

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DİNAMİK YÜKLERE MARUZ İKİ AÇIKLIKLI PREKAST ÖNGERİLMELİ KARAYOLU
KÖPRÜLERİNİN DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZLERİNDE PERFORMANS
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Mohammad Tordi KARIMI

**HAZİRAN 2019
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DİNAMİK YÜKLERE MARUZ İKİ AÇIKLIKLI PREKAST ÖNGERİLMELİ KARAYOLU
KÖPRÜLERİNİN DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZLERİNDE
PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİ**

İnş. Müh. Mohammad Tordi KARIMI

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 / 05 / 2019

Tezin Savunma Tarihi : 17 / 06 / 2019

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Kemal HACİEFENDİOĞLU

Trabzon 2019

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Mohammad Tordi KARIMI tarafından hazırlanan**

**DİNAMİK YÜKLERE MARUZ İKİ AÇIKLIKLI PREKAST ÖNGERİLMELİ KARAYOLU
KÖPRÜLERİNİN DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZLERİNDE
PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 21 / 05 / 2019 gün ve 1805 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

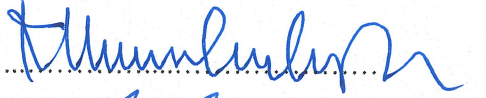
Jüri Üyeleri

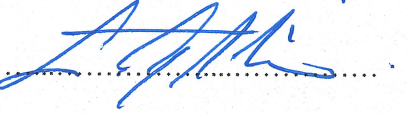
Başkan : Prof. Dr. Süleyman ADANUR

Üye : Doç. Dr. Kemal HACİEFENDİOĞLU

Üye : Doç. Dr. Ertekin ÖZTEKİN


.....


.....


.....

Prof. Dr. Asim KADIOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

“Dinamik Yüklere Maruz İki Açıklıklı Prekast Öngerilmeli Karayolu Köprülerinin Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Analizlerinde Performans Değerlendirilmesi” isimli tez çalışmasını bana öneren, yoğun çalışma temposu içerisinde çalışmamın her aşamasında benim yanımda olan, bilgi ve tecrübelerinden daima yararlandığım çok değerli Hocam Sayın Doç.Dr. Kemal HACİEFENDİOĞLU'na teşekkürlerimi sunmayı her zaman bir borç bilirim.

Tez çalışmamı başından beri takip eden, inceleyen ve değerli görüş ve bilgilerini benimle paylaşan, gece-gündüz demeden, değerli zamanını ve emeğini benim için harcamaktan kaçınmayan değerli Hocalarım Sayın Prof. Dr. Süleyman ADANUR'a ve Sayın Prof. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK'a çok teşekkür ederim.

Ayrıca, görüşlerinden faydalandığım hocalarım ve arkadaşlarım Arş. Gör. Barboras ATMACA'ya; İnş. Yük. Müh. Mohammad Manzoor NASERY'ya, Arş. Gör. Olguhan Şevket KARAHASAN'a ve İnş. Müh. Newid HOTAK'a çok teşekkür ederim.

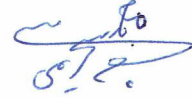
Akademik ve özel hayattaki güçlüklerle birlikte göğüs gerdiğimiz, acıları ve mutlulukları birlikte paylaştığımız gerek iyi gerekse en zor zamanlarımda her zaman manevi ve maddi olarak yanımda olan değerli arkadaşlarım ve dostlarım Arş. Gör. Yusuf YANIK'a ve İnş. Yük. Müh. Bilal KUNT'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca bana her türlü desteği veren babam Abdul KARIMI'ya, annem Hajar KARIMI'ya ve kardeşlerim Qasim KARIMI'ya, Hümeyra KARIMI'ya ve hayat yoldaşım Rabia KARIMI'ya göstermiş oldukları sabırdan dolayı teşekkür eder ve bu çalışmanın, yeni çalışmalara ışık tutmasını ve faydalı olmasını dilerim.

Mohammad Tordi KARIMI
Trabzon 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “DİNAMİK YÜKLERE MARUZ İKİ AÇIKLIKLI PREKAST ÖNGERİLMELİ KARAYOLU KÖPRÜLERİNİN DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZLERİNDE PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİ” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç.Dr. Kemal HACİFENDİOĞLU'nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, analizler ile ilgili, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 17/06/2019



Mohammad Tordi KARIMI

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XV
SEMBOLLER DİZİNİ	XVII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Konuyla İlgili Daha Önce Yapılmış Çalışmalar	2
1.3. Tez Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	6
1.4. Karayolu Köprüleri	7
1.4.1. Öngerilmeli Kirişlerde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri	9
1.4.1.1. Çimento, Agregası ve Katkı Maddeleri	10
1.4.1.2. Öngerilme Çeliği.....	10
1.4.2. Öngerilme Yöntemleri	11
1.4.3. Öngerilmeli Betonarme Kirişlerin Hesaplama Esasları	13
1.4.4. Öngerilme Kayıpları	16
1.5. Karayolu Köprülerine Etkiyen Yükler	17
1.5.1. Zati Yükler	18
1.5.2. Hareketli Yükler.....	18
1.5.3. Sismik Yükler	19
1.6. Öngerilmeli Betonarme Köprülere Elastomer Mesnet Tanımlanması ve Kesit Açıklanması	21
1.6.1. Elastomer Mesnetlerin Avantajları	22
1.6.2. Elastomer Mesnetlerin Dezavantajları	23
1.6.3. Elastomer Mesnetlerin Özellikleri	24
1.7. Analiz Yöntemleri.....	26

1.7.1.	Doğrusal Analiz Yöntemi	26
1.7.1.1.	Doğrusal Statik Analiz Yöntemi	26
1.7.1.2.	Doğrusal Dinamik Analiz Yöntemi	26
1.7.1.2.1.	Mod Birleştirme Analiz Yöntemi (Spektrum Analizi)	27
1.7.1.2.2.	Zaman Tanım Alanı Yöntemi	27
1.7.2.	Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemleri	27
1.7.2.1.	Doğrusal Olmayan İtme Analizi	27
1.7.2.2.	Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz.....	28
1.8.	Köprülerin Deprem Etkisi Altında Performans Değerlendirilmesi.....	29
1.8.1.	Dayanıma Göre Tasarım (DGT) Yöntemleri	29
1.8.2.	Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım (ŞGT) Yöntemleri	29
1.8.3.	Deprem Hasar Performans Düzeyleri	30
1.8.3.	Deprem Düzeyleri	31
1.9.	Doğrusal Olmayan Dinamik Analizlerde Dikkate Alınacak Davranış	32
1.9.1.	Newmark Yöntemine Göre Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz	32
1.9.2.	Kütle Atalet Momenti	32
1.9.3.	Sönüm	33
1.9.4.	Plastik Mafsallı Hipotezi.....	33
1.9.5.	Doğrusal Olmayan Yöntemde Kullanılan Sargılı, Sargısız Beton Modelleri ve Donatı Çeliği Modeli.....	34
1.9.6.	Kolon Momenti-Eğrilik Analizi.....	37
1.9.7.	Kolon Akma Yüzeyleri	39
1.10.	Köprü Analizinde Yapılan Kabuller	40
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	41
2.1.	Köprü Bilgileri	41
2.2.	Malzeme Bilgileri	43
2.3.	Köprü Analizinde Dikkate Alınacak Yüklemeler	43
2.4.	Karadere Köprüsünün SAP2000’de Bilgisayar Modellemesi	47
2.5.	Elastomer Mesnet Özelliklerin Hesabı ve Modele Aktarılması.....	48
2.6.	Doğrusal Olmayan Analiz Parametrelerinin Belirlenmesi.....	49
2.6.1.	Plastik Mafsallı Boyunun Belirlenmesi.....	49
2.6.2.	Kolonlarda Moment Eğrilik ve Normal Kuvvet-Moment (P-M) Etkileşim Yüzeyi İlişkisinin Belirlenmesi.....	50
2.7.	Modellenen Köprüde Analizlerin Yapılması	53
3.	BULGULAR VE İRDELEMELER.....	54

3.1.	Köprü Modelleri İçin Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi.....	54
3.1.1.	Köprü Modellerinden Elde Edilen Modal Analiz Değerleri	54
3.1.2.	Köprü Modelinden Elde Edilen Yerdeğiştirmeler, Taban Kesme Kuvvetleri ve Kıyaslama Sonuçları	57
3.1.2.1.	0.146g Maksimum İvme Değerine Sahip Kocaeli Deprem İçin Öngerilme Kirişlerde ve Dairesel Kolonlarda Oluşan Yerdeğiştirme ve Taban Kesme Kuvvet Değerleri.....	57
3.1.2.1.1.	0.146g Maksimum İvme Değerine Sahip Kocaeli Deprem İçin Öngerilme Kirişlerde ve Dairesel Kolonlarda Oluşan Yerdeğiştirmeler	57
3.1.2.1.2.	0.146g Maksimum İvme Değerine Sahip Kocaeli Deprem İçin Öngerilme Kirişlerde ve Dairesel Kolonlarda Oluşan Kesme Kuvveti Değerleri	61
3.1.2.2.	0.206g Maksimum İvme Değerine Sahip Kocaeli Deprem İçin Öngerilme Kirişlerde ve Dairesel Kolonlarda Oluşan Yerdeğiştirme ve Taban Kesme Kuvvet Değerleri.....	64
3.1.2.2.1.	0.206g Maksimum İvme Değerine Sahip Kocaeli Deprem İçin Öngerilme Kirişlerde ve Dairesel Kolonlarda Oluşan Yerdeğiştirmeler	64
3.1.2.2.2.	0.206g Maksimum İvme Değerine Sahip Kocaeli Deprem İçin Öngerilme Kirişlerde ve Dairesel Kolonlarda Oluşan Taban Kesme Kuvveti	67
3.1.2.3.	0.292g Maksimum İvme Değerine Sahip Kocaeli Deprem İçin Öngerilme Kirişlerde ve Dairesel Kolonlarda Oluşan Yerdeğiştirme ve Taban Kesme Kuvvet Değerleri.....	70
3.1.2.3.1.	0.292g Maksimum İvme Değerine Sahip Kocaeli Deprem İçin Öngerilme Kirişlerde ve Dairesel Kolonlarda Oluşan Yerdeğiştirmeler	70
3.1.2.3.2.	0.292g Maksimum İvme Değerine Sahip Kocaeli Depremi İçin Öngerilme Kirişlerde ve Dairesel Kolonlarda Oluşan Taban Kesme Kuvveti	74
3.1.3.	0.146g, 0.206g ve 0.292g Maksimum İvme Değerlerine Sahip Kocaeli Depremi İçin Elde Edilen Yerdeğiştirme ve Taban Kesme Kuvveti Sonuçları	77
3.1.3.1.	0.146g, 0.206g ve 0.292g Maksimum İvme Değerlerine Sahip Kocaeli Depremi İçin Elde Edilen Yerdeğiştirme Sonuçları	77
3.1.3.2.	0.146g, 0.206g ve 0.292g Maksimum İvme Değerlerine Sahip Kocaeli Depremi İçin Elde Edilen Taban Kesme Kuvveti Sonuçları	82
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	85
5.	KAYNAKLAR	88

ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

DİNAMİK YÜKLERE MARUZ İKİ AÇIKLIKLI PREKAST ÖNGERİLMELİ
KARAYOLU KÖPRÜLERİNİN DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN
ANLİZERİNDE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ.

Mohammad Tordi KARIMI

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Kemal HACİEFENDİOĞLU

2019, 91 Sayfa

Bu tez çalışmasında, Trabzon'un Araklı ilçesinde bulunan iki açıklıklı öngerilmeli I kirişli Karadere köprüsünün doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri, sonlu eleman yöntemi kullanılarak değerlendirilmeye çalışılmıştır. Köprü'nün sonlu eleman yöntemi için SAP2000 paket programı kullanılmış ve bu program yardımıyla, benzeştirilmiş üç deprem ivme kaydı kullanılarak köprü'nün, farklı çaplara ve yüksekliğe sahip kolonlarının dinamik davranışları incelenmiştir. Bu amaçla, köprü'nün kolonları ve öngerilmeli kirişlerinde oluşan yerdeğiştirmeler, taban kesme kuvvetleri ve deprem performans düzeyleri elde edilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca XTRACT programı ile doğrusal olmayan analizler için moment-eğrilik ve kuvvet-moment (P-M) etkileşim yüzey değerleri elde edilmiş ve SAP2000 programına gerekli veriler işlenerek plastik mafsallı analizleri gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışması dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde; genel bilgiler, literatür çalışmaları, öngerilmeli I-kirişli köprülerin hesap ve tasarımı ile ilgili genel bilgiler ve formülasyon yöntemleri verilmektedir. İkinci bölüm; köprü ile ilgili yapılan çalışmaları, malzeme bilgilerini ve uygulanan yüklerin tanımlamalarını içermektedir. Üçüncü bölümde; elde edilen bulgu ve irdellemelere yer verilmektedir. Dördüncü bölüm; tez çalışmasından elde edilen sonuç ve önerilerden oluşmaktadır. Son olarak, referanslar ve özgeçmiş sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Prekast Karayolu Köprüsü, Malzeme Özelliği, Modal Analiz, Elastomer Mesnet, yerdeğiştirmeler, Sonlu Eleman Model

Master Thesis

SUMMARY

DYNAMIC PERFORMANCE EVALUATION OF TWO-SPAN PRECAST-
PRESTRESSED CONCRETE HIGHWAY BRIDGES BY LINEAR AND NONLINEAR
ANALYSIS METHODS

Mohammad Tordi KARIMI

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Kemal HACIEFENDİOĞLU
2019, 91 Pages

In this thesis, linear and nonlinear time history analyses of two-span prestressed I-beam Karadere highway bridge located in Araklı district of Trabzon are evaluated by using finite element method. The SAP2000 package program was used for the finite element analyses of the bridge and the dynamic behavior of the bridge and its columns with different diameters and heights were investigated using three simulated earthquake accelerations. For this aim, the displacements, base shear forces and seismic performance levels of the columns and prestressed beams of the bridge were obtained, and the results were compared. Moreover, moment-curvature and force-moment (P-M) interaction surface values for nonlinear analysis are obtained with the help of XTRACT program and plastic hinge analysis was performed by processing the necessary data to SAP2000 program.

This thesis contains four chapters. The first chapter include general information about bridge, literature studies related to the topic, formulations methods related to calculation and design of prestressed I-beams. The informations about the bridge, material and loads applied on the bridge are given in the second chapter. The third chapter contain the findings and investigations obtained from thesis studies. The fourth chapter consists of the results and suggestions. Finally, references and Curriculum vitae are presented.

Keywords: Precast Highway Bridge, Material Properties, Modal Analysis, Elastomer Bearing, displacements, Finite Element Model.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Basit ve Öngerilme kirişin bir yük altında davranışı	8
Şekil 1.2.	Betonun gerilme-şekildeğiştirme grafiği (URL-1, 2018)	9
Şekil 1.3.	Öngerilme çeliği (URL-2, 2018)	11
Şekil 1.4.	Öngerilme çeliğin ayrıntıları (URL-3, 2018).....	11
Şekil 1.5.	Öngerme yönteminde çeliğe yük uygulanması.....	12
Şekil 1.6.	Öngerme yönteminde beton dökülmesi	12
Şekil 1.7.	Öngerme yönteminde öngerilme çeliğinin kesilmesi	12
Şekil 1.8.	Öngerilme yatağı hazırlandıktan sonra boş kanallar bırakılarak betonun dökülmesi.....	13
Şekil 1.9.	Beton gerekli dayanıma ulaştığında kriko yardımıyla tendonların gerilmesi	13
Şekil 1.10.	Halatlar gerilmesi ile tendonların iki taraftan ankarajlanması.....	13
Şekil 1.11.	Eksenel öngerme kuvveti.....	13
Şekil 1.12.	Eksantrik öngerme kuvveti	14
Şekil 1.13.	Eksantrik öngerme kuvveti; sistemin zati ağırlık ve hareketli yüklerin etkimesi durumu	15
Şekil 1.14.	Öngerilme kayıpları	16
Şekil 1.15.	Çeliğin gevşemesi sonucu çelikte gerilme kaybı (Ali, 2010).....	17
Şekil 1.16.	Köprünün zati yükleri	18
Şekil 1.17.	Kamyon ve şerit yükleri (Uluğ, 2008).....	19
Şekil 1.18.	Elastomer mesnet yastığı ve mesnetlerin üst ve alt yapıyla bağlantısı (URL-(4-5), 2018)	21
Şekil 1.19.	Elastomer mesnetin kesit açıklanması	22
Şekil 1.20.	Orta ayak ve kenar ayakta elastomerin üst ve alt yapı bağlantısı	23
Şekil 1.21.	Doğrusal olmayan analizde oluşan performans grafiği	28
Şekil 1.22.	Sabit tabanlı konsol kolonu için yerel deplasman kapasitesi (Caltrans, 2004).....	34
Şekil 1.23.	Dikdörtgen kolonda Sargılama etkisi (Yüksel, 2008)	35
Şekil 1.24.	Sargılı ve sargısız betonun gerilme-şekildeğiştirme diyagramı (TBDY, 2016).....	36
Şekil 1.25.	Donatı çeliği gerilme-şekildeğiştirme diyagramı (TBDY, 2016).....	37

Şekil 1.26.	Moment eğrilik grafiği (Caltrans, 2004).....	38
Şekil 1.27.	Dinamik Analiz için İdealize Edilmiş Moment Eğrilik İlişkisi (Aviram vd., 2008).....	39
Şekil 1.28.	Basınç normal kuvveti ile moment (P-M) etkileşim akma yüzeyi (TBDY, 2016).....	40
Şekil 2.1.	Köprü'nün plan görünüşü	41
Şekil 2.2.	Köprü'nün boy kesiti	42
Şekil 2.3.	Başlık kirişin en kesiti	42
Şekil 2.4.	Köprü'nün I 100'lük öngerilmeli kirişin a) halat detayları ve b) en kesiti	42
Şekil 2.5.	Köprü'nün tabliye en kesiti.....	43
Şekil 2.6.	0.146g maksimum ivme değeri için üretilmiş yapay Kocaeli depremi ivme-zaman grafiği.....	45
Şekil 2.7.	0.146g maksimum ivme değeri için üretilmiş yapay Kocaeli depremi hız-zaman grafiği	45
Şekil 2.8.	0.206g maksimum ivme değeri için üretilmiş yapay Kocaeli depremi ivme-zaman grafiği.....	45
Şekil 2.9.	0.206g maksimum ivme değeri için üretilmiş yapay Kocaeli depremi hız-zaman grafiği	46
Şekil 2.10.	0.292g maksimum ivme değeri için üretilmiş yapay Kocaeli depremi ivme-zaman grafiği.....	46
Şekil 2.11.	0.292g maksimum ivme değeri için üretilmiş yapay Kocaeli depremi hız-zaman grafiği	46
Şekil 2.12.	Karadere köprüsünün bilgisayar modeli	47
Şekil 2.13.	Köprü modelinin açıklanması.....	48
Şekil 2.14.	XSTRACT programına tanımlanan C25 sargılı ve sargısız beton gerilme-birim şekildeğiştirme grafiği.....	50
Şekil 2.15.	XSTRACT programına tanımlanan S420 çelik gerilme- birim şekildeğiştirme grafiği	50
Şekil 2.16.	XSTRACT programında kolon yüksekliği 4.5m ve kolon çapı 1.6m için moment-eğrilik ilişkisi.....	51
Şekil 2.17.	XSTRACT programında kolon yüksekliği 4.5m ve kolon çapı 1.6m için moment eğrilik değerlerinin SAP2000 programına tanımlanması	52
Şekil 2.18.	XSTRACT programında yüksekliği 4.5m ve çapı 1.6m olan kolon basınç kuvveti ile moment-x eksenini (P-M) etkileşim yüzeyi.....	52
Şekil 2.19.	XSTRACT programında yüksekliği 4.5m ve çapı 1.6m olan kolon için (P-M) etkileşim yüzeyi değerlerinin SAP2000 programına tanımlanması.....	53
Şekil 3.1.	Mod 1. (T1=0.636)	54
Şekil 3.2.	Mod 2. (T2=0.629)	55
Şekil 3.3.	Mod 3. (T3=0.520)	55

Şekil 3.4.	3m, 4.5m, 7.5m ve 10m yüksekliğe sahip, 1.3m, 1.6m ve 1.9m çaplarındaki köprü kolonları için elde edilen modal analiz sonuçları	57
Şekil 3.5.	0.146g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için doğrusal ve doğrusal olmayan analizler için önerilmeli kirişte elde edilen yerdeğiştirme-zaman grafiği.....	58
Şekil 3.6.	0.146g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için kolon çapı ve yüksekliğine bağlı olarak önerilmeli kirişte oluşan yerdeğiştirme değerleri	59
Şekil 3.7.	0.146g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi ile 1.3m çaplı ve 4.5m yükseklikli kolon için doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonucunda oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği	59
Şekil 3.8.	0.146g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depreminin doğrusal analiz sonucu oluşan kolon yerdeğiştirme değerleri.....	60
Şekil 3.9.	0.146g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depreminin doğrusal olmayan analiz sonucu oluşan kolon yerdeğiştirme değerleri.....	60
Şekil 3.10.	0.146g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi ile 1.9m çaplı ve 3m yükseklikli kolon için doğrusal analiz sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti-zaman grafiği.....	62
Şekil 3.11.	0.146g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi ile 1.9m çaplı ve 3m yükseklikli kolon için doğrusal olmayan analiz sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti-zaman grafiği	62
Şekil 3.12.	0.146g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için kolon çapı ve yüksekliğine bağlı olarak doğrusal analiz sonucu oluşan taban kesme kuvvet değerleri	63
Şekil 3.13.	0.146g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için kolon çapı ve yüksekliğine bağlı olarak doğrusal olmayan analiz sonucu oluşan taban kesme kuvvet değerleri	63
Şekil 3.14.	0.206g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için doğrusal ve doğrusal olmayan analizler için önerilmeli kirişte elde edilen yerdeğiştirme-zaman grafiği.....	64
Şekil 3.15.	0.206 maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için kolon çapı ve yüksekliğine bağlı olarak önerilmeli kirişte oluşan yerdeğiştirme değerleri	65
Şekil 3.16.	0.206g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi ile 1.3m çaplı ve 4.5m yükseklikli kolon için doğrusal analiz sonucunda oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği.....	65
Şekil 3.17.	0.206g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi ile 1.3m çaplı ve 4.5m yükseklikli kolon için doğrusal olmayan analiz sonucunda oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği.....	66
Şekil 3.18.	0.206 maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için doğrusal analiz sonucu oluşan kolon yerdeğiştirme değerleri.....	66
Şekil 3.19.	0.206 maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için doğrusal olmayan analiz sonucu oluşan kolon yerdeğiştirme değerleri.....	67

Şekil 3.20.	0.206g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi ile 1.9m çaplı ve 3m yükseklikli kolon için doğrusal analiz sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti-zaman grafiği.....	68
Şekil 3.21.	0.206g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi ile 1.9m çaplı ve 3m yükseklikli kolon için doğrusal olmayan analiz sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti-zaman grafiği	68
Şekil 3.22.	0.206g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için kolon çapı ve yüksekliğine bağlı olarak doğrusal analiz sonucu oluşan taban kesme kuvvet değerleri	69
Şekil 3.23.	0.206g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için kolon çapı ve yüksekliğine bağlı olarak doğrusal olmayan analiz sonucu oluşan taban kesme kuvvet değerleri	69
Şekil 3.24.	0.292g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için doğrusal analiz sonucunda önerilmeli kırışte oluşan zamana bağlı yerdeğiştirmeler	71
Şekil 3.25.	0.292g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için doğrusal olmayan analiz sonucunda önerilmeli kırışte oluşan zamana bağlı yerdeğiştirmeler	71
Şekil 3.26.	0.292g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için kolon çapı ve yüksekliğine bağlı olarak önerilmeli kırışte oluşan yerdeğiştirme değerleri	72
Şekil 3.27.	0.292g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi ile 1.3m çaplı ve 4.5m yükseklikli kolon için doğrusal analiz sonucunda oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği.....	72
Şekil 3.28.	0.292g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi ile 1.3m çaplı ve 4.5m yükseklikli kolon için doğrusal olmayan analiz sonucunda oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği.....	73
Şekil 3.29.	0.292 ivme değerine sahip Kocaeli depremi için kolon çapı ve yüksekliğine bağlı olarak doğrusal analiz ile elde edilen yerdeğiştirme değerleri	73
Şekil 3.30.	0.292 ivme değerine sahip Kocaeli depremi için kolon çapı ve yüksekliğine bağlı olarak doğrusal olmayan analiz ile elde edilen yerdeğiştirme değerleri	74
Şekil 3.31.	0.292g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi ile 1.9m çaplı ve 3m yükseklikli kolon için doğrusal analiz sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti-zaman grafiği.....	75
Şekil 3.32.	0.292g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi ile 1.9m çaplı ve 3m yükseklikli kolon için doğrusal olmayan analiz sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti-zaman grafiği	75
Şekil 3.33.	0.292 maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için kolon çapı ve yüksekliğine bağlı olarak doğrusal analiz ile elde edilen taban kesme kuvveti değerleri	76

Şekil 3.34.	0.292 ivme değerine sahip Kocaeli depremi için kolon çapı ve yüksekliğine bağlı olarak doğrusal olmayan analiz ile elde edilen taban kesme kuvveti değerleri	76
Şekil 3.35.	0.146g, 0.206g ve 0.292g maksimum ivme değerlerine sahip Kocaeli depremi için 1.6m kolon çapına bağlı olarak doğrusal analiz ile elde edilen önerilmeli kirişte oluşan yerdeğiştirme değerleri	78
Şekil 3.36.	0.146g, 0.206g ve 0.292g maksimum ivme değerlerine sahip Kocaeli depremi için 1.6m kolon çapına bağlı olarak doğrusal analiz ile kolonda oluşan yerdeğiştirme değerleri	79
Şekil 3.37.	0.146g, 0.206g ve 0.292g maksimum ivme değerlerine sahip Kocaeli depremi için 1.6m kolon çapına bağlı olarak doğrusal olmayan analiz ile kolonda oluşan yerdeğiştirme değerleri	79
Şekil 3.38.	0.146g, 0.206g ve 0.292g maksimum ivme değerlerine sahip Kocaeli depremi için doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonucu kolonda elde edilen yerdeğiştirme değerleri	80
Şekil 3.39.	0.146g, 0.206g ve 0.292g maksimum ivme değerlerine sahip Kocaeli depremi için 1.9m kolon çapına bağlı olarak doğrusal analiz sonucu kolonda elde edilen taban kesme kuvveti değerleri	82
Şekil 3.40.	0.146g, 0.206g ve 0.292g maksimum ivme değerlerine sahip Kocaeli depremi için 1.9m kolon çapına bağlı olarak doğrusal olmayan analiz sonucu kolonda elde edilen taban kesme kuvveti değerleri	83
Şekil 3.41.	0.146g, 0.206g ve 0.292g maksimum ivme değerlerine sahip Kocaeli depremi için doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonucu kolonda elde edilen taban kesme kuvveti değerleri	84

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1.	AASHTO şartlamasında farklı sertliklerde bulunan elastomer özellikleri.....	24
Tablo 1.2.	Analiz yöntemleri (URL-6, 2018)	26
Tablo 1.3.	Çeşitli köprüler için deprem seviyelerinde kullanılacak tasarım yöntemleri (Demiryolları ve Limanlar, 2008)	30
Tablo 1.4.	Çeşitli deprem düzeylerinde hedeflenen performans düzeyleri (Demiryolları ve Limanlar, 2008).....	31
Tablo 1.5.	Kolon ayakların plastik kesitleri için verilen birim şekildeğiştirme (Demiryolları ve Limanlar, 2008).....	34
Tablo 1.6.	Donatı çeliklerine ait karakteristik özellikleri (TBDY, 2016).....	37
Tablo 2.1.	Zaman tanım alanı analizleri için deprem kayıtları	44
Tablo 2.2.	Elastomer mesnet özellikleri.....	48
Tablo 2.3.	Plastik mafsal boyu ve kontrolü	50
Tablo 3.1.	Kolon yüksekliği 3m ve 4.5m için modal analiz sonucunda elde edilen modal periyot değerleri.....	56
Tablo 3.2.	Kolon yüksekliği 7.5m ve 10m için modal analiz sonucunda elde edilen modal periyot değerleri.....	56
Tablo 3.3.	Farklı kolon yüksekliklerine ve çaplarına göre köprüye ait 1.Mod değerleri	56
Tablo 3.4.	0.146g ivme değerine sahip Kocaeli depremi için öngerilmeli kirişlerde ve dairesel kolonlarda oluşan yerdeğiştirme değerleri	61
Tablo 3.5.	0.146g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için kolon yükseklikleri ve çaplarına bağlı taban kesme kuvvet değerleri.....	63
Tablo 3.6.	0.206g ivme değerine sahip Kocaeli depremi için öngerilmeli kirişlerde ve dairesel kolonlarda oluşan yerdeğiştirme değerleri	67
Tablo 3.7.	0.206g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için kolon yükseklikleri ve çaplarına bağlı taban kesme kuvvet değerleri.....	70
Tablo 3.8.	0.292 ivme değerine sahip Kocaeli depremi için öngerilmeli kirişlerde ve dairesel kolonlarda oluşan yerdeğiştirme değerleri	74
Tablo 3.9.	0.292g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için kolon yükseklikleri ve çaplarına bağlı taban kesme kuvvet değerleri.....	77
Tablo 3.10.	0.146g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için köprü enine doğrultusunda kolonda meydana gelen plastikleşme eğrilik değerleri.....	80

Tablo 3.11. 0.206g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için köprü enine doğrultusunda kolonda meydana gelen plastikleşme eğrilik değerleri..... 81

Tablo 3.12. 0.292 maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için köprü enine doğrultusunda kolonda meydana gelen plastikleşme eğrilik değerleri..... 82



SEMBOLLER DİZİNİ

\bar{k}	Elastomerin sertliğine bağlı bir sabit değer
H_r	Elastomer katmanların toplam kalınlığı
ζ	Sönüm oranı
ω_d	Yapının doğal açısal frekansı
$\dot{u}(t)$	Yapının hızı
$\ddot{u}(t)$	Yapının ivmesi
$\ddot{u}_g(t)$	Yapının yer ivmesi
$u(t)$	Yapının yerdeğiştirmesi
θ_p	Plastik dönme
ϕ_p	Plastik eğriliği
ϕ_u	Kapasite eğriliği
ϕ_t	Toplam mafsal eğrilik
ϕ_y	Akma eğriliği
f_s	Öngerilme çeliğin çekme gerilmeleri
Δ	Değişim oranı
A	Kesit alanı
AASHTO LRFD	American Associations of State Highway and Transportation Officials Load and Resistance Factor Design
AASHTO	American Associations of State Highway and Transportation Officials
A_e	Elastomer alanı
a_i	Düşey donatıların eksenler arasındaki mesafe
A_s	Donatı çelik alanı
b_o	Göbek betonunda sargılanmış etriyelerin eksenler arasında kalan kesit genişliği
c	Yapının sönümü
D1	50 yıl içerisinde aşıllma olasılığı %50 olan deprem
D2	50 yıl içerisinde aşıllma olasılığı %10 olan deprem
D3	50 yıl içerisinde aşıllma olasılığı %2 olan deprem

DBYBHY	Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik
D_c	Köprü ölü yük ya betonarme ağırlığı
DGT	Dayanıma Göre Tasarım
DLH	Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Havameydanları İnşaatları Deprem Teknik Yönetmeliği
DOT	Department of transportation (Ulaştırma departmanı)
D_w	Asfalt Kaplama ağırlığı
D_K	Korkuluk ağırlığı
e	Eksantriklik mesafe
P_0	Öngerilme kuvveti
Z_t	Üst mukavemet momenti
Z_b	Alt mukavemet momenti
f_t	Üst beton bölgelerinde oluşan gerilmeler
f_b	Alt beton bölgelerinde oluşan gerilmeler
E	Betonun elastisite modülü
E_e	Elastomer elastisite modülü
E_s	Donatı çeliğinin elastisite modülü
F_m	Kablonun karakteristik dayanımı
f_c	Betonun basınç gerilmesi
f_{cc}	Sargılı beton dayanımı
f_{ck}	Öngerilme betonun karakteristik dayanımı
f_{co}	Sargısız betonun basınç dayanımı
f_e	Etkili sargılama basıncı
f_s	Donatı çeliğin gerilmesi
f_{su}	Donatı çeliğinin kopma dayanımı
f_{sy}	Donatı çeliğinin akma dayanımı
f_{yw}	Enine donatının akma dayanımı
G	Beton kayma modülü
G_e	Elastomer kayma modülü
GH	Göçme Hasarı Durumu
h_o	Göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit genişliği
h_r	Elastomer katmanın kalınlığı
I_e	Elastomer atalet momenti

I	Kesit atalet momenti
i	Katmanların sayı sembolü
$\dot{I}H$	İleri Hasar Performans Düzeyi
k	Yapının rijitliği
k_e	Sargılama katsayısı
K_H	Elastomer eksenel rijitliği
KH	Kontrollü Hasar Performans Düzeyi
K_R	Elastomer dönme rijitliği
K_V	Elastomer kayma rijitliği
L_e	Paralel yönüne köprü boyuna mesnet uzunluğunu
m	Yapının kütlesi
M	Moment
M_g	Ölü yük momenti
MH	Minimum Hasar Performans Düzeyi
M_q	Hareketli yük momenti
s	Etriye aralığı
SAP2000	Integrated software for structural analysis and design
S_i	Şekil katsayısı
S_{ov}	Genel şekil katsayısı
ŞGT	Şekildeğiştirmeye Göre Tasarım
T	Periyot
t	Zaman
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TS	Türk standart
TS-3233	Öngörilmeli beton yapıların hesap ve yapım kuralları
TS-500	Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları
TSDS	Tek serbestlik dereceli sistemler
W_e	Dik yönüne köprü boyuna mesnet genişliğini
XTRACT	Cross-sectional x structural analysis of components
ZTY	Zorlanmış titreşim yöntemi
ϵ_c	Betonun şekildeğiştirmesi
ϵ_{cu}	Sargılı betondaki maksimum basınç şekildeğiştirmesi
ϵ_s	Donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki şekildeğiştirmesi

ϵ_{su}	Donatı çeliğinin kopma şekildeğiştirmesi
ϵ_{sy}	Donatı çeliğinin akma şekildeğiştirmesi
ρ_s	Toplam enine donatının hacımsal oranı
ρ_x, ρ_y	İlgili doğrultulardaki enine donatı hacim oranı
σ_c	Beton basınç gerilmesi
ν	Poisson oranı



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Köprüler, insanoğlunun ulaşımını engelleyen nehir, vadi veya benzeri doğal engelleri aşmak için inşa edilen yapılardır. Günümüzde büyük açıklıkları geçmek için kafes sistemli köprüler, konsol köprüler, asma köprüler, kablolu köprüler ve öngerilmeli beton kirişli köprüler kullanılmaktadır. Bunların aralarında en yaygın kullanılanı öngerilmeli beton kirişli köprülerdir. Bunun sebebi ise, öngerilmeli beton kirişli köprülerin hızlı inşası ve düşük maliyetli olmasıdır.

