

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YAPI ZEMİN ETKİLEŞİMİNİN BETONARME YAPILARIN TASARIMINA ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Saffet KILIÇER

**ARALIK - 2016
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun / / gün ve sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan :

Üye :

Üye :

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda, yüksek lisans tezi olarak gerçekleştirilmiştir.

Eğitim hayatımın her evresinde bana destek olan tüm öğretmenlerime, Karadeniz Teknik Üniversitesin' deki lisansüstü öğrenimim boyunca benden, bilgilerimi, tecrübelerini, zamanını esirgemeyen ve her zaman tez çalışmamı yürütmemi sağlayarak beni bu günlere getiren saygıdeğer tez danışmanım Doç. Dr. Korhan ÖZGAN'a teşekkürlerimi borç bilirim. Ayrıca Karadeniz Teknik Üniversitesi inşaat mühendisliği bölümü öğretim üyelerinden Prof. Dr. Ayşe T. DALOĞLU'na ve Araş. Gör. Ali İhsan KARAKAŞ'a yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme, zor zamanlarda her zaman yanımda olan sevgi ve saygı dolu eşime, her an büyük içtenlikle yardımına koşan dostlarıma sonsuz teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmayı kızım Beren'e atfetmek istiyorum.

Saffet KILIÇER

Trabzon 2016

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Yapı Zemin Etkileşiminin Betonarme Yapıların Tasarımına Etkisi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Korhan ÖZGAN’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri ve örnekleri kendim topladığımı, analizleri ilgili programlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 30/12/2016

Saffet KILIÇER

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Yapı Zemin Etkileşim Modelleri.....	2
1.2.1. Bir Parametrelili Zemin Modelleri	3
1.2.2. İki Parametrelili Zemin Modelleri.....	5
1.2.3. Üç Parametrelili Zemin Modelleri.....	8
1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	8
1.4. Konu ile İlgili Yapılan Bazı Diğer Çalışmalar	9
1.5. Geliştirilmiş Vlasov Modeli	12
1.6. Birleşik Eğilme Etkisindeki Betonarme Elemanların Tasarımı	15
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	17
2.1. Hesap Tekniğinin ve Modelin Seçimi	17
2.2. Yapı-Zemin Sisteminin SAP2000 Modelinin Oluşturulması.....	18
2.3. Zemin Parametrelerinin Hesaplanmasında SAP2000-OAPI- MATLAB Yazılımlarının Eş Zamanlı Kullanımı	22
2.4. Sayısal Uygulamalar.....	24
2.4.1. Uygulama 1: Hesap Tekniğinin Doğrulanması	25
2.4.2. Uygulama 2: Zemin Modellerinin Yapı Davranışına Etkisi.....	26
2.4.3. Uygulama 3: Zemin Özelliklerinin Yapı Davranışına Etkisi	36
2.4.4. Uygulama 4: Deprem Bölgesi ve Kat Adedinin Yapı Davranışına Etkisi.....	57
3 SONUÇLAR VE ÖNERİLER	73
4 KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans

ÖZET

YAPI ZEMİN ETKİLEŞİMİNİN BETONARME YAPILARIN TASARIMINA ETKİSİ

Saffet KILIÇER

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Korhan ÖZGAN
2016, 78 Sayfa,

Betonarme yapıların tasarımı sırasında genellikle iki farklı yaklaşım kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlardan birinde temel zemini rijit dikkate alınarak tabanda kolonların ankastre olduğu varsayılmakta, üst yapıdan aktarılan gerilmelere maruz kalan ve kaldığı etkilere karşı tepki oluşturan zemin etkisi ihmal edilmektedir. Sadece temel tasarımında zemin etkileri dikkate alınmaktadır. Zemin etkileri dikkate alınmadan yapılan bir üst yapı tasarımının eksik kalacağı söylenebilir. Diğer yaklaşımda ise yapı-zemin etkileşimi birbirine sonsuz yakın yaylarla temsil edilen Winkler modeli kullanılarak dikkate alınmaktadır. Ancak zemin modellerinin en basiti olan Winkler modelinde yaylar arasındaki etkileşim yani zemin kayma şekil değiştirmeleri göz ardı edilmektedir. Oysaki bir mühendislik yapısı için yapı ile zemin arasındaki etkileşimin doğru ve gerçekçi bir şekilde ortaya konulması güvenilir bir tasarıma ulaşılması açısından son derece önem taşımaktadır. Bu çalışmada, yapı-zemin etkileşiminin betonarme yapıların tasarımına etkisi, literatürde daha gerçekçi bir zemin modeli olarak nitelenen Geliştirilmiş Vlasov modeli kullanılarak, incelenmektedir. Bu amaçla SAP2000 paket programı ile MATLAB'te kodlanan yazılımın eş zamanlı kullanıldığı bir çözüm tekniği geliştirilmiştir.

Yapı-zemin etkileşiminde kullanılan zemin modelleri ve özellikle bu çalışmada kullanılan Geliştirilmiş Vlasov modeli hakkında özet bilgi verildikten sonra geliştirilen çözüm tekniğinin üzerinde durulmakta ve akış diyagramı sunulmaktadır. Kullanılan tekniğin performansını göstermek amacıyla literatürden alınan bir radye temel örneği üzerinde çözümler yapılmaktadır. Daha sonra; zemin modellerinin, zemin özelliklerinin, deprem bölgesinin ve kat sayısının sonuçlar üzerindeki etkisi araştırılmaktadır. Elde edilen yapı doğal titreşim periyotları, kolon eksenel kuvvetleri, kolon eğilme momentleri ve kolonların boyuna donatı oranları her bir zemin modeli için karşılaştırılmaktadır. Çalışmanın sonunda yapı-zemin etkileşiminin betonarme yapıların tasarımına etkisinin ihmal edilemeyecek düzeyde olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yapı-zemin etkileşimi, OAPI, Elastik zemin, Betonarme yapı tasarımı, SAP2000

Master Thesis

SUMMARY

EFFECTS OF SOIL-STRUCTURE INTERACTION ON DESIGN OF REINFORCED
CONCRETE STRUCTURES

Saffet KILIÇER

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Korhan ÖZGAN
2016, 78 Pages,

Two different approaches are generally used for the design of reinforced concrete structures. In one of these approaches, the columns at the base are considered as fixed with the assumption of the foundation stratum to be rigid neglecting the soil effect which exposes to the stresses transferred from the superstructure and which creates the reaction against these stresses. Soil effects are only taken into account in the design of foundation. It can be said that design of the superstructure without considering the soil effects will be incomplete. In the other approach, the soil-structure interaction is incorporated using Winkler model in which soil stratum is represented by infinitely close springs. However, in the Winkler model, which is the simplest of the foundation models, the interaction between the springs are ignored and therefore the shear deformation of the subsoil is neglected. Whereas, accurate and realistic representation of the soil-structure interaction is crucial for a reliable design of an engineering structure. In this study, the effect of soil-structure interaction on the design of reinforced concrete structures is investigated by using the Modified Vlasov model which is described as a more realistic subsoil model in the literature. For this purpose, a solution technique has been developed by using SAP2000 software and a computer program coded in MATLAB simultaneously.

The soil model used in the soil structure interaction and especially the developed Modified Vlasov model used in this study are summarized and then the developed solution technique is explained in detail and the flow diagram is presented. In order to demonstrate the performance of the technique used, a raft foundation example from the literature is studied. Then; the effects of soil models, soil properties, earthquake zone and number of floors on the results are investigated. Natural vibration periods, column axial forces, column bending moments and longitudinal reinforcement ratios of the columns is compared for each subsoil model. At the end of the study, it is seen that the effect of the soil-structure interaction on the design of reinforced concrete structures has an significant role that can not be neglected.

Key Words: Soil-structure interaction, OAPI, Elastic foundation, Design of reinforced concrete structures, Sap 2000

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Bir parametrelili zemine oturan plak şeması	3
Şekil 2. Bir parametrelili zemin modeline göre yer değiştirme durumları	4
Şekil 3. İki parametrelili zemin modeline göre yer değiştirme durumları.....	6
Şekil 4. Pasternak zemin modeli	7
Şekil 5. Winkler ve pasternak zemin modelleri.....	7
Şekil 6. Vlasov zemin modeli.....	7
Şekil 7. Elastik zemine oturan bir plak şeması.....	13
Şekil 8. İki doğrultuda bileşik eğilme etkisindeki kolon.....	15
Şekil 9. Zemine ait kayma tabakası malzeme özelliklerinin tanımlanması.	19
Şekil 10. Zemin kayma tabakasının tanımlanması	19
Şekil 11. Temel plağı ile kayma tabakası düğüm noktalarının düşey yer değiştirmelerinin eşitlenmesi.....	20
Şekil 12. Alan yaylarının tanımlanması	21
Şekil 13. Üç parametrelili zemine oturan bir yapı modeli.....	22
Şekil 14. Akış diyagramı	23
Şekil 15. Elastik zemine oturan radye temel	25
Şekil 16. Tip-1 yapı örneğinin kalıp planı.....	27
Şekil 17. Tip-1 türü yapının kat ağırlıkları ve kat seviyelerine etkileyen eşdeğer deprem yükleri	29
Şekil 18. Tip-1 türü yapıda radye temel x ekseni boyunca düşey yer değiştirmelerin değişimi	30
Şekil 19. Tip-1 türü yapıda radye temel y ekseni boyunca düşey yer değiştirmelerin değişimi	31
Şekil 20. Tip-1 türü yapıda $G+Q+E_x$ yüklemesi için radye temel x ekseni boyunca eğilme momentlerinin değişimi	31
Şekil 21 Tip-1 türü yapıda $G+Q+E_y$ yüklemesi için radye temel y ekseni boyunca eğilme momentlerinin değişimi	32
Şekil 22. Tip-1 türü yapıda kolon aksenal kuvvetlerinin yapı-zemin modeli ile değişimi	33

Şekil 23. Tip-1 türü yapıda kolon eğilme momentlerinin yapı-zemin modeli ile değişimi	34
Şekil 24. Tip-1 türü yapıda kolon boyuna donatı oranlarının yapı-zemin modeli ile değişimi	35
Şekil 25. Tip-2 yapı örneğinin kalıp planı	37
Şekil 26. Tip-2 türü yapıda kolon aksel kuvvetlerinin yapı-zemin modeli ile değişimi	40
Şekil 27. Tip-2 türü yapıda kolon eğilme momentlerinin yapı-zemin modeli ile değişimi	40
Şekil 28. Tip-2 türü yapıda kolon boyuna donatı oranlarının yapı-zemin modeli ile değişimi	42
Şekil 29. Farklı E_2/E_1 oranları için kolon aksel kuvvetleri	45
Şekil 30. Farklı E_2/E_1 oranları için kolon eğilme momentleri	46
Şekil 31. Farklı E_2/E_1 oranları için kolon boyuna donatı oranları	47
Şekil 32. Farklı E_2/E_1 oranları için 3-3 aksı boyunca radye temeldeki düşey yer değiştirmeler	49
Şekil 33. Farklı E_2/E_1 oranları için C-C aksı boyunca radye temeldeki düşey yer değiştirmeler	49
Şekil 34. Kolon aksel kuvvetlerinin zemin derinliği ile değişimi.....	52
Şekil 35. Kolon eğilme momentlerinin zemin derinliği ile değişimi	53
Şekil 36. Kolon donatı oranlarının zemin derinliği ile değişimi	54
Şekil 37. 3-3 aksı boyunca radye temeldeki düşey yer değiştirmelerin zemin derinliği ile değişimi	56
Şekil 38. C-C aksı boyunca radye temeldeki düşey yer değiştirmelerin zemin derinliği ile değişimi	56
Şekil 39. Tip-3 yapı örneğinin kalıp planı	58
Şekil 40. Tip-3 türü yapıda kolon aksel kuvvetlerinin yapı-zemin modeli ile değişimi	61
Şekil 41. Tip-3 türü yapıda kolon eğilme momentlerinin yapı-zemin.....	61
Şekil 42. Tip-3 türü yapıda kolon boyuna donatı oranlarının yapı-zemin modeli ile değişimi	62
Şekil 43. Kolon aksel kuvvetlerinin deprem bölgesine göre değişimi	64

Şekil 44. Kolon eğilme momentlerinin deprem bölgesine göre değişimi ...	64
Şekil 45. Kolon boyuna donatı oranlarının deprem bölgelerine göre değişimi	65
Şekil 46. Radye temelin x doğrultusundaki orta ekseni boyunca düşey yer değiştirmesinin deprem bölgesine göre değişimi	66
Şekil 47. Radye temelin y doğrultusundaki orta ekseni boyunca düşey yer değiştirmesinin deprem bölgesi ile değişimi	67
Şekil 48. Kolon aksenal kuvvetlerinin kat sayısı ile değişimi	69
Şekil 49. Kolon eğilme momentlerinin kat sayısı ile değişimi	69
Şekil 50. Kolon boyuna donatı oranlarının kat sayısı ile değişimi	70
Şekil 51. Radye temelin x doğrultusundaki orta ekseni boyunca düşey yer değiştirmesinin kat sayısı ile değişimi	72
Şekil 52. Radye temelin y doğrultusundaki orta ekseni boyunca düşey yer değiştirmesinin kat sayısı ile değişimi	72

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. β sayısal değerleri.....	16
Tablo 2. Çalışmada kullanılan yapı tipleri ve özellikleri.....	24
Tablo 3. Zemin parametreleri	25
Tablo 4. Maksimum yer değiştirmeler ve momentler	26
Tablo 5. Tip-1 türü yapının doğal titreşim periyotları ve taban kesme kuvvetleri.....	28
Tablo 6 Tip-1 türü yapının kat seviyelerine etkileyen eşdeğer deprem yükleri.....	29
Tablo 7. Tip-1 türü yapıda kolonlar için en elverişsiz boyuna donatı oranını veren $N-M$ değerleri.....	33
Tablo 8. Tip-1 türü yapıda farklı zemin modellerine göre kolon boyuna donatı oranları.....	35
Tablo 9. Sıkı kum için elastisite modülü ve zemin yatak katsayısı değerleri.....	36
Tablo 10. Tip-2 türü yapının doğal titreşim periyotları ve taban kesme kuvvetleri.....	38
Tablo 11. Tip-2 türü yapının kat seviyelerine etkileyen eşdeğer deprem yükleri.....	38
Tablo 12. Tip-2 türü yapıda kolonlar için en elverişsiz boyuna donatı oranlarını veren $N-M$ değerleri	39
Tablo 13. Tip-2 türü yapıda farklı zemin modellerine göre kolon boyuna donatı oranları.....	41
Tablo 14. Farklı E_2/E_1 oranına göre k ve $2t$ parametrelerinin değişimi	43
Tablo 15. Farklı E_2/E_1 oranları için kolonlarda en elverişsiz boyuna donatı oranını veren $N-M$ değerleri	44
Tablo 16. Farklı E_2/E_1 oranları için kolon boyuna donatı oranları.....	48
Tablo 17. Zemin yatak katsayısı ve kayma parametresinin zemin derinliğiyle değişimi.....	50
Tablo 18. Kolonlar için en elverişsiz boyuna donatı oranlarını veren $N-M$ değerlerinin zemin derinliği ile değişimi.....	51

Tablo 19. Kolon donatı oranlarının zemin derinliği ile değişimi	55
Tablo 20. Tip-3 türü yapının doğal titreşim periyotları ve taban kesme kuvvetleri.....	59
Tablo 21. Tip-3 türü yapının kat seviyesine etkileyen eşdeğer deprem yükleri.....	59
Tablo 22. Tip-3 türü yapıda kolonlar için en elverişsiz boyuna donatı oranlarını veren $N-M$ değerleri	60
Tablo 23. Tip-3 türü yapıda kolon donatı oranlarının yapı-zemin modeli ile değişimi	62
Tablo 24. Zemin parametrelerinin deprem bölgesine göre değişimi.....	63
Tablo 25. Kolon boyuna donatı oranlarının deprem bölgesine göre değişimi	65
Tablo 26. Zemin parametrelerinin kat sayısına göre değişimi	67
Tablo 27. Kolonlar için en elverişsiz boyuna donatı oranlarını veren $N-M$ değerlerinin katsayısı ile değişimi	68
Tablo 28. Kolon boyuna donatı oranlarının kat sayısı ile değişimi.....	71

SEMBOLLER DİZİNİ

A_0 : Etkin yer ivme katsayısı

D : Plak eğilme rijitliği

E : Deprem yükü

E_p : Plağın elastisite modülü

E_s : Zemin elastisite modülü

f_{ck} : Beton karakteristik dayanımı

F_x, F_y : Kat seviyelerine etkiyen eşdeğer deprem yükü

G : Sabit yük

G_p : Plağın kayma modülü

G_s : Zeminin kayma modülü

H : Zemin derinliği

h : Plak kalınlığı

I : Yapı önem katsayısı

k : Zemin yatak katsayısı

M_d : Tasarım momenti

M_x, M_y : Eğilme momentleri

N : Kolon aksenal kuvveti

N_d : Tasarım aksenal kuvveti

q : Yayılı yük

p : Taban basıncı

R : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı

T_A, T_B : Spektrum karakteristik periyotları

T_x, T_y : Yapının doğal titreşim periyotları

V_{tx}, V_{ty} : Taban kesme kuvvetleri

w : Düşey yer değiştirme

ν_p : Plağın poisson oranı

$2t$: Zemin kayma parametresi

γ : Zemin yüzey parametresi

ν_s : Zemin poisson oranı

ρ_i : kolon boyuna donatı oranı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Zemin mekaniği inşaat mühendisliğinin en karmaşık konularından birini oluşturmaktadır. Gömülü yapılar, nükleer reaktörler, endüstri yapıları, çok katlı binalar gibi hemen hemen her inşaat projesinde yapı-zemin ilişkisi karşımıza çıkmaktadır. Yapısal tasarımda temel amaç yapıya etkiyen yüklerin en kısa yoldan ve emniyetli bir şekilde zemin ortamına iletilmesini sağlamaktır. Ayrıca yapıda oluşan şekil değiştirmelerin zemin gerilmelerini, zemin şekil değiştirmelerinin de yapı iç kuvvetlerini etkilemesi beklenir. Dolayısıyla bir mühendislik yapısının tasarımında zemin etkilerinin göz ardı edilmeyeceği açıktır. Yapısal tasarımın güvenilirliği yapı-zemin ilişkisinin doğru ve gerçekçi bir şekilde modellenebilmesine bağlıdır.

Büyük bir kısmı deprem riski taşıyan ülkemizde, betonarme yapıların tasarımı genellikle iki farklı yaklaşımla yapılmaktadır. Bu yaklaşımların birinde temel sisteminin hesabında zemin etkileri dikkate alınırken üstyapının hesabında yapının tabanda ankastre olduğu varsayımıyla zemin etkileri ihmal edilmektedir. Oysaki zemin etkisinin sadece temel sisteminde değil tüm yapıda davranışı değiştirmesi ve en önemli tasarım parametrelerinden biri olması beklenmektedir. Diğer yaklaşımda ise elastik zemin özellikleri dikkate alınarak yapının hesap ve tasarımı yapılmaktadır. Ancak ülkemizde kullanılan ticari paket programların hemen hepsinde Winkler zemin modeli kullanılmaktadır. Bu model ile hesap yapan ticari paket programlarda Winkler yatak katsayısı programa girdi olarak verilmek zorundadır. Bu katsayının hesaplanabilmesi için temel tabanında oluşan gerilme ve yer değiştirmelerin bilinmesi gerekir. Dolayısıyla yapılan ya deneysel raporlardan ya da yerli ve yabancı kaynaklardan elde edilen yatak katsayısı değerlerini bir parametreymiş gibi hesaplarda kullanmaktır. Üst yapı, temel sistemi ve zemin özellikleri gibi birçok etkene bağlı olan yatak katsayısının ne alınacağı belirlemek oldukça zordur.

Güvenilir bir tasarım için yapı-zemin ilişkisinin gerçekçi bir şekilde ortaya konulması gerekir. Yapı sistemi ile zemin ortamı arasındaki ilişkiyi belirlemek zemin

ortamının karmaşıklığından dolayı oldukça zordur. Zemin ortamının homojen ve izotrop olmaması bu karmaşıklığın en büyük nedenidir. Ayrıca zeminin mekanik ve malzeme özellikleri, zeminin nem durumuna, suya doygunluğuna ve üzerindeki basıncın değişimine bağlı olarak sürekli değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle bu parametrelerin tam olarak belirlenmesi mümkün olamamaktadır [1]. Diğer taraftan yapı-zemin etkileşimini doğru bir şekilde ortaya koyacak zemin modellerine ihtiyaç vardır. Zira güvenilir bir projelendirme için yapının davranışının yanı sıra zeminin davranışını ve aralarındaki ilişkiyi de mümkün olduğunca doğru belirlemek gerekir. Özellikle son yıllarda daha gerçekçi ve daha güvenilir zemin modelleri üzerinde yapılan araştırmalar giderek artmıştır.

1.2. Yapı Zemin Etkileşim Modelleri

Yapı-zemin etkileşiminin belirlenmesindeki esas amaç, zeminin yapı üzerinde oluşturacağı etkileri ortaya koyarak bu etkileri hesaplarda dikkate almaktır. Bu ilişkiyi belirlemek zemin ortamının karmaşıklığından dolayı oldukça zordur. Bilindiği gibi beton ve çelik yapılar, davranışın lineer ve izotrop olduğu kabulü ile yeterli doğrulukta modellenip analiz edilebilirken; zemin, homojen ve izotrop olmayan, dolayısıyla da lineer olmayan davranış gösteren bir katmandır. Ayrıca zemin parçacıklarının şekilsel, boyutsal ve mekaniksel özellikleri, zeminin nem durumu, suya doygunluğu, permeabilitesi ve zeminin geometrisi gibi değişik faktörler zeminin mekanik ve malzeme özelliklerini belirlemektedir. Diğer taraftan bu parametrelerin de tam olarak belirlenmesi hemen hemen mümkün olamamaktadır. Laboratuvarlar arasındaki teknik farklılıklar dahi bu parametrelerin belirlenmesine etki etmektedir. Bu da problemi daha karmaşık bir hale getirmektedir. Bu konuda birçok detaylı araştırma yapılmasına rağmen yapı-zemin etkileşimi ve bu etkileşimde zemin davranışının rolü tam olarak ortaya konulamamaktadır. Sonuç olarak zemin oldukça karmaşık bir yapıya sahip olması sebebiyle birtakım idealleştirmeleri gerektirmektedir. Bu idealleştirmeler genellikle zeminin fiziksel ve mekanik davranışları ile ilgili olmaktadır. Yapı-zemin etkileşimini temsil eden modeller kabaca üç ana başlık altında özetlenebilirler [2].

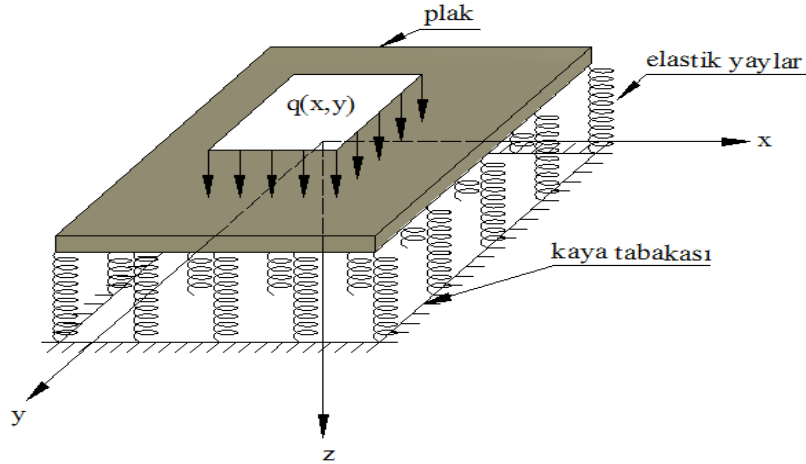
- Bir parametrelili zemin modelleri
- İki parametrelili zemin modelleri
- Üç parametrelili zemin modelleri

1.2.1. Bir Parametrelili Zemin Modelleri

Zeminin elastik davranışı ile ilgili ilk önemli çalışma Winkler tarafından yapılmıştır. Winkler modelinde (1867), zeminin birbirine sonsuz yakın, lineer ve elastik yaylardan meydana geldiği ve zeminin düşey yer değiştirmesinin (w) sadece o noktaya etki eden taban basıncına (p) ve idealleştirilmiş zemindeki yay sabitine (k) bağlı olduğu kabul edilmektedir (Şekil 1). Bu durumda zemin birbirine sonsuz yakın ve birbirinden bağımsız yaylardan oluşan bir sistem şeklinde düşünülmektedir. Yayların sadece direkt yüklendiklerinde şekil değişikliğine uğradıkları ve tepki oluşturdukları fakat yayın komşu yaylarda oluşan şekil değişiklikleri ve tepkilerden etkilenmedikleri kabul edilmektedir. Bunun sonucunda zemin tamamen süreksiz bir ortam şeklinde dikkate alınmış olmaktadır. Bir parametrelili modelde taban basıncı,

$$p(x, y) = k w(x, y) \quad (1)$$

ifadesiyle verilmektedir [2].



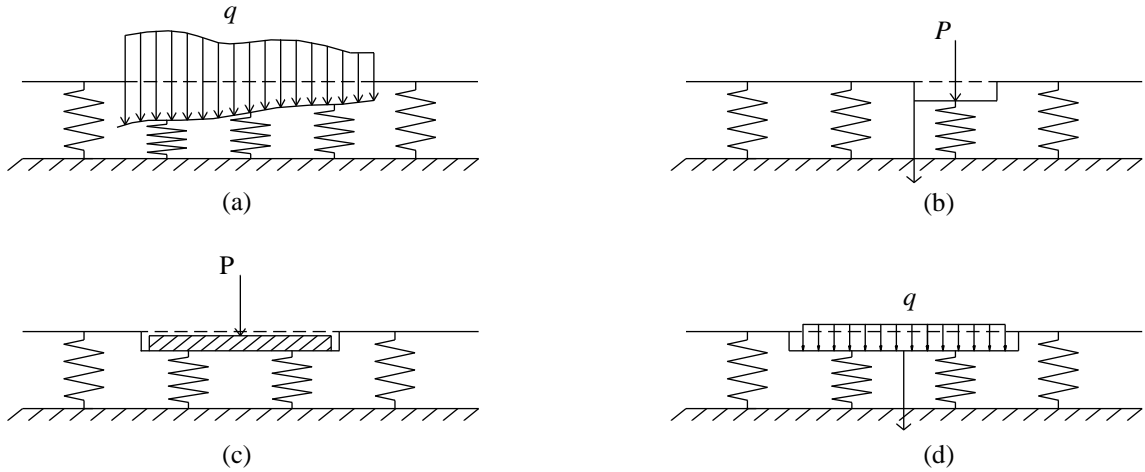
Şekil 1. Bir parametrelili zemine oturan plak şeması

Burada “ k ” elastik yay katsayısı olup, uygulamada zemin yatak katsayısı veya zemin parametresi olarak da adlandırılır. Bu parametre, düşey yer değiştirme bir birim olduğunda birim genişlikteki birim alana gelen tepki kuvvetini ifade etmektedir.

İlk zamanlar demiryollarını da yer değiştirmelerin ve nihai gerilmelerin analizinde kullanılan bu model daha sonraki zamanlarda birçok farklı yapı-zemin etkileşim problemlerinde kullanılmaya başlanmış ve Winkler modeli olarak literatüre geçmiştir.

Bu model, diğer modellere göre daha basit ifadelerden içermesinden dolayı, bina yer döşemeleri ve köprü tabliyelerinin karakteristik konstrüksiyonu olan ızgara sistemler, bir ve iki doğrultuda sürekli temeller, gemi kaburgaları, dönel kabuklar, yatay yük etkisindeki düşey kazıklar ve palplanşlar, su tankı ve siloların betonarme temelleri gibi değişik mühendislik problemlerinde kullanılmaktadır.

Winkler modelinin en önemli eksikliği yaylar arasındaki etkileşimi yok saymasıdır. Yükün etkimesi sonucu yayda bir miktar çökme olurken diğer yaylar bundan hiç etkilenmemektedir. Bir başka deyişle zemine etkileyen kuvvetlerin sadece etki ettikleri noktada değişimi yaptığını kabul etmesidir (Şekil 2). Bu durumda elastik zeminin üzerindeki herhangi bir yapı elemanının yapmış olduğu yer değiştirmeye üzerinde yük bulunmayan alanın hiçbir etkisi bulunmamaktadır. Bu yöntem uygulamadaki basitliği nedeniyle hala kullanılmaktadır. Winkler modelinin bir başka eksikliği ise zemin yatak katsayısının nasıl hesaplanacağı konusunda kesin bir ifade bulunmamasıdır. Ayrıca yayılı yük durumunda gerçekçi olmayan sonuçlara ulaşılmaktadır [3].



Şekil 2. Bir parametrelili zemin modeline göre yer değiştirme durumları

- Düzgün olmayan yayılı yük durumunda zeminin yer değiştirmesi
- Tekil yük durumunda zeminin yer değiştirmesi
- Rijit tabaka ile aktarılan yük altında zeminin yer değiştirmesi
- Düzgün yayılı yük altında zeminin yer değiştirmesi

1.2.2. İki Parametrelili Zemin Modelleri

Winkler modelindeki eksiklikler nedeniyle araştırmacılar bazı idealleştirmelerin gerektiğini savunmuşlar ve yaptıkları bazı iyileştirmeler ile yeni modeller sunmuşlardır. Bu modeller aşağıdaki gibidir;

1. Filonenko-Borodich Modeli
2. Hetenyi Modeli
3. Pasternak Modeli
4. Vlasov Modeli

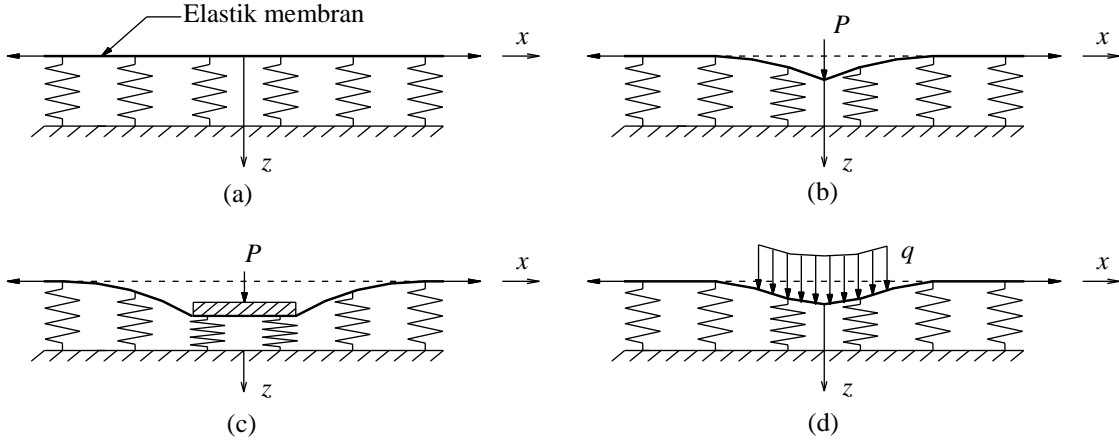
Yukarıda sayılan modellerin ortak noktaları zemindeki kayma şekil değiştirmelerini dikkate alırlarken, yaylar arasındaki sürekliliği sağlama bakımından birbirlerinden ayrılmalarıdır.

Filonenko-Borodich, bir parametrelili zemin modeli olan Winkler yayları üzerinde ince elastik zar tabakası olduğu kabul edilmiştir. Bu elastik zar tabaka ile ortamın sürekliliği sağlanmıştır. Bir başka deyişle yük etkimesi nedeniyle yüzeide oluşacak gerilmeler sayesinde yaylar birbirinden etkilenecektir. Bu modelde zemin tepki fonksiyonu,

$$p(x, y) = kw(x, y) - T\nabla^2 w(x, y) \quad (2)$$

ifadesiyle verilmektedir. Burada k zemin yatak katsayısını, T membran kuvvetini, ∇^2 ise Laplace operatörünü ifade etmektedir [1].

