

JEODEZİK DEFORMASYON AĞLARININ GPS YÖNTEMİ İLE ÖLÇÜLMESİ ve BİR UYGULAMA

Turgut UZEL⁽¹⁾
Kamil EREN⁽²⁾
R. Gürsel HOŞBAŞ⁽¹⁾
Fahri KARTAL⁽¹⁾
Nihat ERSOY⁽¹⁾
Göknil ERKÜÇÜK⁽¹⁾

ÖZET

Büyük mühendislik yapılarından birisi olan barajların ve çevresinin güvenliği için jeodezik ölçmeler kaçınılmazdır. Bu tür çalışmalarda günümüze kadar klasik doğrultu ve uzunluk ölçümüne dayanan ölçme yöntemleri kullanılmıştır. Yapay uyduların 1980'li yıllardan sonra jeodezik amaçlı olarak kullanılmaya başlanması ile birlikte yeni ölçme yöntemleri de uygulamaya girmiştir. Bu yazıda ülkemizdeki büyük mühendislik yapılarından biri olan Oymapınar Barajı'ndaki deformasyonları belirlemek için tesis edilen jeodezik ağ, ilk kez GPS yöntemi ile ölçülmüştür. GPS ölçülerinden hesaplanan koordinatlar, önceki yıllarda elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış, bu tür çalışmalarda dikkat edilmesi gereken hususlar belirlenmiştir.

1. GİRİŞ

Jeodezik ölçmelerin uygulama alanlarından biri de mühendislik yapılarındaki şekil ve konum değişikliklerinin belirlenmesidir. Bir mühendislik yapısının veya onun temelini davranışını öğrenmek, o yapının ve temelini etkinliği üzerinde çalışıp, iç ve dış doğasına ilişkin gözlem verileri değerlendirilerek mümkün olabilir. Elde edilen bu bilginin birinci derecede önemi, yapının güven içerisinde olup olmadığının belirlenmesi olup, ayrıca ileride yapılacak benzer türdeki mühendislik yapılarının tasarımında kullanılmak üzere yeni kriterler de elde edilmiş olur (Uzel 1989).

Önceki yıllarda mühendislik yapılarındaki jeodezik çalışmalara gereken önemin verilmemesi sonucu insanlar maddi ve manevi kayıplara uğramışlardır. Geçmişte yaşanan acı tecrübelerden ders alınarak, artık günümüzde bu çalışmalar jeodeziciler tarafından başarı ile yapılmakta ve olası bir felakete karşı gerekli tedbirlerin alınmasına öncülük etmektedirler. Mühendislik yapılarındaki bu amaçla yapılan çalışmalar deformasyon ölçmeleri olarak adlandırılmaktadır. Deformasyon ölçüsü, yeryüzündeki noktanın herhangi bir nedenle yer değiştirmesinin belirlenmesi için yapılan ölçülere denir, (Uzel 1989, Tüdeş 1982). Yer değiştirmenin belirlenmesi için öncelikle referans

(1) YTÜ Jeodezi ve Foto. Müh. Bölümü

(2) ODTÜ İnşaat Müh. Bölümü

noktalarına ihtiyaç vardır. Çünkü bir noktanın kendisiyle aynı hareketi yapan noktaya göre kayması sıfırdır. Halbuki nokta sabit kalmamış, hareket etmiştir. Bu nedenle deformasyon ölçülerinde en önemli hususlardan birisi, sabit (referans) noktalarının belirlenmesidir, (Tüdeş 1982).

Sabit noktaların belirlenmesinde jeodeziciler iki farklı düşünce ortaya koymuşlardır. Bunlardan birincisi, iki ölçme dönemi arasında referans noktalarını aynı nokta alırken, ikinci grup ayrı nokta olarak yorumlamaktadır. Birinci grup, nokta hareketlerini referans noktaları ile tanımlanan datuma dayandırırken, ikinci grup tek nokta hareketlerini bir bütün olarak referans noktaları kumesine dayandırmaktadır (Hoşbaş, 1993).

Klasik ölçmeler olarak adlandırılan bu yöntemler günümüze kadar başarı ile uygulanagelmıştır. 1970'li yıllardan sonra uydu teknolojisinde meydana gelen gelişmeler ölçme mühendisliğini etkilemiştir. Bu gelişmelerin sonucu olarak ortaya çıkan GPS (Global Positioning System) klasik yöntemlerin yerini almıştır.

1984 yılından sonra, olağanüstü duyarlılığı, sürati ve ekonomik olması nedenleri ile GPS tekniklerinin, dünyada kullanılması hızlı bir şekilde yaygınlaşmıştır. GPS, ölçüm teknolojisinde yeni bir çığır açmış, jeodezik ve fotogrametrik uygulamalarda karşılaşılan bazı problemlere çözüm olmuştur. Ölçüm esnasında noktalar arasındaki görüş zorunluluğunu ortadan kaldırması, hava koşullarından etkilenmemesi ve genelde ekonomik oluşu gibi özellikleri GPS'in klasik ölçme yöntemlerine alternatif olmada en önemli avantajlarıdır. Dünya'nın herhangi bir yerinden, herhangi bir zamanda, hassas bir şekilde konum, hız ve zaman belirlenebilmektedir. Bazı uzunluğuna ve uydu sayısına bağlı olarak 1-2 saatlik ölçülerden sadece birkaç saniyelik ölçüye varan bir aralıkta kontrol noktalarını 2×10^{-6} - 10^{-8} mertebelerinde koordinatlandırmak mümkündür (Eren 1994b).

GPS uygulamalarının, gelişmiş bir çok ülkede rutin bir uygulama haline geldiği ve üretimde yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir. Üzülerek söyleyebiliriz ki bir çok konuda olduğu gibi bu teknolojinin kullanılmasında da ülkemiz geç kalmıştır.

Klasik yöntemlere göre 10 - 100 kat daha duyarlı olması ve yukarıda açıklanan özellikleri sayesinde GPS, deformasyon ölçmelerinde de başarı ile kullanılabilir.

Oymapınar Barajı'ndaki jeodezik deformasyon ağı, aşağıdaki bölümlerde açıklanacağı gibi 1985 yılından bu yana klasik yöntemlerle ölçülmektedir. Bu jeodezik deformasyon ağı 1994 yılı, Ağustos ayında Yıldız Teknik Üniversitesi ve Darmstadt Teknik Üniversitesi (Almanya) tarafından GPS yöntemi kullanılarak ortaklaşa ölçülmüştür.

