



## DOLGU-KONSOL İSTİNAT DUVARI-TEMEL/ZEMİN ETKİLEŞİM SİSTEMİNİN DİNAMİK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Tufan Çakır<sup>1</sup> ve Ramazan Livaoglu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gümüşhane Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 29000 Gümüşhane

<sup>2</sup>Uludağ Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 16059 Bursa

### ABSTRACT

Reinforced concrete cantilever retaining walls are widely used for various purposes in civil engineering applications. Determination of seismic behavior of them is extremely important since these structures, necessarily, are constructed in active earthquake zones. In structural analyses carried out under earthquake loads, although it is generally assumed that the structures have fixed supports, it is known that the interactions of retaining walls with backfill and foundation soils convert the earthquake behavior of these structures into a fairly complicated problem. The main aim of this study is to investigate the seismic response of a cantilever retaining wall subjected to backfill and subsoil interactions. In line with this purpose, first, the backfill-cantilever retaining wall-foundation/soil system was modeled with finite element method. Special interface elements were regulated to consider backfill interaction in modeling. Artificial viscous boundaries were utilized to consider radiational effect of seismic waves and to avoid reflection. Then, in order to reveal soil interaction effects on wall response, a series of transient analysis were performed considering five different soil conditions. Newmark's direct integration method was used in the analyses. The obtained results indicate that the dynamic response of cantilever retaining walls may change remarkably due to the soil interactions.

**Keywords:** Cantilever retaining wall, Soil-structure interaction, Seismic behaviour

### ÖZET

Betonarme konsol istinat duvarları çok farklı amaçlarla birçok inşaat mühendisliği uygulamasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yapıların zorunlu olarak aktif deprem bölgelerinde de inşa edilmelerinden dolayı deprem davranışlarının belirlenmesi son derece önemlidir. Deprem yükleri etkisi altında gerçekleştirilen yapısal çözümlerinde yapıların genellikle zemine ankastre mesnetlendiği kabulü yapılmasına rağmen, istinat yapılarının dolgu ve temel zemini ile olan etkileşimlerinin bu yapıların deprem davranışlarını oldukça karmaşık bir probleme dönüştürdüğü bilinmektedir. Bu çalışmanın temel amacı, dolgu ve temel zemini etkileşimlerine maruz konsol bir istinat duvarının deprem davranışını incelemektir. Bu amaç doğrultusunda, öncelikle dolgu-konsol istinat duvarı-temel/zemin sistemi sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmiştir. Modellemelerde dolgu etkileşimini dikkate alabilmek için özel ara yüzey elemanları kullanılmıştır. Yayılmaya bağlı sönüm etkilerinin dikkate alınabilmesi ve yansıma etkilerinin önüne geçilebilmesi için viskoz sanal

sınırlar kullanılmıştır. Daha sonra, duvar davranışı üzerinde zemin etkileşim etkilerini ortaya koyabilmek amacıyla, beş farklı temel zemini koşulu dikkate alınarak deprem çözümlenmeleri gerçekleştirilmiştir. Çözümlenmelerde direkt integrasyon yöntemlerinden Newmark yaklaşımı kullanılmıştır. Çözümlenmelerden elde edilen sonuçlar, konsol istinat duvarlarının dinamik davranışının zemin etkileşimleri nedeniyle önemli mertebelerde değişebileceğini göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Konsol istinat duvarı, Zemin-yapı etkileşimi, Sismik davranış

## 1. GİRİŞ

Yapı-zemin etkileşim problemini çözmeye yönelik yapılan ilk çalışmalar 1904'de Lamb tarafından gerçekleştirilen çalışmalara kadar uzanmaktadır [1]. Bu çalışmadan yararlanarak Reissner 1936'da elastik, homojen, izotrop ve yarı sonsuz ortama oturan rijit dairesel bir temelin noktasal bir harmonik yük etkisi altındaki elastodinamik tepkisini incelemiştir [1]. Daha sonra 1970'lerin başlarından itibaren gerçekleştirilen çalışmalarda, yapı-zemin etkileşiminin konut, nükleer reaktör ve sıvı depoları gibi ağır ve rijit yapılar üzerinde ne kadar etkili olduğunun incelenmesi ile söz konusu etkileşimin yapı sistemlerinin davranışı üzerindeki etkileri ortaya koyulmaya başlanmıştır [2,3]. 1971 San Fernando depreminden sonra ise yapı-zemin etkileşimi nedeniyle önemli hasarların gözlemlenmiş olması bu alandaki çalışmaların daha da yoğunlaşmasına neden olmuştur. Kritik yapı sistemlerinden hareketle, yapı-zemin etkileşim mekanizmasının birçok yapı sistemi üzerindeki etkilerinin tecrübe edilmiş olması, geçmişte olduğu gibi günümüzde de halen geçerliliğini koruyan bir problem olarak karşımızda durmasını sağlamaktadır. Kaldı ki depreme maruz kalmış yapıların hasar dağılımları incelendiğinde, hasarlara neden olan en önemli etkenlerden birinin tekrarlı ve dinamik yük etkisinde kalmış zemin etkisinin olduğu görülmektedir [4].

