

İSTİNAT DUVARLARININ DİNAMİK YÜKLER ALTINDAKİ DAVRANIŞININ SONLU ELEMANLAR METODU KULLANILARAK MODELLENMESİ

Özgür Lütfi ERTUĞRUL
İnşaat Yük.Müh.
Araştırma Görevlisi
Ortadoğu Teknik
Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Ankara , Türkiye

Dr. Oğuz Çalışan
Çalışan Geoteknik
Hüseyin Rahmi Sok.
5/10, Çankaya,
Ankara,Türkiye

Prof. Dr. M. Yener ÖZKAN
Ortadoğu Teknik
Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Ankara, Türkiye

ÖZET

Sismik etkiler altında kalan istinat yapılarının, üzerlerinde oluşan dinamik yanal zemin basınçları sebebiyle hasar görmesi çok sık olarak gözlenen bir problemdir. Bu hasarlar genellikle istinat duvarlarının yanal olarak ötelenmesi, temellerinin dönmesi, yapısal elemanların kalıcı olarak hasar görmesi ve kullanılamaz hale gelmesi, arka dolgu malzemesinde oluşan zemin yerleşmesi ve buna bağlı olarak desteklenen yapılarda oluşabilen ikincil hasarlar olarak sınıflandırılabilir.

İstinat duvarlarının deprem yükleri altındaki davranışları, sonlu elemanlar metodu ile incelenebilmektedir. Ancak elde edilen sonuçların gerçekçiliğinin irdelenmesi için sonlu elemanlar metodu ile yapılan tahminlerin model deneylerle karşılaştırılması gereklidir. Bu amaçla ağırlık tipi istinat duvarlarının dinamik davranışlarının modellenmesi ile ilgili örnek bir sonlu elemanlar analizi çalışması Plaxis Dinamik programı kullanılarak yapılmış ve sonuçları ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda bulunan sarsma tablası sistemi kullanılarak Çalışan tarafından gerçekleştirilen bir fiziksel modelleme çalışması ile karşılaştırılmıştır. Bunun yanına Yunatçı tarafından 2003 yılında, yanal olarak desteklenmiş ve dolgu malzemesi olarak kuru kum kullanılmış istinat duvarlarının sismik davranışlarını incelemek amacıyla gene ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda bulunan sarsma tablası sistemi ile 1-g deneyleri yapılmıştır. Çalışmamızda, bu deney sonuçlarından da faydalanılarak, dinamik sonlu elemanlar metodu ile elde edilecek tahminlerin gerçekliği sorgulanmaktadır.

GİRİŞ

Sismik etkiler altında kalan istinat yapılarının, üzerlerinde oluşan dinamik yanal zemin basınçları sebebiyle hasar görmesi çok sık olarak gözlenen bir problemdir. 1995 Kobe Japonya depremi, 1999 Chi-Chi Tayvan depremi ve 1999 Kocaeli Depremi gibi son yıllarda meydana gelmiş büyük depremlerde pek çok istinat yapısının zarar gördüğü gözlenmiştir. Bu hasarlar genellikle istinat duvarlarının yanal olarak ötelenmesi, temellerinin dönmesi, yapısal elemanların kalıcı olarak hasar görmesi ve kullanılamaz hale gelmesi, arka dolgu malzemesinde oluşan zemin oturmaları ve buna bağlı olarak desteklenen yapılarda oluşabilen ikincil hasarlar olarak sınıflandırılabilir.

Geçtiğimiz yüzyıldaki depremlerin istinat yapıları üzerinde yarattığı hasarlara baktığımızda, çeşitlilik bulunmakla birlikte, sınırlı verilerle bile hasarların belli bir düzen çerçevesinde oluştuğunu gözlemleyebiliriz. Başka bir deyişle, su seviyesinden yüksek olan kuru ortamlarda oluşan hasarların sebepleri ve mekanizması daha kolay belirlenmekle birlikte; su seviyesi altında olan ve büyük oranda liman, rıhtım gibi yapılar bünyesinde bulunan istinat yapılarında görülen deprem hasarlarının analizi boşluk suyu faktörüyle daha da karmaşık bir hale gelmektedir.

KONU İLE İLGİLİ GÜNCEL GELİŞMELER

Konuyla ilgili olarak Nazarian ve Hadjan, 1979 yılına kadar önerilen ve kullanılan metodların ayrıntılı bir özetini yapmıştır [1]. Richards ve Elms ise, performansla ilgili istinat duvarı tasarımı ile ilgili bir öneri getirerek bu probleme yeni bir bakış açısı sağlamıştır [2].

