



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Çerçeve sistemlerin yapı zemin etkileşimli serbest titreşim analizi

Free vibration analysis of frame systems with soil structure interaction

Yazar(lar) (Author(s)): Döndü KARA¹, Kanat Burak BOZDOĞAN², Erdinç KESKİN³

ORCID¹: 0000-0002-5721-2851

ORCID²: 0000-0001-7528-2418

ORCID³: 0000-0002-8728-2906

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Kara D., Bozdoğan K. B. ve Keskin E., “Çerçeve sistemlerin yapı zemin etkileşimli serbest titreşim analizi”, *Politeknik Dergisi*, 23(4): 1347-1355, (2020).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.598627

Çerçeve Sistemlerin Yapı Zemin Etkileşimli Serbest Titreşim Analizi

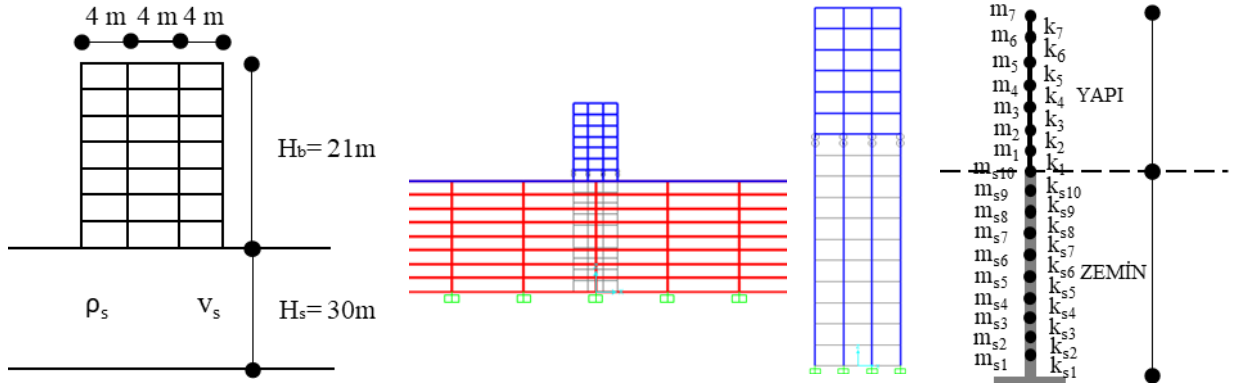
Free Vibration Analysis of Frame Systems with Soil Structure Interaction

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Düzlem çerçevelerin yapı zemin etkileşimli periyotlarının değişimi incelenmiştir./ In this study, the change of periods of planar frames by considering the soil-structure interaction was investigated.
- ❖ Çalışmada 5 farklı zemin sınıfı ve 4 farklı model kullanılmıştır./ 5 different soil classes and 4 different models were used in the study.
- ❖ Çalışmada basitleştirilmiş yöntemlerin uygunluğu araştırılmıştır./ The suitability of simplified methods was investigated in the study.

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Çalışmada basitleştirilmiş yöntemlerin yapı zemin etkileşiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır./ In the study, the usability of simplified methods in the interaction of soil-structure interaction analysis was investigated.



Şekil. Çalışmada kullanılan modeller / Figure . Models used in the study

Amaç (Aim)

Bu çalışmada, düzlem çerçevelerin yapı zemin etkileşimi dikkate alınarak periyotlarının dört farklı model değişimi incelenmiştir./ In this study, the change of periods of planar frames by considering the soil-structure interaction is examined.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Tipik bir çerçeve sistemin serbest titreşim analizi beş farklı zemin sınıfı için dört farklı yaklaşımla yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır./ Free vibration analysis of a typical frame system was carried out with four different approaches for five different soil classes and the results were compared.

Özgünlük (Originality)

Çalışmada özgün olarak basitleştirilmiş yöntemlerin yapı-zemin etkileşiminin serbest titreşim analizinde kullanılmasının uygunluğu araştırılmıştır. / In this study, the suitability of using simplified methods for free vibration analysis of soil-structure interaction was investigated.

Bulgular (Findings)

Zeminin kayma kirişi olarak temsil edildiği modeller, zeminin kabuk elemanlarla temsil edildiği modelle uyumlu ve yeterince yakın sonuçlar vermiştir. / Models in which the soil is represented as a shear beam gave results that are compatible and close enough to the model in which the soil is represented by shell elements.

Sonuç (Conclusion)

Yapı-zemin davranışının daha az parametre ile daha iyi anlaşılabilmesi açısından ve ön boyutlandırma aşamasında zeminin kayma kirişi olarak temsil edildiği modeller kullanılabilir. / Models where the soil is represented as a shear beam can be used in the preliminary stage and in order to better understand the building soil interaction behavior using fewer parameters.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Çerçeve Sistemlerin Yapı Zemin Etkileşimli Serbest Titreşim Analizi

Araştırma Makalesi / Research Article

Döndü KARA¹, Kanat Burak BOZDOĞAN^{2*}, Erdinç KESKİN¹

¹Kırklareli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kırklareli

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çanakkale

(Geliş/Received : 30.07.2019 ; Kabul/Accepted : 16.01.2020)

ÖZ

Bu çalışmada, düzlem çerçevelerin periyotlarındaki değişim yapı zemin etkileşimi dikkate alınarak incelenmiştir. Bu amaçla Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde yer alan zemin sınıflarını temsil eden 5 farklı zemin sınıfı dikkate alınmıştır. Çalışmada basitleştirilmiş yöntemlerin bu tür sistemlerin serbest titreşim analizinde kullanılmasının uygunluğu araştırılmıştır. Tipik bir çerçeve sistemin serbest titreşim analizi beş farklı zemin sınıfı için dört farklı yaklaşımla yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Birinci modelde SAP2000 yazılımı kullanılarak zemin kabuk elemanlarla modellenmiştir. İkinci modelde gene SAP2000 kullanılmış ancak zemin eşdeğer kolonlarla temsil edilmiştir. Üçüncü modelde ise çerçeve sistem ile zemin eşdeğer kayma kirişi yaklaşımı ile modellenmiştir. Bu modele ait yatay rijitlik matrisleri ve kütle matrisleri SCILAB paket programı yardımıyla oluşturularak periyotlar elde edilmiştir. Dördüncü model ise yapı ve zeminin yapı yüksekliği ve zemin tabakaları boyunca üniform olduğu kabulüne dayanmaktadır. Dördüncü modelde literatürde yer alan pratik bir bağıntı çalışmada ele alınan örneğe uygulanarak doğal titreşim periyotları farklı beş zemin sınıfı için elde edilmiştir. Çalışmanın sonunda elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çerçeve sistem, yapı zemin etkileşimi, kabuk eleman, eşdeğer kolon, kayma kirişi.

