

ÇEKÜL SAPMASI İÇİN Nİ 2 - ASTROLABIUM

Yazan : Ergun UĞUR
Harita Genel Müdürlüğü

1. ÇEKÜL SAPMASI VE JEODİ YÜKSEKLİĞİ :

Harita yapımına temel olacak koordinat değerlerinin hesaplanması ancak, matematik tanımlanma olanağı bulunan, referans yüzeyleri üstünde yürütülebilir. Referans yüzeyinin saptanmasında en büyük yaklaşımı elde edebilmek için, referans yüzeyi ile yeryuvarlağının asıl şekli (Jeoid) arasındaki ilişkileri bilmek gerekir.

Referans yüzeyi olarak ülkemizde Hayford Sferoidi kullanılıyor. Bu veya bir başka sferoid ile topografik harita yapımına temel olacak koordinat değerleri saptandığında, yaygın pratik hayata yetecek incelik elde edilebilir.

Ancak topografik harita yapımı dışındaki, uzun yürügelere hesaplanması, dinamik yüksekliklerin kullanılması, yer kabuğu kütle dağılımı ve yeraltı dinamiğinin araştırılması gibi, üst düzeyde pratik yaşamı da ilgilendiren, sorunlarla karşılaşıldığında, yüzeysel olarak veya kesitler boyunca Jeoid şeklinin bilinmesi gerekir. Öte yandan Jeoidin etüdü, uluslararası Jeodezi-Jeofizik disiplini içinde, yüz yıla yakın bir süreden beri, büyük ağırlıklarla programa alınmış bir konudur.

Bugünün olanakları ile Jeoidin şekli

- Astro-jeodezik yöntemlerle,
- Gravimetrik yöntemlerle,
- Satalit ölçmeleri ile irdelenebilmektedir.

Gravimetrik yöntem ve satalit ölçmeleri uzun, karmaşık ve pahalı yöntemler olduğundan, astro-jeodezik yöntem, görelî (rölatif) niteliğine karşın, gelişmiş ülkelerde de hâlâ uygulanma alanı bulmaktadır.

Jeoidin referans yüzeyine göre konumu, ya "Jeoid Yüksekliği" denilen, iki yüzey arasındaki yükseklik farkı ile veya "Çekül Sapması" ile belirlenir. Çekül sapması, doğal çekül doğrultusu ile referans yüzeyinin yüzey normali yani "matematik çekül doğrultusu" arasındaki açılal farktır.

Doğal çekül doğrultusu astronomik ölçmelerle, matematik çekül doğrultusu jeodezik ölçmelerle elde edilir. Yani kaba çizgileri ile çekül sapması, astronomik ve jeodezik değerler arasındaki fark ile ortaya çıkar.

Bil bölgede çekül sapması dağılımını yeterli yaklaşımla bulabilmek için, o bölgeye ait yeterli sıklıkta astronomik ve jeodezik değerler elde bulunması gerekir. Astronomik yoldan saptanmış enlem ve boylam değerleri φ ve λ ile, buna karşılık jeodezik koordinat değerlerinden hesaplanmış enlem ve boylam B ve L ile gösterilirse

$$\varphi - B = \left\{ \begin{array}{l} \text{Enlemde çekül sapması} \end{array} \right.$$

$$\lambda - L = \left\{ \begin{array}{l} \text{Boylamda çekül sapması} \end{array} \right.$$

$$(\lambda + L) \cos \varphi = \eta \quad \text{: Birinci düşey dairede çekül sapması}$$

