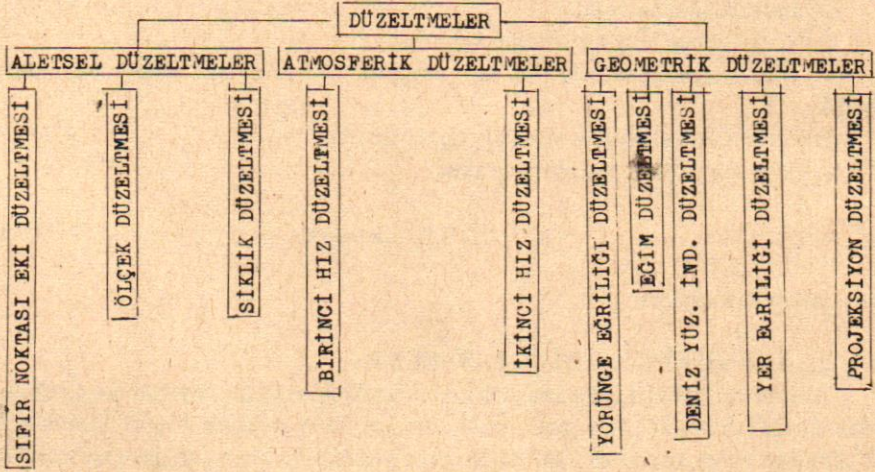


ELEKTRONİK OLARAK ÖLÇÜLEN UZUNLUĞUN PROJeksiYON DÜZLEMİNE İNDİRGENMESİ

Y. Doç.Dr. İbrahim Koç

Bilindiği gibi elektronik olarak ölçülen ham uzunluktur. Projeksiyon uzunluğuna geçiş için birtakım düzeltmelerin hesaplanıp bu düzeltmelerin ham uzunluğa getirilmesi gerekir. Düzeltmeler aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir.



1. ALETSEL DÜZELTMELER

Burada aletten kaynaklanan bazı düzeltmeler söz konusudur. Aletsel hataların neden olduğu sistematik hataları yok edebilmek için EDM (Elektronik Uzunluk Ölçer) lerin zaman zaman kalibre edilmeleri gerekir. Kalibrasyon büyüklükleri şunlardır:

a= Sıfır Noktası Eki Düzeltmesi (Ek Sabite Düzeltmesi)

k_{δ} = Ölçek düzeltmesi

k_s = Faz Farkı Ölçme Hatası Düzeltmesi (Siklik Düzeltmesi)

Sıfır Noktası Eki Hatası gerçek uzaklıkla ölçülen uzunluk arasındaki farktır. Değişik saptama yöntemleri vardır.

$$k_{\delta} = \frac{\Delta f}{f} \cdot D \cdot 10^{-6}$$

şeklinde hesaplanan ölçek düzeltmesinde, Δf teorik frekansla ölçülen frekans arasındaki farktır.

D' = ölçülen ham (brüt) uzaklık

f = ölçü anındaki frekans

Siklik hatası

$$k_s = A \cdot \sin(2\pi(D'-u)(l/2-r)/(l/2))$$

şeklinde bir fonksiyonla en küçük kareler yöntemine göre saptanabilir. Bunun için bir ray üzerinde hareket edebilen reflektöre gereksinme vardır. Burada;

A = Siklik hatasının genliği

D' = Ölçülen uzunluk

u = İnce ölçeğin tam katı

$l/2$ = İnce ölçeğin yarım dalga boyu

r = Ölçü rayından önceki sonuncu yuvarlak $l/2$ ile sıfır geçişi arasındaki uzaklık

Dengeleme sonucunda A ve r değerleri belirlenir.

Aletsel düzeltmeler getirilmiş uzaklık

$$D = D' + a + k_d + k_s \quad (1-1)$$

şeklinde hesaplanır.

2. ATMOSFERİK DÜZELTMELER

Aletsel düzeltmelerden sonra elde edilen uzaklığa yeni düzeltmeler getirmek gerekmektedir. Yapılan ölçü eğer boşlukta yapılmış olsaydı hiçbir atmosferik düzeltmeye gerek kalmazdı. /14/. Oysa ölçü, yoğunluğu her an değişen atmosferde vukubulmaktadır.

Bir ışık ışını yada mikro dalga atmosferde düz bir çizgi boyunca yayılmaz. Değişik yoğunlukta hava tabakalarından geçtiği için diferansiyel anlamda kırılmaları uğrar. Bunun sonucu olarak ışık yada mikrodalganın yörüngesi belirli yarıçapta daire yayı halini alır. Ölçülen uzunluk daire yayının uzunluğudur. Oysa istasyon ile hedef arasındaki söz konusu daire yayının kirişi ölçülmelidir. Daire yayından giriş uzunluğuna geçmek için (1-1) bağıntısı ile elde edilen uzaklığa aşağıdaki düzeltmeler getirilmelidir.

2.1- Birinci Hız Düzeltmesi

Alet yapımcıları aletlerini üretirlerken ortalama koşullara uyan n_0 değerini aletleri için öngörürler. Boşluktaki ölçmeler için modülasyon frekansı

$$f = \frac{c_0}{\lambda}$$

c_0 = Işığın boşluktaki hızı = 299792458 m/s

λ = Modülasyon dalga boyu

f = Boşluktaki modülasyon frekansı

şeklinde hesaplanır. Öngörülen n_0 kırılma indisi yardımıyla nominal frekans

$$f_0 = \frac{f}{n_0} = \frac{c_0}{n_0} \cdot \frac{1}{\lambda} \quad (2.1-1)$$

bağıntısıyla hesaplanır. Fakat atmosferde koşullar her an değiştiği için havanın kırılma indisi n_0 'dan farkı bir n değerine sahip olur. İşte alet için öngörülen n_0 değerinin ölçü anındaki n değerinden farklı olmasından dolayı getirilen düzeltmeye birinci hız düzeltmesi denmektedir.

