



Oğuz Akın Düzgün
Ahmet Şahin Zaimoğlu

oaduzgun@atauni.edu.tr, Erzurum-Turkey
oaduzgun@atauni.edu.tr; zaimoglu@atauni.edu.tr

DOI	http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2018.13.2.2A0141	
ORCID ID	0000-0003-0842-9031	0000-0001-5245-0212
CORRESPONDING AUTHOR	Oğuz Akın Düzgün	

ÜÇ BOYUTLU ZEMİN-YAPI SİSTEMLERİNDE AKTİF YÖNTEMLERLE TİTREŞİM İZOLASYONU SAĞLANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZ

Bu çalışmada, dinamik yük etkisindeki üç boyutlu bir zemin yapı sisteminin dinamik davranışı ve zemin yüzeyinde açılan çukurların titreşim yalıtımı üzerindeki etkinliği parametrik olarak incelenmiştir. Modellemede ve analizlerde Plaxis 3D programından faydalanılmıştır. Çalışmada çukurun derinliği, genişliği, uzunluğu ve yeri parametre olarak seçilmiştir. Sonuçlar zemin yüzeyinde yer değiştirmeler cinsinden, yapıda da hem yer değiştirme hem de kesit tesiri cinsinden elde edilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar titreşim yalıtımı için en etkili parametrenin çukurun derinliği olduğunu göstermektedir. Çukur derinliği arttıkça zemin yüzeyindeki ve yapıdaki titreşimler belirgin bir şekilde azalmaktadır. Titreşim yalıtımı problemlerindeki bir diğer etkin parametre de çukurun genişliğidir. Çukurun genişliğinin artması da genlikleri önemli ölçüde azaltmaktadır. Ancak bu azalım derinlik için elde edilen sonuçlardan daha küçüktür. Elde edilen sonuçlara göre çukurun uzunluğunun, yerinin ve içinin farklı malzemelerle doldurularak kullanılmasının titreşim yalıtımı çok az etkilediği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Titreşim Yalıtımı, Zemin-Yapı Etkileşimi, Sonlu Elemanlar, Geçirgen Sınırlar, Çukur Geometrisi

THE INVESTIGATION OF VIBRATION ISOLATION IN THREE DIMENSIONAL SOIL-STRUCTURE SYSTEMS BY ACTIVE METHODS

ABSTRACT

In this study, dynamic response of a 3D soil-structure system and effectiveness of open trenches at soil surface on vibration isolation is investigated under dynamic load. In the modelling and analyzing Plaxis 3D computer program is used. Depth, width, length and location of the trench are chosen as parameters. The results obtained in the form of displacements, axial load, shear and bending moment. The results show that the most effective parameter on vibration isolation is the depth of the trench. As the trench depth increases, vibration amplitudes on both soil surface and structure systematically decrease. Another effective parameter in isolation problems is width of the trench. Increase in the width of the trench decreases amplitudes, significantly, but lesser than the results those of the trench depth. According to the results, length and location of the trench and filling the trench by different materials have minor effect on the vibration isolation.

Keywords: Vibration Isolation, Soil-Structure Interaction, Finite Elements, Transparent Boundaries, Geometry of Trench

How to Cite:

Düzgün, O.A. ve Zaimoğlu, A.Ş., (2018). Üç Boyutlu Zemin-Yapı Sistemlerinde Aktif Yöntemlerle Titreşim İzolasyonu Sağlanabilirliğinin Araştırılması, **Technological Applied Sciences (NWSATAS)**, 13(2):108-121, DOI:10.12739/NWSA.2018.13.2.2A0141.



1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ağır trafik, titreşim yayan makine temelleri, patlamalar, zemine içinde çeşitli inşaat işleri veya sismik etkenlerden ötürü oluşan zemin içerisindeki titreşimler, bu titreşim kaynaklarına yakın bölgelerdeki yapılara, özellikle tarihi yapılar gibi korunması gereken binalarda zaman zaman hasara neden olabilmekte, hasara neden olmasa bile yapılarda yaşayan insanlar için oldukça rahatsız edici bir durum oluşturabilmektedir. Genel olarak titreşim kaynağı ile titreşimlerden etkilenen yapı arasına yerleştirilecek uygun bir dalga bariyeri sistemi ile zeminde oluşan bu titreşimlerin etkileri azaltılabilir veya tamamen ortadan kaldırılabilir [1 ve 7]. Titreşim yalıtımı sistemleri, yalıtım sisteminin yerine bağlı olarak iki kategoride incelenmektedir. Aktif yalıtım sistemleri, diğer bir deyişle titreşim kaynağı yalıtımı, titreşim kaynağının yakınında konumlandırılır ve titreşim kaynağındaki titreşimleri azaltmak amacıyla kullanılır. Öte yandan pasif yalıtım sistemleri korunacak bölge/bina yakınında inşa edilmektedir [4, 5 ve 8]. Belirli bir frekansta çalışan makinalar gibi hareketsiz titreşim kaynakları aktif yalıtım sistemleri kullanılarak izole edilebilirken, rastgele titreşim üreten titreşim kaynakları için pasif bariyer sistemleri daha kullanışlı olmaktadır [4]. Literatürde, açık ve/veya içi doldurulmuş çukurlar, halka en kesitli veya dolu kazık sistemleri, çok rijit beton duvarlar veya oldukça esnek gaz yastıkları gibi çok çeşitli titreşim yalıtımı için bariyer türleri incelenmiştir [1, 4, 9 ve 10]. Bu yalıtım sistemleri içerisinde zemin yüzeyindeki açık ve içi farklı malzemelerle doldurulmuş çukurlarla oluşturulan yalıtım sistemlerinin diğer sistemlere kıyasla hem düşük maliyetli olması hem de pratik bir şekilde uygulanabilir olması nedeniyle oldukça yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır [4].

Çeşitli nedenlerden ötürü zemin yüzeyinde oluşan titreşimlerin zararlı/olumsuz etkilerinin azaltılmasına yönelik araştırmaların geçmişi günümüzden yaklaşık 40-50 yıl öncesine kadar uzanmaktadır. Konuyla ilgili ilk çalışmalarda, titreşim izolasyonu problemleri analitik olarak ele alınmış olup, basit geometrilere sahip titreşim bariyerlerinin etkinliği araştırılmıştır [11 ve 12]. 1970'li yıllarda özellikle bilgisayar teknolojilerinin de gelişmeye başlamasıyla titreşim yalıtımı problemleri ağırlıklı olarak sayısal yöntemler kullanılarak ele alınmıştır. Sayısal yöntemlerin kullanılması, karmaşık problemlerin daha gerçekçi bir şekilde ele alınmasına yol açmıştır. Zemin yüzeyinde boş ve içi farklı malzemelerle doldurulmuş çukurların titreşim yalıtımı üzerindeki etkinliği ve yüzey dalgalarının zemin içerisindeki yayılımı toplu kütle yöntemiyle [13] incelenmiştir. Aynı problem, geçirgen sınırlarla sonlu elemanlar birlikte kullanılarak [14], sonlu farklar yöntemiyle [15], sonlu elemanlar sınır elemanlarla birlikte kullanılarak [16 ve 18] da ele alınmıştır. Diğer bir çalışmada ise, yüksek frekanslı titreşimlerin yumuşak zemin koşullarında yayılımı ve içi boş hendek tipi dalga bariyerlerinin titreşim yalıtımı üzerindeki etkinliği araştırılmıştır [19].

