

BETON KEMER BARAJLARDA DEFORMASYONLARIN MODERN ÖLÇME TEKNİKLERİ İLE BELİRLENMESİ

H. Erkaya¹, R. G. Hoşbaş¹, V. E. Güllal¹, N. Ersoy², U. Doğan²,
A. Pırtı¹, M. Soycan¹, K. Gümüş¹, T. Öcalan¹, N. O. Aykut¹, B. Akpınar¹, F. Poyraz¹,

¹YTÜ, İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Ölçme Tekniği Anabilim Dalı, Davutpaşa-İstanbul,
erkaya@yildiz.edu.tr, ghosbas@yildiz.edu.tr, egullal@yildiz.edu.tr, atinc@yildiz.edu.tr, soycan@yildiz.edu.tr, kgumus@yildiz.edu.tr,
tocalan@yildiz.edu.tr, oaykut@yildiz.edu.tr, bakpinar@yildiz.edu.tr, fpoyraz@yildiz.edu.tr

²YTÜ, İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Jeodezi Anabilim Dalı, Davutpaşa-İstanbul,
ersoy@yildiz.edu.tr, dogan@yildiz.edu.tr

ÖZET

1983 yılında işletmeye açılan Oymapınar Barajı'nda baraj gövdesindeki değişimleri belirlemek üzere tesis edilen ilk jeodezik kontrol ağı, barajın basınç alanı dışında mansap kısmında sağlam zeminlerde seçilen 6 referans noktası ile gövdenin mansap kısmında gövdeyi karakterize edecek şekilde seçilmiş 25 obje noktasından oluşturulmuştur. YTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü öğretim elemanlarından oluşan bir Araştırma Grubu tarafından 1985 yılında memba tarafında 4, 1986 yılında 2 ve 1996 yılında da 1 yeni referans noktası daha ilave edilerek toplam 13 referans noktasına ulaşılmıştır. 2007 ve 2008 yıllarında yapılan ölçmelerde daha önceden oluşturulan ağ aynen kullanılmıştır.

Jeodezik kontrol ağında Ekim 2007 Periyodu'nda, yatay doğrultular, eğik kenar uzunlukları ile düşey açılar ve hassas nivelman ölçümlerinden oluşan yersel ölçmeler ile dik ve eğri koordinatlar ile koordinat farklarının ölçüldüğü uydu ölçmeleri yapılmıştır. Nisan 2008 periyotunda ilk periyotta yapılan ölçümler tekrarlanmış. Ayrıca yersel lazer tarayıcı ile baraj gövdesi taranmıştır. Jeodezik ağın ve obje noktalarının ölçümü, ATR sistemli robotik elektronik takeometre ile yapılmıştır.

Jeodezik kontrol ağının yatay konumu, doğrultu + kenar ağı olarak dolaylı ölçüler yöntemine göre serbest dengeleme yöntemi ile belirlenmiştir. Serbest ağ dengelemesinde Tüm iz = minimum ilkesi uygulanmış ve datum belirleyici ağırlık merkezinin yatay konumu ağ noktalarının yaklaşık koordinat değerlerinin aritmetik ortalaması alınmak suretiyle belirlenmiştir.

Oymapınar Barajı'ndaki 13 noktalı mikro jeodezik kontrol ağında, uydu tekniklerinden GPS yöntemi ile de ölçümler yapılmıştır. Jeodezik kontrol ağı, 13 noktada 3 günlük sürede 3 oturumda GPS ölçümleri yapılmıştır. GPS ölçümleri Bernese 5.0 GPS yazılımı ile değerlendirilmiştir.

Baraj gövdesindeki düşey değişimleri belirlemek üzere baraj kreti üzerinde tesis edilmiş olan nivelman noktaları arasında sağ taraftaki Rs 100'den çıkış alınarak sol taraftaki Rs 300'e bağlantı yapılarak sayısal nivo ile gidiş-dönüş hassas nivelman yapılmıştır. Aynı noktalarda statik ölçme yöntemi ile 2 saatlik tekrarlı ölçümlerle GPS nivelmanı yapılmıştır.

Baraj bölgesinin topografik yapısı, jeodezik kontrol ağının referans noktaları arasında geometrik nivelman yapılmasını bazı noktalarda çok zorlaştırmakta bazılarında ise olanaksızlaştırmaktadır. Bu nedenle referans noktalarının yüksekliklerinin ve düşey değişimlerinin belirlenmesi için eğik kenar ve düşey açı ölçülerine dayalı olarak hassas trigonometrik nivelman yöntemi uygulanmıştır. Ayrıca yanına ulaşılması olanaksız olan baraj gövdesinin mansap tarafındaki obje noktalarının yükseklikleri de bu yöntemle belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Beton kemer baraj, jeodezik deformasyon ölçmeleri, yersel ölçmeler, GPS ölçmeleri, yersel lazer tarayıcılar.

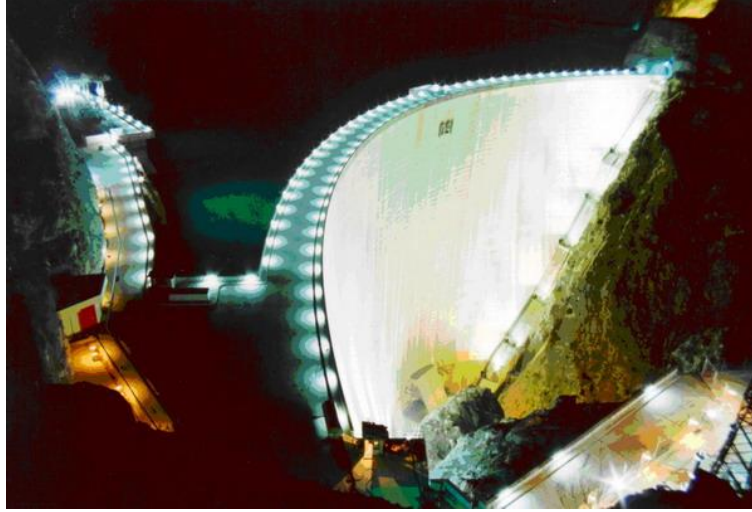
1. OYMAPINAR BARAJI VE JEODEZİK KONTROL AĞI

İnsanlar tarihin ilk çağlarından bu yana suyu kullanmak ve onu kontrol etmek amacıyla çeşitli yapılar yapmışlardır. 20 yüzyıla gelindiğinde uygarlığın önemli göstergelerinden biri olarak gösterilen büyük mühendislik yapıları içerisinde sayılan barajları inşa etmişlerdir. Bu yapıların içerisinde beton kemer tipte olanları ise ayrı bir öneme sahip olup Antalya'da Manavgat ilçesinin 18 km kuzeyinde Manavgat Çayı üzerinde kurulu bulunan Oymapınar Barajı da bunlardan biridir (Şekil 1).