Köprü üzerine gelen yükleri güvenli bir şekilde taşıyabilmesi için tasarlanması gerekmektedir. Köprülere etki eden yüklerin en önemlisi de deprem yüküdür. Özellikle depremin yoğun olduğu bölgelerde bulunan köprüler, deprem yüklerini hem deprem sırasında hem de depremden sonra güvenli bir şekilde taşıyabilmesi için önem arz etmektedir.

Türkiye topraklarının %93'ü aktif deprem kuşağı üzerinde yer almaktadır. Yapılaşmadaki yetersizlikler ve hatalar deprem anında yapılarda büyük hasarlara yol açmaktadır. Bunun sonucunda çok sayıda can ve mal kayıpları olmaktadır. Türkiye aktif deprem kuşağında yer aldığı için ülkemizde çok sayıda yıkıcı depremler olmuştur ve olacaktır; bu sebeple depreme karşı önlem alınması zorunluluğu ortaya çıkmıştır (Özgen vd., 2001).

Depreme dayanıklı yapı tasarımında, depremin şiddetine göre yapıların kabul edilebilir sınırlar içerisinde hasar alabileceği göz önüne alınmaktadır. Deprem yönetmenliğinde, meydana gelebilecek hafif şiddetteki depremlerde kolon, kiriş, perde gibi taşıyıcı sistem elemanlarında, yapısal hasarların oluşması istenmemektedir. Orta şiddetteki depremlerde, kolon, kiriş, perde gibi taşıyıcı olan elemanlarda onarım ve güçlendirme yapılabilecek düzeyde, taşıyıcı olmayan elemanlarda ise yapısal hasarlara izin verilmektedir. Yapı ömrü içinde çok şiddetli depremlerde taşıyıcı elemanlarda bir kez onarılamayacak derecede hasarlar oluşabilir. Yine de bu can kaybı meydana getirecek yıkımlar olmamalıdır (Başegmez 2007).

1.2. Konuyla İlgili Daha Önce Yapılmış Çalışmalar

Wilde vd. (2000), deprem etkisine maruz, tabliye ve mesnet arasında katı bir bağlantı sağlayan şekil hafızalı alaşım (SMA) ile oluşturulan köprülerin sismik davranışını incelemişlerdir. Önerilen izolasyon sisteminin karakteristiklerini belirlemek için SMA'nın doğrusal olmayan davranışı kullanılmıştır.

Fajfar (2000), yapıların sismik analizleri için nispeten doğrusal olmayan bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntem, tek serbestlik dereceli bir eşdeğer sistemin davranış spektrum analizi ile çok serbestlik dereceli sistemin statik itme analizini içermektedir. Çalışmada, önerilen yöntem, FEMA 273 ve ATC 40 doğrusal olmayan statik analiz işlemlerinin benzerlikleri ve farklılıkları sunulmuştur.

Yazdani vd. (2000), köprü kirişlerinden gelen düşey yükleri desteklemek, ısıl genleşme ve büzülme, trafik yükleri, elastik kısalma ve zaman içindeki beton değişimlerinden ötürü kirişlerin yatay olarak hareket etmesine izin vermek için elastomer mesnet pabuçları tasarlamışlardır. Bu çalışmada, AASHTO mesnet rijitlik özelliklerini doğrulamak için sonlu elemanlar modellemesi yapılmıştır. Florida DOT mesnet pabuçlarının rijitlik özellikleri, çeşitli elastomer kesme modül değerleri altında teorik olarak belirlenmiştir. AASHTO III ve V tipi kirişlerinin sonlu elemanlar modelleri statik kamyon yüklerine maruz bırakılmıştır. Bu çalışmaya dayanarak, AASHTO önerilmeli I kirişli betonarme köprülerin tasarımında yatay mesnet kısıtlamasının etkilerinin göz ardı edilmesi önerilmektedir.

Deng vd. (2001), çalışmalarında betonarme kiriş köprülerinin doğrusal olmayan analizi için klasik ızgara yönteminin doğruluğunu göstermişlerdir. Önerilmeli beton kiriş köprülerindeki doğrusal olmayan özelliklerin modellenmesi için iki adet 1/3 ölçeğinde önerilmeli beton kiriş modeli ve 1/3 ölçeğinde önerilmeli beton kiriş köprü modeli üzerinde yapılan test sonuçlarının kapsamlı bir incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı, önerilme betonarme kirişli köprülerin doğrusal olmayan analizi için ızgara yönteminin geçerliliğinin değerlendirilmesinin yanı sıra plastifikasyon ve plastik mafsal uzunluğunu incelemektir. Yük deplasman davranışının ayrıntılı tanımlarını elde etmek için önerilmeli beton köprülerin nihai kapasitelerini fonksiyon sınırına kadar inceleyen basit ampirik formül kullanılmıştır.

Green vd. (2001), önerilmeli eğimli köprü kirişlerinin tasarımında genel olarak basit mesnet koşullarıyla karşılaştırıldığında kiriş üzerindeki olumlu etkilerini incelemişlerdir. Bu

olumlu etkilerin, köprü kiriş eğiminin artmasına, yerdeğiştirme ve gerilmelerin azalmasına ve toplam maliyetin azalmasına neden olmuştur.

Hasan vd. (2002), bina çerçevelerinin deprem yüklemesi altında performansa dayalı tasarımı için basit bir bilgisayar tabanlı itme analizi tekniği üzerinde çalışmışlardır. Bu teknik, genel olarak elastik analizin geleneksel yerdeğiştirme yöntemine dayanmaktadır. Plastifikasyon derecesini ölçen bir plastisite faktörünün kullanılmasıyla, kolon-kiriş gibi çerçeve elemanları için standart elastik ve geometrik rijitlik matrisleri, sabit yerçekim yükleri altında doğrusal olmayan elastik-plastik davranışı hesaba katacak şekilde aşamalı olarak değiştirilmiştir. Analizler, artan şiddetli deprem hareketi etkisine maruz bırakıldığında çerçeve elemanlarının ve yapısal sistemlerinin aşamalı plastikleştirilmesini izleyebilme olanağı sağlamıştır.

Chopra vd. (2004), çalışmalarında modal itme analiz ile yüksek modların elastik etkisini modal kombinasyon kurallarını (SRSS gibi) kullanarak itme analizinin elastik olmayan tepkisini incelemişlerdir. Yapılan çalışma, hedef (tasarım) yer hareketi için elastik olmayan bir tepki spektrumu yok ise tek serbestlik dereceli sistemin doğrusal olmayan davranış analizi yürütülmesini içermektedir.

Inel ve Özmen (2006), betonarme binaların doğrusal olmayan analizlerinde plastik mafsallık özelliklerinin etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada, varsayılan ve kullanıcı tanımlı doğrusal olmayan mafsallık nedeniyle itme analiz sonuçlarındaki olası farklılıklar ortaya konulmuştur. Çalışmalarının sonuçları, varsayılan mafsallık özelliklerinin yanlış kullanılmasının, mevcut yapılar için makul olmayan yerdeğiştirme kapasitelerine neden olabileceğini göstermiştir.

Kalkan ve Kunnath (2007), NSP'nin ve NTH analizinden elde edilen kıyaslamalar karşılaştırılarak, tipik çelik ve betonarme binaların göze çarpan davranış özelliklerini araştırmışlardır. NTH analizinde çeşitli yer hareketi özelliklerini dikkate almak için uzak fay kayıtlarından ileri yönlendirme davranışına sahip olan fay hareketlerini içeren zaman dizisi kullanılmıştır. Analitik çalışmasından elde edilen sonuçlar, uyarlanabilir modal kombinasyonunun araştırmada incelenen diğer NSP'lerden daha tutarlı bir şekilde davranış olduğunu göstermiştir.

Akogul ve Celik (2008), elastomer pabuçların mekanik özelliklerini bilgisayarda modelleyerek değerlendirmişlerdir. Elastomer mesnet özellikleri sonlu eleman programında link eleman olarak temsil edilmiştir. Mesnet pabuçları köprü kiriş bağlantısı olarak bilinmekte ve köprünün sismik performansını etkilemektedir. Analiz sonuçlarına göre,

elastomer mesnetler, uzun ve esnek destek kullanıldığında sisteme ekstra rijitlik katabilir. Bu durumda yanal yükler, destekler ile köprü ayağı arasında daha uygun aktarıldığından, destek tabanındaki kesme kuvveti %50 azalmaktadır. Çalışma sonucunda, elastomer mesnetler kısa ve rijit kolonlara sahip köprülerde daha etkili hale geldiği görülmüştür.

Bae ve Bayrak (2008), çalışmalarında betonarme kolonlardaki plastik mafsallık uzunluğunu bir yaklaşımla incelemişlerdir. Betonarme kolonda deprem etkisiyle yanal yerdeğiştirmelerle birlikte ciddi hasarların oluşabileceği görülmekte ve büyük elastik olmayan eğrilikler oluşmaktadır. Bu bölgeler genellikle plastik mafsallar olarak adlandırılmaktadır. Eksenel yük ve kesme derinliği oranı (L/h) deneysel gözlemlere dayanarak yeni bir analitik yaklaşım olarak sunulmaktadır. Plastik mafsallık uzunluğunu L_p 'yi tahmin etmek için araştırma sonuçları birleştirilmiştir.

Hameed vd. (2008), kurşun kauçuk yatak (LRB) izolatörünün ve yer hareket özelliklerinin sismik izole köprülerine etkisini değerlendirmek amacıyla parametrik bir analitik araştırma yapmışlardır. Çalışma, farklı zemin hareketleri için izole edilmiş köprü sisteminin minimum deprem tepkisi için LRB'nin en uygun parametrelerini bulmayı amaçlamıştır. Çalışmada, yüksek izolatör kuvveti ve maksimum izolatör yerdeğiştirmesi, yüksek PGA/PGV oranlarına sahip yer hareketleri için daha küçük olduğu sonucuna varılmıştır.

Dowell ve Johnson (2011), kayma deformasyonlarının statik olarak belirsiz sürekli kirişler ve çerçeve yapıları üzerinde etkilerini incelemek üzere modifiye edilmiş kapalı bir yaklaşım gerçekleştirmişlerdir. Müttemadi kirişler ve köprü çerçeveleri için kayma deformasyonları analize dahil edildiğinde, rijitlik yönteminden elde edilen sonuçlara uyan uç momentlerini sağladığı görülmüştür.

Zhao vd. (2011), DIANA yazılımını kullanarak sonlu elemanlar yöntemi (SEY) ile, plastik mafsallık uzunluklarını analitik olarak hesaplamaya çalışmışlardır. Hesaplama modeli, dönme kapasitesi ve donatının gerilme dağılımları dahil olmak üzere mevcut deneysel verilerle oluşturulmuş ve doğrulanmıştır.

Shatarat (2012), karayolu köprülerinin mevcut tasarım uygulamalarını doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerine göre gerçekleştirmişlerdir. Bu tür analizleri modellemek için, SAP2000 sonlu eleman programı kullanılmıştır. Sonuçlar, kullanıcı tanımlı mafsallık modelinin, plastik mafsallık bölgesindeki yerel hasar mekanizmalarının köprünün genel davranışı üzerindeki etkisini yakalayabildiğini göstermiştir. Fakat otomatik mafsallık modelinde bu etki elde edilememiştir. Bu nedenle, otomatik mafsallık özelliklerinin plastik

mafsal bölgesinde yerel hasar mekanizmaları içerebilen eski köprüler için çok dikkatli kullanılması gerektiği vurgulanmıştır.

Gunasekaran vd. (2013), mevcut betonarme T-kiriş ve döşeme köprüsünün yapısal durumunu değerlendirmeyi ve iki sabit yer hareketi altındaki dayanıklılığını kontrol etmeyi amaçlamışlardır. Köprü'nün üç boyutlu sonlu eleman modeli SAP2000 paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda, boyuna sünekliğin enine süneklikten daha iyi performans sergilediği görülmüştür. Köprüye Kobe'ye benzer bir deprem ivme kaydı uygulandığında, köprü'nün kapasitesi daha yüksek talebi karşılamadığı için çapraz veya uzunlamasına yönde iyi bir yerdeğiştirme kapasitesi sunmadığı görülmüştür.

Mitoulis (2015), köprü elemanlarını oluşturan kolonların, temellerin ve tabliyelerin farklı kesit ölçütleri kullanılarak, köprü modellerini analiz etmişlerdir. Analizlerin sonucunda içi boş dikdörtgen kolonlar kullanıldığında, köprü sağlamlık derecesinin diğer desteklere göre yaklaşık beş kat arttığı sonucuna varılmıştır.

Wang vd. (2016), çalışmalarında sismik performansı ve sürtünmesiz öngerilmeli köprü kolonları için farklı mesnet şekillerinin düşük yük altında, düzlem ek yerleri ve kaymaya dirençli ek yerleri (mesnet) kullanılarak iki adet 3 boyutlu sonlu elemanlar (SE) modelleri için doğrusal olmayan zaman tanım analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonlu eleman (SE) modellerinde beton ve tendonların mekanik davranışı bilinear model ile tanımlanmıştır. Doğrusal olmayan zaman tanım analizleri ile, kolonların deformasyonunun esas olarak sırayla açık-kapalı mesnetlerden oluştuğunu ve kolonun yıkılmasının esas olarak kolon alt kısmı üzerindeki beton ezilmesinden kaynaklandığı sonucuna ulaşılmıştır.

Billah ve Alam (2016), çalışmalarında bir köprü'nün doğrusal olmayan sonlu eleman analizlerinin sonuçlarına dayanarak betonarme köprü iskelesinin plastik mafsal uzunluğunu araştırmak için parametrik bir çalışma yapılmışlardır. Analizleriyle eksenel yük oranı, en boy oranı, beton dayanımı, boyuna ve enine donatı oranı dahil olmak üzere farklı parametrelerin plastik mafsal uzunluğu üzerine etki ettiğini görülmüştür.

Erhan ve Dicleli (2017), çalışmalarında integral köprüler için zemin-kazık ve zemin-mesnet etkileşimlerinin ayrıntılı olarak modellenmesi üzerinde çalışmışlardır. Ayrıca, integral köprülerin sismik performansını artırmak için uygun yapısal konfigürasyonları ve jeoteknik özelliklerini belirlemek için parametrik bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu amaçla, dinamik zemin-yapı etkileşimini içeren iki açıklıklı bir integral köprü'nün doğrusal olmayan dinamik yapısal modelleri oluşturulmuştur. Çalışma ile, integral köprüler için önerilen modelleme tekniklerinin yapısal analiz programlarında uygulanması kolay olmakla birlikte,

hesaplama açısından da verimli oldukları sonucuna varılmıştır. Daha sonra modellemeler çeşitli yoğunluklarla farklı zemin hareketleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Fakat önerilen yapısal modelle dolgunun uzunluğu boyunca oluşan zemin deformasyonlarını incelemek için kullanılamaz olduğu bulgusuna ulaşılmıştır.

Raşeta vd. (2017), betonarme köprülerinin sismik performanslarını tahmin etmek için doğrusal olmayan dinamik analizini gerçekleştirmişlerdir. Analiz edilen tüm kombinasyonlarda, sürekli kirişi, desteğe ve kenar ayaklara mesnetlenmiş dört alanla (35m+50m+50m+35m) sınırlanmış ve destekler 7m, 14m ve 21m uzunluklarla zemine tamamen sabitlenmişlerdir. Bu sayede, 18 farklı kolon uzunluğu analiz edilmiştir. Geometrik doğrusal olmama durumu, $P-\Delta$ etkisiyle elde edilirken, malzeme doğrusal olmayan plastik mafsalların fiber modelleri kullanılarak analizlere dahil edilmiştir. Çalışma ile analiz varyasyonlarının köprü tabliyelerinde istenen yerel süneklik ve kritik kesişmelerin yerel sünek kapasiteleri hesaplanmıştır.

Shatarat vd. (2017), dört eski eğilimli geleneksel betonarme köprü destekleri için plastik mafsal modellerini SAP2000'deki itme analizini kullanarak gerçekleştirmeyi amaçlamıştır. Analiz sonuçları, kapasite eğrisinin plastik mafsal özelliklerine bağlı olduğunu açıkça göstermiştir. Otomatik mafsalı modellerin taban kayma kapasitesi, kullanıcı tarafından tanımlanan mafsal özelliklerine sahip modellerin kayma kapasitesinden daha az olduğu görülmüştür.

1.3. Tez Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışma ile, Türkiye'de hazırlanmış, 2008 yılında yürürlüğe giren, Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları Hava Meydanları İnşaat Deprem Teknik Yönetmeliğine katkı sağlanmıştır. Karayolu köprüleri ve viyadüklerinin tasarımı için yönetmeliklerde gereken yeterli kaynakların bulunmaması sebebiyle, bu çalışmada AASHTO ve Caltrans yönetmeliklerini dikkate alınmış ve geçmişte hasar oluşturan benzeştirilmiş üç adet deprem kaydı kullanılarak köprünün kendi ağırlığı da dikkate alınarak Karadere önerilmeli karayolu köprüsü incelenmiştir. Köprünün üç boyutlu sonlu elemanlar modeli SAP2000 kullanılarak oluşturulmuştur. Köprünün doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizi ile köprünün kolon ve önerilmeli kirişlerinde oluşan yerdeğiştirmeleri, taban kesme kuvvetleri ve deprem performans düzeyleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Genel Bilgiler bölümünde, öncelikle konun önemi ve konunun açıklaması, yapılan akademik çalışmalar ve daha sonra da köprüler hakkında genel bilgiler yer almaktadır. Öngerilmeli prefabrik kirişlerin malzeme özellikleri, öngerilme yöntemleri, öngerilmeli kirişlerin hesaplama esasları, öngerilme kayıpları, tasarımda uygulanan yük türleri, öngerilmeli betonarme köprülere elastomer mesnet tanımlanması ve kesit açıklanması, analiz yöntemleri ve doğrusal olmayan analizlerde dikkate alınacak performans davranışı hakkında genel bilgilere yer verilmektedir.

Yapılan Çalışmalar ve Bulgular bölümünde, tez çalışmasında uygulanan köprü bilgileri, kullanılan malzeme özellikleri, köprü kesitleri, sismik yükler ve köprünün sonlu eleman yöntemi ile bilgisayar modellemesine yer verilmektedir.

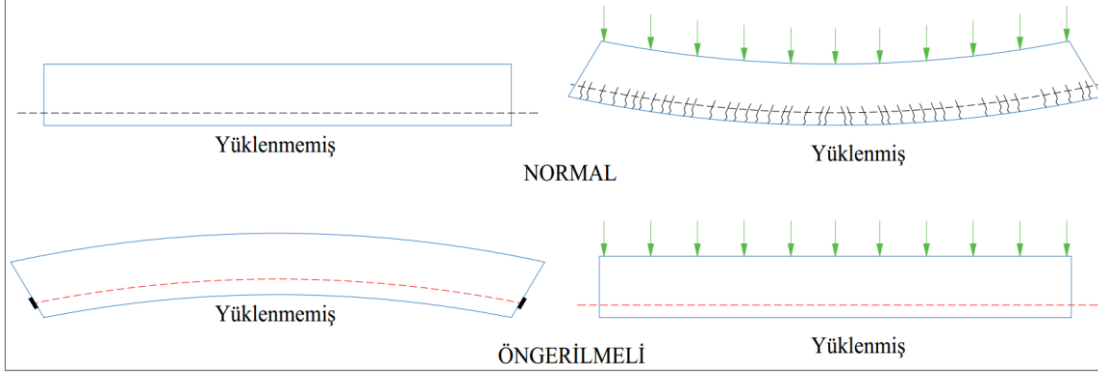
Bulgular ve İrdelemeler bölümünde, köprü modelleri için sonlu eleman programından elde edilen sonuçların değerlendirmesine ve model analizlerine, yerdeğiştirme ve taban kesme kuvvetlerine, deprem performans düzey sonuçların kıyaslamasına yer verilmektedir.

Sonuçlar ve Öneriler bölümünde ise, ulaşılan bilgiler özetlenmiş, elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve gelecek çalışmalara yol gösterebilecek bazı öneriler sunulmuştur. Bu bölümü kaynaklar ve özgeçmiş takip etmektedir.

1.4. Karayolu Köprüleri

Köprüler çeşitli amaçlar için inşa edilmektedir. Kullanım amacına göre köprülerde yapısal eleman özellikleri farklı olmaktadır. Günümüzde köprüler betonarme ve çelik elemanlardan oluşan taşıyıcı sistemler kullanılarak yapılmaktadır. Betonarme malzemeden oluşan köprüler betonarme köprüler olarak adlandırılmaktadır. Betonarme köprülerde kendi aralarında farklı türleri mevcuttur. 1900 yıllardan sonra yaygın olarak kullanılan betonarme köprülerin özel bir şekli olan öngerilmeli betonarme köprülerdir ve günümüzde de dünya çapında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Öngerilmeli betonarme köprüler normal bir betonarme köprü ile karşılaştırıldığında, maliyetinin az olması, kısa zamanda inşa edilmesi ve uzun açıklıklara kullanılmasından dolayı oldukça avantajları vardır. Öngerilme kuvveti, oluşan iç kuvvetleri azaltmak veya ortadan kaldırmak için yüksek dayanımlı halatlarla betona uygulanmakta ve böylece kirişteki oluşan çatlama kontrol etmeyi sağlamaktadır. Normal bir yapı elemanında, kesitte oluşan basınç yükünü betonla ve çekme yükünü çelik donatı ile karşılayıp kirişin eğilmemesini sağlamaktadır. Fakat betonarme bir köprüde çelik donatı eğilme direnci sağlamasına rağmen, yeniden servis yüklerine maruz kalan bir kirişte

gerilmeler ortaya çıkmaktadır. Gerilmelerin artmasıyla kirişin alt kısmında çatlamlar oluşmaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Basit ve Öngerilme kirişin bir yük altında davranışı

Öngerilmeli bir kirişi normal bir kirişle karşılaştırdığımızda, öngerilmeli betona uygulanan öngerilme sayesinde, eleman büyük yüklere maruz kalsa bile elastik davranış gösterebilmektedir. Uygulanan öngerilme kuvvetinden kaynaklanan ters sehim yapı elemanlarında oluşturmaktadır. Bu durum dış yük uygulanması ile telafi edilmektedir (Şekil 1.1.). Öngerilmelinin bazı avantajları aşağıda sıralanmıştır:

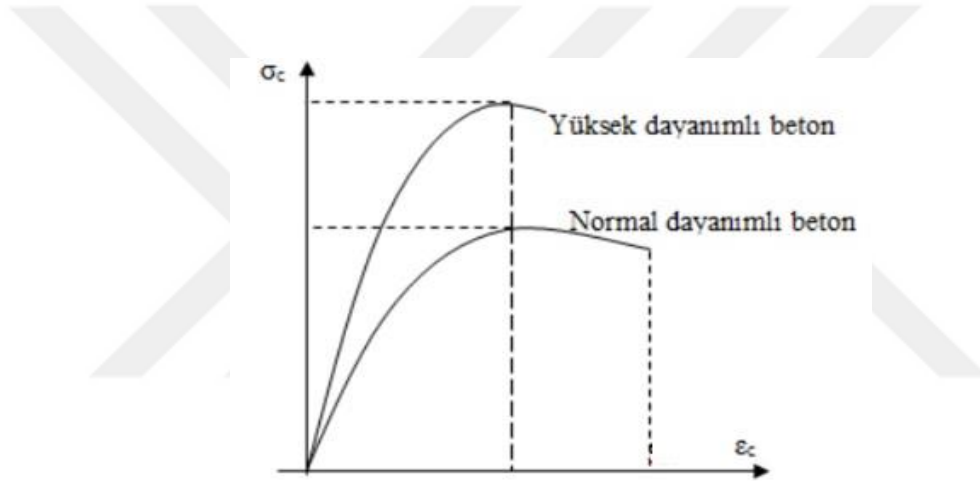
- Öngerilme uygulayarak, bir açıklık normal betonarme elemanlara kıyasla daha narin elemanlar ile geçilebilmektedir.
- Öngerilmeyle daha büyük açıklıklar geçilebilir.
- Öngerilmeli elemanlarda kullanım yükleri altında çatlak meydana gelmeyebilir.
- Öngerilmeli elemanların moment ve kesme kuvveti taşıma kapasiteleri normal betonarme elemanlara göre daha fazladır.

Günümüzde mevcut birçok ön germe yöntemi oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Ön gerilmeli beton tekniği yönteminden; köprüler başta olmak üzere kiriş, döşeme ve kolon gibi bina elemanları, borular, kazıklar, tanklar, tüneller, stadyumlar, nükleer enerji santralleri, televizyon kuleleri, deniz yapıları vb. birçok yapı yaygın olarak yararlanmaktadır.

Öngerilmeli beton, dış yüklerin etkimesinden önce oluşturulan taşıyıcı sistemde dış yüklerden kaynaklanan gerilmeleri istenilen düzeyde değiştiren yapay ve sürekli bir gerilmenin verildiği beton olarak bilinmektedir.

1.4.1. Öngerilmeli Kirişlerde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

Beton, mevcut ve yürürlükte bulunan standartlara göre normal dayanım ve yüksek dayanımlı olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır (Şekil 1.2.). TS500'de C16-C50 dayanım sınıfı arasında bulunan betonlara normal dayanımlı betonlar, C50 dayanım sınıfından daha büyük dayanıma sahip betonlar yüksek dayanımlı beton olarak belirtilmiştir (TS500, 2000). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmeliğe (DBYBHY, 2007) göre C16 dayanım sınıfı altındaki betonların taşıyıcı beton olarak kullanılmaması önerilmektedir. Buna ilaveten öngerilme uygulanacak elemanlarda beton dayanımının C35'in üzerinde olması uygun görülmüştür.



Şekil 1.2. Betonun gerilme-şekildeğiştirme grafiği (URL-1, 2018)

Betonun mekanik karakteristiklerinden olan elastisite modülü TS500 ve TS3233'te yaklaşık olarak $E=3250\sqrt{f_{ck}}+14000$ beton sınıfına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Betonun enine şekildeğiştirmesinin boyuna şekildeğiştirmesi olarak bilinen poisson oranı ise 0.2 ($\nu=0.2$) olarak kullanılmaktadır. Kayma modülü (G) ise, (1.1) bağıntısı ile hesaplanabilmektedir. TS3233'te bu değerin yaklaşık olarak $G=0.4E$ şeklinde verilmektedir.

$$G = \frac{E}{[2(1+\nu)]} \quad (1.1)$$

Öngerilmeli betonlarda öngerilme kayıpları oluşmasına sebep olan sünme ve büzülmenin önemi oldukça fazladır. Sünme ve büzülme betonunun zamana bağlı hacimsel değişmesine neden olmaktadır. Sünmenin hızı zamanla azalmakta olup sünme katsayısı; sünme uzamasının başlangıç elastik uzamaya oranı olarak belirtilmektedir.

1.4.1.1. Çimento, Agregası ve Katkı Maddeleri

Öngerilmeli olarak yapılacak yapılarda portland çimentosu tercih edilmektedir. Portland çimentosu kalker (kireç taşı) ve kilin yüksek ateşte pişirilip öğütülmesiyle elde edilen klinkere %5 oranında alçıtaşı katılmasından oluşmaktadır.

Betonun üretiminde kullanılacak agreganın maksimum tane çapı (D_{max}), kalıp en kesit boyutları ve donatıların arasındaki mesafeyle ilişkili olup 20 ila 25mm'yi geçmesi uygun görülmemiştir. Maksimum 16 mm çaplı agregası tercih edilmeli ve düzgün bir geometriye sahip olmalıdır (URL-1, 2018).

Beton üretiminde kullanılacak kimyasal katkılarda $CaCl_2$ (kalsiyum klorür) bulunmamalıdır. Mineral katkılarda da beton ve öngerilme çeliğine zarar vermeyecek kimyasal ve mineral katkıları kullanılmalıdır. Alkali-agregası reaksiyonunun oluşmasına imkân verecek maddeleri kesinlikle içermemelidir (URL-1, 2018).

Beton, işlenebilirliği döküm işlemi esnasında ayrılmaya uğramadan dikkatli bir şekilde dökülmesine olanak sağlamalıdır. Sıkıştırma işleminde, öngerilme çeliği ya da kablolarının bulunduğu kılıfların içinde ve derzlerin etrafında boşluk kalmayacak şekilde vibrasyona tabi tutulmasına ve öngerilme kılıflarının kırılmamasına ve kaymamasına özen gösterilmelidir (URL-1, 2018).

1.4.1.2. Öngerilme Çeliği

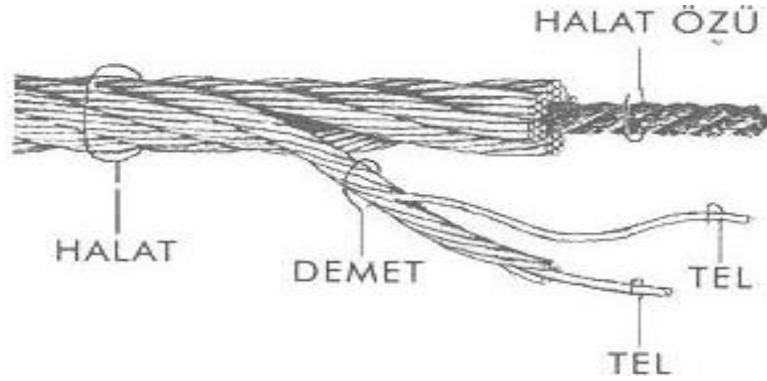
Çelik tel halatlar, yüksek dayanıma sahip ince tel halatların demetler haline getirilip montaj edileceği yere göre örülmesi veya bükülmesi ile oluşturulmaktadır. Uygulanan yükün halat içindeki ince tellere dağılmasıyla yüksek performans sağlanmaktadır. Kordonlu halatlar, tellerin bir veya birkaç çekirdek tel etrafında ve yine bir veya birkaç katlı olmak üzere helizoik bir şekilde bükülmesi ile elde edilmektedir.

Öngerilme çeliği sıcak haddeden üretilen çelik malzemeden üretilmektedir. Sıcak haddeki çelikler bir süre soğutulduktan sonra çapları istenilen boyuta indirgemek için çeneler

vasıtasıyla elemana geçirilmektedir. Soğuk çekme işlemi uygulandıktan sonra çeliğin dayanımı yükselmekte ve malzemenin boyutu istenilen düzeye getirilmektedir. Öngerilme telleri genellikle 2, 3, 4, 5,6 ve 7mm çapları olacak şekilde üretilmektedir. Çapları 5mm ve 7mm olan teller kullanım amacına uygun bir şekilde tercih edilmektedir. Öngerilme işlemi, 2, 3 veya daha fazla telin birbiriyle demetler halinde sarılmasıyla gerçekleştirilmektedir (Şekil 1.4.). Ancak genellikle 7 telden oluşan demetlerin kullanımı yaygındır. Birkaç adet demet (toron) birleşimi ile halat üretilmektedir. Öngerilme çeliklerinin çekme gerilmeleri $f_s=1600-1800\text{Mpa}$ arasında değiştiği bilinmektedir (Şekil 1.3.).



Şekil 1.3. Öngerilme çeliği (URL-2, 2018)



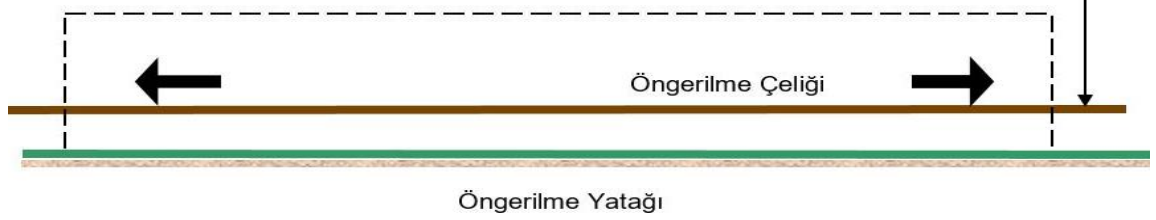
Şekil 1.4. Öngerilme çeliğin ayrıntıları (URL-3, 2018)

1.4.2. Öngerilme Yöntemleri

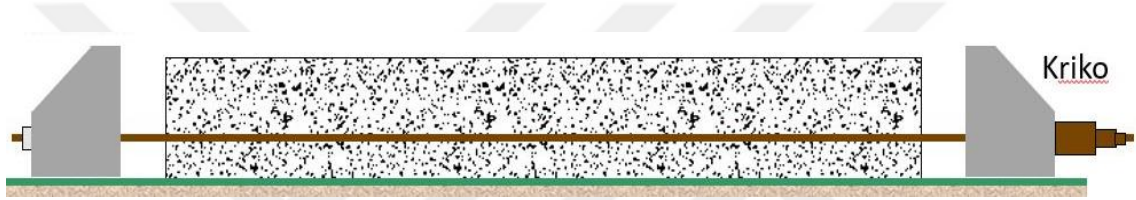
Öngerilmeli betona öngerilme yükünü uygulamak için iki yöntem vardır. Birincisi öngerme ve ikincisi ise ardgerme yöntemi olarak tanımlanmaktadır.

