



## Sıvılaşma Potansiyeli Yüksek Adapazarı Zeminleri için Büyütme Faktörünün Araştırılması

\*<sup>1</sup>Mustafa Ildır, <sup>2</sup> İsa Vural <sup>3</sup> Süheyl Kılıç

<sup>1</sup>Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, Türkiye, mustafa.ildir1@ogr.sakarya.edu.tr, 

<sup>2</sup> Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, Türkiye, ivural@sakarya.edu.tr, 

<sup>3</sup>Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, Türkiye, suheyl.kilic@ogr.sakarya.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 25.06.2019

Kabul Tarihi: 16.01.2020

### Öz

Bu çalışmada, sıvılaşma potansiyeli yüksek zayıf zeminlerde anakayadan zemin yüzeyine doğru hareket eden deprem dalgasına etki eden zemin büyütme faktörü araştırılmıştır. Bölgesel jeoloji ve temel zemin şartları, yer hareketinin özelliklerini önemli ölçüde değiştirebilir. Bu nedenle, özellikle yumuşak zeminler için, bir deprem sırasında zemin büyütmesinin belirlenmesi, araştırmacılar için çok önemli bir konudur. Araştırmada Adapazarı ilçesi, Tığcılar mahallesindeki mevcut bir yapının zemin profili kullanılmıştır. Deprem sırasında zeminin derinliklerinden zemin yüzeyine doğru hareket eden deprem dalgasının büyüklüğü değişmektedir. Bu değişim zemin tabakalarının özelliklerine bağlı olarak gerçekleşmektedir. Ana kayadan gelen deprem dalgası zemin tabakalarından geçerek zemin yüzeyinde büyümektedir. FLAC 2D programı yardımı ile kurulan modellerde yapılan analizler sonucu oluşacak düşey ve yatay ivme değişimleri incelenmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda zemin özelliklerinin yer hareketini artırdığı görülmektedir. Zemin büyütme etkisi nedeniyle önerilen tasarım spektrumlarını aşılacağı görülmektedir. Adapazarı bölgesi gibi yumuşak zeminlere sahip ortamlarda yerel zemin koşullarının dikkate alınması gerekmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Zemin büyütmesi, Zemin özellikleri, FLAC 2D, Adapazarı

## Investigation of Amplification Factor for Adapazarı Soil with High Liquefaction Potential

\*<sup>1</sup>Mustafa Ildır, <sup>2</sup> İsa Vural <sup>3</sup> Süheyl Kılıç

<sup>1</sup>Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, Türkiye, mustafa.ildir1@ogr.sakarya.edu.tr

<sup>2</sup> Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, Türkiye, ivural@sakarya.edu.tr

<sup>3</sup>Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, Türkiye, suheyl.kilic@ogr.sakarya.edu.tr

### Abstract

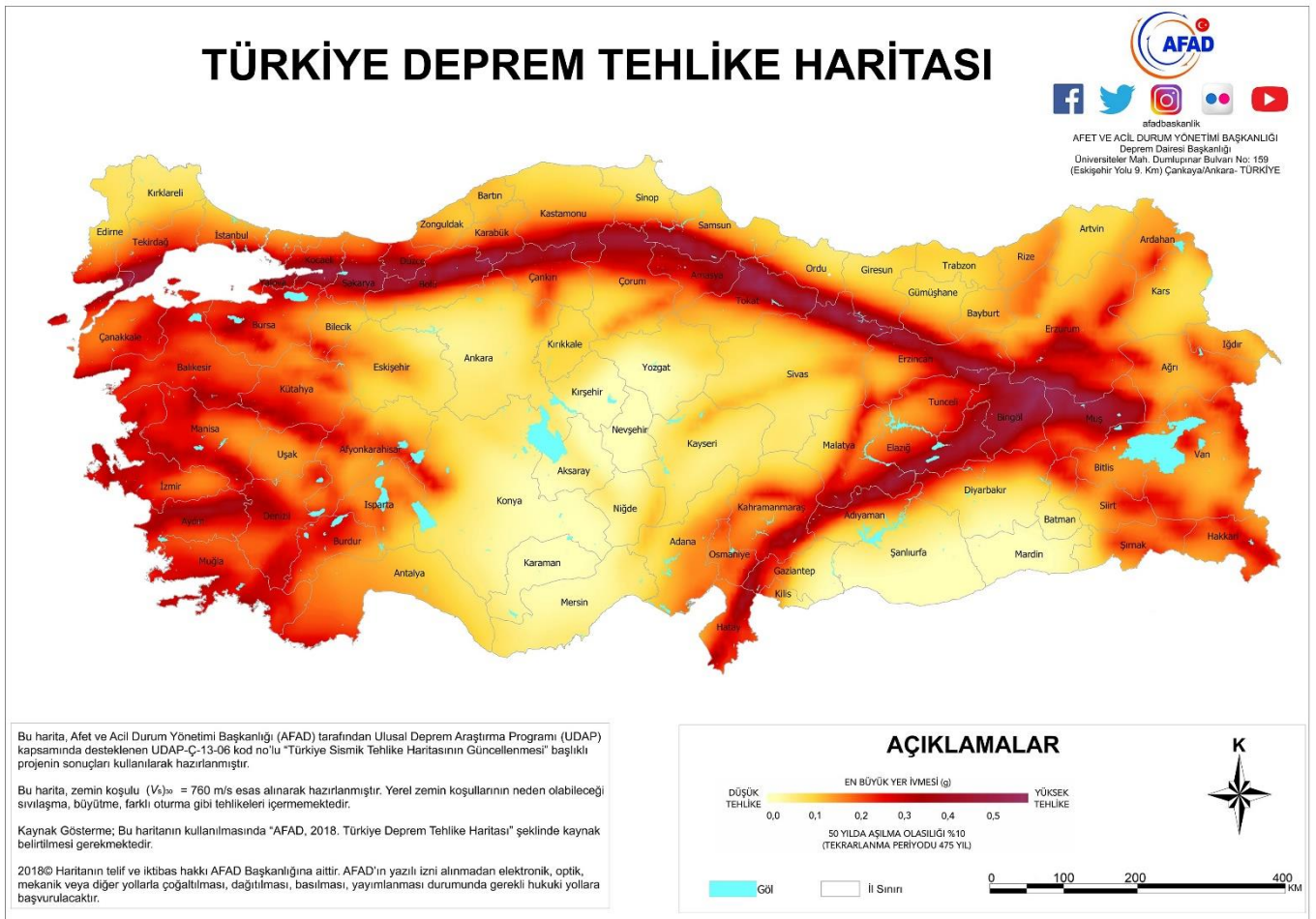
In this study, the soil amplification which is caused by the earthquake wave moving from the bedrock to the soil surface on weak soil with high liquefaction potential was investigated. Regional geology and basic soil conditions can significantly change the characteristics of ground motion. For this reason, it is a very important issue for researchers to determine the soil amplification during an earthquake, especially for soft soils. The soil profile of an existing structure in the Tığcılar neighborhood of Adapazarı district was used in the study. The characteristics of the earthquake wave moving from the depth of the soil to the soil surface during the earthquake are changing. This change depends on the characteristics of the soil layers. The earthquake wave emitted from the main rock passes through the soil layers and amplification on the soil surface. Vertical acceleration and horizontal acceleration change as a result of the analyses made on the models established with the help of FLAC 2D program were investigated. As a result of the current study, soil characteristics increase the ground motion. Due to the amplification on the soil, it appears that it can exceed the proposed design spectra. Local soil conditions must be taken into account on soils such as the Adapazarı region.