$N_0 = (n_0 - 1) \cdot 10^6$ Değeri Avrupa'da 320, İngiltere ve A.B.D.'de 325, Japonya'da 350 olarak seçilmiştir. Bu değerler mikrodalga aletleri içindir. Kızıl ötesi uzaklık ölçer DI 10 da $N_0 = 282$ seçilmiştir. Yeni modern aletlerde n değeri dışarıdan verilir. Bu durumda birinci hız düzeltmesi ortadan kalkar. n değerinin dışarıdan verilemediği aletlerde bu düzeltme mutlaka getirilmelidir.

Aletsel düzeltmeler getirilmiş uzaklık (1-1) bağıntısına göre D olsun. Bu değer alet için öngörülen n_0 kırılma indisine göredir. Yani

$$D = \frac{1}{2} \cdot \frac{c_0}{n_0} \cdot t \quad (2.1-2)$$

formülüne uyar. Burada;

t = Işık yada mikrodalğanın ölçülen uzaklığı gidiş-dönüş katetme zamanıdır. Oysa ölçü anındaki kırılma indisi n olduğuna göre aletin uzaklık için göstermesi gereken değer

$$D_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{c_0}{n} \cdot t \quad (2.1-3)$$

olmalıdır. Buna göre birinci hız düzeltmesi (2.1-3) eşitliğinden (2.1-2) eşitliğinin çıkarılmasıyla

$$K' = D_1 - D = D \cdot (n_0 - n) \quad (2.1-4)$$

şeklinde elde edilir.

Burada kullanılan n kırılma indisi ölçülen uzaklığın uçlarındaki meteorolojik verilerden yapıp (hava basıncı), t (kuru sıcaklık), t^1 (nemli sıcaklık) değerlerinden yararlanarak elde edilir. Her iki uç için hesaplanan indislerin ortalaması alınır. Işığın kırılması indisi, BARREL ve SEARS'ın formülüne göre aletin taşıyıcı dalga boyu için standart atmosfer koşullarında grup kırılma indisi yardımı ile hesaplanır:

$$(n_{Gr} - 1) \cdot 10^7 = 2876,04 + 3 \cdot \frac{16,288}{\lambda_T} + 5 \cdot \frac{0,136}{\lambda_T^4} \quad (2.1-5)$$

Herhangi bir atmosfer için ışığın kırılma indisi KOHLRAUSCH tarafından

şğıdaki şekilde verilmektedir.

$$(n_L - 1) = 98,7 \cdot 10^5 \cdot \frac{(n_{Gr} - 1)}{(1 + \alpha t)} \cdot p - \frac{4,1 \cdot 10^8}{(1 + \alpha t)} \cdot e \quad (2.1-6)$$

Mikrodalgaların kırılma indisi için ESSEN ve FROOME'nin formülü şğıdır.

$$(n_M - 1)10^6 = 77,62(p - e)/T + 64,7 \cdot e(1 + 5748/T)/T \quad (2.1-7)$$

veya bazı ihmallerde:

$$(n_M - 1)10^6 = 77,6(p + 4743 \cdot e/T)/T \quad (2.1-8)$$

şğinde de hesaplanabilir. Buradaki e su buharı basıncıdır. Bu değeri ve doymuş su buharı basıncı ile ıslak ve kuru sıcaklık farkından hesaplanabilir.

$$e = 10^{(8 \cdot t / (B + t) + 8)} \quad (2.1-9)$$

$$e = e - p \cdot f(t - t')(1 + 0,00115t') \quad (2.1-10)$$

Formüllerde geçen sabitlerin değeri:

su üzerinde: $f = 0,000662$ $\delta = 7,5$ $\beta = 237,3$ $\delta = 0,7857$

buz üzerinde: $f = 0,000583$ $\delta = 9,5$ $\beta = 265,5$ $\delta = 0,7857$

dır. Formüllerde kullanılan sembollerin anlamları ise şğılardır.

n: Havanın kırılma indisi (yaklaşık 1,0003)

a: Havanın genişleme katsayısı = 0,003 661

:: °C cinsinden hava sıcaklığı (kuru)

t': °C cinsinden ıslak sıcaklık

T: Mutlak sıcaklık = 273,2 + t

l : m_m cinsinden taşıyıcı dalganın boyu

p: mbar cinsinden hava basıncı (1 Torr = 1 mm Hg = 1,33322 mbar = 1,33322 hPa (Hektopascal))

e: hPa (mbar) cinsinden su buharı basıncı

e': t' ıslak sıcaklığında mbar cinsinden doymuş su buharı basıncı

(2.1-10) ifadesi (2.1-6) ve (2.1-7) bağlantılarında yerine konup diferansiyeli

alınarak ölçer hatası için ppm cinsinden şğıdaki formüller elde edilir:

$$dn_L \cdot 10^6 = -1,00dT + 0,28 dp \quad (2.1-11)$$

$$dn_M \cdot 10^6 = -4,35dT' + 6,67dT + 0,26 dp \quad (2.1-12)$$

Bu ifadelerdeki kayıtlar $T = 288 \text{ K}$ ($t = 15^\circ\text{C}$), $T - T = 4\text{K}$, $p = 1000 \text{ mbar}$ ortalama değerlerine göre hesaplanmıştır. Yukarıdaki son iki formülden anlaşılmaktadır ki ıslak sıcaklığın n_L 'nin hesabındaki etkisi önemsizdir. Fakat mikrodalgalı ölçümlerde ıslak ve kuru sıcaklıklar çok dikkatli ölçülmelidirler. Çünkü kuru termometrenin $0,23 \text{ K}$ lik veya ıslak termometrenin $0,15\text{K}$ lik bir hatası 1 km lik bir uzunlukta 1 mm lik bir hataya neden olur.