Öngerme yönteminde, öngerilme çeliği başlangıçta sabit kenar ayak arasında sabitlenmekte sonra tendonlar kriko yardımıyla tendonların dayanımına göre çekilmekte ve

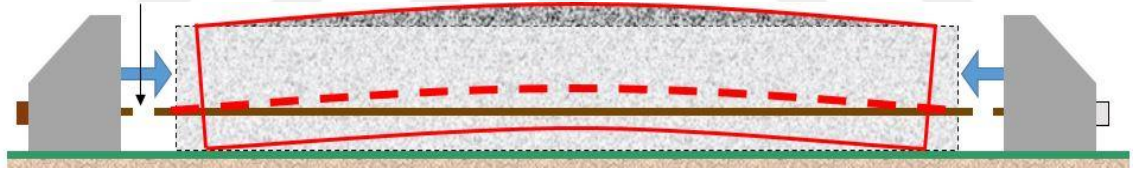
beton dökülmektedir (Şekil 1.5-6.). Beton gerekli mukavemete ulaştıktan sonra öngerilme çeliği kenar ayaklardan kesilmektedir. (Şekil 1.7.). Teller kesildiğinde betonda, çelik ile beton arasındaki sürtünme sebebi ile basınç yükü ortaya çıkmaktadır.



Şekil 1.5. Öngerilme yönteminde çeliğe yük uygulanması

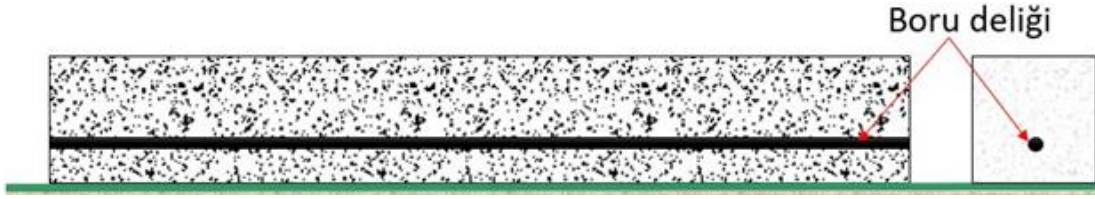


Şekil 1.6. Öngerilme yönteminde beton dökülmesi

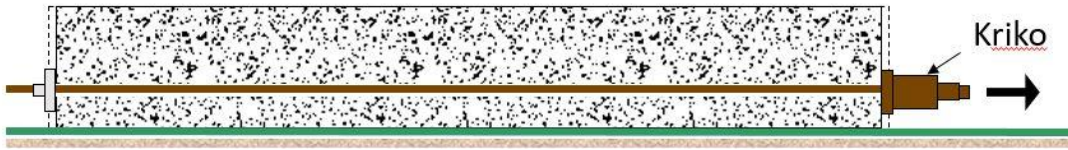


Şekil 1.7. Öngerilme yönteminde öngerilme çeliğinin kesilmesi

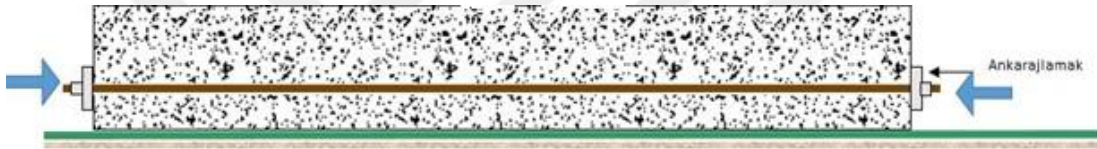
Ardgerme yönteminde ise (Şekil 1.8-9-10.) beton dökülmeden öngerilme kuvveti uygulanacak alanda boş kanallar bırakılmakta ve sonra beton dökülmektedir (Şekil 1.8.). Beton dayanımını almadan öngerilme tendonlarının gerilmemesi önemlidir. (Şekil 1.9.). Beton gerekli dayanıma ulaştığında, tendonlar bir ucu kesitin bir tarafına ankarj ile sabitlenip diğer tarafından kriko yardımıyla gerilmektedir. Tendonlar gerekli mukavemete ulaştıktan sonra her iki ucu ankarajlar ile sabitlenmektedir (Şekil 1.10.).



Şekil 1.8. Öngerilme yatağı hazırlandıktan sonra boş kanallar bırakılarak betonun dökülmesi



Şekil 1.9. Beton gerekli dayanıma ulaştığında kriko yardımıyla tendonların gerilmesi

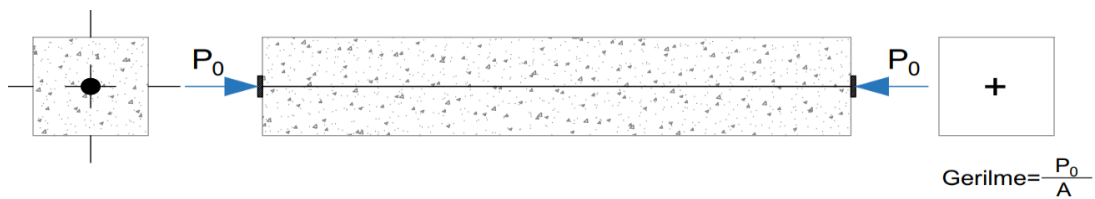


Şekil 1.10. Halatlar gerilmesi ile tendonların iki taraftan ankarajlanması

1.4.3. Öngerilmeli Betonarme Kirişlerin Hesaplama Esasları

Öngerilmeli betonarme kirişlerin hesaplanmasında öngerme kirişlerin analiz edilmesi gerekmektedir. Kirişleri analiz ederken aksenal öngerme kuvvet etkisi, eksantrik kuvvet etkisi ve efektif (dış) kuvvet etkisi incelenebilmektedir.

Betonda aksenal bir yüke karşın kirişte oluşan gerilme Şekil 1.11'te verilmektedir. Aksenal yük kesitin ortasına uygulanırken üst ve altta oluşan gerilmeler aynı olup kirişin derinliği boyunca betonda oluşan düzgün dağılımlı P_0/A bağlantısıyla hesaplanmaktadır. Uygulanan yükler ve kirişin zati ağırlığı sebebiyle, alt kısma doğru gerilmeler oluşmakta ve eksantrik tendonlar tarafından bu yüklerin dengelenmesi sağlanmaktadır.



Şekil 1.11. Aksenal öngerme kuvveti

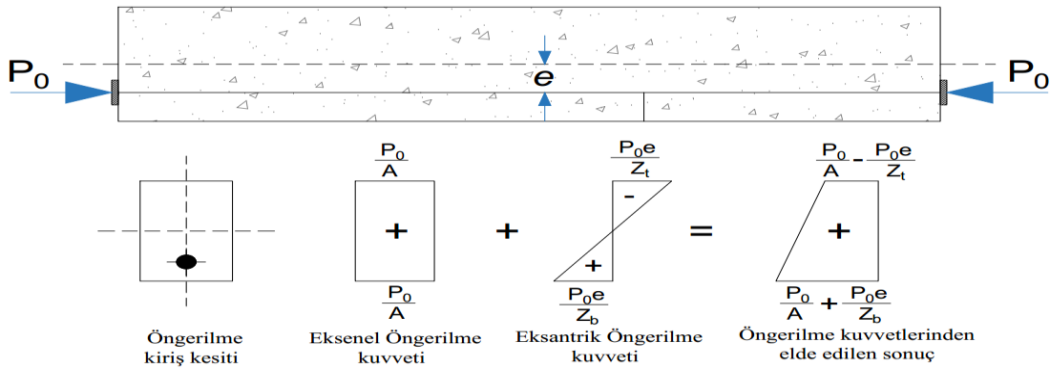
$$f_{t,b} = \left[\frac{P_0}{A} \right] \quad (1.2)$$

Şekil 1.12’de “e” eksantrik mesafesinde konumlandırılmış, P_0 büyüklüğünde eksantrik bir öngerme kuvvetine maruz bırakılan beton bir kiriş örneği verilmektedir. Kirişin üst ve alt kısmında oluşan gerilme ilişkileri aşağıda verilen bağıntılarla elde edilmektedir.

$$f_t = \left[\frac{P_0}{A} - \frac{P_0 e}{Z_t} \right] \quad f_b = \left[\frac{P_0}{A} + \frac{P_0 e}{Z_b} \right] \quad (1.3)$$

$$Z_t = \frac{I}{y_t} \quad Z_b = \frac{I}{y_b} \quad (1.4)$$

Burada P_0 öngerilmeli yapı elemanına normal doğrultuda etki etki eden kuvveti, e öngerilme kuvvetinin ağırlık merkezine olan uzaklığını, $M=P_0 e$ öngerme kuvveti ile eksantriklik uzaklığında oluşan momenti, A öngerilme kiriş kesitinin alanını, Z_t ve Z_b ağırlık merkezinin üst ve alt beton bölgelerinde oluşan mukavemet momentini, f_t ve f_b ağırlık merkezinin üst ve alt beton bölgelerinde oluşan gerilmelerini, y_t ve y_b ağırlık merkezinin üst ve alt mesafelerini ve I öngerilmeli kiriş kesitinin atalet momentini göstermektedir.



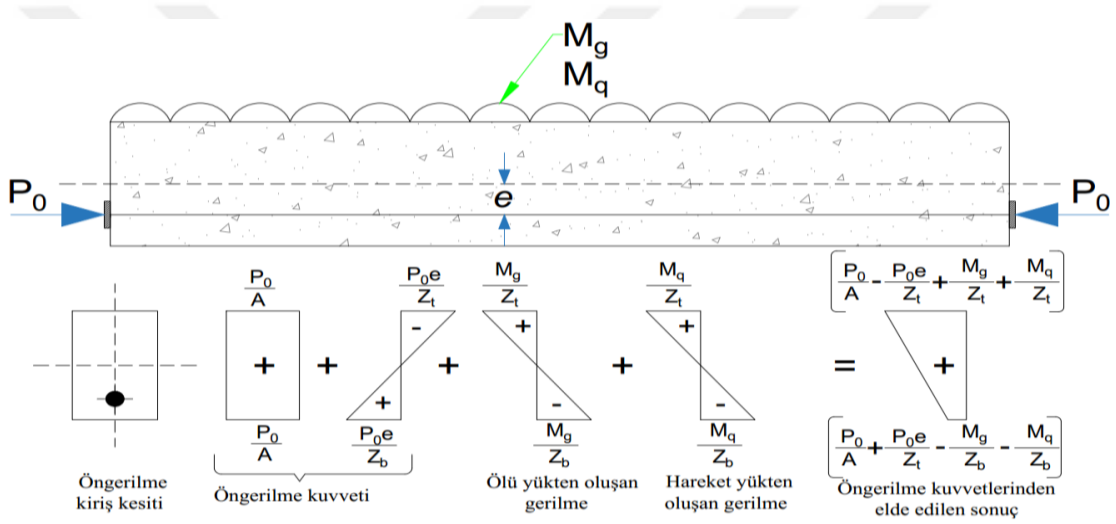
Şekil 1.12. Eksantrik öngerme kuvveti

Şekil 1.13’te q ve g düzgün dağılımlı hareketli ve ölü yükleri bulunan beton bir kiriş gösterilmektedir. Kirişe e eksantrik değerine sahip bir öngerme kuvveti (P_0)

uygulanmaktadır. M_q ve M_g , düzgün dağılmış hareketli ve ölü yüklerinden elde edilen momentler olmak üzere;

$$M_q = \left(\frac{qL^2}{8} \right) \quad M_g = \left(\frac{gL^2}{8} \right) \quad (1.5)$$

denklemleri ile verilmektedir. Denklem 1.5'te M_q hareketli yük momentini, M_g ölü yük momentini, L Kirişin uzunluğunu, g düzgün dağılımlı ölü yükü ve q düzgün dağılımlı hareketli yükü temsil etmektedir.



Şekil 1.13. Eksantrik öngerme kuvveti; sistemin zati ağırlık ve hareketli yüklerin etkimesi durumu

Herhangi bir kesitteki betonun üst ve alt bölgesinde oluşan gerilmeler Denklem (1.6) yardımıyla elde edilmektedir.

$$f_t = \left[\frac{P_0}{A} - \frac{P_0e}{Z_t} \right] + \left[\frac{M_g}{Z_t} \right] + \left[\frac{M_q}{Z_t} \right]$$

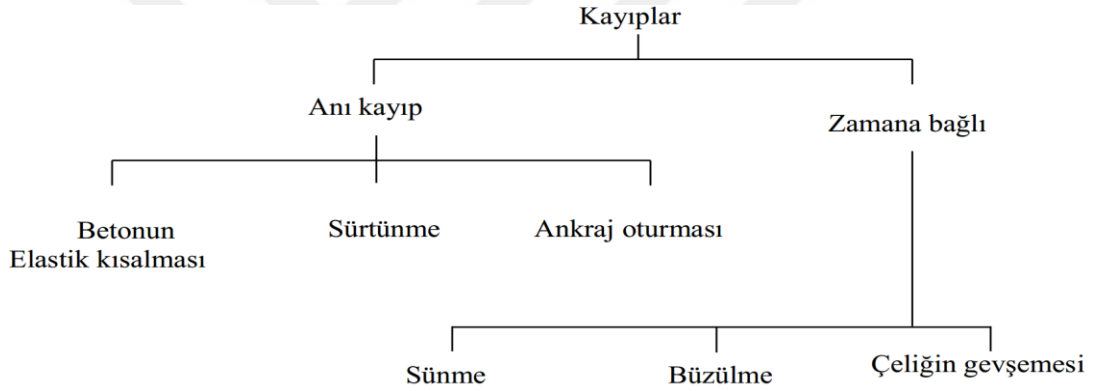
$$f_b = \left[\frac{P_0}{A} + \frac{P_0e}{Z_b} \right] - \left[\frac{M_g}{Z_b} \right] - \left[\frac{M_q}{Z_b} \right] \quad (1.6)$$

Öngerilmede uygulamasında tendonlara uygulanan ilk germe kuvveti, kablonun karakteristik dayanımının %75'ini aşmamalıdır (Denklemler 1.7). Burada F_m kablonun karakteristik dayanımını ve P_0 ise öngerme kuvvetini göstermektedir.

$$P_0 = 0.75F_m \quad (1.7)$$

1.4.4. Öngerilme Kayıpları

Germe esnasında ve sonrasında çelikteki germe kuvvetinde belirli kayıplar oluşmaktadır. Kesitler bu kayıplardan sonra kalan kuvvet etkisinde hesaplanmaktadır. Bu kayıplar ani ve zamana bağlı kayıplar olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (Şekil 1.14.).



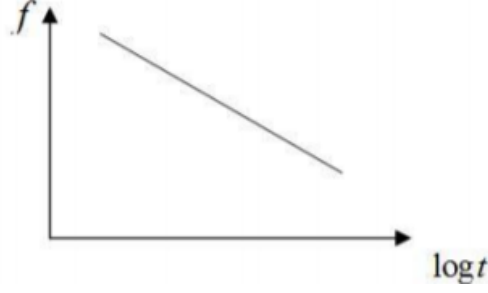
Şekil 1.14. Öngerilme kayıpları

Öngerme kuvveti betonun ani olarak elastik kısılmasına sebep olmaktadır. Betondaki elastik kısılma bütün kablolar gerildikten sonra meydana gelmektedir.

Sürtünme kaybı ise ardgerme yönteminde ortaya çıkmaktadır. Beton döküldükten sonra kabloları uygulanan yük esnasında kablo ile kılıf arasında sürtünme oluşmaktadır. Meydana gelen sürtünme kuvveti, germenin oluşturulduğu noktadan kablo boyunca uzaklaştıkça artan bir değerde sürtünme kayıplarına sebep olmaktadır.

Ankraj oturması, gerilen kablo, ankrajda kilitlendikten sonra dışta kalan ucu kesilmektedir ve kesme işleminden sonra kablo bir miktar içeri doğru kaçmaktadır. Bu kaçma olayı sonucu kabloya verilen gerilme azalmaktadır. Özellikle, bu kayıp kısa elemanlarda dikkate alınmaktadır.

Çeliğin gevşemesi, öngerilme çeliğinin zamana bağlı yerdeğiştirmesi şeklinde ifade edilmektedir. şekil 1.15'te görüldüğü gibi yüksek dayanımlı çelik, yüksek sıcaklık ve gerilmelere oldukça duyarlı olmaktadır.



şekil 1.15. Çeliğın gevşemesi sonucu çelikte gerilme kaybı (Ali, 2010)

Kabloya verilen gerilme, kablonun karakteristik kopma dayanımının %55'ini aştığı zaman öngerilme kablolarında gevşemeler meydana gelmektedir. Gevşeme katsayısı standart kablolar için kablonun karakteristik dayanımının %75'ini aşmamalıdır.

Sünme kaybı, öngerilmeli betonun sabit birim gerilme (1N/mm^2) altında zamana bağılı olarak gösterdiği deformasyondan dolayı germe kuvvetindeki azalmasıdır. Sünme; elemanın kalınlığına, betonda bulunan su miktarına, çevrenin sıcaklığına, nem oranına ve elemanların birçok parametresine bağılı olarak değişmektedir.

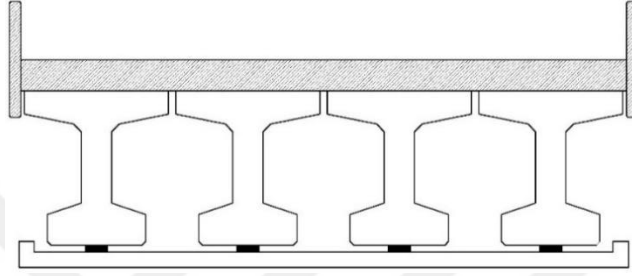
Büzölme (rötre) kaybı ise, öngerilmeli betonun yükten bağımsız, su kaybıyla oluşan büzölme deformasyonundan oluşmaktadır. Betondaki büzölme, kullanılan agreganın cinsi, su kapsamı, transfer anındaki betonun yaşı, elemanın kalınlığı ve çevrenin bağılı nem oranından etkilenmektedir.

1.5. Karayolu Köprülerine Etkiyen Yükler

Karayolu köprülerine etkiyen yükler; köprüyü oluşturan elemanların zati ağırlığı, kalıcı ölü yük, rüzgâr, fırtına, deprem yükleri ve hareketli yüklerdir. Ayrıca köprü üzerindeki frenleme kuvvetinden oluşacak yükler, merkez kaç kuvvetinden ve çarpışma sonucu oluşacak yükler de mevcuttur.

1.5.1. Zati Yükle

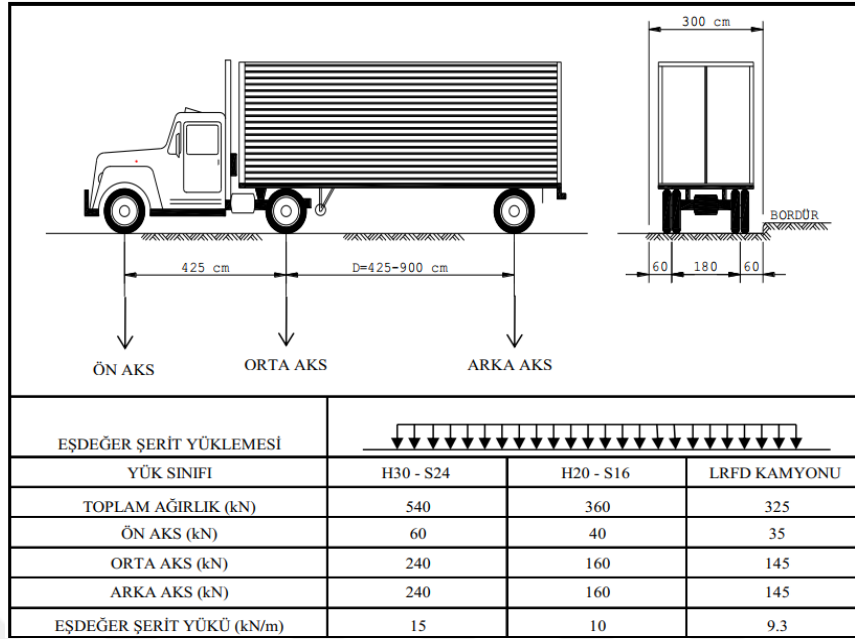
Ölü yük, yapı elemanları, bunlara eklenen yardımcı malzemeler, toprak yükleri ve kaplama yüklerinden oluşmaktadır. Ayrıca karayolu ulaşım sistemi yalıtımında ve yapının aydınlatılmasında kullanılan malzemeler vs. ölü yük olarak da sayılabilmektedir. Şekil 1.16'da ölü yükleri oluşturan yapı elemanlarından bazıları gösterilmiştir.



Şekil 1.16. Köprünün zati yükleri

1.5.2. Hareketli Yükle

AASHTO şartnamesine göre hareketli yükler; standart kamyon dingil yükü ve standart kamyon katarına eş değer olan eş değer şerit yükleridir. Taşıtlar köprülerin üzerinden geçişi esnasında köprülere ağırlıkları oranında düşey olarak yük aktarırlar. Türkiye'de, yollarda oluşan hareketli yüklerin hesaplarda kullanılması amacıyla iki tür kamyon yükü dikkate alınmaktadır. Bunlar, H20-S16 köy yolu kamyon yükü ve H30-S24 ağır yük kamyon yükü olarak isimlendirilir (Şekil 1.17.).



Şekil 1.17. Kamyon ve şerit yükleri (Uluğ, 2008)

Şekil 1.17’de görüldüğü gibi Türkiye’de kullanılan ağır kamyon yükü AASHTO-LRFD kullanılan kamyon yüklerinden yaklaşık 1.5 kat daha fazladır.

1.5.3. Sismik Yükler

Ülkemizin %98’i deprem kuşağında bulunmaktadır. Bu sebeple ülkemizde deprem olma olasılığı oldukça fazla olup bu depremlerin yıkıcı hasarlar oluşturması kaçınılmazdır. Bu depremlerin birçok yapıda hasar oluşturmasının yanısıra ulaşımda çok kritik öneme sahip köprülere de zarar vermektedir. Köprüler deprem yüküne karşı tasarlanırken çökme olasılığı düşük olacak şekilde tasarlanmalıdır. Ancak, bu yapılar deprem etkisine maruz kaldığında önemli hasar ve çökmeler oluşabilmektedir. Bu yıkım ve hasarları önlemek için deprem yüklerine karşı izolatörler kullanılabilir.

Deprem analizlerinde üç farklı yöntem mevcuttur. Bu yöntemler eşdeğer deprem yükü yöntemi, mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanı olarak tanımlanmaktadır. Bu tez kapsamında betonarme I kirişli öngerilme köprülerin analizlerinde zaman tanım alanı yöntemi kullanılmaktadır.

Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesap yapılması durumunda, taşıyıcı sistem elemanlarının tekrarlı yükler altındaki dinamik davranışını temsil eden iç kuvvet

şekildeğiştirme bağıntıları, teorik ve deneysel geçerlilikleri kanıtlanmış olmak kaydı ile, ilgili yerlerden faydalanılarak uygulamaya konulacaktır (DBYBHY, 2007).

Tek serbestlik dereceli (TSD) bir sistemin herhangi bir yer hareketi etkisinde sönümlü zorlanmış titreşimine ait hareket denklemi aşağıdaki gibidir.

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = -m\ddot{u}_g(t) \quad (1.8)$$

Burada m sistemin kütesini, c sönüm katsayısını, k ise rijitliğini ifade etmektedir. $u(t)$, $\dot{u}(t)$ ve $\ddot{u}(t)$ ise kütlelerin zamana bağlı yatay yerdeğiştirmesi, hızı ve ivmesini göstermektedir. $\ddot{u}_g(t)$ ise yer ivmesidir. Gerekli işlemler yapıp denklem düzenlendiğinde aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\ddot{u}(t) + 2\omega_d\xi\dot{u}(t) + \omega_d^2u(t) = -\ddot{u}_g(t) \quad (1.9)$$

Denklem (1.9)'da ω_d sistemin doğal açısal frekansı, ξ ise sistemin sönüm oranıdır. Denklem nümerik çözümleme yöntemiyle çözüldüğünde, $\ddot{u}_g(t)$ yer ivmesi altında sabit bir sönüm oranı için $u(t)$ yerdeğiştirme değerleri elde edilir. Bulunan bu değerlere bakılarak boyutlandırmada esas alınacak parametrelerden olan iç kuvvetler ve taban kesme kuvveti gibi zamana bağlı olarak değerlendirilmektedir. Bu tür bir çözümleme zaman tanım alanında hesap yöntemi olarak adlandırılır.

Bu yöntemde, gerçek veya üretilmiş bir deprem kaydının kullanılması gerekmektedir. Boyutlama sırasında gerçek deprem kaydının esas alınması, hesaba esas olan deprem büyüklüğü, merkez üssü ve odak uzaklığı, kaynak mekanizması ve zemin koşullarıyla gerçek durumun en iyi bir şekilde bağdaştırılması açısından seçilmektedir. Bu yöntemle, beraber çoğu belirsizlik önlenmiş olur (Celep ve Kumbasar, 2001). Zaman tanım alanındaki hesap yöntemleri, sismik analizlerde ve yapıların tasarımında tercih edilmektedir (Fahjan, 2008).

AASHTO LRFD'de, sismik yük çözümünde hareketli yükün olmadığı kabulü yapılarak hesaplanmaktadır. Ama günümüzde yoğun trafiğin etkisini dikkate alınırsa birkaç özel köprüde, hareketli yüklerin dikkate alınması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

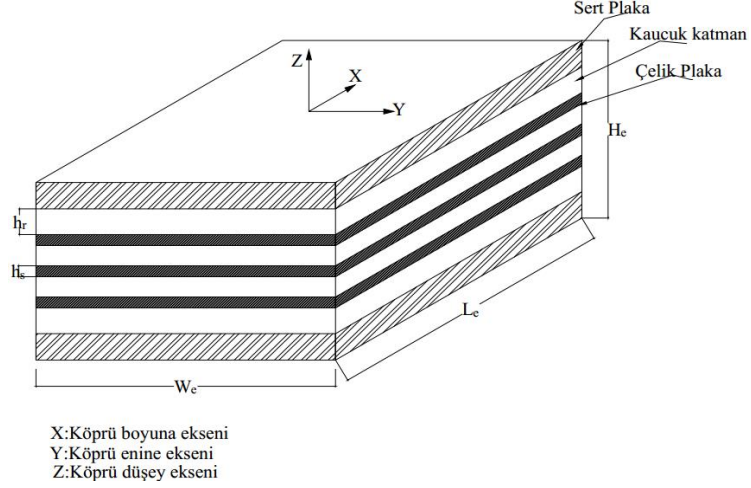
Tek açıklıklı köprüler için sismik deprem analizi hiçbir deprem bölgesi için gerekli değildir. Ancak, birden fazla açıklıkta yer alan köprü özelliklerine bağlı olarak AASHTO LRFD de birkaç yöntem verilmiştir.

1.6. Öngerilmeli Betonarme Köprülere Elastomer Mesnet Tanımlanması ve Kesit Açıklanması

Elastomer köprü mesnetleri elastomerden üretilmiş olup köprüyle ona mesnetlik yapan yapı arasında yüklerin iletilmesini sağlamaktadır. Ayrıca yerdeğiştirmelerin kontrol edilmesi amacıyla da kullanılmaktadır. Türkiye’de çoğunlukla öngerilmeli betonarme kirişli köprülerin üstyapıları elastomer mesnetli ve üstyapı ile köprü ayakları arasındaki bağlantı moment aktaracak biçimde tasarımı yapılmaktadır. AASHTO şartnamesinde, güçlendirilmemiş elastomerden oluşan yastık mesnetlerin ve çelik plakaların tabakalı olarak elastomer katmanları arasına yapıştırılmasıyla oluşturulan güçlendirilmiş mesnetlerin tasarımını içermektedir (AASHTO, 2002) (Şekil 1.18.).



Şekil 1.18. Elastomer mesnet yastığı ve mesnetlerin üst ve alt yapıyla bağlantısı (URL-(4-5), 2018)

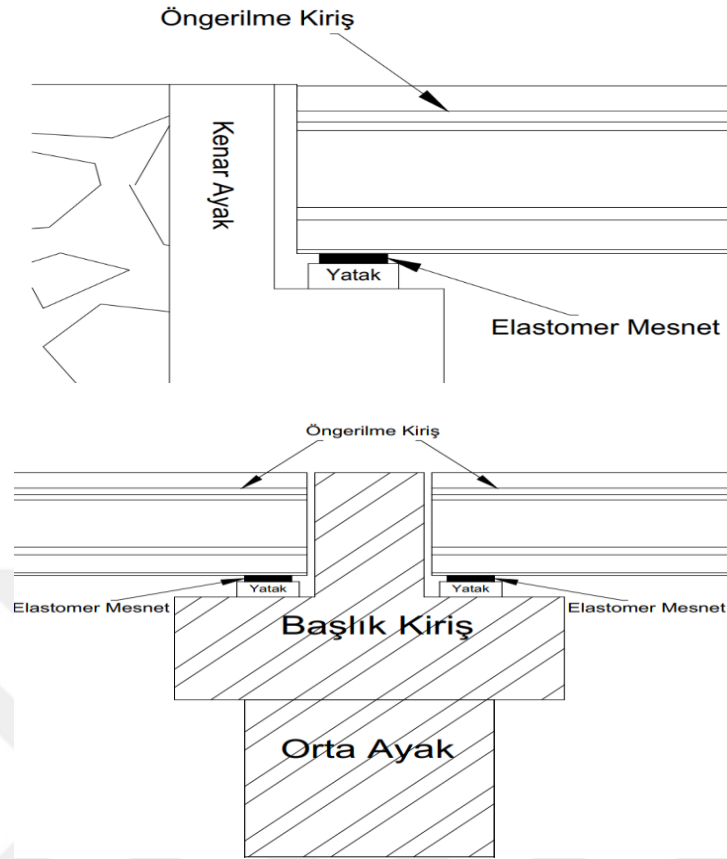


Şekil 1.19. Elastomer mesnetin kesit açıklanması

Şekil 1.19’da L_e mesnet uzunluğunu, W_e dik yönüne köprü boyuna mesnet genişliğini, h_r kauçuk elastomer kalınlığını, h_s kauçuk elastomerin yana doğru açılmasını engelleyen çelik plaka kalınlığını ve H_e elastomer mesnetin toplam yüksekliğini göstermektedir. Kauçuk elastomer katman ile çelik plakaları üst ve alt tarafında sert plaka ile bağlanmaktadır.

1.6.1. Elastomer Mesnetlerin Avantajları

- Elastomer mesnetler, ülkemizde sıkça kullanılan basit bir mesnet türüdür.
- Şekil 1.19’da görüldüğü gibi çelik plakalar, elastomer tabakaların yana doğru açılmasını engeller. Çelik plakalarla güçlendirilmiş elastomerler ekonomiktir ve kolay üretim için kullanılmaktadır.
- Çelik plakalı elastomer mesnet, elastomerin iç kayma esnekliğinden dolayı yatay doğrultuda köprü hareketlerine izin vermektedir (AASHTO, 2002).
- Üst yapıdan gelen yatay yükler elastomer mesnetler yardımıyla altyapıya kolay bir şekilde aktarılır (Şekil 1.20.). Elastomer mesnetlerde, yerdeğiştirmeyle doğrusal olarak mesnet kuvveti meydana gelmektedir. Mesnet rijitliği, mesnet kesitleri ve kauçuk kalınlığı değiştirilerek istenilen şekilde mesnet oluşturulabilir.



Şekil 1.20. Orta ayak ve kenar ayakta elastomerin üst ve alt yapı bağlantısı

- Elastomer mesnetli köprülerin en büyük avantajı üstyapının deprem durumunda kolonlardan aktarılan momentlere maruz kalmamasıdır. Basit kiriş-döşeme üstyapıları bu yapılara örnektir.
- Üstyapı ve altyapının, esnek mesnetlerle birbirinden ayrılması sonucunda yapı doğal periyodunun artmasına neden olmaktadır. Elastik ivme değerlerinde önemli bir düşüş görülmektedir (Priestley vd. 1996).
- Elastomer mesnet depremde oluşan kuvvetlerin karşılanma yerini ve miktarını belirleme imkanını sağlamaktadır. Kısa ve rijit ayaklara gelen büyük yatay kuvvetler, üstyapıyla kolon arasına elastomer mesnet kullanılarak minimize edilmektedir. Yani, deprem kuvvetleri ayaklara istenilen biçimde dağıtılmaktadır.

1.6.2. Elastomer Mesnetlerin Dezavantajları

- Deprem sonucu meydana gelen yatay yerdeğiştirmelere karşı elastomer mesnetlere sahip köprüler, diğer bazı köprülere göre daha zayıf kalmaktadır.

Çünkü yapıdaki rijitlik kaybı nedeniyle oluşan maksimum yerdeğiştirme miktarı fazladır.

- Elastomer mesnetlere sahip köprüler zayıf zeminlerde oluşan spektral ivme değerleri diğer köprülere göre daha fazladır. Çünkü zayıf zeminlerde ivmenin en büyük değeri uzun periyotlar süresince meydana gelmektedir.
- Tasarlanan köprü, varsayılan daha büyük bir depremin var olması durumunda altyapıyla üstyapının ayrılmasına sebep olacak ve oynak sistem davranışı oluşacaktır. Bu davranışta köprü üzerinde hasarlar oluşturacak ve göçme durumu meydana gelebilecektir (AKOGUL, 2007).

1.6.3. Elastomer Mesnetlerin Özellikleri

AASHTO'ya göre kayma modülü elastomer mesnetlerin en önemli özelliklerindedir (AASHTO). Bundan dolayı elastomer mesnetlerin tanımlanmasında kayma modülü kullanılmaktadır. Sertlik testinin hızlı ve basit olması sebebiyle uygulamalarda elastomer mesnetler sertliklerine göre gruplandırılmaktaydılar (AASHTO, Penzien, J. ,2000).

AASHTO'da elastomerlerin farklı derecelerde sertliğe göre kayma modülleri dikkate alınmıştır. Tasarım için elastomerlerin 0.68~1.43Mpa arasında kayma modülüne ve 50~60 değerleri arasındaki sertlik düzeyinde olması gerekmektedir (Tablo 1.1).