**Keywords:** Soil amplification, Soil properties, FLAC 2D, Adapazarı

## 1. GİRİŞ

Dünyanın en aktif ve en hızlı hareket eden fayları arasındaki Kuzey Anadolu Fay Zonu Türkiye'nin kuzey-doğu ve kuzey-batı doğrultusunda yer aldığı bilinmektedir (Şekil 1). Kuzey Anadolu Fay Zonunda son zamanların en şiddetli örneklerinden 17 Ağustos 1999 Marmara ve 12 Kasım 1999 Düzce depremleri oluşmuştur. 7.4 moment büyüklüğüne sahip 17 Ağustos 1999 Marmara depreminin maddi olarak çok büyük kayıplara ve hasarlara sebebiyet vererek Adapazarı şehrini derinden etkilediği bilinmektedir. Adapazarı bölgesi depremin odak noktasından oldukça uzak bir konumda bulunmasına rağmen, gerek zeminin jeolojik karakteri nedeniyle gerek üst yapıların özelliklerinden dolayı büyük hasarlar almıştır. Ekipman yetersizliğinden dolayı

Adapazarı merkez bölgesinde ana deprem ölçümlerinin kesin olarak yapılamadığı bilinmektedir. Tasarlanan artçı deprem şokları analiz edilerek lineer davranış göstermeyen bir arazi reaksiyon analizi ile merkezdeki zemin ivmesi tahmini olarak hesap edilmiştir. Yaklaşık olarak merkezde belirecek zemin ivmesi 0.3g olarak düşünülmüştür [1]. Adapazarı bölgesinde görülen hasarların ve kayıpların en önemli özellikleri, binaların yana yatarak yıkılması, devrilmesi ve zemin çökmesi gibi sorunlardır. Adapazarı, alüvyon bir ortam üzerinde kurulu bir yerleşim bölgesi olduğundan dolayı, yumuşak zemin oluşumlarının bu tarz sorunların oluşmasında etkin bir rol aldığı düşünülmektedir. Sismik deprem dalgalarının genlikleri, zemin yüzeyine yakın yerlerden geçerken genliklerde artma meydana gelebileceği düşünülmektedir. Bu artışa zemin büyütmesi denilmektedir.



Şekil 1. Türkiye Deprem Tehlike Haritası [20].

Adapazarı bölgesindeki alüvyon kökenli malzemelerin özelliklerinde oluşan farklılaşmaların, zemin sorunlarında ve bina hasarlarının gerçekleşmesinde tamamlayıcı bir etken olduğu düşünülmektedir. Üst yapı boyutlarının, zeminden kaynaklanan problemleri yeteri kadar etkilemediği görülmektedir [2].

Farklı yaklaşımlar kullanarak zemin parametre değerlerinin hesaplanabildiği bilinmektedir. Azalım ilişkileri, ampirik yaklaşımlar ile zemin tabakalarının üst 30m'si için saptanmış

ortalama bir kayma dalgası hızının fonksiyonu gibi düşünülerek hesaplanmaktadır [3].

Zemin özellikleri farklı katmanlardaki zemin büyütme faktörünün incelenmesi için kayma dalgası hızı işlem dâhil edilmelidir [4].

Uygulama yapılacak yapının zeminine özel şantiye sahasında yerinde yapılan zemin büyütme araştırması, işlem yapılacak katmanların kayma dalgası hızı ve zeminin karakteristik

nicelikleri göz önünde bulundurularak zemin büyütme araştırması bir boyutlu olarak yapılmaktadır [5].

