

ATATÜRK BARAJINDA DEFORMASYON İZLEME ÇALIŞMALARI ve DÜŞEY DEFORMASYONLAR

Y. Kalkan¹

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü,
Ölçme Tekniği Anabilim Dalı, İstanbul. kalkany@itu.edu.tr.

ÖZET

Ülkemiz su kaynakları bakımından çok zengin değildir. Ancak, fakirde sayılmaz. Su kaynaklarımızın daha etkin değerlendirilmesi adeta bir zorunluluk haline gelmiştir. Boşa akıp giden akarsularımız kontrol altına alınmalı ve uzun vadeli gerçekçi bir planlama ile suyun ve su kaynaklarımızın daha etkin kullanımı sağlanmalıdır. Ülkemizde bu doğrultuda kayda değer önemli çalışmaların yapıldığı bilinmektedir. Özellikle akarsularımız üzerinde yaklaşık 550 adete yakın baraj inşa edilmiştir.

Bu çalışmada, ülkemizdeki barajlar hakkında bilgi verilmiş ve bu yapılarda uygulanmakta olan deformasyon izleme çalışmalarından bahsedilmiştir. Büyük barajlarda yapılması gerekli deformasyon izleme teknikleri tanıtılmış ve jeodezik yöntemle yapılan izlemelerle ilgili bazı standartlar verilmiştir. Örnek bir çalışma olarak Atatürk Barajı ve bu barajda sürdürülmekte olan deformasyon izleme çalışmalarından bahsedilmiştir. Farklı disiplinler tarafından uygulanmakta olan Jeodezik ve jeodezik olmayan yöntemlerle deformasyonların izlenmesi çalışmaları hakkında bilgi verilmiştir. Özellikle, üç yıldanberi sürdürmekte olduğumuz Jeodezik Yöntemlerle Deformasyonların İzlenmesi Çalışmaları kapsamında baraj gövdesi ve Hidro Elektrik Santralindeki düşey konum değişimlerinin belirlenmesi çalışmalarından ve elde edilen bazı sonuçlarından bahsedilmiştir. Baraj gövdesinde birlikte uygulanan klasik açı-kenar ölçmeleri (Trigonometrik Nivelman) ile GPS Nivelmanından elde edilen sonuçların bir karşılaştırması yapılmış ve farkların anlamlı olup olmadıkları incelenmiştir. Ayrıca, Baraj Kreti üzerinde ayda bir yapılmakta olan presizyonlu nivelman ölçmelerinin son üç yıllık periyottaki değişimleri aktarılmıştır. Benzer olarak, Enerji Santrali içerisinde altı aylık periyotlarda yapılmakta olan Presizyonlu nivelman sonuçlarından bahsedilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Deformasyon Ölçmeleri, Jeodezik ve Jeodezik Olmayan Teknikler, Atatürk Barajı, Düşey Deplasman.

ABSTRACT

DEFORMATION MONITORING and VERTICAL DEFORMATIONS in ATATÜRK DAM

The importance of water and water structures are increasing recently. This situation is more considerable for such countries like Turkey which located in middle zone of the world. The dams are one of the important engineering structures which are used for water supply, flood control, agricultural uses, drinking and hydroelectric power. Turkey has about 550 large dams. Dams are very large and critical structures and they demand the use or application of precise monitoring methods at regular intervals. Monitoring is an essential component of the dams. In this study, some information about dams and the methods of monitoring are given. The case study, deformation measurements of Atatürk Dam is mentioned. Atatürk Dam is one of the five dams constructed on Fırat River and has importance including especially irrigation and hydroelectric power. In addition, brief information is given about Atatürk Dam and the methods of geodetic and non-geodetic monitoring measurements applied by different disciplines. Especially geodetic monitoring methods are emphasized and also some of new measuring techniques recommended.

Key words: Atatürk Dam, Deformation Monitoring, Geodetic Techniques, Non-geodetic Techniques.

1. GİRİŞ

“Su Hayattır” özdeyişi, suyun hayatımız için ne kadar önemli olduğunu vurgulayan çarpıcı bir ifadedir. Artan dünya nüfusu, yükselen hayat standartları ve bozulan doğal denge suya olan ihtiyacı hızla artırmaktadır. Özellikle, bizim gibi sınırlı su kaynağına sahip olan bir ülke için bunun önemi daha da büyüktür. Su kaynaklarının yeterince kontrol altına alınması ve boşa akıp giden suların mümkün olduğunca baraj/gölet gibi ortamlarda biriktirilmesi ve bunların var olan enerjilerinin kontrollü ve faydalı bir şekilde açığa çıkarılması temel hedefdir. Barajlar gibi su yapıları, suyu biriktirmek, akımını düzenlemek, sulama, içme ve enerji üretme gibi bir çok fonksiyonu yerine getiren önemli mühendislik yapılarıdır. Bu yapılarda ortaya çıkabilecek herhangi bir olumsuzluk, baraj ve yakın çevresinde yaşayan insanlar için kimi zaman bir afete dönüşebilir ve ülke ekonomisi için de ciddi zararlara neden olabilir. Bu sebeple, bu tür mühendislik yapıları, inşasından itibaren izlenmeye alınıp, jeodezik ve jeodezik olmayan ölçme teknikleri kullanılarak muhtemel değişimleri ve deformasyonları belirlenmeye çalışılır (Kalkan vd., 2006 ve 2007).

Kaynaklara göre, Dünyada 150 binden fazla baraj bulunmaktadır(Akarun,1983). İkinci dünya savaşından sonra, baraj yapım teknolojisindeki hızlı gelişmelere paralel olarak çok daha yüksek ve çok daha hacimli barajlar yapılmaya başlanmıştır. Bu gün için, gövde yüksekliği 300 metrenin üzerinde ve gövde hacmi 200 milyon metre küpten daha fazla olan barajlar inşa edilebilmektedir. Dünyanın en yüksek barajı, 335 m. gövde yüksekliği ile Tacikistan'daki *Rogun barajı* olduğu gibi, 39 trilyon 300 bin metre küp baraj hacmi ile, Çinde yeni inşa edilmiş olan *Three Gorges barajı*'dır(URL1,URL2). Hidrolik enerji üretimi bakımından ise, dünyanın en büyük kurulu gücüne sahip barajı, şimdiye kadar Brezilya ve Paraguay sınırındaki *Itaipu Barajı* olduğu bilinmektedir(URL1). Ancak, bu yıl tamamlanan Çindeki *Three Gorges barajı*, 22500 MW kurulu gücüyle, bu alanda da dünyanın en büyük barajı ünvanını kazanmıştır. Ülkemizde ise, Uluslararası kriterlere göre baraj niteliğinde olan 550'e yakın baraj bulunmaktadır(URL3 ve URL4). Bu sayıya inşa, proje ve planlama safahasında olan büyük gölet ve barajlar eklenecek olursa, bu sayı yaklaşık 800'e ulaşmaktadır(DSİ, 1999). Bunlar içinde en büyüğü, Atatürk barajıdır.