Işık yada mikrodalga durur.una göre her iki uçtaki kırılma indisleri hesaplanıp ortalaması alınır. Yani ölçü A ve B noktaları arasında yapıyorsa

$$n = (n_A + n_B)/2 \quad (2.1-13)$$

şeklinde kırılma indisi hesaplanır. Bulunan bu değer (2.1-4) bağıntısında yerine konarak I. hız düzeltilmesi hesaplanır.

2.2 İkinci Hız Düzeltmesi

Havanın kırılma indisi

$$n = c_0/c \quad (2.2-1)$$

olarak tanımlanır. Burada $c_0=299792458 \text{ m/s}$ boşluktaki ışık hızı, $c =$ Ölçü ortamındaki ışık hızıdır. Işığın yayılma hızı içinden geçtiği ortamın yoğunluğuna bağlıdır. Bu yayılma hızı ortamın yoğunluğu arttıkça azalır. Atmosferin yoğunluğu ise yeryüzeyinden yukarı doğru azalarak devam etmektedir. Kırılma indisi değişimini de yoğunluk değişimi ile benzetmektedir. Kırılma indisi alt tabakalarda daha hızlı, üst tabakalarda daha yavaş değişmektedir. Bu bilgilerin ışığında yükseldikçe kırılma indisinin azaldığı ve aynı yükseklikteki yüzeylerin aynı kırılma indisine sahip oldukları kabul edilebilir. Bunun sonucu olarak eşit kırılma indisli yüzeyler, merkezi yerin merkezi ile çakışık olan farklı yarıçaplı küre yüzeyleri gibi düşünülebilir Yer yakını bölgeler için bu yarıçapın dünyanın yarıçapına eşit olduğu açıktır.

A ve B uçlarında hesaplanan kırılma indislerinin ortalaması, A ve B den geçen yer yarıçaplı bir yaya uygun düşmektedir. Oysa ışın yada mikrodalga yörüngesinin eğrilik yarıçapı daha büyük olduğu için ($r_L = 8R$, $r_M = 4R$) A ve B den geçen yörünge daha aşağıdan yani daha büyük kırılma indisli ortamdan geçecektir. R yer yarıçaplı yay uzunluğundan r yarıçaplı yörünge yayı uzunluğuna geçmek için getirilen düzeltmeye ikinci hız düzeltmesi denir. Bunun hesaplanabilmesi için Δn kırılma indisi düzeltmesinin bilinmesi gerekir. Işın ya da mikrodalga yörüngesine ait kırılma indisi

$$n = (n_A + n_B)/2 + \Delta n \quad (2.2-2)$$

olmalıdır. Ancak Δn 'i hesaplayabilmek için mikrodalga yada ışık dalgasının A ve B den geçen R yarıçaplı eğriden ortalama ne kadar düşük seviyeden geçtiğinin he-

**SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
ÖĞRETİM ÜYELERİNDEN**

PROFESÖR
HÜSEYİN ERKAN'IN
YAZMIŞ OLDUĞU

**KADASTRO
BİLGİSİ**

**Odamız yayını olarak
Temmuz 1989'da yayımlanacaktır**

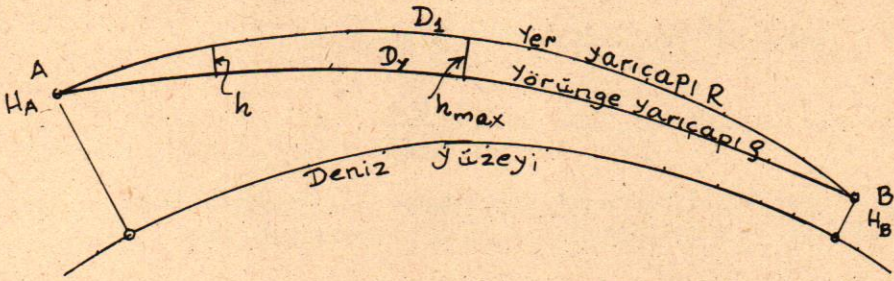
Odamız'dan ödemeli olarak sağlanabilir.

$$n = (n_A + n_B)/2 + \Delta n \quad (2.2-2)$$

olmalıdır. Ancak Δn 'i hesaplayabilmek için mikrodalga yada ışık dalgasının A ve B den geçen R yarıçaplı eğriden ortalama ne kadar düşük seviyeden geçtiğinin hesaplanması gerekmektedir. Yörüngeler arasındaki bu ortalama uzaklık A ve B den geçen farklı yarıçaplı dairelerden yararlanarak hesaplanabilir (Şekil 2). Buna göre

$$h_{\max} = \frac{D_1^2}{8R} (1 - k) \quad (2.2-3)$$

bulunur. A ve B noktası arasındaki tüm h değerlerin ortalaması ise



Şekil 2: İkinci Hız Düzeltmesinin Çıkarılması

$$h_{\text{ort}} = \frac{2}{3} \cdot h_{\max} = \frac{D_1^2}{12R} (1 - k) \quad (2.2-4)$$

şeklinde elde edilir. (2.2-4) İfadesi iki yörünge arasındaki alana eşdeğer dikdörtgen alanından yararlanarak bulunur. Bu alan AB kirişi üzerindeki daire kesmesi alanlarının farkından elde edilir. Bu durumda kırılma indisine getirilecek düzeltme

$$\Delta n = - h_{\text{ort}} \cdot \frac{dn}{dh} \quad (2.2-5)$$

şeklinde hesaplanır. Burada dn/dh değeri, kırılma indisinin düşey değişimidir.