2. OYMAPINAR BARAJI ve JEODEZİK KONTROL AĞI

Antalya'nın, Manavgat ilçesine 18 km. uzaklıkta kurulan baraj, 10 yıldan beri elektrik üretmektedir. Baraj gövdesinin kret uzunluğu 350 m, genişliği 9 m. ve yüksekliği 185 m olan çift eğrilikli beton kemer baraj olması nedeniyle önemli bir mühendislik yapısıdır (Şekil 1).

Bu barajın yapı olarak güven içinde olup olmadığını belirlemek, ayrıca baraj ve rezervuarı çevreleyen, rezervuar suyu ile temas halindeki arazinin davranışlarını kontrol altında tutmak için, deformasyon ağı olarak adlandırılan mikrojeodezik bir deformasyon ağı kurulmuştur.

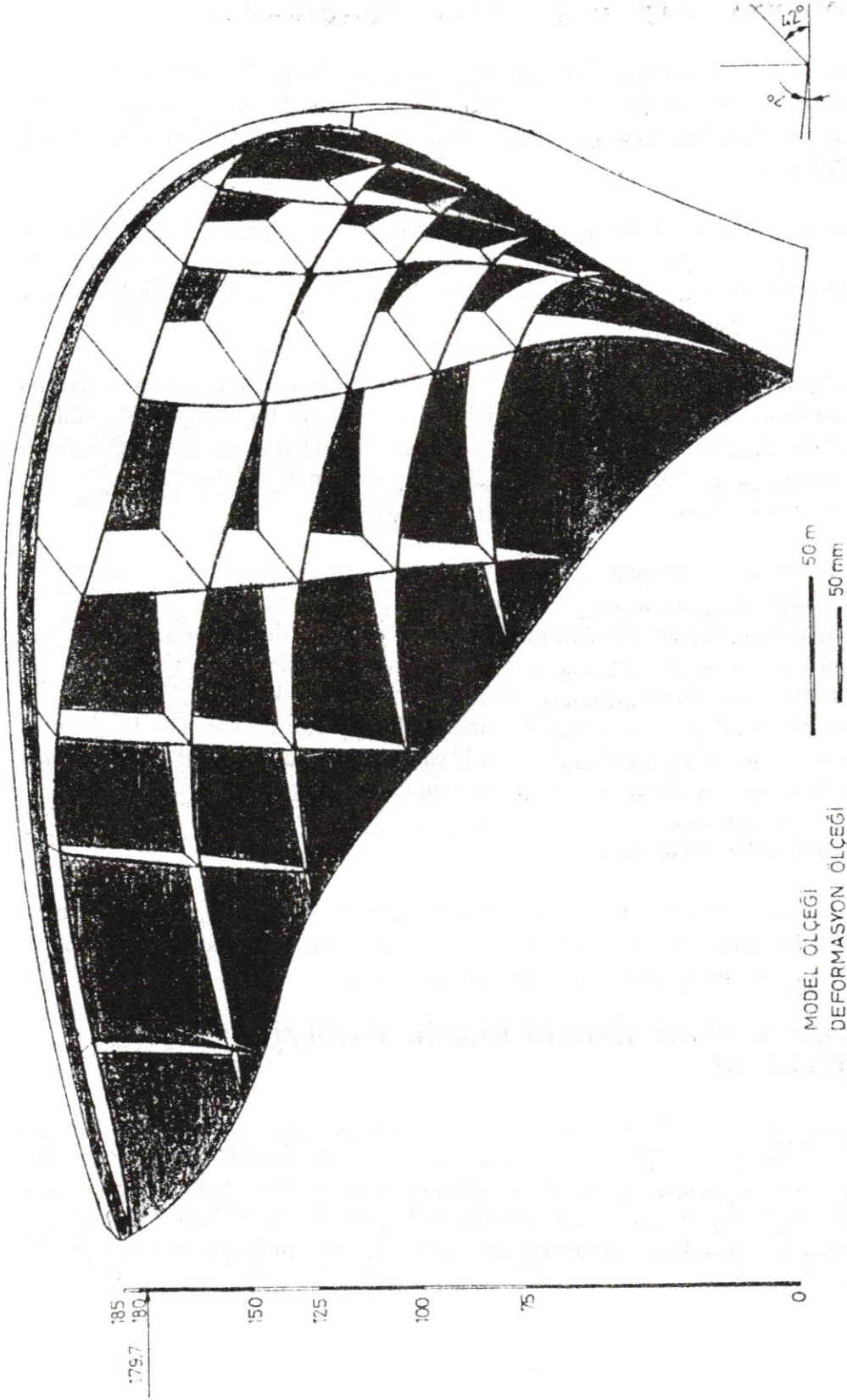
Yapılan çalışma deformasyon belirlemeye yönelik olduğu için referans noktalarının zemin tesisinde pilyeler kullanılmıştır. Referans noktalarının bu şekilde tesis edilmiş olması GPS alıcılarının merkezleştirme ve anten yüksekliğini ölçmede gelebilecek hataları minimum değerlerde tutmayı da sağlamıştır. Obje noktaları ise barajın mansap yüzüne yerleştirilmiş bulunan optik hedeflerle belirtilmiştir.

Bu ağ kurulurken, membadan mansaba doğru uzanan yatay zemin hareketlerini gösteren kritik noktalar seçilmiştir. Ayrıca bu ağa ait bazı noktalar, baraj gövdesinin mutlak deformasyonlarının belirlenebilmesi için, baraj gövdesine yerleştirilen obje noktalarına yapılacak gözlemlere olanak sağlayacak tarzda optimum olarak yerleştirilmiştir. Sabit referans noktaları olarak adlandırılan toplam 10 nokta ile barajın mansap yüzüne yerleştirilen 25 obje noktasından oluşan deformasyon ağında (Şekil 2) 1985' den bu yana periyodik olarak yapılan klasik ölçmeler değerlendirilerek bulunan koordinat farklarından deformasyonlar belirlenmiştir. Klasik ölçülerin analizi, iki boyutlu yatay konumu belirlemek için doğrultu ve kenar gözlemlerinin değerlendirilmesiyle yapılmıştır.