Bu çalışmada, barajlar gibi önemli mühendislik yapılarında uygulanmakta olan deformasyon izleme teknikleri tanıtılmış ve örnek bir çalışma olarak Atatürk Barajı ve bu barajda 1990 dan beri sürdürülmekte olan deformasyon izleme çalışmaları hakkında genel bilgi verilmiştir. Özellikle, üç yılı aşkın zamandan beri İTÜ İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Ölçme Tekniği Anabilim Dalı olarak DSİ nin desteği ile yaptığımız jeodezik yöntemlerle deformasyon izleme çalışmalarından söz edilmiştir. Bu kapsamda baraj gövdesinde 6 aylık periyotlarda gerçekleştirilen trigonometrik nivelmen sonuçları ile GPS'den bulunan sonuçlarının bir karşılaştırması yapılmıştır. Ayrıca, kret üzerinde aylık periyotlarda ve santral binasında 6 aylık periyotlarda sürdürülen presizyonlu nivelmen ölçmelerinin sonuçları hakkında bilgi aktarılmaya çalışılmıştır.

2. BARAJLARDA DEFORMASYONLARIN İZLENMESİ

Barajlar, değişik yük altında bulunan kritik mühendislik yapılarından birisidir. Baraj ve yakın çevresi, bir çok nedene bağlı olarak zaman içinde deformasyona uğrayabilir. Barajın yapısı, gövdenin ve su kütesinin ağırlığı, suyun basıncı, gövde içi su basıncındaki değişim, sıcaklık değişimleri ve yer kabuğu hareketleri gibi faktörler deformasyonların sebepleri olarak sıralanır. Geometrik ve fiziksel değişimlere yol açabilen bu faktörlerin izlenmesi ve değişimlerinin belirlenmesi gerekir. Zamanla oluşabilecek fiziksel ve geometrik değişimler izlenir ve bu değişimlerin anlamlı seviyelerde olup olmadıkları ve kritik değerlere yaklaşp yaklaşmadıkları belirlenmeye çalışılır. Böylece, zamanında alınacak önlemlerle yapının emniyeti, verimliliği ve yapıdan beklenen faydanın sürekliliği yanında, yol açabileceği zararların da önlenmesi sağlanmış olur. Özellikle son yıllarda bu konuya olan ilgi ve duyarlılık artarak devam etmektedir. Büyük Barajlar gibi önemli mühendislik yapılarında zamanla meydana gelebilecek deformasyonları izlemek üzere, jeodezik ve jeodezik olmayan bir çok yöntem uygulanmaktadır.

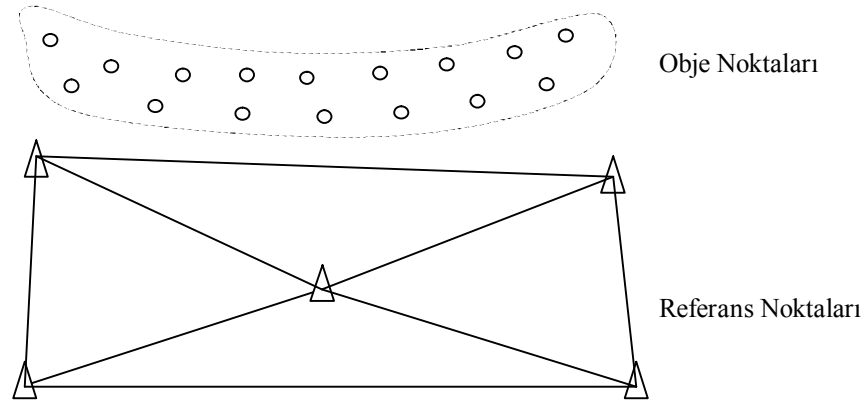
2.1 Deformasyon İzleme Yöntemleri

Baraj deformasyonlarının izlenmesinde jeodezik ve jeodezik olmayan bir çok yöntem uygulanmaktadır. Jeodezik yöntem, alıymnan ölçmelerinden uydu bazlı konum ölçmelerine kadar bir çok farklı ölçme tekniğini içinde barındırır(Tablo 1).

Tablo 1: Jeodezik Yöntemle Deformasyon İzleme Teknikleri ve Ölçme Donanımları

Jeodezik Yöntemler	Kullanılan Alet ve Donanımlar
<ul style="list-style-type: none">• Alıymnan Ölçmeleri• Klasik Konum Ölçmeleri• Uydu Bazlı Konum Ölçmeleri• Presiz. Trigonometrik Nivelman Ölçmeleri• Presiz. Geometrik Nivelman Ölçmeleri• Laser Scanner Tekniği• İnterferometrik SAR Görüntü Tekniği	<ul style="list-style-type: none">• Teodolit, Laser Optik, İnvar Tel vs.• Total Station, Teodolit ve Uzaklık Ölçer• GPS, GLONAS ve GALİLO Alıcıları• Hassas Total Station, Teodolit ve Uz. Ölç.• Presizyonlu Nivelman Donanımı• Laser Scanner• SAR Uydu Görüntülerinin Değerlendirilm.

En fazla uygulanan şekliyle, yatay ve düşey yöndeki deformasyonların izlenmesi işi, bu amaç için oluşturulmuş deformasyon ağlarında, periyodik olarak yapılacak Klasik ve/veya Uydu Bazlı ölçmelerle yapılır. Baraj gövdesi ve yakın çevresindeki konum değişimleri, bölge dışında seçilen referans noktalarına göre, bağıl olarak belirlenmeye çalışılır. Deformasyon beklentisi olan objeler, *obje noktalar*(*deformasyon noktaları*) ile temsil edilirler(Şekil 1).



