

GÜNÜMÜZDE PRESİZYONLU UZUNLUK ÖLÇMELERİ VE ÖLÇEK BELİRLEME PROBLEMİ

Yar. Doç. Dr. Rasim DENİZ

1. JEODEZİK AĞLARIN ÖLÇEKLENDİRİLMESİ

Günümüzde, jeodezik ağılar teorik temelleri ve standartları farklı üç ayrı yoldan ölçeklendirilebilmektedir. Bunlar;

a- Mekanik araçlarla (latalar, invar şerit veya tel vb.) yapılan klasik baz ölçmeleri ile ölçeklendirme.

b- Elektromagnetik dalgaların değerlendirilmesine dayanan ölçmelerle ölçeklendirme.

c- Jeoide en uygun bir ortalama yer elipsoidinin ekvatoryal yarıçapının belirlenmesiyle oluşan elipsoide dayanarak yapılan satelit ölçmeleri ile ölçeklendirir. ¹

Bu bildiride, bu üç yöntemin standartlarının özellikleri ve bu yöntemlerle belirlenen ölçeklerin birbirlerine dönüştürülmesi için yapılan çalışmalar açıklanacaktır. Ancak daha önce uzunluk ölçme birimi metre ve buna ilişkin standartların güncel durumuna bir göz atmak yararlı olacaktır.

2- METRE VE TANIMI

Metre düşüncesi Fransız devrimi (1789) döneminde jeodezik ölçmelerle yeryuvarının şeklinin belirlenmesine ilişkin çalışmalar sonucu jeodezyenler tarafından ortaya atılmıştır. Bu zamanda, mevcut çok sayıda değişik uzunluk birimi yerine geçecek bir uluslararası birim amaçlanmış ve yeni birimin adı Yunancadan alınma ölçü anlamına gelen "metre" olmuştur. Bu dönemde, metre dörtte bir meridyenin 10.000.000 da biri olarak fiziksel anlamda gerçekleştirilmesi mümkün olmayan bir biçimde tanımlanmış ve X kesitli "arşiv metre"ler dökülmüştür. 1889 yılında ise bu arşiv metrelerden X kesite en uygun olanı uluslararası "prototip metre" olarak seçilmiştir. Bu tarihten sonra metrenin her zaman güvenilir olarak gerçekleştirilebilir bir tanımının yapılması üzerindeki çalışmalar devam etmiş ve 1960 yılında metre, $K_{r_{86}}$ gazı atomunun $2_{p_{10}}$ ve 5_{d_5} bölgeleri arasındaki geçişe uygun radyasyonun boşluktaki dalga boyunun $1.650.763.73$ katı olarak tanımlanmıştır. Bu tanım fiziksel olarak gerçekleştirilebilir bir "dalga boyu" standardına bağlıdır. Bu dalga boyu, PTB (Physikalish-Technische Bundesanstalt) denetiminde üretilen $K_{r_{86}}$ standart lamba ile istenildiğinde üretilebilmekte ve $\pm 4.10^{-9}$ oransal doğrulukla ölçülebilmektedir.

Bir elektromagnetik radyasyonun frekansını belirlemenin doğruluğu $\pm 6.10^{-10}$ mertebesinde. Bir elektromagnetik alanın dalganın dalga boyu ve frekansı ölçülürse $c = f \cdot \lambda$ bağıntısından ışık hızı belirlenebilir. Son senelerde, boşluktaki ışık hızı değeri belirlemeleri bu yöntemle yapılmaktadır. Frekans belirlemenin doğruluğu dalga boyuna göre daha yüksek olmasına rağmen ışık hızı değerinin doğruluğu da dalga boyunun doğruluğunda ($\pm 4.10^{-9}$) elde edilmektedir.

Metrenin doğruluğu şu anda jeodezide bir doğruluk sınırlaması oluşturmamaktadır. Çünkü jeodezik uzunluk ölçmelerinde ve ölçek belirlemede $\pm 1.10^{-6}$ doğruluğu bir standart olarak alınmıştır ve birçok çalışmada bu standarda ulaşmaya çalışılmaktadır.