Literatürde, yarı sonsuz zemin ortamında tanımlanan problemler için sonlu elemanlar ile birlikte sonsuz elemanların da kullanılabileceği ifade edilmektedir [20]. Tren katarlarının neden olduğu titreşimleri azaltmada, zemin yüzeyindeki açık ve içi farklı malzemelerle doldurulmuş çukurların rolü sonlu ve sonsuz elemanlar birlikte kullanılarak [21], sonlu ve sınır elemanlar birlikte kullanılarak [22] ele alınmıştır. Yine demiryolu trafiğinden kaynaklanan titreşimlerin yalıtımı için kurulan modelde frekans tanım alanında farklı yöntemlerin önerildiği ve kullanıldığı çalışmalar da bulunmaktadır [23 ve 24]. Başka bir çalışmada ise, zeminde oluşan titreşim karakteristiklerinin belirlendiği, sığ ve açık çukurlarla



titreşim yalıtımının sağlanıp sağlanamayacağına yönelik araştırma yapılmıştır [25]. Demiryolu trafiğinden kaynaklanan düşük frekanslı titreşimlerin tabakalı zemin yüzeyindeki açık çukurların tek veya iki taraflı olarak yerleştirilmesiyle aktif yalıtım üzerindeki etkinliği araştırılmıştır [26]. Diğer bir çalışmada ise, içi farklı malzemelerle doldurulmuş çukurların yüzey dalgalarının yayılımını nasıl etkilediği üç boyutlu bir modelde analitik olarak ele alınmıştır [27]. Farklı dalga bariyer türlerinin titreşim yalıtımı üzerindeki etkinliğinin incelendiği çalışmalar da mevcuttur [28]. Titreşim yalıtımı problemlerinin deneysel olarak incelemek amacıyla arazide yapılan çalışmaların sonuçları da literatürde sunulmuştur [29]. Bir binanın temelindeki titreşim kaynağından yayılan titreşimlerin yalıtımında zemin yüzeyindeki açık çukurların ve çukurların etrafındaki beton duvarların etkinliği frekans tanım alanında iki boyutlu olarak araştırılmıştır [30].

Başka bir çalışmada ise, kumlu zeminlerde derin temellerdeki titreşimlerin pasif yalıtımında zemin yüzeyine açılmış çukurların etkinliği iki boyutlu olarak [31] ve üç boyutlu olarak [32] ANSYS bilgisayar programıyla parametrik olarak incelenmiştir. Öte yandan demiryolu trafiğinden kaynaklanan titreşimlerle salınan bir zemin-yapı sisteminin dinamik davranışını belirlemek için parametrik çalışmalar da yapılmıştır [33]. Başka bir çalışmada ise bir titreşim kaynağından yayılan dalgaların çevredeki binalar üzerindeki etkilerinin azaltılmasında çukur dalga bariyerlerinin etkinliği parametrik olarak zaman tanım alanında incelenmiştir [34]. Demiryolu trafiğinden kaynaklanan titreşimlerin çevre binalar üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılması için titreşim kaynağı ile etkilenen binalar arasına bir dalga bariyeri düşünülerek iki boyutlu analizlerin yapıldığı çalışmalar da bulunmaktadır [35]. Diğer bir çalışmada ise zemin yüzeyinde açık ve içi farklı malzemelerle doldurulmuş çukurların titreşim yalıtımı üzerindeki etkinliği sonlu ve sonsuz elemanlar birlikte kullanılarak parametrik olarak araştırılmıştır [36].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

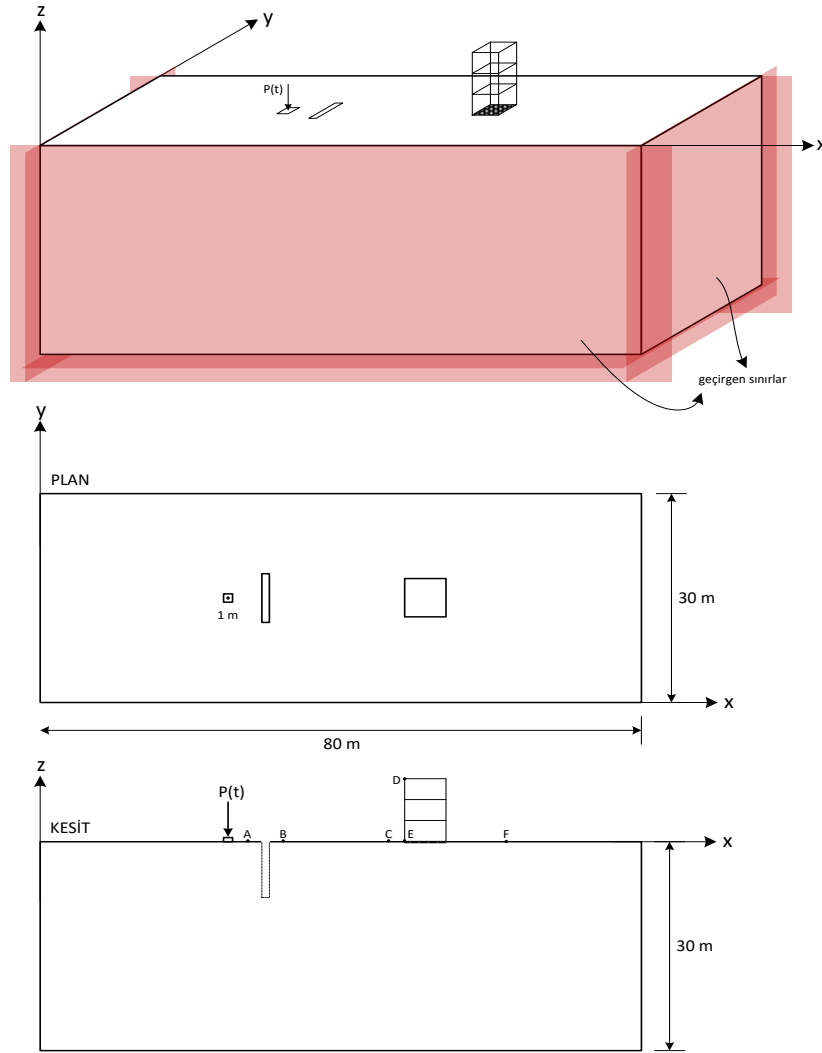
Titreşim yalıtımı problemleri literatürde genellikle iki boyutlu modeller üzerinde incelenmiştir. Üç boyutlu sistemler için yapılan çalışmalar ise sınırlı sayıdadır. Bu çalışmada da dinamik yük etkisindeki bir zemin-yapı sisteminde oluşan titreşimlerin azaltılmasında zemin yüzeyinde açılan çukurun etkinliği üç boyutlu modellenerek ele alınmış olup, elde edilen sonuçların literatüre katkı sağlaması amaçlanmaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Çalışmada dinamik yük etkisindeki üç boyutlu bir zemin-yapı sisteminde zemin yüzeyinde açılmış bir çukurun titreşim yalıtımı üzerindeki etkinliği parametrik olarak incelenmektedir. Problem, bir zemin-yapı etkileşimi problemi olarak ele alınmıştır. Zemin-yapı etkileşimi problemlerinin çözümünde, sonlu elemanlar yöntemi oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada da, sonlu elemanlara dayalı bir analiz programı olan Plaxis 3D kullanılmıştır. Kullanılan analiz programında üç boyutlu zemin ortamının modellenmesinde 10 düğüm noktalı tetrahedral sonlu elemanlar, yapının modellenmesinde ise 3 düğüm noktalı çubuk sonlu elemanlar kullanılmaktadır. Sonlu zemin bölgesinin sınırlarında ise geçirgen yapay sınırlar kullanılarak dalga yayılma şartları sağlanmıştır. Kullanılan yazılımda, geçirgen yapay sınır şartı olarak, Lysmer ve Kuhlemeyer (1969) tarafından geliştirilen viskoz sınır şartları kullanılmaktadır. Bu viskoz sınır şartları genel olarak şu şekilde ifade edilmektedir:

$$\begin{aligned}\sigma &= -C_1 \rho V_p \dot{u}_n \\ \tau &= -C_2 \rho V_s \dot{u}_t\end{aligned}\quad (1)$$

Burada σ ve τ sırasıyla normal ve kayma gerilmelerini, \dot{u}_n ve \dot{u}_t sırasıyla normal ve teğet doğrultudaki parçacık hızlarını, V_p ve V_s sırasıyla basınç ve kayma dalgası hızlarını, a ve b ise sınırdaki enerji geçişini iyileştirmek için kullanılan boyutsuz parametreleri ifade etmektedir. Çalışmada göz önüne alınan zemin-yapı sistemi şematik olarak Şekil 1'de gösterilmektedir. Çalışmada, zemin ortamının tek tabakalı bir zemin olduğu kabul edilmiş olup, zemin tabakası için seçilen mühendislik özellikleri ise Tablo 1'de verilmektedir. Zemin tabakasına ait özellikler literatürden [33 ve 35] alınmıştır.

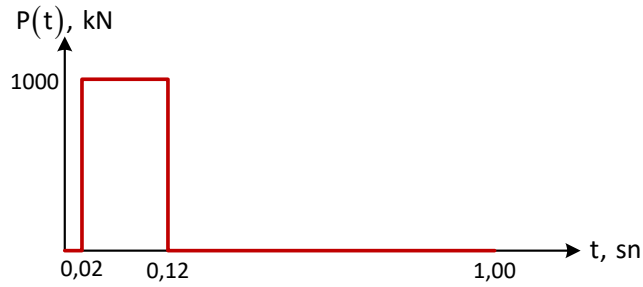


Şekil 1. Çalışmada ele alınan zemin-yapı sistemi
(Figure 1. Soil-structure system taken in this study)

Şekil 1'den görüldüğü üzere yapı sisteminin modellenmesinde sadece çubuk elemanlar kullanılmış olup, boyutlarının ise birbirine eşit olduğu kabul edilmiştir. Sisteme etkiyen yükün, zemin yüzeyinde ve düşey doğrultuda etkiyen tekil bir dinamik yük olduğu kabul edilmiştir. Seçilen yükün zamanla değişimi Şekil 2'de verilmektedir.

Tablo 1. Zemin tabakasına ait mekanik özellikler
(Table 1. Mechanical properties of soil stratum)

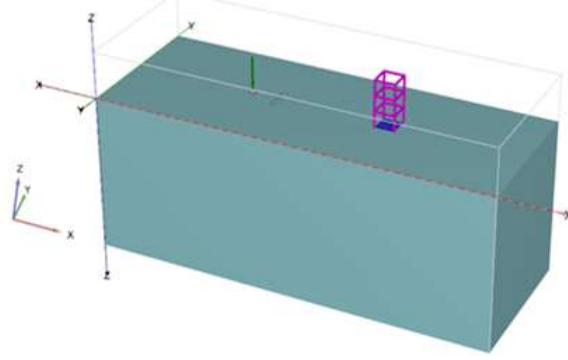
Parametre	Sembol	Birim	Büyükük
Birim Hacim Ağırlık	γ	kN/m ³	20.00
Elastisite Modülü	E	kPa	53100.00
Kayma Modülü	G	kPa	20420.00
Poisson Oranı	ν	-	0.30
Basınç Dalgası	c_p	m/s	187.00
Kayma Dalgası	c_s	m/s	100.00
Rayleigh Sönüm Katsayıları	α ve β	-	0.01
Boşluk Oranı	e	-	0.80
Kohezyon	c	kPa	0.00
Kayma Direnci Açısı	ϕ	°	28.00
Arayüz Dayanım Azaltma Faktörü	R_{ort}	-	0.67



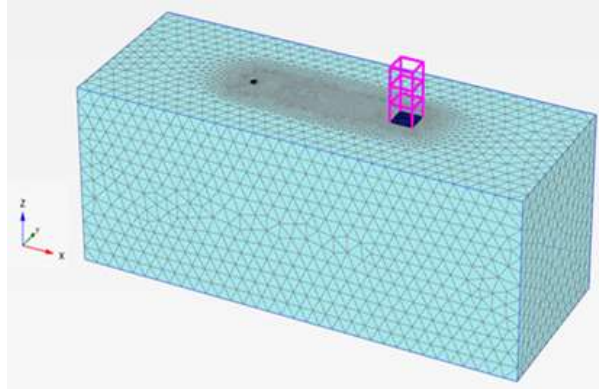
Şekil 2. Sisteme etki eden düşey dinamik yük
(Figure 2. Vertical dynamic load acting on the system)

Zemin yüzeyindeki çukurların titreşim izolasyonu üzerindeki etkinliği incelenirken çukurun genişliği, derinliği, uzunluğu ve konumu gibi parametreler dikkate alınmıştır. Zemin yüzeyindeki çukurların dalga bariyeri olarak kullanılabilirliğinin incelendiği literatürdeki çalışmalarda λ_R Rayleigh dalga boyu olmak üzere, minimum çukur genişliğinin $0.1\lambda_R-0.5\lambda_R$ arasında olması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca minimum çukur derinliğinin aktif izolasyon için $0.6\lambda_R$, pasif izolasyon için $1.33\lambda_R$ olması gerektiği belirtilmektedir [29]. Diğer bazı çalışmalarda bu minimum koşullara bağlı kalmak kaydıyla çukur genişliği 0.3-2m arasında, çukur derinliği 2.5-20m arasında, çukur uzunluğu ise 3-5m arasında seçilmiştir [4, 29 ve 34].