Free Vibration Analysis of Frame Systems with Soil Structure Interaction

ABSTRACT

In this study, the change of periods of planar frames by considering the soil-structure interaction is examined. For this aim, 5 different soil classes which representing in Turkey seismic code are considered. In this study, the suitability of using simplified methods for free vibration analysis of structure-soil interaction was investigated. Free vibration analysis of a typical frame system was carried out with four different approaches for five different soil classes and the results were compared. In the first model, the soil was modeled with shell elements using SAP2000 software. In the second model, SAP2000 was used again, but the soil was represented by equivalent columns. In the third model, the frame and shell are modeled with the equivalent shear beam approach. Lateral stiffness matrices and mass matrices of this model were created by the help of SCILAB software and periods were obtained. The fourth model is based on the assumption that the structure and soil are uniform throughout the building height and soil layers. In the fourth model, a practical equation in the literature was applied to the sample and the natural vibration periods were obtained for five different soil classes. At the end of the study, the results were evaluated.

Keywords: Frame systems, soil-structure interaction, shell element, equivalent column, shear beam.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yapı zemin etkileşimi özellikle taşıma gücü düşük olan zeminlere oturan yüksek yapılarda oldukça önemlidir. Bu nedenle bu etkinin doğru bir şekilde analize yansıtılması gerekmektedir. Yapı ve zeminin deprem yükleri altındaki davranışının doğru olarak belirlenebilmesi için yapı ve zeminin beraber modellenmesi gerekmektedir. Bu nedenle yapı mühendisi ile geoteknik mühendisinin beraber çalışması önerilmektedir. Yapı-zemin etkileşiminde farklı çözüm yöntemleri geliştirilmiştir. Genel olarak iki farklı yaklaşım söz konusudur. Bu yaklaşımlardan ilki zemin ve yapının ayrı ayrı çözümlerle birleştirildiği alt sistem yaklaşımıdır. Bu yöntem basitliği nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapı-zemin etkileşiminde kullanılan ikinci yaklaşım ise zemin ile

yapının birlikte modellendiği direkt (doğrudan) yaklaşım yöntemidir. Direkt yaklaşım yöntemi zaman alıcı ve karmaşık işlemleri gerektirmesi bakımından çok tercih edilmese de son yapılan çalışmalar alt sistem yaklaşımının direkt yaklaşım yöntemine göre iç kuvvetler açısından farklı sonuçlar verdiğini göstermektedir.

Literatürde yapı-zemin etkileşimi ile ilgili birçok çalışma yapılmış olup aşağıda bazı çalışmalar özetlenmiştir.

Wolf çalışmalarında [1-2] yapı zemin etkileşimiyle ilgili analiz yöntemlerini çeşitli açılardan sınıflandırmıştır.

Nadjai vd. [3] yüksek yapıların zemin yapı etkileşimli elastoplastik analizini ayırık kuvvet yöntemini kullanarak incelemiştir. Çalışmada taşıyıcı sistem olarak çekirdek sistem seçilmiş olup zemin-yapı etkileşimi yapı temeline yerleştirilmiş yaylar yardımı ile dikkate alınmıştır.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta : kbozdogan@comu.edu.tr

Mylonakis ve Gazetas [4] çalışmalarında yapı zemin etkileşiminin yapının deprem davranışına etkisini irdelemişlerdir. Çalışmada özellikle mevcut yönetmeliklerde yapılan basitleştirici kabullerin güvensiz tasarımlara yol açabileceği vurgulanmıştır.

Massumi ve Tabatabaiefar [5] çalışmalarında çerçeve taşıyıcı sisteme sahip yapılarda yapı zemin etkileşiminin ne zaman dikkate alınması gerektiğini belirleyen kriterler önermişlerdir. Çalışmada İran Deprem Yönetmeliği'nde yer alan zemin sınıfları temel alınmıştır. Çalışmanın sonunda İran Deprem Yönetmeliği'ne göre zemin tipi 2 ($375 < V_s < 750$ m/s) için betonarme çerçeve yapılarda zemin yapı etkileşiminin dikkate alınması gerektiği, zemin tipi 3 ($175 < V_s < 375$ m/s) üzerine yapılmış ve 7 kattan daha yüksek betonarme çerçeve yapılarda zemin yapı etkileşiminin mutlaka dikkate alınması gerektiği ve zemin tipi 4 ($V_s < 175$ m/s) için 3 kattan daha yüksek betonarme çerçeve yapılarında yapı zemin etkileşiminin dikkate alınması gerektiği ifade edilmiştir.

Garcia [6] bodrumlu altı katlı bir yapının tasarım ve analizinde zemin yapı etkileşiminin etkisini incelemiştir. Çalışmada ele alınan betonarme çerçeve yapıda iki farklı durum dikkate alınmıştır. Birinci durumda yapının temel seviyesinde ankastre olduğu kabul edilerek analiz yapılmış, ikinci durumda ise zemin yapı etkileşimi dikkate alınarak analiz yapılmıştır. Çalışmada zeminin yapıya etkisi yay ve sönümleyiciler kullanılarak modellenmiştir. Çalışmanın sonunda zemin etkisi dikkate alındığında oluşacak ivme değerinin yüzde 29.6 azaldığı ifade edilmiştir.

Kausel [7] çalışmasında yapı zemin etkileşiminin tarihsel gelişimini ele alarak konu üzerinde yapılan çalışmalarını incelemiştir.

Mahmoudpour vd. [8] zemine kısmi gömülü yapıların zemin yapı etkileşimli davranışını incelemiştir. Çalışmada alt sistem yaklaşımı kullanılmış olup sonlu elemanlarla modelleme için ölçeklendirilmiş sonlu elemanlar metodu sınırsız zemin yüzeyini modellemek için kullanılmıştır.

Kraus ve Džakić [9] çalışmalarında betonarme çerçevelerde zemin yapı etkileşiminin deprem davranışına etkisini araştırmışlardır. Çalışmada üç farklı model kullanılarak karşılaştırılmıştır. Birinci modelde çerçeve temele ankastre olarak bağlanmıştır. İkinci modelde temel bağlantısı için Winkler yay modeli kullanılmıştır. Üçüncü modelde ise zemin yarı sonsuz bir uzay olarak modellenmiştir. Çalışmada kullanılan ikinci ve üçüncü modelden elde edilen periyot değerleri yakın olarak bulunmuştur. Çalışmada özellikle az katlı ve zayıf zemine oturan betonarme çerçevelerde yaygın görüşün aksine yapı zemin etkileşiminin dikkate alınması durumunda taban kesme kuvvetinde artış meydana gelebileceği gösterilmiştir.