İstinat yapıları üzerinde oluşan dinamik zemin basınçları bazı basit kabuller kullanılarak Mononobe-Okabe yöntemiyle hesaplanabilmektedir [3,4,5]. İlgi çekicidir ki, deprem etkisine maruz kalan aktif veya pasif zemin kamasına, kamanın ağırlığıyla orantılı yatay ve düşey “pseudo-statik” kuvvetlerin etki etmesinden ibaret olan bu basit yöntem ve türevleri günümüzde birçok ülkenin deprem şartnamesinde yer almaktadır. Mononobe-Okabe yöntemi, gerek diğer analitik yöntemlerle, gerekse sarsma tablası

deneyleriyle yapılan çalışmalarda bir karşılaştırma unsuru olarak kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemde dalga yayılım etkileri ve zemin-yapı etkileşimi ihmal edilmektedir. Bu metodun uzantıları daha sonraki yıllarda farklı araştırmacılar tarafından önerilmiştir. Steedman ve Zeng, sismik hareketin zeminin derinliği boyunca hareket ederken büyümesini de dikkate alarak analitik bir çözüm geliştirmiş ve bunu sentrifüj deneyleriyle doğrulamaya çalışmıştır [6,7].

Roscoe, yerçekimi etkisi altında incelenen küçük ölçekli modellerde, özellikle zeminler gibi davranışı çevre gerilimine bağlı malzemelerde, prototip davranışa yakın sonuçlar elde edilemeyeceğini bildirmiştir [8]. Bu sebeple, sarsma tablası kullanılarak yapılan analizlerde modellerin büyük olması, yapılan çalışmaların gerçekçiliğini arttırmaktadır. Son zamanlarda sıklıkla kullanılmaya başlanan sentrifüj cihazlarıyla yerçekimi ivmesi koşulları değiştirilebilmekte ve daha küçük modeller hazırlanarak test edilebilmektedir. Sıvılaşma ve yapı zemin etkileşimi modellemelerinde faydalanılmakta olan sentrifüj sistemleriyle yapılan simülasyonlarda boyutsal analiz adı verilen bir metot uygulanmaktadır. Bu teknik, daha çok akışkanlar dinamiğinde faydalanılmakta olan Buckingham Pi teoremi üzerine temellendirilmektedir [9]. Prototiple, küçültülmüş model arasında çeşitli parametrelerin ilişkilendirilmesi bu metotla sağlanabilmektedir.

İkinci bir metot olarak uygulanmakta olan dinamik analiz yönteminde ise istinat duvarlarının deprem yükleri altındaki davranışları, sonlu elemanlar veya sonlu farklar metotları ile incelenebilmektedir [10,11,12,13,14]. İstinat duvarlarının sismik performansı, özellikle destekledikleri ve üzerinde bulundukları zeminlerin özelliklerine bağlı olarak değişiklikler göstermektedir. Bu sebeple zemini oluşturan malzemelerin davranışlarının, lineer olmayan bağıntılarla modellenmesini sağlayan Cam-Clay ve benzeri gelişmiş modeller, sonlu elemanlar metodu ile birleştirilerek, verimli bir şekilde kullanılabilir. Clough ve Duncan, sonlu elemanlar metodunun, istinat duvarları üzerinde oluşan dinamik yanal zemin basınçlarının ve deplasmanların tahmininde son derece pratik bir şekilde kullanılabileceğini belirtmiştir [15]. Nadim ve Whitman, ağırlık tipi istinat duvarlarının davranışlarını incelemek amacıyla, sonlu elemanlar metoduna başvurmuş ve sonuçların analitik metotlarla olan uyumunu inceleyerek

Mononobe- Okabe teorisinin pek çok durumda sonlu elemanlar metodu analizleriyle elde edilen sonuçlarla örtüştüğünü gözlemlemişlerdir [11].

Wood, çeşitli istinat duvarı sistemlerini, iki boyutlu lineer sonlu elemanlar metodunu kullanarak incelemiş ve sonuçlarını analitik çözümlerle karşılaştırarak son derece tutarlı olduğunu görmüştür [16]. Aggoour ve Brown, duvar rijitliği, zemin modülü ve dolgu yüksekliğinin, zemin dinamik yanal basınçları üzerindeki etkilerini incelemiştir [17]. Altı metre yüksekliğindeki dolguyu destekleyen bir betonarme istinat duvarının farklı kalınlıklar için dinamik analizleri yapılmıştır. 0.4 m, 0.6 m ve 1.2 m kalınlığındaki duvarlar çalışılmıştır. 0.1g genliğindeki basit harmonik hareket, duvar tabanına koşullandırılmış ivme-zaman sınır koşulu olarak uygulanarak, yer hareketi simüle edilmiştir.

Fakat bu tekniklerin başarısı, zeminlerin ne denli gerçekçi modellendiğiyle orantılıdır. Kramer'e göre, en gerçekçi yöntem zemin davranışının lineer olmayan, yapısal elemanların ise lineer matematiksel ilişkilerle temsil edilmesidir. Ancak yapı ve zemin elemanlarının temas edecekleri noktalarda özel temas elemanları kullanılmalıdır [18].

