

1D VE 2D NÜMERİK ANALİZ YÖNTEMLERİ KULLANILARAK DİNAMİK YÜKLER ALTINDA ZEMİN DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF THE SOIL BEHAVIOR UNDER DYNAMIC LOADS USING 1D AND 2D NUMERICAL ANALYSIS METHODS

Özlem BALCIOĞLU GÜNER¹, Berrak TEYMÜR²

ÖZET

Farklı zemin koşullarına bağlı olarak belirli büyüklük, süre ve frekans içeriğine sahip deprem etkilerine karşı zeminin göstereceği dinamik tepkiyi ve deprem hareketinin ana kayadan yüzeye kadar değişimini belirlemek amacıyla zemin davranış analizleri yapılmaktadır. Bu çalışmada, sismik açıdan en aktif bölgelerden biri olan Sakarya ili, Geyve ilçesi'nde bulunan Sakarya nehri çökellerini temsil eden suya doymuş kumlu bir zemin modellenmiştir. Zemin incelemesi yapılırken kullanılacak deprem verisine ait kriterler ile zemin sınıfı ve parametrelerinin belirlenmesinde 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018)'nde yer alan kural ve koşullar dikkate alınmıştır. Çalışma alanında kullanılan 11 adet deprem kaydı (PEER - Pacific Earthquake Engineering Research), özellikle yakınındaki depremlerin büyüklükleri, kinematığı ve faya olan uzaklıkları dikkate alınarak seçilmiştir. Zeminin nümerik modellemesini gerçekleştirmek için DEEPSOIL ve PLAXIS-2D programları kullanılmıştır. Dinamik analizler DEEPSOIL programının zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi seçilerek yapılmıştır. Bu çalışmada Kayma Mukavemeti Kontrollü Genelleştirilmiş Quadratik/Hiperbolik (GQ/H) Model ve seçilen bu zemin modeli eğrilerine en uygun zemin modelini denk getirmek için Non-Masing Re/Unloading formülü dikkate alınarak analiz yapılmıştır. Her bir kuvvetli yer hareketi kaydı için hem taban kayasındaki hem de yüzeydeki tepki spektrumları, spektral hız, ivme ve yer değiştirme değerleri elde edilerek, birbirleri ile karşılaştırılmıştır. İki boyutlu dinamik analizler için Plaxis 2D sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Oluşturulan zemin modeli için başlangıç gerilme durumunu belirlemek ve deprem kayıtları etkilerek, serbest saha şartları altında maksimum ivme ile maksimum yer değiştirme değerlerini elde etmek amacıyla HSmall (Küçük şekil değiştirmeler ile pekleşen zemin modeli) zemin modeli kullanılmıştır. Zemin davranış analizleri ile belirlenen PGA, düşey yer değiştirme ve yatay yer değiştirme değerlerinin yüzeyde yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. Deprem kayıtlarının bir kısmında zeminde büyütme gözlenirken, bir kısmında bu durum gözlenmemektedir.

Anahtar Kelimeler: nümerik analizler, bir boyutlu dinamik analiz, serbest saha analizi, sonlu elemanlar yöntemi.

¹ Öğrenci, İstanbul Teknik Üniversitesi, balcioglu@itu.edu.tr (Sorumlu yazar)

² Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, teymurb@itu.edu.tr

ABSTRACT

Site response analyses are performed to determine the dynamic response of the soil to earthquake effects of definite magnitude, duration and frequency depending on different soil conditions and the change of earthquake motion from the bedrock to the surface. In this study, a saturated sandy soil representing the Sakarya river sediments in Geyve District of Sakarya Province, one of the most seismically active regions, was modeled. The criteria for the earthquake data to be used in the soil investigation and the conditions in the 2018 Turkey Building Earthquake Regulations (TBDY-2018) were taken into consideration in determining the soil class and parameters. 11 earthquake records (obtained from PEER - Pacific Earthquake Engineering Research) used in the study area were selected by taking into account the magnitude, kinematics and distances to the fault in the nearby earthquakes. DEEPSOIL and PLAXIS-2D programs were used to perform numerical modeling of the soil. Dynamic analyses were carried out by choosing the non-linear analysis method in the time domain of the DEEPSOIL program. In this study, analysis was carried out by taking into account the Shear Strength Controlled Generalized Quadratic/Hyperbolic (GQ/H) Model and the Non-Masing Re/Unloading formula to match the most suitable soil model to these selected soil model curves. For each strong ground motion record, the response spectra of the bedrock and the ground surface, spectral velocity, acceleration and displacement values were obtained and compared with each other. Plaxis 2D finite element program was used for two-dimensional dynamic analyses. In order to determine the initial stress state for the soil model and to obtain the maximum acceleration and maximum displacement values under free field conditions by applying earthquake records, HSsmall soil model (Hardening soil model with small-strain stiffness) was used. It is seen that PGA, vertical displacement and horizontal displacement values determined by site response analysis reach high values on the ground surface. While soil amplification is observed in some earthquake records, this situation is not observed in others.