Tabatabaiefar ve Fatahi [10] çalışmalarında yapı zemin etkileşimini temsil etmek üzere yeni ve geliştirilmiş bir model önermişlerdir. Önerilen model FLAC 2D yazılımı ile direkt analiz yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Çalışmanın sonunda özellikle yapı zemin etkileşiminin D

ve E zemin sınıflarında mutlaka dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Venanzi vd. [11] rüzgar etkisi altındaki yüksek yapıların zemin yapı etkileşimli davranışını incelemiştir. Çalışmada temel sisteminin modellenmesi için iki farklı yaklaşım kullanılmıştır. Birinci yaklaşımda viskoelastik davranışı temsil etmek üzere empedans fonksiyonları kullanılırken, ikinci yaklaşımda ise 6 serbestlik dereceli makro elamanlar kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan yöntemler ile bulunan yapı tabanındaki moment ve kuvvetler arasında farklılıklar olduğu görülmüştür.

Bilotta vd. [12] Napoli'de 1980 yılında yapılmış olan 100 metrelik kazık temele oturan 29 katlı bir bina örneği üzerinde yapı zemin etkileşimini incelemiştir. Çalışma sonucunda yapı zemin etkileşiminin bina periyodunu arttırdığı buna karşın sönüm oranında bir değişim olmadığı belirlenmiştir.

Tabatabaiefar ve Clifton [13] çalışmalarında çaprazlı çelik çerçevelerde zemin yapı etkileşimini incelemiştir. Çalışmada zemin yapı etkileşiminin taban kesme kuvvetinde azaltıcı etkisi olduğu buna karşın deplasman ve görel kat ötelemesi oranlarında ise arttırıcı etkisi olduğu gösterilmiştir. Artan görel kat ötelemesi oranının yapının inelastik davranışına yol açmakta olduğu da çalışma kapsamında vurgulanmıştır.

Kabtanu vd. [14] yumuşak zemine oturan çerçeve sistemlerin zemin yapı etkileşimli dinamik analizini iki farklı yaklaşım kullanarak incelemiştir. Birinci yaklaşımda yapı temelinde Winkler hipotezine uygun bir şekilde yaylar tanımlanarak dinamik analiz yapılmıştır. İkinci yaklaşımda ise zemin yarı sonsuz bir uzay olarak dikkate alınarak yapı zemin etkileşimi direkt modele uygun olarak modellenmiştir. Analiz için SAP2000 yazılımı kullanılmıştır. Çalışma sonunda yaylarla modelleme ile elde edilen sonuçların direkt modelleme ile elde edilen sonuçlarla genellikle uyumlu olduğu ifade edilmiş ancak görel kat ötelemeleri için ise özellikle üst katlarda iki model sonuçları arasında fark olduğu gözlenmiştir. Bu farkın nedeni olarak direkt yöntemde dikkate alınan yüksek modların etkisi gösterilmiştir.

Bap ve Kollar [15] zemin yapı etkileşiminde sonlu zemin tabakalarının rezonansa etkisini incelemiştir. Çalışmada çoğu zaman ihmal edilen rezonans etkisinin deprem davranışı açısından önemi vurgulanarak hangi durumlarda bu etkinin dikkate alınması gerektiği gösterilmiştir.

Peneva vd. [16] kule tipi yapıların dinamik yapı zemin etkileşimi problemini spektral elamanlar kullanarak incelemiştir. Çalışmada yapı zemin etkileşimini içeren denklemler frekans alanında yazılmış ve spektral elamanlar kullanılması durumunda bazı durumlarda bilinmeyen sayısının azaldığı ifade edilmiştir.

Anwar vd. [17] yapıların deprem davranışında zemin yapı etkileşiminin önemini incelemiştir. Bu amaçla değişik özellikteki yapılar hem alt sistem hem direkt analiz yöntemi ile çözümlenerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Buna göre beklendiği üzere yüksek yapılarda yapı zemin etkileşiminin yapı periyoduna önemli bir etkisinin

olmadığı görülmüştür. Alt sistem yaklaşımının kat yer değiştirmeleri ve görelî kat ötelemeleri oranına az etkisi olduğu buna karşın kat kesme kuvveti, momentler ve tepe noktası ivmesine etkisinin olmadığı ifade edilmiştir. Çalışmada alt sistem yaklaşımı ile direkt yaklaşım arasında özellikle kuvvetler açısından oldukça farklı sonuçlar elde edildiği ifade edilmiştir.

Arias ve Jaramillo [18] yapı zemin etkileşimi dikkate alınan çok serbestlik dereceli sistemlerin modal spektral analizi yöntemi ile taban kesme kuvvetlerinin belirlenmesi için bir yaklaşım önermişlerdir. Çalışmada temel zeminin etkisi yay rijitlikleri ile temsil edilmiştir. Yapılan örneklerden sunulan yaklaşımın uygun sonuçlar verdiği gösterilmiştir.

Ülkemizde ise yapı zemin etkileşimi ile ilgili ilk çalışmalar Aydınoglu [19] ve Dumanoglu [20] tarafından yapılmış olup daha sonra bir çok çalışma yapılmıştır ;

Livaoğlu ve Doğangün [21] farklı taşıyıcı sistemli ayaklı kulelerin dinamik analizini zemin yapı etkileşimini dikkate alarak incelemişlerdir. Çalışmada sonlu elemanlar yöntemi ve mod birleştirme yöntemi kullanılmış olup yapı sıvı etkileşimi için ise Westergaard yaklaşımı kullanılmıştır.

Çağlar vd. [22] 6 farklı zemin türü üzerine oturan 5 farklı betonarme binanın deprem davranışını 1999 Marmara deprem kaydı kullanarak zaman tanım alanında analiz yöntemi ile incelemişlerdir. Çalışmada yeraltı su seviyesinin etkisi de dikkate alınmıştır.

Mısır vd. [23] yatak katsayısı kavramını inceleyerek iki parametrelî Vlasov–Leontiev yaklaşımına alternatif olan Winkler yatak katsayısı yöntemini geliştirerek örnek bir uygulama üzerinde sonuçları tartışmışlardır.

Karabörk vd. [24] izolatörlü yapılarda yapı zemin etkileşimini incelemişlerdir. Çalışmada dinamik zaman tanım alanında analiz için Yarımca istasyonundan elde edilen deprem kaydı kullanılmıştır. SAP2000 ile yapılan analizler sonucunda yer değiştirmeler ve iç kuvvetler karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda izolatörlü yapıların avantajları ortaya konulmuştur.

