$g_i = \frac{c_i - c_{i-1}}{d_i - d_{i-1}} \quad (3.59)$$

Her katmanda akustik puls (ρ_i) sabit yarıçaplı eğri bir yol izlemektedir.

$$\rho_i = -\frac{1}{K g_i} \quad (3.60)$$

i katmanını geçen akustik puls tarafından yol alınan yatay uzunluk değeri Δx_i aşağıdaki eşitlikle tanımlanır.

$$\Delta x_i = \rho_i (\cos \theta_i - \cos \theta_{i-1}) \quad (3.61)$$

(3.61) eşitliğinde ρ_i yerine (3.60) eşitliğindeki karşılığı, $\cos \theta_i$ yerine ise (3.62) eşitliğindeki ifadesi yazılırsa (3.63) eşitliği elde edilir.

$$\cos \theta_i = \sqrt{1 - (K c_i)^2} \quad (3.62)$$

$$\Delta x_i = \frac{\sqrt{1 - (K c_{i-1})^2} - \sqrt{1 - (K c_i)^2}}{K g_i} \quad (3.63)$$

Ses hızından kaynaklanan derinlik hatası δd_c , ses hızı profilindeki eğim değişimine δg ve ses hızı değişimine δc_0 bağlı olarak (3.64) eşitliği ile belirlenmektedir (IHO, 2005). Bu eşitlikte β (θ), bim gönderme açısı, c_0 ise su ortamında transdüser seviyesindeki ses hızı, d ise derinliktir.

$$\delta d_c = \frac{d^2}{2c_0} (1 - \tan^2(\beta)) \delta g + \frac{d}{c_0} \delta c_0 \quad (3.64)$$

Ses hızına bağlı derinlik doğruluğu $\sigma_{dc(profil)}$, (3.65) eşitliği ile ifade edilmekte olup, σ_g ses hızı profilinin eğim değişiminin doğruluğuna ve σ_{c_0} ses hızının doğruluğuna bağlıdır. Aşağıdaki eşitliğin ilk kısmı ses hızı profil eğimindeki farklılığa bağlı olan uzaklık ve ışın yolunun değişim hatalarını içermesine karşın ikinci kısmı ise transdüser seviyesindeki ses hızı değişiminin derinliğe etkisini göstermektedir.

$$\sigma_{dc(profil)}^2 = \left(\frac{d^2}{2c_0} \right)^2 (1 - \tan^2(\beta))^2 \sigma_g^2 + \left(\frac{d}{c_0} \right)^2 \sigma_{c_0}^2 \quad (3.65)$$

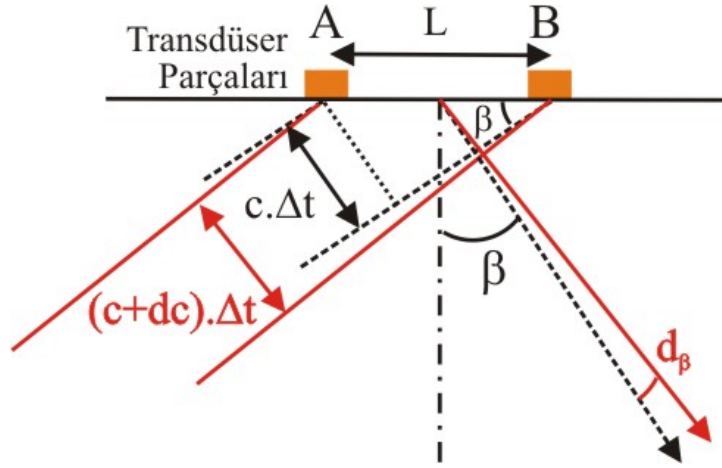
Transdüserin yüzündeki ses hızı değişimi Bu hata bim gönderme açısında bir hataya neden olup derinliği etkilemektedir (IHO, 2005; HRSC, 2001). Bim yönlendirmesinde transdüserler arasındaki zaman gecikmesi belirlenebilmektedir. Bunun için transdüser yakınına bir ses hızı profili ölçen bir alet yerleştirmek gerekmektedir. Transdüser yüzündeki herhangi bir ses hızı hatası bim yönlendirme açısı hatası olarak yayılmaktadır (IHO, 2005).

$$\Delta t = \frac{L}{c_0} \sin \beta \quad (3.66)$$

$$\beta = \arcsin \left(\frac{c_0 \cdot \Delta t}{L} \right) \quad (3.67)$$

(3.66) ve (3.67) eşitliklerinde L , transdüser ünitesinin uzunluğu, β bim yönlendirme açısı Δt ise zaman gecikmesidir. Bu eşitliğin türevi alınıp tekrar düzenlendiğinde derinliğe etki eden bim yönlendirmesi hatası δd_β , (3.68) eşitliği ile elde edilmiştir.

$$\delta d_\beta = -\frac{d}{c_0} \tan^2(\beta) \delta c_0 \quad (3.68)$$



Şekil 3.25 Ses hızına bağlı bim yönlendirme hatası (IHO, 2005)

Bim yönlendirmesine bağlı derinlik doğruluğu $\sigma_{d\beta}$ aşağıdaki eşitlik ile bulunabilir.

$$\sigma_{d\beta}^2 = \left(\frac{d}{c_0} \right)^2 \tan^4(\beta) \sigma_{c_0}^2 \quad (3.69)$$

Ses hızına bağlı toplam derinlik doğruluğu (3.65) ile (3.69) eşitlikleri toplamıyla belirlenmektedir.

$$\sigma_{dc}^2 = \sigma_{dc(profil)}^2 + \sigma_{d\beta}^2 \quad (3.70)$$

3.4.2.6.2 Ölçme Teknesinin Yalpa, Boyuna Salınım ve Batçık Hareketlerine Bağlı Hata

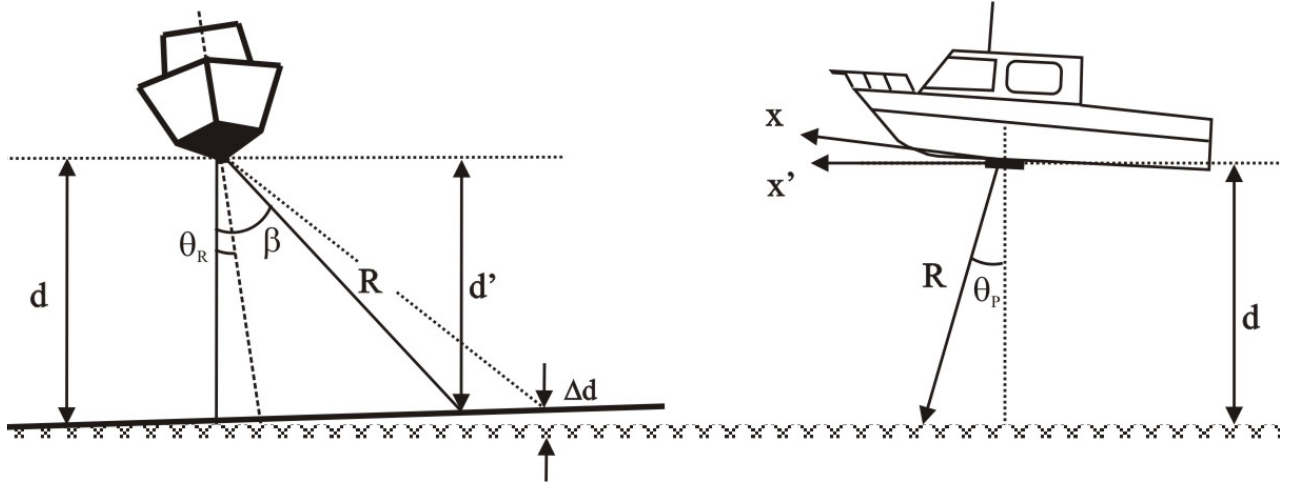
Ölçülen derinlik, ölçme teknesinin yalpa, boyuna salınım ve batçık hareketlerinden etkilenmekte ve bir miktar hatalı ölçülmektedir. Aşağıdaki şekilde β bim gönderme açısı olmak üzere, θ_R yalpa açısı, θ_P ise boyuna salınım açısıdır. Derinlik (3.71) eşitliği ile belirlenmektedir.

$$d = R \cos \theta_P \cos(\beta - \theta_R) \quad (3.71)$$

Yukarıdaki eşitlik θ_R yalpa ve θ_P boyuna salınım açılarına bağlı olarak türevleri alınıp tekrar düzenlenirse (3.72) ve (3.73) eşitlikleri elde edilir.

$$\delta d_{\theta_R} = R \cos \theta_P \sin(\beta - \theta_R) \delta \theta_R \quad (3.72)$$

$$\delta d_{\theta_P} = -R \sin \theta_P \cos(\beta - \theta_R) \delta \theta_P \quad (3.73)$$



Şekil 3.26 Yalpa ve boyuna salınım etkisine bağlı derinlik hatası (IHO, 2005; Godin, 1997)

Yalpa ve boyuna salınım açılarına bağlı olan derinlik doğruluğu aşağıdaki eşitliklerle hesaplanmaktadır.

$$\sigma_{d\theta_R}^2 = (d \cdot \cos \theta_P \cdot \tan(\beta - \theta_R))^2 \sigma_{\theta_R}^2 \quad (3.74)$$

$$\sigma_{d\theta_P}^2 = (d \cdot \sin \theta_P)^2 \sigma_{\theta_P}^2 \quad (3.75)$$

Batçık etkisi bim açısına bağlı olarak değişmediğinden tek bimli iskandil aletleri ile yapılan ölçmelerde (3.39) eşitliği ile açıklanan batçık etkileri ile aynıdır.

$$\delta h = \delta h_o + \delta h_i \quad (3.76)$$

Batçık etkisinin belirlenmesi için ölçmelerde inersiyal sistemler kullanılmıyorsa derinliğe etki eden batçık hatası δh_o batçık kompensatörü ile ölçülen batçık değerinin hatası olmaktadır.

Batçık hareketinin doğruluğu (3.77) eşitliği ile ifade edilir. Eğer batçık kompensatörü kullanılıyorsa doğruluk $\sigma_{h\ddot{o}}$ 'e eşit olacaktır.

$$\sigma_h^2 = \sigma_{h\ddot{o}}^2 + \sigma_{h_i}^2 \quad (3.77)$$

Ölçme teknesinin yalpa, boyuna salınım ve batçık hareketlerinden kaynaklanan toplam derinlik doğruluğu $\sigma_{d(hareket)}$ (3.78) eşitliği ile ifade edilmektedir.

$$\sigma_{d(hareket)}^2 = \sigma_{d\theta_R}^2 + \sigma_{d\theta_P}^2 + \sigma_h^2 \quad (3.78)$$

3.4.2.6.3 Ölçme Teknesinin Draftına, Çökmesine ve Oturmasına Bağlı Hata

ÇBİ sistemleri ile yapılan çalışmalarda ölçme teknesinin draftının, çökmesinin ve oturmasının belirlenmesi gerekmektedir. Bu hareketlerden dolayı derinlik ölçümünde oluşan hatalar bim açısından bağımsızdır. Bu sebeple Bölüm 3.4.1.3.4’ de TBİ aletleri için tanımlanan eşitlikler ÇBİ sistemleri için de geçerlidir.

Ölçme teknesinin ölçüme başlamadan önceki durağan haliyle, ölçme zamanındaki hareketli hali arasındaki düşey farklılık teknenin oturması olarak tanımlanmaktadır. Çökme ise, teknenin hızına bağlı olarak derinlik ölçümüne etki etmektedir.

σ_{draft} , draft doğruluğu; σ_{oturma} , oturma doğruluğu ve $\sigma_{çökme}$ çökme doğruluğu olmak üzere; (3.79) eşitliği ile toplam transdüserle bağlı doğruluk belirlenmektedir.

$$\sigma_T^2 = \sigma_{draft}^2 + \sigma_{oturma}^2 + \sigma_{çökme}^2 \quad (3.79)$$

ÇBİ sistemleri ile yapılacak olan hassas hidrografik çalışmalar öncesinde teknenin draft, oturma ve çökme miktarlarının belirlenip, ölçülen derinlik değerlerine düzeltme olarak getirilmesi gerekmektedir. Teknenin düşey yöndeki bu hareketleri gerçek zamanlı kinematik GPS yöntemiyle belirlenip, ölçüler düzeltilebilir.

- Ölçme Teknesinin Oturması

Ölçme teknesinin oturması, teknenin hidrografik çalışma boyunca yaktığı mazot miktarına ve kullanılan su miktarına göre değişim göstermektedir. Farklı yüklemeler de teknenin oturmasına neden olmaktadır. Tekneye proje dışında bir aletin eklenmesi ya da fazla personel sayısı teknenin oturmasına sebep olmaktadır. Bu etkiyi belirlemek için ölçme teknesi ile hidrografik çalışma öncesi ve sonrasında seyir yapıp, teknenin oturma miktarının belirlenmesi gerekmektedir.

Hidrografik ölçmeler çoğunlukla denizde yapıldığından su yoğunluğu çok değişmemektedir. Ancak tatlı suda yapılacak çalışmalarda yoğunluk farklılığını dikkate almak gerekmektedir. Deplasman (Δ), tekne veya gemi gövdesinin su içinde işgal ettiği hacimdeki su ağırlığına eşittir. Deplasman hacmi (∇), teknenin yüzdüğü su hattı altında kalan gövdesinin hacmidir.

Su yoğunluğunun (ρ) değiştiği düşünülürse, yoğunluğa bağlı olarak teknenin deplasman edeceği su miktarı da değişim gösterecektir (Godin, 1997). Su yoğunluğu (ρ) hesaplamalarda yaklaşık 1025 kg/m^3 alınmaktadır. Su yoğunluğu sıcaklığa, tuzluluğa ve basınca bağlıdır. Bu

sebeple hassas hidrografik ölçmeler öncesi su yoğunluğu belirlenmeli ve deplasman hacmi hesaplarında kullanılmalıdır.

$$\frac{\text{yeni hacim}}{\text{eski hacim}} = \frac{\text{eski yoğunluk}}{\text{yeni yoğunluk}} \quad (3.80)$$

(3.80) eşitliğinde teknenin deplasman hacmindeki değişim drafttaki değişime göre farklılık göstereceğinden (3.81) eşitliğiyle ifade edilebilir.

$$\frac{\text{yeni draft}}{\text{eski draft}} = \frac{\text{eski yoğunluk}}{\text{yeni yoğunluk}} \quad (3.81)$$

• Ölçme Teknesinin Çökmesi

Tekneler yavaş giderken genelde draft çizgisi su seviyesine paralel konumda kalmaktadır. Tekneye gaz verildiğinde tekne baş kaldırmakta dolayısıyla transdüser derinliği değişmektedir. Dolayısıyla teknenin hızına bağlı olarak draft değeri değişmektedir.

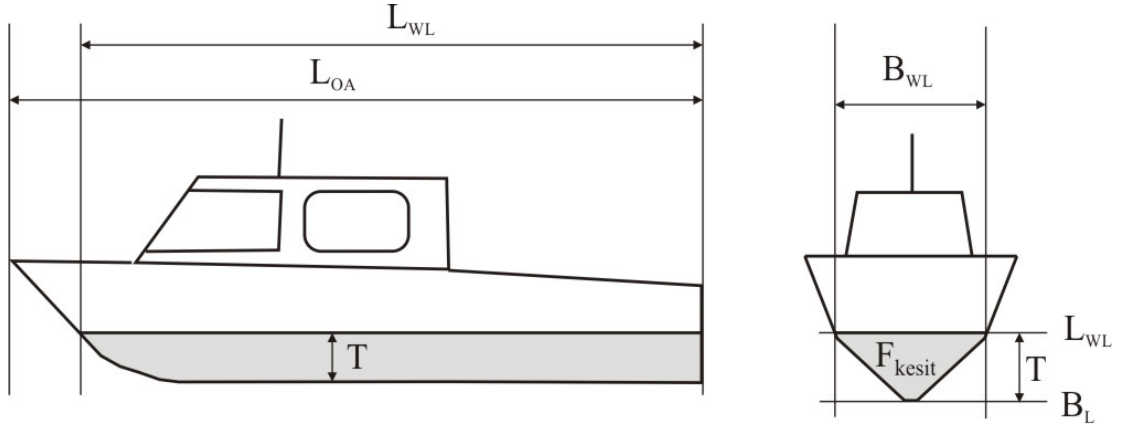
Ölçme teknesinin hıza bağlı olarak çökme miktarı nivelman ya da RTK GPS yöntemiyle belirlenebilir. Ölçme teknesi farklı hızlarda aynı noktadan geçmek suretiyle yükseklik değerleri kaydedilir ve hıza bağlı çökme miktarları hesaplanır. Hassas hidrografik ölçmelerde ölçülen derinlik değerlerine düzeltme olarak getirilir.

Ölçme teknesinin çökme miktarı, teknenin boyutlarına, blok katsayısına ve hızına bağlı olarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla da hesaplanabilmektedir (CEM, 2001).

$$S = 0.01888 C_B \frac{B_{WL}}{L_{WL}} \frac{T}{d} v^2 \quad (3.82)$$

Bu eşitlikte S ölçme teknesinin çökme miktarı, C_B teknenin blok katsayısı, d derinlik ve v teknenin hızıdır. Teknenin hızı km/s biriminde olup, blok katsayısı dışındaki değişkenler metre birimindedir.

Şekil 3.27' de tekneler ile ilgili geometrik bilgiler verilmektedir. L_{OA} teknenin tam boyu, L_{WL} teknenin su hattı uzunluğu, B_{WL} teknenin yüzdüğü su hattında en geniş kesitinde sancak-iskele arasındaki uzunluk, B_L teknenin temel hattı ve T draft yüksekliğidir. F_{kesit} teknenin yüzdüğü su hattında en geniş kesitin alanıdır.



Şekil 3.27 Tekne geometrisi

Blok katsayısı tekne sualtı formunun ne kadar dolgun olduğunun bir göstergesi olup C_B ile gösterilmektedir. Ölçme teknesinin (3.82) eşitliğiyle çökme miktarını belirleyebilmek için blok katsayısını hesaplamak gerekmektedir. Blok katsayısı (3.84) eşitliğinde tanımlandığı üzere teknenin deplasman hacminin teknenin su hattındaki kesit alanının teknenin boyu ile çarpımının oranına eşittir.

$$C_B = \frac{\nabla}{L_{WL} B_{WL} T} = \frac{\Delta}{L_{WL} B_{WL} T \rho} \quad (3.83)$$

$$\nabla = F_{kesit} L_{WL} \quad (3.84)$$

Gemilerin ve teknelerin çökme miktarlarını belirlemek için kullanılan algoritmalar teknenin tipine (tanker, yolcu gemisi, tekne, vb) ve çökme miktarının belirleneceği alana (seyir yolu, kanal, vb) göre değişim göstermektedir. (3.82) eşitliği Froude sayısı 0.6 ve 0.6'dan küçük teknelerde/gemilerde kullanılmakta olup seyir yolu için teknenin çökme miktarını hesaplamaktadır (CEM, 2001).

$$F_d = \frac{v}{\sqrt{g d}} \quad (3.85)$$

Gemi hızının yerçekimi ivmesi ve gemi boyunun çarpımının karakökü ile doğru orantılı olduğunu tanımlayan Froude sayısı (3.85) eşitliği ile hesaplanabilir (Gourlay, 2007). Burada v teknenin hızı, g yerçekimi ivmesi (9.80 m/sn^2) ve d derinliktir.

3.4.2.7 Çok Bimli İskandil Sistemleriyle Yapılan Ölçmelerde Maliyet Analizi

Maliyet, bir ürünün üretilmesi veya işin yapılması için kullanılan ara unsurların parasal ifadesi olarak tanımlanabilir. ÇBİ sistemleri ile yapılan hidrografik ölçmelerde kullanılan ölçme teknesinden işi yapan personele kadar birçok unsur maliyet hesabına katılmalıdır. Ölçmelerde kullanılan aletlerin maliyet hesabı yapılırken bir yıl içinde uğradıkları değer kayıpları başka bir deyişle amortisman değerleri de dikkate alınmalıdır. Aletlerin amortisman değerleri için Vergi Usulleri Kanunu (VUK) 33.maddesinde yapılan sınıflandırma uygulanabilir.

Bir ölçünün maliyetini belirlemek için öncelikle ölçümde kullanılan alet ve donanımların fiyatlarını ve amortisman değerlerini belirlemek gerekmektedir. Çizelge 3.4' de ÇBİ sistemleri ile yapılan ölçmelerdeki maliyet hesabı görülmektedir.

Bir aletin fiyatı, amortisman oranı ile çarpıldığında aletin yıllık amorti edeceği değeri hesaplanmaktadır. Ayrıca aletin bir yıldaki kullanım zamanı da aletin maliyetini hesaplamak için gereklidir.

$$Maliyet = \frac{Fiyat * Amortisman}{Kullanım Zamanı} \quad (3.86)$$

Örneğin ÇBİ aletinin saatlik kullanım maliyeti aşağıda hesaplanmıştır. Benzer şekilde yapılan hesaplamalarla Çizelge 3.4' deki değerler elde edilir.

$$\frac{358531.2 \text{ TL} * 0.200}{100 * 8} = 89.63 \text{ TL}$$

Fiyatlar üretici firmalarından alınan proforma faturalara göre belirlenmiştir. Uygun tekne, alet ve donanımların toplam fiyatı 1376610,30 Türk Lirası olarak belirlenmiştir.

İller Bankası Genel Müdürlüğü Harita Dairesi Başkanlığı'nın 2007 yılına ait birim fiyatları da dikkate alınarak ÇBİ sistemleriyle yapılan ölçmelerde yararlanılan mühendis, tekniker, kaptan ve çarkçıbaşının günlük çalışma ücretleri de belirlenmiştir. Mühendis ve diğer kişilerin günde 8 saat çalıştığı düşünülmüş, teknenin yaktığı mazot miktarı da göz önüne alınarak ÇBİ sistemleri ile yapılan ölçümlerin bir saatinin maliyeti 316,70 TL olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.4 ÇBİ ölçmelerinde maliyet hesabı

Alet/Donanım	Fiyat (TL)	Amortisman	Yıllık (TL)	Saatlik Kullanım	Saatlik (TL)
Çok Bimli İskandil	358531,20	0.200	71706,24	100 gün + 8 saat	89,63
ÇBİ Kontrol PC+Yaz.	49796,00	0.250	12449,00	150 gün + 8 saat	10,37
HRP Algılayıcı	90877,70	0.200	18175,54	100 gün + 8 saat	22,72
GPS Compass	19918,40	0.200	3983,68	100 gün + 8 saat	4,98
Sistem kurma	69714,40	0.200	13942,88	100 gün + 8 saat	17,43
Tekne	693894,60	0.056	38858,09	100 gün + 8 saat	48,57
RTK GPS	68558,00	0.200	13711,60	100 gün + 8 saat	17,14
Yakıt	2,37			11.4 l/saat yakıyor	27,02
SVP	25320,00	0.200	5064,00	100 gün + 8 saat	6,33
Harita mühendisi	130,00			1 gün + 8 saat	16,25
Harita teknikeri	95,00			1 gün + 8 saat	11,88
Kaptan	130,00			1 gün + 8 saat	16,25
Çarçıbaşı	130,00			1 gün + 8 saat	16,25
TOPLAM					316,70

Eğer ÇBİ sistemleri yerine TBİ aletleri kullanılacak olursa, bir saatlik ölçümün bedeli 76,73 TL olacaktır. Bu hesaplamada TBİ aleti, transdüser, veri toplama yazılımı, dizüstü bilgisayar, ölçüm teknesi (5 m), RTK GPS aleti ile personel sayısı ve yakıt miktarı da göz önüne alınmıştır.

Çizelge 3.5 Örnek bir alan için ölçüm maliyeti

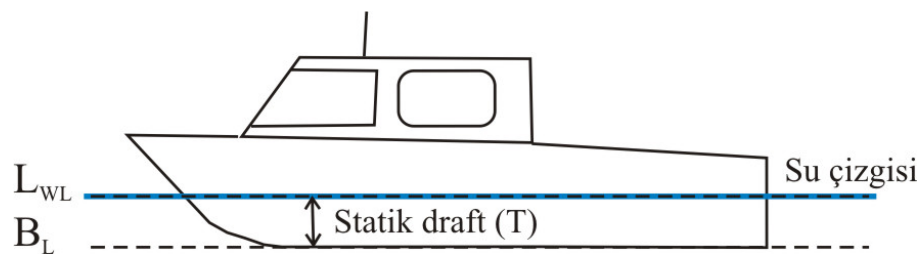
	ÇBİ	TBİ	ÇBİ	TBİ
Alan	10 x 4 km	10 x 4 km	10 x 4 km	10 x 4 km
Derinlik	10 m	10 m	50 m	50 m
Seyir hızı	8 knot	8 knot	8 knot	8 knot
Bim açısı	153°	8°	153°	8°
Deniz tabanı kaplaması	83 m	1.40 m	415 m	7 m
Hat sayısı	121	500	24	500
Bir hattın süresi	0.27 sa	0.27 sa	0.27 sa	0.27 sa
Ölçüm süresi (saat)	32.67 sa	135 sa	6.48 sa	135 sa
Ölçüm süresi (1 gün=6 saat)	6 gün	23 gün	0.3 gün	23 gün
Ölçümün 1 saatlik maliyeti	316,70-TL	76,73-TL	316,70-TL	76,73-TL
Ölçümün toplam maliyeti	10346,59-TL	10358,55-TL	2052,22-TL	10358,55-TL

Çizelge 3.5’de 10 km x 4 km’ lik örnek bir alan için, ÇBİ ve TBİ sistemlerinin ölçüm maliyetleri karşılaştırılmıştır. Hesaplamalarda hatlar arası dönüşler dikkate alınmamıştır.

10 metre derinlikteki ölçüm maliyeti açısından her iki sistem de birbirine yakın değerler almaktadır. Ancak aralarında ölçüm süresi açısından gözle görülebilir bir farklılık bulunmaktadır. Ölçüm yapılacak derinlik arttıkça ÇBİ sistemlerinin deniz tabanı kaplaması artmakta dolayısıyla maliyet azalmaktadır.

3.5 Ölçme Teknesinin Draft Değerinin Belirlenmesi

Teknenin omurga hattı ile su hattı arasındaki yükseklik farkına draft denilmektedir (Şekil 3.28). Teknenin suya batma miktarı olarak da tanımlanan bu değer teknenin dolu ya da boş olmasına göre değişiklik göstermektedir. Teknenin suya ne kadar battığını teknenin karinası üzerinde bulunan kana rakamları göstermektedir (Şekil 3.29).



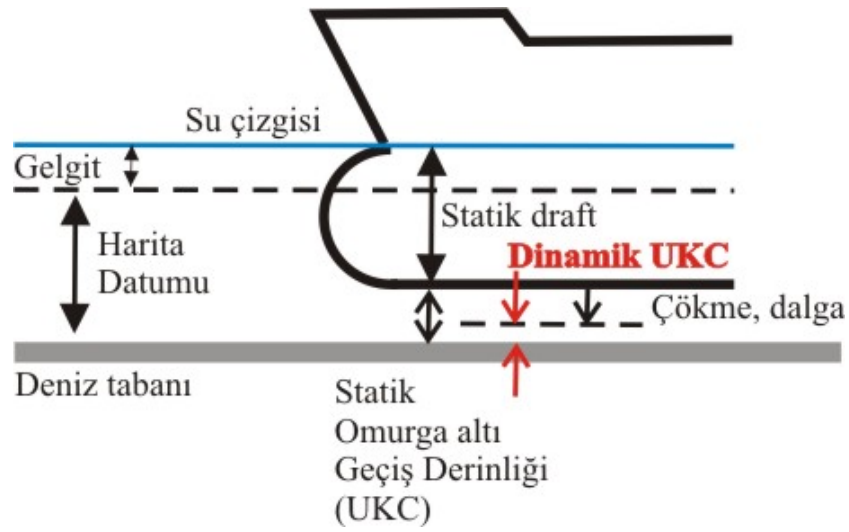
Şekil3.28 Tekne draftı



Şekil 3.29 Drafttaki kana rakamları

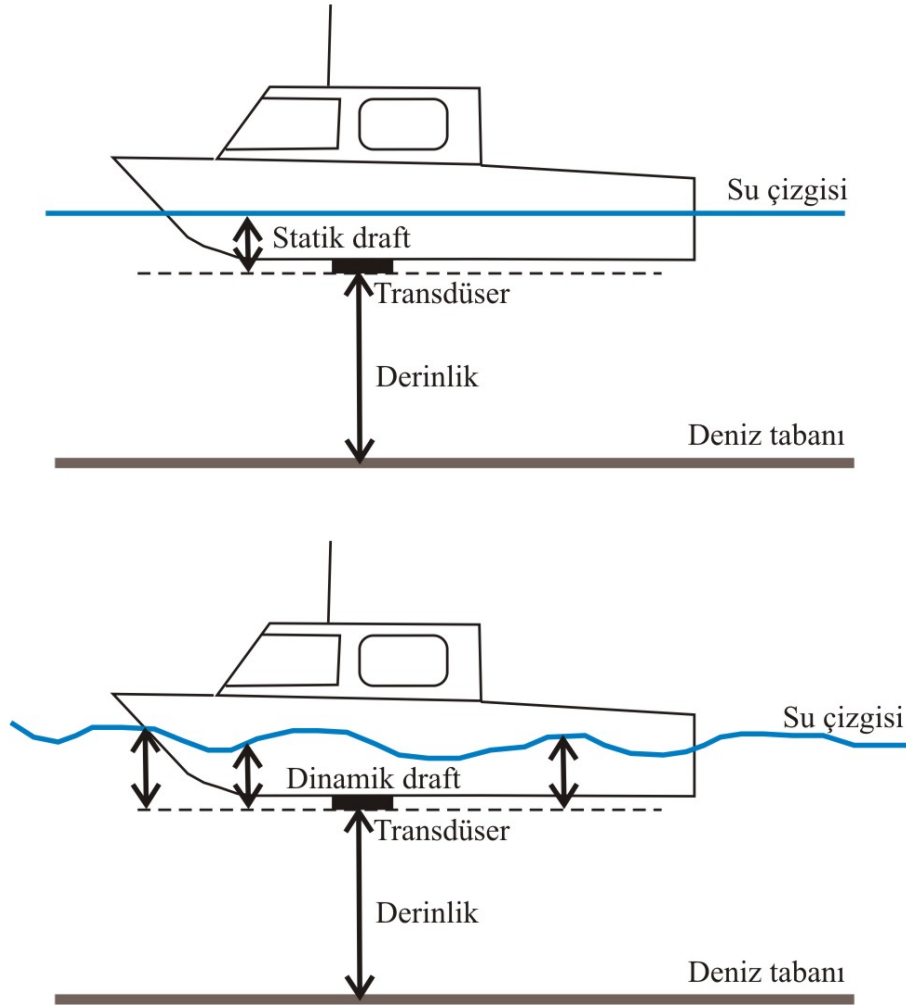
Teknelerin tasarım su hattı (Design Water Level-DWL) ile su çizgisinin aynı seviyede olması beklenmektedir. Tasarım su hattı teknelerin projelerinde olan ve tekne üzerinde draft çizgisiyle aynı paralellikte olduğu varsayılan bir seviyedir. Bu iki seviyesi arasındaki yükseklik farkı statik draft olarak tanımlanmaktadır. Bu değer sabit bir değer olup, gemi tipine göre farklılık göstermektedir.

Hidrografik ölçme standartlarında sözü edilen omurga altı geçiş mesafesi (Underkeel Clearance-UKC), teknenin omurga altıyla deniz tabanı arasında kalan yükseklik farkıdır (Gourlay, 2007). Bu yükseklik farkı, gemilerin emniyetli seyir yapması ve karaya oturmaması için büyük önem taşımaktadır (Şekil 3.30).