Keywords: numerical analysis, one dimensional dynamic analysis, free field analysis, finite element method.

1. GİRİŞ

Marmara bölgesinin tarihi depremler açısından oldukça zengindir ve bu depremlerin birçoğu bölgedeki şehirlere önemli ölçüde zarar vermiştir. Çalışmada kullanılan idealize edilmiş zemin, Marmara Bölgesi'nde sismik açıdan en aktif bölgelerden biri olan Sakarya İli, Geyve İlçesi'ndeki nehir çökellerini temsil etmektedir. Bu zemin üzerine yapılacak olan herhangi bir yapı nehir çökelleri üzerine kurulacaktır ve taşıma kapasitesi, oturma problemlerinin yanı sıra deprem sırasındaki sismik davranışın ilgili problemler açısından incelenmesi gerekmektedir. Zemin davranışını analiz ederken taban kayasında tanımlanan deprem hareketinin yüzeye kadar zemin tabakaları boyunca meydana gelen değişimini ve zemin yüzeyindeki deprem yer hareketi belirlenir. Zemin davranış analizleri bir, iki ya da üç boyutlu zemin modelleri oluşturularak yapılabilmektedir (Kramer,1996).

Suya doymun kumlu bir zeminin modellendiği bu çalışmada, 11 adet deprem kaydı (PEER - Pacific Earthquake Engineering Research) seçilmiştir. Deprem kayıtlarının seçiminde, deprem verisine ait kriterlerin, zemin sınıfı ve parametrelerinin belirlenmesinde 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018)'nde yer alan koşullar dikkate alınmıştır.

İncelenen alanda yapılan arazi deneyleri ve sahadan alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar deneyleri ile idealize zemin modeli tanımlanarak, mukavemet değerleri belirlenmiştir.

Bu çalışmada zemin davranışını çözümlenmenin yanı sıra, analiz yöntemlerinin aralarındaki farkları da görebilmek amacıyla iki farklı zemin davranış analizi dikkate alınmıştır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan bir boyutlu zemin tepki analizi (Deepsoil) ve iki boyutlu sonlu elemanlar programı (Plaxis 2D) kullanılarak zemin davranışı, maksimum ivme, tepki spektrumları ve yer değiştirmeler açısından ele alınarak incelenmiştir. Bir boyutlu zemin davranış analizi yapılırken programın Kayma Mukavemeti Kontrollü Genelleştirilmiş Quadratik/Hiperbolik (GQ/H) zemin modeli ve seçilen bu zemin modeli eğrilerine en uygun zemin özelliklerini denkleştirmek amacıyla Non-Masing Re/Unloading formülü dikkate alınmıştır. İki boyutlu doğrusal olmayan zemin davranışını ortaya koymak içinse, sonlu elemanlar yazılımının HSmall (Küçük şekil değiştirmeler ile pekleşen zemin modeli - Hardening soil model with small-strain stiffness) zemin modeli seçilmiştir. HSmall modeli için parametre belirlenirken bir boyutlu zemin davranış analizinde elde edilmiş olan bazı veriler de değerlendirilmiştir. Böylece hem sonuçlar birbiriyle kıyaslanmış hem de kullanılan parametrelerin sağlaması yapılmıştır.

2. İNCELEME ALANININ DEPREMSELLİĞİ VE ZEMİN ÖZELLİKLERİ

Geyve civarındaki depremselliğin ana kaynağı Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)'dur. Bu fay zonunun orta kolu Sakarya'dan başlayıp, kuzeydoğu-güneybatı doğrultu ile Geyve-Pamukova ovasına girerek, Mekece'den İznik Gölü batısına kadar sağ yanal doğrultu atımlı fay kinematiki ile dar ovaları oluşturarak Gemlik Körfezi'ne devam eder. İnceleme alanının MW= 7.0 – 7.2 büyüklüğünde deprem üretme kapasitesi olan Geyve Fayı'na uzaklığı yaklaşık olarak 3 km, MW= 7.0 – 7.2 büyüklüğünde deprem üretme kapasitesi olan İznik-Mekece Fayı'na uzaklığı yaklaşık olarak 15 km ve MW= 7.0 – 7.5 büyüklüğünde deprem üretme kapasitesi olan Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın Arifiye ve Dokurcun Segmentine uzaklığı yaklaşık olarak 20 km civarındadır. Şekil 1'de inceleme sahası çevresinde yer alan diri faylar gösterilmiştir.



Şekil 1. İnceleme sahası çevresinde yer alan diri faylar (Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., 2011).

