



**KİRAZLIYALI ÇENESUYU KÖPRÜSÜ'NÜN
SİSMİK İZOLASYONSUZ VE İZOLASYONLU
DEPREM PERFORMANSININ ZEMİN TİPİNE
BAĞLI OLARAK BELİRLENMESİ**

Ayşe Nur AYDOĞAN

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği

Ana Bilim Dalı

Doç. Dr. Erdal ÖNER

2024

(Her Hakkı Saklıdır)

T.C.
BAYBURT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

KİRAZLIYALI ÇENESUYU KÖPRÜSÜ'NÜN SİSMİK İZOLASYONSUZ VE
İZOLASYONLU DEPREM PERFORMANSININ ZEMİN TİPİNE BAĞLI
OLARAK BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayşe Nur AYDOĞAN

Danışman: Doç. Dr. Erdal ÖNER

BAYBURT - 2024

KABUL VE ONAY

Doç. Dr. Erdal ÖNER danışmanlığında, Ayşe Nur AYDOĞAN tarafından hazırlanan “Kirazlıyalı Çenesuyu Köprüsü’nün Sismik İzolasyonsuz ve İzolasyonlu Deprem Performansının Zemin Tipine Bağlı Olarak Belirlenmesi” başlıklı bu çalışma, 30.01.2024 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Murat YAYLACI

Üye : Doç. Dr. Erdal ÖNER

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ERGÜN

Bu tezin kabulü Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Murat KUL
Enstitü Müdürü

BEYANNAME

Bayburt Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Doç. Dr. Erdal ÖNER danışmanlığında hazırlamış olduğum “Kirazlıyalı Çenesuyu Köprüsü’nün Sismik İzolasyonsuz ve İzolasyonlu Deprem Performansının Zemin Tipine Bağlı Olarak Belirlenmesi” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

30.01.2024

Ayşe Nur AYDOĞAN



ÖN SÖZ

Bu tez çalışması boyunca rehberliği ve destekleriyle her zaman yanımda olan tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Erdal ÖNER'e teşekkürlerimi sunmak isterim.

Yüksek lisans eğitim hayatım boyunca destek ve yardımlarını gördüğüm değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Musa ARTAR'a ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Muhammet YURDAKUL'a saygılarımı sunar, teşekkürü bir borç bilirim. Tezim üzerindeki değerli görüşleri ve yönlendirmeleri için Sayın Prof. Dr. Murat YAYLACI'ya ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ERGÜN'e en içten şükranlarımı sunarım.

Beni büyütüp günlere getiren ve her zaman desteğini hissettiren kıymetli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayşe Nur AYDOĞAN

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KİRAZLIYALI ÇENESUYU KÖPRÜSÜ'NÜN SİSMİK İZOLASYONSUZ VE İZOLASYONLU DEPREM PERFORMANSININ ZEMİN TİPİNE BAĞLI OLARAK BELİRLENMESİ

Ayşe Nur AYDOĞAN

Bayburt Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Erdal ÖNER

Bayburt-2024, Sayfa: 67

Köprülerin deprem performansı, sismik olaylar sırasında ulaşım altyapısının güvenliğini ve dayanıklılığını sağlamak için çok önemlidir. Köprülerde sismik izolasyon kullanımı, deprem sırasında meydana gelen sismik enerjinin etkin bir şekilde absorbe edilmesini sağlar. Böylece köprü üzerindeki yer hareketinin etkisi en aza indirilir ve potansiyel hasar riski azaltılır. Bu yenilikçi yaklaşım sadece köprülerin yapısal bütünlüğünü korumakla kalmaz, aynı zamanda ulaşım ağının genel sismik dayanıklılığına da katkıda bulunur. Bu sayede depremler sonucunda oluşabilecek ekonomik kayıplar en aza indirilir.

Bu tez çalışmasında Kirazlıyalı Çenesuyu Köprüsü'nün deprem performansının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda, gerçek deprem kayıtları kullanılarak iki farklı zemin türü için köprünün sismik izolasyonsuz ve sismik izolasyonlu modelleri üzerinde SAP2000 programı ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda köprünün taban kesme kuvvetleri, kazıklardaki yatay ve düşey yer değiştirmeler, köprünün dinamik karakteristikleri, kolonlarda meydana gelen kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme köprü, sismik izolasyon, deprem performansı, kazıklı temel, tek eğrilikli sürtünmeli sarkaç.

ABSTRACT

M. SC. THESIS

DETERMINATION OF EARTHQUAKE PERFORMANCE OF KIRAZLIYALI ÇENESUYU BRIDGE WITHOUT AND WITH SEISMIC ISOLATION DEPENDING ON SOIL TYPE

Ayşe Nur AYDOĞAN

**Bayburt University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering**

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Erdal ÖNER

Bayburt-2024, Pages: 67

The earthquake performance of bridges is crucial for ensuring the safety and resilience of transportation infrastructure during seismic events. The use of seismic isolation in bridges allows for effective absorption of seismic energy during earthquakes. Thus, it minimizes the effects of ground motion on the bridge and reduces the potential risk of damage. This innovative approach not only preserves the structural integrity of bridges but also contributes to the overall seismic resilience of the transportation network, thereby minimizing economic losses resulting from earthquakes.

This thesis aims to determine the earthquake performance of the Kirazlıyalı Çenesuyu Bridge. Within this scope, nonlinear analyses in the time history were conducted using the SAP2000 software on both seismic isolated and non-isolated models of the bridge for two different soil types, utilizing real earthquake records. As a result of the analyses, the base shear forces of the bridge, horizontal and vertical displacements in the piles, dynamic characteristics of the bridge, and shear force and bending moment values in the columns were obtained.

Keywords: Reinforced concrete bridge, seismic isolation, earthquake performance, pile foundation, single concave friction pendulum.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY.....	II
BEYANNAME	III
ÖN SÖZ	IV
ÖZET	V
ABSTRACT	VI
İÇİNDEKİLER.....	VII
TABLOLAR.....	VIII
ŞEKİLLER.....	IX
KISALTMALAR.....	XII
SİMGELER.....	XII
GİRİŞ.....	1
Araştırmanın Konusu ve Problemi	2
Araştırmanın Amacı	2
Araştırmanın Önemi ve Gerekçesi	2
Araştırmanın Sınırlılıkları	2
Varsayımlar	3
BİRİNCİ BÖLÜM.....	4
1. LİTERATÜR ÖZETİ.....	4
İKİNCİ BÖLÜM	10
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	10
2.1. KİRAZLIYALI ÇENESUYU KÖPRÜSÜ'NE AİT GENEL BİLGİLER.....	10
2.2. DEPREM YER HAREKETLERİ	13
2.3. YÜK KOMBİNASYONLARI	15
2.4. MODEL KAZIK İÇİN YATAY YAY SABİTLERİNİN BULUNMASI	15
2.5. MODEL KAZIK İÇİN DÜŞEY YAY SABİTLERİNİN BULUNMASI.....	17
2.6. ELASTOMER MESNET RİJİTLİK HESAPLAMALARI	18
2.7. SİSMİK İZOLATÖRÜN BOYUTLANDIRILMASI	19
2.8. KÖPRÜNÜN SAP2000 PROGRAMINDA MODELLENMESİ VE ANALİZİ.....	21
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM.....	26
3. BULGULAR	26
SONUÇLAR.....	52
KAYNAKÇA.....	53
EKLER	56
ÖZ GEÇMİŞ	67

TABLÖLAR

Tablo 1: Beton Özellikleri	13
Tablo 2: Yükler ve Yük Kombinasyonları	15
Tablo 3: Model Kazık için Yatay Yay Sabitlerinin Bulunması.....	16
Tablo 4: Model Kazık için Düşey Yay Sabitlerinin Bulunması	17
Tablo 5: Elastomer Mesnet Rijitlikleri	19
Tablo 6: İzolatörün Boyutlandırılması İçin Seçilen Başlangıç Değerleri ve İzolatöre Gelen Düşey Yük.....	20
Tablo 7: Sismik İzolatörün Boyutlandırılmasına İlişkin Parametreler	20
Tablo 8: Lineer ve Lineer Olmayan Analiz Durumları İçin Sismik İzolatörün Efektif Rijitlik ve Efektif Sönüm Değerleri	21
Tablo 9: P2 Kesiti Kolonundaki Kesme Kuvveti ve Eğilme Momentlerinin Karşılaştırılması	49
Tablo 10: ZA Zemin Sınıfı için Köprünün Mod Şekilleri ve Periyotları	56
Tablo 11: ZC Zemin Sınıfı için Köprünün Mod Şekilleri ve Periyotları	61

ŞEKİLLER

Şekil 1: Kirazlıyalı Çenesuyu Köprüsü'nün Bölge Haritası Üzerindeki Konumu	10
Şekil 2: Kirazlıyalı Çenesuyu Köprüsü	11
Şekil 3: Kirazlıyalı Çenesuyu Köprüsü Genel Yerleşim Planı	11
Şekil 4: Kirazlıyalı Çenesuyu Köprüsü Boykesiti	12
Şekil 5: Köprü'nün Kiriş (a) ve Kolon (b) Detayları	12
Şekil 6: Kocaeli Depreminin DZC180 Bileşenine Ait İvme Kaydı.....	13
Şekil 7: Kocaeli Depreminin DZCUP Bileşenine Ait İvme Kaydı.....	13
Şekil 8: İmperial Valley Depreminin ELC180 Bileşenine Ait İvme Kaydı	14
Şekil 9: İmperial Valley Depreminin ELCUP Bileşenine Ait İvme Kaydı	14
Şekil 10: Kahramanmaraş (Pazarcık) Depreminin 4624_E Bileşenine Ait İvme Kaydı	14
Şekil 11: Kahramanmaraş (Pazarcık) Depreminin 4624_U Bileşenine Ait İvme Kaydı.....	14
Şekil 12: Elastomer Mesnet Detayları.....	19
Şekil 13: Kiriş, Başlık Kirişi ve Kolon Birleşimi	22
Şekil 14: Düğüm Noktaları ve Lineer Link Elemanlar	22
Şekil 15: Elastomer Mesnet Özelliği Tanımlama	23
Şekil 16: Temel ve Zemin Etkileşimi.....	23
Şekil 17: Zemin Yatak Katsayılarının Modele Girilmesi	24
Şekil 18: Sismik İzolasyonsuz Köprü'nün Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Modeli	24
Şekil 19: İzolatörün Rijitlik Değerlerinin Giriş Ekranı.....	25
Şekil 20: Sismik İzolasyonlu Köprü'nün Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Modeli.....	25
Şekil 21: Analizler için Seçilen Kesitler	26
Şekil 22: Kocaeli Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprü'nün Taban Kesme Kuvveti Diyagramı.....	26
Şekil 23: Kocaeli Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprü'nün Taban Kesme Kuvveti Diyagramı.....	27
Şekil 24: Kocaeli Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprü'nün Taban Kesme Kuvveti Diyagramı.....	27
Şekil 25: Kocaeli Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprü'nün Taban Kesme Kuvveti Diyagramı.....	27
Şekil 26: İmperial Valley Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprü'nün Taban Kesme Kuvveti Diyagramı	28
Şekil 27: İmperial Valley Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprü'nün Taban Kesme Kuvveti Diyagramı	28
Şekil 28: İmperial Valley Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprü'nün Taban Kesme Kuvveti Diyagramı	29
Şekil 29: İmperial Valley Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprü'nün Taban Kesme Kuvveti Diyagramı	29
Şekil 30: Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprü'nün Taban Kesme Kuvveti Diyagramı.....	30
Şekil 31: Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprü'nün Taban Kesme Kuvveti Diyagramı.....	30
Şekil 32: Kocaeli Depremi Etkisi Altında A Kesitindeki İzolatörün ZA Zemin Sınıfı İçin Kesme Kuvveti-Yer Değiştirme İlişkisi.....	31

Şekil 33: İmperial Valley Depremi Etkisi Altında A Kesitindeki İzolatörün ZA Zemin Sınıfı İçin Kesme Kuvveti-Yer Değiştirme İlişkisi	31
Şekil 34: Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi Etkisi Altında A Kesitindeki İzolatörün ZA Zemin Sınıfı İçin Kesme Kuvveti-Yer Değiştirme İlişkisi	31
Şekil 35: Kocaeli Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin X Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri	32
Şekil 36: Kocaeli Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin X Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri	32
Şekil 37: İmperial Valley Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin X Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri	33
Şekil 38: İmperial Valley Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin X Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri	33
Şekil 39: Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin X Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri.....	34
Şekil 40: Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin X Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri.....	34
Şekil 41: Kocaeli Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin Z Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri.....	35
Şekil 42: Kocaeli Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin Z Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri.....	35
Şekil 43: İmperial Valley Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin Z Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri.....	36
Şekil 44: İmperial Valley Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin Z Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri.....	36
Şekil 45: Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin Z Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri.....	37
Şekil 46: Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin Z Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri.....	37
Şekil 47: Kocaeli Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin X Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri	38
Şekil 48: Kocaeli Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin X Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri	38
Şekil 49: İmperial Valley Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin X Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri	39
Şekil 50: İmperial Valley Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin X Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri	39
Şekil 51: Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin X Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri.....	40
Şekil 52: Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin X Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri.....	40

Şekil 53: Kocaeli Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin Z Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri	41
Şekil 54: Kocaeli Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin Z Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri	41
Şekil 55: İmperial Valley Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin Z Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri.	42
Şekil 56: İmperial Valley Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin Z Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri.	42
Şekil 57: Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin Z Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri.....	43
Şekil 58: Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin Z Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri.....	43
Şekil 59: Kocaeli Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprünün P2 Kesitindeki Temelinin Z Doğrultusundaki Yer Değiştirme Diyagramı	44
Şekil 60: Kocaeli Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprünün P2 Kesitindeki Temelinin Z Doğrultusundaki Yer Değiştirme Diyagramı	44
Şekil 61: İmperial Valley Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprünün P2 Kesitindeki Temelinin Z Doğrultusundaki Yer Değiştirme Diyagramı ...	45
Şekil 62: İmperial Valley Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprünün P2 Kesitindeki Temelinin Z Doğrultusundaki Yer Değiştirme Diyagramı ...	45
Şekil 63: Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprünün P2 Kesitindeki Temelinin Z Doğrultusundaki Yer Değiştirme Diyagramı.....	46
Şekil 64: Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprünün P2 Kesitindeki Temelinin Z Doğrultusundaki Yer Değiştirme Diyagramı.....	46
Şekil 65: Kocaeli Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprünün P2 Kesitindeki Temelinin Z Doğrultusundaki Yer Değiştirme Diyagramı	47
Şekil 66: Kocaeli Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprünün P2 Kesitindeki Temelinin Z Doğrultusundaki Yer Değiştirme Diyagramı	47
Şekil 67: İmperial Valley Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprünün P2 Kesitindeki Temelinin Z Doğrultusundaki Yer Değiştirme Diyagramı ...	48
Şekil 68: İmperial Valley Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprünün P2 Kesitindeki Temelinin Z Doğrultusundaki Yer Değiştirme Diyagramı ...	48
Şekil 69: Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprünün P2 Kesitindeki Temelinin Z Doğrultusundaki Yer Değiştirme Diyagramı.....	49
Şekil 70: Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprünün P2 Kesitindeki Temelinin Z Doğrultusundaki Yer Değiştirme Diyagramı.....	49

KISALTMALAR

TESS	: Tek Eğrilikli Sürtünmeli Sarkaç
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
LRFD	: Load and Resistance Factor Design
SAP	: Structural Analysis Program
CALTRANS	: California Department of Transportation

SİMGELER

km	: kilometre
m	: metre
m²	: metrekare
m³	: metreküp
kN	: kilonewton
s	: saniye

GİRİŞ

Köprü, iki veya daha fazla doğal veya yapay engelin üzerinden insan, hayvan ve araç geçişini sağlayan, yük taşıma kapasitesine sahip bir yapıdır. Mühendislik açısından, köprüler kiriş, kemer, askı veya kablo gibi çeşitli yapısal elemanların kombinasyonundan oluşmaktadır. Köprüler, insanların ve araçların uzak mesafeler arasında sorunsuz bir şekilde hareket etmesini kolaylaştırarak modern altyapının vazgeçilmez bileşenleri olarak hizmet vermektedir. Bu hayati yapılar yalnızca toplumları birbirine bağlamakla kalmaz, aynı zamanda ekonomik faaliyetler için can damarı görevi görerek ticaretin gelişmesini sağlar. Bununla birlikte, bu yapıların önemi, dünya çapında birçok bölgede devam eden deprem tehdidi ile yan yana durmaktadır. Ani ve öngörülemeyen yer hareketleri ile karakterize edilen depremler, köprülerin bütünlüğü için sürekli bir risk oluşturmaktadır. Sismik olayların köprülere önemli ölçüde zarar verme ve hatta çökmesine neden olma potansiyeli, kapsamlı anlayış ve hafifletme stratejilerine duyulan kritik ihtiyacın altını çizmektedir.

Köprülerin sismik performansı, insan güvenliği, ekonomik kayıpların azaltılması, ulaşımın sürekliliği ve sosyo-ekonomik etkilerin minimize edilmesi açılarından büyük önem taşımaktadır. Ani yer hareketiyle karakterize edilen depremler, köprü yapıları üzerinde önemli kuvvetlere neden olarak deformasyona, çökmeye ve potansiyel can kaybına yol açabilir. Bu nedenle, köprülerin sismik davranışlarının anlaşılması ve iyileştirilmesi, sismik olayların ulaşım altyapısı üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılması için zorunlu hale gelmektedir.

Köprünün sismik direncini artırmaya yönelik çeşitli yaklaşımlar arasında sismik izolasyon öne çıkmaktadır. Sismik izolasyon sistemleri köprü üst yapısını yer hareketinden ayırarak sismik kuvvetlerin yapıya aktarımını azaltmaktadır. Bu sistemler, köprüyü sismik girdiden etkili bir şekilde izole ederek yapısal hasarı en aza indirmeyi ve deprem sonrasında ulaşım ağlarının devamlılığını sağlamayı amaçlamaktadır.

Bir köprünün sismik tepkisinin zeminin özelliklerinden büyük ölçüde etkilendiğini kabul etmek çok önemlidir. Yumuşak topraktan sert kayaya kadar çeşitli zemin türleri, deprem yer hareketleri ve dolayısıyla köprünün davranışı üzerinde derin etkiler yaratabilir. Örneğin yumuşak zemin, düşük sertliği ve yüksek sıvılaşma potansiyeli nedeniyle deprem dalgalarını büyütme eğilimindedir. Bu güçlenme, köprüyü daha yüksek sarsıntı seviyelerine maruz bırakarak yapısal hasarı potansiyel olarak daha da kötüleştirebilir. Buna karşılık, sağlam kaya tipik olarak daha fazla stabilite ve sönümlenme sunar, bu da deprem hareketlerini zayıflatır ve köprü üzerindeki etkilerini azaltabilir. Zemin türlerindeki bu farklılıkları anlamak, köprülerin sismik tepkisini doğru bir şekilde tahmin etmek ve depreme eğilimli bölgelerde dayanıklılıklarını artırmak için uygun hafifletme önlemlerini uygulamak için gereklidir.

Araştırmanın Konusu ve Problemi

Bu tez çalışması, Kocaeli ilindeki Kirazlıyalı Çenesuyu Köprüsü'nün deprem performansını, gerçek deprem kayıtları kullanılarak SAP2000 programında gerçekleştirilen zaman tanım alanında dinamik analizlerle araştırmaktadır. Çalışma, iki farklı zemin sınıfına bağlı olarak köprünün sismik izolasyonlu ve izolasyonsuz deprem davranışlarını, analizler sonucunda elde edilen dinamik karakteristikler, kesit etkileri, yer değiştirmeler ve taban kesme kuvvetleri üzerinden karşılaştırmaktadır.

Araştırmanın Amacı

Bu tezin amacı, Kocaeli ilindeki Kirazlıyalı-Çenesuyu Köprüsü'nün deprem davranışını, gerçek deprem kayıtları ve SAP2000 yazılımı kullanılarak zaman tanım alanında dinamik analizler yoluyla değerlendirmektir. Değerlendirme, iki farklı zemin tipi göz önünde bulundurularak, sismik izolasyonsuz yapısal tepkiler ile sismik izolasyonlu yapısal tepkilerin karşılaştırılmasına odaklanmaktadır. Dinamik karakteristikler, kesit etkileri, yer değiştirmeler ve taban kesme kuvvetleri gibi temel parametreler, köprünün deprem performansına ilişkin kapsamlı bilgiler sağlamak üzere analiz edilecektir.

Araştırmanın Önemi ve Gerekçesi

Kocaeli ilindeki Kirazlıyalı-Çenesuyu Köprüsü'nün deprem davranışı üzerine gerçek deprem kayıtları ve SAP2000 yazılımında dinamik analizler kullanılarak yapılan bu çalışma, sismik kuvvetlere karşı yapısal tepki hakkında değerli bilgiler sağlaması açısından önem taşımaktadır. Yapının sismik izolasyonlu ve sismik izolasyonsuz olarak farklı zemin tipleri göz önünde bulundurularak değerlendirilmesi, sismik tasarım stratejilerinin geliştirilmesi ve deprem tehlikesinin yüksek olduğu bölgelerde yapısal dayanıklılığın optimize edilmesi için önemli bilgiler sunmaktadır.

Araştırmanın Sınırlılıkları

Bu çalışma, Kocaeli ilindeki Kirazlıyalı Çenesuyu Köprüsü'nün deprem performansını ele almaktadır. Bu nedenle, elde edilen sonuçların diğer coğrafi bölgelerdeki benzer köprü yapılarına genellenebilirliği sınırlı olabilir. SAP2000 programında gerçekleştirilen dinamik analizler, modelin karmaşıklığına ve kullanılan girdi parametrelerine bağlı olarak belirli varsayımlar gerektirir. Bu varsayımların gerçek dünya koşullarını tam olarak temsil etmediği durumlar söz konusu olabilir. Bu çalışma, iki farklı zemin sınıfına bağlı olarak köprünün sismik izolasyonlu ve izolasyonsuz deprem davranışlarını incelemektedir. Ancak, zemin koşullarının

değişkenliği ve karmaşıklığı, elde edilen sonuçların yorumlanmasını ve genelleştirilmesini etkileyebilir.

Varsayımlar

Bu çalışmada, 17 Ağustos 1999 Kocaeli, 19 Mayıs 1940 İmperial Valley ve 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremleri gibi geçmişte meydana gelmiş ve yıkıcı etkilere sahip depremler seçilerek analizler yapılmıştır. Bu şekilde, bu depremlerin veya benzer karakteristiklere sahip potansiyel gelecekteki depremlerin meydana gelme olasılığı varsayılarak yapısal tepkiler belirlenmiştir. Mevcut köprüde, elastomer mesnetler olarak adlandırılan izolasyon birimleri bulunmaktadır. Çalışma kapsamında, köprüye tek eğrilikli sürtünmeli sarkaç mesnet sisteminin eklenmesi varsayımıyla, yapısal tepkilerde meydana gelebilecek değişimler incelenmiştir. Köprünün deprem davranışına yerel zemin özelliklerinin etkisi, iki farklı zemin tipinin dikkate alınması varsayımıyla belirlenmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

1. LİTERATÜR ÖZETİ

Dünya'nın en aktif deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde bulunan Türkiye'de sık aralıklarla büyük depremler üretme potansiyeline sahip, sismik aktivitesi yüksek çok sayıda fay hattı bulunmaktadır. Bu nedenle ülkemizde yapılacak yeni köprülerin tasarımında ve mevcut köprülerin değerlendirilmesinde dikkate alınması gereken en önemli parametre deprem olgusudur. Köprülerin ulaşım ağı açısından stratejik önemi düşünüldüğünde, günümüzde kentsel ve kırsal bölgelerdeki köprülerin deprem performanslarının belirlenmesi ve buna göre çeşitli önlemlerin alınması giderek artan bir öneme sahiptir. Bu bağlamda köprülerin deprem performansının belirlenmesi ve iyileştirilmesi stratejileri konularında literatürde yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir:

Akoğul (2007), yönetmeliğimizdeki deprem parametrelerini dikkate alarak, AASHTO'da belirtilen sismik etkilere karşı güvenilir köprü tasarımı kriterlerini temel almış ve köprülerin sismik kuvvetlere karşı yüksek dayanıklılık göstermesi için gereken ölçütleri belirlemeye çalışmıştır. Köprü projelendirmesi aşamasında elastomer mesnetin önemini vurgulayarak, elastomerli, elastomersiz ve basit olmak üzere üç farklı model oluşturmuş ve gerçek bir köprü üzerindeki etkilerini karşılaştırmıştır.

Uluğ (2008), AASHTO 1996 talimatlarına göre tasarlanmış hâlihazırdaki bir köprüyü AASHTO LRFD'ye göre tekrar tasarlayıp doğrusal olmayan yöntemlerden biri olan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemiyle köprünün deprem performansının karşılaştırmasını yapmıştır.

Aktaş (2010), örnek bir köprü üzerinde AASHTO 2002 ve CALTRANS 2001 yönetmeliklerini temel alarak, SAP2000 programını kullanarak yapı analizi yapmış ve kolonların diyagramlarını elde etmek için XTRACT programından faydalanmıştır. İki farklı deprem için malzemelerin deformasyonlarını incelemiştir.

Barto (2010), altı açıklıklı çift hatlı bir demiryolu köprüsünün lineer olmayan deprem kuvvetleri altındaki performansını SAP2000 yazılımıyla değerlendirmiştir. Zaman tanım alanında deprem analizi ve artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemlerini kullanarak köprünün davranışını araştırmıştır.

Reyhanoğulları (2010), sismik izolasyon uygulanmış köprülerde yedi farklı depremin düşey yöndeki etkisini belirlemeyi hedeflemiştir. Bu amaçla, izolasyon uygulanmış ve uygulanmamış kompozit çelik köprüler üzerinde farklı deprem kuvvetlerini kullanarak

davranışlarını karşılaştırmıştır. SAP2000 programında gerçekleştirdiği modelleme ve analizler sonucunda köprüye etkiyen düşey ve yatay bileşenleri belirlemiştir.

Safaei (2010), üç farklı açıklığa sahip I kesit prekast betonarme köprünün AASHTO 2002'ye göre bilgisayar destekli analizini ve ön tasarım çalışmasını gerçekleştirmiştir. Araştırmacı, kritik yüklemeler için farklı kombinasyonlar uygulayıp en olumsuz senaryoyu seçerek çalışmasını sürdürmüştür. Ayrıca, üç farklı açıklıklı köprüye sismik yükler uygulayarak farklı eksenlerdeki deformasyon değerlerini inceleyip karşılaştırmıştır.

Atmaca (2012), Türkiye'deki ilk kablolu köprü örneği olan Manavgat Köprüsü'nü temel olarak, köprünün konsol dilimlere ayrılması esasına dayalı betonun zamanla değişen fiziksel özelliklerini, doğrusal olmayan analizini ve deprem davranışını belirlemek için SAP2000 programını kullanarak dinamik analiz yapmıştır. Belirtilen köprünün yapım aşamalarının dikkate alındığı ve alınmadığı durumlardaki analizlerini yaparak bunları karşılaştırmıştır.

Atmaca vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada, tek eğrilikli sürtünmeli sarkaç mesnetler ile izole edilmiş kablo askılı köprü üzerindeki deprem etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda uygulama olarak Manavgat kablolu köprüsü seçilmiştir. Köprünün sismik davranışını belirlemek için 11 Aralık 1999 Düzce, 23 Kasım 2011 Van ve 13 Mart 1992 Erzincan depremleri olmak üzere üç farklı deprem üç boyutlu sonlu eleman modellerine tabi tutulmuştur. Çalışma sonucunda izolasyon sisteminin kullanılmasının depremlerin köprü üzerindeki yıkıcı etkilerini azalttığı görülmüştür.

Yurdakul (2016), üç eğrilikli sürtünmeli sarkaç mesnet sistemi kullanılarak sismik izolasyonu yapılan bir karayolu köprüsünün, değişen ve yayılan yer hareketine karşı stokastik davranışını belirlemeyi hedeflemiştir. Araştırmacı, üç eğrilikli sürtünmeli sarkaç mesnet sisteminin değişen ve yayılan yer hareketine maruz kalan uzun açıklıklı yapıların stokastik davranışlarında önemli bir etkiye sahip olduğu sonucuna varmıştır.

Atmaca (2018), sayısal ve deneysel çalışmaları temel alarak, prefabrik kirişli öngermeli köprülerin üst yapılarının hesaplamalarını ve tasarımlarını gerçekleştirmek üzere bir bilgisayar programı geliştirmiştir. Oluşturulan bu program, köprünün üst yapı elemanlarının çeşitli dış etkiler altında analiz edilmesini sağlamanın yanı sıra elde edilen sonuçları projelendirme ve raporlama imkânı sunmayı amaçlamaktadır.

Kati Eker (2018), Maden Viyadüğü'nde kullanılan T kesitli kompozit prekast kirişlerin alternatiflerini araştırmayı hedeflemiştir. İlgili köprü için AASHTO'nun Tip-1, Tip-2, Tip-3, Tip-4, Tip-5 ve Tip-6 kirişlerinin geometrik ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Sonuç olarak, Tip-5 kirişinin uygun olduğu ve optimizasyonunun sağlandığı belirlenmiştir.

Nuraini vd. (2018), hafif raylı ulaşımda doğrusal olmayan analizlerle yapılar üzerindeki sismik etkiyi incelemişlerdir. Çalışmada, kurşun çekirdekli sismik izolatörler ile sürtünmeli sarkaç tipi izolatörlerin SAP2000 programı kullanılarak yapı modellemesi yapılmış ve karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, her iki izolatörün de birbirinin yerine kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Öztürk (2018), piyasada yaygın olarak kullanılan yedi farklı yükseklikteki prekast kirişler için çeşitli kablo sayılarını deneyerek en büyük ve en küçük mesafeleri hesaplamıştır. Bu hesaplamalar, yaya ve araç yüklerini dikkate alarak manuel olarak ve SAP2000 programıyla gerçekleştirilmiştir.