Geniş vd. [25] Antakya ilinde mevcut olan betonarme çerçevesel bir hastane binası ile bir okul binasının yapı zemin etkileşimli periyotlarını yerinde yaptıkları ölçümlerle iki farklı deprem kaydı için belirlemişler ve sonuç olarak yapı zemin etkileşiminin periyotlara olan etkisini incelemişlerdir.

Siyahi vd. [26] yapı zemin etkileşimi analizinde mevcut durumu ortaya koyarak geoteknik açıdan yapı zemin etkileşimini incelemişlerdir. Ayrıca çalışmada kinematik ve eylemsizlik etkileşimleri özellikle kazıklara olan etkisi bakımından ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Derdiman [27] 7 farklı zemine oturan 5, 10 ve 15 katlı betonarme çerçevesel yapıları zemin yapı etkileşimini dikkate alarak sonlu elemanlar yöntemi ile analiz etmiştir. Analiz sonucunda yapı periyotlarındaki değişim incelenmiştir.

Çaycı ve İnel [28] çalışmalarında 1975 ve 1998 deprem yönetmeliklerine göre tasarlanmış üç boyutlu 7 katlı ve

iki farklı betonarme taşıyıcı sisteme sahip yapıların ankastre mesnet ve zemin etkisi dikkate alınarak analizlerini zaman tanım alanında doğrusal olmayan yöntem ile gerçekleştirerek sonuçları karşılaştırmışlardır. Çalışmada alt sistem yaklaşımı kullanılmıştır.

Garip [29] çalışmasında yumuşak kat düzensizliğine sahip yapıların zemin yapı etkileşimli davranışlarını incelemiştir. Çalışmada SAP2000 programını kullanarak ankastre mesnet ve yapı zemin etkileşimi durumlarına ait yer değiştirmeler ve kuvvetler karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak özellikle yumuşak kat düzensizliğine sahip yapılarda yapı zemin etkileşiminin analizlerde dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Çetinkaya vd. [30] temel empedans fonksiyonlarını kullanarak Adapazarı'nda bulunan bir köprü ayağındaki deprem davranışını zemin sönümü açısından incelemişlerdir. Çalışmada sonuç olarak yapı zemin etkileşiminin özellikle düşük periyotlara sahip yapılar için önemli olduğu ifade edilmiştir.

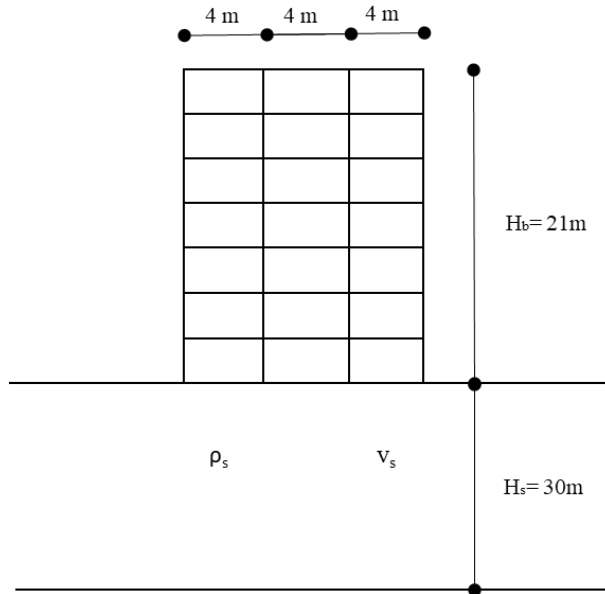
Kılıçer ve Özgan [31] 1999 Kocaeli deprem kaydını kullanarak 12 katlı bir yapı örneğini rijit temel, Winkler ve geliştirilmiş Vlasov modelleriyle analiz ederek sonuçları karşılaştırmışlardır. Çalışmada SAP2000 ile MATLAB programları beraber kullanılmıştır.

Avcı ve Yazgan [32] “Doğrusal olmayan Winkler-zeminine oturan giriş” modelini kullanarak yapıların performansını zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi ile incelemişlerdir.

Bu çalışmada ise düzlem çerçevelerin yapı zemin etkileşimli serbest titreşim analizi dört farklı model kullanılarak incelenmiştir. Modellerin ilk ikisi SAP2000 kullanılarak gerçekleştirilirken diğer iki modelin uygulanmasında SCILAB ve MATLAB programlarından yararlanılmıştır. Modellemelerde zemin ve yapının malzeme bakımından doğrusal elastik davranış gösterdiği, yer değiştirmelerin yeterince küçük ve dolayısıyla geometrik nonlineer etkilerin terk edilebileceği kabul edilmiş olup yapı ve zemindeki sönümde ihmal edilmiştir.

2. SEÇİLEN DÜZLEM ÇERÇEVE ÖRNEĞİNİN ÖZELLİKLERİ (PROPERTIES OF THE SELECTED PLANE FRAME EXAMPLE)

Çalışmada Şekil 1’de görülen 7 katlı ve 3 açıklıklı düzlem çerçeve örneği kullanılmıştır. Verilen düzlem çerçevede C30/37 betonu kullanıldığı kabul edilmiş olup kat yükseklikleri 3’er metre olarak alınmıştır. Kolonlar 35 cm/70 cm, kirişler ise 30 cm/60 cm boyutlarında alınmış olup hesaplarda brüt kesit atalet momenti kullanılmıştır. Kat kütleleri 7. Katta 45 ton diğer katlarda ise 60 ton olarak hesaplarda dikkate alınmıştır. Çerçevenin oturmuş olduğu zemin tabakasının kalınlığı 30 m olarak seçilmiş olup Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’nde [33] yer alan 5 farklı zemin sınıfı dikkate alınarak çözümlenmeler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Zemin yapı etkileşimi için dikkate alınan düzlem çerçeve örneği (Plane frame example considered for soil structure interaction)

Çizelge 1’de dikkate alınan zemin sınıfları için seçilen kayma dalgası hızları, poisson oranı ve birim hacim ağırlıkları verilmiştir. Verilen zemin özelliklerinin belirlenmesi Tezcan ve Durgunoğlu’nun çalışması kaynak alınarak yapılmıştır. [34]

Çalışmada zeminin doğrusal davrandığı kabul edildiğinden analizlerde Çizelge 1’de verilen değerler dikkate alınmıştır.