Tablo 1.1. AASHTO şartlamasında farklı sertliklerde bulunan elastomer özellikleri

Sertlik	50	60	70
73°F deki kayma modülü (G_e) (Mpa)	0.68-0.93	0.93-1.43	1.43-2.14
25 yıllık sünme sehimi	%25	%35	%45
Sertliğe bağlı sabit (\bar{k})	0.75	0.6	0.55

Kayma modülü ve şekil katsayısı (S_i), elastomerin basınç gerilmesini ve şekildeğiştirme özelliklerini göstermektedir. Dikdörtgen elastomer mesnetlerin tek bir katmanının şekil katsayısı Denklem 1.10'te verilmektedir.

$$S_i = \frac{L_e W_e}{2h_{ri}(L_e + W_e)} \quad (1.10)$$

Buradaki L_e paralel yönüne köprü boyuna mesnet uzunluğunu, h_{ri} i katmanda olan tek bir elastomer katmanın kalınlığını ve W_e dik yönüne köprü boyuna mesnet genişliğini göstermektedir. Genel şekil katsayısı, her elastomer katmanın ve kalınlığının ağırlıklı ortalamasının alınmasıyla bulunmaktadır (Denklem 1.11).

$$S_{ov} = \frac{\sum_i h_{ri} S_i}{\sum_i h_{ri}} \quad (1.11)$$

Köprü mesnetlerindeki rijitliği belirlemek oldukça zordur. Basınç elastisite modülü (E_e) küp için Denklem 1.2, silindir için Denklem 1.13'teki gibidir (AASHTO, 2002).

$$E_e = 3G_e(1 + 2\bar{k}S_{ov}^2) \quad (1.12)$$

$$E_e = 6G_e S_{ov}^2 \quad (1.13)$$

Elastomer mesnetler kauçuk ve çelik katmanlardan oluşmasından dolayı yüksek aksenal rijitlik (K_V) ve düşük kayma rijitliğine (K_H) sahiptir (Denklem 1.14). Aksenal ve kayma rijitlik özelliklerini elastisite modülü ve kayma modülüne bağlı olarak modellenmesi gerekmektedir. Elastomer mesnetin davranışı elastik kabul edilmesi durumunda aksenal ve kayma rijitlikleri aşağıdaki denklemlerde ifade edilmektedir.

$$K_V = \frac{E_e A_e}{H_r} \quad K_H = \frac{G_e A_e}{H_r} \quad (1.14)$$

Buradaki denklemde, A_e mesnet plan alanını, H_r elastomer katmanların toplam kalınlığını ifade etmektedir. Basit kiriş davranışı sonucu mesnette oluşan dönme rijitliği (K_R), elastisite modülü (E_e), dikdörtgen kesitin atalet momenti (I_e) ve elastomer katmanların toplam kalınlığına bağlı olarak hesaplanmaktadır (Yazdani, vd., 2000).

$$K_R = \frac{E_e I_e}{H_r} \quad I_e = \frac{W_e L_e^3}{12} \quad (1.15)$$

1.7. Analiz Yöntemleri

Yüke maruz kalan bir yapı elemanı elastik ve elastik olmayan davranışta olup doğrusal statik analiz, doğrusal dinamik analiz, doğrusal olmayan statik analiz ve doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemleri değerlendirilmektedir (Tablo 1.2).

Tablo 1.2. Analiz yöntemleri (URL-6, 2018)

Analiz tipi	Doğrusal	Doğrusal olmayan
Statik	Mukavemet bazlı	Statik itme
Dinamik	Mod Birleştirme/zaman tanım alan	Zaman tanım alan

1.7.1. Doğrusal Analiz Yöntemi

Doğrusal elastik analizde yapıların depremlere elastik bir şekilde tepki verdiği varsayılmaktadır. Doğrusal elastik analiz yöntemleri, doğrusal statik analiz, doğrusal dinamik analizlerinden oluşmaktadır.

1.7.1.1. Doğrusal Statik Analiz Yöntemi

Köprülerin sismik analizi için kullanılan en basit yöntem doğrusal statik analiz yöntemidir. Bu yöntemde yapı statik yüke tabi tutulduğunda yapının elastik kalacağı varsayılmaktadır. Doğrusal statik analiz yönteminde uygulanan yük, zamana bağlı olarak değişmemektedir. Doğrusal denklem sistemi Hook'e Kanunu kullanılarak doğrusal çözülmektedir.

1.7.1.2. Doğrusal Dinamik Analiz Yöntemi

Doğrusal dinamik analiz yönteminde, çeşitli yapıların dinamik davranışları elastik dinamik analizle belirlenmektedir. Bu yöntem mod birleştirme ve doğrusal zaman tanım alanında gerçekleştirilmektedir. Doğrusal dinamik analizin uygulanması, yüksek titreşim modlarının etkilerini açıklayabilmekte olup bu nedenle tercih edilmektedir.

1.7.1.2.1. Mod Birleştirme Analiz Yöntemi (Spektrum Analizi)

Mod Birleştirme spektrum analizinde, modal hesap yöntemiyle verilen bir deprem doğrultusunda deprem tasarım spektrumundan yararlanılarak göz önüne alınan her bir titreşim modunda davranış büyüklüklerinin en büyük değerleri dikkate alınmaktadır. Eş zamanlı olmayan en büyük modal davranış büyüklükleri yeteri kadar titreşim modu için hesaplanmakta, ancak daha sonra istatistiksel olarak birleştirilerek en büyük davranış büyüklüklerinin yaklaşık değerleri bu yöntemle belirlenmektedir (TBDY, 2016).

1.7.1.2.2. Zaman Tanım Alanı Yöntemi

Zaman tanım alanında analiz zamanın bir fonksiyonu olarak bir yapının tam davranışını temsil eder ve bu davranış hareket denkleminin adım adım sayısal entegrasyonu kullanılarak belirlenir. Tepki spektrumu zaman tanım alanında oluşan maksimum değerler elde edilerek hesaplanmaktadır.

1.7.2. Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemleri

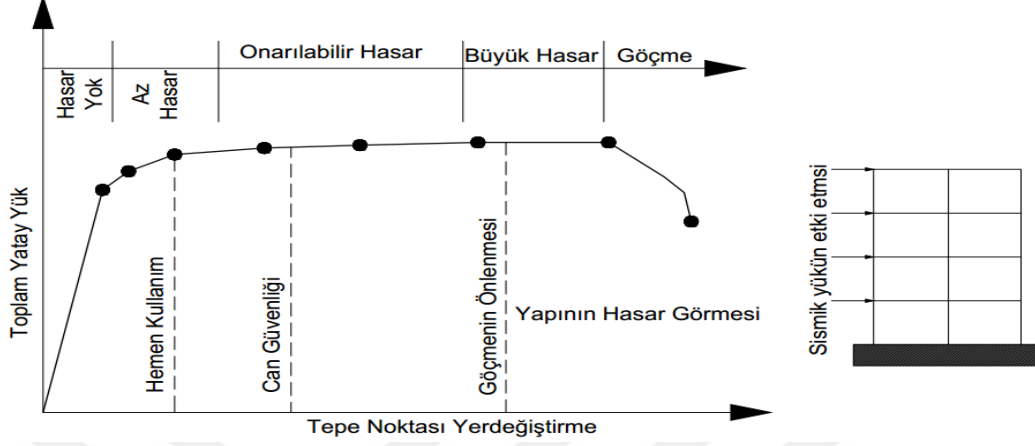
Dış yüklere maruz bir köprünün her bir elemanında meydana gelen gerilmeler elastik sınırları aşmadığı sürece köprünün statik ve dinamik analizleri için doğrusal elastik model doğru bir yaklaşım olacaktır. Doğrusal olmayan modelleme ve analizde, kritik bileşenlerin, gerilmelerinin ve deformasyonlarının daha doğru olarak belirlenmesini sağlar.

1.7.2.1. Doğrusal Olmayan İtme Analizi

Doğrusal olmayan statik itme analizi, yapının elastik ötesi deformasyon yeteneği ve hasar durumunu belirlemek üzere doğrusal olmayan statik itme analizlerinden oluşmaktadır. Yatay yükler aralarındaki oran sabit kalacak şekilde arttırılırken kesitlerin biri veya birkaçı taşıma kapasitesi sınırına ulaşmakta ve bu kesitlerde plastik mafsalları oluşmaktadır.

Plastik mafsalları oluşan kesitler, taşıma güçlerinde değişme olmadan dönmekte ve plastik mafsallar arasında, doğrusal -elastik davranış görülmektedir. Yatay yükler arttırılmaya devam edilerek, yapının bir bölümünü veya tamamını göçme durumuna gelmektedir.

Doğrusal olmayan analizinden elde edilen tipik bir yatay yük-tepe noktası yerdeğiştirmesi grafiği Şekil 1.21’de sunulmuştur.



Şekil 1.21. Doğrusal olmayan analizde oluşan performans grafiği

Doğrusal olmayan itme analizlerinden elde edilecek sonuçların hassasiyeti, yapının modellenmesine ve bu modelin değişik elemanlarının elastik ötesi özelliklerini yansıtmasındaki ölçüsüne bağlıdır. İtme analiz yönteminin dezavantajı ise taşıyıcı sistem davranışının tek bir doğal titreşim modu ile temsil edilmesidir.

1.7.2.2. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi, deprem etkisi altındaki köprünün hareket denkleminin doğrusal olmayan gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları kullanılarak doğrudan entegrasyonu ile gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemin doğru sonuçlar verebilmesi için köprünün bulunduğu yerin zemin özelliklerinin iyi bilinmesi ve bölgenin gerçek veya benzeri deprem kayıtlarının mevcut olması oldukça gerekmektedir. Kayıtların özellikleri değişim gösterebileceğinden bu tür analiz yaklaşımında birden fazla kayıt kullanılmalıdır. Elde edilen sonuçlar da bir istatistik değerlendirmeden geçirilmelidir. Pratikte kullanılması oldukça zor olan zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler uygulamada genellikle kullanılmamaktadır. Ancak doğrusal olmayan itme analizinin mümkün olmadığı durumlarda kullanılması mecburi olmaktadır. Doğrusal olmayan analizler, yapı sistemlerinin iki veya üç boyutlu analitik modellenmesi ile yapılabilmektedir.

1.8. Köprülerin Deprem Etkisi Altında Performans Değerlendirilmesi

Genel olarak deprem etkisine maruz kalan bir yapının performansını ve hasar sınırlarının değerlendirilmesi yönetmeliklerde verilmektedir. Yapının performans değerlendirilmesi, dayanıma ve şekildeğiştirmeye bağlı olmak üzere iki ana başlık altında incelenmektedir. Son yıllarda analizlerde doğrusal analiz yöntemleri yerine doğrusal olmayan analiz yöntemleri içerdiği için şekildeğiştirmeye göre performans değerlendirme yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır.

1.8.1. Dayanıma Göre Tasarım (DGT) Yöntemleri

Dayanıma göre performans yaklaşımında (DGT), köprü elemanlarının boyutlandırılmasında sisteme etki eden yük dikkate alınmaktadır. Dayanıma göre tasarım yönteminde, elastik deprem kuvvetleri önemli bir husustur ve bu deprem kuvvetine karşılık elastik ötesi sünek davranışların incelenmesi önemli bir yer tutmaktadır. DGT yönteminde eşdeğer deprem kuvvetlerinin azaltılması ile analiz yapılmaktadır. Dayanıma göre tasarım yöntemi üç farklı analiz ile gerçekleştirilebilmektedir. Bunlar; eşdeğer deprem yükü yöntemi, mod birleştirme yöntemi ve deprem yükleri ile doğrusal elastik analiz yöntemleri şeklinde sıralanabilmektedir (Demiryolları ve Limanlar, 2008).

1.8.2. Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım (ŞGT) Yöntemleri

Şekil değiştirmeye göre tasarım (ŞGT) yönteminde, yerdeğiştirmeler sistemin yerdeğiştirmesi esas alınmaktadır. Bu yerdeğiştirmeler köprü düzeylerdeki deprem kuvvetlerinin sistem elemanlarına etkimesi sonucunda oluşmaktadır. ŞGT yöntemi, yerdeğiştirmelerin sistem elemanlarında sebep olacağı hasarların sayısal olarak belirleyebilmektedir. Ayrıca yöntemde, analizi yapılan elemanlar için hasar limitlerinin makul olabilecek düzeylerde olması gerekmektedir. Makul olan kabul edilebilir hasar düzeyleri, farklı büyüklükteki depremler etkisi altındaki yapılar için öngörülen hedef performans seviyeleri ile çakışacak seviyede olması gerekmektedir. Eleman seviyesinde oluşması tahmin edilen deprem hasarları, büyük depremlerde çoğunlukla doğrusal davranış yapmamaktadır yani elastik sınırlar ötesinde davranış göstermektedir. Depremlerden sonra oluşacak deformasyonlar doğrusal olmayan şekildeğiştirmelere karşılık gelmektedir. Dünya

çapında son yıllarda çoğunlukla ŞGT yöntemi kullanılmaktadır. ŞGT Yöntemleri, ikinci ve üçüncü seviyedeki depremlerde ortaya çıkan dinamik yüklerin etkisinde sistemin Kontrollü Hasar Performans Düzeyinin (KH) incelenmesinde kullanılmaktadır (Demiryolları ve Limanlar, 2008) (Tablo 1.3).

Tablo 1.3. Çeşitli köprüler için deprem seviyelerinde kullanılacak tasarım yöntemleri (Demiryolları ve Limanlar, 2008)

Yapımı sınıfı	Deprem düzeyi (D1)	Deprem düzeyi (D2)	Deprem düzeyi (D3)
Özel	–	DGT	ŞGT
Normal	DGT	ŞGT	–
Basit	–	DGT	–

Deprem etkisi altında şekildeğiştirmeye göre tasarımda, doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yöntemleri ve özellikle zaman tanım alan yöntemi kullanılmaktadır.

1.8.3. Deprem Hasar Performans Düzeyleri

ŞGT ve DGT yöntemleri kullanılarak tasarımı yapılan köprülerde esas alınacak performans düzeyleri dört temel bölümden oluşmaktadır. Performans seviyeleri deprem yüklerinin etkisiyle yapıda oluşması beklenen hasarlara dayalı olarak hesaplanmaktadır. Minimum Hasar Performans Düzeyi (MH), Kontrollü Hasar Performans Düzeyi (KH), İleri Hasar Performans Düzeyi (İH) ve Göçme Hasar Durumu (GH) olarak bilinmektedir.

Minimum Hasar Performans Düzeyi (MH), deprem sonrasında yapı elemanlarında hasar durumunun oluşmaması veya oluşan hasarın çok az olması durumu minimum hasar performans düzeyini ifade etmektedir. Köprü kullanımı bu düzeyde aksamamakta ya da birkaç gün içinde eski haline gelerek hizmet verebilmektedir.

Kontrollü Hasar Performans Düzeyi (KH), deprem sonrasında köprüde hasarlar oluşmaktadır. Bundan dolayı depremin meydana gelmesinden sonra köprü kullanımında aksamalar oluşmaktadır. Ancak bu hasarlar kısa bir süre içinde onarılıp köprü eski haline gelmektedir.

İleri Hasar Performans Düzeyi (İH), deprem sonrasında köprüye etkileyen yükler; göçme meydana gelmeden hemen önce köprüde ağır ve ileri hasar durumunu meydana

gelmektedir. Köprü uzun bir süre kullanılamayacak şekilde hasar almakta ve verilen hizmet aksamaktadır.

Göçme Hasar Durumu (GH), deprem sırasında oluşan etkiler köprüde göçme durumu oluşturmaktadır. Bundan dolayı köprü işlevini yerine getirememektedir. Demiryolu köprülerinde hedeflenen performans seviyesinin belirlenmesi, yönetmelikte belirtilen deprem düzeyleri köprü sınıfına göre tayin edilmektedir. Tablo 1.4'te köprülere ait hedef performans seviyeleri üç deprem seviyesi için aşağıda verilmektedir.

Tablo 1.4. Çeşitli deprem düzeylerinde hedeflenen performans düzeyleri (Demiryolları ve Limanlar, 2008)

Yapının Sınıfı	Deprem düzeyi (D1)	Deprem düzeyi (D2)	Deprem düzeyi (D3)
Özel	-	MH	KH
Normal	MH	KH	(İH)
Basit	(MH)	KH	(İH)

Tablo 1.4'te parantez içinde gösterilen hasar durumları kendiliğinden oluşmakta ve normal ve basit köprüler için (D3) depremi altında İleri Hasar (İH) performans hedefi belirlenmektedir. Ancak basit köprüler için (D1) depremi altında Minimum Hasar (MH) performans hedefinin irdelenmesine ihtiyaç yoktur.

1.8.3. Deprem Düzeyleri

Deprem düzeyleri yönetmeliklerde D1, D2, D3 olmak üzere üç tür olarak verilmektedir.

D1 deprem düzeyi, sık görülen ve yapıların kullanımı boyunca meydana gelebilme olasılığı fazla şiddeti az olan depremlerdir. (D1) düzeyindeki depremin 50 yılda aşılma olasılığı %50, buna karşı gelen dönüş periyodu 72 yıldır.

D2 deprem düzeyi, yapıların kullanımı boyunca meydana gelebilme olasılığı çok fazla olmayan, az sıklıkla meydana gelen, ancak şiddetli deprem yer hareketlerini tanımlamaktadır. (D2) düzeyindeki depremler 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan, buna karşı gelen dönüş periyodu ise 475 yıl olan depremlerdir.

D3 deprem düzeyi, yapıların maruz kalabileceği en şiddetli deprem yer hareketini ifade etmektedir. (D3) düzeyindeki bu çok seyrek depremin 50 yılda aşılma olasılığı %2 ve buna karşı gelen dönüş periyodu ise 2475 yıldır.

1.9. Doğrusal Olmayan Dinamik Analizlerde Dikkate Alınacak Davranış

Bu tez çalışmasında, köprünün doğrusal olmayan analizlerde dikkate alınacak davranışı incelenecektir. Köprü elemanların üç boyutlu bir modeli, köprü sisteminin zaman tanım alanında uygulanan deprem altındaki öngerilme kirişi ve kolon tepkisini elde etmek için kullanılmıştır. Deprem altında yapıların doğrusal olmayan davranışı iki kategoriye ayrılmakta. Birinci kategori, malzeme ve kesitlerin elastik olmayan davranışından oluşmaktadır. İkinci kategori ise bir yapı üzerindeki $P-\Delta$ etkileri temsil eden geometrik doğrusal olmayanların davranıştan oluşmaktadır. Bu tez çalışmasında, malzeme ve geometrik doğrusal olmayan davranışlar dikkate alınmıştır.

1.9.1. Newmark Yöntemine Göre Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz

Sismik harekete maruz kalan doğrusal olmayan yapılar için önerilen birkaç tane zaman entegrasyon yöntemi mevcuttur. Bunlar sırasıyla Newmark Yöntemi, Wilson θ -Yöntemi ve Hilber-Hughes-Taylor (HHT) Yöntemlerinden oluşmaktadır. Bu tez çalışmasında, Newmark yöntemi dikkate alınmıştır.

1.9.2. Kütle Atalet Momenti

Yapılar için kullanılacak çerçeve sistem elemanlarının kesit özellikleri genellikle SAP2000 sonlu elemanlar programında yer almaktadır. Ancak bulunamayan farklı olan bir kesit alanı SAP2000 programında yeni bir kesit özelliği olarak tanımlanabilmektedir. Genel özellikler kullanılırsa, kesit alanı (A), burulma sabiti (J), atalet momentleri (I₂₂ ve I₃₃), makaslama alanları (A_{v2} ve A_{v3}), elastik ve plastik kesit modülleri (S₂₂, S₃₃, Z₂₂ ve Z₃₃) ve üst yapının dikey ve enlemesine yönlerinde dönme yarıçapları (r₂₂ ve r₃₃) belirtilmelidir. Yapısal elemanlar için hacim ve malzeme yoğunluğuna göre kütle değerleri hesaplanmaktadır.

1.9.3. Sönüm

Sönüm, herhangi bir yapının bir dış kuvvet etkisinde yaptığı deplasmanların (hareketin) zamanla durmasını sağlayan bir enerji tüketim mekanizmasıdır. Öngerilmeli köprüler için tahmini sönüm oranı yaklaşık $\xi = \%5-7$ arasında değişir. Tipik olarak, tasarım kodlarında köprüler için %5 sönüm oranı kullanılmaktadır (Caltrans, 2004).

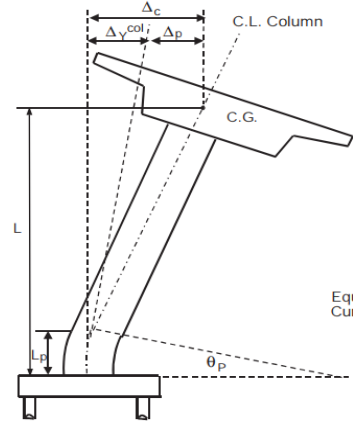
1.9.4. Plastik Mafsallı Hipotezi

Yapı elemanlarında oluşacak doğrusal olmayan şekildeğişiklikler yapı elemanının belirli bölgelerinde yoğunlaşmaktadır. Doğrusal olmayan davranış altında bu bölgeler dışında yapı doğrusal elastik davranış gösterir. Doğrusal olmayan şekildeğişikliklerin doğrusal şekildeğişikliklere oranının büyük olduğu sünek malzemeden oluşan yapılarda plastik mafsallar belirli bölgelerde yoğunlaşmaktadır.

Plastik mafsallı hipotezinde plastik şekildeğişikliklerin meydana geldiği kesitlerin uzunlukları belirtilmelidir. Uzunluklar ampirik bağıntılarla bulunan ölçülerdir. Caltrans Seismic Design Criteria Yönetmeliğinde köprü kolonları için plastik mafsallı boyu Denklem 1.4'te belirtilmiştir. Denklem 1.4'teki L_p plastik mafsallı boyu, L kolon boyu, f_{ye} donatı çeliğinin akma dayanımı ve d_{bl} boyuna donatı çapını göstermektedir (Caltrans, 2004) (Şekil 1.22.).

$$L_p = 0.08L + 0.022 f_{ye} d_{bl} \geq 0.044 f_{ye} d_{bl} \text{ (mm, MPa)} \quad (1.16)$$

Bu formül ile elde edilen plastik mafsallı boyları yapının doğrusal olmayan analizlerinde kullanılmaktadır.



Şekil 1.22. Sabit tabanlı konsol kolonu için yerel deplasman kapasitesi (Caltrans, 2004)

Köprü ayakları hariç öngerilmeli kiriş ve başlık kırıklarında plastik mafsalların oluşmasına hiçbir zaman izin verilmemektedir (Demiryolları ve Limanlar, 2008). Köprü ayaklarında plastik kesitler için verilen birim şekildeğiştirme kapasiteleri Tablo 1.5'te verilmiştir.

Tablo 1.5. Kolon ayakların plastik kesitleri için verilen birim şekildeğiştirme (Demiryolları ve Limanlar, 2008)

Birim şekildeğiştirme	Performans düzeyi	
	MH	KH
Beton basınç birim şekildeğiştirme	0.004	0.020
Donatı çeliği birim şekildeğiştirme	0.010	0.040

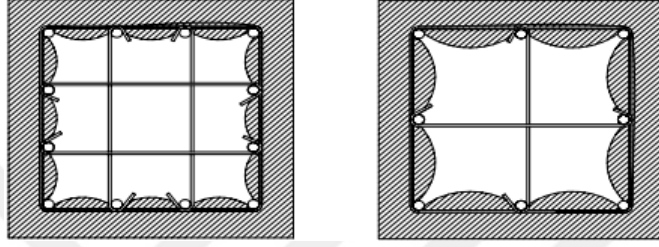
1.9.5. Doğrusal Olmayan Yöntemde Kullanılan Sargılı, Sargısız Beton Modelleri ve Donatı Çeliği Modeli

TBDY' de Mander ve Priestley'nin tanımladığı sargılı ve sargısız beton performans değerlendirmesi, doğrusal olmayan yöntemlerde gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları olarak kullanılmaktadır. Sargılı betonun basınç gerilmesi f_c ve basınç birim şekildeğiştirmesi ϵ_c olarak belirtilmekte olup aşağıdaki denklemde verilmiştir.

$$f_c = \frac{f_{cc} x r}{r - 1 + x^r} \quad (1.17)$$

Bu denklemdeki f_{cc} sargılı beton dayanımını, f_{co} ise sargısız beton dayanımını ifade etmektedir. Aralarındaki ilişkiyi λ_c , etkili sargılama basıncını gösteren f_e ve f_c 'ye bağlı olan bir ifadedir.

$$f_{cc} = \lambda_c f_{co} \quad \lambda_c = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_e}{f_{co}} - 2 \frac{f_e}{f_{co}} - 1.254} \quad (1.18)$$



Şekil 1.23. Dikdörtgen kolonda Sargılama etkisi (Yüksel, 2008)

Etkili sargılama basıncı f_e , dikdörtgen kesit elemanlarında birbirine dik iki doğrultuda oluşan ortalama değerleri aşağıdaki formüllerle hesaplanmaktadır.

$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw} \quad f_{ey} = k_e \rho_y f_{yw} \quad (1.19)$$

Burada f_{yw} enine donatı çeliğinin akma dayanımını, ρ_x ve ρ_y ise iki doğrultusunda enine donatıların hacimsel donatı oranlarını, k_e ise tanımlanan sargılama etkinlik katsayısını göstermektedir.

$$k_e = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_o}\right) \left(1 - \frac{A_s}{b_o h_o}\right)^{-1} \quad (1.20)$$

Burada a_i boyuna donatının eksenler arasındaki mesafesin, s etriye donatının eksenler arasındaki mesafesin, b_o ve h_o betonarme elemanını sargılayan kalan etriye eksen aralarındaki boyutlarını ve A_s ise boyuna donatı alanını göstermektedir.

Betonun x ile r değişkenine ilişkin normalize edilmiş birim şekildeğiştirme bağlantıları aşağıda gösterilmiştir.

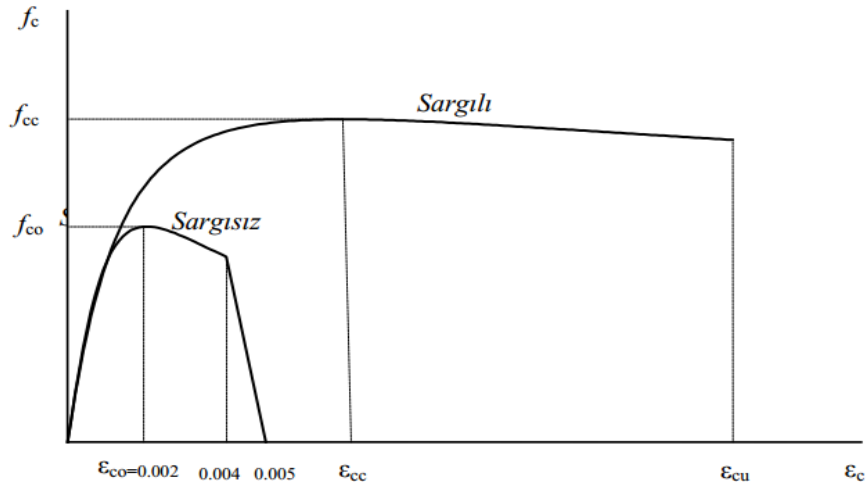
$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad \varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} [1 + 5(\lambda_c - 1)] \quad f_{ey} = k_e \rho_y f_{yw} \quad (1.21)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad E_c \cong 5000 \sqrt{f_{co}} [MPa] \quad E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (1.22)$$

Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi ε_{cu} , aşağıdaki denklemde sunulmuştur.

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4 \rho_s f_{yw} \varepsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (1.23)$$

Burada ρ_s toplam hacımsal donatı oranını (dikdörtgen kesitte $\rho_s = \rho_x + \rho_y$) ve ε_{su} ise enine donatı çeliğın gerilme altında yapabileceğı en büyük uzama şekildeğiştirmesini sergilemektedir. Ayrıca donatı çeliğı gerilme-şekildeğiştirme diyagramı Şekil 1.24'te verilmiştir.



Şekil 1.24. Sargılı ve sargısız betonun gerilme-şekildeğiştirme diyagramı (TBDY, 2016)

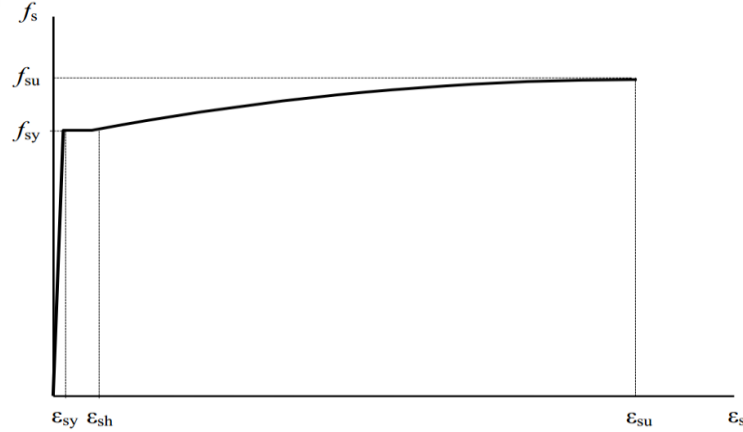
Donatı çeliğı doğrusal olmayan analiz yöntemleri ile şekildeğiştirmeye göre değerlendirmeye alınıp gerilme şekildeğiştirme bağlantıları Denklem 1.24'te sunulmuştur.

$$\begin{aligned}
f_s &= E_s \varepsilon_s & (\varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy}) \\
f_s &= f_{sy} & (\varepsilon_{sy} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sh}) \\
f_s &= f_{su} - (f_{su} - f_{sy}) \frac{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_s)^2}{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh})^2} & (\varepsilon_{sh} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su})
\end{aligned} \tag{1.24}$$

Donatı çeliğinin elastisite modülü $E_s = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$ olup diğer donatı çeliğine ait bilgiler Tablo 1.6'da verilmiştir. Ayrıca donatı çeliği gerilme-şekildeğiştirme diyagramı Şekil 1.25'te verilmiştir.

Tablo 1.6. Donatı çeliklerine ait karakteristik özellikleri (TBDY, 2016)

Kalite	f_{sy} (Mpa)	ε_{cy}	ε_{sh}	ε_{su}	f_{su} (Mpa)
S220	220	0.0011	0.011	0.16	275
S420	420	0.0021	0.008	0.10	550
B420C	420	0.0021	0.008	0.08	550
B500C	500	0.0025	0.008	0.08	675

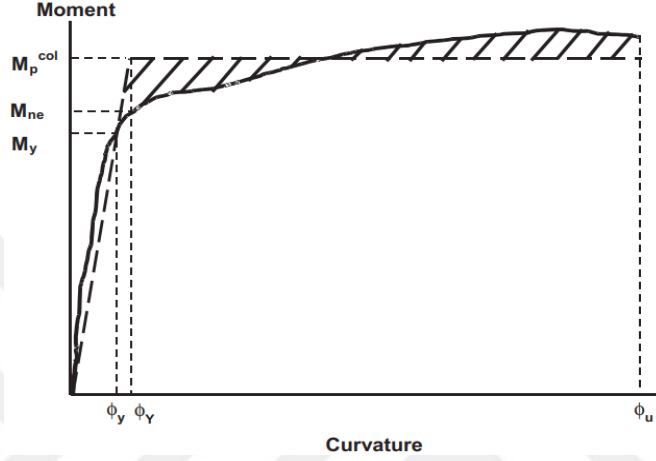


Şekil 1.25. Donatı çeliği gerilme-şekildeğiştirme diyagramı (TBDY, 2016)

1.9.6. Kolon Momenti-Eğrilik Analizi

Köprünün sünek davranan elemanlarının plastik moment kapasiteleri moment-eğrilik ($M-\phi$) analizi yapılarak çözülmesi gerekmektedir. Beklenen moment-eğrilik ($M-\phi$) değerleri malzeme özelliklerine göre hesaplanmaktadır. Moment-eğrilik analizi, ölü yüklerle karşılık gelen yüklemeye tabi tutulan bir kesit için moment ve eğrilik ilişkisini gösteren bir grafik

elde edilmektedir. (M- ϕ) eğrisi, bir kesitin plastik moment kapasitesini tahmin etmek için elasto-plastik tepki ile idealleştirilmektedir. İdealleştirilmiş eğrinin elastik kısmı donatı çubuğunun akma dayanımının nominal moment kapasitesi, M_{ne} olarak gösterilmekte ve bu noktada beton şekildeğiştirmesi ε_c 0.003 ulaştığında elastik davranış sınırını temsil etmektedir.



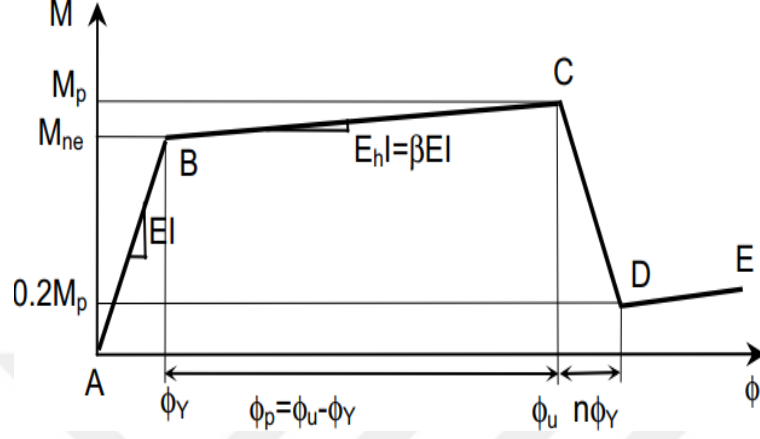
Şekil 1.26. Moment eğrilik grafiği (Caltrans, 2004)

Şekilde görüldüğü gibi, Akma noktasına (ϕ_y, M_y), nominal noktaya (ϕ_γ, M_{ne}) ve plastik kapasitesine (ϕ_u, M_p) karşılık gelen değerler, belirli ölü yüklere karşılık gelen monoton yüklemeye karşı M- ϕ analizi yapılarak elde edilmektedir (Şekil 1.26.).

