

DENİZ JEODEZİSİNİN GEOMETRİK PROBLEMLERİ

Yazan : Prof. Dr. K. RİNNEL
Çeviren : Dr. Müh. Emirhan ALGÜL
İ. T. Ü

ÖZET :

"Deniz Jeodezisine ait Kontrol (Jeodezik) noktalarının konumlarını belirlemede karşılaşılabilecek ağ şekilleri ve ölçme büyüklükleri" konulu bilimsel bir toplantıda birkaç problem ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Bu problemlerden bazıları ; Tek ve Üçlü noktaların konumlarının belirlenmesi, Dörtlü (Quadrupel) noktalarının karşılıklı konumu, Yerel bir koordinat sisteminin lineer dönüşümü ve ölçme büyüklüklerinin (ölçülerin) merkeze dönüştürülmesi.. vb. ile ilgilidir.

Bu panaroma içinde Deniz Jeodezisinin geometrik, gravimetrik ve oşinoğrafik ana problemlerinin sistematik bir biçimde araştırılması zorunluğuna işaret edilmekte ve Deniz Jeodezisi için bir öğretim kitabının, özellikle "Ölçme Bilgisi" kitabının özel bir cildi olarak yayınlanması teşvik edilmektedir.

1. ÖNSÖZ :

Bugüne kadar çıkan çok sayıda yayında ve hazırlanan raporlarda Deniz Jeodezisinin her geçen gün artan önemine işaret edilmekte, ayrıca I.A.G de bu konuda özel bir araştırma grubunun bulunması ve "Marine Geodesy" adlı bir derginin yayınlanması, önemli gelişmeler olarak gösterilmektedir. Buna rağmen, bu bilim dalının ana problemlerinin sistematik olarak incelenmesi ve bir öğretim kitabının yayınlanması bugüne kadar ihmal edilmiştir.

- Hidroğrafi hizmetlerini karşılamak için yapılan kıyı ve deniz ölçmelerinde Deniz Jeodezisinin öncülleri vardır. Bu öncüller, herşeyden önce Seyir (Navigasyon) hizmetlerinin gereksinimleri ile ilgilenir ve jeodezik gereksinimlere bu görüş açısından bakılır.

- Denizlerin ekonomik olarak işlenecek duruma getirilmesi ve yerbilimine ait bilgilerin çoğaltılabilmesi için, jeodezik ölçmelerin sularla örtülü bölgelere yayılması zorunludur. Deniz yüzünün ve deniz altındaki yerkabuğunun geometrik şeklinin belirlenmesi, gene bu ortamın gravite alanının ve deniz jeoidine ait parametrelerin belirlenmesi... vb. Deniz Jeodezisinin ana görevleri arasındadır. Bu konulardaki ölçme büyüklüklerinin zamanın fonksiyonu olarak değişimlerinin, başka bir deyişle yerkabuğunun denizlerle örtülü kısmının dinamik durumunun belirlenmesi sözkonusudur. Bu problemlerin çözümünde Kıta (kara) Jeodezisinde olduğu gibi Kontrol noktalarının oluşturacağı bir ağ gereklidir. Bu noktalar yardımıyla sayısal modeller ya da bunlardan üretilen ve denizin topoğrafik durumunu, hukuksal bölümlendirilmesini, gravite alanını ve deniz jeoidini yansıtan harita ve çizelgeler elde etmek üzere, deniz tabanının ve yüzünün geometrik ve gravimetrik alımı yapılabilir.

- Adı geçen problemlerin herbiri için, olası ve en uygun yöntemlerin sistematik olarak araştırılması gereklidir. Bu araştırmalar, Kıta Jeodezisinde olduğu gibi Deniz Jeodezyenlerinin teorik ve pratik çalışmalarının temel ilkelere belirleyecek ana problemler olacaktır.

- Kontrol noktalarının belirlenmesi ve geometrik konumları ile ilgili bir kaç ana problem aşağıda açıklanmıştır.

2.GENEL İLKELELER :

Kontrol noktaları olarak öncelikle deniz tabanında tesis edilmiş noktalar öngörülür. Bu noktalar, ölçme istasyonları arasındaki açı, uzunluk, doğrultu ... vb. gibi ölçme büyüklükleri elde edilebilecek biçimde donatılır. Burada konum belirleme yöntemlerinin açıklanmasına geçmeden önce Deniz Jeodezisinin ölçme büyüklükleri tanıtılacaktır.

2.1. DENİZ JEODEZİSİNİN ÖLÇME BÜYÜKLÜKLERİ :

Kıta jeodezisinde kural olarak sabit istasyon noktalarından sabit noktalara ve özel durumlarda hareketli noktalara ölçmeler yapılır. Bu koşullarda ölçmelerin tekrarlanabilme, dolayısıyla ölçülerin kontrol ve düzeltilebilme olanağı vardır. Deniz Jeodezisinde ise, ölçme istasyonları genellikle gemi, platform ve satelit gibi hareketli cisimlerde bulunur. Burada sadece deniz tabanında işaretlenmiş kontrol noktaları sabit olduğundan, Deniz Jeodezisine ilişkin ölçme büyüklükleri topluca incelenir. Sabit istasyonlarda ölçmelerin tekrarlanabilmesi durumunda, birbiri ile bağlantılı, genellikle bitişik şekiller oluşur. Bunun için Deniz Jeodezisinde kural olarak zamana bağımlı ölçme büyüklüklerini içeren Ağ Şekilleri (Dinamik Ağlar) sözkonusudur. Burada diğer bir ayrıcalık ölçmelerin yapıldığı ortamdır. Kıta Jeodezisinde bu ortam atmosfer olmasına karşın, Deniz Jeodezisinde ortam sudur. Bu nedenle deniz yüzündeki ölçme istasyonlarından, denizdeki ya da atmosferdeki hedef noktalara yapılacak ölçmeler için değişik ölçme araçları ve yöntemler uygulanır. Bunlardan bazıları; Işık ve mikrodalgalar ile uzaklıkların ölçülmesi, Doppler verilerinden uzaklık farklarının ölçülmesi ve sabit yıldızlara yapılacak fotoğrafik bağlantılar ile doğrultuların ölçülmesi gibi, Dinamik Kıta Jeodezisinde de uygulanan yöntemlerdir. Bu yöntemler deniz içinde Ultra ses tekniği ile uygulanır. Ultra ses sinyallerinin seyir süresinden (deniz içinde seyir yolu boyunca yoğunluk dağılımının bilinmesi durumunda) ölçme istasyonu ile hedef noktası arasındaki uzaklık bulunur.

