

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SİSMİK ZEMİN BÜYÜTMELERİNİN İZMİT KÖRFEZ GEÇİŞİ
OSMAN GAZİ ASMA KÖPRÜSÜ'NÜN DİNAMİK DAVRANIŞINA
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

METİN KARSLIOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YAPI PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. ABDURRAHMAN ŞAHİN**

İSTANBUL, 2016

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SİSMİK ZEMİN BÜYÜTMELERİNİN İZMİT KÖRFEZ GEÇİŞİ
OSMAN GAZİ ASMA KÖPRÜSÜ'NÜN DİNAMİK DAVRANIŞINA
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Metin KARSLIOĞLU tarafından hazırlanan tez çalışması 26.07.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Abdurrahman ŞAHİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Abdurrahman ŞAHİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Murat Serdar KIRÇIL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Bülent AKBAŞ
Gebze Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

‘Sismik Zemin Büyütmelerinin İzmit Körfez Geçişi Osman Gazi Asma Köprüsü’nün Dinamik Davranışına Etkilerinin Araştırılması’ konulu bu çalışmaya beni yönlendiren ve çalışmanın her aşamasında tecrübelerinden yararlandığım, yardım ve katkılarını hiçbir zaman eksik etmeyen değerli hocam Sayın Doç. Dr. Abdurrahman ŞAHİN’e teşekkürü bir borç bilirim.

Eğitim hayatım boyunca bana emeği geçen tüm hocalarımı saygıyla anar ve kendilerine teşekkürlerimi sunarım.

Bu günlere gelmemde desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, başta annem, babam ve tüm aileme sonsuz teşekkür ederim.

Bu çalışmanın ileride yapılacak çalışmalar için başarılı bir örnek olmasını temenni ederim.

Haziran, 2016

Metin KARSLIOĞLU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xii
ABSTRACT	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	8
1.3 Hipotez	9
BÖLÜM 2	
ASMA KÖPRÜLER HAKKINDA GENEL BİLGİLER.....	10
2.1 Asma Köprülerin Yapısal Elemanları	12
2.1.1 Asma Köprü Tipleri	13
2.1.1.1 Açıklık Sayısı	13
2.1.1.2 Rijitlik Kirişinin Mesnetlenme Durumu	13
2.1.1.3 Askı Halatı Tipleri	13
2.1.1.4 Ana Kablo Ankre Edilme Durumu	14
2.1.2 Tabliye (Rijitlik Kirişi).....	14
2.1.3 Ana Kablo ve Askı Halatları	16
2.1.4 Ankraj Blokları	17
2.1.5 Kuleler	18
BÖLÜM 3	
PROJE VE KÖPRÜ HAKKINDA BİLGİLER.....	20
3.1 Proje ve İzmit Körfez Geçişi Asma Köprüsü Hakkında Genel Bilgiler ...	20
3.2 Proje ile Beklenen Gelişmeler	21
3.3 İzmit Körfez Geçişi Osman Gazi Asma Köprüsünün Genel Özellikleri ..	22

3.3.1	Tabliye.....	22
3.3.2	Kule.....	23
3.3.3	Ana Kablo ve Askı Halatları	24
3.3.4	Ankraj Blokları	25
3.4	Bölgenin Depremselliği.....	27
BÖLÜM 4		
MODELİN OLUŞTURULMASI VE ANALİZLER.....		31
4.1	Sonlu Eleman Modelinin Oluşturulması	31
4.2	Yer Hareketinin Oluşturulması.....	34
4.2.1	Bir Boyutlu Zemin Tepki Analizleri.....	35
4.2.1.1	Lineer Yaklaşım	35
4.2.2	İstasyona Ait Bilgiler	35
4.2.3	Köprünün Kuleleri ve Ankrajlarına Ait Zemin Bilgileri.....	41
4.2.3.1	Kuzey Kule Zemin Bilgileri.....	42
4.2.3.2	Güney Kule Zemin Bilgileri.....	43
4.2.3.3	Güney Ankraj Zemin Bilgileri.....	45
4.2.3.4	Kuzey Ankraj Zemin Bilgileri.....	47
4.2.3.5	Zeminlerin Kayma Modülü ve Sönüm Özellikleri	48
BÖLÜM 5		
ANALİZLER VE SONUÇLAR		56
5.1	Modal Analiz	56
5.2	Statik Analiz Sonuçları.....	58
5.2.1	Tabliye.....	58
5.2.2	Kule.....	59
5.2.3	Ana Kablo ve Askı Halatı.....	62
5.3	Üniform Yer Hareketi Altında Köprü Davranışı	62
5.3.1	Tabliye.....	63
5.3.2	Kule.....	65
5.3.3	Ana Kablo ve Askı Halatları	69
5.4	Üniform Olmayan Yer Hareketi Altında Köprü Davranışı	71
5.4.1	Tabliye.....	72
5.4.2	Kule.....	73
5.4.3	Ana Kablo ve Askı Halatları	78
5.5	Üniform ve Üniform Olmayan Yer Hareketi Analizlerinin Sonuçlarının Karşılaştırılmalı Olarak İncelenmesi	80
5.5.1	Tabliye.....	80
5.5.2	Kule.....	82
5.5.3	Ana Kablo ve Askı Halatları	87
BÖLÜM 6		
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....		90
KAYNAKLAR		92
ÖZGEÇMİŞ.....		96

SİMGE LİSTESİ

v_s	Zemin kayma dalgası hızı
G	Zemin kayma modülü
ξ	Sönüm oranı

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Asma köprü açıklıklarının tarihsel gelişimi [33].....	11
Şekil 2.2 Akashi Kaikyo Köprüsü [34]	12
Şekil 2.3 Köprü açıklık tipleri [35]	13
Şekil 2.4 Rijitlik kirişi süreklilik tipleri [35]	13
Şekil 2.5 Askı halatı tipleri [35].....	13
Şekil 2.6 Ana kablo ankraj tipleri [35]	14
Şekil 2.7 Tabliye kesiti örnekleri [35].....	15
Şekil 2.8 Humber asma köprüsünün tabliyesi [36]	15
Şekil 2.9 Mackinac Straits köprüsünün tabliyesi [37].....	16
Şekil 2.10 (a) ağırlık tipi; (b) tünel tipi ankraj bloğu [35].....	18
Şekil 2.11 Asma köprü kule tipleri [35]	19
Şekil 3.1 Proje güzergahı [38]	20
Şekil 3.2 Mevcut devlet yolu [39].....	21
Şekil 3.3 Köprü'nün inşasından sonra kısalmış olan güzergah [39]	21
Şekil 3.4 Köprü genel görünümü [40].....	22
Şekil 3.5 Tabliye genel görünümü [40].....	22
Şekil 3.6 Tabliye segmentlerinden bir örnek [41].....	23
Şekil 3.7 Kule kesiti ve genel görünümü [40]	23
Şekil 3.8 Kule imalatı [41].....	24
Şekil 3.9 Ana kablo detayı [40]	24
Şekil 3.10 Güney ankraj kesiti [40].....	25
Şekil 3.11 Güney ankraj imalatı [41]	26
Şekil 3.12 Kuzey ankraj kesiti	26
Şekil 3.12 Kuzey ankraj kesiti (devamı) [40]	27
Şekil 3.13 Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın batıya doğru hareketi [42]	28
Şekil 3.14 Marmara Bölgesinde son yüzyılda meydana gelmiş büyük depremler [42]..	29
Şekil 3.15 Kuzey anadolu fay hattının köprü konumdan geçişi [44]	29
Şekil 3.16 Köprü güney bölgesinde yer alan ikincil fay zonları [43]	30
Şekil 3.17 İkincil fay zonları nedeniyle köprüde uygulanan değişiklikler [43].....	30
Şekil 4.1 3 boyutlu köprü modeli.....	32
Şekil 4.2 Köprü x-z görünüşü	32
Şekil 4.3 CAD ortamında tabliye kesit çizimi	33
Şekil 4.4 CAD ortamında kule kesit çizimi	33
Şekil 4.5 CAD ortamında kule enleme girişinin kesit çizimi	34
Şekil 4.6 İstasyonun harita konumu ve uydu görüntüsü.....	36
Şekil 4.7 İstasyon zeminine ait sondaj logu [47]	36
Şekil 4.8 İstasyona ait zemin bilgileri [48]	37

Şekil 4.9 Zemine ait vp ve vs dalga hızları [48]	37
Şekil 4.10 Yer hareketinin (E-W) bileşenine ait ivme, hız ve deplasman-zaman grafikleri	38
Şekil 4.11 Yer hareketinin (N-S) bileşenine ait ivme, hız ve deplasman-zaman grafikleri	39
Şekil 4.12 Yer hareketinin (U-D) bileşenine ait ivme, hız ve deplasman-zaman grafikleri	39
Şekil 4.13 İstasyon zemin profilinin DEEPSOIL programına girilmesi	40
Şekil 4.14 DEEPSOIL programında analiz adımı	40
Şekil 4.15 DEEPSOIL programında analizde kullanılacak kayıtların seçimi	41
Şekil 4.16 Ana kaya üzerinde elde edilen ivme zaman kayıtları	41
Şekil 4.17 Kuzey kule zemin profili [49]	42
Şekil 4.18 Kuzey kule zemin parametreleri [30], [31]	42
Şekil 4.19 Kuzey kule zemin bilgilerinin DEEPSOIL programına girilmesi	43
Şekil 4.20 Güney kule zemin profili [49]	44
Şekil 4.21 Güney kule zemin parametreleri [30], [31]	44
Şekil 4.22 Güney kule zemin bilgilerinin DEEPSOIL programına girilmesi	45
Şekil 4.23 Güney ankraj zemin profili [50]	46
Şekil 4.24 Güney kule zemin bilgilerinin DEEPSOIL programına girilmesi	47
Şekil 4.25 Kuzey ankraj zemin profili [49]	48
Şekil 4.26 Kuzey kule zemini kayma modülü ve sönüm oranı eğrileri	49
Şekil 4.27 Güney kule zemini kayma modülü ve sönüm oranı eğrileri	50
Şekil 4.28 DEEPSOIL programında eğrilerin girilmesine ait örnek görüntü- kuzey kule N1 zemini	51
Şekil 4.29 Zemin tepki analizi	51
Şekil 4.30 Güney kule E-W bileşeni	52
Şekil 4.31 Güney kule N-S bileşeni	52
Şekil 4.32 Güney kule U-D bileşeni	53
Şekil 4.33 Kuzey kule E-W bileşeni	53
Şekil 4.34 Kuzey kule N-S bileşeni	54
Şekil 4.35 Kuzey kule U-D bileşeni	54
Şekil 4.36 Güney ankraj E-W bileşeni	55
Şekil 4.37 Güney ankraj N-S bileşeni	55
Şekil 4.38 Güney ankraj U-D bileşeni	55
Şekil 5.1 Köprünün ilk 3 doğal titreşim mod şekilleri	57
Şekil 5.2 Tabliye boyunca oluşan yer değiştirmeler	58
Şekil 5.3 Tabliye boyunca oluşan moment değerleri	59
Şekil 5.4 Kuzey kule yer değiştirme grafiği	59
Şekil 5.5 Güney kule yer değiştirme grafiği	60
Şekil 5.6 Kuzey kule normal kuvvet grafiği	61
Şekil 5.7 Güney kule normal kuvvet grafiği	61
Şekil 5.8 Ana kablo eksenel kuvvet değerleri	62
Şekil 5.9 Askı halatları eksenel kuvvet değerleri	62
Şekil 5.10 Üniform yer hareketi altında tabliyede x yönünde oluşan yer değiştirme dağılımı	63
Şekil 5.11 Üniform yer hareketi altında tabliyede y yönünde oluşan yer değiştirme dağılımı	63
Şekil 5.12 Üniform yer hareketi altında tabliyede z yönünde oluşan yer değiştirme dağılımı	64
Şekil 5.13 Tabliyede meydana gelen eğilme momenti dağılımı	64

Şekil 5.14 Üniform yer hareketi altında kuzey kule tepe noktasında x yönünde meydana gelen yer değiştirme dağılımı.....	65
Şekil 5.15 Üniform yer hareketi altında kuzey kule tepe noktası y yönünde oluşan yer değiştirme dağılımı.....	65
Şekil 5.16 Üniform yer hareketi altında kuzey kule tepe noktası z yönünde oluşan yer değiştirme dağılımı.....	66
Şekil 5.17 Üniform yer hareketi altında güney kule tepe noktasında x yönünde oluşan yer değiştirme dağılımı.....	66
Şekil 5.18 Üniform yer hareketi altında güney kule tepe noktasında y yönünde oluşan yer değiştirme dağılımı.....	67
Şekil 5.19 Üniform yer hareketi altında güney kule tepe noktasında z yönünde oluşan yer değiştirme dağılımı.....	67
Şekil 5.20 Güney kulede taban kesme kuvveti ve eğilme momenti değişimi	68
Şekil 5.21 Kuzey kulede taban kesme kuvveti ve eğilme momenti değişimi	69
Şekil 5.22 Ankraj noktasındaki ana kabloya ait eksenel kuvvet değişimi	70
Şekil 5.23 Kule birleşim noktasındaki ana kabloya ait eksenel kuvvet değişimi	70
Şekil 5.24 Kenar açıklık askı halatında eksenel kuvvet değişimi	71
Şekil 5.25 Kule yakını askı halatında eksenel kuvvet değişimi.....	71
Şekil 5.26 Üniform olmayan yer hareketi altında tabliyede x yönünde oluşan yer değiştirme dağılımı.....	72
Şekil 5.27 Üniform olmayan yer hareketi altında tabliyede y yönünde oluşan yer değiştirme dağılımı.....	72
Şekil 5.28 Üniform olmayan yer hareketi altında tabliyede z yönünde oluşan yer değiştirme dağılımı.....	73
Şekil 5.29 Üniform olmayan yer hareketi altında kuzey kule tepe noktasında x yönünde oluşan yer değiştirme dağılımı.....	73
Şekil 5.30 Üniform olmayan yer hareketi altında kuzey kule tepe noktasında y yönünde oluşan yer değiştirme dağılımı.....	74
Şekil 5.31 Üniform olmayan yer hareketi altında kuzey kule tepe noktasında z yönünde oluşan yer değiştirme dağılımı.....	74
Şekil 5.32 Üniform olmayan yer hareketi altında güney kule tepe noktasında x yönünde oluşan yer değiştirme dağılımı.....	75
Şekil 5.33 Üniform olmayan yer hareketi altında güney kule tepe noktasında y yönünde oluşan yer değiştirme dağılımı.....	75
Şekil 5.34 Üniform olmayan yer hareketi altında güney kule tepe noktasında z yönünde oluşan yer değiştirme dağılımı.....	76
Şekil 5.35 Kuzey kule taban eğilme momenti değişimi	76
Şekil 5.36 Kuzey kule taban kesme kuvveti değişimi.....	77
Şekil 5.37 Güney kule taban eğilme momenti değişimi.....	77
Şekil 5.38 Güney kule taban kesme kuvveti değişimi.....	78
Şekil 5.39 Ankraj noktasındaki ana kabloya ait eksenel kuvvet değişimi	78
Şekil 5.40 Kule birleşim noktasındaki ana kabloya ait eksenel kuvvet değişimi	79
Şekil 5.41 Kenar açıklık askı halatı eksenel kuvvet değişimi.....	79
Şekil 5.42 Kule yakını askı halatı eksenel kuvvet değişimi	80
Şekil 5.43 Tabliye orta noktasının x yönünde yer değiştirme değişimi	81
Şekil 5.44 Tabliye orta noktasının y yönünde yer değiştirme değişimi	81
Şekil 5.45 Tabliye orta noktasının z yönünde yer değiştirme değişimi	82
Şekil 5.46 Kuzey kule tepe noktası x yönü yer değiştirme değişimi	82
Şekil 5.47 Kuzey kule tepe noktası y yönü yer değiştirme değişimi	83
Şekil 5.48 Kuzey kule tepe noktası z yönü yer değiştirme değişimi	83

Şekil 5.49 Güney kule tepe noktası x yönü yer değiştirme değişimi	84
Şekil 5.50 Güney kule tepe noktası y yönü yer değiştirme değişimi	84
Şekil 5.51 Güney kule tepe noktası z yönü yer değiştirme değişimi	85
Şekil 5.52 Kuzey kule taban eğilme momenti değişimi	85
Şekil 5.53 Kuzey kule taban kesme kuvveti değişimi	86
Şekil 5.54 Güney kulede taban eğilme momenti değişimi	86
Şekil 5.55 Güney kule taban kesme kuvveti değeri değişimi	87
Şekil 5.56 Ana kablo (ankraj) aksenal kuvvet değişimi	87
Şekil 5.57 Ana kablo (kule ana kablo birleşim) aksenal kuvvet değişimi	88
Şekil 5.58 Askı halatı (kenar açıklık) aksenal kuvvet değişimi	88
Şekil 5.59 Askı halatı (ana açıklık) aksenal kuvvet değişimi	89



ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Asma köprü açıklıklarının tarihsel gelişimi [33].....	11
Çizelge 2.2 Ana açıklıklarına göre en uzun asma köprüler	12
Çizelge 2.3 Köprülerde kullanılan kablo tipleri [35]	17
Çizelge 3.1 Kuzey Anadolu Fay Hattı'nda meydana gelen önemli depremler	28
Çizelge 4.1 Kesit özellikleri.....	33
Çizelge 4.2 Yer hareketi istasyonuna ait zemin profili	38
Çizelge 4.3 Kuzey kule için oluşturulan zemin profili.....	43
Çizelge 4.4 Güney kule için oluşturulan zemin profili	44
Çizelge 4.5 Güney ankraj için oluşturulan zemin profili	46
Çizelge 5.1 Köprünün hesaplanmış olan modal titreşim frekansları	56

**SİSMİK ZEMİN BÜYÜTMELERİNİN İZMİT KÖRFEZ GEÇİŞİ
OSMAN GAZİ ASMA KÖPRÜSÜ'NÜN DİNAMİK DAVRANIŞINA
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Metin KARSLIOĞLU

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Abdurrahman ŞAHİN

Bu tez çalışmasında mesnetlerinde farklı yer hareketi ve üniform yer hareketi etkisi altında asma köprülerin dinamik davranışı incelenmiştir. Bu doğrultuda İzmit Körfez Geçişi Asma Köprüsü model olarak seçilmiştir. Köprü konumu itibariyle sismik aktiviteler açısından çok aktif bir bölge üzerinde bulunmaktadır. 1999 yılında meydana gelen 7.4 büyüklüğündeki depreme neden olan Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın köprüye çok yakın bir konumda yer alması bu durumun önemini daha da arttırmaktadır. Köprünün 3 boyutlu sayısal modeli SAP2000 programında oluşturulmuş ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılarak yapının sismik davranışı incelenmiştir. Yer hareketi modeli oluşturulurken, köprünün her bir mesnetinde yerel zemin koşullarının meydana getireceği etkiler göz önünde bulundurulmuştur. Bir boyutlu zemin tepki analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak üniform ve üniform olmayan yer hareketi altında köprüde meydana gelen etkiler karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Asma köprüler, İzmit Körfez Geçişi Osman Gazi Asma Köprüsü, zemin tepki analizi, dinamik analiz

ABSTRACT

INVESTIGATION OF SEISMIC SITE AMPLIFICATION EFFECTS ON DYNAMIC BEHAVIOUR OF OSMAN GAZI SUSPENSION BRIDGE

Metin KARSLIOĞLU

Department of Civil Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Abdurrahman ŞAHİN

This study examines dynamic behavior of the suspension bridges under multiple-support seismic excitations. In this direction, İzmit Bay Bridge has been selected for case study which is on high seismicity region. In addition to that, being close to the North Anatolian Fault, where 1999 İzmit Earthquake of magnitude 7.4 occurred along, enhances the importance of İzmit Bay Bridge selection, particularly. The 3D finite element model of bridge is generated through SAP2000 analysis program and seismic behaviour of the bridge is evaluated by means of nonlinear time history analysis. While modeling the ground motion, the response that is created by local soil conditions on each support is taken into consideration and one dimensional site response analyses are performed. As a result of multiple-support seismic excitations and uniform ground motion analysis, displacements and forces at critical points of the bridge are investigated.

Keywords: Suspension bridges, İzmit Bay Osman Gazi Suspension Bridge, site response analysis, dynamic analysis

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

1.1 Literatür Özeti

Abdel-Ghaffar ve Rubin [1] 1983 yılında yaptıkları çalışmada, mesnetlerinden farklı yer hareketi altında asma köprülerin yanal doğrultudaki davranışını araştırmışlardır. Frekans etki alanında rastgele titreşim yaklaşımı kullanılarak yalnızca yer hareketlerindeki farklılıklar değil çeşitli yer hareketleri arasındaki korelasyon etkilerini de dikkate almışlardır. Analizlerde Golden Gate Asma Köprüsü'nü ve yer hareketi olarak 1979 Imperial Valley depremine ait kayıtları kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, köprü gibi uzun açıklıklı yapılarda tüm açıklık boyunca üniform yer hareketi etkilmesinin, oluşabilecek tüm koşulları yansıtması açısından yeterli olmadığını vurgulamışlardır.

Abdel-Ghaffar ve Rubin [2],[3] 1983 yılında asma köprülerin doğrusal olmayan analizleri konusunda teori ve uygulama içeren çalışmalar yapmışlardır. Doğrusal olmayan titreşim analizleri için Amerika'da bulunan Golden Gate ve Vincent Thomas köprülerini kullanmışlardır. Bu iki köprüyü uzun ve kısa açıklıklı köprülerin titreşimlerini temsil etmesi amacıyla seçmişlerdir. Her bir köprü için ilk 6 mod şekli verilmiştir.

Brownjohn vd. [4] 1987 yılında yaptıkları çalışmada Humber Köprüsü'nün yanal ve burulma karakteristiklerini göstermek amacıyla rüzgar ve trafik yüklemeleri sonucu oluşan titreşim ölçümlerini incelemişlerdir. Deneysel olarak elde edilen doğal titreşim frekanslarını ve mod şekillerini teorik sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Teorik modelin deney yöntemi ve veri analiz teknikleri açıklanmıştır.

Rassem vd. [5] 1996 yılında yaptıkları çalışmalarında, İngiltere'de bulunan Humber Asma Köprüsü'nün mesnetlerinden farklı yer hareketi etkisi altındaki dinamik

davranışını incelemişlerdir. Bu amaç doğrultusunda, alüvyonlu olduğu varsayılan bir arazi üzerinde, serbest yüzey hareketlerini hesaplanmış ve köprünün mesnetlerine etkilmiştir. Ayrıca zemin sınıfı olarak, yumuşak ve sert olmak üzere iki zemin sınıfı dikkate alınmıştır. Sonuç olarak asma köprülerin dinamik davranışında mesnetlerinden farklı yer hareketi uygulamasının, zemin durumu ve topografik özelliklerin mesnet hareketleri üzerinde fark edilir bir etki yarattığı durumdaki önemi vurgulanmıştır. Ayrıca köprüler üzerinde yer hareketlerinin etkisinin daha gerçekçi bir şekilde değerlendirilmesi için zemin sınıfı, arazi topografisi ve köprü mesnetlerinin arazi üzerindeki konumunun göz önünde bulundurulması gerektiğini belirtmişlerdir.

Monti vd. [6] 1996 yılında mesnetlerinden farklı yer hareketlerine bağlı olarak asma köprülerin doğrusal olmayan davranışlarını incelemişlerdir. Bu çalışmada köprülerde elastik olmayan davranışın incelenmesi ve dizayn için kuvvet azaltım katsayısı yaklaşımının geçerlilik kapsamı araştırılmıştır. Sonuç olarak mesnetlerinden farklı hareket altındaki uygulamalarda bu yaklaşımın uygun sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Eş zamanlı hareket için dizayn edilen ve eş zamanlı olmayan hareket için kontrol edilmiş olan köprüde, merkezdeki ayaklarda kuvvetler fazla çıkarken kenar ayaklara yakın kısımlarda ise tam tersi bir durum olduğu belirtilmiştir.

Harichandran vd. [7] çalışmalarında değişerek yayılan yer hareketi etkisi altında, analiz için seçmiş oldukları asma ve kemer köprülerin sabit ve süreksiz tepkilerini belirlemişlerdir. Üniiform ve üniiform olmayan yer hareketi için bulunan sonuçlar karşılaştırılmış ve köprü gibi uzun açıklıklı yapılarda üniiform yer hareketi kullanımının genellikle kabul edilebilir olmadığını belirtmişler ve süreksiz olan etkilerin asma köprüler için göz önünde bulundurulması gerektiğinden bahsetmişlerdir.

Adanur [8] Boğaziçi Köprüsü'nün lineer, geometrik olarak lineer olmayan, elastik zemin analogisi ile basitleştirilmiş ve zıt fazlı yer hareketi etkisi altında dinamik analizlerini gerçekleştirmiştir. Dinamik analizlerde mesnetlerinden farklı yer hareketi uygulamasında 1971 San Fernando depremi s16e bileşeni ve 1992 Erzincan depreminin doğu batı bileşenlerini kullanmıştır. Sonuç olarak Boğaziçi köprüsüne ait frekanslar ve her iki deprem kaydına ait kule ve tabliyedeki yer değiştirmeler ve kesit tesirlerine ait değişimler incelenmiştir.

Adanur vd. [9] çalışmalarında Boğaziçi Köprüsü'nün matematik modelini oluşturmuşlar ve elastik zemin analogisi yöntemi kullanılarak geometrik olarak lineer olmayan

analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Uygulama olarak Boğaziçi Köprüsü'nün seçilmesinde narin kuleli ve kutu kesitli bir köprü olmasının etkili olduğu belirtilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen kesit tesirleri, kuleler ve tabliyede oluşan yer değiştirme değerleri karşılaştırılmıştır.

Wang vd. [10] 1999 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada, zemin koşullarının asma köprülerin sismik davranışı üzerine olan etkisini araştırmışlardır. Uygulama olarak Jiangyin Yangtse River asma köprüsünü seçmişlerdir. Çalışma sonucunda zemin koşullarının asma köprülerin yapısal davranışında göz ardı edilemeyecek şekilde farklılıklar ortaya çıkardığı belirtilmiştir.

Dumanoğlu ve Soyluk [11] çalışmalarında Güney Kore'de inşa edilmiş olan Jindo Köprüsü'nün sonlu eleman modelini oluşturarak asinkronize, antisinkronize ve stokastik dinamik analizlerini yapmışlar ve sonuçları karşılaştırmalı olarak vermişlerdir. Sonuç olarak tabliye ve kulelerdeki kesit tesirleri, mod şekilleri karşılaştırılmış ve asinkronize yer hareketinin antisinkronize yer hareketine göre daha büyük değerler verdiği gözlemlenmiştir.

Dumanoğlu ve Adanur [12] çalışmalarında asma köprülerin sinkronize ve antisinkronize yer hareketi altındaki davranışını araştırmışlardır. Uygulama olarak Boğaziçi köprüsünün iki boyutlu sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Sonuç olarak yer değiştirmeler ve kesit tesirleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Adanur [13] mesnetlerinden farklı dinamik yüklemeler altında asma köprülerin geometrik olarak lineer olmayan davranışının deterministik ve stokastik analizi üzerine çalışmıştır. Çalışmasında Boğaziçi Köprüsü'nün analitik modelini oluşturmuş ve yer hareketi olarak 1971 yılında meydana gelen San Fernando depreminin s16e bileşeni ile 1992 yılında meydana gelen Erzincan depreminin doğu batı bileşeninin ilk 13.5 saniyelik kısmının ivme değerleri $2/3$ ile çarpılarak köprüye düşey doğrultuda uygulanmıştır. Stokastik analizlerde ise Clough ve Penzien tarafından filtre edilmiş beyaz gürültü modeli kullanılmıştır. Sonuç olarak asma köprülerde kablolarla çekme kuvvetinden dolayı toplam rijitliğinde meydana gelen artışın, hesaplanan yer değiştirme ve kuvvetleri azalttığı için geometrik olarak doğrusal olmayan analizin dikkate alınması gerektiğini bildirmiştir. Ayrıca asma köprü gibi uzun açıklıklı yapıların deterministik ve stokastik analizinde yer hareketinde oluşacak olan değişimlerin dikkate alınması gerektiğini belirtmiştir.

Apaydın [14] çalışmasında Fatih Sultan Mehmet ve Boğaziçi Köprüsü'nün deprem performanslarının değerlendirilmesi ve güçlendirme araştırmalarının sonuçlarını göstermiştir. İlk olarak köprülerin 3 boyutlu sonlu elemanlar modelini oluşturmuş ve serbest titreşim periyotlarını belirlemiştir. Performans değerlendirmesi için ise zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi, mesnetlerinden farklı yer hareketi altında gerçekleştirmiştir. Köprü üzerindeki kritik noktalarda deplasman ve gerilme değerlerini incelemiştir. Her iki köprü de, daha düşük bir deprem yükü için dizayn edilmesine karşın, analizler sonucunda başarılı bir performans göstermişlerdir.

Günaydın [15] çalışmasında asma köprülerin dinamik davranışında yapım aşamaları ve zamana bağlı malzeme özelliklerinin etkisini incelemiştir. Çalışma kapsamında Boğaziçi Köprüsü ve İngiltere'de bulunan Humber Köprüsü'nün 2 boyutlu sonlu elemanlar modelini SAP2000 programında oluşturmuştur. Modelde geometrik açıdan doğrusal olmayan davranış ve zamana bağlı malzeme özellikleri dikkate alınmıştır. Sonuç olarak her iki köprüye ait yapım aşamalı ve yapım aşamasız durumlara ait kule tabliye iç kuvvet değerleri ve deplasman değerleri verilmiştir.

Adanur vd. [16] Humber Köprüsü'nün yapım aşamaları ve zamana bağlı malzeme özelliklerini dikkate alarak dinamik analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Köprü'nün sonlu eleman modelini SAP2000 programında oluşturmuşlar ve analizlerde geometrik açıdan doğrusal olmayan davranışı dikkate almışlardır. Analizler sonucunda her bir yapım aşaması için tabliye orta noktasında ve kule tepe noktalarında deplasman değerleri elde edilmiş ve yapım aşamalarının dikkate alınmadığı durum ile karşılaştırılmıştır.

Günaydın vd. [17] çalışmalarında Fatih Sultan Mehmet Köprüsü'nü yapım aşamalarına bağlı dinamik analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Analizlerde malzeme bakımından zamana bağlı değişen özellikler kullanılmıştır. Köprüde malzeme olarak sadece çelik kullanıldığı için zamana bağlı malzeme değişimi olarak çeliğin gevşemesi dikkate alınmıştır. Yapım aşamalı ve yapım aşamasız olmak üzere iki adet analiz gerçekleştirilip sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Apaydın ve Kaya [18] Fatih Sultan Mehmet köprüsünde trafik olması ve trafik olmaması durumları için serbest titreşim analizleri gerçekleştirmiştir. Bunun için her iki duruma ait veriler yerinde yapılan ölçümler ile elde edilmiştir. Yapılan her bir ölçümde köprü'nün 5 farklı noktasından üç doğrultuda veriler elde edilmiştir. İvme kayıtlarından her bir ölçüm noktasında, yoğun trafik durumu, az trafik durumu ve trafiksiz durum için

üç doğrultuda hız ve deplasman değerleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak farklı trafik durumları için alınan ivme kayıtlarından görüldüğü üzere trafiksiz durumda diğer durumlardan daha küçük değerler elde edilmiştir. Yoğun ve az trafik olması durumlarında ise birbirlerine benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Apaydın vd. [19] Boğaziçi Köprüsü'nün yapı sağlığı izlemesi üzerine bilgiler vermiştir. Köprüde oluşabilecek aşırı bir yükleme durumunun öncesinde ve sonrasında veya yükleme anındaki davranışını belirlemek ve gerekli ölçümleri yapmak amacıyla bu sistemlerin kullanıldığı anlatılmıştır. Köprüde kullanılan sensörler ve lokasyonları hakkında bilgiler verilmiştir. Kule tepesi, tabliye ve temel seviyesinden kaydedilen ivme değerleri ile köprünün mod şekillerinin daha önce yapılmış olan analitik modellerle uyumlu sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Apaydın vd. [20] çalışmalarında Fatih Sultan Mehmet Köprüsü'nün deprem davranışını incelemişlerdir. Bu kapsamda köprünün üç boyutlu sonlu eleman modelini SAP2000 programında oluşturup mesnetlerinde farklı deprem yüklemesi uygulamışlardır. Yer hareketi olarak Marmara fayı üzerinde 7.5 büyüklüğünde bir deprem senaryosu altında zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak üniform yer hareketi ile mesnetlerinden farklı yer hareketi uygulamalarının sonuçları karşılaştırılmıştır.

Apaydın [21] çalışmasında Fatih Sultan Mehmet Köprüsü'nün dinamik parametrelerini belirlemek amacıyla GPS kullanarak deplasman ölçümlerini elde etmiştir. GPS alıcıları tabliyenin ortasına ve kule portal kirişlerinin orta noktansa sabitlenerek yerleştirilmiştir. Ölçümler bir hafta arayla herhangi bir hata olmaması için aynı gün ve saatte tekrarlanmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda kuleler ve tabliyelerin rölatif deplasmanları bulunmuştur. Bulunan değerler kullanılarak köprünün trafik yükleri altında doğal titreşim periyotları bulunmuştur. Ölçümlerden elde edilen dinamik parametreler analitik modellerden bulunan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Karmakar vd. [22] çalışmalarında Vincent Thomas Köprüsü'nün güçlendirme çalışmalarından sonraki deprem performansını incelemek amacıyla değişerek yayılan yer hareketi altında dinamik analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Bu doğrultuda köprünün üç boyutlu sonlu elemanlar modelini SAP2000 programında oluşturmuşlardır. Çalışma sonucunda tabliye üzerindeki bazı noktalardaki tepkinin gözlemlenmesi amaçlanmıştır.

Günaydın vd. [23] Boğaziçi Asma Köprüsü'nün yapım aşamaları ve farklı zemin durumları altındaki yapısal davranışını incelemişlerdir. Köprünün sonlu eleman modeli SAP2000 programında zamana bağlı malzeme parametreleri de dikkate alınarak modellenmiştir. Yapım aşamalı ve aşamasız analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Zemin etkileşimi açısından ise sert orta ve yumuşak zemin sınıfı olmak üzere 3 zemin sınıfı dikkate almışlar ve 4 model oluşturmuşlardır. Analizler sonucunda yapım aşamalarının ve farklı zemin durumlarının asma köprülerin yapısal davranışı üzerinde etkisinin göz önünde bulundurulması gerektiği belirtilmiştir.

Soyluk vd. [24] tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada, yaklaşık olarak aynı açıklığa sahip olan kablo askılı köprü ile asma köprü arasında, üniform ve değişerek yayılan yer hareketi altındaki dinamik davranışların karşılaştırmalı olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Sayısal uygulamalarda kablo askılı model için Japonya'da bulunan Tataka Köprüsü ve asma köprü modeli için ise Fatih Sultan Mehmet Köprüsü seçilmiştir. Üç boyutlu sonlu eleman modelleri oluşturulan köprülere uygulanan analizler sonucunda, kablo askılı köprülerin asma köprülere göre üniform deprem hareketi altında daha hassas sonuçlar verdiği gözlemlenirken, mesnetlerinden farklı deprem hareketinde ise asma köprünün kablo askılı köprüye göre daha hassas sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Atabey [25] 2011 yılında yapmış olduğu tez çalışmasında, lifli polimer malzemeden yapılmış bir asma köprü üzerinde statik ve dinamik analizler gerçekleştirmiştir. Uygulama için Boğaziçi Köprüsü seçilmiştir. Statik analizlerde köprü kendi ağırlığı altında doğrusal olmayan etkiler göz önünde bulundurularak analiz edilirken dinamik analizinde de 1999 Kocaeli depremine ait bir ivme kaydı yer hareketi olarak uygulanmıştır. Köprünün çelik ve lifli polimer malzeme ile elde edilen sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Analizler sonucunda lifli polimer malzemelerin mekanik performans bakımından asma köprülerde kullanılması uygun görülmüştür.

Sıcacık [26] 2011 yılında yapmış olduğu tez çalışmasında, Jindo Köprüsü'nün dinamik davranışını yapı-zemin etkileşimi ve yer hareketindeki değişim etkileri açısından belirlemeye çalışmıştır. Yer hareketi değişim bileşenlerinden korelasyon, dalga yayılma ve zemin etkisi ile bunların birlikte dikkate alındığı durumlar için farklı yer hareketleri oluşturulmuş ve yapı zemin etkileşiminin dikkate alındığı ve ihmal edildiği iki sonlu eleman modeli üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda köprü gibi

uzun açıklıklı yapılarda yapı zemin etkileşimi ve yer hareketindeki değişimlerin köprünün yapısal davranışını önemli ölçüde etkilediği ve dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir.

Zengin [27] 2008 yılında gerçekleştirdiği çalışmasında İzmit Körfezi'nde yapılması düşünülen gergili ve asma kablolu uzun açıklıklı bir köprüyü ele almıştır. Köprünün davranışını belirlemek için AASHTO-LRFD yönetmeliğinde belirtilen servis yükleri ve aşırı yükleme durumları altında statik ve dinamik analizler gerçekleştirmiştir. Analizler sonucunda yapının tepkisi belirlenmiştir. Bu çalışmada yapılan modelleme ve kabuller için Boğaziçi asma köprüsü bir ön çalışma olarak yapılmış ve sonuçlar daha önceki çalışmalar ile karşılaştırarak modellerinin doğruluğunu onaylamıştır. SAP2000 programında 3 boyutlu sonlu eleman modelini oluşturduğu hibrit asma köprünün mod şekillerini, deprem etkisi altındaki davranışını ve diğer yükleme durumlarına ait sonuçlarını irdelenmiştir.

Argentini vd. [28] 2013 yılında yaptıkları çalışmada İzmit Körfez Geçişi Asma Köprüsü'nün aeroelastik stabilitesinin deneysel ve nümerik analizlerini yapmışlardır. Rüzgar tüneli testini 1/220 ölçekli köprü modeli üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Köprünün ölçekli modelini kullanarak tabliyenin farklı rüzgâr hızlarına gösterdiği tepkileri belirlemişlerdir ve aerodinamik niteliklerini saptamışlardır.

Diana vd. [29] 2013 yılında yaptıkları çalışmada İzmit Körfez Geçişi Asma Köprüsü'nün üç farklı yapım aşamasını ve tamamlanmış durumunu dikkate alarak 1/220 ölçekteki deneysel modellerde gerçekleştirilen analizleri karşılaştırmalı olarak vermişlerdir. Her bir yapım aşamasına ait mod şekillerini bulmuşlardır. Rüzgar tüneli testleri pürüzsüz ve türbülanslı akım koşulları altında gerçekleştirilmiş ve aeroelastik stabilite ve titreşim davranışı incelenmiştir. Rüzgar tüneli testlerinin sonucunda orta açıklıktaki yanal ötelenme ve eğilme momenti değerlerini belirlemişlerdir.

Zhang vd. [30] 2013 yılındaki çalışmalarında, İzmit Körfez Geçişi Asma Köprüsü için doğrusal olmayan ve eşdeğer doğrusal zemin tepkisi analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Zemin davranışının kapsamlı bir şekilde incelendiği çalışmada bir ve iki boyutlu doğrusal olmayan analiz yönteminin kombinasyonları ve bir boyutlu eşdeğer doğrusal yöntem kullanılarak elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Kuzey ve güney kule için FLAC ve SHAKE programlarını kullanarak analizleri gerçekleştirmişlerdir.

Lyngs vd. [31] 2013 yılındaki çalışmalarında, İzmit Körfez Geçişi Asma Köprüsü'nün yapı-zemin etkileşimi altında sismik analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Bu amaçla yatay ve dikey doğrultuda zemin etkileşimini temsil edecek şekilde çeşitli yapısal elemanlar ile zemini ve yapıyı modelleyip, çakıl dolgu ve toprakaltı betonarme kısımların nasıl davrandığını incelemişlerdir.

Diana vd. [32] tarafından 2014 yılında yapılan çalışmada, rüzgar etkisi altında İzmit Körfezi Köprüsü'nün aeroelastik yanıtının sayısal ve deneysel karşılaştırması sunulmuştur. Rüzgar tüneli testleri, 1/220 ölçekli aeroelastik model üzerinde yapılmıştır. Servis ve yapım aşamasında yapının aeroelastik kararlılığı ve rüzgar etkisi altındaki tepkisi pürüzsüz ve türbülanslı akış koşullarında araştırılmıştır. Deneysel sonuçlar lineer aerodinamik kuvvet modeli kullanılarak elde edilen nümerik simülasyonların çıktıları ile karşılaştırılmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında sismik zemin büyütmelerinin, İzmit körfezinde inşa edilecek olan İzmit Körfez Geçişi Osman Gazi Asma Köprüsü'nün dinamik davranışı üzerine olan etkilerinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Özellikle büyük açıklıklı köprülerde deprem etkisinin, köprünün tüm mesnet noktalarında üniform alınmasının uygun olmadığı, literatürde sunulan çalışmalardan net olarak anlaşılmaktadır. Bununla beraber, köprünün mesnet noktalarına uygulanacak olan yer hareketlerinin elde edilmesinde, o bölgeye yakın istasyonlardan alınan deprem kayıtlarının kullanılması ve bu kayıtların istasyon zemin profiline bağlı olarak anakayaya taşınması, buradan da her bir mesnet noktasının zemin profiline bağlı olarak zemin büyütme analizi ile mesnetlere taşınması sonucunda, deterministik ve sayısal modellemeye dayalı analizlerin yapılması amaçlanmaktadır.