şekil 3’de iki parametrelili zemin modeline göre 4 farklı yükleme durumu için düşey yer değiştirme gösterilmiştir. Sırasıyla elastik membran üzerinde yük olmadığı durum, tekil yük altında zeminin düşey yer değiştirmesi, rijit tabaka aracılığıyla zeminin yer değiştirmesi ve yaylılı yük altında zeminin yer değiştirmesi olarak ifade edilir.



Şekil 3. İki parametrelili zemin modeline göre yer değiştirme durumları

- (a) Yük olmadığı durum
- (b) Tekil yük altında zeminin düşey yer değiştirmesi
- (c) Rijit tabaka aracılığıyla zeminin yer değiştirmesi
- (d) Yayılı yük altında zeminin yer değiştirmesi

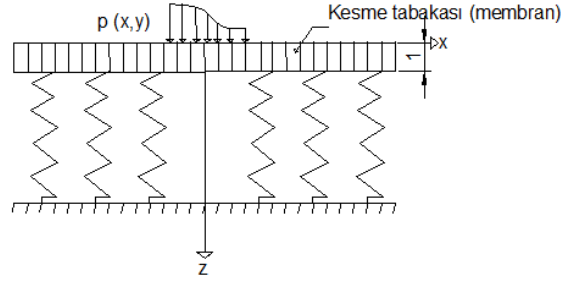
Hetenyi modelinde, Winkler yaylarının üzerinde üç parametrelili problemler için eğilme rijitliği D olan bir plak olduğu varsayılmaktadır. İki parametrelili problemlerde ise elastik plak yerine kiriş dikkate alınmıştır. Bu modele göre zemin tepki fonksiyonu;

$$p(x, y) = kw(x, y) - D\nabla^2 w(x, y) \quad (3)$$

ifadesi ile verilmektedir [1].

Pasternak modelinde, yaylar üzerine bir kesme tabakası tanımlayarak; hem düşey elemanlardan oluşan ve sadece düşey yönde yer değiştirme yapabilen hem de kesme etkisinde deformasyona uğrayan ve sıkışmayan bir eleman tanımlanmıştır (Şekil 4). Kayma tabakası izotropik olmasından dolayı $G_x = G_y = G_s$ 'dir. Pasternak modeline göre G elastik zeminin kayma modülünü göstermek üzere zemin tepki fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$p(x, y) = kw(x, y) - G_s \nabla^2 w(x, y) \quad (4)$$



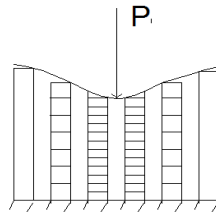
Şekil 4. Pasternak zemin modeli

Pasternak zemin modeli, Winkler yayları üzerindeki kayma tabakası sayesinde yatay yönde yükleri iletebilmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Winkler ve Pasternak zemin modelleri

Vlasov modelini diğer iki parametrelili zemin modellerinden ve bir parametrelili Winkler modelinden ayıran özelliği, zemin tabakasını yaylar ile tanımlamak yerine zemin kolonları olarak tanımlamış olmasıdır (Şekil 6).



Şekil 6. Vlasov zemin modeli

Vlasov modeli için taban basıncı ifadesi, $2t$ Winkler modelinde ihmal edilen kayma şekil değiştirmesini temsil eden zemin kayma parametresini göstermek üzere;

$$p(x, y) = kw(x, y) - 2t\nabla^2 w(x, y) \quad (5)$$

ifadesiyle verilmektedir [2].

1.2.3. Üç Parametrelili Zemin Modelleri

İki parametrelili modellerin avantajlarının yanı sıra dezavantajları da vardır. İki parametrelili modellerin bazı dezavantajları aşağıdaki gibidir;

1. Statik modellerdir, zemindeki dinamik etkileri dikkate almazlar.
2. Sadece zeminin düşey yöndeki direnci tanımlarlar.
3. Zemin içerisindeki değişimi dikkate almazlar. Zemin tabakasının homojen yarı sonsuz olması durumunda ya da rijit bir kayaya oturan tek bir tabaka olduğunda zeminin elastik davranışını temsil eder.
4. Modeldeki parametreler gerçek olmayan kuramsal ifadelerdir. Bu parametrelerin alabileceği değerlerle zemin özellikleri arasında kesin bir ilişkiyi gösteren ifade yoktur.

Oysaki yapı mühendisleri ekonomik ve emniyetli projelendirmeler ortaya çıkarabilmeleri için kullanacakları programlarda zemin parametreleri ile ilgili somut bilgilere ihtiyaçları vardır. Bu eksikliklerin farkında olan araştırmacılar kayma etkilerini de dikkate alan Vlasov modeli üzerinde zemin parametreleri ile ilgili çeşitli çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmaları iki parametrelili modellerden ayıran en önemli özellik zemin yatak katsayısı ve zemin kayma parametresi olarak adlandırılan parametreler için kabul yapılması yerine zeminin elastik özelliklerinden faydalanarak hesaplanması için birtakım yöntemlerin geliştirilmeye çalışılmasıdır. Bu modellerden en bilineni bu çalışmada da kullanılan Geliştirilmiş Vlasov modelidir. Model hakkında daha detaylı bilgi 1.5 başlığı altında verilecektir.

1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Betonarme yapıların tasarım ve yapım kurallarına ilişkin Türk Standardı TS500 [4]'de temellerin hesap ve tasarımında, temel altında oluşacak zemin teşkillerinin belirlenmesinde, üst yapının, temelin ve yarı elastik ortam durumundaki zeminin karşılıklı etkileşim ilişkilerinin esas alınması gerektiği, üst yapıdaki rijitlik dağılımları bir yana bırakılarak, temel tabanı ile zemin yüzündeki yer değiştirmelerin eşitliğinin sağlanmasının genellikle yeterli olabileceği, dolayısıyla zeminin yarı elastik ortam veya daha basit olarak yeterli rijitlikte ve sayıda birbirinden bağımsız yaylarla temsil edilebileceği belirtilmektedir.

Buradan yola çıkan tasarımcıların bir kısmı, hesaplarında temel ve üst yapıyı birbirinden bağımsız düşünerek boyutlandırmakta ve donatmaktadır. Temel hesaplarında zemin etkisini dikkate alırken üst yapı hesabında ise yapıyı tabanda ankastre düşünerek zemin etkilerini ihmal etmektedirler. Tasarım aşamasında yapının tabanda rijit bağlı olduğu varsayımı, yapı üzerine oturduğu zemin ile etkileşim halinde olduğundan, gerçekçi değildir ve bu etkileşimin hesaplarda dikkate alınması gerekir. Zemin etkileri dikkate alınmadan yapılan bir üst yapı tasarımının eksik kalabileceği söylenebilir.

Diğer bir kısım tasarımcılar ise yapı, zemin ve temel sistemini birlikte dikkate alabilen ticari paket programlar yardımıyla yapı-zemin ilişkisini hesaplarına yansıtmaktadırlar. Günümüzde kullanılan ticari yazılımlar Winkler modelini kullanarak zemin etkilerini hesaba katmakta ve zemin yayları arasındaki etkileşimi diğer bir ifadeyle zeminde oluşacak kayma etkilerini ihmal etmektedirler. Bu modelde zemin ile ilgili bilinmesi gereken tek bir parametre vardır ve bu parametre yatak katsayısı olarak adlandırılan yay sabitidir. Parametrenin ne alınacağı konusunda kesin bir fikir birliği yoktur ancak zemin deneylerinden ya da çeşitli kitaplardaki tablolardan yararlanılmaktadır.

Bu çalışmada, üst yapıdan aktarılan yükler ve zemin malzeme özelliklerine bağlı olarak zemin parametrelerinin hesaplandığı Geliştirilmiş Vlasov modeli kullanılarak yapı-zemin etkileşiminin betonarme yapıların tasarımına etkisi daha gerçekçi bir şekilde ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla MATLAB'te kodlanan bir yazılım ile SAP2000 paket programı eş zamanlı kullanılmıştır. Üç farklı kalıp planına sahip yapı örnekleri dikkate alınarak farklı zemin özellikleri, zemin derinlikleri, deprem bölgesi ve kat adetleri için çalışmada dikkate alınan zemin modellerinin (rijit yapı-zemin modeli, Winkler modeli ve Geliştirilmiş Vlasov modeli) yapı periyotları, kolon aksenal kuvvetleri, kolon momentleri ve kolon donatı oranları üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

1.4. Konu ile İlgili Yapılan Bazı Diğer Çalışmalar

Yapı-zemin etkileşiminin betonarme yapıların davranışına etkilerini inceleyen çalışmalar oldukça sınırlı sayıdadır. Literatürde rastlanan bazı çalışmalar aşağıda özetlenmektedir.

Nadjai ve Johnson [5] zemini düşey ve dönel yaylar ile modelleyerek 16 katlı boşluklu perdeli bir yapıyı incelemiştir. Çalışmanın sonunda, temel elastikiyetinin perde duvarlar üzerinde önemli etkisinin olduğu göstermiştir. Elastik temelin, yapının üst

kısımlarındaki gerilmeler üzerine etkisi ihmal edilebilir seviyedeysen perdelerin alt kısımlarında gerilmelere etkisi daha fazladır. Ayrıca, sert zemin ya da yoğun kum üzerine inşa edilen temellerin rijit olarak düşünölebileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Mısır vd. [6] Winkler modeli ve Geliştirilmiş Vlasov modeline bir yaklaşım olan Eşdeğer Winkler Yatak katsayısı yöntemini kullanarak zeminin yapı davranışına etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmaya göre temel zemin birleşiminin rijit kabul edilmemesi durumunda, perde ve kolon elemanların deprem yükü paylaşımı önemli ölçüde değişebilmektedir. Yapının karşıladığı deprem yükü değer azalsa bile, yük paylaşımının değişmesinden dolayı özellikle kolon elemanlarda klasik hesap değer aşılabilir.

Rashed [7] elastik zemine oturan plaklar için geliştirdiği yeni bir sınır eleman metodunu yapı-temel-zemin problemine uygulamıştır. Çalışmada yeni sınır eleman metodunun matematik bağlantılar içermediği, tüm zemin tipleri için kendine özgü olduğu, heterojen zemin üzerindeki radye temelleri analiz edebildiği ortaya konarak sonlu eleman metodundan elde edilen sonuçlardan daha doğru sonuçlar verdiği ve eğilme momenti ile kesme kuvvetlerini daha büyük hesapladığı sonucuna varılmıştır.

Kahraman vd. [8] farklı yöntemlerle elde edilmiş zemin yatak katsayılarını kullanarak radye temelli ve 4 katlı çerçeve sistemli yapıyı incelemiştir. Zemin yatak katsayılarının hesabında, sabit yatak katsayısı yaklaşımı, Eşdeğer Winkler yatak katsayısı yaklaşımı, zonlama yöntemi ve Bowles yaklaşımını kullanılmışlardır. Çalışmanın sonunda yapı davranışının Eşdeğer Winkler yatak katsayısı yaklaşımı ile daha gerçekçi bir şekilde modellenebildiğini sonucuna ulaşmışlardır.

Karabörk [9] çalışmasında, aynı plan ve rijitliğe sahip 3, 6 ve 10 katlı yapı modellerinin yumuşak ve sert olmak üzere iki farklı zemin türü için, üç farklı deprem yükü altındaki davranışlarını incelemiştir. Çalışmasında farklı modeller için elde ettiği yer değiştirme, iç kuvvet ve periyot değerlerini karşılaştırmıştır. Çalışmanın sonunda, sert ve yumuşak zemine oturan aynı plan ve rijitliğe sahip yapı modellerinde sabit deprem etkisi altında farklı yer değiştirmeler ve farklı kesit tesirlerinin meydana geldiğini gözlemiştir. Ayrıca, incelenen en önemli kriterlerden biri olan yanal rijitlik ifadesi için de sert zemine oturan yapı modellerinde yumuşak zemin üzerine oturan yapı modellerine oranla daha yüksek görelî yer değiştirme değerleri elde etmiştir.

Korkmaz ve Demir [10] farklı rijitlikte doğrusal olmayan yay modelleri kullanarak zemin türü ve özelliklerinin yapı davranışını nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Betonarme elemanlarda çözümlemenin yanında davranışın da önemli bir yeri olduğundan yapıların

gerçek davranışını yansıtmak amacıyla yapı-zemin etkileşimi dikkate alınarak yapıların yatay yükler altındaki çözümlemesinin yapılması gerektiği sonucuna varmışlardır.

Hamarat vd. [11] iki parametrelili zemine oturan yapıların dinamik davranışlarını SAP2000 OAPI fonksiyonlarını kullanarak incelemiştirlerdir. Çalışma sonucunda, 2 parametrelili zemin modelli ile rijit yapı zemin ya da Winkler modelinden daha gerçekçi sonuçlar elde edilebileceğini, daha genel sonuçlar için, çok daha fazla sayısal örneklere, deprem kayıtlarına ve farklı bina tiplerine ihtiyaç olacağını ortaya konmuştur.

Thangaraj ve Ilamparuthi [12] dikkate aldıkları 3x5 açıklıklı 5 katlı bir yapıda temel kalınlığının ve lineer olmayan zemin davranışının etkisini incelemiştirlerdir. Temelde oluşan deplasman ve moment değişimleri ile temel-zemin temas yüzeyindeki gerilme değişimlerini araştırmışlardır.

Derdiman [13] çalışmasında 7 farklı elastisite modülüne sahip zemin üzerinde 5, 10 ve 15 katlı betonarme çerçevesel yapı modellerini dikkate alarak zeminin yüksek yapılara etkisini araştırmıştır. Çalışma sonucunda, yapının kat sayısı arttıkça yapı periyodu üzerine zemin etkisinin daha da arttığı, yüksek yapıların zaten uzun olan periyodu yumuşak zemin etkisi ile daha fazla büyüdü anlaşılmıştır. Ayrıca, modellerin bir kısmında yapı periyodu büyüyerek deprem spektrumlarına bağlı olarak riskli bölgede kalan modellerin ivmelerinde artış söz konusu iken; riskli bölgeden uzaklaşan modellerin ivmelerinde azalma yani iyileşme söz konusu olacağı kanaatine varmıştır.

Frydrysek vd. [14] çalışmalarında ANSYS paket programını kullanarak elastik zemine oturan kiriş, çerçeve ve üç boyutlu yapıları incelemiştirlerdir. Elastik zemine oturan kirişler için (teori ve pratikte) sonlu elemanlar yönteminin genel çözümlerinin tartışıldığı çalışmada, yazarlar sonlu elemanlar yönteminden türetilen matrise vurgu yapmışlardır.

Ionescu vd. [15] Boussinesq zemin modelini kullanarak bir bina örneği dikkate almışlar ve yapı-zemin dinamik etkileşimi üzerine çalışmışlardır. Simülasyonda zemin ve temel elemanları birbiriyle ilişkilendirmenin gerekli olduğu göstermişlerdir. Bu tip simülasyonun bir avantajının kesme kuvveti ve moment grafiklerini elde etmede kolaylık sağladığı sonucuna varmışlardır.

Ahmed vd. [16] elastik zemini tabakalı şekilde dikkate alarak çok katlı bir yapıyı temel ve zemin sistemini ile birlikte incelemiştirlerdir. Yapım aşamaları, etkiyen yükler, açıklık oranları ve zemin tabaka kalınlıkları gibi parametrelerin değişimlerini dikkate alarak parametrik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın sonunda yapı-temel-zemin etkileşiminin yapı davranışına etkisinin önemine vurgu yapmışlardır.

Avcıoğlu ve Orakdöğen [17] geliştirdikleri bir bilgisayar yazılımı aracılığı ile zemin parametrelerinin zaman tanım alanında yapılan analizlerde ne şekilde değiştiğini ve komşu binaların deprem etkileri altında birbirleri ile olan etkileşimlerini araştırmışlardır. İki parametrelili zemin modelinde incelenen komşu binaların birbirine göre durumlarının sonuçlara önemli ölçüde yansıdığı, yer değiştirmelerin arttığı ve bunda sıkışabilir zemin tabakası kalınlığının öneminin büyük olduğunu gözlemlemişlerdir.

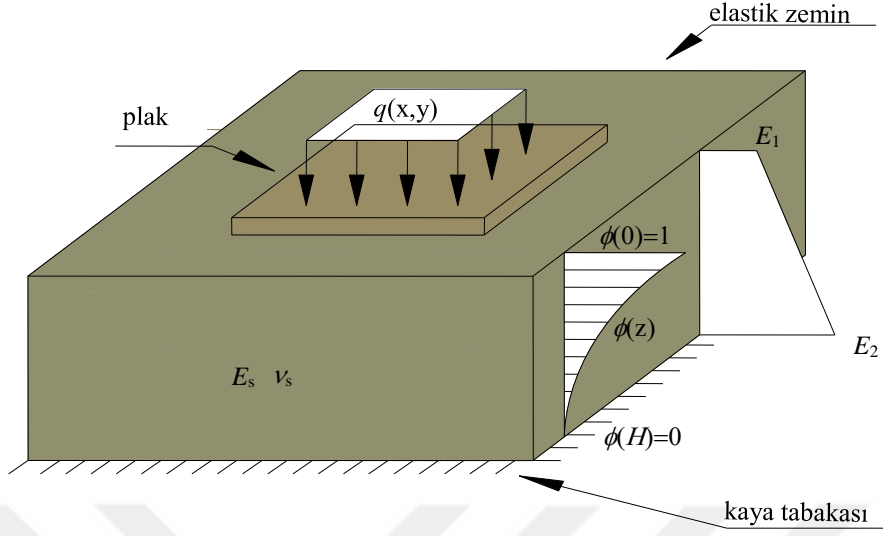
1.5. Geliştirilmiş Vlasov Modeli

Bir ve iki parametrelili zemin modellerinde zemin içerisindeki değişimler dikkate alınmadığı gibi modellerde kullanılan zemin parametreleri de gerçek olmayan kuramsal ifadelerdir. Bu parametrelerin alabileceği değerler ile zemin özellikleri arasında net bir ilişki de yoktur. Bu eksikliklerinin farkında olan araştırmacılar Vlasov modeli üzerinde zemin parametrelerinin nasıl hesaplanacağı konusunda çeşitli araştırmalar yapmışlardır. Yapılan çalışmaların diğerlerinden farkı zemin yatak katsayısı (k) ve zemin kayma parametresi ($2t$) olarak adlandırılan zemin parametrelerinin, zeminin elastik özelliğinden faydalanılarak hesaplanması için çeşitli yöntemler geliştirilmeye çalışılmasıdır. Bu konudaki bazı önemli çalışmalar şunlardır.

Vlasov ve Leont'ev, zemin yer değiştirme fonksiyonunu karakterize eden ve γ olarak tanımladıkları bir başka parametreyi ortaya atmışlardır. Bu parametre zeminin düşey deformasyonunun değişimini göstermektedir. γ parametresinin hesaplanmasıyla yatak katsayısı ve kayma parametresi değerlerinin hesaplanmasının mümkün olduğunu belirtmişlerdir. Ancak, γ boyutsuz ifadesinin nasıl hesaplanacağı konusunda herhangi bir yöntem göstermemişlerdir[1].

Jones ve Xenophontos [18] zemin parametrelerinin hesabında kullanmak için yapı yer değiştirmeleri ile γ parametresi arasında bir ilişki ortaya koymuşlar ancak kesin bir yöntem sunmamışlardır.

Vallabhan ve Das [19] zemin parametrelerini, yükleme durumuna, malzeme özelliklerine, yapının geometrisine ve zemin derinliğine bağlı olarak hesaplayan bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntem günümüzde Geliştirilmiş Vlasov modeli ya da üç parametrelili model olarak adlandırılmaktadır. Üç parametrelili elastik zemine oturan bir plak şeması şekil 7'de verilmektedir



Şekil 7. Elastik zemine oturan bir plak şeması

Bu modelde alt zeminin etkisi, plağın düşey yer değiştirmelerine (w) bağlı olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$q_z = -2t\nabla^2 w + kw \quad (6)$$

bu ifadedeki, zeminin birinci parametresi olarak da adlandırılan, zemin yatak katsayısı k ,

$$k = \int_0^H \frac{E_s(1-\nu_s)}{(1+\nu_s)(1-2\nu_s)} \left(\frac{\partial \phi(z)}{\partial z} \right)^2 dz \quad (7)$$

ifadesinden ve zeminin ikinci parametresi olarak bilinen, zemin kayma parametresi $2t$,

$$2t = \int_0^H G_s \phi(z)^2 dz \quad (8)$$

ifadesinden hesaplanmaktadır. Yukarıdaki ifadelerde H zemin derinliğini, ν_s zeminin Poisson oranını ve G_s ise zeminin kayma modülünü göstermektedir. (6) numaralı eşitlikte $2t$ parametresi sıfıra eşitlendiğinde Winkler tipi elastik zemine oturan plağa ait zemin

tepkisi elde edilmektedir. Zeminin düşey yer değiştirmesinin değişimini gösteren $\phi(z)$ fonksiyonu,

$$\phi(z) = \frac{\sinh \gamma \left(1 - \frac{z}{H}\right)}{\sinh \gamma} \quad (9)$$

olmak üzere zemin yüzey parametresi diye adlandırılan γ boyutsuz katsayısı,

$$\left(\frac{\gamma}{H}\right)^2 = \frac{(1-2\nu_s) \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} (\nabla w)^2 dx dy}{2(1-\nu_s) \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} w^2 dx dy} \quad (10)$$

ifadesiyle verilmektedir. $\phi(z)$ fonksiyonu $z=0$ için $\phi(z)=1$ ve $z=H$ için $\phi(z)=0$ değerini almaktadır. Yani H derinliğinde zeminin düşey yer değiştirmesi sıfır iken zeminin yüzeyindeki düşey yer değiştirmesi plağın düşey yer değiştirmesine eşit olmaktadır.

(7) ve (8) nolu ifadelerden görüldüğü gibi k ve $2t$ parametreleri zeminin malzeme özelliklerine, zeminin derinliğine ve $\phi(z)$ fonksiyonuna bağlıdır. $\phi(z)$ fonksiyonu ise zemin derinliğine ve γ parametresine bağlı olarak hesaplanabilmektedir. γ parametresinin değeri de dış yüklere maruz plağın yer değiştirmelerine, zeminin Poisson oranına ve zemin derinliğine bağlı olarak değişmektedir. Zemin parametreleri hesabında var olan bu karmaşık ilişki nedeniyle bir ardışık yaklaşım işlemine gerek duyulmaktadır[1].

Zemin parametrelerinin hesabında izlenen yol şöyledir:

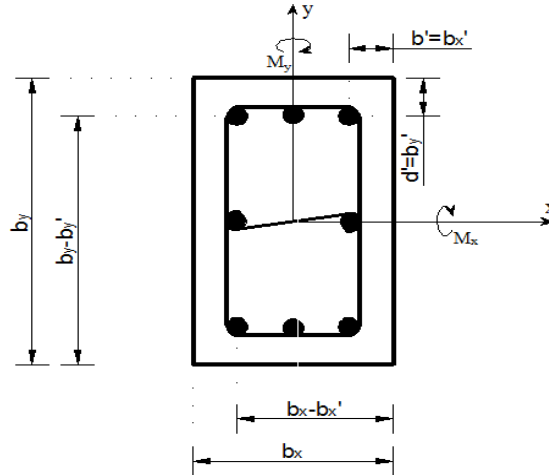
1. Zemin yüzey parametresi (γ) için bir başlangıç değeri seçilir.
2. Seçilen zemin yüzey parametresi (γ) ile (7) ve (8) eşitliklerinden zemin parametreleri (k ve $2t$) hesaplanır.
3. Hesaplanan zemin parametreleri (k ve $2t$) kullanılarak tüm yapı sisteminin analizi yapılır.
4. Analiz sonucunda elde edilen düşey yer değiştirmeler (w) kullanılarak (10) eşitliğinden yeni bir zemin yüzey parametresi (γ) hesaplanır.
5. Son iki iterasyonda hesaplanan zemin yüzey parametreleri (γ) arasındaki fark önceden belirlenen bir hata payından küçük olana kadar iterasyona devam edilir.

1.6. Birleşik Eğilme Etkisindeki Betonarme Elemanların Tasarımı

Betonarme çerçeve sistemlerde kolon aksenal kuvvetiyle birlikte iki doğrultuda eğilme momentinin bulunması haline sık rastlanmaktadır. Sadece düşey yüklerde bile kolonlar iki doğrultuda bileşik eğilme etkisinde kalabilmektedir. İki doğrultuda bileşik eğilme etkisindeki kolonların kesit hesabı için yaygın olarak kullanılan üç farklı seçenekten biri kullanılabilir. Bunlar;

1. Yaklaşık olarak seçilen kolon boyut ve donatıları ile Bressler yöntemi yardımıyla kolonun aksenal yük taşıma kapasitesi belirlenerek, tasarım aksenal kuvvetiyle karşılaştırılabilir.
2. İki doğrultuda bileşik eğilme için çizilen moment aksenal kuvvet diyagramlarından yararlanılarak kolon donatıları belirlenebilir.
3. İki doğrultuda bileşik eğilme problemi, bir doğrultuda bileşik eğilme problemine indirgenerek kolonun kesit hesabı sanki bir doğrultuda bileşik eğilme etkisindeymiş gibi yapılabilir.

Üç yöntemden daha pratik olması ve iki doğrultuda hesaplanan eğilme momentlerinin birinin diğerine nazaran çok daha büyük olması nedeniyle yukarıda belirtilen üçüncü seçenek tercih edilmiştir. Buna göre iki doğrultuda bileşik eğilmeye maruz kolonlar öncelikle bir doğrultuda bileşik eğilmeye indirgenmiş ve bir doğrultuda bileşik eğilme etkisindeymiş gibi donatı oranları hesaplanmıştır. Bu yöntemi uygulayabilmek için artırılmış bir moment dikkate almak gerekmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. İki doğrultuda bileşik eğilme etkisindeki kolon

Hangi doğrultudaki momentin büyütülerek tasarım momenti olarak dikkate alınacağı aşağıdaki bağlantılar yardımıyla belirlenmektedir.

$$\frac{M_y}{b_x - b'_x} \geq \frac{M_x}{b_y - b'_y} \quad \text{ise} \quad M_d = M_y + \beta \frac{b_x - b'_x}{b_y - b'_y} M_x \quad (11)$$

$$\frac{M_x}{b_y - b'_y} \geq \frac{M_y}{b_x - b'_x} \quad \text{ise} \quad M_d = M_x + \beta \frac{b_y - b'_y}{b_x - b'_x} M_y \quad (12)$$

(11) ve (12) nolu ifadelerdeki β katsayıları Tablo.1 yardımıyla belirlenmektedir.

Tablo 1. β sayısal değerleri

$\frac{N_d}{bh f_{ck}}$	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	≥ 0.6
β	1.0	0.88	0.77	0.65	0.53	0.42	0.30

Yukarıda ki ifadelerden hesaplanan tasarım momenti (M_d) ve tasarım eksenel kuvveti (N_d) kullanılarak kolon bir doğrultuda bileşik eğilme etkisindeymiş gibi donatı oranları hesaplanabilmektedir. Hesaplanan kolon boyuna donatı oranları (ρ_t) TS500'de belirtildiği gibi bindirme bölgeleri dışında 0.01 ile 0.04 arasında, bindirme bölgelerinde ise 0.01 ile 0.06 arasında olmalıdır [20].

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1 Hesap Tekniğini ve Modelin Seçimi

Zeminler ile temas halinde bulunan yapıların davranışlarına olan ilgi günümüzde hala önemini korumaktadır. Çoğunlukla yapı-zemin ilişkisi en basit hali olan elastik zemine oturan kiriş, plak ya da kabuk şeklinde modellenmektedir. Elastik zemine oturan kiriş, plak ve kabukların hesabı; sonlu farklar, sonlu elemanlar ve sınır elemanlar gibi çeşitli sayısal yöntemler kullanılarak Pascal, Fortran, Basic gibi programlama dillerinde kodlanan yazılımlar ile yapılmaktadır. Herhangi bir programlama dilinde geliştirilen programlar genel amaçlı olmamakta, sınır şartlarına, problemin geometrisine, yükün çeşidine göre kısacası probleminden probleme değişiklik gerektirmektedir. Bu da programın her seferinde revize edilmesi ya da geliştirilmesini gerektirmekte ve dolayısıyla ciddi anlamda emek ve zaman kaybına neden olmaktadır.

Bu çalışmada ise yapı-zemin sisteminin sayısal çözümlemesi SAP2000 [21] paket programı ile yapılmıştır. Bilindiği gibi SAP2000 paket programı ile zemin ortamı Winkler yayları kullanılarak modellenenmektedir. Ancak Geliştirilmiş Vlasov Modeli seçeneği SAP2000 programı içerisinde yer almamaktadır. Dolayısıyla Geliştirilmiş Vlasov Modeli'ni kullanarak sayısal sonuçlar elde edebilmek için MATLAB [22]'de geliştirilen bir arayüz SAP2000-V15 paket programı ile eş zamanlı kullanılmıştır. Bu arayüz yardımıyla SAP2000 paket programında modellenen her türlü geometriye sahip yapının SAP2000 paket programında yapılabilen statik, modal ve dinamik gibi birçok kapsamlı analizlerini Vlasov modelini dikkate alarak yapabilen bir hesap tekniği ve modeli geliştirilmeye çalışılmıştır.

Hesap modelinin işleyişi şu şekilde özetlenebilir. İlk adımda yapı-zemin sisteminin SAP2000 modeli oluşturulmaktadır. İkinci adımda zemin yüzey parametresinin (γ) seçilen bir başlangıç değeri ile zemin parametreleri (k , $2t$) bu çalışmada geliştirilen MATLAB kodu yardımıyla hesaplanmaktadır. Üçüncü adımda hesaplanan zemin parametreleri SAP2000 modeline aktarılarak sayısal çözüm gerçekleştirilmektedir. Son adımda SAP2000'den MATLAB'a aktarılan düşey yer değiştirmeler ile yeni bir zemin yüzey

parametresi hesaplanmaktadır. Hesaplanan son iki zemin yüzey parametresi arasındaki hata payı önceden belirlenen bir değerden küçük olana kadar işlemler tekrarlanmaktadır.

2.2 Yapı-Zemin Sisteminin SAP2000 Modelinin Oluşturulması

1950’li yıllardan itibaren bilgisayar teknolojisinin hızla gelişmesiyle mühendislik problemlerinin çözümünde sayısal yöntemlerin kullanımı önemli derecede artmıştır. Bu süreçte çoğalan ticari yazılımlar gerek araştırma gerekse uygulama alanlarının vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Mühendislik çözümlerinde en popüler sayısal yöntemlerden biri olan sonlu elemanlar yöntemini kullanan SAP2000 paket programı da bu yazılımlardan biridir. SAP2000 paket programı ile her türlü yapının statik ya da dinamik, lineer ya da lineer olmayan analizi üç boyutlu olarak yapılabilir.

Bu çalışmada da problemin sayısal çözümü için SAP2000 paket programı kullanılmıştır. Bilindiği gibi SAP2000 programı içerisinde alan yayları ile Winkler tipi elastik zemin temsil edilebilmektedir. Ancak yaylar arasındaki etkileşim dikkate alınmamakta ve her bir yay birbirinden bağımsız davranmaktadır. Yaylar arasındaki etkileşimi de dikkate almak için yapı modeli ile Winkler yayları arasına bir kayma tabakası konularak Geliştirilmiş Vlasov tipi elastik zemin modeli oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu sayede zemin ortamındaki kayma şekil değiştirmeleri de hesaba katılabilmektedir. Söz konusu yapı-zemin sisteminin SAP2000 modelinin oluşturulması aşağıda özetlenmektedir.

Öncelikle üst yapının SAP2000 modeli oluşturulduktan sonra temelin altında konumlandırılacak kayma tabakası malzeme özellikleri Şekil 9’da görüldüğü gibi ortotropik olarak tanımlanmıştır. Kayma modülü dışında ki bütün malzeme özellikleri sıfır alınmaktadır. MATLAB ortamında geliştirilen yazılımla hesaplanan zemin kayma parametresi ($2t$), kayma tabakasında hesaplanan eleman rijitlik matrisi ile Ozgan [2] tarafından açık halde verilen $2t$ zemin kayma parametresi matrisini benzeştirmek amacıyla, 1.2 ile çarpılarak bu malzemenin kayma modülü olarak kullanılmıştır.

