

**T.C.  
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ZEMİN YAPI ETKİLEŞİMİNDE  
PRATİK BİR YÖNTEM**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DÖNDÜ KARA**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**Tez Danışmanı: Dr.Öğr.Üyesi Erdiñ KESKİN  
Eş Danışman: Prof.Dr. Kanat Burak BOZDOĞAN**

**EKİM 2019**

**T.C.  
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ZEMİN YAPI ETKİLEŞİMİNDE  
PRATİK BİR YÖNTEM**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Döndü KARA  
1168202102**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**Tez Danışmanı: Dr.Öğr.Üyesi Erdinç KESKİN  
Eş Danışman: Prof.Dr. Kanat Burak BOZDOĞAN**

**EKİM 2019**

Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 1168202102 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Döndü KARA**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "**ZEMİN YAPI ETKİLEŞİMİNDE PRATİK BİR YÖNTEM**" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Dr.Öğr.Üyesi Erdiñ KESKİN**  
Kırklareli Üniversitesi



**Eş Danışman :** **Prof.Dr. Kanat Burak BOZDOĞAN**  
Çanakale Onsekiz Mart Üniversitesi



**Jüri Üyeleri :** **Dr. Öğr. Üyesi İsmail KILIÇ**  
Kırklareli Üniversitesi



**Dr. Öğr. Üyesi Temel TEMİZ**  
Yalova Üniversitesi



**Teslim Tarihi :** **3 Temmuz 2019**  
**Savunma Tarihi :** **16 Ekim 2019**

## ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca bilgi ve deneyimleriyle her konuda bana destek olup yönlendiren, çalışkanlıklarını örnek edindiğim değerli hocalarım ile çalışmaktan onur duyduğum ve ayrıca tecrübelerinden yararlanırken göstermiş oldukları hoşgörü ve sabırdan dolayı değerli hocam Prof.Dr.Kanat Burak BOZDOĞAN'a ve Dr.Öğr.Üyesi. Erdinç KESKİN' e katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca her koşulda arkamda duran ve bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan aileme ve dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.



Ekim 2019

Döndü KARA  
(İnşaat Mühendisi)

## İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER .....	vii
ŞİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY .....	xvii
<b>1.GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1.Amaç .....	2
<b>2. KIRKLARELİ İLİNİN DEPREMSELLİĞİ.....</b>	<b>9</b>
2.1 Kırklareli .....	9
2.2 Kırklareli İli Zemin Durumu.....	9
2.3 Kırklareli'nin Depremselliği .....	10
2.3.1 İnan ve diğerleri (1996).....	12
2.3.2 Beyaz (2004) .....	13
2.3.3 Boore ve diğerleri (1997).....	14
2.4 Tasarım Spektrumu Köşe Periyotlarının Belirlenmesi .....	16
2.4.1 İvme platosu köşe periyotları .....	16
2.4.2 Yerel zemin etki katsayılarının ivme değerleri üzerindeki etkisi .....	20
<b>3. ZEMİN YAPI ETKİLEŞİMİ.....</b>	<b>23</b>
<b>4.ANALİZLER.....</b>	<b>25</b>
4.1. Düzlem Çerçeve Sistemin Zemin Yapı Etkileşimi Dikkate Alınarak Dinamik Analizi.....	25
4.2. Çerçeve Sistemin Zemin Yapı Etkileşimli Zaman Tanım Alanında Analizi.....	42
4.3. Perde Çerçeve Sistemin Zaman Tanım Alanında Analizi.....	61
<b>SONUÇLAR .....</b>	<b>65</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>67</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>71</b>



## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

<b>V<sub>s</sub></b>	: Dalga hızları
<b>R</b>	: İyi zemin
<b>S</b>	: Orta zemin
<b>SS</b>	: Zayıf zemin
<b>PGA</b>	: Yatay Yer İvmesi (PGA)
<b>R</b>	: Episantr mesafesi
<b>M</b>	: Deprem büyüklüğü
<b>A</b>	: En büyük yatay yer ivmesi
<b>M<sub>w</sub></b>	: Moment magnitüdü
<b>M<sub>b</sub></b>	: Cisim dalga magnitüdü
<b>M<sub>d</sub></b>	: Süre magnitüdü
<b>M<sub>L</sub></b>	: Yerel magnitüdü
<b>M<sub>s</sub></b>	: Yüzey magnitüdü
<b>V<sub>S</sub></b>	: Zemin dayanım hızı
<b>V<sub>A</sub></b>	: Regresyon sonucu elde edilmiş hayali bir hız değeri
<b>Y</b>	: İvme değeri
<b>r<sub>cl</sub></b>	: Noktanın faya olan uzaklığı
<b>log</b>	: 10 tabanına göre logaritmadır.
<b>V<sub>s30</sub></b>	: Zemin profillerinin ilk 30 metresine ait kayma dalgası hızlarının harmonik ortalaması
<b>d</b>	: Deprem merkezinin derinliği
<b>TA ve TB</b>	: Spektrum karakteristik periyotları
<b>S<sub>s</sub></b>	: 0.2 saniye kısa periyod ivme değeri
<b>S<sub>1</sub></b>	: 1.0 saniye uzun periyod ivme değeri
<b>F<sub>s</sub></b>	: Kısa periyot bölgesi yerel zemin etki katsayısı
<b>F<sub>1</sub></b>	: 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
<b>S<sub>Ds</sub> ve S<sub>D1</sub></b>	: Harita spektral ivme katsayıları
<b>TDY 2007</b>	: Türkiye Deprem yönetmeliği 2007
<b>DSTA</b>	: Deterministik sismik tehlike analizi
<b>OSTA</b>	: Olasılıksal sismik tehlike analizidir
<b>DAD</b>	: Deprem Araştırma Dairesi
<b>ISC</b>	: Uluslararası Sismoloji Merkezi
<b>N(M)</b>	: Birim zaman içinde magnitüd değeri M'ye eşit ya da M'den büyük ortalama deprem sayısı
<b>a ve b</b>	: regresyon katsayıları
<b>NEHRP</b>	: National Earthquake Hazard Reduction Program
<b>SA<sub>0.2</sub></b>	: Kısa periyot ivme değerini,
<b>SA<sub>1.0</sub></b>	: Ara periyot ivme
<b>TS</b>	: Köşe periyodu
<b>S<sub>Ds</sub>, S<sub>D1</sub></b>	: Tasarım spektral ivme katsayılarını
<b>T<sub>L</sub></b>	: Uzun periyot bölgesine geçiş periyodunun
<b>r<sub>1</sub></b>	: Kiriş Redörleri

<b>s<sub>1</sub></b>	: Kolon Redörleri
<b>g</b>	: Kattaki Toplam Kiriş Sayısı
<b>I<sub>bi</sub></b>	: İ. Kiriş Atalet Momentini
<b>I<sub>i</sub></b>	: İ Kiriş Açıklığını Göstermektedir.
<b>N</b>	: Kattaki Toplam Kolon Sayısını
<b>N</b>	: Kattaki Toplam Kolon Sayısını
<b>I<sub>ci</sub></b>	: İ. Kolon Atalet Momentini
<b>h<sub>1</sub></b>	: Kolonun Birinci Kattaki Rijitliği
<b>G<sub>s</sub></b>	: Zemin Ortamının Kayma Modülü
<b>A<sub>s</sub></b>	: Zemin Ortamının Kayma Alanı
<b>ρ<sub>s</sub></b>	: Zeminin Birim Hacim Kütlesi
<b>K</b>	: Sistem Yatay Rijitlik Matrisi
<b>M</b>	: Sistem Kütle Matrisi
<b>v<sub>s</sub></b>	: Zemininin Ortalama Kayma Hızı
<b>H<sub>s</sub></b>	: Zeminin Kalınlığı
<b>H<sub>b</sub></b>	: Bina Yüksekliği
<b>P<sub>b</sub>A<sub>b</sub></b>	: Yapınının Yayılı Kütlesi
<b>ω</b>	: Açısal Frekansı
<b>v<sub>b</sub></b>	: Yapının Eşdeğer Kayma Hızı
<b>T<sub>1b</sub></b>	:Yapının Hakim Periyodu
<b>K<sub>ps</sub></b>	: Perde Rijitlik Matrisi
<b>K<sub>çs</sub></b>	: Çerçeve Rijitlik Matrisi
<b>K<sub>s</sub></b>	: Toplam Rijitlik Matrisi



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

<b>Şekil 2.1:</b> Kırklareli ili zemin sınıfları haritası [39].	9
<b>Şekil 2.2:</b> Zemin etkisinde deprem tehlike haritası [39].	10
<b>Şekil 2.3:</b> 72 yıl dönüş periyotlu ve dört farklı zemin türleri için köşe periyotları yöntemi ile belirlenmiş spektral ivme değerleri.	19
<b>Şekil 2.4:</b> 475 yıl dönüş periyotlu ve dört farklı zemin türleri için köşe periyotları yöntemi ile belirlenmiş spektral ivme değerleri.	19
<b>Şekil 2.5:</b> 2475 yıl dönüş periyotlu ve dört farklı zemin türü için köşe periyotları yöntemi ile belirlenmiş spektral ivme değerleri.	19
<b>Şekil 2.6:</b> Yerel zemin etki katsayıları etki ettirilerek 72 yıl dönüşlü spektral ivme grafiği.	21
<b>Şekil 2.7:</b> Yerel zemin etki katsayıları etki ettirilerek 475 yıl dönüşlü spektral ivme grafiği.	21
<b>Şekil 2.8:</b> Yerel zemin etki katsayıları ettirilerek 2475 yıl dönüşlü spektral ivme grafiği.	21
<b>Şekil 3. 1:</b> Kinematik etkileşim.	23
<b>Şekil 3. 2:</b> Eylemsizlik etkileşimi.	24
<b>Şekil 3. 3:</b> Zemin yapı etkileşiminde direkt yöntem yaklaşım.	24
<b>Şekil 4. 1:</b> Zemin yapı etkileşimi için dikkate alınan düzlem çerçeve örneği.	26
<b>Şekil 4. 2:</b> Zeminin kabuk elemanlarla modellenmiş sistem.	27
<b>Şekil 4. 3:</b> Eşdeğer kolonlar olarak temsil edilmiş sistem.	28
<b>Şekil 4. 4:</b> Zemin yapı etkileşimi için kayma kirişi modeli.	29
<b>Şekil 4. 5:</b> Yapı ve zeminin sürekli üniform bir kayma kirişi olarak modellenmesi.	35
<b>Şekil 4. 6:</b> Farklı periyoda sahip çerçevelerin zemin yapı etkileşimli periyotlarının değişimi.	39
<b>Şekil 4.7:</b> Çerçeve sistemde zeminin kabuk elemanla modellemesinde beş farklı zemin ve ankastre mesnetlenme durumları için 1. mod periyodunun değişimi.	41
<b>Şekil 4.8:</b> Çerçeve sistemde zeminin kabuk elemanla modellemesinde beş farklı zemin ve ankastre mesnetlenme durumları için 2. mod periyodunun değişimi.	41
<b>Şekil 4.9:</b> Çerçeve sistemde zeminin kabuk elemanla modellemesinde beş farklı zemin ve ankastre mesnetlenme durumları için 3. mod periyodunun değişimi.	42
<b>Şekil 4.10:</b> Çerçeve sistemde zeminin kabuk elemanla modellemesinde beş farklı zemin ve ankastre mesnetlenme durumları için 4. mod periyodunun değişimi.	42
<b>Şekil 4.11:</b> Yatay elastik tasarım spektrumunun SAP2000 de oluşturulması için ilk adım.	43
<b>Şekil 4.12:</b> Yatay elastik tasarım spektrumunun SAP2000 de oluşturulması için ikinci adım.	44

<b>Şekil 4.13:</b> Deprem kayıtları için veri girişi ve kayıtlarının programda oluşturulması için birinci adım.....	44
<b>Şekil 4.14:</b> Deprem kayıtları için veri girişi ve kayıtlarının programda oluşturulması için ikinci adım.....	45
<b>Şekil 4.15:</b> Seçilen deprem kaydının ölçeklendirilmesi.....	45
<b>Şekil 4.16:</b> Zaman tanım alanında analizin ölçeklendirilmiş deprem kaydı için birinci adım.....	46
<b>Şekil 4.17:</b> Zaman tanım alanında analizin ölçeklendirilmiş deprem kaydı için tanımlanmasında ikinci adım.....	47
<b>Şekil 4.18:</b> ZA zemin sınıfı için zaman tanım alanında analizde ölçeklendirilmiş deprem kaydı için tepe noktası yer değiştirmesi grafiği.....	48
<b>Şekil 4.19:</b> ZB zemin sınıfı için zaman tanım alanında analizde ölçeklendirilmiş deprem kaydı için tepe noktası yer değiştirmesi değişim grafiği.....	48
<b>Şekil 4.20:</b> ZC zemin sınıfı için zaman tanım alanında analizde ölçeklendirilmiş deprem kaydı için tepe noktası yer değiştirmesi değişim grafiği.....	48
<b>Şekil 4.21:</b> ZD zemin sınıfı için zaman tanım alanında analizde ölçeklendirilmiş deprem kaydı için tepe noktası yer değiştirmesi değişim grafiği.....	49
<b>Şekil 4.22:</b> ZE zemin sınıfı için zaman tanım alanında analizde ölçeklendirilmiş deprem kaydı için tepe noktası yer değiştirmesi değişim grafiği.....	49
<b>Şekil 4.23:</b> Zemin yapı etkileşiminde dikkate alınan perde-çerçeve örneği.....	50
<b>Şekil 4.24:</b> Perde - çerçeve yapıda zeminin kabuk elemanlarla temsil edilmesi.....	51
<b>Şekil 4.25:</b> Perde - çerçeve sistemde zeminin eşdeğer kolon olarak temsil edilmesi.....	51
<b>Şekil 4.26:</b> Perde-çerçeve sistem ve zeminin sürekli üniform kiriş olarak modellenmesi.....	52
<b>Şekil 4.27:</b> Kombine perde.....	54
<b>Şekil 4.28:</b> Perde-çerçeve sistem ve zemin ortamı için sürekli sistem hesap modeli.....	55
<b>Şekil 4.29:</b> Perdeli sistemde zeminin kabuk elemanlarla modellenmesinde beş farklı zemin sınıfı için 1. mod için periyotların değişimi.....	59
<b>Şekil 4.30:</b> Perdeli sistemde zeminin kabuk elemanlarla modellenmesinde beş farklı zemin sınıfı için 2. mod için periyotların değişimi.....	60
<b>Şekil 4.31:</b> Perdeli sistemde zeminin kabuk elemanlarla modellenmesinde beş farklı zemin sınıfı için 3. mod için periyotların değişimi.....	60
<b>Şekil 4.32:</b> Perdeli sistemde zeminin kabuk elemanlarla modellenmesinde beş farklı zemin sınıfı için 4. mod için periyotların değişimi.....	60
<b>Şekil 4.33:</b> Perdeli sistemde ZA zemin sınıfı için zaman tanım alanında analizde ölçeklendirilmiş deprem kaydı için tepe noktası yer değiştirmesinin zamana bağlı değişim grafiği.....	61
<b>Şekil 4.34:</b> Perdeli sistemde ZB zemin sınıfı için zaman tanım alanında analizde ölçeklendirilmiş deprem kaydı için tepe noktası yer değiştirmesinin zamana bağlı değişim grafiği.....	62
<b>Şekil 4.35:</b> Perdeli sistemde ZC zemin sınıfı için zaman tanım alanında analizde ölçeklendirilmiş deprem kaydı için tepe noktası yer değiştirmesinin zamana bağlı değişim grafiği.....	62
<b>Şekil 4.36:</b> Perdeli sistemde ZD zemin sınıfı için zaman tanım alanında analizde ölçeklendirilmiş deprem kaydı için tepe noktası yer değiştirmesinin zamana bağlı değişim grafiği.....	63
<b>Şekil 4.37:</b> Perdeli sistemde ZE zemin sınıfı için zaman tanım alanında analizde ölçeklendirilmiş deprem kaydı için tepe noktası yer değiştirmesinin zamana bağlı değişim grafiği.....	63

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 2. 1: Kırklareli ili ve çevresinin deprem tarihçesi [41].....	11
Çizelge 2. 2: İnan ve diğerleri'ne (1996) göre Kırklareli ilini tehdit eden depremlerin üretebilecekleri ivme değerleri.....	12
Çizelge 2.3: Beyaz (2004)'a göre Kırklareli ilini tehdit eden depremlerin üretebilecekleri ivme değerleri.....	13
Çizelge 2. 4: Hesapta kullanılan katsayılar.....	14
Çizelge 2. 5: NEHRP hükümlerinde ve Uniform Building Code'da $V_{s30}$ 'a göre zemin sınıflaması.....	14
Çizelge 2. 6: Boore ve diğerleri (1997 ) denklemleri ile PGA hesap.....	15
Çizelge 2. 7: Farklı zemin sınıfları ve dönüş periyotları için TS köşe periyodu denklem katsayıları [43].....	17
Çizelge 2. 8: Boore ve diğ.1997 denklemi ile Malkara / Tekirdağ depreminin farklı zemin sınıflarına göre hesaplanmış PGA değerleri.....	17
Çizelge 2. 9: Malkara/Tekirdağ depremi dikkate alınarak dönüş periyotları ve zemin sınıflarına göre hesaplanmış değerler.....	18
Çizelge 4. 1: Zemin sınıflarının özellikleri.....	26
Çizelge 4. 2: Zemin yapı etkileşimli periyot.....	38
Çizelge 4. 3: ZA zemin sınıfı için periyotlar (sn).....	39
Çizelge 4. 4: ZB zemin sınıfı için periyotlar (sn).....	40
Çizelge 4. 5: ZC zemin sınıfı için periyotlar (sn).....	40
Çizelge 4. 6: ZD zemin sınıfı için periyotlar (sn).....	40
Çizelge 4. 7: ZE zemin sınıfı için periyotlar (sn).....	40
Çizelge 4.8: Elastik yatay tasarım spektrumunun oluşturulmasında kullanılan değerler.....	43
Çizelge 4.9: Zaman tanım alanında analiz sonucu her iki modelde farklı zemin sınıfları için elde edilen maksimum tepe noktası yer değiştirmeleri... ..	47
Çizelge 4. 10: Perdeli yapıda ZA zemin sınıfı için periyotlar (sn).....	58
Çizelge 4. 11: Perdeli yapıda ZB zemin sınıfı için periyotlar (sn).....	58
Çizelge 4. 12: Perdeli yapıda ZC zemin sınıfı için periyotlar (sn).....	58
Çizelge 4. 13: Perdeli yapıda ZD zemin sınıfı için periyotlar (sn).....	59
Çizelge 4. 14 : Perdeli yapıda ZE zemin sınıfı için periyotlar (sn).....	59
Çizelge 4. 15: Perde-çerçeve sistemin zaman tanım alanında analizinden elde edilen tepe noktası yer değiştirmeleri.....	61



## ZEMİN YAPI ETKİLEŞİMİNDE PRATİK BİR YÖNTEM

### ÖZET

Zayıf zemine oturan yapıların deprem yer hareketi etkisi altındaki davranışının belirlenmesinde zemin yapı etkileşiminin dikkate alınması önemlidir.

Bu tez çalışmasında Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği kapsamında yer alan 5 farklı zemin sınıfı üzerine oturan yapıların dinamik davranışı incelenmiştir. Bu amaçla düzlem çerçeve ve perde-çerçeve yapı örnekleri ele alınarak, her iki taşıyıcı sistem türü için zemin yapı etkileşimi dört farklı model kullanılarak incelenmiştir.

Çalışmada özellikle zeminin kabuk elemanlarla modellenmesine alternatif olarak kullanılacak, zeminin çubuk elemanlarla ve basitleştirilmiş yaklaşımlarla modellenmesinin uygunluğu araştırılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında özgün olarak perdeli yapılar için iki pratik model geliştirilmiştir. Geliştirilen birinci model yapı özelliklerinin yapı yüksekliği boyunca değişebilmesine ve aynı şekilde zemin özelliklerinin tabakalar boyunca değişebilmesine imkan verirken, geliştirilen ikinci model yapı ve zemin özelliklerinin üniform olduğu sistemler için geçerlidir. Çalışmada geliştirilen modeller ile serbest titreşim analizi yapılarak periyotlar daha kısa bir sürede belirlenmiştir. Sunulan yöntemler ile özellikle klasik sonlu elemanlar yönteminde artan eleman sayısı ile birlikte gözden kaçan zemin yapı etkileşimi davranışının daha az parametre ile anlaşılması mümkün olmaktadır.

Çalışmanın birinci bölümü giriş mahiyetinde olup ikinci bölüm daha önce literatürde konu ile ilgili yapılmış çalışmaları içermektedir. Üçüncü bölümde Kırklareli ilinin deprem tehlikesi belirlenmiştir. Dördüncü bölümde kısaca zemin yapı etkileşimi anlatılmıştır. Beşinci bölüm ise çalışma kapsamında geliştirilen yöntemler ile yapılan analizleri içermektedir. Analizlerde SAP2000, MATLAB ve SCILAB programları kullanılmıştır .



# **A PRACTICAL METHOD FOR SOIL STRUCTURE INTERACTION**

## **SUMMARY**

It is especially important to take into account the soil-structure interaction in the determination of the behavior of the structures resting on soft soils under earthquake loads.

In this thesis the dynamic behavior of structures resting on 5 different soil types according to the Turkish Seismic Code (2018) were studied. For this purpose, planar frame and wall-frame structure samples were taken and the soil structure interaction for both carrier system types was examined using four different models.

In this study, the suitability of modeling of soil with rod elements and simplified approaches, which can be used as an alternative to modeling of soil with shell elements, was investigated. Two practical models have been developed for shear wall structures. The first model allows the building properties to vary along the height of the structure, and the soil properties can also vary across the layers, while the second model applies to systems in which the structure and soil properties are uniform. Free vibration analysis was performed with the models developed in the study and the periods were determined in less time. With the presented methods, it is possible to understand the soil structure interaction behavior that is overlooked with the increasing number of elements in classical finite element method with less parameters.

The first part of the study is introductory and the second part includes the previous studies about the subject in the literature. In the third section, earthquake hazard of Kırklareli province is determined. In the fourth chapter, soil structure interaction is explained briefly. The fifth chapter includes the analysis of the methods developed in the thesis. SAP2000, MATLAB and SCILAB programs were used in the analyzes.





## 1.GİRİŞ

Önemli bir deprem kuşağında yer alan ülkemizde birçok aktif fay bulunmaktadır. Bu faylar üzerinde çok sayıda irili ufaklı deprem meydana gelmiş ve gelmeye devam etmektedir. Meydana gelen bu depremlerden dolayı can ve mal kayıpları yaşanmıştır. Gelecekte olması muhtemel depremlerin oluşturacağı hasarlar ve etkilerini tahmin etmek ve bu depremlere karşı dayanıklı yapılar inşa etmek üzerine çalışmalar hız kazanmıştır. Özellikle elverişsiz zeminler üzerine inşa edilen yüksek yapılarda zemin-yapı etkileşimi, yapıların davranışının belirlenmesi açısından oldukça önemlidir. Bu davranış doğru bir şekilde belirlenemezse analiz sonuçları gerçekçi değerler vermeyecek ve problemin çözümü yapılamayacaktır. Zemin yapı etkileşimi problemi disiplinlerarası çalışmayı gerektiren bir konu olup özellikle Geoteknik Mühendisi ile Yapı Mühendisinin analiz aşamasında birlikte çalışması önemlidir.

Tek başına zeminin modellenmesi bile çok karmaşık olup zeminin üst yapı ile birlikte modellenmesi durumunda bu karmaşıklık daha da artmaktadır. Zemin yapı etkileşiminin modellenmesi ve analizi için bir çok yöntem olsa da hala daha bu konu ile ilgili belirsizlikler bulunmaktadır. Zemin yapı etkileşiminde klasik sonlu elemanlar yöntemi ile çözümlerde bilinmeyen sayısı oldukça fazladır. Ayrıca modelleme sırasında yapılabilecek yanlışlıklar sonucu doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle özellikle sonlu elemanlarla elde edilen sonuçların kontrolü açısından mertebe bazında doğru sonuç veren ve hızlı çözümlere yapan yaklaşık yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yaklaşık yöntemler hem sonuçların kontrolü açısından hemde sonlu elemanlar yönteminde bilinmeyen sayısının fazlalığı ve dolayısıyla çıktıların kalabalık olması nedeniyle gözden kaçan yapı davranışını az parametre ile ortaya koyabilmesi nedeniyle önemlidir.

Bu çalışmada öncelikle Kırklareli ilinin deprem tehlike analizi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla Kırklareli iline yakın konumda bulunan Tekirdağ ili Malkara ilçesinde geçmişte gerçekleşmiş olan deprem ele alınmış ve 760 m/s, 520 m/s, 255 m/s, 180 m/s kayma dalgası hızına sahip 4 farklı zemin sınıfı ve 72, 475 ve 2475 yıl dönüşümlü deprem riski için ivme platosu köşe periyotları yöntemi yardımıyla yatay elastik tasarım spektrum grafikleri elde edilmiştir.

Çalışmanın sonraki aşamalarında düzlem çerçeve ve perde-çerçeve sistemlerine ait 4 farklı model ve farklı zemin sınıfları için SAP2000, MATLAB ve SCILAB yazılımları kullanılarak modelleme ve analizler yapılmış olup serbest titreşim periyotları hesaplanmıştır. Ayrıca çalışmada iki model kullanılarak zaman tanım alanında analizler gerçekleştirilerek yer değiştirmeler elde edilmiştir. Zemin yapı etkileşimi için yapı ve zeminin birlikte modellendiği direkt (doğrudan) yöntem kullanılmıştır.

Çalışmada;

- Yapı ve zeminin malzeme bakımından doğrusal elastik davranış gösterdiği,
- Üst yapıda geometrik nonlineer etkilerin ihmal edildiği kabulleri yapılmıştır.

### **1.1.Amaç**

Bu çalışmada son yıllarda önem kazanan zemin-yapı etkileşiminin yapıların dinamik analizine etkisinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Çalışma kapsamında zemin yapı etkileşimi için basitleştirilmiş ve pratik hesap yöntemlerinin geliştirilmesi ve bu hesap yöntemlerinin klasik sonlu elemanlar yöntemine uygunluklarının araştırılması amaçlanmıştır.

### **1.2 Konu İle İlgili Yapılmış Çalışmalar**

Bu bölümde deprem tehlikesinin belirlenmesine yönelik olarak geçmişte yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Cornell, bir bölgenin sismik risk değerlendirilmesi ile ilgili bir yöntem önermiştir. Yöntem ortalama dönüş periyoduna karşı gelen zemin hareketlerinin sonuçlarını ve tüm potansiyel deprem kaynaklarının etkisini ve bunlar için hesaplanmış ortalama aktivite oranlarını kapsamaktadır [1].

King ve Kiremidjian, geniş bir alanda deprem hasar ve kayıplarının hesaplanmasını incelemişlerdir. Çalışmada yerel zemin koşullarının etkilerini incelemek için farklı modeller gözden geçirilmiştir. Ayrıca çalışmada bölgesel sismik tehlike ve risk analizi için kullanılan coğrafi bilgi sisteminin geliştirilmesi için bir öneri sunulmuştur [2].

Kayabalı, çalışmasında deterministik ve probabilistik sismik tehlike analiz yöntemlerinin esaslarını vermiş daha sonra ise Probabilistik yaklaşım kullanarak yer ivmesine karşı gelen dönüş periyotları ile belirli bir zaman dilimi içerisinde maksimum yer ivmesi değerlerinin aşılma ihtimalini hesaplamıştır [3].