Şekil 3.30 Omurga altı geçiş derinliği (Gourlay, 2007)

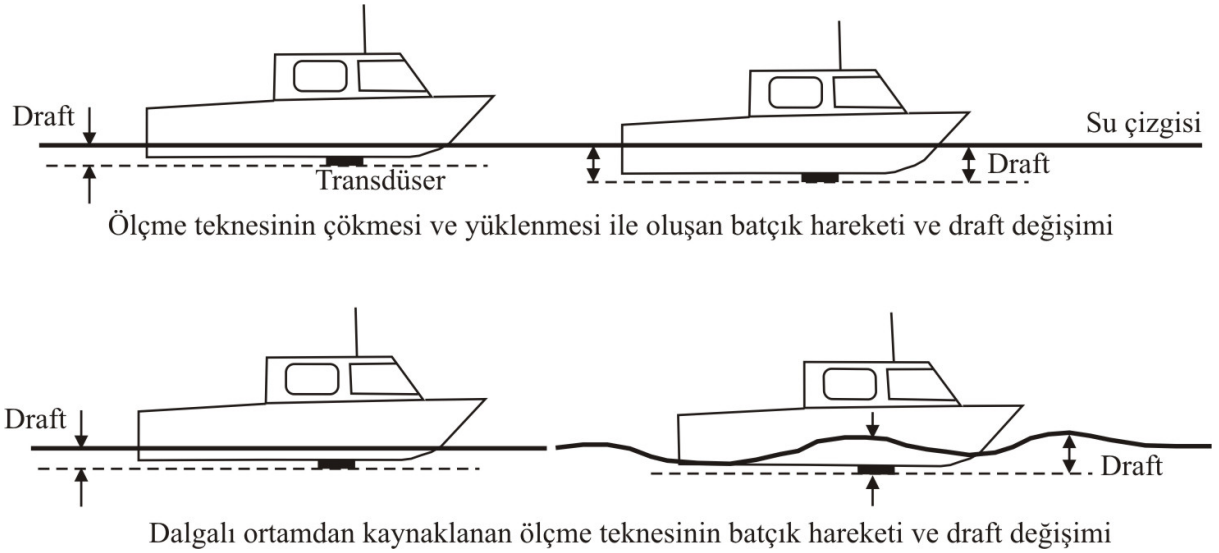
Hidrografik çalışmalarda ölçme teknesinin draftındaki dinamik değişimlerinin belirlenmesi sığ sularda yapılan derinlik ölçmelerinde büyük bir rol oynamaktadır. Hidrografik çalışmalarda eğer statik draft kullanılıyorsa tüm derinlik ölçülerine sabit bir draft değeri eklenmektedir. Su ortamının hareketli olması ile teknenin bazı etkenlerden dolayı çökmesi veya yükselmesini göz önünde bulundurularak her t zamanı için dinamik draft değerinin belirlenmesi ve bu değer t zamanında yapılan ölçülere eklenerek o noktadaki derinliğin elde edilmesi gerekmektedir (Şekil 3.31).



Şekil 3.31 Ölçme teknesinin statik ve dinamik draftı

Ölçme teknesinin dinamik draft değeri, teknenin yaptığı hareketlere bağlı olarak değişmektedir. TBİ ve ÇBİ ölçmelerindeki hata kaynaklarında detaylı olarak açıklanan batçık hareketini belirlemek teknenin dinamik draftını belirlemek için oldukça önemlidir.

Teknenin yapmış olduğu batçık hareketi, kısa ve uzun periyotlu hareketler olarak iki kısımda incelenebilir. Periyotları 20 saniyeden büyük hareketler ise uzun periyotlu hareketler olarak tanımlanmakta ve teknenin çökme, yük ve gelgit etkilerinden kaynaklanan hareketlerdir. 20 saniyeden az periyoda sahip batçık hareketleri ise kısa periyotlu hareketler olarak tanımlanmakta olup dalga ve kabarma hareketlerini içermektedir (Godin, 1997).



Şekil 3.32 Ölçme teknesinin batçık hareketleri ve draft değişimi

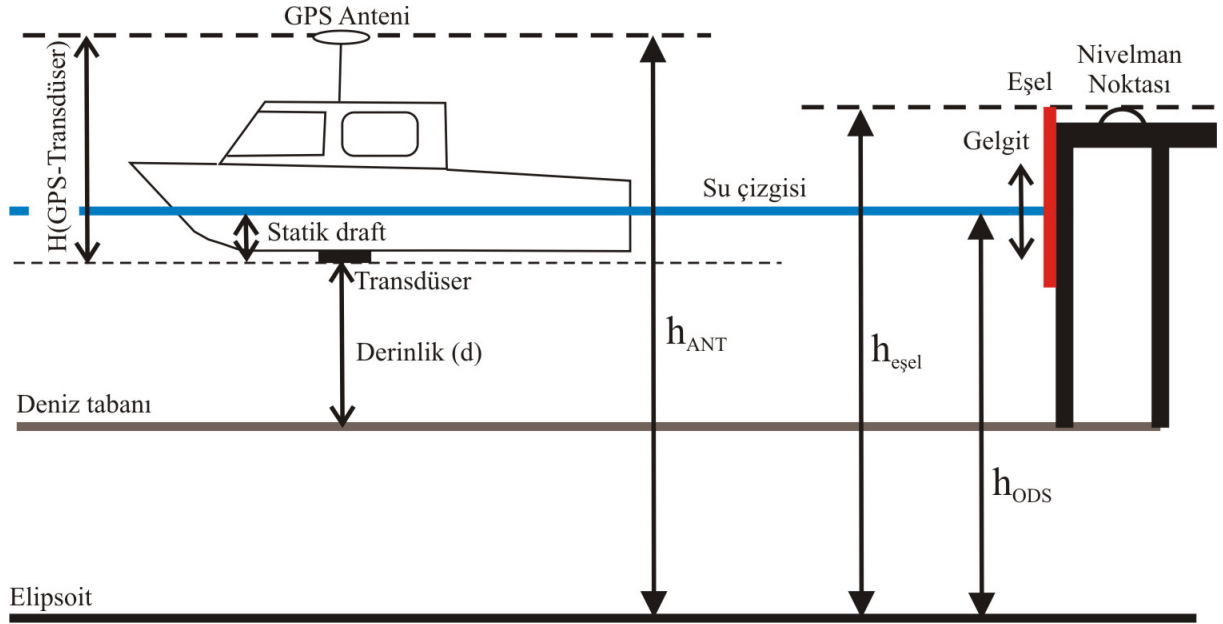
Hidrografik çalışmalarda batçık hareketi, batçık kompensatörü veya üç boyutlu hareket algılayıcı bir donanım yardımıyla belirlenmektedir. Sığ sularda yapılan hidrografik ölçmelerde RTK GPS yöntemiyle ölçme teknesinin düşey yöndeki tüm hareketlerini belirlemek mümkün olacaktır. Bu hareketler ölçme teknesinin çökmesi ve oturması ile dalgalı bir ortamdan kaynaklanan batçık hareketini barındırmaktadır (Şekil 3.32).

Ölçme teknesinin t zamanındaki dinamik draft değeri (3.87) eşitliğiyle belirlenmektedir (IHO, 2005).

$$\text{dinamik draft}(t) = \text{statik draft} - \text{çökme}(t) - \text{yük}(t) \quad (3.87)$$

Sığ sularda yapılan hassas hidrografik çalışmalarda ölçme teknelerinin çökme ve yükten kaynaklanan düşey değişimlerinin de belirlenmesi önemlidir. GPS yöntemi kullanılarak gerçek zamanlı ya da sonradan değerlendirme yapılarak bu değişimler belirlenebilir. Teknenin çökmesi, batçık hareketi gibi düşey hareketlerin tamamı aşağıdaki eşitlik ile belirlenebilir. Dinamik draft değeri olarak tanımlanan bu değer gerçek zamanlı olarak transdüser ile ortalama su seviyesi arasındaki yükseklik farkıdır.

$$\text{dinamik draft}(t) = H_{GPS-Transdüser} - [h_{ANT}(t) - h_{ODS}(t)] \quad (3.88)$$



Şekil 3.33 Ölçme teknesinin draftı ile elipsoidal yükseklikler arasındaki ilişkiler

(3.88) eşitliğinde $H_{GPS-Transdüser}$, GPS anteni ile iskandilin transdüseri arasındaki yükseklik farkı, $h_{ANT}(t)$, her t zamanında GPS anteninin elipsoidal yükseklik değeri, $h_{ODS}(t)$ t zamanında anlık deniz seviyesinin elipsoidal yükseklik değeridir (Şekil 3.33).

4. KONUM ÖLÇMELERİ

Hidrografik ölçmelerde herhangi bir noktanın ölçülen derinlik değeri yanında bir koordinat sisteminde de yatay konumunun da belirlenmesi gerekmektedir.

Deniz yolu, insanoğlu için her zaman vazgeçilmez bir ulaşım biçimi olmuştur. Geçmişte insanoğlu için kıtalararası ticaret önemli bir rol oynamakta ve gemiler yardımıyla yapılmaktaydı. Konum ölçmelerine ihtiyaç bu zamanlarda ortaya çıkmıştır. Önceleri kaptanlar ilk gittikleri yerler hakkında elde ettikleri bilgileri seyir defterlerine yazmakta ve kağıdın bulunmasından itibaren kağıt üzerine gittikleri yerleri tasvir eden resimler çizmekteydiler. On ikinci yüzyılda pusulanın bulunmasıyla denizcilikte yön bulmada büyük kolaylık sağlanmıştır.

Bu alanda ilk önemli bilgiler XV. Yüzyılın sonu ile XVI. Yüzyılın başlarında Kristof Kolomb, Vasco da Gamma ve Magellan gibi ünlü denizcilerin seyahatleri sırasında topladıkları bilgiler ile çizdikleri krokilerdir (Özgen ve Algül, 1977). Piri Reis, Akdeniz ve Ege' yi dolaşırken topladığı bilgileri kullanarak Dünya Haritasını çizmeye başlamış ve 1513 yılında tamamlamıştır (Türker, 2004). Denizciler için konum ölçmelerinde büyük kolaylıklar sağlayan açılar yardımıyla geriden kestirme yöntemine dayanan sekstant aletidir.

Teknolojideki gelişmelere paralel olarak konum belirlemeye yönelik modern yöntemler de kullanılmaya başlanmıştır. Konum belirlemede LORAN, DECCA gibi elektromanyetik yöntemlerin kullanılmasıyla başlayan ilerleme daha sonraları 1980'li yıllarda GPS' in devreye girmesiyle bugünkü duruma gelinmiştir. Günümüzde kıyı alanlarında yapılan hidrografik ölçmelerde GPS ile santimetre doğruluğunda üç boyutlu koordinat belirlemek mümkün olmaktadır.

Hidrografik ölçmelerde geçmişten günümüze birçok konum belirleme yöntemi kullanılagelmiştir. Bu yöntemler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

- Optik Yöntemler
- Elektromanyetik Yöntemler
- Akustik Yöntemler
- Global Konum Belirleme Sistemi (GPS)

4.1 Optik Yöntemler

Hidrografik ölçmelerde bugünkü teknolojik koşullara ulaşılan kadar optik yöntemlerden yararlanılmıştır. Kıyıdaki jeodezik noktalardan teodelitle veya ölçme teknesinden sekstant ile açılar ölçülerek kestirme yöntemleriyle konum belirlenmekteydi. Ancak uydular yardımıyla konum belirleme yönteminin kullanılmaya başlanmasıyla bazı ölçmeler dışında artık optik yöntemler kullanılmamaktadır.

4.2 Elektromanyetik Yöntemler

Açık denizlerde yapılan hidrografik çalışmalarda optik yöntemlerin yetersiz kalması nedeniyle, 2.Dünya Savaşı sonlarında, kıyıdaki jeodezik noktalar ile ölçme teknesi arasındaki uzaklık elektromanyetik dalgalar yardımıyla ölçülmeye başlanmıştır.

Elektromanyetik yöntemlerle, zaman farkı ya da faz farkı ölçülerek dairesel ve hiperbolik konumlama çizgileri kullanılmak suretiyle konum belirlenmektedir (IHO, 2005). Elektromanyetik dalga konumlama çizgileri, karadaki jeodezik noktalardan olan uzunlukların ya da uzunluk farklarının ölçülmesiyle üretilmektedir.

4.3 Akustik Yöntemler

Akustik yöntemler deniz tabanındaki akıllı şamandıralara, uzaktan kumandalı denizaltılara olan uzunlukları ve yönleri ölçmek için kullanılmaktadır (IHO, 2005).

Okyanus ve denizlerde yapılan mühendislik uygulamalarında, üzerilerine iskandil, sonar, video kamera gibi aygıtların monte edildiği uzaktan kumandalı araçlar (ROV) ile bağımsız sualtı araçlarından (AUV) yararlanılmaktadır (Abbott, 1996).

Bu sualtı araçlarının ve su tabanındaki akıllı şamandıraların konumlarının belirlenmesinde akustik konumlandırmadan yararlanılmaktadır. Uluslararası Hidrografi Örgütünün S-32 sözlüğünde akıllı şamandıra (beacon) kelimesi, navigasyon veya hidrografik ölçmelerde kullanılan göze çarpan nitelikte yapılmış sabit belirgin bir obje olarak tanımlanmaktadır. Her sistem akustik dalga gönderen bir vericiye sahiptir. Bu akustik dalga suda belirli bir ses hızında yayılır ve akustik sistemin bir ya da daha fazla sayıdaki hidrofoni tarafından alınır (Ayres ve Calkins, 1977). Doğruluk kullanılan tekniğe, uzunluğa ve su ortamının koşuluna göre santimetre ile metreler arasında değişiklik göstermektedir (Abbott, 1996; IHO, 2005).

Akustik yöntemler ile konumlandırmada kullanılan standart frekanslar ile maksimum baz uzunlukları (IHO, 2005) Çizelge 4.1’de görülmektedir.

Çizelge 4.1 Akustik yöntemler ile konumlandırmadaki standart frekanslar (IHO, 2005)

Kullanılan Frekans	Frekans	Maksimum uzunluk
Düşük Frekans (LF)	8 – 16 kHz	> 10 km
Orta Frekans (MF)	18 – 36 kHz	2-3.5 km
Yüksek Frekans (HF)	30 – 64 kHz	1500 m
Ekstra Yüksek Frekans (EHF)	50 – 110 kHz	< 1000 m
Çok Yüksek Frekans (VHF)	200 – 300 kHz	< 100 m

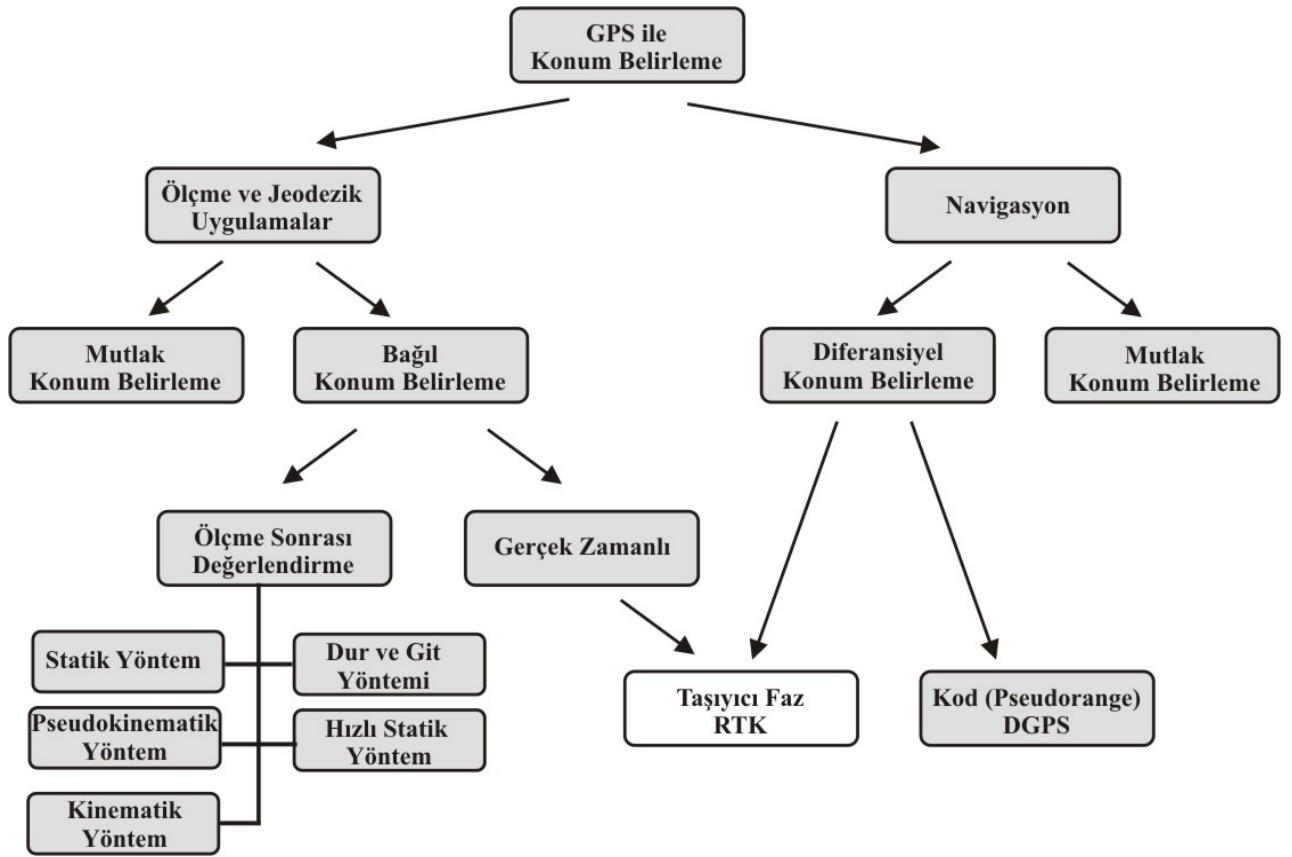
Uzun bazlı yöntem, kısa bazlı yöntem, süper ya da çok kısa bazlı yöntem ile bu üç yöntemin farklı kombinasyonları akustik konumlama sistemlerinde kullanılmaktadır.

4.4 Global Konum Belirleme Sistemi (GPS)

Global Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS)’nden biri olan GPS ile konumu bilinen dört veya daha fazla uydudan kod ve taşıyıcı faz gözlemleri yapılarak dünya üzerinde herhangi bir yerde bulunan noktanın koordinatları uzay geriden kestirme esasına göre belirlenmektedir (Aydın, 2005).

GPS uyduları, kendi yörüngesine ait gönderilen bilgileri alıp düzeltilmiş zaman bilgileri ile birlikte iki temel frekansta taşıyıcı dalga üzerinden yayımlamaktadır. L1 sinyali 1575.42 MHz frekansına ve 0.190 m dalga boyuna, L2 sinyali ise 1227.69 MHz frekansına ve 0.244 m dalga boyuna sahiptir. L5 sinyali (1176.45 MHz) ise 2015 yılında tamamlanacaktır (Richter, 2006).

GPS ile konum belirlemeyi iki ana kısımda incelemek mümkün olabilir. Bunlardan biri, yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi, köprü, baraj, gökdelenler gibi mühendislik yapılarındaki deformasyonların tespiti gibi yüksek doğruluk beklenen ölçme ve jeodezik uygulamalar, diğeri ise navigasyon uygulamalarıdır (Aykut, vd, 2005). GPS ile konum belirleme Şekil 4.1’deki yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmektedir.



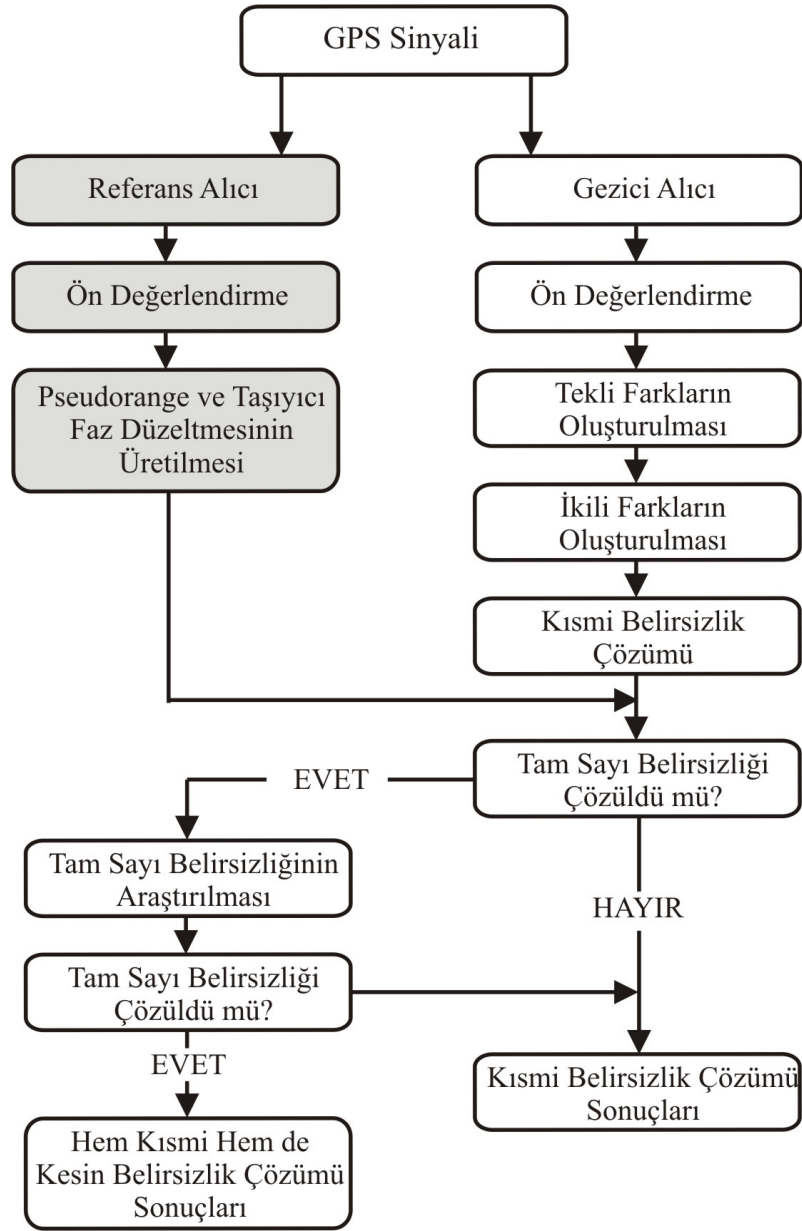
Şekil 4.1 GPS ile konum belirleme yöntemleri (Langley, 1998)

4.4.1 Gerçek Zamanlı Kinematik GPS Yöntemi

Gerçek zamanlı kinematik yöntem eş zamanlı ölçümlere olanak sağlayan ve bu amaçlar için kullanılmak üzere tasarlanmış bir ölçü yöntemidir.

RTK GPS uygulamalarında, referans alıcı ile uydu arasındaki herhangi bir t zaman aralığında ölçülen taşıyıcı faz uzunluğuyla, uydu-alıcı arasındaki koordinat farklarından hesaplanan geometrik uzunluk karşılaştırılmaktadır. Taşıyıcı faz ölçülerine getirilecek düzeltme ve düzeltme oranı hesaplanarak gezici alıcılara radyo dalgalarıyla iletilmektedir (Aydın, vd., 2004).

Gezici alıcılar, kodlanarak radyo dalgaları veya GSM dalgaları üzerine modüle edilmiş olan düzeltmeleri almakta olup kendi taşıyıcı faz ölçülerine düzeltme olarak getirmektedir. Böylelikle gezici alıcıların hassas olarak konumları belirlenmektedir. Şekil 4.2’ de RTK GPS’ in çözüm algoritması görülmektedir.



Şekil 4.2 RTK GPS çözüm algoritması (Aydın, vd., 2004)

4.4.2 NMEA (National Marine Electronics Association) Veri Formatı

NMEA uluslararası standartlarda bir veri formatı olup aletlerden veri çıkışının ascii formatında olduğu ortak bir dildir. NMEA 0183 ve NMEA2000 veriyonları kullanılmaktadır.

GPS alıcısından veri bilgisayara NMEA formatında alınmaktadır. Alıcıya gönderilen konum bilgisini içeren komutlardan en çok kullanılanları POS, UTM, GGA ve GGL komutlarıdır. Birbirlerinden cümle karakteristiği açısından farklılık gösteren bu komutlar yardımıyla alıcıya

sorgu gönderildiğinde alıcı konum bilgilerini içeren bir cevap cümlesi yayınlamaktadır.

Alıcıya \$PASHQ, POS komutu ile sorgu gönderildiğinde, GPS alıcısının bu komuta cevabı aşağıdaki cümledeki gibi olmaktadır (Lodha ve Charaniya, 2002). Aşağıda POS sorgusuyla alıcının kayıt ettiği cümle tanımlanmaktadır (Çizelge 4.2).

\$PASHR, POS, d1, d2, m3, m4, c5, m6, c7, f8, f9, f10, f11, f12, f13, f14, f15, f16, f17*cc

Çizelge 4.2 POS cümlesindeki tanımlamalar

d1	Mutlak, diferansiyel göstergesi
d2	Kullanılan uydu sayısı
m3	Güncel GPS zamanı (UTC zamanı)
m4	Enlem
c5	N/S (Kuzey/Güney)
m6	Boylam
c6	E/W (Doğu/Batı)
f8	Yükseklik (metre)
f9	Yedek
f10	Yön
f11	Hız (knots)
f12	Düşey hız (desimetre/saniye)
f13	PDOP
f14	HDOP
f15	VDOP
f16	TDOP
s17	Yazılım versiyonu
*cc	Sağlama toplamıdır.

Alıcıya POS sorgusu gönderildiğinde, NMEA formatında alıcının bilgisayara gönderdiği cevap aşağıdaki örnekteki gibidir.

\$PASHR,POS,3,08,111207.00,4106.424573,N,02904.560654,E,00043.177,,132.3,000.1,000.0, 02.2,01.1,01.8,01.3,MC00*34

Yukarıdaki cevap cümlesinde POS ifadesinden sonra gelen 3 rakamı, GPS verisinin niteliğini belirtmektedir (Ashtech, 1996). Çizelge 4.3’de toplanan RTK verisinin niteliğine göre sınıflandırılması yapılmıştır. Bu sınıflandırma sayesinde, NMEA formatında toplanan verilerde RTK çözümü yapılıp yapılmadığı belirlenmektedir.

Çizelge 4.3 Konum bilgisinin niteliği

Nitelik	GPS Çözümü
0	GPS çözümü yok
1	GPS ile mutlak konumlandırma
2	DGPS çözümü, doğruluk metre altı
3	RTK çözümü, doğruluk santimetre seviyesinde.

Alıcıya \$PASHQ, UTM komutu yardımıyla sorgu gönderildiğinde, GPS alıcısının bu komuta cevabı aşağıdaki cümledeki gibi gerçekleşmektedir (Lodha ve Charaniya, 2002).

\$PASHR, UTM, m1, m2, f3, f4, d5, d6, f7, f8, M, f9, M, d10, s11*cc

Çizelge 4.4 UTM cümlesindeki tanımlamalar

m1	Güncel GPS zamanı (UTC zamanı)
m2	UTM Bölgesi
f3	Doğu Koordinatı
f4	Kuzey Koordinatı
d5	Mutlak, diferansiyel göstergesi
d6	Kullanılan uydu sayısı
f7	HDOP
f8	Yükseklik (metre)
M	Yükseklik Birimi (m)
f9	Geoit Yüksekliği
M	Geoit Yüksekliği Birimi
d10	Diferansiyel Düzeltme Yılı
s11	Diferansiyel Referans İstasyonu ID
*cc	Sağlama toplamıdır.

Alıcıya UTM sorgusu gönderildiğinde, NMEA formatında alıcının bilgisayara gönderdiği cevap aşağıdaki örnekte olduğu gibidir.

\$PASHR,UTM,054458.00,35T,0670941.220,4545818.777,3,09,00,9,00117.485,M,034.002,
M,00,*4D

4.4.3 RTK GPS Verilerinin Filtrelenmesi

Gerçek zamanlı kinematik GPS yöntemiyle toplanan verilerin konum doğruluğunun literatürde düzeyde 2 cm+1 ppm (Hofmann-Wellenhof, vd., 2001; Kahveci ve Yıldız, 2001; Neumann, vd., 1996) olduğu bilinmektedir. Ölçmelerde kullanılan GPS alıcılarının kinematik

modda konum belirleme doğruluğu $0.02 \text{ m} + 1 \text{ ppm}$ 'dir (Thales, 2006). Bu doğruluk referans alıcı ile ölçme teknesindeki GPS alıcısı arasındaki baz uzunluğuna bağlı olarak değişmekte olup 1 km ' de 2.1 cm 'dir.

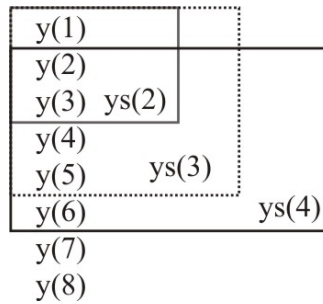
Modemle haberleşme gücünün azalması veya kesilmesi, uydu geometrisinin bozulması, sinyal yansımaları gibi etkiler RTK GPS ile toplanan verilerde kaba hatalara yol açabilmektedir. GPS verisinin bu hatalardan arındırılması için filtrelenmesi gerekmektedir. Kinematik yöntemle toplanan GPS verilerinin filtrelenmesi için literatürde çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Hareketli ortalama (moving average-MA) (Meng, vd., 2004; Ritchie, 1996) ve Median filtreleme (Chang, vd., 2006; Ogaja, vd., 2001; Favey, vd., 1999) bu yöntemlerden bazılarıdır.

4.4.3.1 Hareketli Ortalama

Hareketli ortalama yöntemi serideki veri bütünlüğünü bozmadan, yumuşatma derecesine $(2N+1)$ göre serideki her veriyi komşu verilerin ortalaması kadar kaydırmak suretiyle filtrelemektedir (Uysal, 2004).

$$y_s(i) = \frac{1}{2N+1} (y(i+N) + y(i+N-1) + \dots + y(i-N)) \quad (4.1)$$

(4.1) eşitliğinde y_s filtrelenmiş veriyi, $(2N+1)$ ise filtre derecesini göstermektedir. Filtre derecesi genellikle tek sayı olarak seçilmektedir. Filtre uygulanacak veri eşitliğin ortasında yer almaktadır. Aşağıda bir seriye filtre derecesi 5 olarak seçilmiş hareketli ortalamanın uygulandığı görülmektedir.

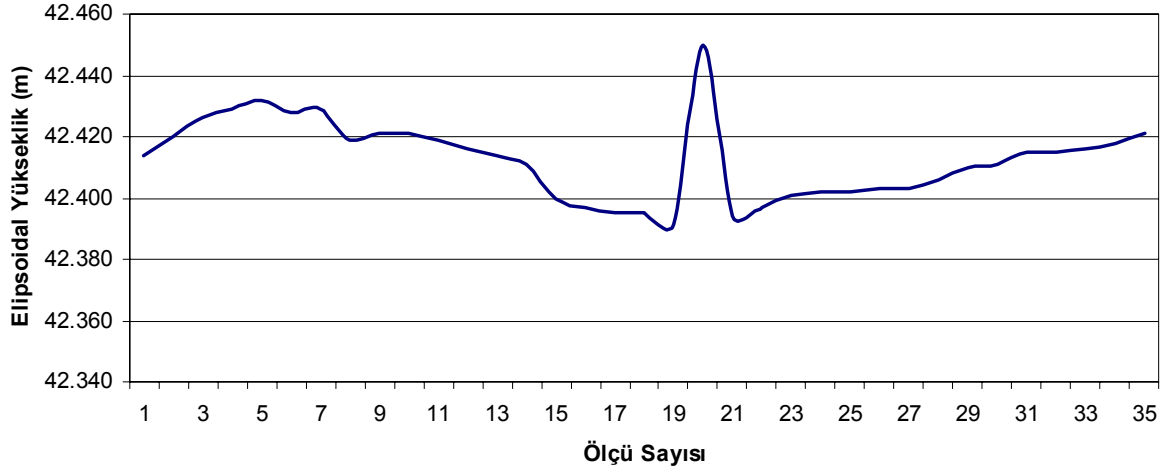


Şekil 4.3 Hareketli ortalamanın çalışma yöntemi

Herhangi bir serinin 4.verisinin (4.1) eşitliğine göre filtrelenmesi aşağıdaki gibi olmaktadır.

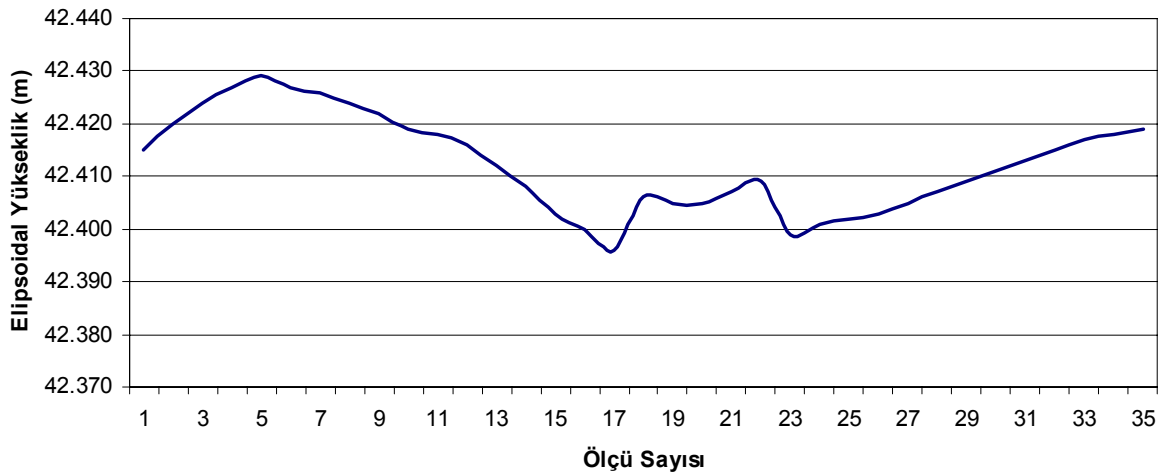
$$y_s(4) = \frac{1}{5} (y(2) + y(3) + y(4) + y(5) + y(6)) \quad (4.2)$$

RTK GPS verilerinde kaba hatalı bir veriyi veya verileri hareketli ortalama yöntemi ile veriden ayrıştırılıp ayrıştırılmadığını belirlemek için örnek veride uygun veri kaba hatalı veri ile değiştirilmiştir (Şekil 4.4).