1983 yılında işletmeye açılan Oymapınar Barajı'nda baraj gövdesindeki değişimleri belirlemek üzere tesis edilen ilk jeodezik kontrol ağı barajın basınç alanı dışında mansap kısmında sağlam zeminlerde seçilen 6 referans noktası (1001, 1002, 2001, 2002, 2003 ve 2005 numaralı noktalar, Şekil 2.) ile gövdenin mansap kısmında gövdeyi karakterize edecek şekilde 182 m, 150 m, 125 m, 100 m ve 75 m'de olmak üzere beş farklı kotta seçilmiş 25 obje noktasından oluşturulmuştur (Şekil 3.). Baraj gölünün ilk dolumu sırasında Bilfinger+Berger Firması tarafından farklı su seviyelerinde 27 periyot deformasyon ölçmeleri yapılmıştır. Bu ölçmelerde barajın basınç alanı dışında olmaları nedeni ile 1001 ve 1002 numaralı referans noktaları arası ağı boyutlandırmak üzere baz olarak seçilmiş ve karşılıklı olarak

Beton Kemer Barajlarda Deformasyonların Modern Ölçme Teknikleri ile Belirlenmesi

elektronik uzunluk ölçerle ölçülmüştür. Ölçmelerde 3 referans noktasından önden kestirme yöntemi ile konumu belirlenen obje noktalarından 22 adeti gözlemlenebilmiştir.



Şekil 1: Oympınar Barajı'nın gövde ve kretinin görünüşü

Yıldız Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü öğretim elemanlarından oluşan bir Araştırma Grubu tarafından 1985 yılında memba tarafında 4 yeni referans noktası (3005, 3007, 3011 ve 3012 numaralı noktalar) daha ilave edilerek 10 referans ve 22 obje noktasını içerecek şekilde geliştirilmiştir.

Jeodezik kontrol ağı, 1986 yılı Mayıs periyotunda memba tarafında yamaçlarda olabilecek kaymaları da denetlemek üzere 2 yeni referans noktası (3008 ve 3010 numaralı noktalar) ile tekrar genişletilmiştir. Bu şekilde genişletilen jeodezik ağ 1986 ve 1996 yıllarında ölçülmüştür. 1996 yılındaki ölçmeler sırasında memba-mansap bağlantısını güçlendirmek üzere baraj gövdesinin kret duvarı üzerinde tesis edilen 1 nokta (2004 numaralı nokta) ile jeodezik kontrol ağı 13 noktadan oluşan bir geometriye sahip olmuştur (Şekil 2.). Bütün referans noktaları kesik piramit şeklinde içi etriyeli pilye olarak tesis edilmiştir (Şekil 3). Baraj gövdesinin mansap yüzeyindeki obje noktaları dört farklı kot seviyesinde yerleştirilmiştir (Şekil 4). Objelerin tesisinde üzeri fayans kaplı granit taşları kullanılmıştır.



Şekil 2: Oympınar Barajı jeodezik kontrol ağı referans noktalarının baraj bölgesindeki konumları



Şekil 3: 3007 numaralı referans noktası ve baraj kretinin görünüşü

2. JEODEZİK KONTROL AĞINDAKİ ÖLÇMELER

Ekim 2007 ve Nisan 2008 Periyotlarında jeodezik kontrol ağında; yersel yöntemlerle yatay doğrultular, eğik kenar uzunlukları ile düşey açılar ve hassas nivelman ölçümleri, GPS ile dik ve eğri koordinatlar ile koordinat farkları ölçülmüştür. Bu ölçmelerde gerçekleştirilen gözlem sayıları ve bazı açıklamalar Tablo 1.'de verilmiştir.

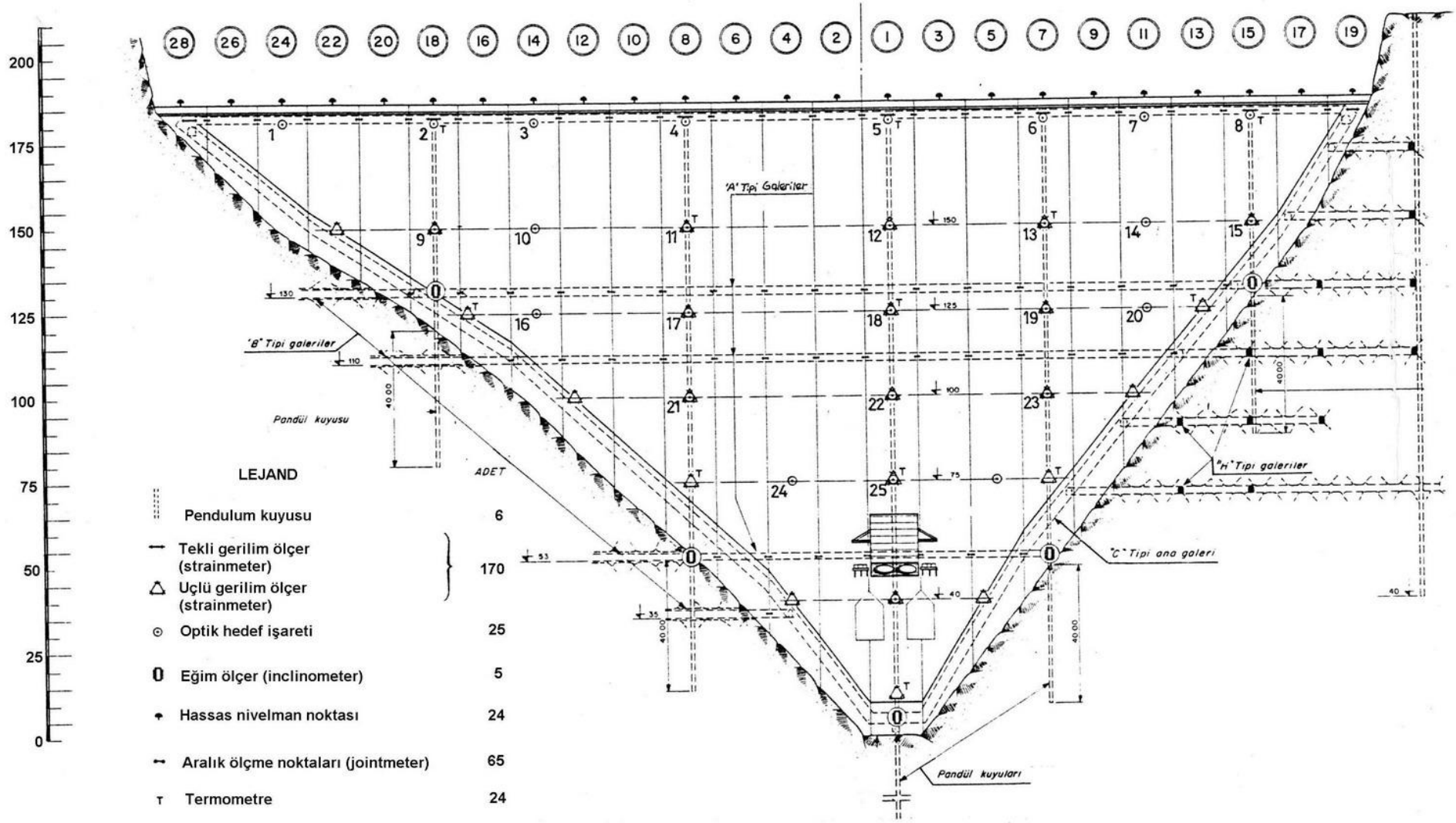
Tablo 1: Yersel ve uydu ölçmelerine ilişkin gözlem bilgileri