Bu çalışmada da minimum koşullar dikkate alınmış olup, çukur genişliği (d) olarak 0.25, 0.5 ve 1.0m değerleri, çukur derinliği (H) olarak 2.5, 5.0 ve 10m değerleri, çukur uzunluğu (Lç) olarak 5.0 ve 10m değerleri ve yükün çukura uzaklığı olarak 5.0m değeri seçilmiştir. Yapının oturma alanının 4.0x4.0m, kat yüksekliğinin 3.0m ve bina yüksekliğinin 9.0m olduğu kabul edilmiştir. Sistemin modellenmesinde ve analizinde Plaxis 3D programından yararlanılmıştır. Zemin ortamı ve yapı modellendikten (Şekil 3) sonra sonlu elemanlara ayırma işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). Bu aşamada zemin yüzeyi, yük, çukur ve yapının olduğu kısımlar daha küçük elemanlara ayrılmış bu bölgeden uzaklaştıkça eleman boyutları da büyümüştür. Sonlu eleman boyutları seçilirken yüzey dalgası (Rayleigh) dalga boyu dikkate alınmıştır.



Şekil 3. Yükün, yapının ve çukurun modellenmesi
(Figure 3. Modelling of load, structure and trench)



Şekil 4. Sistemin sonlu elemanlara ayrılması
(Figure 4. Finite element discretization of the system)

Tüm sistemin sonlu elemanlara ayrılmasının ve sonlu zemin yüzeylerine geçirgen sınırların tanımlanmasının ardından analizler gerçekleştirilmiştir. Problem dinamik bir problem olduğundan dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Dinamik yük etkisindeki bir sistemin genel hareket denklemi şu şekilde ifade edilmektedir:

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + Ku(t) = F(t) \quad (2)$$

Burada; M , C ve K sırasıyla kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini, u yer değiştirme vektörünü, \dot{u} hız vektörünü ve \ddot{u} ise ivme vektörünü göstermektedir. M matrisi oluşturulurken toplu kütle modeli uygulanmıştır. C sönüm matrisi malzeme sönümünü ifade etmektedir. Sonlu eleman formülasyonunda sönüm kütle ve rijitlik matrislerinin bir fonksiyonu olarak şu şekilde ifade edilmektedir:

$$C = \alpha M + \beta K \quad (3)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada α ve β katsayıları Rayleigh sönüm katsayılarıdır. Kullanılan yazılımda sistemin hareket denklemi zaman artımı yöntemiyle çözülerek sonuçlara ulaşılmıştır.

Analizlerin sonucunda Şekil 1'de zemin yüzeyinde belirtilen A, B, C, D, E ve F noktalarında yer değiştirmeler ve bina üzerindeki D ve E noktalarında ise hem yer değiştirmeler hem de kesit tesirleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar aynı geometriye sahip ve yüzeyde çukur bulunmayan referans sistemden ve aynı noktalardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılarak yüzeyde çukur bulunmasının titreşim yalıtımındaki etkinliği araştırılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

Bu çalışmada, düşey doğrultuda etki eden tekil bir dinamik yük etkisindeki bir zemin-yapı sisteminde zemin yüzeyinde açılan çukurun



titreşim izolasyonu üzerindeki etkinliği araştırılmıştır. Titreşim kaynağından yayılan titreşimlerin zemin ortamında ilerlemesi ve bu titreşimlerin yapılarla etkileşime girmesi oldukça karmaşık bir problemdir. Zemin içerisinde dalga yayılım mekanizması detaylı bir biçimde literatürde detaylı bir şekilde anlatılmaktadır [9, 37 ve 41]. Literatürde ayrıca zemin tabakalanmasının, yer altı suyunun ve zeminlerin dinamik özelliklerinin dinamik davranış üzerinde büyük etkisinin olduğunu belirtilmiştir [9]. Titreşim problemlerinde, yüzey dalgalarının (Rayleigh dalgaları) büyük önemi vardır. Çünkü bu tür dalgalar zeminin serbest yüzeyinde hem yatay hem de düşey hareket etmektedir. Bir dalga bariyeri ile dalga yayılımını engelleme mekanizması zemin içerisindeki bir titreşim kaynağı nedeniyle oluşan ve özellikle yüzey dalgalarının enerjisini azaltmayı amaçlamaktadır [12, 16 ve 17]. Zemin yüzeyine bir dalga bariyeri yerleştirmek, titreşim dalgalarının yayıldığı ortamda sonlu bir süreksizlik bölgesi oluşturma anlamına gelmektedir. Bir yüzey dalgası yüzeydeki bir çukura ulaştığı zaman şu üç durum ortaya çıkmaktadır: a) yansıyan yüzey dalgası, b) çukurdan uzaklaşan cisim dalgaları ve c) iletilen yüzey dalgası. Cisim dalgaları da iki alt gruba ayrılmaktadır: aşağıya doğru hareket eden yansıyan cisim dalgaları ve çukurun diğer tarafına geçen cisim dalgaları. Çukurun diğer tarafına ulaşan yüzey ve cisim dalgaları küçük enerjiye sahip olduklarından daha küçük titreşimlere neden olmaktadır [3].