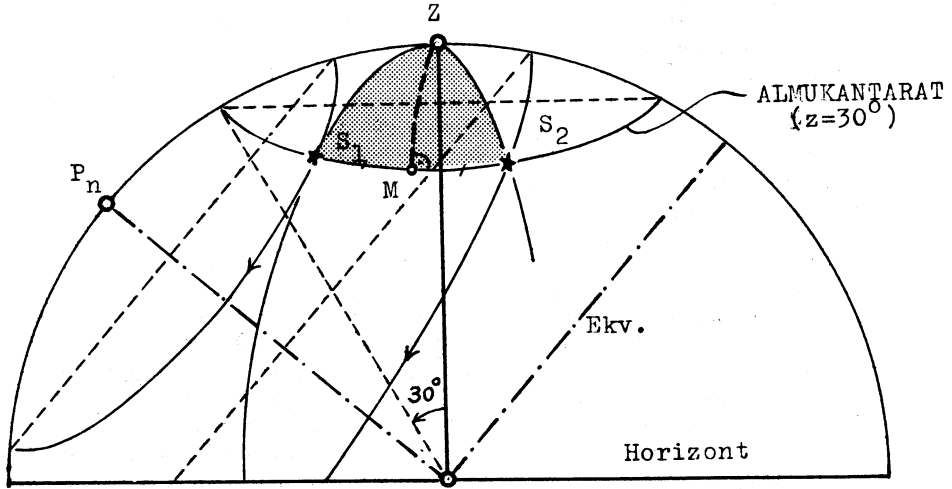
olarak, aranan değerin bileşenlerini oluşturur.

Yeterli sıklıkta φ ve λ değerinin elde bulundurulması, öteden beri jeodezi pratiğinin önemli sorunlarından biri olmuştur.

Universal aletlerle yürütülen astronomik gözlemler zaman alıcı ve pahalı işlemler olduğundan, özellikle toprakları büyük ülkelerde, bu yoldan astronomik noktaları sıklaştırma olanağı kolayca elde edilememektedir. Bu nedenle ötedenberi, istenen incelikte astronomik enlem ve boylam belirleme amacıyla yeni sistemler araştırılmaktadır.

2. EŞİT ALMUKANTARAT'TA GÖZLEM

φ ve λ nın birlikte saptanması yöntemlerinden birisi de, yıldızların günlük dönüşleri sırasında, aynı yatay paralel daire (Almukantarat) üstüne rasladıkları anların gözlenmesi ile geliştirilmiştir. (Şekil-1)



(Şekil:1)

Burada S_1 ve S_2 yıldızları, örneğin $z=30^\circ$ Almukantaratından geçerken, koreksiyonu belli U_1 ve U_2 zamanlarında gözlenirse, gözlem istasyonuna ait Z Zenit Noktasının yeri, iki geometrik yerin kesişme noktası olarak belirlenebilir. Bu geometrik yerlerden birisi yerel meridyen, diğeri S_1S_2 yayının sferik orta dikmesi olacaktır. Z noktasının yeri belirlendikten sonra buradan φ , ve U_1 ve U_2 zamanları yardımıyla da λ hesaplanabilir.

Eşit Almukantaratta gözlenen yıldızlar yardımıyla yer istasyonunun φ ve λ değerlerinin saptanmasında çoğunlukla İstasyon Hattı (Alm:Standlinie) yöntemi kullanılır.

3. İSTASYON HATTI YÖNTEMİ

İki yıldızın z_1 ve z_2 zenit distansları, herhangi iki U_1 ve U_2 zamanlarında ölçülürse (değişik Almukantaratlar), bunlar yardımıyla da φ ve ΔU saat düzeltmesi değerleri, kontrollü olarak hesaplanabilir (9).

Eğer n sayıda yıldızla ait z_i zenit distansları U_i zamanlarında ölçülürse, bir endirekt dengeleme için, önce φ' ve $\Delta U'$ yaklaşık değerlerinin hesabı gerekir.

Burada hesaplanan bütün yaklaşık ön değerler yardımıyla

$$z_i - z'_i = \Delta z_i = -\cos a'_i \cdot d\varphi - \sin a'_i \cdot \cos \varphi' \cdot d(\Delta U)$$

a_i : Kuzey Azimutu

şeklindeki gözlem denklemleri sistemi oluşturulur. Burada $d(\Delta U)$ ile $d\lambda$, eş anlamlı olarak değiştirilebilir.