Çetin ve diğ., Bursa'nın olasılıksal sismik tehlike analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada bölgede bulunan ve Bursa ilini etkileme potansiyeline sahip diri faylar üzerinde çalışma yapılmış ve bunların sismik kaynak özellikleri belirlenmiştir. Uygun sönüm ilişkileri kullanılarak 50 yılda %10 aşılma olasılığına sahip deprem için maksimum yer ivmesi ve spektral ivme haritaları elde edilmiştir. Çalışmada ayrıca bölgede yapılmış olan sondaj verileri derlenmiş ve yapılan zemin sınıflandırmasına göre yerel koşulların ivme değerleri üzerindeki büyütme/küçültme etkileri göz önüne alınmıştır [4].

Deniz ve Yüçemen, çalışmalarında Antalya yöresinin deprem tehlikesini stokastik yöntemler kullanarak araştırmışlardır. Çalışmada bölgenin 250 km yakınında son yüz yılda meydana gelen depremler dikkate alınmıştır. Farklı magnitüd ölçekli depremler ortak bir ölçeğe çevrilerek yerel azalım ilişkisi kullanılmıştır [5].

Işık, Bitlis şehrinin olasılıksal sismik tehlike analizini gerçekleştirmiştir. Çalışmada Bitlis ve çevresinde bulunan diri fayların yerleri, özellikleri ile bu faylarda tarihsel dönem boyunca meydana gelen deprem hareketliliği araştırılmıştır. Son bölümde ise elde edilen verilerden yola çıkılarak bölge için sismik tehlike analizi yapılmıştır [6].

Ulutaş, Van ili için sismik tehlike analizini olasılıksal yöntemi kullanarak gerçekleştirmiştir. Bunun için bölgeye ait tarihsel dönemde meydana gelen deprem kayıtları toplanmış olup böylelikle bölgenin sismik karakteristiği belirlenmiştir. Ardından EZ-FRISK yazılımı kullanılarak sismik model oluşturulmuş ve kaya zeminler için uygun azalım ilişkilerine bağlı olarak 50 yılda aşılma olasılıkları için sismik tehlike eğrileri elde edilmiştir. Sismik tehlike analizi sonucunda elde edilen ivme tepki spektrumları SeismoMatch v1.3.0 bilgisayar yazılımı yardımıyla Ekim 2011 ve Kasım 2011 Van depremleri ile benzeştirilerek ildeki mevcut yapıların analizinde kullanılabilecek yer hareketi kayıtları elde edilmiştir [7].

Harman, çalışmasında sakarya ili için ayrıntılı olasılıksal sismik tehlike analizini yapmış ve ili etkileme potansiyeline sahip en güncel aktif deprem kaynaklarının etkisinde, pik yer ivmelerini 50 yılda % 10 ve % 2 aşılma oranları için sismik tehlike eğrisi aracılığıyla hesaplamıştır. Çalışmada elde edilen ivme spektrumu, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelikte verilen tasarım spektrumu ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda şehir merkezi ve Kuzey Anadolu Fay Hattı

Boyunca uzanan ilçelerde yönetmeliğe göre 1.5-2 katı daha yüksek ivme değerlerinin elde edilmiş olduğu gözlenmiştir [8].

Zemin - yapı etkileşimi ile ilgili gerek ülkemizde gerekse yurtdışında yapılmış bir çok çalışma bulunmaktadır. Aşağıda bu çalışmaların bir kısmı özet olarak sunulmuştur.

Aydinoğlu, yapmış olduğu doktora tezi kapsamında zemin yapı etkileşimini incelemiştir [9].

Wolf, çalışmasında zemin yapı etkileşimiyle ilgili analiz yöntemlerini çeşitli açılardan sınıflandırmıştır [10].

Nadjai ve diğ., yüksek yapıların zemin yapı etkileşimli elastoplastik analizini ayırık kuvvet yöntemini kullanarak incelemiştir. Çalışmada taşıyıcı sistem olarak çekirdek sistem seçilmiş olup zemin-yapı etkileşimi yapı temeline yerleştirilmiş yaylar yardımı ile dikkate alınmıştır. Çalışma statik yükleme ile sınırlıdır [11].

Mylonakis ve Gazetas, çalışmalarında zemin yapı etkileşiminin deprem etkisini azaltıcı mı yoksa arttırıcı bir etkisi olduğu irdelemiştir. Çalışmada özellikle mevcut yönetmeliklerde yapılan basitleştirici kabullerin güvensiz tasarımlara yol açabileceği vurgulanmıştır [12].

Livaoğlu ve Doğanün, farklı taşıyıcı sistemli ayaklı kulelerin dinamik analizini zemin yapı etkileşimini dikkate alarak incelemiştir. Çalışmada sonlu elemanlar yöntemi ve mod birleştirme yöntemi kullanılmış olup yapı sıvı etkileşimi için ise Westergaard yaklaşımı kullanılmıştır [13].

Çağlar ve diğ., 6 farklı zemin türü üzerine oturan 5 farklı betonarme binanın deprem davranışını 1999 Marmara depremi kaydını kullanarak zaman tanım alanında analiz yöntemi ile incelemiştir. Çalışmada yer altı su seviyesinin etkisi de dikkate alınmıştır [14].

Mısır ve diğ., yatak katsayısı kavramını inceleyerek iki parametrelili Vlasov –Leontiev yaklaşımına alternatif olan Winkler yatak katsayısı yöntemini geliştirerek örnek bir uygulama üzerinde sonuçları tartışmışlardır [15].

Massumi ve Tabatabaiefar, çalışmalarında çerçeve taşıyıcı sisteme sahip yapılarda zemin yapı etkileşiminin ne zaman dikkate alınması gerektiğini belirleyen kriterler önermişlerdir. Çalışmada İran deprem yönetmeliğinde yer alan zemin sınıfları temel alınmıştır.

Çalışmanın sonunda İran deprem yönetmeliğine göre zemin tipi 2 ( $375 < V_s < 750$  m/s) için betonarme çerçeve yapılarda zemin yapı etkileşiminin dikkate alınması gerekmediği, zemin tipi 3 ( $175 < V_s < 375$  m/s) üzerine yapılmış ve 7 kattan daha yüksek betonarme çerçeve yapılarda zemin yapı etkileşiminin mutlaka dikkate alınması gerektiği, zemin tipi 4 ( $V_s < 175$  m/s) için 3 kattan daha yüksek Betonarme çerçeveli yapılarda zemin yapı etkileşiminin dikkate alınması gerektiği ifade edilmiştir [16].

Garcia, bodrumlu altı katlı bir yapının tasarım ve analizinde zemin yapı etkileşiminin etkisini incelemiştir. Çalışmada ele alınan betonarme çerçeveli yapıda iki farklı durum dikkate alınmıştır. Birinci durumda yapının temel seviyesinde ankastre olduğu kabul edilerek analiz yapılmış, ikinci durumda ise zemin yapı etkileşimi dikkate alınarak analiz yapılmıştır. Çalışmada zeminin yapıya etkisi yay ve sömümleyiciler kullanılarak dikkate alınmıştır. Çalışmanın sonunda hakim bina periyodu dikkate alındığında oluşacak ivme değerinin zemin yapı etkileşimi dikkate alındığında yüzde 29.6 azaldığı ifade edilmiştir [17].

Kausel, çalışmasında zemin yapı etkileşiminin tarihsel gelişimini ele alarak konu üzerinde yapılan çalışmaları incelemiştir [18].

Karabörk ve diğ., izolatörlü yapılarda zemin yapı etkileşimini incelemiştir. Çalışmada dinamik zaman tanım alanında analiz için Yarımca istasyonundan elde edilen deprem kaydı kullanılmıştır. SAP2000'de yapılan analizler sonucunda yer değiştirmeler ve iç kuvvetler karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonunda izolatörlü yapıların avantajları ortaya konulmuştur [19].

Geneş ve diğ., Antakya ilinde mevcut olan betonarme çerçeveli bir hastane binası ile bir okul binasının zemin yapı etkileşimli periyotlarını yerinde yaptıkları ölçümlerle iki farklı deprem kaydı için belirlemişler ve sonuç olarak zemin yapı etkileşiminin periyotlara olan etkisini incelemiştir [20].

Mahmoudpour ve diğ., zemine kısmi gömülü yapıların zemin yapı etkileşimli davranışını incelemiştir. Çalışmada alt sistem yaklaşımı kullanılmış olup sonlu elemanlarla modelleme için ölçeklendirilmiş sonlu elemanlar metodu sınırsız zemin yüzeyini modellemek için kullanılmıştır [21].

Kraus ve Dzacic, çalışmalarında betonarme çerçevelerde zemin yapı etkileşiminin deprem davranışına etkisini araştırmışlardır. Çalışmada üç farklı model kullanılarak karşılaştırılmıştır. Birinci modelde çerçeve temele ankastre olarak bağlanmıştır. İkinci modelde temel bağlantısı için Winkler yay modeli kullanılmıştır. Üçüncü modelde ise zemin yarı sonsuz bir uzay olarak modellenmiştir. Çalışmada kullanılan ikinci ve üçüncü modellerle elde edilen periyot değerleri yakın olarak bulunmuştur. Çalışmada özellikle az katlı ve zayıf zemine oturan betonarme çerçevelerde yaygın görüşün aksine zemin yapı etkileşiminin dikkate alınması durumunda taban kesme kuvvetinde artış meydana gelebileceği gösterilmiştir [22].

Derdiman, 7 farklı zemine oturan 5,10 ve 15 katlı betonarme çerçeveli yapıları zemin yapı etkileşimini dikkate alarak sonlu elemanlar yöntemi ile çözerek yapı periyotlarındaki değişimi incelemiştir [23].

Siyahi ve diğ., zemin yapı etkileşimi analizinde mevcut durumu ortaya koyarak geoteknik açıdan incelemiştir. Ayrıca çalışmada kinematik ve eylemsizlik etkileşimleri özellikle kazıklara olan etkisi bakımından ayrıntılı olarak incelenmiştir [24].

Tabatabaiefar ve Fatahi, çalışmalarında zemin yapı etkileşimini temsil etmek üzere yeni ve geliştirilmiş bir model önermişlerdir. Önerilen model FLAC 2D yazılımı ile ve direkt yöntem yaklaşımı kullanılarak geliştirilmiştir. Çalışmanın sonunda özellikle zemin yapı etkileşiminin D ve E zemin sınıflarında mutlaka dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır [25].

Venanzi ve diğ., rüzgar etkisi altındaki yüksek yapıların zemin yapı etkileşimli davranışını incelemiştir. Çalışmada zemin temel sisteminin modellenmesi için iki farklı yaklaşım kullanılmıştır. Birinci yaklaşımda viskoelastik davranışı temsil etmek üzere empedans fonksiyonları kullanılırken, ikinci modelde 6 serbestlik dereceli makro elemanlar kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan yöntemler ile bulunan yapı tabanındaki moment ve kuvvetler arasında farklılıklar olduğu görülmüştür [26].

Bilotta ve diğ., Napoli de 1980 yılında yapılmış olan ve 29 katlı ve 100 metrelik kazık temele sahip bir bina örneği üzerinde zemin yapı etkileşiminin etkisini incelemiştir. Çalışmada sonuç olarak zemin yapı etkileşiminin bina periyodunu arttırdığı buna karşın sönüm oranında bir değişim olmadığı gözlenmiştir [27].

Çaycı ve İnel, çalışmalarında 1975 ve 1998 deprem yönetmeliklerine göre tasarlanmış üç boyutlu 7 katlı ve iki farklı betonarme taşıyıcı sisteme sahip yapıların ankastre mesnet ve zemin etkisi dikkate alınarak analizlerini zaman tanım alanında doğrusal olmayan yöntem ile gerçekleştirerek sonuçları karşılaştırmışlardır. Çalışmada alt sistem yaklaşımı kullanılmıştır [28].

Tabatabaiefar ve Clifton, çalışmalarında çaprazlı çelik çerçevelerin deprem davranışında zemin yapı etkileşiminin etkisini incelemiştir. Çalışmada zemin yapı etkileşiminin taban kesme kuvvetinde azalmaya yol açmada özellikle deplasman ve görelî kat öteleme oranlarının büyümesine yol açtığı gösterilmiştir. Artan görelî kat öteleme oranının yapının inelastik davranışına yol açmakta olduğu da çalışma kapsamında vurgulanmıştır [29].

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

Garip, çalışmasında yumuşak kat düzensizliğine sahip yapıların zemin yapı etkileşimli davranışlarını incelemiştir. Çalışmada SAP2000 programı kullanılarak ankastre mesnet ve zemin yapı etkileşimi durumlarına ait yer değiştirmeler ve kuvvetler karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak özellikle yumuşak kat düzensizliğine sahip yapılarda zemin yapı etkileşiminin analizlerde dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır [31].

Avcı ve Yazgan, Doğrusal olmayan Winkler zeminine oturan kiriş modelini kullanarak yapıların performansını zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi ile incelemiştir [32].

Kabtanu ve diğ., yumuşak zemine oturan çerçeve sistemlerin zemin yapı etkileşimli dinamik analizini iki farklı yaklaşım kullanarak incelemiştir. Birinci yaklaşımda yapının tabanına Winkler hipotezine uygun olarak yaylar tanımlanarak dinamik analiz yapılmış, ikinci yaklaşımda zemin yarı sonsuz bir uzay olarak dikkate alınarak zemin yapı etkileşimi direkt olarak modellenmiştir. Analiz için SAP2000 yazılımı kullanılmıştır. Çalışma sonunda yaylarla modelleme ile elde edilen sonuçların direkt modelleme ile elde edilen sonuçlarla genellikle uyumlu olduğu ifade edilmiş ancak görelî kat ötelemeleri için ise özellikle üst katlarda iki modelleme sonuçları arasında

fark oluştuğu gözlenmiştir. Bu farkın nedeni olarak direkt yöntemde dikkate alınan yüksek modların etkisi gösterilmiştir [33].

Bap ve Kollar, zemin yapı etkileşiminde sonlu zemin tabakalarının rezonansa etkisini incelemişlerdir. Çalışmada çoğu zaman ihmal edilen rezonans etkisinin deprem davranışı açısından önemi vurgulanarak hangi durumlarda bu etkinin dikkate alınması gerektiği gösterilmiştir [34].

Kılıçer ve Özgan, 1999 Kocaeli deprem kaydını kullanarak 12 katlı bir yapı örneğini rijit temel, Winkler ve geliştirilmiş Vlasov modelleriyle analiz ederek sonuçları karşılaştırmışlardır. Çalışmada SAP2000 ile MATLAB programları beraber kullanılmıştır [35].

Peneva ve diğ., kule tipi yapıların dinamik zemin yapı etkileşimi problemini spektral elamanlar kullanarak incelemişlerdir. Öncelikle bu tür yapıların zemin etkileşimini içeren denklemler frekans alanında yazılmıştır. Çalışmada spektral elemanlar kullanılmasının bazı durumlarda bilinmeyen sayısını azalttığı ifade edilmiştir [36].

Arias ve Jaramillo, zemin yapı etkileşimi dikkate alınan çok serbestlik dereceli sistemlerin modal spektral analizi yöntemi ile taban kesme kuvvetlerinin belirlenmesi için bir yaklaşım önermişlerdir. Çalışmada temel zemininin etkisi yay rijitlikleri ile temsil edilmiştir. Yapılan örneklerden sunulan yaklaşımın uygun sonuçlar verdiği gösterilmiştir [37].

Anwar ve diğ., yapıların deprem davranışında zemin yapı etkileşiminin önemini incelemişlerdir. Bu amaçla değişik özellikteki yapılar hem alt sistem hem de direkt yöntem ile çözümlenerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Buna göre beklendiği üzere yüksek yapılarda zemin yapı etkileşiminin yapı periyoduna önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Alt sistem yaklaşımının kat yer değiştirmeleri ve görelilik oranına az etkisi olduğu, buna karşın kat kesme kuvveti, kat momenti ve tepe noktası ivmesine etkisi olmadığı ifade edilmiştir. Çalışmada alt sistem yaklaşımı ile direkt yöntem yaklaşımı arasında özellikle kuvvetler açısından oldukça farklı sonuçlar elde edildiği ifade edilmiştir [38].

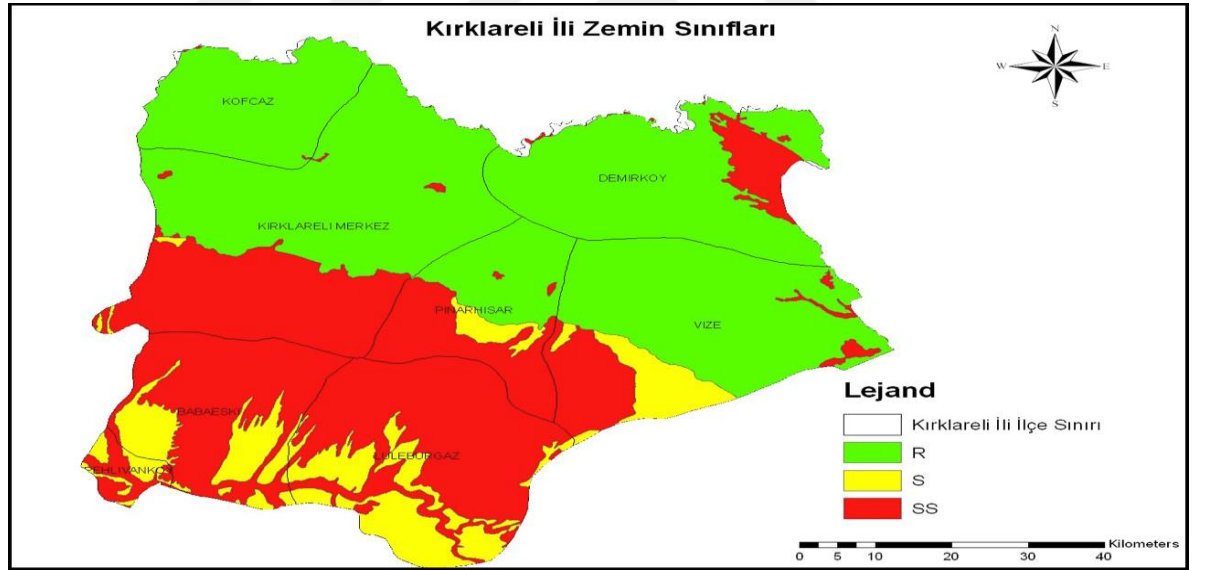


## 2. KIRKLARELİ İLİNİN DEPREMSELLİĞİ

### 2.1 Kırklareli

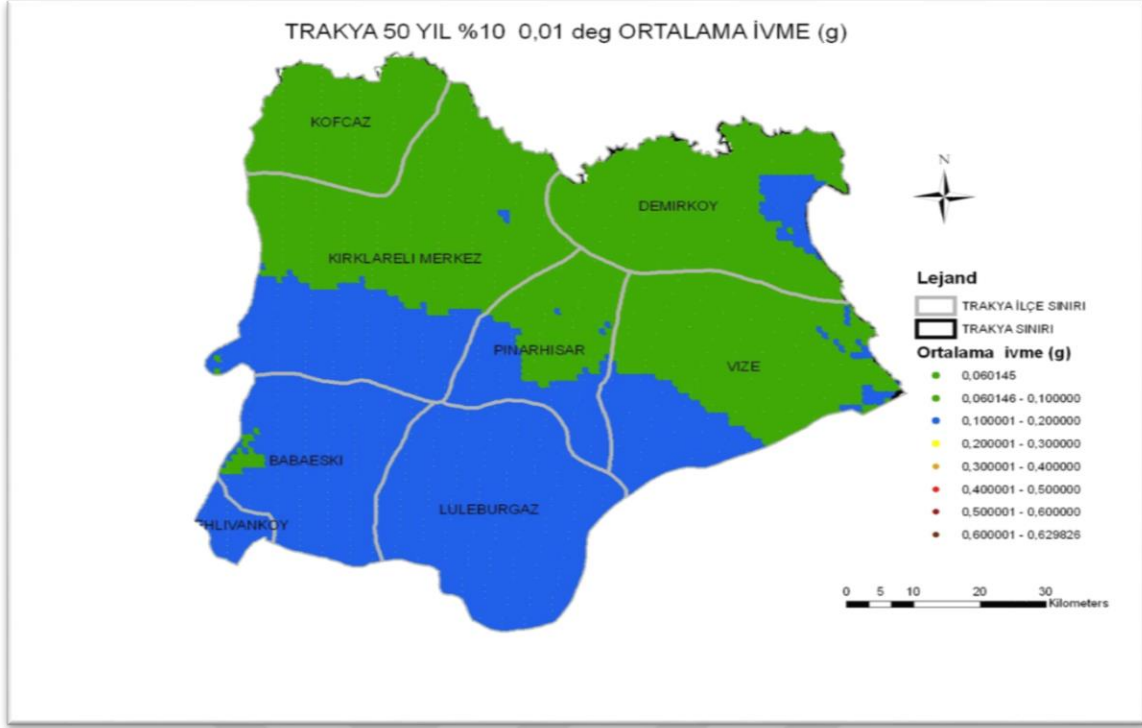
Avrupa kıtasında bulunan Kırklareli Trakya bölgesinde yer almaktadır. Kırklareli ili 41°44 - 42°00 kuzey enlemleri ve 26°53 - 41°44 Doğu Boyamları üzerinde olup 6.555 km<sup>2</sup> toprak yüz ölçümüne sahiptir. Kırklareli ilinin etrafı kuzeyden Bulgaristan, doğudan Karadeniz, batıdan Edirne, güneydoğudan İstanbul, güneyden ise Tekirdağ illeri ile çevrilidir. Arazi yapısının %48'i dağlık, %35'i dalgalı arazi, %17'si ise ovalıktır .

### 2.2 Kırklareli İli Zemin Durumu



Şekil 2. 1: Kırklareli ili zemin sınıfları haritası [39].

Kırklareli ilinin mühendislik jeolojisi ve jeofiziği özelliklerine göre zemin sınıflaması Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Sınıflamada Kalkan ve Gülkan (2004) tarafından önerilen  $V_s$  dalga hızları, iyi zemin (R) için  $V_s=700$  m/s, orta zemin (S) için  $V_s=400$  m/s ve zayıf zemin (SS) için  $V_s=200$  m/s hızları benimsenmiştir [39]. Şekil 2.2 'de ise Kırklareli ili için zemin etkisi dikkate alınarak belirlenmiş olan deprem tehlike haritası verilmiştir.



Şekil 2. 2: Zemin etkisinde deprem tehlike haritası [39].

### 2.3 Kırklareli'nin Depremselliği

Kırklareli sınırları içinde aktif fay hattı bulunmamaktadır. Kırklareli depremlerden direk etkilenmese de yakın fay hatlarından dolayı etkilenme olasılığına sahiptir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında, tasarım esnasında deprem hareketinin gerçeğe en yakın şekilde yansıtılması konusu giderek önem kazanmıştır. Deprem hareketleri tasarım esnasında yer hareketi cinsinden tanımlanır ve bu hareket parametrelerini hesaplama yöntemlerine gerek duyulur. Yer hareketi parametrelerini hesaplamada azalım ilişkileri kullanılmaktadır. Azalım ilişkilerinin çoğunluğu, tasarımda en önemli rolü oynayan maksimum yer ivmesinin belirlenmesine yöneliktir. Sismik tasarımda azalım ilişkileri sismik tehlike analizinde önemli rol oynamaktadır [7].

Azalım ilişkilerinde depremin moment büyüklüğü, uzaklık, fay yayılma hattı ve saha koşulları gibi parametrelere bağlı olarak hesaplanmaktadır. Literatürde azalım ilişkilerine ilişkin birçok ampirik bağıntı bulunmaktadır [8].

Ülkemiz de ivme-ölçer istasyonlarının sınırlı sayıda olduğu dönemlerde kaydedilmiş kuvvetli yer hareketi ivmelerinin kısıtlı sayıda olması nedeniyle, genellikle yabancı araştırmacıların geliştirdikleri azalım bağıntıları kullanılmıştır. Türkiye için önerilmiş

azalım denklemleri İnan ve diğ., 1996; Aydan ve diğ., 1996; Gülkan ve Kalkan, 2002; Özbek ve diğ., 2003; Ulutaş ve diğ., 2003; Kalkan ve Gülkan, 2004; Ulusay ve diğ., 2004 ve Beyaz, 2004'tür [40].

Bu çalışmada İnan ve diğ., (1996), Beyaz (2004) ve Boore ve diğ., (1997) olmak üzere üç yöntemle ivme azalım ilişkisi hesaplanmıştır. Hesaplama işlemi yapılırken Keskin ve Bozdoğan'ın yapmış olduğu çalışmada Kırklareli iline 200 km yakınlıkta ve büyüklüğü 6'dan büyük ( $M > 6$ ) olan depremler dikkate alınarak hazırlanmış olan tablodan (Çizelge 2.1) yararlanılmıştır [41].

**Çizelge 2. 1:** Kırklareli ili ve çevresinin deprem tarihçesi [41].

Depremin Tarihi	Depremin Meydana Geldiği Konum	Büyüklüğü (Magnitüd)	Derinliği (km)	Kırklareli İline Uzaklığı (km)
18.04.1928	Brezovo/Bulgaristan	7,1	15	200
14.04.1928	Stara Zagora/Bulgaristan	7,1	10	170
09.08.1912	Malkara/Tekirdağ	7,1	15	100
24.05.2014	Gökçeada-LimniAçıkları	6,9	6	200
06.10.1964	Manyas/Balıkesir	7,0	10-20	195
04.01.1935	Erdek/Balıkesir	6,4	30	140
05.07.1983	Biga/Çanakkale	6,1	10	180
18.03.1953	Yenice/Çanakkale	7,2	40-50	200
27.03.1975	Gökçeada/Çanakkale	6,7	5	200
23.08.1965	Enez/Edirne	6,0	15	150

Aşağıda Kırklareli için bu üç model ile ivme değerlerinin hesaplanması sunulmuştur.

### 2.3.1 İnan ve diğerleri (1996)

İnan ve diğ. (1996) tarafından geliştirilen azalım ilişkisi, 1976-1996 yılları arasındaki ivme kayıtlarından oluşmaktadır. Kullanılan veriler arasında bir sınıflandırma yapılmamıştır. Denklem oluşturulmasında kullanılan depremin büyüklüğü, ivmesi, deprem merkezi vb. bilgiler ile kaç deprem kaydının kullanıldığı gibi veriler konusunda bir bilgi verilmemektedir [40].

Bu modele göre azalım ilişkisi denklemi (2.1) ile verilmiştir.

$$\text{LogPGA} = 0,65M - 0,9\log R - 0,44 \quad (2.1)$$

Burada;

PGA: En büyük yer ivmesi ( $\text{cm}/\text{sn}^2$ )

R: Episantr mesafesi (km)

M: Depremin büyüklüğünü göstermektedir.

Çizelge 2.2’de denklem (2.1) kullanılarak elde edilen pik ivme değerleri verilmiştir.

**Çizelge 2. 2:** İnan ve diğerleri’ne (1996) göre Kırklareli ilini tehdit eden depremlerin üretebilecekleri ivme değerleri.