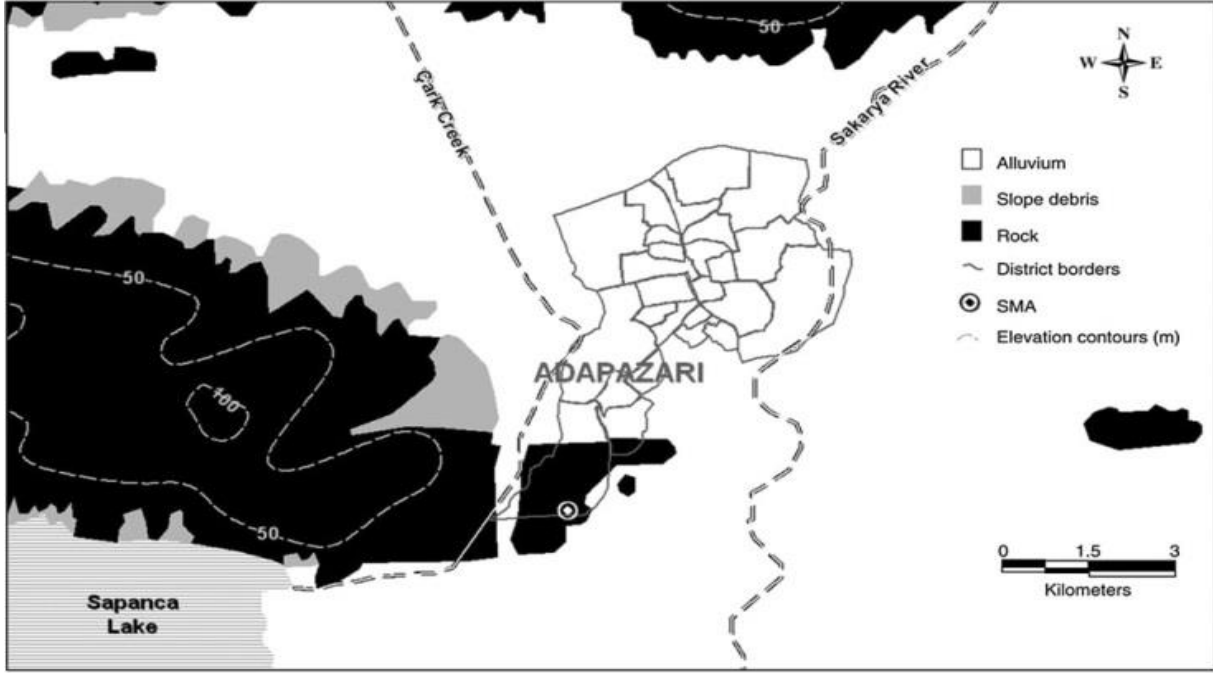
## 2. MALZEME VE METOD

### 2.1. Zemin Jeolojisi

Adapazarı ilçesi, Hendek ve Sapanca Gölü ortasında kalarak Mağara Boğazı ve Akyazı ilçesi dâhil olmak üzere kurulmuş bir şehir olup alüvyonel zemine sahip bir bölgedir. Adapazarı

merkezinin deniz seviyesinden yaklaşık 31 m yükseklikte olduğu bilinmektedir. Adapazarı bölgesinin tamamına yakın bölümünde siltli, killi, çakıllı ve kumlu zemin türleri sürekli olarak görülmektedir. Bu zemin türleri tek tip olarak görülebildiği gibi çoğunlukla farklı kombinasyonlar olarak karşımıza çıkmaktadırlar [6].

Kum, çakıl, kil ve silt içerikli alüvyonel zeminin Sakarya Nehri ile taşınması sonucu Adapazarı Vadisi oluşmuştur (Şekil 2) [7].



Şekil 2. Adapazarı bölgesinin zemin türü haritası [8].

### 2.2. Yerel Zemin Şartlarının Yer Hareketine Etkisi

Zemin özelliklerinin genlik, frekans içeriği ve yer hareketinin süresi gibi faktörleri etkilediği düşünülmektedir. Etkilemenin boyutu, yeraltı zemin malzemelerinin geometrik şekline ve özelliklerine bağlıdır. Dolayısı ile zeminin topografyası ile ilişkilendirilmektedir [9]. Deprem özellikleri; deprem merkez üssünün depremin olan yere uzaklığı, fay mekanizması ve yerel zemin şartları ile belirlenmektedir. Zemin şartlarını etkileyen parametrelerin başında, zemin katmanının ana kaya üzerinde yükselmesi, zemin profilinin özelliklerinin değişmesi, derinlik, yanal jeolojik heterojenlik ve yüzey topografyası gelmektedir [10].

Deprem dalgalarının geliş açısının hâkim zemin frekansı üzerinde önemli bir etkisi olmamaktadır. Ancak sadece geliş açısı arttığında, büyütme değerlerinde küçük bir azalma gözlenmektedir. Mühendislik açısından, dikey S dalgalarının önemli bir hataya neden olmadığını kabul etmek normal bulunmaktadır [11].

Ana kaya üzerindeki yumuşak-gevşek zemin tabakalarının kalınlığı artarsa, hâkim zemin periyotları daha çok

artmaktadır. Ayrıca bir zemin tabakasının kayma dalgası hızı azalır, zeminin hâkim periyodu yüksek büyütme oranlarıyla yüksek periyotlara doğru kaymaktadır. Bir zemin profili, her biri farklı doğrusal olmayan gerilme-şekil değiştirme davranışına sahip farklı katmanlardan oluştuğundan, zeminin tepkisi daha karmaşık hale gelebilmektedir. Birden fazla hâkim periyodun olabileceği düşünülmektedir. Bu sebeple, birçok araştırmacı zemin büyütme olgusunu gerçek deprem kayıtlarını kullanarak araştırmışlardır [6, 8, 9, 12].