Sınırlı bir bölgede, aynı yoğunluk dağılımında sinyallerin seyir sürelerinin oranları (Quotienten), uzaklıkların oranına uygun olduğundan denizdeki ölçme verileri; uzaklık (boy), uzaklıklarının farkı ya da bunların oranıdır.

Gemiden ya da platformdan ölçme yapmadan önce, üzerine alet kuran donatımlar yatay olarak sağlamaştırılır. Bu sayede ölçme işlemi kolaylaştırılmış ve ölçülerin tüm sallantılardan en az biçimde etkilenmesi sağlanmış olmaktadır.

Ölçme istasyonunun hareketi nedeniyle oluşan sapmalar (yerdeğiştirmeler) seyir verilerinden yararlanarak yapılacak merkeze dönüştürme ile dikkate alınır (Bak. bölüm 3.5). Ayrıca özel donatımlarla ölçme istasyonlarını, sadece çekül doğrultusu boyunca hareket edebilecek biçimde, sabitleştirme olanağı da vardır (Killian 1967).

2.2. MÜMKÜN OLAN AĞ ŞEKİLLERİ :

Kontrol noktalarının uzay konumlarının belirlenmesinde değişik biçimde ağ şekilleri uygulanabilir. Bu ağlarda C_i kontrol noktalarının i sayısına, S_j Gemi istasyonlarının j sayısına ve P_k Çıkış noktalarının k sayısına bağımlı olarak ayrıcalı durumlar vardır. Ağ şekilleri arasındaki başkaca ayrıcalıklar; ölçme verilerinin cinsine, ölçme ve gözleme noktalarının sağlamlığına ve deniz üzerindeki S_j ölçme istasyonları arasında elde edilen verilerin m sayısına göre oluşur. Herhangi bir ağ şekli, ölçme istasyonlarının hareket serbestilerine ve ölçme verilerini belirten ve (i, j, k, m) biçiminde yazılan bir sayı dördlüsü ile açıklanır. Bilinmeyenlerin sayısı "u", ölçme verilerinden elde edilen be-

lirtim denklemi sayısı "b" den daha küçük ise ($u < b$), bu koşullarda uygulanabilir bir ağ şekli vardır.

C_i ve S_j noktalarının uzay koordinatları $\{u = 3(i+j)$ adet $\}$ genellikle bilinmeyen olarak ortaya çıkar. s kenarları, keza σ oranları ve kenarların Δs farkları bir adet belirtim denklemi, doğrultular ise iki adet belirtim denklemi verir.

- Mümkün olan (olası) ağ şekillerinin araştırılmasında, deniz içindeki ve üstündeki noktaların C_i kontrol noktalarına yapılacak Ultra ses ölçmelerinden belirlenmesi gerektiği ve bunun için kontrol noktalarının 3 lü ya da 4 lü gruplar halinde olması unutulmamalıdır.

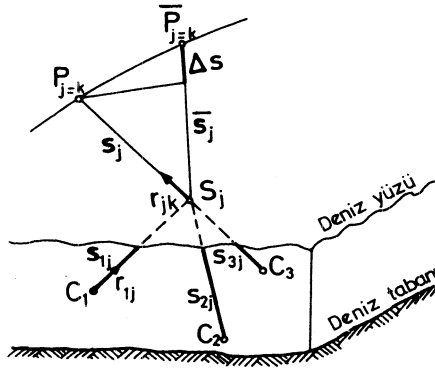
Aşağıda pratik anlamı olan bir ağ şekli açıklanacaktır.

a) SAĞLAMLAŞTIRILMAMIŞ ÖLÇME İSTASYONLARI : Gemide bulunan bir S_j ölçme istasyonundan, i adet C_i kontrol noktasına s_{ij} Ultra ses uzaklıkları ve bir P_k çıkış noktasına (Satellite ya da Karada) s_j elektromanyetik uzaklığı ölçülmüş olsun. Burada bir tek ölçme grubu $b' = (i + 1)$ adet belirtim denklemi, j adet ölçme grubu ise $b = (i + 1)$ j adet uzaklığı, dolayısıyla bu sayıda yeni belirtim denklemi verir. Bunlar da C_i ve S_j noktalarının $u = 3(i + j)$ adet bilinmeyen x_i ve x_j koordinatları ile, çıkış noktalarının bilinen y_j koordinatları için,

$$s_j^2 = (y_j - x_i)^2, \quad s_{ij}^2 = (x_j - x_i)^2 \quad (1a)$$

denklemlerini verir.

$u < b$ koşulundan dolayı, C_i ve S_j noktalarının belirlenmesinde gerekli ölçme grubu sayısı için $j \geq 3i/(i - 2)$ bağıntısı ortaya çıkar. Bu durumda problem, $i \geq 3$ adet kontrol noktası için anlamlıdır ve $i = 3$ için $j = 9$, $i = 4$ için $j = 6$ ölçme grubu gerekli olur. Bunlarla ilgili ağ şekilleri (3, 9, 9, 0) ve (4, 6, 6, 0) gösterimleri ile ifade edilir (Şekil-1).



