

DÜŞEY BİLEŞENİ YÜKSEK SİSMİK YÜKLER ALTINDA DEĞİŞKEN ALÜVYON KALINLIĞININ DOLGU BARAJ STABİLİTESİNE ETKİSİ

EFFECT OF VARIABLE ALLUVIAL THICKNESS ON FILL DAM STABILITY UNDER SEISMIC LOADS WITH HIGH VERTICAL COMPONENT

Sevinç ÜNSAL ORAL¹, Elif Nur GÜNEŞ², Yaşar Zahit ORAL³

ÖZET

Bu çalışmada, düşey bileşeni yüksek deprem yükleri altında, dolgu baraj temelindeki değişken alüvyon kalınlığının baraj stabilitesine etkisi araştırılmıştır. Toprak barajların alüvyon malzeme üzerine inşa edilmesi tasarım mühendisleri için her zaman bir endişe kaynağı olmuştur. Statik durumdaki oturmalar yapım aşamasında bertaraf edilebiliyor olsa da sismik durumda memba ve mansap şevlerindeki stabilite problemleri ile karşılaşılması riski mevcuttur. 6 Şubat 2023 tarihinde yaşadığımız Kahramanmaraş merkezli depremlerde deprem ivmesinin düşey bileşeninin alışlagelmışin aksine yatay bileşenlere yakın mertebede yüksek olduğu görülmüş olup düşey bileşeni yüksek depremlerin dolgu baraj performansına etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmada 50 m yüksekliğindeki kil çekirdekli kaya dolgu bir baraj 10m ve 20m, 40m ve 60m kalınlığındaki orta sıkı alüvyon bir tabaka üzerine oturtulmuş ve ayrıca temelde ana kayaya oturan durum da tahkik edilmiştir. Oluşturulan sonlu elemanlar tabanlı modellerde zamana bağlı lineer olmayan deprem analizleri gerçekleştirilmiştir. Değişken kalınlıktaki alüvyonel temel zemininin farklı sismik yüklenme durumunda baraj memba ve mansap şevleri performansının stabiliteye etkisi belirlenmiştir. Analizler Kore Menşei Midas GTS NX yazılımı ile gerçekleştirilmiş olup analiz sonuçları baraj güvenliği ve depremin düşey bileşeninin etkisi yönünden değerlendirilmiştir. Bulgular, alüvyonun kalınlığının artmasıyla birlikte, kayma yüzeylerinin daha derinlere nüfuz ettiğini, fakat belli bir derinlikten sonra minimum güvenli kayma dairelerinin ortaya çıktığını ortaya koymuştur. Düşey bileşeni yüksek depremlerde ise gövde stabilitesinin kalın alüvyon tabakasına oturtulmuş baraj gövdesinde aniden bozulabileceğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Dolgu baraj, alüvyonel zemin, sonlu elemanlar analizi, sismik analiz

ABSTRACT

In this study, the impact of variable alluvial thickness on the stability of embankment dams under high vertical earthquake loads has been investigated. The construction of earth dams on alluvial material has always been a source of concern for design engineers. While settlements under static conditions can be mitigated during construction, there is a risk of

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Başkent Üniversitesi, suoral@baskent.edu.tr (Sorumlu yazar)

² Yük. Müh., Ergem Mühendislik yasar@ergemgeo.com

³ Hacettepe Üniversitesi, elif_gunes@hacettepe.edu.tr

stability problems in the upstream and downstream slopes during seismic conditions. The February 6, 2023 Kahramanmaraş Earthquake showed that the vertical component of seismic acceleration was unusually high, comparable to the horizontal components. Thus, the impact of high vertical earthquakes on embankment dam performance was investigated. In the study, a 50 m high rockfill dam with a clay core placed on various alluvial layers of 10 m, 20 m, 40m and 60 m thickness, and a scenario where the foundation laid directly on the bedrock was also examined. Nonlinear time-dependent earthquake analyses were performed using finite element models. The effect of varying thicknesses of alluvial foundation on the stability of the upstream and downstream slopes of the dam under different seismic loading conditions was determined. Analyses were conducted using the Midas GTS NX software, and the results were evaluated in terms of dam safety and the effect of the vertical component of the earthquake. The findings revealed that as the thickness of the alluvium increased, slip surfaces penetrated deeper, but after a certain depth, minimum safe slip circles emerged. In earthquake conditions with high vertical component, it was found that the stability of the dam body could suddenly collapse when the dam is placed on a thick alluvial layer.

Keywords: Embankment dam, alluvial soil, finite element analysis, seismic analysis

1. GİRİŞ

Geçirimsizlik özelliği yüksek kil çekirdekli dolgu barajlar sadece ülkemizde değil dünyada da en çok tercih edilen baraj türlerinden birisidir. Bu barajlar inşa edilebilmeleri açısından mutlaka sağlam zemin veya kaya temel istemezler. Her türlü zemine veya kaya temeller üzerine inşa edilebilirler (Ambraseys ve Douglas, 2003). Ayrıca dolgu şevleri stabilite güvenliği için genelde en az 2 yatay 1 düşey eğimli şevlerle tasarlanmaktadır. Şevlerin yatık olması ve genelde çok yüksek gövde tasarımlarında dolgu tipi barajların tercih edilmiyor olması nedeniyle, temele aktarılan yüklerin baraj temelinde oluşturduğu gerilmeler düşük olmaktadır. Kil çekirdekli dolgu barajlarda, dolgu şevlerinin eğimi ve temel sıyırma kazıları derinliği, barajın ve rezervuarının yüksekliği, dolgu malzemesinin mukavemet özellikleri ve filtre tasarımı ile ayrıca barajın üzerine oturacağı alüvyonun sıkılık derecesi ve barajın bulunduğu bölgedeki sismik risk mertebesi barajın performansında etkilidir (Tani ve Ozkan, 2000).

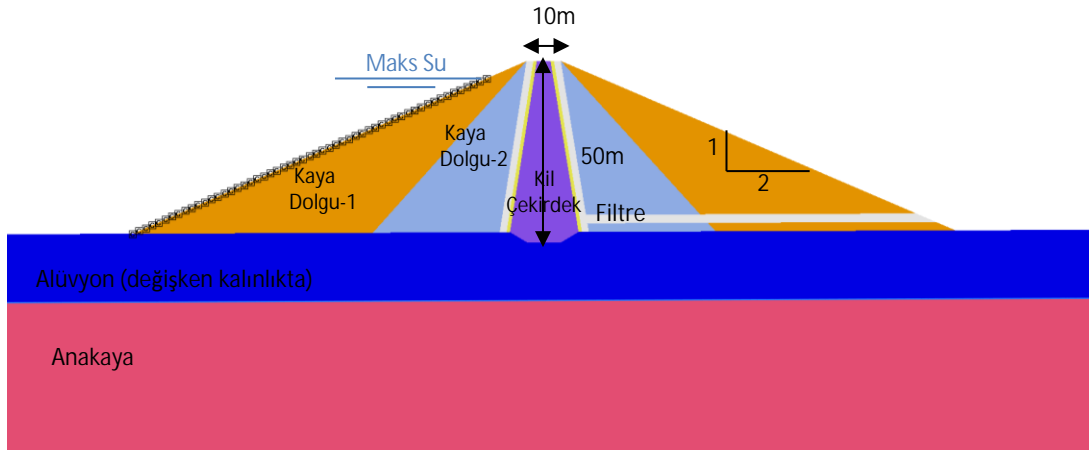
Sherard (1967)'da belirtildiği üzere sismik yüklerin neden olduğu toprak ve kaya dolgu barajların olası yıkılma nedenleri i) temelin yenilmesi sebebiyle barajın yıkılması, ii) sismik hareketlerin neden olduğu memba ve mansap şevlerindeki yenilmeler, iii) temeldeki elverişsiz zemin nedeni ile baraj gövdesinin kayması, iv) sismik hareketlerin neden olduğu çatlaklardan borulanma etkisi, v) rezervuar şişmesinin neden olduğu barajın taşması ve vi) rezervuara doğru kayaların kayması veya düşmesi nedeni ile barajın taşması, vii) dolusavak tahribatı, viii) farklı tektonik hareketlerin neden olduğu serbest yükseklik kaybı şeklinde sıralanabilir. Toprak ve kaya dolgu barajlarda genellikle sismik hasarlar, deprem büyüklüğü 7.5 ve üzeri büyük bir dereceye ulaştığında gözlemlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında temel altındaki alüvyon kalınlığının dolgu baraj stabilitesine etkisini araştırmak üzere numerik analizler yapılmıştır. Dünya genelinde depremin etkisi olarak yatay deprem etkisinin daha çok etkili olduğu gözlemlenerek kabul olunduğu için depremin düşey etkisine çok fazla değer verilmemiştir. Buna rağmen özellikle yakın geçmişte

yaşadığımız Kahramanmaraş merkezli depremlerde görüldüğü üzere depremlerin düşey bileşenleri yatay bileşenleri kadar, belki de daha şiddetli davranabilmektedir. Meydana gelen Kahramanmaraş merkezli yıkıcı depremlerin en göze çarpan özelliklerinden birisi kaydedilen kayıtlarda düşey bileşenin yatay bileşene yakın mertebede yüksek olmasıdır. Bu sebeple bu çalışmaya esas olarak Kahramanmaraş Pazarcık deprem kaydı yatay ve düşey bileşeni göz önüne alınarak analizlere dahil edilmiştir.

2. NUMERİK MODELLEME

Çalışmada 10 m, 20 m, 40 m ve 60 m kalınlıkta bir alüvyon temel üzerine oturan maksimum seviyede su ile dolu ve memba- mansap şev eğimleri 2.5 yatay 1 düşey olan, 50 m yükseklikteki kaya dolgu kil barajın gövde kesiti analiz edilmiştir (Şekil 1). Sonlu elemanlar yöntemi ile aşamalı inşaat aşaması ve su tutma analizleri yapılmış ve daha sonra zamana bağlı deprem yüklemesi gerçekleştirilmiştir. Baraj rezervuarının tamamen dolu olduğu durumda lineer olmayan zamana bağlı sismik sonlu elemanlar aşamalı analizleri Midas GTSNX 2024 (v1.1) yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Kil Çekirdek kaya dolgu baraj tip kesiti ve geometrisi

2.1. Dinamik Analiz Yöntemi

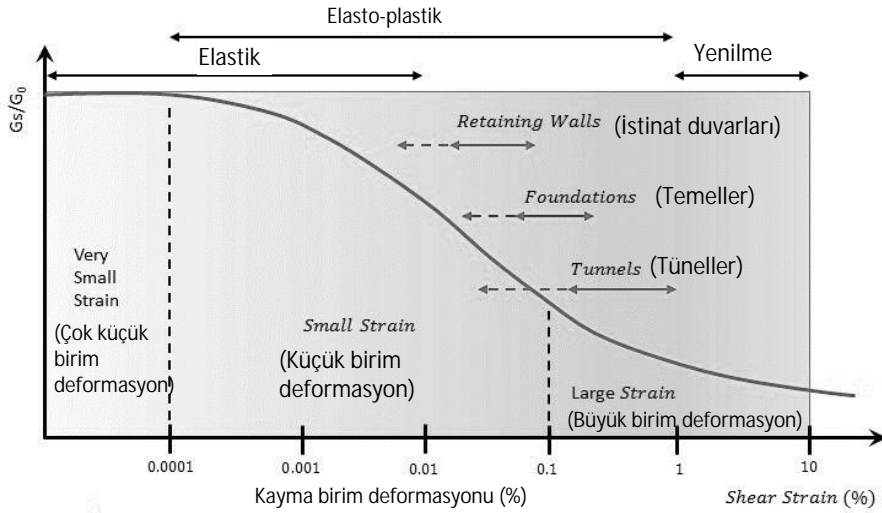
Deneysel araştırmalar, zemindeki plastik deformasyonun sismik yüklemenin erken aşamalarından itibaren başladığını göstermektedir. Bu davranışı yakalamak için tipik elastomükemmel plastik modeller yeterli değildir. İlk akmadan sonra bir mukavemet artışı yaklaşımı kullanan "strain hardening" bünye modeli (Schanz et. al, 1999) ile tahkik etmek gereklidir.

Hem saha tepkisi hem de yenilme davranışı, zeminin özelliklerinden güçlü bir şekilde etkilenir. Saha tepkisi, özellikle mukavemet ve sönümlenme olmak üzere dalga yayılımını kontrol eden özelliklerden etkilenir. Zemin yenilmesi ise bu faktörlerden etkilenmekle birlikte aynı zamanda asıl zeminin kayma mukavemetinden etkilenir (Bozorgnia & Bertero 2004). Bu sebeple dinamik analizlerde baraj gövdesinin davranışını belirlemek üzere HSS (Hardening Soil Small Strain Stiffness) bünye modeli ile analizlerin gerçekleştirilmesi en doğru yaklaşım olarak değerlendirilmektedir. HSS bünye modeli tekrarlı yüklemelerde modifiye edilmiş Mohr-Coulomb bünye modeline birim deformasyon -gerilme davranışının entegre edildiği bir model olup aşağıdaki iki ana parametrenin belirlenmesi gerekmektedir.

$G_{0,ref}$: Başlangıç veya çok küçük birim deformasyondaki kayma modülü

$\gamma_{0.7}$: Kayma modülünün başlangıç küçük birim deformasyondaki kayma modülünün yaklaşık %70'i olduğu kayma birim deformasyonu (Eşik birim deformasyon)

Zeminlerin gerçekten elastik olarak kabul edilebileceği birim deformasyon aralığı çok küçüktür. Artan birim deformasyon aralığı ile zemin mukavemeti Şekil 2'deki grafikte görüldüğü gibi doğrusal olmayan bir şekilde azalmaktadır (Atkinson and Salfors, 1991) ve Ishihara, 1996).



Şekil 2. Zemin Kayma mukavemetinin birim deformasyon ile değişimi

Yukarıdaki özellikleri yansıtmak için, HSS model, denklemde verilen şekilde değiştirilmiş Hardin ve Drnevich (1972) ilişkisini kullanmaktadır. Buna karşılık ise bu araştırmada, tüm dinamik hesaplamalarda %5 oranında bir sönümlenme oranı kullanılmıştır.

Baraj gövdesi ve temel malzeme özellikleri Tablo 1'de özetlenmiştir. Baraj gövdesi malzeme parametreleri DSİ barajlar tasarım rehberinde verilen tipik değerlerdir. Alüvyon malzemesi sıvılaşma özelliği olmayan orta sıkı özellikteki kum çakıl tipinde esas alınmıştır. Çalışmanın amacı sıvılaşma riski bulunmayan alüvyon malzemenin sismik riski yüksek yerlerde baraj gövde stabilitesine etkisinin araştırılmasıdır.

Tablo 1. Baraj gövde dolgusu ve alüvyon temel malzeme özellikleri

Birim/Zon	Bünye Modeli	γ_d (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)	C_u (kPa)	c' (kPa)	ϕ' (°)	ψ (°)	$E_{50,ref} / E_{ur,ref}$ (MPa)	$G_{0,ref}$ (MPa)	$\gamma_{0.7}$
Kil Çekirdek	HSS	18.5	19.5	70	10	25	-	40.0 / 120.0	85.0	0.0004
Çakıl Filtre	HSS	19.0	19.5	-	1	36	4.0	70.0 / 210.0	250.0	0.0075
Kum Filtre	HSS	19.0	19.5	-	1	34	2.0	70.0 / 210.0	250.0	0.0075
Kaya Dolgu 1	HSS	21.5	21.7	-	1	40	8.0	60.0 / 180.0	340.0	0.0075
Kaya Ufağı 2	HSS	19.0	19.5	-	1	38	6.0	60.0 / 180.0	320.0	0.0075
Alüvyon	HSS	19.0	19.5	-	1	32	1.0	20.0/60.0	100.0	0.0075
Anakaya	HB	26.0	26.0	-	-	-	-	2690.0	-	-

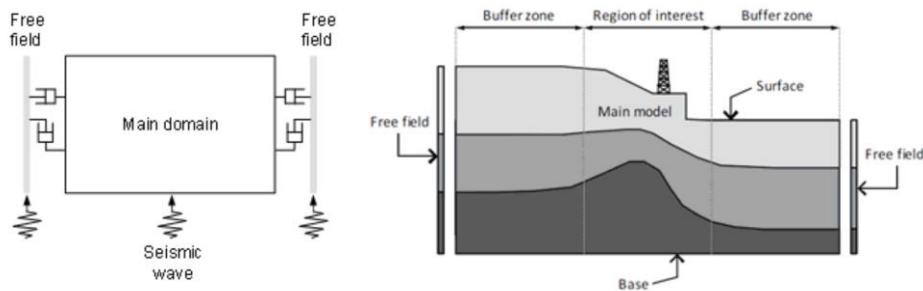
Çalışma kapsamında gerçekleştirilen analiz senaryoları Tablo 2’de sunulmaktadır. Buna göre değişken alüvyon kalınlığının ve ayrıca düşey bileşeni göreceli yüksek depremlerin temele etkisi değerlendirilmiştir.

Tablo 2. Analiz senaryoları

No	Temel Tipi	Durum-1		Durum-2		Durum-3	
		$a_{x,maks}$	$a_{y,maks}$	$a_{x,maks}$	$a_{y,maks}$	$a_{x,maks}$	$a_{y,maks}$
1	Anakaya	0.84g	-	0.84g	0.49g	0.84g	0.70 g
2	20m Alüvyon	0.84g	-	0.84g	0.49g	0.84g	0.70 g
3	40m Alüvyon	0.84g	-	0.84g	0.49g	0.84g	0.70 g
4	60m Alüvyon	0.84g	-	0.84g	0.49g	0.84g	0.70 g

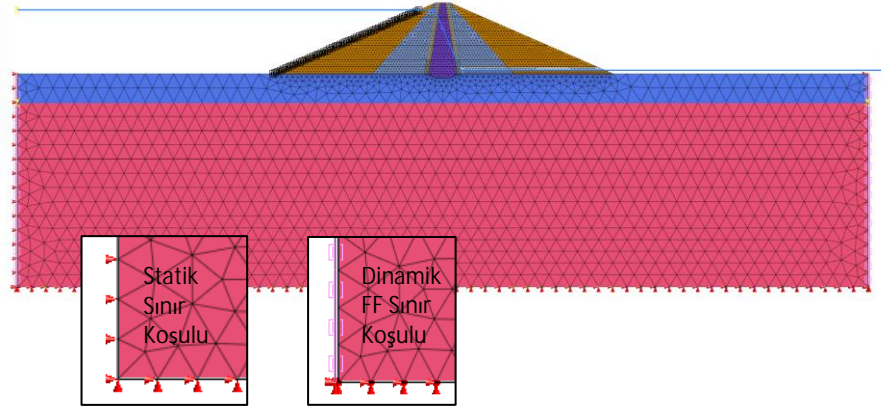
2.2. Sismik Yükleme ve Model Sınır Koşulu

Zamana bağlı dinamik analizler için, yansıma dalgasının neden olduğu sınır etkisini ortadan kaldırmak için sonsuz zeminin modellenmesi gerekir. Sonsuz zeminin modellenmesi mümkün olmadığından, 2 boyutlu sonlu elemanlar modellemesinde “free field” veya “absorbent boundary” sınır koşulu dinamik yükleme durumunda modele dahil edilmelidir. Free field sınır koşulu model sınırlarını yatayda sonsuzmuş gibi simüle etmektedir. “Absorbent sınır koşulu ise zemin sınırındaki yansıma dalgasını ortadan kaldırmak için etkinleştirilir. Barajlar gibi yüzey yapılarının sismik tepkisinin sayısal analizi, temele bitişik bir malzeme bölgesinin ayrıştırılmasını gerektirir. Sismik girdi, normalde alttaki malzeme boyunca yukarı doğru yayılan düzlem dalgaları ile temsil edilir. Modelin kenarlarındaki sınır koşulları, yapının yokluğunda var olacak serbest alan hareketini hesaba katmalıdır. Bu sebeple baraj yapılarının modellenmesinde “free-field (FF)” sınır koşulu kullanılması daha uygundur. Bu sınır koşulu ile yapılan analizlerde dikkat edilmesi gereken husus serbest alan sınırı uygulanmadan önce model statik dengede olmalıdır. Bu sebeple aşamalı olarak baraj gövdesi statik analizi ve sonrasında dinamik yükleme durumu uygulanmıştır. Yazılımda, dinamik analizden önceki statik denge koşulları otomatik olarak serbest alana aktarılmaktadır.



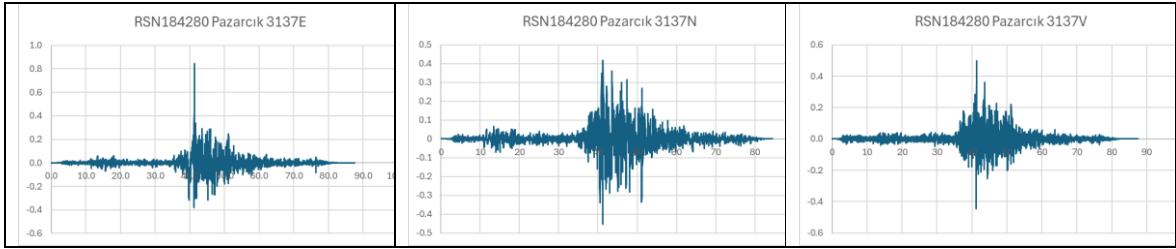
Şekil 3. “Free field” sınır koşulu şematik gösterimi

Aşamalı analizde öncelikle statik koşullara göre analiz yapılarak baraj gövdesindeki inşaat sonu sonrasında su tutma durumundaki gerilmeler elde edilmiş ve ardından dinamik yükleme durumuna geçilmiştir. Dinamik yükleme durumunda sonlu elemanlar metodu statik yükleri göz önüne almamaktadır. Bu sebeple suyun maksimum seviyesindeki etkisi “load to mass” fonsiyonu ile kütleye çevrilmiş ve memba şevine etki ettirilmiştir. Oluşturulan sonlu elemanlar mesh ağı Şekil 4’de verilmektedir.



Şekil 4. Sonlu elemanlar modeli ve mesh ağları

Yapılan çalışmada düşey bileşeni yüksek olan Kahramanmaraş Depremi 3137 Pazarcık kaydı kullanılmış olup kaydın ivme zaman grafikleri Şekil 5'te verilmektedir. Yapılan çalışmada düşey bileşeni yüksek kayıtların alüvyon temel davranışına etkisi araştırılmıştır. Tahkik edilen analiz senaryoları kapsamında ilgili senaryo için düşey bileşen orijinal hali ile ve ölçeklendirilerek analizlere dahil edilmiştir. 2D analizlerde yatay bileşeni yüksek olan bileşen ve senaryo durumuna göre düşey bileşen analize dahil edilmiştir.



Şekil 5. Dinamik modelde kullanılan deprem kaydı

2.3. Analiz Sonuçları ve Değerlendirmeler

Sayısal modellemede, yenilme yüzeyini incelemek amacıyla maksimum kesme birim deformasyonları ve bu deformasyonların global yenilmeye işaret edecek bir kayma dairesi oluşturup oluşturmadığı değerlendirilmiştir. Buna ek olarak statik ve deprem sonunda c-fi düşürme yöntemine göre şev stabilitesi analizleri yapılmış ve dinamik durumda şev stabilitesi güvenlik faktörleri elde edilmiştir. Seçilen baraj gövdesi statik durumda rezervuarın maksimum seviyede olduğu anda 2.8 güvenlik katsayısına sahiptir. Sismik analiz sonucu sonlu elemanlar tabanlı elde edilen şev güvenlik sayıları, memba ve mansap şevlerinde oluşan T_x , yatay deformasyonlar ve krette oluşan T_y , oturma değerleri her bir analiz senaryosu için Tablo 3'te özetlenmektedir. Tek yatay bileşen kullanılarak yapılan Durum 1 analizlerinde görüldüğü üzere alüvyon kalınlığının artması baraj gövdesinde toptan göçmeye neden olacak mertebede bir deformasyon yaratmamıştır. Düşey bileşenin yatay bileşenin yaklaşık yarısı mertebesinde olduğu Durum 2 analizinde krette oluşan oturmaların 40 m kalınlıktaki alüvyon tabakasına kadar alüvyon kalınlığı ile doğru orantılı olacak şekilde %25-%66 aralığında arttığı fakat 60m alüvyon kalınlığında tek yatay bileşenli Durum -1 analizi ile yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Düşey bileşenin yatay bileşenin

%80'i mertebesinde olduğu yüksek düşey bileşenli Durum 3 analizinde temelin anakaya olması ve alüvyon tabakasının sığ olması durumunda (10m) Durum 1-2-3 analiz senaryoları arasında ciddi bir fark olmadığı görülmektedir. Düşey bileşeni yüksek deprem tahkikinde göze çarpan en büyük fark, sismik hareketten memba şevinin mansap şevine oranla daha çok etkilenmesidir. Yatay deformasyonlar Durum 1 ve Durum 2 analizlerinde mansap şevlerinde yüksek iken düşey yöndeki deprem ivmesinin yüksek olduğu analizlerde memba şevi deformasyonları ciddi bir artış göstermiştir.

Tablo 3. Analiz sonucu yatay (Tx) ve düşey (Ty) deformasyonlar ile sismik durum şev stabilitesi güvenlik faktörleri

No	Temel Tipi	FS deprem	Durum-1 $a_{x,maks}=0.84g, a_{y,maks}=-$		FS deprem	Durum-2 $a_{x,maks}=0.84g, a_{y,maks}=0.49g$		FS deprem	Durum-3 $a_{x,maks}=0.84g, a_{y,maks}=0.70g$	
			$T_{x,maks}$ memba/ mansap (cm)	$T_{y,maks}$ kret (cm)		$T_{x,maks}$ memba/ mansap (cm)	$T_{y,maks}$ kret (cm)		$T_{x,maks}$ memba/ mansap (cm)	$T_{y,maks}$ kret (cm)
1	Anakaya	1.60	12/7.4	6.7	1.70	24/14	8.4	1.75	30/15	2
2	10m Alüvyon	1.58	15/20	30	1.60	28/35	40	1.66	35/29	12
3	20m Alüvyon	1.50	27/62	42	1.56	35/81	70	1.66	79/35	73
4	40m Alüvyon	1.56	26/89	65	1.56	49/95	108	1.68	129/27	108
5	60m Alüvyon	1.45	73/66	90	1.45	55/163	122	1.20	370/240	320

Sonlu elemanlar tabanlı sismik şev güvenlik faktörleri her ne kadar kabul edilebilir 1.1 değerinin üzerinde sonuçlar verse de kayma birim deformasyon mertebelerinden bağımsız olarak tek başına güvenlik faktörlerinin incelenmesi doğru bir yaklaşım değildir. Bu sebeple toptan göçme davranışının yorumlanması için kayma birim deformasyonlar da incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 4'te sunulmuştur. Şekil 2'de verildiği üzere birim deformasyonun %10'u geçtiği durumlarda kayma mukavemeti kaybolmaktadır.

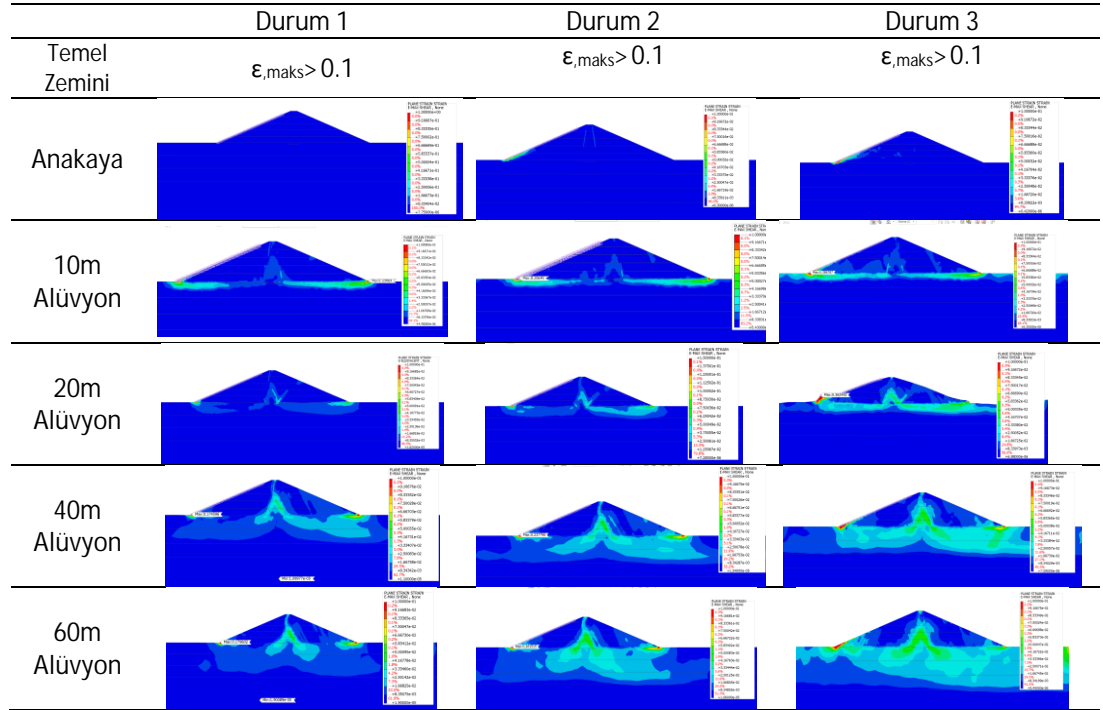
Tablo 4. Analiz sonucu elde edilen kayma birim deformasyon değerleri

No	Temel Zemin Tipi	Durum-1 $(a_{x,maks}=0.84g, a_{y,maks}=-)$		Durum-2 $(a_{x,maks}=0.84g, a_{y,maks}=0.49g)$		Durum-3 $(a_{x,maks}=0.84g, a_{y,maks}=0.70g)$	
		Memba	Mansap	Memba	Mansap	Memba	Mansap
		$\epsilon_{,maks}$	$\epsilon_{,maks}$	$\epsilon_{,maks}$	$\epsilon_{,maks}$	$\epsilon_{,maks}$	$\epsilon_{,maks}$
1	Anakaya	0.08	0.009	0.142	0.01	0.150	0.01
2	10m Alüvyon	0.122	0.115	0.186	0.08	0.356	0.02
3	20m Alüvyon	0.150	0.123	0.216	0.130	0.362	0.06
4	40m Alüvyon	0.174	0.144	0.237	0.176	0.439	0.120
5	60m Alüvyon	0.179	0.162	0.261	0.193	0.880	0.500

Şev üzerinde lokal olarak bu değer aşılması lokal yenilmelere işaret ederken baraj gövdesinde bir kayma dairesi oluşturacak bu mertebedeki birim deformasyonların toptan göçme yenilme davranışına sebep olacaktır. Her bir analiz senaryosu için yenilmenin olduğu sınır değerinde, yani kayma birim deformasyonların 10%'nin üzerine çıktığı durumda, baraj

temeli ve baraj gövdesinde oluşan kayma birim deformasyon değişimi Şekil 6'da verilmektedir. Baraj gövdesinde alüvyon kalınlığının arttığı durumlarda özellikle düşey bileşeni yüksek deprem durumunda baraj şevlerinde toptan göçmeye varacak kayma yenilmelerinin olduğu görülmektedir. Düşey bileşenin analize hiç dahil edilmediği veya düşey bileşenin düşük olduğu analizlerde ise kayma birim deformasyonların çok daha azaldığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak;

- i) Barajların sismik analizleri yapılırken seçilecek deprem kayıtları içerisinde muhakkak düşey bileşeni yüksek kayıt/kayıtlara da yer vermenin gerekli olduğu sonucuna varılmıştır.
- ii) Dolgu baraj temellerindeki alüvyon kalınlığı, baraj gövde yüksekliğine ve barajın bulunduğu yerdeki sismik tehlike mertebesine göre tahkik edilmelidir. Tahkikler sonucu kayma birim deformasyonların toptan göçme davranışı göstermediği, sismik şev stabilitesi güvenlik faktörlerinin yeterli olduğu ve elde edilen kret oturmalarının da serbest boyu aşmadığı durumlarda sıyırma veya iyileştirme maliyetlerine gereksinim olmayabileceği göz önüne alınmalıdır.



Şekil 6. Analiz senaryolarına göre kayma birim deformasyon değişimi, $\epsilon_{\text{maks}} > 0.1$

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, düşey bileşeni yüksek deprem yükleri altında, dolgu baraj temelindeki değişken alüvyon kalınlığının baraj stabilitesine etkisi tahkik edilmiştir. Değişken kalınlıktaki orta-sıkı alüvyonel zemininin farklı sismik yükleme durumunda baraj memba ve mansap şevleri performansı belirlenmiştir. Yapılan sonlu elemanlar tabanlı lineer olmayan analizler sonucunda belirlenen analiz senaryolarının global stabiliteye etkisi elde edilmiş ve sonuçları

baraj güvenliği ve depremin düşey bileşenin etkisi yönünden değerlendirilmiştir. Düşey bileşeni yüksek sismik yükleme sonucu memba şevinde mansap şevine oranla daha çok yatay deformasyon elde edilmiştir. Bunun yanı sıra düşey bileşeni yüksek deprem analizi sonucunda baraj gövdesinde genel olarak kayma birim deformasyonların ciddi bir şekilde arttığı da tespit edilmiştir. Barajların sismik analizleri yapılırken seçilecek deprem kayıtları içerisinde muhakkak düşey bileşeni yüksek kayıt/kayıtlara da yer vermenin gerekli olduğu sonucuna varılmıştır. Sıvılaşma riski olmayan orta sıkı alüvyon kalınlığının baraj gövde yüksekliğinin yarısından az olduğu durumlarda global bir yenilme hareketinin oluşmadığı görülmektedir. Temeldeki alüvyon derinliğinin gövde yüksekliğine yaklaşması ile depremler durumunda kil çekirdekten temele doğru kayma birim deformasyonların genişlediği görülmüştür. Derin alüvyonel havzalarda olası büyük bir depremde memba ve mansap şevlerinden çok krette kil çekirdekten temele doğru derin bir yenilme yüzeyinin oluşacağı görülmüştür. Sonuç olarak dolgu baraj temellerindeki alüvyon kalınlığı baraj gövde yüksekliğine ve barajın bulunduğu yerdeki sismik tehlike mertebesine göre uygun koşullarda analiz edilmeli ve elde edilecek bulgulara göre gerekmesi halinde sıyırma miktarı ve/veya iyileştirme derinliği belirlenmelidir.

KAYNAKLAR

- Ambraseys, N. N. and Douglas, J., (2003). "Effect of vertical ground motions on horizontal response of structures". International Journal of Structural Stability and Dynamics.
- Atkinson, J.H. and Salfors, G. (1991), Experimental Determination of Soil Properties. Proceedings of the 10th ECSMFE, Vol. 3, 915-956.
- Bozorgnia Y. and V. V. Bertero, (2004), ICC. Journal of Earthquake Engineering - J EARTHQU ENG. 8. 963-964.
- Hardin, B.O. ve Drnevich, V.P. (1972), "Shear Modulus and Damping in Soil: design Equations and Curves", Journal of Soil Mechanics and foundation Division, ASCE Vol. 98, No.SM7, Proc. Paper 9006, July, 1972.
- Ishihara , K. (1996), "Soil Behaviour In Earthquake Geotechnics", Oxford : Clarendon Press ; New York : Oxford University Press, 1996.
- Midas GTS NX 2024 (v1.1), User Manual, Midas Information Technology, Korea.
- Tani, S., and Ozkan, (2000). "Behavior of large fill dams during earthquake and earthquake damage". Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 20(1), pp 223–229.
- Schanz, T., Vermeer, P. A., Bonnier, P. G. (1999), "The Hardening Soil Model" Formulation and verification. Beyond 2000 in Computational Geotechnics, Balkema: Rotterdam, 1999, pp. 281–290
- Sherard, J. L. (1967), "Earthquake Considerations in Earth Dam Design", Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, 93: SM4: 377.