

VLASOV ZEMİNİNE OTURAN YAPILARIN ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZİ

TIME HISTORY ANALYSIS OF STRUCTURES ON VLASOV TYPE ELASTIC SUBGRADE

Onur AVCIOĞLU^{1*}, Engin ORAKDÖĞEN²

¹STA Bilgisayar Mühendislik Müşavirlik, İstanbul, Türkiye.

avcioglu@gmail.com

²İnşaat Mühendisliği Bölümü, İnşaat Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

orak@itu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 07.12.2013, Kabul Tarihi/Accepted: 03.07.2014

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2014.77486

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Yapıların statik yükler ve deprem etkileri altındaki analizlerinde zemin modeli olarak genellikle Winkler modeli olarak bilinen model esas alınmaktadır. Bu modelde, bir noktadaki zemin gerilmesinin aynı noktadaki yer değiştirme ile doğru orantılı olduğu kabul edilmekte, noktalar arasındaki etkileşim terkedilmektedir. Bu zemin modelinden daha gerçekçi olan Vlasov zemin modeli, Winkler modeline ek olarak zemini ikinci bir parametre ile modellemekte, böylece noktalar aralarındaki etkileşim de bir ölçüde dikkate alınabilmektedir. Bu modelde ayrıca temel altındaki zemin tabakası kalınlığının ve temel dışında kalan zemin bölgesinin hesaba etkisi de göz önüne alınabilmektedir. Vlasov zemin modelinde İkinci parametre olarak da adlandırılan parametre zemindeki kayma etkilerini ifade etmektedir. Tasarım sırasında kullanılan genel amaçlı yazılımlar zemin davranışına ait ikinci parametreyi hesaba doğrudan katamamakta, ancak program kütüphanelerinde bulunan bazı sonlu eleman modelleri probleme adapte edilmek ve zemin eleman olarak kullanılmak suretiyle dolaylı olarak gözünün alınabilmektedir. Ancak, bu durumda Zaman Tanım Alanında yapılan analizler sırasında her adımda zemin parametrelerinin güncellenmesi gerektiğinden ikinci parametrenin hesaba tam olarak alınması mümkün değildir. Bu çalışma kapsamında geliştirilen bilgisayar yazılımında ise, her bir zaman artımı sırasında zemin parametreleri güncellenmekte ve gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilmektedir. Bu amaçla seçilen yapı modelleri, geliştirilen program yardımı ile çözülmüş ve daha önce genel amaçlı bir bilgisayar programı ile çözülen örnekte söz konusu parametrenin hesaplar üzerindeki etkisi tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: İki parametrelili zemin, Vlasov zemin modeli, Winkler zemin modeli, Zaman tanım alanında analiz, Yapı zemin etkileşimi

Abstract

The Winkler soil model is generally considered as a subgrade model in analysis of structures under static or earthquake loads. In this soil model, it is assumed that the soil stresses are proportioned to soil displacements at the same points i.e. the interaction between the neighboring soil points is neglected. Vlasov soil model which is more realistic soil model assumes that differential equilibrium equation may be represented by a second parameter together with the Winkler parameter as a first parameter so as to the interaction between neighboring soil points can be considered. Furthermore, the effect of subgrade height and the effect of outer zone of the foundation can also be considered in the analyses by the Vlasov soil model. Vlasov parameter or so called second parameter represents the shear deformation effects of the subgrade soil. General purpose structural analysis and design programs can not consider the second parameter of the Vlasov model, but this parameter may be indirectly considered by the adaptation of Mindlin plate elements as soil elements in the libraries of the mentioned programs by changing the elastic properties of the materials. In this time however, the second parameter cannot be correctly considered as some soil parameters may change between the time intervals of time history analysis. In the computer code which is developed for time history analysis of structures on Vlasov foundation, necessary soil parameters may be updated between the time intervals and more realistic results may be obtained. For the comparison, choosen structural systems are analyzed by the developed computer code and the results are compared with those obtained by a general purpose structural analysis program before, so as to show the effects of the mentioned soil parameters on time history analyses.

Keywords: Two parameter soil, Vlasov soil model, Winkler soil model, Time history analysis, Soil-structure interaction

1 Giriş

Elastik zemin kabulü ile yapılan radye temelli yapı sistemlerinin analizlerinde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan Winkler [1] tipi zemine ait matematik model, zeminde komşu noktalar arasında herhangi bir etkileşim olmadığı kabulüne dayanmaktadır. Buna bağlı olarak geliştirilen sonlu eleman modelleri, birbiri arasında etkileşim bulunmayan seri yaylardan oluşur. Bu yöntem gerçeklikten uzak olmakla birlikte, uygulamadaki kolaylığı açısından yoğun olarak kullanılmaktadır. Yöntem uygulanırken yayların rijitliklerinin hesabında kullanılan zemin yatak katsayısı, genellikle amprik bağıntılardan elde edilmekte ve buna bağlı olarak da yaklaşık sonuç vermektedir. k ile temsil edilen zemin yatak katsayısı genellikle zeminden alınan numuneler

üzerinde yapılan deneylerden elde edilmekte, buna karşılık, binanın temelinin altındaki zemin profilinin hesaba etkisi göz ardı edilmektedir.