Ölçü Grupları	Ölçü Sayısı		Açıklama
	Ekim 2007	Nisan 2008	
Yatay doğrultu ölçüleri	136	143	11 referans noktasında (3007 ve 3008 numaralı referans noktaları haricindeki)
Eğik kenar ölçüleri	132	141	Referans noktalarında yansıtıcı, Obje noktalarında yansıtıcısız
Düşey açı ölçüleri	132	141	Referans noktalarında karşılıklı, Obje noktalarında tek taraflı
Hassas nivelman ölçüleri	40	48	2 Rs noktası ile kretteki 19 (23) nivelman noktasında
Baz vektörü bileşen Ölçüleri	33	33	1002 noktası hariç diğer bütün referans noktaları arasında
GPS nivelmanı ölçüleri	20	20	2004 ve 3005 numaralı referans noktaları ile kretteki 19 nivelman noktasında

Ekim 2007 periyotunda yatay doğrultu ölçümleri 11 referans noktasında, Nisan 2008 periyotunda ise 13 referans noktasında yapılmıştır. Obje noktalarına yapılan doğrultu ölçümleri ise her iki periyotta da 2001, 2002 ve 2003 numaralı noktalardan yapılmıştır. Ölçümler Leica TCRA 1201 ATR sistemli robotik elektronik takeometresi ile üç tam silsile şeklinde yapılmıştır. Referans noktalarından yapılan yatay doğrultu ölçümlerinin istasyon dengelemelerinden elde edilen deneysel standart sapma değerleri Ekim 2007 ölçme periyotunda 0.75^{cc} ile 4.47^{cc} , (ortalama 2.54^{cc}) Nisan 2008 ölçme periyotunda 1.46^{cc} ile 5.91^{cc} (ortalama 2.77^{cc}) arasında bulunmuştur.

Referans noktaları arasındaki eğik kenar ölçmeleri sırasında durulan noktadaki alet yüksekliği, bakılan noktadaki işaret yükseklikleri mm doğruluğunda ölçülmüştür. Durulan her noktada sıcaklık, basınç ve nem oranları kayıt edilmiştir. Üç referans noktasından obje noktalarına yapılan kenar ölçmelerinde hedef işaretlerinin merkezlerine gözlem yapılmıştır. Düşey açı ölçümleri de yatay doğrultu ölçümlerinde olduğu gibi üç tam silsile şeklinde gözlenmiştir. Ölçümlere ilişkin referans noktalarındaki ölçü sayıları ve ölçülerden hesaplanan deneysel standart sapma değerleri Ekim 2007 ölçme periyotunda 1.07^{cc} ile 12.94^{cc} (ortalama 4.03^{cc}), Nisan 2008 ölçme periyotunda 1.28^{cc} ile 13.98^{cc} (ortalama 5.45^{cc}) olarak hesaplanmıştır.

Baraj gövdesinin kretindeki düşey değişimlerin belirlenmesi için yapılan hassas geometrik nivelman ölçmelerinde ölçü doğruluğu 0.3 mm/km olan Leica DNA03 sayısal nivosu ile barkotlu invar miraları kullanılmıştır. Aynı noktalarda tekrarlı ölçümlerle gidiş-dönüş olarak hızlı statik yöntemle 30'ar dakikalık GPS nivelmanı yapılmıştır (Şekil 5).



Şekil 4: Baraj gövdesindeki deformasyon ölçme donanımları



Şekil 5: Baraj kreti üzerindeki GPS nivelmanı ölçmeleri

Oymapınar Barajı'ndaki 13 noktalı mikro jeodezik kontrol ağında, uydu tekniklerinden GPS (Global Positioning System) yöntemi ile de ölçümler yapılmıştır. GPS ölçmelerinde TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezinden temin edilen 7 adet Trimble 5700 alıcısı ve Trimble Zephyr jeodezik antenleri ile YTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Alet Laboratuvarında bulunan 6 adet Ashtec Z-Max GPS alıcısı kullanılmıştır. Jeodezik kontrol ağı arazideki çalışma koşulları dikkate alınmak suretiyle 4 bölgeye ayrılarak 13 noktada 3 günlük sürede 3 oturumda GPS ölçmeleri yapılmıştır. GPS ölçmeleri, statik yöntemle en az 4 uydudan sinyal alacak şekilde 15 saniye kayıt aralığında günde 8 saat ve uydu yükseklik açısı 10^0 olarak alınmıştır.

Nisan 2008 ölçme döneminde OPTECH ILRIS 3D lazer tarayıcı ile baraj gövdesi 3 farklı istasyon noktasından 10, 15 veya 20 cm tarama aralıklarıyla taranmıştır. Tarama işlemlerinin birleştirilmesi için ortak tarama bölgelerini kapsayan alanlara hedef işaretleri yerleştirilmiştir. Tarama noktalarının objeye uzaklığına bağlı olarak tarama parametreleri belirlenmiştir. Hedef işareti olarak A4 boyutunda özel olarak hazırlanmış kağıtlar kullanılmıştır.

3. ÖLÇÜMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1. Yersel Yöntemlerle Yapılan Ölçmelerin Değerlendirilmesi

Jeodezik kontrol ağının yatay konumu, doğrultu + kenar ağı olarak dolaylı ölçüler yöntemine göre serbest dengeleme yöntemi ile belirlenmiştir. Serbest ağ dengelemesinde Tüm iz = minimum ilkesi uygulanmıştır. Dengeleme öncesi doğrultu ölçülerinin öncül standart sapma değerinin istasyon dengelemesi sonrası belirlenen deneysel standart sapma değerleri ve Oymapınar Barajında uzun yıllar süren uygulamalar sonucundaki deneyimlerden 5^{cc} olarak seçilmesi uygun bulunmuştur. Bu değer aynı zamanda dengeleme öncesi birim ağırlıklı ölçünün öncül standart sapma değeri olarak seçilmiştir.

Kenar ölçülerinin dengeleme öncesi öncül standart sapma değerleri,
 yansıtıcı kenar ölçüleri için, $\sigma_s = 2 \text{ mm} + 2 * S \text{ ppm}$
 yansıtıcı kenar ölçüleri içinse $\sigma_s = 5 \text{ mm} + 5 * S \text{ ppm}$
 eşitlikleri ile belirlenmiştir.

İki ölçme periyodu aralığında referans noktaları arasında hareketli nokta olup olmadığını belirlemek üzere yalnız bu noktalardan oluşan mikro jeodezik kontrol ağının serbest dengelenmesine ilişkin bazı bilgiler Tablo 2.'de verilmiştir.