2.1. Deprem kayıtlarının seçimi

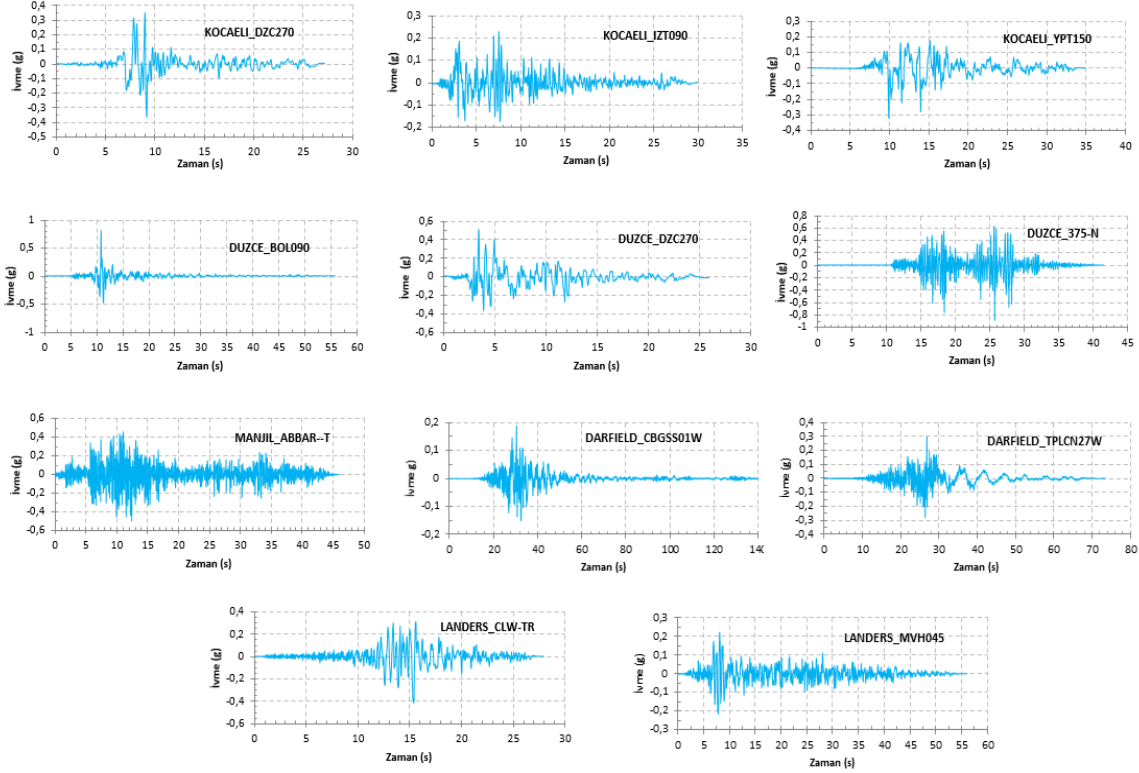
TBDY-2018'e göre bina taşıyıcı sistemlerinin zaman tanım alanında deprem hesabında kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi, tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu deprem büyüklükleri, fay uzaklıkları, kaynak mekanizmaları ve yerel zemin koşulları dikkate alınarak yapılacaktır. Yönetmeliğe göre, öncelikle binanın bulunduğu bölgede tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu geçmiş deprem kayıtları varsa bu kayıtlar kullanılacaktır. Kullanılan 11 deprem kaydı da PEER (Pacific Earthquake Engineering Research)'a ait veri tabanlarından elde edilmiştir. Kullanılan deprem kayıtları ve özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Bu çalışmada, deprem sırasında genellikle daha kritik olduğundan, deprem kayıtlarının maksimum yer ivmesine sahip bileşeni seçilmiştir. İlgili depremlere ait ivme-zaman grafikleri Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Analizlerde kullanılan deprem kayıtlarının özellikleri.

No	PEER Kodu	Deprem Adı	Deprem İstasyonu	Yıl	Deprem Büyüklüğü (M _w)	Deprem Frekansı, f _{eq}	Kayma Dalgası Hızı, (V _s) ₃₀	Faya Uzaklık, km
1	RSN1617	Düzce-1	Lamont 375	1999	7,14	2,89	338,00	3,93
2	RSN1605	Düzce-2	Duzce	1999	7,14	0,20	281,86	6,58
3	RSN1602	Düzce-3	Bolu	1999	7,14	1,30	293,57	6,11
4	RSN1176	Kocaeli-1	Yarımca	1999	7,51	0,27	297,00	4,83
5	RSN1165	Kocaeli-2	İzmit	1999	7,51	1,61	811,00	7,21
6	RSN1158	Kocaeli-3	Düzce	1999	7,51	0,52	281,86	15,37
7	RSN1633	Manjil	Abbar	1990	7,37	4,54	723,95	12,55
8	RSN6975	Darfield-1	TPLC	2010	7,0	0,14	249,28	6,11
9	RSN6887	Darfield-2	CBG	2010	7,0	0,35	187,00	18,05
10	RSN848	Landers-1	Coolwater	1992	7,28	1,37	352,98	19,74
11	RSN881	Landers-2	MVF	1992	7,28	0,54	379,32	17,36