İki parametrelili zemin modeli (Filonenko-Borodich [2], Pasternak [3]) kullanılarak zemindeki komşu noktaların birbirlerine olan etkisi de hesaba katılabilir. Buna ek olarak, temel altındaki zemin tabakasının derinliğinin hesapta göz önüne alınması isteniyorsa Vlasov ve Leontev [4], tarafından geliştirilen zemin modelinin esas alınması gerekmektedir. Karamanlidis [5], tarafından kübik Hermit polinomları kullanılarak iki parametrelili elastik temel için dört serbestlikli kiriş elemanının matrisi belirlenmiş, Nogami [6] tarafından düşey yer değiştirmelerin derinliğe uyumlu olarak değişeceği önerilmiş ve buna uygun eleman rijitlik matrisi geliştirilmiştir. Bu modelde her zemin katmanı tek boyutlu yay eleman gibi

modellenmektedir ve bu yay elemanlar kayma parametresine bağlı olarak aralarında etkileşimlidir.

Vallabhan ve Das tarafından [7] toplam potansiyel enerjinin minimum olması prensibinden yararlanılarak ve seçilmiş mod şekli esas alınarak iki parametrelili zemin elemanın rijitlik matrisi çıkarılmıştır. Kullanılan mod şekilleri temel zati ağırlığından oluşan yer değiştirmelere bağlı olarak seçilmişlerdir.

Çelik ve Saygun [8] tarafından verilen yöntem ile iki parametrelili zemine oturan ince veya kalın plak elemanın bütünlük bir rijitlik matrisi çıkarılmıştır. Böylece zemini ayrıca modellemeye gerek kalmamaktadır.

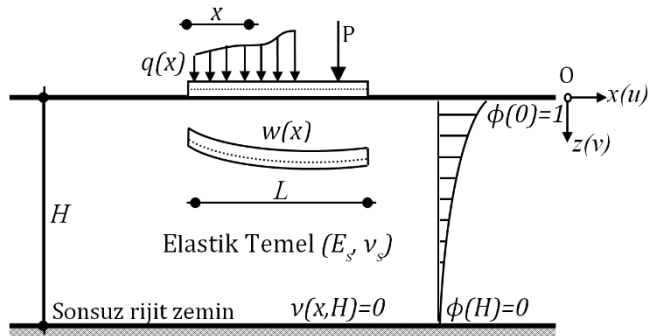
Çelik ve Omurtag [9] tarafından elastisite modülünün karesel değişimi varsayımıyla sonlu elemanlar yönteminden yararlanarak Vlasov zeminine oturan temeller için zemin parametreleri belirlenmiştir.

İki parametrelili zemine oturan plakların hesabı için gerekli eleman rijitlik matrisleri literatürde birçok çalışmada verilmesine karşılık yaygın olarak kullanılan genel amaçlı yapı analizi yazılımlarının sonlu eleman kütüphanelerinde bu matrisler yer almamaktadır. Ancak, genel amaçlı yapı analizi programlarının kütüphanelerinde bulunan plak elemanlara ait rijitlik matrisleri uygun şekilde modifiye edilerek iki parametrelili zemin özellikleri kısmen göz önüne alınabilmektedir. Fakat zaman tanım alanında analiz gibi, zemin parametrelerinin zaman artımları sırasında değişikliğe uğrayacağı durumlarda, integrasyon adımları arasında güncelleme yapılamamaktadır.

Bu makalede, geliştirilen bir bilgisayar yazılımı aracılığı ile zemin parametrelerinin zaman tanım alanında yapılan analizlerde ne şekilde değiştiği ve komşu binaların deprem etkileri altında birbirleri ile olan etkileşimleri araştırılmıştır.

2 Vlasov Tipi Zeminlerde Zemin Parametrelerinin Belirlenmesi

Temelin altındaki zeminin, elastik, izotropik ve homojen olduğu varsayılmaktadır. H kalınlığında, E_s ve ν_s elastisite modülü ve poisson oranına sahip zemin ve temel için hazırlanan Vlasov modeli Şekil 1'de gösterilmiştir. $v(x, z)$ fonksiyonu zeminin şekil değiştirme fonksiyonunu ifade etmektedir.



Şekil 1: Temel ve iki parametrelili Vlasov modeli.