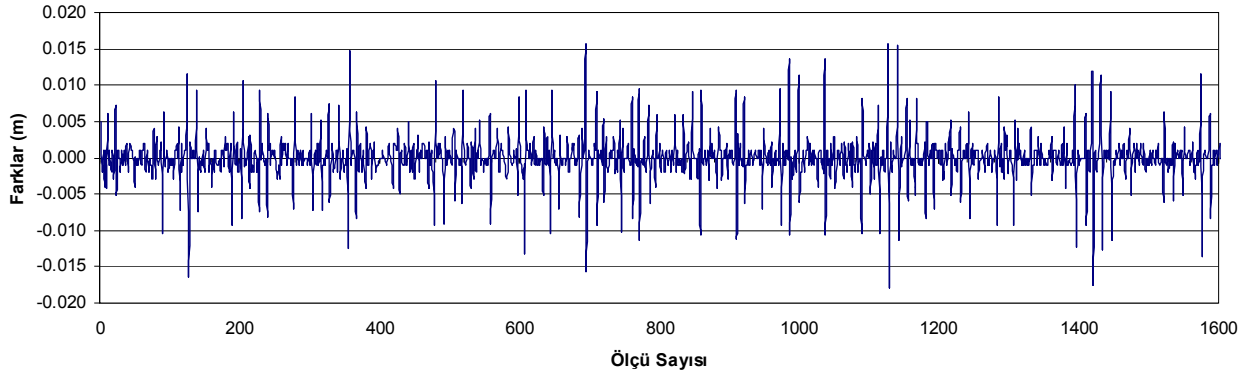


Şekil 4.4 Veride sıçrama

Yukarıdaki şekildeki veriye hareketli ortalama yöntemi uygulanması sonucunda serideki kaba hatalı veri tesbit edilip, seriye uygun bir hale dönüştürülmüştür (Şekil 4.5). Ancak filtreleme sonrasındaki kaba hata içermeyen orijinal veriler ile filtrelenmiş veriler arasında 1-1.5 cm farklar oluşmuştur (Şekil 4.6).



Şekil 4.5 Hareketli ortalama yöntemine göre filtrelenmiş veri



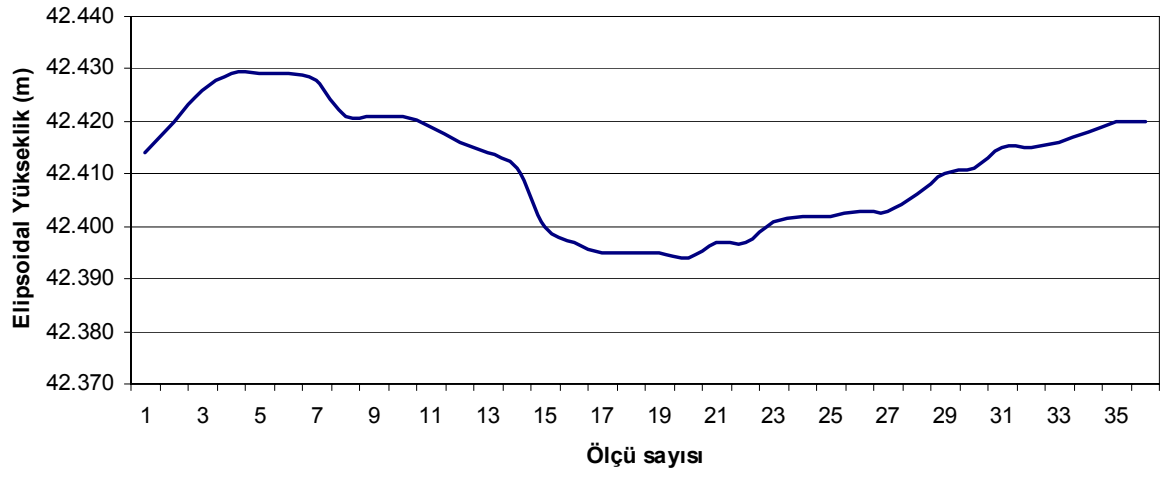
Şekil 4.6 Orjinal veri ile filtrelenmiş veri arasındaki farklar

4.4.3.2 Median Filtreleme

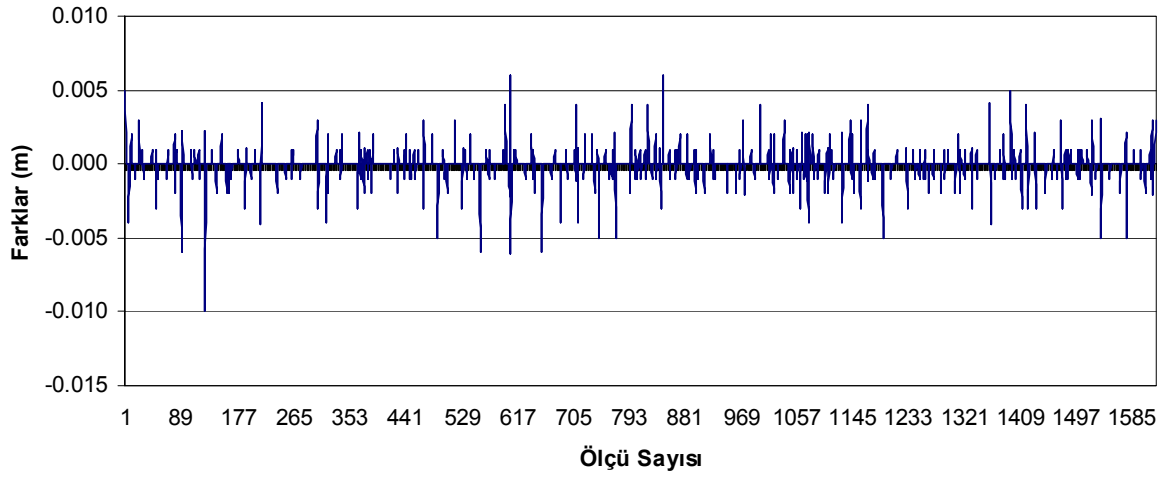
Doğrusal olmayan bir yöntem olan Median filtreleme yöntemi bir veri dizisine kayan bir pencere şeklinde uygulamaktadır. Bir seriye Median filtreleme yöntemi uygulandığında, kayan pencere içinde median filtre uygulanacak veri küçükten büyüğe doğru sıralanır. Yöntem, kayan pencerenin ortasındaki (median) veri ile tüm pencere içindeki verilerin ortalamasının yer değiştirmesi esasına dayanmaktadır (Uysal, 2004). Median filtreleme yöntemi ile sinyal değerlerindeki ani ve keskin değişimler, sıçramalar yumuşatılabilmektedir (Stork, 2003; Ogaja, vd., 2001). Tek boyutlu median filtrelemede kayan pencere boyutu $2N+1$ 'dir. Median filtreleme yöntemi aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir (Stork, 2003). Bu eşitlikte i , serinin i 'inci verisi, $2N+1$ ise filtre derecesidir.

$$y(i) = \text{med}\{x(i-N)...x(i-1), x(i), x(i+1),...x(i+N)\} \quad (4.3)$$

Şekil 4.4'de görülen GPS verisine bu sefer median filtreleme yöntemi uygulanmıştır. Filtreleme sonrasında veride oluşturulan kaba hatanın giderildiği görülmektedir (Şekil 4.7). Ayrıca kaba hata içermeyen orijinal verinin de filtreleme sonrasında çok fazla bozulmadığı, orijinal veri ile filtrelenmiş veri arasındaki farkların 1 cm' nin altında kaldığı ve çoğunlukla "0" olduğu görülmektedir (Şekil 4.8). RTK GPS' in yükseklik belirleme doğruluğunun 0.02 m +1ppm olduğu düşünüldüğünde median filtrelemenin GPS verisindeki kaba hataların giderilmesi için uygun olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.7 Median filtre yöntemiyle filtrelenmiş veri



Şekil 4.8 Orijinal veri ile filtrelenmiş veri arasındaki farklar

5. UYGULAMA

Uygulama, sesin su içindeki yayılma hızının ampirik eşitlikler kullanılarak suyun fiziksel özelliklerine göre hesaplanması, bar kontrolü yöntemiyle belirlenen ses hızıyla karşılaştırılması, ölçme teknesinin dinamik draft değerinin RTK GPS yöntemiyle belirlenmesi, ÇBİ sistemleriyle yapılan ölçümlerin derinlik doğruluğunun belirlenmesi ve ÇBİ sistemleri kullanılarak ölçülen derinlikler ile TBİ aletleriyle ölçülenlerin karşılaştırılmasından oluşmaktadır.

5.1 Uygulamada Kullanılan Aletler ve Donanımlar

Ölçmelerde Magellan (Thales) Z-Max GPS alıcısı, Elac SeaBeam 1180 ÇBİ sistemi, ölçme teknesinin yalpa, batçık ve boyuna salınım hareketlerini belirleyen Elac Hydrostar dinamik hareket algılayıcısı, Atlas Deso 14 TBİ aleti, Seabird SBE19 CTD, Reson SVP 15 ve ölçmelerin yapıldığı bir tekne ile bar kontrolünün yapıldığı lastik bir bot kullanılmıştır.

5.1.1 GPS Alıcısı

Magellan (Thales) Z-Max GPS alıcısı 12 kanallı, L1 ve L2 GPS sinyallerini alabilen, gerçek zamanlı NMEA formatında seri çıkış sağlayan jeodezik bir alıcıdır (Şekil 5.1). RTK düzeltmelerin iletimi radyo dalgalarıyla UHF bandıyla olmaktadır.



Şekil 5.1 Thales Z-Max GPS alıcısı ve modemi

Thales Z-Max GPS alıcısının ölçme yöntemlerine göre yatay ve düşey doğruluk değerleri aşağıda gösterilmektedir.

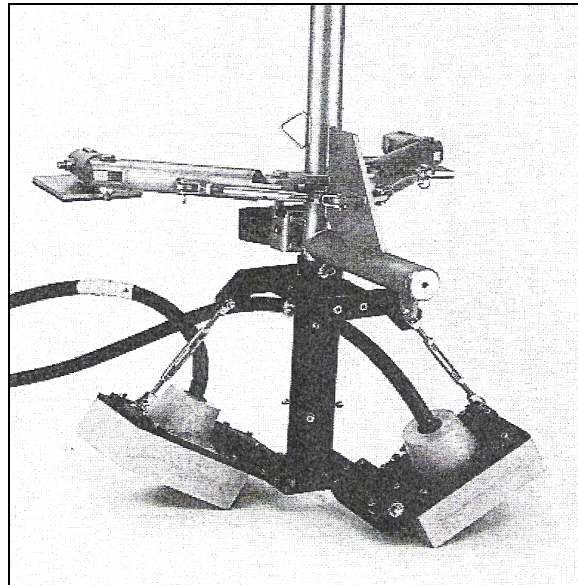
Çizelge 5.1 Ölçme yöntemleri ve doğrulukları (Thales, 2005)

Çözüm Şekli	Yöntem	Yatay Doğruluk	Düşey Doğruluk
Sonradan Değerlendirme	Statik, Hızlı Statik	0.005 m + 0.5 ppm	0.010 m + 0.5 ppm
	Kinematik	0.010 m + 1.0 ppm	0.020 m + 1.0 ppm
Gerçek Zamanlı	RTK	0.010 m + 1.0 ppm	0.020 m + 1.0 ppm

5.1.2 Elac Seabeam 1180 Çok Bimli İskandil Sistemi

Elac firmasının ürettiği Seabeam 1180 ÇBİ sisteminde akustik dalgayı gönderen ve alan bir sonar ünitesi, akustik dalganın iletimini sağlayan 180 kHz lik iki adet transdüser, teknenin yalpa, batçık ve boyuna salınımını belirleyen Elac Hydrostar hareket sensörü ile bu sistemlerin birbiriyle ilişkilerini sağlayan bir işlem ünitesinden oluşmaktadır.

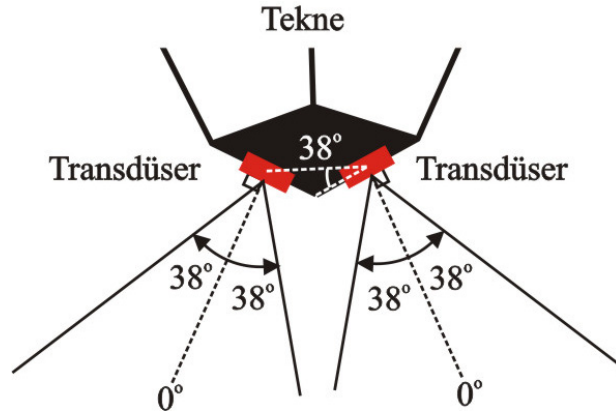
Transdüserler ölçme teknesinin sağ ve sol yanlarında karinanın altına V şeklinde 38 derecelik bir açı ile yerleştirilmiştir (Şekil 5.2).



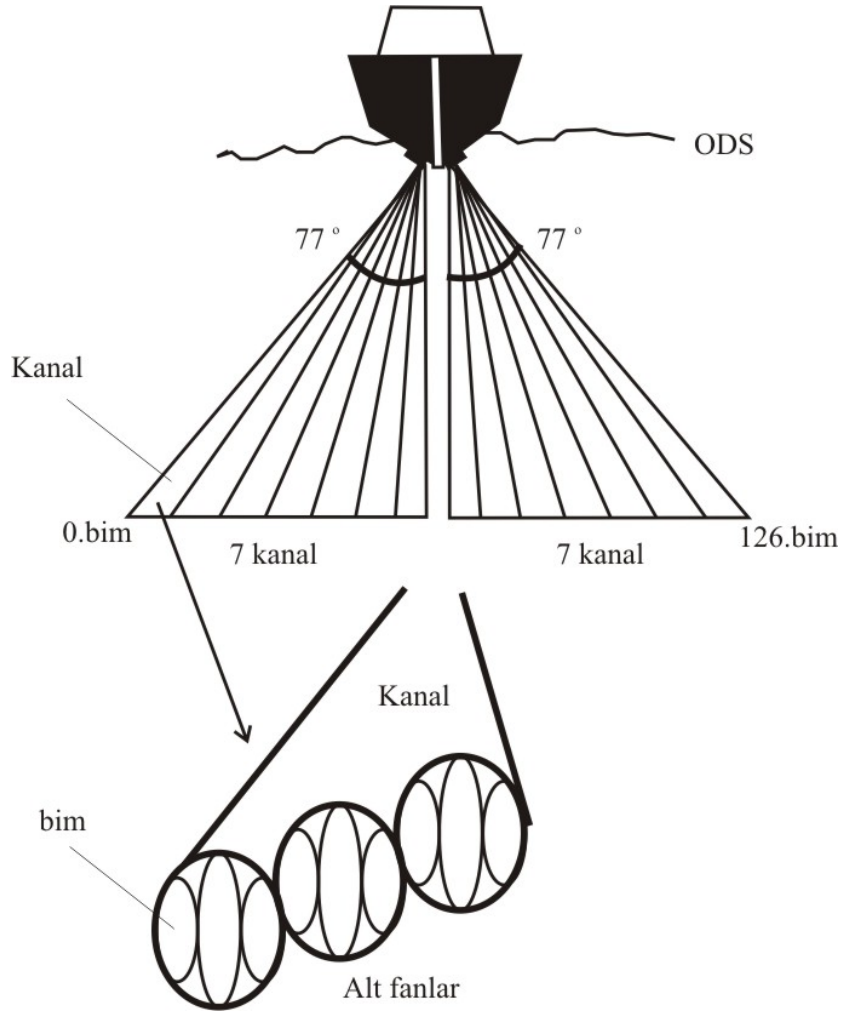
Şekil 5.2 V şeklindeki transdüserler

Seabeam 1180 ÇBİ sisteminde akustik dalgalar transdüserlerden RDT (Rotating Directional Transmission) yöntemine göre gönderilmektedir. Bu yöntemde tüm dalgaların kazancı ayarlanabilmekte ve değişik yönlerde iletim yapılabilir. Yüksek akustik güç seviyeleri

elde edilmekte olduğundan bu yöntemin uzaklığı derinlik açısından daha yüksektir (Elac, 1999).



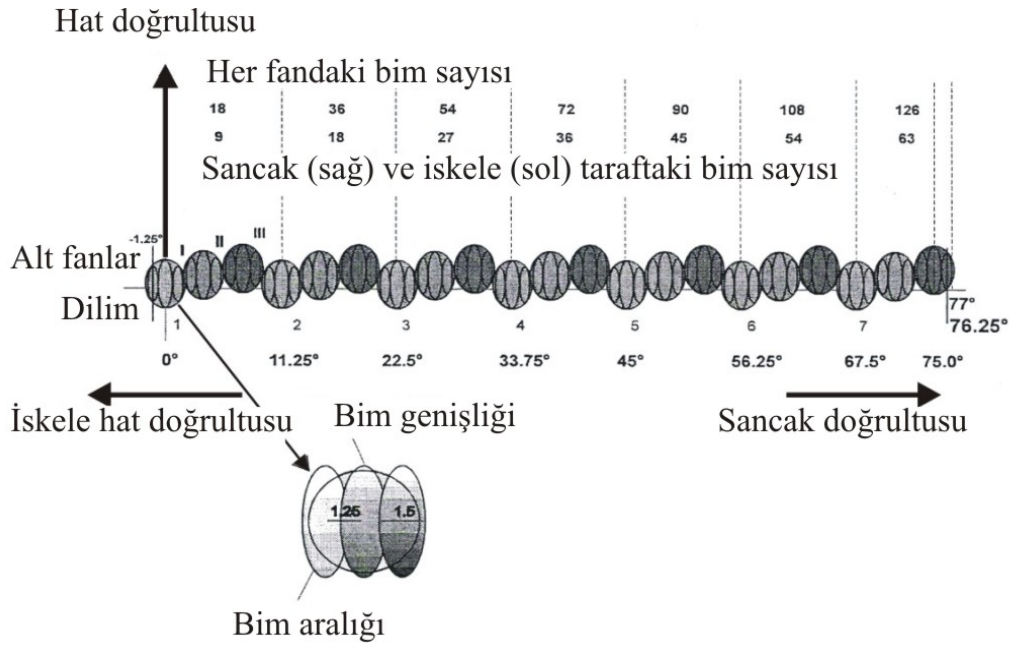
Şekil 5.3 Transdüser monte açısı



Şekil 5.4 Seabeam1180 ÇBİ veri toplama yöntemi

Sistem Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’ de görüldüğü gibi 14 farklı kanalda eşzamanlı olarak iletim yapmaktadır. Her kanalda bim biçimlendirici 1.5 derece genişliğinde ve 1.25 derece aralığında 3 bimi hesaplamaktadır. Üç alt fanın değerlendirilmesiyle toplamda 126 ($14 \times 3 \times 3$) bim elde edilmektedir. En son kanal 77 derecelik bir açıyla gönderilmektedir (Elac, 1999).

Şekil 5.5’ de sadece iskele (sol) taraftaki 77 derecelik kısma ait 7 kanal ve her kanalda 3 alt fan ve her fanda 3 bim olmak üzere toplam 54 adet bim görülmektedir. Transdüserden gönderilen akustik dalgalar her bir kanalda öncelikle ilk 7 adet bime, sonra yanındaki 7 bime ve sonra diğer 7 bime gönderilmek suretiyle 7 kanaldaki toplam 54 bime gönderilmektedir. Ölçme teknesinin altına V şeklinde monte edilmiş olan teknenin sağ ve sol karinasında bulunan transdüserden eşzamanlı iletim sağlanarak aynı zamanda toplam 14 bime iletim sağlanmaktadır.



Şekil 5.5 Seabeam 1180 bim iletim yöntemi

Yukarıdaki şekilde açıklanan bim iletim yöntemi, derinlik verilerinin analizi ve zamana göre sıralanması açısından önem taşımaktadır. Seabeam 1180 ÇBİ sisteminin teknik özellikleri Çizelge 5.2’ de sıralanmıştır. Bu ÇBİ sistemi ile maksimum ölçülebilecek derinlik ve bu derinliklerdeki sualtı kaplaması Çizelge 5.3’de görülmektedir.

Çizelge 5.2 Elac Seabeam 1180 ÇBİ sistemi teknik özellikleri

Frekans	180 kHz
Alıcı bant genişliği	12kHz / 3 kHz / 1 kHz
Bim sayısı	126
Bim genişliği	153°
Maksimum puls gücü	500 W / transdüser
Puls uzunluğu	0.15 ms / 0.3 ms / 1.3 ms
Güç	115 / 230 V AC
Maksimum derinlik	600 m
Ping oranı	25 ping / s
Kaplama	910 m / 153°
Ölçme hızı	16 knt
Çözünürlük	1.5°

Çizelge 5.3 Derinliğe göre deniz tabanı kaplaması

Bim açısı (Derece)	Derinlik (m)	Kaplama (m)
153	110	940
131	220	970
108	340	950
86	450	860
63.5	530	640
41	590	410
18.5	620	190

5.1.3 Elac Hydrostar Hareket Algılayıcı

Hareket algılayıcı alet ile ölçme teknesinin yalpa, batçık ve boyuna salınım hareketleri ölçülmektedir. Yalpa açısı gerçek zamanlı olarak bim açısına düzeltme olarak getirilmekte ve derinlik düzeltilmiş bim açısına göre hesaplanmaktadır. Batçık ve boyuna salınım hareketleri de gerçek zamanlı olarak belirlenmekte olup ölçülen derinlik değerleri düzeltilmektedir. Şekil 5.6' da görülen hareket algılayıcı alet, 0.05 derece doğrulukla yalpa ve boyuna salınım açılarını, 5 cm doğrulukla batçık hareketini belirlemektedir (Çizelge 5.4).



Şekil 5.6 Elac Hydrostar Hareket algılayıcı (Elac, 1997)

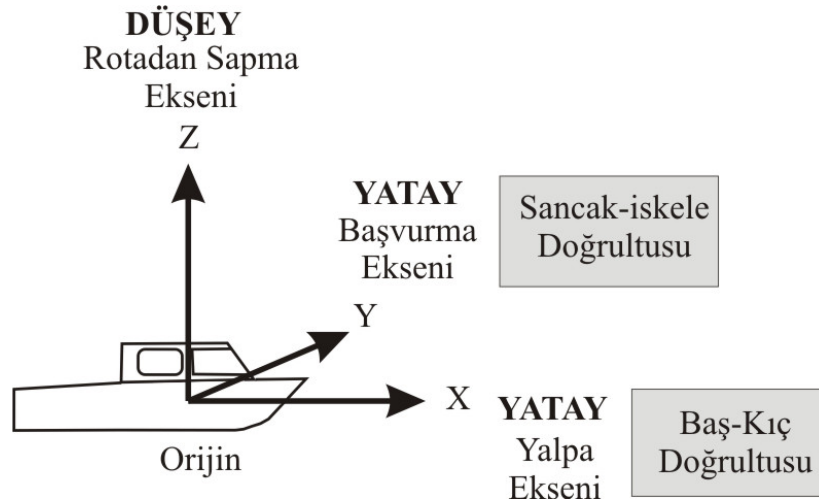
Çizelge 5.4 Hareket algılayıcının genel özellikleri (Elac, 1997)

Hareket	Aralık	Çözünürlük	Doğruluk
Yalpa	-30 - +30 °	0.01 °	0.05
Boyuna salınım	-30 - +30 °	0.01 °	0.05
Batçık	-10 - +10 m	1 cm	5

Hareket algılayıcı alet iki temel algılayıcı kısımdan oluşmaktadır (TSS, 1998; Elac, 1997):

- Doğrusal İvmeölçer
- Açısal Değişim Algılayıcı

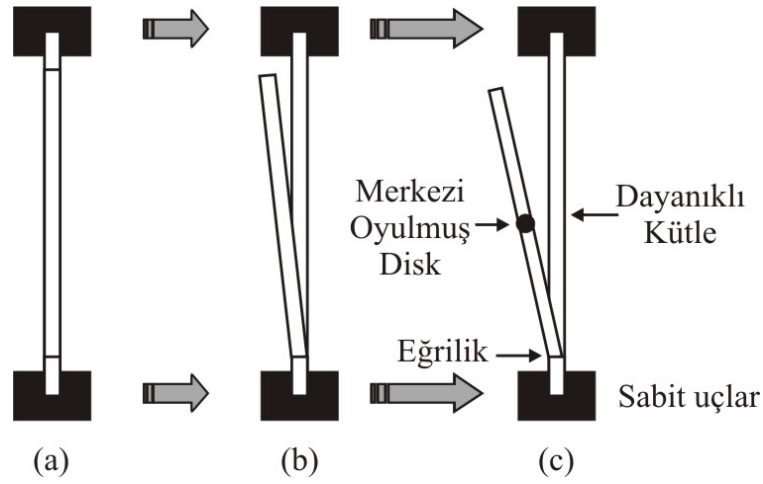
Bu bileşenler hareket algılayıcı alet içinde, birbirine dik üç ekseninde, her ekseninde bir doğrusal ivmeölçer ile bir açısal değişim algılayıcı olacak şekilde konumlandırılmıştır (Şekil 5.7).



Şekil 5.7 Dik koordinat sisteminin eksenleri

5.1.3.1 Doğrusal İvmeölçer

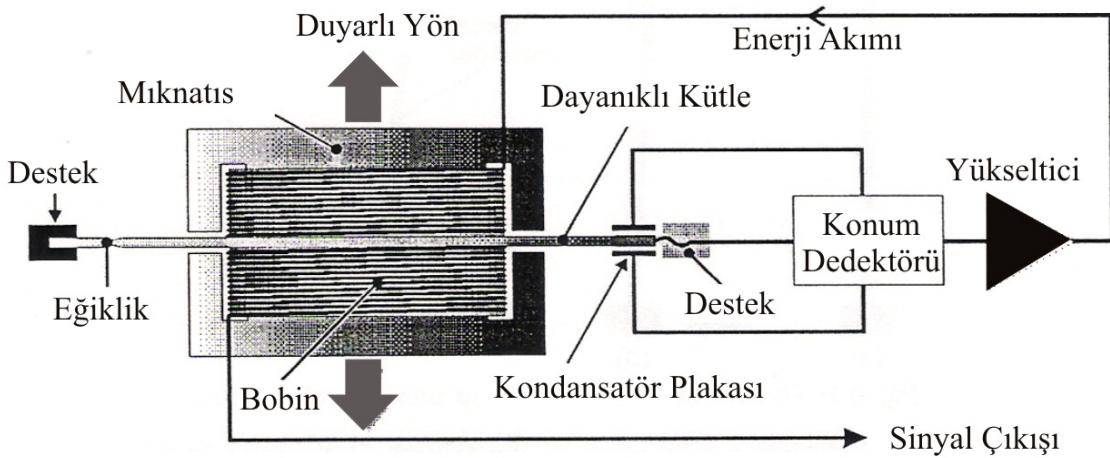
Doğrusal ivmeölçerler, dayanıklı kütle ile bulma ve geri besleme kısımlarından oluşmakta olup hareket algılayıcı içinde kullanılmaktadır. Dayanıklı kütle, doğrusal ivmeölçerin en duyarlı olup ince dairesel şekilsiz bir silikon dilimi içermektedir. Bu malzeme bir yönde elastikken diğer yönlerde katı olma özelliğine sahiptir (TSS, 1998). Bulma kısmı yerdeğiştirmeyi belirlemekte, geri besleme kuvveti uygulayarak dayanıklı kütleyi eski konumuna geri getirmektedir (Houkhan ve Kraft, 2001). Dayanıklı kütlenin ivmelenme etkisi altında yönünü değiştirmesi Şekil 5.8’ de görülmektedir.



Şekil 5.8 Dayanıklı kütlenin ivmelenmenin etkisiyle yönünü değiştirmesi (Elac, 1997)

Yukarıdaki şekilde silikon diskin üç farklı durumdaki davranışı görülmektedir (TSS, 1998, Elac, 1997):

- İvmeölçer duyarlılık yönünde ivmelenme bileşeni bulunmamaktadır. Dayanıklı kütle diskin üzerinde yer almaktadır.
- İvmeölçer sağa doğru düşük seviyede bir hızlanma tespit etmektedir. Dayanıklı kütle bu hareketin gerisinde kalmakta ve diskin dış ucuna bağlı olarak sola doğru yön değiştirmesini sağlamaktadır.
- İvmeölçer sağa doğru kuvvetli bir hızlanma belirlemektedir. Bu sebeple dayanıklı kütlenin yön değiştirme açısı daha büyük olmaktadır.

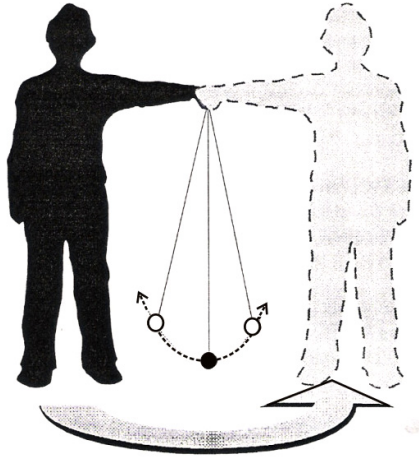


Şekil 5.9 Bulma ve geri besleme ağı (Elac, 1997)

Dayanıklı kütlenin her iki yüzünde elektriksel bir bobin bulunmaktadır. Bunlar birbirlerine elektrik devreleriyle bağlıdır. Dayanıklı kütledeki hareketler, bobinlerin mıknatıslara doğru hareket etmesini sağlamaktadır. Dayanıklı kütle ivmelenme olmadığı sürece iki mıknatısın ortasında duracaktır. Kondansatör ile konum dedektörü dengeli olacak ve yükselticiden hiçbir çıkış olmayacaktır (TSS, 1998). Herhangi bir ivmelenme olduğunda dayanıklı kütle iki mıknatıs arasındaki merkezi konumundan ayrılacaktır. Böylelikle kondansatör dengeli durumdan uzaklaşacak ve konum dedektörü yükselticiye sinyal gönderecektir. Yükseltici bağlı iki bobin arasından çıkış akımı sağlayacaktır (Şekil 5.9). Çıkış akımının büyüklüğü bobinleri mıknatısın merkezine doğru hareket ettirirken aynı zamanda dayanıklı kütleyi de hareket ettirecektir (Elac, 1997).

5.1.3.2 Açısal Değişim Algılayıcıları

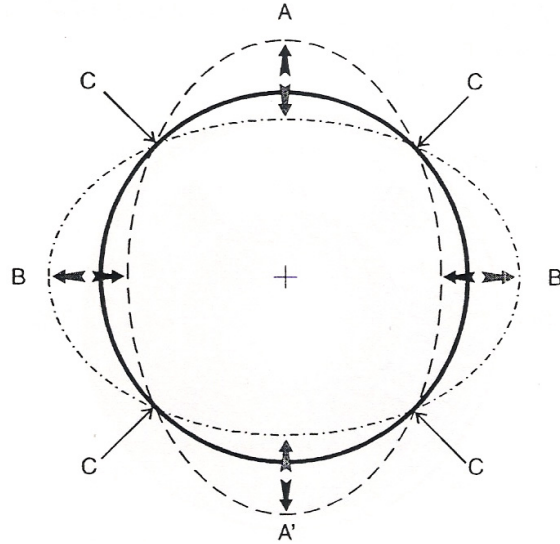
Açısal değişim algılayıcıları üç ekseninde de herhangi bir dönmeye duyarlıdır. Herhangi bir yöndeki doğrusal hareketten etkilenmeden açısal hız ölçülmektedir. Açısal değişim algılayıcılar basit sarkaç ile benzer özelliklere sahiptir. Basit sarkaç, bir ip ve bu ipin ucunda asılı duran bir kütlenin, düşey doğrultu ile çok küçük açı yaparak sallanması sonucu basit harmonik hareket yapan bir araçtır. Şekil 5.10’ da bir sarkacın (pendulum) serbestçe bir salınım düzleminde sallandığı görülmektedir. Basit sarkacın özelliği, harekete başladığında salınım düzlemini değiştirecek herhangi bir değişime karşı direnmesidir (TSS, 1998). Sarkacın asılma noktası Şekil 5.10’daki gibi döndüğünde salınım düzlemi dönmemektedir.



Şekil 5.10 Basit sarkaç (Elac, 1997)

Şekil 5.11’de büyük bir ölçekte görülen titreşen kütle basit sarkaç ile benzer özelliklere sahiptir. Burada dış kuvvetler kütleyi titreştirmekte ve böylece A ve A’ zıt düğüm noktaları

eşzamanlı olarak kütlein merkezi yönünde içeriye doğru hareket etmektedir. Daha sonra yine eş zamanlı olarak dışarıya doğru hareket etmektedir. B ve B' zıt düğüm noktaları da benzer hareket yapmaktadır. Bu noktalar arasında bulunan dört adet düğüm noktası C, yukarıda açıklanan hareketler meydana gelirken durağan kalmaktadır.