Çizelge 1. Dikkate alınan zemin sınıflarının özellikleri (Characteristics of the soil)

zemin sınıfı	Kayma hızı (m/sn)	Poisson oranı	Birim hacim ağırlığı (kN/m ³)
ZA	2000	0.30	21
ZB	1200	0.28	20
ZC	560	0.41	19
ZD	300	0.42	18
ZE	150	0.48	17

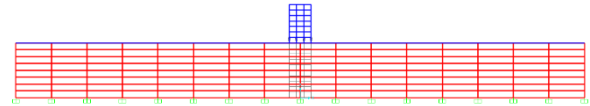
3. SEÇİLEN ZEMİN YAPI ETKİLEŞİMİ İÇİN KULLANILAN MODELLER (MODELS USED FOR SOIL STRUCTURE INTERACTION)

Çalışma kapsamında zeminin modellenmesinde 4 farklı model kullanılmıştır. Bu modeller aşağıda kısaca özetlenmiştir.

3.1. Birinci Model (Model First)

Şekil 2’de gösterilen bu modelde zemin kabuk elemanlarla modellenmiştir. Modellemede zemin için toplam 128 tane kabuk eleman kullanılmıştır. Kabuk elemanların kalınlığı 0.00321 m olarak dikkate alınmıştır. Zemin tabanındaki kabuk elemanlar ankastre olarak mesnetlenmiştir. Bu modelde zeminin sınırları

büyük önem arz etmektedir. Literatürde kabul edilen bazı yaklaşımlarda zemin sınırlarının yapının her iki tarafına doğru yapı genişliğinin 3-4 katı kadar uzatılması önerilmektedir. Bu çalışma kapsamında önerilen bu değerlerin yeterli olmadığı görülerek bu değer 10 kat olarak dikkate alınmıştır. Modelde yapı ile zeminin beraber çalışmasını sağlamak üzere yapının altına rijitliği büyük olan bir bağlantı elemanı tanımlanmıştır. Çalışma kapsamında bu model kullanılarak yapılan analizler SAP2000 yazılımı [35] yardımıyla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Model 1’ in SAP2000 görüntüsü (SAP2000 view of model 1)

Zemin tabakalarının hakim periyotları da SAP2000 yazılımı yardımıyla bulunmuştur. Bulunan sonuçlar literatürden [36, 37] bilinen (1) denklemi ile hesaplanarak Çizelge 2’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

$$T_s = \frac{4H_s}{v_s} \quad (1)$$

- (1) denklemindeki H_s zemin tabakası kalınlığını, v_s ise kayma dalgası hızını göstermekte olup (2) denklemi ile hesaplanabilir.

$$v_s = \sqrt{\frac{G_s}{\rho_s}} \quad (2)$$

Çizelge 2 ‘den görüldüğü üzere SAP2000 ile elde edilen sonuçlar ile denklem (1)’den elde edilen sonuçların birbirleri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Çizelge 2. Dikkate Zemin hakim periyotlarının karşılaştırılması

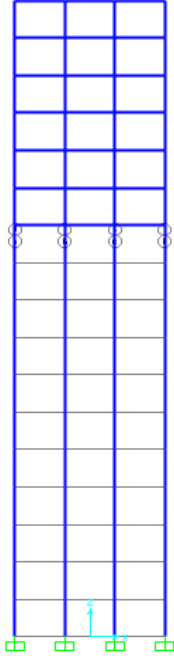
(Comparison of soil fundamental periods)

zemin sınıfı	SAP2000	(1) Nolu denklem
ZA	0.06 sn	0.06 sn
ZB	0.11 sn	0.10 sn
ZC	0.22 sn	0.21 sn
ZD	0.42 sn	0.40 sn
ZE	0.80 sn	0.80 sn

3.2. İkinci Model (Second Model)

Bu modelde Şekil 3’te görüldüğü gibi zemin eşdeğer kolonlar olarak temsil edilmiştir. Bunun için çerçevenin kolonları zemin derinliği kadar uzatılmıştır. Eşdeğer

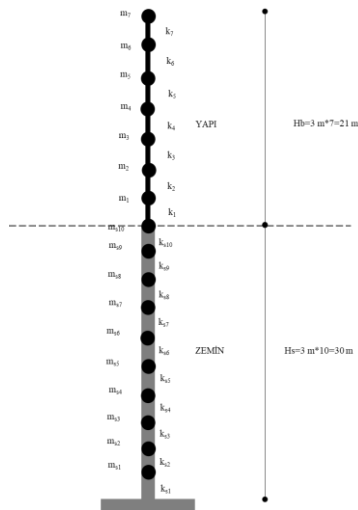
kolonların kayma modülü zeminin kayma modülü olarak tanımlanırken kayma alanı zemini temsil eden kolon sayısı n olmak üzere $1/n$ olarak dikkate alınmıştır. Bu modelleme ile analiz SAP2000 programı [35] yardımıyla yapılmıştır.



Şekil 3. Model 2'ye ait SAP2000 görüntüsü (Model 2)

3.3. Üçüncü Model (Third Model)

Bu modelde çerçeve üstyapı ve zemin eşdeğer kayma kirişi olarak Şekil 4'te gösterildiği gibi modellenmiştir.



Şekil 4. Zemin yapı etkileşimi için kayma kirişi modeli (Shear beam model for soil structure interaction)

Eşdeğer kayma kirişinde çerçeve sistemde birinci kat için kayma rijitliği Taranath [38] tarafından önerilen aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmıştır.

$$k_1 = \frac{8}{h_1^2 \left(\frac{1}{5r_1} + \frac{1}{s_1} \right)} \quad (3)$$

Burada sırasıyla r_1 ve s_1 sırasıyla birinci katta kiriş ve kolonların redörlerinin toplamını göstermekte olup bu değerler aşağıdaki bağıntılarla hesaplanmıştır.

$$r_1 = \sum_{j=1}^m \frac{EI_{bj}}{I_j} \quad (4)$$

$$s_1 = \sum_{j=1}^n \frac{EI_{cj}}{h_1} \quad (5)$$

Burada m kattaki toplam kiriş sayısını I_{bj} , j . kiriş atalet momentini, I_j j . kiriş açıklığını göstermektedir. n kattaki toplam kolon sayısını I_{cj} j . kolon atalet momentini h_1 ise kolonun birinci kat yüksekliğini göstermektedir. Çerçevenin diğer katlarındaki kayma rijitliği ise kiriş ve kolonlarda moment sıfır noktalarının ortada olduğu kabulüyle aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır [39,40,41].

$$k_i = \frac{12}{h_1^2 \left(\frac{1}{r_i} + \frac{1}{s_i} \right)} \quad i=2...n \quad (6)$$

Burada sırasıyla r_i ve s_i sırasıyla i . kattaki kiriş ve kolonların redörleri toplamını göstermekte olup aşağıdaki bağıntılarla hesaplanmıştır.

$$r_i = \sum_{j=1}^m \frac{EI_{bj}}{I_j} \quad (7)$$

$$s_i = \sum_{j=1}^n \frac{EI_{cj}}{h_i} \quad (8)$$

Zemin ortamı ise 3'er metrelik eşit kayma kirişleri ile temsil edilmiş olup kayma rijitliği ise aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$k_{si} = \frac{G_s A_s}{h_s} \quad (9)$$

Burada sırasıyla G_s ve A_s zemin ortamının kayma modülünü ve eşdeğer alanını göstermektedir. h_s zemin ortamının kalınlığını göstermekte olup bu çalışmada 3 m olarak dikkate alınmıştır. Zeminin kütlesi ise kayma kirişi modelinde ayrı olarak dikkate alınmış olup aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$m_{si} = \rho_s A_s h_s \quad (10)$$

Burada ρ_s zeminin birim hacim kütlelerini göstermektedir.

Yukarıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplanmış olan k_i ve k_{si} değerleri Çizelge 3 'te verilmiştir.

Çizelge 3. Dikkate Yatay rijitlik değerleri (Lateral stiffness values)

zemin sınıfı	ks1=ks2=... =ks10 (kN/m)	k ₁ (kN/m)	k ₂ =k ₃ =...= k ₇ (kN/m)
ZA	2854230.38	228684.86	132540.75
ZB	978593.27		
ZC	202460.08		
ZD	55045.87		
ZE	2854230.38		

İlgili yatay rijitlikler hesaplandıktan sonra sistem yatay rijitlik matrisi (**K**) ve sistem kütle matrisi (**M**) kayma kirişi algoritması ile kolayca yazılabilir.

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} m_{s1} & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & m_7 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} k_{s1}+k_{s2} & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & k_7 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Çizelge 4. Yapı zemin etkileşimine bağlı olarak periyottaki değişim (Change in the period depending on the soil-structure interaction)

Ankastre durumda mesnet periyodu	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0
ZE	3.61	3.69	4.02	4.54	5.21	5.99	6.40	6.83	7.27	7.71	8.17	8.63	9.09	9.0	9.5	10
ZD	1.80	1.97	2.58	3.0	4.0	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10
ZC	1.02	1.31	2.16	3.11	4.0	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10
ZB	0.64	1.07	2.03	3.02	4.0	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10
ZA	0.55	1.02	2.01	3.01	4.01	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10

Daha sonra **K** ve **M** matrisleri kullanılarak aşağıdaki frekans denklemi yardımıyla açılal frekans ve modlar bulunur.

$$[\mathbf{K}-\omega^2\mathbf{M}]\{\phi\} = \{0\} \quad (13)$$

Bu çalışmada **K**, **M** matrisleri ve frekans denklemi SCILAB yardımıyla [42] oluşturularak periyotlar hesaplanmıştır.

3.4. Dördüncü Model (Fourth Model)

Bu modelde periyotlar Kiefer ve Leger [43] tarafından önerilen yaklaşım kullanılarak hesaplanmıştır. Bu yaklaşımda hem yapı hem zemin ortamı sürekli üniform bir kayma kirişi olarak modellenmiş olup aşağıdaki transandantal (aşkın) denklemin çözümü ile yapı zemin etkileşimine ait periyot değerleri hesaplanmıştır.

$$\frac{v_s \rho_s A_s}{v_b \rho_b A_b} \tan\left(\frac{\omega}{v_s} H_s\right) \tan\left(\frac{\omega}{v_b} H_b\right) - 1 = 0 \quad (14)$$

Burada v_s zeminin ortalama kayma hızını, H_s zeminin kalınlığını, H_b bina yüksekliğini, $\rho_b A_b$ yapının yayılı kütleliğini, ω açılal frekansı göstermektedir. v_b yapının

eşdeğer kayma hızını göstermekte olup yaklaşık olarak aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanabilir.

$$v_b = \frac{4H_b}{T_{1b}} \quad (15)$$

Burada T_{1b} yapının hakim periyodunu göstermektedir.

Sunulan çalışmada zemin yapı etkileşimli çerçevenin periyotlarının bulunması için (15) nolu transandantal (aşkın) denklemi çözülmüştür. Çözüm için MATLAB programından [44] yararlanılmıştır. Aşkın denklemin çözümünden elde edilen kökler arasında salt üst yapı ve salt zemine ait değerler de elde edilmektedir. Çözüm için bu değerler elimine edilmiştir. Çalışma kapsamında ayrıca 5 farklı zemin sınıfını temsil eden zemin hakim periyotları dikkate alınarak zemin yapı etkileşimi dikkate alınması durumunda yapı periyodundaki değişim (15) nolu bağıntı yardımıyla hesaplanarak Çizelge 4'te verilmiştir. Bu model yapı ve zemin özelliklerinin yapı yüksekliği ve zemin tabakaları boyunca üniform olduğu kabulüne dayanmaktadır.

Çizelge 4'ten görüldüğü üzere periyot değerlerinin uzun olduğu yüksek yapılarda yapı-zemin etkileşiminin periyotlara etkisi olmamaktadır. Özellikle yapı periyodu

6 saniyeden uzun olan yapılarda yapı zemin etkileşiminin periyoda etkisi olmadığı açık olarak görülmektedir.

Bu çalışmada zeminin ve yapının doğrusal elastik davranış gösterdiği kabul edilmiştir. Zemin şiddetli depremlerde doğrusal olmayan davranış gösterecek olup artan kayma birim deformasyonları ile kayma modüllerinde azalma buna karşın sönüm oranında ise artış meydana gelecektir. Azalan kayma modülü ile birlikte kayma dalgası hızları da azalacaktır. Bu azalmaya bağlı olarak yapı periyodunun önemli oranda uzayacağı açıktır. Yapı periyodunun uzaması ile birlikte ise yapıya gelecek olan ivmeler önemli oranda azalacaktır. Literatürdeki çalışmalarda [7,13,14,27] ve bu çalışmada ise periyotların hesabında zeminin elastik davranışı esas alınmıştır. Zeminin elastik davranış gösterdiği kabulüyle bulunan deprem kuvvetleri daha büyük olarak alınmakta ve olabilecek en elverişsiz durum dikkate alınmaktadır.

Ruiz ve Saragoni çalışmalarında [45] şiddetli depremlerde zemin serbest titreşim davranışını incelemişler ve yerinde yapmış oldukları ölçüm sonucunda bulmuş oldukları zemin hakim periyodunun

zeminin elastik davranışını dikkate alarak hesaplanan değerle uyumlu olduğunu tespit etmişlerdir.

4. BULGULAR (RESULTS)

Şekil 1’de verilen düzlem çerçeve sistemin serbest titreşim analizi 5 farklı zemin sınıfı için yapılmış ve sonuçlar toplu halde Çizelge 5’te sunulmuştur.