Birçok özel mühendislik yapısında olduğu gibi istinat duvarlarının da deprem davranışlarının her yönüyle gerçekçi olarak belirlenebilmesi, etkileşim içerisinde bulunduğu zeminin özelliklerini gerçekçi bir şekilde ortaya koymaktan geçmektedir. Ancak, zeminin, karmaşık ve heterojen bir yapıya sahip olması ve yapı-zemin etkileşim mekanizmasının birçok parametreye bağlı olarak yüklemeye ve sistem frekansına göre değişkenlik gösteriyor olması nedeniyle bu problemi net bir şekilde ortaya koymak oldukça zordur. Hâlbuki yapı sistemlerinin çözümlenmelerinde genel olarak yapının şekil değiştirmeyen rijit bir ortama oturduğu, diğer bir ifadeyle yapının, temel sistemi vasıtasıyla, zemine ankastre mesnetlendiği kabulleri yapılmakta ve yapı ile temel/zemin sistemi arasındaki etkileşim ihmal edilmektedir. Bu yaklaşım, kaya türü çok rijit zeminler dışındaki diğer zeminler (kil, kum, ayrılmış kayalar vb.) üzerine inşa edilen yapılarda, yapısal özelliklere bağlı olarak geçerliliğini yitirebilmektedir [5,6]. Deprem esnasında yapı ve zeminin farklı şekillerde hareket etmeleri, etkileşime neden olarak zeminin ve yapının davranışlarını birbirlerine bağımlı hale getirmektedir. En genel manada yapı ile zemin arasında meydana gelen etkileşim, yapının periyodunu artırmaktadır. Örneğin; 1985 Meksika depreminin özellikle yumuşak kil üzerine oturan 10-12 katlı yapılar üzerinde yıkıcı etkilere neden olduğu, bu yapıların ankastre olarak çözümünden elde edilen doğal titreşim periyotları 1 saniye civarında iken, yapı-zemin etkileşimi sebebiyle periyotların 2 saniyeye kadar uzadığı ve büyük kayıpların yaşandığı bilinmektedir [7]. Yine Adana-Ceyhan depreminde yapı-zemin etkileşiminin yapıların çökmesi üzerinde önemli rol oynadığı da tecrübe edilmiştir [8]. Bu bağlamda; yapı-zemin etkileşiminin ihmal edilmesi bazı durumlarda sonucu önemli mertebelerde etkilememesine karşın, özellikle büyük barajlar, çok katlı rijit yapılar, nükleer güç santralleri, su depoları ve

istinat duvarları gibi mühendislik yapılarının deprem davranışlarının belirlenmesinde dikkate alınması büyük önem arz etmektedir. Zira bu tür yapı sistemleri, günümüzde zorunlu olarak aktif deprem bölgelerinde de inşa edilmektedir. Söz konusu bu yapıların bazı durumlarda da çok değişik özelliklere sahip zeminler üzerine inşa edilmesi zorunluluğu, yapı ile zemin arasında dinamik karşılıklı etkileşim probleminin doğmasına neden olmakta ve yapı-zemin sisteminin dinamik özelliklerinin belirlenmesini gerekli kılmaktadır [9].

Çok farklı amaçlarla birçok inşaat mühendisliği uygulamasında yaygın olarak kullanılan istinat duvarlarının, statik yükler etkisi altında dahi yıkılabildiği ve ayrıca birçok istinat yapısının depremlerden dolayı kabul sınırlarının ötesinde hasar gördüğü gerek ülkemizdeki örneklerden gerekse de uluslararası gözlemlerden bilinmektedir. Bununla birlikte, doğrudan can ve mal kayıplarına neden olmasa da, istinat duvarlarının ağır hasar görmesi ya da yıkılması, dolaylı olarak deprem sonrası yürütülecek lojistik hizmetlerin sağlıklı bir biçimde sürdürülmesine engel olabilmektedir. Zira deprem sonrası istinat yapılarında oluşan önemli hasarlar, deprem bölgelerine müdahaleyi güçleştirmekte ve önüne geçilebilecekken can kayıplarının artmasına neden olabilmektedir. Benzer şekilde bir su deposunun yarı sonsuz zemin ortamı etkisindeki dış duvarının hasar görmesi ise telafisi kısa sürede mümkün olmayan sorunlar doğurmakta ve bu yolla da depremlerin etkisini hem çevresel olarak hem de alt yapıların hasar görmesi ile artırmaktadır. Tüm bu gerekçeler ışığında, bu tür yapıların deprem davranışlarının bilinmesinin ne denli dikkate değer bir husus olduğu aşikardır.

