

DENİZ GRAVİTE ÇALIŞMALARI (MARINE GRAVITY STUDIES)

Cemal GÖÇMEN

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
Jeofizik Etütler Dairesi, Ankara
email:gocmen@mta.gov.tr

ÖZET

Karada yapılan çalışmalarda, gravite ölçüleri, gravitenin en azından “tek bir gözlem için geçen zaman içinde” sabit olarak kabul edilebilen katı yeryüzü noktalarında yapılır. Denizdeki çalışmalarda ise, gemide hareketli bir ortamda ölçü yapıldığından, kullanılan gravimetre, veri toplama, konumlama ve ölçülere getirilecek düzeltmeler karadaki etütlere göre farklılıklar gösterir. Bu yazıda deniz gravite çalışmalarında kullanılan gravimetrenin özellikleri, gravite etütlerinin nasıl yapıldığı, karadaki çalışmalara göre düzeltmelerde ne gibi farklılıklar olduğu incelenmektedir. Ayrıca Türkiye’deki deniz gravite çalışmaları konusunda bilgi verilmektedir.

ABSTRACT

On land gravity studies, gravity measurements are carried out at stable points where gravity is time independent during the single measurement time interval. However, marine studies, the measurements are obtained in unstable platform on a boat. Therefore, gravimeter, data collections, positioning and data processing are different that the hardware and software used in land study. We here explain specification of the air-sea gravimeter, how marine gravity works are realized, and differences in data processing. Besides marine gravity studies in Turkey are also partly presented.

1. GİRİŞ

Deniz araştırmalarında jeofizik yöntemlerin uygulanması, kara çalışmalarında kullanılan ölçerlerin, deniz koşullarında kullanıma uygun hale getirilmesine ihtiyaç gösterir. Denizde durağan bir ortam olmadığından, ölçü aletlerinin durağan olmayan ortamda ölçü yapmaya uygun olması gerekir. Ayrıca çalışma alanının karaya göre farklı ve hareketli bir ortamda ölçü yapılması nedenleriyle, kara çalışmalarına göre ölçülere getirilen düzeltmelerde de bazı farklılıklar olmakta ve ek düzeltmeler gerekmektedir. Bunun yanı sıra ölçü noktasının konumunu yeterli doğrulukta belirlemek için, uygun konumlama sistemleri ve deniz derinliğini ölçmek için de derinlik ölçerin, sistem içinde bir bütünlük sağlayacak biçimde yer alması gerekmektedir.

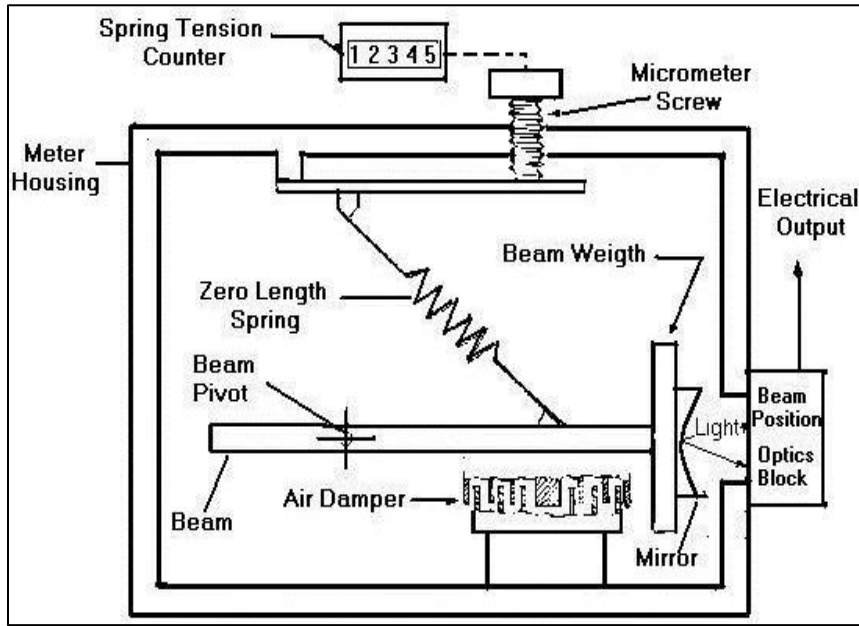
Ülkemizde deniz gravite çalışmaları, bu güne kadar MTA Sismik-1 Gemisi ile yapılmaktaydı. Ayrıca TPAO tarafından petrol arama çalışmaları amacıyla, genellikle yabancı kurumlara deniz gravite etütleri ve değerlendirilmesi yaptırılmaktadır. Şu ana kadar çok sayıda deniz gravite çalışması, Marmara, Karadeniz, Ege ve Akdeniz’de gerçekleştirilmiş olup bunlarla ilgili bir döküm çalışması henüz tam olarak yapılamamıştır.

Yazının ikinci bölümünde deniz gravimetresi, konumlama sistemi ve derinlik ölçü aleti tanıtılmakta, üçüncü bölümde deniz gravite ölçülerinde uygulanan düzeltmeler anlatılmaktadır. Dördüncü bölümde örnek bir deniz gravite araştırması ele alınmakta ve beşinci bölümde Türkiye’de 1977–1982 yılları arasında yapılan deniz gravite çalışmalarının bir dökümü verildikten sonra altıncı bölümde sonuçlar açıklanmaktadır.