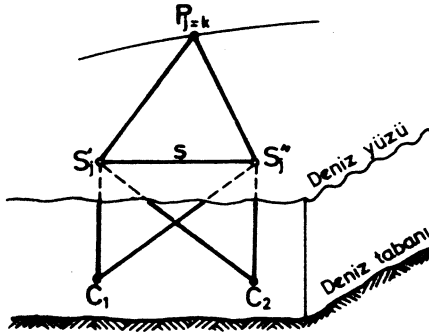
Şekil. 1

p_j çıkış noktasına s_j uzaklığı yerine, yörünge elemanları bilinen bir satelit'in P_j ve $\bar{P}_j$ noktalarına yapılacak doppler ölçmelerinden $\Delta s_j = s_j - \bar{s}_j$ uzaklık farkı elde edilirse, gene aynı sonuç bulunur.

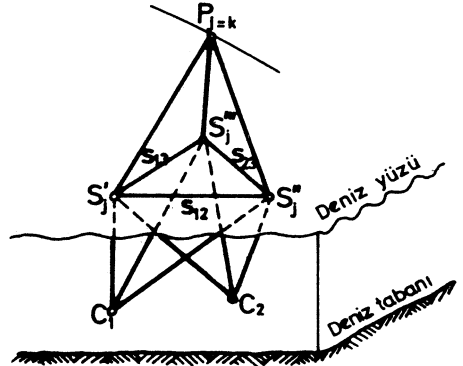
Şayet S_j noktasından P_j ye yöneltilmiş r_j doğrultusu bilinirse, bu durumda $b = (i + 2)j$ geçerlidir ve $j \geq 3i/(i - 1)$ bağıntısı vardır. Buna göre 2 kontrol noktalı bir grubun belirlenmesi, 6 ölçme grubu ile olasıdır. 3 veya 4 kontrol noktalı gruplar için en az $j = 5$ veya $j = 4$ ölçme grubu gerekmektedir.

S_j noktasından sadece seyir süresi, yani C_i kontrol noktalarına uzaklıkların oranı ölçülmüş ise, bu durumda her grup için sabite olarak (fakat bilinmeyen) kabul edilen seyir hızı, bilinmeyenlerin sayısını $u = 3i + 4_j$ değerine yükseltir. Buna karşın ölçme verilerinin sayısı $b = (i + 1)j$ olarak aynı kalır. Buradan $j \geq 3i/(i - 3)$ sonucu ortaya çıkar ve bu, ölçme grubunun en az 4 kontrol noktasından oluşmasını ve en az 12 ölçme grubunun gözlenmesini ifade etmektedir.

2 ya da daha fazla ölçme gemisinin var olması durumunda, bunların karşılıklı kenarlarını ortak ölçülerin bulunduğu grubu alabilme olanağı vardır (Bak. Şekil 2a,b).



Şekil. 2a

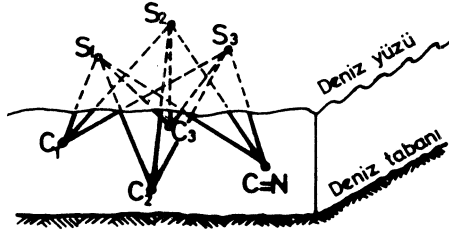


Şekil. 2b

Her grubun S_j' ve S_j'' ölçme istasyonlarından uzaklık ölçülmesi durumunda, $u = (3i + 6j)$ adet bilinmeyen için $b = (3 + 2i)j$ adet ölçme büyüklüğü bulunur. Bu durumda oluşan $j \geq 3i/(2i - 3)$ bağıntısı, 3 ölçme grubundan $i = 3$ adet kontrol noktasının belirlenebileceğini ve bunun için (3, 6, 6, 1) ağ şeklinin anlamlı olduğunu göstermektedir.

- Birbirine karşılıklı uzaklıkları ölçülen, ayrıca i adet C_i kontrol noktasına ve birbirinden bir P_k çıkış noktasına uzaklıkların aynı anda ölçüldüğü 3 adet S_j ölçme istasyonu için $b = (3i + 6)j$ ve $u = (3i + 9j)$ den dolayı $j > i/(i - 1)$ bağıntısı geçerli olur. Bu nedenle 2 kontrol noktası, $j = 2$ ölçme grubundan yeterli ve 3 kontrol noktası, $j = 2$ ölçme grubundan fazla ölçü ile belirlenir (Şekil-2b). Bununla ilgili ağ şekilleri (2, 6, 6, 2) ve (3, 6, 6, 3) biçimde gösterilir.

Deniz tabanında en az 3 kontrol noktası varsa, bu durumda 3 adet S_j gemi istasyonundan bu noktalara aynı anda yapılan Ültra ses ölçmeleri ile j belirlenebilir. Yöntemin sürekli olarak uygulanması, halen tartışması süren üç boyutlu Kenar Zincirlerini oluşturmaktadır (Bak. Şekil-3).



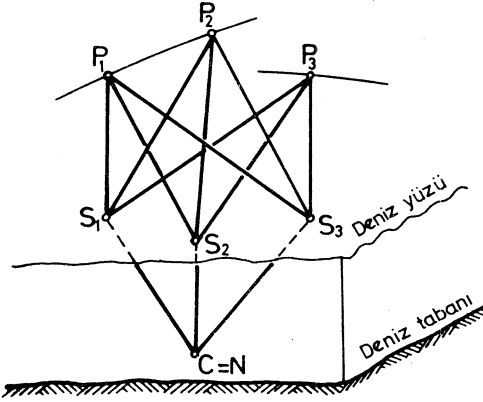
Şekil. 3

b) SAĞLAMLAŞTIRILMIŞ ÖLÇME İSTASYONLARI : Ölçme istasyonlarının çekül doğrultusunda sağlamlaştırılmasında şayet düşey hareketler ölçülebilirse, karadakine benzer ölçme koşulu bulunur. Bu durumda ölçmeler zamanla ilişkili olarak ard arda yapılabilir ve tekrarlanabilir.