Şekil 1: Jeodezik Yöntemle Deformasyon İzleme Ağı

Jeodezik yöntemde ölçme metodu ve ölçme aralığının seçimi ve bu ölçmelere ilişkin standartlar, izlenecek barajın türüne, beklenen deformasyonların çeşidine ve barajın bulunduğu aşamaya bağlı olarak farklılıklar gösterir. Beton kemer ve kaya dolgu barajlar için önerilmiş olan bazı doğruluk kriterleri Tablo 2'de verilmiştir(USAGE, 2002).

Tablo 2: Barajlardaki Deformasyon Ölçmelerinde Uygulanan Bazı Doğruluk Kriterleri

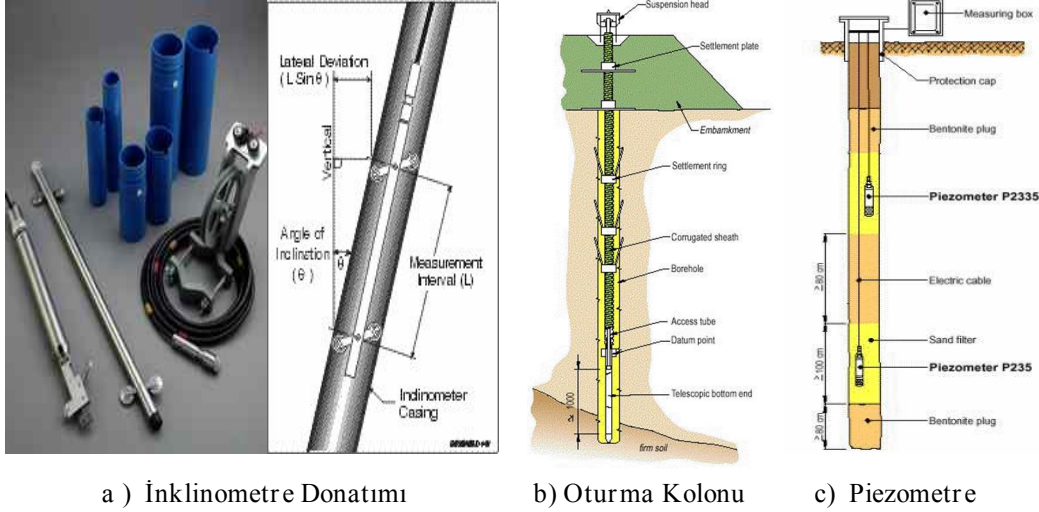
Baraj Tipi	Beton Kemer	Kaya Dolgu
İzleme Doğruluğu	Uzun Periyotlu Ölçmelerde	Uzun Periyotlu Ölçmelerde
	-Yatay Yer değiştirme : $\pm (5- 10)$ mm -Düşey Yer değiştirme : ± 2 mm	-Yatay yer değişimi : $\pm 20-30$ mm -Düşey yer değişimi : ± 10 mm
	Kısa Periyotlu Ölçmelerde	Kontrol Yapılarında
	Derz ve çatlak ölçmelerinde : ± 0.2 mm	-Oyulma/Er osyon/Dolma : $\pm 5 -15$ cm

Jeodezik olmayan deformasyon izleme yöntemlerinde ise, yatay-düşey hareketler yanında, baraj ve çevresindeki deformasyonlara neden olan yük değişimleri, yer altı su seviyesi değişimi, gerilme, sıcaklık gibi değişik faktörlerin büyüklükleri ve değişimleri bazı özel donanımlarla ölçülerek izlenir(Tablo 3).

Tablo 3: Jeodezik Olmayan Yöntemler ve Ölçme Donanımları

Jeodezik Olmayan Yöntemler	Ölçme Donanımları
<ul style="list-style-type: none"> Eğim ölçmeleri Deplasman Ölçmeleri Uzunluk değişim Ölçmeleri Boşluk suyu basıncı Ölçmeleri Düşeyden ayrılma ölçmeleri Derz Ölçmeleri Çatlak ölçmeleri 	<ul style="list-style-type: none"> İnclinometreler Settlement Tubes Extensometreler Piezometreler Reversed pendulum Jointmetreler Crackmetreler

Bu donanımların önemli bir bölümü, borulu ve kablolu aletler olarak bilinir. En önemli avantajları, otomatik izleme ve kayıt yapılabilmesi ve bu verilerin belli merkezlerde toplanabilmesidir. Farklı derinliklerdeki yatay konum değişimlerini ölçen *inklinometreler*(*eğim ölçerler*) ile yine farklı derinliklerdeki düşey konum değişimlerini ölçen *settlement tubes* (*oturma kolonları*) ve boşluk suyu basınç değişimlerini ölçen *piezometreler* bu aletlerden bazılarıdır(Şekil 2a,b,c).



Şekil 2(a,b,c) : Jeodezik Olmayan Bazı Ölçme Donanımları

3. ATATÜRK BARAJI ve DEFORMASYON İZLEME ÇALIŞMALARI

Atatürk barajı ülkemizin en büyük barajı olduğu gibi dünyanın da sayılı barajları arasında yer almaktadır. Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) kapsamında Fırat Nehri üzerinde inşa edilen beş barajdan birisi olup Şanlıurfa ve Adıyaman il sınırları içinde yer almaktadır. 1983 -1992 yılları arasında yapılan baraj, hem sulama, hem içme suyu, hem de enerji amaçlı olarak inşa edilmiştir. Baraj gölünden alınan sulama suyu, Şanlıurfa tünelleri ve pompaj istasyonları ile Harran Ovasına ulaştırılmakta ve yaklaşık 900 000 hektarlık bir alanın sulanması sağlanmaktadır. Ayrıca, Şanlıurfa şehrinin içme ve kullanma suyunun temin edildiği Atatürk Barajı, aynı zamanda Türkiye'nin enerji ihtiyacının da önemli bir bölümünü karşılayan bir Hidro-Elektrik santralini beslemektedir. Gövde yapısı, Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Tipinde yapılmış olan bu baraja ait bazı teknik bilgiler ve barajın genel bir görüntüsü Tablo 4'de verilmiştir.

Genellikle tüm büyük barajlarda olduğu gibi, Atatürk barajında da zamanla ortaya çıkabilecek değişimleri izleyebilmek amacıyla Jeodezik ve jeodezik olmayan yöntemlerle deformasyon izleme çalışmaları başlatılmış ve günümüze kadar bu çalışmalar büyük oranda devam ettirilmiştir. Baraj temelinin, gövde dolgusunun, beton yapıların, yan palyelerin, santral binasının ve galerilerin davranışlarını izlemek üzere buralara ölçme noktaları ve bazı donanımlar yerleştirilmiştir.