2.2. Kuvvetli yer hareketi ve deprem kayıtlarının basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilmesi

Yerel zemin koşullarına bağlı olarak belirli büyüklük, süre ve frekans içeriğine sahip deprem etkilerine karşı yerel zeminin göstereceği dinamik tepkinin belirlenmesi zemin tepki analizi olarak adlandırılır. TBDY-2018'e göre zaman tanım alanında deprem yer hareketi için bazı kriterler belirlenmiştir. Deprem yer hareketi spektrumları, belirli bir deprem yer hareketi düzeyi esas alınarak %5 sönüm oranı için, harita spektral ivme katsayılarına ve yerel zemin etki katsayılarına bağlı olarak standart biçimde veya sahaya özel deprem tehlikesi analizleri ile özel olarak tanımlanırlar. Türkiye ve yakın çevresinde meydana gelmiş olan aletsel dönem öncesi ve sonrası yüzlerce depremin ve ilgili çok sayıda deprem kataloğunun, sismik kaynakların, yer hareketi tahmin modellerinin olasılıksal sismik tehlike hesaplamaları çerçevesinde değerlendirilmesi sonucunda Türkiye Deprem Tehlike Haritaları hazırlanmıştır. Verileri elde etmek için öncelikle deprem yer hareketi düzeyine karar verilir. Bu çalışmada yer hareketi düzeyi olarak spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini niteleyen DD-2 – standart tasarım deprem yer hareketi dikkate alınmıştır.



Şekil 2. Analizlerde kullanılan anakaya ivme kayıtları.

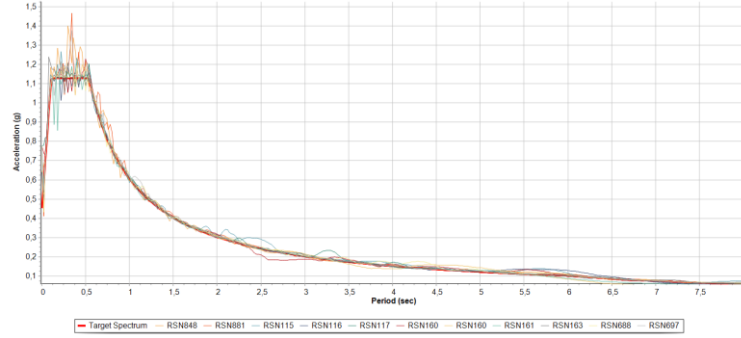
Bu çalışma kapsamında incelenen sahada, sahanın zemin özellikleri dikkate alındığında $(V_s)_{30}$ değerinin 230 m/s, $(N_{60})_{30}$ değerinin ise 17,4 olduğu görülmüştür. Bu değerler ve zemin özellikleri değerlendirildiğinde çalışma alanı için zemin sınıfı ZD olarak seçilmiştir. DD-2, Deprem yer hareketi düzeyi ve ZD, yerel zemin sınıfı kullanılarak AFAD web uygulaması üzerinden Sismik Tehlike Haritası elde edilmiştir. Bu harita üzerinden kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_s), 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (S_1), en büyük yer ivmesi (PGA) ve en büyük yer hızı (PGV) değerleri belirlenmiştir.

Zaman tanım alanında hesapta kullanılacak deprem kayıtları basit ölçeklendirme yöntemi ile TBDY'de belirtilen kurallar dikkate alınarak ölçeklendirilir. Seçilen 11 depremin ivme kaydına ait ivme spektrumlarının ortalamaları Sismik Tehlike Haritasında belirlenen elastik tasarım ivme spektrumu ile uyum sağlayacak şekilde Seismomatch programı kullanılarak ölçeklendirilmiştir. Ölçeklendirmede minimum ve maksimum periyot değerleri 0,02 ve 8 saniye olarak seçilmiştir. Şekil 3'te tasarım spektrumuna göre ölçeklenmiş ivme tepki spektrumları ve tepki spektrumlarının ortalaması verilmiştir.

2.3. Zemin özellikleri ve idealize zemin profili

Zemin verilerine ait bölge Geyve'nin batısında, Sapanca Nehri çökellerinin üzerinde ve Sakarya Nehri'nin taşkın havzasında yer almaktadır; genellikle 30-35 m derinlik boyunca alüvyon zemin ve 35-40 m' lerde ise ana kaya gözlenmektedir. Tablo 2'de idealize edilen zemine ait bilgiler yer almaktadır.