$n=2$ sayıda yıldız için, bu şekilde iki bilinmeyenli iki denklem oluşacaktır. Bu denklemlerin çözümünü grafik yoldan da yürütebiliriz.

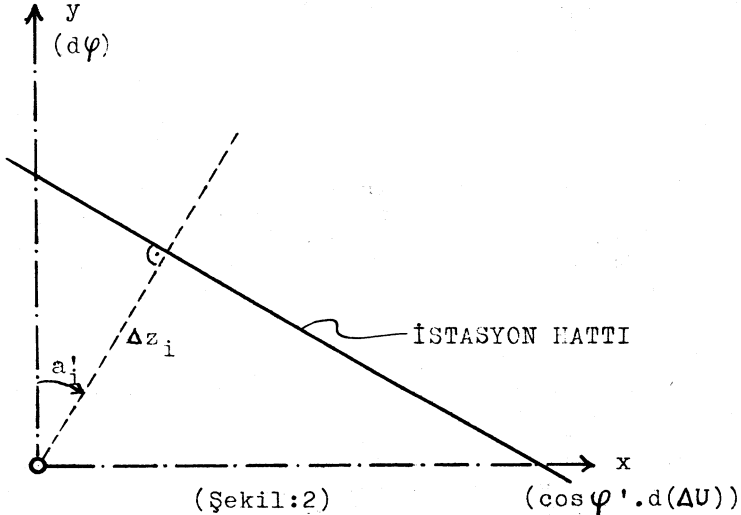
Bu durumda

$$d\varphi = y; \quad \cos \varphi' \cdot d(\Delta U) = x$$

olarak alınırsa

$$\Delta z_i = -\cos a'_i \cdot y - \sin a'_i \cdot x$$

eşitliği, orijin noktasından Δz_i uzaklıkta ve $a'_i + 90^\circ$ azimutta bir doğruyu belirler ki buna İstasyon Hattı denmektedir. (Şekil-2)



İki yıldızla ait istasyon hatları kesişme noktası x ve y değerlerini verecek; buradan da kesin φ ve ΔU (yani λ) değerleri bulunacaktır.

$n > 2$ olursa, çeşitli gözlem ve refraksiyon hataları nedeniyle, bütün istasyon hatları bir noktada kesişmez. Bu durumda bir dengeleme hesabı ge-

rekli olur.

Eşit Almukantarattan geçiş anlarının gözlenmesinde ise, birbirine eşit olan bütün zenit distansları başlangıçta yaklaşık olarak bilinir. Kesin değerlerin bilinmemesinin nedeni, alet konstrüksiyonunda mutlak doğruluğun sağlanamamasındadır. Ayrıca enlem ve zaman veya enlem ve boylam saptanacağına göre, bunların da yaklaşık değerlerine getirilecek düzeltmelerle birlikte yalnız üç bilinmeyen var demektir ve en az üç yıldızın gözlem programına alınması gerekir. n)3 için dengeleme gerekli olur.

STRUMPF'un "Üç Yükseklik Problemi" adıyla bilinen bu yönteme ait gözlem denklemleri:

$$\Delta z_i = -dz - \cos a_i \cdot d\varphi - \cos \varphi \cdot \sin a_i \cdot d(\Delta U)$$

şeklini alır. Buradaki

$\Delta z_i = z_k - z_i'$ dir. z_i' yaklaşık olarak ilgili bağıntılardan bulunan, z_k ise alette bağlı bulunan zenit distanslarıdır. Kesin zenit distansı $z_i = z_k + dz$ ile hesaplanacaktır.

Gözlem programlarına alınan yıldızlar için, ilk alet uygulama değerleri (yaklaşık zaman ve azimut)

$$\cos t_i = \cos z_k \cdot \sec \varphi \cdot \sec \delta_i - \tan \varphi \cdot \tan \delta_i$$

$$\cos a_i = -\tan \varphi \cdot \cot z_k + \sec \varphi \cdot \operatorname{cosec} z_k \cdot \sin \delta_i$$

bağıntıları ile hesaplanabilir.