Depremin Tarihi	Depremin meydana Geldiği Konum	Büyüklik Magnitüd	Kırklareli iline uzaklık (km)	İvme Değeri (g)
18.04.1928	Brezovo/Bulgaristan	7,1	200	0,12
14.04.1928	Stara Zagora/Bulgaristan	7,1	170	0,15
09.08.1912	Malkara/Tekirdağ	7,1	100	0,2
24.05.2014	Gökçeada-Limni Açıkları	6,9	200	0,1
06.10.1964	Manyas/Balıkesir	7,0	195	0,1
04.01.1935	Erdek/Balıkesir	6,4	140	0,06
05.07.1983	Biga/Çanakkale	6,1	180	0,03
18.03.1953	Yenice/Çanakkale	7,2	200	0,15
27.03.1975	Gökçeada/Çanakkale	6,7	200	0,07
23.08.1965	Enez/Edirne	6,0	150	0,03

### 2.3.2 Beyaz (2004)

Çalışmada, 1976-2004 yılları arasında Türkiye'de meydana gelen ve  $M \geq 4$  ' ten büyük depremlerden elde edilen kuvvetli yer hareketi kayıtları kullanılmıştır. Türkiye genelinde alınmış kayıtlar kullanılarak fay türü dikkate alınmamıştır. Beyaz'ın çalışmasında bütün depremlerin büyüklüğü moment ( $M_w$ ) ölçeğine dönüştürülmüştür. Zemin üzerine kurulu 64 lokasyonda 25-100 m arasında değişen derinliklerde sondaj yapılmıştır. Çalışmada deprem dış merkezine olan uzaklık için 200 km'den fazla olan istasyon kayıtları kullanılmamış ve seçilen her bir deprem kaydının pik ivme değeri  $20 \text{ cm/s}^2$  'nin üzerinde seçilmiştir [40].

Bu azalım ilişkisine ait bağıntı aşağıda verilmiştir.

$$\log A = 2,08 + (0,025 M_w^2 - 1,001 \log(R + 1)) \quad (2.2)$$

Burada;

A: En büyük yatay yer ivmesi( $\text{cm/s}^2$ )

R: Episantr mesafesi (km)

$M_w$ : Depremin süreye bağlı büyüklüğünü, göstermektedir.

Çizelge 2.3'te denklem (2.2) kullanılarak elde edilen ivme değerleri sunulmuştur.

**Çizelge 2. 3:** Beyaz (2004)'a göre Kırklareli ilini tehdit eden depremlerin üretebilecekleri ivme değerleri.

Depremin Tarihi	Depremin meydana geldiği konum	Büyüklik Magnitüd	Kırklareli iline Uzaklık(km)	İvme değeri (g)
18.04.1928	Brezovo/Bulgaristan	7.1	200	0,01
14.04.1928	Stara Zagora/Bulgaristan	7.1	170	0,01
09.08.1912	Malkara/Tekirdağ	7.1	100	0,02
24.05.2014	Gökçeada-LimniAçıkları	6.9	200	0,01
06.10.1964	Manyas/Balıkesir	7.0	195	0,01
04.01.1935	Erdek/Balıkesir	6.4	140	0,01
05.07.1983	Biga/Çanakkale	6.1	180	0,006
18.03.1953	Yenice/Çanakkale	7.2	200	0,01
27.03.1975	Gökçeada/Çanakkale	6.7	200	0,008
23.08.1965	Enez/Edirne	6.0	150	0,005

### 2.3.3 Boore ve diğerleri (1997)

Polat Gülkan ve Erol Kalkan tarafından 2002 yılında geliştirilen ve Türkiye'nin kuzey batı bölümü dikkate alınarak oluşturulmuş bir azalım ilişkisi seçilmiştir. Türkiye'de bulunan 47 yerel ölçüm istasyonundan toplanan veriler kullanılarak Boore ve diğ. tarafından 1997 yılında üretilmiş denklemin ölçüm verilerine uyarlanmasıyla elde edilmiştir.

Denklem (2.3) ve (2.4) 'te bu azalım ilişkisi tanımlanmaktadır.

$$\ln(Y) = b_1 + b_2(M_w - 6) + b_3 (M_w - 6)^2 + b_5 \ln r + b_v \ln(V_s / V_A) \quad (2.3)$$

$$r = (r_{cl}^2 + d^2)^{1/2} \quad (2.4)$$

Formülde ;

Y, ivme değeri ve g (9.81 m/s) cinsinden ifade edilmektedir.

$M_w$ , depremin aletsel büyüklüğü

$V_s$ , zemin dayanım hızı

$V_A$ , regresyon sonucu elde edilmiş hayali bir hız değeri

$r_{cl}$ , noktanın faya olan uzaklığı ve  $d$  depremin merkezinin derinliğidir. Formül de  $V_A$  sabit iken zemin D sınıfı ( $V_{s30}=250$  m/s) kabul edilip hesaplar yapılmıştır [42].

Çizelge 2.4 'te hesapta kullanılan kat sayılar verilmiştir.

**Çizelge 2. 4:** Hesapta kullanılan katsayılar.

Periyod, s	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_5$	$b_v$	$V_A$
0 (PGA)	-0,682	0,253	0,336	-0,562	-0,297	1381

Çizelge 2.5 'te ise modelde kullanılan zemin sınıflandırması NEHRP'e uygun olarak verilmiştir.

**Çizelge 2. 5:** NEHRP hükümlerinde ve Uniform Building Code'da  $V_{s30}$ 'a göre zemin sınıflaması.

Zemin Sınıfı Tanım	Özellikler
A. Sağlam Kaya	$V_s > 1500$
B. Kaya	$760 < V_s \leq 1500$
C .Çok Sıkı-Sert Zemin yada Yumuşak Kaya	$360 < V_s \leq 760$
D. Sert-Sıkı Zemin	$180 < V_s \leq 360$

Yukarıda verilen bağıntılar kullanılarak hesaplanan pik ivme değerleri Çizelge 2.6'da verilmiştir.

**Çizelge 2. 6:** Boore ve diğerleri (1997 ) denklemleri ile PGA hesap.

Depremin Tarihi	Depremin Meydana Geldiği Konum	Büyüklüğü (Magnitüd)	Derinliği (km)	Kırklareli İline Uzaklığı (km)	V <sub>s</sub>	Y(PGA)
18.04.1928	Brezovo/Bulgaristan	7,1	15	200	250	0,08
14.04.1928	StaraZagora Bulgaristan	7,1	10	170	250	0,09
09.08.1912	Malkara/Tekirdağ	7,1	15	100	250	0,12
24.05.2014	Gökçeada-Limni Açıkları	6,9	6	200	250	0,07
06.10.1964	Manyas/Balıkesir	7,0	10-20	195	250	0,08
04.01.1935	Erdek/Balıkesir	6,4	30	140	250	0,06
05.07.1983	Biga/Çanakkale	6,1	10	180	250	0,05
18.03.1953	Yenice/Çanakkale	7,2	40-50	200	250	0,09
27.03.1975	Gökçeada/Çanakkale	6,7	5	200	250	0,06
23.08.1965	Enez/Edirne	6,0	15	150	250	0,04

## 2.4 Tasarım Spektrumu Köşe Periyotlarının Belirlenmesi

### 2.4.1 İvme platosu köşe periyotları

Eşit tehlike spektrumları kullanılarak hesaplanacak olan tasarım spektrumu ivme platosu köşe periyotlarının  $T_0$  ve  $T_s$  belirlenmesi için NEHRP (BSSC, 2009) şartnamesinde tanımlanan yöntem kullanılmıştır. Denklemden  $SA_{0.2}$  kısa periyot ivme değerini,  $SA_{1.0}$  ara periyot ivme değerini temsil etmektedir ve  $T_0$  değeri ise  $T_s$  değerinin %20'si olarak dikkate alınmıştır [43].

$$T_s = SA_{0.1} / SA_{0.2} \quad (2.5)$$

$$T_s = 0,2T_s \quad (2.6)$$

Eğriler oluşturulurken  $T=0$  s'deki ivme değeri (PGA)  $SA_{0.2}$ 'nin % 40 olarak dikkate alınmıştır.  $SA_{0.2}$  ve  $SA_{1.0}$  değerlerinin mevcut olmadığı durumlarda ise  $T_s$  değerinin belirlenebilmesi için PGA değerine bağlı olarak hesaplanabileceği ampirik bağıntılar türetilmiştir. Tasarım spektrumu grafiği elde edilirken sabit ivme bölgesi köşe periyotlarının belirlenmesinden sonra uzun periyot bölgesine geçiş periyodunun ( $T_L$ ) belirlenmesi aşamasına geçilir. İlk olarak gerçek ve simülasyon deprem kayıtları kullanılarak moment magnitüd - periyot ( $M_w$ - $T_L$ ) ilişkisi çıkarılmıştır [43].

Bu işlemler için Türkiye kuvvetli yer hareketi veri tabanından magnitüd aralığı  $6.0 \leq M_w \leq 7.6$  , ( $R_{JB}$ ) aralığı  $0 \leq R_{JB} \leq 50$  km olan 41 ivme kaydının geometrik ortalaması ve  $V_{S30}$  değerleri 255, 520 ve 760 m/s için elde edilmiş 210 sentetik (simülasyon) kayıt kullanılmıştır [43].

Aşağıda  $T_s$  , $T_L$  değerleri için kullanılan bağıntılar sunulmuştur.

$$T_s = a - b * \exp(-c * PGA^{ad}) \quad (2.7)$$

$$T_L = 0.00784 * \exp(0.887 * M_w) \quad (2.8)$$

$SA$  değerleri ise aşağıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplanır [42].

$$SA = SA_{0.2} (0.4 + 0.6 T / T_0) \quad T < T_0 \quad (2.9)$$

$$SA = SA_{0.2} \quad T_0 \leq T \leq T_s \quad (2.10)$$

$$SA = SA_{0.2} T_s / T \quad T_s < T \leq T_L \quad (2.11)$$

$$SA = SA_{0.2} T_s T_L / T^2 \quad T > T_L \quad (2.12)$$

Çizelge 2.7'de dönüş periyot yıllarına göre kat sayılar verilmiş olup denklem 2.7' de yer alan değerler dikkate alınarak Çizelge 2.8'de belirtilen farklı zemin sınıflarına ve dönüş periyotlarına göre ivme değerleri verilmiştir.



**Çizelge 2. 7:** Farklı zemin sınıfları ve dönüş periyotları için TS köşe periyodu denklem katsayıları [43].

Zemin Sınıfı	Dönüş Periyodu (TR, yıl)	a	b	c	d
Kaya ( $V_{S30}=760\text{m/s}$ )	72	0,51891	0,31731	0,01878	-1,55510
	475	0,49810	0,24568	0,03851	-1,51627
	2475	0,38125	0,09011	0,00254	-4,51748
Sert ( $V_{S30}=520\text{m/s}$ )	72	0,58318	0,32717	0,01841	-1,57401
	475	0,59724	0,28033	0,03108	-1,57838
	2475	0,46481	0,10818	0,00299	-4,32884
Yumuşak ( $V_{S30}=255\text{m/s}$ )	72	0,72000	0,27301	0,00826	-1,95645
	475	0,76447	0,24461	0,02636	-1,87939
	2475	0,76045	0,20488	0,01883	-2,80825
Çok Yumuşak ( $V_{S30}=180\text{m/s}$ )	72	0,8156	0,22872	0,01336	1,72052
	475	0,84546	0,14631	0,00722	-2,67902
	2475	0,86110	0,13761	0,03139	-2,75553

**Çizelge 2. 8:** Boore ve diğ.1997 denklemi ile Malkara / Tekirdağ depreminin farklı zemin sınıflarına göre hesaplanmış PGA değerleri.

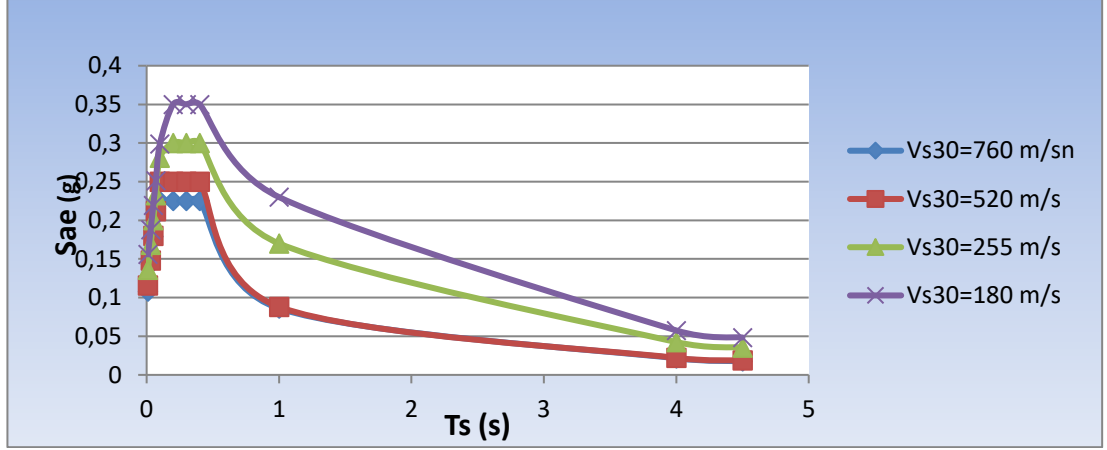
Dönüş Periyodu (TR,yıl)	Zemin sınıfı $V_{S30}$	Büyüklüğü (Magnitud)	Derinliği (km)	Kırklareli İline Uzaklığı (km)	PGA
72 Yıl Dönüşümlü	$V_{S30}=760\text{ m/s}$	7,1	15	100	0,09
	$V_{S30}=520\text{ m/s}$	7,1	15	100	0,1
	$V_{S30}=255\text{ m/s}$	7,1	15	100	0,12
	$V_{S30}=180\text{ m/s}$	7,1	15	100	0,14
475 Yıl Dönüşümlü	$V_{S30}=760\text{ m/s}$	7,1	15	100	0,09
	$V_{S30}=520\text{ m/s}$	7,1	15	100	0,1
	$V_{S30}=255\text{ m/s}$	7,1	15	100	0,12
	$V_{S30}=180\text{ m/s}$	7,1	15	100	0,14
2475 Yıl Dönüşümlü	$V_{S30}=760\text{ m/s}$	7,1	15	100	0,09
	$V_{S30}=520\text{ m/s}$	7,1	15	100	0,1
	$V_{S30}=255\text{ m/s}$	7,1	15	100	0,12
	$V_{S30}=180\text{ m/s}$	7,1	15	100	0,14

PGA- $T_s$  bağılı tasarım spektrumunun belirlenmesi için öncelikli olarak Denklem 2.3 kullanılarak her bir saha için PGA değerleri hesaplanmış ve her bir PGA'ya denk gelen  $T_s$  değeri katsayılar dikkate alınarak elde edilmiştir. Bu değerler 3 farklı dönüş periyodu ve 4 farklı zemin sınıfı (sırasıyla  $V_{S30} = 760, 520, 255$  ve  $180$  m/s ile temsil edilen kaya zemin, sert zemin, yumuşak zemin ve çok yumuşak zemin) için ayrı ayrı Malkara/Tekirdağ depremi dikkate alınarak belirlenmiştir.

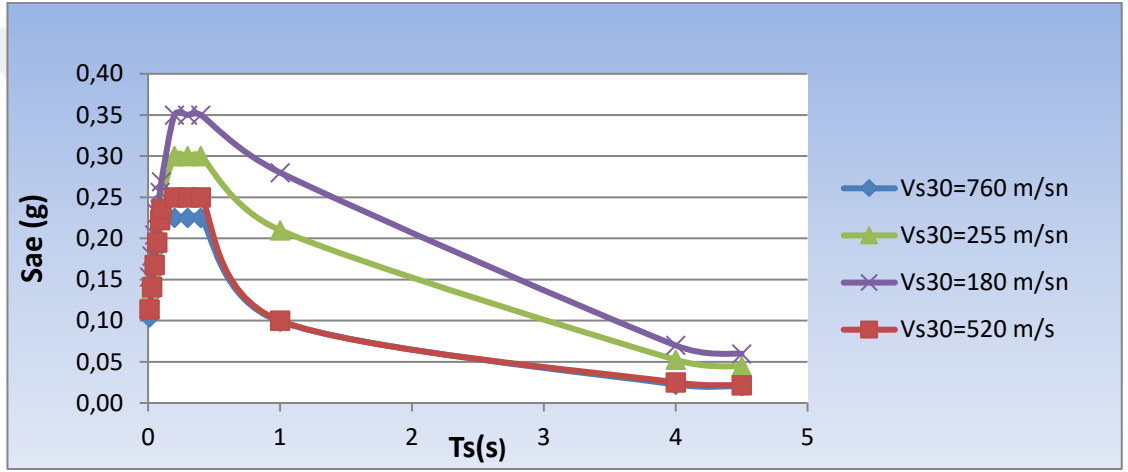
Tablodaki köşe periyot katsayıları kullanılarak PGA değerlerine göre hesaplanan ampirik  $T_s$  değerleri Çizelge 2.9'da görülmektedir. Tasarım spektrum grafiği Denklem (2.9), (2.10), (2.11), (2.12) 'de verilen bağıntılar dikkate alınarak hesaplanmıştır. Hesaplanan spektrumlar 72, 475, 2475 yıl için sırasıyla Şekil 2.3, 2.4 ve 2.5' te çizilmiştir.

**Çizelge 2. 9:**Malkara/Tekirdağ depremi dikkate alınarak dönüş periyotları ve zemin sınıflarına göre hesaplanmış değerler.

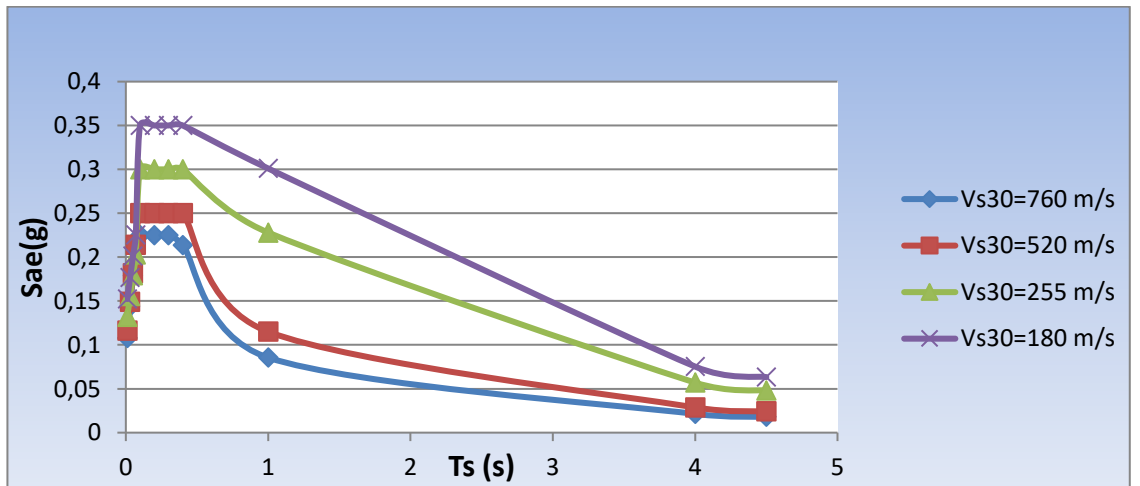
Dönüş Periyodu (TR,yıl)	Zemin sınıfı	PGA	$T_s$	$T_L$
72 Yıl Dönüşümlü	$V_{S30}=760$ m/s	0,09	0,38	4,26
	$V_{S30}=520$ m/s	0,1	0,42	4,26
	$V_{S30}=255$ m/s	0,12	0,56	4,26
	$V_{S30}=180$ m/s	0,14	0,66	4,26
475 Yıl Dönüşümlü	$V_{S30}=760$ m/s	0,09	0,44	4,26
	$V_{S30}=520$ m/s	0,1	0,51	4,26
	$V_{S30}=255$ m/s	0,12	0,71	4,26
	$V_{S30}=180$ m/s	0,14	0,81	4,26
2475 Yıl Dönüşümlü	$V_{S30}=760$ m/s	0,09	0,38	4,26
	$V_{S30}=520$ m/s	0,1	0,46	4,26
	$V_{S30}=255$ m/s	0,12	0,76	4,26
	$V_{S30}=180$ m/s	0,14	0,86	4,26



Şekil 2. 3: 72 yıl dönüş periyotlu ve dört farklı zemin türleri için köşe periyotları yöntemi ile belirlenmiş spektral ivme değerleri.



Şekil 2. 4: 475 yıl dönüş periyotlu ve dört farklı zemin türleri için köşe periyotları yöntemi ile belirlenmiş spektral ivme değerleri.



Şekil 2. 5 : 2475 yıl dönüş periyotlu ve dört farklı zemin türü için köşe periyotları yöntemi ile belirlenmiş spektral ivme değerleri.

#### 2.4.2 Yerel zemin etki katsayılarının ivme değerleri üzerindeki etkisi

Bu çalışmada Kırklareli ili yakınlarında meydana gelmiş olan Malkara/Tekirdağ depremi ele alınarak dört zemin sınıfı için spektral ivme grafiği çizilmiştir. TBDY 2018’de Türkiye Deprem Tehlike Haritaları kapsamında belirtilen dört farklı deprem yer hareketi düzeyi için boyutsuz harita spektral ivme katsayıları tanımlanmıştır: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı  $S_S$  ve 1 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı  $S_1$  olarak belirtilmiştir. Harita spektral ivme katsayıları tasarım spektral ivme katsayılarına dönüştürülmüştür [42].

$$S_{DS} = S_S F_S \quad (2.13)$$

$$S_{D1} = S_1 F_1 \quad (2.14)$$

$S_{DS}$  ve  $S_{D1}$  tasarım spektral ivme katsayılarını göstermektedir.

Tasarım ivme katsayıları, harita spektral ivme katsayıları ile yerel zemin etki katsayılar çarpımından elde edilmiştir. Spektral ivme değerleri aşağıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplanmıştır.

$$S_{ae}(T) = (0.4 + 0.6T/T_A) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (2.15)$$

$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (2.16)$$

$$S_{ae}(T) = S_{D1}/T \quad (T_A \leq T \leq T_L) \quad (2.17)$$

$$S_{ae}(T) = S_{D1} T_L/T \quad (T_L \leq T) \quad (2.18)$$

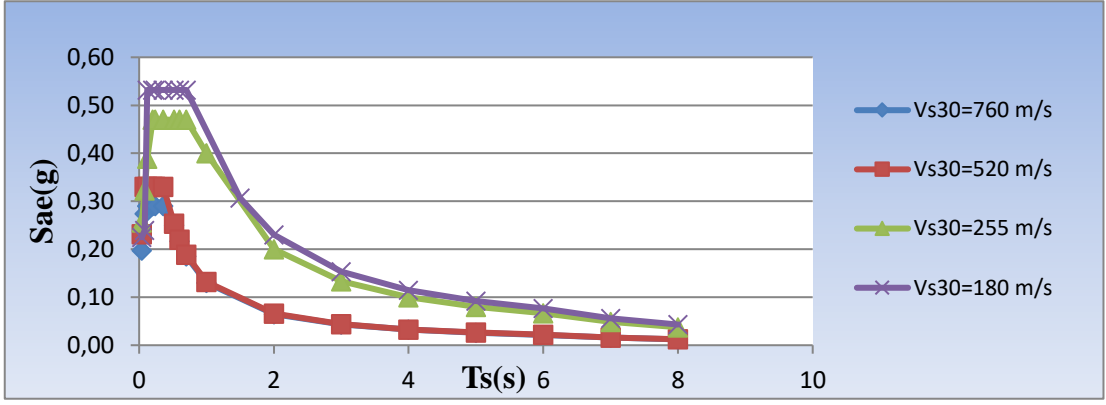
Yönetmelikte yatay tasarım spektrumu köşe periyotları  $T_A$  ve  $T_B$ ,  $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$ ’e bağlı olarak tanımlanmıştır.

$$T_A = 0.2S_{D1}/S_{DS} \quad (2.19)$$

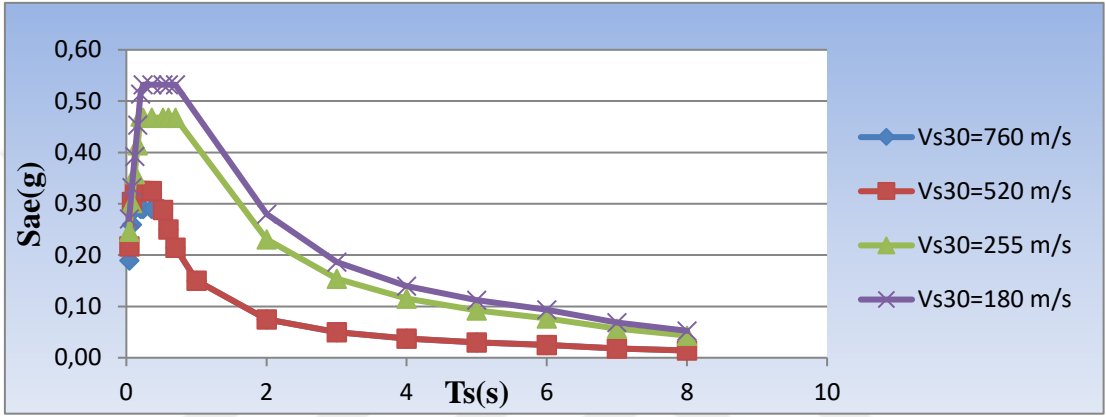
$$T_B = S_{D1}/S_{DS} \quad (2.20)$$

Sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu  $T_L = 6s$  alınacaktır [44].

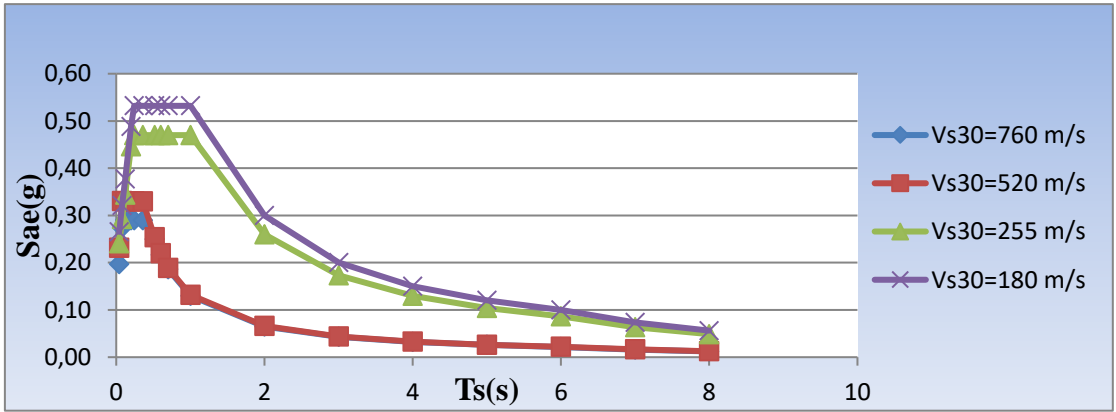
Şekil 2.6, Şekil 2.7 ve Şekil 2.8 ‘da yerel zemin etki katsayıları dikkate alınarak çizilen 72 yıl, 475 yıl ve 2475 yıl dönüşlü spektral ivme grafikleri verilmiştir.



Şekil 2. 6: Yerel zemin etki katsayıları etki ettirilerek 72 yıl dönüşlü spektral ivme grafiği.



Şekil 2. 7: Yerel zemin etki katsayıları etki ettirilerek 475 yıl dönüşlü spektral ivme grafiği.



Şekil 2. 8: Yerel zemin etki katsayıları ettilerilerek 2475 yıl dönüşlü spektral ivme grafiği.