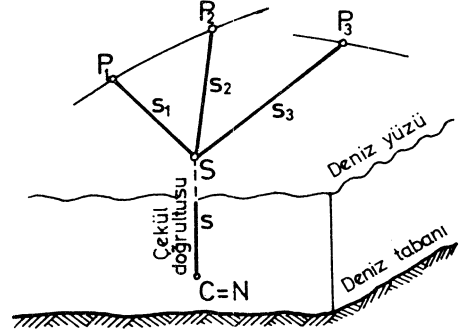
Bir S_j gemi istasyonunun konumu ; P_k Çıkış noktalarına göre ölçülecek uzaklıklardan, uzaklıkların farkından ya da bunların oranından, yöneltilmiş ya da yöneltilmemiş doğrultu demetinden veyahut bu ölçme verilerinin kombinasyonu ile belirlenir. Bir C_i kontrol noktasına göre ölçülmüş her uzaklık, bunlar için (Küre, Hiperboloid, Doğru gibi) bir geometrik yer belirler. Geminin konumu bu yerlerin kesişme yeri olarak tesbit edilir. Şayet S_j ölçme istasyonu, bir kontrol noktasının çekül doğrultusunda sabitleştirilmiş ise, bu durumda problemin çözümü çok daha basittir (Kılıan 1967). C kontrol noktasının koordinatları, s Ültra ses uzaklığı da dikkate alınarak S_j noktasına kutupsal olarak taşınır (Bak. Şekil-4b).

2.3. YEREL KONUMLARIN BELİRLENMESİ :

Deniz tabanındaki kontrol noktalarının yerel koordinatları, kenarları ölçme gemisinin değişik S_j konumunda ölçülmüş kenar ağları (trilaterasyon) ile belirlenebilir. Şayet gemi istasyonlarından C_i kontrol noktalarına olan uzaklıklar (s_i) aynı anda ölçülürse, bu durumda $u = (3i + 3j - 6)$ adet yerel koordinat için toplam $b = i.j$ adet ölçü bulunur.



Şekil. 4a



Şekil. 4b

$u \leq b$ koşulu nedeniyle oluşan $j \geq 3(i - 2) / (i - 3)$ bağıntısı; C_i kontrol noktalarına (aynı anda) ölçülen s_{ij} uzaklıkları ile $j \geq 6$ dörtlüsünden, $i = 4$ adet kontrol noktasının karşılıklı konumlarının belirlenebileceğini ifade etmektedir. Ancak, S_j noktaları yaklaşık olarak bir düzlemde bulunduğundan konum belirlemede belirsizlik vardır (Rinner 1969). Bu belirsizlik S_j istasyonları arasındaki m uzaklıklarının ek olarak ölçülmesi ile ortadan kaldırılabilir. Bu durumda ölçme büyüklüklerinin ve bilinmeyenlerin sayısı, $i = 4$, $j = (6 - m)$ için gerçekleşen $j \geq (3i - m - 6) / (i - 3)$ bağıntısını oluşturur.

Şayet Ültra ses uzaklıklarına ek olarak, dörtlülere karşılıklı uzaklıkları ölçülen 2 ölçme gemisi varsa, bu durumda konum belirleme 2 ölçme grubu ile yapılabilir. 3 ölçme gemisinin kullanılması (trival) durumunda ise, $m = 3$ den dolayı bir ölçme grubu yeterlidir {Ağ şekilleri (4, 6, 0, 0) ve (4, 4, 0, 2)}. Kontrol noktalarının koordinatlarına ek olarak, S_j istasyonlarının deniz yüzünün bilinen şekli üzerinde sadece yatay koordinatları belirlenmelidir. Bu durumda $i = 3$ ve $j = 6 - m$ için geçerli olan $j \geq (3i - m - 3) / (i - 2)$ bağıntısı vardır.

3 kontrol noktasının uzay konumu, S_j istasyonları arasında aynı anda ölçülmüş Ültra ses uzaklıklarının $j = 6$ üçlüsünden ya da 2 elektromanyetik uzaklık ve $j = 4$ üçlüsü ile belirlenebilir {Ağ şekilleri (3, 6, 0, 0) ve (3, 4, 0, 2)} Şayet çalışma bölgesindeki Ültra ses hızı bilinmiyorsa, $j \geq (3i - m - 5) / (i - 3)$ bağıntısı geçerli olur.

Buradan 4 kontrol noktasının konumu; Ültra ses uzaklıklarından $m = 0$ için (1 ölçme gemisi) $j = 7$ ve $m = 1$ kezâ $m = 2$ için (2 ölçme gemisi) $j = 6$ kezâ $j = 5$ adet dörtlüden belirlidir. Kontrol noktalarının karşılıklı konumu "Doğrultuların Kestirilmesi" yöntemine göre uzaklıkların ölçülmesi ile de belirlenebilir (Rinner 1976).