Material Property Data dialog box showing the definition of material properties for soil. The dialog is organized into several sections:

- Material Name:** soil
- Material Type:** Other
- Symmetry Type:** Orthotropic
- Modulus of Elasticity:** E1, E2, E3 (all set to 0)
- Weight and Mass:** Weight per Unit Volume (0), Mass per Unit Volume (0)
- Units:** KN, m, C
- Poisson's Ratio:** U12, U13, U23 (all set to 0)
- Coeff of Thermal Expansion:** A1, A2, A3 (all set to 0)
- Shear Modulus:** G12, G13, G23 (all set to 98947.57)
- Advanced Material Property Data:** Nonlinear Material Data..., Material Damping Properties..., Time Dependent Properties..., Thermal Properties...

Buttons: OK, Cancel

Şekil 9. Zemine ait kayma tabakası malzeme özelliklerinin tanımlanması

Tanımlanan malzeme özelliklerine sahip sadece düşey yönde yer değiştirme serbestliği tanınan kayma tabakasını temsil eden birim kalınlıktaki elemanlar Şekil 10'daki gibi tanımlanmıştır.

Shell Section Layer Definition dialog box showing the definition of a shell section layer. The dialog is organized into several sections:

- Layer Definition Data:**

Layer Name	Distance	Thickness	Type	Num Int. Points	Material	Material Angle	Material S11	Component S22	Behavior S12
1	0	1	Shell	2	soil	0	Linear	Linear	Linear
- Quick Start:** Add, Insert, Modify, Delete
- Section Name:** 2t
- Order Layers By Distance:** Order Ascending, Order Descending
- Calculated Layer Information:**
 - Number of Layers: 1
 - Total Section Thickness: 1
 - Sum of Layer Overlaps: 0
 - Sum of Gaps Between Layers: 0

Buttons: OK, Cancel

Şekil 10. Zemin kayma tabakasının tanımlanması

Kayma tabakası temel plağının 5 mm altına yerleştirilmiş ve temel plağı ile birim kalınlıktaki kayma tabakası dđđüm noktaları Şekil 11’de gđsterildiđi gibi birbirine bağlanarak dđřey yđnde aynı deplasmanları yapması sağlanmıştır.

The image shows a 'Weld Constraint' dialog box with the following settings:

- Constraint Name:** WELD1
- Coordinate System:** GLOBAL
- Constrained DOFs:**
 - Translation X
 - Translation Y
 - Translation Z
 - Rotation X
 - Rotation Y
 - Rotation Z
- Weld Tolerance:** 0.01
- Buttons:** OK, Cancel

Şekil 11. Temel plağı ile kayma tabakası dđđüm noktalarının dđřey yer değiştirmelerinin eşitlenmesi

Kayma tabakası elemanlarının hemen altına alan yayları tanımlanarak model tamamlanmıştır. Alan yaylarının tanımlanması Şekil 12’de gđrđnen ağılır pencereden yapılmaktadır. MATLAB ortamında kodlanan ara yüz ile hesaplanan zemin parametrelerinden yatak katsayısı “*Spring Stiffness per Unit Area*” olarak gđrđlen kutucuğa OAPI fonksiyonları yardımıyla otomatik olarak girilmektedir. Diğer kutucuklar Şekilde gđrđldđđi gibi olmalıdır.

Assign Springs To Area Object Face

Spring Type

Simple
 Spring Stiffness per Unit Area: 1.
 Simple Spring Resists: Compression Only

Link Property +

Spring Location

Area Object Face: Bottom

Spring Tension Direction

Parallel to Area Object Local Axis: 3
 Normal To Specified Area Object Face
 User Specified Direction Vector
 Coordinate System
 Global X Component
 Global Y Component
 Global Z Component

Positive Local 2-Axis Orientation

Link Local 2-Axis Angle From Default Orientation: 0.

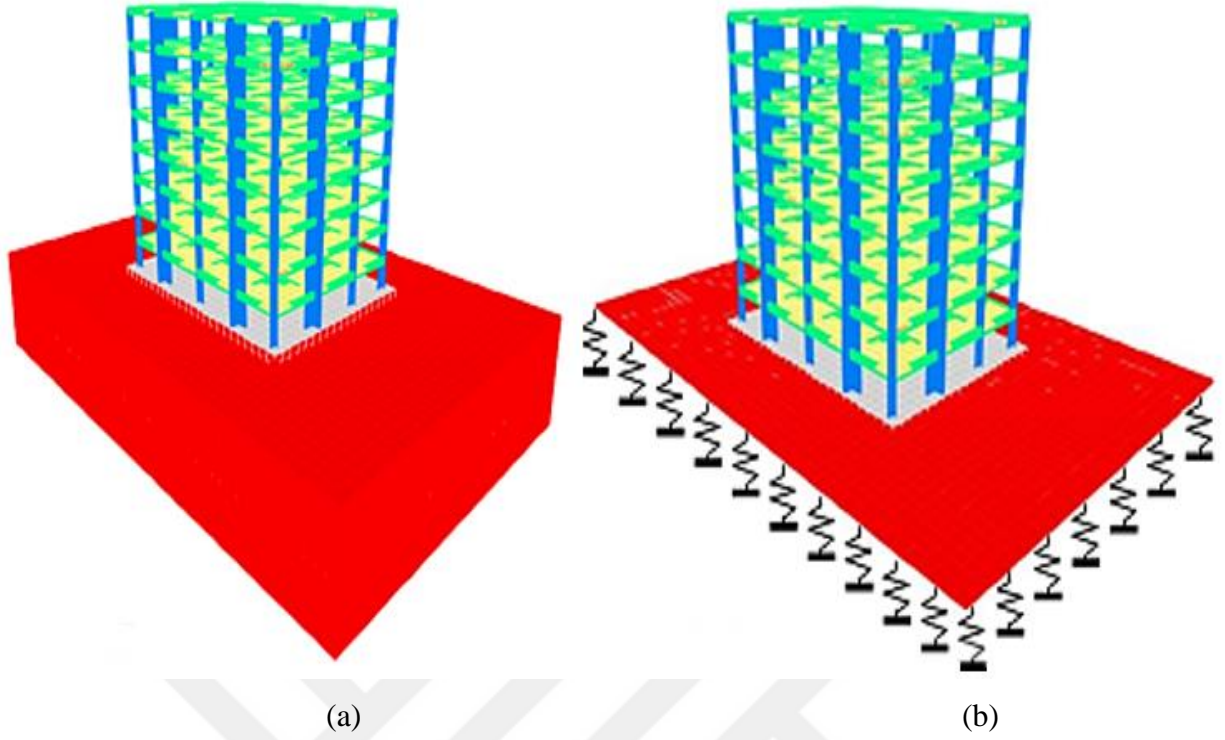
Options

Add to Existing Springs
 Replace Existing Springs
 Delete Existing Springs

KN, m, C
 OK
 Cancel

Şekil 12. Alan yaylarının tanımlanması

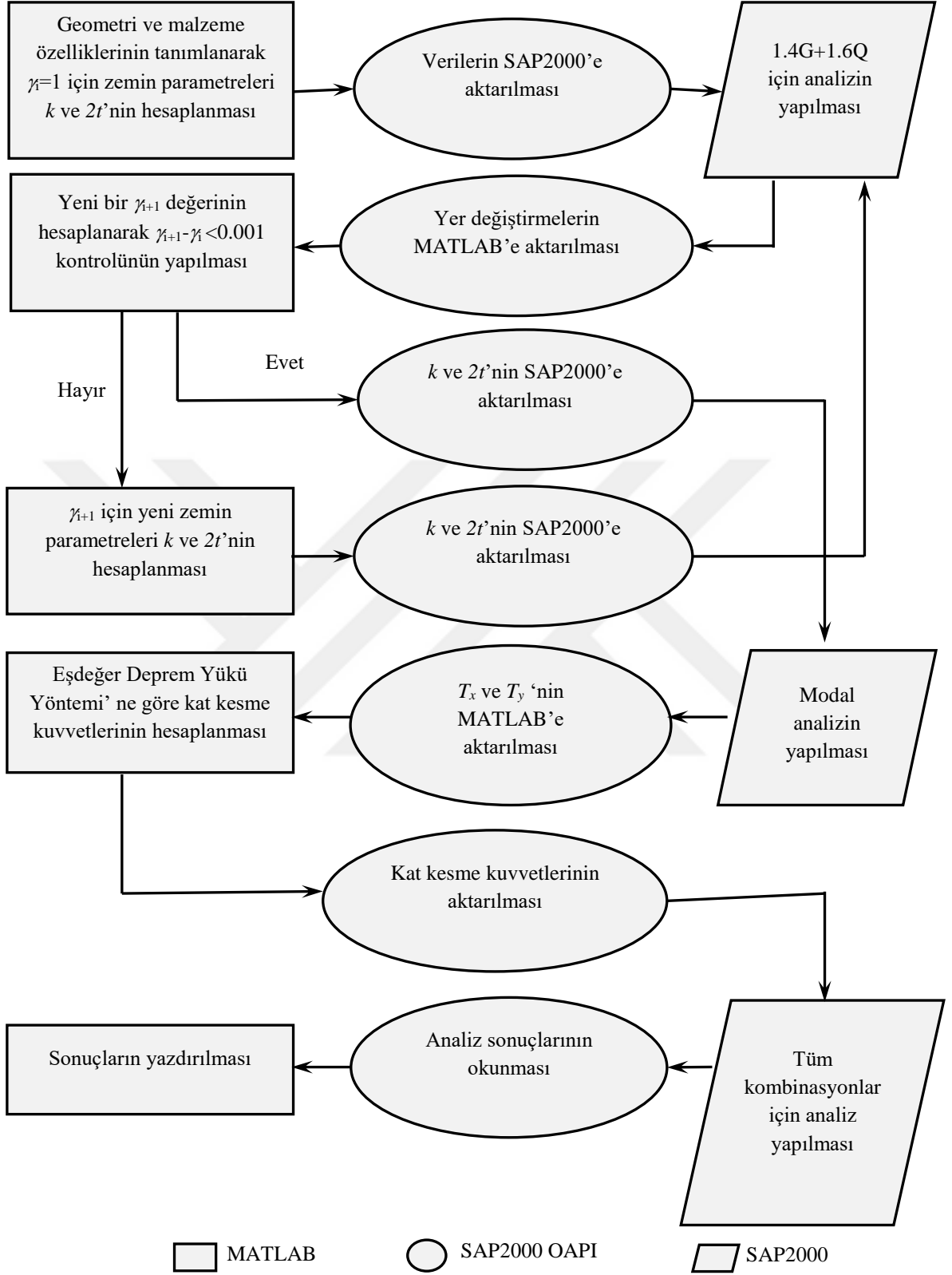
Bu şekilde oluşturulan model ile yapı-zemin sistemi Geliştirilmiş Vlasov modelini kullanarak analiz edilebilmektedir[23]. Aynı modelde kayma tabakası çıkartılıp alan yayları radye temelin altına tanımlandığında Winkler zemin modelini dikkate alan yapı-zemin sistemi oluşturulmuş olmaktadır. Alan yayları ile radye temelde modelden çıkartılıp düşey taşıyıcı elemanlar tabanda ankastre olarak tanımlandığında ise rijit yapı-zemin sistemi elde edilmiş olmaktadır. Geliştirilmiş Vlasov tipi elastik zemine oturan bir yapı modeli Şekil 13'te görülmektedir.



Şekil 13. Üç parametrelili zemine oturan bir yapı modeli; (a) 3 Boyutlu çok katlı çerçeve
(b) Matematik modeli

2.3 Zemin Parametrelerinin Hesaplanmasında SAP2000-OAPI-MATLAB Yazılımlarının Eş Zamanlı Kullanımı

SAP2000 V16 ve önceki sürümlerinin de içerisinde bulunan OAPI (Open Application Programming Interface) özelliği sayesinde geliştirici ara programlarla iki yönlü veri alışverişi yapılabilmektedir. Bu özellikten faydalanarak üç parametrelili zemine ait zemin yüzey parametresinin (γ) ardışık yaklaşım yoluyla hesabı için bir MATLAB ara yüzü geliştirilmiştir. Bu ara yüz ile SAP2000 programında oluşturulan model çağrılmakta, MATLAB ortamında kodlanan yazılım yardımıyla hesaplanan zemin parametreleri modele girdi olarak verilmekte ve modelden çıktı olarak alınan yer değiştirmeler ile yeni zemin parametreleri hesaplanmaktadır. Zemin yüzey parametresi önceden belirlenen bir hassasiyetle yakınsayana kadar bu ardışık işlem devam etmektedir. Yöntemin güvenilirliği ve literatürdeki diğer çalışmalar ile uyumluluğu Kılıçer vd. [24] tarafından elastik zemine oturan radye temel problemi için gösterilmiştir. Geliştirilmiş Vlasov tipi elastik zemin için hesaplamalarda izlenen akış Şekil 14'de verilmektedir.



Şekil 14. Akış diyagramı

2.4. Sayısal Uygulamalar

Bu çalışmada yapı-zemin etkileşiminin betonarme yapıların tasarımına etkisini araştırmak için 4 adet sayısal uygulama çözülmüş olup, uygulamalardan ilki bu çalışmada kullanılan hesap tekniğinin doğruluğunu göstermek üzere literatürden seçilen bir radye temel örneğidir. Diğer uygulamalar farklı kat sayılarına sahip değişik kalıp planlı betonarme yapılardır. Bu uygulamalarda üç farklı zemin modeli dikkate alınarak analizler yapılmıştır. Bunlardan ilki yapının düşey taşıyıcı elemanlarının tabanda ankastre olduğu varsayımına dayanan rijit yapı-zemin modelidir. İkinci çözümde yapı ile birlikte temel sistemi de dikkate alınmış ve zemin ayırık yaylar vasıtası ile temsil edilerek Winkler Modeli kullanılmıştır. Üçüncü varsayımda ise yaylar arasındaki etkileşimin de dikkate alındığı ve zemin parametrelerinin üst yapıdan aktarılan yükler ve zeminin malzeme özelliklerine bağlı olarak hesaplandığı Geliştirilmiş Vlasov modeli kullanılmıştır. İkinci uygulamada zemin modellerinin yapı davranışına etkisi, üçüncü uygulamada zemin özelliklerinin yapı davranışına etkisi ve son uygulamada ise deprem bölgesi ve kat adedinin yapı davranışına etkisi araştırılmıştır. Elde edilen periyotlar, taban kesme kuvvetleri, kolon normal kuvvetleri, kolon eğilme momentleri ve kolon boyuna donatı oranları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Ayrıca radye temelin orta eksenini boyunca oluşan düşey yer değiştirmelerin değişimi de gösterilmiştir.

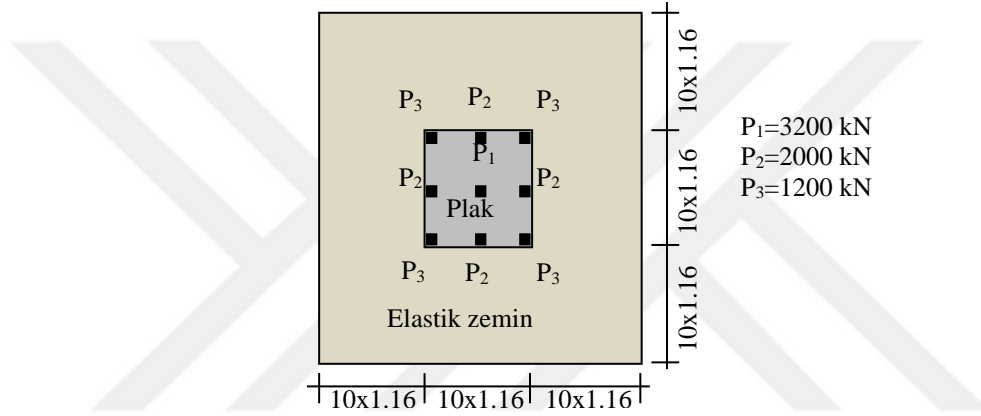
İkinci, üçüncü ve son uygulamada kullanılan yapıların temel özellikleri ve adlandırılmaları Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan yapı tipleri ve özellikleri

Yapı tipi	Açıklama
Tip-1	18mx24m boyutlarında 8 katlı betonarme yapı
Tip-2	20mx22m boyutlarında 12 katlı betonarme yapı
Tip-3	19mx20m boyutlarında 8 katlı betonarme yapı

2.4.1. Uygulama 1: Hesap Tekniğinin Doğrulanması

Geliştirilen hesap tekniğinin doğruluğunu göstermek amacıyla daha önce Çelik ve Saygun [25] ile Özgan [2] tarafından çözülen elastisite modülü $E_s=80000$ kN/m², Poisson oranı $\nu_s=0.25$ olan elastik bir zemine oturan $E_p=20000000$ kN/m² ve $\nu_p=0.16$ malzeme özelliklerine sahip 11.6mx11.6m boyutlarında 0.6 m kalınlığında, 6 kolona sahip ve 3 farklı tekil yük ile yüklemeye maruz bir radye temel örneği dikkate alınmıştır (Şekil 15). Zemin derinliği olarak 5, 10, 15 ve 20 m olmak üzere dört farklı derinlik kullanılmıştır. Çözümde 10×10^7 luk sonlu eleman ağı oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar Tablo 3-4 'de sunulmaktadır.



Şekil 15. Elastik zemine oturan radye temel

Tablo 3. Zemin parametreleri

H (m)	Referans	γ	k (kN/m ³)	$2t$ (kN/m)
5	Çelik ve Saygun [25]	1.118	19733	45804
	Daloglu ve Ozgan [26]	1.316	20147	43487
	Özgan [2]	1.419	20422	42258
	Kılıçer vd. [24]	1.246	19983	44313
10	Çelik ve Saygun [25]	1.327	10088	86696
	Daloglu ve Ozgan [26]	1.476	10298	83142
	Özgan [2]	1.559	10437	81128
	Kılıçer vd. [24]	1.469	10288	83292
15	Çelik ve Saygun [25]	1.607	7016	119948
	Daloglu ve Ozgan [26]	1.718	7161	116011
	Özgan [2]	1.794	7272	113324
	Kılıçer vd. [24]	1.698	7134	116701
20	Çelik ve Saygun [25]	1.894	5573	146430
	Daloglu ve Ozgan [26]	-	-	-
	Özgan [2]	2.060	5791	138984
	Kılıçer vd. [24]	1.874	5548	147347

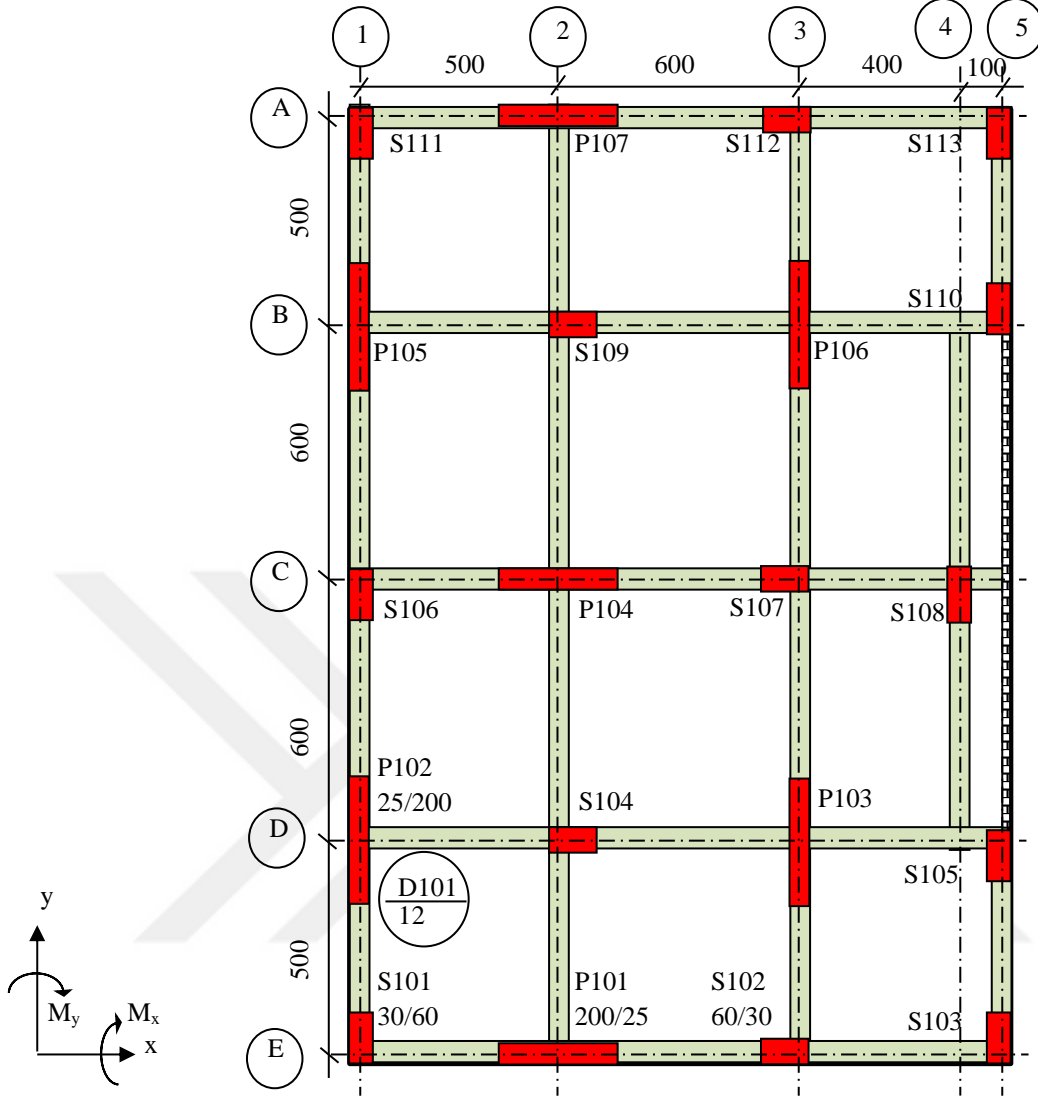
Tablo 4. Maksimum yer değiştirmeler ve momentler

H (m)	Referans	w (cm)	M (kNm)
5	Çelik ve Saygun [25]	–	–
	Daloglu ve Ozgan [26]	0.45700	512.230
	Özgan [2]	0.48463	681.987
	Kılıçer vd. [24]	0.49043	537.498
10	Çelik ve Saygun [25]	–	–
	Daloglu ve Ozgan [26]	0.71270	513.400
	Özgan [2]	0.73904	682.914
	Kılıçer vd. [24]	0.73834	539.781
15	Çelik ve Saygun [25]	–	–
	Daloglu ve Ozgan [26]	0.83780	504.340
	Özgan [2]	0.86308	673.638
	Kılıçer vd. [24]	0.86439	531.864
20	Çelik ve Saygun [25]	–	–
	Daloglu ve Ozgan [26]	–	–
	Özgan [2]	0.92264	662.307
	Kılıçer vd. [24]	0.93050	519.425

Sonuçlardan görüldüğü gibi gerek zemin parametreleri gerekse yer değiştirme ve momentler literatürdeki sonuçlarla uyum içerisindedir. Bu çalışmalarda Çelik ve Saygun [25] ile Daloglu ve Ozgan [26] ince plak teorisini kullanırken, Özgan [2] kalın plak teorisine dayanan Mindlin plak elemanlar kullanmıştır. Burada, SAP2000 paket programı her iki yöntemi kullanabilmesine rağmen kalın plak seçeneği tercih edilmiştir. Plak kalınlığının kenar uzunluğuna oranı 0.05 civarında olduğundan hangi teorisinin kullanıldığı çok önemli olmamakta ve sonuçlar birbirine yakın çıkmaktadır.

2.4.2. Uygulama 2: Zemin Modellerinin Yapı Davranışına Etkisi

Zemin modellerinin yapı davranışına etkisini araştırmak amacıyla daha önce Girgin vd. [27] tarafından incelenen 8 katlı betonarme bir yapı örneği dikkate alınmıştır. Yapının temeli 18 m x 24 m boyutlarına ve 75 cm kalınlığa sahip radye plaktır. Kat yüksekliği 3 m' dir. Betonun elastisite modülü 28 GPa, Poisson oranı 0.2 ve birim hacim ağırlığı 25 kN/m³ tür. Zeminin elastisite modülü 35000 kN/m² ve Poisson oranı 0.25 olarak alınmıştır. Zemin derinliği ise 20 m kabul edilmiştir. Yapının oturduğu zeminin sınıfı Z4'tür. Zemin yatak katsayısı 6300 kN/m³ olarak dikkate alınmıştır. Tüm kirişler 25×60 cm² kesatine sahiptir. Düşey taşıyıcı elemanlar 30×60 cm² kolonlardan ve 25×200 cm² betonarme perdelerden oluşmaktadır. Yapının kat kalıp planı Şekil 16'da görülmektedir [27].



Şekil 16. Tip-1 yapı örneğinin kalıp planı

Girgin vd. [27] tarafından yapılan çalışmada verilmeyen diğer değişkenler için şu kabuller yapılmıştır: Son kat hariç tüm dış kirişlerin üzerinde 20 cm ve tüm iç kirişlerin üzerinde 10 cm kalınlığında gaz beton duvarlar mevcuttur. Gaz beton duvar malzemesinin birim hacim ağırlığı 5 kN/m^3 alınmıştır. Döşeme kalınlıkları normal döşemelerde 12 cm, balkon döşemesinde 15 cm olup hareketli yük 2 kN/m^2 'dir. Deprem hesabında Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılmıştır. Bilindiği gibi ülkemizde yürürlükte olan Türk Deprem Şartnamesi “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik” [28] burulma düzensizliğinin bulunmadığı ve toplam yüksekliği 25 m’yi aşmayan binalarda bu yöntemin kullanılmasına izin vermektedir. Yapının 1. derece deprem kuşağında bulunduğu varsayılmıştır. Deprem Yönetmeliği gereği 1. derece deprem kuşağında yer alan yapılar

için etkin yer ivmesi katsayısı $A_0=0.4$ alınmaktadır. Yapı önem katsayısı $I=1$ ve taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=4$ alınmıştır.

Programda taşıyıcı sistem modeli oluşturulurken taşıyıcı olmayan duvarların yapının kütle hesabında dikkate alınabilmesi için alan eleman olarak modellenmiştir. Bu elemanda, duvarların yapının yatay rijitliğini etkilememesi adına, sadece birim hacim ağırlığı ve kütlesi tanımlanmış elastisite modülü ve Poisson oranı gibi diğer değişkenler sıfır alınmıştır.

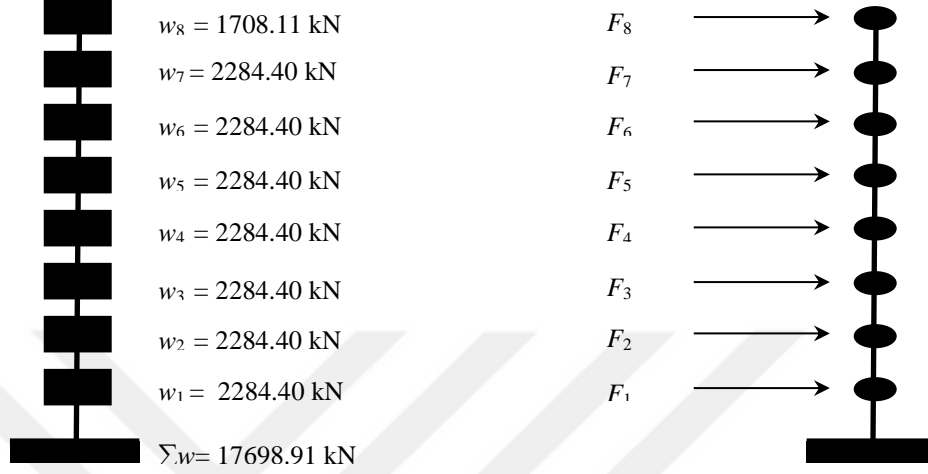
Söz konusu sayısal örnek rijit yapı-zemin kabulü, Winkler Modeli ve Geliştirilmiş Vlasov modeli dikkate alınarak çözülmüştür. Yapının üç farklı zemin modeline ait periyot değerleri, kolonların tasarım normal kuvvetleri, kolonların tasarım eğilme momentleri ve bu normal kuvvet ile eğilme momentine göre TS500 [4]'e uygun olarak hesaplanan kolon boyuna donatı oranları karşılaştırılmıştır.

Yapının deprem hesabında, Türk Deprem Yönetmeliği'nde önerilen yöntemlerden biri olan Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılmıştır. ± 0.05 ek dış merkezlik göz önünde bulundurularak $1.4G+1.6Q$ temel yük birleşimi dışında $G+Q\pm E_x$ ve $G+Q\pm E_y$ yük birleşimleri de hesaba katılmıştır. Her bir yapı-zemin modeli için yapının hesaplanan doğal titreşim periyotları ve taban kesme kuvvetleri Tablo 5'de verilmektedir. Tablodan görüldüğü gibi rijit yapı-zemin modeli en küçük periyotları, Geliştirilmiş Vlasov modeli ise en büyük periyotları vermiştir. Rijit bir temel sisteminden daha esnek bir temel sistemine geçişte periyotların artması beklenen bir sonuçtur. Rijit yapı-zemin ve Winkler modelinde her iki doğrultudaki taban kesme kuvvetleri değişmezken Geliştirilmiş Vlasov modelinde elde edilen taban kesme kuvvetleri diğer yapı-zemin modellerine göre daha küçük olmuştur.

Tablo 5. Tip-1 türü yapının doğal titreşim periyotları ve taban kesme kuvvetleri

Yapı-Zemin Modelleri	T_x (sn)	T_y (sn)	V_{tx} (kN)	V_{ty} (kN)
Rijit Yapı-Zemin Modeli	0.691	0.670	4424.72	4424.72
Winkler Modeli	0.892	0.830	4424.72	4424.72
Geliştirilmiş Vlasov Modeli	1.053	0.933	3901.66	4298.88

Tablo 5’de verilen yapı doğal titreşim periyotları kullanılarak Eşdeğer Deprem Yüklü Yöntemi’ ne göre hesaplanan ve Şekil 17’de gösterilen kat seviyelerine etkiyen eşdeğer deprem yükleri Tablo 6’da verilmektedir.