Birinci bölümde, konu ile ilgili, literatürde bulunan çalışmalara yer verilmiştir.

İkinci bölümde, asma köprüler ve yapısal elemanları hakkında genel bilgilere yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde, tez çalışmasına konu olacak İstanbul-İzmir otoyolu projesi ve İzmit Körfez Geçişi Osman Gazi Asma Köprüsü projesi hakkında bilgilere yer verilmiştir. Marmara bölgesinin depremselliğinden ve köprü çevresinde olası bir yer hareketini oluşturması muhtemel olan Kuzey Anadolu Fay Hattı hakkında bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde, analizlerde kullanılacak olan nümerik modelin SAP2000 v14.1 programında oluşturulması anlatılmıştır. İvme kayıtlarının alındığı istasyonlar ile köprüye ait gerekli zemin bilgileri verilmiş ve analizlerde kullanılacak olan yer hareketlerinin nasıl elde edildiği açıklanmıştır.

Beşinci bölümde, üniform ve üniform olmayan yer hareketi altındaki analizlerin sonuçları irdelenmiştir. Modal analiz sonucunda elde edilen sonuçlar literatürde yer alan sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Altıncı bölümde, yapılan analizler doğrultusunda bulunan sonuçlar ve önerilere yer verilmiştir.

1.3 Hipotez

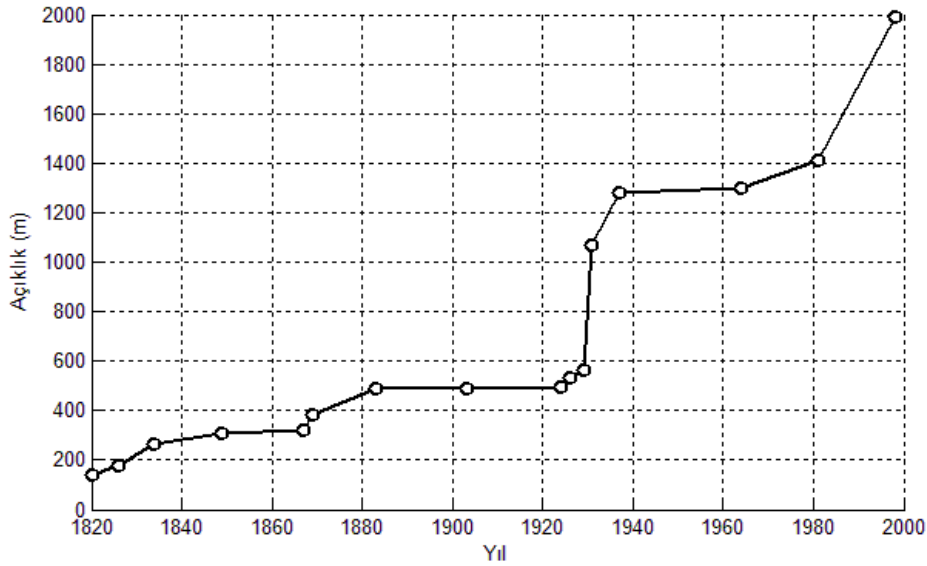
Marmara bölgesi gibi sismik aktivite açısından oldukça hareketli olan bir bölgede yapılacak olan yapılarda dinamik analizlerin ayrıntılı bir şekilde ele alınması gerekmektedir. Yapı sistemlerine etkileyen dinamik yüklemeleri üniform ve üniform olmayan yüklemeler olarak ikiye ayırabiliriz. Üniform yer hareketinde deprem dalgalarının sonsuz hızla yayıldığı, yapının mesnetlerine aynı anda ulaştığı ve karakteristik özelliklerinde bir değişim olmadığı kabul edilmektedir. Asma köprü gibi uzun mesafelerin geçildiği yapı sistemlerinde yer hareketi olarak üniform bir yüklemeye uygulamak gerçekte oluşan davranışı tam olarak sergileyemeyecektir. Yerel zemin koşullarının ve mesnetler arasındaki mesafeye bağlı olarak yer hareketi üniform özelliklerden uzaklaşmaktadır ve böylelikle yapının bütün mesnetlerinde aynı deprem etkisi görülmemektedir. Bu nedenle bu tez kapsamında üniform ve üniform olmayan yer hareketi altında köprünün davranışı karşılaştırmalı olarak incelenecektir. Üniform olmayan yer hareketleri olarak da, bölgeye en yakın istasyondan alınan kayıtların anakayaya taşınması ve buradan da mesnet noktalarına zemin profillerine bağlı olarak sismik zemin büyütme analizlerinin yapılması sonucunda elde edilerek, köprüye etki ettirilmesinin uygun olduğu düşünülmektedir.

ASMA KÖPRÜLER HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Asma köprülerin ilk uygulamalarında kule veya destek amacıyla ağaç gövdelerinin, taşıyıcı kablo amacıyla ise çeşitli bitki ve ağaçlara ait dayanıklı dallar veya halat, zincir gibi diğer ilkel malzemelerin kullanıldığı görülmektedir. Modern anlamda olan asma köprüler ise yaklaşık olarak 19. yüzyılın başlarından itibaren inşa edilmeye başlanmıştır. Asma köprülerin ilkel örneklerinden günümüze kadar olan örneklerinde, ana açıklıkları 20 metreden 2000 metre mesafelere kadar ulaşmıştır (Çizelge 2.1). Bu gelişim sürecinde, malzeme teknolojisinde çeliğin işlenebilir hale gelmesi ve yüksek dayanımlı çelik, beton ve kabloların üretilmesi ve kullanılması, yapı davranışının daha iyi anlaşılıp yorumlanması, analiz yöntemlerindeki gelişmeler, özellikle kabloya ait doğrusal olmayan davranışın ve rijitlik hesaplamalarının doğru bir şekilde elde edilmesi, bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle kısa sürede daha detaylı analizler yapılması, yapım teknolojisindeki gelişmeler ile daha hızlı ve ekonomik bir şekilde inşa edilmesi ve zamanla gelişen laboratuvar olanaklarıyla dinamik yükler altındaki davranışın daha detaylı olarak incelenebilmesi gibi nedenlerin etkisi son derece önemlidir. Bu önemli gelişmelerle birlikte asma köprülerin açıklık mesafeleri günümüze kadar hızlı bir şekilde artmaya devam etmiştir (Şekil 2.1).

Çizelge 2.1 Asma köprü açıklıklarının tarihsel gelişimi [33]

Köprü	Ülke	Yıl	Ana açıklık(m)
Union	İngiltere	1820	140
Menai	İngiltere	1826	176
Fribourg	Fransa	1834	266
Wheeling	Amerika	1849	308
Cincinnati	Amerika	1867	322
Clifton (Niagara Falls)	Amerika	1869	386
Brooklyn	Amerika	1883	486
Williamsburg	Amerika	1903	489.5
Bear Mountain	Amerika	1924	497
Delaware River	Amerika	1926	533
Ambassador	Amerika	1929	564
George Washington	Amerika	1931	1067
Golden Gate	Amerika	1937	1280
Verrazano Narrows	Amerika	1964	1298
Humber	İngiltere	1981	1410
Akashi Kaikyo	Japonya	1998	1991



Şekil 2.1 Asma köprü açıklıklarının tarihsel gelişimi [33]

Asma köprülerin modern anlamdaki ilk örneğinin James Finley'nin tasarlamış olduğu Jacobs Creek Köprüsü olduğu kabul edilmektedir. Yapımı 1801 yılında tamamlanmış olan Jacobs Creek Köprüsü 21 metre açıklığındaydı ve tabliye ile ana kablo arasındaki bağlantı düşey demir zincir halatlar ile sağlanmıştı ve bu köprü günümüzdeki asma köprü dizaynı ve ana elemanları için ilk örneği teşkil etmekteydi. Kullanmakta olduğumuz tel kablunun mucidi olan John A. Roebling ise gerçek anlamdaki çelik kablo eleman ile Brooklyn Köprüsü'nü tasarlamıştır. 1883 yılında yapımı tamamlanmış olan

Brooklyn Köprüsü 486 metre açıklığı ve 26 metre genişliğindeki tabliyesi ile modern asma köprülerin başlangıç noktası sayılmaktadır.

Günümüzde en uzun açıklığa sahip asma köprü 1991 metre ile 1998 yılında yapımı tamamlanmış olan Japonya'daki Akashi Kaikyo Köprüsü'dür (Şekil 2.2). Çizelge 2.2'de günümüzdeki en uzun açıklığa sahip köprüler verilmiştir.



Şekil 2.2 Akashi Kaikyo Köprüsü [34]

Çizelge 2.2 Ana açıklıklarına göre en uzun asma köprüler

Köprü	Açıklık	Ülke	Açılış Tarihi
Akashi Kaikyo	1991	Japonya	1998
Xihoumen	1650	Çin	2009
Great Belt	1624	Danimarka	1998
İzmit Körfez Geçişi	1550	Türkiye	2016
Yi Sun-sin	1545	Güney Kore	2012
Runyang	1490	Çin	2005
Nanjing Fourth Yangtze	1418	Çin	2012
Humber Bridge	1410	İngiltere	1981
Jiangyin	1385	Çin	1999
Tsing Ma	1377	Hong Kong	1997

2.1 Asma Köprülerin Yapısal Elemanları

Asma köprü yapısal elemanları 4 ana başlık altında aşağıdaki gibi verilebilir.

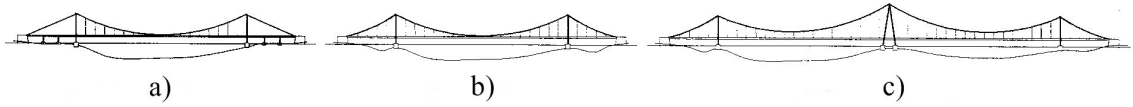
- Tabliye (rijitlik kirişi)
- Ana kablo ve askı halatları
- Kule
- Ankraj blokları

2.1.1 Asma Köprü Tipleri

Asma köprüler açıklık sayısına, tabliye mesnetlenme koşuluna, askı halatlarının tipine ve ana kablo mesnetlenme koşuluna göre çeşitli sınıflara ayırmak mümkündür [35].

2.1.1.1 Açıklık Sayısı

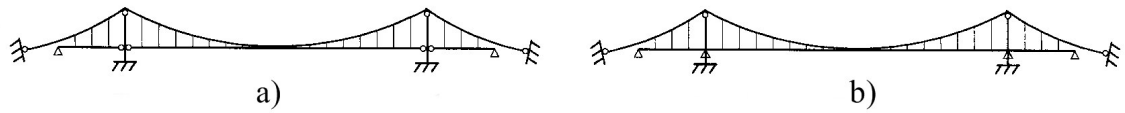
Asma köprüler Şekil 2.3'te görüldüğü gibi tek açıklıklı (a) , iki açıklıklı ya da üç açıklıklı-iki kuleli (b) veya üç veya daha fazla kuleye sahip olup çok açıklıklı (c) olarak sınıflandırılabilir. Bunlardan üç açıklıklı köprü tipi en çok kullanılan tiptir [35].



Şekil 2.3 Köprü açıklık tipleri [35]

2.1.1.2 Rijitlik Kirişinin Mesnetlenme Durumu

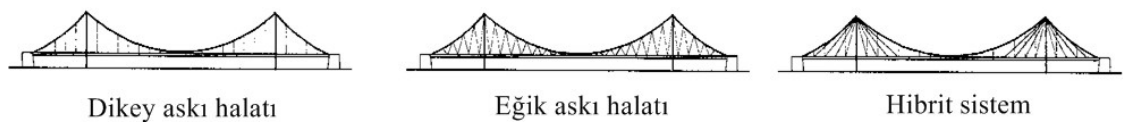
Asma köprüler rijitlik kirişinin kule ile mesnetlenme durumuna göre mafsallı veya sürekli olmak üzere iki sınıfa ayrılabilirler. Şekil 2.4'te rijitlik kirişi mesnetlenme durumları gösterilmektedir.



Şekil 2.4 Rijitlik kirişi süreklilik tipleri [35]

2.1.1.3 Askı Halatı Tipleri

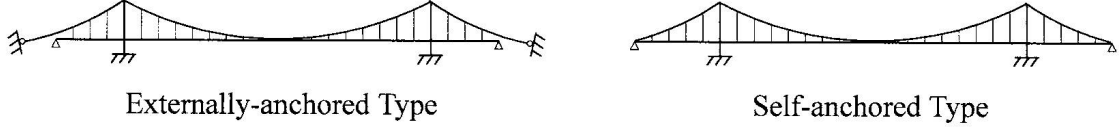
Askı halatları Şekil 2.5'te görüldüğü gibi dikey, çapraz, asma ve kablo askılı hibrit bir sistem olmak üzere üç sınıfa ayrılabiliriz [35].



Şekil 2.5 Askı halatı tipleri [35]

2.1.1.4 Ana Kablo Ankre Edilme Durumu

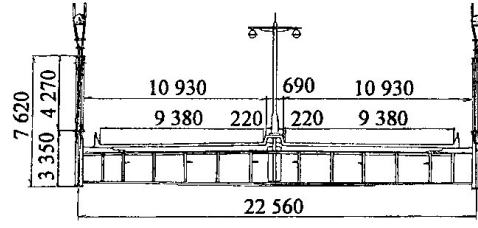
Ana kabloların temel bloklarına ankre edilmesi (earth anchored) veya yatay kuvvetlerin rijitlik kirişi tarafından basınç kuvveti olarak karşılandığı (self-anchored) durum olmak üzere ikiye ayrılır (Şekil 2.6) [35].



Şekil 2.6 Ana kablo ankraj tipleri [35]

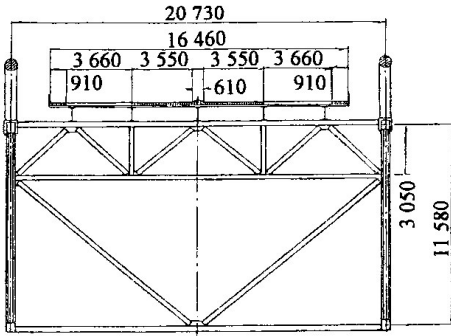
2.1.2 Tabliye (Rijitlik Kirişi)

Tabliyeler, üzerindeki hareketli ve zati yükleri askı halatları aracılığıyla ana taşıyıcı olan ana kabloya iletirler. Tabliyeler genel olarak kafes, kutu veya I şeklinde kesitlere sahiptirler. Uzun açıklıklı köprülerde aerodinamik stabiliteyi sağlaması açısından kafes ve kutu kesitler tercih edilir. Tabliyeler, betonarme, çelik veya kompozit malzemelerden üretilebilir. Daha hafif ve ekonomik olması açısından köprülerde genellikle çelik kesitli tabliyeler tercih edilmektedir. Şekil 2.7, 2.8 ve 2.9'da örnek bir tabliye kesiti ve uygulama örnekleri görülmektedir.



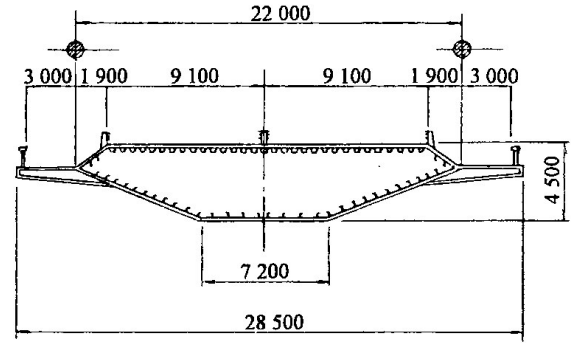
(a)

I-kiriş kesit
(Bronx-Whitestone)



(b)

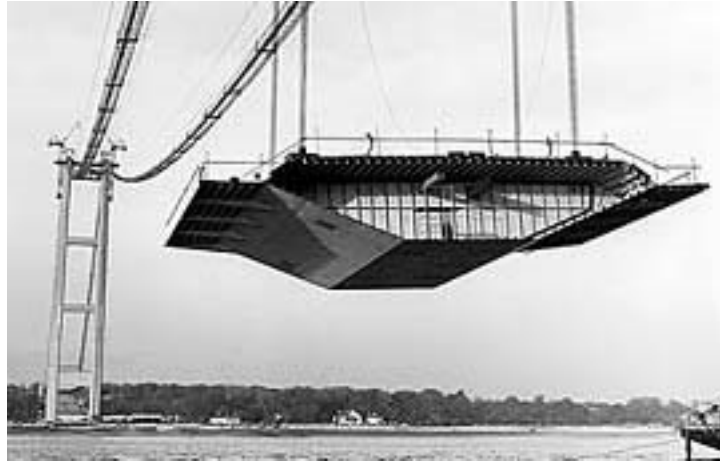
Kafes
(Mackinac Straits)



(c)

Kutu
(Humber)

Şekil 2.7 Tabliye kesiti örnekleri [35]



Şekil 2.8 Humber asma köprüsünün tabliyesi [36]



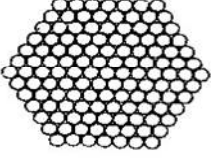
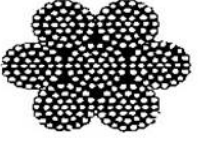
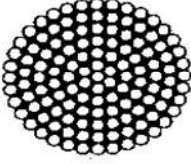
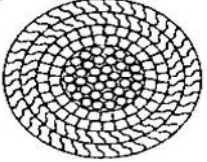
Şekil 2.9 Mackinac Straits köprüsünün tabliyesi [37]

2.1.3 Ana Kablo ve Askı Halatları

Asma köprülerde temel taşıyıcı eleman ana kablodur. Askı halatları aracılığıyla tabliyeden gelen yükleri kule ve ankraj temelleri vasıtasıyla zemine iletirler. Askı halatları ise tabliye ile ana kabloyu birbirine bağlar ve tabliyeden gelen yükün ana kabloya aktarılmasını sağlar. Askı halatları düşey, eğik ve düşey eğik birlikte hibrit olarak üç şekilde kullanılabilir. Normal yapı çeliğine göre daha yüksek akma ve kopma dayanımına sahip çelikten üretilirler. Asma köprülerde kullanılan bu kabloların korozyon ve dış koşulların etkisinden korunması gerekmektedir. Bunun için galvanizleme, çeşitli polietilen esaslı kimyasallar ile dış yüzeylerinin kaplanması veya nem oranını kontrol amacıyla halatlar içerisine kuru hava verilmesi kabloların dış etkenlerden korunması için yapılan yöntemlerdir. Asma köprü uygulamalarında genel anlamda kullanılan 4 tip kablo vardır.

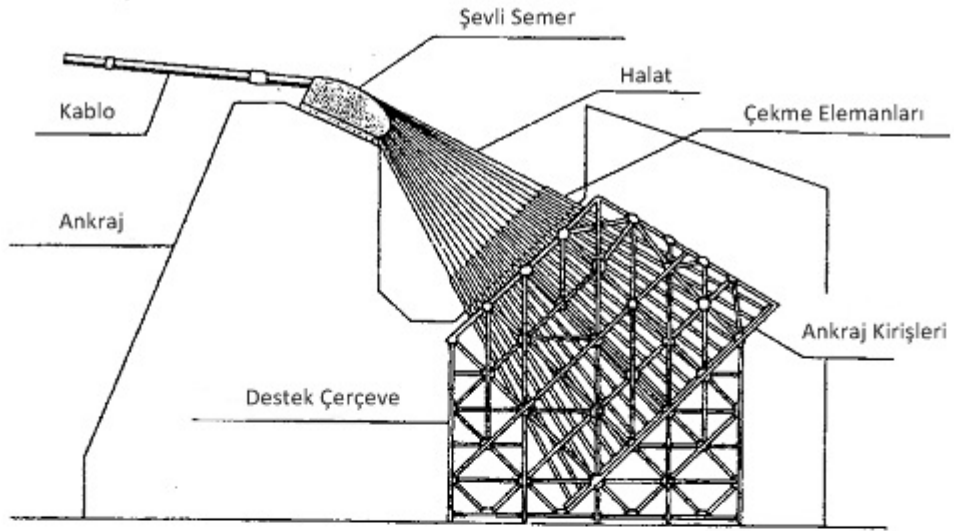
- Paralel tekil kablolar
- Demetlenmiş kablolar
- Spiral kablolar
- Kilit sargılı kablolar

Çizelge 2.3 Köprülerde kullanılan kablo tipleri [35]

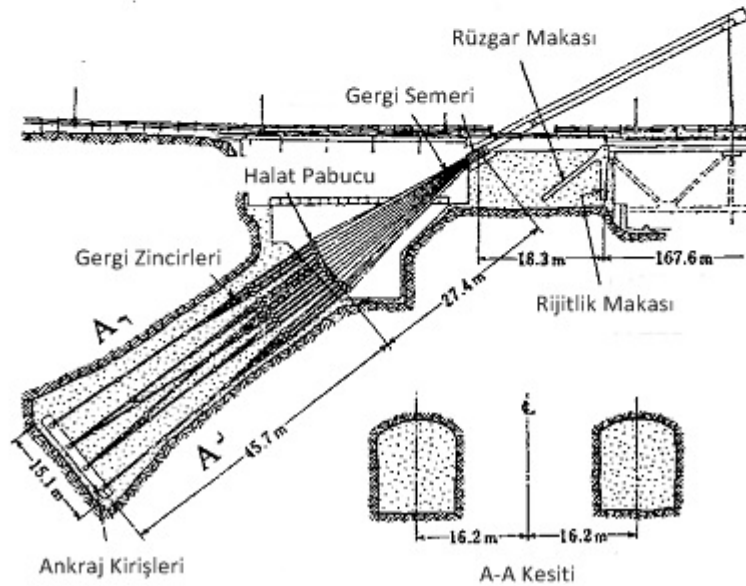
Kablo Tipi	Kesit Şekli	Kullanılan Köprüler
Paralel Tekil Kablolar		Brooklyn Humber Great Belt East Akashi Kaikyo
Demetlenmiş Kablolar		St.Johns
Spiral Kablolar		Little Belt Tancarville Wakato
Kilit Sargılı Kablolar		Kvalsund Emmerich Alsborg New Köln Rodenkirchen

2.1.4 Ankraj Blokları

Ankraj blokları, ana taşıyıcı kablodaki çekme kuvvetini alarak güvenle zemine iletmekle görevlidirler. Ankraj blokları Şekil 2.10’da görüldüğü gibi ağırlık ve tünel ankrajı olmak üzere iki sınıfa ayrılabilirler. Ağırlık ankrajı ana kablodaki çekme kuvvetini kendi ağırlığı ile dengeler. Tünel ankrajı ise ana kablodaki çekme kuvvetini alıp direkt olarak zemine iletir.



(a)



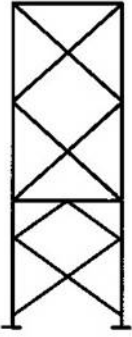
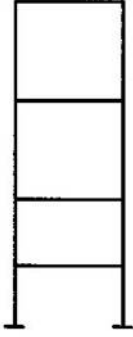
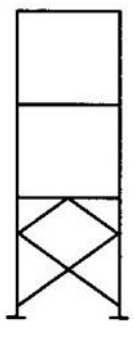
(b)

Şekil 2.10 (a) ağırlık tipi; (b) tünel tipi ankraj bloğu [35]

2.1.5 Kuleler

Kuleler, tabliye ve ana kablodan gelen yükleri alarak zemine güvenli bir şekilde aktarılmasını sağlayan yapılardır. Ana kablo üzerindeki yüksek çekme kuvvetinin oluşturacağı basınç kuvveti etkisi altındadırlar ve bu basınç kuvvetinin etkisiyle oluşabilecek burkulma durumu kule açısından kritik öneme sahiptir. Ayrıca kuleler rüzgar ve deprem etkilerine de maruz kalmaktadır. Bu nedenle kulelerin yapımında

daha çok kutu kesitler kullanılarak burkulmaya karşı güvenilir bir yapı oluşturmaya çalışılmaktadır. Kulelerde yanal rijitlik ve stabilite sağlaması açısından enleme kirişleri veya çaprazlar kullanılmaktadır. Özellikle enine kirişler, yatay yöndeki deprem ve rüzgar etkilerine karşı yapının rijitliğini arttırmakta ve stabilitesini sağlamaktadır. Şekil 2.11’de asma köprülerde kullanılan kule tiplerine ait örnekler görülmektedir [35].

	Çapraz	Portal	Çapraz ve Portal
Kule kesiti			
Kullanılan Köprüler	Akashi Kaikyo Forth Road	Great Belt East Humber	Golden Gate Second Tacoma Narrows

Şekil 2.11 Asma köprü kule tipleri [35]

PROJE VE KÖPRÜ HAKKINDA BİLGİLER

3.1 Proje ve İzmit Körfez Geçişi Asma Köprüsü Hakkında Genel Bilgiler

İzmit körfezi üzerinde inşa edilen köprü 2682 m toplam uzunluğa ve 1550 m ana açıklığa sahip olarak dünyanın 4. büyük asma köprüsüdür ve Türkiye'nin en büyük şehri olan İstanbul ile üçüncü büyük şehri olan İzmir'i birbirine bağlayacak olan otoyolun bir parçası olarak hizmet vermektedir. Projenin başlangıç noktası Gebze olup, yapılacak otoyol Dilovası ile Hersek burnu arasında yer alan İzmit körfezini, uzunluğu yaklaşık 3 km olan asma köprü ve her iki taraftaki viyadükler ile geçerek Orhangazi ve Gemlik yakınlarından devam edip Ovaakça kavşağı ile Bursa Çevre yoluna bağlanmaktadır. Şekil 3.1'de projenin güzergahı görülmektedir [38].



Şekil 3.1 Proje güzergahı [38]

Proje, aşamalı yapım doğrultusunda 2 faz şeklinde inşaa edilmiştir. 1. Faz Gebze ile İznik Güney Kavşağı'na kadar olan kuzey kısmı ve asma köprüyü kapsarken, 2. Faz İznik Güney Kavşağı ile İzmir arası kalan yaklaşık 362 km'lik kısmı kapsamaktadır [38].

3.2 Proje ile Beklenen Gelişmeler

Otoyulun, Şekil 3.2'de görülen mevcut devlet yoluna göre mesafeyi 140 km. kısaltarak 8-10 saatlik ulaşım süresini 3.5-4 saate indirerek yılda yaklaşık 870 milyon TL tasarruf sağlayacağı düşünülmektedir [39].



Şekil 3.2 Mevcut devlet yolu [39]

Bu proje ile İstanbul-Bursa ulaşımı 2.5-3 saatten 1 saate düşecekken Şekil 3.3'te görülen körfez geçişi de yaklaşık olarak 6 dakikaya düşecektir [39].



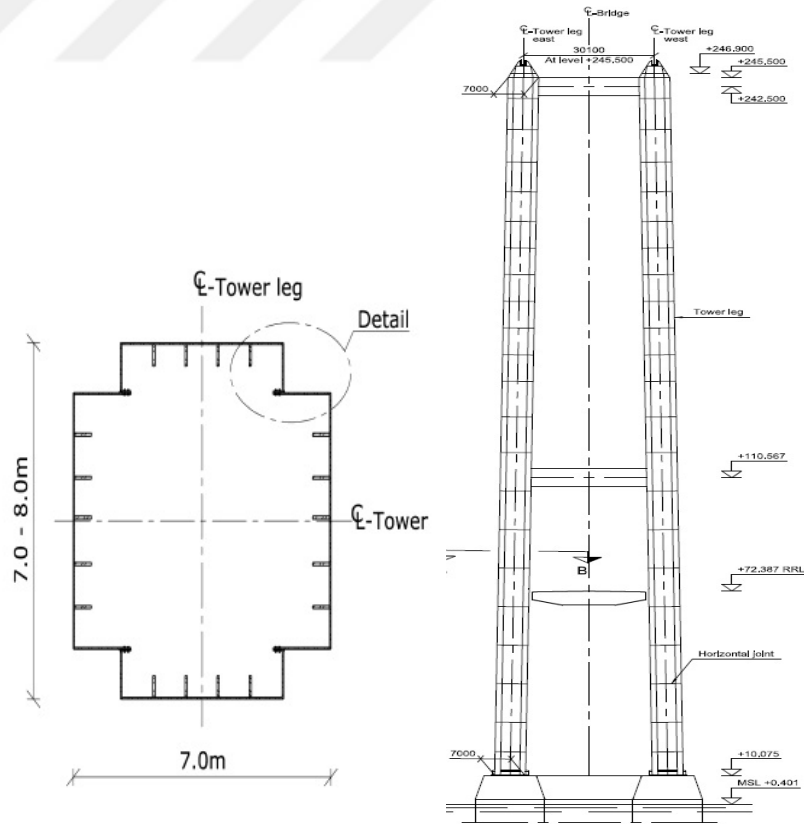
Şekil 3.3 Köprü'nün inşasından sonra kısaltılmış olan güzergah [39]



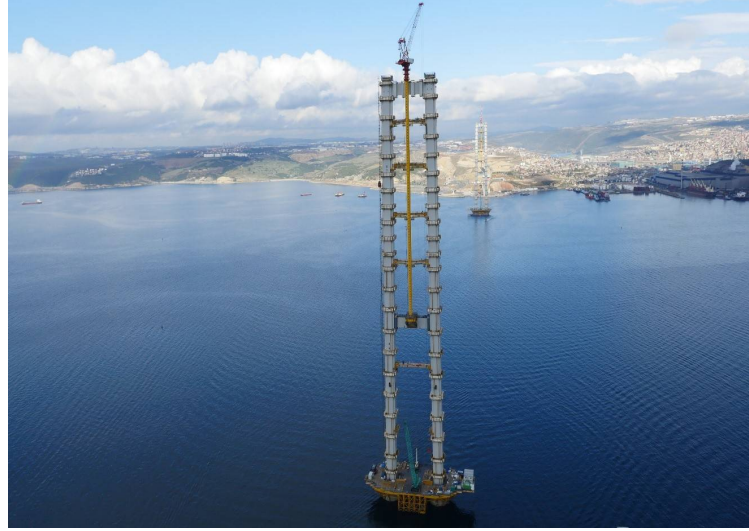
Şekil 3.6 Tabliye segmentlerinden bir örnek [41]

3.3.2 Kule

241 m yüksekliğinde olan çelik kuleler, birbirine iki adet enleme kirişle bağlanmış ikişer ayaktan oluşmaktadır. Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de kule kesiti ve inşa aşamasına ait bir görünümü verilmiştir [40].



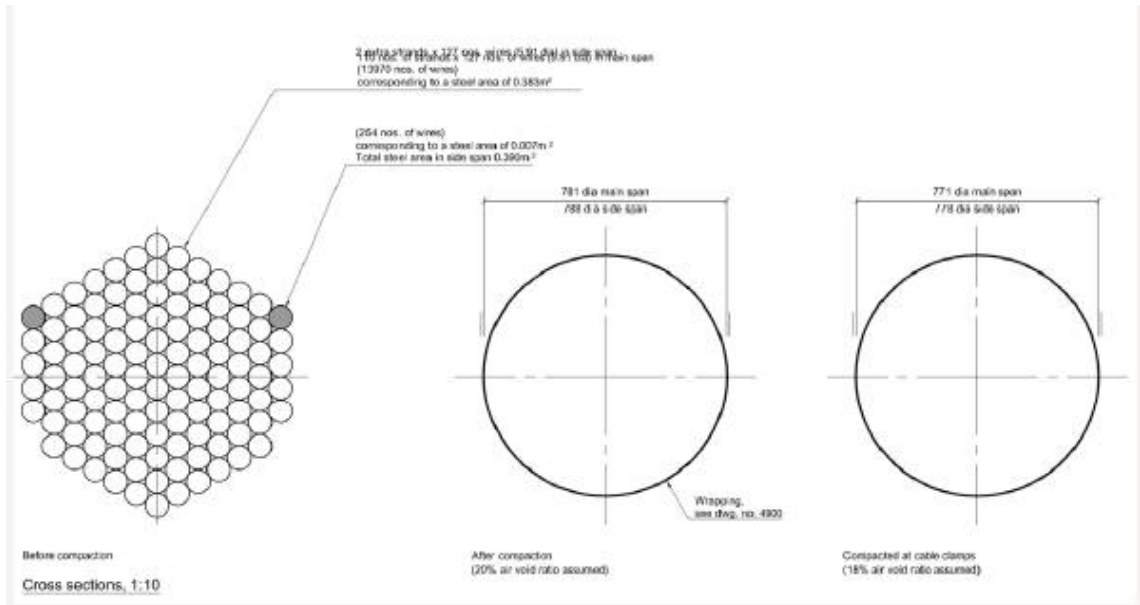
Şekil 3.7 Kule kesiti ve genel görünümü [40]



Şekil 3.8 Kule imalatı [41]

3.3.3 Ana Kablo ve Askı Halatları

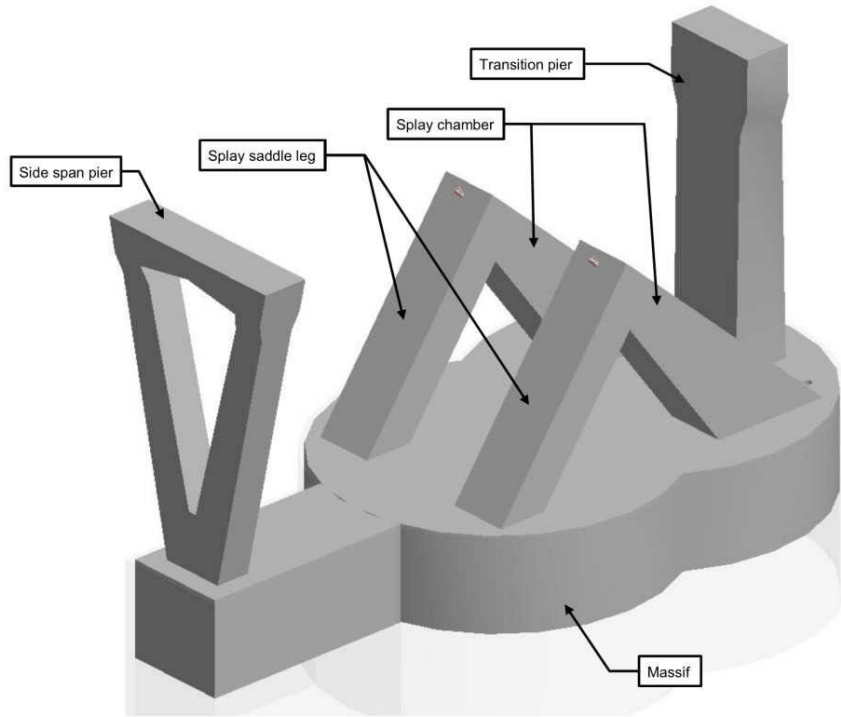
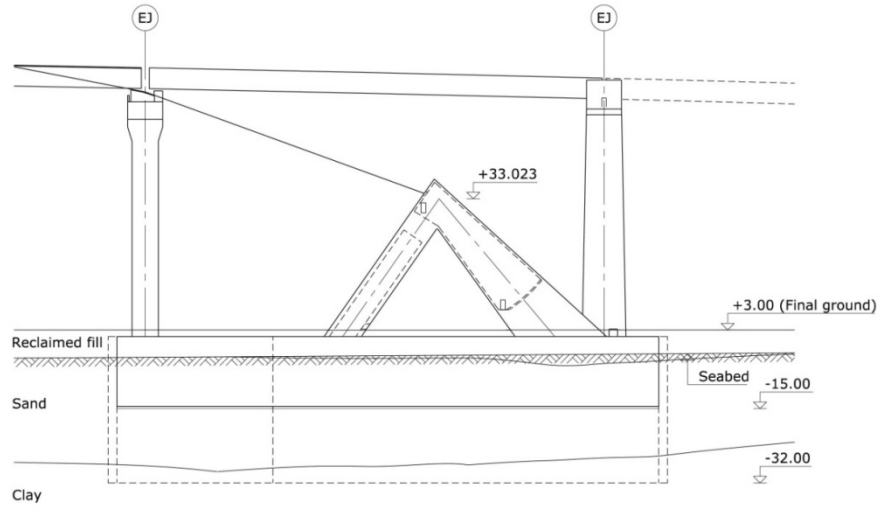
Ana kablo açıklıkta 110 adet ve yan açıklıklarda 112 adet büklümle, paslanmaya karşı kurutma sistemiyle korunmuş prefabrik paralel tel demetlerinden (PPWS) oluşmaktadır. PPWS metodu konvansiyonel havadan eğirme metoduna göre daha hızlı bir yöntem olduğu için seçilmiştir. Her büklüm kuzey ankrajdan güney ankraja bir seri makara ile taşıma sistemi kullanılarak kedi yolu üzerinden çekilmiştir. Ana kablo çapı kenar açıklıkta 788 mm orta açıklıkta 781 mm'dir (Şekil 3.9) [40].



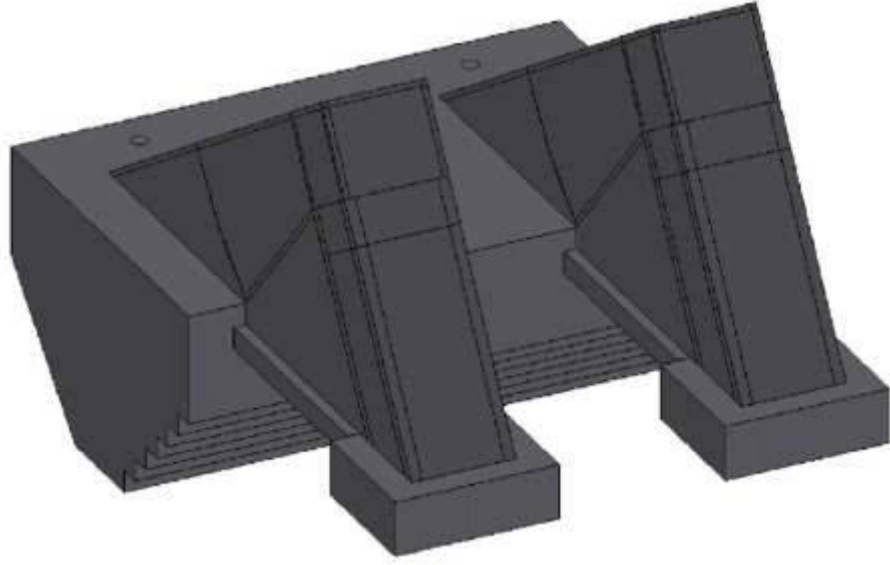
Şekil 3.9 Ana kablo detayı [40]

3.3.4 Ankraj Blokları

Güney ankraj, deniz doldurularak elde edilen alan üzerinde, diyafram duvar inşası, iç kazı, ankraj kütle beton dökümü ve kablo ankraj ayaklarının inşası olmak üzere 4 aşamada inşa edilmiştir. 58 m genişliğinde ve 126 m uzunluğunda olan 'çift çember+dikdörtgen' şekilli ankraj kütle betonunun dökümü için 1 m kalınlığında 33.5 m yüksekliğinde diyafram duvar inşa edilmiştir (Şekil 3.10-3.11).