Sonuç olarak deprem kuvvetine maruz kalan zeminin davranış hareketi, doğal zemin katmanlarının kalınlığına, doğrusal olmayan gerilme ve şekil değiştirme hareketine bağlanmaktadır. Projede güvenli bir depreme dayanıklı tasarım sonucu alabilmek için doğal zeminin doğrusal olmayan davranışları hesaba dâhil edilmelidir.

### 2.3. Zemin Büyütmesinin Analizleri

Zemin profilinin yüzeyinde meydana gelecek deprem dalgasının özelliklerini hesaplayabilmek için sismik veriler ile bağdaşan zemin büyütme katsayısı sorgulanmaktadır. Bu analizler yapılırken öncelikle zemin özellikleri

belirlenmelidir. Bu özellikler geoteknik ve jeofiziksel araştırmalar sonucu elde edilebilir ve ivme - zaman sonuçlarına bakılabilir. Fakat bu çalışmada kullanılan deprem kayıtları, depremin uzaklığına ve depremin faylanma sistemine uygun olarak seçilmelidir [13]. Zemin yüzeyinde meydana gelen en büyük ivme değerleri ve davranışları incelenerek ivme davranış spektrumları oluşturulmalıdır.

Temsili bir zemin profili oluşturularak bir boyutlu zemin büyütme analiz programı olan Shake91 programı ile zemin sahasına ait deprem özellikleri hesaplanabilmektedir [14]. Bu analiz programının dikkat edilmesi gereken özelliği sönüm miktarındaki en ufak değişimin derin sondajlarda oluşan hareketi büyük ölçüde etkilemesidir. Ancak çalışma çok derin sondajlarda yapılırsa sönüm miktarı artan derinlikle beraber azalacağından çok derinlerde sönüm değeri küçültülerek değiştirilmelidir.

Eşdeğer doğrusal analiz sistemi kullanılarak yapılan zemin hesaplamalarında deprem etkisi büyük olduğu zaman en büyük kayma gerilmesi ve en büyük ivmenin oluştuğu bilinmektedir. Fakat frekans aralığı fazla ise düşük büyütme oluştuğu gözlemlenmiştir [15].

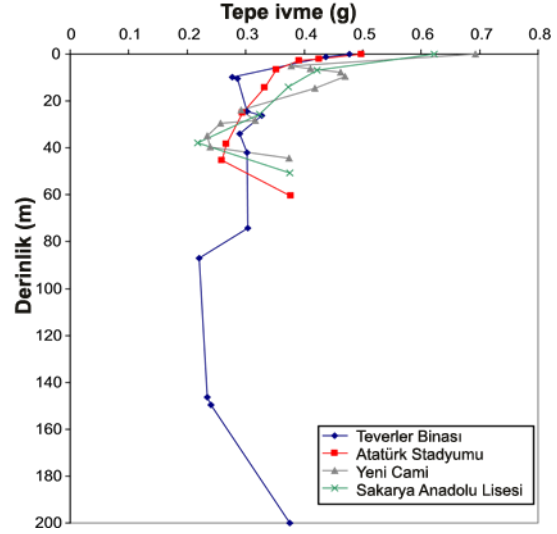
### 3. BULGULAR

#### 3.1. Zemin Büyütme Faktörü Üzerine Yapılmış Bazı Çalışmalar

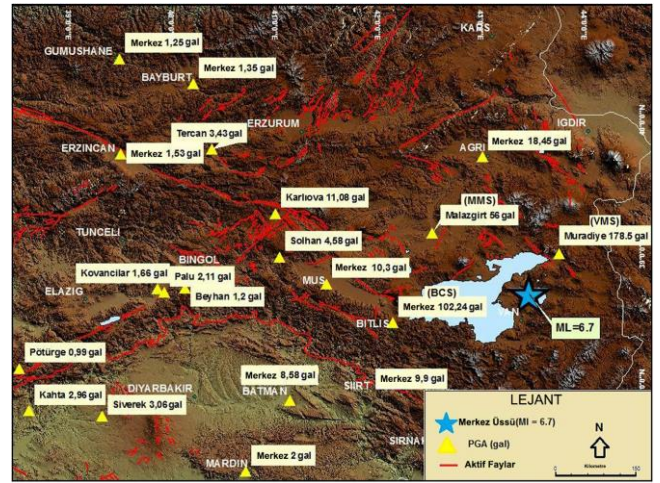
Daha önce Adapazarı bölgesinde yapılmış olan çalışmalar sonucunda Teverler Binası, Atatürk Stadyumu, Yeni Cami ve Sakarya Lisesi olmak üzere ana kaya derinliğinin farklı olduğu 4 bölge belirlenmiştir [16]. Bu bölgeler, 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin verdiği ağır hasarlar göz önüne alınarak seçilmiştir. Seçilen alanların ana kaya derinlikleri sırası ile 200 m, 60 m, 45 m ve 50 m'dir. Bu bölgeler 700±60 m/s kesme dalgası hızına sahip olduğu bilinmektedir [17]. Basitleştirilmiş sondaj logları ve bu sahalardan kesme dalgası profilleri önceden açılan sondaj kuyularından derlenmiştir [18].

17 Ağustos 1999 Kocaeli deprem yükü kullanılarak yapılan çalışmada derinlik ile ivme değişimleri kontrol edilmiştir. Şekil 3'de zemin yüzeyinde oluşan yer ivmesi Teverler binası için 0.47g, Atatürk Stadyumu için 0.49g, Yeni Cami için 0.69g, Sakarya Lisesi için 0.62g olarak hesap edilmiştir. Yeni Cami zemininde normalden fazla zemin büyütmesi oluştuğu görülmüştür [16].