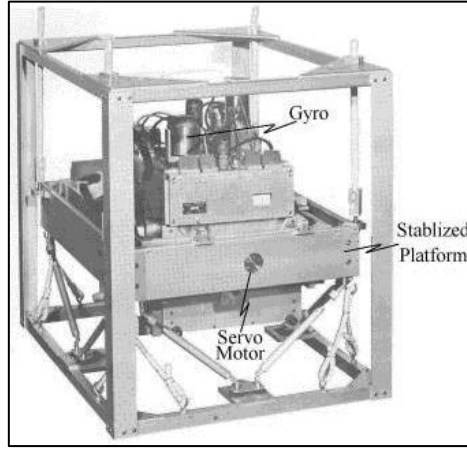
2. DENİZ GRAVİMETRESİ, KONUMLAMA SİSTEMİ VE DERİNLİKÖLÇERİ

a. Deniz Gravimetresi

Deniz gravimetlerinin özellikleri, MTA Genel Müdürlüğü Sismik-1 gemisinde kullanılan LaCoste and Romberg Model S (Air-Sea Gravity Meter) ölçerinin özellikleri verilerek açıklanacaktır. Şekil-1a’da söz konusu gravite ölçerin basitleştirilmiş yapısı verilmektedir. Şekil-1a’da görüldüğü gibi gravimetrenin kolu (beam) yaklaşık olarak yatay ekseninde ve serbest salınım durumundadır. Bu kolun ağırlık bulunan ucu, diyagonal bir yayla “Zero Length Spring (Sıfır Uzunluklu Yay)”, yukarıdaki mikrometre vidasına bağlanmıştır. Kol üzerindeki gravite çekimi mikrometre vidası ile dengeye getirilmektedir. Geminin hareketi sonucu kol üzerinde meydana gelen salınımın giderilmesi veya çok küçük düzeye indirilmesi gerekir.



(a)

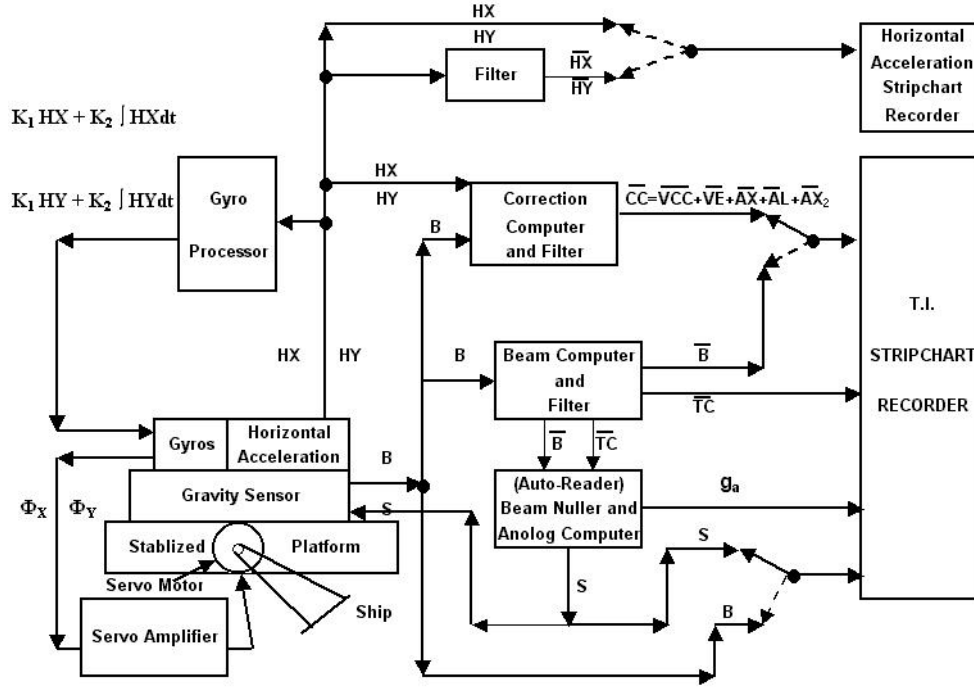


(b)

Şekil-1: a. LaCoste And Romberg Gravite Sensörünün Basitleştirilmiş Diyagramı.
b). LaCoste And Romberg Deniz Gravite Ölçeri

Gravimetrenin çalışmasını açıklamak için başlangıçta sönümlemenin (salınımın minimum durumu) normal olduğu kabul edilir. Bu durumda sabit okuma, yayın üst ucundaki vidayla yapılan ayarlama ile önceden belirlenmiş sıfır noktasında ve karada yapılabilir. Gerçekte yayın gerilimi, yayın toplam gerilim kuvveti değildir, fakat kol üzerinde yay tarafından kullanılan gücün, gravite çekimine karşılık gelen bileşenidir. Sönümlemenin normal olduğu kabul edilen bu durumda, kol sıfır durumunda olursa, yaydaki gerilim gravite değerine karşılık gelir. Eğer gravimetrenin kalibrasyon faktörü "1" ise, yayın gerilimi doğrudan gravite değerine eşit olur. Genellikle kalibrasyon faktörü "1" değildir ve bir sabit olarak verilir. Bu durumda gravite değerini bulmak için yayın gerilim değeri ile kalibrasyon faktörü çarpılır.

Gravite ölçümü denizde yapıldığında, yukarıda kabul edilen durağan koşullar sağlanamayacağından, ölçerde ek düzenlemeler yapılması gerekir. Şekil-1b'de görüldüğü gibi denge durumunun sağlanabilmesi için gravimetre bir çerçeve içine yerleştirilmiştir. Ayrıca bu çerçevenin içinde durağan bir platform (stabilized platform) bulunmaktadır. Bu platformu yatay yönde (x,y yönünde) sabit tutabilmek için iki adet servo motor kullanılmaktadır. Bu servo motorlar yatay düzlemde ve birbirine dik konumda dönme hareketi yaratarak durağan platformu yatay konumda tutmaya çalışırlar. Ayrıca gravimetrenin üzerinde bulunan iki adet "gyro" ile servo motorlardan sonra gravimetrenin dengelenmesi için gerekli ince ayarlar yapılır.