Ni 2-Astrolabiumu ile ölçmede, bu uygulama değerlerinin zamanda 1-2 dakika, azimutta 1° kesinlikle hesaplanması yeterli olduğundan (1), bunların doğrudan doğruya ROELOFS'a ait grafiklerden alınması da mümkündür (8) de sayfa 223 ve 225"

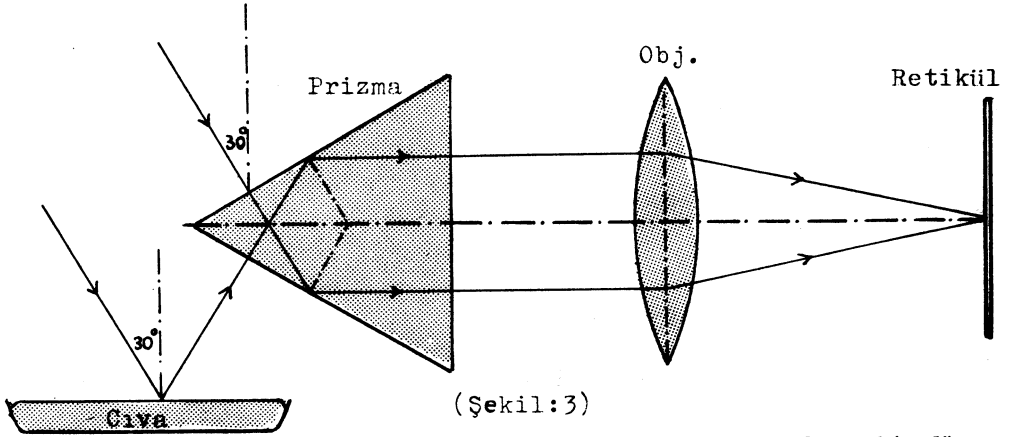
Eşit Almukantaratta gözlem yönteminde, özellikle, meteorolojik etkilere bağlı olarak refraksiyon etkisinin değişmesi de gözönünde tutulmalıdır. 30° lik zenit distansında refraksiyon, 1°C lik ısı değişimi ile $0,13''$ ve 1mmHg lik basınç değişimi ile $0,05''$ kadar değişmektedir. Bu etkilerin ve günlük aberrasyon etkisinin hesap içinde kullanılış yolları MÜHLIG tarafından açıkça gösterilmiştir. (4).

4. ASTROLAB TEKNİĞİNDE GELİŞME

Eşit Almukantaratta gözlem amacıyla alet geliştirme çabaları 18 nci yüzyıl sonlarında başlamış ve 19 ncu yüzyıl başında ilk aletler GAUSS ve DELAMBRE tarafından denenmiştir (10).

Bu "Ortak Zenit Distansı Yöntemi"nde kullanılan ve zenit distansındaki eşitliği yüksek prezisyonda garanti eden eski tip alet "Astrolabe à prisme" in konstrüksiyon ve çalışma ilkeleri genel çizgileri ile şöyledir. (Şekil-3)

Aletin en önemli iki bölümü, çekül doğrultusunu gerçekleştiren bir civa yatağı ile, kenarları yatay ve bir yüzeyi düşey olarak yerleştirilmiş bir eşkenar prizmadır.



Prizmanın düşey yüzeyi, mümkün olan incelikle, yatay duran bir dürbünün objektifi önüne getirilir. Ancak bu dürbün bir ölçü aracı olarak değil, yalnız bir büyütme ve karşılaştırma (koenside) aracı olarak kullanılır.

Yıldızdan gelen paralel ışın demetlerinden bir bölümü direkt, bir diğer bölümü cıva yüzeyinden yansyarak, prizma üzerinden dürbüne girerler.