Jeodezik ölçmeler yanında boşluk suyu basıncı ölçmeleri, sıcaklık ölçmeleri, eğim ölçmeleri, deplasman ölçmeleri, gerilme ölçmeleri, çatlak ölçmeleri gibi ölçmeler de yapılmaktadır(Kalkan, 2007; Bilgi, 2006).

Tablo 4: Atatürk Barajına Ait Bazı Teknik Bilgiler

Konum	Şanlıurfa
Nehir	Fırat
İnşa Yılı	1983 – 1992
Baraj Hacmi	84500 hm ³
Yüksekliği (nehir yatağından)	169 m
Rezervuar Hacmi	48700 hm ³
Rezervuar Alanı	817 km ²
Sulama Alanı	872385 ha
Elektrik Üretim Kapasitesi	2400 MW



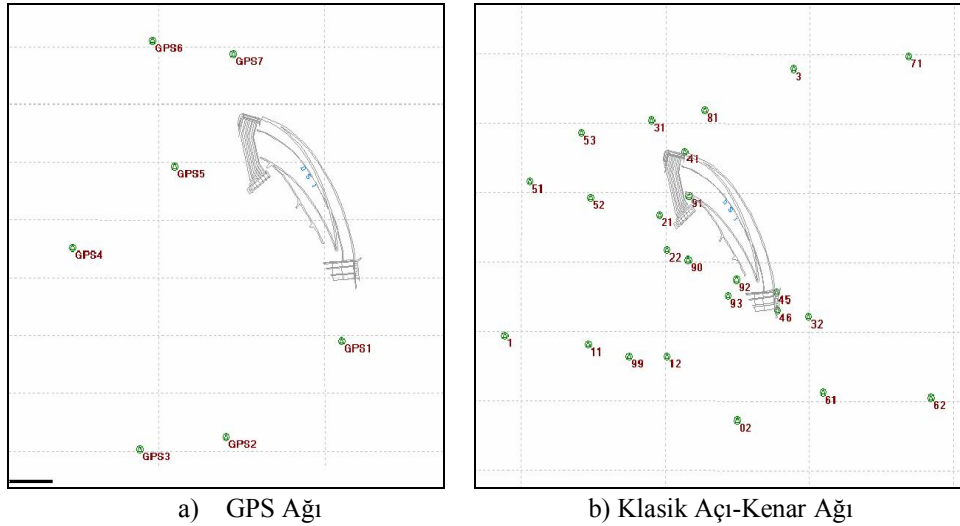
Yıllık Elektrik Üretimi

8.9 milyar KWh

3.1 Atatürk Barajında Jeodezik Yöntemlerle Deformasyonların İzlenmesi

Baraj ve yakın çevresindeki deformasyonların izlenebilmesi amacıyla, hareket beklenmeyen sağlam zeminli bölgelerde seçilmiş 32 noktalı bir referans ağı ile hareket olabilecek bölgelerde seçilmiş yaklaşık 360 noktalı bir obje ağı (*Deformasyon Ağı*) oluşturulmuştur. Ayrıca, baraj gövdesi üzerinde 36 noktalı ve santral binasında yaklaşık 45 noktalı olmak üzere iki nivelman ağı mevcuttur.

GPS Ağı : 32 noktalı Referans ağının en dışında yer alan 7 adet nokta, GPS Ağı olarak tasarlanmış olup yaklaşık 7 km x 9 km'lik bir alana dağılmıştır(Şekil 3a). Noktalar, hareket beklentisi olan bölgelerin çok uzağında ve sağlam zeminlerde seçilmiştir.



Şekil 3(a,b) : Atatürk Barajı Referans Ağı

Referans ağının diğer 25 noktası, klasik açı-kenar gözlemleri yapacak şekilde tasarlanmış olup baraj gövdesini ve yakın çevresini kuşatacak şekilde yaklaşık 4-5 km çapında bir alan içine dağılmıştır (Şekil 3b). Bu noktalardan bir bölümü, baraj gövdesi ve yakın çevresindeki obje noktalarının ölçülmesinde kullanılmaktadır.

Obje Noktalarından Oluşan Deformasyon Ağı : Baraj gövdesi, yan palyeler ve galeriler gibi bölgelerde çeşitli faktörlerin etkisiyle zaman içinde oluşabilecek hareketleri izlemek üzere yaklaşık 400 noktalı bir obje ağı oluşturulmuştur (Tech. Report, 2004). Bu noktalardan 200 den fazlası baraj gövdesi üzerinde yer almaktadır.

Nivelman Ağı : Baraj kreti üzerinde bir baştan bir başa uzanan toplam 36 noktalı bir nivelman ağı ile, santral binasında içinde ve dışında tesis edilmiş yaklaşık 45 noktalı ayrı bir nivelman ağı mevcuttur(Şekil 4a,b). Kret'teki düşey yönlü hareketleri hassas olarak belirleyebilmek için tasarlanmış olup bu noktalarda ayda bir presizyonlu nivelman tekniği ile ölçmeler yapılmaktadır. Santral binasında içindeki noktalar ise, duvar noktaları şeklinde olup santral binasındaki oturumları izlemek üzere taşıyıcı kolonlar üzerine yerleştirilmiştir. Bu ağdaki ölçmeler, genellikle yılda iki kez olmak üzere yine presizyonlu nivelman tekniği ile yapılmaktadır.