Şekil 17. Tip-1 türü yapının kat ağırlıkları ve kat seviyelerine etkiyen eşdeğer deprem yükleri

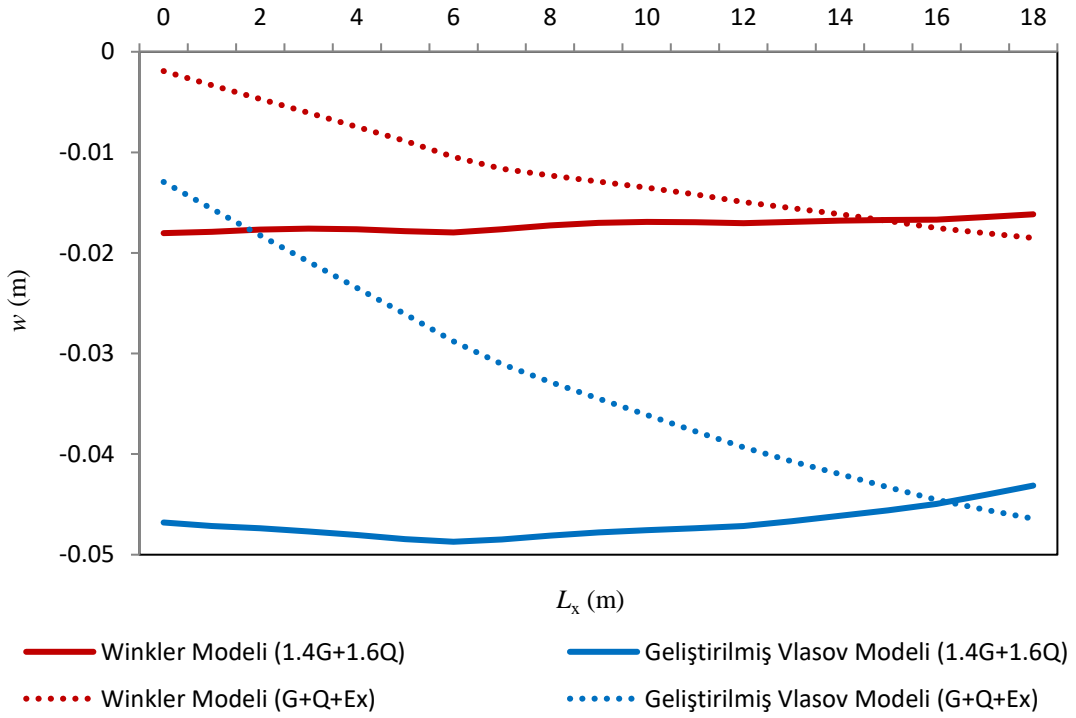
Tablo 6. Tip-1 türü yapının kat seviyelerine etkiyen eşdeğer deprem yükleri

KAT	Rijit Yapı-Zemin Modeli		Winkler Modeli		Geliştirilmiş Vlasov Modeli	
	F_{ix} (kN)	F_{iy} (kN)	F_{ix} (kN)	F_{iy} (kN)	F_{ix} (kN)	F_{iy} (kN)
8	998	998	998	998	880	969
7	857	857	857	857	755	832
6	734	734	734	734	648	713
5	612	612	612	612	540	595
4	490	490	490	490	432	476
3	367	367	367	367	324	357
2	245	245	245	245	216	238
1	122	122	122	122	108	119

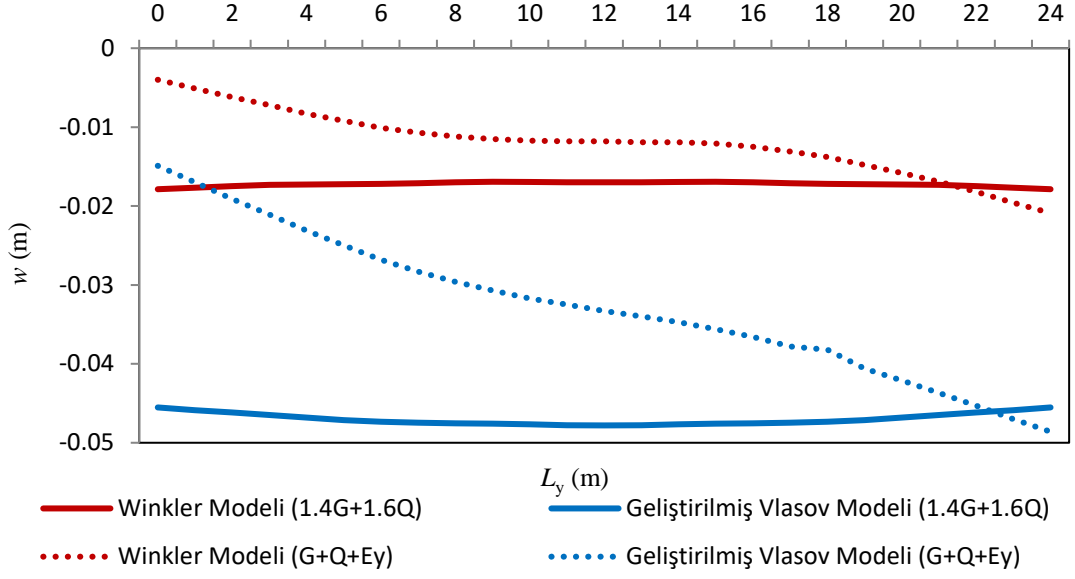
Z4 yerel zemin sınıfı için ilk iki zemin modelinde yapının doğal titreşim periyotları Türk Deprem Yönetmeliği’nde verilen spektrum karakteristik periyotları $T_A=0.2$ s ve $T_B=0.9$ sn arasında kaldığından spektrum katsayısı $S(T)=2.5$ ($T_A < T \leq T_B$ için) alınmaktadır. Dolayısıyla hem taban kesme kuvvetleri hem de kat seviyelerine etkiyen eşdeğer deprem yükleri bu iki model için aynıdır. Ancak Geliştirilmiş Vlasov modeli ile çözümde yapının

doğal titreşim periyodu artmış ve $T_B < T$ olduğundan spektrum katsayısı $S(T) = 2.5 \times (T_B/T)^{0.8}$ bağıntısından hesaplanmıştır. Bu durumda hesaplanan taban kesme kuvveti ve kat seviyelerine etkiyen eşdeğer deprem yükleri ilk iki modelden farklı olmuştur. Kullanılan zemin modeline bağlı olarak yapı periyotları değişebilmekte ve bu da deprem yüklerinin değişmesine neden olmaktadır.

Kısa ve uzun kenar doğrultularında radye temelin orta eksenini boyunca düşey yer değiştirme ve eğilme momenti değişimleri ayrı ayrı incelenmiştir. Kısa kenar doğrultusunda (C-C eksenini boyunca) ve uzun kenar doğrultusunda (2-2 ve 3-3 eksenleri arası) radye temel boyunca oluşan düşey yer değiştirmelerin farklı zemin modellerine göre değişimi Şekil 18 ve Şekil 19'da, eğilme momentlerinin farklı zemin modellerine göre değişimi ise Şekil 20 ve Şekil 21'de verilmektedir.

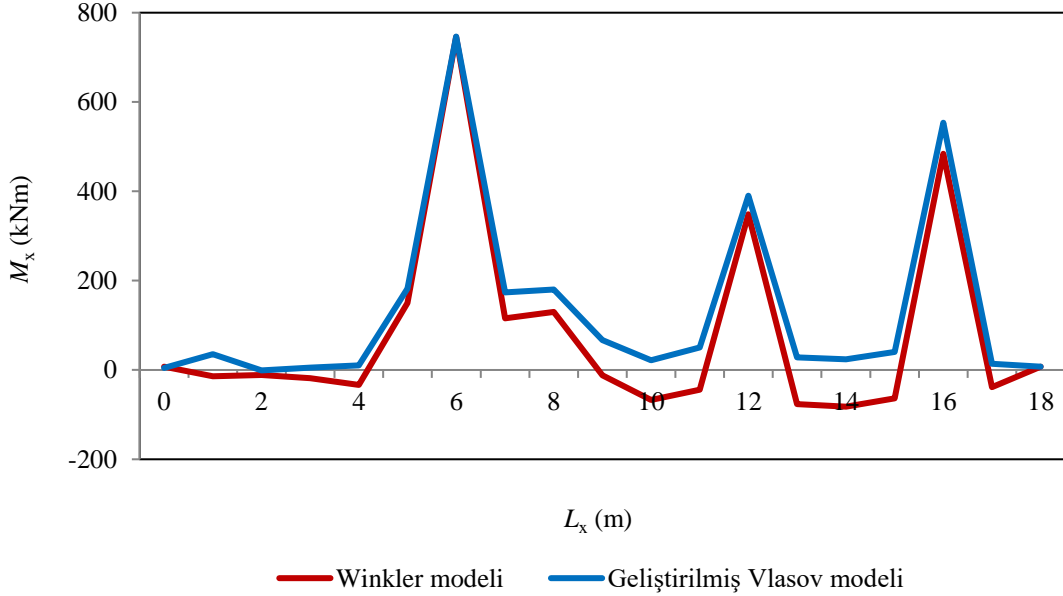


Şekil 18. Tip-1 türü yapıda radye temel x eksenini boyunca düşey yer değiştirmelerin değişimi

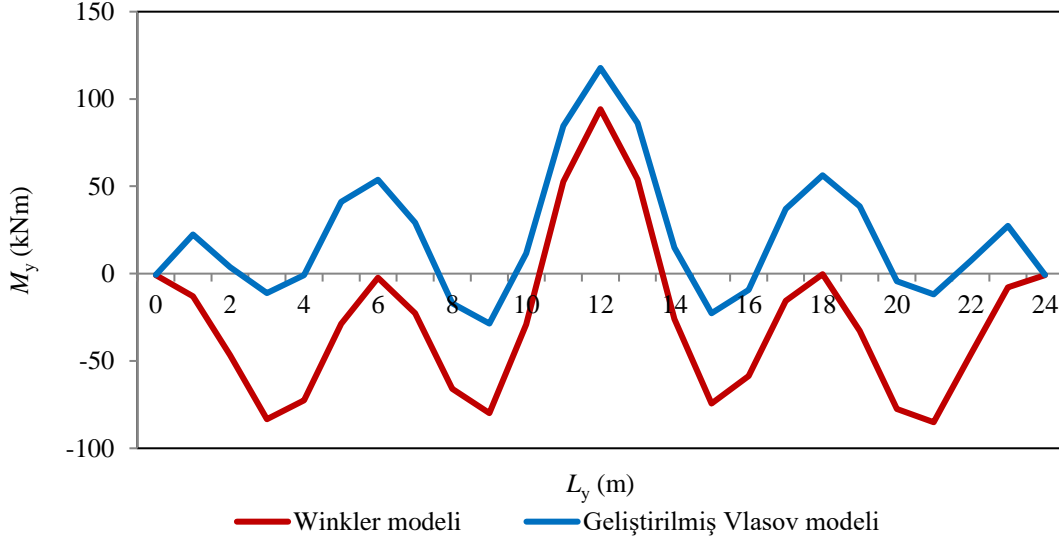


Şekil 19. Tip-1 türü yapıda radye temel y eksenini boyunca düşey yer değıştirmelerin değışimi

Her iki eksen boyunca hem 1.4G+1.6Q hem de G+Q+E yüklemesinde Geliştirilmiş Vlasov modeli, Winkler modeline göre mutlak değerce daha büyük düşey yer değıştirme göstermiştir.



Şekil 20. Tip-1 türü yapıda $G+Q+E_x$ yüklemesi için radye temel x eksenini boyunca eğilme momentlerinin değışimi



Şekil 21. Tip-1 türü yapıda $G+Q+E_y$ yüklemesi için radye temel y eksenı boyunca eğilme momentlerinin değışimi

Grafiklerden de görüldüğü üzere Winkler model ve Geliştirilmiş Vlasov Modeli moment değeri birbirilerine paralel eğriler olarak gözlenmiştir. Ancak zemin modellerine bağlı olarak momentler farklı değeri alabilmektedir.

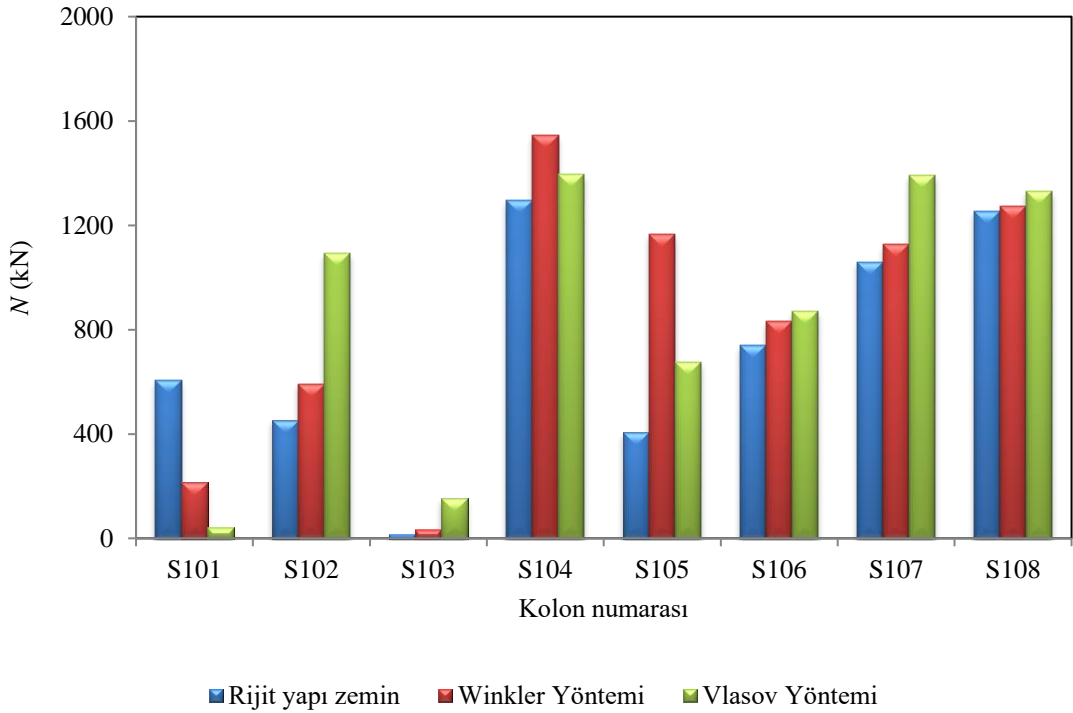
Winkler Modeli ile yapılan çözümde daha önce de bahsedildiği gibi zemin yatak katsayısı 6300 kN/m^3 olarak kullanılmıştır. Geliştirilmiş Vlasov modeli kullanılarak yapılan çözümde ise zemin parametreleri üst yapıdan aktarılan yüklere ve zeminin malzeme özelliklerine bağlı olarak detayı önceki bölümlerde anlatılan ardışık bir yöntemle belirlenmiştir. Bu şekilde belirlenen zemin yatak katsayısı $k = 2100.227 \text{ kN/m}^3$ ve zemin kayma parametresi $2t = 92467.608 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Zemin parametrelerindeki bu farklılıktan dolayı temel plağında oluşan yer değıştirme ve moment değeri değışmiştir.

Her bir yük bileşimi için yapının en alt kolonlarında hesaplanan kolon aksel kuvvetleri ve eğilme momentleri arasından en elverişsiz donatı oranını veren yük birleşimine göre belirlenen hesap kesit tesirleri Tablo 7'de sunulmaktadır. Burada N kolon aksel kuvvetini, M_x ve M_y ise sırasıyla x ve y eksenlerine göre kolon eğilme momentlerini göstermektedir. Tablo incelendiğinde kolonlarda oluşan kesit etkilerinin C-C aksına göre simetrik çıktığı görülmektedir. Yani S101, S102, S103, S104 ve S105 kolonlarında elde edilen aksel kuvvet ve eğilme momenti değeri sırasıyla S111, S112, S113, S109 ve S110 kolonlarında elde edilenlerle aynıdır. Dolayısıyla kolonlardaki kesit tesirlerinin yapı-zemin modeli ile değışimini gösteren Tablo 7 ve Şekil 22 grafikleri sadece

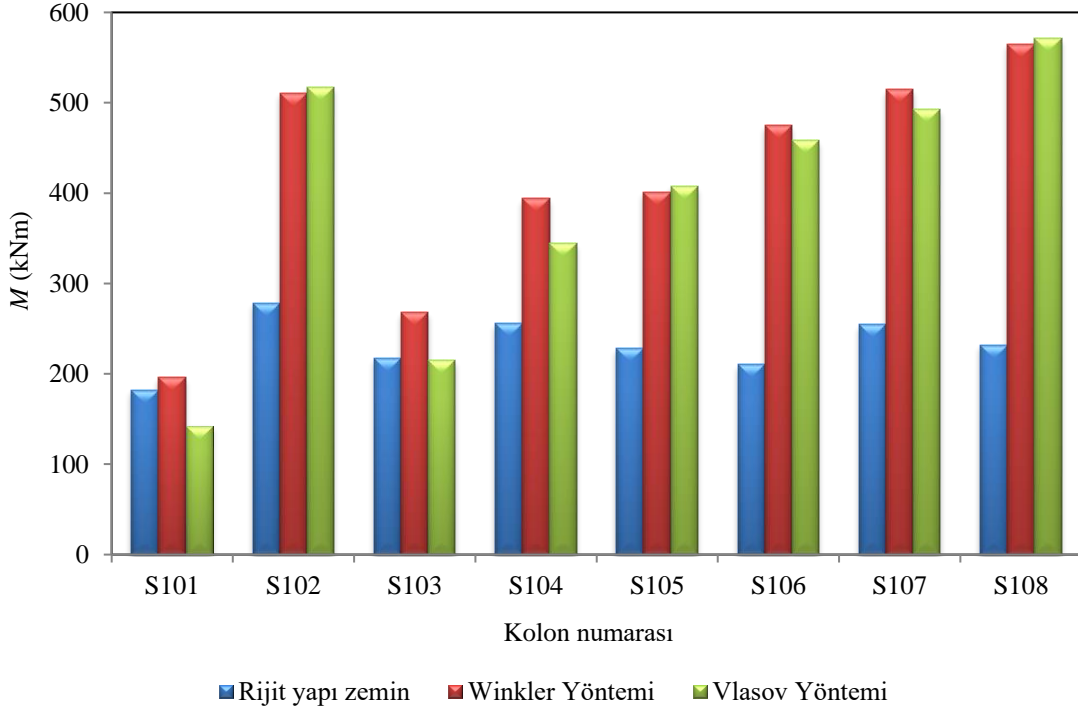
S101-S108 kolonları için çizilmiştir. Ayrıca Şekil 23’de sunulan grafik her iki doğrultuda elde edilen moment değerlerinin büyük olanı dikkate alınarak oluşturulmuştur.

Tablo 7. Tip-1 türü yapıda kolonlar için en elverişsiz boyuna donatı oranını veren N - M değerleri

Kolon No	Rijit Yapı-Zemin Modeli			Winkler Modeli			Geliştirilmiş Vlasov Modeli		
	N (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)	N (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)	N (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)
S101 ve S111	605.95	3.01	182.00	214.74	28.74	195.91	41.25	33.01	142.65
S102 ve S112	453.17	278.35	13.79	591.66	511.06	27.73	1091.95	517.60	10.66
S103 ve S113	17.54	19.81	217.51	32.56	21.61	268.13	154.00	34.52	214.72
S104 ve S109	1295.80	255.48	2.76	1545.77	394.36	4.13	1395.18	344.31	9.60
S105 ve S110	407.07	12.54	228.60	1164.26	9.32	401.16	675.79	46.18	407.12
S106	741.25	8.82	210.70	831.60	9.97	475.03	871.24	26.41	458.03
S107	1059.62	254.40	4.35	1127.24	514.72	8.79	1391.60	492.52	8.41
S108	1254.97	4.27	232.25	1274.21	5.13	565.21	1329.41	31.02	570.93



Şekil 22. Tip-1 türü yapıda kolon aksel kuvvetlerinin yapı-zemin modeli ile değişimi



Şekil 23. Tip-1 türü yapıda kolon eğilme momentlerinin yapı-zemin modeli ile değişimi

Grafiklerden görüldüğü gibi rijit yapı-zemin modeli yerine elastik bir zemin modeli kullanıldığında S101 kolonu hariç tüm kolon aksenal kuvvetlerinde artış olmuştur. S104 ve S105 kolonlarında Winkler modeli ile elde edilen aksenal kuvvetler diğer kolonlarda ise Geliştirilmiş Vlasov modeli ile elde edilen aksenal kuvvetler en büyük değeri almıştır. Benzer şekilde elastik zemin modeli ile yapılan çözümler rijit yapı-zemin modeline göre daha büyük eğilme momenti değerleri vermiştir. Geliştirilmiş Vlasov modeli ile Winkler modeli kıyaslandığında aksenal kuvvetlerdeki değişim eğilme momentlerine nazaran daha fazladır. Ancak farklı zemin elastisite modülü ve farklı zemin yatak katsayısı değerleri için her iki zemin modelinde elde edilen kesit tesirlerinin değişebileceği unutulmamalıdır.

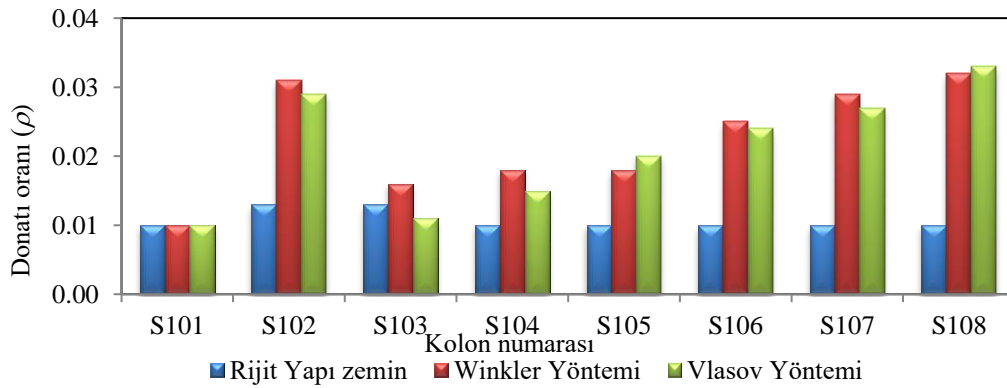
Tablo 7’de verilen kesit tesirleri kullanılarak belirlenen kolon donatı oranları Tablo 8’de sunulmaktadır. İki doğrultuda bileşik eğilme etkisindeki kolonların tasarımı için yaygın olarak üç farklı yaklaşım kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlar; Bressler yöntemini kullanmak, bir doğrultuda bileşik eğilmeye indirgemek ve iki doğrultuda bileşik eğilme diyagramlarını kullanmak olarak sıralanabilir. Burada kolon boyuna donatı oranları hesaplanırken diğer doğrultudaki eğilme momentleri oldukça küçük olduğundan bir doğrultuda bileşik eğilmeye indirgeyerek hesap yapılmıştır.

Tablo 8. Tip-1 türü yapıda farklı zemin modellerine göre kolon boyuna donatı oranları

Kolon No	Donatı Oranları (ρ)		
	Rijit Yapı-Zemin Modeli	Winkler Modeli	Geliştirilmiş Vlasov Modeli
S101 ve S111	0.010	0.010	0.010
S102 ve S112	0.013	0.031	0.029
S103 ve S113	0.013	0.016	0.011
S104 ve S109	0.010	0.018	0.015
S105 ve S110	0.010	0.018	0.020
S106	0.010	0.025	0.024
S107	0.010	0.029	0.027
S108	0.010	0.032	0.033

Burada da elde edilen kolon boyuna donatı oranlarının üç zemin modeli ile değişimi ilk 8 kolon için Şekil 24’de verilmektedir. S101 kolonu için her üç zemin modelinde de minimum donatı oranı yeterli olmaktadır. Diğer kolonlarda ise rijit yapı-zemin kabulü yerine zeminin elastik bir modelle dikkate alınması boyuna donatı oranlarında artışa neden olmaktadır.

Genel olarak Winkler ve Geliştirilmiş Vlasov modeli ile elde edilen kesit tesirlerinin ya da boyuna donatı oranlarının birbirleriyle karşılaştırılarak artıyor ya da azalıyor şeklinde yorum yapılması uygun olmamaktadır. Zira Winkler Modeli için zemin yatak katsayısının değişmesi ya da Geliştirilmiş Vlasov modeli için zemin özelliklerinin değişmesi iki sonuç arasındaki ilişkiyi de değiştirecektir. Ancak seçilen zemin modelinin düşey taşıyıcı elemanların donatı miktarında değişme neden olduğu net bir şekilde söylenebilir[29].



Şekil 24. Tip-1 türü yapıda kolon boyuna donatı oranlarının yapı-zemin modeli ile değişimi

2.4.3. Uygulama 3: Zemin Özelliklerinin Yapı Davranışına Etkisi

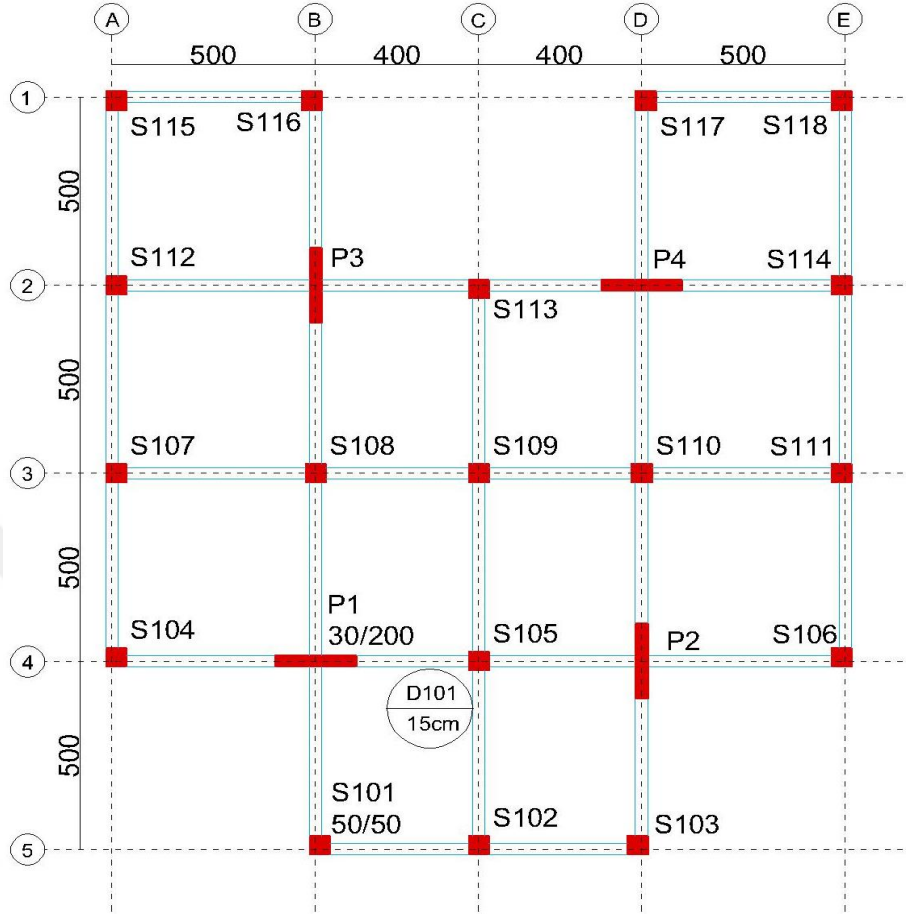
Zemin özelliklerinin yapı davranışına etkisini incelemek için yapılan üçüncü sayısal uygulamada kullanılan kalıp planı 12 katlı betonarme bir yapı örneğidir. Yapının temeli 18 m x 22 m boyutlarında ve 75 cm kalınlığa sahip radye plaktır. Kat yüksekliği 2.7 m'dir. Betonun elastisite modülü 28 GPa, Poisson oranı 0.2 ve birim hacim ağırlığı 25 kN/m³'tür. Zeminin elastisite modülü 50000 kN/m² ve Poisson oranı 0.25 olarak alınmıştır. Zemin derinliği ise 8 m kabul edilmiştir. Yapının oturduğu zeminin sınıfı Z4'tür. Tüm kirişler 30×60 cm² kesitine sahiptir. Düşey taşıyıcı elemanlar 50×50 cm² kolonlardan ve 30×210 cm² betonarme perdelerden oluşmaktadır.

Bu uygulamada Winkler modelinde kullanılan yatak katsayısının ve Geliştirilmiş Vlasov modelinde kullanılan zemin özelliklerinin (E_s , ν_s) aynı zemin türünü temsil edecek şekilde seçilmesine özen gösterilmiştir. Zemin türü aynı olursa her iki modelden elde edilen sonuçları karşılaştırmak daha anlamlı olacaktır. Bu amaçla temel altı zeminin sıkı kum olduğu varsayılmıştır. Sıkı kum için Bowles [30] tarafından verilen elastisite modülü ve zemin yatak katsayı değerleri Tablo 9'daki gibidir. Tablodan görüldüğü gibi her iki parametre için alt ve üst sınırların aralığı çok geniştir. Bu aralıktan seçilecek her bir değer için farklı sonuçların elde edilmesi olasıdır. Bu uygulama da değerlerin alt sınırları olan $E_s = 50000$ kN/m² ve $k = 64000$ kN/m³ seçilerek gerekli analizler yapılmıştır.

Tablo 9. Sıkı kum için elastisite modülü ve zemin yatak katsayısı değerleri

Zemin Cinsi	Zemin Elastisite Modülü (N/m ²)	Zemin Yatak katsayısı (kN/m ³)
Sıkı Kum	50000 - 81000	64000 - 128000

Kalıp planı Şekil 25'te görülen yapının tüm dış kirişlerin üzerinde 20 cm ve tüm iç kirişlerin üzerinde 10 cm kalınlığında gaz beton duvarlar vardır. Gaz beton duvar malzemesinin birim hacim ağırlığı 5 kN/m³ alınmıştır. Döşeme kalınlıkları tüm döşemelerde 15 cm olup hareketli yük 2 kN/m²'dir. Deprem hesabında Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılmıştır. Yapının 1. derece deprem kuşağında bulunduğu varsayılmıştır. Deprem yönetmeliği gereği 1. derece deprem kuşağında yer alan yapılar için etkin yer ivmesi katsayısı $A_0=0.4$ alınmaktadır. Yapı önem katsayısı $I=1$ ve taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=4$ alınmıştır.



Şekil 25. Tip-2 yapı örneğinin kalıp planı

Rijit yapı-zemin modeli, Winkler modeli ve Geliştirilmiş Vlasov modeli ayrı ayrı kullanılarak 12 katlı betonarme yapı örneği analiz edilmiş ve yapı doğal titreşimleri, taban kesme kuvvetleri, kolon aksel kuvvetleri, kolon eğilme momentleri ve boyuna donatı oranları karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur. Ardından sadece Geliştirilmiş Vlasov modeli için zemin derinliğinin sonuçlar üzerindeki etkisini görmek amacıyla diğer değişkenler sabit tutularak zemin derinliği (H) 8, 16, 24 ve 32 m olacak şekilde analizler tekrarlanmıştır. Daha sonra benzer şekilde zemin derinliği ve zemin üst yüzeyindeki elastisite modülü (E_2) sabit tutularak $E_2/E_1=1, 2, 3, 4$ için sonuçlardaki değişimler gözlenmiştir.

Yapının deprem hesabında, eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılmıştır. ± 0.05 ek dış merkezlik göz önünde bulundurularak $1.4G+1.6Q$, $G+Q\pm E_x$ ve $G+Q\pm E_y$ yük birleşimleri hesaba katılmıştır. Her bir yapı-zemin modeli için hesaplanan doğal titreşim periyotları ve

taban kesme kuvvetleri Tablo 10’da verilmektedir. Tablodan görüldüğü gibi rijit yapı-zemin modeli en küçük periyotları vermekte, geliştirilmiş Vlasov modeli ise en büyük doğal titreşim periyotlarını vermektedir. Rijit bir temel sisteminden daha elastik bir temel sistemine doğru titreşim periyotları artmaktadır. Taban kesme kuvveti en büyük rijit yapı-zemin modelinde iken en küçük Geliştirilmiş Vlasov modelinde görülmüştür.

Tablo 10. Tip-2 türü yapının doğal titreşim periyotları ve taban kesme kuvvetleri

Yapı-Zemin Modelleri	T_x (sn)	T_y (sn)	V_{tx} (kN)	V_{ty} (kN)
Rijit Yapı-Zemin Modeli	0.8945	0.8902	6240.61	6240.61
Winkler Modeli	0.9700	0.9484	5878.66	5984.75
Geliştirilmiş Vlasov Modeli	1.1142	1.0501	5259.59	5516.08

Tablo 10’da verilen yapı doğal titreşim periyotları kullanılarak Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ’ne göre hesaplanan ve kat seviyelerine etkiyen eşdeğer deprem yükleri Tablo 11’de verilmektedir. Görüldüğü gibi kullanılan zemin modeline göre değişen yapı doğal titreşim periyotları depremden kaynaklanan yatay yüklerinde değişmesine neden olabilmektedir.