Şekil 3.10 Güney ankraj kesiti [40]



Şekil 3.12 Kuzey ankraj kesiti (devamı) [40]

3.4 Bölgenin Depremselliği

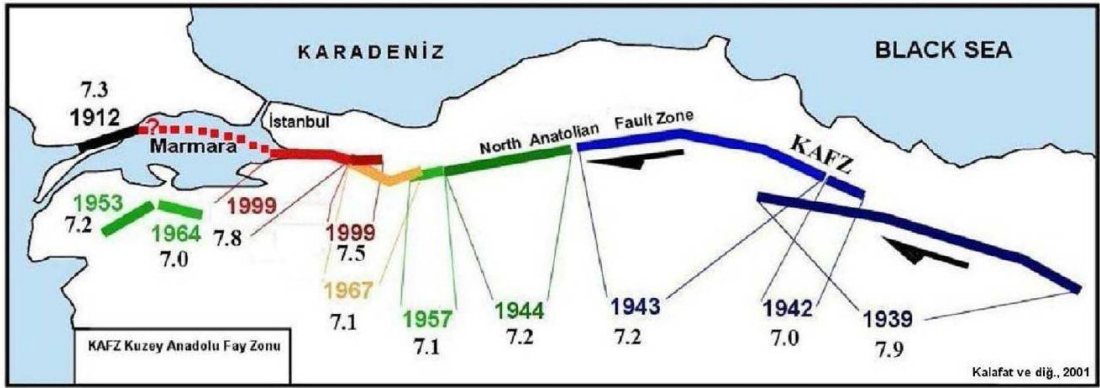
Ülkemiz dünyanın en aktif deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağında yer almaktadır. Bu nedenle topraklarımızın neredeyse tamamı deprem tehlikesi ile karşı karşıyadır. Ülkemizin üzerinde bulunduğu Anadolu levhası, kuzeyde Avrasya plakası, güneyde Afrika ve Arabistan plakası ile çevrilmiş durumdadır. Bu levhalar arasındaki etkileşimler ülkemizde meydana gelen depremlerin ana nedenini oluşturmaktadır. Afrika levhası, Avrasya levhasının altına dalarken, Arabistan levhası ise Kızıldeniz'deki taban açılması nedeniyle kuzey-kuzeydoğu yönüne doğru itilip Avrasya levhasının altına dalmakta ve Anadolu levhasını sıkıştırmaktadır. Anadolu levhasının kuzey sınırını Kuzey Anadolu Fayı, güney sınırını Doğu Anadolu Fayı oluşturmaktadır ve levhalar arasındaki bu hareketler sonucunda Anadolu levhası batıya doğru hareket etmektedir.

Ülkemizde meydana gelen depremlerin en yıkıcı olanları Kuzey Anadolu Fayı üzerinde meydana gelmiştir. Çizelge 3.1'de Kuzey Anadolu Fayı üzerinde oluşan en önemli depremler verilmiştir. Kuzey Anadolu Fayı üzerinde meydana gelen depremlerin oluş düzeni ve batıya doğru hareketi 1939 Erzincan Depremi'nden sonra yarı-sistemik olarak gözlenmiş ve batıya doğru kırılması 1967 Adapazarı-Mudurnu Suyu Vadisi depremi, son olarak da 1999 Marmara depremleri ile devam etmiştir. Bolu'ya kadar net olarak izlenen Kuzey Anadolu Fayı'nın ana kuzey kolu İzmit Körfezi'ne kadar uzanıp Marmara Denizi'nden geçerek Ganos Fayı'na bağlanmakta ve Saroz Körfezi'ne kadar

uzanarak Kuzey Ege Denizi'ne ulaşmaktadır. Güney kolu ise İznik Gölü'nün güneyinden geçerek Gemlik Körfezi'ne ulaşmaktadır. Şekil 3.13'te görüldüğü gibi Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun üzerindeki büyük depremler batıya doğru kırılarak devam etmiş ve son olarak 1999 depremleri Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun batıya doğru uzantısında meydana gelmiştir [42].

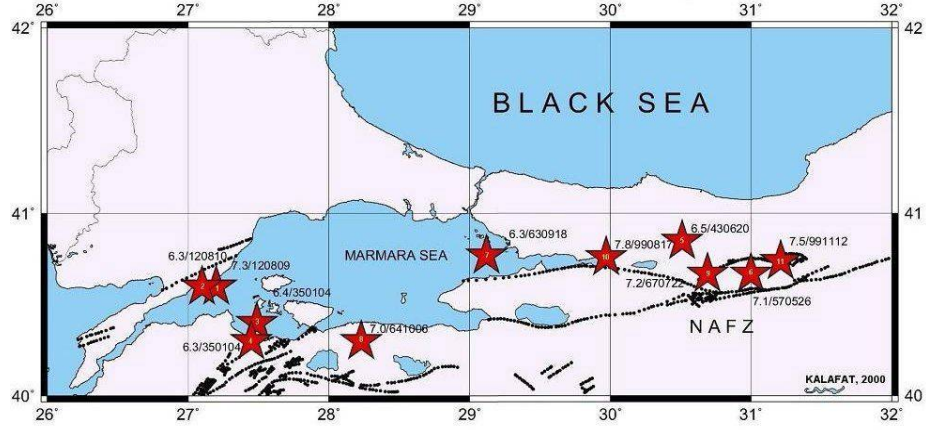
Çizelge 3.1 Kuzey Anadolu Fay Hattı'nda meydana gelen önemli depremler

İsim-Yer	Yıl	Magnitüd
Erzincan	1939	7.9
Niksar-Erbaa Tokat	1942	6.9
Tosya-Ladik Samsun	1943	7.7
Gerede Bolu	1944	7.5
Karlıova	1949	7.9
Kurşunlu	1951	6.8
Abant Bolu	1957	6.8
Varto Muş	1966	6.6
Mudurnu Bolu	1967	7.0
Bingöl	1971	6.8
Erzincan	1992	6.5
İzmit	1999	7.4
Düzce	1999	7.2



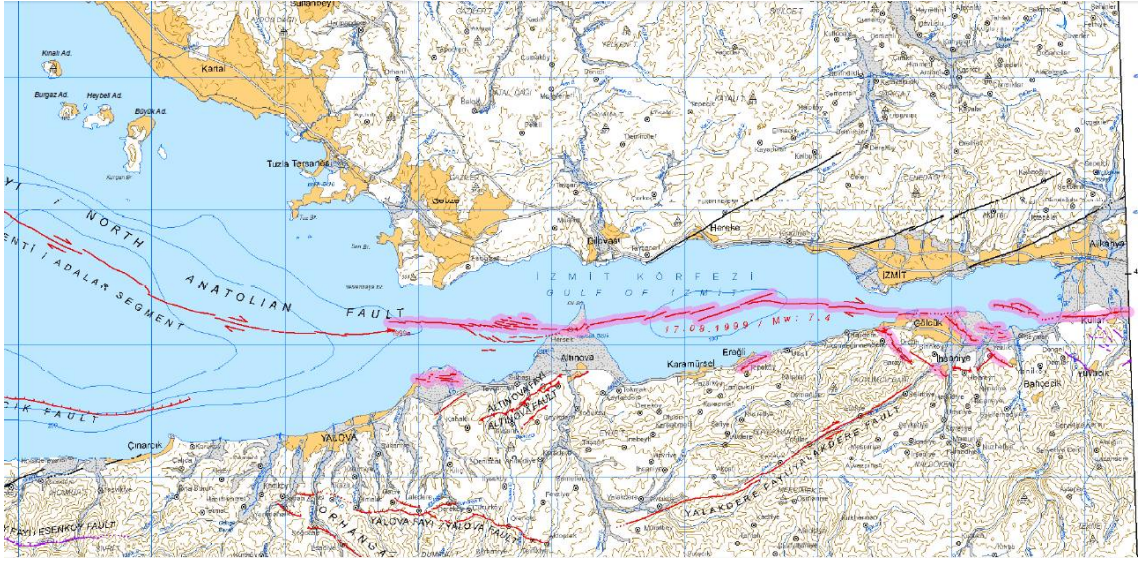
Şekil 3.13 Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın batıya doğru hareketi [42]

Marmara Bölgesi, özellikle İstanbul ve civarı yerleşim, sanayi ve ekonomi açısından en önemli merkezlerin yoğun olarak bulunduğu bir bölgedir. Tarihsel ve aletsel dönem deprem kayıtlarından da görülebileceği üzere Marmara bölgesinde deprem riski çok fazladır ve geçmişte çok büyük depremlerin oluştuğu bilinmektedir (Şekil 3.14).

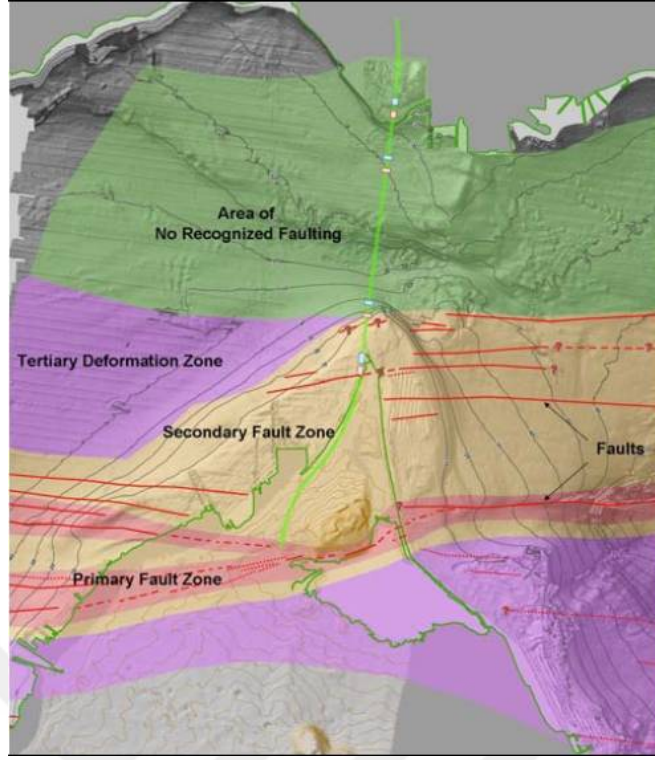


Şekil 3.14 Marmara Bölgesinde son yüzyılda meydana gelmiş büyük depremler [42]

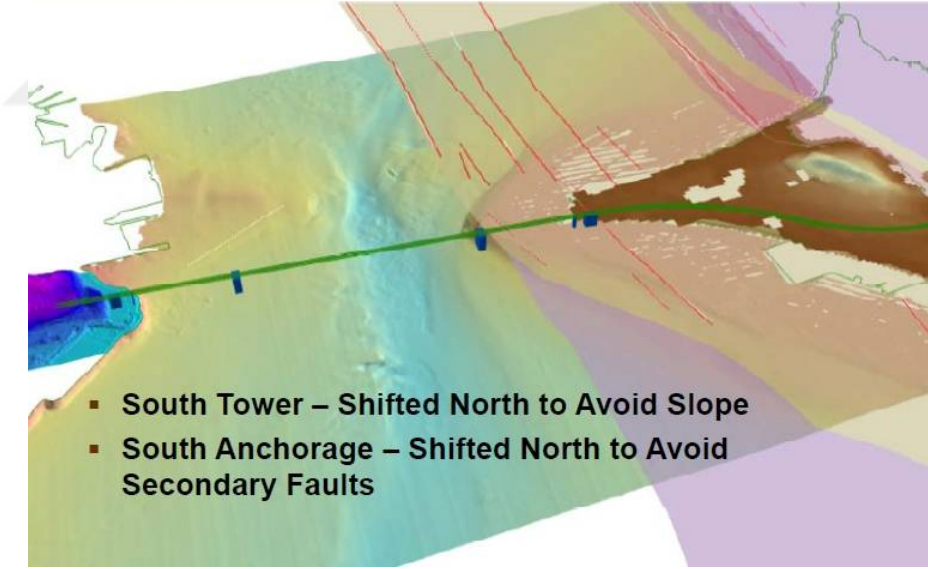
İzmit Körfez Geçiş Köprüsü bulunduğu konum itibariyle sismik aktivitenin en yoğun olduğu noktalardan birinde bulunmaktadır (Şekil 3.15). Yapılan kapsamlı zemin etüdü çalışmaları sonucunda, köprünün güney kule ve ankrāj bölgesindeki mevcut ikincil fay zonlarından dolayı projenin konumunun faysız bölgeye alınması amacıyla güney ankrāj bölgesi ve kuleler kuzeye doğru taşınmıştır (Şekil 3.16-3.17) [43].



Şekil 3.15 Kuzey anadolu fay hattının köprü konumdan geçişi [44]



Şekil 3.16 Köprü güney bölgesinde yer alan ikincil fay zonları [43]



Şekil 3.17 İkincil fay zonları nedeniyle köprüde uygulanan değişiklikler [43]

MODELİN OLUŞTURULMASI VE ANALİZLER

Bu çalışmada İzmit Körfez Geçişi Osman Gazi Asma Köprüsü'nün sismik zemin büyütmesine bağlı dinamik etkiler altındaki davranışı incelenmiştir. Bu amaçla köprünün üç boyutlu sonlu eleman modeli oluşturulmuş ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılarak yapının sismik davranışı belirlenmiştir. Köprüye, üniform yer hareketi ve mevcut zemin koşullarının etkisiyle mesnetlerinden farklı yer hareketi uygulanarak analizler yapılmış ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

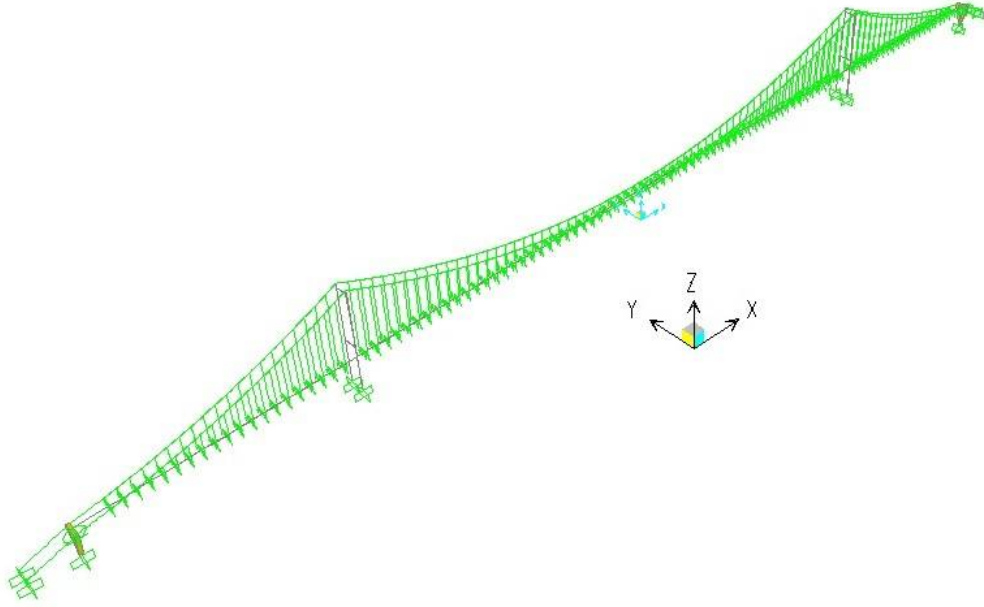
Bu bölümde ilk olarak İzmit Körfez Geçişi Osman Gazi Asma Köprüsü'nün SAP2000 v14.1 programında 3 boyutlu sonlu eleman modelinin oluşturulması anlatılmıştır. Daha sonrasında köprünün mesnet noktalarındaki mevcut zemininin, DEEPSOIL programında bir boyutlu zemin tepki analizleri gerçekleştirilerek üniform olmayan yer hareketi analizlerinde kullanılacak olan ivme-zaman kayıtları elde edilmiştir.

4.1 Sonlu Eleman Modelinin Oluşturulması

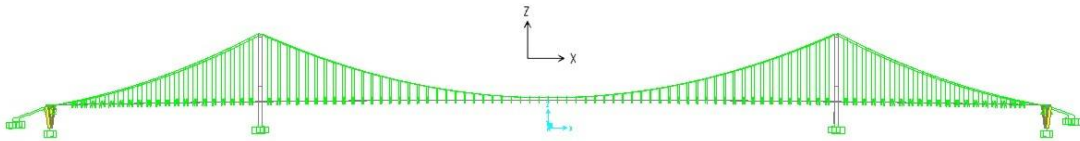
İzmit Körfez Geçişi Osman Gazi Asma Köprüsü'nün yapısal davranışını belirlemek için köprünün üç boyutlu sonlu eleman modeli SAP2000 v14.1 programında oluşturulmuştur. Bu model üzerinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yapılarak elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Köprünün sonlu eleman modelinin oluşturulmasında, köprü hakkında daha önce yapılmış olan çalışmalardan ve internet ortamındaki çeşitli kaynaklardan faydalanılmıştır.

Tabliye ve kule elemanlarının modellenmesinde çubuk elemanlardan faydalanılmış, ana kablo ve askı halatlarında ise kablo elemanlar kullanılmıştır. Çizelge 4.1'de görülen tabliye, kule ve kule girişine ait kesit özellikleri hesaplanıp, SAP2000 programında

general section kesit olarak programa girilmiştir. Tabliye, kesitin ortasından geçen eksen üzerinde tanımlanmış ve askı halatlarına, rijit cisim davranışını yansıtılabilmek amacıyla kütleli rijit link elemanlar aracılığıyla birleştirilmiştir. Köprünün analizinde geometri bakımından doğrusal olmayan davranış göz önünde bulundurulmuştur ve p-delta etkileri dikkate alınmıştır. Köprünün sonlu eleman modeli Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de görülmektedir. Köprü kesit özelliklerinin hesabı için CAD ortamında çizilmiş olan kesit çizimleri Şekil 4.3-4.5’te görülmektedir.



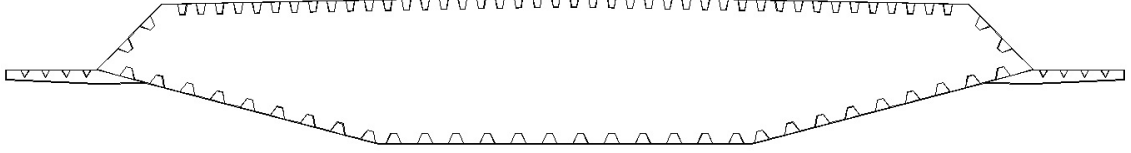
Şekil 4.1 3 boyutlu köprü modeli



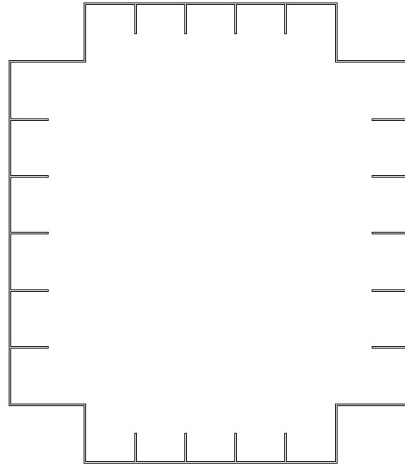
Şekil 4.2 Köprü x-z görünüşü

Çizelge 4.1 Kesit özellikleri

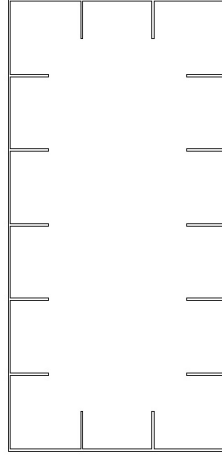
	Alan (m ²)	I3-3(m ⁴)	I2-2(m ⁴)	J (m ⁴)
Tabliye	1.662	5.137	170.6	12.40
Kule	1.211	10.13	8.665	10.31
Enleme kirişi	0.7404	3.338	1.078	2.015
Ana Kablo	0.383	0.0117	0.0117	0.0233
Kenar Kablo	0.39	0.0121	0.0121	0.0242
Askı Halatı	8.12E-03	5.24E-06	5.24E-06	1.05E-05
Askı Halatı	5.12E-03	2.08E-06	2.08E-06	4.17E-06



Şekil 4.3 CAD ortamında tabliye kesit çizimi



Şekil 4.4 CAD ortamında kule kesit çizimi



Şekil 4.5 CAD ortamında kule enleme kirişinin kesit çizimi

Oluşturulan modelde, köprü elemanları için program tarafından hesaplanan sabit yüklere ek olarak asfalt, bordür, korkuluk vb. elemanlardan meydana gelen ek yüklemeler de dikkate alınmıştır. Tabliye üzerindeki 60mm asfalt kalınlığı ve diğer malzemelerin ağırlığı düşünülerek, tabliye elemanlarının her birine 45 kN/m yayılı yük uygulanmıştır.

Kuleler 10.15 metreden 252 metre kotuna kadar 241.85 metre olarak modellenmiştir. Kule ayaklarına ankastre mesnet atanmıştır. Kule tabliye bağlantısı y yönünde birlikte hareket edecek ve diğer yöndeki ötelenmeler ve dönmeler serbest olacak şekilde düzenlenmiştir. Tabliyenin kenar ayak üzerine oturduğu kısımda bir tarafta y ve z doğrultusundaki ötelenmeler tutulu iken diğer tarafta her üç doğrultudaki ötelenmeler tutulu olarak modellenmiştir. Ankraj ve kenar ayak mesnetleri ise ankastre mesnet olarak modellenmiştir.

4.2 Yer Hareketinin Oluşturulması

Köprünün dinamik analizlerinde kullanılacak olan yer hareketi kayıtları, Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Veritabanı'ndan [45] 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi Gebze Tübitak Araştırma Merkezi istasyonuna ait kayıtlardan alınmıştır. Seçilen deprem kayıtları doğu-batı (E-W), kuzey-güney (N-S) ve düşey (U-D) olmak üzere üç bileşenden oluşmakta ve her bir bileşen 0.005 saniye zaman aralığına sahiptir. Kuvvetli yer hareketi kaydı seçilirken, köprünün mevcut konumuna ve zemin tepki analizlerini gerçekleştirmek için kayıtın alınacağı istasyona ait zemin bilgilerinin olmasına özellikle dikkat edilmiştir.

4.2.1 Bir Boyutlu Zemin Tepki Analizleri

Dünya kabuğunun altında bir fay kırıldığında, cisim dalgaları kaynaktan her yöne doğru yayılırlar. Farklı jeolojik birimlerin sınırlarına ulaştıklarında yansır ve kırılırlar. Sığ derinlikteki malzemelerin dalga yayılma hızları genel olarak alt tabakadakilerden daha düşük olduğu için, yatay katman sınırına çarpan eğimli ışınlar daha düşey bir doğrultuda yansır. Işınlar yeryüzüne ulaşmaya kadar, çok fazla kırılma ile neredeyse dik doğrultuya gelirler. Bir boyutlu zemin tepki analizleri, tüm sınırların yatay olduğu ve zemin tepkisinin egemen olarak ana kaya altında dik olarak yayılan SH dalgalarının neden olduğu varsayımına dayanmaktadır. Bir boyutlu zemin tepki analizi için zemin ve ana kaya yüzeyinin yatay doğrultuda sonsuz uzanımlı oldukları kabul edilir [46].

4.2.1.1 Lineer Yaklaşım

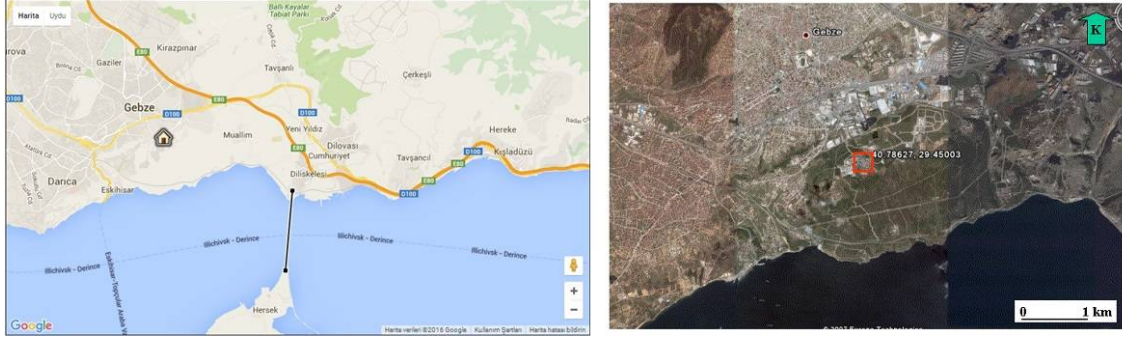
Transfer fonksiyonları, yer tepki probleminde ana kaya ivmesi gibi giriş hareketinin, yerdeğiştirme, hız, ivme, kayma gerilmesi ve kayma şekil değiştirmesi gibi çeşitli tepki parametrelerinin açıklanmasında kullanılır. Çünkü transfer fonksiyonları süperpozisyon ilkesine dayandırılır ve bu yaklaşım lineer sistemlerin analizi ile sınırlandırılmıştır. Doğrusal olmayan davranışa eşdeğer lineer zemin özellikli bir iteratif yaklaşım prosedürü kullanılarak yaklaşılabılır[46].

Transfer fonksiyonu zemin yüzeyindeki hareket genliğinin kaya yüzeyindeki hareket genliğine oranı şeklinde belirlenir. Transfer fonksiyonu ile yüzey hareketinin elde edilmesi şu şekilde gerçekleşir;

Ana kayada kaydedilmiş ivme-zaman hareketi Fourier dönüşümü kullanılarak genlik Fourier serisi olarak temsil edilir. Anakaya hareketinin Fourier serisindeki her terimi transfer fonksiyonuyla çarpılarak zemin yüzey hareketinin Fourier serisi üretilir. Daha sonra ters Fourier dönüşümü kullanılarak yüzey hareketi zaman tanım alanında ifade edilebilir. Transfer fonksiyonu bu şekilde, ana kaya girdi hareketindeki her frekansın zemin tarafından nasıl büyütüldüğünü veya sönümlendiğini belirler.[46]

4.2.2 İstasyona Ait Bilgiler

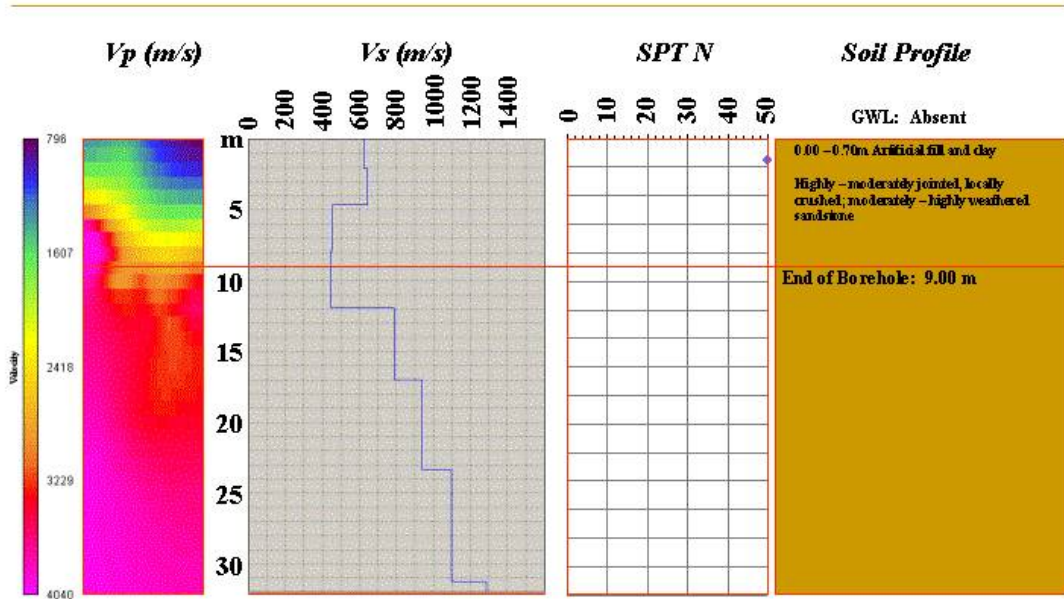
Gebze Tübitak Marmara Araştırma Merkezi istasyonu 40.78627° kuzey 29.45003° doğu koordinatlarında bulunmaktadır. Şekil 4.6'da görüleceği üzere istasyon konum itibarıyla köprüye çok yakın bir noktada bulunmaktadır.



Şekil 4.6 İstasyonun harita konumu ve uydu görüntüsü

İstasyonun bulunduğu zeminin V_p , V_s , zemin profili bilgileri ve sondaj logu Şekil 4.7-4.9'da görülmektedir.

Yüklenici / Contractor		Proje / Project		İşveren / Client		Sondaj No. ve Yarı / Boring No. & Locality	
bilgi 2000 MOH. & İNŞ. LTD.		TÜRKİYE ULUSAL KUVVETLİ YER HAREKETİ KAYIT İSTASYONLARI - SONDAJ VE LABORATUAR ANALİZLERİ / TÜRKISH NATIONAL STRONG MOTION RECORDING STATIONS - BORINGS AND LABORATORY TESTING		ODTÜ DEPREM MUHENDİSLİĞİ ARAŞTIRMA MERKEZİ EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH CENTER		AJ-002-GBZ TUBİTAK MARMARA ARAŞTIRMA MERKEZİ GEBZE / KOCAELİ	
Derinlik / Depth (m)				9,00		Sayfa No / Page No	
Sondaj Yöntemi / Drilling Method				Rotari, Su Dolağımlı / Rotary with Water Flush		1/1	
Sondaj Makinesi / Drill Rig				D-500 (Kamyona Sınırlı) / (Truck-mounted)		Tij Türü / Rod Type	
Başlama Tarihi / Start Date				04/05/2007		Kahf Türü / Casing Type	
Bitiş Tarihi / Completion Date				04/05/2007		Kahf Derinliği / Casing Depth	
Sondaj Derinliği / Borehole Depth		Yerleşim Seviyesi / Groundwater Level		Sondaj Yöntemi / Drilling Method		Sondaj Makinesi / Drill Rig	
(m)		(m)		D-500 (Kamyona Sınırlı) / (Truck-mounted)		D-500 (Kamyona Sınırlı) / (Truck-mounted)	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Standard Penetration Test		Standard Penetration Test		Standard Penetration Test		Standard Penetration Test	
Densiy / Density		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid		Sıvı / Liquid	
15		30		45		10 20 30 40 50	
Sıvı / Liquid		Sıv					



Şekil 4.8 İstasyona ait zemin bilgileri [48]

Depth (m)	V_p (m/s)	V_s (m/s)	Depth Interval (m)	V_s (m/s)	Depth (m)	SPT N
0	1177	624	0-2.1	624	1.5	50
1	1268	624	2.1-4.7	643	3	
2	1395	624	4.7-7.9	455	4.5	
3	1563	643	7.9-12	446	6	
4	1788	643	12-17	789	7.5	
5	2078	643	17-23.3	937	9	
6	2432	455	23.3-31.3	1097	10.5	
7	2754	455	31.3-32	1285	12	
8	2994	455			13.5	
9	3120	446			15	
10	3207	446			16.5	
11	3359	446			18	
12	3435	446			19.5	
13	3439	789			21	
14	3440	789			22.5	
15	3443	789			24	
16	3449	789			25.5	
17	3461	789			27	
18	3477	937			28.5	
19	3507	937			30	
20	3557	937				
21	3616	937				
22	3673	937				
23	3722	937				
24	3761	1097				
25	3794	1097				
26	3820	1097				
27	3840	1097				
28	3855	1097				
29	3870	1097				
30	3885	1097				
31	3900	1097				
32	3912	1285				

Şekil 4.9 Zemine ait vp ve vs dalga hızları [48]

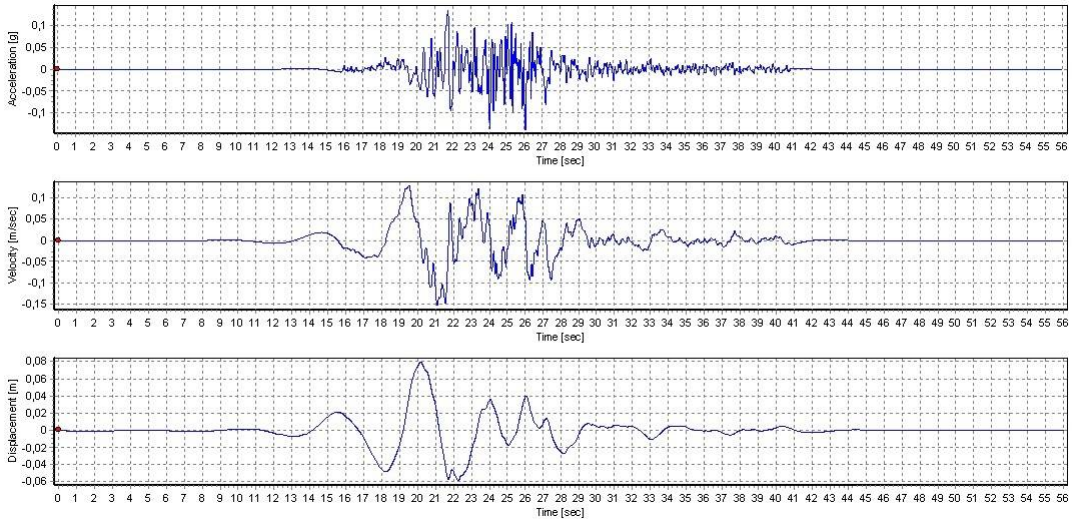
Mevcut veriler doğrultusunda, ivme kaydının alındığı istasyona ait zemin bilgileri Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi oluşturulmuştur. Burada Vs hızları, her bir tabaka için

Şekil 4.9'daki derinlik ve Vs hızlarına göre hesaplanmıştır. Zemin katmanlarına ait yoğunluk değerleri ise zemin cinsine göre varsayımsal olarak seçilmiştir. Mevcut sondaj çalışması 9 metreye kadar yapılmış olup zeminin kayma dalgası hızları dikkate alındığında ana kayanın tahmini olarak 12 metrede olduğu kabul edilmiş ve zemin profilinin en altındaki tabakanın kalınlığı 3 metre uzatılmıştır.

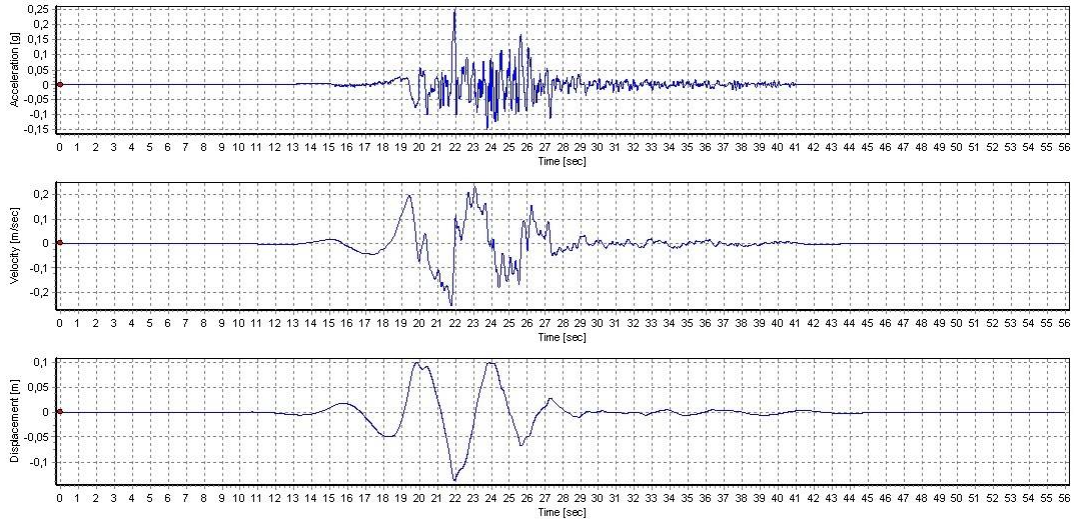
Çizelge 4.2 Yer hareketi istasyonuna ait zemin profili

Kalınlık (m)	Vs (m/s)	Yoğunluk (kN/m ³)	Zemin cinsi
0.2	624	16	Dolgu
0.5	624	18	Kil
2.6	632	19	Kumtaşı
8.7	481	19	Kumtaşı-kaya

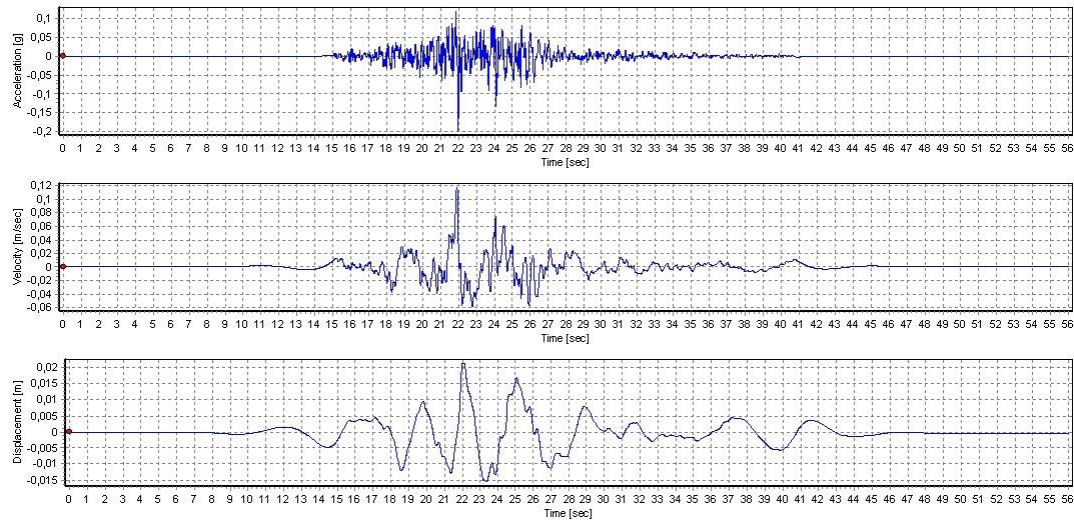
Şekil 4.10-4.12'de 1999 Kocaeli depremine ait ilgili istasyondan alınan kaydın her bir bileşeni için ivme, hız ve deplasman-zaman grafikleri SeismoSignal programında grafiksel hale getirilmiştir. Deprem kaydının doğu-batı (E-W) bileşeninin maksimum ivme değeri 0.139 g , kuzey-güney (N-S) bileşeninin maksimum ivme değeri 0.247 g ve düşey (U-D) bileşeninin maksimum ivme değeri 0.198 g'dir.



Şekil 4.10 Yer hareketinin (E-W) bileşenine ait ivme, hız ve deplasman-zaman grafikleri

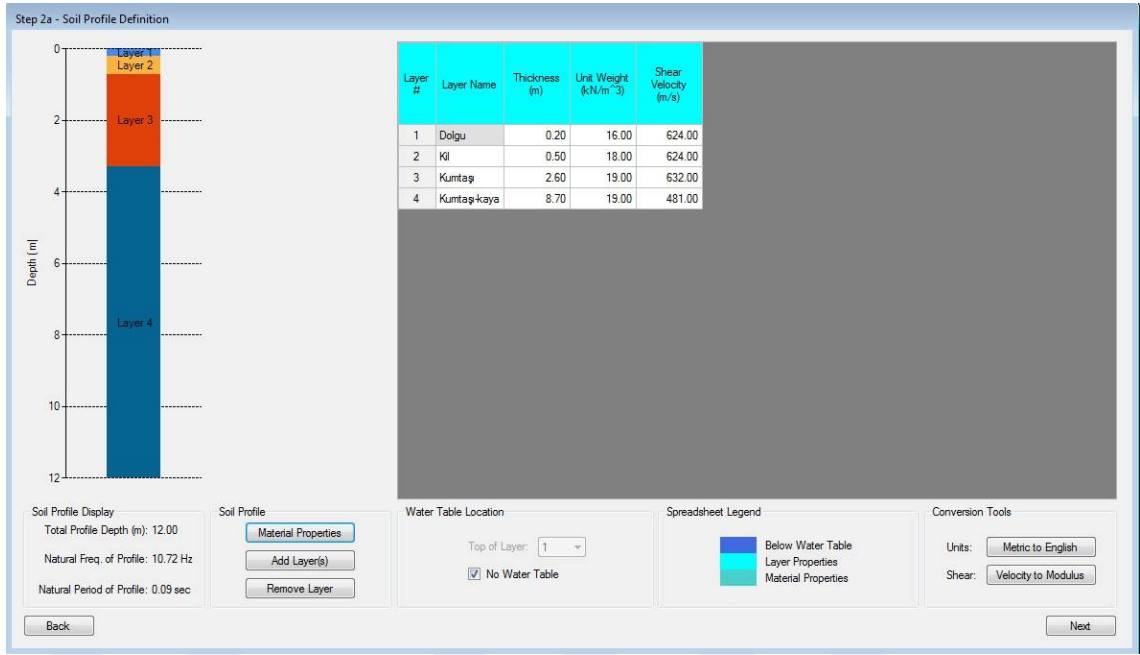


Şekil 4.11 Yer hareketinin (N-S) bileşenine ait ivme, hız ve deplasman-zaman grafikleri



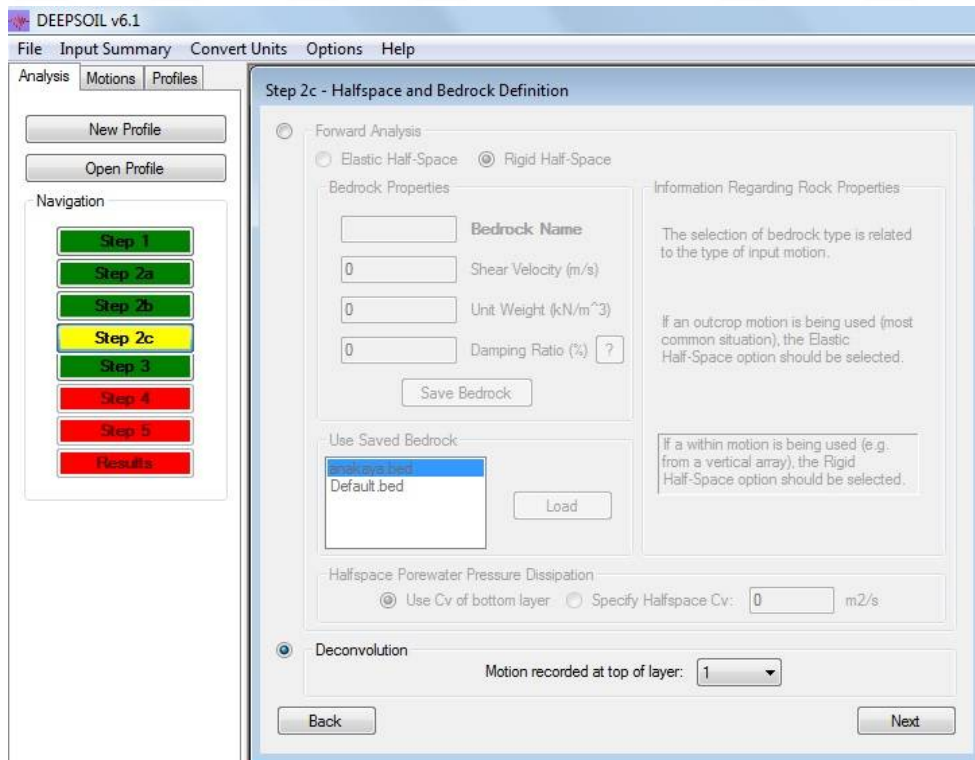
Şekil 4.12 Yer hareketinin (U-D) bileşenine ait ivme, hız ve deplasman-zaman grafikleri

Mevcut ivme kaydı üzerinde, bir boyutlu zemin tepkisi dinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Zemin büyütmesi analizi DEEPSOIL v6.1 programında gerçekleştirilmiş ve analizlerde eşdeğer lineer analiz yöntemi kullanılmıştır. İstasyona ait zemin modeli DEEPSOIL programına Şekil 4.13'te görüldüğü şekilde girilmiştir.

