

Deformasyon Tahmininde Gri Model Uygulaması: Keban Barajı Örneği

Erkan TANYILDIZI¹, Kürşat KAYA^{2*}

¹ Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Elazığ
² İnönü Üniversitesi, Malatya Meslek Yüksekokulu, Harita ve Kadastro Bölümü, Malatya
^{*}1 etanyildizi@firat.edu.tr, ² kursat.kaya@inonu.edu.tr

(Geliş/Received:20.01.2019;

Kabul/Accepted: 29/04/2019)

Öz: Büyük mühendislik yapılarının şekil, boyut ve yer değişimleri, farklı deformasyon analiz metotlarıyla belirlenmekte ve yorumlanmaktadır. Deformasyon analizinde kullanılan Gri Sistem, bulanık mantık yaklaşımına alternatif bir yöntem olarak sunulmuştur. Bu çalışmada Fırat Nehri üzerinde inşa edilmiş olan Keban Barajındaki deformasyon ölçmelerinin belirlenmesinde ve analiz edilmesinde Gri sistem metodunun kullanılabilirliği araştırılmıştır. Keban barajında, jeoteknik ölçü yöntemi kullanılarak deformasyon ölçüleri yapılmış olan ölçü noktalarına ait boşluk suyu basınçları ve baraj göletindeki su seviyesindeki değişimler, gri sistem yöntemiyle tahmin edilmiştir. Keban Barajı'nda yapılan ölçü değerleriyle hesaplanan deformasyon miktarları, Gri Sistem yöntemiyle elde edilen tahmini deformasyon miktarları ile karşılaştırılmış ve tahmin başarısı elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Deformasyon Analizi, Gri Sistem, Deformasyon Ölçmeleri, Keban Barajı.

Application of Gray Model in Estimation of Deformation: The Case of Keban Dam

Abstract: Shape, size and displacement of big engineering structures are determined and interpreted by different deformation analysis methods. The Gray System used in deformation analysis is presented as an alternative method to the fuzzy logic approach. In this study, the usability of the Gray System method for the determination and analysis of deformation measurements in the Keban Dam built on the Euphrates River was investigated. In the Keban dam, the pore water pressures and the changes in the water level in the reservoir were estimated by the gray system method. The deformation amounts calculated by the measured values at the Keban Dam were compared with the estimated deformation amounts obtained by the Gray System method and the prediction success was obtained.

Key words: Deformation Analysis, Gray System, Deformation Measurements, Keban Dam.

1. Giriş

Yüksek bütçe ve fazla emek harcanarak inşa edilen büyük yapıların bakım ve tadilatlarının eksiksiz ve zamanında yapılması önem taşımaktadır. Bu sebepten yapılarda ve çevresinde meydana gelen değişimlerin izlenmesi, belirlenmesi ve tanımlanması önemlidir. Ortaya çıkabilecek olumsuzluklar, yapı çevresindeki canlılar ve doğa için ciddi zararlara neden olabilmektedir. Bu zararların önüne geçebilmek için yapılarda meydana gelen değişimlere sebep olan etmenlerin belirlenmesi gerekir. Bu etmenlerden, önlenbilir olanlar için gerekli tedbirler zamanında alınabilir. Cisimlerde meydana gelen değişimlerin yorumlanmasında, çeşitli analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Analiz yönteminin seçimi, değişimi belirlemek için kullanılan gözlemlerin hangi yöntemle yapıldığına bağlıdır. Yeterli çalışmanın yapılmadığı, gerekli verilerin oluşturulamadığı veya oldukça kısıtlı veriye erişilebildiği durumlar söz konusu olabilir. Bu gibi durumlarda memnuniyet verici uygulamalar yapabilmeye gücünde olan ve deformasyon analizi yapabilmeye kabiliyetine sahip olan Gri Sistem yaklaşımı ortaya konulmuştur. Gri Sistemde temel düşünce, belirsiz sistemlerin davranışlarını sınırlı sayıda veri yardımı ile tahmin etmektir.

Bu çalışmada büyük bir öneme sahip olan Keban Barajının deformasyon ölçmeleri ve deformasyon analizi farklı bir yaklaşımla irdelenmiştir. Bu çalışmada, birçok kullanım alanına sahip olan gri tahmin yönteminin, deformasyon analizinde kullanılabilirliği Matlab ortamında hazırlanan yazılım paketi ile test edilmiştir. Yazılım paketine deformasyon ölçülerine ait veriler girilerek, gelecek dönemlere ait deformasyon ölçüleri tahmin edilmiştir. Bu amaçla, daha önceden periyodik olarak deformasyon ölçüleri yapılmış olan Keban Barajına ait deformasyon verileri referans alınmıştır. Elazığ İli civarında Fırat Nehri üzerine inşa edilmiş olan Keban Barajı, su tutma tarihi olan 1975 yılından bu yana düzenli periyotlarla deformasyon ölçüleri yapılmış olmasından dolayı tercih edilmiştir.

* Sorumlu yazar: kursat.kaya@inonu.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0003-2973-9389, ² 0000-0002-9647-247X

2. Deformasyon Ölçme Yöntemleri

Deformasyon ölçme yöntemleri, kullanılan ölçü aletleri, ölçüm yöntemi ve ölçüm yeri bakımından, Jeoteknik (fiziksel yada mekanik) ölçme yöntemleri ve jeodezik ölçme yöntemleri olarak iki grupta incelenir [1]. Jeoteknik yöntemle yapılan deformasyon ölçülerinde kullanılan ölçü aletleri, yapının temeline, gövdesi içine veya yüzeyine yerleştirilir. Bu ölçü aletleri ile yapı içerisinde yerleştirildiği yerdeki yatay ve düşey hareketler ölçülür. Ölçülen hareketler, deformasyon ölçüsü yapılan yapıdan uzak bir noktada kontrol edilir [2]. Jeoteknik yöntem ile yapılan ölçümlerde elde edilen sonuçlar, yapının bütününe hareketinden ziyade, yerleştirildiği noktadaki değişimi algırlar. Bu yöntem ile genelde toplam gerilmeler ile gerilme değişimi, deformasyon, yük ile birim yer değiştirme, ısı vb. değerler ölçülür. Jeoteknik yöntemle yapılan ölçülerde kullanılan bazı aletler; piyezometreler, inklinometreler, gerilme ölçerler ve su basınç ölçerlerdir. Jeodezik ölçme yöntemleri, düşey yöndeki deformasyon ve yatay yöndeki deformasyon ölçme yöntemleri olarak ikiye ayrılır. Her iki ölçme yöntemi, kullanılan ölçü aletleri ve ölçüm hassasiyetleri bakımından farklılık gösterirler. Düşey yöndeki deformasyonlar, yapılarda oturma veya çökme şeklinde kendini gösterir. Düşey yönde yapılan bu hareket yapının kendisinden ziyade yapının inşa edildiği zemin ile alakalı bir durumdur. Düşey yöndeki deformasyonlar, hassas düşey açı ölçebilen veya hassas yükseklik farkı ölçebilen aletler ile belirlenir. Yatay yöndeki deformasyon kayma veya dönme şeklinde görülür. Yatay yöndeki deformasyonların tespiti için bir nirengi ağı oluşturulur. Yatay yöndeki deformasyonlar hassas poligon yöntemi veya aliyman yöntemlerinden biriyle belirlenebilir.

Farklı periyotlarda yapılan ölçüler değerlendirilirken zaman ve büyüklük parametrelerine bağlı olarak, yer değiştirmelerin belirlenmesi ve elde edilen yer değiştirmelerin yorumlanması işlemine deformasyon analizi denir [3]. Deformasyon ölçülerinin yorumlanmasında geçmişten günümüze kadar birçok deformasyon analiz yöntemi kullanılmıştır. Bu analiz yöntemleri, pratikliği, kullanım kolaylığı, ölçü ağının yapısı, ölçme planı vb. sebeplerden dolayı farklılıklar ya da benzerlikler gösterirler.

2.1. Deformasyon Ölçülerinin Dengelenmesi

Belirli periyotlarla yapılmış deformasyon ölçülerinin karşılaştırılabilmesi için her periyot kendi içerisinde değerlendirilerek uyumsuz ölçülerin belirlenmesi gerekir. Bu yaklaşım, Gauss Markoff Modeline dayandırılır ve bazı test kurallarına göre, daha önceden belirlenmiş kriterler ile çelişen düzeltme değerlerinin belirlenmesi ile yapılır. Belirlenen kaba hatalı ölçüler, ya kümeden çıkarılır, ya yeniden ölçülür yada ağırlığına müdahale edilerek etkisi azaltılır [4].

Kaba hatalı ölçülerin etkisini azaltmak için ölçülerin dengelenmesi gerekir. Dengeleme yapmak için yapılan ölçüler Denklem 1 de verilen kritere tabi tutulur ve dengeleme kararı bu kritere göre verilir.

$$f = n - u + d \quad (1)$$

burada n : ölçü sayısı, u : bilinmeyen sayısı, d : Datum parametresi (tek boyutlu ölçülerde $d = 1$, iki boyutlu ölçülerde $d = 2$, üç boyutlu ölçülerde $d = 3$), f : fazla ölçüdür.

Fazla ölçü sayısına göre;

- $f > 0$ veya $n > u$ ise fazla ölçü var → Dengeleme yapılmalı
- $f = 0$ veya $n = u$ ise yeteri kadar ölçü var → Tek anlamlı çözüm
- $f < 0$ veya $n < u$ ise yeterli ölçü yok → İteratif çözüm [5].

Yapılan çalışmada bilinmeyen sayısı ölçü sayısına eşit olduğu için tek anlamlı çözüm yoluna gidilmiştir.

2.3. Gri Sistem Yöntemi ile Deformasyon Analizi

Gri Sistem teorisi ilk olarak 1980'li yılların başında ortaya çıkmıştır. Gri Sistem teorisi, belirsizliğin sayılaştırılmasına alternatif bir metottur. Ortaya çıkışındaki temel düşünce stokastik veya bulanık yöntemlerle üstesinden gelinemeyen belirsiz sistemlerin davranışlarını, sınırlı sayıda veri yardımı ile tahmin etmektir [6]. Sosyal, ekonomik, endüstriyel, tarımsal, biyolojik sistemler gibi pek çok sistem ismini ilgili olduğu alandan alır. Gri Sistem ismi ise, incelenen konuya ait bilgi düzeyi esas alınarak seçilmiştir [7]. Gri Sistem teorisinde, belirsizliğin olmadığı kusursuz bilgiye sahip olan bir sistem beyaz renk ile sembolize edilmiştir. Tam zıt özelliklere sahip olan sistem ise siyah olarak nitelendirilmiştir. Yalnızca kısmi bilgiye sahip olunan sistemler ise "Gri Sistemler" olarak isimlendirilmiştir [8].

Çoğu zaman tam olmayan, eksik bilgi ve varsayımlar altında modeller kurulur ve kararlar verilir. Hayattaki başımıza gelen olayların, karşılaştığımız problemlerin, tasarladığımız veya kendiliğinden gelişen süreçlerin çoğunluğu hiçbir zaman ne tam siyah ne de tam beyazdır. Örneğin inşaat sektöründe tesis edilecek yapı bünyesinde

yer alan kumun, demirin ve çimentonun kalitesi gibi faktörler tümüyle bilinse bile, doğa koşulları, işçilik kalitesi gibi pek çok belirsizlik nedeniyle yapının sağlamlığını ve ömrünü tam olarak belirlemek mümkün değildir. Gri Sistem teorisinin ortaya çıkış felsefesi de bu fikirlere dayanmaktadır.

2.4. Gri Sistemle Deformasyon Tahmini

Gri tahmin yöntemi, sistem davranışları hakkında yeterli veriye sahip olmadığımız durumlarda, kabul edilebilir sonuçların üretildiği bir yöntemdir. Uygulama kısmında ise yukarıda bahsedilen gri model çeşitlerinden en çok kullanılan GM(1,1) ve GM(1,N) tahmin modellerini, Keban Barajı'ndaki jeoteknik (fiziksel) deformasyon ölçü yöntemi ile yapılan deformasyon ölçülerinin analizinde kullanılmıştır.

a) GM(1,1) Tahmin Modeli

Gri Sistem belirsizliğin ve veri yetersizliğinin olduğu durumlarda, durumsal analiz, karar verme ve tahmin yapabilme yeteneğine sahip bir sistemdir. Söz konusu sistemin tek değişkenli ve türevlenebilir modellenmesi olan GM(1,1) tahmin modeli doğrusal davranış gösteren bir sistemdir. Referans alınan verilerin davranışlarına göre doğrusal artan veya doğrusal azalan bir grafik oluşturur. GM (1,1) tahmin modelininin matematiksel ifade şekli birçok kaynakta ayrıntılı olarak açıklanmıştır [1].

b) GM(1,N) Tahmin Modeli

N adet değişkene sahip birinci dereceden türevlenebilir eşitliklerin yer aldığı model türüdür. Genellikle dinamik faktör analizi amaçlı kullanılır. Farklı değişkenlerin davranışlarına göre tahmin değerleri elde edilir. Değişkenlerin ortak davranışları tahmin değerlerinin şekillenmesinde oldukça etkilidir. Bu model türü (N-1) adet bağımsız değişken ve bir bağımlı değişken içerir. Çok değişkenli (Multi-Variable Grey Model) modelde denir ve MGM (n,m) şeklinde ifade edilir. Burada, n diferansiyel denklem sırasını ve m ise denklem içerisindeki değişken sayısını gösterir. MGM (1,N) model, birikimli üretim operatörü (Accumulating Generation Operator (AGO)) ile kurulur. Başlangıç verileri, AGO ile raslantısal ve değişken özellikte verilere dönüştürülür. Başlangıç verisi, eşit zaman aralıklı ve negatif olmayan ardışık veri serilerini kapsar [1].

3. Uygulama

Çalışmamızda, Keban Barajında jeoteknik ölçü aletleriyle tespit edilen boşluk suyu basınç miktarı ve baraj göledeki su kotunun, 2010 yılından 2015 yıllarına kadar olan ölçü değerleri kullanılmıştır. Gri modelin tek değişkenli tahmin modeli GM(1,1) ve çok değişkenli tahmin modeli GM(1,N) kullanılarak baraj kretindeki boşluk suyu basınç değerleri ile baraj gölündeki su miktarı 2023 yılına kadar tahmin edilmiştir. Tahmin değerleri elde edilirken 2010-2015 yılları arasındaki ölçülen değerler, referans verisi olarak kullanılmıştır. Böylece Gri sistemin deformasyon tahminindeki kullanılabilirliği test edilmiştir.

3.1. Çalışma alanı

Keban Barajı, Elazığ'ın 45 km kuzeybatısında, Malatya'nın 65 km kuzeydoğusunda olup, Karasu ve Murat Nehirlerinin birleştiği yerden 10 km daha aşağıda nehrin aktığı en dar boğazlarından birindedir (Şekil 1). Karasu ile Murat Nehirlerinin birleşmeleri ile meydana gelen Fırat Nehri'nin bu birleşme noktasından itibaren ilk uygun baraj yeridir [9]. Barajın su tutmaya başladığı tarihten itibaren jeodezik ve jeoteknik (fiziksel) yöntemlerle sızıntı ve kaçak su miktarının tespit edilmesi için deformasyon ölçümleri ve analizleri DSİ personeline kayıt altına alınmıştır. DSİ arşivlerinden yararlanılarak elde edilen ölçüm değerleri referans verisi olarak kullanılmıştır. Keban Barajı'nın 2010 yılından 2015 yıllarına kadar geçen süre içerisinde değişen su seviyesini ve kil dolgu kısmında yer alan piyezometrelerin tespit ettiği boşluk suyu basınç değerleri, çalışmamızda ölçülen değer olarak alınmıştır.

Barajın kil dolgu kısmındaki piyezometrelerin okuduğu boşluk suyu basınç değerleri Gri Sistemin çok değişkenli GM(1,N) model türüyle tahmin edilmiştir. Tahmin değerleri elde edilirken değişken olarak piyezometrelerin rakamsal isimleri (P5, P13 ve P19) ile su kotu değerleri kullanılmıştır. Piyezometreler tercih edilirken baraj kretine yerleştirildikleri piyezometre uç kotlar dikkate alınmıştır. Uç kotu en düşük olan 19 numaralı piyezometre (P19) baraj kretinin 720.00 metresinde yer alırken, kotu en büyük olan yani yüzeye en yakın kotta bulunan 13 numaralı (P13) piyezometrenin uç kotu 810.00 metredir. 5 numaralı piyezometrenin uç kotu ise (P5) baraj kretinin 730.00 metresinde yer almaktadır. Baraj kreti üzerinde onlarca piyezometre bulunduğu halde,

seçilen piyezometreler baraj kretinin en alt, en yüksek ve orta kısmında yer alan ve düzenli olarak ölçümleri kayıt altına alınmış değerlere sahip olan piyezometreler arasında seçilmiştir.



Şekil 1. Keban Barajı [10].

4. Bulgular ve Tartışma

Seçilen piyezometrelere ait ölçüm değerleri, tahmin değerlerini elde etmek için kullanılmıştır. Gri Sistem ile tahmin değerlerini hesaplayabilmek için tahmin modellerinin matematiksel ifade şekli, Matlab ortamında hazırlanan bir yazılım oluşturulmuştur. Bu yazılım paketine, “.dat” dosyası olarak hazırlanmış referans verilerini, giriş verisi olarak kullanmıştır. Giriş verisinde Keban Barajı’na ait piyezometre ölçüm aletlerinin okuduğu boşluk suyu basınç değerler ile su miktarının, 2010 yılından itibaren ölçülen ilk altı ölçüm değeri yer almaktadır. Bu verilerin değişim miktarlarını kullanarak piyezometrelerin okuduğu boşluk suyu basınç değerlerini ve su kotu değerleri Gri sistem yöntemi ile tahmin etmiştir. Tahmin edilen değerler ile deformasyon yorumu yapılmıştır. Deformasyon varlığından söz edebilmek için piyezometrelerin okuduğu boşluk suyu basınç değerlerinin yerçekimi katsayısına ($9,81 \text{ gr/cm}^2$) bölünmesiyle elde edilen değerden yararlanılmıştır. Piyezometrenin hücre kotuna, tahmin edilen boşluk suyu değerinin eklenmesiyle bulunan sonuç, membaa tarafında yer alan su kotu değerinden büyük olması durumunda deformasyonun olduğunu göstergesidir.

Gri Sistem modelinin tek değişkenli tahmin modeli olan GM(1,1) yöntemiyle yapılan Keban Barajı’ndaki su kotu seviyesine ait tahmin değerleri ve ölçülen değerler Tablo 1’de yer almaktadır.

Tablo 1. Su kotuna ait ölçü ve tahmin değerleri.

Yıllar	Su Kotu	
	Ölçülen Değer (metre)	GM(1,1)
2010	834.110	834.110
2011	840.100	839.848
2012	837.270	837.918
2013	838.440	835.993
2014	830.110	834.072
2015	834.070	832.156
2016	840.360	830.244
2017	834.700	828.337
2018	833.524	826.434
2019	Tahmin Değeri	824.535
2020	Tahmin Değeri	822.641
2021	Tahmin Değeri	820.751
2022	Tahmin Değeri	818.865
2023	Tahmin Değeri	816.983

Tablo 1’de yer alan değerlerden koyu renk ile ifade edilenler, ölçülen değerlerdir. *Tahmin değerleri* ise gri model kullanılarak elde edilen değerlerdir. Elde edilen değerler gelecek yıllara ait deformasyon tahmininde kullanılmaktadır. GM(1,1) tahmin değerleri, ilk tahmin değerinden sonra doğrusal olarak azalmıştır. Ancak ölçülen gerçek su kotu seviyesi, yağış rejimine bağlı olarak 2011, 2013, 2015 yıllarında artmış, 2012, 2014 yıllarında azalma göstermiştir. Tablo 1’de yer alan 2016 yılına ait su kotu tahmin değeri 830.244 m iken, DSİ personeline ölçülen değer 840.360 metredir. Aynı şekilde 2017 yılı için tahmin edilen değer 828.337 m iken, ölçülen değer 834.700 metredir. Benzer şekilde 2018 yılı için tahmin edilen değer 826.434 m, barajda ölçülen su kotu değeri 833.524 metredir. Yağış miktarındaki ve dolayısıyla su kotu seviyesindeki değişim miktarı, tahmin değerlerini gösteren GM(1,1) eğrisinde anlamlı olarak temsil edilememiştir. Bu durum GM(1,1) tahmin modelinin referans değerlerinin artan veya azalan durumlarına göre doğrusal olarak tahmin değeri üretmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 2’ de yer alan 5 numaralı piyezometreye ait ölçülen boşluk suyu basınç değerleri ile gri modelin tek değişkenli GM(1,1) ve çok değişkenli tahmin modeli GM(1,N) ile elde edilen tahmin değerleri yer almaktadır. Tablo 2’ de ölçülen değer sütununda yer alan altı değer referans verisi olarak kullanılmıştır. 2016 yılından 2023 yılına kadar olan değerler ise tahmin edilmiştir. Gri modelin her iki tahmin modeli ile referans verisi olarak kullanılan değerler yardımıyla sonraki yıllara ait boşluk suyu basınç değerleri tahmin edilmiştir. Tablo 2’de verilen hata oranları incelendiğinde GM(1,1) tahmin değerlerinin hata oranlarının diğer tahmin değerlerine göre fazla çıktığı görülmüştür.

Tablo 2. 5 Nolu piyezometre aletine ait tahmin değerleri.

Yıllar	P5 Nolu Piyezometre				
	Ölçülen Değer (kg/cm ²)	GM(1,1) (P5)	GM(1,2) (P5-P13)	GM(1,3) (P5-P13-P19)	GM(1,4) (P5-P13-P19-Su Kotu)
2010	1350	1350.000	1350.000	1350.000	1350.000
2011	230	301.606	246.289	248.487	253.775
2012	390	332.265	369.401	373.391	357.817
2013	395	366.041	410.356	400.381	427.264
2014	420	403.251	415.169	409.198	381.030
2015	410	444.243	404.489	414.209	417.702
2016	Tahmin Değeri	489.402	387.557	418.042	421.061
2017	Tahmin Değeri	539.152	368.489	421.213	351.452
2018	Tahmin Değeri	593.958	349.099	423.853	509.127
2019	Tahmin Değeri	654.337	330.167	426.024	262.437
2020	Tahmin Değeri	720.852	312.008	427.769	565.395
2021	Tahmin Değeri	794.130	294.736	429.126	287.041
2022	Tahmin Değeri	874.856	278.368	430.131	411.439
2023	Tahmin Değeri	963.789	262.887	430.814	605.305
Hata Oranı		2.227	0.532	0.599	0.475

5 Nolu piyezometreye ait tahmin değerlerine bağlı olarak deformasyon durumu Tablo 3’te verilmiştir. Tablo 3’te verilen değerler, Gri Sistemin GM(1,N) ve GM(1,1) tahmin modelleri ile elde edilmiştir. Tablonun ilk sütununda ölçü yapılan yıllar yer almaktadır. Tablonun ikinci sütununda ise su kotuna ait referans değeri olarak kullanılan değerler ile tahmin edilen değerler gösterilmiştir. Tablonun üçüncü sütununda piyezometrenin bulunduğu kot değeri, sonraki üç sütunda ise piyezometrenin tahmin edilen ölçü değerleri yer almaktadır. Tablonun son üç sütununda ise deformasyon durumu, kullanılan tahmin modelinin ürettiği tahmin değerlerine göre elde edilen sonuçların yorumlanmış halini gösterilmektedir.

Deformasyonun varlığında söz edebilmek için tahmin edilen değerlerin yer çekim katsayısına bölünmesi ile piyezometrenin bulunduğu yükseklik (Hücre uç kotu) değerinin toplanarak su kotu seviyesinden fazla olup olmadığına göre yorumlanmıştır. Su kotundan büyük olan tahmin değerlerinin bulunduğu yıllarda kritik değerlere yaklaşıldığının ve deformasyon olduğunun göstergesidir.

Tablo 3. 5 Nolu piyezometre aletine ait tahmin değerleri ve deformasyon durumu.

Yıllar	P5 Nolu Piyezometre					Deformasyon Tahmini		
	Su Kotu Değeri	Hücre Kotu	GM(1,2)	GM(1,3)	GM(1,4)	GM(1,2)	GM(1,3)	GM(1,4)
2010	834.110	730.000	1350.000	1350.000	1350.000	Var	Var	Var
2011	840.100	730.000	246.289	248.487	253.775	Yok	Yok	Yok
2012	837.270	730.000	369.401	373.391	357.817	Yok	Yok	Yok
2013	838.440	730.000	410.356	400.381	427.264	Yok	Yok	Yok
2014	830.110	730.000	415.169	409.198	381.030	Yok	Yok	Yok
2015	834.070	730.000	404.489	414.209	417.702	Yok	Yok	Yok
2016	830.244	730.000	387.557	418.042	421.061	Yok	Yok	Yok
2017	828.337	730.000	368.489	421.213	351.452	Yok	Yok	Yok
2018	826.434	730.000	349.099	423.853	509.127	Yok	Yok	Yok
2019	824.535	730.000	330.167	426.024	262.437	Yok	Yok	Yok
2020	822.641	730.000	312.008	427.769	565.395	Yok	Yok	Yok
2021	820.751	730.000	294.736	429.126	287.041	Yok	Yok	Yok
2022	818.865	730.000	278.368	430.131	411.439	Yok	Yok	Yok
2023	816.983	730.000	262.887	430.814	605.305	Yok	Yok	Yok

Tablo 3'te yer alan deformasyon durumunu incelediğimizde, 2010 yılına ait değerlerde deformasyonun olduğu görülmektedir. 2010 yılında barajın memba tarafındaki su kotu değeri, 834.11 m iken 5 numaralı piyezometre 1350 kg/cm² değeri okunmuştur. Bu değer in yer çekim sabitine bölünmesi ile 5 numaralı piyezometrenin bulunduğu sondaj kuyusundaki su seviyesinin 137.61 metreye karşılık geldiği hesaplanmıştır. Bu değer in piyezometrenin bulunduğu 730.00 m değerine eklenmesi ile 867.61 değeri bulunmuştur. Bu değer memba tarafındaki su kotundan büyük olduğundan deformasyon değerinin seviyeye ulaştığını göstermektedir. Elde edilen diğer tahmin değerlerine göre barajda 2011 ve sonraki yıllarda deformasyon değerinin kritik seviyeye ulaşmayacağı tahmin edilmiştir.

Tablo 4'te 13 numaralı (P13) piyezometre aletine ait referans değerleri ve tahmin değerleri yer almaktadır. Tabloda altı adet ölçülen değer kullanılarak sonraki yıllara ait tahmin değerleri üretilmiştir. Gri Sistemin tek değişkenli ve çok değişkenli tahmin modelleri kullanılarak, 2010 yılından 2023 yılına kadar olan on bir yıllık tahmin değerleri oluşturulmuştur. GM(1,4) tahmin modeli kullanılarak elde edilen tahmin değerlerinin artan ve azalan şekilde değerler aldığı görülmüştür (Tablo 4). Bu durum referans verilerinde görülmemektedir. Bunun sebebinin, birlikte değerlendirilen su kotu ve diğer piyezometre aletlerinin referans ölçülerinin davranışları ile alakalı olduğu düşünülmektedir. Ancak benzer değişkenler diğer piyezometrelerin son sütununda yer alan ve GM(1,4) tahmin modelinde elde edilen tahmin değerlerinde rastlanmamıştır.

Tablo 4. 13 Nolu piyezometre aletine ait tahmin değerleri.

Yıllar	P13 Nolu Piyezometre				
	Ölçülen Değer (kg/cm ²)	GM(1,1) (P13)	GM(1,2) (P13-P19)	GM(1,3) (P13-P19-Su Kotu)	GM(1,4) (P13-P19-SuKotu-P5)
2010	280	280.000	280.000	280.000	280.000
2011	386	368.048	378.130	378.190	355.007
2012	284	317.666	306.350	307.151	369.633
2013	304	274.180	262.542	261.326	155.549
2014	200	236.648	235.661	234.035	343.609
2015	230	204.253	219.022	219.998	229.567
2016	Tahmin Değeri	176.293	208.582	215.167	161.779
2017	Tahmin Değeri	152.160	201.894	216.526	517.527
2018	Tahmin Değeri	131.331	197.478	221.891	195.593
2019	Tahmin Değeri	113.353	194.439	229.729	852.534
2020	Tahmin Değeri	97.836	192.234	238.998	356.308
2021	Tahmin Değeri	84.444	190.536	249.021	646.540
2022	Tahmin Değeri	72.884	189.147	259.382	405.161
2023	Tahmin Değeri	62.907	187.946	269.844	773.631
	Hata Oranı	0.754	0.875	0.793	7.484

Tablo 5'te 13 numaralı piyezometre aletine ait deformasyon durumunu göstermektedir. 13 numaralı piyezometre aleti baraj kretinin 810.00 metresine yerleştirilmiştir. Gri sitemin tahmin modelleri yardımı ile elde edilen tahmin değerleri piyezometrenin yerleştirildiği hücre kotuna eklenerek deformasyon olup olmadığı yorumlanmıştır. 13 numaralı piyezometre aletinin su kotuna yakın bir seviyede olması ve gri tahmin modeli ile elde edilen tahmin değerlerinin büyük olması nedeniyle deformasyon değerinin kritik seviyede olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumun referans alınan ölçü değerlerinde de aynı olduğu görülmüştür. Tahmin değerlerinin hata oranları dikkate alındığında GM(1,4) tahmin modelinin hata oranının diğer tahmin modellerine göre fazla olduğu görülmüştür.

Tablo 5. 13 Nolu piyezometre aletine ait tahmin değerleri ve deformasyon durumu.

Yıllar	P13 Nolu Piyezometre					Deformasyon Tahmini		
	Su Kotu Değeri	Hücre Kotu	GM(1,2)	GM(1,3)	GM(1,4)	GM(1,2)	GM(1,3)	GM(1,4)
2010	834.110	810.000	280.000	280.000	280.000	Var	Var	Var
2011	840.100	810.000	378.130	378.190	355.007	Var	Var	Var
2012	837.270	810.000	306.350	307.151	369.633	Var	Var	Var
2013	838.440	810.000	262.542	261.326	155.549	Yok	Yok	Yok
2014	830.110	810.000	235.661	234.035	343.609	Var	Var	Var
2015	834.070	810.000	219.022	219.998	229.567	Yok	Yok	Yok
2016	830.244	810.000	208.582	215.167	161.779	Var	Var	Yok
2017	828.337	810.000	201.894	216.526	517.527	Var	Var	Var
2018	826.434	810.000	197.478	221.891	195.593	Var	Var	Var
2019	824.535	810.000	194.439	229.729	852.534	Var	Var	Var
2020	822.641	810.000	192.234	238.998	356.308	Var	Var	Var
2021	820.751	810.000	190.536	249.021	646.540	Var	Var	Var
2022	818.865	810.000	189.147	259.382	405.161	Var	Var	Var
2023	816.983	810.000	187.946	269.844	773.631	Var	Var	Var

13 numaralı piyezometre aletine ait boşluk suyu basınç miktarı ve deformasyon durumu incelendiğinde birçok yılda deformasyonun olduğu veya deformasyonun kritik seviyeye yaklaştığı ve hatta kritik seviyeyi geçtiği görülmektedir (Tablo 5).

Tablo 6. 19 Nolu piyezometre aletine ait ölçü ve tahmin değerleri.

Yıllar	P19 Nolu Piyezometre				
	Ölçülen Değer (kg/cm ²)	GM(1,1) (P19)	GM(1,2) (P19-Su Kotu)	GM(1,3) (P19-Su Kotu-P5)	GM(1,4) (P19-Su Kotu-P5-P13)
2010	820	820.000	820.000	820.000	820.000
2011	822	825.611	822.813	822.934	822.389
2012	830	827.202	829.551	829.556	831.319
2013	832	828.797	831.232	831.000	828.605
2014	830	830.394	830.907	830.837	831.747
2015	830	831.995	829.787	829.929	832.287
2016	Tahmin Değeri	833.599	828.354	828.622	827.222
2017	Tahmin Değeri	835.206	826.799	827.097	839.528
2018	Tahmin Değeri	836.816	825.196	825.450	820.951
2019	Tahmin Değeri	838.429	823.577	823.738	844.327
2020	Tahmin Değeri	840.045	821.953	821.991	823.366
2021	Tahmin Değeri	841.665	820.329	820.226	833.069
2022	Tahmin Değeri	843.287	818.708	818.452	848.198
2023	Tahmin Değeri	844.913	817.089	816.676	797.352
Hata Oranı		0.001	0.006	0.005	0.047

Tablo 6'da yer alan 19 numaralı piyezometreye ait tahmin değerleri ve tahmin değerlerine ait hata oranları incelendiğinde başarılı tahmin değerlerinin üretildiği görülmektedir. 19 numaralı piyezometrenin ölçtüğü boşluk suyu basınç değerine göre herhangi bir yılda meydana gelebilecek bir deformasyon beklentisi bulunmamaktadır.

Deformasyon tahmininde kullanılmak üzere ölçülen tahmin değerleri beklenildiği gibi çıkmıştır. Bunun yanı sıra ölçülen altı yıllık su kotuna ait veriler yıllık yağış ve kuraklığa bağlı olarak dalgalı bir artış azalış göstermektedir. 2015 yılından sonraki yıllarda tahmin edilen su kotu seviyesi Gri Sistemin tek değişkenli tahmin

modeli olan GM(1,1)'in karakteristik özelliği gereği doğrusal olarak azalmaktadır. Su kotuna ait bu tahmin değerleri mevcut gerçek durumdan farklılık göstermektedir. 19 numaralı piyezometreye ait ölçülen ve tahmin edilen değerler ile su kotu seviyesine ait ölçülen ve tahmin edilen değerler Tablo 7'de verilmiştir. Tablo 7' de yer alan değerlere göre barajda herhangi bir yıl için deformasyonun olmayacağı tahmin edilmiştir.

Tablo 7. 19 Nolu piyezometre aletine ait tahmin değerleri ve deformasyon durumu.

Yıllar	P19 Nolu Piyezometre					Deformasyon Tahmini		
	Su Kotu Değeri	Hücre Kotu	GM(1,2)	GM(1,3)	GM(1,4)	GM(1,2)	GM(1,3)	GM(1,4)
2010	834.110	720.000	820.000	820.000	820.000	Yok	Yok	Yok
2011	840.100	720.000	822.813	822.934	822.389	Yok	Yok	Yok
2012	837.270	720.000	829.551	829.556	831.319	Yok	Yok	Yok
2013	838.440	720.000	831.232	831.000	828.605	Yok	Yok	Yok
2014	830.110	720.000	830.907	830.837	831.747	Yok	Yok	Yok
2015	834.070	720.000	829.787	829.929	832.287	Yok	Yok	Yok
2016	830.244	720.000	828.354	828.622	827.222	Yok	Yok	Yok
2017	828.337	720.000	826.799	827.097	839.528	Yok	Yok	Yok
2018	826.434	720.000	825.196	825.450	820.951	Yok	Yok	Yok
2019	824.535	720.000	823.577	823.738	844.327	Yok	Yok	Yok
2020	822.641	720.000	821.953	821.991	823.366	Yok	Yok	Yok
2021	820.751	720.000	820.329	820.226	833.069	Yok	Yok	Yok
2022	818.865	720.000	818.708	818.452	848.198	Yok	Yok	Yok
2023	816.983	720.000	817.089	816.676	797.352	Yok	Yok	Yok

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, Keban Barajı'nın toprak dolgu kısmında yer alan piyezometrelere ait boşluk suyu basınç değerleri ve bu basınç değerleri ile yakından ilişkili olan baraj su kotu miktarı Gri Sistem ile tahmin edilmiştir. Keban Baraj göletindeki su seviyesi değerleri, Gri tahmin yöntem ile yeniden değerlendirilmiştir. Aynı şekilde baraj kretinde yer alan ve krette oluşan boşluk suyu basıncı miktarını tespit etmek için yerleştirilen piyezometre aletlerine ait değerleri de yine gri tahmin yönteminin GM(1,N) model yöntemi ile değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirme sonuçlarına göre elde edilen tahmin verileri gerçek anlamda barajda oluşan deformasyon değerlerini temsil etmemekle birlikte, oluşabilecek deformasyon miktarları hakkında anlamlı bilgi vermektedir. Elde edilen tahmin değerleri, Gri Sistem'in deformasyon analizinde kullanılabilir bir yöntem olduğunu göstermiştir.

Bilgi

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kürşat Kaya (2019), Deformasyon Tahmininde Gri Model Uygulaması: Keban Barajı Örneği, Yüksek Lisans Tezinden üretilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Kaya, K., "Deformasyon Tahmininde Gri Model Uygulaması: Keban Barajı Örneği", Yüksek Lisans Bitirme Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.
- [2] Deng, J. L., Grey forecasting and decision, Huazhong University of Science and Technology Press. 1986.
- [3] Hoşbaş, R. G., "Baraj Deformasyonlarının Belirlenmesinde Jeodezik Yaklaşımların İrdelenmesi ve Bir Öneri", Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1992.
- [4] Kalkan Y. ve Alkan R. M., "Mühendislik Yapılarında Deformasyon Ölçmeleri" Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu 23-25 Kasım 2005, İTÜ – İstanbul.
- [5] Yalçinkaya M. ve Kayıkçı E. T., "Dengeleme Heabi-II Ders Norları" Karadeniz Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 2019.
- [6] Liu, S. ve Lin, Y., "Grey Information: Theory and Practical Applications", Springer, 11-21. 2006.
- [7] Liu, S. F. ve Lin, Y., An Introduction to Grey Systems Theory. Grove City: IIGSS Academic Publisher, 1998.
- [8] Lin, C.T. ve Yang, S.Y., "Forecast of the output value of Taiwan's IC Industry Using the Grey Forecasting Model", International Journal Computer Applications in Technology, 19: 23–27., 2004.
- [9] Özgen, N., "Keban Barajı ve Tarihçesi" DS_ Vakfı yayın No:1 Ankara. 2000.
- [10] URL-4, 15:28, 21.02.2019, <http://www.dsi.gov.tr/projeler/keban-barajı>.