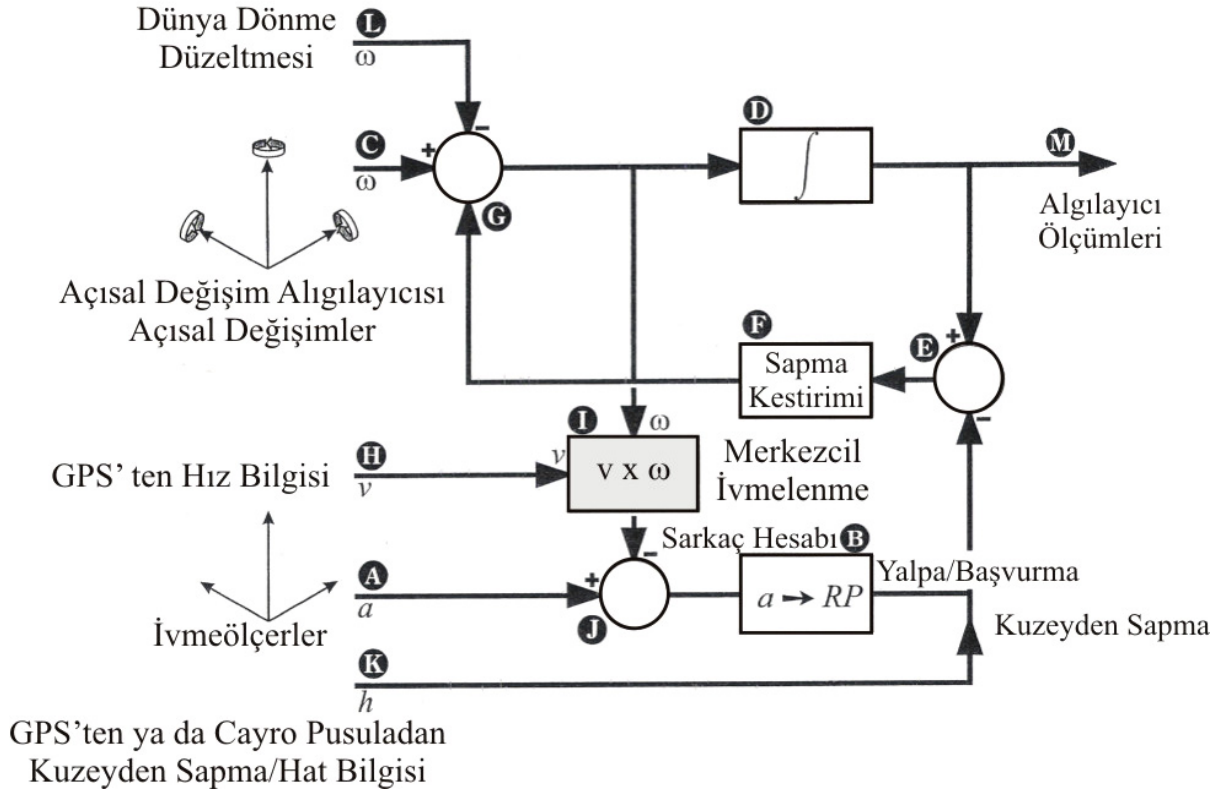


Şekil 5.11 Dairesel kütlein titreşim resmi (Elac, 1997)

Dönme ile fiziksel kütlein parçaları önce düğüm noktalarında bulunmakta ve zıt düğüm noktalarından birine doğru hareket etmekte ve böylelikle titreşmeye başlamaktadırlar. Açısal algılayıcılar dönme değişimini bu yöntemle belirlemektedir. Dönme değişiminin ölçülebilmesi için değişim algılayıcısı kütledeki titreşimin değişmez modelini saptamalı ve bu değişmez model ile kütle arasında herhangi bir hareket olduğunda bunu belirlemelidir (TSS, 1998). Titreşen kütlein etrafında açısal değişim miktarını belirlemek için 8 bağlantı noktası bulunmaktadır. Bu bağlantı noktaları kullanılarak dışarıya sinyal çıkışı yapılmakta ve böylelikle elektriksel olarak açı değişimleri belirlenmektedir.

5.1.3.3 Hareket Algılayıcının İşleyiş Adımları

Algılayıcının sinyali, doğrusal ivmeölçerlerden ve değişim algılayıcılarından alarak birleştirmesi Şekil 5.12'de gösterilmektedir. İvmeölçer sinyalleri ax , ay ve az , B noktasında yalpa ve boyuna salınım bilgisini oluşturmak için A noktasına gelir. Aynı zamanda açısal değişim algılayıcılarının bilgisi C noktasına ulaşır. D'deki bütünleştirici dönüş bilgisinin değişimini değerlendirir ve her dönüş düzleminde dönüş açısını belirler.



Şekil 5.12 Hareket algılayıcının işleyiş şeması (TSS, 1998)

Algılayıcı bütünleştiriciden çıkan sinyal ile doğrusal ivmeölçerlerden belirlenen sinyal ile E' de karşılaştırır. Algılayıcı iki bağımsız ölçüm arasındaki farkı, değişim algılayıcılarının sapma miktarlarını saptamak için F' de kullanır. M noktasındaki duyarlı ölçümleri sağlamak için, D, E, F ve G kısımları değişim algılayıcı sapma etkisini ortadan kaldırmaktadır. H' da GPS alıcısından hız bilgisi alınır. Algılayıcı bu bilgiyi, merkezcil ivmelenmeyi belirlemek için I' da değişim algılayıcılarından gelen dönüş bilgisiyle birlikte kullanır. K' da kuzeyden sapma bilgisi alınmaktadır. Bu bilgi, değişim algılayıcı için rotadan çıkma ekseninde (Şekil 5.7) referans olmaktadır. L' de dünyanın dönmesinden kaynaklanan düzeltme GPS ve Cayro pusula bilgileri kullanılarak yapılır. M' de ise algılayıcı ölçümlerinin çıkışı alınmaktadır (TSS, 1998).

5.1.4 Atlas Deso 14 Tek Bimli İskandil Aleti

Atlas Deso 14 TBİ aleti, çift frekanslı 400 m'ye kadar ölçüm yapabilen portatif bir sıg su iskandil aletidir. DGPS, RTK ve batçık kompensatörü alete bağlanabilmektedir. Derinlik ölçme doğruluğu 210 kHz' lik transdüser ile $0.01 \text{ m} \pm \%0.1 \cdot d$ kadardır. 10 metre derinlikte 2 santimetreye karşılık gelmektedir. Şekil 5.13' de iskandil aleti ile transdüser görülmektedir.



Şekil 5.13 Atlas Deso 14 iskanal ve transdüseri

5.1.5 Diğer Aletler

Su ortamının fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için Seabird SBE 19 CTD aleti, ses hızının belirlenmesi için Reson SVP 15 aleti kullanılmıştır. CTD aleti, 0.005° sıcaklık ölçme doğruluğuna, 0.0005 S/m iletkenlik ölçme doğruluğuna ve $\%0.1$ derinlik (basınç) ölçme doğruluğuna sahiptir (Seabird, 2008). SVP 15 aleti ile ses hızı 0.25 m/s doğrulukla belirlenmektedir (Reson, 2006).

Tersanede ölçme teknesi üzerindeki donanımların konumlarını belirlemek için yapılan ölçmelerde Nikon DTM-330 elektronik açı ve uzunluk ölçer kullanılmıştır. Bu aletin uzunluk ölçme doğruluğu ($3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$)'dir (Nikon kullanım klavuzu). Ölçme öncesi bu aletin kalibrasyon bazında reflektör sabitelerinin kontrolü yapılmış ve farklı durumlar için reflektör sabiteleri belirlenmiştir.

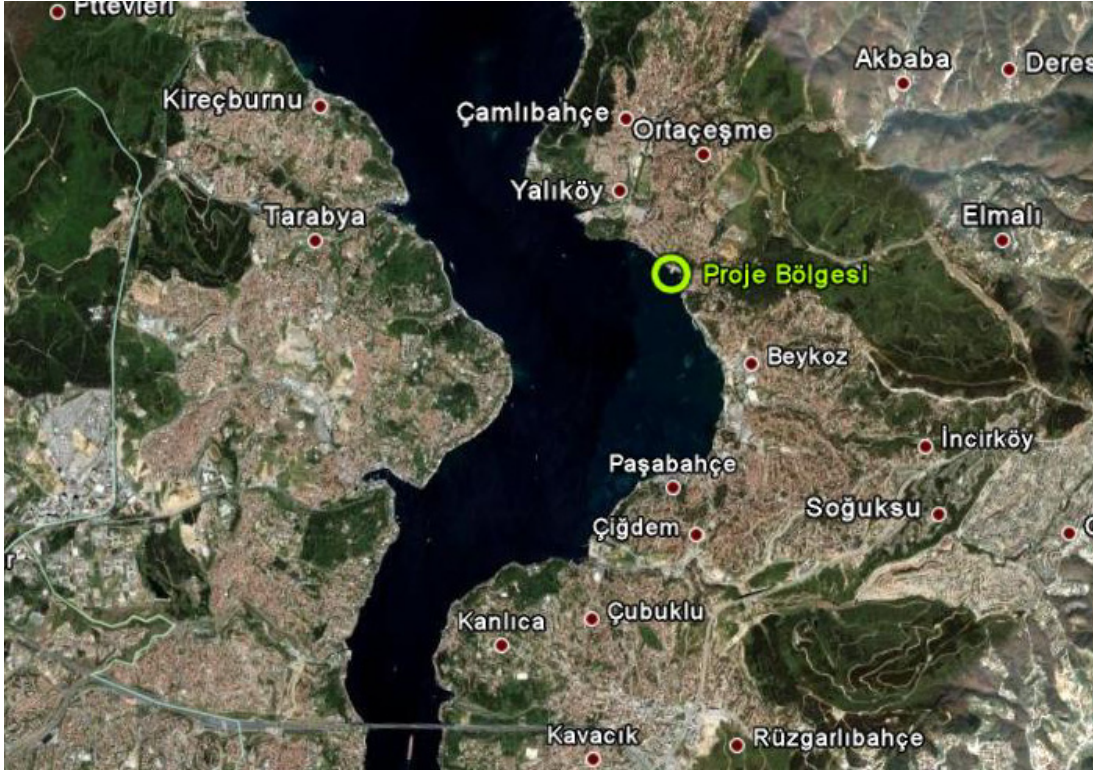
5.1.6 Ölçme Teknesi Hakkında Genel Bilgiler

1994 yılında Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı'nın araştırma faaliyetlerinde kullanmak amacıyla hizmete giren ölçme teknesinde, HF/UHF DGPS alıcısı, Elac ÇBİ sistemi, TBİ, cayro pusula, hareket algılayıcı ve gerçek zamanlı batimetrik veri toplama sistemi bulunmaktadır (SHOD, 2004).

Ölçümlerin yapıldığı tekne, 21.28 m boyunda, 5.07 metre eninde, 47 ton ağırlığında saçtan inşa edilmiştir. Teknede 1000 Hp gücünde 2 adet motor bulunmaktadır. Geminin draftı yaklaşık 1.33 m olup, seyir süratı 10 knot civarındadır.

5.2 Ses Hızının Suyun Fiziksel Özelliklerine göre Hesaplanması ve Bar Kontrolü Yöntemiyle Belirlenmesi

Deniz suyunun fiziksel özelliklerinin ölçümünün ve bar kontrolünün yapılacağı uygulama sahası olarak İstanbul Boğazı, Beykoz Koyu seçilmiştir (Şekil 5.14).

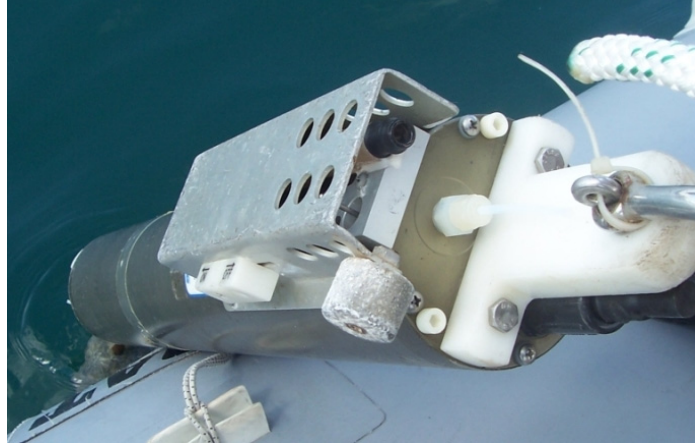


Şekil 5.14 Ses hızının belirlenmesi için seçilen proje bölgesi (Google Earth)

07.09.2005 tarihinde, lastik motorlu bir bot ile Beykoz koyuna gidilerek 41 08 03.04 K, 29 05 25.1 D mevkiinde ölçmeler yapılmıştır. Ölçme sahasında su ortamının fiziksel özelliklerini belirleyebilmek için CTD aleti kullanılmıştır. Aynı sahada bar kontrolü yöntemiyle TBI aletiyle metrede bir derinlik ölçümleri yapılmıştır.

5.2.1 Suyun Fiziksel Özellikleri Ölçülerek Ses Hızının Belirlenmesi

CTD aleti suya bırakılıp deniz tabanına ulaştıktan sonra yavaş yavaş çekilerek deniz suyunun fiziksel özellikleri alete kaydedilmiştir. Ölçmelerde Seabird SBE19 CTD aleti kullanılmıştır (Şekil 5.15).



Şekil 5.15 Ölçmelerde kullanılan SBE19 CTD Aleti

CTD aletiyle 11 metreye kadar deniz suyunun tuzluluk, sıcaklık ve basınç değerleri ölçülmüştür (Ek 1). Uluslararası kabul gören Chen&Millero (3.2) ve Medwin (3.12) eşitlikleriyle ses hızı değerleri (Çizelge 5.5), MacKenzie (3.13) ve Coppens (3.14) eşitlikleri kullanılarak ses hızı değerleri (Çizelge 5.6) hesaplanmıştır.

Çizelge 5.5 Chen&Millero ve Medwin eşitlikleri kullanılarak hesaplanan ses hızı değerleri

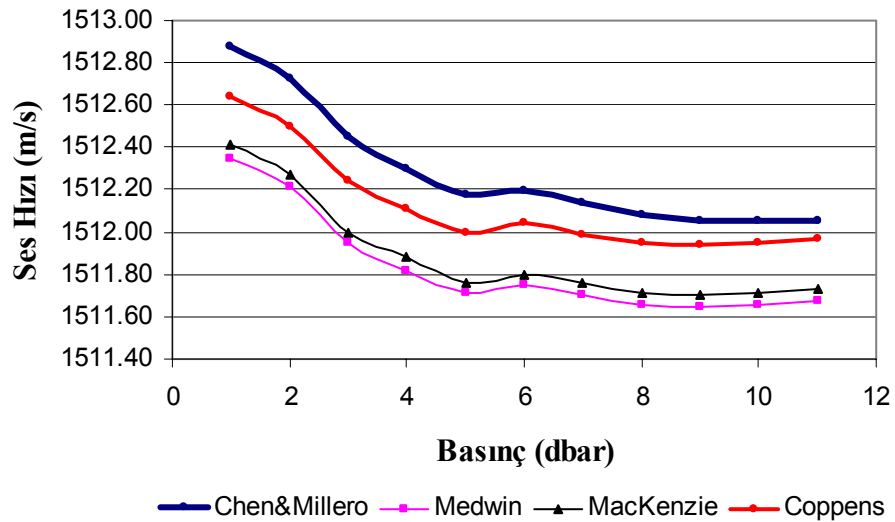
Basınç (dbar)	Chen&Millero (m/sn)	Medwin (m/sn)
1.0	1512.88	1512.35
2.0	1512.73	1512.21
3.0	1512.45	1511.95
4.0	1512.30	1511.82
5.0	1512.18	1511.71
6.0	1512.20	1511.75
7.0	1512.14	1511.70
8.0	1512.08	1511.66
9.0	1512.05	1511.65
10.0	1512.05	1511.66
11.0	1512.05	1511.67

Çizelge 5.6 MacKenzie ve Coppens eşitlikleri kullanılarak hesaplanan ses hızı değerleri

Basınç (dbar)	Derinlik* (m)	MacKenzie (m/sn)	Coppens (m/sn)
1.0	0.992	1512.41	1512.64
2.0	1.985	1512.27	1512.50
3.0	2.977	1512.00	1512.24
4.0	3.969	1511.88	1512.11
5.0	4.962	1511.76	1512.00
6.0	5.954	1511.80	1512.04
7.0	6.946	1511.76	1511.99
8.0	7.939	1511.71	1511.95
9.0	8.931	1511.70	1511.94
10.0	9.923	1511.71	1511.95
11.0	10.915	1511.73	1511.97

*Derinlik Leroy (3.18) eşitliği ile hesaplanmıştır.

Şekil 5.16' da aynı sahada Chen&Millero, Medwin, MacKenzie ve Coppens eşitlikleri ile hesaplanmış Çizelge 5.5 ve 5.6' da gösterilen ses hızı değerlerinin birbirlerine göre farklılıkları görülmektedir.



Şekil 5.16 Ampirik eşitliklerle hesaplanan ses hızları

Ampirik eşitlikler ile hesaplanan ses hızı değerlerinin birbirlerinden maksimum 0.53 m/sn' lik farkları olduğu görülmektedir. Ses hızındaki 1 m/sn' lik hata 10 m derinlikte 1 cm, 100 m derinlikte ise 7 cm' lik hataya neden olmaktadır. Bu sebeple ses hızının doğru belirlenmesi özellikle sığ sularda yapılan hassas hidrografik ölçmelerde büyük önem taşımaktadır.

Suyun fiziksel özelliklerindeki değişim ses hızını direk olarak etkilemektedir. Bu etkilerin en büyüğü sıcaklıktaki değişimdir. Sıcaklıktaki 1°C' lik değişimin ses hızında 4.53 m/sn' lik bir ses hızı hatasında yol açtığı görölmektedir.

5.2.2 Bar Kontrolü Yöntemiyle Ses Hızının Belirlenmesi

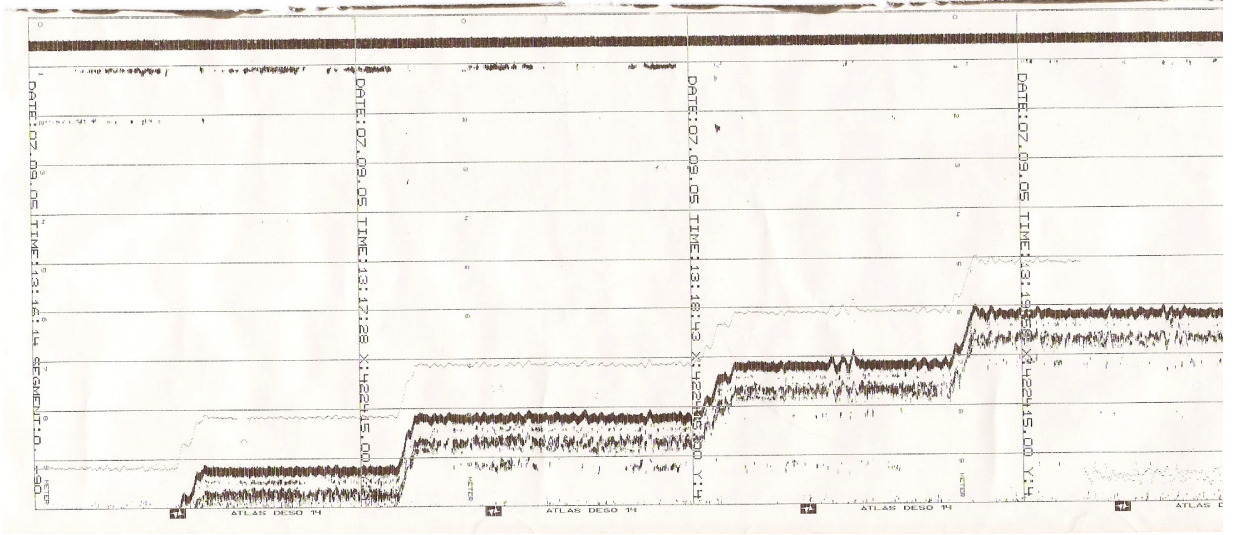
CTD aleti ile suyun fiziksel özelliklerinin belirlendiği sahada portatif bir TBI aleti olan Atlas Deso 14 ile derinlik ölçmeleri yapılmıştır.



Şekil 5.17 Bar kontrolü levhası ve transdüserin altına doğru indirilmesi

Transdüser bota monte edilerek, transdüser derinliği çelik şerit metre 0.48 m olarak ölçölüp, iskandil aletine girilmiştir. Bar kontrolü için ses hızı değeri $c_0 = 1500$ m/sn olacak şekilde iskandil aletinde ayarlanmıştır.

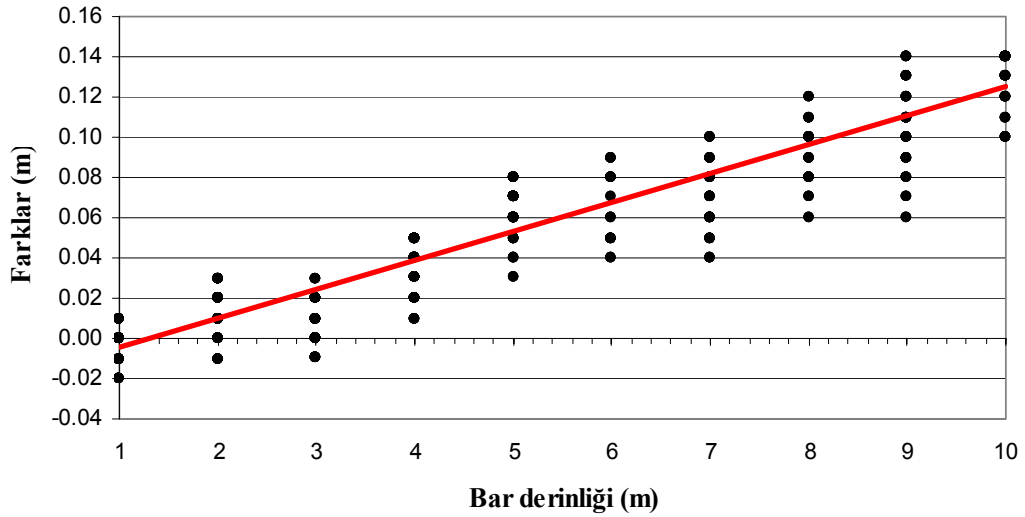
Bar kontrolü levhaları boyut değiştirmeyen malzemeden ve genelde çelikten yapılmaktadır. Levha yüzeyinde suyun geçebilmesi için delikler bulunmaktadır. Levha transdüserin altına doğru indirilerek her 1 metrede derinlik ölçümleri yapılmıştır (Şekil 5.17). Toplanan derinlik değeri Şekil 5.18'deki görülen iskandil kağıdına çizilmiş hem de bilgisayara kaydedilmiştir.



Şekil 5.18 İskandil kağıdına çizilen bar kontrolü ölçümleri

İskandil aleti ile ölçülen derinlikler ile gerçek bar derinlikleri karşılaştırılarak, farklarının grafikleri çizilmiştir.

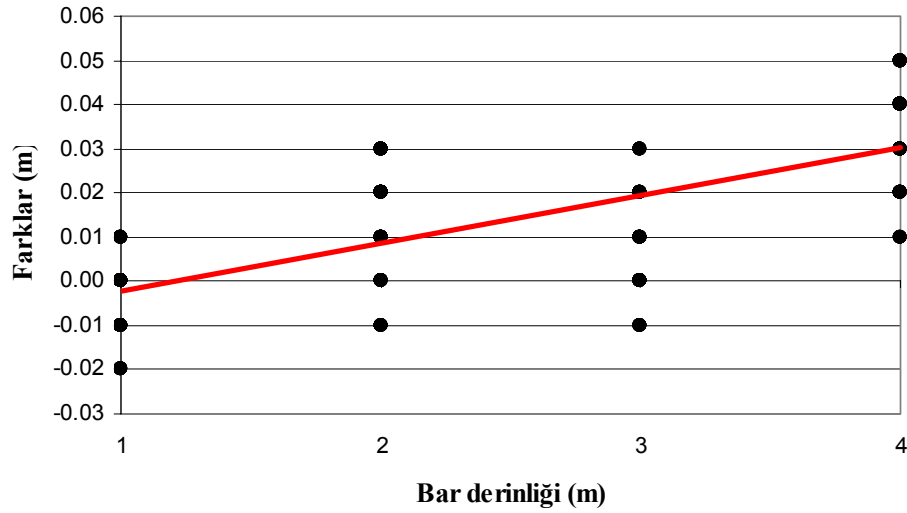
(3.24) ve (3.25) eşitlikleri çözülerek yapılan hesaplamalar sonucunda 0-10 m derinlikteki ses hızı değeri 1521.6 m/sn olarak bulunmuştur (Şekil 5.19).



Şekil 5.19 Ses hızının bar kontrolü yöntemiyle hesaplanması (0-10 metre)

Levhanın 0-4 metre derinlikteki değerleri göz önüne alınarak yapılan hesaplamalar sonucu ses hızı değeri 1516.2 m/sn olarak belirlenmiştir (Şekil 5.20). Çizelge 5.5' de suyun fiziksel özelliklerine göre Chen&Millero eşitliği ile hesaplanan ses hızı değerlerinin 0-10 m derinlik için ortalaması 1512.30 m/sn olarak hesaplanmıştır.

Aynı sahada bar kontrolü yöntemi kullanılarak ses hızı 1521.6 m/sn olarak hesaplanmıştır. İki yöntem ile hesaplanan ses hızı değerleri arasında 9.3 m/sn' lik fark bulunmaktadır. Bar kontrolü yöntemiyle 0-4 m aralığında hesaplanan ses hızı değeri ile farkı ise 3.9 m/sn' dir. Görüldüğü gibi ses hızı farkı 9.3 m/sn' den 3.9 m/sn' ye düşmüştür. Ses hızındaki 3.9 m/sn' lik fark derinlikte 2 cm hataya neden olmaktadır.



Şekil 5.20 Ses hızının bar kontrolü yöntemiyle hesaplanması (0-4 metre)

Farkın 9.3 m/sn' den 3.9 m/sn' ye düşmesi sahanın akıntılı bir yer olmasından kaynaklanabilir. Bu gibi sebeplerden dolayı bar kontrolü yöntemiyle ses hızı hesaplanırken ses hızı ölçer bir alet (SVP) ile de belirlenen ses hızı kontrol edilmelidir (USACE, 2002; Alkan, vd., 2006).

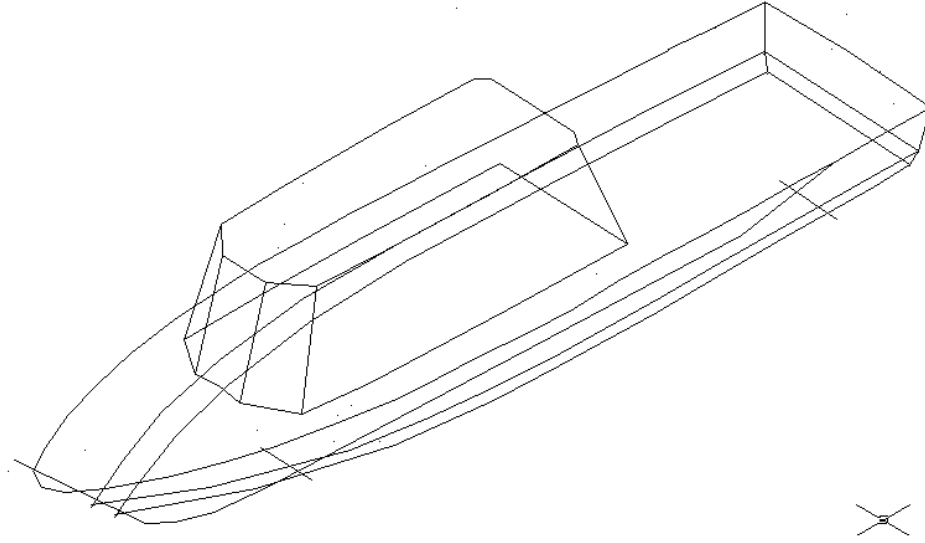
5.3 Ölçme Teknesinin Dinamik Draft Değerinin Belirlenmesi

Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığına ait ölçme teknesinin dinamik draft değeri RTK GPS yöntemiyle belirlenmiştir. Denizde yapılan uygulamaya kadar ölçme teknesinde ve ölçme sahasında bazı ölçüm ve hesaplamalar yapılmıştır.

5.3.1 Ölçme Teknesindeki Alet ve Donanımların Dış Merkezlik Değerlerinin Ölçülmesi ve Hesaplanması

Ölçme teknesinin genel modelini oluşturmak ve tekne üzerindeki alet ve donanımların yerlerini belirleyebilmek için tekne etrafına 4 noktadan oluşan bir poligon ağı kurulmuştur. Bu noktalardan teknedeki kritik noktalara Nikon DTM-330 elektronik açı ve uzunluk ölçer

aletiyle ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçmeler sonrasında teknenin üç boyutlu bir modeli oluşturulmuş ve tekne üzerindeki donanımların koordinatları hesaplanmıştır.

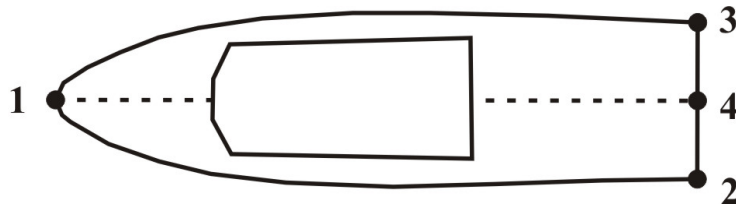


Şekil 5.21 Ölçme teknesinin üç boyutlu modeli

Ölçme teknesi tersanede kızaktayken az da olsa sağa/sola veya yukarı/aşağı yönde yatık durumdadır. Bu farkların giderilmesi ve tekne koordinat sistemine geçiş için Çizelge 5.7 ve 5.8 de verilen tekne üzerindeki (Şekil 5.22) ortak noktalara göre (3.42) eşitliği kullanılarak yapılan koordinat dönüşümü sonrasında Çizelge 5.9'daki koordinatlar elde edilmiştir.