Şekil-2: LaCoste And Romberg Gravimetresinin Blok Diyagramı

Şekil-2'deki diyagramda, her servo motor için iki geri besleme bağlantısı görülmektedir. Gyro çıkışı bir servo yükselticisi tarafından beslenir, bu da gyro çıkışının sıfır durumunu kontrol etmek için kullanılır. Gyro çıkışının sıfır durumunda olması durağanlığı sağlar. Fakat bunlar platformun bir referans düzlemine göre yatay konumda kalmasını garanti etmez. Bunun temel nedenleri; başlangıç referans düzleminin tam yatay olmaması, gyro motorlarının sürüklenmesi (drifti) ve dünyanın dönmesi sonucu gyro motorların etkilenmesidir. Yataylığı sağlamak için ikinci bir geri besleme bağlantısı vardır. Bu bağlantıda her bir ivme ölçer (akselometre) çıkışı bir gyro işlemcisi ile beslenir. Gyro işlemcisinin çıkışı, ivme ölçer çıkışının bir fonksiyonudur ve gravite sensörü, geminin hareketine rağmen durağan platform üzerinde yatay olarak dengede kalır. Bununla beraber geminin düşey yöndeki hareketinin ivmesi, kolun (beam) sıfır pozisyonunda sabit kalmasını uygulamada olanaksız hale getirir. Bu nedenle, kol hareket halinde iken okumanın yapılması gerekir. Matematiksel olarak, kolun hareketinin hızı ve ivmesi biliniyorsa bu olanaklıdır. Ayrıca; kol yeterince durağan hale getirilebiliyor ise bu ivme ihmal edilebilir ve gravimetrenin okuması duyarlı bir şekilde yapılabilir. Sözü edilen bu özellikler Model S gravimetresinde mevcuttur ve Şekil-1a'daki diyagramda sıfır uzunluklu yay olarak isimlendirilen yay ile gerçekleştirilir ve sönümleme oldukça yüksektir. Gravimetre ile kol sıfır pozisyonuna gelmeden kolun hızı kullanılarak,

$$g = S + kB' + CC \quad (1)$$

eşitliği ile de ölçü yapılabilir. Burada, g gravimetre okuması, S yayın gerilme değeri, k sabit değer (ortalama kol duyarlılığı ve sönümlemenin fonksiyonudur), B' (dB/dt) kolun hızı ve CC Cross Coupling Düzeltmesi (B' 'nin pozisyonu ve yatay ivme çıkışları H_x ve H_y den kaynaklanabilecek olası küçük hatalar için yapılan düzeltme) anlamındadır. Şekil-2'deki blok diyagramda, yayın gerilme değerinin nasıl kontrol edildiği ve gravite okumasının (1)

eşitliğine göre nasıl hesaplandığı gösterilmektedir. Diyagramda, kol sıfırlayıcı (beam nuller) kolun konumu B yi kullanarak gerilme değeri S'yi kontrol eder. Bu durumda kolun konumu (beam position) yaklaşık olarak sıfırdır. Sıfır pozisyonunun buna karşılığı, geminin düşey yöndeki hareketinden meydana gelen ivmenin değişmesini yavaşlatmak şeklinde olur. Gemideki bu düşey ivme oldukça büyüktür ve büyüklüğü bilinmemektedir. Burada istenilen kol sıfırlayıcı çıkışının bunu izlememesidir. Eğer izlerse (1) eşitliğindeki B' yok olacaktır, fakat S ortalama olmak zorundadır. Şekil(2)'deki düzeltme bilgisayarı (Correction Computer); kolun konumu B ve yatay ivme çıkışları Hx ve Hy'yi kullanarak, gravimetrede meydana gelebilecek görelilik olarak küçük fakat anlamlı düzeltmeleri yapar. Ortalama kol konumunun zamana göre türevi (dB/dt), Cross Coupling düzeltmesi CC ye eklenir ve Toplam Düzeltme (Total Correction) TC bulunur. Toplam Düzeltme TC, yayın gerilme değeri S ve otomatik okuyucu (Automatic Reader) ile birlikte, filtre edilmiş gravimetre okuması g_a 'nın hesaplanmasını sağlar. Filtre edilmiş gravite g_a bilgisayara kaydedilir.

Lacoste and Romberg Model S gravimetresinin stabilize platformu salınım periyodu 4 dakikaya ayarlanmıştır. Bu periyot okyanuslardaki dalga periyodundan daha uzundur ve geminin dümen hatalarını da elimine edebilecek bir süredir. Salınım periyodu için 4 dakika ideal olmakla birlikte olumsuz deniz koşullarında 4 dakikanın yeterli olmaması durumunda periyot 6 dakikaya çıkarılabilir. Stabilize platformu sönümlenme (platformun hareketinin yavaşlatılması) katsayısı daima 0.707' ye ayarlanır. Bunun nedeni; geminin hareketi sonucu gravimetrede meydana gelebilecek hatayı, seçilen her türlü salınım periyodunda, en aza indirmektir. Optimum sönümlenme, gravimetrenin ölçü duyarlılığını artırır. Kısa platform periyodu ise, geminin dönüşü sırasında platformun kendini toplaması için geçen zamanı kısaltır /7/.

Gravite okumaları, navigasyon sistemi ile eş zamanlıdır ve anlık olarak her ölçü noktası için koordinat, hız, derinlik, azimut açısı ve zaman bilgileri ile birlikte navigasyon sistemine kaydedilir. Ayrıca gravite okumaları, zaman ve tarih (Julian day) ile birlikte gravimetre bilgisayarına da kaydedilir. Bunun dışında gravimetre, yaptığı okumaları kâğıt şerit üzerinde de çizgisel olarak kaydeder.