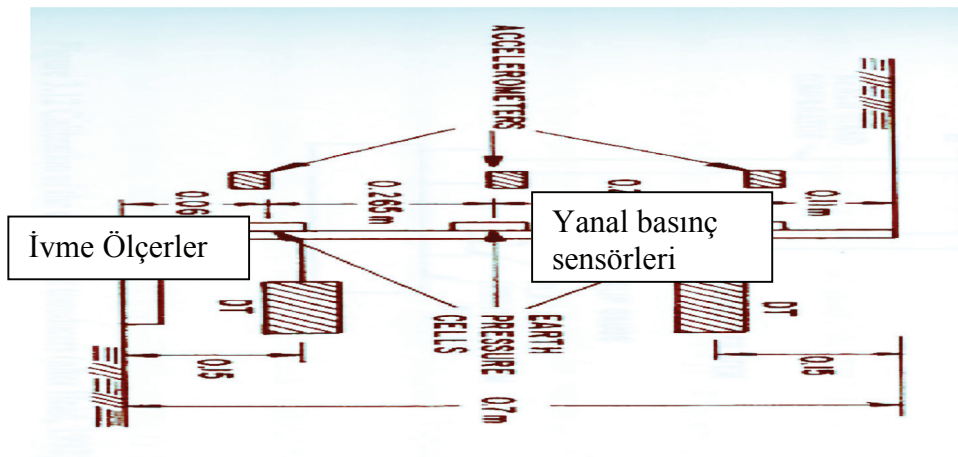
ÇALISMANIN AMACI

Sonlu elemanlar tekniği ile elde edilen sonuçların gerçekçiliğinin irdelenmesi için elde edilen sonuçların, model deneylerle elde edilen verilerle karşılaştırılması amaçlanmaktadır. İstinat duvarlarının dinamik davranışlarının modellenmesi ile ilgili bir sonlu elemanlar analizi çalışması Plaxis Dinamik programı kullanılarak yapılmıştır. Bu analizlerin sonuçları, ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda, Çalışan ve Yunatçı tarafından farklı duvar tipleri için yapılan 1-g model deneylerinin verileri ile karşılaştırılmıştır [19,20,21]. Çalışmamızda, bu deney sonuçlarından da faydalanılarak, dinamik sonlu elemanlar metodu ile elde edilecek tahminlerin gerçekçiliği sorgulanmaktadır.

DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONLU ELEMANLAR METODU İLE MODELLENMESİ VE KARŞILAŞTIRILMASI

1. Çalışan (1999) Modelinin Sonlu Elemanlar Metodu Kullanılarak İncelenmesi

Çalışan (1999), ağırlık duvarlarının deprem yükleri altındaki davranışını incelemek için 99 cm genişliğinde ve 70 cm yüksekliğinde bir modeli sarsma kutusu içine aynı yükseklikte kuru kumu destekleyecek şekilde yerleştirmiştir. Modelin geometrisi ve sensörlerin pozisyonları şekil 1’te verilmektedir.

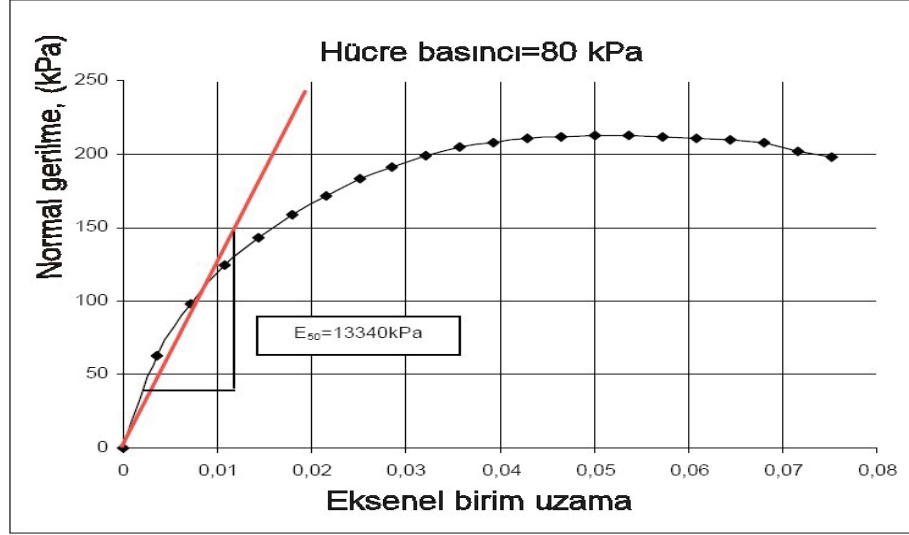


Şekil 1. Deney düzeneğinin geometrik özellikleri (Çalışan, 1999)

Deneyde yaklaşık % 61 relatif sıklıkta ve ortalama birim ağırlığı 16.9 kN/m^3 olan kuru kum kullanılmıştır. Bu kum üzerinde gerçekleştirilen üç eksenli deney sonuçlarından şekil 2’de gösterildiği şekilde sekant elastik modül (E_{50}) bulunmuştur.