Tablo 11. Tip-2 türü yapının kat seviyelerine etkiyen eşdeğer deprem yükleri

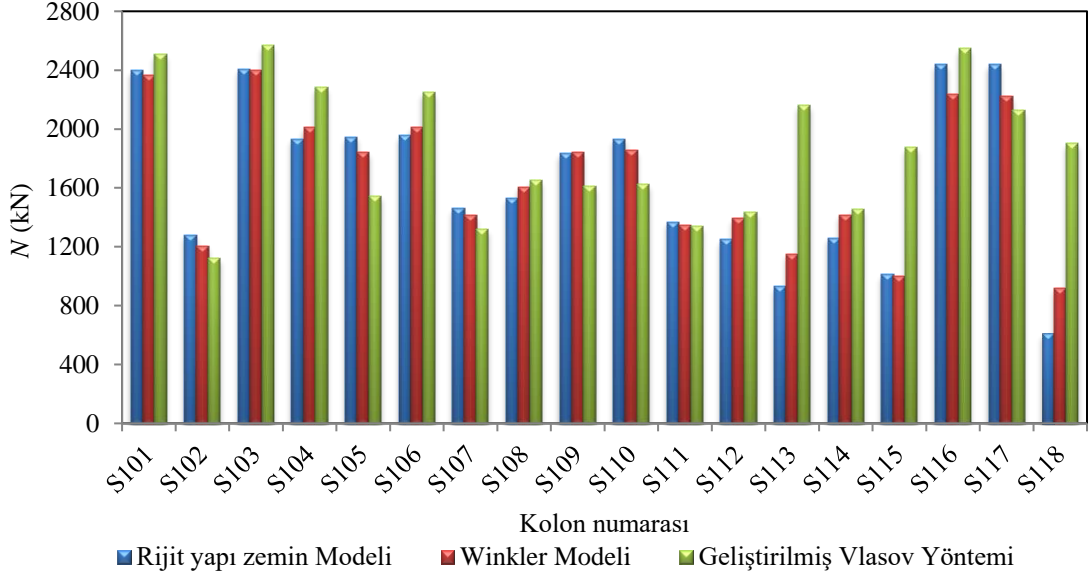
KAT	Rijit Yapı-Zemin Modeli		Winkler Modeli		Geliştirilmiş Vlasov Modeli	
	F_x (kN)	F_y (kN)	F_x (kN)	F_y (kN)	F_x (kN)	F_y (kN)
12	813.64	813.64	766.45	780.28	645.46	676.78
11	810.89	810.89	763.86	777.64	686.50	719.81
10	737.17	737.17	694.41	706.95	624.09	654.37
9	663.45	663.45	624.97	636.25	561.68	588.93
8	589.75	589.75	555.53	565.55	499.27	523.50
7	516.02	516.02	486.09	494.86	436.86	458.06
6	442.30	442.30	416.65	424.17	374.46	392.62
5	368.58	368.58	347.21	353.47	312.04	327.19
4	294.87	294.87	277.77	282.78	249.64	261.75
3	221.15	221.15	208.32	212.08	187.22	196.31
2	147.43	147.43	138.88	141.39	124.82	130.87
1	73.71	73.71	69.44	70.70	62.41	65.44

Rijit yapı-zemin modelinde yapının doğal titreşim periyotları (T_x ve T_y) Z4 yerel zemin sınıfı için Deprem Yönetmeliği'nde verilen spektrum karakteristik periyotları $T_A=0.2$ s ve $T_B=0.9$ s arasında kaldığından spektrum katsayısı $S(T)=2.5$ ($T_A < T \leq T_B$ için) alınmaktadır. Ancak Winkler modeli ve Geliştirilmiş Vlasov modeli ile çözümde yapının doğal titreşim periyodu artmış ve $T_B < T$ olduğundan spektrum katsayısı $S(T)=2.5 \times (T_B/T)^{0.8}$ bağıntısından hesaplanmıştır. Taban kesme kuvvetleri ve kat seviyelerine etkiyen eşdeğer deprem yükleri rijit yapı zemin modelinde x ve y eksenleri için aynıdır.

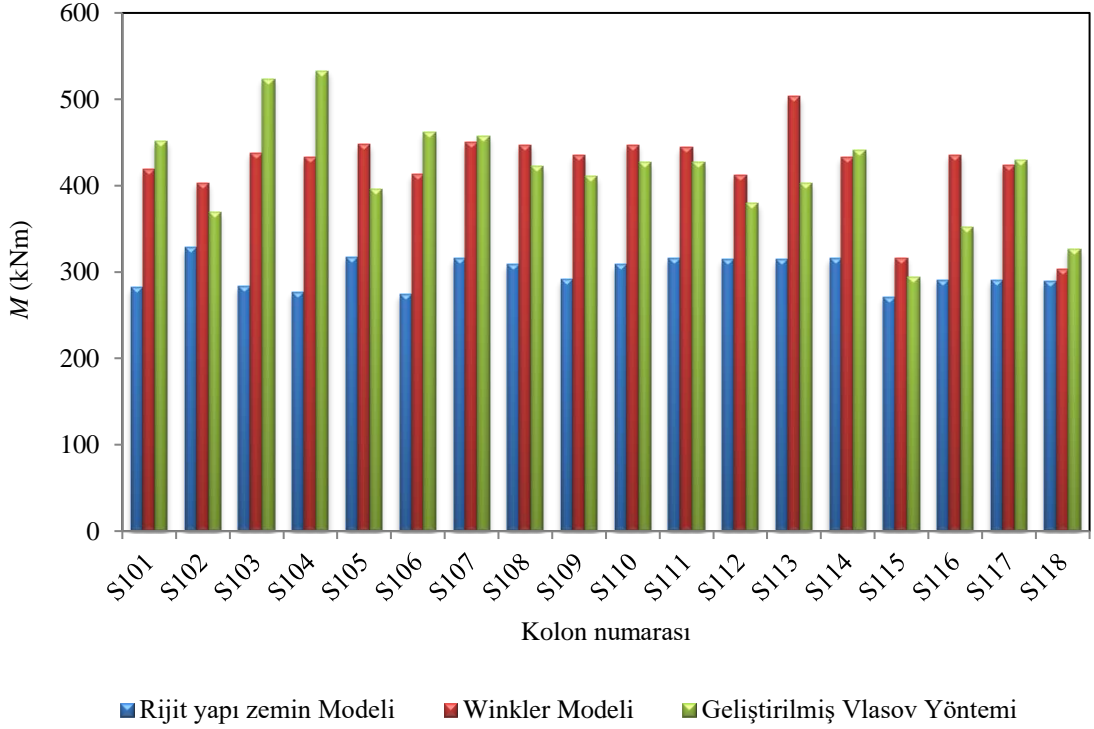
Modelin en alt kolonlarında meydana gelen aksel kuvvetler (N) ve eğilme momentleri (M_x ve M_y) en elverişsiz yük birleşimine göre Tablo 12'de verilmektedir. Kolon aksel kuvvetleri ve eğilme momentleri ayrıca Şekil 26 ve 27'de sunulmaktadır.

Tablo 12. Tip-2 türü yapıda kolonlar için en elverişsiz boyuna donatı oranlarını veren N - M değerleri

Kolon No	Rijit Yapı-Zemin Modeli			Winkler Modeli			Geliştirilmiş Vlasov Modeli		
	N (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)	N (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)	N (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)
S101	2398.42	282.16	14.56	2368.55	418.67	44.79	2508.45	451.54	74.00
S102	1280.18	328.40	2.67	1205.00	403.00	14.00	1121.84	369.08	51.73
S103	2407.56	283.24	15.12	2395.68	438.00	50.50	2570.10	523.62	49.78
S104	1932.20	18.35	275.88	2009.50	34.00	433.00	2283.72	50.11	532.95
S105	1946.36	317.31	1.03	1839.86	447.48	3.33	1544.06	396.04	29.78
S106	1955.56	17.38	274.48	2010.18	27.61	412.72	2248.65	81.91	461.13
S107	1459.92	1.71	315.94	1409.62	16.00	450.07	1317.65	25.07	457.63
S108	1532.90	1.27	308.73	1605.47	5.00	447.21	1651.65	0.05	422.39
S109	1833.02	0.44	291.14	1840.18	434.50	22.13	1611.33	15.64	410.32
S110	1931.44	1.48	308.63	1855.07	9.04	447.01	1625.12	38.96	426.77
S111	1370.26	0.99	315.46	1346.42	27.35	444.33	1339.88	23.44	427.68
S112	1248.31	16.26	314.78	1394.41	28.72	412.38	1433.66	20.61	378.89
S113	930.76	314.89	3.07	1150.76	503.00	25.67	2163.37	26.48	403.02
S114	1260.91	16.44	315.51	1416.56	25.64	432.30	1455.48	22.31	440.39
S115	1009.90	33.22	270.87	1001.00	26.00	316.13	1875.15	32.52	294.29
S116	2438.29	290.90	17.20	2239.22	435.42	25.07	2545.36	138.36	352.11
S117	2436.90	290.46	16.95	2220.00	423.22	23.24	2126.54	19.46	429.80
S118	610.67	288.82	36.31	920.01	303.06	40.00	1900.79	56.56	325.99



Şekil 26. Tip-2 türü yapıda kolon aksenal kuvvetlerinin yapı-zemin modeli ile değişimi



Şekil 27. Tip-2 türü yapıda kolon eğilme momentlerinin yapı zemin modeli ile değişimi

Şekil 26'da görüldüğü gibi S101, S103, S104, S106, S108, S112, S113, S114, S115, S116 ve S118 kolonlarının aksenal kuvvetleri Geliştirilmiş Vlasov modelinde artarken diğer kolonlarda azalma görülmüştür. Zemin etkisinin hesaba katılması kullanılan

modelden bağımsız olarak rijit yapı-zemin kabulüne göre daha büyük momentlerin oluşmasına neden olmuştur (Şekil 27). Eğilme momentlerindeki bu artışın aynı şekilde kolon boyuna donatı oranlarını da arttırması beklenmektedir. Ancak farklı zemin elastisite modülü ve farklı zemin yatak katsayısı değerleri için her iki zemin modelinde elde edilen kesit tesirlerinin değişebileceği hatırlanmalıdır.

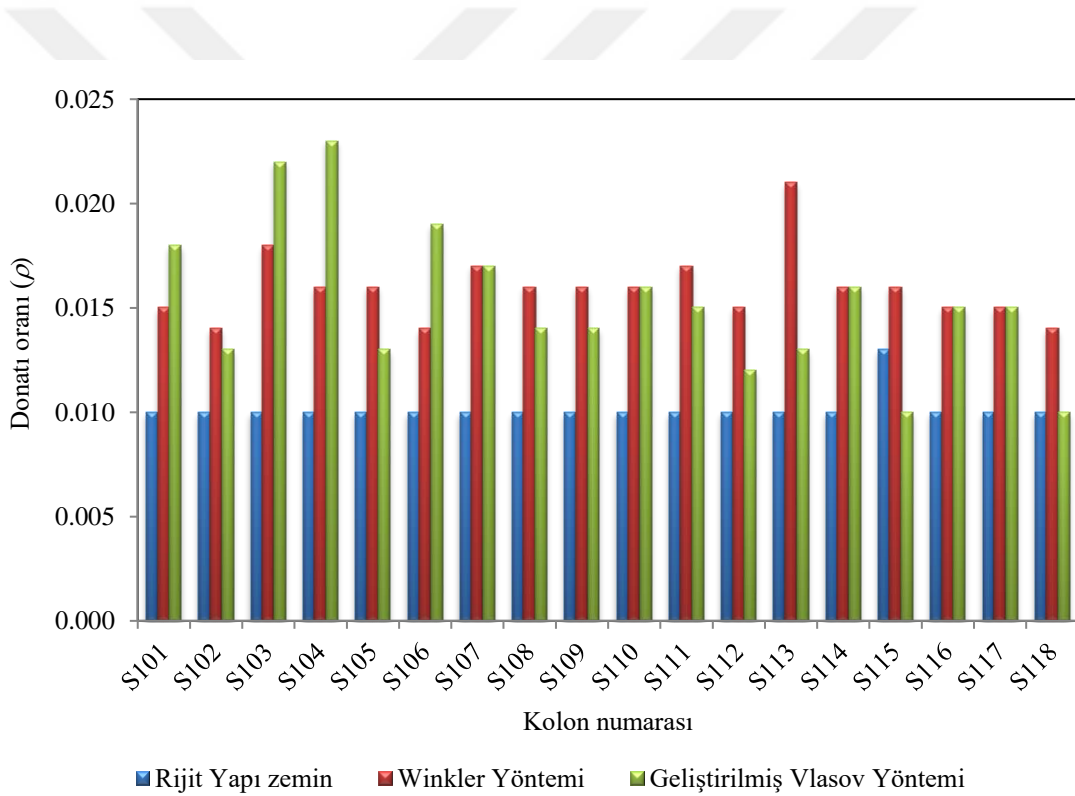
Tablo 12’de verilen kesit tesirleri kullanılarak belirlenen kolon boyuna donatı oranları Tablo 13’de sunulmaktadır. Bilindiği gibi söz konusu hesaplar bir doğrultuda birleşik eğilmeye indirgenerek yapılmıştır. Diğer doğrultudaki eğilme momentleri küçük olduğundan bu yöntemin kullanılmasında herhangi bir sakınca görülmemiştir.

Tablo 13. Tip-2 türü yapıda farklı zemin modellerine göre kolon boyuna donatı oranları

Kolon No	Donatı Oranları		
	Rijit Yapı-Zemin Modeli	Winkler Modeli	Geliştirilmiş Vlasov Modeli
S101	0.010	0.015	0.018
S102	0.010	0.014	0.013
S103	0.010	0.018	0.022
S104	0.010	0.016	0.023
S105	0.010	0.016	0.013
S106	0.010	0.014	0.019
S107	0.010	0.017	0.017
S108	0.010	0.016	0.014
S109	0.010	0.016	0.014
S110	0.010	0.016	0.016
S111	0.010	0.017	0.015
S112	0.010	0.015	0.012
S113	0.010	0.021	0.013
S114	0.010	0.016	0.016
S115	0.013	0.016	0.010
S116	0.010	0.015	0.015
S117	0.010	0.015	0.015
S118	0.010	0.014	0.010

Tablo 13’de verilen kolon boyuna donatı oranlarının zemin modelleri ile değişimi izlendiğinde beklenildiği gibi Winkler ve Geliştirilmiş Vlasov modeli, rijit yapı-zemin modeline göre daha büyük donatı oranları vermiştir. Yapının 1A ve 1E akslarındaki köşe kolonları S115 ve S118 de Geliştirilmiş Vlasov modeline göre minimum donatı oranlarında olduğu, Rijit yapı-zemin modelinde ise S115 kolonu dışındaki kolonlarda minimum donatı oranın yeterli olduğu görülmektedir.

Şekil 28’de donatı oranlarına bakıldığında zemin etkisinin mutlaka hesaba katılması gerektiği ve kullanılan zemin modeline göre sonuçların değiştiği açıkça görülmektedir. Kolon boyuna donatı oranları rijit yapı-zemin modeline göre ortalama % 50 oranında artmaktadır.



Şekil 28. Tip-2 türü yapıda kolon boyuna donatı oranlarının yapı-zemin modeli ile değişimi

Geliştirilmiş Vlasov modeli kullanılarak zemin elastisite modülünün sonuçlar üzerindeki etkisini görmek amacıyla yapı geometrisi, deprem bölgesi ve diğer malzeme özellikleri sabit tutulmuş ve 8 m zemin derinliği için zemin üst yüzeyindeki elastisite modülü (E_1) 50000 kN/m² olarak kabul edilip zemin alt yüzeyindeki elastisite modülü (E_2)

$E_2/E_1 = 1, 2, 3$ ve 4 oranlarına bağılı olarak değiştirilmiştir. Analizlerden elde edilen katsayısı (k) ve zemin kayma parametresi ($2t$) Tablo 14' de verilmektedir.

Tablo 14. Farklı E_2/E_1 oranına göre k ve $2t$ parametrelerinin değişimi

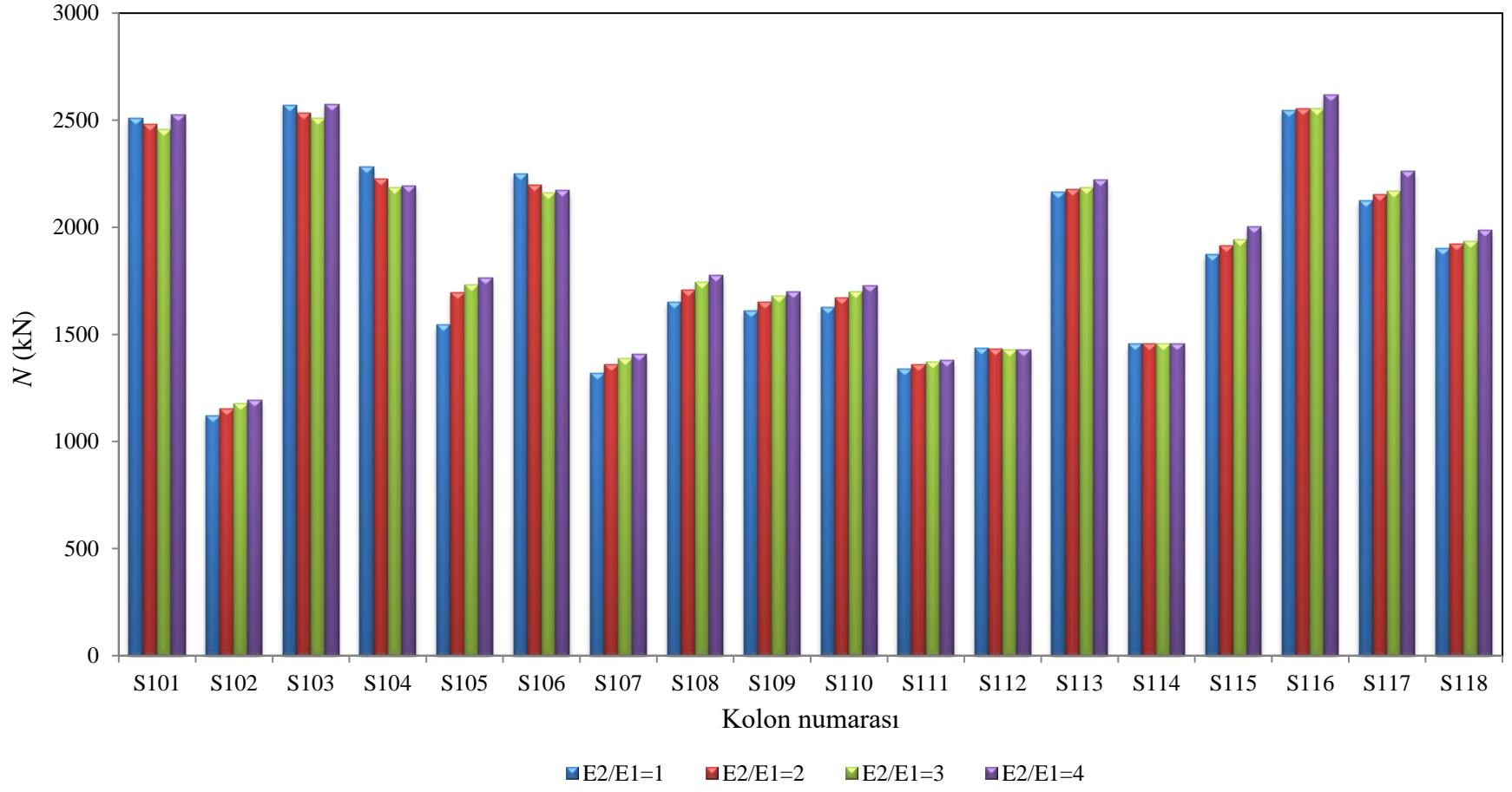
	E_2 / E_1			
	1	2	3	4
γ	0.53936	0.55764	0.57141	0.60375
k	10048.728	14822.099	19572.098	24253.692
$2t$	47543.867	59036.758	70487.790	81587.272

Tablo 14'de görüldüğü gibi E_2/E_1 oranı arttıkça zemin yatak katsayında (k) ve zemin kayma parametresinde ($2t$) beklenildiği gibi artış gözlemlenmiştir. Zemin yatak katsayısı neredeyse iki katından biraz fazla, $2t$ parametresi ise yaklaşık iki katına çıkmıştır.

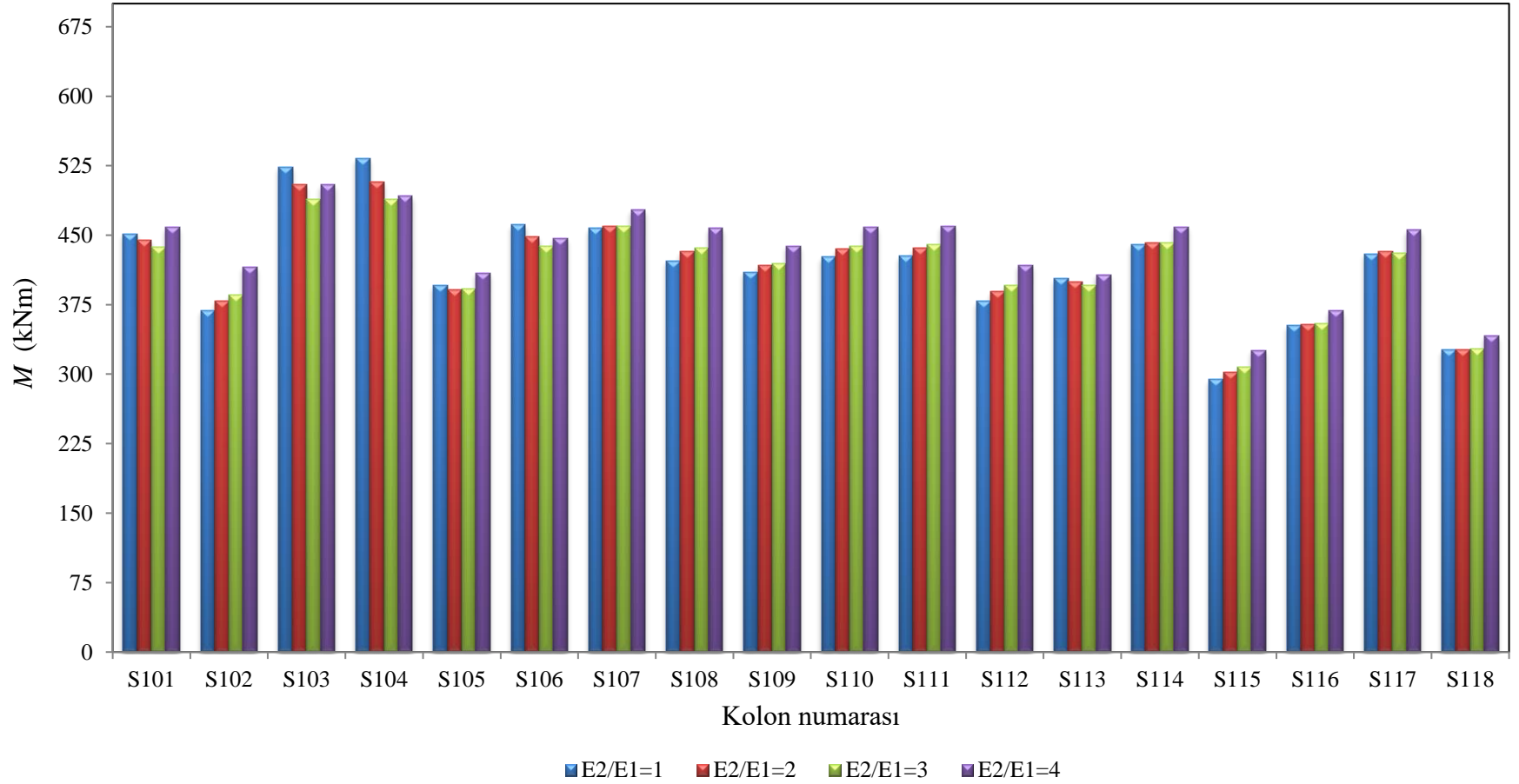
En elverişsiz yük birleşimine göre seçilen kolon aksenal kuvvetleri ve eğilme momentleri Tablo 15, Şekil 29 ve Şekil 30'da verilmektedir. Şekil 30'da sunulan eğilme momentleri her iki doğrultuda hesaplanan eğilme momentlerinin büyüğüne göre grafikleştirilmiştir. Tablo 15'de verilen kesit tesirleri bir doğrultuda bileşik eğilmeye indirgenerek kolon boyuna donatı oranları hesaplanmış ve Tablo 16 ile Şekil 31'de sunulmuştur.

Tablo 15. Farklı E_2/E_1 oranları için kolonlarda en elverişsiz boyuna donatı oranını veren N - M değerleri

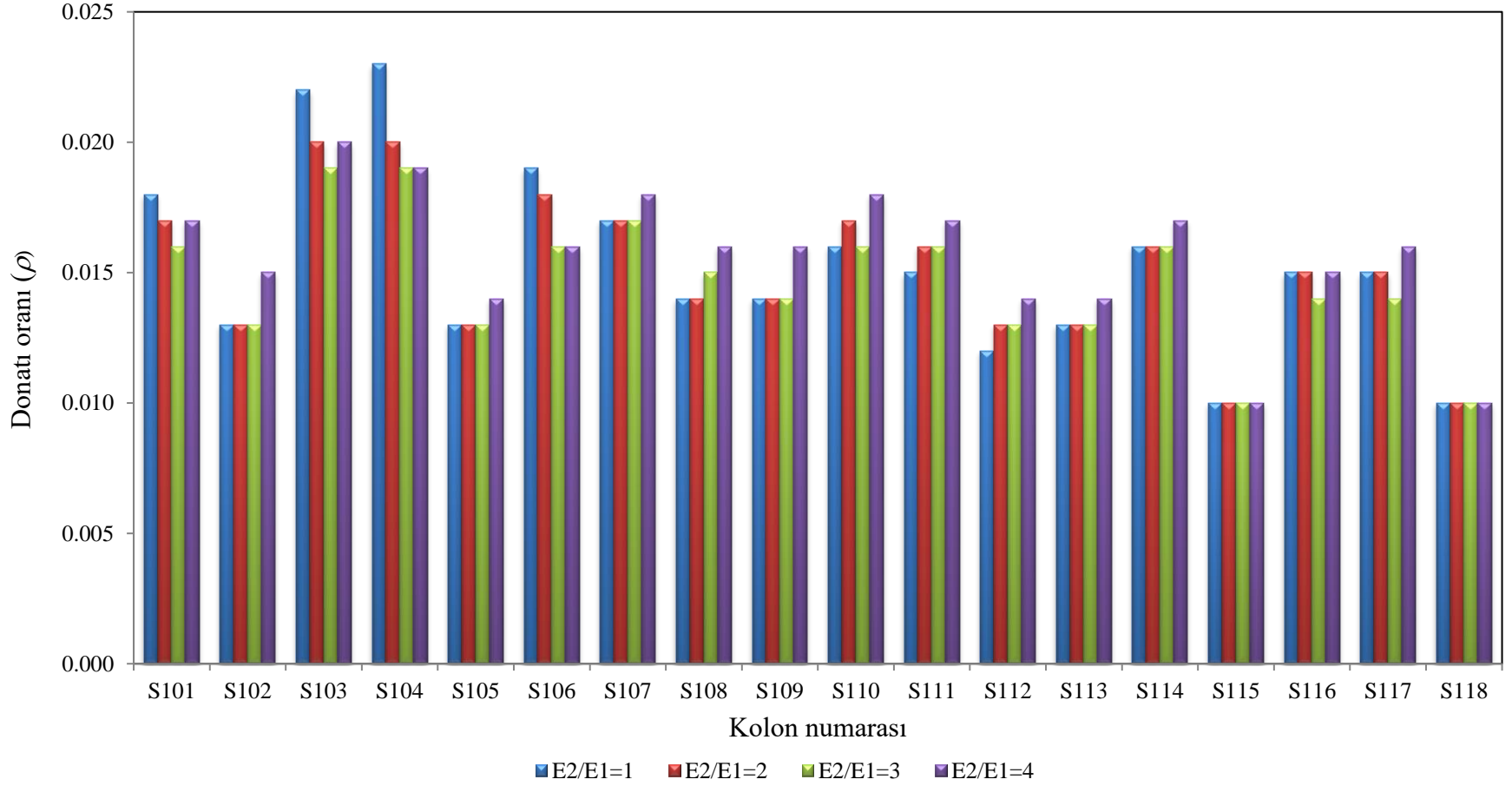
Kolon No	$E_2 / E_1 = 1$			$E_2 / E_1 = 2$			$E_2 / E_1 = 3$			$E_2 / E_1 = 4$		
	N (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)	N (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)	N (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)	N (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)
S101	2508.45	451.54	74.00	2478.65	444.35	49.03	2455.06	437.64	32.50	2524.93	458.55	19.32
S102	1121.84	369.08	51.73	1153.21	379.42	41.35	1175.99	385.38	34.55	1193.43	415.95	30.18
S103	2570.10	523.62	49.78	2535.22	504.38	29.78	2507.33	488.81	16.74	2574.65	504.55	5.70
S104	2283.72	50.11	532.95	2228.00	35.00	507.58	2185.72	24.76	488.46	2194.03	16.09	492.21
S105	1544.06	396.04	29.78	1693.89	34.86	391.10	1730.52	33.00	392.11	1764.25	32.72	409.06
S106	2248.65	81.91	461.13	2198.81	59.73	448.29	2161.18	44.76	438.04	2172.99	32.76	446.97
S107	1317.65	25.07	457.63	1358.96	22.61	460.19	1387.11	20.91	459.43	1406.90	19.60	477.29
S108	1651.65	0.05	422.39	1707.89	0.94	432.37	1745.57	1.30	436.66	1777.46	1.93	457.96
S109	1611.33	15.64	410.32	1651.47	15.37	417.23	1680.28	14.89	419.57	1699.28	15.21	438.40
S110	1625.12	38.96	426.77	1669.39	34.02	435.01	1701.25	30.17	438.30	1728.44	27.36	458.89
S111	1339.88	23.44	427.68	1360.06	16.70	436.27	1372.73	12.40	439.59	1379.40	8.64	460.16
S112	1433.66	20.61	378.89	1432.64	17.73	389.37	1428.22	15.42	395.82	1428.57	13.24	417.54
S113	2163.37	26.48	403.02	2177.89	27.02	399.92	2183.33	27.16	395.92	2220.92	28.36	407.56
S114	1455.48	22.31	440.39	1457.53	19.82	441.72	1455.02	17.63	441.43	1457.63	15.55	459.15
S115	1875.15	32.52	294.29	1912.93	31.72	302.11	1940.41	30.67	307.86	2004.59	31.07	325.74
S116	2545.36	138.36	352.11	2554.34	130.89	353.65	2554.97	123.82	354.22	2617.19	121.36	368.40
S117	2126.54	19.46	429.80	2152.42	432.08	11.09	2170.90	430.85	6.87	2261.74	455.75	1.64
S118	1900.79	56.56	325.99	1919.87	53.93	326.35	1933.81	51.49	326.92	1987.35	51.25	341.19



Şekil 29. Farklı E_2/E_1 oranları için kolon aksenal kuvvetleri



Şekil 30. Farklı E_2/E_1 oranları için kolon eğilme momentleri



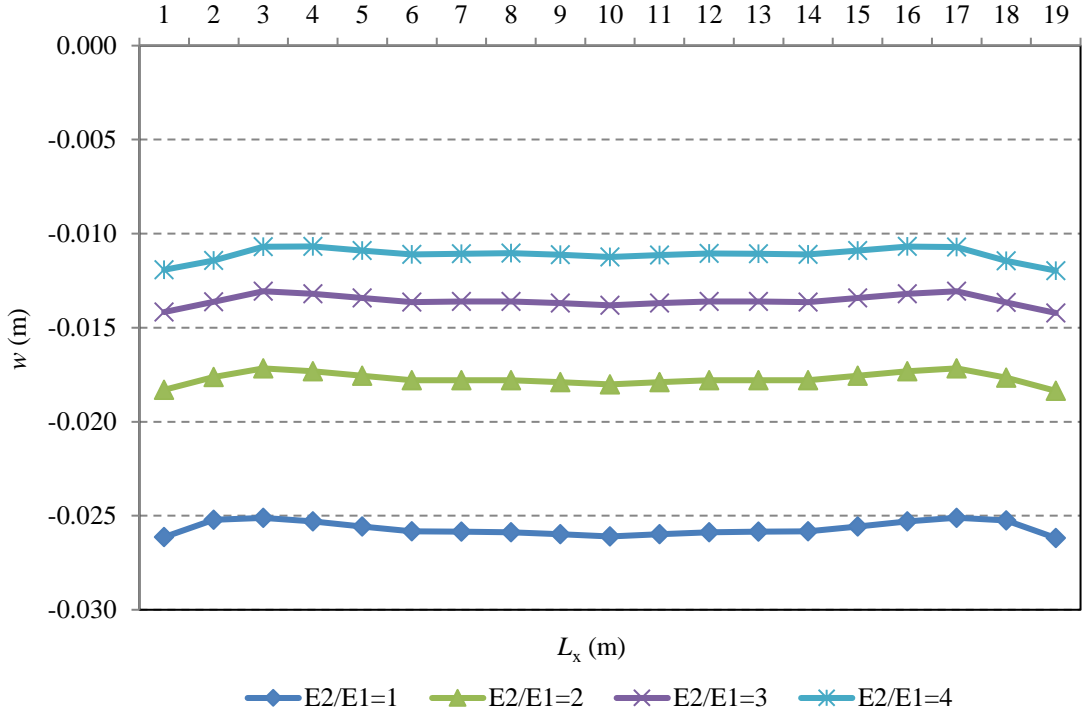
Şekil 31. Farklı E_2/E_1 oranları için kolon boyunca donatı oranları

Şekil 29’da görüldüğü gibi E_2/E_1 oranı arttıkça kolon aksenal kuvvet değerinin genelde artış içerisinde olduğu sadece S104 ve S106 kolonlarında azalış meydana geldiği görülmektedir. Şekil 30’ da E_2/E_1 oranlarına göre kolon eğilme momentleri değerleri 13 kolonda zemin elastisite modülü arttıkça artış göstermektedir. Şekil 31 ve Tablo16’ya bakıldığında kolon boyuna donatı oranları fazla bir değişim göstermese de 10 kolonda artış gözlenirken bazı kolonlarda ise azalışlar gözlenmiştir.