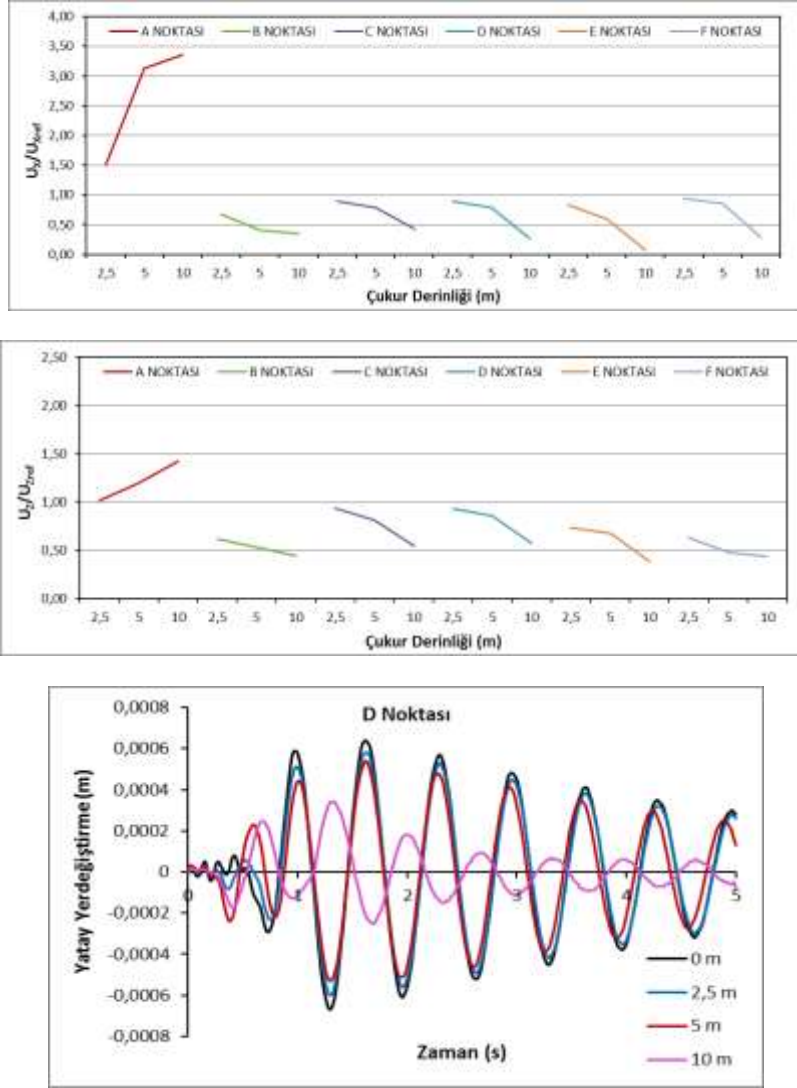
Seçilen parametrelere göre elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur. Ancak, öncelikle şu hususa dikkat edilmelidir ki, elde edilen sonuçlar tamamıyla seçilen parametrelere bağlı olduğundan burada sayısal sonuçlar yerine, davranışın daha iyi anlaşılabilmesi açısından oransal sonuçlara yer verilmiştir. Çünkü elde edilen sayısal sonuçlar seçilen parametreler için geçerli olup genel sonuçlar değildir. Çukur derinliğinin titreşim yalıtımı üzerindeki etkileri Şekil 5 ve 6'da verilmektedir. Şekillerde verilen grafiklerde U_x ; x doğrultusundaki, U_z ise düşey doğrultudaki yer değiştirmeleri göstermektedir. Şekil 6'daki kesit tesiri değerleri yapının en üst seviyesindeki D noktasına birleşen kolondan alınmıştır. Kesit tesirleri N, Q12, Q13, M2 ve M3 sırasıyla normal kuvvet, x-z düzlemindeki kesme kuvveti, y-z düzlemindeki kesme kuvveti, y-z düzlemindeki eğilme momenti ve x-z düzlemindeki eğilme momenti değeridir. Elde edilen sonuçlar referans sistemin sonuçlarıyla oranlanarak verilmektedir.

Burada, çukur genişliğinin ve uzunluğunun sırasıyla sabit 1m ve 5m olan durum için elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Sonuçlar incelendiğinde çukur derinliğinin titreşim genlikleri üzerinde önemli bir etkisinin olduğu ve çukur derinliği arttıkça hem yatay hem de düşey yer değiştirmelerinin önemli oranlarda değiştiği görülmektedir. Çukur derinleştikçe çukurla titreşim kaynağı arasındaki A noktasındaki yer değiştirmelerde önemli artışların meydana geldiği görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar literatür verileriyle uyumaktadır. Genliklerdeki bu artış titreşim kaynağından yayılan dalgaların çukura çarpmasıyla birlikte gelen ve yansıyan dalgaların etkileşime girmelerinden kaynaklanmaktadır [40]. Diğer taraftan çukur derinleştikçe zemin yüzeyindeki diğer noktalardaki (B, C, D, E ve F) hem yatay hem de düşey yer değiştirmeler sistematik bir şekilde azalmaktadır. Yapının en üst kat noktasındaki (D noktası) yatay yer değiştirmelerin zamanla değişimi de Şekil 5'te verilmektedir. Bu grafik incelendiğinde çukur derinleştikçe yer değiştirmelerin belirgin bir şekilde azaldığı görülmektedir. Çukur derinliğinin artmasıyla daha küçük genliklerin meydana geldiği, dolayısıyla yapıdaki titreşim genliklerinin azaldığı, dolayısıyla yalıtımın sağlandığı söylenebilir. Bununla birlikte çukur derinliği arttıkça yapının en üst kat

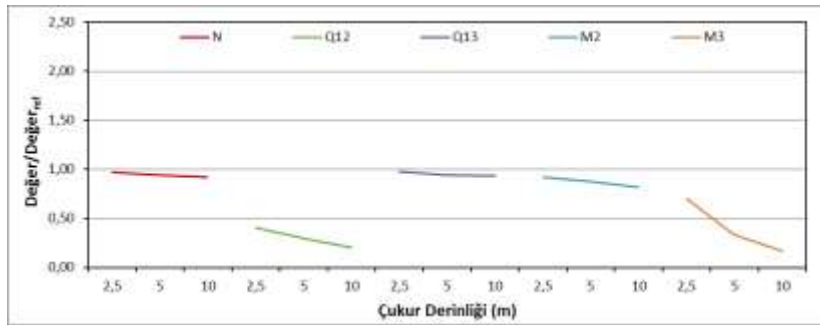


kolonundan alınan kesit tesiri değerleri değişkenlik göstermektedir. Şöyle ki; bütün kesit tesirleri azalma eğiliminde olmasına rağmen x-z düzlemindeki kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri, derinliğin artmasından daha fazla etkilenmektedir. Benzer sonuçlar daha önceden yapılan çalışmalarda da elde edilmiştir [3, 12 ve 36]. Titreşim genliklerindeki bu azalma çukura varan dalganın çukurun etrafını dolanarak diğer tarafa geçmesi ve bu arada da sönümlenmesiyle açıklanabilir. Literatürde de en etkin parametrenin çukur derinliği olduğu vurgulanmaktadır [3, 12 ve 27]. Ancak dikkat edilmesi gereken husus minimum çukur derinliğinin aktif ve pasif izolasyon için sırasıyla λ_R Rayleigh dalga boyu olmak üzere $0.6\lambda_R$ ve $1.33\lambda_R$ olması gerektiği belirtilmektedir [29].