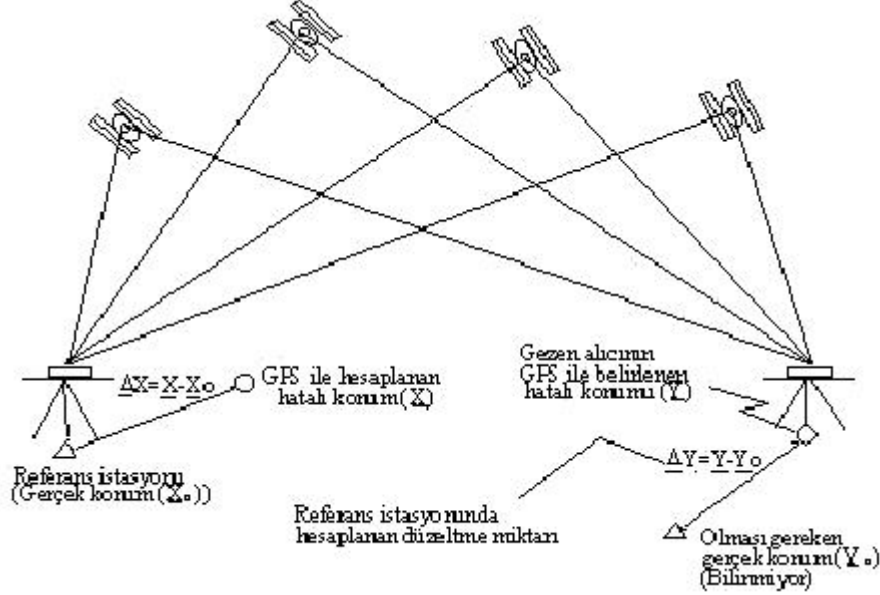
b. Konumlama Sistemi ve Derinlik Ölçüsü

Koordinat, hız, yön, derinlik gibi parametreler, gravite hesaplamalarında sonucu doğrudan etkilediğinden bunların çok duyarlı olarak belirlenmesi gerekir. Deniz etütlerinde, koordinat ve hız, Diferansiyel GPS (DGPS) sistemi, derinlik "Echosounder" ölçeri ve azimut açısı ise gyro compass (ciroskop pusula) ile ölçülür. Aşağıda DGPS ve Echosounder ile yapılan çalışmalar açıklanmaktadır.

DGPS Tekniği ile Gemi Konum ve Hızının Belirlenmesi

DGPS tekniğinde biri sabit (referans, baz) diğeri gezen (roving) olmak üzere en az iki alıcıya gereksinim vardır. Sabit alıcı anteni, konumu daha önceden duyarlı olarak belirlenmiş bir noktaya kurulur ve bu alıcıya göre gezen (yada uzak) alıcının (gemi, uçak, araba vb.) konumu belirlenir. Her iki noktada da en az dört ortak uyduya eş zamanlı GPS ölçüsü yapılmalıdır. Sabit alıcı ölçü yaptığı tüm uydulara ait uydu-alıcı uzaklıklarını (kullanılan alıcı özelliğine bağlı olarak kod ya da faz ölçülerinden) hesaplar, bu değerleri kendi duyarlı konumundan yararlanarak hesapladığı (olması gereken) uzaklıklar ile karşılaştırır. Aradaki farklar ölçü

hatası olarak yorumlanır ve gezen alıcı/alıcılar tarafından kaydedilen ölçülere düzeltme olarak getirilir ve gezen alıcının konumu doğru olarak belirlenir. Söz konusu düzeltmeler gezen alıcılara, alıcılar arasındaki uzaklığa bağlı olarak taşınabilir telsizler, yer istasyonları veya uydular vasıtasıyla yayılmaktadır, (Şekil-3) /5/.



