

GSJ JOURNALS SERIE C: ADVANCEMENTS IN INFORMATION SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Volume: 3, Issue: 1, p. 32-46, 2020

BARAJLARIN JEODEZİK YÖNTEMLER İLE İZLENMESİ ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALARIN İRDELENMESİ

INVESTIGATION OF THE STUDIES ON THE MONITORING OF DAMS
WITH GEODETIC METHODS

Berkant KONAKOĞLU

(Received 18.12.2019 Accepted 15.02.2020) - Review Article

Özet

Yapım maliyeti oldukça yüksek olan barajlar, barajın kendi ağırlığı, sıcaklık değişimi ve su yükü gibi iç ve dış faktörlerden dolayı deformasyona maruz kalırlar. Bahsi geçen faktörler karşısında yapısal davranışın ne kadar etkilendiği izlenmeli, varsa hareketlerin belirlenmesi ve barajların güvenlikleri sağlanmalıdır. Barajların kurulum amaçlarına sağlıklı bir şekilde hizmet etmeleri için jeodezik ve geoteknik yöntemler ile izlenmelidir. Bu çalışmada, baraj deformasyonlarının jeodezik yöntemlerle izlenmesi konusunda dünyada ve Türkiye’de yapılan çalışmalar değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında, jeodezik ölçüm tekniklerden robotik total station, GNSS ve yersel lazer tarayıcı örnekleri verilmiştir. Bu çalışmanın amacı barajlarda deformasyonların jeodezik yöntemler ile incelenmesi üzerine çalışan kişilere mevcut çözümleri ve gelecekteki yönelimleri anlamalarına yardımcı olmaktır.

Anahtar Sözcükler: Barajlar, Yapı sağlığı izleme, Jeodezik izleme, Deformasyon analizi

Abstract

Dams with high construction costs are subject to deformation due to internal and external factors, such as self-weight, temperature changes and the force of the reservoir water. The effects of these factors on structural behavior should be monitored and, if necessary, precautions must be taken. To serve the purpose of their establishment in a beneficial way, dams should be monitored by geodetic or geotechnical methods. In this study, the studies on dam deformation monitoring with geodetic methods in the world and in Turkey were evaluated. Within the scope of the study, robotic total station and GNSS, terrestrial laser scanner samples were given. The aim of this study is to support the people working on the investigation of the deformations in the dams by geodetic methods to better comprehend current solutions and future tendencies.

Key Words: Dams, Structural health monitoring, Geodetic monitoring, Deformation analysis

1. GİRİŞ

Baraj sağlığını izlemek, güvenlik koşullarını sağlamada ve sürdürülebilirlik işlevlerini sürdürmede önemli bir role sahiptir. Baraj kazaları insanlar, insan yerleşimleri ve çevre için yüksek risk oluşturmaktadır. Muhtemel kaza durumlarını tespit etmek amacıyla barajların sürekli olarak izlenmesi gerekmektedir. Barajlar yaklaşık 100 yıl hizmet edecek şekilde tasarlanır ve yapılır. Bir barajın ömrü tasarım, inşaat, ilk dolum ve işletme aşaması olmak üzere toplam 4 aşamadan oluşur (Li vd., 2016). Bazı barajların enerji üretimini artırmak için inşaat aşaması henüz tamamlanmadan barajlara su tutmaya başlatılabilir. Bu durum ilk dolum aşamasını, inşaat aşaması haline getirebilir (Gong vd., 2006 ve Yang vd., 2010). İlk dolum aşaması, barajın çok büyük miktarda su yükü taşıdığı evredir. Ayrıca istatistiksel verilere göre ilk beş yıl, bir baraj hayatının en tehlikeli dönemi olup baraj yıkımları bu aşamada çok yüksektir. Bu türde baraj yıkımlarına örnek olarak Malpasset Barajı (Londe, 1987), Banqiao ve Shimantan Barajları (Xu vd., 2008), St. Francis Barajı (Begnudelli ve Sanders, 2007), Zillergründl Barajı (Widmann, 1990), Kölnbrein Barajı (Feng vd., 1996), Sayano-Shushenskaya Barajı (Sultanbekov, 2005), Oroville Barajı (Koskinas, 2019) ve Whaley Barajı (Le Page, 2019) gösterilebilir.

Baraj işlevini tam olarak yerine getirme garantisi verilmemesi, enerji üretimi veya sulama çalışmalarında kullanılan barajda ekonomik olarak kayba yol açabilir. Baraj hareketlerini izleme çalışmaları jeodezik ve geoteknik yöntemler kullanılarak yapılmaktadır. Geoteknik yöntemlere örnek olarak, ekstansometreler, yük ve basınç hücreleri, ters ve düz sarkaçlar, inklinometreler ve piyezometreler verilebilir. Yıllar geçtikçe gelişen teknoloji, jeodezik cihazların veri işleme kapasitesini artırmış, arazide geçirilen zamanı ise azaltmıştır. Baraj sağlığının izlenmesi, yersel ve uydu bazlı ölçüm yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir. Baraj hareketlerinin izlenmesinde yersel ölçmelere örnek olarak barajın gerçek şeklini çok yüksek bir ayrıntı ve doğruluk düzeyiyle tanımlayabilen robotik total stationlar, yersel lazer tarayıcılar ve yersel sentetik açıklıklı radar tekniği; uydu bazlı ölçmelere örnek olarak sentetik açıklıklı radar teknikleri verilebilir. Baraj hareketlerinin izlenmesinde kullanılabilecek diğer uydu bazlı ölçme yöntemlerinden bir diğeri GPS/GNSS alıcılarının kullanımınıdır.

Önemi gün geçtikçe daha da artan baraj güvenliğinin jeodezik olarak denetlenmesi alanında dünya çapında çalışmalar yürütülmektedir. Yapılan bu araştırmada dünyada ve Türkiye’de bu alanda yapılan çalışmaların genel görünümü özetleyerek, gelecekte bu alanda çalışma yapacaklara bilgi sağlanması amaçlanmıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Yapılan araştırmada, baraj deformasyonlarının jeodezik yöntemlerle incelenmesi konusunu temel alan, ulusal ve uluslararası düzeyde yapılmış çalışmalar kronolojik sıraya göre ele alınmıştır.

Hudnut ve Behr (1998), Amerika’nın California eyaletine 5 km uzaklıkta bulunan Pacoima Barajı’nda yaptıkları çalışmada toplam 3 adet sürekli ölçüm yapan GPS istasyonu kurarak baraj hareketlerini izlemişlerdir. İstasyonlardan biri (DAM1) barajın

sol palye tarafına kurulurken, diğeri (DAM2) ise baraj kretinin orta yerine kurulmuştur. Referans istasyonu ise hareket beklenmeyen yere tesis edilmiştir. Çift frekanslı GPS alıcılarının kullanıldığı çalışmada veri kayıt aralığı 30 sn olarak seçilmiş, fakat değerlendirme aşamasında 120 sn ile değerlendirme yapılmıştır. Elde edilen verilerin değerlendirilmesinde Gamit-Globk yazılımını kullanılmıştır. Kurulan GPS izleme sistemi aktif hale geldikten sonra baraj kretinin orta noktasında bulunan DAM2'nin sonbahar ve kış aylarında mansap yönüne doğru, ilkbahar ve yaz aylarında ise memba yönüne doğru hareket ettiği belirlenmiştir.

Manake ve Kulkarni (2002), Hindistan'da 85 m yüksekliğinde kaya dolgu tipinde inşa edilen Koyna Barajı'ndaki hareketlerin belirlenmesi amacıyla Aralık 2000 ve Mayıs 2001 yılları olmak üzere iki periyot ölçüm yapmışlardır. Baraj hareketlerini izlemek için 12'si baraj gövdesi olmak üzere toplam 35 noktadan oluşan bir jeodezik ağ kurulmuştur. Jeodezik ölçüm için çift frekanslı Trimble 4000SSI marka GPS alıcıları kullanılmıştır. Ölçüm süresi 6 saat, veri kayıt aralığı 15 sn ve uydu yükseklik açısı 15 °olarak seçilmiştir. GPS verilerini değerlendirmek için Trimble GPSurvey 2.3 yazılımı, dengeleme işlemi için Columbus 3.0 yazılımı kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda Koyna Barajı'ndaki hareketler ile baraj rezervuarındaki su seviyesi arasında yüksek korelasyon olduğu belirlenmiş ve GPS gözlemleri ile belirlenen hareket miktarlarının geleneksel ölçü yöntemleri ile tespit edilen hareket miktarları ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca GPS ölçü yönteminin yapısal ve kabuk hareketlerini izlemek için çok ekonomik, yeterli ve etkili bir yöntem olduğunu belirtilmiştir.

Alba vd. (2006), yaptıkları çalışmada yersel lazer tarama yöntemi ile büyük beton barajların deformasyonlarının izlenebilirliğini araştırmayı amaçlayan bir projenin ilk sonuçlarını sunmuşlardır. Bu amaçla, bir test alanı olarak 136 metre yüksekliğe ve 381 m kret uzunluğuna sahip Cancano Gölü (İtalya) Barajı seçilmiştir. Çalışma kapsamında iki farklı yersel lazer tarayıcı kullanılmıştır. İlki uzun menzilli Riegl LMSS-Z420i, diğeri ise orta menzilli Leica HDS 3000'dir. İki lazer tarayıcı kullanılarak üç ölçüm kampanyası gerçekleştirilmiştir. Ölçüm periyotları, su seviyesinin en yüksek ve en düşük olduğu zamanlarda planlanmıştır. Buna göre Mayıs 2005, Ekim 2005 ve Mayıs 2006 yıllarında ölçümler yapılmıştır. Çalışma sonucunda, yer değiştirmelerin referanslandırma işlemindeki hatalardan kaynaklanan gürültülerden ayrılmasının büyük önem taşıdığı sonucuna varılmıştır.

Kulkarni vd. (2006), Manake ve Kulkarni (2002) yazarları tarafından daha önce yapılmış olan çalışmanın devamı niteliğinde yapılan çalışmada baraj tipi taş dolgu olan Koyna Barajı'nda Aralık 2000 ile Eylül 2004 yılları arası çift frekanslı GPS alıcıları ile ölçüm yapmışlardır. Çalışma alanına kurulan 31 noktalı GPS ağında 10 periyot ölçüm yapılmıştır. Elde edilen GPS verileri Bern Üniversitesi tarafından yazılan Bernese v4.2 akademik yazılımında değerlendirilmiştir. Barajda belirlenen hareket yönü ile Hindistan levha hareket yönünün kuzeydoğu yönünde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca deformasyon çalışmalarında GPS kullanımının sahip olduğu yüksek hassasiyet ve doğruluk nedeniyle çok etkili bir araç olduğunu belirtilmiştir.

Bayrak (2007), Kızılırmak üzerinde 120 m yükseklik ve 510 m kret uzunluğuna sahip Yamula Barajı'nın ilk dolum aşamasında düşey yönlü hareketler ile rezervuar su

seviyesi arasındaki ilişkiyi incelemiştir. 6 referans ve 9 obje noktasından oluşan deformasyon ağında Aralık 2003, Mart 2004, Kasım 2004 ile Nisan 2005 periyotlarında düşey yönlü veriler Sokkia 530R marka total station ile ölçülmüştür. Meydana gelen hareketlerin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemek için statik, kinematik ve dinamik jeodezik deformasyon modelleri kullanılmıştır. Geliştirilen dinamik modelde, statik ve kinematik modelin aksine rezervuar su seviyesi değişimi dikkate alınmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre rezervuar su seviyesindeki artışın düşey yönlü hareketleri tetikleyici bir etken olduğu sonucuna varmıştır.

Bayrak (2008), Bayrak (2007) yaptığı çalışmaya ek olarak 2000 ile 2005 yılları arasında Yamula Barajı'nın ilk dolun aşamasında yatay yönlü hareketlerinin rezervuar su seviyesiyle olan ilişkisini araştırmıştır. Araştırmacı bu çalışmada, deformasyon analiz yöntemi olarak daha önceden geliştirdiği dinamik deformasyon yöntemini kullanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, düşey yönlü hareketlere ek olarak rezervuar su seviyesindeki değişimler ile yatay yönlü hareketler arasında da korelasyon olduğu ve baraj hareketine neden olan su seviyesi yükseklik değişimi dikkate alınarak geliştirilen dinamik deformasyon modelinin sonuçlarının daha gerçekçi olabileceği sonucuna varılmıştır.

Gikas ve Sakellariou (2008), baraj tipi toprak dolgu olan Mornos Barajı'nda düşey yönlü hareketleri jeodezik, geoteknik ve sonlu elemanlar analiz yöntemleri ile belirlemeye çalışmışlardır. Araştırmacılar, jeodezik yöntemlerden hassas geometrik nivelman yöntemi kullanmışlardır. Nivo olarak Zeiss Ni2 ve Leica NA2 kullanılmıştır. Ayrıca Wild T2 ve Leica TC 1600 marka cihazlarla trigonometrik nivelman yapılmıştır. Geoteknik ölçme cihazlarından ekstansometreler kullanılmıştır. Düşey yönlü hareketlerini izlemek için barajın yapım, suyun ilk dolun ve işletme aşamaları olmak üzere toplam 3 aşamada (30 yıl boyunca) ölçümler gerçekleştirilmiştir. Baraj kreti üzerinde 17 noktadan oluşan nivelman ağı kurulmuştur. Yapılan değerlendirme sonucunda düşey yönlü hareketler barajın inşa aşaması ve suyun ilk dolun aşamasında artış göstermiş ve zamanla azalmıştır. Toplam düşey yönlü hareketler incelendiğinde ise toplam hareketlerin %60'ının inşa ve suyun ilk dolun aşamalarında, geri kalan %40'ının ise barajın işletme aşamasında meydana geldiği görülmüştür. Maksimum düşey yönlü hareketin baraj ortasında olduğu belirlenmiştir. Ölçülen ve hesaplanan hareket değerleri karşılaştırıldığında ise belirlenen hareketlerin uyum içinde olduğu tespit edilmiştir.

González-Aguilera vd. (2008), 1994 yılında Adaja Nehri üzerine inşa edilen betonarme Las Cogotas Barajı'nda su tutmaya başlamadan önce toplam 3 periyot ölçüm yaparak lazer tarama teknolojisinin baraj güvenliğini izleme çalışmalarında kullanılabilirliği üzerine çalışma yapmışlardır. Tarama işlemi için Trimble GX200 marka yersel lazer tarayıcı kullanılmıştır. Farklı ölçüm periyotlarında aynı noktanın taranmasının ve lazer ışınının genişliğinin bulunmamasından dolayı, sadece lazer tarayıcıların büyük barajların yapısal kontrolünü sağlamak için yeterli olmadığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca radyal tabanlı fonksiyonlara dayalı üç boyutlu yüzey modelleme yaklaşımı ile barajların yapı sağlığının izlenebileceği belirtilmiştir.

Taşçi (2008), baraj tipi kil çekirdekli kaya dolgu olan Altınkaya Barajı'nda olası hareketleri belirlemek amacıyla çalışma yapmıştır. Baraj hareketlerini izlemek için 6'sı

referans ve 11'i obje noktasından oluşan toplamda 17 noktalı bir ağ kurulmuştur. Çift frekanslı Astech Z surveyor marka GPS'ler ile bu ağda yılda 2 kez olmak üzere toplam 4 periyot statik ölçü şeklinde ölçümler yapılmıştır. Referans noktalarında 45 dakikalık ölçümler gerçekleştirilmiştir. Kayıt aralığı 10 sn olarak belirlenmiş, uydu yükseklik açısı ise 15° olarak ayarlanmıştır. GPS ölçülerinin değerlendirme ve dengeleme aşamaları ticari yazılımlardan GeoGenius 2000 ile gerçekleştirilmiştir. Serbest dengeleme sonucu elde edilen WGS84 kartezyen koordinatlar toposentrik koordinatlara dönüştürülmüştür. Deformasyon analizi yöntemi olarak iteratif ağırlıklı benzerlik dönüşümü (IWST) ve en küçük mutlak toplam (LAS) yöntemleri kullanılmıştır. Deformasyon analizi yükseklik yönünün hassas olmamasından dolayı iki boyutlu (2B) olarak yapılmıştır. Deformasyon analizi sonuçlarına göre en büyük hareketlerin baraj kretinin orta noktasında ve uç noktalarında olduğu belirlenmiştir. Fakat kret üzerinde meydana gelen hareketlerin su yükü nedeni ile oluşup oluşmadığı belirlenmemiştir. Deformasyon analiz yöntemleri karşılaştırıldığında ise LAS yönteminin IWST yöntemine göre daha iyi sonuç verdiği sonucuna varılmıştır. Gökalp ve Taşçı (2009), yaptıkları çalışmada Taşçı'nın (2008) çalışmasında kullandığı GPS verilerini kullanarak, IWST ve Frederiction yaklaşımı ile iki boyutlu deformasyon analizi gerçekleştirmişlerdir. Her iki yöntemde benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Erkaya vd. (2009), Manavgat Çayı üzerine inşa edilen baraj tipi beton kemer barajı olan Oymapınar Baraj gövdesindeki hareketleri jeodezik yöntemler ile izlemek üzerine çalışma yapmışlardır. 13 noktalı referans noktadan oluşan mikro-jeodezik ağ kurulmuştur. Mikro jeodezik ağda Ekim 2007 ve Nisan 2008 periyotlarında klasik yöntemlerle yatay doğrultular, eğik kenar ile düşey açılar ölçülmüştür. Yersel yöntem olarak GPS yöntemi ile de ölçümler yapılmıştır. GPS ölçümleri 3 oturumda Trimble 5700 ve Astech Z-Max marka GPS alıcıları ile statik olarak gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler akademik yazılım Bernese 5.0 ile değerlendirilmiştir. Ölçüm sırasında kayıt aralığı 15 sn, uydu yükseklik açısı ise 10° olarak seçilmiştir. Ayrıca 2008 Nisan ölçme periyodunda OPTECH ILRIS 3D lazer tarayıcı ile üç farklı istasyondan baraj gövdesi taranmıştır. Baraj gövdesinde düşey yönlü hareketleri belirlemek amacıyla 0.3 mm/km hassasiyetli nivo kullanılarak gidiş/dönüş geometrik nivelman yöntemi kullanılmıştır. Aynı noktalarda hızlı statik modda GPS nivelmanı da gerçekleştirilmiştir. Jeodezik deformasyon analiz yöntemi olarak ortalama aykırıklar (θ^2 -ölçütü) ve Karlshure yaklaşımı (bağıl güven elipsleri yöntemi) kullanılmıştır.

Ehiorobo ve Ehigiator (2011), yaptıkları çalışmada toprak dolgu Ikpoba Barajı'ndaki yatay yönlü hareketleri DGPS (Diferansiyel GPS) tekniği kullanarak belirlemeye çalışmışlardır. Yatay yönlü hareketleri izlemek için 11'i obje noktası, 9'u referans noktasından oluşan jeodezik ağda 2008, 2009 ve 2010 yıllarında ölçüm yapılmıştır. Her bir noktada GPS alıcıları ile en az 1 saatlik ölçüm gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonucu elde edilen GPS verilerinin değerlendirilme ve dengeleme işlemleri için Leica Ski Pro-2 yazılımı kullanılmıştır. Dengeleme işlemi sonucu elde edilen koordinatların periyotlar arası farklarına bakılarak hareketler belirlenmiş, elde edilen koordinat farklarının ölçüm hatasından veya gerçek hareket değeri olup olmadığı belirlenmeye çalışılmıştır. Analiz sonucu ağdaki tüm noktaların hareketli olduğu,

hareket yönünün güney-batı yönünde olduğu sonucuna varılmıştır. Diğer bir sonuç ise DGPS tekniğinin toprak dolgu baraj hareketlerinin kısa bazların kullanılması durumunda üç boyutlu olarak izlenmesinde yüksek hassasiyetli sonuçlar verdiğiidir.

Gumus vd. (2013), Antalya ili Manavgat Nehri üzerine 1977 ile 1984 yılları arası inşa edilen Oymapınar çift eğrilikli beton kemer barajında aynı şartlarda ve su seviyesinde yersel lazer tarama teknolojisi kullanarak 2008 Nisan yılında yüzey taramaları yapmışlardır. Saniyede 2000 nokta veri üreten uzun menzilli ILRIS-3D marka yersel lazer tarayıcısı bu çalışmada kullanılmıştır. Baraj su seviyesinin maksimum, minimum ve orta seviyelerde olduğu üç farklı zaman aralığında elde edilen nokta bulutları ile üç boyutlu yüzeyler arası karşılaştırma yapılmıştır. Yersel lazer tarayıcının tekrarlılığını kontrol etmek amacıyla aynı su seviyesi ve koşullarda 4 farklı tarama yapılmıştır. Üretilen yüzey modellerinin farklarını alarak deformasyonlar belirlenmeye çalışılmıştır. Taramalardan elde edilen yüzeylerin hemen hemen aynı doğruluğa ve hassasiyete sahip oldukları sonucuna varılmıştır. Diğer bir sonuç ise yersel lazer tarayıcılarının deformasyonu belirleme çalışmalarında kullanılabileceğidir.

Kalkan (2014), 1983 ile 1992 yılları arasında Fırat Nehri üzerine sulama enerji, içme suyu ve elektrik üretimi amacıyla inşa edilen kaya dolgu tipi Atatürk Barajı'nda radyal hareketleri belirlemek amacıyla çalışma yapmıştır. Çalışma kapsamında hareket beklenmeyen bölgelere tesis edilmiş 32 referans ve baraj kreti üzerinde 200 obje noktasından oluşan bir deformasyon ağı kurulmuştur. Hareketleri izlemek için jeodezik ölçüm tekniklerinden klasik (teodolit ve total station) ve GPS ölçüm yöntemleri kullanılmıştır. 25 noktada Mayıs 2011 ile Kasım 2010 yılları arasında ölçüm zaman aralığı 3 ile 8 saat arasında değişen GPS ölçümleri yapılmıştır. Veri kayıt aralığı 5 sn ve yükseklik açısı 10° olarak seçilmiştir. Doğrultu, kenar ve düşey açı ölçümleri klasik yöntemler ile yapılmıştır. En büyük yatay hareketin 14.08 cm ile memba tarafındaki obje noktasında olduğu belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre GPS ve klasik ölçüm yöntemlerinden elde edilen sonuçların uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. Elde edilen diğer bir sonuç radyal hareket değerleri ile baraj rezervuar su seviyesi arasında net bir ilişki belirlenememiştir.

Alkan vd. (2016), yaptıkları çalışma ile toprak dolgu baraj tipinde olan Obruk Barajı ve çevresinde meydana gelebilecek yatay ve düşey yönlü hareketleri belirlemeye çalışmışlardır. Çalışma kapsamında 8'i referans, 44'ü obje noktasından ve 6 adet RS noktasından oluşan bir jeodezik ağ kurulmuştur. Oluşturulan jeodezik ağda Ekim 2015 ve Nisan 2016 periyotlarında ölçüm yapılmıştır. Ekim 2015 yılında GNSS ve hassas nivelman ölçümleri, Nisan 2016 yılında ise bu ölçümlere ek olarak robotik total station (Leica TS16) kullanarak yatay açı, düşey açı ve eğik kenar ölçümleri yapılmıştır. GNSS ölçümleri sırasında çift frekanslı alıcılar kullanılmış olup, referans noktalarında 8'er saatlik ölçümler yapılmıştır. Ölçümler, Gamit-Globk ve Leica Geo Office (LGO) yazılımları kullanılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme işlemi sırasında IGS ve Tusaga-Aktif noktalarına dayalı olarak dengeleme işlemi yapılmıştır. Baraj gövdesi üzerinde bulunan obje noktalarında ise 30'ar dakikalık ölçümler yapılmıştır. Obje noktalarının koordinatları da hesaplanan referans noktalarına göre dayalı olarak elde edilmiştir. GNSS ölçümleri sırasında veri kayıt aralığı 10 sn ve uydu yükseklik açısı 10°

olarak seçilmiştir. Nivelman ölçümleri ise ölçme doğruluğu 0.6mm/km Topcon DL-503 nivo ile gidiş-dönüş olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucu noktalara ait elde edilen standart sapma değerleri verilmiştir.

Yigit vd. (2016), 2002 ile 2009 yılları arasında Göksu nehri üzerine inşa edilen gövde tipi çift eğrilikli ince beton kemer olan Ermenek Barajı'nda ilk dolun aşamasında meydana gelen hareketleri incelemişlerdir. 2011 ile 2012 yılları arasında yapılan çalışmada rezervuar su seviyesi ile mevsimsel sıcaklık değişimlerinin barajın tepkisine olan etkisi incelenmiştir. Barajda hareketler jeodezik ve jeodezik olmayan (geoteknik) sonlu elemanlar analiz yöntemi kullanılmıştır. Çalışma kapsamında 10'u referans ve 19'u obje noktasından oluşan bir jeodezik ağı kurulmuştur. Kurulan jeodezik ağda ölçümler sırasında robotik total station (Leica TCA 1800) ve prizma (GPH1P) kullanılmış ve dokuz periyot ölçü yapılmıştır. Yapılan ölçüler serbest ağ dengelemesi yöntemine göre dengelenmiş, uyumsuz ölçüleri belirlemek için Pope testi yapılmıştır. Deformasyon analiz yöntemi olarak geleneksel deformasyon analiz yöntemi, lokalizasyon aşaması S-transformasyon yöntemi kullanılmıştır. Deformasyon analizi sonucu elde edilen radyal hareket değerleri ile rezervuardaki su seviyesi ve mevsimsel sıcaklık değişimlerinin arasında yüksek korelasyon olduğu tespit edilmiştir. 58 m lik su artışının barajda 1 cm lik harekete neden olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, sonlu elemanlar analiz yöntemiyle hesaplanan hareket değerleri ile jeodezik olarak belirlenen radyal hareket değerlerinin uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

Saidi vd. (2017), Tunus'ta kret uzunluğu 340 m ve yüksekliği 70 m olarak inşa edilen baraj tipi toprak dolgu barajı olan Sidi Salem Barajı'nda jeodezik yöntemler kullanarak barajda oluşan yatay ve düşey yönlü hareketleri incelemişlerdir. Hareketleri incelemek için bir jeodezik ağ kurulmuştur. Baraj hareketleri ile rezervuar su seviyesi, sıcaklık, hidro-statik basınç ve sismik analizler arasında güçlü bir ilişki bulunduğu ve rezervuar su seviyesi ile hidro-statik basıncın barajı etkileyen en önemli parametreler olduğunu tespit edilmiştir. Jeodezik ölçüm yöntemi ile baraj hareketlerinin incelenmesi, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) aracılığıyla ise hareketlerin haritalanması işlemlerinin yapılacak barajda oluşabilecek risklerin tespit edilmesinde ve önlem alınmasında yardımcı olabileceği sonucuna varılmıştır.

Alcay vd. (2018) yaptıkları çalışmada, Ermenek Barajı'nın sıcaklık ve su yükünün baraja uyguladığı etkiyi, mikro-jeodezik ağ ve sarkaç verilerini ayrı ayrı ve birlikte ele alarak değerlendirmişlerdir. Baraj hareketlerinin jeodezik olarak belirlemek için Yigit vd., (2016) 'nın çalışmasında kurulan mikro-jeodezik ağ kullanılmıştır. Ermenek Barajı'nda yaklaşık 2 ile 3.2 m arası genişliğe ve yüksekliğe sahip 4 adet galeriler (G1, G2, G3, G4) bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında 3'ü düz, 1'i ters olmak üzere toplamda 4 adet sarkaç, baraj hareketlerini geoteknik olarak belirlemek için baraj gövdesine yerleştirilmiştir. Baraj su seviyesindeki ilk 60 metrelik artışın galeride maksimum 6 mm'lik harekete neden olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan analiz sonucu mevsimsel yer değiştirmenin sıcaklıkla güçlü bir şekilde ilişkili olduğu ve barajın sıcaklığa olan hareket tepkisinin rezervuar suyu seviyesi dolduğunda daha fazla olduğunu belirlenmiştir. Baraj rezervuar su seviyesinin tam dolu olduğu durumda beton sıcaklığında yaklaşık 14 °C'lik bir değişim barajın üst seviyesinde yaklaşık 1 cm'lik

bir hareket üretmiştir. Diğer bir sonuç ise jeodezik ve geoteknik olarak belirlenen hareket miktarlarının birbirleriyle tutarlı olduğu ve aralarındaki farkın 1.5 mm'den az olduğudur.

Acosta vd. (2018), İspanya'da bulunan Arenoso toprak dolgu barajında jeodezik ve sonlu elemanlar analiz yöntemini kullanarak barajın hareketlerini incelemiştir. Yatay ve düşey hareketleri incelemek için dört farklı güzergâh oluşturarak GNSS ve hassas nivelman (Leica DNA03) teknikleri kullanılmıştır. Şubat ve Temmuz 2008, Mart ve Temmuz 2013, Ağustos 2014, Eylül 2015 ve Eylül 2016 periyotları olmak üzere toplam 7 periyot ölçü yapılmıştır. Toprak dolgu barajının genel özellikleri dikkate alınarak baraj hareketleri sonlu elemanlar analiz yöntemine göre hesaplanmıştır. GNSS verileri LGO yazılımında değerlendirilmiştir. Değerlendirme aşamasında hassas efemeris dosyası kullanılmış olup yükseklik açısı 10° olarak seçilmiştir. Sonlu elemanlar analiz yöntemi ile elde edilen hareket değerleri ile jeodezik olarak elde edilen hareket değerleri karşılaştırıldığında baraj kreti üzerinde yatay yönde yaklaşık 6 cm, düşeyde ise ortalama 15 cm fark olduğu tespit edilmiştir. Arada çıkan bu farkın muhtemelen sonlu elemanlar analiz yöntemi ile modelleme sürecindeki basitleştirmelerden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

Barzaghi vd. (2018) tarafından İtalya'da içme suyu, sulama ve elektrik üretim amacıyla inşa edilen, Eleonora D' Arborea (Cantoniera) boşluklu ağırlık barajında GNSS, kolimatör ve sarkaç (pendulum) ölçümleri yapılarak barajdaki 2.5 yıllık bir zaman dilimi için hareketler incelenmiştir. GNSS ağı, kret üzerinde bulunan obje ve baraj yakın çevresine tesis edilen çift frekanslı alıcılardan oluşmaktadır. Kurulan sistem uzaktan yönetilebilen tamamen otomatik bir sistemdir. Referans istasyonları, baraj çevresinde sabit olarak düşünülen yerlere tesis edilmelerine rağmen yapılan ön testler sonucunda yalnızca birinin sabit kaldığını göstermiştir. Bu nedenle 6 obje noktasının koordinatları sabit kalan referans noktasına göre değerlendirilmiştir. GNSS verileri Leica GNSS Spider yazılımında değerlendirilmiştir. Değerlendirme aşamasında yükseklik açısı 15° olarak seçilmiş ve yayın efemerisi kullanılmıştır. Böylece günlük olarak WGS84 referans sisteminde 3 boyutlu koordinatlar elde edilmiştir. Elde edilen koordinatlar lokal sisteme (East-North-Up) dönüştürülerek deformasyon vektörleri gösterilmiştir. GNSS, sarkaç ve kolimatör verileri üzerinde yapılan karşılaştırmalı analiz sonuçlarına göre, sarkacın baraj hareketlerinin izlenmesinde en hassas yöntem olduğu belirlenmiştir. Diğer sonuçlardan birisi de GNSS tekniğinin sarkaçtan daha az hassas olmasına rağmen, yeterince doğru sonuç verdiği ve baraj hareketlerinin izlenmesinde kullanılabilir olduğudur.

Pipitone vd. (2018), İtalya'da baraj tipi toprak dolgu olan Castello Barajı'nda uzaktan algılama teknolojisini rezervuar su seviyesini izlemek için kullanmışlardır. Çalışma kapsamında optik görüntüler (Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ SLC-Off, Landsat 8 OLI-TIRS ve ASTER) ve sentetik açıklıklı radar görüntüleri (Cosmo SkyMed ve TerraSAR-X) kullanılmıştır. Aynı zamanda, baraj hareketlerini izlemek için de GNSS alıcıları kullanılmıştır. Baraj yakın çevresine yakın bölgede 1 adet referans noktası ile baraj kreti üzerine 3 adet obje noktası seçilerek GNSS alıcıları tesis edilmiştir. Objeler 2 adet Topcon GB-500 (PG-A1 anteni ile) ve Topcon NET-G3A (Topcon G3-A1

anteni ile) alıcılarından oluşmaktadır. Uzaktan algılama teknolojisi ile elde edilen rezervuar su seviyesinin baraj hareketine olan etkisi incelenmiştir. Nisan 2011 ile Mart 2012 yılları arası baraj kretinin orta kısmında meydana gelen hareketin değişkenlik gösterdiği ve bu hareketin rezervuar su seviyesi ile arasındaki ilişkisinin tam olarak açıklanamadığı sonucuna varılmıştır.

Yavaşoğlu vd. (2018), Atatürk Barajı'nda baraj hareketlerini izlemek için 2006 ile 2013 yılları arası (11 periyot) yersel, 2007 ile 2013 yılları arası (9 periyot) GNSS yöntemleri ile ölçüm gerçekleştirmişlerdir. Oluşturulan deformasyon ağı 25 referans ve 217 obje noktasından oluşmaktadır. Açık ve mesafe ölçümleri Leica TDA 5005, Wild T3000 elektronik teodolit ve Distomat DI3000 ile yapılmıştır. Deformasyon ağına 25 referans noktası olmasına rağmen baraja yakın 13 nokta kullanılmıştır. 217 obje noktasının koordinatları bu 13 referans noktasına göre hesaplanmıştır. 25 referans noktalarında en az 10'ar saatlik GNSS yöntemi ile ölçümler yapılmıştır. Ölçüm sırasında veri kayıt aralığı 5 sn ve uydu yükseklik açısı 10° olarak seçilmiştir. Ayrıca en az 5 referans noktasında eş zamanlı 40 dakikalık ölçümler yapılmıştır. Toplanan GNSS verilerini değerlendirmek için ticari yazılımlardan LGO kullanılmıştır. Değerlendirme aşamasında efemeris verisi olarak hassas efemeris kullanılmıştır. Kurulan referans ağına deformasyon olmadığı belirlendikten sonra tüm obje noktaları referans noktalarına göre dengelenmiştir. Deformasyon analiz yöntemi olarak geleneksel deformasyon analizi yöntemi, lokalizasyon yöntemi olarak S-transformasyon yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca barajda gerinim analizi yapılmıştır. Gerinim analizi Grid Strain Matlab Toolbox kullanılmıştır. Gerinim analizi sonuçlarına göre en büyük deformasyon eski akarsu yatağında meydana gelmiştir. Ayrıca bu sonuçların deformasyon analizi sonuçları ile de uyum içerisinde olduğu belirlenmiştir.

Xiao vd. (2019), Çin'de SWC rezervuarı hareketlerini izlemek amacıyla GNSS deformasyon izleme sistemi kurmuşlardır. Kurulan GNSS ağına 7/24 çalışan 1 adet referans ve 3 adet obje noktası bulunmaktadır. Çift frekanslı GNSS alıcıları ile 15 sn veri kayıt aralığı ile GPS ve BDS sinyalleri kayıt edilmiştir. Uydu yükseklik açısı 15° olarak seçilmiştir. GNSS verisini otomatik değerlendirmek için yazılım yazmışlardır. Baz vektörlerin farkları çeşitli zaman uzunluklarında yapılan gözlem oturumları ile hesaplanmıştır. Hassasiyeti göstermek için bazların tekrarlılıklarını ve varyans değerlerini kullanmışlardır. Yapılan 12 saatlik ölçümler ile yatayda 1-2 mm, düşeyde ise 2-3 mm hassasiyete ulaşılmıştır. 24 saatlik BDS sinyal verileri ile GPS sinyal verileri kullanılarak yapılan deformasyon sonuçları benzer sonuçlar vermiş, BDS sisteminin deformasyon çalışmalarında mm hassasiyetinde sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen diğer bir sonuç ise su seviyesindeki değişimlerin baraj deformasyonuna neden olan ana faktörlerden biri olduğudur.

Konakoğlu (2019), "Çoruh Barajlar Projesi" kapsamında Çoruh Nehri üzerine inşa edilen, işletme aşamasında Türkiye'nin en yüksek barajlarından biri olan Deriner Barajında meydana gelen hareketleri belirlemeye çalışmıştır. Bu kapsamda Mayıs 2016, Kasım 2016, Mayıs 2017 ve Ağustos 2017 tarihleri olmak üzere toplam dört farklı periyotta GNSS ölçümleri yapmıştır. Çalışma kapsamında 12'si referans ve 9'u obje noktasından oluşan bir jeodezik ağı kurulmuştur. GNSS verilerinin değerlendirme

aşamasında ticari yazılımlardan Magnet Tools yazılımı kullanmıştır. Uygulamada üç farklı statik model (θ^2 -ölçütü, IWST ve LAS) ve kinematik (kalman-filtreleme) deformasyon modeli olarak olmak üzere kullanılmıştır. Bu yöntemlere ek olarak geliştirilen dinamik model ile de deformasyonları belirlemeye çalışmıştır. Geliştirilen dinamik model, barajın hareket etmesine neden olan su seviyesi değişimi dikkate alınarak oluşturulmuştur. Tüm modeller ile yapılan analiz sonuçlarının birbirleriyle uyumlu olduğu ve barajda yatay yönde maksimum hareket yaklaşık 3 cm olarak belirlenmiştir. Düşey yönde belirlenen hareketlerin istenilen hassasiyete ulaşamadığı sonucuna varmıştır.

Pytharouli vd. (2019), Yunanistan'ın elektrik üretimi ve sulama amacıyla 580 m kret uzunluğunda inşa edilen Poumari I toprak dolgu barajında jeodezik yöntem ile yapılan ölçümleri analiz etmişlerdir. Yapılan çalışma kapsamında baraj inşası bitiminden 31 yıl boyunca (Şubat 1981-Nisan 2015) yılda bir kez yapılan jeodezik ölçümler rezervuar su seviyesi, yağış ve deprem oluşumu ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Karşılaştırma işlemine ilk dolmuş aşaması dâhil etmemişlerdir. Baraj işletmeye başladığından beri Geoteknik izleme sistemi, baraj gövdesinin içerisine farklı yerlere yerleştirilmiş çeşitli geoteknik cihazları (Ör: eğim ölçer, piezometre, basınç hücreleri) içermektedir. Jeodezik izleme sistemi ise baraj üzerine tesis edilmiş 79 obje noktasından oluşmaktadır. 2015 yılına kadar en fazla hareket kretin orta noktasında 623 mm olarak belirlenmiştir. Memba ve mansap taraflarındaki noktaların hareketleri karşılaştırıldığında aralarında 250 mm fark olduğu, bu durumun memba tarafının su tutan taraf olmasından kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir. Kret oturma indeksi 0.02 ve yıllık oturma oranı ise 0.02% olarak hesaplanmıştır. Hareketlerin hiç birinin bu indeksi geçmediği fakat 1986, 1988 ve 1992 yıllarında bu oranı aştığını belirlemişlerdir. Analiz sonuçlarına göre, rezervuar seviyesi değişimi ile kretin ve mansap tarafındaki noktaların düşey yönlü hareketleri arasında doğrudan bir ilişki bulunamamıştır. 1984 ile 2015 yılları arası aşırı yağış olarak tanımlanan alt eşiği aştığı 19 durum olduğu belirlenmiştir. Bu durumlardan hiçbirinin barajın yukarı yönlü hareket etmesi ile doğrudan bir ilişki kuramamışlardır. Ayrıca incelenen süre boyunca 50 km içinde kaydedilen sismik hareketlerin (maksimum 5.3) baraj hareketlerine neden olduğuna dair bir kanıt bulamamışlardır.

3. SONUÇ

Olası bir kazayı önlemek veya olabilecek kazayı yavaşlatacak önlemler olarak can ve mal kaybına engel olunması için baraj güvenliği sürekli olarak denetlenmelidir. Ülkelerin ekonomik açıdan kalkınmasına yardımcı olan barajlarda hareketlerin denetlenmesi yapım aşamasında başlamalı, işletme aşamasında devam etmelidir. Yapılan bu çalışma ile geçmişten günümüze kadar yapılan baraj sağlığını jeodezik olarak izleme ile ilgili araştırma yayınlarının ele alınması ve konu hakkında okuyucunun bilgilendirilmesi amaçlanmıştır. Yapılan literatür taramasında Dünya çapındaki çalışmalar da çoğunlukla 7/24 esasına göre çalışan, yüksek hassasiyetli, verinin anlık işlendiği ve uzaktan kontrol edilebilir GNSS sistemlerinin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Bazı çalışmalarda geoteknik ölçümlerin yanında jeodezik ölçümlerde

yapıldığı görülmüştür. Ayrıca, baraj sağlığını izleme çalışmalarının uzun yıllar boyunca sürdürüğü tespit edilmiştir. Türkiye’de ise yapılan çalışmalarda çoğunlukla total station kullanıldığı, 7/24 veri toplayabilecek GNSS sistemlerinin tercih edilmediği belirlenmiştir. Bu durumun sürekli ölçüm yapan GNSS sistemin pahalı olmasından dolayı olduğu sonucu çıkarılabilir. Ülkemizde, GNSS dâhil diğer jeodezik yöntemler ile yapılan tüm çalışmaların da periyodik olduğu belirlenmiştir. Türkiye’de, jeodezik deformasyon analiz yöntemleri (statik, kinematik ve dinamik) ile hareketin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını inceleyen çalışmalar diğer ülkelere göre daha fazladır. Bu durum, üniversitelerimizdeki akademisyenlerin, barajların hareketlerini jeodezik yöntemler ile inceleyebilecek bilgi birikimine sahip olduğunu göstermektedir. Ülkemizde son yıllarda artan baraj sayısı göz önüne alındığında bu denetimin sürekli olarak yapılması gerekmektedir. Türkiye’de jeodezik çalışmaların uzun yıllardır sürdürüldüğü tek baraj Atatürk barajı olduğu görülmektedir. Baraj sağlığı denetimiyle sorumlu kamu kurum ve kuruluşlarının Türkiye’de bulunan üniversiteler ile iş birliği yaparak geoteknik ölçümlerin yanında barajlar mutlaka jeodezik ölçümler ile izlenmesini teşvik etmelidir. Bu çalışmada baraj hareketlerini uzaktan algılama yöntemleri ile inceleyen çalışmalara yer verilmemiştir.

KAYNAKÇA

- Acosta, L., de Lacy, M., Ramos, M., Cano, J., Herrera, A., Avilés, M., & Gil, A. (2018). Displacements study of an earth fill dam based on high precision geodetic monitoring and numerical modeling. *Sensors*, 18(5), 1369. <https://doi.org/10.3390/s18051369>
- Alba, M., Fregonese, L., Prandi, F., Scaioni, M., & Valgoi, P. (2006). Structural monitoring of a large dam by terrestrial laser scanning. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36(5), 6.
- Alcay, S., Yigit, C. O., Inal, C., & Ceylan, A. (2018). Analysis of displacement response of the Ermenek dam monitored by an integrated geodetic and pendulum system. *International Journal of Civil Engineering*, 16(10), 1279-1291. <https://doi.org/10.1007/s40999-017-0211-x>
- Alkan, R. M., Gülal, V. E., İlçi, V., Ozulu, İ. M., Alkan, M. N., Köse, Z., Aladoğan K., Tomuş, F. E., Şahin M., Yavaşoglu, H., & Oku, G. (Ekim, 2016). Obruk Barajı Deformasyon Ölçüleri, 8. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, İstanbul.
- Barzaghi, R., Cazzaniga, N., De Gaetani, C., Pinto, L., & Tornatore, V. (2018). Estimating and comparing dam deformation using classical and GNSS techniques. *Sensors*, 18(3), 756. <https://doi.org/10.3390/s18030756>
- Bayrak, T. (2007). Modelling the relationship between water level and vertical displacements on the Yamula Dam, Turkey. *Natural Hazards and Earth System Science*, 7(2), 289-297.
- Bayrak, T. (2008). Verifying pressure of water on dams, a case study. *Sensors*, 8(9), 5376-5385. <https://doi.org/10.3390/s8095376>

- Begnudelli, L., & Sanders, B. F. (2007). Simulation of the St. Francis dam-break flood. *Journal of Engineering Mechanics*, 133(11), 1200-1212.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9399\(2007\)133:11\(1200\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9399(2007)133:11(1200))
- Ehiorobo, J. O., & Irughe-Ehigiator, R. (2011). Monitoring for horizontal movement in an earth dam using differential GPS. *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences*, 2(6), 908-913.
- Erkaya, H., Hoşbaş R. G., Gülal, V. E., ersoy, N., Doğan, U., Pırtı, A., Soyca, M., Gümüş, K., Öcalan T., Aykut, N. O., Akpınar, B., & Poyraz F (Mayıs, 2009). Beton Kemer Barajlarda Deformasyonların Modern Ölçme Teknikleri ile Belirlenmesi. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, Türkiye.
- Feng, L. M., Pekau, O. A., & Zhang, C. H. (1996). Cracking analysis of arch dams by 3D boundary element method. *Journal of Structural Engineering*, 122(6), 691-699.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1996\)122:6\(691\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1996)122:6(691))
- Gikas, V., & Sakellariou, M. (2008). Settlement analysis of the Mornos earth dam (Greece): Evidence from numerical modeling and geodetic monitoring. *Engineering Structures*, 30(11), 3074-3081.
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2008.03.019>
- Gökalp, E., & Taşçı, L. (2009). Deformation monitoring by GPS at embankment dams and deformation analysis. *Survey Review*, 41(311), 86-102.
<https://doi.org/10.1179/003962608X390021>
- Gong, G. C., Chang, J., Chiang, K. P., Hsiung, T. M., Hung, C. C., Duan, S. W., & Codispoti, L. A. (2006). Reduction of primary production and changing of nutrient ratio in the East China Sea: Effect of the Three Gorges Dam?. *Geophysical Research Letters*, 33(7). <https://doi.org/10.1029/2006GL025800>
- González-Aguilera, D., Gómez-Lahoz, J., & Sánchez, J. (2008). A new approach for structural monitoring of large dams with a three-dimensional laser scanner. *Sensors*, 8(9), 5866-5883. <https://doi.org/10.3390/s8095866>
- Gumus, K., Erkaya, H., & Soyca, M. (2013). Investigation of repeatability of digital surface model obtained from point clouds in a concrete arch dam for monitoring of deformations. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 19(2), 268-286.
<http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702013000200007>
- Hudnut, K. W., & Behr, J. A. (1998). Continuous GPS monitoring of structural deformation at Pacoima Dam, California. *Seismological Research Letters*, 69(4), 299-308. <https://doi.org/10.1785/gssrl.69.4.299>
- Kalkan, Y. (2014). Geodetic deformation monitoring of Ataturk Dam in Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(1), 397-405. <https://doi.org/10.1007/s12517-012-0765-5>
- Konakoğlu, B. (2019). Beton barajlarda deformasyonların statik, kinematik ve dinamik modeller ile belirlenmesi: Artvin Deriner Barajı Örneği. Doktora Tezi. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Koskinas, A., Tegos, A., Tsira, P., Dimitriadis, P., Iliopoulou, T., Papanicolaou, P., Koutsoyiannis, D., & Williamson, T. (2019). Insights into the oroville dam 2017 spillway incident. *Geosciences*, 9(1), 37. <https://doi.org/10.3390/geosciences9010037>

- Kulkarni, M. N., Radhakrishnan, N., & Rai, D. (2006). Global positioning system in disaster monitoring of Koyna dam, Western Maharashtra. *Survey Review*, 38(301), 629-636. <https://doi.org/10.1179/sre.2006.38.301.629>
- Le Page, M. (2019). The trouble with dams. *NewScientist*, 243(3242), 5. [https://doi.org/10.1016/S0262-4079\(19\)31448-4](https://doi.org/10.1016/S0262-4079(19)31448-4)
- Li, Q., Zuo, Z., Hu, Y., & Liang, G. (2016). Smart monitoring of a super high arch dam during the first reservoir-filling phase. *Journal of Aerospace Engineering*, 30(2), B4016001. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AS.1943-5525.0000573](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AS.1943-5525.0000573)
- Londe, P., 1987. The Malpasset dam failure. *Engineering Geology*, 24(1-4), 331-338. [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(87\)90069-X](https://doi.org/10.1016/0013-7952(87)90069-X)
- Manake, A., & Kulkarni, M. N. (2002). Study of the deformation of Koyna dam using the Global Positioning System. *Survey Review*, 36(285), 497-507. <https://doi.org/10.1179/sre.2002.36.285.497>
- Pipitone, C., Maltese, A., Dardanelli, G., Lo Brutto, M., & La Loggia, G. (2018). Monitoring water surface and level of a reservoir using different remote sensing approaches and comparison with dam displacements evaluated via GNSS. *Remote Sensing*, 10(1), 71. <https://doi.org/10.3390/rs10010071>
- Pytharouli, S., Michalis, P., & Raftopoulos, S. (2019). From theory to field evidence: observations on the evolution of the settlements of an earthfill dam, over long time scale. *Infrastructures*, 4(4). <https://doi.org/10.3390/infrastructures4040065>
- Saidi, S., Houimli, H., & Zid, J. (2017). Geodetic and GIS tools for dam safety: case of Sidi Salem dam (northern Tunisia). *Arabian Journal of Geosciences*, 10(22), 505. <https://doi.org/10.1007/s12517-017-3259-7>
- Sultanbekov, R. R. (2005). Substantiation of the strength and stability of concrete dams based on the solution of a nonlinear three-dimensional problem. *Power Technology and Engineering (formerly Hydrotechnical Construction)*, 39(4), 211-214. <https://doi.org/10.1007/s10749-005-0309-1>
- Taşçi, L. (2008). Dam deformation measurements with GPS. *Geodezija ir kartografija*, 34(4), 116-121. <https://doi.org/10.3846/1392-1541.2008.34.116-121>
- Widmann, R. (1990). Fracture mechanics and its limits of application in the field of dam construction. *Engineering Fracture Mechanics*, 35(1-3), 531-539. [https://doi.org/10.1016/0013-7944\(90\)90228-9](https://doi.org/10.1016/0013-7944(90)90228-9)
- Xiao, R., Shi, H., He, X., Li, Z., Jia, D., & Yang, Z. (2019). Deformation Monitoring of Reservoir Dams Using GNSS: An Application to South-to-North Water Diversion Project, China. *IEEE Access*, 7, 54981-54992. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2912143>
- Yang, Z., Liu, D., Ji, D., & Xiao, S. (2010). Influence of the impounding process of the Three Gorges Reservoir up to water level 172.5 m on water eutrophication in the Xiangxi Bay. *Science China Technological Sciences*, 53(4), 1114-1125. <https://doi.org/10.1007/s11431-009-0387-7>
- Yavaşoğlu, H. H., Kalkan Y., Tiryakioğlu, İ., Yigit, C. O., Özbey, V., Alkan, M. N., Bilgi, S., & Alkan, R. M. (2018). Monitoring the deformation and strain analysis on the

Konakoğlu, B. (2020). Barajların Jeodezik Yöntemler İle İzlenmesi Üzerine Yapılan Çalışmaların İrdelenmesi. GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies (AIST), 3 (1): 32-46.

Ataturk Dam, Turkey. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 9(1), 94-107.

<https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1411400>

Yigit, C. O., Alcay, S., & Ceylan, A. (2016). Displacement response of a concrete arch dam to seasonal temperature fluctuations and reservoir level rise during the first filling period: evidence from geodetic data. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(4), 1489-1505. <https://doi.org/10.1080/19475705.2015.1047902>