Çizelge 5.7 Ortak noktaların koordinatları

Nokta Adı	Y (m)	X (m)	H (m)
1	95.724	119.932	104.475
2	116.929	117.110	104.150
3	117.050	121.698	104.259
4	116.993	119.388	104.279



Şekil 5.22 Ortak noktaların tekne üzerindeki yerleri

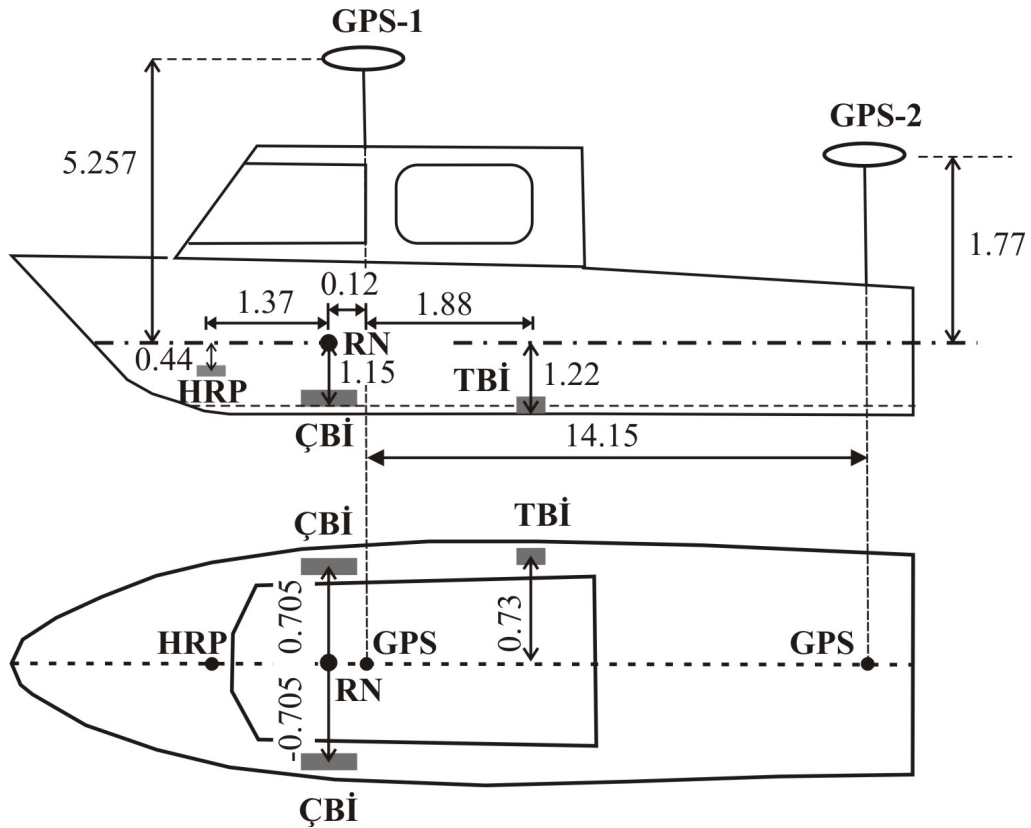
Çizelge 5.8 Ortak noktaların tekne koordinat sistemindeki koordinatları

Nokta Adı	Y(m)	X (m)	Z (m)
1	95.7240	119.4040	104.2050
2	116.9895	117.1100	104.2050
3	116.9895	121.6980	104.2050
4	116.9895	119.4040	104.2050

Çizelge 5.9 Tekne koordinat sistemine dönüştürülmüş koordinatlar

Alet/Donanım	Y(m)	X (m)	Z (m)
ÇBİ Transdüser (Sağ)	102.29	120.14	101.580
ÇBİ Transdüser (Sol)	102.29	118.73	101.580
TBİ	104.17	119.99	101.510
HRP (Hareket Algılayıcı)	100.92	119.28	102.290
GPS	102.49	119.41	108.100
RTK GPS 1	102.41	119.41	107.987
RTK GPS 2	116.56	119.42	104.500

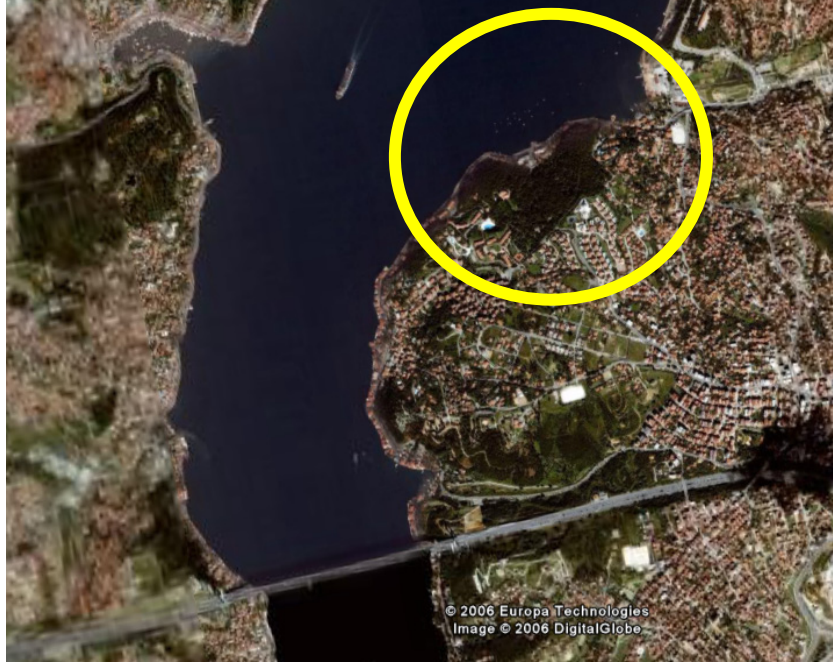
Tekne üzerinde mevcut donanımlar arasındaki dış merkezlik değerleri metre biriminde teknenin referans noktasına göre hesaplanmıştır (Şekil 5.23). Referans noktası (RN) ÇBİ transdüserlerinin orta noktasından 1.15 m yukarıda tasarım su hattı üzerinde bir noktadır.



Şekil 5.23 Tekne üzerindeki alet ve donanımlar arasındaki uzunluklar

5.3.2 Ölçme Sahası ve Hazırlık Aşamaları

Ölçme teknesinin draft değerinin dinamik olarak belirlenmesi için, ölçme sahası olarak İstanbul Boğazı, Çubuklu açıkları seçilmiştir (Şekil 5.24).



Şekil 5.24 Ölçme sahası, Çubuklu açıkları (Google Earth)

RTK GPS yöntemiyle yapılan ölçmelerde referans noktası olarak kullanılacak nokta SHODB eski yerleşim binasının terasına işaretlenmiştir. Bu noktanın WGS84 elipsoidindeki koordinatları, ISTA ve SRYR TUTGA noktalarına bağlı olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.10). Ayrıca iskele üzerinde de bir nokta tesis edilmiş ve bu nokta da aynı ağa dahil edilerek değerlendirilmiştir (Şekil 5.25). Ölçmelerde elipsoidal yükseklik farkları kullanılmıştır. İskele ile terastaki noktaların yükseklik farkları trigonometrik nivelman yöntemiyle kontrol edilmiştir. Ayrıca bölgedeki mevcut IGNA noktalarından (F222H236-F222H241-F222H246-F222H251) yararlanılarak ölçme sahasındaki ortalama jeoit yüksekliği (N) 36.604 m olarak hesaplanmıştır.

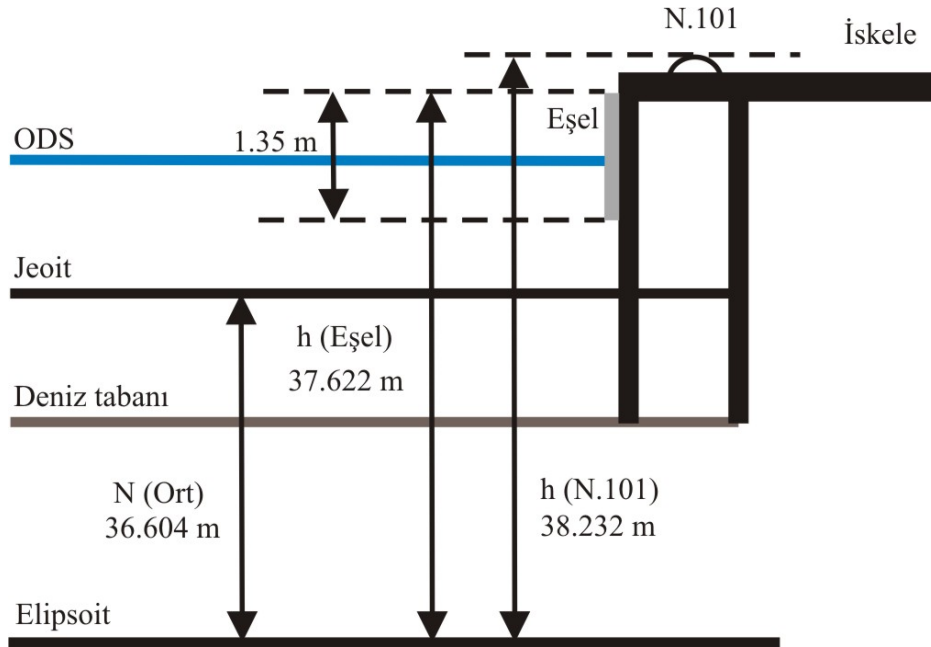
Çizelge 5.10 Bina terasındaki ve iskele üzerindeki noktaların koordinatları (WGS84)

Nokta Adı	ϕ	λ	h (m)
N.100	41°06'24".086992	29°04'34".412431	50.155
N.101	41°06'25".223557	29°04'33".263343	38.232



Şekil 5.25 Teras ve iskeledeki referans noktaları

Ölçmeler süresince su seviyesindeki değişimleri belirlemek için ölçme sahasının yakınında bulunan SHODB iskelesine bir eşel yerleştirilmiştir. Eşeldeki okunan su değışimi değerlerini N.101 no.lu noktanın WGS84 datumundaki elipsoidal yüksekliği ile ilişkilendirmek için, eşel ile bu nokta arasında geometrik nivelman yapılmıştır. 135 cm boyundaki eşelin üst noktasının elipsoidal yüksekliği 37.622 metre olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.26 Su seviyesi değışimleri için yükseklikler arası ilişkiler

5.3.3 Ölçmelerin Yapılması

Ölçmeler 17 Mayıs 2006 tarihinde ölçme teknesiyle İstanbul Boğazı Çubuklu açıklarında, açık havada ve deniz sakinken gerçekleştirilmiştir.

Ölçmelerde 4 adet Thales Z-Max GPS alıcısı kullanılmıştır. Alıcıların biri koordinatı daha önceden hesaplanan N.100 no.lu referans noktaya kurulmuş olup, 2 adet alıcı ölçme teknesi üzerine daha önceden tesisi yapılan yerlerine monte edilmiştir. Gerçek zamanlı yapılan ölçümün yanısıra sonradan değerlendirme yapılabilmesi için N.100 ve N.101 noktalarındaki alıcılara veri kaydı yapılmıştır.

Ölçme teknesine GPS alıcılarından gerçek zamanlı veri aktarmak için 1 adet dizüstü bilgisayar ile bir adet masaüstü bilgisayar kurulmuştur. Bu bilgisayarlar 2 adet gezici GPS alıcısına kablo ile bağlanmıştır.

Gerçek zamanlı hidrografik veri toplama yazılımında, Çubuklu açıklarında, uzunluğu 600 metre olan bir test hattı oluşturulmuştur.

RTK GPS ile yapılan ölçmelerde, gezici alıcıların kayıt aralığı 0.1 saniye (10 Hz) olarak seçilmiştir. Literatürde dinamik draft belirlenmesi için uygun görülen örnekleme aralığı 10 ya da 100 Hz dir (USACE, 2002). Gözlemler sırasında yükseklik açısı 10° alınmıştır. Gerçek zamanlı Kinematik GPS verileri, WGS84 datumunda, NMEA formatında Ashtech Evaluate programı yardımıyla ölçme teknesinin baş ve arka tarafında bulunan bilgisayarlara kaydedilmiştir. Kayıt aralığı 0.1 saniye seçilmiştir.

Yerel zaman ile 14.30' da ölçmelere başlanmış olup ölçme teknesi iskelede bağlı ve sabit durumdayken gerçek zamanlı veri toplanmış ve bilgisayarlara kaydedilmiştir. Böylelikle teknenin statik draft değeri belirlenmiştir.

Ölçme teknesinin draft çizgisi tekne karinası üzerindeki kana rakamlarından okunmuş olup, draft çizgisi ile su seviyesinin paralel oldukları gözlemlenmiştir.

Derinlik ölçmelerinde suyun fiziksel özelliklerinin büyük önemi bulunmaktadır. Bu sebeple ölçme öncesinde ölçme sahasında CTD aleti ile suyun tuzluluk, basınç ve sıcaklık değerleri belirlenerek, sesin su içindeki yayılma hızı hesaplanmıştır. Bu değerler Hydrostar gerçek zamanlı hidrografik veri toplama yazılımına girilmiştir.

Yerel saat ile 15.05' de Kuzeye doğru ortalama 4.9 knot hızla ve motor devri 800 RPM de, bir hatta 131 derecelik bım açısı ile veri toplanmıştır.

15.32' de, ölçme teknesinin motor devri ve hızı biraz daha arttırılarak, Kuzeye doğru aynı hat üzerinden ortalama 8.1 knot hızla ve 1300 RPM motor devriyle geçilerek aynı bim açısıyla veri toplanmıştır.

15.50' de, aynı hat üzerinden yine aynı bim açısıyla, ortalama 9.8 knot hızla, 1600 RPM motor devriyle maksimum süratte derinlik verisi toplanmıştır.

Tüm derinlik ölçmeleri süresince ölçme teknesi üzerinde bulunan 2 adet GPS alıcıyla da RTK GPS yöntemi kullanılarak NMEA formatında veri toplanarak bilgisayarlara kaydedilmiştir.

Ölçme süresince su seviyesindeki değişimleri belirlemek amacıyla iskelede her 5 dakikada bir eşel okumaları yapılmıştır (Çizelge 5.11). Bu okuma değerlerinden ölçmeler süresince deniz seviyesinde önemli bir değişim olmadığı gözlenmemiştir.

Çizelge 5.11 Eşel okumaları

Yerel Zaman	Eşel (cm)	Yerel Zaman	Eşel (cm)
14.30	87	15.20	87
14.35	87	15.25	86
14.40	87	15.30	86
14.45	87	15.35	86
14.50	87	15.40	86
14.55	88	15.45	86
15.00	87	15.50	86
15.05	87	15.55	86
15.10	87	16.00	86
15.15	87	16.05	86

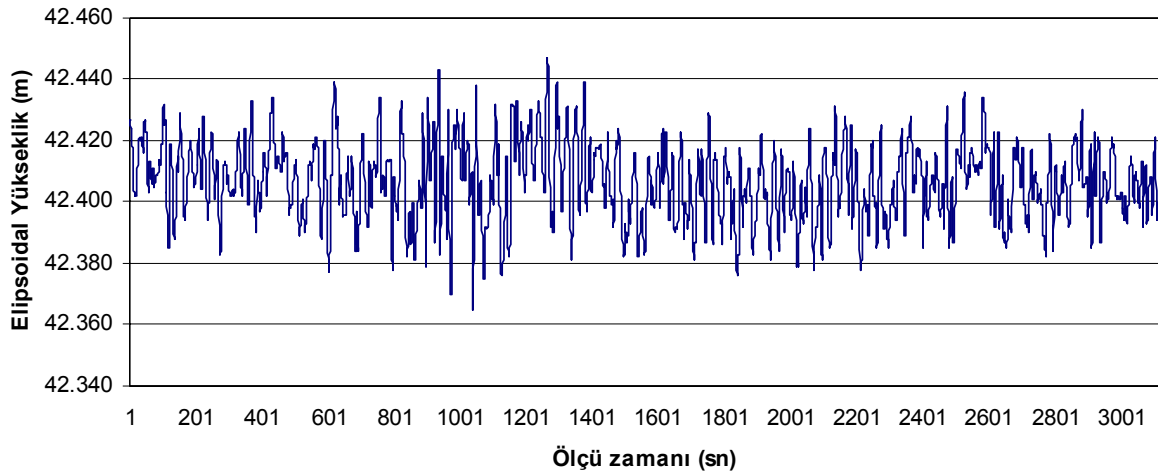
5.3.4 Statik Draftın Belirlenmesi

Ölçme teknesinin dinamik draft değerinin belirlenmesi için öncelikle statik draft değerinin belirlenmesi gerekmektedir. Ölçmelerde kullanılan tekne için statik draft değeri 1.15 m' dir. Bu değer transdüser ile teknenin tasarım su hattı arasındaki yükseklik farkıdır.

Ölçme teknesi denizdeyken su seviyesinin tasarım su hattı ile aynı seviyede olması beklenmektedir. Ancak tasarım su hattı projedeki bir değer olduğundan tekne karinasında gözükmez. Bu sebeple de tersanede yapılan ölçmelerde net olarak belirlenmesi mümkün olmamaktadır.

Ölçme teknesinin statik draft değeri, ölçüme başlanmadan önce tekne iskeleye bağlıyken RTK GPS ile fazla sayıda ölçü toplamak suretiyle belirlenmiştir. Tekne üzerindeki 1 no.lu noktada toplanan veriler median filtre yöntemiyle kaba hatalarından arındırılmıştır. Ölçme teknesinin statik draft değeri, transdüser ile su seviyesi arasındaki yükseklik farkı olduğundan bu noktanın değerlerinin kullanılması amaçlanmıştır.

Teknenin baş tarafında bulunan 1 no.lu noktadaki ortalama elipsoidal yükseklik değeri 42.409 m olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.28). Ölçü zamanı her 0.1 sn’de toplanmış olan verileri ifade etmektedir. Şekil 5.27’de görülen 201 rakamı, 20.1 saniyeye karşılık gelmektedir.

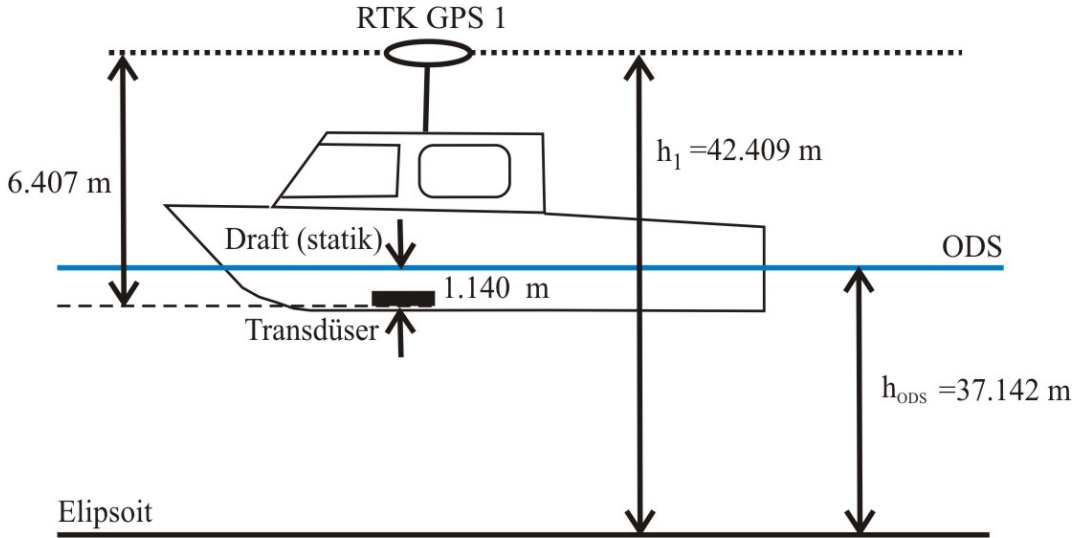


Şekil 5.27 Statik draft RTK GPS ölçüleri

Ölçme teknesinin baş tarafında bulunan 1 no.lu noktanın elipsoidal yükseklik değeri 42.409 m, bu zaman aralığındaki ortalama deniz seviyesi, eşelden okunan değerler yardımıyla elipsoit ile ilişkilendirildiğinde ODS’ nin elipsoidal yükseklik değeri 37.142 m olarak belirlenmiştir. Ölçme teknesinin statik draft değeri (3.88) eşitliği ile 1.140 m olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.28). Burada boyuna salınımdan kaynaklanan etki de göz önüne alınmış ancak değişim miktarı milimetre derecesinde “0” olduğundan ölçülere düzeltme getirilmemiştir.

$$draft(statik) = 6.407 - (42.409 - 37.142) = 1.140 \text{ m}$$

Hesaplanan bu değer, teknenin projesindeki statik draft değeri ile karşılaştırıldığında anlamlı olduğu görülmektedir. İki değer arasındaki fark 1 cm’ dir.



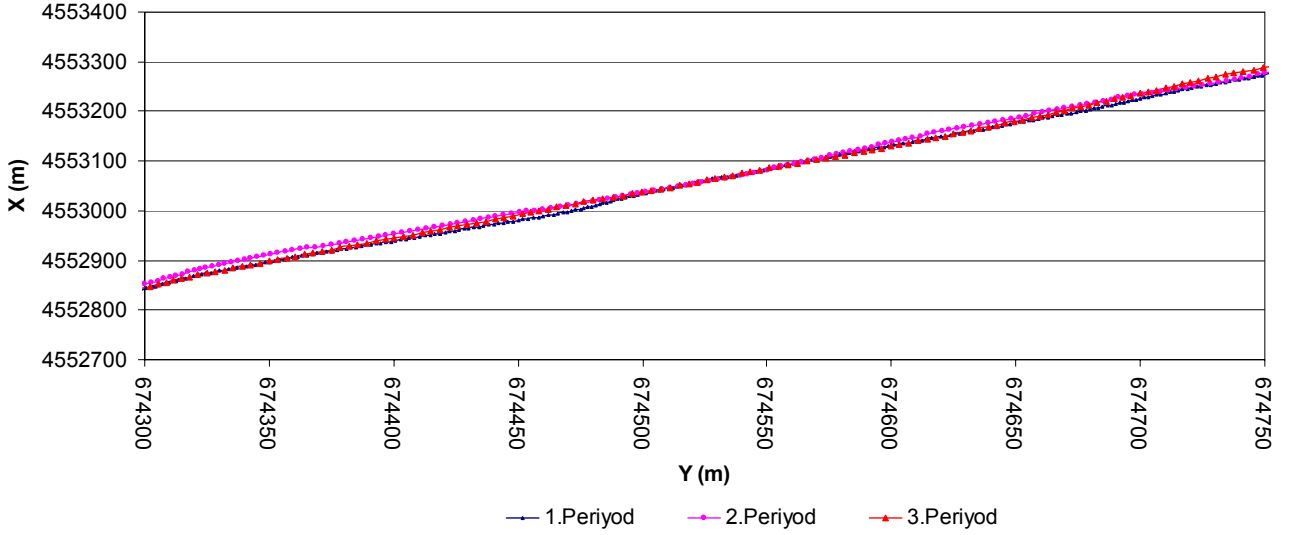
Şekil 5.28 Ölçme teknesinin statik draft değeri

5.3.5 Veri Senkronizasyonu

Ölçmelerde 0.1 saniye aralığında UTC zamanında toplanan RTK GPS verileri, ölçme teknesinde bulunan ÇBİ sisteminin zamanına göre toplanan derinlik ile eşzamanlı olan hareket algılayıcının verileri kullanılmıştır. Bu verilerin birbirleriyle senkronizasyonunda saniyedeki değişimler esas alınmıştır. 0.1 saniye aralıkla toplanan RTK GPS verileri 1 sn aralığa dönüştürülmüştür. ÇBİ verilerinin kayıt aralığı düzensiz olduğundan 1 sn'lik veriler ayrılmıştır. Bu veriler RTK verileri ile cayro pusula verisi, koordinat verisi, hız verisi gibi veriler göz önüne alınarak senkronize edilmiştir. ÇBİ sisteminin 18:18:19 zamanı ile RTK GPS' in 12:06:59.5 UTC zamanı eşzamanlı alınmak suretiyle senkronizasyon gerçekleştirilmiştir. Ölçme teknesinin 5 Knot (2.57 m/sn) ile ölçü yaptığı düşünülürse, 0.1 sn'lik senkronizasyon hatası deniz tabanında 25 cm'lik konum hatasına karşılık gelmektedir.

5.3.6 Dinamik Draftın Belirlenmesi

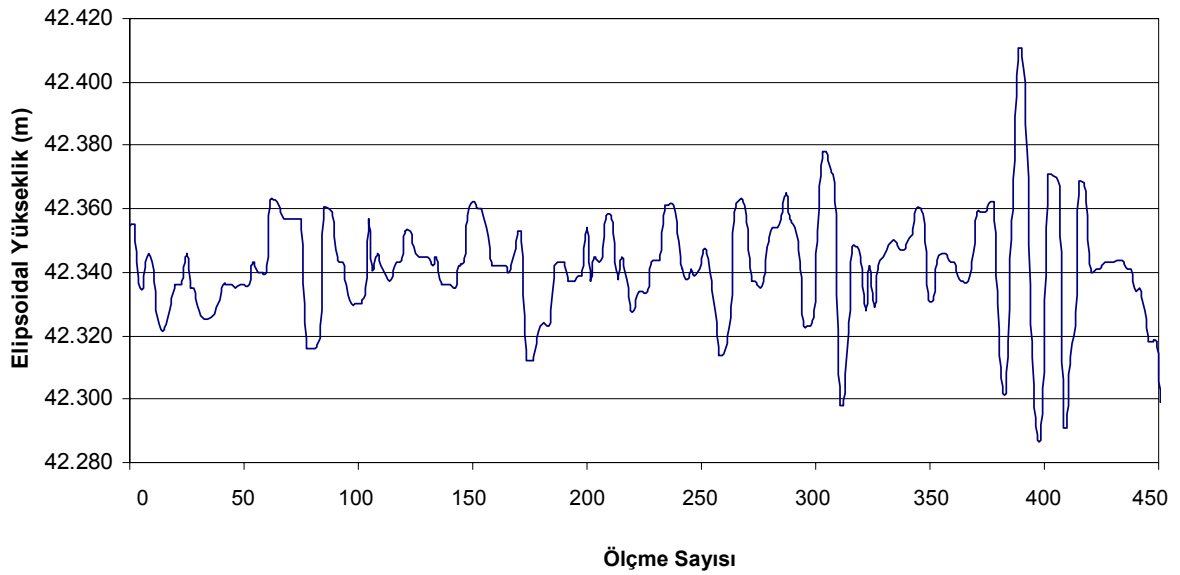
Ölçme teknesinin dinamik draft değerinin belirlenmesi için Şekil 5.29'da görülen güzergahta 3 farklı hızda aynı hattan üç sefer geçilerek ölçmeler yapılmıştır. RTK GPS verileri ile ÇBİ verileri bilgisayara kaydedilmiştir.



Şekil 5.29 Ölçme güzergahı

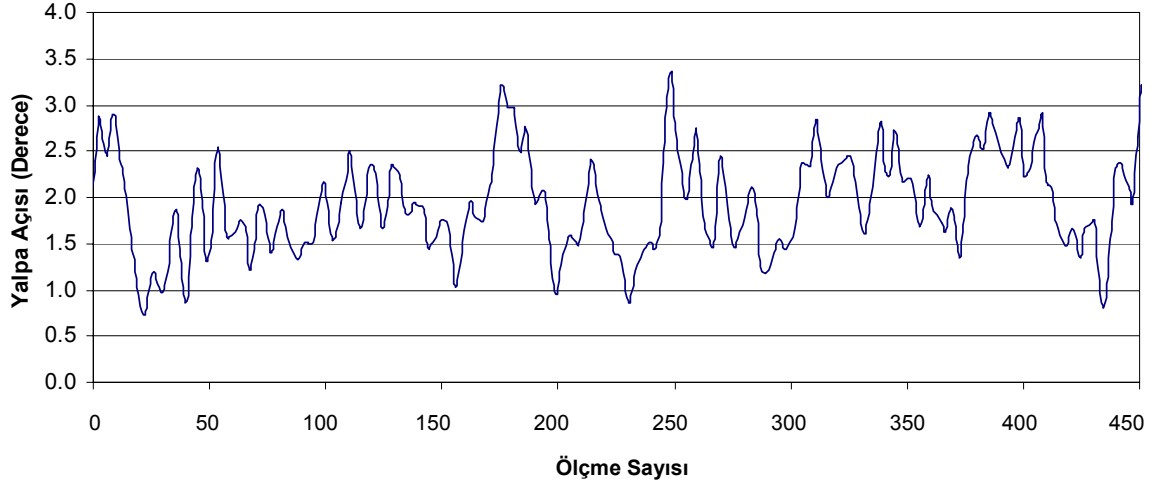
5.3.6.1 Hat Üzerinde 1.Periyod Ölçmeleri

Ölçme teknesiye, Şekil 5.29’ da görülen güzergahta ortalama 4.9 knot (2.52 m/sn) hızla seyir yapılarak veri toplanmıştır. RTK verilerinin kaba hataları median filtreleme yöntemiyle arındırılmıştır. Aşağıdaki hat üzerindeki 1.periyod ölçmelerinden elde edilen elipsoidal yükseklik değerinin değişimi görülmektedir (Şekil 5.30). Bu şekil, ölçme teknesinin suyun hareketlerinden etkilenmediği durumu göstermektedir.

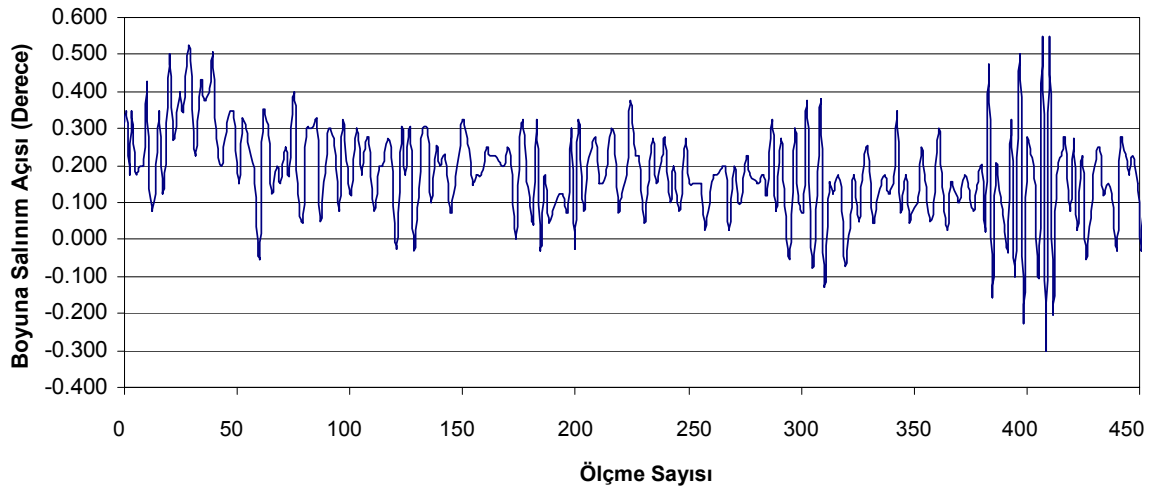


Şekil 5.30 1.Periyod ölçmelerdeki elipsoidal yükseklik verisi

Ölçme teknesi, seyir yaparken suyun hareketlerinden dolayı sağa-sola, yukarı-aşağı hareket etmektedir. Teknenin hareket algılayıcısından alınarak teknenin referans noktasına göre hesaplanmış olan yalpa açısının değerleri Şekil 5.31’ de, boyuna salınım açısının Şekil 5.32’ de görülmektedir.



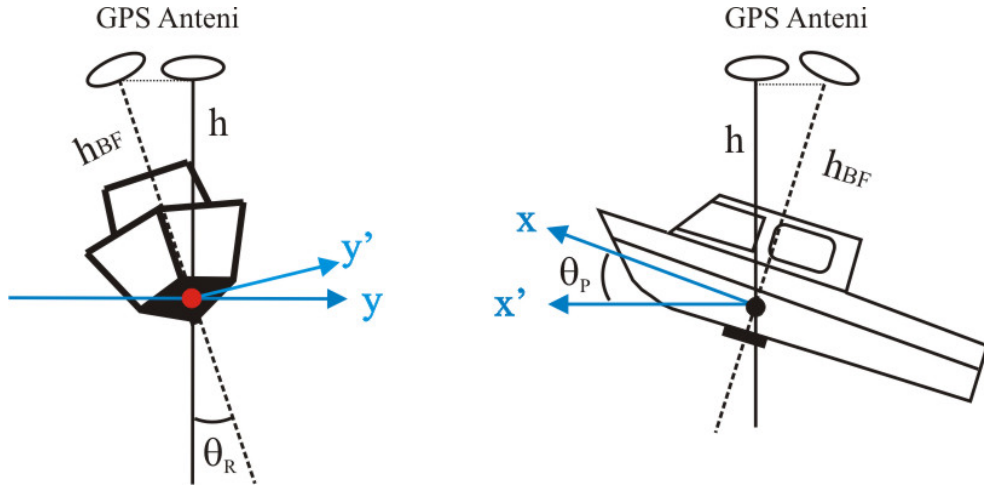
Şekil 5.31 Hareket algılayıcı tarafından ölçülen yalpa açısı



Şekil 5.32 Hareket algılayıcı tarafından ölçülen boyuna salınım açısı

RTK GPS yöntemiyle ölçülen elipsoidal yükseklik değerleri ölçme teknesinin yalpa ve boyuna salınım açılarına göre (5.1) eşitliğinden yararlanılarak düzeltilmiştir (Alkan, 2001). Şekil 5.33’ de yalpa ve boyuna salınım açılarının ölçülen elipsoidal yükseklik değerlerine etkisi görülmektedir.

$$h_{\text{düzeltme}} = h_{BF} - (\sin \theta_P x_{BF} - \cos \theta_P \sin \theta_R y_{BF} + \cos \theta_P \cos \theta_R z_{BF}) \quad (5.1)$$

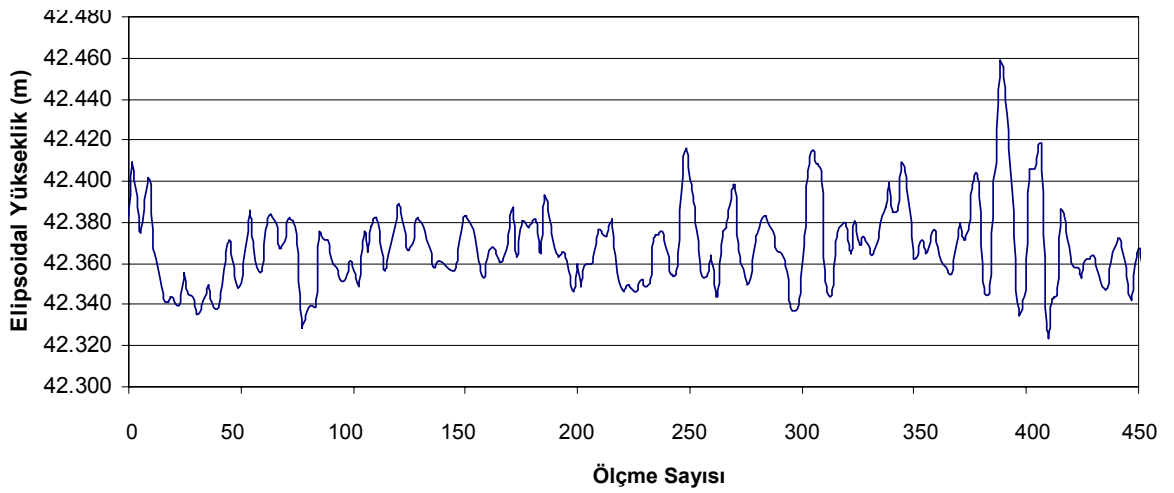


a) Yalpa hareketinin etkisi

b) Boyuna salınım hareketinin etkisi

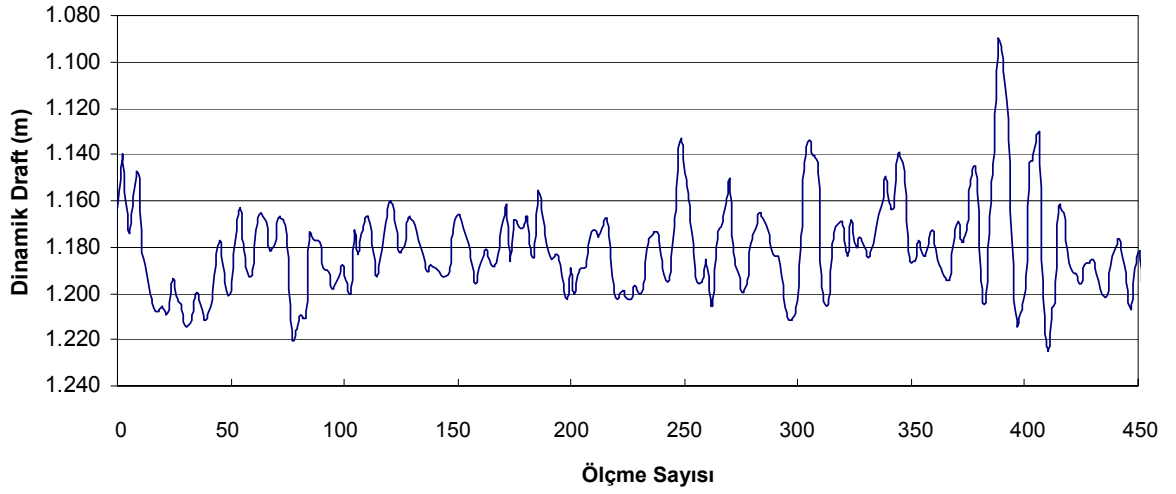
Şekil 5.33 Yalpa ve boyuna salınım hareketinin ölçülen elipsoidal yükseklik değerlerine etkisi

1.Periyod ölçümlerindeki düzeltilmiş elipsoidal yükseklik değerlerine göre aşağıdaki grafik oluşturulmuştur (Şekil 5.34).