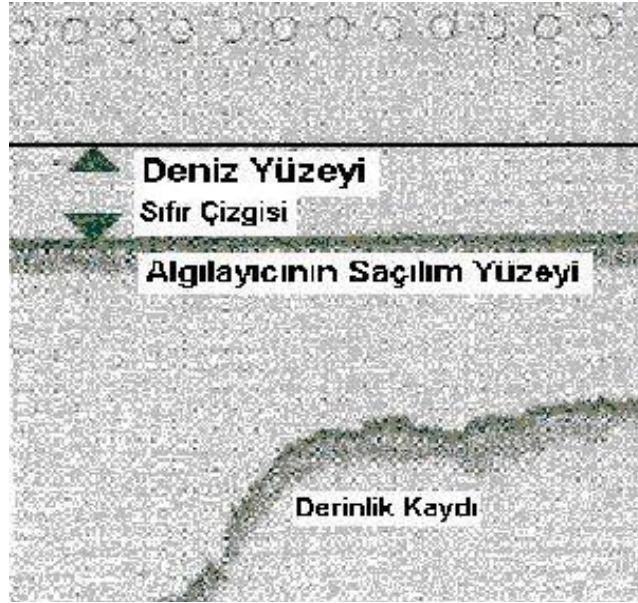
Şekil-3: DGPS Temel Prensibi

Uygulamada DGPS çalışmalarının nasıl yürütüldüğü kısaca açıklanacaktır. Öncelikle, sabit istasyon etüt sahasına sorunsuz olarak sinyal gönderebileceği ve konumu duyarlı olarak bilinen en uygun noktaya kurulur. Eğer GPS antenin konulacağı noktanın koordinatları önceden duyarlı olarak belirlenmemişse, öncelikle konumu bilinen nirengi noktaları yardımıyla, noktalar arası uzaklığa bağlı olarak kısa süreli (10–30 dakika) eş zamanlı GPS ölçüsü yapılır ve DGPS istasyonu kurulacak noktanın konumu duyarlı olarak belirlenir. Sabit DGPS alıcısında hesaplanan anlık nokta koordinatları ile yukarıda belirtildiği şekilde duyarlı olarak belirlenmiş koordinatlar arasındaki farklar GPS alıcısına bağlı özel amaçlı telsiz vb. araçlarla gemideki GPS alıcısına iletilir /6/. Sabit DGPS istasyonundan gönderilen düzeltme sinyalleri, gemide kurulu olan GPS alıcısı anteni tarafından alınır ve navigasyon hesaplamalarında kullanılır. Gemide bulunan GPS alıcısında hesaplanan anlık koordinatlardaki hatalar (atmosferik etkiler, yörünge hataları vb.) giderilir ve geminin amaca uygun duyarlı koordinatları hesaplanır. MTA Sismik-1 Gemisinde Kullanılan Sistem’de bir kara istasyonu vardır ve bu istasyondan gelen düzeltme sinyalleri ile hesaplanan koordinatlardaki duyarlılık 3–4 metre mertebesindedir /11/. Daha duyarlı koordinat ve hız belirlenmek istendiğinde, karada kurulu ve koordinatları duyarlı olarak bilinen baz istasyonu sayısı iki veya üçe çıkarılabilir, fakat bu durumda gemideki GPS alıcısının eş zamanlı aynı sayıda istasyonla sorunsuz olarak kullanılabilmesi (çok kanallı olması) gerekir.

Derinlik Ölçüleri

Derinlik ölçüleri “Echosounder” ölçeri ile yapılmaktadır. Burada sözü edilen ölçer, KRUPP ATLAS DESO 20 derinlikölçeridir (Şekil-4). Bu ölçerin çalışma prensibi, geminin altına monte edilen 4 adet algılayıcı vasıtasıyla deniz tabanına sinyal gönderme-alma ve gidiş-

geliş zamanını kullanarak derinliği hesaplamaktır. İki farklı sinyal kullanarak (33 ve 210 kHz) ölçü duyarlılığı arttırılmıştır. Ölçer sinyal gönderme-alma şeklinde çalıştığından, tabandaki formasyonun sert veya yumuşak olması (yani gönderilen sinyalin sönümlenmesi veya iyi yansıtılması), deniz suyu sıcaklığı ve tuzluluğu gibi parametreler ölçü duyarlılığını etkilemektedir. Deniz suyu sıcaklığı ve tuzluluğundan kaynaklanan hatalar, çeşitli denizlere ait hazırlanmış düzeltme tabloları kullanılarak bir ölçüde giderilebilir. Ölçer 5000 metreye kadar ölçüm yapabilmektedir. Şekil-4 de ölçerin kağıt şerit üzerindeki derinlik kayıtları görülmektedir /10/.



Şekil-4: Echosounder Ölçerinin Analog Kaydı

Yukarıda anlatılan bütün ölçerler navigasyon sistemi tarafından koordine edilir. Echosounder analog olarak sürekli kayıt halindedir, gravimetre ölçeri istenilen zaman aralığında (1 sn, 2 sn, 3 dak. vb.) ve ayrıca analog olarak kağıt şerit üzerine kayıt yapar, gyro pusula sürekli ölçüm halindedir ve koordinat bilgileri sürekli hesaplanmaktadır. Navigasyon sistemi, yapılan etüt planlamasında zamana veya mesafeye göre (deniz etütlerinde buna atış aralığı denir) belirlenen aralıkta tüm sistemi kontrol ederek atış ölçü numarası, zaman ve koordinat bilgileri ile birlikte çevre ünitelerindeki okumaları kaydeder. Ayrıca geminin o andaki hızı da hesaplanarak kayda eklenir. Navigasyon sistemi, sismik etütlerde enerji kaynağını (air gun) patlatan, sismik kayıt sistemini çalıştıran, gravimetre ve manyetometre ölçülerini kaydeden, diğer bir deyişle jeofizik etütlerde, gemi üzerinde kullanılan tüm sistemlere hükmeden bir ünitelerdir.

3. ÖLÇÜLERE UYGULANAN DÜZELTMELER

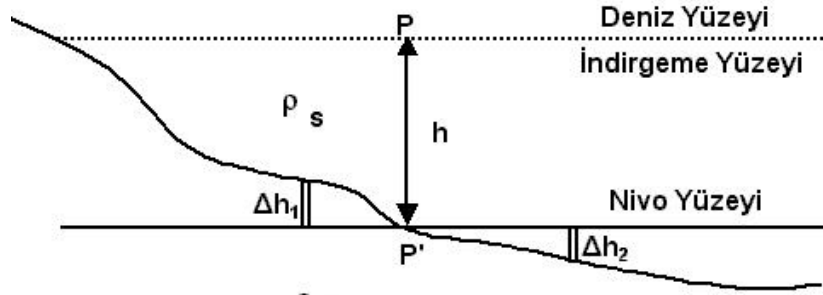
Deniz gravite ölçülerine uygulanan düzeltmeler karadaki ölçülere uygulanan düzeltmelere göre bazı farklılıklar gösterir. Karada yapılan ölçülerde:

- Enlem Düzeltmesi (normal gravite düzeltmesi)