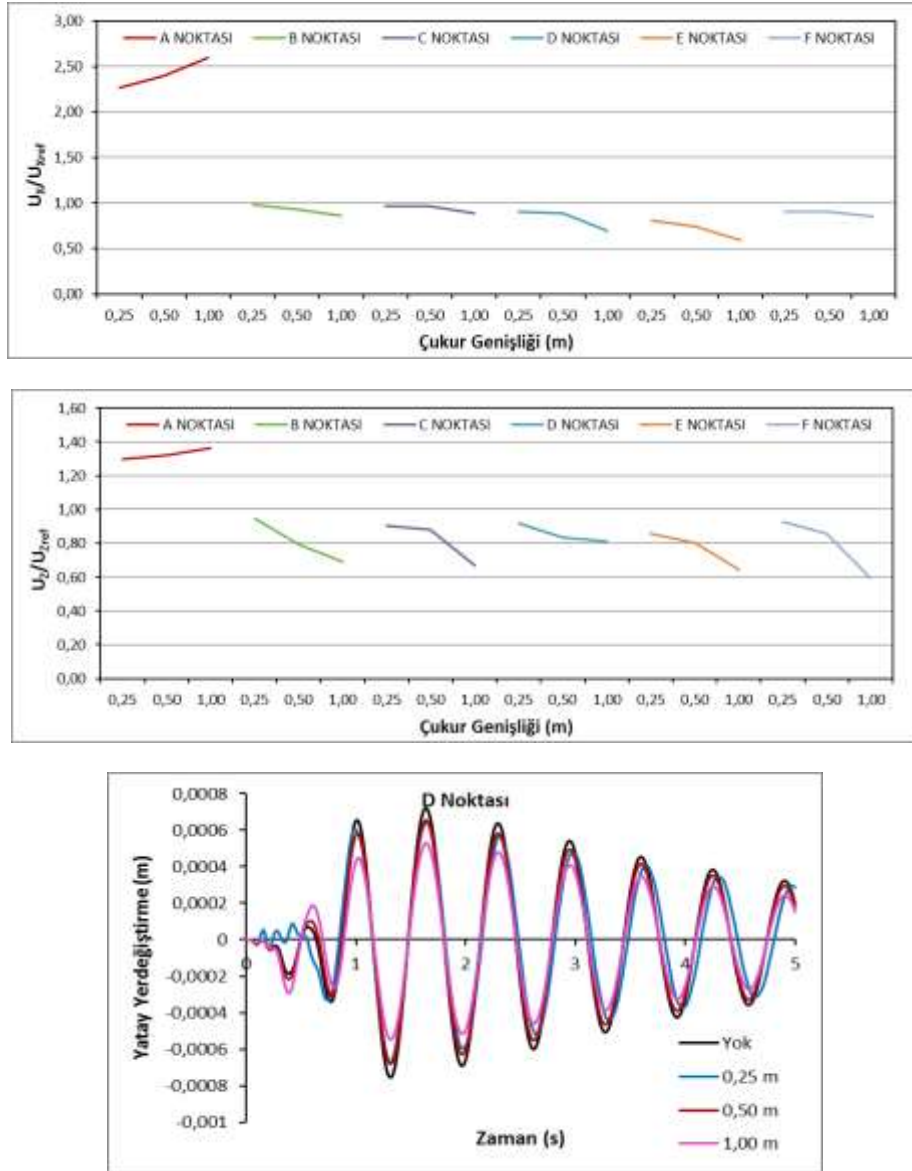
Çukur genişliğinin titreşim yalıtımı üzerindeki etkileri Şekil 7 ve 8'de verilmektedir. Burada, çukur derinliğinin ve uzunluğunun sabit 5m olan durum için elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Şekillerde verilen grafiklerdeki terimler önceki verilenlerle aynıdır. Elde edilen sonuçlar yine referans sistemden elde edilen sonuçlarla oranlanarak verilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde çukur genişliğinin titreşim genlikleri üzerinde çukur derinliği kadar olmasa da etkin bir parametre olduğu ve çukur genişliği arttıkça hem yatay hem de düşey yer değiştirmelerinin belirgin bir şekilde değiştiği görülmektedir. Çukur genişledikçe çukurla titreşim kaynağı arasındaki A noktasındaki yer değiştirmelerde önemli artışların meydana geldiği görülmektedir. Bu artışın nedeni çukurla kaynak arasındaki bölgede dalgaların birbirleriyle etkileşime girmeleridir [40]. Diğer taraftan çukur genişledikçe zemin yüzeyindeki (çukurun diğer tarafındaki) diğer noktalarındaki (B, C, D, E ve F) hem yatay hem de düşey yer değiştirmeler sistematik bir şekilde azalmaktadır. Ancak bu azalım düşey yer değiştirmelerde daha belirgindir. Yapının en üst kat noktasındaki (D noktası) yatay yer değiştirmelerin zamanla değişimi de Şekil 7'de verilmektedir. Bu grafik incelendiğinde çukur genişledikçe yer değiştirmelerin belirgin bir şekilde azaldığı görülmektedir. Çukur genişliğinin artmasıyla da titreşim yalıtımının sağlandığı söylenebilir. Çukur genişliği arttıkça yapının en üst kat kolonundan alınan kesit tesiri değerlerindeki genel eğilim azalma yönünde olmakla birlikte yine x-z düzlemindeki kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri genişliğin artmasından daha fazla etkilenmektedir. Sonuçlar incelendiğinde çukur genişliğinin de titreşim yalıtımı problemlerinde bir diğer etkin parametre olduğu görülmektedir. Ancak göz ardı edilmemesi gereken husus yine λ_R Rayleigh dalga boyu olmak üzere minimum çukur genişliğinin $0.1\lambda_R-0.5\lambda_R$ arasında olması gerektiğidir [29].