Sonsuz rijit zemin tabakasında mod şeklini ifade eden şekil değiştirme sıfır olmaktadır. Bunun dışında şekil değiştirme yatayda ve düşeyde aşağıda verildiği gibi değişmektedir,

$$v(x, y, z) = w(x, y)\phi(z) \quad (1)$$

Burada, $\phi(z)$ fonksiyonu, zemin yüzünden sonsuz rijit tabakaya doğru yer değiştirmenin değişimini göstermektedir ve aşağıdaki gibi ifade edilir,

$$\phi(z) = \frac{\sinh \gamma(1 - \frac{z}{H})}{\sinh \gamma} \quad (2)$$

(2) bağıntısındaki γ ise,

$$\left(\frac{\gamma}{H}\right)^2 = \frac{(1 - 2\nu_s) \iint_{-\infty}^{\infty} \left[\left(\frac{\partial w(x,y)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial w(x,y)}{\partial y}\right)^2 \right] dx dy}{\iint_{-\infty}^{\infty} w^2(x,y) dx dy} \quad (3)$$

ifadesi ile tanımlanmaktadır. Bu ifadedeki γ , temel ve zeminin yer değiştirmesine bağlı bir parametredir.

Eğilme rijitliği D olan ve iki parametrelili zemine oturan bir plağa ait diferansiyel denge denklemi,

$$D\nabla^4 w - 2t\nabla^2 w + kw = q \quad (4)$$

şekindedir. Bu ifadede q plak üzerindeki yayılı yükü, k zemin yatak katsayısını, $2t$ ise yaylar arasındaki etkileşimi ifade eden ikinci zemin parametresini (k_m) ifade etmektedir. İkinci zemin parametresi göz önüne alınmadığında denklem, Winkler zeminine oturan plak modeline dönüşmektedir. (4) ile verilen ifadedeki zeminin birinci ve ikinci parametreleri,

$$k = \int_0^H \frac{(1 - \nu_s)E_s}{(1 + \nu_s)(1 - 2\nu_s)} \left(\frac{d\phi}{dz}\right)^2 dz \quad (5)$$

$$2t = \int_0^H \frac{E_s}{2(1 + \nu_s)} \phi^2 dz \quad (6)$$

bağlantıları ile elde edilmektedir.

Yukarıdaki denklemlerden de görüldüğü gibi, k ve $2t$, malzeme özelliklerine, sıkışabilir zemin tabakası kalınlığına (H) ve γ parametresine bağlıdır. γ parametresi ise verilen yükler altında zeminin şekil değiştirmesine bağlıdır. Hesabın başlangıcında k ve $2t$ parametreleri bilinmediğinden bir ardışık yaklaşım işlemine gerek duyulmaktadır.

3 Zemin Sonlu Elemanı

Bu çalışmada kullanılan plak elemana ait birinci ve ikinci parametrelere karşı gelen eleman rijitlik matrisleri,

$$C_{ij} = C \iint w_i w_j dA \quad (7)$$

$$C_{Tij} = 2C_T \iint \left(\frac{\partial w_i}{\partial x} \frac{\partial w_j}{\partial x} + \frac{\partial w_i}{\partial y} \frac{\partial w_j}{\partial y} \right) dA \quad (8)$$

olarak ifade edilmiştir. Şekil 2'de gösterildiği gibi sağ el kuralına göre sıralanmış olan düğüm noktalarında, aşağıda verilen doğrusal şekil fonksiyonları kullanılırsa,

$$N_1 = 0.25(1 - \xi)(1 - \eta) \quad (9)$$

$$N_2 = 0.25(1 + \xi)(1 - \eta) \quad (10)$$

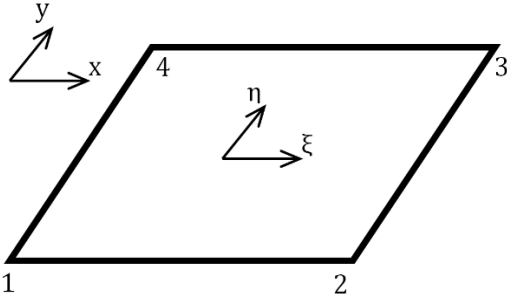
$$N_3 = 0.25(1 + \xi)(1 + \eta) \quad (11)$$

$$N_4 = 0.25(1 - \xi)(1 + \eta) \quad (12)$$

zemin elemanın birinci ve ikinci parametrelerine ait rijitlik matrisleri söz konusu şekil fonksiyonları cinsinden şu şekilde ifade edilebilir:

$$C_{ij} = C \iint N_i N_j dA \quad (13)$$

$$C_{Tij} = 2C_T \iint \left(\frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial N_j}{\partial x} + \frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial N_j}{\partial y} \right) dA \quad (14)$$



Şekil 2: Zemin Sonlu elemanı ve koordinat eksen sistemi.