- Yükseklik Düzeltmesi (Serbest Hava Etkisi, Bouguer Etkisi)
- Yerey Düzeltmesi
- Gel-Git Düzeltmesi

uygulanır. Deniz ölçülerinde, enlem ve gel-git düzeltmeleri kara ölçülerinde olduğu gibi uygulandığından burada ayrıntısına girilmeyecektir. Yerey düzeltmesi ise batimetri haritalarına göre yapılır. Batimetri haritaları; echosounder ölçeri ile kaydedilen derinlik değerleri kullanılarak oluşturulur. Yükseklik düzeltmesi ise serbest hava düzeltmesi ile Bouguer düzeltmesinin toplamından meydana gelir. Araştırma gemileri dizayn edilirken, gravimetre geminin vasat denilen, sallantıdan en az etkilenen orta kısmında bir yere monte edilir. Gemide gravimetrenin yüksekliği değişmeyeceği için, serbest havanın ölçülere etkisi eşit olur. Bu nedenle deniz etütlerinde serbest havanın etkisi ya yoktur (ölçer deniz seviyesinde ise) veda bütün ölçülerde aynıdır. Bu nedenle deniz etütlerinde Serbest Hava Düzeltmesine gerek yoktur. Fakat Bouguer düzeltmesi yapılır. Aşağıda Bouguer düzeltmesi, yerey düzeltmesi ve özellikle deniz gravite ölçülerinde önem kazanan Eötvös düzeltmesi açıklanmaktadır.

Bouguer Düzeltmesi



Şekil-5: Deniz Gravite Düzeltmeleri

Denizde yapılan gravite ölçülerinde, indirgeme yüzeyi olarak deniz yüzeyi alınırsa, P ölçü noktasının haritadaki yüksekliği, P'nin deniz dibindeki izdüşümü olan P' noktasının derinliğidir (Şekil-5). Bu durumda indirgeme yüzeyinin altında kalan ρ_s yoğunluklu deniz suyu kütlesinin çıkarılıp, yerine ρ_k yoğunluklu kütlenin doldurulması gerekir. Çünkü; indirgeme yüzeyinin altında yanlara doğru, yoğunluğu hiç değişmeyen, merkeze doğru yoğunluğu düzgün değişen katmanların olduğu varsayılır. Yerey düzeltmesi işlemi P' noktasında yapılacağından, ölçünün alındığı P deniz yüzeyi noktası ile, P' noktasından geçen eşpotansiyelli yüzey arasında kalan kısmın ρ_k yoğunluklu kütleyle doldurulduğu kabul edilirse, indirgeme yüzeyi ile, P' noktasından geçen eşpotansiyelli yüzeyi arasında kalan kısımda (h kalınlığındaki sonsuz tabaka), yalnız deniz suyu varmış gibi, ρ_s yoğunluklu su kütlesi çıkartılıp, yerine ρ_k yoğunluklu kütle doldurulduğunda, bunun etkisi:

$$-2\pi G \rho_s h + 2\pi G \rho_k h = 2\pi G(\rho_k - \rho_s) h \quad (2)$$

olup G Newton Çekim sabitidir. B etki ($\rho_k - \rho_s$) yoğunluklu Bouguer düzeltmesi olup pozitif olarak ölçü değerlerine eklenir ve

$$0,04191 (\rho_k - \rho_s) h \quad \text{mGal} \quad (3)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada h metre biriminden derinlik olup pozitif olarak alınır. Karada yapılan etütlerde negatif alınan ve ölçü değerinden çıkarılan Bouguer düzeltmesi deniz etütlerinde pozitif alınır ve ölçü değerlerine eklenir.

Yerey Düzeltmesi

Yerey düzeltmesi Bouguer düzeltmesinin bir devamıdır. İki iç içe silindir arasında kalan halkanın silindirin eksenini üzerinde yer alan h yükseklikli bir noktadaki çekim etkisi:

$$g_r = 2\pi G\rho \int_0^h z dz \left(\frac{1}{\sqrt{r_1^2 + z^2}} - \frac{1}{\sqrt{r_2^2 + z^2}} \right) \quad (4)$$

ve integral çözüldüğünde

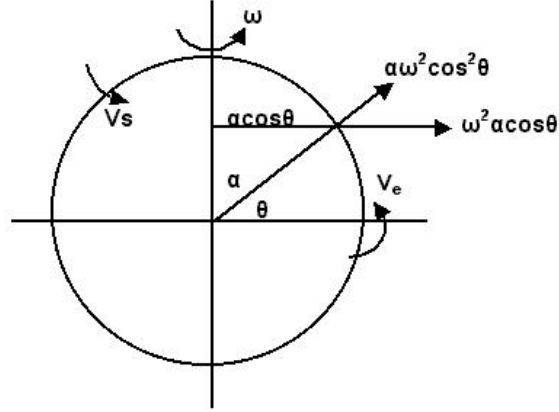
$$g_r = 2\pi G\rho \left(r_2 - r_1 + \sqrt{r_1^2 + \Delta h^2} - \sqrt{r_2^2 + \Delta h^2} \right) \quad (5)$$

bulunur. g_r 'nin halkalardaki dilim sayısına bölünmesi ile elde edilen bir bölmenin etkisi bulunur. Burada r_1 , iç halkanın yarıçapı, r_2 , dış halkanın yarıçapı ve Δh ise bir bölmenin ortalama yüksekliği ile ölçü noktası yüksekliği arasındaki farktır.

Yerey düzeltmesi için, öncelikle deniz dibi (batimetri) haritalarına gereksinim vardır. P' noktasından geçen nivo yüzeyi (Şekil-6) ile indirgeme yüzeyi arasında kalan ρ_k yoğunluklu kütlelerin (Δh_1 gibi) bulunduğu kısma, pozitif Bouguer düzeltmesiyle, $(\rho_k - \rho_s)$ yoğunluklu kütlelerin etkisi, ölçü değerlerine eklenmiş olduğundan, bu etkinin ölçü değerlerinden tekrar çıkartılması gerekir. Ayrıca P' noktasından geçen nivo yüzeyinin altında kalan ρ_s yoğunluklu su kütlelerinin de (Δh_2 gibi) çıkartılıp yerine, ρ_k yoğunluklu kütlelerin doldurulması gerekir. Bu işlem *Yerey Düzeltmesi* ile yapılır. Kara etütlerinde daima pozitif olan yerey düzeltmesi, deniz etütlerinde, yoğunluk $(\rho_k - \rho_s)$ alındığından pozitif veya negatif olabilmektedir.