30°lik sabit bir zenit distansına göre ayarlanmış bir düzende her iki ışın demeti, 30° lik bir düşme açısıyla geldiklerinde, prizmayı paralel ışın demetleri halinde terkedip retiküldeki yatay kıl üzerinde kesirler. Buna göre, optiğin ilkeleri uyarınca, dürbün objektifinin odak noktasında yalnız bir tane yıldız görüntüsü oluşur. Eğer zenit distansı 30° den farklı ise, o zaman ışın demetleri prizmayı ayrı yönlerde terkederek ve objektifin odak noktası yakınında iki ayrı yıldız görüntüsü oluştururlar. Yıldızın zenit distansı sürekli değiştiğinden, bu iki görüntü hareket halindedir. Yani görüntüler zaman içinde yaklaşır, birleşir ve uzaklaşırlar. Gözlemcinin görevi birleşme anını saptamaktır.

Bu ilkeye bağlı olarak yapılmış alet düzenlerinin sakıncalarından birisi, tek bir yatay ölçü kılıyla koenside anının yeterli incelikte saptanamaması, diğeri cıva yatağının en küçük sarsıntılardan etkilenmesidir.

Birinci sakıncayı olurunca ortadan kaldırmak için, oküler retikülü üzerine belli aralıklarla yardımcı yatay çizgiler çizmek ve koenside anından önce ve sonra da okuyuşlar yapmak düşünülmüştür.

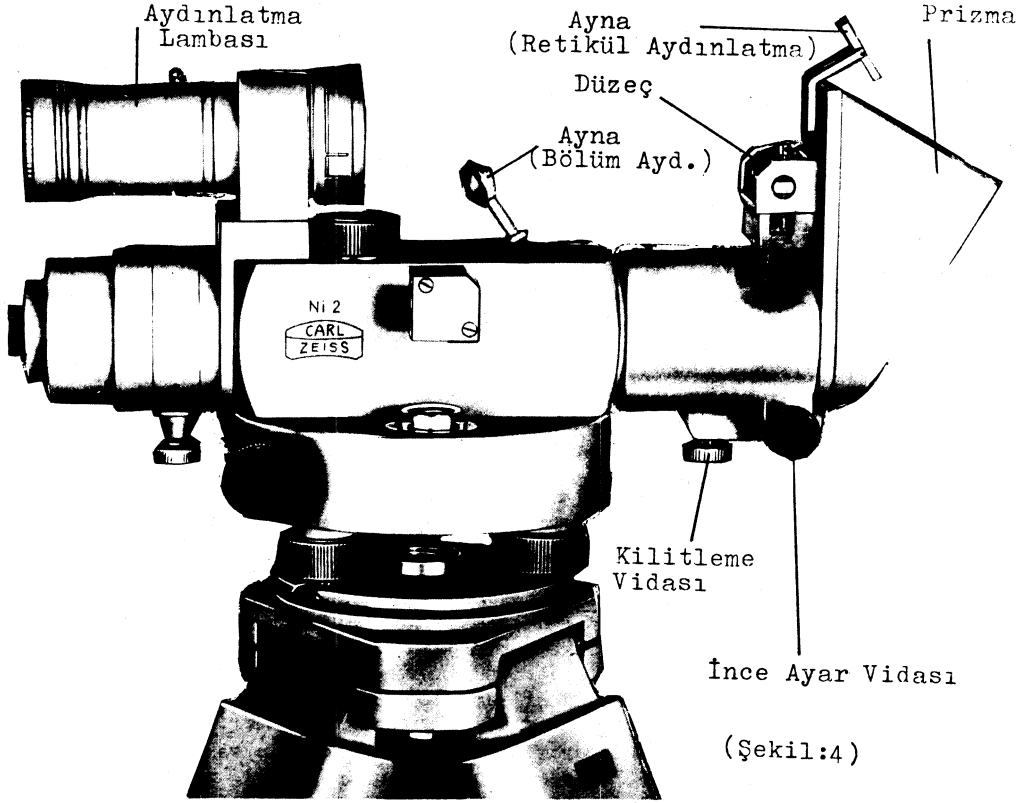
Bu amaçla K.YAŞAR, 1949 yılında bir Wild T3 - Astrolabını kullanırken, T3 oküleri önüne Hildebrandt universal teodolitinin oküler mikrometre retikülünü monte ederek, enlem belirlemede 1'nin altında doğruluk elde etmiştir. (10)

Diğer sakıncayı da olurunca gidermek üzere geliştirilen "Danjon Gayrisahsi Prizmatik Astrolab" gibi aletlerle enlem ve boylam değerleri çok yüksek inceliklerle elde edilmiş, ancak kurulan sistemin ayrıntısı ve ağırlığı, bunun ancak sabit istasyonlarda kullanılmasına olanak sağlamıştır.