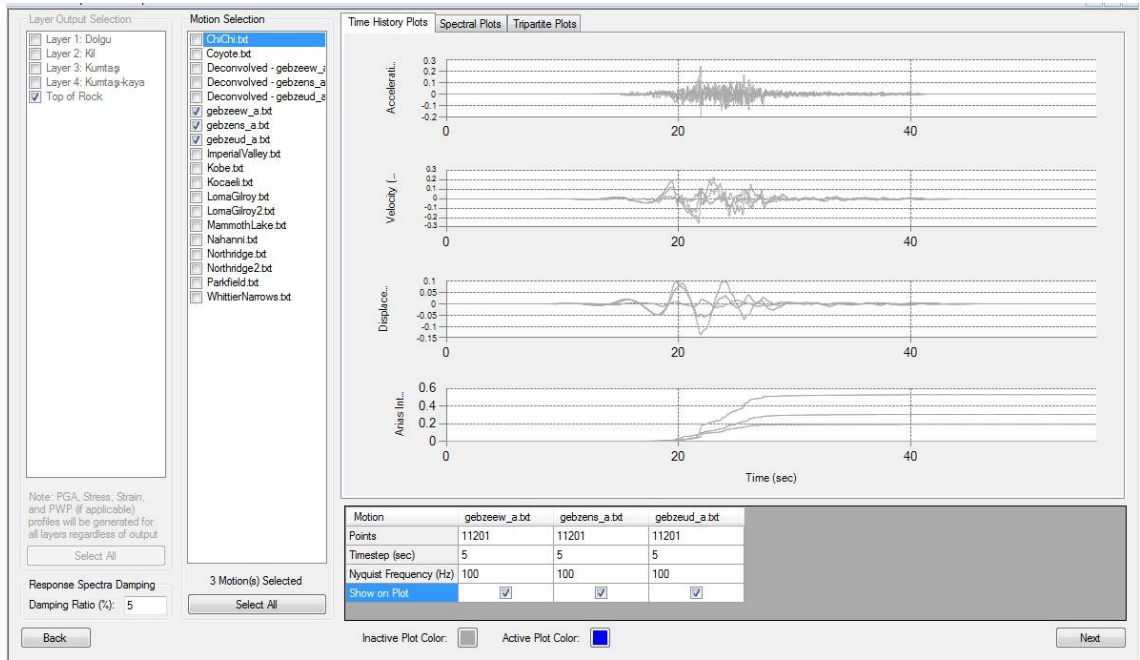


Şekil 4.13 İstasyon zemin profilinin DEEPSOIL programına girilmesi

İstasyon ait zemin profili oluşturulduktan sonra yer yüzü hareketi, ana kayaya seviyesine taşınacaktır. Bunun için Şekil 4.14'te görüldüğü gibi program üzerinde deconvolution seçeneği seçilmiştir. Daha sonrasında, analizde kullanılacak olan ivme kayıtları seçilerek analiz aşamasına geçilmiştir (Şekil 4.15).

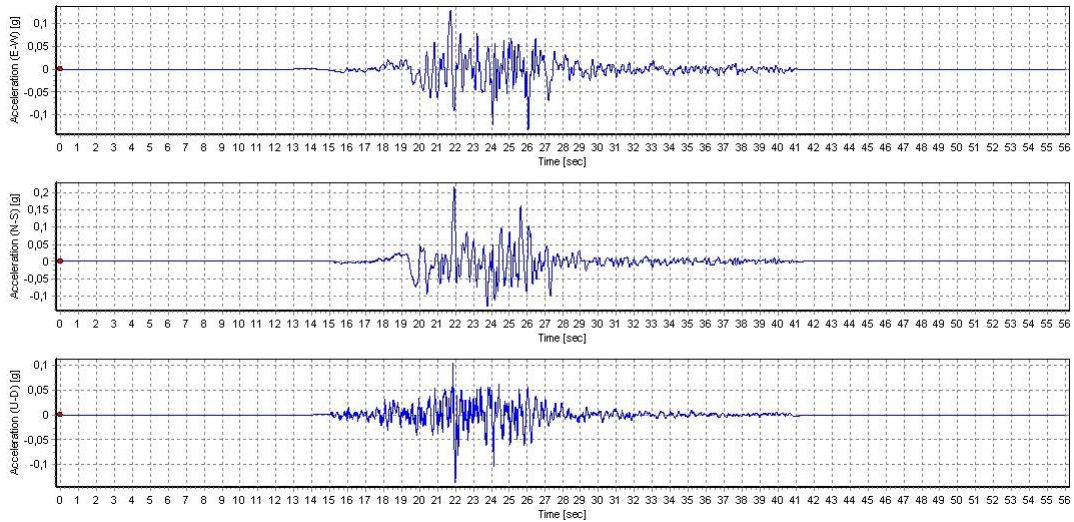


Şekil 4.14 DEEPSOIL programında analiz adımı



Şekil 4.15 DEEPSOIL programında analizde kullanılacak kayıtların seçimi

Analiz sonucu ana kaya üzerinde elde edilen ivme kayıtları Şekil 4.16’da görülmektedir. Anakayaya indirilen deprem kaydının doğu-batı (E-W) bileşeninin maksimum ivme değeri 0.131 g, kuzey-güney (N-S) bileşeninin maksimum ivme değeri 0.216 g ve düşey (U-D) bileşeninin maksimum ivme değeri 0.136 g’dir.



Şekil 4.16 Ana kaya üzerinde elde edilen ivme zaman kayıtları

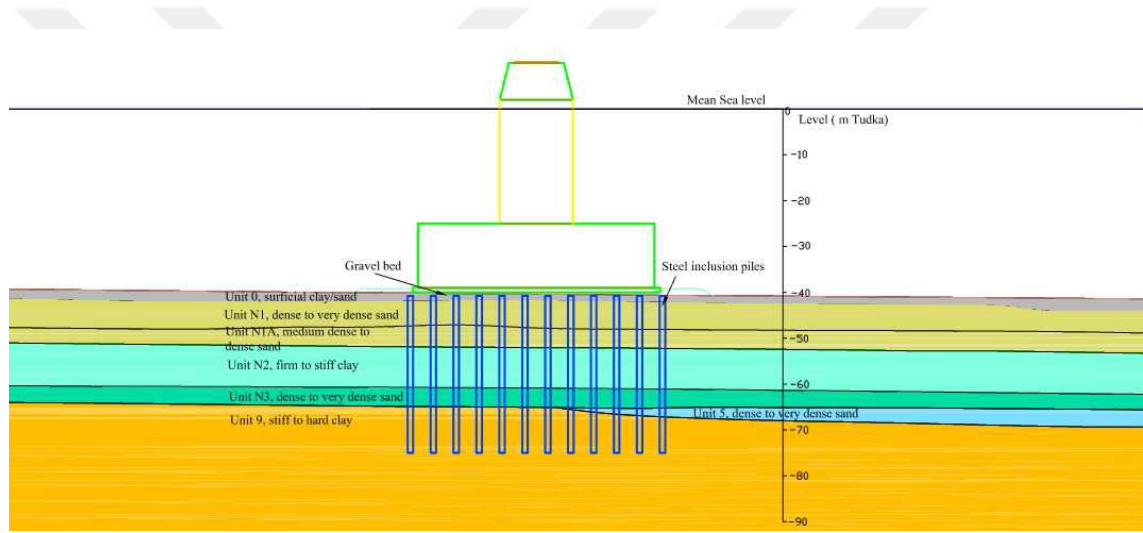
4.2.3 Köprünün Kuleleri ve Ankrajarına Ait Zemin Bilgileri

İstasyon konumunda ana kaya seviyesine indirilmiş olan deprem kaydı, herhangi bir değişikliğe uğramadan köprü bölgesindeki ana kaya seviyesine taşınmıştır. Mevcut yer

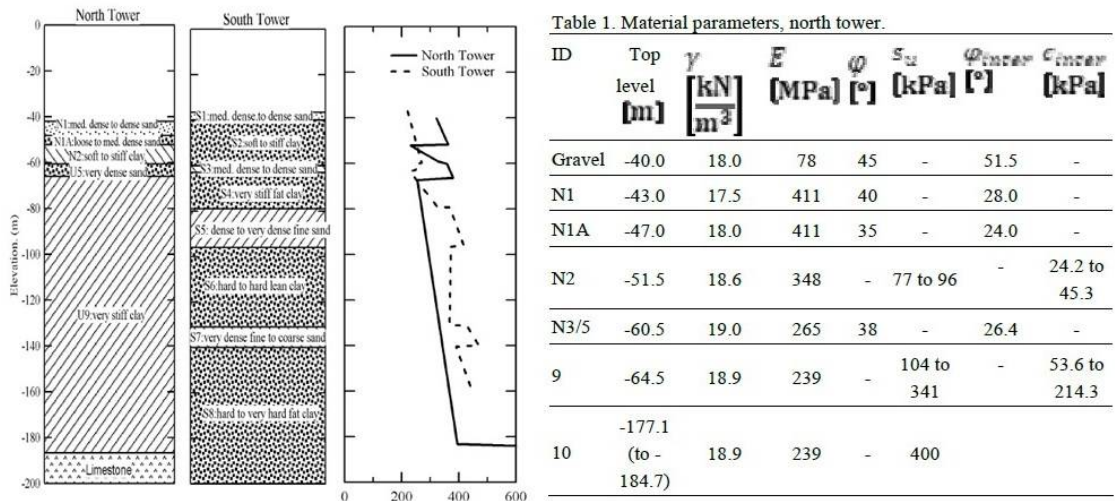
hareketi ile köprünün her bir mesnetindeki yerel zemin etkileri göz önünde bulundurularak, zemin tepki analizleri gerçekleştirilip mesnet bölgelerindeki yer hareketleri elde edilecektir. Bu nedenle analizler için gereken, yapının mesnet noktaları olan kule ve ankraj bloklarına ait zemin parametreleri daha önceden yapılmış çeşitli çalışmalardan alınmıştır.

4.2.3.1 Kuzey Kule Zemin Bilgileri

Kuzey kuleye ait zemin profili ve zemin parametreleri Şekil 4.17-4.18'de görülmektedir. Oluşturulan zemin profilinde 3 metrelik çakıl örtü içeren (Unit0) tabaka göz ardı edilmiştir (Çizelge 4.3). Kuzey kule zemin modelinin DEEPSOIL programına girilmesi Şekil 4.19'da gösterilmiştir.



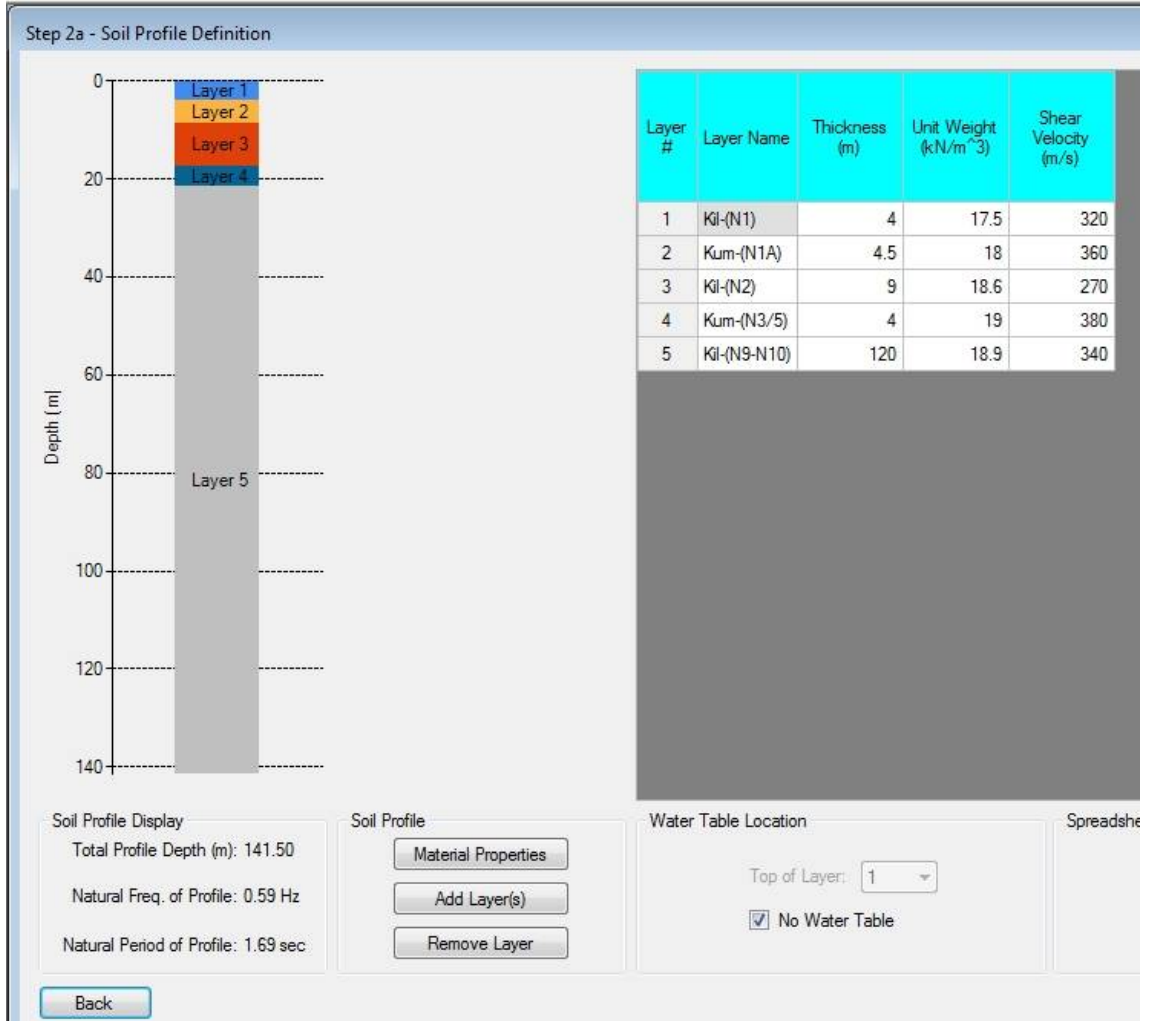
Şekil 4.17 Kuzey kule zemin profili [49]



Şekil 4.18 Kuzey kule zemin parametreleri [30], [31]

Çizelge 4.3 Kuzey kule için oluşturulan zemin profili

Kalınlık (m)	Vs (m/s)	Yoğunluk (kN/m ³)	Zemin cinsi
3	310	16	Dolgu-(N0)
4	320	17.5	Kil-(N1)
4.5	360	18	Kum-(N1A)
9	270	18.6	Kil-(N2)
4	380	19	Kum-(N3/5)
120	340	18.9	Kil-(N9-N10)

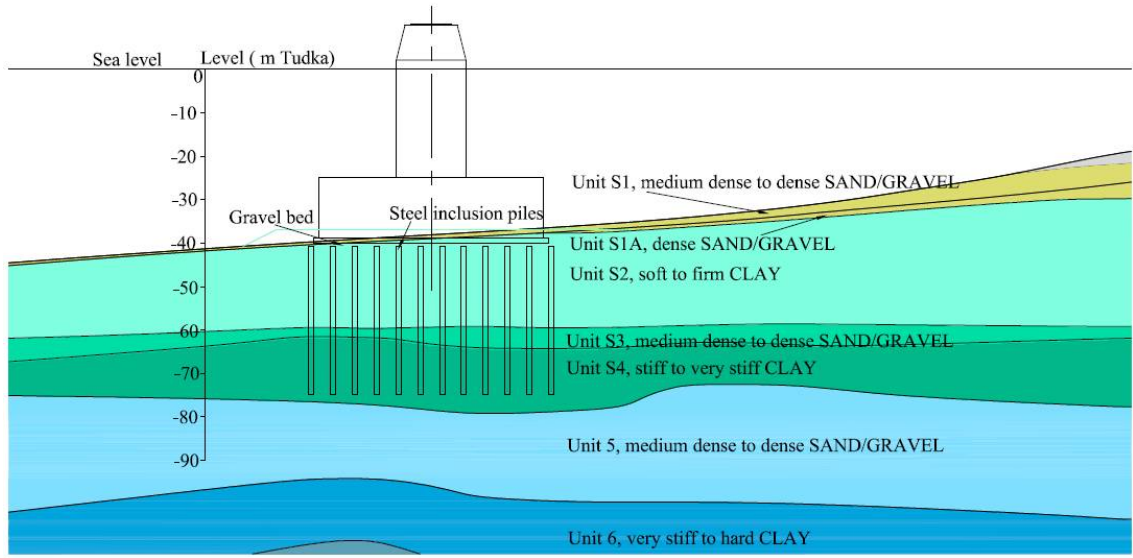


Şekil 4.19 Kuzey kule zemin bilgilerinin DEEPSOIL programına girilmesi

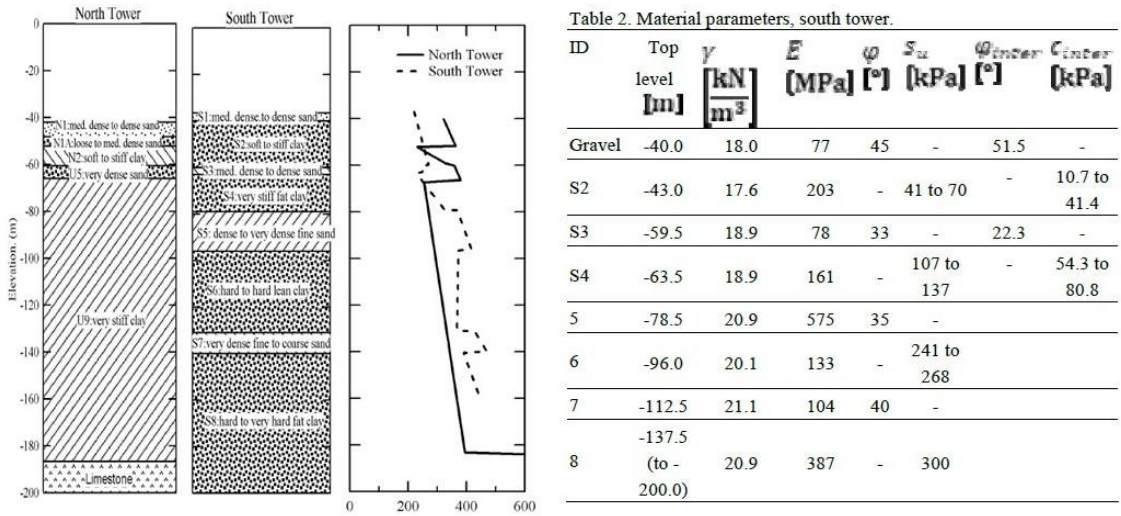
4.2.3.2 Güney Kule Zemin Bilgileri

Güney kule bölgesine ait zemin profili ve zemin parametreleri Şekil 4.20-4.21’de görülmektedir. Oluşturulan zemin profilinde 0.5 metrelik kalınlığa sahip olan (S1)

tabakası göz ardı edilmiştir (Çizelge 4.4). Güney kule zemin modelinin DEEPSOIL programında oluşturulması Şekil 4.22’de gösterilmiştir.



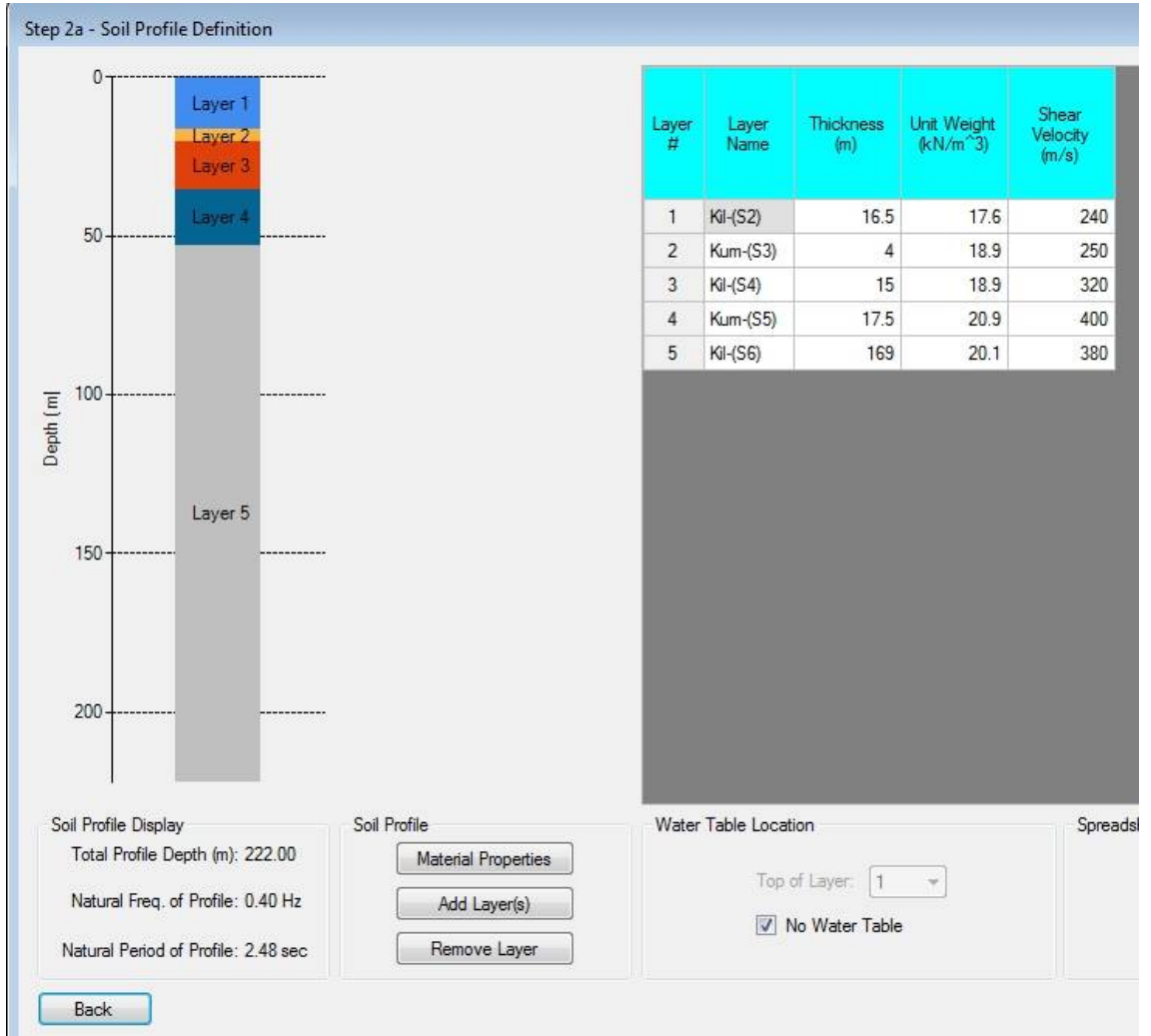
Şekil 4.20 Güney kule zemin profili [49]



Şekil 4.21 Güney kule zemin parametreleri [30], [31]

Çizelge 4.4 Güney kule için oluşturulan zemin profili

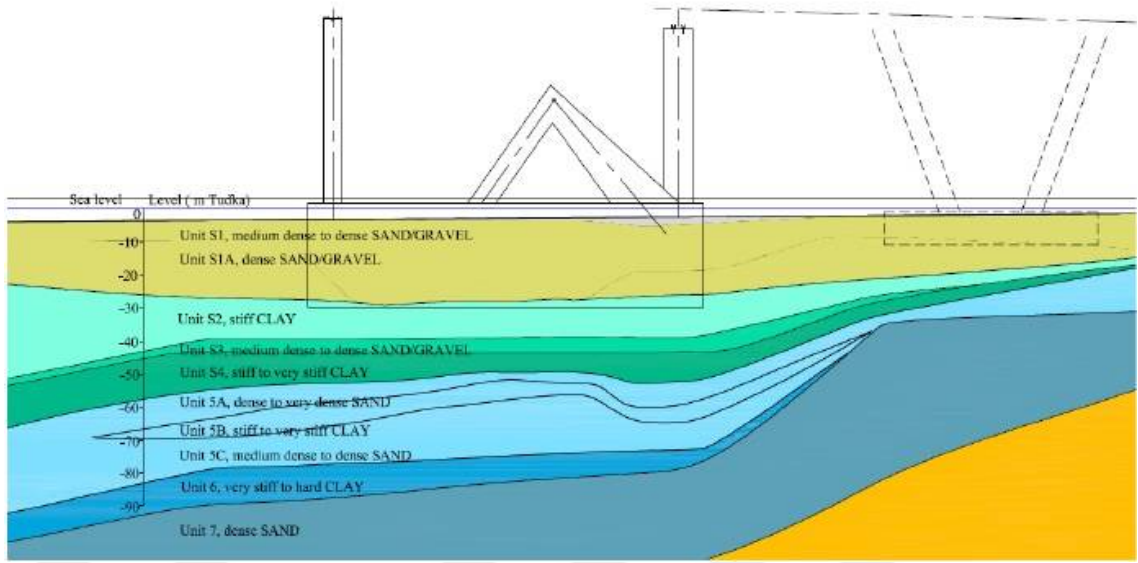
Kalınlık (m)	Vs (m/s)	Yoğunluk (kN/m ³)	Zemin cinsi
3	220	18	Dolgu
16.5	240	17.6	Kil-(S2)
4	250	18.9	Kum-(S3)
15	320	18.9	Kil-(S4)
17.5	400	20.9	Kum-(S5)
16.5	380	20.1	Kil-(S6)



Şekil 4.22 Güney kule zemin bilgilerinin DEEPSOIL programına girilmesi

4.2.3.3 Güney Ankraj Zemin Bilgileri

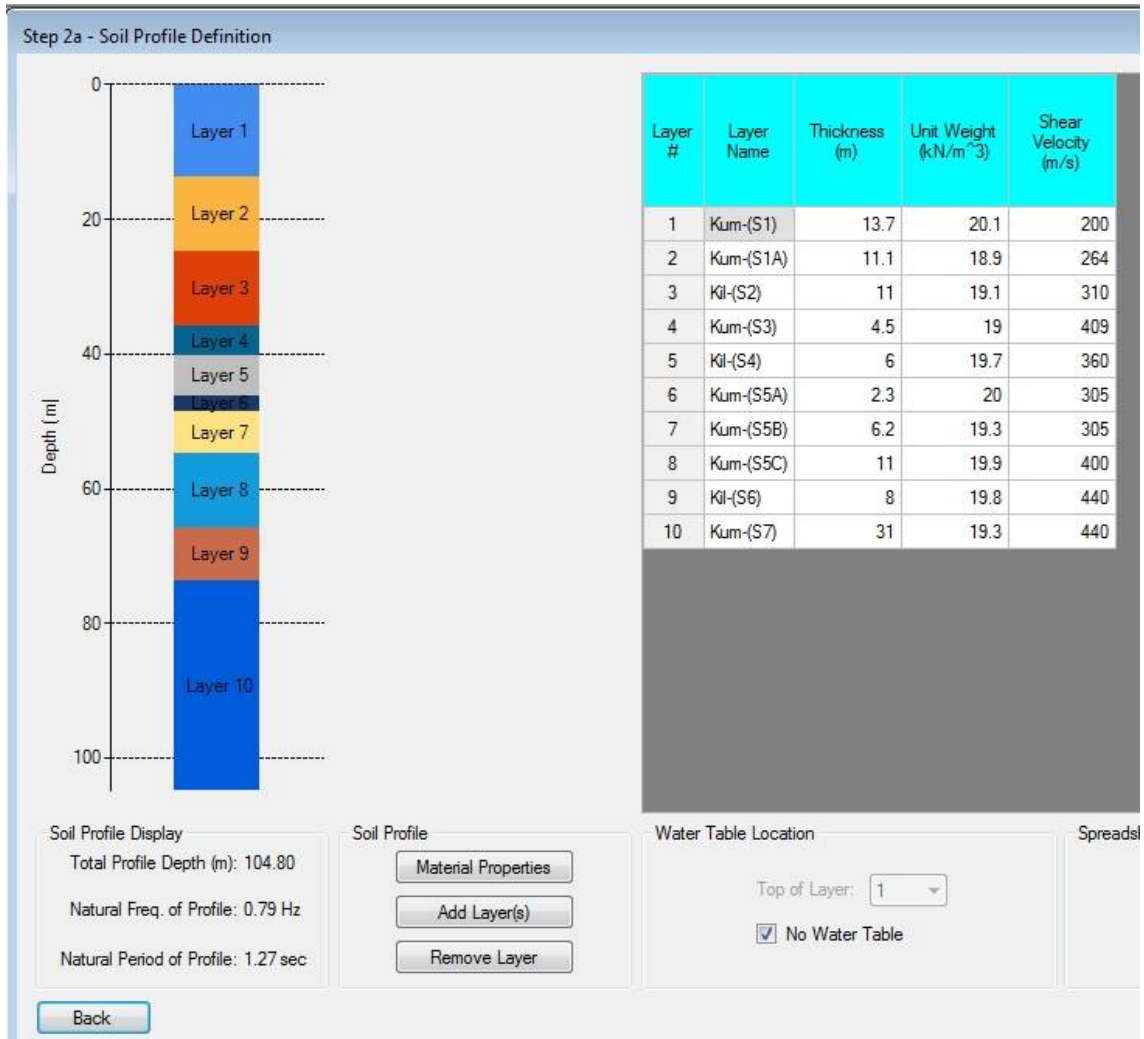
Güney ankraj bölgesine ait zemin profili ve zemin parametreleri Şekil 4.23'de görülmektedir. Oluşturulan zemin profilinde 0.5 metrelik kalınlığa sahip olan (S1) tabakası göz ardı edilmiştir (Çizelge 4.5). Güney ankraj zemin modelinin DEEPSOIL programında oluşturulması Şekil 4.24'te gösterilmiştir.



Şekil 4.23 Güney ankraj zemin profili [50]

Çizelge 4.5 Güney ankraj için oluşturulan zemin profili

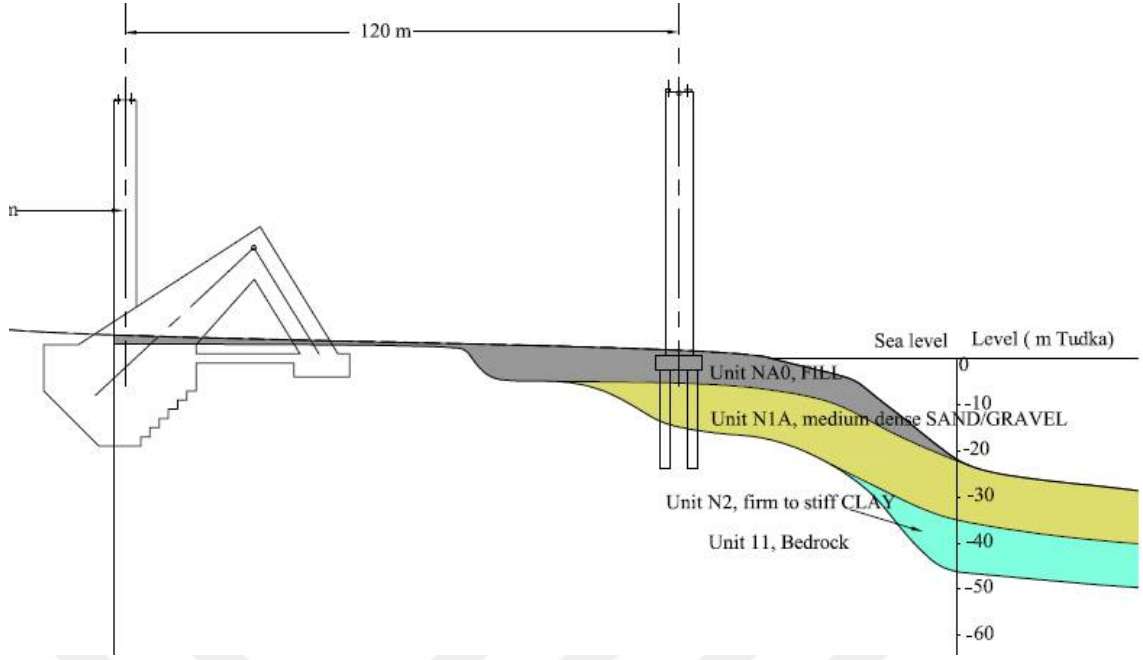
Kalınlık	Vs (m/s)	Yoğunluk (kN/m ³)	Zemin cinsi
13.7	200	20.1	Kum-(S1)
11.1	264	18.9	Kum-(S1A)
11	310	19.1	Kil-(S2)
4.5	409	19	Kum-(S3)
6	360	19.7	Kil-(S4)
2.3	305	20	Kum-(S5A)
6.2	305	19.3	Kum-(S5B)
11	400	19.9	Kum-(S5C)
8	440	19.8	Kil-(S6)
31	440	19.3	Kum-(S7)



Şekil 4.24 Güney kule zemin bilgilerinin DEEPSOIL programına girilmesi

4.2.3.4 Kuzey Ankraj Zemin Bilgileri

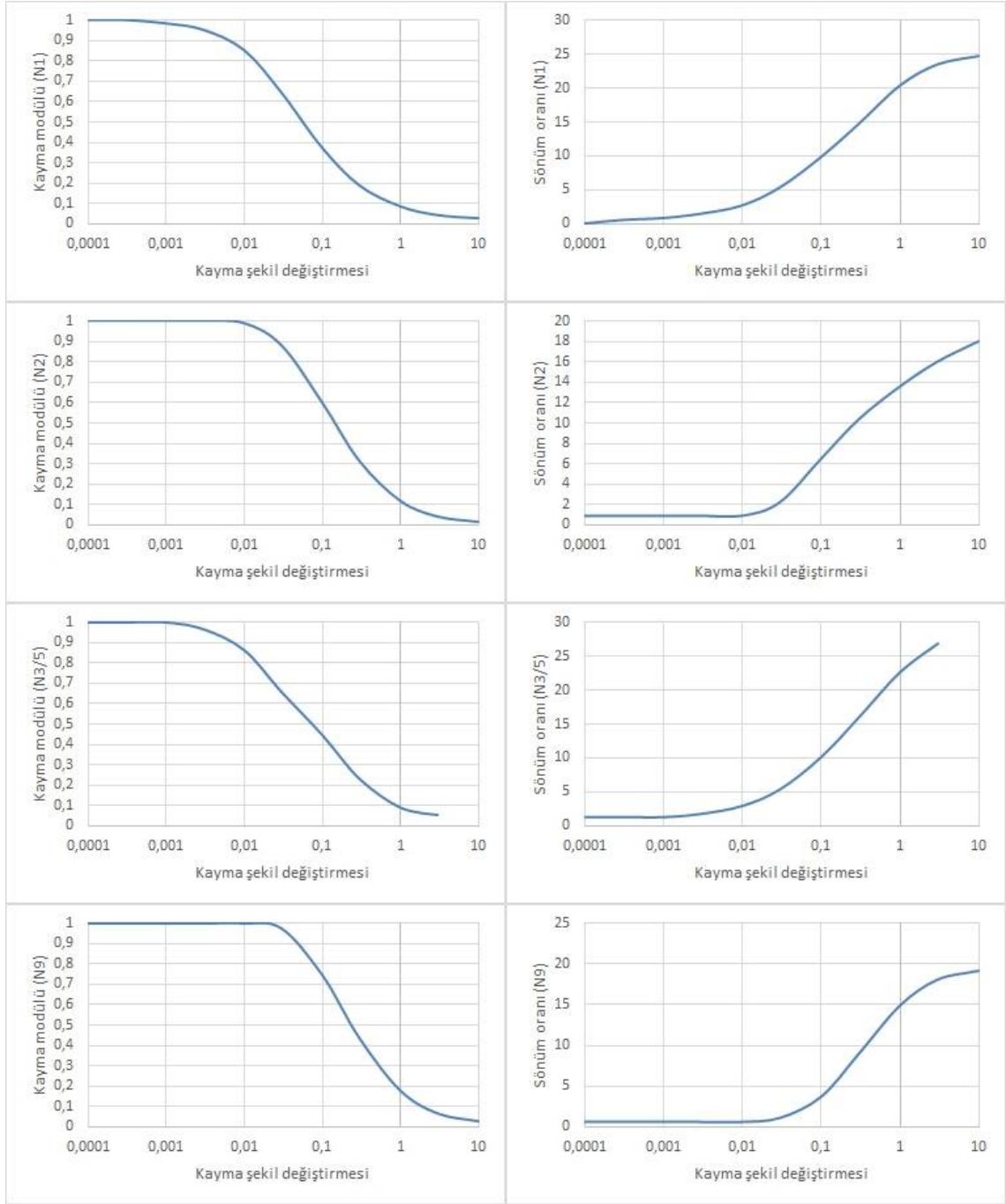
Kuzey ankraja ait zemin profili Şekil 4.25’de görülmektedir. Kuzey ankraj, anakaya üzerinde konumlandığı için anakaya üzerinde elde ettiğimiz yer hareketi kayıtları, herhangi bir değişiklik yapılmadan dinamik analizlerde kullanılmıştır.