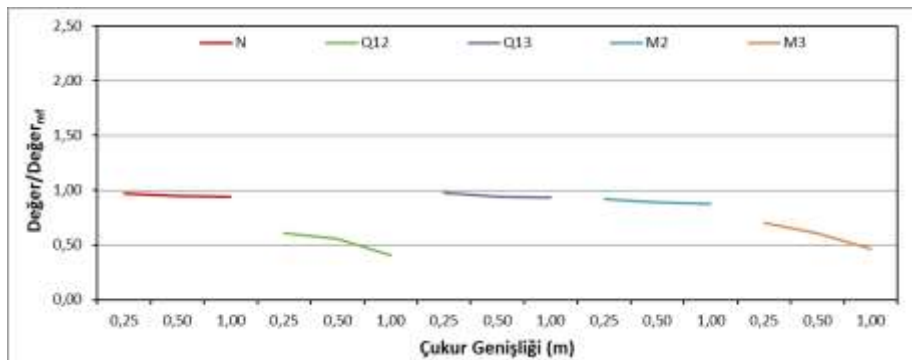
Şekil 5. Çukur derinliğinin yer değiştirmeler üzerindeki etkisi
(Figure 5. Effect of trench depth on displacements)



Şekil 6. Çukur derinliğinin kesit tesirleri üzerindeki etkisi
(Figure 6. Effect of trench depth on internal forces)



Şekil 7. Çukur genişliğinin yer değiştirmeler üzerindeki etkisi
(Figure 7. Effect of trench width on displacements)



Şekil 8. Çukur genişliğinin kesit tesirleri üzerindeki etkisi
(Figure 8. Effect of trench width on internal forces)

Çalışmada incelenen diğer parametreler çukurun uzunluğu, çukurun yeri ve çukurun farklı bir malzemeyle doldurulmasıdır.



Ancak bu parametrelerin titreşim yalıtımı üzerinde önemli bir katkısı olmamasından ötürü bu parametrelere ait sonuçlar sunulmamıştır. Daha önceden yapılan çalışmalarda titreşim yalıtımında yüzeyde açık çukurların, içi farklı malzemelerle doldurulmuş çukurlara kıyasla daha iyi titreşim izolasyonu sağladığını, ancak açık çukurların da nispeten daha az derinlikler için uygulanabilir olduğunu belirtilmiştir [3 ve 29]. Diğer taraftan titreşim yalıtımı problemlerinde çukurun yerinin sonuçları çok az etkileyeceği de belirtilmektedir [30].

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışmada, yüzeyde düşey doğrultuda hareket eden dinamik bir yük etkisindeki üç boyutlu bir zemin-yapı sisteminde zemin yüzeyine açılan bir çukurun titreşim yalıtımı üzerindeki etkinliği parametrik olarak incelenmiştir. Modellemede ve analizlerde Plaxis 3D programından faydalanılmıştır. Modellemede sonlu bir zemin bölgesi ele alınmış ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Zemin bölgesinin sınırlarında da geçirgen yapay sınırlar kullanılmıştır. Çalışmada çukurun derinliği, genişliği, uzunluğu ve yeri parametre olarak seçilmiştir. Sonuçlar zemin yüzeyinde yer değiştirmeler cinsinden, yapıda da hem yer değiştirme hem de kesit tesiri cinsinden elde edilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir: Titreşim yalıtımı için en etkili parametrenin çukurun derinliği olduğu söylenebilir. Çukur derinliği arttıkça zemin yüzeyindeki ve yapıdaki titreşimler belirgin bir şekilde azalmaktadır. Dolayısıyla çukur derinliği arttıkça titreşim yalıtımının artacağı sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte çukur derinliği belirlenirken literatürde yüzey dalgasının dalga boyuna bağlı olarak önerilen minimum koşullara dikkat edilmesi gerekmektedir. Titreşim yalıtımı problemlerindeki bir diğer etkin parametre de çukurun genişliğidir. Çukurun genişliğinin artması da genlikleri önemli ölçüde azaltmaktadır. Ancak bu azalım derinlik için elde edilen sonuçlardan daha küçüktür. Elde edilen sonuçlara göre çukurun uzunluğunun, yerinin ve içinin farklı malzemelerle doldurularak kullanılmasının titreşim izolasyonunu hemen hemen hiç etkilemediği sonucuna varılmıştır. Titreşim yalıtımı için zemin yüzeyine çukurlar açılmasının ancak sığ derinlikler için uygulanabilir olduğuna dikkat edilmelidir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, Atatürk Üniversitesi tarafından desteklenen 2013/339 numaralı Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında yapılmıştır.

NOT (NOTICE)

Bu çalışma, 21-23 Eylül 2017 tarihinde Bayburt'ta düzenlenen "International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET'17)" sempozyumunda sözlü bildiri olarak sunulmuş ve yeniden yayımlanmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Kattis, S.E., Polyzos, D. and Beskos, D.E., (1999). Vibration Isolation by A Row of Piles Using A 3-D Frequency Domain BEM. International Journal for Numerical Methods in Engineering, Volume:46, pp:713-728.
- [2] Kattis, S.E., Polyzos, D., and Beskos, D.E., (1999). Modelling of Pile Wave Barriers by Effective Trenches and Their Screening Effectiveness. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Volume:18, pp:1-10.
- [3] Shrivastava, R.K. and Kameswara Rao, N.S.V., (2002). Response of Soil Media due to Impulse Loads and Isolation Using Trenches. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Volume:22, pp:695-702.



-
- [4] Adam, M. and Von Estorff, O., (2005). Reduction of Train-Induced Building Vibrations by Using Open and Filled Trenches. *Computers and Structures*, Volume:83, pp:11-24.
 - [5] Gao, G.Y., Li, Z.Y., Qiu, C. and Yue, Z.Q., (2006). Three-Dimensional Analysis of Rows of Piles as Passive Barriers for Ground Vibration Isolation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Volume:26, pp:1015-1027.
 - [6] Lu, J.F., Xu, B. and Wang, J.H., (2009). Numerical Analysis of Isolation of the Vibration due to Moving Loads Using Pile Rows. *Journal of Sound and Vibration*, Volume:319, pp:940-962.
 - [7] Cao, Z., Cai, Y., Boström, A. and Zheng J., (2012). Semi-analytical Analysis of the Isolation to the Moving-Load Induced Ground Vibrations by Trenches on a Poroelastic Half-Space. *Journal of Sound and Vibration*, Volume:331, pp:947-961.
 - [8] Klein, R., Antes, H. and Le Houédec, D., (1997). Efficient 3D Modelling of Vibration Isolation by Open Trenches. *Computers and Structures*, Volume:64, pp:809-817.
 - [9] Massarsch, K.R., (2005). Vibration Isolation Using Gas-Filled Cushions. *Soil Dynamics Symposium to Honor Prof. Richard D. Woods (Invited Paper)*, Geo-Frontiers, 22 p, Austin, Texas.
 - [10] Zhang, F.Y., Chen, C.S., Wei, L.J. and Zhang, T., (2008). Cast-in-Place Concrete Thin-Wall Pipe as Barrier for Vibration Isolation. *Journal of Central University of Technology*, Volume:15, pp:121-125.
 - [11] Pao, Y.H. and Mow, C.C., (1963). Scattering of Plane Compressional Waves by a Spherical Obstacles. *Journal of Applied Physics*, Volume:34, pp:493-499.
 - [12] Woods, R.D., (1968). Screening of Surface Waves in Soils. PhD thesis, Industry Program of the College of Engineering, The University of Michigan, USA.
 - [13] Lysmer, J. and Waas, G., (1972). Shear Waves in Plane Infinite Structures. *Journal of Engineering Mechanics*, ASCE, Volume:98, pp:85-105.
 - [14] Segol, G., Abel, J.F. and Lee, P.C.Y., (1978). Amplitude Reduction of Surface Waves by Trenches. *Journal of Engineering Mechanics*, ASCE, Volume:104, pp:621-641.
 - [15] Fuyuki, M. and Matsumoto, Y., (1980). Finite Difference Analysis of Rayleigh Wave Scattering at a Trench. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Volume:70, pp:2051-2069.
 - [16] Beskos, D.E., Dasgupta, B. and Vardoulakis, I.G., (1986). Vibration Isolation Using Open or Filled Trenches Part 1: 2-D Homogeneous Soil. *Computational Mechanics*, Volume:1, pp:43-63.
 - [17] Dasgupta, B., Beskos, D.E. and Vardoulakis, I.G., (1990). Vibration Isolation Using Open or Filled Trenches Part 2: 3-D Homogeneous Soil. *Computational Mechanics*, Volume:6, pp:129-142.
 - [18] Ahmad, S. and Al-Hussaini, T.M., (1991). Simplified Design For Vibration Screening by Open and In-Filled Trenches. *Journal of Geotechnical Engineering*, Volume:117(1), pp:67-88.
 - [19] Ahmad, S., Al-Hussaini, T.M. and Fishman, K.L., (1996). An Investigation on Active Isolation of Machine Foundations by Open Trenches. *Journal of Geotechnical Engineering*, Volume:122(6), pp:454-461.
 - [20] Yang, Y.B., Kuo, S.R. and Hung, H.H., (1996). Frequency-Independent Infinite Elements for Analyzing Semi-Infinite Problems. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Volume:39, pp:3553-3569.
 - [21] Yang, Y.B. and Hung, H.H., (1997). A Parametric Study of Wave Barriers for Reduction of Train-Induced Vibrations. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*,