Köprünün bazı elemanlarında modelleme aşamasında plastik mafsal hipotezlerinin dikkate alınması gerekmektedir. Özellikle köprü kolonları aksel eğilmeye ve aksel kuvvete maruz kalan elemanlar olması nedeniyle oldukça önemli elemanlardır. Bir köprü kolonu analizi üstyapıdan gelen normal kuvvet ve plastikleşme momentine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Köprü kolonların akma öncesi başlangıç rijitliklerini ifade etmek için kesite ait etkin eğilme rijitlikleri kullanılmaktadır. Eğilme rijitlikleri, Denklem 1.5'te verilmiştir.

$$EI = \frac{M_y}{\phi_y} \quad (1.25)$$

Dinamik analiz için ortaya çıkan idealleştirilmiş moment-eğrilik ilişkisi bilinear modeller olarak Şekil 1.26'da verilmiştir.

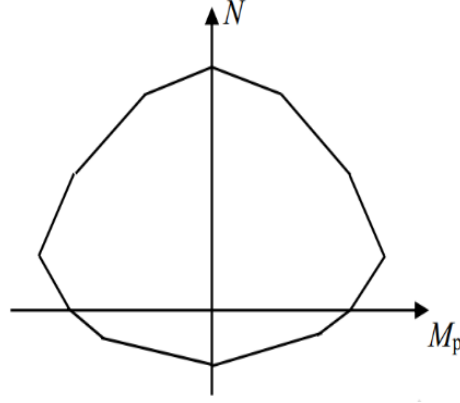


Şekil 1.27. Dinamik Analiz için İdealize Edilmiş Moment Eğrilik İlişkisi (Aviram vd., 2008)

Şekilde görüldüğü gibi A noktası hiçbir yükün etkilemediğini gösteren bir noktadır. B, M_{ne} ve ϕ_Y karşılık gelen akma noktası olarak bilinmektedir. C noktası, kolonun plastik kapasitesinin tahmin belirleme noktası olup M_p ve ϕ_p karşılık gelen noktadır. D noktası, plastik kapasitesinin (M_p) %20 azalma noktası olup, E noktası, kırılma noktası olarak tanımlanmaktadır. Moment eğrilik ($M-\phi$) grafiğinin değerleri normalize edilmiş XTRACT paket programı ile hesaplanmakta ve plastik mafsal (PMM) olarak SAP2000 sonlu eleman programına girilmektedir (Şekil 1.27.).

1.9.7. Kolon Akma Yüzeyleri

Doğrusal olmayan analizlerde normal kuvveti ile moment eksenini ($P-M$) arasında oluşan etkileşim betonun akma yüzeyi ile en doğru sonuçlar belirlenmektedir. Normal kuvvet -moment eksenini ($P-M$) akma yüzeyi grafiği değerleri normalize edilmiş XTRACT paket programı ile hesaplanmakta ve plastik mafsal (PMM) olarak SAP2000 sonlu eleman programına girilmektedir (Şekil 1.28.).



Şekil 1.28. Basınç normal kuvveti ile moment (P-M) etkileşim akma yüzeyi (TBDY, 2016)

Kolonda doğrusal olmayan davranış SAP2000'programına plastik mafsal atanması ile temsil edilmektedir. Burada plastik eğriliğin plastik dönmeye dönüşmesi için yaklaşık malzeme ve kesit özellikleri dikkate alınarak bir plastik mafsal uzunluğunu kullanılması gerekmektedir. SAP2000 programında köprü kolon analizlerinde kullanılan plastik mafsal davranışını temsil eden çeşitli modellenme seçenekleri bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında, kolon plastik mafsal etkileşimi SAP2000 paket programına PMM mafsal tanımlayarak, modellenecektir.

1.10. Köprü Analizinde Yapılan Kabuller

Köprü modeli çubuk elemanlar ile temsil edilmeye çalışılmıştır. SAP2000 programında köprünün başlık kirişi ile öngerilmeli kirişlerin etkileşim yaptığı yerlerde, elastomer mesnetleri temsil eden link elemanlar kullanılmıştır.

Ayrıca başlık kirişlerinin elastomer mesnetlere oturduğu yerlere kütlesi ve ağırlığı olmayan kesme ve eğilme rijitlikleri yüksek, fiktif olarak bilinen çubuk elemanlar ile tanımlanmıştır.

SAP2000 modellemesinde neopren elastomer mesnetler yay elemanı olarak atanmıştır.

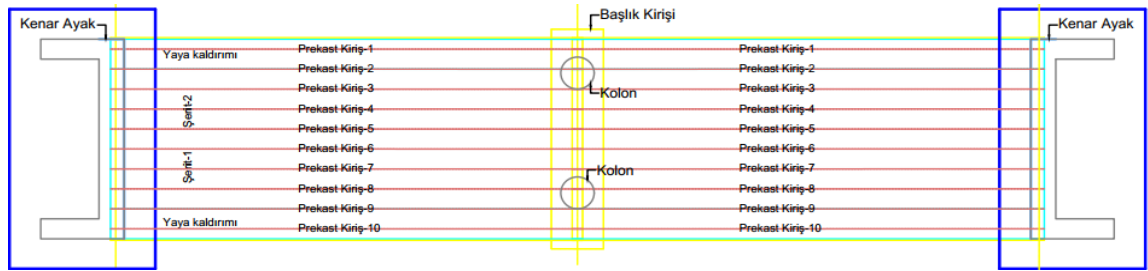
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Köprü Bilgileri

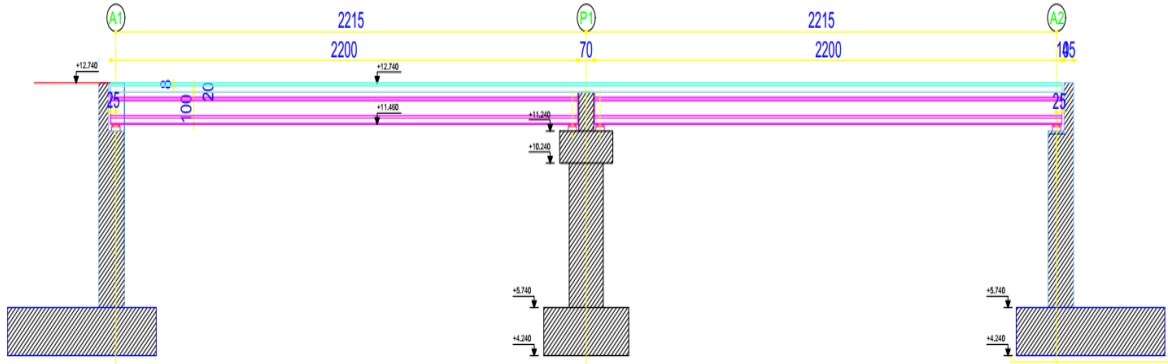
Bu tez çalışmasında, Trabzon'un araklı ilçesinde bulunan iki açıklıklı Karadere köprüsü örnek köprü olarak alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. Karadere köprüsünün toplam uzunluğu 44.3m olup kolon merkez açıklıkları her iki taraf için 22.15m'dir (Şekil 2.2.). Köprü tabliyesi 20cm kalınlığında olup I-100'lük prefabrik öngerilmeli betonarme kirişin üzerine inşa edilmiştir. Köprü'nün tabla genişliği 10m olup, 2 adet 3.5m genişliğindeki şeritlerden ve 1.5m genişliğindeki yaya yollarından oluşmaktadır. Tabliyeye oturan 8cm kalınlığında asfalt kaplama mevcuttur. Öngerilmeli kirişler, I-100'lük prefabrik öngerilmeli betonarme kirişin bitişik noktalarında elastomer mesnetler kullanılmıştır. Bu sayede alt yapıyla üst yapıyı arasında bağlantı sağlanmıştır. Elastomer mesnet boyutları 350x500x85 ($h_{rr}=61$)mm olarak seçilmiştir. Köprü'nün tabliye planı, en kesiti ve başlık kiriş en kesiti Şekil 2.1-2-3'te verilmiştir.

Karadere Köprüsü'nün merkezinde aynı aksa denk gelen çapı 1.6m ve yüksekliği 4.5m olan 2 adet dairesel rijit kolonlar bulunmaktadır (Şekil 2.1.). Bu çalışmada, köprü'nün kolon çapları 1.3, 1.6 ve 1.9m, ve yükseklikleri 3, 4.5, 7.5 ve 10m olarak dikkate alınıp analizler gerçekleştirilmiştir. Köprü'nün kenar ayaklarında gövde ve kanat ölçüleri 1.2m ve 0.5m olup sürekli köprü boyuna doğru gitmiştir.

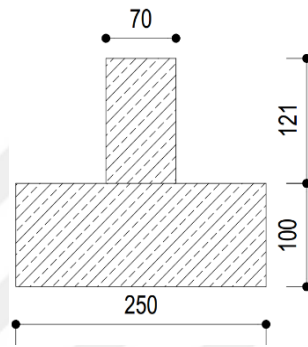
Karadere Köprüsü yüzeysel bir temel sistemine sahiptir. Dairesel kolon temeller yüksekliği 1.5m, eni 4m ve uzunluğu 11m'den oluşmaktadır. Kenar ayakların yüksekliği 1.5m, eni 7m ve uzunluğu 13m'den oluşmaktadır (Şekil 2.2.). Köprü temelleri dikkate alınmayıp alt ucu ankastre olacak şekilde sonlu eleman programına aktarılmıştır.



Şekil 2.1. Köprü'nün plan görünüşü

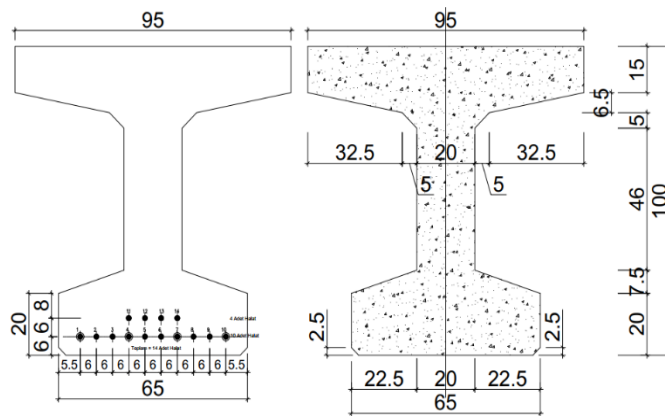


Şekil 2.2. Köprünün boy kesiti

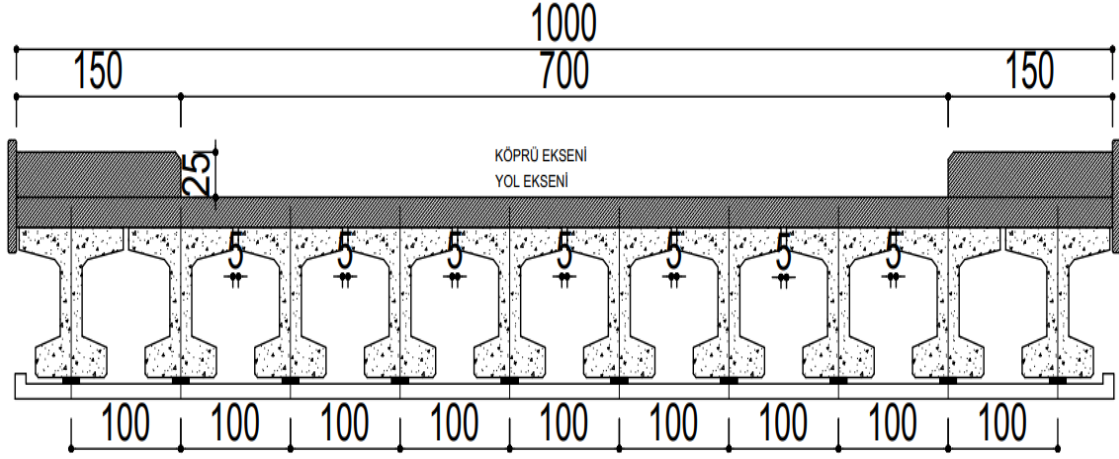


Şekil 2.3. Başlık kirişin en kesiti

I 100'lük öngerilmeli kirişlerin, toplam açıklıkları 10m olan 10 adet 1m mesafe ile Prekast öngerilmeli kiriş olarak modellenmiştir (Şekil 2.5.). I 100'lük öngerilmeli kirişin halat yerleşimi ve en kesiti Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Köprünün I 100'lük öngerilmeli kirişin a) halat detayları ve b) en kesiti



Şekil 2.5. Köprünün tabliye en kesiti

2.2. Malzeme Bilgileri

Öngerilmeli Prekast kirişlerde elastisite modülü 36000MPa olan C45 ($f_{ck}=45\text{Mpa}$) betonu dikkate alınmış, diğer tüm betonarme elemanlarda elastisite modülü 30000MPa olan C25 ($f_{ck}=25\text{Mpa}$) betonu kullanılmıştır. Tüm alt ve üstyapıda S420 betonarme donatısı ($f_{yk}=420\text{Mpa}$) kullanılmıştır.

Öngerilmeli kirişlerde kullanılan öngerme çeliği ASTM A416 Grade 1860 [270K]'e göre seçilmiştir. Kullanılan öngerme halatı 0.6inç (15.24mm) olup kesit alanı 140mm^2 olarak belirlenmiştir. Öngerilme halatının kopma dayanım yükü 260.7kN olarak tanımlanmıştır. Genel olarak germe sırasında ve sonrasında öngerme çeliğindeki germe kuvvetinde bir kısım kayıplar oluşmaktadır. Bunun için 1 adet 0.6inç halatın kopma dayanımının %75'i olarak ilk germeye karşılık olan 195.52kN'luk kuvvet dikkate alınmış ve %25'i emniyet payı olarak bırakılmıştır. Burada çekme yükü ve elastisite modülü (E) sırasıyla 195kN ve 197000MPa olarak dikkate alınmıştır.

2.3. Köprü Analizinde Dikkate Alınacak Yüklemeler

Köprü analizlerinde kullanılan sabit ve sismik yükler aşağıda verilmiştir.

Zati yükler köprü elemanlarının öz yükleridir. Bunlar öngerilmeli kiriş ağırlığı, tabliye, asfalt kaplama, tretuvar, orta refüj, yaya korkuluğu ve enlemlerden oluşmaktadır. Ölü yükler, birim hacim ağırlıkları olarak dikkate alınmıştır.

Betonarme ağırlığı (D_C):	25.00 kN/m ³
Asfalt Kaplama ağırlığı (D_w):	22.50 kN/m ³ = 1.8kN/m
Korkuluk ağırlığı (D_K):	1.00 kN/m

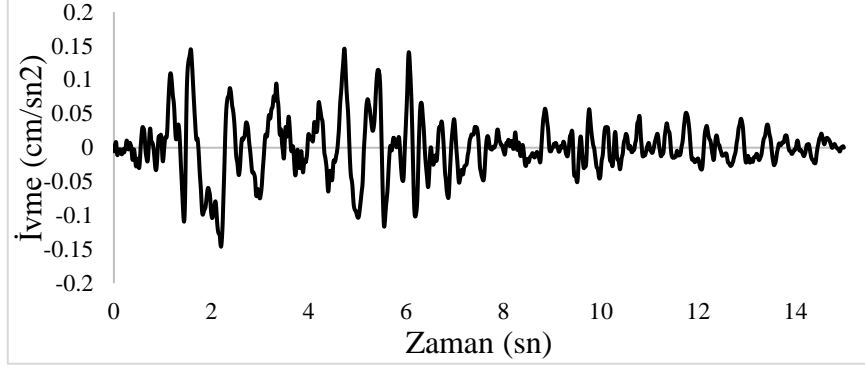
Köprülerin sismik etki altındaki performanslarının değerlendirilmesinde doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Son yıllarda doğrusal analiz yöntemlerinin yerine doğrusal olmayan yöntemler (İtme analizi ve zaman tanım alanında analiz) daha çok tercih edilmektedir. Doğrusal olmayan analiz yöntemleri genellikle şekildeğiştirme esasına dayanmaktadır. Bu tez çalışmasında, zaman tanım alanında doğrusal olmayan deprem hesabı dikkate alınmıştır. Zaman tanım alanındaki analizleri sonlu eleman programlarında gerçekleştirmek için köprülerin bulunmuş olduğu yerin, deprem ve zemin özelliklerini temsil eden daha önceden kaydedilmiş deprem yer hareketlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizi, taşıyıcı sistemdeki doğrusal olmayan hareket denklemi davranışının kademe kademe entegre edilmesidir. Bu çalışmada, mevcut köprü analiz yaklaşımında üç adet deprem kaydı kullanılmaktadır.

Deprem etkisi altındaki köprünün doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerinin değerlendirmesi SAP2000 programı ile gerçekleştirilmiştir. Doğrusal olmayan dinamik analizler için moment-eğriliğini ve normal kuvvet-moment etkileşim bileşenin değerlerini XTRACT programı kullanılarak dikkate alınmıştır.

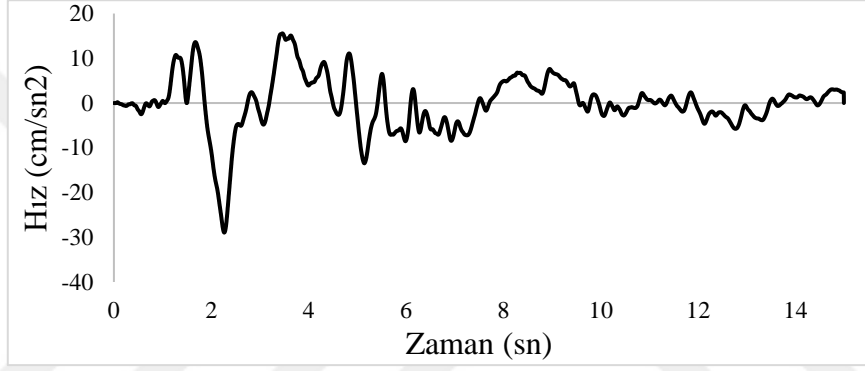
Köprünün doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik analizleri için PEER ve AFAD sitelerinden alınan yapay deprem kayıtlarından faydalanılmıştır. Yapay deprem ivme değerlerinin analizleri MatLab (MATLAB, 2008) ve SeismoSignal programları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mevcut köprünün doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri için kullanılan depremler, deprem kayıt ivme değerleri, deprem kayıt hız değerleri ve kayıt süreleri Tablo 2.1’de sunulmuştur. Kullanılan deprem ivme ve hız kayıtların grafikleri Şekil 2.6-11’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Zaman tanım alanı analizleri için deprem kayıtları

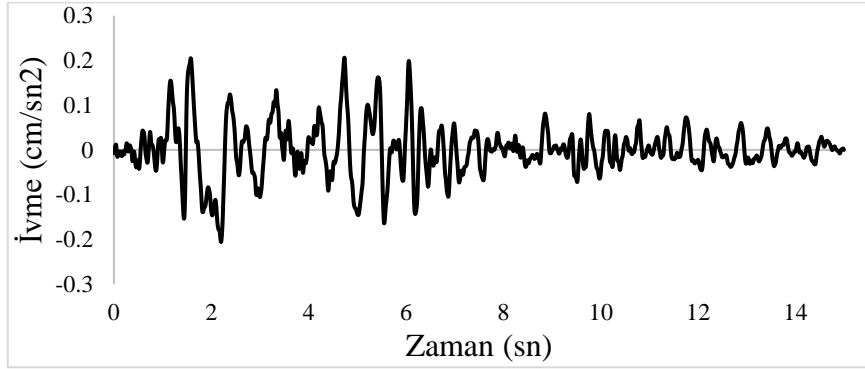
Deprem kaydı	Yüksek ivme değeri (g)	Yüksek hız değeri (cm/sn)	Kayıt süresi (sn)
Kocaeli	0.146	28.96	15.00
Kocaeli	0.206	40.82	15.00
Kocaeli	0.292	57.86	15.00



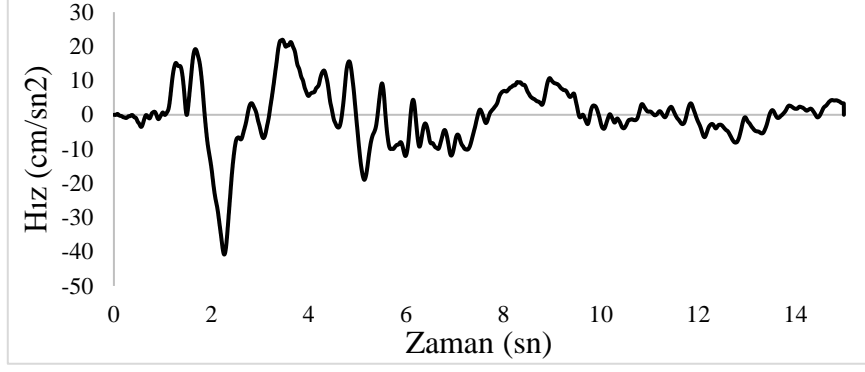
Şekil 2.6. 0.146g maksimum ivme değeri için üretilmiş yapay Kocaeli depremi ivme-zaman grafiği



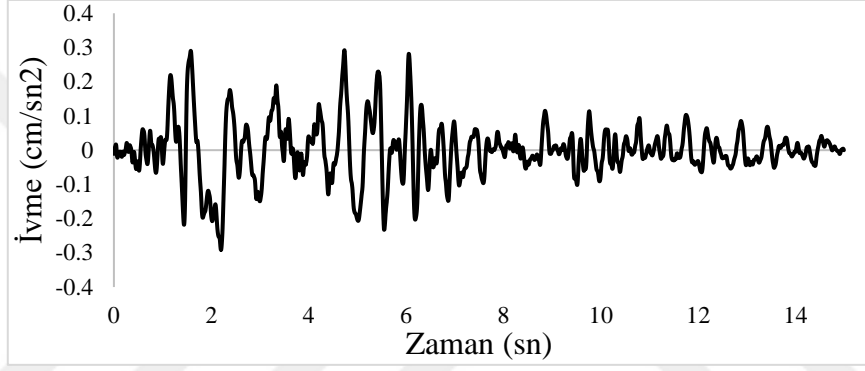
Şekil 2.7. 0.146g maksimum ivme değeri için üretilmiş yapay Kocaeli depremi hız-zaman grafiği



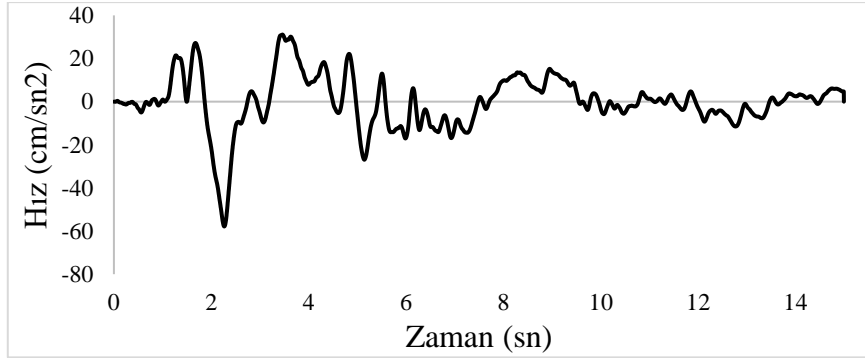
Şekil 2.8. 0.206g maksimum ivme değeri için üretilmiş yapay Kocaeli depremi ivme-zaman grafiği



Şekil 2.9. 0.206g maksimum ivme değeri için üretilmiş yapay Kocaeli depremi hız-zaman grafiği



Şekil 2.10. 0.292g maksimum ivme değeri için üretilmiş yapay Kocaeli depremi ivme-zaman grafiği

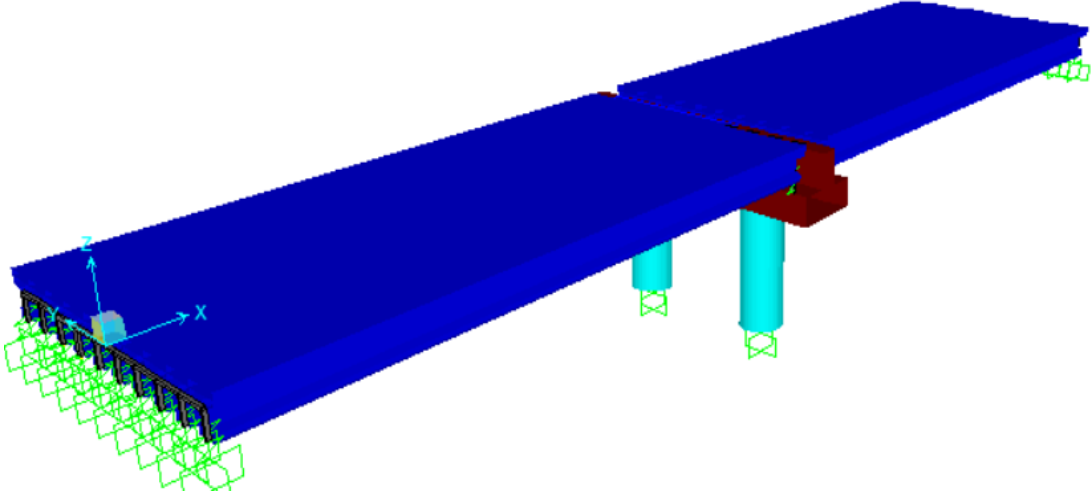


Şekil 2.11. 0.292g maksimum ivme değeri için üretilmiş yapay Kocaeli depremi hız-zaman grafiği

2.4. Karadere Köprüsünün SAP2000’de Bilgisayar Modellemesi

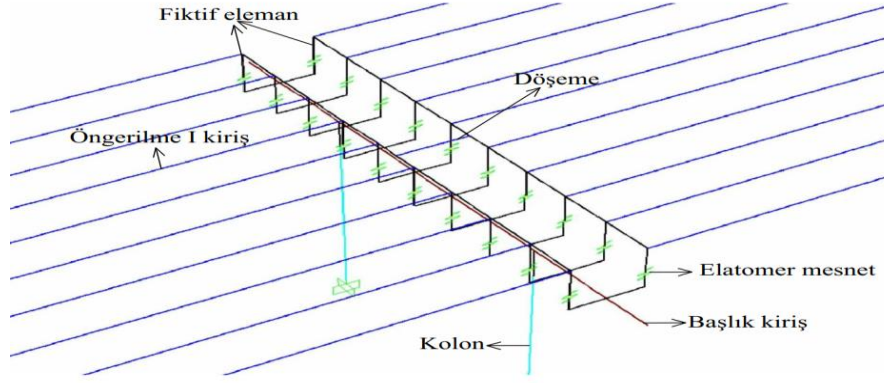
Köprünün tüm üstyapı elamanları (kolon, başlık kirişi, döşeme, tabliye) SAP2000 sonlu eleman programında modellenmiş olup taşıyıcı eleman ağırlıkları, dış yükleri ve sismik yükleri altında üç boyutlu çubuk elemanlar olarak tanımlanmıştır.

Taşıyıcı elemanların ağırlıkları program tarafından otomatik olarak hesaplanmaktadır. Taşıyıcı olmayan elemanların ağırlıkları ise köprü modeline yayılı yük olarak girilmiştir. Köprünün, üst yapısı 10 adet öngerilme kiriş ayrı ayrı çubuk eleman olarak tanımlanmıştır. Öngerilmeli kirişlerin üstünde yer alan tabliye beton kalınlığı öngerilmeli kirişler ile birleşik sayarak kompozit eleman olarak tanımlanmıştır. Analizde kullanılan kolon yüksekliği 4.5m ve kolon çapı 1.6m için köprü bilgisayar modeli Şekil 2.12’de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Karadere köprüsünün bilgisayar modeli

Elastomer mesnetlerin alt uç tarafları ankastre kabul edilerek, köprü kenar ayakları modele dahil edilmemiştir. Dairesel kesitli kolonların ise orta ayak alt uçları ankastre olarak kabul edilmiştir. Kolonların üstünde ters T şeklindeki başlık kirişleriyle tabliye arasındaki elastomer mesnetler, SAP2000 programında link elemanları olarak girilmiştir. Köprülerde kullanılan elastomer mesnetlerin kullanım amacı köprünün üst yapıdan gelen kesme kuvvetlerini köprünün alt yapısına aktarmasıdır. Köprünün iki doğrultusunda meydana gelen kayma rijitlikleri $K_H = G_e A_e / H_r$ ve dönme rijitlikleri $K_R = E_e I_e / H_r$ formülleriyle hesaplanmıştır.



Şekil 2.13. Köprü modelinin açıklanması

Başlık kiriş ile kolon birleşimi fiktif elemanlarla sağlanmıştır. Köprü elemanların bütünlüğü çalıştığını düşünülerek köprünün gerekli olan yerlerinde body constraint atanmıştır.

2.5. Elastomer Mesnet Özelliklerin Hesabı ve Modele Aktarılması

Köprünün orta ve kenar ayaklarındaki elastomer mesnetler SAP2000 sonlu eleman programına link eleman olarak tanımlanmıştır. Karadere köprüsü için seçilen elastomer mesnet boyutları 50x35cm olup toplam elastomer mesnet yüksekliği 8.5cm'dir. Toplam Neopren ve toplam çelik plaka kalınlıkları sırasıyla 6.1cm ve 2.4cm'dir. Elastomer mesnetin geometrik ve mekanik özellikleri değerler Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Elastomer mesnet özellikleri

Elastomer mesnet boyutları $W_e \times L_e$	50x35
Elastomer mesnet yüksekliği H_{km} (cm)	8.5
Kauçuk toplam kalınlığı H_r (cm)	6.1
Tek bir kauçuk katman kalınlığı h_{ri}	0.87
Çelik plaka toplam kalınlığı H_r (cm)	2.4
Tek çelik plaka kalınlığı h_{si} (cm)	0.4
Elastomer alanı A_e (cm ²)	1750
Elastomer atalet momenti I_e (cm ⁴)	178600
Şekil katsayısı kauçuk S_{i1}	11.83
Şekil katsayısı çelik plaka S_{i2}	25.75
Genel Şekil katsayısı S_{ov}	15.75
Kirişin ucunda mesnet sayısı	10

AASHTO yönetmenliğinde tanımlanan elastomerin efektif kayma modülü $G_e=0.68\text{Mpa}=680\text{kN/m}^2$ değerlerine karşılık gelen basınç elastisite modülü (E_c) küp için (sertliğe bağlı sabit değerin dikkat alınmasıyla) $E_e=761\text{Mpa}=761000\text{kN/m}^2$ bulunmuştur.

Seçilen sonlu eleman programda elastomer değerleri doğrusal olmayan link elemanı olarak modellenmiştir. köprünün her iki tarafında kayma rijitliği K_H ve dönme rijitliği K_R (Tablo 2.2) değerleri, elastomerin efektif kayma ve basınç elastisite modülü kullanılarak aşağıda verilen denklemler ile hesaplanmıştır.

$$K_H = \frac{G_e A_e}{H_r} = \frac{680 \times 0.175}{0.061} = 1950 \text{KN} / \text{m} \quad (2.1)$$

$$K_R = \frac{E_e I_e}{H_r} = \frac{392000 \times 0.001786}{0.061} = 11480 \text{KN} / \text{m} \quad (2.2)$$

Bu değerler SAP2000 programın ilave edilmiştir.

2.6. Doğrusal Olmayan Analiz Parametrelerinin Belirlenmesi

Köprünün doğrusal olmayan davranışı modellenirken kullanılan analiz parametreleri aşağıda sunulmuştur.

2.6.1. Plastik Mafsal Boyunun Belirlenmesi

Plastik mafsal hipotezinde plastik şekil değiştirmelerin meydana geldiği kesitlerin uzunlukları belirtilmelidir. Uzunluklar ampirik bağlantılarla bulunan ölçülerdir. Caltrans Seismic Design Criteria 7.6.2 numaralı maddesinde köprü kolonları için plastik mafsal boyu Denklem 1.4'te belirtilmiştir. Denklem 1.4'teki L_p plastik mafsal boyu, L kolon boyu, f_{ye} donatı çeliğin akma dayanımı ve d_{bl} boyuna donatı çapını göstermektedir.

$$L_p = 0.08L + 0.022f_{ye}d_{bl} \geq 0.044f_{ye}d_{bl} \text{ (mm, Mpa)} \quad (2.3)$$

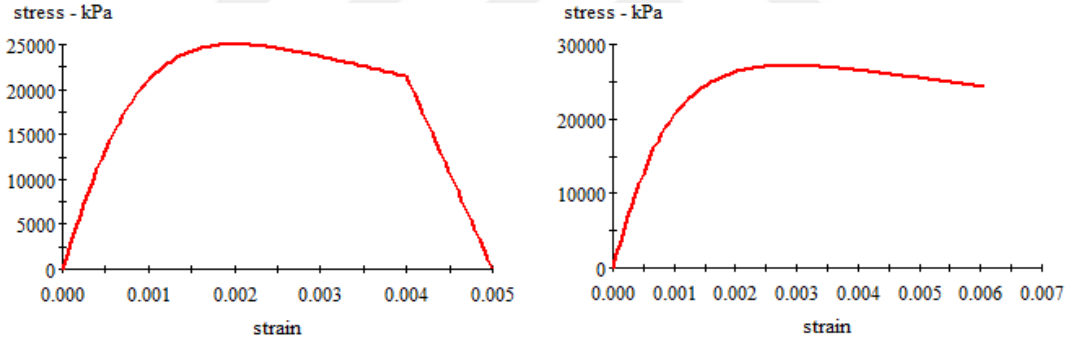
Bu formül ile elde edilen plastik mafsal boyları yapının doğrusal olmayan analizlerinde kullanılmaktadır. Plastik mafsal boyu ve kontrolleri Tablo 2.3'te verilmektedir.

Tablo 2.3. Plastik mafsal boyu ve kontrolü

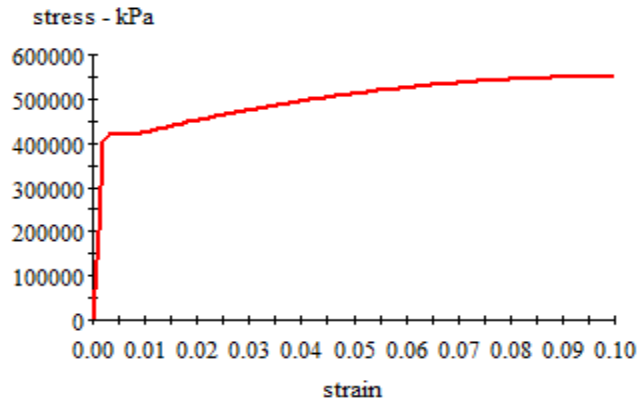
Köprünün kolon boyu (L)	3000 mm	4500 mm	7500 mm	10000 mm
Donatı çeliğın akma dayanımı(f_{ye})	420 Mpa	420 Mpa	420 Mpa	420 Mpa
Boyuna donatı çapı (d_{bl})	25 mm	25 mm	25 mm	25 mm
Plastik mafsal boyu (L_p)	471 mm	591 mm	831 mm	1031 mm
$0.044 f_{ye} d_{bl}$	462 mm	462 mm	462 mm	462 mm

2.6.2. Kolonlarda Moment Eğrilik ve Normal Kuvvet-Moment (P-M) Etkileşim Yüzeyi İlişkisinin Belirlenmesi

Mander sargılı/sargısız beton modelinin ve donatı çeliğinin gerilme-birim şekildeğıştirme ilişkisinden faydalanarak aksel ölü yüklere bağı moment-eğrilik diyagramları XTRACT programında çizilmiştir. Bu diyagramlar uygun biçimde bidoğrusal moment-eğrilik diyagramlarına dönüştürülecektir.