Plaxis programı kullanılarak şekil 1’de gösterilen deney düzeneğinin kesiti iki boyutlu olarak modellenmiş ve zemin davranışı, Schanz tarafından önerilen lineer olmayan model kullanılarak ifade edilirken, yapısal elemanların lineer elastik davrandığı kabul edilmiştir. Bu modellerde kullanılan özellikler tablo 1 ve 2’de

verilmiştir. Deneyde kullanılan model duvarın ağırlığı 215 kg olup, sonlu elemanlar analizlerinde bu ağırlık göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 2. E₅₀ Tayini

Tablo 1. Yapısal Model Parametreleri

Parametre	Değer
E (Young Modülü)	190 GPa
Duvar Kalınlığı	0.01 m
EI	1583 KN.m ² /m
EA	1,900E+06 kN/m

Zeminin içsel sürtünme açısı, üç eksenli test sonuçları dikkate alınarak 45⁰ olarak alınmış ve dilatasyon açısı Plaxis kullanım kılavuzunda önerildiği üzere içsel sürtünme açısından 30 düşülerek elde edilmiştir. Deneyin yapıldığı sarsma kutusu 2 mm kalınlığında rijit çelik bir kutudur. Bu yapının sonlu elemanlar modellemesi de aynı kalınlıktaki çelik kesitlerin yapısal özellikleri girilmek suretiyle sağlanmıştır. Sarsma kutusu duvarlarını rijit davranış sergilemekte olması, bu yüzeylerin sonlu elemanlar ile

modellenmesinde emici sınır koşullarının kullanılmasını gereksiz kılmıştır. Çünkü kutu içerisinde hareket eden dalgalar, sarsma kutusunun duvarlarına çarparak geri dönecek ve duvarın davranışına etkide bulunacaktır. Dinamik sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan zaman aralığı, eleman boyutlarına bağlı olup kritik değerlerin üzerine çıkmamaktadır.

Tablo 2. Schanz zemin modeli parametreleri

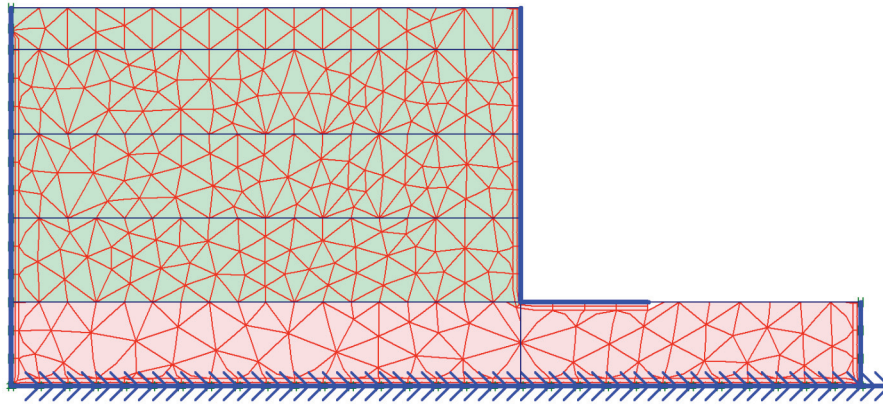
Parametre	Değer
E_{50}^{ref}	14900 kPa
p^{ref}	100 kPa
ϕ_{kum}	45^0
Ψ	15^0
E_{ur}^{ref}	44700 kPa
ν_{ur}	0,2
R_f (yenilme oranı)	0,9

Plaxis programı kullanılarak, zeminde oluşan geostatik denge durumu bir plastik statik analiz gerçekleştirilerek elde edilmiş ve buna müteakip olarak dinamik yükleme aşamasına geçilmiştir. Bu analiz aşamasında, deneyde oluşturulan harmonik sinüs hareketi aynen türetilmiş ve modelin tabanına uygulanmıştır. Toplam 30 saniyelik bir süre zarfında uygulanan hareketin parametreleri tablo 3' de gösterilmektedir.

Tablo 3. Kullanılan Hareketin Özellikleri (Çalışan, 1999).

Test grubu	Duvar kütlesi(kg)	Uygulanan harmonik sinüs hareketinin özellikleri			
		Yer değiştirme genliği (mm)	frekans (Hz)	Maksimum hız (m/s)	Maksimum ivme(*g)
3.1	215.49	2.2	3.03	0.04	0.08
3.2	215.49	2.2	3.23	0.05	0.09
3.3	215.49	2.2	3.75	0.05	0.13
3.4	215.49	2.2	4.6	0.06	0.19

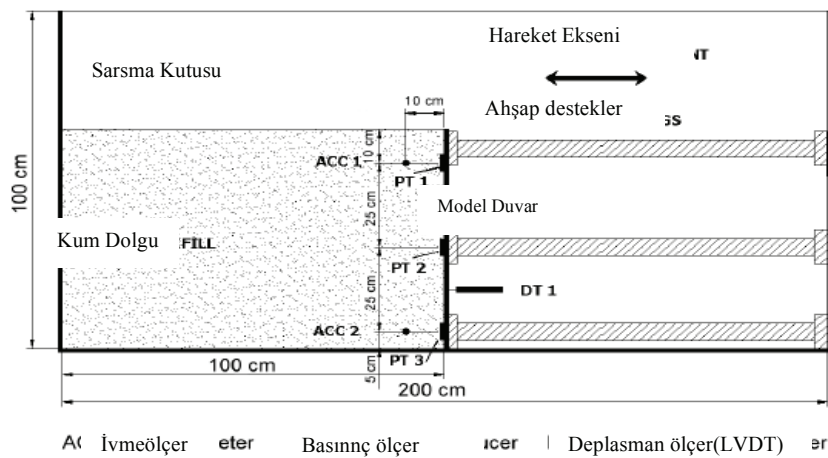
Deneyde üç adet farklı ağırlıktaki model incelenmiştir ancak sonlu elemanlarla modelleme çalışmasında sadece 215 kg ağırlığındaki bir duvarın davranışı simüle edilmiştir. Deneydeki ağırlık duvarının sonlu elemanlar modeli Şekil 3’de gösterilmektedir.