$$\frac{1}{r} = \frac{d\beta}{ds} = - \frac{\text{grad } n}{h} \cdot \sin \beta \quad : \beta \cong 100^\circ, n \cong 1$$

bağıntısından çekilirse

$$\frac{dn}{dh} = -\frac{1}{r}$$

elde edilir. Bu değer (2.2-5) de yerine konursa

$$\Delta n = h_{\text{ort}} \cdot \frac{1}{r}$$

haline gelir. $k = R/r$ ifadesi ilikate alınarak n tekrar düzenlenirse

$$\Delta n = h_{\text{ort}} \cdot \frac{k}{R}$$

olur. (2.2-4) ifadesi burada yerine konursa kırılma indisi düzeltmesi

$$\Delta n = (k - k^2) \frac{D_1^2}{12R} \quad (2.2-6)$$

olarak elde edilir. Buna göre ikinci hız düzeltmesi

$$K'' = -D_1 \cdot \Delta n = - (k - k^2) \frac{D_1^3}{12R^2} \quad (2.2-7)$$

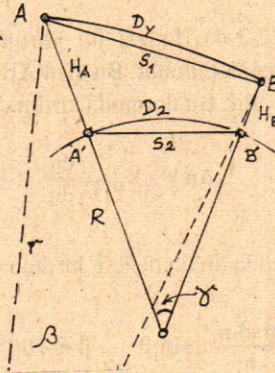
olur. Altsel hataları giderilmiş uzunluk (1-1) bağıntısına göre elde edilir. Bu uzaklığa I. ve II. hız düzeltmeleri eklenerek yörünge yayı uzunluğu

$$D_y = D + K' + K'' \quad (2.2-8)$$

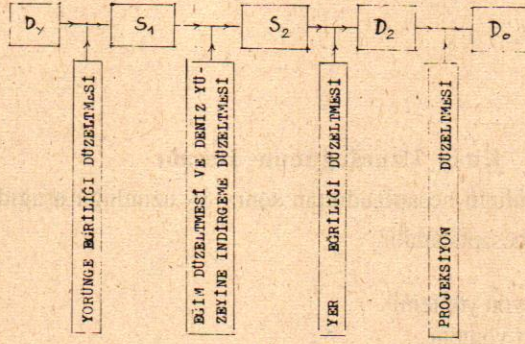
şeklinde hesaplanır.

3. GEOMETRİK DÜZELTMELER

Şekil 3 göz önüne alınarak geometrik düzeltmeler aşağıdaki gibi gösterilebilir.



Şekil 3: Geometrik İndirgemeler



3.1 Yörünge Eğriliği Düzeltmesi

Şekil 3 göz önüne alınarak D_y yörünge uzunluğundan S_1 giriş uzunluğuna aşağıdaki bağıntı ile geçilebilir.

$$S_1 = 2r \cdot \sin \beta/2 = 2r \cdot \sin \frac{D_y}{2r} \quad (3.1-1)$$

Bu ifade seriye açılırsa

$$S_1 = 2r \left(\frac{D_y}{2r} - \frac{D_y^3}{48r^3} + \frac{D_y^5}{384r^5} - \dots + \right)$$

$$S_1 = D_y - \frac{D_y^3}{24r} + \frac{D_y^5}{1920r} - \dots + \dots$$

elde edilir. Mikrodalgalar için $r = 4R$ ve $D = 1000$ km için son terim 1mm lik bir büyüklüğe ulaştığı için ihmal edilebilir. Böylece D_y yörünge yayı uzunluğundan S_1 giriş uzunluğuna geçmek için gerekli düzeltme başka bir deyişle yörünge eğriliği düzeltmesi

$$K_1 = -\frac{D_y^3}{24r}; k = R/r; \frac{1}{r} = k/R$$

$$K_1 = k^2 \frac{D_y^3}{24r} \quad (3.1-2)$$

olarak ve giriş uzunluğu

$$S_1 = D_y + K_1 \quad (3.1-3)$$

elde edilir.

3.2 S₂ Kiriş Uzunluğunun Hesabı

S₁ uzunluğu hesaplandıktan sonra S₂ uzunluğu aşağıdaki sıralanan değişik yöntemlerle hesaplanabilir.

- İterasyon yöntemi
- Direkt yöntem
- Tek tek düzeltme değerleri ile
- Yükseklik açıları ile

3.2.1 İterasyon Yöntemi

Şekil 3 deki S₂ kirişine geçmek için OAB ve OAB üçgenlerine kosinüs teoremi uygulanırsa

$$\cos \gamma = \frac{(R + H_A)^2 + (R + H_B)^2 - S_1^2}{2(R + H_A)(R + H_B)}$$

$$\cos \gamma = \frac{2R^2 - S_2^2}{2R^2} = \frac{1}{2} \left(2 - \frac{S_2^2}{R^2} \right)$$

yazılabilir. Bunlar taraf tarafa eşitlenir ve gerekli sadeleş tirme yapılırsa

$$S_1 - S_2 = \frac{(H_A - H_B)^2}{S_1 + S_2} + \frac{H_A + H_B}{R(S_1 + S_2)} \cdot S_2^2 + \frac{H_A H_B}{R^2(S_1 + S_2)} \cdot S_2^2 \quad (3.21-1)$$

elde edilir. Son terim ihmal edilerek

$$S_2 = S_1 - \frac{(H_A - H_B)^2}{S_1 + S_2} + \frac{H_A + H_B}{R(S_1 + S_2)} \cdot S_2^2 \quad (3.21-2)$$

referans yüzeyi üzerindeki kiriş uzunluğu elde edilir. Bu bağıntıdaki ikinci terim "Eğim Düzeltmesi" üçüncü terim "Deniz Seviyesine İndirgeme Düzeltmesi"ne karşılık gelmektedir. Bu formül iterasyon yöntemine uygun bir ifadedir. Başlangıçta S₂=S₁ alınır. Buna göre bulunan değer S₂ olarak tekrar yerine konur. Bu işleme bir önceki S₂ değeri elde edilinceye kadar devam edilir.