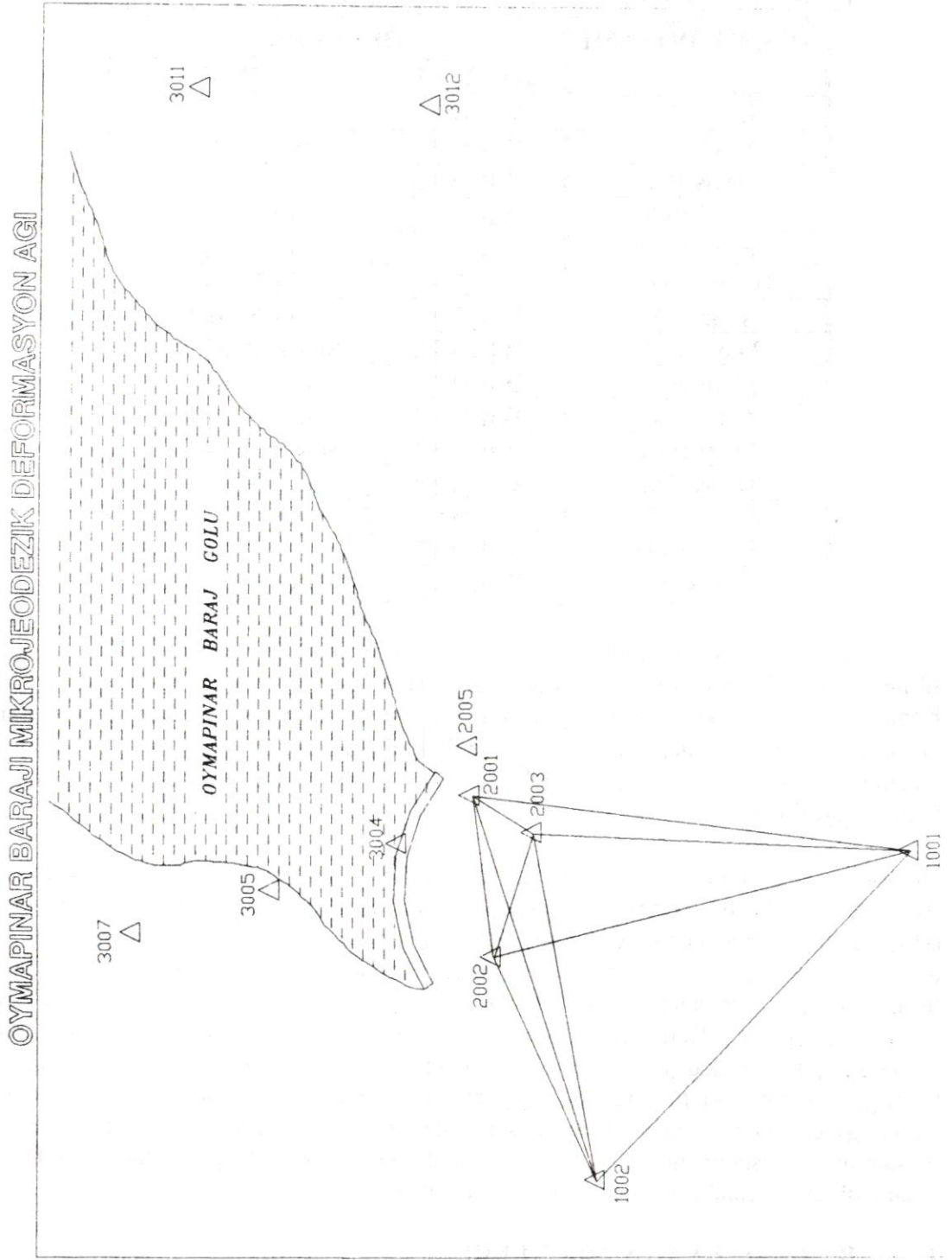
1984'lü yıllardan sonra kullanılmaya başlanan GPS teknikleri ile, barajdaki olası hareketleri belirlemek için tesis edilmiş olan mikrojeodezik deformasyon ağı yeni bir yaklaşım olarak GPS ölçmeleri yapılarak değerlendirildi.

3. BARAJDA YAPILAN ÖNCEKİ KLASİK JEODEZİK ÖLÇMELER ve SONUÇLARI

Oymapınar Barajı jeodezik deformasyon ağı, ilk olarak baraj rezervuarının dolumu esnasında (08.08.1983 / 07.03.1984) toplam 17 ölçme döneminde gözlenmiştir. Bu ölçmeler bir Alman firması tarafından gerçekleştirilmiştir. 1985 Eylül ayından bu yana çalışmalarını sürdüren Y.T.Ü. Araştırma Grubu bugüne kadar 17 ölçme döneminde klasik jeodezik ölçmelerle deformasyon belirleme çalışmalarını sürdürmektedir (Tablo1).



Şekil 1 Baraj Gövdesinin ve Deformasyonlarının Perspektif Görünüşü (Kalsık Ölçme Yöntemiyle)



Şekil 2. Oymapınar Barajı Deformasyon Ağı

Tablo 1. Oymapınar Barajı Jeodezik Deformasyon Ağı Ölçme Dönemleri

ÖLÇME DÖNEMİ	ÖLÇÜLER	
	DOĞRULTU	KENAR
Eylül 1985	WILD T3	WILD DI 4L
Aralık 1985	WILD T3	WILD DI 4L
Mayıs 1986	WILD T3	FEN 2000
Eylül 1986	WILD T3	FEN 2000
Eylül 1987	WILD T2	FEN 2000
Temmuz 1988	WILD T3	FEN 2000
Nisan 1989	WILD T3	FEN 2000
Mayıs 1990	WILD T2	SOKKIA RED 2A
Ekim 1990	WILD T2	SOKKIA RED 2A
Mart 1991	WILD T2	SOKKIA RED 2A
Ekim 1991	WILD T2	SOKKIA RED 2A
Mayıs 1992	WILD T2	SOKKIA RED 2A
Mayıs 1993	WILD T2	SOKKIA RED 2A
Şubat 1994	WILD T2	SOKKIA RED 2A
Ağustos 1994	WILD T2	SOKKIA RED 2A

Bütün bu ölçme dönemlerinde referans noktaları arasındaki yatay doğrultular 4 tam silsile, obje noktaları arasındaki doğrultular ise 2 tam silsile şeklinde ölçülmüştür. Kenarlar ise karşılıklı olarak gözlenmiştir. Yatay doğrultu ölçülerinde ulaşılan duyarlık referans noktalarında $\pm 3''$, obje noktalarında ise $\pm 5''$ dir. Kenar ölçülerinde kullanılan elektronik uzunluk ölçerlerin nominal duyarlılığı ise 5mm+5 ppm ile 5mm+3 ppm' dir.

Deformasyon ölçülerinin analizinde Karlsruhe Üniversitesi Jeodezi Enstitüsü Araştırma Grubu'na ortaya konulan yöntem değiştirilip geliştirilerek uygulandı (Hoşbaş 1993). Her ölçme döneminde jeodezik ölçüler serbest dengeleme yöntemi ile dengelendi. Önce çok boyutlu test (Stokastik Model testi) uygulandı. Çok boyutlu testin olumsuz yanıtlandığı durumlarda tek boyutlu test uygulanarak uyumsuz ölçüler ayıklandı. Referans noktalarının stabilitesi belirlendikten sonra obje noktalarındaki yer değiştirme vektörleri hesaplandı. Bu analiz çalışmaları sonucunda baraj gövdesinin beklenen davranışını gösterdiği görüldü. Gövde üzerinde etkili olan parametrelere bağlı olarak, aynı kottaki obje noktalarında barajın aksındakilerde maksimum, mesnete doğru simetrik noktalarda küçük ve alt kotlara inildikçe küçülerek aynı özellikleri gösteren deformasyonlar belirlendi.

4. BARAJDAKİ GPS ÖLÇÜLERİ

GPS ile yapılan ölçüler sonucunda hesaplanan koordinatlar, doğal olarak WGS-84

datumunda elde edilir. Yeterli sayıda ortak nokta varsa, bu datumdaki (elipsoid, $a=6378137$ m $f=1/298.257223563$) koordinatları Ulusal sistem olan ED-50 datumundaki (elipsoid $a=6378388$ m , $f=1/297$) koordinatlara dönüştürmek mümkündür.

GPS ölçülerinde elde edilen hassasiyet :

- ♦ Konum belirlemede kullanılan yöntem (Statik, Hızlı statik ,Kinematik),
- ♦ GPS ölçülerinin duyarlılığı,
- ♦ Ölçü zamanındaki uyduların geometrisi,
- ♦ Ölçü süresi,
- ♦ Değerlendirmede kullanılan yazılım ve
- ♦ Atmosferik şartlara bağlıdır.

Günümüzde ulaşılan doğruluk üç boyutlu mutlak konum belirlemede $\pm 5 - 50$ m , bağlı konum belirlemede ise $0.01 - 2$ ppm arasındadır.

Bu projede dört adet **TRIMBLE 4000SSE Geodetic System Surveyor** alıcısı kullanıldı (İkisi Yıldız Teknik Üniversitesi, ikisi Darmstadt Teknik Üniversitesi tarafından temin edildi). Bu alıcılar GPS teknolojisinin en güçlü ürünleri arasında gösterilmekte olup çift frekanslı, uydulardan gelen her türlü kod ve taşıyıcıyı ölçebilen ve bunlara ek olarak , P-kodu kilitlendiği zaman çapraz korelasyon tekniğini kullanarak bu kod üzerinde gelen L2 sinyallerini ölçebilme özelliğine sahiptir (TRIMVEC, 1993). Söz konusu projede statik GPS yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile ilgili kısa açıklayıcı bilgiler ve arazi ölçüleri aşağıda sunulmaktadır.

Eş zamanlı GPS ölçüleri ile, ilgili istasyonlar arasındaki baz vektörleri duyarlı olarak belirlenir. Dolayısıyla en az iki GPS alıcısı, konumu bilinen istasyonla koordinatları belirlenecek istasyon arasındaki baz uzunluğuna ve beklenen duyarlılığa göre 1 saat veya daha fazla süre ile uydulardan gelen sinyalleri eşzamanlı olarak ölçer. Yapılan bu ölçülerin değerlendirilmesi sonucunda alıcıların bulunduğu istasyonlar arasındaki baz vektörünün ΔX , ΔY , ΔZ bileşenleri hesaplanır. Birinci istasyonun koordinatları biliniyorsa, bu vektör bileşenleri sayesinde 2. noktanın da koordinatları belirlenebilir. Benzer şekilde, alıcılardan en az biri önceden bilinen veya belirlenen istasyonda olmak kaydıyla diğer GPS oturumları planlanır (Eren 1994a).

Bu projede, GPS deformasyon ağı oluşturulurken yeterli serbestlik derecesi elde etmek ve sonuçta hesaplanan nokta konum hatalarını minimum boyutlarda tutmak için, statik olarak ölçülen noktaların kapalı bir şekil oluşturması sağlandı. Statik GPS ölçüleri herbiri yaklaşık 2.5 saat zaman uzunluğunda olmak üzere 6 oturumda yapıldı. Ölçülere başlamadan önce uydu gözlem aralıklarındaki uydu sayısını ve PDOP' u öğrenmek için Şekil 3 de görülen grafik incelendi. Grafikten de anlaşılabacağı gibi iyi bir PDOP' un mevcut olduğu ve tüm gün boyunca uydu sayısının GPS ölçme teknikleri

için fevkalade iyi olduğu gözlemlendi. Bu kriterler dikkate alınarak ana ağ için Tablo 2’de görülen statik GPS ölçüleri planlandı ve uygulandı.

Tablo 2. Deformasyon Ağı Statik GPS ölçü planı

Tarih	Zaman	Oturum No	Ölçülen Noktalar			
05.08.94	13.30 - 16.00	1	2001	2002	2003	2005
	16.45 - 19.15	2	1002	2002	2003	1001
06.08.94	10.00 - 12.30	3	3004	2002	3005	2005
	15.30 - 18.00	4	3007	3012	3005	2005
	18.30 - 20.30	5	3007	3012	1001	3011
07.08.94	07.00 - 10.00	6	1001	1002	2005	3005

Number SVs and PDOP

Point: ANTALYA

Date: Sunday, August 07, 1994

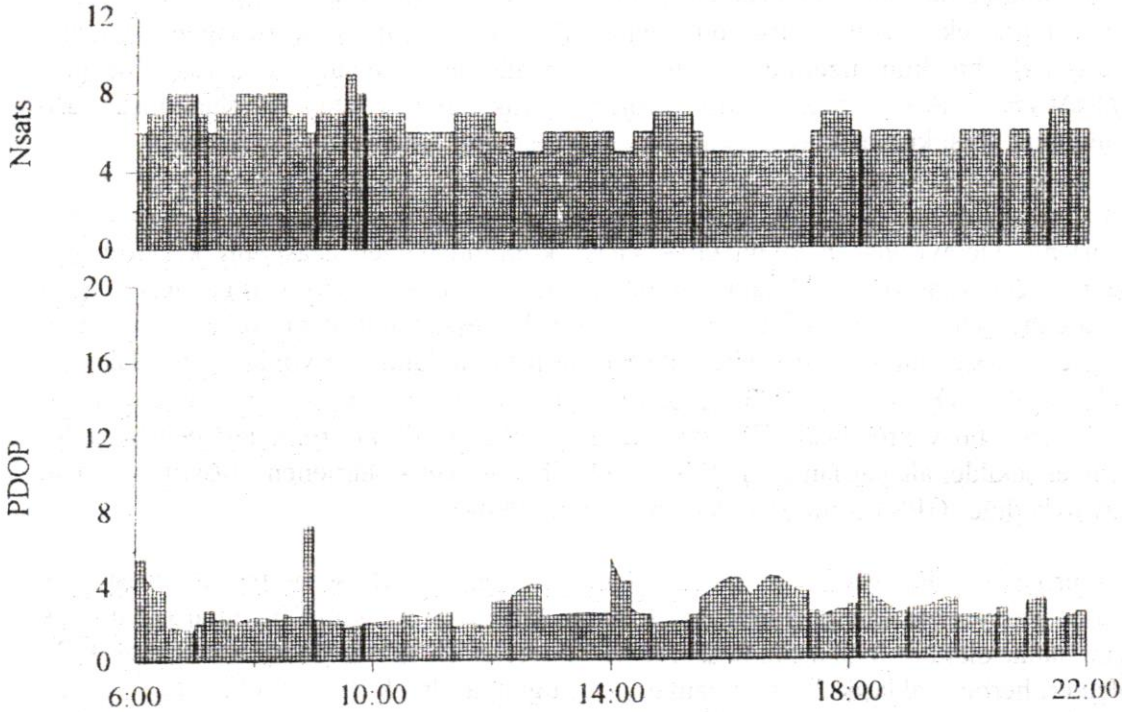
25 Satellites considered : 1 2 4 5 6 7 9 12 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 31

Lat 36.54.0 N Lon 31.32.0 E

Threshold Elevation 15 (deg)

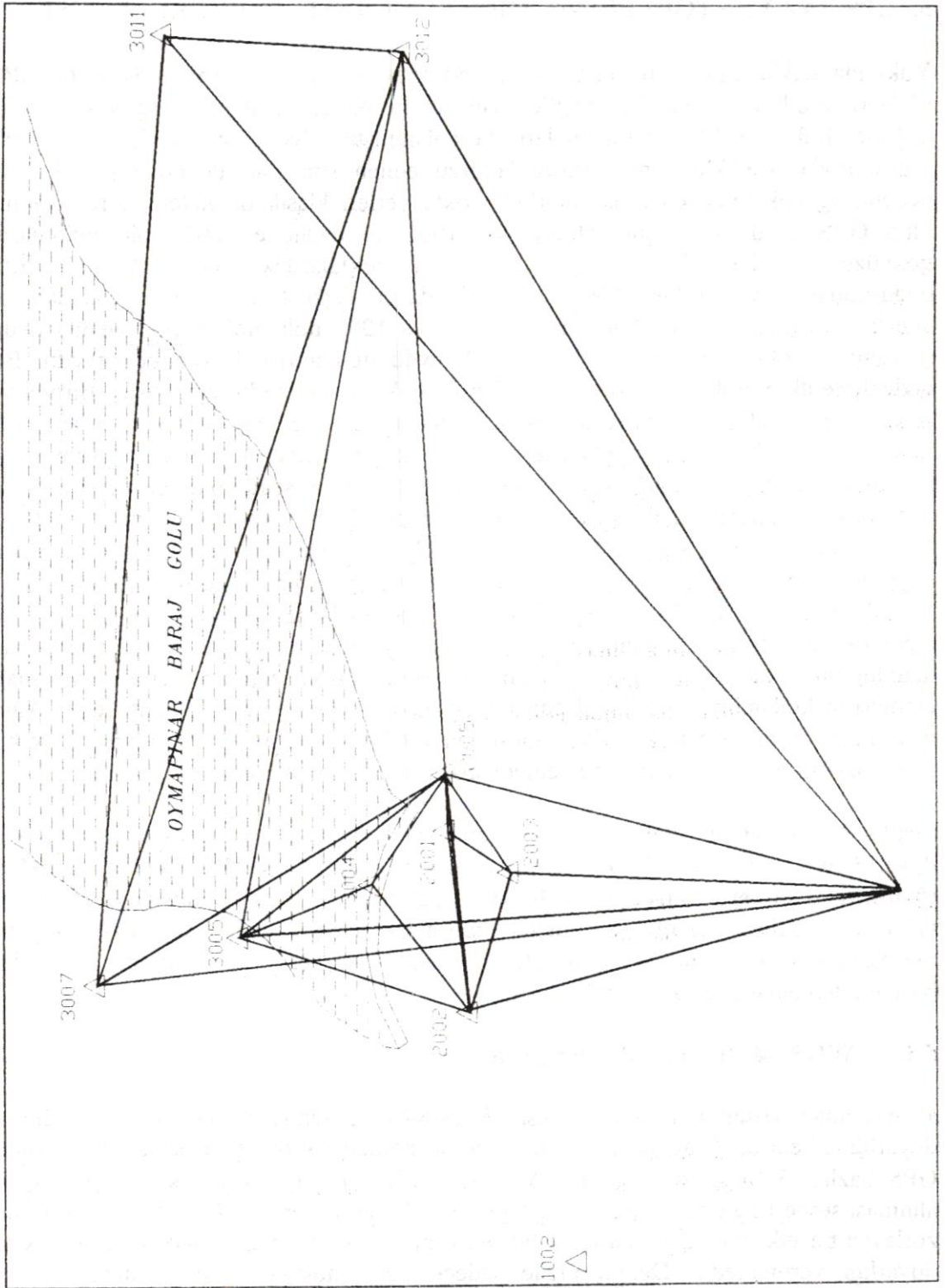
Ephemeris: 20052191 EPH 8/7/94

Time Zone 'ANTALYA' 3



Time: Major tick marks = 4 Hours. (Sampling 10 Minutes)

Şekil 3. Antalya-Manavgat için 06.08.94’de Uydu sayısı-Zaman ve PDOP Grafikleri



Şekil 4. Deformasyon ağı GPS Bazları

5. GPS BAZ VEKTÖRLERİNİN HESAPLANMASI ve DENGELENMESİ

Yukarıda açıklanan ölçü planına göre 10 noktadan oluşan ağda (Şekil 4), statik GPS ölçüleri yapılmıştır. Yapılan ölçüler GPSurvey paket yazılımı ile günlük olarak değerlendirilip, vektör kapanmaları hesaplanmıştır. İlk gün yapılan iki GPS oturumunda özellikle ikinci oturumda arzu edilen sonuçlar alınamamıştır. Bunun nedeni, ağ çok önceden tesis edilirken nokta yerleri klasik ölçmelere göre seçilmiş olup GPS düşünülmemiştir. Dolayısıyla 1001 ve özellikle 1002 nolu noktaların gökyüzü görüşleri oldukça kapalıdır. Diğer noktalardaki alıcılar 6 - 7 GPS uydusundan sinyal alırken, 1001 nolu noktada en fazla 4, 1002 nolu noktadan ise ancak 3 uydudan sinyal alınabilmektedir. 1001 ve 1002 nolu noktalarda izlenen uydu sayısının az olması yanında, doğal olarak uydu geometrisi de oldukça zayıftır. Bu nedenlerle ilk gün ikinci oturumda 1002 nolu nokta değerlendirilememiştir. Birinci ve ikinci gün yapılan oturumların vektör kapanmaları 0.2 mm ile 3 mm arasında değişmektedir. 1002 nolu noktayı tekrar ölçmek için üçüncü gün uydu sayısının gün içerisinde maksimum olduğu (Şekil 4) sabah 7.00 - 10.00 saatlerinde bir oturum daha yapılmıştır. İzlenebilir uydu sayısının yer yer 8 olduğu bu zaman diliminde bile 1002 nolu noktada, çok kısa aralıklar ile ancak 3 uydu izlenebilmiş ve ölçülerin değerlendirilmesi sonucu bu nokta ± 8 cm nokta konum hatası ile hesaplanabilmektedir. Aslında yüksek doğruluğun istendiği butür çalışmalarda hassas yörünge (precise efemeris) bilgilerinin kullanılması gerekir. Fakat yapılan çalışmalar göstermiştir ki baz uzunluğunun çok küçük olduğu (< 1 km) projelerde hassas efemeris yerine yayınlanan efemerisin kullanılması ile ihmal edilebilecek düzeyde farklar elde edilmektedir. Ağın duyarlılığını olumsuz olarak etkilememesi için 1002 nolu nokta ağda çıkarılmış ve bu noktaya olan baz vektörleri dengelemede göz önünde bulundurulmamıştır.

Şekil 4 de görülen ağın serbestlik derecesinin (fazla ölçü sayısı) yüksek olması, ağın iç duyarlılığının artmasını sağladı. Ağın dengelenmesi yine **TRIMNET-Plus** ve **NGS (National Geodetic Survey) ADJUST** yazılımı ile yapıldı. Dengelemede her bir GPS baz vektörü için ölçülerin değerlendirilmesinde elde edilen varyans-kovaryans matrisleri kullanıldı. Her noktada anten yüksekliği ve merkezleştirme için 3 mm'lik bir hata dengelemeye dahil edildi.

5.1. WGS-84 Datumunda Dengeleme

10 noktadan oluşan ağın dengelenmesi WGS-84 datumunda yapıldı. Mevcut ağın iç duyarlılığını belirlemek amacıyla yalnızca tek bir noktanın sabit alınmasına karar verildi. GPS bazları 3 bileşenden oluşan (ΔX , ΔY , ΔZ) vektörler olup tek noktanın sabit alınması serbest ağ dengelenmesine eşdeğer olmaktadır (Eren 1994c). Ölçüler üzerinde zorlayıcı bir etki olmadığı için ağda bir deformasyona neden olmamakta ve gerçek iç duyarlılığı vermektedir. Dengelemede sadece 2005 noktası sabit alınmıştır. 2005 noktasına ait aşağıdaki koordinatlar, 2.5 saatlik statik GPS ölçülerinden pseudorange

gözlemleri kullanılarak "Nokta konum belirleme - Point Positioning" yöntemiyle hesaplanmıştır. Böylece 2005 noktasının WGS-84 koordinatları:

$\phi = 36^{\circ} 54' 29''$	Enlem
$\lambda = 31^{\circ} 31' 59''$	Boylam
$h = 238 \text{ m}$	Elipsoid yüksekliği

şeklinde alınmıştır. Ağın dengelenmesi sonucunda, her uzunlukta relatif olarak 2 ppm'in altında sonuç elde edilmiştir. Dengeleme ile ilgili bazı istatistikler aşağıda verilmiştir.

Tablo 3. WGS - 84 Datumundaki Dengeleme Sonuçları

Açıklama	İstatistiksel Bilgiler
● Oymapınar Deformasyon Ağı	
Sabit Nokta Sayısı	1
Serbest Nokta Sayısı	9
Toplam Nokta Sayısı (k)	10
● GPS Vektörleri	
Vektör Sayısı (m)	30
Vektör Bileşenleri Sayısı (n=3m)	90
● Dengeleme Bilgileri	
Sabit Sayısı (f)	3
Ölçü Sayısı (n+f)	90
Parametre Sayısı (3k)	27
Serbestlik derecesi (DF=n+f-u)	63
● Ölçülere Gelen Düzeltmeler (mm)	
$V_{\Delta X}$ Düzeltmeleri	Min= -15 Maks= 10 RMS= 13
$V_{\Delta Y}$ Düzeltmeleri	Min= -2 Maks= 9 RMS= 6
$V_{\Delta Z}$ Düzeltmeleri	Min= -20 Maks= 0.1 RMS= 14
● Konum Hataları (mm)	
Enlem Hataları	Maks= 10 RMS= 4
Boylam Hataları	Maks= 5 RMS= 4
Elipsoid Yükseklik Hataları	Maks= 16 RMS= 9

5.2. Ulusal Jeodezik Ağ (ED-50) Datumunda Dengeleme

Jeodezik deformasyon ağında daha önceki yıllarda yapılan klasik ölçmeler Ülke Koordinat Sisteminde ifade edilmiştir. Dolayısıyla GPS ölçüleri sonucu hesaplanan koordinatlar ile yapılan deformasyon hesaplarının, bir önceki dönemde elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılabilmesi için, ED-50 sistemindeki değerleri ve Gauss-Kruger koordinatlarının hesaplanması gerekmektedir. İki farklı 3-D sistem birbirine 7 parametrelili bir modelle dönüştürülebilir (Eren 1994a)

Bu çalışmada uygulama alanının küçük olması nedeniyle gerçekçi dönüklük açısı belirlenemeyeceğinden dönüklük açıları sıfır alındı. Yapılan 3-D dönüşüm hesapları da ölçek farkının 0.15 ppm civarında olduğunu gösterdi. Bu hususlar ve baz vektörlerinin orijin kayıklığından arındığı dikkate alınarak WGS-84 datumundaki baz vektörleri ED-50 sisteminde de kullanılmıştır. İki sistem arasındaki dönüşüm ile ilgili sonuçlar bölüm 5.3. açıklanmıştır.

10 noktadan oluşan ana ağıın ED-50 datumunda dengelenmesinde, ülke sistemindeki koordinatları bilinen yine 2005 noktasının koordinatları sabit alınmıştır.

Ağın ED-50 datumunda dengelenmesinde de her uzunlukta relatif olarak ortalama 7 ppm'in altında sonuç elde edilmiştir. Burada noktalar arasındaki uzunluklar 800 metrenin altında olduğuna dikkat edilmelidir. Dengeleme ile ilgili bazı istatistikler aşağıda görülmektedir.

Tablo 4. ED - 50 Datumundaki Dengeleme Sonuçları

Açıklama	İstatistiksel Bilgiler
● Oymapınar Deformasyon Ağı	
Sabit Nokta Sayısı	1
Serbest Nokta Sayısı	9
Toplam Nokta Sayısı (k)	10
● GPS Vektörleri	
Vektör Sayısı (m)	30
Vektör Bileşenleri Sayısı (n=3m)	90
● Dengeleme Bilgileri	
Sabit Sayısı (f)	3
Ölçü Sayısı (n+f)	90
Parametre Sayısı (3k)	27
Serbestlik derecesi (DF=n+f-u)	63
● Ölçülere Gelen Düzeltmeler (mm)	
V_{AX} Düzeltmeleri	Min= -15 Maks= 10 RMS= 13
V_{AY} Düzeltmeleri	Min= -2 Maks= 8 RMS= 6
V_{AZ} Düzeltmeleri	Min= -20 Maks= 0.1 RMS= 14
● Konum Hataları (mm)	
Enlem Hataları	Maks= 8 RMS= 4
Boylam Hataları	Maks= 5 RMS= 4
Elipsoid Yükseklik Hataları	Maks= 13 RMS= 9

Bunun yanında ED-50 sisteminde hesaplanan koordinatların Gauss-Kruger projeksiyon sistemindeki koordinatları da hesaplanmıştır.

5.3. Dönüşüm Hesapları

GPS ölçülerinin değerlendirilmesi sonucu elde edilen baz vektörleri ve bunlara dayalı olarak hesaplanan nokta koordinatları WGS-84 sistemindedir (Wells v.d. 1986). Önceki bölümlerde de açıklandığı gibi elde edilen koordinatların deformasyon analizinde kullanılabilmesi için daha önceki ölçülerin değerlendirildiği koordinat sistemine (ED-50) dönüştürülmesi gerekir. Bu bölümde iki 3-D sistem arasındaki dönüşüm modelinin matematiksel bağıntıları kısa olarak açıklanacaktır. Burada koordinat sistemleri

- 1. Sistem (ED-50) X, Y, Z koordinatları
- 2. Sistem (WGS-84) x, y, z koordinatları ile gösterilecektir.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan Bursa Modeli iki sistem arasındaki dönüşümü aşağıda gösterilen 7 parametre ile ifade etmektedir.

- 3 Orijin kayıklığı, $(T_x = X - x, T_y = Y - y, T_z = Z - z)$
- 3 Dönüklük açısı, $(\omega_x, \omega_y, \omega_z)$ (x, y, z) eksenleri etrafında
- 1 Ölçek Faktörü $(1+k)$ $k = \text{ölçek farkı}$

Sistemler arasındaki matematiksel ilişki aşağıdaki şekildedir. Bu modelde en-küçük kareler yöntemiyle (serbestlik varsa) dengeleme sonucunda dönüşüm parametreleri hesaplanabilir (Eren 1992).

$$\begin{aligned} X_i &= T_x + (1+k)(x_i + \omega_y y_i - \omega_z z_i) \\ Y_i &= T_y + (1+k)(y_i - \omega_x x_i + \omega_z z_i) \\ Z_i &= T_z + (1+k)(z_i + \omega_x x_i - \omega_y y_i) \end{aligned}$$

Yukarıda matematiksel modeli açıklanan Bursa modeline göre baraj bölgesindeki noktaların koordinatları, daha önce klasik yöntemlerle mm'ler duyarlığında hesaplandığından dönüşüm için bütün noktalar kullanılmıştır. Çalışma bölgesi küçük olduğundan dönüklük açıları sıfır değerine zorlandı ve sadece 3 orijin kayıklığı ve 1 ölçek faktörü için parametreler hesaplandı. Dengelemede 30 bilinen (10 noktanın koordinatları), 4 bilinmeyen (3 Kayıklık ve 1 ölçek faktörü) ve 26 serbestlik derecesi mevcuttur. Yapılan dönüşüm sonucunda aşağıda sunulan değerler elde edilmiştir. Bu değerlerden de anlaşılacağı gibi iki sistem arasındaki ölçek faktörü (k) bire çok yakın olduğu için ihmal edilebilecek düzeydedir. Dönüşümün ortalama hatası 1 mm dir. Söz konusu ortalama hata ve daha önce hesaplanan koordinatlara gelen küçük düzeltmeler, her iki dönemde de ağırlık çok yüksek bir duyarlığa sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 5. 3-D dönüşüm Sonucu Koordinatlara Gelen Düzeltmeler

Nokta No	X (mm)	Y (mm)
2005	0.2	0.3
1001	0.3	1.0
3005	-1.0	0.5
3012	-1.0	-1.0
3011	3.0	-1.0
3007	0.6	0.8
3004	-1.0	0.9
2002	1.0	2.0
2003	-2.0	1.0
2001	1.0	0.7

Baraj bölgesi için hesaplana dönüşüm parametreleri :

$$T_x = 107.858 \text{ m} \quad \pm 3.280 \text{ m} \quad \omega_x = 0.00$$

$$T_y = 135.099 \text{ m} \quad \pm 2.012 \text{ m} \quad \omega_y = 0.00$$

$$T_z = 145.173 \text{ m} \quad \pm 2.870 \text{ m} \quad \omega_z = 0.00$$

$$k = 1.0000001 \quad \pm 0.0000008$$

$$\text{Ölçek Farkı (ppm)} = 0.15$$

Dönüşümün Ortalama Hatası = 1 mm olarak hesaplandı.