Bu çalışmada yeni yönetmeliğe (2018 TBDY) göre Kaya zemin, sert zemin için ZC sınıfı, yumuşak zemin ve çok yumuşak zemin ZD sınıfı seçilmiştir. ZC ve ZD sınıfı etki katsayıları yardımıyla tekrar hesaplanarak grafikler çizilmiştir.

$T_A$  ve  $T_B$  zemin hakim periyotları TDY 2007’de sadece zemin sınıflarına göre farklılık gösterirken, TBDY 2018’de değerler yerel zemin etki katsayılarından tasarım spektral ivme katsayılarının elde edilmesiyle değişiklik göstermiştir. Aynı bölge için spektral ivme katsayıları TDY 2007’ ye göre farklı zemin sınıflarında değişmezken yeni yönetmelik olan TBDY 2018’de değerler zemin sınıflarına göre farklılık göstermektedir.

TBDY 2018’de ivme platosu sert zeminden çok yumuşak zemin türlerine doğru gidildikçe ivme katsayıları artmaktadır. Grafikler incelendiğinde varılan sonuç bölgesel olmamakla birlikte zemin grupları için TBDY 2018’in TDY 2007’ye göre daha güvenli tarafta kaldığını göstermektedir [45].



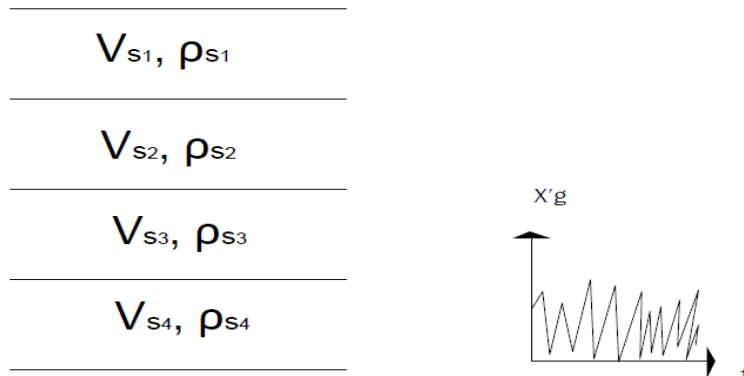
### 3. ZEMİN YAPI ETKİLEŞİMİ

Zemin yapı etkileşimi konusu özellikle yüksek yapılarda ve zayıf zemine oturan yapılarda önemlidir. Bu tür yapıların yer hareketi etkisi altında davranışlarının belirlenmesinde mutlaka zemin yapı etkileşiminin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bunun için özellikle Geoteknik Mühendisi ile üst yapı ile uğraşan mühendislerin beraber çalışarak analizleri birlikte gerçekleştirmeleri önemlidir.

Zemin yapı etkileşiminin dikkate alınmasında literatürde yaygın olarak kullanılan iki model mevcuttur. Bunlar;

- a) Alt sistem yaklaşımı
- b) Direkt yöntem yaklaşımı

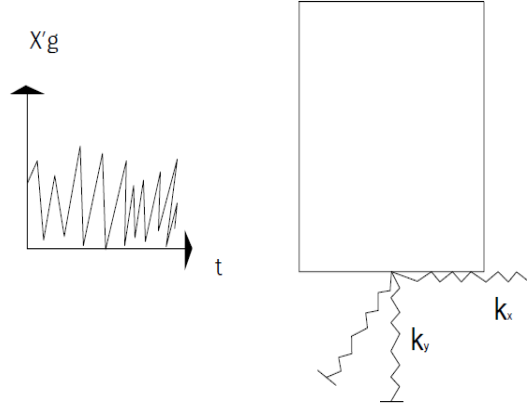
Alt sistem yaklaşımı: Uygulamada daha yaygın olarak kullanılan bu yaklaşımda üstyapı ve zemin ortamı ayrı olarak modellenmektedir. Bu modellemede öncelikle deprem dalgalarının ve dolayısıyla yer hareketinin üst yapı temeline taşınmasını ifade eden ve Şekil 3.1’de verilen kinematik etkileşim analizi gerçekleştirilir.



Şekil 3. 1: Kinematik etkileşim.

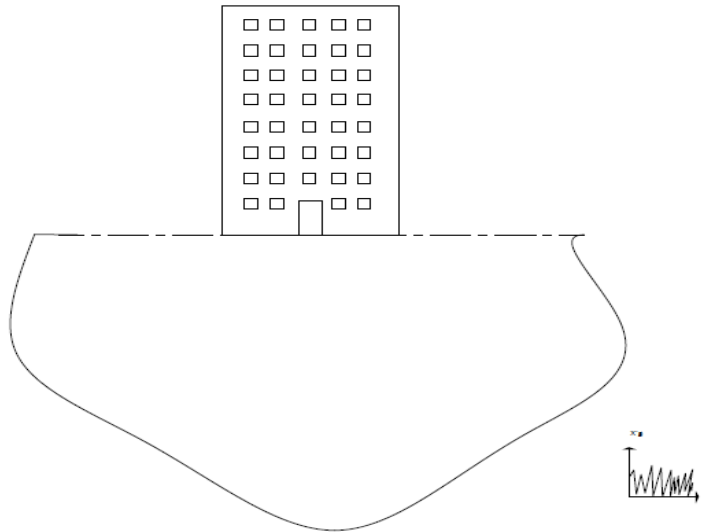
Daha sonra ise Şekil 3.2’de verilen eylemsizlik etkileşimi olarak adlandırılan üstyapının çözümüne geçilir. Bunun için üst yapının temel seviyesinde yaylar

tanımlanır ve empedans fonksiyonları yardımıyla yapı temeline taşınan yer hareketi etkisi altında bu sistem çözülür .



**Şekil 3. 2:** Eylemsizlik etkileşimi.

Direkt yöntem yaklaşımı zaman alıcı ve karmaşık işlemleri gerektirmesi bakımından çok tercih edilmese de son yapılan çalışmalar alt sistem yaklaşımının direkt yöntem yaklaşımına göre iç kuvvetler açısından farklı sonuçlar verdiğini göstermektedir. Şekil 3.3’de direkt yöntem yaklaşımı gösterilmiştir.



**Şekil 3. 3:** Zemin yapı etkileşiminde direkt yöntem yaklaşım.



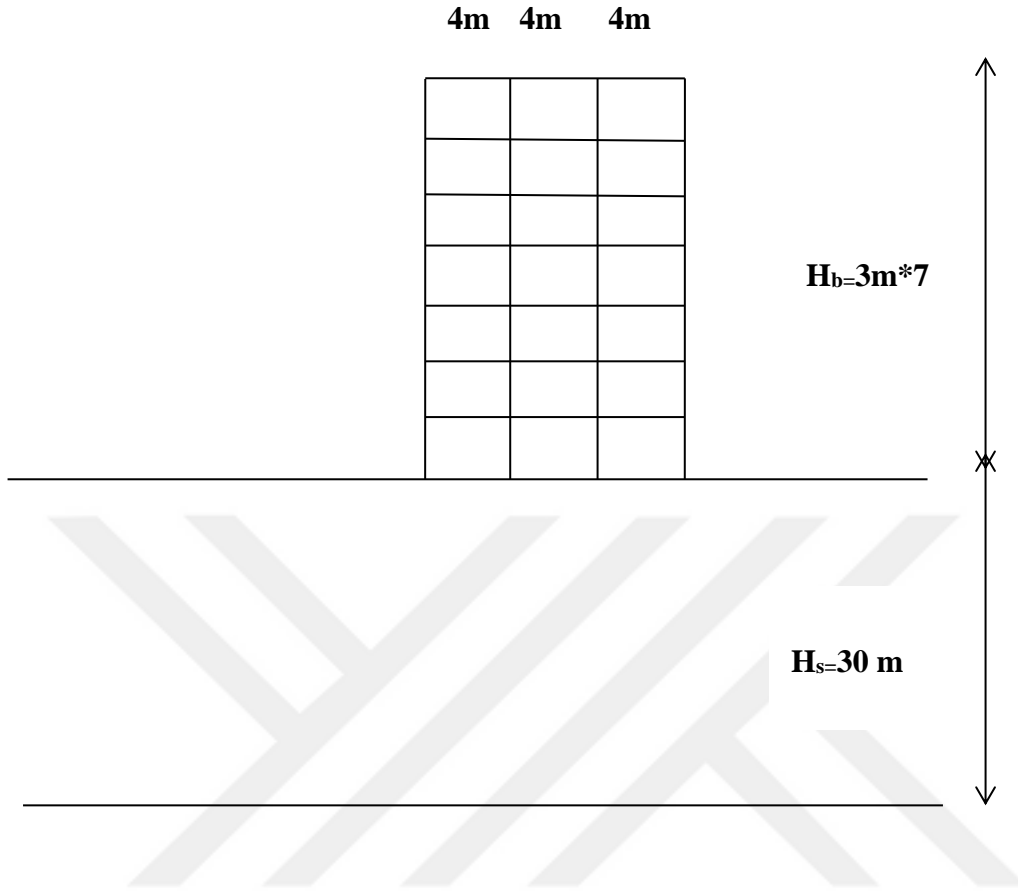
#### **4.ANALİZLER**

Betonarme yapılarda tasarım aşamasında genellikle üstyapı ve temel sistemi birbirinden bağımsız düşünülerek boyutlandırılmakta ve donatılmaktadır. Bu durumda üstyapının hesabında temel seviyesinde ankastre mesnet kabulü yapılmaktadır. Bu kabüle göre üstyapının deprem davranışında zemin etkileri ihmal edilmektedir. Oysaki zemin etkisinin sadece temel sisteminde değil tüm yapıda davranışı değiştirmesi ve önemli tasarım parametrelerinden biri olması beklenmektedir.

Dolayısıyla güvenilir bir analiz için yapı sistemini zemin ile etkileşimli olarak dikkate almak önem arz etmektedir. Bunun yanı sıra zemin yapı etkileşimini gerçekçi bir şekilde ortaya koyacak zemin modellerine ihtiyaç vardır ve güvenilir bir projelendirme için yapının davranışının yanı sıra zeminin davranışını ve aralarındaki ilişkiyi de mümkün olduğunca doğru belirlemek gerekir.

##### **4.1. Düzlem Çerçeve Sistemin Zemin Yapı Etkileşimi Dikkate Alınarak Dinamik Analizi**

Bu bölümde Şekil 4.1' de görülen 7 katlı ve 3 açıklıklı düzlem çerçeve örneği ele alınmıştır. Betonarme düzlem çerçevede malzeme olarak C30/37 beton sınıfı kullanıldığı kabul edilmiş olup kirişler 30 cm/60 cm, kolonlar ise 35 cm/70 cm boyutlarında seçilmiştir. Kat kütleleri ise ilk 6 kat için 60 ton olarak dikkate alınırken, 7. katta ise 45 ton olarak belirlenmiştir. Çerçevenin oturmuş olduğu zemin tabakasının kalınlığı Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğindeki zemin sınıflandırmasında dikkate alınan 30 m olarak seçilmiş olup 5 farklı zemin sınıfı için çözümlenmeler gerçekleştirilmiştir. Kullanılan 5 farklı zemin sınıfına ait özellikler Çizelge 4.1'de verilmiştir. Zemin sınıflarına ait özelliklerin belirlenmesinde Tezcan ve Durgunoğlu (2000) tarafından yapılmış çalışmadan yararlanılmıştır [46].



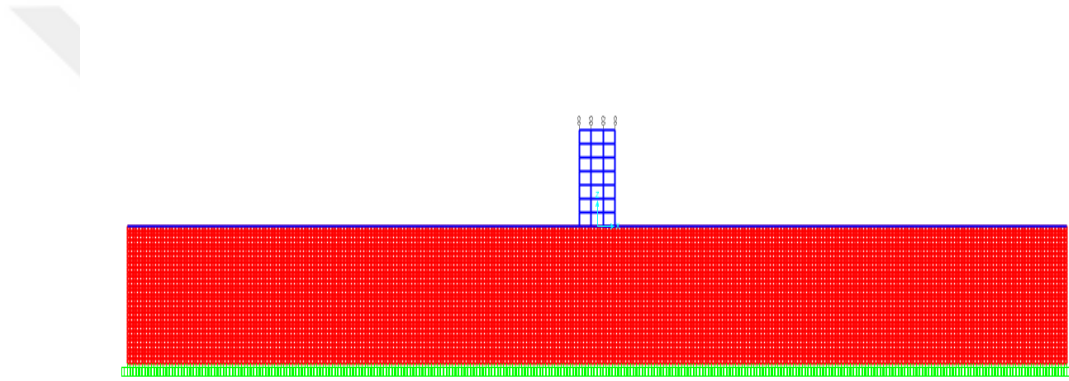
**Şekil 4. 1:** Zemin yapı etkileşimi için dikkate alınan düzlem çerçeve örneği.

**Çizelge 4. 1:** Zemin sınıflarının özellikleri.

Zemin Tipi	Kayma Dalgası Hızı (m/sn)	Birim Hacim Ağırlığı (kN/m <sup>3</sup> )	Poisson Oranı
ZA	2000	21	0,3
ZB	1200	20	0,28
ZC	560	19	0,41
ZD	300	18	0,42
ZE	150	17	0,48

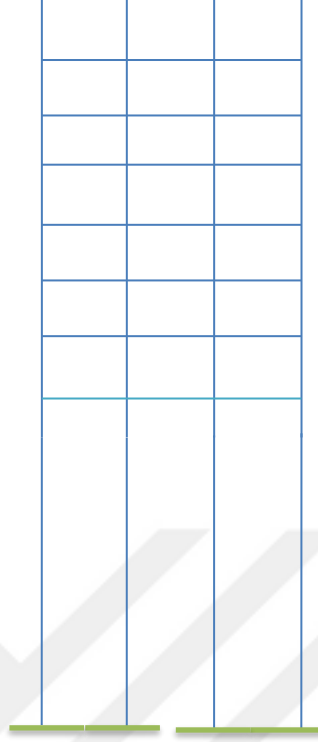
Bu tez kapsamında Şekil 4.1’de verilen düzlem çerçeve örneğinin dinamik analizi için dört farklı model kullanılmıştır. Bu modeller;

**Birinci Model:** Bu modelde Şekil 4.2’ de görüldüğü üzere zemin kabuk elemanlarla modellenmiştir. Yapı ile zeminin beraber çalışmasını sağlamak üzere yapının altına eğilme rijitliği büyük olan bir bağlantı elamanı tanımlanmıştır. Kabuk elemanlarla tasarlanan zeminin uzunluğu 312 m ve kayma alanı  $1/n$ ’dir (n:zemin genişliği). Zemin sonlu elemanlara bölünerek analiz gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında bu model kullanılarak yapılan analizler SAP2000 yazılımı [47] kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu modellemede özellikle zeminin yanal sınırlarının doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Yanal sınırların yeterli seçilmemesi durumunda sonuçlar gerçek değerlerden uzaklaşmaktadır.



**Şekil 4. 2:** Zeminin kabuk elemanlarla modellenmiş sistem.

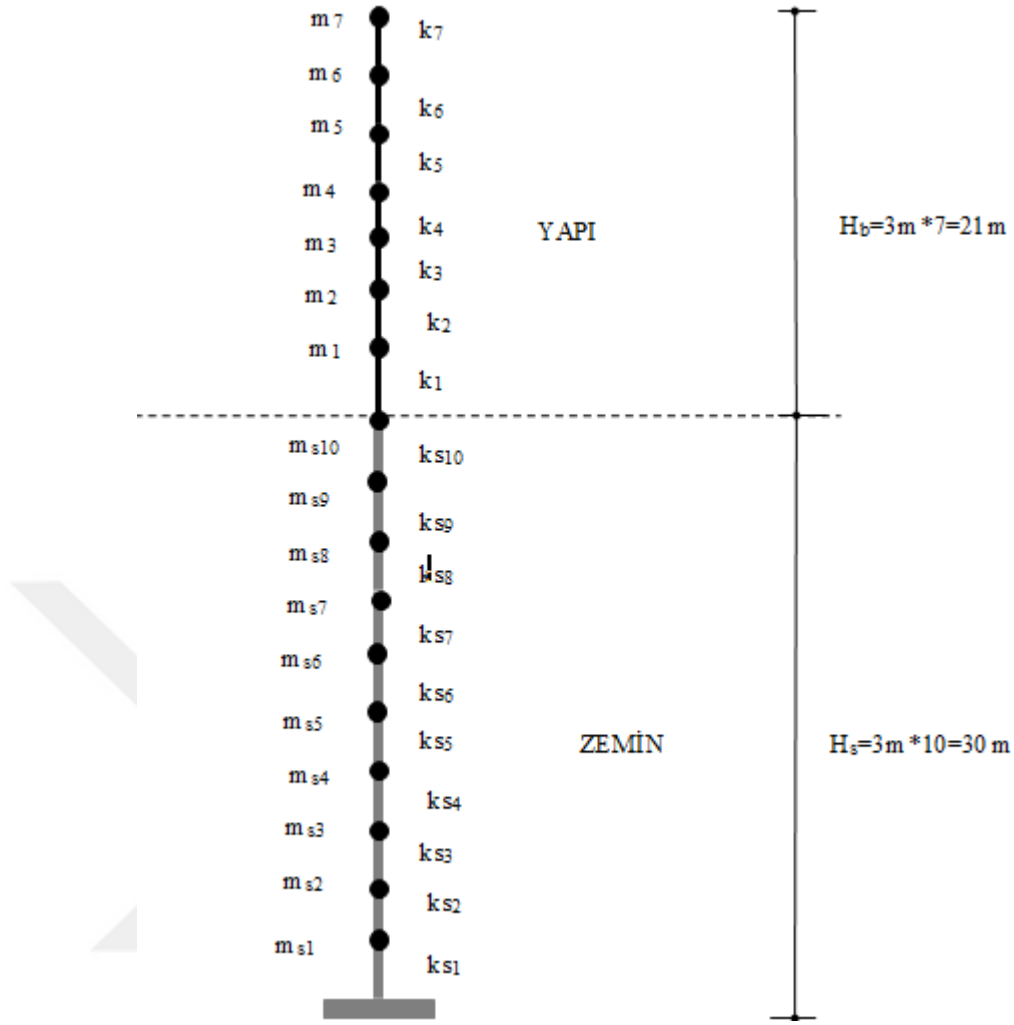
**İkinci Model:** Bu modelde Şekil 4.3’ te görüldüğü gibi zemin eşdeğer kolonlar olarak temsil edilmiştir. Zemini temsil eden eşdeğer kolonlar zemin derinliği kadar uzatılmıştır. Eşdeğer kolonların kayma modülü zeminin kayma modülü olarak tanımlanırken kayma alanı zemini temsil eden kolon sayısı  $n$  olmak üzere  $1/n$  olarak dikkate alınmıştır. Zeminin kütlesi zemin kolonlarına ayrıık kütle olarak her üç metrede bir olacak şekilde etkilmiştir. Bu modelleme ile analiz SAP2000 programı [47] yardımıyla yapılmıştır.



**Şekil 4. 3:** Eşdeğer kolonlar olarak temsil edilmiş sistem.

**Üçüncü Model:** Bu modelde Şekil 4.4' te çerçeve üstü yapısı ve zemin eşdeğer kayma kirişi olarak modellenerek ayırık kütle hesap modeline göre dinamik analize esas olan kütle ve yatay kayma rijitliği matrisleri oluşturulmuştur. Analizler SCILAB programı [48] yardımıyla gerçekleştirilmiştir . Modelde zemin tabakası 10 eşit parçaya bölünerek kütleler ayırık olarak etkilmiştir. Modelin uygulanmasında aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

- a) Çerçevede kiriş ve kolonlarda aksenal yer değiştirmeler ihmal edilmiştir.
- b) Kiriş ve kolonlarda moment sıfır noktalarının ortada olduğu kabul edilmiştir.



**Şekil 4. 4:** Zemin yapı etkileşimi için kayma kirişi modeli.

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

$$k_{si} = \frac{G_s A_s}{h_s} \quad (4.1)$$

Burada sırasıyla  $G_s$  ve  $A_s$  zemin ortamının kayma modülünü ve alanını göstermektedir.  $A_s$  hesaplarda 1 olarak dikkate alınmıştır.  $h_s$  zemin ortamının tabaka kalınlığını göstermekte olup bu çalışmada 30 m lik zemin tabakası 10 eşit parçaya bölüdüğü için 3 m olarak dikkate alınmıştır.

5 farklı zemin sınıfı için hesaplanan ( $G_s$ ) kayma rijitliği değerleri aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$G_s = \rho V_s^2 \quad (4.2)$$

Eşdeğer kayma rijitliği değerleri aşağıda hesaplanmıştır.

$$\text{ZA için } G = 8562691,132 \text{ kN/m}^2 \quad k_{1,\dots,10} = \frac{8562691,132}{3} = 285666,67 \text{ kN/m}$$

$$\text{ZB için } G = 2935779,8 \text{ kN/m}^2 \quad k_{1,\dots,10} = \frac{2935779,8}{3} = 978593,272 \text{ kN/m}$$

$$\text{ZC için } G = 607380,2 \text{ kN/m}^2 \quad k_{1,\dots,10} = \frac{607380,2}{3} = 55045,872 \text{ kN/m}$$

$$\text{ZD için } G = 165137,61 \text{ kN/m}^2 \quad k_{1,\dots,10} = \frac{165137,61}{3} = 202460,075 \text{ kN/m}$$

$$\text{ZE için } G = 41287,5 \text{ kN/m}^2 \quad k_{1,\dots,10} = \frac{41287,5}{3} = 12996,942 \text{ kN/m}$$

Üst yapıyı temsil eden Eşdeğer kayma kirişinin birinci kat yatay rijitliğinin hesabında Tarantath tarafından önerilen aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır [49].

$$k_1 = \frac{8}{h_1^2 \left( \frac{1}{5r_1} + \frac{1}{s_1} \right)} \quad (4.3)$$

Çerçevenin diğer katlarındaki kayma rijitliği ise kiriş ve kolonlarda moment sıfır noktalarının ortada olduğu kabulüyle aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır [50,51,52].

$$k_i = \frac{12}{h_i^2 \left( \frac{1}{r_i} + \frac{1}{s_i} \right)} \quad i = 2 \dots \dots n \quad (4.4)$$

Burada sırasıyla  $r_i$  ve  $s_i$  i. katta kiriş ve kolonların redörleri toplamını göstermekte olup aşağıdaki bağıntılarla hesaplanır.

$$r_i = \sum_{j=1}^g \frac{EI_{bj}}{l_i} \quad (4.5)$$

$$s_i = \sum_{j=1}^n \frac{EI_{cj}}{h_1} \quad (4.6)$$

Burada ;

$g$  : kattaki toplam kiriş sayısını

$I_{bi}$ : i. kiriş atalet momentini

$l_i$ : i. kiriş açıklığını göstermektedir.

$n$ : kattaki toplam kolon sayısını

$I_{ci}$ : i. kolon atalet momentini

$h_1$ : kolonun birinci kattaki yüksekliğin göstermektedir.

Bu örnekte yatay kayma rijitliği değeri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Öncelikle kolonların ve kirişlerin atalet momentleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Kirişler (30 cm/60 cm)  $L_i=4$  m

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{0,30 * 0,6^3}{12} = 5,4 * 10^3 \text{ m}^4$$

Kolonlar (35 cm/70 cm)  $L_i=3$  m

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{0,35 * 0,7^3}{12} = 0,010 \text{ m}^4$$

Kolon ve kiriş redörleri ise aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$r_{11,...17} = 3 * \frac{3,2 * 10^7 * 5,4 * 10^{-3}}{4} = 129600 \text{ kNm}$$

$$s_{11,...17} = 4 * \frac{3,2 * 10^7 * 0,010}{3} = 426666,667 \text{ kNm}$$

Kat yatay rijitlikleri ise (4.3) ve (4.4) bağıntıları yardımıyla hesaplanmıştır:

**k<sub>11</sub> kat ;**

$$k_{11} = \frac{8}{3h_1^2 \left( \frac{1}{5r_1} + \frac{1}{s_1} \right)} = \frac{8}{3^2 \left( \frac{1}{5 * 129600} + \frac{1}{426666,667} \right)} = 228742,309 \text{ kN/m}$$

**k<sub>12</sub> ile k<sub>17</sub> katları ;**

$$k_{12,...17} = \frac{12}{h_i^2 \left( \frac{1}{r_i} + \frac{1}{s_i} \right)} = \frac{12}{3^2 \left( \frac{1}{129600} + \frac{1}{426666,667} \right)} = 1325553,610 \text{ kN/m}$$

Zeminin kütlesi ise kayma kirişi modelinde ayırık olarak dikkate alınmış olup aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$m_{si} = \rho_s A_s h_s \quad (4.7)$$

Burada  $\rho_s$  zeminin birim hacim kütlelerini göstermektedir.

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

$$M = \begin{bmatrix} m_{s1} & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & m_7 \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

$$K = \begin{bmatrix} k_{s1} + k_{s2} & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & k_{10} \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

(4.8) ve (4.9) matrisleri daha açık olarak aşağıdaki gibi yazılır.







$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix}
 ks_1 + ks_2 & -ks_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -ks_2 & ks_2 + ks_3 & -ks_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & -ks_3 & ks_3 + ks_4 & -ks_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & -ks_4 & ks_4 + ks_5 & -ks_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & -ks_5 & ks_5 + ks_6 & -ks_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -ks_6 & ks_6 + ks_7 & -ks_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -ks_7 & ks_7 + ks_8 & -ks_8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -ks_8 & ks_8 + ks_9 & -ks_9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -ks_9 & ks_9 + ks_{10} & -ks_{10} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -ks_{10} & ks_{10} + k_1 & -k_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_4 & k_4 + k_5 & -k_5 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_5 & k_5 + k_6 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -ks_6 & ks_6 + ks_7 & -ks_7 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -ks_7 & ks_7
 \end{bmatrix}$$

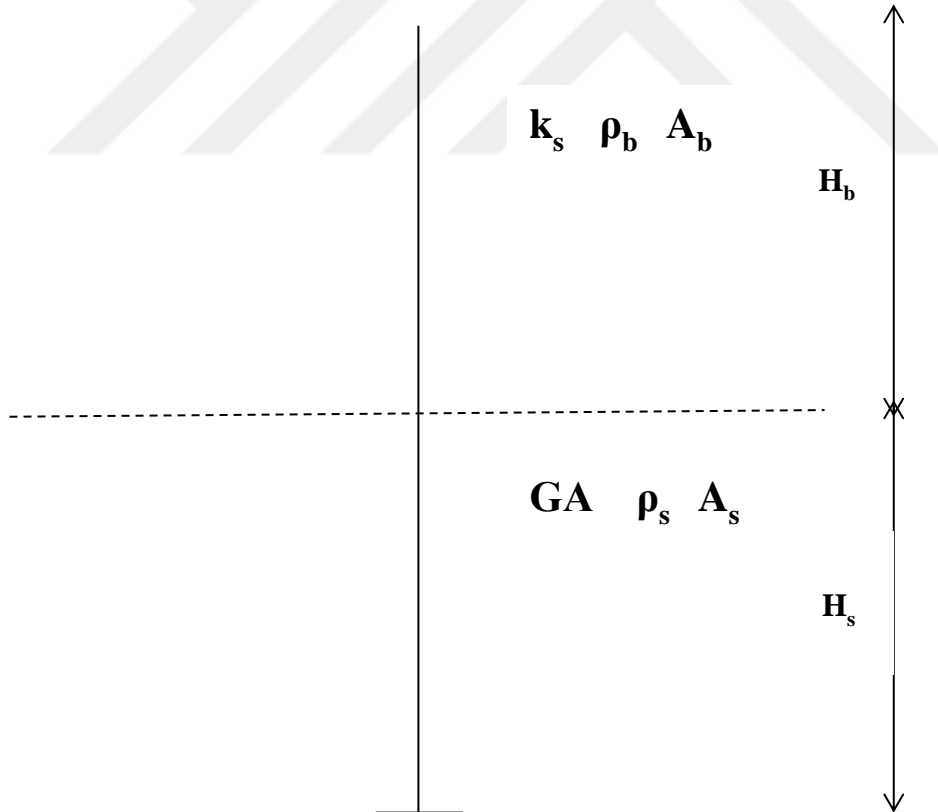
(4.11)

Oluşturulan  $\mathbf{K}$  ve  $\mathbf{M}$  matrisleri kullanılarak aşağıdaki frekans denklemi yardımıyla açısal frekans ve modlar bulunur.

$$[\mathbf{K} - \omega^2 \mathbf{M}]\{\phi\} = \{0\} \quad (4.12)$$

Bu çalışmada  $\mathbf{K}$ ,  $\mathbf{M}$  matrisleri ve frekans denklemi SCILAB yardımıyla oluşturularak periyotlar hesaplanmıştır.