Eötvös Düzeltmesi

Bilindiği gibi yerin kütlesi nedeniyle Newton potansiyelinden kaynaklanan merkeze doğru bir merkezci ivme, ayrıca yer kürenin kendi eksenini etrafında dönmesinden kaynaklanan dışa doğru bir merkezkaç ivme vardır. Yer küre üzerinde hareket eden bir gemi üzerinde gravite ölçüleri yapılırsa, dalga hareketinin etkisi nedeniyle oluşan geminin salınım ivmesi yanında, gemi hareketinin doğu-batı bileşeninden doğan bir başka ivme daha oluşur. Bu ivme dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesinden kaynaklanan ivmenin ölçülere etkisidir ve "Eötvös etkisi" olarak bilinir.



Şekil-6: Yeryuvarının Kendi Ekseni Etrafında Dönmesinin Gravite Çekimine Etkisi

Deniz etütlerinde ölçüler hareketli bir ortamda alındığından, Eötvös düzeltmesinin de yapılması gerekir. Şekil-6 da yeryuvarının kendi eksenini etrafında dönmesinin gravite çekimine etkisi gösterilmektedir. Burada a yerin yarıçapı, θ ölçü noktasının enlemi, ω yeryuvarının dönme hızı, V_e noktanın ekvatoradaki hızı, V_s geminin doğu-batı hız bileşenidir. Geminin, dünyanın dönüş doğrultusundaki hareketi sırasında hızı yükselir, merkezkaç ivme artar, ters doğrultudaki hareket için ise hız düşer ve merkezkaç ivme azalır. Bu durumda, dünyanın dönüş yönünde, yani batıdan doğuya doğru gidildiğinde merkezkaç ivme artacağından, ölçülen gravite değeri azalır. Doğudan batıya gidildiğinde ise merkezkaç ivme azalacağından gravite değeri artar. Bu etkilerin ölçü değerlerinden elimine edilmesine *Eötvös Düzeltmesi* denir. Bu etki ekvatorunda her knot için 7 mGal'e ulaşır /2/. Bu düzeltme aşağıdaki formülle hesaplanır; /8/.

$$g_e = 7.503 * V * \cos\theta * \sin\alpha + 0.004154 * V^2 \text{ mGal} \quad (6)$$

Eötvös Düzeltmesinde α azimut açısı ve V hızının hatalı olması sonucu oluşacak toplam hata:

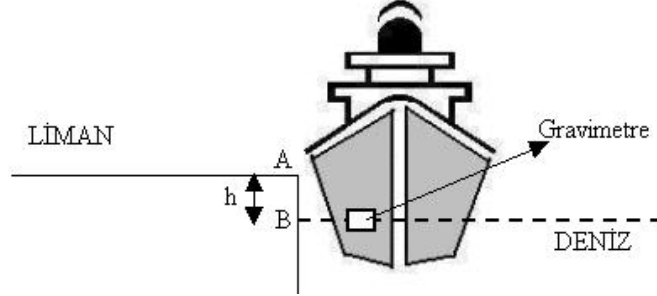
$$dg_e = (7.503 * V * \cos\theta * \cos\alpha)d\alpha + (7.503 * \cos\theta * \sin\alpha + 0.0083081)dV \quad (7)$$

ile hesaplanır. Örneğin; 40° enleminde, 3.5 knot hız ve 60° lik bir azimut açısı ile etüt yaparken, azimut açısında $d\alpha=5^\circ$ ve hızda $dV=0.5$ knot'luk hata, Eötvös düzeltmesinde sırasıyla 0.878 mGal ve 2.5 mGal lik değişikliğe neden olur ve toplam hata da $dE = 3.378$ mGal olur. Bu da ilgili parametrelerin ölçülmesi ve hesaplanmasında ne kadar dikkatli davranılması gerektiğini gösterir.

4. DENİZ GRAVİTE ÇALIŞMALARI İÇİN ÖRNEK UYGULAMA

Deniz etütlerinde, hatlar arasındaki uzaklık, ölçüm noktaları arasındaki mesafe, hatların yönü gibi parametreler amaca göre seçilerek etüdün planlaması yapılır. Bu genelde karelej şeklinde olur. Gravite ölçümlerinde baz noktasından kalkılıp tekrar baza bağlanma gibi bir

zorunluluk olduğundan, etüde başlamadan önce ve etüt bitiminde baz ölçüsü alınması gerekir. Bu nedenle geminin uğradığı liman ve iskelelerde baz ağı oluşturulur ve baz noktasında ölçüm yapılarak etüde başlanır.



Şekil-7: Gemi İçine Baz Taşınması

Gemiye monte edilen gravimetre ile iskelede ölçü alınamayacağı, ve karada kullanılan gravimetre ile de geminin sallanmasında, gemide ölçü alınamayacağından, iskeledeki gravite baz değerinin geminin içine taşınması gerekir. Bu işlem şu şekilde yapılır. Şekil-7’ de görüldüğü gibi iskelede (mümkün olduğunca iskelenin ucunda) A noktası gibi bir yere, ara baz değeri taşınır. Bu baz taşıma işlemi karadaki baz taşıma gibi yapılır. İskele kenarındaki A noktasında ara baz değeri bilinirse, gemi iskeleye yanaştığı için B noktası gemi içi olarak kabul edilerek B noktasının baz değeri g_B ;