Şekil fonksiyonlarının, eleman yerel eksenlerine bağlı kısmi türevleri,

$$\frac{\partial N_i}{\partial x} = \frac{\partial N_i}{\partial \xi} \frac{\partial \xi}{\partial x} + \frac{\partial N_i}{\partial \eta} \frac{\partial \eta}{\partial x} \quad (15)$$

$$\frac{\partial N_i}{\partial y} = \frac{\partial N_i}{\partial \xi} \frac{\partial \xi}{\partial y} + \frac{\partial N_i}{\partial \eta} \frac{\partial \eta}{\partial y} \quad (16)$$

şeklinde. Dönüşüm işlemlerini yapmak için kullanılacak olan Jakobiyen matrisinin tersi ise,

$$[J]^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \xi}{\partial x} & \frac{\partial \eta}{\partial x} \\ \frac{\partial \xi}{\partial y} & \frac{\partial \eta}{\partial y} \end{bmatrix} = \frac{1}{\det J} \begin{bmatrix} \frac{\partial y}{\partial \eta} & -\frac{\partial y}{\partial \xi} \\ -\frac{\partial x}{\partial \eta} & \frac{\partial x}{\partial \xi} \end{bmatrix} \quad (17)$$

bağıntısı ile, bu matrisin determinanı ise,

$$\det J = \frac{\partial x}{\partial \xi} \frac{\partial y}{\partial \eta} - \frac{\partial x}{\partial \eta} \frac{\partial y}{\partial \xi} \quad (18)$$

bağıntısı ile verilmektedir. Matris formülasyonlarındaki integraller 3. dereceden Gauss sayısal integrasyonu ile kolayca hesaplanabilir.

Zeminin birinci ve ikinci parametrelerine ait eleman rijitlik matrisleri genel dörtgen elemanlar için çıkarılmıştır. Böylece yöntem çokgenlerden oluşan temeller dışında, daire şeklindeki iki parametrelilik elastik zemine oturan temellerin çözümünde ve Çelik ve Saygun [8] tarafından gerçekleştirilen çalışmada da gösterildiği gibi boşluklu plak sistemlerinin çözümünde de kullanılabilir.

4 Bilgisayar Programı

İki parametrelilik zemin modellerine ait yazılımlar genellikle üst yapıyı dikkate almadan sadece plak veya kabukların analizine yöneliktir. Bu çalışmada ise, iki parametrelilik zemin modeli ile üst yapıyı birlikte çözebilen bilgisayar yazılımı hazırlanmıştır. Zemin elastik eğrisine göre Vlasov analizi yapılarak, zemin sonlu elemanına ait parametreler hesaplanmaktadır. Program

ile yapılan zaman tanım alanında analizde, her zaman artım adımında tekrar Vlasov analizi yapılarak zemin parametreleri güncellenmektedir.

Program bütün analizleri üç boyutlu olarak yapmaktadır. Üç boyutlu analiz yapabilmek için çok fazla değişkene sahip denklemler takımları çözülmesi gerekmekte, bunun içinde düğüm noktası optimizasyonu ile sistem rijitlik matrisi bant genişliği daraltılmakta, sparse matris olarak kodlanarak da sıfır olan değerler hafızada tutulmayarak büyük matrislerin çözümü yapılabilmektedir. Üstünde çalışılan örnekte 14962 bilinmeyen bulunmaktadır. Eğer bu denklem takımı kare matris olarak tutulsaydı, 1700 MB bilgisayar hafızasına gerek duyulacaktı. Yapılan optimizasyonlarla 1.3 MB hafıza matris için kullanılmış, Gauss eliminasyon çözümünde de bloklaşma tekniğinden yararlanılmış veya Intel MKL kütüphanesi kullanılmıştır.

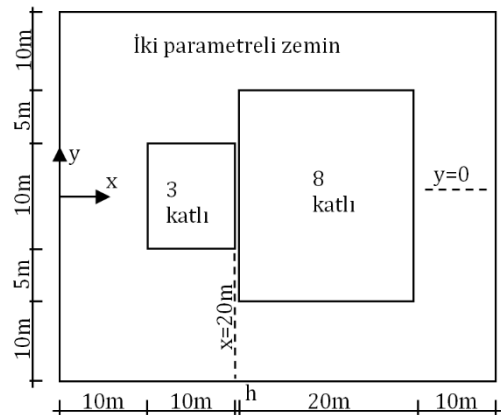
Program tarafından temel modellemede kullanılan plak elemanı, Z. Atar [10] tarafından hazırlanan çalışmada geliştirilmiştir. Bu eleman Reissner/Mindlin teorisi esas alınarak hazırlanmıştır. Söz konusu eleman kalın plak teorisine uygundur ve kayma kilitlenmesi olmaması için şekil değiştirme fonksiyonunun tespitinde Timoshenko çubuğunun gerçek şekil değiştirme fonksiyonu [11]-[13] kullanılmıştır. Elemanın çok ince plak çözümlerinde kayma kilitlenmesi problemi olmadığı teorik olarak gösterilmiştir [14]. Yapılan sayısal örneklerle de elemanın kalın ve ince plak problemlerinde yüksek doğrulukta çalıştığı görülmektedir.