'5)

5. Ni 2 - ASTROLABIUM

Zeiss Firmasının otomatik kompenzasyonlu nivelman aleti Ni 2'de, hedef ekseni, dürbünün durumuna bağlı kalmaksızın, çekül doğrultusu ile belirli bir açı yapar (Şekil-4)



(Şekil:4)

Dikkatli bir düzçelemeye bu sabit açı, dış etkenlerle bozulmayacak şekilde, 90° de tutulabilir. Ni 2 dürbünü önüne takılan bir 30° lik prizma, çekül doğrultusu ile 30° lik açı yapan bir hedef ekseni oluşturur. Yapımdaki zorunluluklar nedeniyle bu açı ancak $\pm 0,5''$ lik bir inceliğe sahiptir. Kesin değer, ölçülerin değerlendirilmesinden elde edileceği için, aslında bu 30° lik hedef doğrultusunun tam olarak oluşması da gerekli değildir. Burada iki ayrı görüntünün koenside edilmesi yerine, yıldızın retikül yatay kollarından geçiş anları saptanmaktadır. Bu nedenle bu düzende herhangi bir yatay yansıtma düzeyinin yapımına gerek duyulmamıştır.

Yaklaşık değerlerin saptanmasındaki kolaylıklardan ötürü, Ni 2-Astrolabium ile, diğerlerinde olduğu gibi, çoğunlukla İstasyon Hattı Yöntemine başvurulur.

Yaklaşık değerler ister ROELOFS grafiklerinden alınsın, isterse bu amaçla düzenlenmiş bir yıldız kataloğu kullanılsın (Örnek: Complete 60° Star Lists for Position Fixing by the Equal Altitude Method-Institute of Geographical Exploration, Harvard University), programın hazırlanmasında yıldızların dört dördüle dağılmasına özenle dikkat etmelidir.

Yıldız geçişlerini zamanca saptamak üzere, çift göstergeli stop saatleri kullanılabilirdiği gibi, diğer modern zaman saptama düzenlerinden de yararlanılabilir.

Ni 2 dürbünü retikülüne, orta kıldan uzaklaştıkça aralıkları artan 10 çift yatay çizgi çizilmiştir.

1960 yılında yapılan ilk deneme (1), 10 akşamda 4 ayrı programla sürdürülmüş ve her akşam 20 yıldız gözetlenmiştir. Bu şekilde bulunan değerlerin aritmetik ortalaması ile hesaplanan enlemdeki ortalama hata $\pm 0,10''$ kadardır. Bir tek enlem değeri saptamadaki hata ise $\pm 0,3''$ olarak bulunmuştur.

Boylam saptamada yapılan hata, zaman saptamadaki hata ile eşdeğerdir. Yukarıdaki denemede, stop saati ile, rüzgârlı hava için $\pm 0,16$ saniye, rüzgârsız hava için $\pm 0,13$ saniye değerleri bulunmuştur.

1960 yılından itibaren, IAG tavsiyeleri uyarınca, 48 nci enlem dairesinde RÖDDE tarafından sürdürülen, çekül sapması bileşenlerini saptamak amacıyla enlem-boylam ölçmeleri, tamamen Ni 2-Astrolabium ile yürütülmüştür. (7)

1970 yılından, Münih Teknik Üniversitesinden DEICHL tarafından, alete bir "gayrişahsi" (unpersönlich) mikrometre eklenmiş, ve prototip olarak geliştirilen bir prizma düzeni ile, boylam değerlerinde 1"nin altında doğruluk elde edilmiştir (2).