İncelenen alanda yapılan arazi deneyleri ve sahadan alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar deneyleri ile zeminin litolojisi tanımlanarak, ilgili litolojiye ait mukavemet değerleri belirlenmiştir. Kumlu zemin üzerinde yapılan saha deneylerinden (CPT-SPT) elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş, bu sonuçlara karşılık gelen içsel sürtünme açısı ve derinlikle değişen kumlu zemin özellikleri bulunmuştur. Tüm sonuçlar dikkate alındığında, Şekil 4'te gösterilen idealize zemin profili belirlenmiştir.



Şekil 3. Tasarım spektrumuna göre ölçeklendirilmiş ivme tepki spektrumları.

Tablo 2. Sahanın zemin özellikleri

Zemin Tipi	Derinlik (m)	γ_n (kN/m ³)	C (kN/m ²)	ϕ^o	$N_{1(60)}$	u	Vs (m/s)	E (kN/m ²)	K (kN/m ²)	G (kN/m ²)	G_{max} (kN/m ²)
Gevşek Kum	0 – 5,00	19,2	0	28	7	0,3	100	8000	6666,67	3076,92	22000
Orta Sıkı Siltli Kum	5,00 – 12,00	19,35	0	30	13	0,3	180	20000	16666,67	7692,31	71280
Sıkı Siltli Kum	12,00 – 37,00	19,5	0	36	22	0,3	300	30000	25000,00	11538,46	198000



Şekil 4. İdealize zemin modeli.

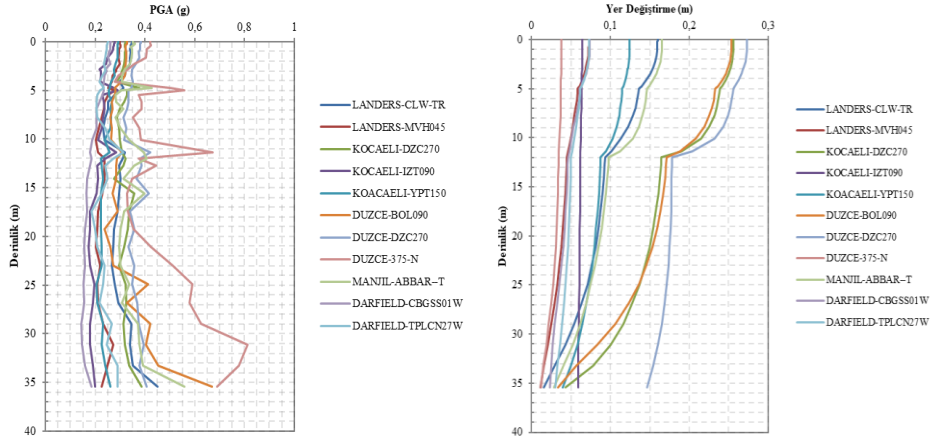
3. ZEMİN TEPKİ ANALİZLERİ

Çalışmada anakayada meydana gelen kuvvetli yer hareketlerinin, anakaya üzerinde yer alan farklı zeminleri nasıl etkilediğinin araştırılması ile ilgili sahanın nasıl bir zemin davranışı gösterdiği belirlenmeye çalışılmıştır. Oluşturulan modelin alt kısmından (anakayadan), seçilen 11 adet deprem kaydı (ivme-zaman) ayrı ayrı etkilmiştir. Daha sonra her bir deprem kaydı için farklı derinliklerdeki ivme değerleri bulunarak birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

3.1. Zaman tanım alanında bir boyutlu doğrusal olmayan analiz

DEEPSOIL v.7, zemin katmanlarının sismik tepkisini bir boyutlu olarak analiz etmeyi sağlayan bir programdır. Dinamik analizlerde programın zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada Kayma Mukavemeti Kontrollü Genelleştirilmiş Quadratik/Hiperbolik (GQ/H) Model ve seçilen bu zemin modeli eğrilerine en uygun zemin modelini denk getirmek için Non-Masing Re/Unloading formülü dikkate alınarak analiz yapılmıştır.