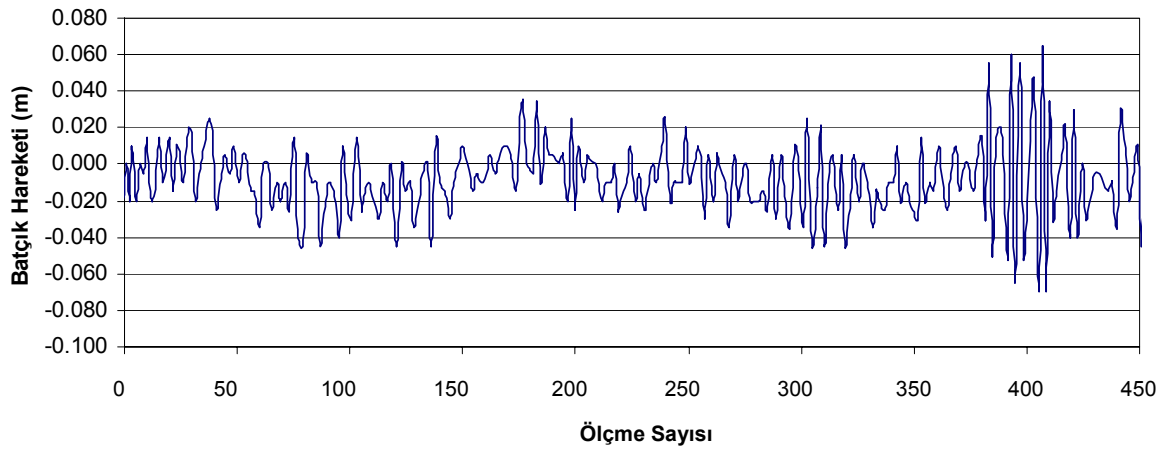
Şekil 5.34 1.Periyod ölçmelerdeki düzeltilmiş elipsoidal yükseklik verisi

Ölçme teknesinin dinamik draft değeri (3.88) eşitliğinden yararlanılarak hesaplanmış ve Şekil 5.35’de gösterilmiştir.

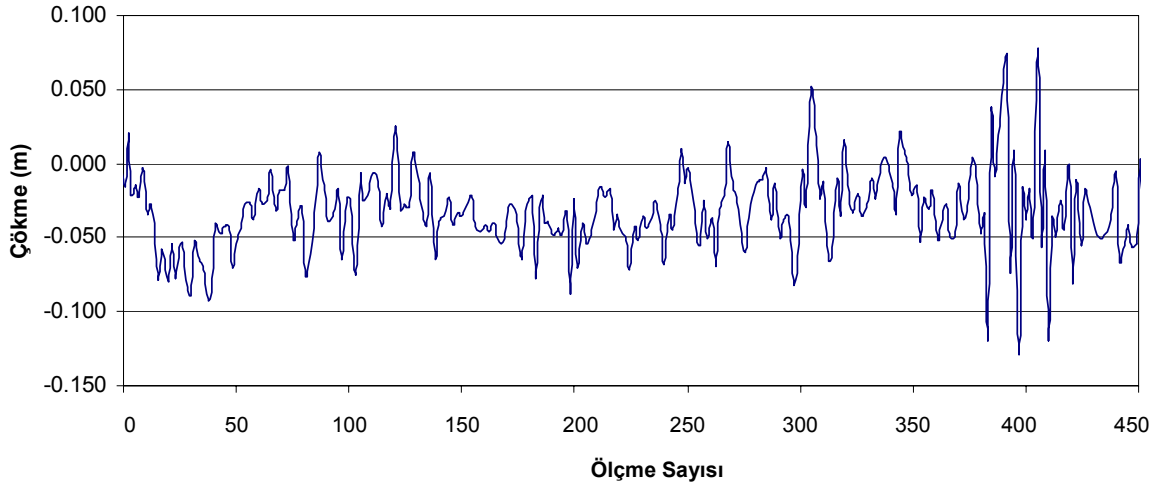


Şekil 5.35 1.Periyod ölçmelerdeki ölçme teknesinin dinamik draftı

Dinamik draft değeri, batçık hareketi, teknenin hızından dolayı çökmesi gibi tüm düşey yöndeki değişimlerini kapsamaktadır. Teknenin hızından dolayı çökme hareketi hesaplayabilmek için, dinamik draft değerinden batçık hareketini çıkarmak gerekmektedir. Batçık hareketi, teknenin hareket algılayıcı aletiyle ölçülmüştür (Şekil 5.36). Ölçme teknesinin 4.9 knot hızı itibariyle çökme miktarı Şekil 5.37’ de görülmektedir.



Şekil 5.36 1.Periyod ölçmelerdeki ölçme teknesinin batçık hareketi



Şekil 5.37 1.Periyod ölçmelerdeki ölçme teknesinin çökme hareketi

Ölçme teknesinin ağırlığından kaynaklanan drafttaki değişim miktarı bir tablo yapılarak hesaplanmıştır. Teknenin ağırlığı 47 tondur. 4.5 ton yakıt tankına sahip olan tekne saatte 65 kg yakıt tüketmektedir. Teknelerin 1 saatte tükettikleri yakıt miktarı bilindiğinde, teknenin ağırlığındaki değişimin başlıca nedeni olan yakıt deposundaki azalmanın, teknenin draftına etkisi belirlenebilmektedir. (3.80) ve (3.81) eşitlikleri düzenlenirse teknenin yakıt tüketimine göre değişen draft değeri hesaplanabilir.

$$\frac{\text{yeni ağırlık}}{\text{eski ağırlık}} = \frac{\text{yeni draft}}{\text{eski draft}} \quad (5.2)$$

Teknenin 1 saatte tükettiği yakıtı göre (5.2) eşitliğiyle draft değerindeki değişim hesaplanmıştır. Yakıt miktarı azaldıkça tekne hafifleyecek dolayısıyla draftı azalacaktır.

$$\frac{46935}{47000} = \frac{\text{yeni draft}}{1.140} \quad (5.3)$$

(5.3) eşitliğinde teknenin 1 saatte tükettiği 65 kg yakıt teknenin ağırlığından düşülerek, teknenin yeni ağırlığı 46935 kg olarak belirlenmiş ve bu değerlere göre yeni draft değeri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar Çizelge 5.12’de gösterilmiştir.

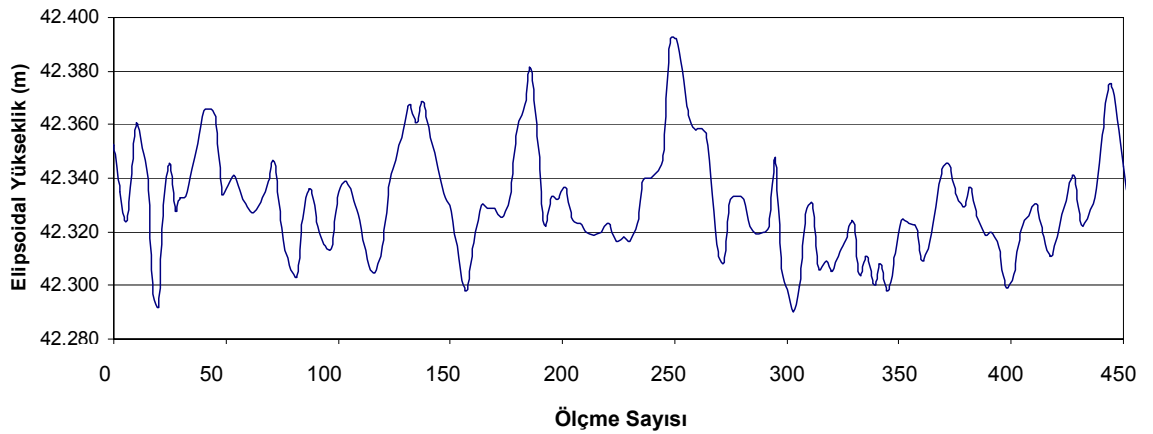
Çizelge 5.12’den anlaşılacağı üzere, 1 saat ölçüm süresince teknenin ağırlığına bağlı olarak ölçme teknesinin draftındaki değişim miktarı 2-3 mm kadardır.

Çizelge 5.12 Teknenin ağırlığındaki değişimin draftta etkisi

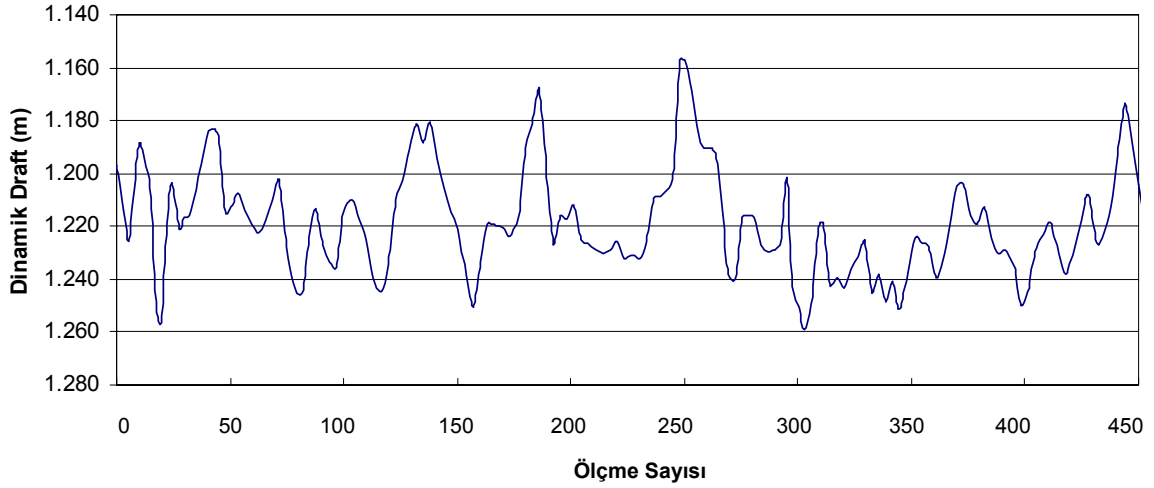
Zaman (sa)	Ağırlık (kg)	Draft (m)	Değişim Miktarı (m)
0	47000	1.140	0.000
1	46935	1.138	0.002
2	46870	1.137	0.003
3	46805	1.135	0.005
4	46740	1.134	0.006
5	46675	1.132	0.008
6	46610	1.131	0.009
7	46545	1.129	0.011
8	46480	1.127	0.013
9	46415	1.126	0.014
10	46350	1.124	0.016
11	46285	1.123	0.017
12	46220	1.121	0.019
13	46155	1.120	0.020
14	46090	1.118	0.022
15	46025	1.116	0.024
16	45960	1.115	0.025
17	45895	1.113	0.027
18	45830	1.112	0.028
19	45765	1.110	0.030
20	45700	1.108	0.032
21	45635	1.107	0.033
22	45570	1.105	0.035
23	45505	1.104	0.036
24	45440	1.102	0.038

5.3.6.2 Hat Üzerinde 2.Periyod Ölçmeleri

Ölçme teknesi ile bu kez hat üzerinde 8 knot (4.12 m/sn) hızla 2.Periyod ölçmeleri yapılmıştır. Yukarıdaki bölümde detaylı olarak açıklanan işlemler yapılarak ölçme teknesinin hızındaki değişimin teknenin dinamik draftına etkisi ve teknenin dinamik draft değerleri hesaplanmış ve aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir (Şekil 5.38; Şekil 5.39).

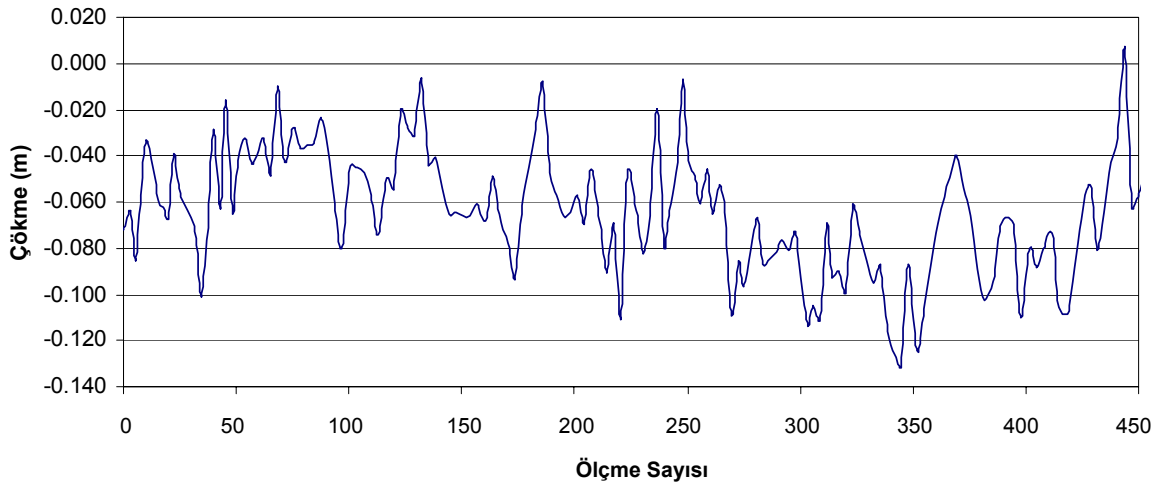


Şekil 5.38 2.Periyod ölçmelerdeki düzeltilmiş elipsoid yükseklik verisi



Şekil 5.39 2.Periyod ölçmelerdeki ölçme teknesinin dinamik draftı

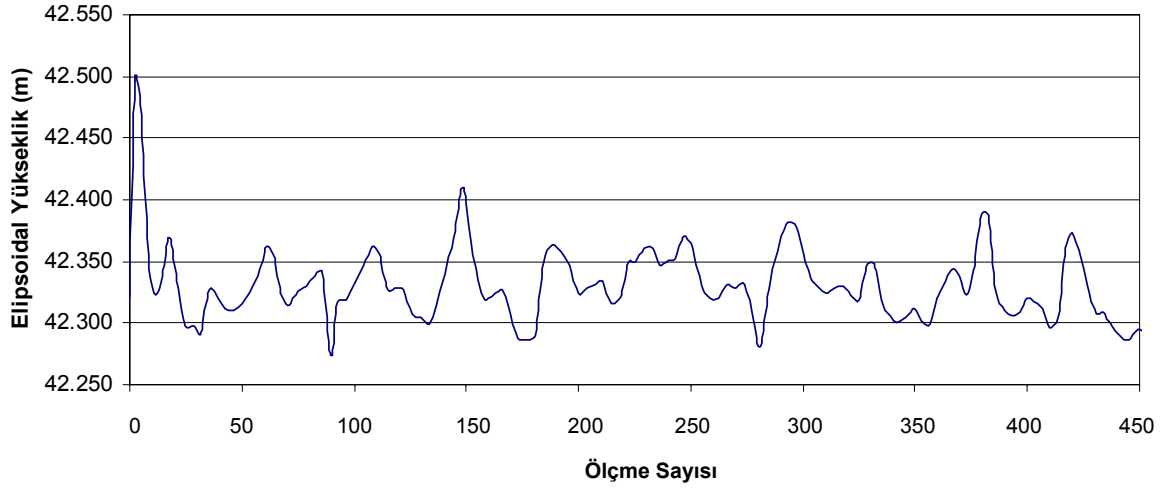
Ölçme teknesinin hızına bağlı olarak çökme miktarı Şekil 5.40’da görülmektedir.



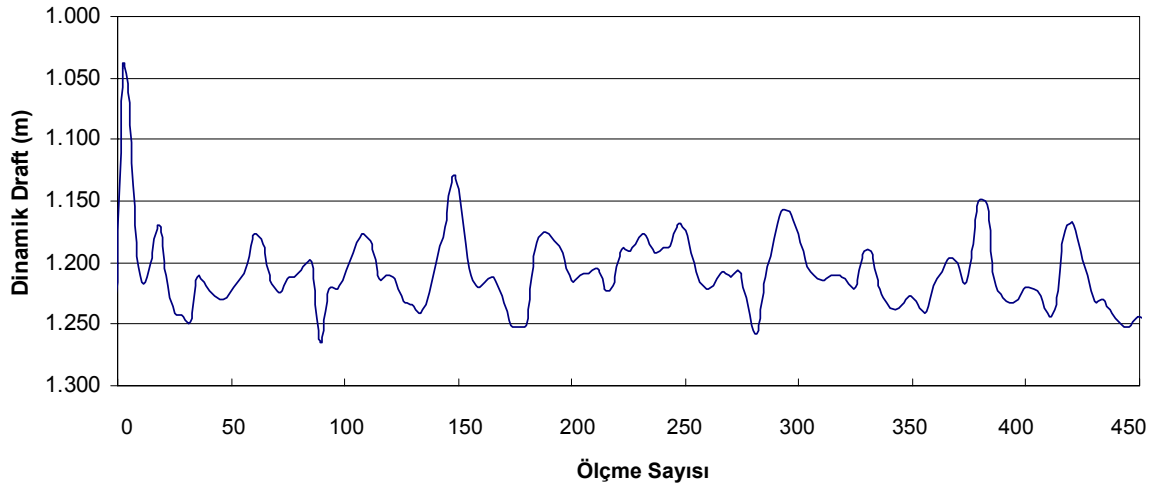
Şekil 5.40 2.Periyod ölçmelerdeki ölçme teknesinin çökme hareketi

5.3.6.3 Hat Üzerinde 3.Periyod Ölçmeleri

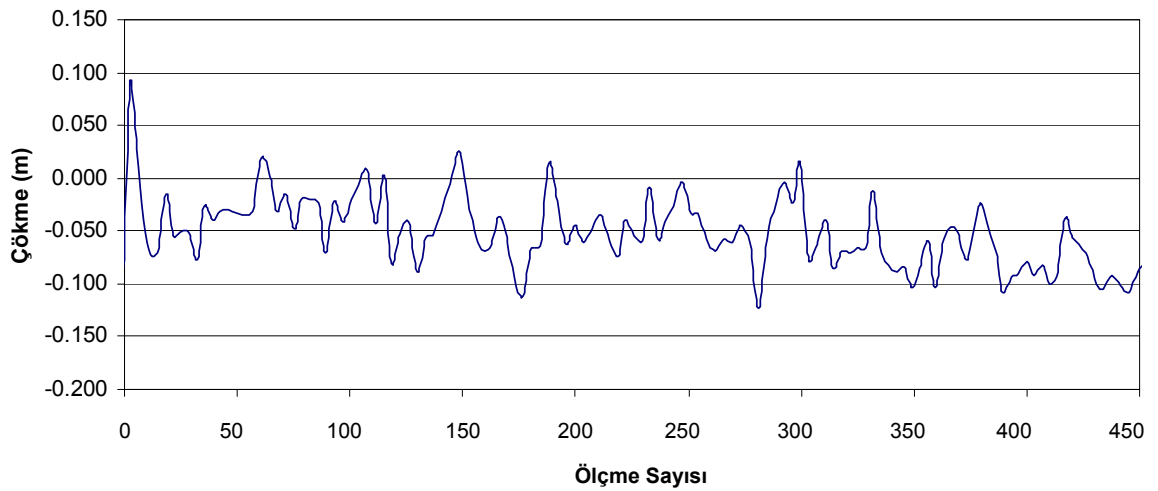
Ölçme teknesi ile aynı hat üzerinden ortalama 9.8 knot (5.04 m/sn) hızla seyir yapılarak veri toplanmıştır. Toplanan veriler analiz edilerek teknenin dinamik draft değeri ile çökme değerleri hesaplanmış, aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



Şekil 5.41 3.Periyod ölçmelerdeki düzeltilmiş elipsoidal yükseklik verisi



Şekil 5.42 3.Periyod ölçmelerdeki ölçme teknesinin dinamik draftı

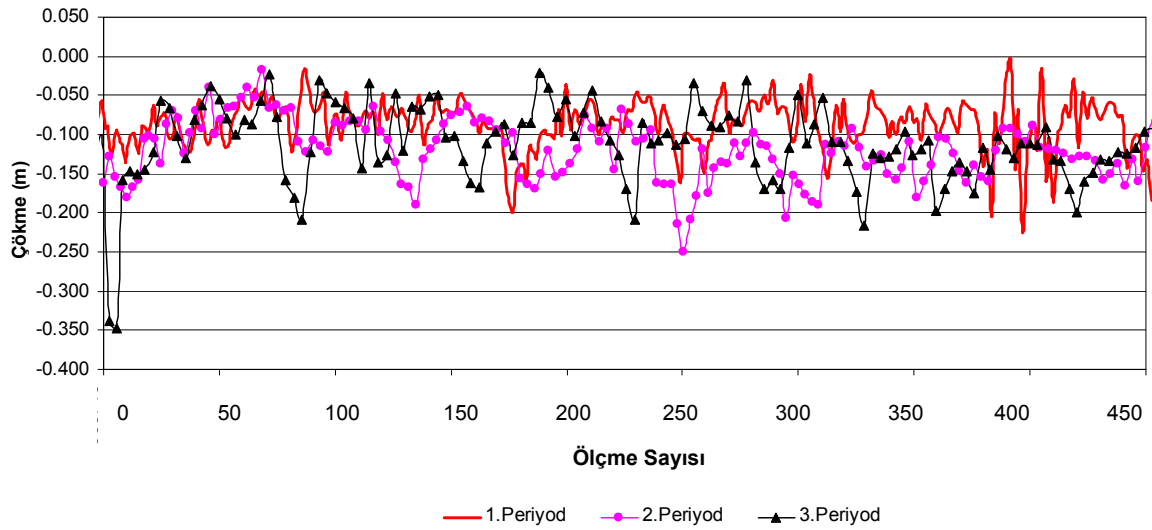


Şekil 5.43 3.Periyod ölçmelerdeki ölçme teknesinin çökme hareketi

5.3.6.4 Hat Üzerinde Yapılan Periyod Ölçümlerinin Karşılaştırılması

Ölçme teknesinin hızından dolayı çökmesi ve ağırlığından dolayı batması veya yükselmesi gibi teknenin düşey yöndeki hareketlerini direk olarak etkileyen, batçık kompensatörleri veya hareket algılayıcılar ile tespit edilemeyen bu hareketlerin belirlenmesi sığ sularda yapılan hassas hidrografik ölçmeler açısından büyük önem taşımaktadır.

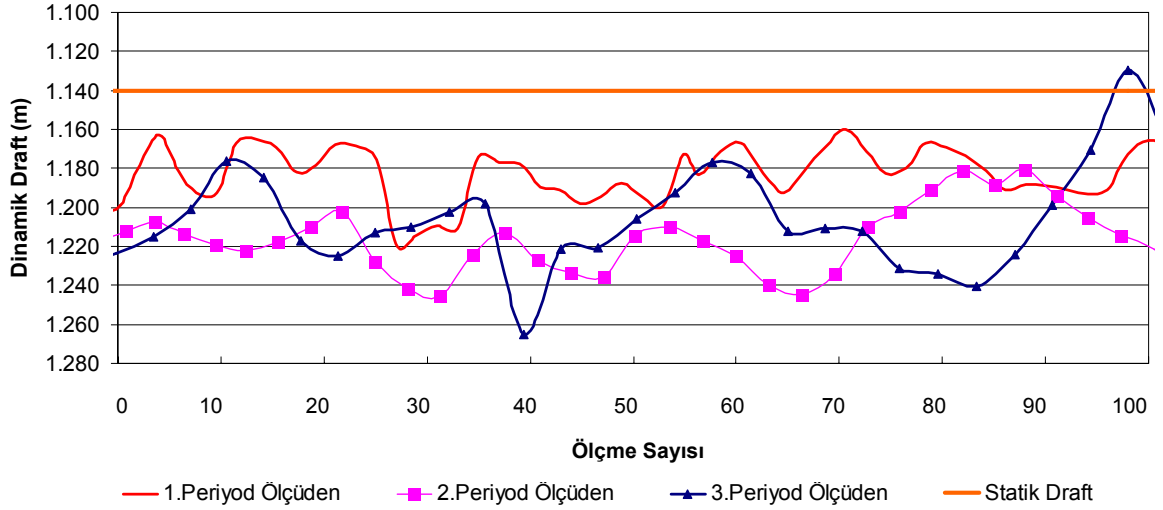
Aynı hat üzerinden farklı hız kademelerinde geçiş yapılarak toplanan verilerle aşağıdaki grafikler elde edilmiştir.



Şekil 5.44 Ölçme teknesinin çökmesi

Yukarıdaki şekilde ölçme teknesinin aynı hatta 5, 8 ve 9.8 knot hızlarında yaptığı üç periyod ölçüm için çökme değerleri görülmektedir. Kırmızı ile gösterilen teknenin en yavaş seyir yaptığı hattır. Şekil 5.44'den anlaşılabacağı üzere teknenin hızı düşükken çökme miktarı da az olmaktadır. Ölçme teknesi yavaş süratle veri toplarken ortalama çökme değeri 2.8 cm iken, 8 knot hızda bu değer 6.5 cm, 9.8 knot hızda 5.5 cm'dir.

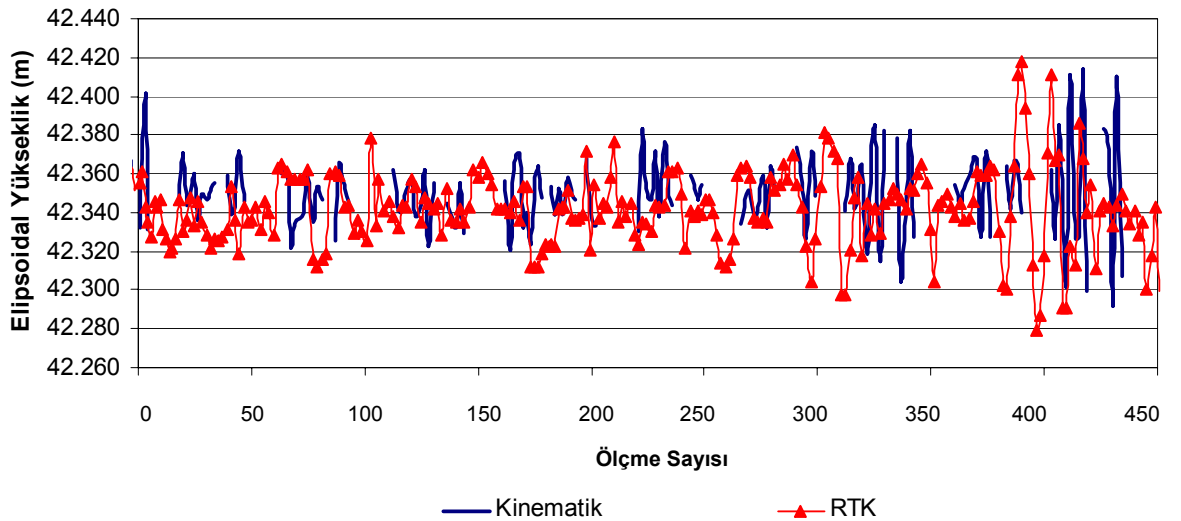
Kısa süreli ölçülerde ölçme teknesinin ağırlığının derinlik değerlerine etkisi azdır. Sığ sularda yapılan hassas ölçmeler için Çizelge 5.12' deki veriler dikkate alınarak derinlik değerlerine düzeltme getirilmelidir. Şekil 5.45'de ölçme teknesinin 1.14 metre olarak belirlenen statik draftı ile dinamik draft değerleri görülmektedir.



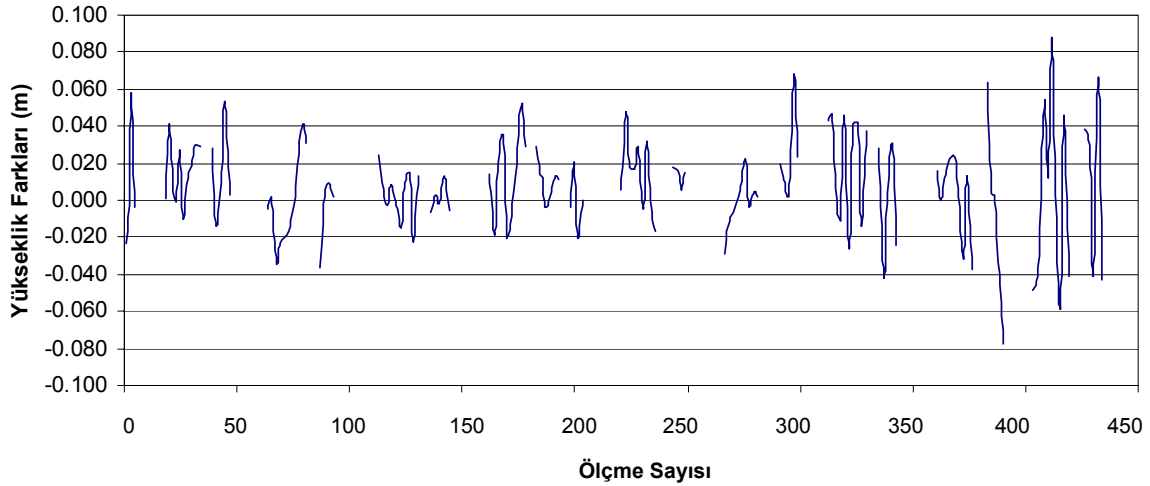
Şekil 5.45 Ölçme teknesinin statik ve dinamik draftı

5.3.6.5 Sonradan Kinematik Değerlendirme

Ölçmeler sırasında gerçek zamanlı veri toplanırken aynı anda da alıcılara da veri kaydı yapılmıştır. Birinci periyod ölçmelerinde kaydedilen bu veriler 1 sn'lik epoklarda RTK GPS ölçmeleri için referan seçilen N.100 noktasına göre değerlendirilmiştir. RTK GPS ile kaydedilen veriler, kinematik değerlendirme sonucunda hesaplananlar ile karşılaştırılmıştır (Şekil 5.46).



Şekil 5.46 Kinematik değerlendirme



Şekil 5.47 RTK ve Kinematik değerlendirme farkları

RTK ile kinematik değerlendirme sonrasında hesaplanan yükseklik farkları Şekil 5.47’de görülmektedir. Yukarıdaki şekildeki veri kesikliği değerlendirme sonrasındaki bazı yükseklik değerlerinin uygun olmamasından kaynaklanmaktadır. Değerlendirme aşamasında bazı vektörlerinden bazıları çözülmemiş veya çözülmüş olup standart sapmaları büyük çıkmıştır. Bu sebeplerden dolayı bu değerler karşılaştırmaya dahil edilmemiştir.

Yukarıdaki şekilden de anlaşılacağı üzere, gerçek zamanlı toplanan veriler ile kinematik değerlendirme sonrasında elde edilen elipsoidal yükseklik değerleri arasında 350 ölçüye kadar ± 3 cm fark olduğu görülmektedir. RTK GPS’ in düşey konum doğruluğu $2 \text{ cm} \pm 1 \text{ ppm}$ ’dir. Bu sebeple 3 cm yükseklik farkının RTK GPS’ in düşeyde konum belirleme doğruluğu içinde kaldığı söylenebilir.