5 Sayısal Çözümler

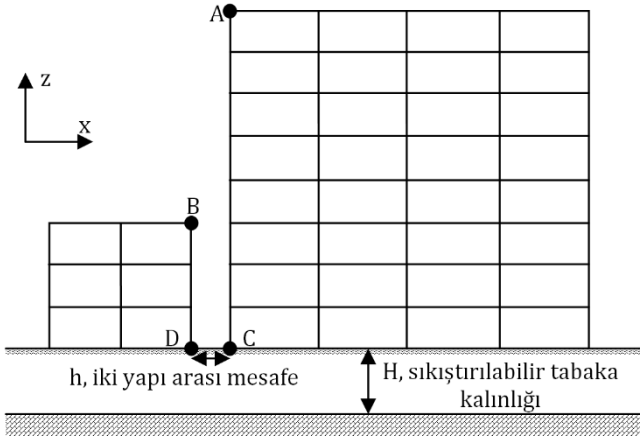
Bu bölümde, Hamarat [15] tarafından hazırlanan yüksek lisans tezinde verilen, üç ve sekiz katlı iki yapının deprem hareketi etkisindeki etkileşimi incelenmiştir. Bu amaçla, yapıların statik yükler altında çökmeleri ve verilen bir deprem yer ivmesi altındaki hareketi göz önüne alınarak, iki parametrelilik zemin modelinin hesapları ne şekilde etkilediği gösterilmiştir. Sayısal çözümlerde, statik yükler altında hesaplanan zemin parametreleri zaman artımları arasında da değiştirilmiştir. Bunun için, zaman tanım alanındaki integrasyonun her zaman artımı adımında birinci ve ikinci zemin parametrelerini belirleyen γ katsayısı tekrar hesaplanmıştır.

5.1 Hesaplarda Kullanılan Bina Modeli

Hesaplanan binaların plan ve kesit görünüşleri sırasıyla Şekil 3'te ve Şekil 4'te verilmiştir. İki yapıda da her iki doğrultudaki kolonlar arası mesafe 5'er metredir.



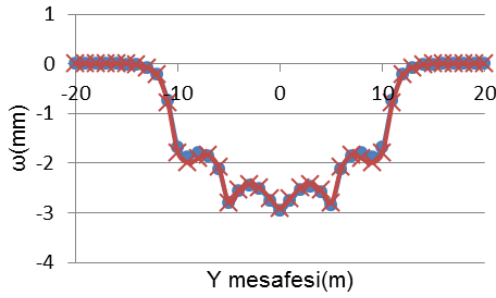
Şekil 3: Temel ve zemin yerleşimi.



Şekil 4: Sonuçlarda incelenen düğüm noktaları.

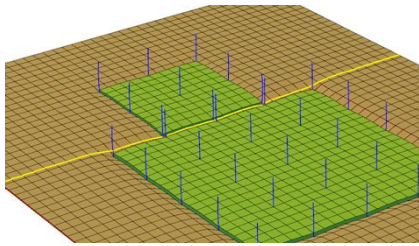
5.2 Düşey Yükler Altında Analiz

Geliştirilen bilgisayar yazılımının doğru sonuç verip vermediğinin anlaşılması için, ilk olarak düşey yükler altında Şekil 4'te verilen D noktasında, $x = 20$ m aksında zeminde oluşan yer değiştirmeler, Hamarat (9) tarafından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.



Şekil 5 : $x = 20$ m için sonuçlar; x: Hamarat, o: Yapılan çalışma.

Şekil 5'te zemindeki yer değiştirmeleri verilen kesitte üç katlı binaya ait üç adet kolon bulunmaktadır. Bu kolonlar $y = -5,0$ ve 5 m akslarından geçmektedir. Şekil 5'te görüldüğü gibi $y = 10$ m aksında da önemli ölçüde çökme meydana gelmiştir.



Şekil 6: $x = 20$ m çizgisi üstünde zemin şekil değiştirmesi.

Şekil 6'da 3 ve 8 katlı binaların altındaki ve temel zemin dışındaki zemin çökmeleri perspektif olarak gösterilmiştir. 8 katlı binanın köşe kolonları $x = 20$ m aksından geçmediği halde, iki parametrelili zemin kabulünün bir sonucu olarak, bu aks üzerinde de yer değiştirme oluşturduğu Şekil 5 ve Şekil 6'dan görülmektedir.

