



Research Article / Araştırma Makalesi

**DYNAMIC DISPLACEMENT AND STRESS ANALYSES OF CANTILEVER
RETAINING WALLS CONSIDERING SOIL-STRUCTURE INTERACTION
AND WALL FLEXIBILITY**

Tufan ÇAKIR*¹, Serhat DAĞ²

¹Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, GÜMÜŞHANE

²Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Müh. Bölümü, GÜMÜŞHANE

Received/Geliş: 16.04.2015 Revised/Düzelme: 22.08.2015 Accepted/Kabul: 18.09.2015

ABSTRACT

The Mononobe-Okabe (M-O) method based on limit equilibrium principle is widely used in the design of retaining structures against earthquake loads. However, this method does not consider the soil-structure interaction and wave propagation effects. On the other hand, it is known that the interactions of retaining structures with backfill and foundation soils transform the seismic behavior of these structures to a rather complex problem. The main purpose of this study is to evaluate the soil-structure interaction and wall flexibility effects on the seismic behavior of backfill-cantilever retaining wall-foundation/soil systems. In line with this target, three dimensional finite element models were utilized for analyzing the aforementioned systems. Seismic analyses were carried out in the time domain by considering five different foundation soil conditions and two different wall thicknesses. The results were comparatively interpreted in terms of lateral wall displacements and the stresses occurring at critical sections of the wall. It was observed that these responses may vary significantly due to soil-structure interaction and wall flexibility effects.

Keywords: Soil-structure interaction, wall flexibility, cantilever retaining wall, finite element method, wave propagation.

**ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİ VE DUVAR ESNEKLİĞİ DİKKATE ALINARAK KONSOL İSTİNAT
DUVARLARININ DİNAMİK YERDEĞİŞTİRME VE GERİLME ANALİZİ**

ÖZ

İstinat yapılarının deprem yüklerine karşı tasarımında limit denge prensibine dayanan Mononobe-Okabe (M-O) yöntemi günümüzde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak bu yöntem zemin-yapı etkileşimini ve dalga yayılımı etkilerini dikkate alamamaktadır. Öte yandan istinat yapılarının dolgu ve temel zeminleri ile olan etkileşiminin bu yapıların deprem davranışlarını oldukça karmaşık bir probleme dönüştürdüğü bilinmektedir. Bu çalışmanın temel amacı, dolgu-konsol istinat duvarı-temel/zemin sistemlerinin deprem davranışı üzerinde zemin-yapı etkileşimi ve duvar esnekliği etkilerini değerlendirmektir. Bu amaç doğrultusunda söz konusu sistemlerin analizi için üç boyutlu sonlu eleman modelleri önerilmiş ve beş farklı temel zemini koşulu ile iki farklı duvar kalınlığı dikkate alınarak zaman tanım alanında sismik analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları duvar yatay yerdeğiştirmeleri ve duvar kritik kesitlerinde meydana gelen gerilmeler üzerinden karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır. Bu tepkilerin zemin-yapı etkileşimine ve duvar esnekliğine bağlı olarak önemli derecede değişebileceği görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Zemin-yapı etkileşimi, duvar esnekliği, konsol istinat duvarı, sonlu elemanlar yöntemi, dalga yayılımı.

* Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: cakirtufan@hotmail.com, tel: (456) 233 10 00

1. GİRİŞ

İstinat duvarlarının deprem davranışlarının gerçekçi olarak belirlenebilmesi için dolgu zemini-duvar ve temel zemini-duvar etkileşimlerinin dikkate alınması gerekmektedir. Zira bu tür yapı sistemlerinin herhangi bir noktasında meydana gelebilecek iç kuvvetlerin; yapı, temel ve zemin ortamlarının her birinin kendi özelliklerinden ve birleşim ara yüzeylerinin özelliklerinden farklı oranlarda etkilenebilecekleri bilinmektedir. Bununla birlikte, farklı fiziksel ve mekanik özelliklere sahip ortamlar arasındaki ara yüzey davranışının modellenerek çözümlenmesi oldukça karmaşık matematiksel işlemlerin ve çözüm yöntemlerinin kullanılmasını gerekli kılmaktadır.

Geleneksel depreme dayanıklı tasarım yöntemlerinde, yapıların kuvvetli sismik hareketler karşısında ya hiç zarar görmeden elastik bir davranış sergilemesi ya da sınırlı hasar oluşumuna müsaade edilen sünek bir davranış sergilemesi amaçlanmaktadır. İlk yaklaşım tarzında, yapının dayanımı yeterince yüksek tutularak kuvvetli bir deprem sırasında tasarım dayanımlarının aşılmasına izin verilmemektedir. İkinci yaklaşım tarzında ise, tasarım dayanımının aşılmasına izin verilirken, meydana gelecek hasarın yapıda yerel veya toptan göçmeye neden olmaması hedeflenmektedir [1].

İstinat yapılarının sismik analizi ve tasarımı için önerilen yöntemler genel olarak; “tam plastik çözümler”, “elastik dalga teorisine dayanan çözümler” ve “elastoplastik ve doğrusal olmayan teoriye dayanan çözümler” olmak üzere üç gruba ayrılabilir. Bu üç gruba giren temel çalışmalar ve günümüz tasarım yöntemlerini ortaya koyan diğer çalışmalar değişik bilim insanları tarafından literatüre sunulmuştur [2-15].

Teknik literatür incelendiğinde, istinat duvarlarına etkiyen sismik toprak basınçlarının belirlenmesinde, bu duvarların dinamik analizinde ve tasarımında çoğunlukla basit kabuller yapılarak Mononobe-Okabe yönteminin [16, 17] kullanıldığı görülmektedir. Deprem etkisine maruz aktif ya da pasif zemin kamasına, kamanın ağırlığıyla orantılı yatay ve düşey sözde statik kuvvetlerin etki etmesinden ibaret olan bu yöntem ve türevleri, pratiklikleri yanında sonuçlarına duyulan güvenden ötürü günümüzde yaygın bir şekilde kullanılmakta ve birçok ülkenin deprem yönetmeliğinde yer almaktadır. Ancak bu yöntemde, dalga yayılım etkileri ve zemin-yapı etkileşimi dikkate alınmamaktadır. Öte yandan yapı dinamik davranışının; duvar esnekliğine, boyutlarına, yapı malzemesinin ve zeminin mekanik özelliklerine ve deprem kaynağına bağlı olarak önemli farklılıklar göstereceği açıktır. Ayrıca bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler ve bilgisayarların sağladığı hız ve etkinlik gittikçe daha büyük ve karmaşık problemlerin çözümüne imkân tanımakta ve özellikle sonlu eleman yöntemlerindeki gelişmeler sayısal yöntemlere yönelimi artırmaktadır. Bu çalışmanın temel amacı, zemin-yapı etkileşimini ve duvar esnekliğini dikkate alarak konsol istinat duvarlarının sismik davranışını incelemektir. Bu amaç doğrultusunda, beş farklı temel zemini koşulu ve iki farklı duvar kalınlığı göz önüne alınmak suretiyle dolgu-istinat duvarı-temel/zemin sistemleri için üç boyutlu sonlu eleman modelleri önerilmekte ve söz konusu sistemlerin dinamik çözümlenmeleri gerçekleştirilmektedir.

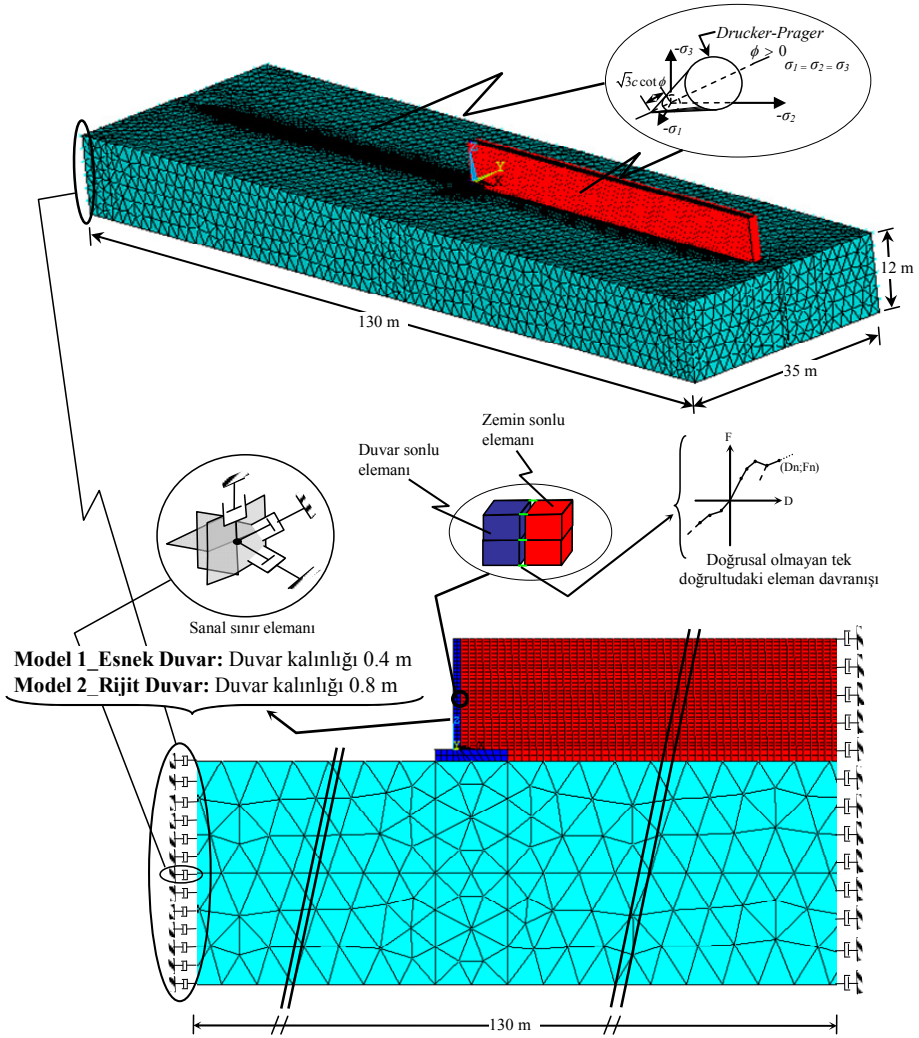
2. ÖNERİLEN SONLU ELEMAN MODELLERİ

Düşey gövde plağı yüksekliği 6 m ve ona mesnetlik eden yatay taban plağı yüksekliği 0.6 m olmak üzere toplam 6.6 m yüksekliğe ve 1 m'lik birim uzunluğa sahip konsol istinat duvarları bu çalışmaya konu olmuştur. Bu duvarın ön ampatman genişliği 1 m, arka ampatman genişliği 2.6 m'dir. Duvar esnekliğinin sismik davranış üzerindeki etkilerini gözlemleyebilmek amacıyla 0.4 m ve 0.8 m sabit kalınlığa sahip iki adet istinat duvarı dikkate alınarak dolgu-konsol istinat duvarı-temel/zemin etkileşim sistemlerinin sonlu eleman modelleri oluşturulmuştur. 0.4 m sabit kalınlığa sahip istinat duvarı esnek duvar, 0.8 m sabit kalınlığa sahip istinat duvarı ise rijit duvar olarak adlandırılmıştır. Söz konusu modellerde, dolgu zemini davranışını doğru bir şekilde temsil edebilmek amacıyla, duvar yüzünden itibaren kritik uzaklık duvar yüksekliğinin 10 katı olacak şekilde dikkate alınmıştır [3, 6].

Etkileşim sisteminin sismik davranışının belirlenebilmesi için Şekil 1’de görülen sonlu elemanlar modeli önerilmiştir. Söz konusu modelde; istinat duvarı, dolgu zemini ve temel zemini her bir noktasında üç ötelenme serbestliğine sahip sekiz düğüm noktalı üç boyutlu katı elemanlarla modellenmiştir. Dolgu-duvar etkileşimini modellemek için özel ara yüzey elemanı olarak doğrusal olmayan genelleştirilmiş kuvvet-yerdeğiştirme kabiliyetine sahip tek doğrultulu eleman kullanılmıştır. Bu elemanın kullanımı ile dolgu ile dış duvar arasında basınç durumunda etkileşimin olduğu, çekme durumunda ise etkileşimin olmadığından hareketle duvara dolgudan kaynaklanan çekme gerilmelerinin gelmesi önlenmiş olmaktadır. Radyasyonel sönüm etkilerinin dikkate alınabilmesi ve yansıma etkilerinin önüne geçilebilmesi için viskoz sınırlar [18] kullanılarak, sönümleyiciler model sınırlarına kartezyen koordinat takımında her bir doğrultuda yerleştirilmiştir. Bu aşamada gerek sonlu elemanlar ağına gerekse model zemin sınırlarına karar verilirken en uygun modeli elde edebilmek amacıyla parametrik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Zeminin malzeme bakımından doğrusal olmayan davranışı Drucker-Prager elastoplastik malzeme yaklaşımı ile dikkate alınmıştır. Tüm bu modelleme ve çözümlerinde ANSYS 13 [19] programından faydalanılmıştır.

3. DİNAMİK ÇÖZÜMLEME

İnceleme konusu sistemlerin deprem davranışları önerilen sonlu eleman modelleri vasıtasıyla araştırılmıştır. Çözümler zaman ortamında direkt entegrasyon yöntemlerinden Newmark yaklaşımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çözümlerinde sistemin sönümü Rayleigh sönümü ile temsil edilmiştir. Yapı ve zemine ait sönüm değerleri %5 olarak hesaba katılmıştır. Yer hareketi olarak 1966 Parkfield depremi “C02065” bileşeni dikkate alınmıştır. Söz konusu deprem kaydı için en büyük yer ivmesi 4.7 m/s^2 olarak kaydedilmiştir. Çözümlerinde istinat duvarına ait elastisite modülü 28000 MPa, Poisson oranı 0.20, birim hacim ağırlık 25 kN/m^3 , kohezyonsuz dolgu zeminine ait elastisite modülü 30 MPa, Poisson oranı 0.35, birim hacim ağırlık 18 kN/m^3 olarak dikkate alınmıştır. Sismik davranış üzerinde zemin etkileşim etkilerini değerlendirebilmek amacıyla dikkate alınan temel zemini özellikleri Çizelge 1’de sunulmaktadır.



Şekil 1. Önerilen sonlu elemanlar modeli

Çizelge 1. Temel zemini özellikleri

Zemin sistemi	E (MPa)	G (MPa)	ν	γ (kN/m ³)	v_s (m/s)	v_p (m/s)
S1	2000	769.2	0.30	20	620.17	1160.24
S2	500	185.2	0.35	19	312.20	649.89
S3	150	55.6	0.35	19	171.00	355.96
S4	75	26.8	0.40	18	121.99	298.81
S5	35	12.5	0.40	18	83.33	204.12

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Dolgu-konsol duvar-temel/zemin etkileşim sisteminin deprem yükü etkisi altında beş farklı temel zemini sistemi dikkate alınarak çözümlenmesinden elde edilen en büyük yatay yerdeğiştirmeler ve gerilmeler ile bu tepkilerin gerçekleşme zamanları esnek duvar sistemi için Çizelge 2’de rijit duvar sistemi için Çizelge 3’de verilmektedir. Bu çizelgelerden, temel zemini özelliklerindeki ve duvar kalınlığındaki değişime bağlı olarak yatay yerdeğiştirme ve gerilme tepkilerinin şiddetlerinde önemli derecede farklılıklar olduğu açıkça görülmektedir. Buradaki yerdeğiştirmeler, yer seviyesine göre hesaplanan izafi yerdeğiştirmeleri ifade etmektedir. Mevcut yapılar için hem yerdeğiştirme hem de gerilme tabanlı irdelemeler aşağıdaki alt başlıklarda sunulmaktadır.

Çizelge 2. Esnek duvar sistemi için dinamik çözümleme sonuçları

En büyük tepkiler	Zemin sistemi									
	S1		S2		S3		S4		S5	
	t (s)	Değer	t (s)	Değer	t (s)	Değer	t (s)	Değer	t (s)	Değer
u_t (m)	4.55	0.0012	4.55	0.0091	4.55	0.0269	4.60	0.0420	4.60	0.0598
S_{zb} (MPa)	4.50	-0.7151	4.50	-4.9934	4.45	-12.1711	4.45	-15.0062	4.50	-13.2797
S_{yb} (MPa)	4.50	-0.0861	4.45	-0.6348	4.45	-1.5975	4.45	-2.0419	4.50	-1.9231
S_{xb} (MPa)	4.50	-0.2105	4.50	-1.8150	4.45	-4.7101	4.45	-6.1275	4.50	-5.9937
S_{zf} (MPa)	4.50	0.7268	4.50	5.0606	4.45	12.3159	4.45	15.1563	4.50	13.3952
S_{yf} (MPa)	4.50	0.0586	4.40	0.4057	4.40	0.9767	4.45	1.2348	4.50	1.1371
S_{xf} (MPa)	4.40	0.0937	4.40	0.4979	4.40	0.9712	4.40	1.0811	4.45	0.8280

u_t : İstinat duvarının tepe noktasının yatay yerdeğiştirmesi; S_{zb} , S_{yb} ve S_{xb} : İstinat duvarının arka yüzünde (dolgu tarafı) z, y ve x doğrultularında hesaplanan gerilmeler; S_{zf} , S_{yf} ve S_{xf} : İstinat duvarının ön yüzünde z, y ve x doğrultularında hesaplanan gerilmeler.

4.1. Zemin-Yapı Etkileşim Etkilerinin Değerlendirilmesi

Önerilen sonlu eleman modelleri vasıtasıyla farklı temel zemini koşullarına göre gerçekleştirilen çözümlerden elde edilen yatay yerdeğiştirmelerin istinat duvarı yüksekliği boyunca değişimleri rijit duvar sistemi için Şekil 2’de verilmektedir. Yerdeğiştirmelerin negatif değerleri duvarın öne doğru hareketini, pozitif değerleri ise duvarın arka dolguya doğru hareketini göstermektedir. Bu şekilden de görülebileceği gibi, deprem yükü etkisi altındaki istinat duvarının yatay yerdeğiştirmeleri, temel zemini rijitliğinin azalmasıyla önemli ölçüde artmaktadır.

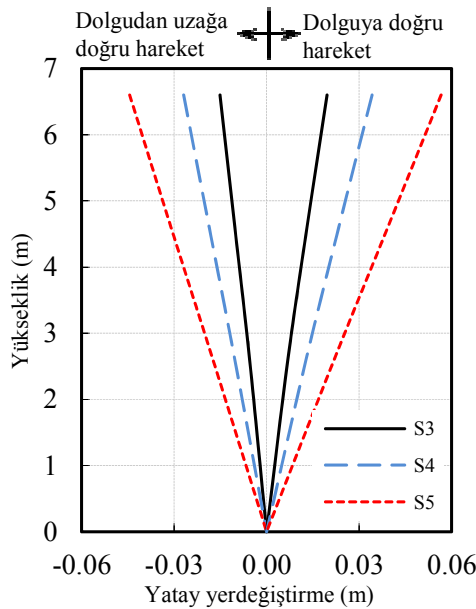
Zemin-yapı etkileşim etkilerinin önemine işaret eden bir başka değerlendirme yatay yerdeğiştirmelerin zamanla değişimleri üzerinden yapılabilir. Farklı temel zemini koşullarında konsol duvarın tepe noktasının yatay yerdeğiştirmelerinin zamanla değişimleri esnek duvar için Şekil 3’de, rijit duvar için Şekil 4’de sunulmaktadır. Bu şekillerden görüldüğü üzere, temel zemini sistemindeki değişimlere bağlı olarak davranış şekli açısından önemli bir farklılık gözükmemekle birlikte, yerdeğiştirmelerin en büyük değerlerinde önemli farklılıklar göze çarpmaktadır. Örneğin; esnek duvar sistemi için en büyük yerdeğiştirme değeri S5 zemin sisteminde 0.0598 m düzeyinde gerçekleşirken, bu değer zemin rijitliğindeki artışa bağlı olarak

S4 zemin sisteminde yaklaşık %30 oranında azalarak 0.0420 m, S2 zemin sisteminde ise S5 zemin sistemine göre yaklaşık %85 oranında bir azalmayla 0.0091 m olarak meydana gelmektedir. Benzer karşılaştırmaları Şekil 4'den rijit duvar sistemi için de yapmak mümkündür. Örneğin; S5 zemin sisteminde 0.0566 m olarak hesaplanan yerdeğiştirme değeri, S2 zemin sistemi için yaklaşık %91 oranında bir azalmayla 0.0052 m olarak ortaya çıkmaktadır.

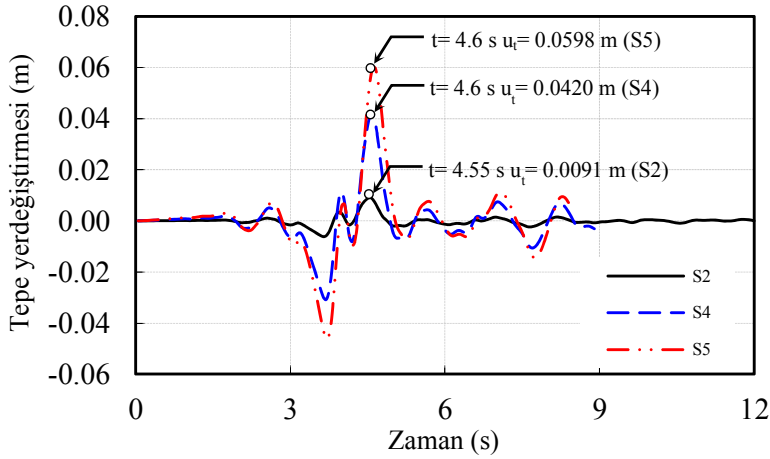
Çizelge 3. Rijit duvar sistemi için dinamik çözümleme sonuçları

En büyük tepkiler	Zemin sistemi									
	S1		S2		S3		S4		S5	
	t (s)	Değer	t (s)	Değer	t (s)	Değer	t (s)	Değer	t (s)	Değer
u_t (m)	4.50	0.0003	4.50	0.0052	4.55	0.0196	4.55	0.0342	4.60	0.0566
S_{zb} (MPa)	4.40	-0.2508	4.40	-3.1192	3.90	-6.8083	4.45	-7.5214	4.50	-5.9910
S_{yb} (MPa)	4.45	-0.0366	4.40	-0.5212	3.90	-1.2343	3.90	-1.4456	4.45	-1.2396
S_{xb} (MPa)	4.50	-0.1683	4.45	-2.7459	4.45	-6.6222	4.45	-7.8632	4.50	-6.8476
S_{zf} (MPa)	4.40	0.2546	4.40	3.0047	3.90	6.3823	4.45	6.8750	4.50	5.3224
S_{yf} (MPa)	3.90	0.0222	3.90	0.2380	3.90	0.4585	3.90	0.4977	4.45	0.3756
S_{xf} (MPa)	3.90	0.0917	3.90	0.8908	3.90	1.5024	3.90	1.5186	4.45	1.0248

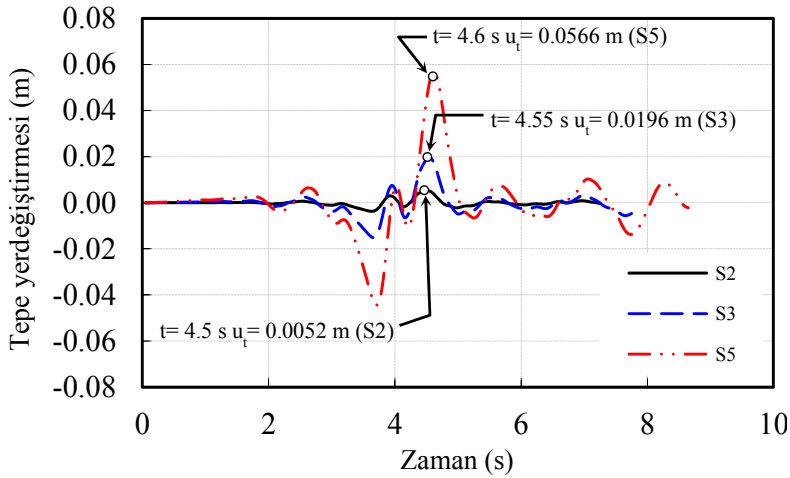
u_t : İstinat duvarının tepe noktasının yatay yerdeğiştirmesi; S_{zb} , S_{yb} ve S_{xb} : İstinat duvarının arka yüzünde (dolgu tarafı) z, y ve x doğrultularında hesaplanan gerilmeler; S_{zf} , S_{yf} ve S_{xf} : İstinat duvarının ön yüzünde z, y ve x doğrultularında hesaplanan gerilmeler.



Şekil 2. Rijit duvar sisteminde yatay yerdeğiştirmelerin duvar yüksekliği boyunca değişimleri



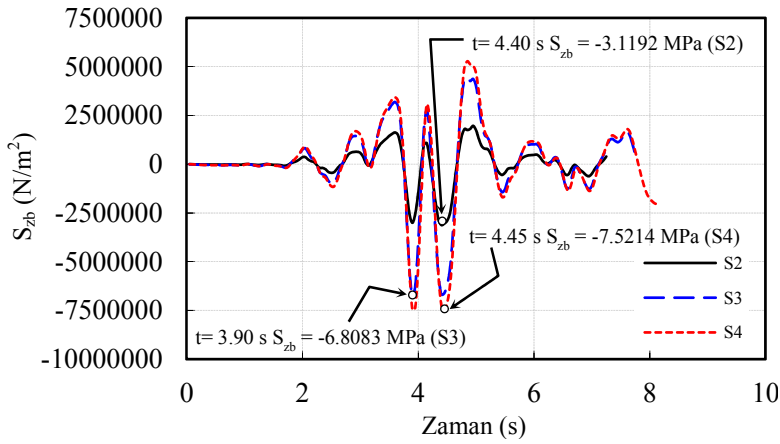
Şekil 3. Esnek duvar sisteminde yatay yerdeğiştirmelerin zamanla değişimleri



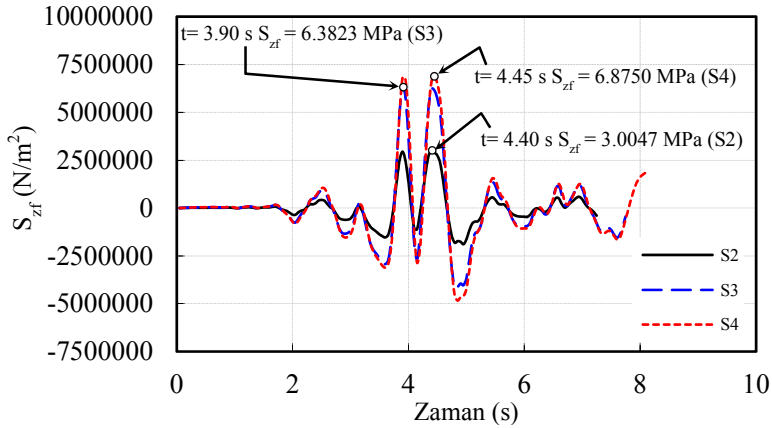
Şekil 4. Rijit duvar sisteminde yatay yerdeğiştirmelerin zamanla değişimleri

Yapılan çözümlerlerden beş farklı temel zemini sistemi için istinat duvarı ön ve arka yüzlerinde tespit edilmiş olan kritik kesitlerde oluşan gerilmeler değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmelere grafiksel örnek olması maksadıyla; Şekil 5 ve 6'da rijit istinat duvarının sırasıyla arka ve ön yüzlerinde, üç farklı zemin sistemi için z doğrultusundaki (düşey) gerilmelerin zamanla değişimleri verilmektedir.

Şekil 5 ve 6'dan, duvar davranışı açısından önemli bir değişim olmadığı, gerilmelerin eşlenik bir karakter sergilediği, ancak şiddetlerinde önemli farklılıklar olduğu görülebilir. Örneğin; istinat duvarı arka yüzünde, S2 zemin sistemi için 4.40 s'de basınç olarak 3.1192 MPa düzeyinde hesaplanan gerilme, zemin rijitliğindeki azalmaya bağlı olarak, S4 zemin sistemi için yaklaşık %141 oranında bir artış ile 4.45 s'de yön değiştirmeden yine basınç olarak 7.5214 MPa olarak hesaplanmıştır. Benzer karşılaştırma Şekil 6'dan rijit istinat duvarının ön yüzü için yapılrsa tümüyle çekme gerilmelerinin olduğu ve gerilmelerin yine yön değiştirmedeği görülebilir.



Şekil 5. Rijit istinat duvarının arka yüzünde z doğrultusundaki gerilmelerin zamanla değişimleri

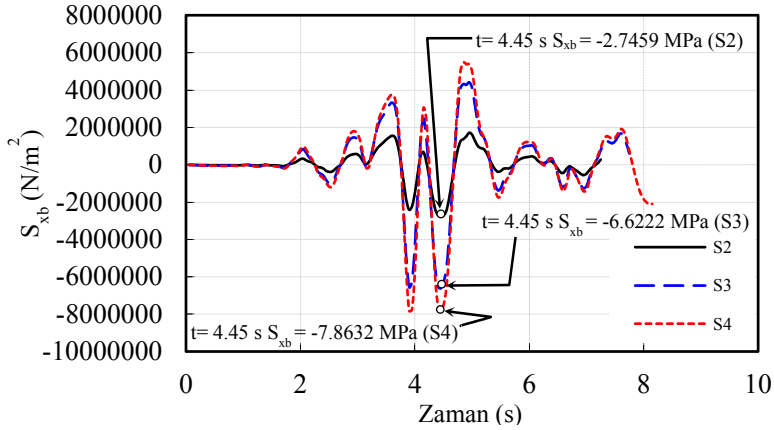


Şekil 6. Rijit istinat duvarının ön yüzünde z doğrultusundaki gerilmelerin zamanla değişimleri

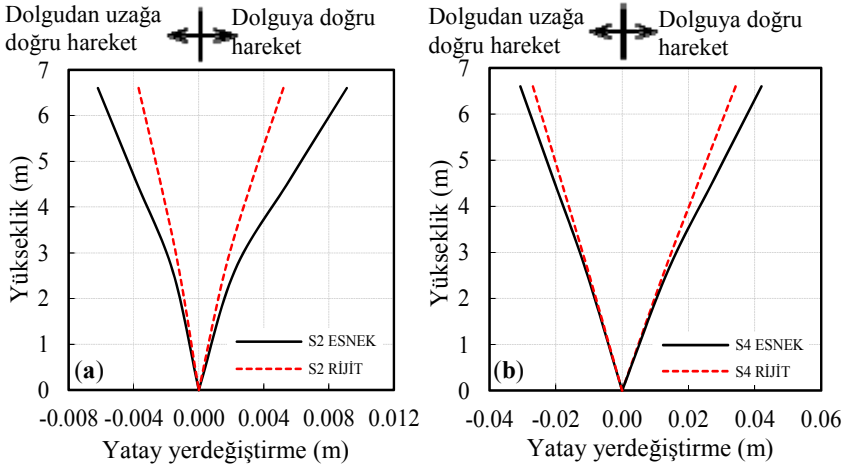
z doğrultusundaki gerilmelere benzer olarak x doğrultusundaki (yatay) gerilmeler de karşılaştırılabilir. Şekil 7'de üç farklı temel zemini sistemi için istinat duvarı arka yüzünde x doğrultusundaki gerilmelerin zamanla değişimleri verilmektedir. Bu şekilde de, sergilenen davranışın benzer olduğu ve zemin-yapı etkileşimine bağlı olarak yatay gerilmelerin önemli ölçüde artabildiği görülmektedir. Tüm bu karşılaştırmalar zemin-yapı etkileşiminin, istinat duvarı tasarımı için dikkate alınması gereken önemli bir parametre olduğunu ortaya koymaktadır.

4.2. Duvar Esnekliği Etkilerinin Değerlendirilmesi

Çizelge 2 ve 3 birlikte değerlendirildiğinde duvar esnekliğinin dinamik davranış üzerindeki etkileri, tepkilerin değişiminden açıkça görülebilir. Ancak oransal karşılaştırmaları daha da aydınlatılabilmek amacıyla çalışmanın bu bölümünde grafiksel irdelemeler sunulmaktadır. Bu bağlamda Şekil 8'de iki farklı zemin sistemi (S2 ve S4) için esnek ve rijit duvar sistemlerinde, yatay yerdeğiştirmelerin duvar yüksekliği boyunca değişimleri verilmektedir. Bu şekilde, duvar kalınlığındaki değişime bağlı olarak tepkilerin önemli mertebelerde farklılıklar arz ettiği söylenebilir.



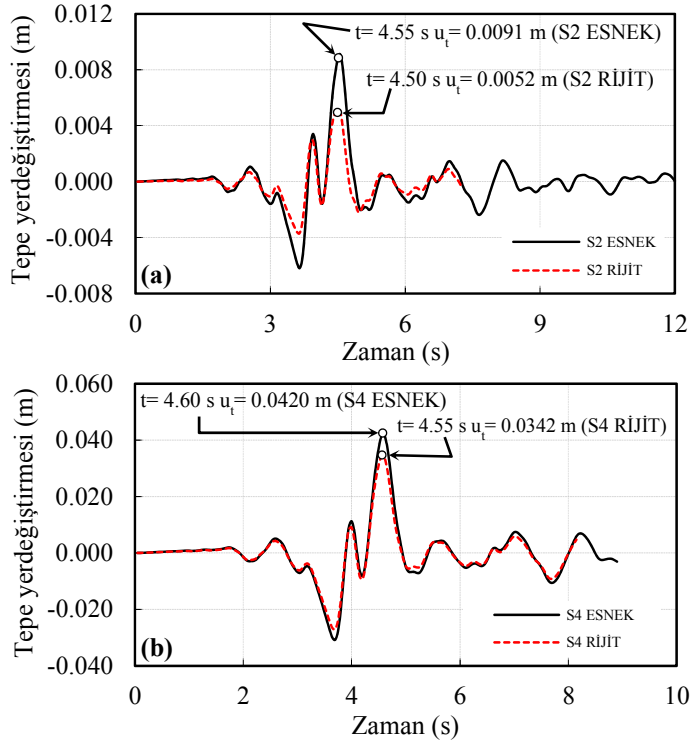
Şekil 7. Rijit istinat duvarının arka yüzünde x doğrultusundaki gerilmelerin zamanla değişimleri



Şekil 8. a) S2 b) S4 zemin sistemleri için esnek ve rijit duvarların yatay yerdeğiştirmelerinin duvar yüksekliği boyunca değişimleri

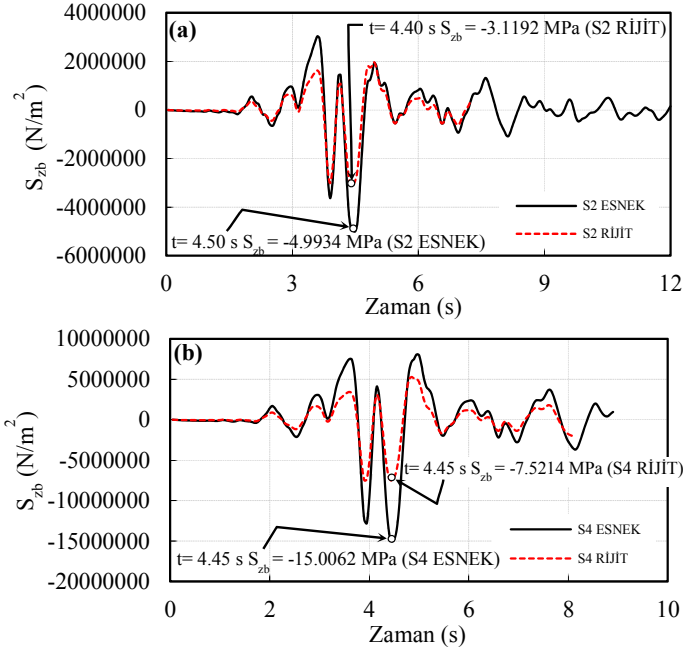
S2 ve S4 zemin sistemleri için esnek ve rijit duvar tepe noktalarının yatay yerdeğiştirmelerinin zamanla değişimleri karşılaştırmalı olarak Şekil 9'da sunulmaktadır. Bu şekilden, duvar kalınlığındaki değişime bağlı olarak yatay yerdeğiştirmelerin en büyük değerlerindeki farklılıklar gözlemlenebilir. Örneğin; S2 zemin sistemi için rijit duvarda 0.0052 m olarak hesaplanan yerdeğiştirme değeri, esnek duvarda yaklaşık %75 oranında artarak 0.0091 m olarak hesaplanmaktadır. Benzer karşılaştırma Şekil 9'dan S4 zemin sistemi için de yapılabilir.

Duvar esnekliğinin dinamik davranış üzerindeki etkileri duvar kritik kesitlerinde meydana gelen gerilmeler üzerinden de değerlendirilebilir. Bir örnek olması amacıyla, S2 ve S4 zemin koşullarında esnek ve rijit duvar arka yüzlerinde z doğrultusundaki gerilmelerin zamanla değişimleri Şekil 10'da gösterilmektedir. Grafiklerden duvar rijitliğinin değişimine bağlı olarak gerilmelerin önemli derecede değişebildiği ve duvar rijitliğinin azalmasıyla z doğrultusundaki gerilmelerin arttığı söylenebilir. Örneğin; S4 zemin sistemi için rijit duvarda basınç olarak 7.5214 MPa olarak belirlenen değer, esnek duvar için yaklaşık %100 oranında bir artışla yine basınç olarak 15.0062 MPa düzeyinde hesaplanmaktadır.

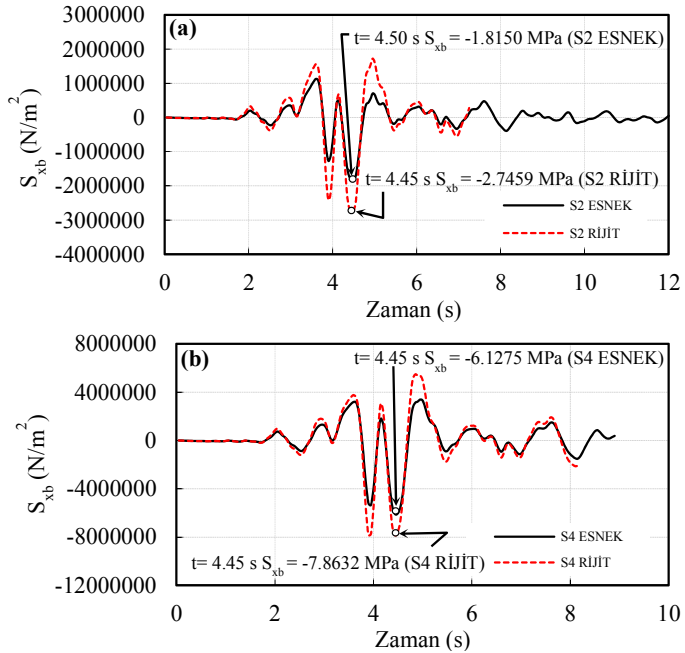


Şekil 9. a) S2 b) S4 zemin sistemleri için esnek ve rijit duvarların yatay yerdeğışirmelerinin zamanla değıışimleri

Şekil 11’de esnek ve rijit duvar sistemleri için duvar arka yüzlerinde x doğrultusundaki gerilmelerin zamanla değıışimleri verilmektedir. Söz konusu şekilden, duvar kalınlığının değıışimiyle x doğrultusundaki gerilmelerin önemli mertebelerde değıışebileceğı ve genel olarak duvar rijitliğinin azalmasıyla gerilmelerin azalma eğiliminde olduğı görülebilir. Örneğın; S2 zemin sistemi için rijit duvarda basınç olarak 2.7459 MPa olarak hesaplanan gerilme, esnek duvar için yaklaşık %34 oranında bir azalışla yine basınç olarak 1.8150 MPa mertebesinde hesaplanmaktadır. Tüm bu farklılıklar, temel/zemin etkileşimine ek olarak, duvar esnekliğinin de istinat duvarlarının dinamik tasarımında dikkate alınması gereken önemli bir parametre olduğuna işaret etmektedir.



Şekil 10. a) S2 b) S4 zemin sistemleri için esnek ve rijit duvarların arka yüzünde z doğrultusundaki gerilmelerin zamanla değişimleri



Şekil 11. a) S2 b) S4 zemin sistemleri için istinat duvarlarının arka yüzünde x doğrultusundaki gerilmelerin zamanla değişimleri

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, zemin-yapı etkileşimi ve duvar esnekliği dikkate alınarak dolgu-konsol istinat duvarı-temel/zemin etkileşim sistemi için önerilen üç boyutlu sonlu eleman modelleri vasıtasıyla dinamik çözümler gerçekleştirilmiştir. Beş farklı temel zemin sistemi ve iki farklı duvar kalınlığı göz önüne alınarak duvar yatay yerdeğiştirmeleri ile duvar ön ve arka yüzlerinde kritik kesitlerde belirlenen gerilmeler değerlendirilmiştir.

Burada incelenen yapı sistemleri için zemin-yapı etkileşiminin ve duvar kalınlığının, duvar sismik davranışı üzerinde etkin parametreler olduğu söylenebilir. Bu nedenle uygulamanın gerçekleştirileceği her saha için aynı tip projelerin uygulanması sorunlar doğurabilir.

Konsol istinat duvarı rijitliği ve temel zemini rijitliği azaldıkça duvar yatay yerdeğiştirmelerinin arttığı gözlenmiştir. Burada, etkileşim nedeniyle izin verilebilir sınırların ötesinde yerdeğiştirmelerin oluşabileceği ve bu yerdeğiştirmelerin çok büyük olması durumunda, iç kuvvetler küçük mertebelerde olsa dahi, duvarın stabilitesini kaybedebileceği söylenebilir. Bu durumda, inşa edilecek duvarın yerdeğiştirme sınırlarının belirlenmesi ve analizlerin plastik denge mekanizmasına ek olarak yerdeğiştirmeye dayalı olarak da yapılması gerekebilmektedir. Ayrıca incelenen farklı temel zemini sistemleri ve duvar kalınlıkları için elde edilen gerilmeler davranış açısından benzer karakter sergilemekte, ancak şiddetlerinde önemli farklılıklar bulunmaktadır.

Depremden kaynaklanan etkilerin hasarsız ya da az hasarla bertaraf edilme çalışmalarında ilk aşama inşaatın gerçekleştirileceği sahanın deprem tehlikesi bakımından değerlendirilmesi, ikinci aşama ise yapıların bu saha verilerinin gerektirdiği biçimde depreme dayanıklı bir şekilde tasarlanması ve inşa edilmesidir. Burada incelenen zemin-yapı sistemi için zemin parametrelerinin sonuçlar üzerinde oldukça etkili olabileceği görülmüştür. Bu durum, emniyetli bir tasarım için, saha araştırmalarının yeteri kadar detaylı, mümkün olduğunca doğru ve güvenilir olmasını gerektirmektedir.

Elde edilen sonuçlar, bu çalışma kapsamında incelenen sistem ve dikkate alınan deprem kaydı için geçerlidir. Bu bakımdan sonuçların genelleştirilebilmesi için parametrik çalışmaların ve uygulama alanının daha da genişletilmesi gerekmektedir.

REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] U. Akyüz. *Alternatif Tasarım Yöntemi: Sismik Temel İzolasyonu*. Erdem Canbay, Uğur Ersoy, Güney Özcebe, Haluk Sucuoğlu, S. Tanvir Wasti (Edt.), Binalar için Deprem Mühendisliği Temel İlkeler. (s. 337-364). Ankara, Türkiye, 2008.
- [2] H.N. Nazarian, A.H. Hadjian. Earthquake-induced lateral soil pressures on structures. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 105: 1049-1066, 1979.
- [3] A.S. Veletsos, A.H. Younan. Dynamic soil pressures on rigid vertical walls. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 23: 275-301, 1994.
- [4] D.D. Theodorakopoulos, A.P. Chassiakos, D.E. Beskos. Dynamic pressures on rigid cantilever walls retaining poroelastic soil media. Part I. First method of solution. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 21: 315-338, 2001.
- [5] G. Gazetas, P.N. Psarropoulos, I. Anastasopoulos, N. Gerolymos. Seismic behaviour of flexible retaining systems subjected to short-duration moderately strong excitation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24: 537-550, 2004.
- [6] P.N. Psarropoulos, G. Klonaris, G. Gazetas. Seismic earth pressures on rigid and flexible retaining walls. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 25: 795-809, 2005.
- [7] S.P.G. Madabhushi, X. Zeng. Simulating seismic response of cantilever retaining walls. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*, 133: 539-549, 2007.

- [8] C. Giarelis, G. Mylonakis. Interpretation of dynamic retaining wall model tests in light of elastic and plastic solutions, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31: 16-24, 2011.
- [9] P. Kloukinas, A. Penna, A.S. di Santolo, S. Bhattacharya, M. Dietz, L. Dihoru, A. Evangelista, A.L. Simonelli, C. Taylor, G. Mylonakis. Experimental investigation of dynamic behavior of cantilever retaining walls, *Second International Conference on Performance-Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering*, (Taormina, May 2012), paper no. 13.08.
- [10] T. Çakır. Evaluation of the effect of earthquake frequency content on seismic behavior of cantilever retaining wall including soil-structure interaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 45: 96-111, 2013.
- [11] T. Çakır. Influence of wall flexibility on dynamic response of cantilever retaining walls. *Structural Engineering and Mechanics*, 49: 1-22, 2014.
- [12] Q. Liu, Y. Tian, F. Deng. Dynamic analysis of flexible cantilever wall retaining elastic soil by a modified Vlasov–Leontiev model. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 63: 217-225, 2014.
- [13] P. Wilson, A. Elgamal. Shake table lateral earth pressure testing with dense c- \square backfill. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 71: 13-26, 2015.
- [14] S.Y. Xu, A. Shamsabadi, E. Taciroglu. Evaluation of active and passive seismic earth pressures considering internal friction and cohesion. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 70: 30-47, 2015.
- [15] Y.L. Lin, W.M. Leng, G.L. Yang, L.H. Zhao, L. Li, J.S. Yang. Seismic active earth pressure of cohesive-frictional soil on retaining wall based on a slice analysis method. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 70: 133-147, 2015.
- [16] N. Mononobe, H. Matsuo. On the determination of earth pressures during earthquakes, in: *Proceedings of World Engineering Congress*, 1929, 9, pp.179-187, Japan.
- [17] S. Okabe. General theory of earth pressure and seismic stability of retaining wall and dam. *Journal of Japanese Society of Civil Engineering*, 10:1277-1323, 1924.
- [18] J. Lysmer, R.L. Kuhlemeyer. Finite dynamic model for infinite media. *Engineering Mechanics Division Journal*, ASCE, 95: 859-877, 1969.
- [19] P.A. Canonsburg. ANSYS 13.0, ANSYS Inc., 2010.

Biology Article
/
Biyoloji Makalesi