- Volume:40, pp:3729-3747.
- [22] Andersen, L. and Nielsen, S.R.K., (2005). Reduction of Ground Vibration by means of Barriers or Soil Improvement Along a Railway Track. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Volume:25, pp:701-716.
- [23] Celebi, E. and Schmid, G., (2005). Investigation of Ground Vibrations Induced by Moving Loads. *Engineering Structures*, Volume:27, pp:1981-1998.
- [24] Celebi, E., (2006). Three-Dimensional Modelling of Train-Track and Sub-Soil Analysis for Surface Vibrations due to Moving Loads. *Applied Mathematics and Computation*, Volume:179, pp:209-230.
- [25] Hwang, J.H. and Tu, T.Y., (2006). Ground Vibration due to Dynamic Compaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Volume:26, pp:337-346.
- [26] Karlström, A. and Boström, A., (2007). Efficiency of Trenches along Railways for Trains Moving At Sub- or Supersonic Speeds. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Volume:27, pp:625-641.
- [27] Gao, G.Y., Shi, G., Feng, S.J. and Qiu, C., (2008). 3D Analysis of In-Filled Trench as Passive Barriers for Ground Vibration Isolation. *Science in China Series G: Physics, Mechanics & Astronomy*, Volume:51(10), pp:1573-1585.
- [28] Wang, J.G., Sun, W. and Anand, S., (2009). Numerical Investigation on Active Isolation of Ground Shock by Soft Porous Layers. *Journal of Sound and Vibration*, Volume:321, pp:492-509.
- [29] Çelebi, E., Fırat, S., Beyhan, G., Çankaya, İ., Vural, İ. and Kırtel O., (2009). Field Experiments on Wave Propagation and Vibration Isolation by Using Wave Barriers. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Volume:29, pp:824-833.
- [30] Tsai, P.H. and Chang, T.S., (2009). Effects of Open Trench Siding on Vibration-Screening Effectiveness Using the Two-Dimensional Boundary Element Method. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Volume:29, pp:865-873.
- [31] Jesmani, M., Fallahi, A.M. and Kashani, H.F., (2011). Study of Passive Isolation of Deep Foundations in Sandy Soil by Rectangular Trenches. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, Volume:16, pp:1297-1318.
- [32] Jesmani, M., Fallahi, A.M. and Kashani, H.F., (2012). Effects of Geometrical Properties of Rectangular Trenches Intended for Passive Isolation in Sandy Soils. *Earth Science Research*, Volume:1(2), pp:137-151.
- [33] Celebi, E. and Göktepe, F., (2012). Non-linear 2-D FE Analysis for the Assessment of Isolation Performance of Wave Impeding Barrier in Reduction of Railway-Induced Surface Waves. *Construction and Building Materials*, Volume:36, pp:1-13.
- [34] Orehov, V.V., Moghanlou, R.N., Negahdar, H. and Varagh, A.M.B., (2012). Investigation Effects of Trench Barrier on the Reducing Energy of Surface Waves in Soils. 15th World Conference on Earthquake Engineering, September 24-28, Lisbon, Portugal.
- [35] Göktepe, F. ve Çelebi, E., (2014). Yüksek Hızlı Trenlerin Çevre Yapılarda Oluşturduğu Titreşimlerin Azaltılması İçin Düşey Dalga Bariyer Uygulaması. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 2. Özel Konulu Sempozyumu: Teori ve Uygulamada Zemin-Yapı Etkileşimi Sempozyumu*, 24-25 Nisan 2014, Antalya, Türkiye.
- [36] Düzgün, O.A., (2015). Efficiency of Trenches on Vibration Isolation Under Time Dependent Loads. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, Volume:59(2), pp:133 - 142.
- [37] Ohtsuki, A. and Harumi, K., (1983). Effect of Topography and Subsurface Inhomogeneities on Seismic SV waves. *Earthquake*



-
- Engineering and Structural Dynamics, Volume:11, pp:441-462.
- [38] Ohtsuki, A., Yamahara, H. and Harumi, K., (1984). Effect of Topography and Subsurface Inhomogeneity on Seismic Rayleigh Waves. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Volume:12, pp:37-58.
- [39] Chávez-García, F.J. and Faccioli, E., (2000). Complex Site Effects and Building Codes: Making the Leap. *Journal of Seismology*, Volume:4, pp:23-40.
- [40] Gazetas, G., Kallou, P.V. and Psarropoulos, P.N., (2002). Topography and Soil Effects in the Ms 5.9 Parnitha (Athens) Earthquake: the Case of Adámes. *Natural Hazards*, Volume:27, pp:133-169.
- [41] Assimaki, D., Kausel, E. and Gazetas, G., (2005). Wave Propagation and Soil Structure Interaction on a Cliff Crest during the 1999 Athens Earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Volume:25, pp:513-527.