Çizelgeden görüldüğü üzere çalışma kapsamında kullanılan dört modelden elde edilen sonuçların birbirleriyle uyumlu olduğu gözlenmektedir. Zeminin kabuk elemanla modellenmesi durumu için periyotların ilk dört mod için değişimi Şekil 5’te verilmiştir.

Çizelge 5 ve Şekil 5’ten görüldüğü üzere en büyük değişim birinci modda meydana gelmektedir.

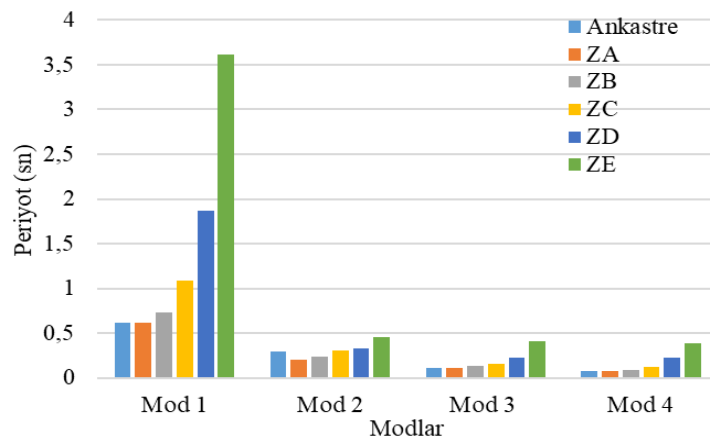
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Bu çalışma kapsamında yapı zemin etkileşiminin incelenmesi için düzlem çerçeve sistemlerin yapı zemin etkileşimli dinamik analizi yapılmıştır. Çalışmada zemin yapı etkileşimi için yapı ve zeminin birlikte modellendiği direkt (doğrudan) yöntem kullanılmıştır. Direkt yaklaşım için ise 4 farklı model kullanılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Yapılan karşılaştırma sonucunda zeminin kayma kirişi olarak temsil edildiği modellerin, yapı ve zemin davranışını gerçeğe en yakın olarak temsil eden zeminin kabuk elemanlarla temsil edildiği modellerle uyumlu ve yeterince yakın sonuçlar verdiği değerlendirilmiştir. Bu sonuçların ışığı altında özellikle yapı zemin davranışının

Çizelge 5. Beş farklı zemin sınıfı için periyotlar (Periods for 5 different soil classes)

	Periyotlar (sn)				
	Mod	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
ZA Zemin sınıfı	1	0.62	0.62	0.62	0.62
	2	0.20	0.19	0.21	0.21
	3	0.11	0.11	0.13	0.19
	4	0.08	0.08	0.10	0.09
ZB Zemin sınıfı	1	0.73	0.72	0.70	0.69
	2	0.24	0.24	0.23	0.23
	3	0.13	0.13	0.14	0.19
	4	0.09	0.09	0.10	0.14
ZC Zemin sınıfı	1	1.09	1.05	1.06	1.05
	2	0.30	0.29	0.28	0.28
	3	0.15	0.14	0.16	0.19
	4	0.12	0.11	0.12	0.15
ZD Zemin sınıfı	1	1.87	1.83	1.83	1.82
	2	0.33	0.32	0.30	0.30
	3	0.22	0.20	0.20	0.19
	4	0.22	0.14	0.15	0.14
ZE Zemin sınıfı	1	3.61	3.53	3.63	3.62
	2	0.46	0.40	0.41	0.41
	3	0.41	0.30	0.29	0.29
	4	0.39	0.19	0.20	0.27



Şekil 5. Zeminin kabuk elemanla modellenmesinde beş farklı zemin ve ankastre mesnetlenme durumları için periyotun değişimi (Change of the period for five different soil condition and fixed support conditions in the modeling of the soil with the shell element)

daha az parametre ile daha iyi anlaşılabilmesi açısından ve ön boyutlandırma aşamasında zeminin kayma kirişi olarak temsil edildiği modellerin kullanılabileceği görülmektedir.

Ayrıca zeminin kabuk elemanlarla temsil edildiği modelde özellikle zemin sınırlarının doğru olarak belirlenmesinin önemli olduğu çalışmada görülmüştür. Zemin sınırının yetersiz seçilmesi durumunda sonuçların gerçeğe uzak olduğu gözlenmiştir.