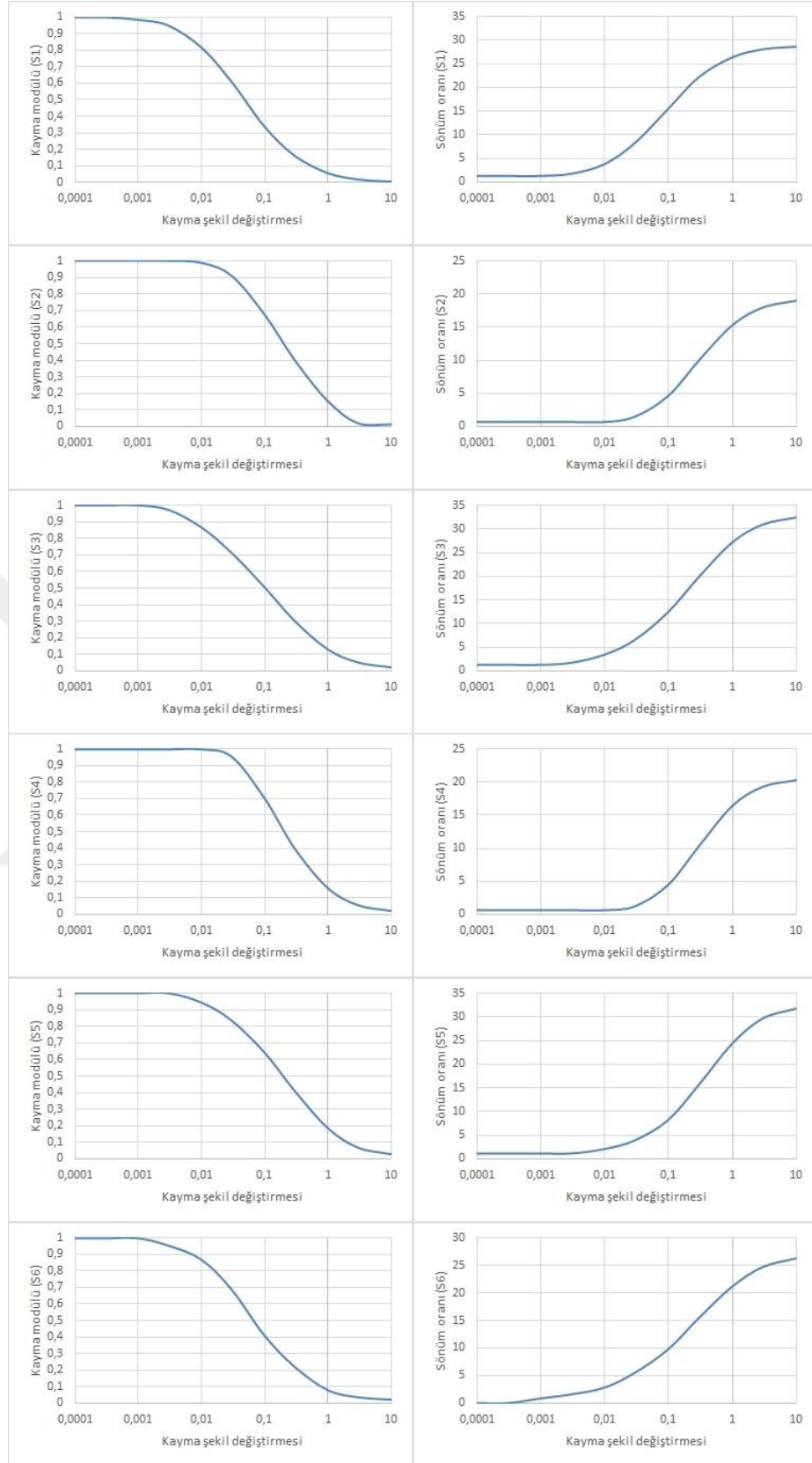
Şekil 4.25 Kuzey ankraj zemin profili [49]

4.2.3.5 Zeminlerin Kayma Modülü ve Sönüm Özellikleri

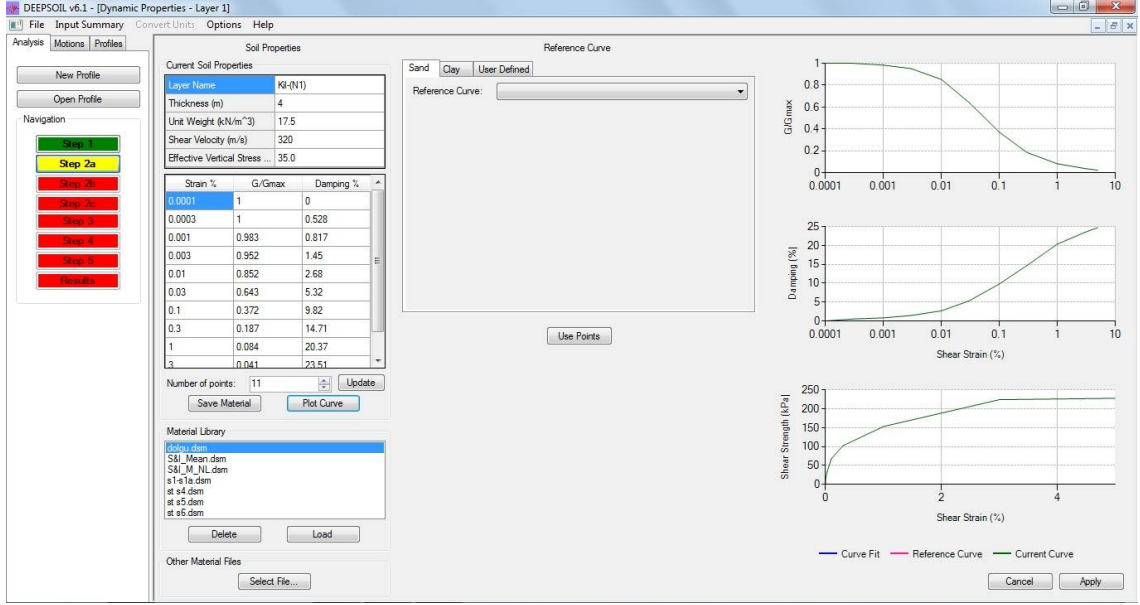
Eşdeğer lineer analiz yöntemi kullanılarak gerçekleştirilecek olan bir boyutlu zemin tepki analizinde, zeminlerin kayma modülü ve sönüm oranı parametrelerine ihtiyaç vardır. Her bir kule zemini için bu parametreler, Zhang vd. [30] yapmış oldukları çalışma referans alınarak belirlenmiştir. Yaptıkları çalışmada kulelerin zemin katmanlarına ait kayma modülü ve sönüm oranı eğrilerini, deneysel çalışmalar ve referans çalışmalar için oluşturmuşlardır. Bu eğriler üzerinden her bir zemin modeli için kayma modülü ve sönüm oranı değerleri, oluşturmuş oldukları referans eğriler üzerinden okunmuş ve grafikler Şekil 4.26-4.27'de görüldüğü şekilde oluşturulmuştur. Güney ankraj ve ivme kaydının alınmış alındığı istasyon bölgesi için böyle bir veri elimizde bulunmadığından, zemin cinsi olarak, en yakın özellikteki zemine ait kayma ve sönüm oranı eğrileri kullanılmıştır. Şekil 4.28'de DEEPSOIL programında kayma modülü ve sönüm oranı eğrilerinin programa girilmesine ilişkin bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 4.26 Kuzey kule zemini kayma modülü ve sönüm oranı eğrileri

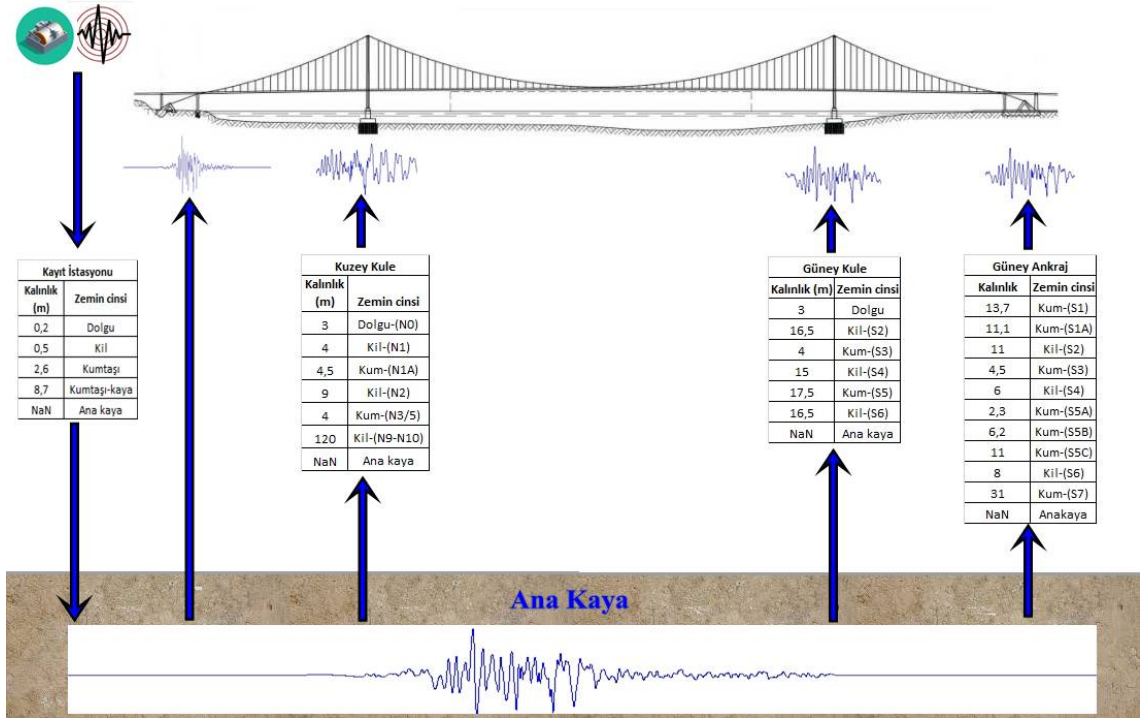


Şekil 4.27 Güney kule zemini kayma modülü ve sönüm oranı eğrileri



Şekil 4.28 DEEPSOIL programında eğrilerin girilmesine ait örnek görüntü- kuzey kule N1 zemini

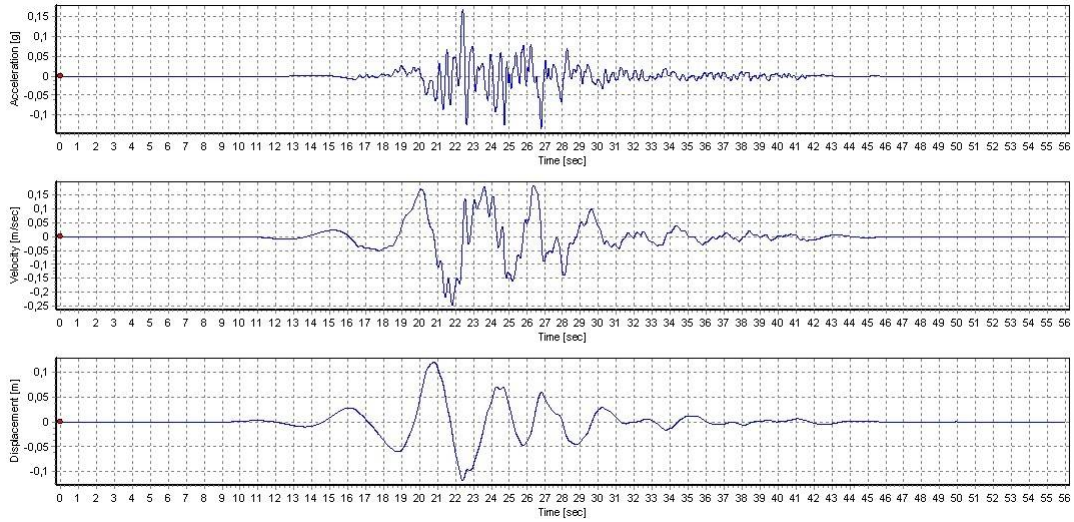
Köprünün her bir mesnet bölgesindeki zemin profili modeli DEEPSOIL programında oluşturulmuş ve ana kaya seviyesine indirilen deprem kaydı bir boyutlu zemin tepki analizi ile mesnet seviyelerine büyütülerek elde edilmiştir (Şekil 4.29).



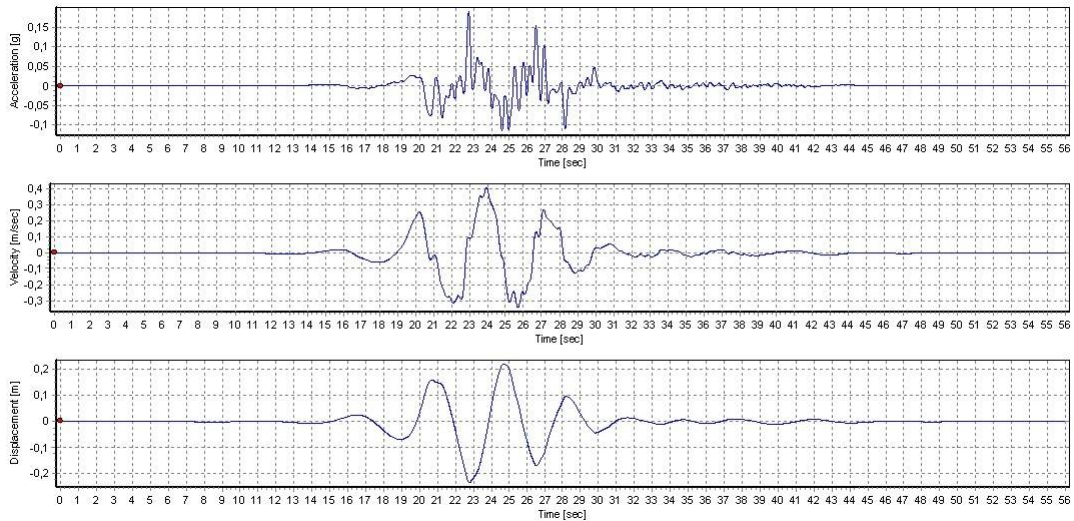
Şekil 4.29 Zemin tepki analizi

Analizler sonucu güney kule, kuzey kule ve güney ankraj bölgeleri için elde edilen ivme-zaman, hız-zaman ve deplasman-zaman grafikleri SeismoSignal programında grafiksel hale getirilmiştir.

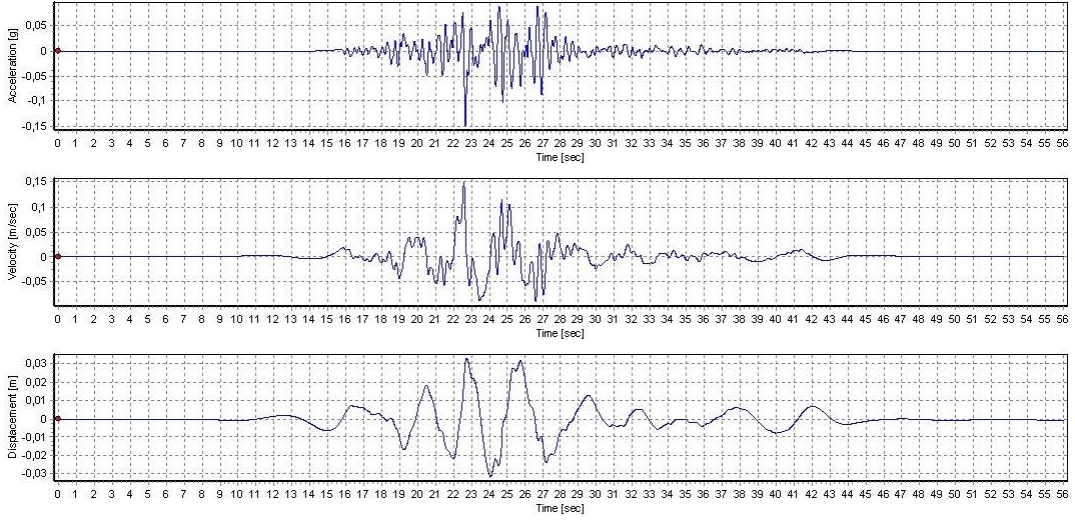
Zemin tepki analizleri sonucunda güney kule bölgesinde elde edilen deprem kaydının doğu-batı (E-W) bileşeninin maksimum ivme değeri 0.167 g, kuzey-güney (N-S) bileşeninin maksimum ivme değeri 0.189 g ve düşey (U-D) bileşeninin maksimum ivme değeri 0.148 g'dir. Güney kule zemin bölgesinde elde edilen ivme-zaman, hız-zaman ve deplasman-zaman grafikleri Şekil 4.30-4.32'de verilmiştir.



Şekil 4.30 Güney kule E-W bileşeni

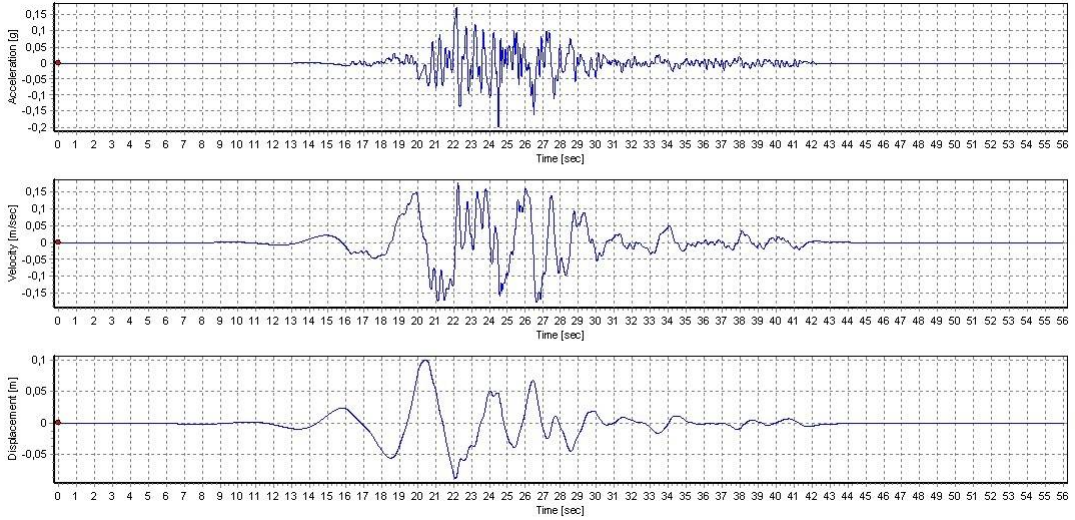


Şekil 4.31 Güney kule N-S bileşeni

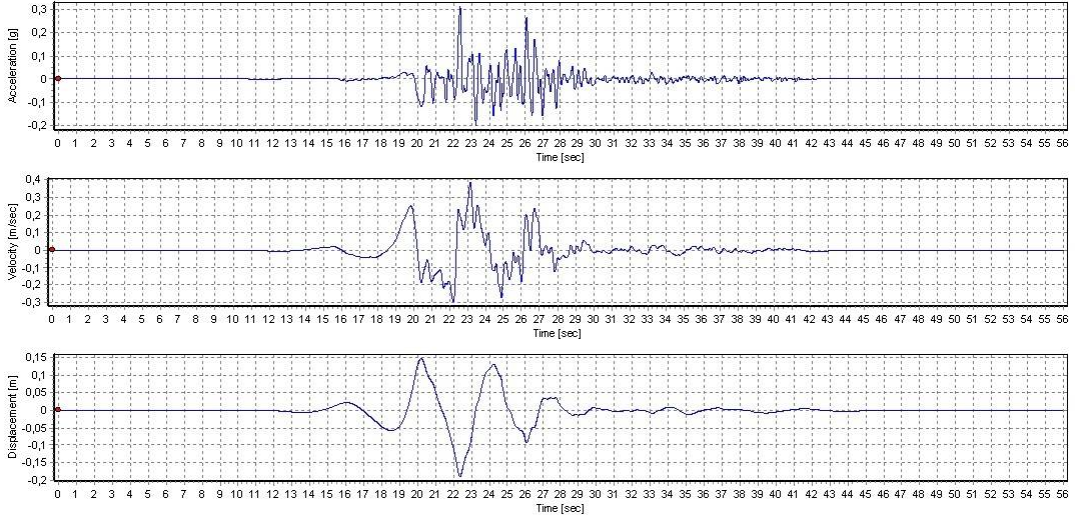


Şekil 4.32 Güney kule U-D bileşeni

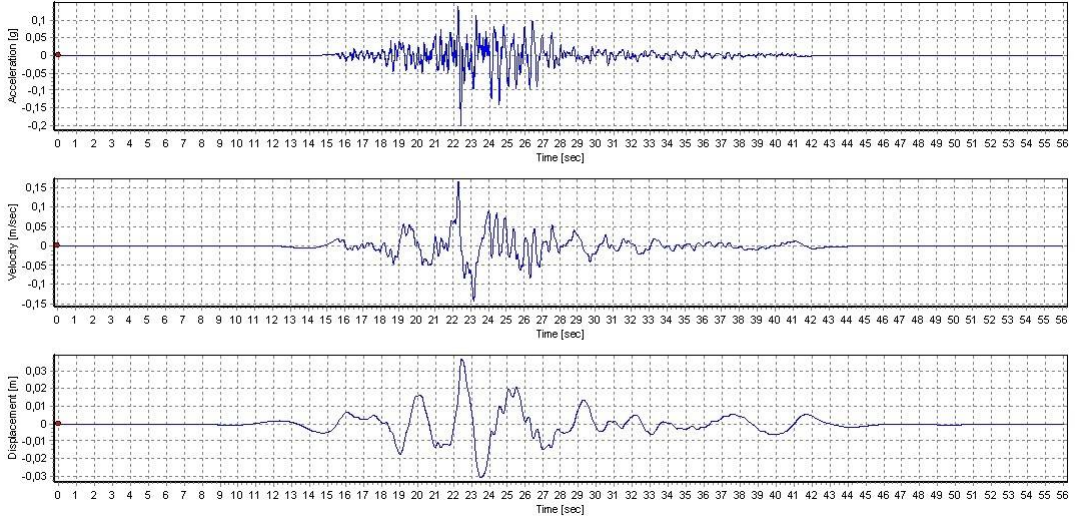
Zemin tepki analizleri sonucunda kuzey kule bölgesinde elde edilen deprem kaydının doğu-batı (E-W) bileşeninin maksimum ivme değeri 0.198 g, kuzey-güney (N-S) bileşeninin maksimum ivme değeri 0.312 g ve düşey (U-D) bileşeninin maksimum ivme değeri 0.200 g'dir. Kuzey kule zemin bölgesinde elde edilen ivme-zaman, hız-zaman ve deplasman-zaman grafikleri Şekil 4.33-4.35'te verilmiştir.



Şekil 4.33 Kuzey kule E-W bileşeni

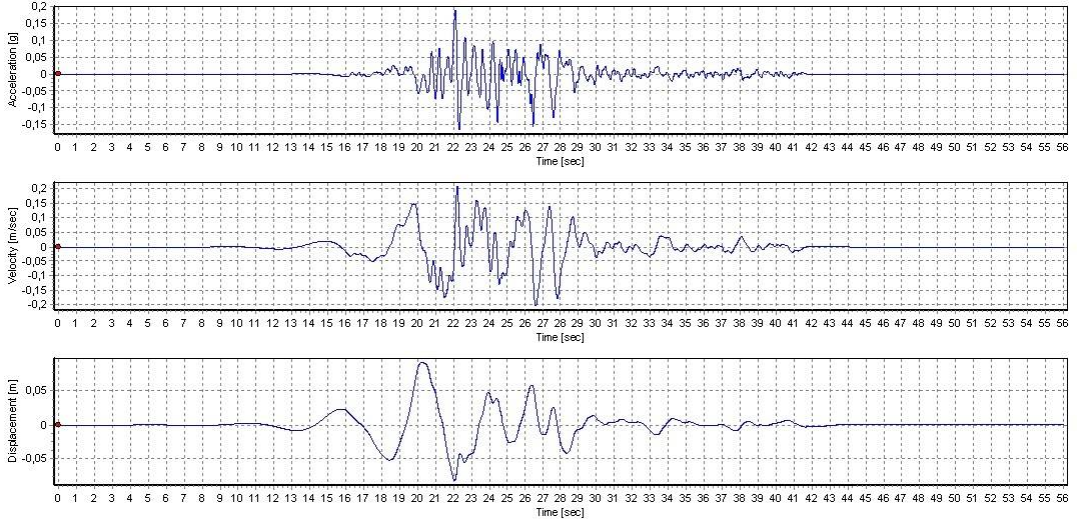


Şekil 4.34 Kuzey kule N-S bileşeni

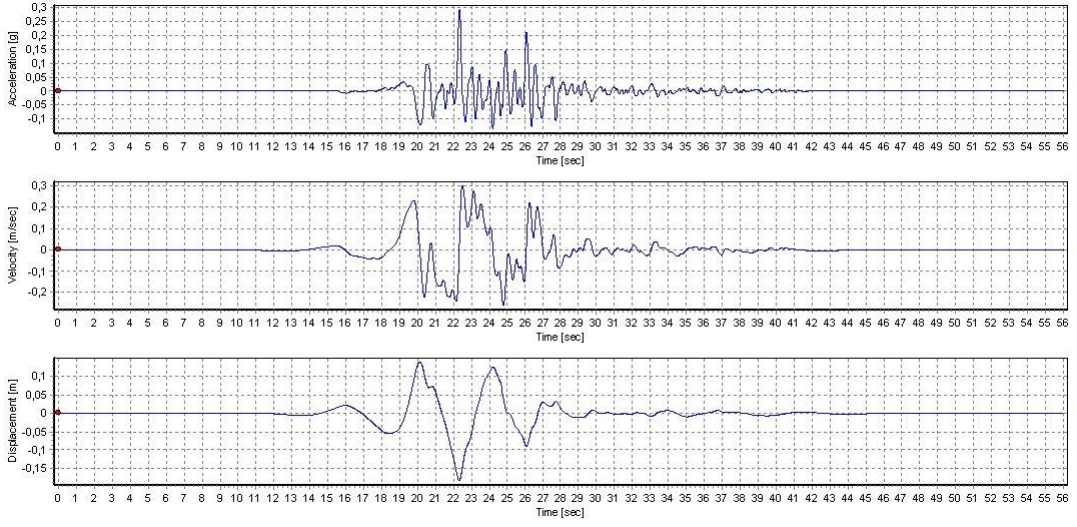


Şekil 4.35 Kuzey kule U-D bileşeni

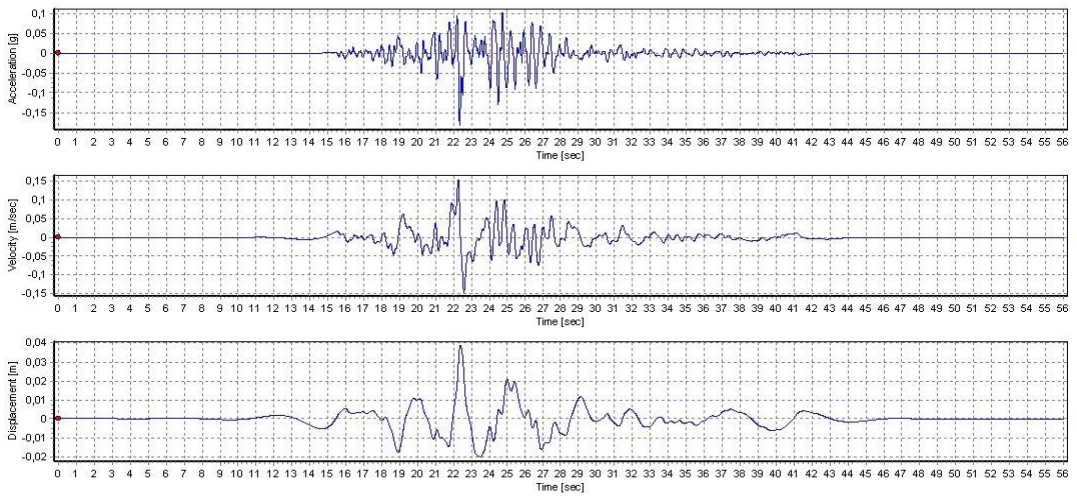
Zemin tepki analizleri sonucunda güney ankraj bölgesinde elde edilen deprem kaydının doğu-batı (E-W) bileşeninin maksimum ivme değeri 0.188 g, kuzey-güney (N-S) bileşeninin maksimum ivme değeri 0.291 g ve düşey (U-D) bileşeninin maksimum ivme değeri 0.182 g'dir. Güney ankraj zemin bölgesinde elde edilen ivme-zaman, hız-zaman ve deplasman-zaman grafikleri Şekil 4.36-4.38'de verilmiştir.



Şekil 4.36 Güney ankraj E-W bileşeni



Şekil 4.37 Güney ankraj N-S bileşeni



Şekil 4.38 Güney ankraj U-D bileşeni

ANALİZLER VE SONUÇLAR

5.1 Modal Analiz

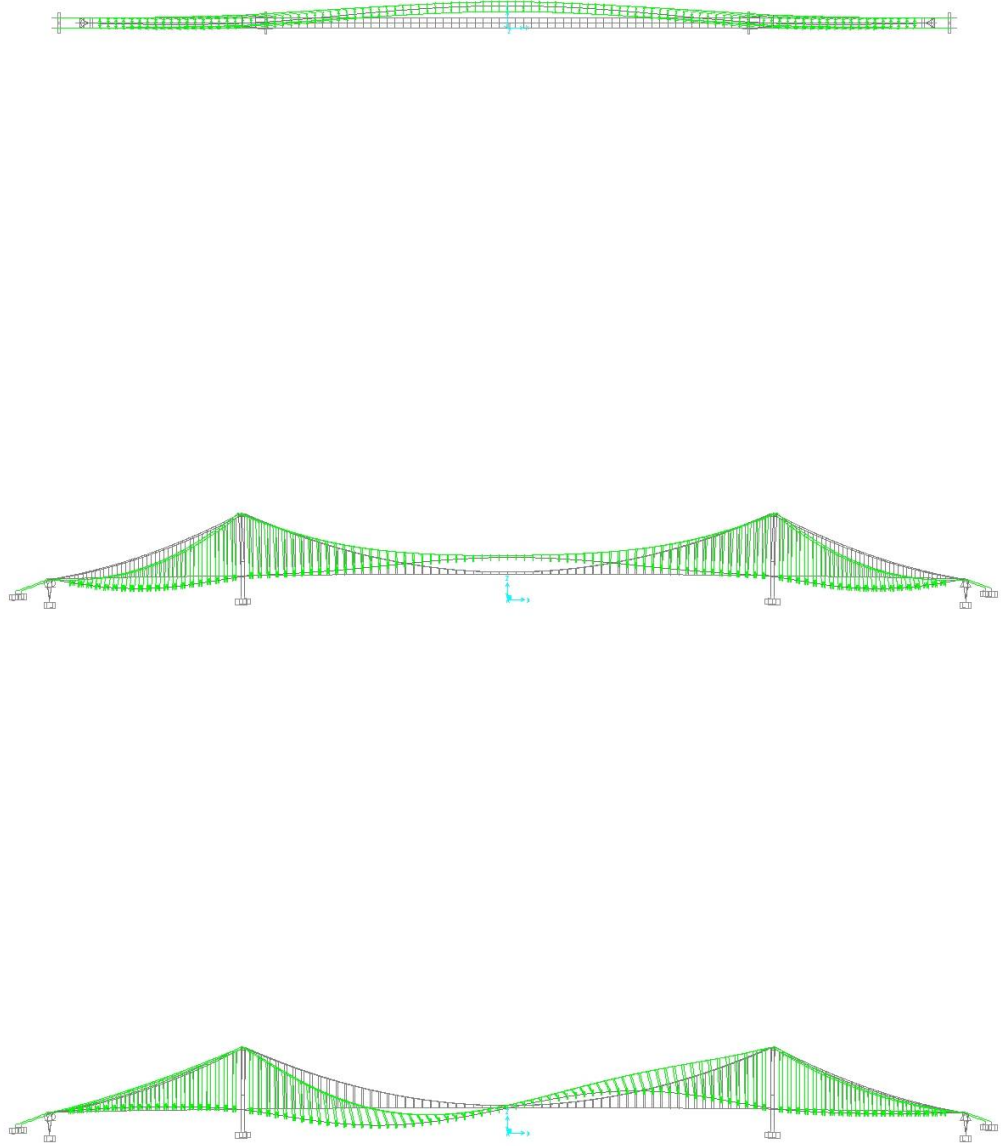
Yapısal modele ait doğal titreşim (modal) analizi yapıya ait dinamik karakteristiklerin belirlenmesi ve sonlu eleman modelinin doğrulanması amacı ile yapılmıştır. Buna göre, elde edilen doğal titreşim modları, önceden yapılmış olan çalışmalardaki değerler ile karşılaştırılmıştır.

Sonuçlara göre köprünün birinci doğal titreşim modu yanal doğrultuda olup hareket periyodu 17.85 saniyedir. İkinci ve üçüncü periyotlar düşey doğrultuda ve sırasıyla 11.12 ve 10.59 saniyedir. Köprünün ilk üç mod şekli Şekil 5.1’de verilmiştir.

Literatürle yapılan karşılaştırmada nümerik modele ait titreşim frekanslarının uyumlu olduğu gözlemlenmiş ve model doğrulanmıştır (Çizelge5.1).

Çizelge 5.1 Köprünün hesaplanmış olan modal titreşim frekansları

Titreşim modu	Frekans (Hz)	Diana vd. [29]Frekans (Hz)
1	0.056	0.051
2	0.090	0.088



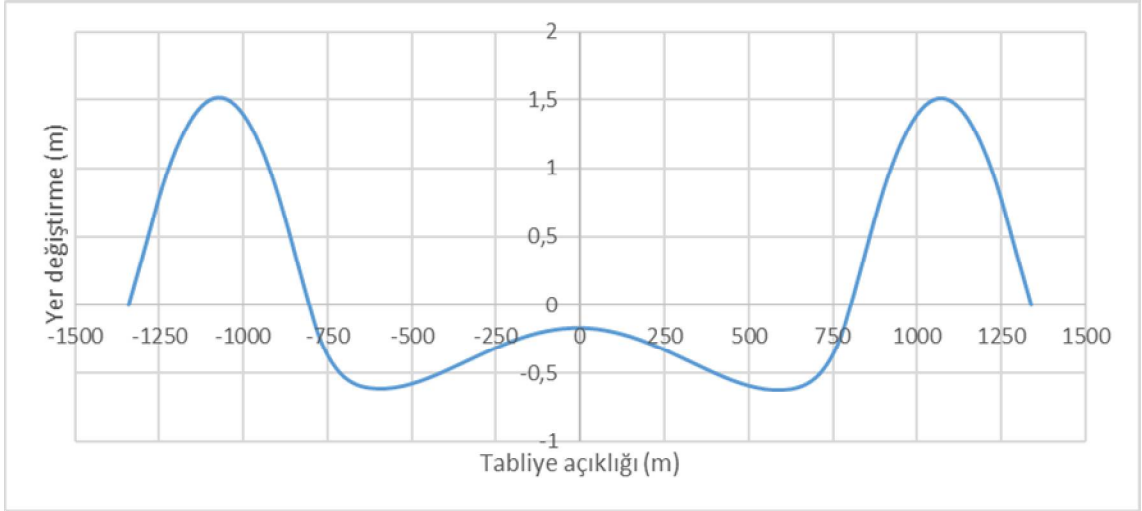
Şekil 5.1 Köprünün ilk 3 doğal titreşim mod şekilleri

5.2 Statik Analiz Sonuçları

Üç boyutlu nümerik modeli oluşturulmuş olan köprüde yer değiştirmeler ve yapısal elemanlara ait kesit tesiri değerleri, sadece köprünün zati yükü altında gerçekleştirilen doğrusal olmayan analizi sonucunda elde edilmiş ve incelenmiştir.

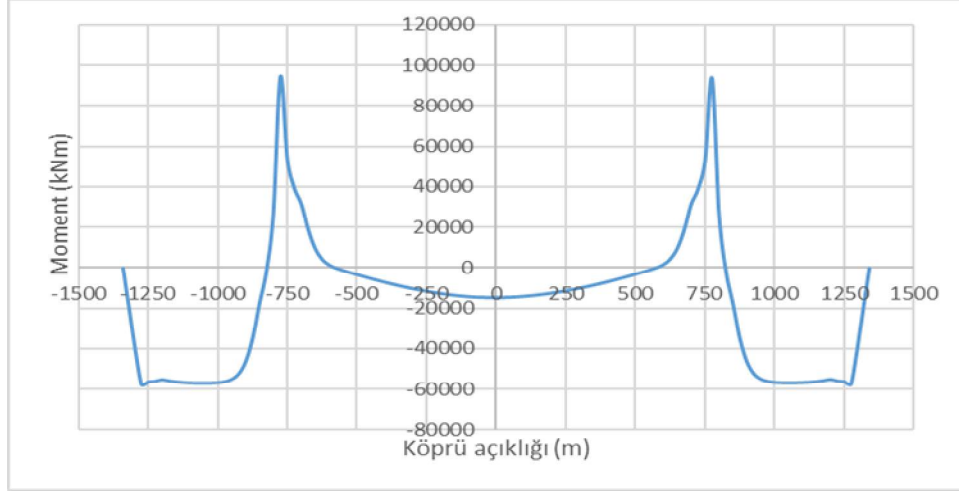
5.2.1 Tabliye

Şekil 5.2’de köprünün kendi ağırlığı altındaki doğrusal olmayan analiz sonucunda köprü açıklığı boyunca tabliyede oluşan yer değiştirme değerleri görülmektedir. Analiz sonucunda en büyük düşey yer değiştirmelerin kenar açıklıklarda meydana geldiği görülmektedir. Köprü kenar açıklıklarda +1.51 metre yer değiştirme yaparken köprü açıklığının orta noktasında -0.16 metre yer değiştirme yapmaktadır. Köprü zati ağırlığı altında başlangıç konumuna yakın bir geometriye sahip olması gerektiği için, orta açıklık değeri referans alınarak deneme yanılma yöntemi ile zati ağırlık altındaki deplasmanlar minimum konuma yani köprünün projelendirilmiş konumuna getirilmeye çalışılmıştır.



Şekil 5.2 Tabliye boyunca oluşan yer değiştirmeler

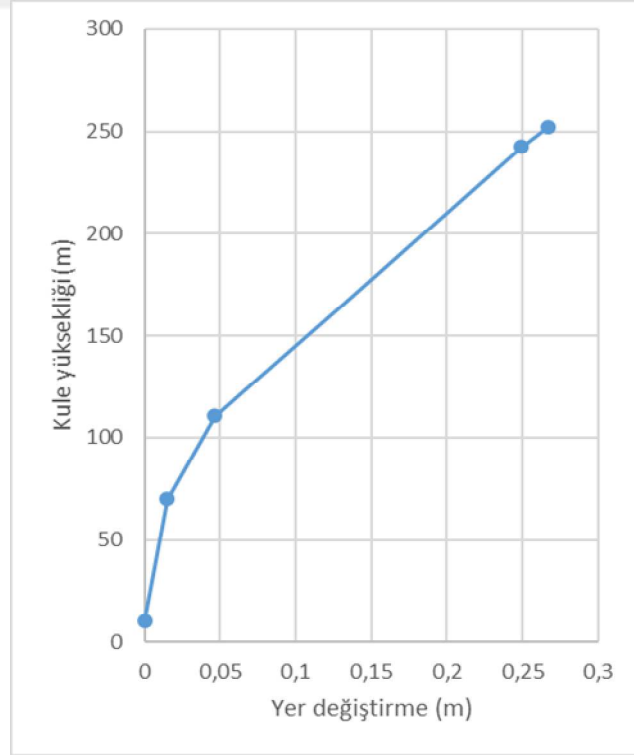
Şekil 5.3’te köprünün kendi ağırlığı altındaki doğrusal olmayan analiz sonucunda köprü açıklığı boyunca tabliyede oluşan moment değerleri görülmektedir. Analiz sonucunda en büyük moment değerlerinin kule tabliye birleşim noktalarında olduğu görülmektedir. Köprünün zati ağırlığı altındaki tabliyede oluşan maksimum eğilme momenti değeri 94619 kNm olarak elde edilmiştir.



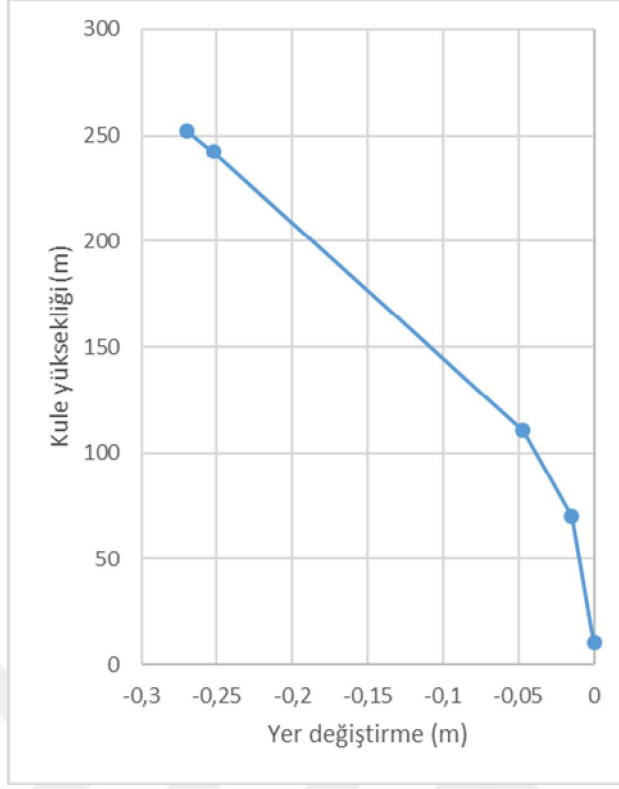
Şekil 5.3 Tabliye boyunca oluşan moment değerleri

5.2.2 Kule

Köprünün kendi ağırlığı altında doğrusal olmayan analizi sonucunda kuzey ve güney kulelerde oluşan yatay yer değiştirmeler Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te görülmektedir. Analizler sonucunda köprü başlangıç konumu olarak kuzey kulenin tepe noktasında 26.6 cm yer değiştirme oluşurken, benzer şekilde güney kule tepe noktasında 27 cm yer değiştirme oluşmuştur.