Teknik literatür incelendiğinde, istinat duvarlarının deprem davranışlarını belirlemeye yönelik pek çok çalışma gerçekleştirilmiş olmasına rağmen, bunların çoğu depremlerden doğan yanal zemin basınçlarının belirlenmesine yönelik olup; istinat duvarlarının dinamik davranışı üzerinde yapı-zemin etkileşim etkileri ile alakalı olan araştırmaların azlığı dikkat çekmektedir. İfade edilen bu araştırmaların başlıcaları Çakır [10] tarafından gerçekleştirilen çalışmada kronolojik olarak özetlenmiştir. Ayrıca istinat duvarlarına ilişkin yönetmelikler incelendiğinde ise, karmaşık zemin etkileşimlerinin nasıl dikkate alınacağını belirten özel bir yöntemin olmadığı, yapı-zemin etkileşim etkilerini tam anlamıyla dikkate alamamasına rağmen genellikle Mononobe-Okabe yöntemini esas alan sözde statik yaklaşımlarla sonuca gidildiği görülmektedir [11,12]. Benzer durum ülkemiz açısından irdelendiğinde ise yürürlükte olan Türk Deprem Yönetmeliği [13] esasen bina türü yapılar için geliştirilmiş olduğundan, istinat duvarları için söz konusu karmaşık etkileşimlerin dikkate alınmasına yönelik bir öneri içermemektedir. Bununla birlikte, TS 7994'de [14] ise sadece istinat yapılarına ilişkin statik olarak projelendirme esasları verilmektedir. Buradan hareketle, bu çalışmada, dolgu-konsol istinat duvarı-temel/zemin etkileşim sisteminin analizi için bir sonlu elemanlar modeli önermek, söz konusu sistemin deprem çözümlerini gerçekleştirmek suretiyle bu tür bir sistemin deprem davranışı hakkında fikir sahibi olabilmek ve tasarımcılara zemin etkileşiminin yapı davranışını nasıl değiştirebileceği hususunda bir bakış açısı sağlayabilmek amaçlanmaktadır.

## 2. YAPISAL ÖZELLİKLER VE ÖNERİLEN SONLU ELEMANLAR MODELİ

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 0.4 m sabit kalınlığa sahip bir konsol istinat duvarı bu çalışmaya konu olmuştur. Bu duvarın ön ampatman genişliği 1 m, arka ampatman genişliği 2.6 m'dir. Yarı sonsuz dolgu zemini ortamının davranışını doğru bir şekilde temsil edebilmek amacıyla, duvar yüzünden itibaren kritik uzaklık, literatürde önerildiği üzere duvar yüksekliğinin 10 katı olacak şekilde dikkate alınmıştır [15,16].

Çalışmaya konu olan dolgu-konsol istinat duvarı-temel/zemin sisteminin deprem davranışının incelenebilmesi 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 (solid) elemanlarla modellenmiştir. Dolgu-duvar etkileşimini modellemek için özel ara yüzey elemanı olarak doğrusal olmayan genelleştirilmiş kuvvet-deplasman kabiliyetine sahip tek doğrultulu eleman kullanılmıştır. Ayrıca yayılmaya bağlı sönüm etkilerinin dikkate alınabilmesi ve yansıma etkilerinin önüne geçilebilmesi için viskoz sanal sınırlar [17,18] kullanılarak, sönümleyiciler model sınırlarına kartezyen koordinat takımında her bir doğrultuda yayılma etkilerini temsil edecek şekilde yerleştirilmiştir. Buna ek olarak, zeminin malzeme bakımından doğrusal olmayan davranışı Drucker-Prager elastoplastik malzeme yaklaşımı ile dikkate alınmıştır. Tüm bu modellemelerin ve çözümlerinin gerçekleştirilebilmesi için ANSYS [19] programından faydalanılmıştır.