3.1.1 Ölçmelerde Kullanılan Alet ve Donanımlar

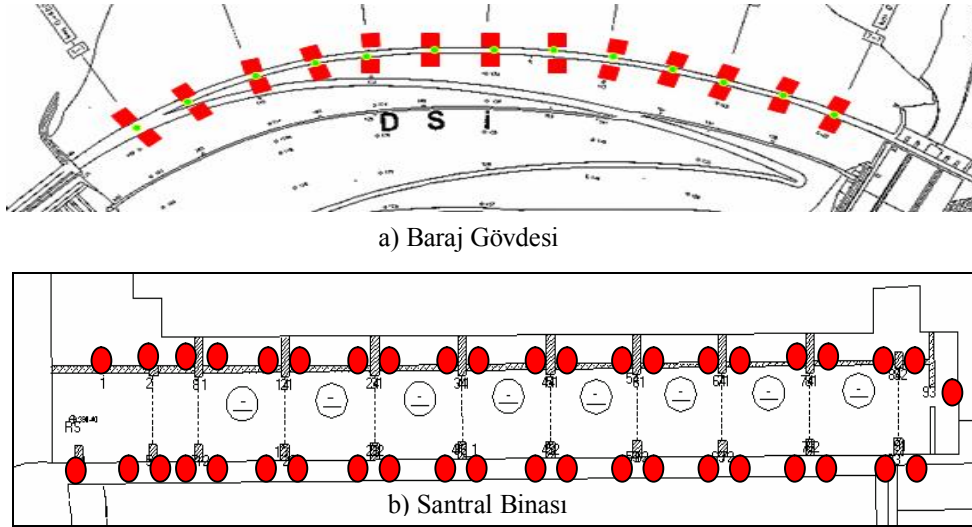
Atatürk Barajında Jeodezik Yöntemlerle deformasyonların izlenmesinde, klasik açı-kenar ölçmeleri için hassas elektronik teodolitler, elektronik uzaklık ölçerler, GPS ölçmeleri için çift frekanslı GPS alıcıları, hassas yükseklik ölçmeleri için de presizyonlu nivelman donanımı kullanılmaktadır. Kullanılan bu alet ve donanımlara ilişkin daha detaylı bilgiler (Kalkan, Y. 2007 ve 2008)'de verilmiştir.

3.1.2 GPS Ölçmeleri

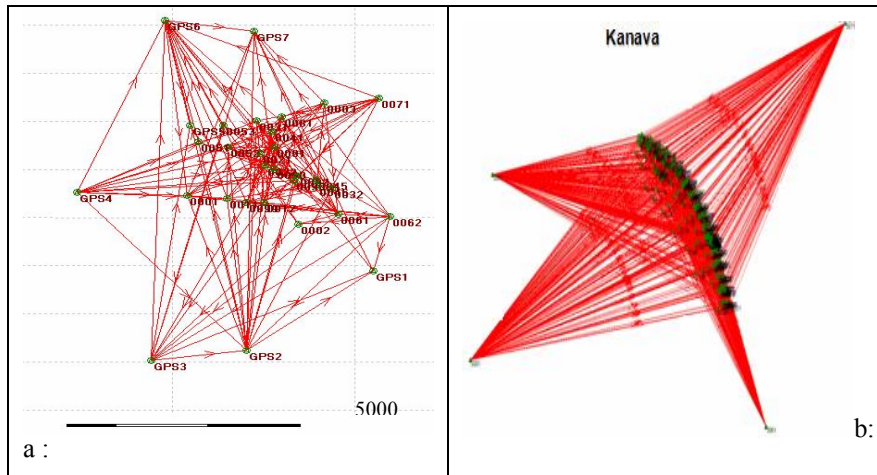
GPS yöntemi tüm dünyada bir çok uygulamaya yeni ufuklar açmıştır(Roberts, 2000, Pretorius, 2001, Kalkan, 2002, 2003, 2007). Bu yöntem, yüksek doğrulukta kıta hareketlerinin belirlenmesinden, viyadük, baraj, köprü, yüksek yapılar gibi büyük ve önemli mühendislik yapılarının yatay ve düşey deformasyonlarının belirlenmesine kadar bir çok çalışmada başarıyla kullanılmaktadır. Atatürk Barajı'nda sürdürülmekte olan deformasyon izleme çalışmalarında da bu teknik, diğer jeodezik tekniklerle birlikte kullanılmaktadır. Bu çalışmada, GPS ağı ile, klasik nirengi ağı birlikte

Atatürk Barajında Deformasyon İzleme Çalışmaları ve Düşey Deformasyonlar

düşünülmüş 32 noktalı Referans ağının 27 noktasında olmak üzere altı aylık periyotlarda GPS Yöntemiyle ölçmeler yapılmıştır. Şu ana kadar, Mayıs-2006 ile Kasım 2008 tarihleri arasında, tarafımızdan toplam 6 periyot ölçme gerçekleştirilmiştir. Ölçmelere ilişkin bir kanava, Şekil 5a'da verilmiştir.



Şekil 4(a,b) : Baraj Kretinde ve Santral Binası İçindeki Presizyonlu Nivelman Noktaları



Şekil 5 : GPS Ölçmeleri Ölçme Kanavas

GPS ölçmelerinin gövde üzerindeki obje noktalarında kullanılıp kullanılmayacağı test edilmiş ve olumlu sonuçlar alınmıştır. İkinci periyottan sonra gövde üzerindeki noktaların tamamına yakınında, 4 sabit noktaya göre statik yöntemle GPS ölçmeleri gerçekleştirilmiştir(Şekil 5b).

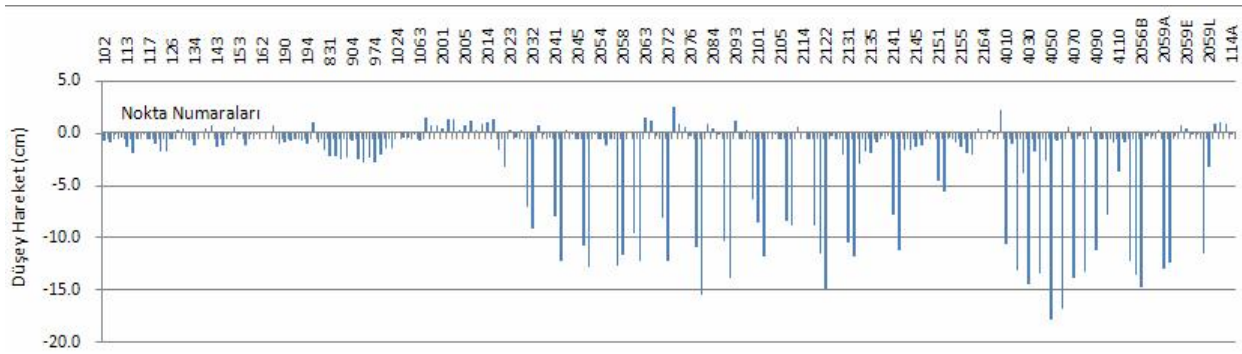
3.1.3 Klasik Açı-Kenar Ağı Ölçmeleri ve Değerlendirmesi