Şekil 3 Ağırlık duvarının sonlu elemanlar modeli ve uygulanan hareketin etki noktaları

2. Yunatçı (2003) Modelinin Sonlu Elemanlar Metodu Kullanılarak İncelenmesi

Yunatçı, deneysel çalışmasında yanal destekli palplanş duvar modelini incelemek üzere bir grup 1-g test gerçekleştirmiştir. Bu testlerde 1999 yılında Çalışan tarafından yapılan sarsma kutusu kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan kuru kum dolgu, istinat duvarları için gerçekleştirilen çalışmadaki malzeme ile aynı olup, sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizlerde tablo 2’deki parametreler kullanılmış ve zemin Schanz davranış modeli ile temsil edilmiştir. Kullanılan model duvar, 3mm et kalınlıklı pürüzsüz çelik malzemedен imal edilmiş olup 65 cm yüksekliğinde ve 99 cm genişliğindedir. Modelin şematik gösterimi şekil 4’de verilmektedir. Tablo 4’te ise, kutuya uygulanmış olan harmonik sinüs hareketinin özellikleri gösterilmiştir.



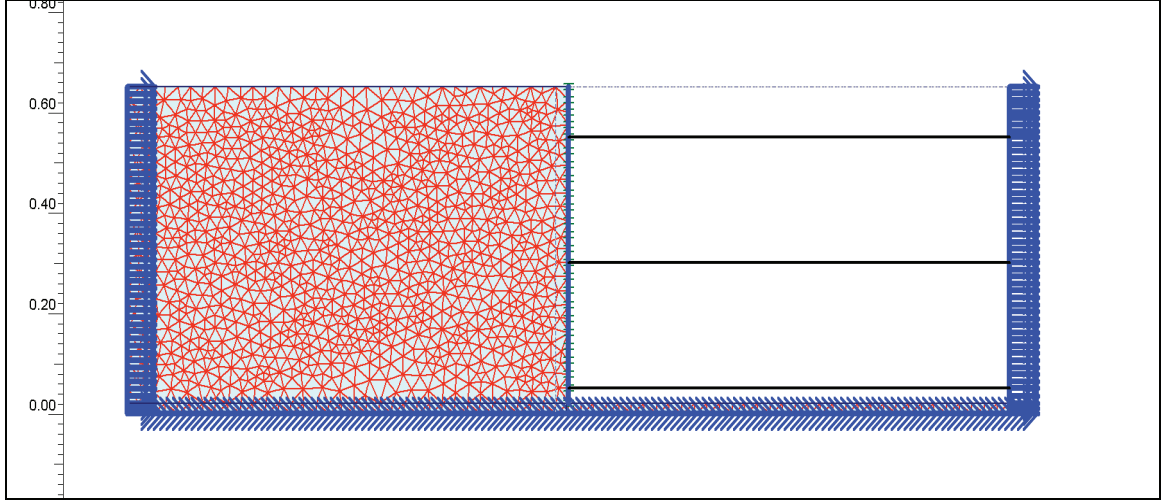
Şekil 4. Deney düzeneğinin geometrik özellikleri (Yunatçı , 2003).

Şekil 4’de de gösterildiği gibi, deneylerde, üç adet basınç sensörü duvar üst noktasının 10 cm altına, duvar yüksekliğinin tam ortasına ve duvar alt noktasından 5cm. yukarıda olacak şekilde, iki adet ivme sensörü ise dolgu kum içerisine birisi duvar tabanında, diğeri de kum dolgunun yüzeyinin hemen altında olacak şekilde yerleştirilmiştir. İki adet LVDT yer değiştirme sensörü de, duvar hareketlerinin gözlenmesi için duvarın dış tarafına monte edilmiştir.

Tablo 4. Kullanılan Hareketin Özellikleri (Yunatçı, 2003)

Test Grubu	Test No.	Uygulanan harmonik sinüs hareketinin özellikleri		
		Yer değiştirme genliği (mm)	frekans (Hz)	Maksimum ivme(*g)
3	Test 3-1	4.63	2.94	0.161
	Test 3-2		3.23	0.194
	Test 3-3		3.7	0.255
	Test 3-4		4.55	0.386

Duvar malzemesi olarak kullanılan 3mm et kalınlıklı çelik saç malzeme, sonlu elemanlar analizlerinde elastik modülü 190 GPa alınarak modellenmiş ve ilgili parametreler hesaplanmıştır. Deneyde yararlanılan ahşap destek çubukları, sonlu elemanlar metodunda da aynı noktalarda bulunacak ve moment almayacak şekilde modellenmiştir. Oluşturulan Plaxis modeli şekil 5’de gösterilmektedir.