### 3. DİNAMİK ÇÖZÜMLEME

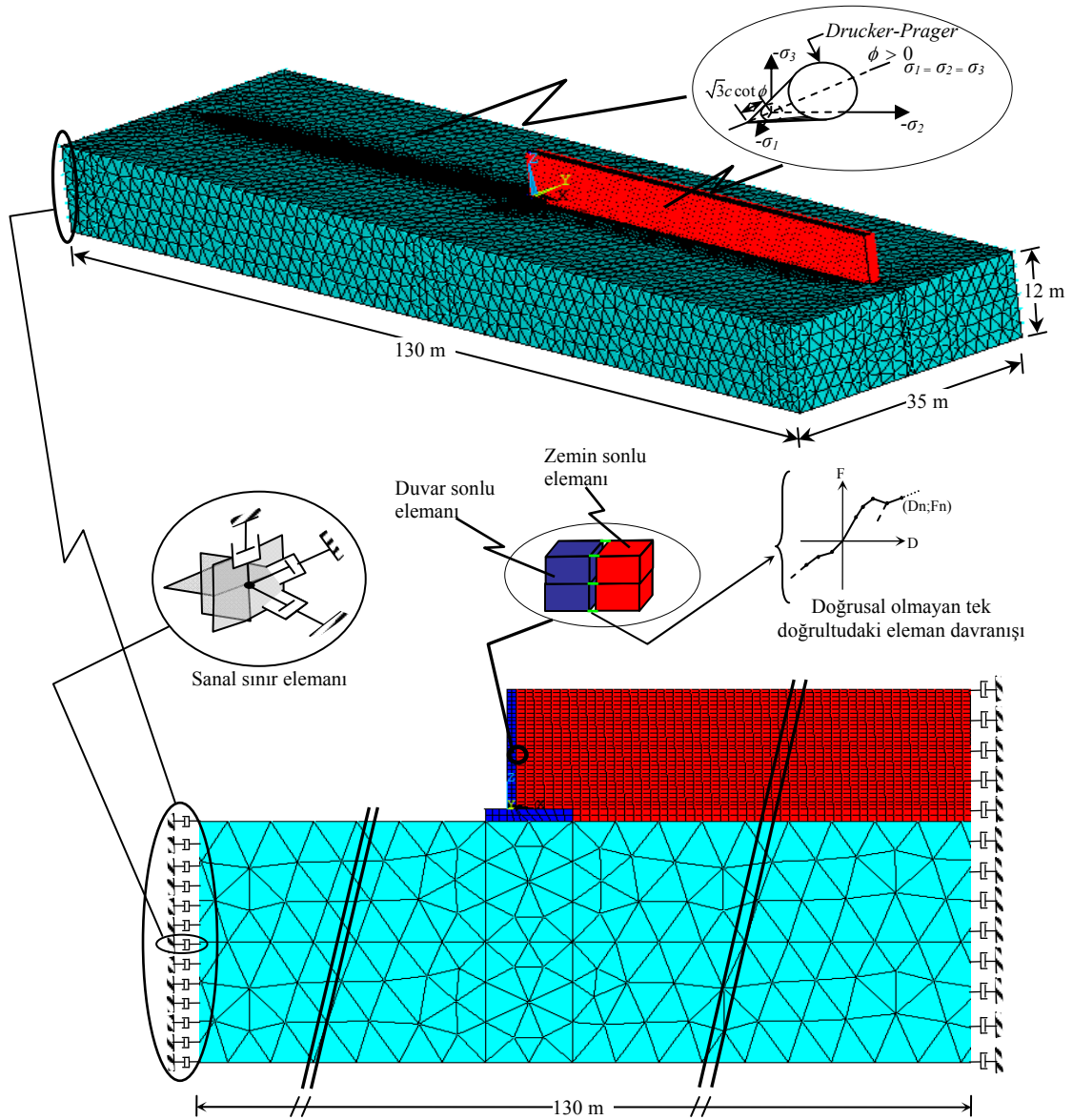
İnceleme konusu sistemin deprem davranışı önerilen sonlu elemanlar modeli vasıtasıyla araştırılmıştır. Çözümler zaman ortamında doğrudan integrasyon yöntemlerinden Newmark yaklaşımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çözümlerinde sistemin sönümü Rayleigh sönümü ile temsil edilmiştir. Yer hareketi olarak 1989 Loma Prieta depremi “CLS090” bileşeni dikkate alınmıştır (Şekil 2). Söz konusu deprem kaydı için en büyük yer ivmesi  $4.7 \text{ m/s}^2$  olarak kaydedilmiştir. Çözümlerinde istinat duvarına ait elastisite modülü 28000 MPa, Poisson oranı 0.20, birim hacim ağırlık  $25 \text{ kN/m}^3$ , kuru kohezyonsuz dolgu zeminine ait elastisite modülü 30 MPa, Poisson oranı 0.35, birim hacim ağırlık  $18 \text{ kN/m}^3$  olarak dikkate alınmıştır. Dinamik davranış üzerinde temel/zemin etkileşim etkilerini değerlendirebilmek amacıyla dikkate alınan temel zemini özellikleri de Tablo 1’de sunulmaktadır.