Tablo 2: Karşılaştırılan ölçme periyotlarına ilişkin bazı serbest dengeleme bilgileri

Ölçme Dönemi	Ölçü Sayısı		Alet Kurma Sayısı	Ω_f (cc ²)	f_f	s_f (cc)
	Doğrultu	Kenar				
Ekim 2007	50	60	10	2188.2337	79	5.26
Nisan 2008	71	71	12	3311.3177	109	5.51

3.2. Uydu Teknikleriyle (GPS İle) Yapılan Ölçmelerin Değerlendirilmesi

Ölçüler sonucunda alıcılardan elde edilen veriler RINEX formatında bilgisayara aktarılmıştır. 1002 numaralı noktada elde edilen sinyaller belirtilen şartları sağlamadığından (1994 ve 1996 periyotlarında da değerlendirme dışı tutulduğu görülerek) bu nokta değerlendirilmeden çıkarılarak geriye kalan 12 adet referans noktasındaki veriler değerlendirmeye alınmıştır. Yeterli serbestlik derecesini elde etmek ve sonuçta hesaplanan nokta konum hatalarını minimum boyutta tutmak için hesaplama sonucu baz vektörlerinin kapalı bir şekil oluşturması sağlanmıştır.

Yapılan ölçüm planına göre 13 noktadan oluşan ağda, 1'inci gün yapılan GPS oturumunda 1001 ve 1002 numaralı referans noktalarının gökyüzü görüşlerinin oldukça kapalı olmasından dolayı 1001 numaralı noktada en fazla 4-5 uydu, 1002 numaralı noktada ise ancak 3 uydudan sinyal alınabilmektedir. Ağın duyarlılığını olumsuz yönde etkilememesi için 1002 numaralı referans noktası ağdan çıkarılarak ve bu noktaya olan baz vektörleri değerlendirme dışı tutulmuştur.

Bu çalışmada Uluslararası Jeodinamik GPS Servisi (International GPS Service for Geodynamics – IGS) noktası olarak ANKR ve TÜBİTAK MAM Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü tarafından kurulan Burdur, Aydın ve Adana'daki sabit GPS istasyonları kullanılmıştır. IGS noktasındaki GPS ölçüleri Scripps Yörünge ve Sabit Ağ Merkezi (Scripps Orbit And Permanent Array Center – SOPAC) tarafından oluşturulan arşivden temin edilmiştir. Yukarıda belirtilen noktalara ilişkin 2007 yılına ait 290, 291 ve 292'nci GPS günlerindeki ölçüler değerlendirmede kullanılmıştır (Tablo 3).

Tablo 3: Kullanılan sabit istasyonlar ve ölçme günleri

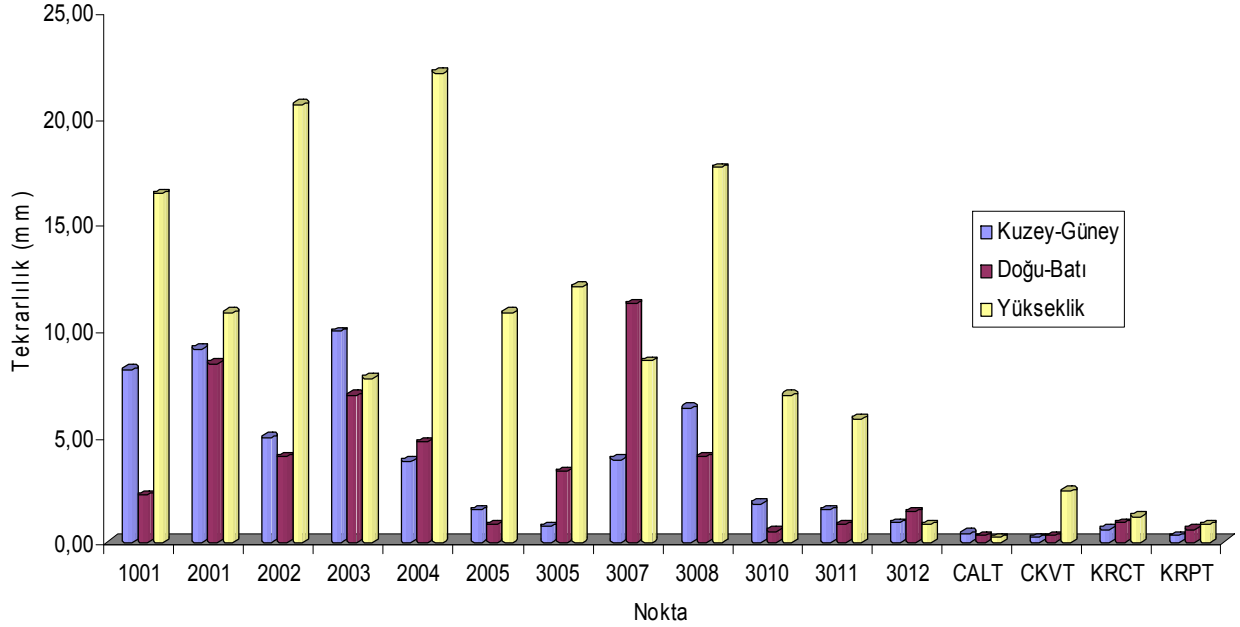
İstasyon Adı	ϕ			λ			H (m)	GPS Günü		
	0	I	II	0	I	II		290	291	292
ANKR	39	53	14.5284	32	45	30.4884	976.042	“	“	“
CALT	37	59	30.5592	29	24	13.5180	1270.425	“	“	“
CKVT	37	3	44.8416	35	22	0.4764	189.635	“	“	“
KRCT	37	34	55.7220	27	48	55.9836	151.734	“	“	“
KRPT	37	49	39.5688	28	0	1.7784	937.963	“	“	“

GPS ölçüleri Bernese 5.0 GPS yazılımı ile değerlendirilmiştir. Uluslararası GPS Servisi duyarlı GPS yörüngeleri ve yer dönme parametreleri IGS'in veri merkezinden elde edilerek değerlendirmede kullanılmıştır. İyonosfer-serbest frekansı (L3) ile tek nokta konumlaması yapılarak her epokta alıcı saat hataları ve yeni noktalar için yaklaşık koordinatlar belirlenmiştir.

Ölçülerdeki faz kesikliği (cycle slip), kaba hatalar ve uyuşumsuz ölçüler, üçlü farklar oluşturularak kontrol edilmiştir. Bu işlem sonucunda kaba hatalı ölçüler atılmış, tamir edilebilen faz kesiklikleri düzeltilmiş ve düzeltililemeyen kesikliklere faz başlangıç belirsizliği (ambiguity) parametresi eklenmiştir. Bu aşamadan sonra, iyonosfer serbest frekansı ile tüm faz başlangıç belirsizliği parametreleri serbest olarak bilinen noktalara dayalı bir çözüm yapılarak elde edilen koordinatlar faz başlangıç belirsizliği parametrelerinin çözümünde kullanılmıştır. Faz başlangıç belirsizliği parametrelerinin çözümü için toplanan verilerin büyüklüğüne ve noktalar arasındaki baz uzunluğuna bağlı olarak QIF (quasi Ionosphere Free) stratejisi kullanılmıştır. Her noktada troposferik gecikme Saastamoinen modeli ile belirli zaman aralıklarında hesaplanan zenit gecikme parametresi belirlenerek elimine edilmiştir.