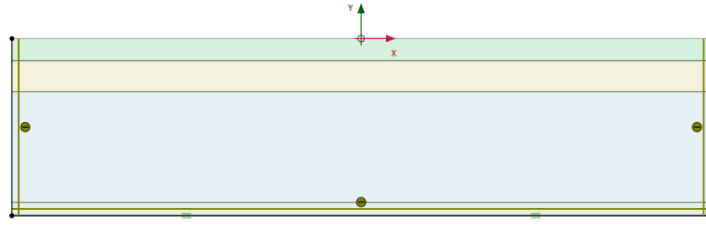
Analiz tipi belirlendikten sonra her bir zemin tabakası için maksimum frekans değeri belirlenir. Frekans değeri tabaka kalınlığına ve kayma dalgası hızına bağlıdır ($f_{maks}=V_s/4H$) ve bu çalışmada en uygun frekans değeri için $f_{maks}>30$ Hz olarak seçilmiştir. Bu değeri sağlayacak şekilde maksimum ve minimum tabaka kalınlığına karar verilir. Seçilen parametreler ve istenilen frekans değeri dikkate alındığında program tarafından 40 farklı zemin tabakası oluşturulmuştur. Serbest sahada yapılan analizlerde, her bir deprem kaydı için yer değiştirmenin ve en büyük yer ivmesinin derinlikle değişimi Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Dinamik analiz sonucunda 11 farklı deprem için belirlenen en büyük yer ivmesi (g) ve yatay yer değiştirme (m) değerinin derinlikle değişimi.

3.2. Sonlu elemanlar yöntemiyle analiz

iki boyutlu dinamik analizler için Plaxis 2D sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Öncelikle, oluşturulan zemin modeli için başlangıç gerilme durumunu belirlemek ve 11 farklı deprem kaydı etkiltilerek, serbest saha şartları altında maksimum ivme ile maksimum yer değiştirme değerlerini elde etmek amacıyla doğrusal olmayan HSsmall (Küçük şekil değiştirmeler ile pekleşen zemin modeli) zemin modeli kullanılmıştır. Deprem kaydının modelin alt kısmına uygulandığı bir analiz yapılacağı için Free-field ve Compliant base sınır koşulları dikkate alınmıştır. Bu modelde daha hassas bir çözüm sağlamak amacıyla 15 düğüm noktalı elemanlar seçilmiştir. İki boyutlu modelin derinliği 40 m, x yönündeki uzunluğu ise 160 m olarak belirlenmiştir ($x_{min}=-80$ m; $x_{max}=80$ m; $y_{min}=-38$ m; $y_{max}=15$ m). İdealize zemin modeli program içinde oluşturulan borehole ile tanımlanmıştır ve modelin en altında 3 m kalınlığında olacak şekilde ana kayaya (fliş) yer verilmiştir. Oluşturulan modelin geometrisi Şekil 6'da gösterilmiştir. Yeraltı su seviyesi $y=-3$ m kotundan itibaren başlamaktadır.



Şekil 6. Sonlu elemanlar modeli.

Dinamik analiz sırasında, ortalama kayma dalgası hızı, zemin tabakası kalınlığı, Fourier spektrumu üzerinden elde edilen frekans değerine göre belirlenen Rayleigh sönüm katsayıları (α , β) kullanılır. C, sönümlenme matrisi, M, kütle ve K, rijitlik matrislerinin toplamı olarak ifade edilir. Gevşek kum, orta sıkı kum ve sıkı kum birimleri küçük şekil değiştirmeler ile pekleşen zemin modeli ile tanımlanırken ana kaya ise lineer elastik malzeme modeli tanımlanmıştır. f_1 ve f_2 değerleri, $f_1 = V_{s,ort}/4H$ ve $f_2 = f_{eq}/f_1$ denklemleri kullanılarak belirlenir, ancak f_1 formülünden 1,27 Hz; Deepsoil programı üzerinden 1,45 Hz olarak bulunmuştur. f_2 değerinin f_1 değerinden büyük veya eşit olması gerektiğinden dolayı f_2 değeri "3" olarak seçilmiştir. ξ_1 ve ξ_2 değerleri ise genellikle %0,5 ile %2 arasında ve aynı değerde olması önerilmektedir. Anakaya için kullanılan parametreler Tablo 3'te HSsmall zemin modeli kullanılarak oluşturulan sonlu elemanlar modelinde kullanılan parametreler ise Tablo 4'te gösterilmektedir. Nümerik analizler sonucunda, her bir deprem dikkate alındığında, yer değiştirme değerlerinin 4 ile 25 cm ve maksimum ivme değerlerinin yüzeyde 0,18g ile 0,44g arasında değiştiği görülmektedir. Şekil 7'de Deepsoil ve Plaxis üzerinden elde edilen yüzey tepki spektrumları ile taban kayası spektrumları karşılaştırılmıştır.