3. KONUM BELİRLEMEDE ANA PROBLEMLER :

Ana problemler olarak, elemanları, hesaplamalar ve analizler sırasında genellikle gerekli olan üst dereceden bir sistemdeki bağılı yöntemler gösterilir. Karadaki konum belirlemenin ana problemleri ise açı, doğrultu ve kenar ölçüleri ile yapılan basit ve çok katlı Önden, Geriden ve Yay kestirmeleri, kutupsal dönüştürmeler ile bunların kombinasyonlarıdır. Bu problemler Deniz Jeodezisinde, uzaklık ölçmelerinin özelliğinden dolayı, uzaklıklar ile uzak - lıkların farkı ya da oranı ile Uzak Kestirmeleri ve ayrıca Kontrol noktalarının tek tek, üçlü ya da dörtlü olarak belirlenebilmesi için oluşturulmuş kombinasyonlardır. Bunlar için genel analitik çözümler özel durumlarda mümkün olduğundan, kural olarak aranan yer vektörlerinin x' yaklaşık değerlerinden çıkış yapılır ve bunlar daha sonra "dx" kadar düzeltilir. Bu nedenle her ölçme büyük - lüğü (m) ;

$$m + v = m' + dm \quad \text{veya} \quad v = dm - l_m, \quad (l_m = m - m')$$

biçiminde bir gözleme (ya da hata) denklemi verir. Burada ;

v : Ölçme büyüklükleri (ölçülerin) düzeltilmesini,

dm : dx ile x' yaklaşık değerinden hesaplanmış m ve m' değerleri arasındaki fonksiyonel ilişkiyi,

ifade etmektedir.

3.1. YAY KESTİRMESİ :

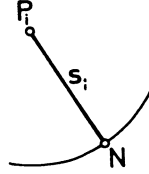
Yay kestirmesi, "konumu belirlenecek nokta için her ölçme büyüklüğünün geometrik bir yer belirlediği ve böyle yerlerin uygun bir sayısı ile bu noktanın konumunun saptandığı,, geometrik bir çözümü ifade etmektedir. Şayet yeni bir N noktasından P_i çıkış noktalarına s_i uzaklıkları ölçülürse, bu durumda her uzaklık P_i noktaları etrafında geometrik yer olarak s_i yarıçaplı bir küre belirler. Buna göre N noktası, bilinen P_i noktalarına göre 3 uzaklıktan (Bak. Şekil. 5a) belirlenebilir. N noktasına ait x yer vektörünün,

$$s_i^2 = (x_i - x)^2, \quad i=1, 2, 3 \quad (1a)$$

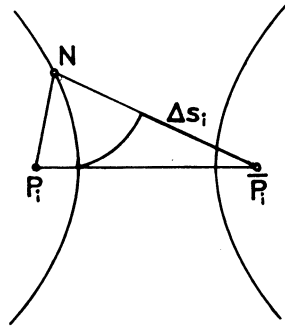
biçiminde hesaplanacak bir belirtim denklemi vardır (Rinner 1976). Fazla belirtim (ölçü) problemi $i > 3$ için, her uzaklık aşağıdaki gibi bir hata denklemi verir :

$$v_{s_i} = r_i^T (dx_i - dx) - l_{s_i}, \quad l_{s_i} = s_i - s_i' \quad (1b)$$

Burada r_i , yeni noktadan P_i noktasına giden doğrultuyu ifade etmektedir. Yeni noktadan P_i ve $\bar{P}_i$ çıkış noktalarına ölçülen uzaklıkların farkı $\Delta s_i = s_i - \bar{s}_i$ geometrik yer olarak odakları P_i , $\bar{P}_i$ olan ve Δs_i dış merkezli bir hiperboloidi belirler (Bak. Şekil. 5b)



Şekil. 5a



Şekil. 5b

Yeni N noktası üç bağımsız Δs_i değerinden oluşan uygun Hiperboloidlerin,

$$\Delta s_i = \sqrt{(x_i - x)^2} - \sqrt{(\bar{x}_i - x)^2} \quad (2a)$$

kesişme yeri olarak belirlenir.

$i > 3$ için fazla bir ölçü olduğundan , (2a) ve (1b) denklemlerinden ;

$$v_{\Delta s_i} = (\bar{r}_i - r)^T \cdot dx + r_i^T dx_i - \bar{r}_i^T d\bar{x} - \ell_{\Delta s_i}, \quad \ell_{\Delta s_i} = s_i - \bar{s}_i - (s_i' - \bar{s}_i') \quad (2b)$$

hata denklemi elde edilir.

Plânlanmış seyir sistemlerinde (GLOBAL) s_i uzaklıkları ve bunlarla ilgili Δs_i uzaklık farkları aynı anda ölçülür. Bu durumda kürenin ve Hiperboloidin kesişme yeri olarak (1a) ve (2a) denklemleri ile belirlenmiş bir Daire, yeni noktanın konumu olarak tesbit edilir. Bu noktadan P_i , $\bar{P}_i$ noktalarına ölçülmüş uzaklıkların oranı $\sigma_i = s_i / \bar{s}_i$, N için geometrik yer olarak Apollonik bir küre belirler (Bak. Şekil.5c) . Bu küre $e_i = \overline{P_i \bar{P}_i}$ bağlantı kenarını σ_i oranında içten ve dıştan böler. M_i ara noktası $\sigma_i \leq 1$ (veya $s_i \leq \bar{s}_i$) için P_i ve $\bar{P}_i$ noktalarından ;

$$\Delta e_i = \frac{\sigma_i^2}{1 - \sigma_i^2} e_i \quad \text{ve} \quad \overline{\Delta e_i} = \frac{1}{1 - \sigma_i^2} e_i \quad (3a)$$

uzaklıkta bulunur. Kürenin r_i yarıçapı ;

uzaklıkları, kontrol noktalarının bilinmeyen $(x_1, x_2, x_3, x)_j$ yer vektörleri ile P_j noktasının bilinen y_j yer vektörü için ;