SOPAC tarafından hesaplanan IGS noktalarından ANKR noktasının ITRF 2005.0 epokundaki ITRF 2005 koordinatları üzerine sıkı koşul konarak (datum tanımı) ağın diğer noktalarının ITRF 2005 koordinatları belirlenmiştir.

Günlük serbest çözümlerin birleştirilmeleri sonucunda noktaların birleştirilmiş koordinatlarının günlük koordinatlardan olan farkları yardımıyla noktalara ve tüm kampanyaya ilişkin günlük tekrarlılıklar hesaplanmıştır. ITRF 2005 datumunda dengelenerek koordinatları belirlenen bu koordinatların konum değişimleri incelendiğinde 3012 numaralı noktanın konum değişiminde minimum sapmalar görüldüğünden bu nokta sabit nokta seçilmiştir. Daha sonra 3012 numaralı nokta sabit alınarak jeodezik kontrol ağı serbest olarak dengelenmiştir.



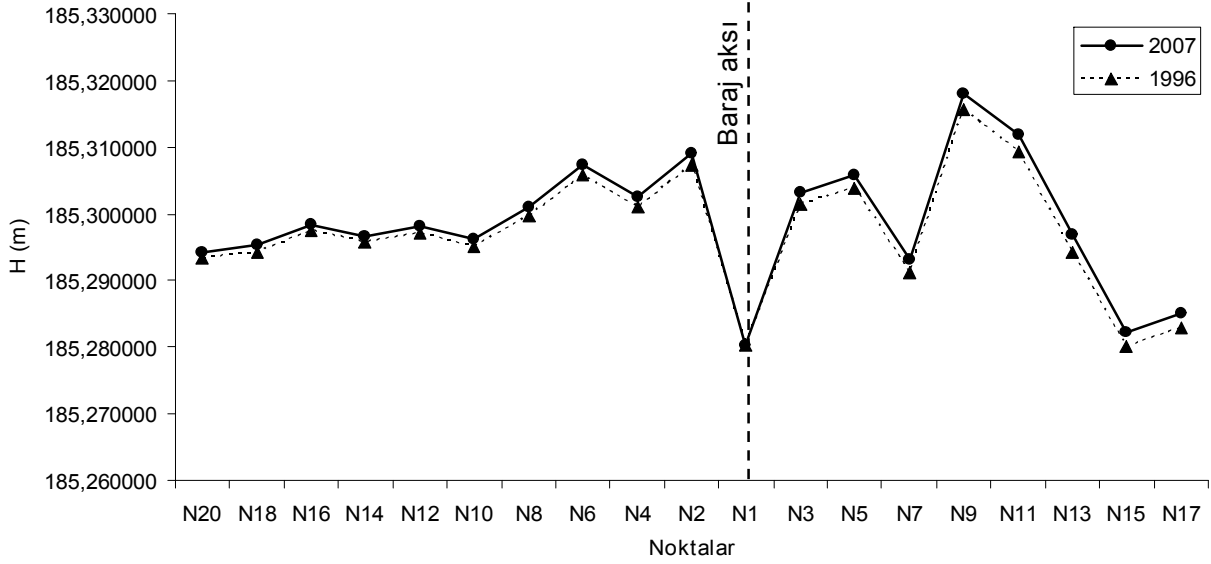
Şekil 6: Referans noktalarındaki günlük tekrarlılıklar (standart sapmalar, mm)

Oymapınar Barajı jeodezik kontrol ağında yapılan Ekim 2007 periyot GPS ölçülerinin değerlendirilmesi sonucunda baz vektörleri mm duyarlılığında hesaplanmıştır. Bu ağıda 1994 yılında yapılan GPS ölçüleri sonucunda WGS-84 datumunda elde edilen baz vektörleri ile Ekim 2007 periyotunda yapılan GPS ölçülerinin ITRF 2005 datumunda hesaplanması ile elde edilen baz vektörleri karşılaştırıldığında baz vektörleri arasındaki farkların maksimum 33 mm ile minimum 1 mm mertebesinde olduğu görülmektedir.

3.3. Hassas Geometrik Nivelman Ölçülerinin Değerlendirilmesi

Baraj gövdesindeki düşey değişimleri belirlemek üzere baraj kreti üzerinde zeminde tesis edilmiş olan nivelman noktaları arasında sağ taraftaki Rs 100'den çıkış alınarak sayısal nivo ile gidiş-dönüş geometrik nivelman yapılmıştır. Rs 100'ün yüksekliği 185.5440 m olarak bilinmektedir. 19 Ekim 2007, 20 Ekim 2007 ve 22 Ekim 2007 tarihlerinde ölçmeler üç kez yinelenmiş ve Rs 100'ün yükseklik değeri sabit alınarak bütün ölçüler bir arada dolaylı ölçüler yöntemine göre dengelenmiştir. Yükseklik ağlarında düşey datum parametresinin 1 olması ve dengelemede 1 noktanın yüksekliğinin sabit alınmasından dolayı ölçüler üzerinde herhangi bir zorlama olmamaktadır. Dolayısıyla ağ serbest dengelenmiş ancak nokta yükseklikleri Rs 100'e dayalı olarak belirlenmiştir.

Baraj kreti üzerindeki nivelman noktalarının Eylül 1996 ve Ekim 2007 periyotlarında yükseklik değerlerinin grafik gösterimi iki periyot arasındaki değişimlerin görsel olarak da izlenerek kıyaslanabilmesi için Şekil 7.'de verilmiştir.



Şekil 7: Kret üzerindeki nivelman noktalarının yükseklikleri ve değişimleri

Eylül 1996 periyodu ile Ekim 2007 periyotları arasında baraj gövdesinde anlamlı bir düşey değişim olup olmadığı konusunda ön inceleme yapılmıştır. Bunun için her iki periyotta serbest dengeleme ile hesaplanan krettteki obje noktalarının yükseklik farklarının anlamlı farklar olup olmadığını belirlemek için t testi uygulanmıştır. İki periyot arasında noktalardaki ortalama yükseklik farkı 1.86 mm olarak hesaplanmıştır. Bu ortalama değer için standart sapma değeri ölçü farklarından

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{78.2912}{2 \times 18}} = 1.475 \text{ mm} \rightarrow \sigma_{dm} = \frac{1.475}{\sqrt{2}} = 1.043 \text{ mm}$$

olarak belirlenmiştir. t test değeri

$$t = \frac{d_{ort}}{\sigma_{dm}} = \frac{1.86}{1.043} = 1.783 < t\{f = 72, \alpha = 0.05\} = 1.9932$$

olduğu görülerek iki periyot arasında baraj gövdesinde ulaşılan ölçü doğruluğu içinde anlamlı bir düşey değişim olmadığı kanaatine ulaşılmıştır.