Klasik Nirengi ağının ölçmeleri, hassas yatay-düşey açı ile uzunluk ölçmelerinden oluşmaktadır. Bu çalışmamızda, yaklaşık 25 noktalı klasik nirengi ağının yaklaşık 13 noktasında alet kurularak 18 noktada açı-kenar ölçmeleri yapılmıştır. Ayrıca, bu referans ağı ile obje noktalarını birbirine bağlamak için yaklaşık 9 adet nirengi noktasından baraj gövdesi üzerindeki 200 den fazla obje noktasına konum belirlenecek şekilde ölçmeler yapılmıştır. Her periyot ölçülerin değerlendirilip uygun stokastik modelle dengelemesinden sonra, nirengi ağı için bir kaç mm nokta konum doğrulukları ve en fazla 5-6 mm yükseklik doğrulukları elde edilmiştir. Baraj gövdesi üzerinde yer alan obje(deformasyon) noktaları için yatay konum ve yükseklik doğrulukları ise, 1 cm'nin altında kalmıştır. Şu ana kadar tarafımızdan gerçekleştirilmiş olan toplam 6 periyot ölçme sonuçları karşılaştırılmıştır. Çift periyot karşılaştırması yapabilmek için öncelikle stokastik model testi uygulanarak her iki periyodun aynı bir küme içinde değerlendirilip değerlendirilemeyeceğine bakılmıştır. m_1 ve m_2 , ilk ve son periyot dengelemeye ait birim ölçünün karesel ortalama hatası olmak üzere, 0,05 yanılma ihtimali ile Fisher dağılımına göre test büyüklüğü ($f = m_1^2/m_2^2$) hesaplanmıştır. F,

Tablo değeri olmak üzere nirengi ağı için $f_N < F_N$ ve tüm ağ için $f_T < F_T$ hesaplanmış ve karşılaştırılan iki periyodun aynı bir kümede değerlendirilip değerlendirilemeyeceği test edilmiştir. Aynı bir kümede değerlendirilmesi durumunda, çift periyot analizi yapılarak periyotlar arası fark vektörleri ve bunlara ait doğruluk kriterleri hesaplanmıştır. Elde edilen farkların en iyi ihtimalle anlamlı hareket olup olmadığını test etmek için test büyüklüğü olarak $T_i = 2,5 * (2)^{0,5} * (M_{dHi})$ eşitliğinden elde edilen büyüklükler kullanılarak ($dH_i > T_i$) anlamlı sayılabilecek farklar belirlenmiştir. Kasım 2008 de yapılan 6. Periyot ölçme sonuçlarına göre, obje noktalarının yaklaşık % 31'inde anlamlı düşey hareket belirlenmiş olup iki buçuk yıllık sürede gelişen en büyük hareketin büyüklüğü 17.8 cm olarak belirlenmiştir. Gövde noktaları için belirlenmiş olan bu en büyük fark vektörlerinin bir bölümü büyükten küçüğe Tablo 5'de ve tamamı için çizdirilmiş grafikler ise, Şekil 6'da verilmiştir.

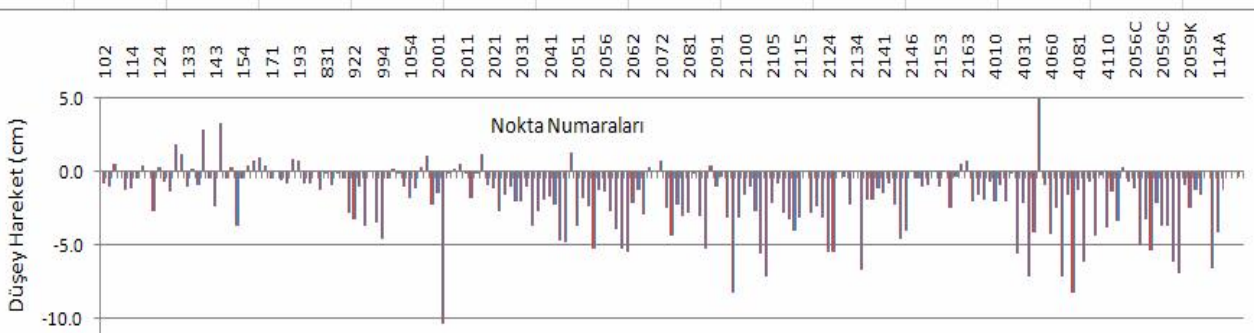
Tablo 5 : Hesaplanan En Büyük Fark Vektörleri ve Anlamlılık Testi

Nokta Adı	dH ₆₋₁ cm	T _i cm	Nokta Adı	dH ₆₋₁ cm	T _i cm	Nokta Adı	dH ₆₋₁ cm	T _i cm	Nokta Adı	dH ₆₋₁ cm	T _i cm	Nokta Adı	dH ₆₋₁ cm	T _i cm
4050	-17.8	4.0	2122	-14.8	2.2	2092	-13.8	4.4	4040	-13.4	3.1	2059A	-13.0	3.7
4060	-16.7	2.9	2056B	-14.7	2.7	4070	-13.8	3.0	4080	-13.2	2.6	2052	-12.8	3.5
2082	-15.5	4.7	4030	-14.4	4.4	2056A	-13.6	3.6	4020	-13.1	3.4	2057	-12.7	3.9



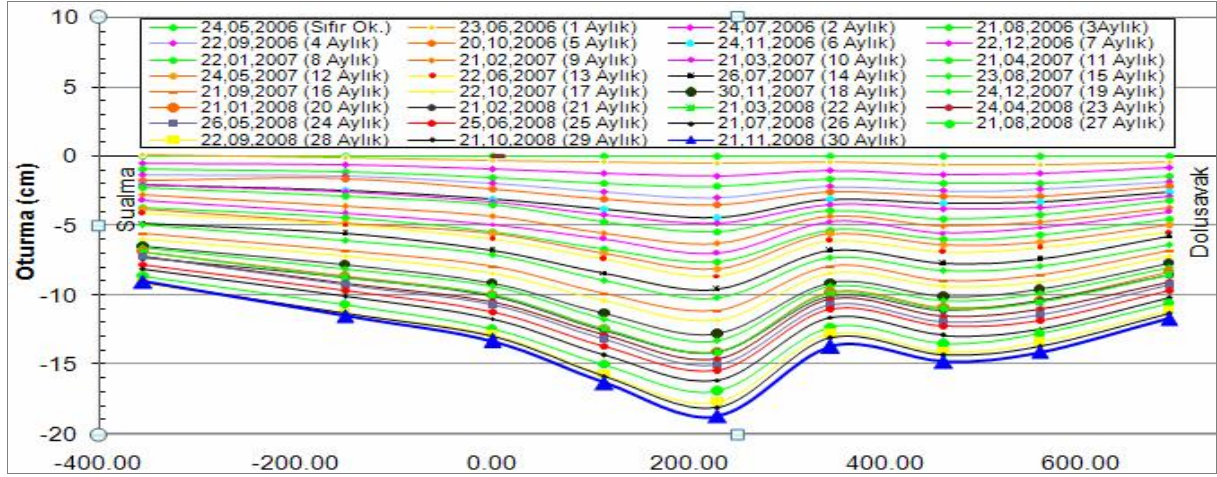
Şekil 6 : Gövde Noktaları İçin Klasik Ölçmelerden Belirlenen İki buçuk Yıllık Yükseklik Değişimleri (May 2006 – Kasım 2008)