3.2.2 Direkt Yöntem

Eğer uzaklık $D \geq 2$ km ise ve nokta yükseklikleri belirli ise bu yöntem kullanışlıdır. Şekil 3 de kosinüs teorisinden hareket ederek

$$S_1^2 = (R+H_A)^2 + (R+H_B)^2 - 2(R+H_B) \cos \gamma$$

$$S_1^2 = (R+H_A)^2 + (R+H_B)^2 - 2(R+H_B) + 2(R+H_B)(R+H_A) (1 - \cos \gamma)$$

$$1 - \cos \gamma = 2 \sin^2 \frac{\gamma}{2}$$

$$S_1^2 = H_A^2 + H_B^2 - 2H_A H_B + 4(R + H_A)(R + H_B) \sin^2 \frac{\gamma}{2}$$

$$S_1^2 = (H_A - H_B)^2 - 2H_A H_B + 4(R + H_A)(R + H_B) \sin^2 \frac{\gamma}{2}$$

$$S_2^2 = 4R^2 \sin^2 \frac{\gamma}{2} = \frac{S_1^2 - (H_A - H_B)^2}{(1 + H_A/R)(1 + H_B/R)}$$

$$S_2 = \sqrt{\frac{S_1^2 - (H_A - H_B)^2}{\left(1 + \frac{H_A}{R}\right)\left(1 + \frac{H_B}{R}\right)}} \quad (3.22-1)$$

Şeklinde S_2 uzunluğu doğrudan doğruya elde edilir.

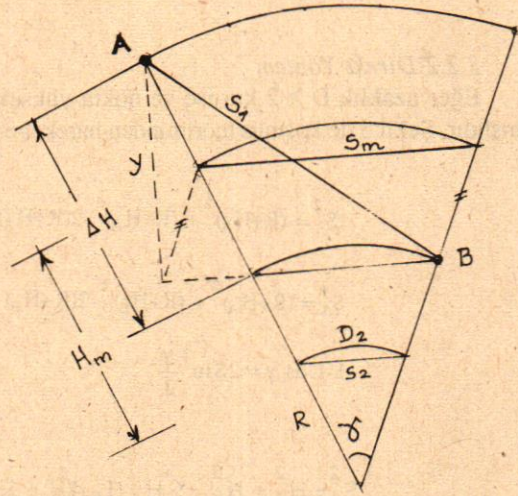
3.2.3 Tek Tek Düzeltme Değerleri İle S_2 'nin Hesabı

Bu yöntemde S_1 uzaklığı önce H_m ortalama yüksekliğindeki kiriş uzunluğuna, daha sonra deniz seviyesine indirgenecektir.

3.2.3.1 S_m ORTALAMA KIRIŞIN HESABI (EĞİM DÜZELTMESİ)

Şekil 4 göz önüne alınarak

$$S_m = (S_1^2 - y^2)^{1/2} \quad y \approx \Delta H$$



Şekil 4: Eğim ve deniz yüzeyine indirgeme düzeltmesi

$$S_m = (S_1^2 - \Delta H^2)^{1/2} = (S_1^2 (1 - \frac{\Delta H^2}{S_1^2}))^{1/2}$$

$$S_m = S_1 (1 - \frac{1}{2} \frac{\Delta H^2}{S_1^2} - \frac{1}{8} \frac{\Delta H^4}{S_1^4} - \dots)$$

$$S_m = S_1 (1 - \frac{1}{2} \frac{\Delta H^2}{S_1^2} - \frac{1}{8} \frac{\Delta H^4}{S_1^4} - \dots)$$

yazılabilir. ΔH nedeniyle gelen düzeltmeye aynı zamanda eğim düzeltmesi denir. Bu düzeltme

$$K_2 = -\frac{1}{2} \frac{\Delta H^2}{S_1^2} - \frac{1}{8} \frac{\Delta H^4}{S_1^4} - \frac{1}{16} \frac{\Delta H^6}{S_1^6} \quad (3.231-1)$$

olarak hesaplanır. Ortalama yükseklikteki uzaklık ise

$$S_m = S_1 + K_2 \quad (3.231-2)$$

ifadesiyle hesaplanır. Bu hesaplamanın mm duyarlılığında olması için eğimin %2,5 den daha fazla olmaması gerekir. Eğer daha fazla olursa (3.231-1) ifadesindeki terim sayısını artırmak gerekir.

3.2.3.2 DENİZ SEVİYESİNE İNDİRGEME (S_2 'NİN HESABI)

Şekil 4 göz önüne alınarak;

$S_2/S_m = R/(R+H_m)$ yazılabilir. Burada $H_m = (H_A + H_B)/2$ dir. Bu eşitliklerden deniz seviyesine indirgeme düzeltmesi

$$K_3 = S_2 - S_m = -\frac{H_m}{R+H_m} \cdot S_m \quad (3.232-1) \quad (3.232-1)$$

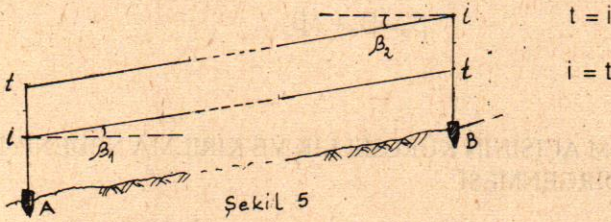
olur. İndirgenmiş uzaklık ise

$$S_2 = S_m + K_3 \quad (3.232-2)$$

dür.