5.3 Zaman Tanım Alanındaki Analizler

Bina sisteminin 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin doğu-batı bileşeni yatay ivme kaydı ve düşey ivme kaydı altındaki

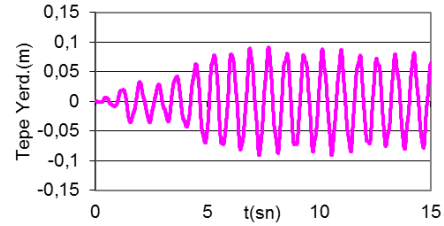
davranışı Zaman Tanım Alanında Analiz ile incelenmiştir. Çözümlerde sönüm etkileri ve zemin kütlesi ihmal edilmiştir.

Hamarat (9) tarafından yapılan çalışmada, Zaman entegrasyonuna başlamadan önce zemine ait parametreler belirlenmiş ve analiz boyunca değiştirilmemiştir. Söz konusu modelde ayrıca, Winkler zemini düğüm noktalarında tanımlanan tekil yaylarla temsil edilmiştir. Buna göre oluşturulan model ilk olarak düşey yükler için çözülmüş, daha sonra elde edilen zemin parametrelerine bağlı olarak yatay ve düşey ivme kayıtları için hesaplar tekrarlanmıştır. Sonuçlar irdelenirken, düşey yükler altında bulunan değerler ile zaman entegrasyonu ile elde edilen değerler toplanmıştır.

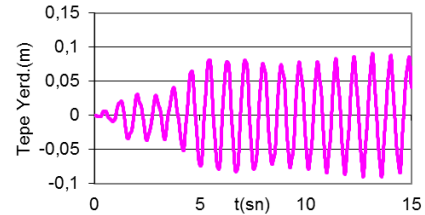
Bu çalışmada ise Winkler zemini tekil yaylar yerine sürekli ortam olarak temsil edilmiş, ayrıca, zaman entegrasyonu süresince zemin parametrelerinin değişimi göz önüne alınmıştır. Buna göre, ilk olarak düşey yükler altında bina-zemin sistemi çözülerek zaman entegrasyonunun başlangıç koşulları belirlenmiştir. Daha sonra, aynı anda tanımlanan yatay ve düşey deprem ivme kayıtları için zaman tanım alanındaki analizler gerçekleştirilmiştir.

5.4 Sonuçların Karşılaştırılması

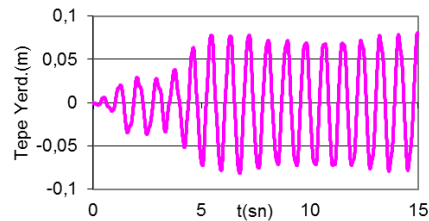
Farklı sıkışabilir tabaka kalınlıkları için yapılan analizlerin sonucunda elde edilen Bina sisteminin C noktasının yer değiştirme geçmişleri sırası ile Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 7: 8 katlı yapıda bulunan C noktasının, ankastre mesnetli kolon durumu için zaman tanım alanında analizi sonucu elde edilen yer değiştirme geçmişi.



Şekil 8: İki yapı arası mesafe 0.5 m ve sıkışabilir zemin kalınlığı 3 m için C noktasının zaman tanım alanında analizi sonucu elde edilen yer değiştirme geçmişi.



Şekil 9: İki yapı arası mesafe 0.5 m ve sıkışabilir zemin kalınlığı 6 m için C noktasının zaman tanım alanında analizi sonucu elde edilen yer değiştirme geçmişi.

C noktasına ait yer değiştirme geçmişleri her iki çalışmada da aynı bulunmuştur. İlk olarak ankastre mesnetli kolon çözümü

incelenerek, iki çalışma arasında zemin parametrelerinin göz önüne alınış şeklinden başka farklılık olup olmadığı kontrol edilmiş, daha sonra parametrelerin zaman artımındaki değişimleri de göz önüne alınarak, söz konusu değişimlerin sonuçlara etkisi tartışılmıştır.

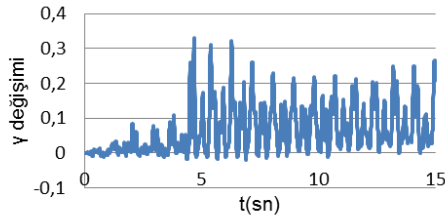
6 Zemin Parametresinin Değişiminin İrdelenmesi

Önceki bölümlerde söz edildiği gibi, bu çalışmada zaman entegrasyonunun her adımında zemin parametreleri tekrar hesaplanmaktadır. Analizin her adımında sıkışabilir zemin tabakasının kalınlığına bağlı olarak yeni bir γ mod parametresi hesaplanmakta, bu parametreye bağlı olarak da temel altı zemininin k ve $2t$ değerleri hesaplanmaktadır. Elde edilen bu değerlere bağlı olarak zemin sonlu elemanlarına ait rijitlik matrisleri tekrar hesaplanmakta, zaman entegrasyonunun bir sonraki adımına geçilmektedir. γ parametresinin hesabında yalnız zemine ait düğüm noktalarının yer değiştirmelerinden yararlanılmıştır.