Yurdakul ve Ates (2018), değişen deprem yer hareketine maruz sismik izolasyonlu ve izolasyonsuz otoyol köprülerinin stokastik tepkisini araştırmışlardır. Çalışmada, sismik izolasyon için diğer sismik izolasyon sistemlerine göre daha etkili olan üç eğrilikli sürtünmeli sarkaç mesnet kullanılmıştır. Sismik izolasyon prosedürünü uygulamak için, üç eğrilikli sürtünmeli sarkaç mesnet cihazları tabliyenin her bir mesnet noktasına yerleştirilmiştir. Stokastik analiz sonuçları, değişen yer hareketinin izolasyonlu ve izolasyonsuz köprülerin stokastik tepkisine önemli etkileri olduğunu göstermiştir.

Abanuz (2019), üç farklı deprem kaydı kullanarak tek ayağa sahip köprü için üç farklı başlık kirişi/kolon eğilme rijitliği oranını karşılaştırmıştır. Araştırma, depremlerin yalnızca yatay veya hem yatay hem düşey etkileriyle birlikte, köprü temelinin çeşitli derinliklerde toprak altında kalma durumlarını da ele almıştır.

Erdem (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak fore kazıklı bir köprü ele alınmıştır. Bu çalışma kapsamında, kazıkların, zeminin ve yapısal elemanların tamamının sayısal olarak modellenmesi ve ayrıca kazıkların tek tek modellenmesi durumunda, sismik yükler altında kazık-zemin-yapı etkileşiminin incelenmesi ve kazıklar üzerindeki etkilerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Karimi (2019), Trabzon'un Araklı ilçesinde bulunan iki açıklıklı öngerilmeli I kirişli Karadere Köprüsü'nün lineer ve lineer olmayan analizlerini değerlendirmek amacıyla sonlu elemanlar yöntemini kullanmıştır. Köprü için SAP2000 paket programı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi uygulanmış ve bu yöntemle farklı çaplara ve yüksekliklere sahip kolonların dinamik davranışları, benzeştirilmiş üç deprem ivme kaydı kullanılarak incelenmiştir.

Bulut (2020), AASHTO LRFD 2017 yönetmeliğine göre tasarlanmış öngerilmeli prefabrik bir betonarme köprüyü, DD-1 ve DD-2 sismik yükleri uygulayarak performansını analiz etmiştir. SAP2000 programı kullanılarak gerçekleştirilen bu analizlerin sonuçlarına göre,

her iki deprem durumunda da köprüde plastik mafsallaşma olmadığı ve kesintisiz kullanım performans seviyesinin sağlandığı belirlenmiştir.

Anjumani (2021), kirişli köprülerin deprem etkisi altındaki davranışını incelemiştir. Çalışmada, 72 metrelik açıklığa sahip çelik I ve U kesitli, prekast betonarme I ve U kesitli kirişler gibi farklı üst yapı tiplerine sahip köprü modelleri, mod birleştirme yöntemiyle analiz edilmiştir. Spektrum eğrileri TBDY 2018 yönetmeliğine ve AASHTO 2012 şartnamesine göre tanımlanmış olup, her bir tip köprü için iki model olmak üzere toplamda sekiz ayrı model oluşturulmuştur.

Propika vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada, Nakazawa yöntemi ve SAP2000 programı kullanılarak düşey yönde yay sabiti ve yatay yönde yay katsayısı için manuel olarak hesaplanacak bir yay modelleme sistemi kullanılarak kazık temel in yanal taşıma kapasitesinin elde edilmesi amaçlanmıştır.

Artan (2021), Tarihi Murat Köprüsü için farklı analizler kullanarak gerilme ve deformasyon bölgelerini tanımlamıştır. Tarihi Murat Köprüsü'nü, sonlu elemanlar yöntemiyle ANSYS programını kullanarak modellemiş ve analiz etmiştir. Bu analizler sonucunda, köprünün gerilme ve deformasyon bölgelerini tespit etmiştir.

Bexultan (2021), üç açıklıklı kutu kesitli bir karayolu köprüsünün sismik izolasyonu için kurşun çekirdekli elastomer mesnet tasarımı yapmıştır. Araştırmacı ayrıca köprüde köprü kolonlarının yüksekliğinin ve elastomer mesnetin deprem tepkileri üzerindeki etkilerini incelemiştir.

Fındık vd. (2021), zemin sıklığı, kat sayısı ve kazık boyu gibi parametreleri değiştirerek kohezyonsuz zeminlerde bulunan kazıklı radye temellerin tasarımı için SAP2000 programında analizler gerçekleştirmişlerdir. Değişken parametrelerin etkileri grafiklerle gösterilmiş ve açıklanmıştır. Araştırmanın sonuçlarına göre, kazıklı radye sistemlerinde radye plağın zemine temas ederek yük paylaşımında kazıkların taşıma kapasitesine katkı sağladığı tespit edilmiştir.

Nour (2022) tarafından yapılan çalışmada, özel bir kayar bileşen izolatör tipi (Üçlü Sürtünmeli Sarkaç Mesnet) kullanılarak sismik olarak izole edilmiş mevcut bir köprünün sismik tepkisi incelenmiştir. Köprünün sismik davranışı, OpenSees yazılımı kullanılarak zaman tanım analizi yoluyla eşzamanlı olarak sabit ve izole taban yapısı olmak üzere iki durumda incelenmiştir. Ayrıca, seçilen köprünün taban kesmesi, nodal yer değiştirmesi ve izolasyon sisteminin kuvvet-yer değiştirme histerezis döngüleri üç deprem yer hareketi kaydı altında grafiksel olarak sunulmuştur.

Moestopo vd. (2022), tek eğrilikli sürtünmeli sarkaç mesnet sistemi ile sismik olarak izole edilmiş ve Endonezya sismik koduna göre tasarlanmış iki tipik betonarme köprünün tasarımını ve sismik performans değerlendirmesini araştırmışlardır. Referans köprüler, Endonezya'daki tipik hafif hızlı transit köprüsü ve otoyol betonarme köprüsü arasından seçilmiştir. Çalışmada, farklı mesnet konfigürasyonlarına sahip izolasyonlu köprüler ile geleneksel izolasyonsuz köprülerin 1000 yıllık tasarım depremi altındaki sismik performansları lineer olmayan sonlu eleman analizleri kullanılarak incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

Chen vd. (2022), yüksek köprü ayaklarının tabanına sürtünmeli sarkaç mesnetlerini uygulayarak taban izolasyonunun fizibilitesini ve verimliliğini araştırmışlardır. Çalışmada, sürtünmeli sarkaç mesnet ile izole edilmiş köprü sisteminin sismik performansı doğrusal olmayan zaman tanım analizi ile değerlendirilmiş ve sabit taban kullanan benzerleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan parametrik analizler sonucunda sürtünmeli sarkaç mesnetlerin tasarımı için içbükey yüzeyin yarıçapının daha büyük bir değeri tavsiye edilirken; sismik yer değiştirme ve kuvvet talepleri arasındaki dengeyi sağlamak için sürtünme katsayısının dikkatli bir şekilde belirlenmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Adsız (2023) tarafından yapılan çalışmada, yapay deprem ivme kayıtları oluşturularak tarihi köprülerin deprem davranışları incelenmiştir. Sayısal çalışma için üç açıklıklı tarihi Uzunok Köprüsü dikkate alınmıştır. Köprü, SAP2000 sonlu eleman programı kullanılarak üç boyutlu olarak makro modelleme yöntemiyle modellenmiştir. Daha sonra modal analizler gerçekleştirilerek köprünün dinamik özellikleri belirlenmiştir. Sismik değerlendirme için zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemi kullanılmıştır.

Hakımyar (2023), zaman-tanım alanı yöntemini kullanarak üç farklı zemin modeliyle incelenen iki açıklıklı derin temel sistemine sahip bir köprü üzerinde çalışmıştır. Araştırmacı, TBDY 2018'e göre zemin sınıfını belirlemiş ve ardından yerel zemin koşullarına ve fay tipine göre seçilen ivmeleri ölçeklendirmiştir. Daha sonra, yerel zemin koşullarına uygun olarak çeşitli zemin modelleri kullanarak DIANA 3D yazılımıyla lineer olmayan analizler gerçekleştirmiştir. Bu analizlerde, zeminlerin ve kazıkların dinamik durumdaki yapıya etkileşim seviyesine göre değerlendirme yapmıştır.

Mahamat (2023) çalışmasında, 1915 Çanakkale Asma Köprüsü'nün dinamik analizlerini gerçekleştirmiştir. Araştırmacı dalga etkisi, çevresel faktörler, köprünün yapım süreci ve deprem etkileri gibi çeşitli faktörleri incelemiştir. Bu amaçla, köprünün üç boyutlu sonlu eleman modelini AutoCAD ile oluşturmuştur. Analizleri, SAP2000 yazılımını kullanarak gerçekleştirmiştir. Çalışma sonunda köprünün frekanslarını, periyotlarını ve mod şekillerini tespit etmiştir. Ayrıca, köprü kulesi ve tabliyesine ait eğilme momenti, yer değiştirme, normal kuvvet ve kesme kuvveti gibi iç kuvvetleri de analizler sonucunda elde etmiştir.

Pala (2023) tarafından yapılan çalışmada, farklı deprem bölgelerinde farklı zemin sınıfları için betonarme köprü tasarımlarının yapılarak, boyutlandırmaya etki eden kesme kuvveti, deformasyon ve moment büyüklüklerinin değişimi araştırılmıştır. Mevcut model oluşturulurken yükler AASHTO 2007'e uygun olarak tanımlanmış ve modelleme işlemi SAP2000 ile gerçekleştirilmiştir.

Kumbhojkar vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada, iskeledeki izole bütünleşik köprülerin davranışı, çok bileşenli uzak ve yakın alan depremleri altındaki izole edilmiş geleneksel köprüden farklı olarak incelenmiştir. Aynı geometriye sahip izole ve sabit tabanlı köprülerin zaman-tanım alanında lineer olmayan analizi gerçekleştirilmiştir.



İKİNCİ BÖLÜM

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada Kocaeli ilindeki Kirazlıyalı Çenesuyu Köprüsü'nün deprem davranışı gerçek deprem kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında dinamik analizler ile SAP2000 programında belirlenmiştir. Yapının sismik izolasyonsuz ve sismik izolasyonlu deprem davranışları iki farklı zemin türü dikkate alınarak yapılan analizler sonucu elde edilen dinamik karakteristikler, kesit tesirleri, yer değiştirmeler ve taban kesme kuvvetleri üzerinden değerlendirilmiştir.

2.1. KIRAZLIYALI ÇENESUYU KÖPRÜSÜ'NE AİT GENEL BİLGİLER

Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Dairesi Başkanlığı tarafından Körfez Kirazlıyalı ve Derince Çenesuyu istikametindeki alternatif yolun 2. etabında yer alan Kirazlıyalı Çenesuyu yolu köprüsü Esentepe mevkinde bulunmaktadır. Köprünün yollar bölge haritası üzerindeki konumu ve köprünün görüntüsü Şekil 1-2'de verilmiştir.



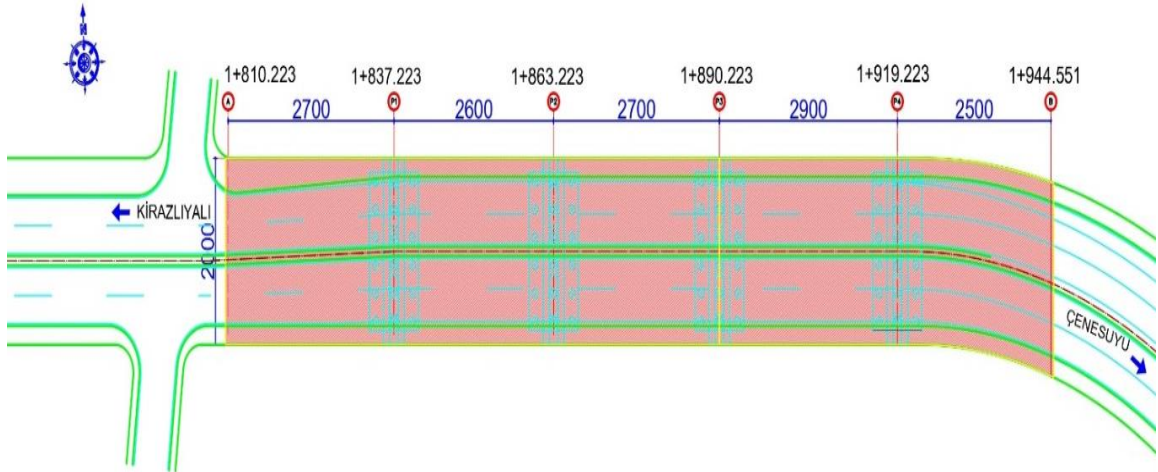
Şekil 1: Kirazlıyalı Çenesuyu Köprüsü'nün Bölge Haritası Üzerindeki Konumu (KGM, 2023)

Köprünün yapımına 14.03.2017 tarihinde başlanmış olup 09.11.2017 tarihinde tamamlanmıştır (K.B.B. Faaliyet Raporu, 2017).

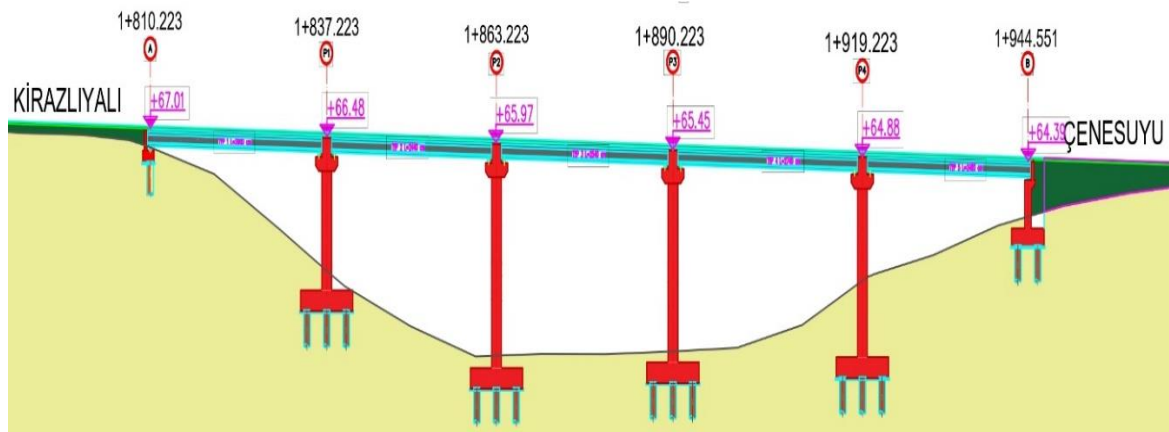


Şekil 2: Kirazlıyalı Çenesuyu Köprüsü (İstanbul Haber, 2017)

Kirazlıyalı Çenesuyu Köprüsü, Km:1+810.223 ile Km:1+944.551 arasında yapılmıştır. Belirtilen köprüde uzunluk $L=27+26+27+29+25=134$ m olup beş açıklıklı çift köprü şeklinde tasarlanmıştır. Köprünün genişliği $E=2+7,5+1+7,5+2=20$ m'dir. Köprünün genel yerleşim planı ve boykesiti sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 3: Kirazlıyalı Çenesuyu Köprüsü Genel Yerleşim Planı (Prizma Mühendislik, 2010)

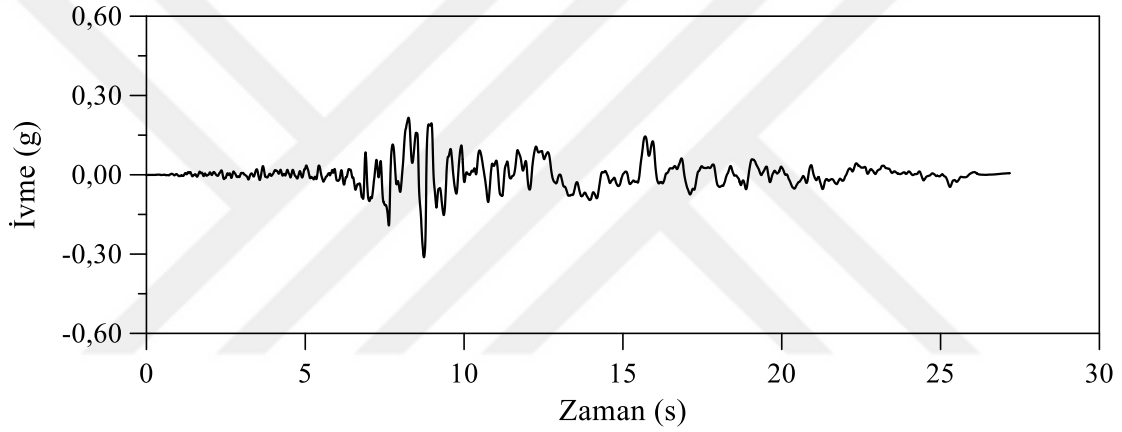
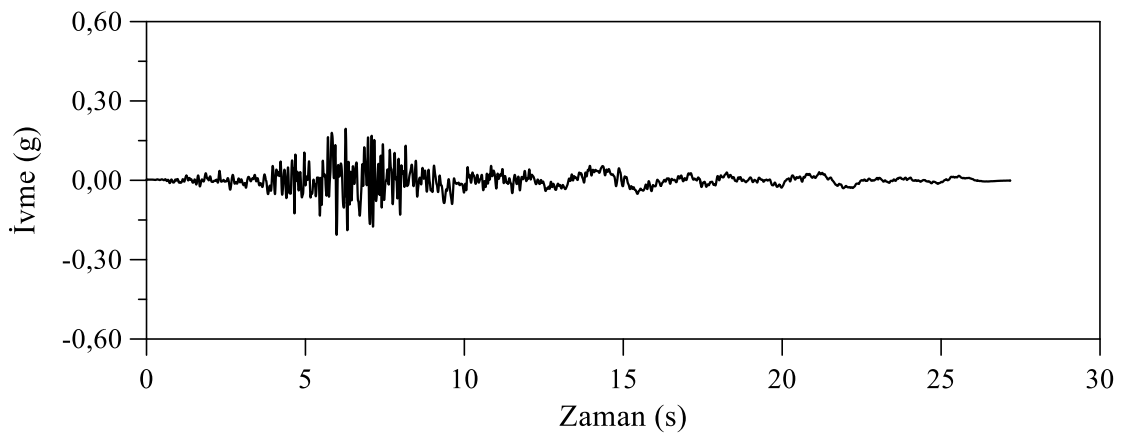


Tablo 1: Beton Özellikleri (Prizma Mühendislik, 2010)

Yapı Elemanları	Beton Sınıfı	Beton Dayanımı (f_c) [MPa]
Prefabrik Kirişler	C40	40
Kazık Başlığı, Tabliye, Kazıklar	C25	25
Ayaklar ve Başlık Kirişi	C30	30
Donatısız Betonlar	C14	14

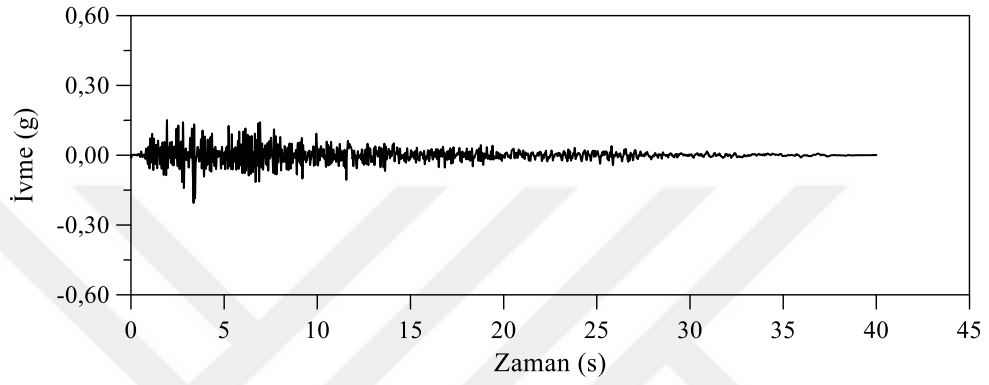
2.2. DEPREM YER HAREKETLERİ

Dinamik analizlerde 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depreminin DZC180 ve DZCUP, 19 Mayıs 1940 İmperial Valley Depreminin ELC180 ve ELCUP, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş (Pazarcık) Depreminin 4624_E ve 4624_U bileşenlerine ait deprem ivme kayıtları kullanılmıştır (PEER, 2023; AFAD, 2023). Söz konusu deprem kayıtları yapıya sırasıyla X ve Z doğrultularında uygulanmıştır. Bu depremlere ilişkin ivme kayıtları Şekil 6–11’de verilmiştir.

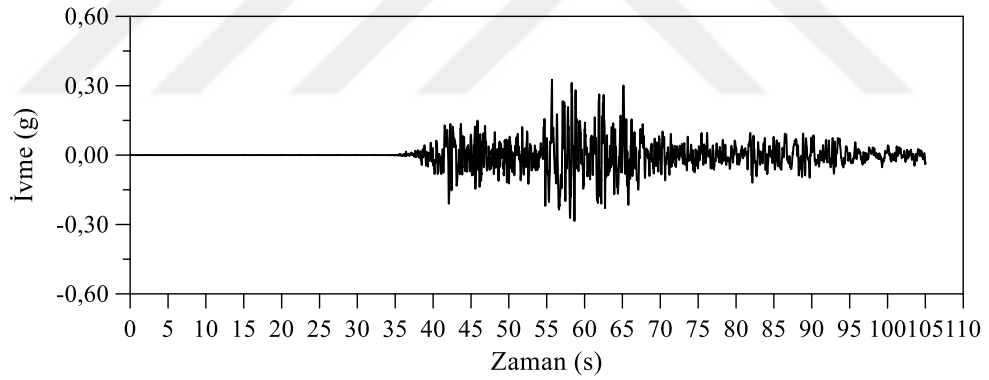
**Şekil 6:** Kocaeli Depreminin DZC180 Bileşenine Ait İvme Kaydı**Şekil 7:** Kocaeli Depreminin DZCUP Bileşenine Ait İvme Kaydı



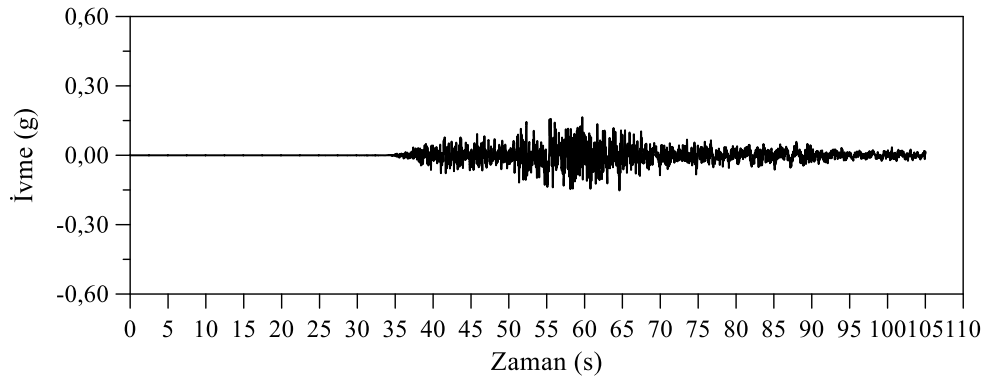
Şekil 8: İmperial Valley Depreminin ELC180 Bileşenine Ait İvme Kaydı



Şekil 9: İmperial Valley Depreminin ELCUP Bileşenine Ait İvme Kaydı



Şekil 10: Kahramanmaraş (Pazarcık) Depreminin 4624_E Bileşenine Ait İvme Kaydı



Şekil 11: Kahramanmaraş (Pazarcık) Depreminin 4624_U Bileşenine Ait İvme Kaydı

2.3. YÜK KOMBİNASYONLARI

Köprünün analizlerinde kullanılan yükler ve yük kombinasyonları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2: Yükler ve Yük Kombinasyonları

Yükler	Yük Tipi	Yük Kombinasyonları
Sabit Yük ve Hareketli Yük	Lineer Statik	G+0,9Q
Kocaeli Depremi	Lineer Olmayan Dinamik	Kocaeli+G
İmperial Valley Depremi	Lineer Olmayan Dinamik	İmperial Valley+G
Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi	Lineer Olmayan Dinamik	Kahramanmaraş (Pazarcık) +G

2.4. MODEL KAZIK İÇİN YATAY YAY SABİTLERİNİN BULUNMASI

Kazıklı temel sistemlerde, kazıklar ve çevreleyen zemin arasındaki etkileşimi modellemek için genellikle yay elemanlar kullanılmaktadır. Bu yay elemanlar, zeminin rijitliğini ve kazıklar tarafından uygulanan yüke nasıl tepki verdiğini temsil etmektedir. Yay elemanlar analize dâhil edilerek, zemin-kazık etkileşiminin karmaşık davranışı simüle edilebilir ve oturma, taşıma kapasitesi ve genel yapısal performansın daha doğru tahmin edilmesi sağlanabilir. Bu elemanlara uygun rijitlik parametreleri atanarak ve bunlar kazıklar ile zemin arasındaki arayüze yerleştirilerek, zemin-kazık etkileşiminin karmaşık davranışı etkili bir şekilde modellenebilir. Doğrusal olmayan yay elemanları, zemin akması veya kazık-zemin ayrılması gibi daha karmaşık olayları modellemek için de kullanılabilir. Bu modeller, deneysel verilerle kalibrasyon ve doğrulama yoluyla, kazıklı temellerin farklı yükleme koşulları altındaki davranışları hakkında değerli bilgiler sağlayarak, optimum performans ve stabilite için tasarım ve optimizasyonlarına yardımcı olurlar.

Bu çalışmada, köprü kazıklarının yay sabitleri bulunurken iki farklı zemin türü dikkate alınmıştır. Bu zemin türleri Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018’de tanımlanan ZA ve ZC yerel zemin sınıflarına karşılık gelmektedir. Bowles’ın zemin sınıflandırmasına göre sağlam sert kaya (ZA) için zemin yatak katsayısı 200000 kN/m^3 , çok sıkı kum (ZC) için zemin yatak katsayısı 96000 kN/m^3 olarak alınmıştır.

Köprünün kazık boyu 24m olup iki ayrı zeminle etkileşimini modellemek için 24 birime (katmana) ayrılmıştır. Her birim derinlik için yaylar tanımlanmıştır. Yatay yay sabitlerinin hesabı Tablo 3’te gösterilmiştir.

Tablo 3: Model Kazık için Yatay Yay Sabitlerinin Bulunması

Zemin Türü	Nokta No	L (m)	$z = \frac{L}{\sum L}$ (L/tL)	K_o (kN/m ³)	$K_y = K_o \times \sqrt{z}$ (kN/m ³)	$K_h = \frac{K_{y1} + K_{y2}}{2}$ (kN/m ³)	$K = \frac{(K_{h1} + K_{h2}) \times D \times \Delta h}{2}$ (kN/m)
ZA	1	24	1	200000	200000	197894,501	98947,25052
	2	23	0,95833		195789,002	193637,2118	195765,8564
	3	22	0,91667		191485,422	189284,1454	191460,6786
	4	21	0,875		187082,869	184828,5276	187056,3365
	5	20	0,83333		182574,186	180262,745	182545,6363
	6	19	0,79167		177951,304	175578,1925	177920,4687
	7	18	0,75		173205,081	170765,0815	173171,637
	8	17	0,70833		168325,082	165812,1992	168288,6404
	9	16	0,66667		163299,316	160706,5996	163259,3994
	10	15	0,625		158113,883	155433,2031	158069,9013
	11	14	0,58333		152752,523	149974,2688	152703,7359
	12	13	0,54167		147196,014	144308,6853	147141,4771
	13	12	0,5		141421,356	138410,9982	141359,8417
	14	11	0,45833		135400,64	132250,0425	135330,5203
	15	10	0,41667		129099,445	125786,966	129018,5042
	16	9	0,375		122474,487	118972,2705	122379,6182
	17	8	0,33333		115470,054	111741,1994	115356,7349
	18	7	0,29167		108012,345	104006,1725	107873,6859
	19	6	0,25		100000	95643,54646	99824,85947
	20	5	0,20833		91287,0929	86468,37551	91055,96098
	21	4	0,16667		81649,6581	76180,16811	81324,27181
	22	3	0,125		70710,6781	64222,85252	70201,51031
	23	2	0,08333		57735,0269	49279,92798	56751,39025
	24	1	0,04167		40824,829	20412,41452	34846,17125
	25						10206,20726
ZC	1	24	1	96000	96000	94989,3605	47494,68025
	2	23	0,95833		93978,721	92945,86167	93967,61108
	3	22	0,91667		91913,0023	90856,38981	91901,12574
	4	21	0,875		89799,7773	88717,69324	89787,04153
	5	20	0,83333		87635,6092	86526,11761	87621,90543
	6	19	0,79167		85416,626	84277,53239	85401,825
	7	18	0,75		83138,4388	81967,23914	83122,38576
	8	17	0,70833		80796,0395	79589,85564	80778,54739
	9	16	0,66667		78383,6718	77139,16781	78364,51172
	10	15	0,625		75894,6638	74607,93748	75873,55264
	11	14	0,58333		73321,2111	71987,64902	73297,79325
	12	13	0,54167		70654,0869	69268,16896	70627,90899
	13	12	0,5		67882,251	66437,27912	67852,72404
	14	11	0,45833		64992,3072	63480,02039	64958,64975
	15	10	0,41667		61967,7335	60377,74368	61928,88204
	16	9	0,375		58787,7538	57106,68983	58742,21676
	17	8	0,33333		55425,6258	53635,77571	55371,23277
	18	7	0,29167		51845,9256	49922,96279	51779,36925
	19	6	0,25		48000	45908,9023	47915,93255
	20	5	0,20833		43817,8046	41504,82024	43706,86127
	21	4	0,16667		39191,8359	36566,48069	39035,65047
	22	3	0,125		33941,1255	30826,96921	33696,72495
	23	2	0,08333		27712,8129	23654,36543	27240,66732
	24	1	0,04167		19595,9179	9797,958971	16726,1622
	25						4898,979486

Tablo 3'teki L, z ve K_y değerleri sırasıyla kazık boyunu, yayın uygulanacağı noktanın kazık başlığına mesafesinin toplam kazık boyuna oranını ve Winkler yay modeline göre belirlenen ve tablodaki formülle hesaplanan yatay yatak katsayısını göstermektedir. K , K_0 ve K_h değerleri ise sırasıyla yatay yay sabitini, her bir katman için düşey yatak katsayısını ve basitleştirilmiş yatay yatak katsayısını ifade etmektedir (Şavaşeri, 2006). D kazık çapı olup 1m olarak alınmıştır. Δh kazık modelinin iki düğüm noktası arasındaki mesafe olup 1m'dir.