Tablo 1. Dikkate alınan temel zemini özellikleri

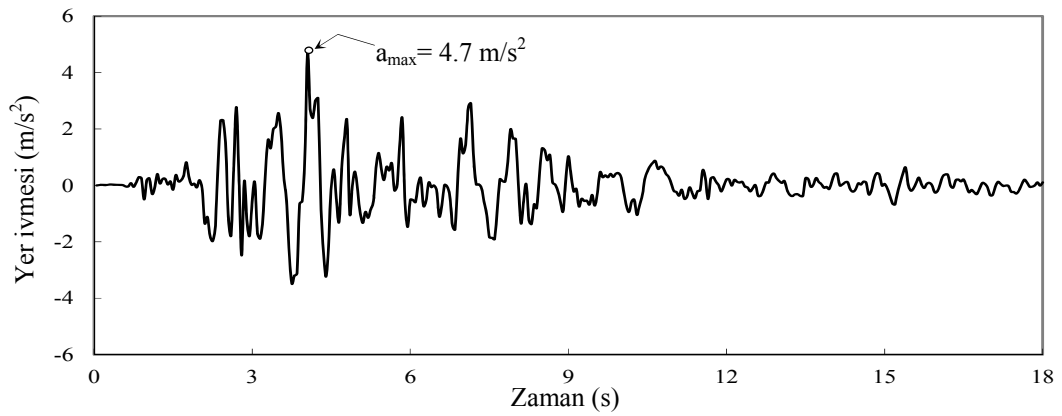
Zemin sistemi	E (kN/m <sup>2</sup> )	G (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	$v_s$ (m/s)	$v_p$ (m/s)
S1	2000000	769231	0.30	2000	620.17	1160.24
S2	500000	185185	0.35	1900	312.20	649.89
S3	150000	55556	0.35	1900	171.00	355.96
S4	75000	26786	0.40	1800	121.99	298.81
S5	35000	12500	0.40	1800	83.33	204.12

### 4. BULGULAR VE İRDELEME

Önerilen sonlu elemanlar modeli kullanılarak gerçekleştirilen beş farklı çözümlerden elde edilen en büyük yatay yerdeğiştirmeler ve gerilmeler ile bu tepkilerin gerçekleşme zamanları Tablo 2’de verilmektedir. Burada verilen yerdeğiştirmeler, yer seviyesine göre hesaplanan göreceli yerdeğiştirmeleri temsil etmektedir. Temel/zemin etkileşimine bağlı olarak elde edilen yatay yerdeğiştirme ve gerilme tepkilerinin şiddetlerinde önemli mertebelerde farklılıklar



Şekil 1. Dolgu-konsol istinat duvarı-temel/zemin etkileşim sistemi için önerilen sonlu elemanlar modeli



Şekil 2. 1989 Loma Prieta depremi CLS090 bileşeni [20]

olduğu, diğer bir ifadeyle yapı deprem davranışının değişebildiği Tablo 2’den açık bir şekilde görülmektedir. Bu değişimler grafikler halinde karşılaştırmalı olarak aşağıdaki alt başlıklarda sunulmaktadır.

Tablo 2. Dinamik çözümleme sonuçları

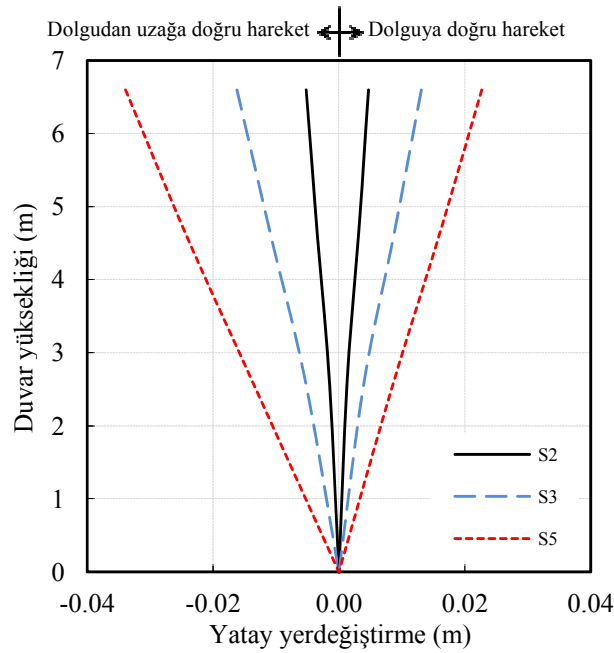
En büyük tepkiler	Zemin sistemi									
	S1		S2		S3		S4		S5	
	t (s)	Değer	t (s)	Değer	t (s)	Değer	t (s)	Değer	t (s)	Değer
$u_t$ (m)	3.95	-0.0007	3.95	-0.0052	4.00	-0.0162	4.00	-0.0254	4.05	-0.0339
$S_{zb}$ (MPa)	4.25	-0.4946	4.30	-3.4323	4.30	-9.0642	4.30	-11.8574	4.30	-10.8291
$S_{yb}$ (MPa)	4.25	-0.0633	4.30	-0.4420	4.30	-1.2165	4.30	-1.6345	4.30	-1.6131
$S_{xb}$ (MPa)	3.9	0.1416	4.30	-1.1992	4.30	-3.5679	4.30	-4.8757	4.30	-4.9747
$S_{zf}$ (MPa)	4.25	0.5030	4.30	3.4775	4.30	9.1685	4.30	11.9785	4.30	10.9129
$S_{yf}$ (MPa)	4.25	0.0456	4.25	0.2890	4.30	0.7443	4.30	0.9943	4.30	0.9607
$S_{xf}$ (MPa)	4.25	0.0800	4.25	0.3880	4.25	0.7147	4.30	0.8621	4.30	0.7000