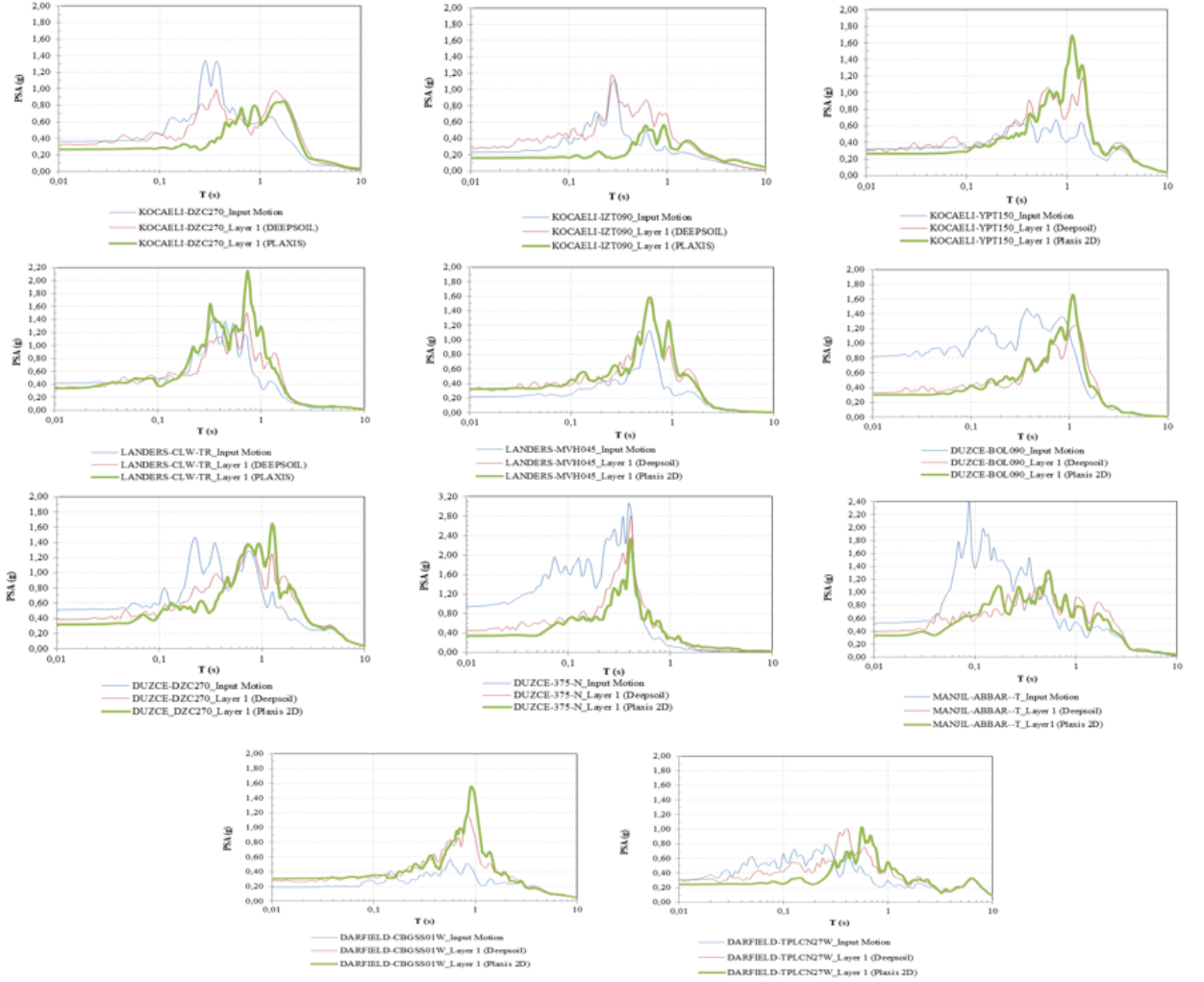
Tablo 3. Anakaya için kullanılan parametreler (Lineer Elastik Model).

Parametre			Fliş
Açıklama	Sembol	Birim	
Birim Hacim Ağırlığı	γ_n	kN/m ³	20
Elastisite Modülü	E^{ref}	kN/m ²	2000000
Poisson Oranı	ν_{ur}	-	0,2

Tablo 4. HSsmall zemin modelinde kullanılan parametreler.

Parametre			Gevşek Kum	Orta Sıkı Siltli Kum	Sıkı Siltli Kum
Açıklama	Sembol	Birim			
Drenaj Tipi	-	-	Drenajsız	Drenajsız	Drenajsız
Birim Hacim Ağırlığı	γ_n	kN/m ³	19,2	19,35	19,5
Sekant Elastisite Modülü	E_{sd}^{ref}	kN/m ²	8000	20000	30000
Tanjant Elastisite Modülü	E_{oed}^{ref}	kN/m ²	8000	20000	30000
Yükleme - Boşaltma Elastisite Modülü	E_{ur}^{ref}	kN/m ²	24000	60000	90000
Poisson Oranı	ν_{ur}	-	0,3	0,3	0,3
Rijitliğin Gerilme Seviyesi İçin Sabit	m	-	0,6	0,6	0,6
Çok Küçük Birim Şekil Değişirmelerindeki Kayma Modülü	G_d^{ref}	kN/m ²	22000	71280	198000
Kayma Birim Şekil Değişirmesi Oranı ($G_s=0,722G_0$)	$\gamma_{0.7}$	-	$0,15 \times 10^{-3}$	$0,15 \times 10^{-3}$	$0,15 \times 10^{-3}$
Kohezyon	c'_{ref}	kN/m ²	0	0	0
Kayma Mukavemeti Açısı	Φ'	°	28	30	36
Dilatasyon Açısı	Ψ'	°	0	0	6