Bu çalışma zemin ve yapı davranışının doğrusal olduğu kabulüne dayanmakta ve elde edilen sonuçlar bu kabulü sınırlıdır. Yapı zemin davranışının daha gerçekçi olarak belirlenmesi için hem yapının hem zeminin doğrusal olmayan davranışı dikkate alınmalıdır.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Wolf, J.P. ,” *Dynamic soil-structure interaction*”, Prentice Hall, (1987).
- [2] Wolf, P. J., “Classification of analysis methods for dynamic soil-structure interaction, *Second International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering & Soil Dynamics* ,Missouri University of Science and Technology Scholars' Mine ,1821-1832,(1991).
- [3] Nadjai, A., Johnson, D.and Lyness, F. J., “Soil–structure interaction in tall buildings by a discrete force method”, *Proc. Instn Civ. Engrs Structs & Bldgs*, 134(1): 9-18, (1999).
- [4] Mylonakis G. and Gazetas, G., “Seismic soil structure interaction: beneficial or detrimental”, *Journal Of Earthquake Engineering*, 4(3): 277-301.(2000).
- [5] Massumi, A. and Tabatabaiefar, H.R., “A Criterion for considering soil-structure interaction effects in seismic design of ductile rc-mrfs according to Iranian codes” , *The 14 th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China,(2008).
- [6] García, A. J., “Soil structure interaction in the analysis and seismic design of reinforced concrete frame buildings”, *The 14 th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China ,(2008).
- [7] Kausel, E., “ Early history of soil-structure interaction”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*,30:822-832,(2010).
- [8] Mahmoudpour, S., Attarnejad, R.and Behnia, C., “Dynamic analysis of partially embedded structures considering soil-structure interaction in time domain”, *Mathematical Problems in Engineering*, (2011).
- [9] Kraus, I. and Džakić, D., “Soil-structure interaction effects on seismic behaviour of reinforced concrete frames” *5.SE-EEE Conference*,Croatia.(2013).
- [10] Tabatabaiefar, R.H. and Fatahi B, “Idealisation of Soil–structure system to determine inelastic seismic response of mid-rise building frames”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 66: 339–351, (2014).
- [11] Venanzi, I., Salciarini D. and Tamagnini C., “The effect of soil-foundation-structure interaction on the wind-induced response of tall buildings, *Engineering Structures* ,79: 117-130,(2014).
- [12] Bilotta, E., Sanctis D. L., Laora D. R., D’onofrio, A. and Silvestri, F., “Importance of seismic site response and soil–structure interaction in dynamic behaviour of a tall *Geotechnique*,65(5):391–400, (2015).
- [13] Tabatabaiefar, R.H. and Clifton, T., “Significance of considering Soil-Structure interaction Effects On seismic design of unbraced building frames resting on soft soils”, *Australian Geomechanics*,51(1),(2016).
- [14] Kabtamu, G.H., Peng, G. and Denghong, C., “Dynamic analysis of soil structure interaction effect on multi story rc frame”, *Open Journal of Civil Engineering*, 8: 426-446, (2018).
- [15] Bap B. Z.and Kollár P.L,”Effect Of Resonance in Soil-Structure Interaction For Finite Soil Layers”, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 62(3):738-747,(2018) .
- [16] Penava, D., Ivan Kraus, I., Petronjević, M. and Schmid, G., “Dynamic Soil-Structure Analysis Of Tower-Like Structures Using Spectral Elements”, *Grdevinar* ,25(3):(2018).
- [17] Anwar, N., Uthayakumar, A. and Najam F. A., “Significance Soil-Structure Interaction in Seismic Response of Buildings”, *Ned University Journal Of Research-Special Issue On First South Asia Conference On Earthquake Engineering (Sacee'19)*,(2019).
- [18] Arias,H. and Jaramillo,J.D.,”Base Shear Determination Using Response-Spectrum Modal Analysis of Multi-Degree-of-Freedom Systems with Soil–Structure Interaction”, *Bulletin of Earthquake Engineering*,17(4),3801-3814:(2019).
- [19] Aydınoğlu,N.” *Üstyapı-Zemin Ortak Sisteminin Deprem Hesabı*”,Doktora tezi,İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,(1977).
- [20] Dumanoğlu,A, “Yansıtmayan sınırların yapı zemin dinamik etkileşim problemlerine uygulamasında hata analizleri”, *Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni*, 6(21): 1-16,(1978).
- [21] Livaoglu R. and Doğangün A., “Farklı taşıyıcı sisteme sahip ayaklı depoların zemin sınıflarına göre dinamik davranışlarının irdelenmesi”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(3): 70-77,(2003).
- [22] Çağlar, N., Garip, Z., Ş. and Yaman, Z., D., “Deprem etkisindeki betonarme yapılarda yapı-zemin etkileşimi”, *Deprem Sempozyumu* ,Kocaeli,1089-1096: (2005).
- [23] Mısıır, İ., S., Özden, G. and Kahraman, S., “Temel-zemin yaylarının alansal etkileşimi ve yapı davranışına etkisi”, *Deprem Sempozyumu* ,Kocaeli,1064-1073: (2005).
- [24] Karabörk, T., Deneme, Ö., İ. and Bilgehan, R., P., “Temeli izole edilen yapılarda dinamik yapı-zemin etkileşimi”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26(1): 77-87,(2010).
- [25] Geneş, M. C., Doğanay, E., Bikçe and M., Kaçın, S., (2011) “Soil-structure interaction in rc frame buildings from strong-motion recordings”, *KSU Mühendislik Dergisi*, 14(1),(2011).

- [26] Siyahi, B., Çetin, K. O. and Bilge H. T., “Geoteknik deprem mühendisliği açısından zemin - temel - yapı etkileşimine kritik bakış”, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 484:41-50, (2013).
- [27] Derdiman, M., K., “Farklı özelliklere sahip zeminlerin betonarme yüksek yapılarda yapı salınım periyoduna etkisi”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13: 9-15,(2013).
- [28] Çaycı, B., T. and İnel, M., “Mevcut betonarme binalarda zemin yapı etkileşiminin sismik davranış üzerindeki etkileri”, *3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, İzmir, (2015).
- [29] Garip, Z., Ş., “Yumuşak kat düzensizliği olan betonarme binalarda yapı zemin etkileşimi”, *5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, Bakü ,1036-1045,(2017).
- [30] Çetinkaya, M. Y., Çelebi, E. and Kırtel, O., “Yapı-temel-zemin sismik etkileşim probleminin Adapazarı bölgesi için empedans fonksiyonları yardımıyla analizi”, *Politeknik Dergisi*, 20 (2): 325-332,(2017).
- [31] Kılıçer, S. and Özgan, K., “Deprem yükü etkisindeki betonarme yapıların tasarımında yapı-zemin etkileşiminin incelenmesi”, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 4(1): 1-10.,(2018).
- [32] Avcı, Y. and Yazgan, U., “Zemin-yapı etkileşimli sistemlerde en büyük doğrusal olmayan yer değiştirme oranı”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(3):1527-1537,(2019).
- [33] TBDY 2018, “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği”, AFAD, (2018).
- [34] Tezcan, S. and Durgunoğlu, T. , “Jeofizik etütlerin zemin büyütme analizindeki önemi ve örnekler”,*Jeofizik*,14:43-60, (2000).
- [35] SAP2000, "Evaluation Version", *Computers and Structures*, (2018).
- [36] Das,B., “*Principles of Soil Dynamics*”, PWS-Kent Pub. Co, (1993).
- [37] Özkan M.Y., “*Zemin Dinamiğine Giriş*”, Nobel Akademik Yayıncılık, (2017).
- [38] Taranath B.S., “*Reinforced Concrete Design of Tall Buildings*”, CRC Press, (2009).
- [39] Murashev, V., Sigalov, E., and Baikov, V. N., “*Design of Reinforced Concrete Structures*”, Mir Publishers, (1976).
- [40] Bilyap,S.,” *Betonarme Yüksek Yapılarda Perde Çerçeve Sistemlerinin Yatay Kuvvetlere Göre Hesabı*”,Ege Üniversitesi Matbaası,(1979).
- [41] Ertutar,Y.,” *Betonarme Yüksek Yapılarda Yatay Yük Etkisi*”, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları,(1995).
- [42] SCILAB, Open Sources Software for Numerical Computations, <https://www.scilab.org/fr>.
- [43] Kiefer,A.and Leger,P.,”Semi-continuum seismic analysis of soil-building systems”, *Engineering Structures*, 21:332-340,(1999).
- [44] The MathWorks Inc. MATLAB 7.0 (R14SP2). The MathWorks Inc., (2005).
- [45] Ruiz,S.and Saragoni,G.R.,”Free vibration of soils during large earthquakes”,*Soil Dynamics and Earthquake Engineering*,29:1-16,(2009).