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

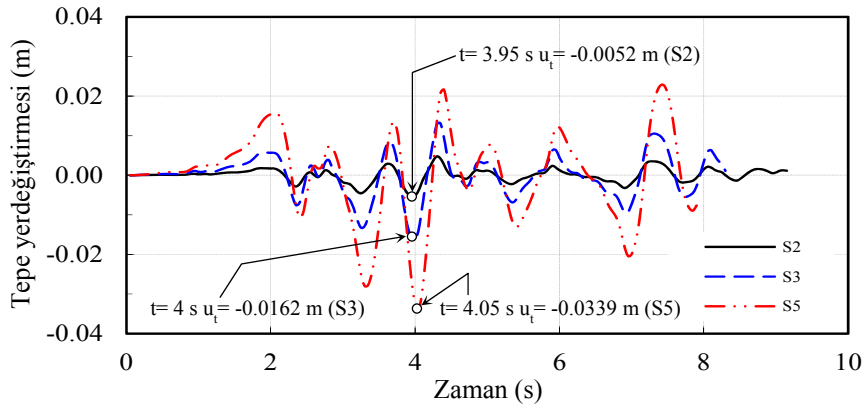
#### 4.1. Yerdeğiştirmeler

Gerçekleştirilen çözümlerden elde edilen yatay yerdeğiştirmelerin istinat duvarı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 3’de verilmektedir. Söz konusu şekilde yerdeğiştirmelerin negatif değerleri duvarın dolgudan uzağa doğru hareketini temsil ederken, pozitif değerleri dolguya doğru hareketi temsil etmektedir. Bu şekilden görülebileceği gibi; davranış şekli açısından önemli bir farklılık gözükmemekle birlikte, zemin rijitliğindeki azalmanın duvar yerdeğiştirmelerini artırdığı söylenebilir.

İncelemeye konu olan istinat duvarının tepe noktasının yatay yerdeğiştirmelerinin zamanla değişimleri üç farklı temel zemin koşulu için Şekil 4’de verilmektedir. Yapılan karşılaştırmalardan temel zemininin yapı deprem davranışı üzerindeki etkileri açık bir biçimde gözlemlenebilmektedir. Örneğin; S2 zemin sistemi için elde edilen en büyük tepe yerdeğiştirmesi 0.0052 m iken, söz konusu bu değer S3 zemin sistemi için %212 oranında bir artışla 0.0162 m, S5 zemin sistemi için ise S2 zemin sistemine göre %552 oranında bir artışla 0.0339 m düzeylerine çıkmaktadır. Bu karşılaştırmalardan istinat duvarının tepe noktasının ötelenmesinin sismik etkiler nedeniyle önemli mertebelerde artabildiği görülmektedir. Dolayısıyla bu tür yapıların yerdeğiştirmeye de duyarlı yapılar oldukları göz önüne alındığında zemin etkileşiminin tasarımda mutlaka dikkate alınması gerektiği söylenebilir. Ayrıca en büyük tepkilerin gerçekleşme zamanları incelendiğinde, tüm zemin sistemleri için kayda değer bir farklılığın olmadığı ve tüm tepkilerin 4 s civarında meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 3. Yatay yerdeğiştirmelerin istinat duvarı yüksekliği boyunca değişimleri



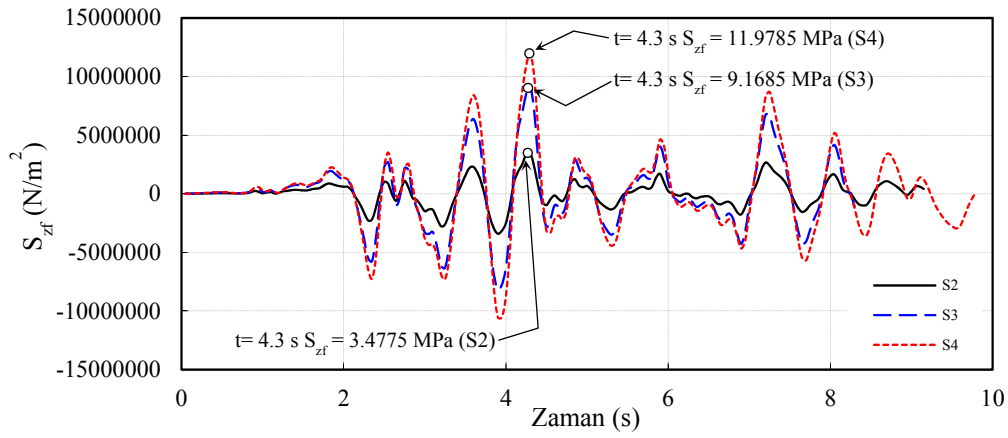
Şekil 4. İstinat duvarı tepe yerdeğiştirmelerinin zamanla değişimlerinin karşılaştırılması