17-18 Ekim 2024
Hacettepe Üniversitesi, Ankara



Şekil 7. Deepsoil ve Plaxis üzerinden elde edilen yüzey tepki spektrumları ile taban kayası spektrumunun karşılaştırılması.

4. SONUÇLAR

Zemin davranış analizleri ile deprem etkisindeki zemin tüm olası problemler dikkate alınarak detaylı bir şekilde incelenir. 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre deprem kayıtları, tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu deprem büyüklükleri, fay uzaklıkları, kaynak mekanizmaları ve yerel zemin koşulları dikkate alınarak seçilmelidir, ancak her zaman belirtilen kriterleri sağlayan yeterli sayıda deprem kaydı bulmak mümkün olmamaktadır. Zemin özellikleri değerlendirildiğinde çalışma alanı için zemin sınıfı ZD olarak seçilmiştir. DD-2, Deprem yer hareketi düzeyi ve ZD, yerel zemin sınıfı kullanılarak AFAD üzerinden Sismik Tehlike Haritası ve tasarım spektrumu elde edilmiştir.

Zeminin nümerik modellemesini gerçekleştirmek için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi, DEEPSOIL ve sonlu elemanlar programı, PLAXIS-2D kullanılmıştır. Her bir kuvvetli yer hareketi kaydı için hem taban kayasındaki hem de yüzeydeki tepki

spektrumları, ivme ve yer değiştirme değerleri elde edilerek, birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Deepsoil ile yapılan analiz neticesinde, yüzeydeki maksimum spektral ivmelerin genelde taban kayasına göre biraz daha fazla olduğu görülmektedir, ancak maksimum spektral ivmeler hem yüzeyde hem de taban kayasında genelde aynı periyot aralığındadır.

Serbest saha şartları altında maksimum ivme ile maksimum yer değiştirme değerlerini elde etmek amacıyla Plaxis 2D programının HSmall zemin modeli kullanılmıştır. Zemin davranış analizleri ile belirlenen PGA, düşey yer değiştirme ve yatay yer değiştirme değerlerinin dataların bir kısmında yüzeyde yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. Ancak genelde Plaxis üzerinden elde edilen yüzeydeki maksimum spektral ivmeler, ana kayaya göre ötelenmiş bir periyot aralığında yer almaktadır.

KAYNAKLAR

- Darendeli, M.B., Development of a new family of normalized modulus reduction and material damping curves. Ph.D. Dissertation, The University of Texas at Austin, 2001.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., 2011, 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Adapazarı (NK 36-13) Paftası; Seri No:14 ve Bursa (NK 35-12) Paftası; Seri No:9, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye.
- Fahjan, Y. M. (2008). "Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi", İMO Teknik Dergi.
- Hashash, Y.M.A., Musgrove, M.I., Harmon, J.A., İlhan, O., Xing, G., Numanoglu, O., Groholski, D.R., Phillips, C.A., and Park, D. (2020) "DEEPSOIL 7.0, User Manual". Urbana, IL, Board of Trustees of University of Illinois at Urbana-Champaign
- Kondner, R. L. and Zelasko, J. S., A hyperbolic stress-strain formulation of sands. Proceedings of the 2nd Pan American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Sao Paulo, Brasil, 289-324, 1963.
- Kramer, S. L. (1996). Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Matasovic, N, and Vucetic, M., Cyclic Characterization of Liquefiable Sands. ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 119, No. 11, pp 1805-1822, 1993.
- PEER 2013/03 – PEER NGA-West2 Database , by: Timothy D. Ancheta, Robert B. Darragh, Jonathan P. Stewart, Emel Seyhan, Walter J. Silva, Brian S.J. Chiou, Katie E. Wooddell, Robert W. Graves, Albert R. Kottke, David M. Boore, Tadahi Kishida, and Jennifer L. Donahue.
- Plaxis Materials Manual. (2022). Delft University of Technology & Plaxis bv, Delft, Netherlands.
- Seismomatch (2023) - a program for spectral matching of earthquake records. Seismosoft-Earthquake Engineering Software Solutions.
- TBDY, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, AFAD, Türkiye, 2018.
- TDTH, Türkiye Deprem Tehlike Haritaları, AFAD, Türkiye, 2018.