Aynı işlem bir kez de Ekim 2007 periyotunda kret üzerindeki obje noktaları arasında gerçekleştirilen GPS nivelmanı sonucu belirlenen nokta yükseklikleri ile aynı dönemde hassas nivelman yöntemi ile belirlenen yükseklik değerleri arasında yinelenmiştir. Önce her iki yöntemle hesaplanan yükseklik farklarının aritmetik ortalaması alınarak geoit yüksekliği belirlenmiş sonra iki yöntemle bulunan yüksekliklerin farkları hesaplanmıştır. Ortalama yükseklik farkı 6.88 mm olarak belirlenmiş ve standart sapması da

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{1458.2028}{2 \times 19}} = 6.195 \text{ mm} \rightarrow \sigma_{dm} = \frac{6.195}{\sqrt{2}} = 4.380 \text{ mm}$$

olarak elde edilmiş ve t test için

$$t = \frac{d_{ort}}{\sigma_{dm}} = \frac{6.88}{4.380} = 1.571 < t\{f = 76, \alpha = 0.05\} = 1.9916$$

olduğundan iki ölçü grubundan belirlenen yükseklik değerleri arasındaki farkların ölçü doğruluğu içinde anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür.

3.4. Hassas Trigonometrik Nivelman Ölçülerinin Değerlendirilmesi

Baraj bölgesinin topografik yapısı; jeodezik kontrol ağının referans noktaları arasında geometrik nivelman yapılmasını bazı noktalarda çok zorlaştırmakta bazılarında ise olanaksızlaştırmaktadır. Bu nedenle referans noktalarının yüksekliklerinin ve düşey değişimlerinin belirlenmesi için eğik kenar ve düşey açı ölçülerine dayalı olarak hassas trigonometrik nivelman yöntemi uygulanmıştır. Ayrıca yanına ulaşılamaz olan baraj gövdesinin mansap yüzündeki obje noktalarının yükseklikleri de bu yöntemle belirlenmiştir.

Trigonometrik nivelman ölçüleri hem düşey açı ölçülerine göre hem de yükseklik farklarına göre iki şekilde dengelenmiştir. Düşey açı ölçülerine göre yapılan dengelemede 2 ölçünün uyuşumsuz olduğu belirlenerek ölçü grubundan çıkarılmıştır. Dengeleme sonrası düşey açı ölçülerinin standart sapması 29.77^{cc} olarak elde edilmiştir. Yükseklik farklarına göre dengelemede $k = 0.13$ ve $R = 6.372.365,87$ m olarak alınarak yükseklik farklarına kırılma ve küresellik düzeltmesi getirilmiştir. Serbest dengelemeler sonrası birim ağırlıklı ölçünün standart sapma değerleri Ekim 2008 ölçme periyotunda 2.49 mm, Nisan 2008 ölçme periyotunda 2.64 mm olarak hesaplanmıştır ($S_0=100$ m'lik nivelman yolu için).

4. YERSEL VE UYDU ÖLÇMELERİNDEN ELDE EDİLEN SONUÇLARIN İRDELENMESİ

4.1. Yatay Konum Bilgilerinin İrdelenmesi

Jeodezik kontrol ağının yatay konumunu belirleyen koordinatları, ülke koordinat sistemindeki değerlerinden X ekseninde 4.800.000, Y ekseninde 360.000 değerleri çıkarılarak elde edilmiş değerlerdir. Esasen bu değerler 33⁰ dilim orta meridyenli 3⁰'lik dilimdeki çizim değerleri olan yukarı ve sağa değerleridir. Ancak 3⁰'lik dilimlerde ölçek katsayısı $m_0=1$ olduğundan bunlar $X_G=Y_u$ ($Y_u=yukarı$) ve $Y_G=Sa$ ($Sa=Sağa$) alınabilir.

Önce kısaltılmış olarak kullanılan, jeodezik kontrol ağı noktalarının Ekim 2007 periyotundaki yersel ölçmelerin serbest dengelenmesi sonucu hesaplanan koordinat değerleri düzeltilerek ED 50 toposentrik koordinat sistemindeki değerleri elde edilmiştir. Sonra bu değerlerden yararlanılarak noktaların ED 50 datumundaki eğri yani coğrafi eğri koordinatları olan enlem (φ) ve boylam (λ) değerleri hesaplanmıştır.

Yersel ölçmeler ile uydu ölçmelerinden elde edilen sonuçların karşılaştırılabilmesi için WGS 84 jeosentrik koordinat sistemindeki bu eğri koordinatların 33⁰ dilim orta meridyenli 3⁰'lik dilimdeki UTM sistemindeki dik koordinat değerleri hesaplanmıştır.

ED 50 datumundaki dik koordinatlar ile WGS 84 datumundaki dik koordinatların kıyaslanması için iki boyutlu Helmert koordinat dönüşümü yapılmış ve nokta uyumu testi uygulanmıştır.

GPS ölçülerinden hesaplanan dik koordinatlardan yersel ölçülerden hesaplanan dik koordinatlara dönüşüm için;

Ekim 2007 ölçme periyotunda,

$$\begin{aligned} X_{ED50} &= 833.062641470 - 0.000081089 \times Y_{WGS84} + 0.999847829 \times X_{WGS84} \\ Y_{ED50} &= -248.538385302 + 0.000081089 \times X_{WGS84} + 0.999847829 \times Y_{WGS84} \end{aligned}$$

eşitlikleri elde edilmiştir. Her iki sistem arasındaki;

Dönüklük açısı : -0.005163044 grad

Ölçek katsayısı : 0.999847833

olarak belirlenmiştir. Koordinat eksenleri yönündeki ortalama standart sapma 7.5 mm 'dir.

Nisan 2008 ölçme periyotunda,

$$\begin{aligned} X_{ED50} &= 849.105263286 - 0.000079697 \times Y_{WGS84} + 0.999843776 \times X_{WGS84} \\ Y_{ED50} &= -241.293514993 + 0.000079697 \times X_{WGS84} + 0.999843776 \times Y_{WGS84} \end{aligned}$$

eşitlikleri elde edilmiştir. Her iki sistem arasındaki

Dönüklük açısı : -0.005074469 grad

Ölçek katsayısı : 0.999843779

olarak belirlenmiştir. Koordinat eksenleri yönündeki ortalama standart sapma 7.8 mm 'dir.

Yukarıda verilen dönüşüm eşitliklerine göre yapılan dönüşüm sonrası nokta koordinatlarında oluşan çakıştırma hataları da hesaplanmıştır. Her iki yöntem ile konumu belirlenen referans noktaları arasında uyum olup olmadığının irdelenmesi amacıyla her nokta için uyum test büyüklükleri hesaplanmıştır. Test büyüklüğü sınır değerinden bütün noktalar için hesaplanan test büyüklükleri küçük olduğundan jeodezik konum ağının yersel ölçmeler ile uydu ölçmelerinden hesaplanan koordinat değerlerinin uyumlu olduğu kanaatine varılmıştır.