Yapılan bir başka çalışmada ise 2011 yılında meydana gelmiş olan Van depremi incelenmiştir. Çalışmada bir çok farklı istasyonda (Şekil 4) kaydedilmiş olan deprem verileri incelenmiştir. Bu veriler doğrultusunda depremi meydana getiren fayın bir ters fay olduğu düşünülmüştür. Bu durumun büyük bir fay düzleminde meydana gelen hasarlar sonucunda oluştuğu tahmin edilmektedir. Yapılan incelemelerde fourier genlik spektrumlarının bazı istasyonlarda 1 Hertz'den daha düşük olduğu fakat bazı istasyonlarda ise beklenenden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun kötü zemin koşullarından veya topoğrafyanın etkisinden kaynaklanan zemin büyütme etkisi olduğu düşünülmüştür [19].



Şekil 3: 17 Ağustos 1999 Kocaeli deprem kaydı kullanılarak zemin tepki analizlerinden belirlenen farklı zemin profilleri için derinlik ile ivmelerinin değişimi [16].



Şekil 4: İvme ölçme istasyonları [19].

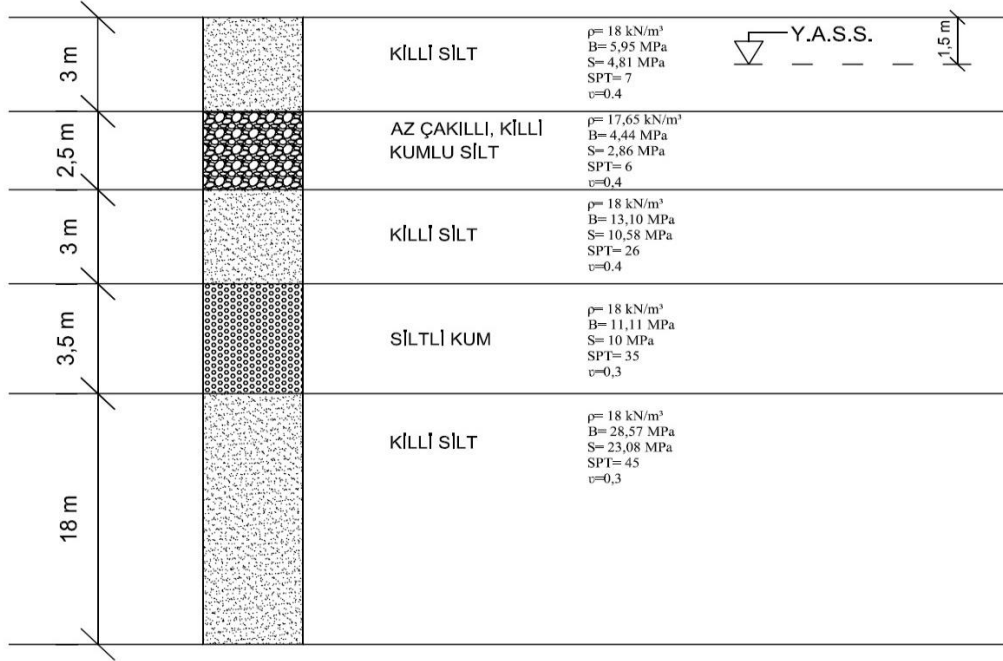
#### 3.2. Vaka Analizi

Tıgıcılar mahallesinde yapılmış zemin etüd raporuna göre SPT deneylerinde  $N_{30}$  darbe sayısı 6-50 arasında değişmekte olup ortalama  $N_{30}$  değeri 26.16'dır. Elek analizleri, Atterberg limitleri analizleri sonucu toplam 6 adet örneğin birleştirilmiş zemin sınıfına göre sınıflaması yapılmıştır. 0.00-3 m ile 5.50-8.0 m ve 12.00-15.00 m arasındakiler (ML) grubuna, 3.00-5.50 m arasındakiler (CL-ML) grubuna, 8.50-12.00 m arasındakiler ise (SM) grubuna girmektedir. Zeminde 6 m'ye kadar sıvılaşma riski olduğu bilinmektedir. Şekil 5.'de alüvyal bir zemin jeolojisine sahip Adapazarı bölgesi Tıgıcılar Mahallesi için bölgedeki zemin tabakalarını tanımlamak amacıyla önceden açılmış olan derin bir sondajdan elde edilen zemin kesiti görülmektedir. Zemin tabakalarının genel olarak kil ve siltten oluştuğu görülmekte ve yer altı su seviyesinin yüzeyden 1.50 metre derinde olduğu bilinmektedir.

#### 4. NUMERİK MODEL KURULUMU VE ANALİZ SONUÇLARI

FLAC programı kullanarak deprem dalgaları üzerindeki zeminin büyütme etkisi üzerinde çalışılmıştır. Model boyutlandırılırken literatürde aynı bölgede yapılmış olan boyutlandırma çalışmaları incelenmiş ve literatürdeki çalışmalarda belirlenmiş optimum boyut olan 30 - 30 m'lik model boyutları kullanılmıştır. 60-60 grid oluşturulmuştur. Her grid arası 0.5 m seçilmiştir. Zeminde 2.5 m yatay aralıklar ile 3 farklı nokta belirlenmiş ve aynı zamanda bu 3

farklı nokta, zeminin yüzeyinde, 15 m derinliğinde ve 30 m derinliğinde olmak üzere 3 farklı derinlikte belirlenmiştir. Bu çalışmada toplam 9 noktada ivme analizleri yapılmıştır. Bu programda analiz yapmak için kurulan numerik modelin kurulduğunda, malzeme özellikleri Mohr-Coulomb teorisine göre modellenmiştir. Analizlerde bölgede meydana gelmiş, en son ve en şiddetli deprem olan 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi ivme verisinin enerji aktarımının %90'ının gerçekleşmiş olduğu ilk 20 sn'lik kısmı kullanılmıştır. Kullanılan ivme verisi Şekil 8.'de görülmektedir.