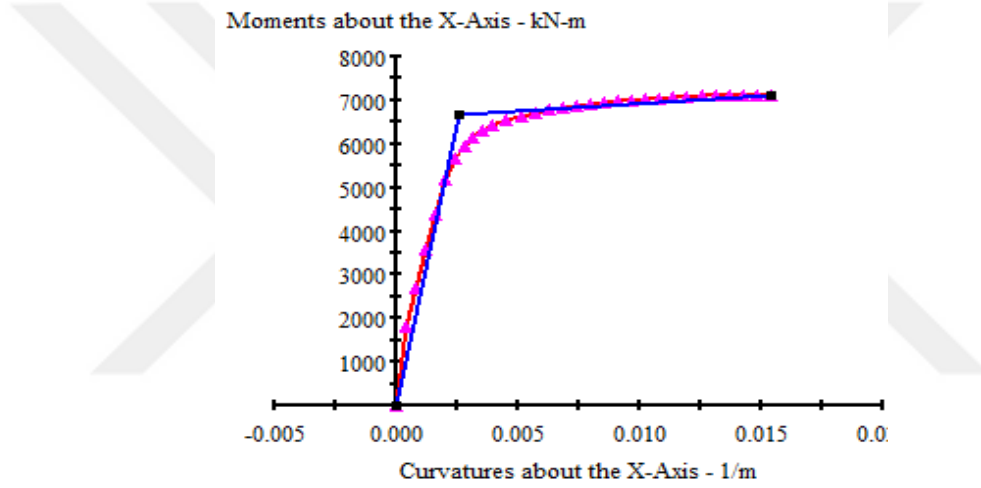
Şekil 2.14. XSTRACT programına tanımlanan C25 sargılı ve sargısız beton gerilme-birim şekildeğıştirme grafiğı



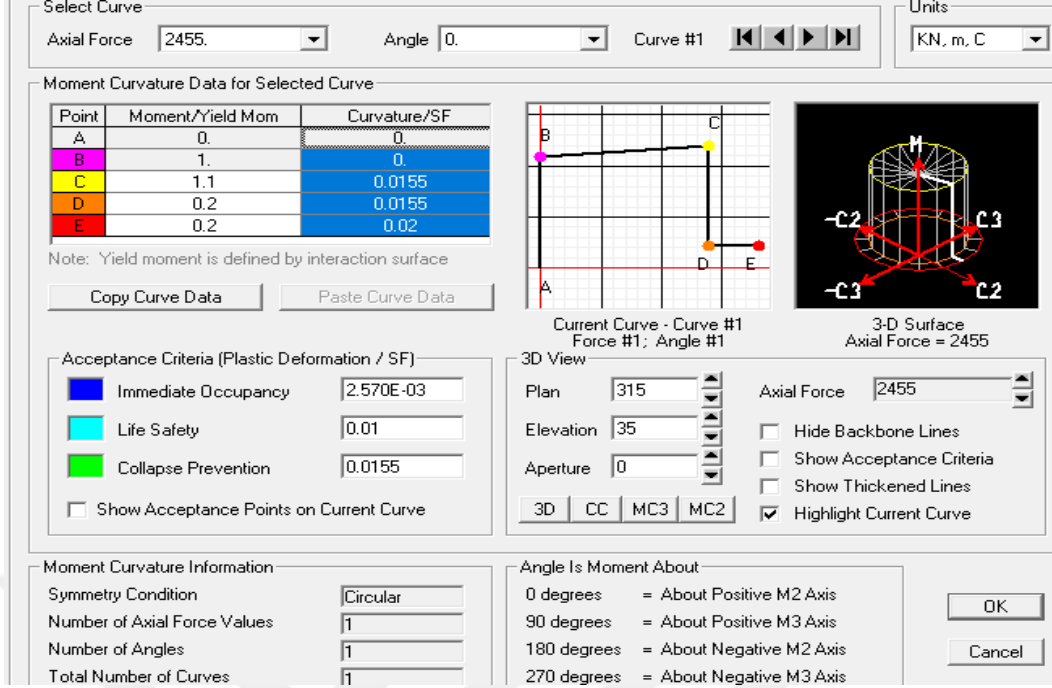
Şekil 2.15. XSTRACT programına tanımlanan S420 çelik gerilme-birim şekildeğıştirme grafiğı

Kullanılan beton ve donatı çelik özellikleri XTRACT programa girilerek dairesel kolona ait kesit analizleri yapılmıştır. Böylece gerekli sayısal değerler alınarak köprü modeline ait moment-eğrilik ilişkisi grafiksel hale getirilmiştir. 1.3m, 1.6m ve 1.9m çapına sahip dairesel kolonların aksel ölü yüküne bağlı olarak bidoğrusal halde moment-eğrilik ilişkisi belirlenmiştir. Kolon çapı 1.6m ve yüksekliği 4.5m.sahip kolonun aksel ölü yüküne bağlı olarak bidoğrusal halde moment-eğrilik ilişkisi, basınç kuvveti ile moment (P-M) etkileşim yüzeyi ve bunların SAP2000 atanması Şekil 2.16-19’da verilmiştir.

XTRACT programında bulunan eğrilerin değerleri SAP2000 programına girilmiştir (Şekil 2.17.).

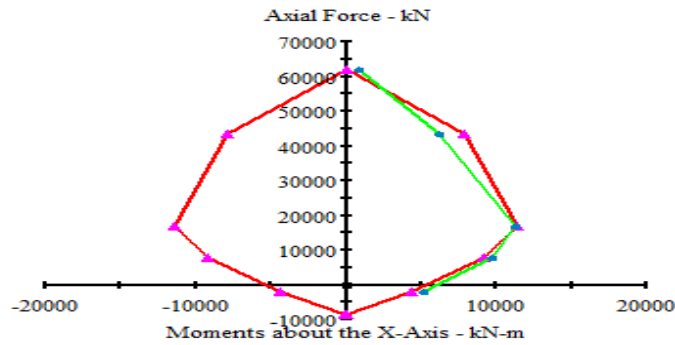


Şekil 2.16. XSTRACT programında kolon yüksekliği 4.5m ve kolon çapı 1.6m için moment-eğrilik ilişkisi



Şekil 2.17. XTRACT programında kolon yüksekliği 4.5m ve kolon çapı 1.6m için moment eğrilik değerlerinin SAP2000 programına tanımlanması

Mevcut dairesel kolonun, normal kuvvet ve X-ekseni moment (P-M) etkileşim yüzeyi verilmiştir. Normal kuvvet-moment etkileşim yüzeyinde, kolon doğrusal elastik kapasitesini aşmaktadır ve plastikleşmeye başlayıp elastik ötesi davranışına geçecektir. Bu durum kolonun sünekliliğine ve o anda maruz kaldığı aksenal yük düzeyine bağlı olarak moment eğrilik ilişkisiyle değişmektedir. Çapı 1.6m ve yüksekliği 4.5m sahip köprü kolonunun aksenal basınç kuvveti ile moment-x eksenini etrafındaki etkileşim düzeyi ve SAP2000 programına atanması Şekil 2.18-19'de gösterilmiştir.



Şekil 2.18. XTRACT programında yüksekliği 4.5m ve çapı 1.6m olan kolon basınç kuvveti ile moment-x eksenini (P-M) etkileşim yüzeyi

User Interaction Surface Options

Circular Symmetry
 Doubly Symmetric about M2 and M3
 No Symmetry

Number of Curves:
Number of Points on Each Curve:

Scale Factors (Same for All Curves)

P: M2: M3:

Include Scale Factors in Plots

First and Last Points (Same for All Curves)

Point	P	M2	M3
1	-8659.	0	0
7	61940.	0	0

Interaction Curve Data

Current Curve:

Point	P	M2	M3
1	-8659.	0.	0.
2	-8533.	91.7	0.
3	-1863.	4412.	0.
4	7881.	9167.	0.
5	17050.	11360.	0.
6	43310.	7939.	0.
7	61940.	0.	0.

Interaction Surface Requirements - Circular Symmetry

1. Only one P-M2-M3 curve is specified.
2. P (tension positive) increases monotonically.
3. $M2 = M3 = 0$ at the first and last points.
4. The specified curve has all $M3 = 0$ and all $M2 > 0$.
5. Each curve must be convex and the interaction surface as a whole must be convex (no dimples in surface).

3D Plot

Plan:
Elevation:
Aperture:

Show All Lines
 Hide P Direction Lines
 Hide M2-M3 Lines
 Highlight Current Curve

Şekil 2.19. XSTRACT programında yüksekliği 4.5m ve çapı 1.6m olan kolon için (P-M) etkileşim yüzeyi değerlerinin SAP2000 programına tanımlanması

2.7. Modellenen Köprüde Analizlerin Yapılması

Kocaeli depremi 0.146g, 0.206g ve 0.292g deprem ivme kayıtları için farklı kesitlere sahip kolonlar doğrusal ve doğrusal olmayan analizler %5 sönüm oranı seçilerek zaman tanım alanında New-Mark metodu kullanılarak SAP2000 sonlu eleman programında gerçekleştirilmiştir.

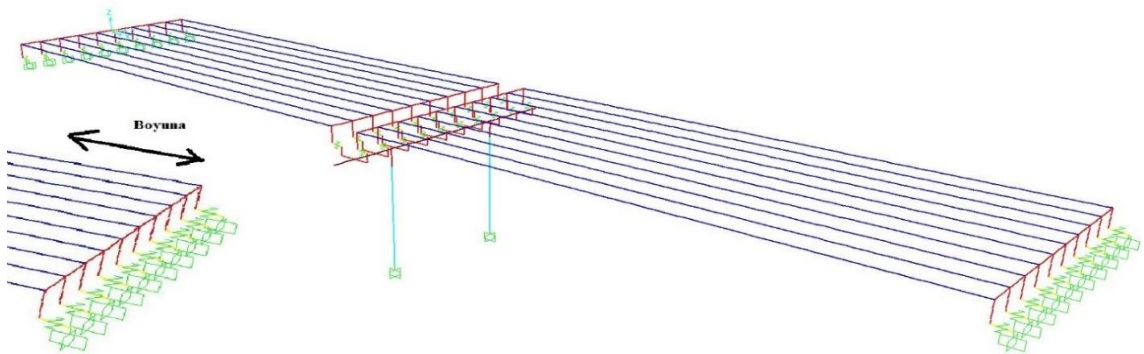
3. BULGULAR VE İRDELEMELER

3.1. Köprü Modelleri İçin Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi

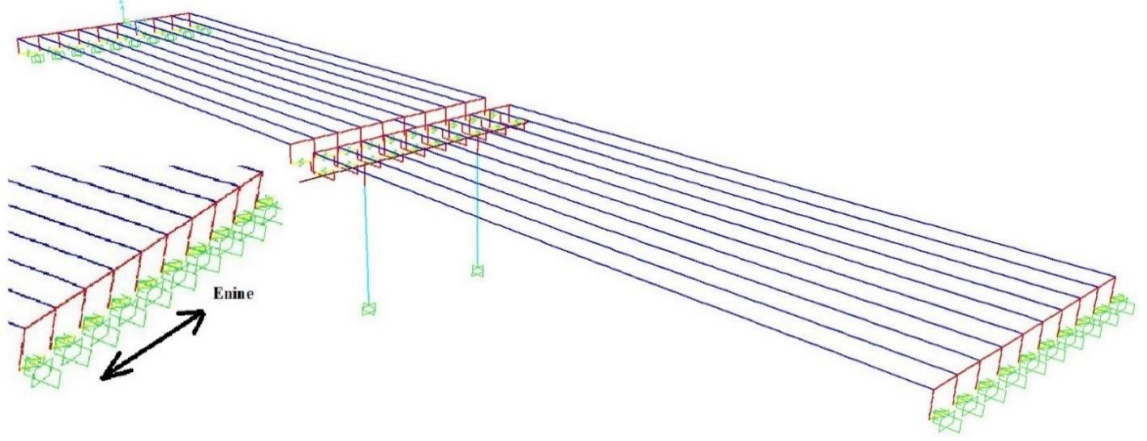
Bu tez çalışmasında analizlerin gerçekleştirilebilmesi amacıyla Trabzon'un Araklı ilçesinde bulunan Karadere Köprüsü seçilmiştir. Köprü, SAP2000 sonlu eleman programında modellenmiş olup modal analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Ayrıca üç farklı deprem kullanılarak köprünün davranışı irdelenmiştir. Deprem etkisi altındaki Karadere köprüsünün yerdeğiştirme, taban kesme kuvvetleri elde edilmiştir. Belirtilen bu üç deprem için 3m, 4.5m, 7.5m ve 10m yüksekliğe ve 1.3m, 1.6m ve 1.9m çaplarına sahip köprü kolonlar için, yerdeğiştirme ve taban kesme kuvvetleri kıyaslanmıştır.

3.1.1. Köprü Modellerinden Elde Edilen Modal Analiz Değerleri

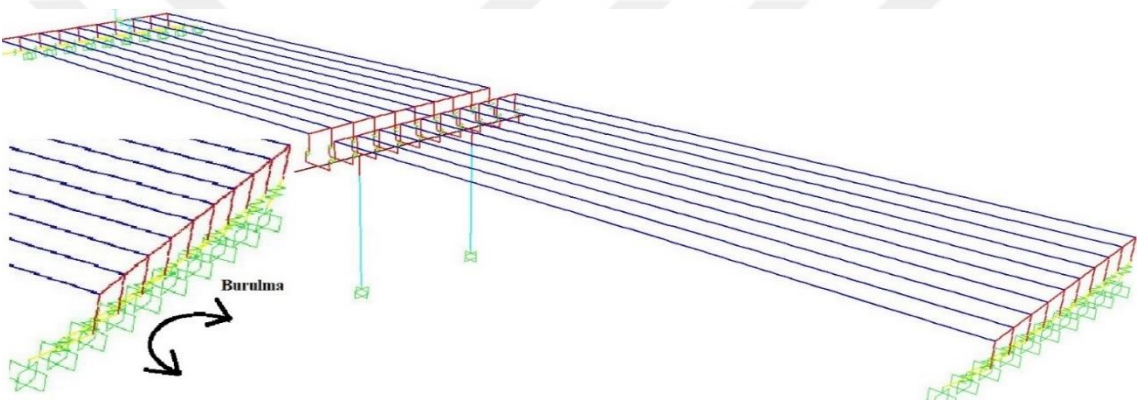
Köprü için doğal titreşim periyotları Eigen yöntemi ile belirlenmiştir. 3m, 4.5m, 7.5m ve 10m yüksekliğe ve 1.3m, 1.6m ve 1.9m çaplarına sahip köprü kolonları SAP2000 programında boyutlandırılmıştır. SAP2000'de oluşturulan matematik modellerden biri olan 1.6m çapındaki ve 4.5m yüksekliğindeki köprü için elde edilen 1., 2. ve 3. modlar Şekil 3.1-2-3'te gösterilmektedir. Mevcut köprünün birinci modu köprü boyuna doğrultuda, ikinci modu enine doğrultuda ve üçüncü modu ise burulma olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.1. Mod 1. (T1=0.636)



Şekil 3.2. Mod 2. ($T_2=0.629$)



Şekil 3.3. Mod 3. ($T_3=0.520$)

Ayrıca, modal analiz sonuçlarından elde edilen 12 Mod değeri Tablo 3.1-2'de verilmiştir. Ayrıca belirtilen kolon yüksekliğine ve çapına karşılık gelen 1. Mod değerleri Tablo 3.3'te ve bunların kıyaslaması ise Şekil 3.4'te Excel yardımıyla sunulmuştur. Analiz sonuçları incelendiğinde, aynı kolon yüksekliğine sahip köprülerde kolon çapları azaldıkça modal analiz sonucunda elde edilen periyotların arttığı gözlemlenirken, kolon yükseklikleri arttıkça elde edilen periyotların arttığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca, analiz sonucunda belirlenen boyutlandırmalara bağlı olarak periyot değerleri 0.631 ila 0.693 arasında değiştiği de görülmüştür.

Kolon yüksekliği 3m ve 4.5m dairesel çaplı kolonlar için modal analiz sonucunda elde edilen modal periyot değerleri Tablo 3.1.'de verilirken kolon yüksekliği 7.5m ve 10m için modal analiz sonucunda elde edilen modal periyot değerleri ise Tablo 3.2.'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Kolon yüksekliği 3m ve 4.5m için modal analiz sonucunda elde edilen modal periyot değerleri

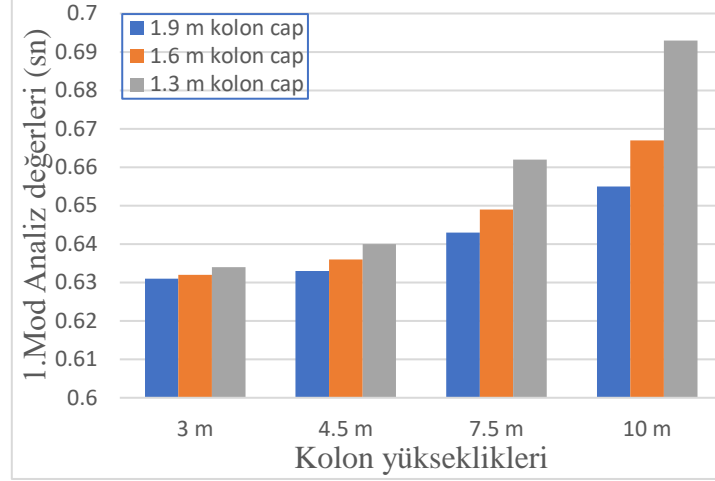
3.5m kolon yükseklik	Kolon çapları (m)			4.5m kolon yükseklik	Kolon çapları (m)		
	1.9(sn)	1.6(sn)	1.3(s)		1.9(sn)	1.6(sn)	1.3(sn)
Mod 1	0.631	0.632	0.63	Mod 1	0.633	0.636	0.640
Mod 2	0.626	0.627	0.62	Mod 2	0.627	0.629	0.632
Mod 3	0.520	0.520	0.52	Mod 3	0.520	0.520	0.520
Mod 4	0.278	0.278	0.27	Mod 4	0.278	0.278	0.279
Mod 5	0.157	0.157	0.15	Mod 5	0.157	0.157	0.157
Mod 6	0.157	0.157	0.15	Mod 6	0.157	0.157	0.157
Mod 7	0.157	0.157	0.15	Mod 7	0.157	0.157	0.157
Mod 8	0.157	0.157	0.15	Mod 8	0.157	0.157	0.157
Mod 9	0.157	0.157	0.15	Mod 9	0.157	0.157	0.157
Mod 10	0.157	0.157	0.15	Mod 10	0.157	0.157	0.157
Mod 11	0.157	0.157	0.15	Mod 11	0.157	0.157	0.157
Mod 12	0.157	0.157	0.15	Mod 12	0.157	0.157	0.157

Tablo 3.2. Kolon yüksekliği 7.5m ve 10m için modal analiz sonucunda elde edilen modal periyot değerleri

7.5m kolon yükseklik	Kolon çapları (m)			10m kolon yükseklik	Kolon çapları (m)		
	1.9(sn)	1.6(sn)	1.3(sn)		1.9(sn)	1.6(sn)	1.3(sn)
Mod 1	0.643	0.649	0.662	Mod 1	0.655	0.667	0.693
Mod 2	0.632	0.638	0.653	Mod 2	0.641	0.654	0.686
Mod 3	0.520	0.520	0.520	Mod 3	0.520	0.520	0.521
Mod 4	0.279	0.280	0.283	Mod 4	0.281	0.284	0.292
Mod 5	0.157	0.157	0.163	Mod 5	0.168	0.182	0.208
Mod 6	0.157	0.157	0.157	Mod 6	0.157	0.157	0.190
Mod 7	0.157	0.157	0.157	Mod 7	0.157	0.157	0.164
Mod 8	0.157	0.157	0.157	Mod 8	0.157	0.157	0.157
Mod 9	0.157	0.157	0.157	Mod 9	0.157	0.157	0.157
Mod 10	0.157	0.157	0.157	Mod 10	0.157	0.157	0.157
Mod 11	0.157	0.157	0.157	Mod 11	0.157	0.157	0.157
Mod 12	0.157	0.157	0.157	Mod 12	0.157	0.157	0.157

Tablo 3.3. Farklı kolon yüksekliklerine ve çaplarına göre köprüye ait 1.Mod değerleri

Kolon yükseklikleri (m)	Dairesel kolon çapı (m)		
	1.9m(sn)	1.6m(sn)	1.3m(sn)
3	0.631	0.632	0.634
4.5	0.633	0.636	0.640
7.5	0.643	0.649	0.662
10	0.655	0.667	0.693



Şekil 3.4. 3m, 4.5m, 7.5m ve 10m yüksekliğe sahip, 1.3m, 1.6m ve 1.9m çaplarındaki köprü kolonları için elde edilen modal analiz sonuçları

3.1.2. Köprü Modelinden Elde Edilen Yerdeğiştirmeler, Taban Kesme Kuvvetleri ve Kıyaslama Sonuçları

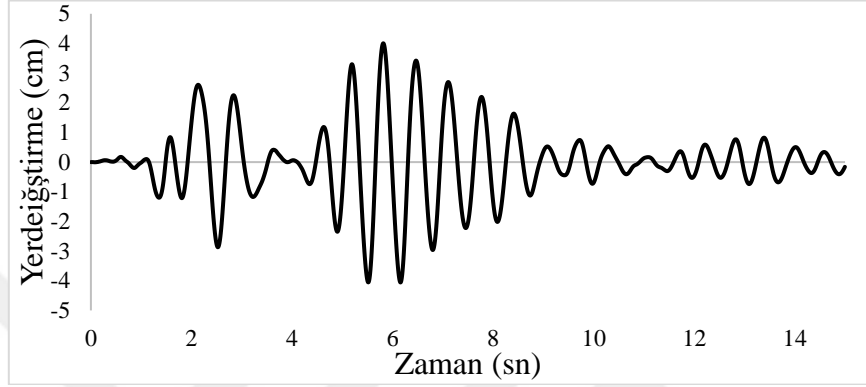
0.146g, 0.206g ve 0.292g maksimum ivme değerleri için üretilmiş Kocaeli depremi ivme kayıtlarına göre gerçekleştirilen analiz sonuçlarına göre önerilmeli kiriş ve dairesel çaplı kolonlar için yerdeğiştirme, taban kesme kuvveti ve bunların kıyaslama sonuçları elde edilmiştir. Bu tez çalışmasında, kolon çapları 1.3m, 1.6m ve 1.9m ve kolon yükseklikleri 3m, 4.5m, 7.5m ve 10m olarak dikkate alınan 10 adet I100 lük önerilmeli Prekast betonarme kiriş kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir.

3.1.2.1. 0.146g Maksimum İvme Değerine Sahip Kocaeli Deprem İçin Öngerilme Kirişlerde ve Dairesel Kolonlarda Oluşan Yerdeğiştirme ve Taban Kesme Kuvvet Değerleri

3.1.2.1.1. 0.146g Maksimum İvme Değerine Sahip Kocaeli Deprem İçin Öngerilme Kirişlerde ve Dairesel Kolonlarda Oluşan Yerdeğiştirmeler

0.146g maksimum ivme değerine göre üretilmiş Kocaeli depremi kullanılarak kolon çapları 1.3m, 1.6m ve 1.9m, ve kolon yükseklikleri 3m, 4.5m, 7.5m ve 10m olarak dikkate alınan ve 10 adet I100 lük öngerilme Prekast kirişi kullanılarak köprü modellerinin doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucu elde edilen yerdeğiştirme değerleri Tablo 3.4'te verilmiştir.

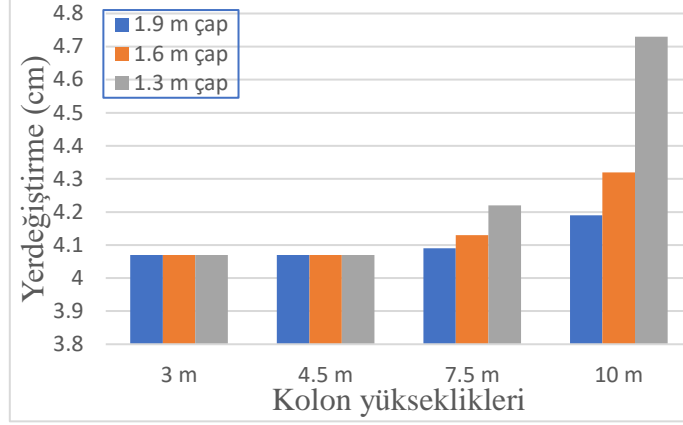
Kocaeli depremi 0.146g maksimum ivme değerine göre üretilmiş ivme kayıtları için, 1.3m kolon çapı ve 4.5m kolon yüksekliğindeki köprünün analiz sonucuna göre öngerilmeli kirişte oluşan yerdeğiştirme grafiği Şekil 3.5'te verilmiştir. Doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonucunda öngerilmeli kirişte oluşan maksimum yerdeğiştirme değeri 4.07 cm olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.5. 0.146g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için doğrusal ve doğrusal olmayan analizler için öngerilmeli kirişte elde edilen yerdeğiştirme-zaman grafiği

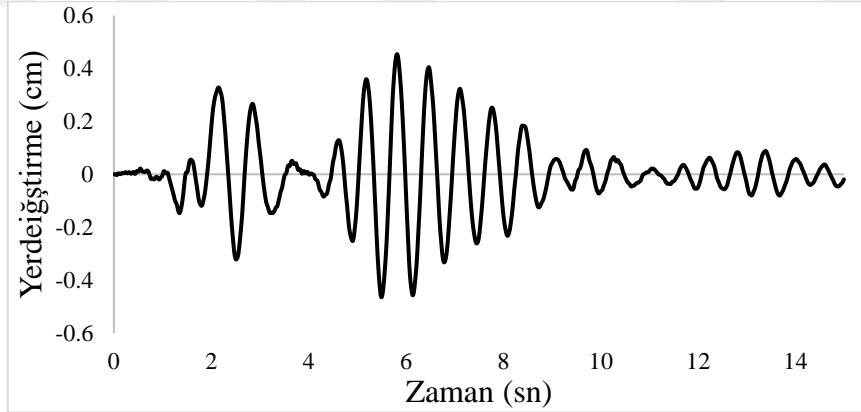
Doğrusal analiz sonucu öngerilmeli kirişin kolon çapı ve yüksekliğine bağlı olarak elde edilen yerdeğiştirme değişim grafiği Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Doğrusal analiz sonucunda kirişte oluşan yerdeğiştirme değerlerinin kolon çapı ve yüksekliğine bağlı olduğu görülmüştür. Şekil 3.6'da görüldüğü üzere öngerilmeli kirişte oluşan yerdeğiştirme değerleri 4.07-4.73cm arasında değişmektedir.

Ayrıca Tablo 3.4'te öngerilmeli kirişlerde oluşan yerdeğiştirme değerleri, deprem esnasında elastomer mesnetlerin kolonlardan üst yapıya moment aktarımının kayda değer olmadığı, doğrusal ve doğrusal olmayan analizler sonucunda açıkça görülmektedir.



Şekil 3.6. 0.146g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için kolon çapı ve yüksekliğine bağlı olarak önerilmeli kirişte oluşan yerdeğiştirme değerleri

Kolon çapı 1.3m ve kolon yüksekliği 4.5m olduğu durumda kolonda oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği Şekil 3.7’de verilmiştir. Doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonucunda kolonda meydana gelen yerdeğiştirme değeri 0.23 cm olarak elde edilmiş olup bu durumda kolonda plastik mafsall oluşmamıştır.

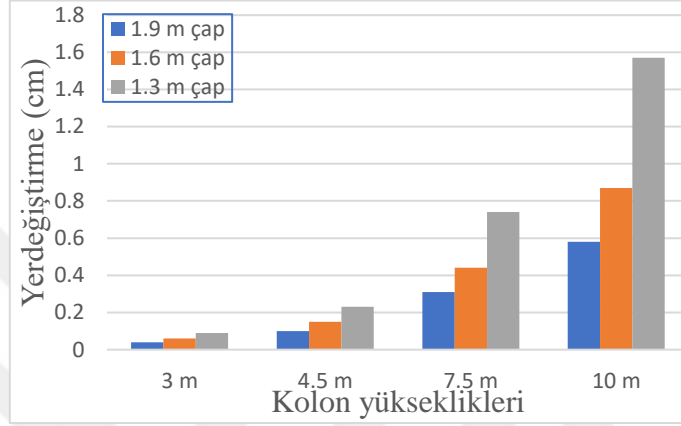


Şekil 3.7. 0.146g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi ile 1.3m çaplı ve 4.5m yükseklikli kolon için doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonucunda oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği

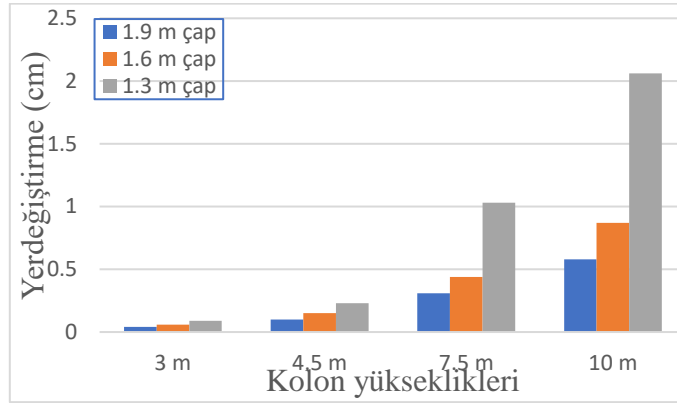
Doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonuçları için önerilmeli kiriş ve kolonlarda elde edilen yerdeğiştirme değerleri Şekil 3.8-9’de verilmiştir. Kolonda oluşan yerdeğiştirme değerleri kolon çaplarına ve kolon yüksekliğine bağlı olup doğrusal ve doğrusal olmayan

analiz sonucunda elde edilen maksimum yerdeğiştirme değerlerinin sırasıyla 0.04-1.57 cm ve 0.04-2.06 cm arasında değiştiği görülmektedir.

şekil 3.8-9’de görüldüğü üzere, doğrusal olmayan analiz için kolonda elde edilen yerdeğiştirmelerin doğrusal analizle elde edilen yerdeğiştirmelere göre daha büyük olduğu görülmüştür.



şekil 3.8. 0.146g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depreminin doğrusal analiz sonucu oluşan kolon yerdeğiştirme değerleri



şekil 3.9. 0.146g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depreminin doğrusal olmayan analiz sonucu oluşan kolon yerdeğiştirme değerleri

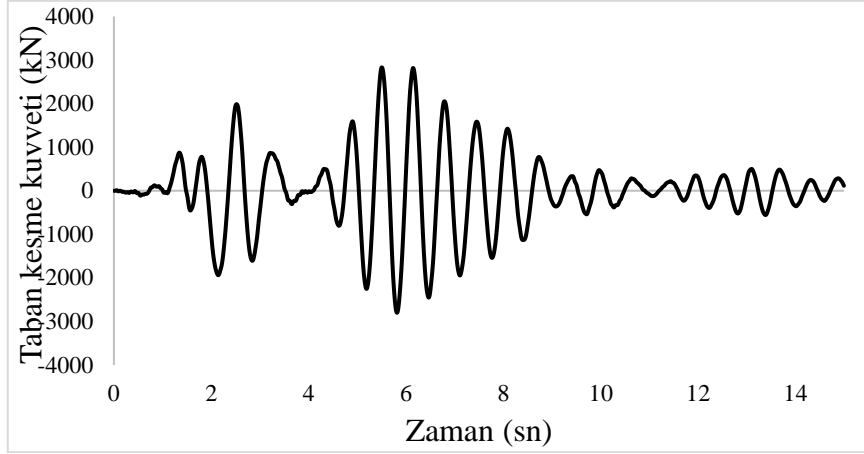
Tablo 3.4. 0.146g ivme değerine sahip Kocaeli depremi için önerilmeli kirişlerde ve dairesel kolonlarda oluşan yerdeğiştirme değerleri

Kolon yüksekliği (m)	Dikkate alınan köprü elemanları	Kolon çapları (m)					
		1.9		1.6		1.3	
		Doğrusal (cm)	Doğrusal olmayan (cm)	Doğrusal (cm)	Doğrusal olmayan (cm)	Doğrusal (cm)	Doğrusal olmayan (cm)
3	Öngerilmeli kiriş	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07
	Kolon	0.04	0.04	0.06	0.06	0.09	0.09
4.5	Öngerilmeli kiriş	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07
	Kolon	0.10	0.10	0.15	0.15	0.23	0.23
7.5	Öngerilmeli kiriş	4.09	4.09	4.13	4.13	4.22	4.08
	Kolon	0.31	0.31	0.44	0.44	0.74	1.03
10	Öngerilmeli kiriş	4.19	4.19	4.32	4.32	4.73	4.43
	Kolon	0.58	0.58	0.87	0.87	1.57	2.06

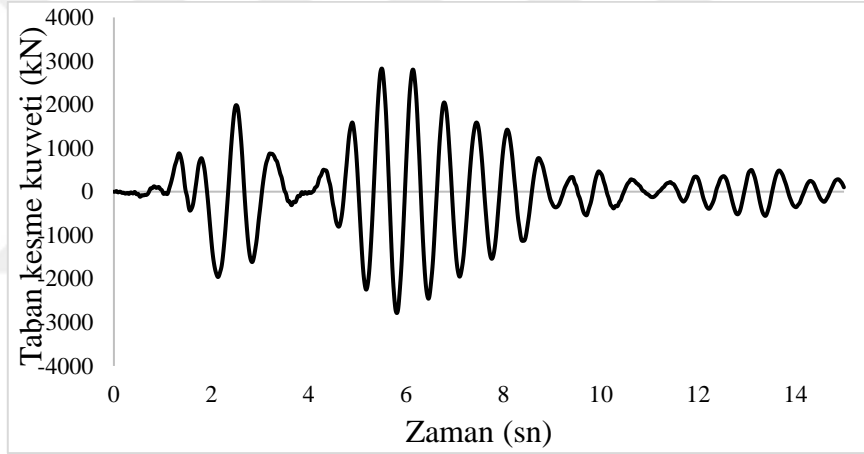
3.1.2.1.2. 0.146g Maksimum İvme Değerine Sahip Kocaeli Deprem İçin Öngerilme Kirişlerde ve Dairesel Kolonlarda Oluşan Kesme Kuvveti Değerleri

10 adet I100 lük öngerilme Prekast kirişi kullanılarak, 1.3m, 1.6m ve 1.9m çaplı ve 3m, 4.5m, 7.5m ve 10m yükseklikli kolonlar için 0.146g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi ile köprünün doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizleri gerçekleştirilerek kesme kuvveti grafikleri elde edilmiştir. Analiz sonucu elde edilen taban kesme kuvveti değerleri Tablo 3.5'te verilmiştir.