$$g_B = g_A - \pi * G * h * \rho + 0.3086 * h - \pi * G * h * \rho \quad (8)$$

$$g_B = g_A + 0.3086h - 2 * \pi * G * h * \rho$$

ile bulunur. Örnek olarak $h = 2$ m ve $\rho = 2.7$ gr/cm³ olarak alınırsa;

$$g_B = g_A + 0.617 - 0.210 = g_A + 0.407$$

olur. g_B değeri liman baz değeridir ve gravite ölçüleri bu baz değerine göre hesaplanır. Gravite anomalisi hesabı için ölçü noktasının değeri,

$$g_{ölçü} = (Nokta_{ölçü} - Baz_{ölçü}) * Alet Sabiti + g_B \quad (9)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada $Nokta_{ölçü}$ ve $Baz_{ölçü}$ değerleri ölçü noktası ve baz noktasındaki mikrometre okumaları olmak üzere Bouger Anomalisi (Δg_B);

$$\Delta g_B = g_{ölçü} - Enlem Düz + Yerey Düz + Bouguer Düz + Eötvös Düz + Gel-Git Düz \quad (10)$$

eşitliği ile hesaplanır.

5. TÜRKİYE’DE DENİZ GRAVİTE ÇALIŞMALARI

Türkiye’de deniz gravite çalışmaları MTA tarafından 1977 yılından beri yapılmaktadır. Bu çalışmaların bir bölümü MTA projeleri, bir bölümü ortak projeler, bir bölümü de, diğer ulusal

ve uluslararası şirketlerin projeleri şeklinde gerçekleştirilmiştir. Aşağıda MTA tarafından 1977 – 1982 yılları arasında gerçekleştirilen projelerin dökümü verilmektedir (Tablo-1).

Tablo-1: 1977 – 1982 Yılları Arasında MTA Tarafından Yapılan Deniz Gravite Çalışmaları

Yıl	Projenin Adı ve Yeri	Araştırmacı Kurum	Gravite Manyetik (km.)
1977	Batı Karadeniz	MTA	1646
	Doğu Karadeniz	MTA	381
	Marmara Denizi	MTA-TPAO	764
1978	Karadeniz (İnebolu-Sinop)	MTA	1740
	Marmara Denizi	MTA	465
	Marmara Denizi	TPAO	463
	Ege Denizi	TPAO	580
1979	Karadeniz (Şile-Akçakoca-Ereğli)	MTA-TPAO	605
	Karadeniz (Samsun-Hopa)	MTA-TPAO	1859
	Akdeniz (Mersin)	MTA-TPAO	230
	Karadeniz (Zonguldak)	MTA-TKİ	35
1980	Akdeniz (Antalya Körfezi)	MTA	300
	Akdeniz (Finike Körfezi)	MTA	194
	Akdeniz (İskenderun Körfezi)	MTA-TPAO	1554
	Akdeniz (Mersin Körfezi)	MTA-TPAO	576
	Ege Denizi (Sarıöz Körfezi)	MTA-TPAO	270
1981	Karadeniz (Zonguldak)	MTA-TPAO	560
	Karadeniz (Amasra)	MTA-TKİ	31
	Karadeniz (Sinop)	MTA-TEK	264
1982	Ege - Akdeniz	MTA	6386

6. SONUÇLAR

Denizde yapılan gravite çalışmalarında yukarıda sözü edilen hususlar dikkate alındığında; hem veri toplamadaki zorluklar, hem de denizdeki koşullar, deniz etütlerini kara etütlerine göre daha zor hale getirmektedir. Ölçülen parametrelerde (hız, derinlik, azimut açısı gibi) yapılacak küçük bir hata sonuçları önemli derecede etkilemektedir. Kara etütlerinde yapılan hata, o noktadaki tekrar ölçüsü ile giderilebilir, ancak denizde hemen hemen bu olanaksızdır. Özellikle hızda yapılacak bir hatanın sonuçları önemli derecede etkilemektedir. Eötvös düzeltmesinde 1 mGal lik duyarlık için hızda ± 0.1 m/s ve azimut açısında $\pm 1^0$ lik hatanın altında kalınması gerekir. Bu da, deniz etütlerinde ne kadar duyarlı ve dikkatli çalışılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR

- /1/ ERDEN, F. : Uygulamalı Gravite M.T. A.Yayınları Eğitim Serisi No: 21 ANKARA 1979.
- /2/ COOK, A.H. : Gravite ve Yeryuvarı K.T.Ü. Yer Bilimleri Fakültesi
(Çeviri GÜRKAN, O) Yayın No: 144/34 1982.
- /3/ SANVER, M. ve : Gravite – Manyetik Prospeksiyon İ.T.Ü Yayınları 2005.
İŞSEVEN, T.
- /4/ AYHAN, M,E. : Kişisel Katkı, Harita Genel Komutanlığı ANKARA 2005.
- /5/ KAHVECİ, M., : Global Konum Belirleme Sistemi. Teori-Uygulama, Nobel
YILDIZ, F. Yayınevi, Ankara. 2001.
- /6/ KAHVECİ, M. : Kişisel Katkı, Harita Genel Komutanlığı ANKARA 2005.
- /7/ LaCoste & Romberg. : Instruction Manual for Air-Sea Gravity Meter With
Stabilized Platform.
- /8/ MILTON, G. : Eötvös Correction For A Moving Gravity Meter
Geophysics V. 27, Issue 4, pp 531-533 1962.
- /9/ NETTLETON, L.L., : Tests Of An Airborne Gravity Meter
L.J.B. LaCoste, J.C. Geophysics, pp 181-202 1960.
HARRISON
- /10/ Krupp Atlas-Elektronik : Atlas Deso 20 Installation Instructions.
- /11/ ASHTECH : Interface Guide and Operating Manual.