5.4 ÇBİ Ölçmelerinde Derinlik Doğruluğunun Hesaplanması

(3.4.2.6) Bölümünde ÇBİ ölçmeleri için açıklanan hata kaynaklarına bağlı olarak, ölçülen bir derinlik değerinin doğruluğu aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$\sigma_d = \sqrt{\sigma_{dc}^2 + \sigma_{h(hareket)}^2 + \sigma_T^2 + \sigma_{gelgit}^2 + \sigma_{tespit}^2} \quad (5.4)$$

5.4.1 Ses Hızı Profilineki Eğim Değişimine Bağlı Derinlik Doğruluğu

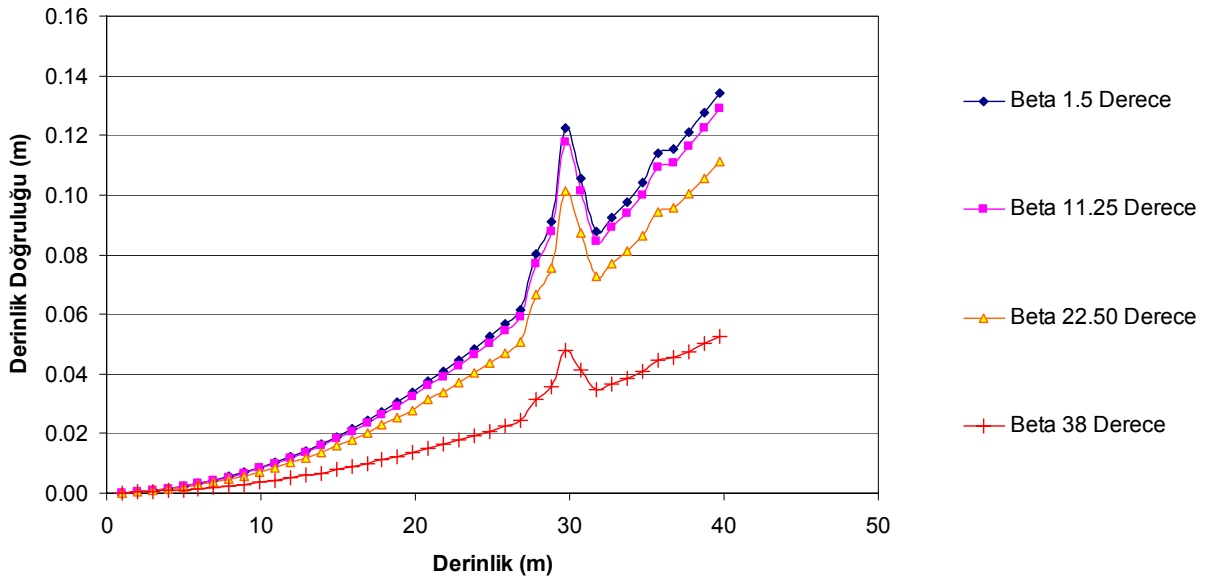
Ses hızı profilleri arasındaki eğim değişiminin derinliğe olan etkisi (3.65) eşitliği ile belirlenmekte olup, bu eşitlikte yer alan birim gönderme açıları kullanılan ÇBİ sisteminin

teknik özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Sea Beam 1185/1180/1055/1050 ÇBİ sistemlerinde β bım gönderme açısı 0 dereceden 76 dereceye kadar değişmektedir (Elac, 1999). Transdüser 38 derece ile V şeklinde monteli olduğundan teknenin sancak ve iskele tarafında açılar benzer şekildedir.

(3.59) eşitliği eğim değişimine bağlı olarak hata yayılma kuralı uygulandığında, (5.5) eşitliği elde edilir.

$$\sigma_g^2 = \left(\frac{1}{\Delta d} \right)^2 \sigma_c^2 + \left(\frac{-\Delta c}{(\Delta d)^2} \right)^2 \sigma_d^2 \quad (5.5)$$

Hesaplamalarda transdüser seviyesindeki ses hızı $c_0 = 1482.79 \text{ m/sn}$ olarak kullanılmıştır. Ölçü yapılan su ortamına göre değişiklik gösteren bu değer ses hızı profili ölçen bir alet ile transdüser derinliğinde hesaplanabilir. Bu eşitlikte σ_c ses hızı doğruluğu, σ_d ses hızı profilleri arasındaki derinliğin ölçüm doğruluğudur. Ölçmelerde kullanılan aletler için $\sigma_c = 0.25 \text{ m/sn}$ ve $\sigma_d = (0.10 + \%0.2 \cdot d)$ metredir. Ses hızı profilindeki eğim değişimine bağlı derinlik doğruluğu $\sigma_{dc(\text{profil})}$ farklı bım gönderme açılarına göre Şekil 5.48'deki gibi hesaplanmıştır.



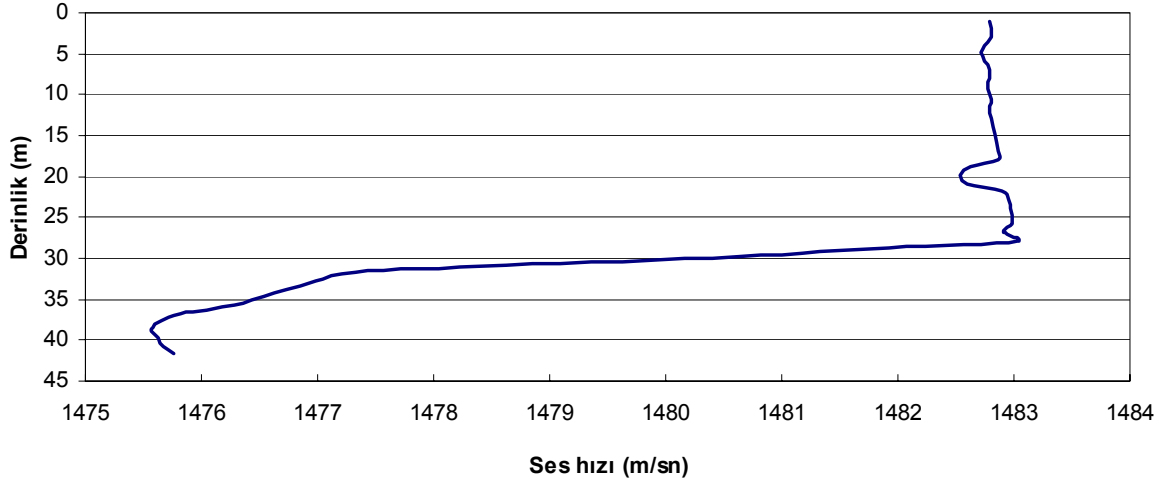
Şekil 5.48 Ses profilindeki eğim değişimine ve ses hızına bağlı derinlik doğruluğu

Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi en geniş bim gönderme açısı ($\beta = 38^\circ$) ile yapılan ölçmelerde derinlik doğruluğu 0 ile 6 cm arasında kalmakta, bim gönderme açısı küçüldükçe ses hızı profilindeki eğim değişimine bağlı derinlik doğruluğu artmaktadır.

Çizelge 5.13 Suyun fiziksel özelliklerine göre hesaplanan ses hızı değeri

Basınç (dbar)	Sıcaklık (°C)	Tuzluluk (ppt)	Derinlik (m)	Ses Hızı (m/sn)
1	14.3750	16.1931	0.9900	1482.79
2	14.3732	16.1982	1.9840	1482.80
3	14.3726	16.1995	2.9770	1482.81
4	14.3425	16.2173	3.9690	1482.75
5	14.3273	16.2256	4.9620	1482.72
6	14.3300	16.2238	5.9540	1482.74
7	14.3378	16.2237	6.9470	1482.79
8	14.3321	16.2273	7.9370	1482.79
9	14.3207	16.2384	8.9310	1482.78
10	14.3177	16.2421	9.9240	1482.79
11	14.3133	16.2463	10.9150	1482.80
12	14.3039	16.2514	11.9070	1482.79
13	14.3006	16.2545	12.9000	1482.80
14	14.3019	16.2532	13.8920	1482.82
15	14.3028	16.2569	14.8850	1482.84
16	14.2982	16.2631	15.8760	1482.85
17	14.2959	16.2676	16.8680	1482.86
18	14.2798	16.3074	17.8600	1482.86
19	14.1853	16.3628	18.8540	1482.63
20	14.1479	16.3781	19.8450	1482.54
21	14.1673	16.3456	20.8390	1482.59
22	14.2723	16.2983	21.8310	1482.90
23	14.2881	16.2880	22.8230	1482.96
24	14.2903	16.2805	23.8150	1482.97
25	14.2899	16.2802	24.8070	1482.99
26	14.2845	16.2839	25.7990	1482.99
27	14.2496	16.3028	26.7920	1482.91
28	14.2786	16.3158	27.7840	1483.03
29	13.8513	16.5936	28.7750	1481.92
30	13.3705	16.8919	29.7680	1480.62
31	12.6665	17.2946	30.7600	1478.63
32	12.2201	17.5243	31.7520	1477.33
33	12.0968	17.5836	32.7450	1476.98
34	11.9843	17.7005	33.7360	1476.73
35	11.9186	17.7139	34.7290	1476.53
36	11.8441	17.7143	35.7200	1476.28
37	11.6839	17.8047	36.7120	1475.82
38	11.6059	17.8831	37.7050	1475.65
39	11.5626	17.9250	38.6980	1475.56
40	11.5729	17.9447	39.6900	1475.63

Şekil 5.48'deki ani sıçramaların sebeplerini belirleyebilmek için, ölçme bölgesinde CTD aletiyle toplanmış olan veriler incelenmiştir. Çizelge 5.13' de suyun fiziksel özelliklerine göre (3.2) Chen&Millero eşitliğinden yararlanılarak hesaplanan ses hızı değerleri görülmektedir. Ses hızının derinliğe göre değişimi Şekil 5.49' da görülmektedir.



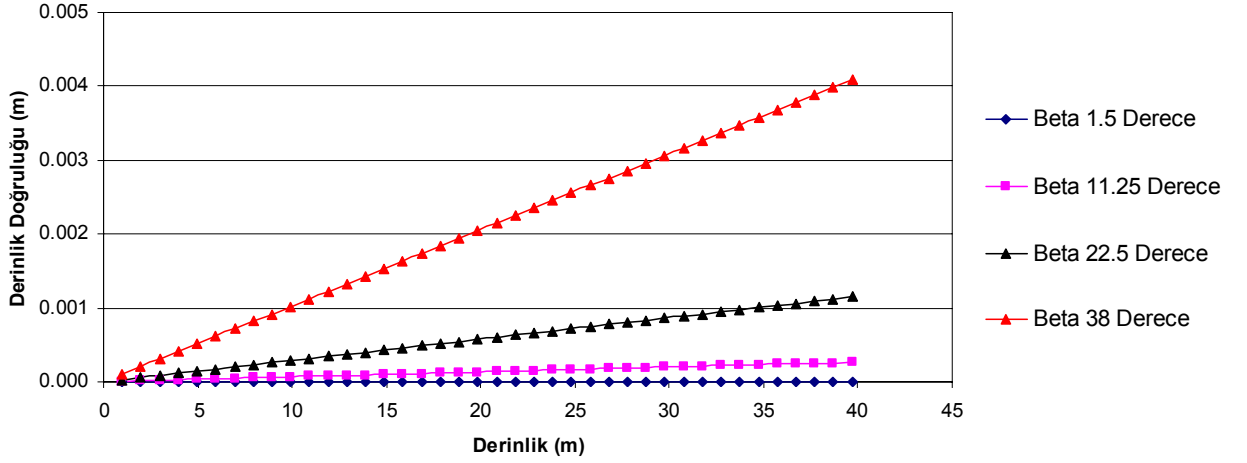
Şekil 5.49 Ses hızının derinliğe göre değişimi

Yukardaki şekilden anlaşılabacağı üzere, ses hızı 25-30 m derinlikte ani olarak değişmekte ve ortalama 1483 m/sn den 1476 m/sn'ye düşmektedir. Ses hızını etkileyen en önemli faktör sıcaklık değişimidir. Bölüm (5.2.1)' de detaylı olarak açıklandığı gibi sıcaklıktaki 1°C' lik değişim ses hızında yaklaşık 4.5 m/sn'lik bir farka yol açmaktadır. Çizelge 5.13 incelendiğinde 30 m derinlikte 13.3705 °C olan sıcaklık değeri düşerek ses hızında ani bir değişime yol açmıştır.

Ses hızı profilindeki eğim değişimi doğruluğu (3.88) eşitliğinde görüldüğü üzere σ_d ' e bağlı olduğundan, derinlik ölçme doğruluğu ses hızına bağlı derinlik doğruluğunun hesaplanmasında önem taşımaktadır.

5.4.2 Transdüserin Yüzündeki Ses Hızı Değişimine Bağlı Derinlik Doğruluğu

Transdüser yüzündeki ses hızı değişiminin derinliğe etkisini (3.69) eşitliği ile hesaplamak mümkündür. Bu eşitlikte bim gönderme açısı ile derinlik değeri değişken olup, $c_0 = 1482.79 \text{ m/sn}$ ve $\sigma_c = 0.25 \text{ m/sn}$ olarak alınmıştır (Şekil 5.50).

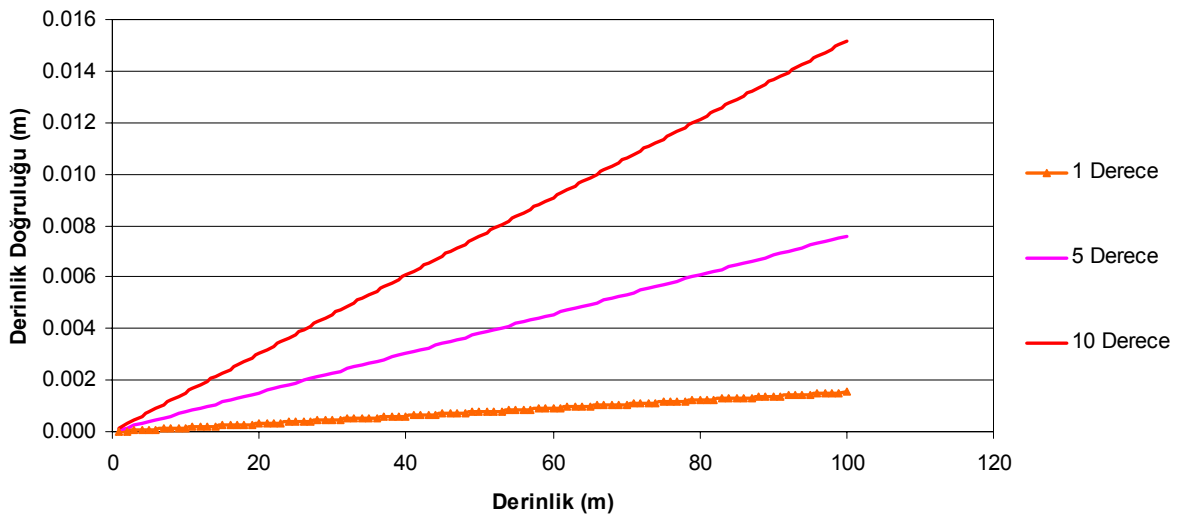


Şekil 5.50 Transdüser yüzündeki ses hızı değişimine bağlı derinlik doğruluğu

Şekil 5.50 den anlaşılabileceği üzere transdüser yüzündeki ses hızı değişiminin derinliğe etkisi 1 santimetreden az olmaktadır.

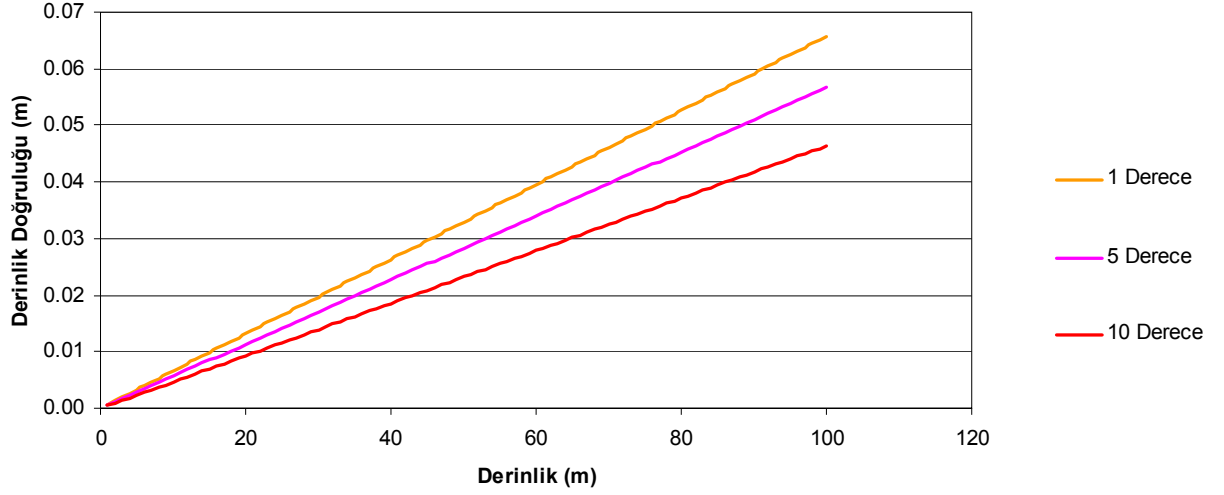
5.4.3 Ölçme Teknesinin Yalpa, Boyuna Salınım ve Batçık Hareketlerine Bağlı Derinlik Doğruluğu

Ölçme teknesinin yalpa ve boyuna salınım açılarına bağlı derinlik doğruluğu (3.74) ve (3.75) eşitliklerinde ifade edilmişti. Tekne ölçme yaparken 1, 5 ve 10 derecelik açılarla boyuna salınım yaptığında, hesaplanan derinlik doğruluğu aşağıdaki gibidir (Şekil 5.51). Boyuna salınım açısına bağlı derinlik doğruluğu bim gönderme açısından bağımsızdır.



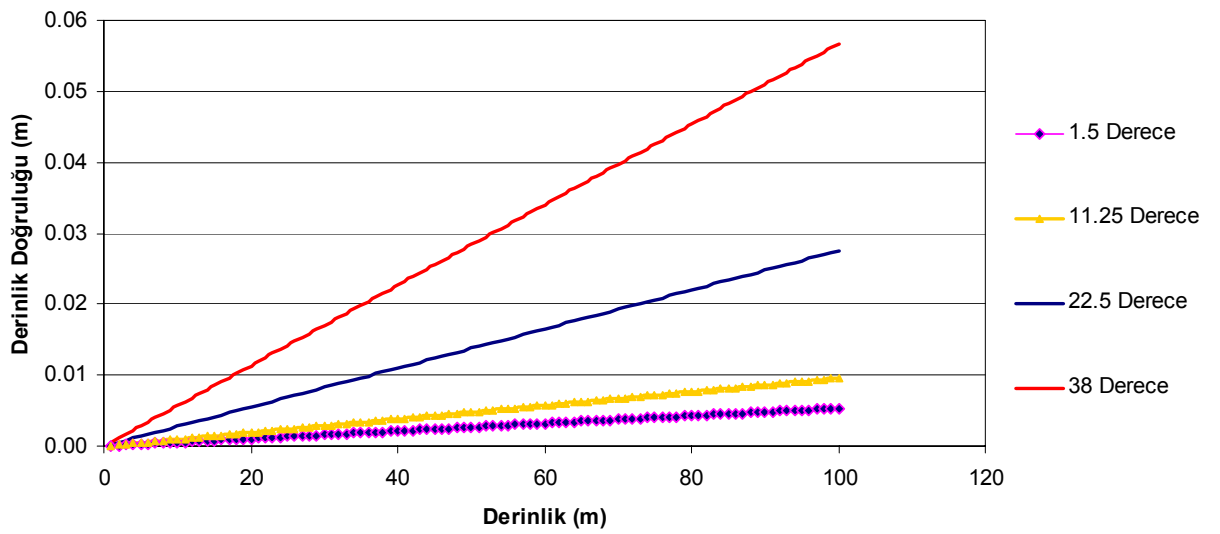
Şekil 5.51 Boyuna salınım açısının derinlik doğruluğuna etkisi ($\sigma_{d\theta P}$)

Ölçme teknesi 1, 5 ve 10 derecelik yalpa hareketi yaptığında, 38 derece bim gönderme açısıyla yapılan çalışmalarda derinlik doğruluğunu maksimum 6.5 cm etkilediği görülmektedir (Şekil 5.52). Yalpa açısının artmasıyla derinlik doğruluğunun azalması (3.74) eşitliğindeki tanjantlı terim nedeniyledir.



Şekil 5.52 Yalpa açısının derinlik doğruluğuna etkisi ($\sigma_{d\theta_R}$)

Ölçme teknesiyle 1.5°, 11.25°, 22.5° ve 38°' lik bim gönderme açılarında yapılan ÇBİ çalışmalarında, teknenin 5° yalpa hareketi yaptığındaki derinlik doğruluğu Şekil 5.53' de görülmektedir.

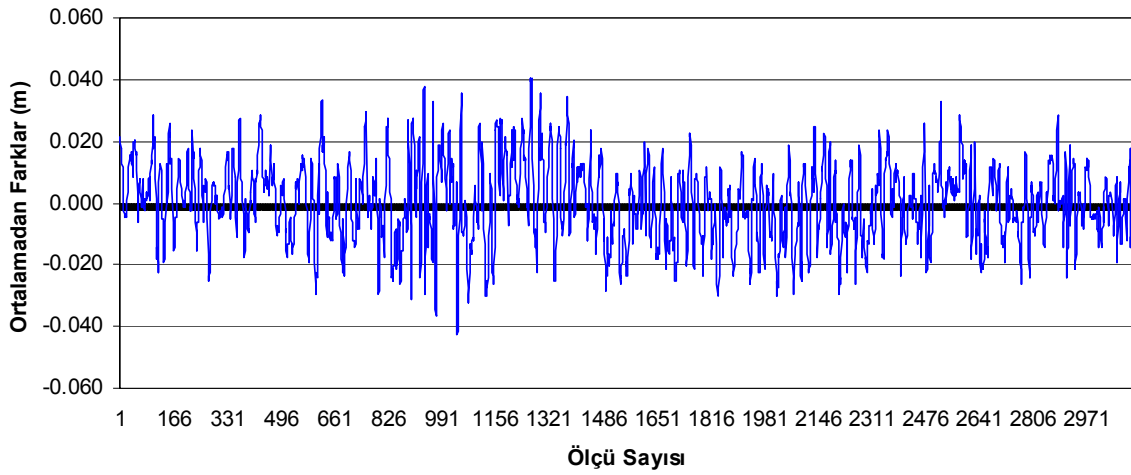


Şekil 5.53 Farklı bim gönderme açılarındaki 5°'lik yalpa açısının derinlik doğruluğuna etkisi

Batçık hareketine bağlı derinlik doğruluğu, ölçmelerde kullanılan Elac Hydrostar hareket algılayıcının batçık belirleme doğruluğuna eşit olup ($\sigma_{h\delta}$) ± 5 cm'dir.

5.4.4 Ölçme teknesinin Draftına, Çökmesine ve Oturmasına Bağlı Derinlik Doğruluğu

Ölçme teknesinin statik draft belirleme doğruluğunun derinliğe etkisini hesaplamak için teknenin draft ölçme doğruluğunu belirlemek gerekmektedir. Ölçme teknesinin statik draftı, tekne üzerinde belirgin bir noktaya yerleştirilen RTK GPS yöntemiyle belirlenmiştir. Ölçmelerde kullanılan Thales Z-Max RTK GPS alıcılarıyla yükseklik belirlemedeki düşey doğruluk değeri $0.02 \text{ m} + 1 \text{ ppm}$ 'dir (Thales, 2006). Şekil 5.54'de ölçme teknesinin statik draft belirleme hatası görülmektedir. Ortalamadan maksimum farklar ± 4 cm kadardır.



Şekil 5.54 Ölçme teknesinin statik draft belirleme doğruluğu

Ölçme teknesinin çökmesi suyun yoğunluğuna ve teknenin hızına göre değişim göstermektedir. (3.82) eşitliğiyle normal seyir yollarında teknenin bazı özelliklerine göre çökme miktarı belirlenebilmektedir. RTK GPS yöntemi kullanılarak teknenin çökme miktarı hesaplanmıştır. Ölçme teknesinin 5 knot süratte çökme hatası ortalama 2.8 cm, 8 knot süratte 6.4 cm ve 10 knot süratte 5.5 cm'dir (Bölüm 5.3.6.4). Teknenin oturma hatası maksimum 3.8 cm olarak belirlenmiştir (Çizelge 5.12). (3.79) eşitliğiyle ölçme teknesinin draftına, çökmesine ve oturmasına bağlı toplam derinlik doğruluğu değeri 5 knot için 6.2 cm 10 knot için 7.8 cm olarak hesaplanmıştır.

5.4.5 Gelgite Bağlı Derinlik Doğruluğu

Çok bimli iskandil sistemleri kullanılarak yapılan derinlik ölçmelerinde bir ölçümün derinlik doğruluğunun hesaplanmasında yukarıda açıklanan hataların yanında gelgit belirleme doğruluğu ile ÇBİ sisteminin cisim tespit doğruluğunun da hesaplanması gerekmektedir.

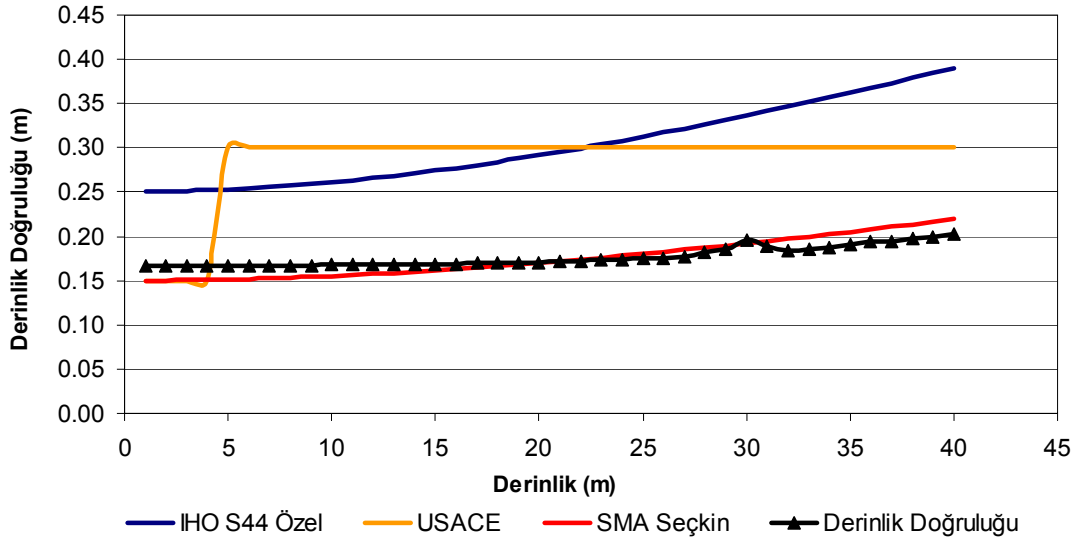
Gelgit belirleme doğruluğu portatif bir mareograf istasyonu kullanıldığında σ_{gelgit} 1 cm'dir. Mareograf yerine eşel ile su seviyesi ölçülüyorsa σ_{gelgit} 2.5 cm (Hare, vd., 1995) olarak alınabilir. Elac 1180 ÇBİ sisteminin cisim tespit doğruluğu tespit edilemediğinden hesaplamalarda dikkate alınmamıştır.

5.4.6 Toplam Derinlik Doğruluğu

Bir derinlik değerinin toplam derinlik doğruluğu %68'lik (1σ) güven aralığındaki derinlik doğruluğudur. Hidrografik ölçme standartlarında %95'lik (2σ) güven aralığındaki doğruluk değeri esas alınmaktadır (IHO, 2005). Elac Seabeam 1180 ÇBİ sistemi ile yapılan hidrografik ölçmede derinlik doğruluğu Çizelge 5.14' de verilen değerlere göre hesaplanmış ve Şekil 5.55'de gösterilmiştir.

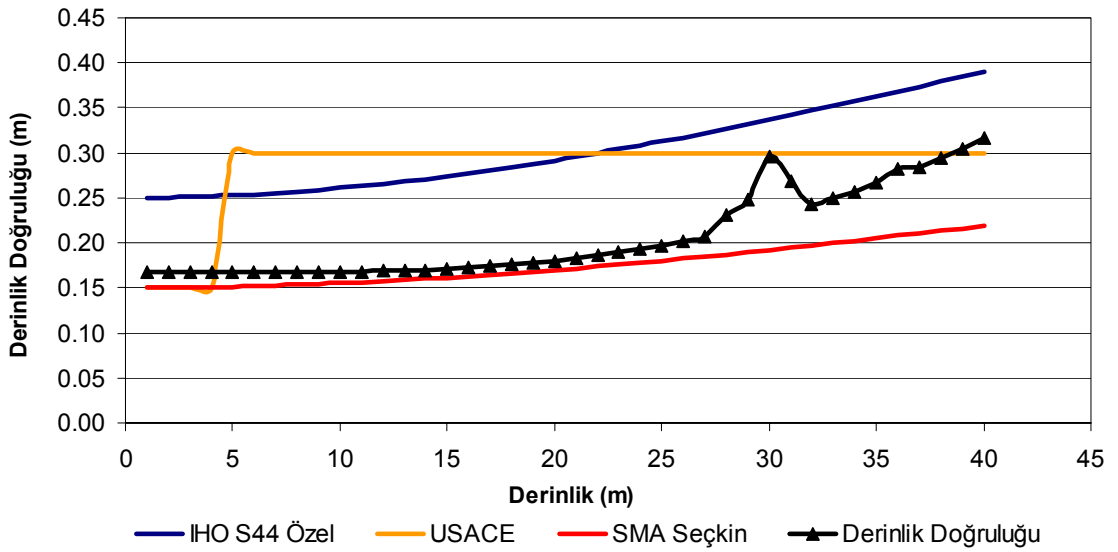
Çizelge 5.14 Toplam derinlik doğruluğunun hesaplanmasında kullanılan örnek değerler

Tekne hızı	5 knot
Bim gönderme açısı (β)	38°
Transdüser seviyesindeki ses hızı (c_0)	1482.79 m/sn
Ses hızı belirleme doğruluğu	0.25 m/sn
Derinlik ölçme doğruluğu	0.10+0.2*d
Yalpa/Boyuna salınım açısı	5°
Yalpa/Boyuna salınım açısı varyansı	0.05°
Batçık doğruluğu	5 cm
Draft/Çökme/Oturma doğruluğu	6.2 cm
Gelgit ölçme doğruluğu	2.5 cm



Şekil 5.55 ÇBİ ile yapılan geniş bim açılı ölçmelerde derinlik doğruluğu (2σ)

Çizelge 5.14' deki verilerde bim gönderme açısı 1.5 dereceye düşürüldüğünde toplam derinlik doğruluğu Şekil 5.56' da görülmektedir.



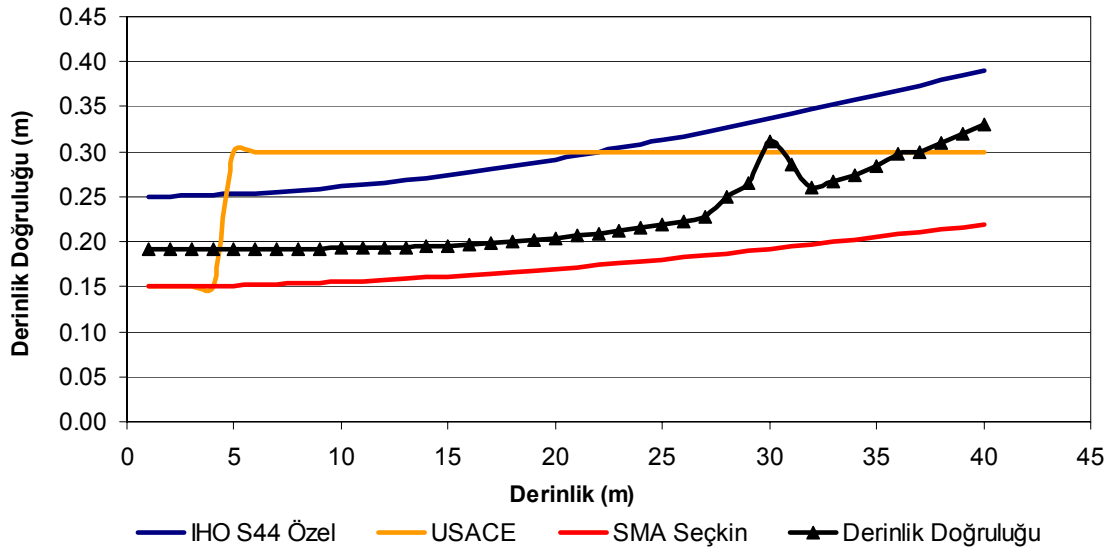
Şekil 5.56 ÇBİ ile 5 knot hızla yapılan dar bim açılı ölçmelerde derinlik doğruluğu (2σ)

Çizelge 5.14'deki değerlere göre oluşturulan Şekil 5.55 ve Şekil 5.56' dan anlaşılacağı üzere, dar bim açılı ölçmelerde ses hızının derinlik doğruluğuna etkisi daha yüksektir. Bu sebeple Şekil 5.56' daki doğruluk değeri Şekil 5.55 'dekine nazaran daha düşüktür. Ölçme teknesinin hızı 5 knot'dan 10 knot'a çıkarılarak Çizelge 5.15'deki verilere göre toplanan bir derinlik verisinin toplam doğruluk değeri Şekil 5.57'de görülmektedir. Şekil 5.56 ile Şekil 5.57

arasındaki doğruluk farkı ölçme teknesinin hızından dolayı çökme miktarına bağlıdır.