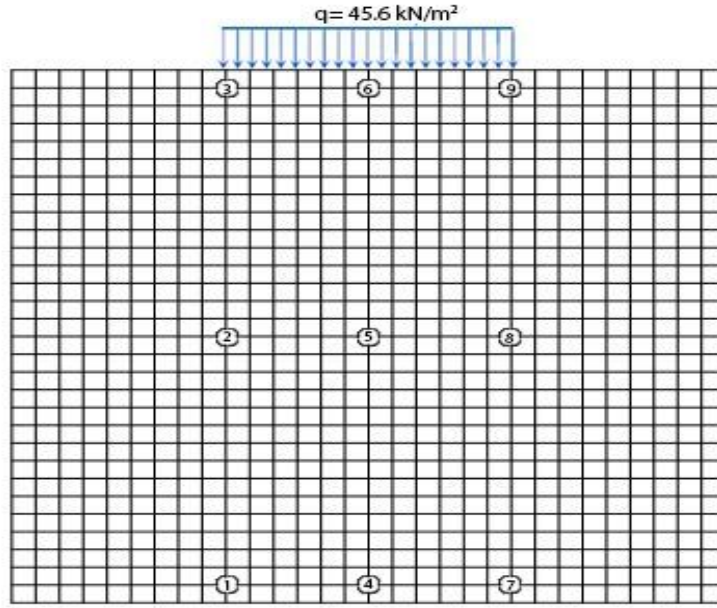


Şekil 5. Tıgırcılar Mahallesi'nden alınmış sondaj zemin profili.

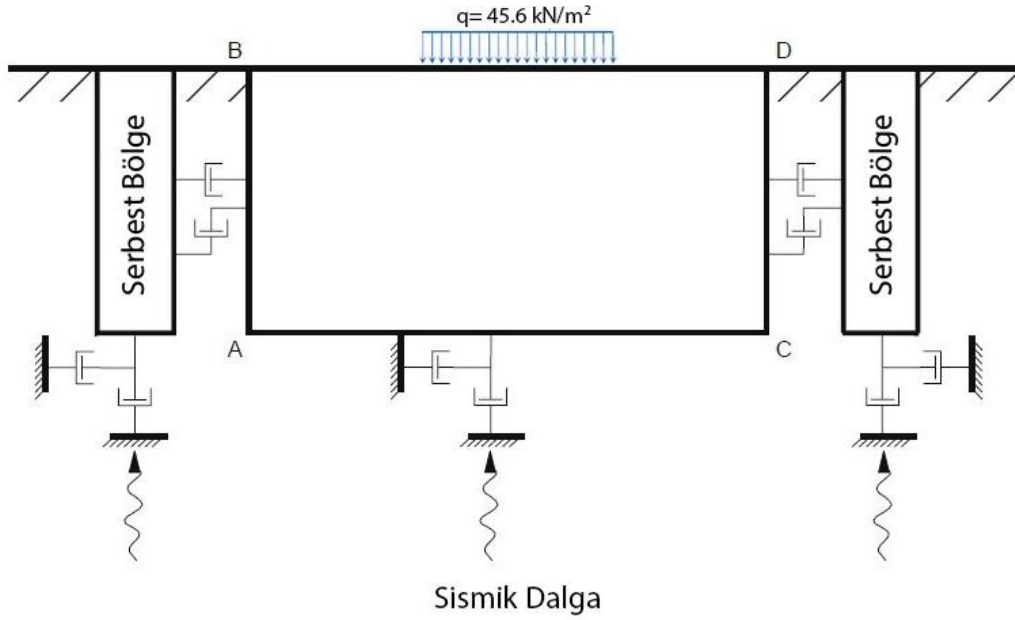
Şekil 6.'de inceleme yapılmış olan noktaların modeldeki yerleri gösterilmiştir. 1, 4 ve 7 noktası program için boyutlandırılan zeminin tabanında, 2, 5 ve 8 noktası ortada ve 3, 6 ve 9 noktası yüzeyde belirlenmiştir. Yatayda noktalar arasında 2.5 m mesafe bulunmaktadır.

Çalışmada sonsuz zemin bölgesi ayrı düşünülerek tabaka modeli sınırlandırılmıştır. Sınırlandırmanın sürekli

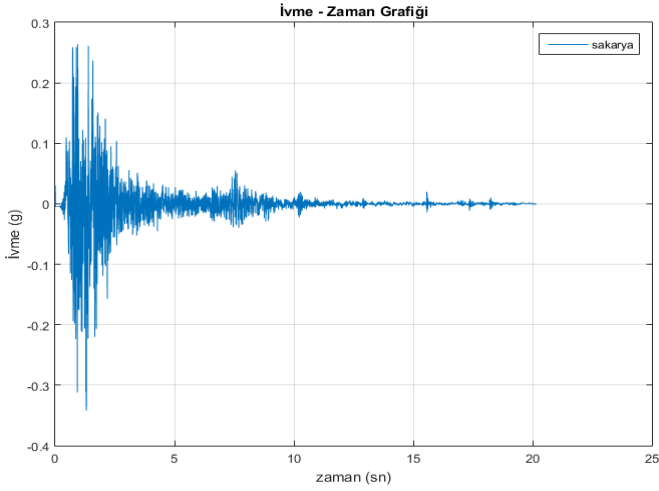
sağlanabilmesi için ve sınır bölgede dalga yansımalarını önleyebilmek amacı ile FLAC 2D programındaki serbest alan (Free-Field) sınırlandırma koşulları çalışmaya dahil edilerek analizler yapılmıştır. Şekil 6.'da serbest alan sınır şartlarında sismik analiz için tanımlanmış model şekli gösterilmektedir.



