

AKÜ FEMÜBİD 21 (2021) 025501 (351-361)

AKU J. Sci. Eng. 21 (2021) 025501 (351-361)

DOI: 10.35414/akufemubid.868752

## Araştırma Makalesi / Research Article

## Deriner Barajındaki Deformasyonların Geoteknik Cihazlar ile İzlenmesi

Haluk BALI<sup>1\*</sup>, Salih ALÇAY<sup>2</sup><sup>1</sup>Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 5. Bölge Müdürlüğü, 56. Şube Müdürlüğü, 71450, Yaşihan, Kırıkkale, Türkiye<sup>2</sup>Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 42090, Meram, Konya,Sorumlu Yazar e-posta: <sup>1</sup>halukbali@dsi.gov.tr<sup>2</sup>salcay@erbakan.edu.trORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-6893-8554>ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5669-7247>

Geliş Tarihi: 26.01.2021

Kabul Tarihi: 12.04.2021

## Öz

Ülkemizde dünyanın sayılı barajları arasına giren barajlar inşa edilmektedir. Büyük barajların birçok avantajı olmasına rağmen olası baraj kazası durumunda can ve mal kaybı da büyük olacaktır. Yaşanabilecek kazaları önlemek veya kaza etkisini en aza indirmek için baraj gövdesi ve yakın çevresinin düzenli olarak izlenmesi gerekmektedir. Barajları ölü yük, hidrostatik yük ve termal yük gibi yükler sürekli etkilemektedir. Barajların yapısal sağlığını ortaya çıkarmak için yük-yer değiştirme ilişkisi belirlenmelidir. Yük yer değiştirme ilişkisini belirlemek için barajlar geoteknik ve jeodezik yöntemlerle izlenebilmektedir. Bu çalışmada Türkiye'nin en yüksek barajı olan Deriner beton kemer barajının ilk su dolum sürecindeki yapısal davranışı araştırılmıştır. Bu amaçla geoteknik cihazlardan sarkaç verileri incelenmiştir. İlk su dolum sürecinde kret üzerindeki en büyük hareketin mansap yönünde 73.58 mm olarak gerçekleştiği belirlenmiştir. Geoteknik yöntemlerden sarkaçlar ile belirlenen hareketlerin mevsimsel sıcaklık değişimi ve rezervuar su seviyesi ile ilişkisi ayrıntılı olarak analiz edilmiştir. Mevsimsel sıcaklık değişimi ve su seviyesindeki artışın sarkaç verileri ile ilişkisini incelemek amacıyla barajın ortasında en üstte bulunan düz sarkaç kullanılmıştır. Bu amaçla ilk dolum periyoduna kadar olan sarkaç verileri ile bunlara karşılık gelen sıcaklık ve su verileri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar radyal hareketler ile su seviyesi arasında %88, beton sıcaklığı ile de %76 gibi bir korelasyonun varlığını göstermiştir. Teğetsel hareketler ile beton sıcaklıkları arasında ciddi bir korelasyon olmayıp, su seviyesiyle arasındaki korelasyon katsayısı 0.83 olarak elde edilmiştir.

## Anahtar kelimeler

Deformasyon;  
Deriner;  
Geoteknik;  
Sarkaç

## Monitoring of Deformations in Deriner Dam with Geotechnical Devices

## Abstract

Dams that are among the few dams in the world are being built in our country. Although large dams have many advantages, in the event of a potential dam accident, the loss of life and property will be great. The dam body and its surroundings should be monitored regularly in order to prevent any possible accidents or to minimize the impact of the accident. Loads such as dead load, hydrostatic load, and thermal load constantly affect dams. The Load-displacement relationship should be determined to reveal the structural health of dams. Dams can be monitored by geotechnical and geodetic methods to determine the load-displacement relationship. In this study, the structural behavior of the Deriner concrete arch dam, which is Turkey's highest dam, during the first filling period was investigated. For this purpose, data of pendulums from geotechnical devices were examined. It was determined that the greatest movement on the crest during the filling period was 73.58 mm downstream. The relationship between the movements determined by pendulums, one of the geotechnical devices, with seasonal temperature changes and the reservoir water level was analyzed in detail. In order to examine the relationship between seasonal temperature change and increase in water level with pendulum data, a pendulum at the top of the dam was used. For this purpose, pendulum data up to the first filling period, and the corresponding temperature and water data were used. The results obtained showed that there is a correlation of 88% between radial movements and the water level, and 76% with the concrete temperature. There is no significant correlation between tangential movements and concrete temperatures, and the correlation coefficient between it and the water level was found to be 0.83.

## Keywords

Deformation;  
Deriner;  
Geotechnical;  
Pendulum

## 1. Giriş

Ülkemizde 1972 yılında inşası tamamlanan Gökçekaya barajı ile başlayan beton kemer baraj serüveni, 1975 yılı sonrası Oymapınar, Karakaya ve Berke gibi önemli barajlarla devam etmiş, 2000'li yıllara gelindiğinde Ermenek, Deriner ve inşa halindeki Yusufeli barajları ile zirveye ulaşmıştır. Son yıllarda gelişen teknoloji ile çok sayıda beton kemer baraj inşa edilmiştir (Demirkaya 2005, Konakoğlu ve Gökalp 2017, Ersoy vd. 2019, Yılmam ve Turgut 2020). Beton kemer barajların çok sayıda avantajı olmasına rağmen, yaşanabilecek kaza sonuçları da ağır olacaktır. Dünyada daha önce yaşanmış bazı beton kemer baraj kazaları örneklerine baktığımızda;

Matilija ağırlık kemer barajı, Kaliforniya'da 1949 yılında, 60 m yüksekliğinde inşa edilmiştir. 1965 yılında ise beton yapısının bozulması nedeni ile baraj yıkılmıştır (FERC 2018). Malpasset çift eğrilikli beton kemer barajı, Fransa'da 1954 yılında inşa edilmiştir. 1959 yılında şiddetli yağışlar nedeniyle baraj aniden yıkılmış ve barajın mansabında bulunan iki kasabada büyük bir yıkıma neden olmuştur (Duffaut 2013). Vajont çift eğrilikli ince beton kemer barajı, İtalya'da 1960 yılında, 276 m yüksekliğinde inşa edilmiştir. 1963'te barajın ilk dolumu sırasında rezervuarda meydana gelen heyelan nedeniyle rezervardaki su çok büyük bir dalgaya dönüşmüş ve çevresindeki köyleri tamamen yok etmiştir (Parker 2000, Çalamak 2016).

Yukarıda örnekleri verilen baraj kazaları, barajların izlenmesinin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Bu nedenle barajların düzenli bir şekilde izlenmesi, yapıya ilişkin mutlak ve bağlı deformasyonların tespit edilmesi ve yapının normal sınırlar içerisinde tepkiler verip vermediğinin belirlenmesi gerekmektedir (Alçay 2014). Yaşanabilecek baraj kazaları, toplumun güvenliği için bir tehdit unsurudur. Herhangi bir barajda oluşabilecek baraj kazasını önlemek ve kaza sonucu ortaya çıkabilecek mağduriyeti en az zararlarla atlatmak için yapılması gereken çalışmaları önceden kestirmek gereklidir. Bu nedenle barajlar inşaat yapımı aşamasında ve işletme döneminde, baraj

emniyeti açısından sürekli denetlenmelidir (Yıldız 2018). Barajların yapısal hareketlerini jeodezik ve geoteknik yöntemlerle inceleyen birçok çalışma yapılmıştır (Taşçı vd. 2004, Erkaya vd. 2009, Akanmu *et al.* 2011, Kalkan 2012, Wu *et al.* 2016, Yiğit vd. 2016, Taşkırın ve Oral 2017, Alçay vd. 2018, Konakoğlu ve Gökalp 2018, Köse 2018, Xi *et al.* 2018, Luo *et al.* 2019, Pantazis *et al.* 2019, Xiao *et al.* 2019, Emiroğlu vd. 2020, Konakoğlu 2021). Son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalardan; Wu *et al.* (2016), Jinping-I Barajı'nda ilk su tutma döneminde gerilme, deformasyon ve su basıncını incelemek için, izleme ve sonlu elemanlar yöntemini kullanmışlardır. Sayısal model ile izleme sonuçlarının tutarlı olduğu ve hareket değerlerin tasarım aralığında kaldığı belirtilmiştir. Alçay vd. (2018), Ermenek beton kemer barajının sıcaklık yükü ve su yüküne verdiği tepkileri hem jeodezik hem de sarkaç verilerine dayanarak detaylı bir şekilde değerlendirmişlerdir. Analizler, mevsimsel yer değiştirmenin beton sıcaklığı ile güçlü bir şekilde ilişkili olduğunu ve rezervuar dolu olduğunda sıcaklığın yer değiştirmede daha etkili olduğunu belirlenmiştir. Luo *et al.* (2019), Çin'in güneybatısındaki Guangxi Eyaletindeki bir toprak barajın dikey ve yanal yer değiştirmelerini 18 yıllık bir süre boyunca izlemişlerdir. İzleme sonucunda en büyük yer değiştirmelerin barajın merkezinde olduğu ve oturmaların en fazla memba tarafında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Pantazis *et al.* (2019), Kıbrıs'taki Kouris Barajı'nın davranışını ayrıntılı olarak incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre yer değiştirmeler ile rezervuar su seviyesindeki dalgalanmalar arasında bir korelasyon gözlenmiştir. Konakoğlu (2021), Deriner Barajı'nda 2016-2017 yılları arasında 4 periyot GNSS ölçüsü kullanarak, yer değiştirmeleri statik, kinematik ve dinamik deformasyon modelleri ile belirlemiştir. Barajın orta kısmında önemli deformasyonlar görüldüğü ve dinamik deformasyon modelinin diğerlerine göre daha iyi sonuçlar verebileceği sonucuna varılmıştır.

Barajlar görsel olarak incelendiğinde herhangi bir problem olmadığı düşünülebilir, ancak barajlar sağlam görülmelerine rağmen doğanın güçleri altında sürekli hareket ederler. Barajlar bu güçlerin

etkilerini en aza indirecek şekilde inşa edilmelidir. Beton barajları ölü yük, normal su yükü, taşkın yükü, kaldırma yükü, silt ve tortu yükü, buz yükü, sıcaklık, deprem yükü, temelin tepkisi ve dalga basıncı etkiyebilir. Çift eğrilikli bir beton baraj için iki ana yük durumu hidrostatik basınç ve sıcaklık değişimidir. Önceki araştırmalar, baraja etki eden kuvvetlerden rezervuar su yükü ve termal yükün teknik fizibilitesini kanıtlamıştır. Sıcaklık ve rezervuar su seviyesi gibi yükler ile barajın davranışı arasında sarkaç verilerine dayanarak bir ilişki kurularak değerli bilgiler elde edilebilir. Bu çalışmada öncelikle Deriner Barajı'na yerleştirilen geoteknik cihazlar hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Sonrasında barajın ilk dolumu sırasındaki yatay hareketlerin belirlenebilmesi için kullanılan geoteknik cihazlardan sarkaçlara ait detaylar verilmiştir. Diğer sarkaçlara göre hareketin en çok olduğu baraj ortasında bulunan sarkacın hareket grafikleri verilerek, elde edilen hareketlerin rezervuar su seviyesi ve mevsimsel sıcaklık değişimleri ile ilişkisi incelenmiştir.

## 2. Beton Kemer Barajların İzlenmesinde Kullanılan Geoteknik Cihazlar

Geoteknik cihazlar ile izleme barajlarda oluşabilecek birçok durum için erken uyarı sağlayabilir. Beton barajlarda kullanılan cihazlar genel olarak şöyle sıralanabilir;

- Beton ve ortam sıcaklığını ölçmek için teletermometre,
- Yatay hareketleri ölçmek için düz sarkaç ve temel kayası ile beton gövdenin birleşik davranışını ölçmek için ters sarkaç,
- Temel ve yamaç kayasının aksel olarak farklı derinliklerdeki hareketini ölçmek için rockmetre,
- Anoların yatay ve düşey eğimlerini ölçmek için kullanılan klinometre,
- Anolar arasındaki derz hareketlerini ölçmek için tek yönlü veya üç yönlü derz ölçer,
- Derz aralarından sızan suların miktarını belirlemek için galerilere yerleştirilen elektronik ve manuel debi ölçer,

- Kaplama betonunun arkasındaki ve mesnetlerdeki boşluk suyunun basıncını ölçmeye yarayan piyezometre,
- Temel kayası ile beton blok arasındaki alt basınçları ölçmeye yarayan kaldırma kuvveti ölçer,
- Gövde içerisinde betonun birim deformasyonunu ve gerilim değerlerini ölçmeye yarayan birim deformasyonu ölçer ve gerilme ölçer,
- Barajdaki rezervuar su seviyesinin belirlenmesi için rezervuar su seviyesi ölçer,
- Barajın davranışını doğru bir şekilde değerlendirebilmesi için yerleştirilen meteorolojik ekipmanlar; uzaktan barometre, otomatik yağmur göstergesi, açık havadan korumalı hava sıcaklığı sensörü, minimum-maksimum termometre ve güneş radyasyonu sensörü,
- Baraj yerinde ana kaya ve baraj kreti üzerindeki sismik ivmeyi ölçmek için deprem ölçer (sismik ivme ölçer),
- Mesnetlerde zeminde ve kayada oturma, kabarma, deplasmanların ölçümünde ekstensometre,
- Mesnetlerde yerleştirildikleri sondaj deliklerinin eksenine dik yönde, farklı derinliklerde sapmaların yeri, yönü ve büyüklüğünün ölçülmesinde inklinometre,
- Mesnetlerde yük değişimlerini ölçmek için yük hücresi,
- Günlük yapılan ölçümleri otomatik olarak kaydetmek için otomatik veri toplama sistemi kullanılmaktadır (İnt Kyn. 1).

## 3. Deriner Barajı Teknik Özellikleri

Deriner Barajı, Doğu Karadeniz Bölgesinde, Artvin İlinde, Çoruh Nehri üzerine çift eğrilikli beton kemer baraj tipinde enerji ve taşkın koruma amacıyla inşa edilmiştir (Şekil 1). Baraj temelden 249 m yüksekliği ile Türkiye'nin en yüksek barajı konumundadır. Uluslararası büyük barajlar komisyonun

(International Commission On Large Dams, ICOLD) Nisan 2020’de yayınladığı güncel rapor verilerine göre Deriner Barajı kendi sınıfında Dünya’nın 10. yüksek barajıdır (İnt Kyn. 2). Baraj inşaatına 1998 yılında başlanmış, Şubat 2012’de baraj inşası bitirilerek su tutulmaya başlanmış ve Haziran 2013’te elektrik üretmeye başlanılmıştır. Barajın kret kotu 397 m ve kret uzunluğu 720 m olup barajın temelde genişliği 55-60 m ve krette genişliği 12-18 m’dir. Gövde hacmi 3,4 milyon m<sup>3</sup>tür. Deriner Barajı’nın karakteristik özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir [İnt Kyn. 3 ve 4].

**Çizelge 1.** Deriner Barajı karakteristikleri

Tipi	Çift eğrilikli beton kemer
Hacmi	3.4 milyon m <sup>3</sup>
Kret kotu	397 m
Talveg kotu	195 m
Temel kotu	148 m
Kret uzunluğu	720 m
Kret genişliği	12-18 m
Temelden gövde yüksekliği	249 m
Temel genişliği	55-60 m
Kurulu güç	670 MW
Maksimum taşkın su kotu	395 m
Maksimum işletme su kotu	392 m
Minimum işletme su kotu	347.83 m
Toplam depolama hacmi	1,969 milyon m <sup>3</sup>
Faydalı depolama hacmi	963 milyon m <sup>3</sup>
Rezervuar alanı	26.40 km <sup>2</sup>

Deriner barajında derivasyon tünelinin kapatılmasıyla su tutulmaya 27.02.2012 tarihinde başlanmış olup, 17.05.2013 tarihinde su seviyesi maksimum seviyeye ilk kez ulaşmıştır.

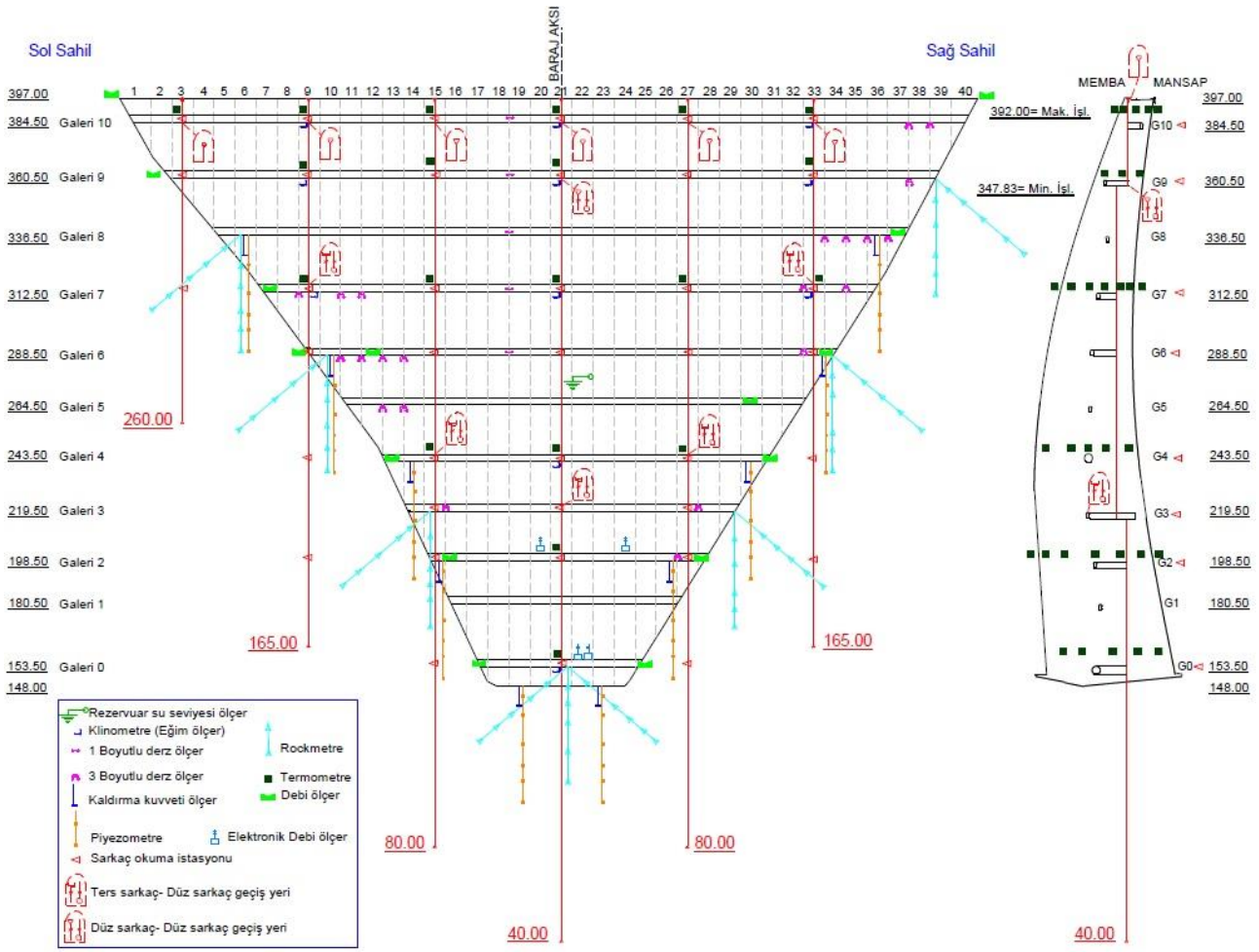


**Şekil 1.** Deriner Barajı (İnt Kyn. 3)

### **3.1. Deriner Barajının izlenmesinde kullanılan geoteknik cihazlar**

Deriner Barajı’na yerleştirilen geoteknik cihazların

konumu ve 21.blok kesiti Şekil 2’de ve cihazların teknik özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir. Şekil 2 barajın membadan mansaba doğru olan görüntüsüdür. Şekil 2’de görüldüğü üzere en üst tarafta soldan sağa doğru 1’den 40’a kadar numaralandırılarak gösterilen sütunlar, 40 adet bloğu göstermektedir. Baraj gövdesinin alt kısmından yukarı doğru galeri 0 ile başlayan galeri 10 ile biten satırlar, barajdaki farklı kotlardaki 11 adet galeriyi göstermektedir. Galeri isimlerinin hemen yanındaki kotlar galerin kotlarını göstermektedir. 148 kotu temel kotunu ve 397 kotu da kret kotunu göstermektedir. Sarkaçlar kırmızı renkli çizgilerle gösterilmiş olup, en alttaki sabit kayaya bağlı olan uçları yukarı ok ile gösterilmiş ve sabit uç kotları kırmızı renk ile belirtilmiştir. Sarkaçların en üst kısımları, ters-düz sarkaç ve düz-düz sarkaç geçiş yerleri odacık halinde gösterilmiştir. G0, G2, G3, G4, G6, G7, G9 ve G10’da bulunan sarkaç okuma odaları sol ok ile gösterilmiştir. Sarkaç okuma odalarının karşısında bulunan klinometreler okuma odalarının altında gösterilmiştir. Geoteknik cihazlar genel olarak buldukları yerlerin yakınlarına çizilmiştir. Tek boyutlu derz ölçerler sayı olarak fazla olduğu için sembolik olarak birkaç tanesi gösterilmiştir. Sarkaç-3 sistemi kret ile 260 kotu arasındaki ters sarkaçtan oluşmaktadır. Sarkaç-9 ve Sarkaç-33 sistemi kret ile G7 arası düz sarkaç ve G7 ile 165 kotu arasındaki ters sarkaçtan oluşmaktadır. Sarkaç-15 ve Sarkaç-27 sistemi kret ile G4 arasında düz sarkaç ile G4 ve 80 kotu arasındaki ters sarkaçtan oluşmaktadır. Sarkaç-21 sistemi üçlü sarkaçtan oluşmaktadır; 40 kotu ile G3 arasında ters sarkaç, G3 ile G9 arasında düz sarkaç ve G9 ile G10 arasında yine düz sarkaç bulunmaktadır. Şekil 2’de ayrıca, rockmetreler, sarkaçlar, klinometreler, termometreler, tek boyutlu ve üç boyutlu derz ölçerler, su seviyesi ölçer, piyezometreler, kaldırma kuvveti ölçerler, manuel ve elektronik debi ölçerler de verilmektedir.



Şekil 2. Gövdedeki aletlerin konumu ve 21. Blok kesiti

Baraj gövdesindeki radyal ve teğetsel hareketleri belirlemek amacıyla 6 adet düz ve 6 adet ters sarkaç, galeriler arasında (3., 9., 15., 21., 27. ve 33. bloklara) yerleştirilmiştir. Eğim değişimlerini ölçmek için sarkaç ölçüm odalarının karşısına gelecek şekilde G0'da ve G4'te birer adet ve G7, G9 ve G10'da üçer adet olmak üzere toplam 11 adet klinometre yerleştirilmiştir. Derz açılma ve kapanmalarını belirlemek amacıyla galerilere tek eksenli 222 adet ve 22 adet üç eksenli derz ölçer yerleştirilmiştir. Üç eksenli derz ölçerlerde, X eksenli barajın galeri aksı doğrultusunda derz açılması olup, Z eksenli derz boyunca düşey hareketi, Y eksenli ise X ve Z eksenine dikey yöndeki derz hareketidir. Gövde içerisine belirli aralıklarla sıcaklık değişimlerini belirlemek amacıyla 95 adet teletermometre yerleştirilmiştir. Beton sıcaklığı ve yüzey sıcaklığını (su sıcaklığı ve hava sıcaklığı için) ölçmek üzere iki tip termometre kullanılmıştır. Termometreler, sıcaklık ile yer değiştirmeler arasındaki korelasyonu belirlemek amacıyla her sarkaç okuma istasyonunun yakınında

gruplar halinde düzenlenmiştir. Baraja yerleştirilen termometrelere baktığımızda; grup başına termometre sayısı baraj kalınlığına bağlı olarak 3 ile 5 arasında değişmektedir. Deriner Barajı'nda toplam 83 adet beton sıcaklığı ölçer, 7 adet hava sıcaklığı ölçer, 5 adet su sıcaklığı ölçer kullanılmıştır. Sol ve sağ galerilerden gövdeye giriş bölgelerinde, galerilerin memba ve mansap taraflarına, temel ve yamaç kayalardaki deplasmanları belirlemek amacıyla 21 adet rockmetre ve yakınlarına boşluk suyu basıncını belirlemek amacıyla da 50 adet piyezometre yerleştirilmiştir. Galerilerin sonlarına doğru piyezometrelerin yüksek basınç değeri gösterdiği bölgelerde açılan sondaj deliklerinden çıkan suyun debisini belirlemek amacıyla debi ölçerler yerleştirilmiştir. G0 ve G2'ye 4 adet elektronik debi ölçer yerleştirilmiştir. Memba ve mansap yüzeyleri arasında farklı lokasyonlarda kaldırma kuvvetinin ölçülmesi için baraj kütle betonu/kaya ara yüzeyinin hemen altına 48 adet kaldırma kuvveti ölçer yerleştirilmiştir.



Baraj gövdesine yerleştirilen geoteknik ölçme aletlerinin yanı sıra, sağ ve sol mesnetlere de inklinometre, ekstensometre ve yük hücreleri gibi geoteknik ölçme aletleri yerleştirilmiştir. Şekil 3'te ters ve düz sarkaç örneği verilmiştir.



Şekil 3. G4'de 27. blokta bulunan ters ve düz sarkaç

#### Çizelge 2. Geoteknik aletler ve teknik özellikleri

Ölçme Aleti	Özellikler	
Sarkaç	Ölçüm aralığı	X-ekseni: 0-150 mm Y-ekseni: 0-50 mm
	Çözünürlük	0.01 mm
	Doğruluk	X-ekseni: $\pm 0.05$ mm Y-ekseni: $\pm 0.05$ mm
İnklinometre	Ölçüm aralığı	$\pm 30^\circ$ standart veya $\pm 90^\circ$ isteğe bağlı
	Çözünürlük	$\pm 0.01$ mm
	Doğruluk	$\pm \%0.02$ FS
Rockmetre	Ölçüm aralığı	25-150 mm
	Çözünürlük	$\pm \%0.02$ FS
	Doğruluk	$\pm \%0.25$ FS
Debi ölçer	Ölçüm aralığı	100, 150, 300, 450, 600 mm
	Çözünürlük	$\pm \%0.1$ ile $\pm \%0.5$ FS (her sensör ayrı ayrı kalibre edilir.)
	Doğruluk	Titreşimli tel: $\%0.02$ FS (min.) Sıcaklık: $0.1^\circ\text{C}$
Klinometre	Cihaz boyutları	143*102*127 mm
	Ölçüm aralığı	Boş konumdan +5 derece
	Çözünürlük	0.0001 arc derecesi (0.36 arc saniye)
	Duyarlılık	Tam ölçeğin $\%1$ 'i
	Hata sınırı	$\pm 0.0004$ tipik derece
Piyezometre ve Kaldırma Kuvveti Ölçer	Ölçüm aralığı	35 kPa- 7 Mpa
	Çözünürlük	$\%0.025$ FS (Min)- (MB-6T Okumalı)
	Duyarlılık	$< \pm \%0.5$ FS
Doğruluk	$\pm \%0.1$ FS- $\pm \% 0.5$ FS	

#### 4. Uygulama

Deriner Barajı'nda geoteknik cihazlar ile ölçümlerin başlama tarihleri, yerleştirildikleri tarihlere göre değişmektedir. Baraj gövdesinde inşaat aşamalarına bağlı olarak 2006-2012 yıllarında ölçme işlemine

başlanmıştır. Baraj gövdesinin üst kısımlarının tamamlanmasıyla su tutulmadan önce çoğu cihazın sıfır (referans) okuması yapılmıştır. Mesnetlere yerleştirilen ekstensometre ve yük hücrelerinin ise ölçü başlangıç tarihleri 2002'dir.

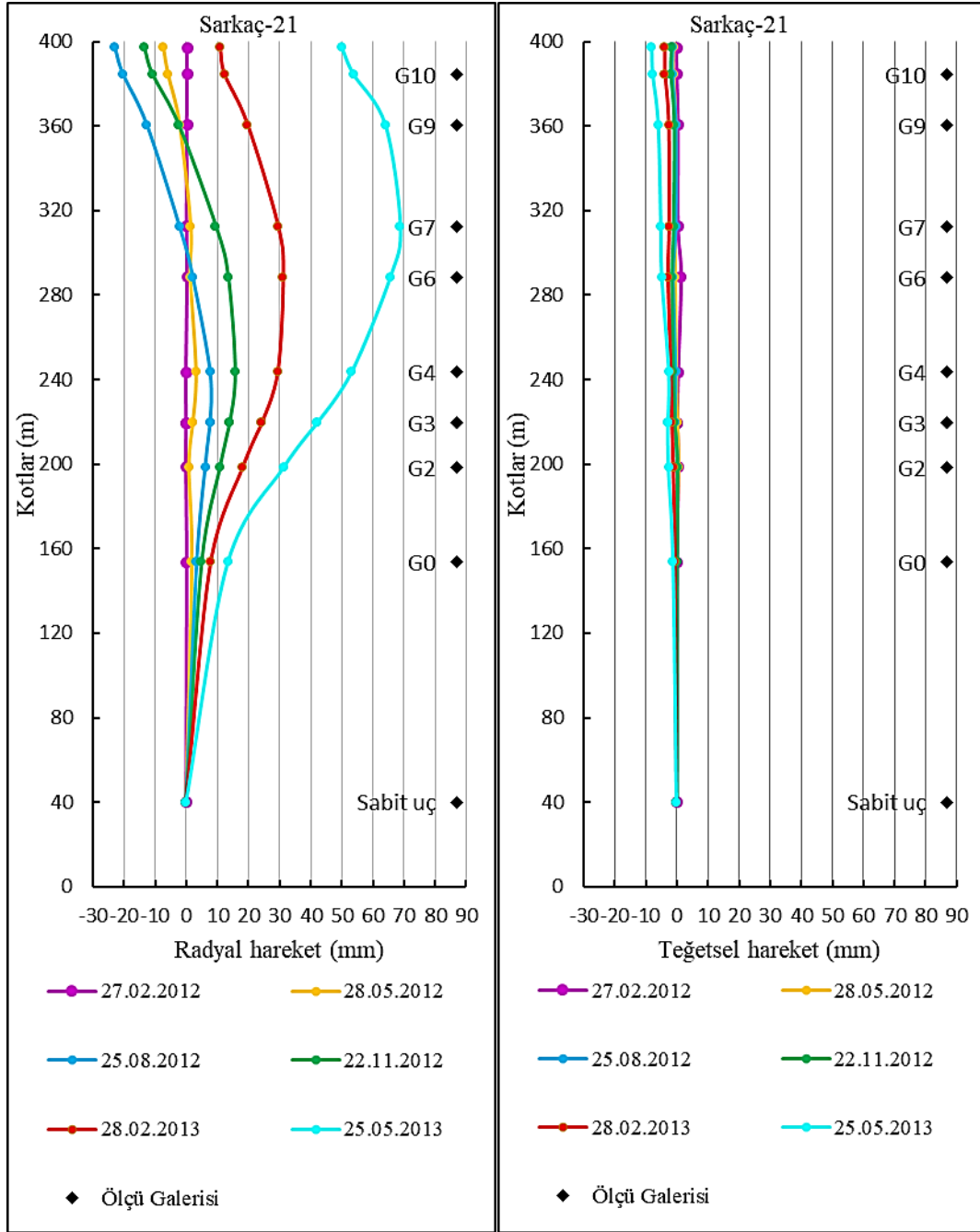
Deriner Barajı'nda ilk su tutulma döneminde yatay hareketlerin belirlenebilmesi amacıyla sarkaç verilerinden yararlanılmıştır. Sarkaç verilerinden elde edilen kret üzerindeki radyal ve teğetsel hareketler Çizelge 3'te verilmiştir. Sarkaç-15, Sarkaç-21 ve Sarkaç-27'nin ilk okumaları 17.02.2012 tarihinde başlamış olup, diğer sarkaçların ilk okumaları 26.03.2012 tarihinde yapılmıştır. Elde edilen değerler sarkaçların bağımsız hareketlerini göstermektedir. Radyal ve teğetsel hareketler sarkaç sistemlerindeki her bir ters sarkacın sabit noktası baz alınarak belirlenmiştir.

#### Çizelge 3. İlk dolun sırasında sarkaçlara göre baraj kretinin yer değiştirmeleri

	Radyal Hareket (mm)	Teğetsel Hareket (mm)
Sarkaç-3	3.40	10.19
Sarkaç-9	19.42	21.07
Sarkaç-15	50.64	27.34
Sarkaç-21	73.58	8.85
Sarkaç-27	73.13	25.27
Sarkaç-33	42.55	21.18

Çizelge 3'te görüldüğü üzere en büyük radyal hareket baraj ortasındaki Sarkaç-21'de görülmüştür. Barajın yatay hareketinin daha iyi anlaşılabilmesi için Sarkaç-21'in radyal ve teğetsel hareket grafikleri Şekil 4'te verilmiştir. Radyal ve teğetsel grafiklerde ilk dolun sürecinde 3 aylık zaman aralığındaki hareketler verilmektedir.

Şekil 4'te görüldüğü üzere radyal hareketlerin önce memba yönünde daha sonra mansap yönünde olduğu görülmektedir. İlk dolun sürecinde galerilerdeki radyal hareketlere baktığımızda; krette 73.58 mm, G10'da 75.06 mm, G9'da 78.02 mm, G7'de 74.30 mm, G6'da 67.89 mm, G4'te 53.26 mm, G3'te 43.23 mm, G2'de 31.49 mm ve G0'da 13.45 mm olarak gerçekleşmiştir. İlk dolun sürecinde galerilerdeki teğetsel hareketlere baktığımızda G10'da 8.06 mm ve diğer galerilerde daha düşük seviyededir.



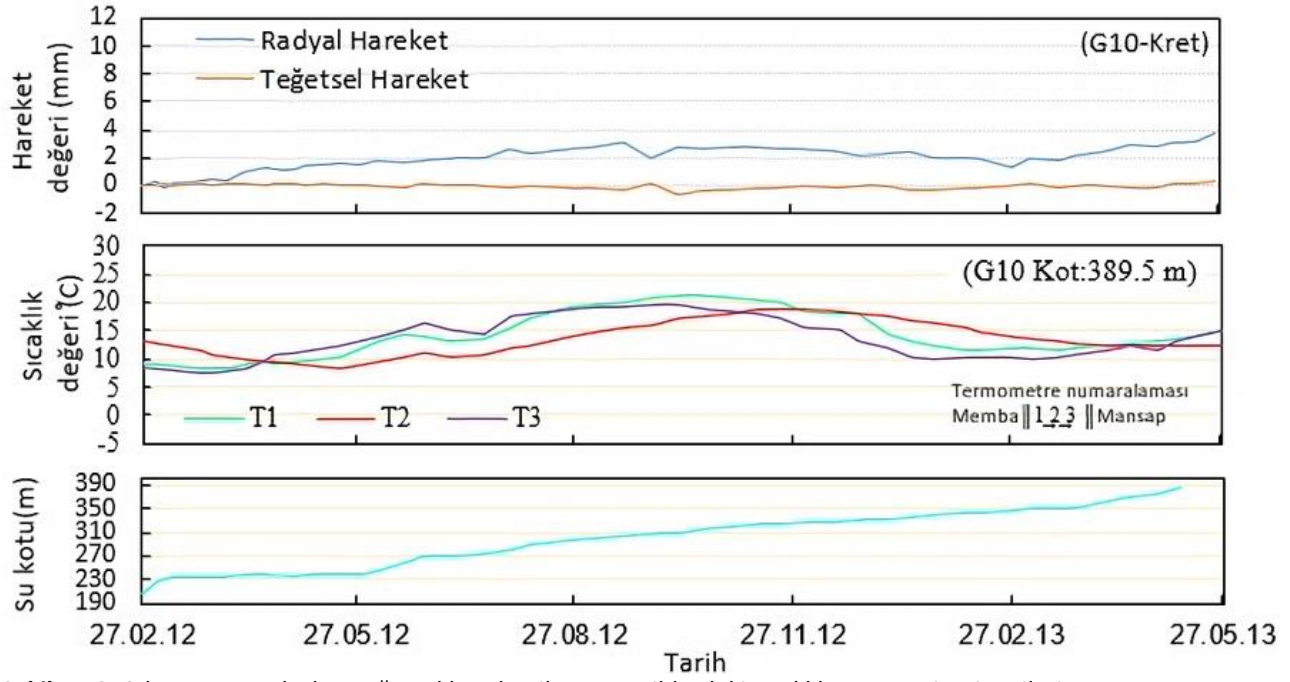
Şekil 4. Sarkaç 21'in radyal hareketler ve teğetsel hareketler

#### 4.1. Sarkaç ile belirlenen hareketlerin sıcaklık ve su seviyesi ile ilişkisi

Barajlardaki yapısal hareketlerin izlenmesinin yanı sıra, yük-hareket ilişkisinin ortaya çıkarılabilmesi için su yüksekliği ve sıcaklık gibi çevresel etkenlerin ölçülmesi gerekir. Bu nedenle sıcaklık ve su seviyesi verileri günlük olarak kaydedilmektedir. Mevsimsel sıcaklık değişimi ve su seviyesindeki artışın baraj davranışı ile olan ilişkisini incelemek için hareketin diğerlerine nazaran daha fazla olduğu barajın

ortasındaki en üstte bulunan sarkaç göz önüne alınmıştır.

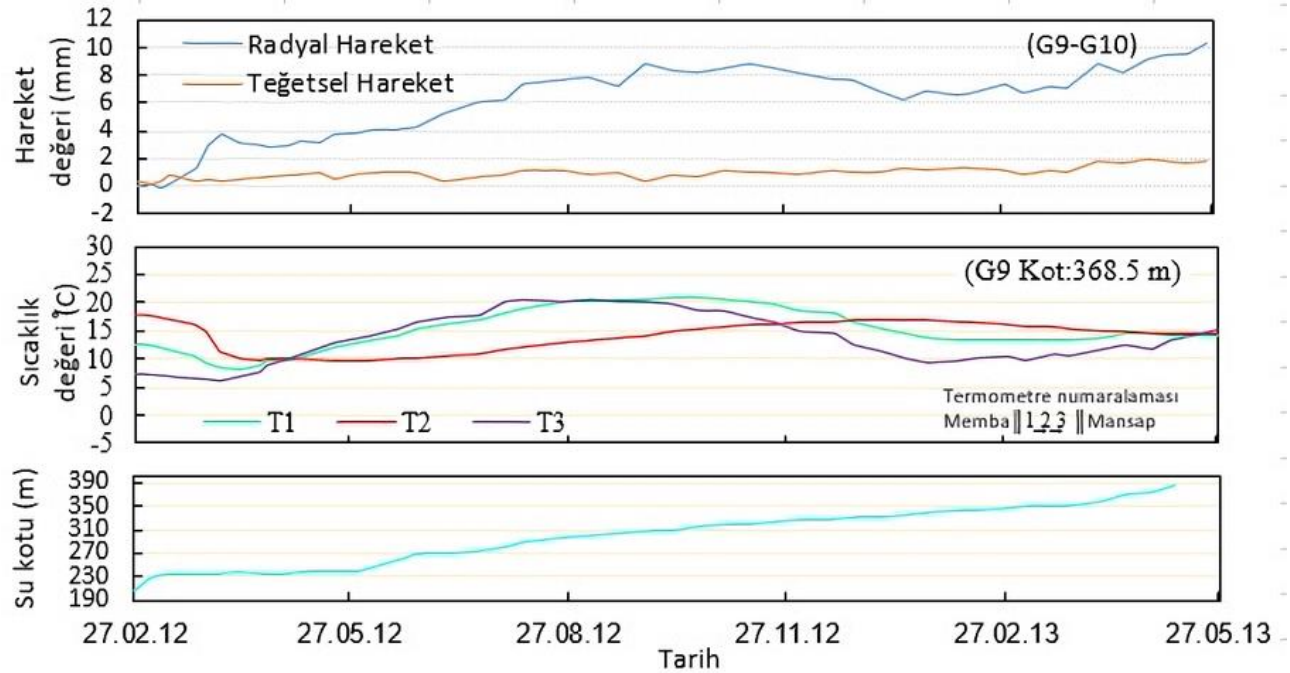
Bu amaçla sarkaç verileri ile bunlara karşılık gelen sıcaklık ve su seviyesi verileri incelenmiştir. 27.02.2012-27.05.2013 tarihleri arasında sarkaca ilişkin veriler ve bunlara karşılık gelen sıcaklık ve su seviyesi verileri Şekil 5-6'da verilmiştir.



Şekil 5. G10-kret arası radyal ve teğetsel hareket ile aynı tarihlerdeki sıcaklık ve su seviyesi verileri

Şekil 5'te G10-kret arasındaki radyal ve teğetsel hareket ile aynı tarihlere karşılık gelen beton sıcaklığı ile su kotu değerleri verilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi radyal hareketler -0.12 mm ile 3.14

mm arasında değerler almaktadır. Teğetsel hareketler ise -0.58 mm ile 0.23 mm arasındadır. Beton sıcaklığı en düşük 7.30 °C, en yüksek 21.20 °C ve ortalama 14.25 °C değerini aldığı görülmektedir.



Şekil 6. G9-G10 arası radyal ve teğetsel hareket ile aynı tarihlerdeki sıcaklık ve su seviyesi verileri

Şekil 6'da görüldüğü üzere G9-G10 arasında sarkaç hareketleri radyal yönde -0.15 mm ile 9.52 mm arasında ve teğetsel yönde 0 mm ile 1.89 mm arasındadır. G9'da beton sıcaklığı en düşük 6.10 °C, en yüksek 21.10 °C ve ortalama 13.99 °C değeri aldığı

görülmektedir. Baraj rezervuarı maksimum düzeye ulaşıncaya kadar su seviyesi çoğunlukla doğrusal bir artış gösterirken, memba ve mansap tarafındaki beton sıcaklıkları mevsimlere bağlı olarak daha fazla harmonik salınımlar göstermiştir. Bu durumda



hareketlerin zaman serileri, harmonik bir hareketin ve aynı zamanda doğrusal bir trendin varlığını göstermiştir. Salınım hareketi çoğunlukla mevsimsel sıcaklık değişiminden, doğrusal trend ise genelde doğrusal olarak artan su seviyesinden

kaynaklanmaktadır (Alçay 2014). Radyal ve teğetsel hareketlerin sıcaklık ve su seviyesi arasındaki ilişkisini gösteren korelasyon katsayıları hesaplanmış ve Çizelge 4’te verilmiştir.

**Çizelge 4.** İlk dolum periyoduna kadar elde edilen korelasyon değerleri

İlk dolum periyoduna kadar korelasyon değerleri								
Sarkaç bölümü	Hareket	SU (%)	G10/T1 (%)	G10/T2 (%)	G10/T3 (%)	G9/T1 (%)	G9/T2 (%)	G9/T3 (%)
KRET-G10	Radyal	76	74	48	70			
	Teğetsel	-25	-51	-53	-39			
G10-G9	Radyal	88				68	30	58
	Teğetsel	83				19	20	16

Çizelge 4’te beton sıcaklığını ölçen termometrelerin konumları, G10/T1 ve G9/T1 memba tarafında, G10/T3 ve G9/T3 mansap tarafında ve G10/T2 ve G9/T2 ise orta kısımda yer almaktadır. Şekil 5’te görüldüğü üzere G10 ile kret arası radyal hareketler ile beton sıcaklıkları arasında benzer bir salınım olmasına rağmen membadan mansaba doğru sırasıyla %74, %48 ve %70 korelasyon söz konusudur. Ancak su seviyesi ile radyal hareketler arasındaki korelasyon %76’dır. Buna göre barajın 384,5 kotu 397 kotuna göre mansap hareketi göstermektedir. Teğetsel hareketler ile su seviyesi ve beton sıcaklıkları arasında önemli bir korelasyon olmadığı görülmektedir.

G9 ve G10 arası radyal hareketler ile beton sıcaklıkları arasında membadan mansaba doğru sırasıyla %68, %30 ve %58 korelasyon söz konusudur. Radyal hareketler ile su seviyesi arasında korelasyon %88’dir. Buna göre barajın 360,5 kotu 384,5 kotuna göre mansap hareketi göstermektedir. Teğetsel hareketler ile beton sıcaklıkları arasında ciddi bir korelasyon olmadığı görülmektedir. Ancak su seviyesi ile teğetsel hareket arasındaki korelasyon %83’tür.

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada, Türkiye’nin en yüksek barajı olan Deriner Barajı’nda geoteknik cihazlar ile yapılan deformasyon izleme çalışmaları ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Geoteknik cihazlar ile yapılan çalışmalar mesnetlerde 2002 yılında, baraj

gövdesinde ise 2006 yılında başlamıştır. Her bir ölçme aletinin ölçü başlangıç tarihleri farklıdır. Geoteknik ölçmeler, sıcaklık ölçmeleri, deformasyon ölçmeleri ve basınç ölçmeleri şeklinde gerçekleştirilmiştir.

Sarkaçlardan elde edilen verilere göre radyal hareketlerin teğetsel hareketlere nazaran daha büyük olduğu görülmüştür. En büyük hareketlenme beklenildiği gibi barajın orta kesitinde görülmüştür. Mesnetlere doğru kesitlerdeki hareketler azalmaktadır. Kret üzerinde en büyük hareket mansap yönünde 73.58 mm olarak gerçekleşmiştir. Mansap yönündeki en büyük hareket ise 21. blok G9’da 78.02 mm olarak gerçekleşmiştir. Baraj temel ekseninde mansap yönünde 13.45 mm hareket olduğu gözlenmiştir. İlk dolum sırasında Sarkaç-3 mesnetlere en yakın sarkaç olması sebebiyle çok önemli bir radyal hareket göstermemiştir.

Barajı etkileyen iki ana yük olan sıcaklık ve su seviyesi ile hareketler arasındaki ilişki incelenmiştir. Özellikle radyal hareketler ile su seviyesi arasında yüksek korelasyon olduğu görülmüştür. Radyal hareketler ile memba tarafına yakın beton sıcaklıkları arasında diğerlerinden daha yüksek korelasyon söz konusudur. Teğetsel hareketler ile sıcaklık arasında korelasyon katsayısı ise düşüktür. Bu durumda su seviyesinin sıcaklık değişimlerine nazaran yapıdaki hareketi daha fazla etkilediği görülmüştür.

Barajlara etki eden yükler hiçbir zaman kendiliğinden ortadan kaybolmamaktadır. Bu

nedenle barajların sürekli kontrol altında tutulması gerekmektedir. Yapılan ölçümlerden elde edilen verilerin toplanmasının yanı sıra sonuçların bu konuda uzman kişiler tarafından doğru yorumlanması oldukça önemlidir. Geoteknik cihazların kalibrasyon kontrolleri belirli zaman aralıklarında yapılmalıdır. Ayrıca geoteknik cihazların bozulması halinde tamir edilmeli veya eskisine eşdeğer ya da daha üstün bir cihaz yerleştirilmelidir. Bu tür durumlarda eski ve yeni ölçüler arasındaki bağlantının sağlanması için gerekli hassasiyet gösterilmeli ve mümkünse eski-yeni sistem arasında bağlantıyı sağlayacak ilave ölçmeler ve hesaplamalar yapılmalıdır.

### Teşekkür

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü ile Necmettin Erbakan Üniversitesi arasında, Deriner Barajı ile ilgili ölçüm verileri paylaşımı ve işbirliği protokolü çerçevesinde daha önce hiçbir yerde yayınlanmamış verileri paylaştığı için Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz. Bu çalışma, "Barajlardaki Deformasyonların Geoteknik Cihazlar İle İzlenmesi, Deriner Barajı Örneği" başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

### 6. Kaynaklar

- Akanmu, J.O., Remi-John, O. ve Ekpo, I.E., 2011. Overview of dam development in Nigeria. *Geotechnical and Geological Engineering*, **29**, 953.
- Alçay, S., 2014. Beton kemer barajlardaki deformasyonların jeodezik ve geoteknik yöntemlerle izlenmesi ve Ermenek Barajı örneği. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 126.
- Alçay, S., Yiğit C.Ö., İnal C. ve 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.
- Çalamak M., 2016. Tanyeri Barajı örneğinde barajların taşkın nedeniyle üstten aşılma güvenilirliğinin belirlenmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, **32, 3**, 965-975.
- Demirkaya S., 2005. Bir kemer barajdaki yatay konum değişimlerinin fiziksel yorumu. *TMMOB HKMO 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 28 Mart-1 Nisan 2005, Ankara.
- Duffaut P., 2013. The traps behind the failure of Malpasset arch dam, France, in 1959. *Journal of Rock*

*Mechanics and Geotechnical Engineering*, **5, 5**, 335-341

- Erkaya, H., Hoşbaş, R.G., Güllal, V.E., Ersoy, N., Doğan, U., Pırtı, A., Soyca, M., Gümüş, K., Öcalan, T., Aykut, N.O., Akpınar, B. ve Poyraz, F., 2009. Beton kemer barajlarda deformasyonların modern ölçme teknikleri ile belirlenmesi. *TMMOB HKMO 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 11-15 Mayıs 2009, Ankara.
- Emiroğlu, M.E., Edil, T.B., Kalkan, Y., Karadeniz H., Celep Z., 2020. Baraj Emniyeti için Gözlemsel İnceleme ve Değerlendirmelerin Rolü. *Su Kaynakları*, **5, 2**, 40-47.
- Ersoy H., Karahan M., Gelişli K., Akgün A., Anılan T., Sünnetçi M.O. ve Yahşi B.K., 2019. Modelling of the landslide-induced impulse waves in the Artvin Dam reservoir by empirical approach and 3D numerical simulation. *Engineering Geology*, **249**, 112-128.
- Federal Energy Regulatory Commission (FERC), 2018. Chapter11-Arch Dams, *Engineering Guidelines For The Evaluation Of Hydropower Projects*. Washington, D.C.
- Kalkan, Y., 2012. Geodetic deformation monitoring of Atatürk dam in Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, **7**, 397-405.
- Konakoğlu, B. ve Gökalp, E., 2017. İlk doludan itibaren düşey deformasyon ölçümleri: Deriner Barajı Örneği. *International Conference on Advanced Engineering Technologies*, 21-23 Eylül 2017, Bayburt.
- Konakoğlu, B. ve Gökalp, E., 2018. Deformation measurements and analysis with robust methods a case study Deriner Dam. *Turkish Journal of Science & Technology*, **13**, 99-103.
- Konakoğlu, B., 2021. Deformation analysis using static, kinematic and dynamic geodetic deformation models with GNSS: Deriner Dam, Artvin, Turkey. *Experimental Techniques*. (<https://doi.org/10.1007/s40799-020-00435-z>)
- Köse Z., 2018. Obruk Barajı'ndaki düşey deformasyonların hassas nivelman yöntemi ile belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 86.
- Luo J., Zhang Q., Li L. Ve Xiang W., 2019. Monitoring and characterizing the deformation of an earth dam in Guangxi Province, China. *Engineering Geology*, **248**, 50-60.
- Pantazis G., Skarlatos D. ve Pelecanos L., 2019. Long-term geodetic monitoring of seasonal deformations of earth dams and relevant finite element verification. *The 4th Joint International Symposium on*

*Deformation Monitoring (JISDM)*, Atina, 15-17 Mayıs 2019.

4-<https://www.enerjiatlas.com/hidroelektrik/deriner-baraji.html> (20.10.2020)

Parker D.J., 2000. *Floods*, Routledge, Oxfordshire, İngiltere.

Taşçı, L., Yıldırım B. ve Gökalp E., 2004. Kaya dolgu barajda deformasyonların jeodezik ve sonlu elemanlar metodu ile belirlenmesi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **16(2)**, 205-219.

Taşkıran T. ve Oral İ.H., 2017. Pamukçay barajının ölçülen deplasman/boşluksuyu parametrelerinin sonlu eleman analiz sonuçlarıyla karşılaştırılması. *7. Geoteknik Sempozyumu, TMMOB İMO İstanbul*, 22-23-24 Kasım 2017, 247-256.

Wu S., Cao W. ve Zheng J., 2016. Analysis of working behavior of Jinping-I Arch Dam during initial impoundment. *Water Science and Engineering*, 9 Kasım 2016, 240-248.

Xiao R., Shi H., He X., Li Z., Jia D. ve 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.

Xi R., Zhou X., Jiang W. ve Chen Q., 2018. Simultaneous estimation of dam displacements and reservoir level variation from GPS measurements. *Measurement* **122**, 247–256.

Yıldız, D., 2018. Su Yönetimi ve Barajların Güvenliği İlişkisi, *World Water Diplomacy & Science News*.

Yılmam B. ve Turgut H., 2020. Yusufeli Barajı antropojenik etkilerinin peyzaj planlama açısından değerlendirilmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, **6(2)**, 431-450.

Yiğit C.O., Alçay S. ve 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.

### **İnternet Kaynakları**

1-<http://www.dsi.gov.tr/faaliyetler/teknik-sartnameler> (12.12.2020)

2- [https://www.icold-cigb.org/article/GB/world\\_register/general\\_synthesis/classification-by-type](https://www.icold-cigb.org/article/GB/world_register/general_synthesis/classification-by-type) (13.10.2020)

3- <http://www.dsi.gov.tr/projeler/deriner-baraj%C4%B1> (10.11.2019)