3. MEKANİK ARAÇLARLA YAPILAN UZUNLUK ÖLÇMELERİ

Günümüzde mekanik araçlarla yapılan uzunluk ölçmeleri denildiğinde, invar şerit veya tellerle yapılan baz ölçmeleri anlaşılmaktadır. Söz konusu invar şerit ve tellerin ölçmeleri son senelere kadar laboratuvarlarda tesis edilen komparatorlarla belirlenmekte idi. Bu komparatorların ölçmeleri ise "kuartz metre"ler ile belirlenmektedir. Bu nedenle kuartz metre sistemlerini tarihsel gelişimi içinde kısaca gözden geçirmek yararlı olacaktır.

3.1- Kuartz Metre Sistemleri:

İlk kuartz metre kalibrasyonu 1933 yılında Kukkamaki tarafından yapılmıştır. Kukkamaki Finlandiya'nın 5 numaralı prototip metresini XV numaralı kuartz metre ile $\pm 0.3 \mu\text{m}$ doğrulukla karşılaştırmıştır. Bu kuartz metre sistemi Kukkamaki (K) sistemi olarak adlandırılmıştır. Aynı tarihlerde Almanya'da PTR (Physikalisch-Technische Reinsanalt) de de Almanya'nın 18 nolu prototip metresi ile I ve VIII nolu kuartz metreleri $\pm 1 \mu\text{m}$ doğrulukla karşılaştırılmıştır.

20 yıl sonra 1953 yılında VIII ve XI nolu kuartz metreler BIPM (Bureau International des Poids et Measures) de Terrein tarafından $\pm 0.1 \mu\text{m}$ doğrulukla kalibre edilmiştir. Bu sonuçlar Terrein (T) sistemi olarak adlandırılmıştır.

Vayzele, "K" ve "T" sistemleri arasında yaptığı çok sayıda karşılaştırma sonucunda iki sistem arasında $0.576 \mu\text{m}$ luk bir fark bulunmuştur.

Daha sonraki çalışmalar daha çok 42 ve 53 numaralı kuartz metreler üzerinde yapılmıştır. Bu iki kuartz metre 1961'de Vayzele ve 1962'de Oterma tarafından "T" sistemine göre kalibre edilmişlerdir. 1964 yılında ise aynı kuartz metreler PTB'de K_{r86} standardına göre Engelhard tarafından kalibre edilmişler ve sonuçlar "E" sistemi olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmanın sonucu "E" sisteminin "T" sisteminden $1.01 \mu\text{m}$ daha büyük olduğu bulunmuştur. Honkasalo 1969 yılında "T" sisteminin Φ

yük olduğu bulunmuştur. Honkasalo 1969 yılında "T" sisteminin $+1.03 \mu\text{m}$ ($1.03 \cdot 10^{-6}$) kadar düzeltilmesini önermiştir. Bundan sonra "T" sistemine göre ölçeklendirilen tüm bazlar (örneğin Almanya'daki 48 m.lik Münih bazı, Münih 1958 bazı, Göttingen 1961 bazı, vb.) buna göre düzeltilmiştir.²

Kuartz metre sistemlerinin tarihsel gelişim şeması Şekil: 1'de görülmektedir.