Şekil 6. İnceleme yapılacak derinlik noktalarının gösterimi.

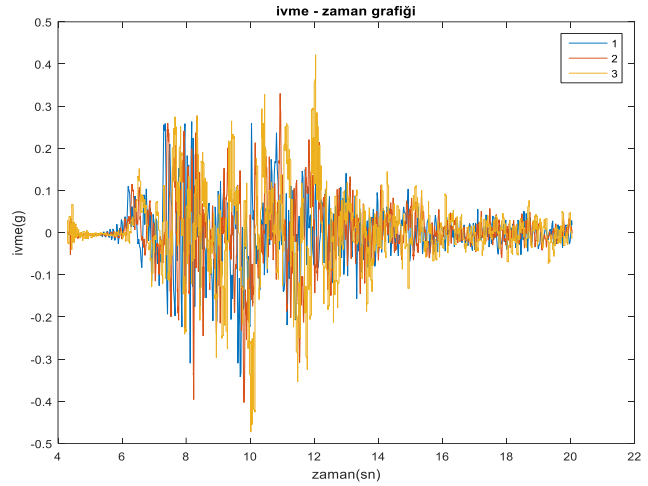


Şekil 7. Serbest alan sınır şartlarında sismik analiz için tanımlanmış model.



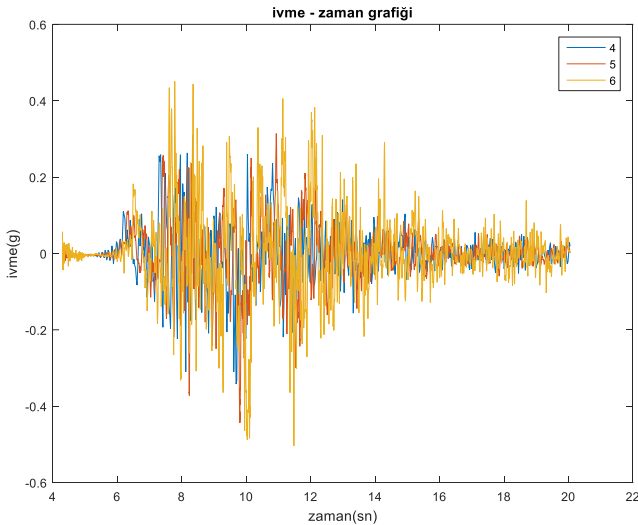
Şekil 8. 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin ivme-zaman grafiğinin enerji aktarımının en yüksek olduğu 20 saniyelik kısmı.

Şekil 8.'de 17 Ağustos 1999 Kocaeli deprem kayıtlarına göre ana kayada ölçülen ivme grafiklendirilmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda oluşturulmuş olan ivme-zaman grafikleri Şekil 9. – Şekil 10. – Şekil 11.'da verilmiştir. Şekil 8.'de tabandaki 1 noktası için ölçülen ivme



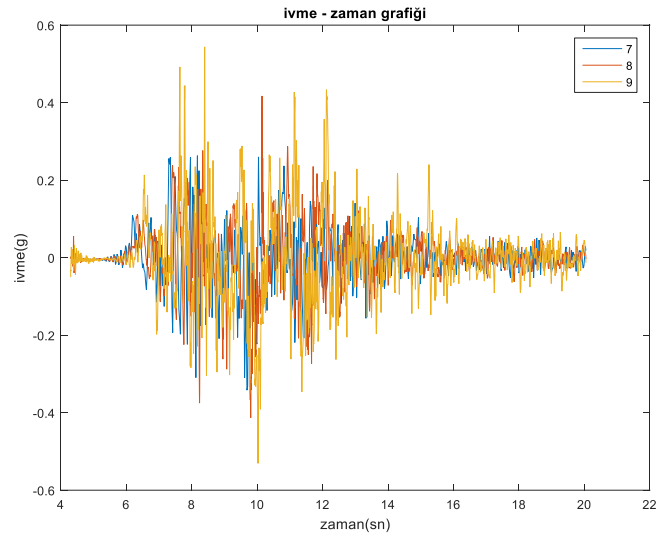
Şekil 9. 1,2 ve 3 noktasının bulunduğu modelin en sol kısmında tabanda, ortada ve yüzeyde ölçülen ivme - zaman grafiği.

değeri 0.33 g iken aynı doğrultudaki zeminin ortasındaki 2 noktası için ölçülen değer 0.4 g ve yüzeydeki 3 noktası için ölçülen ivme değeri 0.5 g dir. Zemin yüzeyine çıktıkça ivme değerlerindeki artmanın zemin özelliklerinden ve deprem verilerinden kaynaklandığı görülmüştür.



Şekil 10. 4, 5 ve 6 noktasının bulunduğu modelin ortasında tabanda, ortada ve yüzeyde ölçülen ivme - zaman grafiği.

Şekil 10.'da tabandaki 4 noktasında ivme değeri 0.34 g, orta kısımdaki 5 noktasında ivme değeri 0.45 g ve üst kısımdaki 6 noktasında oluşan ivme değeri 0.5 g olarak belirlenmiştir. Şekil 11.'da tabandaki 7 noktasında maksimum ivme değerinin 0.33 g, orta kısımda 8 noktasındaki maksimum



Şekil 11. 7, 8 ve 9 noktasının bulunduğu modelin en sağ kısmında tabanda, ortada ve yüzeyde ölçülen ivme - zaman grafiği.

ivme değerinin 0.4 g ve üst kısımda 9 noktasındaki maksimum ivme değerinin 0.58 g olduğu görülmektedir. Yapılan analizler sonucunda zemin tabanından yüzeye çıkıldıkça zemin ivme değerlerinde büyüme olduğu görülmüştür.