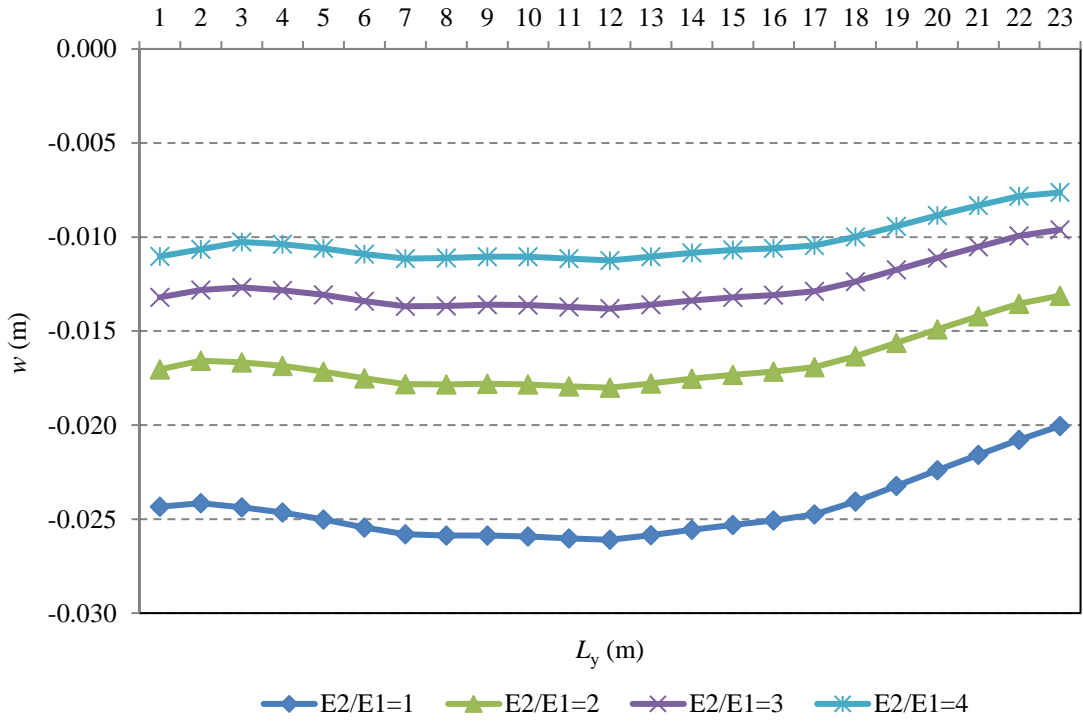
Tablo 16. Farklı E_2/E_1 oranları için kolon boyuna donatı oranları

Kolon No	Donatı Oranları			
	$E_2 / E_1 = 1$	$E_2 / E_1 = 2$	$E_2 / E_1 = 3$	$E_2 / E_1 = 4$
S101	0.018	0.017	0.016	0.017
S102	0.013	0.013	0.013	0.015
S103	0.022	0.020	0.019	0.020
S104	0.023	0.020	0.019	0.019
S105	0.013	0.013	0.013	0.014
S106	0.019	0.018	0.016	0.016
S107	0.017	0.017	0.017	0.018
S108	0.014	0.014	0.015	0.016
S109	0.014	0.014	0.014	0.016
S110	0.016	0.017	0.016	0.018
S111	0.015	0.016	0.016	0.017
S112	0.012	0.013	0.013	0.014
S113	0.013	0.013	0.013	0.014
S114	0.016	0.016	0.016	0.017
S115	0.010	0.010	0.010	0.010
S116	0.015	0.015	0.014	0.015
S117	0.015	0.015	0.014	0.016
S118	0.010	0.010	0.010	0.010

Radye temelin x eksenini (3-3 aksı) ve y eksenini (C-C aksı) doğrultusundaki düşey yer değiştirmelerin E_2/E_1 oranına bağlı olarak değişimi Şekil 32 ve Şekil 33’de verilmiştir. Grafikler çalışmada dikkate alınan tüm yük birleşimleri için her bir düğüm noktasındaki maksimum düşey yer değiştirmelerin birleştirilmesi ile bir zarf oluşturacak şekilde çizilmiştir.



Şekil 32. Farklı E_2/E_1 oranları için 3-3 aksı boyunca radye temeldeki düşey yer değiştirmeler



Şekil 33. Farklı E_2/E_1 oranları için C-C aksı boyunca radye temeldeki düşey yer değiştirmeler

Beklendiği gibi E_2/E_1 oranı arttıkça zemin sertleşmekte olduğundan düşey yer değiştirmeler azalmaktadır. Düşey yer değiştirmelerdeki azalma miktarı da giderek küçülmektedir. Belli bir değerden sonra zemin elastisite modülündeki değişimin radye temel düşey yer değiştirmelerini etkilemeyeceği söylenebilir.

Zemin derinliğinin sonuçlar üzerindeki etkisini görmek amacıyla yapı geometrisi, deprem bölgesi ve malzeme özellikleri sabit tutularak zemin derinliği (H) 8, 16, 24 ve 32 m için analizler tekrarlanmıştır. Dört farklı zemin derinliği için elde edilen zemin parametreleri, kolon aksenal kuvvetleri, kolon eğilme momentleri, kolon boyuna donatı oranları ve radye temel boyunca oluşan düşey yer değiştirmeler karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.

Farklı zemin derinliği için elde edilen zemin parametreleri Tablo 17’de verilmektedir. Artan zemin derinliği ile birlikte zemin yatak katsayısı azalırken zemin kayma parametresi artmaktadır.

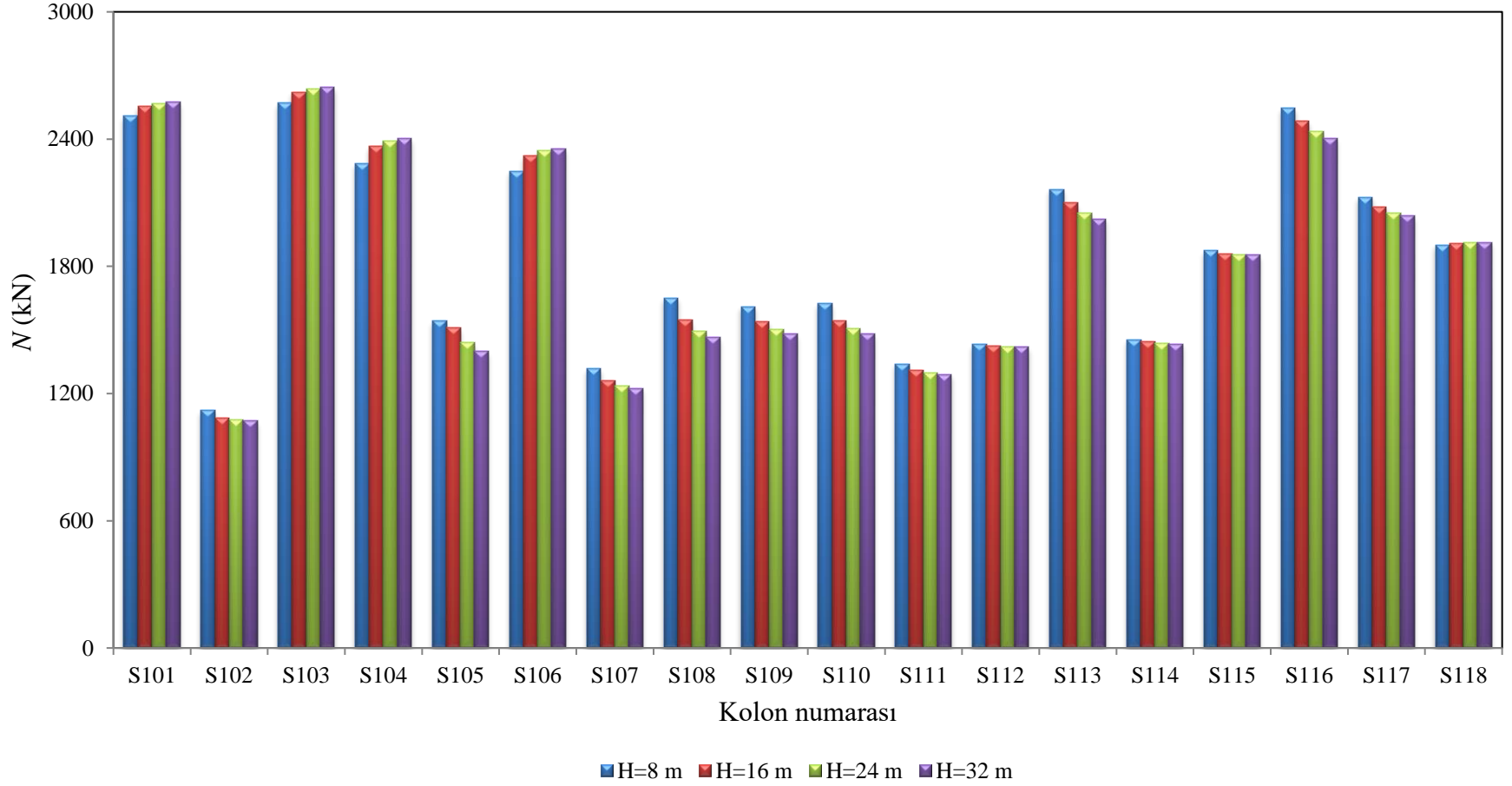
Tablo 17. Zemin yatak katsayısı ve kayma parametresinin zemin derinliğiyle değişimi

	H (m)			
	8	16	24	32
γ	0.53936	1.00289	1.49288	1.98328
k	10048.728	5109.446	3596.153	2970.936
$2t$	47543.867	87197.306	114897.050	131844.531

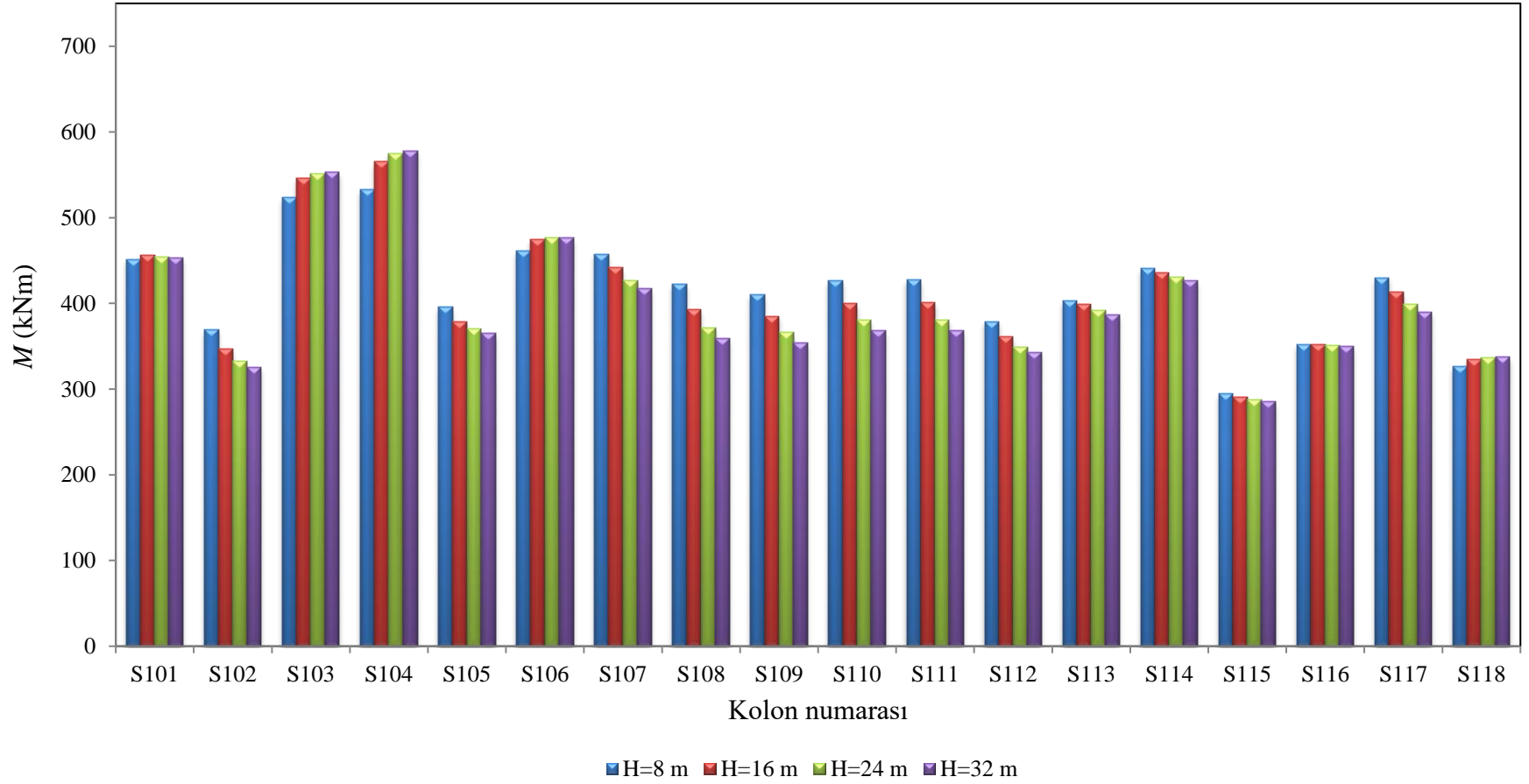
Her bir zemin derinliği için zemin kat kolonlarında en elverişsiz boyuna donatı oranlarını veren yük birleşimine ait normal kuvvet ve eğilme momenti değerleri Tablo 18, Şekil 34 ve Şekil 35’te verilmektedir. Şekil 35’te eğilme momentleri grafikleştirilirken her iki doğrultuda hesaplanan eğilme momentlerinin büyüğü kullanılmıştır. Tablo 18’de verilen kolon normal kuvvet ve momentlerin bir doğrultuda bileşik eğilmeye indirgenerek kullanılmasıyla elde edilen kolon boyuna donatı oranları Tablo 19 ve Şekil 36’da verilmektedir.

Tablo 18. Kolonlar için en elverişsiz boyuna donatı oranlarını veren N - M değerlerinin zemin derinliği ile değişimi

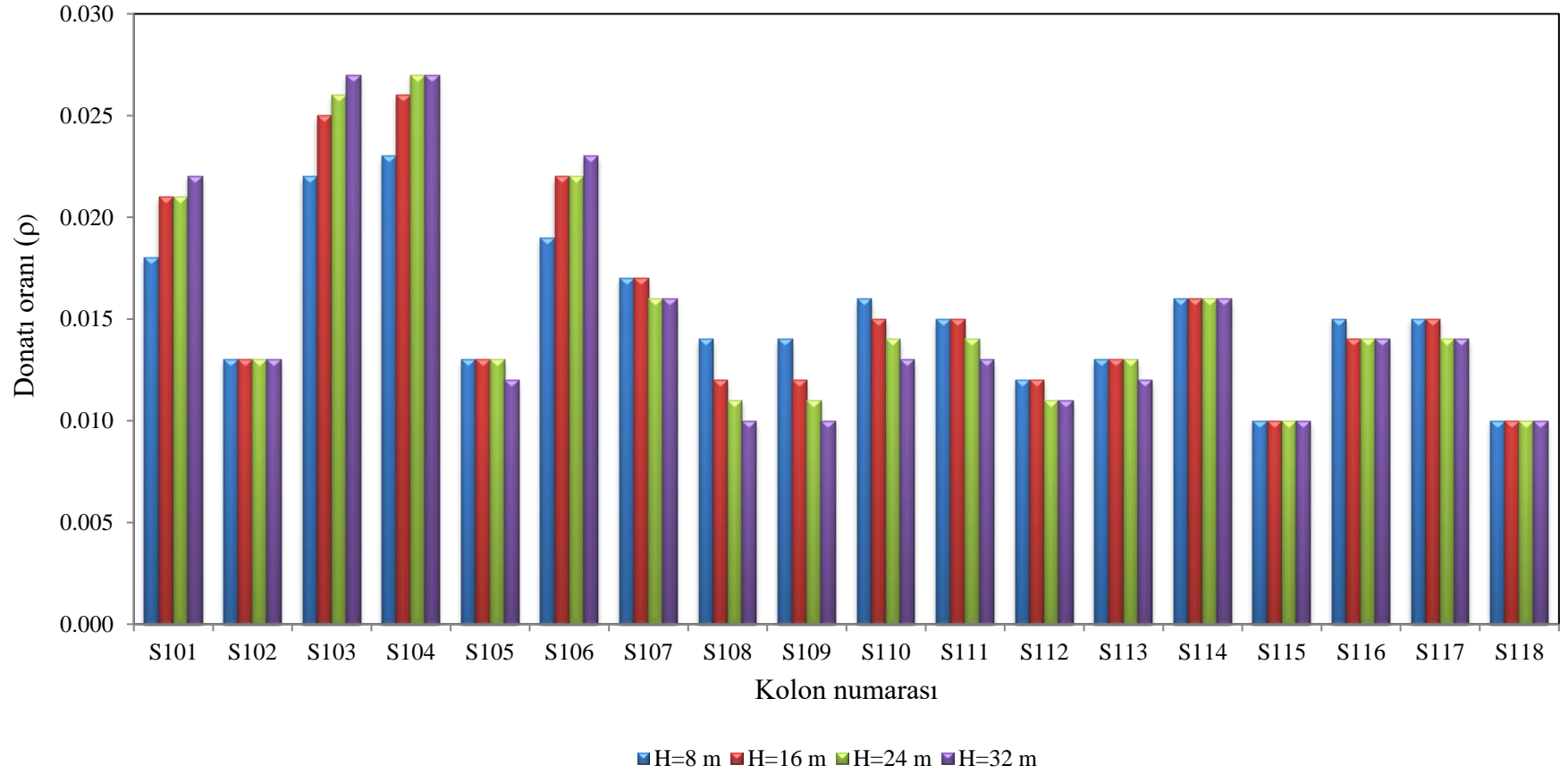
Kolon No	$H = 8$ m			$H = 16$ m			$H = 24$ m			$H = 32$ m		
	N (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)	N (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)	N (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)	N (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)
S101	2508.45	451.54	74.00	2555.33	456.34	125.24	2569.69	454.53	152.77	2575.92	453.29	167.69
S102	1121.84	369.08	51.73	1086.87	347.18	75.50	1075.66	332.57	89.01	1071.43	324.89	96.59
S103	2570.10	523.62	49.78	2622.38	545.95	92.54	2637.31	551.07	115.94	2643.39	553.09	128.70
S104	2283.72	50.11	532.95	2364.15	80.24	565.71	2392.37	96.46	575.41	2403.52	105.35	578.37
S105	1544.06	396.04	29.78	1509.28	41.77	378.97	1439.46	43.51	370.53	1401.05	44.29	364.90
S106	2248.65	81.91	461.13	2320.88	124.56	474.82	2346.01	146.93	476.67	2355.83	159.01	476.03
S107	1317.65	25.07	457.63	1259.01	33.48	441.55	1235.72	39.00	426.96	1225.62	42.38	417.40
S108	1651.65	0.05	422.39	1547.05	4.75	392.84	1493.74	8.26	371.64	1465.49	10.48	358.68
S109	1611.33	15.64	410.32	1539.11	15.20	385.06	1501.84	14.43	365.93	1481.54	13.88	354.07
S110	1625.12	38.96	426.77	1545.56	46.98	399.95	1504.64	50.97	380.26	1482.45	53.18	368.14
S111	1339.88	23.44	427.68	1309.33	39.67	400.67	1295.95	49.20	380.56	1289.90	54.68	368.14
S112	1433.66	20.61	378.89	1426.09	31.60	360.61	1421.55	39.38	349.36	1419.55	44.25	342.67
S113	2163.37	26.48	403.02	2101.11	25.43	398.77	2053.38	24.78	391.91	2023.45	24.42	387.00
S114	1455.48	22.31	440.39	1443.59	31.03	435.95	1437.15	37.07	430.47	1434.22	40.85	426.54
S115	1875.15	32.52	294.29	1858.18	17.98	290.45	1855.29	7.32	287.69	1854.14	0.97	285.61
S116	2545.36	138.36	352.11	2484.71	133.86	351.79	2435.85	126.28	350.79	2404.93	120.98	349.98
S117	2126.54	19.46	429.80	2081.58	413.29	41.52	2053.32	398.63	55.45	2037.74	390.23	63.50
S118	1900.79	56.56	325.99	1907.09	47.16	334.05	1911.56	39.81	336.73	1913.04	35.44	337.38



Şekil 34. Kolon aksenal kuvvetlerinin zemin derinliği ile değişimi



Şekil 35. Kolon eğilme momentlerinin zemin derinliği ile değişimi



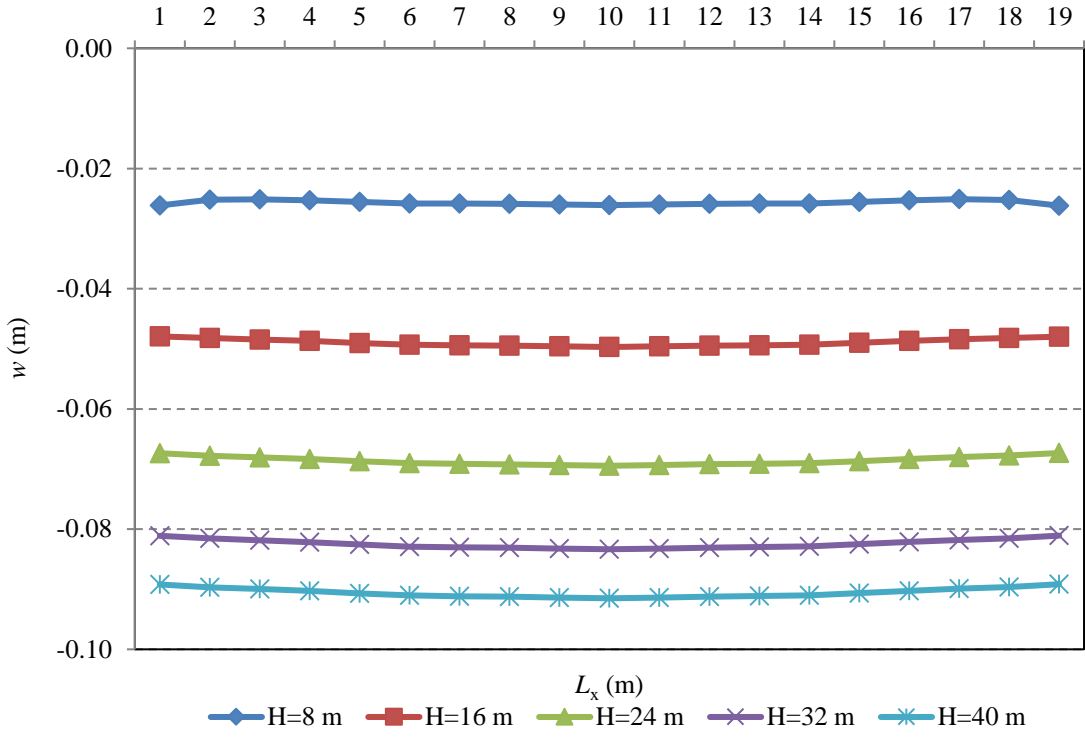
Şekil 36. Kolon donatı oranlarının zemin derinliği ile değişimi

Tablo 19. Kolon donatı oranlarının zemin derinliği ile değişimi

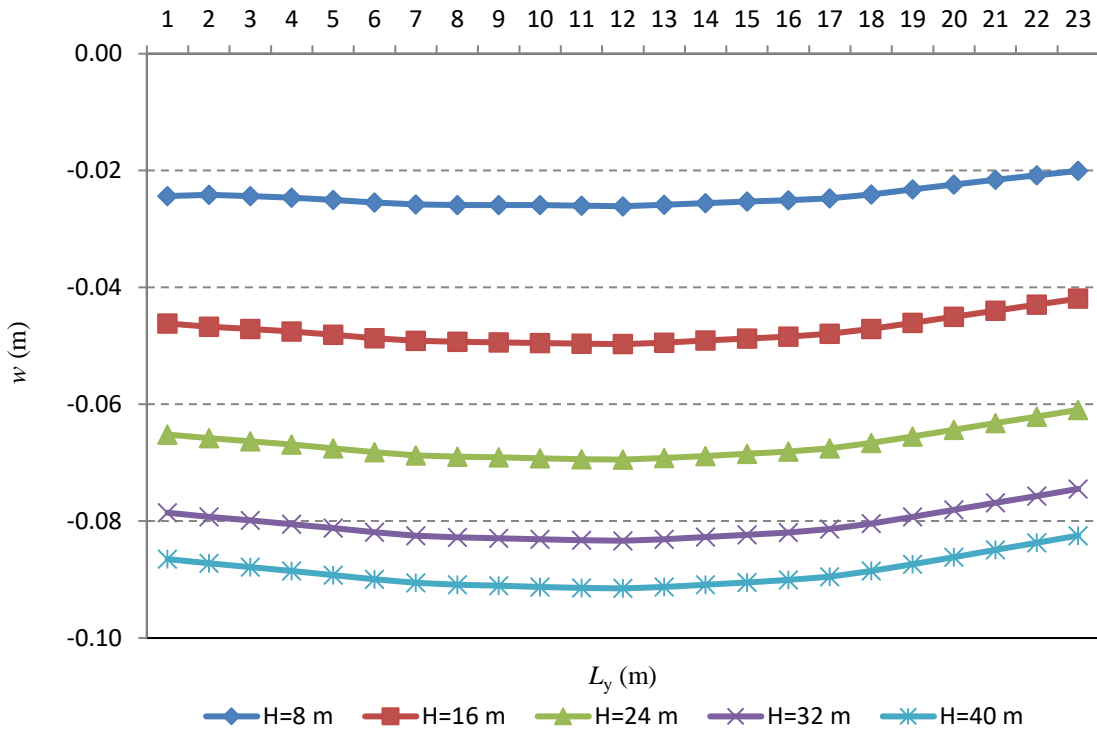
Kolon No	Donatı Oranları			
	$H = 8 \text{ m}$	$H = 16 \text{ m}$	$H = 24 \text{ m}$	$H = 32 \text{ m}$
S101	0.018	0.021	0.021	0.022
S102	0.013	0.013	0.013	0.013
S103	0.022	0.025	0.026	0.027
S104	0.023	0.026	0.027	0.027
S105	0.013	0.013	0.013	0.012
S106	0.019	0.022	0.022	0.023
S107	0.017	0.017	0.016	0.016
S108	0.014	0.012	0.011	0.010
S109	0.014	0.012	0.011	0.010
S110	0.016	0.015	0.014	0.013
S111	0.015	0.015	0.014	0.013
S112	0.012	0.012	0.011	0.011
S113	0.013	0.013	0.013	0.012
S114	0.016	0.016	0.016	0.016
S115	0.010	0.010	0.010	0.010
S116	0.015	0.014	0.014	0.014
S117	0.015	0.015	0.014	0.014
S118	0.010	0.010	0.010	0.010

Şekil 34 ve Tablo 18'den anlaşıldığı gibi modelin en alt kolonlarında hesaplanan aksenal kuvvetlerde az da olsa değişimler görülmüş olup, 13 kolonda azalma olurken 5 kolonda ise artış gözlemlenmiştir. Şekil 35'de kolon eğilme momentleri grafik haline getirilmiş olup yine 5 kolonda moment değerlerinde artma, 13 kolonda ise azalma gözlemlenmiştir. Şekil 36 ve Tablo 19'a göre 5 kolonda kolon boyuna donatı oranı sabit kalırken 4 kolonda artış, 9 kolonda ise azalma olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca sadece S115 ve S118 kolonlarının minimum donatı oranında kaldığından değişimlerin hangi oranda olduğu görülememiştir.

Radye temelin 3-3 ve C-C akslarındaki düşey yer değiştirmelerinin derinlikle değişimi Şekil 37 ve Şekil 38'de verilmektedir. Grafikler çalışmada dikkate alınan tüm yük birleşimleri için her bir düğüm noktasındaki maksimum düşey yer değiştirmelerin birleştirilmesi ile bir zarf oluşturacak şekilde çizilmiştir.



Şekil 37. 3-3 aksı boyunca radye temeldeki düşey yer değiştirmelerin zemin derinliği ile değişimi



Şekil 38. C-C aksı boyunca radye temeldeki düşey yer değiştirmelerin zemin derinliği ile değişimi

Her iki grafikte de zemin derinliği arttıkça düşey yer değiştirmenin arttığı fakat bu artışın azalma eğiliminde olduğu görülmüştür. Dolayısıyla belli bir zemin derinliğinden sonra zemin derinliğinin temel yer değiştirmeleri üzerindeki etkisi oldukça azalmaktadır.

2.4.4. Uygulama 4: Deprem Bölgesi ve Kat Adedinin Yapı Davranışına Etkisi

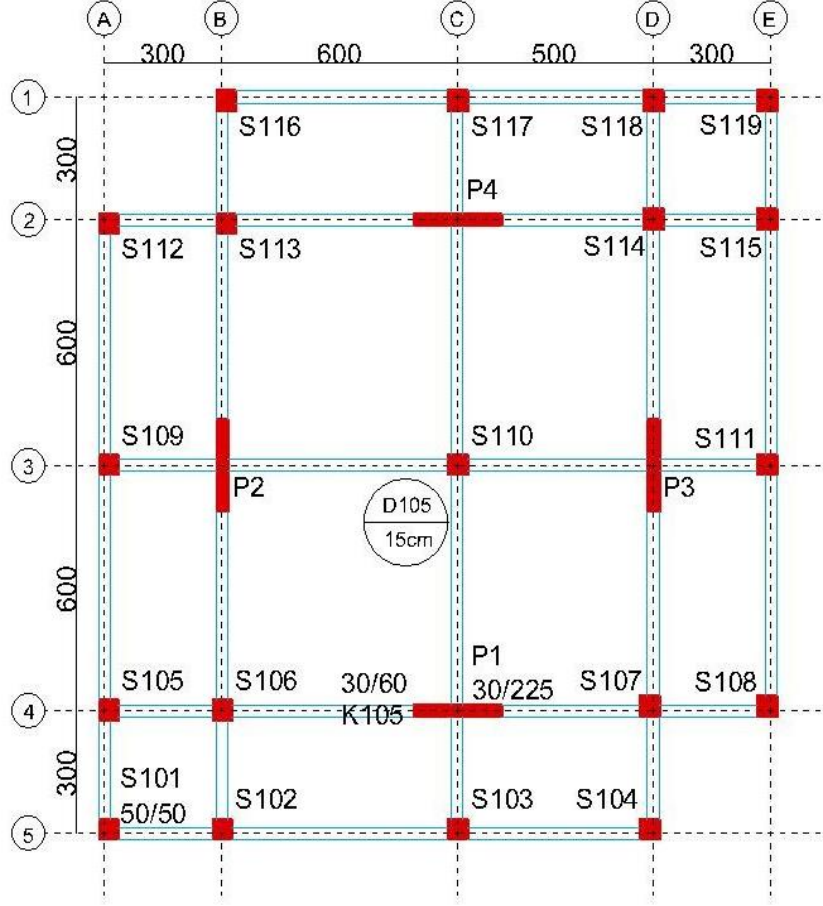
Son uygulama için seçilen yapı modeli üzerinde deprem bölgelerinin ve kat sayılarının değişiminin yapı davranışına etkisi araştırılmıştır. Yapının temeli 19 m x 20 m boyutlarında ve 75 cm kalınlığa sahip radye plaktır. Kat yüksekliği 3 m'dir. Betonun elastisite modülü 28 GPa, Poisson oranı 0.2 ve birim hacim ağırlığı 25 kN/m³ tür. Zeminin poisson oranı 0,25 olarak alınmıştır. Zemin derinliği ise 10 m kabul edilmiştir. Yapının oturduğu zeminin sınıfı Z4'dür. Tüm kirişler 30×60 cm² kesitine sahiptir. Düşey taşıyıcı elemanlar 50×50 cm² kolonlardan ve 30×225 cm² betonarme perdelerden oluşmaktadır.