3.2.4 Yükseklik Açıları İle İndirgeme

Yükseklik açıları ile indirgeme genel olarak kısa uzunluklar D 2 km için kullanılmaktadır. Bu durumda inceliği artırmak için karşılıklı olarak düşey açı gözlemleri yapılır. (Şekil 5). Eğim



$$\beta_0 = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2}$$

açıların aynı olmasını sağlamak için alet yüksekliği karşı istasyondaki işaret yüksekliğine eşit olacak şekilde düzenlenir. Böylece elde edilen açılar teorik olarak birbirine eşit olur. Ancak değişik hata kaynakları yüzünden farklı değerler elde edilir. Ortalama teşkil edilerek en uygun eğim açısı belirlenir.

3.241 EĞİM AÇISININ İNDİRGENMESİ (i-t ≠ g - r NEDENİYLE)

A ve B noktaları arasında uzunluk ölçümü yapıldığında eğer $i - t \neq g - r$ olursa β_0 değeri ışın yada mikrodalganın eğimine uymaz. Bu nedenle β_0 değerine bir düzeltme değeri getirerek eğik uzaklığın eğim açısı elde edilmelidir. Bu düzeltme (Şekil 6)'ya göre çıkarılabilir. Burada: i = teodolit yüksekliği, t = işaret yüksekliği, g = uzaklık ölçer yüksekliği, r = reflektör yüksekliğidir.

$$\Delta\beta_1 = \frac{(i \cdot g + r - t) \cos\beta_0 \cdot \alpha}{2s} \quad (3.241-1)$$

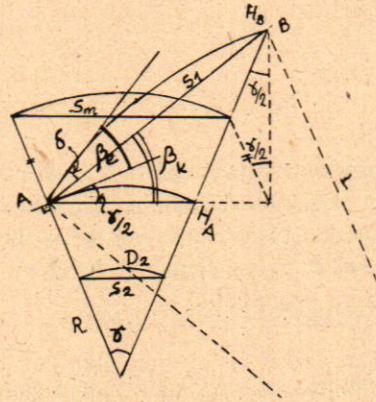
Eğik uzaklığa uygun düşen eğim açısı

$$(3.241-2)$$

$$\beta_e = \beta_0 + \Delta\beta_1$$

dir.

3.2.4.2 EĞİM AÇISININ KÜRESELLİK VE KIRILMA NEDENİYLE İNDİRGENMESİ



Şekil: 7

Şekil 7 göz önüne alınarak

$$S_m = S_1 \cos\beta_k \quad (3.242-1)$$

olduğu görülmektedir. Bu ifadedeki β_k yine şekil 7 dikkate alınarak

$$\beta_k = \beta_0 + \gamma/2 - \delta \quad (3.242-2)$$

formülü ile hesaplanır. Yani eğim açısında yükseklik ve yörünge eğriliğinden

(kırılmadan) ileri gelen açı düzeltmesi getirmek gerekir. Bu değer

$$\frac{\gamma}{2} - \delta = \frac{\gamma}{2} - \kappa \frac{\gamma}{2} = (1-\kappa) \frac{\gamma}{2} = (1-\kappa) \frac{D_2}{2R}$$

şeklinde hesaplanabilir. Buradaki sabit değerler yerine konur ve $D_2 = S_1 \cos \beta_e$ kabul edilerek

$$\Delta \beta_2 = \frac{\gamma}{2} - \delta = 43,4'' \cdot S_1 \text{ (km)} \cdot \cos \beta_e \quad (3.242-3)$$

elde edilir. Bu değer (3.242-2)'de yerine konarak

$$\beta_k = \beta_e + 43,4'' \cdot S_1 \text{ (km)} \cdot \cos \beta_e = \beta_e + \Delta \beta_2 \quad (3.242-4)$$

indirgenmiş eğim açısı hesaplanır. Bu değer (3.242-1) ifadesinde yerine konarak ortalama yükseklikteki yatay uzaklık hesaplanır. Daha sonra paragraf 3.232 ye göre deniz seviyesine indirgenmiş S_2 büyüklüğü belirlenir.

3.3 Yer Eğriliği Düzeltmesi

S_2 Kiriş uzunluğundan D_2 daire yayı uzunluğuna geçmek için yapılan düzeltmedir.

$$D_2 = R \cdot \gamma = 2R \operatorname{ArcSin} \frac{S_2}{2R} \quad (3.3-1)$$

ifadesi

$$\operatorname{ArcSin} X = X + \frac{1}{2} \cdot \frac{X^3}{3} + \frac{1.3}{2.4} \cdot \frac{X^5}{5} + \dots + \frac{1.3.5 \dots (2n-3)}{2.4.6 \dots (2n-2)} \cdot \frac{X^{2n-1}}{2n-1} +$$

açının göz önüne alınarak yeniden düzenlenirse

$$D_2 = S_2 + \frac{S_2^3}{24 R^2} + \frac{3.S_2^5}{640 R^4} + \dots$$

yazılabilir. $S_2 = 200\text{km}$ için son terim 1mm olur. Bu nedenle

$$D_2 = S_2 + \frac{S_2^3}{24 R^2} \quad (3.3-2)$$

ile yetinilebilir. Buna göre yer eğriliği düzeltmesi

$$K_4 = \frac{S_2^3}{24 R^2} \quad (3.3-3)$$

olur.