Ayrıca, 3. Periyottan itibaren gövde üzerindeki noktaların tamamına yakınında yapılan GPS ölçme sonuçları, 3. Periyot (Mayıs 2007) yükseklikleri ile 5. Periyot (Mayıs 2008) yükseklikleri karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçların grafik bir gösterimi Şekil 7'de verilmiştir.



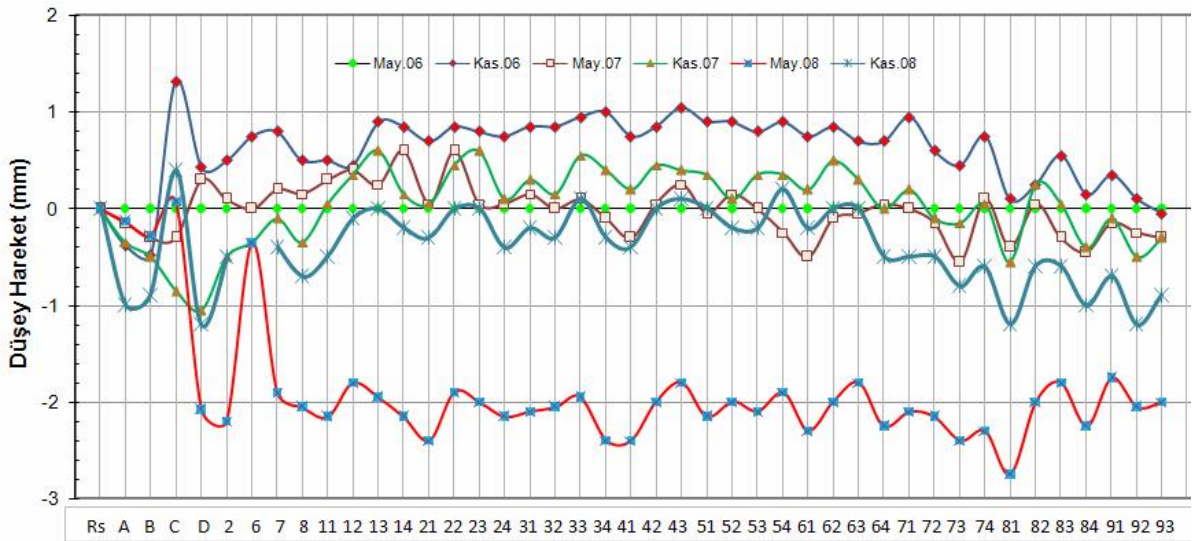
Şekil 7 : Gövde Noktaları İçin GPS'den Belirlenen 1 Yıllık Yükseklik Değişimleri (Mayıs 2007- Mayıs 2008)

Baraj kreti üzerinde ayda bir yapılmakta olan presizyonlu nivelman ölçmelerinin son iki buçuk yıllık değerlendirme sonuçları Şekil 8'de grafik olarak verilmiştir. Ortalama aylık düşey hareketin büyüklüğü ise, - 6mm olarak bulunmuştur.



Şekil 8 : Baraj Kretinde Aylık Oturma Grafiği (Mayıs 2006 dan Kasım 2008'e)

Hidro elektrik Santral binasındaki düşey deplasmanı izlemek üzere altı ayda bir yapılan ve son 6 periyot ölçmelere ait olan presizyonlu nivelman sonuçları Şekil 9'da yine grafik olarak verilmiştir.



Şekil 9 : Hidro Elektrik Santrali Nivelman Noktalarında 6 Aylık Periyotlarda Gelişen Düşey Hareketler

4. SONUÇLAR

Atatürk Barajı, Ülkemizin en büyük barajı olduğu gibi Dünyanın da sayılı barajları arasında yer almaktadır. Sulama, enerji ve içme suyu temini gibi çok önemli görevleri yerine getirmektedir. Yapımına 1983 yılında başlanan ve 1992 yılında enerji üretimine başlayan Atatürk barajı, bu güne kadar ülkemiz sosyo ekonomisine önemli katkılar sağlamıştır. Bu tür mühendislik yapılarının kontrol altında tutulması ve zamanla oluşabilecek deformasyonların izlenmesi hayati önem taşımaktadır. Atatürk Barajında bu izleme çalışmalarını yapabilmek için çok önemli ölçme tesisleri yapılmıştır. Jeodezik ve jeodezik olmayan bir çok izleme teknikleri ile baraj ve çevresi sürekli izlenmektedir. Emsallerine göre oldukça kuvvetli bir alt yapıya sahip olan Atatürk barajındaki izleme çalışmaları 1992 den beri sürdürülmektedir.

Jeodezik yöntemle deformasyonların izlenmesi için 32 noktalı bir referans ağı ve yaklaşık 400 noktalı bir obje ağı oluşturulmuştur. Klasik veya uydu bazlı ölçmelerle periyodik olarak bu ağ ölçülmekte ve yatay düşey deformasyonlar belirlenmeye çalışılmaktadır.

Tarafımızdan ilk ölçmeleri Mayıs 2006'da yapılan klasik ölçme sonuçları ile Kasım 2008 klasik ölçme sonuçları karşılaştırılmış ve iki buçuk yıllık sürede obje noktalarının yaklaşık %31'inde anlamlı sayılabilecek düşey hareketler meydana gelmiştir. En büyük hareketler, kretin menba tarafında ve gövdenin 0+230 ve 0+460 kesitine yakın bölgelerde gelişmiştir. Bu hareketlerin en büyükleri ve aylık hızları, büyükten küçüğe;

4050	4060	2082	2122	2056B	4030	2092	4070	2056A	4040	4080	4020
-17.8	-16.7	-15.5	-14.8	-14.7	-14.4	-13.8	-13.8	-13.6	-13.4	-13.2	-13.1
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
-5.9	-5.6	-5.2	-4.9	-4.9	-4.8	-4.6	-4.6	-4.5	-4.5	-4.4	-4.4
mm/ay	mm/ay	mm/ay	mm/ay	mm/ay	mm/ay	mm/ay	mm/ay	mm/ay	mm/ay	mm/ay	mm/ay

Şeklinde belirlenmiştir.