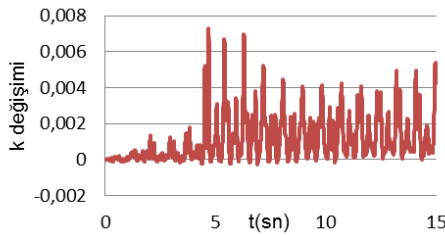
İki bina arasındaki mesafenin 0.5 m ve sıkışabilir zemin tabakası kalınlığı 6m olması durumu için yapılan hesapta, ilk adımda zemin parametrelerinin başlangıç değerleri,

$$\begin{aligned} \gamma &= 0.654 \\ k &= 13841 \text{ kN/m}^3 \\ 2t &= 52209 \text{ kN/m} \end{aligned} \quad (1)$$

şeklinde. Zaman entegrasyonu sırasında elde edilen, zemin parametrelerindeki değişim oranları sırası ile Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12'de verilmiştir.



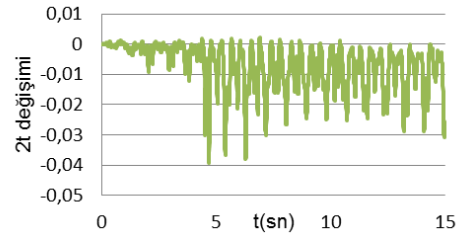
Şekil 10: İki bina arasındaki mesafe 0.5 m ve sıkışabilir zemin tabakası kalınlığı 6 m için γ parametresinin orantısal olarak değişimi.



Şekil 11: İki bina arasındaki mesafe 0.5 m ve sıkışabilir zemin tabakası kalınlığı 6 m için k parametresinin orantısal olarak değişimi.

Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12 incelendiğinde, γ parametresindeki 0.33 oranında değişime karşılık, k parametresinde 0.008, $2t$ parametresinde ise 0.04 oranında değişim olmaktadır.

Farklı sıkışabilir zemin tabakası kalınlıkları için elde edilen sonuçlar Tablo 1 ve 2'de gösterilmiştir.



Şekil 12: İki bina arasındaki mesafe 0.5 m ve sıkışabilir zemin tabakası kalınlığı 6 m için $2t$ parametresinin orantısal olarak değişimi.

Tablo 1: Zaman tanım alanında analizde hesaplanan zemin parametrelerinin başlangıç ve maksimum değerleri.

Bina		γ	k kN/m^3	$2t$ kN/m
H	h			
3	0.5	t_0	0.531	27626
		t_{max}	0.804	27808
6	0.5	t_0	0.654	13841
		t_{max}	0.868	13942
12	0.5	t_0	0.877	6974
		t_{max}	1.057	7051

Tablo 2: Başlangıç adımına göre zemin parametrelerindeki maksimum oransal değişim.

Bina		γ	k	$2t$
H	h			
3	0.5	0.515	0.006	0.004
6	0.5	0.3315	0.0073	0.002
12	0.5	0.205	0.0111	0.0018

Zemin noktalarının düşey yer değiştirmeleri arttıkça zeminde oluşan gerilmeler de artacaktır. Tablo 3'de 8 katlı binaya ait C noktasının ve 3 katlı binaya ait D noktasının düşey yer değiştirmeleri gösterilmiştir.

Tablo 3: 0.5 m mesafeli C ve D noktaları için düşey yer değiştirmeler (m).

	Winkler	Ayrı	$H = 3$	$H = 6$	$H = 12$
C	0.00262	0.0086	0.0089	0.012	0.0168
D	0.001	0.0033	0.0057	0.0097	0.0154

Tablo 4: C ve D noktaları için göreceli yer değiştirmeler.

	Winkler	Ayrı	$H = 3$	$H = 6$	$H = 12$
C	1	3.28	3.41	4.6	6.4
D	1	3.3	5.7	9.7	15.4

Tablo 3 ve 4'te, ilk sütunda Winkler modeli, ikinci sütunda $H = 3m$ sıkışabilir zemin tabakası ile binaların ayrı ayrı modellenmesi, diğer sütunlarda ise değişik sıkıştırılabilir zemin tabakaları ile iki binanın birlikte modellenmesi sonucunda elde edilen değerler gösterilmiştir.