$$s_{ij}^2 = (x_j - x_i)^2, \quad i = 1, 2, 3 \quad (1a)$$

$$s_j^2 = (y_j - x_j)^2$$

biçiminde 4 denklem verir. Bunlardan ölçme grupları ile ilgili olarak aşağıdaki hata denklemleri elde edilir:

$$v_{ij} = r_{ij}^T (dx_j - dx_i) - l_{ij}, \quad i = 1, 2, 3$$

$$v_j = -r_j^T dx_j - l_j \quad (1b)$$

$$l_{ij} = s_{ij} - s'_{ij} \quad l_j = s_j - s'_j$$

j ölçme gruplarında $u = 3_j + 9$ adet dx_i ve dx_j koordinat düzeltmeleri için $b = 4j$ adet denklem ortaya çıkar. Problem $j = 9$ ölçme grubu için doğrudan belirlenir, fakat $j \geq 9$ için fazla ölçüden dolayı bir dengeleme işlemi gerektirir (Ültra ses ve elektromanyetik uzaklıklar arasındaki presizyon farkları ve korelasyonlar, bir kofaktör matrisi ile dikkate alınabilir). Problemin çözümünde sadece C_i noktalarının 9 koordinatı arandığından, $j \rightarrow 9$ adet gemi istasyonunun $3j \geq 27$ koordinatı ilginç değildir ve bunlar, analitik ya da sayısal olarak elemine edilebilir. Analitik çözüm için r_{ij} doğrultuları ile ilgili ters (reziprokal) vektörler,

$$r_{ij}^* = \frac{r_{i+1,j} \cdot r_{i+2,j}}{(r_1, r_2, r_3)} \quad (1c)$$

kullanılır ve bununla (1b) nin ilk üç denkleminde dx_j açık olarak gösterilebilir.

$$dx_j = l_{1j} r_{1j}^* + l_{2j} r_{2j}^* + l_{3j} r_{3j}^* + v_{1j} r_{1j}^* + v_{2j} r_{2j}^* + v_{3j} r_{3j}^* + r_{1j}^T dx_1 + r_{2j}^T dx_2 + r_{3j}^T dx_3 \quad (2a)$$

(2a) denkleminin her iki satırı, bileşenleri (1b) denkleminin v_{ij} düzeltmesi ve l_{ij} mutlak terimi ile verilmiş olan ters vektörler sistemindeki l_j^* ve v_j^* vektörlerini göstermektedir.

dx_i koordinat düzeltmelerinin katsayıları düzeltmelerinin katsayıları, $r_{ij}^* \cdot r_{ij}^T$ diyadik çarpımından oluşturulan bir (3,9) matrisi ile verilir. Buna göre,

$$K_j = \begin{bmatrix} r_{1j}^{*T} r_{1j}^* & r_{2j}^{*T} r_{2j}^* & r_{3j}^{*T} r_{3j}^* \end{bmatrix}, \quad dz = dx_1, dx_2, dx_3 \quad (2b)$$

gösterimleri ile (2a) denklemi aşağıdaki biçimde yazılabilir :

$$dx_j = l_j^* + v_j^* + K_j dz \quad (2c)$$

Bu denklem (1b)'nin 4. eşitliğinde yerine konursa, tüm ölçme grupları için gemi istasyonlarının dx_j koordinatlarından arınmış tek bir hata denklemi olan,

$$v_j + r_j^T v_j^* + r_j^T K_j dz + l_j + r_j^T l_j^* = 0 \quad (3)$$

bağıntısı elde edilir.

Bu denklem (s_1, s_2, s_3, s_j) gibi 4 ölçme büyüklüğünün ve C_1, C_2, C_3 kontrol noktaları için 9 adet koordinat düzeltmesini içerir. Ölçme büyüklükleri sadece bir denklemde görüldüğünden, burada yakıştırılmış (kuasi)-endirekt ölçüler dengelemesi problemi vardır.

Şayet S_j ölçme istasyonlarından, P_j ve $\bar{P}_j$ gibi iki çıkış noktasına uzaklıkların farkı ya da oranı ölçülürse, benzer bağıntılar bulunur. Bu durumda (2c) denklemi, bölüm (3.1) deki (2b) ve (4b) bağıntıları biçimine sokulmalıdır.

4 adet C_i ($i = 1, 2, 3, 4$) kontrol noktasına ultra ses seyir süreleri ölçülürse, bu durumda her ölçme grubu, (yaklaşık $\sigma_{12} = s_1/s_2$, $\sigma_{13} = s_1/s_3$, $\sigma_{14} = s_1/s_4$ gibi) 3 adet uzaklık oranından ve çıkış noktalarına göre ($s_j, \Delta s_j$ veya σ_j) ölçme büyüklüklerinden oluşur.

Bunlar birinciler, dx_j 'lerin açık olarak gösterilebildiği ve 4. denkleme sokulabilen 3 adet hata denklemi verirler. Bu nedenle her ölçme grubu, içinde 4 kontrol noktasına ait 12 adet koordinat düzeltmesini ve 4 adet ölçme büyüklüğünü içeren yeni bir hata denklemi belirler. Bu durumdaki belirleme için enaz 12 adet ölçme grubu bulunmalıdır.

3.3. BİR NOKTANIN BELİRLENMESİ:

j adet S_j gemi istasyonundan yapılacak ölçmelerden tek bir C kontrol noktasının belirlenmesi için, aynı anda k sayıda çıkış noktası varolmalıdır. $u = 3(j + 1)$ adet bilinmeyen için, kenarlardan $b = j(k+1)$ adet ölçme büyüklüğü bulunur. $u \geq b$ koşulundan $j \geq 3(k - 2)$ bağıntısı ortaya çıkar ve problemin ancak $k \geq 3$ için çözümü vardır.