Dönüşüm sonucu elde edilen koordinatlardan hesaplanan noktalar arasındaki değişmez büyüklük olan kiriş uzunlukları ve uzay açılarının karşılaştırılması Tablo 6 da görülmektedir.

Tablo 6. WGS-84 ve ED-50 sistemindeki bazıları ve uzay açılarının karşılaştırılması

Ortak Noktalar Arasındaki Baz Uzunlukları					
D.N.	B.N.	ED-50 Bazı	WGS-84 Bazı	Fark	ppm
2005	1001	543.020	543.021	-0.001	-1.0
1001	3005	763.993	763.991	-0.002	-2.4
1001	3011	1253.936	1253.937	0.001	0.4
3005	3012	980.186	980.187	-0.001	-0.8
3012	3007	1063.003	1063.004	-0.001	-0.6
3012	3011	292.817	292.821	0.003	11.9
3004	2001	109.088	109.086	-0.002	-14.8
2002	2003	158.389	158.392	0.003	19.2
2003	2001	86.502	86.505	0.003	30.0

Uzay Açıları					
1. Nok.	2. Nok.	3. Nok.	ED-50 Açı	WGS-84 Açı	Fark('')
2005	2001	2003	122° 67518	122° 67240	-10.003
2005	2003	2002	119° 09545	119° 09424	-4.354
2005	2001	1001	99° 68987	99° 68877	-3.940
2005	1001	3005	17° 42945	17° 42945	0.014
2005	3012	3007	23° 36155	23° 36156	0.032
1001	2005	2001	72° 83874	72° 83975	3.648
1001	2005	3007	137° 21482	137° 21489	0.266

7. SONUÇ

1985 yılından bu yana yapılmakta olan klasik jeodezik ölçmeler sonucunda deformasyon ağı noktalarının birkaç mm doğrulukla belirlenebildiği görülmüştür. Baraj deformasyon araştırması amacıyla tesis edilen bir mikrojeodezik ağın ileri teknolojik bir yöntem olan GPS ile koordinatlandırılması ülkemizde ilk olarak çalışma grubumuz tarafından, Ağustos 1994 ölçme döneminde, Oymapınar Barajı'nda gerçekleştirilmiştir. Yapılan GPS ölçüleri, çevresel etkilerden arındırılarak baz vektörleri mm'nin altında bir duyarlılıkla hesaplanmış ve önce WGS-84 datumunda dengelenmiştir. Klasik jeodezik yöntemle elde edilen değerlerle karşılaştırmak için GPS ölçülerinden hesaplanan baz vektörleri ED-50 datumunda da dengelendi. Ardından sistemler arasındaki dönüşüm parametreleri hesaplandı. Aslında yüksek doğruluğun istendiği çalışmalarda hassas yörünge (precise efemeris) bilgilerinin kullanılması gerekir. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki, baz uzunluğunun çok küçük (<1 km) olduğu bu tür projelerde hassas efemeris yerine yayınlanan efemerisin (broadcast efemeris) kullanılması ile gözardı edilebilecek farklar bulunmaktadır. İki 3-D sistem arasında yapılan dönüşüm sonucunda anlamlı bir ölçek faktörü olmadığı görülmüştür. ED-50 datumundaki dengelenmiş iki değişik dönemde farklı yöntemlerle elde edilmiş koordinatlar arasında 2-D dönüşümü yapılması sonucunda, aradaki farkların da anlamlı olmadığı gözlenmiştir.

Butun bu sonuçlar göstermektedir ki, uygulamada yaygın olarak kullanılan GPS yöntemi, yüksek duyarlılık gerektiren, mühendislik yapılarındaki deformasyonları belirlemek için tesis edilen mikrojeodezik ağların ölçülmesinde de rahatlıkla uygulanabilmektedir. Ancak yüksek duyarlılığa ulaşmak için, GPS ile ölçülecek ağların tesisi aşamasında, nokta yerlerinin gökyüzü görüşüne açık, yansıtıcı yüzeylerden uzak olacak şekilde seçilmesi gerekir, noktaların birbirini görmesi şart değildir.

KAYNAKLAR

- Beck N., Delikaraoglu D., Kleusberg A., Krakiwsky E., Lachapalle G., Langley R. B., Nakiboglu S.M., Schwarz K.P., Tranquilla J.M., Vanicek P., Wells D., "Guide to GPS Positioning", Canadian Institute of Surveying and Mapping, Ontario, Canada, 1986
- Eren K., "GPS Surveying", Lecture Notes, Surveying and Cadastral Department, Ministry of Municipal and Rural Affairs, Riyadh, Saudi Arabi, 1992
- Eren K., Uzel T., "GPS Ölçmeleri", Ders Notu (Henüz Yayınlanmadı), 1994a
- Eren K., "P001 Ankara'da GPS Yöntemiyle Jeodezik Ağ Tesisi", T.C. Maliye Bakanlığı Arsa Ofisi Genel Müdürlüğü için hazırlanan rapor, Ankara, 1994b
- Eren K., "GPS yöntemiyle Bursa Jeodezik ağının Tesisi", BUSKİ Bursa Metropolitan Alanın Sayısal Haritaların Yapımı İçin hazırlanan Rapor, Ankara, 1994c
- Hoşbaş, R. G., "Baraj Deformasyonlarının Belirlenmesinde Jeodezik Yaklaşımların İrdelenmesi ve Bir Öneri", Doktora Tezi, Y.T.Ü., İstanbul, 1992
- Tudeş T., "Baraj Deformasyonlarının Jeodezik ve Fotogrametrik Metodlarla Ölçülmesi ve Keban Barajı Örneği", Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 1982
- Uzel T., "Barajların Güvenliği", Yıldız Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 1991
- GPSurvey, "GPSurvey Software User's Guide", Revisio.: A, Trimble Navigation Ltd., Sunnyvale, California, 1993
- TRIMVEC Plus, "Trimvec-Plus GPS Survey Software User's Manual and Technical Reference Guide", Revision A1, Trimble Navigation Ltd., Sunnyvale, California, 1992