

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**AYAKLARI FARKLI YEREL ZEMİN SINIFLARINDA BULUNAN
KÖPRÜLERİN SİSMİK ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa Enes ÖZTÜRK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2024

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**AYAKLARI FARKLI YEREL ZEMİN SINIFLARINDA BULUNAN
KÖPRÜLERİN SİSMİK ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mustafa Enes ÖZTÜRK
(501221022)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yasin FAHJAN

HAZİRAN 2024

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**SEISMIC ANALYSIS OF BRIDGES WITH PIERS ON DIFFERENT LOCAL
SOIL CLASSES**



MASTER'S THESIS

**Mustafa Enes ÖZTÜRK
(501221022)**

Department of Civil Engineering

Structural Engineering Program

Thesis Advisor: Prof. Dr. Yasin FAHJAN

JUNE 2024

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 501221022 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Mustafa Enes ÖZTÜRK, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “AYAKLARI FARKLI YEREL ZEMİN SINIFLARINDA BULUNAN KÖPRÜLERİN SİSMİK ANALİZİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Yasin FAHJAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ali SARI**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Anıl DİNDAR
Gebze Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 21/05/2024
Savunma Tarihi : 27/06/2024





Annem Özlem Öztürk'e,



ÖNSÖZ

Tezimin, gelecekte değerlendirilecek köprü tasarımlarında yardımcı bir kaynak olmasını ümit ediyorum. Bir gün yönetmeliğimizde bir revizyon olması halinde de, tezimin sonuçlarından faydalanılabilceğini umuyorum. Türkiye'de yapılacak olan köprülerde TKDY kapsamında tasarımın gerekliliklerine, binalardan ayrı olarak değerlendirilmesi gereken konulara ve farklı analiz methodlarına yer verilmiştir.

Tez kapsamında yardımlarını esirgemeyen ve her daim buluşma isteklerimi kabul eden danışmanım Prof. Dr. Yasin FAHJAN'a teşekkürlerimi sunuyorum. Kendisinin teknik bilgi ve becerilerini benimle paylaşması, tezimin tamamlanmasında büyük rol oynamıştır.

Prof. Dr. Ali SARI'ya ve Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Anıl DİNDAR'a tez savunmasında jüri olmayı kabul ettikleri için ayrıca teşekkür ediyorum. Kendilerinin değerlendirmeleri tez çalışmasının içeriği açısından büyük önem arz etmiştir.

Ayrıca, deprem kayıtlarını seçmemde ve ölçeklendirmemde yardımcı olan Dr. Öğr. Üyesi Fatma İlknur KARA'ya teşekkürlerimi sunuyorum.

Mayıs 2024

Mustafa Enes Öztürk
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xv
SEMBOLLER	xvii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xxi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xxv
ÖZET.....	xxxiii
SUMMARY	xxxvii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Köprülerin Tanımı.....	1
1.2 Türkiye’deki Köprülerin Sismik Analizinin Yapılışı.....	1
1.3 Değişken Zemin Etkisi (DZE).....	2
1.4 DZE'nin Varlığı Durumunda Sözde-Statik Etkiler ve Analiz	2
1.5 Literatür Araştırması	3
1.6 Hipotez	6
2. TEORİ.....	7
2.1 Konunun İncelenmesinden Önce TKDY’nde Bilinmesi Gerekenler	7
2.1.1 Deprem yer hareketinin incelenmesi.....	7
2.1.2 Deprem yer hareketi düzeyinin seçilmesi	8
2.1.3 S_{DS} ve S_{D1} katsayılarının hesabı.....	9
2.1.4 Yatay deprem tasarım spektrumunun hesabı	11
2.1.5 Deprem tasarım sınıfının (DTS) seçimi	12
2.1.6 Köprü önem sınıfının (KÖS) seçimi.	13
2.1.7 Taşıyıcı sistem davranış kritikliği	13
2.1.8 Analiz yönteminin seçimi	14
2.1.9 DD-2A deprem yer hareketi düzeyi için spektral ivme katsayılarının hesabı	15
2.2 DZE Durumunda Üiform Deprem Yer Hareketi Kabulü.....	15
2.3 Zaman Tanım Alanında Analiz	16
2.3.1 TKDY'ye göre zaman tanım alanında analiz esasları	19
2.3.2 DZE durumunda zaman tanım alanında analiz	20
2.3.2.1 TKDY'nin duruma yaklaşımı	20
2.3.2.2 Zaman tanım alanında deplasman analizi	21
2.4 Tepki spektrumu analizi	22
2.4.1 Mod birleştirme yöntemi.....	22
2.4.2 Çoklu mesnet hareketi halinde etki matrisinin hesabı	24
2.4.3 TKDY'ye göre üniform deprem yer hareketi için mod birleştirme yöntemi	26
2.4.4 TKDY'ye göre DZE durumunda mod birleştirme yöntemi	268
3. MODELLEME VE ANALİZ.....	31

3.1 Kullanılan Model Hakkında Bilgiler	31
3.2 Modelde Kullanılan Elemanların Detayları.....	32
3.2.1 Tabliyeler	32
3.2.2 Kolonlar.....	33
3.2.3 Bağlantı plakları	35
3.2.4 T-başlık girişleri	36
3.2.5 Elastomer mesnetler	38
3.2.6 Temeller	39
3.3 Zaman Tanım Alanında Analiz	40
3.3.1 Deprem kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesi.....	42
3.3.2 DEEPSOIL'in kullanımı	45
3.3.3 İvme-zaman verilerinin deplasman zaman verilerine dönüştürülmesi.....	49
3.3.3.1 Deplasman-zaman verilerinin SAP2000'den bulunması	50
3.3.3.2 Deplasman-zaman verilerinin entegrasyonla bulunması.....	56
3.3.4 SAP2000'de ZTA'da ivme ve deplasman analizleri	58
3.3.4.1 Üniorm deprem yer hareketi için yapılan ZTA analizleri.....	60
3.3.4.2 Değişken deprem yer hareketi için yapılan ZTA analizleri	62
3.3.5 Elde edilen bulgular	64
3.3.5.1 ZTA'da ivme ve deplasman analizlerinin karşılaştırılması	64
Elastomer mesnet deformasyonları	64
Orta ayak kesme kuvveti	68
Orta ayak momentleri.....	71
3.3.5.2 DZE'nin bulunduğu ve üniorm deprem yer kabulünün yapılabildiği zemin kombinasyonlarının analizleri	74
Elastomer mesnet deformasyonları	74
Orta ayak kesme kuvvetleri.....	75
Orta ayak momentleri.....	77
3.3.5.3 DZE'nin bulunduğu ve üniorm deprem yer kabulünün yapılamadığı zemin kombinasyonlarının analizleri	78
Elastomer mesnet deformasyonları	79
Orta ayak kesme kuvvetleri.....	80
Orta ayak momentleri.....	81
3.4 Mod Birleştirme Analizi.....	82
3.4.1 Tasarım ivme spektrumlarının elde edilmesi	84
3.4.2 Her bir düğüm noktasına gelecek olan kuvvetin hesaplanması	87
3.4.3 Deprem yüklerinin SAP2000'e aktarılması	90
3.4.4 Analiz sonuçlarının çıkartılması ve analiz	92
3.4.5 Üniorm deprem yer hareketi için mod birleştirme kontrolü	96
3.4.5.1 SAP2000'de yapılan tepki spektrumu analiz sonuçları	100
Elastomer mesnet deformasyonları	100
Orta ayak kesme kuvvetleri.....	101
Orta ayak momentleri.....	102
3.4.5.2 Deprem yüklerinin düğüm noktalarına atanmasıyla bulunan sonuçlar.	104
Elastomer mesnet deformasyonları	104
Orta ayak kesme kuvvetleri.....	105
Orta ayak momentleri.....	106
3.4.6 DZE'nin bulunduğu durumlarda analizlerin gerçekleştirilmesi	107
3.4.6.1 Üniorm deprem yer kabulünün yapılabileceği zemin kombinasyonları	108

Elastomer mesnet deformasyonları	108
Orta ayak kesme kuvvetleri.....	111
Orta ayak moment hesabı.....	114
3.4.6.1 Üniform deprem yer kabulünün yapılamayacağı zemin kombinasyonları.....	118
Elastomer mesnet deformasyonları	118
Orta ayak kesme kuvvetleri.....	120
Orta ayak momentleri.....	123
4. KOŞULSUZ SİMÜLASYON YÖNTEMİ	129
4.1. Yöntemin Açıklanması ve Detayları	129
4.2. Yöntemin Aşamaları	130
4.3. Analiz Aşamaları.....	134
4.3.1. Denklemler için seçilecek değerler	134
4.3.2. Denklemlerin çözümü ve oluşan grafikler.	135
4.4. Farklı Zemin Kombinasyonları İçin Yapılan Analiz Sonuçları	141
4.4.1. Üniform deprem yer hareketi olması durumunda analiz	141
4.4.1.1 Elastomer mesnet deformasyonları	142
4.4.1.2 Orta Ayak Kesme Kuvvetleri.....	144
4.4.1.3 Orta Ayak Momentleri	147
4.4.2. DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği zemin kombinasyonları için analiz	150
4.4.2.1 Elastomer mesnet deformasyonları	151
4.4.2.2 Orta ayak kesme kuvvetleri.....	152
4.4.2.3 Orta ayak momentleri.....	154
4.4.3. DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı zemin kombinasyonları için analiz	155
4.4.3.1 Elastomer mesnet deformasyonları	156
4.4.3.2 Orta ayak kesme kuvvetleri.....	156
4.4.3.3 Orta ayak momentleri.....	158
4.5. Koşulsuz simülasyon yöntemi sonucu elde edilen bulgular.....	159
5. SONUÇLAR	161
5.1. Bulunan Tüm Sonuçlar.....	161
5.1.1. Elastomer mesnet deformasyonları	161
5.1.2. Orta ayak kesme kuvveti ve momentler.....	163
5.2. Tüm Sonuçlardan Elde Edilen Bulgular.....	165
5.3. Gelecekte Yapılacak Model ve Çalışmalarla İlgili Tavsiyeler.....	166
KAYNAKLAR	169
EKLER.....	173
ÖZGEÇMİŞ.....	205



KISALTMALAR

TKDY	: Türkiye Köprü Deprem Yönetmeliği
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
ZTA	: Zaman Tanım Alanında
DZE	: Değişken Zemin Etkisi
KTK	: Karelerinin Toplamının Karekökü
TKB	: Tam Karesel Birleştirme
MKZ	: Modified Kondner Zelasko
AASHTO	: American Association of Highway and Transportation Officials
LRFD	: Load and Resistance Factor Design
SRSS	: Square Root of the Sum of the Squares
CQC	: Complete Quadratic Combination
KGMKTŞ	: Karayolları Genel Müdürlüğü Karayolu Teknik Şartnamesi
MSRS	: Multiple Support Response Spectrum
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
DD	: Deprem Düzeyi
KÖS	: Köprü Önem Sınıfı
KSY	: Koşulsuz Simülasyon Yöntemi
YM	: Yeterli Titreşim Modu Sayısı
AS	: Ayak Sayısı
OA	: Orta Ayak
DE	: Doğrudan Entegrasyon



SEMBOLLER

$\bar{r}_n^{(X,k)}$	: (X) yönü için hesaplanan, modal etkin kütlelerin fiktif yükler olarak köprü taşıyıcı sistemine statik olarak etki ettirilmesiyle elde edilen jenerik davranış büyüklüğü
$\bar{r}_s^{(X,k)}$	: k'ıncı ayak temeline (X) doğrultusunda statik olarak etki ettirilen birim yerdeğiştirmeden hesaplanan jenerik davranış büyüklüğü
$\ddot{u}_{g1}(t)$	: Mesnet hareketinin ivme vektörü[m/sn ²]
$\bar{u}_{s,j}^{(X,k)}$	: Herhangi bir k'ıncı ayağa birim yerdeğiştirmenin etkilmesiyle j'inci düğüm noktasında meydana gelen deplasman [m]
$ \gamma_{jk}(\zeta_{jk}, \omega) $	: Ayaklar arası uygunluk fonksiyonunun genlik değeri
$f_j(t)$	: j'inci ayak için hesaplanan sabit olmayan ivme-zaman kaydı [m/sn ²]
k_s, k_1	: DD-2A seviyesi hesabı için gerekli olan katsayılar
m_j	: j'inci düğüm noktası kütlesi
$m_{jxn}^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusu için köprünün x eksen doğrultusunda j'inci düğüm noktası ve n'inci mod için hesaplanan modal etkin kütle [t]
$m_{jxn}^{(X,k)}$	: (X) deprem doğrultusu için köprünün x eksen doğrultusunda j'inci düğüm noktası, k'ıncı ayak ve n'inci mod için hesaplanan modal etkin kütle [t]
$m_{jyn}^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusu için köprünün y eksen doğrultusunda j'inci düğüm noktası ve n'inci mod için hesaplanan modal etkin kütle [t]
$m_{jyn}^{(X,k)}$	: (X) deprem doğrultusu için köprünün y eksen doğrultusunda j'inci düğüm noktası, k'ıncı ayak ve n'inci mod için hesaplanan modal etkin kütle [t]
$m_{jzn}^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusu için köprünün z eksen doğrultusunda j'inci düğüm noktası ve n'inci mod için hesaplanan modal etkin kütle [t]
$m_{jzn}^{(X,k)}$	: (X) deprem doğrultusu için köprünün z eksen doğrultusunda j'inci düğüm noktası, k'ıncı ayak ve n'inci mod için hesaplanan modal etkin kütle [t]
q_i	: Modal koordinat denklemi
$r_{d,max}^{(X)}$	: (X) yönü için hesaplanan maksimum dinamik davranış büyüklüğü
$r_{n,max}^{(X,k)}$	: Maksimum modal davranış büyüklüğü

$r_{s,max}^{(X)}$	: (X) yönü için hesaplanan maksimum sözde-statik davranış büyüklüğü
$r_{s,max}^{(X,k)}$	: (X) yönü için hesaplanan, herhangi bir k'ıncı ayaktaki maksimum sözde-statik davranış büyüklüğü
$S_{aen}^{(X,k)}$	: (X) yönü için hesaplanan, herhangi bir k'ıncı ayak ve n'inci mod için hesaplanan tasarım spektral ivme değeri
$u_{gt}(t)$	: Mesnet hareketinin etki vektörü[m]
V_{app}	: Deprem dalgası hızı [m/sn]
β_{mn}	: m'inci ve n'inci modlar arası periyot oranı
$\gamma_{jk}(\xi_{jk}, \omega)$	: Ayaklar arası uygunluk fonksiyonu
γ, β	: Newmark katsayıları
$\Gamma_n^{(X)}$	: (X) yönü için hesaplanan, n'inci moda ait modal katkı çarpanı
$\Gamma_n^{(X,k)}$	: (X) yönü için hesaplanan, k'ıncı ve n'inci moda ait modal katkı çarpanı
ζ_{jk}^L	: j'inci ve k'ıncı ayaklar arası mesafenin dalga yönünde alınmasıyla elde edilen mesafe değeri
$\theta_{jk}(\zeta_{jk}, \omega)$	: j'inci ve k'ıncı ayaklar arası mesafeye ve frekansa bağlı faz açısı
ρ_{mn}	: m'inci ve n'inci mod için hesaplanan çapraz korelasyon katsayısı
ϕ_i	: Modal şekil vektörü
Φ_{jxn}	: j'inci düğüm noktasında x eksenini doğrultusunda n'inci doğal titreşim mod şekli genliği
Φ_{jyn}	: j'inci düğüm noktasında y eksenini doğrultusunda n'inci doğal titreşim mod şekli genliği
Φ_{jzn}	: j'inci düğüm noktasında z eksenini doğrultusunda n'inci doğal titreşim mod şekli genliği
ω_l	: Seçilen ayrık frekans değerleri
$f_{jxn,max}^{(X)}$	: (X) yönünde etkiyen deprem yer ivmesi için n'inci moda ve j'inci düğüm noktasına denk gelen deprem yükü bileşeni [kN]
$f_{jxn,max}^{(X,k)}$	: İncelenen k'ıncı ayak için, (X) yönünde etkiyen deprem yer ivmesinin n'inci moda ve j'inci düğüm noktasına denk gelen deprem yükü bileşeni [kN]
ϕ_{ml}	: m'inci köprü ayağı ile l'inci seçilen ayrık frekans numarası için elde edilen, birbirinden bağımsız faz açıları
a_1, a_2	: Depremin büyüklüğüne ve merkez üssüne bağlı olarak değişen katsayılar
$A_j(t)$	: j'inci ayak için hesaplanan modülasyon fonksiyonu
c	: Sönüm matrisi

F_1	: 1 saniye periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
F_s	: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
$g_j(t)$	: j'inci ayak için hesaplanan sabit stokhastik vektör fonksiyonu [m/sn ²]
k	: Rijitlik matrisi
m	: Kütle matrisi
p	: Olasılık katsayısı
$S(\xi_{jk}, \omega)$	: Çapraz güç-spektral yoğunluk fonksiyonu
$S(\omega)$	: Güç-spektral yoğunluk fonksiyonu
$S^0(\omega)$	: Çapraz güç-spektral yoğunluk fonksiyonu matrisi
S_1	: 1 saniye periyot harita spektral ivme katsayısı
$SA(\omega)$	: ω açısal frekansına denk gelen spektral ivme
$S_{ae}(T)$	: Yatay deprem tasarım spektral ivmeleri [g]
S_{D1}	: 1 saniye periyot harita tasarım spektral ivme katsayısı
S_{Ds}	: Kısa periyot harita tasarım spektral ivme katsayısı
S_s	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
T	: Toplam süre [sn]
T_A, T_B	: Köşe periyotları [s]
T_L	: Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu [s]
u	: Etki matrisi
ω	: Açısal frekans [rad/sn]
$H(\omega)$	: $S^0(\omega)$ matrisinin Cholesky Ayrıştırması kullanılarak elde edilen alt üçgen matris
ξ	: Sönüm oranı



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Kullanılan yerel zemin sınıfları.....	9
Çizelge 2.2 : Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları.	10
Çizelge 2.3: 1.0 saniye periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları.	10
Çizelge 2.4 : Deprem tasarım sınıfları.....	12
Çizelge 2.5 : Taşıyıcı sistem davranışı kritik olan köprüler için analiz yöntemleri ..	14
Çizelge 3.1 : Seçilen deprem kayıtlarının yatay bileşenleri.	44
Çizelge 3.2 : Deprem kayıtlarının detayları.....	44
Çizelge 3.3: Zemin profillerinin doğal titreşim periyotları.	48
Çizelge 3.4: Tanımlanan deprem fonksiyonları.....	51
Çizelge 3.5: Köprü boyunca bulunan yerel zemin kombinasyonları.....	59
Çizelge 3.6 : İvme zaman analizleri sonrası elde edilen elastomer mesnet deformasyonları (m).....	65
Çizelge 3.7: Elastomer mesnet deformasyonları için elde edilen ortalama değerler (m).....	65
Çizelge 3.8: Deplasman zaman analizleri sonrası elde edilen elastomer mesnet deformasyonları.....	66
Çizelge 3.9: Elastomer mesnet deformasyonları için elde edilen ortalama değerler.	67
Çizelge 3.10: Orta ayaklarda meydana gelen kesme kuvvetleri (kN).	68
Çizelge 3.11: Orta ayaklarda meydana gelen kesme kuvvetleri (kN).	69
Çizelge 3.12: ZTA'da ivme ve deplasman analizleri sonucu hesaplanan kesme kuvveti değerleri (kN).	69
Çizelge 3.13: ZTA'da ivme analizleri sonucu hesaplanan moment değerleri (kNm).	71
Çizelge 3.14: ZTA'da deplasman analizleri sonucu hesaplanan moment değerleri (kNm).	72
Çizelge 3.15: ZTA'da ivme ve deplasman analizleri sonucu hesaplanan moment değerleri (kNm).	72
Çizelge 3.16: Analiz sonucu hesaplanan elastomer mesnet deformasyon değerleri (m).	75
Çizelge 3.17: Analiz sonucu hesaplanan orta ayak kesme kuvveti değerleri (kN). ..	76
Çizelge 3.18: Analiz sonucu hesaplanan orta ayak moment değerleri (kNm).	77
Çizelge 3.19: Analiz sonucu hesaplanan elastomer mesnet deplasman değerleri (m).	79
Çizelge 3.20: Analiz sonucu hesaplanan orta ayak kesme kuvveti değerleri (kN). ..	80
Çizelge 3.21: Analiz sonucu hesaplanan orta ayak moment değerleri (kNm).	81
Çizelge 3.22: Harita tasarım spektral ivme katsayıları.....	85
Çizelge 3.23: Modal kütle katılım oranları.....	86
Çizelge 3.24: Her yerel zemin sınıfı ve modal titreşim periyodu için hesaplanan ivme değerleri.....	86
Çizelge 3.25: Her yerel zemin sınıfı için hesaplanan Sde(TL) değeri (m).....	87

Çizelge 3.26 : "ZBZCZDZC" zemin kombinasyonu için elde edilen ivme değerleri.	93
Çizelge 3.27 : "ZBZCZDZC" zemin kombinasyonu için elde edilen Sde(TL) değerleri.	93
Çizelge 3.28 : "1" nolu elastomer mesnet deformasyonu (m).	93
Çizelge 3.29 : Tüm mod periyotları için hesaplanan ρ_{mn} değerleri.	95
Çizelge 3.30 : Üniform deprem yer hareketi durumu için bulunan deplasmanlar (m).	100
Çizelge 3.31 : Üniform deprem yer hareketi durumu için bulunan kesme kuvveti değerleri (kN).	101
Çizelge 3.32 : Üniform deprem yer hareketi durumu için bulunan moment değerleri (kNm).	103
Çizelge 3.33 : Üniform deprem yer hareketi durumunda TKB yöntemiyle bulunan deformasyonlar (m).	104
Çizelge 3.34 : Üniform deprem yer hareketi durumu için TKB yöntemiyle bulunan kesme kuvveti değerleri (kN).	105
Çizelge 3.35 : Üniform deprem yer hareketi durumunda TKB yöntemiyle bulunan moment değerleri (kNm).	106
Çizelge 3.36 : Üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği ve DZE'nin olduğu durumlarda elastomer mesnet deformasyonları (m).	108
Çizelge 3.37 : Üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği ve DZE'nin olduğu durumlarda toplam elastomer mesnet deformasyonları (m).	110
Çizelge 3.38 : Üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği ve DZE'nin olduğu durumlarda orta ayak kesme kuvvetleri (kN).	111
Çizelge 3.39 : Üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği ve DZE'nin olduğu durumlarda toplam kesme kuvveti değerleri (kN).	113
Çizelge 3.40 : Üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği ve DZE'nin olduğu durumlarda moment değerleri (kNm).	114
Çizelge 3.41 : Üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği ve DZE'nin olduğu durumlarda toplam moment değerleri (kNm).	116
Çizelge 3.42 : Üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı ve DZE'nin olduğu durumlarda elastomer mesnet deformasyonları (m).	118
Çizelge 3.43 : Üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı ve DZE'nin olduğu durumlarda toplam deplasman değerleri (m).	120
Çizelge 3.44 : Üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı ve DZE'nin olduğu durumlarda kesme kuvveti değerleri (kN).	121
Çizelge 3.45 : Üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı ve DZE'nin olduğu durumlarda toplam kesme kuvveti değerleri (kN).	122
Çizelge 3.46 : Üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı ve DZE'nin olduğu durumlarda moment değerleri (kNm).	124
Çizelge 3.47 : Üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı ve DZE'nin olduğu durumlarda toplam moment değerleri (kNm).	126
Çizelge 4.1 : ZTA'da doğrudan entegrasyon ve modal yöntemler ile elde edilen deformasyon değerleri (m).	142
Çizelge 4.2 : Mod birleştirme yöntemi ve ZTA'da modal yöntemi ile elde edilen deformasyon değerleri (m).	142
Çizelge 4.3 : ZTA'da doğrudan entegrasyon ve modal yöntemler ile elde edilen orta ayak kesme kuvveti değerleri (kN).	144
Çizelge 4.4 : Mod birleştirme yöntemi ve ZTA'da modal analiz yöntemi ile elde edilen orta ayak kesme kuvvetleri (kN).	145

Çizelge 4.5 : ZTA'da doğrudan entegrasyon ve modal yöntemler ile elde edilen orta ayak moment değerleri (kNm).	147
Çizelge 4.6 : Mod birleştirme yöntemi ve ZTA'da modal analiz yöntemi ile elde edilen orta ayak moment değerleri (kNm).	148
Çizelge 4.7 : Elde edilen elastomer mesnet deformasyonları (m).	152
Çizelge 4.8 : Elde edilen orta ayak kesme kuvvetleri (kN).	152
Çizelge 4.9 : Elde edilen orta ayak momentleri (kNm).	154
Çizelge 4.10 : Elde edilen elastomer mesnet deformasyonları (m).	156
Çizelge 4.11 : Elde edilen orta ayak kesme kuvvetleri (kN).	157
Çizelge 4.12 : Elde edilen orta ayak moment değerleri (kNm).	158
Çizelge B.1 : ZC için seçilen zemin parametreleri.	195
Çizelge B.2 : ZD için seçilen zemin parametreleri.	197
Çizelge B.3 : ZE için seçilen zemin parametreleri.	199





ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Deprem yer hareketi düzeyinin https://tdth.afad.gov.tr/ adresinden seçimi.	8
Şekil 2.2 : Yatay deprem tasarım spektral ivmeleri.	11
Şekil 2.3 : Yatay tasarım spektral yer değiştirme değerleri.	12
Şekil 2.4 : Modal zaman tanım alanında analiz yöntemi (Fahjan, 2022)	17
Şekil 2.5 : Newmark yönteminde ivmenin sabit ortalama ve lineer olarak alınması durumları (Chopra, 2011, s.175).	18
Şekil 2.6 : Seçilen h aralığı için Newmark Sabit İvme Yöntemi (Clough, 2003, s. 121).	19
Şekil 2.7 : Mod birleştirme yöntemi (Fahjan, 2022).	22
Şekil 2.8 : Mod çözümlemesi (Chopra, 2011, s. 518).	23
Şekil 2.9 : Mesnet noktalarına statik birim deplasman etkiltilmesiyle her bir düğüm noktasındaki etki matrisi bileşenin hesabı (Chopra, 2011, s.374).	24
Şekil 2.10: Üstyapı ve mesnet serbestlikleri (Chopra, 2011, s.387).	24
Şekil 2.11 : 3 mesnetli bir sistemde, mesnetlere birim deplasman uygulanmasıyla yığılı kütle noktalarında etki matrisinin hesaplanması (Chopra, 2011, s.390).	26
Şekil 3.1 : Kullanılan köprü modeli.	31
Şekil 3.2 : Modelde kullanılan T-başlık kirişleri.	32
Şekil 3.3 : Tabliye kesit özellikleri	33
Şekil 3.4 : Tabliye etkin kesit rijitliğinin ayarlanması.	33
Şekil 3.5 : Tanımlanan kolon kesit boyutları.	34
Şekil 3.6 : Kolon kesitinin Sap2000'de tanımlanması.	34
Şekil 3.7 : Kolon kesiti için tanımlanan etkin kesit rijitliği.	35
Şekil 3.8 : Bağlantı plağı için tanımlanan kesit boyutları.	35
Şekil 3.9 : Bağlantı plağı için tanımlanan etkin kesit rijitlik değerleri.	36
Şekil 3.10 : T-başlık kirişlerinin kesit boyutları.	36
Şekil 3.11 : T-başlık kirişinin SAP2000'de modellenmesi.	37
Şekil 3.12 : T-başlık kirişinin etkin kesit rijitliğinin girilmesi.	37
Şekil 3.13 : T-başlık kirişinin kolonla temas eden noktası için tanımlanan rijitlik.	37
Şekil 3.14 : Kenar ayaklar için modellenen elastomer mesnetlerin rijitlikleri.	38
Şekil 3.15 : Orta ayaklar için modellenen elastomer mesnetlerin rijitlikleri.	38
Şekil 3.16 : Kenar ayaklar için modellenen elastomer mesnetler.	39
Şekil 3.17 : Orta ayaklar için modellenen elastomer mesnetler.	39
Şekil 3.18 : Kenar ve orta ayaklar için modellenen temeller.	40
Şekil 3.19 : ZTA'da doğrudan entegrasyon yöntemi akış şeması.	41
Şekil 3.20 : Yapının bulunduğu bölgedeki dirifaylar.	42
Şekil 3.21 : Seçilen kayıtların spektral uyuşum sonrası ivme değerleri ve ortalaması.	44

Şekil 3.22 : Her iki yatay yöndeki kaydın, spektral ivmenin 1.3 katına göre ölçeklendirilmesi.	45
Şekil 3.23 : DEEPSOIL için tanımlanan analiz tipi tanımları.	46
Şekil 3.24 : DEEPSOIL anakaya zemin parametreleri.	47
Şekil 3.25 : Analiz kapsamında seçilen 7 deprem kaydının DEEPSOIL'e girilmesi (Şekilde "20170720223109_4809_H1.AT2" deprem ivmesi girilmiştir).	47
Şekil 3.26 : Tanımlanan ve seçilen deprem kayıtları.	48
Şekil 3.27 : DEEPSOIL tepki spektrumunun farklı yerel zemin sınıfları için elde edilmesi : (a)ZC. (b) ZD. (c)ZE.	49
Şekil 3.28 : İvme-zaman verisi için veri sayısı hesabı.	50
Şekil 3.29 : SAP2000'de deprem ivme verilerinin girilmesi.	51
Şekil 3.30 : SAP2000'de TH-1 fonksiyonu için oluşturulan yükleme durumu.	53
Şekil 3.31 : SAP2000'de ZTA ivme analizi için tanımlanan sönüm oranları.	53
Şekil 3.32 : Tanımlanan entegrasyon parametreleri.	54
Şekil 3.33 : Tanımlanan nokta grafik fonksiyonu.	55
Şekil 3.34 : TH-Case1 için görüntülenen deplasman-zaman grafiği.	55
Şekil 3.35 : TH-Case1'den elde edilen deplasman değerlerinin SAP2000'de tanımlanması.	56
Şekil 3.36 : Excelde bulunan veriler.	57
Şekil 3.37 : Oluşturulan MATLAB kodu.	57
Şekil 3.38 : TH-Case1'den elde edilen deplasman-zaman grafiği.	58
Şekil 3.39 : 20170720223109_4809_H1.AT2 deprem kaydının, ZD yerel zemini için tanımlanan yükleme durumu.	60
Şekil 3.40 : Her bir ayağa etki ettirilen deplasman yükleri.	61
Şekil 3.41 : ZTA'da tanımlanan deplasman-zaman analizi yükleme durumu.	61
Şekil 3.42 : ZTA'da, ZBZCZDZC zemin kombinasyonu için tanımlanan yükleme durumu.	63
Şekil 3.43 : Farklı yerel zemin durumları için ivme analiziyle ayaklarda bulunan elastomer mesnetlerde meydana gelen deformasyonlar(m).	66
Şekil 3.44 : Farklı yerel zemin durumları için deplasman analiziyle ayaklarda bulunan elastomer mesnetlerde meydana gelen deformasyonlar(m).	67
Şekil 3.45 : Kolonların temelle temas noktasında meydana gelen kesme kuvveti.	68
Şekil 3.46 : 1. OA ve ZTA'da ivme analizi verileriyle elde edilen kesme kuvveti sonuçları(kN).	69
Şekil 3.47 : 2. OA ve ZTA'da ivme analizi verileriyle elde edilen kesme kuvveti sonuçları(kN).	70
Şekil 3.48 : 1. OA ve ZTA'da deplasman analizi verileriyle elde edilen kesme kuvveti sonuçları(kN).	70
Şekil 3.49 : 2. OA ve ZTA'da deplasman analizi verileriyle elde edilen kesme kuvveti sonuçları(kN).	71
Şekil 3.50 : 1. OA için ZTA'da ivme analiziyle elde edilen moment sonuçları(kNm).	72
Şekil 3.51 : 2. OA için ZTA'da ivme analiziyle elde edilen moment sonuçları(kNm).	73
Şekil 3.52 : 1. OA için ZTA'da deplasman analiziyle elde edilen moment sonuçları(kNm).	73
Şekil 3.53 : 2. OA için ZTA'da deplasman analiziyle elde edilen moment sonuçları(kNm).	74
Şekil 3.54 : Elde edilen mesnet deformasyonları sonuçları (m).	75

Şekil 3.55 : 1. OA için elde edilen kesme kuvveti sonuçları (kN).	76
Şekil 3.56 : 2. OA için elde edilen kesme kuvveti sonuçları (kN).	76
Şekil 3.57 : 1. OA ve ilgili deplasman kayıtlarıyla elde edilen moment sonuçları (kNm).	77
Şekil 3.58 : 2. OA ve ilgili deplasman kayıtlarıyla elde edilen moment sonuçları (kNm).	78
Şekil 3.59 : İlgili zemin kombinasyonları için elde edilen elastomer mesnet deformasyonları sonuçları (m).	79
Şekil 3.60 : 1.OA ve ilgili zemin kombinasyonları için elde edilen kesme kuvveti sonuçları (kN).	80
Şekil 3.61 : 2.OA ve ilgili zemin kombinasyonları için elde edilen kesme kuvveti sonuçları (kN).	81
Şekil 3.62 : 1.OA ve ilgili zemin kombinasyonları için elde edilen moment değerleri (kNm).	82
Şekil 3.63 : 2.OA ve ilgili zemin kombinasyonları için elde edilen moment değerleri (kNm).	82
Şekil 3.64 : Mod birleştirme yöntemine ait akış şeması.	83
Şekil 3.65 : https://tdth.afad.gov.tr/ adresinden spektral ivme katsayılarının elde edilmesi.	84
Şekil 3.66 : Farklı yerel zemin sınıfları için hesaplanan tasarım ivme spektrumları.	85
Şekil 3.67 : Excellerden verilerin çekilerek gerekli mod şekli genlik bileşenlerinin oluşturulması.	88
Şekil 3.68 : DZE'nin mevcudiyeti durumunda modal katkı çarpanı hesabı.	89
Şekil 3.69 : DZE'nin mevcudiyeti durumunda deprem yükü hesabı	90
Şekil 3.70 : Deprem yüklerinin excelden alınışı.	91
Şekil 3.71 : Deprem yüklerinin SAP2000'e aktarılışı.	91
Şekil 3.72 : MSP1 yükleme durumunun sistemde görünüşü.	92
Şekil 3.73 : Dinamik ve statik etkilerin hesabı ve nihai sonucun bulunması.	94
Şekil 3.74 : "Sadece ZB" durumu için tanımlanan tasarım tepki spektrumu.	97
Şekil 3.75 : "Sadece ZB" durumu için tanımlanan tasarım tepki spektrumu yükleme durumu.	97
Şekil 3.76 : Üniorm durumlar için excellerden verilerin çekilmesi.	98
Şekil 3.77 : Üniorm durumlar için modal katkı çarpanı hesabı.	98
Şekil 3.78 : Üniorm durumlar için deprem yükü bileşenlerinin hesabı.	98
Şekil 3.79 : Üniorm durumlar için deprem yükü bileşenlerinin excelden alınışı.	99
Şekil 3.80 : Üniorm durumlar için deprem yükü bileşenlerinin, SAP2000'de her bir düğüm noktasına etkilmesi.	99
Şekil 3.81 : Üniorm durumlar için dinamik analiz sonuçlarının TKB yöntemiyle hesabı.	100
Şekil 3.82 : SAP2000 tepki spekturumu analizi elastomer deformasyonları (m).	101
Şekil 3.83 : 1. OA için SAP2000 tepki spekturumu analizi sonrası hesaplanan orta ayak kesme kuvvetleri (kN).	102
Şekil 3.84 : 2. OA için SAP2000 tepki spekturumu analizi sonrası hesaplanan orta ayak kesme kuvvetleri (kN).	102
Şekil 3.85 : 1. OA için SAP2000 tepki spekturumu analizi sonrası hesaplanan orta ayak momentleri (kNm).	103
Şekil 3.86 : 2. OA için SAP2000 tepki spekturumu analizi sonrası hesaplanan orta ayak momentleri (kNm).	103
Şekil 3.87 : Üniorm deprem yer hareketi durumunda TKB yöntemiyle bulunan deformasyonlar grafiği (m).	104

Şekil 3.88 :	1. OA için üniform deprem yer hareketi durumunda TKB yöntemiyle bulunan kesme kuvveti grafiği (kN).....	105
Şekil 3.89 :	2. OA ve üniform deprem yer hareketi durumunda TKB yöntemiyle bulunan kesme kuvveti grafiği (kN).....	106
Şekil 3.90 :	1. OA için üniform deprem yer hareketi durumunda TKB yöntemiyle bulunan moment grafiği (kNm).....	107
Şekil 3.91 :	2. OA için üniform deprem yer hareketi durumunda TKB yöntemiyle bulunan moment grafiği (kNm).....	107
Şekil 3.92 :	DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği durumlar için dinamik deformasyon sonuçları (m).	109
Şekil 3.93 :	DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği durumlar için statik deformasyon sonuçları (m).....	109
Şekil 3.94 :	DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği durumlar için toplam deformasyon sonuçları (m).	110
Şekil 3.95 :	1. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği durumlar için elde edilen dinamik kesme kuvvetleri (kN).	111
Şekil 3.96 :	1. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği durumlar için dinamik kesme kuvvetleri (kN).....	112
Şekil 3.97 :	1. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği durumlar için sözde-statik kesme kuvvetleri (kN).....	112
Şekil 3.98 :	2. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği durumlar için sözde-statik kesme kuvvetleri (kN).....	113
Şekil 3.99 :	1. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği durumlar için toplam kesme kuvvetleri (kN).....	113
Şekil 3.100 :	2. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği durumlar için toplam kesme kuvvetleri (kN).....	114
Şekil 3.101 :	1.OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği durumlar için dinamik moment değerleri (kNm).....	115
Şekil 3.102 :	2.OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği durumlar için statik moment değerleri (kNm).	115
Şekil 3.103 :	1. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği durumlar için sözde-statik moment değerleri (kNm)....	116
Şekil 3.104 :	1. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği durumlar için sözde-statik moment değerleri (kNm)....	116
Şekil 3.105 :	1. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği durumlar için toplam moment değerleri (kNm).....	117
Şekil 3.106 :	2. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği durumlar için toplam moment değerleri (kNm).....	117
Şekil 3.107 :	DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı durumlar için dinamik deformasyon sonuçları (m)....	119
Şekil 3.108 :	DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı durumlar için statik deformasyon sonuçları (m).	119
Şekil 3.109 :	DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı durumlar için toplam deformasyon sonuçları (m).....	120
Şekil 3.110 :	1. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı durumlar için dinamik kesme kuvvetleri sonuçları (kN).	121

Şekil 3.111 : 2. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı durumlar için dinamik kesme kuvveti sonuçları (kN).	121
Şekil 3.112 : 1. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı durumlar için sözde-statik kesme kuvvetleri sonuçları (kN).	122
Şekil 3.113 : 1. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı durumlar için sözde-statik kesme kuvvetleri sonuçları (kN).	122
Şekil 3.114 : 1. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı durumlar için toplam kesme kuvvetleri sonuçları (kN).	123
Şekil 3.115 : 2. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı durumlar için toplam kesme kuvvetleri sonuçları (kN).	123
Şekil 3.116 : 1. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı durumlar için dinamik moment hesapları (kNm).	124
Şekil 3.117 : 2. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı durumlar için statik moment sonuçları (kNm).	125
Şekil 3.118 : 1. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı durumlar için sözde-statik moment sonuçları (kNm).	125
Şekil 3.119 : 2. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı durumlar için sözde-statik moment sonuçları (kNm).	126
Şekil 3.120 : 1. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı durumlar için toplam moment sonuçları (kNm).	126
Şekil 3.121 : 2. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı durumlar için toplam moment sonuçları (kNm).	127
Şekil 4.1 : ZD yerel zemin sınıfı için oluşturulan tasarım tepki spektrumu.	135
Şekil 4.2 : ZE yerel zemin sınıfı için oluşturulan tasarım tepki spektrumu.	136
Şekil 4.3 : $j=1$ ve $k=1$ durumu için $\gamma_{12}(\omega)$ fonksiyonu değerleri.	136
Şekil 4.4 : $j=1$ durumu için $A_1(t)$ fonksiyonu değerleri.	137
Şekil 4.5 : $j=1$ ve $j=2$ durumları için $S_{0,j}(\omega)$ fonksiyonu değerleri.	137
Şekil 4.6 : $j=1$ ve $j=2$ durumları için $g_i(t)$ fonksiyonu hesapları.	138
Şekil 4.7 : $j=1$ ve $j=2$ durumları için $f_j(t)$ fonksiyonu grafikleri.	138
Şekil 4.8 : $j=3$ ve $j=4$ durumları için $f_j(t)$ fonksiyonu grafikleri.	139
Şekil 4.9 : $j=1$ ve $j=4$ durumları için elde edilen spektral ivmeler ve ZD tasarım spektral ivme grafiği.	139
Şekil 4.10 : $j=2$ ve $j=3$ durumları için elde edilen spektral ivmeler ve ZE tasarım spektral ivme grafiği.	140
Şekil 4.11 : 10. iterasyon sonucu, $j=1$ ve $j=4$ durumları için elde edilen spektral ivmeler ve ZD tasarım spektral ivme grafiği.	140
Şekil 4.12 : 10. iterasyon sonucu, $j=2$ ve $j=3$ durumları için elde edilen spektral ivmeler ve ZE tasarım spektral ivme grafiği.	141
Şekil 4.13 : ZB yerel zemin sınıfı için elde edilen ivme kaydıyla yapılan yükleme durumu.	143
Şekil 4.14 : Üniform deprem yer hareketi koşulları için modal ZTA'da analizle elde edilen elastomer mesnet deformasyonları (m).	143
Şekil 4.15 : Üniform deprem yer hareketi koşulları için ZTA'da doğrudan entegrasyon yöntemiyle elde edilen elastomer mesnet deformasyonları (m).	144

Şekil 4.16 :	1. OA'ya ait üniform deprem yer hareketi koşulları için modal ZTA ile hesaplanan kesme kuvveti değerleri (kN).	145
Şekil 4.17 :	2. OA'ya ait üniform deprem yer hareketi koşulları için modal ZTA ile hesaplanan kesme kuvveti değerleri (kN).	146
Şekil 4.18 :	1. OA'ya ait üniform deprem yer hareketi koşulları için ZTA'da doğrudan entegrasyon ile hesaplanan kesme kuvveti değerleri (kN)...	146
Şekil 4.19 :	2. OA'ya ait üniform deprem yer hareketi koşulları için ZTA'da doğrudan entegrasyon ile hesaplanan kesme kuvveti değerleri (kN)...	147
Şekil 4.20 :	1. OA ve üniform deprem yer hareketi koşulları için elde edilen orta ayak moment değerleri (kNm).	148
Şekil 4.21 :	2. OA ve üniform deprem yer hareketi koşulları için elde edilen orta ayak moment değerleri (kNm).	149
Şekil 4.22 :	1. OA ve doğrudan entegrasyon yöntemiyle üniform deprem yer hareketi koşulları için elde edilen orta ayak moment değerleri (kNm).....	149
Şekil 4.23 :	2. OA ve doğrudan entegrasyon yöntemiyle üniform deprem yer hareketi koşulları için elde edilen orta ayak moment değerleri (kNm).....	150
Şekil 4.24 :	"ZBZCZDZC" zemin kombinasyonunda 1. ayak için tanımlanan yer değiştirme fonksiyonu.	151
Şekil 4.25 :	"ZBZCZDZC" zemin kombinasyonuna ait yükleme durumu.	151
Şekil 4.26 :	İncelenen zemin kombinasyonları için bulunan elastomer mesnet deformasyonları (m).	152
Şekil 4.27 :	1. OA ve incelenen zemin kombinasyonları için bulunan orta ayak kesme kuvvetleri (kN).	153
Şekil 4.28 :	2. OA ve incelenen zemin kombinasyonları için bulunan orta ayak kesme kuvvetleri (kN).	153
Şekil 4.29 :	1. OA ve incelenen zemin kombinasyonları için bulunan orta ayak momentleri (kNm).	154
Şekil 4.30 :	2. OA ve incelenen zemin kombinasyonları için bulunan orta ayak momentleri (kNm).	155
Şekil 4.31 :	İncelenen zemin kombinasyonları için bulunan elastomer mesnet deformasyonları (m).	156
Şekil 4.32 :	1.OA ve incelenen zemin kombinasyonları için bulunan orta ayak kesme kuvvetleri (kN).	157
Şekil 4.33 :	2.OA ve incelenen zemin kombinasyonları için bulunan orta ayak kesme kuvvetleri (kN).	157
Şekil 4.34 :	1. OA ve incelenen zemin kombinasyonları için bulunan orta ayak moment değerleri (kNm).	158
Şekil 4.35 :	2. OA ve incelenen zemin kombinasyonları için bulunan orta ayak moment değerleri (kNm).	159
Şekil 5.1 :	1. ayak elastomer mesnet deformasyonları için elde edilen tüm sonuçlar.	162
Şekil 5.2 :	2. ayak elastomer mesnet deformasyonları için elde edilen tüm sonuçlar.	162
Şekil 5.3 :	3. ayak elastomer mesnet deformasyonları için elde edilen tüm sonuçlar.	163
Şekil 5.4 :	4. ayak elastomer mesnet deformasyonları için elde edilen tüm sonuçlar.	163
Şekil 5.5 :	"65" numaralı çubuk eleman için elde edilen kesme kuvvetleri.	164
Şekil 5.6 :	"161" numaralı çubuk eleman için elde edilen kesme kuvvetleri.	164
Şekil 5.7 :	"65" numaralı çubuk eleman için elde edilen moment değerleri.....	164

Şekil 5.8 : "161" numaralı çubuk eleman için elde edilen moment değerleri.	165
Şekil A.1 : "TH-1" ve "TH-8" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.	174
Şekil A.2 : "TH-1" ve "TH-8" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.	174
Şekil A.3 : "TH-1" ve "TH-8" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.	174
Şekil A.4 : "TH-2" ve "TH-9" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.	175
Şekil A.5 : "TH-2" ve "TH-9" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.	175
Şekil A.6 : "TH-2" ve "TH-9" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.	175
Şekil A.7 : "TH-3" ve "TH-10" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.	176
Şekil A.8 : "TH-3" ve "TH-10" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.	176
Şekil A.9 : "TH-3" ve "TH-10" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.	176
Şekil A.10 : "TH-4" ve "TH-11" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.	177
Şekil A.11 : "TH-4" ve "TH-11" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.	177
Şekil A.12 : "TH-4" ve "TH-11" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları. ..	177
Şekil A.13 : "TH-5" ve "TH-12" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.	178
Şekil A.14 : "TH-5" ve "TH-12" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.	178
Şekil A.15 : "TH-5" ve "TH-12" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları. ..	178
Şekil A.16 : "TH-6" ve "TH-13" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.	179
Şekil A.17 : "TH-6" ve "TH-13" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.	179
Şekil A.18 : "TH-6" ve "TH-13" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları. ..	179
Şekil A.19 : "TH-7" ve "TH-14" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.	180
Şekil A.20 : "TH-7" ve "TH-14" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.	180
Şekil A.21 : "TH-7" ve "TH-14" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları. ..	180
Şekil A.22 : "TH-1" ve "TH-15" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.	181
Şekil A.23 : "TH-1" ve "TH-15" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.	181
Şekil A.24 : "TH-1" ve "TH-15" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.	181
Şekil A.25 : "TH-2" ve "TH-16" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.	182
Şekil A.26 : "TH-2" ve "TH-16" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.	182
Şekil A.27 : "TH-2" ve "TH-16" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.	182
Şekil A.28 : "TH-3" ve "TH-17" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.	183
Şekil A.29 : "TH-3" ve "TH-17" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.	183
Şekil A.30 : "TH-3" ve "TH-17" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.	183
Şekil A.31 : "TH-4" ve "TH-18" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.	184
Şekil A.32 : "TH-4" ve "TH-18" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.	184
Şekil A.33 : "TH-4" ve "TH-18" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.	184
Şekil A.34 : "TH-5" ve "TH-19" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.	185
Şekil A.35 : "TH-5" ve "TH-19" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.	185
Şekil A.36 : "TH-5" ve "TH-19" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.	185
Şekil A.37 : "TH-6" ve "TH-20" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.	186
Şekil A.38 : "TH-6" ve "TH-20" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.	186
Şekil A.39 : "TH-6" ve "TH-20" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.	186
Şekil A.40 : "TH-7" ve "TH-21" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.	187
Şekil A.41 : "TH-7" ve "TH-21" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.	187
Şekil A.42 : "TH-7" ve "TH-21" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.	187
Şekil A.43 : "TH-1" ve "TH-22" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.	188
Şekil A.44 : "TH-1" ve "TH-22" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.	188
Şekil A.45 : "TH-1" ve "TH-22" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.	188
Şekil A.46 : "TH-2" ve "TH-23" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.	189
Şekil A.47 : "TH-2" ve "TH-23" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.	189
Şekil A.48 : "TH-2" ve "TH-23" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.	189
Şekil A.49 : "TH-3" ve "TH-24" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.	190

Şekil A.50 : "TH-3" ve "TH-24" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.....	190
Şekil A.51 : "TH-3" ve "TH-24" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.	190
Şekil A.52 : "TH-4" ve "TH-25" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.	191
Şekil A.53 : "TH-4" ve "TH-25" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.....	191
Şekil A.54 : "TH-4" ve "TH-25" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.	191
Şekil A.55 : "TH-5" ve "TH-26" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.	192
Şekil A.56 : "TH-5" ve "TH-26" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.....	192
Şekil A.57 : "TH-5" ve "TH-26" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.	192
Şekil A.58 : "TH-6" ve "TH-27" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.	193
Şekil A.59 : "TH-6" ve "TH-27" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.....	193
Şekil A.60 : "TH-6" ve "TH-27" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.	193
Şekil A.61 : "TH-7" ve "TH-28" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.	194
Şekil A.62 : "TH-7" ve "TH-28" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.....	194
Şekil A.63 : "TH-7" ve "TH-28" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.	194
Şekil B.1 : ZC zeminine ait zemin profil tanımı.....	201
Şekil B.2 : ZD zeminine ait zemin profil tanımı.....	202
Şekil B.3 : ZE zeminine ait zemin profil tanımı	203

AYAKLARI FARKLI YEREL ZEMİN SINIFLARINDA BULUNAN KÖPRÜLERİN SİSMİK ANALİZİ

ÖZET

Köprüler tarihin uzun dönemleri boyunca kullanılmış olan ve genellikle nehir, vadi veya diğer engelleri geçmek için kullanılan yapılardır. Köprüler uzun açıklıkları birbirlerine bağladığından ve ulaşımı kolaylaştırdıklarından uzun yıllar maruz kaldıkları dış etkenlere karşı dayanmaları amaçlanır.

Deprem dayanımları bakımından incelendiğinde köprü analiz yöntemleri , binalar için kullanılan yöntemlerle her zaman aynı değildir. Binaların deprem analizleri incelenirken kullanılan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) ile köprülerin deprem analizlerinin incelenmesinde kullanılan Türkiye Köprü Deprem Yönetmeliği (TKDY) arasında farklılıklar bu konuda beklenebilir. Köprüler binaların aksine, yatay açıklıklıkları oldukça büyük değerlere ulaşabilen ve analizlerinin buna göre yapılması gereken yapılardır. Bu hususta köprülerde görülebilen olası bir durum, yapı boyunca zemin koşullarının değişebileceğidir. Düşey doğrultuda büyük yükseklik değerlerine sahip olan binalarda bu durum genellikle görülmezken, köprülerde farklı analiz methodlarını gerektirebilir.

Yerel zemin koşulunun değişmesine bağlı olarak köprü ayaklarında oluşan deprem ivmelerinin farklı büyüklüklere sahip olmasına *değişken zemin etkisi* (DZE) adı verilir. Bu durum AASHTO LRFD kaynağında *Spatial Variation due to Local Soil Condition* olarak geçmektedir. Tez kapsamında bu etkinin olması durumunda köprülerde ekstra hangi etkilerin olduğuna, geliştirilen analiz yöntemlerine ve analizler sonucu elde edilen bulgulara yer verilmiştir. Tez kapsamında deprem dalgalarının rastgele üst üste binmesiyle oluşan *uyumsuzluk etkisi* ile deprem dalgalarının faz farkından dolayı farklı anlarda köprü ayaklarına ulaşmasıyla oluşan *dalga geçiş etkisi* incelenmemiştir. TKDY kapsamında da ayrıca bu etkilerin incelenmesi zorunlu tutulmamıştır.

Birinci bölümde köprülerin tanımından ve kullanım amaçlarından kısaca bahsedilmiştir. Ayrıca farklı yönetmeliklerdeki tanımından da bahsedilmiştir. Türkiye'de köprülerin sismik analizlerinin hangi yönetmelikler aracılığıyla yapıldığı ve TKDY'nin ne zaman uygulanmaya başlandığından bahsedilmiştir. TKDY'nin göreceli olarak yeni bir yönetmelik olması ve bu yönetmelikle ilgili literatürde yeterli çalışma olmamasından kaynaklı zorluklardan bahsedilmiştir. Bu sorunlardan biri olan DZE'ye değinilmiştir. DZE'nin hangi durumlarda ortaya çıktığına, hangi durumlarda göz önünde bulundurulacağına ve TKDY kapsamında nasıl ele alındığına değinilmiştir. Bu konuda yapılan literatür çalışmalarına yer verilmiş, ve deprem hareketinin köprü ayaklarında farklı olması durumundaki sonuçlar incelenmiştir. Hem köprü ayaklarındaki farklı deprem yer hareketi analizleri için, hem de DZE için yapılan birçok araştırma mevcuttur. Fakat literatür araması kapsamında incelenen bu araştırmalarda TKDY'de bu durumun nasıl ele alındığı ve TKDY'ye göre nasıl yapıldığına değinilmemiştir. Birinci bölümün en sonunda ise hipotez belirlenmiş ve incelenecek analiz yöntemleriyle, elde edilmesi beklenen sonuçlar belirtilmiştir.

İkinci bölümde DZE'nin TKDY kapsamında nasıl ele alındığına ve analiz yöntemlerine değinilmiştir. Öncelikle TKDY kapsamında deprem analizinin nasıl yapıldığına ve deprem kuvvetlerinin nasıl bulunduğuna değinilmiştir. Köprü deprem analizlerinin yapılması öncesinde bilinmesi gereken kurallardan kısaca bahsedilmiştir. Daha sonra DZE'nin teorisine ve bu etkinin olması durumunda köprüde beklenen ekstra etkilerin ne olduğuna değinilmiştir. Birinci bölümde kısaca anlatılan ve ikinci bölümde detaylarına girilen bu etkilerden biri sözde-statik etkilerdir.

Sözde-statik etkiler, köprü ayaklarında farklı deprem yer hareketinin olması durumunda köprüde oluşması beklenen statik yerdeğiştirmeler ve iç kuvvetlerdir. Üniform deprem yer hareketinin olması durumunda, yani köprü boyunca deprem ivmesinin değişmemesi durumunda; bu bahsedilen sözde-statik etkiler oluşmaz. Çünkü köprü ayaklarında aynı deplasman gözlenir. Deprem boyunca köprünün her düğüm noktasında aynı deplasmanın yapılması durumunda sözde-statik iç kuvvetlerin ve deformasyonların da oluşması beklenmez. Fakat deprem yerdeğiştirmesinin ayaklarda farklı olması durumunda, köprünün düğüm noktaları aynı yerdeğiştirmeyi yapamaz. Düğüm noktalarındaki deplasman farkından dolayı da fazladan iç kuvvetlerin oluşması olağandır. Bu etki literatürde sözde-statik etki olarak geçer.

İkinci bölümün devamında, DZE'nin olması durumunda TKDY'nin önerdiği yöntemlere değinilmiştir. TKDY bu kapsamda 3 yöntem önermektedir. Bunlar: Doğrudan Entegrasyonla Yerdeğiştirme Yükleme Yöntemi, Mod Birleştirme Yöntemi ve Mod Toplama Yöntemleridir. TKDY kapsamında entegrasyonla deprem deplasmanlarının yapılması yöntemi, mod toplama yöntemine muadil olarak yapılabileceğinden, mod toplama yönteminin teorisine ve analizlerine yer verilmemiştir.

İlk yöntem olan doğrudan entegrasyonun kullanılması ve deprem deplasman-zaman kayıtlarının kullanılması yönteminde, TKDY'ye uygun deprem yer hareketi kayıtları kullanılır. Öncelikle istenilen doğrudan kayıtlar ölçeklendirilir. Daha sonra ivme-zaman kayıtları farklı zemin koşulları için tekrardan analiz edilir. Elde edilen tüm kayıtlar daha sonradan herhangi bir entegrasyon yöntemiyle deplasman-zaman kayıtlarına çevirilebilir. Daha sonra köprü ayaklarına birim deplasman etkililir ve elde edilen deplasman-zaman kayıtlarıyla bu birim deplasman fonksiyonları çarpılır. En son olarak da herhangi bir doğrudan entegrasyon yöntemiyle analiz gerçekleştirilip sonuçlar elde edilir.

Diğer bir yöntem olan Mod Birleştirme Yöntemi'nde, köprüde oluşacak olan dinamik ve sözde-statik etkiler ayrı ayrı hesaplanır ve en son birleştirilir. Dinamik hesapta mod şekilleri kullanılır ve modal periyotlara denk gelen tasarım spektral ivmeleri kullanılarak dinamik etkiler bulunur. Ayaklarda farklı yerel zemin sınıfları olacağından, dinamik etkiler her bir ayak için ayrı ayrı hesaplanmalıdır. Her bir ayağa etkililen birim deplasmanın yapıda oluşturacağı etki oranında bu ivme değerleri etkili olur. Bu oran sözde-statik etkilerin hesabında da geçerlidir. Tasarım spektral ivme ve yerdeğiştirme grafiklerinin kullanılması durumunda, deprem anında oluşacak yer deplasmanı belirlenemez. Dolayısıyla bu yöntemde tasarım spektral yerdeğiştirme grafiğindeki en büyük değer alınır ve sözde-statik etkiler bu şekilde hesaplanır.

Üçüncü bölümde analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler kapsamında 3 açıklığa sahip ve 4 adet köprü ayağına sahip bir model kullanılmıştır. Köprüde kullanılan tabliye modelinden, orta ayaklarda bulunan kolonlardan, kullanılan elastomer mesnetlerden, bağlantı plaklarından, T-başlık kirişlerinden ve temellerden bahsedilmiştir. Elemanların kesit boyutları ve etkin kesit rijitlikleri verilmiştir.

Analizler kapsamında 12 farklı zemin kombinasyonu incelenmiştir. 4 farklı ayağa denk gelen yerel zemin koşulları ayrı ayrı belirtilmiştir. Bu zemin kombinasyonlarından 4'ü üniform deprem yer hareketinin olduğu zemin kombinasyonlarını, diğer 4'ü DZE'nin olduğu fakat TKDY kapsamında üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği zemin kombinasyonlarını, en son 4 kombinasyon ise DZE'nin olduğu ve TKDY kapsamında üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı zemin kombinasyonlarını kapsar. Analizler kapsamında methodlardan ve modelde deprem yüklerinin nasıl aktarıldığından detaylı olarak bahsedilmiştir. DZE için ZTA'da Doğrudan Entegrasyon yönteminde, belirli bir yerel zemin sınıfına göre alınan ivme-zaman kaydı DEEPSOIL programı vasıtasıyla farklı yerel zemin koşulları için ivme-zaman kayıtlarına dönüştürülmüştür. Modelde ZTA'da yerdeğiştirme yüklemesi yapılırken, kullanılan deprem yerdeğiştirme fonksiyonlarının birbirleriyle uyumlu olması gerekmektedir. Çünkü deprem anında köprü ayaklarında aynı deprem yer hareketi oluşacaktır. Dalga geçiş etkisi hesaba katılmadığı için, ivme-zaman kayıtlarının oluşturacağı deplasman-zaman kayıtlarında bu nedenle genlik noktaları aynı zaman değerlerinde oluşur. Ayrıca bu nedenle farklı zemin koşullarına uygun farklı deprem kayıtları kullanılamaz, çünkü oluşan deplasman kayıtları birbirleriyle tutarlılık göstermez.

DZE'nin olduğu durumlarda yapılan Mod Birleştirme Yöntemi, doğrudan kullanılan yapı analiz programı (tez kapsamında SAP2000) vasıtasıyla hesaplanamaz. Çünkü modal katkı çarpanı ve modal etkin kütleleri DZE'nin olduğu durumlarda doğrudan hesaplanamaz. Bu hususta, Python, MATLAB, ve Microsoft Excel yazılımlarından ayrı ayrı yararlanılmıştır. Düğüm noktalarına gelen deprem yükü bileşenlerinin oluşturduğu dinamik etkiyle köprü ayaklarında yerdeğiştirmeden kaynaklı meydana gelen sözde-statik etkiler ayrı ayrı hesaplanmış ve Karelerinin Toplamının Karekökü (KTK) yöntemiyle birleştirilmiştir.

4. bölümde yönetmelikte yer almayan bir yöntemle yer verilmiştir. Bu yöntem *Koşulsuz Simülasyon Yöntemi* olarak adlandırılır. Bu yöntemde her bir ayaktaki yerel zemin koşuluna göre elde edilen tasarım spektral ivmelerine uygun deprem ivme-zaman kayıtları hesaplanır ve doğrudan entegrasyon yöntemiyle yerdeğiştirmesi yüklemesi yapılır. Oluşturulan kayıtlar koşulsuz ve rastgele faz açılarının kosinüs ile oluşturulmuş fonksiyonlarının yapay bir ivme-zaman kaydına çevirilmesiyle yapılır. Bu yöntemden elde edilen sonuçlar ile TKDY'nin öngördüğü sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu yöntemde rastgele salınımların kullanıldığı ve oluşturulan deprem ivme-zaman kayıtlarının güvenilirliği tartışılabilir.

5. Bölümde sonuçlara yer verilmiştir. Tüm yöntemlerle, her bir zemin kombinasyonunun oluşturduğu etkiler incelenmiştir. Her 4 ayaktaki elastomer mesnet deformasyonlarıyla, orta ayaklardaki kesme kuvveti-moment değerleri incelenmiştir. Daha sonra analizlerden elde edilen çıkarımlar yapılmış ve gelecekte yapılacak analizlerle çalışmalar için tavsiyelerde bulunulmuştur.



SEISMIC ANALYSIS OF BRIDGES WITH PIERS ON DIFFERENT LOCAL SOIL CLASSES

SUMMARY

Bridges are structures that have been used throughout history to traverse rivers, valleys, or other obstacles. Because bridges connect long spans and facilitate transportation, they are intended to withstand external influences for many years.

When examined in terms of earthquake resistance, bridge analysis methods are not always the same as those used for buildings. Differences can be expected between the Turkish Seismic Design Code (TSDC) used for seismic analysis of buildings and the Turkish Bridge Earthquake Code (TBEC) used for seismic analysis of bridges. Unlike buildings, bridges can have horizontal spans reaching significantly large values, necessitating analyses tailored to this modelling. One possible scenario in bridges is that the ground conditions may vary along the structure. While this is often not observed in buildings with large vertical heights, it may necessitate different analysis methods for bridges.

Variable Ground Effect (VGE) refers to the varying values of earthquake accelerations at bridge supports due to changes in local ground conditions. This condition is also referred to as "Spatial Variation due to Local Soil Condition" in the AASHTO LRFD source. In this study, the additional effects on bridges due to this condition, the developed analysis methods, and the findings of the analyses are discussed. The study does not investigate the wave scattering effect caused by the random superposition of earthquake waves or the wave passage effect due to phase differences in earthquake waves reaching bridge supports at different times. Additionally, the examination of these effects is not mandatory within the scope of TBEC.

The first section briefly discusses the definition and purposes of bridges and also mentions the definitions in different regulations. It is mentioned when and through which regulations seismic analyses of bridges are conducted in Turkey, and when TBEC was implemented. The relative novelty of TBEC and the lack of sufficient literature on this regulation are discussed. One of these problems addressed is VGE. The conditions under which VGE occurs, when it is considered, and how it is addressed within TBEC are discussed. Literature studies on this topic are cited, and the consequences of different earthquake ground motions at bridge supports are examined. There are numerous studies on both different earthquake ground motions at bridge supports and VGE. However, in the literature search conducted within the scope of this study, the way this situation is addressed in TBEC and the analysis process according to TBEC were not discussed. At the end of the first section, a hypothesis is defined, and the expected results with the analysis methods to be examined are stated. In general, the analysis methods in TBEC will be used and the results obtained will be discussed on the basis of different methods.

In the second section, the treatment of Variable Ground Effect (VGE) within TBEC and the associated analysis methods are discussed. Firstly, the procedure for earthquake analysis within TBEC and the determination of earthquake forces are explained. The essential rules preceding bridge earthquake analyses are briefly outlined. Subsequently, the theory of VGE and the additional effects anticipated on bridges under this condition are examined. One of these effects, briefly introduced in the first section and elaborated upon here, is pseudo-static effects.

Pseudo-static effects manifest as static displacements and internal forces anticipated in bridges due to varying earthquake ground motions at bridge supports. When the earthquake acceleration remains uniform along the bridge length, pseudo-static effects are not observed because uniform displacement occurs at bridge supports. Conversely, when different displacements occur at supports, nodes of the bridge cannot uniformly displace, leading to additional internal forces. This phenomenon is termed pseudo-static effect in the literature.

Continuing with the second section, TBEC proposes three methods to address VGE. These methods include the Direct Integration with Displacement Load Method, Mode Combination Method, and Mode Superposition Method. Given that the displacement load method using direct integration in TBEC can be used interchangeably with the mode combination method, this section focuses on the theory and analyses of the mode combination method and direct integration method.

In the Direct Integration with Displacement Load Method, earthquake ground motion records compliant with TBEC standards are utilized. Initially, records are scaled in the desired direction, and acceleration-time records are subsequently adjusted for different ground conditions. These records are then converted to displacement-time records using any integration technique. This procedure can also be made via using "plot function" section of SAP2000. Following this, a unit displacement is applied to bridge supports, and these displacement-time records are multiplied by the unit displacement functions. Finally, analysis is conducted using a direct integration method, yielding the results.

Conversely, the Mode Superposition Method separates dynamic and pseudo-static effects expected in the bridge and combines them afterward. Dynamic calculations employ modal shapes, with dynamic effects determined using design spectral accelerations corresponding to modal periods. Given varying local soil classes at supports, dynamic effects are computed individually for each support. Spectral acceleration and displacement graphs are utilized, although the exact displacement at each node during the earthquake remains undetermined. Therefore, this method identifies the maximum value from the design spectral displacement graph to calculate pseudo-static effects accordingly.

In the third section, analyses were conducted using a model featuring 3 spans and 4 bridge supports. The structural components employed in the bridge, such as the slab model, columns in the middle supports, elastomeric bearings, connection plates, T-head beams, and foundations, are detailed. Sectional dimensions of these elements and their effective section rigidities are provided.

Within the scope of the analyses, 12 different soil combinations were examined, corresponding to local ground conditions at 4 distinct supports. These combinations encompass 4 scenarios where uniform earthquake ground motion occurs, 4 scenarios where Variable Ground Effect (VGE) exists but uniform earthquake ground motion acceptance is feasible under TBEC, and the final 4 scenarios where VGE exists and uniform earthquake ground motion acceptance is not feasible under TBEC. Detailed explanations were given regarding the methods employed and the application of earthquake loads that transferred within the model.

In the context of VGE, the Direct Integration Method involved converting acceleration-time records from a specific local soil class to records suitable for different local soil conditions using the DEEPSOIL program. It was emphasized that earthquake displacement functions must be consistent during the earthquake at bridge supports, as the wave passage effect was not considered. Displacement-time records derived from acceleration-time records were ensured to align consistently in terms of amplitude points at identical time values. It was noted that using different earthquake records for varying ground conditions may result in inconsistent displacement records.

In cases involving VGE, the Mode Superposition Method could not be directly computed using the SAP2000 analysis program used on the model. This limitation arose from the inability to calculate modal participation factors and modal effective masses directly under VGE conditions. Consequently, separate software tools such as Python, MATLAB, and Microsoft Excel were employed to calculate dynamic effects from earthquake load components applied to nodes and pseudo-static effects resulting from support displacements. These effects were then combined using the Square Root of the Sum of Squares (SRSS) method.

In the fourth section, a method not stipulated in existing regulations, termed the Unconditional Simulation Method, was introduced. This method involved generating earthquake acceleration-time records tailored to design spectral accelerations for each local ground condition and performing displacement load calculations using the direct integration method. To simulate acceleration-time records, random oscillations were generated and converted into artificial records using cosine functions with random phase angles. Results obtained from this method were compared with those predicted by TBEC, although the reliability of earthquake acceleration-time records generated by random oscillations was subject to discussion.

In the fifth section, the results from all methods were presented, examining the effects produced by each soil combination. This included investigating deformations of elastomeric bearings at all 4 supports and analyzing shear force and moment values at middle supports. Conclusions drawn from the analyses were outlined, accompanied by recommendations for future studies and analyses.



1. GİRİŞ

Bu bölümde köprülerin tanımından ve tez konusundan bahsedilecektir. Tez kapsamında yapılacak olan analizlerden ve incelenen literatür kaynaklarından da ayrıca bahsedilmiştir.

1.1 Köprülerin Tanımı

Köprüler, insanlara nehir, uçurum, yol veya benzeri engellerin üzerinden geçiş sağlayan yapılardır. Belirli bir engeli aşmak için kullanıldıkları için, uzun yıllar boyunca gelen dış etkilere karşı direnmeleri gerekir.

Şartname ve yönetmeliklerde de köprü tanımları görmek mümkündür ancak bunlar anlam bakımından birbirlerinden farklı olabilmektedir. KGMKTŞ (2013), köprüleri “Hesap açıklığı 10m ve üzeri akarsu, vadi, karayolu, demiryolu gibi engelleri aşmak amacıyla kullanılan karayolu yapısı.” olarak tanımlamıştır (s. 6). AASHTO’ya göre (2007), köprüler otoyolların bir parçası olan ve açıklıkları 6100 mm'den az olmayan yapılardır (Bölüm 1-2).

1.2 Türkiye’deki Köprülerin Sismik Analizinin Yapılışı

Köprüler boyutları, taşıyıcı sistemleri ve genel olarak sismik tepkileri bakımından binalardan oldukça farklıdır. Bu nedenle sismik analizlerini yapmak için özel tasarım yönetmeliklerine ihtiyaç duyulur (Isakovic ve Fischinger, 2014, s. 195).

Ülkemizde 2020 yılından önce köprülerin ve viyadüklerin tasarımında genel olarak AASHTO LRFD ve EUROCODE kaynakları kullanılmaktaydı. Bu kaynaklar hâla kullanılmaktadır ancak, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı’nın 6 Ekim 2020 günü yayınladığı Türkiye Köprü Deprem Yönetmeliği (TKDY), Türkiye’de yapılacak köprülerin deprem etkisi altında tasarımları için gerekli ilkeleri belirtmiştir.

TKDY’nin yeni yayınlanmasından dolayı belirli analiz zorluklarıyla karşılaşılabilir. Öncelikle yönetmelikle ilgili literatürde yeterli çalışma olmadığı için yönetmeliğin anlaşılması hususunda belirli sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu konuyla ilgili belirli

revizyonların gerekliliği tartışılabilir. Bu tez kapsamında da bu sorunlardan biri incelenecektir.

1.3 Değişken Zemin Etkisi (DZE)

Köprüler uzun açıklıkları geçmek için kullanıldığından uzunlukları çok büyük değerlere ulaşabilmektedir. Bundan dolayı daha sık olarak köprü ayaklarının yerleştirilmesi gerekmektedir. Uzun açıklıklar boyunca zemin karakterinin değişebilmesinden dolayı bazı durumlarda yerel zemin sınıfını tek bir değer olarak belirlemek mümkün olmaz. TKDY bu durumu Bölüm 3.9.1(c)'de "değişken zemin etkisi" (DZE) olarak tanımlamıştır.

TKDY Bölüm 6.4'te yerel zemin sınıfları belirtilmiştir. DZE'nin görüldüğü köprülerde farklı yerel zemin sınıfları bulunacaktır. Örneğin, bir köprü ayağındaki yerel zemin sınıfı ZD olurken, diğer bir ayaktaki zemin sınıfı ZC olabilir. Bu durumda tepki spektrumu analizinde kullanılacak olan tasarım spektral ivme grafiği tek bir grafik olarak seçilemez ve belirli düzenlemelere gidilmesi gerekir.

1.4 DZE'nin Varlığı Durumunda Sözde-Statik Etkiler ve Analiz

DZE'nin varlığında incelenmesi gereken bir diğer husus, oluşan sözde-statik etkilerdir. TKDY Bölüm 4.4.2.3'de bahsedilen bu husus deprem yer değiştirmelerinin oluşturduğu "sözde-statik şekildeğiştirmeler ve iç kuvvetler" olarak tanımlanır. Köprü ayaklarında aynı deprem yer deplasmanının olması durumunda, her bir köprü ayağı birbiriyle aynı deplasmanı yapar. Bu durumda herhangi bir sözde-statik iç kuvvetin veya deformasyonun oluşması beklenmez. Örneğin, bir köprüde tüm ayaklar sağa doğru 1m deplasman yapması durumunda, yapıda herhangi bir iç kuvvet oluşmaz. Yapıdaki tüm düğüm noktaları 1m hareket eder fakat tüm sistem aynı anda aynı hareketi yaptığu için ekstra olarak bir etkiye neden olmaz. Bu durumun tersi düşünülrse, eksta etkilerin(yani sözde-statik yerdeğiştirmeler ile iç kuvvetlerin) oluştuğu görülecektir. Çünkü farklı ayaklarda farklı deplasmanların olması, yapının düğüm noktalarının farklı deplasmanlarla zorlanmasına sebep olur. Bu da bahsedilen sözde statik etikelere neden olur.

TKDY, DZE'nin oluşturacağu sözde-statik etkilerle birlikte yapıda oluşacak toplam etkilerin hesabı için farklı yöntemler önermektedir. Zaman tanım alanında (ZTA)

analizler için *Doğrudan Entegrasyonla Yerdeğiştirmesi Yüklemesi* veya *Mod Toplama Analizi* yapılabilir. Tasarım spektral değerlerle analiz geręekleřtirilmek istenirse *Mod Birleştirme Analizi* yapılabilir.

İlk bahsedilen yöntem olan Doğrudan Entegrasyonla Yerdeğiştirme Yüklemesi Yöntemi'nde, TKDY'ye uygun en az 7 deprem kaydı seçilir ve deprem kayıtları ölçeklendirilir. Aynı deprem kayıtlarının, farklı yerel zemin koşullarına göre modifiye edilmesi gerekir. Tüm yerel zemin koşulları için ivme-zaman verilerinin elde edilmesinin ardından kayıtlar deplasman-zaman kayıtlarına çevrilir. Bunun için yapı analiz programları veya herhangi bir entegrasyon yöntemi kullanılabilir. En son deplasman-zaman verilerinin elde edilmesiyle, her bir köprü ayağına denk gelen deplasman kayıtları statik olarak ayaklara etkililir. Analiz doğrudan entegrasyon yöntemiyle yapılır ve çıkan sonuçlar sözde-statik ve dinamik etkilerin toplamını verir.

Diğer bir yöntem olan Mod Birleştirme Yöntemi'nde, TKDY kapsamında kullanılan tasarım spektral ivme ve tasarım spektral yerdeğiştirme grafikleri kullanılır. Sözde-statik ve dinamik etkiler ayrı hesaplanır. Herhangi bir deprem kaydı alımı işlemiyle uğraşılmaz. Tasarım spektral ivme değerleri, yapıdan elde edilen mod şekillerinin oluşturacağı modal etkin kütleleri ile çarpılır ve deprem kuvvetleri hesaplanır. Bu yöntemde, köprü ayaklarındaki yerdeğiştirmenin hesabı mümkün olmadığından, tasarım spektral yerdeğiştirme grafiğinin vereceği en büyük değer kullanılır ($S_{de}(T_L)$ değeri kullanılır. Detaylara Bölüm 2.4.3'te değinilmiştir).

En son yöntem olan Mod Toplama Yöntemi'nde, Mod Birleştirme Yöntemi'nde olduğu gibi statik ve dinamik etkiler ayrı ayrı hesaplanır. Hesapta tasarım spektral ivme ve yerdeğiştirme grafikleri kullanılmaz. TKDY'ye uygun deprem yer hareketi kayıtlarıyla yapılır. Depremi oluşturacağı yer deplasmanı, Mod Birleştirme'nin aksine bu yöntemde belirlenebilir. Yerdeplasmanı-zaman grafiği her ayak için (dolayısıyla her ayaktaki yerel zemin sınıfı için) elde edilir ve köprüde oluşacak sözde-statik etkiler bu yöntemle hesaplanabilir.

1.5 Literatür Araştırması

Mesnetlerde farklı deprem ivmelerinin oluşmasının birçok nedeni olabilir. Ancak bunlar arasında en önemli faktör zemin koşulları arasındaki değişkenliktir. Diğer faktörler yer ivmesi bakımında çok büyük değişikliklere neden olmazlar ve çoğu

durumda ihmal edilebilirler. Değişken zemin etkisinin olduğu durumlarda deplasman-zaman grafiğinin ve ivme-zaman grafiğinin her ikisinin de elde edilmesi gerekir. Deprem analizi zaman tanım alanında analiz kullanılarak yapılır (LRFD Seismic Analysis and Design of Bridges Reference Manual, 2014, Bölüm 2.9).

Chopra (2011), kitabında yapı boyunca değişen yer ivmesi durumunu “Çoklu Mesnet Hareketi” olarak tanımlamıştır. İncelenen yapıların uzun açıklıklara sahip olması durumunda yapının mesnetlerinde farklı yer hareketleri almak gerekir. Yer değişimi vektörü u^t ve u_g olarak ikiye ayrılır. Burada u^t üstyapı yerdeğişimlerini, u_g mesnet yerdeğişimlerini göstermektedir (s. 387).

Wilson (2002), doğrudan entegrasyon yöntemiyle deplasman kaydını kullanarak, her bir zaman aralığı için elde edilecek ivme değerlerinin matematiksel formülasyonunu çıkarmıştır. Aynı zamanda ilk ve son değerlerin 0 verebilmesi için gerekli methodlardan bahsetmiştir. (Bölüm J).

Değişken zemin etkisiyle ilgili Türkiye’de yapılan tezler incelendiğinde zaman tanım alanında ivme grafiklerinin kullanıldığı görülmektedir.

Gökdemir (2017), yaptığı çalışmada aynı mesnette oluşan değişken zemin etkisini incelemiştir. Köprünün ayağı ve kazıklar çubuk sonlu elemanlar olarak modellemiş, zemin etkisini temsil edebilmesi için kazık uçlarına yay elemanlar atanmıştır. 6 farklı ivme-zaman grafiği seçmiş ve ivme değerlerini kazıklarda bulunan yay elemanlara etkilmiştir. Kazıklarda oluşan yer değiştirmelerin hesaplanması için de doğrudan entegrasyon yöntemine başvurulmuştur.

Baş (2017), yaptığı çalışmada Boğaziçi Köprüsü’nü incelemiştir. Köprüde 4 farklı nokta belirlenmiş ve belirlenen noktalarda 3D olarak 4 farklı ivme-zaman grafiği atanmıştır. Atanan ivme-zaman grafiklerinin oluşturduğu spektral ivme grafikleri, çalışmanın başında hesaplanan tasarım spektrumu grafiğiyle karşılaştırılmıştır.

Kartal(2018), tezinde biri eğik kablo askılı köprü, diğeri asma köprü olmak üzere 2 farklı köprüyü incelemiştir. Hesaplamalarda SAP2000 yazılımından yararlanılmıştır. Her iki köprü modelinde de deprem hareketinin modellenmesi için 6 farklı yer hareketi kullanılmış, yer hareketleri köprü ayaklarında yay olarak modellenen mesnetlere ivme-zaman grafikleri olarak atanmıştır. Yapılan analiz sonucunda mesnet noktalarında bulunan deplasman değerleri bulunmuş ve aynı yazılım kullanılarak bulunan değerler deplasman-zaman grafiği olarak mesnetlere etkilmiştir.

Türkiye’de ve yurtdışında yapılan makaleler incelendiğinde deplasman-zaman analizi ve tepki spektrumu yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir. Değişken zemin etkisinin bulunduğu yapılarda tepki spektrumu yöntemi daha kompleks bir yöntemdir ve bu alanda yapılan çalışmaların daha sınırlı olduğunu söylemek mümkündür.

Hızal ve Turan (2019), 20 katlı ve 6 açıklıklı bir binayı modellemişler, farklı yer hareketlerine maruz kalması durumuna göre deplasman yüklerinin nasıl oluşacağını hesaplamışlardır. MATLAB’da denklemlerle bulunan sonuçlar SAP2000’ile karşılaştırmış ve sonuçların birbirlerini sağladıkları görülmüştür.

Davoodi, Jafari ve Sadroldini (2011), çoklu mesnet tepkisinin bulunduğu bir dolgu barajını incelemişlerdir. Yapılan araştırmada 5 farklı ivme-zaman grafiği kullanılmış ve bu ivme-zaman grafiklerinin oluşturacağı spektral ivmeler bir grafikte çizilmiştir. Elde edilen spektral ivmeler hedeflenen tasarım spektral ivmeleriyle karşılaştırılmış ve bulunan sonuçlar not edilmiştir.

Jie, Da-lin, Jia-quan ve Xi-nong (2011), yaptıkları çalışmada tek açıklıklı bir köprünün sonlu elemanlarla modellemesini yapmış, yapılan modelde ayaklara aynı ve farklı ivmelerin etkilmesi durumu olmak üzere 2 farklı analiz gerçekleştirilmiştir. Mesnetlerde farklı ivmelerin olması durumunda çok noktalı tepki kontrolü yapılmıştır.

Munsoor, Meeruja ve Jayasinghe (2017), farklı mesnet tepkilerinin oluşturduğu durumu incelemek için 7 ayaklı 3 farklı köprü modellemişlerdir. Her bir modelde köprü ayaklarının uzunluğu farklı ölçülerde seçilmiş, farklı zemin etkisinin olduğu ve olmadığı 2 durum için oluşacak olan ivme tepkileri 3 köprü için de hesaplanmıştır.

Shen, Li, Shi, ve Zhou (2019), çubuk elemanlarla modelledikleri köprüye farklı mesnet tepkileri atamışlar ve çıkan deplasmanları MSRS ve CQC metotlarıyla toplamışlardır. İki metodun sonuçları daha sonra birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Yadi, Suhendro, Priyosulistyo ve Aminullah (2019), yaptıkları çalışmada laboratuvar ortamında bir köprü modeli oluşturmuşlar ve bu oluşturulan model sallama tahtasına yerleştirilerek farklı mesnet tepkileri durumu incelenmiştir. Yerdeğiştirme denklemleri ikiye ayrılmış, üstyapı ve mesnet yerdeğiştirmeleri ayrı olarak denkleme yazılmıştır. Çalışmanın sonunda farklı mesnet tepkilerinin yapı üzerinde önemli ölçüde etkili olduğu, ancak simetrik yapıların deprem sırasında bu durumdan daha az hasar aldıkları görülmüştür.

Tepki spektrumu analizi, düzgün sismik girdilere maruz kalan yapılar için kullanışlı ve güvenilir bir yöntemdir. Farklı mesnet tepkisinin olduğu durumlarda “Mod ve mesnet birleştirme kuralı” uygulanarak tepki spektrumu elde edilebilir. Burada yapının mesnetlerinde oluşan yerdeğiştirme denklemi ortalama bağıl yer değiştirme tepki spektrumu cinsinden hesaplanır (Kiureghian ve Neuenhofer,1991,Bölüm 4).

Wang (2023), farklı mesnet tepkilerinin oluşması durumunda tepki spektrumunun nasıl oluşacağı ile ilgili bir metod önermiştir. Bu metotta birden fazla mesnetteki deprem ivmeleri altında bir yapının tepki spektrumunu elde etmek için “doğrudan spektrumdan spektruma yöntemi” geliştirilmiştir. Yapının toplam tepkisi iki kısma bölünmüş, her bir kısmın spektral ivme değeri ayrı ayrı incelenmiştir. Bulunan ivme değerleri CQC ve SRSS yöntemleriyle birleştirilmiş ve çıkan sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır (Bölüm 2).

1.6 Hipotez

Tez kapsamında TKDY'ye uygun Mod Birleştirme ve Doğrudan Entegrasyonla Yerdeğiştirmesi Yükleme analizleri incelenecektir. TKDY Bölüm 4.4.3'e göre ZTA'nda yapılan yerdeğiştirme yükleme, daha önce belirtilen Mod Toplama Yöntemi yerine uygulanabilir. Dolayısıyla tez kapsamında Mod Toplama Yöntemi analizleri yapılmamıştır. Ayrıca yönetmelikte olmayan ve rastgele salınım denklemleriyle tasarım spektral ivme grafiklerine uygun ivme-zaman verilerinin oluşturulduğu *Koşulsuz Simülasyon Yöntemi* de incelenmiştir. Tez kapsamında incelenecek olan durumlar şu şekilde özetlenebilir:

- Doğrudan entegrasyon yöntemiyle yapılacak olan yerdeğiştirme yükleme analizleri, TKDY'nin öngördüğü sonuçları vermekte midir? Aynı deprem kayıtlarının farklı zemin koşulları altında sonuçları ne olmaktadır.
- Mod Birleştirme Yöntemi kapsamında kullanılan ve sözde-statik etkilerin hesabında kullanılan maksimum spektral yerdeğiştirme değeri $S_{de}(T_L)$ 'nin kullanılması, deprem kayıtlarının kullanılmasıyla elde edilen sonuçlarla örtüşmekte midir?
- Koşulsuz Simülasyon Yöntemi nasıl sonuçlar vermektedir. Elde edilen sonuçlar TKDY ile örtüşmekte midir? Gelecekte bu yöntem geliştirilerek yönetmeliğe eklenebilir mi?

2. TEORİ

Bu bölümde incelenen konuyla ilgili teorik bilgiye yer verilecektir. TKDY'nin tasarım koşullarına değinilmiştir. Analiz kapsamında yapılacak olan doğrudan entegrasyonla ZTA'da analizden ve mod birleştirme yönteminden bahsedilmiştir.

2.1 Konunun İncelenmesinden Önce TKDY'nde Bilinmesi Gerekenler

Öncelikle DZE konusuna girilmeden önce, TKDY'de köprülerin sismik analiziyle ilgili anlatılan bazı hususların bilinmesi gerekmektedir. DZE için bu hususta verilen bilgiler kullanılacaktır.

Burada köprülerin sismik analizine detaylı olarak girilmeyecektir. Sadece DZE konusunu anlamak için gerekli ön bilgiler verilecektir.

2.1.1 Deprem yer hareketinin incelenmesi

TKDY'nde deprem yer hareketlerinin incelenmesi ve buradan çıkartılan tasarım spektrumları, TBDY'ndeki formüllerin aynısı kullanılarak yapılır. Gerekli aşamalar sırasıyla şu şekilde özetlenebilir:

- Belirli bir deprem yer hareketi düzeyi seçilmelidir.
- Harita spektral ivme katsayıları (S_s ve S_1) bulunmalıdır.
- Yerel zemin etki katsayıları(F_s ve F_1) bulunmalıdır.
- S_s ve S_1 , tasarım spektral ivme katsayılarına (S_{DS}, S_{D1}) dönüştürülür.
- S_{DS} ve S_{D1} kullanılarak köşe periyotları (T_A ve T_B) belirlenir.
- Bulunan S_{DS}, S_{D1}, T_A ve T_B katsayıları kullanılarak yatay deprem tasarım spektral ivmeleri $S_{ae}(T)$ ve yatay tasarım spektral yerdeğiştirmeleri $S_{de}(T)$ bulunur.
- Yapının sahip olduğu doğal titreşim periyodu " T_n " değerine tekabül eden ivme ve deplasman değerleri kullanılabilir

2.1.2 Deprem yer hareketi düzeyinin seçilmesi

TKDY Bölüm 2.2’de 4 farklı deprem yer hareketi düzeyi tanımlanmıştır. Bu deprem yer hareketi düzeylerinin TBDY Bölüm 2.2’de tanımlanan deprem yer hareketi düzeyleriyle tamamen aynı olmadığına dikkat edilmelidir.

TKDY’nde deprem yer hareketli şu şekilde tanımlanmıştır:

- DD-1 Deprem Yer Hareketi: Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 olduğu ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketini göstermektedir. Özellikle TKDY’nde belirtilen ikinci aşama hesap ve tasarımlar için kullanılır.
- DD-2 Deprem Yer Hareketi: Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 olduğu ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini göstermektedir. Bu yer hareketi TKDY’nde Bölüm 3’te verilen *Deprem Tasarım Sınıflarının* (DTS) tanımlanması için kullanılır
- DD-2a Deprem Yer Hareketi: Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %30 olduğu ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 144 yıl olduğu sıkça deprem yer hareketini göstermektedir. Bu yer hareketinin spektral ivme değerleri TKDY EK2A’da tanımlanmıştır.
- DD-3 Deprem Yer Hareketi: Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %50 olduğu ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 72 yıl olduğu sık deprem yer hareketini göstermektedir. Birinci aşama hesapta “*Köprü Önem Sınıfı*” 1 ve 2 olan köprüler için ($KÖS = 1,2$) kullanılır.

DD-1, DD-2 ve DD-3 deprem yer hareketleri için gerekli olan deprem verilerine <https://tdth.afad.gov.tr/> adresinden ulaşılabilir. Bu internet sitesi üzerinde “*Raporlama*” sekmesinden ilgili yer hareketi düzeyine denk gelen katsayılar şekil 2.1’de gösterildiği gibi bulunabilir.

Şekil 2.1 : Deprem yer hareketi düzeyinin <https://tdth.afad.gov.tr/> adresinden seçimi.

2.1.3 S_{DS} ve S_{D1} katsayılarının hesabı

Öncelikle S_{DS} ve S_{D1} 'in ve bu katsayıların hesabı için gerekli olan S_s , S_1 , F_s ve F_1 katsayılarının tanımı verilecektir. Gerekli tanımlamalar şu şekilde verilebilir:

- S_s : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
- S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
- F_s : Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
- F_1 : 1.0 saniye periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
- S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
- S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısıdır.

S_s ve S_1 katsayıları, bölgenin depremsellik durumuna göre değişiklik göstermektedir. Bu değerlere <https://tdth.afad.gov.tr/> adresinden ulaşılabilir. F_s ve F_1 katsayılarının hesabı için öncelikle bölgenin “Yerel Zemin Sınıfının” belirlenmesi gerekmektedir. Yerel zemin sınıflarına ilişkin tanımlamalar TKDY Bölüm 6.4’te verilmiştir. Çizelge 2.1’de bu tanımlamalar görülebilir.

Çizelge 2.1 : Kullanılan yerel zemin sınıfları.

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N60)_{30}$ [darbe /30 cm]	$(c_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	–	–
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760 – 1500	–	–
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 – 760	> 50	> 250

Çizelge 2.1(devam) : Kullanılan yerel zemin sınıfları.

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		(V _s) ₃₀ [m/s]	(N ₆₀) ₃₀ [darbe /30 cm]	(c _u) ₃₀ [kPa]
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 – 360	15 – 50	70 – 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya PI > 20 ve w > %40 koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası (c _u < 25 kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli (PI > 50) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

Esas alınacak yerel zemin sınıfı, gerekli olan zemin araştırmaları neticesinde belirlenir. Yerel zemin sınıfının belirlenmesinden sonra ilgili F_s ve F₁ katsayılarının nasıl belirleneceği Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3'te gösterilmektedir. İlgili çizelgeler ayrıca TKDY Bölüm 2.3.3'ten incelenebilir.

Çizelge 2.2 : Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları.

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F _s					
	S _s ≤ 0.25	S _s = 0.50	S _s = 0.75	S _s = 1.00	S _s = 1.25	S _s ≥ 1.50
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8

Çizelge 2.3: 1.0 saniye periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları.

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F ₁					
	S ₁ ≤ 0.10	S ₁ = 0.20	S ₁ = 0.30	S ₁ = 0.40	S ₁ = 0.50	S ₁ ≥ 0.60
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0

Bu noktaya kadar S_s, S₁, F_s ve F₁ katsayıları hesaplanmıştır. İlgili S_{Ds} ve S_{D1} değerlerinin matematiksel hesabına TKDY Bölüm 2.3.2.2'de değinilmiştir. Bu formül denklem 2.1'den görülebilir.

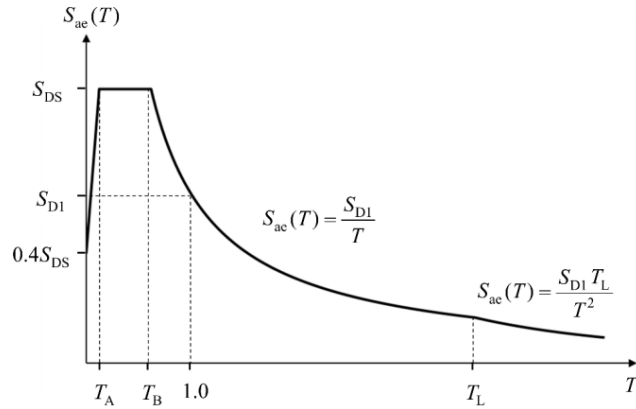
$$\begin{aligned}
S_{DS} &= S_S F_S \\
S_{D1} &= S_1 F_1
\end{aligned}
\tag{2.1}$$

2.1.4 Yatay deprem tasarım spektrumunun hesabı

Denklem 2.2’de tasarım spektral ivme değerlerinin periyoda bağlı olarak nasıl değiştiği gösterilmiştir.

$$\begin{aligned}
S_{ac}(T) &= \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} & (0 \leq T \leq T_A) \\
S_{ac}(T) &= S_{DS} & (T_A \leq T \leq T_B) \\
S_{ac}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} & (T_B \leq T \leq T_L) \\
S_{ac}(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} & (T_L \leq T)
\end{aligned}
\tag{2.2}$$

Burada T yapının periyodudur ve yapının modal analizinin yapılmasıyla hesaplanır. Denklem 2.2’nin kullanılmasıyla oluşturulan tepki spektrumu grafiği şekil 2.2’de görülebilir.



Şekil 2.2 : Yatay deprem tasarım spektral ivmeleri.

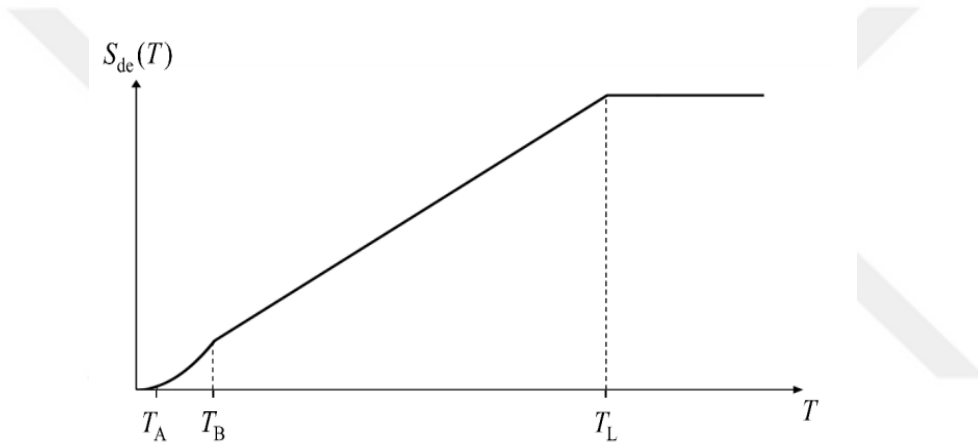
T_A ve T_B değerleri köşe periyotlarıdır ve denklem 2.3’den hesaplanabilir.

$$\begin{aligned}
T_A &= 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\
T_B &= \frac{S_{D1}}{S_{DS}}
\end{aligned}
\tag{2.3}$$

Ele alınan doğal titreşim periyodu ve yatay deprem tasarım spektral ivmesi için yatay tasarım spektral yer değıştirmesi $S_{de}(T)$ bulunabilir. Bu değ er m cinsinden bulunur ve denklem 2.4 kullanılarak hesap edilebilir.

$$S_{de}(T) = \frac{T^2}{4\pi^2} g S_{ae}(T) \quad (2.4)$$

Burada g yerçekimi ivmesi, π pi sayısıdır. Ş ekil 2.3'te yatay tasarım spektral yer değ iş tirmesi denklemi kullanılarak doğal titreş im periyoduna göre nasıl değ er aldığı görülebilir. Burada dikkat edilmesi gereken husus periyot değ eri T_L 'iken $S_{de}(T)$ değ erinin maksimum olması ve bu periyot değ erinden sonra sabit kalmasıdır. Dolayısıyla en büyük yer değ iş tirme T_L anında beklenir.



Ş ekil 2.3 : Yatay tasarım spektral yer değ iş tirme değ erleri.

2.1.5 Deprem tasarım sınıfının (DTS) seçimi

Deprem tasarım sınıfı, TKDY Bölüm 3.3'e göre seçilir. DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı kullanılır. DTS'nin seçimi çizelge 2.4'te görülebilir.

Ç izelge 2.4 : Deprem tasarım sınıfları.

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Deprem Tasarım Sınıfı
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4
$0.33 \leq S_{DS} < 0.67$	DTS = 3
$0.67 \leq S_{DS} < 1.00$	DTS = 2
$1.00 \leq S_{DS}$	DTS = 1

DTS değeri, köprüde yapılacak olan birinci ve ikinci aşama hesapların hangi yöntemle göre yapılacağını belirler. DZE durumunun mevcut olması halinde, uniform deprem yer hareketinin kabulü DTS sınıfına göre yapılmaktadır. Bundan dolayı DTS seçiminin nasıl yapıldığına burada değinilmiştir.

2.1.6 Köprü önem sınıfının (KÖS) seçimi.

Köprü önem sınıfı (KÖS), köprünün deprem esnasında ve deprem sonrasında onlardan beklenen performans ve önem derecesini belirtir. Ayrıca birinci ve ikinci hesap aşamalarında izlenecek hesap yöntemini de belirler. Burada bahsedilen hesap aşamaları TKDY Bölüm 3.8'de incelenebilir.

KÖS, tez kapsamında kullanılacak olan birinci aşama mod birleştirme yönteminde, hangi deprem yer hareketi düzeyinin kullanılacağını belirler. Dolayısıyla incelenecek olan köprünün KÖS değerinin bilinmesi gerekmektedir.

KÖS sınıfları şu şekilde özetlenebilir:

- KÖS = 1 : Önemli köprüler
- KÖS = 2 : Normal köprüler
- KÖS = 3 : Basit köprüler

KÖS seçiminin detayları TKDY Bölüm 3.2.1'de görülebilir.

2.1.7 Taşıyıcı sistem davranış kritikliği

Hesap yöntemlerinin seçimi için köprüler, taşıyıcı sistem davranışı kritik olan ve kritik olmayan köprüler olarak sınıflandırılmıştır. Basit köprüler (KÖS=3) doğrudan taşıyıcı sistem davranışı kritik olmayan köprüler olarak tanımlanabilir. TKDY 3.7.1'e göre basit köprüler dışında aşağıdaki özelliklerden herhangi birine sahip köprüler taşıyıcı sistem davranışı kritik olan köprüler olarak nitelendirilir:

- Ayak-tabliye bağlantısı monolitik olan köprüler.
- Herhangi bir ayağın 30 m'den fazla olan köprüler (ön üretimli basit kirişlerle oluşturulan köprüler hariç.)
- Ön üretimli basit kirişlerle oluşturulan ve herhangi bir ayağın 20 m'den fazla olduğu köprüler
- Boyuna veya enine T_n değerinin 1.5s'den fazla olan köprüler

- Herhangi iki ayak arasında veya aynı ayaktaki iki kolon arasında yükseklik oranı 0.7'den küçük olan köprüler.
- Verev açısı veya yatayda kurpta olan ve sapma açısı 20°'den fazla olan köprüler.

Bu özelliklerin herhangi birine sahip olmayan köprüler doğrudan taşıyıcı sistemi kritik olmayan köprüler olarak alınabilir. Tez kapsamında kullanılan yapı, taşıyıcı sistem davranışı kritik olan köprü olarak ele alınmıştır.

2.1.8 Analiz yönteminin seçimi

KÖS'ün ve DTS'nin belirlenmesiyle beraber gerekli analiz yöntemi TKDY Bölüm 3.8'e göre belirlenebilir. Tez kapsamında kullanılacak olan model taşıyıcı sistem davranışı kritik olduğundan TKDY Bölüm 3.8.1'de verilen Tablo 3.3 dikkate alınacaktır. Dolayısıyla analiz çizelge 2.5'ten seçilebilir:

Çizelge 2.5 : Taşıyıcı sistem davranışı kritik olan köprüler için analiz yöntemleri.

Köprü Önem Sınıfı	Hesap ve Değerlend. Aşaması	Deprem Yer Hareketi Düzeyi	Deprem Tasarım Sınıfı		
			DTS = 1	DTS = 2,3	DTS = 4
KÖS = 1	Birinci aşama	DD – 2a	YÖNTEM 1 Doğrusal Hesap / Dayanıma Göre Değerlendirme	YÖNTEM 1 Doğrusal Hesap / Dayanıma Göre Değerlendirme	YÖNTEM 1 Doğrusal Hesap / Dayanıma Göre Değerlendirme
	İkinci aşama	DD – 1	YÖNTEM 2.3 Doğrusal Olmayan Hesap (ZTA) / Şekil değiştirmeye Göre Değerlendirme	YÖNTEM 2.1(*) Doğrusal Hesap (Karma Yöntem) / Şekil değiştirmeye Göre Değerlendirme	—
	Birinci aşama	DD – 3	YÖNTEM 1 Doğrusal Hesap / Dayanıma Göre Değerlendirme	YÖNTEM 1 Doğrusal Hesap / Dayanıma Göre Değerlendirme	YÖNTEM 1 Doğrusal Hesap / Dayanıma Göre Değerlendirme
KÖS = 2	İkinci aşama	DD – 1	YÖNTEM 2.2 Doğrusal Olmayan Hesap (İtme Yön.) / Şekil değiştirmeye Göre Değerlendirme	YÖNTEM 2.1(*) Doğrusal Hesap (Karma Yöntem) / Şekil değiştirmeye Göre Değerlendirme	—
	Birinci aşama	DD – 3	YÖNTEM 1 Doğrusal Hesap / Dayanıma Göre Değerlendirme	YÖNTEM 1 Doğrusal Hesap / Dayanıma Göre Değerlendirme	YÖNTEM 1 Doğrusal Hesap / Dayanıma Göre Değerlendirme
KÖS = 3	Birinci aşama	DD – 3	YÖNTEM 1 Doğrusal Hesap / Dayanıma Göre Değerlendirme	YÖNTEM 1 Doğrusal Hesap / Dayanıma Göre Değerlendirme	YÖNTEM 1 Doğrusal Hesap / Dayanıma Göre Değerlendirme

2.1.9 DD-2A deprem yer hareketi düzeyi için spektral ivme katsayılarının hesabı

Çizelge 2.5'te görülebileceği üzere, KÖS=1 ve DTS=1 olan köprüler için birinci aşama hesaplarda DD-2A deprem yer hareketi düzeyinin kullanılması gerekmektedir. Analizler kapsamında da bu deprem yer hareketi seviyesi kullanılacaktır.

DD-2A düzeyi için depremin tekrarlama periyodu 144 yıl olarak belirlenmiştir. Bu seviye, tekrarlama periyodu 72 yıl olan DD-3 ile tekrarlama periyodu 475 yıl olan DD-2 seviyesi arasındadır. Aynı zamanda DD-2A spektral ivme katsayılarının hesabında da bu seviyeler kullanılacaktır. Denklem 2.5 ve denklem 2.6'da, DD-2A seviyesi hesabı için gerekli olan k_s ve k_1 eğim katsayıları verilmiştir.

$$k_s = 1.22 \log_{10} \left(\frac{S_{s,475}}{S_{s,72}} \right) \quad (2.5)$$

$$k_1 = 1.22 \log_{10} \left(\frac{S_{1,475}}{S_{1,72}} \right) \quad (2.6)$$

Denklemlerde verilen katsayılar, periyotlar ve spektral ivmeler arasındaki eğimi k olan doğrusal bir ilişki olduğunu belirtir. Denklemlerde verilen S_s ve S_1 , DD-2 ve DD-3 deprem düzeyi için alınan spektral ivme katsayılarını belirtir. 475 ve 72 sayıları sırasıyla DD-2 ve DD-3, deprem düzeyinin tekrarlama periyotlarıdır. Denklem 2.7 ve denklem 2.8 kullanılarak, sırasıyla DD-2A deprem yer hareketi düzeyi için kısa periyot ve 1sn periyot için spektral ivme katsayıları kullanılabilir.

$$S_{s,144} = (2.0)^{k_s} S_{s,72} \quad (2.7)$$

$$S_{1,144} = (2.0)^{k_1} S_{1,72} \quad (2.8)$$

2.2 DZE Durumunda Üniform Deprem Yer Hareketi Kabulü

TKDY Bölüm 3.9.1'de deprem yer hareketinin köprü boyunca değişken olması durumuna neden olan etkiler anlatılmaktadır. Bu etkiler şu şekilde özetlenebilir:

- Uyumsuzluk etkisi: Deprem dalgalarının farklı zamanlarda ulaşması ve dalgaların üst üste binmesine bağlı olarak meydana gelir.

- Dalga geçiş etkisi: Deprem dalgalarının köprü ayaklarına farklı zamanlarda varmasıyla meydana gelir.
- Değişken zemin etkisi: Farklı zemin koşulları nedeniyle deprem yer hareketinin genlik ve frekans içeriğinde farklılıklar oluşmasıyla meydana gelir.

TKDY Bölüm 3.9.2’de yukarıda belirtilen uyumsuzluk etkisinin ve dalga geçiş etkisinin göz önünde bulundurulması zorunlu tutulmamıştır. TKDY Bölüm 3.9.3’e göre değişken zemin etkisinin (DZE) göz önünde bulundurulup bulundurulmaması belirli koşullara bağlıdır. $KÖS = 1,2$ ve $DTS = 1,2$ olan köprülerin kenar veya orta ayakların zemini şu şekilde seçilebilir:

- Köprü boyunca en zayıf yerel zemin olarak ZF sınıfının bulunması ve köprü boyunca sadece ZE ve ZF sınıflarının olması koşulu ile tüm köprü boyunca yerel zemin sınıfı olarak ZF alınabilir.
- Köprü boyunca en zayıf yerel zemin olarak ZE sınıfının bulunması ve köprü boyunca sadece ZE ve ZD sınıflarının olması koşulu ile tüm köprü boyunca yerel zemin sınıfı olarak ZE alınabilir.
- Köprü boyunca sadece ZA, ZB, ZC ve ZD sınıflarının bulunması halinde en zayıf yerel zemin sınıfı esas alınarak hesaplamalar yapılabilir.

Bu koşulların sağlanmadığı durumlarda değişken deprem yer hareketinin göz önünde bulundurulması gerekir.

2.3 Zaman Tanım Alanında Analiz

Zaman tanım alanında analiz, doğrudan yer ivmesi – zaman grafiklerinin kullanılmasıyla analizin yapılmasıdır. Belirli sayıda yer ivmesi seçilir ve analiz bu değerlere göre yapılır.

Zaman tanım alanında analizin anlaşılabilmesi için, dinamik hareket denkleminin anlaşılması gerekmektedir. Denklem 2.9’da bu denklem gösterilmiştir.

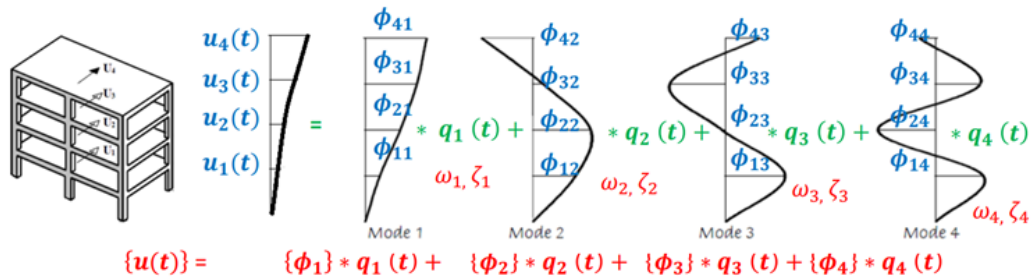
$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = -m\ddot{u}_g(t) \quad (2.9)$$

Burada m kütle matrisini, c sönüm matrisini, k rijitlik matrisini, $\ddot{u}_g(t)$ yer ivmesini, $u(t)$ deplasmanı, $\dot{u}(t)$ hızı ve $\ddot{u}(t)$ ivmeyi belirtir.

Denklem 2.9'un çözümü için farklı metotlar önerilmiştir. Burada en çok kullanılan 2 yöntemden kısaca bahsedilecektir. Bunlar:

- Modal zaman tanım alanında analiz: Bu yöntemde yapının mod şekillerinin matrisleri çıkartılır. Her bir mod şekli ona karşılık gelen mod koordinat denklemi $q_i(t)$ ile çarpılarak modal deplasmanlar hesaplanır. Bu yöntem aynı zamanda hız ve ivme hesabı için de yapılabilir.
- Doğrudan entegrasyon yöntemi: Bu yöntemde belirli bir zaman aralığı belirlenir. Her aralık için yer ivmesinden kaynaklanan ve yapıda meydana gelen deplasman, hız ve ivme değerleri hesaplanır.

Modal zaman tanım alanında analiz şekil 2.4'te detaylı olarak görülebilir. Burada 4 katlı bir bina modeli örnek olarak alınmıştır.



Şekil 2.4 : Modal zaman tanım alanında analiz yöntemi (Fahjan, 2022)

Şekil 2.4'te verilen kat deplasmanları $u(t)$ denklemi detaylı olarak denklem 2.10'da görülebilir.

$$\begin{bmatrix} U_1(t) \\ U_2(t) \\ U_3(t) \\ U_4(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \phi_{13} & \phi_{14} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \phi_{23} & \phi_{24} \\ \phi_{31} & \phi_{32} & \phi_{33} & \phi_{34} \\ \phi_{41} & \phi_{42} & \phi_{43} & \phi_{44} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} q_1(t) \\ q_2(t) \\ q_3(t) \\ q_4(t) \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

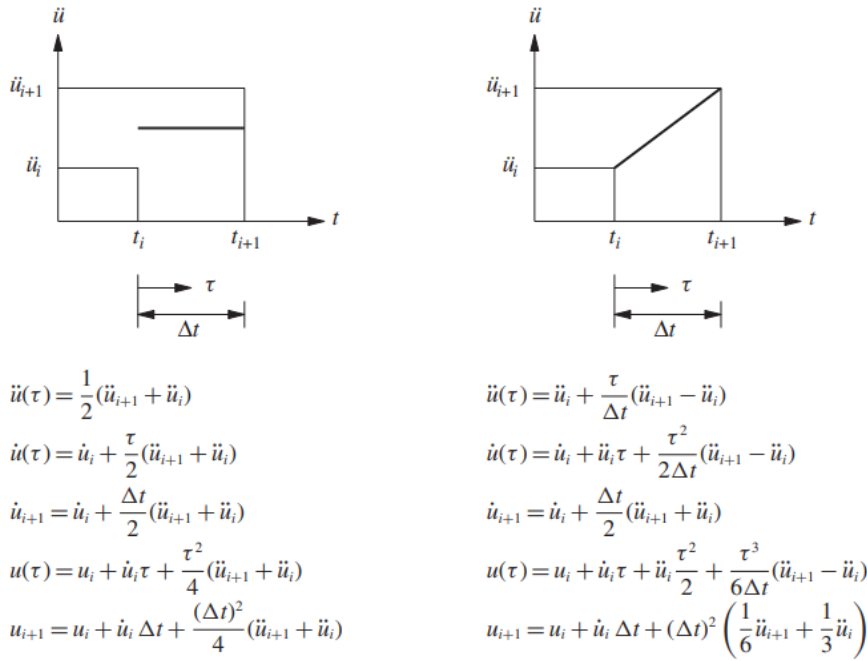
Burada ϕ_{ij} her i'nci kütle merkezindeki j'inci mod şeklini göstermektedir. Bu değerlerle modal koordinat matrisinin çarpılmasıyla yapıda oluşan deplasmanlar bulunabilir.

Bu bilgilerle denklem 2.9'u $q_i(t)$ cinsinden yazmak mümkündür. Denklem 2.11'de dinamik hareket denklemi $q_i(t)$ cinsinden yazılmıştır.

$$m[\phi][\ddot{q}(t)]+c[\phi][\dot{q}(t)]+k[\phi][q(t)]=-m[I]\ddot{u}_g \quad (2.11)$$

Burada I birim matristir. Denklemdaki yer ivmesinin her kattaki kütle merkezine dağıtılması için kullanılır.

Doğrudan entegrasyon yönteminde ise farklı metotlar bulunmaktadır. Bu tez kapsamında sabit ivme yöntemi kullanıldığı için bu methottan bahsedilecektir. Newmark yöntemi kullanılarak, ardışık iki ivme değeri için bu değerlerin ortalamasının alınması veya bu değerlerin lineer olarak birleştirilmesi şeklinde hesaplama gerçekleştirilebilir. Şekil 2.5'te her iki durum da gözükmemektedir.



Şekil 2.5 : Newmark yönteminde ivmenin sabit ortalama ve lineer olarak alınması durumları (Chopra, 2011, s.175).

Newmark yönteminin formülasyonu denklem 2.12 ve denklem 2.13'da görülebilir. Bu denklemler her bir adım için tekrarlanarak yapıda meydana gelen hız ve deplasman değerleri bulunabilir.

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_0 + (1-\gamma)h\ddot{U}_0 + \gamma h\ddot{U}_1 \quad (2.12)$$

$$U_1 = U_0 + h\dot{U}_0 + \left(\frac{1}{2} - \beta\right)h^2\ddot{U}_0 + \beta h^2\ddot{U}_1 \quad (2.13)$$

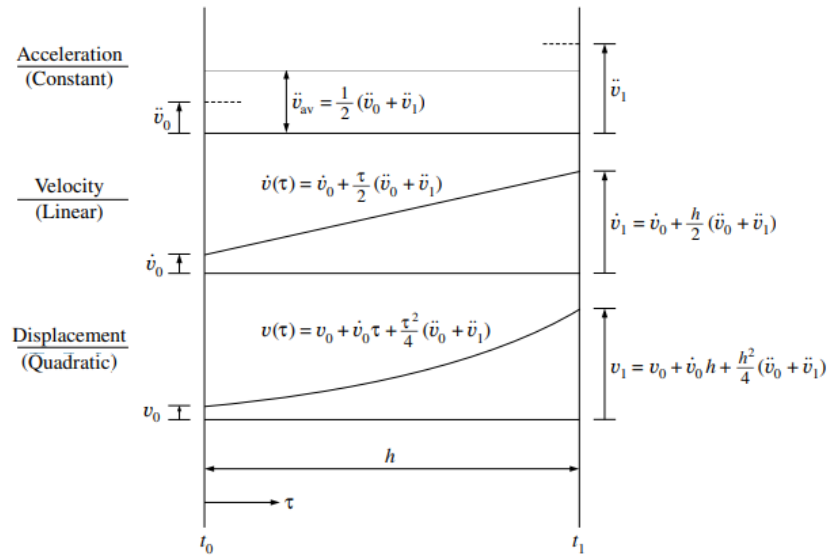
Burada γ ve β Newmark katsayılarıdır. İvmenin sabit ortalama veya lineer olarak alınması durumuna göre farklı değerler alırlar (Sabit ortalama yöntemi için $\gamma = 1/2$,

$\beta = 1/4$ alınırken; lineer yöntem için $\gamma = 1/2$, $\beta = 1/6$ olarak alınır). Denklemlerdeki h değeri analizi yapılan iki basamak arasındaki zaman aralığıdır. Tez kapsamında sabit ivme yöntemi kullanılacaktır. Sabit ivme yönteminde Newmark katsayıları denklemde yerine yazılarak hız ve deplasman denklemleri şu şekilde yazılabilir:

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_0 + \frac{h}{2} (\ddot{U}_0 + \ddot{U}_1) \quad (2.14)$$

$$U_1 = U_0 + h\dot{U}_0 + \frac{h^2}{4} (\ddot{U}_0 + \ddot{U}_1) \quad (2.15)$$

Şekil 2.6'da analizin her bir h zaman aralığı için nasıl yapıldığı gösterilmektedir. Doğrusal yer ivmesinin 2. dereceden bir deplasman eğrisi oluşturduğu gözden kaçmamalıdır.



Şekil 2.6 : Seçilen h aralığı için Newmark Sabit İvme Yöntemi (Clough, 2003, s. 121).

2.3.1 TKDY'ye göre zaman tanım alanında analiz esasları

TKDY Bölüm 2.5'te zaman tanım alanında analiz için gerekli kurallar tanımlanmıştır. Bu kurallar madde madde şu şekilde özetlenebilir:

- TKDY Bölüm 2.5.1.3'e göre en az 7 adet deprem kaydı takımı seçilmelidir. Aynı depremden seçilen kayıt takımı sayısı 3'ü geçmemelidir.
- TKDY Bölüm 2.5.1.2'ye göre yeterli sayıda ve nitelikte deprem kaydı seçiminin yapılamadığı durumda benzeştirilmiş yer hareketi kayıtları

kullanılabilir. Kullanılan bu yer hareketi kayıtlarının gerçek deprem kayıtlarıyla uyumlu olduğu gösterilmelidir.

- TKDY Bölüm 2.5.2'ye göre seçilen deprem yer kayıtları basit ölçeklendirme yöntemiyle ölçeklendirilmelidir. İncelenen deprem yönü için yapıdaki hakim doğal titreşim periyodu (T_p) bulunur. Seçilen deprem yer hareket spektrumlarının ortalaması alınır. Bulunan bu spektrumun değerleri tasarım spektrumuyla kıyaslanır. Bir ve iki boyutlu analiz için $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ arasındaki ivme değerleri tasarım spektrumunkinden küçük olmamalıdır. Üç boyutlu analiz için ise $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ arasındaki deprem yer hareket spektrumu ivme değerleriyle tasarım spektrumu ivme değerleri arasındaki oran 1.3'ten küçük olmamalıdır.

TKDY'ye göre yukarıda belirtilen kuralların göz önünde bulundurulmasıyla zaman tanım alanında deprem yer hareketi analizi yapılabilir. TKDY Bölüm 2.5.3'e göre zaman tanım analizi basit ölçeklendirme yönteminin yanı sıra spektral uyuşum yöntemiyle de yapılabilir. Bu yöntemde tüm periyot değerleri için seçilen deprem yer hareketlerinin spektrumlarının ortalamaları, tasarım spektrumunun ordinatından daha küçük olmamalıdır. Şimdi DZE olması durumunda zaman tanım alanında analizin esaslarına değinilecektir.

2.3.2 DZE durumunda zaman tanım alanında analiz

DZE'nin varlığı durumunda doğrudan entegrasyon yöntemi kullanılarak ZTA'da analiz gerçekleştirilmelidir. Yapılan işlemlere ait detaylar bu bölümde verilecektir.

2.3.2.1 TKDY'nin duruma yaklaşımı

TKDY Bölüm 4.4.3'te doğrudan entegrasyon yönteminden bahsedilmektedir. Ayrıca TKDY Bölüm 4.4.3(b)'de bu yöntemin deprem yer hareketinin değişken olması durumunda tercih edilebileceğinden bahsedilir. Farklı deprem ivmeleri, kenar ve orta ayaklara yerdeğiştirme yüklemesi olarak etkitilir.

Burada dikkat edilmesi gereken hususlardan biri yerdeğiştirme yüklemesinin yapılmasının gerekliliğidir. Zaman tanım alanında analiz ivme değerleriyle yapılamaz, çünkü her köprü ayağında farklı bir ivme değeri mevcuttur. Her bir ivme değerinin, ona karşılık gelen köprü ayağındaki deplasman değeri bulunmalıdır. Her bir ayaktaki deplasman değerinin bulunmasıyla bu değerler ayaklara ayrı ayrı yüklenebilir.

Ayrıca zaman tanım alanında analizin doğrudan entegrasyon yöntemiyle yapılması gerekmektedir. İvme-zaman grafiğinin deplasman-zaman grafiğine dönüştürülmesi durumunda lineer bir grafiğin 2. dereceden bir grafiğe dönüştürülmesi durumu mevcuttur. Ayrıca analiz, yapının mod şekilleri bazında değil, yapıya gelen yerdeğiştirme yüklemesinin zaman aralıkları bazında yapılmaktadır.

2.3.2.2 Zaman tanım alanında deplasman analizi

Bu bölümde tez kapsamında kullanılan SAP2000 programında zaman tanım alanında deplasman analizinin aşamalarına değinilecektir. Bu işlem aşama aşama şu şekilde özetlenebilir (Ondrej, 2014) :

- Model oluşturulur.
- Belirli bir zaman aralığı için ivme-zaman verileri programa girilir (Zaman aralığı örneğin 0.01 saniye olabilir).
- Program çıktıları daha küçük bir zaman aralığı için hesaplanır (Örneğin 0.001 saniye).
- Mesnet noktalarındaki toplam deplasman değeri okunur.
- Mesnet noktalarına birim deplasman atanır.
- Mesnet noktalarına atanan birim deplasmanların, mesnet noktalarındaki deplasmanlarla çarpıldığı bir *load case* (yükleme durumu) oluşturulur. Aynı yükleme durumunda bütün deplasman yüklemeleri toplanır.
- Analiz gerçekleştirilir.

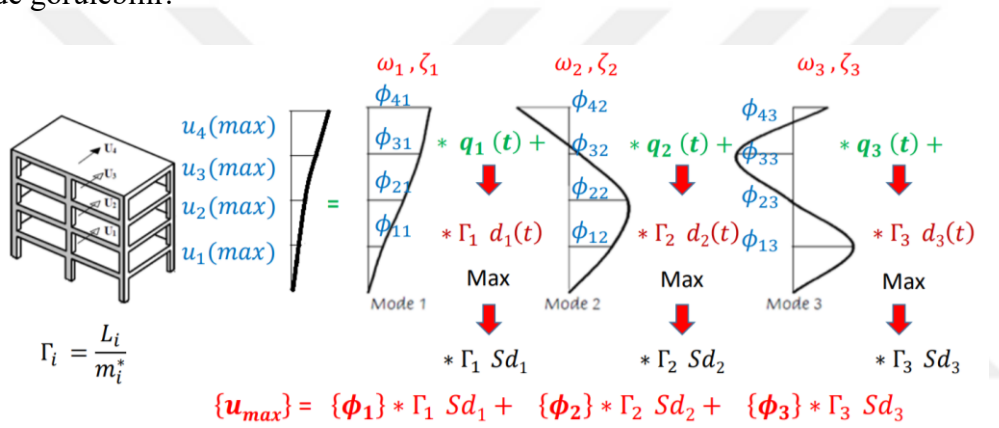
İvme-zaman verilerinin deplasman-zaman verilerine dönüştürülmeleri sürecinde, doğrudan entegrasyon yönteminin kullanılmasının yanında, program çıktılarının daha küçük bir zaman aralığı için hesaplanmaları gerekir. Örneğin programa 0.02 saniye aralıkları için girilen ivme-zaman grafiğinin çıktıları 0.002 saniye aralıklar için alınabilir. Bunun sebebi lineer parçalar halinde alınan ivme-zaman grafiğinin deplasman-zaman grafiğine dönüştürülmesidir. Lineer bir ivme-zaman grafiği 2. dereceden bir deplasman-zaman grafiği oluşturacaktır. Değerlerin daha hassas alınması için böyle bir analiz süreci izlenmelidir. Şekil 2.6'da bu durum gözlemlenebilir.

2.4 Tepki Spektrumu Analizi

Tez kapsamında, tepki spektrumu analizi için "Mod Birleştirme Yöntemi" kullanılmıştır. Yönteme ait detaylar Bölüm 2.4.1'de verilmiştir.

2.4.1 Mod birleştirme yöntemi

Mod birleştirme yöntemi, tasarım spektrumlarının kullanılmasıyla yapıda meydana gelen deplasmanların, kesme kuvvetlerinin ve momentlerin bulunmasıdır. Her bir mod şekli, bir doğal titreşim periyodu için yapının oluşturacağı modal şekil vektörünü gösterir. Modal şekil vektörlerinin modal koordinat vektörleriyle çarpılmasıyla da o mod için yapıda meydana gelecek deplasmanlar elde edilir. Yapılan işlemler şekil 2.7'de görülebilir.



Şekil 2.7 : Mod birleştirme yöntemi (Fahjan, 2022).

Mod birleştirme yönteminde, göz önünde bulundurulan her bir düğüm noktası için hesaplanacak olan maksimum deplasman değeri denklem 2.16'dan hesaplanabilir.

$$|U_{max}| = \sum_{i=1}^n [\phi_i] \times q_i(max) \quad (2.16)$$

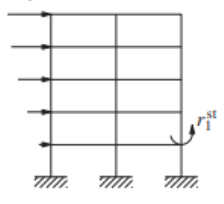
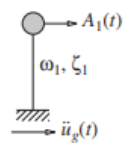
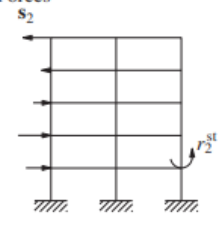
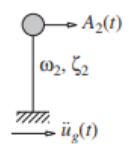
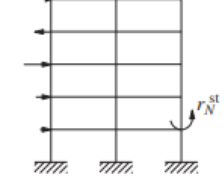
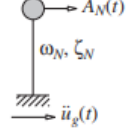
Burada ϕ_i modal şekil vektörünü, $q_i(max)$ maksimum modal koordinat değerini simgeler. Modal koordinat denklemi, denklem 2.17'de verildiği gibi bulunabilir.

$$q_i(max) = \Gamma_i \times S_{di} \quad (2.17)$$

Burada Γ_i modal katkı çarpanını, S_{di} spektral deplasman değerini belirtir.

Yapıda meydana gelen kesme kuvvetlerinin ve momentlerin bulunabilmesi için, deprem yüklerinin düğüm noktalarına dağıtılması gerekir. Deprem yükleri s_n

vektörlerine bağlı olarak düğüm noktalarına aktarılır. Burada s_n vektörü her bir mod için ayrı ayrı hesaplanmalıdır. Her bir s_n vektörünün bulunmasının ardından, o moda tekâbüle eden periyot değeri için yapıda oluşacak ivme değeri hesaplanmalıdır. Bu hususta yapı tek serbest dereceli gibi düşünülür ve yapıya gelen ivme yapının düğüm noktasına göre hesaplanır. Burada bahsedilen işlemler Şekil 2.8'de görülebilir.

Mode	Static Analysis of Structure	Dynamic Analysis of SDF System	Modal Contribution to Dynamic Response
1			$r_1(t) = r_1^{st} A_1(t)$
2			$r_2(t) = r_2^{st} A_2(t)$
•	•	•	•
•	•	•	•
•	•	•	•
N			$r_N(t) = r_N^{st} A_N(t)$
Total response			$r(t) = \sum_{n=1}^N r_n(t)$

Şekil 2.8 : Mod çözümlemesi (Chopra, 2011, s. 518).

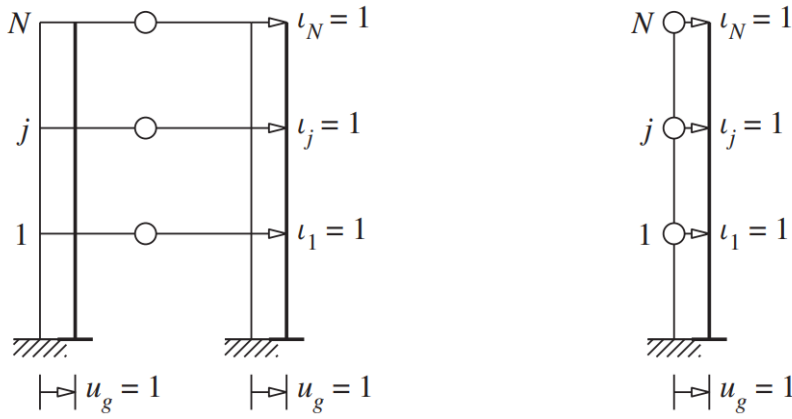
Şekil 2.8'de görüleceği üzere ilk olarak s_n vektörlerinin bulunması gerekir. Bu işlem her n'inci mod için denklem 2.18'de anlatıldığı şekilde yapılabilir.

$$s_n = \Gamma_n \times m \times \phi_n \quad (2.18)$$

Denklem 2.18'de Γ_n o mod için hesaplanan modal katkı çarpanıdır. Modal katkı çarpanı hesabı her n'inci mod için denklem 2.19'dan hesaplanabilir.

$$\Gamma_n = \frac{\phi_n^T m \iota}{\phi_n^T m \phi_n} \quad (2.19)$$

Denklem 2.14'te verilen ι değeri *etki matrisidir*. Bu matris, mesnet noktalarına analizin yapıldığı yönde birim deplasman yapılması durumunda, düğüm noktalarında oluşan deplasmanı simgeler. Şekil 2.9'da 3 düğüm noktası için etki matrisi hesabı gösterilmiştir.



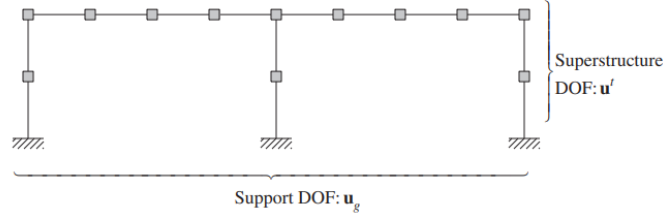
Şekil 2.9 : Mesnet noktalarına statik birim deplasman etkilmesiyle her bir düğüm noktasındaki etki matrisi bileşenin hesabı (Chopra, 2011, s.374).

Etki matrisi mesnetlerde üniform deprem yer hareketinin olması durumunda görüldüğü üzere birim matris olmaktadır (Örneğin 3 katlı bir yapı için $\iota = [1,1,1]^T$ olacaktır). Etki matrisi ι 'nın hesabı, DZE durumunun olması halinde daha farklı olmaktadır. Bu konuya Bölüm 2.4.2'de detaylı olarak girilecektir.

2.4.2 Çoklu mesnet hareketi halinde etki matrisinin hesabı

Bu bölüme kadar etki matrisi ι 'nın mod birleştirme yönteminde yönteminde nasıl kullanıldığına değinilmiştir. Bu matris, üniform deprem yer hareketinin olması durumunda birim matris olarak alınır, ancak DZE olması durumunda yer ivmeleri her mesnette farklı olacağından, doğrudan birim matris olarak alınamazlar. (Chopra, 2011, s.387)

Öncelikle, DZE'nin olduğu sistemlerde çözüm yapılırken, yapı serbestliklerinin yanında mesnet serbestliklerinin de incelenmesi gerekir. Üstyapı serbestliklerinin u^t , mesnet serbestliklerinin de u_g olarak adlandırılması durumunda, serbestikleri tanımlanan yapı modeli şekil 2.10'da görülebilir.



Şekil 2.10 : Üstyapı ve mesnet serbestlikleri (Chopra, 2011, s.387).

Üstyapı serbestlikleri u^t 'nin hesabı için, yer hareketinin yapıda oluşturacağı statik ve dinamik etkiler ayrı ayrı hesaplanır ve toplanır. Yer hareketinin oluşturacağı statik etkiler u^s , dinamik etkiler u ile gösterilir. Denklem 2.20'de u^t 'nin hesabı gösterilmektedir.

$$\begin{bmatrix} u^t \\ u_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u^s \\ u_g \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

Deprem yer hareketinin yapıda oluşturacağı statik etkiler u^s , denklem 2.21'den hesaplanabilir.

$$u^s(t) = \sum_{l=1}^{N_g} u_l u_{gl}(t) \quad (2.21)$$

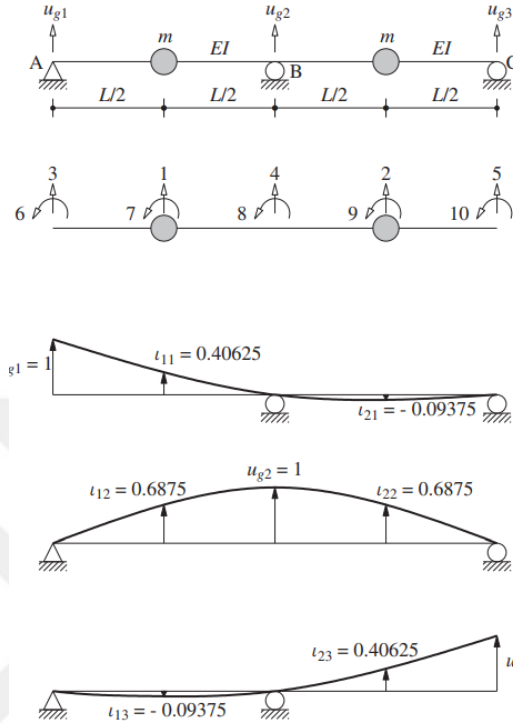
Burada u_l , etki matrisinin l 'inci kolonunu, u_{gl} mesnet hareketinin etki vektörüdür.

Deprem yer hareketinin, yapıda oluşturacağı dinamik yerdeğişimleri vektörü u 'nun hesabı denklem 2.9'a göre yapılması gerekmektedir fakat denklemin sağ tarafının, mesnetlerde farklı deprem ivmelerinin olması durumu için güncellenmesi gerekir. Denklem 2.22'de çoklu mesnet hareketi olması durumu için dinamik hareket denkleminin güncel hali görülebilir. Denklemden yapının sönüm matrisinin rijitlik matrisiyle doğru orantılı olduğu kabulü yapıldığı için, sönüm matrisleri hesaba katılmamıştır.

$$m\ddot{u} + k u = - \sum_{l=1}^{N_g} m_l \ddot{u}_{gl}(t) \quad (2.22)$$

Denklemlerde görülen etki matrisi u 'nın hesabı, her bir mesnet için ayrı ayrı yapılır. Her bir mesnete birim deplasman uygulanır ve yapının düğüm noktalarında meydana gelen deplasman değerleri hesaplanır. Şekil 2.11'de etki matrisinin 3 mesnetli ve 2

yığılı kütlelerin olduğu bir sistemde nasıl hesaplandığı görülebilir. Her bir mesnet noktasına birim deplasmanlar ayrı ayrı etkililir ve düğüm noktalarında oluşan deplasman değerleri hesaplanır.



Şekil 2.11 : 3 mesnetli bir sistemde, mesnetlere birim deplasman uygulanmasıyla yığılı kütle noktalarında etki matrisinin hesaplanması (Chopra, 2011, s.390).

Şekil 2.11'de görülen örnekte, yapının etki matrisi şu şekilde yazılabilir:

$$\mathbf{t} = \begin{bmatrix} 0.40625 & 0.68750 & -0.09375 \\ -0.09375 & 0.68750 & 0.40625 \end{bmatrix}$$

2.4.3 TKDY'ye göre üniform deprem yer hareketi için mod birleştirme yöntemi

Deprem yer hareketinin üniform olması durumunda, mod birleştirme yönteminin detayları TKDY Bölüm 4A.2'de belirtilmiştir. Üniform deprem yer hareketinin olması hâlinde depremin yapıda yalnızca dinamik etkiler oluşturur.

Üniform deprem yer hareketinin oluşturduğu deprem yüklerinden meydana gelen dinamik davranış büyüklüklerin formülü denklen 2.23'te verilmiştir. $r_{n,\max}^{(X)}$, maksimum modal davranış büyüklüğünü simgelemektedir.

$$r_{n,\max}^{(X)} = \bar{r}_n^{(X)} S_{aen}^{(X)} \quad (2.23)$$

Burada $\vec{r}_n^{(X)}$, modal etkin kütlelerin fiktif yükler olarak köprü taşıyıcı sistemine statik olarak etki ettirilmesiyle elde edilen jenerik davranış büyüklükleridir. $S_{aen}^{(X)}$, her bir n'inci mod için hesaplanan tasarım spektral ivme değeridir. Burada bahsedilen modal etkin kütleleri her 3 doğrultu için denklem 2.24, 2.25 ve 2.26'dan hesaplanabilir.

$$m_{jxn}^{(X)} = m_j \Phi_{jxn} \Gamma_n^{(X)} \quad (2.24)$$

$$m_{jyn}^{(X)} = m_j \Phi_{jyn} \Gamma_n^{(X)} \quad (2.25)$$

$$m_{jzn}^{(X)} = m_j \Phi_{jzn} \Gamma_n^{(X)} \quad (2.26)$$

Denklemden görülen modal katkı çarpanı $\Gamma_n^{(X)}$, her bir mod için farklı şekilde hesaplanmalıdır. Denklem 2.19'daki modal katkı çarpanı hesabı, TKDY'de farklı olarak ele alınmaktadır. Bu denklem 2.27'de görülebilir. m_j , her bir düğüm noktasındaki kümülatif kütleyi simgelemektedir.

$$\Gamma_n^{(X)} = \frac{\sum_{j=1}^N m_j \Phi_{jxn}}{\sum_{j=1}^N (m_j \Phi_{jxn}^2 + m_j \Phi_{jyn}^2 + m_j \Phi_{jzn}^2)} \quad (2.27)$$

Denklem 2.27'de görüleceği üzere paydada her 3 yöndeki (X, Y ve Z) mod şekillerinin kullanılması gerekir. TBDY'nin aksine (Z) yönündeki dönme mod şekilleri değil, (Z) yönündeki deplasman mod şekilleri kullanılır.

Her bir n'inci mod için $r_{n,max}^{(X)}$ değerinin hesaplanmasıyla birlikte, maksimum dinamik davranış büyüklüğü elde edilebilir. Bunun için *tam karesel birleştirme* (TKB) kuralı uygulanacaktır. Denklem 2.28'de bu işlem görülebilir.

$$r_{d,max}^{(X)} = \sqrt{\sum_{m=1}^{YM} \sum_{n=1}^{YM} r_{m,max}^{(X)} \times \rho_{mn} \times r_{n,max}^{(X)}} \quad (2.28)$$

Burada YM, yeterli mod sayısını simgeler. Bu işlem her bir n'inci ve m'inci mod için onlara karşılık gelen çapraz korelasyon katsayısı ρ_{mn} ile çarpılmasıyla bulunur. Çapraz korelasyon katsayıları, bütün modlarda sönüm oranlarının eşit olması halinde denklem 2.29 yardımıyla yapılabilir.

$$\rho_{mn} = \frac{8\xi^2(1+\beta_{mn})\beta_{mn}^{3/2}}{(1-\beta_{mn}^2)^2 + 4\xi^2\beta_{mn}(1+\beta_{mn})^2} \quad ; \quad \beta_{mn} = \frac{T_m}{T_n} \quad (2.29)$$

Burada β_{mn} , m'inci ve n'inci modlarda hesaplanan doğal titreşim periyotlarını; ξ her bir mod için eşit olarak alınan modal sönüm oranıdır. Modal sönüm oranı genellikle 0.05 olarak alınır.

2.4.4 TKDY'ye göre DZE durumunda mod birleştirme yöntemi

DZE olması durumunda mod birleştirme yöntemi TKDY Bölüm 4A.2.3'e göre yapılabilir. Mod birleştirme yönteminde kullanılacak olan maksimum davranış büyüklükleri, yapıda meydana gelecek olan statik ve dinamik etkilerden ayrı ayrı hesaplanır.

Herhangi bir k'ıncı ayaktaki maksimum sözde-statik davranış büyüklüğü denklem 2.30'dan hesaplanabilir.

$$r_{s,max}^{(X,k)} = \bar{r}_s^{(X,k)} S_{de}^{(X,k)}(T_L) \quad (2.30)$$

Burada $\bar{r}_s^{(X,k)}$, k'ıncı ayak temeline (X) doğrultusunda statik olarak etki ettirilen birim yerdeğiştirmeden hesaplanan jenerik davranış büyüklüğüdür. $S_{de}^{(X,k)}(T_L)$, k'ıncı ayak temelinde (X) doğrultusu için T_L anında bulunan yatay tasarım spektral yerdeğiştirme değeridir. Ayaklarda meydana gelen yerdeğiştirme değerinin tasarım spektral yerdeğiştirme değerinden bulunması mümkün olmadığı için periyot değeri olarak T_L (yani yatay tasarım spektral yerdeğiştirmesinin en büyük değeri) alınır.

Her bir ayaktaki $r_{s,max}^{(X,k)}$ değerinin hesaplanmasıyla, tüm ayaklardaki yer hareketleri için maksimum sözde-statik davranış büyüklükleri elde edilir. Denklem 2.31'te bu değerin hesaplanması görülebilir.

$$r_{s,max}^{(X)} = \sqrt{\sum_{k=1}^{AS} (r_{s,max}^{(X,k)})^2} \quad (2.31)$$

AS, ayak sayısı anlamına gelir. Her bir ayakta meydana gelen maksimum sözde-statik davranış büyüklüğünün karesi alınıp toplanır. En son olarak da toplam sonucun karekökü alınır.

Deprem yer hareketi için köprü davranış büyüklüklerinin ikinci kısmı, deprem yüklerinden meydana gelen dinamik davranış büyüklükleridir. Maksimum modal davranış büyüklüğü $r_{n,max}^{(X,k)}$ denklem 2.32'den hesaplanabilir.

$$r_{n,max}^{(X,k)} = \bar{r}_n^{(X,k)} S_{aen}^{(X,k)} \quad (2.32)$$

Burada $\bar{r}_n^{(X,k)}$, modal etkin kütlelerin fiktif yükler olarak köprü taşıyıcı sistemine statik olarak etki ettirilmesiyle elde edilen jenerik davranış büyüklükleridir. $S_{aen}^{(X,k)}$, her bir k'ıncı ayak ve n'inci mod için hesaplanan tasarım spektral ivme değeridir. Burada bahsedilen modal etkin kütleleri her 3 doğrultu için denklem 2.33, 2.34 ve 2.35'den hesaplanabilir.

$$m_{jxn}^{(X,k)} = m_j \Phi_{jxn} \Gamma_n^{(X,k)} \quad (2.33)$$

$$m_{jyn}^{(X,k)} = m_j \Phi_{jyn} \Gamma_n^{(X,k)} \quad (2.34)$$

$$m_{jzn}^{(X,k)} = m_j \Phi_{jzn} \Gamma_n^{(X,k)} \quad (2.35)$$

Denklemde görülen modal katkı çarpanı $\Gamma_n^{(X,k)}$, her bir ayak ve mod şekli için farklı şekilde hesaplanmalıdır. Denklem 2.19'daki modal katkı çarpanı hesabı, DZE'nin mevcudiyeti durumunda TKDY'de denklem 2.36'da gösterildiği gibi ele alınmaktadır. m_j , her bir düğüm noktasındaki kümülatif kütle simgelemektedir.

$$\Gamma_n^{(X,k)} = \frac{\sum_{j=1}^N m_j \bar{u}_{s,j}^{(X,k)} \Phi_{jxn}}{\sum_{j=1}^N (m_j \Phi_{jxn}^2 + m_j \Phi_{jyn}^2 + m_j \Phi_{jzn}^2)} \quad (2.36)$$

Denklem 2.29'da görüleceği üzere paydada her 3 yöndeki (X, Y ve Z) mod şekillerinin kullanılması gerekir. Denklemin denklem 2.29'la oldukça benzer olduğu görülebilir, ancak ek olarak $\bar{u}_{s,j}^{(X,k)}$ fonksiyonu kullanılır. Denklemdaki $\bar{u}_{s,j}^{(X,k)}$, k'ıncı ayağa(X) doğrultusunda statik olarak etkitilen birim yer değiştirmeden kaynaklı köprünün j'inci düğüm noktasında meydana gelen sözde-statik yerdeğiştirme. Şekil 2.11'de bu işlemin nasıl yapıldığı görülebilir.

Her bir k'ncı ayak ve n'inci mod için $r_{n,max}^{(X,k)}$ değerinin hesaplanmasıyla birlikte, maksimum dinamik davranış büyüklüğü elde edilebilir. Bunun için *tam karesel birleştirme* (TKB) kuralı uygulanacaktır. Denklem 2.37'de bu işlem görülebilir.

$$r_{d,max}^{(X)} = \sqrt{\sum_{k=1}^{AS} \sum_{m=1}^{YM} \sum_{n=1}^{YM} r_{m,max}^{(X,k)} \times \rho_{mn} \times r_{n,max}^{(X,k)}} \quad (2.37)$$

Burada YM, yeterli mod sayısını simgeler. Bu işlem her bir n'inci ve m'inci mod için onlara karşılık gelen çapraz korelasyon katsayısı ρ_{mn} ile çarpılmasıyla bulunur. Bu değerler aynı zamanda her bir k'ncı ayak için hesaplanır. Çapraz korelasyon katsayıları, bütün modlarda sönüm oranlarının eşit olması halinde denklem 2.29 kullanılarak yapılabilir.

Dinamik ve statik etkilerin bulunmasıyla, en son olarak toplam sonuç elde edilebilir. Bunun için denklem 2.38 kullanılır. İlgili işlem TKDY Bölüm 4A.2.3.7'de görülebilir.

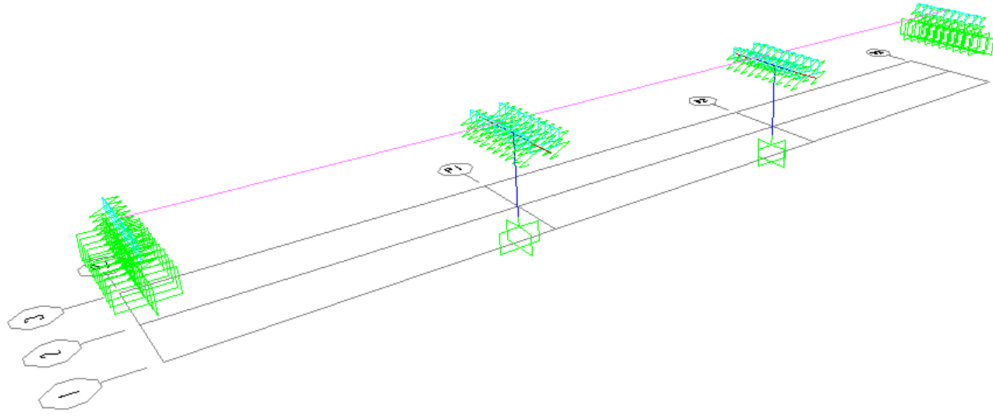
$$r_{max}^{(X)} = \sqrt{(r_{s,max}^{(X)})^2 + (r_{d,max}^{(X)})^2} \quad (2.38)$$

3. MODELLEME VE ANALİZ

Bu bölümde modellenen yapı özelliklerinden ve yapılan analiz yöntemlerinden bahsedilecektir. Tüm analizlerin tamamlanmasıyla ilgili sonuçlar elde edilecektir.

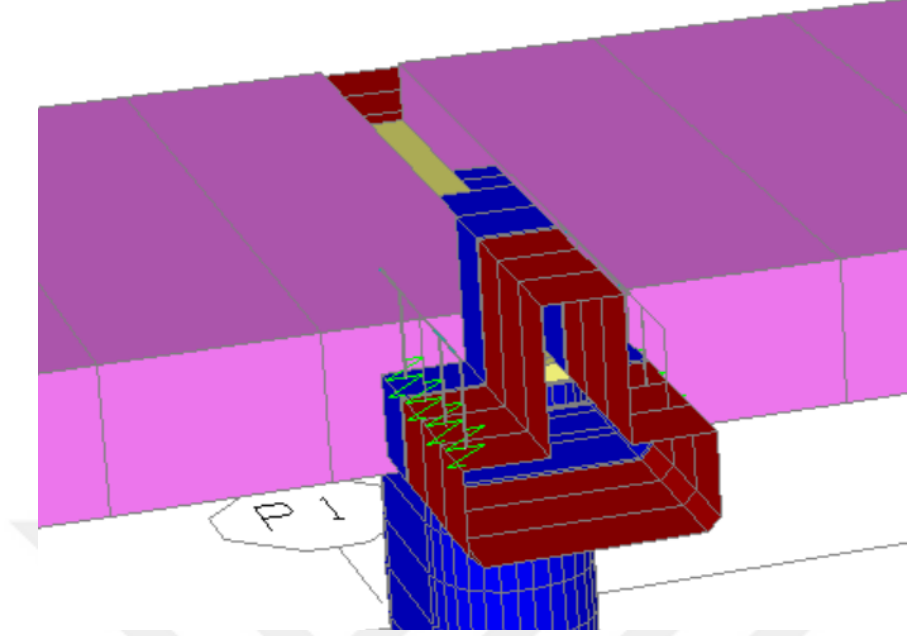
3.1 Kullanılan Model Hakkında Bilgiler

DZE etkisinin köprülerde incelenmesi hususunda 3 açıklıklı ve 4 ayaklı bir köprü projesi kullanılacaktır. Köprünün kenar açıklıklarının tabliye uzunluğu 30.875m, orta açıklığının uzunluğu 31.75m'dir. Modellenen kenar ayaklar 8.15m uzunluğundadır ve hem kenar ayaklarda, hem de orta ayaklarda elastomer mesnet olarak 50cm uzunluğunda kauçuk link elemanlar kullanılmıştır. Kenar ayaklarda tabliye doğrudan temelle bağlandığı için ayaklar olarak elastomer mesnetler ve ankastre mesnetler tanımlanmıştır. Şekil 3.1'de modelin çubuk elemanlardan oluşan görüntüsü görülebilir.



Şekil 3.1 : Kullanılan köprü modeli.

Kolonların temas ettiği elemanlar tam rijit olarak modellenmiştir. Tepe noktaları T-başlık kirişlerine bağlanmaktadır ve bağlanan elemanlar sonsuz rijit olarak tanımlanmıştır. Bağlantının dışında kalan ve kenar kısımlarda görülen T-başlık kirişlerinin rijitlikleri TKDY 4.3.1'de verilen kurallar neticesinde modellenebilir. Şekil 3.2'de çubuk sonlu elemanlar olarak modellenen T-başlık kirişleri görülebilir.



Şekil 3.2 : Modelde kullanılan T-başlık kirişleri.

Şekil 3.2'de, aynı zamanda tabliyeleri birbirlerine bağlayan ve sarı renkte olan bağlantı plakları da görülebilir. Bağlantı plakları taşıyıcı elemanların temas noktasında yapının taşıma kapasitesini artırır. Elemanların birleştiği noktada yapısal dayanıklılığı ve sünek davranışı destekler. Yapıya gelen deprem veya rüzgar gibi dış etkenler yapının deplasman yapmasına neden olacağından sünek davranış için kullanılmalıdır.

3.2 Modelde Kullanılan Elemanların Detayları

Bölüm 3.2 kapsamında köprüde kullanılan yapı elemanları özellikleri verilmiştir. Elemanlar için kabul edilen etkin kesit rijitlikleri, TKDY kapsamında dikkate alınmıştır.

3.2.1 Tabliyeler

Kullanılan tabliyeler 1200cm genişliğinde ve 25-31cm arası değişen bir yüksekliğe sahiptirler. Tabliyenin alt kısmında 10 adet prefabrik kiriş bulunmaktadır. Bu özelliklere göre bir tabliye modellemek zahmetli olacağından çubuk elemanın özellik türü "General Section" olarak seçilebilir. Çıkan sekmedeki kesit özelliklerinin tabliyedeki değerlere eşit olması halinde tanımlanan çubuk eleman analizlerde kullanılabilir. Şekil 3.3'de üstyapı olarak kullanılan tabliye elemanının kesit özellikleri görülebilir.

Property Data

Section Name		USTYAPI-I190	
Properties			
Cross-section (axial) area	13.07	Section modulus about 3 axis	1.
Torsional constant	1.	Section modulus about 2 axis	1.
Moment of Inertia about 3 axis	8.438	Plastic modulus about 3 axis	1.
Moment of Inertia about 2 axis	164.602	Plastic modulus about 2 axis	1.
Shear area in 2 direction	1.	Radius of Gyration about 3 axis	1.
Shear area in 3 direction	1.	Radius of Gyration about 2 axis	1.

OK Cancel

Şekil 3.3 : Tabliye kesit özellikleri

TKDY Bölüm 4.3.1(d)'ye göre birinci aşama hesapta modellenen betonarme tabliye, başlık kirişi ve orta ayak kesitleri için alınan etkin kesit rijitliği, kesitin brüt kesit rijitliğinin yarısı alınarak hesaplanmalıdır. Şekil 3.4'te kullanılan tabliye için etkin kesit rijitliğinin SAP2000'de nasıl ayarlandığı gösterilmiştir.

Frame Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness Modifiers for Analysis	
Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0.5
Moment of Inertia about 3 axis	0.5
Mass	1
Weight	1

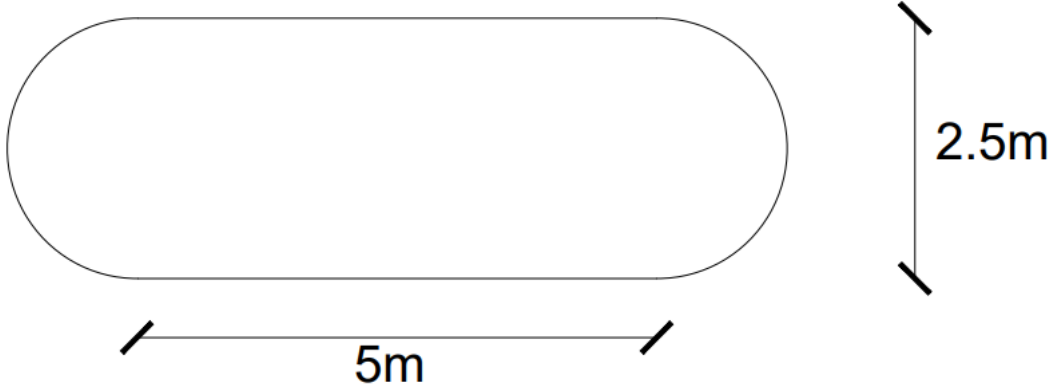
OK Cancel

Şekil 3.4 : Tabliye etkin kesit rijitliğinin ayarlanması.

3.2.2 Kolonlar

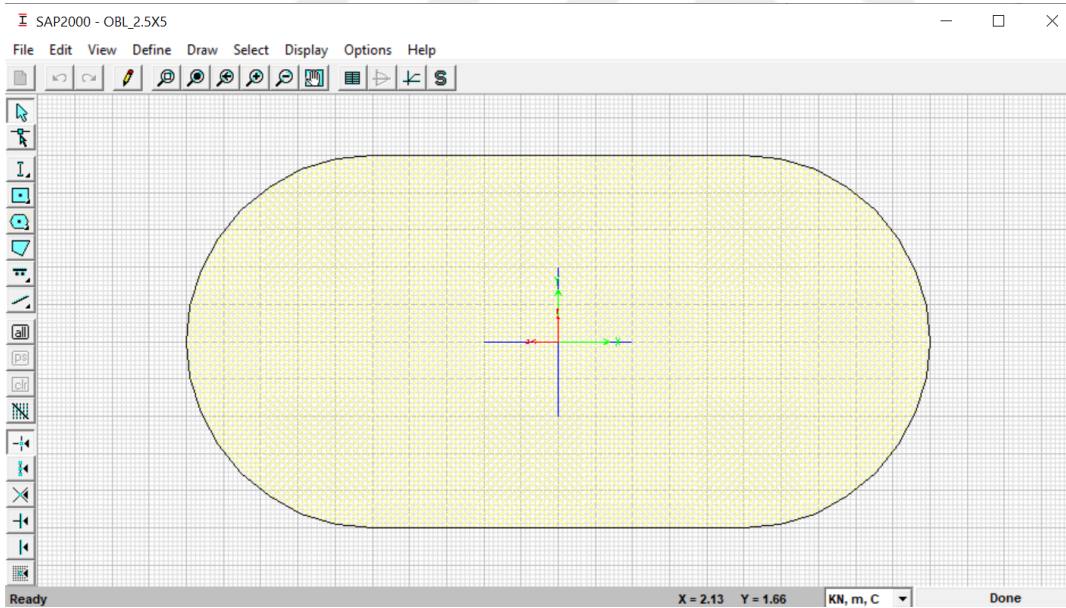
Yapıda toplam 2 adet orta ayak bulunmaktadır ve her orta ayakta birer adet kolon bulunmaktadır. Kolonlar "OBL_2.5x5" olarak adlandırılmıştır. Şekil olarak 2 yarım

daire ile çevrelenmiş bir dikdörtgen şeklindedir. Bu şekil literatürde "stadyum şekli" olarak da adlandırılır. Şekil 3.5'te bu şekil ve boyutları görülebilir.



Şekil 3.5 : Tanımlanan kolon kesit boyutları.

Ayrıca Şekil 3.6'da kesitin Sap2000'de modellenmiş hali de görülebilir. Sap2000'de bulunan "Section Designer" bölümü kullanılarak kesit tanımlanabilir.



Şekil 3.6 : Kolon kesitinin Sap2000'de tanımlanması.

TKDY Bölüm 4.3.1(d)'ye göre birinci aşama hesapta modellenen betonarme tabliye, başlık kirişi ve orta ayak kesitleri için alınan etkin kesit rijitliği, kesitin brüt kesit rijitliğinin yarısı alınarak hesaplanabilir. Şekil 3.7'de kullanılan orta ayak kesiti için etkin kesit rijitliğinin SAP2000'de nasıl ayarlandığı gösterilmiştir.

Frame Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness Modifiers for Analysis

Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0.5
Moment of Inertia about 3 axis	0.5
Mass	1
Weight	1

OK Cancel

Şekil 3.7 : Kolon kesiti için tanımlanan etkin kesit rijitliği.

3.2.3 Bağlantı plakları

Yapıda kullanılan bağlantı plakları 0.3m yükseklik ve 12m genişliğe sahip olacak şekilde modellenmiştir. Kullanılan tabliyelerin ağırlıklarının 12m olması dolayısıyla modelleme bu şekilde yapılmıştır. TKDY Bölüm 4.3.1(e)'ye göre bağlantı plaklarının etkin kesit rijitliği, brüt kesit rijitliğinin %25'i olarak alınmalıdır. Şekil 3.8 ve şekil 3.9'da tanımlanan bağlantı plağının boyutları ve etkin kesit rijitliğinin tanımlanması görülebilir.

Rectangular Section

Section Name: BAG. PLAGI

Section Notes: Modify/Show Notes...

Properties: Section Properties...

Property Modifiers: Set Modifiers...

Material: + CONC

Dimensions:

Depth (t3): 0.3

Width (t2): 12

Concrete Reinforcement...

Display Color: [Yellow Box]

OK Cancel

Şekil 3.8 : Bağlantı plağı için tanımlanan kesit boyutları.

Frame Property/Stiffness Modification Factors

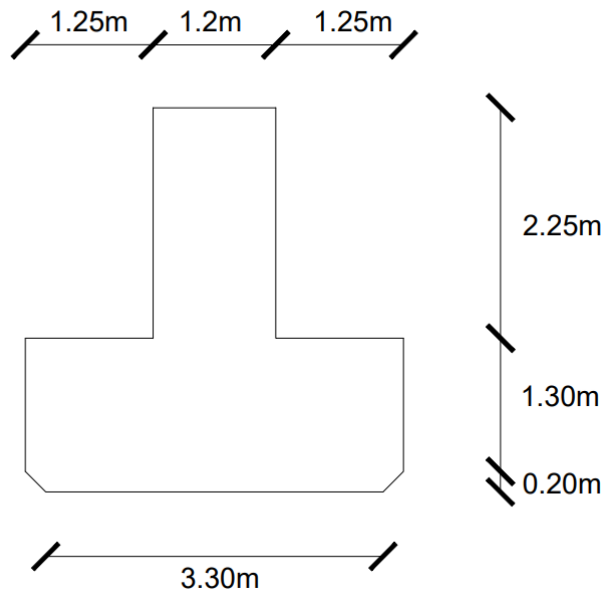
Property/Stiffness Modifiers for Analysis	
Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0.25
Moment of Inertia about 3 axis	0.25
Mass	1
Weight	1

OK Cancel

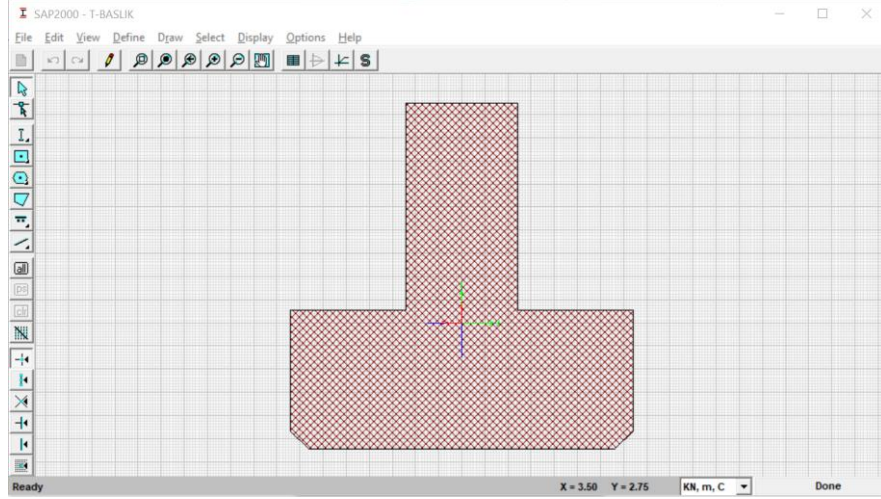
Şekil 3.9 : Bağlantı plağı için tanımlanan etkin kesit rijitlik değerleri.

3.2.4 T-başlık kirişleri

Yapıda kolonların üst noktaları T-başlık kirişleriyle temas halindedir. Burada önemli hususlardan biri, temas noktasının sonsuz rijit olarak tanımlanmış olmasıdır. Kenar kısımlarda bulunan T-başlık kirişlerinde TKDY Bölüm 4.3.1(d)'ye göre brüt kesit rijitliğinin %50'si alınarak analiz gerçekleştirilmelidir. Şekil 3.10 ve şekil 3.11'de başlık kirişinin kesit boyutları ve Sap2000'de modellenmiş hâli görülebilir.

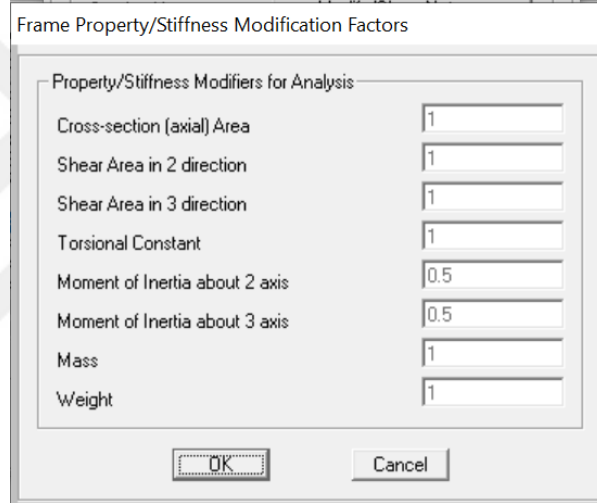


Şekil 3.10 : T-başlık kirişlerinin kesit boyutları.

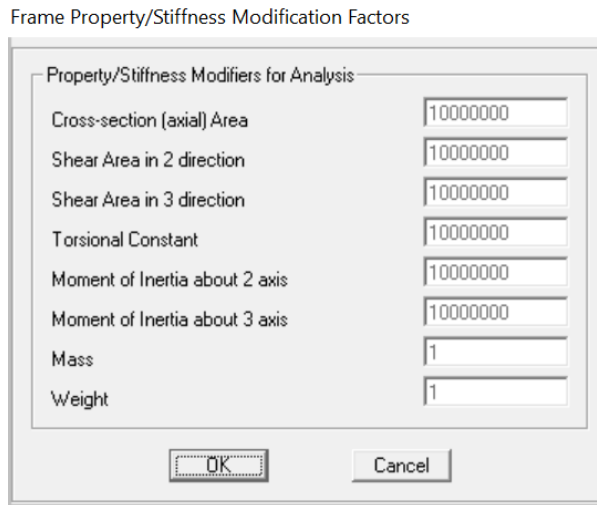


Şekil 3.11 : T-başlık kirişinin SAP2000'de modellenmesi.

Tanımlanan etkin kesit rijitlikleri şekil 3.12 ve şekil 3.13'de görülebilir.



Şekil 3.12 : T-başlık kirişinin etkin kesit rijitliğinin girilmesi.



Şekil 3.13 : T-başlık kirişinin kolonla temas eden noktası için tanımlanan rijitlik.

3.2.5 Elastomer mesnetler

Üst yapıya gelen yüklerin alt taşı elemanlarına aktarılması için elastomer mesnetler kullanılır. TKDY 4.3.7.4'e göre temelleri kazıklı olmayan kenar ayaklar enine doğrultuda takozlar vasıtasıyla tabliyeyi mesnetleyen, boyuna doğrultuda ise elastomer veya kayıcı mesnetlerle tabliyenin hareketine izin veren sonsuz rijit ve kütsüz temel elemanları olarak modellenenebilir.

Orta ayaklarda kullanılan elastomer mesnetler, kenar ayaktakilere kıyasla daha rijit seçilmiştir. Kenar ve orta ayak rijitlikleri şekil 3.14 ve 3.15'te görülebilir.

U1	U2	U3	R1	R2	R3
640000.	4800.	1400000.	1000000.	30000.	30000.

Şekil 3.14 : Kenar ayaklar için modellenen elastomer mesnetlerin rijitlikleri.

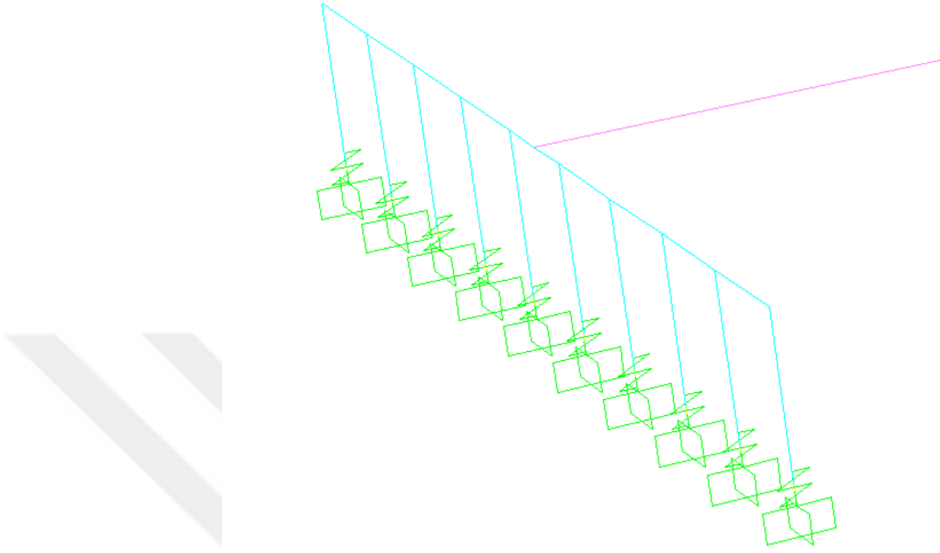
U1	U2	U3	R1	R2	R3
640000.	40000.	1400000.	1000000.	30000.	30000.

Şekil 3.15 : Orta ayaklar için modellenen elastomer mesnetlerin rijitlikleri.

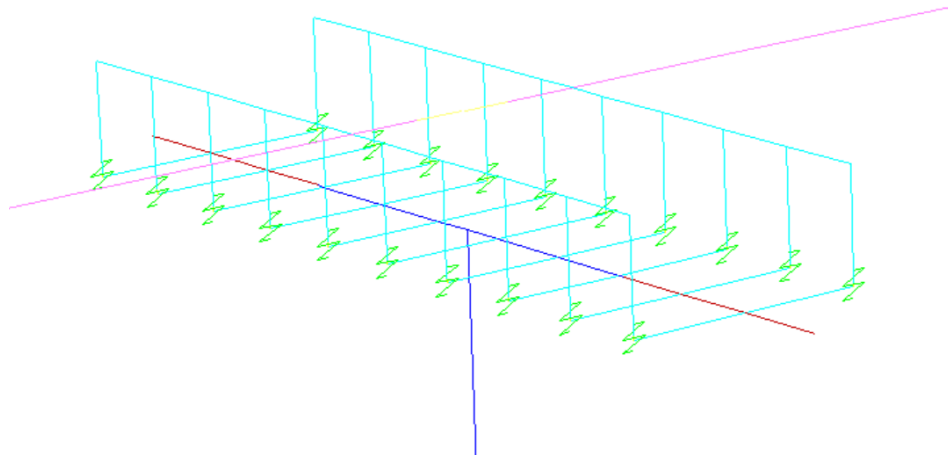
Şekil 3.14 ve şekil 3.15'te görüleceği üzere, kenar ayaklarda kullanılan elastomer mesnetlerin U2 yönünde (enine doğrultuda) rijitlik değeri 4800kN/m olarak tanımlanmışken, orta ayaklarda tanımlanan U2 yönlü rijitlik değeri 40000kN/m'dir.

Analizlerin yapılmasıyla birlikte orta ayaklardaki elastomer mesnet deformasyonlarının daha küçük olması beklenmektedir.

Kenar ve orta ayaklarda Sap2000 vasıtasıyla modellenmiş olan elastomer mesnetler şekil 3.16'da ve şekil 3.17'de görülebilir.



Şekil 3.16 : Kenar ayaklar için modellenen elastomer mesnetler.



Şekil 3.17 : Orta ayaklar için modellenen elastomer mesnetler.

3.2.6 Temeller

TKDY 3.10.1'e göre $KÖS = 1,2$ ve $DTS = 1,2$ için yerel zemin sınıfı ZE ve/veya ZF olan zeminlerde, orta ayakların ve kenar ayakların temellerinin kazıklı temel olarak düzenlenmesi zorunludur. Ayrıca gereği halinde ZD yerel zemin sınıfına sahip köprüler için kazıklı temel modeli yapılabilir.

Tez kapsamında ZD ve ZE yerel zemin sınıfları kullanılmıştır. Ancak tezin temel amacı farklı zemin kombinasyonları için zaman tanım alanında doğrudan entegrasyon yöntemi ile mod birleştirme yöntemlerini incelemek olduğundan ayrıca kazıklar modellenmemiştir. Kenar ayak temellerinde ve orta ayak temellerinde köprü kolonunun zeminle etkileşim noktası ankastre mesnetler olarak tanımlanmıştır. Şekil 3.18'de orta ayak ve kenar ayaklar için modellenen ankastre mesnetler görülebilir.



Şekil 3.18 : Kenar ve orta ayaklar için modellenen temeller.

3.3 Zaman Tanım Alanında Analiz

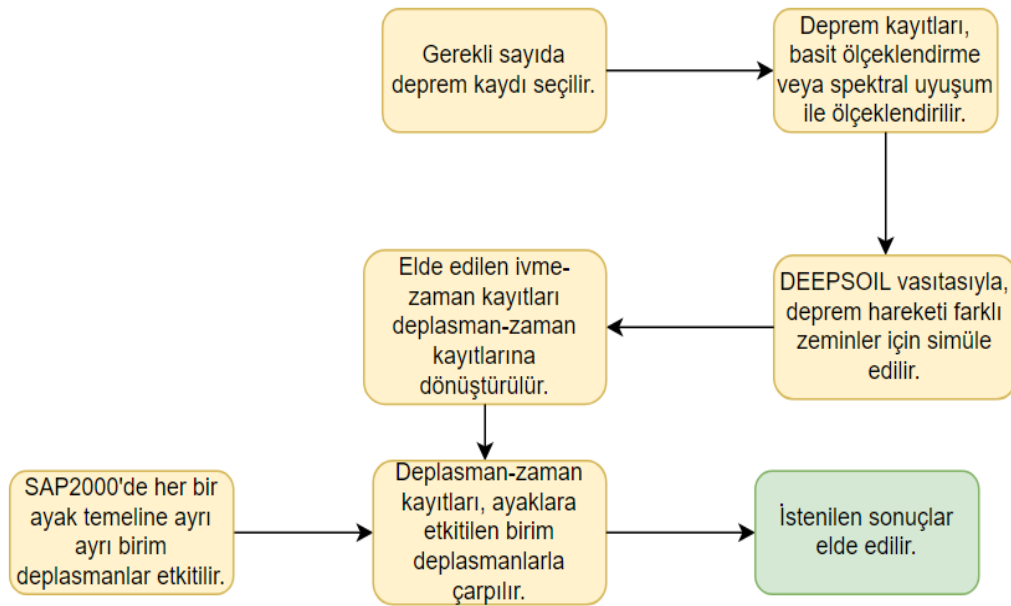
İlk analiz yöntemi olarak zaman tanım alanında (ZTA) analiz incelenecektir. TKDY Bölüm 4.3.3'e göre, DZE'nin olduğu köprülerde ZTA analizi doğrudan entegrasyon yönteminin kullanılarak deplasman yükleme yapılmasıyla kullanılır. Özellikle bu yöntem birinci aşama hesapta TKDY Bölüm 4.4.2.2'de belirtilen *Mod Toplama Yöntemi*'ne alternatif olarak yapılabilir. Köprü taşıyıcı sisteminde gerçekleşen yerdeğiştirme değerleri, deprem yerdeğiştirmesini de içeren toplam yerdeğiştirmeler (absolute displacement) olarak hesaplanır. Bu kuvvetlerin ayak temellerine etkilmesiyle taşıyıcı sistemde oluşan kuvvetler ve deplasmanlar hesaplanır.

ZTA analizi yapılırken belirli hususlara dikkat edilmesi gerekir. Tez kapsamında kullanılan bu yöntemin parametreleri şu şekilde özetlenebilir:

- Çizelge 2.5'te belirtildiği üzere ZTA'da doğrusal olmayan analiz KÖS değerinin 1 ve DTS değerinin 1 olduğu durumda; ikinci hesap ve değerlendirme aşamasında kullanılır. Dolayısıyla bu sınıflar kullanılacaktır.
- Tez kapsamında *Ortalama İvme Yöntemi* kullanılmıştır. Dolayısıyla Newmark yöntemi kullanılarak ve, $\gamma=0.5$ ve $\beta=0.25$ değerleri alınarak analiz gerçekleştirilebilir. Hilber-Hughes-Taylor yönteminin kullanılması durumunda α değerinin 0 alınmasıyla da işlem gerçekleştirilebilir.
- Sönüm oranı (ξ) 0.05 olarak alınmıştır.

- Sap2000'de, ZTA'da gerçekleştirilen analizler, DZE'nin mevcudiyeti durumunda yalnızca doğrudan entegrasyonla yerdeğiştirme yüklemesi yapılarak gerçekleştirilebilir.
- Yapılan analiz türü *Linear* olarak seçilmiştir. Çünkü kullanılan elastomer mesnetler lineer davranışa göre tanımlanmıştır ve köprü kolonlarında mafsal tanımlanmamıştır. İkinci aşama hesapta lineer olmayan analiz gereklidir, ancak tez kapsamında lineer mod birleştirme yöntemiyle, doğrudan entegrasyon yöntemi sonrası bulunan veriler karşılaştırılacağından, yapı elemanları aynı özellikte belirlenmelidir.
- İvme-zaman grafiğinin deplasman-zaman grafiğine çevrilmesi durumu olduğundan, *load case* oluşturulurken seçilen zaman aralığı, verinin sahip olduğu zaman aralığı değerinden daha küçük seçilmelidir. Çünkü üniform ivme-zaman grafiği, ikinci derecen bir deplasman-zaman grafiği verir. Dolayısıyla alınan verilerin daha doğru olması için analiz daha küçük bir zaman aralığı için yapılır.

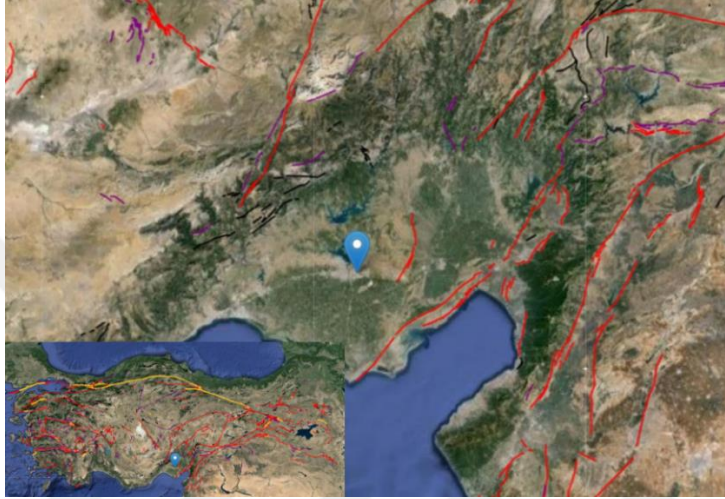
ZTA'da analiz kapsamında, yapılan işlemlerin aşamaları şekil 3.19'da akış şeması olarak verilmiştir. Verilen şema, doğrudan entegrasyon kapsamında ZTA'da yerdeğiştirme analizinin yapılma prosedürünü vermektedir.



Şekil 3.19 : ZTA'da doğrudan entegrasyon yöntemi akış şeması.

3.3.1 Deprem kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesi

ZTA'da analiz yaparken öncelikle bölgeye özel yer ivmesi kayıtlarının bulunması ve kullanılması gerekir. Viyadüğün bulunduğu bölgenin, Türkiye'de bulunan dirifaylara olan mesafesi <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx> adresinden bulunabilir. Şekil 3.20'de bölgenin Türkiye'deki konumu, bölgeye yakın mesafede bulunan faylar ve Türkiye'da bulunan dirifay haritası görülebilir. Tez kapsamında yakın fay etkisi göz önünde bulundurulmamıştır.



Şekil 3.20 : Yapının bulunduğu bölgedeki dirifaylar.

Bölge belirlendikten sonra TKDY ve sahaya özel deprem yer hareketinin seçimi için belirli parametreler göz önünde bulundurulmalıdır. Öncelikle TKDY'de tanımlanmış kurallar şu şekilde özetlenebilir:

- TKDY Bölüm 2.5.1.3'e göre seçilen deprem kaydı takımı sayısı en az 7 olabilir. Ayrıca aynı depremden seçilen kayıt ve kayıt takımı sayısı en fazla 3 olabilir.
- Bir ve iki boyutlu analiz için seçilen deprem kayıtlarının yatay deprem spektrumlarının ortalamasının $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyotları arasındaki genlik değerleri, yatay tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genlik değerlerinden daha küçük olmamalıdır. Bu koşul üç boyutlu analiz için, deprem spektrumlarının aynı periyot aralığındaki ortalamasının, yatay tasarım spektrumunun bu aralıktaki genlik değerlerinin 1.3 katından daha küçük olmamasıdır. Burada bahsedilen kurallar *basit ölçeklendirme yöntemi* kapsamında kullanılır.

- Zaman tanım alanında yapılan analizler kapsamında, seçilen deprem kayıtlarının belirlenen tasarım spektrumunun 0.1 s-5.0 s periyotları arasındaki genlik değerlerine uygun olarak ölçeklendirilmiştir (Fahjan, 2008). Spektral uyum sağlayacak şekilde de analiz gerçekleştirilebilir. Bu yöntem TKDY Bölüm 2.5.3'te belirtilmiştir. Dönüştürülen deprem yer hareketlerinin spektrumlarının ortalamaları, tüm periyot değerleri için tasarım spektrumu ordinatından daha küçük olmamalıdır.

Yukarıda verilen maddeler kapsamında, TKDY tasarım spektrumuyla uyumlu deprem yer hareketlerinin seçimi yapılabilir. Deprem yer hareketlerinin seçilmesinde yukarıda belirtilen kurallar şu şekilde uygulanmıştır:

- Deprem yer hareketi kayıtları PEER NGA Veri Bankası kullanılarak alınmıştır. (Url-3)
- TKDY kapsamında ZTA analizinde DD-1 deprem yer hareketi düzeyi kullanılacaktır. Seçilen kayıtların deprem büyüklüğü 6.5-7.8 aralığındadır.
- Yapıda kullanılan yerel zemin kombinasyonlarında en güçlü zemin sınıfı ZB'dir. Ayrıca depremin meydana geldiği anakayada ZB aralığı için tanımlanan bir kayma dalgası hızı mevcuttur. Seçilen deprem yer kayıtlarının V_s değerleri 551.3-967.27 arasında değişmektedir.
- Seçilen deprem yer hareketlerinin fay hattına en yakın mesafesi R_{rup} , 12.6-53.75 km aralığındadır.
- Yapının hakim doğal titreşim periyodu $T_n=0.74$ sn'dir. Dolayısıyla basit ölçeklendirme kuralları kapsamında, ölçeklendirme için esas alınacak periyot aralığı 0.15~1.12sn arasındadır.
- 3 boyutlu analizde esas alınacak bileşke spektrum, her iki yatay yöndeki deprem yer hareketine ait spektrumlarının karelerinin toplamının karekökü alınarak elde edilebilir.

Yukarıda verilen kurallar kapsamında 7 adet deprem yer hareketinin seçilmesi gerekmektedir. Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2'de seçilen deprem yer kayıtları ve onlara ait bilgilerin detayları verilmiştir.

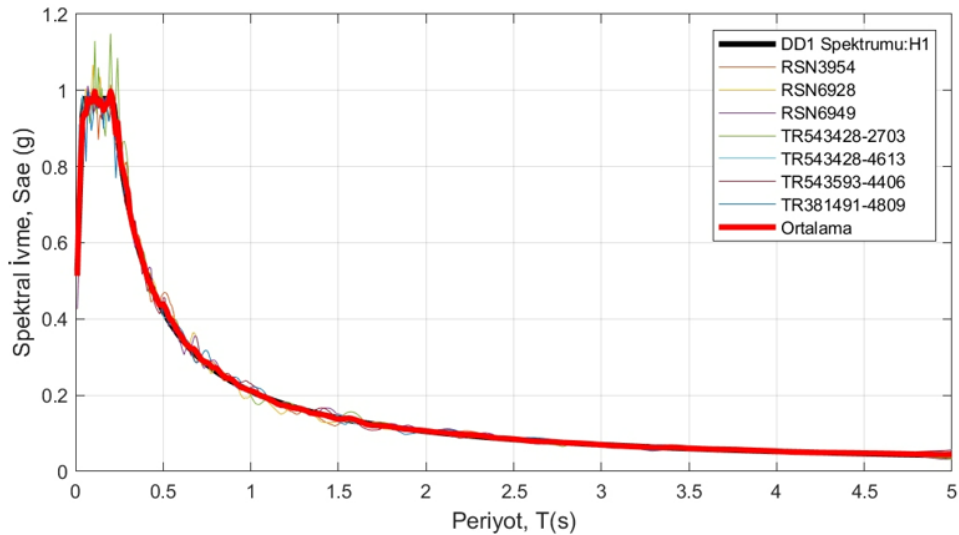
Çizelge 3.1 : Seçilen deprem kayıtlarının yatay bileşenleri.

H1	H2
RSN3954_TOTTORI_SMNH10NS.AT2	RSN3954_TOTTORI_SMNH10EW.AT2
RSN6928_DARFIELD_LPCCN80E.AT2	RSN6928_DARFIELD_LPCCS10E.AT2
RSN6949_DARFIELD_PEECN11W.AT2	RSN6949_DARFIELD_PEECS79W.AT2
20230206011734_2703_H1.AT2	20230206011734_2703_H2.AT2
20230206011734_4613_H1.AT2	20230206011734_4613_H2.AT2
20230206102447_4406_H1.AT2	20230206102447_4406_H2.AT2
20170720223109_4809_H1.AT2	20170720223109_4809_H2.AT2

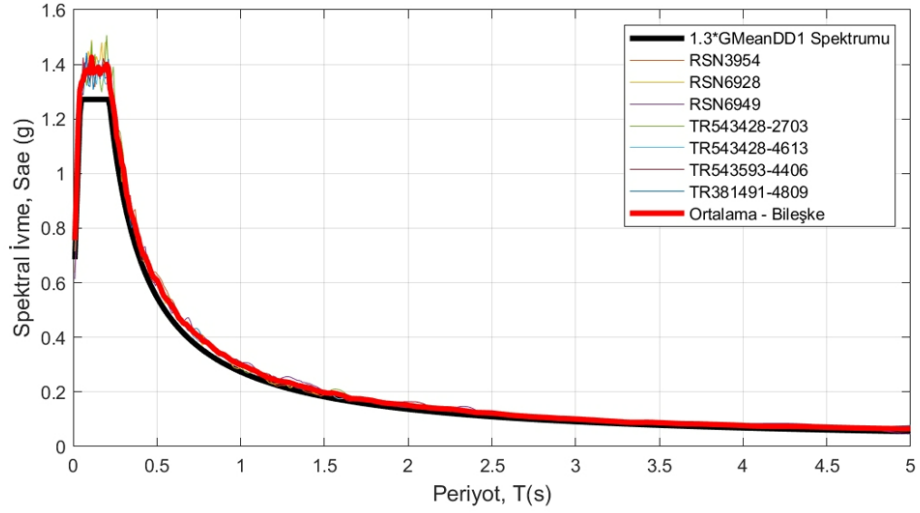
Çizelge 3.2 : Deprem kayıtlarının detayları.

İstasyon İsmi	Büyükklük	Fay Mekanığı	Rrup	Vs30	Kullanılabilir HP	Ölçeklendirme Katsayısı
SMNH10	6.61	Strike slip	15.59	967.27	0.0375	1.159001597
LPCC	7	Strike slip	25.67	649.67	0.125	1.179302558
PEEC	7	Strike slip	53.75	551.3	0.175	2.200224625
2703	7.8	Strike slip	51.4	758	0.03125	1.477471509
4613	7.8	Strike slip	48.8	625	0.037453184	2.331186548
4406	7.5	Strike slip	41	815	0.03125	0.827443064
4809	6.5	Normal	12.59562	747	0.025	1.673150281

Tez kapsamında H1 kayıtları kullanılacaktır ve X yönünde analiz gerçekleştirilecektir. Tasarım spektral ivme değerlerine göre H1 kayıtları için yapılan uyuşum şekil 3.21'de gösterilmiştir. Şekil 3.22'de her iki yatay yöndeki deprem kayıtlarının ortalamaları, spektral ivme değerlerinin 1.3 katına göre ölçeklendirilmiştir.



Şekil 3.21 : Seçilen kayıtların spektral uyuşum sonrası ivme değerleri ve ortalaması.



Şekil 3.22 : Her iki yatay yöndeki kaydın, spektral ivmenin 1.3 katına göre ölçeklendirilmesi.

3.3.2 DEEPSOIL'in kullanımı

Az önce değinildiği gibi deprem yer kayıtları, ZB yerel zemin sınıfı esas alınarak seçilmiştir. Ayrıca temelden 50m aşağıda olduğu düşünülen anakayada da, yerel zemin sınıfı olarak ZB alınmıştır.

Analiz kapsamında DZE'nin etkisi inceleneceğinden, farklı yerel zemin sınıflarına sahip deprem kayıtlarının da incelenmesi gerekecektir. Fakat aynı deprem kaydının her zaman farklı yerel zemin koşullarına uygun başka kayıtları bulunmayabilir. Örneğin tez kapsamında ZB, ZC, ZD ve ZE yerel zemin sınıflarına göre farklı analizler yapılacaktır. Bir depremin her 4 yerel zemin sınıfına uygun kayıtları bulunmayabilir.

Bir diğer husus da, ayaklara etkitilen depremlerin birbiriyle uyumlu olması gerektiğidir. DZE etkisi dahilinde deprem durumunda, ayaklarda farklı deplasmanlar oluşsa da, bu değerler aynı depremden kaynaklanır. Dolayısıyla bir ZTA deplasman analizi yaparken, farklı yerel zemin koşullarına uygun farklı deprem kayıtları kullanılamaz. Aynı deprem yer kaydının, farklı yerel zeminler için düzenlenmiş değerlerini kullanmak gerekir.

Bu kapsamda DEEPSOIL yazılımından faydalanılacaktır. DEEPSOIL, girilen deprem kaydı ve zemin profili için, gerekli düzenlemeleri yapar. Analiz kapsamında sadece tek bir yatay yönlü deprem incelenecek olursa, çizelge 3.1'de verilen H1 kayıtları bu kapsamda kullanılabilir. ZC yerel zemini için şekil 3.23'de DEEPSOIL'in arayüzü görülebilir.

Analysis Type Definition

Analysis Method

Nonlinear

Pore Pressure Options

☐ Generate Excess Porewater Pressure

☐ Enable Dissipation

☒ Make Top of Profile Permeable

☒ Make Bottom of Profile Permeable

Solution Type

Time Domain

Default Soil Model

Note: The selected default soil model will be assigned to all newly generated layers.

Pressure-Dependent Modified Kondner Zelasko (MKZ)

Default Hysteretic Re/Unloading Formulation

Non-Masing Re/Unloading

Şekil 3.23 : DEEPSOIL için tanımlanan analiz tipi tanımları.

DEEPSOIL programı 3 farklı yerel zemin sınıfına sahip zemin profilleri için kullanılacaktır. Bunlar sırasıyla ZC, ZD, ve ZE'dir. Seçilen deprem kayıtları ZB yerel zemin sınıfına göre seçildiğinden, tekrardan ZB için bir DEEPSOIL analizinin yapılması gerekmemektedir. Köprü ayaklarında farklı yerel zemin sınıflarının bulunması halinde, burada tashih edilen deprem kayıtları kullanılarak hesaplamalar yapılacaktır.

DEEPSOIL programının kullanım aşamaları şu şekilde özetlenebilir:

- Analiz metodu olarak "Nonlinear" analiz seçilir. Zemin modeli analiz kapsamında "Modified Kondner Zelasko" (MKZ) kullanılarak yapılmıştır.
- Zemin profili 2. adımda girilir. Analiz kapsamında yüzeyden itibaren 50m için bir zemin profili tanımlanmıştır. İlk 30m için düzenlenen ortalama kayma dalgası hızı, seçilen yerel zemin sınıfına uygun olmalıdır. Deprem ZB sınıfına uygun seçildiğinden, anakaya da (Bedrock) ZB'ye uygun seçilmiştir. Anakaya parametreleri şekil 3.24'te verilmiştir.
- Düzenlenecek deprem kayıtları seçilir. Şekil 3.25'te seçilen kayıtların DEEPSOIL programına nasıl girildiği görülebilir.

- Sönüm tanımları girilecektir. Sönüm matrisi frekanstan bağımsız olacak şekilde tanımlanmıştır ve sönümleme matrisi güncellemeyecektir.
- Tanımlanan tüm deprem kayıtları seçilmeli ve analizler her biri için gerçekleştirilmelidir. Şekil 3.26'da seçilen yöntemler ve parametre kabulleri görülebilir. Sadece zemin yüzeyi için elde edilen deprem kayıtları alınacaktır.

DEEPSOIL analizi, burada belirtilenden farklı yöntemler ile de yapılabilir. Ancak özellikle lineer olamayan analizin tercih edilmesi önerilir.

Şekil 3.24 : DEEPSOIL anakaya zemin parametreleri.

Şekil 3.25 : Analiz kapsamında seçilen 7 deprem kaydının DEEPSOIL'e girilmesi (Şekilde "20170720223109_4809_H1.AT2" deprem ivmesi girilmiştir).

- ☐ ChiChi
- ☐ Coyote
- ☒ DD1X_20170720223109_4809_H1
- ☒ DD1X_20230206011734_2703_H1
- ☒ DD1X_20230206011734_4613_H1
- ☒ DD1X_20230206102447_4406_H1
- ☒ DD1X_RSN3954_TOTTORI_SMNH10NS
- ☒ DD1X_RSN6928_DARFIELD_LPCCN80E
- ☒ DD1X_RSN6949_DARFIELD_PEECN11W
- ☐ ImperialValley
- ☐ Kobe
- ☐ Kocaeli
- ☐ LomaGilroy
- ☐ LomaGilroy2
- ☐ MammothLake
- ☐ Nahanni
- ☐ Northridge
- ☐ Northridge2
- ☐ Parkfield
- ☐ WhittierNarrows

Şekil 3.26 : Tanımlanan ve seçilen deprem kayıtları.

Analizlerin tamamlanması sonrası, oluşturulan tüm ivme zaman grafikleri excele aktarılır. DEEPSOIL analizi ZC için tamamlandıktan sonra, ZD ve ZE yerel zemin sınıfları için tanımlanan zemin profilleri için de yapılacaktır.

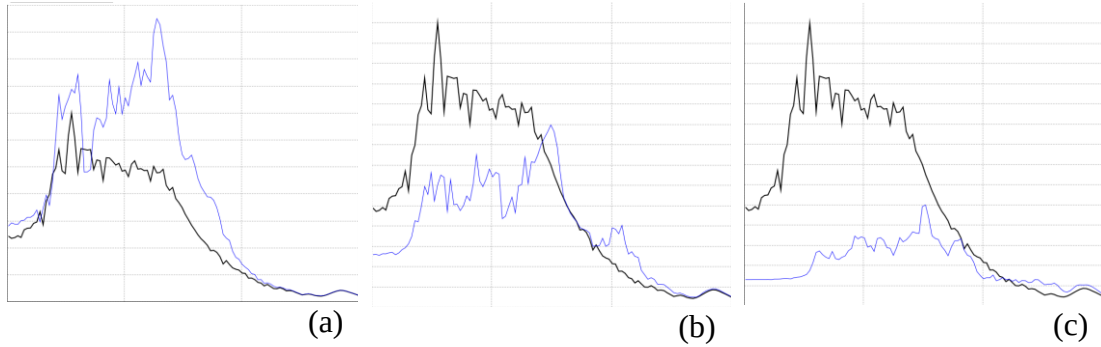
DEEPSOIL analizinde önemli hususlardan biri, tanımlanan zemin profillerinin doğal titreşim periyodu ve dolayısıyla rezonansın nerede gerçekleştiğidir. Ortalama kayma dalgası hızının düşmesiyle birlikte, zemin profillerinin birim hacim ağırlıklarının da düşmesi beklenir. Dolayısıyla periyotları da artar. Bu durumda en düşük periyot ZC'de, en yüksek periyot ZE'de görülecektir. Çizelge 3.3'de kullanılan zemin profillerinin doğal titreşim periyotları belirtilmiştir.

Çizelge 3.3: Zemin profillerinin doğal titreşim periyotları.

Yerel Zemin Sınıfı	Doğal Titreşim Periyodu T _n (sn)
ZC	0.5225
ZD	0.8329
ZE	1.3480

Çizelge 3.3'den de görüleceği üzere, zemin sınıfının zayıflaşmasıyla beraber, zemin periyodu artmaktadır. Aynı zamanda, rezonansın gerçekleşeceği periyot değeri de değişmektedir. Dolayısıyla tepki spektrumlarında gerçekleşen en büyük değişim, farklı periyot değerlerinde meydana gelir. Şekil 3.27'de "20170720223109_4809_H1.AT2" kaydı için yapılan düzeltmeler görülebilir. Siyah

grafik orijinal ZB zemin sınıfı için hesaplanan tepki spektrumunu, mavi grafik ise kullanılan zemin sınıfı için hesaplanan tepki spektrumunu göstermektedir.



Şekil 3.27 : DEEPSOIL tepki spektrumunun farklı yerel zemin sınıfları için elde edilmesi : (a)ZC. (b) ZD. (c)ZE.

Şekil 3.27'den görülebileceği üzere, yerel zemin sınıfının zayıflamasıyla beraber tepki spektrumunda büyümenin meydana geldiği periyot noktası değişmektedir. ZC için bu en düşük periyot değerine denk gelirken, ZE için en yüksek periyot değerine denk gelmiştir. Yapının doğal titreşim periyodunun (T_n) 0.74sn olduğu bilindiğinden, en yüksek tepki değerlerinin ZC için temin edilen deprem kayıtlarından geleceği tahmin edilebilir. Analizler sonrası bu durum kontrol edilecektir.

Şekil 3.27'de görülen spektral ivme değerleri ve tüm diğer deprem kayıtlarına ait spektral ivme değerleri detaylı olarak "EK A" bölümünde görülebilir.

3.3.3 İvme-zaman verilerinin deplasman-zaman verilerine dönüştürülmesi

İvme değerlerinin deplasman değerlerine dönüştürülmesi için birçok yöntem kullanılabilir. Bu yöntemlerin bazıları şu şekilde özetlenebilir:

- Deplasman-zaman verileri SAP2000'den alınabilir.
- Seçilen herhangi bir doğrudan entegrasyon yöntemiyle bulunabilir.
- Herhangi bir deprem veritabanından bulunabilir.

Burada bahsedilen son yöntemin, tez kapsamında kullanılması mümkün değildir. Herhangi bir deprem veritabanı, kaydedilen depremin meydana geldiği zeminin ortalama kesme dalgası hızına göre deplasman kaydı verecektir. Dolayısıyla ZB zemin sınıfı için alınan ivme kaydının, deplasman kaydı da ZB olacaktır. Bu yöntem üniform deprem yer kaydının olduğu durumlarda kullanılabilir.

3.3.3.1 Deplasman-zaman verilerinin SAP2000'den bulunması

Tez kapsamında ilk yöntem olan, deplasman-zaman verilerinin SAP2000'den alınması yöntemi kullanılmıştır. Ancak 2. yöntem olan doğrudan entegrsayon yöntemi de gösterilecektir.

Tezin Bölüm 2.3.1.2'de belirtilen zaman tanım alanında deplasman analizinin detayları göz önünde bulundurulmalıdır. Dolayısıyla analizde esas alınan zaman aralıkları, deprem kaydının sahip olduğu zaman aralıklarından daha küçük olmalıdır. Önerilen, iki zaman aralığı arasındaki oranın 1/10 kadar olmasıdır (Ondrej, 2014). Tez kapsamında analizleri hızlandırmak maksadıyla bu oran 1/5 olarak alınmıştır.

"20170720223109_4809_H1.AT2" kaydı için yapılacak olan deplasman-zaman analizlerinin çıkartılması işlemi, analiz aşamalarının gösterilmesi için tezin bu bölümünde yapılacaktır. Tüm kayıtları için yapılan ve alınan deplasman-zaman grafikleri EK A bölümünde görülebilir.

Seçilen deprem kaydı 0-40.94sn arasında, 0.01sn zaman aralıklarıyla meydana gelmiştir. Dolayısıyla 4095 adet ivme ve zaman verisi bulunmaktadır. Bu zaman aralığı değeri 0.002sn olması durumunda (1/5 oranından dolayı), 20471 adet ivme ve zaman verisi olacaktır. Deprem kaydının son saniyesine göre, istenilen zaman aralığı için kaç adet verinin olduğu şekil 3.28'de verilen MATLAB koduyla bulunabilir.

```
x1 = 0:0.01:40.94;  
  
x2 = 0:0.002:40.94;  
  
length(x1)  
length(x2)
```

Şekil 3.28 : İvme-zaman verisi için veri sayısı hesabı.

Depreme ait zaman tanım alanında oluşturulan fonksiyon, SAP2000'e girilmelidir. Şekil 3.29'da "20170720223109_4809_H1.AT2" kaydının ZB zemini için tanımlanan deprem fonksiyonu görülebilir. İlgili deprem ivme kaydı, excelden doğrudan alınıp .txt dosyasına aktarılır. Dolayısıyla her satırda birer adet ivme verisi bulunur ve ayrıca ilk satır olan 0'ıncı satırdan başlanarak veriler aktarılır. Herhangi bir satır atlaması yapılmaz. Zamana aralığının deprem ilk olarak tanımlanırken, kayda ait zaman aralığı olarak belirlenmesi gerekmektedir.

Time History Function Definition

Function Name: TH-1

Function File:

File Name: C:\Users\lexon\OneDrive\Masaüstü\Adana Deprem Kayıtları\Deeepsoil ile Scale Edilmiş

Header Lines to Skip: 0

Prefix Characters per Line to Skip: 0

Number of Points per Line: 1

Convert to User Defined View File

Values are:

☐ Time and Function Values

☒ Values at Equal Intervals of 0.01

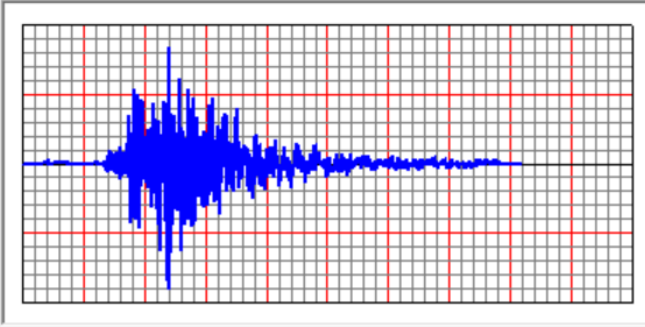
Format Type:

☒ Free Format

☐ Fixed Format

Characters per Item

Function Graph:



Display Graph

OK Cancel

Şekil 3.29 : SAP2000'de deprem ivme verilerinin girilmesi.

7 farklı deprem ve 4 farklı yerel zemin sınıfı için tanımlanan deprem kayıtları, SAP2000'de ayrı ayrı oluşturulmalıdır. Bu durumda 28 farklı zaman tanım alanında ivme analizi gerçekleştirilecektir. Tanımlanan tüm ZTA fonksiyonları "TH-1, TH-2,...,TH-28" olarak isimlendirilecektir. Bu fonksiyonlara ait deprem kayıtları ve yerel zemin sınıfları çizelge 3.4'te görülebilir.

Çizelge 3.4: Tanımlanan deprem fonksiyonları.

Fonksiyon İsmi	Kullanılan Deprem Kaydı	Yerel Zemin Sınıfı
TH-1	20170720223109_4809_H1.AT2	ZB
TH-2	20230206011734_2703_H1.AT2	ZB
TH-3	20230206011734_4613_H1.AT2	ZB
TH-4	20230206102447_4406_H1.AT2	ZB
TH-5	RSN3954_TOTTORI_SMNH10NS.AT2	ZB
TH-6	RSN6928_DARFIELD_LPCCN80E.AT2	ZB
TH-7	RSN6949_DARFIELD_PEECN11W.AT2	ZB
TH-8	20170720223109_4809_H1.AT2	ZC

Çizelge 3.4 (devam): Tanımlanan deprem fonksiyonları.

Fonksiyon İsmi	Kullanılan Deprem Kaydı	Yerel Zemin Sınıfı
TH-9	20230206011734_2703_H1.AT2	ZC
TH-10	20230206011734_4613_H1.AT2	ZC
TH-11	20230206102447_4406_H1.AT2	ZC
TH-12	RSN3954_TOTTORI_SMNH10NS.AT2	ZC
TH-13	RSN6928_DARFIELD_LPCCN80E.AT2	ZC
TH-14	RSN6949_DARFIELD_PEECN11W.AT2	ZC
TH-15	20170720223109_4809_H1.AT2	ZD
TH-16	20230206011734_2703_H1.AT2	ZD
TH-17	20230206011734_4613_H1.AT2	ZD
TH-18	20230206102447_4406_H1.AT2	ZD
TH-19	RSN3954_TOTTORI_SMNH10NS.AT2	ZD
TH-20	RSN6928_DARFIELD_LPCCN80E.AT2	ZD
TH-21	RSN6949_DARFIELD_PEECN11W.AT2	ZD
TH-22	20170720223109_4809_H1.AT2	ZE
TH-23	20230206011734_2703_H1.AT2	ZE
TH-24	20230206011734_4613_H1.AT2	ZE
TH-25	20230206102447_4406_H1.AT2	ZE
TH-26	RSN3954_TOTTORI_SMNH10NS.AT2	ZE
TH-27	RSN6928_DARFIELD_LPCCN80E.AT2	ZE
TH-28	RSN6949_DARFIELD_PEECN11W.AT2	ZE

Her bir ZTA fonksiyonun girilmesiyle beraber SAP2000'de her bir yükleme durumu (*load case*) oluşturulabilir. Yükleme durumlarının oluşturulmasında dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır:

- Her bir deprem kaydının m^2/sn birimine çevrilmesi için kayıtlar 9.81 ile çarpılmalıdır.
- Doğrudan entegrasyon yöntemi kullanılmalıdır. Entegrasyon yöntemi olarak herhangi bir yöntem seçilebilir (Tez kapsamında Hilber-Hughes-Taylor yöntemi kullanılmıştır).
- Sönüm oranı olarak 0.05 kullanılmıştır ($\xi = \%5$).
- Lineer analiz kullanılmıştır.

Şekil 3.30'da "20170720223109_4809_H1.AT2" kaydının ZB zemini için tanımlanan yükleme durumu görülebilir. Tanımlanan deprem kaydı fonksiyonu çizelge 3.4'te "TH-1" olarak isimlendirilmiştir. Bu kayıtlarla beraber 27 ayrı deprem kaydı için aynı şekilde gerekli yükleme durumları oluşturulmalıdır.

Load Case Data - Linear Direct Integration History

Load Case Name: TH-Case1 Notes:

Load Case Type: Time History

Stiffness to Use: ☒ Zero Initial Conditions - Unstressed State ☐ Stiffness at End of Nonlinear Case
 Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

Modal Load Case: Use Modes from Case: MODAL

Analysis Type: ☒ Linear ☐ Nonlinear Time History Type: ☐ Modal ☒ Direct Integration

Time History Motion Type: ☒ Transient ☐ Periodic

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	TH-1	9.81
Accel	U1	TH-1	9.81

☐ Show Advanced Load Parameters

Time Step Data

Number of Output Time Steps: 20471

Output Time Step Size: 2.000E-03

Other Parameters

Damping:

Time Integration:

Şekil 3.30 : SAP2000'de TH-1 fonksiyonu için oluşturulan yükleme durumu.

Oluşturulan her bir yükleme durumuna "TH-Case" ismi verilmiş ve ismin sonuna onu oluşturan ivme fonksiyonunun numarası verilmiştir. Yükleme durumu için tanımlanması gereken sönüm oranları şekil 3.31'de gösterilmiştir.

 Mass and Stiffness Proportional Damping

Damping Coefficients

☐ Direct Specification

☒ Specify Damping by Period

☐ Specify Damping by Frequency

	Period	Frequency	Damping
First	0.7486		0.05
Second	0.1497		0.05

Mass Proportional Coefficient:

Stiffness Proportional Coefficient:

Şekil 3.31 : SAP2000'de ZTA ivme analizi için tanımlanan sönüm oranları.

Hilber-Hughes-Taylor yöntemi kapsamında, kullanılan α katsayısının 0 alınmasıyla birlikte aslında sabit ortalama ivme yöntemi kullanılır (Ondrej, 2022). Dolayısıyla Newmark yöntemi seçilerek, $\gamma = 0.5$ ve $\beta=0.25$ alınarak da analizler gerçekleştirilebilir. Şekil 3.32'de girilen entegrasyon parametreleri görülebilir.

Time Integration Parameters

Method

☐ Newmark

☐ Wilson

☐ Collocation

☒ Hilber - Hughes - Taylor

☐ Chung and Hulbert

Gamma

Beta

Theta

Gamma

Beta

Theta

Gamma

Beta

Alpha

Gamma

Beta

Alpha

Alpha-m

OK

Cancel

Şekil 3.32 : Tanımlanan entegrasyon parametreleri.

Her bir yükleme durumunun oluşturulmasından sonra analizler yapılabilir. Analizlerin tamamlanmasının ardından deplasman-zaman verileri alınacaktır. Bu işlem için SAP2000'de bulunan "Show Plot Functions" sekmesi kullanılabilir. Deplasman verilerinin, yapının sabit olarak bağlandığı bir noktadan alınması gerekmektedir. Dolayısıyla yapının ankastre mesnetle bağlandığı bir noktası seçilebilir. Bu nokta kenar ayaklarda veya orta ayakların temelle temas ettiği nokta olarak tanımlanabilir.

Noktanın belirlenmesiyle beraber, buradaki toplam deplasman (absolute displacement) verileri çekilecektir. Yapının ankastre mesnet noktaları rölatif olarak deplasman yapmadıkları için, rölatif deplasman-zaman verileri her zaman aralığı için 0 olarak gelecektir. Tez kapsamında kullanılan modelde, 2. orta ayak kolonunun ankastre mesnetle bağlandığı nokta "Joint2" olarak adlandırılmıştır. Şekil 3.33 ve şekil 3.34'te seçilen nokta için tanımlanan grafik fonksiyonu ve grafiğin şekli görülebilir.

Joint Plot Function

Plot Function Name: Joint2

Joint ID: 2

Vector Type:

☐ Displ ☒ Abs Displ

☐ Vel ☐ Abs Vel

☐ Accel ☐ Abs Accel

☐ Reaction

Mode Number:

☒ Include all

☐ Include one

Component:

☒ UX ☐ RX

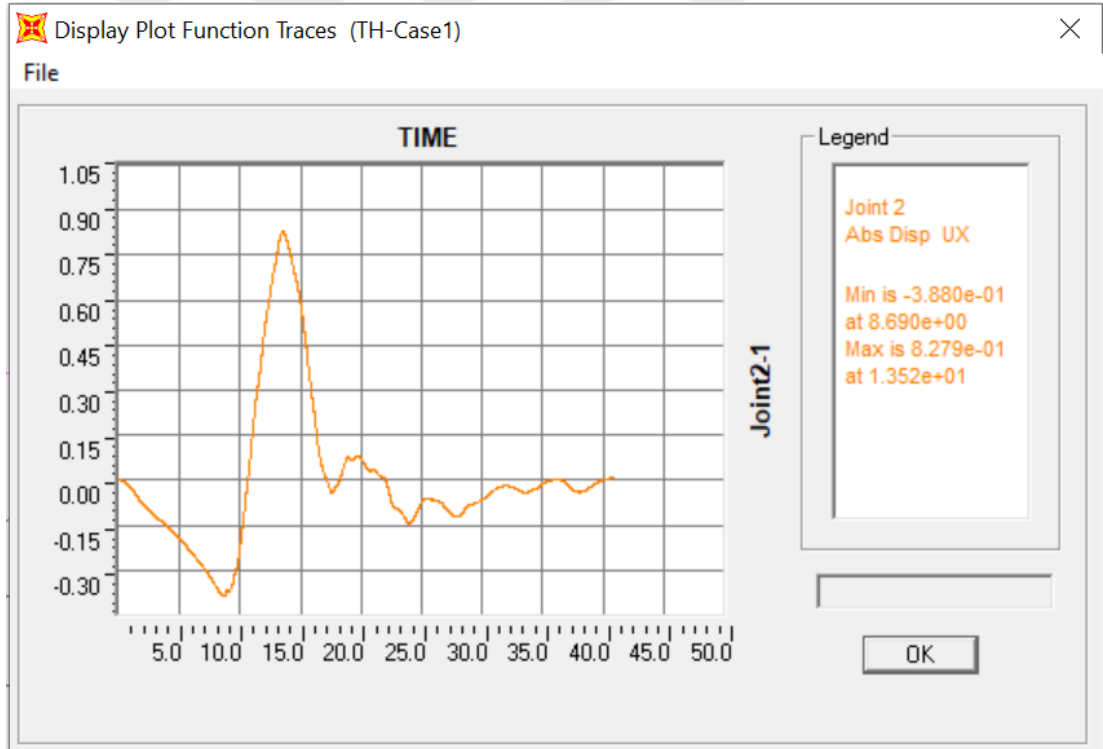
☐ UY ☐ RY

☐ UZ ☐ RZ

OK

Cancel

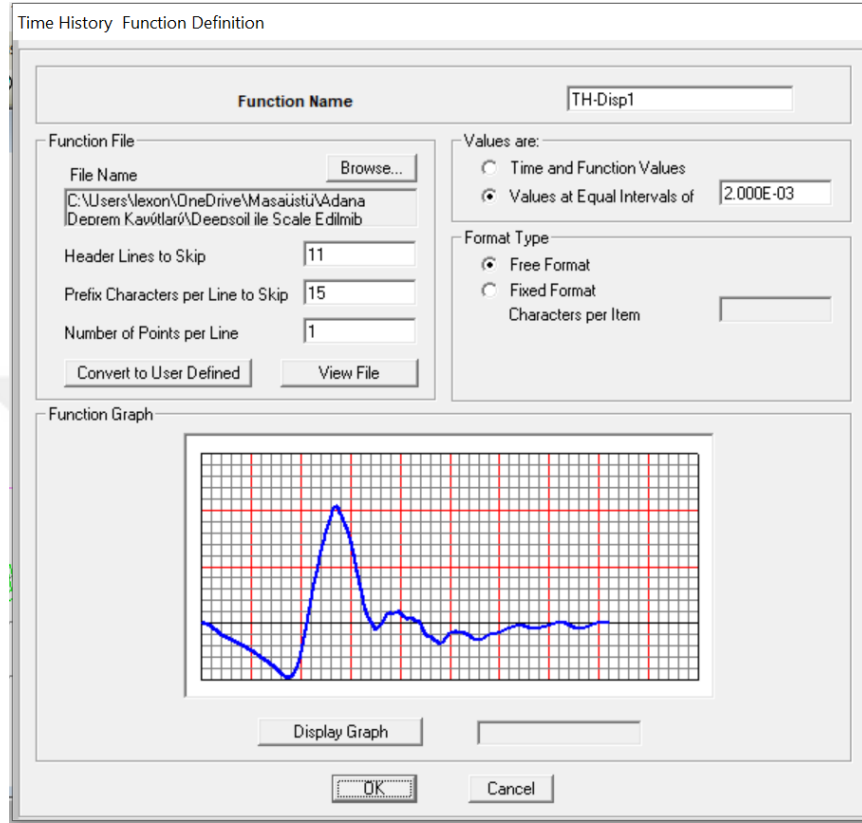
Şekil 3.33 : Tanımlanan nokta grafik fonksiyonu.



Şekil 3.34 : TH-Case1 için görüntülenenen deplasman-zaman grafiği.

Deplasman-zaman grafiğinin görüntülenmesiyle beraber, "File" bölümünden deplasman-zaman verileri bir .txt dosyası olarak dışarı aktarılabilir. Bu işlem tanımlanan her 28 yükleme durumu için yapılacaktır. Oluşturulan .txt dosyaları "1","2","3",..., "28" olarak isimlendirilmiştir.

Dışarı aktarılan dosyalarda deplasman verileri 12. satırdan itibaren girilmiştir. Ayrıca her değer tek bir sütuna yazdırılmış ve en dıştaki değer 15. sütundan itibaren yazılmıştır. SAP2000'de tanımlanan her bir deplasman-zaman fonksiyonu, bu koşulların göz önünde bulundurulması şartıyla şekil 3.35'te olduğu gibi tanımlanabilir.



Şekil 3.35 : TH-Case1'den elde edilen deplasman değerlerinin SAP2000'de tanımlanması.

Her bir ZTA deplasman fonksiyonunun tanımlanmasıyla beraber analizler gerçekleştirilebilir. İvme analizlerinde olduğu gibi 28 farklı ZTA fonksiyonunun oluşturulması gerekir.

3.3.3.2 Deplasman-zaman verilerinin entegrasyonla bulunması

Bu işlem, DEEPSOIL vasıtasıyla oluşturulan excel dosyalarından, her zemin profilinin en üst seviyesinden alınan ivme kayıtlarının kullanılması, ve bunların deplasman zaman verilerine dönüştürülmesiyle yapılabilir. Veriler önce hız, daha sonra da deplasman değerlerine dönüştürülmelidir. Yapılan işlemler için MATLAB kullanılabilir. Şekil 3.36'da ve şekil 3.37'de excel dosyasının görünümü ve kullanılan kod görülebilir:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Time (s)	Accelerati	Strain (%)	Shear Stre	Shear Stre	Arias inter	Housner Intensity	m	Period (se	PSA (g)		Frequency	Fourier Ar	Fourier Amplitude R	
2	0	0	0	0	0	0	0		0.01	0.551866		0.006104	2.56E-05	0.5496	
3	0.01	-7.9E-06	-2.4E-09	-6E-07	-5.5E-06	9.51E-12	8.75E-07		0.010641	0.561949		0.012207	0.000557	0.961379	
4	0.02	-1.9E-05	-1.6E-08	-3.9E-06	-3.6E-05	6.79E-11	1.77E-06		0.011323	0.558932		0.018311	0.002518	0.998242	
5	0.03	-3.5E-05	-3.1E-08	-7.6E-06	-7.1E-05	2.6E-10	2.09E-06		0.01205	0.566885		0.024414	0.006682	0.999188	
6	0.04	-5.6E-05	-2.8E-08	-6.9E-06	-6.5E-05	7.49E-10	2.18E-06		0.012822	0.582354		0.030518	0.013206	0.998127	
7	0.05	-8.8E-05	7.09E-09	1.77E-06	1.65E-05	1.94E-09	2.25E-06		0.013644	0.589447		0.036621	0.021526	0.997957	
8	0.06	-0.00015	1.49E-07	3.72E-05	0.000346	5.43E-09	3.3E-06		0.014519	0.56638		0.042725	0.03077	0.998643	
9	0.07	-0.0004	9.92E-07	0.000248	0.002309	2.96E-08	9.46E-06		0.01545	0.631687		0.048828	0.040233	0.999599	
10	0.08	-0.00146	5.09E-06	0.001271	0.011842	3.6E-07	2.41E-05		0.016441	0.655755		0.054932	0.049414	1.000179	
11	0.09	-0.00446	1.7E-05	0.00423	0.039422	3.43E-06	6.95E-05		0.017495	0.581343		0.061035	0.057707	1.000133	
12	0.1	-0.00866	3.39E-05	0.00844	0.078657	1.5E-05	0.000201		0.018616	0.680833		0.067139	0.064482	0.999749	
13	0.11	-0.00987	3.9E-05	0.009724	0.090632	3E-05	0.000484		0.01981	0.859265		0.073242	0.069874	0.999542	
14	0.12	-0.00767	3.04E-05	0.007566	0.070515	3.9E-05	0.000925		0.02108	0.701806		0.079346	0.07534	0.99979	
15	0.13	-0.00728	2.88E-05	0.007168	0.066804	4.72E-05	0.001468		0.022432	0.763474		0.085449	0.082672	1.000232	
16	0.14	-0.00761	3.02E-05	0.007518	0.070069	5.61E-05	0.002082		0.02387	0.926714		0.091553	0.091986	1.000422	
17	0.15	-0.00687	2.73E-05	0.006792	0.063297	6.34E-05	0.002757		0.025401	0.9744		0.097656	0.101366	1.000318	
18	0.16	-0.00653	2.59E-05	0.006459	0.0602	7E-05	0.003475		0.027029	1.130104		0.10376	0.108681	1.000177	
19	0.17	-0.00604	2.4E-05	0.005966	0.055607	7.56E-05	0.004226		0.028762	1.233392		0.109863	0.113407	1.000217	
20	0.18	-0.00572	2.26E-05	0.005639	0.052559	8.06E-05	0.004999		0.030607	1.465361		0.115967	0.117098	1.000483	
21	0.19	-0.00576	2.28E-05	0.005673	0.052876	8.57E-05	0.005788		0.032569	1.714913		0.12207	0.122221	1.0008	
22	0.2	-0.00577	2.28E-05	0.005686	0.052996	9.09E-05	0.006591		0.034657	1.601859		0.128174	0.129762	1.000935	

Şekil 3.36 : Excelde bulunan veriler.

Şekil 3.36'da verildiği gibi, zeminde meydana gelen ivme değerleri "B" sütununda bulunmaktadır. Aynı zamanda oluşturulacak olan deplasman-zaman verileri için, zaman aralığının 1/5'i alınarak devam edilecektir. Dolayısıyla 0.01sn olan zaman aralığı 0.002sn olarak alınacaktır.

```

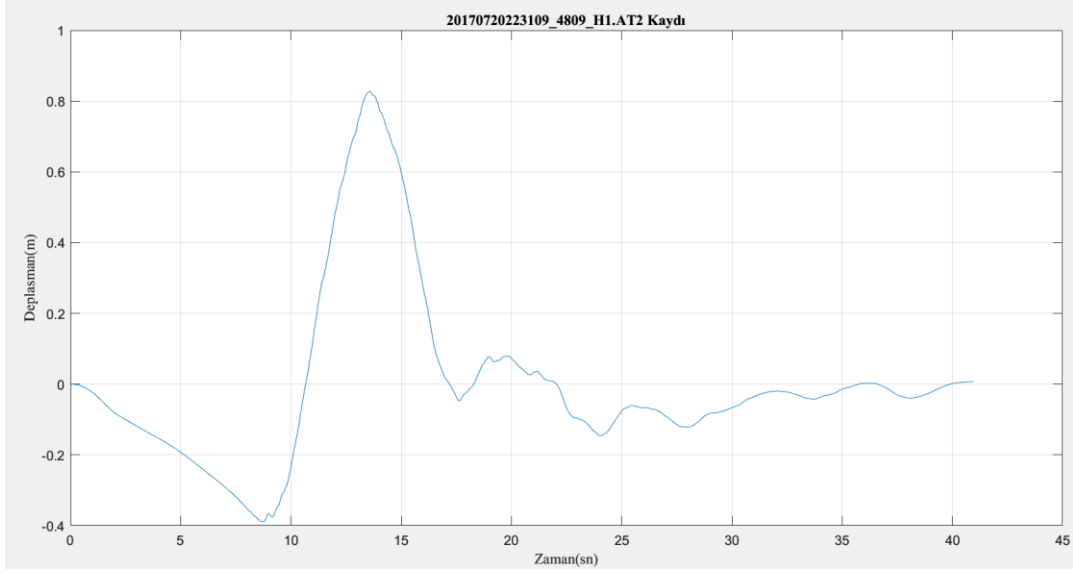
Acc = xlsread("Results_profile_0_motion_DD1_X_20170720223109_4809_H1.xlsx",1,"B2:B4096");
Acc = Acc.*9.81;
T1 = 0:0.01:40.94;
T1_new= 0:0.002:40.94;
h = 0.002;
new_Acc=interp1(T1,Acc,T1_new,"linear");
Vel = [];
Vel(1) = 0;
Disp= [];
Disp(1) = 0;

for i=1:20470
    Vel(i+1)=Vel(i)+h/2*(new_Acc(i)+new_Acc(i+1));
    Disp(i+1) = Disp(i)+h*Vel(i)+h^2/4*(new_Acc(i)+new_Acc(i+1));
end
plot(T1_new,Disp)
xlabel('Zaman(sn)','FontName','Times');
ylabel('Deplasman(m)','FontName','Times');
title('20170720223109\4809\H1.AT2 Kaydı','FontName','Times');
grid on;

```

Şekil 3.37 : Oluşturulan MATLAB kodu.

Şekil 3.37'de görüldüğü üzere, öncelikle ivme-zaman verileri 0.002sn zaman aralığı için tekrar oluşturulmalıdır. Bunun için linear interpolasyon yöntemi kullanılmıştır. Hız ve deplasman verilerinin oluşturulması için denklem 2.12 ve denklem 2.13'den yararlanılmıştır. Şekil 3.38'de, MATLAB yardımıyla çıkartılan deplasman-zaman grafiği görülebilir.



Şekil 3.38 : TH-Case1'den elde edilen deplasman-zaman grafiği.

Şekil 3.38 ile şekil 3.34'te görülen deplasman-zaman grafiklerinin, birbiriyle aynı olduğu görülebilir.

Tüm deplasman-zaman verilerinin çıkartılması ve SAP2000'e girilmesiyle birlikte deplasman-zaman analizleri, farklı yerel zemin kombinasyonları için gerçekleştirilebilir.

3.3.4 SAP2000'de ZTA'da ivme ve deplasman analizleri

Tüm deprem kayıtları için ZTA'da deplasman değerlerinin elde edilmesiyle, farklı yerel zemin koşullarının köprü boyunca bulunması durumunda analizler gerçekleştirilebilir. Analizler kapsamında 3 farklı durum incelenecektir:

- Üniorm deprem yer hareketi durumunda ZTA'da ivme ve deplasman analizlerinin oluşturacağı sonuçlar.
- TKDY Bölüm 3.9.3'e göre, DZE'nin bulunduğu ve deprem yer hareketinin üniorm alınabildiği zemin kombinasyonları ile bu kombinasyonlarda en zayıf yerel zeminin kullanılmasıyla birlikte hesaplanan üniorm deprem yer hareketinin oluşturacağı sonuçlar
- TKDY Bölüm 3.9.3'e göre, DZE'nin bulunduğu ve deprem yer hareketinin üniorm alınamadığı zemin kombinasyonları ile bu kombinasyonlarda en zayıf yerel zeminin kullanılmasıyla birlikte hesaplanan üniorm deprem yer hareketinin oluşturacağı sonuçlar.

Analizler kapsamında incelenecek olan yerel zemin kombinasyonları çizelge 3.5'te görülebilir. İncelenen yerel zemin kombinasyonlarında bulunan en zayıf zeminler ZD ve ZE yerel zemin sınıflarıdır. Dolayısıyla bu durumların da üniform deprem yer hareketi olarak incelenmesi gerekir.

Çizelge 3.5: Köprü boyunca bulunan yerel zemin kombinasyonları.

Zemin Durumu	İncelenen Yerel Zemin Kombinasyonları
Üniform	Sadece ZB
	Sadece ZC
	Sadece ZD
	Sadece ZE
Üniform Alınabilenler	ZBZCZDZC
	ZBZDZDZB
	ZCZDZDZC
	ZDZEZEZD
Üniform Alınamayanlar	ZBZEZDZC
	ZBZEZEZB
	ZCZEZEZC
	ZDZEZEZC

Tez kapsamında 2 farklı üniform deprem yer hareketi durumu, 4 farklı DZE'nin bulunduğu fakat üniform deprem yer hareketi kabulünün mümkün olduğu ve 4 farklı DZE'nin bulunduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün mümkün olmadığı toplamda 10 farklı durum incelenecektir. Köprüde 2 kenar ayak ve 2 orta ayak olmak üzere 4 farklı ayak bulunmaktadır. Dolayısıyla çizelge 3.5'te verilen zemin kombinasyonlarında, maksimum 4 farklı yerel zemin sınıfı yazılabilir.

Çizelge 3.4'te görülen deprem yer kayıtlarının her biri için, fonksiyon isminde yer alan numaraya denk gelecek şekilde ivme ve deplasman yükleme durumu oluşturulmuştur. Örneğin, TH-1 fonksiyonu için oluşturulan ivme yükleme durumu "TH-Case1", deplasman yükleme durumu "TH-Disp1" şeklinde oluşturulmuştur. Toplamda 28 farklı fonksiyon bulunduğundan 28 farklı ivme-zaman ve deplasman-zaman yükleme durumunun oluşturulması gerekmektedir.

Bu bölümde yapılacak olan analizlerin her birinin gösterilmesi oldukça fazla yer kaplayacağından, üniform deprem yer hareketi analizi ve değişken deprem yer hareketi analizi için birer örnek yapılacaktır. Analizler sonucunda üç farklı sonuç incelenecektir. Bunlar:

- Elastomer mesnetlerde oluşan deformasyonlar.
- Orta ayaklarda oluşan kesme kuvveti.
- Orta ayaklarda oluşan momentler.

3.3.4.1 Üniform deprem yer hareketi için yapılan ZTA analizleri

Üniform deprem yer hareketi için ZTA'da ivme analizinin yapılması mümkündür. Çizelge 3.5'te görüleceği üzere, üniform deprem yer hareketi için 2 farklı durum incelenecektir. Bunlar, köprü boyunca sadece ZD yerel zemin sınıfının bulunması ve sadece ZE yerel zemin sınıfının bulunması durumlarıdır. TKDY Bölüm 2.5.1.3 kapsamında, 7 farklı deprem kaydı inceleneceğinden, 14 farklı ZTA'da ivme analizinin yapılması gerekmektedir. Şekil 3.39'da "Sadece ZD" durumu için tanımlanan yükleme durumu gösterilmektedir. Yükleme durumu için, "20170720223109_4809_H1.AT2" deprem yer kaydının ZD yerel zemin sınıfı için hesaplanmış değerleri kullanılmıştır. Dolayısıyla yer kaydı fonksiyonu olarak çizelge 3.4'te verilen TH-15 fonksiyonu kullanılmıştır.

Load Case Data - Linear Direct Integration History

Load Case Name: TH-Case15 [Set Def Name] Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: Time History [Design...]

Stiffness to Use:

- ☒ Zero Initial Conditions - Unstressed State
- ☐ Stiffness at End of Nonlinear Case []

 Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

Analysis Type:

- ☒ Linear
- ☐ Nonlinear

 Time History Type:

- ☐ Modal
- ☒ Direct Integration

Time History Motion Type:

- ☒ Transient
- ☐ Periodic

Model Load Case: [MODAL] Use Modes from Case: [MODAL]

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	TH-15	9.81
Accel	U1	TH-15	9.81

[Add] [Modify] [Delete]

☐ Show Advanced Load Parameters

Time Step Data:

- Number of Output Time Steps: 20471
- Output Time Step Size: 2.000E-03

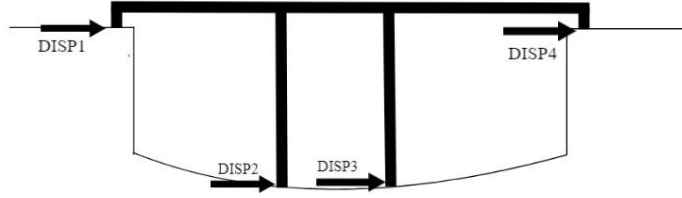
Other Parameters:

- Damping: Proportional Damping [Modify/Show...]
- Time Integration: Hilber-Hughes-Taylor [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Şekil 3.39 : 20170720223109_4809_H1.AT2 deprem kaydının, ZD yerel zemini için tanımlanan yükleme durumu.

Aynı yükleme durumu, ZTA'da deplasman analizinin kullanılmasıyla da yapılabilir. Öncelikle her bir ayakta, ayrı ayrı birim deplasmanların tanımlandığı yükleme durumları oluşturulmalıdır. Şekil 3.40'da bu durum görülebilir.



Şekil 3.40 : Her bir ayağa etki ettirilen deplasman yükleri.

Şekil 3.40'da verilen ve her biri "DISP" olarak adlandırılan yükler, birim deplasman yükleridir. Her biri, uygulandığı mesnet noktasında 1m'lik bir deplasmana neden olmaktadır ($DISP1=DISP2=DISP3=DISP4=1m$). Ayrıca hepsi için ayrı bir yükleme durumunun oluşturulması ve hepsinin aynı yükleme durumunda oluşturulmaması gerekmektedir. Her bir ayakta farklı bir deplasman oluşması durumunda deprem yer deplasman değerleri, o ayakta birim deplasmanın yaptığı etki ölçüsünde yapıda bir etkiye neden olmaktadır. Şekil 3.41'de "20170720223109_4809_H1.AT2" deprem kaydının, ZD yerel zemini için hesaplanan deplasman-zaman verilerinin kullanılarak oluşturulduğu yükleme durumu gösterilmiştir. Çizelge 3.4'te verilen TH-15 fonksiyonunun neden olduğu deplasman zaman verileri kullanılmalıdır.

Load Case Data - Linear Direct Integration History

Load Case Name: TH-Disp-Case1 [Set Def Name] Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: Time History [Design...]

Stiffness to Use: ☒ Zero Initial Conditions - Unstressed State ☐ Stiffness at End of Nonlinear Case []

Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

Modal Load Case: Use Modes from Case [MODAL]

Analysis Type: ☒ Linear ☐ Nonlinear Time History Type: ☐ Modal ☒ Direct Integration

Time History Motion Type: ☒ Transient ☐ Periodic

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Load Pattern	DISP4	TH-Disp15	1.
Load Pattern	DISP1	TH-Disp15	1.
Load Pattern	DISP2	TH-Disp15	1.
Load Pattern	DISP3	TH-Disp15	1.
Load Pattern	DISP4	TH-Disp15	1.

☐ Show Advanced Load Parameters

Time Step Data: Number of Output Time Steps: 20471 Output Time Step Size: 2.000E-03

Other Parameters: Damping: Proportional Damping [Modify/Show...] Time Integration: Hilber-Hughes-Taylor [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Şekil 3.41 : ZTA'da tanımlanan deplasman-zaman analizi yükleme durumu.

Şekil 3.41'de görüleceği üzere, tanımlanan her bir birim deplasman yükü (DISP1, DISP2, DISP3 ve DISP4), o ayağa tekabül eden deplasman-zaman verisiyle çarpılmıştır.

Üniform deprem yer hareketi için ZTA analiz bu şekilde yapılmalıdır. Şekil 3.39 ve şekil 3.41'de, sırasıyla ZTA'da ivme ve deplasman analizlerinin üniform deprem yer hareketi durumu için tanımlan yüklem durumları gösterilmiştir. Bu yüklem durumlarının sadece "20170720223109_4809_H1.AT2" kaydı için yapıldığı ve bu kaydın ZD yerel zemin sınıfı için tadil edilen hâlinin kullanıldığı unutulmamalıdır. Dolayısıyla üniform deprem yer hareketi analizlerinin, hem ZTA'da ivme, hem de ZTA'da deplasman yöntemi kullanılarak yapılması için:

- Daha önceden tanımlanan her 7 deprem kaydı da kullanılmalıdır.
- 7 deprem kaydının, ZD ve ZE yerel zeminleri için edinilen değerlerin kullanılması gerekmektedir.

Dolayısıyla ZTA'da ivme analizi için daha önceden tanımlanan, "TH-Case15" ve "TH-Case28" de dahil ve aralarındaki tüm yüklem durumlarının kullanılması gerekmektedir. 14 farklı ZTA'da ivme analizi gerçekleştirilecektir. ZTA'da deplasman analizi için ise, daha önceden oluşturulan 14 farklı deplasman-zaman verisi kullanılacaktır. Bu veriler, ivme-zaman verilerinin ortalama ivme yöntemi vasıtasıyla dönüştürülmesiyle oluşturulmuştur. Aynı şekilde 14 farklı ZTA'da deplasman analizinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Çizelge 3.5'te görülebileceği üzere, üniform alınabilen ve üniform alınamayan zemin kombinasyonlarında, en zayıf zemin sınıfının ZD ve ZE olduğu durumlar mevcuttur. Fakat farklı yerel zemin sınıflarının yapıda oluşturduğu etkiyi incelemek açısından, yerel zemin sınıfının üniform olarak ZB ve ZC olduğu durumlar da incelenmiştir. Sonuçlar bu durumlar için de karşılaştırılacaktır.

3.3.4.2 Değişken deprem yer hareketi için yapılan ZTA analizleri

Değişken deprem yer hareketinin olduğu durumlarda, her bir ayakta farklı bir ivme-zaman fonksiyonu oluşacağından, ZTA'da ivme analizi gerçekleştirilemez. Zaten tez kapsamında kullanılan yapı analiz programı SAP2000, sadece üniform deprem yer hareketinin bulunduğu durumda ZTA'da ivme analizini gerçekleştirebilir. Dolayısıyla bu bölümde sadece ZTA'da deplasman analizi incelenecektir.

Şekil 3.42'de, çizelge 3.5'te verilen "ZBZCZDZC" zemin kombinasyonu için tanımlanan yükleme durumu verilmiştir. Şekilde, tanımlanan yükleme durumu için her bir yerel zemin için analiz edilen "20170720223109_4809_H1.AT2" deprem kaydı kullanılmıştır.

Load Case Data - Linear Direct Integration History

Load Case Name: TH-Disp-Case1 Set Def Name Modify/Show...

Load Case Type: Time History Design...

Stiffness to Use: ☒ Zero Initial Conditions - Unstressed State Stiffness at End of Nonlinear Case

Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

Modal Load Case: Use Modes from Case: MODAL

Analysis Type: ☒ Linear ☐ Nonlinear Time History Type: ☒ Modal ☐ Direct Integration

Time History Motion Type: ☒ Transient ☐ Periodic

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Load Pattern	DISP1	TH-Disp1	1.
Load Pattern	DISP2	TH-Disp8	1.
Load Pattern	DISP3	TH-Disp15	1.
Load Pattern	DISP4	TH-Disp8	1.

☐ Show Advanced Load Parameters

Time Step Data: Number of Output Time Steps: 20471 Output Time Step Size: 2.000E-03

Other Parameters: Damping: Proportional Damping Modify/Show... Time Integration: Hilber-Hughes-Taylor Modify/Show...

OK Cancel

Şekil 3.42 : ZTA'da, ZBZCZDZC zemin kombinasyonu için tanımlanan yükleme durumu.

Şekil 3.42'de görüleceği üzere, aynı şekilde şekil 3.40'da verilen birim deplasman yükleri kullanılmıştır.

Bu bölümde sadece "20170720223109_4809_H1.AT2" deprem kaydının "ZBZCZDZC" yerel zemin kombinasyonu için tanımlanan yükleme durumu verilmiştir. Farklı yerel zemin kombinasyonları ve deprem yer hareketleri için analizler tekrarlanacaktır. Tüm analizler için göz önünde bulundurulması gereken veriler şu şekilde özetlenebilir:

- Çizelge 3.5'de verilen 8 farklı değişken zemin durumu incelenecektir.
- Daha önceden tanımlanan 28 farklı ZTA'da deplasman kayıtları kullanılacaktır.
- Her 7 deprem kaydının oluşturduğu deplasman-zaman verileri, her zemin kombinasyonu için ayrı ayrı kullanılacaktır.

Yukarıda verilen şartlar doğrultusunda, DZE'nin incelendiği durumlar için toplamda 56 farklı yükleme durumu oluşturulmalıdır.

3.3.5 Elde edilen bulgular

Bu bölüme kadar ZTA'nda ivme ve deplasman analizlerinin nasıl gerçekleştirildiği anlatılmıştır. Analizlerin tamamlanmasıyla beraber sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılabilir. TKDY Bölüm 5.5.5.9 ve TKDY Bölüm 4A.3.1.3 kapsamında, ZTA analiz sonuçları için kullanılan deprem yer kayıtlarının her birinden elde edilen sonuçların en büyük mutlak değerinin ortalaması alınacaktır. Yapılan karşılaştırmalar şu şekilde sıralanmıştır:

- Üniform deprem yer hareketi için, ZTA'da ivme ve deplasman analizlerinin karşılaştırılması.
- Değişken deprem yer hareketinin bulunduğu ve TKDY Bölüm 3.9.3'e göre üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabildiği durumda, yer hareketinin üniform ve değişken alındığı durumların karşılaştırılması.
- Değişken deprem yer hareketinin bulunduğu ve TKDY Bölüm 3.9.3'e göre üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamadığı durumda, yer hareketinin üniform ve değişken alındığı durumların karşılaştırılması.

3.3.5.1 ZTA'da ivme ve deplasman analizlerinin karşılaştırılması

Bu bölüme ZTA'da analiz kapsamında kullanılan iki farklı veri türü karşılaştırılacaktır. Bu veriler ivme-zaman ve deplasman-zaman kayıtlarıdır. Dolayısıyla iki verinin birbirleriyle uyumlu sonuçlar verip vermediği kontrol edilebilir.

Elastomer mesnet deformasyonları

Bu bölüme kadar ZTA'nda ivme ve deplasman analizlerinin nasıl gerçekleştirildiği anlatılmıştır. Analizlerin tamamlanmasıyla beraber sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılabilir. Köprü boyunca sadece ZB, sadece ZC, sadece ZD ve sadece ZE yerel zemin sınıflarının bulunması durumunda elde edilen ivme-zaman analizlerinin sonuçları çizelge 3.6'da görülebilir. Çizelge 3.6'da görülen her bir yükleme durumu isminde verilen numaralar, çizelge 3.4'te verilen fonksiyon isimlerinde geçen numaralardan alınmıştır. Çizelge 3.4'e bakılarak kullanılan deprem kaydı ve yerel zemin sınıfı görülebilir.

Çizelge 3.6: İvme zaman analizleri sonrası elde edilen elastomer mesnet deformasyonları (m).

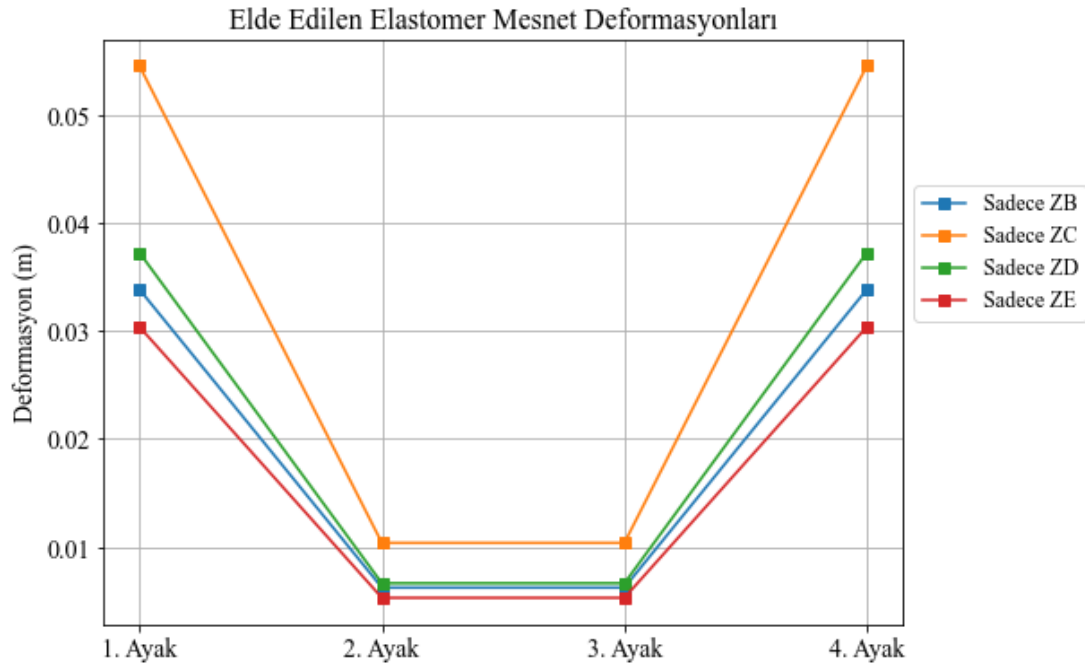
Yükleme durumu	1. Ayak	2. Ayak	3. Ayak	4. Ayak
TH-Case1	0.038161	0.006790	0.006789	0.038160
TH-Case2	0.033444	0.005848	0.005849	0.033442
TH-Case3	0.033031	0.006200	0.006199	0.033030
TH-Case4	0.033377	0.006203	0.006204	0.033377
TH-Case5	0.032370	0.006533	0.006533	0.032368
TH-Case6	0.033387	0.006061	0.006060	0.033385
TH-Case7	0.033083	0.005976	0.005977	0.033082
TH-Case8	0.056404	0.010740	0.010740	0.056402
TH-Case9	0.050627	0.008927	0.008927	0.050625
TH-Case10	0.056320	0.011322	0.011321	0.056319
TH-Case11	0.057972	0.010783	0.010788	0.057971
TH-Case12	0.053883	0.010918	0.010917	0.053880
TH-Case13	0.050745	0.009841	0.009840	0.050741
TH-Case14	0.055792	0.010071	0.010071	0.055792
TH-Case15	0.035755	0.006009	0.006009	0.035754
TH-Case16	0.044257	0.007727	0.007727	0.044255
TH-Case17	0.035510	0.006578	0.006578	0.035509
TH-Case18	0.038923	0.006790	0.006791	0.038921
TH-Case19	0.032275	0.006156	0.006156	0.032274
TH-Case20	0.038565	0.006899	0.006899	0.038563
TH-Case21	0.035397	0.006294	0.006294	0.035396
TH-Case22	0.031967	0.005341	0.005341	0.031966
TH-Case23	0.038788	0.006781	0.006782	0.038785
TH-Case24	0.028564	0.005023	0.005023	0.028564
TH-Case25	0.029589	0.005115	0.005115	0.029589
TH-Case26	0.026705	0.004777	0.004776	0.026704
TH-Case27	0.026822	0.004820	0.004820	0.026819
TH-Case28	0.030181	0.005164	0.005164	0.030180

Çizelge 3.6'da verilen değerlerin, her bir yerel zemin sınıfı ve her bir ayaktaki elastomer mesnetlerde oluşan deformasyonlar için ortalamaların alınmasıyla çizelge 3.7'deki veriler elde edilmiştir.

Çizelge 3.7: Elastomer mesnet deformasyonları için elde edilen ortalama değerler (m).

Yerel Zemin Sınıfı	1. Ayak	2. Ayak	3. Ayak	4. Ayak
ZB	0.03384	0.05454	0.03724	0.03037
ZC	0.00623	0.01037	0.00664	0.00529
ZD	0.00623	0.01037	0.00664	0.00529
ZE	0.03384	0.05453	0.03724	0.03037

Şekil 3.43'te, çizelge 3.7'de verilen değerlerin grafik hâli gösterilmiştir.



Şekil 3.43 : Farklı yerel zemin durumları için ivme analiziyle ayaklarda bulunan elastomer mesnetlerde meydana gelen deformasyonlar(m).

Elastomer mesnetlerde oluşan deformasyonlar, deplasman-zaman yüklemeleri için tekrar hesaplanacaktır. Çizelge 3.8'de kullanılan deplasman yükleme durumlarının sonuçları görülebilir.

Çizelge 3.8: Deplasman zaman analizleri sonrası elde edilen elastomer mesnet deformasyonları (m).

Yükleme durumu	1. Ayak	2. Ayak	3. Ayak	4. Ayak
TH-Disp-Case1	0.038780	0.006676	0.006675	0.038778
TH-Disp-Case2	0.033445	0.005872	0.005873	0.033443
TH-Disp-Case3	0.033224	0.006216	0.006214	0.033223
TH-Disp-Case4	0.032733	0.006105	0.006107	0.032731
TH-Disp-Case5	0.032913	0.006603	0.006604	0.032911
TH-Disp-Case6	0.033411	0.006244	0.006241	0.033409
TH-Disp-Case7	0.033098	0.006032	0.006033	0.033097
TH-Disp-Case8	0.057667	0.010842	0.010842	0.057664
TH-Disp-Case9	0.050774	0.008958	0.008957	0.050772
TH-Disp-Case10	0.056369	0.011295	0.011293	0.056368
TH-Disp-Case11	0.057898	0.010916	0.010920	0.057897
TH-Disp-Case12	0.053223	0.010934	0.010934	0.053219
TH-Disp-Case13	0.051181	0.010129	0.010128	0.051177
TH-Disp-Case14	0.055641	0.010068	0.010068	0.055641
TH-Disp-Case15	0.036614	0.006377	0.006377	0.036613
TH-Disp-Case16	0.044152	0.007729	0.007729	0.044150
TH-Disp-Case17	0.034842	0.006454	0.006454	0.034841
TH-Disp-Case18	0.039584	0.006922	0.006921	0.039581
TH-Disp-Case19	0.031839	0.006062	0.006062	0.031838

Çizelge 3.8 (devam): Deplasman zaman analizleri sonrası elde edilen elastomer mesnet deformasyonları (m).

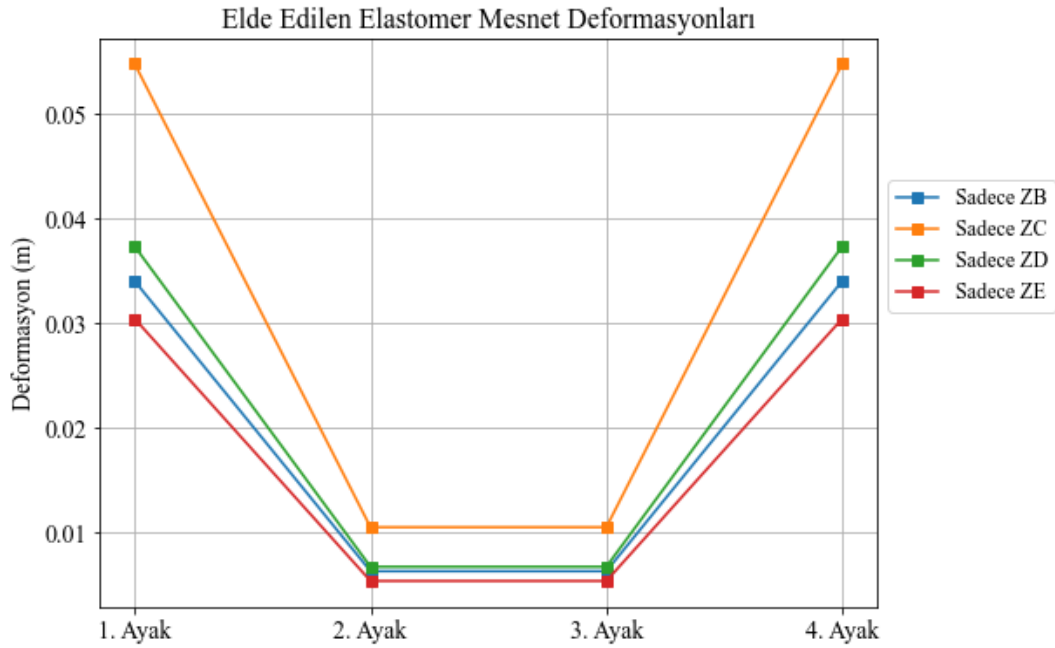
Yükleme durumu	1. Ayak	2. Ayak	3. Ayak	4. Ayak
TH-Disp-Case20	0.038392	0.006886	0.006885	0.038390
TH-Disp-Case21	0.035349	0.006303	0.006303	0.035348
TH-Disp-Case22	0.032433	0.005444	0.005445	0.032432
TH-Disp-Case23	0.039263	0.006861	0.006861	0.039261
TH-Disp-Case24	0.029069	0.005109	0.005108	0.029068
TH-Disp-Case25	0.029045	0.005131	0.005131	0.029045
TH-Disp-Case26	0.025575	0.004572	0.004572	0.025574
TH-Disp-Case27	0.026635	0.004866	0.004866	0.026633
TH-Disp-Case28	0.030430	0.005244	0.005244	0.030429

Her bir yerel zemin sınıfına ait kayıtların ortalaması çizelge 3.9'da görülebilir.

Çizelge 3.9: Elastomer mesnet deformasyonları için elde edilen ortalama değerler.

Yerel Zemin Sınıfı	1. Ayak	2. Ayak	3. Ayak	4. Ayak
ZB	0.03394	0.00625	0.00625	0.03394
ZC	0.05468	0.01045	0.01045	0.05468
ZD	0.03725	0.00668	0.00668	0.03725
ZE	0.03035	0.00532	0.00532	0.03035

Çizelge 3.9 ve çizelge 3.7'de görüleceği üzere, üniform deprem yer hareketi durumunda ZTA'da ivme ve deplasman analizleri oldukça benzer sonuçlar vermektedir. Şekil 3.44'te, çizelge 3.9'da verilen değerlerin grafik hâli gösterilmiştir.

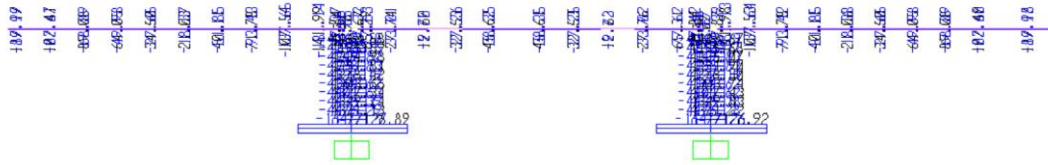


Şekil 3.44 : Farklı yerel zemin durumları için deplasman analiziyle ayaklarda bulunan elastomer mesnetlerde meydana gelen deformasyonlar(m).

Orta ayak kesme kuvveti

Kontrol edilecek olan bir diğer unsur orta ayaklarda oluşacak olan kesme kuvveti değerleridir. Depremi oluşturacağı yatay kuvvetlerden dolayı en büyük değerlerin orta ayak kolonlarının en alt kısmında oluşması gerekmektedir.

Fakat burada dikkat edilmesi gereken başka bir husus daha vardır. SAP2000'de ZTA'da deplasman analizi yapılırken, orta ayakların temel ile temas ettiği noktaya deplasman yükü atanmıştır. Dolayısıyla normal ivme-zaman analizinde olduğunun aksine bu noktalarda rölatif deplasman değil, toplam deplasman bulunmaktadır. Analizler sonucunda da görülmüştür ki, temelle temas halinde bulunan çubuk eleman ile, ona bağlı bulunan ve bir üstünde bulunan çubuk eleman arasında büyük bir kesme kuvvet-moment farkı bulunmaktadır. Bu koşulun göz önünde bulundurulması halinde, analizler temelle temas halinde bulunan çubuk elemanla değil, ona temas halinde olan ve bir üst kısımdaki çubuk elemana göre yapılmalıdır. Bu durum şekil 3.45'te gösterilmiştir.



Şekil 3.45 : Kolonların temelle temas noktasında meydana gelen kesme kuvveti.

Çizelge 3.10'da, ivme-zaman analizlerinin her bir yerel zemin durumu için gerçekleştirilmesi sonrası elde edilen maksimum kesme kuvveti değerleri verilmiştir. Tablo başlıklarında bulunan "1. OA" ve "2. OA" ibareleri, "1. Orta Ayak" ve "2. Orta Ayak" anlamına gelmektedir.

Çizelge 3.10: Orta ayaklarda meydana gelen maksimum kesme kuvvetleri (kN).

Seçilen İvme Fonksiyonları (TH-Case)	ZB		ZC		ZD		ZE	
	1. OA	2. OA	1. OA	2. OA	1. OA	2. OA	1. OA	2. OA
1,8,15,22	5571.67	5573.09	9141.40	9139.37	5450.04	5450.18	4851.93	4851.55
2,9,16,23	5015.79	5015.35	7528.22	7529.12	6672.56	6672.59	5723.11	5723.09
3,10,17,24	5592.44	5595.96	8400.88	8407.37	5471.04	5469.45	4247.13	4247.21
4,11,18,25	5174.48	5174.18	8799.40	8803.38	5987.93	5987.83	4494.66	4495.06
5,12,19,26	5101.82	5101.67	8241.32	8242.26	4822.69	4822.61	3777.07	3777.33
6,13,20,27	5299.68	5299.44	8164.79	8163.95	6026.16	6025.60	4077.66	4077.85
7,14,21,28	5052.01	5049.64	7732.95	7735.49	5680.01	5680.23	4536.49	4536.75

Aynı şekilde, hesaplamaların ZTA'da deplasman analizi için de yapılması gerekmektedir. Analizlerin sonuçları çizelge 3.11'de verilmiştir.

Çizelge 3.11: Orta ayaklarda meydana gelen maksimum kesme kuvvetleri (kN).

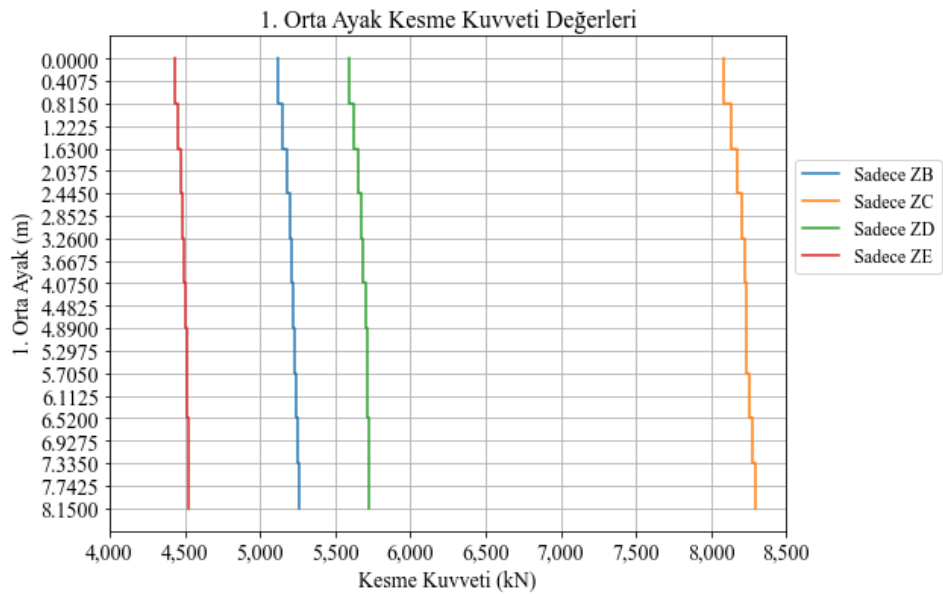
Deplasman Fonksiyonları TH-Case-Disp	ZB		ZC		ZD		ZE	
	1. OA	2. OA	1. OA	2. OA	1. OA	2. OA	1. OA	2. OA
1,8,15,22	5677.44	5678.38	9249.89	9247.95	5576.21	5576.38	4938.06	4937.70
2,9,16,23	5011.76	5011.13	7554.01	7554.92	6665.62	6665.54	5729.89	5729.94
3,10,17,24	5589.78	5593.36	8719.42	8725.96	5343.15	5341.50	4302.87	4304.03
4,11,18,25	5203.33	5204.30	8604.70	8608.97	6150.81	6150.71	4360.66	4361.01
5,12,19,26	5108.33	5108.16	8191.38	8192.35	4823.72	4823.55	3608.29	3608.56
6,13,20,27	5237.04	5236.79	8235.77	8232.82	5955.39	5955.03	4001.04	4000.96
7,14,21,28	5122.96	5121.05	7775.60	7781.24	5663.94	5664.03	4555.80	4555.98

Çizelge 3.12'de ZTA'da ivme ve deplasman analizleri için hesaplanan kesme kuvveti değerlerin ortalaması verilmiştir.

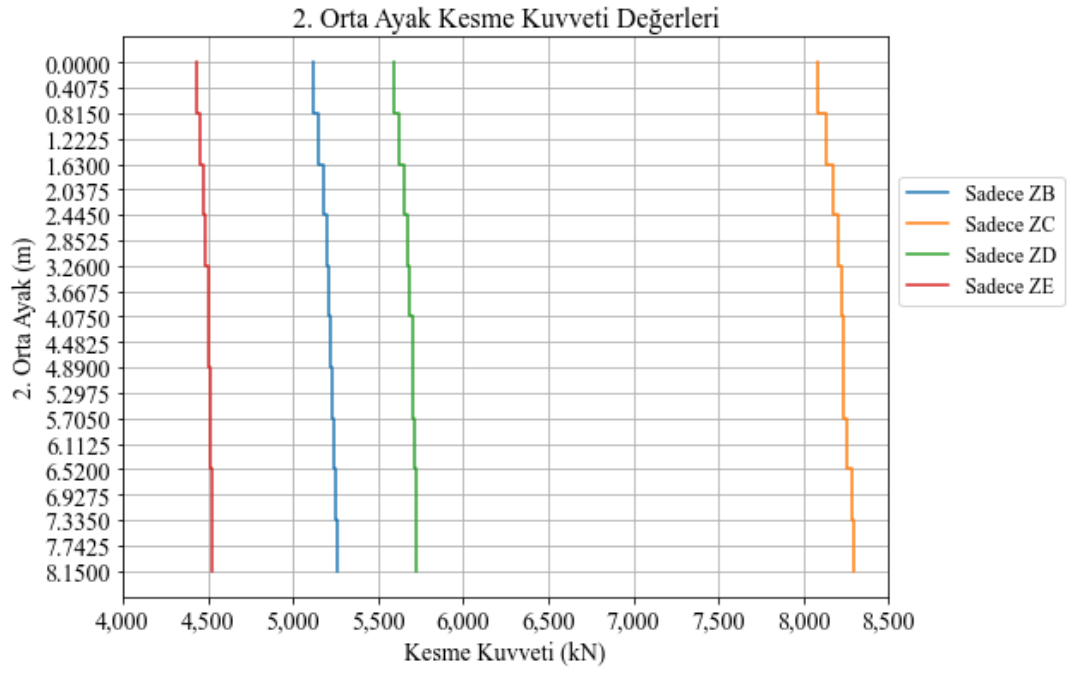
Çizelge 3.12: ZTA'da ivme ve deplasman analizleri sonucu hesaplanan kesme kuvveti değerleri (kN).

Eleman No.	ZTA'da İvme				ZTA'da Deplasman			
	ZB	ZC	ZD	ZE	ZB	ZC	ZD	ZE
1. OA	5258.27	8286.99	5730.06	4529.72	5278.66	8332.97	5739.83	4499.52
2. OA	5258.48	8288.71	5729.78	4529.83	5279.02	8334.89	5739.53	4499.74

ZTA'da ivme yöntemiyle elde edilen sonuçlar 1. ve 2. orta ayak için sırasıyla şekil 3.46 ve şekil 3.47'de verilmiştir.

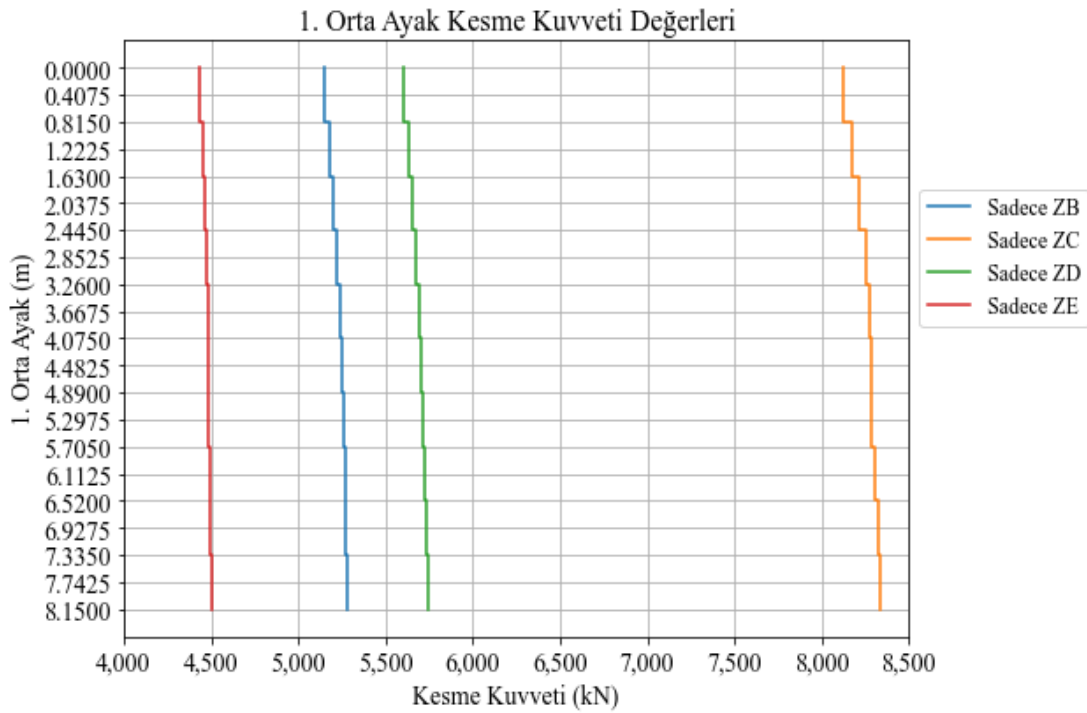


Şekil 3.46 : 1. OA ve ZTA'da ivme analizi verileriyle elde edilen kesme kuvveti sonuçları(kN).

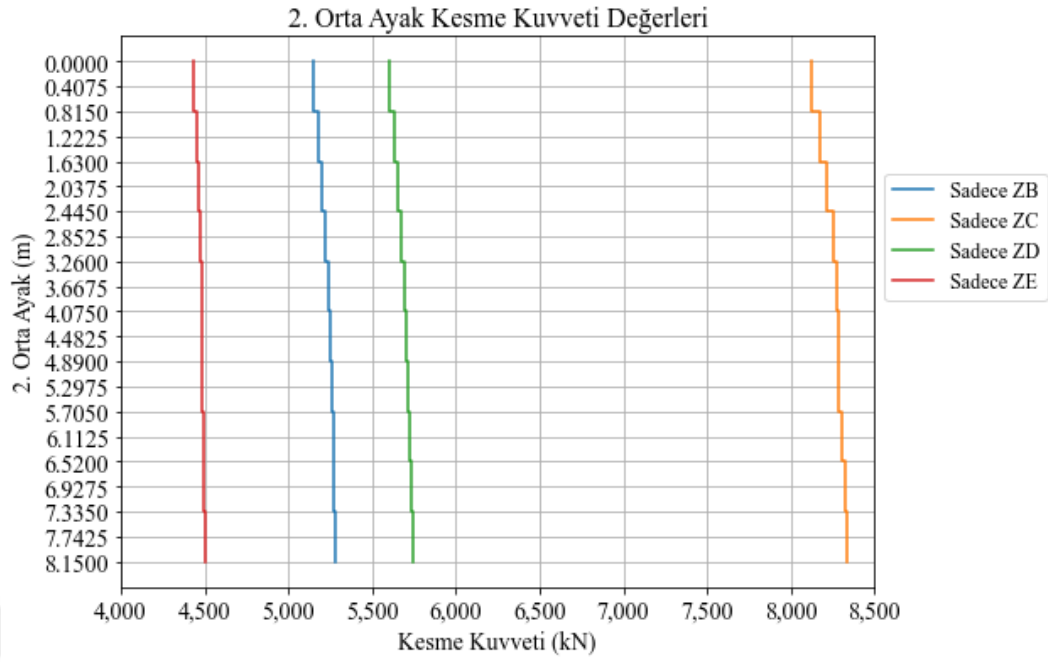


Şekil 3.47 : 2. OA ve ZTA'da ivme analizi verileriyle elde edilen kesme kuvveti sonuçları(kN).

ZTA'da deplasman yöntemiyle elde edilen sonuçlar 1. ve 2. orta ayak için sırasıyla şekil 3.48 ve şekil 3.49'da gösterilmiştir. Elde edilen grafiklerdeki verilerle, şekil 3.46 ve şekil 3.47'deki verilerin birbirleriyle oldukça benzer değerler verdiği görülebilir.



Şekil 3.48 : 1. OA ve ZTA'da deplasman analizi verileriyle elde edilen kesme kuvveti sonuçları(kN).



Şekil 3.49 : 2. OA ve ZTA'da deplasman analizi verileriyle elde edilen kesme kuvveti sonuçları(kN).

Orta ayak momentleri

Orta ayaklarda kesme kuvvetinin hesaplanmasının ardından, eğilme momenti de aynı şekilde hesaplanabilir. Kesme kuvveti hesabında söz edildiği gibi, veriler temelle temas halinde olan çubuk eleman yerine, onun bir üstündeki çubuk elemandan alınacaktır.

Çizelge 3.13'de, ivme-zaman analizlerinin her bir yerel zemin durumu için gerçekleştirilmesi sonrası orta ayaklarda elde edilen maksimum moment değerleri verilmiştir. Tablo başlıklarında bulunan "OA", "Orta Ayak" anlamına gelmektedir.

Çizelge 3.13: ZTA'da ivme analizleri sonucu hesaplanan moment değerleri (kNm).

Seçilen İvme Fonksiyonları (TH-Case)	ZB		ZC		ZD		ZE	
	1. OA	2. OA	1. OA	2. OA	1. OA	2. OA	1. OA	2. OA
1,8,15,22	53054.32	53060.40	82120.67	82099.10	50589.42	50589.31	45056.84	45052.26
2,9,16,23	47553.21	47547.95	71475.50	71479.52	63085.71	63082.67	54198.02	54194.48
3,10,17,24	50718.28	50712.48	77971.33	78029.39	51450.74	51442.42	39990.25	39989.43
4,11,18,25	47446.90	47450.76	85747.71	85740.69	56151.48	56147.48	42126.61	42126.87
5,12,19,,26	48830.43	48827.67	76590.31	76589.80	46850.00	46847.33	36395.23	36395.98
6,13,20,27	49979.16	49967.53	75520.49	75511.16	56579.44	56575.92	38156.00	38155.26
7,14,21,28	46573.60	46567.03	74261.87	74262.89	52841.50	52841.38	42358.63	42360.09

Aynı şekilde, hesaplamaların ZTA'da deplasman analizi için de yapılması gerekmektedir. Analizlerin sonuçları çizelge 3.14'de verilmiştir.

Çizelge 3.14: ZTA'da deplasman analizleri sonucu hesaplanan moment değerleri (kNm).

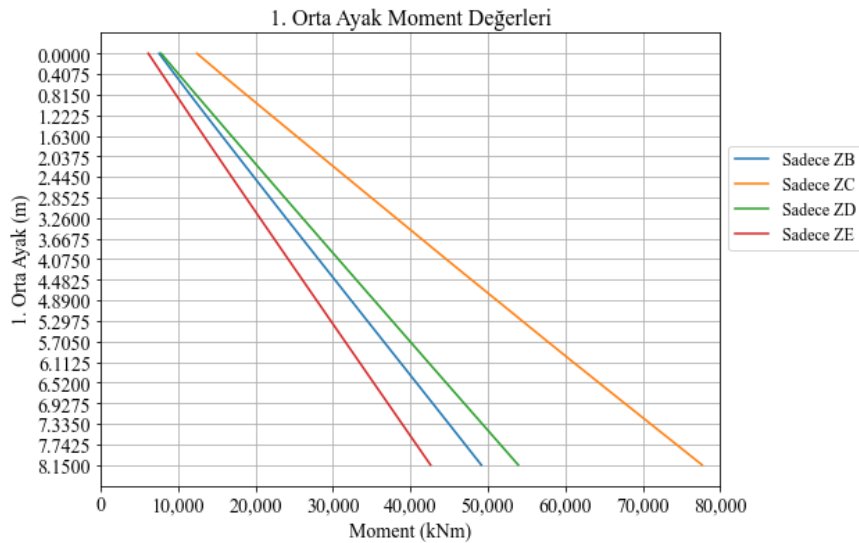
Seçilen Deplasman Fonksiyonları TH-Disp-Case	ZB		ZC		ZD		ZE	
	1. OA	2. OA	1. OA	2. OA	1. OA	2. OA	1. OA	2. OA
1,8,15,22	53940.65	53947.23	84450.40	84429.07	52215.74	52214.83	46087.90	46083.47
2,9,16,23	47453.30	47446.96	71569.55	71573.24	62958.28	62954.67	54358.50	54355.96
3,10,17,24	51020.59	51041.55	80757.86	80761.56	50255.41	50250.87	40858.57	40865.06
4,11,18,25	48144.70	48148.79	82607.69	82602.21	57105.51	57106.13	41068.62	41069.07
5,12,19,,26	48337.90	48335.14	76315.55	76315.41	46201.84	46199.26	34585.42	34586.73
6,13,20,27	49579.50	49568.10	76739.64	76716.40	56203.85	56200.30	37811.69	37807.26
7,14,21,28	46847.70	46832.75	72229.14	72237.39	53231.03	53228.28	42811.98	42812.67

Her bir yerel zemin sınıfı için hesaplanan değerlerin ortalaması alınabilir. Böylelikle sonuçlar daha net bir şekilde görülebilir. Çizelge 3.15'de ZTA'da ivme ve deplasman analizleri için hesaplanan kesme kuvveti değerlerin ortalaması verilmiştir.

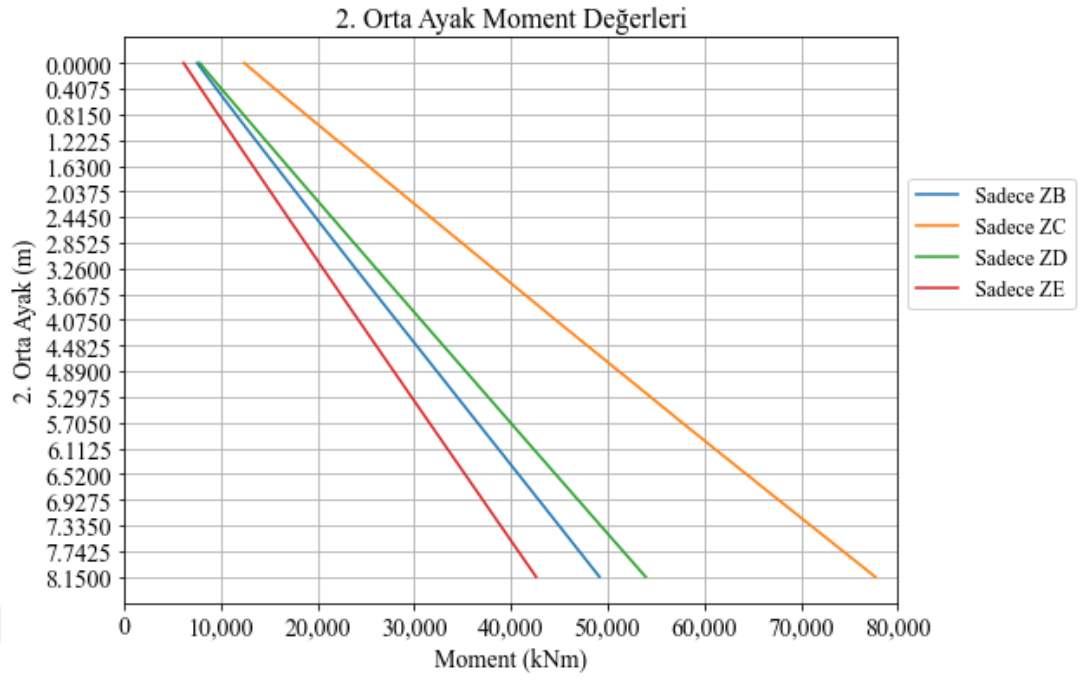
Çizelge 3.15: ZTA'da ivme ve deplasman analizleri sonucu hesaplanan moment değerleri (kNm).

Eleman No.	ZTA'da İvme				ZTA'da Deplasman			
	ZB	ZC	ZD	ZE	ZB	ZC	ZD	ZE
1. OA	49165.13	77669.70	53935.47	42611.65	49332.05	77809.98	54024.52	42511.81
2. OA	49161.97	77673.22	53932.36	42610.62	49331.50	77805.04	54022.05	42511.46

ZTA'da ivme yöntemiyle elde edilen sonuçlar 1. ve 2. orta ayak için sırasıyla şekil 3.50 ve şekil 3.51'de verilmiştir.

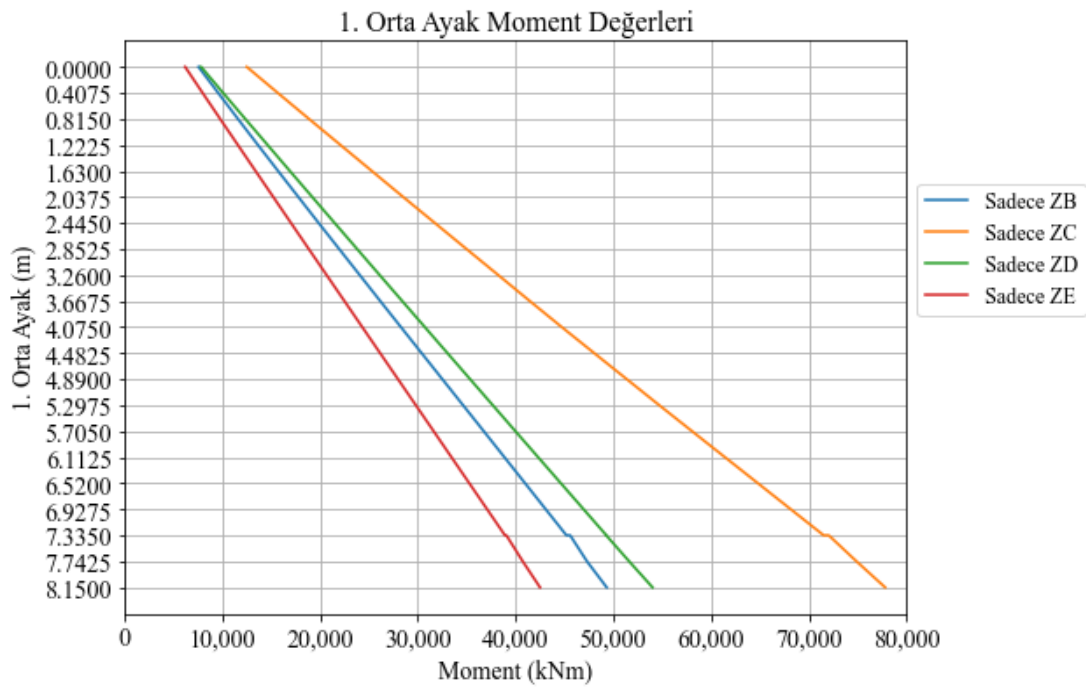


Şekil 3.50 : 1. OA için ZTA'da ivme analiziyle elde edilen moment sonuçları(kNm).

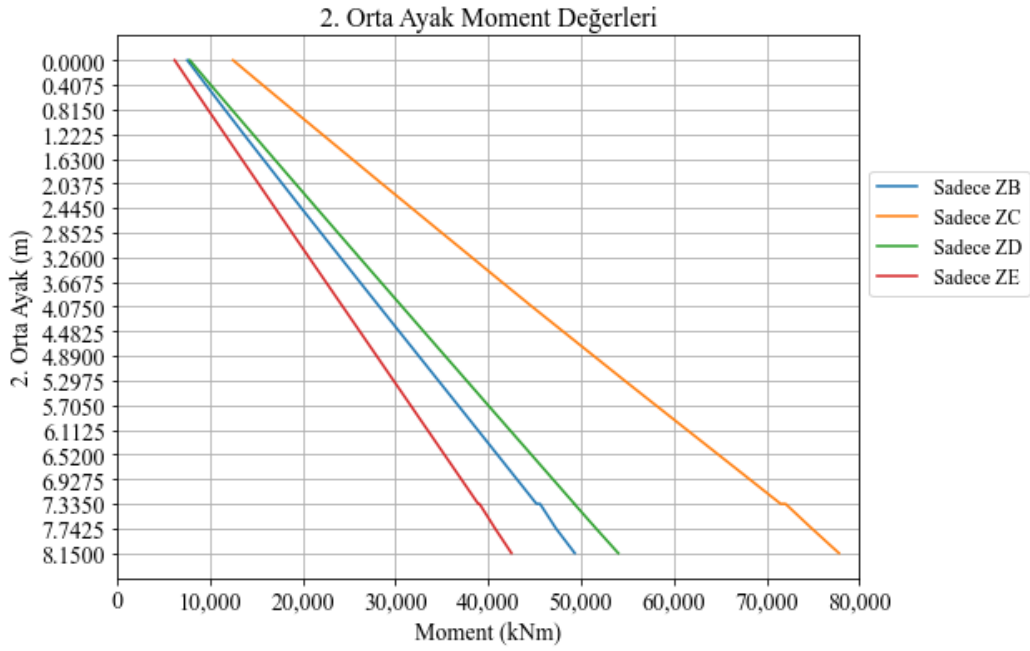


Şekil 3.51 : 2. OA için ZTA'da ivme analiziyle elde edilen moment sonuçları(kNm).

Şekil 3.52 ve şekil 3.53'te, ZTA'da deplasman verileriyle hesaplanan moment grafikleri görülebilir.



Şekil 3.52 : 1. OA için ZTA'da deplasman analiziyle elde edilen moment sonuçları(kNm).



Şekil 3.53 : 2. OA için ZTA'da deplasman analiziyle elde edilen moment sonuçları(kNm).

3.3.5.2 DZE'nin bulunduğu ve üniform deprem yer kabulünün yapılabildiği zemin kombinasyonlarının analizleri

Çizelge 3.5'te üniform deprem yer kabulünün yapılabileceği ve DZE'nin bulunduğu yerel zemin kombinasyonları verilmiştir. Bu durumda karşılaştırılması gereken durumlar şu şekilde özetlenebilir:

- ZBZCZDZC analizi - Sadece ZD analizi
- ZBZDZDZB analizi - Sadece ZD analizi
- ZCZDZDZC analizi - Sadece ZD analizi
- ZDZEZEZD analizi - Sadece ZE analizi.

Verilen kombinasyonlarda üniform deprem yer kabulünün yapılması hâlinde, en zayıf yerel zemin sınıfının seçilmesi gerekmektedir. Elastomer mesnet deformasyonları ile orta ayaklarda meydana gelen kesme kuvveti-moment değerleri karşılaştırılacaktır.

Elastomer mesnet deformasyonları

DZE'nin bulunması durumunda, ZTA'da ivme analizi yapılması mümkün değildir. Dolayısıyla bu bölümde sadece deplasman verileri kullanılarak analiz yapılabilir.

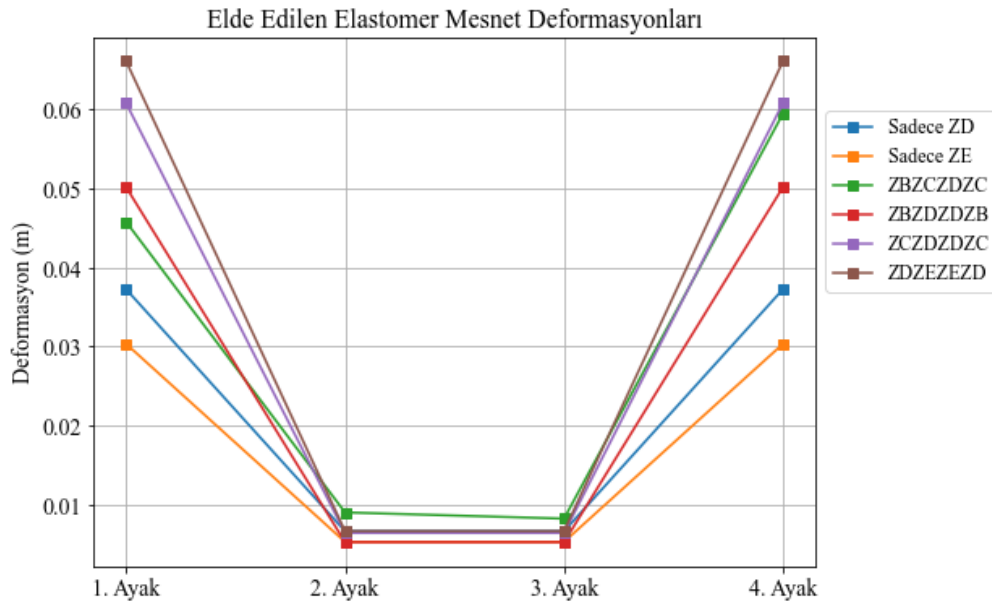
TKDY Bölüm 5.5.5.9'a göre, ZTA'da analizde sonuçların en büyük mutlak değerlerin ortalaması istendiğinden, her bir zemin kombinasyonunun oluşturduğu maksimum mutlak değerlerin ortalaması kullanılmalıdır.

DZE kabulünün yapıldığı, ve ayaklarda bulunan elastomer mesnetlerde meydana gelen deformasyon çizelge 3.16'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.16: Analiz sonucu hesaplanan elastomer mesnet deformasyon değerleri (m).

	Uniform Alınabilenler			
	ZBZCZDZC	ZBZDZDZB	ZCZDZDZC	ZDZEZEZD
1.Ayak	0.045768	0.050160	0.060765	0.066078
2.Ayak	0.009043	0.005283	0.006448	0.006691
3.Ayak	0.008260	0.005282	0.006448	0.006691
4.Ayak	0.059449	0.050159	0.060764	0.066077

Daha önceden çizelge 3.7'de, üniform deprem yer hareketi için hesaplanan değerler verilmiştir. Çizelge 3.7'de verilen, Sadece ZD ve Sadece ZE durumları için hesaplanan ortalama elastomer deformasyonlar ile, Çizelge 3.16'daki değerler karşılaştırılabilir. Bulunan sonuçlar şekil 3.54'de gösterilmiştir.



Şekil 3.54 : Elde edilen mesnet deformasyonları sonuçları (m).

Orta ayak kesme kuvvetleri

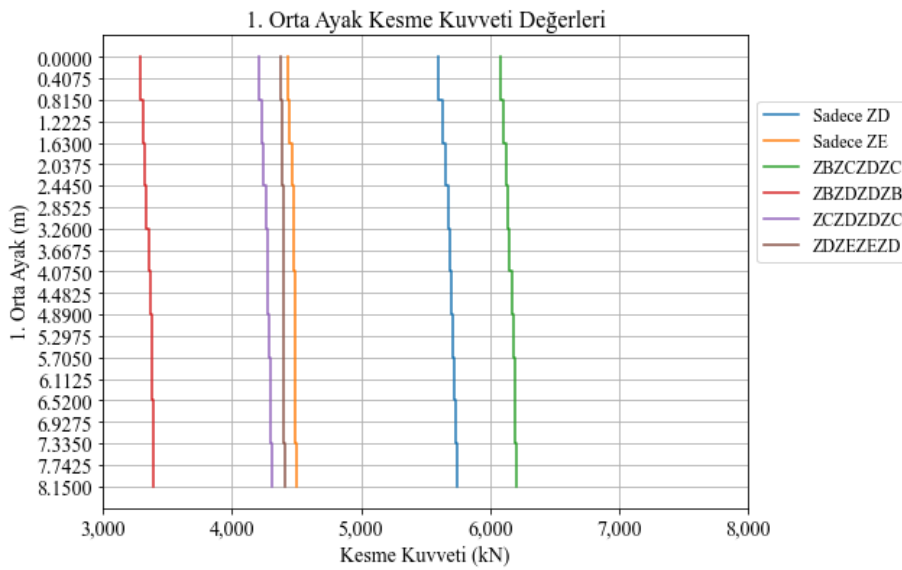
Orta ayak kesme kuvveti hesapları, üniform deprem yer hareketinin olduğu durumlarda yapıldığı gibi yapılacaktır. Dolayısıyla sonuçlar temelle temas eden çubuk elemandan alınmamalı ve 1. OA ve 2. OA için sonuçlar ayrı ayrı bulunmalıdır.

Çizelge 3.17'de, orta ayaklardan hesaplanan kesme kuvvetleri gösterilmiştir.

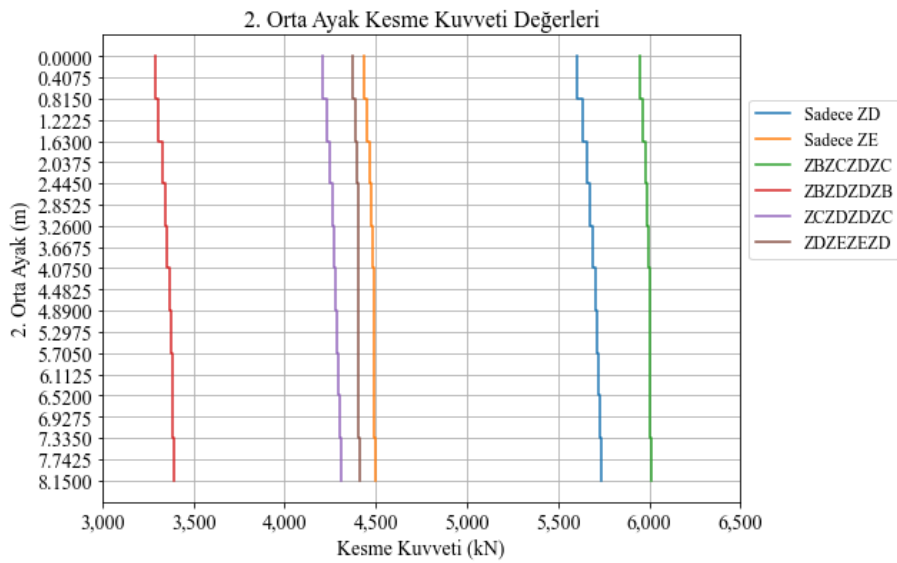
Çizelge 3.17: Analiz sonucu hesaplanan orta ayak kesme kuvveti değerleri (kN).

Eleman	Üniform Alınabilenler			
No.	ZBZCZDZC	ZBZDZDZB	ZCZDZDZC	ZDZEZEZD
1. OA	6206.33	3396.56	4310.12	4410.60
2. OA	6011.02	3396.14	4310.30	4410.72

Daha önceden üniform deprem yer hareketi durumları için, orta ayak kesme kuvvetleri hesaplanmıştır. Çizelge 3.12'den "Sadece ZD" ve "Sadece ZE" durumları için elde edilen kesme kuvvetleri görülebilir. Şekil 3.55 ve şekil 3.56'da orta ayaklar boyunca hesaplanan kesme kuvveti değerleri görülebilir.



Şekil 3.55 : 1. OA için elde edilen kesme kuvveti sonuçları (kN).



Şekil 3.56 : 2. OA için elde edilen kesme kuvveti sonuçları (kN).

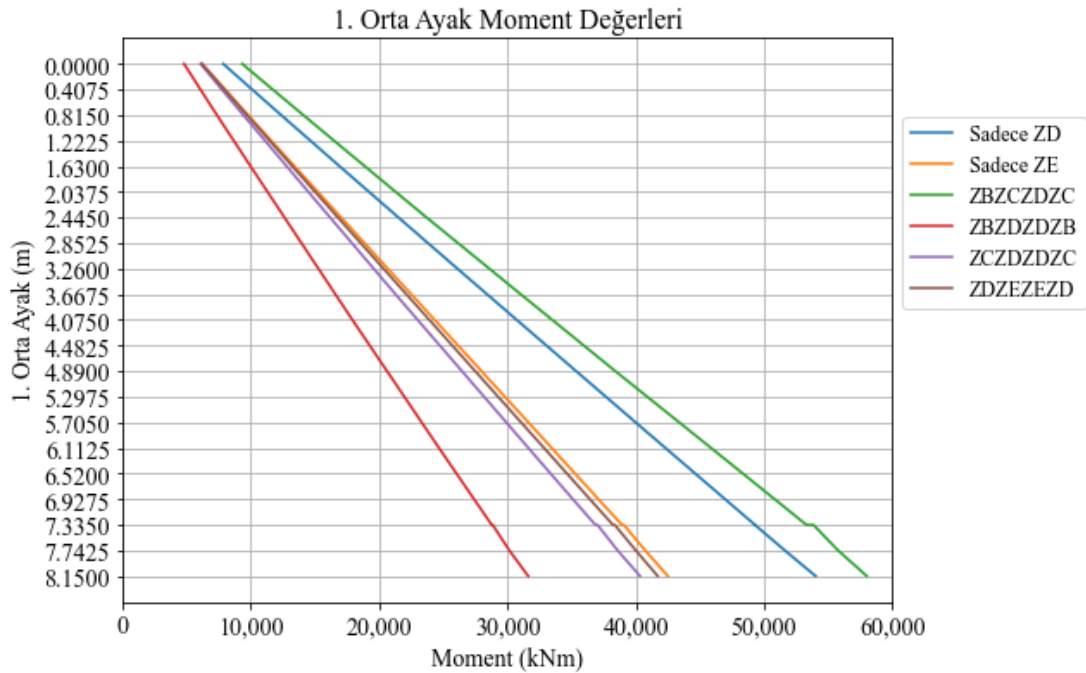
Orta ayak momentleri

Orta ayaklar için yapılacak moment hesabı, kesme kuvveti hesabına benzer şekilde yapılabilir. Aynı şekilde temelle teması olan değil, onun bir üstünde bulunan çubuk elemanlar için analiz gerçekleştirilecektir. Çizelge 3.18'de, orta ayaklardan hesaplanan maksimum moment değerleri gösterilmiştir.

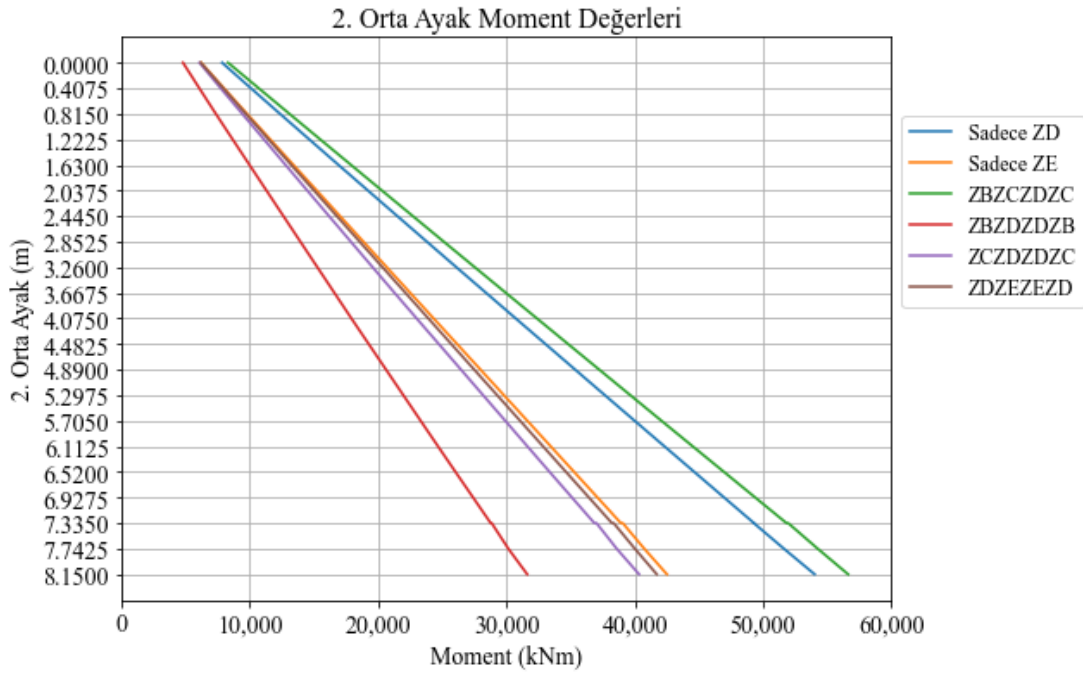
Çizelge 3.18: Analiz sonucu hesaplanan orta ayak moment değerleri (kNm).

Eleman	Üniform Alınabilenler			
No.	ZBZCZDZC	ZBZDZDZB	ZCZDZDZC	ZDZEZEZD
1. OA	58012.40	31627.38	40341.36	41719.40
2. OA	56631.28	31624.04	40342.40	41718.83

Daha önceden üniform deprem yer hareketi durumları için, orta ayak moment değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 3.15'den "Sadece ZD" ve "Sadece ZE" durumları için elde edilen moment değerleri görülebilir. Şekil 3.57'de ve Şekil 3.58'de, orta ayaklar boyunca hesaplanan moment değerleri grafik olarak verilmiştir. Orta ayaklar arası veya kenar ayaklar arası zemin türünün değişmemesi durumunda, her iki grafikteki aynı zemin kmbinasyonunun benzer değerler verdiği görülebilir. Bu durumun dışında olan "ZBZCZDZC" kombinasyonundaki farklılık görülebilir.



Şekil 3.57 : 1. OA ve ilgili deplasman kayıtlarıyla elde edilen moment sonuçları (kNm).



Şekil 3.58 : 2. OA ve ilgili deplasman kayıtlarıyla elde edilen moment sonuçları (kNm).

3.3.5.3 DZE'nin bulunduğu ve üniform deprem yer kabulünün yapılamadığı zemin kombinasyonlarının analizleri

Çizelge 3.5'te üniform deprem yer kabulünün yapılamadığı ve DZE'nin bulunduğu yerel zemin kombinasyonları verilmiştir. Bu durumda incelenmesi gereken durumlar şu şekilde özetlenebilir:

- ZBZEZDZC analizi - Sadece ZE analizi
- ZBZEZEZB analizi - Sadece ZE analizi
- ZCZEZEZC analizi - Sadece ZE analizi
- ZDZEZEZC analizi - Sadece ZE analizi

Burada daha önceden de bahsedildiği gibi, üniform deprem yer kabulü yapılamamaktadır. Fakat üniform kabul yapılsaydı elde edilecek sonuçları ne olduğu incelenebilir. Bunun için daha önceden de yapıldığı gibi verilen kombinasyonlarda üniform deprem yer kabulünün yapılması hâlinde, en zayıf yerel zemin sınıfı kullanılmalıdır. Elastomer mesnet deformasyonları ile orta ayaklarda meydana gelen kesme kuvveti-moment değerleri karşılaştırılacaktır. Yapılacak olan tüm karşılaştırmalar grafikler vasıtasıyla ayrı ayrı incelenebilir.

Elastomer mesnet deformasyonları

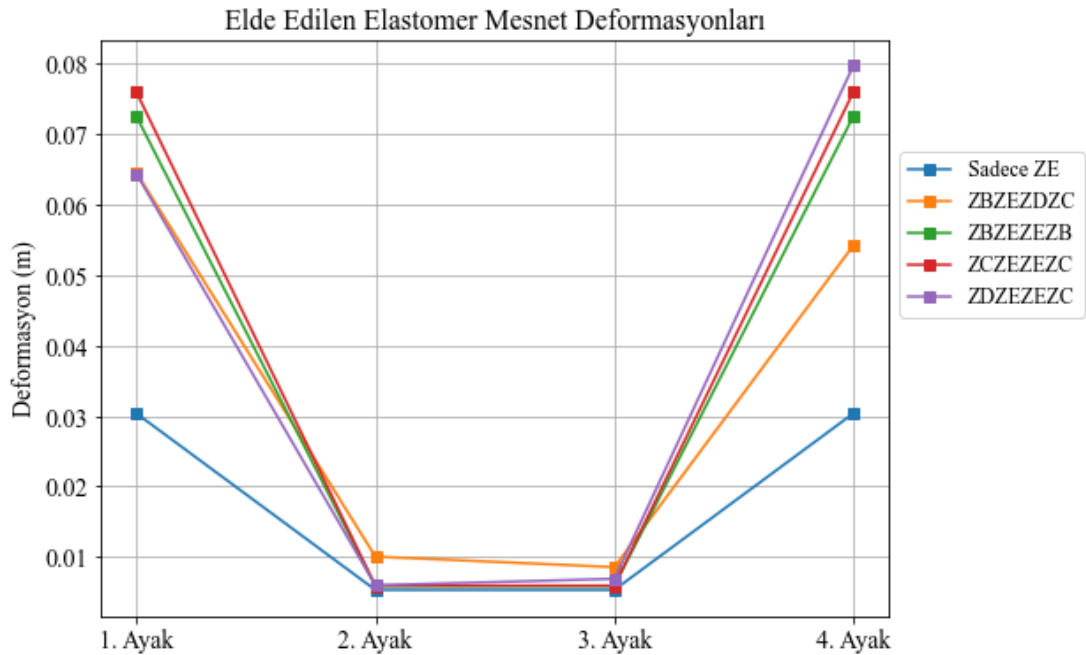
DZE'nin bulunması durumunda, ZTA'da ivme analizi yapılması mümkün değildir. Dolayısıyla bu bölümde sadece deplasman verileri kullanılarak analiz yapılabilir. TKDY Bölüm 5.5.5.9'a göre, sonuçların en büyük değerlerin ortalaması istendiğinden, her bir zemin kombinasyonunun oluşturduğu maksimum değerlerin ortalaması kullanılmalıdır.

DZE kabulünün yapıldığı, ve ayaklarda bulunan elastomer mesnetlerde meydana gelen deformasyon çizelge 3.19'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.19: Analiz sonucu hesaplanan elastomer mesnet deplasman değerleri (m).

	Uniform Alınamayanlar			
	ZBZEZDZC	ZBZEZEZB	ZCZEZEZC	ZDZEZEZC
1.Ayak	0.064493	0.072472	0.075909	0.064325
2.Ayak	0.010050	0.005878	0.005918	0.005976
3.Ayak	0.008552	0.005878	0.005918	0.006897
4.Ayak	0.054160	0.072472	0.075909	0.079643

Uniform alınamayan zemin kombinasyonlarının her biri için, alınabilecek en zayıf yerel zemin sınıfı "ZE"dir. Dolayısıyla karşılaştırma buna göre yapılabilir. Çizelge 3.9'dan "Sadece ZE" için hesaplanan elastomer mesnet deplasmanları ve çizelge 3.19'da elde edilen veriler, şekil 3.59'da gösterilmiştir.



Şekil 3.59 : İlgili zemin kombinasyonları için elde edilen elastomer mesnet deformasyonları sonuçları (m).

Orta ayak kesme kuvvetleri

Orta ayak kesme kuvveti hesapları, DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün mümkün olduğu zemin kombinasyonlarıyla aynı şekilde yapılabilir. Sonuçlar orta ayaklar için ayrı ayrı elde edilecektir.

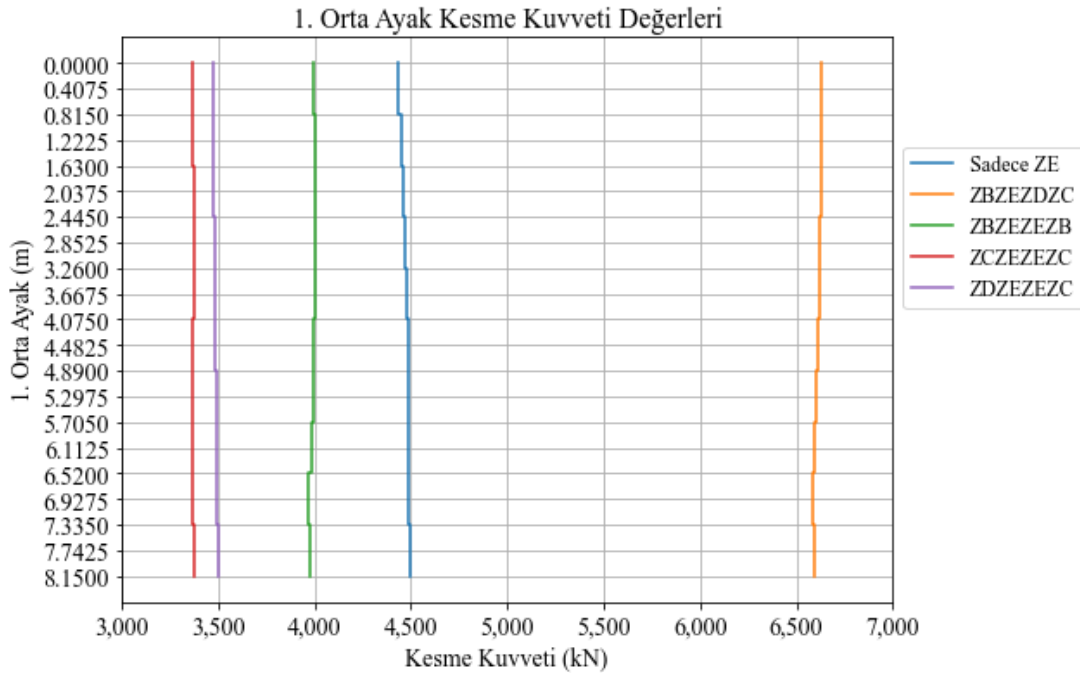
Çizelge 3.20'de, orta ayaklardan hesaplanan kesme kuvvetleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.20: Analiz sonucu hesaplanan orta ayak kesme kuvveti değerleri (kN).

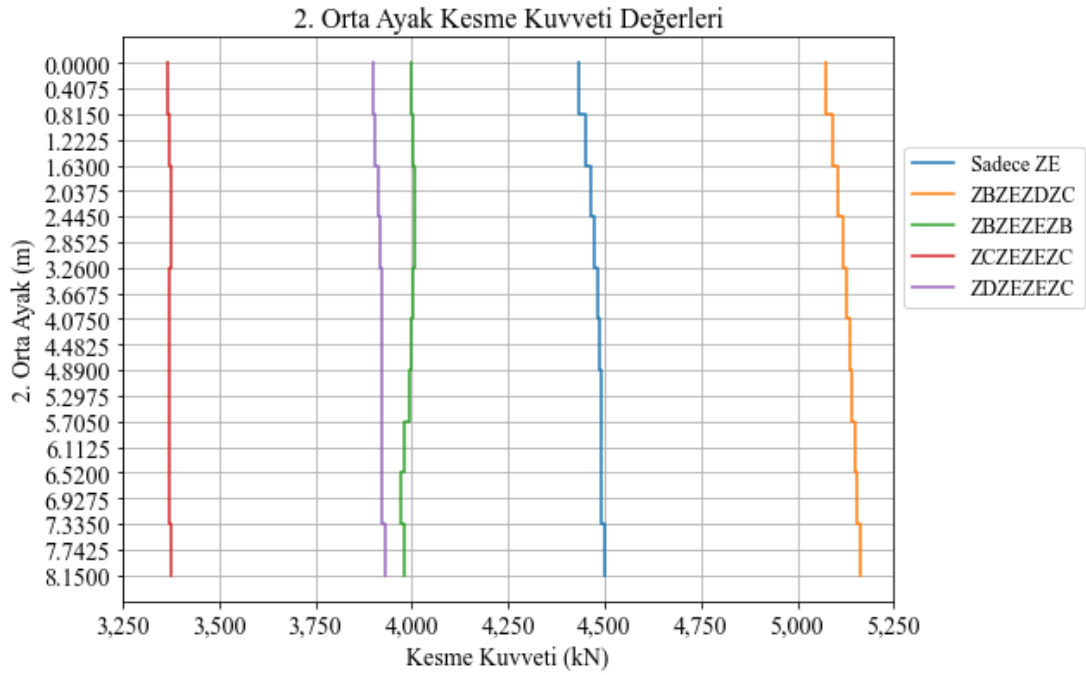
Eleman No.	Üniform Alınamayanlar			
	ZBZEZDZC	ZBZEZEZB	ZCZEZEZC	ZDZEZEZC
1. OA	6595.82	3979.22	3377.97	3502.61
2. OA	5162.87	3979.65	3377.83	3929.65

Çizelge 3.12'den "Sadece ZE" durumu için elde edilen kesme kuvveti değerleri görülebilir. Şekil 3.60'da ve şekil 3.61'de, sırasıyla 1. orta ayak ve 2. orta ayak boyunca hesaplanan kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuçlar buradan görülebilir.

Şekil 3.59'un aksine en küçük sonucu üniform ZE zemin koşulunun vermediği görülebilir. Buradan zemin kombinasyonları arasındaki sıralamanın, link deformasyonları ile orta ayak kolonlarında oluşan kuvvetler için farklı olabileceği gözlemlenebilir.



Şekil 3.60 : 1.OA ve ilgili zemin kombinasyonları için elde edilen kesme kuvveti sonuçları (kN).



Şekil 3.61 : 2.OA ve ilgili zemin kombinasyonları için elde edilen kesme kuvveti sonuçları (kN).

Orta ayak momentleri

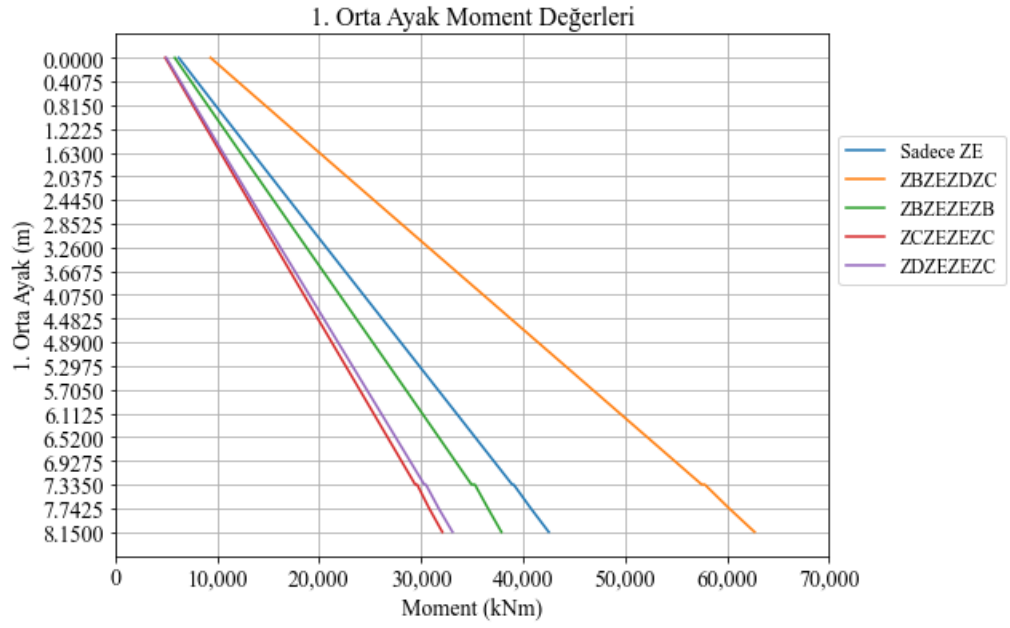
Orta ayaklar için yapılacak moment hesabı, kesme kuvveti hesabına benzer şekilde yapılabilir. Aynı şekilde temelle teması olan değil, onun bir üstünde bulunan çubuk elemanlar için analiz gerçekleştirilecektir.

Çizlege 3.21'de, farklı orta ayaklar için elde edilen maksimum moment değerleri verilmiştir. İlgili zemin kombinasyonları çizelge 3.5'ten bakılabilir.

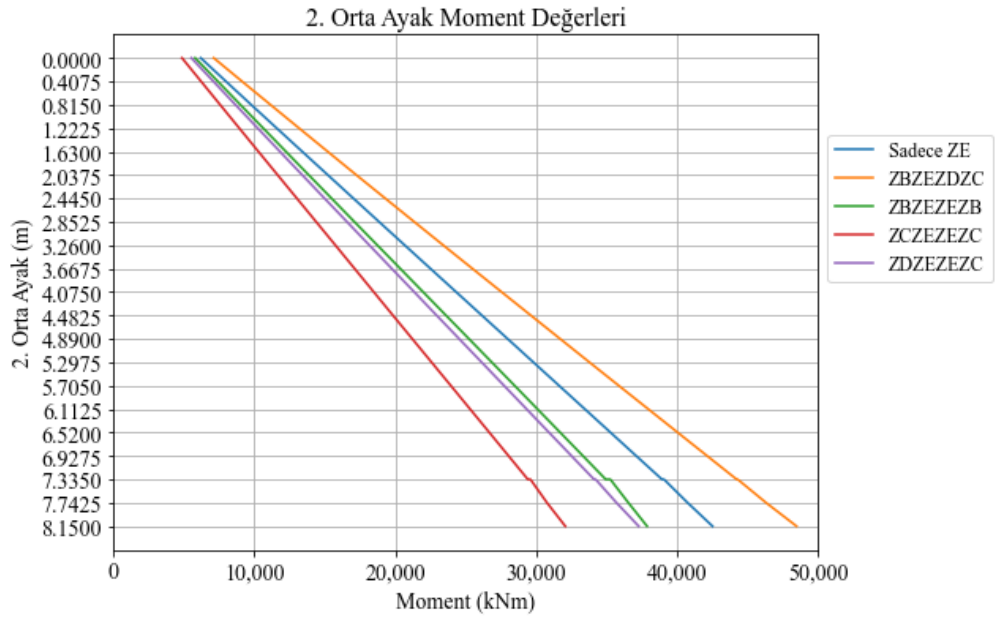
Çizelge 3.21: Analiz sonucu hesaplanan orta ayak moment değerleri (kNm).

	Üniform Alınamayanlar			
	ZBZEZDZC	ZBZEZEB	ZCZEZC	ZDZEZC
1. OA	62705.49	37868.05	32070.62	33071.93
2. OA	48470.63	37868.60	32069.58	37272.67

Daha önceden üniform deprem yer hareketi durumları için, orta ayak moment değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 3.15'den "Sadece ZE" durumu için elde edilen moment değerleri görülebilir. Aynı zamanda çizelge 3.21'in de kullanılması gerekmektedir. Şekil 3.62 ve Şekil 3.63'de, orta ayak momentlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuçların kesmeyle benzer çıktığı ve en düşük değerlerin üniform ZE'den gelmediği gözlemlenebilir.



Şekil 3.62 : 1.OA ve ilgili zemin kombinasyonları için elde edilen moment değerleri (kNm).

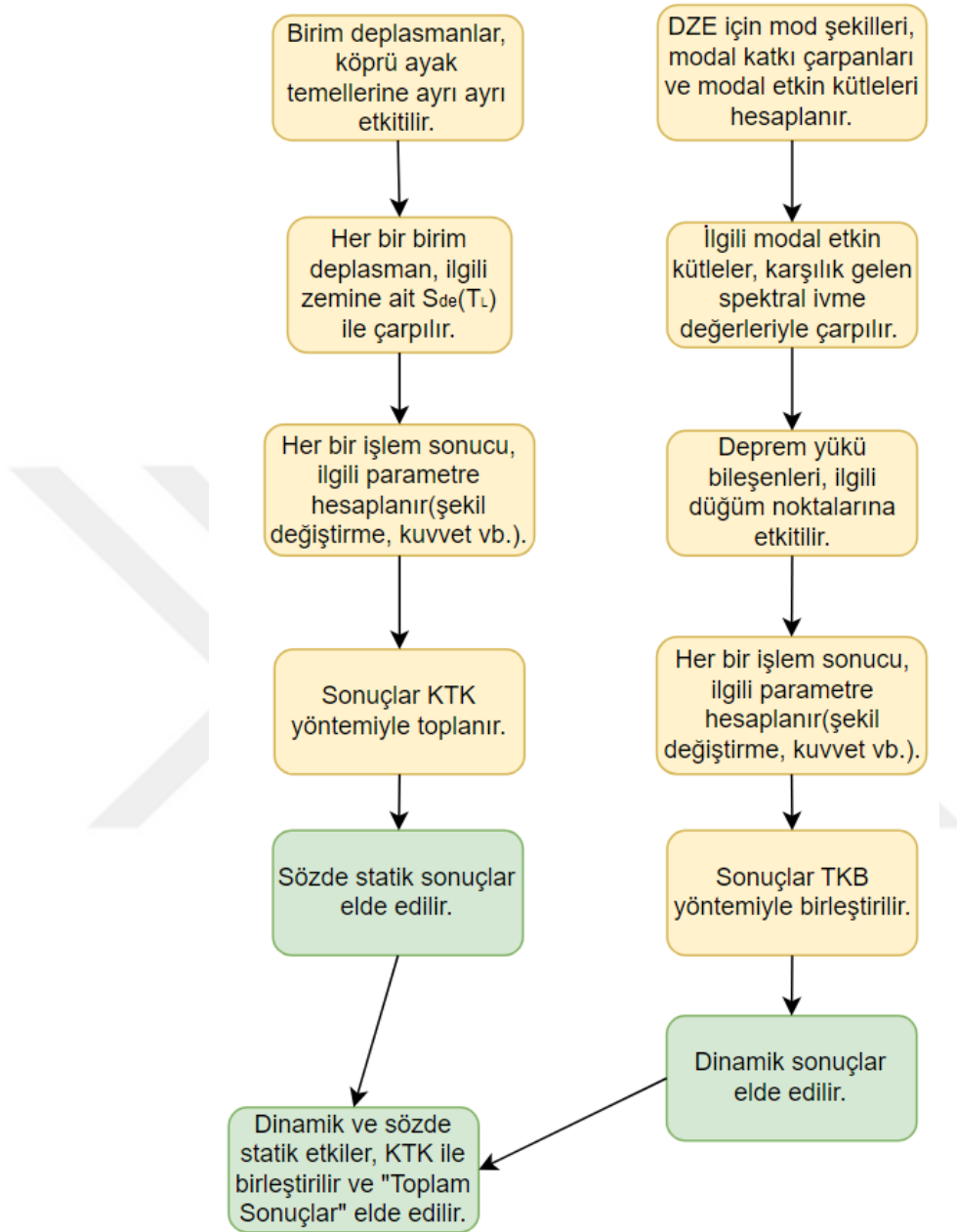


Şekil 3.63 : 2.OA ve ilgili zemin kombinasyonları için elde edilen moment değerleri (kNm).

3.4 Mod Birleştirme Analizi

Tez kapsamında incelenecek olan diğer bir yöntem de mod birleştirme yöntemidir. Bu yöntemin DZE'nin var olduğu durumlarda uygulanması daha komplekstir ve detaylı analizler gerektirir. Doğrudan SAP2000'den yapılamaz ve tez kapsamında Python, Excel ve MATLAB programlarından faydalanılmıştır.

Şekil 3.64'te mod birleştirme yöntemine ait akış şeması verilmiştir. Burada verilen prosedürler takip edilerek istenilen sonuçlar elde edilebilir.



Şekil 3.64 : Mod birleştirme yöntemine ait akış şeması.

Mod birleştirme yöntemi kapsamında izlenecek yol ve dikkat edilmesi gereken hususlar şu şekilde özetlenebilir:

- DD-2A deprem yer hareketi düzeyine ait S_s ve S_1 katsayıları bulunur.
- Bulunan katsayılar farklı yerel zemin durumları için (tez kapsamında ZB, ZC, ZD ve ZE) kullanılan yerel zemin etki katsayılarıyla çarpılır ve tasarım ivme spektrumu elde edilir.

- Her yerel zemin sınıfı için, T_L periyot değerine denk gelen tasarım spektral yerdeğiştirme değeri bulunur. Her bir ayağa birim deplasman etkililmesiyle elde edilen jenerik davranış büyüklükleriyle, hesaplanan tasarım spektral yerdeğiştirme değerleri denklem 2.30'da görüldüğü gibi çarpılır. İşlemin sonunda sözde-statik davranış büyüklükleri elde edilir.
- Her bir SAP2000 *joint* noktası için modal şekil değiştirmeler ve atanan kütle değerleri bulunmalıdır. Buna göre denklem 2.33 ve 2.36'da verilen modal katkı çarpanı ve modal etkin kütle değerleri bulunacaktır. Modal etkin kütle değerlerinin her bir periyottaki spektral ivme değeriyle çarpılmasıyla denklem 2.32'de belirtilen jenerik davranış büyüklükleri elde edilir.
- Dinamik etkiler denklem 2.37'de olduğu gibi *Tam Karesel Birleştirme (TKB)* yöntemiyle, statik etkiler denklem 2.31'te olduğu gibi karelerin toplamının karekökü alınarak hesaplanır. En son olarak dinamik etkilerin ve statik etkilerin karelerinin toplamının karekökü alınarak analiz tamamlanacaktır.

3.4.1 Tasarım ivme spektrumlarının elde edilmesi

Kullanılan köprü modelinde, $KÖS=1$ ve $DTS=1$ olarak alınmıştır. Çizelge 2.5'e göre bu durumda DD-2A deprem yer hareketi seviyesinin kullanılması gerekmektedir. Denklem 2.7 ve denklem 2.8'de, DD-2A seviyesi için S_s ve S_1 katsayılarının hesabı için kullanılan formül verilmiştir. Öncelikle DD-3 ve DD-2 yer hareketi seviyesine karşılık gelen deprem yer hareketi katsayılarının belirlenmesi gerekmektedir. Köprünün konumu olarak 36.997435° , 35.372465° koodinatları seçilmiştir. Şekil 3.65'te deprem katsayılarının alınışı gösterilmiştir. İlgili adresten, seçili yerel zemin sınıfı için doğrudan S_{DS} ve S_{D1} katsayıları elde edilebilir.

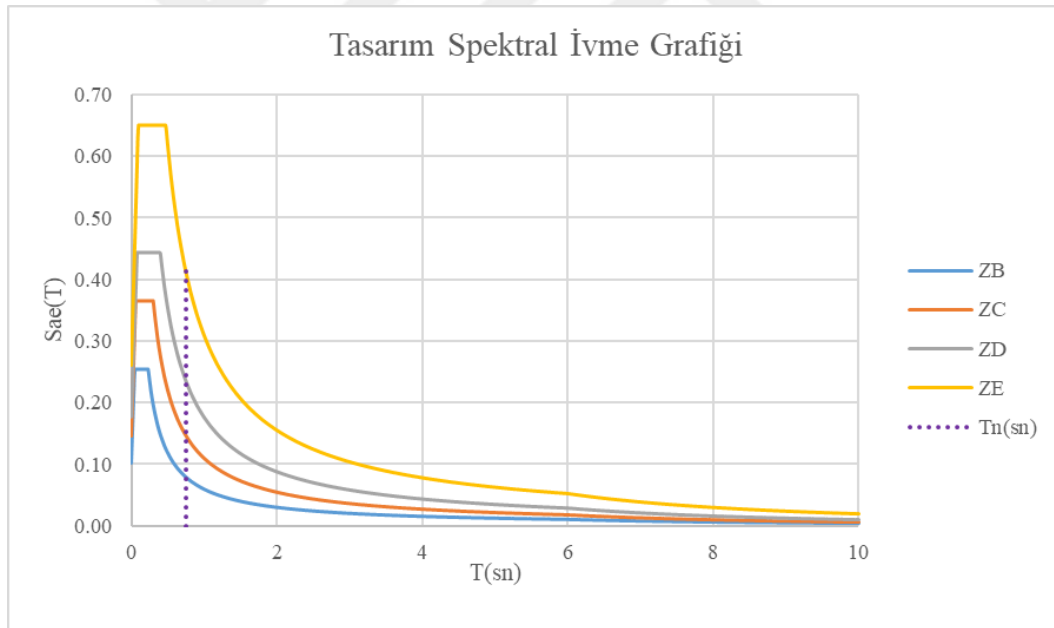
Şekil 3.65 : <https://tdth.afad.gov.tr/> adresinden spektral ivme katsayılarının elde edilmesi.

Harita spektral ivme katsayıları, hem DD-2 hem de DD-3 deprem yer hareketi seviyeleri için hesaplanacaktır. Çizelge 3.22'de gerekli tüm deprem yer hareketi seviyeleri için spektral ivme katsayıları verilmiştir.

Çizelge 3.22: Harita tasarım spektral ivme katsayıları.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	S_s	S_1
DD-3	0.193	0.052
DD-2A	0.282	0.074
DD-2	0.54	0.134

Harita spektral ivme katsayılarının hesabının ardından, çizelge 2.2 ve çizelge 2.3'te verilen yerel zemin etki katsayılarının kullanılmasıyla, tasarım spektral ivme katsayıları elde edilir. Bu işlem denklem 2.1'de gösterilmiştir. Analizler ZB, ZC, ZD ve ZE yerel zemin sınıfları için yapılacağından, 4 farklı tasarım ivme spektrumu elde edilecektir. Şekil 3.66'da farklı yerel zemin sınıfları için ayrı ayrı elde edilen tasarım ivme spektrumları verilmiştir.



Şekil 3.66 : Farklı yerel zemin sınıfları için hesaplanan tasarım ivme spektrumları.

Şekil 3.55'te verilen grafikte, mor ve kesikli çizgilerle gösterilen çizgi, yapının yatay doğrultudaki doğal titreşim periyodunu göstermektedir. Bu değer SAP2000'in modal analizinde, ilk modal şeklin periyot değerine karşılık gelmektedir. Doğal titreşim periyodu, yapının dinamik olarak yaptığı davranışı belirleyen ana parametrelerden biri olduğundan, elde edilen dinamik etki sonuçlarının incelenen zeminler arasında $ZE > ZD > ZC > ZB$ şeklinde bir sonuç vermesi beklenmektedir.

Tez kapsamında kullanılan köprü modelinde, toplamda 12 mod olacak şekilde bir modal analiz gerçekleştirilmiştir. Burada uyulması gereken bir husus TKDY Bölüm 4A.1.4.2'de belirtilen yeterli mod sayısı kuralıdır. Bu kurala göre, yatay (X), (Y) ve gereği halinde düşey (Z) yönü için hesaplanan toplam deprem yükü modal etkin kütlelerinin %95'ten az olmaması gerektirir. Dolayısıyla, yatay yön için hesaplanan toplam deprem yükü modal etkin kütleleri toplam kütlenin 0.95'inden az olmamalıdır. SAP2000'den alınan ve 12 mod için hesap edilen modal kütle katılım oranları çizelge 3.23'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.23: Modal kütle katılım oranları.

Mod	Periyot(sn)	U _x	U _y	ΣU_x	ΣU_y
1	0.748636	0.89568	4.3E-16	0.89568	4.3E-16
2	0.641151	4E-09	2.7E-15	0.89568	3.2E-15
3	0.537849	0.00887	1.7E-16	0.90455	3.3E-15
4	0.489705	4.4E-15	0.74913	0.90455	0.74913
5	0.450493	3.3E-12	1.5E-05	0.90455	0.74915
6	0.431985	6.8E-15	0.11542	0.90455	0.86457
7	0.344697	0.00179	8.8E-15	0.90634	0.86457
8	0.269665	1.2E-14	0.00919	0.90634	0.87376
9	0.132261	0.0336	1.7E-11	0.93994	0.87376
10	0.093502	1.6E-09	0.04816	0.93994	0.92193
11	0.07754	0.02753	6.5E-09	0.96747	0.92193
12	0.035796	3.1E-09	0.05515	0.96747	0.97708

Çizelge 3.23'ten görüleceği üzere, yatay yönler için kütle katılım oranları %95'i geçmiştir. Toplam yüzde katılım değerleri (X) yönü için %96.747, (Y) yönü için ise %97.708'dir. Dolayısıyla 12 mod kullanılması yeterlidir.

SAP2000'den her bir mod için hesaplanan doğal titreşim periyodu alınarak, bu değerler daha önceden hesapladığımız tasarım ivme spektrumlarından hangi ivme değerlerine denk geldiğini bulmak gerekmektedir. Çizelge 3.24'te bu ivme değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.24: Her yerel zemin sınıfı ve modal titreşim periyodu için hesaplanan ivme değerleri.

Periyot (sn)	Sae(g)			
	ZB	ZC	ZD	ZE
0.748636	0.079612	0.149273	0.238836	0.417963
0.641151	0.092051	0.172596	0.276154	0.48327
0.537849	0.111156	0.208418	0.333469	0.583571
0.489705	0.122735	0.230129	0.368206	0.64436

Çizelge 3.24 (devam): Her yerel zemin sınıfı ve modal titreşim periyodu için hesaplanan ivme değerleri.

Periyot (sn)	S _{ae} (g)			
	ZB	ZC	ZD	ZE
0.450493	0.130918	0.24547	0.392753	0.65091
0.431985	0.137007	0.256888	0.41102	0.65091
0.344697	0.173273	0.324887	0.443429	0.65091
0.269665	0.226588	0.366068	0.443429	0.65091
0.132261	0.253432	0.366068	0.443429	0.65091
0.093502	0.253432	0.366068	0.443429	0.630223
0.07754	0.253432	0.366068	0.411005	0.548032
0.035796	0.199492	0.25561	0.2775	0.38365

Aynı zamanda, her bir yerel zemin sınıfı için $S_{de}(T_L)$ değerinin hesaplanması gerekmektedir. T_L değeri TKDY Bölüm 2.3.4'e göre 6 sn olarak alınmalıdır. Çizelge 3.25'te hesaplanan tasarım spektral yerdeğiştirmeleri görülebilir.

Çizelge 3.25: Her yerel zemin sınıfı için hesaplanan $S_{de}(T_L)$ değeri (m).

	Yerel Zemin Sınıfı			
	ZB	ZC	ZD	ZE
$S_{de}(T_L)$	0.087836	0.164692	0.263507	0.461137

3.4.2 Her bir düğüm noktasına gelecek olan kuvvetin hesaplanması

SAP2000 yapısal tasarım programı, DZE'nin olduğu durumlar için doğrudan analiz yapılabilen bir program değildir. Denklem 2.24 ve denklem 2.27'de verilen modal katkı çarpanı ve modal etkin kütleleri, üniform deprem yer hareketi durumu için doğrudan hesaplanabilirken, DZE'nin olması durumunda doğrudan hesaplanamazlar. Bu değerlerin hesaplanması için MATLAB kullanılacaktır.

Tez kapsamında kullanılan modelde 273 düğüm noktası bulunmaktadır. Toplamda 12 mod kullanılacağı ve köprüde 4 ayak olduğu bilinmektedir. SAP2000 programından aşağıdaki matrisler çıkarılabilir ve bir excele aktarılabilir:

- Denklem 2.27'de verilen mod şekli genlik bileşenleri (X), (Y), ve (Z) yönleri için çıkarılmalıdır. Her bir düğüm noktası için çıkarılması durumunda 3 adet 273x12'lik matrisler bulunmalıdır. Bu değerler daha sonradan hem modal katkı çarpanı hesabında, hem de deprem yükü bileşenleri hesabında kullanılacaktır.

- Her bir ayakta bulunan ankastre mesnete (X) doğrultusunda birim deplasman etkilmesi durumunda, her bir düğüm noktasında meydana gelecek olan sözde statik yerdeğiştirme belirlenmelidir. Bu değer her bir ayağa ayrı ayrı birim deplasman etkitilip, her bir düğüm noktası için bulunacağından 273x4'lük bir matris oluşur (Şekil 3.40'da gösterilen "DISP" deplasmanları, burada bahsedilen birim deplasmanlardır).
- Her bir düğüm noktası için atanan kütle değeri çıkarılmalıdır. Buradan elde edilecek olan matrisin boyutları 273x1 olacaktır.

Burada bahsedilen matrisler SAP2000'de bulunan *Show Tables* sekmesinden oluşturulabilir. Mod şekli genlik bileşenleri matrisleri için yükleme durumu olarak *Modal* seçilir ve *Joint Displacement* sonuçları çıkartılır. Düğüm noktaları için atanan kütle matrisi *Assembled Joint Masses* seçeneğiyle belirlenebilir. Düğüm noktalarında meydana gelecek olan sözde statik yerdeğiştirme değerleri, DISP1, DISP2, DISP3 ve DISP4 yükleme durumlarının seçilmesiyle ve *Joint Displacement* sonuçlarının çıkartılmasıyla bulunabilir. Burada verilen matrislerin kullanılmasıyla Denklem 2.36'da verilen DZE durumu için modal katkı çarpanı matrisi bulunabilir. Analiz kapsamında 12 mod ve 4 ayak bulunduğundan 12x4'lük bir matris oluşacaktır. Şekil 3.67'de ve Şekil 3.68'de, yukarıda verilen matrisler için excelden veri alınışını ve modal katkı çarpanı hesabı görülebilir.

```
Mass_matrix = xlsread("Joint Masses.xlsx",1,"B1:B273");

Eigenvalues_x = xlsread("Modal Displacements.xlsx",1,"B2:M274");

Eigenvalues_y = xlsread("Modal Displacements.xlsx",1,"N2:Y274");

Eigenvalues_z = xlsread("Modal Displacements.xlsx",1,"Z2:AK274");

us= xlsread("Disp-Gerçek.xlsx",1,"B2:E274");

Saen = xlsread("Spektral Acc-Disp.xlsx",1,"O5:R16").*9.81;

Eigenvalues_x2 = Eigenvalues_x.^2;
Eigenvalues_y2 = Eigenvalues_y.^2;
Eigenvalues_z2 = Eigenvalues_z.^2;
```

Şekil 3.67 : Excellerden verilerin çekilerek gerekli mod şekli genlik bileşenlerinin oluşturulması.

```

for i=1:273
    for n=1:12
        for k=1:4

Gama_pay(i,n,k)=Mass_matrix(i,1)*us(i,k)*Eigenvalues_x(i,n);
        Gama_payda(i,n) =
Mass_matrix(i,1).*Eigenvalues_x2(i,n)+Mass_matrix(i,1).*Eigenvalues_y2
(i,n)+Mass_matrix(i,1).*Eigenvalues_z2(i,n);
        end
    end
end
Gama_pay_toplam=sum(Gama_pay,1,"omitnan");
Gama_payda_toplam = sum(Gama_payda,1);

for n=1:12
    for k=1:4
        Gama(n,k)=Gama_pay_toplam(:,n,k)./Gama_payda_toplam(n);
    end
end

```

Şekil 3.68 : DZE'nin mevcudiyeti durumunda modal katkı çarpanı hesabı.

Şekil 3.68'de görülen "Gama (n,k)" değeri, denklem 2.36'da verilen modal katkı çarpanıdır.

(X) yönünde analiz kapsamında, TKDY Bölüm 4A.2.2.2'te verilen (4A.5) denkleminde ve TKDY Bölüm 4A.2.3.4'te verilen (4A.12) denkleminde kullanılacaktır. Bu denklemler sırasıyla denklem 3.1'de ve denklem 3.2'de verilmiştir.

$$f_{jxn,max}^{(X)} = m_{jxn,max}^{(X)} S_{aen}^{(X)} \quad (3.1)$$

$$f_{jxn,max}^{(X,k)} = m_{jxn,max}^{(X,k)} S_{aen}^{(X,k)} \quad (3.2)$$

Denklem 3.1'de verilen $f_{jxn,max}^{(X)}$ değeri, üniform depremde her bir mod için hesaplanan deprem yükü bileşenleridir. Denklem 3.2'de bulunan $f_{jxn,max}^{(X,k)}$ ise, DZE'nin mevcudiyeti durumunda hesaplanan deprem yükü bileşenleridir. Denklemlerde bulunan $m_{jxn,max}^{(X)}$ ve $m_{jxn,max}^{(X,k)}$, denklem 2.24'dan ve denklem 2.33'ten hesaplanan modal etkin kütleleridir. $S_{aen}^{(X,k)}$ değeri çizelge 3.24'ten alınacak olan spektral ivme değeridir. Spektral ivme değeri, incelenen k'ncı ayaktaki zemin durumuna ve mod numarasına göre belirlenecektir. $S_{aen}^{(X)}$ değeri üniform depreme ait spektral ivme değeridir ve çizelge 3.24'te ilgili sütun seçilerek bulunur. Şekil 3.69'da DZE durumunda gerekli deprem yükü bileşenlerinin hesabı ve bunların belirlenen *Python.xlsx* dosyasına aktarımı gösterilmiştir. Bölüm 3.4.5'te, kodun üniform deprem hareketi koşulu için güncellenmiş hali bulunmaktadır.

```

for i=1:273
    for n=1:12
        for k=1:4
            m_jnxk(i,n,k)...
            =Mass_matrix(i,1).*(Eigenvalues_x(i,n)*Gama(n,k));
            f_jnxk(i,n,k) = m_jnxk(i,n,k).*Saen(n,k);

        end
    end
end

output_sheet = 'Sayfa1';

% Python.xlsx dosyası yolu
python_file_path = 'Excel_File_Path\Python.xlsx';

% Excel dosyasına verileri yazmak için döngü
for i = 1:4
    % Her bir "f_jnxk(:, :, i)" değerini al ve tek bir çalışma sayfasına
    yaz
    b = squeeze(f_jnxk(:, :, i));
    range = ["B1:M273", "N1:Y273", "Z1:AK273", "AL1:AW273"]; % Excel A1
    gösterimini kullanarak veri aralığını belirle
    writematrix(b, python_file_path, 'Sheet', output_sheet, 'Range', ...
    range(i));
end

```

Şekil 3.69 : DZE'nin mevcudiyeti durumunda deprem yükü hesabı.

Şekil 3.69'de her bir deprem yükü bileşeninin hesabı gösterilmiştir. Bu hesapların incelenen zemin kombinasyonu için S_{aen} değerlerinin güncellenerek yapılması gerektiği unutulmamalıdır. Dolayısıyla şekil 3.67'de verilen S_{aen} matrisi, köprü boyunca alınan her bir yerel zemin kombinasyonu için güncellenecektir.

3.4.3 Deprem yüklerinin SAP2000'e aktarılması

Modal deprem yükü bileşenlerinin bulunmasıyla beraber, bu kuvvetlerin SAP2000'de ilgili düğüm noktalarına aktarılmalı ve hesabın yapılması gerekmektedir. Öncelikle 273 farklı düğüm noktası olduğundan ve ele alınması gereken 12 mod ve 4 farklı köprü ayağı olduğundan bu işlemin SAP2000'de manuel olarak atanması mümkün değildir.

12 mod ve 4 farklı köprü ayağının bulunması durumunda 48 farklı yükleme durumu oluşacaktır. Her bir yükleme durumu için her bir düğüm noktasına gelecek olan deprem yükü daha önceden hesaplanmış ve *Python.xlsx* dosyasına aktarılmıştır. Bu dosyadaki verilerin her biri için bir yükleme durumu oluşturan ve bu durumları SAP2000'e aktaran bir yazılımın yazılması gerekmektedir. Bunun için Python programlama dili kullanılacak ve SAP2000 için mevcut olan açık uygulama programlama arayüzü kullanılacaktır (SAP2000 OAPI). Yazılacak olan programın yapacağı işlemler şu şekilde özetlenebilir:

- Daha önceden oluşturulan excel dosyasından (*Python.xlsx*) her bir mod için yazılan deprem yükü bileşenlerini alınmalı ve bir matris oluşturulmalıdır.
- SAP2000 OAPI kullanılarak, analizlerin yapıldığı .sdb dosyası açılmalı ve 48 farklı yükleme durumu oluşturulmalıdır.
- Oluşturulan her yükleme durumu için düğüm noktalarına aktarılabacak olan deprem yükleri, statik tekil yükler olarak düğüm noktalarına aktarılır.

```
import win32com.client
from openpyxl import load_workbook
from openpyxl import Workbook
import numpy

wb = Workbook()
path = "Dosyanın_Konumu/Python.xlsx"
workbook = load_workbook(path, data_only=True)
sheet = workbook["Sayfal"]

Column_total = numpy.empty((273, 48))
for i in range(1,50):
    Column_total[:,i-2]=[sheet.cell(row=j,column=i).value for j in
    range(1,274)]
```

Şekil 3.70 : Deprem yüklerinin excelden alınışı.

Bu aşamaya kadar deprem yükleri alınmış ve bu veriler *Column_total* matrisinde toplanmıştır. Bu matrisin oluşturulmasıyla birlikte her bir sütundaki değerler sırasıyla alınacak ve düğüm noktalarına aktarılacaktır. Şekil 3.70'de deprem yüklerini excelden alan Python kodu görülebilir. Ayrıca şekil 3.71'de deprem yükü bileşenlerini düğüm noktalarına aktaran Python kodu görülebilir.

```
def apply_loads_to_sap2000():
    SapObject = win32com.client.Dispatch("Sap2000.SapObject")
    SapObject.ApplicationStart()

    SapModel = SapObject.SapModel
    ret = SapModel.InitializeNewModel()

    FileName = r"Dosyanın_Konumu\Model.sdb"
    ret = SapModel.File.OpenFile(FileName)

    A = list(range(1, 274))

    for i in range(len(A)):
        for k in range(1,49):
            B = Column_total[:,k-1]

            loadValues = [B[i], 0, 0, 0, 0, 0]

            ret = SapModel.LoadPatterns.Add("MSP"+str(k), 8)

            ret = SapModel.PointObj.SetLoadForce(str(A[i]), "MSP"+str(k),
            loadValues, True, "Global", 0)

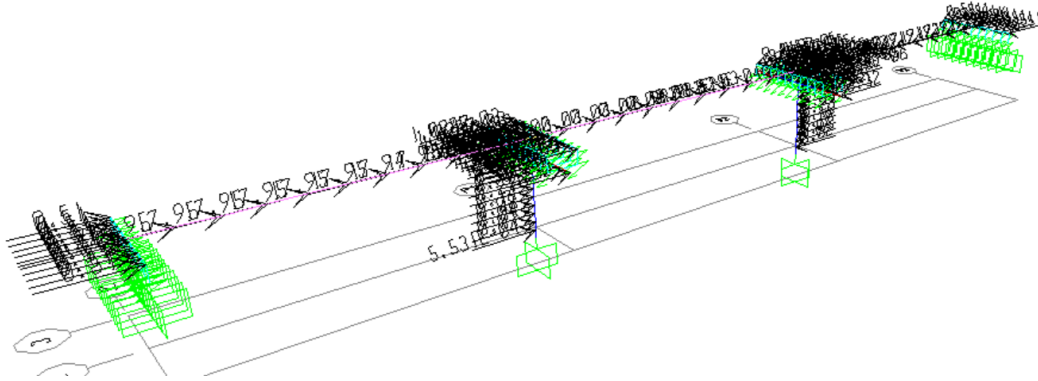
            ret = SapModel.RespCombo.Add("MSP_Merged", 3)

            ret = SapModel.RespCombo.SetCaseList("MSP_Merged", 0,
            "MSP"+str(k), 1)

            if ret != 0:
                print("Error setting loads for load case")
```

Şekil 3.71 : Deprem yüklerinin SAP2000'e aktarılışı.

Şekil 3.72'de, örnek bir "MSP1" yükleme durumu, model üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3.72 : MSP1 yükleme durumunun sistemde görünüşü.

Şekil 3.72'de görüleceği üzere, tüm yükleme durumlarını içeren bir yükleme kombinasyonu (load combination) oluşturulmuştur. Oluşturulan 48 farklı yükleme durumu burada birleştirilmiş ve yükleme kombinasyonu türü olarak da "Kareköklerin Toplamının Karesi" (KTK) kullanılmıştır. Bu yükleme kombinasyonunun sonucu doğrudan kullanılmayacaktır. Bu yükleme kombinasyonunun oluşturulmasındaki amaç, yükleme durumlarının en büyük etkiyi ayaklardaki hangi elastomer mesnette vereceğini bulmaktır. Örneğin kenar ayaklarda 10, orta ayaklarda 20 olmak üzere toplam 60 elastomer mesnet bulunmaktadır. Mod birleştirme analizi sonuçları, oluşturulan kombinasyonun en büyük değeri verdiği elemanlar kullanılarak yapılacaktır.

3.4.4 Analiz sonuçlarının çıkartılması ve analiz

Daha önceden hesaplanan 48 farklı yükleme durumunun sonuçlarının birleştirilmesiyle oluşturulan yükleme kombinasyonuna göre, en büyük deformasyonların meydana geldiği elastomer mesnetler "1","18","43" ve "61"dir. Dolayısıyla bu elastomer mesnet deformasyonlarının incelenmesi gerekmektedir. Depremin orta ayak tabanlarında oluşturduğu kesme kuvveti ve moment değerleri de ayrıca incelenecektir. 48 yükleme durumu için 4 farklı elastomer mesnetin yapacağı deplasman ve 2 orta ayak kolonunda meydana gelen maks. kesme kuvveti-moment değerlerinin alınması durumunda 480 farklı dinamik analiz sonucu burada gösterilecektir. Ayrıca orta ayak kolonları boyunca bulunacak olan kesme kuvveti-moment değerleri şekil olarak verilecektir.

Çizelge 3.5'te verilen 12 farklı zemin kombinasyonu için bütün analizlerin yapılması gerekmektedir. Bu bölümde örnek olarak "ZBZCZDZC" zemin kombinasyonu için sonuçlar çıkarılacaktır. Çizelge 3.26 ve çizelge 3.27'de, çizelge 3.24'ün ve çizelge 3.25'in bu zemin kombinasyonu için güncellenmiş hâli verilmiştir.

Çizelge 3.26 : "ZBZCZDZC" zemin kombinasyonu için elde edilen ivme değerleri.

Periyot (sn)	Sae(g)			
	ZB	ZC	ZD	ZC
0.748636	0.079612	0.149273	0.238836	0.149273
0.641151	0.092051	0.172596	0.276154	0.172596
0.537849	0.111156	0.208418	0.333469	0.208418
0.489705	0.122735	0.230129	0.368206	0.230129
0.450493	0.130918	0.24547	0.392753	0.24547
0.431985	0.137007	0.256888	0.41102	0.256888
0.344697	0.173273	0.324887	0.443429	0.324887
0.269665	0.226588	0.366068	0.443429	0.366068
0.132261	0.253432	0.366068	0.443429	0.366068
0.093502	0.253432	0.366068	0.443429	0.366068
0.07754	0.253432	0.366068	0.411005	0.366068
0.035796	0.199492	0.25561	0.2775	0.25561

Çizelge 3.27 : "ZBZCZDZC" zemin kombinasyonu için elde edilen $S_{de}(T_L)$ değerleri (m).

	Yerel Zemin Sınıfı			
	ZB	ZC	ZD	ZC
$S_{de}(T_L)$	0.087836	0.164692	0.263507	0.164692

Çizelge 3.26 ve çizelge 3.27'deki veriler, tezde bölüm 3.4.2'den başlayarak tüm analizlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Analizlerin gerçekleştirilmesi sonrası "1","18","43" ve "61" numaralı elastomer mesnetlerdeki deformasyonlar ve orta ayaklardaki kesme kuvveti-moment değerleri kullanılacaktır. Çizelge 3.28'de "1" numaralı elastomer mesnetteki deformasyon değerleri verilmiştir. Denklem 2.32'de görülen ve her mod ve her ayak için hesaplanan $r_{n,max}^{(X,k)}$ değeri çizelge 3.28'de verilmiştir. 12 mod ve 4 ayak bulunduğundan toplam 48 veri bulunmaktadır.

Çizelge 3.28 : "1" nolu elastomer mesnet deformasyonu (m).

Mod	"1"nolu elastomer mesnet için $r_{n,max}^{(X,k)}$			
	1.Ayak	2.Ayak	3.Ayak	4.Ayak
1	0.001136	0.006714	0.010741	0.00213
2	0.001172	0.003846	-0.00616	-0.00219
3	0.00016	-0.00069	-0.0011	0.000301
4	1.75E-13	6.18E-13	-5.9E-13	-2.9E-13
5	4.11E-09	1.33E-08	-2.2E-08	-7.7E-09

Çizelge 3.28 (devam) : "1" nolu elastomer mesnet deformasyonu (m).

Mod	"1"nolu elastomer mesnet için $r_{n,max}^{(X,k)}$			
	1.Ayak	2.Ayak	3.Ayak	4.Ayak
6	1.69E-12	5.04E-12	-1.1E-11	-3.4E-12
7	3.64E-06	0.000025	0.000036	7.54E-06
8	1.11E-11	2.71E-11	-4.4E-11	-1.7E-11
9	7.78E-07	-6.5E-05	-7.5E-05	2.51E-06
10	-8E-13	-3.2E-11	-4.1E-11	-1.9E-12
11	7.97E-07	0.00005	0.000064	4.76E-06
12	-2.1E-12	-4.3E-11	-4.3E-11	-1.3E-12

Çizelge 3.26 ve çizelge 3.27'deki veriler, tezde bölüm 3.4.2'den başlayarak tüm analizlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Analizlerin gerçekleştirilmesi sonrası "1","18","43" ve "61" numaralı elastomer mesnetlerdeki deformasyonlar ve orta ayaklardaki kesme kuvveti-moment değerleri kullanılacaktır. Çizelge 3.28'de "1" numaralı elastomer mesnetteki deformasyon değerleri verilmiştir. Denklem 2.32'de görülen ve her mod ve her ayak için hesaplanan $r_{n,max}^{(X,k)}$ değeri çizelge 3.28'de verilmiştir. 12 mod ve 4 ayak bulunduğundan toplam 48 veri bulunmaktadır. Ayrıca statik etkiler için denklem 2.30 kullanılarak her ilgili köprü ayağı için ilgili $r_{s,max}^{(X,k)}$ değeri hesaplanmalıdır. Statik ve dinamik etkilerin bulunmasıyla beraber, oluşan toplam etki denklem 2.38'e göre hesaplanabilir. Şekil 3.73'de dinamik ve statik etkilerin hesabında kullanılan MATLAB kodu görülebilir.

```
rnmk = xlsread("pmn.xlsx",1,"S8:V19");
pmn = xlsread("pmn.xlsx",1,"E8:P19");
rst = xlsread("pmn.xlsx",1,"S23:V23");
Sde = xlsread("Spektral Acc-Disp.xlsx",1,"O22:R22");

for m=1:12
    for n=1:12
        for k=1:4
            degerlerd(m,n,k) = rnmk(m,k)*pmn(m,n)*rnmk(n,k);
            degerlers(k)=rst(:,k)*Sde(:,k);
        end
    end
end

degerlers2 = degerlers.^2;
D = (sum(degerlerd,"all"))^0.5;
S = (sum(degerlers2,"all"))^0.5;
Sonuc = (S^2+D^2)^0.5;
```

Şekil 3.73 : Dinamik ve statik etkilerin hesabı ve nihai sonucun bulunması.

Şekil 3.73'de, hesaplamalar için gerekli olan bir diğer parametre her bir mod için hesaplanan çapraz korelasyon katsayısı " ρ_{mn} " değerleridir. Bu değerler çizelge 3.29'da verilmiştir.

Çizelge 3.29 : Tüm mod periyotları için hesaplanan ρ_{mn} değerleri.

Her bir mod için hesaplanan ρ_{mn} değerleri													
Periyot (sn)													
m/n	0.748636	0.641151	0.537849	0.489705	0.450493	0.431985	0.344697	0.269665	0.132261	0.093502	0.07754	0.035796	
Periyot (sn)	0.748636	1	0.659282	0.336832	0.253347	0.205214	0.187029	0.127559	0.098388	0.074036	0.073415	0.074451	0.084343
	0.641151	0.587023	1	0.605931	0.418165	0.313251	0.275538	0.162708	0.114179	0.075827	0.073216	0.073537	0.081905
	0.537849	0.208264	0.520146	1	0.832508	0.602108	0.507934	0.239759	0.144446	0.079536	0.073913	0.073207	0.079334
	0.489705	0.127267	0.295981	0.804851	1	0.86131	0.74151	0.315043	0.170191	0.082494	0.074787	0.073405	0.078079
	0.450493	0.085921	0.184343	0.515385	0.840255	1	0.959317	0.420961	0.202753	0.085876	0.075923	0.073843	0.077048
	0.431985	0.071538	0.147747	0.400248	0.690885	0.955931	1	0.494892	0.22412	0.087897	0.076641	0.074168	0.076564
	0.344697	0.030322	0.05352	0.115149	0.186134	0.299123	0.384709	1	0.458035	0.103965	0.082651	0.077395	0.074431
	0.269665	0.014138	0.022516	0.041012	0.058906	0.083932	0.101624	0.34147	1	0.139592	0.095482	0.084957	0.073258
	0.132261	0.002569	0.003571	0.005308	0.006638	0.008167	0.009095	0.016989	0.037849	1	0.319474	0.19353	0.082569
	0.093502	0.001294	0.001745	0.002484	0.003023	0.003619	0.00397	0.006708	0.012699	0.190582	1	0.578109	0.103748
	0.07754	0.000914	0.001218	0.001706	0.002054	0.002434	0.002655	0.004327	0.007749	0.076595	0.485633	1	0.12801
	0.035796	0.000242	0.000312	0.00042	0.000493	0.00057	0.000613	0.000919	0.001453	0.006672	0.016875	0.030596	1

Çizelge 3.29'da verilen tablodaki değerler, denklem 2.29 vasıtasıyla hesaplanmaktadır. Şekil 3.73'de verilen MATLAB kodunda "pmn" matrisi bu verileri içerir. Bu değer, dinamik analizlerle bulunan $r_{n,max}^{(X,k)}$ değerlerinin *Tam Karesel Birleştirme (TKB)* yöntemiyle birleştirilmesi için uygulanır. Bu işlem sonucunda denklem 2.37'de verilen dinamik büyüklüklerin maksimum değerleri bulunur.

Şekil 3.73'de verilen figürde, statik değerlerin hesabı için her bir ayakta mevcut olan yerel zemin sınıfı için hesaplanan dört $S_{de}(T_L)$ değeri kullanılır. Burada incelenen zemin kombinasyonu için gerekli değerler çizelge 3.27'de verilmiştir. Bu değerler sırasıyla her bir ayağa etki ettirilen birim deplasman sonucu elde edilen elastomer deplasman değerleriyle çarpılır ve tüm sonuçlar *Karelerin Toplamının Karekökü (KTK)* yöntemiyle toplanır. Bu işlem denklem 2.30 ve denklem 2.31'de gösterilmiştir.

3.4.5 Üniform deprem yer hareketi için mod birleştirme kontrolü

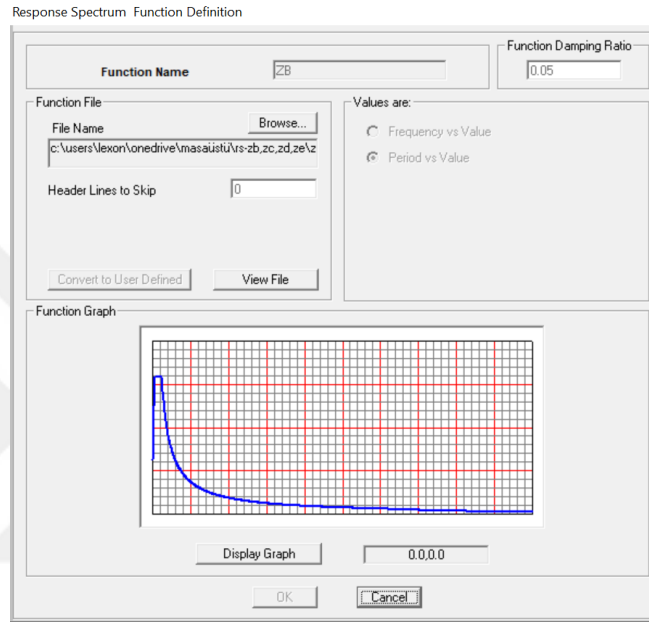
DZE'nin mevcut olması durumunda, mod birleştirme yönteminin doğrudan SAP2000'de yapılamadığı ve analizlerin SAP2000, MATLAB, Excel ve Python programlarının her birinin kullanılmasıyla yapıldığından bahsedilmiştir. SAP2000, üniform deprem yer hareketi için mod birleştirme analizine olanak tanırken bu durum değişken deprem yer hareketi için geçerli değildir. Dolayısıyla burada yapılan analizlerle, SAP2000 analizleri ayrı ayrı yapılarak kontrol edilmelidir. Yapılan kontrol üniform deprem yer hareketi durumu için yapılabilir. Her bir düğüm noktasına deprem yükünün manüel aktarılması ve analizler sonucunun MATLAB'da TKB yöntemiyle birleştirilmesiyle elde edilen sonuçlar, SAP2000'de tasarım tepki spektrumunun tanımlanıp analizin yapılmasıyla elde edilen sonuçlarla karşılaştırılacaktır. Çizelge 3.5'te verilen ve üniform deprem yer hareketinin olduğu durumlar şu şekildedir:

- Sadece ZB
- Sadece ZC
- Sadece ZD
- Sadece ZE

Üniform deprem yer hareketinin bulunması durumunda, köprüye aktarılan sözde-statik deprem yerdeğiştirmeleri herhangi bir iç kuvvete veya şekil değiştirmeye neden olmadıklarından sadece dinamik etkiler hesap edilmelidir.

Sadece dinamik etkilerin mevcudiyeti durumunda Bölüm 2.4.3'te verilen formüller kullanılacaktır.

SAP2000 vasıtasıyla tasarım tepki spektrumu analizinin yapılabilmesi için öncelikle tepki spektrumu bir fonksiyon olarak SAP2000'de tanımlanır. Daha sonra tepki spektrumu yükleme durumu oluşturularak analiz gerçekleştirilir. Şekil 3.74'de ve şekil 3.75'te "Sadece ZB" durumu için tanımlanan tepki spektrumu ve tanımlanan yükleme durumu gösterilmiştir.



Şekil 3.74 : "Sadece ZB" durumu için tanımlanan tasarım tepki spektrumu.

Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name: SPEC_ZB

Load Case Type: Response Spectrum

Modal Combination: ☒ CQC

Directional Combination: ☒ SRSS

Modal Load Case: MODAL

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	ZB	9.81
Accel	U1	ZB	9.81

Other Parameters: Modal Damping: Constant at 0.05

OK Cancel

Şekil 3.75 : "Sadece ZB" durumu için tanımlanan tasarım tepki spektrumu yükleme durumu.

Şekil 3.74 ve şekil 3.75'de verilen işlem, "Sadece ZC", "Sadece ZD" ve "Sadece ZE" zemin koşulları için tekrarlanacaktır. Tüm analizler tamamlandıktan sonra aynı zemin durumları için analizler her bir düğüm noktasına deprem yükünün manüel aktarılması yöntemiyle yapılacaktır. Bunun için çizelge 3.24'te görülen spektral ivme değerleri ayrı ayrı kullanılacaktır. Ayrıca analizler her bir köprü ayağı için ayrı ayrı yapılmayacağından, analizler 273 düğüm noktası ve 12 mod için yapılacaktır. Şekil 3.76, şekil 3.77 ve şekil 3.78, DZE kapsamında düğüm noktaları için hesaplanan deprem yükü kodunun, üniform deprem için güncellenmiş hâlini göstermektedir.

```
Mass_matrix = xlsread("Joint Masses.xlsx",1,"B1:B273");
Eigenvalues_x = xlsread("Modal Displacements.xlsx",1,"B2:M274");
Eigenvalues_y = xlsread("Modal Displacements.xlsx",1,"N2:Y274");
Eigenvalues_z = xlsread("Modal Displacements.xlsx",1,"Z2:AK274");
Saen = xlsread("Spektral Acc-Disp.xlsx",1,"O5:O16").*9.81;
Eigenvalues_x2 = Eigenvalues_x.^2;
Eigenvalues_y2 = Eigenvalues_y.^2;
Eigenvalues_z2 = Eigenvalues_z.^2;
```

Şekil 3.76 : Üniform durumlar için excellerden verilerin çekilmesi.

```
for k=1:1
    for n=1:12
        for i=1:273
            Gama_pay(i,n,k)=Mass_matrix(i,1)*Eigenvalues_x(i,n);
            Gama_payda(i,n) = Mass_matrix(i,1).*Eigenvalues_x2(i,n)...
+Mass_matrix(i,1).*Eigenvalues_y2(i,n)+Mass_matrix(i,1).*Eigenvalues_z2(i,n);
        end
    end
end
Gama_pay_toplam=sum(Gama_pay,1,"omitnan");
Gama_payda_toplam = sum(Gama_payda,1);
```

Şekil 3.77 : Üniform durumlar için modal katkı çarpanı hesabı.

```
for k=1:1
    for n=1:12
        for i=1:273
            Gama(n,k)=Gama_pay_toplam(:,n,k)./Gama_payda_toplam(n);
            m_jn_xk(i,n,k)...
=Mass_matrix(i,1).*(Eigenvalues_x(i,n)*Gama(n,k));
            f_jn_xk(i,n,k) = m_jn_xk(i,n,k).*Saen(n,k);
        end
    end
end
for i = 1:1
    % use a for loop to remove 1 dimension and write into different
    worksheets
    % b = (squeeze(f_jn_xk(:,:,i)))';
    xlswrite('example1.xlsx', f_jn_xk, ['Sheet', num2str(i)]);
end
```

Şekil 3.78 : Üniform durumlar için deprem yükü bileşenlerinin hesabı.

Aynı şekilde deprem yükü bileşenlerini SAP2000'e aktaran ve analizlerin gerçekleştirilmesi sonrası TKB yöntemiyle analiz sonuçlarını birleştiren kodların da güncellenmesi gerekmektedir. Şekil 3.79, şekil 3.80 ve şekil 3.71'de güncellenmiş kodlar verilmiştir.

```
import win32com.client
from openpyxl import load_workbook
from openpyxl import Workbook
import numpy

wb = Workbook()
path = "Dosyanın_Konumu/Python.xlsx"
workbook = load_workbook(path, data_only=True)
sheet = workbook["Sayfa1"]

Column_total = numpy.empty((273, 12))
for i in range(1,13):
    Column_total[:,i-2]=[sheet.cell(row=j,column=i).value for j in
range(1,274)]
```

Şekil 3.79 : Üniform durumlar için deprem yükü bileşenlerinin excelden alınışı.

Şekil 3.79'da import edilen Python kütüphanelerinin, şekil 3.80'de de kullanıldığı unutulmamalıdır.

```
def apply_loads_to_sap2000():
    SapObject = win32com.client.Dispatch("Sap2000.SapObject")
    SapObject.ApplicationStart()

    SapModel = SapObject.SapModel
    ret = SapModel.InitializeNewModel()

    FileName = r"Dosyanın_Konumu\Model.sdb"
    ret = SapModel.File.OpenFile(FileName)

    A = list(range(1, 274))

    for i in range(len(A)):
        for k in range(1,13):
            B = Column_total[:,k-1]
            # Iterate through the length of list A
            loadValues = [B[i], 0, 0, 0, 0, 0]

            ret = SapModel.LoadPatterns.Add("MSP"+str(k), 8)

            ret = SapModel.PointObj.SetLoadForce(str(A[i]),
            "MSP"+str(k), loadValues, True, "Global", 0)

            ret = SapModel.RespCombo.Add("MSP_Merged", 3)

            ret = SapModel.RespCombo.SetCaseList("MSP_Merged", 0,
            "MSP"+str(k), 1)

            if ret != 0:
                print("Error setting loads for load case")
```

Şekil 3.80 : Üniform durumlar için deprem yükü bileşenlerinin, SAP2000'de her bir düğüm noktasına etkililmesi.

Son olarak deprem yükü bileşenlerinin SAP2000'e aktarılması ve analizlerin yapılmasıyla beraber, sonuçlar elde edilebilir. "1", "18", "43", "61" numaralı elastomer mesnet deformasyonlarıyla; orta ayaklarda meydana gelen maksimum kesme kuvveti-moment değerleri göz önünde bulundurulacaktır. Şekil 3.81'de üniform deprem yer hareketi koşullarında bulunan dinamik sonuçların TKB yöntemiyle birleştirilmesinde kullanılan MATLAB kodu gösterilmiştir.

```

rnmk = xlsread("pmn.xlsx",1,"W8:W19");
pmn = xlsread("pmn.xlsx",1,"E8:P19");

for n=1:12
    for m=1:12
        degerlerd(m,n) = rnmk(m,:) * pmn(m,n) * rnmk(n,:);
    end
end
D = (sum(degerlerd,"all"))^0.5;

```

Şekil 3.81 : Üniform durumlar için dinamik analiz sonuçlarının TKB yöntemiyle hesabı.

3.4.5.1 SAP2000'de yapılan tepki spektrumu analiz sonuçları

SAP2000 vasıtasıyla bulunan analiz sonuçları değerlendirilmeli ve gerekli grafikler çıkarılmalıdır. İncelenecek olan parametreler: elastomer deformasyonları, orta ayak kesme kuvvetleri ve orta ayak momentleridir.

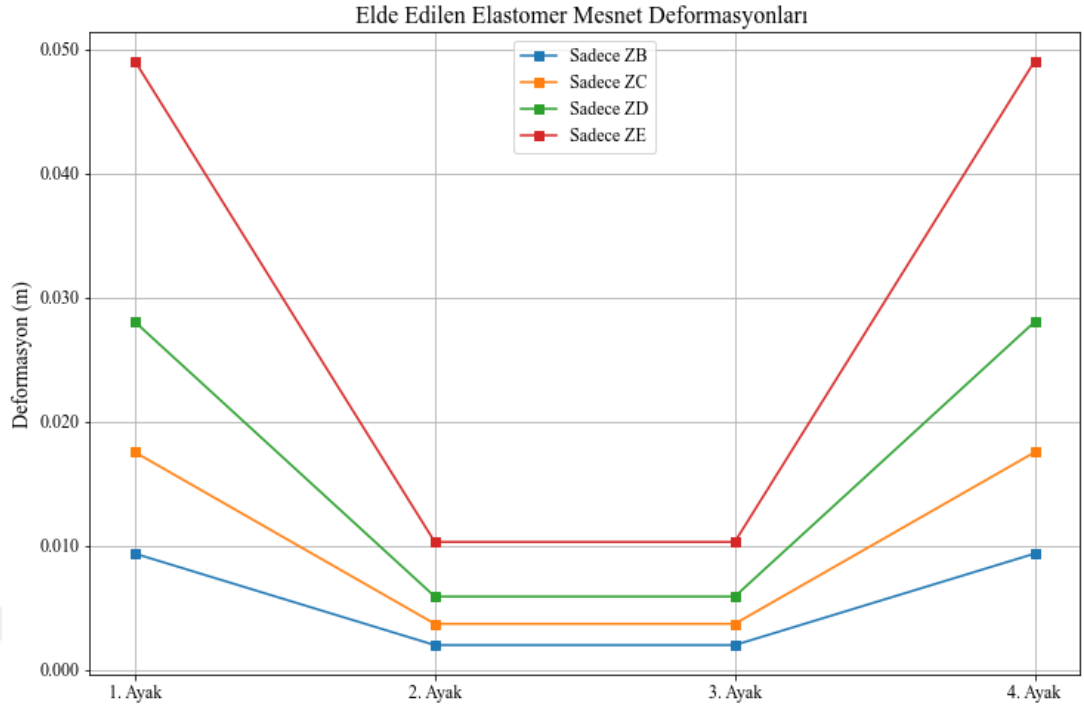
Elastomer mesnet deformasyonları

SAP2000'de oluşturulan tepki spektrumu yükleme durumlarının analiz edilmesiyle sonuçlar elde edilmiştir. "Sadece ZB", "Sadece ZC", "Sadece ZD" ve "Sadece ZE" olmak üzere toplamda dört farklı zemin durumu incelenecektir. Daha önceden sadece dinamik sonuçların elde edildiği ve orta ayaklarda kullanılan elastomerlerin, kenar ayaklarda kullanılan elastomerlerden daha rijit olduğu belirtilmiştir.

Tüm ayaklar için, elastomer mesnetlerde meydana gelen maksimum deformasyonlar çizelge 3.30'da verilmiştir. Şekil 3.82'de bulunan sonuçlar grafik olarak gösterilmiştir.

Çizelge 3.30 : Üniform deprem yer hareketi durumu için bulunan deplasmanlar (m).

Yerel Zemin Sınıfı	1. Ayak	2. Ayak	3. Ayak	4. Ayak
ZB	0.00934	0.001966	0.001966	0.00934
ZC	0.017513	0.003678	0.003678	0.017512
ZD	0.028021	0.005876	0.005876	0.02802
ZE	0.049037	0.010277	0.010277	0.049035



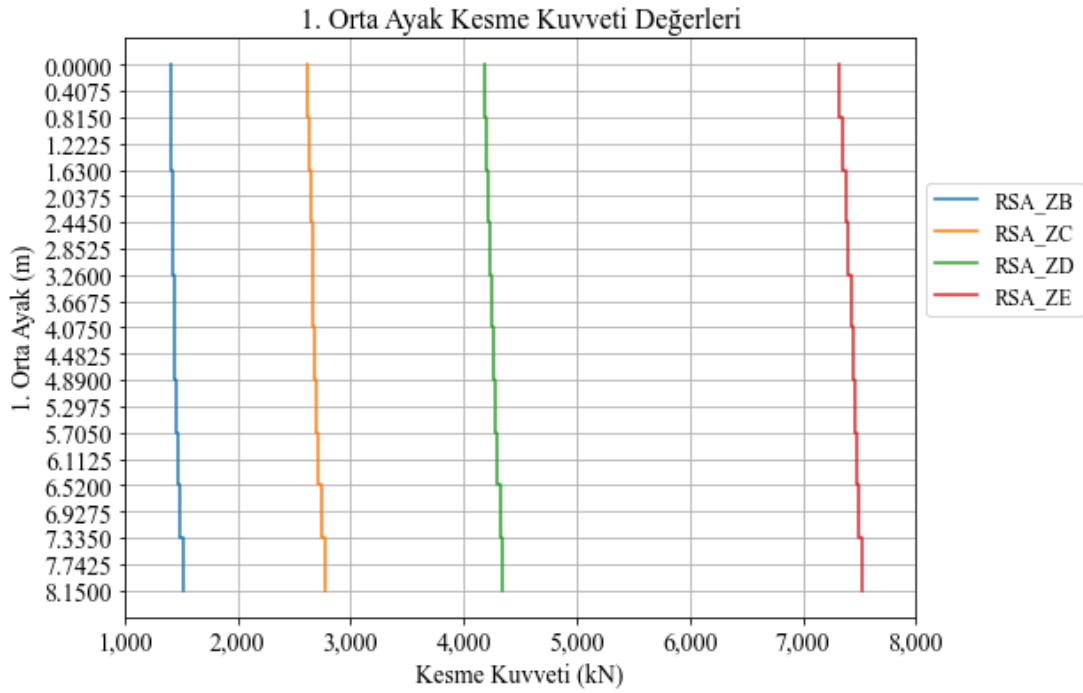
Şekil 3.82 : SAP2000 tepki spekturumu analizi elastomer deformasyonları (m).

Orta ayak kesme kuvvetleri

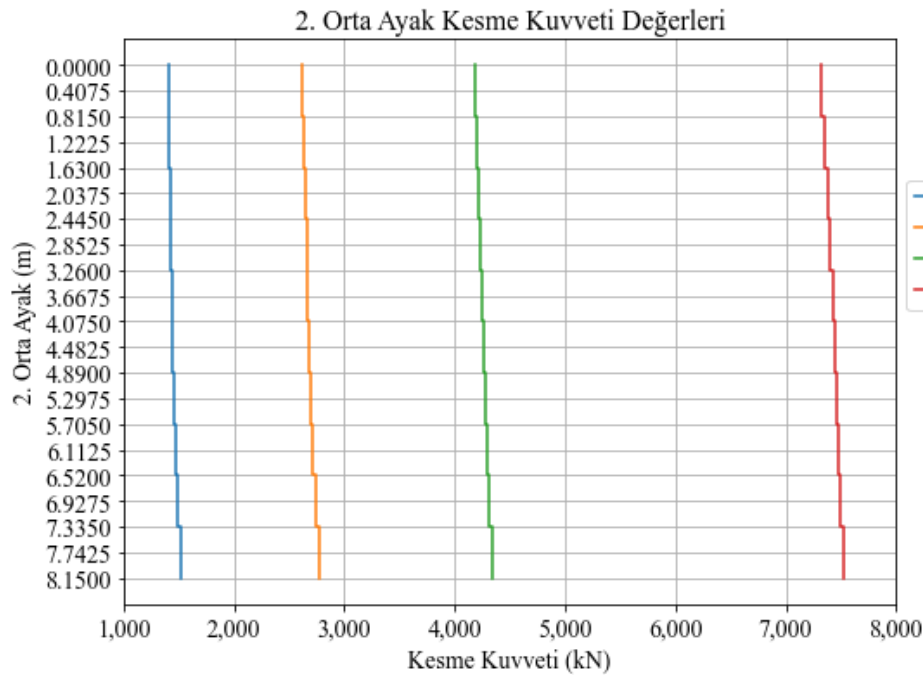
Orta ayak kolonlarında meydana gelen maksimum kesme kuvveti, aynı şekilde 4 farklı üniform deprem yer hareketi durumu için çıkarılabilir. Mesnetlere deplasman yükü etkililmediğinden analiz sonuçları aslında en alt kısımda bulunan çubuk eleman için yapılabilir. Aynı zamanda kesme kuvveti ve moment değerlerinin maksimum olduğu bölge, en alt kısımda bulunan çubuk elemanda bulunacaktır. Çizelge 3.31'de bulunan kesme kuvveti değerleri verilmiştir. Ayrıca şekil 3.83'de ve şekil 3.84'te her iki orta ayak için hesaplanan kesme kuvveti değerleri verilmiştir. bulunan kesme kuvveti değerlerinin grafik olarak gösterilmiş hâli verilmiştir.

Çizelge 3.31 : Üniform deprem yer hareketi durumu için bulunan maksimum kesme kuvveti değerleri (kN).

Yerel Zemin Sınıfı	1.OA	2. OA
ZB	1519.33	1519.191
ZC	2769.698	2769.541
ZD	4346.867	4346.73
ZE	7528.658	7528.525



Şekil 3.83 : 1. OA için SAP2000 tepki spekturumu analizi sonrası hesaplanan orta ayak kesme kuvvetleri (kN).



Şekil 3.84 : 2. OA için SAP2000 tepki spekturumu analizi sonrası hesaplanan orta ayak kesme kuvvetleri (kN).

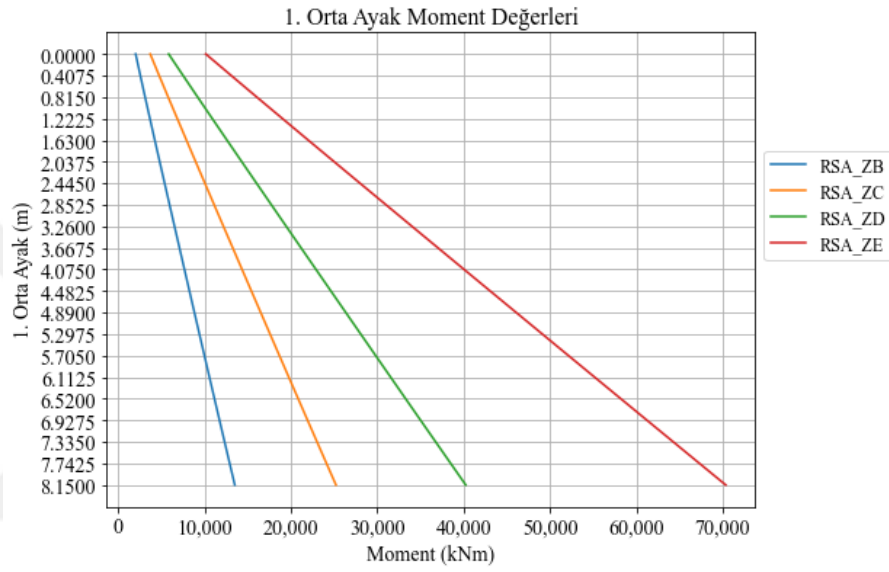
Orta ayak momentleri

Orta ayak momentlerinin maksimum olduğu yerler, orta ayak kolonlarının düşey olarak en alt bölgesi olacaktır. Sonuçların karşılaştırılabilmesi için moment değerleri her iki orta ayak boyunca hesaplanmıştır.

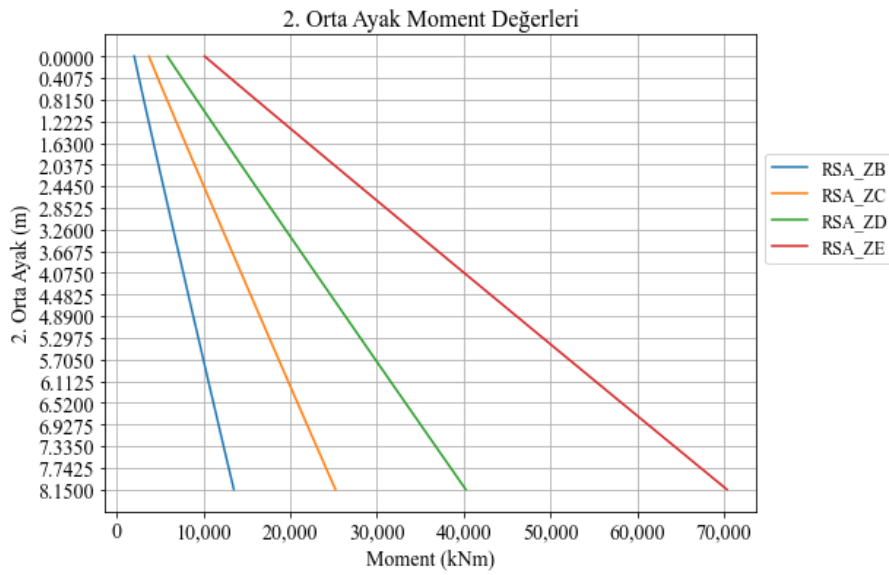
Çizelge 3.32'de bulunan moment değerleri, şekil 3.85'de ve şekil 3.86'da moment değerlerinin grafik olarak gösterilmiş hâli verilmiştir.

Çizelge 3.32 : Üiform deprem yer hareketi durumu için bulunan moment değerleri (kNm).

Yerel Zemin Sınıfı	1. OA	2. OA
ZB	13513.7	13513.1
ZC	25229.6	25228.5
ZD	40256.6	40254.7
ZE	70361.9	70358.7



Şekil 3.85 : 1. OA için SAP2000 tepki spektrumu analizi sonrası hesaplanan orta ayak momentleri (kNm).



Şekil 3.86 : 2. OA için SAP2000 tepki spektrumu analizi sonrası hesaplanan orta ayak momentleri (kNm).

3.4.5.2 Deprem yüklerinin düğüm noktalarına atanmasıyla bulunan sonuçlar.

SAP2000'de tanımlanan tasarım tepki spektrumları ve tepki spektrumu yükleme durumu analizlerinin yapılmasının ardından, daha önceden belirtilen deprem yüklerinin düğüm noktalarına atanması yöntemiyle analiz gerçekleştirilecektir.

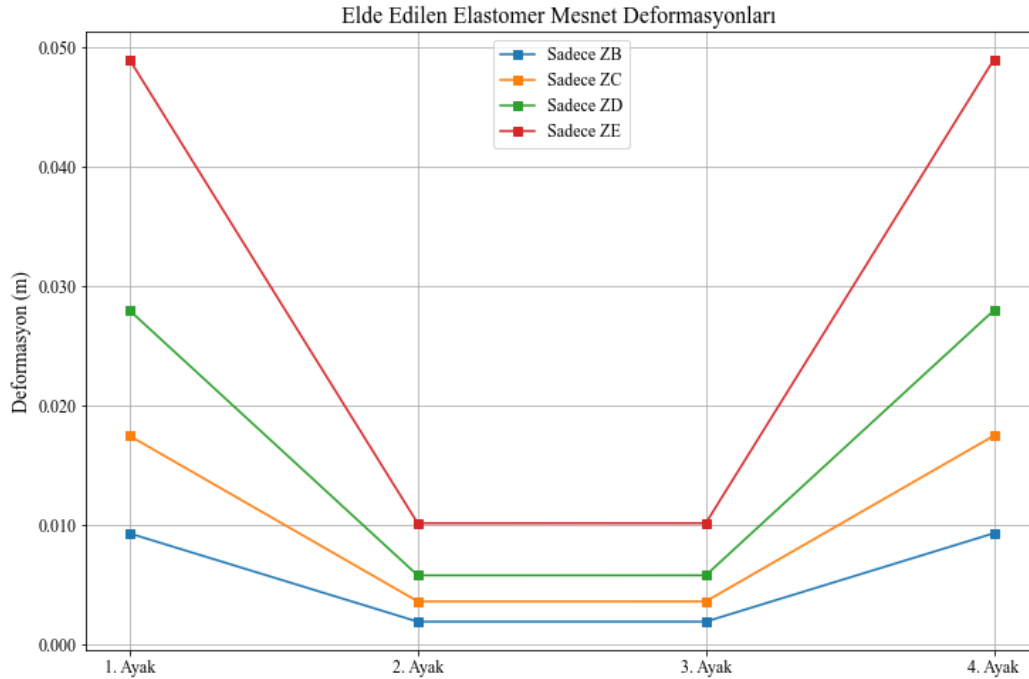
Elastomer mesnet deformasyonları

TKDY Bölüm 4A.2 kapsamında her bir düğüm noktasına gelecek olan deprem yükü hesaplanmış ve deprem yükünün etkilmesiyle gerekli sonuçlar elde edilmiştir. "Sadece ZB", "Sadece ZC", "Sadece ZD" ve "Sadece ZE" olmak üzere toplamda dört farklı zemin durumu incelenecektir.

Tüm ayaklar için, elastomer mesnetlerde meydana gelen maksimum deformasyonlar çizelge 3.30'da verilmiştir. Şekil 3.87'de bulunan sonuçlar grafik olarak gösterilmiştir.

Çizelge 3.33 : Üniform deprem yer hareketi durumunda TKB yöntemiyle bulunan deformasyonlar (m).

Yerel Zemin Sınıfı	1. Ayak	2. Ayak	3. Ayak	4. Ayak
ZB	0.009331	0.001944	0.001945	0.009343
ZC	0.017496	0.003640	0.003642	0.017510
ZD	0.027990	0.005820	0.005823	0.028004
ZE	0.048981	0.010184	0.010188	0.048997



Şekil 3.87 : Üniform deprem yer hareketi durumunda TKB yöntemiyle bulunan deformasyonlar grafiği (m).

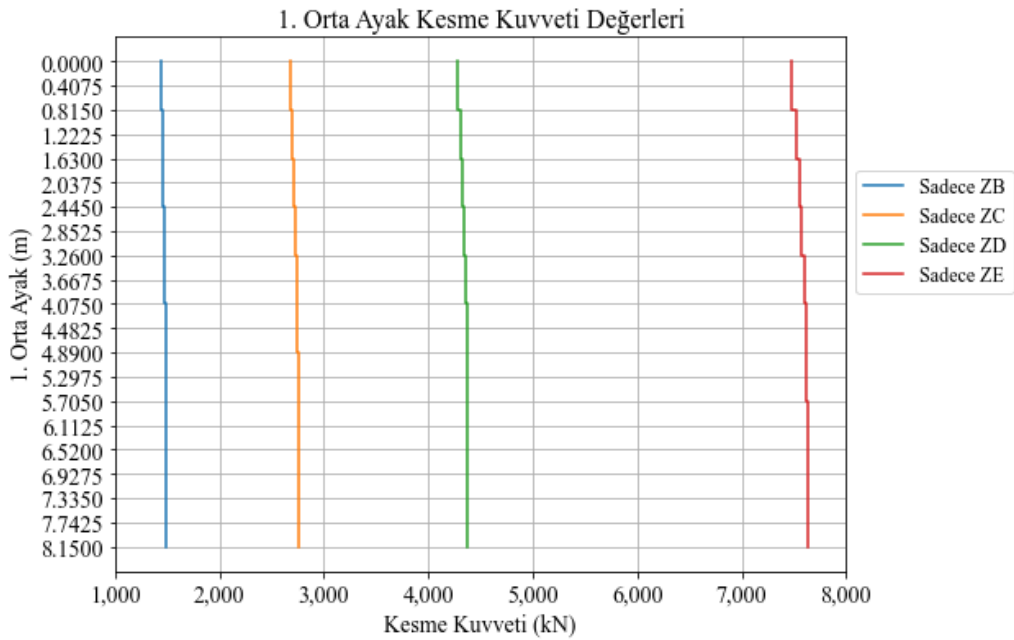
Orta ayak kesme kuvvetleri

Orta ayak kolonlarında meydana gelen maksimum kesme kuvveti, aynı şekilde 4 farklı üniform deprem yer hareketi durumu için çıkarılabilir. Çizelge 3.34'de bulunan kesme kuvveti değerleri, şekil 3.88'de ve şekil 3.89'da da bulunan kesme kuvveti değerlerinin grafik olarak gösterilmiş hâli verilmiştir.

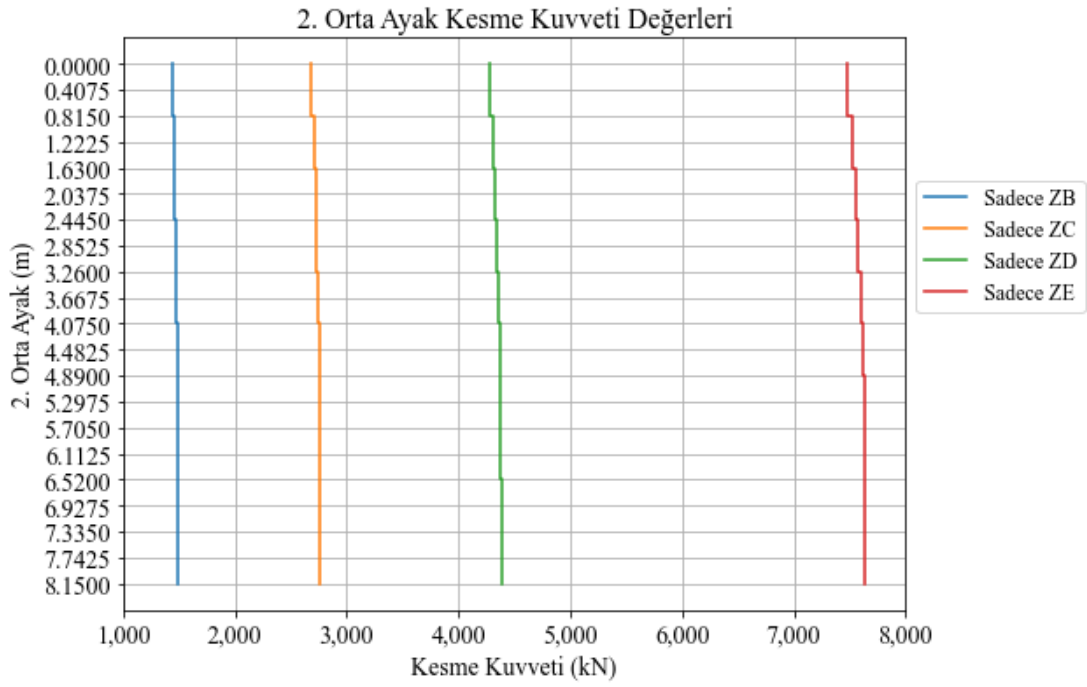
Burada dikkat edilmesi gereken hususlardan biri, maksimum kesme kuvvetlerinin tam olarak en alt çubuk elemanda oluşmasının beklenmesidir. Daha önce yapılan kesme kuvveti grafikleri incelendiğinde de, en büyük kesme kuvveti değerlerinin en alt elemanda olduğu gözlemlenebilir. Yatay yüklerden oluşan kesme kuvvetinin, en büyük değerinin en alt elemanda oluşacağı beklenen bir durumdur. Maksimum kesme kuvveti değeri, orta ayak boyunca elde edilen maksimum kesme kuvveti değeri olarak alınmıştır.

Çizelge 3.34 : Üniform deprem yer hareketi durmu için TKB yöntemiyle bulunan maksimum kesme kuvveti değerleri (kN).

Yerel Zemin Sınıfı	1. OA	2. OA
ZB	1487.68	1489.54
ZC	2758.96	2761.22
ZD	4379.02	4380.84
ZE	7635.96	7637.70



Şekil 3.88 : 1. OA için üniform deprem yer hareketi durumunda TKB yöntemiyle bulunan kesme kuvveti grafiği (kN).



Şekil 3.89 : 2. OA ve üniform deprem yer hareketi durumunda TKB yöntemiyle bulunan kesme kuvveti grafiği (kN).

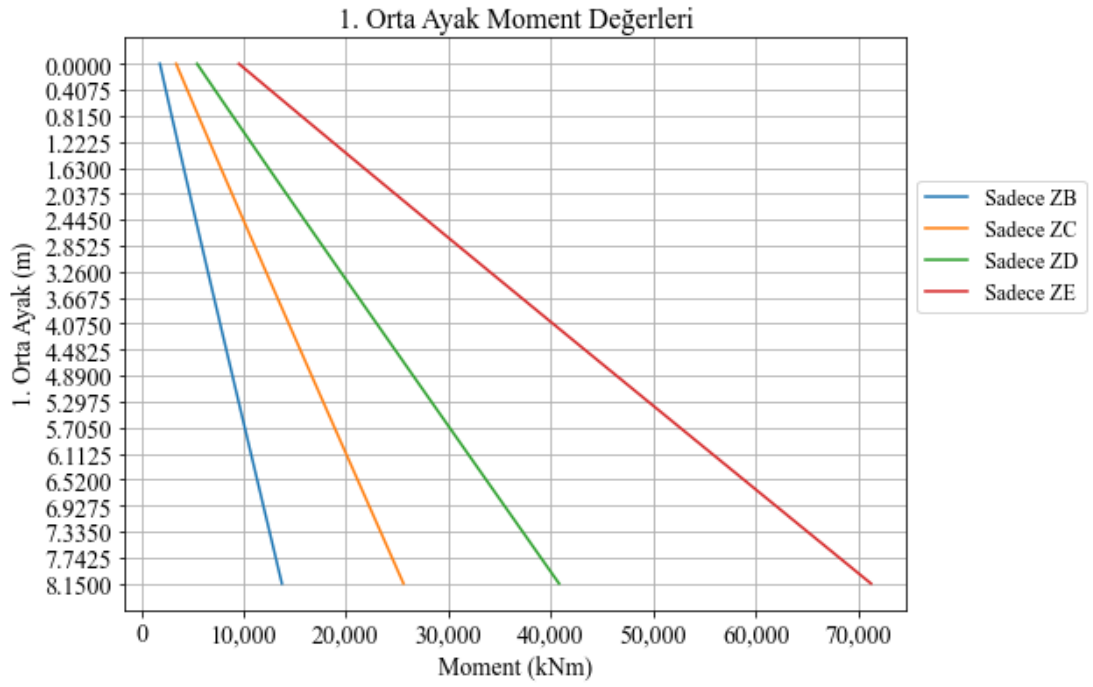
Orta ayak momentleri

Orta ayak momentlerinin maksimum olduğu yerler, orta ayak kolonlarının düşey olarak en alt bölgesi olacaktır. Sonuçların karşılaştırılabilmesi için tüm sonuçlar 1. orta ayak ve 2. orta ayak boyunca hesaplanmıştır.

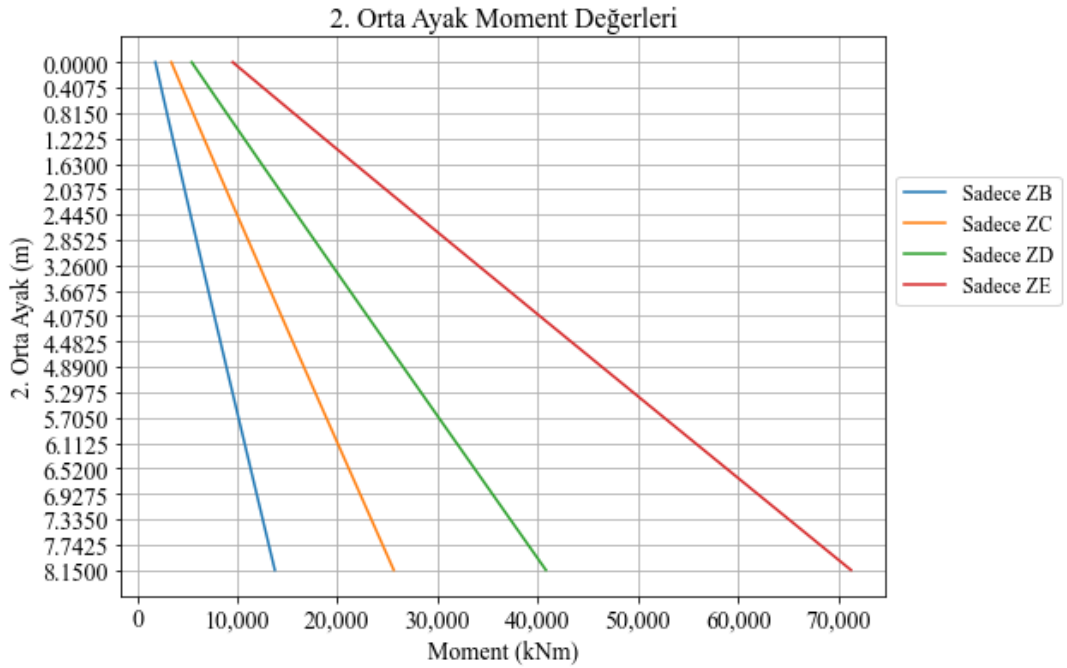
Çizelge 3.35'de bulunan maksimum moment değerleri, şekil 3.90'da ve şekil 3.91'de köprü ayağı boyunca bulunan moment değerleri grafik olarak gösterilmiştir. Kesme kuvvetine benzer şekilde, moment değerinin en büyük olduğu nokta kolonun en alt bölgesidir.

Çizelge 3.35 : Üniform deprem yer hareketi durumunda TKB yöntemiyle bulunan moment değerleri (kNm).

Yerel Zemin Sınıfı	1. OA	2. OA
ZB	13736.78	13750.58
ZC	25610.98	25627.99
ZD	40804.28	40818.47
ZE	71269.50	71283.71



Şekil 3.90 : 1. OA için üniform deprem yer hareketi durumunda TKB yöntemiyle bulunan moment grafiğı (kNm).



Şekil 3.91 : 2. OA için üniform deprem yer hareketi durumunda TKB yöntemiyle bulunan moment grafiğı (kNm).

3.4.6 DZE'nin bulunduğı durumlarda analizlerin gerçekleştirilmesi

Çizelge 3.5'te, DZE'nin bulunduğı ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceğı ve yapılamıyacağı zemin kombinasyonları verilmiştir. Burada verilen sonuçlar ayrı ayrı incelenecek ve elde edilen sonuçların verileri elde edilecektir.

3.4.6.1 Üniform deprem yer kabulünün yapılabileceği zemin kombinasyonları

Çizelge 3.5'e göre DZE'nin bulunduğu ve üniform deprem yer kabulünün yapılabileceği 4 farklı zemin kombinasyonu bulunmaktadır. Bu kombinasyonlar ve üniform deprem yer kabulünün alınması hâlinde alınan zemin sınıfları şu şekildedir:

- ZBZCZDZC analizi - Sadece ZD analizi
- ZBZDZDZB analizi - Sadece ZD analizi
- ZCZDZDZC analizi - Sadece ZD analizi
- ZDZEZEZD analizi - Sadece ZE analizi

Diğer analiz sonuçlarında olduğu gibi elastomer deformasyonları, orta ayak kesme kuvvetleri ve orta ayak moment değerleri incelenecektir. Değişken deprem yer hareketi ayrıca köprüde fazladan sözde-statik şekilde değiştirme ve iç kuvvetlere neden olacaktır. Bu etkilerin de ayrıca incelenmesi gerekmektedir.

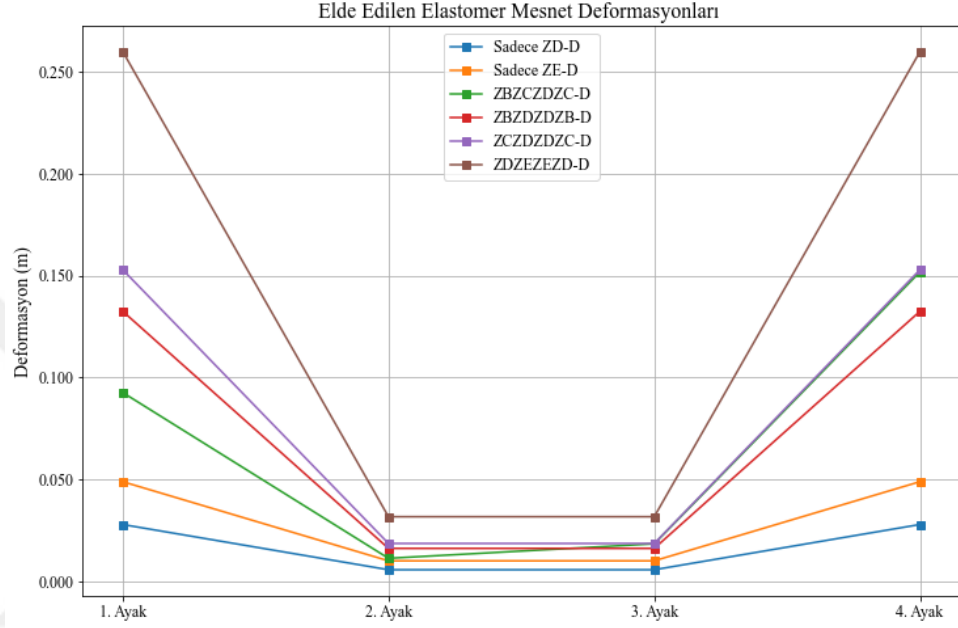
Elastomer mesnet deformasyonları

Analizlerin 6 farklı zemin kombinasyonuna göre yapılması gerekmektedir. Bu analizlerden 2 tanesi üniform deprem yer hareketi kabulüne göre yapılmıştır. Dinamik analiz sonuçları ve sözde-statik analiz sonuçları grafik olarak ayrı verilmiştir. Çizelge 3.36'da dinamik ve statik analiz sonuçları görülebilir.

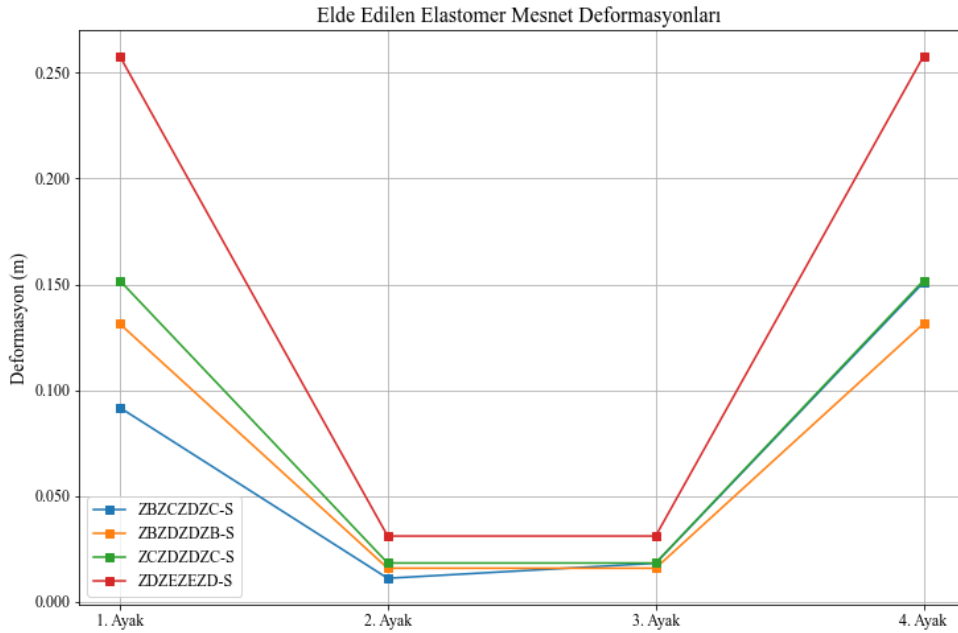
Çizelge 3.36 : Üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği ve DZE'nin olduğu durumlarda elastomer mesnet deformasyonları (m).

Analiz Türü	K'ıncı Ayak	Sadece ZD	Sadece ZE	ZBZCZDZC	ZBZDZDZB	ZCZDZDZC	ZDZEZEZD
Dinamik	1. Ayak	0.027990	0.048981	0.092680	0.132515	0.152881	0.259801
	2. Ayak	0.005820	0.010184	0.011432	0.016291	0.018707	0.031817
	3. Ayak	0.005823	0.010188	0.018531	0.016291	0.018707	0.031817
	4. Ayak	0.028004	0.048997	0.151824	0.132516	0.152881	0.259801
Statik	1. Ayak			0.091768	0.131372	0.151845	0.257953
	2. Ayak			0.011023	0.015786	0.018242	0.030991
	3. Ayak			0.018134	0.015786	0.018242	0.030990
	4. Ayak			0.150936	0.131372	0.151845	0.257953

Çizelge 3.36'da dinamik ve sözde-statik sonuçlar ayrı ayrı verilmiştir. Üniform deprem yer hareketinin olduğu durumlarda statik etki oluşmayacağından, statik sütunun üniform deprem yer hareketine karşılık gelen hücrelerde değerlerin olmadığı görülebilir. Ayrıca DZE'nin olduğu durumlarda statik ve dinamik etkiler arasında oldukça büyük bir fark olduğu gözlemlenebilir. Şekil 3.92 ve şekil 3.93'te, çizelge 3.36'da verilen dinamik ve statik etkiler ayrı ayrı grafik haline getirilmiştir.



Şekil 3.92 : DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği durumlar için dinamik deformasyon sonuçları (m).



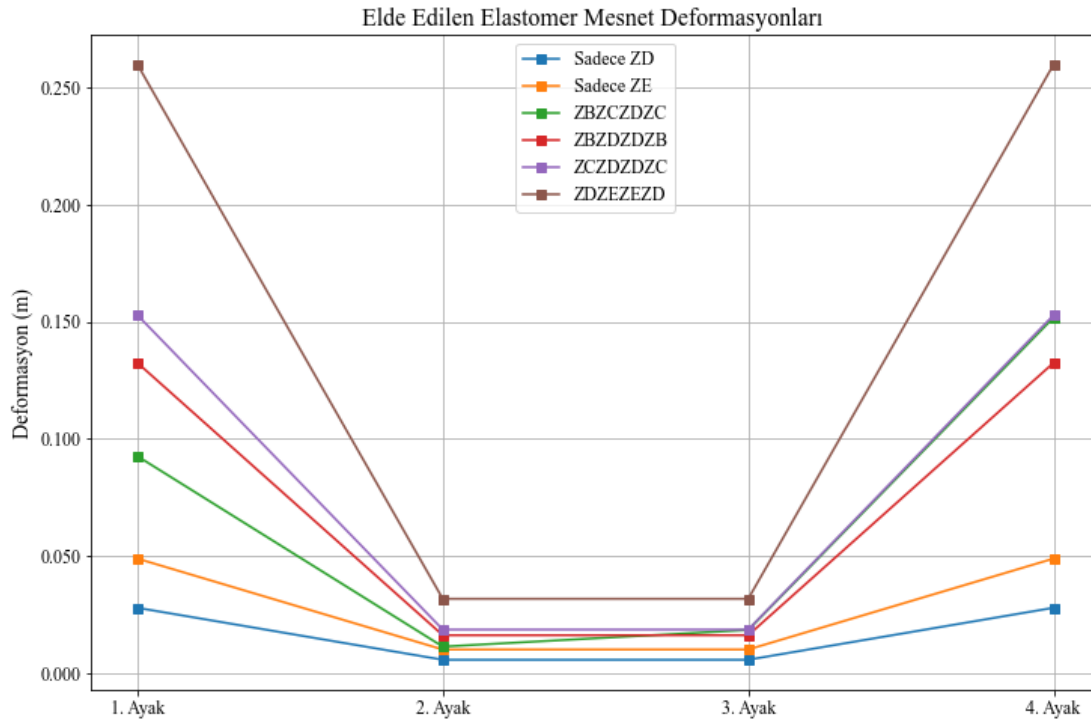
Şekil 3.93 : DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği durumlar için statik deformasyon sonuçları (m).

Şekil 3.92 ve şekil 3.93'te, sözde-statik analiz sonuçları ve dinamik analiz sonuçları net gözükmeleri açısından ayrı ayrı verilmiştir. Eğer DZE'nin olduğu durumlarda elde edilen nihai sonuçlar, üniform analiz sonuçlarıyla karşılaştırılırsa şekil 3.94 elde edilir. DZE'nin olduğu durumlarda sözde-statik ve dinamik etkilerin KTK yöntemiyle birleştirilmesi sonucu elde edilen veriler çizlege 3.37'de verilmiştir.

Çizelge 3.37 : Üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği ve DZE'nin olduğu durumlarda toplam elastomer mesnet deformasyonları (m).

ZBZCZDZC	ZBZDZDZB	ZCZDZDZC	ZDZEZEZD
0.092680	0.132515	0.152881	0.259801
0.011432	0.016291	0.018707	0.031817
0.018531	0.016291	0.018707	0.031817
0.151824	0.132516	0.152881	0.259801

Çizelge 3.37'de verilen veriler şekil 3.94'te görülebileceği üzere grafik hâline getirilmiştir. Aynı zamanda üniform deprem yer hareketi kabulü yapılmış olsaydı elde edilecek sonuçlar da karşılaştırılabilmesi için verilmiştir. Üniform deprem yer hareketi kabulünün TKDY Bölüm 3.9.3 kapsamında yapıldığı unutulmamalıdır. Bu kabul burada bulunan zemin kombinasyonları için yapılabilmektedir.



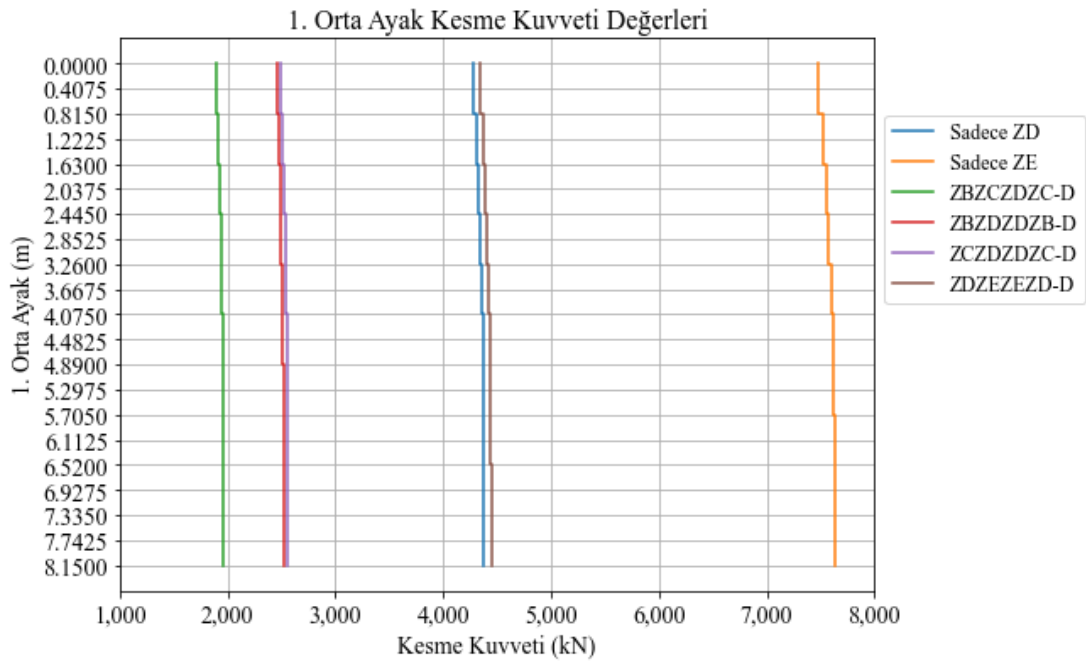
Şekil 3.94 : DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği durumlar için toplam deformasyon sonuçları (m).

Orta ayak kesme kuvvetleri

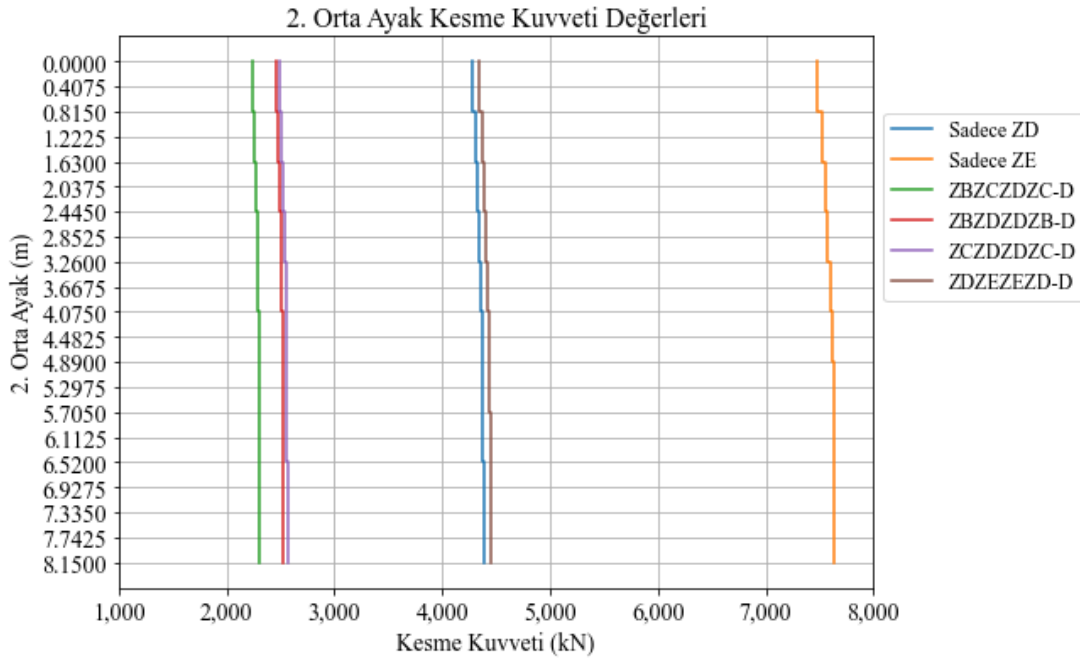
Orta ayak kesme kuvveti hesapları, daha önceden de yapıldığı gibi her iki orta ayak kolunu boyunca ayrı ayrı hesaplanacaktır. DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabildiği zemin kombinasyonları ile üniform kabulün yapılması durumunda alınacak olan üniform yerel zemin kombinasyonları toplam 6 adettir. Analizler sonucu elde edilen sözde-statik ve dinamik sonuçların maksimum değerleri çizelge 3.38'de verilmiştir. Dinamik analizlerin sonucu şekil 3.95 ve şekil 3.96'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.38 : Üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği ve DZE'nin olduğu durumlarda orta ayak kesme kuvvetleri (kN).

Analiz Türü	Eleman No.	Sadece ZD	Sadece ZE	ZBZCZDZC	ZBZDZDZB	ZCZDZDZC	ZDZEZEZD
Dinamik	1. OA	4379.018	7635.960	1958.841	2523.096	2560.619	4444.433
	2. OA	4380.836	7637.698	2306.449	2525.075	2562.577	4446.821
Statik	1. OA			13554.780	18336.694	18597.433	32441.444
	2. OA			17199.044	18336.703	18597.442	32441.460

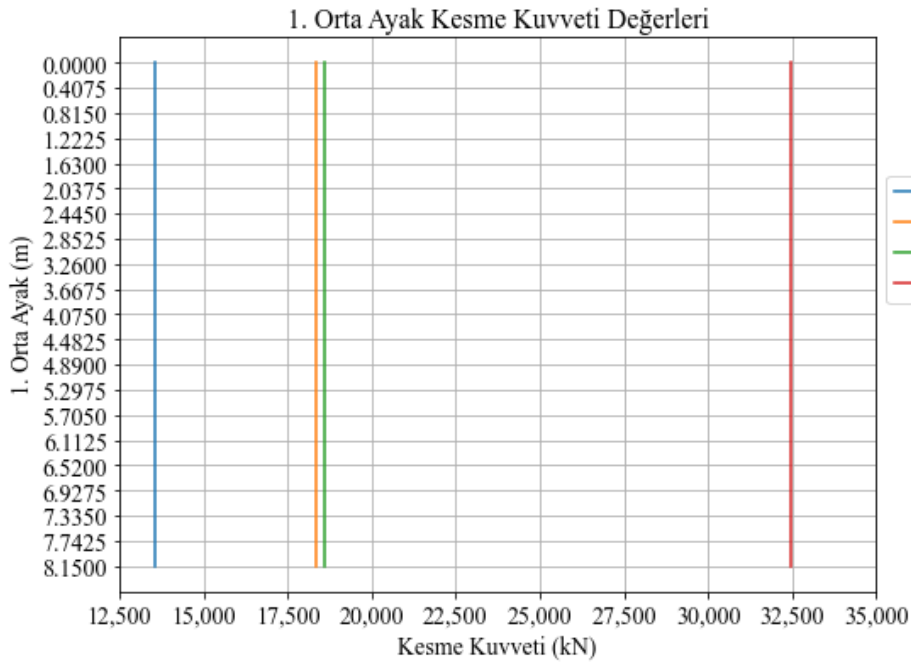


Şekil 3.95 : 1. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği durumlar için elde edilen dinamik kesme kuvvetleri (kN).

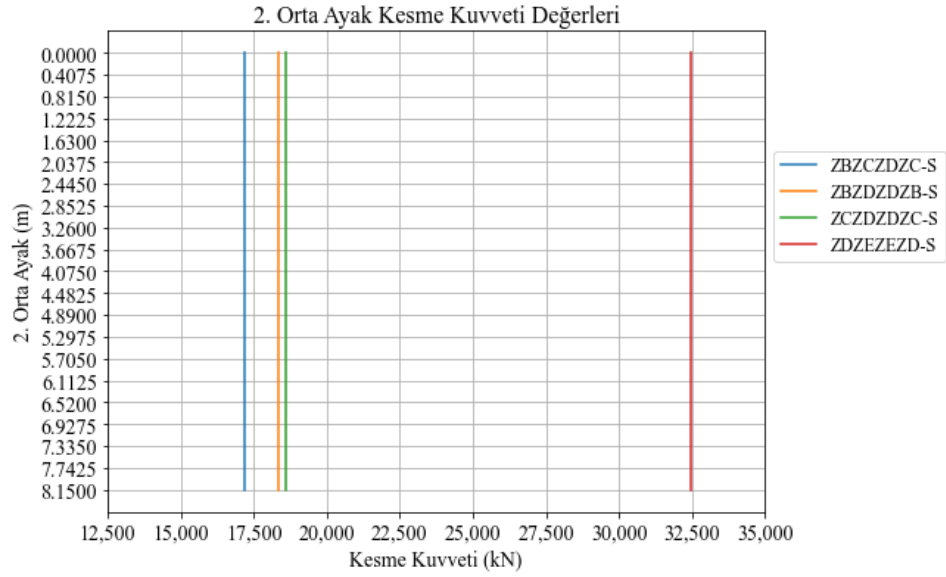


Şekil 3.96 : 1. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği durumlar için dinamik kesme kuvvetleri (kN).

Dinamik etkilerin hesaplanmasıyla beraber, sözde-statik etkiler de grafik üzerinden gösterilebilir. Bunun için çizelge 3.38'de verilerin değerler kullanılacaktır. Şekil 3.97 ve şekil 3.98'de, sözde-statik etkilerin her iki orta ayak için oluşturduğu kesme kuvvetleri görülebilir.



Şekil 3.97 : 1. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği durumlar için sözde-statik kesme kuvvetleri (kN).

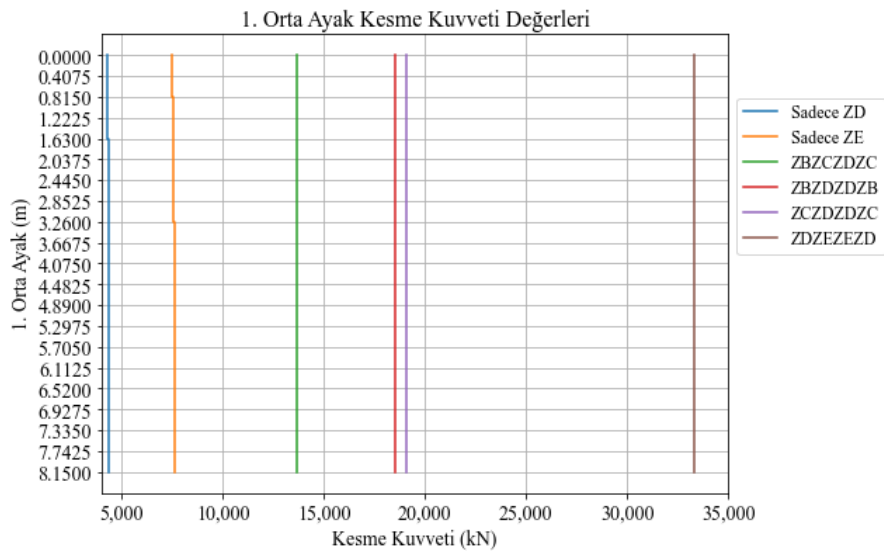


Şekil 3.98 : 2. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği durumlar için sözde-statik kesme kuvvetleri (kN).

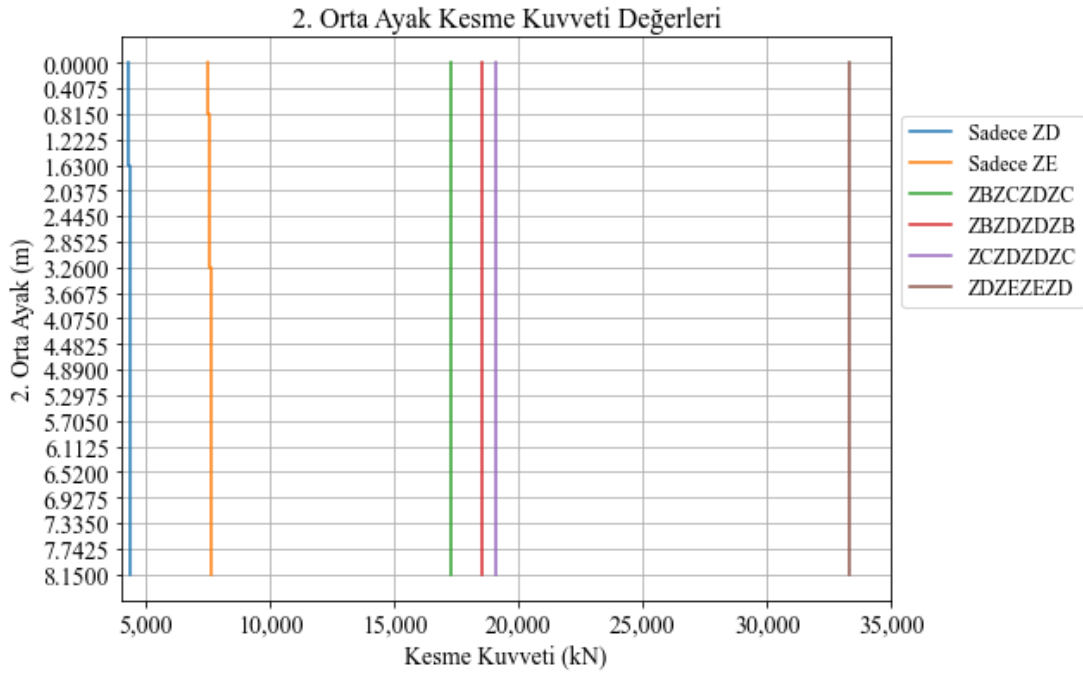
Çizelge 3.39 : Üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği ve DZE'nin olduğu durumlarda toplam kesme kuvveti değerleri (kN).

ZBZCZDZC	ZBZDZDZB	ZCZDZDZC	ZDZEZEZD
13695.587	18509.467	18772.887	32744.469
17353.006	18509.746	18773.163	32744.809

Sözde-statik ve dinamik etkilerin oluşturduğu kesme kuvveti değerleri KTK yöntemiyle birleştirilmelidir. Sonuç olarak da çizelge 3.39'daki değerler elde edilmiştir. Üniform ve üniform olmayan koşullar için elde edilen toplam sonuçlar şekil 3.99'da ve şekil 3.100'de gösterilmiştir.



Şekil 3.99 : 1. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği durumlar için toplam kesme kuvvetleri (kN).



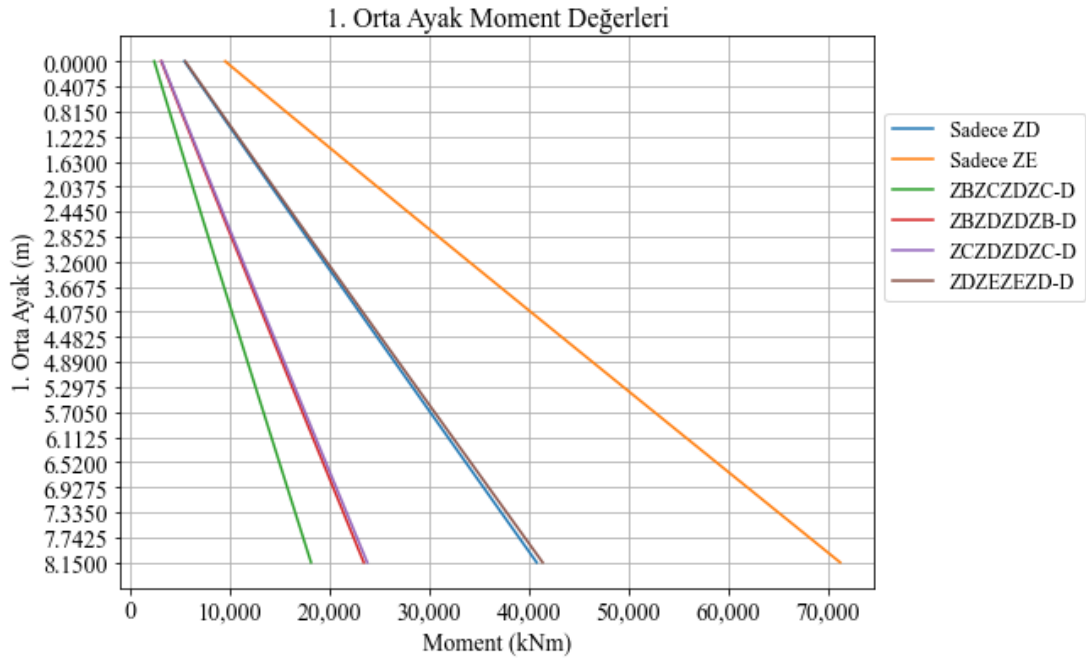
Şekil 3.100 : 2. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği durumlar için toplam kesme kuvvetleri (kN).

Orta ayak moment hesabı

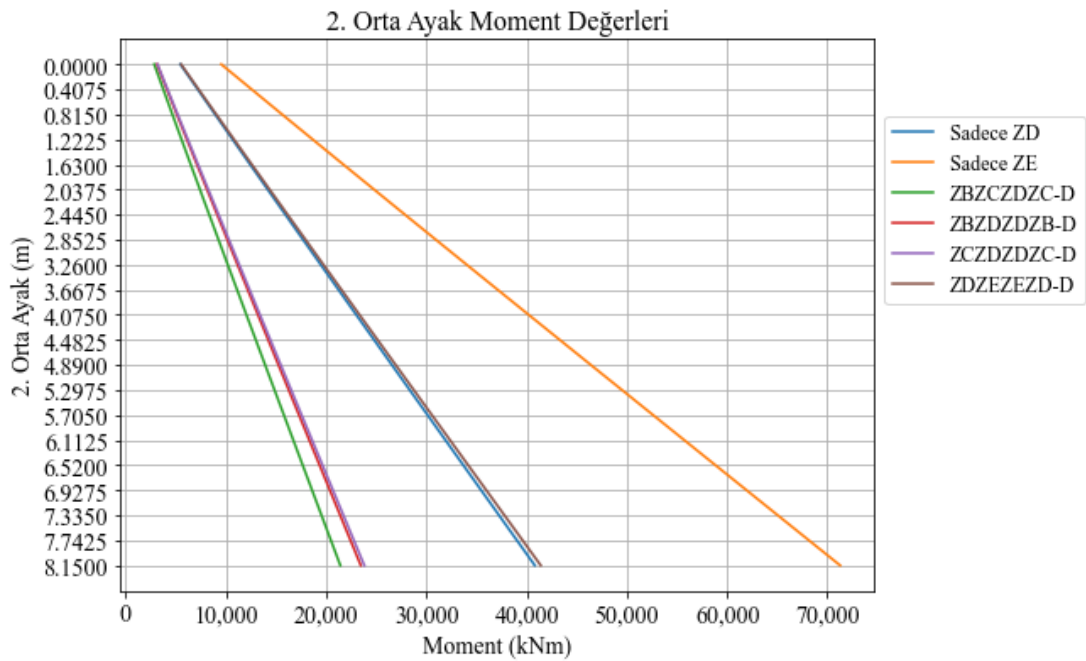
Orta ayak moment hesapları, daha önceden de yapıldığı gibi orta ayakların en alt bölgelerinde bulunan çubuk elemanlar için yapılacaktır.. DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabildiği zemin kombinasyonları ile üniform kabulün yapılması durumunda alınacak olan üniform yerel zemin kombinasyonları toplam 6 adettir. Analizler sonucu elde edilen maksimum sözde-statik ve dinamik sonuçlar çizelge 3.40'da verilmiştir. Sözde-statik ve dinamik analizlerin sonucu şekil 3.101 ve şekil 3.102'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.40 : Üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği ve DZE'nin olduğu durumlarda maksimum moment değerleri (kNm).

Analiz Türü	Eleman No.	Sadece ZD	Sadece ZE	ZBZCZDZC	ZBZDZDZB	ZCZDZDZC	ZDZEZEZD
Dinamik	1. OA	40804.28	71269.50	18153.95	23446.48	23800.93	41403.33
	2. OA	40818.47	71283.71	21415.07	23456.54	23810.32	41412.30
Statik	1. OA			128906.25	174382.59	176862.20	308519.22
	2. OA			163563.59	174382.66	176862.28	308519.35

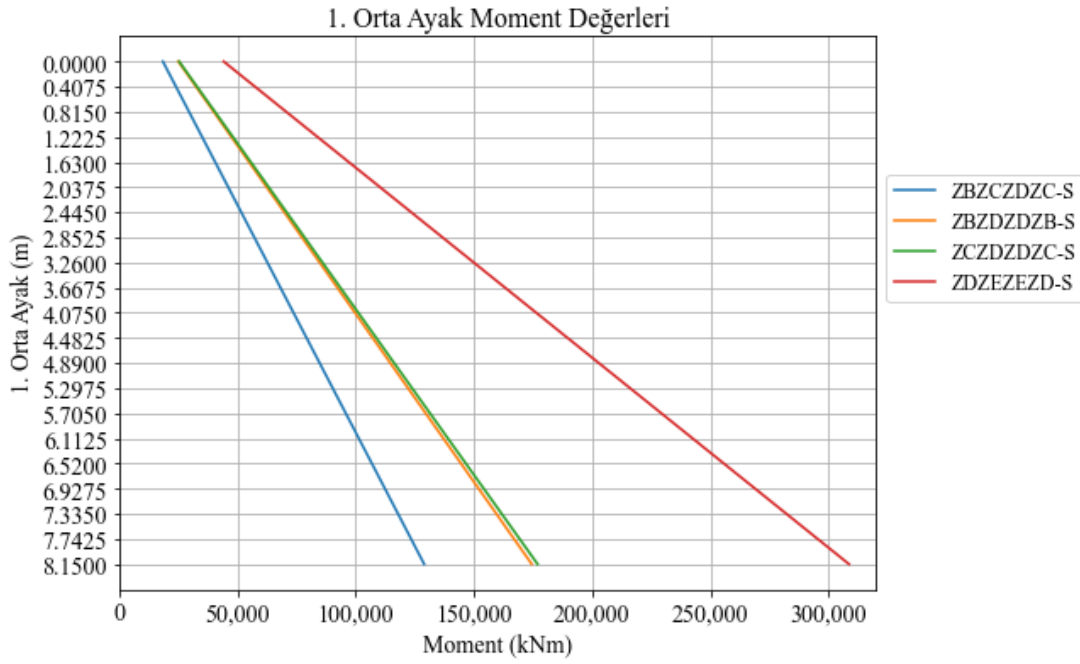


Şekil 3.101 : 1.OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği durumlar için dinamik moment değerleri (kNm).

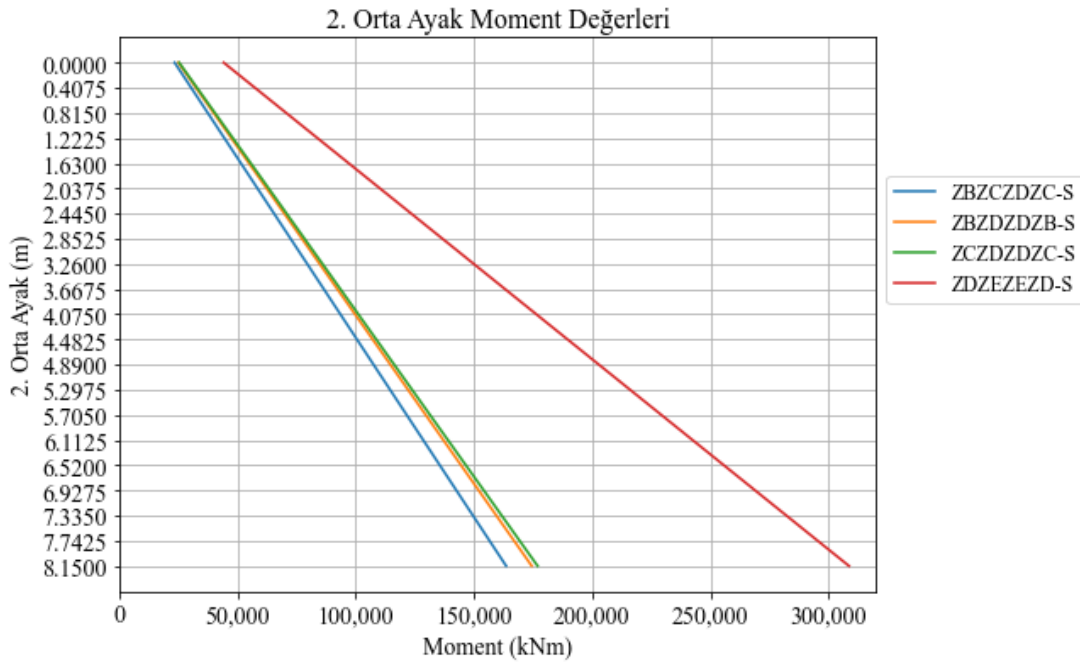


Şekil 3.102 : 2.OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği durumlar için statik moment değerleri (kNm).

Dinamik etkilerin oluşturduğu grafiklerin verilmesinin ardından, sözde-statik etkilerin oluşturacağı moment grafikleri de verilmelidir. Ardından sonuçlar TKB yöntemiyle birleştirilmelidir. Şekil 3.103 ve şekil 3.104'de sözde statik etkilerin orta ayaklar boyunca oluşturduğu moment değerleri verilmiştir. Çizelge 3.41'de ise elde edilen maksimum momentlerin toplam sonuçları verilmiştir.



Şekil 3.103 : 1. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği durumlar için sözde-statik moment değerleri (kNm).

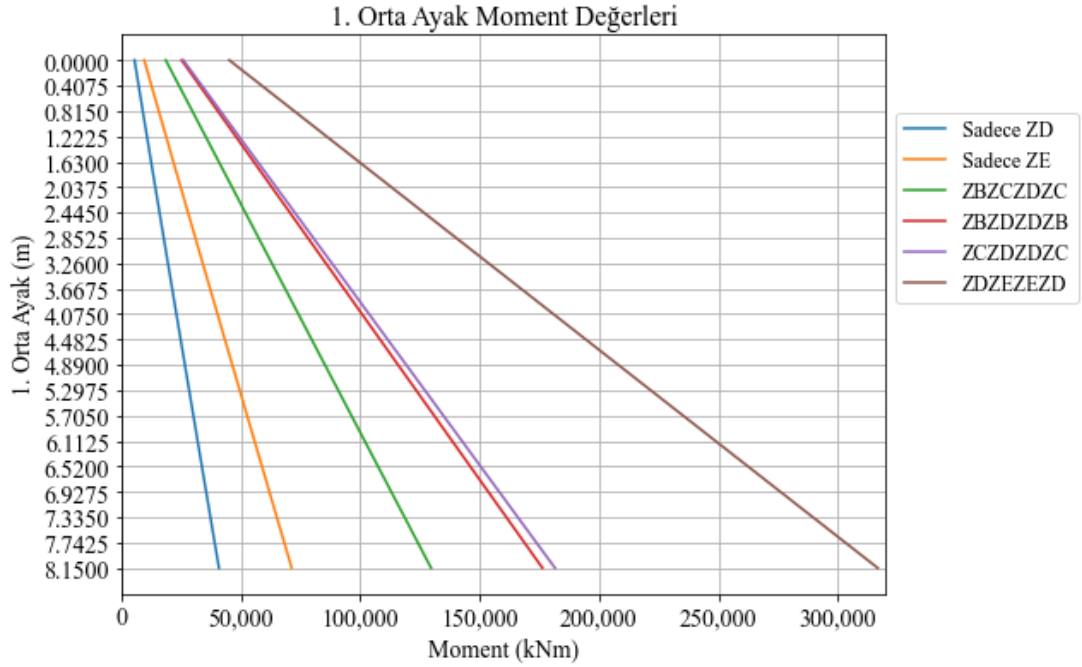


Şekil 3.104 : 1. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği durumlar için sözde-statik moment değerleri (kNm).

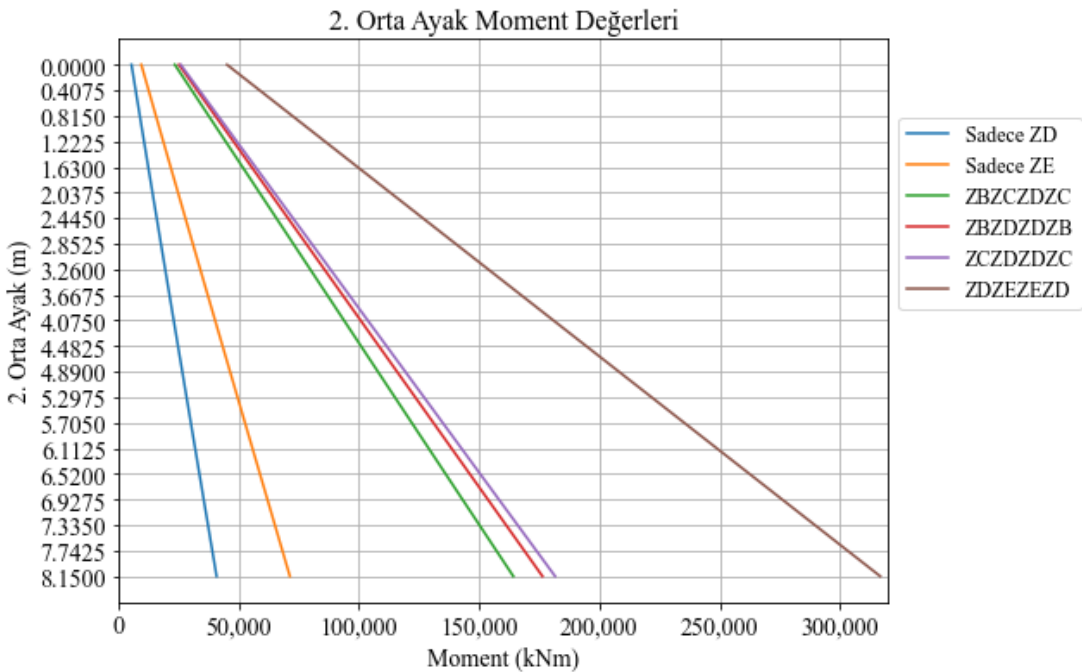
Çizelge 3.41 : Üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği ve DZE'nin olduğu durumlarda toplam moment değerleri (kNm).

ZBZCZDZC	ZBZDZDZB	ZCZDZDZC	ZDZEZEZD
130178.29	175951.77	178456.50	311284.98
164959.55	175953.18	178457.83	311286.31

Son olarak toplam sonuçların grafikleri verilmelidir. Şekil 3.105 ve şekil 3.106'da DZE'nin olduğu ve üniform yer hareketi kabulünün yapılabileceği zemin kombinasyonarı için orta ayaklarda elde edilen moment değerleri verilmiştir.



Şekil 3.105 : 1. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği durumlar için toplam moment değerleri (kNm).



Şekil 3.106 : 2. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği durumlar için toplam moment değerleri (kNm).

3.4.6.1 Üniform deprem yer kabulünün yapılamayacağı zemin kombinasyonları

Çizelge 3.5'e göre DZE'nin bulunduğu ve üniform deprem yer kabulünün yapılamayacağı 4 farklı zemin kombinasyonu bulunmaktadır. Bu kombinasyonlar ve üniform deprem yer kabulünün en zayıf yerel zemine göre alınması hâlinde zemin sınıfları şu şekilde alınacaktır:

- ZBZEZDZC analizi - Sadece ZE analizi
- ZBZEZEZB analizi - Sadece ZE analizi
- ZCZEZEZC analizi - Sadece ZE analizi
- ZDZEZEZC analizi - Sadece ZE analizi

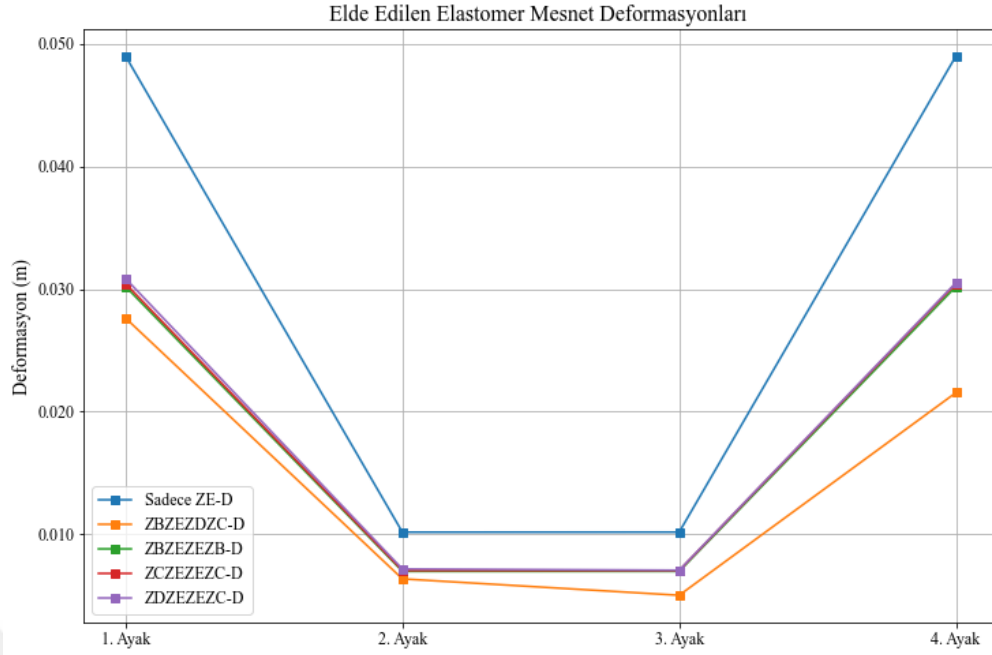
Diğer analiz sonuçlarında olduğu gibi elastomer deformasyonları, orta ayak kesme kuvvetleri ve orta ayak moment değerleri incelenecektir. Değişken deprem yer hareketi ayrıca köprüde fazladan sözde-statik şekildeğiştirme ve iç kuvvetlere neden olacaktır. Bu etkilerin de ayrıca incelenmesi gerekmektedir.

Elastomer mesnet deformasyonları

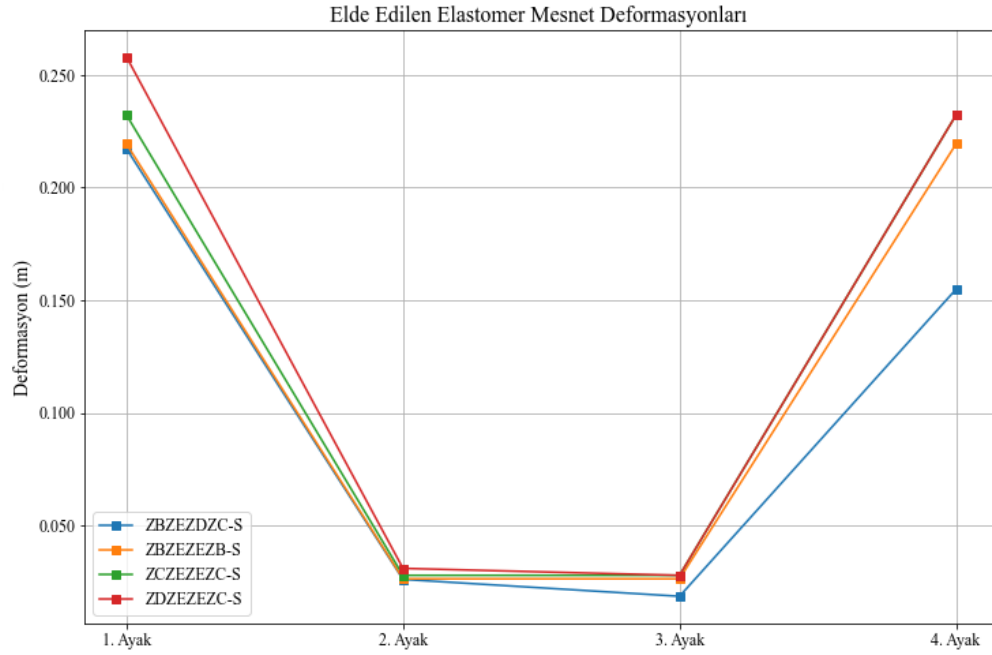
Yapılan analizler sonrası, dinamik analiz sonuçları ve sözde-statik analiz sonuçları grafik olarak ayrı verilmiştir. Çizelge 3.42'de dinamik ve statik analiz sonuçları görülebilir. Elde edilen statik ve dinamik sonuçların grafikleri şekil 3.107 ve şekil 3.108'de görülebilir.

Çizelge 3.42 : Üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı ve DZE'nin olduğu durumlarda elastomer mesnet deformasyonları (m).

Analiz Türü	K'ıncı Ayak	Sadece ZE	ZBZEZDZC	ZBZEZEZB	ZCZEZEZC	ZDZEZEZC
Dinamik	1. Ayak	0.048981	0.027629	0.030202	0.030433	0.030851
	2. Ayak	0.010184	0.006377	0.006991	0.007059	0.007183
	3. Ayak	0.010188	0.005039	0.006992	0.007059	0.007081
	4. Ayak	0.048997	0.021558	0.030207	0.030438	0.030520
Statik	1. Ayak		0.217200	0.219318	0.232161	0.257946
	2. Ayak		0.026105	0.026356	0.027896	0.030990
	3. Ayak		0.018599	0.026355	0.027896	0.027897
	4. Ayak		0.154859	0.219318	0.232161	0.232169



Şekil 3.107 : DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı durumlar için dinamik deformasyon sonuçları (m).

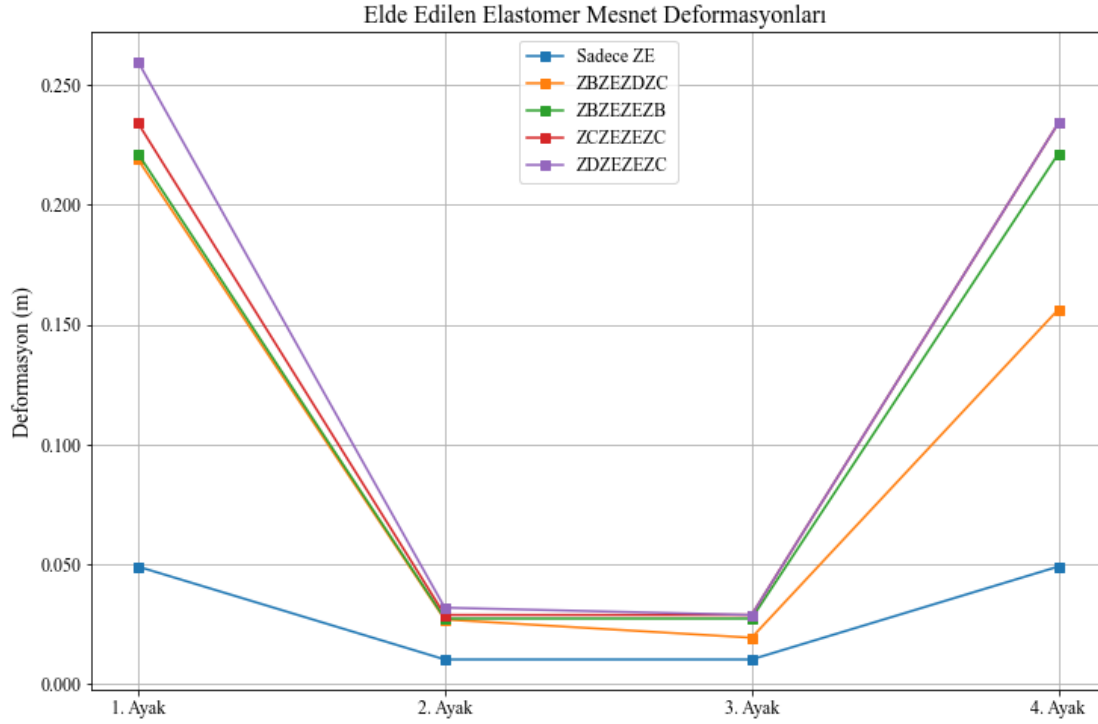


Şekil 3.108 : DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı durumlar için statik deformasyon sonuçları (m).

Sözde-statik ve dinamik etkilerin oluşturduğu deformasyon değerleri KTK yöntemiyle birleştirilmelidir. Sonuç olarak da çizelge 3.43'deki değerler elde edilmiştir. Üniform ve üniform olmayan koşullar için elde edilen toplam sonuçlar şekil 3.109'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.43 : Üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı ve DZE'nin olduğu durumlarda toplam deplasman değerleri (m).

ZBZEZDZC	ZBZEZEZB	ZCZEZEZC	ZDZEZEZC
0.218951	0.221388	0.234147	0.259785
0.026872	0.027267	0.028776	0.031811
0.019270	0.027267	0.028775	0.028781
0.156352	0.221389	0.234148	0.234166



Şekil 3.109 : DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı durumlar için toplam deformasyon sonuçları (m).

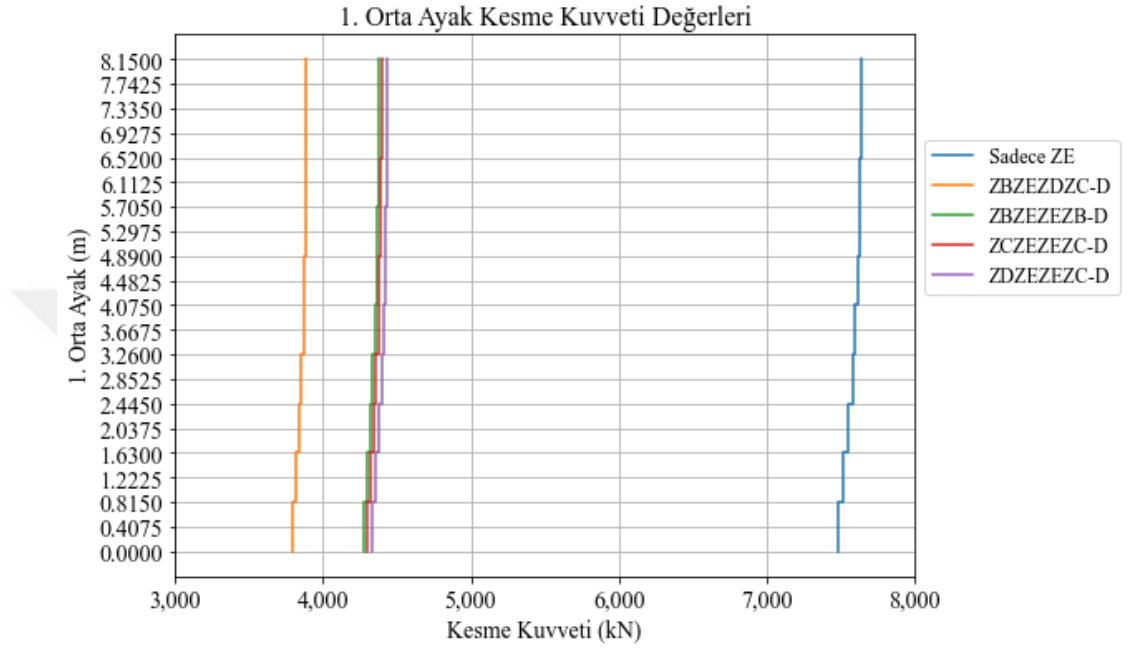
Orta ayak kesme kuvvetleri

Orta ayak kesme kuvveti hesapları, daha önceden de yapıldığı gibi 1. orta ayak ve 2. orta ayak için ayrı ayrı hesaplanacaktır. Her bir çubuk eleman için analiz sürecinin tekrarlanması gerekmektedir. Maksimum değerlerin olduğu çubuk elemandaki değer okunacak ve oluşturulan çizelgeye bu değer yazılacaktır. DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabildiği zemin kombinasyonları ile üniform kabulün yapılması durumunda alınacak olan üniform yerel zemin kombinasyonları toplam 5 adettir.

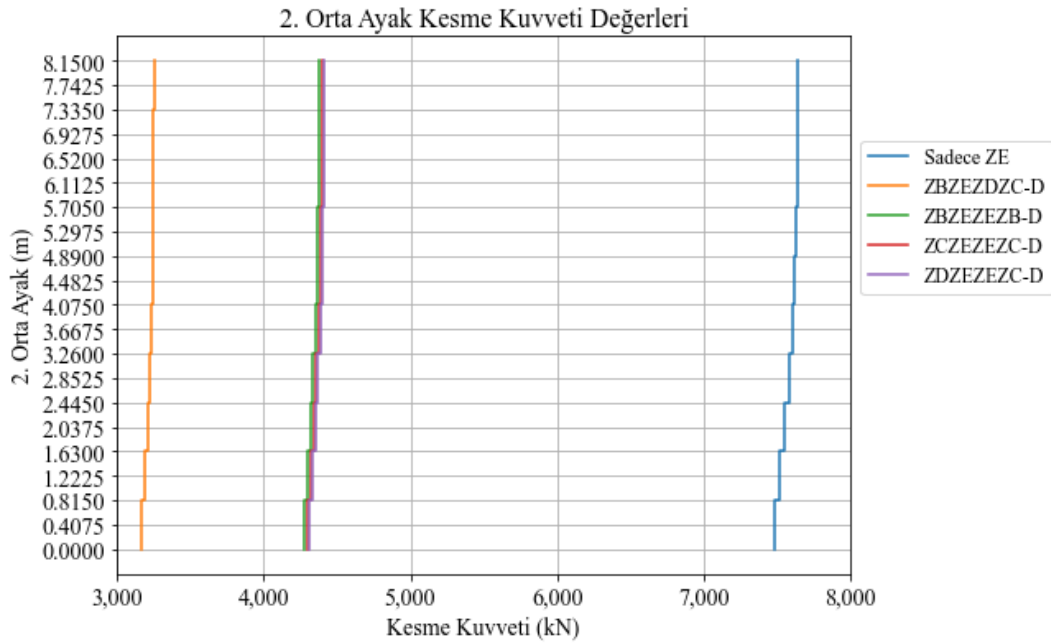
Analizler sonucu elde edilen maksimum sözde-statik ve dinamik sonuçlar çizelge 3.44'de verilmiştir. Dinamik yöntemin orta ayaklarda oluşturacağı kesme kuvveti değerleri şekil 3.110 ve şekil 3.111'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.44 : Üniorm deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı ve DZE'nin olduğu durumlarda kesme kuvveti değerleri (kN).

Analiz Türü	Eleman No.	Sadece ZE	ZBZEZDZC	ZBZEZEZB	ZCZEZEZC	ZDZEZEZC
Dinamik	1.OA	7635.96	3889.89	4375.67	4397.42	4432.84
	2. OA	7637.70	3253.03	4378.10	4399.84	4411.51
Statik	1. OA		29217.53	31965.95	32116.23	32431.73
	2. OA		22672.08	31965.97	32116.25	32126.06

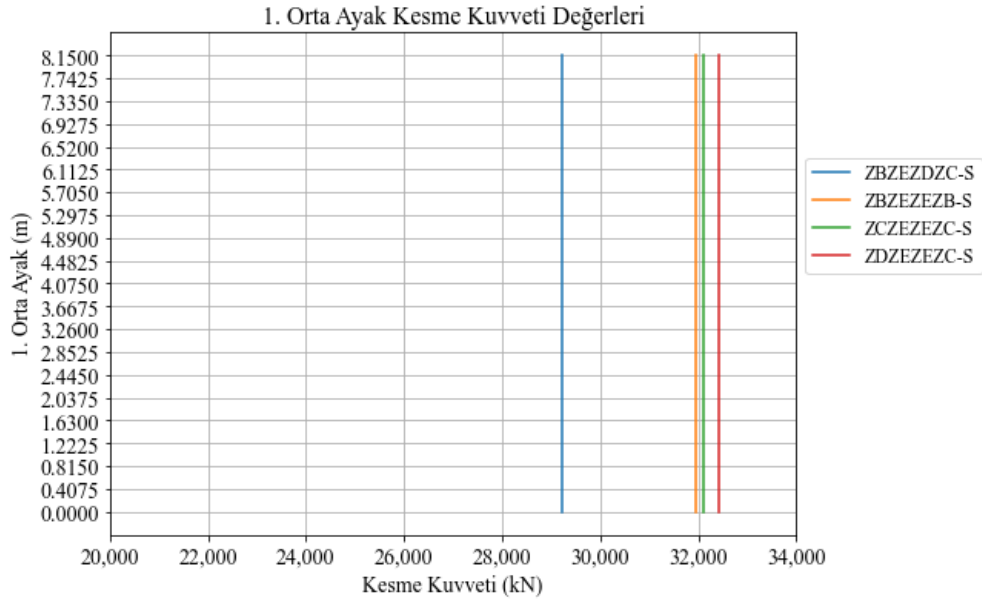


Şekil 3.110 : 1. OA ve DZE'nin olduğu ve üniorm deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı durumlar için dinamik kesme kuvvetleri sonuçları (kN).

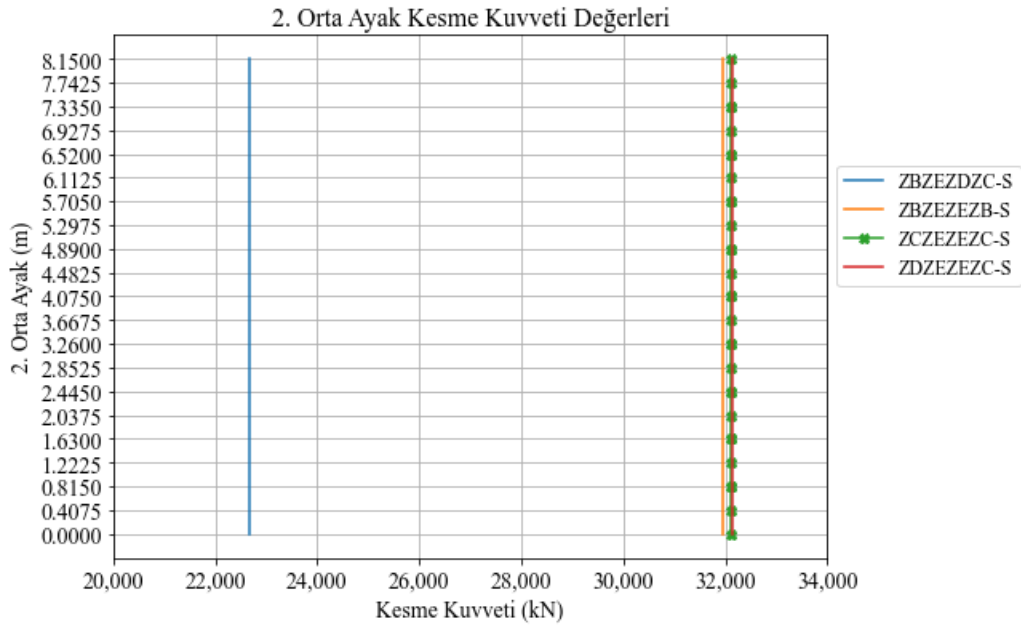


Şekil 3.111 : 2. OA ve DZE'nin olduğu ve üniorm deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı durumlar için dinamik kesme kuvveti sonuçları (kN).

Sözde-statik etkilerin oluşturduğu kesme kuvvetleri şekil 3.112 ve şekil 3.113'de görülebilir. Dinamik ve statik etkilerin toplanmasıyla çizelge 3.45 oluşturulmuştur.



Şekil 3.112 : 1. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı durumlar için sözde-statik kesme kuvvetleri sonuçları (kN).

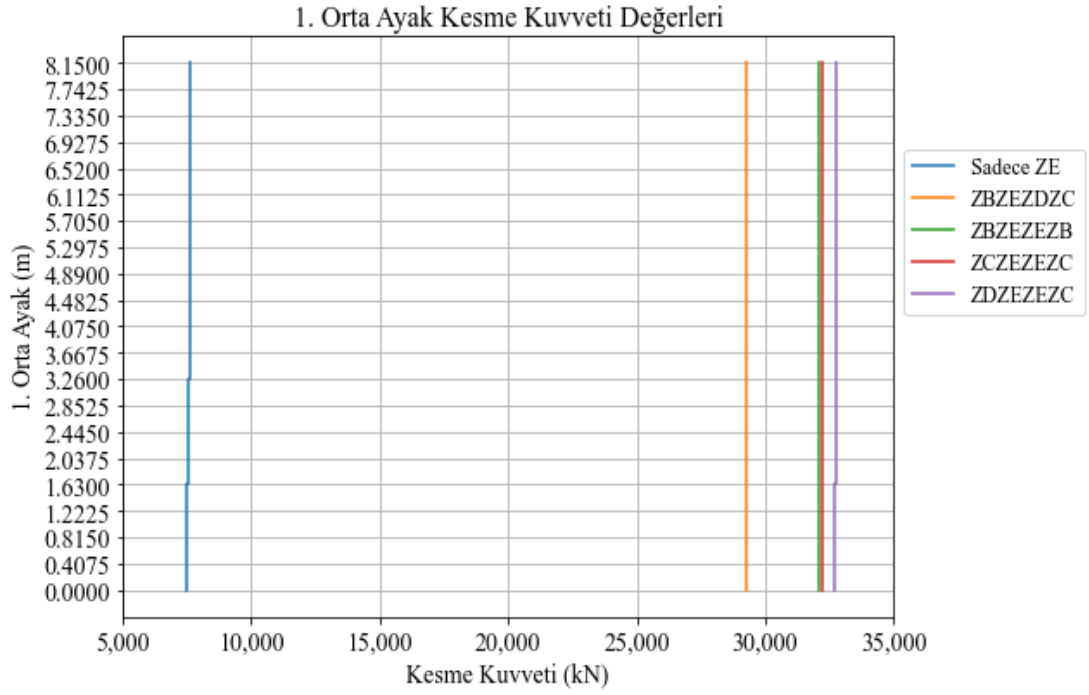


Şekil 3.113 : 1. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı durumlar için sözde-statik kesme kuvvetleri sonuçları (kN).

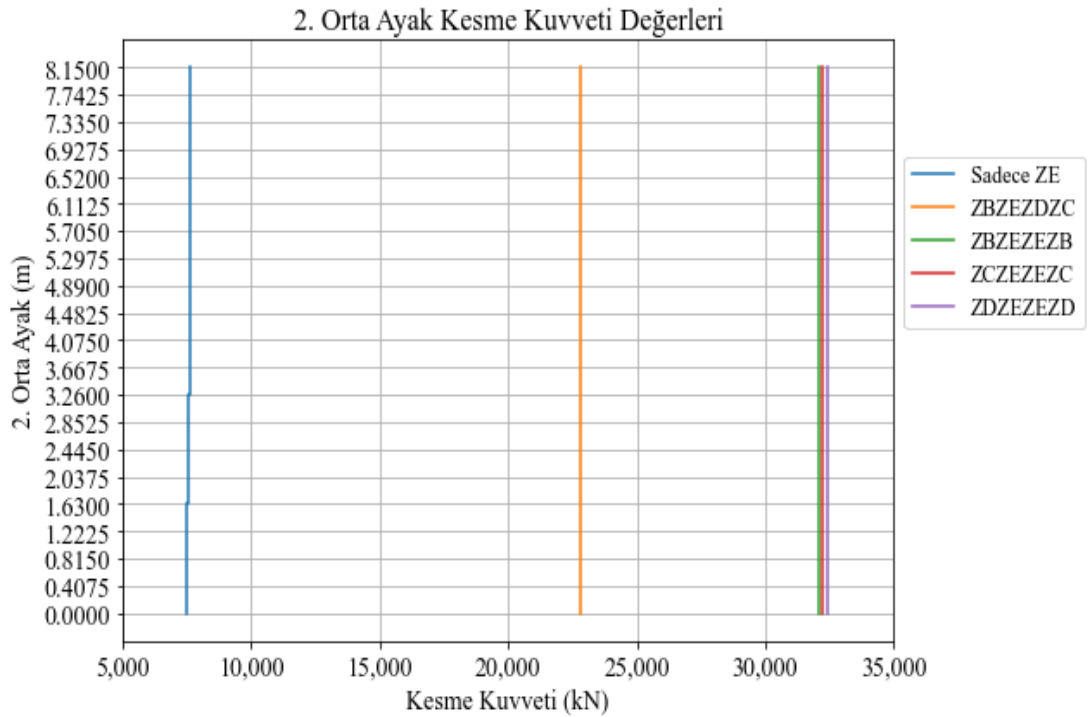
Çizelge 3.45 : Üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı ve DZE'nin olduğu durumlarda toplam kesme kuvveti değerleri (kN).

ZBZEZDZC	ZBZEZEZB	ZCZEZEZC	ZDZEZEZC
29475.33	32264.05	32415.89	32733.27
22904.27	32264.39	32416.23	32427.54

Toplam etkinin orta ayaklarda oluşturacağı kesme kuvveti değerleri şekil 3.114 ve şekil 3.115'te görülebilir.



Şekil 3.114 : 1. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı durumlar için toplam kesme kuvvetleri sonuçları (kN).



Şekil 3.115 : 2. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı durumlar için toplam kesme kuvvetleri sonuçları (kN).

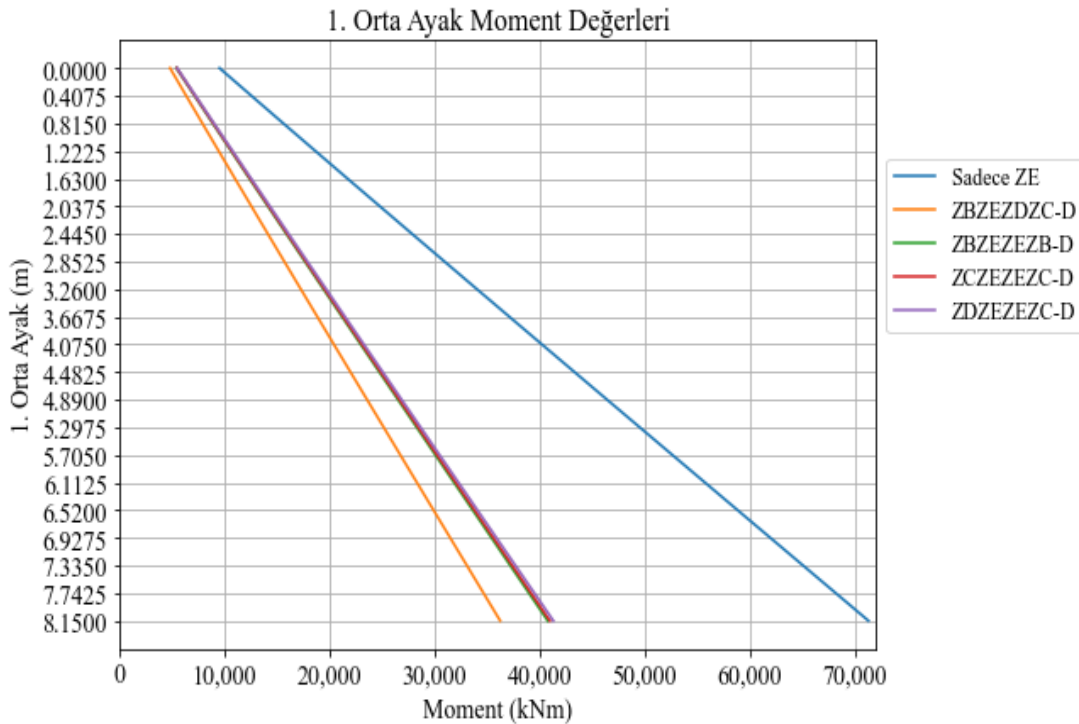
Orta ayak momentleri

Orta ayak moment hesapları, daha önceden de yapıldığı gibi 1. orta ayak ve 2. orta ayak için ayrı ayrı hesaplanacaktır. Her bir çubuk eleman için analiz sürecinin tekrarlanması gerekmektedir. Maksimum değerlerin olduğu çubuk elemandaki değer okunacak ve oluşturulan çizelgeye bu değer yazılacaktır. DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabildiği zemin kombinasyonları ile üniform kabulün yapılması durumunda alınacak olan üniform yerel zemin kombinasyonları toplam 5 adettir.

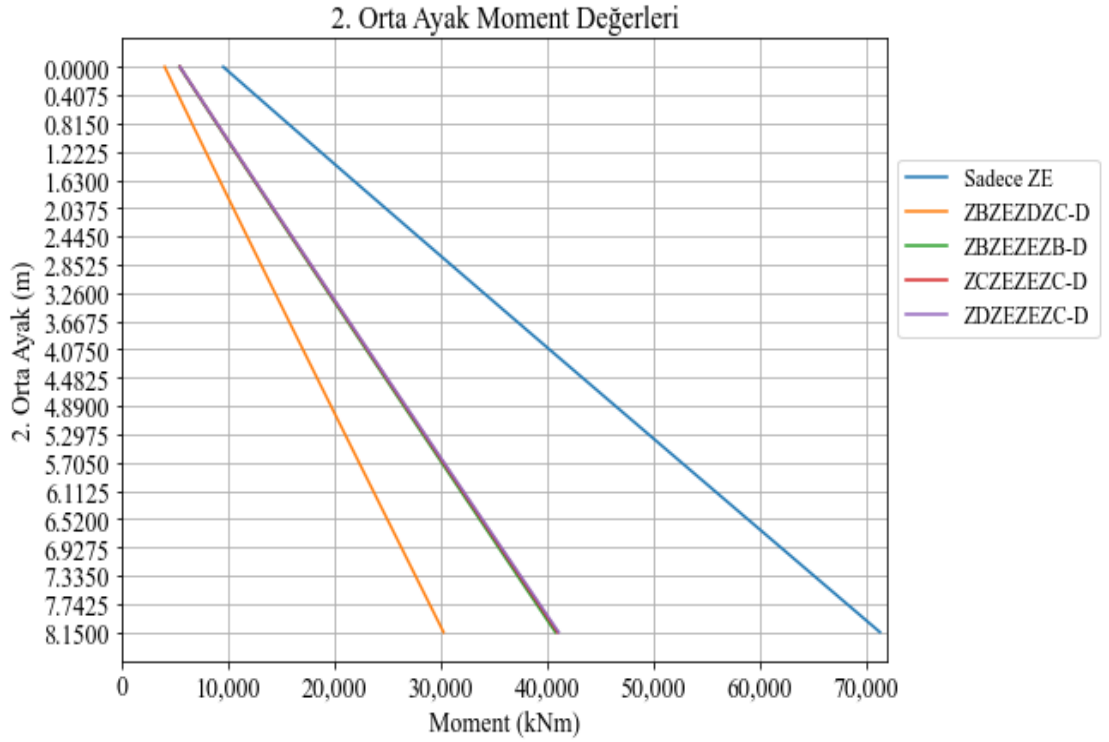
Analizler sonucu elde edilen maksimum sözde-statik ve dinamik sonuçlar çizelge 3.46'da verilmiştir. Dinamik analizler sonucu orta ayaklarda elde edilen moment değerleri şekil 3.116 ve şekil 3.117'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.46 : Üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı ve DZE'nin olduğu durumlarda moment değerleri (kNm).

Analiz Türü	Eleman No.	Sadece ZE	ZBZEZDZC	ZBZEZEZB	ZCZEZEZC	ZDZEZEZC
Dinamik	1. OA	71269.50	36233.95	40755.21	40960.15	41294.06
	2. OA	71283.71	30255.15	40765.42	40970.00	41080.08
Statik	1. OA		277859.95	303997.33	305426.47	308426.80
	2. OA		215611.91	303997.45	305426.59	305519.91

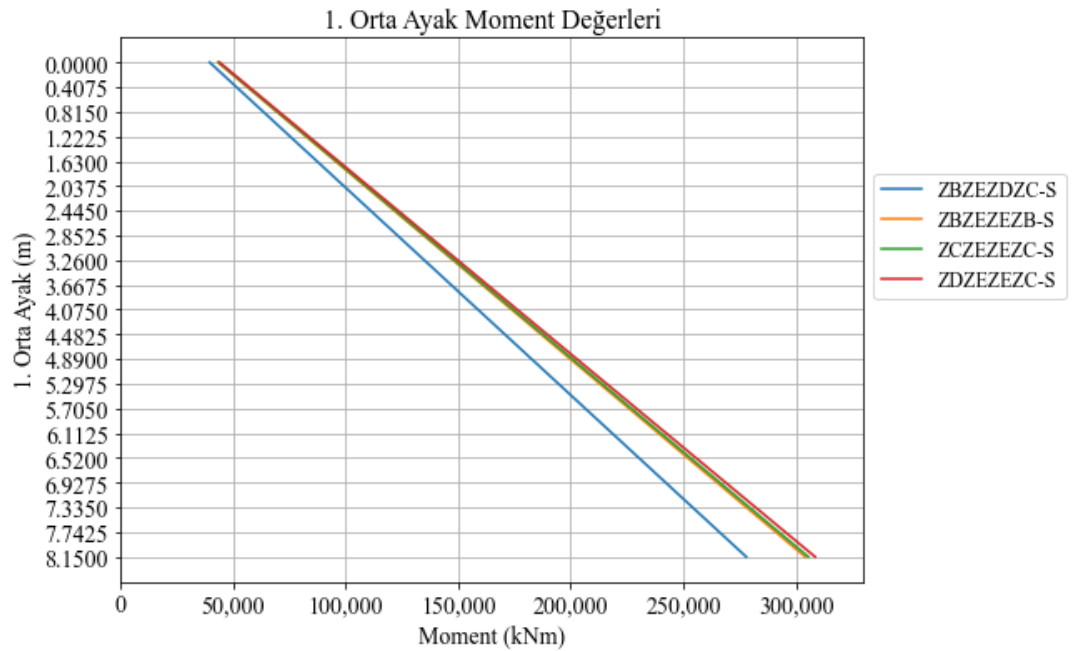


Şekil 3.116 : 1. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı durumlar için dinamik moment hesapları (kNm).

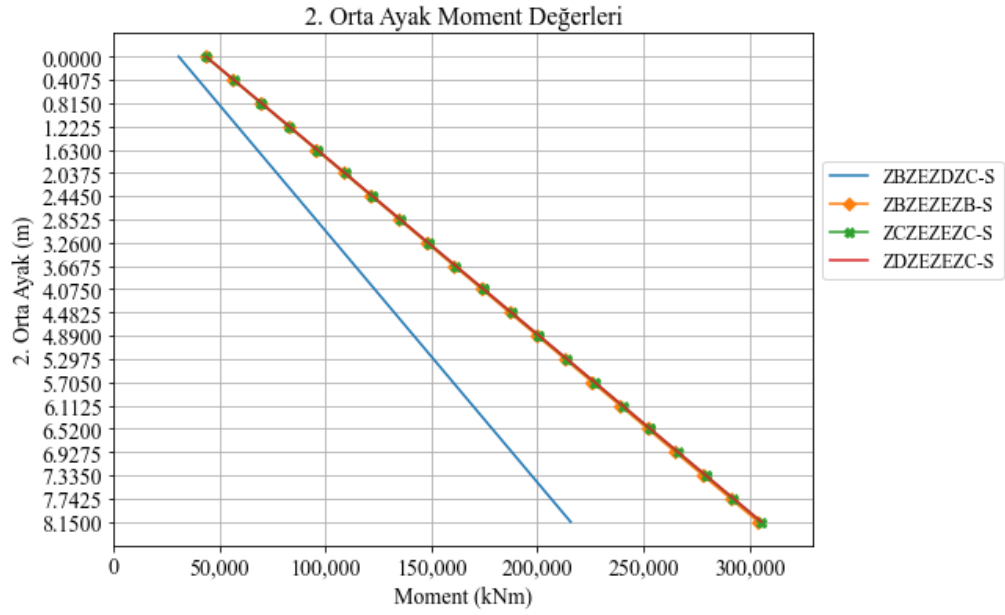


Şekil 3.117 : 2. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı durumlar için statik moment sonuçları (kNm).

Şekil 3.118'de ve şekil 3.119'da, sözde-statik etkilerin oluşturduğu moment grafikleri verilmiştir. Çizelge 3.47'de, sözde-statik etkilerin ve dinamik etkilerin oluşturduğu moment değerlerinin KTK yöntemiyle birleştirilmesinden elde edilen toplam sonuçlar yazılmıştır.



Şekil 3.118 : 1. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı durumlar için sözde-statik moment sonuçları (kNm).

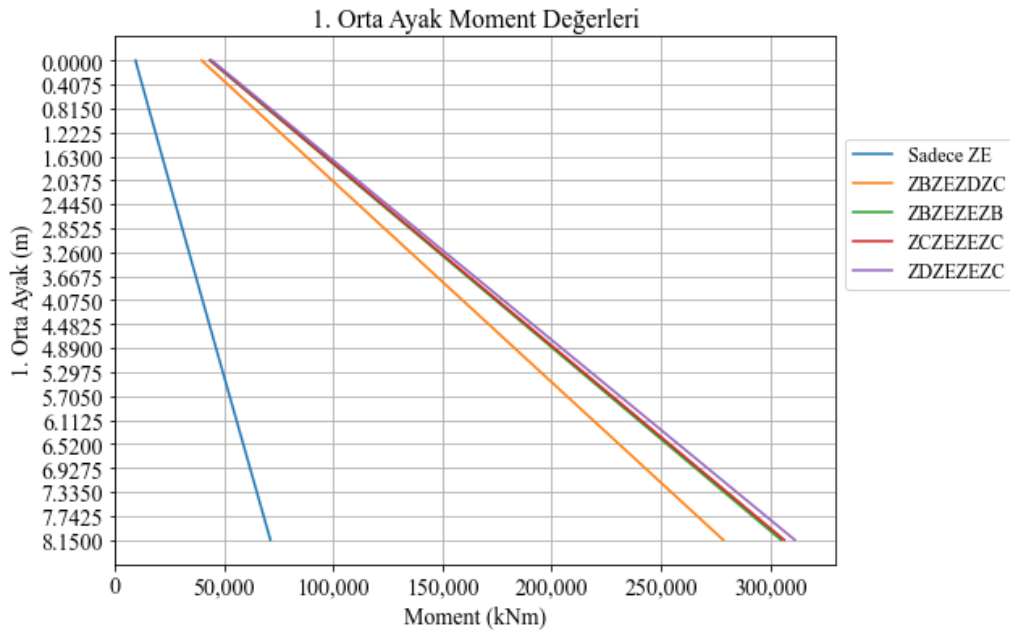


Şekil 3.119 : 2. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı durumlar için sözde-statik moment sonuçları (kNm).

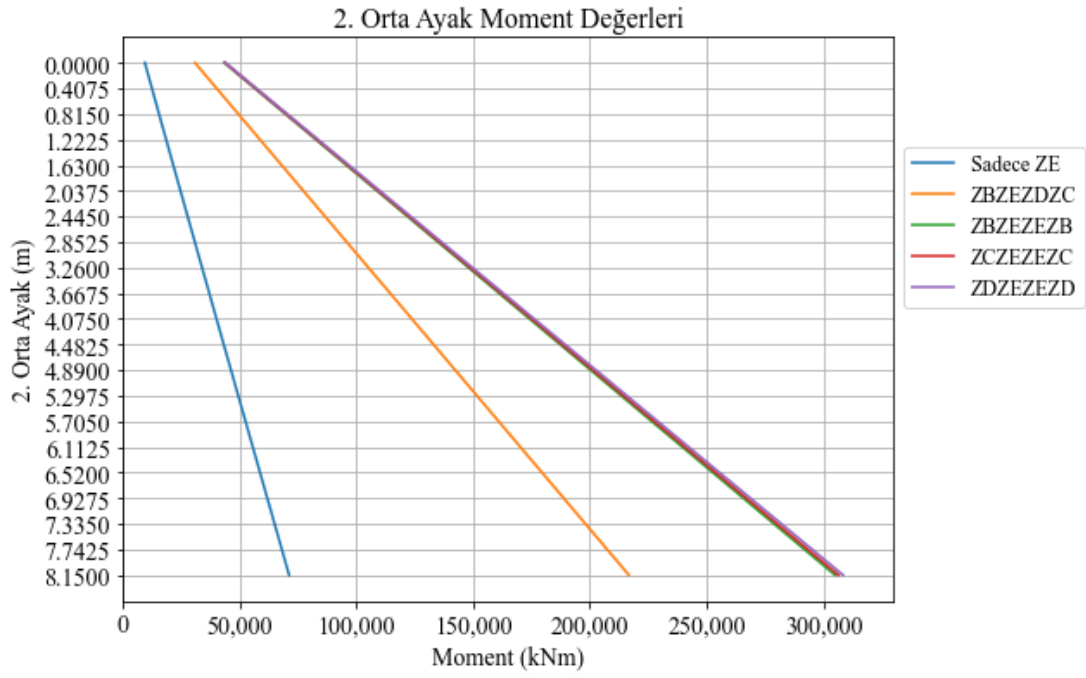
Çizelge 3.47 : Üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı ve DZE'nin olduğu durumlarda toplam moment değerleri (kNm).

ZBZEZDZC	ZBZEZEZB	ZCZEZEZC	ZDZEZEZC
280212.51	306717.08	308160.77	311178.88
217724.30	306718.55	308162.20	308269.34

Çizelge 3.47'de verilen toplam sonuçlar, şekil 3.120 ve şekil 3.121'de grafiğe dönüştürülmüştür. Nihai sonuçlar buradan incelenebilir.



Şekil 3.120 : 1. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı durumlar için toplam moment sonuçları (kNm).



Şekil 3.121 : 2. OA ve DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı durumlar için toplam moment sonuçları (kNm).



4. KOŞULSUZ SİMÜLASYON YÖNTEMİ

Bölüm 3'te yapılan analizler incelendiğinde, mod birleştirme yöntemiyle hesaplanan statik etki değerlerinin oldukça büyük olduğu görülebilmektedir. DD-1 yer hareketi seviyesine göre yapılan doğrudan entegrasyon yöntemiyle elde edilen sonuçlar, DD-2A yer hareketi seviyesine göre yapılan mod birleştirme yöntemiyle elde edilen sonuçlardan oldukça küçük çıkmıştır. İlgili sonuçlar Bölüm 5'te görülebilir. Bunun öncelikli sebebi statik etki hesabında " $S_{de}(T_L)$ " değerinin kullanılması ve her ayağa ayrı ayrı etki ettirilmesiyle elde edilen sonuçların KTK yöntemiyle toplanmasıdır. Oysa normalde, oluşacak olan sözde-statik deplasmanların ayaklarda aynı anda oluşması beklenir ve bu değer doğrudan tekil bir değer girilemez. Buradan mod birleştirme yöntemiyle sözde-statik etki hesabının mümkün olmadığı görülebilir.

Ayrıca doğrudan entegrasyon yöntemiyle elde edilen sonuçlar, yönetmeliğin öngörmediği şekilde en büyük sonuçları ZC yerel zemin sınıfı için verirken, en küçük sonuçları ZE yerel zemin sınıfı için vermiştir. Bunun öncelikli sebebi, ZE yerel zemini için kullanılan zemin modelinin periyot değerinin yüksek olmasıdır. $T_n = 0.74s_n$ olan köprü modelimizde, rezonanstan dolayı bu periyot değerine en yakın olan zemin türünün en büyük sonuçları vermesi normaldir.

Tüm bu kriterler düşünüldüğünde farklı bir methodun gerekliliği görülebilir. Bu bölümde bu yöntemlerden birinden bahsedilecektir.

4.1. Yöntemin Açıklanması ve Detayları

Burada incelencek olan yöntem literatürde "Koşulsuz Similasyon Yöntemi"(Unconditional Simulation Method) olarak geçmektedir. Kısaca özetlemek gerekirse bu yöntemde, tepki spektrumuyla uyumlu deprem kayıtları elde edilir. Deprem kayıtlarının elde edilmesiyle bu kayıtlar deplasman-zaman kayıtlarına dönüştürülebilir ve 3. bölümün ilk analiz yöntemi olan "ZTA'da doğrudan entegrasyon ile deplasman analizi" gerçekleştirilebilir. Koşulsuz Similasyon Yöntemi'nin (KSY) kullanılmasıdaki avantaj, hem elde edilen deplasman-zaman kayıtlarının birbirleriyle

uyumlu olması, hem de kayıtların TKDY'de belirlenen tasarım ivme spektrumlarıyla uyumlu olması sağlanır. Ayrıca ZTA'da deplasman verileri elde edildiğinden, mod birleştirme yönteminde olduğu gibi sözde statik etkilerin hesabı için tek bir deplasman değerinin köprü ayaklarına ayrı ayrı etki edilmesi gerekmemektedir.

Fakat bu yöntemde elde edilen stokastik denklemlerin rastgele faz açılarıyla elde edildiği unutulmamalıdır. Dolayısıyla elde edilecek olan ivme kayıtlarının güvenilirliği sorgulanabilir. Ayrıca TKDY'de bu yönteme ait bir bölüm olmadığı ve yönetmeliğe göre bu yöntemin uygulanamayacağı unutulmamalıdır.

4.2. Yöntemin Aşamaları

Deprem yer hareketinin ayaktan ayağa farklılık göstermesi durumunda, cihaz dizilerinden elde edilen verilerle, rastgele yer hareketi alanı kullanılarak olasılıksal bir şekilde tanımlanır. Bu şekilde, yer hareketinin uzaysal değişkenliği modeli, hareketlerin çapraz-güç spektral yoğunluğu $S(\xi_{jk}, \omega)$ aracılığıyla ifade edilebilir (Novak ve diğ, 2015, s.945). Çapraz-güç spektral yoğunluğu formülü denklem 4.1'de görülebilir.

$$S(\xi_{jk}, \omega) = S(\omega) \cdot \gamma_{jk}(\xi_{jk}, \omega) \quad (4.1)$$

Denklemden verilen $S(\omega)$ güç-spektral yoğunluk fonksiyonunu, γ_{jk} ayaklar arası uygunluk fonksiyonudur. ξ_{jk} , j'inci ve k'inci ayaklar arasındaki mesafeyi belirtir. Bu denklem, doğrudan rastgele titreşimler teorisine dayalı analizlerde veya dolaylı olarak zaman tanım alanı yöntemleri için ihtiyaç duyulan farklı mesnetlerdeki yer hareketlerinin üretilmesinde kullanılır (Zerva ve Zervas, 2009 ; Novak ve diğ, 2015, s.946).

Formülde verilen güç-spektral yoğunluk fonksiyonu için farklı formüller kullanılabilir. Fakat yapılacak olan döngü sayısını azaltmak ve tasarım tepki spektrumu ordinatlarına bağlı bir fonksiyon yazılabilir (Bi ve Hao, 2012 ; Novak ve diğ, 2015, s.951). Denklem 4.2'de bu fonksiyon görülebilir.

$$S(\omega) = - \frac{\zeta}{\pi \omega} \cdot \frac{SA^2(\omega)}{\ln(-\frac{\pi}{\omega T} \ln p)} \quad (4.2)$$

Formülde verilen ζ sönüm katsayısını, $SA(\omega)$ kullanılan spektral ivmeyi, T toplam zamanı, p olasılık katsayısını simgelemektedir. Ayrıca $p \geq 0.85$ olmalıdır (Novak ve diğ., 2015, s.951). Sönüm katsayısı yönetmeliğin izin veridiği şekilde 0.05 alınabilir. Yönetmelik yardımıyla bulunan Periyot(sn)-SA(g) grafiği, Açısal frekans(rad/sn)-SA(g) grafiğine dönüştürülecektir.

Denklem 4.1'de verilen ayaklar arası uygunluk fonksiyonu $\gamma_{jk}(\xi_{jk}, \omega)$, için de farklı formüller geliştirilmiştir. Bu fonksiyonun kullanılmasının amacı iki ayak arasındaki tutarlı yer hareketleri arasındaki gecikmeyi lineer statik olarak hesaplamaktır. Bu değerin 1 olması durumunda ayaklardaki yer hareketi tamamen lineer olarak bağımlıdır ve bu değerin 0 olması durumunda ayaklardaki yer hareketi birbirinden tamamen bağımsızdır (Novak ve diğ., 2015, s.946). Kullanılan köprü modelinin açıklıkları 30.875m ve 31.75m olduğundan, bu değerin 1'e yakın değerler vermesi beklenmektedir. Köprü açıklıklarının daha büyük olması durumunda bu değer de 1'den uzaklaşacaktır.

Luco ve Wong (1986) bu değerin hesabı için denklem 4.3'te verilen formülü geliştirmişlerdir.

$$|\gamma_{jk}(\zeta_{jk}, \omega)| = e^{-\alpha^2 \omega^2 \zeta_{jk}^2} \quad (4.3)$$

Formülde verilen α uyumluluk fonksiyonundaki üstel düşüşü gösterir. Luco ve Wong (1986) bu parametre için $\alpha \approx (2-3) \times 10^{-4}$ s/m değerinin alınmasını önermişlerdir.

Denklem 4.3'te verilen formül, $\gamma_{jk}(\xi_{jk}, \omega)$ fonksiyonunun genliğini vermektedir. Ayaklar arası uygunluk fonksiyonu denklem 4.4'te görülebilir.

$$\gamma_{jk}(\zeta_{jk}, \omega) = |\gamma_{jk}(\zeta_{jk}, \omega)| \cdot e^{i \theta_{jk}(\zeta_{jk}, \omega)} \quad (4.4)$$

Denklem 4.4'te görülen $\theta_{jk}(\zeta_{jk}, \omega)$ fonksiyonu, j'inci ve k'ıncı ayaklar arası mesafeye ve frekansa bağlı faz açısıdır. Denklem 4.5'te bu fonksiyonun formülü verilmiştir.

$$\theta_{jk}(\zeta_{jk}, \omega) = -\frac{\omega \cdot \zeta_{jk}^L}{V_{app}} \quad (4.5)$$

Burada V_{app} deprem dalgasının hızını, ζ_{jk}^L , j'inci ve k'ıncı ayaklar arası mesafenin dalga yönünde alınmasıyla elde edilen mesafe değeridir (Novak ve diğ, 2015, s.946). Tez kapsamında TKDY Bölüm 3.9.1(b)'de belirtilen ve deprem dalgalarının ayak temellerine varış zamanlarındaki faz farklarına bağlı "dalga geçiş etkisi" göz önüne alınması zorunlu değildir. Dolayısıyla tez kapsamında $V_{app} = \infty$ alınmıştır ve denklem 4.4, denklem 4.6'da belirtildiği gibi revize edilmiştir. Denklem 4.6'nın sadece $V_{app} = \infty$ alınması durumunda geçerli olduğu unutulmamalıdır.

$$\gamma_{jk}(\zeta_{jk}, \omega) = |\gamma_{jk}(\zeta_{jk}, \omega)| \quad (4.6)$$

Çapraz-güç spektral yoğunluğu her bir köprü ayağı için hesaplanacağı zaman, hem her j'inci ayak için, hem de j'inci ve k'ıncı ayaklar arası için güç spektral yoğunluk fonksiyonu $S(\omega)$ 'nin çıkarılması gerekir. j'inci ayak için incelenen $S_j(\omega)$ değeri doğrudan denklem 4.2'den hesaplanabilir. j'inci ve k'ıncı ayaklar arası için hesaplanan çapraz-güç spektral yoğunluğu, iki güç spektral yoğunluğu değerinin geometrik ortalamasıyla, iki ayak arası $\gamma_{jk}(\zeta_{jk}, \omega)$ değerinin çarpılmasıyla bulunacaktır. Dolayısıyla 4 ayaklı bir köprü için çapraz-güç spektral yoğunluk değerleri için, 4x4'lük bir matris oluşturulabilir. Denklem 4.7'de gösterilen $S^0(\omega)$ matrisi, hesaplanması gereken tüm çapraz-güç spektral yoğunluk değerlerini göstermektedir.

$$\begin{bmatrix} S_1(\omega) & \sqrt{S_1(\omega)S_2(\omega)}\gamma_{12}(\omega) & \sqrt{S_1(\omega)S_3(\omega)}\gamma_{13}(\omega) & \sqrt{S_1(\omega)S_4(\omega)}\gamma_{14}(\omega) \\ \sqrt{S_2(\omega)S_1(\omega)}\gamma_{21}(\omega) & S_2(\omega) & \sqrt{S_2(\omega)S_3(\omega)}\gamma_{23}(\omega) & \sqrt{S_2(\omega)S_4(\omega)}\gamma_{24}(\omega) \\ \sqrt{S_3(\omega)S_1(\omega)}\gamma_{31}(\omega) & \sqrt{S_3(\omega)S_2(\omega)}\gamma_{32}(\omega) & S_3(\omega) & \sqrt{S_3(\omega)S_4(\omega)}\gamma_{34}(\omega) \\ \sqrt{S_4(\omega)S_1(\omega)}\gamma_{41}(\omega) & \sqrt{S_4(\omega)S_2(\omega)}\gamma_{42}(\omega) & \sqrt{S_4(\omega)S_3(\omega)}\gamma_{43}(\omega) & S_4(\omega) \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

Denklem 4.7'de verilen matris, kullanılacak olan tüm çapraz-güç spektral yoğunluk fonksiyonlarını göstermektedir. Matriste bulunan çapraz elemanlar, her bir j'inci ayak için bulunacak olan ZTA kayıtlarını hesaplamada kullanılan güç-spektral fonksiyonlarıdır. Diğer veriler j'inci ve k'ıncı ayaklar arası güç-spektral fonksiyonlarını göstermektedir. Her biri için $S_{jk}^0(\omega) = \sqrt{S_j(\omega)S_k(\omega)} \cdot \gamma_{jk}(\omega)$ fonksiyonu kullanılarak işlem yapılabilir (Novak ve diğ, 2015, s.948).

$S^0(\omega)$ matrisin bulunmasının ardından ayrıştırılması gerekmektedir. Cholesky Methodu kullanılarak bu işlem denklem 4.8'de gösterildiği gibi yapılabilir.

$$S^0(\omega) = H(\omega).H'(\omega) \quad (4.8)$$

Denklem 4.8'de gösterilen " ' " sembolü transpozu simgelemektedir. Analizler kapsamında kullanılacak olan $H(\omega)$ bir alt üçgen matrisidir ve bu matrisin değerleri kullanılarak analizler gerçekleştirilecektir.

Her bir ayak için elde edilecek olan ivme-zaman kayıtları $f_j(t)$, denklem 4.9'da gösterildiği gibi hesaplanabilir.

$$f_j(t) = A_j(t) \cdot g_j(t) \quad (4.9)$$

Burada $A_j(t)$ j'inci ayak için hesaplanan modülasyon fonksiyonunu, $g_j(t)$ j'inci ayak için hesaplanan sabit stokastik vektör fonksiyonunu simgelemektedir. $g_j(t)$ 'nin hesabı denklem 4.10'da verilmiştir. Bu formül deprem dalgası hızının sonsuz alınması durumunda geçerlidir.

$$g_j(t) = 2 \sum_{m=1}^n \sum_{l=1}^N |H_{jm}(\omega_l)| \sqrt{\Delta\omega} \cos[\omega_l t + \phi_{ml}] \quad (4.10)$$

Burada $\Delta\omega$ açısal frekans aralığını, ω_l seçilen ayrık frekans değerlerini, ϕ_{ml} birbirinden bağımsız faz açılarını simgeler. "m" seçili köprü ayağını, "l" seçilen ayrık frekans numarasını belirtir. Dolayısıyla formülde verilen "n" değeri 4 olacaktır. $H_{jm}(\omega_l)$ denklem 4.8'de verilen alt üçgen matrisidir ve seçilen ω_l açısal frekansına göre değer alır. Formülde verilen "t" zamanı simgeler ve denklem incelenen her bir saniye değeri için tekrar tekrar hesaplanmalıdır.

Denklem 4.9'da verilen modülasyon fonksiyonu $A_j(t)$ 'nin hesabı konusunda farklı methodlar bulunmaktadır. Bagdanoff ve diğ. (1961), denklem 4.11'de verilen modülasyon fonksiyonu formülünü geliştirmişlerdir.

$$A_j(t) = a_1 \cdot t \cdot e^{(-a_2 t)} \quad (4.11)$$

Formülde verilen a_1 ve a_2 , depremin büyüklüğüne ve merkez üssüne bağlı olarak değişen katsayılardır.

$A_j(t)$ ve $g_j(t)$ değerlerinin bulunmasıyla birlikte denklem 4.9 kullanılarak ilk iterasyon için koşulsuz ivme-zaman kaydı elde edilebilir. Bir sonraki aşama bu kaydı spektral ivme-açısal frekans grafiğine dönüştürmek ve bu grafiği tasarım spektral ivme-açısal

frekans grafiğiyle kıyaslamaktır. Kullanılacak olan ivme-zaman kaydının, tasarım spektral ivme grafiğiyle uyumlu olması gerekmektedir.

Her bir döngünün sonunda, denklem 4.2 yardımıyla bulunan $S(\omega)$ değeri, tasarım tepki spektrumu ve bulunan ivme kaydının oluşturacağı tepki spektrumu arasında kurulan bir oran doğrultusunda güncellenmelidir. Her bir j'inci ayak için yapılması gereken bu işlem denklem 4.12'de görülebilir.

$$S_j(\omega) \rightarrow S_j(\omega) \left[\frac{SA_j(\omega)}{SA_j^{(f_j)}(\omega)} \right]^2 \quad (4.12)$$

Formülde verilen $SA_j^{(f_j)}(\omega)$, ilgili iterasyon sonucu j'inci ayakta elde edilen ivme-zaman kaydının oluşturacağı tepki spektrumu fonksiyonudur. $SA_j(\omega)$ ise j'inci ayak için hesaplanan tasarım ivme spektrumu fonksiyonudur. Formülden görülebileceği gibi, her bir itersayon için $S(\omega)$ değeri, bu iki fonksiyonun oranlarının karesiyle çarpılarak güncellenir. Her bir iterasyonla birlikte oluşacak olan tepki spektrumu grafiği, tasarım spektral ivme grafiğine daha fazla yaklaşacaktır (Novak ve diğ., 2015, s.950).

Yapılması gereken tüm süreç ve kullanılması gereken tüm denklemler verilmiştir. Örnek bir zemin kombinasyonu için analiz gerçekleştirilebilir.

4.3. Analiz Aşamaları

Bölüm 4.3'de yapılan analizlerin aşamaları verilmiştir. Kullanılan denklemlere ait grafikler bu bölümde detaylı olarak görülebilir.

4.3.1. Denklemler için seçilecek değerler

Bölüm 4.2'de verilen denklemlerde, belirli parametrelerin ve katsayıların analizler öncesi belirlenmesi gerekir. Örnek bir analiz gerçekleştirileceği için Novak ve diğ. (2015) tarafından seçilen değerler referans olarak alınabilir. Buna göre:

- Toplam 20sn süren deprem kayıtları oluşturulacaktır. Dolayısıyla denklem 2.2'de verilen T katsayısı 20 olarak alınabilir. Sönüm oranı $\xi = 0.05$ olarak alınmıştır. Olasılık katsayısı $p = 0.85$ olarak alınmıştır.
- Denklem 2.3'te verilen α katsayısı 2×10^{-4} s/m olarak alınmıştır.

- Denklem 4.10'da verilen açısal frekans aralığı $\Delta\omega = 0.5$, toplam ayrık frekans değeri $N = 256$ olarak belirlenmiştir. Birbirinden bağımsız faz açıları ϕ_{m1} , her bir ayak için 0 ile 2π arasında rastgele ve uyumlu dağıtılmış 256 değerden oluşmaktadır.
- Denklem 4.11'de verilen modülasyon fonksiyonu katsayıları sırasıyla $a_1 = 0.906$ ve $a_2 = 0.333$ alınabilir (Shinozuka ve diğ., 2000).

Gerekli katsayıların bilinmesiyle birlikte analizler gerçekleştirilebilir. Grafiklerin oluşturulması ve denklemlerin çözümü için Python yazılımından faydalanılmıştır.

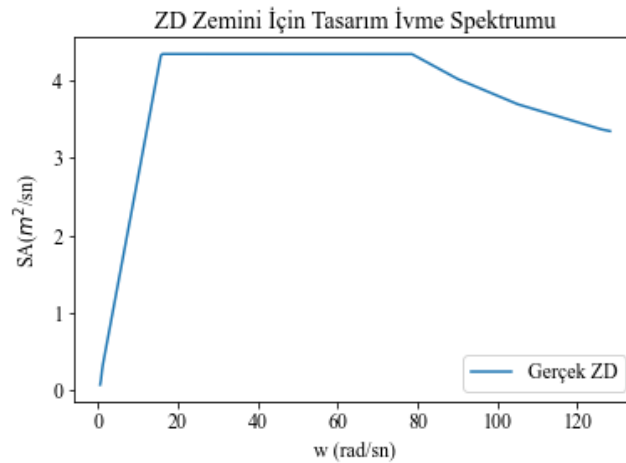
4.3.2. Denklemlerin çözümü ve oluşan grafikler.

Denklemlerin çözümü için ilk olarak belirli bir zemin kombinasyonu seçilmelidir. Örnek olarak "ZDZEZEZD" kombinasyonu seçilebilir. Bu durumda kenar ayaklarda "ZD" yerel zemin sınıfı, orta ayaklarda "ZE" yerel zemin sınıfı bulunacaktır.

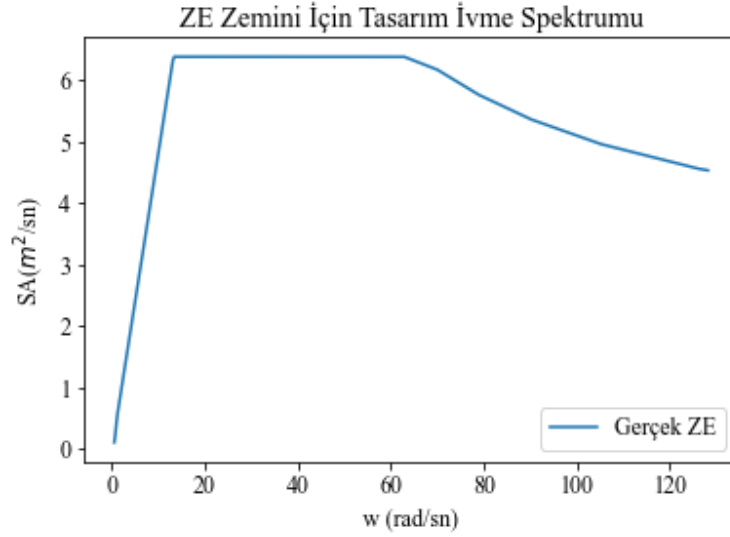
Öncelikle tasarım spektral ivme grafiği hesaplanmalıdır. Fakat bu grafik $SA(g)$ -Açısal Frekans(ω) için yapılacaktır. Dolayısıyla TKDY'de belirtilen tasarım ivme spektrumlarında apsis kısmının güncellenmesi gerekmektedir. Denklem 4.13'de periyot ve açısal frekans arası bağlantı verilmiştir.

$$\omega(\text{rad/sn}) = \frac{2\pi}{T(\text{sn})} \quad (4.13)$$

Tüm bu kriterlerin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Şekil 4.1 ve şekil 4.2'de ZE ve ZD yerel zeminleri için bulunan tasarım spektral ivme grafikleri, ω apsisine ve SA ordinatına göre verilmiştir. İvme değerleri m^2/sn olarak alınmıştır.



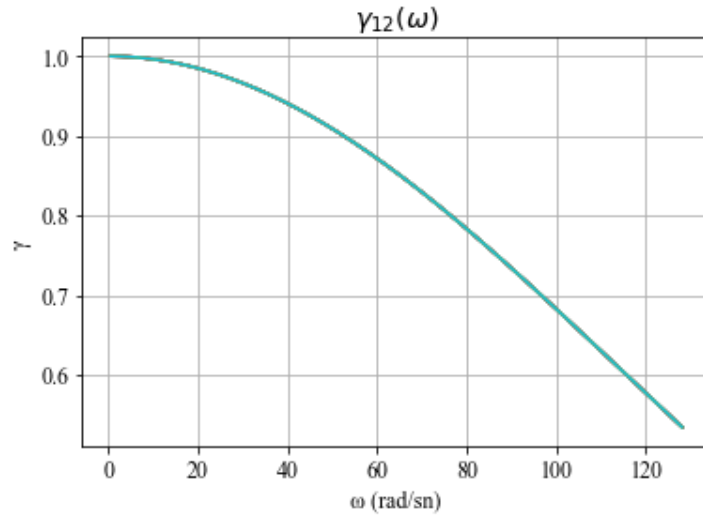
Şekil 4.1 : ZD yerel zemin sınıfı için oluşturulan tasarım tepki spektrumu.



Şekil 4.2 : ZE yerel zemin sınıfı için oluşturulan tasarım tepki spektrumu.

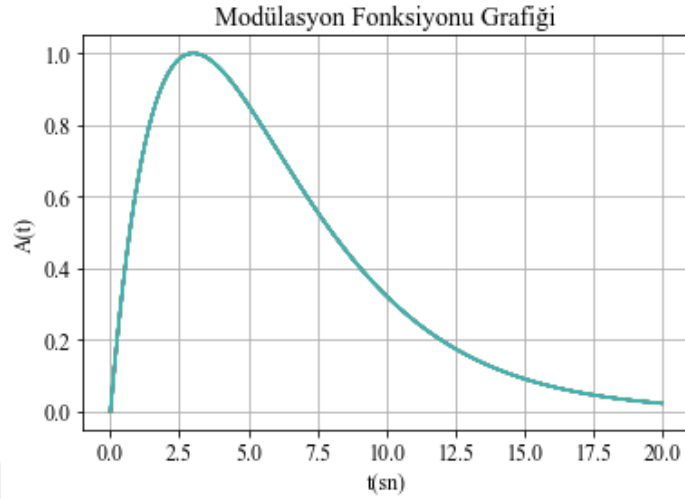
Tasarım ivme spektrumları belirlendikten sonra ilk olarak denklem 4.2'de verilen $S(\omega)$ değerlerinin bulunması gerekir. Bu işlemin ardından denklem 4.4'te verilen her j'inci ve k'ıncı ayak için hesaplanacak olan γ_{jk} değerleri bulunur. Her köprü ayağı için bu değerlerin hesaplanmasıyla birlikte denklem 4.7'de verilen $S^0(\omega)$ matrisi oluşturulabilir.

Aynı ayak için hesaplanacak olan γ_{jk} değeri (örneğin $j=1$ ve $k=1$ olması durumu) denklem 4.4'ten her zaman 1 olarak bulunur. Bu değer incelenen farklı ayaklar ve farklı açısal frekans değerlerine göre değişmektedir. Şekil 4.3'te $j=1$ ve $k=2$ olması durumunda bulunan $\gamma_{12}(\omega)$ fonksiyonunun grafiği gösterilmiştir.



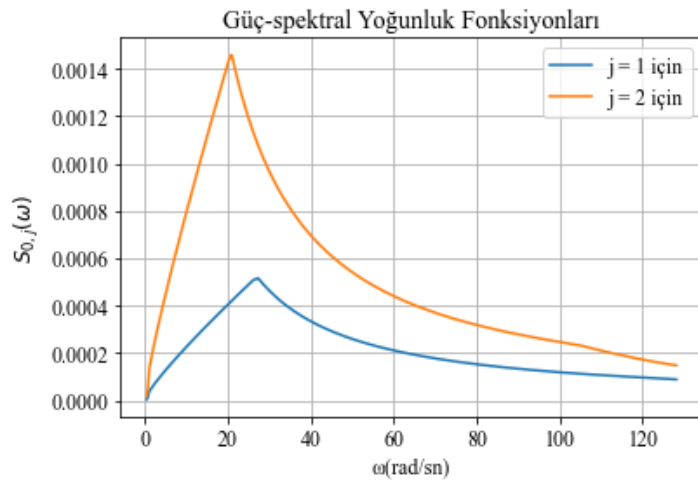
Şekil 4.3 : $j=1$ ve $k=1$ durumu için $\gamma_{12}(\omega)$ fonksiyonu değerleri.

Denklem 4.11'de verilen modülasyon fonksiyonu, a_1 ve a_2 katsayılarının tüm ayaklar için aynı alınması durumunda aynı sonucu verecektir. Bu fonksiyonun 1. ayak için oluşturacağı grafik şekil 4.4'te görülebilir.



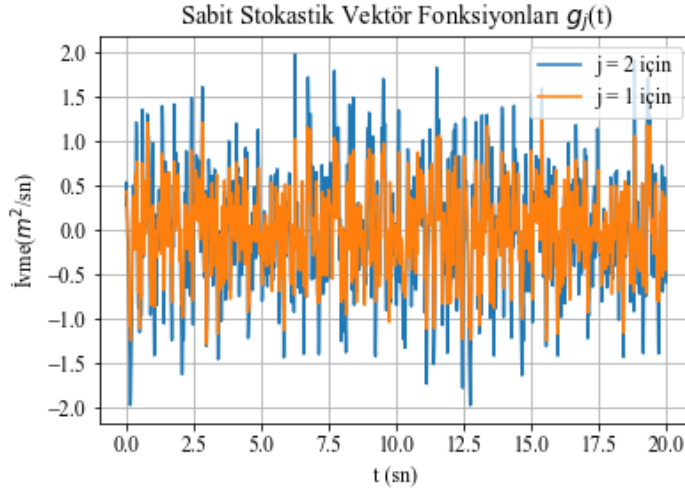
Şekil 4.4 : $j=1$ durumu için $A_1(t)$ fonksiyonu değerleri.

Ayaklar arası uygunluk fonksiyonu $\gamma_{jk}(\omega)$ 'nin ve güç-spektral yoğunluk fonksiyonu $S_j(\omega)$ 'nin bulunmasıyla birlikte, denklem 4.7'de verilen matris kurulabilir. İlk iterasyon sonucu hesaplanan matriste, 1. ve 2. ayak için hesaplanan güç-spektral yoğunluk fonksiyonları şekil 4.5'te verilmiştir. Buradaki hesaplama, 1. ayakta ZD ve 2. ayakta ZE yerel zemin sınıfının bulunması durumunda yapılmıştır. Köprü açıklığının küçük olmasından dolayı 3. ve 4. ayak için elde edilen değerler, 1. ve 2. ayaklar için elde edilen değerlerle üst üste bindiğinden grafikler sadece 1. ve 2. ayaklar için elde edilecektir.



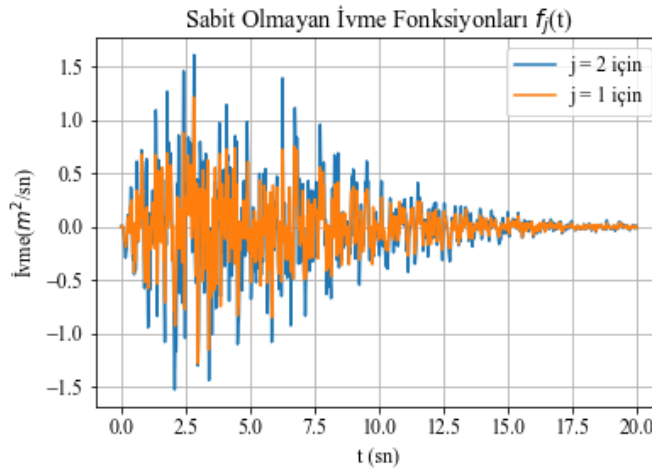
Şekil 4.5 : $j=1$ ve $j=2$ durumları için $S_{0,j}(\omega)$ fonksiyonu değerleri.

Her bir $\gamma_{jk}(\omega)$ uygunluk fonksiyonunun bulunması ve denklem 4.7'de belirtilen güç-spektral fonksiyon matrisinin kurulmasıyla birlikte, denklem 4.10'da verilen sabit stokastik vektör fonksiyonunu $g_j(t)$ 'nin hesabı yapılabilir. $j=1$ ve $j=2$ durumları için bulunan fonksiyonlar şekil 4.6'da verilmiştir.



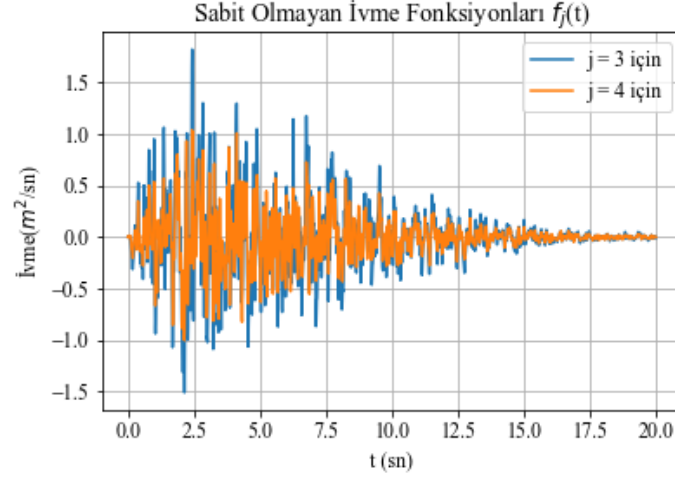
Şekil 4.6 : $j=1$ ve $j=2$ durumları için $g_j(t)$ fonksiyonu hesapları.

Sabit stokastik vektör fonksiyonunu $g_j(t)$ 'nin hesabının ardından, denklem 4.9 kullanılarak sabit olmayan ivme-zaman kayıtları $f_j(t)$ elde edilecektir. Denklemde verilen modülasyon fonksiyonu $A_j(t)$, daha önceden denklem 4.11 ile hesaplanmıştır. Şekil 4.7'de elde edilen $f_j(t)$ kayıtları $j=1$ ve $j=2$ için gösterilmiştir.



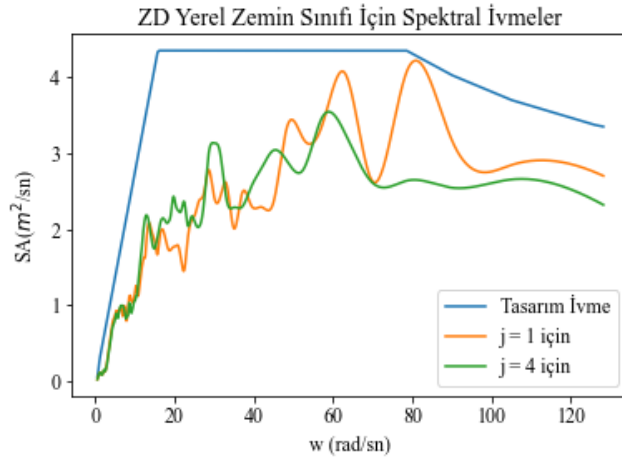
Şekil 4.7 : $j=1$ ve $j=2$ durumları için $f_j(t)$ fonksiyonu grafikleri.

Buraya kadar olan işlemler aynı şekilde $j=3$ ve $j=4$ için de tekrarlanmalıdır. 3. ve 4. ayak için yapılan hesaplamalar sonucu bulunan sabit olmayan ivme fonksiyonları $f_j(t)$, şekil 4.8'de görülebilir.



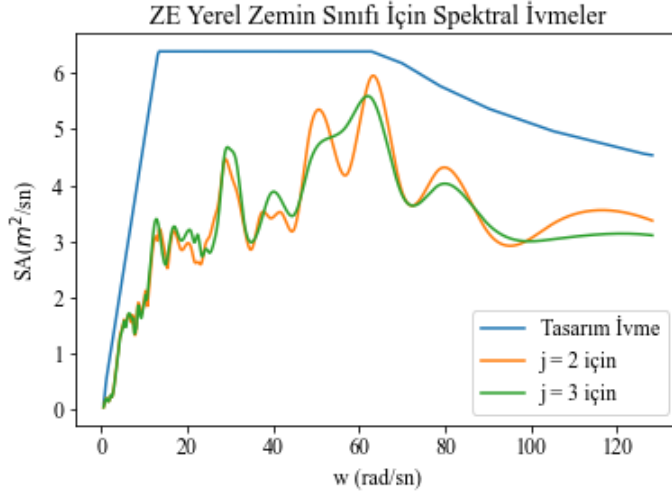
Şekil 4.8 : j=3 ve j=4 durumları için $f_j(t)$ fonksiyonu grafikleri.

İlk iterasyon sonucu elde edilen $f_j(t)$ fonksiyonları, herhangi bir doğrudan entegrasyon yöntemiyle hız-zaman ve deplasman-zaman verilerine çevrilebilir. Şekil 2.5'te Newmark Methodu'nun bu işlem için gerekli aşamaları verilmiştir. Her 3 fonksiyonun elde edilmesiyle, ivme-zaman kayıtlarının oluşturacağı sözde-ivme spektrumu elde edilebilir. 1. ve 4. ayaklarda ZD, 2. ve 3. ayaklarda ZE yerel zemin sınıfının bulunması durumunda, oluşan sözde-ivme spektrumları, denk gelen yerel zemin sınıfının oluşturduğu tasarım spektrumuyla kıyaslanacaktır. Şekil 4.9'da ilk iterasyon sonucu elde edilen ve ZD yerel zemin sınıfına ait spektrumlar ile tasarım spektrumu görülebilir.



Şekil 4.9 : j=1 ve j=4 durumları için elde edilen spektral ivmeler ve ZD tasarım spektral ivme grafiği.

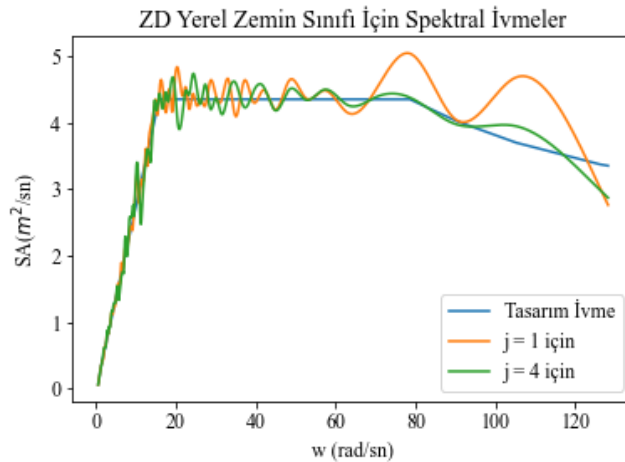
Bu hesap aynı şekilde ZE yerel zemin sınıfına sahip spektral ivme değerleri için de yapılacaktır. Şekil 4.10'da ilk iterasyon sonucu elde edilen ve ZE yerel zemin sınıfına ait spektrumlar ile tasarım spektrumu görülebilir.



Şekil 4.10 : j=2 ve j=3 durumları için elde edilen spektral ivmeler ve ZE tasarım spektral ivme grafiği.

Şekil 4.9 ve şekil 4.10'da görüleceği üzere, ilk iterasyon sonucu elde edilen sözde spektral ivmeler, tasarım ivme spektrumlarıyla uyum göstermemektedir. Denklem 4.12 kullanılarak her j'inci ayak için elde edilen $S_j(\omega)$ güncellenmelidir. Buraya kadar bahsedilen döngü, belirli bir tolerans sağlanana kadar devam edilmelidir. Tez kapsamında her bir açısal frekans değeri için, tasarım ivme spektrumuyla, ivme kayıtlarının oluşturduğu sözde spektral ivme değerleri arasındaki oran 0.8-1.25 arası olana kadar döngü devam ettirilmiştir. Bu iki değer 1'e daha fazla yaklaştırılarak, tolerans küçültülebilir.

10. iterasyon sonucunda, her 4 kayıt için de istenilen koşul sağlanmıştır. Şekil 4.11 ve şekil 4.12'de 10. iterasyon sonucu elde edilen ivme-zaman kayıtlarının oluşturduğu sözde spektral ivmeler ile tasarım spektral ivme grafikleri görülebilir.



Şekil 4.11 : 10. iterasyon sonucu, j=1 ve j=4 durumları için elde edilen spektral ivmeler ve ZD tasarım spektral ivme grafiği.



Şekil 4.12 : 10. iterasyon sonucu, $j=2$ ve $j=3$ durumları için elde edilen spektral ivmeler ve ZE tasarım spektral ivme grafiği.

10. iterasyon sonucu elde edilen ivme-zaman kayıtları denklem 2.14 ve denklem 2.15 vesilesiyle, hız-zaman ve deplasman-zaman verilerine dönüştürülebilir. Deplasman-zaman kayıtlarının elde edilmesiyle, doğrudan entegrasyonla yerdeğiştirmesi yüklemesi analizleri yapılacaktır.

4.4. Farklı Zemin Kombinasyonları İçin Yapılan Analiz Sonuçları

Analizler kapsamında çizelge 3.5'te verilen zemin kombinasyonları kullanılacaktır. 12 farklı zemin kombinasyonu incelendiğinden, her bir zemin kombinasyonu için elde edilen ivme-zaman kayıtlarından birer adet kullanılacaktır. Normalde TKDY Bölüm 2.5.1.3 kapsamında en az 7 deprem kaydı kullanılması gerektiğ i unutulmamalıdır.

4.4.1. Üniform deprem yer hareketi olması durumunda analiz

Çizelge 3.5'e göre incelenecek üniform deprem yer kayıtları için alınacak olan yerel zemin sınıfları şu şekildedir:

- Sadece ZB
- Sadece ZC
- Sadece ZD
- Sadece ZE

Analizler kapsamında *ZTA'da Modal Analiz Yöntemi* kullanılacaktır. Bu sayede elde edilecek sonuçlar, mod birleştirme yöntemiyle elde edilen sonuçlarla karşılaştırılabilir.

4.4.1.1 Elastomer mesnet deformasyonları

Analizlerin ZTA'da doğrudan entegrasyon yöntemiyle yapılmasıyla elde edilen deformasyon değerleriyle, ZTA'da modal analiz yöntemiyle elde edilen değerler birbirleriyle karşılaştırılabilir. Doğrudan entegrasyon yönteminde mod şekilleri kullanılmaz ve frekans bazlı analiz yerine zaman aralıkları bazında analiz gerçekleştirilir. Mod birleştirme yöntemiyle koşulsuz simülasyon yöntemleri karşılaştırılırken, mod şekillerinin göz önünde bulundurulması isteniyorsa ZTA'da modal analiz esas alınmalıdır. Çünkü Mod Birleştirme Yöntemi'nde dinamik sonuçlar mod şekillerine göre yapılmaktadır. Çizelge 4.1'de elastomer mesnet deformasyonlarının, modal ve doğrudan entegrasyon yöntemiyle yapılması sonucu elde edilen değerler karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.1 : ZTA'da doğrudan entegrasyon ve modal yöntemler ile elde edilen deformasyon değerleri (m).

	Doğrudan Entegrasyon Yöntemi				Modal Analiz Yöntemi			
	Sadece ZB	Sadece ZC	Sadece ZD	Sadece ZE	Sadece ZB	Sadece ZC	Sadece ZD	Sadece ZE
1.Ayak	0.009786	0.018091	0.028895	0.050894	0.009803	0.01811	0.028899	0.050905
2.Ayak	0.0018246	0.0033278	0.005262	0.0093528	0.001833	0.003346	0.005289	0.00931
3.Ayak	0.0018246	0.0033278	0.0052622	0.0093531	0.001833	0.003346	0.005289	0.00931
4.Ayak	0.009785	0.0180905	0.0288934	0.0508911	0.009802	0.018109	0.028898	0.050902

Elde edilen sonuçların birbirlerine yakın olduğu görülebilir. ZTA'da Modal Analiz Yöntemi'yle elde edilen sonuçlar ile Mod Birleştirme Yöntemi'yle elde edilen sonuçlar çizelge 4.2'de kıyaslanmıştır.

Çizelge 4.2 : Mod birleştirme yöntemi ve ZTA'da modal yöntemi ile elde edilen deformasyon değerleri (m).

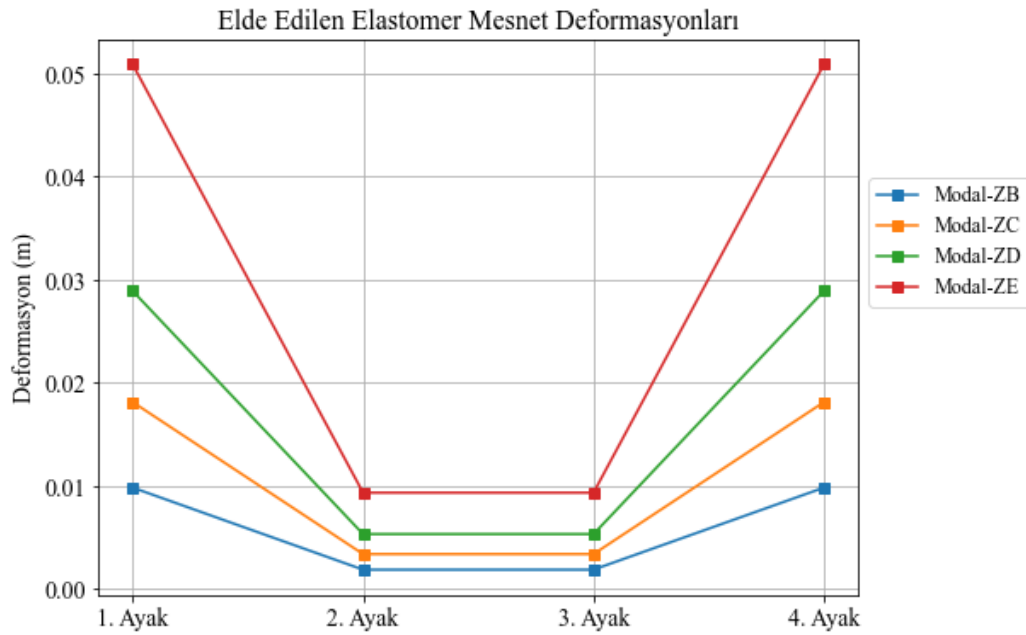
	Mod Birleştirme Yöntemi				ZTA'da Modal Analiz Yöntemi			
	Sadece ZB	Sadece ZC	Sadece ZD	Sadece ZE	Sadece ZB	Sadece ZC	Sadece ZD	Sadece ZE
1.Ayak	0.009811	0.01813	0.028941	0.050933	0.009815	0.01813	0.028958	0.050956
2.Ayak	0.0018343	0.0033406	0.0052767	0.0092764	0.002044	0.003748	0.005956	0.010534
3.Ayak	0.0018343	0.0033407	0.0052764	0.0092764	0.002044	0.003748	0.005956	0.010534
4.Ayak	0.009811	0.018129	0.028939	0.050929	0.009815	0.018129	0.028958	0.050956

Çizelge 4.2'de elde edilen değerlere bakıldığında, sonuçların birbirleriyle uyumlu olduğu görülebilir. Elde edilen ivme kayıtlarının belirli bir tolerans dahilinde

oluşturulduğu unutulmamalıdır. Dolayısıyla iki yöntem arasında farklılıklar beklenebilir.

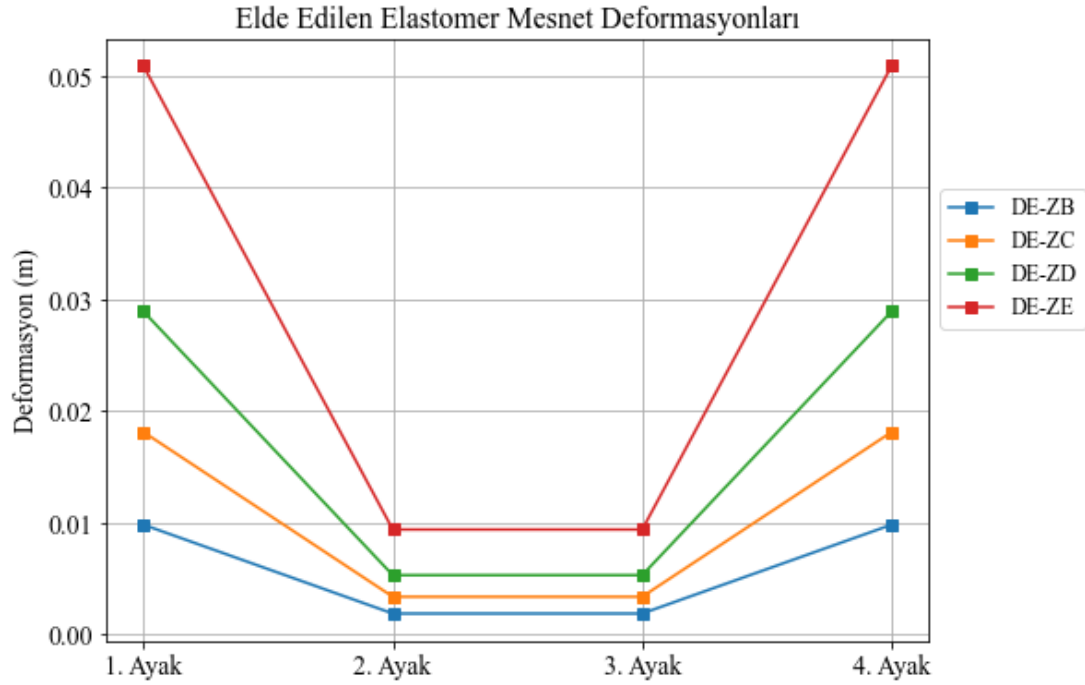
Şekil 4.13'de ZB zemin sınıfı için ZTA'da modal analiz yöntemiyle tanımlanan yükleme durumu görülebilir. Şekil 4.14'de her bir ayak için elde edilen elastomer mesnet deformasyonları farklı yerel zemin sınıfları için modal ZTA yöntemiyle hesaplanmıştır.

Şekil 4.13 : ZB yerel zemin sınıfı için elde edilen ivme kaydıyla yapılan yükleme durumu.



Şekil 4.14 : Üiform deprem yer hareketi koşulları için modal ZTA'da analizle elde edilen elastomer mesnet deformasyonları (m).

Şekil 4.14 ile şekil 3.43 karşılaştırıldığında, koşulsuz simülasyon yönteminin, yönetmeliğin öngördüğü tasarım spektral ivmelerine daha uyumlu sonuçlar verdiği görülebilir. Şekil 4.15'te doğrudan entegrasyon yönteminin sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.15 : Üniorm deprem yer hareketi koşulları için ZTA'da doğrudan entegrasyon yöntemiyle elde edilen elastomer mesnet deformasyonları (m).

4.4.1.2 Orta Ayak Kesme Kuvvetleri

Daha önceden yapıldığı gibi kesme kuvvetleri orta ayak kolonları için hesap edilecektir. Elde edilen sonuçlar Mod Birleştirme Yöntemi'yle bulunan sonuçlarla kıyaslanmalıdır.

Çizelge 4.3'de farklı ZTA'da analiz yöntemlerinin kıyaslanmasını, çizelge 4.4'te Mod Birleştirme Yöntemi'yle Modal ZTA'da Analiz Yöntemleri'nin kıyaslanması görülebilir.

Çizelge 4.3 : ZTA'da doğrudan entegrasyon ve modal yöntemler ile elde edilen orta ayak kesme kuvveti değerleri (kN).

	Doğrudan Entegrasyon Yöntemi				Modal Analiz Yöntemi			
	Sadece ZB	Sadece ZC	Sadece ZD	Sadece ZE	Sadece ZB	Sadece ZC	Sadece ZD	Sadece ZE
1. OA	1492.588	2745.442	4408.664	7681.936	1457.280	2690.362	4346.183	7619.846
2. OA	1492.600	2745.710	4408.877	7682.608	1457.479	2690.591	4346.634	7620.593

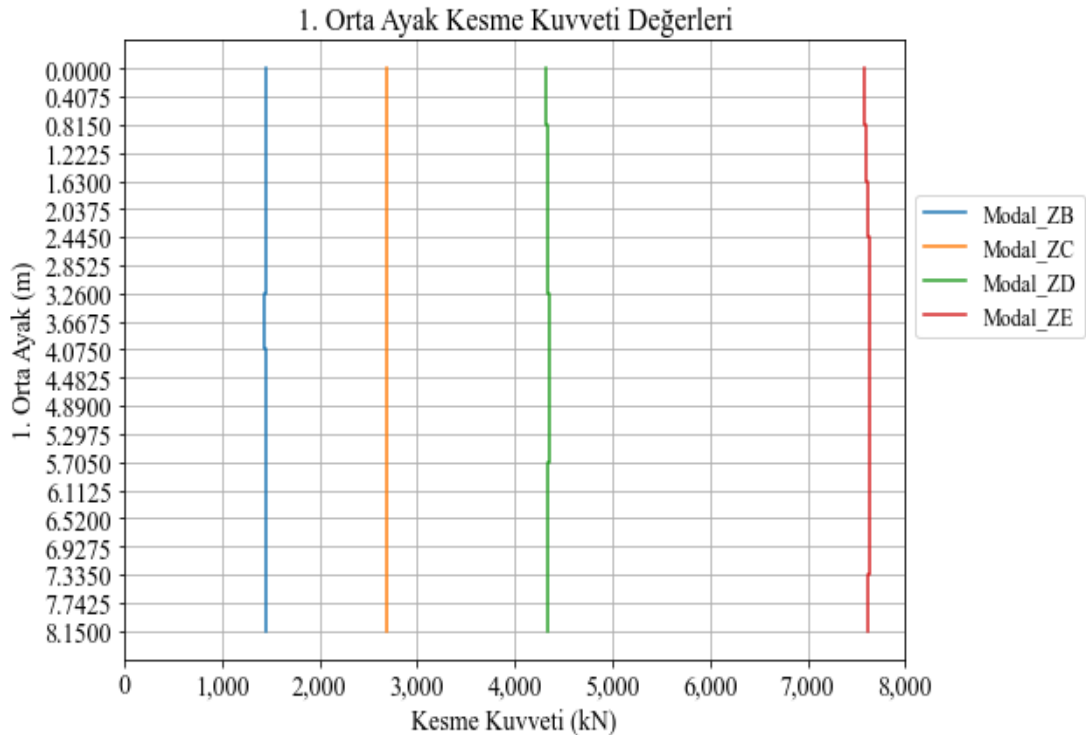
Çizelge 4.4 : Mod birleştirme yöntemi ve ZTA'da modal analiz yöntemi ile elde edilen orta ayak kesme kuvvetleri (kN).

	Mod Birleştirme Yöntemi				Modal Analiz Yöntemi			
	Sadece ZB	Sadece ZC	Sadece ZD	Sadece ZE	Sadece ZB	Sadece ZC	Sadece ZD	Sadece ZE
1. OA	1519.33	2769.698	4346.867	7528.658	1457.280	2690.362	4346.183	7619.846
2. OA	1519.191	2769.541	4346.73	7528.525	1457.479	2690.591	4346.634	7620.593

Aynı şekilde, belirli bir tolerans dahilinde deprem kayıtları oluşturulduğundan, çizelge 4.4'te iki yöntem arası kesme kuvvetindeki değer farkları görülebilir.

Şekil 4.16 ve şekil 4.17'de modal ZTA'da analiz ile hesaplanan orta ayak kesme kuvvetleri görülebilir. Orta ayak kesme kuvvetlerinin, Mod Birleştirme Yöntemi'yle elde edilen değerleri Bölüm 3'te verilmiştir. Şekil 3.82 ve şekil 3.83'te bu yöntemin oluşturduğu kesme kuvveti sonuçları görülebilir.

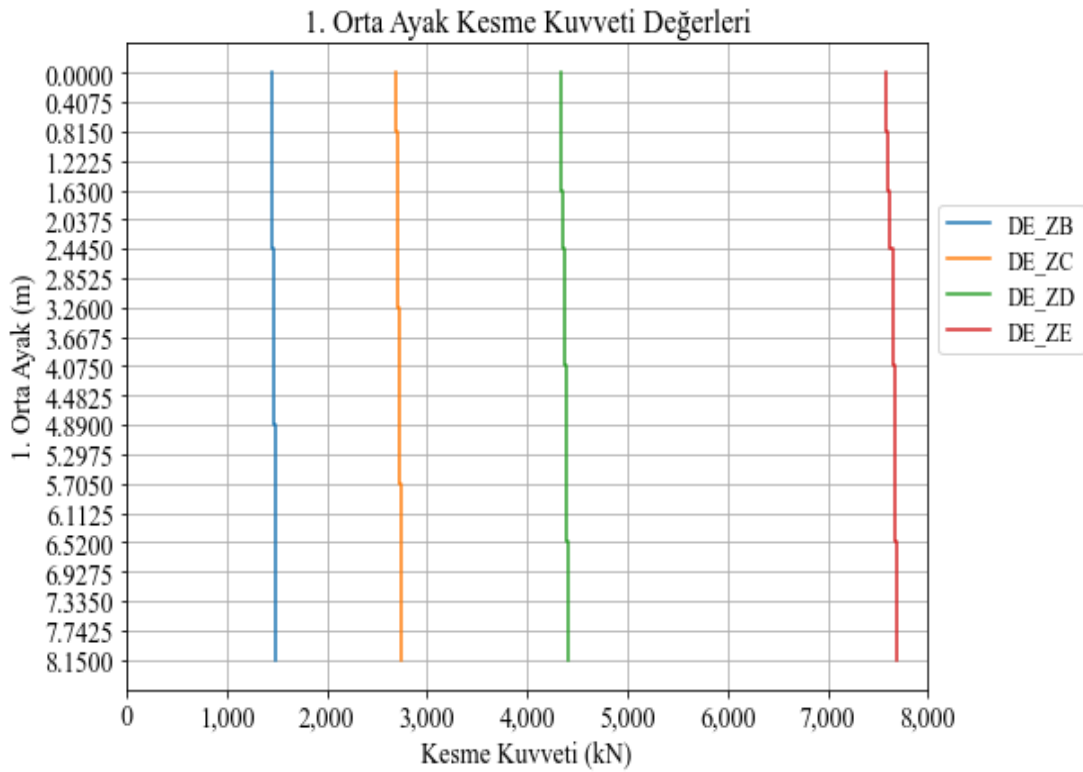
Aynı şekilde şekil 4.18 ve şekil 4.19'da, doğrudan entegrasyon yöntemiyle elde edilen orta ayak kesme kuvvetleri görülebilir. Bu sonuçlar, modal ZTA'da analiz yöntemiyle elde edilen sonuçlarla oldukça benzerdir.



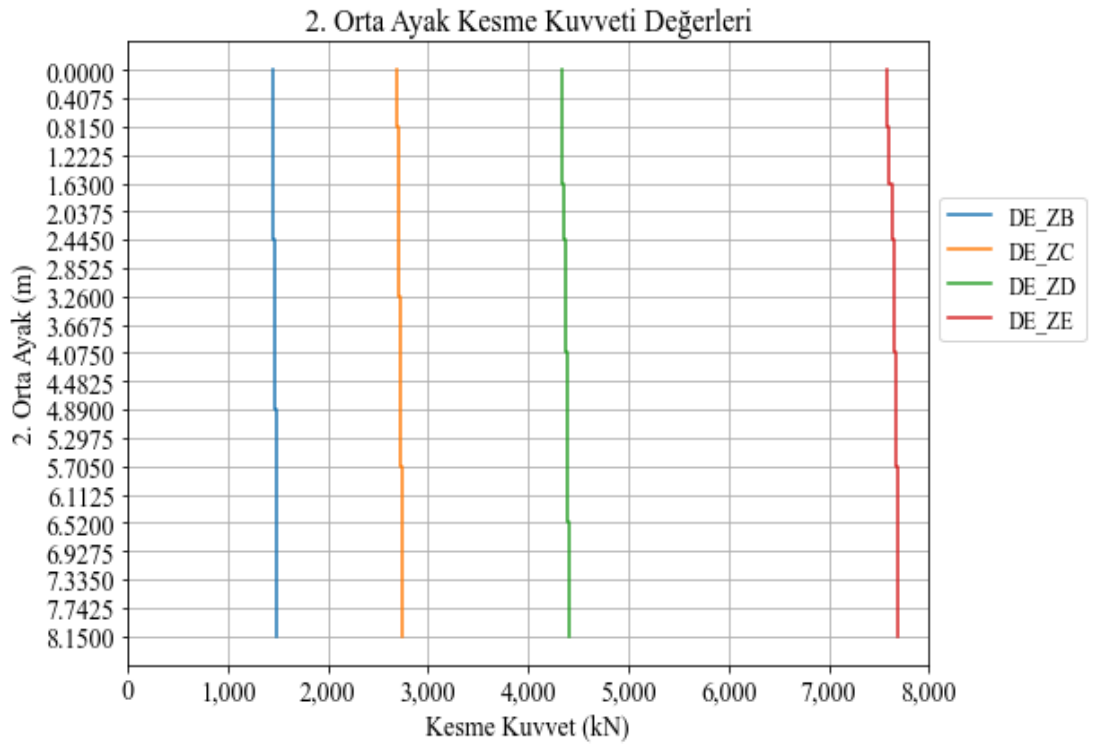
Şekil 4.16 : 1. OA'ya ait üniform deprem yer hareketi koşulları için modal ZTA ile hesaplanan kesme kuvveti değerleri (kN).



Şekil 4.17 : 2. OA'ya ait üniform deprem yer hareketi koşulları için modal ZTA ile hesaplanan kesme kuvveti değerleri (kN).



Şekil 4.18 : 1. OA'ya ait üniform deprem yer hareketi koşulları için ZTA'da doğrudan entegrasyon ile hesaplanan kesme kuvveti değerleri (kN).



Şekil 4.19 : 2. OA'ya ait üniform deprem yer hareketi koşulları için ZTA'da doğrudan entegrasyon ile hesaplanan kesme kuvveti değerleri (kN).

4.4.1.3 Orta Ayak Momentleri

Ortalama orta ayak momentlerinin de aynı şekilde bulunması gerekir. Çizelgelerde verilen sonuçlar, taban çubuk elemanlardan elde edilen verileri göstermektedir. Elde edilen sonuçlar Mod Birleştirme Yöntemi'yle bulunan sonuçlarla kıyaslanmalıdır.

Çizelge 4.5'de farklı ZTA'da analiz yöntemlerinin kıyaslanmasını, çizelge 4.6'da Mod Birleştirme Yöntemi'yle Modal ZTA'da Analiz Yöntemleri'nin kıyaslanması görülebilir. Doğrudan entegrasyon yöntemiyle, modal ZTA'da analiz yöntemlerinin aynı şekilde birbirleriyle uyumlu moment sonuçları verdiği görülebilir.

Çizelge 4.5 : ZTA'da doğrudan entegrasyon ve modal yöntemler ile elde edilen orta ayak moment değerleri (kNm).

	Doğrudan Entegrasyon Yöntemi				Modal Analiz Yöntemi			
	Sadece ZB	Sadece ZC	Sadece ZD	Sadece ZE	Sadece ZB	Sadece ZC	Sadece ZD	Sadece ZE
1. OA	14008.72	25882.06	41659.14	72870.54	13854.48	25787.02	41517.95	72836.15
2. OA	14009.02	25882.99	41659.42	72870.43	13855.02	25787.35	41518.60	72836.54

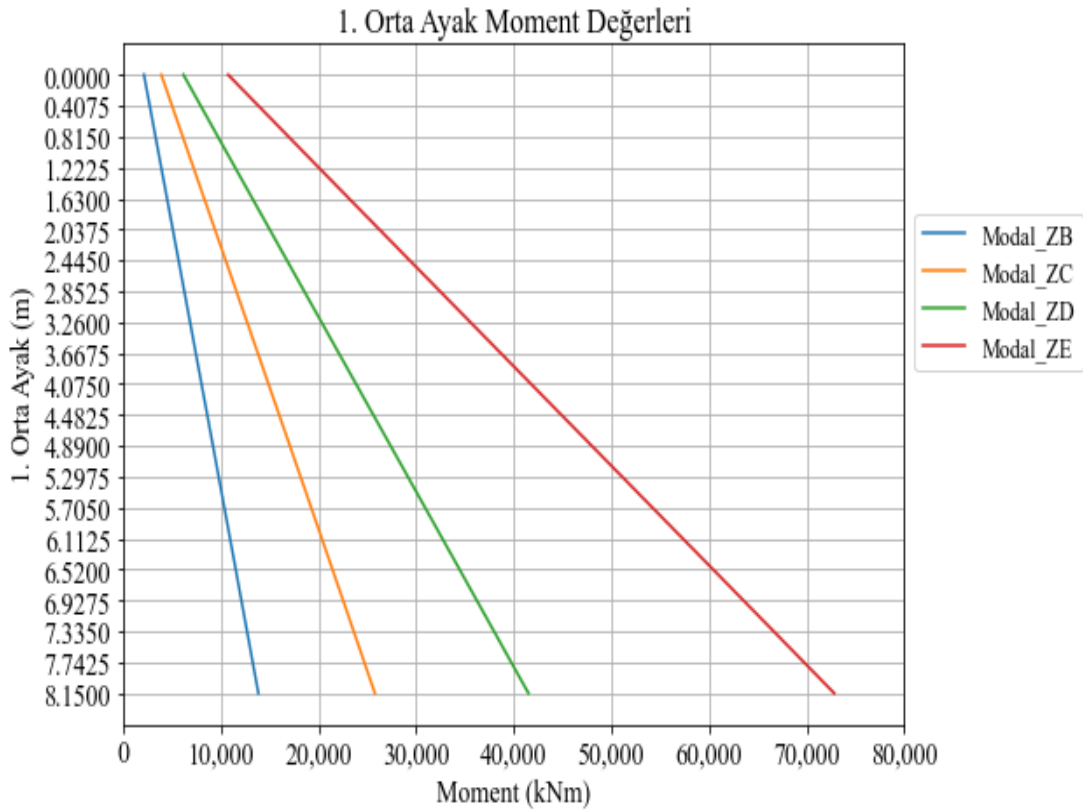
Çizelge 4.6 : Mod birleştirme yöntemi ve ZTA'da modal analiz yöntemi ile elde edilen orta ayak moment değerleri (kNm).

	Mod Birleştirme Yöntemi				Modal Analiz Yöntemi			
	Sadece ZB	Sadece ZC	Sadece ZD	Sadece ZE	Sadece ZB	Sadece ZC	Sadece ZD	Sadece ZE
1. OA	14316.72	26418.04	42267.01	73809.75	13854.48	25787.02	41517.95	72836.15
2. OA	14315.98	26416.49	42264.48	73805.35	13855.02	25787.35	41518.60	72836.54

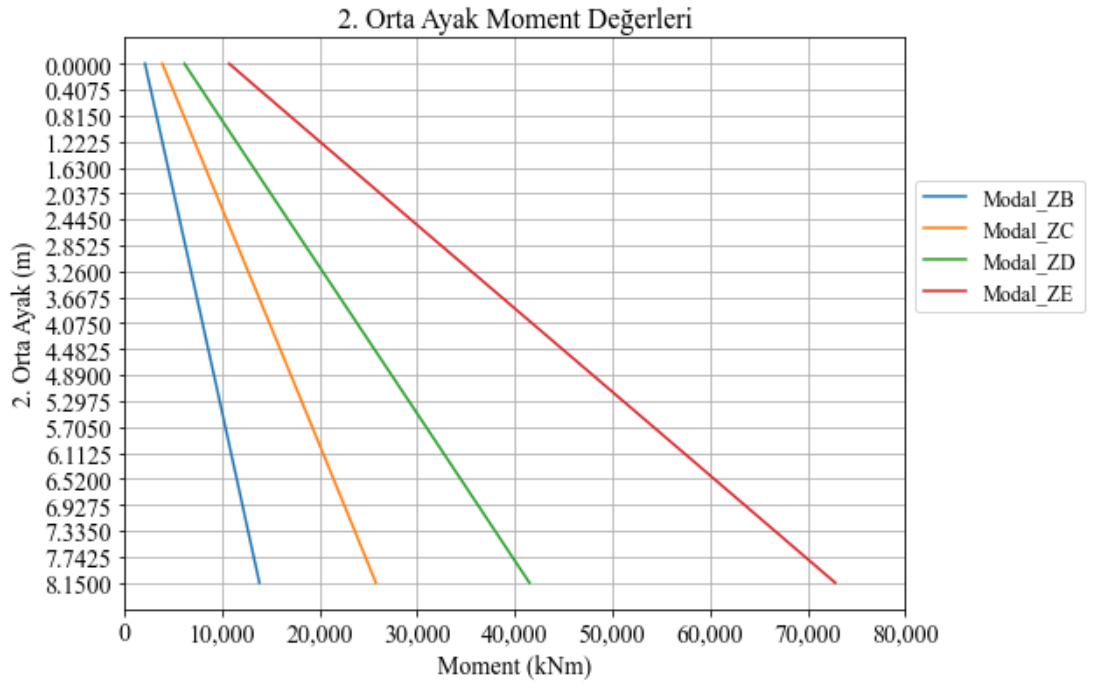
Aynı şekilde, belirli bir tolerans dahilinde deprem kayıtları oluşturulduğundan, çizelge 4.6da iki yöntem arası moment değerlerindeki farklılıklar görülebilir.

Şekil 4.20 ve şekil 4.21'de her bir ayak için elde edilen orta ayak moment değerleri farklı yerel zemin sınıfları için modal ZTA'da ile hesaplanmıştır.

Elde edilen grafikler karşılaştırılmak istenirse, şekil 4.20 ve şekil 4.21 ile; şekil 3.84 ve şekil 3.85 arası karşılaştırma yapılabilir. Bölüm 3'te Mod Birleştirme Yöntemi'yle elde edilen sonuçlar verildiğinden, bu bölümde tekrar verilmemiştir. Ancak grafiklerin oldukça benzer olduğu söylenebilir.

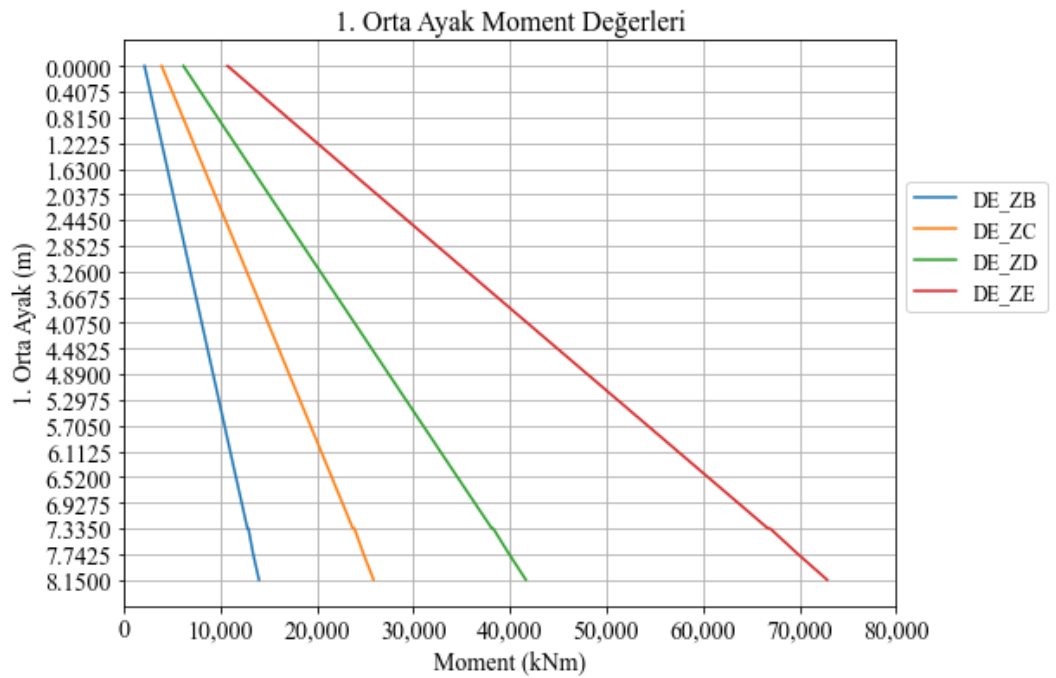


Şekil 4.20 : 1. OA ve üniform deprem yer hareketi koşulları için elde edilen orta ayak moment değerleri (kNm).

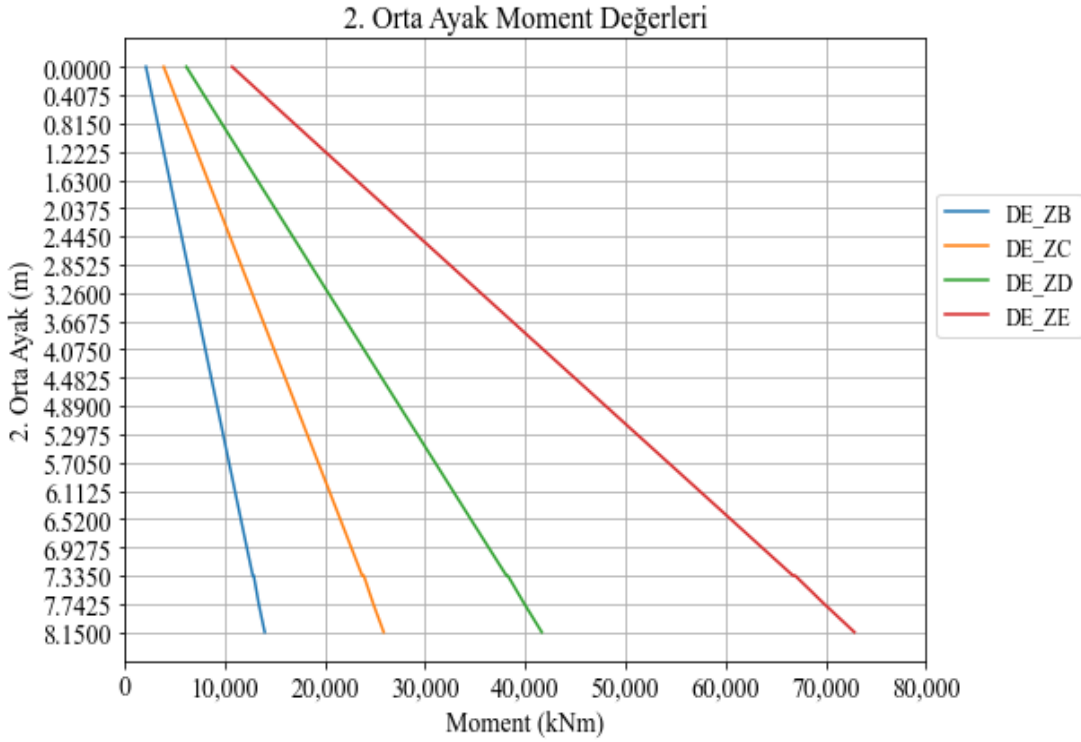


Şekil 4.21 : 2. OA ve üniform deprem yer hareketi koşulları için elde edilen orta ayak moment değerleri (kNm).

Şekil 4.22 ve şekil 4.23'te, doğrudan entegrasyon yöntemiyle elde edilen ve üniform yerel zemin koşullarına ait moment grafikleri görülebilir. Elde edilen sonuçlar hem Mod Birleştirme Yöntemi'yle elde edilen sonuçlara, hem de Modal ZTA'da analizle elde edilen sonuçlarla oldukça benzerdir.



Şekil 4.22 : 1. OA ve doğrudan entegrasyon yöntemiyle üniform deprem yer hareketi koşulları için elde edilen orta ayak moment değerleri (kNm).



Şekil 4.23 : 2. OA ve doğrudan entegrasyon yöntemiyle üniform deprem yer hareketi koşulları için elde edilen orta ayak moment değerleri (kNm).

4.4.2. DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği zemin kombinasyonları için analiz

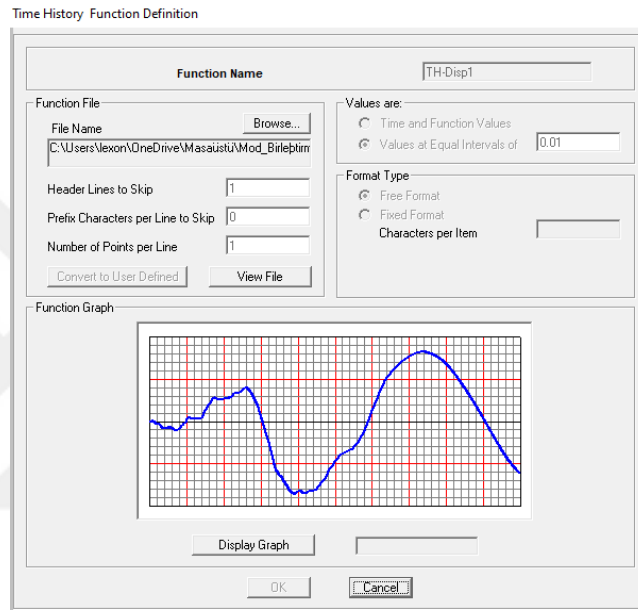
Çizelge 3.5'e göre incelenecek olan DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği zemin kombinasyonları ile üniform alınması durumunda kullanılacak olan yerel zemin sınıfları şu şekildedir:

- ZBZCZDZC - Sadece ZD
- ZBZDZDZB - Sadece ZD
- ZCZDZDZC - Sadece ZD
- ZDZEZEZD - Sadece ZE

Analizler kapsamında ZTA'da modal analiz yönteminin kullanılması mümkün değildir. Her bir ayağa denk gelen yerdeğiştirme yüklemesinin yapılması gerekmektedir. Yerdeğiştirme yüklemesi analizi sırasında mod şekillerinin kullanılması mümkün değildir. Dolayısıyla DZE'nin olduğu durumlarda sadece doğrudan entegrasyon yönteminin kullanıldığı unutulmamalıdır. Bu kısımda kullanılan üniform koşullarda da aynı şekilde ZTA'da doğrudan entegrasyonla yerdeğiştirme yüklemesi yöntemi kullanılmıştır.

4.4.2.1 Elastomer mesnet deformasyonları

Şekil 4.17'de "ZBZCZDZC" zemin kombinasyonuna ait 1. ayak için tanımlanan deplasman fonksiyonu görülebilir. Her ayak için yerdeğiştirme fonksiyonunun tanımlanmasının ardından, yapılan yükleme durumu şekil 4.18'de gösterilmiştir. Tüm analizlerin yapılmasının ardından, incelenen zemin kombinasyonları ve üniform alınmaları durumunda elde edilen sonuçlar çizelge 4.7'de gösterilmiştir. Üniform hesaplar aynı şekilde mod şekillerine göre yapılabilir. DZE'nin olduğu durumlar için ise doğrudan entegrasyon yöntemi kullanılmıştır.



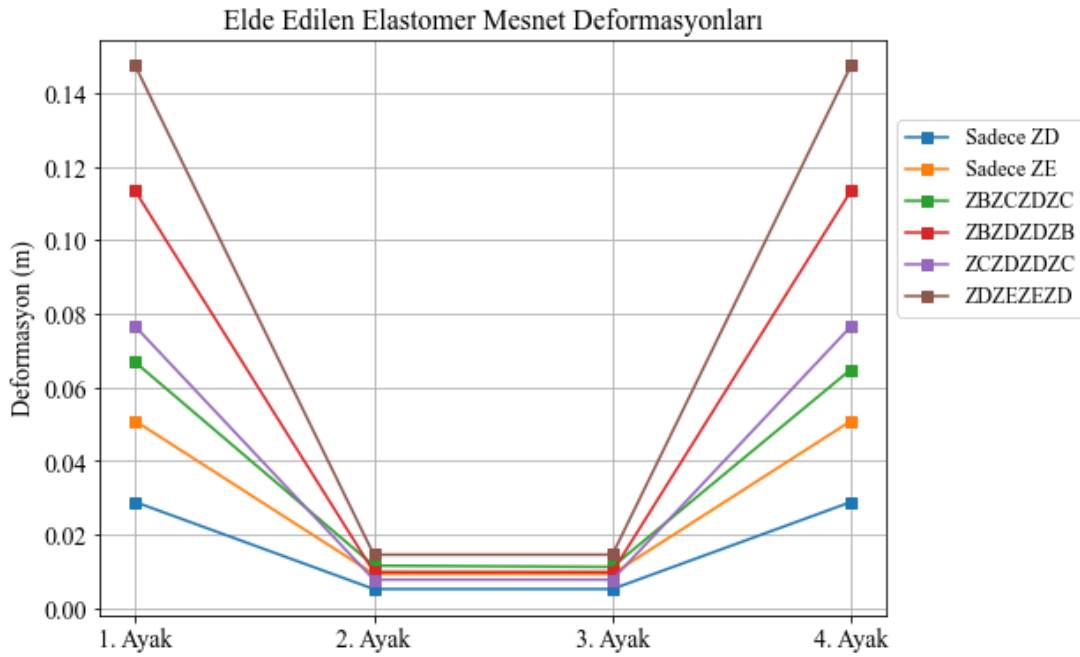
Şekil 4.24 : "ZBZCZDZC" zemin kombinasyonunda 1. ayak için tanımlanan yer değiştirme fonksiyonu.

Şekil 4.25 : "ZBZCZDZC" zemin kombinasyonuna ait yükleme durumu.

Çizelge 4.7 : Elde edilen elastomer mesnet deformasyonları (m).

	Sadece ZD	Sadeze ZE	ZBZCZDZC	ZBZDZDZB	ZCZDZDZC	ZDZEZEZD
1. Ayak	0.028958	0.050956	0.053251	0.096579	0.059475	0.115323
2. Ayak	0.005956	0.010534	0.007109	0.012689	0.008287	0.015934
3. Ayak	0.005956	0.010534	0.00718	0.012689	0.008287	0.015934
4. Ayak	0.028958	0.050956	0.050628	0.096579	0.059475	0.115323

Çizelge 4.7'de elde edilen veriler bir grafiğe dönüştürülerek gösterilebilir. Elde edilen veriler şekil 4.19'da gösterilmiştir.



Şekil 4.26 : İncelenen zemin kombinasyonları için bulunan elastomer mesnet deformasyonları (m).

Şekil 4.18'de, DZE'nin yapıda oluşturduğu sözde-statik kuvvetlerin etkileri görülebilir.

4.4.2.2 Orta ayak kesme kuvvetleri

Çizelge 4.8'de elde edilen maksimum kesme kuvvetleri görülebilir. Bu değerler daha önceden de alındığı gibi orta ayak kolonlarının en alt bölgesine göre alınmıştır. Hem üniform durumlar için, hem de DZE'nin olduğu durumlar için ise doğrudan entegrasyon yöntemi kullanılmıştır.

Çizelge 4.8 : Elde edilen orta ayak kesme kuvvetleri (kN).

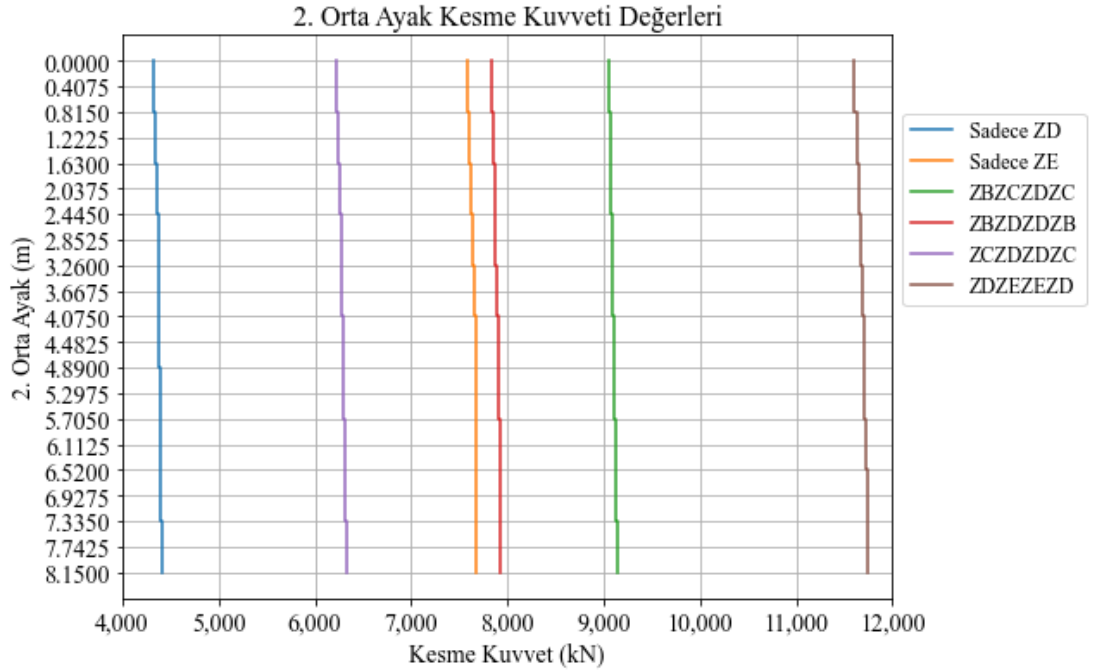
	Sadece ZD	Sadeze ZE	ZBZCZDZC	ZBZDZDZB	ZCZDZDZC	ZDZEZEZD
1. OA	4408.66	7681.94	4759.37	7931.61	6323.76	11747.71
2. OA	4408.88	7682.61	9136.89	7930.58	6322.72	11747.00

Üniform durum için, ZTA'da Modal Analiz'in kullanılmasıyla elde edilen sonuçların kesme kuvvetleri açısından oldukça büyük olduğu görülebilir.

Şekil 4.27'de ve şekil 4.28'de, her iki orta ayak için elde edilen kesme kuvvetleri kolon boyunca verilmiştir.



Şekil 4.27 : 1. OA ve incelenen zemin kombinasyonları için bulunan orta ayak kesme kuvvetleri (kN).



Şekil 4.28 : 2. OA ve incelenen zemin kombinasyonları için bulunan orta ayak kesme kuvvetleri (kN).

Kesme kuvveti grafikleriyle elastomer mesnet grafikleri kıyaslandığında, üniform deprem yer kabulünün elastomer deformasyonlarda en küçük sonuçları verirken, kesme kuvvetleri açısından TKDY Bölüm 3.9.3'de verilen kabulün daha uygun olduğu görülebilir. Ancak üniform deprem yer hareketi kabulü, o kombinasyona ait en zayıf zemin için yapılırsa daha düşük değerler vermektedir.

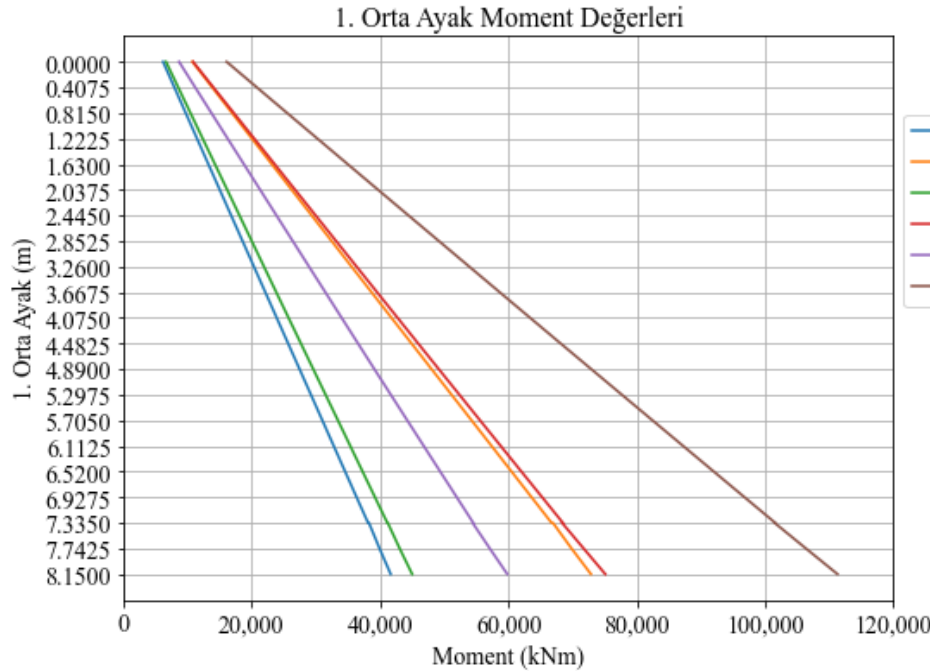
4.4.2.3 Orta ayak momentleri

Moment değerlerinin, kesme kuvvetleri arasındaki orana benzer şekilde çıkması beklenmektedir. Orta ayak moment değerleri, en alt bölgede bulunan çubuk elemanlara göre yapılacaktır. Üniform hesaplar aynı şekilde mod şekillerine göre yapılabilir. DZE'nin olduğu durumlar için ise doğrudan entegrasyon yöntemi kullanılmıştır. Çizelge 4.9'da elde edilen moment değerleri görülebilir.

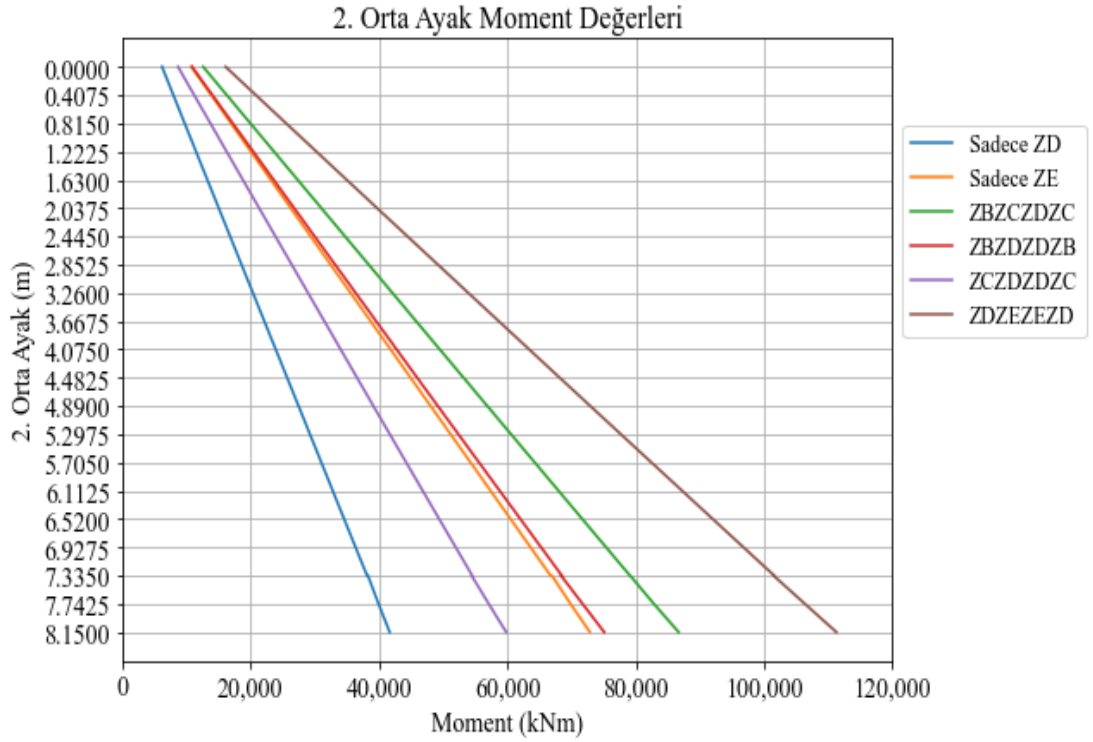
Çizelge 4.9 : Elde edilen orta ayak momentleri (kNm).

	Sadece ZD	Sadeze ZE	ZBZCZDZC	ZBZDZDZB	ZCZDZDZC	ZDZEZEZD
1. OA	41659.14	72870.54	45007.76	75108.61	59831.88	111293.14
2. OA	41659.42	72870.43	86706.58	75102.53	59826.87	111285.61

Şekil 4.29'da ve şekil 4.30'da, orta ayaklar boyunca elde edilen ve seçili zemin kombinasyonlarına ait moment grafikleri oluşturulmuştur.



Şekil 4.29 : 1. OA ve incelenen zemin kombinasyonları için bulunan orta ayak momentleri (kNm).



Şekil 4.30 : 2. OA ve incelenen zemin kombinasyonları için bulunan orta ayak momentleri (kNm).

4.4.3. DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı zemin kombinasyonları için analiz

Çizelge 3.5'te verilen son 4 durum incelenecektir. Analizler DZE'nin kabulünün olduğu ve en zayıf yerel zemin sınıfına göre üniform deprem yer kabulünün olduğu durumlar için yapılacaktır. Buna göre analizler şu şekilde gerçekleştirilebilir:

- ZBZEZDZC analizi - Sadece ZE analizi
- ZBZEZEZB analizi - Sadece ZE analizi
- ZCZEZEZC analizi - Sadece ZE analizi
- ZDZEZEZC analizi - Sadece ZE analizi

İncelenen her zemin kombinasyonu için en zayıf yerel zemin sınıfı olarak ZE bulunmaktadır. Dolayısıyla bu bölümde üniform deprem yer hareketi analizleri sadece ZE yerel zemin sınıfına göre yapılacaktır. Daha önceden de bahsedildiği gibi, burada yapılan üniform deprem yer kabulleri TKDY Bölüm 3.9.3'e göre hatalıdır. Sadece kabulün yapılması durumunda çıkan sonuçların karşılaştırılması için verilecektir.

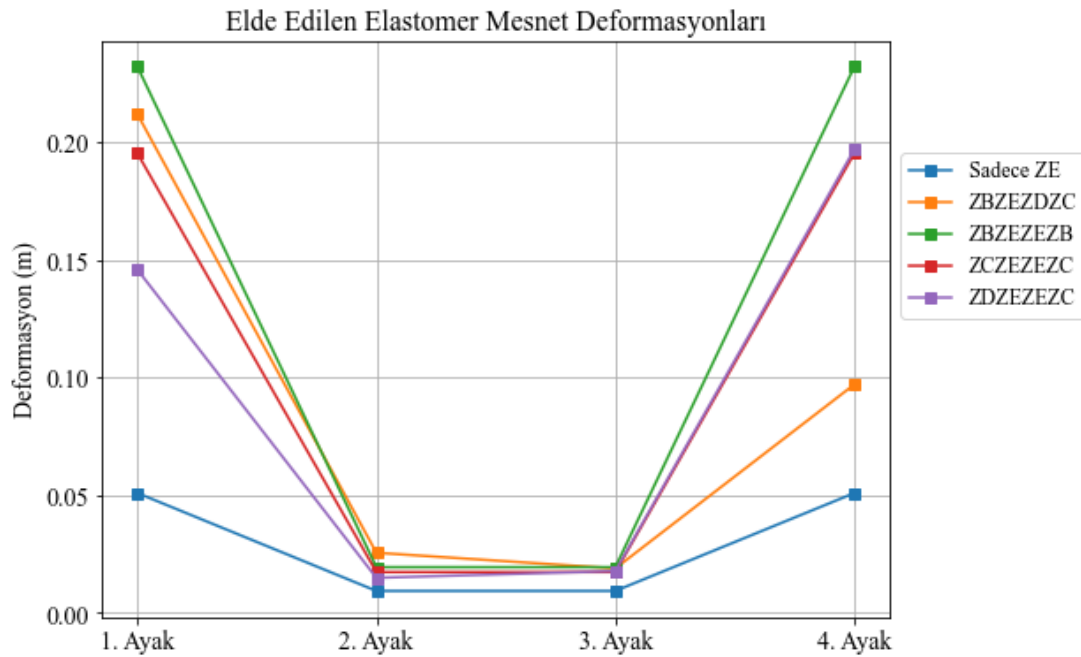
4.4.3.1 Elastomer mesnet deformasyonları

İncelenen zemin kombinasyonları için analizler gerçekleştirilecektir. Şekil 4.16'da ve şekil 4.17'de yapılan yer deplasmanı fonksiyonu ve yükleme durumları oluşturulmalıdır. Elde edilen elastomer mesnet deformasyonları çizelge 4.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.10 : Elde edilen elastomer mesnet deformasyonları (m).

	Sadece ZE	ZBZEZDZC	ZBZEZEZB	ZCZEZEZC	ZDZEZEZC
1. Ayak	0.050894	0.2116627	0.231816	0.1950396	0.145683
2. Ayak	0.0093528	0.0255573	0.01944725	0.01735125	0.0149181
3. Ayak	0.0093531	0.0189106	0.0194476	0.0173516	0.0177983
4. Ayak	0.0508911	0.0969931	0.2318136	0.1950372	0.1967179

Çizelge 4.10'da elde edilen veriler bir grafiğe dönüştürülerek gösterilebilir. Elde edilen veriler şekil 4.31'de gösterilmiştir.



Şekil 4.31 : İncelenen zemin kombinasyonları için bulunan elastomer mesnet deformasyonları (m).

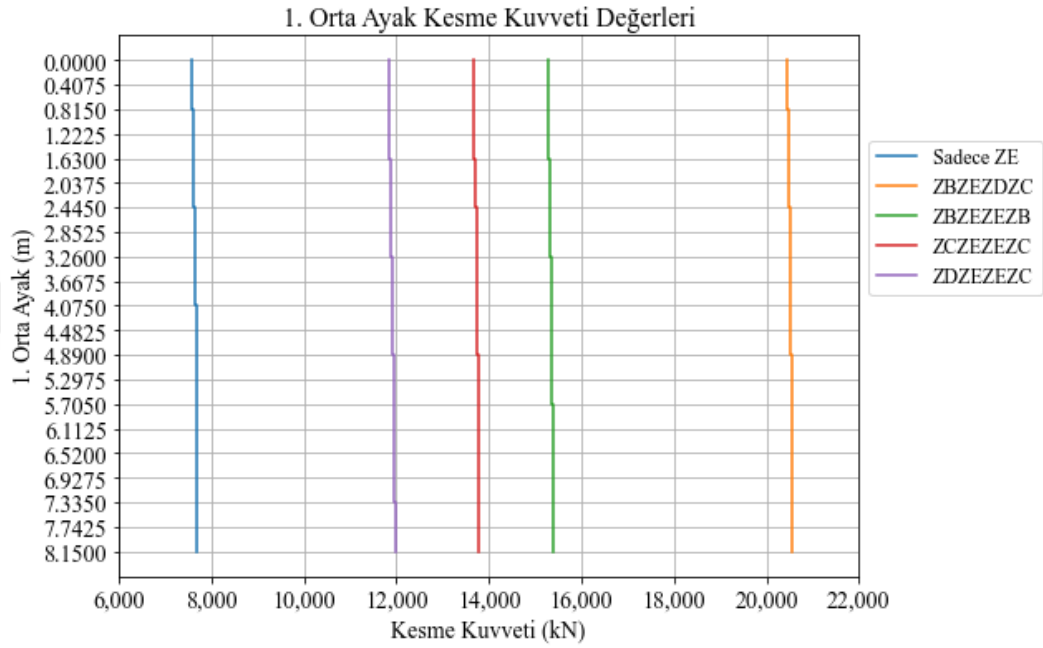
4.4.3.2 Orta ayak kesme kuvvetleri

Çizelge 4.11'de elde edilen maksimum kesme kuvvetleri görülebilir. Bu değerler, orta ayak kolonlarının el alt noktasına göre alınmıştır. Hem üniform ZE durumu için, hem de DZE'nin mevcut olduğu kombinasyonlar için doğrudan entegrasyon yöntemi kullanılmıştır.

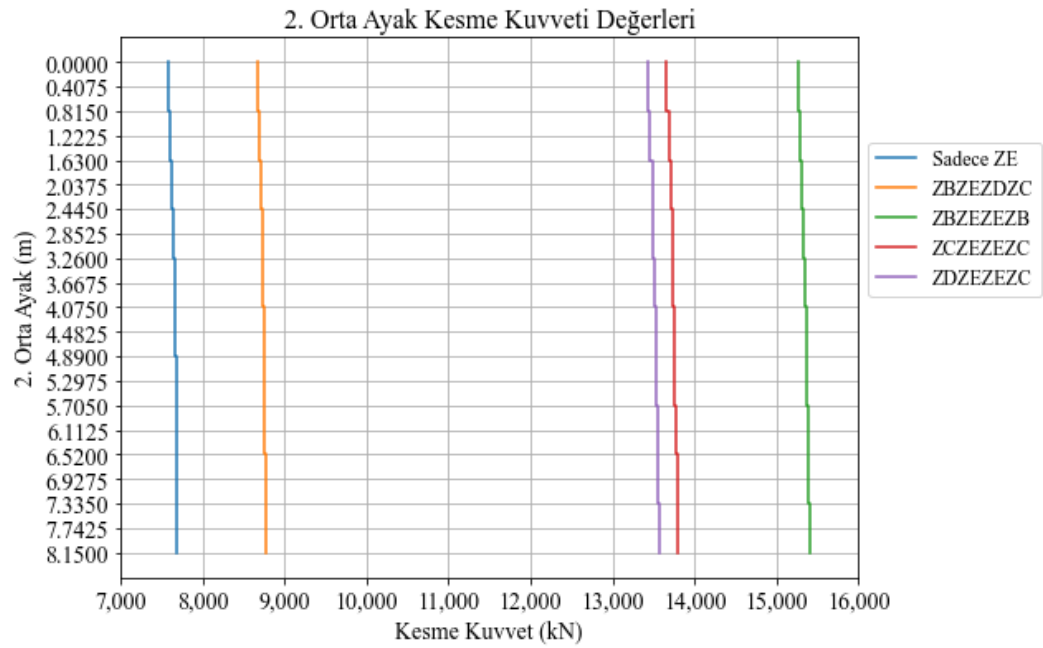
Çizelge 4.11 : Elde edilen orta ayak kesme kuvvetleri (kN).

	Sadece ZE	ZBZEZDZC	ZBZEZEZB	ZCZEZEZC	ZDZEZEZC
1. OA	7681.93611	20555.79077	15398.32701	13797.31598	11974.62246
2. OA	7682.608112	8774.41904	15398.22165	13796.58297	13565.45854

Şekil 4.32 ve şekil 4.33'de, ilgili zemin kombinasyonlarına ait kesme kuvveti grafikleri görülebilir.



Şekil 4.32 : 1.OA ve incelenen zemin kombinasyonları için bulunan orta ayak kesme kuvvetleri (kN).



Şekil 4.33 : 2.OA ve incelenen zemin kombinasyonları için bulunan orta ayak kesme kuvvetleri (kN).

Şekil 4.32 ve şekil 4.33'de görüleceği üzere, üniform deprem yer kabulü en küçük kesme kuvveti sonuçlarını vermiştir.

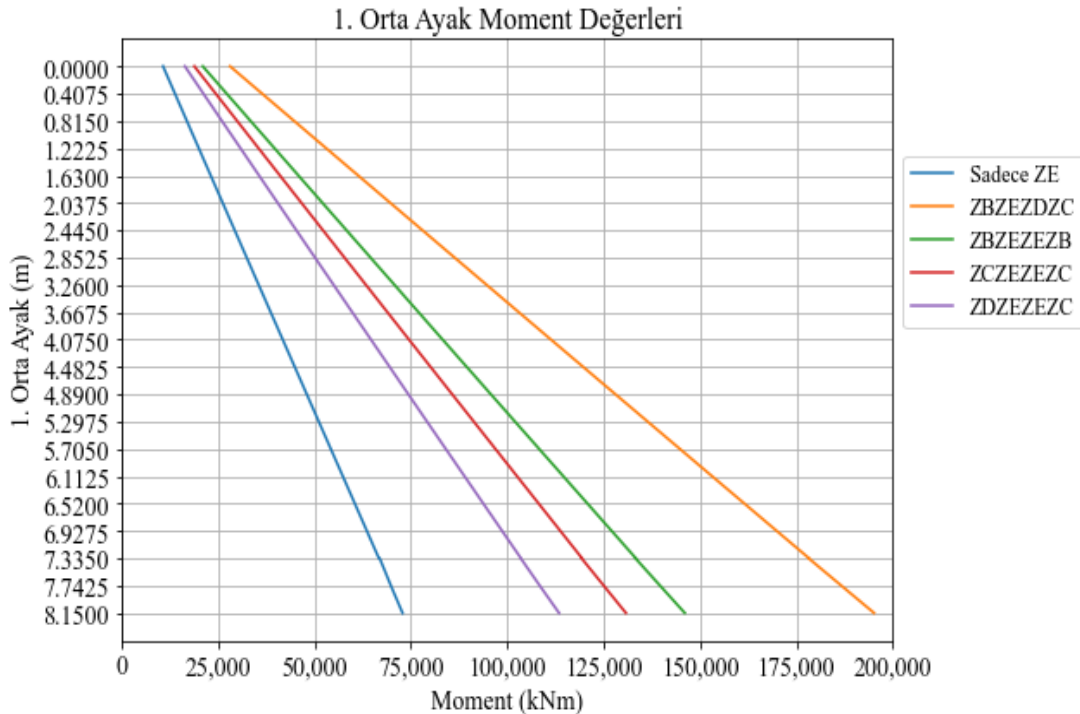
4.4.3.3 Orta ayak momentleri

Moment değerlerinin, kesme kuvvetleri arasındaki orana benzer şekilde çıkması beklenmektedir. Dolayısıyla üniform ZE'ye göre yapılan analiz en küçük sonuçları vermelidir. Çizelge 4.12'de elde edilen orta ayak momentlerinin maksimum değerleri verilmiştir. Bu değerlerin maksimum yapacağı nokta, orta ayak kolonlarının en alt bölgesi olacaktır.

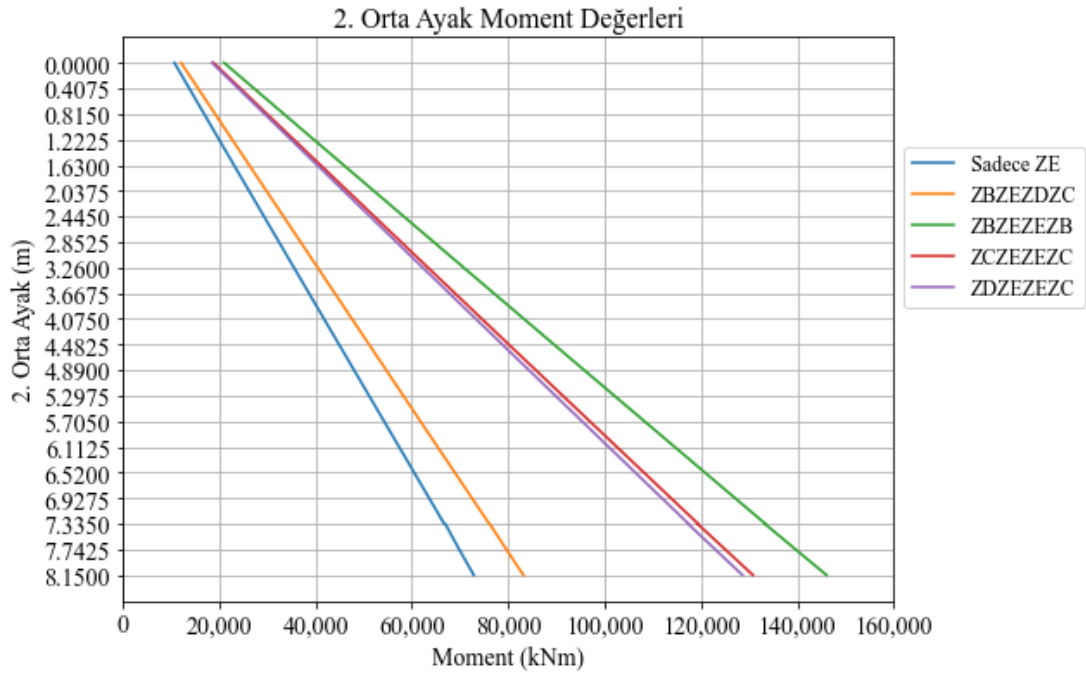
Çizelge 4.12 : Elde edilen orta ayak moment değerleri (kNm).

	Sadece ZE	ZBZEZDZC	ZBZEZEZB	ZCZEZEZC	ZDZEZEZC
1. OA	72870.54	195170.09	146068.59	130800.28	113463.00
2. OA	72870.43	83157.30	146061.32	130792.71	128622.99

Şekil 4.34'de ve şekil 4.35'de, orta ayak kolonu boyunca elde edilen moment değerleri görülebilir.



Şekil 4.34 : 1. OA ve incelenen zemin kombinasyonları için bulunan orta ayak moment değerleri (kNm).



Şekil 4.35 : 2. OA ve incelenen zemin kombinasyonları için bulunan orta ayak moment değerleri (kNm).

4.5. Koşulsuz simülasyon yöntemi sonucu elde edilen bulgular

Koşulsuz simülasyon yöntemi elde edilen sonuçlar, Bölüm 3'te yapılan ve DD-1 deprem yer seviyesine göre yapılan doğrudan entegrasyon yöntemiyle karşılaştırıldığında ciddi farklılıklar görülmektedir. Bölüm 3'te yapılan analizlerle elde edilen sonuçlar, TKDY Bölüm 3.9.3'de sunulan koşullarla kıyaslandığında elde edilen orta ayak kesme kuvveti-moment değerlerinin tutarlı olduğu görülmektedir. Fakat deplasman-zaman kayıtlarının kullanılması durumunda elde edilen elastomer mesnet deformasyonları, üniform deprem yer kaydı kabulünün yapılması durumuna nazaran oldukça yüksek çıkmıştır.

Koşulsuz Simülasyon Yöntemi'yle üretilen kayıtlar, TKDY Bölüm 2.3.4'te tanımlanan tasarım ivme spektrumlarına uygun üretildiğinden, en büyük sonuçları ZE yerel zemin sınıfı vermiştir. Bu durum Mod Birleştirme Yöntemi'nde de aynı tasarım spektral ivmeleri kullanıldığından bu şekilde çıkmıştır.

Bölüm 5 olan "SONUÇLAR" kısmında elde edilen bütün sonuçlar detaylı bir şekilde karşılaştırılmıştır.



5. SONUÇLAR

Tez kapsamında 3 farklı yöntem kullanılmış ve elastomer mesnet deformasyonları ile orta ayak kesme kuvvetleri-momentleri elde edilmiştir. Analizler çizelge 3.5'te verilen 12 farklı zemin kombinasyonuna göre yapılmıştır. Bu kombinasyonlardan 4'ü üniform deprem yer hareketini, 4'ü DZE'nin olduğu fakat üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılabileceği zemin kombinasyonlarını, 4'ü de DZE'nin olduğu ve üniform deprem yer hareketi kabulünün yapılamayacağı zemin kombinasyonlarını içermektedir. Eğer tüm yöntemlerden ve tüm zemin kombinasyonlarından elde edilen değerlerin karşılaştırılması gerekirse, bunun için bar grafik tarzı kullanılabilir. Tüm zemin kombinasyonları için incelenecek olan yöntemler şu şekildedir:

- Doğruyan Entegrasyon Yöntemi (DD-1 deprem seviyesi için)
- Mod Birleştirme Yöntemi(DD-2A deprem seviyesi için)
- Koşulsuz Simülasyon Yöntemi(DD-2A deprem seviyesi için)

5.1. Bulunan Tüm Sonuçlar

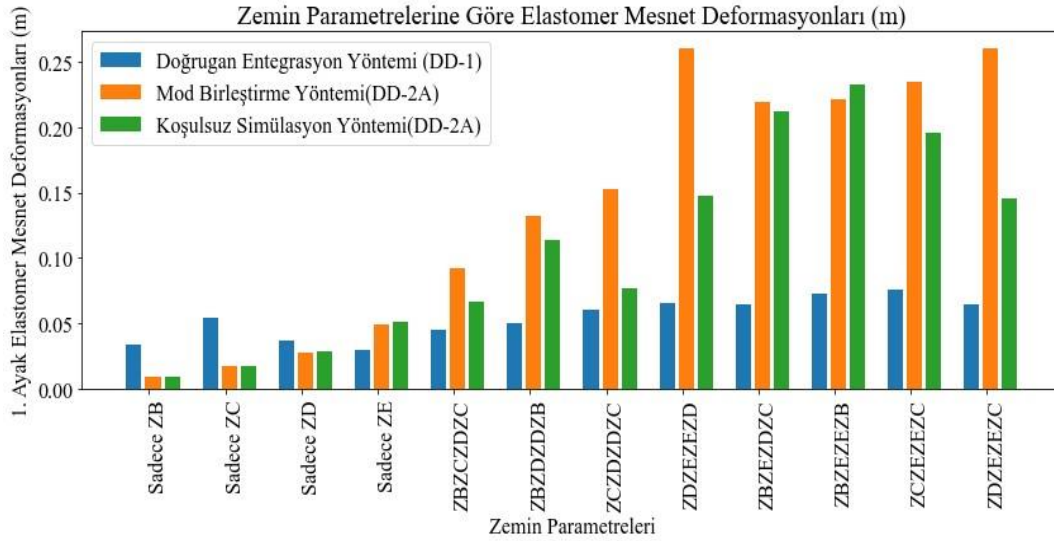
Bölüm 3 ve Bölüm 4 kapsamında hesaplanan elastomer mesnet deformasyonları ile orta ayak kesme kuvveti-moment değerleri karşılaştırılabilir.

5.1.1. Elastomer mesnet deformasyonları

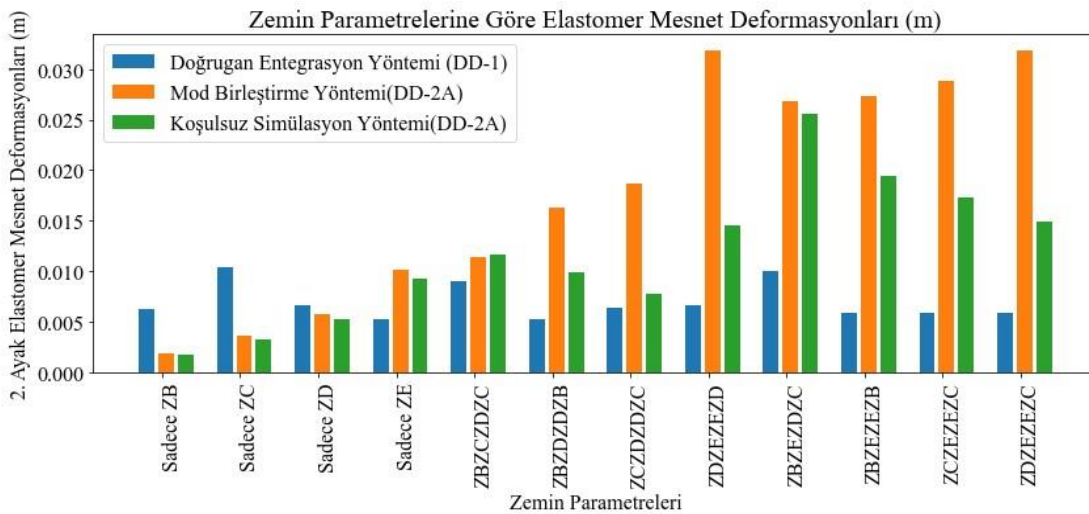
DD-1 deprem seviyesine göre yapılan analizde 7 farklı deprem kaydı kullanılmıştır. TKDY Bölüm 5.5.5.9 kapsamında, her bir deprem kaydının oluşturacağı sonuçların maksimum mutlak değerlerinin ortalaması alınmıştır. Dolayısıyla DZE'nin olduğu durumlarda her bir deprem kaydından elde edilen yerdeğiştirmesi yüklemesi ayrı ayrı köprüye etkililmiş ve elde edilen sonuçların mutlak değerinin ortalaması alınmalıdır. Her 7 deprem kaydının kenar ayaklarda bulunan 10 elastomer mesnet ile, orta ayaklarda bulunan 20 elastomer mesnette oluşturacağı deformasyonlarının hepsi dikkate alınmalıdır. Çünkü farklı deprem kayıtları, maksimum deformasyon değerini her ayakta farklı elastomer mesnetlerde verebilir. Mod Birleştirme Yöntemi'nde ise,

ayaklardaki elastomer mesnetlerden maksimum deformasyon değeri hangi mesnette olursa o dikkate alınabilir. Koşulsuz Simülasyon Yöntemi'nde de tek 1 deprem kaydı kullanıldığından, seçili kaydın her ayakta elastomer mesnetlerde oluşturacağı ortalama deformasyonlar kullanılabilir.

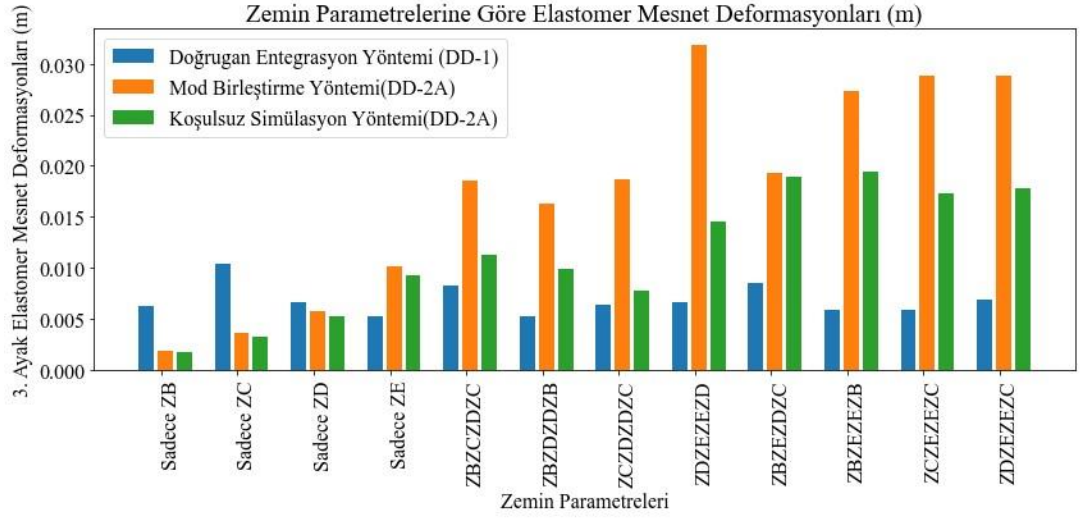
Şekil 5.1, şekil 5.2, şekil 5.3 ve şekil 5.4'te sırasıyla birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü ayaklarda bulunan elastomer mesnet deformasyonları karşılaştırılmıştır. Kenar ayaklarda kullanılan elastomer mesnetlerin, orta ayaklarda kullanılan elastomer mesnetlere göre daha az rijit olduğu unutulmamalıdır. Dolayısıyla 1. ve 4. ayaklara ait elastomer mesnet deformasyonlarının daha büyük değerlere sahip olması olağan bir durumdur. Rijitlik değerleri şekil 3.14 ve şekil 3.15'ten görülebilir.



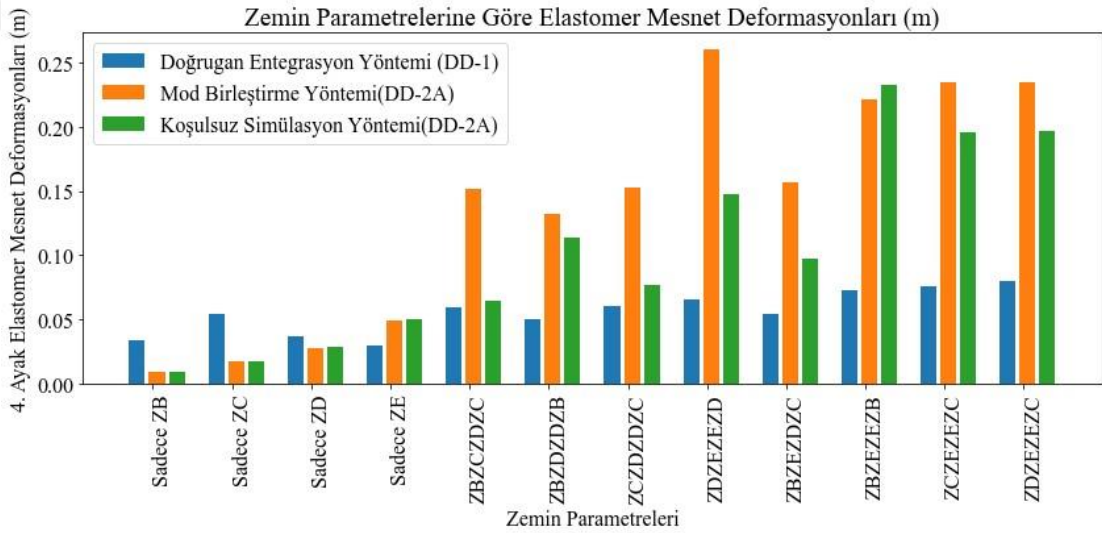
Şekil 5.1 : 1. ayak elastomer mesnet deformasyonları için elde edilen tüm sonuçlar.



Şekil 5.2 : 2. ayak elastomer mesnet deformasyonları için elde edilen tüm sonuçlar.



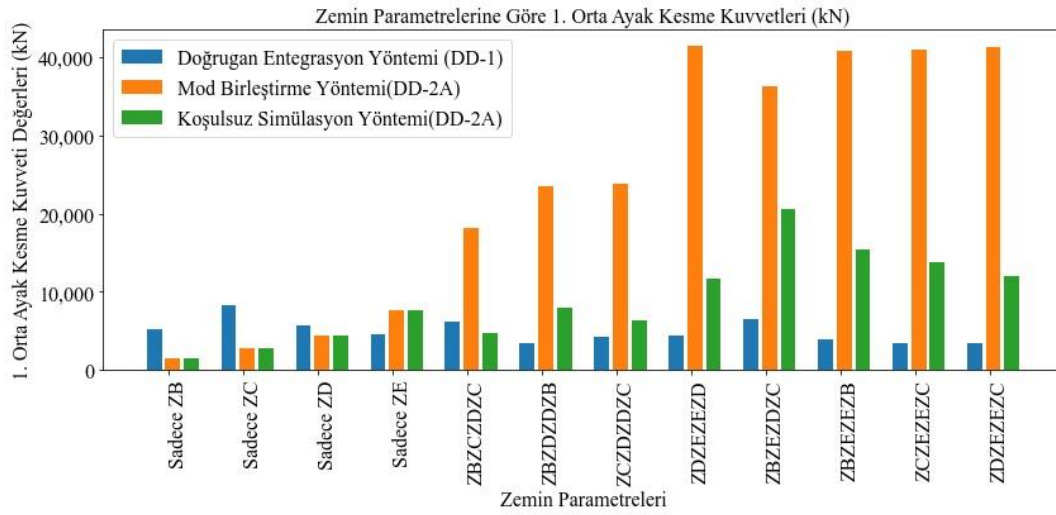
Şekil 5.3 : 3. ayak elastomer mesnet deformasyonları için elde edilen tüm sonuçlar.



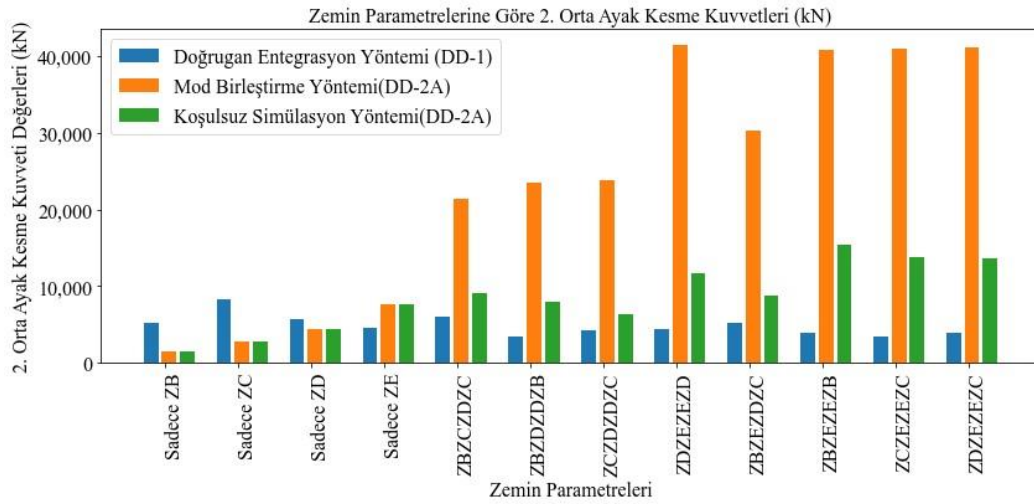
Şekil 5.4 : 4. ayak elastomer mesnet deformasyonları için elde edilen tüm sonuçlar.

5.1.2. Orta ayak kesme kuvveti ve momentler

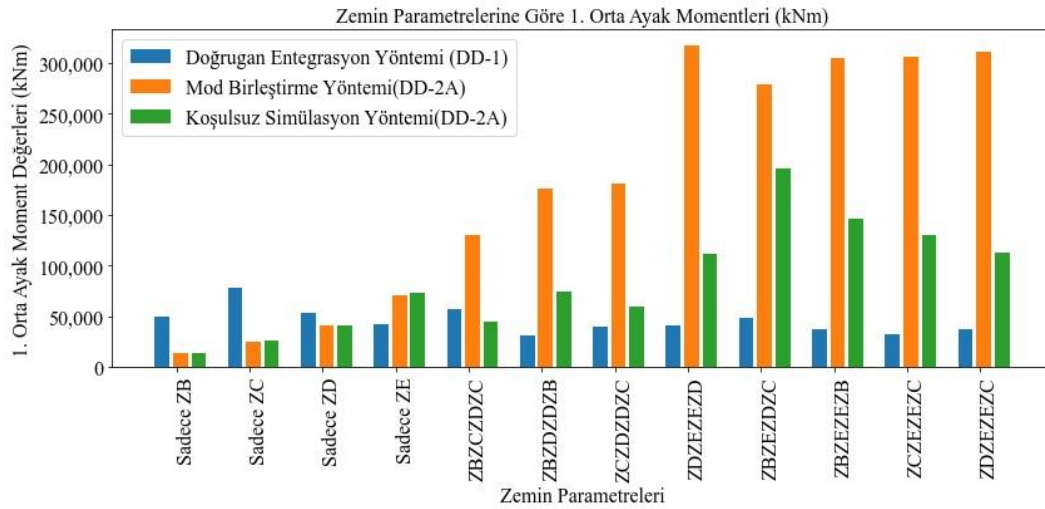
Bu kısımda bölüm 3 kapsamında yapılan Doğrudan Entegrasyon Yöntemi ile Mod Birleştirme yönteminin yanı sıra, bölüm 4 kapsamında yapılan Koşulsuz Simülasyon Yöntemi sonucunda elde edilen maksimum orta ayak kesme kuvveti ve moment değerleri karşılaştırılacaktır. Her 3 yöntemde de, orta ayaklarda ankastre mesnetle temas halinde olan çubuk elemanların bir üstündeki elemanlar kullanılmıştır. Çünkü kolonda oluşacak kuvvetler bu noktada maksimum değere ulaşacaktır. Bu elemanlar SAP2000'de "66" ve "162" numaralı çubuk elemanlardır. Şekil 5.5 ve şekil 5.6'da sırasıyla her iki orta ayaktan elde edilen maksimum kesme kuvveti değerleri, şekil 5.7 ve şekil 5.8'de ise sırasıyla her iki orta ayaktan elde edilen maksimum moment değerleri karşılaştırılmıştır.



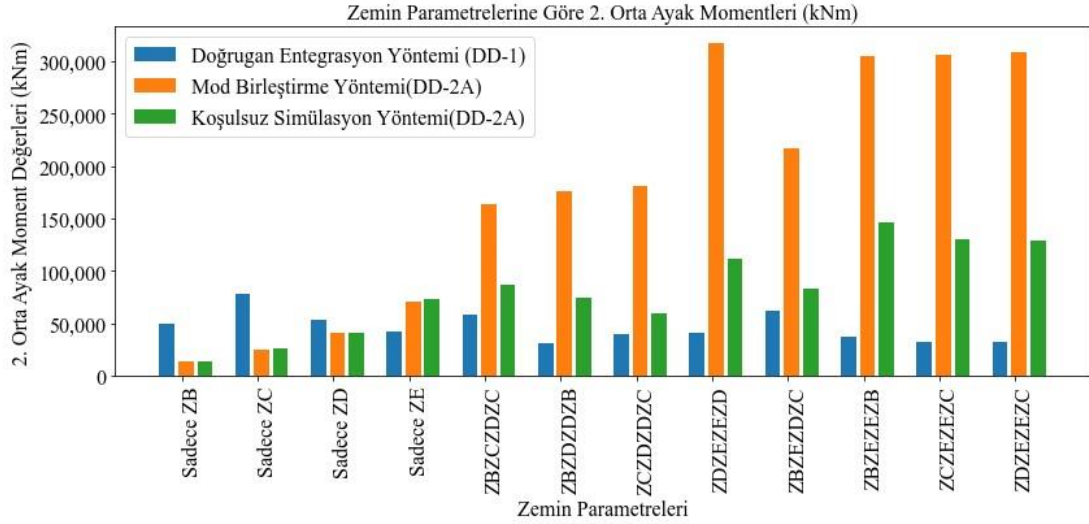
Şekil 5.5 : 1. OA için elde edilen kesme kuvvetleri.



Şekil 5.6 : 2. OA için elde edilen maksimum kesme kuvvetleri.



Şekil 5.7 : 1. OA için elde edilen maksimum moment değerleri.



Şekil 5.8 : 2. OA için elde edilen maksimum moment değerleri.

5.2. Tüm Sonuçlardan Elde Edilen Bulgular

Yukarıda verilen sonuçlar incelendiğinde şu çıkarımlar yapılabilir:

- Bölüm 3.4.6'da inceleneceği üzere statik etkilerin $S_{de}(T_L)$ 'ye göre yapılması ve sonuçların KTK yöntemiyle birleştirilmesi, özellikle orta ayak kolonlarında meydana gelen kuvvetler açısından oldukça büyük sonuçlar vermektedir. Şekil 5.5'den şekil 5.8'e kadar grafikler incelendiğinde, DD-2A deprem yer hareketi seviyesine göre yapılan mod birleştirme analiz sonuçları ile, DD-1 deprem yer hareketi seviyesine göre yapılan doğrudan entegrasyon yönteminden elde edilen sonuçlar arası çok büyük farklar görülebilir. İki yöntem arası değer oranları 18.56'ya kadar varmaktadır.
- Doğrudan entegrasyon yönteminde, DEEPSOIL aracılığıyla farklı zemin verilerine göre dönüştürülen ZB'ye uygun deprem yer hareketi kayıtlarının, TKDY'nin Bölüm 2.3.4'te ve Bölüm 3.9.3'te öngördüğü şekilde çıkmadığı görülmektedir. Her ne kadar kullanılan en zayıf yerel zemin sınıfı "ZE" olsa da, rezonansın gerçekleştiği yerde sözde spektral ivme değerlerinin artması beklenir. Şekil 3.27(c) incelendiğinde bu durum gözlemlenebilir. Yapının doğal titreşim periyodu $T_n=0.74s$ n bulunduğundan, yerel zemin sınıfına göre sonuçlar karşılaştırılmak istenirse, bu sıralama $ZC>ZD>ZB>ZE$ şeklinde yapılabilir. Bölüm 3.3.5'te bulunan analiz sonuçlarında bu durum doğrulanabilir.

- Mod Birleştirme Yöntemi'nde ve Koşulsuz Simülasyon Yöntemi'nde bulunan sonuçların büyüklüğü istisnasız $ZE > ZD > ZC > ZB$ şeklindedir. Şekil 3.65'te bulunan tasarım ivme spektrumları incelendiğinde bu durum beklendiği gibi çıkmıştır.
- Koşulsuz Simülasyon Yöntemi her ne kadar yönetmeliğin öngördüğü spektral ivme büyüklüklerine yakın sonuçlar verse de, koşulsuz salınımlar için oluşturulduğu unutulmamalıdır. Yani rastgele faz açıları ϕ_{ml} ye göre yapırlar ve oluşan salınım kaydı, yapay bir ivme-zaman kaydına çevirilir. Bu yöntemin doğruluğu hakkında şüphe duyulabilir.
- Bölüm 4.4.1'de yapılan analizler, üniform deprem yer kaydı için ZTA'da Modal Yöntemi ile Doğrudan Entegrasyon yöntemi sonucu bulunan değerlerin birbiriyle oldukça benzer olduğunu göstermektedir.
- DZE'nin varlığı durumunda elastomer mesnet deformasyonları, istisnasız üniform kabulün olduğu durumda bulunan elastomer mesnet deformasyonlarından büyük çıkmıştır. Özellikle kenar ayaklarda bulunan elastomer mesnetlerin, birim deplasmanın etkitildiği ankastre mesnetle doğrudan temas hâlinde olması bu duruma sebebiyet vermektedir. Elastomer mesnet deformasyonlarının aksine, orta ayak kuvvetlerinde üniform kabulün daha büyük sonuçlar verdiği hususlar da ortaya çıkmıştır.
- Mod Birleştirme Yöntemi ve Koşulsuz Simülasyon Yöntemi sonuçlarıyla, TKDY Bölüm 3.9.3'de bahsedilen kurallar örtüşmemektedir. Bunun öncelikli sebebi, statik etkilerin çok büyük sonuçlar vermesidir. Statik etkiler çok büyük alındığı için, üniform deprem yer hareketi kabulü ile DZE'ye göre yapılan hesap arasında oldukça büyük farklar mevcuttur.

5.3. Gelecekte Yapılacak Model ve Çalışmalarla İlgili Tavsiyeler

Gelecekte yapılacak modeller ve çalışmalar ile ilgili şu tavsiyeler verilebilir:

- TKDY Bölüm 4A.2.3.1'de verilen ve Mod Birleştirme Yöntemi'nde esas alınan sözde-statik davranış büyüklükleri güncellenmelidir. $S_{de}(T_L)$ 'ye göre analiz yapılması durumunda, gerçeğe yakın olmayan oldukça büyük sonuçlar gelmektedir. Gelecekte yapılan bir revizyonda, Mod Birleştirme Yöntemi'nde statik etkiler farklı bir yöntemle hesaplanabilir veya görmezden gelinebilir.

- TKDY'ye göre analiz yapıldığı ve DZE ile karşılaşıldığı durumlarda doğrudan entegrasyon ile ZTA'da yerdeğiştirme yüklemesi analizi yapılabilir. Bu yöntemde yer deplasmanı-zaman kayıtlarının mevcut tüm zeminler için elde edilmesinin ardından analizler doğrudan SAP2000 ile gerçekleştirilebilir. DZE'nin varlığında Mod Birleştirme Yöntemi doğrudan SAP2000 vasıtasıyla yapılamaz ve modal katkı çarpanları ile her bir düğüm noktasına gelen deprem kuvvetleri ayrı ayrı hesaplanmalıdır.
- TKDY Bölüm 4.4.3'e göre ZTA'da entegrasyon yöntemi, TKDY Bölüm 4.4.2.2'de belirtilen Mod Toplama Yöntemi'nin yerine gerçekleştirilebilir. Gelecekte yapılan bir çalışmada bu iki yöntem kıyaslanabilir.
- Mod Birleştirme Yöntemi'nde esas alınan yer değiştirme $S_{de}(T_L)$, farklı bir periyot değerine göre güncellenebilir. Mod Birleştirme Yöntemi'nde yer deplasmanı tam olarak öngörülemediği için bu işlem mümkün olmayabilir. Şuan ki TKDY yönetmeliğine göre, DZE'nin bulunduğu durumlarda Mod Birleştirme Yöntemi'nin kullanılması tavsiye edilmemektedir.
- Farklı zemin parametreleriyle doğrudan entegrasyon yöntemi tekrarlanabilir. ZE yerel zemin sınıfında bulunan farklı zemin verileri kullanılarak analiz tekrarlanabilir. Elde edilen sonuçlar ile TKDY Bölüm 2.3.4'te öngörülen ZE için tasarım spektral ivme değerleri karşılaştırılabilir. Bölüm 3.3.4'te elde edilen sonuçlar, orijinal olarak ZB için bulunan ve daha sonra ZE zemin sınıfı için güncellenen deprem kayıtlarının, TKDY Bölüm 2.3.4'le elde edilen tasarım spektral ivme değerleriyle uyuşmadığını göstermektedir. Doğrudan entegrasyon ile yönetmeliğin öngördüğü tasarım spektral ivmeleriyle uyumlu sonuçlar, daha yüksek doğal titreşim periyoduna sahip köprüler için mümkün olabilir.
- Bölüm 4'te verilen Koşulsuz Simülasyon Yöntemi, genel olarak TKDY Bölüm 3.9.1(b)'de bahsedilen ve deprem dalgalarının köprü ayaklarına varış zamanındaki faz farklılığından dolayı oluşan dalga geçiş etkisi için kullanılmaktadır. Deprem dalgası hızının, köprü oldukça büyük açıklıklara ulaşmadan büyük etkilere sahip olmayacağı öngörülmektedir. Fakat gelecekte yapılacak ve uzun açıklıklara sahip köprülerde, değişken geçiş etkisi de ayrıca hesaplanabilir.

- Doğrudan Entegrasyon Yöntemi'nin, TKDY Bölüm 3.9.3'ün öngördüğü üniform alma koşullarını orta ayak kesme kuvveti-moment değerlerinde sağladığı fakat elastomer mesnet deformasyonları değerlerinde sağlamadığı görülmüştür. Deplasman yüklemesi etkisinin, elastomer mesnet deformasyonlarında oluşturduğu etki ile orta ayakta oluşturduğu kesme kuvveti-moment değerleri farklı deprem deplasman kayıtlarıyla incelenebilir.
- Doğrudan Entegrasyon Yöntemi'nin, TKDY Bölüm 3.9.3'ün öngördüğü üniform alma koşullarını orta ayak kesme kuvveti-moment değerlerinde sağlamasının bir nedeni, aynı zaman değeri için deplasman değerinin aynı depremin farklı zemin koşulu için zıt işaretlere sahip olması olabilir. Diğer 2 yöntemin aksine farklı zaman aralıklarına ait deplasman değerleri, doğrudan entegrasyon yönteminde zıt işaretlere sahip olduğu yerler bulunmaktadır. Detaylı inceleme EK A kısmından yapılabilir.
- Analizler kapsamında köprü kazıkları modellenmemiştir ve TKDY Bölüm 5'te belirtilen lineer olmayan analizler yapılmamıştır. Deplasman yüklemelerini doğru tanımlamak ve her 3 yöntemi kıyaslamak için bu kabullere başvurulmuştur. Fakat TKDY Bölüm 3.10.1'e göre ZE/ZF yerel zemin sınıflarının bulunduğu (aynı zamanda zemin iyileştirilmesi yapılamıyorsa ZD) köprülerde kazıklı temel düzenlemesinin zorunlu olduğu unutulmamalıdır. Ayrıca Bölüm 5'te verilen hesaplar lineer olmayan ZTA analizine göre yapılmalıdır. Bu hususta ayrıca, elastomer mesnet elamanları da lineer olmayan elemanlar olarak tanımlanmalıdır. Bu koşulların da sağlandığı bir model üzerinden analizler tekrarlanabilir.
- Üniform deprem yer hareketinin bulunduğu durumlarda yapılan ivme-zaman kayıtları analizleri, modal ZTA'da analizle veya doğrudan entegrasyon yöntemine göre yapılabilir. Daha önceden de bahsedildiği gibi, iki yöntem de oldukça benzer sonuçlar vermektedir.

KAYNAKLAR

- AASHTO LRFD bridge design specifications.** (2007). Washington, D.C. :American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Abell, M. & Ondrej.** (2022). *Direct-integration time-history analysis*. Retrieved February 22, 2024, from <https://wiki.csiamerica.com/display/kb/Direct-integration+time-history+analysis>
- Al Atik, L., & Abrahamson, N.** (2010). “An Improved Method for Nonstationary Spectral Matching.” *Earthquake Spectra*, 26(3),
- Autodesk.** (2021). AutoCAD 2022 [Bilgisayar Yazılımı]. <https://www.autodesk.com/products/autocad/overview>
- Baş, S.** (2017). *An Investigation on Structural Identification (St-id) of a Long-span Bridge for Performance Prediction*. (Doctoral dissertation). Available from Yükseköğretim Kurulu Başkanlığı Tez Merkezi (Tez No. 465396).
- Bi, K. & Hao, H.** (2012). Modelling and simulation of spatially varying earthquake ground motions at sites with varying conditions. *Probabilistic Engineering Mechanics*, Vol. 29, pp. 92-104, 2012., <http://dx.doi.org/10.1016/j.probengmech.2011.09.002>
- Bogdanoff, J.L., Goldberg, J.E. & Bernard, M.C.** (1961). Response of a Simple Structure to a Random Earthquake-Type Disturbance, *Bulletin Of Seismological Society of America*, 51, 2, pp. 293-310.
- Chopra, A.K.** (2011). *Dynamic of Structures, Theory and Applications to Earthquake Engineering*. 4th edition, Prentice Hall. New Jersey.
- Clough, R.W. & Penzien, J.** (2003). *Dynamics of Structures*. 3rd edition, Computers & Structures, Inc. Berkeley, CA 94704 USA
- Davoodi, M., Jafari, M.K., & Sadroldini S.M.A.** (2011). Effect of multi-support excitation on seismic response of embankment dams. *International Journal of Civil Engineering, Transaction B: Geotechnical Engineering* Vol. 11, No. 1, May 2013, jce.iust.ac.ir on 2024-01-02
- DEEPSOIL** (Version 7.0). [Computer Software]. Board of Trustees of Univ. of Illinois at Urbana–Champaign, Urbana, IL.
- Fahjan, Y. M.** (2008). Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi*. *İMO Teknik Dergi*, 2008 4423-4444, Yazı 292.
- Fahjan, Y. M.** (2022). *Dynamics of Structures Ders Notları*, İstanbul

- Gökdemir, T.** (2017). *Multi-support Seismic Excitation of Long Span Highway Bridges*. (Master's thesis). Available from Yükseköğretim Kurulu Başkanlığı Tez Merkezi (Tez No. 474948).
- Hızal, Ç. & Turan, G.** (2019). Mesnetlerinden Farklı Yer Hareketlerine Maruz Çok Katlı Çerçevelerin Deplasman Yüklemesine Göre Analizi. *Teknik Dergi*, 2019 9053-9071, Yazı 534.
- Isakovic, T. & Fischinger, M.** (2014). *Seismic Analysis and Design of Bridges with an Emphasis to Eurocode Standards*. In: Ansal, A. (eds) Perspectives on European Earthquake Engineering and Seismology. Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering, vol 34. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07118-3_6
- Jie, H., Da-lin, C., Jia-quan, F., & Xi-nong, Z.** (2011). Optimization Research of Multi-point Response Control under Multi-Support Excitation in Vibration Test. *Applied Mechanics and Materials*, ISSN: 1662-7482, Vols. 52-54, pp 647-653, doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.52-54.647
- Karayolları Genel Müdürlüğü** (2013). *Karayolu Teknik Şartnamesi (Yol Altyapısı, Sanat Yapıları, Köprü ve Tüneller, Üstyapı ve Çeşitli İşler)*.
- Kartal, H.** (2018). *Eşit Merkez Açıklığa Sahip Uzun Açıklıklı Asma Ve Eğik Kablo Askılı Köprülerin Dinamik Davranışının Karşılaştırılması*. (Doctoral dissertation). Available from Yükseköğretim Kurulu Başkanlığı Tez Merkezi (Tez No. 540721).
- Kiureghian, A.D. & Neuenhofer, A.** (1991). A Response Spectrum Method for Multiple-Support Seismic Excitations. *Earthquake Engineering Research Center, Report No. Ucb/eerc-91/08 August 1991*.
- Luco, J.E. & Wong, H.L.** (1986). Response of a Rigid Foundation to a Spatially Random Ground Motion, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 14, pp. 891-908, <http://dx.doi.org/10.1002/eqe.4290140606>
- Microsoft Corporation.** (2016). Microsoft Excel. Available at <https://office.microsoft.com/excel>
- Munsoor, Z.A., Meeruja, V., & Jayasinghe, J.A.S.C.** (2017). The Effect of Multiple Support Excitation of Bridge Structures for Seismic Response Analysis. Paper presented at International Conference on 8 th International Conference on Structural Engineering and Construction Management, University of Peradeniya, Peradeniya, Sri Lanka. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/322095934_THE_EFFECT_OF_MULTIPLE_SUPPORT_EXCITATION_OF_BRIDGE_STRUCTURES_FOR_SEISMIC_RESPONSE_ANALYSIS
- Novak, M. S., Lazarević, D. & Atalic, J.** (2015). Influence of spatial variability of ground motion on seismic response of bridges. *Gradevinar*. 67. 943-957.
- Ondrej.** (2014). *Displacement time-history record*. Retrieved February 21, 2024, from <https://wiki.csiamerica.com/display/kb/Displacement+time-history+record>

- Python Software Foundation.** Python Language Reference, version 3.11. Available at <http://www.python.org>
- SAP2000** (Version 14.2.4) [Computer Software] Integrated software for structural analysis and design program, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- Shen, J., Li R., Shi, J., & Zhou G.** (2019). Modified Multi-Support Response Spectrum Analysis of Structures with Multiple Supports under Incoherent Ground Excitation. *Applied Sciences Vol:9 Number: 1744*, doi: 10.3390/app9091744
- Shinozuka, M., Saxena, V., & Deodatis, G.** (2000). Effect of spatial variation of ground motion on highway structures, Technical Report MCEER 00 0013, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research (MCEER), University at Buffalo, State University of New York, Buffalo, NY, SAD
- TBDY** (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Kurallar, *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, Ankara.
- The MathWorks Inc.** (2022). MATLAB version: 9.13.0 (R2022b), Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc. <https://www.mathworks.com>
- TKDY** (2020). Deprem Etkisi Altında Karayolu Ve Demiryolu Köprü Ve Viyadükleri Tasarımı İçin Esaslar, *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, Ankara
- U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration** (2014). *LRFD Seismic Analysis and Design of Bridges Reference Manual*, NHI Course No. 130093 and 130093A.
- Wang, R.** (2023). *Direct Method of Generating Floor Response Spectra for Structures under Earthquake Excitations at Multiple Supports* (Doctoral dissertation). University of Waterloo in fulfilment of the thesis requirement for the degree of Doctor of Philosophy in Civil Engineering. Waterloo, Ontario, Canada.
- Wilson, E.L.** (2002). *Three-Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures: A Physical Approach With Emphasis on Earthquake Engineering*, Computers and Structures, Inc. Berkeley, California, USA.
- Zerva, A. & Zervas, V.** (2002). Spatial Variation of Seismic Ground Motions: An Overview. *Applied Mechanics Reviews*. ASME, <http://dx.doi.org/10.1115/1.1458013>
- Url-1** <<https://tdth.afad.gov.tr/>>, erişim tarihi 25.02.2024.
- Url-2** <<http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>>, erişim tarihi 12.03.2024
- Url-3**<<https://ngawest2.berkeley.edu/> , Peer Ground Motion Database, Pacific Earthquake Engineering Research Center, erişim tarihi : 10.03.2024



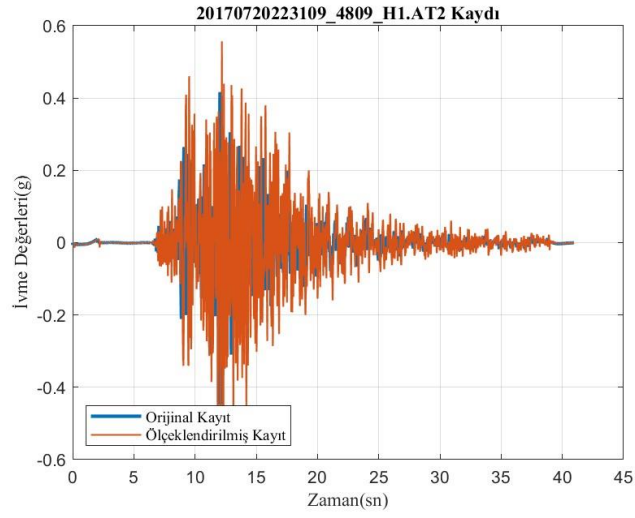
EKLER

EK A: Analizler İçin Seçilen DD-2A Deprem Yer Hareketi Seviyesine Ait Deprem Kayıtları.

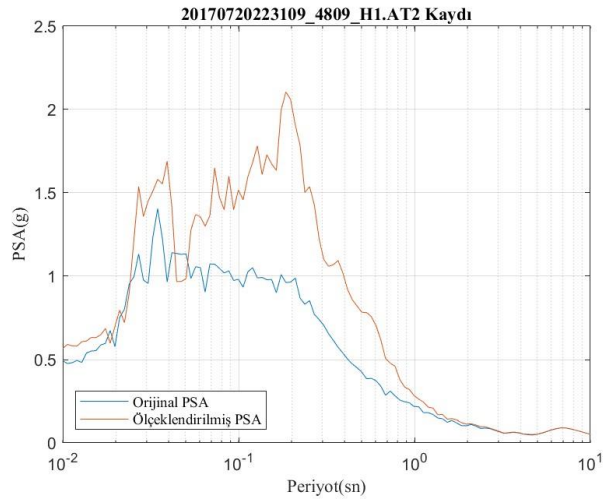
EK B: Kullanılan DEEPSOIL Verileri.



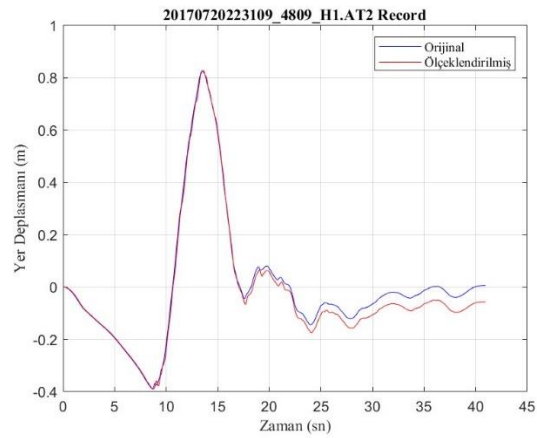
EK A



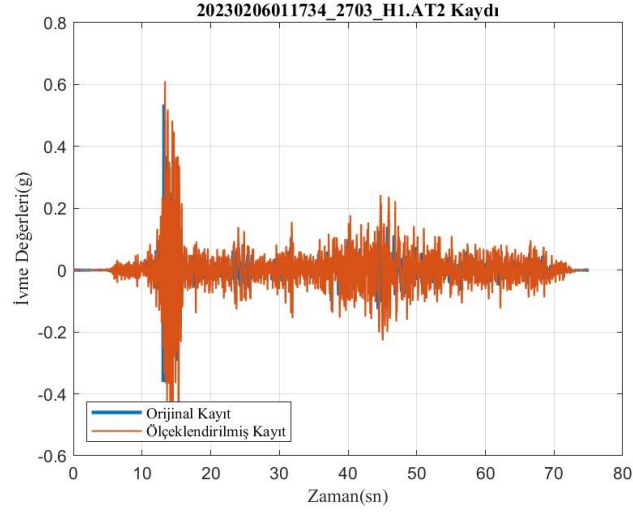
Şekil A.1 : "TH-1" ve "TH-8" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.



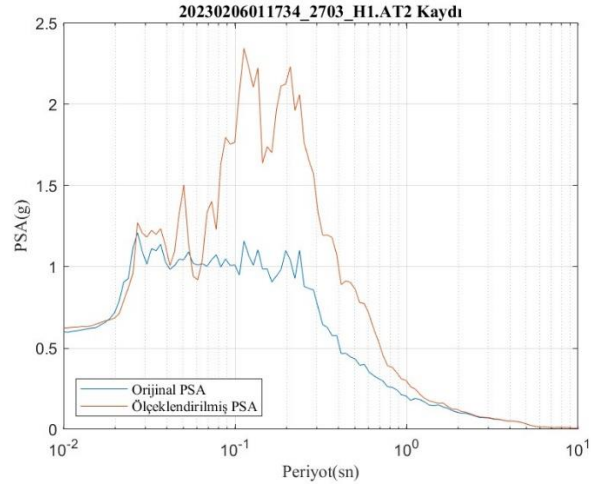
Şekil A.2 : "TH-1" ve "TH-8" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.



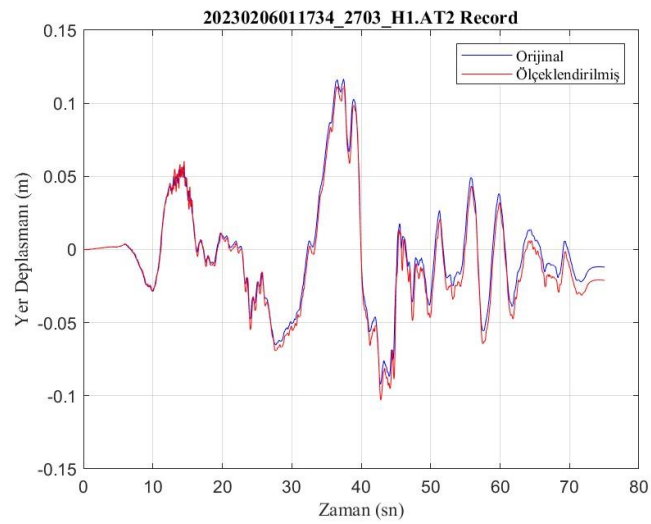
Şekil A.3 : "TH-1" ve "TH-8" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.



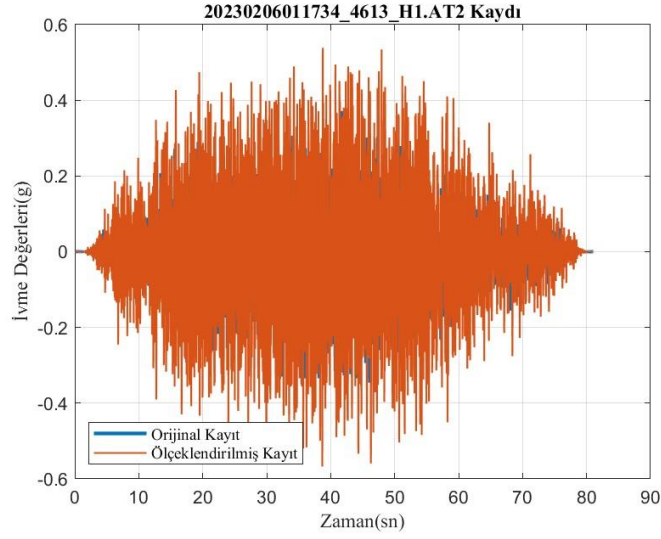
Şekil A.4 : "TH-2" ve "TH-9" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.



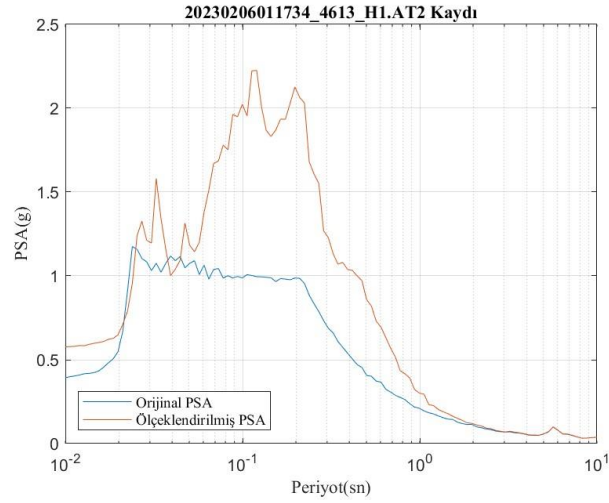
Şekil A.5 : "TH-2" ve "TH-9" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.



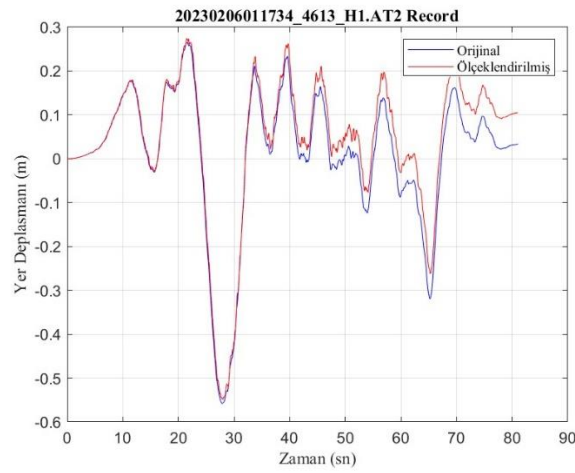
Şekil A.6 : "TH-2" ve "TH-9" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.



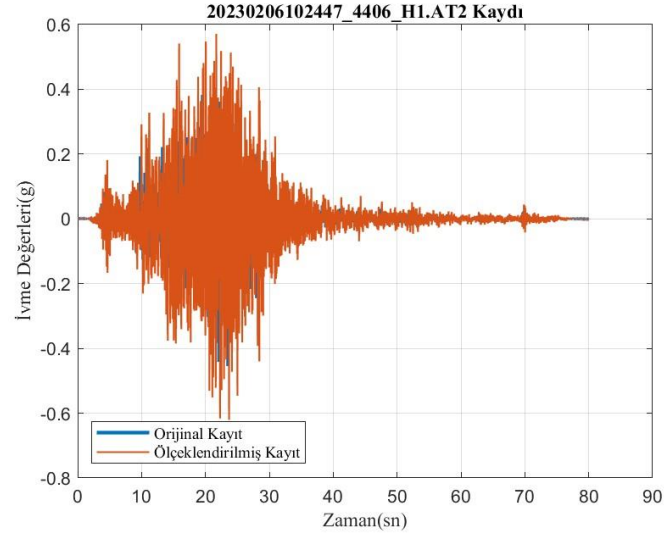
Şekil A.7 : "TH-3" ve "TH-10" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.



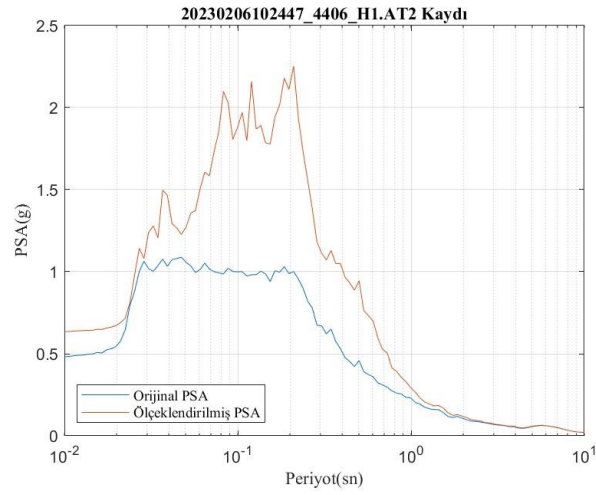
Şekil A.8 : "TH-3" ve "TH-10" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.



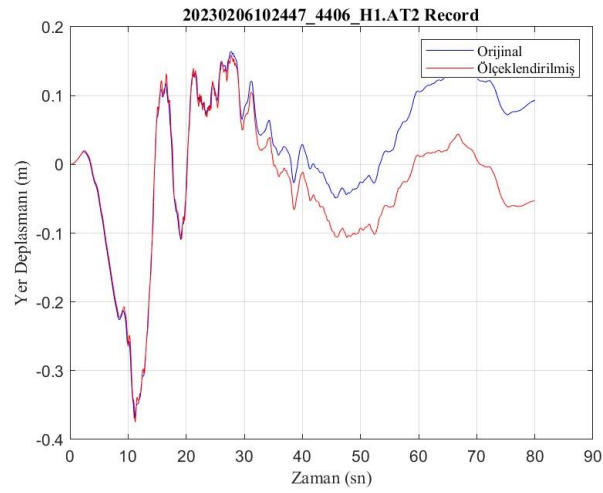
Şekil A.9 : "TH-3" ve "TH-10" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.



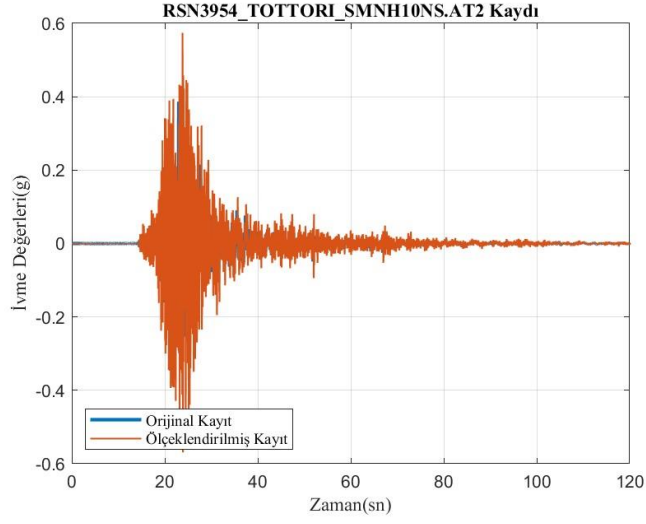
Şekil A.10 : "TH-4" ve "TH-11" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.



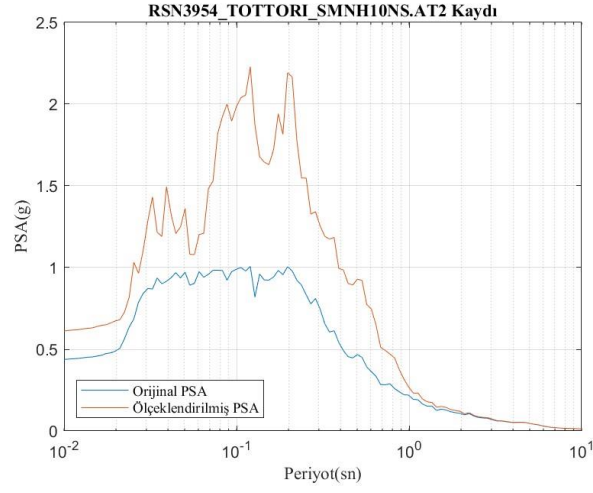
Şekil A.11 : "TH-4" ve "TH-11" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.



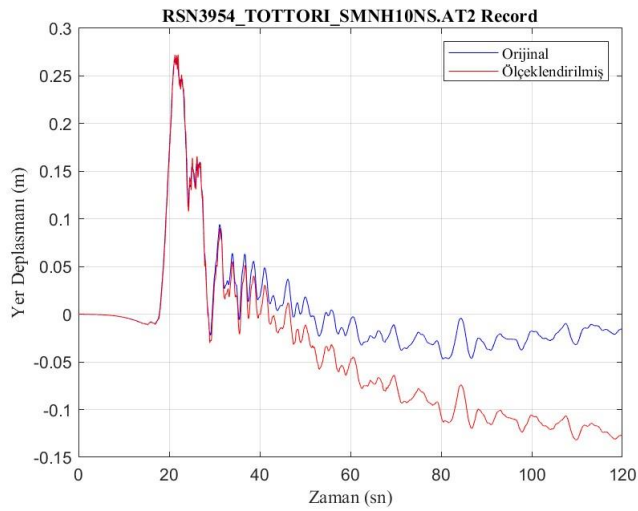
Şekil A.12 : "TH-4" ve "TH-11" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.



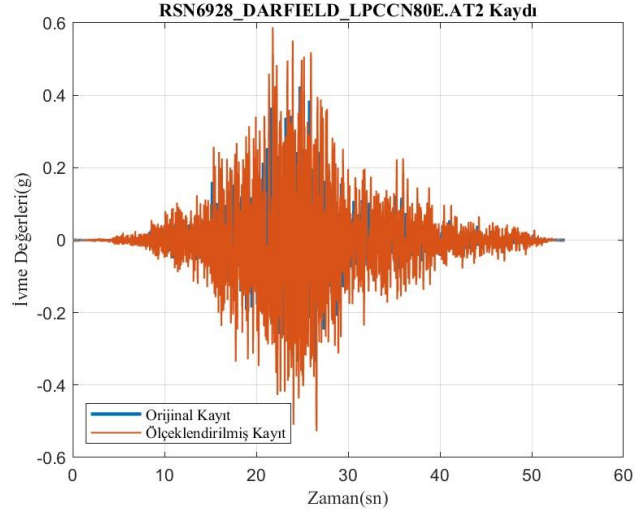
Şekil A.13 : "TH-5" ve "TH-12" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.



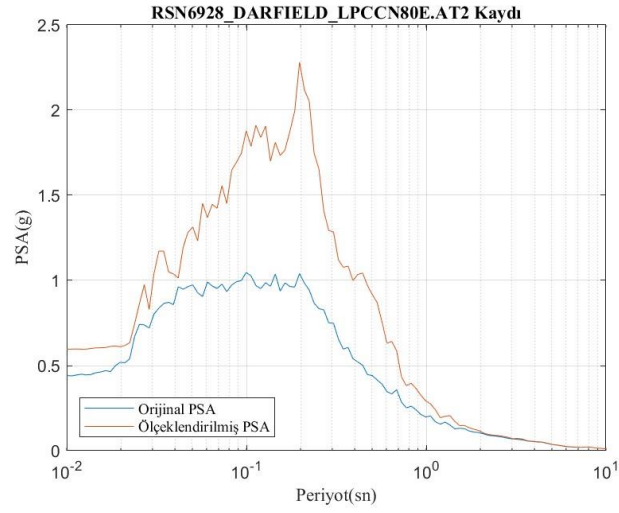
Şekil A.14 : "TH-5" ve "TH-12" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.



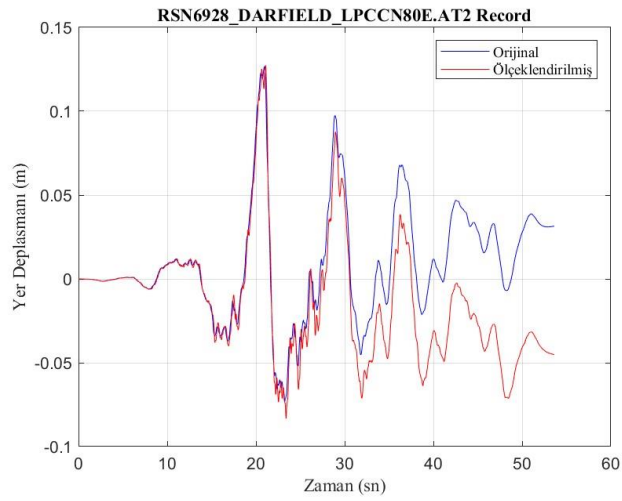
Şekil A.15 : "TH-5" ve "TH-12" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.



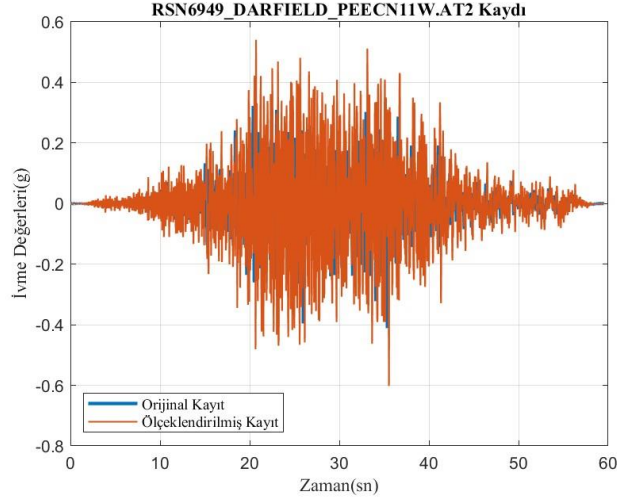
Şekil A.16 : "TH-6" ve "TH-13" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.



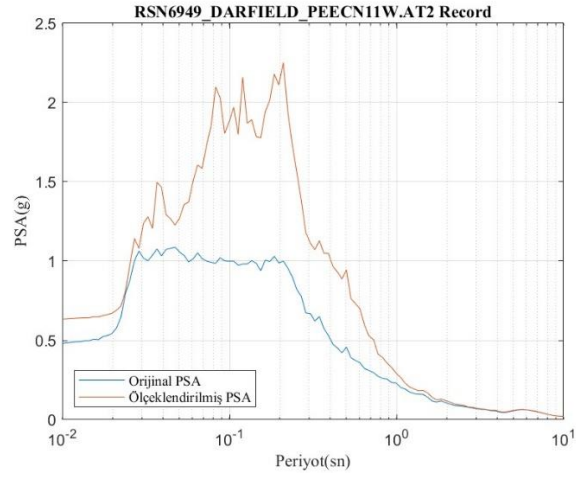
Şekil A.17 : "TH-6" ve "TH-13" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.



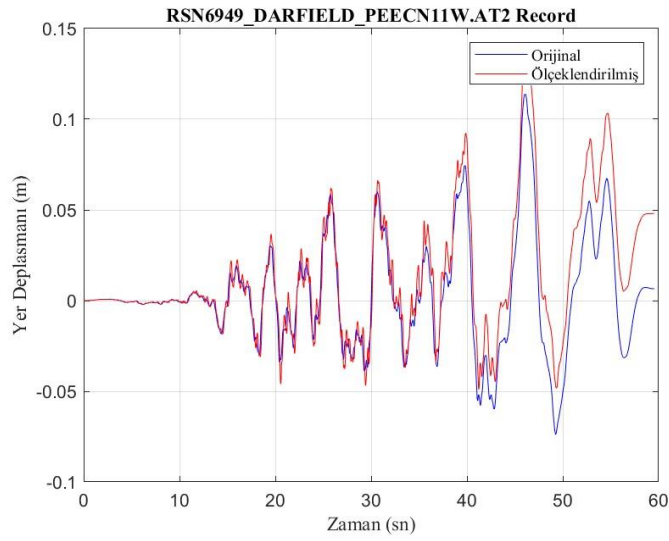
Şekil A.18 : "TH-6" ve "TH-13" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.



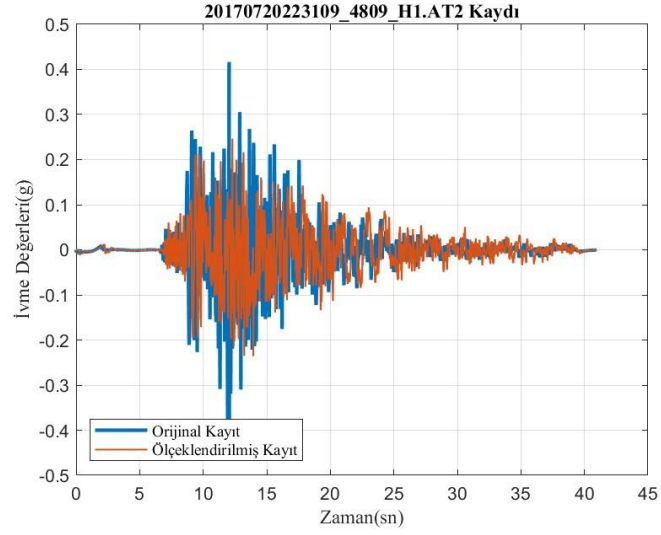
Şekil A.19 : "TH-7" ve "TH-14" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.



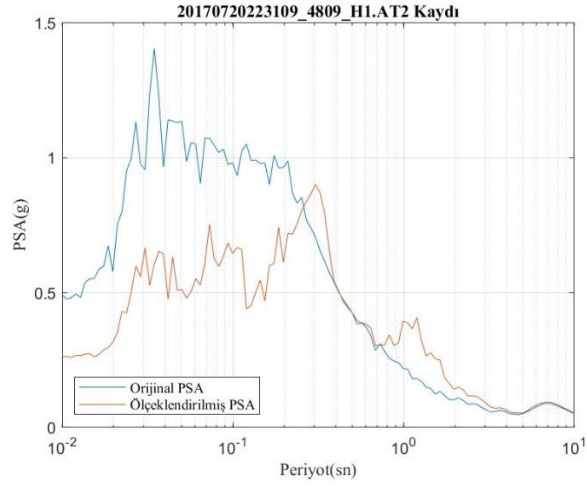
Şekil A.20 : "TH-7" ve "TH-14" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.



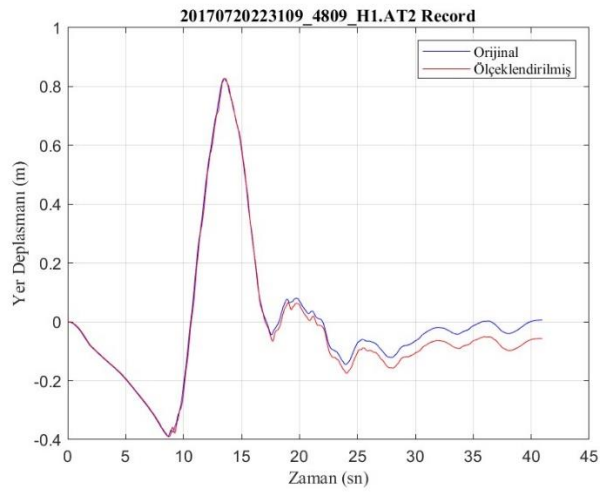
Şekil A.21 : "TH-7" ve "TH-14" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.



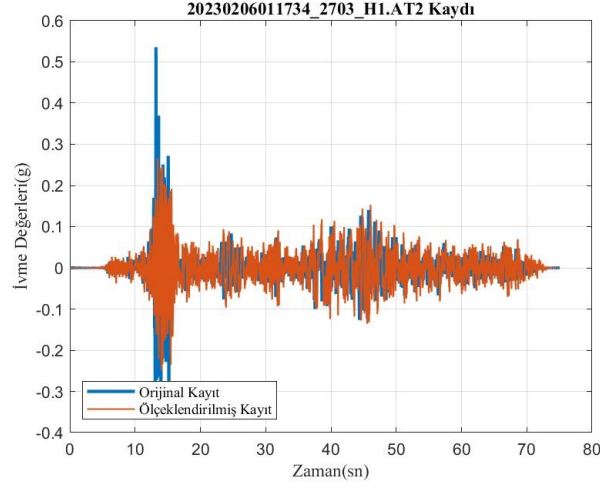
Şekil A.22 : "TH-1" ve "TH-15" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.



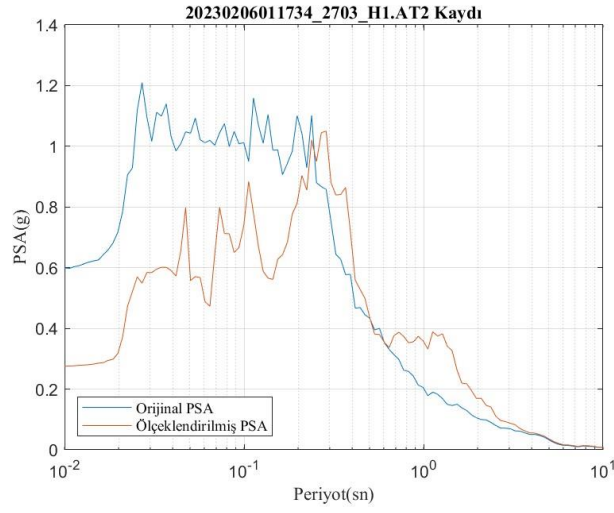
Şekil A.23 : "TH-1" ve "TH-15" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.



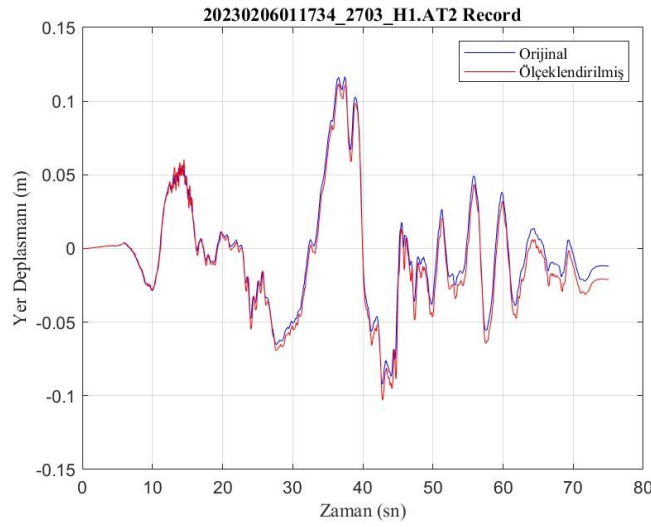
Şekil A.24 : "TH-1" ve "TH-15" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.



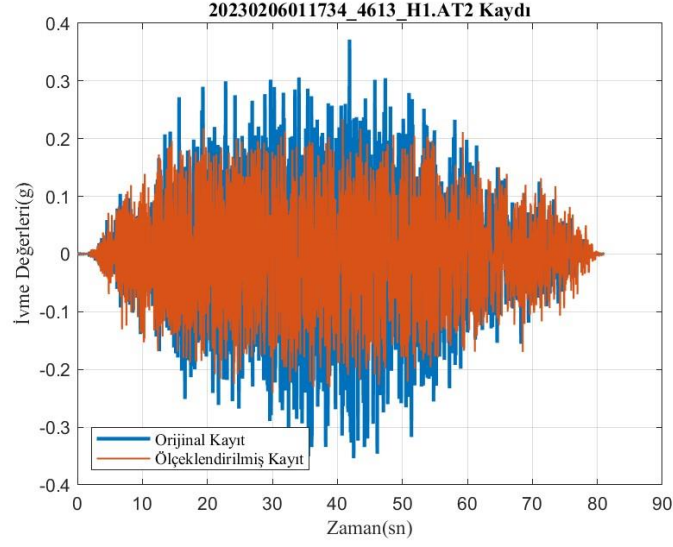
Şekil A.25 : "TH-2" ve "TH-16" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.



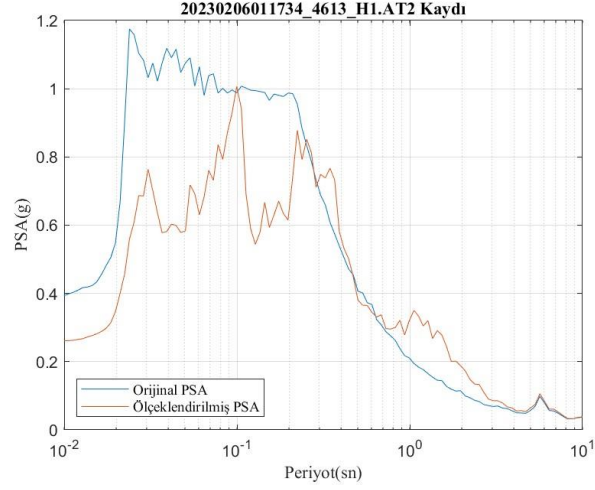
Şekil A.26 : "TH-2" ve "TH-16" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.



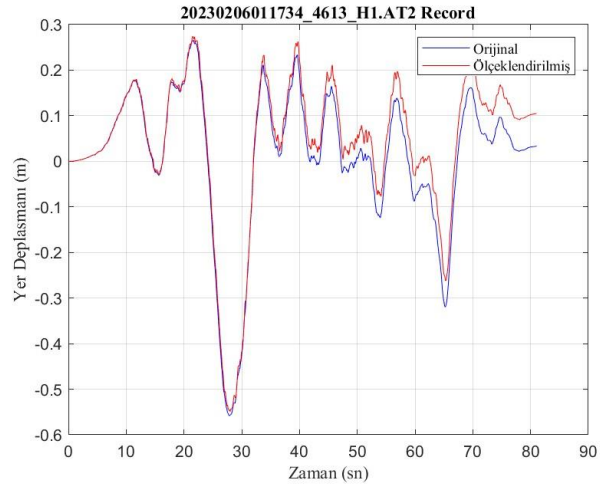
Şekil A.27 : "TH-2" ve "TH-16" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.



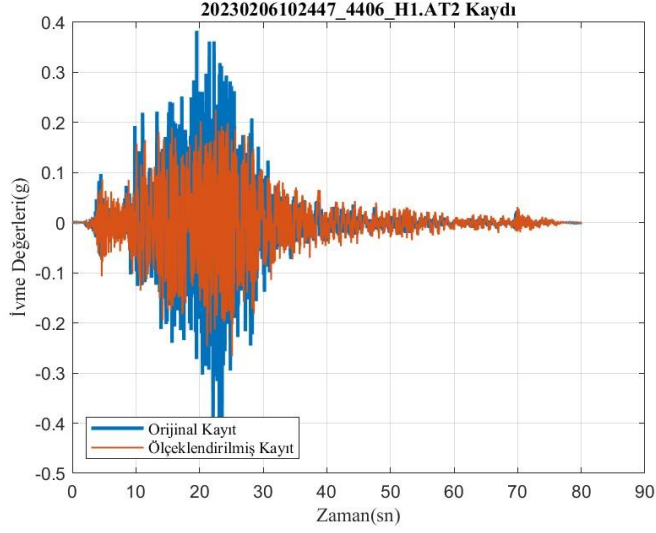
Şekil A.28 : "TH-3" ve "TH-17" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.



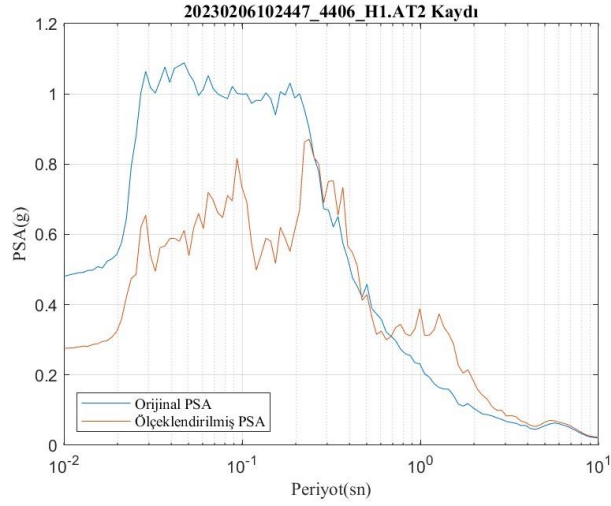
Şekil A.29 : "TH-3" ve "TH-17" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.



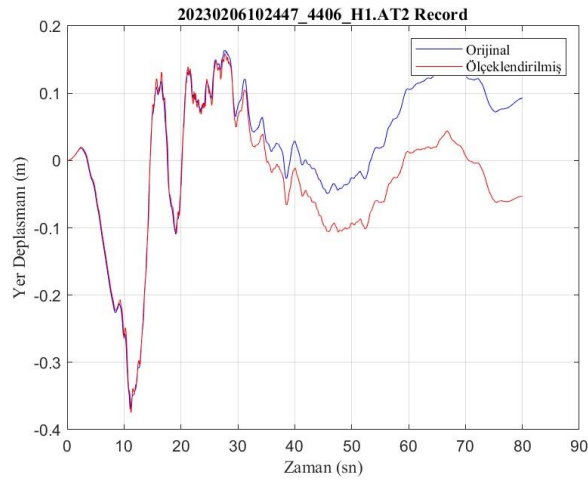
Şekil A.30 : "TH-3" ve "TH-17" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.



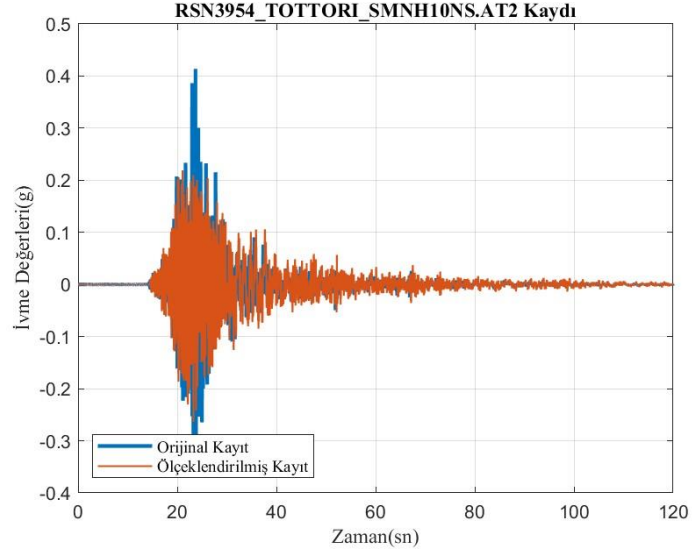
Şekil A.31 : "TH-4" ve "TH-18" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.



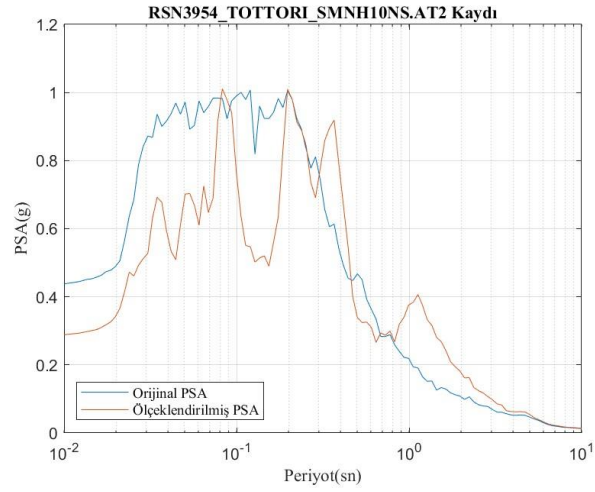
Şekil A.32 : "TH-4" ve "TH-18" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.



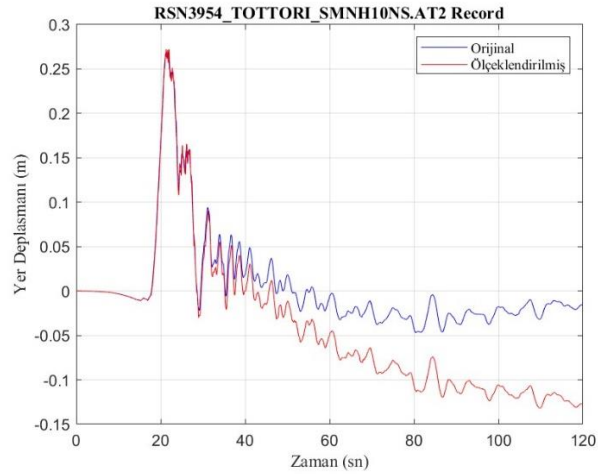
Şekil A.33 : "TH-4" ve "TH-18" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.



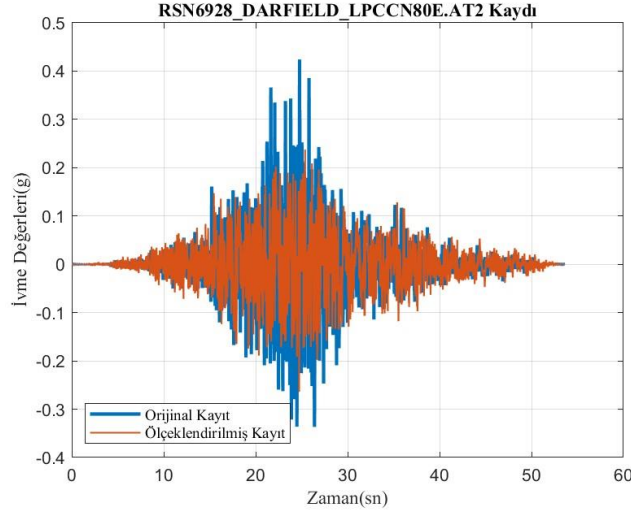
Şekil A.34 : "TH-5" ve "TH-19" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.



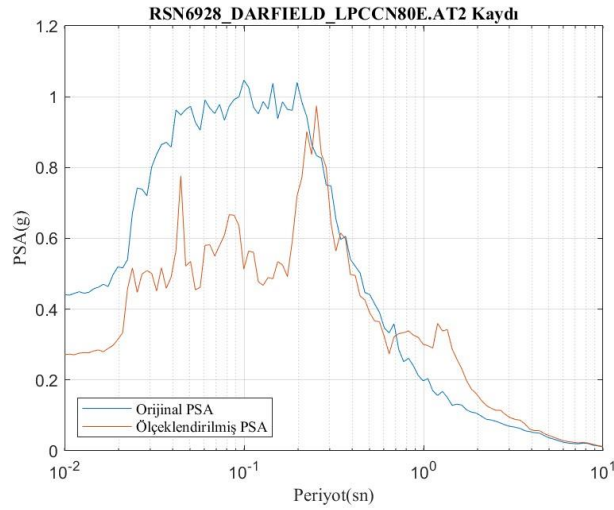
Şekil A.35 : "TH-5" ve "TH-19" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.



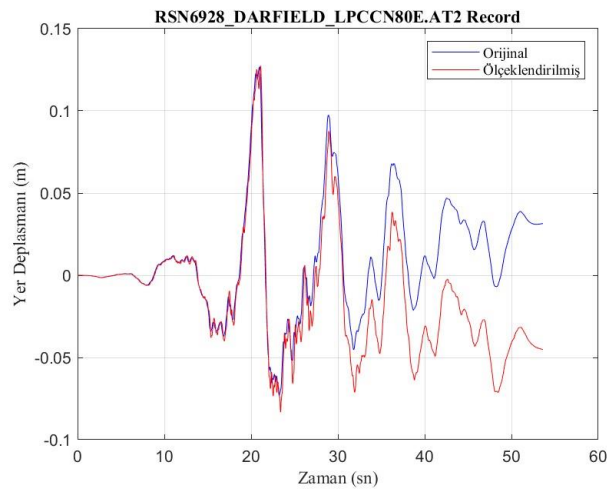
Şekil A.36 : "TH-5" ve "TH-19" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.



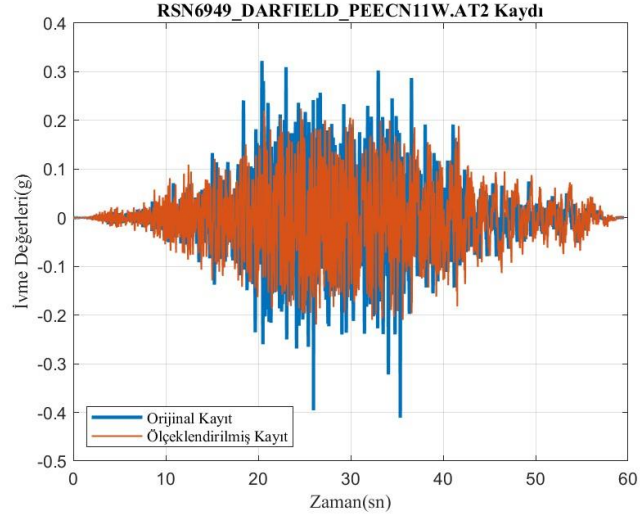
Şekil A.37 : "TH-6" ve "TH-20" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.



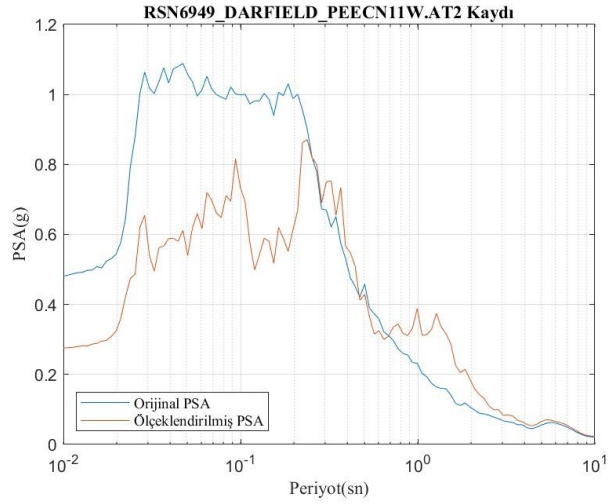
Şekil A.38 : "TH-6" ve "TH-20" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.



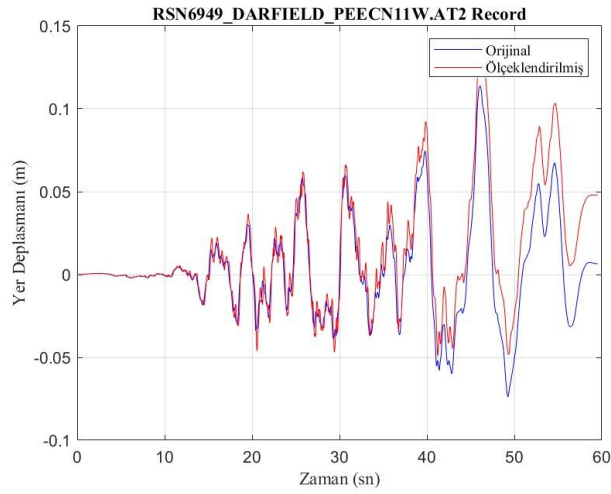
Şekil A.39 : "TH-6" ve "TH-20" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.



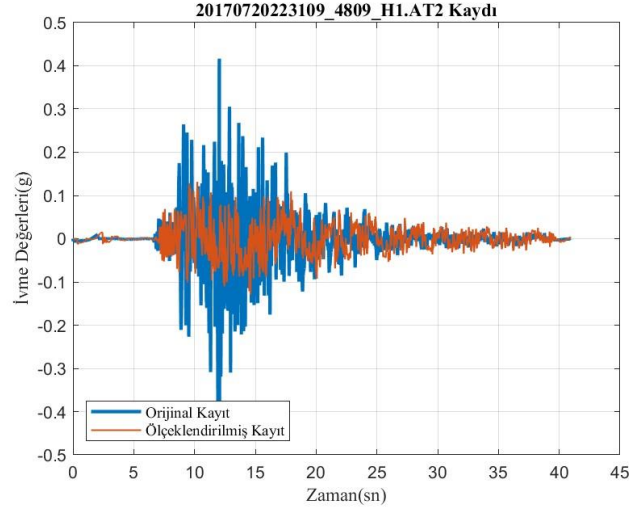
Şekil A.40 : "TH-7" ve "TH-21" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.



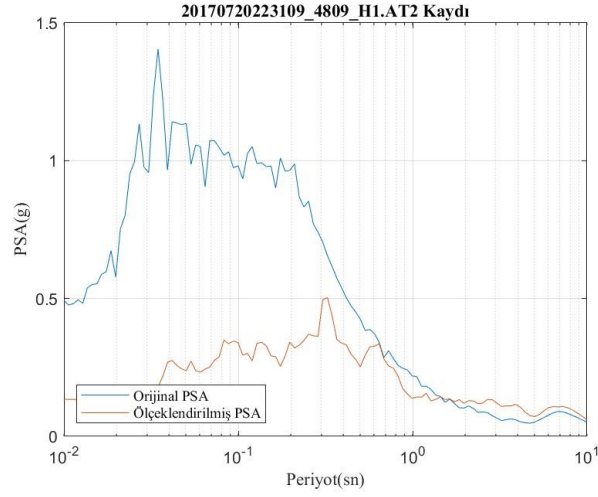
Şekil A.41 : "TH-7" ve "TH-21" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.



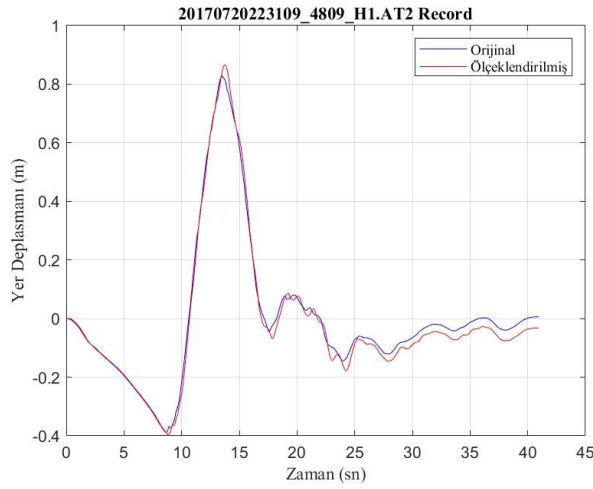
Şekil A.42 : "TH-7" ve "TH-21" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.



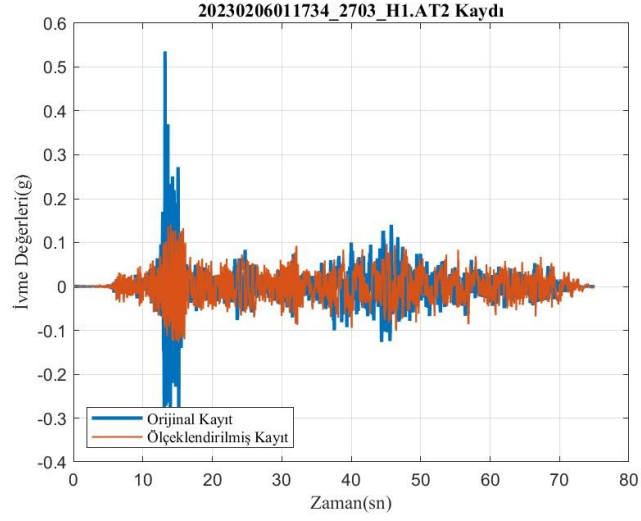
Şekil A.43 : "TH-1" ve "TH-22" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.



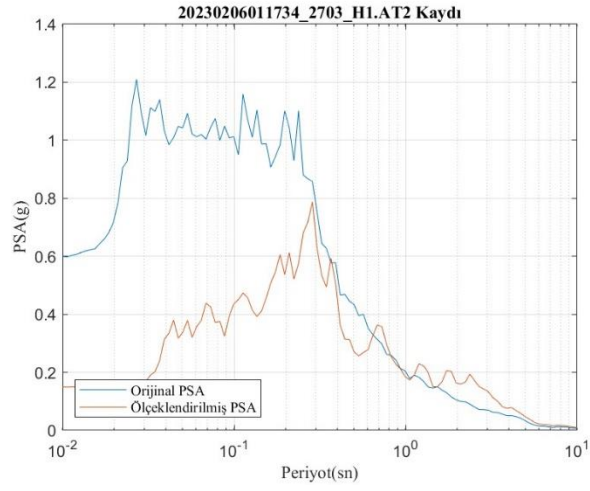
Şekil A.44 : "TH-1" ve "TH-22" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.



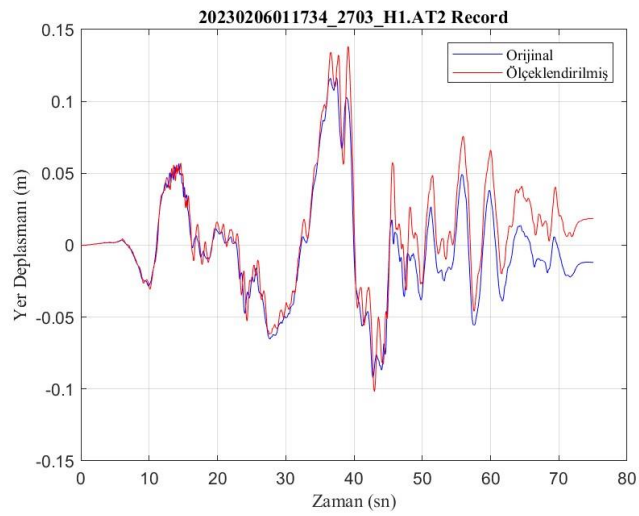
Şekil A.45 : "TH-1" ve "TH-22" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.



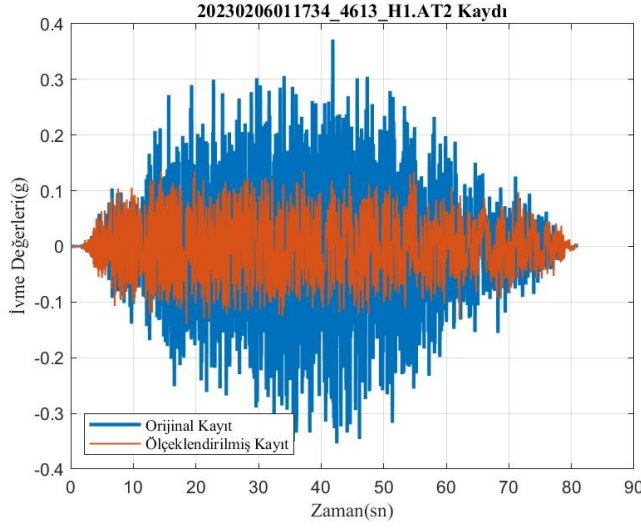
Şekil A.46 : "TH-2" ve "TH-23" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.



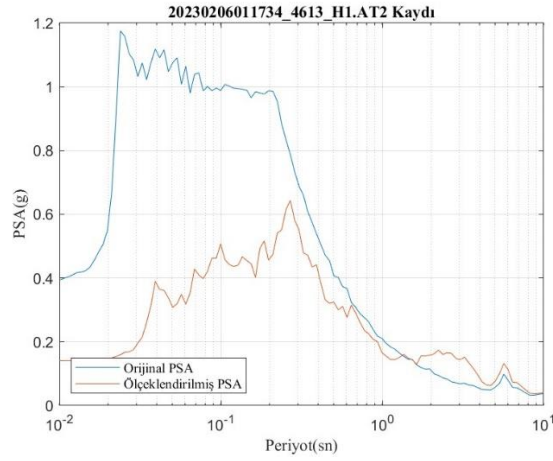
Şekil A.47 : "TH-2" ve "TH-23" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.



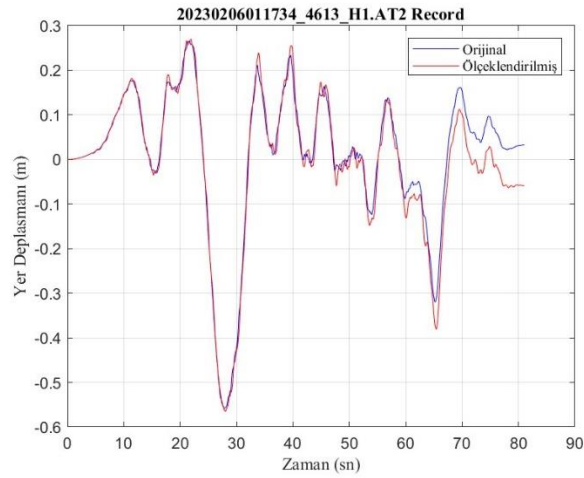
Şekil A.48 : "TH-2" ve "TH-23" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.



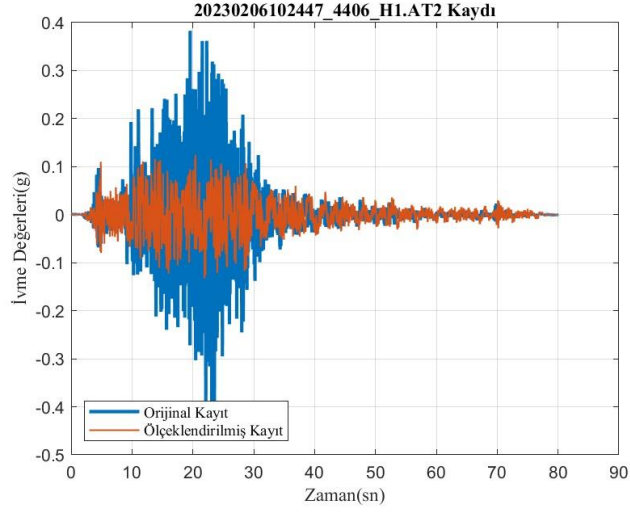
Şekil A.49 : "TH-3" ve "TH-24" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.



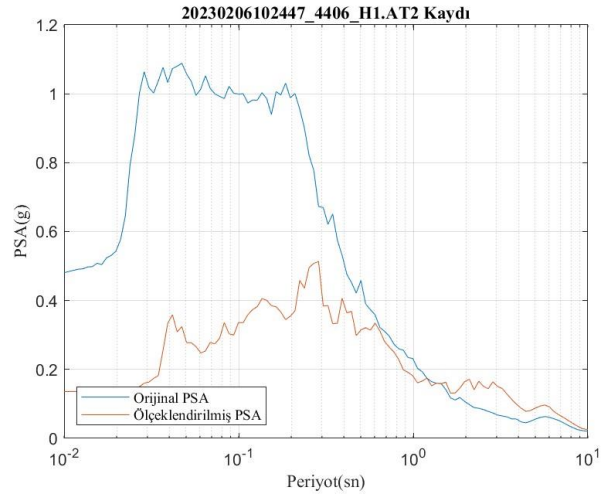
Şekil A.50 : "TH-3" ve "TH-24" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.



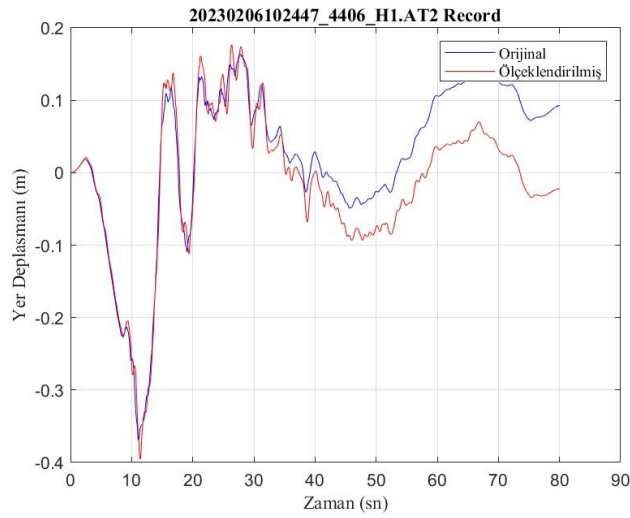
Şekil A.51 : "TH-3" ve "TH-24" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.



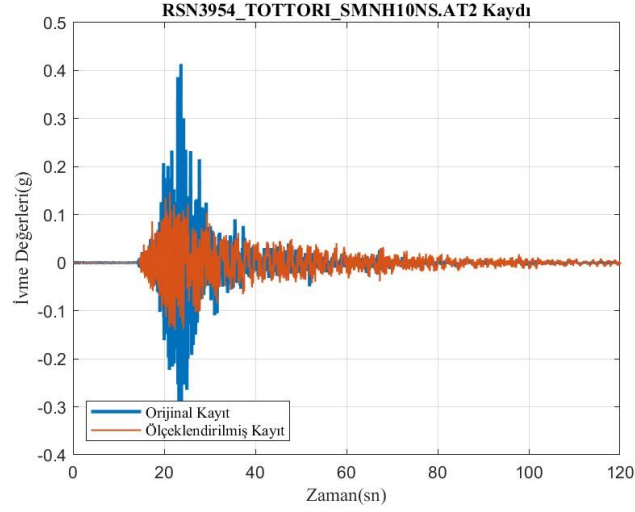
Şekil A.52 : "TH-4" ve "TH-25" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.



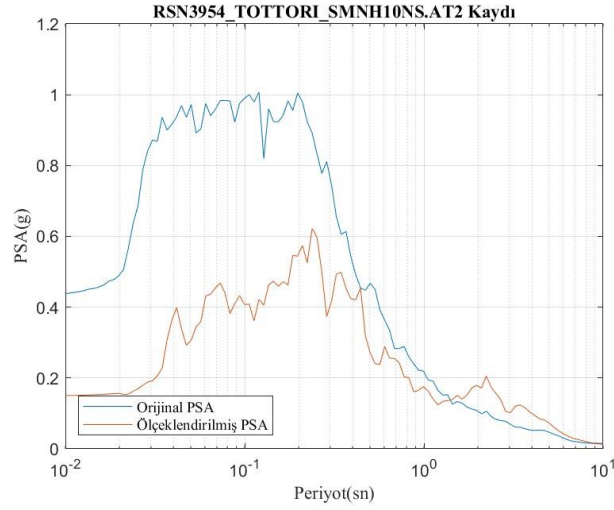
Şekil A.53 : "TH-4" ve "TH-25" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.



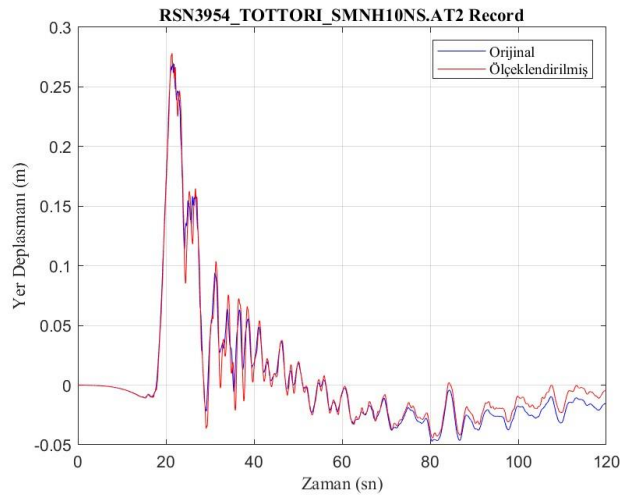
Şekil A.54 : "TH-4" ve "TH-25" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.



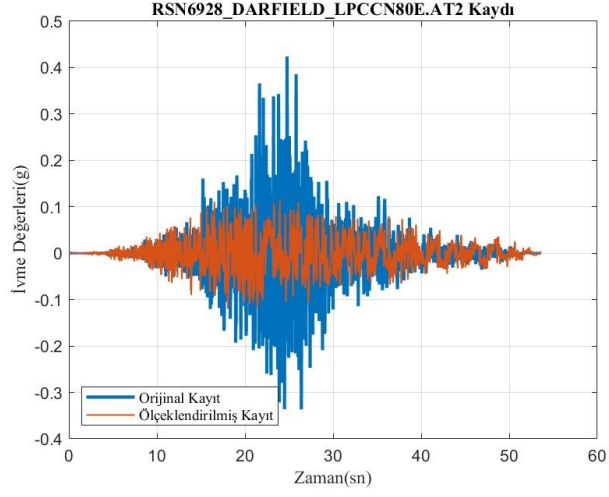
Şekil A.55 : "TH-5" ve "TH-26" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.



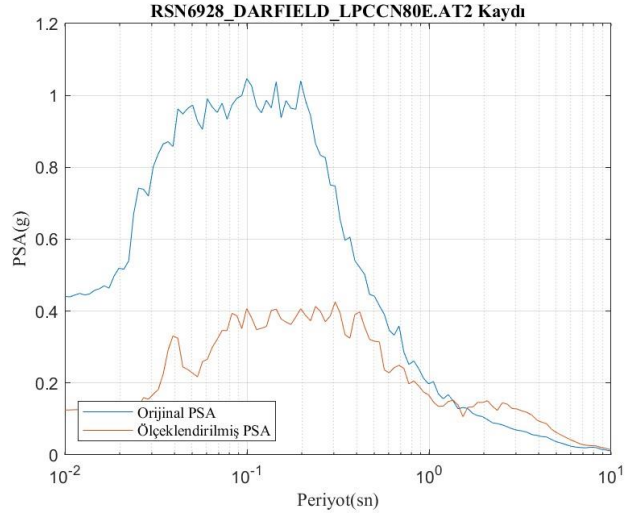
Şekil A.56 : "TH-5" ve "TH-26" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.



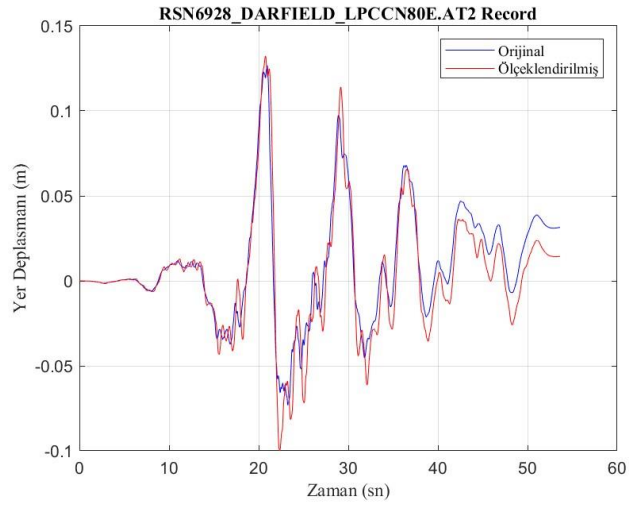
Şekil A.57 : "TH-5" ve "TH-26" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.



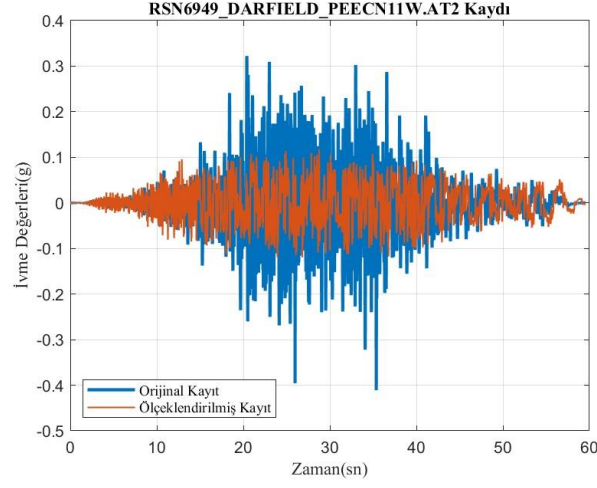
Şekil A.58 : "TH-6" ve "TH-27" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.



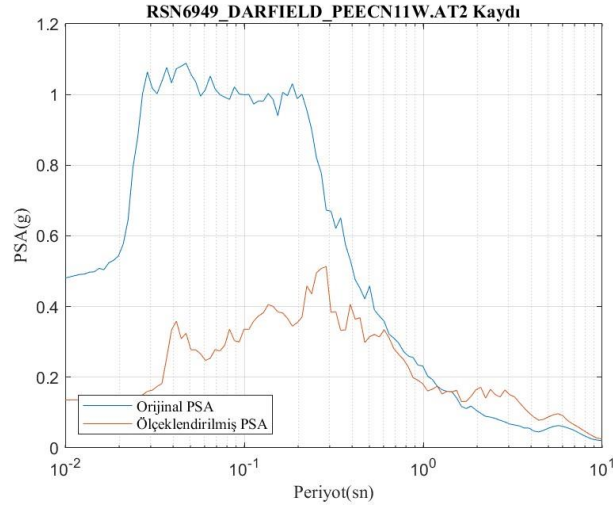
Şekil A.59 : "TH-6" ve "TH-27" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.



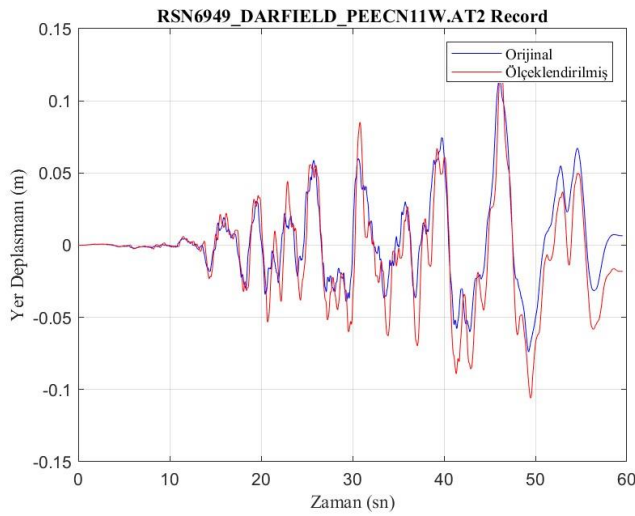
Şekil A.60 : "TH-6" ve "TH-27" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.



Şekil A.61 : "TH-7" ve "TH-28" fonksiyonlarına ait deprem ivmeleri.



Şekil A.62 : "TH-7" ve "TH-28" fonksiyonlarına ait sözde spektral ivmeler.



Şekil A.63 : "TH-7" ve "TH-28" fonksiyonlarına ait deprem yer deplasmanları.

EK B**Çizelge B.1 : ZC için seçilen zemin parametreleri.**

Thickness (m)	Unit weight	Vs	Dmin (%)	Ref. Strain (%)	Reference Stress (MPa)	β	s	b	d	P1	P2	P3
1	18.64	160	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	18.64	165.16	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	18.64	179.13	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	18.64	235.87	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	18.64	277.38	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	18.64	318.89	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	18.64	301.69	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	18.64	317.45	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	18.64	322.69	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	18.64	334.83	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	18.64	347.09	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	18.64	371.47	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	18.64	374.97	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	18.64	387.17	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	18.64	397.63	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	18.64	399.24	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	21	403.27	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	21	414.92	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	21	423.65	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	21	442.8	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	21	442.8	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	21	442.8	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4

Çizelge B.1(devam) : ZC için seçilen zemin parametreleri.

Thickness (m)	Unit weight	Vs	Dmin (%)	Ref. Strain (%)	Reference Stress (MPa)	β	s	b	d	P1	P2	P3
1	21	445.2	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	21	446.5	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	21	450	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	21	453.3	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	21	455.2	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	21	458.4	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	21	460.7	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	21	463.2	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	21	465.3	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	23	466.2	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	23	468.6	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	23	471.8	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	23	472.3	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	23	474.1	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	23	475.8	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	23	477.3	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	23	478.5	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	23	477.9	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	23	479.3	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	23	481.4	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	23	482.4	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	23	483.9	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	23	485.3	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	23	486.4	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	23	489.8	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	23	490.9	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	23	491	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	23	493.7	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4

Çizelge B.2 : ZD için seçilen zemin parametreleri.

Thickness (m)	Unit weight	Vs	Dmin (%)	Ref. Strain (%)	Reference Stress (MPa)	β	s	b	d	P1	P2	P3
1	18	183.4	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	18	185.6	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	18	188.3	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	20	210.2	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	20	211.4	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	20	227.5	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	20	221.6	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	18	197.1	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	18	199.8	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	18	196.4	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	18	193.6	0.959570648	0.2042	0.18	1.425	0.825	0	0	0.858	0.4	1.15
1	18	198.6	0.959570648	0.2042	0.18	1.425	0.825	0	0	0.858	0.4	1.15
1	21	247.2	0.959570648	0.2042	0.18	1.425	0.825	0	0	0.858	0.4	1.15
1	21	250.8	0.959570648	0.2042	0.18	1.425	0.825	0	0	0.858	0.4	1.15
1	21	255.6	0.959570648	0.2042	0.18	1.425	0.825	0	0	0.858	0.4	1.15
1	21	257.4	0.959570648	0.2042	0.18	1.425	0.825	0	0	0.858	0.4	1.15
1	21	261.8	0.959570648	0.2042	0.18	1.425	0.825	0	0	0.858	0.4	1.15
1	21	262.7	0.959570648	0.2042	0.18	1.425	0.825	0	0	0.858	0.4	1.15
1	18	222.4	0.959570648	0.2042	0.18	1.425	0.825	0	0	0.858	0.4	1.15
1	18	210.8	0.959570648	0.2042	0.18	1.425	0.825	0	0	0.858	0.4	1.15
1	18	211.2	0.959570648	0.2042	0.18	1.425	0.825	0	0	0.858	0.4	1.15
1	18	213.5	0.959570648	0.2042	0.18	1.425	0.825	0	0	0.858	0.4	1.15
1	18	222.4	0.959570648	0.2042	0.18	1.425	0.825	0	0	0.858	0.4	1.15
1	18	231.7	0.959570648	0.2042	0.18	1.425	0.825	0	0	0.858	0.4	1.15
1	20	240.1	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35

Çizelge B.2 (devam) : ZD için seçilen zemin parametreleri.

Thickness (m)	Unit weight	Vs	Dmin (%)	Ref. Strain (%)	Reference Stress (MPa)	β	s	b	d	P1	P2	P3
1	20	242.6	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	20	243.2	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	20	246.1	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	20	246.5	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	20	242.6	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	20	244.7	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	20	245.5	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	20	250.3	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	21	252.2	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	21	255.5	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	21	257.7	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	21	260.1	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	21	272	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	21	275.2	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	21	278.4	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	21	280.2	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	21	281.3	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	19	288.9	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	19	291.2	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	19	292.5	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	19	295.3	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	19	290.4	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	19	302.5	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	19	305.8	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35

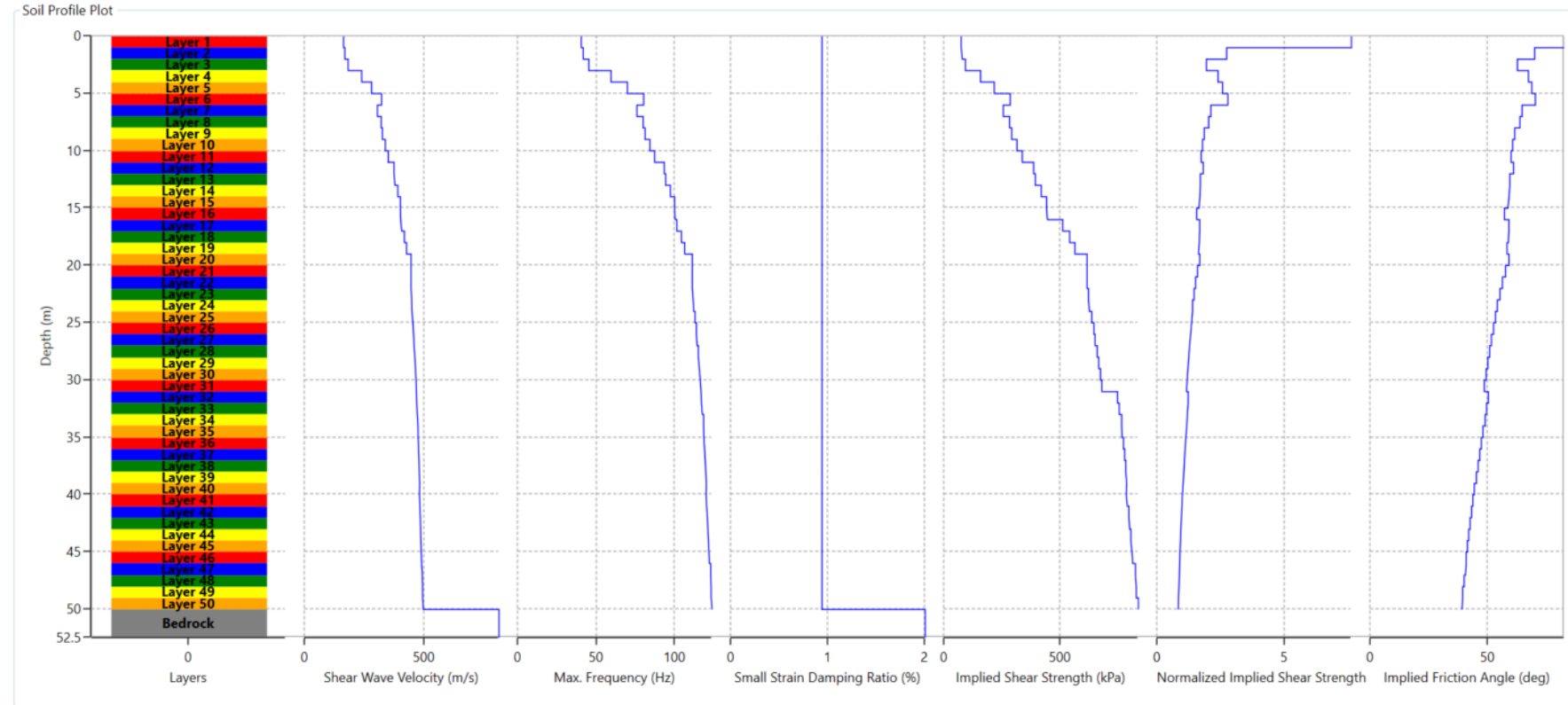
Çizelge B.3 : ZE için seçilen zemin parametreleri.

Thickness (m)	Unit weight	Vs	Dmin (%)	Ref. Strain (%)	Reference Stress (MPa)	β	s	b	d	P1	P2	P3
1	17.43	96	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	17.43	96	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	17.43	114	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	17.43	114	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	17.43	125	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	18.09	125	0.959570648	0.2042	0.18	1.425	0.825	0	0	0.858	0.4	1.15
1	18.09	132	0.959570648	0.2042	0.18	1.425	0.825	0	0	0.858	0.4	1.15
1	18.09	132	0.959570648	0.2042	0.18	1.425	0.825	0	0	0.858	0.4	1.15
1	18.09	134	0.959570648	0.2042	0.18	1.425	0.825	0	0	0.858	0.4	1.15
1	18.09	136	0.959570648	0.2042	0.18	1.425	0.825	0	0	0.858	0.4	1.15
1	18.09	136	0.959570648	0.2042	0.18	1.425	0.825	0	0	0.858	0.4	1.15
1	18.09	137	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	18.09	137	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	18.09	137	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	18.09	136	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	18.09	136	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	18.09	136	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	18.09	135	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	18.09	135	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	16.42	135	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	16.42	134	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	16.42	134	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	16.42	134	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4

Çizelge B.3 (devam) : ZE için seçilen zemin parametreleri.

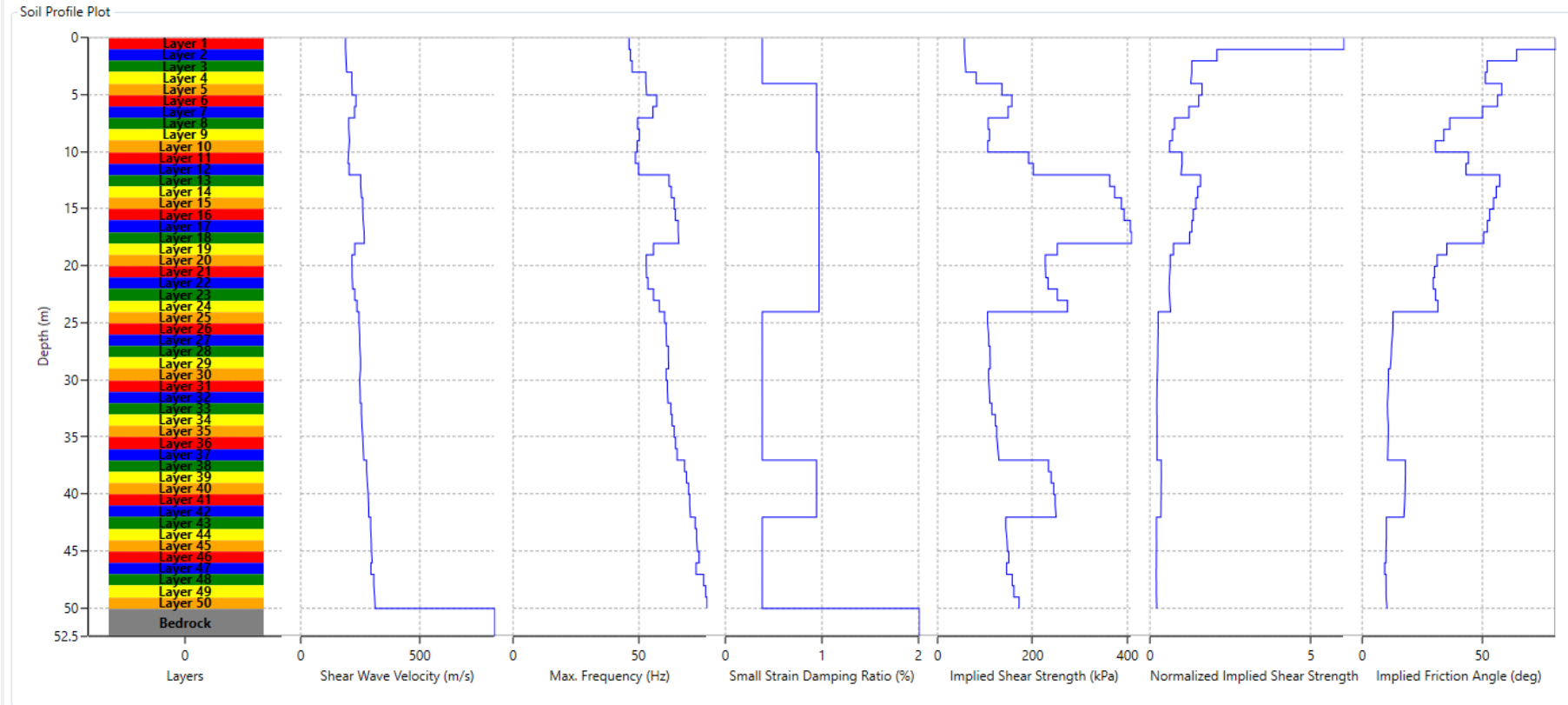
Thickness (m)	Unit weight	Vs	Dmin (%)	Ref. Strain (%)	Reference Stress (MPa)	β	s	b	d	P1	P2	P3
1	20	134	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	20	134	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	20	134	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	20	134	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	20	134	0.371268103	0.0658	0.18	1.545	0.855	0	0	0.992	0.386	1.35
1	18.93	134	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	18.93	134	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	18.93	160	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	18.93	165	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	18.93	170	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	18.93	170	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	21	171	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	21	174	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	21	175	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	21	180	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	21	184	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	21	185	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	21	192	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	21	200	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	21	204	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	21	205	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	21	210	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	21	222	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	21	228	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	21	229	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4
1	21	230	0.932966574	0.1038	0.18	1.455	0.84	0	0	0.874	0.4	1.4

Soil Profile Definition



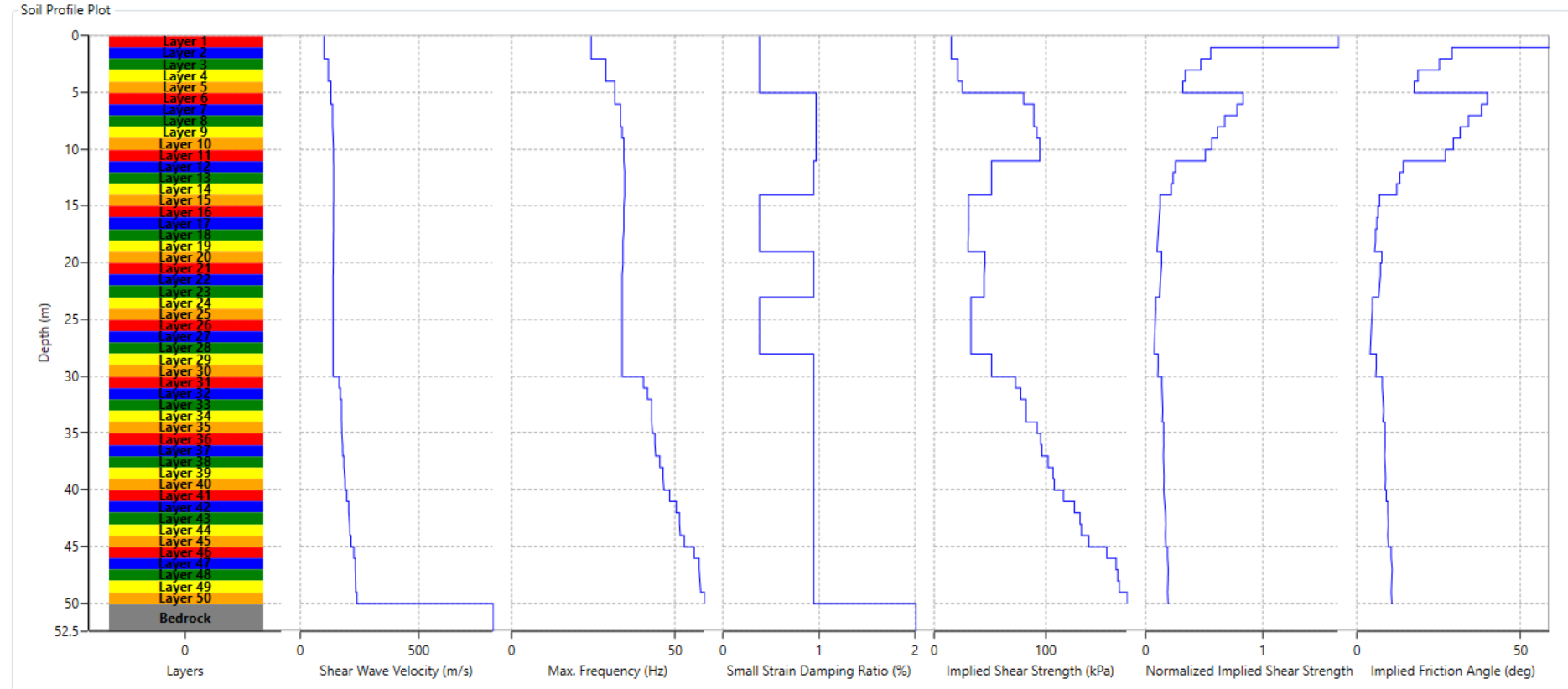
Şekil B.1 : ZC zeminine ait zemin profil tanımı

Soil Profile Definition



Şekil B.2 : ZD zeminine ait zemin profil tanımı

Soil Profile Definition



Şekil B.3 : ZE zeminine ait zemin profil tanımı.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Mustafa Enes Öztürk

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2022, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü (%100 İngilizce)
- **Yüksek lisans** : 2024, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Yapı Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2018-2022 yılları arasında lisans eğitimini tamamladı
- 2022-2024 yılları arasında yüksek lisansını tamamladı
- 2023 yılında Altaş Altyapı Uluslararası Mühendislik Müşavirlik A.Ş. çalıştı
- 2023- Halen Gebze Teknik Üniversitesi'nde araştırma görevlisi olarak çalışmakta