7 Sonuçlar

Yapı sistemlerinin yapı-zemin etkileşimini göz önüne alınarak çözümlerinde genellikle Winkler tipi zemin olarak bilinen bir parametrelili zemin modeli kullanılmaktadır. İki parametrelili zemin modellerinde ise, zemindeki komşu noktaların etkileşimi göz önüne alındığından daha gerçekçi çözümler vermektedir. Bu çalışmada, zaman tanım alanındaki analizlerle, bitişik yapıların deprem sırasındaki etkileşimleri ve iki parametrelili zemine ait davranış parametrelerinin, binaların bütünsel davranışlarına olan etkileri incelenmiştir. Tablo 3'te ve Tablo 4'te verilen karşılaştırmalarda, binaların

birbirine olan etkisi nedeniyle yer değiştirmelerin arttığı ve bunda sıkışabilir zemin tabakası kalınlığının öneminin büyük olduğu gözlenmektedir. Zemin nokta yer değiştirmeleri arttıkça zeminde oluşan gerilmelerde artacağı için ikinci parametre önem taşımaktadır.

İki parametrelili zemin modelinde incelenen komşu binaların birbirine göre durumları da sonuçları önemli ölçüde değiştirmektedir. Tablo 3'e göre 8 katlı yapının C düğüm noktasının yer değiştirmesi %3.4 oranında değişirken, 3 katlı binanın D noktasının yer değiştirmesi %42 oranında değişmektedir. Bu sonuca göre, ağırlığı büyük olan binalara komşu olarak inşa edilen binalar ile ilgili deprem hesaplarında, binaların etkileşimi mutlaka göz önüne alınmalıdır.

Bununla birlikte, verilen örnek için, zaman tanım alanında yapılan analizlerde γ parametresinin zaman artımı adımlarında yenilenmesinin düşey parametrelerin değişmesi üstünde önemli bir etkisinin olmadığı Tablo 1'den ve Tablo 2'den görülmektedir. Daha genel sonuçlara varılabilmesi için, farklı bina ve kat sayıları ile farklı tipteki sıkışabilir tabaka kalınlıkları için hesapların tekrarlanması gerekmektedir.

8 Kaynaklar

- [1] Winkler E. *Die Lehre von der Elastizität und Festigkeit*. Prague, Czechoslovakia, 1867.
- [2] Filonenko-Borodich MM. "Some Approximate Theories of the Elastic Foundation". *Uchenyie Zapiski Moscovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Mekhanika*, 46, 3-18, 1940.
- [3] Pasternak PL. 1954. *On a New Method of Analysis of an Elastic Foundation by means of Two Foundation Constants*. Leningrad, Moscow, USSR, Gosudarstvennoe Izdatelstvo Literaturi po Stroitelstvu Arkhitekture, 1954.
- [4] Vlasov VZ, Leont'ev UN A. *Beams Plates and Shells on Elastic Foundations*. Kudüs, Israel, Israel Programme for Scientific Translations, 1966.
- [5] Karamanlidis D, Prakash V. "Buckling and Vibration Analysis of Flexible Beams Resting on an Elastic Half-Space". *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 16(8), 1103-1114, 1988.
- [6] Nogami T, Lam YC. "Two Parameter Layer Model for Analysis of Slabs on Elastic Foundations". *Journal of Engineering Mechanics*, 113(9) 1279-1291, 1987.
- [7] Vallabhan CVG, Das YC. "Parametric Study of Beams on Elastic Foundations". *Journal of Engineering Mechanics*, 114(12), 2072-2082, 1988.
- [8] Çelik M, Saygun A. "A Method for the Analysis of Plates on a Two Parameter Foundation". *International Journal of Solids and Structures*, 36(19), 2891-2915, 1999.
- [9] Çelik M, Omurtag MH. "Determination of the Vlasov Foundation Parameters Quadratic Variation of Elasticity Modulus Using-FE Analysis". *Structural Engineering and Mechanics*, 19(6), 619-632, 2005.
- [10] Atar Z. *Perde Çubuk Sistemlerin Sonlu Elemanlar ile Hesabı*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2009.
- [11] Cheung YK, Wanji Chen. "Refined Nine-Parameter Triangular Thin Plate Bending Element by Using Refined Direct Stiffness Method". *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 38(2), 238-298, 1995.
- [12] Wanji Chen, Cheung YK. "Refined Triangular Discrete Kirchhoff Plate Element for Thin Plate Bending, Vibration and Buckling". *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 41(8), 1507-1525, 1998.
- [13] Wanji Chen, Cheung YK. "Refined Quadrilateral Discrete Kirchhoff Thin Plate Bending Element". *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 41(21), 3937-3953, 1997.
- [14] Chen W, Cheung YK. "Refined Quadrilateral Element Based on Mindlin/Reissner Plate Theory". *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 47(1-3), 605-627, 2000.
- [15] Hamarat A. *İki Parametrelili Zeminler Üzerine Oturan Yapı Sistemlerinin Dinamik Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2012.