**Dördüncü Model:** Bu modelde Kiefer ve Leger (1999) tarafından önerilen yaklaşım kullanılarak zemin yapı etkileşimine ait hakim periyot değeri hesaplanmıştır [53]. Bu yaklaşımda hem yapı hemde zemin ortamı sürekli üniform bir kayma kirişi (Şekil 4.5) olarak modellenmiş olup sistemin diferansiyel denkleminin çözümü ile sonuca ulaşılmıştır. Bu modelde üçüncü modelde yapılan kabullere ilave olarak yapı ve zemin özelliklerinin yapı yüksekliği ve zemin kalınlığı boyunca değişmediği kabulleri yapılmıştır.



Şekil 4. 5: Yapı ve zeminin sürekli üniform bir kayma kirişi olarak modellenmesi.

Şekil 4.5 'te görülen  $k_s$  üstyapıyı temsil eden sürekli ortamın kayma rijitliği olup aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmıştır.

$$k_s = \frac{12}{h \left( \frac{1}{r} + \frac{1}{s} \right)} \quad (4.13)$$

Zemin kısmının serbest titreşimi için aşağıdaki diferansiyel denklem yazılır.

$$\frac{d^2 y_s}{dz_s^2} + \frac{\omega^2}{v_s^2} y_s = 0 \quad (4.14)$$

Burada  $y_s$  mod şeklini,  $\omega$  açısal frekansı,  $v_s$  ise zeminin ortalama kayma hızını göstermekte olup aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$v_s = \sqrt{\frac{G_s}{\rho_s}} \quad (4.15)$$

Burada  $\rho_s$  zeminin birim hacim kütesini ve  $G_s$  zeminin kayma modulünü göstermektedir.

(4.14) nolu ikinci mertebeden homojen adi diferansiyel denklemin çözümü aşağıdaki gibi bulunur.

$$y_s = c_1 \cos\left(\frac{\omega z_s}{v_s}\right) + c_2 \sin\left(\frac{\omega z_s}{v_s}\right) \quad (4.16)$$

Çerçeve sistem için ise serbest titreşimi temsil eden diferansiyel denklem (4.17) denklemini ile yazılır.

$$\frac{d^2 y_b}{dz_b^2} + \frac{\omega^2}{v_b^2} y_b = 0 \quad (4.17)$$

(4.17) denkleminin çözümü ise aşağıdaki gibi bulunur.

$$y_b = c_3 \cos\left(\frac{\omega z_b}{v_b}\right) + c_4 \sin\left(\frac{\omega z_b}{v_b}\right) \quad (4.18)$$

Burada  $v_b$  yapının eşdeğer kayma hızını göstermekte olup yaklaşık olarak aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanabilir.

$$v_b = \frac{4H_b}{T_{1b}} \quad (4.19)$$

Burada  $H_b$ , bina yüksekliğin,  $T_{1b}$  ise zemin etkisi dikkate alınmadan üstyapı tabanının ankastre olarak dikkate alınmasıyla hesaplanan yapının hakim periyodunu göstermektedir. Üstyapı için hakim periyodu ise sürekli konsol bir kayma kiriş i için aş ağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanabilir.

$$T_{1b} = 4H_b \sqrt{\frac{\rho_b A_b}{k_s}} \quad (4.20)$$

(4.16) ve (4.18) denklemlerinde yer alan dört integrasyon sabitinin bulunması için dört tane sınır koşuluna ihtiyaç vardır. Bunlar;

- Zemin tabanında yer değiştirme sıfırdır.
- Zemin ile üst yapının birleş tiği noktada yer değiştirmeler eşittir.
- Zemin ile üst yapının birleş tiği noktada kesme kuvvetleri eşittir.
- Üst yapının tepe noktasında kesme kuvveti sıfırdır.

Sınır koşullarının matematiksel ifadesi aş ağıdaki gibi yazılır.

$$z_s = 0 \quad y_s = 0 \quad (4.21)$$

$$y_s(H_s) = y_b(0) \quad (4.22)$$

$$(GA) \frac{dy_s}{dz_s} \Big|_{z_s=H_s} = k_s \frac{dy_b}{dz_b} \Big|_{z_b=0} \quad (4.23)$$

$$z_b = H_b \quad \frac{dy_b}{dz_b} = 0 \quad (4.24)$$

(4.21) nolu sınır koşulundan

$$c_1 = 0 \quad (4.25)$$

elde edilir. Bu durumda (4.26) yazılabilir.

$$y_s = c_2 \sin\left(\frac{\omega}{v_s}\right) \quad (4.26)$$

(4.22) nolu sınır koşulundan (4.27) yazılır.

$$c_2 \sin\left(\frac{\omega}{v_s} H_s\right) = c_3 \quad (4.27)$$

(4.23) ve (4.24) nolu sınır koşulları uygulanırsa (4.28) ve (4.29) bulunur.

$$c_4 = c_2 \frac{GA' v_b}{k_s v_s} \cos\left(\frac{\omega}{v_s} H_s\right) \quad (4.28)$$

$$c_4 \cos\left(\frac{\omega z}{v_b}\right) = c_3 \sin\left(\frac{\omega z}{v_b}\right) \quad (4.29)$$

(4.27),(4.28) ve (4.29) nolu denklemlerden aşağıdaki transadant (aşkın) denklem elde edilir.

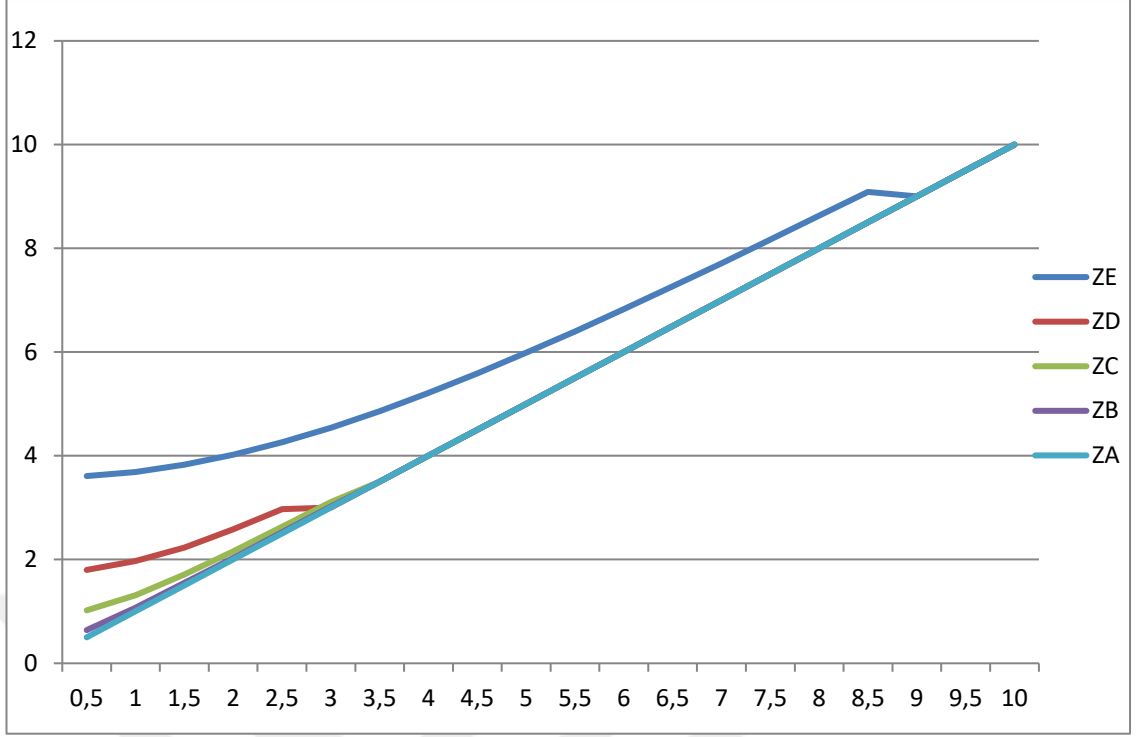
$$\frac{v_b \rho_b A_b}{v_s \rho_s A_s} \tan\left(\frac{\omega}{v_s} H_s\right) \tan\left(\frac{\omega}{v_b} H_b\right) - 1 = 0 \quad (4.30)$$

(4.30) nolu transadant denklemin çözümü ile çerçeve sistemin zemin yapı etkileşimli açısal frekansları elde edilir. Bu tez kapsamında (4.30) nolu denklemin çözümü için MATLAB programından [54] yararlanılmıştır.

(4.30) nolu denklem kullanılarak farklı hakim periyot değerlerine sahip çerçevelerin 5 farklı zemin sınıfı için hakim periyotlarının değişimi Çizelge 4.2 ve Şekil 4.6 da verilmiştir.

**Çizelge 4. 2:** Zemin yapı etkileşimli periyot.

<b>T<sub>1b</sub></b>	<b>ZE</b>	<b>ZD</b>	<b>ZC</b>	<b>ZB</b>	<b>ZA</b>
<b>0.5</b>	3.61	1.80	1.02	0.64	0.55
<b>1.0</b>	3.69	1.97	1.31	1.07	1.02
<b>1.5</b>	3.83	2.23	1.71	1.55	1.52
<b>2.0</b>	4.02	2.58	2.16	2.03	2.01
<b>2.5</b>	4.26	2.97	2.63	2.53	2.51
<b>3.0</b>	4.54	3.0	3.11	3.02	3.01
<b>3.5</b>	4.86	3.5	3.5	3.5	3.51
<b>4.0</b>	5.21	4.0	4.0	4.0	4.01
<b>4.5</b>	5.59	4.5	4.5	4.5	4.51
<b>5.0</b>	5.99	5.0	5.0	5.0	5.0
<b>5.5</b>	6.40	5.5	5.5	5.5	5.5
<b>6.0</b>	6.83	6.0	6.0	6.0	6.0
<b>6.5</b>	7.27	6.5	6.5	6.5	6.5
<b>7.0</b>	7.71	7.0	7.0	7.0	7.0
<b>7.5</b>	8.17	7.5	7.5	7.5	7.5
<b>8.0</b>	8.63	8.0	8.0	8.0	8.0
<b>8.5</b>	9.09	8.5	8.5	8.5	8.5
<b>9.0</b>	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
<b>9.5</b>	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
<b>10</b>	10	10	10	10	10



**Şekil 4. 6:** Farklı periyoda sahip çerçevelerin zemin yapı etkileşimli periyotlarının değişimi.

Çizelge 4.2 ve Şekil 4.6 dan görüldüğü üzere hakim periyodu büyük olan yani yüksek yapılarda zeminin hakim periyoda etkisi bulunmamaktadır. ZE hariç diğer bütün zemin sınıflarında  $T_{1b}=6$  sn'den büyük değerlerde zemin yapı etkileşiminin yapının hakim periyoduna etkisi bulunmamaktadır. ZE zemin sınıfı için ise  $T_{1b}=9$  sn'den büyük değerlerde zemin-yapı etkileşiminin hakim periyoda etkisi olmamıştır.

#### **Çerçeve Sistemin Dört Ayrı Modelle Elde Edilen Serbest Titreşim Periyotları:**

Tez kapsamında kullanılan dört ayrı model ile elde edilen periyotların karşılaştırması beş farklı zemin sınıfı için sırasıyla Çizelge 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 ve 4.7' de verilmiştir.

**Çizelge 4. 3:** ZA zemin sınıfı için periyotlar (sn).

ZA zemin sınıfı için Periyotlar				
Mod	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
1	0,62	0,62	0,62	0,62
2	0,2	0,19	0,21	0,21
3	0,11	0,11	0,13	0,19
4	0,08	0,08	0,10	0,12

**Çizelge 4. 4:** ZB zemin sınıfı için periyotlar (sn).

<b>ZB zemin sınıfı için Periyotlar</b>				
<b>Mod</b>	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
<b>1</b>	0,73	0,72	0,70	0,69
<b>2</b>	0,24	0,24	0,23	0,23
<b>3</b>	0,13	0,13	0,14	0,19
<b>4</b>	0,09	0,09	0,10	0,14

**Çizelge 4. 5:** ZC zemin sınıfı için periyotlar (sn).

<b>ZC zemin sınıfı için Periyotlar</b>				
<b>Mod</b>	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
<b>1</b>	1,09	1,05	1,06	1,05
<b>2</b>	0,3	0,29	0,28	0,28
<b>3</b>	0,15	0,14	0,16	0,21
<b>4</b>	0,12	0,11	0,12	0,19

**Çizelge 4. 6:** ZD zemin sınıfı için periyotlar (sn).

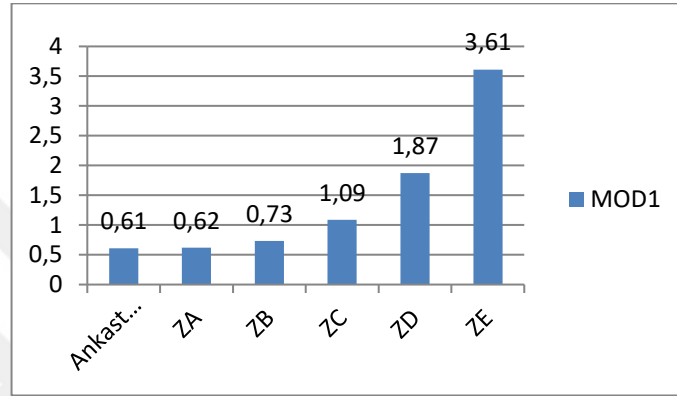
<b>ZD zemin sınıfı için Periyotlar</b>				
<b>Mod</b>	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
<b>1</b>	1,87	1,83	1,83	1,82
<b>2</b>	0,33	0,32	0,30	0,30
<b>3</b>	0,221	0,2	0,20	0,19
<b>4</b>	0,22	0,14	0,15	0,14

**Çizelge 4. 7:** ZE zemin sınıfı için periyotlar (sn).

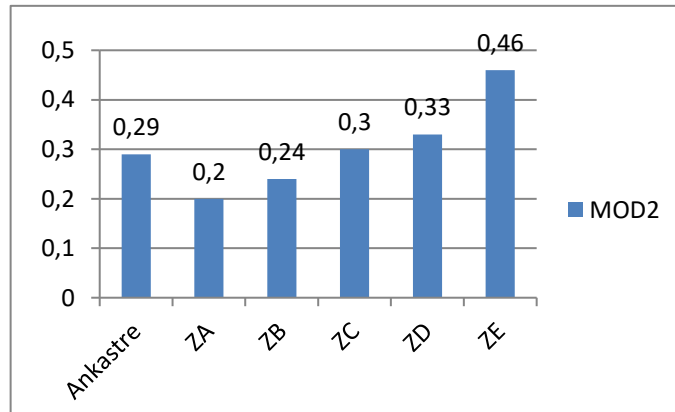
<b>ZE zemin sınıfı için Periyotlar</b>				
<b>Mod</b>	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
<b>1</b>	3,61	3,53	3,63	3,62
<b>2</b>	0,46	0,4	0,41	0,41
<b>3</b>	0,41	0,3	0,29	0,29
<b>4</b>	0,39	0,19	0,20	0,27



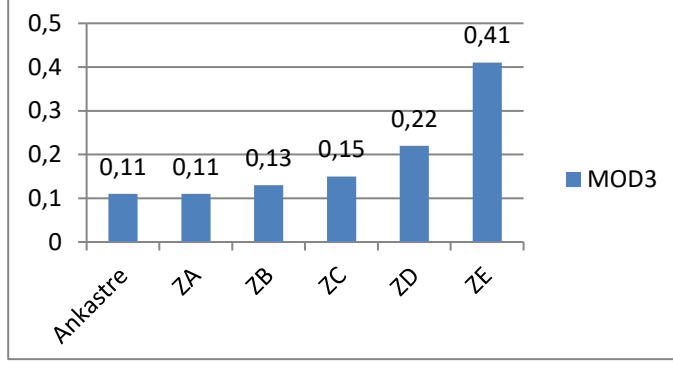
Çizelgelerden görüldüğü üzere çalışma kapsamında kullanılan dört modelden elde edilen sonuçların birbirleriyle uyumlu olduğu gözlenmektedir. Zemin yapı etkileşimli yapıların davranışı izolatörlü yapı davranışına benzerdir. Zemin yapı etkileşimli sistemin 1.moddaki etkin kütle oranı %98'e ulaşmaktadır. Dolayısıyla sistemin deprem yükleri altındaki davranışında yüksek modların etkisi ihmal edilebilir. Zeminin kabuk elemanlarla modellenmesi durumu için periyotların ilk dört mod için değişimi sırasıyla Şekil 4.7, 4.8, 4.9 ve 4.10' da verilmiştir.



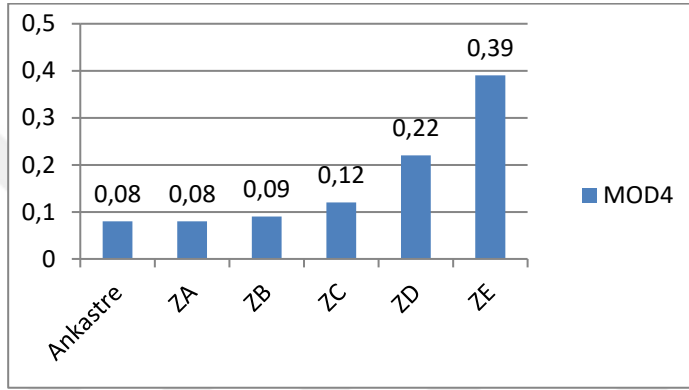
**Şekil 4. 7:** Çerçeve sistemde zeminin kabuk elemanla modellenmesinde beş farklı zemin ve ankastre mesnetlenme durumları için 1. mod periyodunun değişimi.



**Şekil 4. 8:** Çerçeve sistemde zeminin kabuk elemanla modellenmesinde beş farklı zemin ve ankastre mesnetlenme durumları için 2. mod periyodunun değişimi.



**Şekil 4. 9:** Çerçeve sistemde zeminin kabuk elemanla modellenmesinde beş farklı zemin ve ankastrre mesnetlenme durumları için 3. mod periyodunun değişimi.



**Şekil 4. 10:** Çerçeve sistemde zeminin kabuk elemanla modellenmesinde beş farklı zemin ve ankastrre mesnetlenme durumları için 4. mod periyodunun değişimi.

Yukarıdaki tablolardan görüldüğü üzere en büyük değişim birinci modda meydana gelmektedir.

#### 4.2. Çerçeve Sistemin Zemin Yapı Etkileşimli Zaman Tanım Alanında Analizi

Verilen çerçeve sistemin zaman tanım alanında analizi birinci ve ikinci model kullanılarak SAP2000 [47] yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Analizlerde SAP2000 kütüphanesinde bulunan deprem kaydı kullanılmış olup kullanılan deprem kaydı Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde yer alan elastik tasarım spektrumuna göre ölçeklendirilmiştir. Analizlerde sönüm oranı bina ve zemin için ortak olmak üzere %10 olarak kabul edilmiştir. Bu ölçeklendirme işlemi SAP2000 yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Aşağıda SAP2000 ile yapılan analizlerdeki işlem adımları kısaca açıklanmıştır.

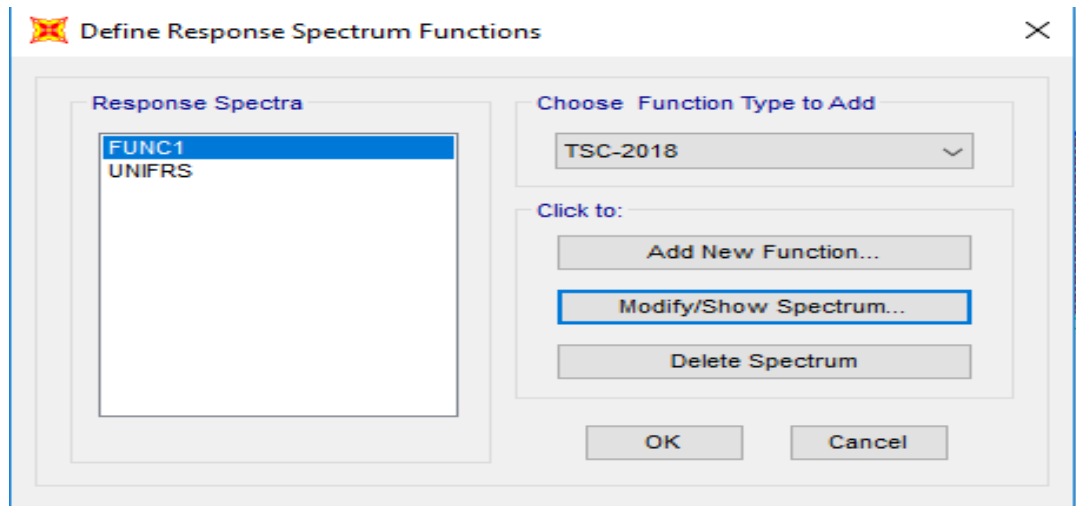
SAP2000’de Yatay elastik tasarım spektrumunun tanımlanması;

Çalışmada mevcut çerçeve sistemin Kırklareli merkezde inşa edildiği kabul edilmiştir. Elastik yatay tasarım spektrumunun oluşturulmasında kullanılan parametreler Çizelge 4.8 ‘de verilmiştir.

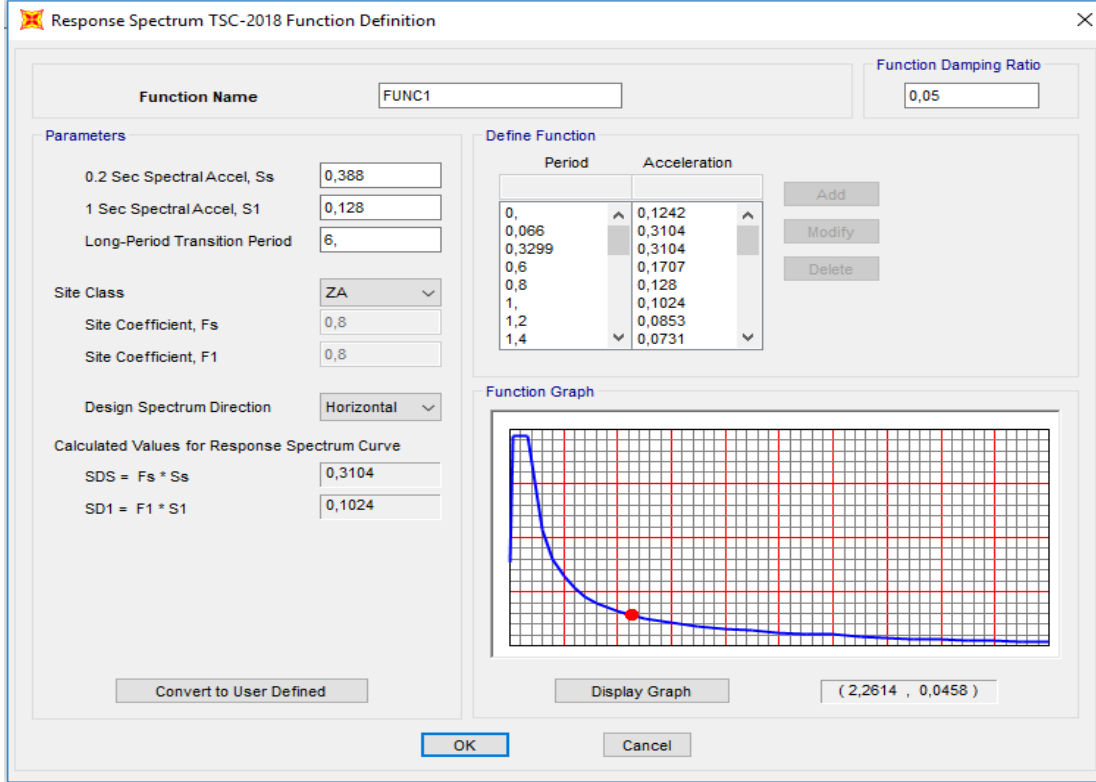
**Çizelge 4. 8:** Elastik yatay tasarım spektrumunun oluşturulmasında kullanılan değerler.

Parametreler	Değerler
$S_1$	0,128
$S_A$	0,388
$S_{DS}$	0,3104
$S_{D1}$	0,1024
PGA	0,165
$F_s$	1,3
$F_1$	1,5

SAP2000’de zaman tanım alanında doğrusal analiz için yapılacak ölçeklendirme için tanımlanması gereken Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğindeki tasarım spektrumu için Define>Functions>Response Spectrum Functions sekmeleri kullanılmıştır. Burada SAP2000 kütüphanesinde tanımlı olan TSC 2018 yatay tasarım spektrumu kullanılmıştır (Şekil 4.11, ve Şekil 4.12).

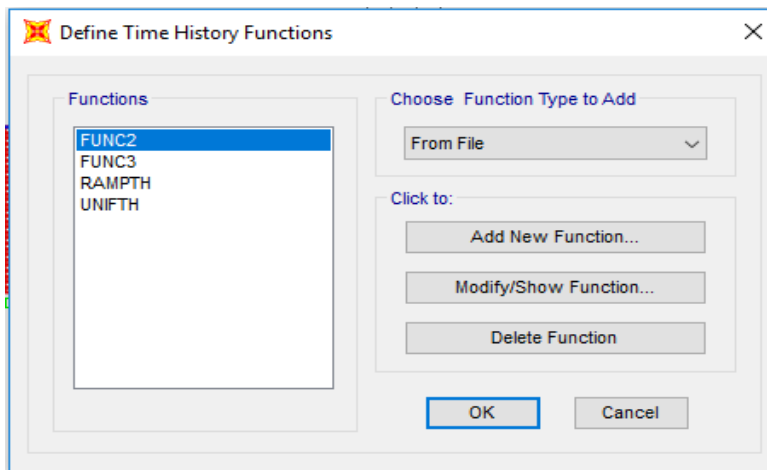


**Şekil 4.11:** Yatay elastik tasarım spektrumunun SAP2000 de oluşturulması için ilk adım.

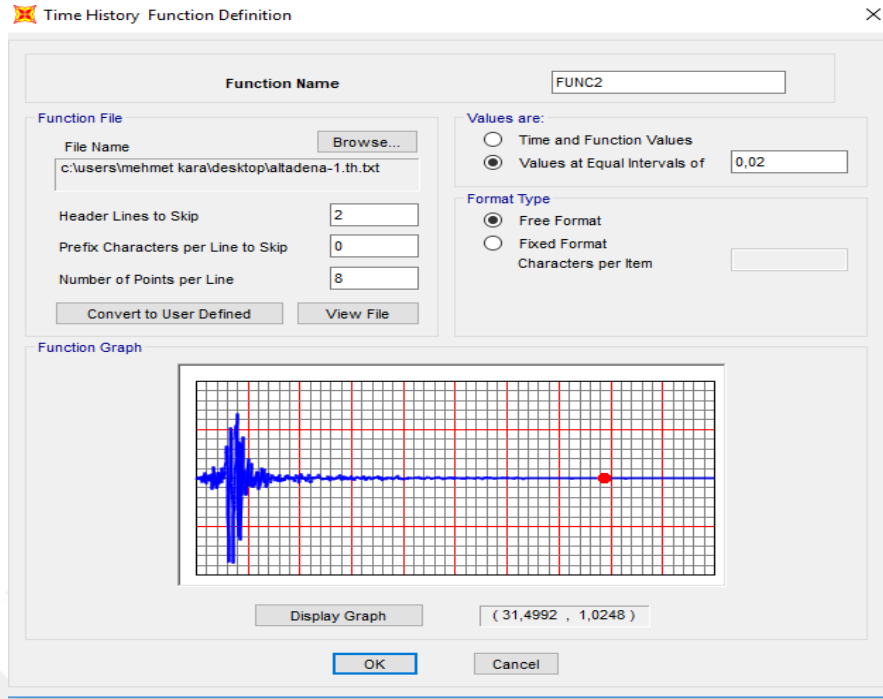


**Şekil 4.12:** Yatay elastik tasarım spektrumunun SAP2000 de oluşturulması için ikinci adım.

İkinci adımda zaman tanım alanında doğrusal analiz için kullanılacak kaydedilmiş deprem kayıtlarının programa tanımlanması gerekmektedir. SAP2000 yazılımının kütüphanesinde mevcut olan deprem kaydı (Altadena) Define>Functions>Time History sekmeleri yardımıyla tanımlanmıştır (Şekil 4.13 ve Şekil 4.14 ).

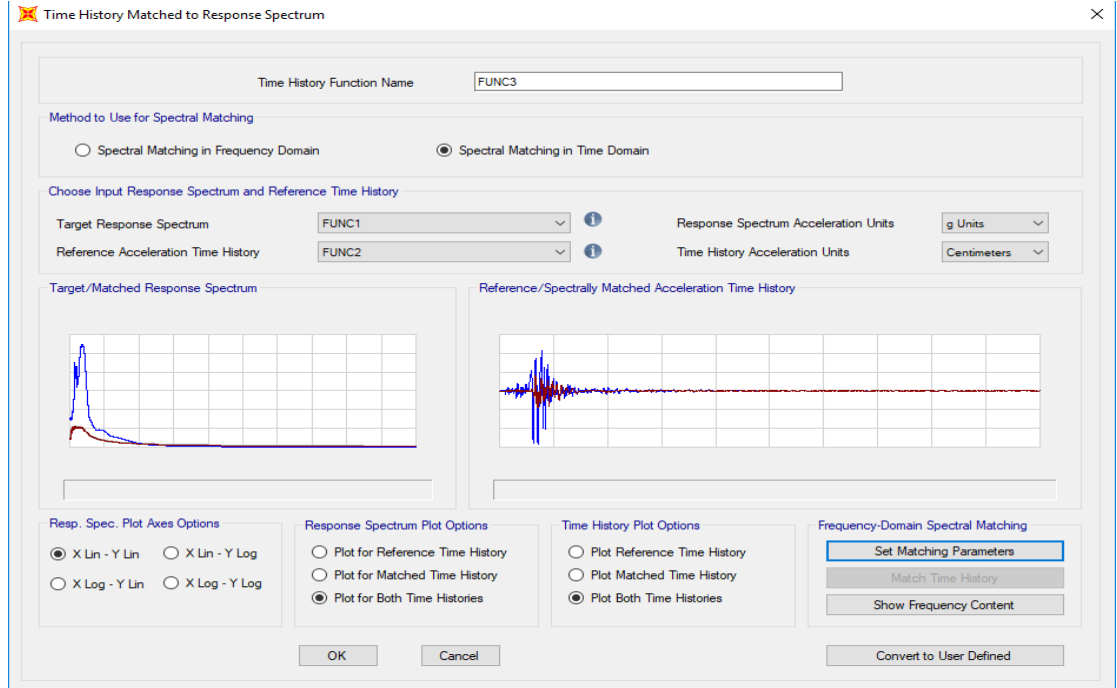


**Şekil 4.13:** Deprem kayıtları için veri girişi ve kayıtlarının programda oluşturulması için birinci adım.



**Şekil 4.14:** Deprem kayıtları için veri girişi ve kayıtlarının programda oluşturulması için ikinci adım.

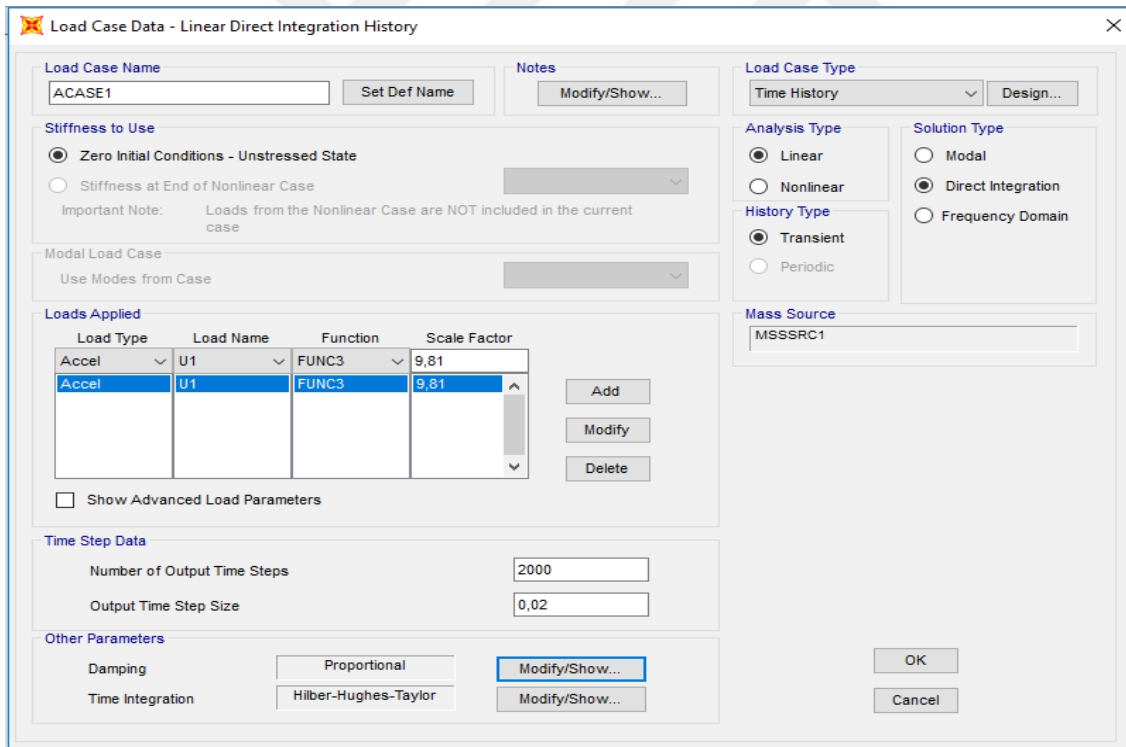
Seçilen deprem kaydının TBDY 2018 de yer alan yatay tasarım spektrumuna göre ölçeklendirilmesi için Matched komutu kullanılacaktır. Bunun için işlem adımları Şekil 4.15 ' de gösterilmiştir.



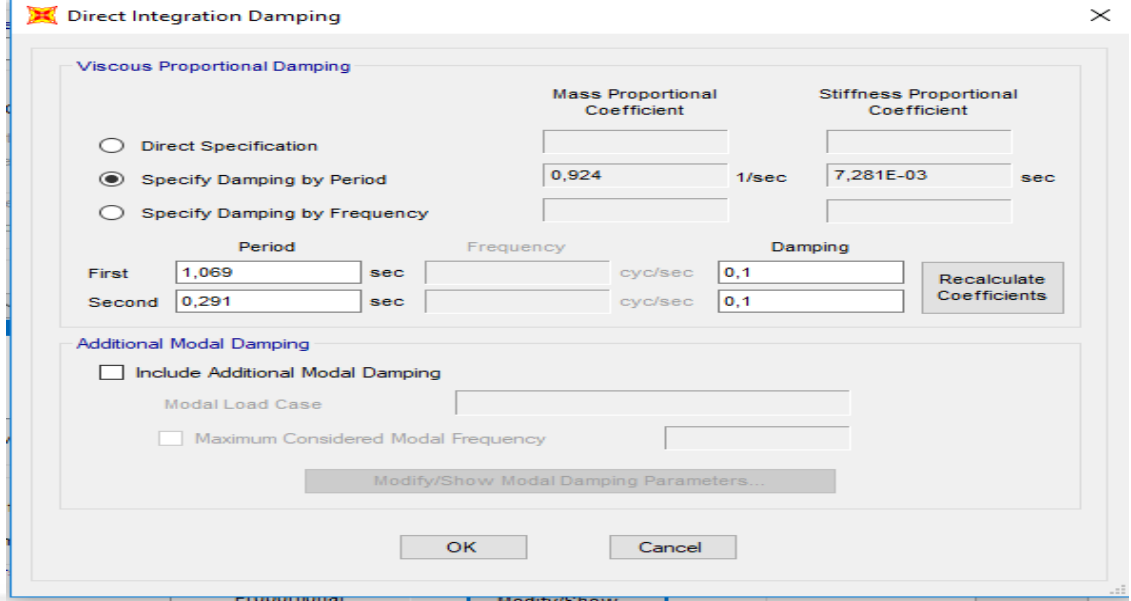
**Şekil 4. 15:** Seçilen deprem kaydının ölçeklendirilmesi.

Ele alınan zaman tanım alanında ivme kaydı ölçeklendirildikten sonra bu kayıt SAP2000 yazılımına “Load Case Name” kısmında “u<sub>1</sub>” yönünde etkilmiştir, analiz tipi “linear Direct integration History” ve “Time History” yöntemi olarak doğrudan integrasyon yani “Direct Integration” seçilmiştir. Analiz de İkinci mertebe etkiler “Geometric Nonlinearity Parameters”, “None” olarak yazılarak ihmal edilmiştir. Analizlerde ele alınan ivme kaydının özelliklerine uygun olarak veri çıktı zaman aralığı 0.02 ve toplam adım sayısı 2000 adım olacak şekilde ayarlanmıştır.

“Damping” penceresinden binanın ilk iki periyodu değerlerinin %10 oranında sönüm tanımlanmıştır. Ayrıca yöntem olarak son yıllarda yaygın olarak kullanılan “Time Integration” bölümünde “Hilber-Hughes-Taylor” integrasyon yöntemi seçilmiştir. SAP2000 programı Rayleigh sönüm yöntemini kullanarak girilen periyot değerlerine ve sönüm oranına bağlı olarak sönüm matrisini kendisi otomatik olarak oluşturmuştur. Sırasıyla Şekil 4.16 ve 4.17’de buna ait işlem adımları görülmektedir.



**Şekil 4.16:** Zaman tanım alanında analizin ölçeklendirilmiş deprem kaydı için birinci adım.



**Şekil 4. 17:** Zaman tanım alanında analizin ölçeklendirilmiş deprem kaydı için tanımlanmasında ikinci adım.

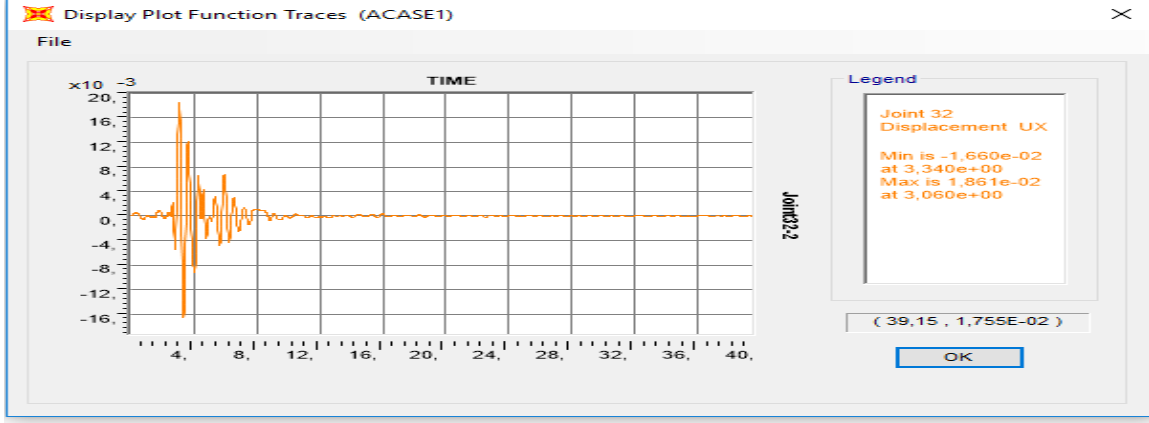
Çizelge 4.9’da iki model kullanılarak bulunan maksimum tepe noktası yer değiştirmeleri beş farklı zemin sınıfı için sunulmuştur.

**Çizelge 4. 9:** Zaman tanım alanında analiz sonucu her iki modelde farklı zemin sınıfları için elde edilen maksimum tepe noktası yer değiştirmeleri .

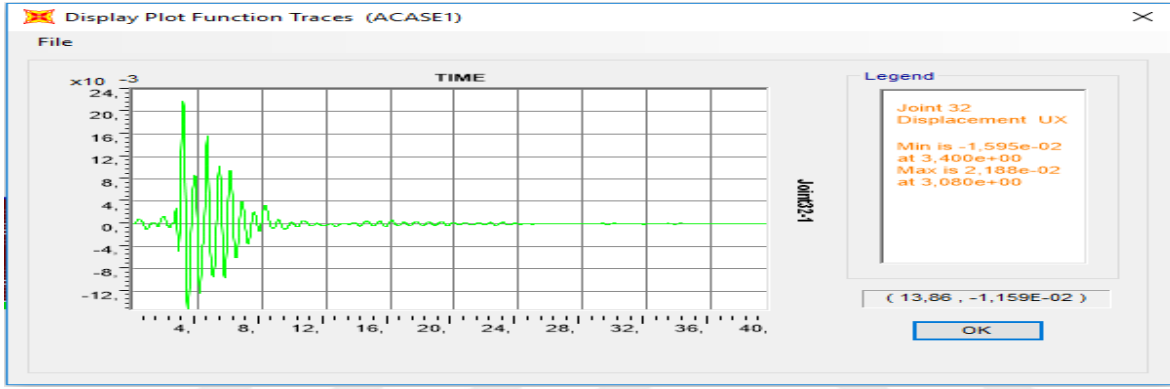
Zemin	Model 1	Model 2
ZA	0,0186 m	0,0184 m
ZB	0,0219 m	0,0214 m
ZC	0,0309 m	0,0291 m
ZD	-0,0453 m	-0,0434 m
ZE	0,0904 m	0,0875 m

Çizelge 4.9’ dan görüldüğü üzere iki modelden elde edilen sonuçlar oldukça uyumludur.

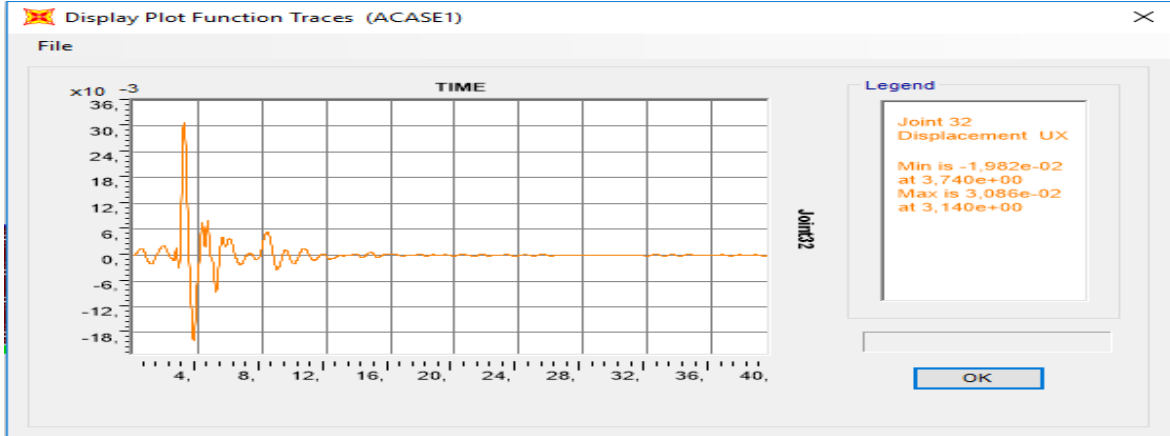
Aşağıda Model 1’e göre beş farklı zemin sınıfı için SAP2000’ de elde edilmiş olan tepe noktası yer değiştirmeleri grafikleri sunulmuştur.



Şekil 4. 18: ZA zemin sınıfı için zaman tanım alanında analizde ölçeklendirilmiş deprem kaydı için tepe noktası yer değiştirmesi grafiği.

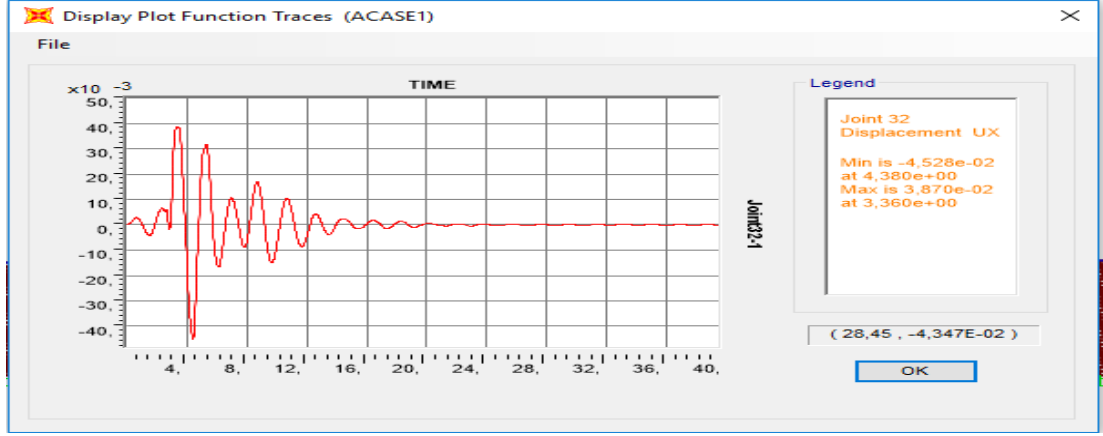


Şekil 4. 19: ZB zemin sınıfı için zaman tanım alanında analizde ölçeklendirilmiş deprem kaydı için tepe noktası yer değiştirmesi değişim grafiği.

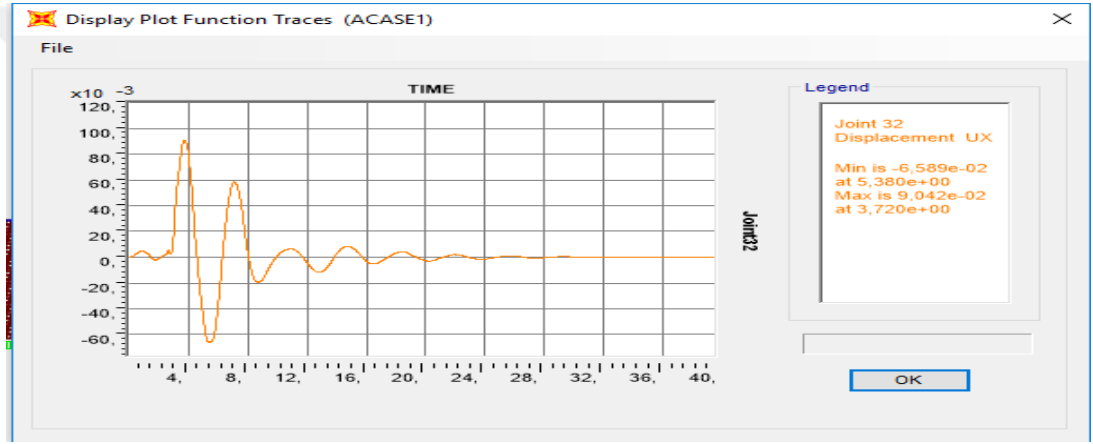


Şekil 4. 20: ZC zemin sınıfı için zaman tanım alanında analizde ölçeklendirilmiş deprem kaydı için tepe noktası yer değiştirmesi değişim grafiği.





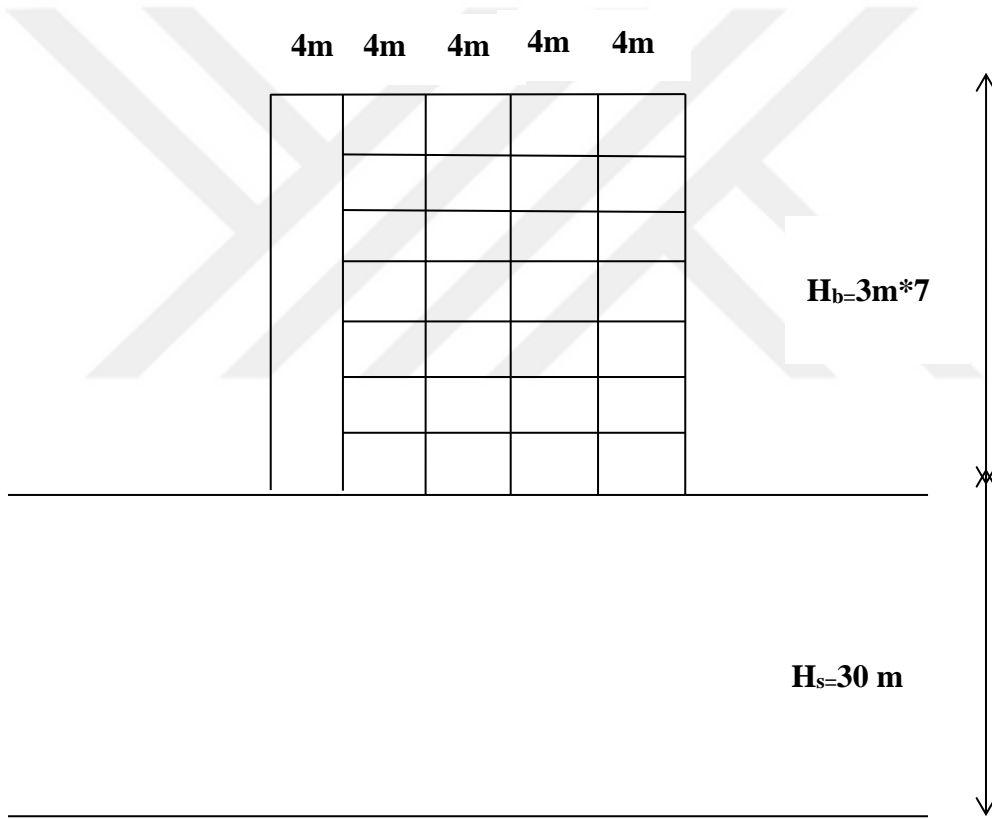
Şekil 4. 21: ZD zemin sınıfı için zaman tanım alanında analizde ölçeklendirilmiş deprem kaydı için tepe noktası yer değıştirmesi değışim grafiği.



Şekil 4. 22: ZE zemin sınıfı için zaman tanım alanında analizde ölçeklendirilmiş deprem kaydı için tepe noktası yer değıştirmesi değışim grafiği.

## Uygulama 2:

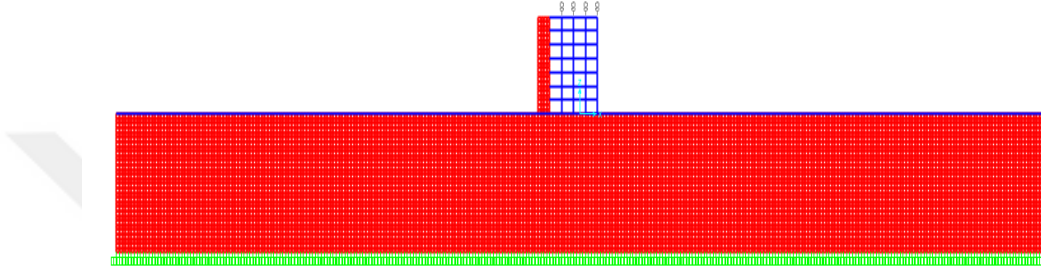
İkinci örnek olarak Şekil 4.23'de görülen 7 katlı ve 3 açıklıklı düzlem perde-çerçeve örneği uygulama 1'de yer alan düzlem çerçeve sisteme benzer olarak çözülmüştür. Betonarme perde-çerçeve sistemde malzeme olarak C30/37 beton sınıfı kullanılmış olup perde 40 / 400 cm, kirişler 30 / 60 cm ve kolonlar ise 35 / 70 cm boyutlarında seçilmiştir. Kat kütleleri ise ilk 6 kat için 60 ton olarak dikkate alınırken 7. katta ise 45 ton olarak hesaplarda dikkate alınmıştır. Birinci uygulamaya benzer olarak zemin tabakasının kalınlığı 30 m olarak seçilmiş olup Çizelge 4.1'de verilen zemin özellikleri kullanılmıştır.



Şekil 4. 23: Zemin yapı etkileşiminde dikkate alınan perde-çerçeve örneği.

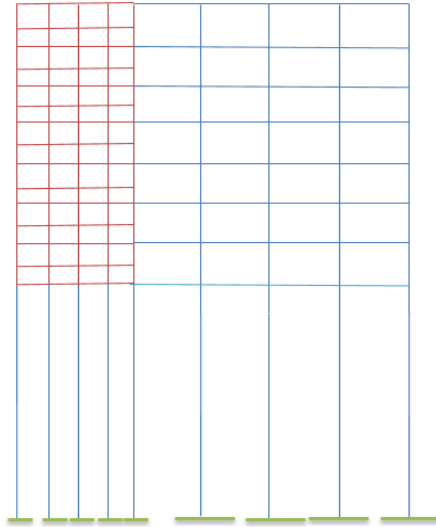
Perde-çerçeve sistemin zemin yapı etkileşimi dikkate alınarak dinamik analizi için çerçeve örneğe benzer olarak dört farklı model kullanılmıştır. Aşağıda dört farklı model kısaca açıklanmıştır.

**Birinci Model:** Bu modelde perde-çerçeve sistemin altındaki zemin tabakası ile perde kabuk elemanlarla modellenmiştir (Şekil 4.24). Çerçeve sisteme benzer olarak yapı ile zeminin beraber çalışmasını sağlamak üzere yapının altına rijitliği büyük olan bir bağlantı elemanı tanımlanmıştır. Çalışma kapsamında bu model kullanılarak yapılan analizler SAP2000 yazılımı [47] kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 4. 24:** Perde - çerçeve yapıda zeminin kabuk elemanlarla temsil edilmesi.

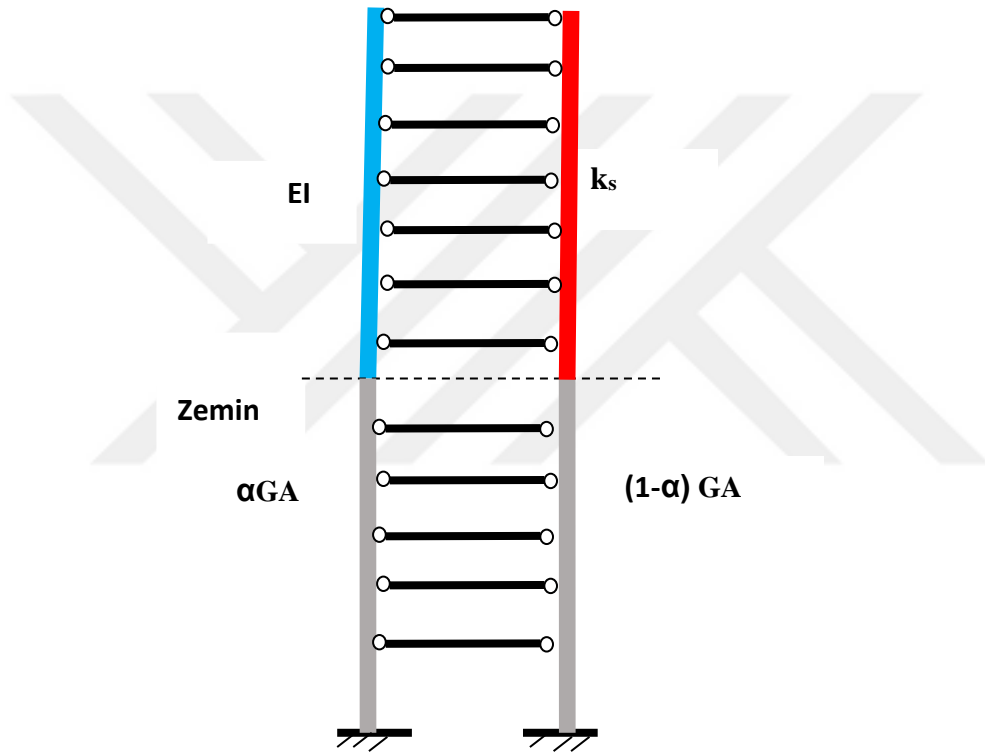
**İkinci Model:** Bu modelde Şekil 4.25’ de görüldüğü gibi zemin eşdeğer kolonlar olarak temsil edilmiştir. Bunun için çerçevenin kolonları zemin derinliği kadar uzatılmıştır çerçeve sistemde zemini temsil eden kolonlarda kayma alanı 1/4 olarak tanımlanırken perde-çerçeve sistemde zemini temsil eden kolonlarda kayma alanı 1/9 olarak alınmıştır. Buradaki 9 sayısı zemini temsil eden kolon sayısını göstermektedir.



**Şekil 4. 25:** Perde - çerçeve sistemde zeminin eşdeğer kolon olarak temsil edilmesi.

**Üçüncü Model:** Perde eğilme kirişi olarak modellenirken çerçeve ve zemin eşdeğer kayma kirişi olarak modellenmiştir (Şekil 4.26). Modelin geliştirilmesinde aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

- Perde eğilme kirişi olarak modellenmiş olup kayma yer değiştirmeleri ihmal edilmiştir.
- Çerçeveler kayma kirişi olarak temsil edilmiş olup kiriş ve kolonlarda aksenal yer değiştirmeler ihmal edilmiştir.



**Şekil 4. 26:** Perde-çerçeve sistem ve zeminin sürekli üniform kiriş olarak modellenmesi.

Şekil 4.26 da görüldüğü üzere zemin tabakasının kayma rijitliğinin bir bölümü perde altında tanımlanırken geri kalan kısım çerçeve altında tanımlanmıştır. Yapılan çözümlelerde bu oranın ( $\alpha$ ) farklı seçilmesinin sonuçları ihmal edilebilecek mertebede etkilediği görülmüştür. Sunulan örnekte  $\alpha=0.2$  olarak alınmıştır.

Bu modelde öncelikle perde ve altındaki zemin ve çerçeve ve altındaki zeminin rijitlik matrisleri ayrı ayrı oluşturulmuş daha sonra sistemin rijitlik matrisi bunların toplamı olarak dikkate alınmıştır. Modelde perde ve altındaki zemin tabakasının toplam esneklik (fleksibilite) matrisi önce bulunur. Bunun için literatürde yer alan aşağıdaki bağıntıdan yararlanılmıştır [55].

$$d_{ij} = \frac{H_i^2}{6EI} (3H_j - H_i) + \frac{H_j}{GA_S} \quad (4.31)$$

Perde ve altındaki zemine ait esneklik matrisi bulunduğundan sonra bunun tersi alınarak rijitlik matrisine geçilir.

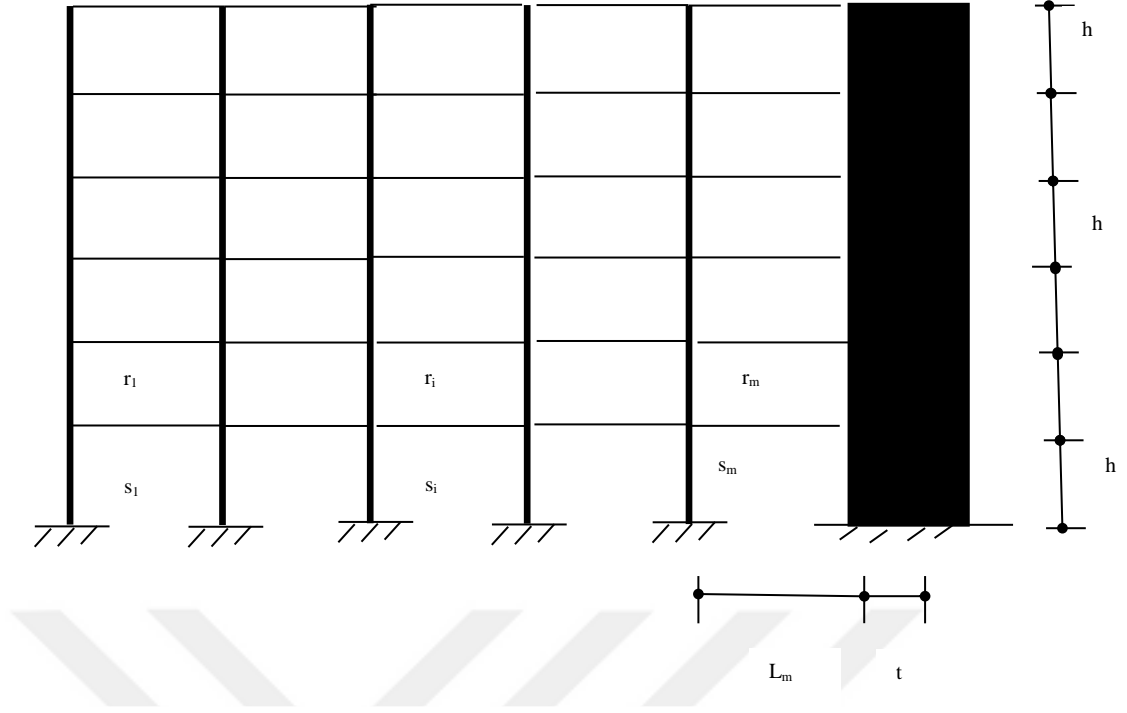
$$K_{ps} = d^{-1} \quad (4.32)$$

Sistemin toplam rijitlik matrisi ise perde ( $K_{ps}$ ) ve çerçevenin ( $K_{\zeta s}$ ) rijitlik matrislerinin toplamı şeklinde yazılır.

$$K_s = K_{ps} + K_{\zeta s} \quad (4.33)$$

Çerçeve ve altındaki sistemin toplam rijitlik matrisi ise kayma kirişi analojisiyle bulunur.

Sistemin rijitlik matrisi bulunduğundan sonra çerçeve sisteme benzer şekilde açılma frekans ve modlar (4.12) denklemi kullanılarak bulunur. Bu tez kapsamında bu işlemler için SCILAB programı [48] kullanılmıştır.



Şekil 4. 27: Kombine perde.

Şekil 4.27’de görülen Kombine (Birleşik perde) için  $k_s$  bağıntısı aşağıda verilen bağıntı yardımıyla hesaplanmıştır [56].

$$k_s = \frac{R_{m+1}}{h} + \sum_{i=1}^m S_i \quad (4.34)$$

Burada  $S_i$  aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$S_i = \frac{12s_1R_i}{h(12s_1 + R_i)} \quad i = 1,2,3 \dots m \quad (4.35)$$

R değerleri de aşağıdaki bağıntılarla hesaplanır.

$$R_1 = 6r_1 \quad (4.36)$$

$$R_i = 6(r_{i-1} + r_i) \quad i = 2,3 \dots (m - 1) \quad (4.37)$$

$$R_m = 6r_{m-1} + 2r_m \left( 2 + \frac{1 + 3\eta}{\lambda} \right) \quad (4.38)$$

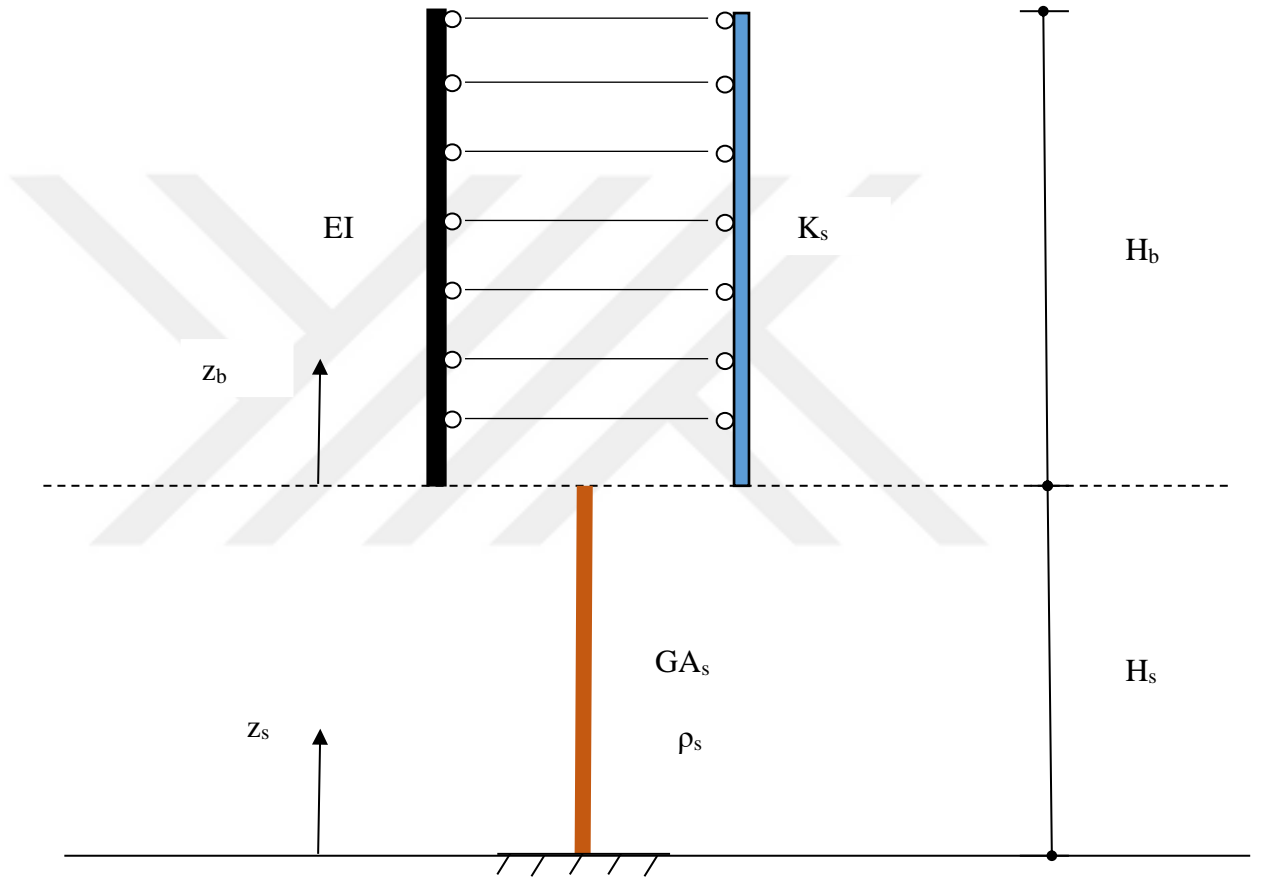
$$R_{m+1} = 2r_{m-1} + [2\{1 + 3\eta + 3\eta^2\} + \lambda(1 + 3\eta)] \quad (4.39)$$

$\lambda$  ve  $\eta$  değerleri ise aşağıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplanır.

$$\lambda = \frac{6s_m - (1 + 3\eta)r_m}{6s_m + 3r_{m-1} + 2r_m} \quad (4.40)$$

$$\eta = \frac{t}{L_m} \quad (4.41)$$

**Dördüncü Model:** Dördüncü modelde ise üstyapıda bulunan perde-çerçeve sistem ile zemin ortamı üniform sürekli sistem hesap modeline uygun olarak temsil edilerek (Şekil 4.28) her iki ortam için yazılan diferansiyel denklemin çözümü yoluyla hakim periyot hesaplanmıştır. Bu modelde üçüncü modelde yapılan kabullere ilave olarak yapı ve zeminin malzeme ve geometrik özelliklerinin yapı yüksekliği ve zemin derinliği boyunca üniform olduğu kabulü yapılmıştır.



**Şekil 4. 28:**Perde-çerçeve sistem ve zemin ortamı için sürekli sistem hesap modeli.

Üst yapıyı temsil eden perde - çerçeve sistem için diferansiyel denklem literatürden bilindiği üzere aşağıdaki gibi yazılır.

$$(EI) \frac{\partial^4 U_b}{\partial z_b^4} - k_s \frac{\partial^2 U_b}{\partial z_b^2} + \bar{m} \frac{\partial^2 U_b}{\partial t^2} = 0 \quad (4.42)$$

(4.42) numaralı kısmi diferansiyel denklem (4.43) nolu bağıntıda verilen değişkenlere ayırma yöntemi uygulanırsa (4.44) ve (4.45) nolu adi diferansiyel denklemler elde edilir.

$$U_b(z_b, t) = y_b(z_b)T(t) \quad (4.43)$$

$$\frac{d^2 T}{dt^2} + \omega^2 T = 0 \quad (4.44)$$

$$EI \frac{d^4 y_b}{dz_b^4} - k_s \frac{d^2 y_b}{dz_b^2} + \bar{m} \omega^2 y_b = 0 \quad (4.45)$$

(4.45) nolu dördüncü mertebeden adi diferansiyel denklemin çözümü aşağıdaki gibi yazılır.

$$y_b = c_3 \cosh(az_b) + c_4 \sinh(az_b) + c_5 \cos(bz_b) + c_6 \sin(bz_b) \quad (4.46)$$

Burada a ve b katsayıları aşağıdaki gibi tanımlıdır.

$$a = \sqrt{\frac{\frac{k_s}{EI} + \sqrt{\left(\frac{k_s}{EI}\right)^2 + \frac{4\bar{m}\omega^2}{EI}}}{2}} \quad (4.47)$$

$$b = \sqrt{\frac{-\frac{k_s}{EI} + \sqrt{\left(\frac{k_s}{EI}\right)^2 + \frac{4\bar{m}\omega^2}{EI}}}{2}} \quad (4.48)$$

Zemin kısmı için ise (4.14) denklemi ve (4.16) çözümü geçerlidir. Bu durumda 6 integrasyon sabiti mevcut olup bunların çözümü için 6 adet sınır koşuluna ihtiyaç vardır. Bunlar;

- Zeminin tabanında yer değiştirme sıfırdır.
- Zemin tabakasının üzerinde ve üstyapının tabanında yer değiştirme eşittir.
- Zemin tabakasının üzerinde ve üst yapının tabanında dönmeler eşittir.
- Zemin tabakasının üstünde ve üstyapının tabanında kesme kuvvetleri eşittir.
- Üstyapının tepe noktasında eğilme momenti değeri sıfırdır.
- Üstyapının tepe noktasında kesme kuvveti değeri sıfırdır.



Bütün bu ifadeler matematiksel olarak aşağıdaki gibi yazılır.

$$z_s = 0 \quad y_s = 0 \quad (4.49)$$

$$y_s(H_s) = y_b(0) \quad (4.50)$$

$$\frac{dy_s}{dz_s}_{z_s=H_s} = \frac{dy_b}{dz_b}_{z_b=0} \quad (4.51)$$

$$-(GA) \frac{dy_s}{dz_s}_{z_s=H_s} = EI \frac{d^3 y_b}{dz_b^3}_{z_b=0} - k_s \frac{dy_b}{dz_b}_{z_b=0} \quad (4.52)$$

$$EI \frac{d^2 y_b}{dz_b^2}_{z_b=H_b} = 0 \quad (4.53)$$

$$EI \frac{d^3 y_b}{dz_b^3}_{z_b=H_b} - k_s \frac{dy_b}{dz_b}_{z_b=H_b} \quad (4.54)$$

Verilen sınır koşulları (4.16) ve (4.46) da uygulanırsa aşağıdaki bağıntılar elde edilir.

$$c_1 = 0 \quad (4.55)$$

$$c_2 \sin\left(\frac{\omega}{v_s} H_s\right) - c_3 - c_5 = 0 \quad (4.56)$$

$$c_2 \frac{\omega}{v_s} \cos\left(\frac{\omega}{v_s} H_s\right) - c_4 a - c_6 b = 0 \quad (4.57)$$

$$GA c_2 \frac{\omega}{v_s} \cos\left(\frac{\omega}{v_s} H_s\right) + c_4 [EI a^3 - k_s a] + c_6 [-EI b^3 - k_s b] = 0 \quad (4.58)$$

$$c_3 a^2 \cosh(aH_b) + c_4 a^2 \sinh(aH_b) - c_5 b^2 \cos(bH_b) - c_6 b^2 \sin(bH_b) = 0 \quad (4.59)$$

$$c_3 [EI a^3 \sinh(aH_b) - k_s a \sinh(aH_b)] + c_4 [EI a^3 \cosh(aH_b) - k_s a \cosh(aH_b)] + c_5 [EI b^3 \sin(bH_b) + k_s b \sin(bH_b)] + c_6 [-EI b^3 \cos(bH_b) - k_s b \cos(bH_b)] = 0 \quad (4.60)$$

(4.56),(4.57),(4.58),(4.59) ve (4.60) nolu denklemler matris formda aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} \vdots & \dots & \vdots \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} c_2 \\ c_3 \\ c_4 \\ c_5 \\ c_6 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (4.61)$$

(4.61) nolu matris denklemde sıfırdan farklı değeri veren en küçük  $\omega$  değeri sistemin temel açılmal frekansını verir. Hakim periyot ise aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} \quad (4.62)$$

Dört modelle yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar sırasıyla Çizelge 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 ve 4.14’ de verilmiştir.

**Çizelge 4. 10:** Perdeli yapıda ZA zemin sınıfı için periyotlar (sn).

<b>ZA zemin sınıfı için periyotlar</b>				
<b>Mod</b>	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
<b>1</b>	0,31	0,3	0,35	0,39
<b>2</b>	0,08	0,07	0,12	-
<b>3</b>	0,04	0,04	0,05	-
<b>4</b>	0,02	0,02	0,04	-

**Çizelge 4. 11:** Perdeli yapıda ZB zemin sınıfı için periyotlar (sn).

<b>ZB zemin sınıfı için periyotlar</b>				
<b>Mod</b>	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
<b>1</b>	0,51	0,49	0,48	0,53
<b>2</b>	0,16	0,157	0,13	-
<b>3</b>	0,06	0,055	0,06	-
<b>4</b>	0,06	0,04	0,04	-

**Çizelge 4. 12:** Perdeli yapıda ZC zemin sınıfı için periyotlar (sn).

<b>ZC zemin sınıfı için periyotlar</b>				
<b>Mod</b>	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
<b>1</b>	1,09	1,06	0,94	1,03
<b>2</b>	0,29	0,29	0,14	-
<b>3</b>	0,15	0,15	0,10	-
<b>4</b>	0,12	0,11	0,06	-

**Çizelge 4. 13:** Perdeli yapıda ZD zemin sınıfı için periyotlar (sn).

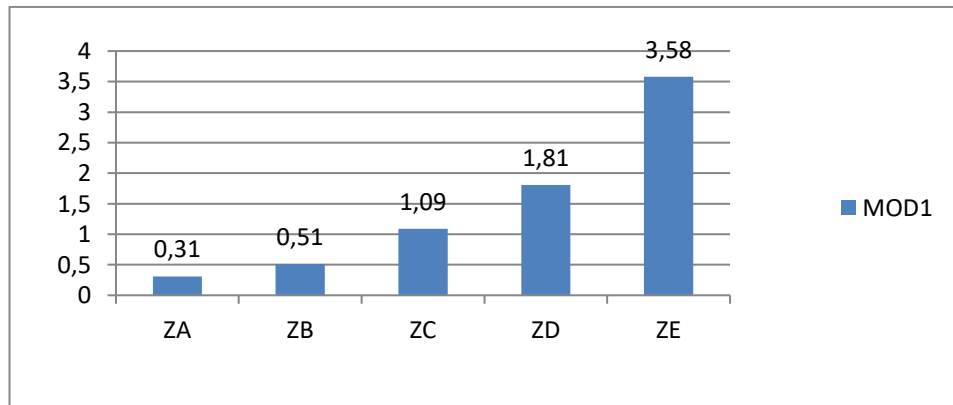
<b>ZD zemin sınıfı için periyotlar</b>				
<b>Mod</b>	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
<b>1</b>	1,81	1,76	1,76	1,94
<b>2</b>	0,25	0,21	0,20	-
<b>3</b>	0,22	0,17	0,14	-
<b>4</b>	0,2	0,1	0,10	-

**Çizelge 4. 14 :** Perdeli yapıda ZE zemin sınıfı için periyotlar (sn).

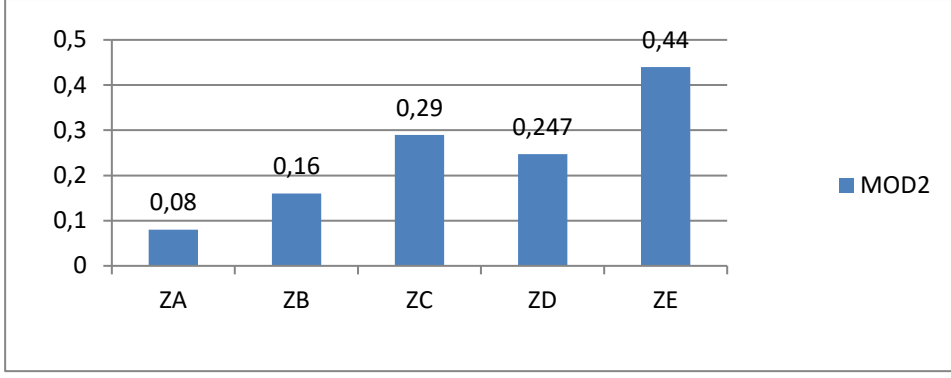
<b>ZE zemin sınıfı için periyotlar</b>				
<b>Mod</b>	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
<b>1</b>	3,58	3,50	3,60	3,96
<b>2</b>	0,44	0,38	0,40	-
<b>3</b>	0,41	0,2	0,20	-
<b>4</b>	0,38	0,17	0,14	-

Çizelgelerden görüldüğü üzere dört modelle elde edilen sonuçların birbiriyle yeterli uyumda olduğu görülmektedir.

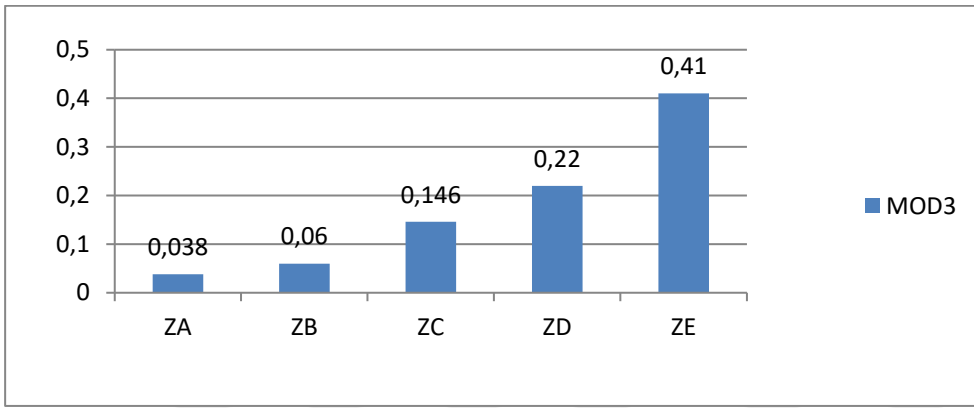
Zeminin kabuk elemanlarla modellenmesinde beş farklı zemin sınıfı için ilk dört mod için periyotların değişimi aşağıda verilmiştir.



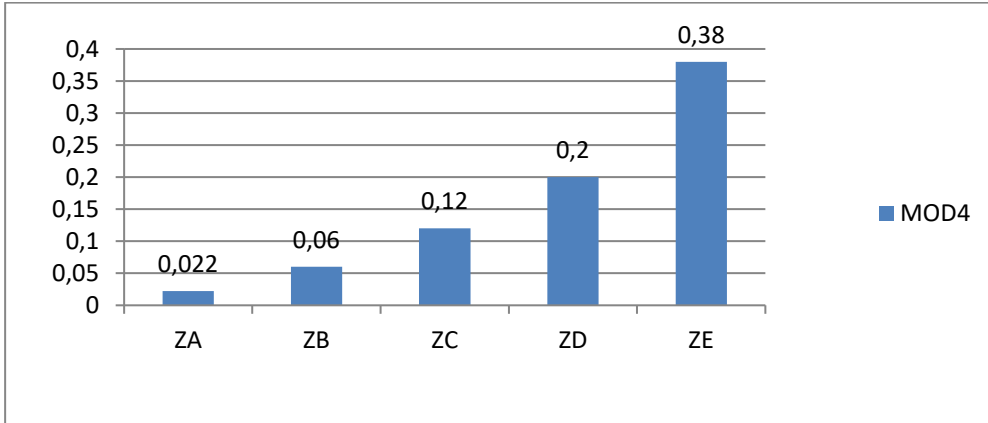
**Şekil 4. 29:** Perdeli sistemde zeminin kabuk elemanlarla modellenmesinde beş farklı zemin sınıfı için 1. mod için periyotların değişimi.



**Şekil 4. 30:** Perdeli sistemde zeminin kabuk elemanlarla modellenmesinde beş farklı zemin sınıfı için 2. mod için periyotların değişimi.



**Şekil 4. 31:**Perdeli sistemde zeminin kabuk elemanlarla modellenmesinde beş farklı zemin sınıfı için 3. mod için periyotların değişimi.



**Şekil 4. 32:**Perdeli sistemde zeminin kabuk elemanlarla modellenmesinde beş farklı zemin sınıfı için 4. mod için periyotların değişimi.

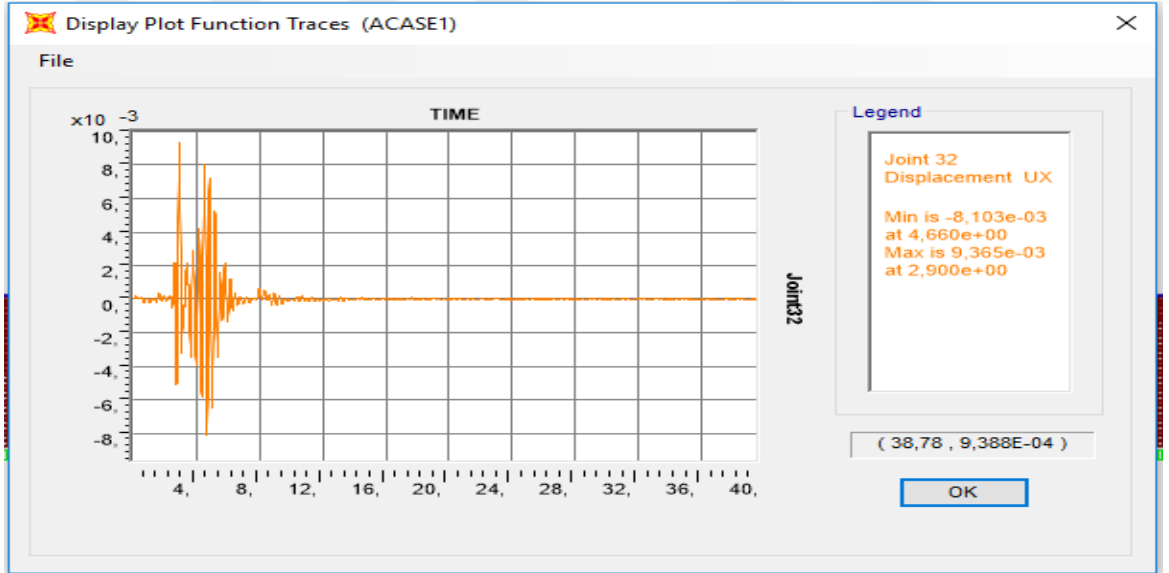
### 4.3. Perde Çerçeve Sistemin Zaman Tanım Alanında Analizi

Perde-çerçeve sistemin zaman tanım alanında analizi birinci ve ikinci model ile yapılmış olup çerçeve sistemin analizinde kullanılan deprem kaydı kullanılmıştır. Buna göre tepe noktası yer değiştirmeleri Çizelge 4.15’de verilmiştir.

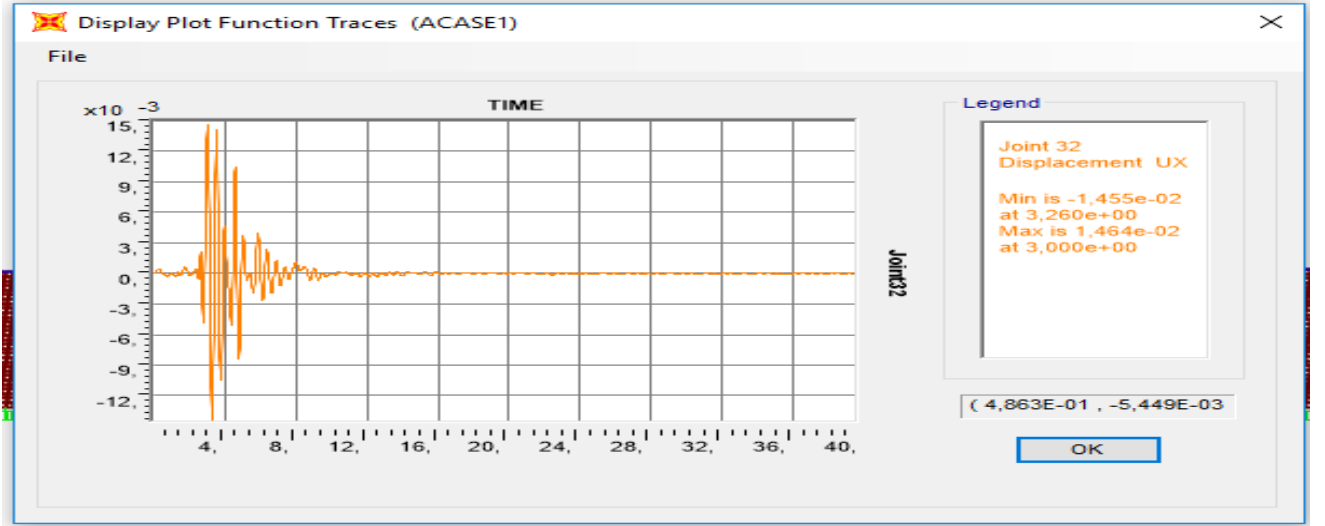
**Çizelge 4. 15:** Perde-çerçeve sistemin zaman tanım alanında analizinden elde edilen tepe noktası yer değiştirmeleri.

Zemin Tipi	Shell Zemin	Kolon Zemin
ZA	0,0094 m	0,0088 m
ZB	0,0146 m	0,0138 m
ZC	0,037 m	0,0402 m
ZD	-0,0423 m	-0,0397 m
ZE	0,0886 m	0,0857 m

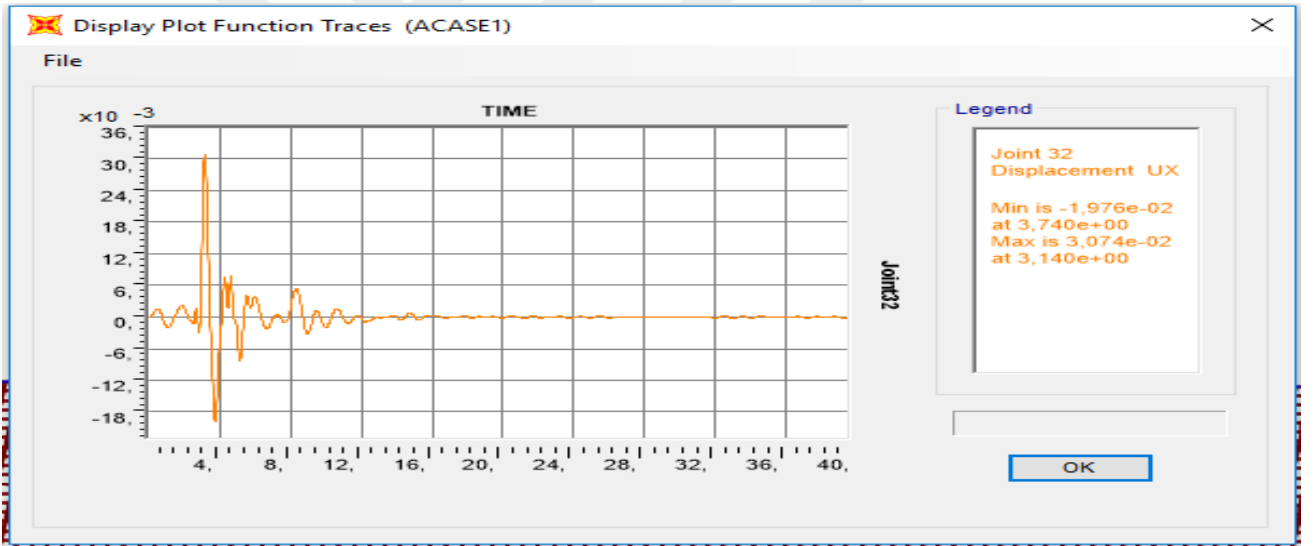
Zaman tanım alanında analiz sonucunda elde edilen tepe noktası yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişim grafikleri 5 farklı zemin sınıfı için aşağıda sunulmuştur.



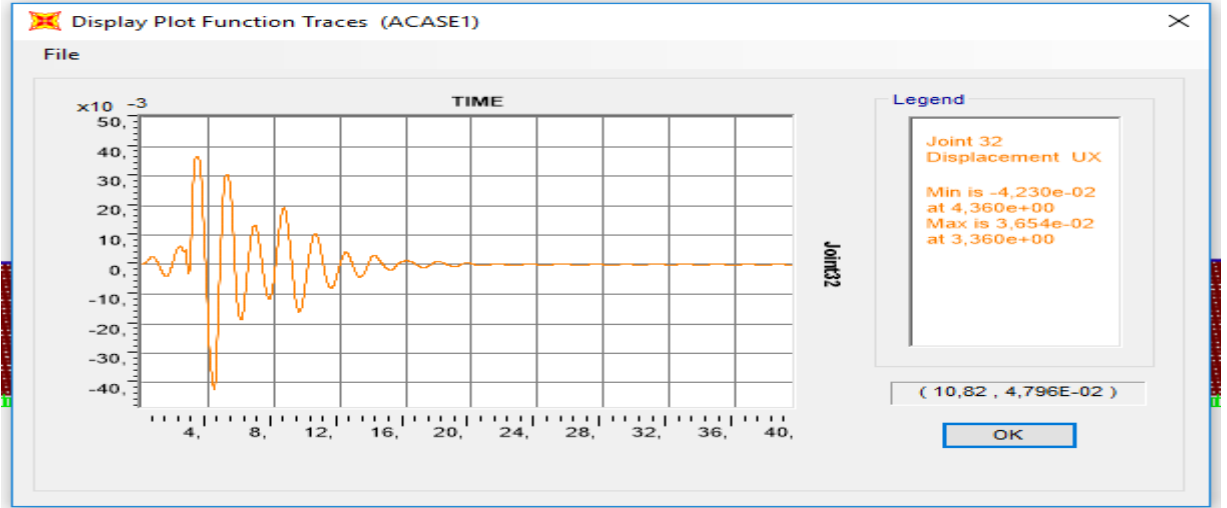
**Şekil 4. 33:** Perdeli sistemde ZA zemin sınıfı için zaman tanım alanında analizde ölçeklendirilmiş deprem kaydı için tepe noktası yer değiştirmesinin zamana bağlı değişim grafiği.



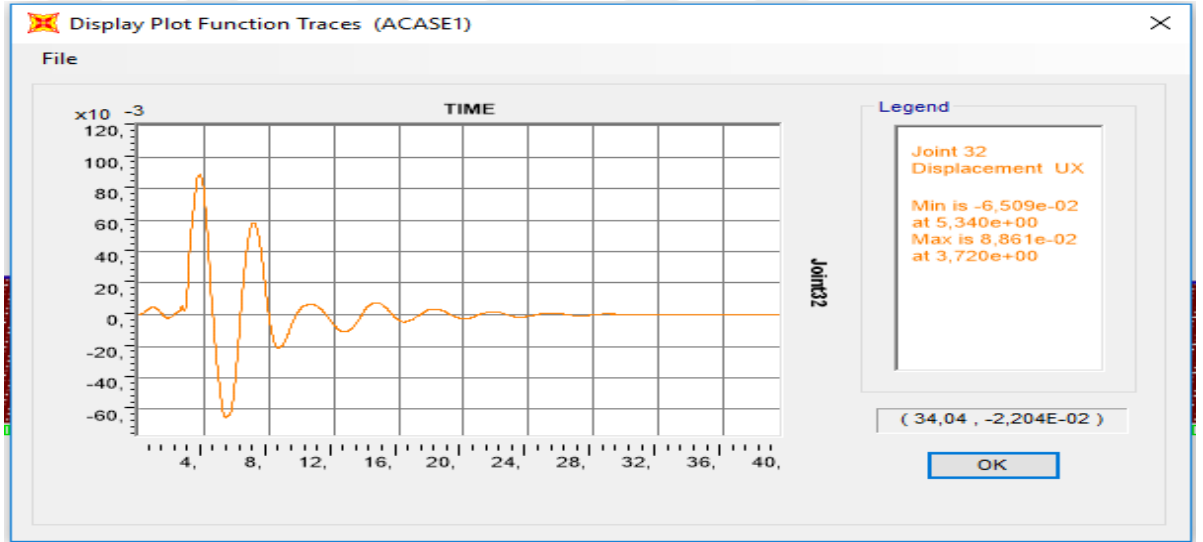
Şekil 4. 34: Perdeli sistemde ZB zemin sınıfı için zaman tanım alanında analizde ölçeklendirilmiş deprem kaydı için tepe noktası yer değiştirmesinin zamana bağlı değişim grafiği.



Şekil 4. 35: Perdeli sistemde ZC zemin sınıfı için zaman tanım alanında analizde ölçeklendirilmiş deprem kaydı için tepe noktası yer değiştirmesinin zamana bağlı değişim grafiği.



**Şekil 4. 36:** Perdeli sistemde ZD zemin sınıfı için zaman tanım alanında analizde ölçeklendirilmiş deprem kaydı için tepe noktası yer değiştirmesinin zamana bağlı değişim grafiği.



**Şekil 4. 37:** Perdeli sistemde ZE zemin sınıfı için zaman tanım alanında analizde ölçeklendirilmiş deprem kaydı için tepe noktası yer değiştirmesinin zamana bağlı değişim grafiği.





## SONUÇLAR

Bu tez kapsamında zemin yapı etkileşiminin incelenmesi için düzlem çerçeve ve perde-çerçeve örneklerin dinamik analizi incelenmiştir. Çalışmada zemin yapı etkileşimi için yapı ve zeminin birlikte modellendiği direkt (doğrudan) yöntem kullanılmıştır. Direkt yöntem ile analiz için ise 4 farklı model kullanılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Yapılan karşılaştırma sonucunda zeminin kayma kirişi olarak temsil edildiği modellerin, zemin ve yapı davranışını gerçeğe en yakın olarak temsil eden zeminin kabuk elemanlarla temsil edildiği modelle uyumlu ve yeterince yakın sonuçlar verdiği değerlendirilmiştir. Bu sonuçların ışığı altında özellikle zemin yapı davranışının daha az parametre ile daha iyi anlaşılabilmesi açısından ve ön boyutlandırma aşamasında zeminin kayma kirişi olarak temsil edildiği modellerin kullanılabilceği değerlendirilmiştir.

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

Çalışmada perde-çerçeve sistemlerin analizinde önerilen üçüncü ve dördüncü model özgün olup bu tez kapsamında geliştirilmiştir. Sunulan modeller ön boyutlandırma aşamasında, paket programlarının çıktılarının kontrolünde ve zemin yapı etkileşimi davranışının az parametre ile kolayca anlaşılması açısından yararlıdır.

Sunulan modeller farklı tür ve özellikteki zemin yapı etkileşimi problemlerine de uygulanabilir. Bu tezde serbest titreşim analizi için önerilen modeller zaman tanım alanında analiz için de kullanılabilir.

Bu çalışmada zemin ve yapı davranışının doğrusal olduğu kabulüne dayanmakta ve elde edilen sonuçlar bu kabulle sınırlıdır. Zemin yapı davranışının daha gerçekçi olarak belirlenmesi için hem yapının hem de zeminin doğrusal olmayan davranışı dikkate alınmalıdır. İlerde bu konu ile ilgili çalışmalar bu tezde önerilen modeller kapsamında araştırılabilir. Ayrıca çalışmada önerilen modellerde dikkate alınmayan eksenel yer değiştirmeler ileriki çalışmalarda dikkate alınabilir. Gene bu tez kapsamında düzlem çerçeve ve perde sistemler için geliştirilen modeller üç boyutlu yapılara da yapı düşey eksenini etrafındaki burulma etkileri de dikkate alınarak uyarlanabilir.



## KAYNAKLAR

- [1] **Cornell, C. A.** (1968). Engineering Seismic Risk Analysis, Bulletin of the Seismological Society of America. Vol. 58, No. 5, pp. 1583-1606.
- [2] **King, S.A. ve Kiremidjian, A.** (1994). Regional Seismic Hazard and Risk Analysis Through Geographic Information Systems, The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Report No. 111 June .
- [3] **Kayabalı, K.** (1995). Sismik Tehlike Analizi: Teori ve Uygulama, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, ANKARA.
- [4] **Çetin, K. Ö., Yunatçı, A. A., Çağlı, S. ve Aktaş, R.** (2004). Bursa Şehri için CBS Destekli Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi ve Risk Haritası Oluşturulması, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, İstanbul, 16-17 Eylül .
- [5] **Deniz, A. ve Yüccemen, M.S.** (2005). Antalya Yöresi İçin Deprem Tehlikesinin Stokastik Yöntemler İle Tahmini, Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, 22-25 Eylül 2005, Antalya
- [6] **Işık, E.** (2010). Bitlis Şehri Deprem Performans Analizi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi.
- [7] **Ulutaş, H.** (2012). Van İli Sismik Tehlike Analizi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Anabilim Dalı , Yüksek lisans Tezi.
- [8] **Harman, E.** (2015). Sakarya Kenti İçin Olasılığa Dayalı Sismik Tehlike Analizi, Yüksek Lisans Tezi Yapı Anabilim Dalı.
- [9] **Aydınoğlu, M.N.** (1977). Üstyapı-Zemin Ortak Sisteminin Deprem Hesabı, Doktora Tezi, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- [10] **Wolf, P. J.** (1991). Classification of Analysis Methods for Dynamic Soil-Structure Interaction, Missouri University of Science and Technology Scholars Mine .
- [11] **Nadjai, A., Beng, M., Mistructe, P., Miabse, P., Johnson, D., Mice, P., Lyness, F. J. ve Fistructe, A.** (1999). Soil–Structure Interaction in Tall Buildings By A Discrete Force Method, Proc. Instn Civ. Engrs Structs & Bldgs, 1999, 134, Feb. 9–18.
- [12] **Mylonakis, G. ve Gazetas, G.** (2000). Seismic Soil Structure Interaction: Beneficial or Detrimental, Journal of Earthquake Engineering, Vol. 4, No. 3, 277-301.
- [13] **Livaoglu R. ve Doğangün, A.** (2003). Farklı Taşıyıcı Sisteme Sahip Ayaklı Depoların Zemin Sınıflarına Göre Dinamik Davranışlarının

İrdelenmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7(3), 70-77.

- [14] **Çağlar, N., Garip, Z. Ş. ve Yaman, Z. D.** (2005). Deprem Etkisindeki Betonarme Yapılarda Yapı-Zemin Etkileşimi, Deprem Sempozyumu Kocaeli , 23-25 Mart.
- [15] **Mısır, İ. S., Özden, G. ve Kahraman, S.** (2005). Temel-Zemin Yaylarının Alansal Etkileşimi ve Yapı Davranışına Etkisi, Deprem Sempozyumu Kocaeli, 23-25 Mart .
- [16] **Massumi, A. ve Tabatabaiefar, H.R.** (2008). A Criterion for Considering Soil-Structure Interaction Effects in Seismic Design of Ductile Rc-Mrfs According to Iranian Codes, The 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, Beijing, China.
- [17] **Garcia, A. J.** (2008). Soil Structure Interaction in The Analysis and Seismic Design of Reinforced Concrete Frame Buildings, The 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, Beijing, China .
- [18] **Kausel, E.** (2010). Early History of Soil-Structure Interaction. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 30, 822-832 .
- [19] **Karabörk, T., Deneme, Ö. İ. ve Bilgehan, R. P.** (2010). Temeli İzole Edilen Yapılarda Dinamik Yapı-Zemin Etkileşimi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 26(1) , 77-87.
- [20] **Geneş, M. C., Doğanay, E., Bikçe, M. ve Kaçın, S.** (2011). Soil-Structure Interaction in RC Frame Buildings from Strong-Motion Recordings, KSU Mühendislik Dergisi, 14(1).
- [21] **Mahmoudpour, S., Attarnejad, R. ve Behnia, C.** (2011). Dynamic Analysis of Partially Embedded Structures Considering Soil-Structure Interaction in Time Domain, Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering, 23 pages
- [22] **Kraus, I. ve Dzakic, D.** (2013). Soil-Structure Interaction Effects on Seismic Behaviour of Reinforced Concrete Frames, Conference: SE-50EEE, Skopje, Makedonija
- [23] **Derdiman, M., K.** (2013). Farklı Özelliklere Sahip Zeminlerin Betonarme Yüksek Yapılarda Yapı Salınım Periyoduna Etkisi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13: 9-15.
- [24] **Siyahi, B., Çetin, K. O. ve Bilge H. T.** (2013). Geoteknik Deprem Mühendisliği Açısından Zemin-Temel - Yapı Etkileşimine Kritik Bakış, 5. Geoteknik Sempozyumu, Çukurova Üniversitesi, Adana, Aralık.
- [25] **Tabatabaiefar, R.H. ve Behzad Fatahi, B.** (2014). Idealisation of Soil-Structure System to Determine Inelastic Seismic Response of mid-Rise Building Frames, Soil Dynamic and Earthquake Engineering 66, 339–351.
- [26] **Venanzi, I., Salciarini D., ve Tamagnini C.** (2014). The Effect of Soil-Foundation-Structure Interaction on The Wind-Induced Response of Tall Buildings, Engineering Structures 79 , 117-130 .

- [27] **Bilotta, E., Sanctis De, L., Laora Di, R., D'onofrio, A. ve Silvestri, F.** (2015). Importance of Seismic Site Response and Soil-Structure Interaction in Dynamic Behaviour of A Tall Building, *Geotechnique* 65, No.5, 391-400.
- [28] **Çaycı, B. T. ve İnel, M.** (2015). Mevcut Betonarme Binalarda Zemin Yapı Etkileşiminin Sismik Davranış Üzerindeki Etkileri, 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 14-16 Ekim.
- [29] **Tabatabaiefar, R.H. ve Clifton, T.** (2016). Significance of Considering Soil-Structure Interaction Effects on Seismic Design of Unbraced Building Frames Resting on Soft Soils, *Australian Geomechanics Volume 51* No.1 March.
- [30] **Çetinkaya, M. Y., Çelebi, E. ve Kırtel, O.** (2017). Yapı-Temel-Zemin Sismik Etkileşim Probleminin Adapazarı Bölgesi İçin Empedans Fonksiyonları Yardımıyla Analizi, *Politeknik Dergisi* ; 20 (2): 325-332.
- [31] **Garip, Z. Ş.** (2017). Yumuşak Kat Düzensizliği Olan Betonarme Binalarda Yapı Zemin Etkileşimi, 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 29-30 September, ISITES Baku-Azerbaijan.
- [32] **Avcı, Y. ve Yazgan, U.** (2018). Zemin-Yapı Etkileşimli Sistemlerde En Büyük Doğrusal Olmayan Yer Değiştirme Oranı, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*.
- [33] **Kabtamı, G.H., Peng, G. ve Denghong Chen, D.** (2018). Dynamic Analysis of Soil Structure Interaction Effect on Multi Story RC Frame, *Open Journal of Civil Engineering*, 8, 426-446.
- [34] **Bap B. Z. ve Kollar P.L.** (2018). Effect of Resonance in Soil-Structure Interaction for Finite Soil Layers, *Periodica Polytechnica Civil Engineering* 2018.
- [35] **Kılıçer, S. ve Özgan, K.** (2018). Deprem Yüğü Etkisindeki Betonarme Yapıların Tasarımında Yapı-Zemin Etkileşiminin İncelenmesi, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 4(1), 1-10.
- [36] **Penava, D., Ivan Kraus, I., Petronjevic, M. ve Schmid, G.** (2018). Dynamic Soil-Structure Analysis of Tower-Like Structures Using Spectral Elements, *Technical gazete* 25, 3, 738-747
- [37] **Arias, H. ve Jaramillo, J.D.** (2019). Base Shear Determination Using Response-Spectrum Modal Analysis of Multi-Degree-of-Freedom Systems with Soil Structure Interaction, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 17(4), 3801-3814.
- [38] **Anwar, N., Uthayakumar, A. ve Najam F. A.** (2019). Significance of Soil-Structure Interaction in Seismic Response of Buildings, *Ned University Journal of Research-Special Issue on First South Asia Conference on Earthquake Engineering (Sacee'19)*, Vol. 1.
- [39] **Eyidoğan, H.** (2016). Deprem ve Kentsel Dönüşüm Paneli ,Kırklareli. Alındığı tarih:17.10.2019,adres:<https://www.slideshare.net/HalukEyidoan/deprem-ve-kentsel-dnmtrakya-ve-kirklareli>

- [40] **Çeken, U.** (2007). Marmara Bölgesinin Kuvvetli Yer Hareketi Azalım ilişkisi Modeli, T.C.Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- [41] **Keskin, E. ve Bozdoğan, K. B.**(2018). 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerinin Kırklareli İli Özelinde Değerlendirilmesi, Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 74-90.
- [42] **Ünen, H.C. ve Coşkun, M.Z.** (2007). Coğrafi Bilgi Sistemlerinde İnteraktif Sismik Modelleme, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı Ankara .
- [43] **Kale, Ö. ve Akkar, S.** (2015). Tasarım Spektrumu Köşe Periyotları ve Zemin Amplifikasyon Katsayılarının Olasılıksal Sismik Tehlike Analizleri İle Belirlenmesi, 3.Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı 14-16, DEÜ- İzmir.
- [44] Türkiye Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, (2018), Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, Ankara.
- [45] **Koçer, M., Nakipoğlu, A., Öztürk, B., Al Hagri, M.G. ve Arslan, M.H.** (2018). Deprem Kuvvetine Esas Spektral İvme Değerlerinin 2018 ve TDY 2007'ye Göre Karşılaştırılması, Selçuk-Teknik Dergisi Cilt 17, Sayı:2.
- [46] **Tezcan, S. ve Durgunoğlu, T.** (2000). Jeofizik Etütlerin Zemin Büyütme Analizindeki Önemi ve Örnekler, Jeofizik,14, 43-60.
- [47] **SAP2000**, "Evaluation Version", Computers and Structures, (2018).
- [48] **SCILAB**, Open Sources Software for Numerical Computations, address: <https://www.scilab.org/fr>.
- [49] **Taranath, B.S.** (2009). Reinforced Concrete Design of Tall Buildings, CRC Press.
- [50] **Murashev, V., Sigalov, E. ve Baikov, V. N.** (1976). Design of Reinforced Concrete Structures, Mir Publishers, Moscow.
- [51] **Bilyap, S.** (1979). Betonarme Yüksek Yapılarda Perde Çerçeve Sistemlerinin Yatay Kuvvetlere Göre Hesabı, Ege Üniversitesi Matbaası, İzmir.
- [52] **Ertutar, Y.** (1995). Betonarme Yüksek Yapılarda Yatay Yük Etkisi, DEÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları no:253, 25s.
- [53] **Kiefer, A. ve Leger, P.** (1999). Semi-Continuum Seismic Analysis of Soil-Building Systems, Engineering Structures, 21 , 332-340.
- [54] The MathWorks Inc. MATLAB 7.0 (R14SP2). The MathWorks Inc., (2005).
- [55] **Kılar, V. ve Fajfar, P.** (1997). Simple Push-Over Analysis of Asymmetric Buildings, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 26,233-249.
- [56] **Basu, A., Nagpal, A. K. ve Kaul, S.** (1984). Charts for Seismic Design of Frame-Wall Systems, J. Struct. Eng.-ASCE, 110 (1), 31-46.

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad** : Döndü KARA  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : K.Maraş/Afşin/15.09.1994  
**E-Posta** : dndu.kara@hotmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2012 - 2016, Kırklareli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü.
- **Yüksek lisans** : 2016 –2019, Kırklareli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü.

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Kırklareli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi-Fakülte Birinciliği
- Kırklareli Üniversitesi 1.Derslik Çelik Çatı Projesi – Şantiye Şefi
- Temko Kozmetik Fabrika Binası – Şantiye Şefi
- Ytong Genel Müdürlük Binası – Şantiye Şefi
- İyzico A Blok – Şantiye Şefi
- Trumpf Makine Ofis Şantiyesi - Şantiye Şefi

### TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Bozdoğan K.B., Keskin E., Kara D.,** (2019). Determination Of The Elastic Design Response Spectra For Kırklareli According To 2018 Turkish Seismic Code ISENSA, May, Kocaeli, Turkey.78-83