$k = 3, j = 3$ durumunda hata denklemleri şöyledir (Bak. Şekil. 4a,b) :

$$v_{jk} = -r_{jk}^T dx_j - l_{jk} \quad , \quad j = k = 1, 2, 3 \quad (1)$$

$$v_j = r_j^T (dx_j - dx) - l_j$$

İlk 3 denklemden dx_j (önceki problemde olduğu gibi) açık olarak çekilebilir ve 4. ncü de yerine konması ile ölçme grubunun hata denklemi ortaya çıkar. Bunun yanında, C_i ler P_k ($j = k = 1, 2, 3$) ile yer değiştirilirse bölüm (3.2) de çıkarılan formüller kullanılabilir. Ayrıca Δs , σ ölçme büyüklükleri için elde edilmiş sonuçlar da anlamlı olarak geçerlidir. P_k çıkış noktaları olarak deniz dışındaki (satelitler, kıyıdaki noktalar) veya denizdeki noktalar kullanılabilir.

Şayet ölçme donatımları çekül doğrultusunda sağlamaştırılabilir ve düşey yöndeki hareketler ölçülebilirse, yukarıda ilk tanıtılan durum günümüzde uygulama alanı bulabilir. Bununla beraber bu problem, plânlanmış yeni satelit sisteminin (GLOBAL) yerleşmesinden sonra, ana problemlerle ilgili olacaktır. Deniz - deki çıkış noktalarının kullanılması, Trisferasyon olarak adlandırılan ve zincir ya da yüzey şeklinde genişletilebilen ve SECOR projesi ile bağlantılı olarak araştırılan Trilaterasyona (kenar açısı) uygun olmaktadır (RINNER 1968).

Konumu belirlenecek bir C kontrol noktasının çekül doğrultusuna Geminin sabitleştirilmesi özel bir durumdur ve $x = x_i$, $y = y_j$ bağıntıları nedeniyle C noktası için sadece bilinmeyen z koordinatı belirlenir. Bu durum tek bir ölçme grubu ($s_{j1}, s_{j2}, s_{j3}, s$) ile sağlanabilir. S_j Gemi istasyonu P_k çıkış noktalarından yay kestirmesi ile, C kontrol noktası ise S_j istasyonuna ait koordinatların kutupsal olarak taşınması ile belirlenir.

3.4. YEREL KOORDİNATLARIN DÖNÜŞTÜRÜLMESİ :

Deniz tabanındaki C_i kontrol noktalarının yerel koordinatları belli ise (Bak. bölüm 2.3), bu durumda problem, lineer 3D dönüşümünün 7 elemanının belirlenmesinden ibarettir. Bu işlemler yerel koordinatlar, çıkış noktalarının koordinat sistemine dönüştürülür. Çözüm, bölüm (3.2) de sözü edilen bir C_i ($i=1,2,3$) nokta üçlüsünün belirlenmesi probleminde açıklanmıştır. Burada p dönüştürme parametresi için iyi bir yaklaşık değerin bilindiği ve bu sayede diferansiyel bağıntıların kullanılabileceği, varsayımından hareket edilir.

Koordinatların dx_i düzeltmeleri ile dönüştürme parametresinin dp düzeltmesi arasında,

$$dx_i = C_i dp \quad , \quad i = 1, 2, 3 \quad (1a)$$

bağıntısı vardır (RINNER 1976).

Burada dönüştürme parametresinin $dp^T = [dt^T, d\mu, d\alpha^T]$ vektörü ile C_i kontrol noktalarının yaklaşık koordinatlarından $(x, y, z)_i$ oluşturan bir C_i matrisi ;

$$C_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x & 0 & z & y \\ 0 & 1 & 0 & y & z & 0 & x \\ 0 & 0 & 1 & z & y & x & 0 \end{bmatrix}_i = [E, x, X]_i$$

biçiminde gösterilir. dp^T vektör deyimi içinde ;

$$dt^T = [dt_1, dt_2, dt_3] \quad \text{ötelemeleri,}$$

$$d\mu = \text{ölçek faktörünü,}$$

$$d\alpha^T = [d\alpha_1, d\alpha_2, d\alpha_3] \quad \text{dönmeleri,}$$

ifade etmektedir. $i = 3$ adet C_i kontrol noktası için varolan vektörler ve matrisler özetlenirse ;

$$z = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}, \quad dz = \begin{bmatrix} dx_1 \\ dx_2 \\ dx_3 \end{bmatrix}, \quad Z = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} \quad (1c)$$

yazılabilir ve bu koşullarda ;

$$dz = C.dp = dt + zd\mu + Zd\alpha \quad (2)$$

denklemleri vardır.

Bu denklem bölüm (3.2) deki (3) bağıntısında yerine konursa, dp 'nin 7 elemanı için skaler bir bağıntı olan ;

$$v_j + r_j^T v_j^* + r_j^T K_j C dp + l_j + r_j^T l_j^* = 0 \quad (3a)$$

elde edilir ve bunun belirlenmesi için (doğrudan belirlenmede 9 ölçme grubuna karşın) burada 7 ölçme grubu gereklidir.