3.4 Projeksiyon Düzeltmesi

Küre üzerindeki uzunlukların, kullanılan projeksiyon sistemine bağlı olarak düzeltilmeleri gerekir. Ülkemizde Gauss-Krüger projeksiyon sistemi kullanılmaktadır. Bu projeksiyonda ülkemiz 3°lik 7 dilime ayrılmıştır. Dilim orta meridyenleri 27°, 30°, 33°, 36°, 39°, 42°, 45° dir. Her dilim bağımsız bir koordinat sistemi gibi göz önüne alınır. Orijin, orta meridyenin ekvatoru kestiği noktadır. X değerleri ekvatorun üstünden hesaplanır. Buna yukarı değer denir. Orta meridyenden itibaren doğru yönünde (+) batı yönünde (-) ordinatlar söz konusudur. İşte bu eksiklikten kurtulmak için ordinatlara 500 000 m eklenir. Ordinatın hangi dilimde olduğunu belirtmek için de baş tarafa dilim numarası yazılır. Örneğin 3. dilimde ordinat değerlerine 3500 000m eklenir. Bu şekilde elde edilmiş ordinatlara sağa değer denir.

Gauss-Krüger projeksiyon sisteminde orta meridyenden uzaklaştıkça harita ile gerçek durum arasındaki deformasyon büyür. Küre üzerindeki uzaklıklara bir düzeltme getirerek Gauss-Krüger sistemine geçilir. Bu düzeltme

$$K_5 = \frac{y_0^2}{2 R^2} \cdot D_2 \quad (3.4-1)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada;

K_5 : Projeksiyon düzeltmesi

$$Y_0 = (Y_A + Y_B) / 2$$

$y_0 = (y_A + y_B) / 2$ k: kenarın orta noktasının dilim orta meridyenine olan uzaklığı

R: Kenarın bulunduğu bölgedeki ortalama yer yarıçapıdır. Projeksiyon düzlemindeki uzunluk

$$D_{02} D_2 + K_5 \quad (3.4-2)$$

şeklinde hesaplanır.

3.5 İndirgeme ve Düzeltmelere Genel Bakış

Brüt Uzaklık D'

1. Aletsel Düzeltmeler

- a) Ek sabite a
- b) Ölçek düzeltmesi $k_o = ((f-f_o)/f) \cdot D'$
- c) sıklık düzeltmesi $k_s = A \cdot \sin 2\pi((D' - u \frac{\lambda}{2}) / \frac{\lambda}{2})$

$$D = D' + a + k_o + k_s$$

2. Atmosferik Düzeltmeler

- a) Birinci hız düzeltmesi $K' = D(n_o - n)$ $D_1 = D + K'$
- b) İkinci hız düzeltmesi $K'' = -(k-k^2) \frac{D_1^3}{12R^2}$ $D_y = D_1 + K''$

3. Geometrik Düzeltmeler

- a) Yörünge eğriliği düzeltmesi $K_1 = -k^2 \frac{D_y^3}{24R^2}$ $S_1 = D_y + K_1^{**}$

b) O Yüksekliğindeki Kirişe (S_2) İndirgeme

Nokta Yükseklikleri İle

Yükseklik Açılıları İle

Tek tek düzeltmelerle

Direkt

1. Ortalama Kirişe İnd.

$$K_2 = -\frac{\Delta H^2}{2S_1} - \frac{\Delta H^4}{8S_1^3} \dots$$

$$S_m = S_1 + K_2$$

2. H=0 Yüzeyine İnd.

$$K_3 = -\frac{H_m}{R+H_m} \cdot S_m, S_2 = S_m + K_3$$

$$S_2 = \frac{\sqrt{\frac{S_1^2 - \Delta H^2}{H} + \frac{H^2}{R}}}{\left(1 + \frac{H}{R}\right) \left(1 + \frac{H}{R}\right)}$$

1. Ortalama Kirişe İnd.

$$S_m = S_1 \cdot \cos(\beta_o + \Delta\beta_1 + \Delta\beta_2)$$

$$\Delta\beta_1 = \frac{(i-g+r-t) \cos \beta_o}{S_1} \cdot g \text{cc}$$

$$\Delta\beta_2 = 43,4'' \cdot S_1(k_m) \cdot \cos \beta_e$$

2. H=0 Yüzeyine İnd.

$$K_3 = -\frac{H_m}{R+H_m} \cdot S_m, S_2 = S_m + K_3$$

- c) Yer Eğriliği Düzeltmesi $K_4 = \frac{S_2^3}{24R^2}$ $D_2 = S_2 + K_4^{**})$

- d) Projeksiyon Düzeltmesi $K_5 = \frac{y_o^2}{2R^2} \cdot D_2$ $D_o = D_2 + K_5^{***})$