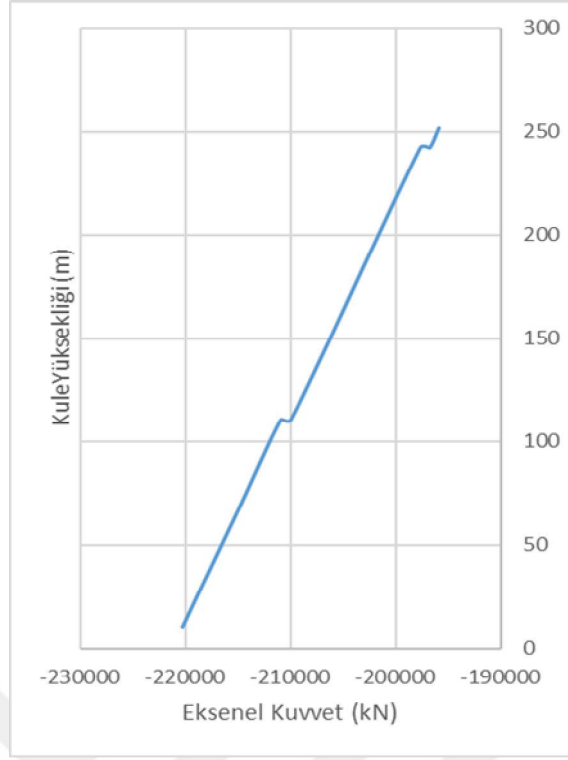


Şekil 5.4 Kuzey kule yer değiştirme grafiği

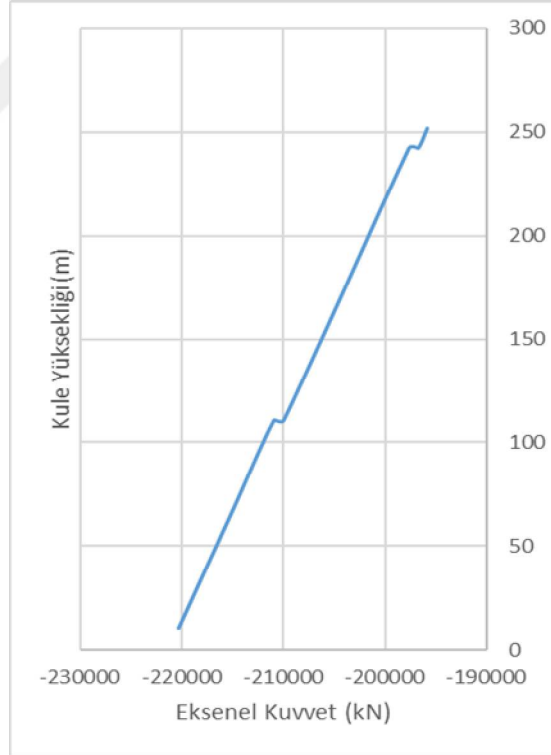


Şekil 5.5 Güney kule yer değiştirme grafiği

Köprünün kendi ağırlığı altında doğrusal olmayan analizi sonucunda kuzey ve güney kulelerde oluşan aksenal kuvvet değerleri Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'de görölmektedir. Köprü yüksekliği boyunca tepe noktasından tabana doğru aksenal kuvvet değerinin arttığı görölmektedir. Taban noktasında aksenal kuvvet değeri her iki kulede de 220000 kN olarak elde edilmiştir.



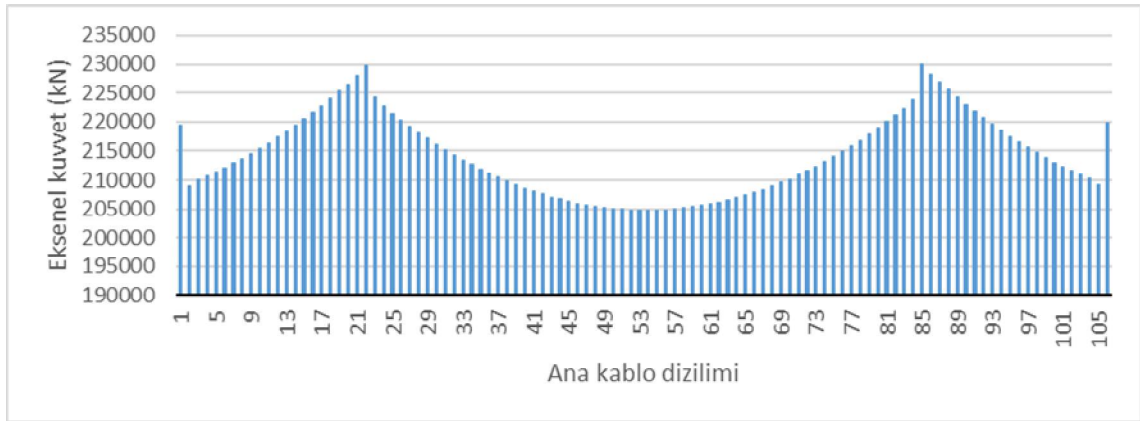
Şekil 5.6 Kuzey kule normal kuvvet grafiği



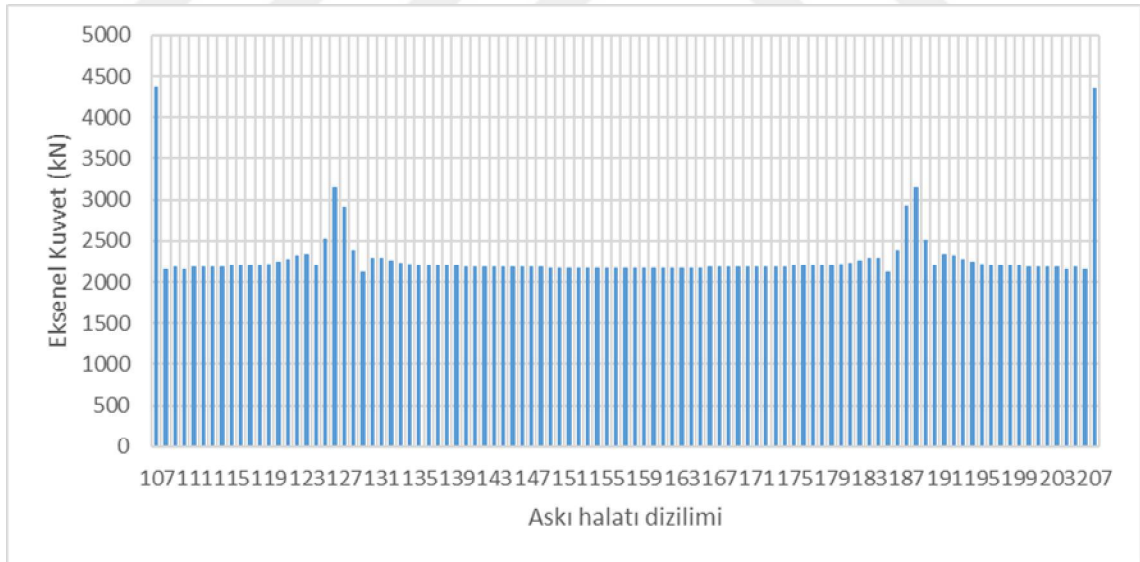
Şekil 5.7 Güney kule normal kuvvet grafiği

5.2.3 Ana Kablo ve Askı Halatı

Köprünün kendi ağırlığı altında doğrusal olmayan analizi sonucunda ana kablo ve askı halatlarında oluşan aksel kuvvet değerleri Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da görülmektedir. Analizler sonucunda en büyük aksel kuvvetin kule yakınlarındaki ana kablo ve askı halatlarında olduğu görülmüştür. Analiz sonucunda ana kablodaki en büyük aksel kuvvet değeri 230000 kN , askı halatındaki en büyük aksel kuvvet değeri 3146 kN olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.8 Ana kablo aksel kuvvet değerleri



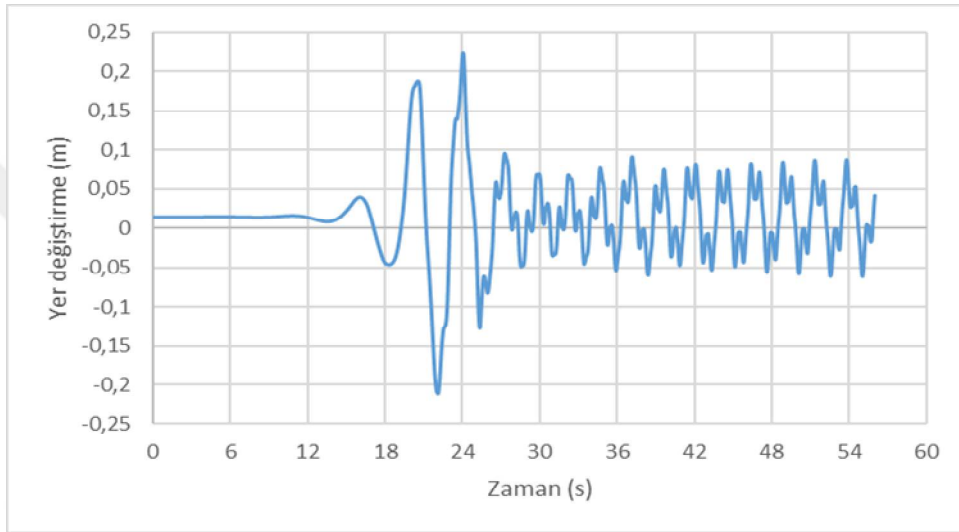
Şekil 5.9 Askı halatları aksel kuvvet değerleri

5.3 Üniform Yer Hareketi Altında Köprü Davranışı

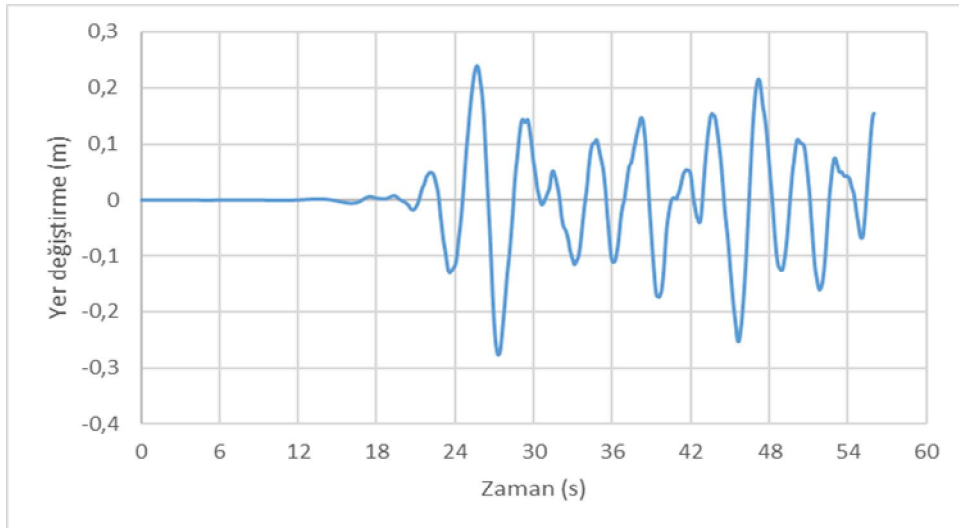
Bu kısımda köprünün her bir mesnetine aynı yer hareketi verilerek, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi sonucunda bulunan sonuçlar incelenecektir.

5.3.1 Tabliye

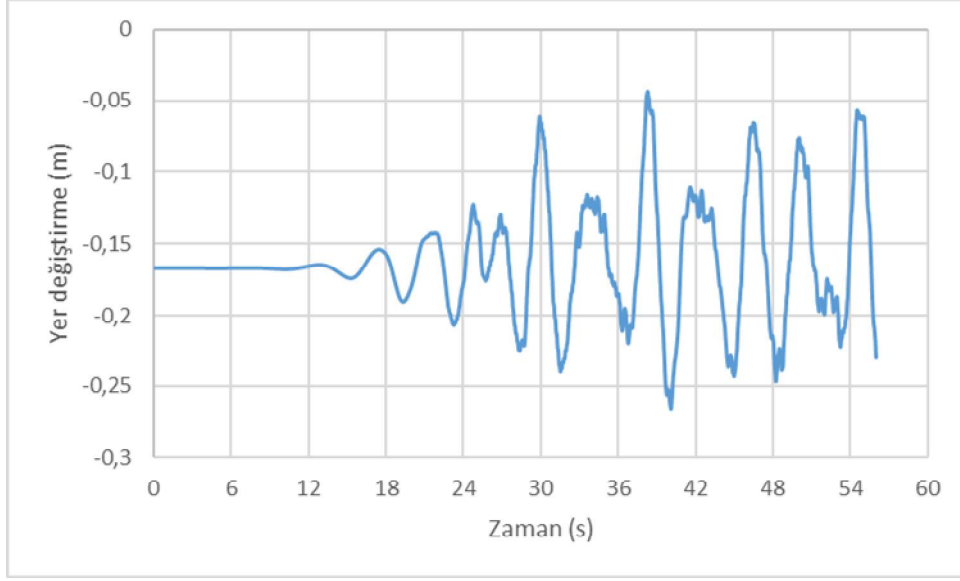
Üniform yer hareketi altında zaman tanım alanında yapılan analiz sonucunda tabliye açıklığının orta noktasına ait yer değiştirme değerlerinin zamana göre değişimi Şekil 5.10-5.12’de verilmiştir. Analiz sonucunda tabliye açıklığının orta noktasında x yönündeki oluşan en büyük yer değiştirme depremin 24.05’inci saniyesinde 0.224 m, y yönündeki en büyük yer değiştirme depremin 27.3’üncü saniyesinde 0.277 m, z yönündeki en büyük yer değiştirme depremin 40.1’inci saniyesinde 0.266 m olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.10 Üniform yer hareketi altında tabliyede x yönünde oluşan yer değiştirme dağılımı

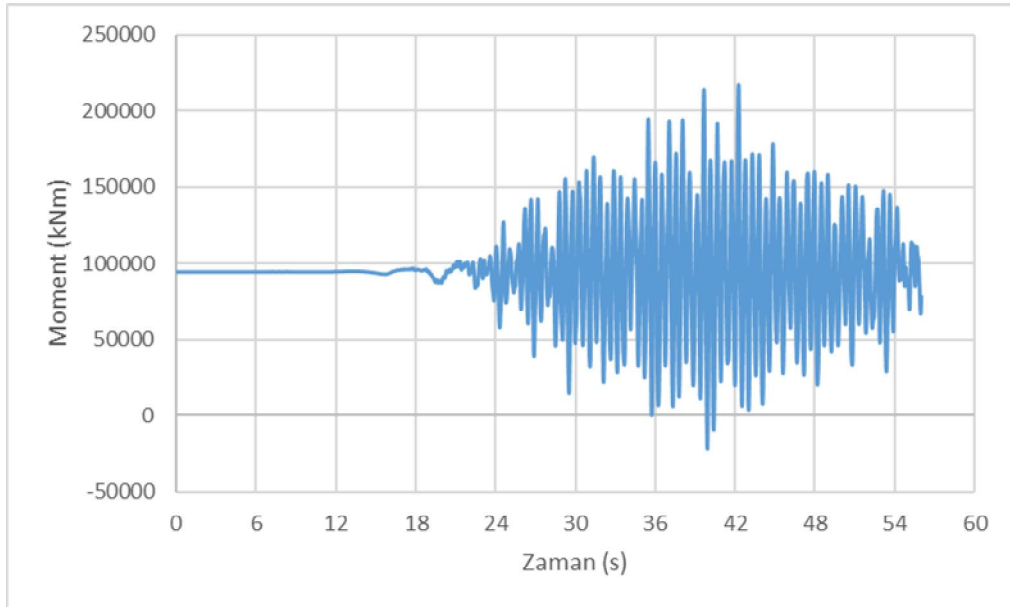


Şekil 5.11 Üniform yer hareketi altında tabliyede y yönünde oluşan yer değiştirme dağılımı



Şekil 5.12 Uniform yer hareketi altında tabliyede z yönünde oluşan yer değiştirme dağılımı

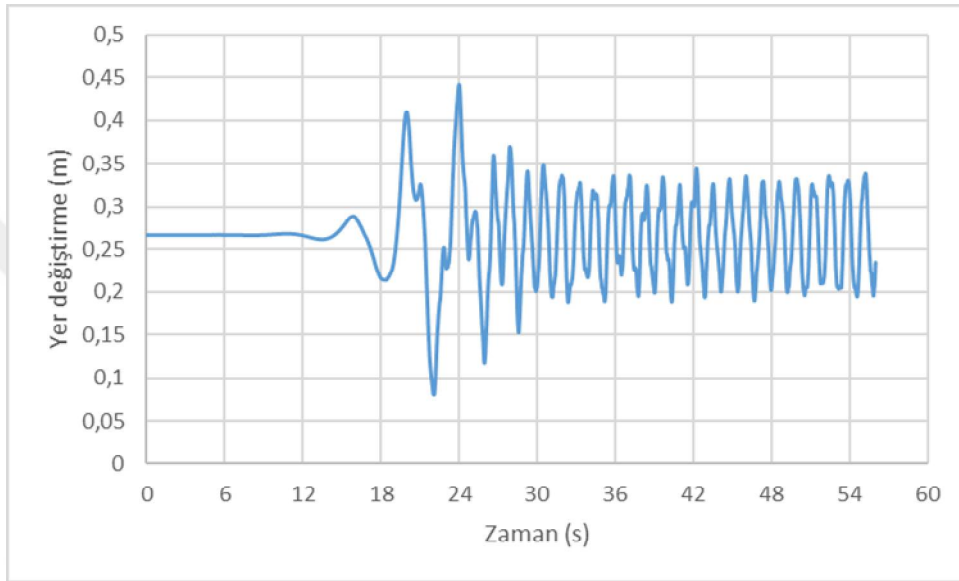
Uniform yer hareketi altında yapılan analizler sonucunda tabliyede oluşan en büyük eğilme momenti değeri kule yakınlarında bulunan tabliye elemanlarında elde edilmiştir. Depremın 42.265'inci saniyesinde eğilme momenti 217566 kNm ile en büyük değerine ulaşmıştır. Tabliye boyunca en büyük eğilme momentinin olduğu elemanda eğilme momenti değerinin zamana göre değişimi Şekil 5.13'te verilmiştir.



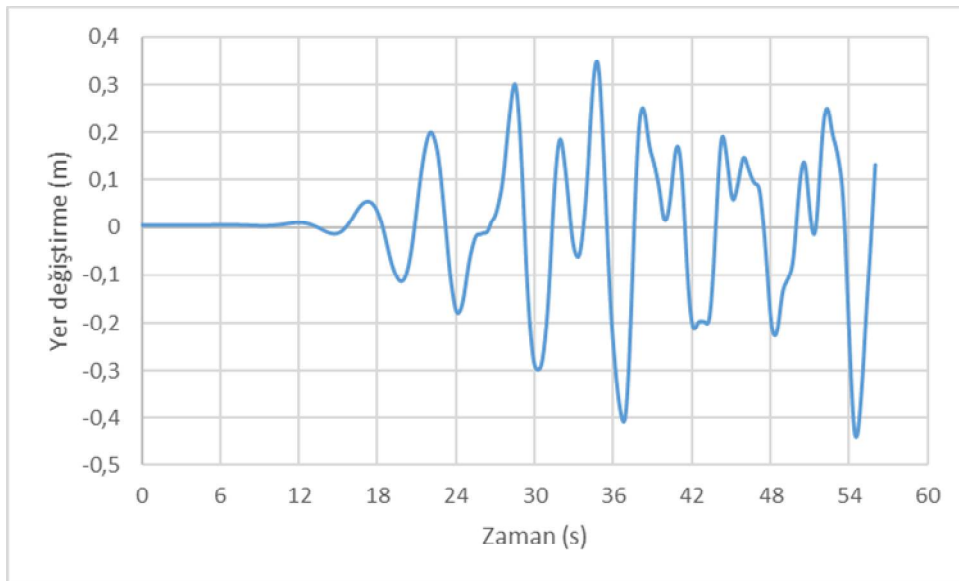
Şekil 5.13 Tabliyede meydana gelen eğilme momenti dağılımı

5.3.2 Kule

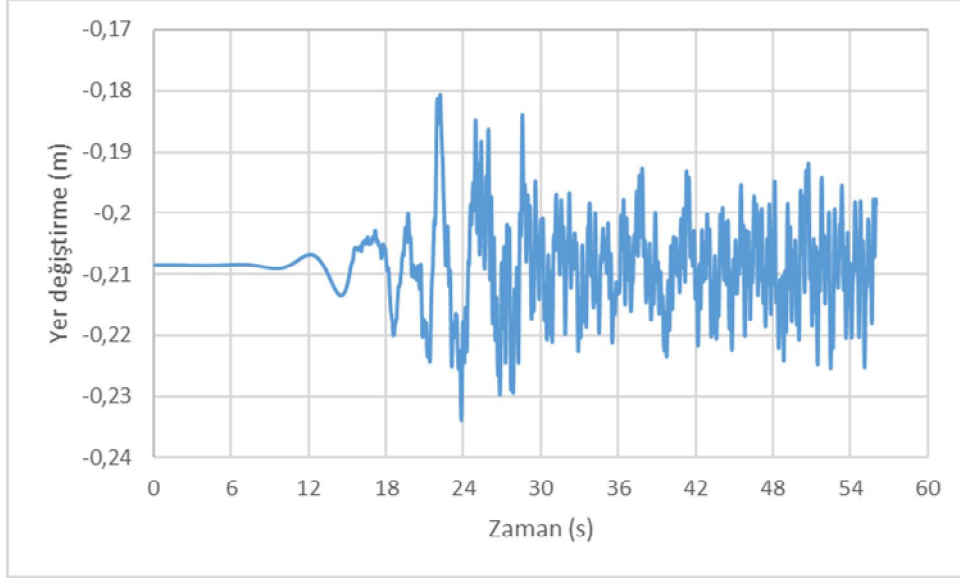
Üniform yer hareketi altında zaman tanım alanında yapılan analiz sonucunda her iki kulenin tepe noktalarına ait yer değiştirme dağılımları Şekil 5.14-5.19'da verilmiştir. Dinamik analizler sonucunda kuzey kule tepe noktasında x yönündeki oluşan en büyük yer değiştirme depremin 24.01'inci saniyesinde 0.44 m, y yönündeki en büyük yer değiştirme depremin 54.54'üncü saniyesinde 0.44 m, z yönündeki en büyük yer değiştirme depremin 23.84'üncü saniyesinde 0.23 m olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.14 Üniform yer hareketi altında kuzey kule tepe noktasında x yönünde meydana gelen yer değiştirme dağılımı

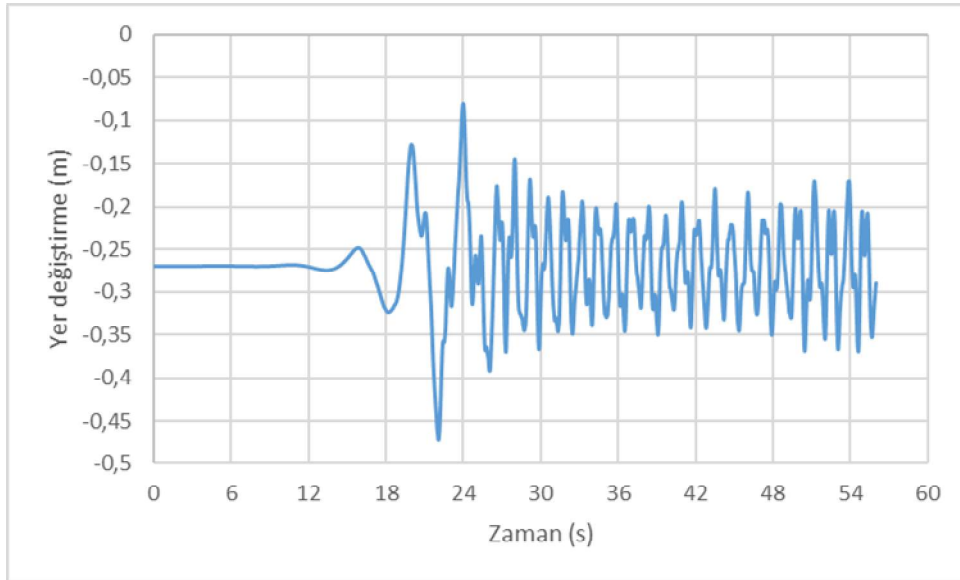


Şekil 5.15 Üniform yer hareketi altında kuzey kule tepe noktası y yönünde oluşan yer değiştirme dağılımı

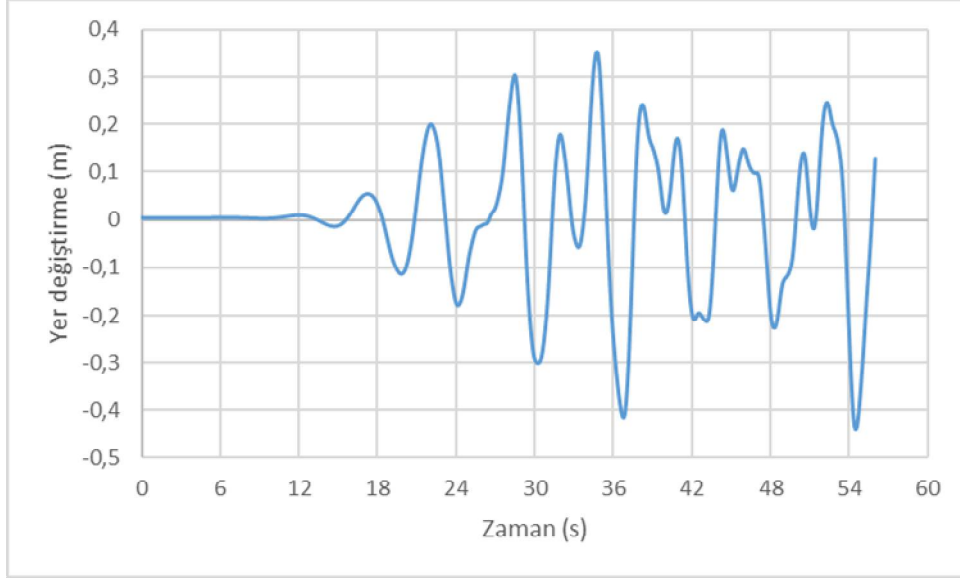


şekil 5.16 Üniform yer hareketi altında kuzey kule tepe noktası z yönünde oluşan yer değiştirme dağılımı

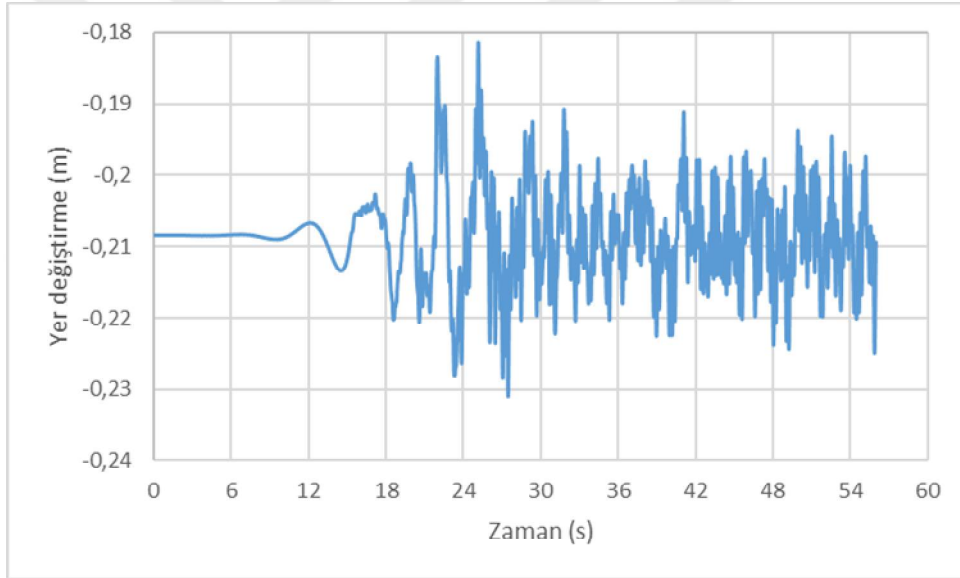
Güney kule tepe noktasında elde edilen yer değiştirme değerleri hemen hemen kuzey kule ile aynı değerlerdedir. Güney kule tepe noktasında x yönünde oluşan en büyük yer değiştirme depremin 22.07'inci saniyesinde 0.47 m, y yönünde en büyük yer değiştirme depremin 54.51'inci saniyesinde 0.44 m, z yönünde en büyük yer değiştirme depremin 27.47'inci saniyesinde 0.23 m olarak elde edilmiştir.



şekil 5.17 Üniform yer hareketi altında güney kule tepe noktasında x yönünde oluşan yer değiştirme dağılımı

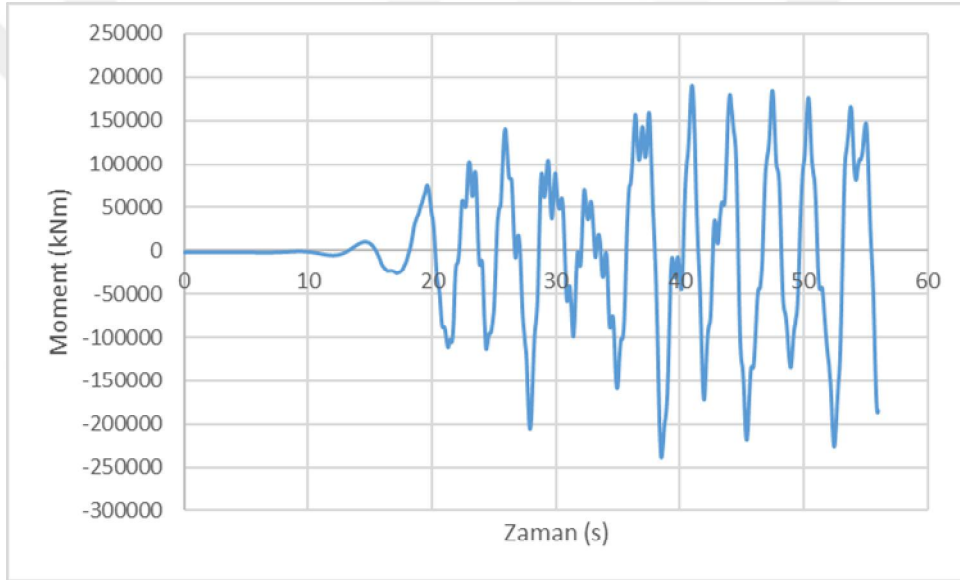
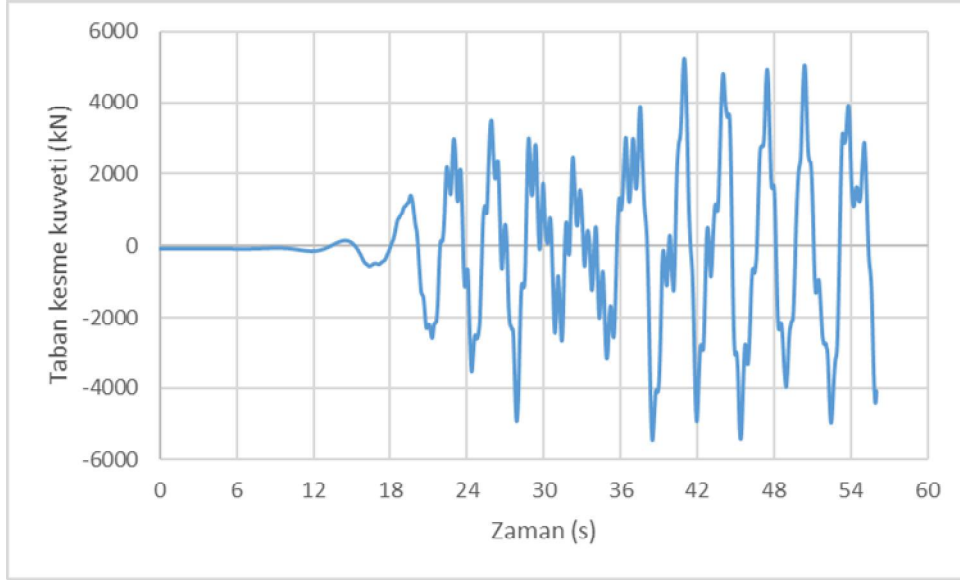


Şekil 5.18 Üniiform yer hareketi altında güney kule tepe noktasında y yönünde oluşan yer değiştirme dağılımı

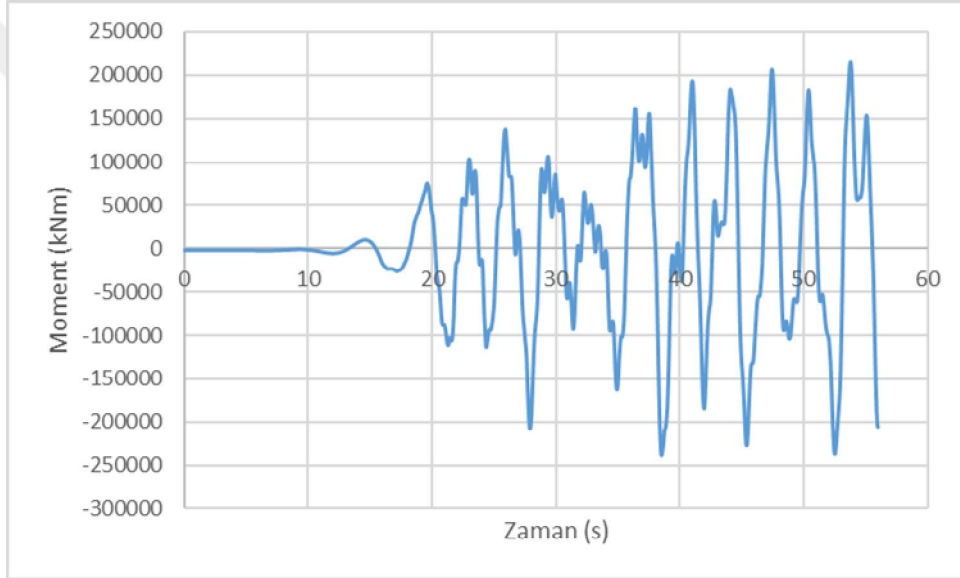
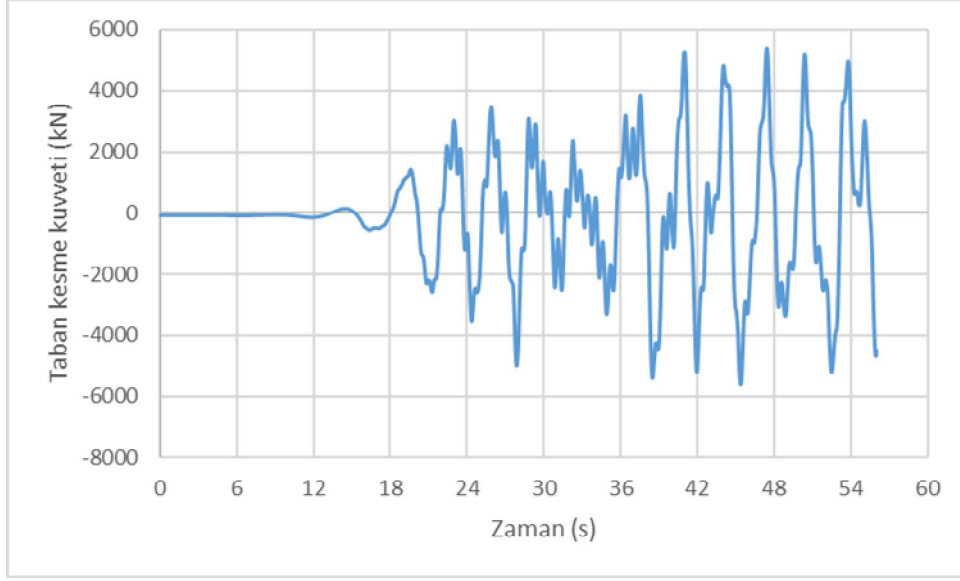


Şekil 5.19 Üniiform yer hareketi altında güney kule tepe noktasında z yönünde oluşan yer değiştirme dağılımı

Üniiform yer hareketi altında yapılan dinamik analiz sonucunda kulelerde elde edilen taban kesme kuvveti ve eğilme momenti değerlerinin zamana göre değişimi Şekil 5.20 ve Şekil 5.21'de gösterilmiştir. Taban kesme kuvvetinin en büyük değerleri güney kulede depremin 45.39'uncu saniyesinde 5615 kN, kuzey kulede depremin 38.49'uncu saniyesinde 5461 kN olarak elde edilmiştir. Eğilme momentinin en büyük değerleri güney kulede depremin 38.505'inci saniyesinde 239000kNm, kuzey kulede depremin 38.52'inci saniyesinde 238788 kNm olarak elde edilmiştir.



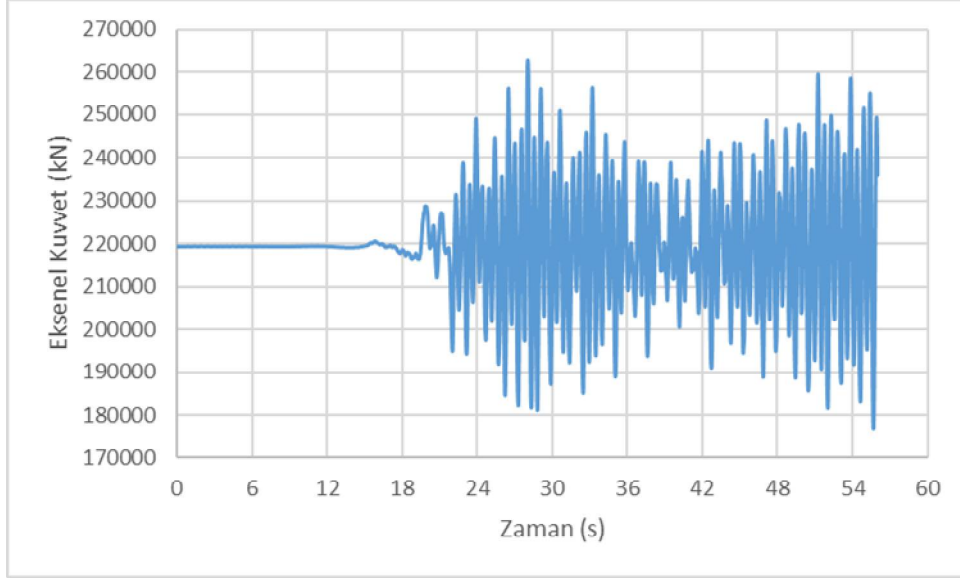
Şekil 5.20 Güney kulede taban kesme kuvveti ve eğilme momenti değişimi



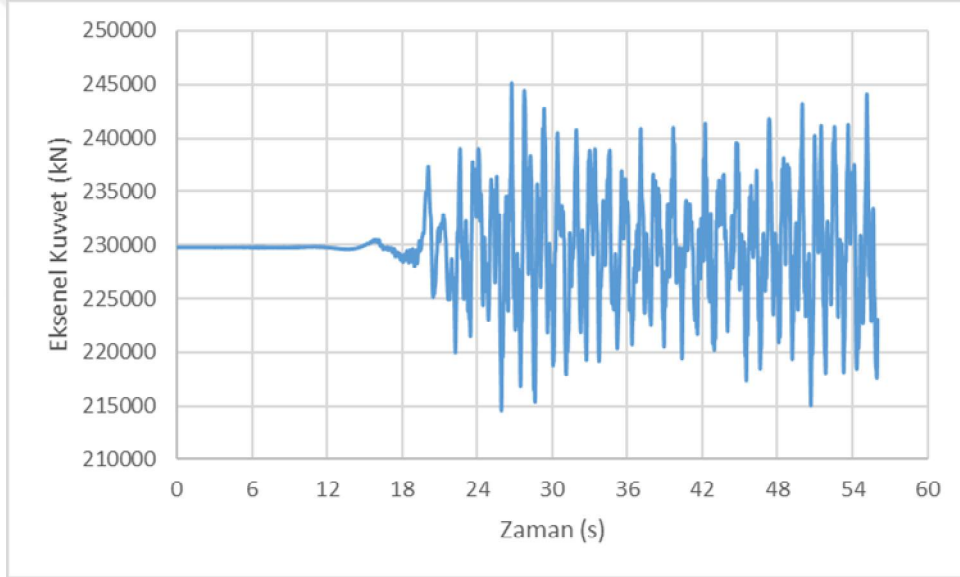
Şekil 5.21 Kuzey kulede taban kesme kuvveti ve eğilme momenti değişimi

5.3.3 Ana Kablo ve Askı Halatları

Üniform yer hareketi altında zaman tanım alanında yapılan analiz sonucunda ana kabloda oluşan en büyük eksenel kuvvet değerlerinin ankraj noktalarında ve kule-ana kablo birleşim noktalarında olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 5.22 ve Şekil 5.23'te en büyük eksenel kuvvetin olduğu ana kablolarda, zamana bağlı eksenel kuvvet değişiminin grafikleri verilmiştir. Ankraj noktasındaki en büyük eksenel kuvvet değeri 262788 kN olurken kule-ana kablo birleşim noktalarında 245147 kN olarak elde edilmiştir.

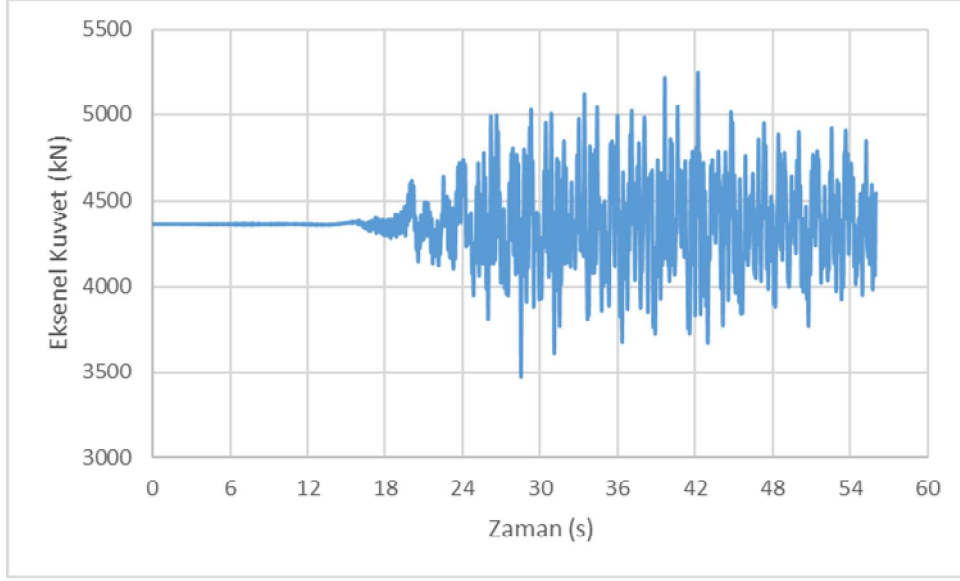


Şekil 5.22 Ankraj noktasındaki ana kabloya ait eksenel kuvvet değişimi

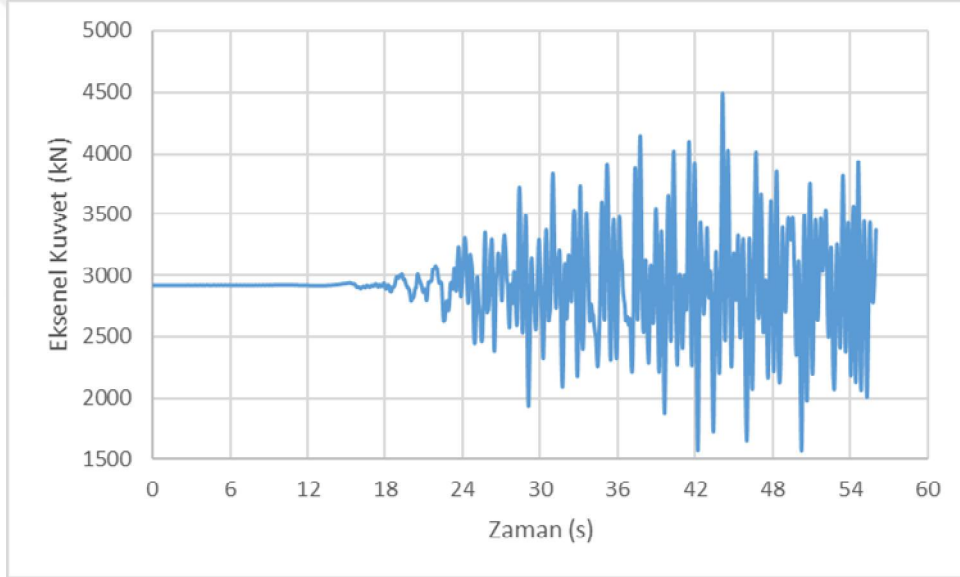


Şekil 5.23 Kule birleşim noktasındaki ana kabloya ait eksenel kuvvet değişimi

Askı halatlarında en büyük eksenel kuvvetin kenar açıklık sonlarında ve kule yanlarında bulunan askı halatlarında olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 5.24 ve 5.25'te sırasıyla kenar açıklık ve kule yakınındaki askı halatlarında oluşan eksenel kuvvet değerlerinin zamana göre değişimi verilmiştir. Kenar açıklıkta en büyük eksenel kuvvet değeri 5249 kN kule yanlarında ise 4491 kN olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.24 Kenar açıklık askı halatında eksenel kuvvet değişimi



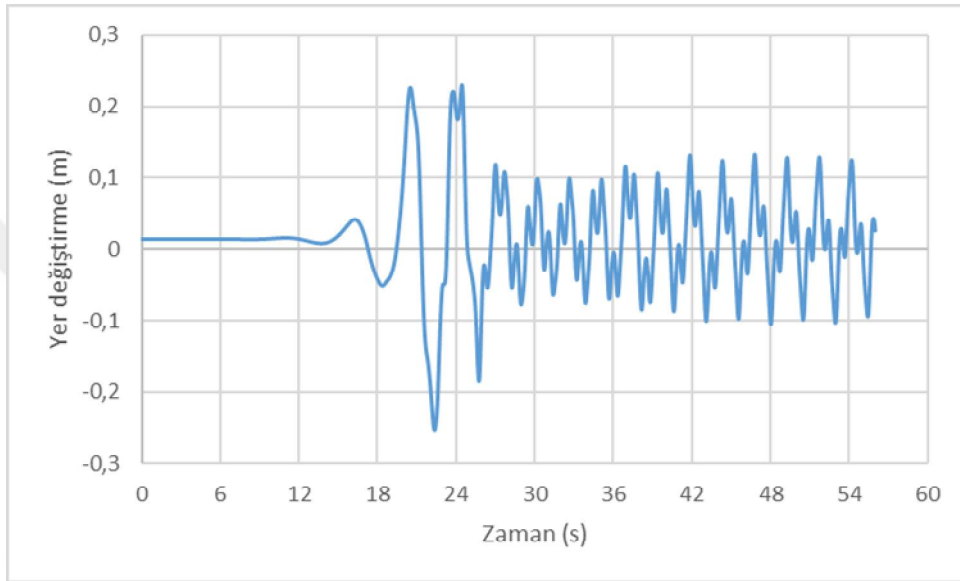
Şekil 5.25 Kule yakını askı halatında eksenel kuvvet değişimi

5.4 Üniorm Olmayan Yer Hareketi Altında Köprü Davranışı

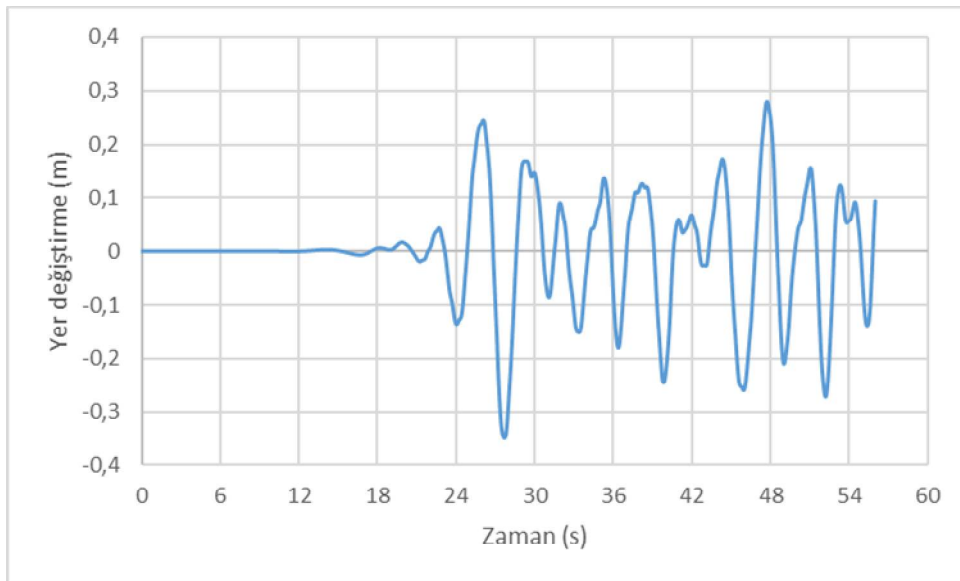
Mevcut zemin koşullarını göz önünde bulundurarak köprünün her bir mesnetinde elde edilen farklı yer hareketi kayıtları ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda köprü üzerinde en çok zorlanan kritik kesitler aşağıda incelenmiştir.

5.4.1 Tabliye

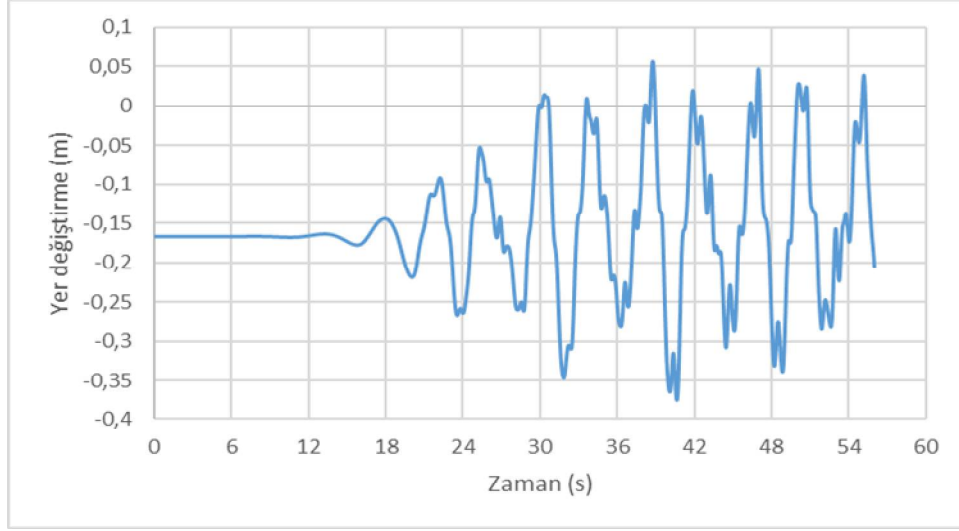
Mesnetlerinde farklı yer hareketi altında zaman tanım alanında yapılan analiz sonucunda tabliye orta noktasına ait yer değiştirme değerleri Şekil 5.26’da verilmiştir. Analiz sonucunda tabliye açıklığının orta noktasında x yönünde oluşan en büyük yer değiştirme depremin 22.365’inci saniyesinde 0.252 m, y yönünde en büyük yer değiştirme depremin 27.685’inci saniyesinde 0.349 m, z yönünde en büyük yer değiştirme depremin 40.645’inci saniyesinde 0.375 m olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.26 Uniform olmayan yer hareketi altında tabliyede x yönünde oluşan yer değiştirme dağılımı



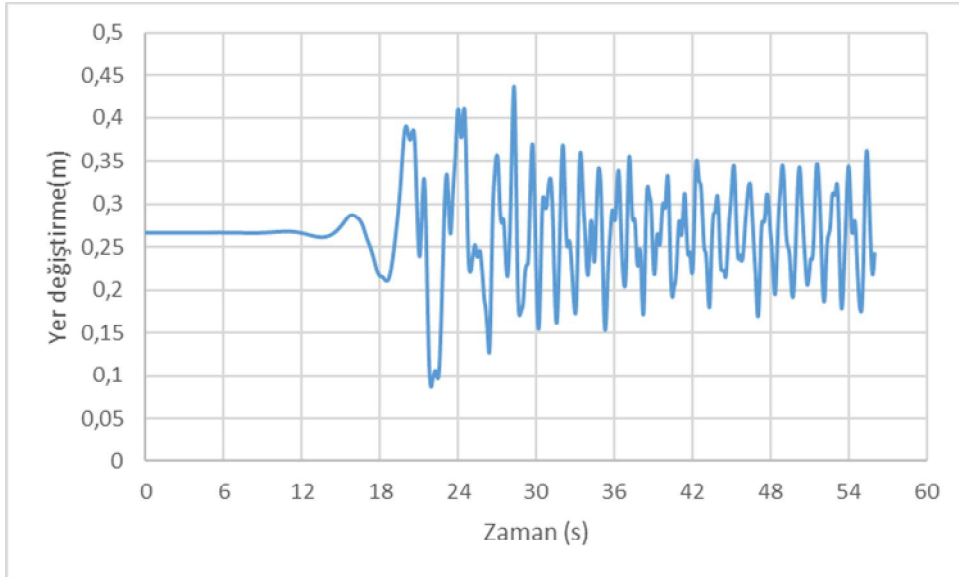
Şekil 5.27 Uniform olmayan yer hareketi altında tabliyede y yönünde oluşan yer değiştirme dağılımı



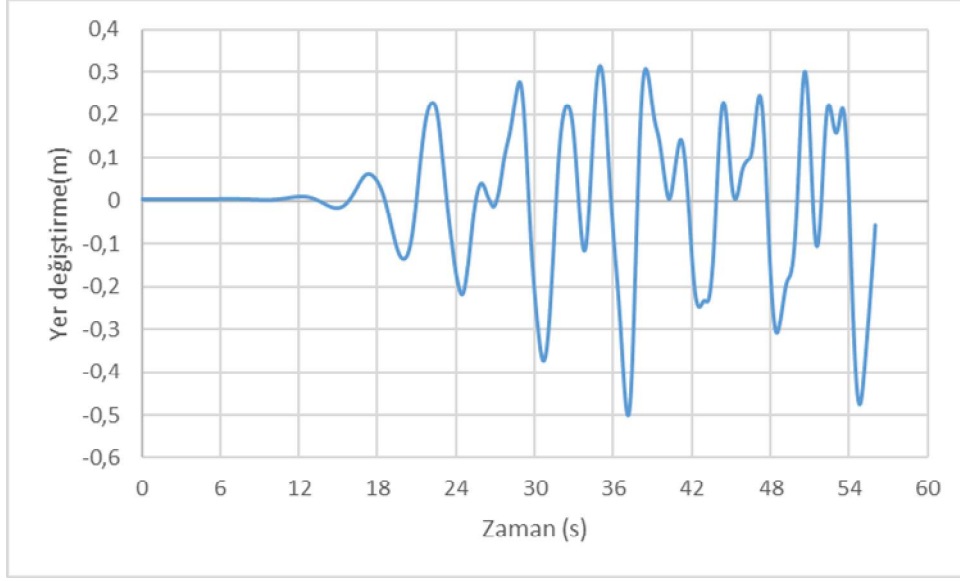
Şekil 5.28 Uniform olmayan yer hareketi altında tabliyede z yönünde oluşan yer değiştirme dağılımı

5.4.2 Kule

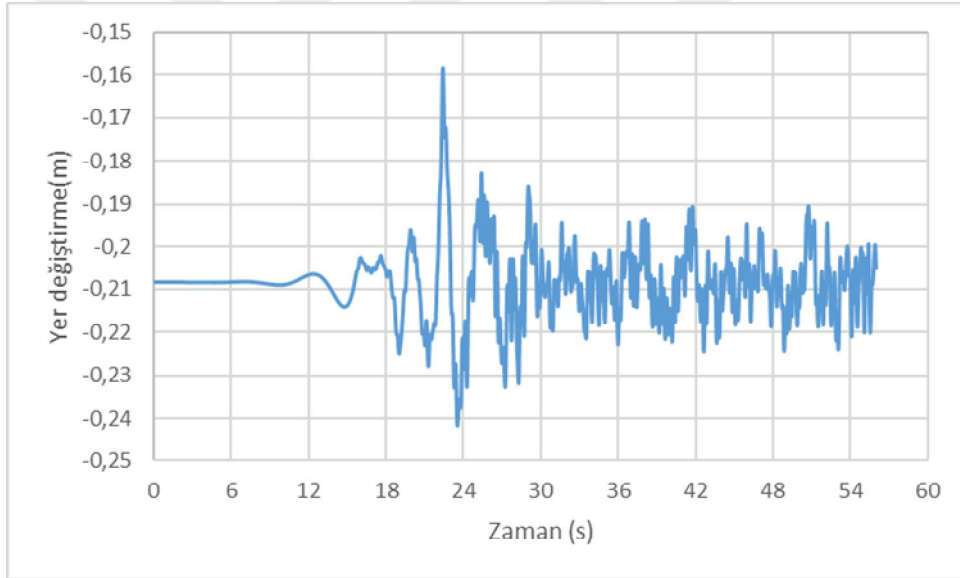
Mesnetlerinde farklı yer hareketi altında zaman tanım alanında yapılan analiz sonucunda her iki kulenin tepe noktalarına ait yer değiştirme değerleri Şekil 5.29-5.34'te verilmiştir. Dinamik analizler sonucunda kuzey kule tepe noktası x yönünde oluşan en büyük yer değiştirme depremin 28.305'inci saniyesinde 0.437 m, y yönünde en büyük yer değiştirme depremin 37.135'inci saniyesinde 0.50 m, z yönünde en büyük yer değiştirme depremin 23.54'üncü saniyesinde 0.242 m olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.29 Üniorm olmayan yer hareketi altında kuzey kule tepe noktasında x yönünde oluşan yer değiştirme dağılımı

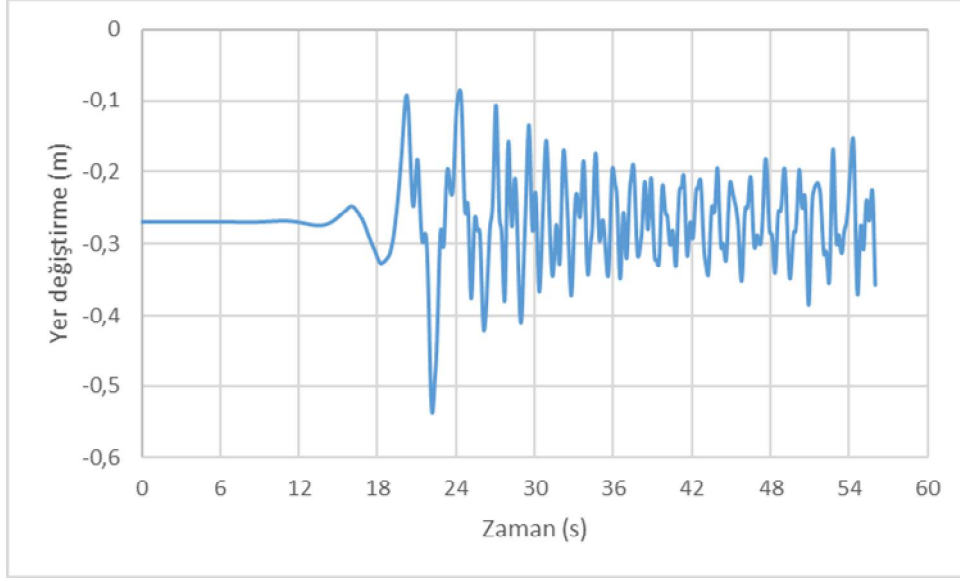


Şekil 5.30 Üniorm olmayan yer hareketi altında kuzey kule tepe noktasında y yönünde oluşan yer değiştirme dağılımı

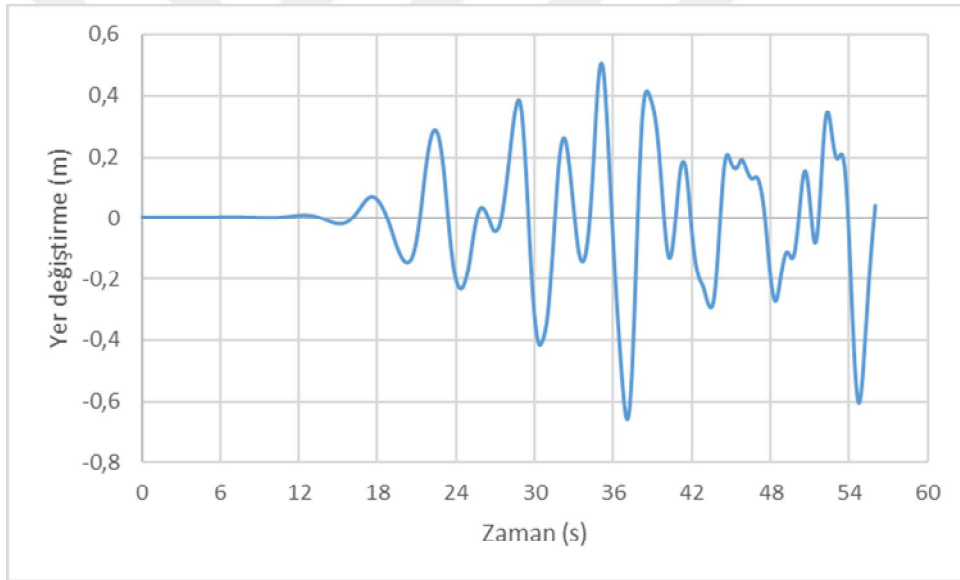


Şekil 5.31 Üniorm olmayan yer hareketi altında kuzey kule tepe noktasında z yönünde oluşan yer değiştirme dağılımı

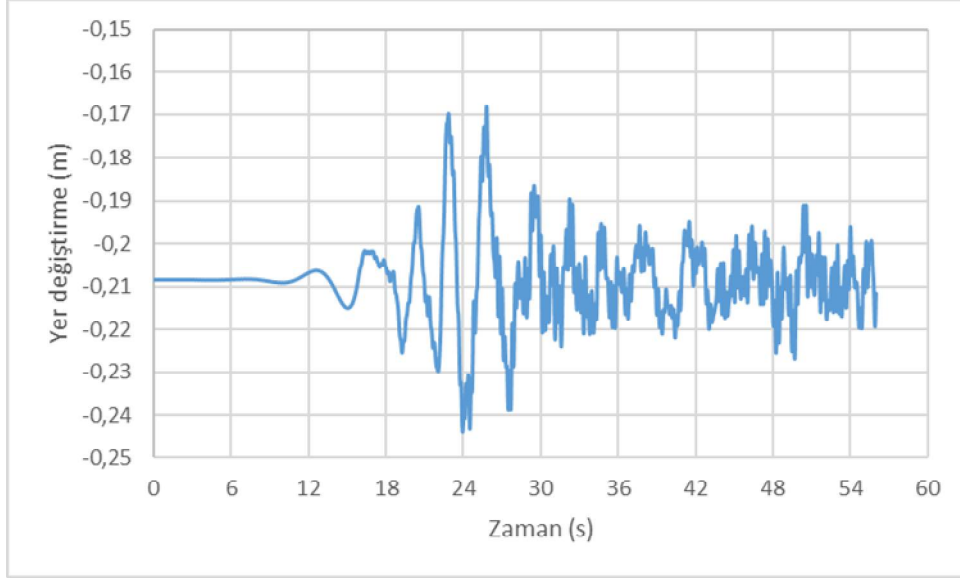
Güney kule tepe noktası x yönündeki oluşan en büyük yer değiştirme depremin 22.185'inci saniyesinde 0.537 m, y yönündeki en büyük yer değiştirme depremin 37.07'inci saniyesinde 0.656 m, z yönündeki en büyük yer değiştirme depremin 23.945'inci saniyesinde 0.244 m olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.32 Üniform olmayan yer hareketi altında güney kule tepe noktasında x yönünde oluşan yer değiştirme dağılımı

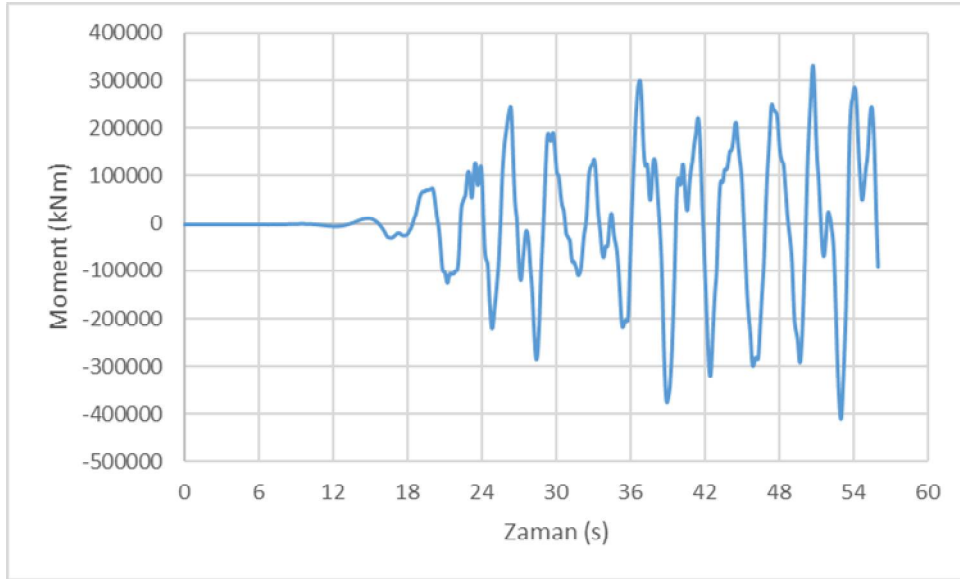


Şekil 5.33 Üniform olmayan yer hareketi altında güney kule tepe noktasında y yönünde oluşan yer değiştirme dağılımı

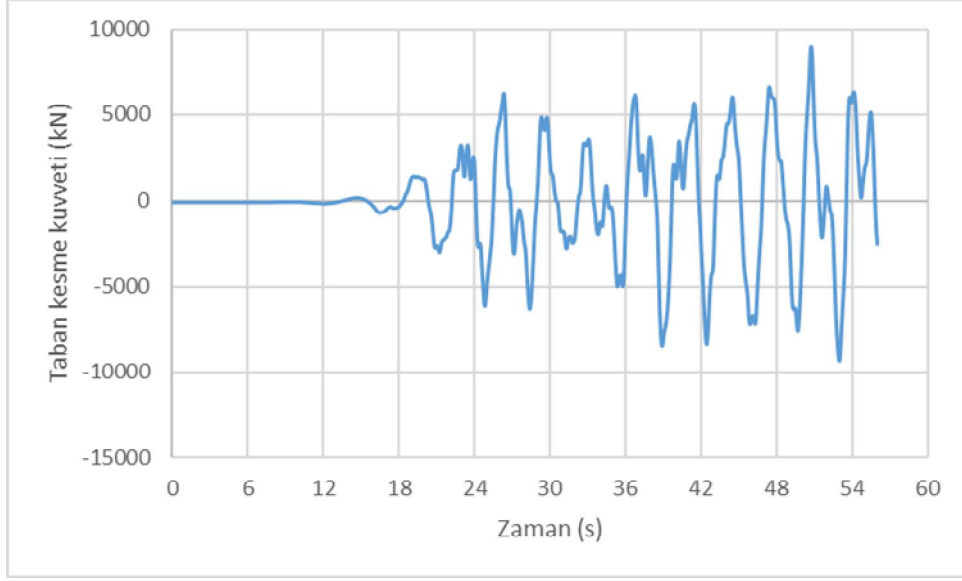


Şekil 5.34 Üniform olmayan yer hareketi altında güney kule tepe noktasında z yönünde oluşan yer değiştirme dağılımı

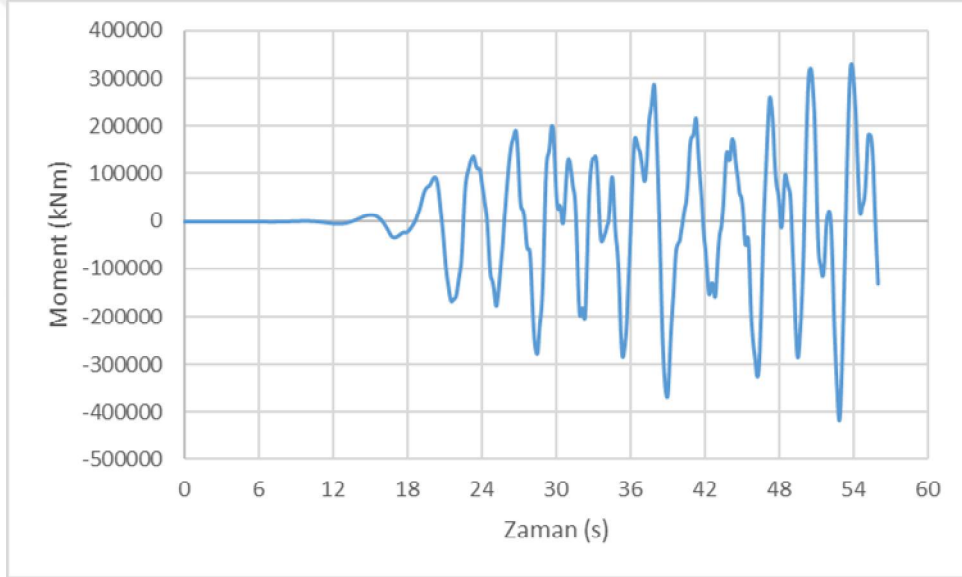
Üniform olmayan yer hareketi altında yapılan dinamik analiz sonucunda kulelerde elde edilen taban kesme kuvveti ve eğilme momenti değerlerinin zamana göre değişimi Şekil 5.35 ve Şekil 5.36'da gösterilmiştir. Taban kesme kuvvetinin en büyük değerleri güney kulede depremin 52.88'inci saniyesinde 9295 kN, kuzey kulede depremin 52.995'inci saniyesinde 9344 kN olarak elde edilmiştir. Eğilme momentinin en büyük değerleri güney kulede depremin 52.87'inci saniyesinde 416839 kNm, kuzey kulede depremin 53'üncü saniyesinde 409825 kNm olarak elde edilmiştir.



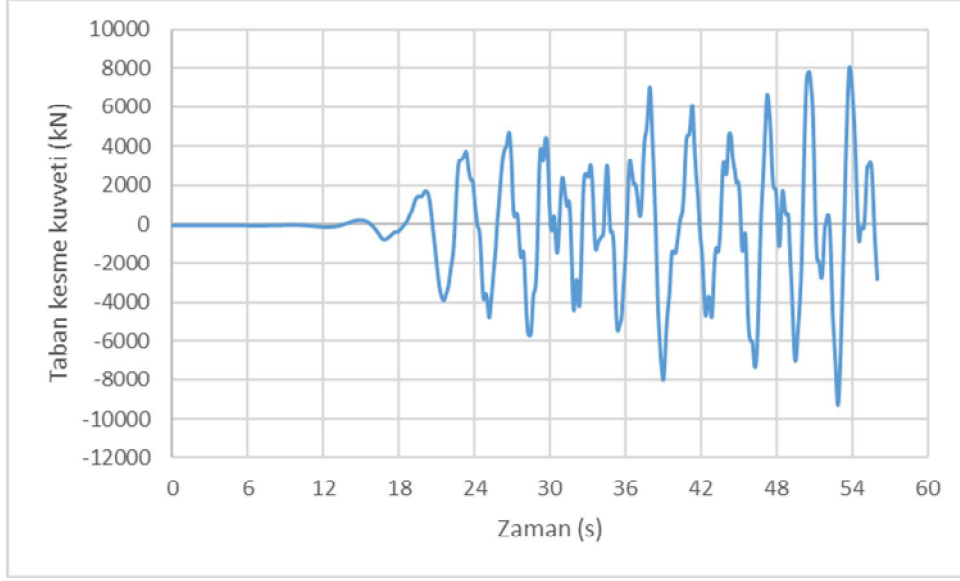
Şekil 5.35 Kuzey kule taban eğilme momenti değişimi



Şekil 5.36 Kuzey kule taban kesme kuvveti değişimi



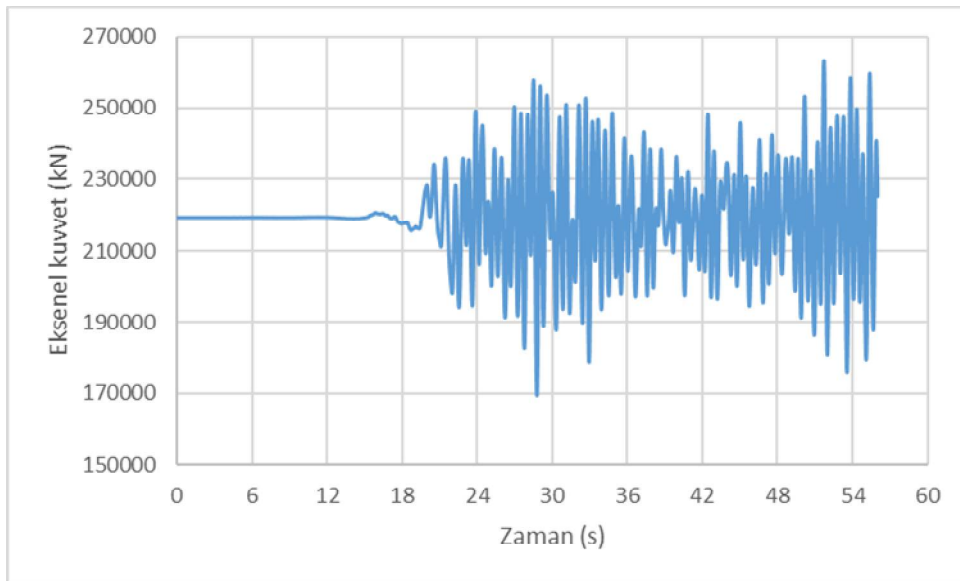
Şekil 5.37 Güney kule taban eğilme momenti değişimi



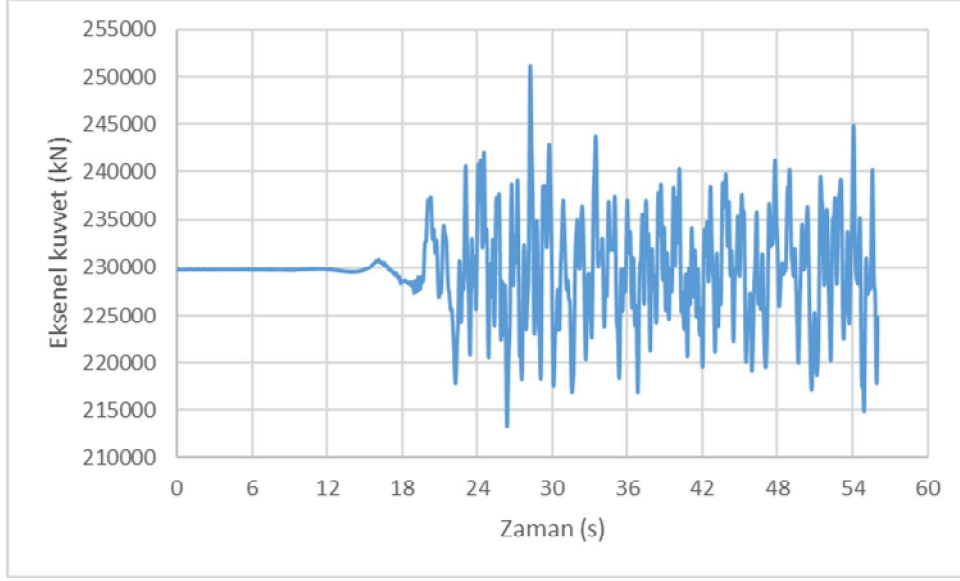
Şekil 5.38 Güney kule taban kesme kuvveti değişimi

5.4.3 Ana Kablo ve Askı Halatları

Üniform olmayan yer hareketi altında zaman tanım alanında yapılan analiz sonucunda ana kabloda oluşan en büyük eksenel kuvvet değerlerinin ankraj noktalarında ve kule ana kablo birleşim noktalarında olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 5.37 ve Şekil 5.38’de en büyük eksenel kuvvetin olduğu ana kablolarda zamana bağlı eksenel kuvvet değişiminin grafikleri verilmiştir. Ankraj noktasındaki en büyük eksenel kuvvet değeri 263400 kN olurken kule-ana kablo birleşim noktalarında 251166 kN olarak elde edilmiştir.

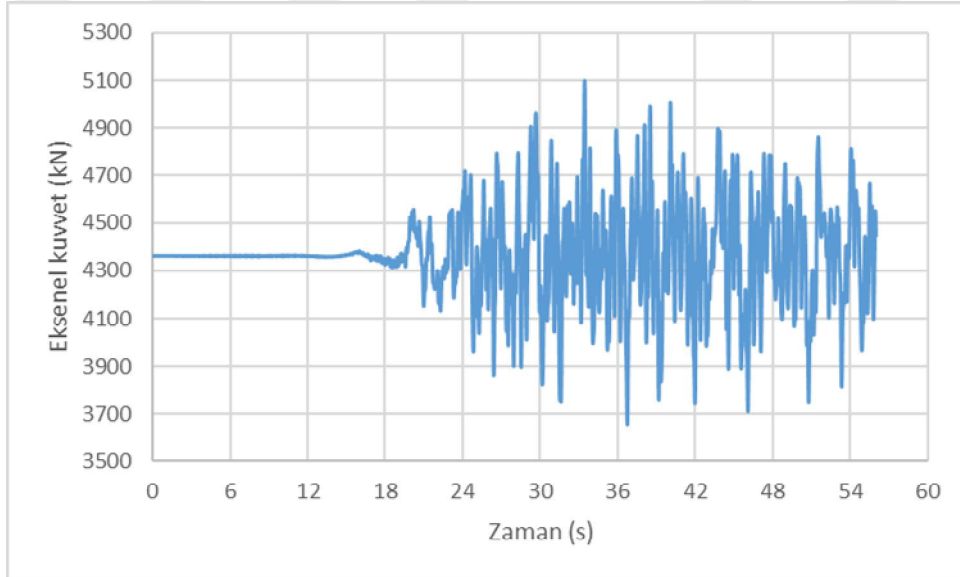


Şekil 5.39 Ankraj noktasındaki ana kabloya ait eksenel kuvvet değişimi

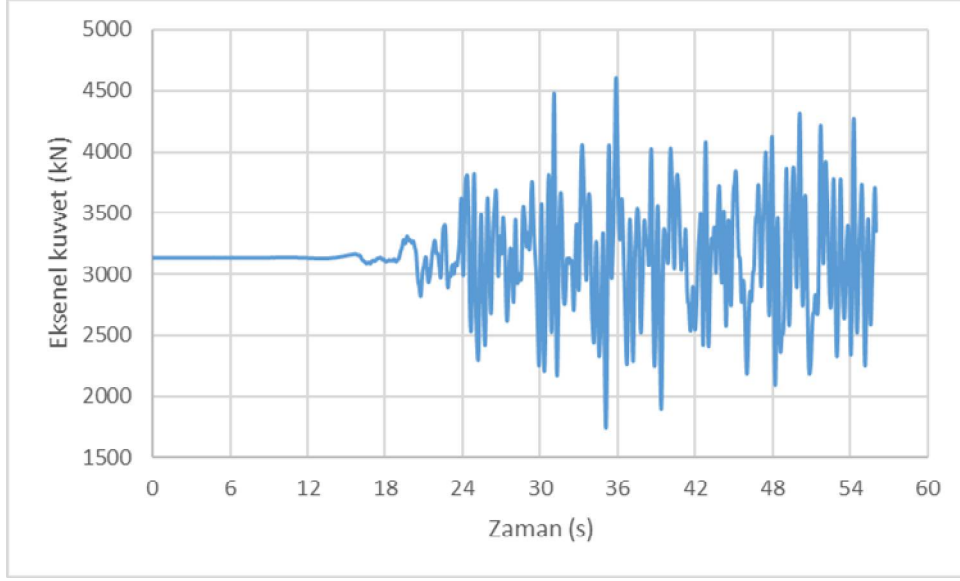


Şekil 5.40 Kule birleşim noktasındaki ana kabloya ait eksenel kuvvet değişimi

Askı halatlarında en büyük eksenel kuvvetin kenar açıklık sonlarında ve kule yanlarında bulunan askı halatlarında olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 5.39 ve 5.40'ta sırasıyla kenar açıklık ve kule yakınındaki askı halatlarında oluşan eksenel kuvvet değerinin zamana göre değişimi verilmiştir. Kenar açıklıkta en büyük eksenel kuvvet değeri 5099 kN kule yanlarında ise 4604 kN olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.41 Kenar açıklık askı halatı eksenel kuvvet değişimi



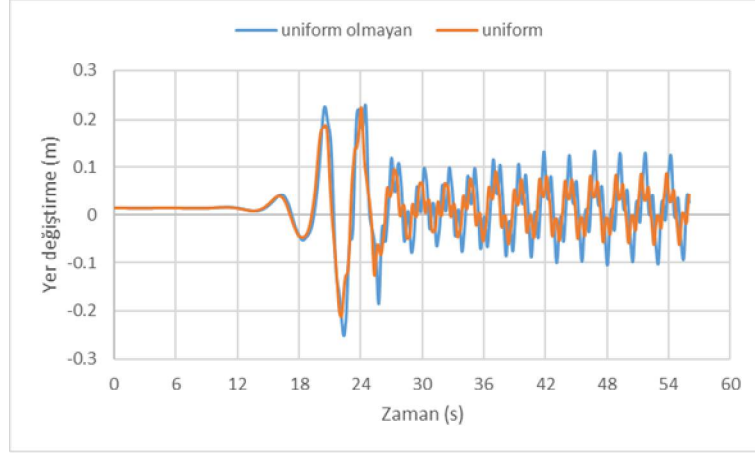
Şekil 5.42 Kule yakını askı halatı eksenel kuvvet değişimi

5.5 Üniorm ve Üniorm Olmayan Yer Hareketi Analizlerinin Sonuçlarının Karşılaştırılmalı Olarak İncelenmesi

5.5.1 Tabliye

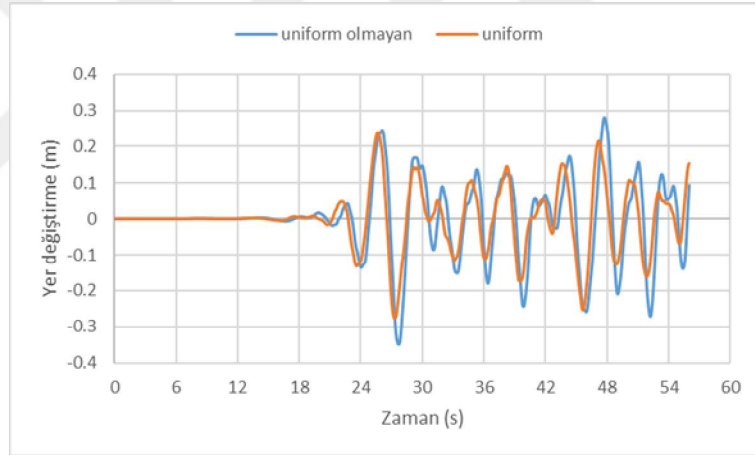
Üniorm ve üniorm olmayan yer hareketi altında gerçekleştirilen dinamik analizler sonucunda tabliye açıklığının orta noktasında x, y ve z yönlerinde oluşan yer değiştirmelerin karşılaştırmalı grafikleri sırasıyla Şekil 5.43, Şekil 5.44 ve Şekil 5.45'te görölmektedir.

Tabliye orta noktasındaki x yönü yer değiştirme grafiği incelendiğinde, üniorm yükleme altında en büyük yer değiştirme 0.224 metre, üniorm olmayan yükleme altında en büyük yer değiştirmenin ise 0.252 metre olduğu görölmektedir ve %12.5 artış gözlemlenmiştir.



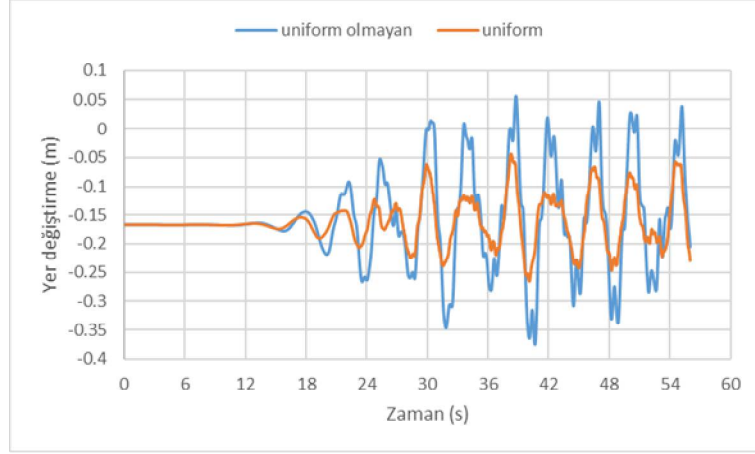
Şekil 5.43 Tabliye orta noktasının x yönünde yer değiştirme değişimi

Tabliye orta noktasındaki y yönü yer değiştirme grafiği incelendiğinde, üniform yükleme altında en büyük yer değiştirme 0.277 metre, üniform olmayan yükleme altında en büyük yer değiştirmenin ise 0.349 metre olduğu görülmektedir ve %26 artış gözlemlenmiştir.



Şekil 5.44 Tabliye orta noktasının y yönünde yer değiştirme değişimi

Tabliye orta noktasındaki z yönü yer değiştirme grafiği incelendiğinde, üniform yükleme altında en büyük yer değiştirme 0.266 metre, üniform olmayan yükleme altında en büyük yer değiştirmenin ise 0.375 metre olduğu görülmektedir ve %41 artış gözlemlenmiştir.

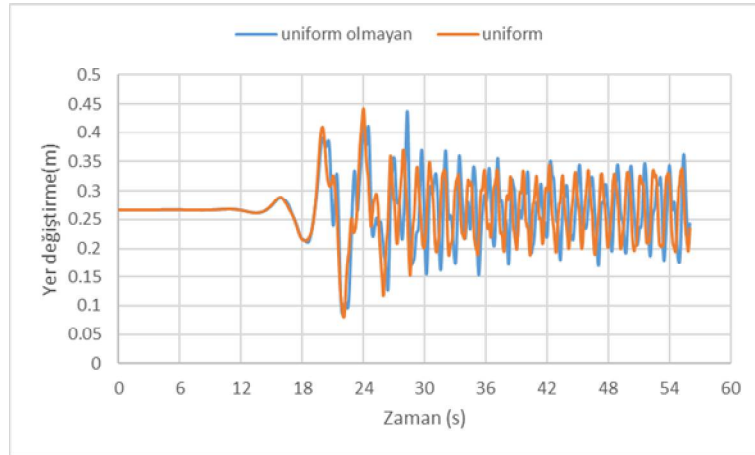


Şekil 5.45 Tabliye orta noktasının z yönünde yer değiştirme değişimi

5.5.2 Kule

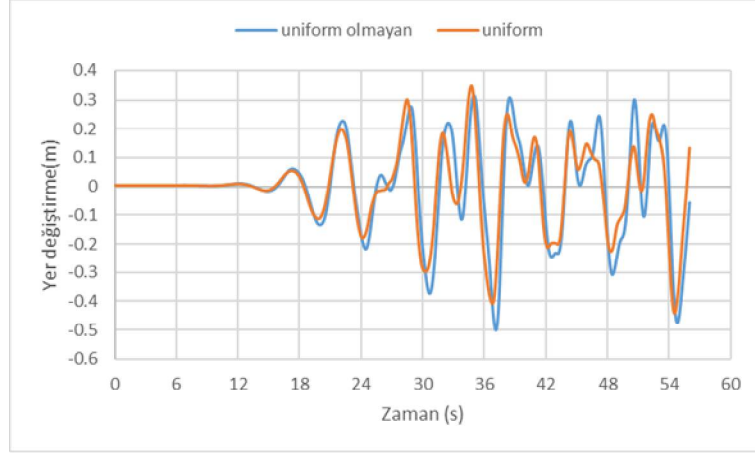
Üniform ve üniform olmayan yer hareketi altında gerçekleştirilen dinamik analizler sonucunda kuzey kule tepe noktasının x, y ve z yönlerinde oluşan yer değiştirmelerin karşılaştırmalı grafikleri sırasıyla Şekil 5.46, Şekil 5.47 ve Şekil 5.48'de görülmektedir.

Kuzey kule tepe noktasının x yönü yer değiştirme grafiği incelendiğinde, üniform yükleme altında en büyük yer değiştirme 0.44 metre, üniform olmayan yükleme altında en büyük yer değiştirmenin ise 0.437 metre olduğu görülüp hemen hemen aynı değerler elde edilmiştir.



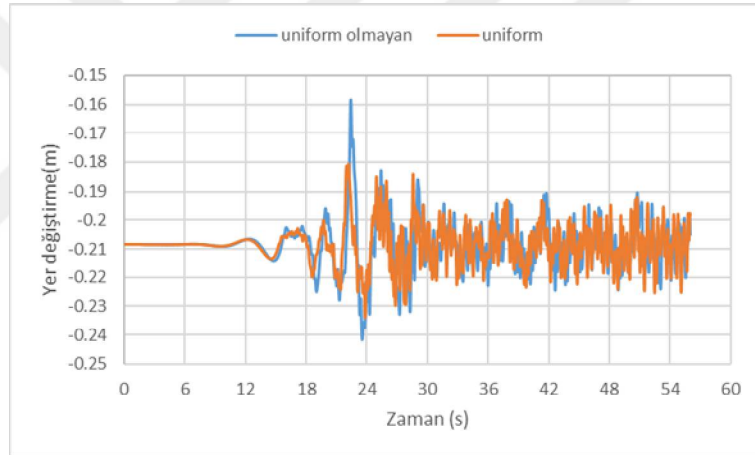
Şekil 5.46 Kuzey kule tepe noktası x yönü yer değiştirme değişimi

Kuzey kule tepe noktasının y yönü yer değiştirme grafiği incelendiğinde, üniform yükleme altında en büyük yer değiştirme 0.44 metre, üniform olmayan yükleme altında en büyük yer değiştirmenin ise 0.50 metredir ve %13.6 artış gözlemlenmiştir.



şekil 5.47 Kuzey kule tepe noktası y yönü yer değiştirme değişimi

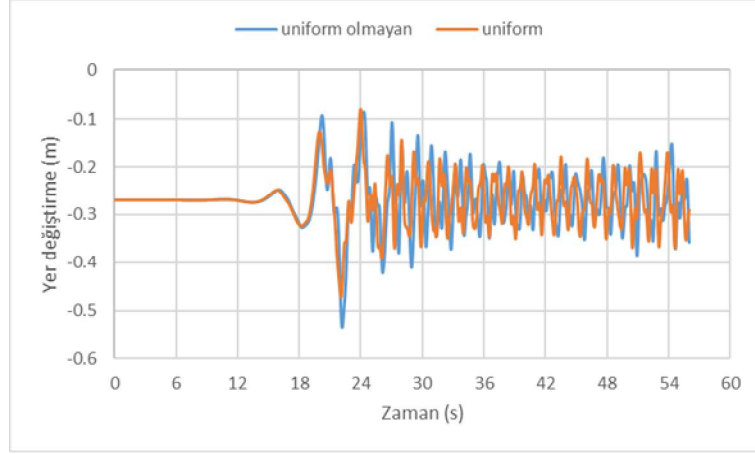
Kuzey kule tepe noktasının z yönü yer değiştirme grafiği incelendiğinde, üniform yükleme altında en büyük yer değiştirme 0.23 metre, üniform olmayan yükleme altında en büyük yer değiştirmenin ise 0.242 metredir ve %5.21 artış gözlemlenmiştir.



şekil 5.48 Kuzey kule tepe noktası z yönü yer değiştirme değişimi

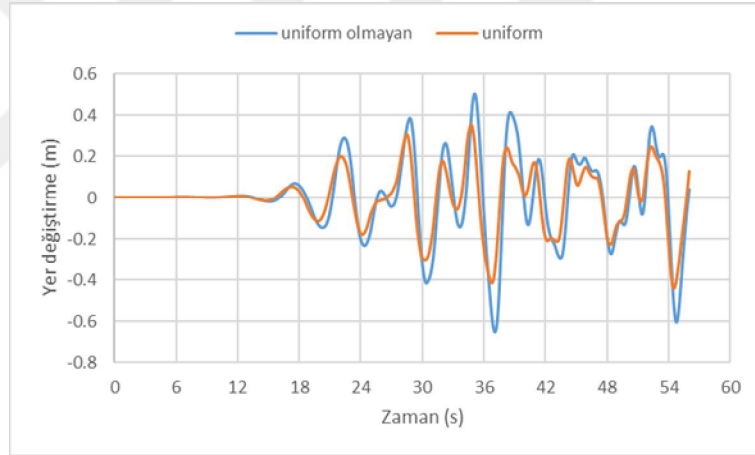
Güney kule tepe noktasının x, y ve z yönlerinde oluşan yer değiştirmelerin karşılaştırmalı grafikleri sırasıyla şekil 5.49, şekil 5.50 ve şekil 5.51'de görölmektedir.

Güney kule tepe noktasının x yönü yer değiştirme grafiği incelendiğinde, üniform yer hareketi yüklemesi altında en büyük yer değiştirme 0.47 metre, üniform olmayan yükleme altında en büyük yer değiştirmenin ise 0.537 metredir ve %14.25 artış gözlemlenmiştir.



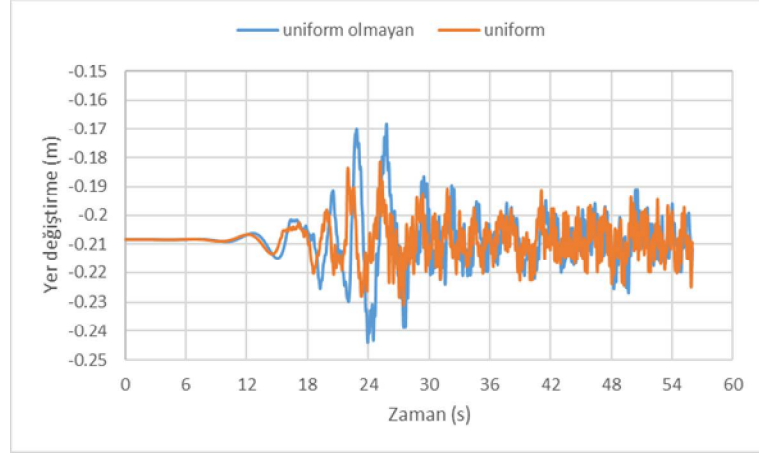
Şekil 5.49 Güney kule tepe noktası x yönü yer değiştirme değişimi

Güney kule tepe noktasının y yönü yer değiştirme grafiği incelendiğinde, uniform yer hareketi yüklemesi altında en büyük yer değiştirme 0.44 metre, uniform olmayan yüklemesi altında en büyük yer değiştirmenin ise 0.656 metredir ve %49 artış gözlemlenmiştir.



Şekil 5.50 Güney kule tepe noktası y yönü yer değiştirme değişimi

Güney kule tepe noktasının z yönü yer değiştirme grafiği incelendiğinde, uniform yer hareketi yüklemesi altında en büyük yer değiştirme 0.23 metre, uniform olmayan yüklemesi altında en büyük yer değiştirmenin ise 0.244 metredir ve %6.08 artış gözlemlenmiştir.



Şekil 5.51 Güney kule tepe noktası z yönü yer değiştirme değişimi

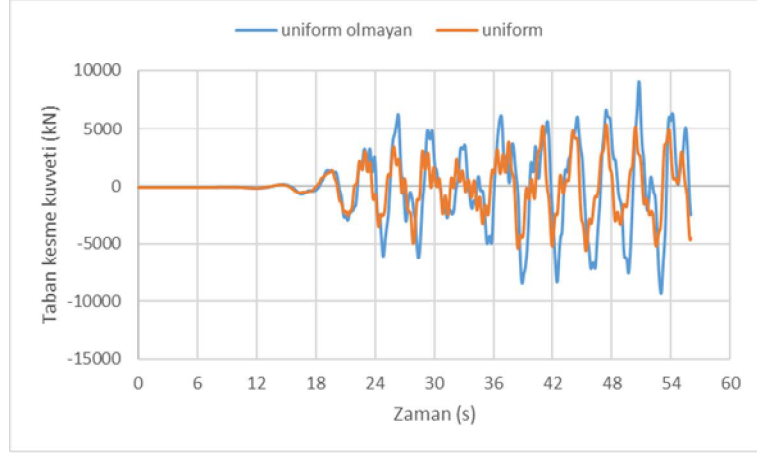
Üniform ve üniform olmayan yer hareketi altında gerçekleştirilen dinamik analizler sonucunda kulelerde oluşan taban kesme kuvvetleri ve eğilme momentlerinin karşılaştırmalı grafikleri Şekil 5.52-5.55'te görülmektedir.

Kuzey kule taban noktasında üniform yer hareketi yüklemesi sonucunda oluşan en büyük eğilme momenti 238788 kNm iken, üniform olmayan yer hareketi yüklemesi sonucunda 409825 kNm'dir ve %71 artış gözlemlenmiştir.



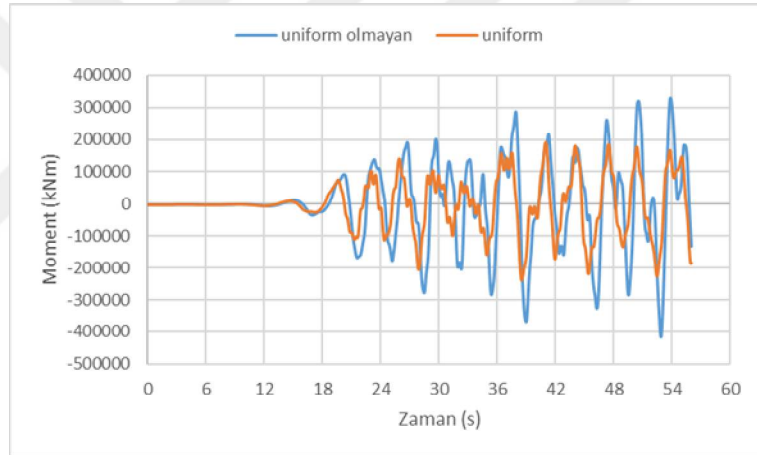
Şekil 5.52 Kuzey kule taban eğilme momenti değişimi

Kuzey kulede üniform yer hareketi yüklemesi sonucunda oluşan en büyük taban kesme kuvveti 5461 kN iken, üniform olmayan yer hareketi yüklemesi sonucunda 9344 kN'dur ve %71 artış gözlemlenmiştir.



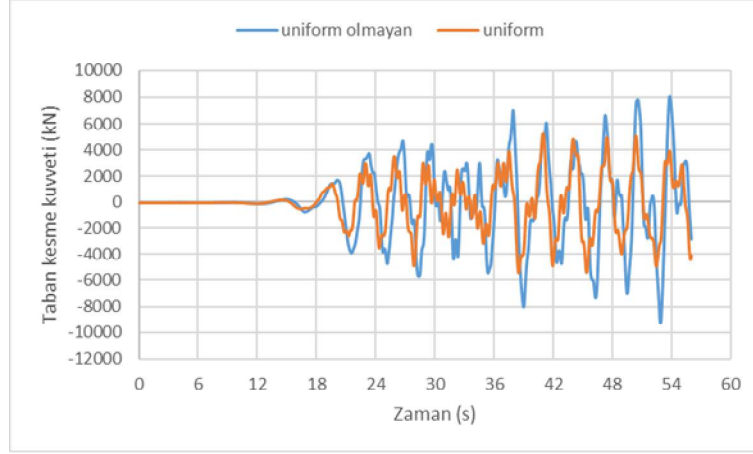
Şekil 5.53 Kuzey kule taban kesme kuvveti değişimi

Güney kule taban noktasında üniform yer hareketi yüklemesi sonucunda oluşan en büyük eğilme momenti 239000 kNm iken, üniform olmayan yer hareketi yüklemesi sonucunda 416839 kNm'dir ve %74 artış gözlemlenmiştir.



Şekil 5.54 Güney kulede taban eğilme momenti değişimi

Güney kulede üniform yer hareketi yüklemesi sonucunda oluşan en büyük taban kesme kuvveti 5615 kN iken, üniform olmayan yer hareketi yüklemesi sonucunda 9295 kN'dur ve %65 artış gözlemlenmiştir.

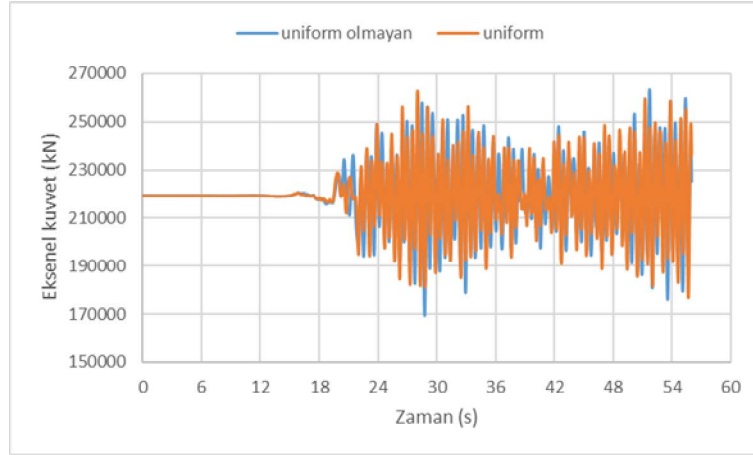


Şekil 5.55 Güney kule taban kesme kuvveti değeri değışimi

5.5.3 Ana Kablo ve Askı Halatları

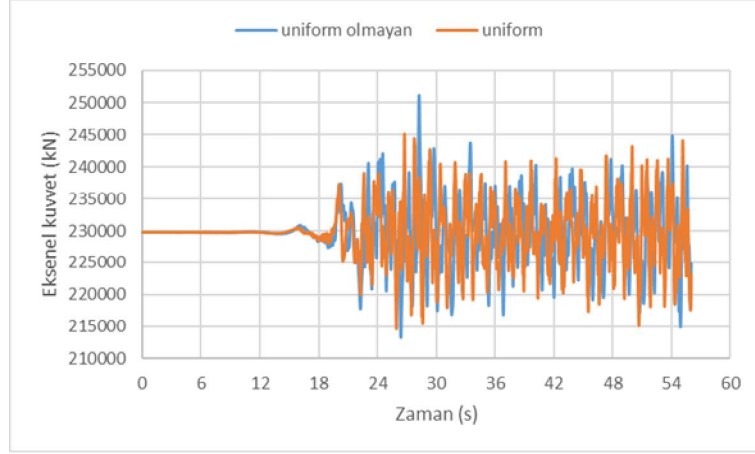
Üniform ve üniform olmayan yer hareketi altında gerçekleştirilen dinamik analizler sonucunda ana kabloda oluşan aksenal kuvvetlerin karşılaştırmalı grafikleri Şekil 5.56 ve 5.57'de görülmektedir.

Ankraj noktasındaki ana kabloda üniform yer hareketi yüklemesi sonucunda oluşan en büyük aksenal kuvvet 262788 kN iken, üniform olmayan yer hareketi yüklemesi sonucunda 263400 kN'dur. Her iki yükleme sonucuna bakıldığında aksenal kuvvet değerlerinin hemen hemen aynı kaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.56 Ana kablo (ankraj) aksenal kuvvet değışimi

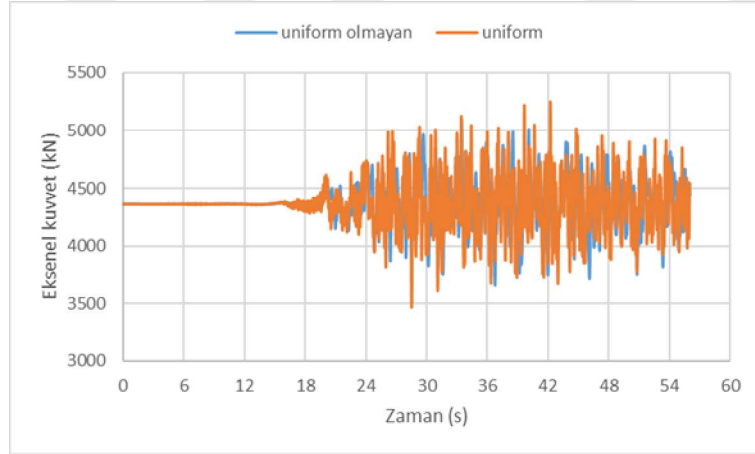
Kule-ana kablo birleşim noktasında ana kabloda üniform yer hareketi yüklemesi sonucunda oluşan en büyük aksenal kuvvet 245147 kN iken, üniform olmayan yer hareketi yüklemesi sonucunda 251166 kN'dur ve %2.45 artış gözlemlenmiştir.



Şekil 5.57 Ana kablo (kule ana kablo birleşim) eksenel kuvvet değişimi

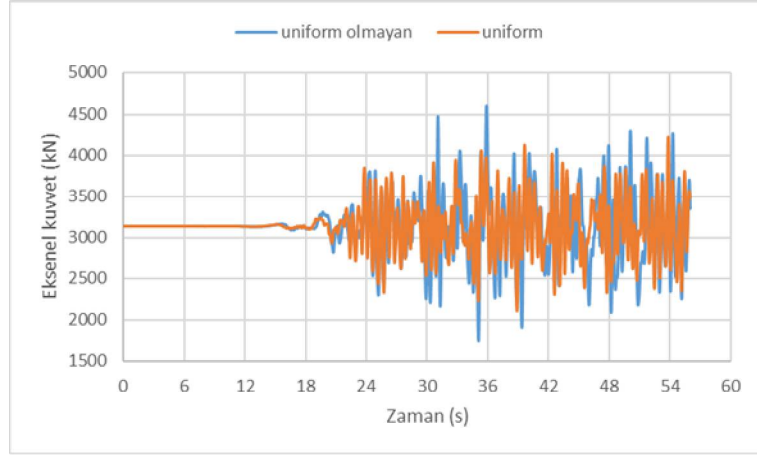
Üniform ve üniform olmayan yer hareketi altında gerçekleştirilen dinamik analizler sonucunda askı halatlarında oluşan eksenel kuvvetlerin karşılaştırmalı grafikleri Şekil 5.58 ve 5.59’da görülmektedir.

Kenar açıklık askı halatında üniform yer hareketi yüklemesi sonucunda oluşan en büyük eksenel kuvvet 5249 kN iken, üniform olmayan yer hareketi yüklemesi sonucunda 5099 kN’dur. Her iki yükleme sonucuna bakıldığında pik eksenel kuvvet değerinde % 2.85 azalış gözlemlenmiştir.



Şekil 5.58 Askı halatı (kenar açıklık) eksenel kuvvet değişimi

Ana açıklık askı halatında üniform yer hareketi yüklemesi sonucunda oluşan en büyük eksenel kuvvet 4491 kN iken, üniform olmayan yer hareketi yüklemesi sonucunda 4604 kN’dur. Her iki yükleme sonucuna bakıldığında pik eksenel kuvvet değerinde % 2.52 artış gözlemlenmiştir.



Şekil 5.59 Askı halatı (ana açıklık) eksenel kuvvet değişimi



SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında İzmit körfezinde inşa edilecek olan İzmit Körfez Geçişi Osman Gazi Asma Köprüsü'nün mesnetlerinden farklı yer hareketi ve üniform yer hareketi etkisi altındaki davranışı incelenmiştir. Köprünün 3 boyutlu sonlu eleman modeli SAP2000 programı kullanılarak oluşturulmuş ve zaman tanım alanında geometrik açıdan doğrusal olmayan dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Köprünün dinamik analizinde 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen Kocaeli depreminin Gebze istasyonundan kaydedilen ivme kayıtları kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiştir.

Köprünün modal analizi sonucunda literatürde yer alan frekans değerleri ile uyumlu sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Köprünün başlangıç konumu ve deprem etkisi altında tabliye orta noktası yer değiştirme değerleri incelendiğinde, mesnetlerinden farklı yer hareketi uygulamasında daha büyük değerler elde edilmiştir. Köprü tabliyesinin orta noktası doğrusal olmayan statik analiz sonucunda başlangıç konumu olarak 0.16 m yer değiştirme yapmakta iken, üniform yer hareketi altında 0.266 m, mesnetlerinde farklı yer hareketi altında 0.375 m yer değiştirme olduğu gözlemlenmiştir. Sonuçlar doğrultusunda üniform olmayan yer hareketi altında oluşan yer değiştirmenin %40 oranında arttığı belirlenmiştir.

Köprü tabliyesinde oluşan eğilme momenti değerleri incelendiğinde üniform yer hareketi altında daha büyük değer olduğu görülmektedir. Köprüde, kendi ağırlığı altında 94619 kNm, üniform yer hareketi altında 217566 kNm, üniform olmayan yer hareketi altında 209000 kNm eğilme momenti oluşmaktadır.

Köprünün kule tepe noktası yer değiştirme değerleri incelendiğinde, kuzey kule tepe noktasında kendi ağırlığı altında x yönünde 0.266 m, üniform yer hareketi altında 0.44

m, üniform olmayan yer hareketi altında 0.437 m yer değiştirme oluşmaktadır. Güney kule tepe noktasında ise kendi ağırlığı altında x yönünde 0.27 m, üniform yer hareketi altında 0.47 m, üniform olmayan yer hareketi altında 0.537 m yer değiştirme oluşmaktadır. Elde edilen değerler incelendiğinde üniform yer hareketi altında köprünün kule tepe noktalarında sistemin yaklaşık olarak simetrik olmasından dolayı birbirine çok yakın sonuçlar oluştuğu görülmekteyken, üniform olmayan yer hareketi altında ise güney kule tepe noktasında üniform yer hareketine göre %14 daha fazla yer değiştirme oluştuğu gözlemlenmiştir.

Kulelerde oluşan taban kesme ve eğilme momenti değerleri incelendiğinde üniform olmayan yer hareketi altında daha büyük sonuçlar elde edilmiştir. Üniform yer hareketi altında 5615 kN taban kesme kuvveti, 239000 kNm taban eğilme momenti oluşmaktayken, üniform olmayan yer hareketi altında 9295 kN taban kesme kuvveti, 416839 kNm taban eğilme momenti oluşmaktadır. Elde edilen değerler doğrultusunda üniform olmayan yer hareketi altında yaklaşık olarak 2 kat daha büyük değerler elde edilmiştir.

Ana kabloda oluşan en büyük eksenel kuvvet değerleri ankraj ve kule-ana kablo birleşim bölgeleri yakınlarında oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu noktadaki kablo eksenel kuvvetleri karşılaştırıldığında üniform yer hareketi altında maksimum eksenel kuvvet değeri 245000 kN olurken, üniform olmayan yer hareketi altında ise 251000 kN olduğu belirlenmiştir. Askı halatlarında üniform yer hareketi altında oluşan maksimum eksenel kuvvet değeri; kenar açıklık sonundaki askı halatında 5249kN, kule yanlarında bulunan askı halatlarında 4491kN olarak belirlenmiştir.

Sonuç olarak, köprü gibi uzun açıklıklı yapısal sistemlerin deprem altındaki davranışı incelenirken sadece üniform yer hareketi altında analizin yeterli olmadığı ve yapının her bir mesnetindeki yerel zemin koşulları etkisinin dikkate alınarak analizlerin yapılması gerektiği ortaya çıkmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Abdel-Ghaffar, A.M. ve Rubin, L.I., (1983). "Lateral earthquake response of suspension bridges", *Journal of Structural Engineering*, 109: 664-675.
- [2] Abdel-Ghaffar, A.M. ve Rubin, L.I., (1983). "Nonlinear free vibrations of suspension bridges: theory", *Journal of Engineering Mechanics*, 109: 313-329.
- [3] Abdel-Ghaffar, A.M. ve Rubin, L.I., (1983). "Nonlinear free vibrations of suspension bridges: application", *Journal of Engineering Mechanics*, 109: 330-345.
- [4] Brownjohn, J. Dumanoglu, A. Severn, R. ve Taylor, C., (1987). "Ambient vibration measurements of the Humber suspension bridge and comparison with calculated characteristics", *Proc. of the Institution of Civil Engineers (London)*, 83: 561-600.
- [5] Rassem, M. Ghobarah, A. ve Heidebrecht, A., (1996). "Site effects on the seismic response of a suspension bridge", *Engineering Structures*, 18: 363-370.
- [6] Monti, G. Nuti, C. ve Pinto, P.E., (1996). "Nonlinear response of bridges under multisupport excitation", *Journal of Structural Engineering*, 122: 1147-1159.
- [7] Harichandran, R.S. Hawwari, A. ve Sweidan, B.N., (1996). "Response of long-span bridges to spatially varying ground motion", *Journal of Structural Engineering*, 122: 476-484.
- [8] Adanur, S., (1997). *Asma Köprülerin Geometrik Olarak Lineer Olmayan ve Elastik Zemin Analjisi ile Dinamik Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [9] Adanur, S. Dumanoğlu, A.A. ve Bayraktar, A., (1997). "Asma Köprülerin Lineer Olmayan Dinamik Davranışının İncelenmesi", *Dördüncü Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 27eyl 1997, Ankara, Türkiye, 269-276.
- [10] Wang, J. Hu, S. ve Wei, X., (1999). "Effects of engineering geological condition on response of suspension bridges", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 18: 297-304.
- [11] Dumanoğlu, A.A. ve Soyluk, K., (2000). "Kablolu Köprülerin Asinkronize, Antisinkronize ve Stokastik Karşılaştırmalı Dinamik Analizleri", *Teknik Dergi*, 11.
- [12] Dumanoğlu, A.A. ve Adanur, S., (2000). "Asma Köprülerin Antisinkronize Dinamik Analizi", *Teknik Dergi*, 11.

- [13] Adanur, S., (2003). Mesnetlerinden Farklı Dinamik Etkilere Maruz Asma Köprülerin Geometrik Olarak Lineer Olmayan Deterministik ve Stokastik Analizi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [14] Apaydın, N.M., (2010). "Earthquake performance assessment and retrofit investigations of two suspension bridges in Istanbul", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30: 702-710.
- [15] Günaydın, M., (2011). Asma Köprülerin Yapısal Davranışının Yapım Aşamaları Dikkate Alınarak Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [16] Adanur, S. Günaydın, M. Altunışık, A.C. ve Sevim, B., (2012). "Construction stage analysis of Humber suspension bridge", *Applied Mathematical Modelling*, 36: 5492-5505.
- [17] Günaydın, M. Adanur, S. Altunışık, A.C. ve Sevim, B., (2012). "Construction Stage Analysis of Fatih Sultan Mehmet Suspension Bridge", *Structural Engineering And Mechanics*, 42: 489-505.
- [18] Apaydın, N.M. ve Kaya, Y., (2008). "Free Vibration Differences Between Traffic and No Traffic Condition On Suspension Bridge", *The 14th World Conference on Earthquake Engineering (14WCEE)*, 12-17 Ekim 2008, Beijing, Çin.
- [19] Apaydın, N.M. Kaya, Y. ve Zülfikar, C., (2012). "Introduction of Bogazici Suspension Bridge Structural Health Monitoring System", *15th World Conference on Earthquake Engineering*, 24-28 Eylül 2012, Lizbon, Portekiz.
- [20] Apaydın, N.M. ve Baş, S., (2014). "Response Of Fatih Sultan Mehmet Suspension Bridge Under Site-Specific Multi-Point Earthquake Excitations", *Second European Conference On Earthquake Engineering And Seismology*, 25-29 Ağustos 2014, İstanbul, Türkiye.
- [21] Apaydın, N., (2003). "Asma Köprülerde Gps Kullanarak Deplasman Ölçümleri", *1. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 24-33.
- [22] Karmakar, D. Ray-Chaudhuri, S. ve Shinozuka, M., (2012). "Seismic response evaluation of retrofitted Vincent Thomas bridge under spatially variable ground motions", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 42: 119-127.
- [23] Günaydın, M. Adanur, S. Altunışık, A.C. Sevim, B. ve Türker, E., (2014). "Determination of structural behavior of Bosphorus suspension bridge considering construction stages and different soil conditions", *Steel and Composite Structures*, 17.
- [24] Soyuluk, K. Kartal, H. ve Adanur, S., (2013). "Comparison of Dynamic Behaviour of Long-Span Cable-Supported Bridges", *Vienna Congress on Recent Advances in Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 28-30 Ağustos 2013, Viyana, Avusturya, 224.

- [25] Atabey, N.A., (2011). Lifli Polimer Kompozit Asma Köprülerin Statik ve Dinamik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [26] Sıcacık, E.A., (2011). Mesnetlerinden Farklı Yer Hareketi Etkisindeki Kablolu Köprülerin Yapı-Zemin Etkileşim Analizi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [27] Zengin, E., (2010). Structural Analysis and Design of a Long Span Combined Cable-Stayed Suspension Bridge Crossing the İzmit Bay, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- [28] Argentini, T. Diana, G. Larsen, A. Pagani, A. Portentoso, M. Somaschini, C. ve Yamasaki, Y., (2013). "Comparisons between wind tunnel tests on a full aerolastic model and numerical results of the İzmit Bay Bridge", The 6th European African Conference on Wind Engineering, 7-11 Temmuz 2013, Cambridge, UK.
- [29] Diana, G. Yamasaki, Y. Larsen, A. Rocchi, D. Giappino, S. Argentini, T. Pagani, A. Villani, M. Somaschini, C. ve Portentoso, M., (2013). "Construction stages of the long span suspension İzmit Bay Bridge: Wind tunnel test assessment", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 123: 300-310.
- [30] Zhang, Y. Yao, S. ve Christie, S., (2013). "Non-linear and equivalent linear site response analysis for the İzmit Bay Bridge", Proceedings of the 3rd International FLAC /DEMSymposium, 22-24 Ekim 2013, Hangzhou, Çin.
- [31] Lyngs, J. Kasper, T. ve Bertelsen, K., (2013). "Modelling of soil-structure interaction for seismic analyses of the İzmit Bay Bridge", Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 2-6 Eylül 2013, Paris, Fransa.
- [32] Diana, G. Rocchi, D. ve Argentini, T., (2014). "Buffeting response of the İzmit Bay Bridge: numerical and experimental results", İstanbul Bridge Conference, 11-13 Ağustos 2014, İstanbul, Türkiye.
- [33] Myerscough, M. ve Hayward, C., (2013). "Suspension Bridges: past and present", TheStructuralEngineer, 91: 12-21.
- [34] Akashi Kaikyo Köprüsü,
https://en.wikipedia.org/wiki/Akashi_Kaikyo%28%D8%9C%8D_Bridge#/media/File:Akashi_Bridge.JPG, 13.06.2016.
- [35] Chen, W.-F. ve Duan, L., (1999). Bridge Engineering Handbook, CRC press.
- [36] Humber Bridge,
<http://www.engineering-timelines.com/scripts/engineeringItem.asp?id=76>, 13.06.2016.
- [37] Mackinac Straits Bridge,
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mackinac_Bridge_July_2010_07.JPG, 13.06.2016.
- [38] OTOYOL Yatırım ve İşletme A.Ş., Proje Bilgileri,
http://www.otoyolas.com.tr/?page_id=5328, 06.03.2016.

- [39] OTOYOL Yatırım ve İşletme AŞ., Proje ile Beklenen Gelişmeler, http://www.otoyolas.com.tr/?page_id=5336, 06.03.2016.
- [40] Fuglsang, K., İzmit Bay Bridge, http://www.iabse.dk/Mini-seminar_30maj2013/05-IZMIT-COW-PRE-DD-GEN-0010_1.0_IABSE%20Denmark%20Mini-seminar%202013.pptx%20%5BRead-Only%5D.pdf, 23 Şubat 2016.
- [41] OTOYOL Yatırım ve İşletme AŞ., Asma Köprü Fotoğraf Galerisi, http://www.otoyolas.com.tr/?page_id=7690, 06.03.2016.
- [42] Kalafat, D., (2011). "Marmara Bölgesi'nin Depremselliği ve Deprem Ağının Önemi", 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11-14 Ekim 2011, ODTÜ – ANKARA.
- [43] Chacko, J. ve Giannakou, A., (2013). "Izmit Bay Bridge: Identifying Faults And Evaluating Their Impact On The Third Longest Suspension Bridge In The World", 2nd Turkish Conference on Earthquake Engineering and Seismology – TDMSK -2013, Eylül 25-27, 2013, Antakya, Hatay.
- [44] MTA, Yenilenmiş Diri Fay Haritaları, http://www.mta.gov.tr/v2.0/default.php?id=yeni_diri_fay_haritalari-goruntule, 23 Şubat 2016.
- [45] T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı, Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Veritabanı, http://kyhdata.deprem.gov.tr/2K/kyhdata_v4.php, 06.03.2016.
- [46] Kramer, S.L., (1996). Geotechnical earthquake engineering, Pearson Education India.
- [47] T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı, İstasyon sondaj logu, http://kyhdata.deprem.gov.tr/dataFiles/ozDVDs/AI_Logs_pdf/Log_AI_002_GBZ.pdf, 19.06.2016.
- [48] T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı, İstasyon zemin özellikleri detaylı raporu, http://kyhdata.deprem.gov.tr/dataFiles/ozDVDs/AI_Reports_pdf/AI_002_GBZ_report_english.pdf, 19.06.2016.
- [49] Foged, B., Geotechnical task manager for detailed design of Izmit Bay Bridge, http://www.danskgeotekniskforening.dk/sites/default/files/pdf/Geotechnical_task_manager_for_detailed_design.pdf, 23 Şubat 2016.
- [50] Fuglsang, K.J. Shaura, J. ve Kawakami, T., (2012). Izmit Bay Crossing Suspension Bridge Geotechnical Interpretative Report.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Metin KARSLIOĞLU
Doğum Tarihi ve Yeri : 02.09.1991/İSTANBUL
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : karslioglumetin@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2013
Lise	Fen Bilimleri	Beşiktaş Anadolu Lisesi	2009

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2016	Hitit Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

YAYINLARI

Bildiri

1. Karşlıoğlu, M. Yılmaz, M.O. ve Şahin, A., (2015). "İzmit Körfez Geçişi Asma Köprüsü'nün Dinamik Analizi", 6. Çelik Yapılar Sempozyumu, 9-11 Aralık 2015, Eskişehir-Türkiye, 71-79.