Kolon çapının 1.9m ve kolon yüksekliğinin 3m olduğu durumda analiz sonucunda elde edilen taban kesme kuvvet grafikleri Şekil 3.10-11'de verilmiştir. Doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonucunda önerilmeli kirişte oluşan taban kesme kuvveti maksimum değerleri sırasıyla 2927-2938 kN olarak elde edilmiştir.

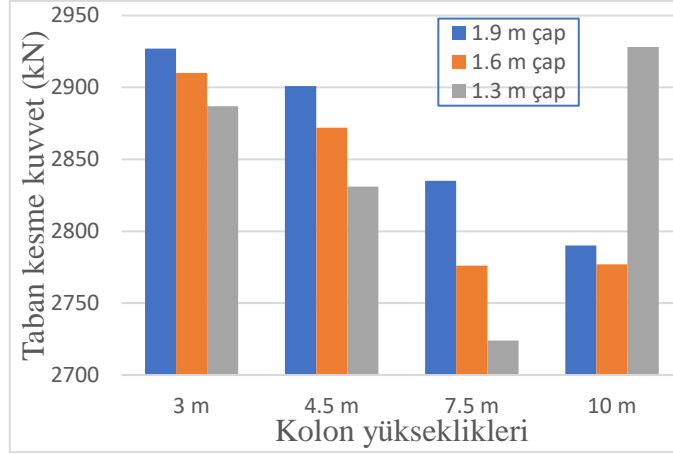


Şekil 3.10. 0.146g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi ile 1.9m çaplı ve 3m yükseklikli kolon için doğrusal analiz sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti-zaman grafiği

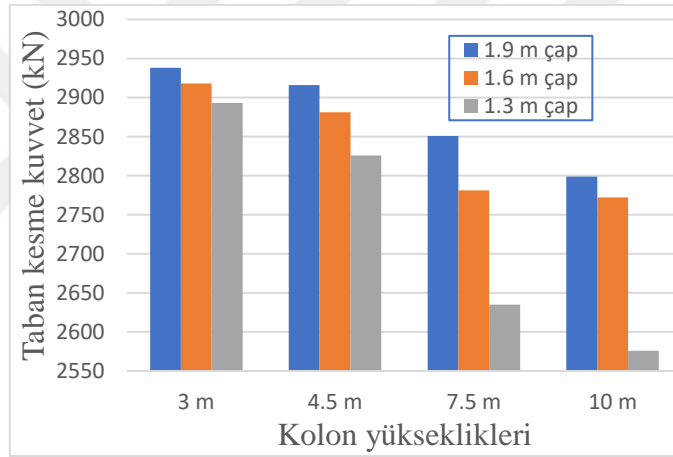


Şekil 3.11. 0.146g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi ile 1.9m çaplı ve 3m yükseklikli kolon için doğrusal olmayan analiz sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti-zaman grafiği

Taban kesme kuvveti değerleri kolon çaplarına ve kolon yüksekliğine bağlı olup doğrusal ve doğrusal olmayan analizler için sırasıyla 2927-2724kN ve 2938-2576kN arasında değiştiği görülmektedir. Tablo 3.5'te görüldüğü üzere analiz sonucunda plastik davranışa geçmemiş bir kolonda, doğrusal olmayan analizler sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti doğrusal analiz sonucu elde edilen taban kesme kuvvetlerine göre yüksek olduğu görülmüştür. Bununla birlikte plastik değere gelen veya geçme durumu olan bir kolonda doğrusal analizinde doğrusal olmayan analizine göre taban kesme kuvveti daha fazla olduğu görülmüştür (Şekil 3.12-13).



Şekil 3.12. 0.146g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için kolon çapı ve yüksekliğine bağlı olarak doğrusal analiz sonucu oluşan taban kesme kuvvet değerleri



Şekil 3.13. 0.146g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için kolon çapı ve yüksekliğine bağlı olarak doğrusal olmayan analiz sonucu oluşan taban kesme kuvvet değerleri

Tablo 3.5. 0.146g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için kolon yükseklikleri ve çaplarına bağlı taban kesme kuvvet değerleri

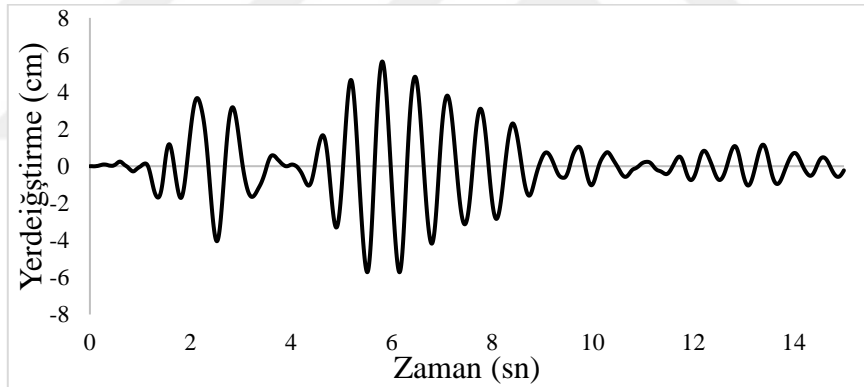
Kolon yüksekliği (m)	Kolon çapları (m)					
	1.9		1.6		1.3	
	Doğrusal (kN)	Doğrusal olmayan (kN)	Doğrusal (kN)	Doğrusal olmayan (kN)	Doğrusal (kN)	Doğrusal olmayan (kN)
3	2927	2938	2910	2918	2887	2893
4.5	2901	2916	2872	2881	2831	2826
7.5	2835	2851	2776	2781	2724	2635
10	2790	2799	2777	2772	2928	2576

3.1.2.2. 0.206g Maksimum İvme Değerine Sahip Kocaeli Deprem İçin Öngerilme Kirişlerde ve Dairesel Kolonlarda Oluşan Yerdeğiştirme ve Taban Kesme Kuvvet Değerleri

3.1.2.2.1. 0.206g Maksimum İvme Değerine Sahip Kocaeli Deprem İçin Öngerilme Kirişlerde ve Dairesel Kolonlarda Oluşan Yerdeğiştirmeler

10 adet I100 lük öngerilme Prekast kirişi kullanılarak, 1.3m, 1.6m ve 1.9m çaplı ve 3m, 4.5m, 7.5m ve 10m yükseklikli kolonlar için 0.206g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi ile köprünün doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizleri gerçekleştirilerek yerdeğiştirme grafikleri elde edilmiştir. Analiz sonucu elde edilen yerdeğiştirme değerleri Tablo 3.6'de verilmiştir.

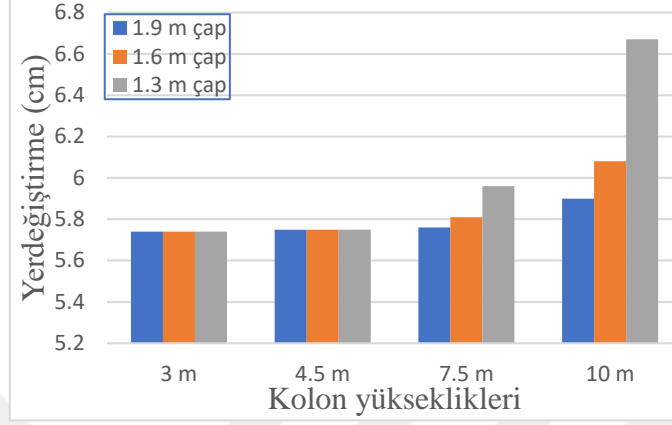
1.3m çaplı ve 4.5m yükseklikli kolon için analiz sonucunda elde edilen yerdeğiştirme-zaman grafiği Şekil 3.14'te verilmiştir. Doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonucunda öngerilmeli kirişte oluşan maksimum yerdeğiştirme değeri 5.72cm'dir.



Şekil 3.14. 0.206g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için doğrusal ve doğrusal olmayan analizler için öngerilmeli kirişte elde edilen yerdeğiştirme-zaman grafiği

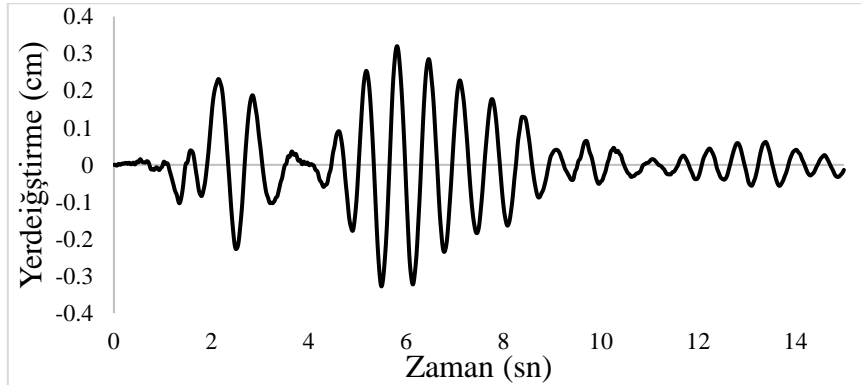
Kolon yüksekliği ve çapına bağlı olarak, 0.206g maksimum ivmeli Kocaeli depremi doğrusal analiz sonucu, öngerilmeli kirişte elde edilen yerdeğiştirme değerleri Şekil 3.15'te verilmiştir. Şekil 3.15'te görüldüğü gibi öngerilmeli kirişte oluşan yerdeğiştirme değerleri kolon çaplarına ve kolon yüksekliğine bağlı olup doğrusal analiz sonucu öngerilmeli kirişte oluşan maksimum yerdeğiştirme değerlerinin 5.74-6.67 cm arasında değiştiği görülmüştür. Ayrıca, Tablo 3.6'te görüldüğü gibi Kocaeli 0.206g analiz sonucunda öngerilme kirişlerinde

oluşan yerdeğiştirme değerleri doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerde dikkate alınacak kadar fark görülmemektedir

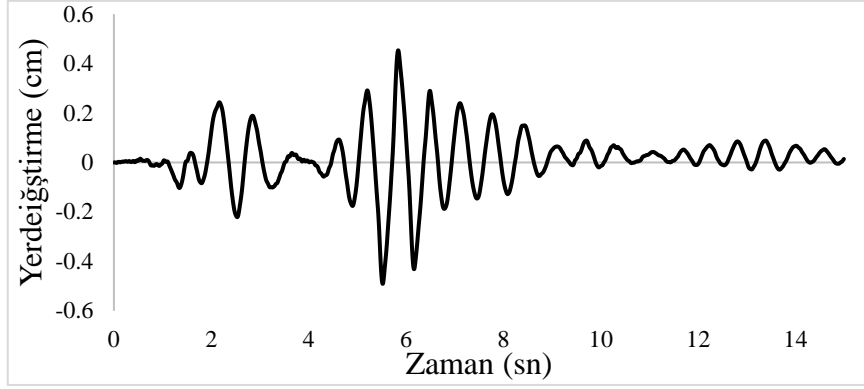


Şekil 3.15. 0.206 maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için kolon çapı ve yüksekliğine bağlı olarak önerilmeli kirişte oluşan yerdeğiştirme değerleri

1.3 m çaplı ve 4.5 m yükseklikli kolon-zaman için analiz sonucunda kolonda oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği Şekil 3.16-17’de verilmiştir. Doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonucunda kolonda oluşan maksimum yerdeğiştirme değerleri sırasıyla 0.33-0.49 cm olarak elde edilmiş olup kolonda plastik mafsall oluştuğunu görülmüştür.

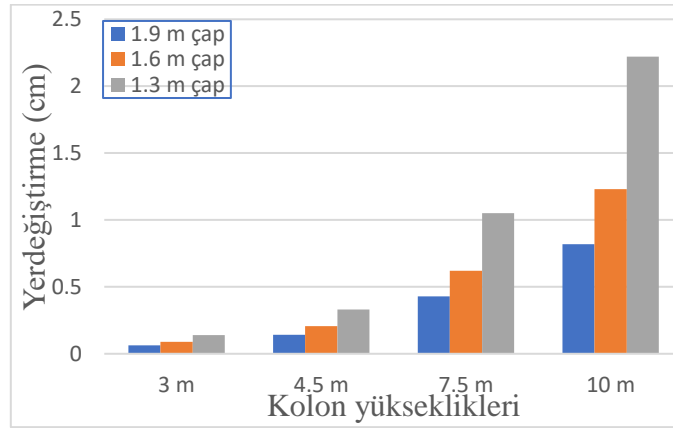


Şekil 3.16. 0.206g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi ile 1.3m çaplı ve 4.5m yükseklikli kolon için doğrusal analiz sonucunda oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği

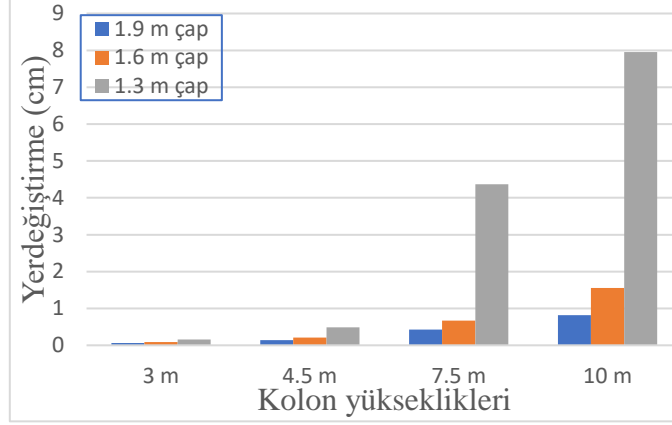


Şekil 3.17. 0.206g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi ile 1.3m çaplı ve 4.5m yükseklikli kolon için doğrusal olmayan analiz sonucunda oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği

Doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonucu kolonda oluşan yerdeğiştirme değerleri Şekil 3.18-19'de verilmiştir. Kolonda oluşan yerdeğiştirme değerleri kolon çaplarına ve kolon yüksekliğine bağlı olup doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonucunda sırasıyla 0.06-2.22 cm ve 0.06-7.95 cm arasındadır. Şekil 3.18-19'de doğrusal olmayan analizi sonucu oluşan yerdeğiştirme değerlerinin doğrusal analiz sonucu elde edileninkilere göre daha büyük olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.18. 0.206 maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için doğrusal analiz sonucu oluşan kolon yerdeğiştirme değerleri



Şekil 3.19. 0.206 maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için doğrusal olmayan analiz sonucu oluşan kolon yerdeğiştirme değerleri

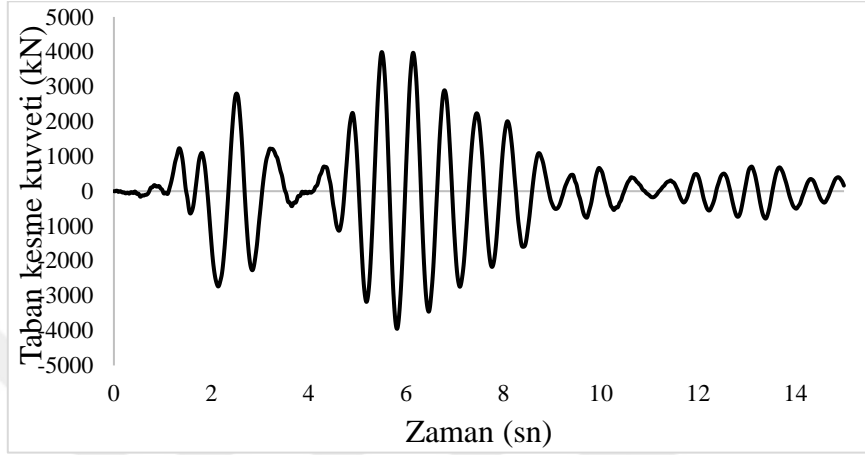
Tablo 3.6. 0.206g ivme değerine sahip Kocaeli depremi için önerilmeli kirişlerde ve dairesel kolonlarda oluşan yerdeğiştirme değerleri

Kolon yüksekliği (m)	Dikkate alınan köprü elemanları	Kolon çapları (m)					
		1.9		1.6		1.3	
		Doğrusal (cm)	Doğrusal olmayan (cm)	Doğrusal (cm)	Doğrusal olmayan (cm)	Doğrusal (cm)	Doğrusal olmayan (cm)
3	Öngerilmeli kiriş	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
	Kolon	0.06	0.06	0.09	0.09	0.14	0.16
4.5	Öngerilmeli kiriş	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
	Kolon	0.14	0.14	0.21	0.21	0.33	0.49
7.5	Öngerilmeli kiriş	5.76	5.76	5.81	5.74	5.96	6.83
	Kolon	0.43	0.43	0.62	0.67	1.05	4.37
10	Öngerilmeli kiriş	5.90	5.90	6.08	5.95	6.67	9.18
	Kolon	0.82	0.82	1.23	1.56	2.22	7.95

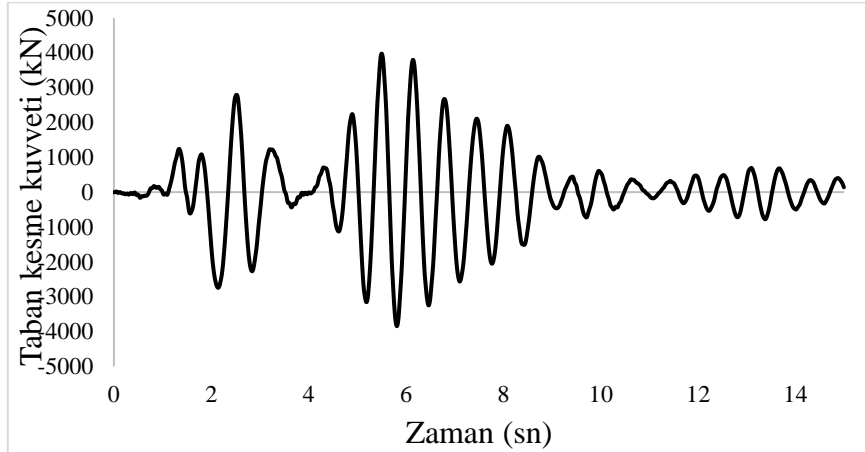
3.1.2.2.2. 0.206g Maksimum İvme Değerine Sahip Kocaeli Deprem İçin Öngerilme Kirişlerde ve Dairesel Kolonlarda Oluşan Taban Kesme Kuvveti

10 adet I100 lük öngerilme Prekast kirişi kullanılarak, 1.3m, 1.6m ve 1.9m çaplı ve 3m, 4.5m, 7.5m ve 10m yükseklikli kolonlar için 0.206g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi ile köprünün doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizleri gerçekleştirilerek kesme kuvveti grafikleri elde edilmiştir. Analiz sonucu elde edilen taban kesme kuvvet değerleri Tablo 3.7’te verilmiştir.

1.9m çaplı ve 3m yükseklikli kolon için analiz sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti-zaman grafikleri Şekil 3.20-21’de verilmiştir. Doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonucunda öngörülen kirişte oluşan kesme kuvveti değerleri 3991-3973 kN olarak elde edilmiştir.



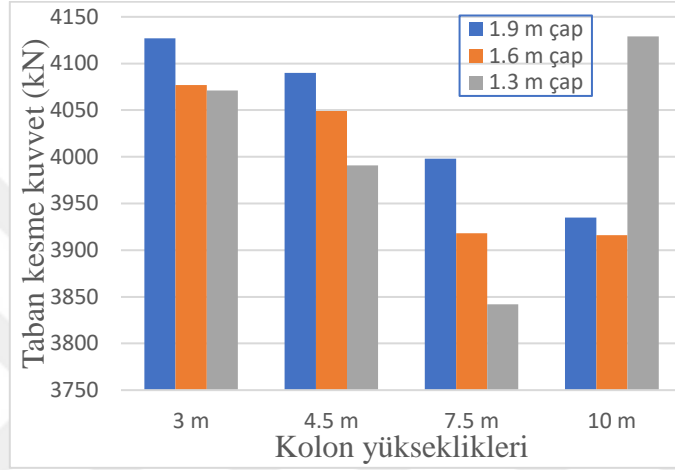
Şekil 3.20. 0.206g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi ile 1.9m çaplı ve 3m yükseklikli kolon için doğrusal analiz sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti-zaman grafiği



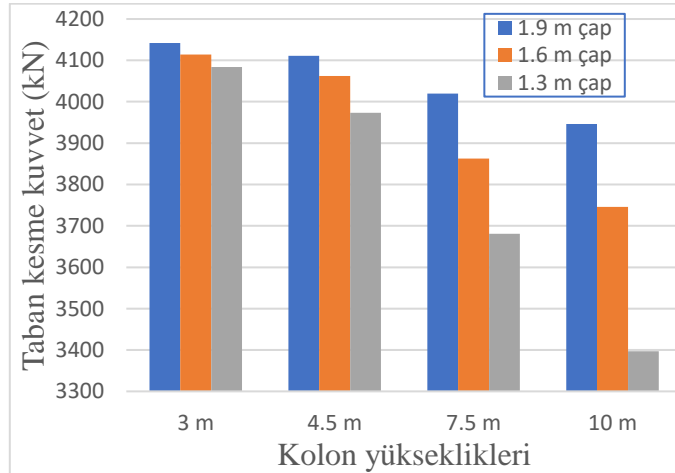
Şekil 3.21. 0.206g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi ile 1.9m çaplı ve 3m yükseklikli kolon için doğrusal olmayan analiz sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti-zaman grafiği

Analiz sonucunda taban kesme kuvveti değerleri kolon çapı ve kolon yüksekliğine bağlı olarak değişmektedir. Doğrusal ve doğrusal olmayan analizler için taban kesme kuvvetlerinin, sırasıyla 4129-3842 kN ve 4142-3397 kN arasında değiştiği gözlenmiştir.

Tablo 3.7’de görüldüğü üzere 0.206g ivme değerine sahip Kocaeli depremine ait analiz sonucunda plastik davranışa geçmemiş bir kolonda, doğrusal olmayan analizler sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti doğrusal analiz sonucu elde edilen taban kesme kuvvetlerine göre yüksek olduğu görülmüştür. Bununla birlikte plastik değere gelen veya göçme durumu olan bir kolonda doğrusal analizinde doğrusal olmayan analizine göre taban kesme kuvveti daha fazla olduğu görülmüştür (Şekil 3.22-23).



Şekil 3.22. 0.206g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için kolon çapı ve yüksekliğine bağlı olarak doğrusal analiz sonucu oluşan taban kesme kuvvet değerleri



Şekil 3.23. 0.206g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için kolon çapı ve yüksekliğine bağlı olarak doğrusal olmayan analiz sonucu oluşan taban kesme kuvvet değerleri

Tablo 3.7. 0.206g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için kolon yükseklikleri ve çaplarına bağlı taban kesme kuvvet değerleri

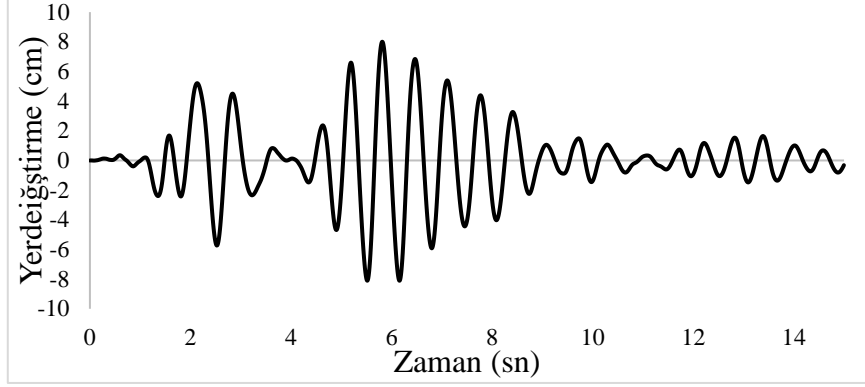
Kolon yüksekliği (m)	Kolon çapları (m)					
	1.9		1.6		1.3	
	Doğrusal (kN)	Doğrusal olmayan (kN)	Doğrusal (kN)	Doğrusal olmayan (kN)	Doğrusal (kN)	Doğrusal olmayan (kN)
3	4127	4142	4077	4114	4071	4084
4.5	4090	4111	4049	4062	3991	3973
7.5	3998	4020	3915	3863	3842	3684
10	3935	3946	3916	3746	4129	3397

3.1.2.3. 0.292g Maksimum İvme Değerine Sahip Kocaeli Deprem İçin Öngerilme Kirişlerde ve Dairesel Kolonlarda Oluşan Yerdeğiştirme ve Taban Kesme Kuvvet Değerleri

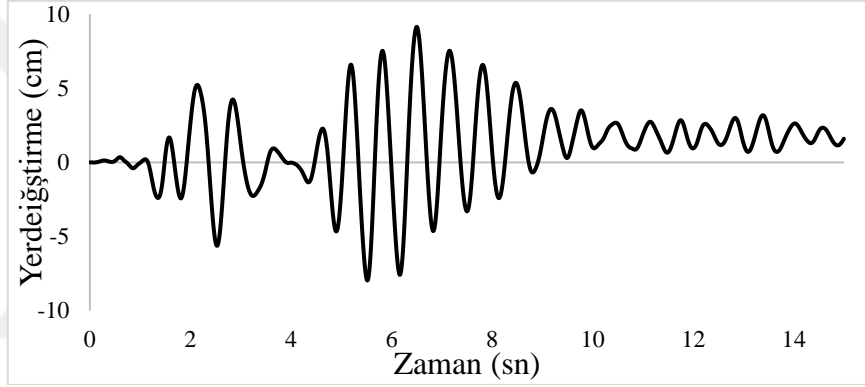
3.1.2.3.1. 0.292g Maksimum İvme Değerine Sahip Kocaeli Deprem İçin Öngerilme Kirişlerde ve Dairesel Kolonlarda Oluşan Yerdeğiştirmeler

10 adet I100 lük öngerilme Prekast kirişi kullanılarak, 1.3m, 1.6m ve 1.9m çaplı ve 3m, 4.5m, 7.5m ve 10m yüksekliğindeki kolonlar için 0.292g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi ile köprünün doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizleri gerçekleştirilerek yerdeğiştirme grafikleri elde edilmiştir. Analiz sonucu elde edilen yerdeğiştirme değerleri Tablo 3.8’de verilmiştir.

1.3m çaplı ve 4.5m yüksekliğindeki kolonlar için olan analiz sonucunda öngerilme kirişte elde edilen yerdeğiştirme grafikleri Şekil 3.24-25’te verilmiştir. Doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonucunda öngerilmeli kirişte oluşan yerdeğiştirme değerleri 8.10-9.13 cm olarak elde edilmiştir.

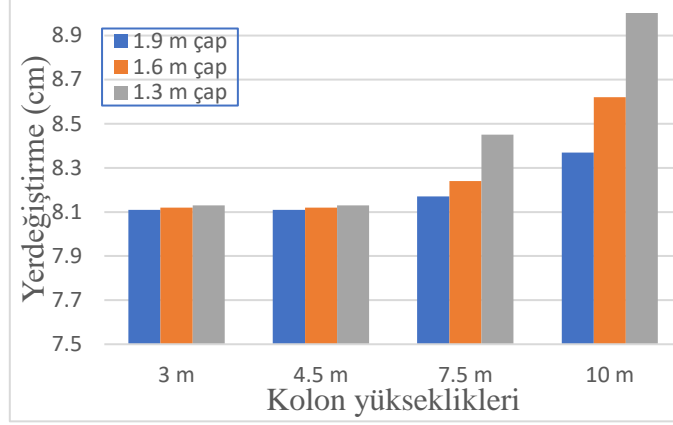


Şekil 3.24. 0.292g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için doğrusal analiz sonucunda öngerilmeli kirişte oluşan zamana bağlı yerdeğiştirmeler



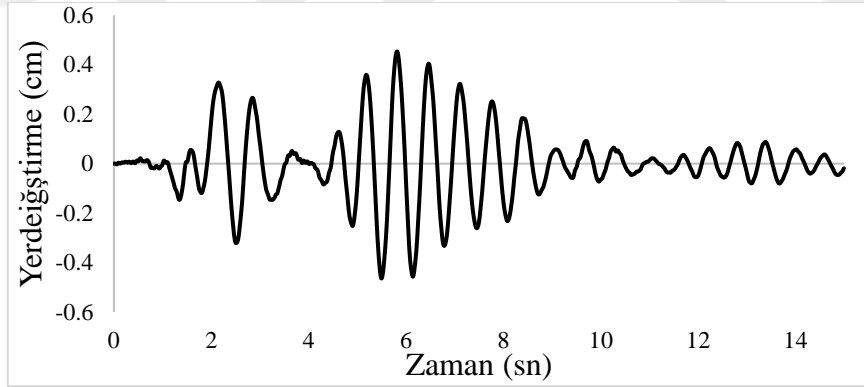
Şekil 3.25. 0.292g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için doğrusal olmayan analiz sonucunda öngerilmeli kirişte oluşan zamana bağlı yerdeğiştirmeler

Doğrusal analiz için öngerilme kirişte kolon çapı ve yüksekliğine bağlı olarak elde edilen yerdeğiştirmeler Şekil 3.26'da verilmiştir. Şekil 3.26'da görüldüğü gibi doğrusal analizler için öngerilmeli kirişte oluşan yerdeğiştirme değerleri 8.11-10.35cm arasındadır. Ayrıca Tablo 3.8'te öngerilmeli kirişlerde oluşan yerdeğiştirme değerleri elastomer mesnetlerden dolayı gerçekleştirilen doğrusal ve doğrusal olmayan analizler sonucunda açıkça görülmektedir.

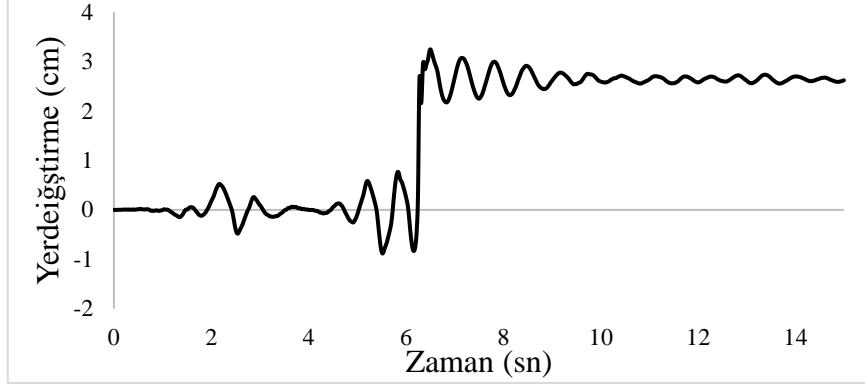


Şekil 3.26. 0.292g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için kolon çapı ve yüksekliğine bağlı olarak önerilmeli kirişte oluşan yerdeğiştirme değerleri

Kolon çapı 1.3m ve kolon yüksekliği 4.5m için analiz sonucunda zamana bağlı olarak elde edilen yerdeğiştirme değerleri Şekil 3.27-28'de verilmiştir. Doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonucunda kolonda oluşan yerdeğiştirme değerleri 0.46-3.24 cm arasında değişmekte olup analiz sonucunda kolonda plastik mafsalları oluştuğu görülmüştür.

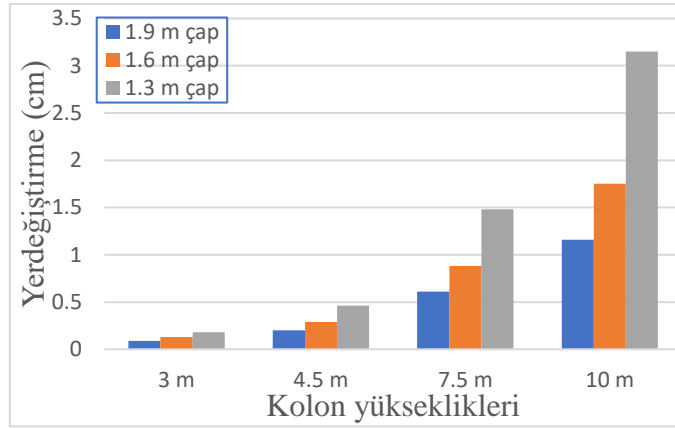


Şekil 3.27. 0.292g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi ile 1.3m çaplı ve 4.5m yükseklikli kolon için doğrusal analiz sonucunda oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği

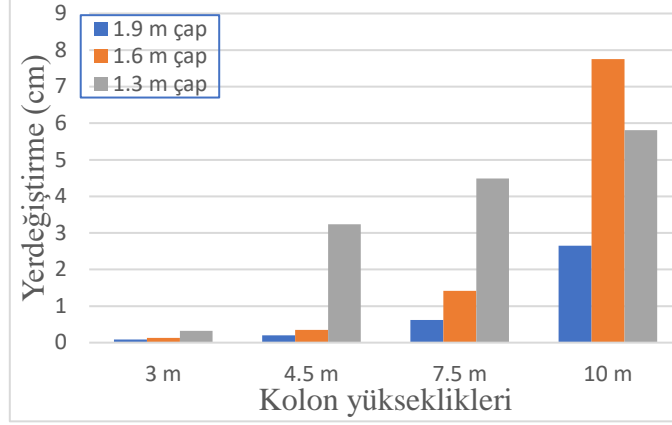


Şekil 3.28. 0.292g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi ile 1.3m çaplı ve 4.5m yükseklikli kolon için doğrusal olmayan analiz sonucunda oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği

0.292g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi kullanılarak, öngerilmeli kiriş ve kolonlarda oluşan doğrusal ve doğrusal olmayan analizler ile elde edilen yerdeğiştirme değerleri Şekil 3.29-30'de verilmiştir. Kolonda oluşan yerdeğiştirme değerleri kolon çaplarına ve kolon yüksekliğine bağlı olup doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonucunda 0.09-3.15 cm ve 0.09-7.75 cm arasında değiştiği görülmektedir. Şekil 3.29-30'de görüldüğü üzere, kolonlarda doğrusal olmayan analiz ile elde edilen yerdeğiştirme değerleri doğrusal analizinkine oranla artmaktadır.



