

## DİM BARAJININ DEPREM GÜVENLİĞİNİN DİNAMİK ANALİZLERLE İNCELENMESİ

M. Erol KESKİN, K. Armağan KORKMAZ\*, A. Işıl ÇARHOĞLU, Deniz HELVACI

Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çünür, Isparta

### Özet

Türkiye'deki mevcut barajların depreme dayanıklılığı hem güvenlik açısından hem de ekonomik açıdan oldukça önemlidir. Bu çalışmada ülkemizdeki mevcut barajların deprem davranışının irdelenmesi amacıyla ön yüzü beton kaplı kaya dolgu baraj olan Dim Barajı ele alınmıştır. Bu barajın zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemi kullanılarak dinamik yükler altında (deprem yükü) davranışı incelenmiştir. Aynı zamanda barajda meydana gelen gerilmeler ve yer değiştirmeler elde edilerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Çalışmada Barajın deprem kuvvetleri etkisindeki davranışını daha gerçekçi şekilde belirleyebilmek için barajın matematiksel olarak gerçeğe yakın biçimde modellenmesi sonlu elemanlar yöntemiyle sağlanmaya çalışılmıştır. Baraj için malzeme özelliklerinin dağılımı, geometri ve sınır şartlarının en genel halinin hesaba katıldığı bir sonlu eleman ağı seçilmiştir. Dim barajı SAP 2000 sonlu elemanlar programı kullanılarak üç boyutlu olarak modellenmiştir. Barajın rezervuarının boş, yarı dolu ve tam dolu olması durumlarına göre Düzce deprem etkisi altındaki davranışı incelenmiştir. Analizlerin sonucunda barajların deprem davranışının önemi görülmüş ve baraj güvenliği için yapılması gerekliliği saptanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Dim barajı, sonlu elemanlar metodu, yer değiştirme, gerilme analizi

## INVESTIGATION OF EARTHQUAKE BEHAVIOR OF DIM DAM USING DYNAMIC ANALYSES

### Abstract

Due to security and economical reasons, it is important to investigate the earthquake behavior of dams in Turkey. In this study, to evaluate the earthquake behavior of existing dams in Turkey, dynamic analysis of Dim Dam, which is concrete-faced rock fill dam, was done by using time history process. In addition, stresses and displacements of Dim dam were also evaluated. To determine the accurate structural behavior of dams under earthquake effect, dam was modeled mathematically similar to the original phase. Finite element model, in which features of materials and general conditions of geometry was chosen was conducted. Dim dam was modeled in 3-D by using SAP 2000 program. Dynamic analysis of Dim dam was done considering empty, half full and full conditions. To investigate the behavior of Dim dam, Düzce earthquake were used. The study results were observed as important for earthquake behavior of Dim dam. A constant investigation on the dams is very important to keep dams in safe for future investigations.

**Key Words:** Dim dam, finite element method, displacement, stress analysis

\* E-posta: armagan.korkmaz@deu.edu.tr

## 1. Giriş

Dünyada ve ülkemizde, yapılmış barajların birçoğu kil çekirdekli kaya/toprak dolgu barajlardır. Ancak bazı durumlarda kil çekirdek temininin ekonomik mesafede olmamasından dolayı hem çevresel hem de sosyal problem doğurması nedeniyle, son yıllarda en kesitlerinde kil kullanılmayan tiplere doğru bir değişim olmuştur. Bu anlamda günümüz koşullarında teknik ve ekonomik yapılabilirliği birçok DSİ projesinde çalışılan ön yüzü beton kaplı kumçakıl/kaya dolgu tipi barajlar düşünülmektedir. Ülkemizde bu baraj tipinde işletmede olan bir tane, inşa halinde olan ise dört tane baraj mevcuttur.

Dim Barajı da inşa halinde olan memba yüzü beton kaplı kaya dolgu barajdır. Dim Barajı HES ve Sulaması, Akdeniz Bölgesi'nde, Antalya ili, Alanya ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Depolama tesisi Dim çayı üzerinde Alanya ilçesinin 5 km kuzey doğusunda, Alanya-Mersin karayolundan 8 km içerisinde Kuz yaka mevkiindedir. Proje ile 5 312 ha sahanın sulanması amaçlanmıştır. Ayrıca proje yılda 122,89 GWh enerji üretmek ve ilerde Alanya ilçesi ve turizm tesislerinin içme ve kullanma suyu olarak 47,30 hm<sup>3</sup> suyu karşılamak üzere hazırlanmıştır. Dim barajının amacı sulama, enerji ve içme suyu ihtiyacını karşılamaktır. Talveg kotu 50,00 m, temel kotu 39,00 m, kret kotu 173,50 m, kret uzunluğu 365,00 m, kret genişliği 7,80 m, Talvegden yüksekliği 123,50 m, temelden yüksekliği 134,50 m, memba ve mansap şevleri 1/1,40-1/1,50, gövde dolgu hacmi 5,19 hm<sup>3</sup> dür.

Barajların deprem davranışlarıyla ilgili bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları çalışma kapsamında özetlenmiştir. Zhang barajlarda Rijit yay eleman modeli kullanılarak statik ve dinamik stabilite analizlerini yapmışlar ve barajların temel ve şevlerinin statik ve dinamik güvenlik katsayılarını bulmuşlardır [1]. Leclerc çalışmalarında rijit denge denklemini ve kiriş teorisini kullanarak CADAM bilgisayar programı yardımı ile beton ağırlık barajların statik ve sismik stabilite analizleri yapmışlardır [2]. Day çalışmalarında zonlu dolgu baraj olan Thika Barajı'nın yapımı esnasında boşluk su basıncının beklenenden yüksek olmasından kaynaklanan stabilite problemlerini incelemişlerdir. Bu problemleri ortadan kaldırmak için sonlu eleman modeli ve analiz teknikleri kullanılmışlardır [3]. Konttensette, kemer barajların temellerinde farklı dış yükler ve kesme kuvvetleri kullanarak kaldırma kuvvetlerini, kayma modlarını ve statik güvenlik sayılarını belirleyerek, stabilite analizi yapmıştır [4]. Yu, üç boyutlu analiz kullanarak barajın tüm önemli faktörlerini göz önüne alarak toprak-kaya dolgu barajların stabilite analizlerini yapmışlardır [5]. Calayir ve Karaton doğrusal ve doğrusal olmayan deprem analizleri ile zaman integrasyonu algoritması kullanarak depremin beton ağırlık barajlarına ve rezervuarlarına olan etkilerini araştırmışlardır [6]. Uddin; Espander ve Lotfi; Azmi ve Paultre; Ahmadi çalışmalarında önyüzü beton kaplı kaya dolgu barajların deprem etkilerine dayanması için geliştirilen dinamik analiz prosedürleri uygulayarak ele aldıkları barajların deprem davranışlarını tanımlamışlardır [7-10]. Javanmardi depremin beton ağırlık baraj gövdesi, rezervuarı ve temeli üzerindeki etkisini araştırmışlardır [11].

Bu çalışmada, ön yüzü beton kaplı kaya dolgu baraj olan Dim barajının dinamik yükler altında (deprem yükü) davranışı incelenmiştir. Barajın dinamik analizi yapılırken farklı deprem özelliklerinin etkilerini saptamak için Düzce deprem verisi kullanılmış ve barajda meydana gelen yer değiştirmeler incelenmiştir. SAP 2000 sonlu elemanlar programı kullanılarak Dim Barajından daha kesin ve güvenilir hesap sonuçları elde edebilmek için baraj üç boyutlu olarak modellenmiştir [12]. Üç boyutlu analizde x yönü baraj aksı, y yönü baraj aksının enine ve z yönü de baraj yüksekliği olarak seçilmiştir. Modelleme, sonlu elemanlar yöntemiyle katı (solid) olarak yapılmıştır.

## 2. Materyal ve metot

### 2.1. Sonlu eleman modeli

Çerçeve yapısına sahip olmayan yapıların analizi diferansiyel denklemlerin çözümü ile yapılabilir. Bu çözüm (kapalı matematiksel çözüm) bir sistemde hesaplanması gereken yer değiştirme ve gerilmelerin değerini sistemin herhangi bir noktasında veren ifadelerdir. Yapı mekaniğinde, matris yöntemler, düğüm noktalarında birleşen çubuklardan oluşan yapıların çözümlenmesinde yaygın olarak kullanılır. Bu tür yapılarda düğüm noktalarının yerlerini seçmek kolaydır, örneğin kirişlerin birleşme noktaları ile tekil yüklerin etki ettiği noktalar düğüm noktaları olarak kabul edilirler. Fakat sürekli ortamdan oluşan yapılarda (plak, kabuk, baraj gövdesi vb.) bir çerçeve iskeleti söz konusu olmadığından kolayca saptanacak düğüm noktaları da bulunmaz. Bu tür yapılarda yapay düğüm noktaları yerleştirilerek yapının belirli sayıda sonlu elemandan meydana geldiği kabulü yapılabilir. Bu sonlu elemanlar iki ya da üç boyutlu olabilirler. Sonuç olarak, tek bir işlemde tüm yapıyı çözmek yerine, çözümler yapıyı oluşturan her ayrı eleman için formüle edilmekte ve bir araya getirildiğinde tüm yapının davranışı elde edilmektedir. Böylelikle, analiz

yönteminin oldukça basitleştirilmesine karşın yapılacak işlem sayısı esas yapıyı oluşturan sonlu eleman sayısına bağlı olarak artmakta ve gereken işlemler ancak bilgisayar ile gerçekleştirilebilmektedir.

Sonlu elemanlar yöntemi; kısmi diferansiyel denklemlerle ifade edilen problemleri çözmek için kullanılan bir yöntemdir. Doğrusal ve doğrusal olmayan problemleri çözmeye kullanılmaktadır. Problemin genel bir denkleminin yazımı ve denklemin çözümü yerine önce ortam sonlu elemanlara ayrılır ve her eleman için problemin bütünü göz önüne alınarak denklemler çıkartılır. Mevcut sınır şartları dikkate alınarak elemanlar birleştirilir ve ortamın tamamı için matris şeklinde denklemler elde edilir. Elde edilen denklem takımları çözülerek bilinmeyenler hesaplanır. Bu yöntemde, sürekli ortam önce sonlu sayıda elemanlara bölünür. Bu elemanlar birbirine düğüm noktaları olarak adlandırılan sonlu sayıda noktalarla bağlıdır [13-15].

## 2.2. Yapısal modelleme

Analizi yapılacak yapı, her birine eleman adı verilen sonlu sayıda parçalara bölünür. Yapı az sayıda ve büyük elemanlara bölünecek olursa, bilgisayar çözümü az zaman alır, fakat sonuçlar yaklaşıktır. Çok sayıda küçük elemanlara bölünecek olursa daha doğru sonuçlar alınır fakat daha fazla bilgisayar zamanı gerekir. Aynı avantaj ve dezavantajlar düğüm noktalarındaki serbestlik derecelerinin sayısı için de geçerlidir.

Sonlu elemanlar yönteminin dolgu barajların sismik davranışlarıyla ilgili çalışmalarda kullanılmasına 1960'lı yıllarda başlanmıştır ve günümüze kadar birçok çalışmada kullanılmıştır. Sonlu elemanlar yönteminin diğer analizlere göre üstünlükleri; çeşitli titreşim modlarının karmaşık etkileri hesaplara katılabilmekte, bu arada kayma modu dışındaki modların etkileri de incelenebilmektedir, klasik yarı-statik limit denge analizinde hesaplanamayan oturma şekil değiştirme ve yer değiştirmeler belirlenebilmektedir, karmaşık ve heterojen problemlerde kullanılabilir, barajın herhangi bir eleman veya bölgesinde gerilme şekil değiştirme davranışı zamana bağlı olarak belirlenebilmekte ve statik halde belirlenen değerler ile ortak değerlendirme yapılabilmektedir, baraj ile temel zemininin dinamik etkileşimi probleminde davranış ve periyot ilişkileri belirlenebilmektedir, zeminin doğrusal olmayan davranışı incelenebilmekte ve kalıcı dinamik şekil değiştirmeler hesaba katılabilmektedir [16-19].

## 2.3. Dim barajının sonlu elemanlar modeli

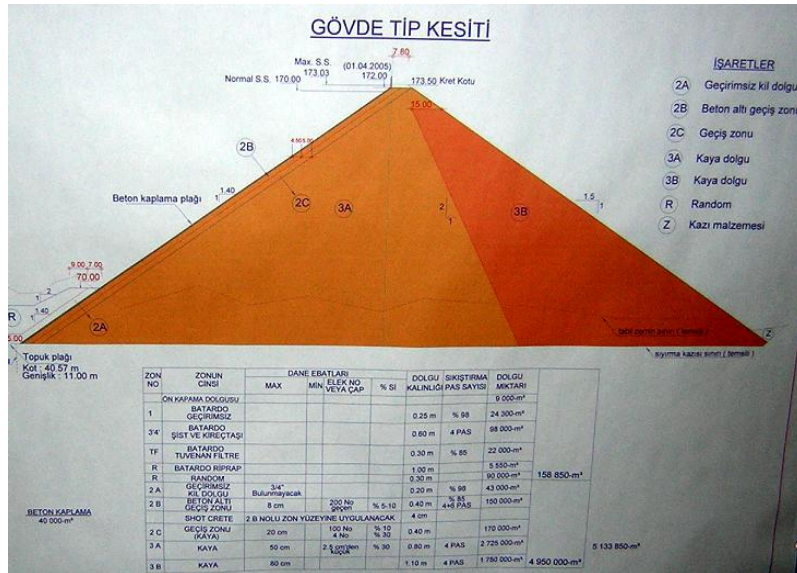
Dim barajının en büyük en kesitinin boyutları ve üç boyutlu görünümü aşağıdaki şekillerde verilmektedir. Barajın temelden yüksekliği 134.5m dir. Kret uzunluğu 365m'dir. Şekil 1 ve Şekil 2'de barajın görünümü, Şekil 3'de kesiti verilmiştir. Barajın deprem kuvvetleri etkisindeki davranışını doğruya en yakın şekilde belirleyebilmek için barajın matematiksel olarak gerçeğe yakın biçimde modellenmesi gerekir. Baraj için malzeme özelliklerinin dağılımı, geometri ve sınır şartlarının en genel halinin hesaba katıldığı bir sonlu eleman ağı seçilmiştir. Barajın davranışını gerçeğe yakın olarak temsil edebilmek için sonlu elemanlar modelinde 22596 düğüm noktası ve 17248 eleman tanımlanmıştır. Ayrıca barajın dinamik hesaplarında baraj rezervuarının boş olması ve % 5 sönüm olması halinde yapılmıştır. Şekil 4 ve 5'de barajın 3 boyutlu modellemesi sunulmuştur.



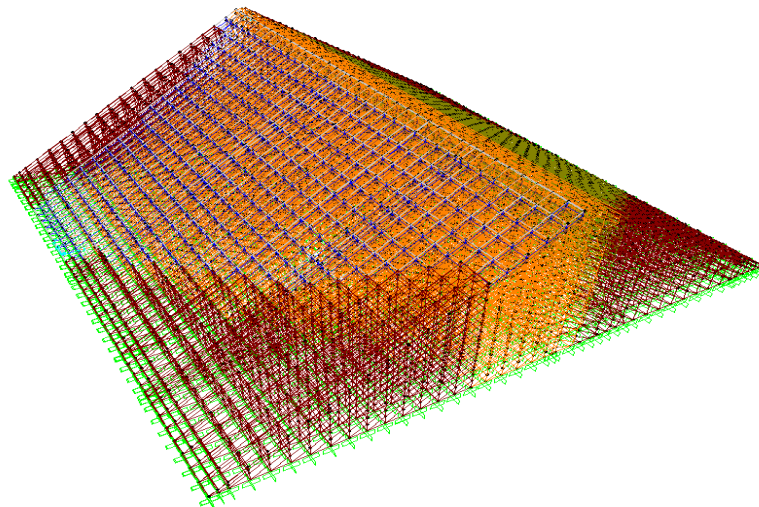
Şekil 1. Kreten Mansap Şevinin Görünüşü



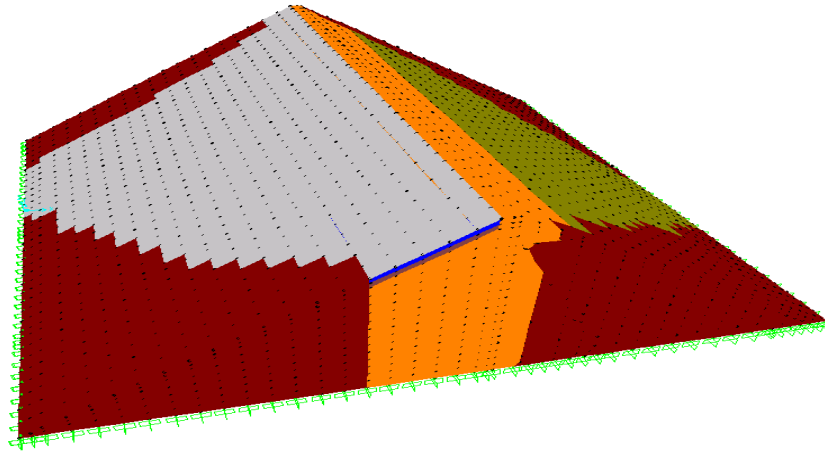
Şekil 2. Mansap Tarafından Baraj Gövdesi ve Dolu savağın Görünüşü



Şekil 3. Barajın gövde tip kesiti ve özellikleri



Şekil 4. Dim Barajın Ağ Modeli



Şekil 5. Dim Barajının Üç Boyutlu Görünümü

Dim barajının analizi için SAP 2000 programında kullanılan baraj malzemelerinin (beton, geçiş zonu, kaya) özellikleri (birim hacim ağırlığı, birim hacim kütlesi, elastisite modülü, poisson oranı) ve baraj ile ilgili gerekli bilgiler Devlet Su İşleri Antalya 13. Bölge Müdürlüğünden temin edilmiştir. Tablo 1’de malzeme özellikleri sunulmuştur. Baraj analizi yapılırken kullanılan malzemelerin özellikleri baraj gövdesinin her bölgesinde sabit olarak alınmıştır. Ayrıca baraj analizi için kullanılan baraj enkesiti ise baraj yüksekliğinin maksimum olduğu talveg kotunun olduğu yerden temel kotundan itibaren birebir boyutlarda alınmıştır. Baraj temeli rijit kabul edildiğinden temeldeki serbestlik dereceleri dikkate alınmamıştır. Barajın temele rijit oturduğu ve kullanılan malzemelerin doğrusal davrandığı kabul edilmiştir.

Tablo1. Baraj gövdesinde kullanılan malzeme özellikleri

MALZEME	ELASTİSİTE MODÜLÜ (kN/m <sup>2</sup> ) * 10 <sup>6</sup>	BİRİM HACİM AĞIRLIK (kN/m <sup>3</sup> )	POISSON ORANI
Beton Kaplama	28.5	23.5	0,18
2 B	13.5	28.0	0,28
Beton Altı Geçiş Zonu			
2 C	13.0	27.9	0,28
Geçiş Zonu			
3 A	12.5	27.8	0,28
Kaya Dolgu			
3 B	12.0	27.6	0,28
Kaya Dolgu			
Zemin	24.0	26.0	0,23

#### 2.4. Dim barajının dinamik analizi

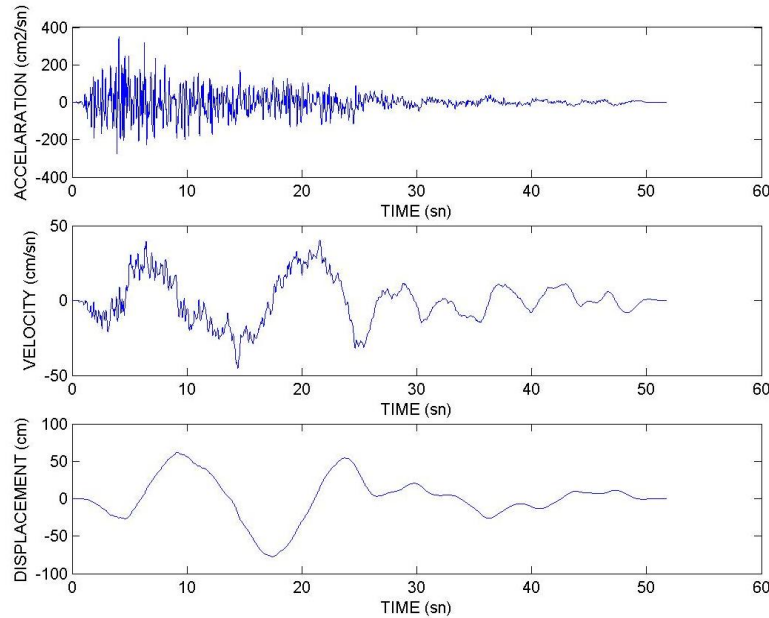
Bir bölgenin depremselliği depreme maruz kalma derecesidir. Bir bölgenin depremselliğini belirlemede faylardan yararlanıldığı gibi deprem kayıtlarından da faydalanılmaktadır. Deprem sırasında baraj içinde yayılan cisim dalgaları ve baraj yüzeyinde oluşan yüzey dalgaları basınç-çekme gerilmeleri veya kayma gerilmeleri oluşturmaktadır. Analizde kullanılan depremlerde faydaki yırtılma boyunun deprem büyüklüğü ile orantılı olduğu görülmektedir. Enerjinin zamanla geniş ortamlara yayılmasından ve ortamın sönümünden dolayı faydan uzaklaştıkça maksimum ivme azalmaktadır. Aynı zamanda büyük depremlerin büyük genlikli dalgalar ürettiği ve deprem genliğinin uzaklıkla azaldığı bilinmektedir. Depremin büyüklüğü de dalga hareketi ile ters orantılıdır

Depremin merkez üstünden uzaklaştıkça depremin enerjisi yayılmakta ve maksimum ivme hızla düşmektedir. Deprem hareketinin maksimum ivmesi oldukça önemlidir. Ayrıca ivmenin yanında depremin süresi de çok önemlidir. Maksimum ivmeleri düşük olsa bile süresi uzun olan depremlerde önemli hasarlar meydana gelmektedir.

Analizlerde her bir zaman artımında baraj modelinde deprem etkisine karşı gelen maksimum yer değiştirmeler hesaplanmıştır. Dinamik analizde Düzce depremi kullanılmıştır. Düzce depremi özellikleri Tablo 2’de; ivme-zaman, hız-zaman, yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 6’ da verilmiştir.

**Tablo 2.** Analizlerde Kullanılan Düzce Depreminin Özellikleri

Deprem	Düzce
Tarih	12.11.1999
Moment Büyüklük (Mw)	7.1
Kayıt	1060-E
Yer Hızı (cm/s)	5,3
Yer ivmesi (g)	0.028
Odak Uzaklığı (km)	30.2
Tip	Yanal Atımlı



**Şekil 6.** Düzce Depremi İvme-Zaman, Hız- Zaman, Yer Değiştirme- Zaman Grafiği

Baraj su yükünün boş, tam dolu ve yarı dolu olması durumuna göre üç şekilde analiz yapılmıştır. Su basıncı değerleri baraja yayılı yük olarak 10 m’de bir etkilmiştir ve  $H_1 = \frac{\gamma_w \cdot H \cdot A}{2}$  formülü ile hesaplanmıştır. Burada,

$\gamma_w$ : suyun birim hacim ağırlığı; H: rezervuar derinliği; A: baraj menba yüzeyi alanı; H1:su yüküdür.

### 3. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Barajın dinamik analizi sırasında x ve y yönünde deprem kuvvetleri etkililmektedir. Barajın dinamik analizleri sonucunda elde edilen yer değiştirmeler özellikle barajın inşaat safhasında oldukça önem arz etmektedir. Tablo 3’de elde edilen analiz sonuçları verilmiştir.

Analiz sonuçlarında y yönünde elde edilen yer değiştirme değerlerinin x yönünde elde edilen yer değiştirmelerden fazla olduğu görülmektedir. Yer değiştirmelerin baraj gövdesi içerisinde dağılımı yaklaşık benzerdir ve membadan ve mansaptan çekirdek bölgesine yaklaştıkça düşey yer değiştirmeler azalmakta, yatay yer değiştirmeler ise büyümektedir.

**Tablo 3.** Analizler Sonucu Elde Edilen Yer Değiştirme Değerleri

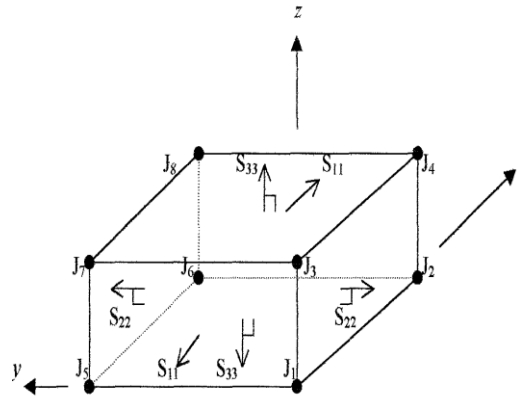
Deprem Verisi Düzce	Yer Değiştirmeler	
	X yönü	Y yönü
Boş durum	3.4	3.7
Yarı dolu	5.2	5.8
Tam dolu	11.05	11.09

Yalnızca statik hesaplarla inşa edilecek olan bir barajın bir deprem kuvvetine maruz kaldığında çok fazla zorlamalar etkisinde kalacağı görülmüş ve bu tür yapılarda statik analizin ihmal edilebileceği ama mutlaka dinamik analizin yapılması gerektiği vurgulanmıştır [16].

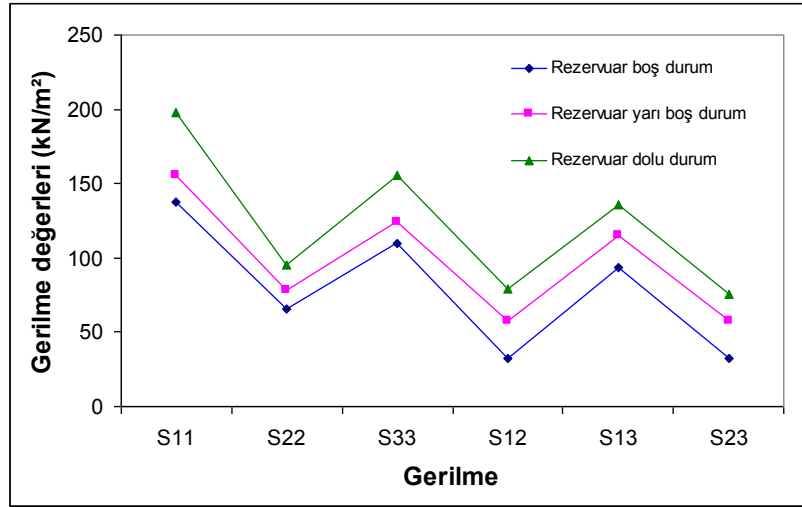
Dolgu barajın baraj-temel ve baraj-rezervuar-temel etkileşimleri dikkate alınıp, sonlu eleman modeli kullanılarak deprem analizi yapılmıştır. Baraj yüksekliği boyunca yer değiştirme değerlerinin arttığı, maksimum asal gerilmelerin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca rezervuarın hidrodinamik etkisinin yer değiştirme ve gerilme değerlerini etkilediği gözlenmiştir. Bu nedenle kil çekirdekli kaya dolgu barajlarda memba yüzeyi eğiminden dolayı rezervuardaki su kütlelerinin barajın deprem davranışına etkisinin analizlerde yarı dolu ve tam dolu olarak etkilendiği görülmüştür. Tam dolu durumda elde edilen yer değiştirme değerlerinin yarı dolu ve boş durumdaki değerlerden fazla olduğu görülmüştür.

### 3.1 Gerilme dağılımlarının incelenmesi

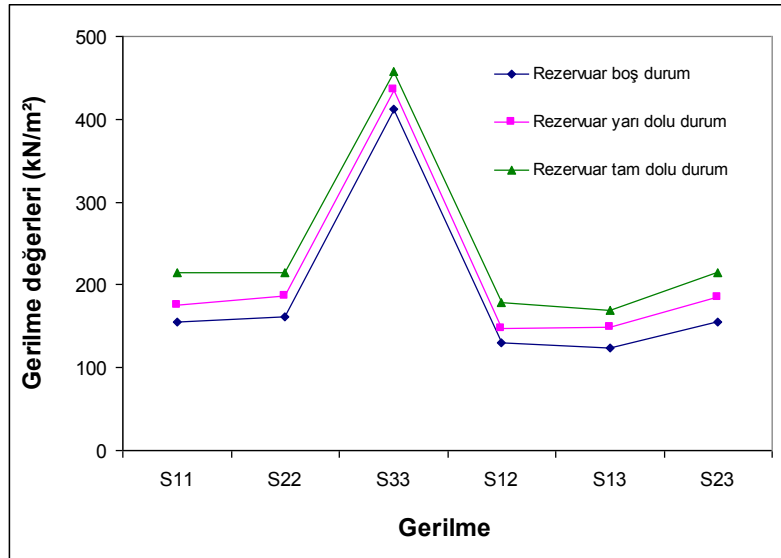
Gerilme dağılımının verildiği Şekil 7'de,  $S_{11}$ , x yönünde,  $S_{22}$ , y yönünde,  $S_{33}$ , z yönünde düzleme dik normal gerilmelerdir.  $S_{12}$ , x düzlemi üzerinde y yönündeki,  $S_{13}$ , x düzlemi üzerinde z yönündeki  $S_{23}$ , y düzlemi üzerinde z yönündeki kayma gerilmeleridir [16]. Tablo 4'de elde edilen analiz sonuçları sunulmuştur. Şekil 8 ve 9'da X ve Y eksenleri için gerilme değişimleri verilmiştir.

**Şekil 7.** Düğüm Noktasından Oluşmuş Üç Boyutlu Eleman**Tablo 4.** Analizlerde elde edilen gerilme değerleri

Gerilme	Düzce Depremi					
	X yönü (kN/m <sup>2</sup> )	Y yönü (kN/m <sup>2</sup> )	X yönü (kN/m <sup>2</sup> )	Y yönü (kN/m <sup>2</sup> )	X yönü (kN/m <sup>2</sup> )	Y yönü (kN/m <sup>2</sup> )
	Rezervuar boş durumu		Rezervuar yarı dolu durumu		Rezervuar tam dolu durumu	
<b>S11</b>	137.35	154.66	155.86	175.95	197.85	215.22
<b>S22</b>	65.76	161.78	78.26	187.25	95.26	215.32
<b>S33</b>	109.8	412	124.52	436.23	155.25	458.25
<b>S12</b>	32.49	129.75	57.58	147.54	79.58	178.25
<b>S13</b>	93.46	124.19	115.45	148.54	135.65	168.54
<b>S23</b>	31.97	155.16	57.58	185.45	75.25	215.25



Şekil 8. X Yönü Gerilme Değişimleri



Şekil 9. Y Yönü Gerilme Değişimleri

Maksimum gerilmelerin meydana geldiği noktalarda maksimum yer değiştirmelerin olduğu tespit edilmiştir. Normal gerilmeler barajın memba yüzeyinden orta kısma doğru gidildikçe azalmaktadır. Memba ve mansap kısımlarında da gerilme yığılmaları olduğu ve maksimum kayma gerilmelerinin de membadan krete doğru azaldığı görülmektedir. Hesaplanan gerilmeler baraj rezervuarının boş, yarı dolu ve tam dolu olması durumlarına göre yapılmıştır. Maksimum normal gerilmelerin gerçekleştiği kısımlar kırılmanın olduğu yerlerdir. Maksimum kayma gerilmelerinin olduğu kısımlar da baraj malzemesinin çökebileceği yerleri vermektedir.

*S<sub>11</sub> Gerilme Dağılımları:* Düzce depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 137.35 kN/m<sup>2</sup> iken kret seviyesindeki gerilme değeri 11.09 kN/m<sup>2</sup> dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 154.66 kN/m<sup>2</sup> iken kret seviyesindeki gerilme değeri 19.35 kN/m<sup>2</sup> dir.

*S<sub>22</sub> Gerilme Dağılımları:* Düzce depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 65.76 kN/m<sup>2</sup> iken kret seviyesindeki gerilme değeri 7.11 kN/m<sup>2</sup> dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 161.78 kN/m<sup>2</sup> iken kret seviyesindeki gerilme değeri 15.60 kN/m<sup>2</sup> dir.

*S<sub>33</sub> Gerilme Dağılımları:* Düzce depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 109.80 kN/m<sup>2</sup> iken kret seviyesindeki gerilme değeri 12.46 kN/m<sup>2</sup> dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 412.00 kN/m<sup>2</sup> iken kret seviyesindeki gerilme değeri 39.81 kN/m<sup>2</sup> dir.



*S<sub>12</sub> Gerilme Dağılımları:* Düzce depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 32.49 kN/m<sup>2</sup> iken kret seviyesindeki gerilme değeri 2.56 kN/m<sup>2</sup> dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 129.75 kN/m<sup>2</sup> iken kret seviyesindeki gerilme değeri 9.47 kN/m<sup>2</sup> dir.

*S<sub>13</sub> Gerilme Dağılımları:* Düzce depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 93.46 kN/m<sup>2</sup> iken kret seviyesindeki gerilme değeri 8.77 kN/m<sup>2</sup> dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 124.19 kN/m<sup>2</sup> iken kret seviyesindeki gerilme değeri 16.66 kN/m<sup>2</sup> dir.

*S<sub>23</sub> Gerilme Dağılımları:* Düzce depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 31.97 kN/m<sup>2</sup> iken kret seviyesindeki gerilme değeri 3.82 kN/m<sup>2</sup> dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 155.16 kN/m<sup>2</sup> iken kret seviyesindeki gerilme değeri 17.35 kN/m<sup>2</sup> dir.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada uygulanan deprem kuvvetleri ile elde edilen yer değiştirme ve gerilme değerleri düşük olduğundan dolayı bu değerlerin baraj gövdesi üzerinde tehlikeli sonuçlara sebep olacak deformasyonlara yol açmayacağı gözlenmiştir. Yine de kret bölgesinin daha kalın tasarlanması ve memba ve mansap şev eğimlerinin daha fazla olarak projelendirilmesi olası şiddetli depremlere barajın dayanımını artırır. Aynı şekilde dayanımı yüksek malzemelerin seçimi ve uygun sıkışma metodlarının uygulanması da baraj yer değiştirmelerini azaltır.

Deprem hem yatay hem düşey doğrultularda zeminde gelişi güzel hareketler doğurur. Barajlar üzerinde deprem kuvvetlerinin etkisinden oluşacak yer değiştirme ve gerilmeler depremin ve baraj yapısının karakteristiklerine göre değişebilmektedir. Barajın oluşacak deprem kuvveti etkisine ne zaman uğrayacağı kesin olarak bilinmemektedir. Fakat barajın inşa edildiği bölgenin eski deprem kayıtları, gelecekte oluşabilecek depremler hakkında fikir verebilir. Dolayısı ile inşa edilecek baraj ve barajda kullanılacak malzemeler o bölgeye özgü projelendirilmelidir. Barajların depreme dayanabilecek şekilde yapımı, depremlerde oluşan yer hareketlerinin iyi tanınması ve de dinamik özelliklerinin bilinmesiyle gerçekleştirilebilir.

Barajlar gibi önemli yapıların daha gerçekçi analizlerinin yapılabilmesi için, yapıların temel zemini ile birlikte üç boyutlu olarak modellenmesi, deprem etkilerinin en az üç yönde göz önüne alınması ve malzemelerin doğrusal olmayan davranışı ile birlikte rezervuarın boş ve dolu olma durumları için teorik hesaplar yapılmalıdır. Bu hesaplar, yapılan modeller üzerinde dinamik deneyler ve laboratuvar çalışmalarıyla desteklenmelidir. Yapılan deprem analizinin yanı sıra barajın dinamik stabilitesinin korunması için barajda kullanılacak malzemelerin üzerinde deneyler yapılarak malzeme özelliklerinin de dayanımının yüksek olması stabilite açısından gerekmektedir.

Genel olarak baraj gövdesinde analiz sonucu meydana gelen yer değiştirme değerleri temelden krete doğru gidildikçe artmakta olup maximum değeri krete yakın bir noktada bulunmuştur. Baraj temeli rijit olarak değerlendirildiği için bu bölgelerde yer değiştirme hem x hem de y yönü için bir değer bulunamamıştır.

Gerilme dağılımı değerlendirildiğinde, deprem sırasında ve sonrasında fazla miktarda çekme gerilmelerinin olduğu bölgeler baraj gövdesinin memba ve mansap şev eğimlerinin üzerinde talveg kotuna yakın yerlerde yer almaktadır. Deprem sonucu şev eğimi üzerinde meydana gelen çatlakların, yine şevler üzerinde maksimum çekme gerilmelerinin olduğu yerlerde gerçekleştiği sonucuna varılmıştır. Kret seviyesindeki gerilmeler memba şevlerindeki gerilmelerden çok daha az olduğu ortaya konulmuştur.

#### Kaynaklar

- [1] Zhang, J., He, J., Fan, J., 2001. Static And Dynamic Stability Assessment Of Slopes Or Dam Foundations Using A Rigid Body-Spring Element Method. International Journal Of Rock Mechanics And Mining Sciences, 38.
- [2] Leclerc, M., Leger P., Tinawi R., 2003. Computer Aided Stability Analysis Of Gravity Dams (CADAM). Advances In Engineering Software, 34.
- [3] Day, R.A., Hight D.W., Potts D.M., 1998. Finite Element Analysis Of Construction Stability Of Thika Dam. Computers And Geotechnics, 23.
- [4] Konttinen, J.T., 1997. Block Theory Techniques Used in Arch Dam Foundations Stability Analysis. International Journal of Rock Mechanics And Mining Sciences, 34.

- [5] Yu, Y., Xie, L., Zhang, B., 2005. Stability of Earth-Rockfill Dams: Influence Of Geometry On The Three-Dimensional Effect. *Computers And Geotechnics*, 32.
- [6] Calayir, Y., Karaton, M., 2005. A Continuum Damage Concrete Model For Earthquake Analysis of Concrete Gravity Dam-Reservoir System. *Soil Dynamics And Earthquake Engineering*, 25.
- [7] Uddin, N., 1999. A Dynamic Analysis Procedure For Concrete Faced Rockfill Dams Subjected To Strong Seismic Excitation. *Computers And Structures*, 72.
- [8] Espander, R., Lotfi, V., 2003. Comparison Of Non-Orthogonal Smeared Crack And Plasticity Models For Dynamic Analysis Of Concrete Arch Dams. *Computers And Structures*, 81.
- [9] Azmi, M., Paultre, P., 2002. Three-Dimensional Analysis Of Concrete Dams Including Contraction Joint Non-Linearity. *Engineering Structures*, 24.
- [10] Ahmadi, M.T., Izadinia, M., Bachmann, H., 2001. A Discrete Crack Joint Model For Nonlinear Dynamic Analysis Of Concrete Arch Dam. *Computers And Structures*, 79.
- [11] Javanmardi, F., Leger, P., Tinawi, R., 2005. Seismic Structural Stability Of Concrete Gravity Dams Considering Transient Uplift Pressures In Cracks. *Engineering Structures*, 27.
- [12] Wilson EL., 2001. Three Dimensional Static And Dynamic Analysis of Structures. *Computers and Structures*, USA.
- [13] Cook, R., Malkus D., Plesha M., 1989. *Concepts and Applications of Finite Element Analysis*, Publisher, John Wiley& Sons ,Canada, 3 pp.
- [14] Bathe, K., 1967. *The Finite Element Method*, Publisher, Journal of the University of Cape Town Engineering Society ,57-61 pp.
- [15] Zienkiewicz, C., Taylor L. 1988. *The finite element method*, Publisher, Mcgraw-Hill, England, V.22
- [16] Akyüz, H., 1990. *Dolgu Barajların Dinamik Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [17] Acar, A., Dinçer, I., 2005. Left Upstream Slope Design For The Çatalan Dam, Adana, Turkey And Its Behaviour Under Actual Earthquake Loading. *Engineering Geology*, 82.
- [18] Al-Homoud, A.S., Tanash, N., 2004. Modeling Uncertainty In Stability Analysis For Design Of Embankment Dams On Difficult Foundation. *Engineering Geology*, 71.
- [19] Cascone, E., Rampello, S., Lotfi, V., Espander R., 2003. Decoupled Seismic Analysis Of An Earth Dam. *Soil Dynamics And Earthquake Engineering*, 23.