2.5. MODEL KAZIK İÇİN DÜŞEY YAY SABİTLERİNİN BULUNMASI

Bu çalışmada, düşey yay sabiti K_V Nakazawa yöntemi kullanılarak manuel olarak hesaplanmış ve daha sonra SAP2000 programına yay rijitliği olarak girilmiştir (Propika vd., 2021). Düşey yay sabitlerinin hesabı Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4: Model Kazık için Düşey Yay Sabitlerinin Bulunması

Nokta No	L (m)	D (m)	$a = \frac{0,022 \times L}{D} - 0,05$	E_p (kN/m ²)	A_p (m ²)	$K_V = \frac{a \times A_p \times E_p}{L}$ (kN/m)
1	24	1	0,478	30000000	0,7854	469275,4
2	23	1	0,456	30000000	0,7854	467141,2
3	22	1	0,434	30000000	0,7854	464812,9
4	21	1	0,412	30000000	0,7854	462262,9
5	20	1	0,39	30000000	0,7854	459457,9
6	19	1	0,368	30000000	0,7854	456357,7
7	18	1	0,346	30000000	0,7854	452912,9
8	17	1	0,324	30000000	0,7854	449062,9
9	16	1	0,302	30000000	0,7854	444731,7
10	15	1	0,28	30000000	0,7854	439823
11	14	1	0,258	30000000	0,7854	434213
12	13	1	0,236	30000000	0,7854	427739,9
13	12	1	0,214	30000000	0,7854	420188
14	11	1	0,192	30000000	0,7854	411263
15	10	1	0,17	30000000	0,7854	400553,1
16	9	1	0,148	30000000	0,7854	387463,1
17	8	1	0,126	30000000	0,7854	371100,6
18	7	1	0,104	30000000	0,7854	350063,2
19	6	1	0,082	30000000	0,7854	322013,2
20	5	1	0,06	30000000	0,7854	282743,3
21	4	1	0,038	30000000	0,7854	223838,5
22	3	1	0,016	30000000	0,7854	125663,7
23	2	1	-0,006	30000000	0,7854	-70685,8
24	1	1	-0,028	30000000	0,7854	-659734
25			-0,05	30000000	0,7854	

Tablo 4'te geçen L , D ve a sırasıyla kazık boyunu, kazık çapını ve kazık malzemesine dayalı çarpan faktörünü göstermektedir. E_p , A_p ve K_v ise sırasıyla kazığın elastisite modülünü, kazığın net kesit alanını ve düşey yay sabitini göstermektedir.

2.6. ELASTOMER MESNET RİJİTLİK HESAPLAMALARI

Elastomer mesnetler, basit ve bütçe dostu mesnet türlerinden biridir. Ekonomik ve üretimi kolay olan bir üstünlük sunduklarından çelik plakalarla takviye edilmiş elastomerler, öngerilmeli kirişli köprü sistemlerinde tercih edilirler. Çelik plakalı elastomer mesnetler, elastomerin içindeki kayma esnekliği sayesinde köprü hareketlerine yatay yönde izin verir. Bu kayma esnekliği, elastomerin dönme hareketlerine karşı da esnek olmasını sağlar. Elastomer mesnetlerin yapıdan gelen yüklere karşı düşeyde rijit davranışta bulunması, yatayda ise esnek davranış sergilemesi önemlidir.

Elastomer köprü mesnetleri, kısmen ya da tamamen elastomerden imal edilmiş yapılar olup, köprüyü destekleyen ve yüklerin aktarılmasını sağlayan araçlardır. Bu mesnetler aynı zamanda yapıdaki yer değiştirmeleri sınırlar ve kontrol eder, böylece köprünün stabilitesini sağlarlar. Elastomer mesnetli köprülerin en büyük avantajı, deprem sırasında köprü yapısının kolonlardan gelen momentlere maruz kalmamasıdır. Elastomer mesnete gelen üst yapılardaki yük, köprü ayaklarına aktararak sarsıntılar sonucu oluşan yüklerin ve momentlerin absorbe edilmesi sağlanır.

Bu çalışmada ele alınan Kirazlıyalı Çenesuyu Köprüsü'nün elastomer mesnet detayları Şekil 12'de verilmiştir. Elastomer mesnetlerin modellenmesinde lineer link elemanlar kullanılmıştır. Bu link elemanların köprü eksen yönündeki ve köprü eksenine dik yöndeki rijitlikleri AASHTO LRFD 2017'ye göre hesaplanmış ve Tablo 5'te verilmiştir. Elastomer mesnetin efektif kayma modülü (G_{eff}) AASHTO LRFD 2017 şartnamesinde tanımlanan değerlerden 1 MPa olarak seçilmiştir. Proje bilgilerine göre elastomer mesnet uzunluğu (L) 250 mm, mesnet genişliği (W) 300 mm, mesnet alanı ($A=L \times W$) 75000 mm², elastomer tabaka kalınlığı (h_{ri}) 8 mm, toplam elastomer kalınlığı (h_{bp}) 45 mm, toplam elastomer yüksekliği (h) 63 mm'dir.

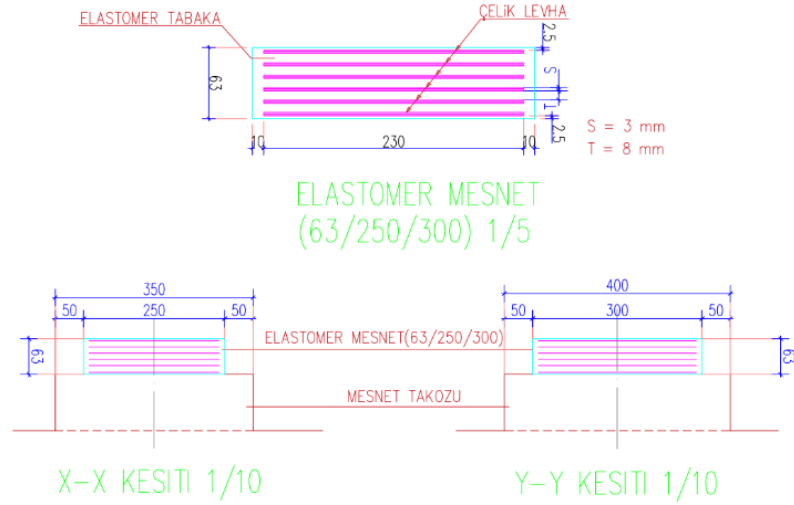
$$K_x = K_y = \frac{G_{eff} \times A}{h_{bp}} = \frac{1 \times 75000}{45} = 1666,67 \text{ kN / m} \quad (1)$$

$$S = \frac{L \times W}{2 \times h_{ri} \times (L + W)} = \frac{250 \times 300}{2 \times 8 \times (250 + 300)} = 8,52 \quad (2)$$

$$E_c = 6 \times G \times S^2 = 6 \times 1 \times 8,52^2 = 435,5424 \text{ MPa} \quad (3)$$

$$K_z = \frac{E_c \times A}{h} = \frac{435,5424 \times 75000}{63} = 518502,85 \text{ kN / m} \quad (4)$$

(2-4) denklemlerinde geçen S ve E_c sırasıyla elastomer mesnetin şekil faktörünü ve elastisite modülünü göstermektedir.



Şekil 12: Elastomer Mesnet Detayları (Prizma Mühendislik, 2010)

Tablo 5: Elastomer Mesnet Rijitlikleri

Rijitlik Yönü	Rijitlik Değeri (kN/m)
X yönündeki yatay rijitlik (K_x)	1666,67
Y yönündeki enine rijitlik (K_y)	1666,67
Z yönündeki düşey rijitlik (K_z)	518502,85

2.7. SİSMİK İZOLATÖRÜN BOYUTLANDIRILMASI

Sismik izolatörlerin kullanımı, yapılar için bir dizi avantaj sunar. Bunlardan biri, sismik izolatörlerin yapıların hâkim frekansını azaltarak üst yapının nispeten daha rijit kalmasını sağlamasıdır. Bu durum, deprem etkilerine karşı daha fazla direnç sağlar, çünkü yer değiştirmeler izolatörlerde meydana gelir ve bunun sonucunda yapı daha esnek hale gelir. Bir diğer fayda ise, deprem sırasında yapıya iletilen ivmelerin azalması ve izolatör sisteminin yapıya esneklik kazandırarak olumsuz etkileri en aza indirmesidir. Tek eğrilikli sürtünmeli sarkaç (TESS) sistemi, hedeflenen sismik izolasyon sonuçlarına ulaşmak için hem sarkaç tarafından taşınan ağırlığı hem de geometrisini kullanır. Çevresel faktörlere karşı dayanıklılık gösterir ve uzun bir kullanım ömrüne sahiptir. Bu sistemle donatılmış yapılar, sismik aktiviteye küçük genlikli sarkaç hareketleriyle yanıt vererek deprem etkisini azaltır. Ayrıca, sistemin doğasında bulunan sürtünme özellikleri sismik enerjinin emilmesine yardımcı olarak etkinliğini daha da artırır (Zayas, 1990).

Sismik izolatörlerin boyutlandırılmasında iteratif bir yaklaşım sıklıkla kullanılır. Bu süreç, bir tasarımın veya parametrelerin başlangıç değerlerinin belirlenmesi, ardından bu değerlerin analiz ve test edilmesi, sonuçların incelenmesi ve daha iyi bir performans elde etmek

için gerekirse başlangıç değerlerinin değiştirilmesi adımlarını içerir. İteratif süreç, adım adım ilerleyerek daha optimize edilmiş bir tasarım elde etmeyi amaçlar. Öncelikle, belirli bir sismik izolatör tasarımı için başlangıç parametreleri seçilir. Daha sonra, bu parametreler kullanılarak tasarlanan izolatörün arzu edilen kapasitede olup olmadığı kontrol edilir. Bu analizler, izolatörün davranışını ve yapısal bütünlüğü içerir. Sonuçlar incelendikten sonra, izolatörün performansını artırmak veya belirli gereksinimleri karşılamak için başlangıç parametreleri değiştirilebilir. Bu süreç, istenilen performans kriterlerine ulaşıncaya kadar tekrarlanabilir. Her bir iterasyon, tasarımın istenilen performansı sağlamasını ve daha iyi bir şekilde optimize edilmesini sağlar.

Bu tez çalışmasında TESS mesnet sistemi kullanılmıştır. TBDY (2018) dikkate alınarak iki farklı zemin sınıfı için TESS mesnet boyutlandırılması gerçekleştirilmiştir. İzolatörün boyutlandırılması için seçilen başlangıç değerleri ve izolatöre gelen düşey yük değeri Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6: İzolatörün Boyutlandırılması İçin Seçilen Başlangıç Değerleri ve İzolatöre Gelen Düşey Yük

Zemin Sınıfı	μ_e	R_e (m)	P (kN)	D (m)	D_y (m)
ZA	0,080	2,24	18014	0,13	0,00254
ZC	0,080	2,24	18014	0,29	0,00254

Tablo 6’da geçen μ_e ve R_e sırasıyla üst limit sürtünme katsayısı ve etkin eğrilik yarıçapıdır. P izolatöre gelen düşey yükü göstermektedir. D ve D_y ise sırasıyla seçilen izolatör yer değiştirme değeri ve başlangıç akma yer değiştirmesidir.

Sismik izolatörün boyutlandırılması için yapılan iterasyonlar sonucunda elde edilen tasarım parametrelerine ilişkin detaylar Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 7: Sismik İzolatörün Boyutlandırılmasına İlişkin Parametreler

	Zemin Sınıfı	
	ZA	ZC
$K_e = \frac{P}{R_e} + \frac{\mu_e \times P}{D}$ (kN/m)	19128	13011
$\beta_e = \frac{2}{\pi} \times \left[\frac{\mu_e}{\mu_e + \frac{D}{R_e}} \right]$	0,37→0,30	0,24
$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \beta_e}}$	1,374	1,381
$T = 2 \times \pi \times \sqrt{\frac{P}{g \times K_e}}$ (s)	1,95	2,36
$S_a = \frac{S_{ae}(T)}{\eta}$ (g)	0,136	0,210
$S_d = \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2 \times S_a$ (m)	0,13=D ✓	0,29=D ✓

TBDY (2018)'e göre etkin sönüm oranı %30 ile sınırlı olacağından 0,30'dan küçük bulunan değerler direkt alınırken büyük değerler 0,30 olarak sınırlandırılır.

DD2 deprem düzeyi için yatay elastik tasarım spektrum eğrisinden ZA zemin sınıfı için 1,95s değerindeki periyoda karşılık gelen ivme değeri $S_a(T)$ 0,187g, ZC zemin sınıfı için ise 2,36s değerindeki periyoda karşılık gelen ivme değeri $S_a(T)$ 0,29g olarak alınmıştır.

Seçilen izolatör yer değiştirme değerleri ile iterasyonlar sonucunda elde edilen değerler eşit olduğu için ZA zemin sınıfına göre izolatör yer değiştirmesi 0,13 m, ZC zemin sınıfına göre izolatör yer değiştirmesi ise 0,29 m olarak hesaplanmıştır. Lineer ve Lineer olmayan analiz durumları için sismik izolatörün efektif rijitlik ve efektif sönüm değerleri Tablo 8'de verilmiştir.

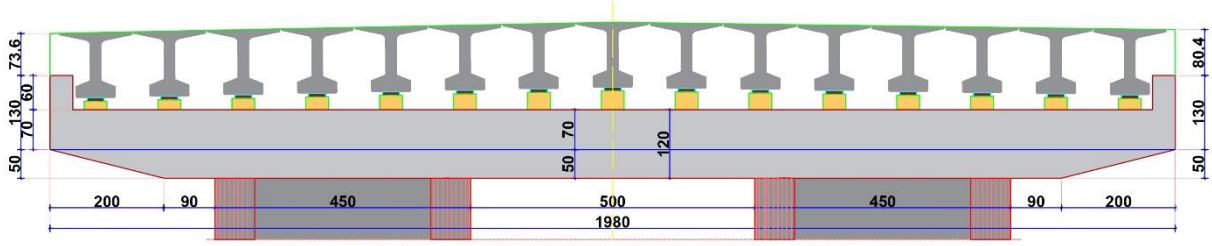
Tablo 8: Lineer ve Lineer Olmayan Analiz Durumları İçin Sismik İzolatörün Efektif Rijitlik ve Efektif Sönüm Değerleri

ZA	Lineer Analiz Durumları U1	Efektif Rijitlik K_e (kN/m)	3000000
		Efektif Sönüm β_e	0,30
	Lineer Olmayan Analiz Durumları U1	Efektif Rijitlik K_e (kN/m)	3000000
		Efektif Sönüm β_e	0,30
	Lineer Analiz Durumları U2-U3	Efektif Rijitlik $K_e = \frac{P'}{R_e} + \frac{\mu_e \times P'}{D}$ (kN/m)	2408
		Efektif Sönüm β_e	0,30
	Lineer Olmayan Analiz Durumları U2-U3	Efektif Rijitlik $K_1 = \frac{\mu_e \times P'}{D_y}$ (kN/m)	70866
		Efektif Sönüm β_e	0,30
	Lineer Analiz Durumları U1	Efektif Rijitlik K_e (kN/m)	3000000
		Efektif Sönüm β_e	0,24
ZC	Lineer Olmayan Analiz Durumları U1	Efektif Rijitlik K_e (kN/m)	3000000
		Efektif Sönüm β_e	0,24
	Lineer Analiz Durumları U2-U3	Efektif Rijitlik $K_e = \frac{P'}{R_e} + \frac{\mu_e \times P'}{D}$ (kN/m)	1624
		Efektif Sönüm β_e	0,24
	Lineer Olmayan Analiz Durumları U2-U3	Efektif Rijitlik $K_1 = \frac{\mu_e \times P'}{D_y}$ (kN/m)	70866
		Efektif Sönüm β_e	0,24

2.8. KÖPRÜNÜN SAP2000 PROGRAMINDA MODELLENMESİ VE ANALİZİ

Köprünün modellenmesinde ve analizinde SAP2000 programı kullanılmıştır. Köprünün kirişleri, kolonları ve kazıkları çubuk sonlu eleman olarak modellenmiş olup temel ise kabuk sonlu eleman olarak modellenmiştir. Kabuk elemanlar bir boyutu diğer iki boyutunun yanında ihmal edilecek kadar küçük olan elemanlardır. Çubuk elemanlar ise iki boyutu diğer bir

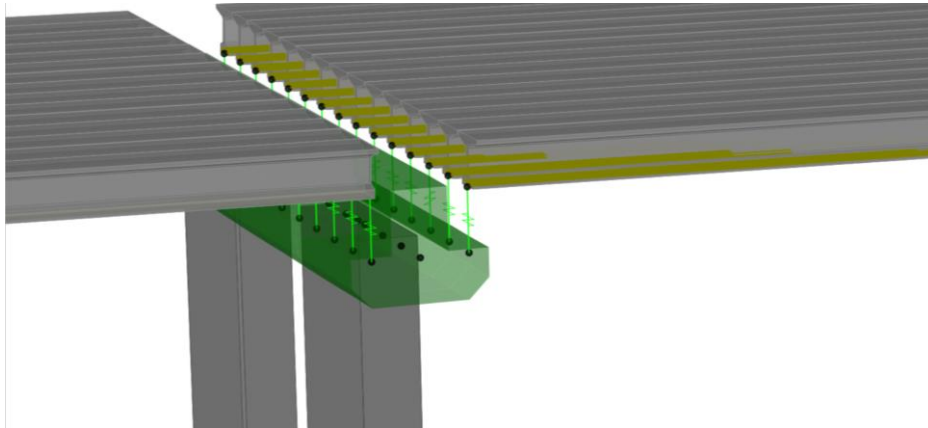
boyutunun yanında ihmal edilecek kadar küçük olan elemanlardır. Köprünün kiriş, başlık kirişi ve kolon birleşimine ilişkin görseli Şekil 13'te verilmiştir.



Şekil 13: Kiriş, Başlık Kirişi ve Kolon Birleşimi (Prizma Mühendislik, 2010)

SAP2000'de Body seçeneği, yer değiştirmeleri birbiriyle ilişkili olacak şekilde sınırlandırılmış iki veya daha fazla birleşim noktasından (başka bir deyişle noktalar veya düğüm noktalarından) oluşan bir dizidir. Body seçeneği birleşim noktalarının rijit bir bağlantı içinde birlikte hareket ettiği ve döndüğü rijit cisim davranışını, seçilen serbestlik derecesi boyunca yer değiştirmenin eşit olduğu eşit yer değiştirme davranışını ve simetri/anti-simetri koşulları modellemek için kullanılabilir. Bu çalışmada, başlık kirişindeki elemanların birlikte çalışabilmesi için ilgili düğüm noktaları seçilerek Body komutuyla birbirine bağlanmıştır. Birlikte çalışması istenilen her düğüm noktası için farklı Body tanımlanmıştır.

SAP2000'de Link eleman ile L uzunluğu ile ayrılmış iki düğüm noktası birbirine bağlanır ve böylece özel yapısal davranış modellenebilir. Eksenel, kesme, burulma ve basit eğilme dâhil olmak üzere bir link elemanın içindeki altı deformasyon serbestlik derecesinin her birine doğrusal, doğrusal olmayan ve frekansa bağlı özellikler atanabilir. Bu çalışmada elastomer mesnetler prefabrik kirişler ile başlık kirişi arasında lineer link eleman olarak tanımlanmıştır. Söz konusu link elemanlar ve düğüm noktaları Şekil 14'te gösterilmiştir.

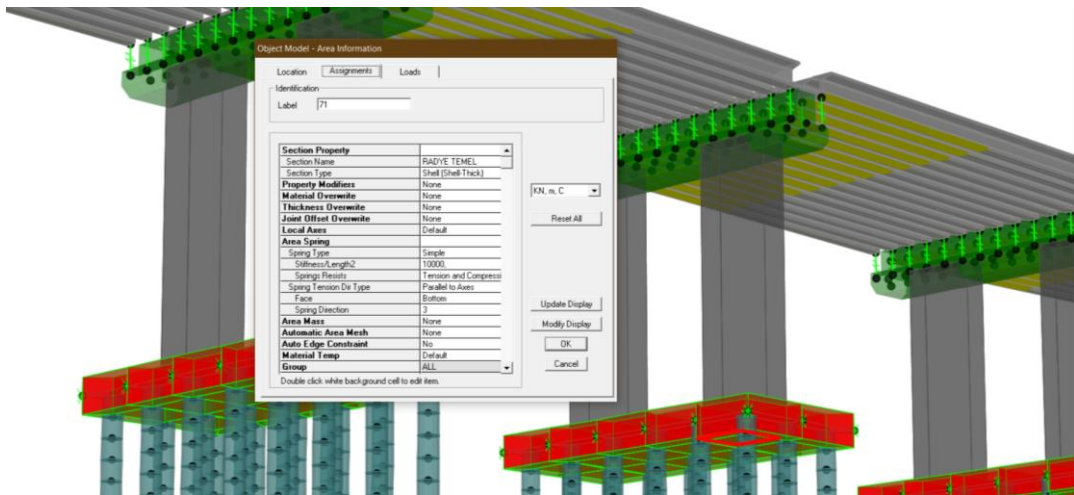


Şekil 14: Düğüm Noktaları ve Lineer Link Elemanlar

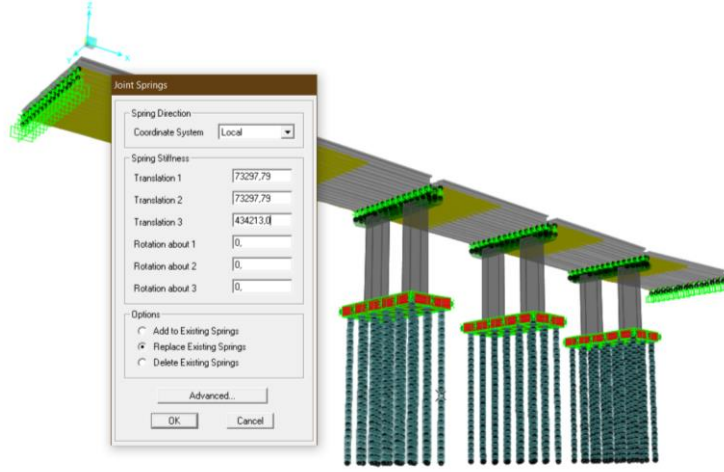
Elastomer mesnetlerin enine, yatay ve düşey yöndeki rijitlik bilgileri Linear Link/Support Directional Properties ekranına girilmiştir. Diğer yöndeki rijitlikler tutulmuştur (Şekil 15).

Şekil 15: Elastomer Mesnet Özelliği Tanımlama

Üç boyutlu yapıların SAP2000 programında modellenmesinde kabuk elemanlardan yararlanılır. Model oluşturulurken kabuk elemanların yüzey numaraları ve yerel eksen takımlarına dikkat edilmelidir. Kabuk elemanın Z eksenine paralel ve eksenin kullanıcıya dönük olabilmesi için temeldeki noktaları saat yönünün tersinde birleştirip radye temel oluşturulmuştur. Radye temelin zeminle etkileşimini modellerken yay elemanlar kullanılmıştır (Şekil 16). Köprü kazıklarının zeminle etkileşimi kazık boyunun (uzunluğunun) birim elemanlara bölünüp yay elemanların tanımlanması ile sağlanmıştır (Şekil 17). Köprünün kenar ayaklarına ise ankastre mesnet tanımlanmıştır.

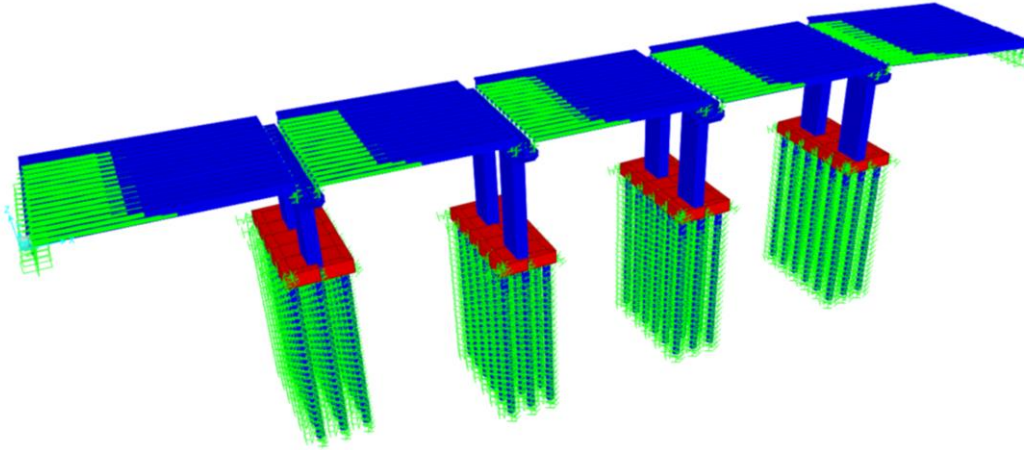


Şekil 16: Temel ve Zemin Etkileşimi



Şekil 17: Zemin Yatak Katsayılarının Modele Girilmesi

Sismik izolasyonsuz köprünün SAP2000 programındaki üç boyutlu sonlu elemanlar modeli Şekil 18’de verilmiştir. Sonlu elemanlar modeli, karmaşık yapıların davranışını analiz etmek ve tasarlamak için kullanılan bir matematiksel modelleme yöntemidir. Bu yöntem, bir yapıyı daha küçük ve daha yönetilebilir parçalara böler, bu parçalara “sonlu elemanlar” denir. Her bir elemanın davranışı, genel yapı davranışının bir parçasını temsil eder. Sonlu elemanlar modeli, yapı üzerindeki yüklerin etkilerini, gerilmeleri, deformasyonları ve diğer önemli faktörleri daha doğru bir şekilde hesaplamak için kullanılır. Bu model, mühendislerin karmaşık yapıların davranışını anlamalarına ve optimize etmelerine yardımcı olur. Sonlu elemanlar modellemesi, bilgisayar destekli tasarım ve analiz süreçlerinde yaygın olarak kullanılan güçlü bir araçtır.



Şekil 18: Sismik İzolasyonsuz Köprünün Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Modeli

Köprüde kullanılan TESS mesnet sistemi link eleman olarak SAP2000 programına tanımlanmıştır. Tablo 8’de verilen izolatör rijitlik değerlerinin SAP2000’de veri giriş ekranı Şekil 19’da verilmiştir. Sismik izolasyonlu köprünün üç boyutlu sonlu elemanlar modeli ise Şekil 20’de sunulmuştur.

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: SCFP

Direction: U1

Type: Friction Isolator

NonLinear: Yes

Properties Used For Linear Analysis Cases

Effective Stiffness: 3000000

Effective Damping: 0,3

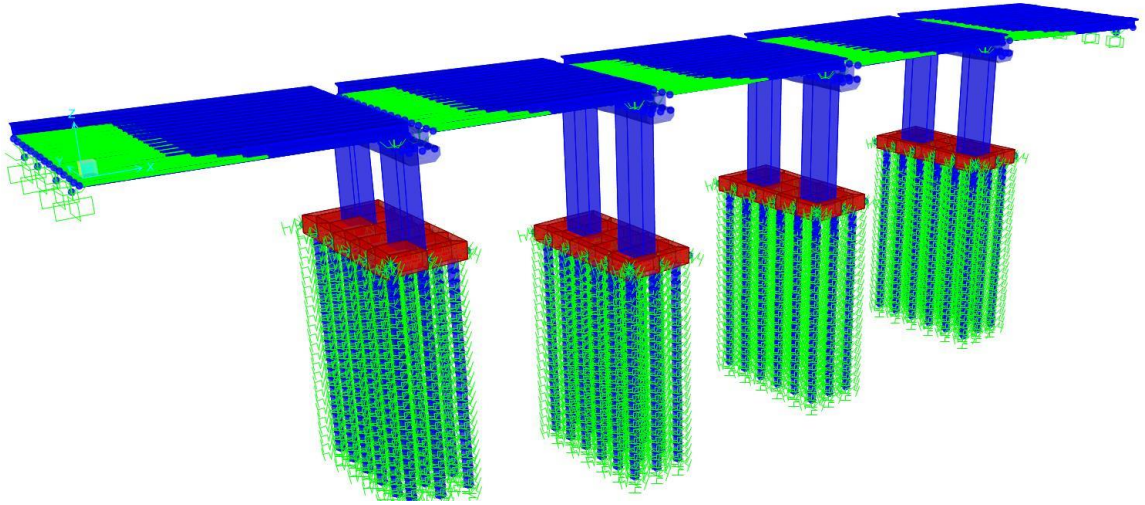
Properties Used For Nonlinear Analysis Cases

Stiffness: 3000000

Damping Coefficient: 0,3

OK Cancel

Şekil 19: İzolatörün Rijitlik Değerlerinin Giriş Ekranı



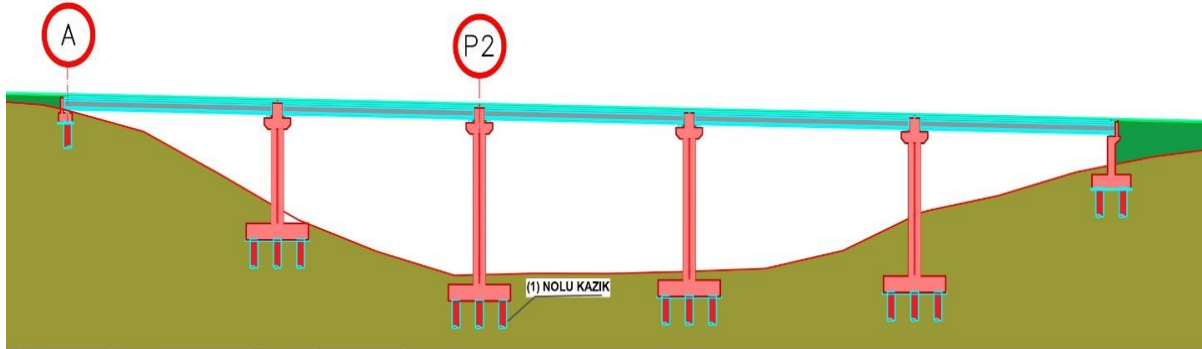
Şekil 20: Sismik İzolasyonlu Köprünün Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Modeli

Kirazlıyalı Çenesuyu Köprüsü'nün analizleri için zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılmıştır. Deprem anında plastik mafsall oluşumu, yapıda oluşabilecek hasar mekanizması ve plastik mafsalların yapıdaki dağılımı gibi durumlar zaman tanım alanında doğrusal analiz kullanılarak incelenemez. Bu bilgiler ancak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz ile elde edilebilmektedir. Modern yönetmelikler, deprem performansının değerlendirilmesinde veya düzensiz yapıların, yüksek binaların tasarımında zaman alanında doğrusal olmayan analizin kullanılmasını tavsiye etmektedir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

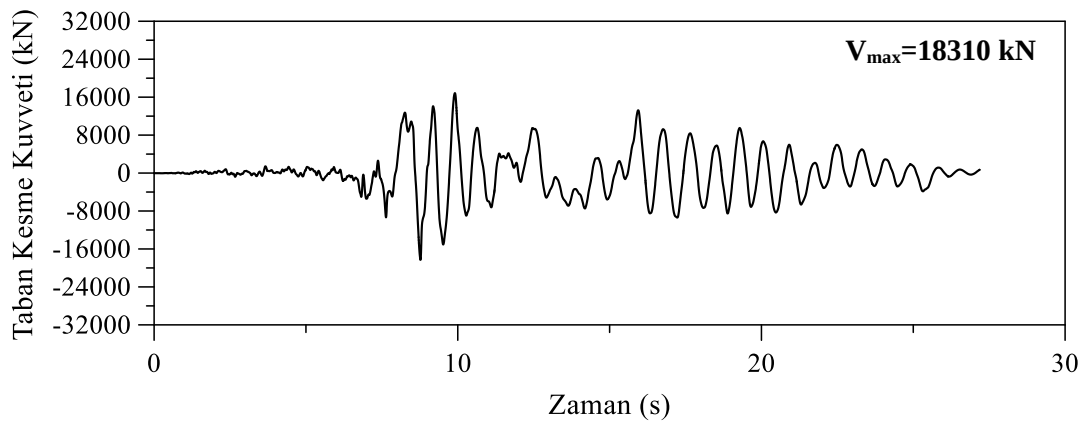
3. BULGULAR

Kirazlıyalı Çenesuyu Köprüsü'sünün gerçek deprem kayıtları kullanılarak deprem performansının belirlenmesi için yapılan analizlerde seçilen kesitler Şekil 21'de verilmiştir.

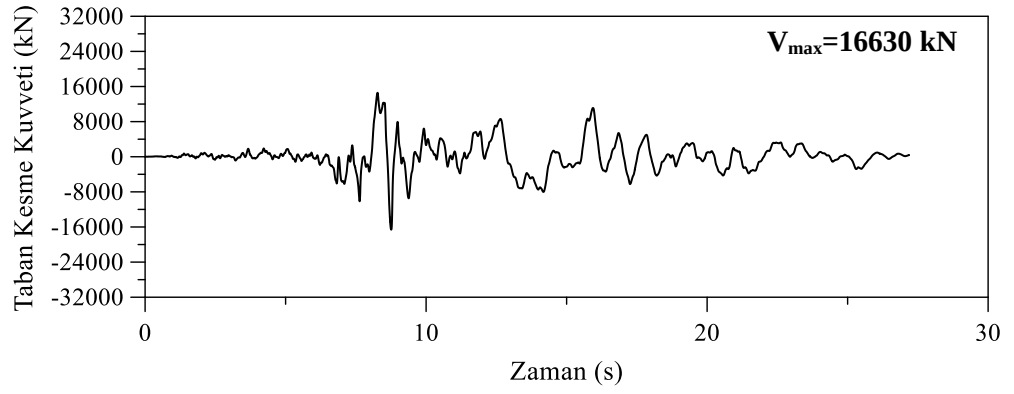


Şekil 21: Analizler için Seçilen Kesitler (Prizma Mühendislik, 2010)

Şekil 22 ve Şekil 23'te sırasıyla sismik izolasyonsuz ve sismik izolasyonlu durumlar için Kocaeli Depremi etkisinde ZA zemin sınıfı için taban kesme kuvvetlerinin zamana bağlı olarak değişimleri verilmiştir. Şekiller incelendiğinde sismik izolasyonsuz köprü'nün maksimum taban kesme kuvveti 18310 kN iken, sismik izolasyonlu köprü'nün maksimum taban kesme kuvveti 16630 kN olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla sismik izolasyon köprü'nün taban kesme kuvvetini %9,18 azaltmıştır.

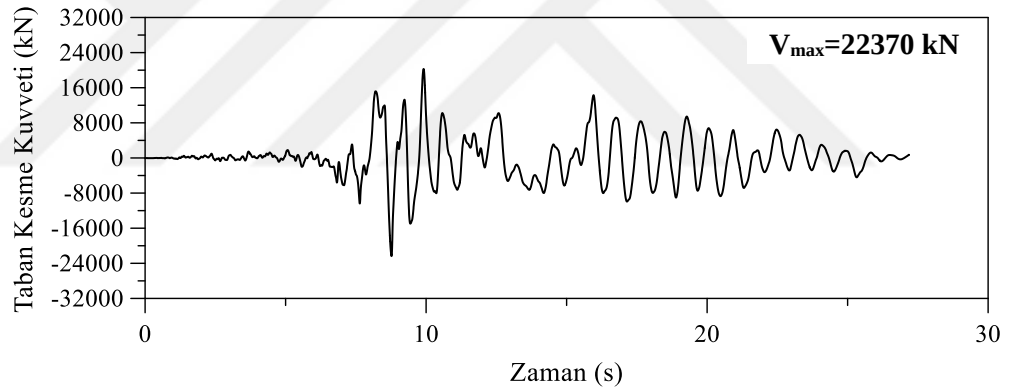


Şekil 22: Kocaeli Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprü'nün Taban Kesme Kuvveti Diyagramı

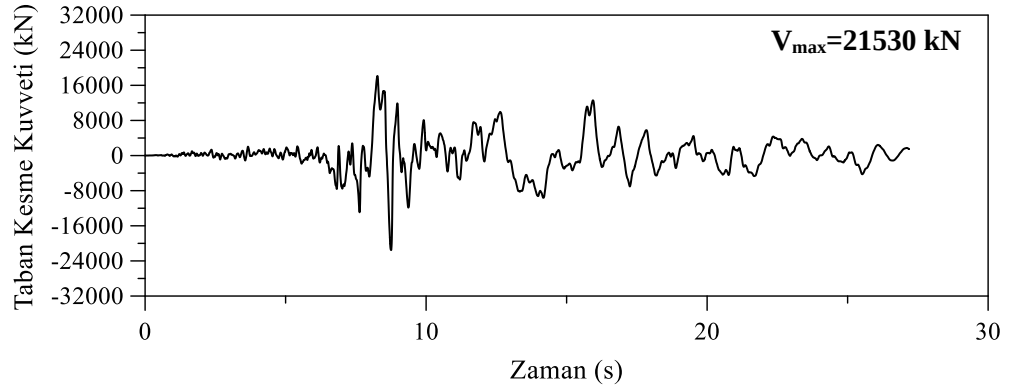


Şekil 23: Kocaeli Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprünün Taban Kesme Kuvveti Diyagramı

Şekil 24 ve Şekil 25'te sırasıyla sismik izolasyonsuz ve sismik izolasyonlu durumlar için Kocaeli Depremi etkisinde ZC zemin sınıfı için taban kesme kuvvetlerinin zamana bağlı olarak değişimleri verilmiştir. Şekiller incelendiğinde sismik izolasyonsuz köprünün maksimum taban kesme kuvveti 22370 kN iken, sismik izolasyonlu köprünün maksimum taban kesme kuvveti 21530 kN olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla sismik izolasyon köprünün taban kesme kuvvetini %3,76 azaltmıştır.

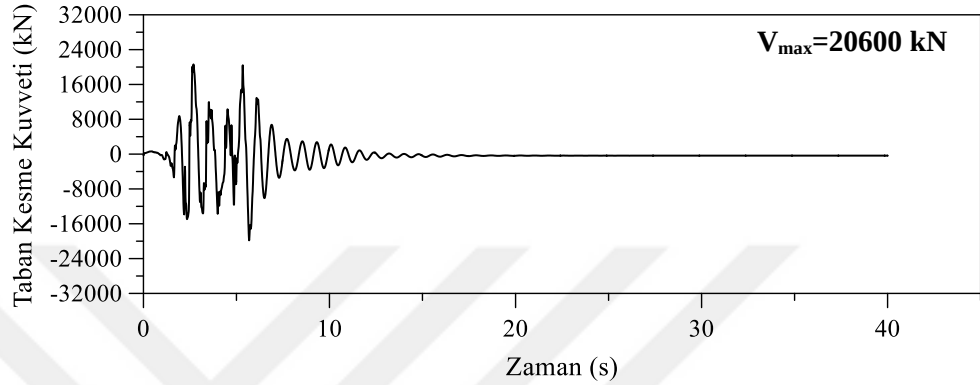


Şekil 24: Kocaeli Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprünün Taban Kesme Kuvveti Diyagramı

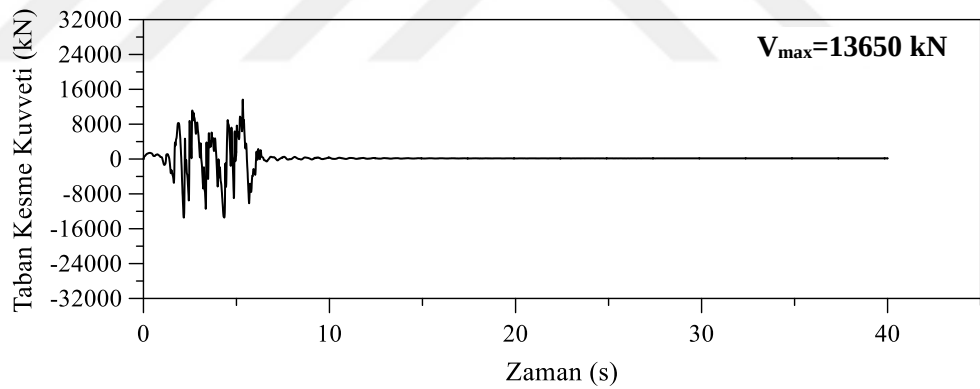


Şekil 25: Kocaeli Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprünün Taban Kesme Kuvveti Diyagramı

Şekil 26 ve Şekil 27’de sırasıyla sismik izolasyonsuz ve sismik izolasyonlu durumlar için İmperial Valley Depremi etkisinde ZA zemin sınıfı için taban kesme kuvvetlerinin zamana bağlı olarak değişimleri verilmiştir. Şekiller incelendiğinde sismik izolasyonsuz köprünün maksimum taban kesme kuvveti 20600 kN iken, sismik izolasyonlu köprünün maksimum taban kesme kuvveti 13650 kN olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla sismik izolasyon köprünün taban kesme kuvvetini %33,74 azaltmıştır.

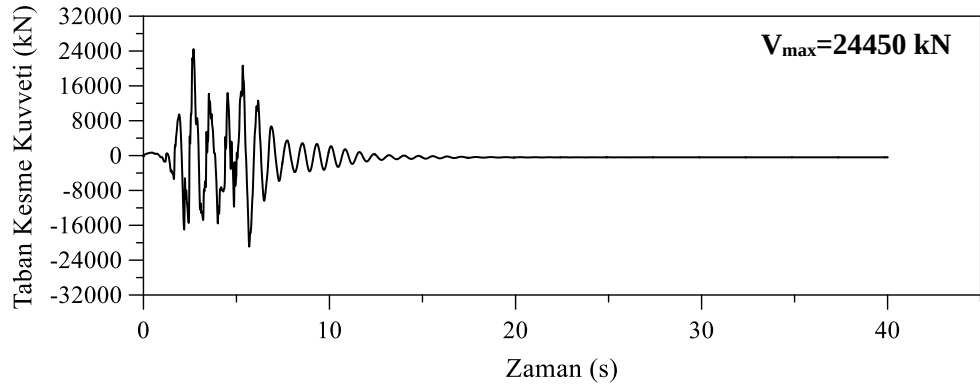


Şekil 26: İmperial Valley Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprünün Taban Kesme Kuvveti Diyagramı

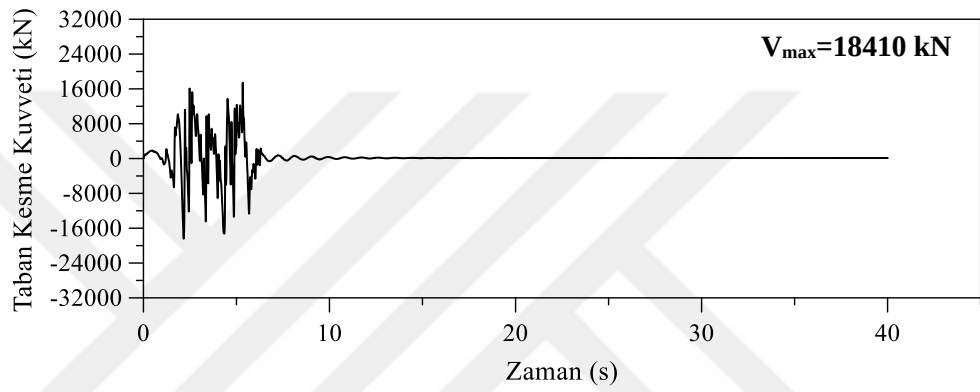


Şekil 27: İmperial Valley Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprünün Taban Kesme Kuvveti Diyagramı

Şekil 28 ve Şekil 29’da sırasıyla sismik izolasyonsuz ve sismik izolasyonlu durumlar için İmperial Valley Depremi etkisinde ZC zemin sınıfı için taban kesme kuvvetlerinin zamana bağlı olarak değişimleri verilmiştir. Şekiller incelendiğinde sismik izolasyonsuz köprünün maksimum taban kesme kuvveti 24450 kN iken, sismik izolasyonlu köprünün maksimum taban kesme kuvveti 18410 kN olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla sismik izolasyon köprünün taban kesme kuvvetini %24,7 azaltmıştır.

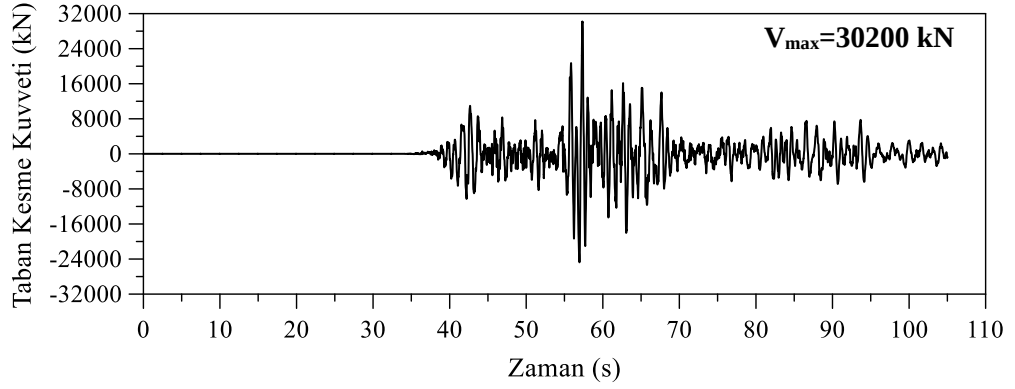


Şekil 28: İmperial Valley Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprü'nün Taban Kesme Kuvveti Diyagramı

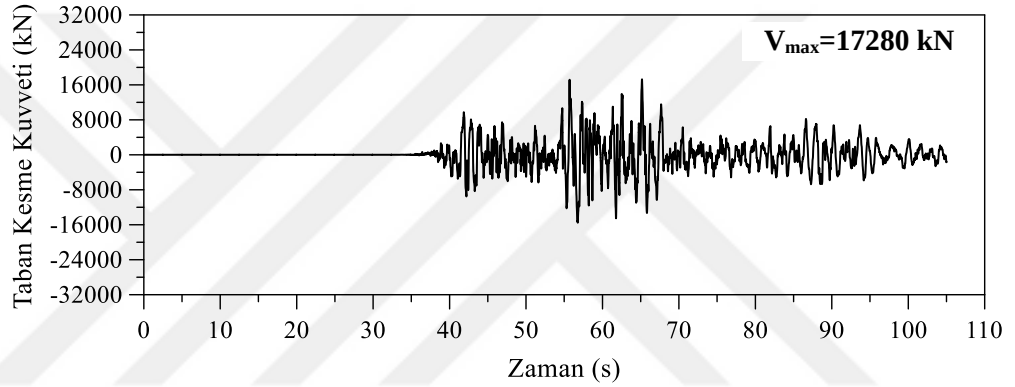


Şekil 29: İmperial Valley Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprü'nün Taban Kesme Kuvveti Diyagramı

Şekil 30 ve Şekil 31’de sırasıyla sismik izolasyonsuz ve sismik izolasyonlu durumlar için Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi etkisinde ZA zemin sınıfı için taban kesme kuvvetlerinin zamana bağlı olarak değişimleri verilmiştir. Şekiller incelendiğinde sismik izolasyonsuz köprü'nün maksimum taban kesme kuvveti 30200 kN iken, sismik izolasyonlu köprü'nün maksimum taban kesme kuvveti 17280 kN olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla sismik izolasyon köprü'nün taban kesme kuvvetini %42,78 azaltmıştır.

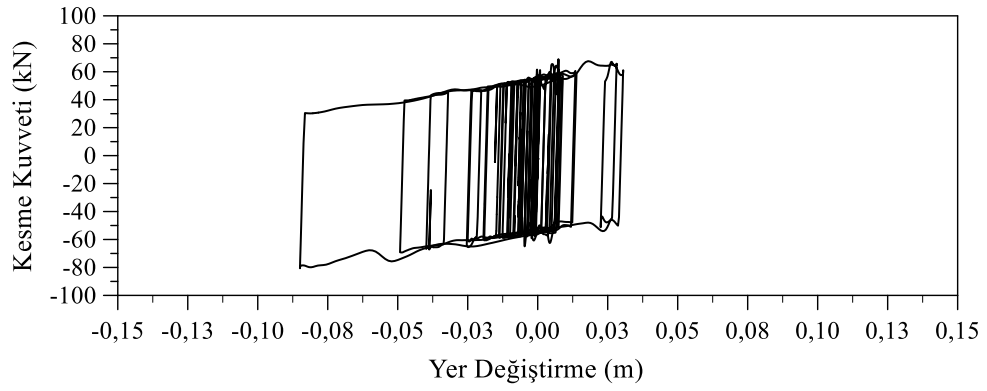


Şekil 30: Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprünün Taban Kesme Kuvveti Diyagramı

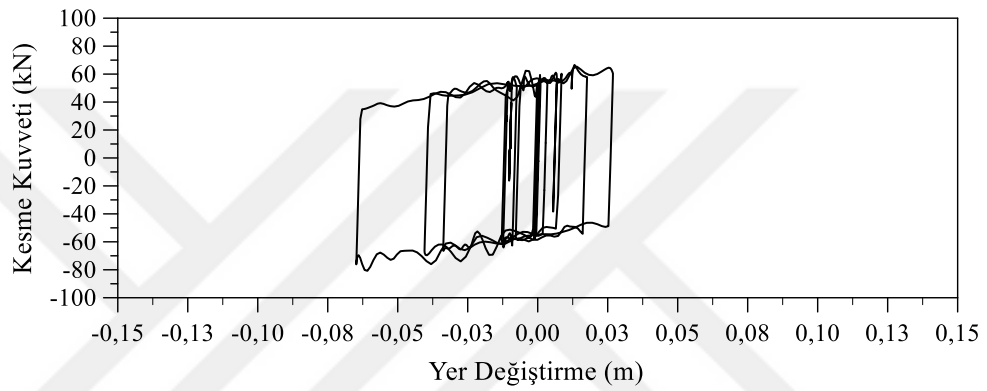


Şekil 31: Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprünün Taban Kesme Kuvveti Diyagramı

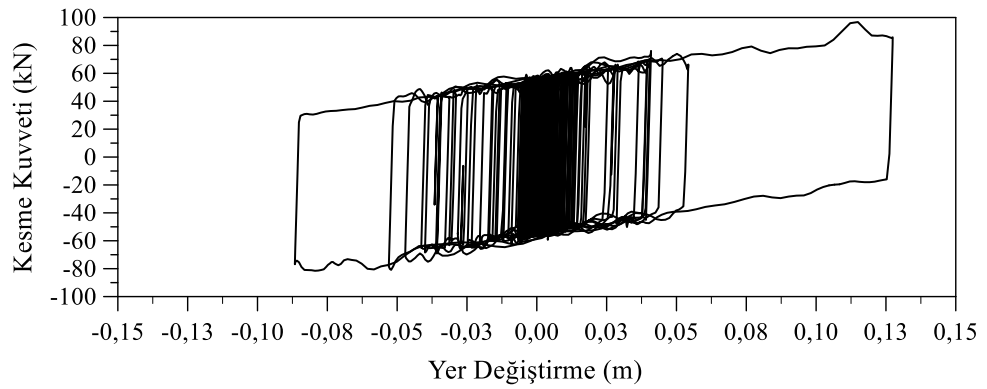
Şekil 32-34'te sırasıyla Kocaeli, İmperial Valley ve Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremleri için A kesitindeki izolatörün ZA zemin sınıfı için kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkileri verilmiştir. Şekillerde eğrilerin sınırladığı alanlar izolatörün absorbe ettiği enerjiyi göstermektedir. Şekiller incelendiğinde izolatörce absorbe edilen en büyük enerji Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi'nde görülmüştür. Absorbe edilen en küçük enerji ise İmperial Valley Depremi'nde görülmüştür.



Şekil 32: Kocaeli Depremi Etkisi Altında A Kesitindeki İzolatörün ZA Zemin Sınıfı İçin Kesme Kuvveti-Yer Değiştirme İlişkisi



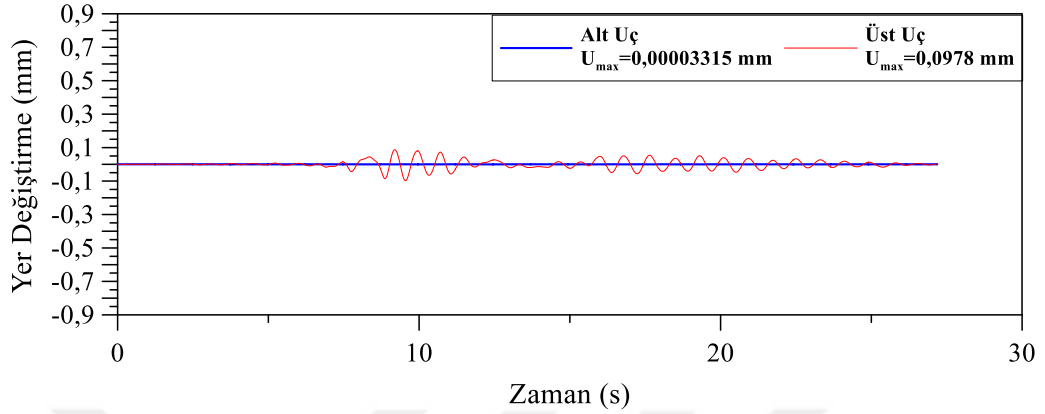
Şekil 33: İmperial Valley Depremi Etkisi Altında A Kesitindeki İzolatörün ZA Zemin Sınıfı İçin Kesme Kuvveti-Yer Değiştirme İlişkisi



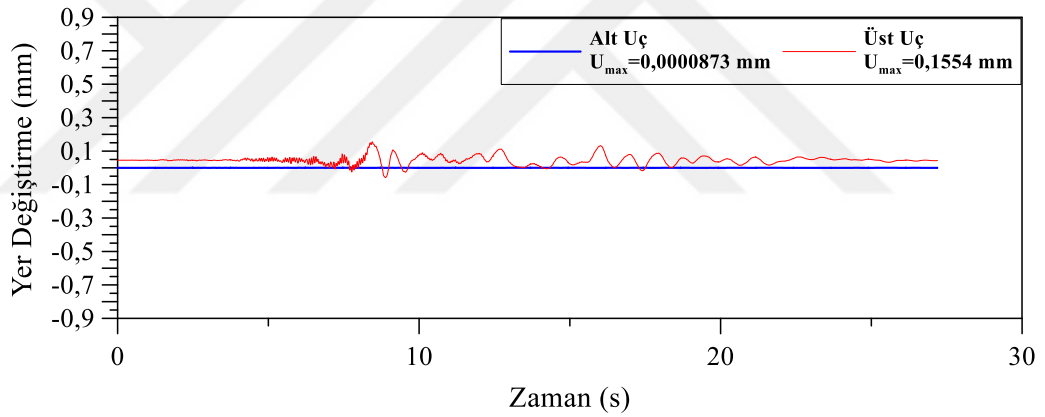
Şekil 34: Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi Etkisi Altında A Kesitindeki İzolatörün ZA Zemin Sınıfı İçin Kesme Kuvveti-Yer Değiştirme İlişkisi

Şekil 35 ve Şekil 36'da Kocaeli Depremi etkisi altında ZA zemin sınıfı için (1) nolu kazığın X doğrultusundaki kazık uç yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimleri sırasıyla sismik izolasyonsuz ve sismik izolasyonlu köprü için verilmiştir. Şekillerden görülebileceği gibi kazığın üst ucunda meydana gelen X doğrultusundaki maksimum yer değiştirme sismik

izolasyonsuz köprüde 0,0978 mm iken sismik izolasyonlu köprüde 0,1554 mm'dir. Kazığın alt ucunda ise X doğrultusunda meydana gelen maksimum yer değiştirme sismik izolasyonsuz köprüde 0,00003315 mm iken sismik izolasyonlu köprüde 0,0000873 mm'dir.

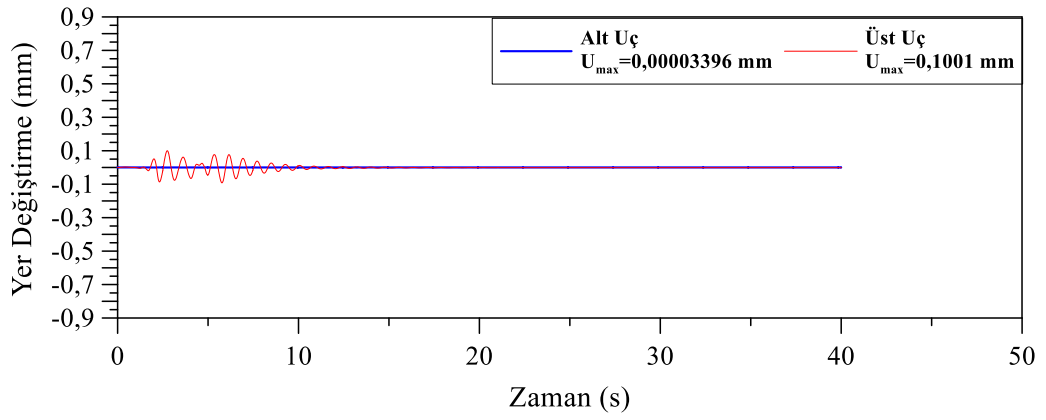


Şekil 35: Kocaeli Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin X Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri

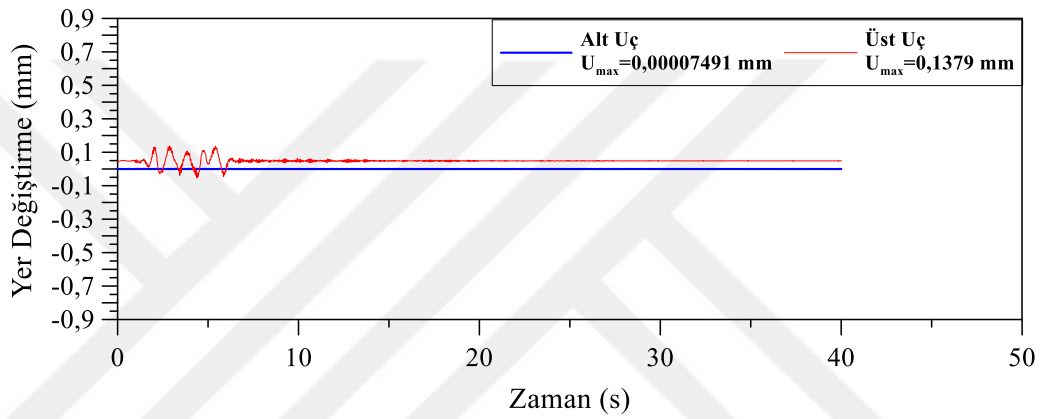


Şekil 36: Kocaeli Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin X Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri

Şekil 37 ve Şekil 38'de İmperial Valley Depremi etkisi altında ZA zemin sınıfı için (1) nolu kazığın X doğrultusundaki kazık uç yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimleri sırasıyla sismik izolasyonsuz ve sismik izolasyonlu köprü için verilmiştir. Şekillerden görülebileceği gibi kazığın üst ucunda meydana gelen X doğrultusundaki maksimum yer değiştirme sismik izolasyonsuz köprüde 0,1001 mm iken sismik izolasyonlu köprüde 0,1379 mm'dir. Kazığın alt ucunda ise X doğrultusunda meydana gelen maksimum yer değiştirme sismik izolasyonsuz köprüde 0,00003396 mm iken sismik izolasyonlu köprüde 0,00007491 mm'dir.

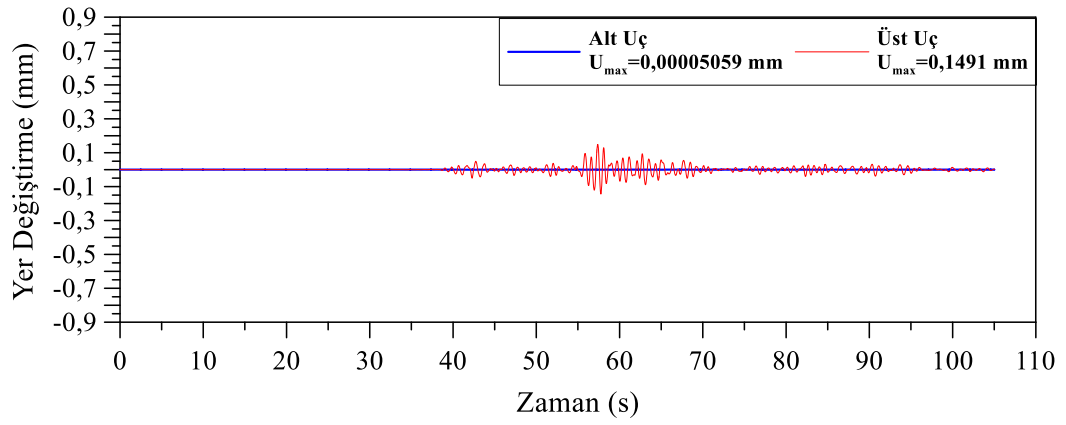


Şekil 37: İmperial Valley Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprü'nün (1) Nolu Kazığına İlişkin X Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değişimleri

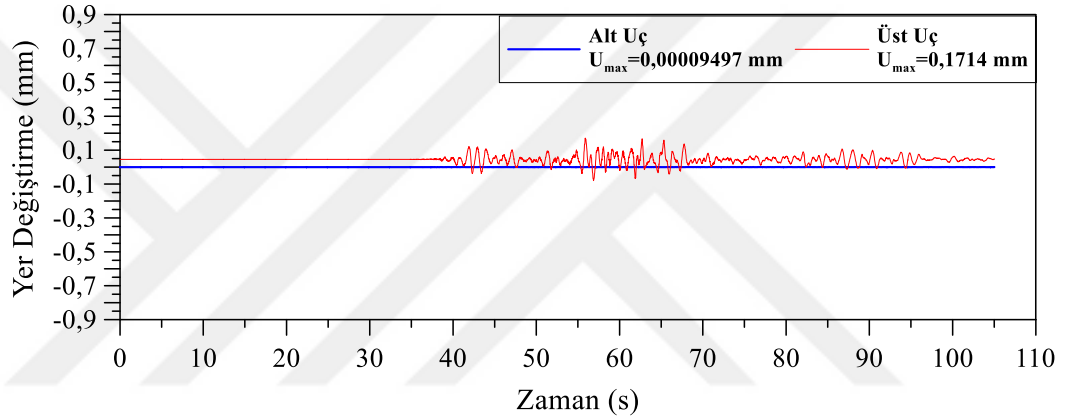


Şekil 38: İmperial Valley Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprü'nün (1) Nolu Kazığına İlişkin X Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değişimleri

Şekil 39 ve Şekil 40'ta Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi etkisi altında ZA zemin sınıfı için (1) nolu kazığın X doğrultusundaki kazık uç yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimleri sırasıyla sismik izolasyonsuz ve sismik izolasyonlu köprü için verilmiştir. Şekillerden görülebileceği gibi kazığın üst ucunda meydana gelen X doğrultusundaki maksimum yer değiştirme sismik izolasyonsuz köprüde 0,1491 mm iken sismik izolasyonlu köprüde 0,1714 mm'dir. Kazığın alt ucunda ise X doğrultusunda meydana gelen maksimum yer değiştirme sismik izolasyonsuz köprüde 0,00005059 mm iken sismik izolasyonlu köprüde 0,00009497 mm'dir.

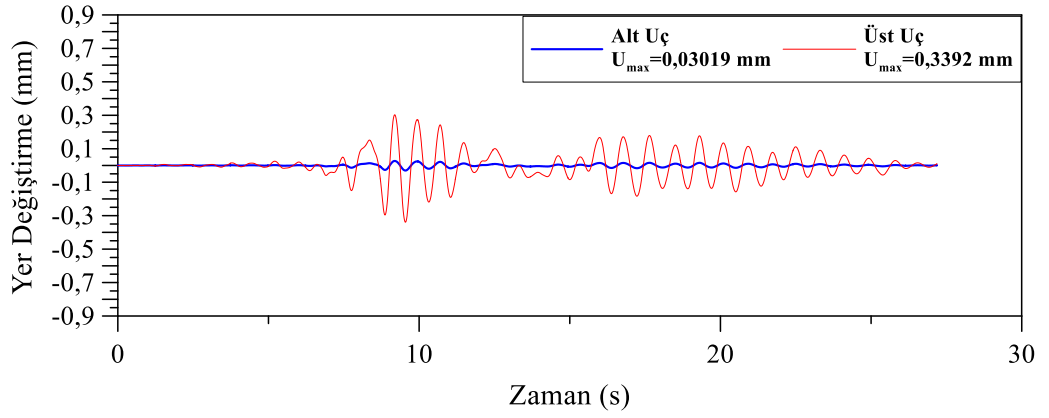


Şekil 39: Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin X Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri

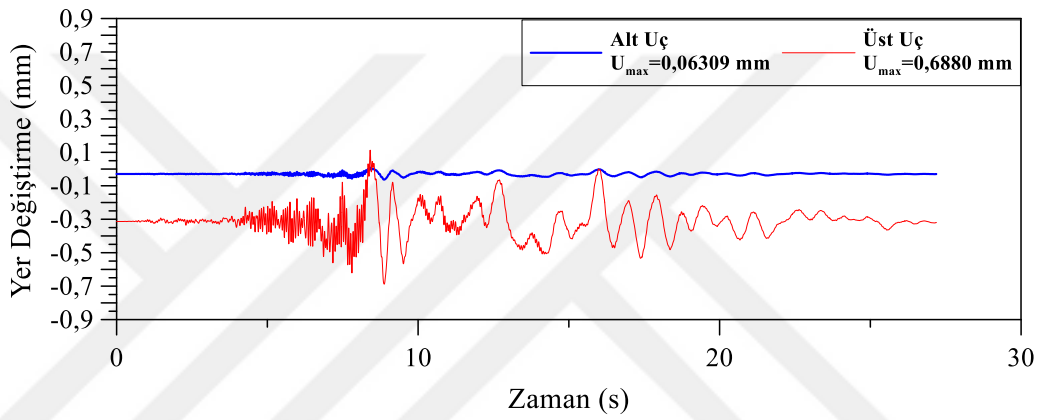


Şekil 40: Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin X Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri

Şekil 41 ve Şekil 42’de Kocaeli Depremi etkisi altında ZA zemin sınıfı için (1) nolu kazığın Z doğrultusundaki kazık uç yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimleri sırasıyla sismik izolasyonsuz ve sismik izolasyonlu köprü için verilmiştir. Şekillerden görülebileceği gibi kazığın üst ucunda meydana gelen Z doğrultusundaki maksimum yer değiştirme sismik izolasyonsuz köprüde 0,3392 mm iken sismik izolasyonlu köprüde 0,6880 mm’dir. Kazığın alt ucunda ise Z doğrultusunda meydana gelen maksimum yer değiştirme sismik izolasyonsuz köprüde 0,03019 mm iken sismik izolasyonlu köprüde 0,06309 mm’dir.

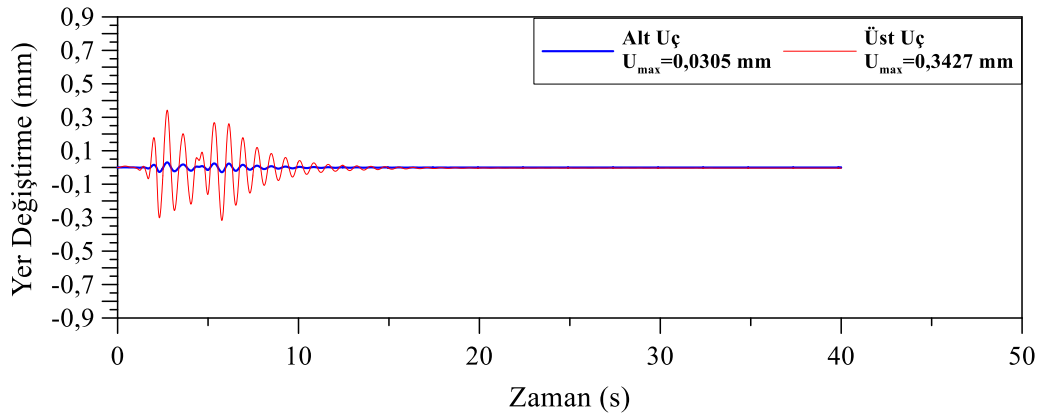


Şekil 41: Kocaeli Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprü'nün (1) Nolu Kazığına İlişkin Z Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri

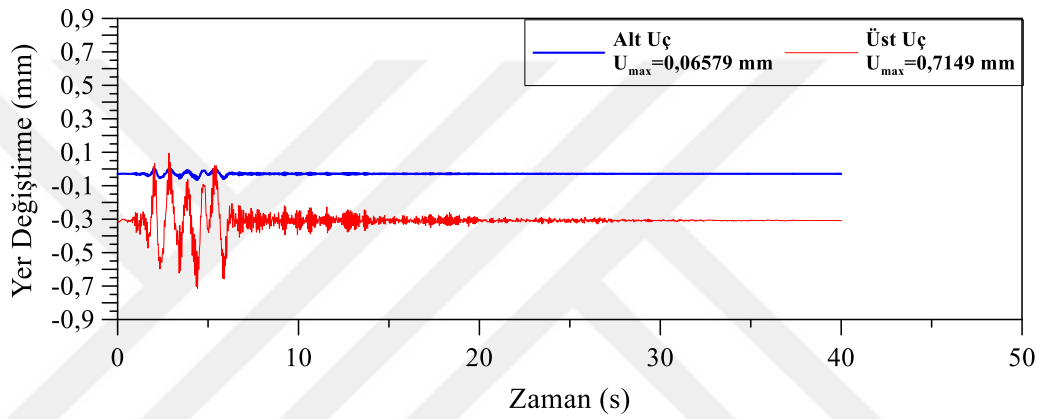


Şekil 42: Kocaeli Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprü'nün (1) Nolu Kazığına İlişkin Z Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri

Şekil 43 ve Şekil 44'te İmperial Valley Depremi etkisi altında ZA zemin sınıfı için (1) nolu kazığın Z doğrultusundaki kazık uç yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimleri sırasıyla sismik izolasyonsuz ve sismik izolasyonlu köprü için verilmiştir. Şekillerden görülebileceği gibi kazığın üst ucunda meydana gelen Z doğrultusundaki maksimum yer değiştirme sismik izolasyonsuz köprüde 0,3427 mm iken sismik izolasyonlu köprüde 0,7149 mm'dir. Kazığın alt ucunda ise Z doğrultusunda meydana gelen maksimum yer değiştirme sismik izolasyonsuz köprüde 0,0305 mm iken sismik izolasyonlu köprüde 0,06579 mm'dir.

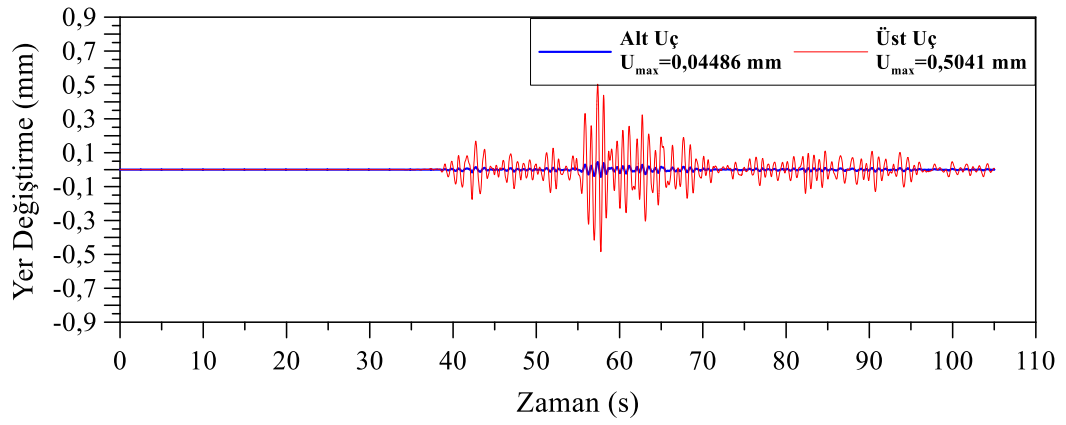


Şekil 43: İmperial Valley Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprü'nün (1) Nolu Kazığına İlişkin Z Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri

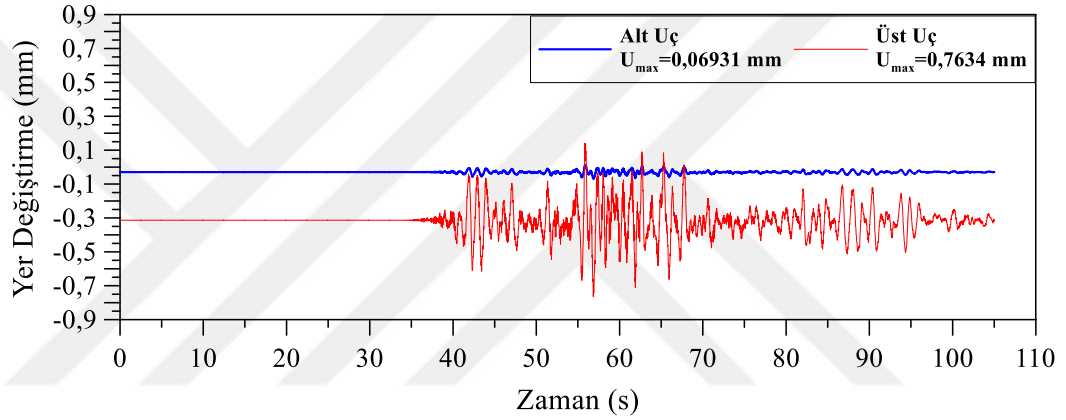


Şekil 44: İmperial Valley Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprü'nün (1) Nolu Kazığına İlişkin Z Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri

Şekil 45 ve Şekil 46'da 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi etkisi altında ZA zemin sınıfı için (1) nolu kazığın Z doğrultusundaki kazık uç yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimleri sırasıyla sismik izolasyonsuz ve sismik izolasyonlu köprü için verilmiştir. Şekillerden görülebileceği gibi kazığın üst ucunda meydana gelen Z doğrultusundaki maksimum yer değiştirme sismik izolasyonsuz köprüde 0,5041 mm iken sismik izolasyonlu köprüde 0,7634 mm'dir. Kazığın alt ucunda ise Z doğrultusunda meydana gelen maksimum yer değiştirme sismik izolasyonsuz köprüde 0,04486 mm iken sismik izolasyonlu köprüde 0,06931 mm'dir.

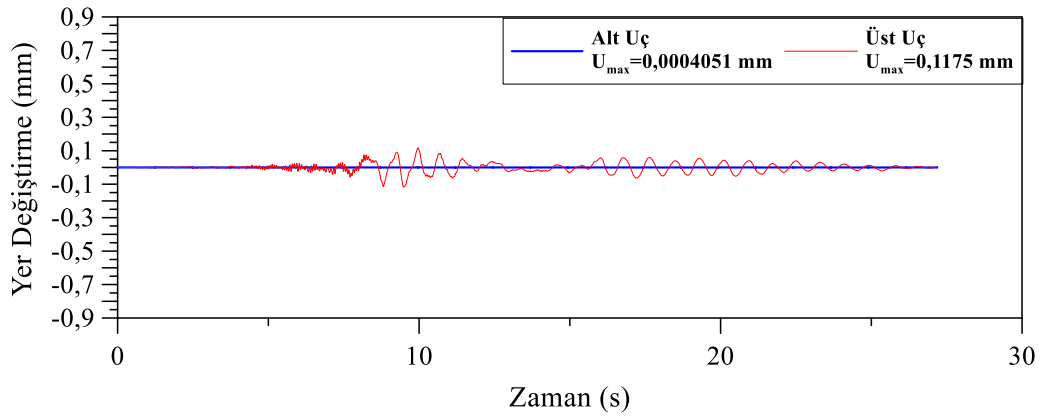


Şekil 45: Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin Z Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri

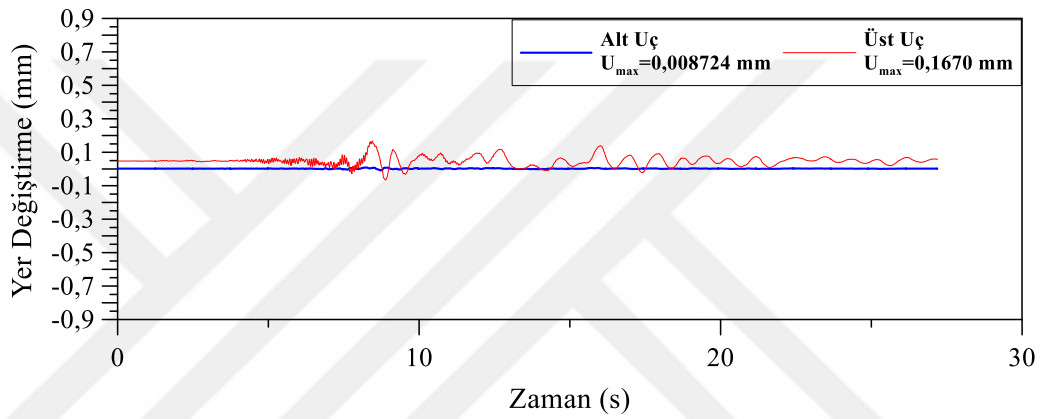


Şekil 46: Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin Z Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri

Şekil 47 ve Şekil 48’de Kocaeli Depremi etkisi altında ZC zemin sınıfı için (1) nolu kazığın X doğrultusundaki kazık uç yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimleri sırasıyla sismik izolasyonsuz ve sismik izolasyonlu köprü için verilmiştir. Şekillerden görülebileceği gibi kazığın üst ucunda meydana gelen X doğrultusundaki maksimum yer değiştirme sismik izolasyonsuz köprüde 0,1175 mm iken sismik izolasyonlu köprüde 0,1670 mm’dir. Kazığın alt ucunda ise X doğrultusunda meydana gelen maksimum yer değiştirme sismik izolasyonsuz köprüde 0,0004051 mm iken sismik izolasyonlu köprüde 0,008724 mm’dir.

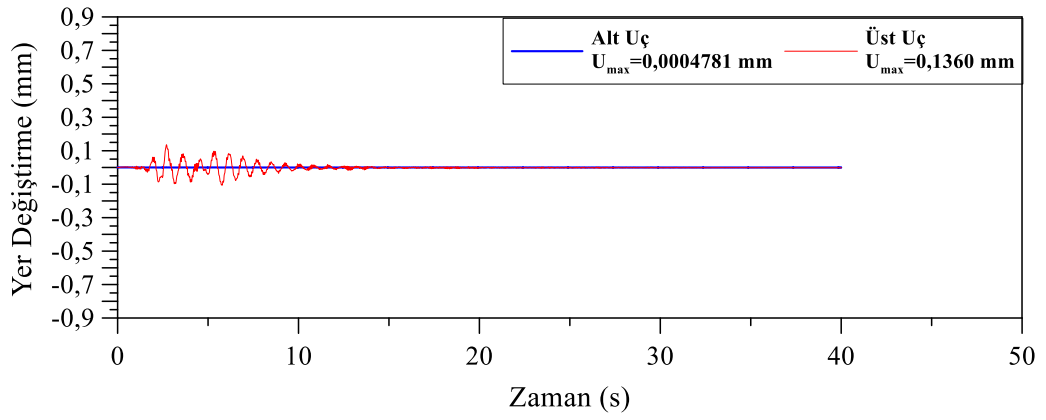


Şekil 47: Kocaeli Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin X Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri

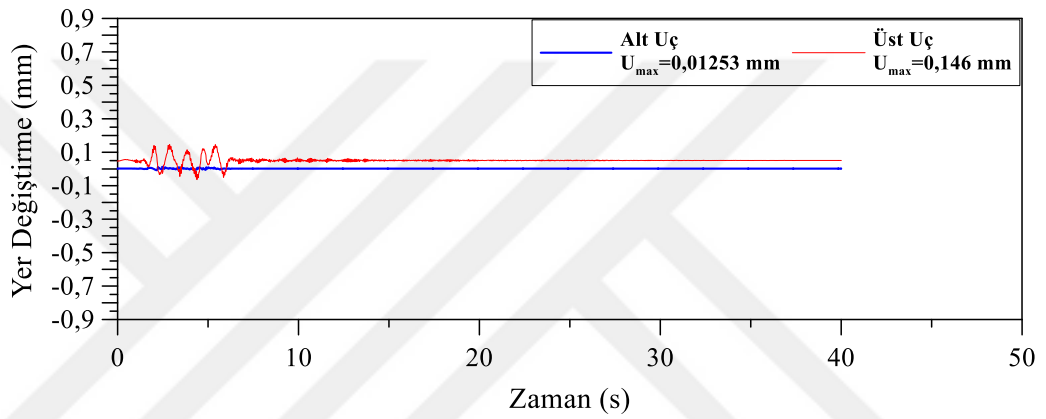


Şekil 48: Kocaeli Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin X Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri

Şekil 49 ve Şekil 50’de İmperial Valley Depremi etkisi altında ZC zemin sınıfı için (1) nolu kazığın X doğrultusundaki kazık uç yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimleri sırasıyla sismik izolasyonsuz ve sismik izolasyonlu köprü için verilmiştir. Şekillerden görülebileceği gibi kazığın üst ucunda meydana gelen X doğrultusundaki maksimum yer değiştirme sismik izolasyonsuz köprüde 0,1316 mm iken sismik izolasyonlu köprüde 0,146 mm’dir. Kazığın alt ucunda ise X doğrultusunda meydana gelen maksimum yer değiştirme sismik izolasyonsuz köprüde 0,0004781 mm iken sismik izolasyonlu köprüde 0,01253 mm’dir.

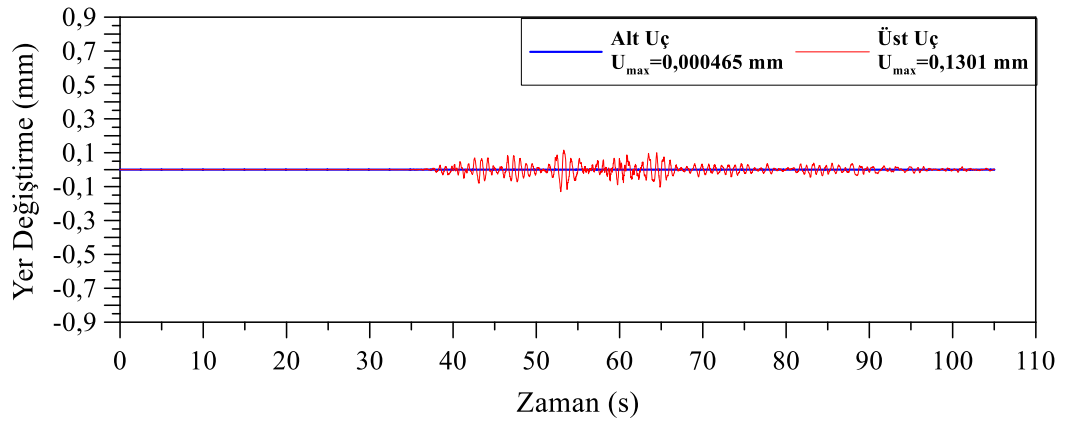


Şekil 49: İmperial Valley Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprü'nün (1) Nolu Kazığına İlişkin X Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değişimleri

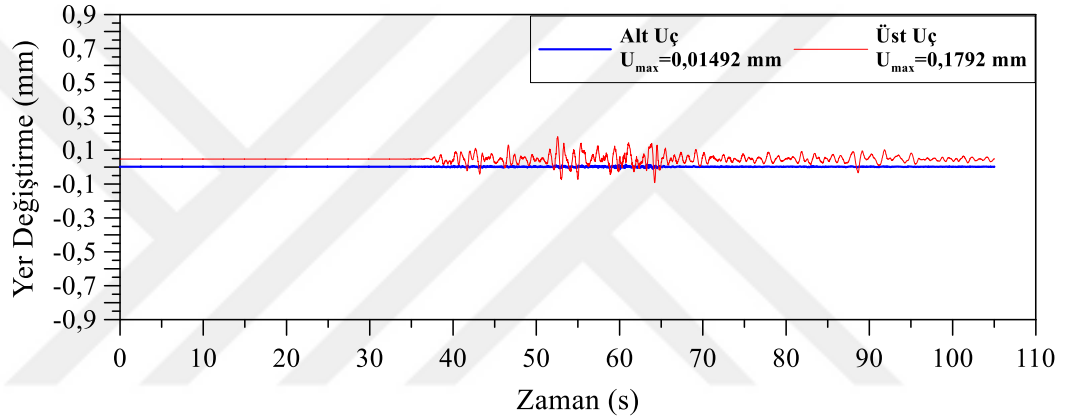


Şekil 50: İmperial Valley Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprü'nün (1) Nolu Kazığına İlişkin X Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değişimleri

Şekil 51 ve Şekil 52’de Kahramanmaraş (Pazarcık) Deprem etkisi altında ZC zemin sınıfı için (1) nolu kazığın X doğrultusundaki kazık uç yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimleri sırasıyla sismik izolasyonsuz ve sismik izolasyonlu köprü için verilmiştir. Şekillerden görülebileceği gibi kazığın üst ucunda meydana gelen X doğrultusundaki maksimum yer değiştirme sismik izolasyonsuz köprüde 0,1301 mm iken sismik izolasyonlu köprüde 0,1792 mm’dir. Kazığın alt ucunda ise X doğrultusunda meydana gelen maksimum yer değiştirme sismik izolasyonsuz köprüde 0,000465 mm iken sismik izolasyonlu köprüde 0,01492 mm’dir.

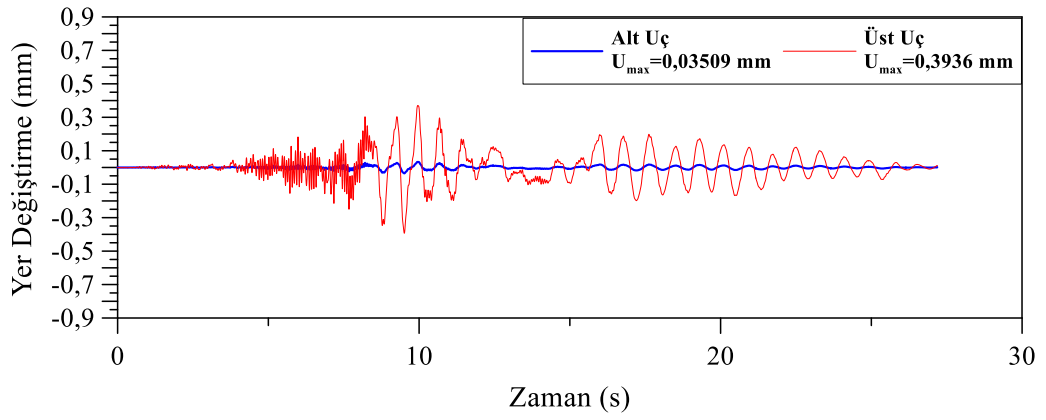


Şekil 51: Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin X Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri

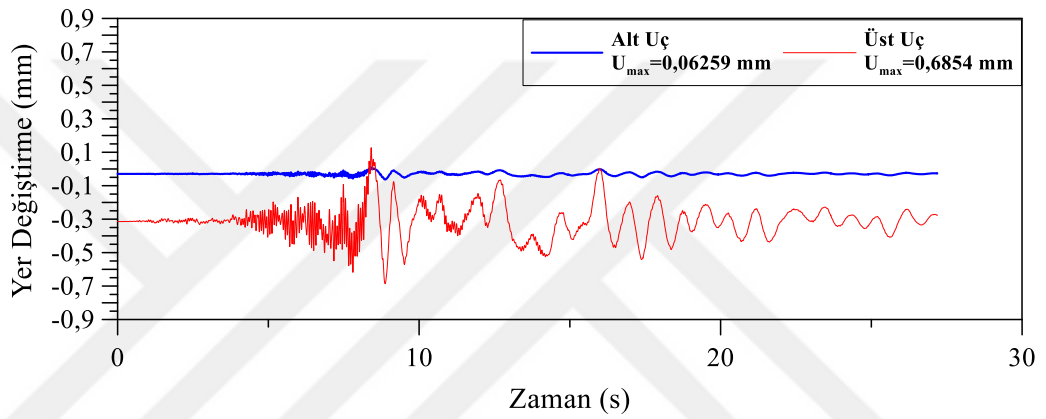


Şekil 52: Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin X Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri

Şekil 53 ve Şekil 54'te Kocaeli Depremi etkisi altında ZC zemin sınıfı için (1) nolu kazığın Z doğrultusundaki kazık uç yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimleri sırasıyla sismik izolasyonsuz ve sismik izolasyonlu köprü için verilmiştir. Şekillerden görülebileceği gibi kazığın üst ucunda meydana gelen Z doğrultusundaki maksimum yer değiştirme sismik izolasyonsuz köprüde 0,3936 mm iken sismik izolasyonlu köprüde 0,6854 mm'dir. Kazığın alt ucunda ise X doğrultusunda meydana gelen maksimum yer değiştirme sismik izolasyonsuz köprüde 0,03509 mm iken sismik izolasyonlu köprüde 0,06259 mm'dir.

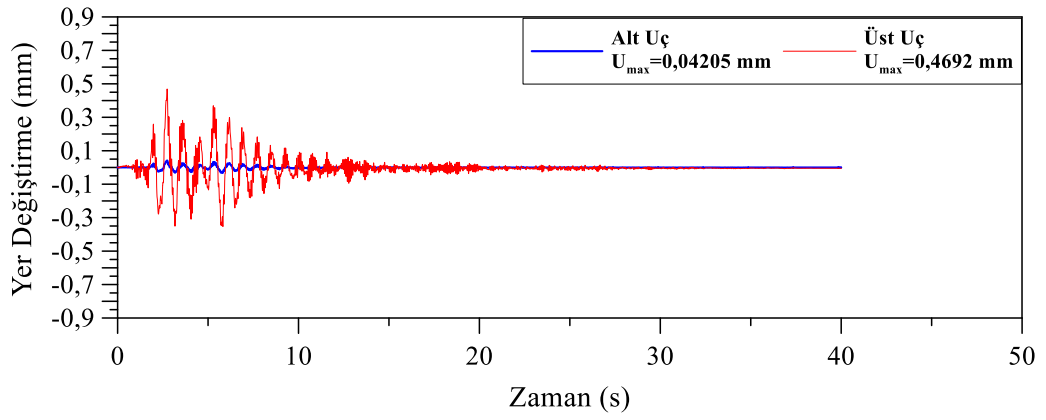


Şekil 53: Kocaeli Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin Z Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değişimleri

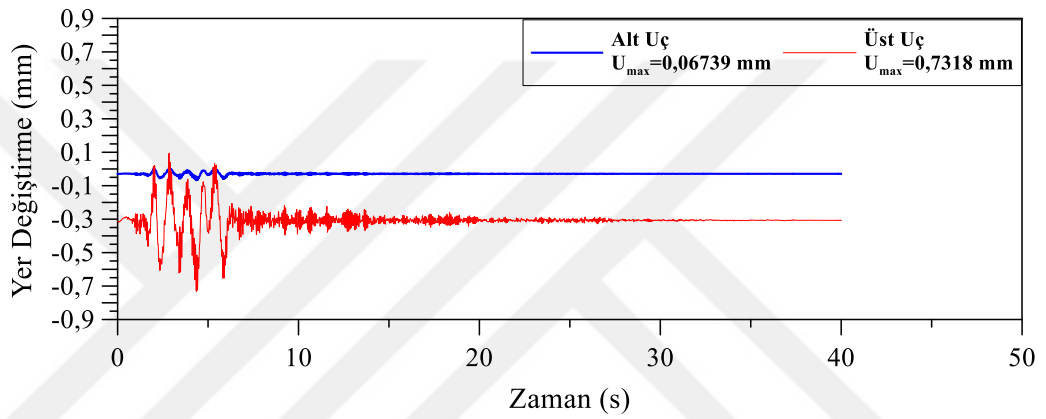


Şekil 54: Kocaeli Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin Z Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değişimleri

Şekil 55 ve Şekil 56’da İmperial Valley Depremi etkisi altında ZC zemin sınıfı için (1) nolu kazığın Z doğrultusundaki kazık uç yer değişimlerinin zamana bağlı değişimleri sırasıyla sismik izolasyonsuz ve sismik izolasyonlu köprü için verilmiştir. Şekillerden görülebileceği gibi kazığın üst ucunda meydana gelen Z doğrultusundaki maksimum yer değiştirme sismik izolasyonsuz köprüde 0,4692 mm iken sismik izolasyonlu köprüde 0,7318 mm’dir. Kazığın alt ucunda ise Z doğrultusunda meydana gelen maksimum yer değiştirme sismik izolasyonsuz köprüde 0,04205 mm iken sismik izolasyonlu köprüde 0,06739 mm’dir.

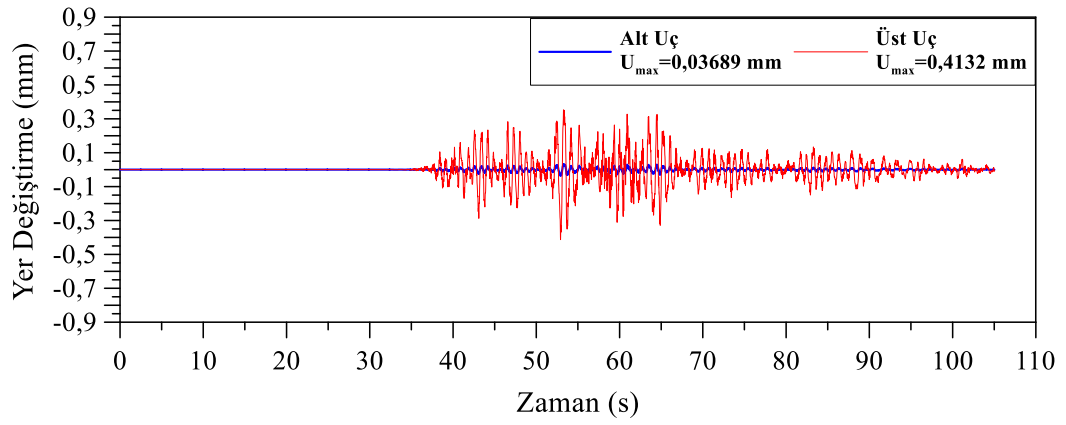


Şekil 55: İmperial Valley Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprü'nün (1) Nolu Kazığına İlişkin Z Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri

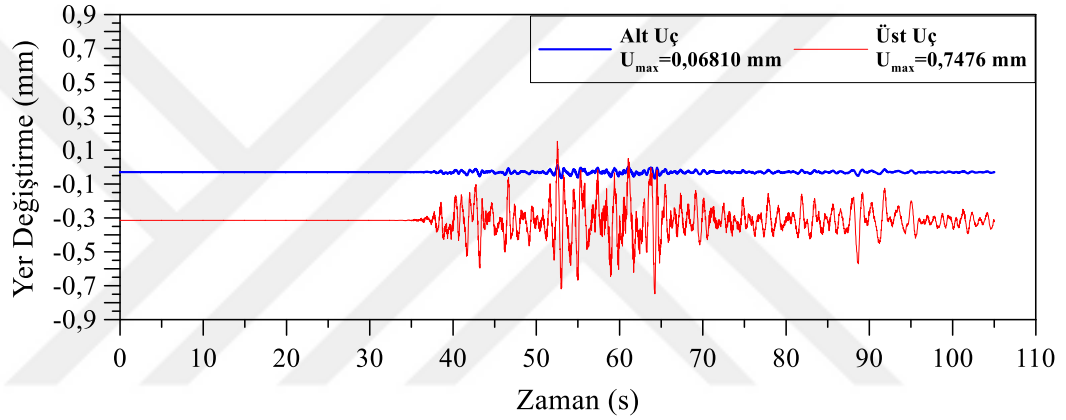


Şekil 56: İmperial Valley Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprü'nün (1) Nolu Kazığına İlişkin Z Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri

Şekil 57 ve Şekil 58'de Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi etkisi altında ZC zemin sınıfı için (1) nolu kazığın Z doğrultusundaki kazık uç yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimleri sırasıyla sismik izolasyonsuz ve sismik izolasyonlu köprü için verilmiştir. Şekillerden görülebileceği gibi kazığın üst ucunda meydana gelen Z doğrultusundaki maksimum yer değiştirme sismik izolasyonsuz köprüde 0,4132 mm iken sismik izolasyonlu köprüde 0,7476 mm'dir. Kazığın alt ucunda ise Z doğrultusunda meydana gelen maksimum yer değiştirme sismik izolasyonsuz köprüde 0,03689 mm iken sismik izolasyonlu köprüde 0,06810 mm'dir.

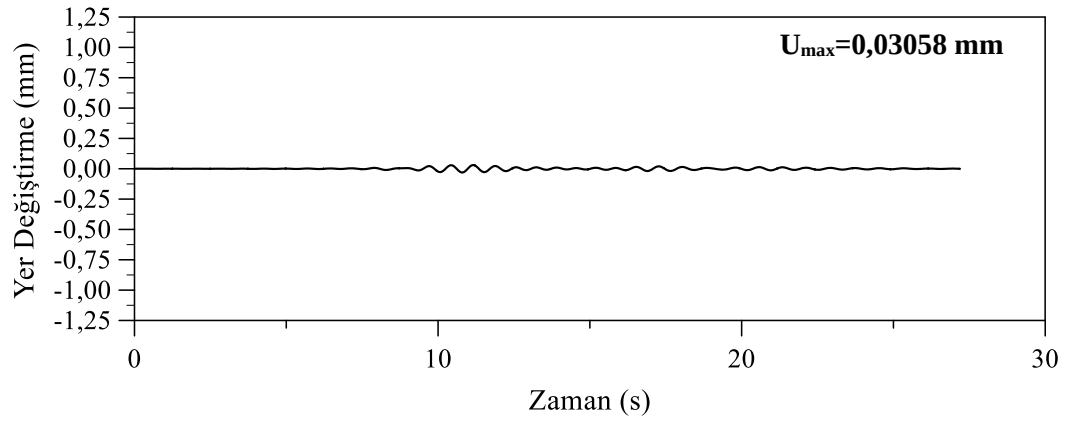


Şekil 57: Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin Z Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri

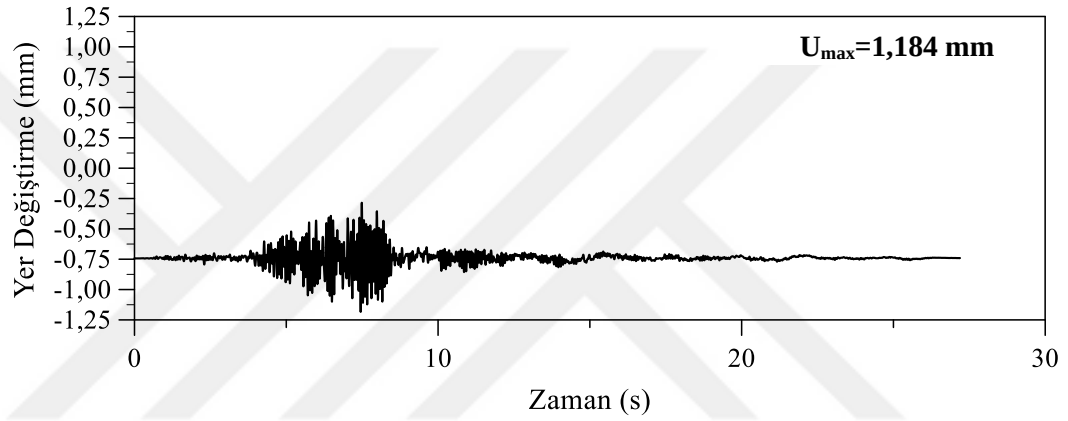


Şekil 58: Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprünün (1) Nolu Kazığına İlişkin Z Doğrultusundaki Kazık Uç Yer Değiştirmeleri

Şekil 59 ve Şekil 60’da sırasıyla sismik izolasyonsuz ve sismik izolasyonlu köprünün Kocaeli depremi etkisi altında ZA zemin sınıfı için P2 kesitindeki temelinin düşey doğrultudaki yer değiştirme diyagramları verilmiştir. Şekillerden de görülebileceği gibi P2 kesitindeki temelin maksimum düşey yer değiştirme değeri sismik izolasyonsuz köprüde 0,03058 mm iken sismik izolasyonlu köprüde 1,184 mm’dir.

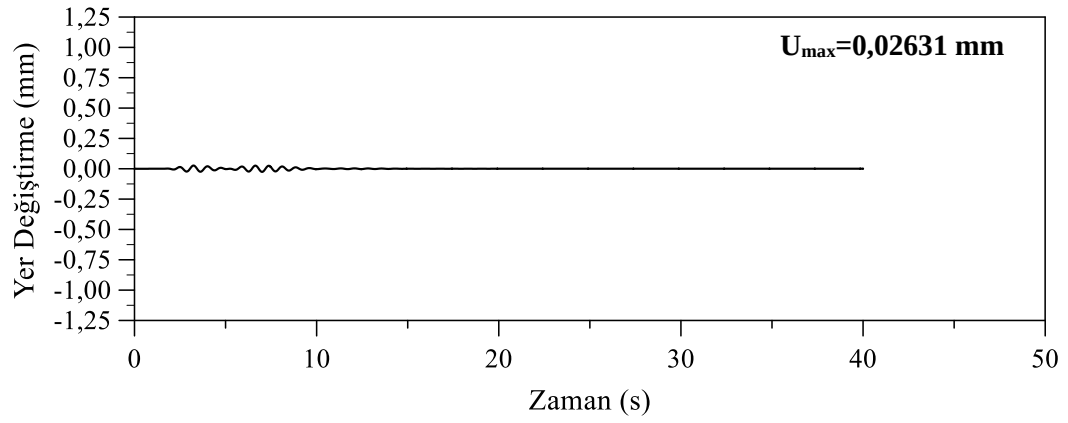


Şekil 59: Kocaeli Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprünün P2 Kesitindeki Temelinin Z Doğrultusundaki Yer Değiştirme Diyagramı

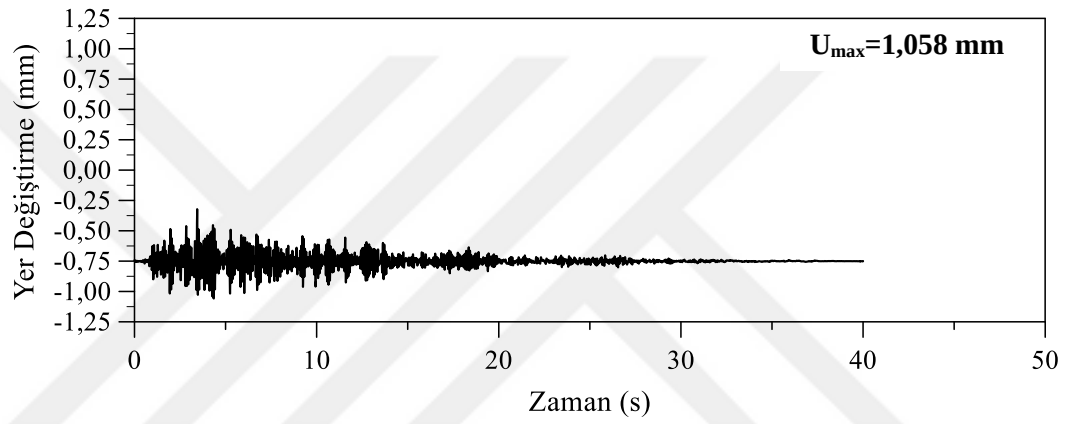


Şekil 60: Kocaeli Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprünün P2 Kesitindeki Temelinin Z Doğrultusundaki Yer Değiştirme Diyagramı

Şekil 61 ve Şekil 62’de sırasıyla sismik izolasyonsuz ve sismik izolasyonlu köprünün İmperial Valley depremi etkisi altında ZA zemin sınıfı için P2 kesitindeki temelinin düşey doğrultudaki yer değiştirme diyagramları verilmiştir. Şekillerden de görülebileceği gibi P2 kesitindeki temelin maksimum düşey yer değiştirme değeri sismik izolasyonsuz köprüde 0,02631 mm iken sismik izolasyonlu köprüde 1,058 mm’dir.

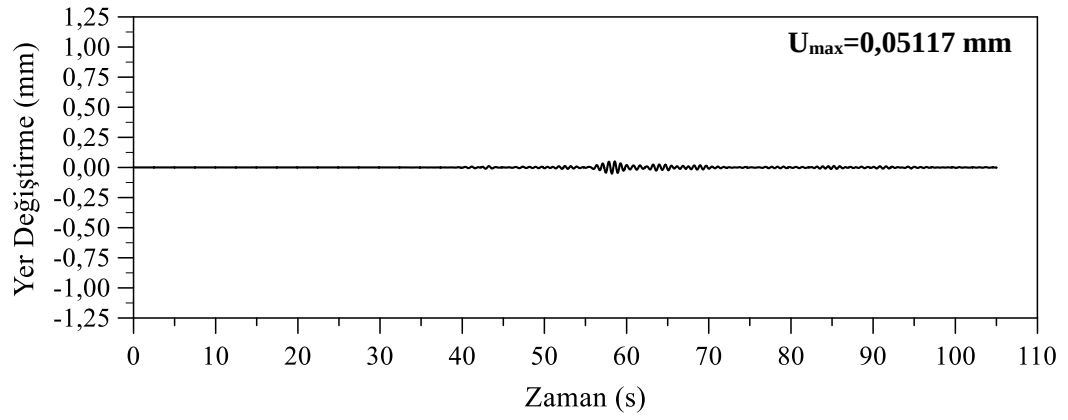


Şekil 61: İmperial Valley Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprünün P2 Kesitindeki Temelinin Z Doğrultusundaki Yer Değiştirme Diyagramı

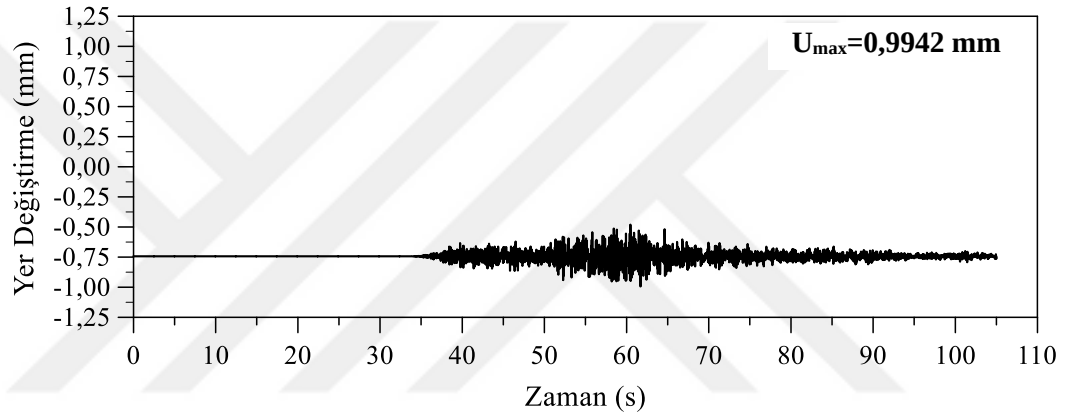


Şekil 62: İmperial Valley Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprünün P2 Kesitindeki Temelinin Z Doğrultusundaki Yer Değiştirme Diyagramı

Şekil 63 ve Şekil 64'te sırasıyla sismik izolasyonsuz ve sismik izolasyonlu köprünün Kahramanmaraş (Pazarcık) depremi etkisi altında ZA zemin sınıfı için P2 kesitindeki temelinin düşey doğrultudaki yer değiştirme diyagramları verilmiştir. Şekillerden de görülebileceği gibi P2 kesitindeki temelin maksimum düşey yer değiştirme değeri sismik izolasyonsuz köprüde 0,05117 mm iken sismik izolasyonlu köprüde 0,9942 mm'dir.

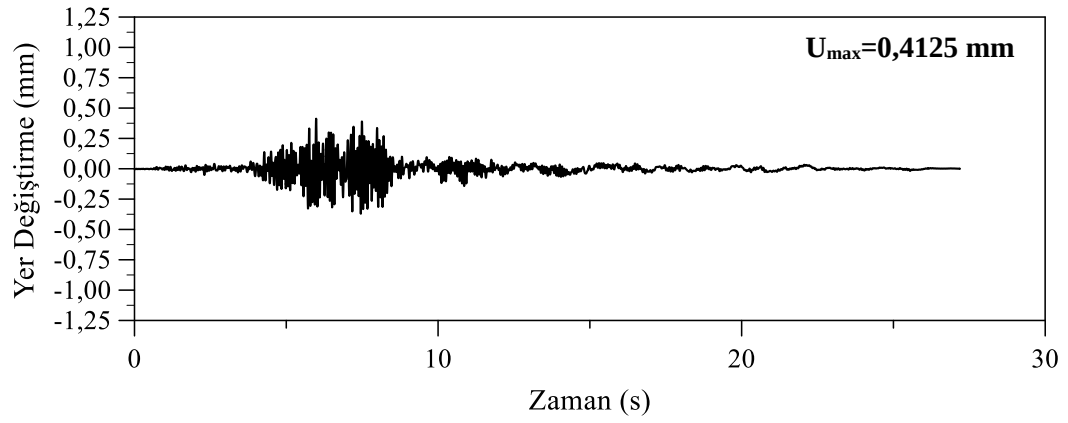


Şekil 63: Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprünün P2 Kesitindeki Temelinin Z Doğrultusundaki Yer Değiştirme Diyagramı

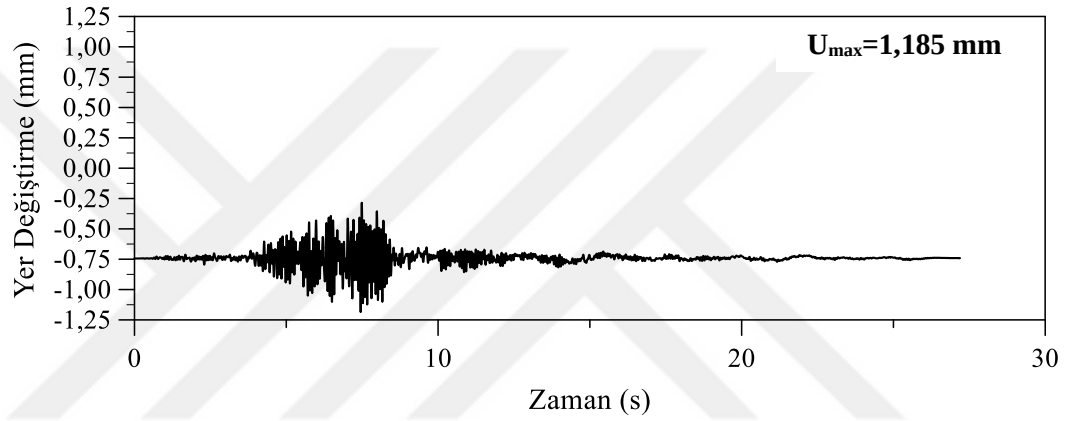


Şekil 64: Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi Etkisi Altında ZA Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprünün P2 Kesitindeki Temelinin Z Doğrultusundaki Yer Değiştirme Diyagramı

Şekil 65 ve Şekil 66’da sırasıyla sismik izolasyonsuz ve sismik izolasyonlu köprünün Kocaeli depremi etkisi altında ZC zemin sınıfı için P2 kesitindeki temelinin düşey doğrultudaki yer değiştirme diyagramları verilmiştir. Şekillerden de görülebileceği gibi P2 kesitindeki temelin maksimum düşey yer değiştirme değeri sismik izolasyonsuz köprüde 0,4125 mm iken sismik izolasyonlu köprüde 1,185 mm’dir.

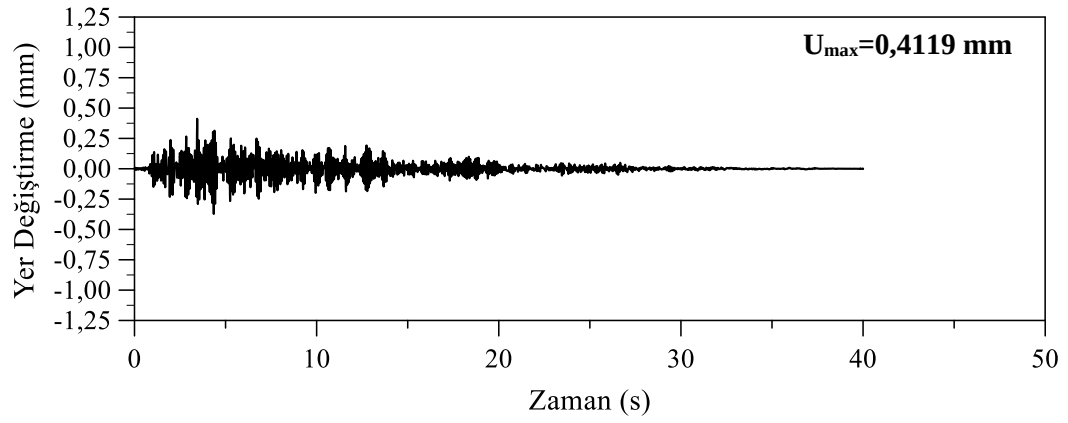


Şekil 65: Kocaeli Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprünün P2 Kesitindeki Temelinin Z Doğrultusundaki Yer Değiştirme Diyagramı

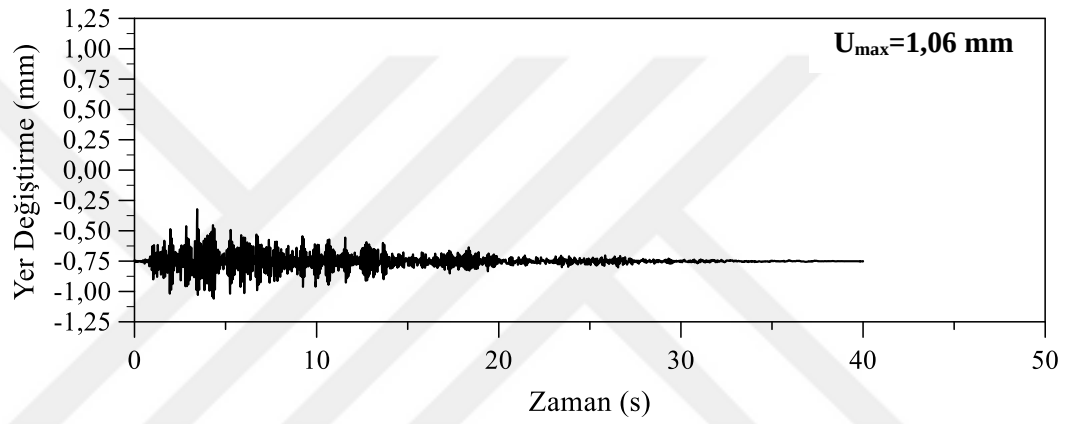


Şekil 66: Kocaeli Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprünün P2 Kesitindeki Temelinin Z Doğrultusundaki Yer Değiştirme Diyagramı

Şekil 67 ve Şekil 68’de sırasıyla sismik izolasyonsuz ve sismik izolasyonlu köprünün İmperial Valley depremi etkisi altında ZC zemin sınıfı için P2 kesitindeki temelinin düşey doğrultudaki yer değiştirme diyagramları verilmiştir. Şekillerden de görülebileceği gibi P2 kesitindeki temelin maksimum düşey yer değiştirme değeri sismik izolasyonsuz köprüde 0,4119 mm iken sismik izolasyonlu köprüde 1,06 mm’dir.

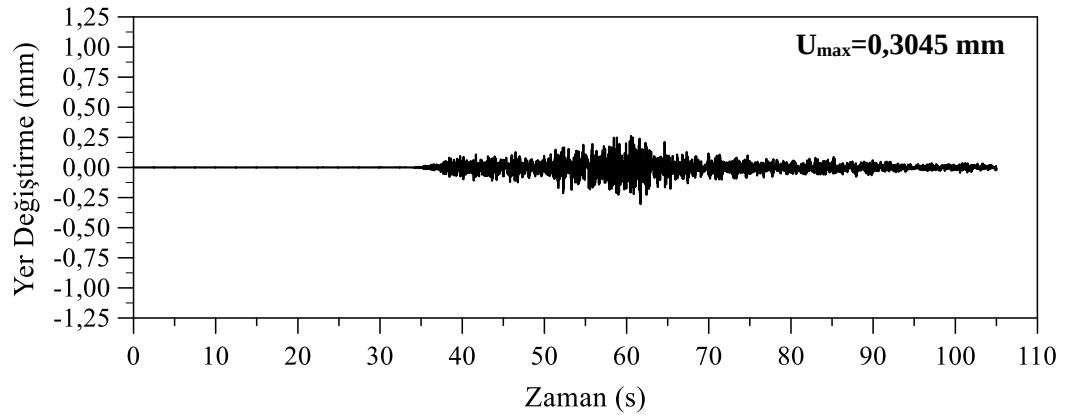


Şekil 67: Imperial Valley Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprünün P2 Kesitindeki Temelinin Z Doğrultusundaki Yer Değiştirme Diyagramı

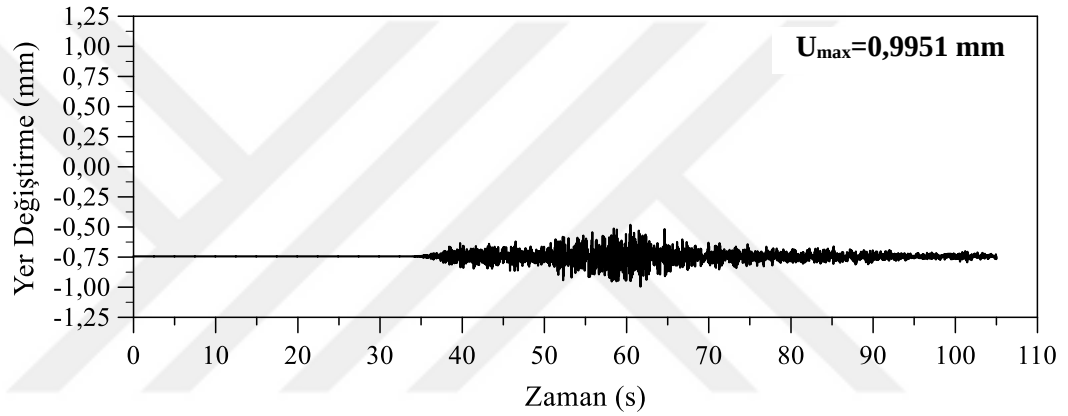


Şekil 68: Imperial Valley Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprünün P2 Kesitindeki Temelinin Z Doğrultusundaki Yer Değiştirme Diyagramı

Şekil 69 ve Şekil 70’de sırasıyla sismik izolasyonsuz ve sismik izolasyonlu köprünün Kahramanmaraş (Pazarcık) depremi etkisi altında ZC zemin sınıfı için P2 kesitindeki temelinin düşey doğrultudaki yer değiştirme diyagramları verilmiştir. Şekillerden de görülebileceği gibi P2 kesitindeki temelin maksimum düşey yer değiştirme değeri sismik izolasyonsuz köprüde 0,3045 mm iken sismik izolasyonlu köprüde 0,9951 mm’dir.



Şekil 69: Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonsuz Köprü'nün P2 Kesitindeki Temelinin Z Doğrultusundaki Yer Değiştirme Diyagramı



Şekil 70: Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi Etkisi Altında ZC Zemin Sınıfı İçin Sismik İzolasyonlu Köprü'nün P2 Kesitindeki Temelinin Z Doğrultusundaki Yer Değiştirme Diyagramı

Tablo 9: P2 Kesiti Kolonundaki Kesme Kuvveti ve Eğilme Momentlerinin Karşılaştırılması

Kombinasyon	Zemin Sınıfı	Sismik İzolasyonsuz		Sismik İzolasyonlu	
		Kesme Kuvveti (kN)	Moment (kNm)	Kesme Kuvveti (kN)	Moment (kNm)
Kocaeli+G	ZA	87,45	1192,75	66,36	895,17
	ZC	200,06	2682,92	64,89	906,17
İmperial Valley+G	ZA	86,76	1177,29	59,89	829,33
	ZC	182,62	2452,52	59,44	833,76
Kahramanmaraş (Pazarcık)+G	ZA	90,62	1246,98	62,01	810,44
	ZC	152	2054,12	56,96	800,31

G: Köprü'nün öz ağırlığı

Tablo 9’da farklı yük kombinasyonlarına göre sismik izolasyonsuz ve sismik izolasyonlu köprünün 3 nolu kolonunda ZA ve ZC zemin sınıfları için elde edilen kesme kuvveti ve eğilme momenti değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir.

Kocaeli+G kombinasyonuna göre ZA zemin sınıfı için sismik izolasyon kullanımı kesme kuvvetini %24, eğilme momentini ise %25 azaltmıştır. Söz konusu kombinasyona göre ZC zemin sınıfı için sismik izolasyon kullanımı kesme kuvvetini %68, eğilme momentini ise %66 azaltmıştır.

İmperial Valley+G kombinasyonuna göre ZA zemin sınıfı için sismik izolasyon kullanımı kesme kuvvetini %31, eğilme momentini ise %30 azaltmıştır. Söz konusu kombinasyona göre ZC zemin sınıfı için sismik izolasyon kullanımı kesme kuvvetini %67, eğilme momentini ise %66 azaltmıştır.

Kahramanmaraş (Pazarcık)+G kombinasyonuna göre ZA zemin sınıfı için sismik izolasyon kullanımı kesme kuvvetini %32, eğilme momentini ise %35 azaltmıştır. Söz konusu kombinasyona göre ZC zemin sınıfı için sismik izolasyon kullanımı kesme kuvvetini %63, eğilme momentini ise %61 azaltmıştır.

Sismik izolasyonsuz köprüde ZA zemin sınıfı için kombinasyonlar karşılaştırıldığında en büyük kesme kuvveti ve eğilme momenti Kahramanmaraş (Pazarcık)+G kombinasyonunda ortaya çıkarken en küçük kesme kuvveti ve eğilme momenti İmperial Valley+G kombinasyonunda ortaya çıkmıştır. Sismik izolasyonlu köprüde ise ZA zemin sınıfı için en büyük kesme kuvveti ve eğilme momenti Kocaeli+G kombinasyonunda ortaya çıkarken, en küçük kesme kuvveti İmperial Valley+G ve en küçük eğilme momenti Kahramanmaraş (Pazarcık)+G kombinasyonunda ortaya çıkmıştır.

Sismik izolasyonsuz köprüde ZC zemin sınıfı için kombinasyonlar karşılaştırıldığında en büyük kesme kuvveti ve eğilme momenti Kocaeli+G kombinasyonunda ortaya çıkarken en küçük kesme kuvveti ve eğilme momenti Kahramanmaraş (Pazarcık)+G kombinasyonunda ortaya çıkmıştır. Sismik izolasyonlu köprüde ise en büyük kesme kuvveti ve eğilme momenti Kocaeli+G kombinasyonunda ortaya çıkarken en küçük kesme kuvveti ve eğilme momenti Kahramanmaraş (Pazarcık)+G kombinasyonunda ortaya çıkmıştır.

Tablo 10’da ZA Zemin Sınıfı için sismik izolasyonsuz ve sismik izolasyonlu köprünün mod şekilleri ve periyotları verilmiştir. Tablo incelendiğinde sismik izolasyonsuz köprünün hâkim periyodunun 0,78 s, sismik izolasyonlu köprünün hâkim periyodunun ise 1,29 s olduğu görülmektedir. Bu durum sismik izolasyonun köprünün hâkim periyodunu yaklaşık 1,65 kat

artırdığını göstermektedir. Ayrıca sismik izolasyonsuz ve izolasyonlu köprünün 1. mod şekillerinin boyuna doğrultuda olduğu görülmüştür.

Tablo 11’de ZC Zemin Sınıfı için sismik izolasyonsuz ve sismik izolasyonlu köprünün mod şekilleri ve periyotları verilmiştir. Tablo incelendiğinde sismik izolasyonsuz köprünün hâkim periyodunun 0,78 s, sismik izolasyonlu köprünün hâkim periyodunun ise 1,48 s olduğu görülmektedir. Bu durum sismik izolasyonun köprünün hâkim periyodunu yaklaşık 1,9 kat artırdığını göstermektedir. Ayrıca sismik izolasyonsuz ve izolasyonlu köprünün 1. mod şekillerinin boyuna doğrultuda olduğu görülmüştür.



SONUÇLAR

Bu çalışmada Kocaeli ilinde bulunan Kirazlıyalı Çenesuyu Köprüsü'nün deprem performansı gerçek deprem kayıtları kullanılarak iki farklı zemin türü için sismik izolasyonlu ve sismik izolasyonsuz olarak belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda köprüye ilişkin taban kesme kuvvetleri, sismik izolatörlerdeki kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkileri, kazıklardaki yatay ve düşey yer değiştirmeler, temelde meydana gelen düşey yer değiştirmeler, köprünün dinamik karakteristikleri, kolonlarda meydana gelen kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri elde edilmiştir.

- ZA ve ZC zemin sınıflarına göre yapının sismik izolasyonsuz ve sismik izolasyonlu modelleri için taban kesme kuvvetinin zamana bağlı olarak değişimi incelendiğinde sismik izolasyon kullanımında taban kesme kuvvetinin azaldığı belirlenmiştir.
- ZA zemin sınıfına ait modelde izolatör tarafından absorbe edilen en büyük enerji Kahramanmaraş (Pazarcık) Depremi'nde, absorbe edilen en küçük enerji ise İmperial Valley Depremi'nde görülmüştür.
- Analizler sonucunda ZA ve ZC zemin sınıfları için X ve Z doğrultularındaki kazık uç yer değiştirmelerinin sismik izolasyon kullanımıyla arttığı belirlenmiştir.
- Köprü ayaklarındaki düşey yer değiştirme değerlerinin her iki zemin türü için de sismik izolasyon kullanımıyla arttığı gözlemlenmiştir.
- Sismik izolasyonun ZA ve ZC zemin sınıflarına ait modellerde köprünün hâkim periyodunu artırdığı görülmüştür.
- Köprü ayağındaki kesme kuvveti ve eğilme momentinin her iki zemin türü için de sismik izolasyon kullanımıyla azaldığı tespit edilmiştir.

Türkiye, aktif fay hatlarına sahip olduğundan sık sık depremlere maruz kalmaktadır. Bu nedenle, yeni köprülerin tasarımı ve mevcut köprülerin değerlendirilmesi, ulaşım ağının güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır. Kirazlıyalı Çenesuyu Köprüsü'nde sismik izolasyon kullanımının, olası bir deprem durumunda, sismik izolasyon kullanılmamış bir yapıya kıyasla daha az hasara neden olduğu ve daha fazla yer değiştirme yeteneği sunduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, köprülerin deprem dayanıklılığını artırmak için sismik izolasyonun önemini vurgulamaktadır.

KAYNAKÇA

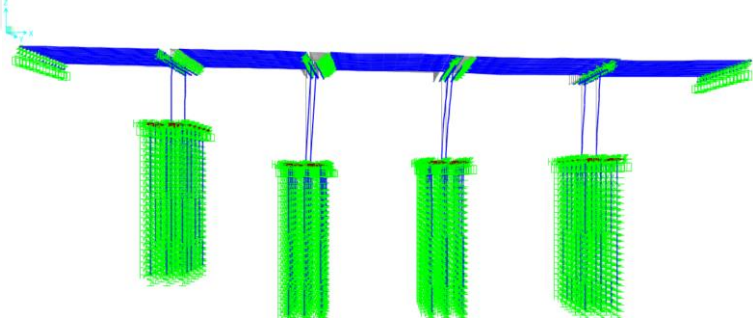
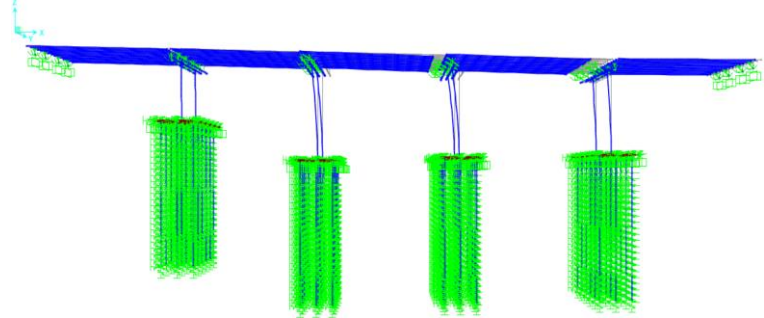
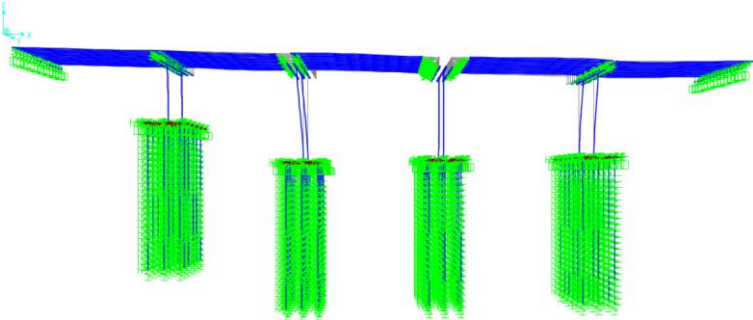
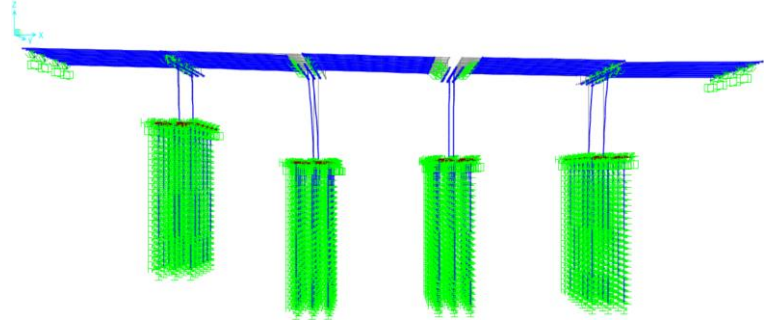
- Abanuz, C. (2019). *An evaluation of the behaviour of rc bridge piers under vertical and horizontal components of earthquake ground motion*. (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 557659)
- Adsız, E. (2023). *Yığma kemer köprülerin zaman tanım alanında analizi*. (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 778792)
- AFAD, (2023). Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, deprem.afad.gov.tr.
- Akoğul, C. (2007). *Prekast kirişli betonarme köprülerin AASHTO'ya göre depreme dayanıklı tasarımı*. (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 222494)
- Aktaş, E. (2010). *Öngerilme kirişli bir köprü tasarımı ve performansının değerlendirilmesi*. (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 292073)
- Alternatif Yol'un ikinci viyadüğü de tamamlandı. (2017, 21 Kasım). *İstanbul Haber*. <https://www.istanbulhaber.com.tr/alternatif-yolun-ikinci-viyadugu-de-tamamlandi-haber-806551.htm>
- Anjumani, N. (2021). *Kirişli köprülerin deprem etkisi altındaki davranışı*. (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 670937)
- Artan, C. (2021). *Muş ilinde bulunan tarihi köprüler ve tarihi murat köprüsünün yapısal değerlendirmesi*. (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 682935)
- AASHTO LRFD, (2017). Bridge Design Specifications, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C.
- Atmaca, B. (2012). *Kablolu köprülerin yapım aşamalarına göre analizi*. (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 309759)
- Atmaca, B., Yurdakul, M., & Ateş, Ş. (2014). Nonlinear dynamic analysis of base isolated cable-stayed bridge under earthquake excitations. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 66, 314-318. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soildyn.2014.07.013>
- Atmaca, B. (2018). *Öngerilmeli kirişli köprü üstyapısının hesap ve tasarımının irdelenmesi ve bilgisayar programının geliştirilmesi*. (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 492402)
- Barto, N. (2010). *Deprem yükleri altında köprülerin performansının araştırılmasına yönelik bir çalışma*. (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 295724)
- Bexultan, Y. (2021) *Köprülerde kurşun çekirdekli elastomer mesnet tasarımı ve köprü deprem davranışı üzerindeki etkilerinin incelenmesi*. (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 690313)
- Bulut, Ş. (2020). *AASHTO LRFD'ye göre betonarme bir köprüsünün tasarımı ve doğrusal olmayan statik itme yöntemi ile performansının belirlenmesi*. (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 636963)
- Chen, X., Wu, P., & Li, C. (2022). Seismic performance assessment of base-isolated tall pier bridges using friction pendulum bearings achieving resilient design. *Structures*, 38, 618-629. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.02.032>

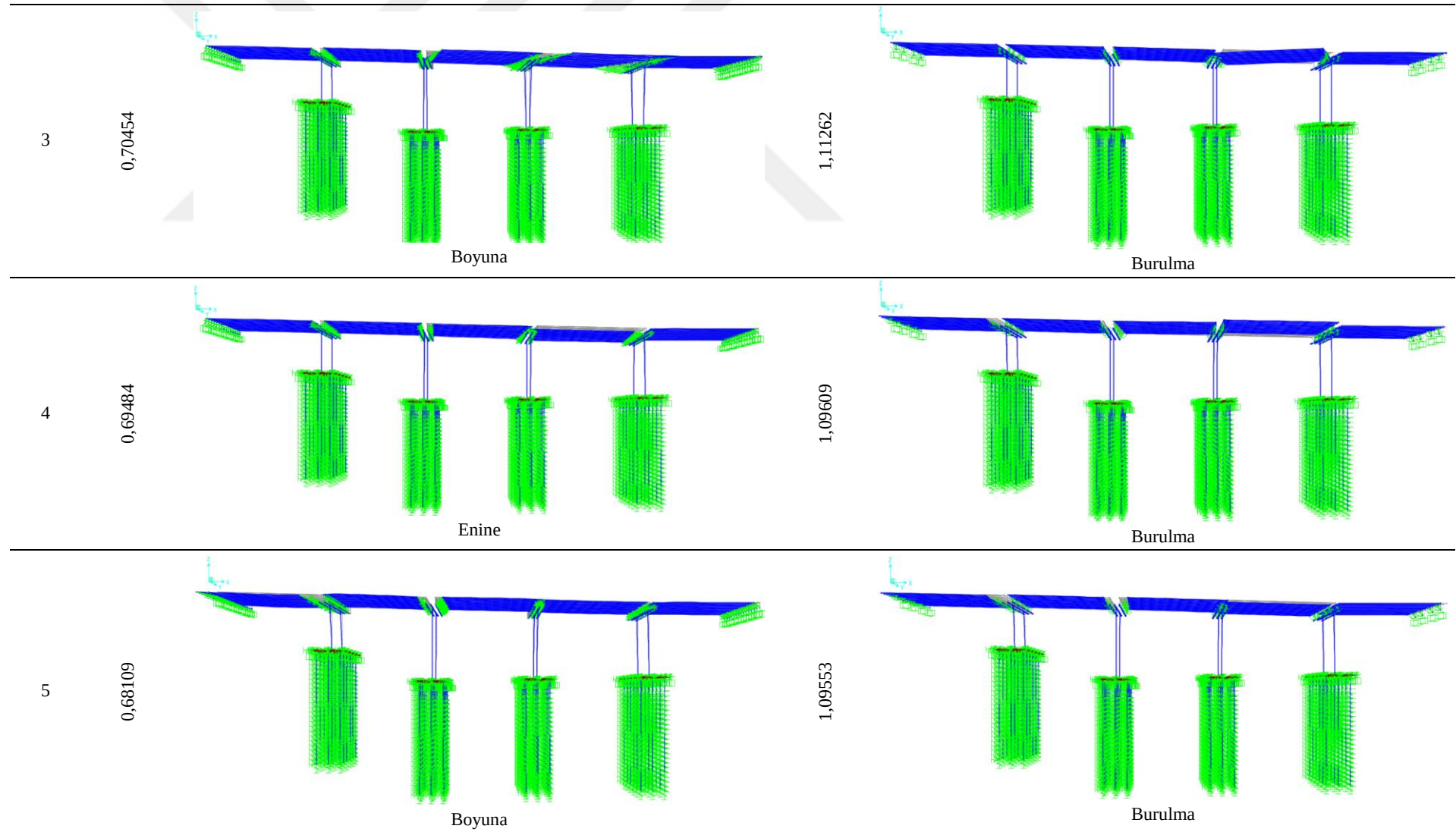
- Erdem, U. (2019). *Sismik yükler altında köprü kazıklarının analizi*. (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 567920)
- Fındık, M., Çelik, D., Uzundurukan, S., Başar, E. E., & Barlas, A. (2021). Kazıklı radye temel sisteminde temel-zemin etkileşiminin yapısal davranış üzerine etkisi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 26(2), 573–588. <https://doi.org/10.17482/uumfd.850730>
- Hakimyar, S. (2023). *Sismik etkiler altında köprü ayaklarında zemin kazık yapı etkileşimi örneği*. (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 804858)
- Karayolları Genel Müdürlüğü, 2023. <https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Bolgeler/1Bolge/Iller/Illizmit.aspx> adresinden edinilmiştir.
- Karimi, M. T. (2019). *Dinamik yüklere maruz iki açıklıklı prekast öngerilmeli karayolu köprülerinin doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerinde performans değerlendirilmesi*. (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 557032)
- Kati Eker, B. N. (2018). *Maden viyadüğü'nün öngerilmeli prekast ve kompozit T kesitli köprü kirişlerinin optimizasyonu*. (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 538189)
- Kocaeli Büyükşehir Belediyesi. (2017). Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Faaliyet Raporu. Kocaeli: Kurumsal Gelişim Dairesi Başkanlığı, Basın Yayın ve Halkla İlişkiler Dairesi Başkanlığı. <https://www.kocaeli.bel.tr/webfiles/userfiles/files/faaliyet-raporlari/2017%20Faaliyet%20Raporu.pdf> adresinden edinilmiştir.
- Kumbhojkar, K. R., Shrimali, M. K., Bharti, S. D., & Datta, T. K. (2023). Behavior of base-isolated integral bridge under multi-component earthquake. *Journal of Vibration Engineering & Technologies*, 11(8), 3981-3997. <https://doi.org/10.1007/s42417-022-00796-2>
- Mahamat, M.A. (2023). *1915 Çanakkale asma köprüsü'nün dinamik analizi*. (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 807409)
- Moestopo, M., Imran, I., Siringoringo, D. M., Michael, J., Lim, E., & Yamazaki, S. (2022). Seismic design and performance evaluation of typical lightweight and heavyweight RC girder bridges with friction pendulum bearing in Indonesia. *Structures*, 46, 1154-1170. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.11.003>
- Nour, R. A. (2022). *Simplified modeling of isolated bridges with triple friction pendulum bearings using opensees*. (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 784840)
- Nuraini, S., Tambusay, A., & Suprobo, P. (2018). A Comparative Study of Base Isolation Devices in Light Rail Transit Structure Featured with Lead Rubber Bearing and Friction Pendulum System. *MATEC Web of Conferences*, 195. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819502013>
- Öztürk, O. O. (2018). *Öngermeli betonarme prekast kirişlerde farklı kesit ve halat sayısına bağlı uygun açıklığın belirlenmesi*. (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 524226)
- Pala, D. (2023). *Farklı bölgelerdeki prekast kirişli köprü davranışının incelenmesi*. (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 822314)

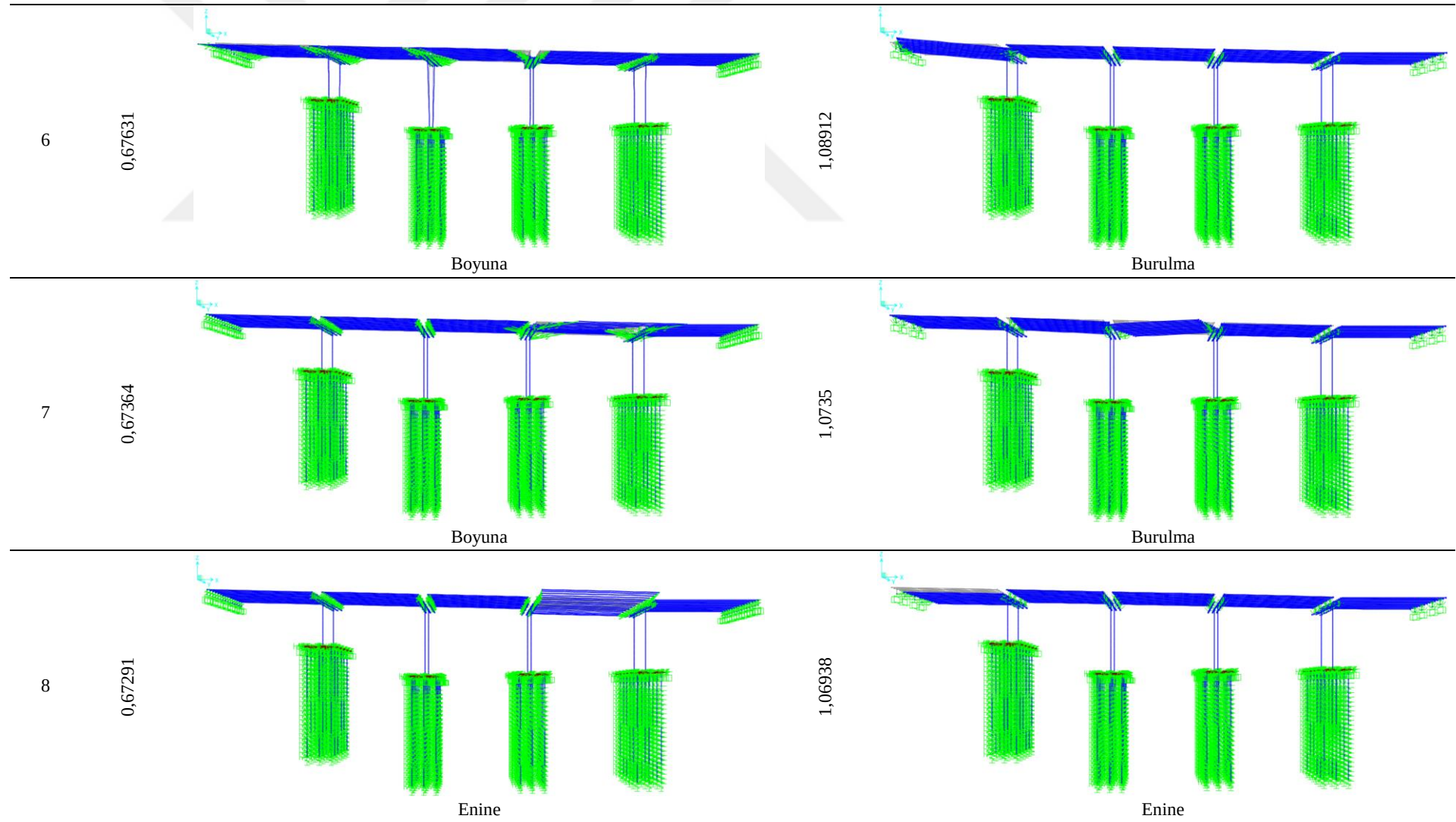
- PEER, 2023. Pacific Earthquake Engineering Research Centre, ngawest2.berkeley.edu.
- Prizma Mühendislik, 2010, Kirazlıyalı Çenesuyu Köprüsü'ne ait Proje Bilgileri, Prizma Mühendislik Proje Taahhüt San. Tic. Ltd. Şti., İstanbul.
- Propika, J., Lestari, L. L., & Puspasari, A. D. (2021). Lateral bearing capacity analysis of pile foundation using a spring modelling system. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1010(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1010/1/012007>
- Reyhanoğulları, N. E. (2010). *Depremiñ düşey bileşeninin, sismik olarak izole edilmiş ve edilmemiş köprülere olan etkileri*. (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 269565)
- Safaei, F. (2010). *Betonarme köprü modellemesi üzerine bir çalışma*. (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 269927)
- SAP2000, 2025. Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Computers and Structures Inc, Berkeley, California, USA.
- Savaşeri, K. (2006). *Yatay yüklü düşey kazıkların hesap esasları ve sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmesi*. (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 181768)
- TBDY, (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Ankara: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- Uluğ, N. İ. (2008). *Öngermeli bir köprü tasarımı ve performans değerlendirilmesi*. (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 251260)
- Yurdakul, M. (2016). *Üç eğrilikli sürtünmeli sarkaç mesnet sistemi ile sismik izolasyonu yapılan karayolu köprüsünün değişerek yayılan yer hareketi altında stokastik analizi*. (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 435047)
- Yurdakul, M., & Ates, S. (2018). Stochastic responses of isolated bridge with triple concave friction pendulum bearing under spatially varying ground motion. *Structural Engineering and Mechanics*, 65(6), 771-784.
- Zayas, V. A., Low, S. S., & Mahin, S. A. (1990). A simple pendulum technique for achieving seismic isolation. *Earthquake spectra*, 6(2), 317-333. <https://doi.org/10.1193/1.1585573>

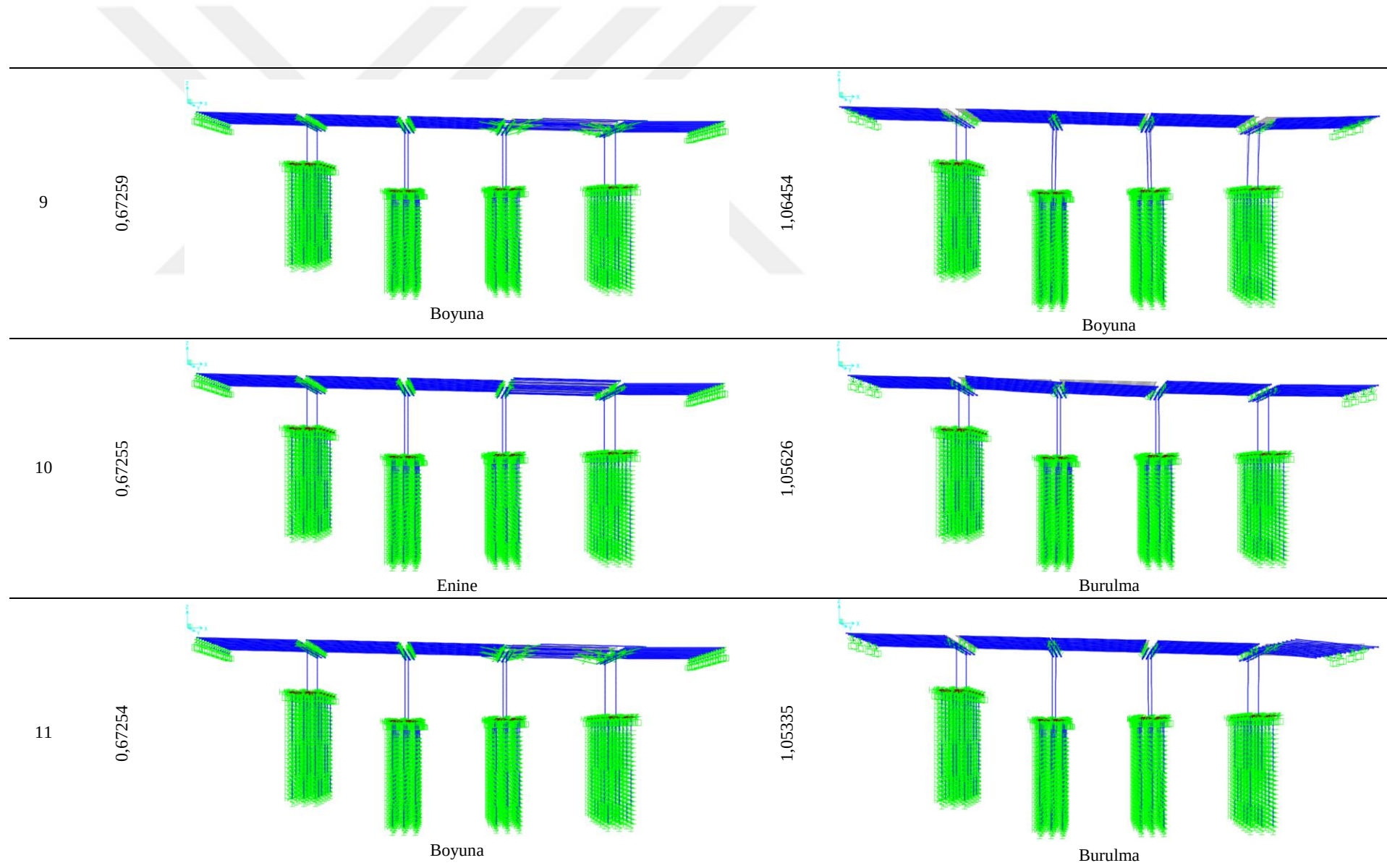
EKLER

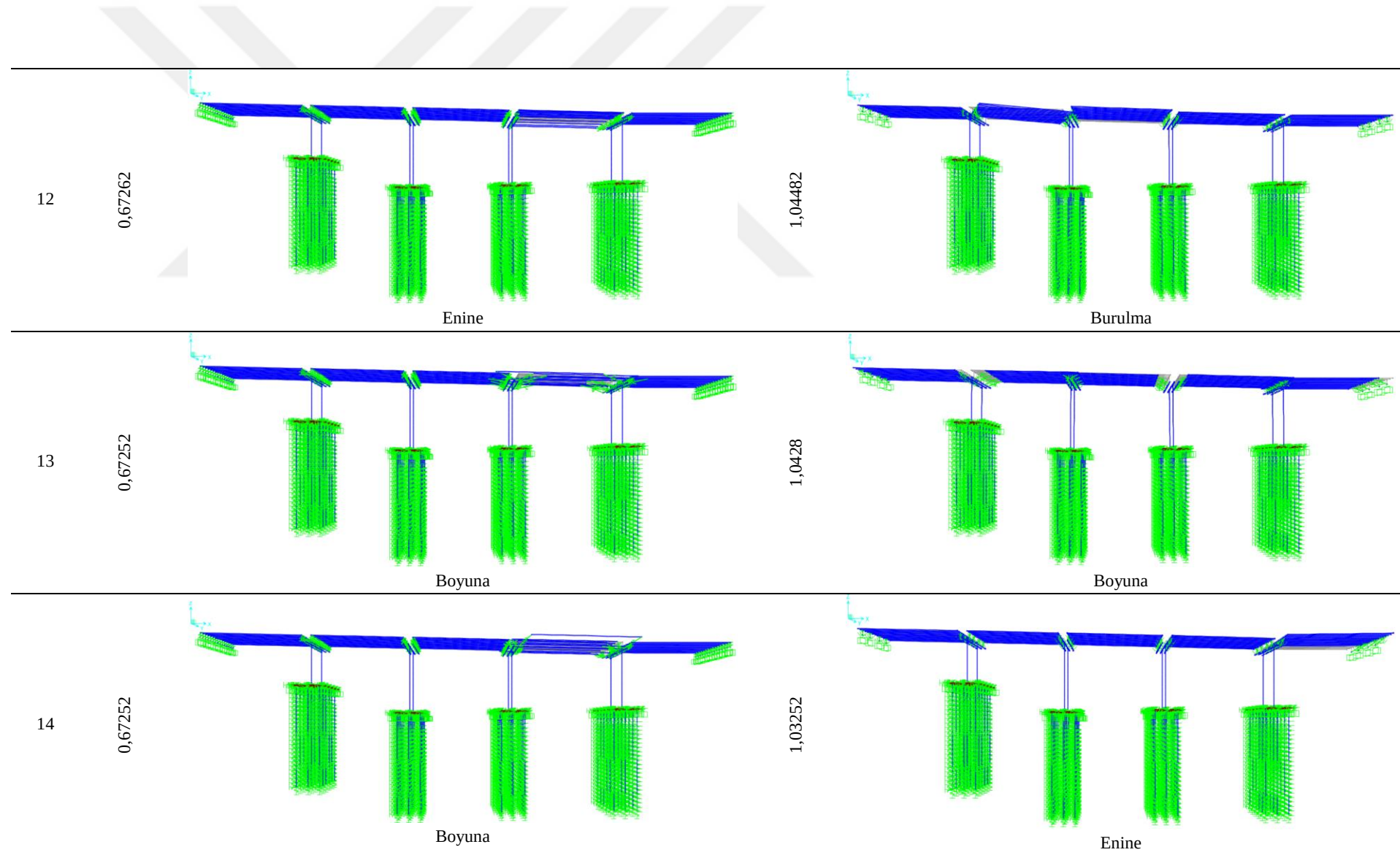
Tablo 10: ZA Zemin Sınıfı için Köprünün Mod Şekilleri ve Periyotları

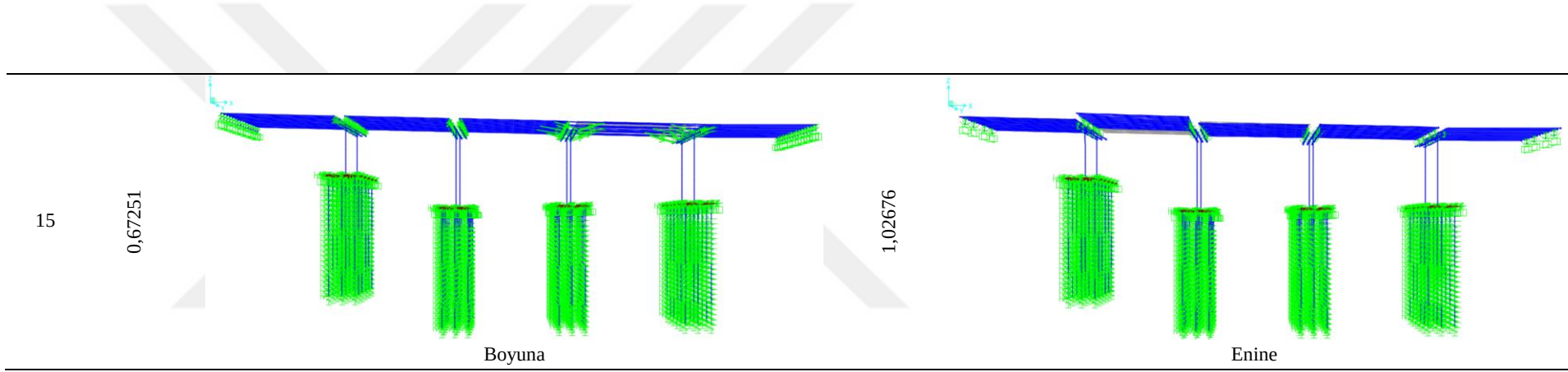
Mod	Sismik İzolasyonsuz		Sismik İzolasyonlu	
	Periyot (s)	Mod Şekli	Periyot (s)	Mod Şekli
1	0,78138	 Boyuna	1,29324	 Boyuna
2	0,72665	 Boyuna	1,18052	 Boyuna



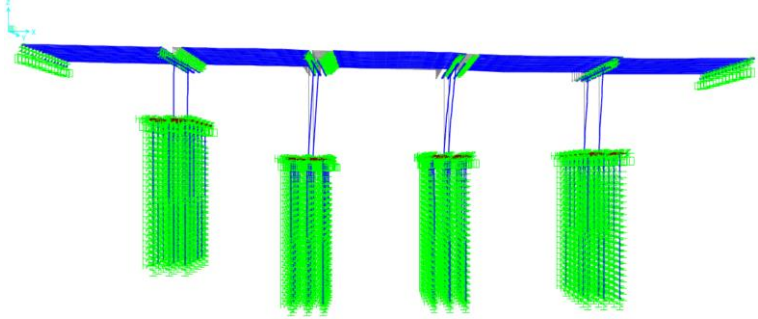
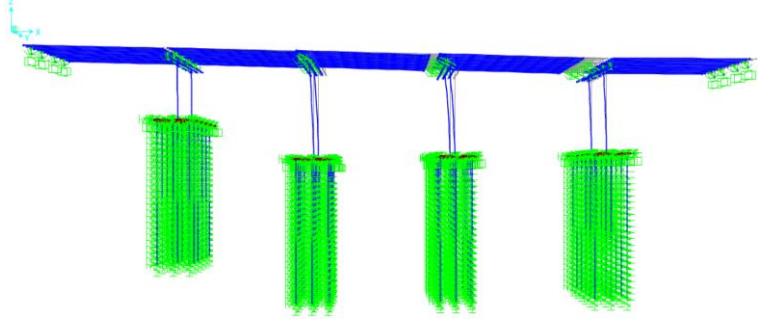


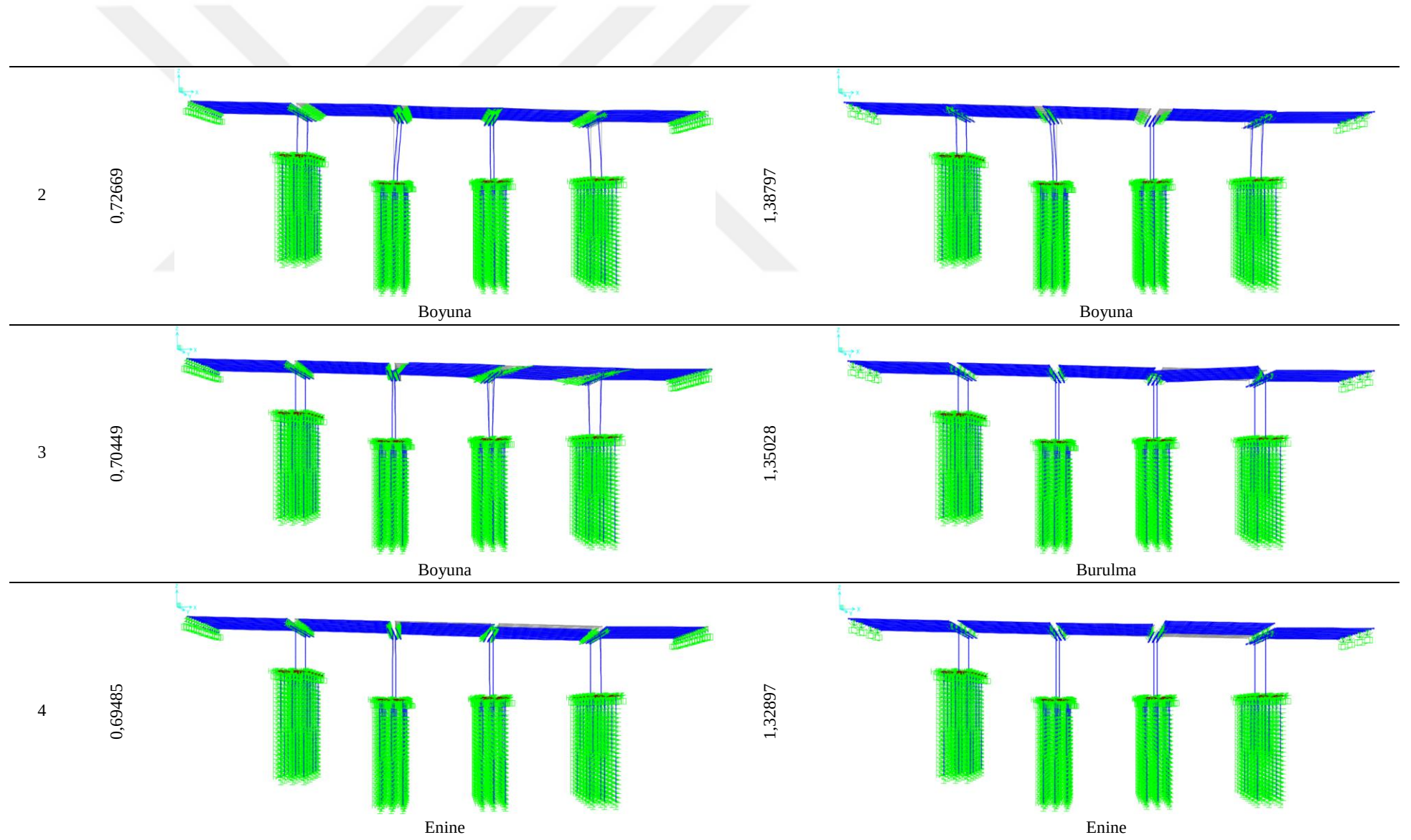


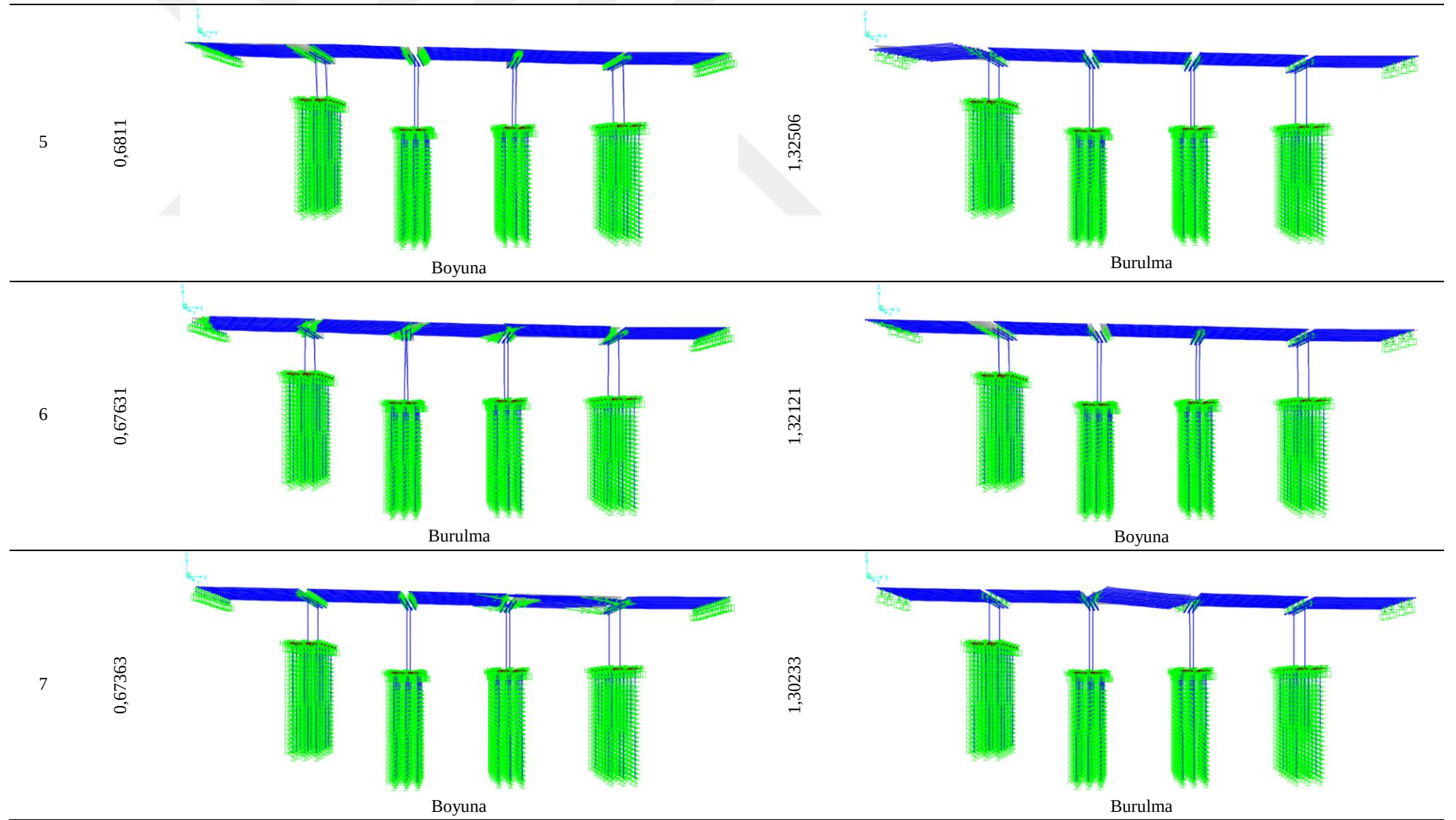


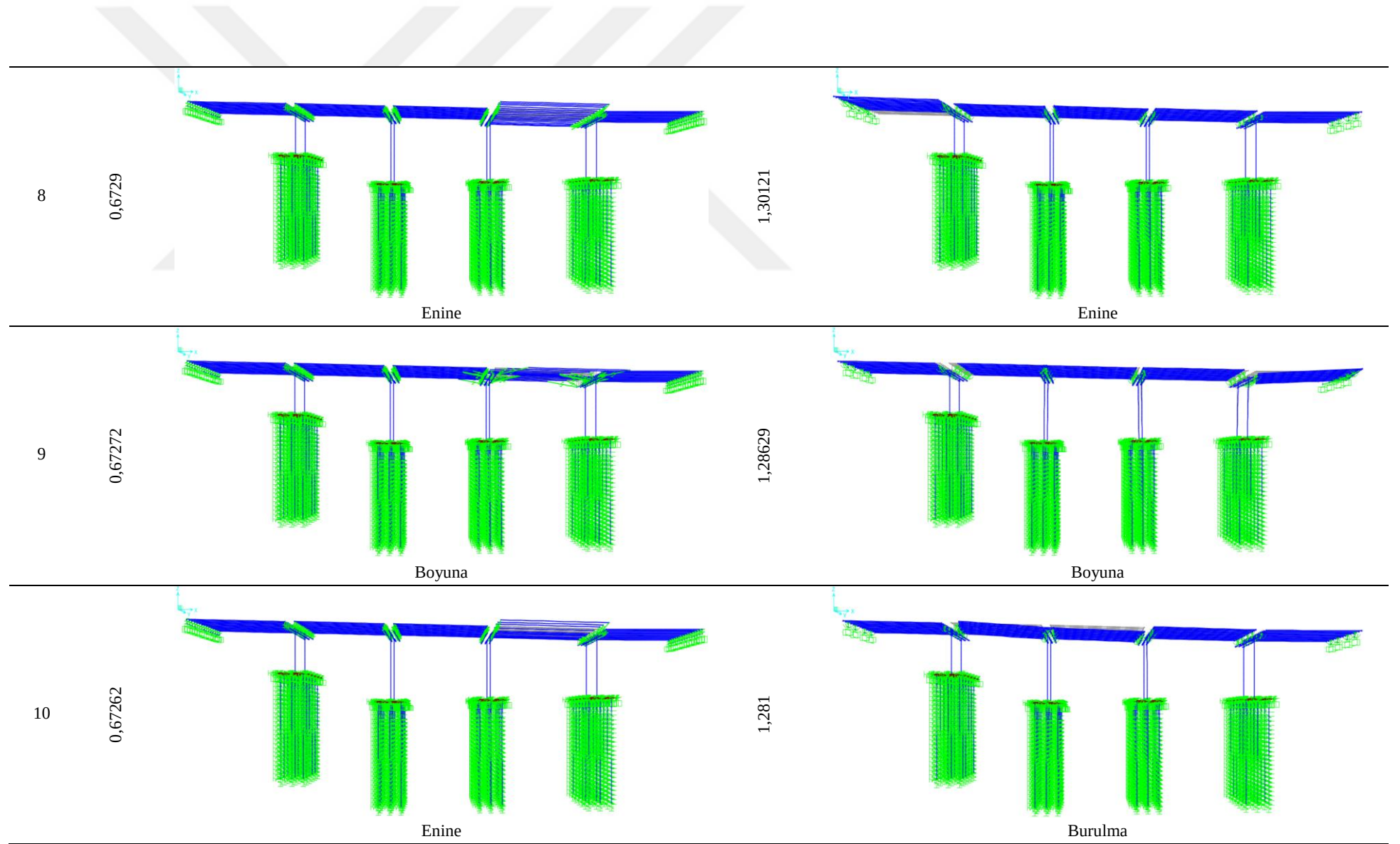


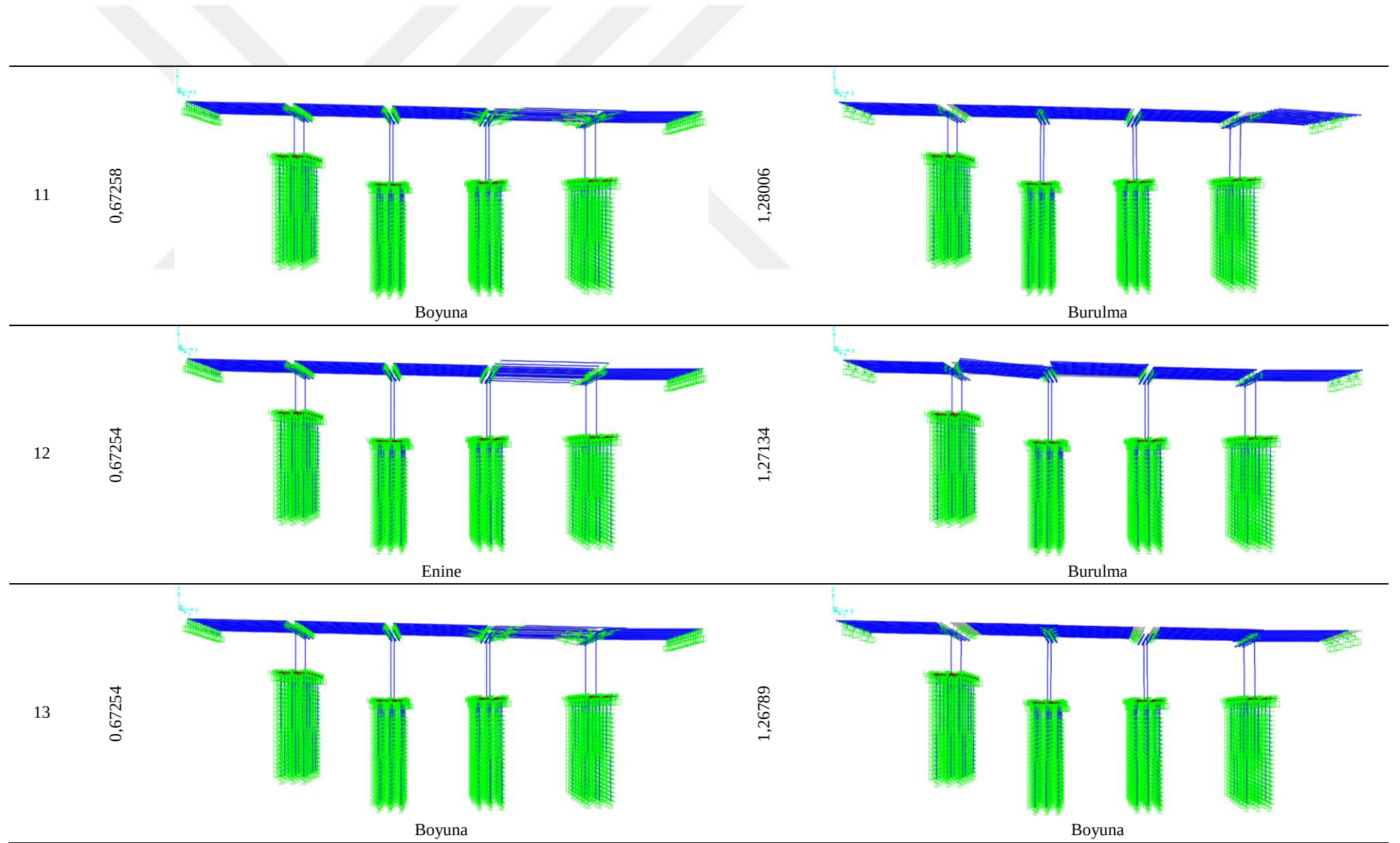
Tablo 11: ZC Zemin Sınıfı için Köprünün Mod Şekilleri ve Periyotları

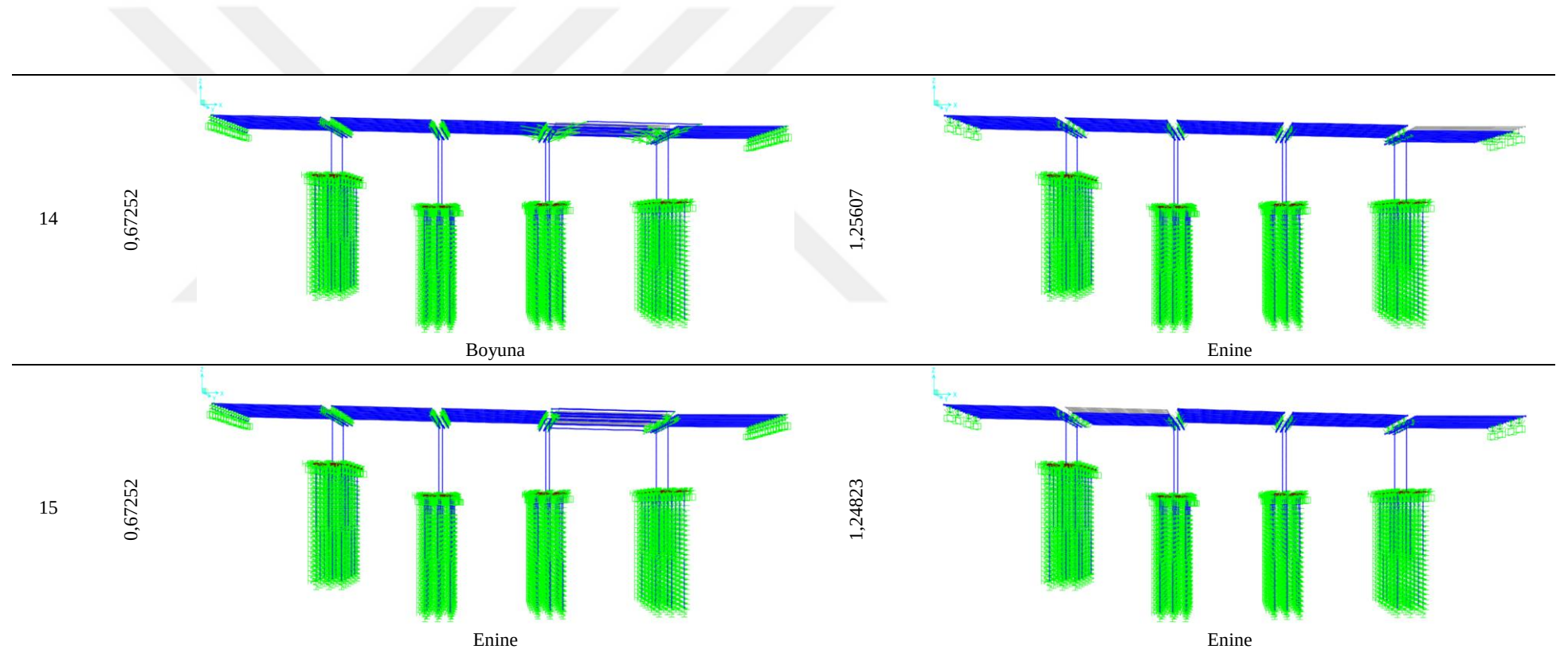
Mod	Sismik İzolasyonsuz		Sismik İzolasyonlu	
	Periyot (s)	Mod Şekli	Periyot (s)	Mod Şekli
1	0,78127		1,48136	
		Boyuna		Boyuna











ÖZ GEÇMİŞ

Ayşe Nur AYDOĞAN, ... yılında’de doğdu. İlköğrenimini 100. Yıl İlköğretim Okulu’nda ve Kaledibi İlköğretim Okulu’nda, orta öğrenimini ise Affan Anadolu Lisesi ve Özel Öncü Karadeniz Lisesi’nde tamamladı. 2016 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü kazandı ve 2020 yılında bu bölümden mezun oldu. 2021 yılında Bayburt Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı.