*) Üç boyutlu uzayda

***) Elipsoid üzerinde

****) Projeksiyon sisteminde

V e r i l e r	Uzaklık	Düs. Uz.	Düs. Mik.	Açıklamalar	Büyük Uzaklık		Kısa Uzaklık		
					A	B	A	B	
Verilenler	Ölçümler	S'		H Yükseklik (elipsoidal yükseklik)	2503,39	455,09	960,60	1938,70	
				y_0 Ortalama ordinat	59,65km		37,77km		
				R Eğrilik yarıçapı	6373,4km		6373,4 km		
				E.U.O(EDM)	Geodimeter 8		DI 38		
				β Yükseklik açısı			37,7566	37,7695	
				(Çekül sapması dikkate alınıyor)					
				1/t alet -işaret yuk.			1,505/1,612	1,612/1,505	
				g/r E.U.O.-raf. yuk.	0,31	0,40	1,453	1,687	
				(Eğer 1-t/g-r ise ind. yapılıır)					
				t'(°C) kuru sıcaklık	-4,4	10,7	6,0	1,0	
t'(°C) ıslak sıcaklık	-6	7	/	/					
P (mb) basınç	746,7	962	958,0	801,2					
(Ayar dikkate alınıyor)									
				Brüt uzaklık	46621,588m		1749,321		
Aletsel Düzeltmeler				a	Ek sabite		0,186m	0,005	
				k_0	$\Delta f/f = -0,5$ ppm (ölçek düzeltmesi)		-0,023	/	
				k_B	Sıklık düzeltmesi		ölçü yöntemi ile yok edilir.		ihmal ediliyor
				D			46621,751m	1749,326	
Meteorolojik Düzeltmeler				e buhar basıncı(mb)	2,98	7,65	/	/	
				n_0 (alet için öngörülen kırılma indisi)	1,0003086		1,000282		
				n kırılma indisi	1,0002248	1,0002740	1,000272	1,000232	
				$(n_A + n_B)/2$	1,0002494		1,000252		
				K'	1.Hız düzeltmesi		+2,760	0,052	
				D_1	46624,511				
K''	2. Hız düzeltmesi		-0,023	/					
D_y	46624,488								
Geometrik Düzeltmeler	Deniz Yüzeyin İndirgeme	Yükseklikler ile Doğrudan Tek Düs. ile	S ₁	K_1	Yörünge egr. düz.		-0,002	$D_y = S_1$	
				S ₁	46624,486		1749,378		
				ΔH Yükseklik farkı	2048,29		978,13		
				H_m Ortalama yükseklik	1479,24		1451,32		
				ΔH nedeniyle düzeltme	-45,015				
				Ortalama kiriş uz.	* 46579,471				
				Deniz yüz.ind.düz.	-10,806				
				H=0'daki Kiriş	46568,665				
				H=0'daki Kiriş	46568,666				
				$\beta_0 = (\beta_1 + \beta_2)/2$			37,7641		
$\beta_e = \beta_r + \beta_d (1-t/g-r \text{ nedeni ile})$; $\beta_e = \beta_c^*$			37,7712						
Ortalama kiriş uz.			1450,401						
Deniz yüz.ind.			-0,330						
H = 0 daki kiriş uz.			1450,071						
Yükseklik Açılırları ile	S ₂			K_3	Yer egr.düz.		0,103		
				D_2	H=0 daki uzunluk		46568,769		
				K_5	Projeksiyon düz.		+2,040	0,025	
				D_0	Projeksiyon sis.uz.		46570,809m	1450,096	

Sonuç

Günümüzde E.U.Ö. (Elektronik Uzaklık Ölçer)'ler yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar. İnceliklerinin de önemli ölçüde yükselmesi sonucu kenar ölçüsüne dayanan ölçme ve değerlendirmelerin artmasını sağlamıştır. Bilindiği gibi elektronik olarak ölçülen uzaklıklar eğik ve ham uzaklıklardır. Bunların projeksiyon düzlemine indirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada indirgeme baştan sona örnek verilerek sergilenmiştir. Yapılan inceleme sonucunda ölçek katsayısının $k_0 \leq 0,5$ ppm olması yaklaşık 2 km den küçük uzaklıklarda ölçek düzeltilmesi, 16 km den küçük uzaklıklarda ikinci hız düzeltilmesi, 38,5 km den küçük uzaklıklarda yörünge eğriliği düzeltilmesi, 10 km den küçük uzaklıklarda yer eğriliği düzeltilmesi 1 mm den küçük kalmaktadır. Bu nedenle eğer söz konusu kenar ölçüsü, yukarıda belirtilen sınır uzaklıklardan küçükse ölçek, ikinci hız, yörünge eğriliği ve yer eğriliği düzeltmelerinin ihmal edilebileceği görülmüştür. Bu sınırlar, 1mm ve daha küçük düzeltmelerin önemli olduğu durumlarda değişir. Projeksiyon düzeltilmesi ise hem kenar uzunluğunun hem de dilim orta meridyeninden olan uzaklığın fonksiyonudur.

KAYNAKLAR:

- (1) **Baumann, E.**, Vermessungskunde Band 2, Dümmers Verlag, Bonn 1985.
- (2) **Chaperon, F.**, Vermessungskunde, Institut für Geodasie und Photogrammetrie, ETH Zürich
- (3) **Deichl, K.und Reinhard, E.**, Zur Bestimmung des Brechungsindex bei der elektro-optischen Entfernungsmessung, AVN, 7/1969
- (4) **Höpcke, W.**, Über die Bahnkrümmung elektromagnetischer wellen, ZfV, Nr.6/1964.
- (5) **Kahmen, H.**, Elektronische Messverfahren in der Geodasie, Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe 1978.
- (6) **Kasser, M.**, Les Appareils Electromagnetiques De Mesures De Distances, Institut Geographique National, 1978.
- (7) **Kuntz, E.**, Meteorologische Reduktion elektronisch gemessener Strecken aus Standbeobachtungen, AVN, 7/1969
- (8) **Kuntz, E.**, Betrachtungen zum mittleren Brechungsindex in der elektronischen Entfernungsmessung, AVN, 7/1969
- (9) **Kuntz, E.**, Messung von Zenitdistanzen in der elektrooptischen Entfernungsmessung, AVN, 2)1970
- (10) **Özgen, G., ve Deniz, R.**, Elektromagnetik Dalgalarla Jeodezik Ölçmeler (OElektrometri), Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul 1986.
- (11) **Uzel, T.**, Jeodezik Amaçlı Elektromagnetik Ölçmeler Cilt I, İDMMA Y., İstanbul 1981
- (12) **Uzel, T.**, Jeodezik Amaçlı Elektromagnetik Ölçmeler Cilt II, Yıldız Üniversitesi Y., İstanbul 1984
- (13) **Van Den Herrewegen, M.**, Telemetrie Electro-optique, IGN, Bruxelles 19788
- (14) **Zetsche, H.**, Elektornische Entfernungsmessung (EDM), Stuttgart 1979.