## 5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Çok kalın alüvyal bir zemin jeolojisine sahip Adapazarı bölgesi Tığcılar Mahallesi için bölgedeki zemin büyütmesini tanımlamak amacıyla önceden açılmış olan derin bir sondajdan elde edilen zemin kesiti kullanılarak FLAC 2D bilgisayar programı ile iki boyutlu zemin tepki analizi yapılmıştır. Analizlerde 17 Ağustos 1999 Kocaeli deprem kaydı kullanılmıştır. Yapılan analizler sonrasında tabandaki 1 noktası için ölçülen ivme değeri 0.33 g iken aynı doğrultudaki yüzeyde 3 noktası için ivme değeri 0.5 g'ye yükseldiği görülmüştür. 4 noktası için 0.34 g ölçülen ivme değeri yüzeyde 6 noktası için 0.5 g'ye yükseldiği görülmüştür. 7 noktasında ölçülen değer 0.33 g iken 9 noktasında 0.58 g'ye yükseldiği görülmüştür.

Analizlerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda, sismik dalgalar üzerinde zeminin büyütme etkisi yaptığı net olarak görülmektedir. Yerel saha ve zemin şartlarının, zemin yüzeyine yakın zemin katmanları boyunca yayıldıkları için genlik, frekans içeriği ve sismik dalgaların süresini etkileyebileceği uzun yıllardır bilinmektedir. Elde edilen sonuçlara göre zemin profillerinin tabanına uygulanan kuvvetli zemin hareketleri ivmesi zemin yüzeyine doğru büyümektedir. Bu tür zemin büyütme faktörünün etkili olduğu bölgelerde zemin büyütme etkisi karşısında tasarım spektrumlarının yeterli olup olmadığı kontrol edilmelidir.

## KAYNAKÇA

- [1] Yılmaz D, Durgunoğlu T (2004) Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi 16-17 Eylül 2004, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- [2] Sancio RB (2003) Ground failure and building performance in Adapazari, Turkey. PhD thesis, Univ. of California at Berkeley, Berkeley, California
- [3] Abrahamson, N., Atkinson, G., Boore, D., Bozorginia, Y., Campbell, K., Chiou, B., Idriss, I. M., Silva, W., Youngs, R. (2008) Comparisons of the NGA Ground-Motion Relations. *Earthquake Spectra* 24:1, 45-66
- [4] Borcherdt, R. D. (1994). Estimates of Site Dependent Response Spectra for Design (Methodology and Justification). *Earthquake Spectra* 10:4, 617-654
- [5] Ansal, A., Tönük, G. (2010). Seismic microzonation and earthquake damage scenarios for urban areas. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 30, 1319-1328
- [6] Önalp A, Sert S, Bol E (2000) Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi 26-27 Ekim 2000, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- [7] Kutanis M, Bal IE (2006) Local soil conditions effect on structural damage distribution. In: 11th soil mechanics and foundation engineering congress, Trabzon, pp 99–113 (in Turkish)
- [8] Bakir BS, Yılmaz MT, Yakut A, Gulkan P (2005) Re-examination of damage distribution in Adapazarı: geotechnical considerations. *Eng Struct* 27:1002–1013
- [9] Kramer SL (1996) *Geotechnical earthquake engineering*. Prentice Hall, Englewood Cliffs
- [10] Biringen E (2000) Soil amplification and case studies for clayey soils. Master thesis, Bogazici University, Istanbul
- [11] Yalcinkaya E (2004) Investigation of parameters affecting the soil amplification for 1-D models. *Istanbul Univ Eng Fac Earth Sci Rev* 17(1):47–56 (in Turkish)
- [12] Tezcan SS, Kaya E, Bal IE, Ozdemir Z (2002) Seismic amplification at Avcilar, Istanbul. *Eng Struct* 24:661–667
- [13] Ansal, A. ve Tönük, G. (2007). Source and Site Effects for Microzonation. Theme Lecture, 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Earthquake Geotechnical Engineering, Editör: K. Pitilakis, Bölüm 4, 73-92, Springer.
- [14] Idriss, I. M. ve J. I. Sun (1992). Shake91, A Computer Program for Conducting Equivalent Linear Seismic Response Analysis of Horizontally Layered Soil Deposits, Modified based on the original SHAKE program by Schnabel, Lysmer and Seed, 1972.
- [15] Yoshida, N., S. Kobayashia, I. Suetomia ve K. Miura (2002). Equivalent linear method considering frequency dependent characteristics of stiffness and damping. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 22:3, 205-222.
- [16] Fırat S, Işık N, Arman H, Demir M, Vural İ, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* (2016) 75:141-152. (2015)
- [17] Anbazhagan P, Sitharam TG (2009). Spatial variability of the weathered and engineering bedrock using multichannel analysis of surface wave survey. *Pure appl Geophys* 166(3):409–428
- [18] Demir M (2007) Investigation of soil amplification factor in Adapazari region. Master thesis, Sakarya University, Adapazari (in Turkish)
- [19] Beyhan G, Keskinsezer A, Kafadar Ö (2019). Analysis of strong ground motion data from the Van earthquake (Turkey), 2011. *Geomech. Geophys. Geo-energ. Georesour.* (2019) 5:253-270.
- [20] AFAD, 2018. Türkiye Deprem Tehlike Haritası. [Online] <https://www.afad.gov.tr/tr/26539/Yeni-Deprem-Tehlike-Haritası-Yayimlandi> (2019)