Bu uygulamada da zemin cinsi sıkı kum olarak kabul edilmiş ve sıkı kum için Bowles [27] tarafından elastisite modülü ve zemin yatak katsayı için Tablo 9 da verilen alt ve üst sınırların ortalaması alınarak $E_s=65500$ kN/m² ve $k=96000$ kN/m³ kullanılmıştır.

Kalıp planına göre tüm kirişlerde 20 cm kalınlığında gaz beton duvarlar ve sıva mevcuttur. Gaz beton duvar malzemesinin birim hacim ağırlığı 5 kN/m³, duvarın her iki yüzüne yapılacak 2cm kalınlığında sıva birim hacim ağırlığı 20 kN/m³ alınmıştır. Döşeme kalınlıkları tüm döşemelerde 15 cm, olup hareketli yük 2 kN/m² alınmıştır. Döşemelerin hepsinde birim hacim ağırlığı 20 kN/m³ kalınlığı 5 cm olan tesviye betonu, birim hacim ağırlığı 15 kN/m³, kalınlığı 5mm olan pvc yer kaplaması dikkate alınmıştır. Deprem hesabında Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılmıştır. Yapının 1. derece deprem kuşağında bulunduğu varsayılmıştır. Deprem Yönetmeliği gereği 1. derece deprem kuşağında yer alan yapılar için etkin yer ivmesi katsayısı $A_0=0.4$ alınmaktadır. Yapı önem katsayısı $I=1$ ve taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=4$ 'tür. Yapının kat kalıp planı Şekil 39'da verilmektedir.

Şekil 39'da verilen yapı örneği rijit yapı-zemin, Winkler ve Geliştirilmiş Vlasov modellerine göre ayrı ayrı analiz edilerek kolon aksenal kuvvetleri, kolon eğilme momentleri ve kolon boyuna donatı oranları karşılaştırılmıştır. Ardından Geliştirilmiş Vlasov modeli kullanılarak deprem bölgesi 1, 2, 3 ve 4 olmak üzere değiştirilerek sonuçlar üzerindeki etkisi ve son olarak kat sayıları 4, 6 ve 8 alınarak sonuçlar üzerindeki etkisi

araştırılmıştır. Ayrıca radye temelin x ve y eksenini boyunca orta noktalarının yer değiştirmelerini içeren grafikler oluşturulmuştur.



Şekil 39. Tip-3 yapı örneğinin kalıp planı

Yapının deprem hesabında, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılmıştır. ± 0.05 ek dış merkezlik göz önünde bulundurularak $1.4G+1.6Q$, $G+Q\pm E_x$ ve $G+Q\pm E_y$ yük birleşimleri hesaba katılmıştır. Her bir yapı-zemin modeli için yapının doğal titreşim periyotları ve taban kesme kuvvetleri Tablo 21’de verilmektedir. Tablodan görüldüğü gibi rijit yapı-zemin modeli kullanıldığında en küçük periyotlar, Geliştirilmiş Vlasov modeli kullanıldığında ise en büyük periyotlar elde edilmiştir. Rijit bir temel sisteminden daha esnek bir temel sistemine doğru yapı doğal titreşimleri artmıştır. Taban kesme kuvveti değerleri rijit yapı-zemin modeli ve Winkler modeli kullanıldığında en büyük değeri alırken Geliştirilmiş Vlasov modeli kullanıldığında en küçük değeri aldığı görülmüştür.

Tablo 20. Tip-3 türü yapının doğal titreşim periyotları ve taban kesme kuvvetleri

Yapı-Zemin Modelleri	T_{1x} (sn)	T_{1y} (sn)	V_{tx} (kN)	V_{ty} (kN)
Rijit Yapı-Zemin Modeli	0.7805	0.7615	6804.7880	6804.7880
Winkler Modeli	0.8556	0.8379	6804.7880	6804.7880
Geliştirilmiş Vlasov Modeli	0.9111	0.8952	6679.5630	6773.4370

Tablo 20’de verilen yapı doğal titreşim periyotları kullanılarak eşdeğer deprem yükü yöntemine göre hesaplanan ve kat seviyelerine etkileyen eşdeğer deprem yükleri Tablo 21’de verilmektedir.

Tablo 21. Tip-3 türü yapının kat seviyesine etkileyen eşdeğer deprem yükleri

Kat	Rijit Yapı-Zemin Modeli		Winkler Modeli		Geliştirilmiş Vlasov Modeli	
	F_x (kN)	F_y (kN)	F_x (kN)	F_y (kN)	F_x (kN)	F_y (kN)
8	1298.24	1298.24	1298.24	1298.24	1274.35	1292.26
7	1274.56	1274.56	1274.56	1274.56	1251.11	1268.69
6	1092.48	1092.48	1092.48	1092.48	1072.38	1087.45
5	910.40	910.40	910.40	910.40	893.65	906.21
4	728.32	728.32	728.32	728.32	714.92	724.97
3	546.24	546.24	546.24	546.24	536.19	543.72
2	364.16	364.16	364.16	364.16	357.46	362.78
1	182.08	182.08	182.08	182.08	178.73	181.24

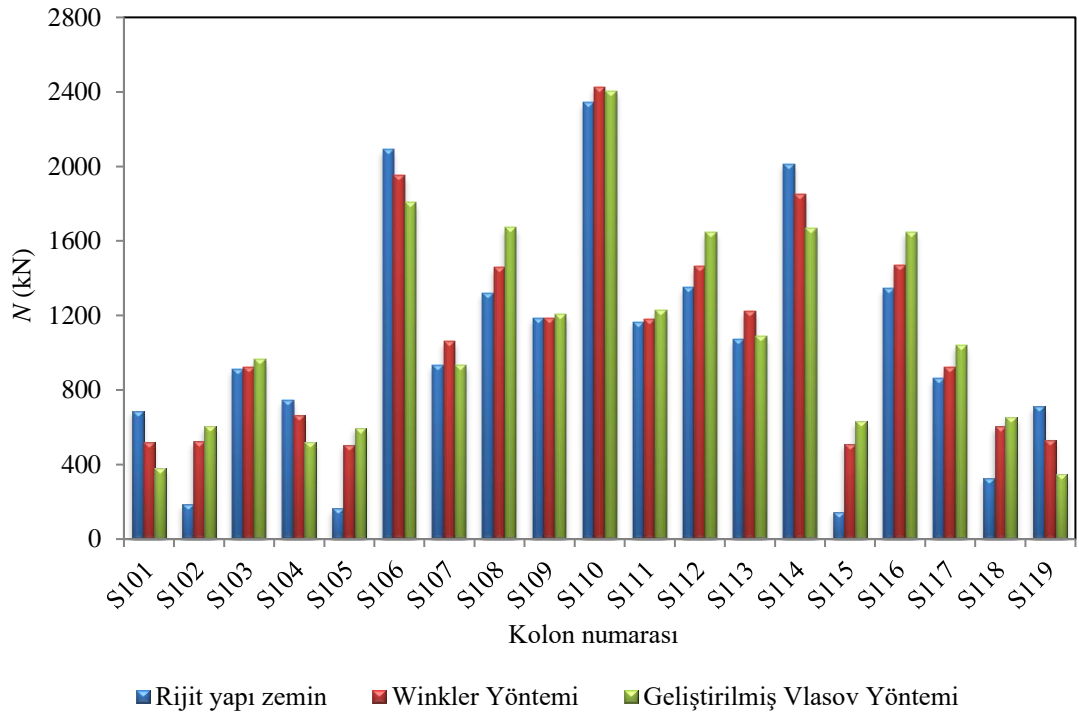
Rijit yapı zemin ve Winkler modelinde yapının doğal titreşim periyotları (T_x ve T_y) Z4 yerel zemin sınıfı için Deprem Yönetmeliği’nde verilen spektrum karakteristik periyotları $T_A=0.2$ s ve $T_B=0.9$ s arasında kaldığından spektrum katsayısı $S(T)=2.5$ ($T_A < T \leq T_B$ için) alınmaktadır. Taban kesme kuvvetleri ve kat seviyelerine etkileyen eşdeğer deprem yükleri rijit yapı zemin modelinde x ve y eksenleri için aynıdır. Ancak Geliştirilmiş Vlasov modeli ile çözümde yapının doğal titreşim periyodu artmış ve $T_B < T$ olduğundan spektrum katsayısı $S(T)=2.5 \times (T_B/T)^{0.8}$ bağıntısından hesaplanmıştır. Bu da kat seviyelerine etki eden yatay kuvvetlerin değişmesine neden olmuştur.

8 katlı betonarme yapı örneğinin en alt kolanlarında hesaplanan kolon eksenel kuvvetleri ve kolon eğilme momentleri Tablo 22, Şekil 40 ve Şekil 41’de verilmektedir. Tablo 22’de verilen normal kuvvet ve eğilme momentleri bir doğrultuda bileşik eğilmeye

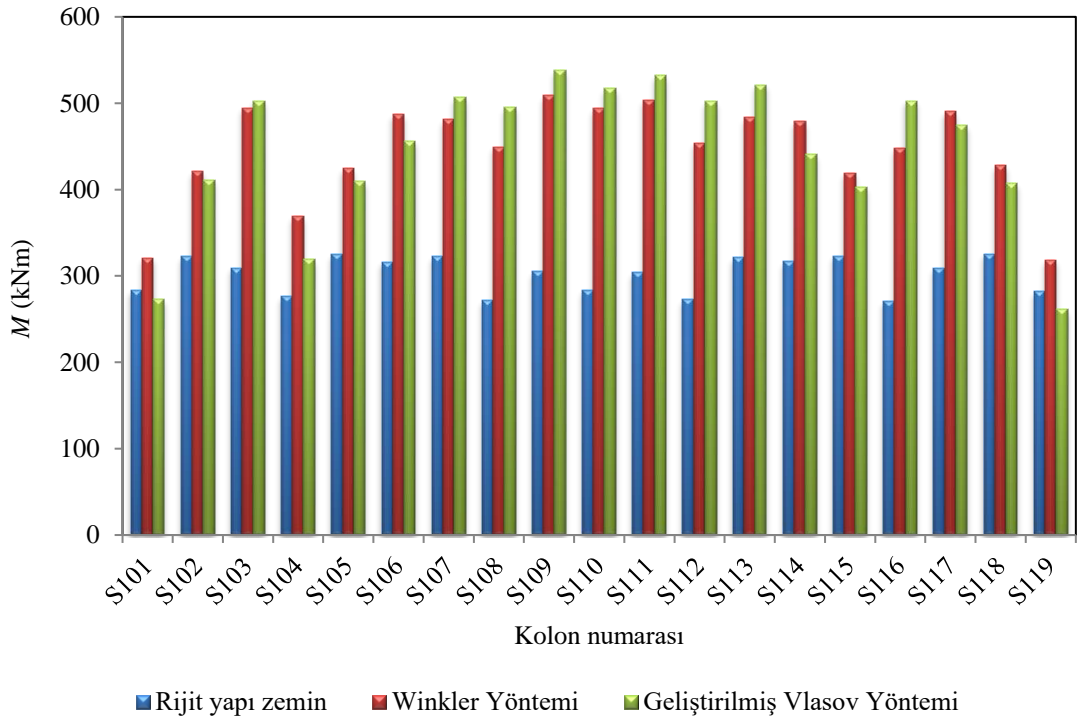
indirgenerek hesaplanan kolon boyuna donatı oranları Tablo 23 ve Şekil 42’de verilmektedir. Eğilme momentlerinde elastik zemin etkisi daha fazla olmuştur. Kullanılan zemin modeline bağlı olarak da kesit tesirleri değişmektedir. Ayrıca Şekil 42 ve Tablo 23’de görüldüğü gibi eğilme momentlerindeki bu değişim kolon boyuna donatı oranlarına da yansımıştır. Winkler modeli ve Geliştirilmiş Vlasov modeli kullanıldığında rijit yapı-zemin modeline göre daha büyük donatı oranları hesaplanmıştır.

Tablo 22. Tip-3 türü yapıda kolonlar için en elverişsiz boyuna donatı oranlarını veren N - M değerleri

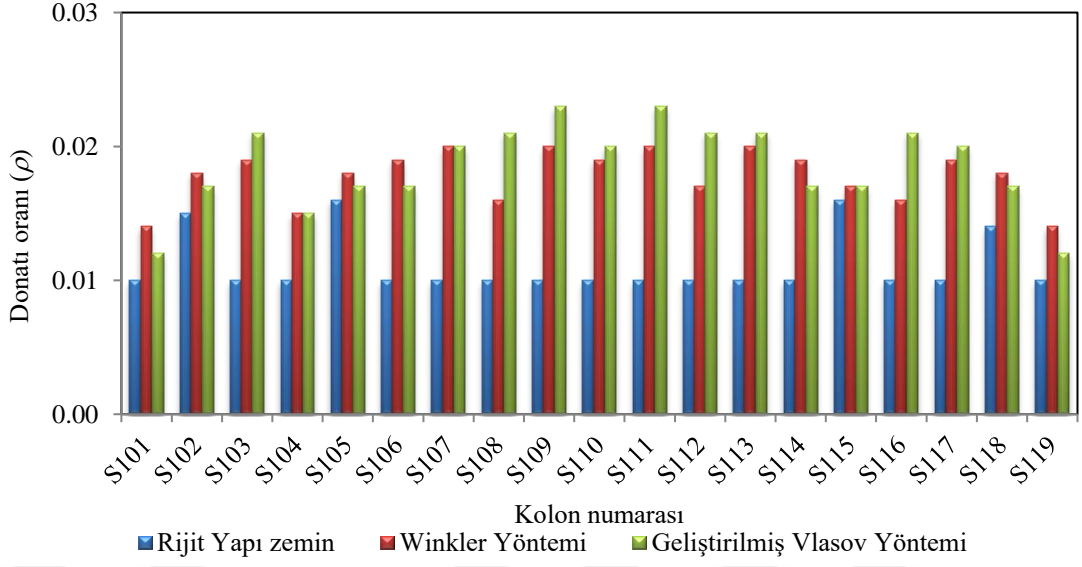
Kolon No	Rijit Yapı-Zemin Modeli			Winkler Modeli			Geliştirilmiş Vlasov Modeli		
	N (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)	N (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)	N (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)
S101	686.17	29.96	283.36	517.18	40.97	320.83	377.97	46.61	273.29
S102	185.73	322.56	15.53	524.32	420.80	17.40	604.12	411.15	24.58
S103	912.25	309.13	0.68	920.59	494.25	3.40	964.05	502.55	37.42
S104	743.59	26.51	275.72	666.95	47.52	368.47	518.41	71.32	319.53
S105	164.14	16.12	324.94	504.37	20.14	424.15	597.29	21.08	409.61
S106	2092.58	316.42	24.61	1950.01	486.62	15.81	1806.89	456.35	27.57
S107	934.87	19.17	322.22	1061.60	35.49	481.28	933.85	4.68	506.57
S108	1320.23	16.94	271.48	1458.00	8.66	449.45	1671.82	63.05	495.36
S109	1187.29	1.69	305.31	1183.46	2.87	508.71	1206.14	33.88	537.68
S110	2342.10	3.64	283.78	2426.91	7.06	493.68	2403.18	18.45	517.37
S111	1165.81	1.54	303.89	1178.04	8.75	503.57	1225.10	48.57	531.94
S112	1349.00	17.29	272.69	1461.73	19.11	453.91	1646.65	40.97	502.08
S113	1071.78	321.79	17.28	1220.22	483.73	48.48	1087.40	521.26	19.48
S114	2013.88	23.29	316.94	1849.88	24.42	479.19	1667.53	39.62	440.39
S115	147.17	15.85	323.50	510.16	10.88	419.34	630.27	40.40	402.83
S116	1345.38	270.73	16.54	1470.96	448.39	15.20	1646.90	502.68	45.08
S117	861.49	309.06	2.03	920.69	490.49	12.92	1038.99	474.49	50.00
S118	325.38	325.67	15.10	603.59	428.13	16.59	654.29	406.93	25.25
S119	711.58	281.79	29.22	531.59	318.47	42.35	346.42	261.25	47.48



Şekil 40. Tip-3 türü yapıda kolon aksel kuvvetlerinin yapı-zemin modeli ile değişimi



Şekil 41. Tip-3 türü yapıda kolon eğilme momentlerinin yapı zemin modeli ile değişimi



Şekil 42. Tip-3 türü yapıda kolon boyuna donatı oranlarının yapı-zemin modeli ile değişimi

Tablo 23. Tip-3 türü kolon donatı oranlarının yapı-zemin modeli ile değişimi

Kolon No	Donatı Oranları		
	Rijit Yapı-Zemin Modeli	Winkler Modeli	Geliştirilmiş Vlasov Modeli
S101	0.010	0.014	0.012
S102	0.015	0.018	0.017
S103	0.010	0.019	0.021
S104	0.010	0.015	0.015
S105	0.016	0.018	0.017
S106	0.010	0.019	0.017
S107	0.010	0.020	0.020
S108	0.010	0.016	0.021
S109	0.010	0.020	0.023
S110	0.010	0.019	0.020
S111	0.010	0.020	0.023
S112	0.010	0.017	0.021
S113	0.010	0.020	0.021
S114	0.010	0.019	0.017
S115	0.016	0.017	0.017
S116	0.010	0.016	0.021
S117	0.010	0.019	0.020
S118	0.014	0.018	0.017
S119	0.010	0.014	0.012

Yapı zemin modellerinin etkisi incelenirken yapının 1. deprem bölgesinde bulunduğu varsayılmıştır. Aynı kalıp planına sahip yapı, diğer zemin özellikleri değiştirilmeden sadece Geliştirilmiş Vlasov modeli için deprem bölgesi 1, 2, 3 ve 4 olacak şekilde değiştirilerek, tekrar analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar tablolar ve grafikler halinde sunulmuştur.

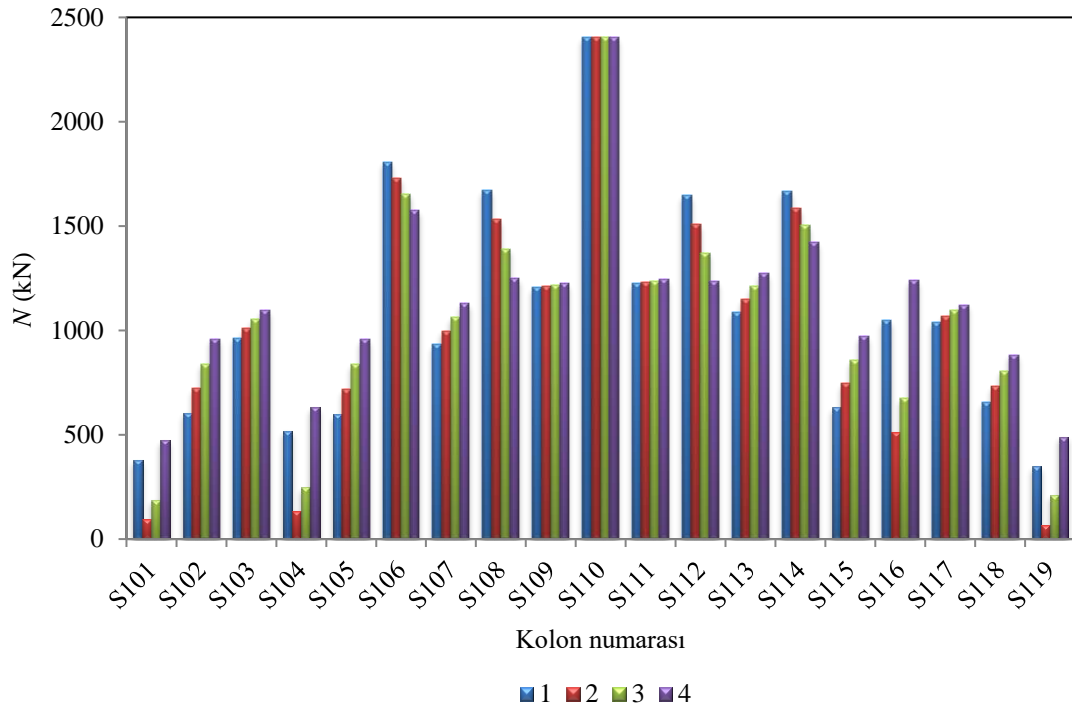
Tablo 24’de verilen zemin parametreleri, deprem bölgesi değiştirildiğinde sadece yapıya etkileyen yatay yükler değiştiğinden ve zemin özellikleri değişmediğinden, birbirine oldukça yakın çıkmıştır.

Tablo 24. Zemin parametrelerinin deprem bölgesine göre değişimi

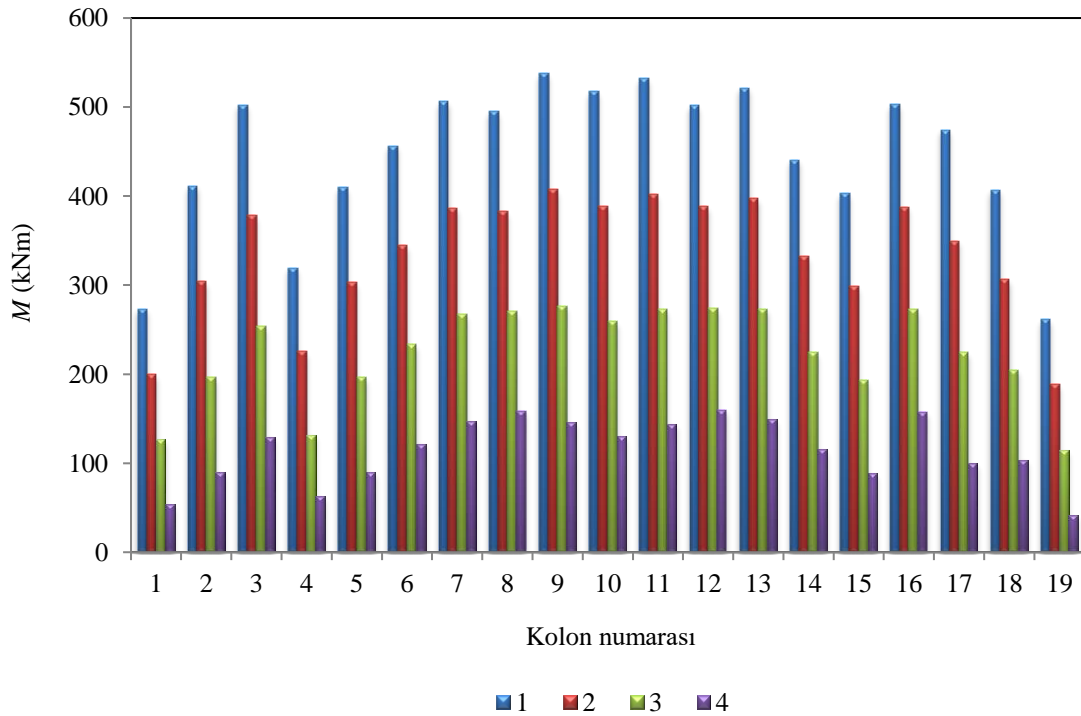
	Deprem Bölgesi			
	1	2	3	4
γ	0.7471	0.6656	0.6630	0.6630
k	14534.618	14502.458	14501.582	14501.582
$2t$	103456.550	104940.152	104985.941	104985.941

Kolon aksel kuvvetlerinin ve eğilme momentlerinin deprem bölgelerine göre değişimini gösteren grafikler Şekil 43 ve Şekil 44’de verilmektedir. Deprem bölgesi değiştirildiğinde etkin yer ivme katsayısı (A_0) sırasıyla 0.4, 0.3, 0.2 ve 0.1 olarak değiştiğinden katlara etkileyen yatay kuvvetler de değişmiştir. Deprem bölgesi yapının aksel kuvvetlerinde değişime neden olmuştur. Ancak yatay kuvvetler daha çok eğilme momentini etkilediğinden deprem riski azaldıkça oluşan eğilme momentleri de önemli ölçüde azalmıştır.

Donatı oranlarının deprem bölgesine göre değişimi Şekil 45 ve Tablo 25’de verilmiştir. Eğilme momentlerindeki azalmalar donatı oranlarına da yansımış 3. ve 4. deprem bölgeleri için yapılan çözümlerinde yapının en alt kolonlarında ki donatı oranları minimum donatı oranı olan 0.010 olmuştur. Beklenildiği gibi en fazla donatı oranı 1. deprem bölgesinde hesaplanmıştır.



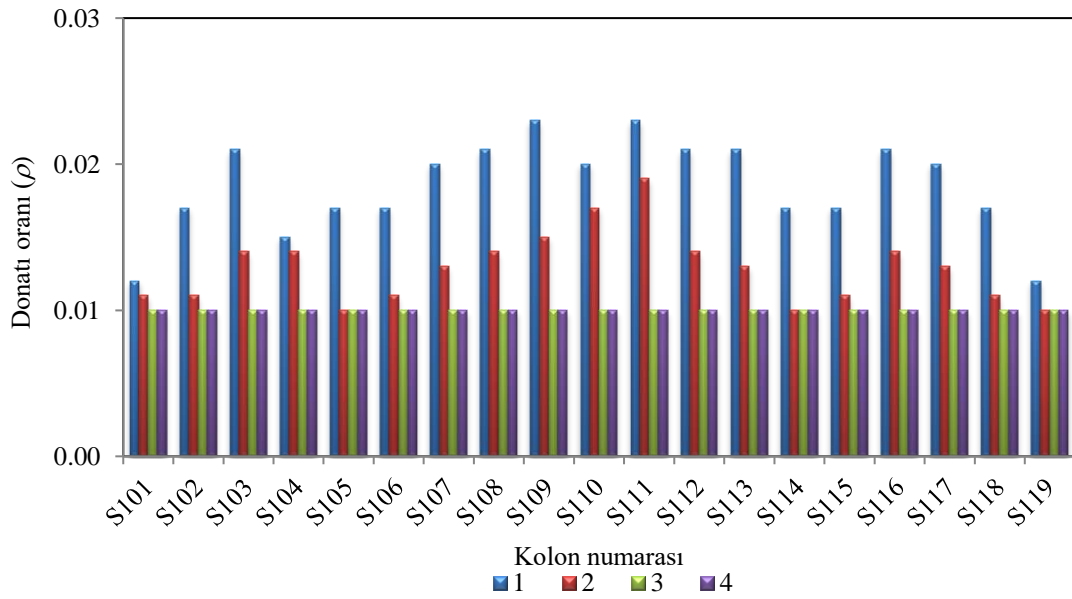
Şekil 43. Kolon aksel kuvvetlerinin deprem bölgesine göre değişimi



Şekil 44. Kolon eğilme momentlerinin deprem bölgesine göre değişimi

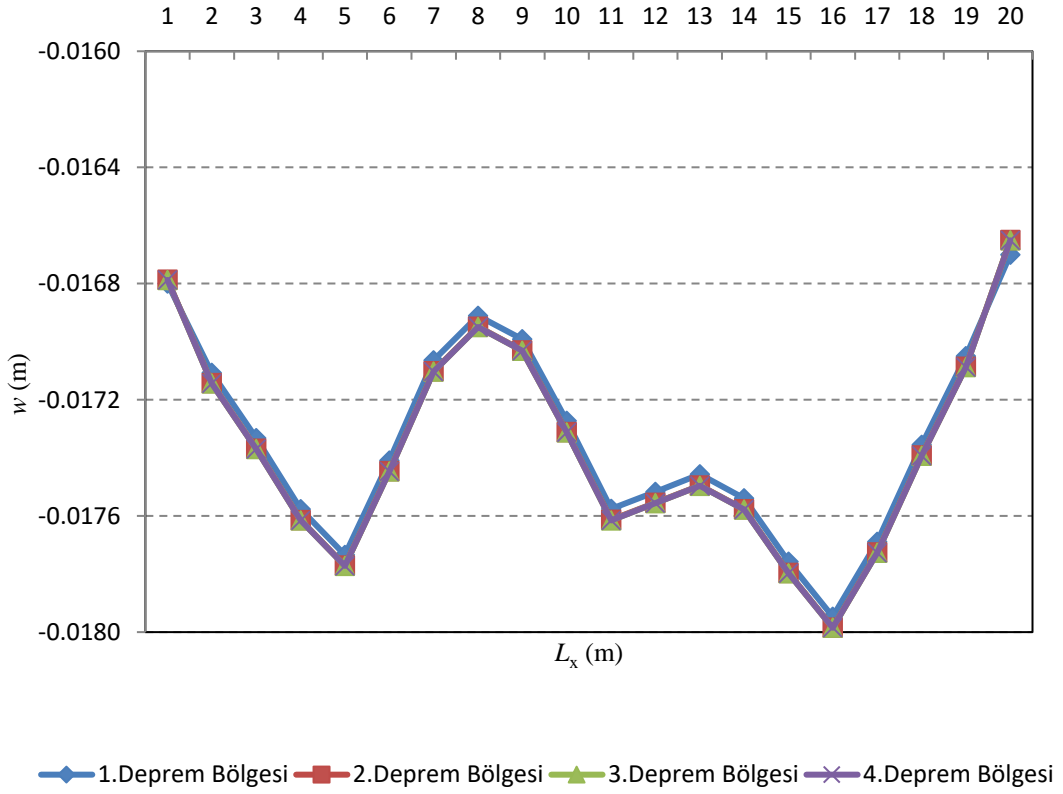
Tablo 25. Kolon boyuna donatı oranlarının deprem bölgesine göre değişimi

Kolon No	Donatı Oranları			
	1	2	3	4
S101	0.012	0.011	0.010	0.010
S102	0.017	0.011	0.010	0.010
S103	0.021	0.014	0.010	0.010
S104	0.015	0.014	0.010	0.010
S105	0.017	0.010	0.010	0.010
S106	0.017	0.011	0.010	0.010
S107	0.020	0.013	0.010	0.010
S108	0.021	0.014	0.010	0.010
S109	0.023	0.015	0.010	0.010
S110	0.020	0.017	0.010	0.010
S111	0.023	0.019	0.010	0.010
S112	0.021	0.014	0.010	0.010
S113	0.021	0.013	0.010	0.010
S114	0.017	0.010	0.010	0.010
S115	0.017	0.011	0.010	0.010
S116	0.021	0.014	0.010	0.010
S117	0.020	0.013	0.010	0.010
S118	0.017	0.011	0.010	0.010
S119	0.012	0.010	0.010	0.010

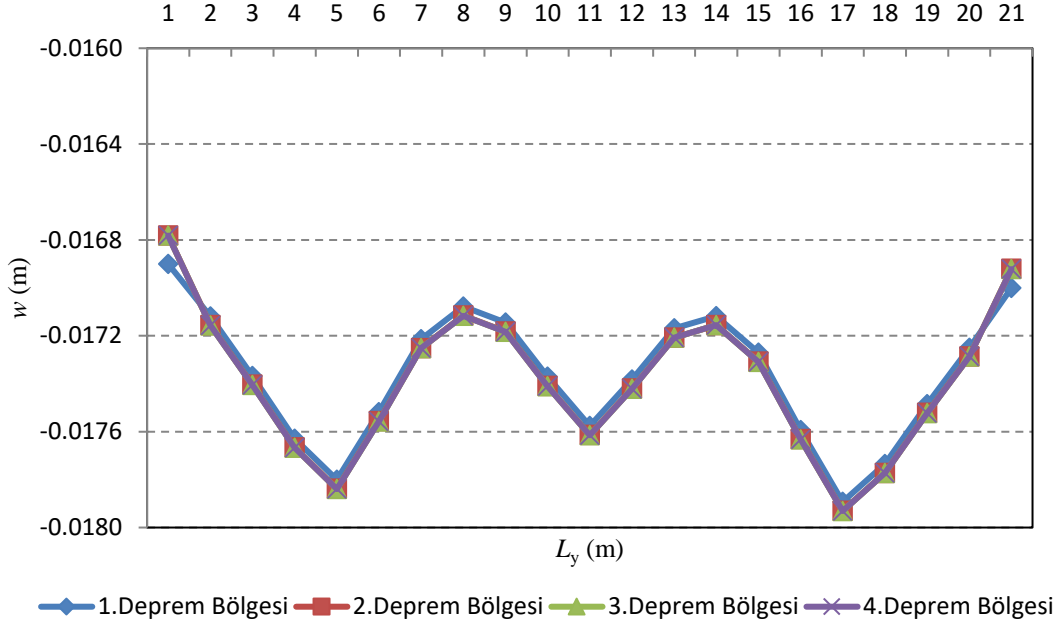


Şekil 45. Kolon boyuna donatı oranlarının deprem bölgelerine göre değişimi

Radye temel in x eksen i ve y eksen i boyunca açıklık ortasındaki düşey yer değiştirmeleri şekil 46 ve şekil 47’de verilmiştir. Grafikler çalışmada dikkate alınan tüm yük birleşimleri için her bir düğüm noktasındaki maksimum düşey yer değiştirmelerin birleştirilmesi ile bir zarf oluşturacak şekilde çizilmiştir. Her iki grafikte de değerler her ne kadar st üste gibi görünse de 1.deprem bölgesinde düşey yer değiştirme diğer deprem bölgelerine göre daha büyük olduğu görülmüştür. Deprem bölgelerinin değişmesi yapı düşey yüklerini etkilememekte sadece yatay deprem yüklerini değiştirmektedir. Dolayısıyla temel tabanında oluşan düşey yer değiştirmeler arasındaki farklar sınırlı kalmıştır.