Gene DEICHL'in, Astrolabium ölçme ve değerlendirmeleri ile ilgili geniş kritiği, kaynak bölümünde verilen (3) de yer almaktadır.

Alman Jeodezi Komisyonunun (DGK), IUGG Grenoble toplantılarına sunduğu 1971-75 çalışma raporunda (11) Ni 2-Astrolabium'a geniş yer verilmiştir.

Buradan öğrendiğimize göre, Frankfurt Alman Jeodezi Enstitüsü (IfAG), Ni 2-Astrolabium ile çekül sapması saptamada yöntem geliştirmek amacıyla çalışmalarını kesif şekilde sürdürmektedir. Bu arada 48 nci Enlem Dairesi üzerindeki çift zincire ait 100 istasyonda, 8 Km aralıklarla çekül sapması ölçmeleri, 1974 sonunda tamamlanmıştır.

Ayrıca Stuttgart Üniversitesi Jeodezi Enstitüsüne ait, "Stuttgart Uzaysal Poligon Zinciri" araştırma ölçmeleri içinde, 8 er km aralıklı 10 nokta üzerinde Ni 2-Astrolab ile çekül doğrultuları, DKM3 ile, Pol Yıldızı gözlemlerinden, azimut açıları saptanmıştır.

RAMSAYER'in, astronomik ve geometrik nivelmanı karşılaştırarak astrometrik-trigonometrik yükseklik saptama amacıyla, programladığı bu ölçmele re ait ayrıntılı bilgi (6) numaralı kaynakta yer almıştır.

6. SONUÇ

Ülkemizde şimdiye kadar, birbirlerinden 100-200 km uzaklıktaki ölçmeleri 1940 ile 1950 yılları arasında yürütülen, 100 kadar Laplace Noktası dışında, jeodezik amaçlarla astronomik enlem ve boylam saptaması ya-

pılmamıştır. Bunlara ait Meşedağı ve Avrupa Başlangıcı çekül sapması değerleri, çeşitli yayınlarla verilmiş bulunmaktadır.

Belli kesitler boyunca bu ölçüleri sıklaştırma görevi, henüz herhangi bir programa alınmamıştır. Eldeki universal teodolit T-4 setti ile böyle bir program düzenlemek çok zor, hatta olanaksızdır.

Bu yöndeki araştırma ve değerlendirme çalışmaları gerekli görüldüğünde, Ni 2-Astrolabium gibi basit alet düzenleri ile bu çalışmaların programlara alınması, soruna gerçekçi bir çözüm getirebilir.

14 Aralık 1975

KAYNAKLAR

- (1) BARTELS : Erprobung des Zeiss Ni 2-Astrolabium für astronomisch-geodätische Ortsbestimmungen, ZfV 1961
- (2) DEICHL : Eine Vorrichtung zur unpersönlichen Registrierung der Zeit beim Ni 2-Astrolab, ZfV 1871, S.500-507
- (3) DEICHL : Zur Messung mit Pendelastrolabien und ihrer Auswertung, ZfV 1975, S.499-509
- (4) MÜHLIG : Grundlagen und Beobachtungsverfahren der Astronomisch-Geod"atischen Ortsbestimmung, Berlin 1960
- (5) MUELLER : Spherical and Practical Astronomy as Applied to Geodesy, New-York 1969
- (6) RAMSAYER : Untersuchungen eines geschlossenen Raumpolygonzugs, DGK A/80, 1974
- (7) RÖDDE : DGK, B/162, B/177, B/154, B/197, B/198
- (8) ROELOFS : Astronomy Applied to Land Surveying, Amsterdam 1950
- (9) SIGL : Geod"atische Astronomie, Karlsruhe 1975
- (10) YAŞAR : Jeodezik Astronomi, Harita Genel Müdürlüğü 1972
- (11) ----- : Landesbericht der Bundesrepublik Deutschland über in den Jahren 1971 bis 1974 ausgeführten Arbeiten (IUGG-Grenoble 1975) DGK B/212