Çizelge 5.15 Toplam derinlik doğruluğunun hesaplanmasında kullanılan örnek değerler

Tekne hızı	10 knot
Bim gönderme açısı (β)	1.5 °
Transdüser seviyesindeki ses hızı (c_0)	1482.79 m/sn
Ses hızı belirleme doğruluğu	0.25 m/sn
Derinlik ölçme doğruluğu	0.10+ $\pm$ 0.2*d
Yalpa/Boyuna salınım açısı	5°
Yalpa/Boyuna salınım açısı varyansı	0.05°
Batçık doğruluğu	5 cm
Draft/Çökme/Oturma doğruluğu	7.8 cm
Gelgit ölçme doğruluğu	2.5 cm



Şekil 5.57 ÇBİ ile 10 knot hızla yapılan dar bim açılı ölçmelerde derinlik doğruluğu (2σ)

5.5 Çok Bimli İskandil ile Tek Bimli İskandil Verilerinin Karşılaştırılması

Ölçme teknesiyle aynı bölgede ÇBİ ve TBİ aletleriyle eşzamanlı veri toplanmış ve derinlik değerleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Ölçüm yapılan alanda derinlik değerleri yaklaşık 33 m ile 70 m arasında değişim göstermektedir.

ÇBİ verileri, ölçme teknesinin sağ ve sol karinasında bulunan iki transdüser yardımıyla Şekil 5.14’de görüldüğü gibi toplanmıştır. Bu sebeple teknenin omurga hattına dik 4-5 m’ lik şeritvari alanda veri kaydı yapılamamıştır. Veri kaydı yapılamayan bu alan üçgenlerle lineer enterpolasyon yöntemi yardımıyla doldurulmuştur.

Veri dağılımında belli bir düzen bulunuyorsa ve veriler grid alanının tümüne hitap edecek sayıda ise, üçgenlerle lineer enterpolasyon yöntemi en iyi gridleme sonuçlarından birisidir. Delanuay üçgenleme olarak da adlandırılan bu yöntemde grid alanı üçgenlere bölünerek enterpolasyon yapılmaktadır. Üçgenin 3 köşe noktasına ait yükseklik değerlerinin ağırlıklı ortalaması alınmaktadır. Yüksekliği enterpole edilecek noktalar, içine düştüğü üçgenlerde lineer enterpolasyon uygulanarak tanımlanır (Yanalak, 2002).

TBİ verileri ise teknenin omurga hattına yakın bir yere monte edilmiş olan TBİ transdüseri yardımıyla toplanmıştır. ÇBİ ve TBİ verileri ölçme teknesinin referans noktasına göre hesaplanmıştır.

5.5.1 ÇBİ ve TBİ Verilerinin Koordinatlarının Hesaplanması

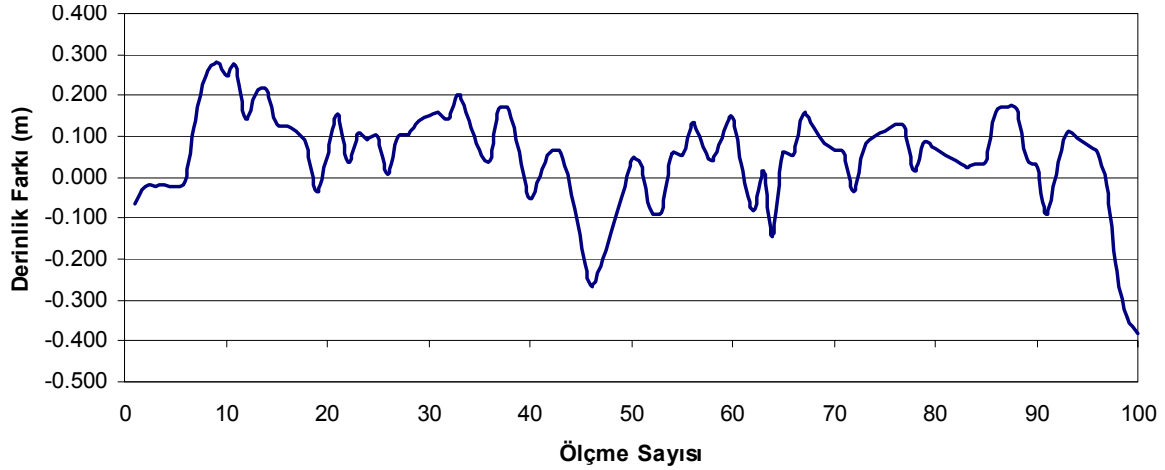
Ölçme teknesinde orijinleri aynı olan iki farklı koordinat sisteminden yararlanılmaktadır. (3.4.2.4) Bölümünde detaylı olarak açıklanan lokal seviye ve tekne sistemleri Şekil 5.58’ de görüldüğü gibi Z eksenine doğrultusunda birbirlerine çakışık iki kartezyen koordinat sistemidir. Bu sistemler arasındaki koordinat dönüşümü aşağıdaki eşitlik ile sağlanır.

$$\left. \begin{array}{l} x = P x' \\ x' = P^{-1} x \end{array} \right\} \quad (5.6)$$

(5.6) eşitliğinde x , tekne koordinat sistemini, x' ise yerel koordinat sistemini ifade etmektedir. P dönüşüm matrisi (3.41) eşitliğiyle tanımlanmıştır. (5.6) eşitliği yardımıyla ÇBİ ve TBİ verilerinin yerel sistemde koordinatları hesaplanmıştır.

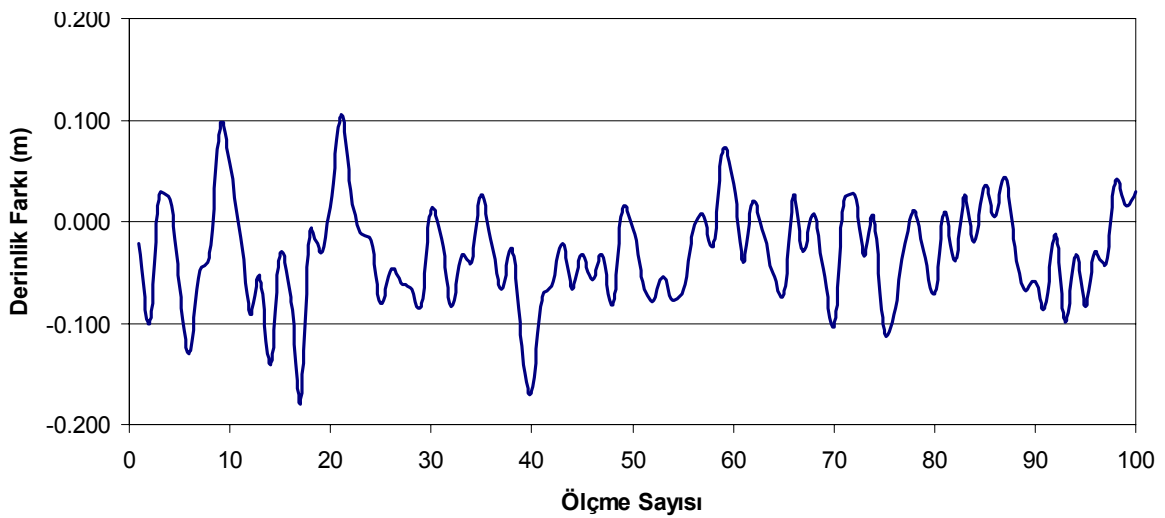
5.5.2 Verilerin Karşılaştırılması

Karşılaştırmada TBİ ile ölçülen her bir ölçme noktasının ÇBİ'deki karşılığına bakılarak derinlik farkı grafikleri oluşturulmuştur. Karşılaştırma ilk olarak derinliği yaklaşık 70 m olan bir alanda yapılmış ve ÇBİ verilerinden TBİ ile ölçülen her bir ölçme noktasındaki veri çıkarılarak 100 ölçme noktası için aşağıdaki grafik çizilmiştir.



Şekil 5.58 70 m derinlikte ÇBİ ve TBİ verilerinin karşılaştırması

ÇBİ ile TBİ verileri arasındaki derinlik farklarının ortalama 5 cm ve maksimum farkın ± 30 cm olduğu Şekil 5.58'den anlaşılmaktadır. Şekil 5.57'deki derinlik doğruluğu grafiği incelendiğinde 30 cm'lik farkın anlamlı olduğu görülmektedir. Şekil 5.59' da yaklaşık 33-35 metre derinlikte farklı bir hatta karşılaştırma yapılmıştır.



Şekil 5.59 35 m derinlikte ÇBİ ve TBİ verilerinin karşılaştırması

100 TBİ ölçme noktasındaki veri için yapılan karşılaştırmada derinlik azaldıkça, iki veri grubu arasındaki derinlik farklarının da azaldığı görülmektedir. Şekil 5.59'dan maksimum derinlik farkının 20 cm ve derinlik farklarının ortalamasının 3 cm olduğu görülmektedir.

Derinlik ölçme doğruluğu (1.1) eşitliğiyle 70 m derinlik için 58 cm ve 35 m derinlik için 36 cm olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.58 ve Şekil 5.59'daki ÇBİ ve TBİ verileri arasındaki derinlik farklarının, özel derece alanlar için tanımlanan IHO S44 standartlarını sağlayacak nitelikte olduğu görülmektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında teorik incelemeler ve bunlara dayanarak yapılan ölçüm ve hesaplamalar neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Derinlikler, ses hızının iskandil sistemine girilmesiyle ölçülmektedir. Bu sebeple su ortamında ses hızının doğru ve hassas olarak belirlenmesi sığ sularda yapılan hidrografik ölçmeler için büyük önem taşımaktadır.
- Tek bimli iskandil aletleriyle yapılan ölçmelerde sığ sularda bar kontrolü yöntemiyle ses hızı belirlenebilmektedir. Burada dikkat edilecek husus teknenin hareketsiz, denizin akıntısız ve durgun olmasıdır.
- Ses hızındaki 1 m/sn' lik hata 10 metre derinlikte 1 cm, 100 metre derinlikte ise 7 cm' lik ölçme hatasına sebep olmaktadır. Ses hızını en çok etkileyen parametre ise sıcaklık değişimidir. Sıcaklıktaki 1°C' lik değişim ses hızında 4.53 m/sn' lik bir hataya yol açmaktadır.
- Suyun fiziksel özelliklerini belirlemede kullanılan CTD, SVP aletlerinin veya diğer sensörlerin belirli aralıklarda kalite kontrollerinin yapılması, belirlenecek doğru ve güvenilir deniz suyu parametreleri açısından önem taşımaktadır.
- Bir ölçme noktasındaki derinlik değerinin doğruluğu sadece sistemin derinlik ölçme doğruluğuna bağlı olmayıp, ses hızının su içinde yayılmasına, teknenin yalpa, boyuna salınım ve batçık hareketlerine, teknenin draftına, ağırlığına, hızından dolayı çökmesine, gelgit ölçümüne de bağlı olmaktadır. Düşey yönde derinliği etkileyen bu faktörler, sığ sularda yapılacak olan hassas hidrografik ölçmelerdeki derinlik doğruluğunu belirlemek için göz önüne alınmalıdır.
- Batçık kompensatörü ya da hareket algılayıcı aletler kullanılarak batçık hareketinin belirlenmesi yanında ölçme teknesinin hızına bağlı çökmesi ve yüküne bağlı oturması gibi düşey yöndeki hareketler belirlenmemektedir. RTK GPS kullanılarak ölçme teknesinin düşey yöndeki tüm hareketleri belirlenebilmektedir. Böylece gerçek zamanlı olarak teknenin dinamik draft değeri hesaplanarak derinlik ölçüleri düzeltilebilir.
- Ölçme teknesinin dinamik draft değeri Kinematik GPS yöntemiyle ölçme sonrası değerlendirme yapılarak da belirlenebilir. Ancak veri kayıt aralığının 0.1 sn veya 1 sn olması sebebiyle değerlendirme sonrasında bazı epoklarda çözülememiş veya çözülmüş

ancak standart sapma değerleri büyük olan vektörler olabilmektedir. Bu vektörlerin değerlendirme dışında bırakılması, veride kesikliğe sebep olmaktadır. Sonradan kinematik değerlendirme (PPK) ile RTK GPS' in düşeyde konum belirleme doğrulukları birbirlerine yakın değerler almaktadır. Bu sebeple ölçmelerde RTK GPS tercih edilebilir.

- Ölçme teknesinin hızından dolayı çökmesi RTK GPS yöntemiyle belirlendikten sonra, farklı hız kademelerine göre teknenin çökme tablosu oluşturulabilir. Ölçülen derinlikler bu tablodaki değerlere göre düzeltiler.
- Hassas hidrografik ölçmelerde iskandil sistemleri kullanılarak toplanan verilerle GPS alıcılarıyla toplanan verilerin zaman senkronizasyonunun sağlanması gereklidir. Ölçme teknesi 5 knot (2.57 m/sn) hız yaptığında 0.1 sn'lik senkronizasyon hatası deniz tabanında 25 cm'lik bir konum hatasına sebep olmaktadır.
- Ölçme teknesinin düşey yöndeki hareketlerini hassas olarak belirlemek için tekne üzerine monte edilmiş olan donanımların dış merkezlik değerlerinin de ölçölüp hesaplanması gerekmektedir. Ölçümler tekne kızaktayken yapılmalı ve değerler hesaplanırken teknenin kızaktaki duruşu da göz önüne alınmalıdır. Üç boyutlu koordinat dönüşümüyle teknenin üzerindeki donanımların dış merkezlik değerleri hesaplanarak bir tekne koordinat sisteminde belirlenmelidir.
- Çok bimli iskandil sistemleri farklı donanımların bir araya gelmesiyle oluştuğundan tek bimli iskandil sistemlerine oranla daha masraflı sistemlerdir. Uygun tekne ve donanımların toplam fiyatı yaklaşık 1350000.-TL'dir. Bir saatlik derinlik ölçümünün maliyeti ÇBİ sistemleri kullanılarak yaklaşık 315.-TL, TBİ aletleri kullanılarak ise 75.TL'dir. ÇBİ sistemi ilk kurulumda daha maliyetli olsa da büyük alanların ölçümünde emek ve zamandan tasarruf sağlayarak zaman geçtikçe kendini amorti edebileceği düşünülmektedir.
- Sığ sularda yapılan hassas hidrografik ölçmelerde eğer TBİ aletleri kullanılıyorsa hat aralıklarının mümkün olduğu kadar az tutulması gerekmektedir. Deniz tabanında bulunan bir topuk, yükselti veya batık gibi tehlikeli bir cisim TBİ ile yapılan ölçmelerde görülemeyebilir. ÇBİ sistemleri ile yapılan ölçmelerde bu gibi sorunlar ortadan kaldırılmakta, %100 deniz tabanını kaplaması sağlanarak deniz tabanının 3 boyutlu bir modeli enterpole edilmeden belirlenmektedir.

KAYNAKLAR

- Abbott, V.J., (1996), Hydrography for the Surveyor and Engineer, Third Edition, the Blackwell Science.
- Adams, (2004), “Seamless Data And Vertical Datums – Reconciling Chart Datum With A Global Reference Frame”, The Hydrographic Journal, No:113.
- Alkan, R.M., (1998),”Presizyonlu Hidrografik Çalışmalar için GPS Yöntemi ile Bat-Çık (Heave) Etkisinin Giderilmesi”, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alkan, R. M., (2001), “The Role of Pitch & Roll Effects on the Short Period Instantaneous Sea Level Height Determination with GPS”, US Hydrographic Conference 2001-HYDRO 2001, Conference Proceeding-Paper Number 19, Norfolk, VA, USA.
- Alkan, R.M., Kalkan, Y., Aykut, N.O., (2006), “Sound Velocity Determination with Empirical Formulas & Bar Check”, Shaping the Change, XXIII FIG Congress, Munich, Germany, October 8-13, 2006
- Ashtech, (1996), Z12 Real Time Sensor Operation-Reference Manual, USA.
- Aydın, Ö., Ata, E., Pırtı, A., (2004), “RTK GPS Sisteminin Poligon Ölçmelerinde Kullanımı, Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Sayı:1/2004, sayfa 56, YTÜ, İstanbul.
- Aydın, Ö., (2005), GPS Tekniği Ders Notları, YTÜ, İstanbul (Yayımlanmamış).
- Ayhan, M.E., Hekimoğlu, Ş., Demir, C., Şanlı, U., Kahveci, M., (1994), “Secular Variation of Mean Sea Level and Vertical Crustal Motion Using Tide-Gauge and GPS Data”. 1st International Symposium on Deformations in Turkey, p. 357-369, İstanbul.
- Aykut, N.O., Doğan, U., Ata, E., Arı, A., (2005), “GPS ile Kıyı Çizgisinin Belirlenmesi, Karaburun Örneği”, 2.Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İstanbul.
- Aykut, N.O. ve Birkan, H., (2007), “Hidrografik Ölçmelerde Çok Bimli İskandillerin Kullanılması”, 3.Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Konya.
- Ayres, A., ve Calkins, T., (1977), “Acoustic Position Measurement System”, MTS-IEEE.
- Başaran, (1981), Ses Tekniği, İstanbul.
- Birkan, H., (2003), “Uluslararası Hidrografi Örgütü (IHO) Hidrografik Mesaha Standartlarının Derinlik Doğruluğu Bakımından İncelenmesi”, Yıldız Teknik Üniversitesi, I.Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 356-366, İstanbul.
- Blacquire, G., Woerde, K.V., (1998), “Multibeam Echosounding: Beamforming versus Interferometry”, Oceanology International.
- Bursa, M., (1966), Fundamentals Of The Theory Of Geometric Satellite Geodesy.
- CEM, (2001), Coastal Engineering Manual, U.S. Army Corps of Engineers Washington.

Chang, H., Choi, J., Kim, M., (2006), Reliable Position Estimation Method Of The Mobile Robot By Laser Scanner And Indoor GPS System, Isarc2006.

Clement Ogaja, C., Rizos, C., Wang, J., Brownjohn, J., (2001), A Dynamic GPS System For On-Line Structural Monitoring.

Cracknell, A.P., (1999), "Remote Sensing Techniques İn Estuaries And Coastal Zones", Remote sensing, Vol. 19, no. 3, pages 485-496.

Demir, C., (2005), "Düşey Datumun Belirlenmesi ve Uygulamada Kullanımı", Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu, Jeoid ve Düşey Datum Çalıştayı, Bildiriler ve Konuşma Tutanakları, Trabzon.

Doğan, E. ve Alpar, B., (1994), Deniz ve Göllerde Derinlik Ölçme Sistem ve Yöntemleri, İ.Ü.Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul.

Edge, D., Schenke, H.W., Seeber, G., (1990), "Hydrographic GPS Applications in Germany", FIG XIX International Congress, Helsinki, Finland.

ELAC, (1997), Elac Hydrostar Dynamic Motion Sensor, Sensor Manual, Germany.

ELAC, (1999), Seabeam 1185/1180/1055/1050 Operation Manual, L3 Communications, Germany.

Ergin, A., (2005), Kıyı Mühendisliği, 5.Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 1.Cilt, Bodrum.

Gausland, I., (1998), "Physics of Sound in Water", Processings of Seismic and Marine Mammals Workshop, London.

Godin, A., (1997), The Calibration of Shallow Water Multibeam Echo-Sounding Systems, Master of Engineering, The University of New Brunswick, Canada.

Gourlay, T.P., (2007), "Ship Underkeel Clearance in Waves", Proc.Coast and Ports, Melbourne.

Guenther, G. C., Cunningham, A. G., LaRocque, P. E., and D. J. Reid, (2000), Meeting the Accuracy Challenge in Airborne Lidar Bathymetry. *Proceedings, EARSeL Symposium 2000*. Germany.

Hekimoğlu, Ş. ve Şanlı, U., (1993), "Düşey Datum Belirlemede Sorunlar ve Aşamalı Yaklaşım", TUJJB, Genel Kurulu Bildiri Kitabı, Ankara.

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Collins, J., (2001), Global Positioning System, Theory and Practice, Fifth, revised edition, SpringerWienNewYork.

HSRC, (2001), "Final Report for Task2, FY 01" University of Southern Mississippi for Naval Oceanographic Office.

IHO, (2005), Manual on Hydrography, 1st Edition, Publication M-13, Published By The International Hydrographic Bureau, Monaco.

IHO, (2007), S32 Hydrographic Dictionary, 5th Edition.

IHO, (2008), IHO Standards for Hydrographic Surveys, Special Publication No:44, 5th edition, Monaco.

Ingham, A. E., (1992), Hydrography for the Surveyor and Engineer, Blackwell Scientific Publications.

Kahveci, M. ve Yıldız, F., (2001), Global Konum Belirleme Sistemi (GPS), Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.

Kalkan, Y. ve Alkan, R.M., (2005), “Sularla Kaplı Alanlarımız ve Hidrografik Ölçmeler”, 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.

Karaali, C., (1999), “Üç Boyutlu Kartezyen Koordinat Sistemleri Arasında Benzerlik Dönüşümü”, Fakülte Yayın No:1999/2.

Langley, R.B., (1998), “RTK GPS”, GPS World, ProQuest Science Journals, p:70.

Lodha, S.K., Charaniya, A.P., Ramalingam, S., Faaland, N.M., (2002), “Challenges of Uncertain Reality in Mobile Situational Visualization”, (Technical Report:UCSC-CRL-02-22), GIS Visualization Lab, Computer Science, University of California Santa Cruz.

L-3 Communications, (2000), Multibeam Sonar Theory of Operation, Seabeam Instruments.
Mackenzie, K.V., (1981). Nine-term Equation for Sound Speed in the Oceans. The Journal of The Acoustical Society of America, 70(3), pp. 807-812.

Massel, S.R., (1998), The Limiting Wave Height in Wind-Induced Wave Trains, Ocean Engineering Vol.25, No.9, pp.735-752.

Meador, C.D., (2002), “The Bar Check”, Presentation.

Meng, X., Roberts, G., Dodson, A., Andreotti, M., Cosser, E., Meo, M., (2004), Development of a Prototype Remote Structural Health Monitoring System, 1st FIG International Symposium on Engineering Surveys for Construction Works and Structural Engineering, Nottingham, United Kingdom.

Nikon DTM 330 Kullanma Klavuzu

Özgen, G. ve Algül, E., 1977, Mühendislik Ölçmeleri 1-Hidrografik Ölçmeler, Teknik Üniversite Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul

Pike, J. M. and Beiboer, F. L., (1993). “A Comparison Between Algorithms for the Speed of Sound in Seawater”. Special Publication No. 34, The Hydrographic Society, UK.

Reson, (2006), Portable SVP 14/15, 20/25 Manual.

Richter, M., (2006), “GNSS Modernizasyonu ve Ağ RTK”, Sunum, İstanbul.

Ritchie, J.C., (1996), “Remote Sensing Applications to Hydrology, Hydrographical Sciences, 41.

Sea-Bird Electronics Inc., (2008), SBE19plus V2 CTD Recorder User's Manual, USA.

SHOD, (2004), Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı Tanıtım Kitapçığı

Stork, M., (2003), Median Filters Theory And Applications, ELECO'2003 3th International Conference On Electrical And Electronics Engineering, Bursa.

Şapçılar, E. ve Fakıoğlu, M., (2003), DSİ Genel Müdürlüğü'nde Hidrografik Harita Çalışmaları, 1.Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu Bildiriler Kitabı, YTÜ, İstanbul.

Teng, C., (2003), Math Concepts for Hydrographers, Lecture Notes.

Thales, (2005), Z-Max Surveying System Technical Specifications.

Thales, (2006), Z-Max Operating Manual

Theberge, A. E., (1989), "Technical Papers ASPRS/ACSM Annual Convention, Surveying and Cartography", Volume 5, 1989. Pp. 334-346.

TSS, (1998), DMS 2 Series Dynamic Motion Sensor System Manual.

Türker, A., (2004), "Piri Reis' in Hayatı", Uluslararası Piri Reis Sempozyumu, Tebliğler Kitabı, İstanbul.

USACE, (2002), Engineering and Design Hydrographic Surveying, U.S. Army Corps of Engineers Washington, DC 20314-1000, Manual No:1110-2-1003.

USGS, (2008), Surrounding Wildlife and...Whoa, How Fast is that Sound and Cream Pie?, Arctic Chronicles.

Uysal, M., (2004) Matlab, Beta Basım Yayın Dağıtım, İstanbul.

Wells, D. ve Monahan, D., (2002), IHO S44 Standards for Hydrographic Surveys and the Variety of Requirements for Bathymetric Data. The Hydrographic Journal, No:104.

Wolf, H., (1963), "Geometric Connection and Re-orientation Of Three Dimensional Triangulation Nets", Bulletin Geodesy, 68, p. 165-169.

Wolf, P.R. ve Ghilani, C.D., (1998), Adjustment Computations, 17-Coordinate Transformations, p:335-356, John Wiley&Sons, Inc.

Wong, G.S.K. and Zhu, S., (1995), "Speed of sound in seawater as a function of salinity, temperature and pressure", J. Acoust. Soc. Am. 97(3) pp 1732-1736

Yanalak, M., (2002), Sayısal Arazi Modellerinde Yükseklik Enterpolasyonu, HGK Dergisi, Temmuz 2002, Sayı:128.

Yıldız, H., Demir, C., Gürdal, M.A., Akabalı, O.A., Demirkol, Ö., Ayhan, M.E., Türkoğlu, Y., (2003), "Antalya-II, Bodrum-II, Erdek ve Menteş Mareograf İstasyonlarına ait 1984-2002 Yılları Arası Deniz Seviyesi ve Jeodezik Ölçülerin Değerlendirilmesi", Harita Dergisi, Özel Sayı:17., Ankara.

Yüksek, Ö., Kankal, M., Akpınar, A., (2005), “Denizlerimizdeki Su Seviyesi Değişimlerinin Fiziksel sebepleri”, Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu, Jeoid ve Düşey Datum Çalıştayı, Bildiriler ve Konuşma Tutanakları, Trabzon.

Yüksel, Y., Çevik, E., Çelikoğlu, Y., (1998), Kıyı ve Liman Mühendisliği, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara Şubesi, Alaz Ofset, Ankara.

Yüksel, Y. ve Özkan Çevik, E., (2005), Liman Mühendisliği, Deniz Mühendisliği Serisi-No:3, Arıkan Basım Yayım Dağıtım Ltd.Şti., İstanbul.

1738 sayılı Seyir ve Hidrografi Hizmetleri Kanunu

EK**CTD Aleti ile Ölçülen Deniz Suyunun Tuzluluk, Sıcaklık ve Basınç Değerleri**

```

* Sea-Bird SBE19 Data File:
* FileName = C:\Documents and Settings\mesaha_ekibi\Desktop\seabirt\onur2.hex
* Software Version 1.50
* Temperature SN = 2054
* Conductivity SN = 2054
* System UpLoad Time = Eyl 07 2005 14:41:59
* ds
* SEACAT PROFILER V3.0f SN 2054 09/07/05 11:38:55.985
* strain gauge pressure sensor: S/N = 175778, range = 1500 psia, tc = 151
* clk = 32767.625 iop = 154 vmain = 7.7 vlith = 5.3
* mode = PROFILE ncasts = 2
* sample rate = 1 scan every 0.5 seconds
* samples = 395 free = 173733 lwait = 0 msec
* SW1 = C0 battery cutoff = 5.8 volts
* number of voltages sampled = 0
* logdata = NO
* S>
* dh
* cast 1 09/07 09:42:53 samples 266 to 394 sample rate = 1 scan every 0.5 seconds stop = switch off
* S>
# nquan = 9
# nvalues = 21
# units = specified
# name 0 = prSM: Pressure, Strain Gauge [db]
# name 1 = svCM: Sound Velocity [Chen-Millero, m/s]
# name 2 = sal00: Salinity [PSU]
# name 3 = t090C: Temperature [ITS-90, deg C]
# name 4 = sigma-t00: Density [sigma-t, Kg/m^3 ]
# name 5 = sigma-t00: Density [sigma-t, Kg/m^3 ]
# name 6 = svCM: Sound Velocity [Chen-Millero, m/s]
# name 7 = depSM: Depth [salt water, m], lat = 0
# name 8 = flag: flag
# span 0 = 1.000, 11.000
# span 1 = 1511.97, 1512.76
# span 2 = 17.3660, 17.4650
# span 3 = 23.5632, 23.9267
# span 4 = 10.3690, 10.5366
# span 5 = 10.3690, 10.5368
# span 6 = 1511.99, 1512.74
# span 7 = 0.995, 10.939
# span 8 = 0.0000e+00, 0.0000e+00
# interval = decibars: 1
# start_time = Sep 07 2005 09:42:53
# bad_flag = -9.990e-29
# sensor 0 = Frequency 0 temperature, 2054, 22-Jan-04
# sensor 1 = Frequency 1 conductivity, 2054, 22-Jan-04, cpcor = -9.5700e-08
# sensor 2 = Pressure Voltage, 175778, 29-Dec-03
# datcnv_date = Sep 07 2005 15:38:17, 5.34
# datcnv_in = C:\Documents and Settings\mesaha_ekibi\Desktop\onur\onur2.hex C:\Program Files\Sea-
Bird\config\2054.CON
# datcnv_skipover = 0
# filter_date = Sep 07 2005 15:38:28, 5.34
# filter_in = C:\Documents and Settings\mesaha_ekibi\Desktop\onur\onur2d.cnv
# filter_low_pass_tc_A = 0.030
# filter_low_pass_tc_B = 0.150
# filter_low_pass_A_vars = prSM svCM sal00 t090C sigma-t00

```

```

# filter_low_pass_B_vars =
# alignctd_date = Sep 07 2005 15:38:35, 5.34
# alignctd_in = C:\Documents and Settings\mesaha_ekibi\Desktop\onur\onur2df.cnv
# alignctd_adv = svCM 1.000, sal00 1.000, t090C 1.000, sigma-t00 1.000
# loopedit_date = Sep 07 2005 15:38:45, 5.34
# loopedit_in = C:\Documents and Settings\mesaha_ekibi\Desktop\onur\onur2dfa.cnv
# loopedit_minVelocity = 0.250
# loopedit_surfaceSoak: minDepth = 5.0, maxDepth = 20, useDeckPress = 1
# loopedit_excl_bad_scans = yes
# binavg_date = Sep 07 2005 15:39:01, 5.34
# binavg_in = C:\Documents and Settings\mesaha_ekibi\Desktop\onur\onur2dfal.cnv
# binavg_bintype = decibars
# binavg_binsize = 1
# binavg_excl_bad_scans = yes
# binavg_skipover = 0
# binavg_surface_bin = no, min = 0.000, max = 0.000, value = 0.000
# Derive_date = Sep 07 2005 15:39:14, 5.34
# Derive_in = C:\Documents and Settings\mesaha_ekibi\Desktop\onur\onur2dfalb.cnv C:\Program Files\Sea-
Bird\config\2054.CON
# file_type = ascii

```

END

1.000	1512.76	17.3660	23.9267	10.3690	10.3690	1512.74	0.995 0.0000e+00
2.000	1512.62	17.3760	23.8639	10.3934	10.3936	1512.61	1.989 0.0000e+00
3.000	1512.36	17.3919	23.7514	10.4360	10.4359	1512.34	2.983 0.0000e+00
4.000	1512.23	17.4002	23.6942	10.4576	10.4576	1512.22	3.978 0.0000e+00
5.000	1512.12	17.4180	23.6380	10.4861	10.4861	1512.11	4.972 0.0000e+00
6.000	1512.15	17.4220	23.6461	10.4869	10.4869	1512.15	5.967 0.0000e+00
7.000	1512.11	17.4386	23.6148	10.5078	10.5078	1512.10	6.961 0.0000e+00
8.000	1512.05	17.4650	23.5808	10.5366	10.5368	1512.06	7.956 0.0000e+00
9.000	1512.06	17.4564	23.5752	10.5319	10.5318	1512.05	8.950 0.0000e+00
10.000	1512.08	17.4561	23.5732	10.5321	10.5321	1512.06	9.945 0.0000e+00
11.000	1512.06	17.4544	23.5736	10.5308	10.5308	1512.08	10.939 0.0000e+00

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 31.12.1975

Doğum yeri İstanbul

Lise 1986-1993 Beşiktaş Atatürk Anadolu Lisesi

Lisans 1994-1998 Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi,
Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 1998-2001 Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora 2002-2009 Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı
Geomatik Programı

Çalıştığı kurum

2002-Devam ediyor YTÜ İnşaat Fakültesi,
Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü
Ölçme Tekniği Anabilim Dalı, Araştırma Görevlisi