#### 4.2. Gerilmeler

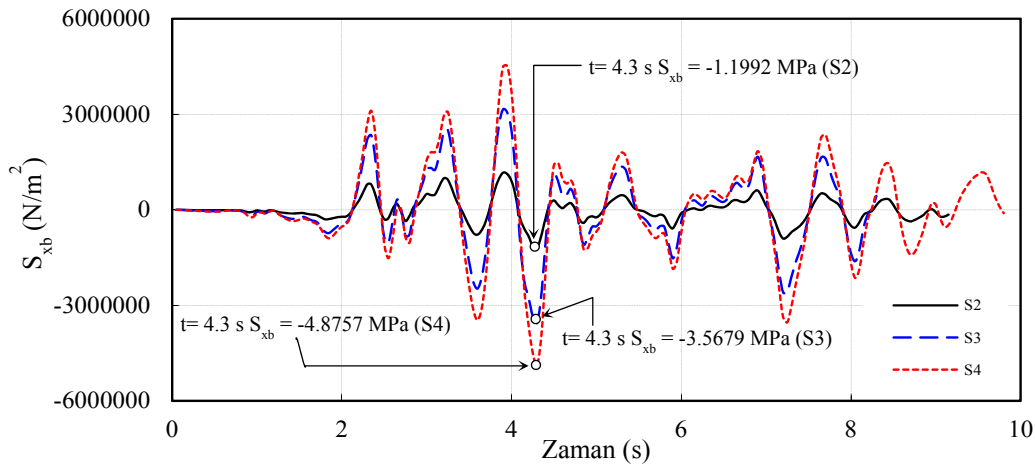
Gerçekleştirilen çözümler sonucunda; beş farklı temel zemini koşulu için, istinat duvarı ön ve arka yüzlerinde tespit edilmiş olan kritik kesitlerde oluşan gerilmeler değerlendirilerek bu kesitler için en büyük gerilme değerleri ve gerilmelerin zamanla değişimleri elde edilmiştir. Şekil 5’de istinat duvarı ön yüzünde  $z$  doğrultusundaki gerilmelerin zamanla değişimleri üç farklı zemin sistemi için karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Bu değişimlerden de görülebileceği gibi dikkate alınan zemin sistemleri için gerilmelerin şiddetlerinde önemli farklılıklar göze çarpmaktadır. Örneğin; S2 zemin sistemi en büyük gerilme 4.3 s’de çekme olarak 3.4775 MPa düzeyinde hesaplanırken, S4 zemin sistemi için yaklaşık %245 oranında bir artışla 4.3 s’de yine çekme olarak 11.9785 MPa mertebesinde gerçekleşmektedir. Burada vurgulanması gereken bir diğer husus da, elde edilen en büyük tepkiler bakımından gerilmelerin yön değiştirmedeği, gerilmelerin duvar ön yüzünde tümüyle çekme, arka yüzünde ise tümüyle basınç şeklinde oluştuğudur. Duvar ön ve arka yüzlerindeki gerilmeler şiddet bakımından karşılaştırıldığında ise, en büyük tepkilerin hemen hemen aynı mertebelerde

gerçekleştiği söylenebilir. Örneğin; S5 zemin sistemi için duvar arka yüzünde basınç olarak 10.8291 MPa olarak elde edilen tepki, ön yüzde çekme olarak 10.9129 MPa düzeyinde gerçekleşmektedir. Bu gözlemi Tablo 2'den diğer zemin sistemleri için de yapmak mümkündür.

$z$  doğrultusundaki gerilmelere benzer olarak  $x$  doğrultusundaki gerilmeler de karşılaştırılabilir. Şekil 6'da üç farklı zemin sistemi için istinat duvarı arka yüzünde  $x$  doğrultusundaki gerilmelerin zamanla değişimleri verilmektedir. Bu şekilden de zemin etkileşimine bağlı olarak tabandaki kesme etkisinin önemli ölçüde artabildiği görülmektedir. Örneğin; S2 zemin sistemi en büyük gerilme 4.3 s'de basınç olarak 1.1992 MPa seviyesinde hesaplanırken, S4 zemin sistemi için yaklaşık %307 oranında bir artışla 4.3 s'de yine basınç olarak 4.8757 MPa mertebesinde gerçekleşmektedir. Yapılan tüm bu değerlendirmeler bu çalışmada incelenen sistem için konsol istinat duvarının dinamik davranışı üzerinde yapı-zemin etkileşim etkilerini açık bir şekilde ortaya koymaktadır.



Şekil 5. İstinat duvarı ön yüzünde  $z$  doğrultusundaki gerilmelerin zamanla değişimlerinin karşılaştırılması



Şekil 6. İstinat duvarı arka yüzünde  $x$  doğrultusundaki gerilmelerin zamanla değişimlerinin karşılaştırılması



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada beş farklı temel zemini koşulu dikkate alınarak dolgu-konsol istinat duvarı-temel/zemin sisteminin zaman tanım alanında dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Zemin-yapı modelinin deprem etkisindeki davranışı, istinat duvarı tepe noktasının yerdeğiştirme değerleri ile ön ve arka yüzlerinde meydana gelen gerilmelerin maksimum değerlerine göre değerlendirilmiştir. İstinat duvarı yüksekliği boyunca yatay yerdeğiştirmelerin değişimleri, tepe noktasının yere göre rölatif yerdeğiştirmelerinin zamanla değişimleri ve oluşan gerilmelerin zamanla değişimleri grafikler halinde sunulmuştur.