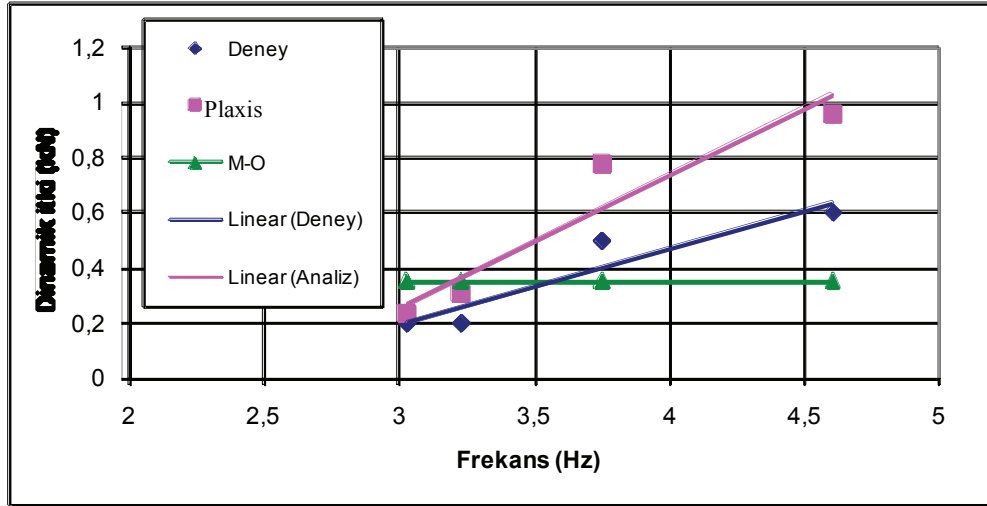
Şekil 5. Desteklenmiş Palplanş duvarın sonlu elemanlar modeli ve uygulanan hareketin

etki noktaları (Yunatçı , 2003).

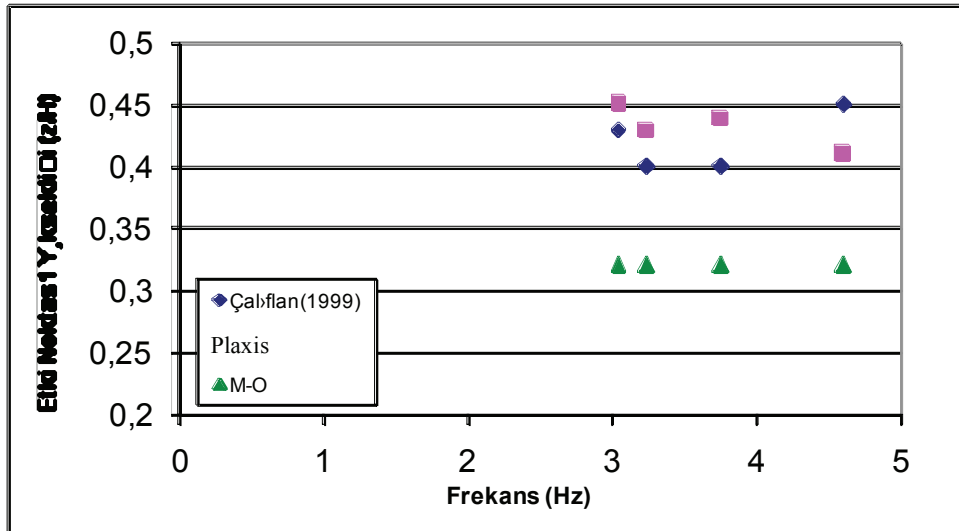
SONUÇLAR

i. Çalışan (1999) Deney Bulgularının Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Elde Edilen Tahminlerle Karşılaştırılması

Analizler sonucunda, duvar yüzeyinde oluşan maksimum itki kuvvetleri ve bunların etki noktaları kaydedilmiştir. Şekil 6’da deneylerde ve analizlerde elde edilen dinamik itki değerleri Mononobe-Okabe metodu ile elde edilen itki değerleriyle kıyaslanmaktadır. Sonlu elemanlar yaklaşımı ile yapılan çalışmada elde edilen itki değerleri deneysel sonuçlara nazaran bir miktar yüksek olsa da genel eğilim başarılı bir şekilde temsil edilmiştir. İki çalışmada da elde edilen değerler Mononobe-Okabe Metodu ile varılan sonuçlardan yüksektir. Şekil 7’nin incelenmesi sonucunda görülebileceği üzere, uygulama noktasının sonlu elemanlar metodu ile yapılan çözümlerle elde edilen dinamik itkinin, deneysel bulgulara son derece yakın ve $0.40H$ - $0.45 H$ aralığında olduğu gözlenmiştir. Mononobe-Okabe metodu ile elde edilen çözümlerde, etki noktası yüksekliği, hareketin frekansına bağlı olmadığı için sabit ve duvar altından $0.32H$ yüksekte bulunmaktadır.