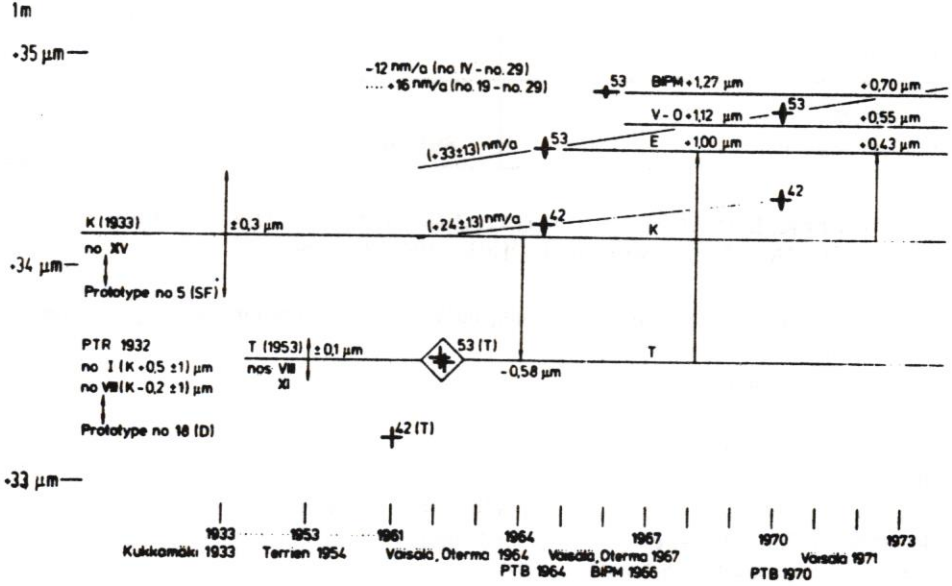
3.2- Invar Şerit ve Tellerin Kalibrasyonu:

Invar şerit veya tellerin kalibrasyonu amacıyla kullanılan Vayzele ışık enterferansı komparatoru ölçeğini doğrudan kuartz metreden almaktadır. Böylece invar şerit veya tel metre tanımına esas olan dalga boyu standardına göre ölçeklendirilmiş olmaktadır.

Invar şerit ve teller laboratuvarlarda yüksek doğruluklarda kalibre edilmelerine karşılık bu doğrulukların araziye taşınmadığı gözlenmiştir. Laboratuvar ve arazi koşulları arasındaki farklar belirlenmesi ve elemine edilmesi güç hatalara neden olmaktadır. Bu farklardan bazıları; invarların arazideki sıcaklıklarının belirlenmesi, invarların ölçmelerinin laboratuvar da mikroskopla arazide çıplak gözle okunması, şeritlerin laboratuvar da ve arazide farklı biçimlerde asılmaları, vb. olarak sayılabilir. Bu nedenlerle invar şerit

veya tellerin arazide oluşturulan "standart baz"larda kalibrasyonlarının en iyi sonucu verdiği saptanmıştır. Eğer kalibrasyon ve ölçmeler aynı ekip tarafından yapılırsa sistematik hatalar elemine edilebilmektedir.³

Calibrations of standards (nos. 42,53)



Şekil: 1 Kuartz metre sistemleri²

Önceleri invar şerit ve tellerin ve daha sonraları elektromagnetik uzaklık ölçeklerin kalibrasyonları amaçları için tesis edilen standart bazlar da Vayzele ışık enterferansı komparatoru ile ölçeklendirilir. Böylece dalga boyu standardı araziye taşınmış olmaktadır. Bu şekilde tesis edilen standart bazlardan bazıları aşağıdaki Çizelgede görülmektedir.

Bazin Adı, Ülke	Tesis Tarihi	Ortalama uzunluğu mm	Oransal doğruluğu
Nummela Finlandiya	1947	864 122.408	1:11 000 000
Buenos Aires Arjantin	1953	480 001.900	1:8 000 000
Loenermark Hollanda	1957	576 092.850	1:14 400 000
Mata des Virtues Portekiz	1962	480 054.710	1:9 600 000

Postdam Doğu Almanya	1964	480 013.240	1:12 000 000
Ohio ABD	1966	500 028.340	1:7 000 000
Pienaars River Güney Afrika	1976	437 007.380	1:6 000 000
Münich Batı Almanya	1958	864 065.050	1:10 800 000

4- ELEKTROMAGNETİK DALGALARIN DEĞERLENDİRİLMESİNE DAYANAN ÖLÇMELERLE ÖLÇEK BELİRLEME

Bilindiği gibi elektromagnetik dalgalarla uzunluk belirlemek için üç yöntem vardır. Bunlar;

- Enterferans yöntemi
- Impuls yöntemi
- Faz farkı ölçme yöntemi

dir.

Enterferans yöntemiyle uzunluk belirlemede ölçek doğrudan kuartz metre sistemi ile sağlanır. Günümüzde, bu yöntemle 864 metreye kadarki uzunluklar $\pm 1.10^{-7}$ mertebesinde doğruluklarla belirlenebilmektedir.

Impuls yöntemiyle uzunluk belirlemede ölçeği ışık hızı belirlemektedir ve yöntemin doğruluğu dalga boyu standardının doğruluğu ile sınırlıdır.

Faz farkı ölçerek uzunluk belirleme yönteminde ölçek modülasyon frekansı ile belirlenir. Uzaklık ölçerlerin modülasyon frekansları kuartz kristalleri üretilmektedir. Ancak kristallerin frekansları, çevre sıcaklığı değişimleri ve kristalin yaşlanması nedenleriyle değişmektedir. Bu nedenlerle presizyonlu uzunluk ölçmelerinde aletlerin modülasyon frekanslarının doğrudan ölçülmesi gerekmektedir. Frekans ölçmelerinde doğruluğu bilinen bir frekans ölçerin kullanılması ve tüm elektromagnetik uzaklık ölçmelerindeki ölçek birliğini sağlamak için frekans ölçerin kalibre edilebileceği ya da karşılaştırılabileceği bir "frekans standardı" gerekir.

5- GEOİDE EN UYGUN BİR ORTALAMA YER ELİPSOİDİNİN EKVATORYAL YARIÇAPININ BELİRLENMESİ

Yer elipsoidinin ekvatoryal yarıçapının belirlenmesi problemi geoide en uygun bir ortalama elipsoidin ölçeklendirilmesi problemdir. Bu problem; gravimetrik metodlar ile, astrojeodezik metodlar ile, dinamik ve geometrik satelit metodları ile çözülebilmektedir. Oluşan ölçek satelit ölçmeleriyle jeodezik ağların ölçeklendirilmesinde de kullanılabilir.

6- FARKLI ÖLÇEKLENDİRME YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI VE BİRBİRİNE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ

Birçok çalışmada değişik yöntemlerle belirlenen ölçekler arasında sistematik hatalar bulunmuştur.¹ Örneğin; İngiltere I. derece triyangülasyon ağı ile doppler ağı arasında 3-4 ppm mertebesinde sistematik ölçek farkı belirlenmiştir.

Yine, NAD (North American Datum) test ağına ve DMA (U.S. Defence Mapping Agency) Güneybatı test ağlarında, tellürometre, jeodimetre, invar şerit ve satelit ölçmelerinin birlikte değerlendirilmesi sonucunda signifikant sistematik farklılıklar bulunmuştur.⁴ Retrig'de de benzer problemlerin bulunduğu bilinmektedir.

Uzunluk birimine esas olan dalga boyu standardına uygun olarak bir ölçeklendirme yapabilmek için uygulamada, invar şeritlerin standart bazlarda kalibre edilmeleri elektromagnetik uzaklık ölçerlerin standart bazlarda veya standart bazlarda kalibre edilen uzaklık ölçer veya invar şeritlerle ölçeklendirilen kontrol bazlarında kalibre edilmeleri gerekmektedir.

Satelit ağları ile mekanik veya elektromagnetik olarak ölçeklendirilen ağlar arasında ölçek uyusumunu sağlayabilmek için gerçekleştirilen önemli üç uygulama örnek olarak alınabilir.

Bu uygulamalardan ilki ABD'nin sıfıncı derece ağı Transcontinental Traverse (TCT)'dir. Ağın ölçmeleri 1960'da başlamış ve 1976'da bitmiştir. Ağın ölçeklendirilmesi jeodimetre model 2, 4, 4L ve 8 ile yapılmıştır. Bu aletlerin kalibrasyonları ise 1965 yılına kadar değişik bazlarda ve bu tarihten sonra Virginia'daki Mitchell bazında yapılmıştır. Bu bazın oransal doğruluğu 1:1 900 000 olarak verilmektedir.⁵

İkinci önemli uygulama uluslararası satelit komisyonunun Batı Avrupa alt komisyonu ve Retrig komisyonu tarafından 1969 yılında kararlaştırılan Troms-Catania arasında Avrupayı kuzey-güney doğrultusunda kesen 3456 km.lik satelit bazı ile Malvern-Graz arasında Avrupa'yı doğu-batı doğrultusunda kesen 1400 km.lik satelit bazıdır. Zincir ağ biçiminde oluşturulan bu bazların ölçeklendirilmesinde kullanılan elektromagnetik uzaklık ölçeklerin kalibrasyonları Almanya'daki bazlar ile Finlandiya'daki 22.2 km uzunluğundaki meşhur Niinisalo bazında yapılmıştır. Bu bazın oransal doğruluğu 1:7 400 000 olarak verilmektedir.⁶

Üçüncü uygulama Finlandiya'nın 888 km.lik yüksek presizyonlu poligonudur. Bu ağın ölçeklendirilmesinde kullanılan elektromagnetik uzaklık ölçerler de yine Niinisalo bazında kalibre edilmiştir.³

7- ÜLKEMİZDEKİ DURUM VE ÖNERİLER

Ülkemizde ilk standart baz düşüncesi 1930'lu yıllarda ortaya atılmıştır.⁷ Birinci derece nirengi ağının bazlarının ölçülmesinde kullanılan invar şerit ve tellerin kalibrasyonları (1942 ila 1949 yılları arasında) Ankara'da tesis edilen "Mukayese Bazı"nda yapılmıştır.⁸ Baz ölçmeleritamamlandıktan sonra bu mukayese bazı yaşıtılamamıştır.

Günümüzde dalga boyu standardına göre presizyonlu ölçek alınabilecek bir standart bazımız yoktur. Böyle bir bazın acilen tesis edilmesi zorunludur. Ayrıca bu standart bazda kalibre edilen şerit teller veya elektromagnetik uzaklık ölçerlerle ölçeklendirilecek çok sayıda kontrol bazının tesis edilmesi gerekmektedir.

Standart bazlar ve elektromagnetik uzaklık ölçerlerin kalibrasyonları amacıyla tesis edilen kontrol bazları, tüm çalışmalarda standart ve presizyonlu ölçeklendirmeyi sağlayacaktır.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- (1) E. Reinhard: "Opening Speech" of IAG Symposium High Precision Geodetic Length Measurement, June 19-22 1978, Helsinki.
- (2) Friedrich Bayer-Helms: Calibrations on Vaisala Standards, IAG Symposium on "High precision geodetic length measurements", June 19-22, 1978 Helsinki.
- (3) Juhani Kakkuri: The baselines of the Finnish first-order triangulation net, IAG, Symposium on "High precision geodetic length measurements, June 19-22, 1978, Helsinki.
- (4) A. Ashkenazi: Models for Controlling National and Continental Networks, Bulletin Geodesique 55, 1981.
- (5) Charles J. Fronczek: Realistic Length Accuracies, IAG Symposium on "High precision geodetic length measurements" June 19-22, 1978, Helsinki.
- (6) E. Reinhard, R. Sigl, H. Treme: High Precision Length Measurements by the German Geodetic Research Institute, IAG symposium on "High precision geodetic Length measurements" June 19-22, 1978, Helsinki.
- (7) Binbaşı Niyazi: Balıkesir Ovasında Dılı Esas (baz) Mesahası, T.C. Haritacılar Mecmuası, 3, 1934.
- (8) Yük. Müh. Yb. Selahattin Sevgör: Türkiye Birinci Derece Nirengi İşine ve Şebeke-sine Genel Bakış, Harita Dergisi, 43, 1951.