Diğer yandan, uydu bazlı konum belirleme yöntemi ile yapılan ölçülerin değerlendirme ve dengelenmesi sonucunda noktaların 3 boyutlu konumları oldukça yüksek doğrulukla belirlenmiştir. Klasik ölçmelerden elde edilen sonuçlarla, GPS ölçmelerinden elde edilen sonuçların birbirleri ile uyumlu olduğu ve oldukça zaman alıcı ve zahmetli çalışmalar gerektiren klasik ölçmeler yerine, hava şartlarından bağımsız, gece ve gündüz ölçme imkanı sunan GPS ölçmelerinin büyük oranda kullanılabilmesi görülmüştür. Bu yöntemle elde edilen ± 1 cm'den daha iyi konum doğruluğu ve ± 1 cm civarında bir yükseklik doğruluğu ile Atatürk barajı gibi kaya dolgu barajlarda gövde ve yakın çevresindeki deformasyonların izlenmesinde yeterli ve avantajlı olduğu söylenebilir. Ancak, veri alınabilen uydu sayısının yeterli ve uydu geometrisinin de uygun olması, özellikle yükseklik belirleme doğruluğu açısından önemsenmelidir.

Baraj Kreti üzerinde ayda bir yapılmakta olan presizyonlu nivelman ölçmelerinin son 30 aylık sonuçlarına göre, aylık ortalama düşey hareket, - 6 mm mertebesinde belirlenmiştir.

Santral binasındaki düşey deplasmanı belirleyebilmek için 6 ayda bir yapılan presizyonlu nivelman sonuçlarına göre, Mayıs 2008 periyodu hariç tutulacak olursa en fazla değişim ± 1 mm düzeyinde bulunmuştur.

Bundan sonraki çalışmalarda, özellikle baraj gövdesinin üç boyutlu modellenmesi ve değişimin izlenebilmesi için oldukça yeni bir teknik olan Laser Scanner Ölçme Tekniğinin ve düşey yönlü hareketi izleyebilmek için İnterferometrik SAR Görüntü tekniğinin kullanılıp kullanılmayacağını araştırılması önerilmektedir.

TEŞEKKÜR

Atatürk Barajında Jeodezik Yöntemlerle Deformasyonların İzlenmesi Projesi kapsamında yaklaşık üç yıldan beri sürdürmekte olduğumuz çalışmalarda büyük desteğini gördüğümüz başta DSİ yöneticilerine ve baraj çalışanlarına, ayrıca, İTÜ İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümünden çalışmalara katılan ve destek veren tüm meslektaşlarımıza şükranlarımızı sunuyoruz.

KAYNAKLAR:

- Akarun, R., 1983. "Atatürk Barajı ve Dünyadaki Büyük Barajlar" Atatürk Barajı Özel Sayısı, DSİ-Ankara.
- Bilgi, S., Kalkan, Y., Yalın, D., Yavaşoğlu, H., 2006. *Geodetic Monitoring in the Biggest Dam of Turkey: Atatürk Dam* International Symposium On "Modern Technologies, Education and Professional Practice in Geodesy and Related Fields" Sofia, 09 - 10 November 2006
- DSİ, 1999. "Türkiyedeki Barajlar ve Hidroelektrik Santraller", DSİ Teknoloji Dairesi Başkanlığı Ankara.
- Kalkan, Y., Alkan, R.M., 2006. Mühendislik Yapılarında Deformasyon Ölçmeleri, 2. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 23-25 Kasım 2006, İstanbul, s. 64-74.
- Kalkan, Y., Baykal, O., Alkan, R. M., Yanalak, M., 2002. "Deformation Monitoring With Geodetic and Geotechnical Methods a Case Study in Ambarlı Region", International Symposium on Geographic Information Systems, September, 2002, İstanbul.
- Kalkan, Y., Baykal, O., Alkan, R.M., Yanalak, M., Erden, T., 2003. "Heyelanların Jeodezik ve Geoteknik Yöntemlerle İzlenmesi: Ambarlı Liman Bölgesinde Bir Uygulama", I. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 30-31 Ekim 2003, İstanbul.
- Kalkan, Y., 2007. "Atatürk Barajında Jeodezik Yöntemlerle Deformasyonların İzlenmesi", Projesi Teknik Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Pretorius, C.J., Schmidt, W.F., Van Staden, C.S. (2001). "The Extensive Geodetic System Used for The Monitoring of a 185 Meter high Arch Dam In Southern Africa" The 10th International Symposium on deformation measurements, 19-22.March.2001 Orange, California, USA.
- Roberts, G.W., X. Meng and Dodson, (2000). "Structural Dynamic and deflection monitoring using Integrated GPS and Triaxial accelerometers" 13th Int. Tech. Meeting of Satallite Division of the U.S. Ins. of Navigation GPS ION 2000, Salt Lake City, Utah, 19-22 Sept.

Atatürk Barajında Deformasyon İzleme Çalışmaları ve Düşey Deformasyonlar

Svend-Erik, B., 2001. “*Deformation Measurement on Bridge and Tunnel of the Fixed Link Between Sweden and Denmark*” The 10th International Symposium on deformation measurements, 19-22.March.2001, Orange, California, USA.

Technical Report, 2004. Atatürk Dam And Hydroelectric Power Plant Geodetic Dam Monitoring May 2004. Electrowatt Engineering Ltd., Zurich. Dolsar Engineering Ltd., Ankara.

Usage, 2002. *Engineering and Design Structural deformation Surveying (EM 110-2-1009)* Department of the Army US Army Corps of Engineers, Washington, DC 20314-1000.

URL 1, Bureau of Reclamation Web Page, What is the biggest dam in the world?, <http://www.usbr.gov/lc/hooverdam/History/essays/biggest.html>, 26 Şubat 2007.

URL 2, World's Largest Dams, <http://www.infoplease.com/ipa>, 03 Nisan 2009.

URL 3, Devlet Su işleri Web Sayfası, <http://www.dsi.gov.tr>, 15 Şubat 2007.

URL 4, Su Vakfi Web Sayfası, <http://www.suvakfi.gov.tr>, 15 Şubat 2007.