4.2. Düşey Konum Bilgilerinin İrdelenmesi

Jeodezik kontrol ağının hassas trigonometrik nivelman yöntemi ile belirlenen yükseklik değerleri yaklaşık ortometrik yükseklikler olarak kabul edilmiştir. GPS ölçme yöntemi ile de elipsoid yükseklik değerleri hesaplanmıştır. Buradan hareketle bölgedeki ortalama geoit yüksekliğinin (N_0) ve yükseklik değerleri için bölgesel

dönüşüm eşitliklerinin belirlenmesi öngörülmüştür. Böylece ortometrik yükseklik değerleri ile elipsoidal yükseklik değerlerinden dönüştürülerek belirlenen değerlerin hangi doğrulukta olduğu irdelenebilecektir.

Dönüşüm modeli olarak UTM sistemine dayalı olarak polinomlarla dönüşüm parametrelerinin belirlenmesi yöntemi izlenmiştir. Eğri koordinatlar arasında WGS84 sisteminden ED50 sistemine dönüşümde en yakın enlem olması nedeniyle $\varphi_0=36^0$ ve UTM’de dilim orta meridyeni olmasından dolayı $\lambda_0=33^0$ değerlerinin seçilmesi uygun bulunmuştur. Her iki sistemdeki enlem ve boylam farklarının dengelemeli olarak modellenmesi neticesinde eğri koordinat farkları için;

Ekim 2007 ölçme periyotunda,

$$d\varphi_{ED50}'' = 3.7'' - 0.7119744039 \times (\varphi_{WGS84}^0 - 36^0) + 0.6763416008$$

$$d\lambda_{ED50}'' = 1.2'' - 0.5986259510 \times (\lambda_{WGS84}^0 - 33^0) - 0.8359895786$$

doğrusal eşitlikleri elde edilmiştir. Elipsoidal yüksekliklerden ortometrik yüksekliklere geçiş için ortalama geoid yüksekliğinin $N_0=-29.54355m$ olduğu görülerek $N_0=-30m$ seçilmiştir. Yükseklik farkları için yatay konum dönüşüm parametreleri için seçilen enlem ve boylam başlangıç değerlerine göre dengelemeli olarak

$$dh_{ED50} m = -30 m + 364.195064388$$

$$+ 1460.348442856 \times (\varphi_{WGS84}^0 - 36^0) + 1404.466402387 \times (\lambda_{WGS84}^0 - 33^0)$$

$$- 121.426778190 \times (\varphi_{WGS84}^0 - 36^0)^2 + 747.916244547 \times (\lambda_{WGS84}^0 - 33^0)^2$$

$$+ 854.956532402 \times (\varphi_{WGS84}^0 - 36^0) \times (\lambda_{WGS84}^0 - 33^0)^2$$

ikinci derece polinom eşitliği belirlenmiştir. Bu eşitliğe göre jeodezik kontrol ağındaki referans noktaları için dönüştürülmüş yükseklik değerlerinin standart sapması 14.2 mm olarak belirlenmiştir.

Nisan 2008 ölçme periyotunda,

$$d\varphi_{ED50}'' = 3.7'' - 0.7180463956 \times (\varphi_{WGS84}^0 - 36^0) + 0.6814797594$$

$$d\lambda_{ED50}'' = 1.2'' - 0.6157377127 \times (\lambda_{WGS84}^0 - 33^0) - 0.8586235633$$

doğrusal eşitlikleri elde edilmiştir. Elipsoidal yüksekliklerden ortometrik yüksekliklere geçiş için ortalama geoid yüksekliğinin $N_0=-29.53421m$ olduğu görülerek $N_0=-30m$ seçilmiştir. Yükseklik farkları için yatay konum dönüşüm parametreleri için seçilen enlem ve boylam başlangıç değerlerine göre dengelemeli olarak

$$dh_{ED50} m = -30 m - 113.478821564$$

$$+ 1021.540737201 \times (\varphi_{WGS84}^0 - 36^0) + 474.654972740 \times (\lambda_{WGS84}^0 - 33^0)$$

$$- 294.836434399 \times (\varphi_{WGS84}^0 - 36^0)^2 + 269.721763601 \times (\lambda_{WGS84}^0 - 33^0)^2$$

$$+ 341.321499990 \times (\varphi_{WGS84}^0 - 36^0) \times (\lambda_{WGS84}^0 - 33^0)^2$$

ikinci derece polinom eşitliği belirlenmiştir. Bu eşitliğe göre jeodezik kontrol ağındaki referans noktaları için dönüştürülmüş yükseklik değerlerinin standart sapması 8.8 mm olarak belirlenmiştir.

5. DEFORMASYON ÖLÇÜLERİNİN ANALİZİ

Karşılaştırılacak ölçme periyotlarının serbest dengeleme hesaplarının yapılarak noktaların yatay konum değerlerinin ve ağırlık katsayıları matrislerinin (kofaktörler matrisi) belirlenmesinin ardından dengeleme sonrası birim ağırlıklı ölçünün standart sapmalarının aynı olup olmadığı test edilerek iki periyot ölçülerinin karşılaştırılabilecekleri belirlenmiştir. Deformasyon analizinde matematik istatistiksel anlamda Hannover Yaklaşımı (Ortalama Aykırılıklar Yöntemi, θ^2 -ölçütü), gösterimsel olarak da Karlsruhe Yaklaşımından (Bağıl Güven Elipsleri Yöntemi) yararlanılmıştır.

Öncelikle referans noktalarından oluşan yatay kontrol ağıının herhangi bir yerinde anlamlı bir yatay hareket olup olmadığının belirlenmesi için Hannover Yaklaşımına göre,

$$R_{referans} = 3973.5242 \quad , \quad \theta^2 = 189.2154 \quad , \quad T = 6.4683 < F\{21,188\} = 1.6119$$

büyüklikleri hesaplanarak referans noktalarından en az birinin hareketli olduğu yargısına varılmıştır. Tek nokta hareketlerinin araştırılması aşamasına geçilmiş ve sonuçlar Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4: Referans noktaları kümesinde deformasyon analizi sonuçları

Nokta No	R_i	θ_i	R_{kalan}	h	F	T	F	Karar
3010	1858.7574	30.4857	2114.7668	19	188	3.805	1.642	Var
3005	507.6614	15.9321	1607.1054	17	188	3.232	1.677	Var
2005	609.4713	17.4567	997.6340	15	188	2.274	1.719	Var
2002	216.8374	10.4124	780.7966	13	188	2.053	1.771	Var

1002	267.5948	11.5671	513.2018	11	188	1.595	1.838	Yok
------	----------	---------	----------	----	-----	-------	-------	-----

Ekim 2007-Nisan 2008 ölçme periyotları aralığında 12 noktalı yatay kontrol ağının diğer 7 noktasında ölçü doğruluğu içinde anlamlı yatay hareket olmadığı görülmüştür. Ardından, hareketli referans noktalarındaki yatay değişimlerin büyüklükleri ve güven aralıkları Karlsruhe Yaklaşımına göre belirlenmiş ve büyüklükleri Tablo-5’de verilmiştir.