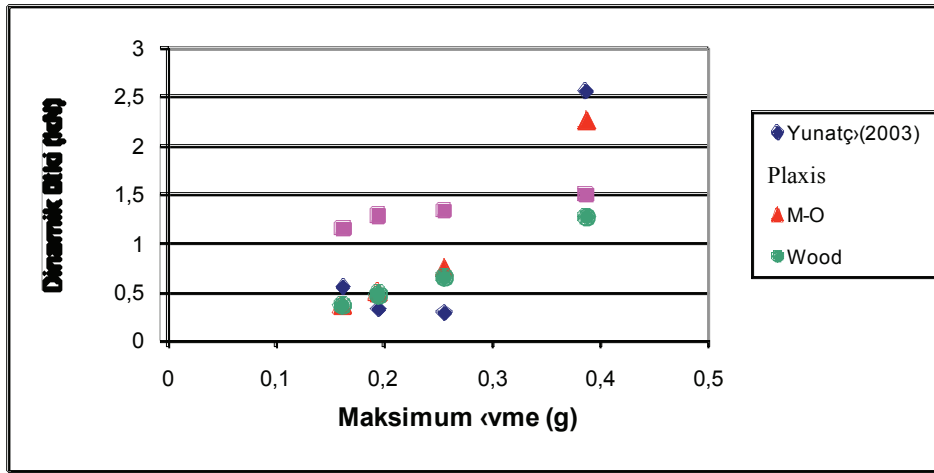
Şekil 6. Analizlerde elde edilen dinamik itki miktarlarının deneysel bulgular ve Mononobe-Okabe çözümleri ile karşılaştırılmaları (Çalışan, 1999 ve Ertuğrul, 2006).



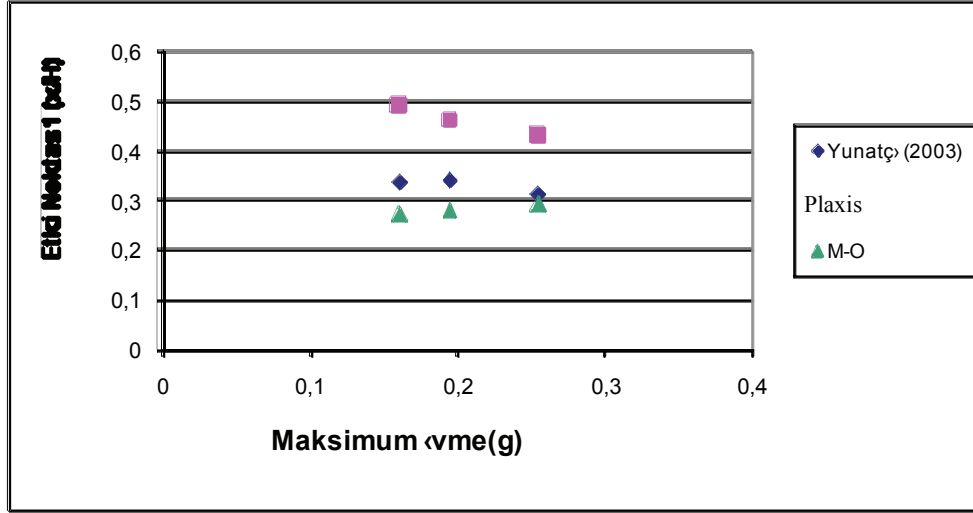
Şekil 7. Dinamik itkinin etki noktalarının pozisyonlarının duvar yüksekliğine oransal olarak gösterimi ve M-O metodu ile elde edilen sonuçla karşılaştırmaları (Çalışan, 1999 ve Ertuğrul, 2006)

ii. Yunatçı (2003) Deney Bulgularının Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Elde Edilen Tahminlerle Karşılaştırılması

Şekil 8’de, uygulanan hareketin farklı genlikleri için elde edilen dinamik itki miktarlarının deneysel, sonlu elemanlar metodu ve analitik yöntemler ile elde edilmiş değerlerinin bir karşılaştırması yapılmıştır. Sonlu elemanlar metodu ile elde edilen tahminlerin, düşük ivme genlikleri için, deneysel ve analitik sonuçlardan daha yüksek olduğu ancak yüksek bir ivme değerinde deneysel sonuçlarla daha yüksek tutarlılıkta olduğu gözlenmiştir. Şekil 9’da ise, dinamik itkinin etki noktasının pozisyonu incelenmektedir. Mononobe-Okabe ve deneysel bulgular, dinamik itkinin duvar kökünden yaklaşık $H/3$ kadar yukarıda etki etmekte olduğunu gösterirken, sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen analizlerde $0.4H$ - $0.5H$ aralığında tahmin edilmektedir.



Şekil 8. Analizlerde elde edilen dinamik itki miktarlarının deneysel bulgular, Mononobe- Okabe ve Wood çözümleri ile karşılaştırılmaları (Yunatçı, 2003 ve Ertuğrul, 2006).