şekil 46. Radye temel in x doğrultusundaki orta eksen i boyunca düşey yer değiştirmesinin deprem bölgesine göre değişimi



Şekil 47. Radye temelin y doğrultusundaki orta eksen boyunca düşey yer değiştirmesinin deprem bölgesi ile değişimi

Aynı kalıp planına sahip modelin diğer özellikleri değiştirilmeden sadece kat sayısı 4, 6 ve 8 olacak şekilde analizler tekrarlanıp zemin parametreleri, en alt kolonların aksenal kuvvetleri, eğilme momentleri ve donatı oranları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar grafikler ve tablolar halinde sunulmuştur.

Geliştirilmiş Vlasov modeli ile yapılan çözümlerden elde edilen zemin yatak katsayısı (k) ve kayma parametresi ($2t$) değerleri Tablo 26'da verilmektedir. Kat sayısı arttığında yapının ağırlığı da artmaktadır. Ancak zemin malzeme özellikleri sabit tutulduğundan düşey yüklerdeki bu artış zemin parametrelerinde beklenildiği kadar olmamış ve sınırlı düzeyde kalmıştır. Bunun zemin elastisite modülünün büyük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

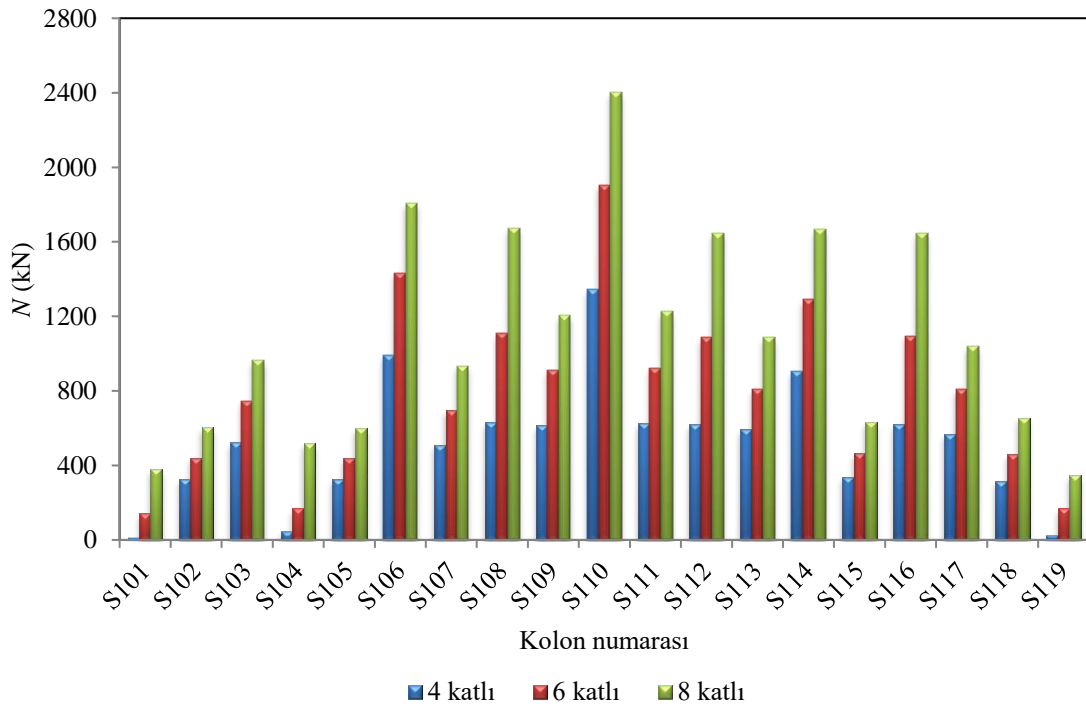
Tablo 26. Zemin parametrelerinin kat sayısına göre değişimi

	Kat Sayısı		
	4	6	8
γ	0.4139	0.5407	0.7471
k	14453.565	14470.415	14534.618
$2t$	108633.853	106954.144	103456.550

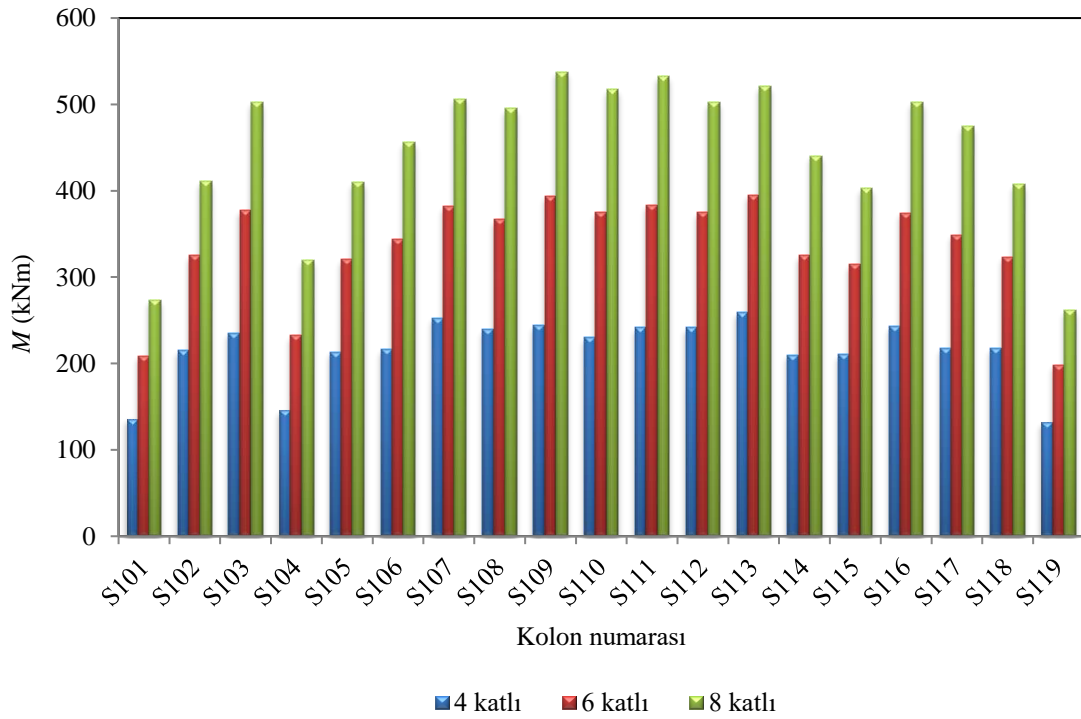
Kat sayıları değiştirilerek tekrar edilen analizlerden en alt kolonlar için elde edilen kesit tesirleri Tablo 27’de verilmektedir. Kolon aksenal kuvvetleri Şekil 48’de ve her iki doğrultuda hesaplanan eğilme momentlerin büyük olanları Şekil 49’da grafik olarak sunulmuştur.

Tablo 27. Kolonlar için en elverişsiz boyuna donatı oranlarını veren N - M değerlerinin katsayısı ile değişimi

Kolon No	4 Katlı			6 Katlı			8 Katlı		
	N (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)	N (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)	N (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)
S101	12.21	35.11	135.83	140.80	44.35	208.91	377.97	46.61	273.29
S102	325.90	214.91	21.23	440.23	324.84	23.33	604.12	411.15	24.58
S103	522.01	235.20	27.85	745.84	377.02	33.61	964.05	502.55	37.42
S104	46.90	48.29	145.96	170.06	58.01	232.31	518.41	71.32	319.53
S105	323.92	20.02	213.33	438.56	20.97	320.63	597.29	21.08	409.61
S106	992.05	216.29	18.63	1432.58	343.47	25.94	1806.89	456.35	27.57
S107	510.19	13.07	252.60	696.07	10.31	382.22	933.85	4.68	506.57
S108	630.88	37.60	239.10	1108.83	50.23	366.69	1671.82	63.05	495.36
S109	613.93	26.02	243.91	912.45	31.06	394.25	1206.14	33.88	537.68
S110	1345.43	6.67	229.76	1906.06	12.88	375.05	2403.18	18.45	517.37
S111	625.22	32.87	241.61	921.04	40.88	383.80	1225.10	48.57	531.94
S112	618.96	28.31	241.83	1087.14	33.15	375.22	1646.65	40.97	502.08
S113	590.72	258.90	337.00	809.82	395.06	6.28	1087.40	521.26	19.48
S114	905.45	25.21	209.85	1290.27	33.77	325.18	1667.53	39.62	440.39
S115	339.43	27.81	210.40	462.63	36.96	314.84	630.27	40.40	402.83
S116	621.49	242.63	30.33	1093.86	374.41	37.93	1646.90	502.68	45.08
S117	567.35	217.75	32.10	806.46	348.76	41.01	1038.99	474.49	50.00
S118	315.36	217.59	21.84	458.81	323.30	26.92	654.29	406.93	25.25
S119	26.49	131.78	34.83	168.44	198.35	43.38	346.42	261.25	47.48



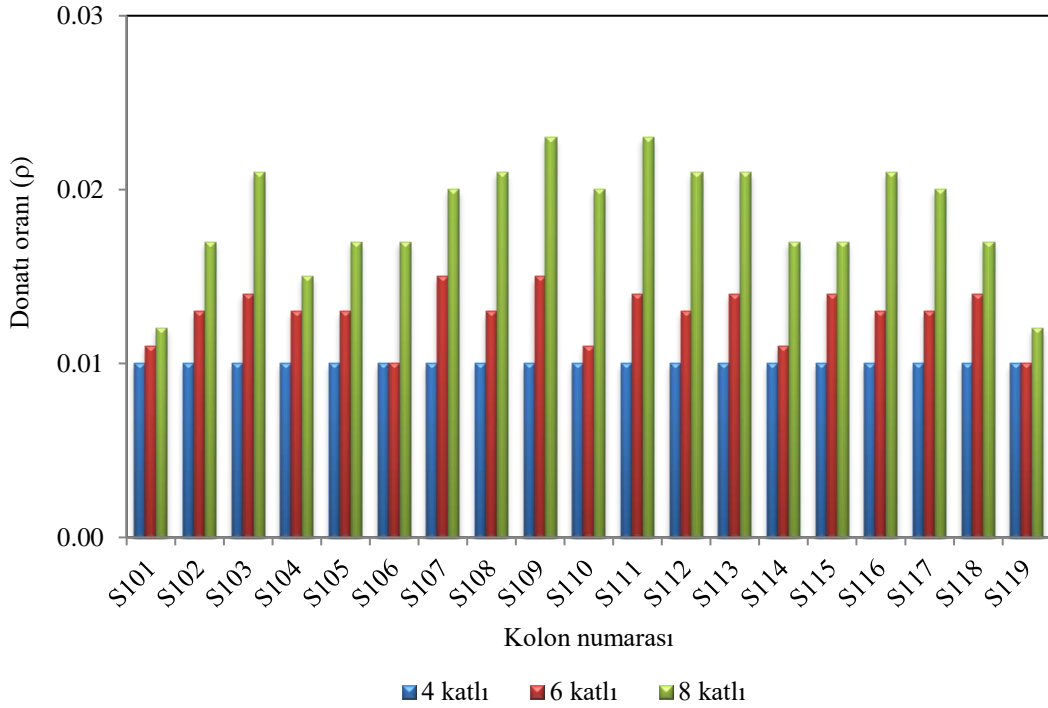
Şekil 48. Kolon aksel kuvvetlerinin kat sayısı ile değişimi



Şekil 49. Kolon eğilme momentlerinin kat sayısı ile değişimi

Tablo 27 ve Şekil 48’de görüldüğü gibi kat sayısı arttıkça kolon eksenel yükleri büyümektedir. Ayrıca en büyük eksenel kuvvetin kalıp planında ortada bulunan ve kolon etki alanı en fazla olan S110 kolonunda olduğu görülmüştür. Kolon eğilme momentlerinin de eksenel kuvvetlerde olduğu gibi artan kat adediyle arttığı Şekil 49’da görülmektedir.

Tablo 27’de verilen kesit tesirlerinin bir doğrultuda bileşik eğilmeye indirgenmesi ile hesaplanan kolon boyuna donatı oranları Tablo 28 ve Şekil 50’de verilmektedir. Kat sayısının artmasıyla artan kesit etkileri beklenildiği gibi kolon boyuna donatı oranlarını da artırmıştır.

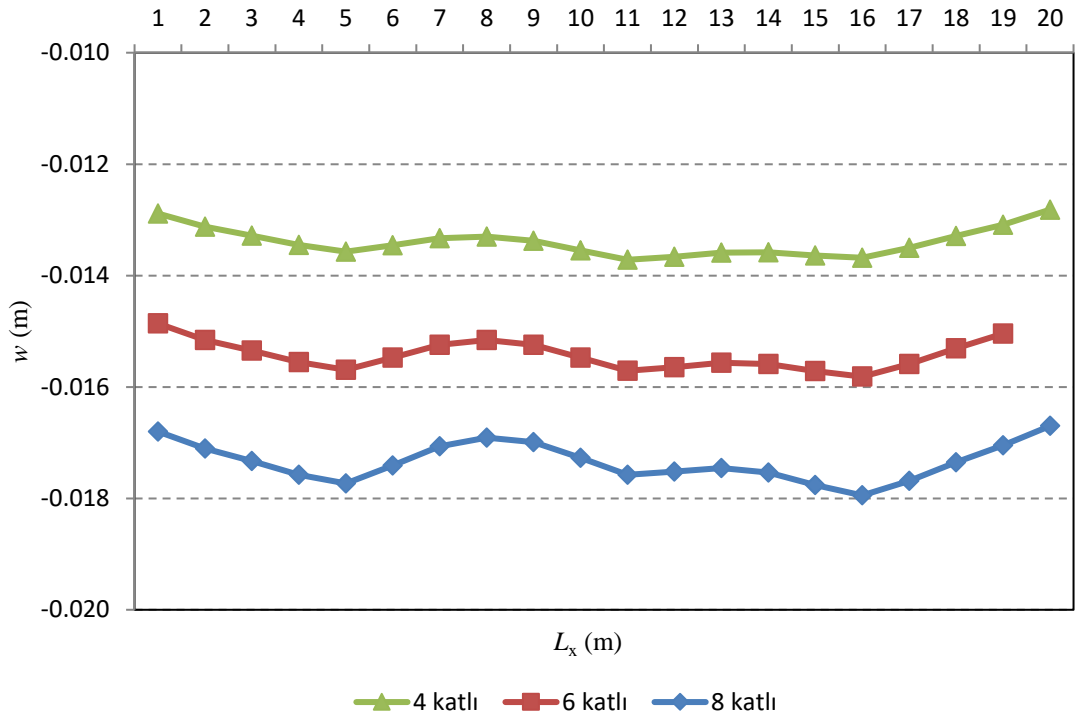


Şekil 50. Kolon boyuna donatı oranlarının kat sayısı ile değişimi

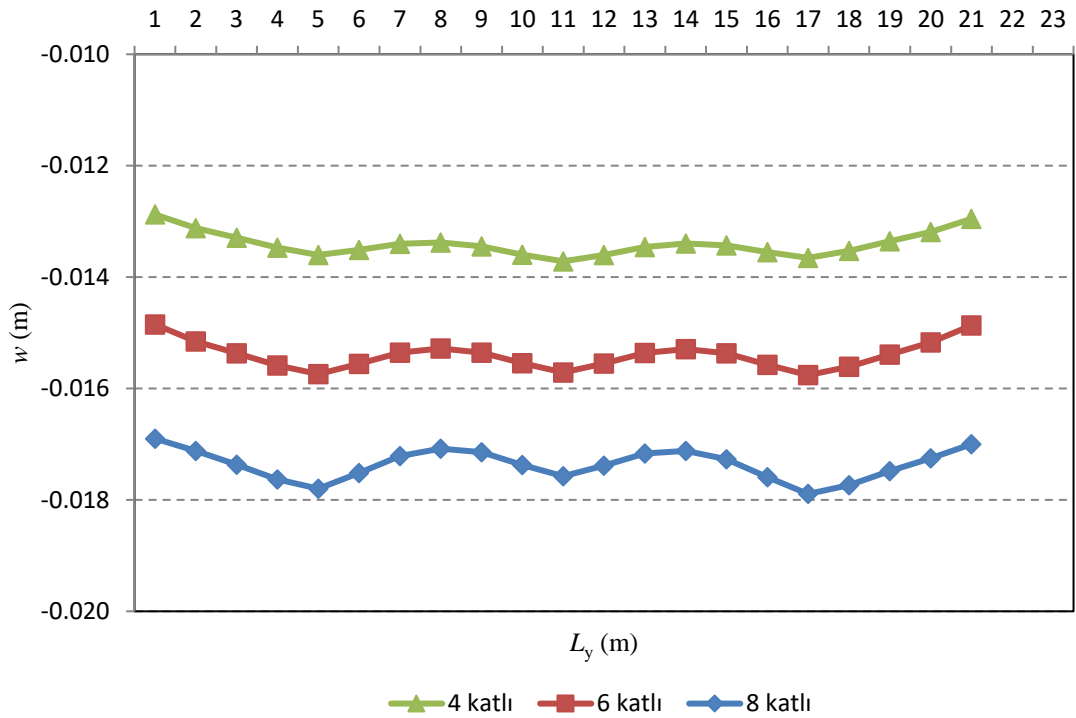
Tablo 28. Kolon boyunca donatı oranlarının kat sayısı ile değişimi

Kolon No	Kat Sayısı		
	4	6	8
S101	0.010	0.011	0.012
S102	0.010	0.013	0.017
S103	0.010	0.014	0.021
S104	0.010	0.013	0.015
S105	0.010	0.013	0.017
S106	0.010	0.010	0.017
S107	0.010	0.015	0.020
S108	0.010	0.013	0.021
S109	0.010	0.015	0.023
S110	0.010	0.011	0.020
S111	0.010	0.014	0.023
S112	0.010	0.013	0.021
S113	0.010	0.014	0.021
S114	0.010	0.011	0.017
S115	0.010	0.014	0.017
S116	0.010	0.013	0.021
S117	0.010	0.013	0.020
S118	0.010	0.014	0.017
S119	0.010	0.010	0.012

Radye temelin x ve y doğrultuları boyunca açıklık ortasında oluşan düşey yer değiştirmelerinin kat sayısı ile değişimini veren grafikler Şekil 51 ve Şekil 52’de sunulmaktadır. Grafikler çalışmada dikkate alınan tüm yük birleşimleri için her bir düğüm noktasındaki maksimum düşey yer değiştirmelerin birleştirilmesi ile bir zarf oluşturacak şekilde çizilmiştir. Artan kat sayıları ile birlikte yapı ağırlığı da artmış ve dolayısıyla plakta oluşan düşey yer değiştirmelerde büyümüştür.



Şekil 51. Radye temelin x doğrultusundaki orta eksenini boyunca düşey yer değiştirmesinin kat sayısı ile değişimi



Şekil 52. Radye temelin y doğrultusundaki orta eksenini boyunca düşey yer değiştirmesinin kat sayısı ile değişimi

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Betonarme yapıların tasarımında genellikle yapı-zemin etkileşimi ihmal edilmekte ve yapının tabanda ankastre olduğu varsayımı ile hesaplar yapılmaktadır. Yapıya etkiyen yüklerin zemin tarafından taşındığı düşünüldüğünde yapı-zemin etkileşiminin ne derece önemli olduğu daha iyi anlaşılmaktadır. Herhangi bir mühendislik yapısının hesabında yapı-zemin etkileşiminin doğru ve gerçekçi bir şekilde modellenmesi güvenilir bir tasarım için en önemli hususlardan biridir. Günümüzde kullanılan yerli ve yabancı ticari bilgisayar yazılımları ile üst yapı, temel ve zemin sistemi birlikte analiz edilebilmektedir. Ancak yazılımların hemen hepsinde zeminin yapıda oluşturacağı etki Winkler modeli ile hesaba katılmaktadır. Winkler modeli en eski, basit ve kolay uygulanabilir modellerden biri olmasına rağmen zemindeki kayma şekil değiştirmelerini hesaba katmadığından zemin ortamını gerçekçi bir şekilde temsil edememektedir.

Bu çalışmada yapı-zemin etkileşiminin betonarme yapıların tasarımına etkisi daha gerçekçi bir zemin modeli olarak bilinen Geliştirilmiş Vlasov modeli kullanılarak araştırılmıştır. Seçilen farklı kat kalıp planına sahip yapılar rijit yapı-zemin, Winkler ve Geliştirilmiş Vlasov modelleri kullanılarak SAP2000 paket programı yardımıyla çözülmüştür. Analizlerde Geliştirilmiş Vlasov modelini tanımlayabilmek için MATLAB'te geliştirilen bir ara yüz ile SAP2000-V16 paket programı eş zamanlı olarak kullanılmıştır. Bu sayede SAP2000 paket programına kendi içerisinde var olmayan Geliştirilmiş Vlasov modeli ile çözüm yapma kabiliyeti kazandırılmıştır. Bu yöntem ile üst yapıdan aktarılan yükler ve zeminin elastik özelliklerinden faydalanarak zemin parametrelerinin belirlenmesi suretiyle yapı-zemin etkileşimi daha gerçekçi bir şekilde modellenebilmektedir. Yapılan bu çalışmadan elde edilen bulgulara dayanılarak çıkartılabilecek başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmektedir.

Herhangi bir programlama dilinde geliştirilen programlar amaca yönelik akademik yazılımlar genel amaçlı olmamakta, problemde problemde değişiklikler gerektirmektedir. Bu da ciddi anlamda emek ve zaman kaybına neden olmaktadır. Bu çalışmada geliştirilen ara yüz yardımıyla SAP2000 paket programında modellenebilen her türlü geometriye sahip yapının SAP2000 paket programında yapılabilen statik, modal ve dinamik gibi birçok kapsamlı analizleri Geliştirilmiş Vlasov modeli kullanılarak yapılabilmektedir.

Zemin etkilerinin üst yapı tasarımında dikkate alınması incelenen yapılarda kolonların kesit tesirleri ve boyuna donatı oranları üzerinde önemli değişimlere neden

olmuştur. Elde edilen sonuçlar yapı-zemin etkileşiminin sadece temel tasarımında dikkate alınması gereken bir unsur olmadığını aynı zamanda üst yapıda da önemli etkilere sahip olduğunu göstermiştir. Winkler modeli ve Geliştirilmiş Vlasov modeli kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında kolon kesit tesirleri ve boyuna donatı oranlarında önemli değişiklikler gözlenmiştir. Bazı kolonlarda kesit tesirleri ve boyuna donatı oranlarında artış meydana gelirken bazılarında azalma olmuştur. Dolayısıyla Geliştirilmiş Vlasov modeli ile elde edilen kesit tesirleri ya da donatı oranlarının daha fazla ya da daha az olduğu gibi bir sonuca varılamasa da sonuçların farklılığından daha gerçekçi bir zemin modeline ihtiyaç olduğu ortaya çıkmıştır.

Seçilen zemin modeline bağlı olarak yapı doğal titreşim periyotları değişebilmektedir. Türk Deprem Yönetmeliğinde periyotlara göre spektrum katsayıları değiştiğinden yapı farklı deprem yüklerinin etkisinde kalabilmektedir. Bu da kesit tesirlerini ve donatı oranlarını etkilemektedir.

Zemin alt yüzündeki elastisite modülünün zemin üst yüzündeki elastisite modülüne oranı artıkça zemin yatak katsayısının arttığı, zemin kayma parametresinin ise azaldığı görülmüştür. Kolon kesit tesirlerinde ve kolon boyuna donatı oranlarında önemli değişiklikler olmasına rağmen düzenli bir artış ya da azalma olmamıştır. Radye temelde oluşan düşey yer değiştirmeler ise artan E_2/E_1 oranı ile birlikte azalmaktadır ancak azalma miktarı da giderek azalmaktadır.

Zemin derinliği artıkça zemin yatak katsayısının azaldığı, zemin kayma parametresinin ise arttığı görülmüştür. Kolon kesit tesirlerinde ve kolon boyuna donatı oranlarında önemli değişiklikler olmasına rağmen düzenli bir artış ya da azalma olmamıştır. Bazı kolonlarda artma, bazı kolonlarda ise azalma olmuştur. Radye temelde oluşan düşey yer değiştirmeler ise artan zemin derinliği ile birlikte artmaktadır ancak artış miktarı azalma eğilimindedir.

Yapının inşa edildiği bölgenin deprem riski azaldıkça yapı düşey yükleri etkilenmediğinden zemin parametrelerindeki değişimin önemsiz olduğu görülmüştür. Kolon eğilme momentlerinde ve kolon boyuna donatı oranlarında azalma olmuştur. Radye temelde oluşan düşey yer değiştirmelerde değişim ise azdır.

Kat sayısı artıkça kolon kesit tesirleri ve kolon boyuna donatı oranları artmaktadır. Radye temelde oluşan düşey yer değiştirmeler artan kat sayısı ile birlikte artmaktadır.

4. KAYNAKLAR

1. Turhan, A., Consistent Vlasov Model for Analysis of Plates on Elastic Foundations Using The Finite Element Method, Doktora Tezi, The Graduate School of Texas Tech. University, Texas, 1992.
2. Özgan, K., Geliştirilmiş Vlasov Modelini kullanarak Elastik Zemine Oturan Kalın Plakların Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi ve Etkin Zemin Derinliğinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2007.
3. Özgan, K., Değiştirilmiş Vlasov Modelini Kullanarak Elastik Zemine Oturan Kirişlerin Serbest Titreşim Hareketi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2000
4. TS500-2000, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, T.S.E. Ankara, 2000.
5. Nadjai, A. ve Johnson, D., Elastic Analysis of Spatial Shear Wall Systems with Flexible Bases, The Structural Design of Tall Buildings, 5 (1996) 55-72.
6. Mısır, İ. S., Özden, G, ve Kahraman, S., Temel-Zemin Yaylarının Alansal Etkileşimi ve Yapı Davranışına Etkisi, Deprem Sempozyumu, Mart 2005, Kocaeli, 1064-1073.
7. Rashed, Y., F. A. boundary/domain Element Method for Analysis of Building Raft Foundations, Engineering Analysis with Boundary Elements, 29 (2005) 859-877.
8. Kahraman, S., Mısır, İ. S, ve Özden, G., Sabit ve Değişken Yatak Katsayısı Yaklaşımlarının Yapı Davranışına Etkisi, Altıncı Ulusal Deprem Konferansı, Ekim 2007, İstanbul, 217-228.
9. Karabörk, T., Yapı-Zemin Etkileşimi Dikkate Alınarak Betonarme Yapıların Doğrusal Olmayan 3 Boyutlu Dinamik Analizi, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 5, 1 (2009) 25-36.
10. Korkmaz, K. A. ve Demir, F., Yapı-Zemin Etkileşiminin Yapıların Deprem Davranışına Etkileri, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 3, 1, (2012) 12-17.
11. Hamarat, M. A., Çalık, Karaköse, Ü. H., ve Orakdoğan, E., Seismic Analysis of Structures Resting on Two Parameter Elastic Foundation, 15 WCEE, 2012, Lisboa
12. Thangaraj, D. D. ve Ilamparuthi, K., Interaction Analysis of MAT Foundation and Space Frame for Non Linear Behaviour of the Soil, Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science, 2, 4 (2012) 33-40.
13. Derdiman, M. K., Farklı Özelliklere Sahip Zeminlerin Betonarme Yüksek Yapılarda Yapı Salınım Periyoduna Etkisi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13 (2013) b-15.

14. Frydrysek, K., Janco, R. and Gondek, H., Solution of Beams, Frames and 3D Structures on Elastic Foundation Using FEM, International Journal of Mechanics, 4, 7, (2013) 362-369.
15. Ionescu, A., Calbureanu, M. and Negru, M., Boussinesq Method in Seism Analysis of a Building Structure Using ANSYS Program, WSEAS International Conference, Vouliagmeni, April 2013, Athens, Greece, 198-201.
16. Ahmed, M., Mohamed, M. H., Mallick, J. and Hasan, M. A., 3D-Analysis of Soil-Foundation-Structure Interaction in Layered Soil, Open Journal of Civil Engineering, 4 (2014) 373-385.
17. Avcıoğlu, O. ve Orakdöğen, E., Vlasov Zeminine Oturan Yapıların Zaman Tanım Alanında Analizi, Pamukkale Üni. Müh Bilim Dergisi, 21, 3 (2015) 103-108.
18. Jones, R. ve Xenophontos, J., The Vlasov Foundation Model, Internat. J. of Mech. Science, 19, 6 (1977) 317-323.
19. Vallabhan, C. V. G. ve Das, Y. C., Parametric Study of Beams on Elastic Foundations, Journal of Engineering Mechanics, 114, 12 (1988) 2072-2082.
20. Dogangün, A., Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, 10. Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2013.
21. SAP2000, Integrated Finite Elements Analysis and Design of Structures. Computers and Structures, Inc, Berkeley, CA, 2008.
22. MATLAB, The language of technical computing, The Mathworks, Natick, MA, 2009.
23. Hamarat, M.A., İki Parametrelili Zeminler Üzerine Oturan Yapı Sistemlerinin Dinamik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.
24. Kılıçer, S., Özgan, K, ve Daloğlu, A. T., Radye Temellerin Vlasov Yöntemiyle Modellenmesi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 2.Özel Konulu Sempozyumu: Teori ve Uygulamada Zemin-Yapı Etkileşimi, Nisan 2014, Antalya, 151-156.
25. Celik, M. ve Saygun, A. A Method for The Analysis of Plates on a Two Parameter Elastic Foundation, International Journal of Solids and Structures, 36 (1999) 2891-2915.
26. Daloglu, A, T. ve Korhan, Ö. The Effective Depth of Soil Stratum for Plates Resting on Elastic Foundation, Structural Engineering and Mechanics, 18 (2004) 263-276
27. Girgin, S. C., Mısırs, S., Özden, G.. ve Kahraman, S., Yapı Zemin Etkileşiminin Yapısal Tasarımdaki Rolü, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 10, 1 (2008) 27-37.
28. DY-2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, 2007.

29. Özgan, K., Kılıçer, S., Daloglu, A. T. ve Karakaş, A. I., Yapı Zemin Etkileşiminin Betonarme Yapıların Tasarımına Etkisi, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 18, 2 (2016) 139-152.
30. Bowles, E. J., Foundation Analysis and Design, McGraw-Hill Book Company, Newyork, 1982.



ÖZGEÇMİŞ

1988 yılı Ankara doğumludur, lise öğrenimini 2005 yılında Eryaman Lisesi'nden tamamlamıştır. Lisans derecesini 2010 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Gümüşhane Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden aldı. 2012 yılında başladığı yüksek lisans öğrenimine Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde devam etmektedir. Temel çalışma alanı: Yapı Anabilim Dalı üzerinedir. Necmettin Erbakan Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde 2011-2013 yılları arasında araştırma görevlisi olarak görev almış. 2013 yılında başladığı Artvin Çoruh Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi görevine, 2013 yılında Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı'nda İnşaat Mühendisi olarak görevlendirilmesiyle devam etmektedir.