Diğer taraftan ;

$$r_j^T K_j C dp = r_j^T (K_j dt + K_j \cdot z \cdot d\mu + K_j Z d\alpha)$$

$$r_{1j}^* r_{1j}^T + r_{2j}^* r_{2j}^T + r_{3j}^* r_{3j}^T = E \quad \text{ve} \quad K_j dt = dt$$

gösterimleri yardımıyla (3a) bağıntısı aşağıdaki gibi yazılabilir ;

$$v_j + r_j^T v_j^* + r_j^T dt + r_j^T K_j z d\mu + r_j^T K_j z d\alpha + l_j + r_j^T l_j^* = 0 \quad (3b)$$

Burada öteleme, ölçek ve dönme miktarları açık olarak bilinebilir. Şayet ölçek ve dönme biliniyorsa, $d\mu = 0$ ve $d\alpha = 0$ olacağından (3b) denkleminde, öteleme faktörü için basit bir bağıntı olan ;

$$v_j + r_j^T v_j^* + r_j^T dt + l_j + r_j^T l_j^* = 0 \quad (4)$$

elde edilir. Bu bağıntı 3 ölçme grubundan çözülebilir, ancak fazla ölçüler bir dengeleme problemi ortaya çıkarır. Benzer bağıntılar uzaklıklar yerine uzaklık farklarının ya da oranlarının ölçülmesi durumunda da vardır.

3.5. ÖLÇME BÜYÜKLÜKLERİNİN MERKEZE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ :

Seyir yöntemleri yardımıyla yapılacak çalışmalarda, şayet ölçme istasyonlarının bağıl hareketlerini belirleme olanağı varsa, bu durumda dış merkez noktalarından $E(T)$ yapılan ölçmeler merkeze $S(T=0)$ dönüştürülebilir (T : Ölçmenin zamanı). Yerel bir sistemde elde edilen $y(T)$ koordinatları için $\Delta y(T) = y(T) - y(0)$ merkezleştirme vektörüdür. Çıkış noktalarının $x(T)$ sistemine dönüştürülmesi (sadece bağıl konum gerekli olduğundan), bir öteleme ve bir dönme ile,

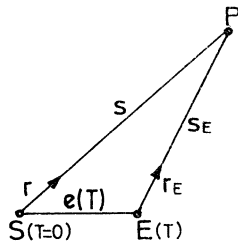
$$e(T) = x(T) - x(0) = \mu \cdot R \cdot y(T) \quad (1a)$$

bağıntısından yapılır. Kural olarak öteleme faktörü ve R dönme matrisi için iyi yaklaşık değerler belirlendiğinden diferansiyel bağıntılar kullanılabilir {bak. bölüm (3.4) baş. (1a)}. Bunun için (1a) bağıntısından ;

$$e(T) = \Delta y(T) + d\mu \cdot \Delta y(T) + \Delta Y(T) \cdot d\alpha \quad (1b)$$

elde edilir. Bu bağıntı presizyonlu (kesin) bir seyir ($d\mu = 0$ ve $d\alpha = 0$) yapılması durumunda $e(T) = \Delta y(T)$ trival bağıntısına verir.

Ölçme büyüklüklerinin merkezleştirilmesi (E, S, P) üçgenindeki geometrik bağıntılar yardımıyla olur. Buna göre şekil (6) dan;



Şekil. 6

$$s \cdot r = s_E \cdot r_E + e \quad (2a)$$

Bağıntısı yazılabilir.

Buradan, merkeze dönüştürülmüş s ve r büyüklükleri aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\begin{aligned} s &= r^T \cdot r_E \cdot s_E + r^T e \\ ds &= (s - s_E) \approx r^T e \\ r &= (s_E/s) r_E - (1/s) e \quad \} \text{ veya} \\ dr &= (r - r_E) \approx (1/s) e \end{aligned} \quad (2b)$$

Uzaklıkların dış merkez faktarı $\Delta s_E = (s - \bar{s})_E$ ve $\sigma_E = (s/\bar{s})_E$ oranı için, aşağıdaki diferansiyel bağıntılar ve (2b) yardımıyla merkeze dönüştürme yapılabilir :

$$d\Delta s = \Delta s - \Delta s_E = ds - d\bar{s} \quad \text{ve} \quad d\sigma = (\sigma - \sigma_E) = \left(\frac{ds}{s} - \frac{d\bar{s}}{\bar{s}} \right) \quad (2c)$$

Şayet dönüştürmenin du ve dv elemanları belli değilse, bu durumda bunlar (1b) ile ölçme büyüklüklerinin içine sokulur ve bir ağ hesabı ile birlikte belirlir :

4. SONUÇ :

Önceki bölümlerde Deniz Jeodezisinin deniz tabanındaki kontrol noktalarının belirlenmesini amaçlayan karakteristik ana problemler açıklanmıştır. 2 ve 3 boyutlu seyir yöntemlerini de ilgilendiren bu konunun, yayınların sınırlandırılmış hacmi nedeniyle ayrıntılı olarak incelenmesinden kaçınılmıştır. Ancak bu konu, Deniz Jeodezisinin Oşinoğrafik ve Gravimetrik ana problemlerinin öğrenilmesi, formüle edilmesi ve seleksiyonu gibi aynı biçimde zorunludur.

Yazar uzun zamandan beri Deniz Jeodezisinin problemleri ile ilgilenmekte (RİNNER 1948) ve bu konuda Graz Teknik Üniversitesinde verdiği konferanslar ve düzenlediği seminerler ile genç meslektaşların ilgisini uyandırmaya çalışmaktadır. Bu arada ortaya çıkan ekonomik koşullar ve değişik durumlar, teorik araştırmaları ve pratik çalışmaları zorlamaktadır. Ayrıca mevcut yeni teknoloji, Deniz Jeodezisinin problemlerini ve bugüne kadar elde edilen sonuçların özetini içeren bir kitabın yazılmasını gerektirmektedir. On yıl önce yazar tarafından ileri sürülen öneriler, günümüzde "Ölçme Bilgisi" kitabına Deniz Jeodezisi için bir cildin eklenmesi ile gerçekleştirilebilir. Bu sayede yeryüzünün yaklaşık 2/3 ünü kapsayan su ortamının jeodezik olarak incelenmesini konu edinen bu bilimin önemi, geniş biçimde belirtilmiş olacaktır.