Şekil 9. Dinamik itkinin etki noktalarının pozisyonlarının duvar yüksekliğine oransal olarak gösterimi ve M-O metodu ile elde edilen sonuçla karşılaştırmaları (Yunatçı, 2003 ve Ertuğrul, 2006)

Bu modelleme çalışmaları ışığında, PLAXIS programı kullanılarak dinamik sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizlerde elde edilen dinamik itki değerleri deneysel çalışmalar ve analitik çözümlerle tutarlı gözükmeyle birlikte, dinamik itki kuvvetinin etki noktaları, diğer metotlarla tayin edilen değerlere göre bir miktar yüksek olmaktadır. Sonlu elemanlar metodu ile elde edilen çözümlerin, istinat yapıları üzerinde deprem etkisi sebebiyle oluşacak yanal yüklerin tahmininde kullanılabileceği anlaşılmaktadır. Gerçekçi sonuçların elde edilebilmesi için lineer olmayan zemin davranışı modelleri kullanılması zaruridir. Zemin ve duvar ara-yüzeyi arasında kullanılan temas elemanları da bağlantı kurmakta oldukları elemanların dinamik gerilme-deformasyon davranışlarına uyum sağlayabilmelidir.

KAYNAKLAR

1. Nazarian, H.N. and A.H. Hadjian, "Earthquake-Induced Lateral Soil Pressures on Structures", ASCE Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 105, No. GT9, pp. 1049-1066, September, 1979.
2. Richards Jr., R. and D.G. Elms; "Seismic Behavior of Gravity Retaining Walls"; ASCE Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 105, No. GT4, pp. 449-464, April, 1979.
3. Mononobe, N. and H. Matsuo; "On the Determination of Earth Pressures During Earthquakes"; Proceedings, World Engineering Conference, Vol. 9, p. 176, 1929.
4. Okabe, S.; "General theory of earth pressure and seismic stability of retaining wall and dam", Journal. Japanese Soc. of Civil Eng., Vol. X, No. 6, Dec., 1924.
5. Okabe, S.; "General Theory of Earth Pressure"; Journal, Japanese Society of Civil Engineers, Vol. 12, No. 1, 1926.
6. Steedman, R.S. and X. Zeng; "Centrifuge modeling of the effects of earthquakes on free cantilever walls"; Centrifuge '91, Balkema, Rotterdam, 1991.
7. Steedman, R.S., "Modeling the Behavior of Retaining Walls in Earthquakes", Ph.D. Thesis, Cambridge University, , England, 1984
8. Roscoe, K. H. And Poorooshasb, H.B. (1963) , "A Fundamental Principle of Similarity in Model Tests for Earth Pressure Problems
9. Butterfield, R., "Dimensional Analysis for Geotechnical Engineers" Geotechnique, 1999 , vol.49, No 3, pp.357-366
10. Gazetas G, Psarropoulos P.N, Anastasopoulos I., Gerolymos N., "Seismic Behavior of flexible retaining systems subjected to short duration moderately-strong excitation" Soil Dynamics and Earthquake Eng 2004;24:537-50.
11. Nadim, F. and R.V. Whitman, "A numerical model for evaluation of seismic behavior of gravity retaining walls", Research Report R82-33, Dept. of Civil Engineering, M.I.T., 1982.

12. Veletsos, A. S. and Younan, A. H. (2003). "Dynamic response of flexible retaining walls " Earthquake Engrg. and Struct. Dyn. , 29,1815-1944.
13. Veletsos, A. S., and Younan, A. H. (1994b), "Dynamic modeling and response of soil-wall systems." J. Geotech. Eng., ASCE, 120(12), 2155-2179.
14. Veletsos, A. S. and Younan, A. H. (1994a). "Dynamic soil pressures on rigid retaining walls." Earthquake Engrg. and Struct. Dyn., 23(3), 275-301.
15. Clough, G.W. and Duncan, J. M, "Finite Element Analysis of Retaining Wall behavior", Journal of Soil Mechanics and Foundations Division,ASCE,Vol.97, No.SM12,pp.1657-1674
16. Wood, J. H. (1973),Earthquake Induced Soil Pressures on Structures". Report EERL 73-05, California Institute of Technology
17. Aggour, M.S. and C.B. Brown, "Retaining Walls in Seismic Areas", Proceedings, 5th World Conference on Earthquake Engineering, Rome, Italy, pp. 2624-2627, June, 1973.
18. Kramer, S. Geotechnical Earthquake Engineering, NJ,USA, Prentice Hall ;1996
19. Ertuğrul, Ö.L. "A Finite Element Modeling Study on the Seismic Response of Cantilever Retaining Walls", Master of Science Thesis Study, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, September 2006.
20. Çalışan, O., "A Model Study On The Seismic Behavior Of Gravity Retaining Walls", Ph.D Thesis Study, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, January 1999.
21. Yunatçı,A.A, "A Model Study on the Seismic behavior of the laterally braced sheet pile walls", Master of Science Thesis Study, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, January 2003.