Tablo 5: Noktalardaki düşey hareket büyüklükleri ve güven aralıkları

Nokta No	Deformasyon Vektörü Bileşenleri		Bağıl Güven Elipsi Elemanları		
	Δx (mm)	Δy (mm)	θ (grad)	A (mm)	B (mm)
3010	4.61	-11.73	150.52	4.06	3.0
3005	0.34	-6.16	26.71	4.54	3.84
2005	2.63	-1.39	195.81	2.68	1.71
2002	2.84	2.67	12.87	3.01	2.90
1002	2.23	4.08	389.39	6.23	3.64

6. SONUÇLAR

Ekim 2007 ölçme periyotunda Oymapınar Barajı Jeodezik Kontrol Ağının yersel ölçme yöntemleri ile gözlenmesi sonrası nokta konumuna ilişkin koordinat standart sapmaları için;

Ekim 2007 ölçme periyotunda $S_X=1.6$ mm, $S_Y=1.3$ mm ve $S_p=2.0$ mm ortalama değerleri, Nisan 2008 ölçme periyotunda $S_X=1.4$ mm, $S_Y=1.1$ mm ve $S_p=1.8$ mm ortalama değerleri elde edilmiştir.

Yalnız referans noktalarında gerçekleştirilen 3 günlük GPS ölçülerinden elde edilen verilerin dengelenmesi sonucu hesaplanan koordinat ortalama standart sapma değerleri ise $S_X=2.1$ mm, $S_Y=1.3$ mm’dir. Bu verilere göre noktanın Helmert ortalama konum standart sapması ise $S_p=2.4$ mm olmaktadır. Dolayısıyla hem yersel hem de uydu verilerinden nokta konumları, ortalama 2-3 mm aralığında bir doğrulukla belirlenebilmiştir.

Jeodezik kontrol ağında yükseklikleri trigonometrik olarak hesaplanan noktaların ortalama yükseklik standart sapması $S_H= 2.8$ mm bulunmuştur. 12 referans noktasında yapılan GPS ölçülerinden ise noktaların elipsoidal yüksekliklerinin ortalama standart sapması $S_H= 3.0$ mm olarak elde edilmiştir.

Kret üzerindeki nivelman noktalarında Ekim 2007 ölçme periyotunda 3 gün tekrarlı olarak yapılan hassas geometrik nivelman ölçülerinin serbest dengelenmesi sonucu hesaplanan nokta yüksekliklerinin ortalama standart sapmaları $S_H= 0.15$ mm bulunmuştur. Aynı noktalarda statik ölçme yöntemi ile 30 dakikalık tekrarlı ölçümlerle yapılan GPS nivelmanı sonucu elde edilen elipsoidal yüksekliklerden dönüştürülerek elde edilen ortometrik yükseklik değerlerinin ortalama standart sapması ise $S_H= 6.9$ mm olarak elde edilmiştir.

Ölçme periyotlarında gerçekleştirilen yersel ve GPS ölçmelerinden hesaplanan 3 boyutlu konum büyüklüklerinin mm boyutunda belirlenebildiği ve iki ölçme yöntemi arasında yapılan dönüşümler neticesinde belirlenen büyüklüklerin uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Dönem verilerinin değerlendirilmesi sonucu ulaşılan ölçü doğruluğu çerçevesinde jeodezik kontrol ağının baraj gölünün sağ tarafında bulunan 3010 numaralı referans noktasının jeodezik deformasyon analiz çalışması yapılmadan da belirlenebilecek büyüklükte bir konum değişikliğine uğradığı anlaşılmaktadır. Bu noktanın üç ölçme periyotunda serbest ağ dengelenmesi sonucu bulunan koordinat değerleri

Ölçme Periyodu	X (m)	Y (m)	H (m)
1986 Mayıs	7754.90051	9902.51252	235.3867
1996 Eylül	7755.18218	9901.92178	235.2543
2007 Ekim	7755.38204	9901.52551	235.1096

olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre nokta

Ölçme Periyodu Aralığı	DX (m)	DY (m)	DH (m)
1986 Mayıs – 1996 Eylül	+ 0.28167	- 0.59074	- 0.1324
1996 Eylül – 2007 Ekim	+ 0.19986	- 0.39626	- 0.1447

büyüklüklerinde üç boyutlu konum değişimine uğramıştır. Bu verilere göre hareket vektörünün büyüklüğü ve yönü

Ölçme Periyodu Aralığı	DS (m)	Θ (grad)
1986 Mayıs – 1996 Eylül	0.6677	328.32
1996 Eylül – 2007 Ekim	0.4668	329.74

boyutlarındadır. Buna göre 3010 numaralı noktanın 1986 yılından 1996 yılına kadar olan süreçteki ortalama hızı yatayda 6.4 cm/yıl, düşeyde 1.3 cm/yıl ve 1996 yılından 2007 yılına kadar geçen zamanda ise yatayda 4.2 cm/yıl, düşeyde 1.4 cm/yıl olmaktadır. Bu değerlendirmelere göre 3010 numaralı nokta yatayda azalan düşeyde ise artan bir ivme ile baraj gölü yönünde yer değiştirmektedir. Ekim 2007-Nisan 2008 ölçme periyotları aralığında (7 ay) değişimin yatayda 1.26 cm olduğu belirlenmiş olup düşeydeki değerlendirmeler devam etmektedir.

KAYNAKLAR

1. DEMİREL H. (2003) : Dengeleme Hesabı, YTÜ İnşaat Fakültesi Sayı: İNJFM-2003.003, İstanbul
2. ERKAYA H. (1987) : Mühendislik Yapılarındaki Deformasyonların Jeodezik Yöntemlerle Saptanması ve Bir Model Üzerinde Uygulanması. YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
3. GÜLAL E. (1997) : Geodeatische Überwachung einer Talsperre; eine Anwendung der KALMAN-Filtertechnik, Wissenschaftliche Arbeiten Der Fachrichtung Vermessungswesen Der Universität Hannover, Nr. 224, Hannover.
4. HOŞBAŞ R.G. (1992) : Baraj Deformasyonlarının Belirlenmesinde Jeodezik Yaklaşımların İrdelenmesi, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
5. PELZER H. Et. Al. (1996) : Überwachungsmessungen an Talsperren am Beispiel der Oymapınar-Staumauer (Türkei), Projektseminar Ingenieurvermessung 1996, Hannover
6. UZEL T. v.d. (1986) : Oymapınar Barajı Deformasyon ve Deplasman Ölçmeleri Araştırma Projesi, Mayıs 1986 Ölçme Dönemi Raporu, İstanbul.
7. UZEL T. (1991) : Barajların Güvenliği, YTÜ Yayınları Sayı:221, İstanbul.
8. (1977) : Oymapınar Barajı ve Hidroelektrik Santrali Esas İnşaat Mukavelesi, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara.