İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARMUTLU YARIMADASI KUZEYİ DİP MORFOLOJİSİ VE MULTI BEAM SONAR VERİ İŞLEM TEKNİKLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Ahmet Emre BASMACI

Anabilim Dalı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ

Programı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ

Mayıs 2003

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARMUTLU YARIMADASI KUZEYİ DİP MORFOLOJİSİ VE MULTI BEAM SONAR VERİ İŞLEM TEKNİKLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Ahmet Emre BASMACI
Enstitü No : 505011180

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2003
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Mayıs 2003

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Berkan Ecevitoğlu

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Emin Demirbağ

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin TUR (İ. Ü.)

Mayıs 2003

ÖNSÖZ

Sevgili Berkan hocama değerli bir konuda çalışmaya yönlendirmesi, maddi ve manevi her konuda destek olmasından dolayı çok teşekkür ederim. İTU Jeofizik mühendisliği bölümündeki tüm hocalarıma kazandırdıkları bilgilerden dolayı ayrıca Prof. Dr. Tuncay Taymaz, Doc. Dr. Emin Demirbağ ve Ar. Gör. Onur Tan'a teşekkür ederim.

Deniz Kuvvetleri Komutanlığı, Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanı Dz.Kd. Kur.Alb. Nazım Çubukçu nezdinde, Dz.Kd.Alb. Ali Kaplan, Dz.Bnb. Göksel Tuncay, Dz.Yzb. Recep Tan, Dz.Üstğm. Buğser Tok, Dz.Astsb. Fırat Satıcı, Dz.Astsb. Ahmet Gerede'ye ve tüm mesaha şube çalışanlarına teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemizde büyük pay sahibi olan ulu önder Atatürk'e ve ülkemizin gelişmesine katkıda bulunan herkese teşekkür ederim.

Çok sevdiğim sevgili Aileme…

Mayıs 2003 Ahmet Emre BASMACI

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR v
TABLO LİSTESİ vi
ŞEKİL LİSTESİ vii
SEMBOL LİSTESİ ix
ÖZET x
SUMMARY xii

1. GİRİŞ 1

2. MULTI BEAM SONAR SİSTEMİ 3
2.1. Sistemin Fonksiyonel Bileşenleri 3
2.1.1. Akustik alt sistem 3
2.1.2. Gemi hareket algılayıcıları 5
2.1.3. Sea bird 6
2.1.4. Diferansiyel GPS sistemi 7
2.1.5. Veri işlem sistemi 8
2.2. Akustik Görüntüleme Kavramları 9
2.2.1. Uzaysal çözünürlük: Akustik parametreler 10
2.2.2. Uzaysal çözünürlük: Görüntü boyutu (Işın ayak izi boyutu) 11
2.3. Multi Beam Sonar Sisteminde Akustik Geri Saçılma 12
2.4. Akustik Geri Saçılma Prensipleri 13
2.4.1. Dip ara yüzeyinden yansımalar 13
2.4.1.1. Tane boyutu ve yoğunluk 14
2.4.1.2. Deniz tabanı engebeliliği 14
2.5. Akustik Geri Saçılmanın Açıya Bağımlılığı 16

3. HARİTALAMA VE VERİ İŞLEM TEKNİKLERİ 19
3.1. Çalışmada Kullanılan Veri Seti 20
3.2. Veri Düzeltme İşlemi 22
3.3. Haritalamada Kullanılan Yöntem 24
3.3.1. Gridleme işlemi 25
3.4. Bull's Eye Etkisi Ve Giderilmesi 27
3.5. Eşik Değer Ortalama Yöntemi 31
3.6. High-Cut Filtreleme Tekniği 32
3.6.1. İki boyutlu ayrık Fourier dönüşümü 34

4. MARMARA DENİZİ'NİN TEKTONİK YAPISI 39
4.1 İmralı Adası Kuzeyi Dip Morfolojisi 42
4.2 Armutlu Yarımadası Kuzeyi Dip Morfolojisi 45

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA **51**

KAYNAKLAR **53**

ÖZGEÇMİŞ **56**

KISALTMALAR

WGS 84	: World Greenwich System 84
EOF	: End Of File
GRD	: Grid Dosyası Uzantısı
GPS	: Global Positioning System
MB	: Mega Byte
HDP	: Hydrographic Data Processing
LTI	: Linear Time-Invariant
KAF	: Kuzey Anadolu Fayı
KSF	: Kuzey Sınır Fayı
İSF	: İç Sınır Fayı
GSF	: Güney Sınır Fayı
OMF	: Orta Marmara Fayı
MTA	: Maden Tetkik Arama
MA	: Marmara Adası
Dz.K.K.	: Deniz Kuvvetleri Komutanlığı
SHOD	: Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1. Farklı filtre güçleri için filtreleme işlemi sonuçları……..... 38

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : Akustik dalga iletim prensibi..... 3
Şekil 2.2 : Derinlik – yelpaze genişliği optimizasyonu..... 4
Şekil 2.3 : Sistem ile elde edilen kavramsal ışın geometrisi..... 5
Şekil 2.4 : Ses hızı profili ile ölçülen derinlik arasındaki ilişki 6
Şekil 2.5 : Diferansiyel GPS sistemi 7
Şekil 2.6 : Sistemin fonksiyonel bileşenleri 8
Şekil 2.7 : Akustik ışınlara ait -3 dB eşik değerin gösterimi (Wells,1997)..... 9
Şekil 2.8 : Düşük sıyırma açısı ile iletilen ışın geometrisi (de Moustier, 1998b)..... 11
Şekil 2.9 : Yüzey engebeliliğine bağlı faz gecikmesi (de Moustier,1998)..... 15
Şekil 2.10 : İletilen dalgalar için yüzey saçılma örnekleri (Diaz,2000)..... 16
Şekil 2.11 : Yansıma normalinde ve normalden uzaklaşan ışınlar için deniz tabanında oluşan darbe genişliği geometrisi (de Moustier, 1998a)..... 16
Şekil 2.12 :Geminin ilerleyiş yönüne dik doğrultudaki eğimin anlık demet profilinden alınan iletim açılarıyla düzeltilmesi (de Moustier ve Matsumoto,1993)..... 17
Şekil 2.13 :Geminin ilerleme doğrultusundaki eğimin belirlenebilmesi için demet serilerine ait iletim açılarının düzeltilmesi (de Moustier ve Matsumoto,1993)..... 17
Şekil 3.1 : Veri işlem akış diagramı..... 20
Şekil 3.2 : Belirlenen profiller ve herbirine ait kaplama alanı..... 21
Şekil 3.3 : Elde edilen batimetri haritası..... 21
Şekil 3.4 : Derinlik-zaman profili..... 23
Şekil 3.5 : Mevcut verinin parçalanarak haritalanması..... 24
Şekil 3.6 : Verinin istenilen bir bölümünün çerçeve kalınlığı ile alınması..... 25
Şekil 3.7 : Çalışılan bölgeden elde edilen veri kaplama alanı..... 26
Şekil 3.8 : Grid örnekleme aralığı 20m seçilerek hazırlanan sayısal harita..... 26
Şekil 3.9 : Bull's eye etkisine neden olan hatalı iki derinlik ölçüsü..... 28
Şekil 3.10 : Bull's eye etkisinin shaded relief resmindeki görünüşü ve giderilmesi... 28
Şekil 3.11 : İki boyutlu uzayda poligonun içinde kalan (x_0,y_0) çiftlerinin belirlenmesi 29
Şekil 3.12 : Bull's eye etkisi içeren harita..... 30
Şekil 3.13 : Hatalı verilerin temizlenmesi işleminin ardından elde edilen harita..... 30
Şekil 3.14 : Bull's eye giderimi ve eşik değer ortalama yöntemi ile filtrelenerek elde edilen harita..... 31
Şekil 3.15 : High-cut filtreleme akış diagramı..... 32
Şekil 3.16 : Gemi motorunun neden olduğu gürültünün high-cut filtreleme yöntemi ile giderilmesi..... 33
Şekil 3.17 : k=30 için tasarlanan filtre..... 34
Şekil 3.18 : k=70 için filtre gücü..... 35
Şekil 3.19 : Filtre gücü k'nın farklı değerleri için elde edilen sonuçlar..... 36
Şekil 3.20 : Filtre gücüne karşılık süzülen nesnelere ait dalga boyu..... 37
Şekil 3.21 : Akustik dalga iletim prensibi..... 38
Şekil 4.1 : Avrasya sabitlenerek elde edilen hız alanı (Kahl ve diğ., 2000)..... 39
Şekil 4.2 : Marmara Denizi doğusunun fay haritası (Okay ve diğ., 2000)..... 40
Şekil 4.3 : Doğrultu atımlı fayların etkisiyle oluşan transrotasyonel basenler..... 41
Şekil 4.4 : İmralı Adası-Bozburun arasında ölçülen sismik kesit (Tur ve diğ., 2000)..... 42
Şekil 4.5 : İmralı Adası kuzeyi dip morfolojisi ve nehir yatağı yüzey resimleri..... 42
Şekil 4.6 : Marmara Denizi shaded relief haritası..... 43

Şekil 4.7 **:**Nehir yatağı doğrultusunda alınan kesit ve doğrultu atımdan kaynaklanan ötelenme miktarı..... 44
Şekil 4.8 **:** Armutlu Yarımadası kuzeyinin filtrelenmiş batimetri haritası..... 45

Şekil 4.9 **:** Armutlu Yarımadası kuzeyi shaded relief haritası. Grid örnekleme aralığı 20 m, high-cut filtreleme ve eşik değer ortalama yöntemi kullanılmıştır. Ayrıntıların daha iyi görülebilmesi için Y yönünde 2 kat abartma vardır..... 46
Şekil 4.10 **:** Armutlu Yarımadası kuzeyinin belirtilen yönde ışıklandırılmış shaded relief haritası. Grid örnekleme aralığı 20 m, high-cut filtreleme ve eşik değer ortalama yöntemi kullanılmıştır. Ayrıntıların daha iyi görülebilmesi için Y yönünde 2 kat abartma vardır..... 47
Şekil 4.11 **:** Bölgenin filtrelenmiş yüzey resmi. Çınarcık Çukuru'ndan İzmit Körfezi'ne görünüş..... 49
Şekil 4.12 **:** Bir başka açıdan bölgenin filtrelenmiş yüzey görünüşü..... 50

SEMBOL LİSTESİ

S	**:** Birinci transducer tetiklenen akustik darbenin aldığı yol
d	**:** Transducerlar arasındaki mesafe
α	**:** Tilt açısı
Δ**R**	**:** Hedef çözünürlüğü
C	**:** Sudaki ses dalgası hızı
W	**:** Sinyale ait band genişliği
Rθ	**:** Açısal Frekans
F	**:** Frekans
L	**:** Transducer fiziksel boşluğu
θ_{bw}	**:** Transducer ışın genişliği
λ	**:** Dalga boyu
A	**:** Görüntülenen alan
ϕ	**:** Sıyırma açısı
f_a	**:** Işın ayak izi boyutu
φ	**:** Hareket doğrultusuna dik yönde elde edilen ışın genişliği
d	**:** Derinlik
θ	**:** İletim açısı
T_x, R_x	**:** İletilen ve yansıyan ışınlar
I_s, I_0	**:** Referans yüzeyinden ve sonar sistemi tarafından ölçülen akustik darbe şiddeti
S_r, S_μ, S_v	**:** Dip engebesi, tane boyutu, litolojiden kaynaklanan geri saçılma katsayısı
S_b	**:** Geri saçılma yoğunluğu
R_0	**:** Yansıma katsayısı
ρ_1,V_1,ρ_2,V_2	**:** Birinci ve ikinci ortamın bulk yoğunluğu ve hızı
σ	**:** Standart sapma
k	**:** Dalga sayısı
x, y	**:** Boylam ve enlem
a_0, a_1, a_2	**:** Düzlem yüzey modeli katsayıları
L	**:** En küçük kareler fraklılaşma vektörü
g_i	**:** Ölçülen derinlik değerleri
Δ**x**, Δ**y**	**:** x ve y yönündeki grid örnekleme aralığı
Nx, Ny, n, X	**:** x ve y yönündeki grid düğüm noktası sayısı, parça adedi, parça genişliği
P_n	**:** Herbir grid parçasının boyutu
Z_{out}**(r,c)**	**:** Eşik değer ortalama yönteminde düğüm noktalarına atanan değer
A	**:** Komşu grid noktalarının ortalaması
X_p	**:** Periyodik sinyal
N_1, N_2	**:** Sinyalin birinci ve ikinci yöndeki peryodu
m, n, i, j	**:** Satır ve sütun sayısı, sırasıyla bu yöndeki sayaçlar
k	**:** Filtre gücü
W_H	**:** Hanning penceresi
dk_x, dk_y	**:** x ve y yönündeki dalga sayısı örnekleme aralığı
kx_N, ky_N	**:** x ve y yönündeki Nyquist dalga sayısı

ARMUTLU YARIMADASI KUZEYİ DİP MORFOLOJİSİ VE MUTİ BEAM SONAR VERİ İŞLEM TEKNİKLERİ

ÖZET

Mikrobatimetri ölçümleri ile deniz tabanından elde edilen yüksek çözünürlükte görüntü dip morfolojisini yorumlamada büyük bir kolaylık sağlamaktadır. Fakat derinlik bilgisiyle beraber ölçülen gürültü haritada görüntülenen yapıların üzerini kısmen örtmekte ve dip tabiatının anlaşılmasını güçleştirmektedir. Karşılaşılan gürültülere ve ölçülen hatalı derinliklere uygulanan veri işlem teknikleri ile görüntü kalitesinin arttırılması yapılan çalışmanın temelini oluşturmaktdır.

Hızlı eğim artışına bağlı olarak geniş açıyla iletilen ışınlarda gözlenen hatalı derinlikler, balık sürülerinden kaynaklanabilen yansımalar haritalarda Bull's eye ismi verilen yerel dip tabiatıyla ilişkilendirilemeyen ani yükselmelere bağlı kapanımlara neden olmaktadır. Işık yönlendirimli kabartma haritalarında (shaded relief map) bu etki siyah, yapıların üzerini örten bir görüntü arzetmektedir. Geliştirilen yöntem; daha önceden eşit alanda bölünmüş harita parçaları üzerinden Bull's eye etkisine sahip yerlerin, koordinatları belirli poligonlar içine alınmasına, tanımlanan alanlar içinde kalan verinin yeni oluşturulacak dosya içine yazılmaması esasına dayanmaktadır. Böylece bahsedilen nedenlerden kaynaklanan Bull's eye etkilerinin haritadan yerleri belirlenmekte, silme işlemi ham veri üzerinden gerçekleştirilmektedir. Haritanın eşit parçalara bölünerek çalışılması hem haritalamada hem de Bull's eye giderimindeki işlem zamanını kısaltmaktadır.

Ayrıca eşik değer ortalama yöntemi de bu gibi ani yükselmeleri düzeltmede etkili bir yöntemdir. Grid düğüm noktaları üzerinden çalışan algoritmaya göre birbirine komşu, boş olmayan grid düğüm noktaları belirlenmekte ve bütün grid boyunca, belirlenen filtre boyundaki alan içindeki ortalama derinlik değeri ile alan içindeki değerler önceden atanmış eşik değer ile ilişkilendirilmektedir. Böylece, ortalamadan çok büyük olan değerler yerine ortalama değerin atanması ani yalancı yükselimlerin oluşmasını engellemektedir.

Gemi motorunun neden olduğu gürültü ışık yönlendirimli kabartma haritalarında küçük dalga boylu, geminin hareket doğrultusunda süreklilik arzeden istenmeyen yapılar oluşturmaktadır. Gürültü, yapıların üzerini kısmen örtmekte ve yorumlamayı güçleştirmektedir. Genlik spektrumunda ise gürültü, yüksek dalga sayılarında düşük genlikli salınımlar olarak gözlenmektedir. Geliştirilen high-cut filtreleme tekniği; Verinin genlik spektrumu ile aynı boyutta tasarlanmış bir kosinüs penceresi genlik spektrumuyla çarpılmakta ve iki boyutlu ters Fourier dönüşümü ile harita ortamına geçildiğinde gürültünün yok olduğu gözlenmektedir. Filtreleme işlemi istenilen dalga sayısı aralığında tasarlanabilmekte ve optimum filtrelenmiş harita eskisinden farklı olarak dip morfolojisinin gerçek yapısını ve ayrıntıların kolay bir şekilde seçilebilmesini sağlamaktadır.

İzmit Körfezi'nde Hersek Deltası'nın doğusunda, Kuzey Anadolu Fayı'nın morfolojide yapmış olduğu etkiler ve fay boyunca gözlenen çöküntüler görüntülenmiştir. Armutlu'nun kuzeyinde yeralan kıyı şelfi ve fayın yer yer gözlendiği bölümler dikkat çekmektedir. İmralı Adası'nın kuzeyinde eskiden Çınarcık Çukuru'na dökülmekte olan bir nehir yatağının yukarı bölümünde doğrultu atım bileşeni yüksek bir fayın etkisi altında uğradığı deformasyon da bölgenin yakınında Okay ve diğ. 2000 in çalışmasında MTA Sismik 1 in simik kesitleriyle uyumludur. Nehir yatağının ötelenmesi ile bölgedeki GPS kayma oranı oranlandığında Güney Sınır Fayı'nın yaşı 115000±7500 yıl olarak tahmin edilmektedir.

SEAFLOOR MORPHOLOGY OF THE NORTHERN ARMUTLU PENINSULA AND MULTI BEAM SONAR DATA PROCESSING TECHNIQUES

SUMMARY

High resolution images of the seafloor makes an easy understanding of the morphology in great detail. The noise which is measured in the process of acquisition of the data, partially covers the subbottom features and makes a difficulty in the interpretation of seafloor characteristics. Visual quality of the bathymetry maps are enhanced by the help of data processing techniques, and this construct a fundamental basis for our project.

There are several facts controlling the variance of the depth measurements such as transmitted beams which has wider angles of incidence, cause a higher variance in the determination of depths with the rapid increment of the seafloor slope and also the reflections from fish assemblages, both cause Bull's eye effect. This effect can be defined as the sudden increment of the seafloor as a result of measuring depths with higher variance. In the light-directed, shaded-relief maps, depending on the direction of illumination, incorectly measured depths causes black spots on the map domain. One way to remove the Bull's eye effect is eliminating the incorrectly measured depths from the data set by bounding the regions on the map by poligons. In the second step of application, defined data inside the poligons are excluded from the data set . After the map is systematically partitioned into equal areas, Bull's eye effect removing process is implemented . Once the Bull's eye effects are removed in each area, the map is reconstructed by joining the areas. Dividing map into equal areas saves time for computations, and high amount of data can be handled regardless the size of the data.

In addition to Bull's eye removing process, one way to filter the abrupt changes of depth values, and the outlier values which are not associated with the behaviour of the surface is called the Threshold Averaging Method. Algorithm defines the neighbouring unblanked grid points. Along the whole grid with a suitable filter length defined in two dimensions, the average value is compared with the grid points. Thus the depth values which are greater than the mean value are recursively substituted with the mean value along the whole grid. As a result of this, sudden incline in the depth values and outliers on the surface are filtered.

The undesired continous noise, which corresponds to unreal surface images along the navigation direction with low wavelength, is caused by the vessel's engine . The noise partially covers the subsurface images, and the interpretation of the seafloor morphology becomes cumbersome. In the amplitude spectrum, noise corresponds to short amplitude oscillations in higher wave numbers. The High-cut filtering technique depends on designing a two dimensional cosine window which is equal to the size of the amplitude spectrum. After the window is designed, the amplitude spectrum is multiplied by the cosine window in frequency domain. The part which shows an oscillation pattern is multiplied by the zeros of the taper. By taking the two-dimensional inverse-Fourier

transform of the filtered amplitude spectrum, one observes that the noise is filtered in wavelength domain. Optimally filtered map depicts noise-free image of the seafloor.

There are clear evidences indicating the tectonic activity of the Marmara Sea. For example, in the eastern flank of the Hersek Delta, the deformational effects on the morphology caused by North Anatolian Fault, and the subsidence along the fault which are associated with normal faults are detected (Kuşcu, 2003). The Old Southern Shelf along the north of the Armutlu Peninsula and the deformation patterns in some parts along the shelf is succesfully mapped. Deformational pattern observed in the upstream part of an old river in the northern part of the İmralı Island is also shown. This is consistent with the interpreted seismic sections by (Okay at al., 2000). Dividing the fault rupture-length by average slip rate per year, can be used to predict the age of a fault. Considering only the pure strike-slip component, the age of the South Boundary Fault is predicted as 115000±7500 years.

1. GİRİŞ

Multi beam echosounder yardımıyla deniz tabanı yüksek çözünürlükle ve sürekli bir biçimde görüntülenebilmektedir. Deniz tabanı mikrobatimetrisi derinliğin ve akustik dalga oluşumunu sağlayan transducerın fiziksel özelliklerine bağlı olarak yüksek bir duyarlıkla haritalanır. Üç boyutta yelpaze geometrisinde iletilen çoklu ışınlar yardımıyla, sayısal bir yükselti modeli aracılığı ile elde edilen bu tür görüntüler, ayrıntılardaki bilgi zenginliği bakımından son derece üstündürler. Ayrıca geri saçılma yoğunluğunun uzaysal değişkenliği, akustik enerji ile deniz tabanının fiziksel özelliklerinin etkileşiminin bir sonucu olarak multi beam sonar sistemiyle belirlenebilir. Deniz tabanındaki jeolojik birimlerden alınacak sondaj verileriyle akustik geri saçılma genliğinin ilişkilendirilmesi deniz tabanının sınıflandırılmasına olanak sağlamaktadır (Diaz, 2000). Yapılan bu tür çalışmalar, aktif tektonizmanın morfoloji üzerinde bıraktığı etkilerin anlaşılmasını, deniz altı boru hattı ve liman inşaatı çalışmalarına da zemin oluşturmaktadır. Ekolojik çalışmalar ve batıkların yerlerinin de tespit edilebilmesi sistemin çok yönlü kullanılabilir oluşunu göstermektedir.

Sığ derinliklerde yüksek frekans, düşük dalga boylu sinyal ve hızlı tekrarlama oranı ile veri toplanması çözünürlüğü arttırmakta buna karşılık verinin depolanması ve işlenmesindeki zorlukları beraberinde getirmektedir. Batimetri haritalarının hazırlanması ve uygulanan veri işlem teknikleri yüksek kapasitede bilgisayarların kullanımını gerektirmektedir. Çalışmamızda kullanılan parçalara ayırma ile haritalama, verinin büyüklüğü ne olursa olsun haritalamayı mümkün kılmakta ve uygulanan veri işlem tekniklerindeki hesaplama zamanını azaltmaktadır. Aynı zamanda düşük kapasiteli bilgisayarlarla da işlem yapabilmeyi sağlamaktadır.

Mikrobatimetri ölçümleri ile deniz tabanından yüksek çözünürlükte görüntü elde edilmesi yorumlamada büyük bir kolaylık sağlamaktadır. Fakat derinlik bilgisiyle beraber ölçülen gürültü haritada görüntülenen yapıların üzerini kısmen örtmekte ve dip morfolojisinin anlaşılmasını güçleştirmektedir.

Karşılaşılan gürültülere ve ölçülen hatalı derinliklere uygulanan veri işlem teknikleri ile görüntü kalitesinin arttırılması yapılan çalışmanın temelini oluşturmaktdır. Hızlı eğim artışına bağlı olarak geniş açıyla iletilen ışınlarda gözlenen hatalı derinlikler, balık sürülerinden elde edilen yansımalar haritalarda Bull's eye ismi verilen yerel, dip tabiatıyla ilişkilendirilemeyen ani yükselmelere bağlı kapanımlara neden olmaktadır. Işık

yönlendirimli kabartma haritalarında (shaded relief map) bu etki siyah, yapıların üzerini örten bir görüntü arzetmektedir. Bull's eye etkisine neden olan hatalı derinlikler geminin ilerleyiş doğrultusunda ve ilerleyişe dik doğrultuda ölçülen demet serilerinin üzerinden silinebilmektedir. Belirli zaman aralıklarıyla sürekli, çok sayıda ölçülmüş demet serisi üzerinden gerçekleştirilen silme işleminin sağlıklı yapılması, çalışılan bölgenin dip morfolojisi hakkında ön bilgiye ve ard arda ölçülmüş profillerin birbiriyle ilişkilendirilebilmesini gerektirmektedir.

Geliştirilen yöntem; Daha önceden eşit alanda bölünmüş harita parçaları üzerinden Bull's eye etkisine sahip yerlerin, koordinatları belirli poligonlar içine alınmasına, tanımlanan alanlar içinde kalan verinin yeni oluşturulacak dosya içine yazılmaması esasına dayanmaktadır. Böylece bahsedilen nedenlerden kaynaklanan Bull's eye etkilerinin haritadan yerleri belirlenmekte, silme işlemi ham veri üzerinden gerçekleştirilmektedir. Haritanın eşit parçalara bölünerek çalışılması hem haritalamada hem de Bull's eye giderimindeki işlem zamanını kısaltmaktadır.

Ayrıca eşik değer ortalama yöntemi de bu gibi ani yükselmeleri düzeltmede etkili bir yöntemdir. Grid düğüm noktaları üzerinden çalışan algoritmaya göre birbirine komşu, boş olmayan grid düğüm noktaları belirlenmekte ve bütün grid boyunca, belirlenen filtre boyundaki alan içindeki ortalama derinlik değeri ile alan içindeki değerler önceden atanmış eşik değer ile ilişkilendirilmektedir. Böylece, ortalamadan çok büyük olan değerler yerine ortalama değerin atanması ani yalancı yükselimlerin oluşmasını engellemektedir.

Çalışmada kullanılan derinlik ölçme sisteminin geminin alt kısmına monte edilmiş olması (pole-mounted), gemi motorundan kaynaklanan titreşimin de kaydedilmesine neden olmuştur. Renk kodu içeren kontur haritalarında bu etki az göze çarparken, yapısal unsurları görüntülemekte kullanılan shaded relief haritalarında küçük dalga boylu, geminin hareket doğrultusunda süreklilik arzeden istenmeyen yapılar oluşturmaktadır. Gürültü, yapıların üzerini kısmen örtmekte ve yorumlamayı güçleştirmektedir. Geliştirilen high-cut filtreleme tekniği ile küçük dalga boyuna sahip gürültüler istenilen bir aralıkta filtrelenmekte ve optimum filtrelenmiş harita eskisinden farklı olarak dip morfolojisinin gerçek yapısını ve ayrıntıların kolay bir şekilde seçilebilmesini sağlamaktadır.

2. MULTI BEAM SONAR SİSTEMİ

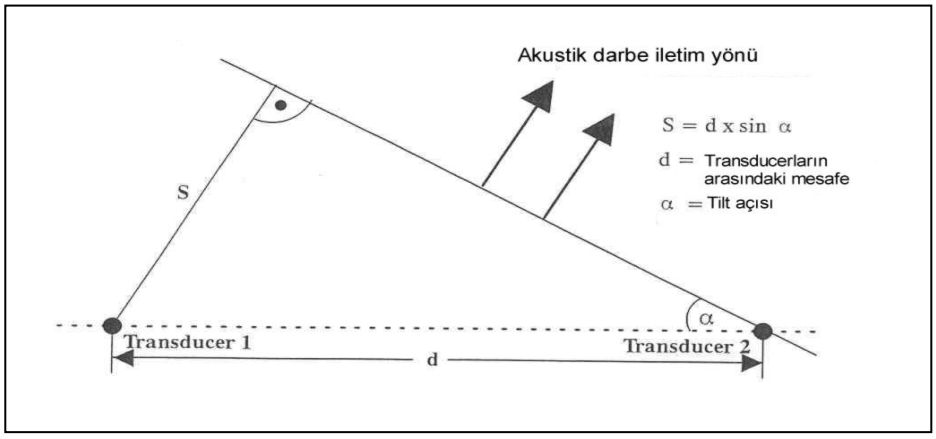
İletilen akustik darbenin, su ortamındaki gidiş-dönüş zamanından derinliğin hesaplanması esasına dayanmaktadır. Derinlik ölçme sistemi, 50 KHz uygulaması ile 2500 m derinliğe kadar hızlı ve sürekli derinlik araştırması olanağı sağlamaktadır. Tek ışınlı, nokta derinlik bilgisi sağlayan hidrografik sistemlerden farklı olarak, üç boyutta yelpaze şekilli iletilen ışın geometrisine sahip olması, deniz tabanının ayrıntılı ve doğru bir biçimde görüntülenmesini mümkün kılmaktadır.

Derinlik ölçümü, temel olarak kaynaktan dibe gidiş–dönüş zamanının sudaki ortalama ses hızı ile çarpılması ile elde edilebilir. Daha sonra, elde edilen değerin geminin yana yatma, alçalma–yükselme hareketlerinden ve gel-git etkisinden kayaklanan hataların düzeltilmesi ile daha doğru bir derinlik bilgisine ulaşılmaktadır.

2.1 Sistemin Fonksiyonel Bileşenleri

2.1.1 Akustik sistem

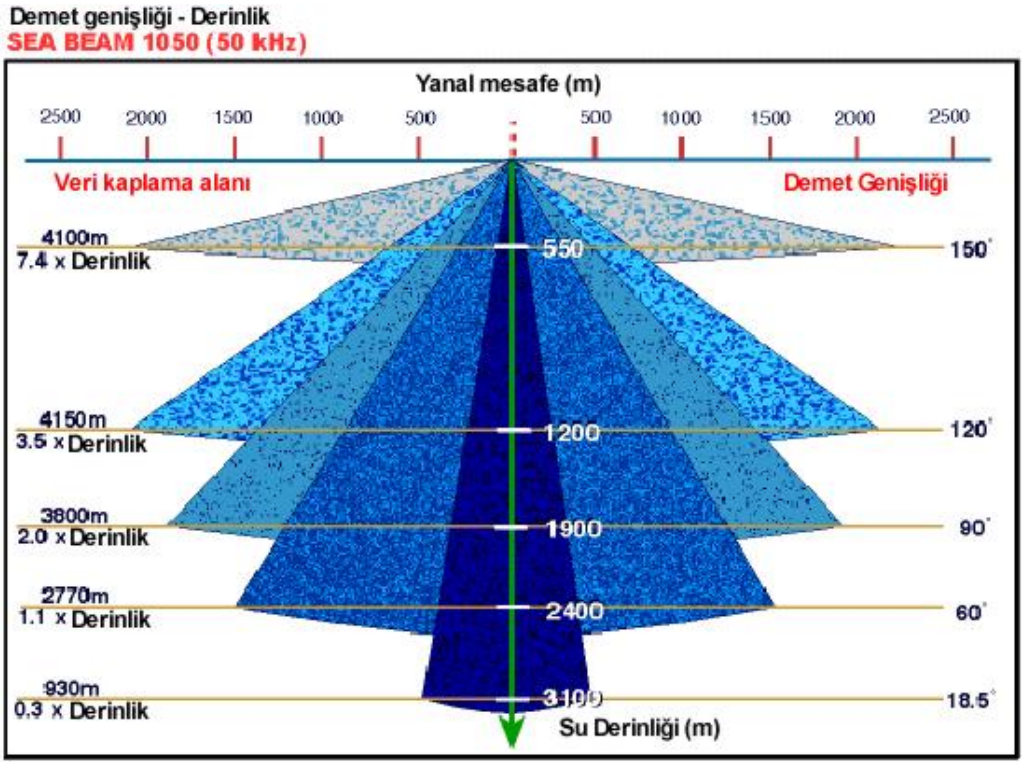
Orta derinlikteki araştırmalar için kullanılan multi beam sonar sistemlerin çoğunda, bir transducer kafasına yerleştirilmiş geminin üzerine veya yanına monte edilebilen, iki adet piezo-elektrik seramik dizin bulunmaktadır. İki transducer dizini tarafından üretilen akustik sinyal birlikte şekillendirmekte, dönen sinyal ise ayrı ayrı



Şekil 2.1: Akustik dalga iletimi prensibi (L3 Communications Elac Nautik Gmbh, 1998)

algılanmaktadır. Çalışmada kullanılan Elac–Nautik 1050 D multi beam sonar sistemine ait transducerlar, birbirlerine göre yatayla 30° 'lik bir açı ile geminin alt kısmına monte edilmiştir.

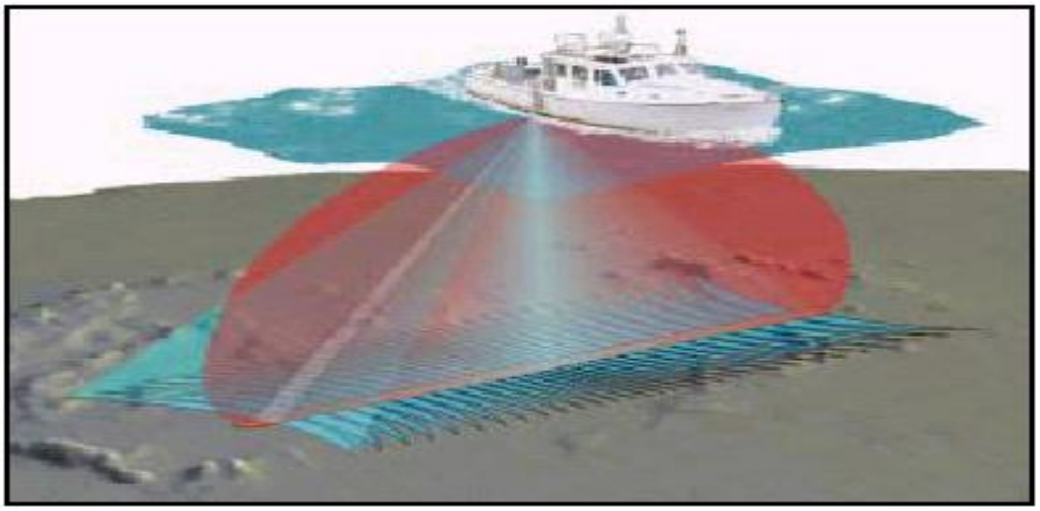
Transducerlar tarafından zaman gecikmesiyle tetiklenen iki ayrı darbenin önceden seçilmiş bir yönde nasıl iletildiği gösterilmiştir (Şekil 2.1). Birinci transducer tarafından oluşturulan ve S kadar yol alan akustik darbenin ardından tetiklenen ikinci akustik darbeyle dalga cepheleri istenilen yönde iletilebilmektedir. Bu işlem ışın şekillendirici alt birimi tarafından gerçekleştirilmektedir. Üretilen 56 adet ışın Çubuklu gemisinde 120°, Mesaha 2 botunda ise 126 adet ışın 153° genişliğinde yelpazeler biçiminde iletilebilmektedir. Yüksek İletim açısı ile iletilen ışınlarda derinliğin artmasıyla hata artmaktadır. Örneğin 45° ile iletilen ışındaki 1° 'lik hata derinlik hesaplamasında % 1,8 hataya neden olmaktadır. Bu nedenle derinlik ile yelpaze genişliği arasında bir optimizasyon söz konusudur.



Şekil 2.2 Derinlik – yelpaze genişliği optimizasyonu (L3 Communications Elac Nautik Gmbh, 1998)

Genel olarak, sığ su multi beam sonar sistemlerinde iletilen akustik enerji; geminin gidiş yönü doğrultusunda 1° ile 5°, gidiş doğrultusuna dik doğrultuda ise 100° ile 180° arasındaki açılarla ışın şekilli lob olarak iletilmektedir. Yansıyan ışınları algılayan dizin, geminin ön kısmına doğru 1,5° - 3° ' lik açılarla arka kısmına doğru ise 3.3° - 30° arasındaki açılarla dönen ışınları algılamaktadır.

Kesişen ışınlar ise açıları 0.9° ile 2.5° arasında değişen dar açılara sahip ışınlar oluşturmaktadır (Diaz, 2000). Sistem ile elde edilen kavramsal ışın geometrisi gösterilmiştir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Sistem ile elde edilen kavramsal ışın geometrisi (Diaz, 2000)

Işın sayısı, yelpaze genişliği ve darbe genişliği yapılacak çalışma öncesinde derinliğe bağlı olarak seçilebilen parametrelerdir. Derin ve sığ multi beam sonar sistemin arasındaki temel farklılık; Sığ derinliklerde yüksek frekans, düşük dalga boylu sinyal ve daha hızlı tekrarlama oranı ile veri toplanmasıdır. 50 / 180 kHz frekans uygulamaları geniş veri kaplama alanı ve dar darbe genişliği ile yüksek çözünürlükte veri toplamaya olanak sağlamaktadır.

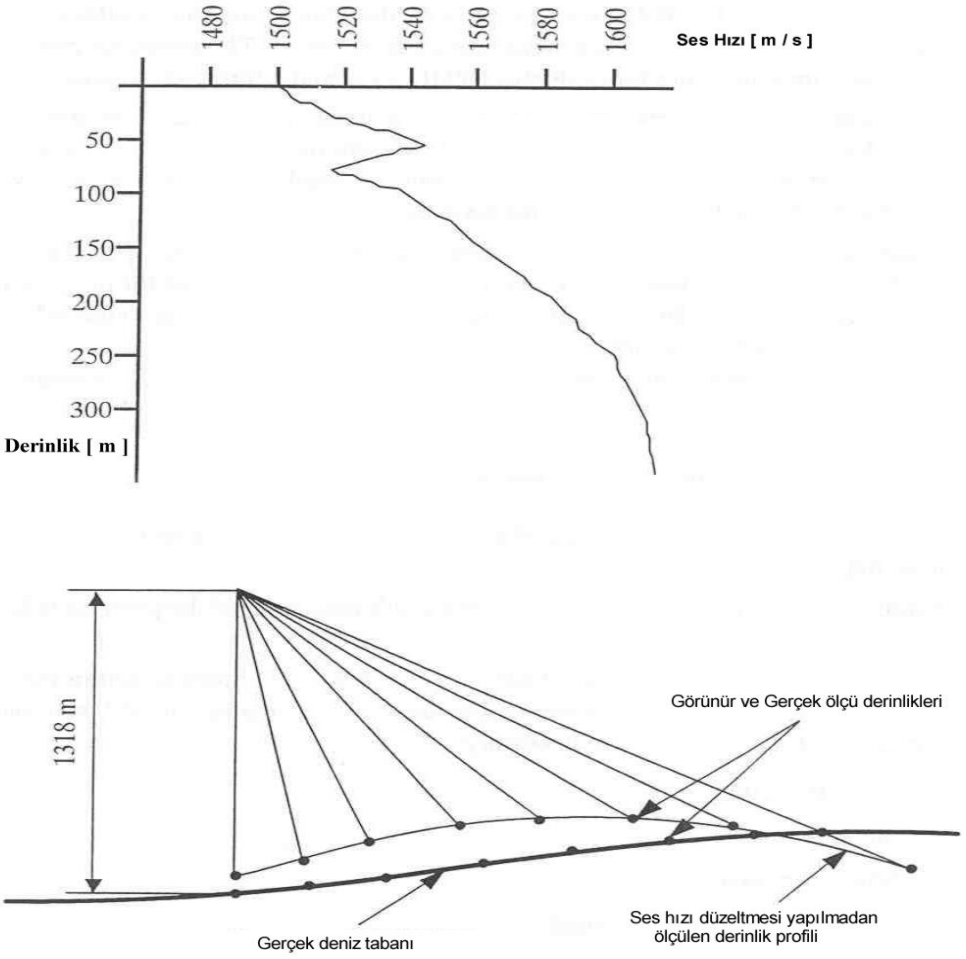
2.1.2 Gemi hareket algılayıcıları

Bu algılayıcı, deniz yüzeyindeki dalgalanmanın neden olduğu gemideki alçalma-yükselme ve yana yatma hareketlerine duyarlıdır. Bu hareketler, algılayıcının üzerinde bulunduğu kardanik platforma olan bağıl yer değiştirmesinden hesaplanmaktadır. Dalga yüksekliği, platforma sabitlenmiş ivme ölçerin ölçtüğü değerlerin iki kez integralinin alınmasıyla elde edilir. Ölçülen değerler, merkezi işlem ünitesi aracılığı ile sistem kontrol arabirimine iletilir. Doğru derinliğin hesaplanabilmesi için anlık olarak ışın şekillendiriciye düzeltme bilgisi göndermektedir.

2.1.3 Sea Bird

Derinlik ölçümlerini etkileyen bir başka faktör derinliğe bağlı ses hızı artımıdır. Sudaki ses hızı birkaç fiziksel parametreye bağlıdır. Bunlar : Sıcaklık, tuzluluk, iletkenlik ve basınçtır.

Sea bird aleti derinliğe bağlı hız değişimini 0.5 m aralıklarla 1m/s duyarlılıkta ölçmektedir. Hızın artımı, ses dalgasının su kolonu boyunca kırılarak ilerlemesine neden olur. Ölçülen hız profili ile gerçekleştirilen ses hızı düzeltmesi derinliğin doğru hesaplanmasına yardımı olmaktadır (Şekil 2.4). Ses hızı profilindeki küçük bir artımın bile ses darbesinin seyahat zamanını etkileyebileceğini dolayısıyla, yanlış derinlik ve bir miktarda koordinatta hataya neden olabileceğini açıklamaktadır.



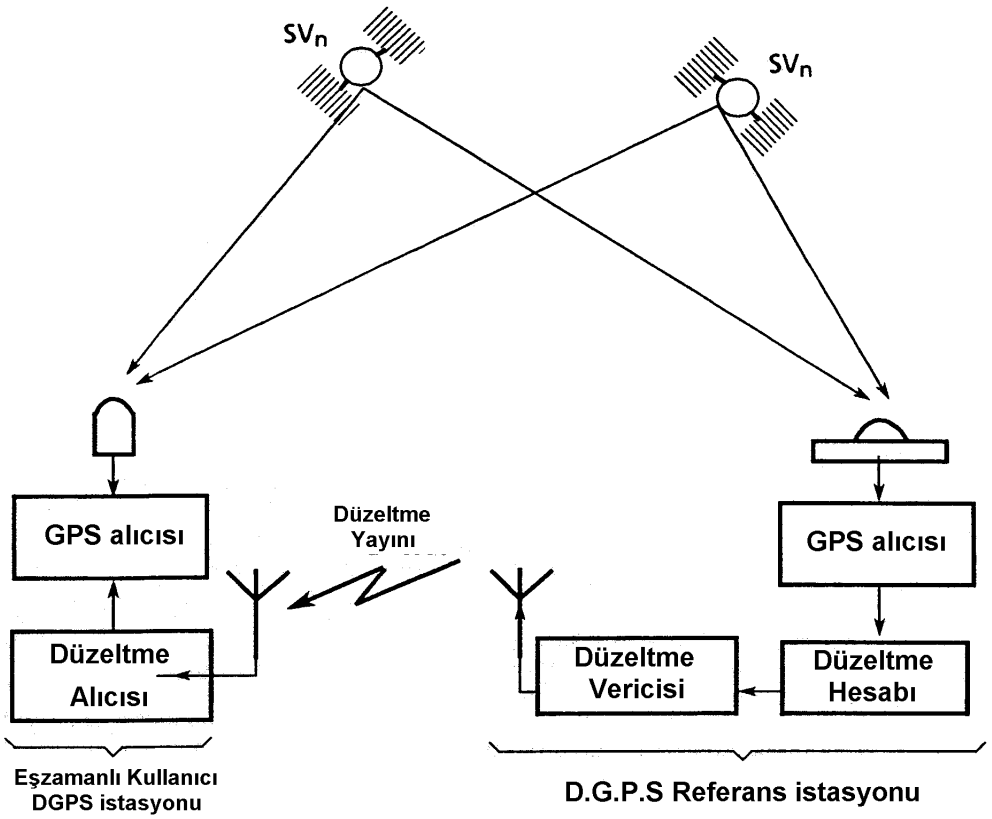
Şekil 2.4: Ses hızı profili ile ölçülen derinlik arasındaki ilişki (L3 Communications Elac Nautik, 1998)

2.1.4 Diferansiyel GPS Sistemi

Deniz tabanı haritalama işleminde derinlik ölçümleri kadar önemli olan bir başka işlem de, ölçülen derinliklere ait koordinatların gerçek yerlerinin bulunmasıdır. Geminin gerçek lokasyonu ile geminin koordinatı bilinen bir noktaya bağlı, bağıl lokasyonu ayırt edilmelidir. Multi beam sonar sistemi geminin koordinatlarını belirlemek için gerekli algılayıcıları bulunmamaktadır. Bunun için harici, yüksek duyarlıkta bir koordinat belirleme sistemine ve aşağıdaki verilere ihtiyaç duymaktadır:

- Geminin pozisyonu
- Geminin hızı
- Hareket sırasında kuzeyle yapılan açıya
- Geminin yere göre yer değiştirmesine

Işının geliş yönü ve ses hızı profili de dikkate alınarak, her bir ışının getirmiş olduğu derinliğe ait koordinat, zamanı ile belirlenmektedir.

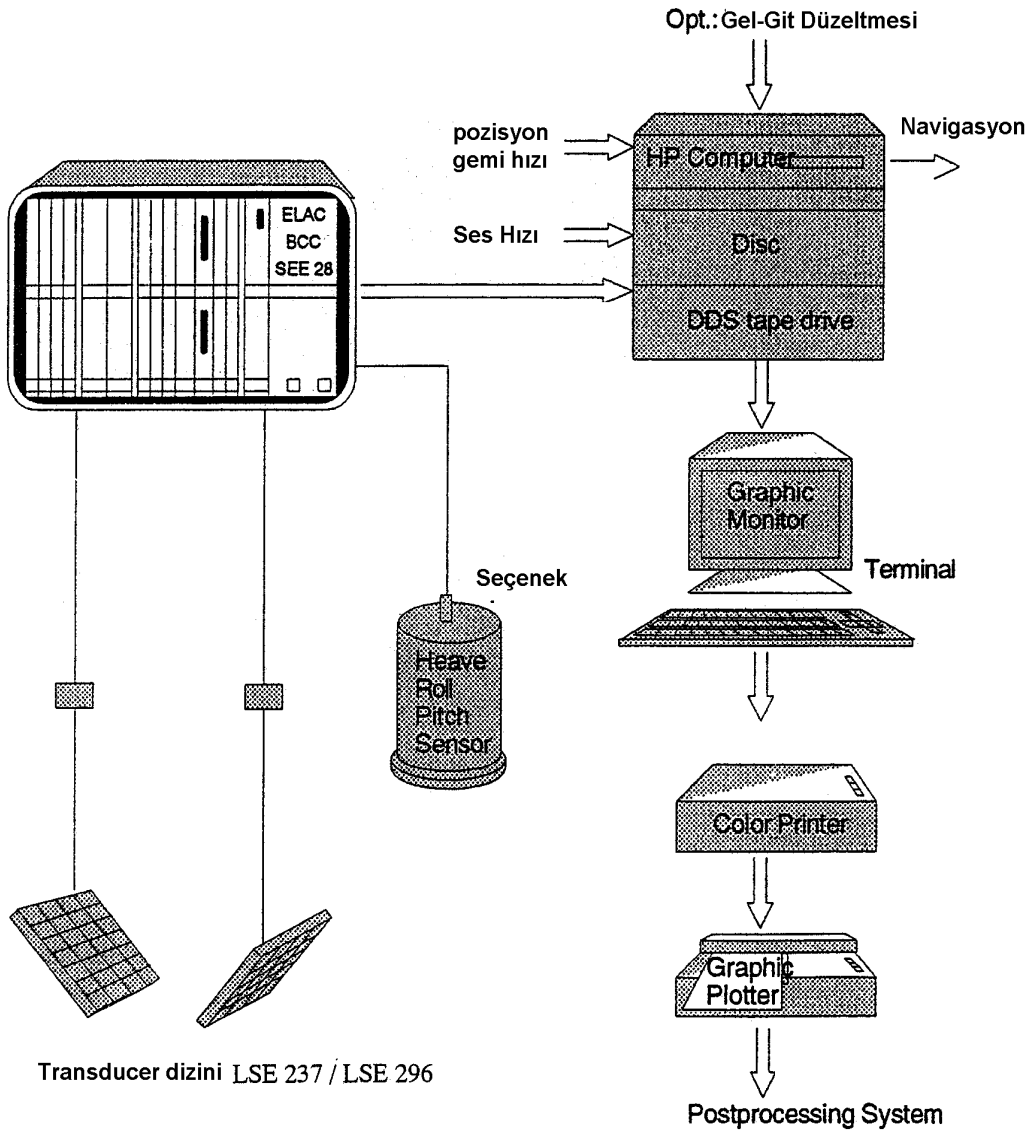


Şekil 2.5 : Diferansiyel GPS sistemi (L3 Communications Elac Nautik Gmbh, 1998)

Diferansiyel GPS sistemi, karaya kurulmuş ve koordinatları doğru bir şekilde bilinen (WGS 84 sisteminde) bir baz istasyonun, GPS uydularından almış olduğu düzeltme sinyallerini hareketli olan gemiye aktarması esasına dayanmaktadır. Böylece, geminin navigasyonu sırasındaki lokasyonu 1–5 m duyarlıkla hesaplanmaktadır.

2.1.5 Veri işlem sistemi

Bütün seyir boyunca geminin sabit hızla daha önceden belirlenmiş koordinatlar içinde yol alması sistem işlemcisi (32 bit bilgisayar) aracılığı ile sağlanmaktadır. Bununla birlikte, sistemin bütün algıyacılarla ve koordinat arabirimi ile koordinasyonu



Şekil 2.6: Sistemin fonksiyonel bileşenleri (L3 CommunicationsElac Nautik Gmbh, 1998)

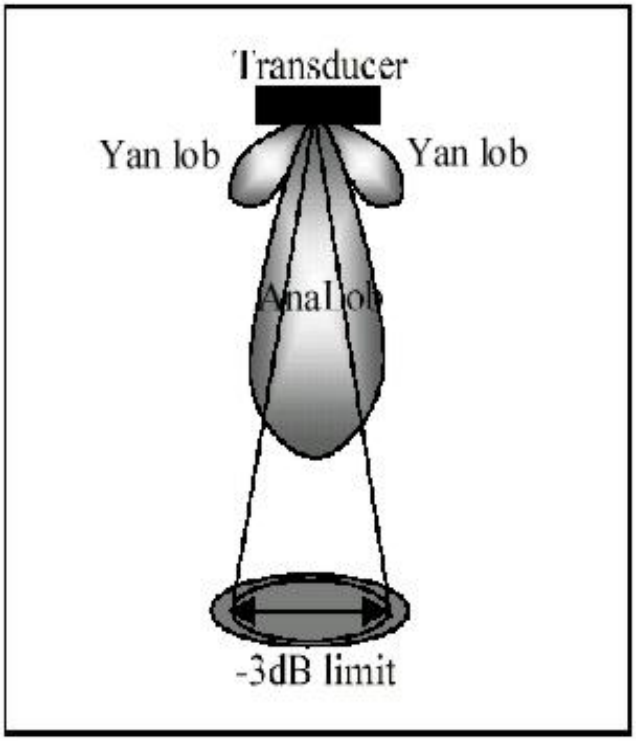
sistem işlemcisi aracılığıyla gerçekleşmektedir. Veri sabit diskte veya bir teyp sürücüsünde depolanabilmektedir.

2.2 Akustik Görüntüleme kavramları

Ferdi ışınlar tarafından görüntülenen alan, ana ışın bölümünün deniz tabanına ulaşan bölümüyle ilgilidir (Clarke ve diğ., 1997). Işın demetine ait ana bölüm teknik terim olarak desibel cinsinden kaynak gücünün yarısına eşittir.

$$10 \log (1 / 2) = - 3\text{dB} \qquad (2.1)$$

Bu sonuca göre, - 3dB eşik değeri iletilen ve yansıyan ışın desenlerinin oluşumunu dolayısıyla görüntülenen alanı tanımlamaktadır. Bölgeyi görüntüleyen her ışın elips şeklini almaktadır. Elipsin boyutu matematiksel olarak derinliğin, üretilen ışınların iletiliş açısının fonksiyonu olarak değişmektedir. Işın geometrisi göz önünde bulundurulursa ve ışınların sınırlı boyutlarda görüntülediği düşünülürse, deniz



Şekil 2.7: Hipoteze dayalı akustik ışınlara ait – 3dB eşik değerinin gösterimi (Wells, 1997).

tabanında görüntülenen bölgede görülen en küçük nesne boyutu (çözünürlük) tahmin edilebilir.

2.2.1 Uzaysal Çözünürlük: Akustik Parametreler

Sonar sistemine ait uzaysal çözünürlüğü, ışın genişliği ve iletilen sinyale ait band genişliği belirlemektedir. Transducera ait band genişliği hedef çözünürlüğü ΔR 'yi düzenlemede baskın etkendir (de Moustier, 1998a).

$$\Delta R = \frac{C}{2W} \tag{2.2}$$

Bu eşitlikte, C ses dalgası hızı ve W' de sinyale ait band genişliğidir. Büyük band genişlikleri ile yüksek hedef çözünürlüğü elde edilmekte böylelikle birbirine yakın nesnelerden dönen sinyalleri ayırt etme yeteneği artmaktadır. Tipik bir transducera ait band genişliği genellikle uygulanan frekansın % 10 ' una eşit olmakta böylelikle yüksek frekans ile yüksek hedef çözünürlüğü elde edilmektedir. Benzer mantıkla açısal çözünürlük Rθ'da uygulanan frekans ile orantılıdır.

$$R\theta = \frac{C}{FL} \tag{2.3}$$

Bu eşitlikte ise, F frekans ve L' de transducera ait fiziksel boşluk olarak tanımlanmaktadır. L parametresi izin verilen ses dalgası giriş veya çıkışına işaret etmektedir. Temel olarak ses dalgalarının uzaysal yayılımını sınırlayan parametredir. Açısal çözünürlük, tekrarlı yansımaların transducera dönüş yönlerini ayırt etmeyi sağlamaktadır. Transducera ait ışın genişliği θ_{bw} ile de bağlantılıdır.

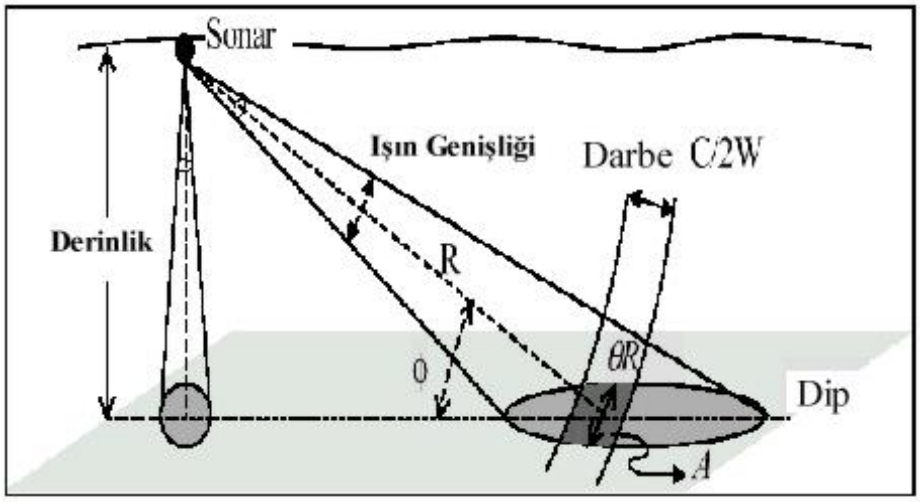
$$R\theta \approx \theta_{bw} = 0.88\frac{\lambda}{L} \tag{2.4}$$

Eşitlik (2.4)' de; λ dalga boyunu ve 0.88 sayısı, indirici boşluğu L' nin 4λ ' dan büyük olduğu durumda (yüksek frekanslardaki dar band genişliklerinde) kaba yaklaşım sabiti olarak tanımlanmıştır. ϕ sıyırma açısı ile iletilen ışın tarafından görüntülenen A alanından elde edilen sinyal, Rθ açısal çözünürlüğü ile yatay düzleme ΔR hedef çözünürlüğünde iz düşürülmektedir. Görüntülenen alan A şekil 2.8 ' de gösterilmiştir.

$$A = \frac{\Delta R}{Cos\phi} R\theta = \frac{C}{2WCos\phi}\frac{RC}{FL} \tag{2.5}$$

Yansıyan ışının oluşturduğu sinyal tarafından anlık olarak görüntülenen alan, eğimli nesnenin çözünürlüğü R ile orantılıdır fakat F uygulanan frekansına karşılık verilen L fiziksel boşluğu ile ters orantılıdır. Bu sonuca göre yüksek frekans ile geminin

ilerleme doğrultusu boyunca potansiyel olarak yüksek uzaysal çözünürlüğe ulaşılmaktadır. Ek olarak frekans bağımlı W terimininde paydada bulunması uzaysal çözünürlüğün artmasını sağlamaktadır. Geminin hareket doğrultusuna dik doğrultuda ise band genişliği arttıkça yüksek çözünürlük elde edilmektedir.



Şekil 2.8: Düşük sıyırma açısı ile deniz tabanına iletilen ışın geometrisi (de Moustier,1998b).

2.2.2 Uzaysal Çözünürlük: Görüntü Boyutu (Işın ayak izi boyutu)

Bir akustik ışına ait uzysal çözünürlüğü Bölüm 2.2.1' de belirlenen parametreler belirlemekte dolayısıyla bu parametreler görüntü boyutunun değişimi cinsinden ifade edilebilmektedir. Multi beam sonar sistemindeki her ışın bir batimetri çözümü üretmektedir. Dip araştırması, görüntülenen sonlu alanların (ayak izlerinin); Işın genişliği, ışın iletim açısı ve derinliğin fonksiyonu olarak belirlenmesidir. Ayak izi genişliği f_a geminin arka bölümü yönünde:

$$f_a = \frac{2d}{Cos^2\theta} \tan\frac{\varphi}{2} \qquad (2.6)$$

İfadesi ile değerlendirilebilir. Bu eşitlikte d parametresi ölçülen derinlik, θ iletim açısı ve φ parametresi de geminin hareket doğrultusuna dik doğrultuda elde edilen ışın genişliğidir. Yukarıdaki eşitlikten, eğimli olmayan sabit derinliğe sahip bir yüzeyde ayak izi boyutu iletim açısının artmasıyla artmaktadır. Bu nedenle en yüksek çözünürlük nadir bölgesinde beklenmekte ve ışın demetinin dış kısmlarına gidildikçe yavaş yavaş azalmaktadır.

2.3 Multi beam sonar sisteminde akustik geri saçılma

Deniz tabanının geri saçılım yoğunluğu; Su kolonu boyunca iletilen ve belli bir açı ile belli bir bölgeden dönen akustik darbeye ait enerji olarak tanımlanmaktadır. Geri saçılma yoğunluğunun uzaysal değişkenliği, akustik enerji ile deniz tabanının fiziksel özelliklerinin etkileşiminin bir sonucu olarak multi beam sonar sistemiyle belirlenebilir. Akustik geri saçılma bir kaç değişkene bağlıdır:

- Deniz suyu ile deniz tabanındaki maddeler arasındaki akustik empedans farklılığının sonucu oluşan yansıma katsayısı.
- Akustik dalga boyunun bir fonksiyonu olarak yüzey engebeliği.
- Hacim yankılanması cinsinden ifade edilebilen akustik dalga boyu.

Teoride farklı deniz tabanı çeşitleri karakteristik bir cevap sinyaline sahiptir ki bu deniz tabanı sınıflandırma sistemlerini uygulanabilir kılmıştır. Uygulamada ise karmaşık olan üç oluşumun bir araya getirilmesine kadar yöntem kullanmaya elverişli değildi. Akustik geri saçılma yoğunluğu iletilen akustik sinyale ait açının bir fonksiyonu olarak değişir. Şiddetin açıya bağlı değişimleri engebesiz bir yüzey farz eden Lambert'in modeline uymaktadır (Novarini ve Caruthers, 1998). Uygulamada ise deniz tabanının engebeli olması Lambert kuramının tam olarak uygun olmadığını göstermektedir. Aslında bu multi beam sonar sistemi kullanmanın bir avantajıdır ki; Geminin gidiş doğrultusuna dik alınan anlık kesitlerden asıl profilleri oluşturmada kullanılan gerçek iletim açılarını ve görüntülenen ayak izi bölgelerini hesaplamada kullanılır. Ek olarak, kısa demet serileri geminin ön kısmı yönünde oluşturulan ışınlara ait gerçek iletim açılarının düzeltilmesinde kullanılır.

Farklı geri saçılma şiddetine sahip maddelerin farklı çözünürlüğe sahip görüntü oluşturması ve yükseltinin etkisi geri saçılım haritası oluşturmada kullanışlı olmaktadır. Bu yaklaşımda kullanılan varsayımlar, uygulamadaki düzeltmeleri, T_x ve R_x ışın geometrilerinin ayarlanmasını, gemi gidiş doğrultusuna dik profil düzeltmesini (Lambert varsayımının etkilerini gidermek) ve kırılma olmamasını beraberinde getirmektedir. Niteliksel olarak; Kontrastı yüksek sediman tipleri, mostra veren birimler / büyük kaya parçaları, kaba kum, ince taneli kum ve çamur engebesiz deniz tabanında ayırt edilebilir. Özellikle engebeli olmayan deniz tabanı yüzeyinde niceliksel tahminler istendiğinde bu dayanak noktaları göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca deniz tabanına ait tane boyutu , yüzey engebeliliği, empedans vb. gibi fiziksel özelliklerin toplanmasıyla ve bunlardan birinin ölçülen akustik sinyal ile ilişkilendirilmesi sonucunda birimler bölgelendirilebilir ve niteliklerine uygun yüzeyler

oluşturulabilir (Clarke ve diğ.,1997). Yapılacak bir çalışmada geri saçılma şiddeti parametresi deniz tabanı sınıflandırılmasında kullanılmakta ve farklı birimlerin çok düşük bir hata ile görüntülenmesini sağlamaktadır. Bir sonraki bölümde akustik geri saçılma ile ilgili temel kavramlar üzerinde durulacak ve ölçülerdeki etkisi daha iyi anlaşılacaktır.

2.4 Akustik Geri Saçılma Prensipleri

Geri saçılma yansımasının yoğunluğu; Su kolonu boyunca iletilen, belli bir açı ile belli bir bölgeden dönen akustik darbeye ait enerji olarak tanımlanmaktadır. Geri saçılma yansımalarının yoğunlukları, deniz tabanının yansıtma özelliğine, saçılmaların dağılımına, dibe ilerlemeye ve dib altı hacim saçılmasına bağlıdır (Nishimura,1997). Akustik geri saçılma yoğunluğunun uygun nicelikte olabilmesi bir kaç konuya bağlıdır. Bu konular ayrıntıya girmeden anlatılacaktır.

2.4.1 Dip Ara Yüzeyinden Yansımalar

İdeal engebesiz bir yüzeyde sıfırdan farklı iletim açısıyla enerjinin tamamı kaynaktan uzakta bir yerden yansımadıkça geri saçılma enerjisinin varlığından söz edilemez. Daha gerçekçi bir yaklaşım ile, deniz tabanına çarpıp geri dönen enerjinin daima belirli bir kısım kaynağa geri saçılacaktır. Ses darbesinin kaynaktan hedefe ve hedeften kaynağa gidiş gelişi sırasında akustik yoğunluğun küresel yayınım ve su kolonu soğurması nedeniyle kaynağın sadece bir bölümünün geri döndüğünü bilmekteyiz.

Genellikle su–deniz tabanı ara yüzeyindeki yankının büyüklüğü geri saçılma katsayısı olarak bilinmektedir (de Moustier, 1998b). Geri saçılma katsayısı:

$$I_S = I_0 A \frac{S(\theta_i)}{R^2} \tag{2.7}$$

İle ifade edilebilir. I_s, yüzeyden 1 metre yukarıda referans yüzeyinden ölçülmüş geri saçılma darbesinin şiddeti, I_0 su kolonu boyunca sonar sistemi tarafından iletilen akustik darbenin şiddeti, A görüntülenen alan, θ_i darbe iletim açısı, ve R^2 su kolonunda gidiş dönüş mesafesidir. $S(\theta_i)$ geri saçılma katsayısı:

$$S(\theta_i) = S_r + S_\mu + S_v \tag{2.8}$$

İfadesi ile tanımlanabilir. Bu eşitlikte, S_r saçılmaya katkıda bulunan dip engebesini göstermekte (jeomofoloji), S_μ mikro ölçekteki engebenin saçılmaya katkısını (tane boyutu ve biçim), S_v sedimanların hecimsel türdeşsizliğinin katsayısını (dip altı litolojisi) belirtmektedir (Novarini ve Crauthers, 1998) Geri saçılma yoğunluğu S_b desibel cinsinden ölçülmekte ve

$$S_b = 10 \log (S (\theta_i)) \quad (2.9)$$

bağıntısı ile ifade edilmektedir. Deniz tabanı fiziksel özelliklerinin soğrulma ve saçılma olayları üzerinde direk etkisi vardır. Bu oluşumdaki temel öğeler:

- Tane boyutu, yoğunluk ve hız
- Deniz tabanı engebeliliğidir.

2.4.1.1 Tane Boyutu ve Yoğunluk

Sedimanların parçacık boyu farklı ölçeklerde çalışan düzensiz düzeyler gibi davranır. Belirli bir akustik dalga boyunda, kum ve çakılla karşılaştırıldığında kil ve silt pürüzsüzdür. Bununla birlikte, kumlu kil ve iri taneli kum gibi birbirine yakın sediman guruplarında farklılıklar daha az dikkat çekicidir.

Tane boyutu p dalgası hızını kontrol eden su içeriği ve poroziteyi de etkiler. P dalgası hızı ve Bulk Yoğunluğu ρ ' nın çarpımı maddenin akustik dalgaya karşı direncinin bir ölçümüdür ve bu çarpım akustik empedans olarak isimlendirilir. İki ortamın empedans farklılığı akustik darbenin davranışını belirler. Bu ilişki aşağıdaki ifade ile açıklanabilir.

$$R_0 = \frac{\rho_1 V_1 - \rho_2 V_2}{\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2} \quad (2.10)$$

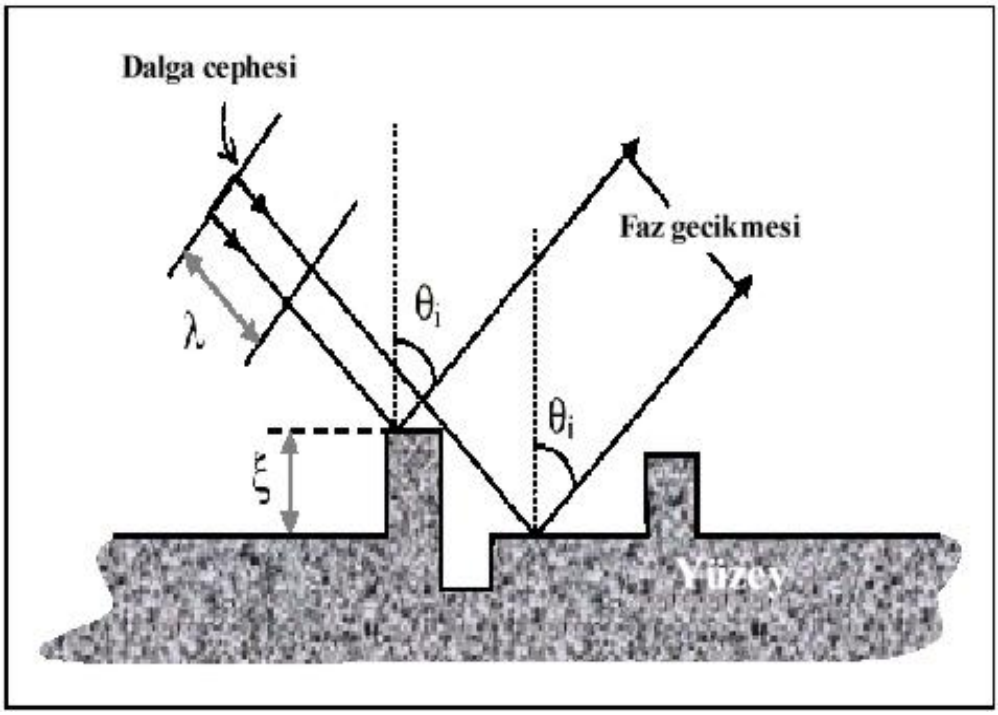
Eşitlik 2.10' da; R_0 sırasıyla, V_1, V_2 hızlarına ve ρ_1, ρ_2 yoğunluklarına sahip birinci ve ikinci ortamlar için yansıma katsayısıdır. Engebeli yüzeyler de yansıma katsayısını ifade edebilmek için bu ifadeye ek parametreler eklenmesi gerekmektedir.

2.4.1.2 Deniz Tabanı Engebeliliği

Yüzey yükseltisi farklılığı yansıyan akustik dalga için faz gecikmesine neden olur (Şekil 2.9). Yükselti farklılığı sıfıra yaklaştığında (engebesiz yüzey) yansıma katsayısı R_0 empedans farklılığı tarafından yönetilir. Yükselti farklılıkları daha büyük değerlere ulaştığında faz gecikmeleri aşağıdaki tahmin hesabında olduğu gibi yansıyanlarla orantılı olacaktır.

Eşitlik 2.11' de, σ döndüğü varsayılan değerlere ait normal dağılımın standart sapma değeri, k ise 2π / λ olarak tanımlanan akustik dalga sayısı (yüzey engebeliliğinin frekans bağımlı terim) ve θ_i 'de dalga iletim açısıdır.

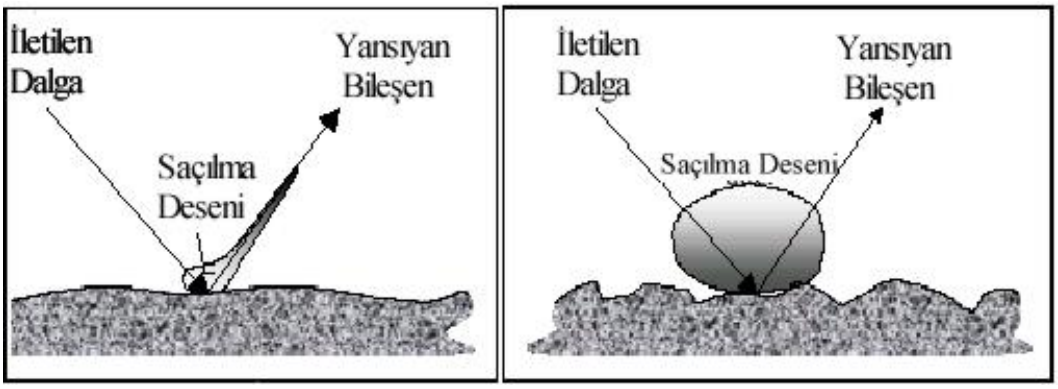
$$R = R_0 \exp(-2 k^2 \sigma^2 \mathrm{Cos}^2 \theta_i) \qquad (2.11)$$



Şekil 2.9 :Yüzey engebeliliğine bağlı dalga cephesi faz gecikmesi (de Moustier,1998b).

Ara yüzey engebesi ölçeği akustik dalga boyu λ cinsinden ifade edilmektedir. λ ' dan küçük engebeye sahip bir yüzeyde yükselti farkının neden olduğu faz gecikmesi yansıyan dalganın yüzeyden dönen dalga cepheleri ile karşılaşmasına neden olur. Diğer yandan, pürüzsüz λ ' dan büyük engebeye sahip yüzeyde dalga cepheleri λ ' ya göre çok küçük faz gecikmeleriyle yansırlar.

Niteliksel olarak yüzey engebeliliği ve yüzeyden saçılma yansımaları arasındaki ilişki örnekler ile gösterilmiştir (Şekil 2.10). Açısal dağılım iki öğeye dayanmaktadır: Bir yansıyan bileşen (Yansıma modeline uygun, izotrop, tahmin edilebilir) ve bir de saçılan bileşen (yansıma modeline uygun olmayan, anizotrop, saçılan) den oluşmaktadır. Engebesiz bir deniz tabanı için akustik dalga boyuna bağlı olarak yansıyan bileşenin saçılandan büyük olması, bağıl düşük yoğunluğa sahip geri saçılma zaman serilerinin bir sonucudur. Yüzey engebesi arttıkça saçılan bileşen yansıyandan büyük yoğunlukta olmakta böylelikle Lambert yüzeyi yaklaşımına uygun cevap vermektedir. ($\mathrm{Cos}^2 \theta$ ' ya bağlı değişim)

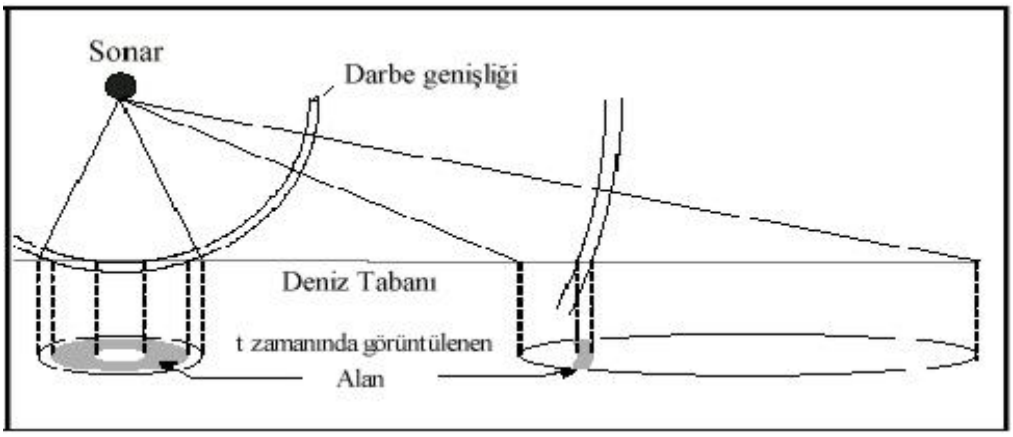


(a) (b)

Şekil 2.10: İletilen dalgalar için yüzey saçılma örnekleri: (a) Engebesiz yüzeyden uygun bir yansıma örneği; (b) Engebeli bir yüzeyden akustik enerjinin büyük bir bölümü uyumsuz bir şekilde saçılmaktadır (Diaz, 2000).

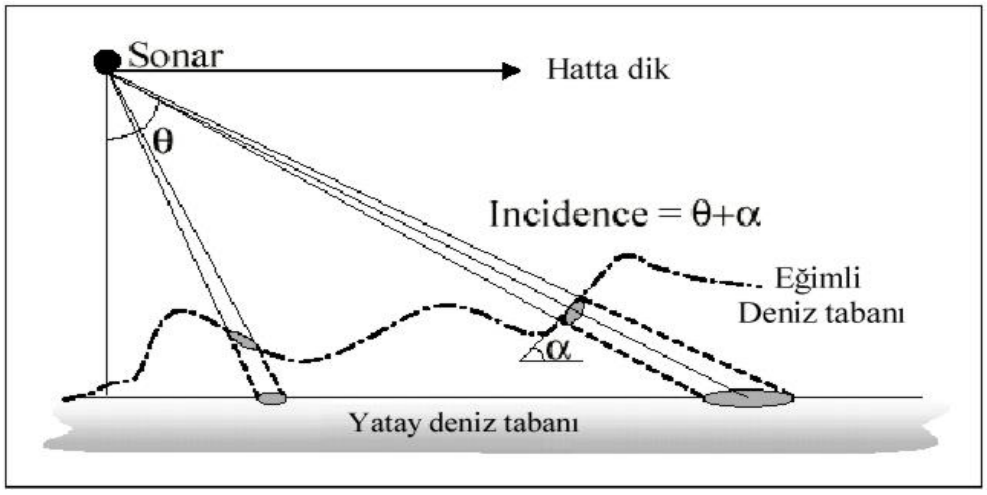
2.5 Akustik Geri Saçılmanın Açıya Bağımlılığı

Deniz tabanında oluşan akustik geri saçılmanın açıya bağımlılığını anlamak için multi beam ölçümleri ile ilişkili olan geometriyi tanımlamak gerekmektedir. Deniz tabanıyla kesişen darbe tarafından görüntülenen alan iletim açısına bağlı olarak değişmektedir. Deniz tabanına (yansımanın gerçekleştiği yüzey normaline) doğru ilerleyen ilk dalga, küresel biçimde genişleyen bir dalga cephesi olarak yayılır ve dibe yaklaştığında düzleme paralel bir görünüm alır. Su deniz tabanı kontağı, boyutu darbe genişliği tarafından belirlenen ve ana loba ait (- 3 dB) eşik değerine kadar genişleyen bir disk tarafından görüntülenir. Diğer taraftan normalden uzaklaşan darbe genişlemesi artık dibe paralel değildir. Böylelikle disk, iletim açısı nadir bölgesinden uzaklaştıkça daralan bir daire dilimi şeklini almaktadır. Normalde ve nadir bölgesinin dışında oluşan darbe genişliği geometrisi gösterilmiştir (şekil 2.11).

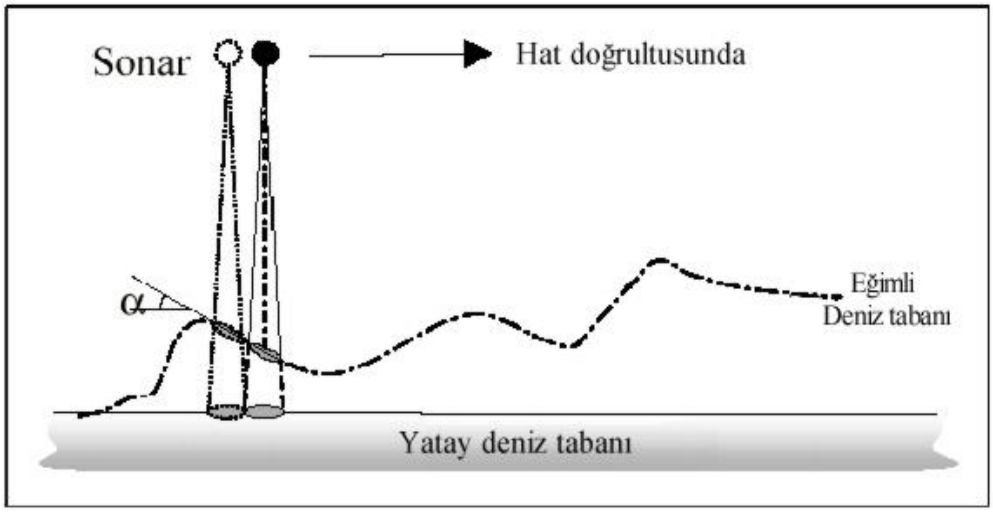


Şekil 2.11: Yansıma normalinde ve normalden uzaklaşan ışınlar için deniz tabanında oluşan darbe genişliği geometrisi (de Moustier, 1998a).

Geri saçılma yoğunluğu, geminin gidiş doğrultusuna dik doğrultuda oluşan belirli bir geliş açısı ve belirli bir görüntü parçasına (ışın ayak izine) sahip darbe genişlemesi izinin katkısı sonucunda ölçülmektedir. Bir önceki paragrafta bahsedildiği gibi geri saçılmanın açısal bağımlılığını açıklamak için, deniz tabanında oluşan yansımaların varış açılarının iletim ve dönüş açılarına dönüştürülmesine ihtiyaç vardır. Bu nedenden dolayı geminin yana yatma, kırılma ve eğim düzeltmeleri gerekmektedir. Geminin hareketini karşılayan birim göz önünde bulundurulur, kırılma problemleri uygun bir model ile doğru bir şekilde elenir ve eğim düzeltmeleri geminin ilerleyiş yönüne dik doğrultudan alınan anlık batimetri ölçümlerinin ard arda bir kaç demette uygulanmasıyla düzeltmeler gerçekleştirilebilir (de Moustier ve Matsumoto, 1993).



Şekil 2.12: Geminin ilerleyiş yönüne dik doğrultudaki eğim, anlık demet profilinden alınan iletim açılarıyla düzeltilmektedir (de Moustier ve Matsumoto,1993).



Şekil 2.13 Geminin ilerleme doğrultusundaki eğimin belirlenebilmesi için demet serilerine ait iletim açılarının düzeltilmesi (de Moustier ve Matsumoto,1993).

İlerleyişe dik doğrultudaki eğimler her ping aralığında ölçülen batimetrik profilden hesaplanmaktadır. İletim açıları, uygun demet parçalarındaki eğim açılarının dibe varış açılarıyla toplanması sonucu hesaplanmaktadır ki, bu oluşum her ping aralığındaki akustik geri saçılımın açısal bağımlılık fonksiyonunu üretir. Bununla birlikte güvenilir bir açısal bağımlılık fonksiyonu elde etmeden önce bir kaç ping ortalaması alınmalıdır. Bu oluşumu gerçekleştirmek için verinin deniz tabanından homojen bir demet genişliği ile alınması gerekmektedir.

3. HARİTALAMA VE VERİ İŞLEM TEKNİKLERİ

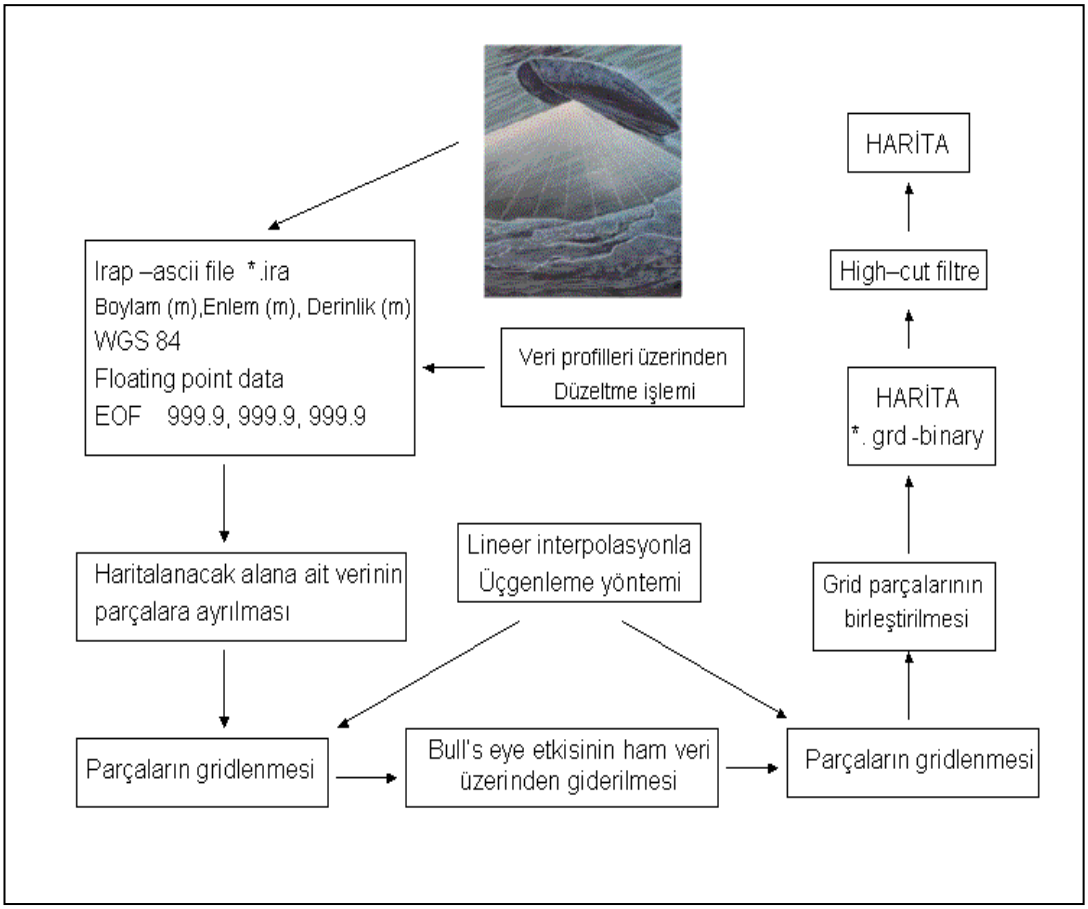
Haritalar, düzensiz dağılım gösteren ölçüm değerlerinin düzenli grid düğüm noktalarından oluşan bir g(x,y) düzlemine aktarılması sonucunda oluşmaktadır. g fonksiyonu: özdirenç, yükselti, sıcaklık gibi bir çok fiziksel parametrenin uzaysal değişimini belirtebilir. Deniz tabanındaki derinlik değişimlerinin sunulmasına yardımcı olan batimetrik haritalarda g fonksiyonu, derinliğin coğrafi boylam ve enleme bağlı değişimini göstermektedir.

Batimetri haritaları, liman inşaatı ve boru hattı çalışmalarında, ekolojik veya tektonik amaçlı kullanılabilmektedir. Kullanılan amaca bağlı olarak haritalama işlemi sırasında matematiksel olarak derinlik bilgilerine atanan kod değişmektedir. Örneğin tektonik amaçlı bir çalışmada; Olası bir fayın morfoloji üzerinde bırakmış olduğu ondülasyonlar ve çizgisellikler, çeşitli açılarla yönlendirilebilen bir ışık kaynağının, bölgenin üç boyutlu topoğrafik modeli üzerinden elde edilen yansımalara atanan kod ile görüntülenmektedir (shaded relief resmi) veya akustik geri saçılma genliğinin jeolojik birimlerle ilişkilendirilmesi çalışmasında, verinin dağılımı ve eşik değerler dikkate alınarak renk koduna göre oluşturulan haritalarla bölgelendirme yapılabilmektedir.

Derinlik ölçümleri bitakım hatayı beraberinde getirmektedir. Hatalı derinliklere neden olan etkenlerin bir kısmı bölüm 2 ’de anlatılmıştır. Bunlar:

- Yüksek iletim açısıyla gönderilen ışınlar
- Geminin yana yatma, alçalma-yükselme hareketi
- Ani derinlik değişintileri
- Balık sürüleri
- Batıklar
- Gemi motorunun neden olduğu titreşim

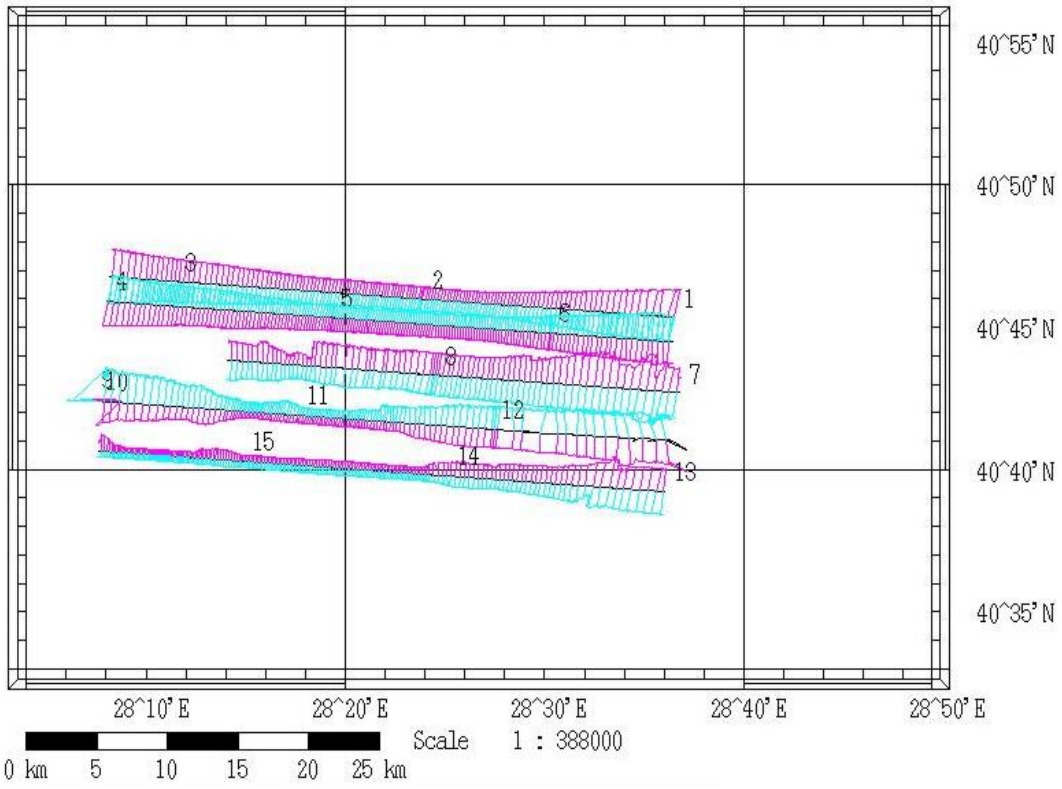
Bu bölümde, ölçülerdeki hatayı gidermekte kullanılan veri işlem teknikleri ve haritanın hazırlanmasındaki aşamalar tanıtılmıştır (Şekil 3.1).



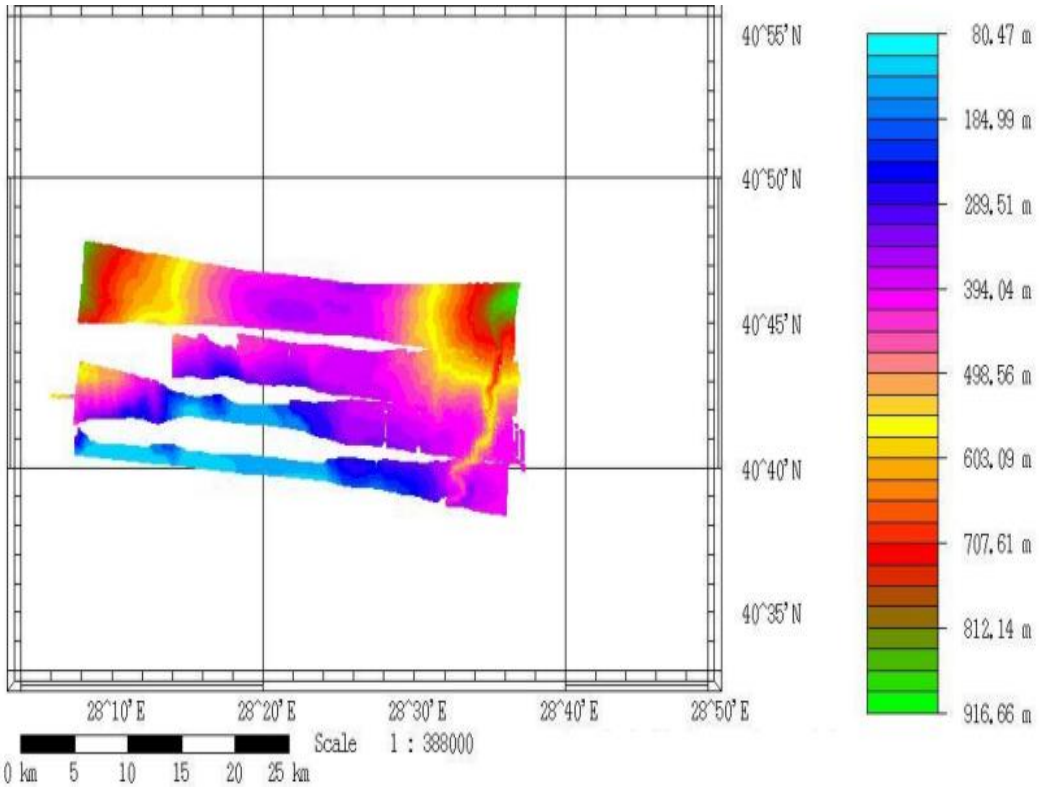
Şekil 3.1: Veri işlem akış diagramı

3.1 Çalışmada kullanılan veri seti

Çalışmada, Seyir Hidrografi ve Oşinografi Daire Başkanlığı'na ait Çubuklu ve Mesaha 2 botu ile toplanan veri grubu kullanılmıştır. Veriler önceden belirlenmiş, koordinatlarıyla belli alanlar içinde veri toplanmıştır. Veri toplama biçimini anlatmak için, Orta Marmara' da yer alan eski bir nehir yatağının bulunduğu bölge örnek seçilmiştir (Şekil 3.2). Gemi herbir alan içinde sırayla hareket etmekte ve su derinliğinin yaklaşık yedi katı kadar genişlikte veri kaplama alanı elde edilmektedir. Tüm alan sırayla belirlenen profillerden elde edilen kaplama alanlarının toplamına eşittir. Kaplama alanı şekil 3.2' de, elde edilen batimetri haritası ise şekil 3.3' de belirtilmiştir.



Şekil 3.2: Belirlenen profiller ve herbirine ait kaplama alanı



Şekil 3.3: Elde edilen batimetri haritası

Çalışılacak tüm alanının haritalanması şekil 3.2' de gösterilenin tersine profillere ait kaplama alanı göz önünde bulundurularak belirlenmelidir.

Herbir alana ait veri dosyası:

- Boylam (m)
- Enlem (m)
- Derinlik (m)

Floating point değişkenleri üç kolon halinde, *. ira uzantılı ascii dosya içine yazılmıştır. Herbir dosyanın sonunda, dosyanın sonu olduğunu belirten

(999.9, 999.9, 999.9) işareti bulunmaktadır.

Koordinatlar WGS 84 koordinat sisteminde kaydedilmiştir. Amutlu yarımadasının kıyı şelfi, İzmit Körfezi ve Çınarcık Çukuru'nu içine alan yaklaşık 15 milyon veri 360 MB civarında yer kaplamaktadır.

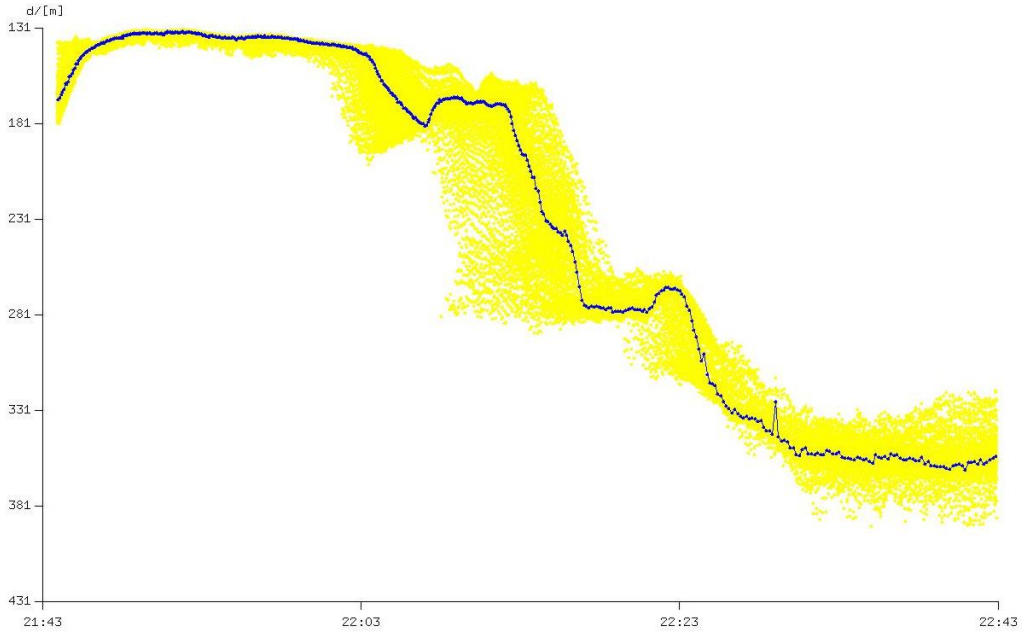
3.2 Veri düzeltme işlemi

Multi beam sonar sistemi; kısa zaman aralıklarıyla (ping), geminin ilerleyişiyle aynı doğrultuda ve ilerleyişe dik doğrultuda veri toplamaktadır. Her ping aralığında toplanılan veri, HDP Edit isimli program ile görüntülenebilmekte dolayısıyla ham veri profilleri üzerinden hatalı kaydedilmiş veriler silinebilmekte veya düzeltilebilmektedir.

Üç ayrı düzeltme arabirimi olan programda veri:

- Tek bir demet için
- Bütün demet serileri ve seçilen demet için görüntülenebilmektedir.
    a) Derinlik-zaman
    b) Demet genişliği-derinlik
    c) Geminin boylam ve enleme bağlı rotasında

olan hatalar ayrı ayrı düzeltilebilmektedir.



Şekil 3.4: Derinlik-zaman profili, yatay eksen zamanı göstermektedir.

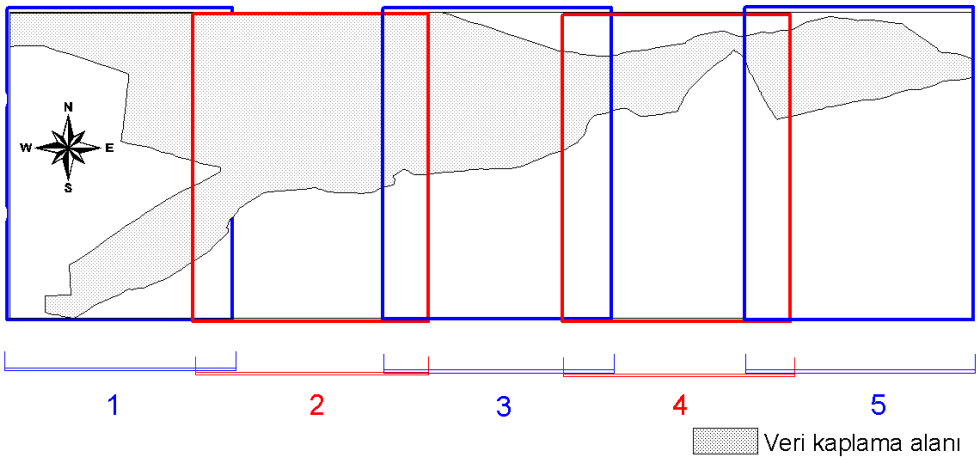
Geminin ilerleme doğrultusunda toplanan tüm demet serilerilerine ait ışınlar açık renkle, seçilen demet ise koyu renkle gösterilmiştir. Seçilen demetteki bir ışından kaynaklanan hata dikkat çekmektedir (Şekil 3.4). Hatalı olan bu tip veriler, kontur haritalarında yanlış kapanımlara, shaded relief resimlerinde ise bull's eye etkisine neden olmaktadır. Derinlik-zaman profillerinde gözlenen hataların az olmasının nedeni, bu doğrultudaki ışınların dar açıyla iletilmesidir. Buna karşılık; Demet genişliğine bağlı derinlik profillerinde gözlenen hatalar daha büyüktür, çünkü demetin sonunda yer alan ışınlar daha geniş açılarla iletilmektedir. Eğimin aniden değişmesine bağlı olarak, geniş açıyla iletilen ışınlarında dip morfolojisine uymayan ve profildeki verilerin ortalamasından çok büyük değerler kaydedilebilmektedir. Kaydedilen bu değerler, (a) ve (b) için herbir ping aralığında kaydedilen profillerde kontrol edilmekte ve hatalı olanlar silinmektedir. Kullanım amacına bağlı olarak, eğer morfoloji çalışılmaktaysa, batıkların veya balık sürülerine çarpıp kaydedilen derinlikler de silinmelidir.

Geminin navigasyonu sırasında ölçülen derinliklere eş zamanlı olarak Diferansiyel GPS aracılığı ile konum bilgisi atanmaktadır. Kalman önkestirimli filtre de sistemle eş zamanlı olarak çalışmakta ve koordinatlama işlemindeki hata en aza indirgenmektedir. Uydudan konum sinyallerin alınamadığı kısa süreli durumlarda rotadan çok az farklılık gösteren koordinat verisi de program aracılığı ile düzeltilebilmektedir.

3.3 Haritalamada kullanılan yöntem

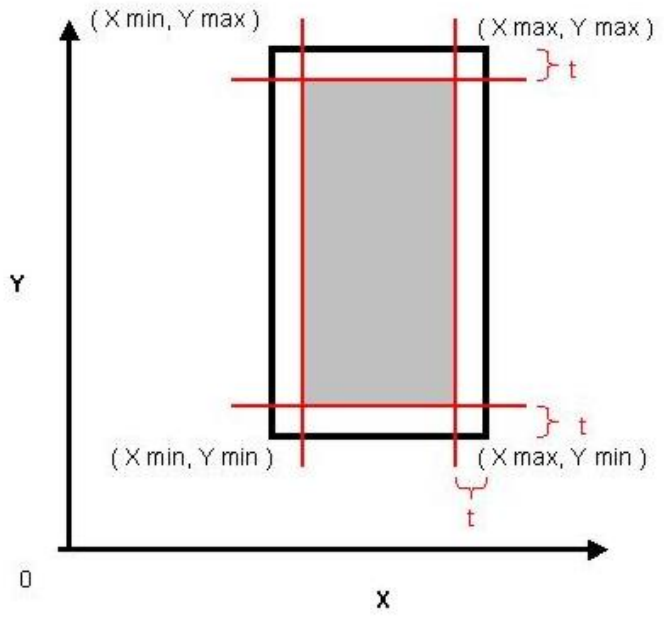
Sığ derinliklerde yüksek frekans, düşük dalga boylu sinyal ve hızlı tekrarlama oranı ile veri toplanması çözünürlüğü arttırmakta buna karşılık verinin depolanması ve işlenmesindeki zorlukları beraberinde getirmektedir. Batimetri haritalarının hazırlanması ve uygulanan veri işlem teknikleri yüksek kapasitede bilgisayarların kullanımını gerektirmektedir. Çalışmamızda kullanılan haritalama yöntemi, verinin büyüklüğü ne olursa olsun haritalamayı mümkün kılmakta ve uygulanan veri işlem tekniklerindeki hesaplama zamanını azaltmaktadır. Aynı zamanda düşük kapasiteli bilgisayarlarla da işlem yapabilmeyi sağlamaktadır.

Yöntem, harita ortamında düzensiz dağılım gösteren verinin eşit boyutta ve belirli çerçeve kalınlıklarıyla bölümlendirilmesi esasına dayanmaktadır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: Mevcut verinin parçalanararak haritalanması

Oluşturulan herbir parça gridlenmekte, gerekli veri işlem teknikleri bu parçalar üzerinde yapıldıktan sonra grid parçaları matematiksel olarak birleştirilmektedir. Parçalara çerçeve kalınlığı atanmasının nedeni, gridleme sırasında veri olan bölümden olmayan bölüme interpolasyon yapılması sonucu oluşan yalancı yapıları engellemektir. Bu yöntem aynı zamanda, çalışmak istenilen lokal bir bölgenin de haritalanmasına yardımcı olmaktadır. Basit bir matematiksel algoritmaya dayanan yöntem; veri dosyasını okumakta, istenilen en büyük ve en küçük boylam - enlem değerlerine çerçeve kalınlığını eklemekte, bu değerler arasında kalan veriyi yeni bir dosyaya yazmaktadır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6: Verinin istenilen bir bölümünün çerçeve kalınlığı ile alınması

3.3.1 Gridleme işlemi

Haritalar, iki boyutlu uzayda düzensiz olarak konumlanmış gözlemsel değerlerin, birbirine eşit aralıklarla sıralanmış grid düğüm noktalarını içeren bir sayısal harita fonksiyonuna dönüştürülmesi sonucu oluşturulmaktadır. Harita fonksiyonunun belirli bir grid düğüm noktasındaki değerinin hesaplanması, gözlemsel değerler ile yüzey modelinin arasındaki hatayı en düşük seviyede tutmak ile mümkündür (Yılmaz, 1987).

Veriye düzlem yüzey modelini yaklaştırdığımızı farzedelim

$$\tilde{g}(x,y) = a_0 + a_1 x + a_2 y \tag{3.1}$$

ve en küçük kareler hatası

$$L = \sum_{i=1}^{M} \left(g_i - \tilde{g}_i\right)^2 \tag{3.2}$$

Eşitlik 3.2' de M gözlem sayısı ve g_i ölçülen derinlik değerlerini belirtmektedir Amacımız L' yi minimum yapan (a0, a1, a2) katsayı setlerini bulmaktır;

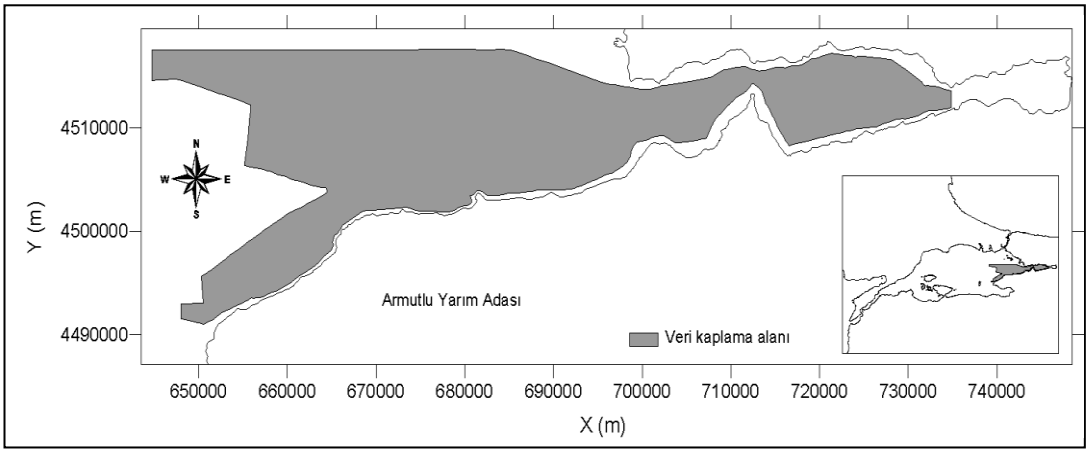
$$\frac{\partial L}{\partial a_0} = \frac{\partial L}{\partial a_1} = \frac{\partial L}{\partial a_2} = 0 \tag{3.3}$$

Eşitlik (3.1)' i (3.2)' de yerine yazarsak

$$L = \sum_{i=1}^{M} (g_i - a_0 - a_1 x_i - a_2 y_i)^2 \qquad (3.4)$$

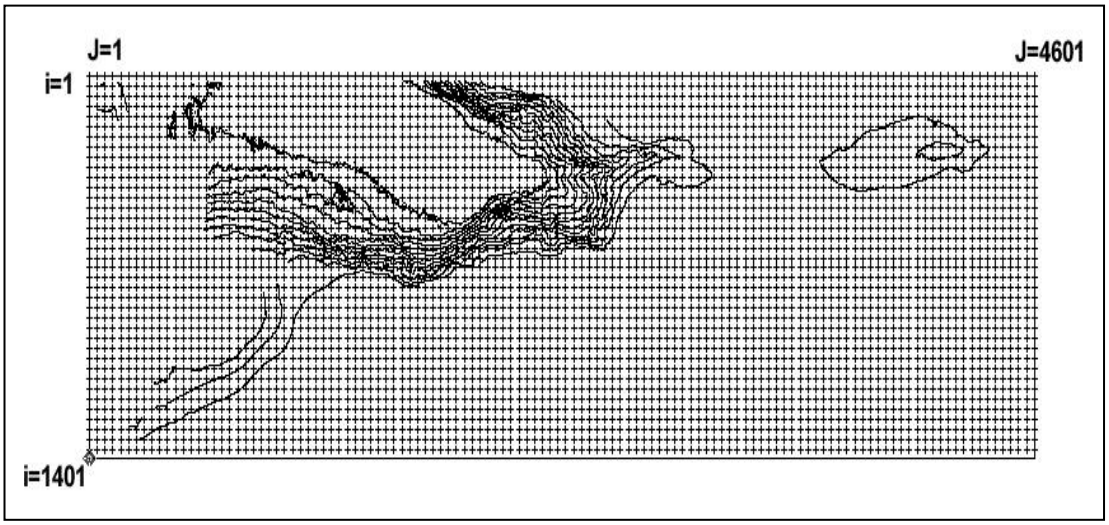
Lineer eşitliği en küçük kareler yöntemine göre düzenlenip katsayıların çözülmesi sonucunda veri grubunun düzenlenen grid noktalarındaki yaklaşık değerini hesaplamaktayız.

Veri kaplama alanı, çalışma sahasından toplanan veri gurubunun uzaysal dağılımını göstermektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7: Çalışılan bölgeden elde edilen veri kaplama alanı

Lineer interpolasyonla üçgenleme yöntemi kullanılarak elde edilen haritada (Şekil 3.8), Δx ve Δy sırasıyla x ve y yönündeki grid örnekleme aralığıdır. En büyük ışın ayak izi boyutuna eşit veya ondan büyük olarak seçilmelidir. Işın ayak izi boyutunu ise eşitlik 2.6 da tanımlanan derinlik, iletim açısı ve darbe genişliği parametreleri belirlemektedir. Grid örnekleme aralığı her iki yönde de 20 m seçilmiştir.



Şekil 3.8: Grid örnekleme aralığı 20 m seçilerek hazırlanan sayısal harita

Şekil 3.8' de gösterilen harita 4000' er metre genişliğinde ve 250 metre çerçeve kalınlığına sahip 23 alanın birleştirilmesinden oluşmuştur. N_x, N_y ve n sırasıyla x ve y yönündeki grid düğüm noktası sayısı, n parça adedini simgelemektedir.

$$N_x = \frac{\max_x - \min_x}{\Delta x} + 1 = \frac{736000 - 644000}{20} + 1 = 4601 \tag{3.5}$$

$$X = \frac{\max_x - \min_x}{n} = \frac{736000 - 644000}{23} = 4000 \ m \tag{3.6}$$

$$N_y = \frac{\max_y - \min_y}{\Delta y} + 1 = \frac{4518000 - 4490000}{20} + 1 = 1401 \tag{3.7}$$

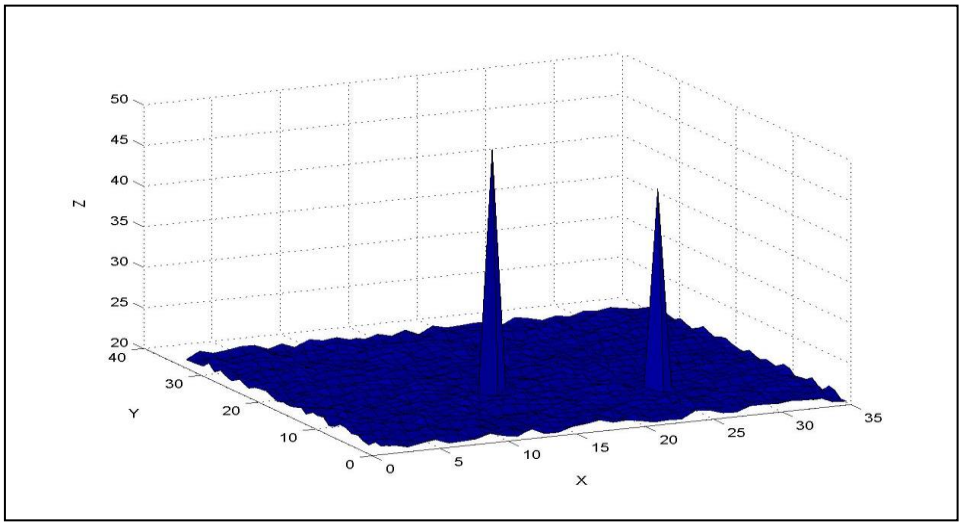
P parçaları temsil etmek üzere, 23 parçadan herbiri P_n (200,1401) boyundadır.

Çalışma alanının batı kesiminin bir bölümünde veri bulunmamasına bağlı olarak gridleme işlemi sırasında bu bölümde istenmeyen yapılar oluşmaktadır. Bu oluşumun nedeni veri olan bölümden veri olmayan yerlere interpolasyon yapılmasıdır. İstenmeyen ve bir yapıya karşılık gelmeyen bu bölümlerdeki grid düğüm noktaları sıfır ile çarpılarak bu etki giderilmiştir.

3.4 Bull's eye etkisi ve giderilmesi

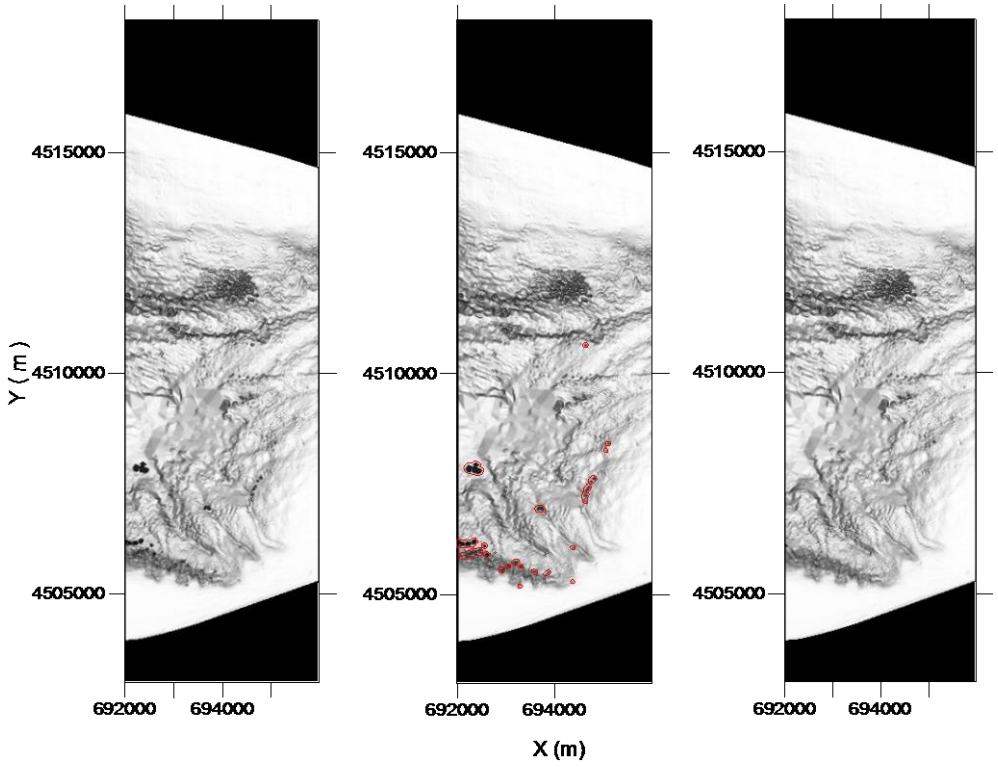
Derinlik ölçümlerindeki hatalar genellikle, deniz tabanındaki hızlı yükselmelere bağlı olarak geniş iletim açısına sahip ışınlardan, balık sürülerinden yansıyan ışınlardan veya geminin alçalma-yükselme, yana yatma hareketlerinden kaynaklanmaktadır. Fiziksel kavramlar ve veri düzeltmenin anlatıldığı bölümler hataların nedeninin anlaşılmasına ışık tutmaktadır.

iki boyutlu uzayda düzensiz dağılım gösteren veriden, gridlenerek hazırlanan haritaya geçildiğinde hatalı ölçülmüş, dip tabiatına uymayan ani yükselmeler Bull's eye etkisi olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 3.9). Ayrıca, Işık kaynağının konumuna bağlı olarak, shaded relief resimlerinde siyah renkte küçük kapanımların oluşmasına neden olmaktadır (Şekil 3.10). Bull's eye etkisi, shaded relief haritalarında, yapıların üzerini örtmekte ve haritayı yorumlama işlemini güçleştirmektedir.



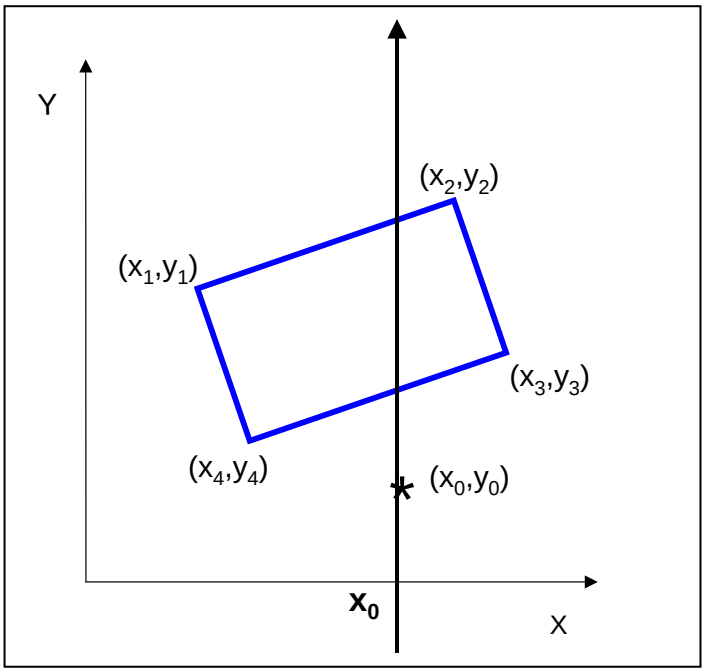
Şekil 3.9: Bull's eye etkisine neden olan hatalı iki derinlik ölçüsü

Etkinin yok edilebilmesi için problemli olan bölgeler, harita üzerinden sayısallaştırılarak poligonların içine alınmaktadır. Boylam, enlem, derinlik sütunlarını içeren veri dosyasının boylam-enlem çiftleri okutulmakta, poligonların içinde kalan veriler geliştirilen altdöngü yardımıyla tespit edilmekte ve oluşturulan yeni dosyanın içine yazılmamaktadır. Hatalı verilerden arındırılmış yeni dosya gridlenmektedir (Şekil 3.10). Yapılan bu işlem daha önceden bölünerek hazırlanmış parçaların herbiri için uygulanmakta ve bull's eye etkisi giderildikten sonra grid parçaları birleştirilerek çalışma alanına ait harita hazırlanmaktadır.



Şekil 3.10: Bull's eye etkisinin shaded relief resmindeki görünüşü ve giderilmesi

İki boyutlu uzayda rastgele dağılım gösteren (x_0,y_0) çiftlerinden sadece poligonun içinde kalanları belirlemek için kullanılan algoritma (Şekil 3.11) de şematik olarak gösterilmiştir:



Şekil 3.11: İki boyutlu uzayda poligonun içinde kalan (x_0,y_0) çiftlerinin belirlenmesi

Verinin x_0 değerinde, sonsuz eğimli bir doğrunun, ardışık poligon noktaları (x_i,y_i) den geçen doğru parçalarını kaç kez kestiğine bakılmaktadır. Bunun için iki doğrunun kesiştiği notadaki y değeri dikkate alınmaktadır. Bu y değerini yy ile gösterirsek:

$$yy = \frac{y_i - y_{i-1}}{x_i - x_{i-1}}(x_0 - x_{i-1}) + y_{i-1} \qquad (3.8)$$

Doğru parçasıyla x_0 doğrusunun kesişme şartı y0 < yy dir.

Ardışık poligon noktalarından geçen doğru parçalarıyla x_0 doğrusunun kesişme sayısı k gibi bir indise atanırsa.

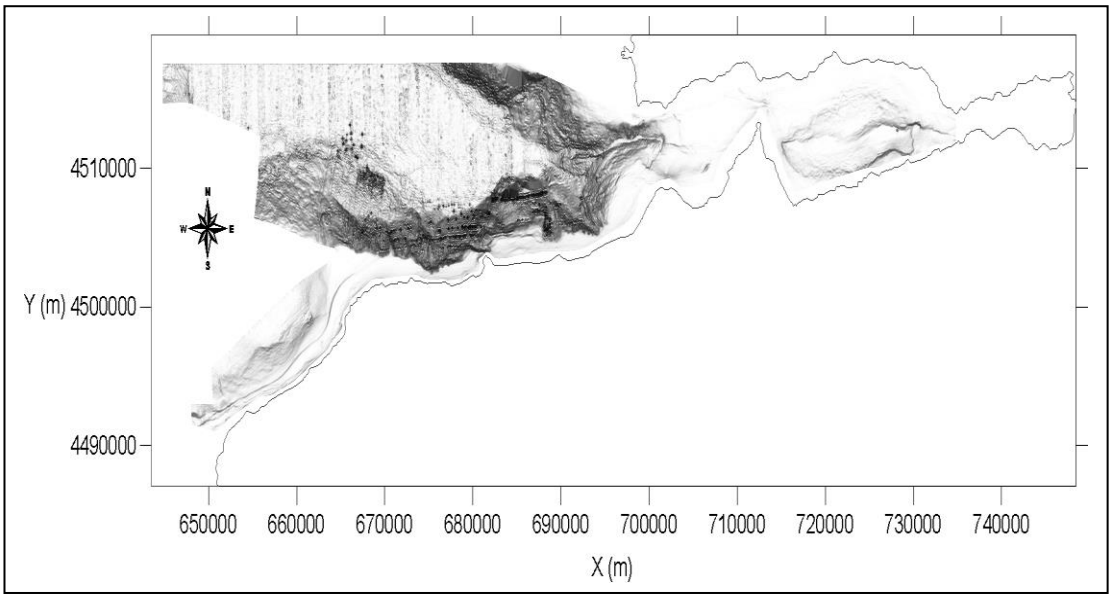
k' nın çift sayı olduğu durumlarda (x_0,y_0) verisi poligonun dışında,

k' nın tek sayı olduğu durumlarda (x_0,y_0) verisi poligonun içindedir.

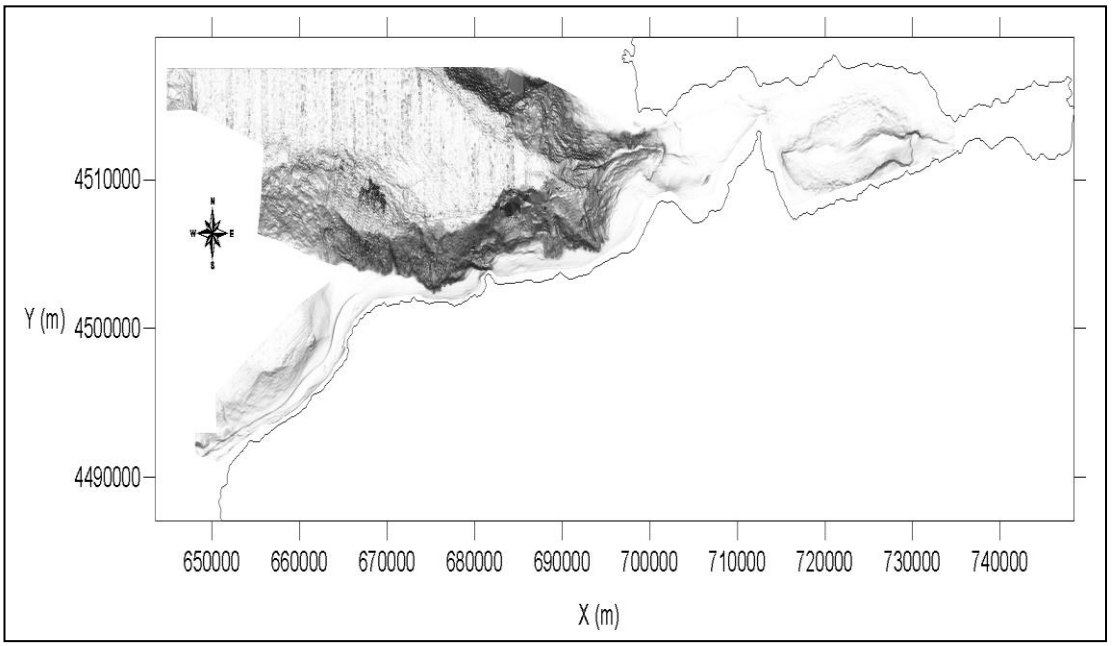
Bunun dışında veri doğru parçalarının herhangi birinin üzerindeyse veri poligonun içindedir.

Anlatılan yaklaşıma göre verinin x_0 koordinatından geçen sonsuz eğimdeki doğru poligonu oluşturan doğru parçalarını iki kez kesmekte dolayısıyla veri poligonun dışındadır (Şekil 3.11).

Böylece geliştirilen yöntem ile bir harita üzerindeki çok sayıdaki bull's eye etkisi poligonların içine alınabilmekte, poligonların içindeki verinin belirlenip yeni dosya içine yazılmamasıyla hatalı veriler ham veri üzerinden elimine edilmektedir.



Şekil 3.12: Bull's eye etkisi içeren harita



Şekil 3.13: Hatalı verilerin temizlenmesi işleminin ardından elde edilen harita

İşlemden önce ve sonra haritanın durumu gösterilmiştir. İşlemin sonunda harita bull's eye etkisinden arınmıştır. Sadece bull's eye dan kaynaklanan etkinin görülebilmesi için öncelikle düşük genlikli, geminin motorunun yapmış olduğu titreşimden kaynaklanan gürültü high-cut filtreleme işleminden geçirilmiştir. Böylelikle sadece bull's eye dan kaynaklanan etkinin gösterilmesi amaçlanmıştır.

3.5 Eşik değer ortalama yöntemi

Şekil 2.13' de Bull's eye etkisinin giderilmesine karşılık Çınarcık Çukuru'nun bulunduğu bölgede küçük bir alanda hala yanlış bir etkinin olduğu göze çarpmaktadır. Bunun nedeni hatanın bulunduğu lokal alan içinde yapılan çalışmada GPS düzeltme sinyali gönderen bir anten kullanılması gerekirken ikinci bir antenin açık unutulmasıdır. Bu hatanın sonucunda, ölçülen derinliğe karşılık iki koordinat değeri atanmaktadır. Derinlikler o bölge için doğru derinlik değerleri almasına karşılık iki antenden düzeltme sinyali alındığından relief resminde ışığın dik geldiği konumlarda uyumsuz yapıların oluşmasına neden olmaktadır.

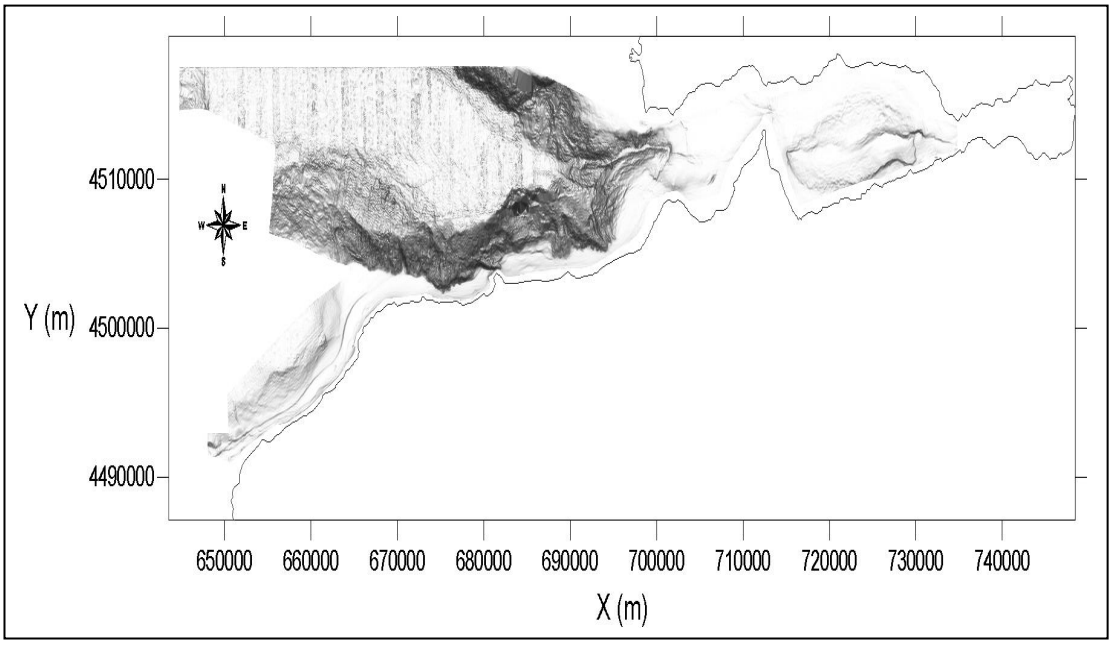
Eşik değer ortalama yöntemi, surfer 8 haritalama programının sunduğu grid düğüm noktaları üzerinden çalışan bir filtredir. Öncelikle:

Boş olmayan grid düğüm noktaları belirlenir.

Komşu değerlerin ortalamaları alınarak çalışmaktadır.

Elde edilen düğüm noktası değerleri z_{out} ve A komşu değerlere ait ortalamayı belirtmek üzere:

$$Z_{out}(r,c) = \begin{cases} Z(r,c), & |Z(r,c) - A| \le Threshold \\ A, & |Z(r,c) - A| > Threshold \end{cases} \quad (3.9)$$



Şekil 3.14: Bull's eye giderimi ve eşik değer ortalama yöntemi ile filtrelenerek elde edilen harita

Uygulamadaki optimum sonuca:

- Filtre boyu: Grid örnekleme aralığının 7 katı
- Filtrenin uygulama sayısı: 5

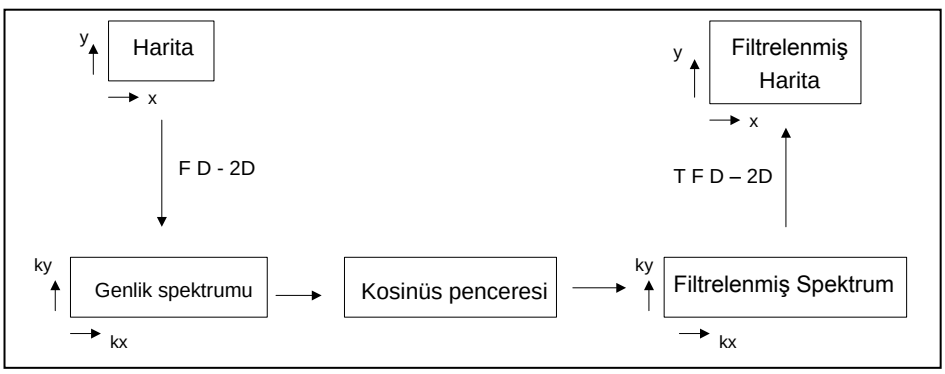
Ile ulaşılmıştır.

Elde edilen haritada; gemi gürültüsü, derinlik hatalarından kaynaklanan bull's eye ve ikinci GPS anteninin açık unutulması sonucu oluşan hatalar giderilmiştir.

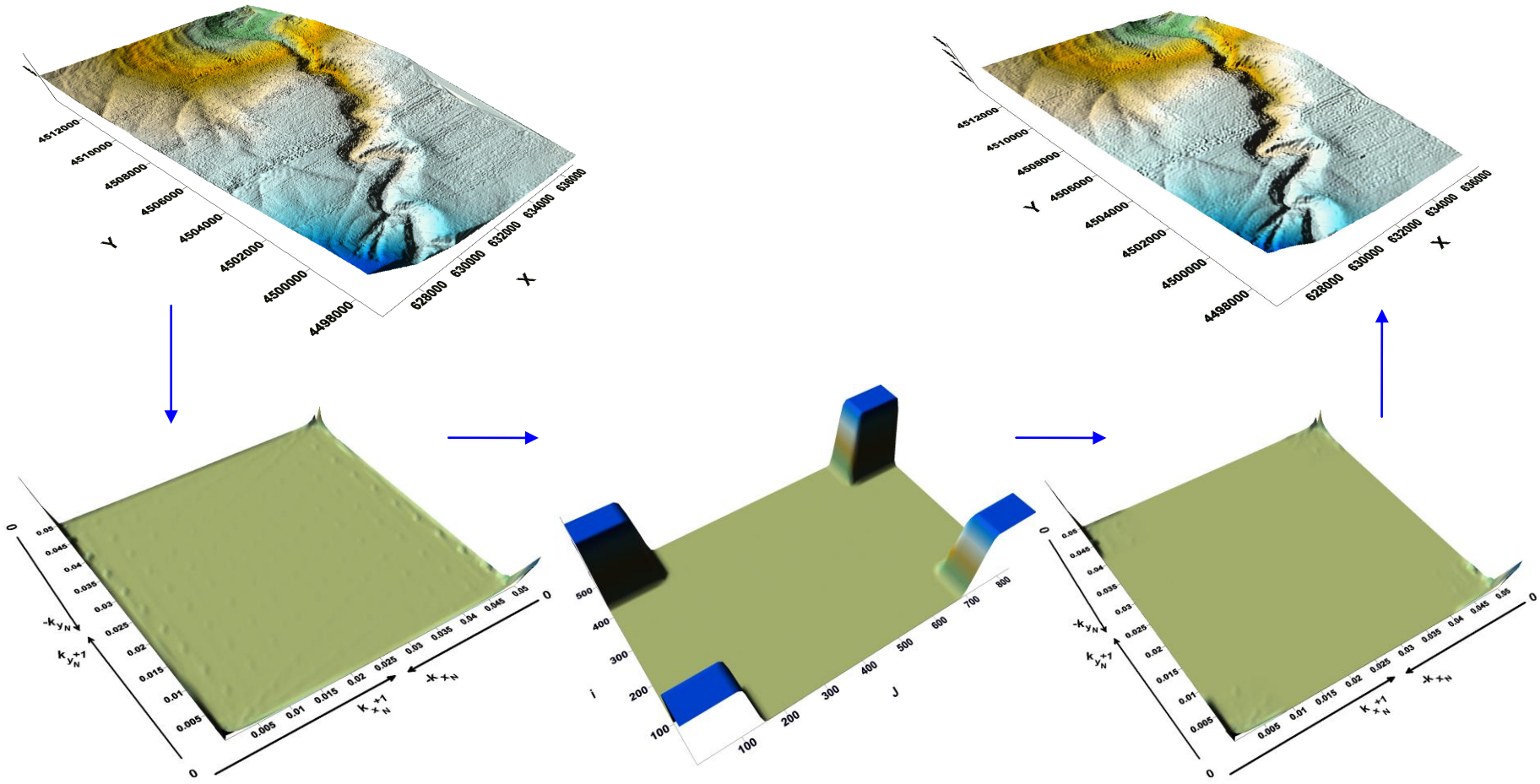
3.6 High-cut filtreleme tekniği

Çalışmada kullanılan derinlik ölçme sisteminin geminin alt kısmına monte edilmiş olması (pole-mounted), gemi motorundan kaynaklanan titreşimin de kaydedilmesine neden olmuştur. Renk kodu içeren kontur haritalarında bu etki az göze çarparken, yapısal unsurları görüntülemekte kullanılan shaded relief haritalarında küçük dalga boylu, geminin hareket doğrultusunda süreklilik arzeden istenmeyen yapılar oluşturmaktadır. Gürültü, yapıların üzerini kısmen örtmekte ve yorumlamayı güçleştirmektedir. Geliştirilen high-cut filtreleme tekniği ile küçük dalga boyuna sahip gürültüler istenilen bir aralıkta filtrelenmekte ve optimum filtrelenmiş harita eskisinden farklı olarak dip morfolojisinin gerçek yapısını ve ayrıntıların kolay bir şekilde seçilebilmesini sağlamaktadır.

Motorun titreşiminden kaynaklanan gürültü, verinin iki boyutlu Fourier dönüşümüne tabi tutulmasıyla elde edilen genlik spektrumunda küçük genlikli salınımlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Gürültüye neden olan salınımları yok etmek için genlik spektrumuyla aynı boyutta olan bir Hanning penceresi, frekans ortamında genlik spektrumuyla çarpılmakta dolayısıyla gürültüye neden olan küçük genlikli salınımlar sıfır ile çarpılarak elimine edilmektedir (Şekil 3.16). Yapılan işlemler sırasıyla gösterilmiştir (şekil 3.15).



Şekil 3.15: High-cut filtereleme akış diyagramı



Şekil 3.16: Gemi motorunun neden olduğu gürültünün high-cut filtreleme yöntemi ile giderilmesi

3.6.1 iki boyutlu Ayrık Fourier Dönüşümü

Peryodik bir sinyal iki boyutta şu şekilde tanımlanabilir:

$$X_p(n_1,n_2)=X_p(n_1+m_1N_1,n_2+m_2N_2) \tag{3.16}$$

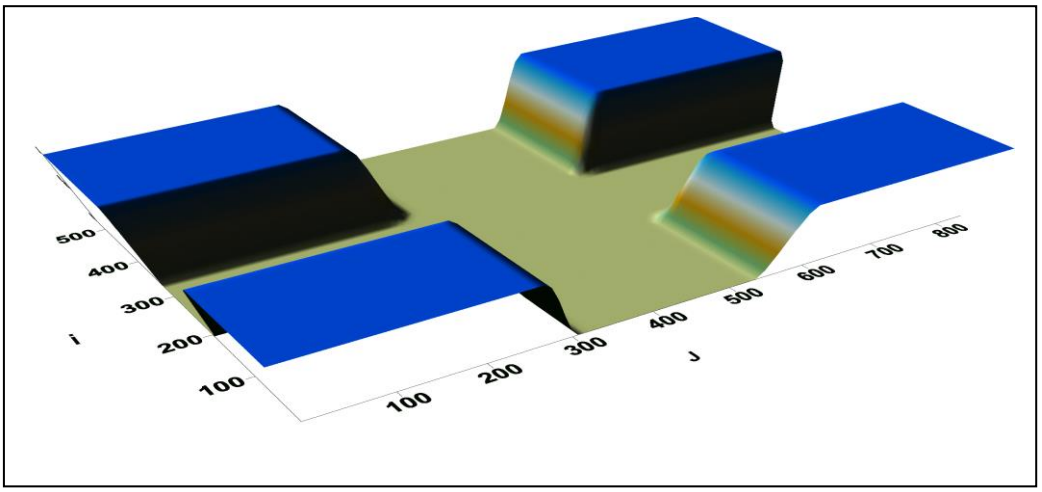
Bu eşitlikte N_1 birinci yönde period, N_2 ise ikinci yönde peryodu ifade etmekte ve m_1 ve m_2 pozitif tam sayılar olarak tanımlanmıştır. P, eşitlik 3.16' da tanımlanan X sinyalinin peryodik olduğuna işaret etmektedir. Sinuzoidal dalgalar, LTI (linear, time-invariant) sistemlerin analizinde önemli rol oynamaktadır. Çünkü bir boyutlu durumda olduğu gibi, sistemlerin özfonksiyonları (eigen function) olarak tanımlanmışlardır (Rabiner ve Gold, 1975). İki boyutlu peryodik sinyaller, peryotları N_1 ve N_2 olan sonlu sayıda eksponansiyel fonksiyonun cinsinden ifade edilebilir:

$$X_p(n_1,n_2)=\frac{1}{N_1N_2}\sum_{n_1=0}^{N_1-1}\sum_{n_2=0}^{N_2-1}X_p(k_1,k_2)e^{-j(2\pi/N_1)n_1k_1}e^{-j(2\pi/N_2)n_2k_2} \tag{3.17}$$

Peryodik Fourier katsayıları $X_p(k_1,k_2)$; $X_p(n_1,n_2)$ fonksiyonunun $w_1 = (2\pi / N_1)\, k_1$ ve $w_2 = (2\pi / N_2)\, k_2$ iki boyutlu frekanslarındaki, genliğini belirtmektedir.

$$X_p(k_1,k_2)=\sum_{n_1=0}^{N_1-1}\sum_{n_2=0}^{N_2-1}X_p(n_1,n_2)e^{-j(2\pi/N_1)n_1k_1}e^{-j(2\pi/N_2)n_2k_2} \tag{3.18}$$

Eşitlik 3.17 ve 3.18' de belirtilen ifadeler sırasıyla; $X_p(n_1,n_2)$ iki boyutlu sinyalinin ayrık ters Fourier dönüşümü ve Fourier dönüşümüdür. Şekil 3.15 ve 3.16' da gösterilen high-cut filtre verinin Fourier dönüşümüyle elde edilen çembersel simetrik genlik spektrumuyla aynı boyutta tasarlanmaktadır.



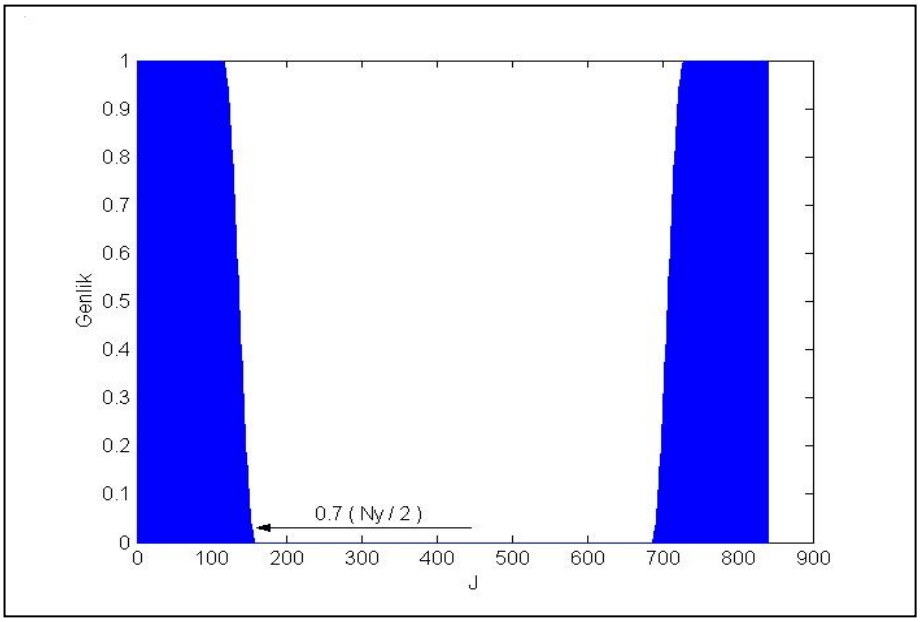
Şekil 3.17: k = 30 için tasarlanan filtre

Hanning penceresi iki boyutta, genlik spektrumundaki satır ve sütun sayısının ayrı ayrı %5' i uzunluğunda tasarlanmaktadır (Eşitlik 3.19a). m ve n, satır ve sütun sayısını belirtmek üzere i ve j bu yöndeki sayaçlardır. Filtre, pencere fonksiyonunun başlangıç noktasına kadar bir, pencerenin bitiminden sonraki değerler için sıfır değerini almaktadır. Filtre, çembersel simeterik olarak genlik spektrumu ile aynı boyutta tasarlanmaktadır (Şekil 3.17).

$$W_H(i,j)=\begin{cases}\dfrac{1}{2}\left[1+\cos\dfrac{\pi\left(i^2+j^2\right)^{1/2}}{\left(m^2+n^2\right)^{1/2}}\right], & i_1\le i\le i_2 \wedge j_1\le j\le j_2\\ 0\quad , & \text{otherwise}\end{cases} \tag{3.19}$$

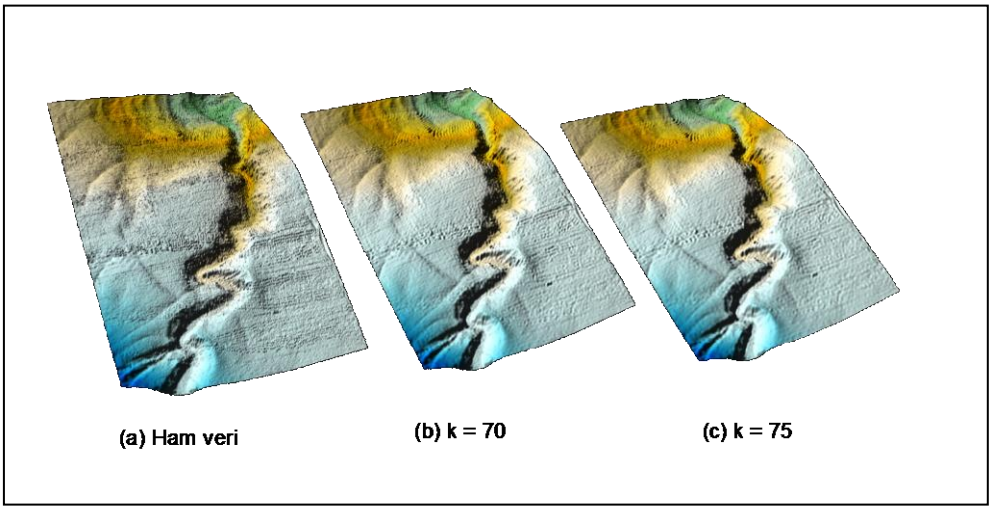
$$\begin{cases} i_1 = 0.45\ (m-2)\ (1-0.01k)+2 \\ i_2 = 0.45\ (m-2)\ (1-0.01k)+2+0.05(m-2) \\ j_1 = 0.45\ (n-2)\ (1-0.01k)+2 \\ j_2 = 0.45\ (n-2)\ (1-0.01k)+2+0.05(n-2) \end{cases} \tag{3.19a}$$

Filtrenin gücü; bir olan bölümün daraltılması, Hanning penceresinin simetrik olarak köşelere yaklaşmasıyla arttırılabilmektedir (Eşitlik 3.19a). Elde edilen filtre değerlerinin genlik spektrumuyla çarpıldığı düşünülürse filtrenin gücü arttıkça genlik spektrumunun daha büyük bir bölümü sıfır ile çarpılmakta, salınımların daha büyük bir kısmı filtrelenmektedir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18: k =70 için filtre gücü

Pencere fonksiyonunun konumunu k ismini verdiğimiz ve sıfır ile yüz arasında değişen bir tam sayı değişkeni cinsinden ifade edelim (Eşitlik 3.19a). Kosinüs penceresinin köşelere çok yaklaşması durumunda yani k' nın 100'e yakın değerleri için, filtrenin gücü artmaktadır. Bu durumda, küçük genlikli gürültünün filtrelenmesine karşılık genlik bilgisinin bir kısmının yitirilmektedir. Filtrelenmiş spektrumdan ters Fourier dönüşümü ile harita ortamına geçildiğinde yapılardaki ayrıntıların yok olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca, k'nın 60'dan küçük değerleri için gemi gürültüsü başarılı olarak filtrelenememektedir. Optimum düzeyde atanan filtre gücü ile gemi gürültüsü filtrelenmekte ve dip altı yapıları da yok edilmemektedir. Gürültü içeren harita ile karşılaştırıldığında, filtrelenmiş harita yapıların kolay bir şekilde yorumlanabilmesini sağlamaktadır (Şekil 3.19). En uygun filtre gücünü saptamak için k' nın 70 ile 100 arasındaki değerleri için filtreleme işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.19: Filtre gücü k' nın farklı değerleri için elde edilen sonuçlar

Geçmiş[illegible]e [illegible]in [illegible]ritası farklı k filtre güçleri iç[illegible]ek[illegible]N [illegible]ayısı örnekleme aralığı ve[illegible]ayı[illegible] [illegible]ralığı x ve y yönünde 2[illegible]e N[illegible]ve [illegible]düğüm noktası sayısıdır.

$$dk_x = \frac{1}{\lambda_x} = \frac{1}{N_x \Delta x} = 0.000094876\ m^{-1} \quad (3.20.1)$$

$$dk_y = \frac{1}{\lambda_y} = \frac{1}{N_y \Delta y} = 0.000059453\ m^{-1} \quad (3.20.2)$$

$$kx_N = ky_N = \frac{1}{2\Delta x} = 0.025\ m^{-1} \quad (3.20.3)$$

$$N_x\ dk_x = N_y\ dk_y = 2kx_N \quad (3.20.4)$$

$$Nx = 527 \quad (3.20.5)$$

$$Ny = 841 \quad (3.20.6)$$

$$\Delta x = \Delta y = 20m \quad (3.20.7)$$

x ve y yönündeki örnek sayısının farklı olması dk_x ve dk_y' nin birbirine eşit olmamasına neden olmaktadır. y yönündeki örnek sayısı x yönündekinden fazla olduğundan dalga sayısı ortamında satırlar dk_y gibi küçük adımlarla örneklenmekte, sütunlar için ise tersi durum söz konusudur (3.20). Dolayısıyla, şekil 3.17' de gösterilen Hanning penceresi dalga sayısı ortamında kare biçimdedir.

Filtre gücü k = 70 için süzülen yapılara ait dalga boyunu hesaplayalım. Bunun için (3.20.4) denklemindeki özellikten yararlanarak x veya y yönünden herhangibirini seçebiliriz:

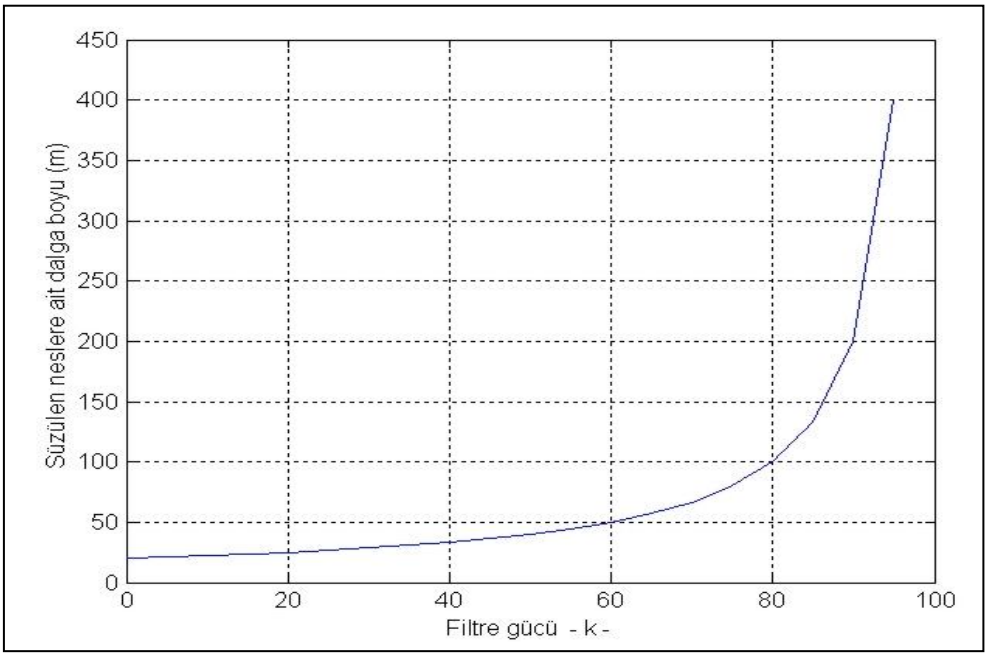
$$k_y = \left(N_y - 0.01 \left(k\ N_y \right) \right) dk_y \qquad (3.21)$$

$$\lambda_y = \frac{1}{k_y} \qquad (3.22)$$

(3.20), (3.21) ve (3.22) denklemlerini kullanırsa

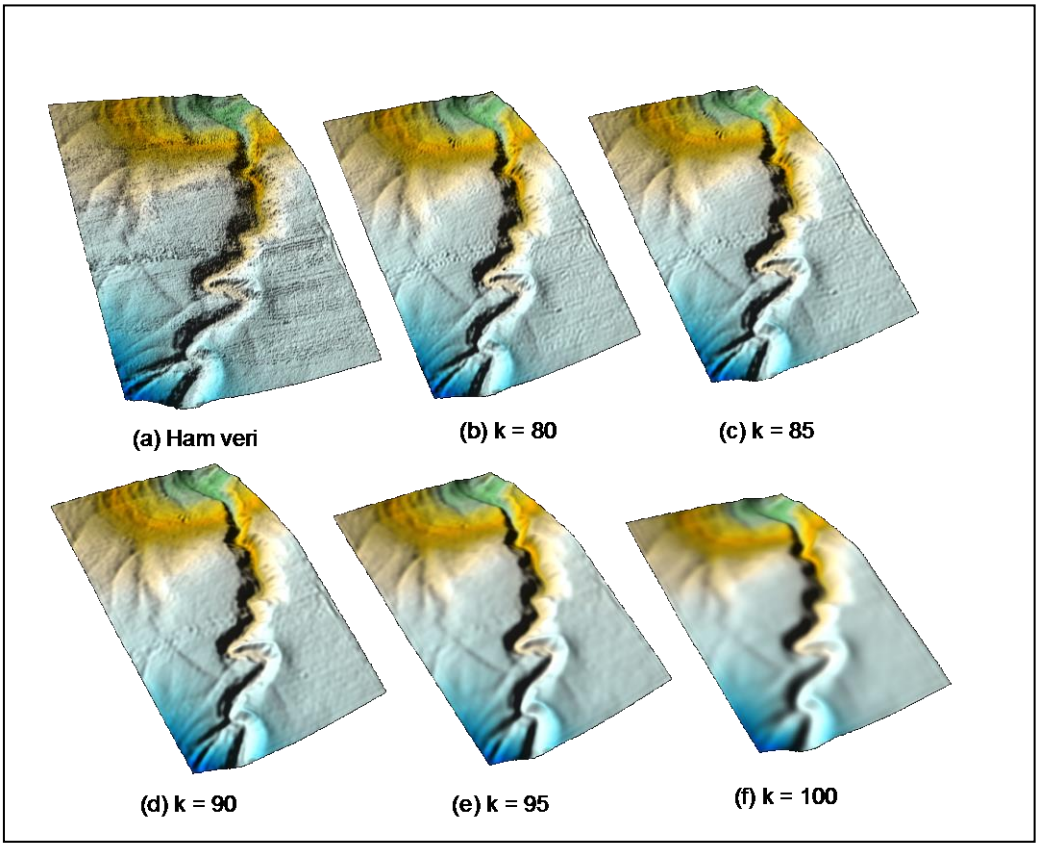
haritadaki λ = 66 m' den küçük yapıların filtrelendiği hesaplanmaktadır.

Benzer şekilde farklı filtre gücü değerleri için filtrelenen gürültüye ait dalga boyunun hesaplanması mümkündür:



Şekil 3.20: Filtre gücüne karşılık süzülen nesnelere ait dalga boyu

Haritadaki gemi motoruna ait gürültünün optimum düzeyde filtrelenmesi için farklı k değerlerinin denenip sonuçların karşılaştırılması gerekmektedir.



Şekil 3.21: Filtre gücü k' nın farklı değerleri için filtreleme işlemi

Şekil 3.19 ve 3.21 beraber değerlendirildiğinde

k	İşlem sonucu
70	Bir miktar gürültü haritada mevcuttur
75	Bir miktar gürültü haritada mevcuttur
80	Filtreleme optimuma yakın sonuç vermiştir
85	Optimum filtrelenmiş haritadır
90	Detayın bir kısmı yok olmaktadır
95	Dere yatağındaki ayrıntı kaybolmuştur
100	Haritadaki çözünürlük düşmüştür

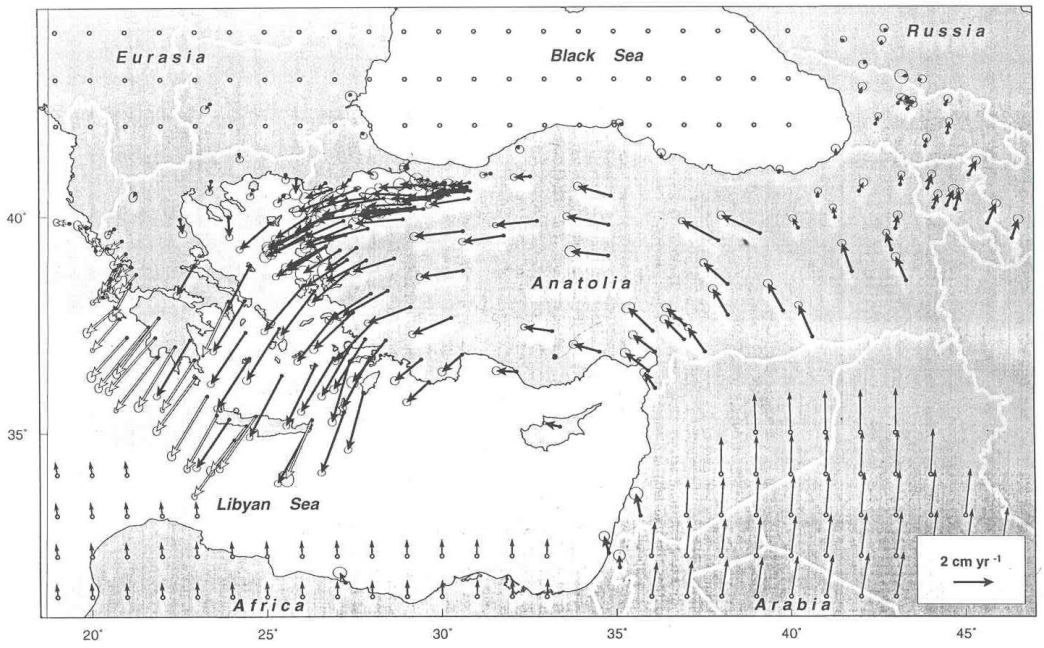
Tablo 3.1: Farklı filtre güçleri için filtreleme işlemi sonuçları

Optimum filtrelenmiş haritada ayrıntıların kolayca seçilebildiği buna karşılık optimum k değerinden sonraki değerler için detayların kaybolduğu görülmektedir (Şekil 3.21). Yetmişden önceki değerler için tasarlanan filtre, gürültüden ufak dalga boyundaki yapıları filtrelemektedir. Bu nedenle gürültü, k' nın yetmişden küçük değerleri için filtrelenememektedir.

Sonuç olarak optimum filtrelenmiş harita ile deniz tabanı ayrıntılı ve yüksek çözünürlükle görüntülenebilmektedir.

4. MARMARA DENİZİ'NİN TEKTONİK YAPISI VE MORFOLOJİSİ

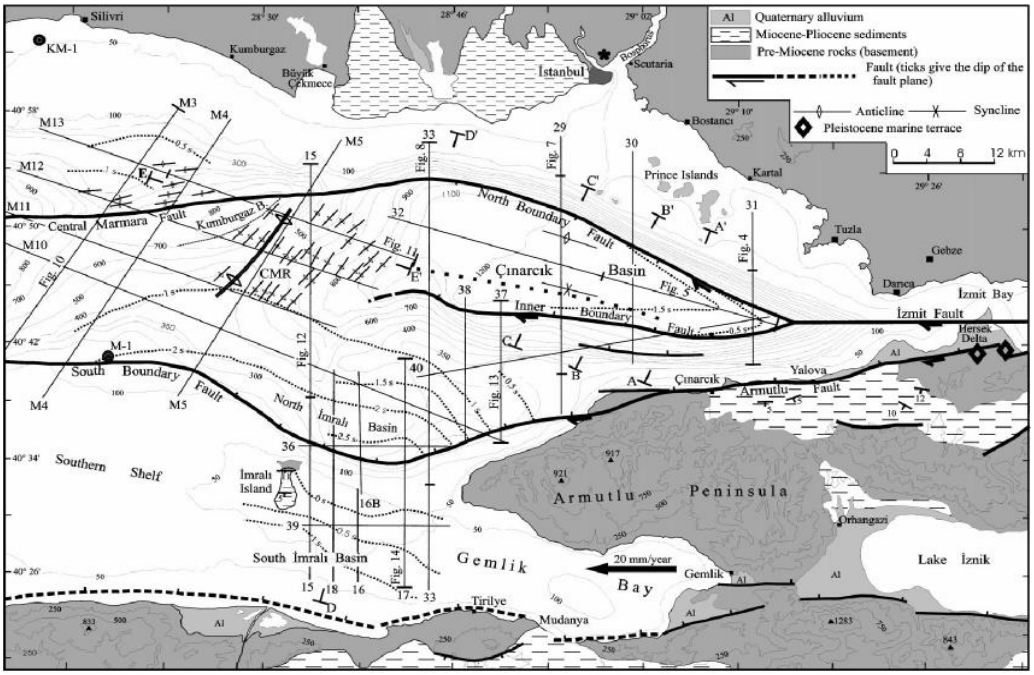
Kuzey Anadolu Transform Fayı, Avrasya ile Afrika-Arabistan levhalarının arasında sınır oluşturmaktadır. Levha tektoniği modelleri; Arabistan levhasının, Arasya'ya göre kuzey-kuzeybatı önünde yaklaşık yılda 18-25 mm ve Afrika'nın 10 mm kuzeye hareket ettiğini önermektedir (DeMetz ve diğ.,1994;Jestin ve diğ., 1994). Anadolu levhası, birbirine yaklaşan Avrasya ile Afrika ve Arabistan levhalarının dinamik etkisiyle sağ yanal atımlı Kuzey Anadolu Fayı ve sol yanal atımlı Doğu Anadolu Fayı boyunca batıya hareket etmektedir (McKenzie,1972). Kahl ve diğ. (2000) 'in Doğu Akdeniz ve Asya'nın bir bölümünde, GPS hız alanından elde ettikleri kabuk deformasyonu yamulma oranı değerleri bölgeler için karşılaştırıldığında en büyük makaslama hareketinin Kuzey Anadolu Fayı boyunca gerçekleştiği görülmektedir. GPS çalışmaları, bölgede yapılan sismisite çalışmaları Gürbüz ve diğ. (2001) ve odak mekanizması çözümleri ile uyumludur (Özalaybey ve diğ., 2001).



Şekil 4.1: Avrasya sabitlenerek elde edilen GPS hız alanı (Kahl ve diğ.,2000)

Barka (1992)' ye göre, Bitis Karlıova'dan başlayan Anadolu levhasının hareketinin Marmara'ya ulaşması Pliosen zamanında olmuştur. Günümüzde halen devam eden Anadolu levhasının batıya hareketi gösterilmiştir (Şekil 4.1).

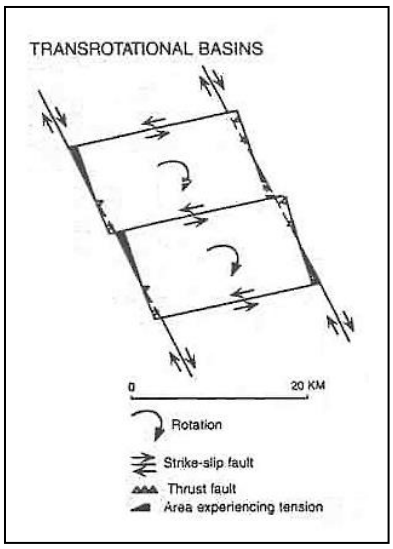
Fayın Marmara Denizine ilk girişi batıdan Ganos Fayı aracılığı ile olduğu düşünülmektedir (Sakınç ve Yaltırak, 1997). Kuzey Anadolu Fayı'nın yaklaşık 365000 yıl önce batıdan harekete geçtiği, eskiden Tekirdağ Baseni'ne dökülen bir akarsu yatağındaki ötelenmeden hesaplanan değer ile uyumludur (Ecevitoğlu, 2000). 1912 depreminin M_S 7.4 (Ambrasseys ve Finkel,1987) olduğu yerin doğusunda Kuzey Anadolu Fayı üzerinde yer alan Kocaeli 17.08.1999 depreminin ardından fayın Marmara Denizi içindeki geometrisi ve dolayısıyla morfoloji üzerinde bırakmış olduğu etkiler araştırma konusu olmuştur.



Şekil 4.2:Marmara Denizi doğusunun fay haritası. Düz çizgiler, MTA Sismik 1 gemisiyle 1997-1999 yılları arasında ölçülen çok kanallı sismik yansıma profillerini göstermektedir. Nokta ile çizilmiş konturlar syntransform sediman kalınlığını göstermektedir (Okay ve diğ., 2000).

İzmit Körfezi'nden giren, doğrultu atımlı özellik gösteren ana fay kolu KAF (Özalaybey ve diğ., 2001), Marmara Denizi içinde üç ana parçada gelişme göstermiştir (Şekil 4.2). Bunlar; Kuzey Sınır Fayı (KSF), İç Sınır Fayı (İSF) ve Güney Sınır Fayıdır (GSF). Kuzey şelfini takip eden KSF, doğrultu atımlı karakteristik göstermekte ve Büyük Çekmece civarında Orta Marmara Fayı (OMF) ile birleşmektedir. KSF üzerinde Mw 4 civarında oluşan birkaç depremde doğrultu atımlı hareket söz konusudur (Aktar ve Örgülü, 2001). Oluşan depremler sığ derinlikte 10 km civarında derinliğe sahiptirler. İSF'nin, Çınarcık Çukuru'nun güney sınırını takip ettiği görülmektedir. Sismik kesitlerde KSF'deki doğrultu atım ve İSF'de ki kuzeye dalım yapan normal faylanma gözlenmektedir. İki fay kolunun arasında kalan bölümde çanak şekilli içinde Kuvaterner-Pliosen çökelleri bulundurmaktadır (Okay ve diğ., 2000). Bu iki ana fay kolu arasında kalan Çınarcık Baseni ötelenmeye

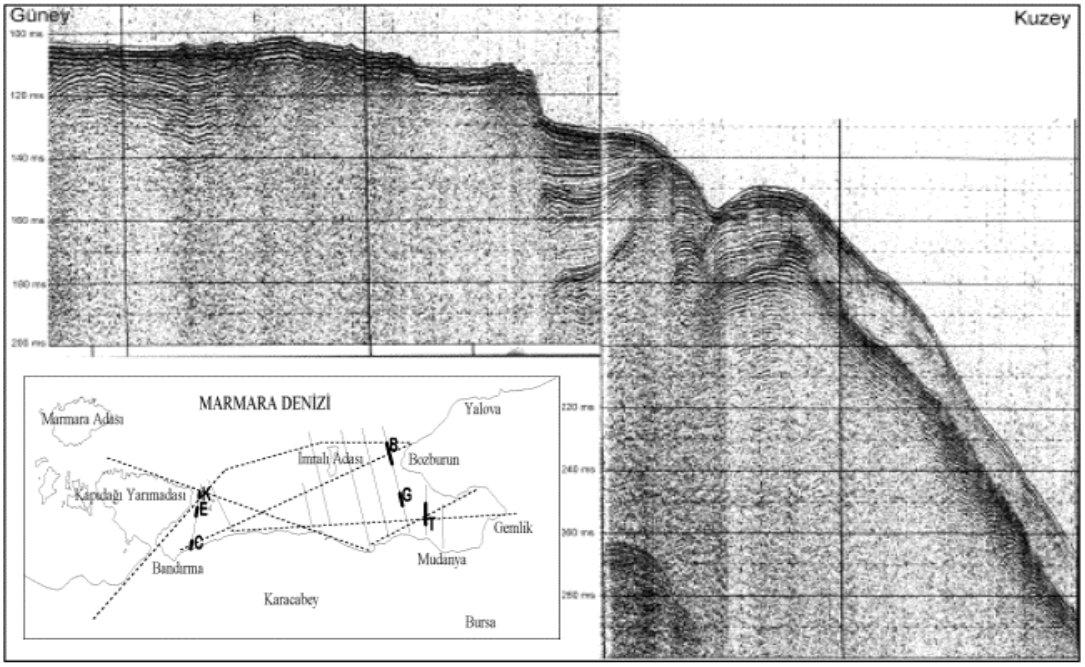
bağlı dönme kinematiği ile (transrotational basin) gelişmiş bir basen olarak nitelendirilebilir. Tanıma göre bu çeşit basenler doğrultu atımlı fayların dike yakın bir eksen etrafında aynı yönde uyguladıkları kayma gerilmesi sonucunda blokların dönmesiyle oluşmaktadır (Şekil 4.3). Eğer doğrultu atımlı faylar sağ yönlü ise dönme hareketi saat yönünde, sol yönlü ise dönme hareketi saat yönünün tersinde gerçekleşmektedir. Üçgensel veya paralel kenar şeklindeki boşluklar veya başka bir değişle basenler dönen blokların sınırlarındaki faylar ile şekillenmektedir (Nilsen,1999).



Şekil 4.3: Doğrultu atımlı fayların etkisiyle oluşan transrotasyonel basenler (Nilsen, 1999)

Doğrultu atımlı KSF ve İSF arasında Okay ve diğ. (2000) şekillenen Çınarcık Baseni'nin saat yönündeki dönme hareketi ve basenin içindeki faylanma Demirbağ ve diğ. (2003) tarafından belirtilmiştir.

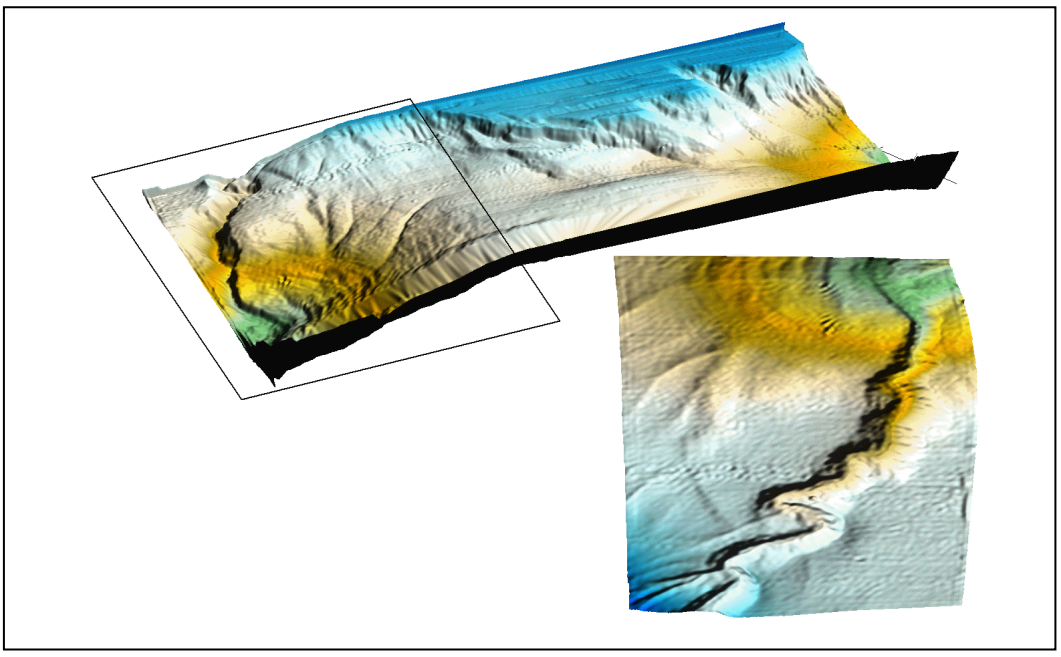
Hersek Deltası'nın 15 km doğusundan Armutlu Yarımadası'nın kuzey kıyısı boyunca (Gölcük-Esenköy) genel olarak yanal atım özelliği gösteren , Bozburun-İmralı Adası arasında, kuzeye doğru bir içbükey yaparak, Bükülmüş Yanal-Atımlı Havza (Fault-bend Strike-Slip basin) oluşturmaktadır. Benzer durum, Gemlik Fayı'nın doğuda, karadaki devamında, İznik Gölü'nün güney kıyısında da oluşmaktadır. Fay bükümünün içbükey kısmında gevşeme sonucu bir çökme oluşurken, fay bükümünün dışbükey kısmında ise sıkışmanın neden olduğu bir yükselme meydana gelmektedir (Tur ve diğ., 2000). Çökme oluşan bölümlerin normal faylanmalar ile beraber geliştiği ve sediman tabakalarındaki deformasyon dikkat çekmektedir (Şekil 4.4). Güney bloğunda ise kuzeydekine oranla daha az deforme olmuş onlap dolgular gözlenmektedir. Okay ve diğ. (2000) yaptığı çalışmada da 33 ve 37 numaralı sismik kesitlerde (şekil 4.2), GSF'nin yanal atım bileşenine ve buna bağlı olarak bükülmüş yanal atımlı havza oluşumuna dikkat çekilmiştir



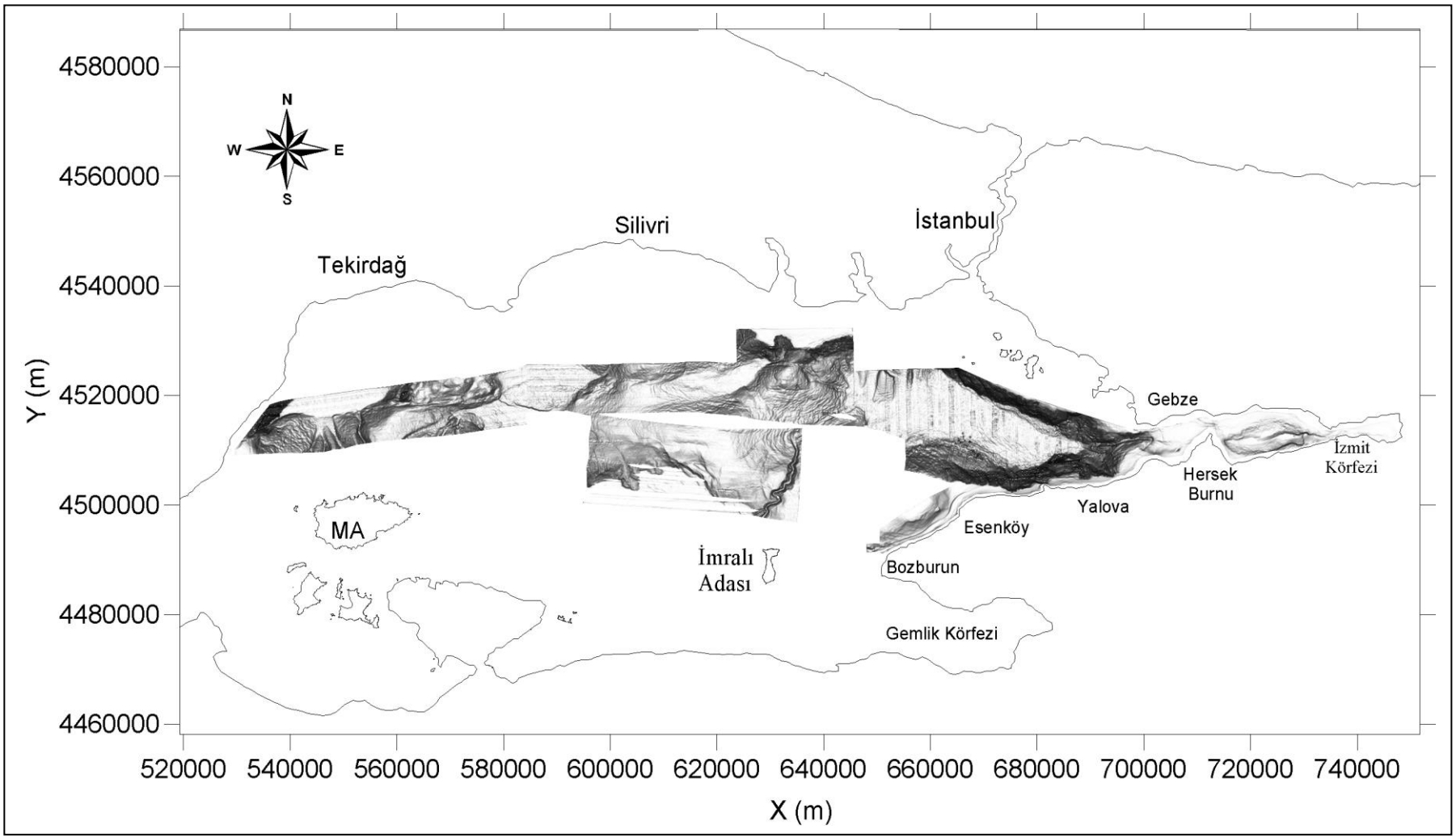
Şekil 4.4: İmralı Adası – Bozburun arasında SHOD' un Çubuklu gemisiyle ölçülmüş, K-G uzanımlı B sismik kesidi. Düz çizgiler ile profiller kesikli çizgilerle faylar gösterilmiştir. (Tur ve diğ., 2000)

4.1 İmralı Yarımadası kuzeyi dip morfolojisi

GSF şekil 4.2' de gösterildiği gibi İmralı Adası'nın kuzeyinden geçerek batıya ilerlemektedir. İlerleyişi sırasında İmralı Adası'nın kuzeyinden Çınarcık Çukuru'na eskiden akmakta olan bir nehir yatağınıda belirgin bir şekilde kesmektedir. GSF' nin sahip olduğu doğrultu atım bileşeni (şekil 4.2) nehir yatağındaki ötelenmeden oluşmuş S şekilli görünüm ile açıklanabilir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5: İmralı Adası Kuzeyinde gözlenen dip morfolojisi ve geçmişte İmralı Adası'ndan Çınarcık Çukuru'na akan nehir yatağını gösteren filtrelenmiş yüzey resimleri.

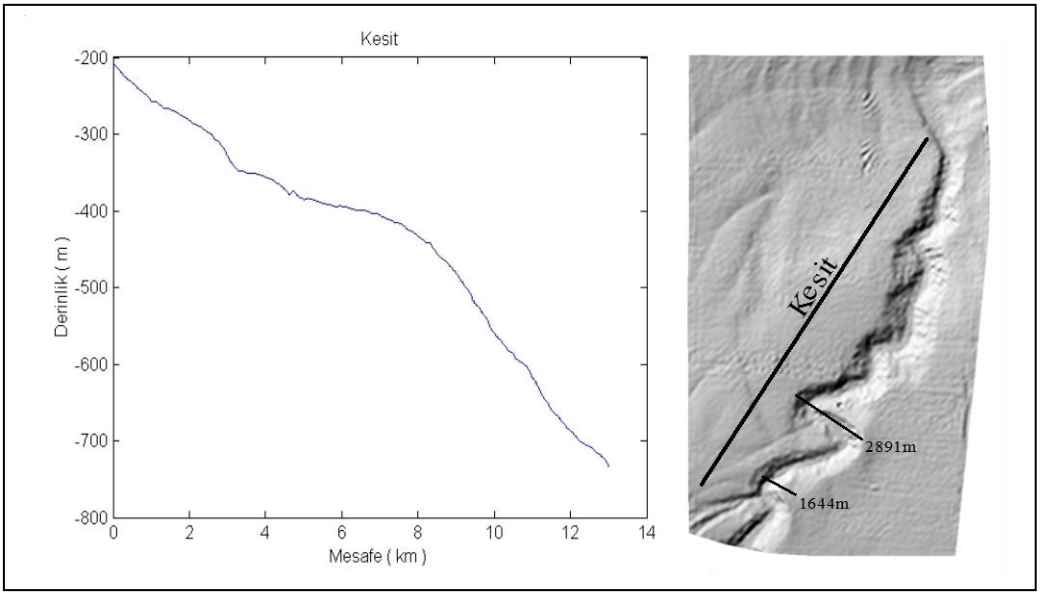


Şekil 4.6: Marmara Denizi'nin grid örnekleme aralığı 25 m seçilerek hazırlanmış shaded relief haritası

Şekil 4.5 bölgedeki dip morfolojisinin karmaşık yapısını daha iyi anlaşılmasına yardımcı olmaktadır. Şekil 4.6' da İmralı Adası'nın kuzeyindeki nehir yatağınıda kapsayan dikdörtgen alanın 180° döndürülmesiyle (şekil 4.5) elde edilmiştir. Resim, İstanbul'dan Marmara Denizi içine bakılıyormuş gibi düşünülürse daha iyi anlaşılabilir. Şelf bölümünde 190-200 m derinlik değerleri göze çarparken, güneyden kuzeye Çınarcık Çukuru'na yaklaşırken kanyon tipi yapı gözlenmekte ve 800-850 m derinliğe sahip yeşil ile renklendirimiş (şekil 4.5) bölüme ulaşılmaktadır. Geçmişte İmralı Dağı'ndan eğim boyunca akan nehirin hemen batısında, şelfden sonraki eğimin hızlı bir şekilde arttığı bölümde nehir yatağı kadar derin kazılmamış drenaj desenleri de göze çarpmaktadır. Eğim boyunca drenaj desenlerinin olası bir genç fay tarafından kesilmediğide dikkat çekmektedir. Buna karşılık nehrin, yüksekliğin az olduğu şelfde S şeklinde kıvrımlar yapması doğrultu atımı yüksek faylarla kesildiğine işaret etmektedir (Şekil 4.5). Bu düşünce MTA Sismik 1'in verilerinden elde edilen fay haritasıylada uyumludur. Nehrin doğrultu atıma karşılık göstermiş olduğu bu tip etki San Andreas Fayı'nın kestiği nehir yataklarında gözlemlenmektedir (Schumm ve diğ.,2000). Reilinger ve McClusky (2001) de bölge için verilen kayma oranı 25 ±1.4 mm / yıl olarak belirtilmiştir. Atım miktarları ve kayma oranından yola çıkarak

$$\text{GSF' nin yaşı} : \frac{2891m}{0.025m} = 115000 \pm 7500 \text{ yıl} \qquad (4.1)$$

olarak hesaplanılabilir.



Şekil 4.7 : Nehir yatağı boyunca alınan kesit ve doğrultu atımdan kaynaklanan ötelenme miktarı

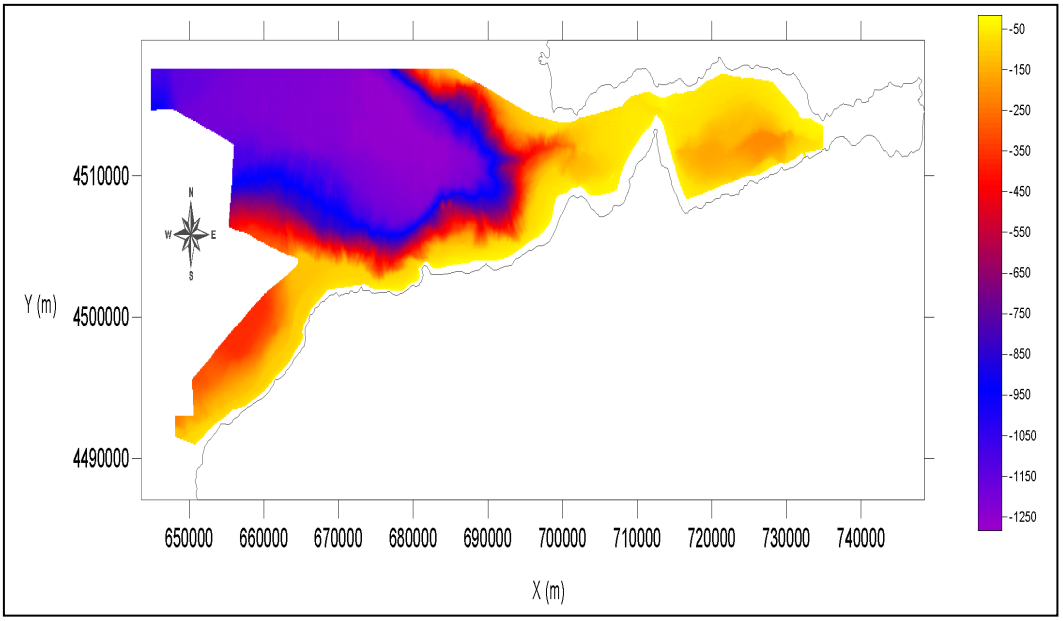
Güneydeki fay kolundan kaynaklanan atıma bağlı yaş benzer şekilde hesaplanabilir.

Ayrıca nehir yatağı boyunca alınan kesit ile (şekil 4.7) fayın güneyde kalan bloğunun yükseldiği de söylenilebilir. GSF'nin güney bloğunda bir yükselme olmadığı düşünülürse vadi boyunca nehir yatağındaki eğimde de bir değişme olmayacağı söylenebilir. Bu durumun tersine, GSF' nin Boz Burun'dan sonra bükülerek hareket etmesi (şekil 4.2) bu şekilde bir yükselmeyi de beraberinde getirmektedir (şekil 4.7). SHOD Çubuklu gemisiyle alınan sismik kesitte de GSF'nin güney bloğunun yükseldiği gözlemlenmektedir (Şekil 4.4). Schumm ve diğ., (1983) tarafından yapılan çalışmada Monroe yükselim bölgesinde bulunan Missisipi Nehri'nde şekil 4.7 ile aynı karakteristiği gösteren kesitler yeralmaktadır.

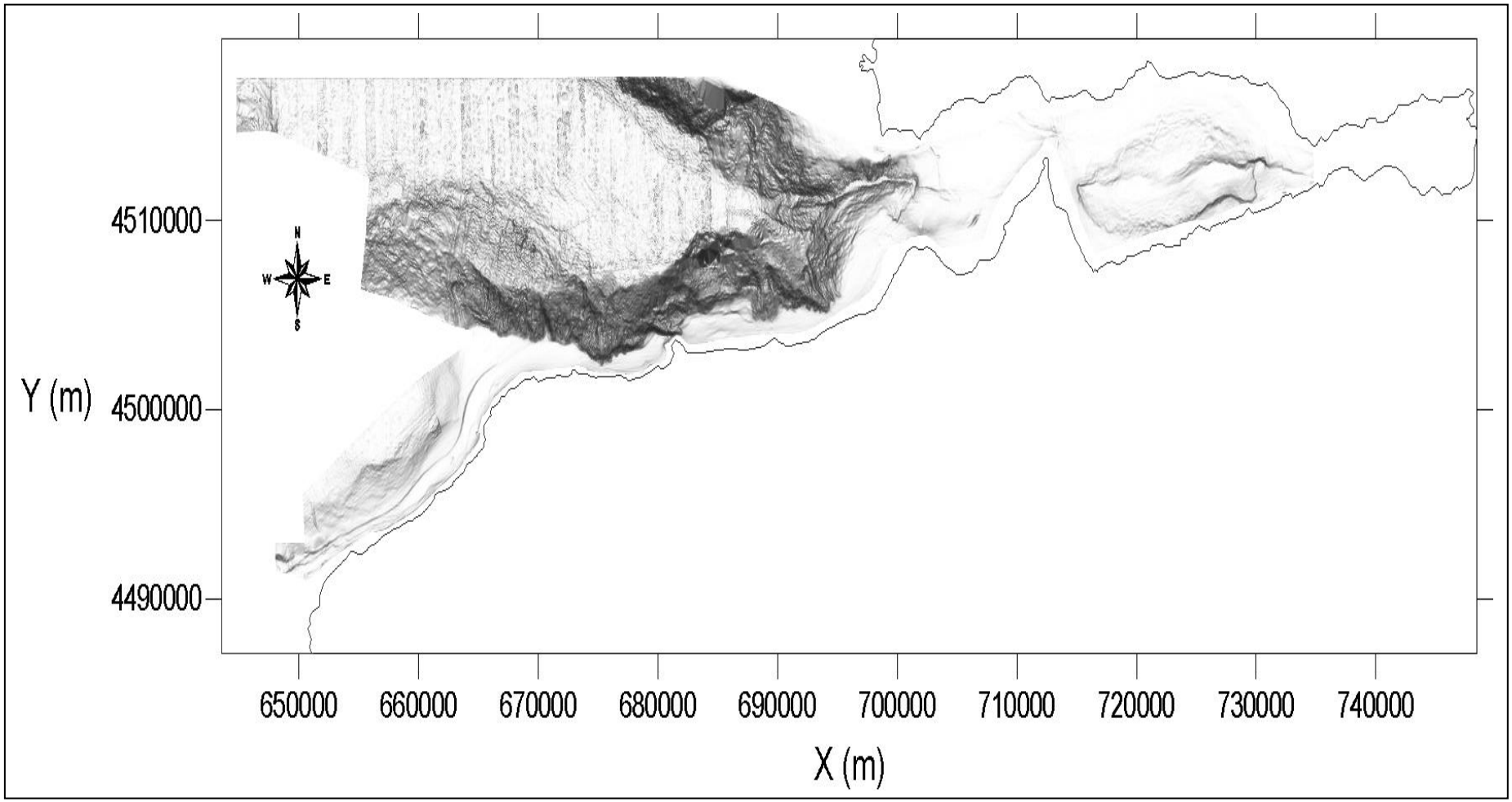
Nehri kesen fayın morfolojide bıraktığı etkiler şelf boyunca kuzeybatı yönünde ilerledikçe gözlemlenmektedir. Derinliğin aynı yönde 450 m'den 850 m'ye hızla arttığı bölümde, morfolojide gözlenememesine karşılık (şekil 4.5) fay haritasında gösterilmiştir (Şekil 4.2).

4.2 Armutlu Yarımadası kuzeyi dip morfolojisi

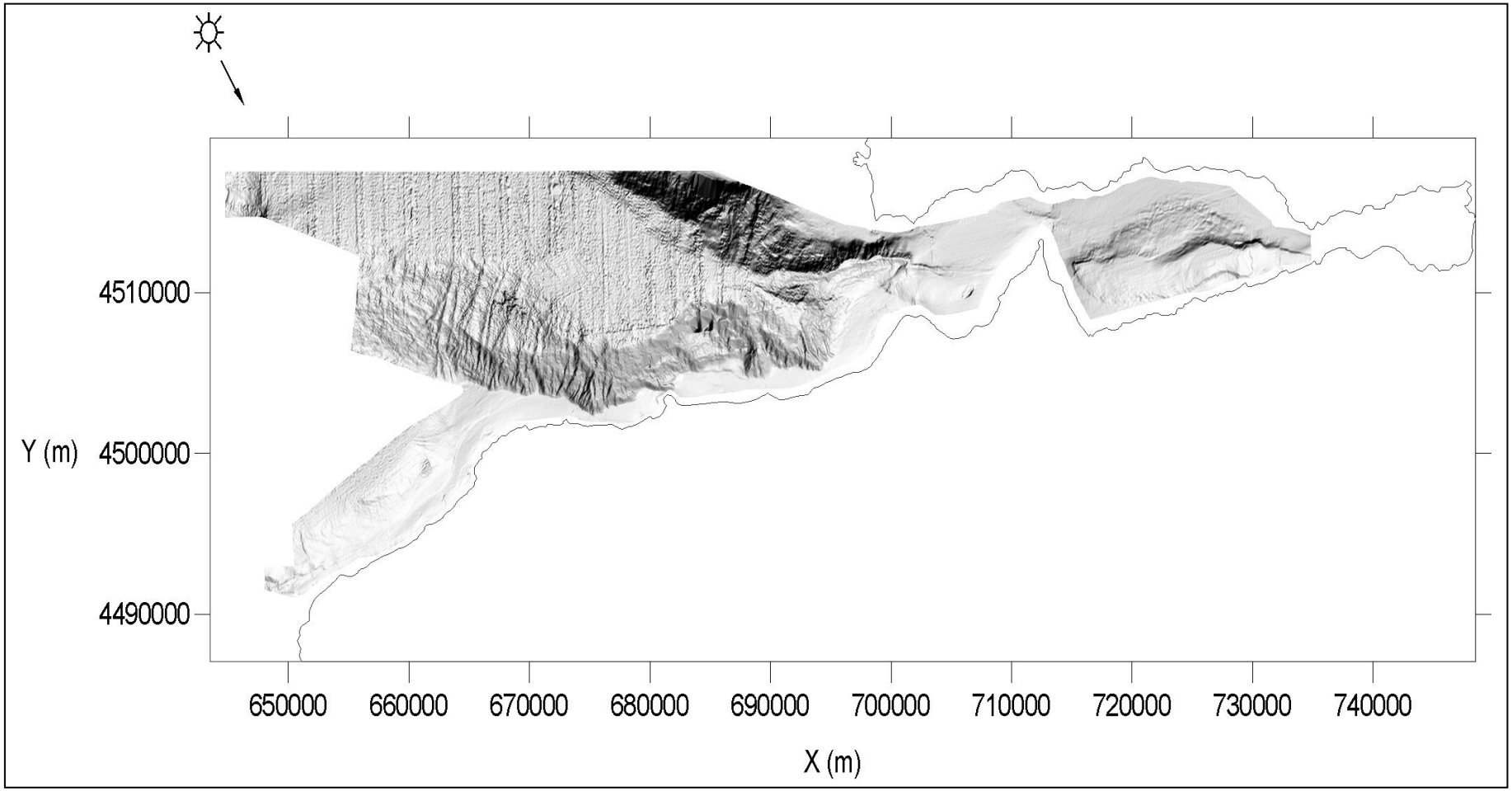
Bölgenin jeomorfolojisi incelendiğinde; Kuzeyinde ve güneyinde yer alan kıyı şelflerinden çukurlara yüksek eğimli yamaçlar ile inildiği göze çarpmaktadır. Kıyı şelflerinde ve İzmit Körfezi' nde 50 ile 150 m arasında değişen sığ derinlik değerlerine sahiptir. KAF'ın iki kola ayrıldığı bölgeden itibaren Çınarcık Çukuruyla aynı geometride 350-450 m derinliğe sahip bölgenin ardından derinlik çok hızlı bir şekilde basenin içinde ortalama 1000 m' ye kadar düşmektedir.



Şekil 4.8: Armutlu Yarımadası kuzeyinin filtrelenmiş batimetri haritası



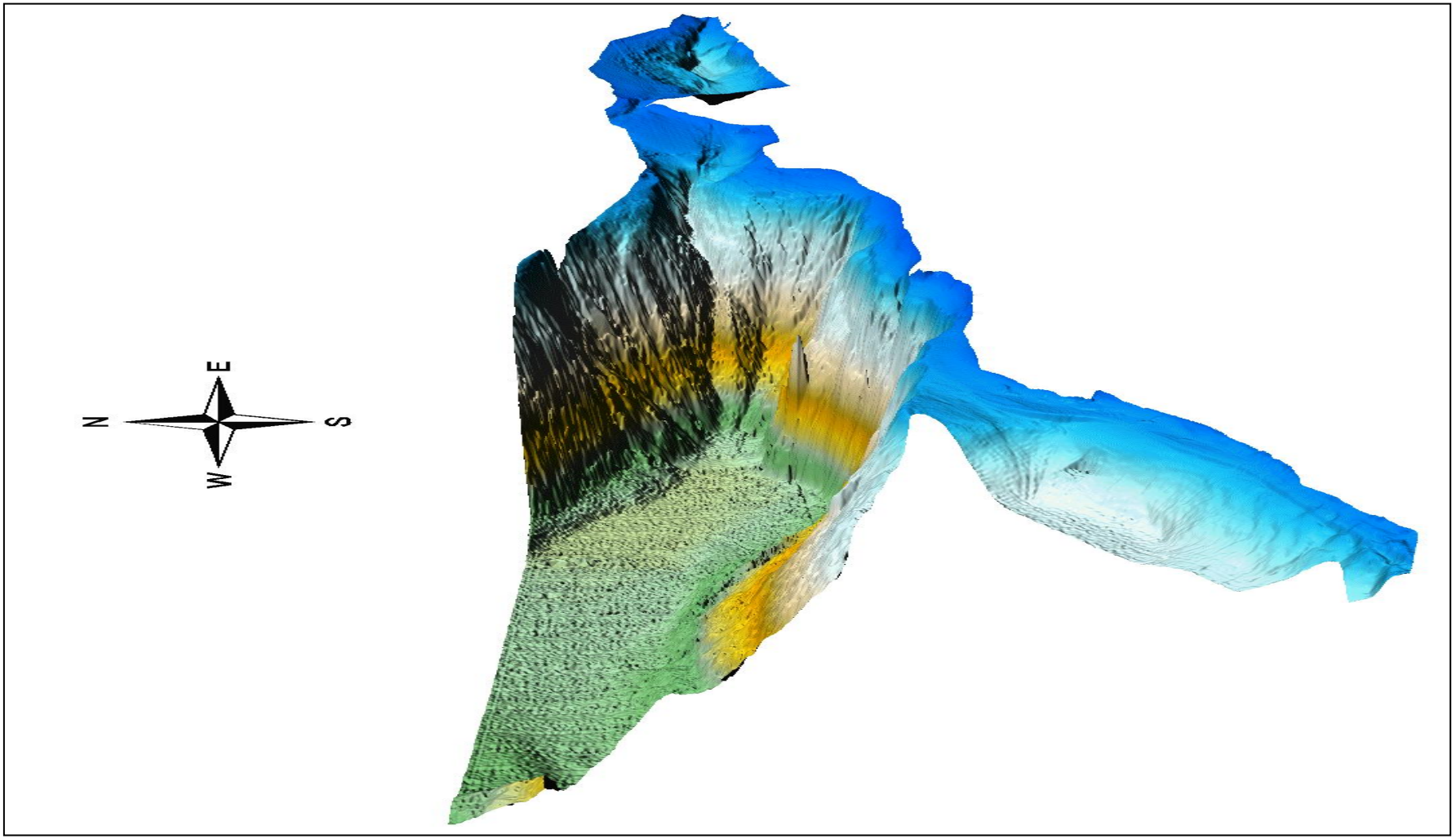
Şekil 4.9: Armutlu Yarımadası kuzeyi shaded relief haritası. Grid örnekleme aralığı 20 m, high-cut filtre, bull's eye giderimi ve eşik değer ortalama yöntemi uygulanmıştır. Ayrıntıların daha iyi görülebilmesi için Y yönünde 2 kat abartma vardır.



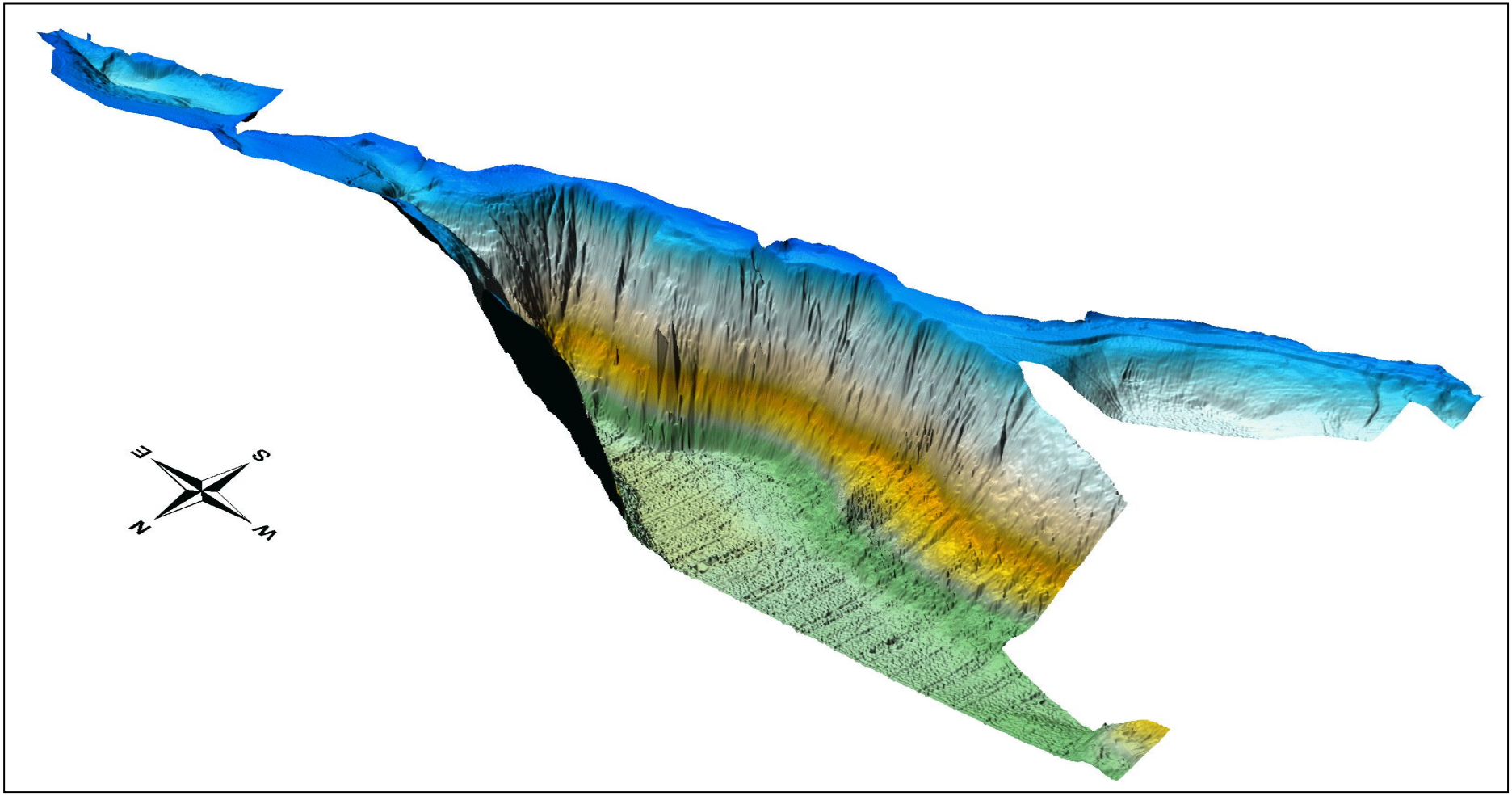
Şekil 4.10: Armutlu Yarımadası kuzeyinin belirtilen yönde ışıklandırılmış shaded relief haritası. Grid örnekleme aralığı 20 m, high-cut filtre, bull's eye giderimi ve eşik değer ortalama yöntemi uygulanmıştır. Ayrıntıların daha iyi görülebilmesi için Y yönünde 2 kat abartma vardır.

Çınarcık Çukuru 50 km uzunluğunda ve batıdaki en büyük genişliği ise yaklaşık 20km dir. Derinlik 950 m ile 1290 m arasında değişen değerler almaktadır. Çukurun içi yamaçlarla taşınan sedimanları bulundurmaktadır ve düz bir yapıya sahiptir. Kuzeybatı-güneydoğu uzanımlı sınırında yüksek eğime bağlı heyelanlar da gözlenmektedir. Bu heyelanların depremler sonucu oluştuğu muhtemeldir. Armutlu Yarımadası'nın batı ucundaki Bozburun'a yaklaştıkça şelf doğuya oranla biraz daha genişlemekte ve Çınarcık Çukuru'na kıyı boyunca yüksek eğimle inen yamacın eğimi biraz azalmaktadır. Bununla birlikte, yamaç doğudan batıya doğru Hersek Deltası'ndan Esenköy açıklarına hafif bir iç bükey ve daha sonra Bozburun'a doğru bir dış bükey yaparak ilerlemektedir. Dış bükey sonucu yamaç eğimindeki azalım Esenköy'ün batısından Bozburun'a doğru bir sediman bariyeri oluşturmaktadır. Bu sediman bariyerinin olası bir deprem ile heyelan oluşturması muhtemeldir. Ayrıca, bu yığının içinde GSF'nin bırakmış olduğu etkiler de göze çarpmaktadır. Yamacın dış bükey yaptığı bölümde, yamaçtan basenin içine doğru drenaj desenleri oluşturmaktadır (Şekil 4.10). Çalışmada Dz.K.K SHOD Başkanlığı'na ait Mesaha-2 botunun kullanılması güneyde yer alan eski kıyı şelfinin de net bir şekilde görüntülenmesine olanak sağlamıştır (Şekil 4.9). Doğuya doğru ilerledikçe, Yalova açıklarında fayın kıyı şelfinde bırakmış olduğu etki de dikkat çekmektedir. İSF ve KSF'nin ayrıldığı bölgedeki etkide görüntülenmiştir. İSF'nin Çınarcık Baseni içinde batıya hareket ettiğinden fayın sediman çökeliminin altında kalmasına, morfolojide gözlenememesine neden olmaktadır. GSF'nin olası bir doğrultu değişimine bağlı kıyı şelfinde, Hersek Deltası'nın hemen batısında bırakmış olduğu etki şekil 4.8 ve 4.9'da gözlenmektedir. Bu oluşumun kıyıda alınacak sismik kesitlerle ilişkilendirilmesi gerekmektedir. GSF'nin İmralı Adası ile Bozburun arasındaki doğrultu atımı bileşeninin büyüklüğü ve şelften çukura fay aynasını andıran dik yamaçlarla inilmesi ve yer yer morfolojide görülen deformasyon fayın güney şelfi boyunca uzanıp uzanmadığı sorusunu akla getirmektedir.

Hersek Deltası'nın 15 km doğusunda GSF'nin KAF'dan ayrıldığı bölüm görüntülenmiştir (Şekil 4.9). İzmit Körfezi'nde ortalama 100 m derinlik gözlenirken fayın bulunduğu bölümde deformasyona bağlı çökmeler oluşmakta (şekil 4.11) ve derinlik değerleri yer yer 250 m' yi bulmaktadır (şekil 4.8). Bu bölgede, KAF ile gelişen deformasyon fayın kuzeyinde ondülasyonları da beraberinde getirmektedir (Şekil 4.10). Bu bölgedeki çökmelerin ana fay koluyla aynı doğrultuda gözlenen normal faylanmalardan oluştuğu belirtilmiştir. Ayrıca körfez içinin sık profillerle gözlendiği sismik kesitlerde doğrultu atımlı ve normal faylanamaya bağlı gaz çıkışları gözlemlenmektedir (Kuşcu, 2003)



Şekil 4.11: Bölgenin filtrelenmiş yüzey resmi. Çınarcık Çukuru'ndan İzmit Körfezi'ne doğru görünüş.



Şekil 4.12: Bir başka açıdan bölgenin filtrelenmiş yüzey görünüşü.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar iki grupta toplanabilir. Bunlardan birincisi, multi beam sonar veri işlem teknikleri uygulanarak haritanın görüntü kalitesinin arttırılmasıyla ulaşılan sonuçlar ve bir diğeride Marmara Denizi'nin tektonik gelişimine bağlı olarak dip morfolojisinde gözlenen yapısal unsurlar ve bu bulguların farklı jeofizik yöntemlerle ilişkilendirimesine yönelik olan sonuçlar ve tartışmalardır.

Başlangıçta, ölçülmüş olan bütün verinin parçalara ayrılması haritalamanın düşük teknolojiye sahip bilgisayarlarla bile yapılabilmesini mümkün kılmaktadır. Bununla beraber uygulanan veri işlem tekniklerinde işlem zamanındaki kayıp da engellenmektedir. Kullanılan yöntem ile haritalanacak özel bir alana ait veri bir başka dosyaya alınabilmektedir.

Hata miktarı yüksek derinliklerden kaynaklanan Bull's eye etkisi, harita ortamında ani yükselmelere, ışık yönlendirimli haritalarda siyah kapanımlara karşılık gelmektedir. Bu oluşum haritayı yorumlamayı zorlaştırmaktadır. Hatalı derinliğe sahip verinin harita üzerinden belirlenmesi işlemi kolaylaştırmakta ham veri üzerinden geliştirilen yöntem ile silinmesi etkinin tamamen yok olmasına yardımcı olmaktadır.

Ayrıca eşik değer ortalama yönteminin uygulanması birbirine yakın grid noktalarında ki ortalamadan sapan değerlerin düzeltilmesini, dolayısıyla harita üzerindeki çeşitli hatalardan kaynaklanabilen uyumsuzlukların filtrelenmesini sağlamaktadır. Bu yöntem ile Bull's eye giderimi beraber uygulandığında haritada ani derinlik değişintisinden ve uyumsuz görüntülerin oluşumuna neden olan etkenler başarılı bir şekilde filtrelenmektedir.

Yorumlamayı en çok güçleştiren etki ise gemi motorundan kaynaklanan gürültüdür. Renk kodu içeren kontur haritalarında bu gürültü az göze çarparken, yapısal unsurları görüntülemekte kullanılan shaded relief haritalarında küçük dalga boylu, geminin hareket doğrultusunda süreklilik arzeden istenmeyen yapılar oluşturmaktadır. Gürültü, yapıların üzerini kısmen örtmekte ve yorumlamayı güçleştirmektedir. Optimum filtrelenmiş haritada ayrıntıların kolayca seçilebildiği buna karşılık optimum filtre değerinden sonraki değerler için detayların ve yapıların kaybolduğu görülmektedir. Yetmişden önceki filtre gücü değerleri için tasarlanan

filtre, gürültüden ufak dalga boyundaki yapıları filtrelemektedir. Bu nedenle gürültü, filtre gücünün yetmişden küçük değerleri için filtrelenememektedir. Sonuç olarak optimum filtrelenmiş harita ile deniz tabanı ayrıntılı ve yüksek çözünürlükle görüntülenebilmektedir.

Armutlu Yarımadası'nın jeomorfolojisi incelendiğinde; Kuzeyinde ve güneyinde yer alan şelflerden çukurlara yüksek eğimli yamaçlar ile inildiği gözlenmiştir. Bununla birlikte, yamaç doğudan batıya doğru Hersek Deltası'ndan Esenköy açıklarına hafif bir iç bükey ve daha sonra Bozburun'a doğru bir dış bükey yaparak ilerlemektedir. Dış bükey sonucu yamaç eğimindeki azalım Esenköy'ün batısından Bozburun'a doğru kıyı şelfinde bir sediman bariyeri oluşturmaktadır. Bu sediman bariyerinin olası bir deprem sonucunda heyelan oluşturması muhtemeldir. GSF'nin İmralı Adası ile Bozburun arasındaki doğrultu atımı bileşeninin büyüklüğü ve şelften çukura fay aynasını andıran dik yamaçlarla inilmesi ve yer yer morfolojide görülen deformasyon fayın güney şelfi boyunca uzanıp uzanmadığı sorusunu akla getirmektedir. Bu düşüncenin kıyıda alınacak sismik kesitlerle ilişkilendirilmesi gerekmektedir. KAF'ın İzmit körfezi içindeki tektonik etkiler sonucunda yüzeyde bıraktığı deformasyon dikkat çekicidir. Bu alanda gaz çıkışının oluşu ve normal faylarla beraber gelişen çökme Kuşcu (2003) tarafından da belirtilmiştir.

Geçmişte İmralı Dağı'ndan eğim boyunca akan nehrin hemen batısında, şelfden sonraki eğimin hızlı bir şekilde arttığı bölümde, nehir yatağı kadar derin kazılmamış drenaj desenleri de göze çarpmaktadır. Eğim boyunca drenaj desenlerinin olası bir genç fay tarafından kesilmediği de dikkat çekmektedir. Buna karşılık nehrin, yüksekliğin az olduğu şelfde S şeklinde kıvrımlar yapması doğrultu atımı yüksek faylarla kesildiğine işaret etmektedir (Şekil 4.5). Bu düşünce MTA Sismik 1'in verilerinden elde edilen fay haritasıylada uyumludur (Okay ve diğ.,2000). GSF'nin neden olduğu atım miktarı ve GPS hız alanından yola çıkarak yapılan hesaplamayla fayın 115000 $\pm$ 7500 yaşında olduğu tahmin edilmektedir. Bununla birlikte vadi boyunca alınan kesitte bölgenin tektonizma sonucunda GSF'nin güney bloğunda gözlenen yükselme bölgede önceden alınmış sismik kesitlerle de uyumludur.

KAYNAKLAR

Aktar, M. and Örgülü, G., 2001. Study of strong aftershocks of İzmit and Düzce earthquake sequence using regional moment tensor inersion, Symposia on Seismotectonics of the North – Western Anatolia – Aegean and Recent Turkish Earthquakes, Scientific Activities 2001, Istanbul Technical University, Faculty of Mines, May 8, 2001, Istanbul, Turkey.

Ambraseys, N.N., Finkel, C.F., 1987. The Saros – Marmara earth-quake of 9 August 1912. *J. Eng. Struct. Dyn.* **15**, 189–211.

Barka, A., 1992. The North Anatolian fault zone. *Ann. Tecton.,* 164– 195 (special issue—supplement to volume VI).

Clarke, H., J.E., Danforth, B.W. and Valentine P., 1997. Areal seabed classification using backscatter angular response at 95 kHz. Proceedings of SACLANT Conference, Lerici, Italy, 30 June to 4 July.

de Moustier, C. and Matsumoto H., 1993. Seafloor acoustic remote sensing withmultibeam echo-sounders and bathymetric side scan sonar systems. *Marine Geophysical Researche*s. **15,**27-42.

de Moustier, C., 1998a. Fundamentals of echo-sounding II 1998 Coastal MultibeamSonar Training Course, Darmouth, N. S., April 20-24. Lecture Notes #4. Ocean Mapping Group, Department of Geodesy and Geomatics Engineering, Universityof New Brunswick, Fredericton, N.B.

de Moustier, C., 1998b. Acoustic seabed interaction theory. 1998 Coastal MultibeamSonar Training Course, Darmouth, N. S., April 20-24. Lecture Notes #21. Ocean Mapping Group, Department of Geodesy and Geomatics Engineering, Universityof New Brunswick, Fredericton, N.B.

DeMets, C., Gordon, R.G.,Argus, D.F., Stein, S., 1990. Current plate motions, *Geophys. J. Int.,* **101**, 425-478.

Demirbağ, E., Rangin, C., Le Pichon, X., Şengör, A. M. C., 2003. Investigation of the tectonics of the Main Marmara Fault by means of deep-towed seismic data.

Diaz, J., 2000. Analysis of multi beam sonar data for the characterization of seafloor habitats, *Yüksek Lisans Tezi,* New Brunswick Üniversitesi, New Brunswick.

Ecevitoğlu, B., 2000b Marmara Deniz İçi Jeofizik Görüntüleri, Marmara'da Deprem ve Jeofizik Toplantısı, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, 28 Haziran 2000, Polat Renaissance Hotel, Yeşilyurt, İstanbul,Sayfa: 20-23.

Gürbüz, C., Aktar, M., Eyidoğan, H., Cisternas, A., Haessler, H., Barka, A., Ergin, M., Türkelli, N., Polat, O., Üçer, S.B., Kuleli,S., Barış, S., Kaypak, B., Bekler, T., Zor. E., Biçmen, F., Yörük, A., 2000. The seismotectonics of the Marmara region (Turkey): results from a microseismic experiment. Tectonophysics, **316**, 1-17.

Jestin, F.,Huchon, P. ve Gaulier, J., 1994. The Somali Plate and the East African rift system: Present-day kinematics, *Geophys. J. Int.,***116**, 637-654.

Kahl,H.G., Cocard, M., Peter, Y., Geiger, A., Reilinger, R., Barka, A. ve Veis, G., GPS derived strain rate field within boundary zones of the Eurasian, African and Arabian Plates. *J. Geophys. Res.,***105** 23353-23368.

Kuşcu, İ., 2003. İzmit ve Gemlik Körfezlerinde sono probe-3 yüksek ayrımlı sistemi ile aktif fay zonlarının araştırılması, *Jeofizik Mühediliği Seminerleri*, İstanbul Teknik Üniersitesi, Maden Fakültesi, İstanbul, 28 Mart.

L3 Communications Elac Nautik GmbH, 1998. Hydrographic data processing manual, Almanya.

McKenzie, D.P., 1972. Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophys. J. R. Astron. Soc*. **30**, 109–185.

Nilsen, H.T., Strike-slip basins part 1. *TheLeading Edge*, Oct 1999, 1146-1152.

Nilsen, H.T., Strike-slip basins part 2. *TheLeading Edge*, Oct 1999, 1258-1267.

Nishimura, C. E., 1997. Fundamentals of acoustic backscatter imagery. Naval Research Laboratory, Marine Geoscience Division , U.S. Navy, Washington, D.C.

Novarini, J.C. and Caruthers, J. W., 1998. A Simplified approach to backscatter from a rough seafloor with sediment inhomogenity, *IEEE Journal of OceanicEngineering*, **23**, 157-166.

Okay, A.I., Kaşlılar-Özcan, A., İmren, C., Boztepe-Güney, A., Demirbağ, E., Kuşcu, İ., 2000. Active faults and evolving strike–slip basins in the Marmara Sea, northwest Turkey: a multichannel seismic reflection study. *Tectonophysics* **321**, 189– 218.

Özalaybey, S., Karabulut, H., Ergin, M., Aktar, M., Bouchon, M., 2001.The 1999 İzmit Earthquake sequence in NW-Turkey seismological aspects, Symposia on Seismotectonics of the North – Western Anatolia – Aegean and Recent Turkish Earthquakes, Scientific Activities 2001, Istanbul Technical University, Faculty of Mines, May 8, 2001, Istanbul, Turkey.

Rabiner, L. R. and Gold, B., 1975. Theory and Application of Digital Signal Processing, Prentice-Hall Press, New Jersey.

Reilinger, R., McClusky, S., 2001. GPS constraints on block motions and deformation in western Turkey and Agean: Implications for earthquake hazards, Symposia on Seismotectonics of the North – Western Anatolia – Aegean and Recent Turkish Earthquakes, Scientific Activities 2001, Istanbul Technical University, Faculty of Mines, May 8, 2001, Istanbul, Turkey.

Sakınç, M. ve Yaltırak, C., 1997. Güney Trakya sahillerinin denizel pleyistosen çökelleri ve paleocoğrafyası, MTA Dergisi, **119**, 43-62.

Schumm, A.S., Dumont, J.F. and Holbrook, J.M., 2000. Active Tectonics and Alluvial Rivers,Cambridge Uniersity Press, UK.

Taymaz, T. (Ed.), 2001. Symposia on Seismotectonics of the North – Western Anatolia – Aegean and Recent Turkish Earthquakes, Scientific Activities 2001, Istanbul Technical University, Faculty of Mines, May 8, 2001, Istanbul, Turkey, 113 pp. ISBN 975-97518-0-1.

Tur,H., Ecevitoğlu, B., Şimşek, M., 2000. Marmara Denizi güneyi sığ sismik görüntüleri, Güney marmara depremleri, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Yayını.

Wells, D.E., 1997. Underwater Acoustics Hydrographic Surveying I Lecture Notes .Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, N.B.

Yılmaz, Ö., 1987. Seismic Data Processing, SEG Press,United States.

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet Emre BASMACI, 1979'da İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 1997 yılında Kadir Has Süper Lisesi'nden mezun olduktan sonra aynı yıl İ.T.Ü Maden Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'ne girdi. Lisans öğrenimini bölüm ikincisi olarak bitirdi. 2001 yılında İ.T.Ü'de yüksek lisansa başlayan Ahmet Emre BASMACI halen bu bölümde öğrenimine devam etmektedir.