Deprem etkisi altında gerçekleştirilen çözümlerden, duvara ait yerdeğiştirme ve gerilme tepkilerinin temel zemininin mekanik karakterinden oldukça etkilenebileceği ortaya konmuştur. Bu bağlamda, üzerine oturduğu zeminden bağımsız olarak, tip projelere göre inşa edilen istinat duvarlarının her yer için uygun olması mümkün değildir. Bu bakımdan yapının inşa edildiği zemine de uygun olacak şekilde özel istinat duvarları tasarlanmasının mühendislik açısından daha gerçekçi ve doğru bir çözüm olacağı ifade edilebilir.

Burada vurgulanması gereken önemli bir husus da, elde edilen bulguların bu çalışmaya konu olan istinat duvarı için ve dikkate alınan deprem kaydı için geçerli olduğudur. Bu bakımdan sonuçların genelleştirilebilmesi için uygulama alanının daha da genişletilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda farklı duvar tiplerine, duvar esnekliğine, deprem kayıtlarına ve dolgu zemini özelliklerine göre de çözümler gerçekleştirilmeye daha da genelleştirilebilmesine imkan tanıyacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] Filho, F.V., De Barros, F.C.P., Almeida, M.C.F. ve Ferreira, W.G., “Soil-Structure Interaction Analysis of NPP Containments: Substructure and Frequency Domain Methods”, Nuclear Engineering and Design, 174, 165-176, 1997.
- [2] Youssef, A., “Seismic Response of Inelastic Structures on Compliant Foundations”, PhD Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Northeastern University Boston, Massachusetts, 1998.
- [3] Halbritter, A.L., Krutzik, N.J., Boyadjiev, Z. ve Katona, T., “Dynamic Analysis of VVER Type Nuclear Power Plants Using Different Procedures for Consideration of Soil-Structure Interaction Effects”, Nuclear Engineering and Design, 182, 73-92, 1998.
- [4] Kramer, S.L., “Geotechnical Earthquake Engineering”, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1996.
- [5] Livaoğlu, R., “Ayaklı Depoların Sıvı-Yapı-Zemin Etkileşimleri Dikkate Alınarak Deprem Davranışlarının İncelenmesi”, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2005.
- [6] Çakır, T., “Zemin-Depo Dış Duvarı-Sıvı Sistemlerinin Deprem Davranışlarının İncelenmesi”, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2010.
- [7] Mylonakis, G. ve Gazetas, G., “Seismic Soil-Structure Interaction: Beneficial or Detrimental?”, Journal of Earthquake Engineering, 4, 277-301, 2000.
- [8] Çelebi, M., “Turkish Earthquakes: Two reports. Lessons from the Adana-Ceyhan Quake and Dinar aftershock”, EERI newsletter, 32 (9), 25-33, 1998.
- [9] Aydınoglu, M.N., “Üstyapı-Zemin Ortak Sisteminin Deprem Hesabı”, Doktora Tezi, İ.T.Ü., İnşaat Fakültesi, İstanbul, 1977.

- [10] Çakır, T., “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] IS 1893, “Indian Standard Criteria for Earthquake Resistant Design of Structures, Part 1, General Provisions and Buildings”, 2002.
- [12] EC-8, “Design of structures for earthquake resistance - part 5: Foundations, retaining structures and geotechnical aspects”, Final draft, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, December 2003.
- [13] DBYBHY, “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik”, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007.
- [14] T.S.E., “Zemin Dayanma Yapıları; Sınıflandırma, Özellikleri ve Projelendirme Esasları”, TS-7994, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1990.
- [15] Veletsos, A.S. ve Younan, A.H., “Dynamic Soil Pressures on Rigid Vertical Walls”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 23 (3), 275-301, 1994.
- [16] Psarropoulos, P.N., Klonaris, G. ve Gazetas, G., “Seismic Earth Pressures on Rigid and Flexible Retaining Walls”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 25, 795-809, 2005.
- [17] Lysmer, J. ve Kuhlemeyer, R.L., “Finite Dynamic Model for Infinite Media”, *ASCE Journal of the Engineering Mechanics Division*, 95, 859-877, 1969.
- [18] Kuhlemeyer, R.L. ve Lysmer, J., “Finite Element Method Accuracy for Wave Propagation Problems”, *ASCE Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division*, 99:421-427, 1973.
- [19] ANSYS, ANSYS Inc., Canonsburg, PA, 2006.
- [20] PEER, <http://peer.berkeley.edu/svbin/GeneralSearch>, 2013.