Şekil 3.29. 0.292 ivme değerine sahip Kocaeli depremi için kolon çapı ve yüksekliğine bağlı olarak doğrusal analiz ile elde edilen yerdeğiştirme değerleri



Şekil 3.30. 0.292 ivme değerine sahip Kocaeli depremi için kolon çapı ve yüksekliğine bağlı olarak doğrusal olmayan analiz ile elde edilen yerdeğiştirme değerleri

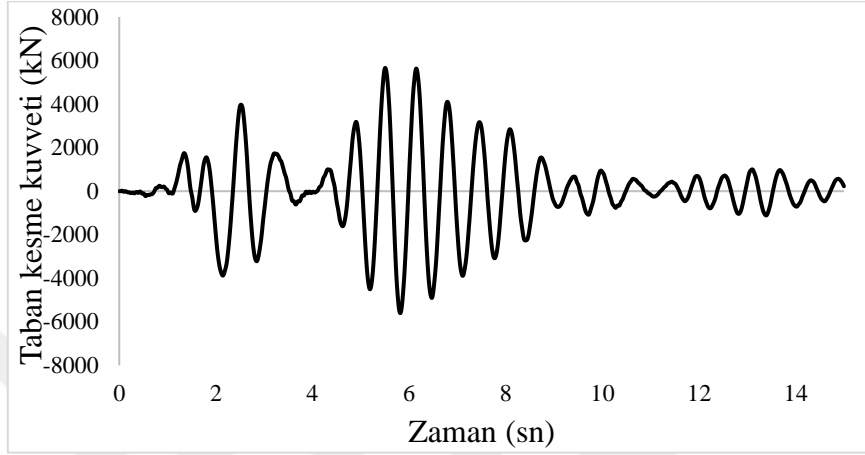
Tablo 3.8. 0.292 ivme değerine sahip Kocaeli depremi için öngerilmeli kirişlerde ve dairesel kolonlarda oluşan yerdeğiştirme değerleri

Kolon yüksekliği (m)	Dikkate alınan köprü elemanları	Kolon çapları (m)					
		1.9		1.6		1.3	
		Doğrusal (cm)	Doğrusal olmayan (cm)	Doğrusal (cm)	Doğrusal olmayan (cm)	Doğrusal (cm)	Doğrusal olmayan (cm)
3	Öngerilmeli kiriş	8.11	8.11	8.11	8.11	8.11	8.11
	Kolon	0.09	0.09	0.13	0.13	0.19	0.32
4.5	Öngerilmeli kiriş	8.14	8.14	8.13	8.13	8.10	9.13
	Kolon	0.20	0.20	0.29	0.35	0.46	3.24
7.5	Öngerilmeli kiriş	8.17	8.17	8.24	8.16	8.45	8.41
	Kolon	0.61	0.62	0.88	1.42	1.48	4.49
10	Öngerilmeli kiriş	8.37	8.19	8.62	10.35	9.46	9.29
	Kolon	1.16	1.38	1.75	7.75	3.15	5.81

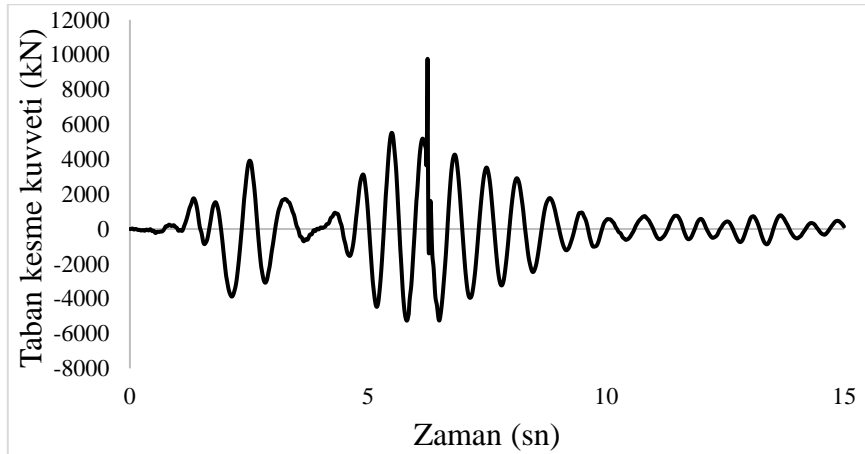
3.1.2.3.2. 0.292g Maksimum İvme Değerine Sahip Kocaeli Depremi Öngerilmeli Kirişlerde ve Dairesel Kolonlarda Oluşan Taban Kesme Kuvveti

10 adet I100 lük öngerilmeli Prekast kirişi kullanılarak, 1.3m, 1.6m ve 1.9m çaplı ve 3m, 4.5m, 7.5m ve 10m yüksekliğindeki kolonlar için 0.206g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi ile köprünün doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizleri gerçekleştirilerek taban kesme kuvveti grafikleri elde edilmiştir. Analiz sonucu elde edilen taban kesme kuvveti değerleri Tablo 3.9’de verilmiştir.

0.292g ivme değerine sahip Kocaeli depremi için 1.9m çaplı ve 3m yüksekliğindeki kolonda analiz sonucu elde edilen taban kesme kuvveti grafikleri Şekil 3.31-32'de verilmiştir. Doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonucunda öngerilmeli kirişte oluşan taban kesme kuvveti değerleri 5657-9765 kN arasında elde edilmiştir.



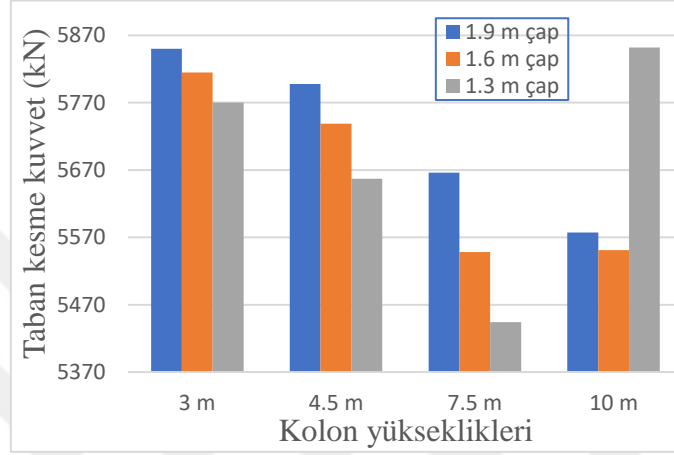
Şekil 3.31. 0.292g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi ile 1.9m çaplı ve 3m yükseklikli kolon için doğrusal analiz sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti-zaman grafiği



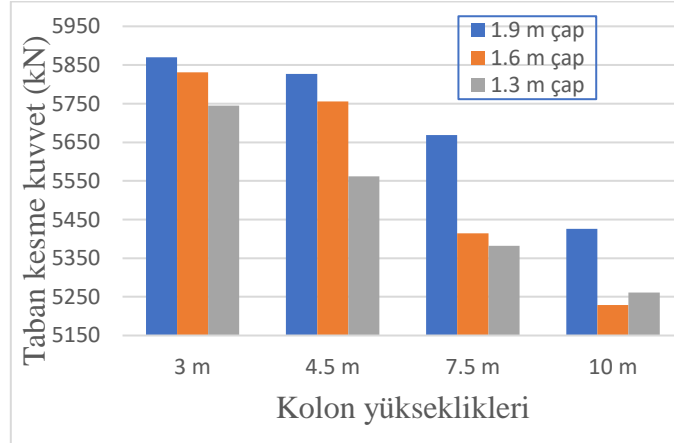
Şekil 3.32. 0.292g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi ile 1.9m çaplı ve 3m yükseklikli kolon için doğrusal olmayan analiz sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti-zaman grafiği

0.292g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için kolonda oluşan taban kesme kuvveti değerleri kolon çaplarına ve kolon yüksekliğine bağlı olup doğrusal ve doğrusal olmayan analizler için sırasıyla 5850-5444 kN ve 4142-3397 kN arasında elde

edilmiştir. Tablo 3.8’de görüldüğü gibi üzere elastik değerini aşmamış kolonlarda doğrusal olmayan analize göre elde edilen taban kesme kuvveti değerlerinin doğrusal analize göre daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Ancak, elastik değerini geçmiş veya göçme durumu olan bir kolonda doğrusal analiz ile elde edilen taban kesme kuvveti değerlerinin doğrusal olmayan analizine göre daha büyük olduğu görülmüştür (Şekil 3.33-34).



Şekil 3.33. 0.292 maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için kolon çapı ve yüksekliğine bağlı olarak doğrusal analiz ile elde edilen taban kesme kuvveti değerleri



Şekil 3.34. 0.292 ivme değerine sahip Kocaeli depremi için kolon çapı ve yüksekliğine bağlı olarak doğrusal olmayan analiz ile elde edilen taban kesme kuvveti değerleri

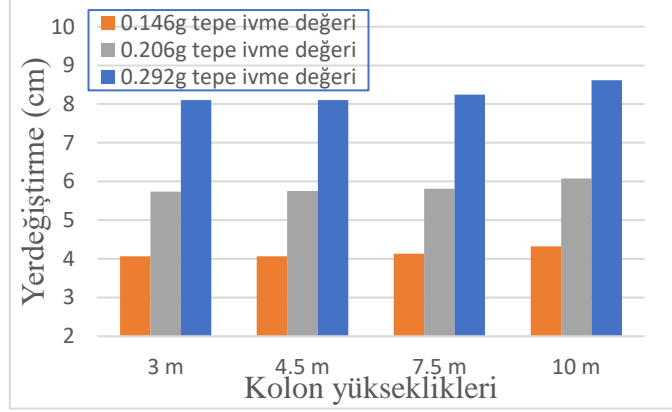
Tablo 3.9. 0.292g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için kolon yükseklikleri ve çaplarına bağlı taban kesme kuvvet değerleri

Kolon yüksekliği (m)	Kolon çapları (m)					
	1.9		1.6		1.3	
	Doğrusal (kN)	Doğrusal olmayan (kN)	Doğrusal (kN)	Doğrusal olmayan (kN)	Doğrusal (kN)	Doğrusal olmayan (kN)
3	5850	5870	5815	5831	5770	5745
4.5	5798	5827	5739	5756	5657	5562
7.5	5666	5669	5548	5414	5444	5382
10	5577	5426	5551	5229	5852	5261

3.1.3. 0.146g, 0.206g ve 0.292g Maksimum İvme Değerlerine Sahip Kocaeli Depremi İçin Elde Edilen Yerdeğiştirme ve Taban Kesme Kuvveti Sonuçları

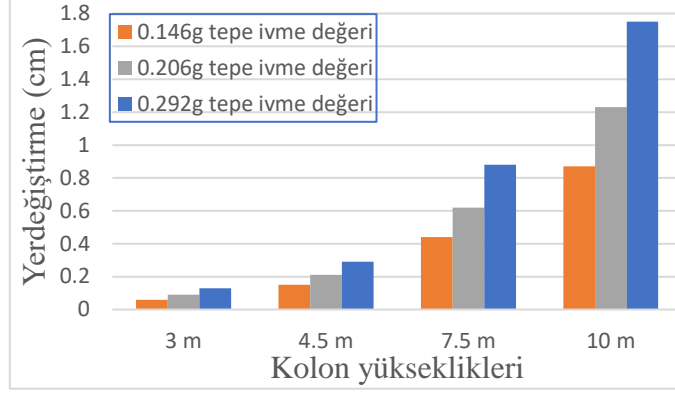
3.1.3.1. 0.146g, 0.206g ve 0.292g Maksimum İvme Değerlerine Sahip Kocaeli Depremi İçin Elde Edilen Yerdeğiştirme Sonuçları

0.146g, 0.206g ve 0.292g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için Sap2000 programı ile gerçekleştirilen doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonucu, 3m, 4.5m, 7.5m ve 10m yüksekliğe sahip 1.6 m kolon çapında kolonlar dikkate alınarak kirişte oluşan yerdeğiştirme değerleri kirişinde oluşan yerdeğiştirme değerleri Şekil 3.35'te verilmiştir. Öngerilmeli kirişlerde oluşan yerdeğiştirme değerlerinin büyüklükleri deprem darbesine bağlıdır. Darbe türü depremlerde ivme değeri az olsa bile darbe türü olmayan depremlerden daha etkilidir. Kocaeli depremi bu tür depremlerdendir. 0.146g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için önerilmeli kirişte meydana gelen yerdeğiştirme değerleri 4.07-4.32 cm arasında, 0.206g maksimum ivme değeri için 5.74-6.08 cm arasında, 0.292g maksimum ivme değeri için 8.10-8.62 cm arasında görülmektedir. Analiz sonucunda, depremin ivme değerinin artmasıyla yerdeğiştirmenin arttığını görülmüştür.

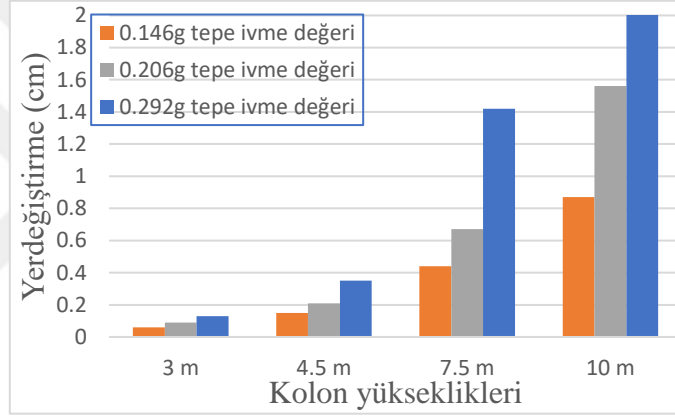


Şekil 3.35. 0.146g, 0.206g ve 0.292g maksimum ivme değerlerine sahip Kocaeli depremi için 1.6m kolon çapına bağlı olarak doğrusal analiz ile elde edilen öngerilmeli kirişte oluşan yerdeğiştirme değerleri

0.146g, 0.206g ve 0.292g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için Sap2000 programı ile gerçekleştirilen doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonucu, 3m, 4.5m, 7.5m ve 10m yüksekliğe sahip 1.6 m kolon çapında kolonlar dikkate alınarak kolonda oluşan yerdeğiştirme değerleri Şekil 3.36-37’de verilmiştir. Kolonda oluşan yerdeğiştirme değerleri deprem darbesine bağlıdır. Darbe türü depremlerde yer hareketi ivme değeri az olsa bile darbe türü olmayan depremlerden daha etkili olmaktadır. Bu sebeple darbe türünde olan 0.146g, 0.206g ve 0.292g maksimum ivme değerlerine sahip Kocaeli depremi için öngerilmeli kolonda oluşan yerdeğiştirme değeri Şekil 3.36-37’de verilmiştir. Doğrusal ve doğrusal olmayan analizler ile kolonda oluşan yerdeğiştirme değerleri 0.146g maksimum ivme değeri için sırasıyla 0.06-0.58 cm ve 0.06-0.87 cm arasında elde edilmiştir. Aynı şekilde bu değerler, 0.206g maksimum ivme değeri için sırasıyla 0.09-1.23 cm ve 0.09-1.56 cm arasında, 0.292g maksimum ivme değeri için sırasıyla 0.13-1.75 cm ve 0.13-7.75 cm arasında elde edilmiştir. Analiz sonucu, depremin maksimum ivme değerinin artmasıyla kolonda meydana gelen yerdeğiştirme değerinin arttığı anlaşılmıştır.

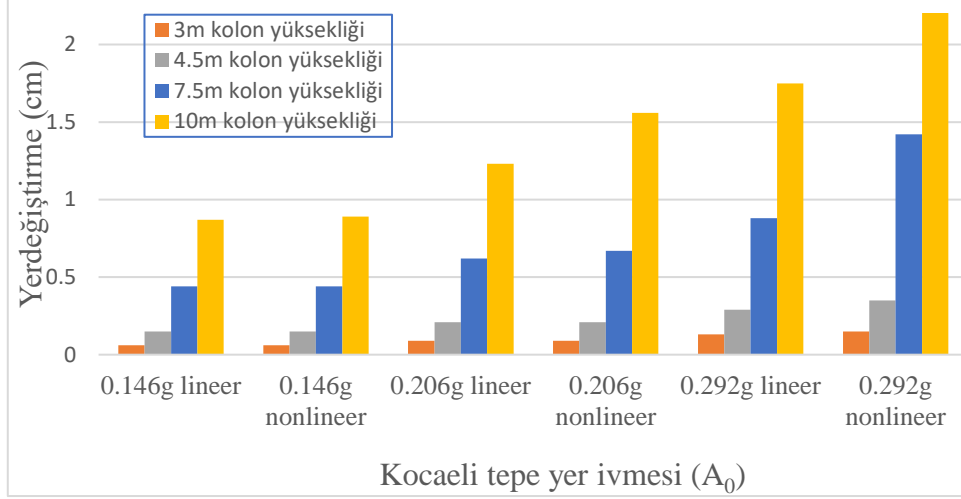


Şekil 3.36. 0.146g, 0.206g ve 0.292g maksimum ivme değerlerine sahip Kocaeli depremi için 1.6m kolon çapına bağlı olarak doğrusal analiz ile kolonda oluşan yerdeğiştirme değerleri



Şekil 3.37. 0.146g, 0.206g ve 0.292g maksimum ivme değerlerine sahip Kocaeli depremi için 1.6m kolon çapına bağlı olarak doğrusal olmayan analiz ile kolonda oluşan yerdeğiştirme değerleri

0.146g, 0.206g ve 0.292g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için Sap2000 programı ile gerçekleştirilen doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonucu, 3m, 4.5m, 7.5m ve 10m yüksekliğe sahip 1.6 m kolon çapında kolonlar dikkate alınarak kolonda oluşan yerdeğiştirme kıyaslaması Şekil 3.38’de verilmiştir. Mevcut köprünün zaman tanım alanında enine yöndeki analizler neticesinde, bazı kolonlarında mafsallaşmanın oluştuğu, yani doğrusal olmayan davranış sergilediği görülmüştür. Bu da kullanılan depremlerin plastik mafsalları oluşturacak kadar güçlü olduğu anlamına gelmektedir. Kocaeli deprem kayıtlarına göre, doğrusal olmayan analiz sonucunda, şekildeğiştirmelerin elastik sınır değerlerini geçmiş (mafsallaşma oluşan kesitler) veya geçmemiş ve göçmüş olan kolonların kısa özet bilgisi Tablo 3.10-13’te sunulmuştur.



Şekil 3.38. 0.146g, 0.206g ve 0.292g maksimum ivme değerlerine sahip Kocaeli depremi için doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonucu kolonda elde edilen yerdeğiştirme değerleri

0.146g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi kullanılarak 3m, 4.5m, 7.5m ve 10m yüksekliğe sahip ve 1.3m, 1.6m ve 1.9m çapında köprü kolonları için SAP2000 programı ile analizler gerçekleştirilmiştir. Tablo 3.10'de görüldüğü üzere, 0.146g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için elde edilen sonuçlara göre çapı 1.3m olan ve yüksekliği 4.5m, 7.5m ve 10m dışında kalan bütün kolonların elastik değeri geçmediği yani doğrusal davranış sergilediği sonucuna varılmıştır.

Tablo 3.10. 0.146g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için köprü enine doğrultusunda kolonda meydana gelen plastikleşme eğrilik değerleri

Kolon yüksekliği (m)	Kolon Çapı (m)	Normal kuvvet (P) kN	Plastik uzunluk (L _p) m	Plastik eğrilik değeri Φ (1/m)
3	1.3	2325	0.471	Elastik değeri geçmemiştir
3	1.6	2382	0.471	Elastik değeri geçmemiştir
3	1.9	2445	0.471	Elastik değeri geçmemiştir
4.5	1.3	2374	0.591	Elastik değeri geçmiştir
4.5	1.6	2455	0.591	Elastik değeri geçmemiştir
4.5	1.9	2550	0.591	Elastik değeri geçmemiştir
7.5	1.3	2467	0.831	Elastik değeri geçmiştir
7.5	1.6	2601	0.831	Elastik değeri geçmemiştir
7.5	1.9	2759	0.831	Elastik değeri geçmemiştir
10	1.3	2543	1.031	Elastik değeri geçmiştir
10	1.6	2723	1.031	Elastik değeri geçmemiştir
10	1.9	2933	1.031	Elastik değeri geçmemiştir

0.206g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi kullanılarak 3m, 4.5m, 7.5m ve 10m yüksekliğe sahip ve 1.3m, 1.6m ve 1.9m çapında köprü kolonları için SAP2000 programı ile analizler gerçekleştirilmiştir. Tablo 3.11’de, kolon çapı 1.3m olan ve kolon yüksekliği 7.5m ve 10m olan köprünün 0.206g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için gerçekleştirilen analizlerde köprü kolonlarının elastik değerini geçtiği yani göçme durumu ortaya çıktığı görülmüştür. Diğer bütün kolon durumları için kolonların elastik sınır değerini geçmediği ve depremde oluşan hasarın hemen onarılıp köprünün kullanılacak hale getirilebildiği anlaşılmıştır.

Tablo 3.11. 0.206g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için köprü enine doğrultusunda kolonda meydana gelen plastikleşme eğrilik değerleri

Kolon yüksekliği (m)	Kolon Çapı (m)	Normal kuvvet (P) kN	Plastik uzunluk (L _p) m	Plastik eğrilik değeri Φ (1/m)
3	1.3	2325	0.471	Elastik değeri geçmiştir
3	1.6	2382	0.471	Elastik değeri geçmemiştir
3	1.9	2445	0.471	Elastik değeri geçmemiştir
4.5	1.3	2374	0.591	Elastik değeri geçmiştir
4.5	1.6	2455	0.591	Elastik değeri geçmemiştir
4.5	1.9	2550	0.591	Elastik değeri geçmemiştir
7.5	1.3	2467	0.831	Göçme durumu ortaya çıkmıştır
7.5	1.6	2601	0.831	Elastik değeri geçmiştir
7.5	1.9	2759	0.831	Elastik değeri geçmemiştir
10	1.3	2543	1.031	Göçme durumu ortaya çıkmıştır
10	1.6	2723	1.031	Elastik değeri geçmiştir
10	1.9	2933	1.031	Elastik değeri geçmemiştir

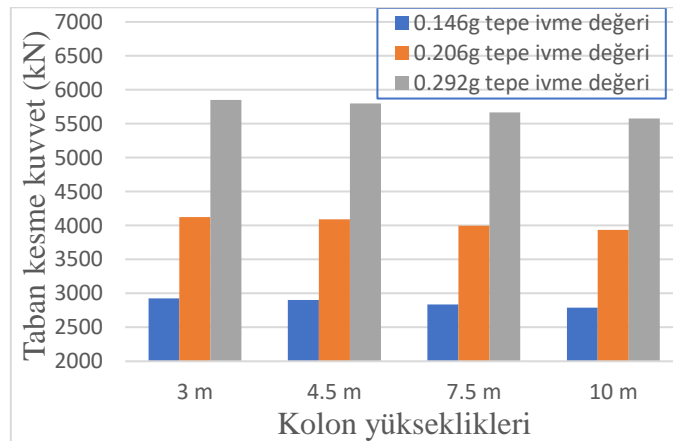
0.292g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi kullanılarak 3m, 4.5m, 7.5m ve 10m yüksekliğe sahip ve 1.3m, 1.6m ve 1.9m çapında köprü kolonları için SAP2000 programı ile analizler gerçekleştirilmiştir. Tablo 3.12’de, kolon çapı 1.3m olan ve kolon yükseklikleri 4.5m, 7.5m ve 10m ve kolon çapı 1.6m olan ve kolon yüksekliği 10m olan köprünün 0.292g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için gerçekleştirilen analizlerde köprü kolonlarının elastik değerini geçtiği yani göçme durumu ortaya çıktığı görülmüştür.

Tablo 3.12. 0.292 maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için köprü enine doğrultusunda kolonda meydana gelen plastikleşme eğrilik değerleri

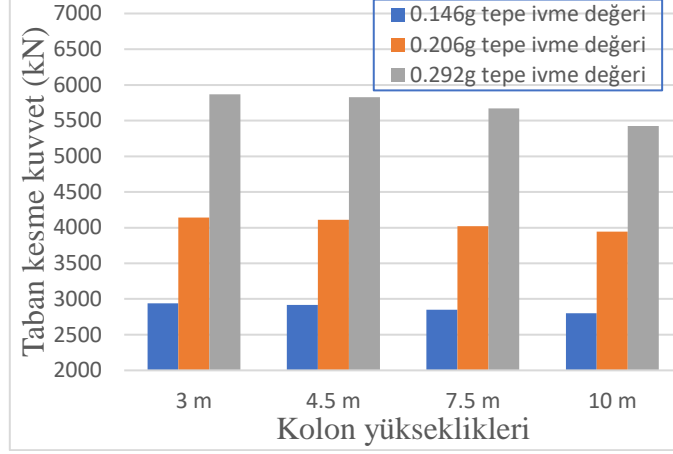
Kolon yüksekliği (m)	Kolon Çapı (m)	Normal kuvvet (P) kN	Plastik uzunluk (L _p) m	Plastik eğrilik değeri Φ (1/m)
3	1.3	2325	0.471	Elastik değeri geçmiştir
3	1.6	2382	0.471	Elastik değeri geçmemiştir
3	1.9	2445	0.471	Elastik değeri geçmemiştir
4.5	1.3	2374	0.591	Göçme durumu ortaya çıkmıştır
4.5	1.6	2455	0.591	Elastik değeri geçmiştir
4.5	1.9	2550	0.591	Elastik değeri geçmemiştir
7.5	1.3	2467	0.831	Göçme durumu ortaya çıkmıştır
7.5	1.6	2601	0.831	Elastik değeri geçmiştir
7.5	1.9	2759	0.831	Elastik değeri geçmiştir
10	1.3	2543	1.031	Göçme durumu ortaya çıkmıştır
10	1.6	2723	1.031	Göçme durumu ortaya çıkmıştır
10	1.9	2933	1.031	Elastik değeri geçmiştir

3.1.3.2. 0.146g, 0.206g ve 0.292g Maksimum İvme Değerlerine Sahip Kocaeli Depremi İçin Elde Edilen Taban Kesme Kuvveti Sonuçları

0.146g, 0.206g ve 0.292g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için Sap2000 programı ile gerçekleştirilen doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonucu, 3m, 4.5m, 7.5m ve 10m yüksekliğe sahip, 1.9 m çapında kolonlar dikkate alınarak elde edilen taban kesme kuvveti kıyaslaması Şekil 3.39-3.40'ta verilmiştir.



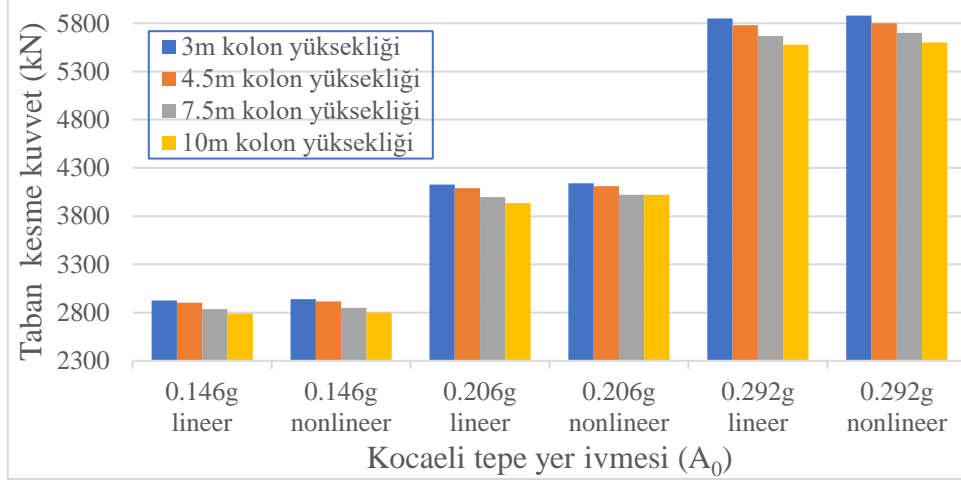
Şekil 3.39. 0.146g, 0.206g ve 0.292g maksimum ivme değerlerine sahip Kocaeli depremi için 1.9m kolon çapına bağlı olarak doğrusal analiz sonucu kolonda elde edilen taban kesme kuvveti değerleri



Şekil 3.40. 0.146g, 0.206g ve 0.292g maksimum ivme değerlerine sahip Kocaeli depremi için 1.9m kolon çapına bağlı olarak doğrusal olmayan analiz sonucu kolonda elde edilen taban kesme kuvveti değerleri

SAP2000’de yapılan Kocaeli 0.146g, 0.206g ve 0.292g tepe yer ivme değerlerine sahip köprü kolonları 3m, 4.5m, 7.5m ve 10m yüksekliğe denk kolon çapı 1.9 m için dikkate alınarak doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonucunda kolonda oluşan taban kesme kuvvet değerleri kıyaslaması Şekil 3.41’de verilmiştir. Taban kesme kuvveti değerleri değeri maksimum ivme değerine bağlı olup maksimum ivme değeri arttıkça doğrusal ve doğrusal olmayan analizler sonucu elde edilen taban kesme kuvveti değerleri de artmaktadır.

0.146g, 0.206g ve 0.292g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için Sap2000 programı ile gerçekleştirilen doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonucu, 3m, 4.5m, 7.5m ve 10m yüksekliğe sahip, 1.9 m çapında kolonlar dikkate alınarak elde edilen taban kesme kuvveti kıyaslaması Şekil 3.41’de verilmiştir.



Şekil 3.41. 0.146g, 0.206g ve 0.292g maksimum ivme değerlerine sahip Kocaeli depremi için doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonucu kolonda elde edilen taban kesme kuvveti değerleri

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Trabzon'un Araklı ilçesinde bulunan iki açıklıklı öngerilmeli I kirişli Karadere köprüsünün doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri, sonlu eleman yöntemi kullanılarak değerlendirilmeye çalışılmıştır. Köprü'nün sonlu eleman modeli için SAP2000 paket programı kullanılmıştır. ve bu program yardımıyla benzeştirilmiş üç deprem ivme kaydı kullanılarak köprü'nün, farklı çaplara ve yüksekliğe sahip kolonlarının dinamik davranışları incelenmiştir. Köprü elemanları, çubuk eleman ve elastomer mesnetler ise link elemanı olarak tanımlanmıştır. Modellemede Karadere köprüsünün kendi ağırlığı ve benzeştirilmiş üç deprem ivme kaydı kullanılarak köprü üzerindeki öngerilmeli kiriş ve kolonlarda yer değiştirme-zaman, taban kesme kuvveti-zaman grafikleri ile yerdeğiştirme ve taban kesme kuvvetlerine ait değerlerin karşılaştırılması yapılarak doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler için köprü'nün deprem performansları incelenmiştir. Karadere köprüsü, iki açıklıklı olup her birinin açıklığı 22.15 m olan I 100'lük 10 adet öngerilmeli kiriş ve farklı köprü çap ve yüksekliklerden oluşan kolonlar için analizler gerçekleştirilmiştir. Köprü analizleri için SAP2000 sonlu elemanlar programı, doğrusal olmayan analizler için kolon kesitlerinin tasarımında, P-M etkileşim yüzeyi ve moment eğrilik diyagramlarının elde edilmesi için XTRACT programı kullanılmıştır. Analizler şekildeğiştirme esaslı bir yöntem olan zaman tanım alanında AASHTO-LRFD, CALTRANS ve DLH yönetmeliklerine göre gerçekleştirilmiş köprü elemanları arasındaki farklılıklar incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Modal analiz sonuçları incelendiğinde aynı kolon yüksekliğine sahip köprülerde kolon çapları azaldıkça, aynı kolon çapına sahip köprülerde kolon yükseklikleri arttıkça elde edilen periyotların arttığı gözlemlenmiştir.

Öngerilmeli kirişlerde oluşan yerdeğiştirme değerleri elastomer mesnetlerin köprüde üst yapının deprem durumunda kolonlardan aktarılan momentlere maruz kalmadığı için doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerinde dikkate alınacak kadar fark görülmemektedir.

Öngerilmeli kirişte oluşan yerdeğiştirme değerleri 0.146g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için 4.07-4.32 cm arasında, 0.206g değeri için 5.74-6.08 cm arasında, 0.292g değeri için 8.10-8.62 cm arasında olduğu görülmektedir. Analiz sonucunda, deprem ivme değerinin artmasıyla öngerilme kirişte oluşan yerdeğiştirme değerlerinin arttığını gözlenmiştir.

Mevcut köprünün zaman tanım alanında enine yöndeki analizler neticesinde, kolon yüksekliğinin artması ve kolon çapının düşmesi ile kolonlarda mafsallaşmanın oluştuğu yani doğrusal olmayan davranış sergilediği görülmüştür. Bu da kullanılan deprem kaydının plastik mafsal oluşturacak kadar büyüklüğe sahip olduğunu göstermektedir.

Genel olarak elastik sınır değerini geçen kolonlarda doğrusal olmayan analiz ile elde edilen yerdeğiştirmelerin doğrusal analiz ile edilen yerdeğiştirme değerlerinden fazla olduğu görülmüştür. Ancak, elastik sınır değerini geçmemiş kolonlarda doğrusal ve doğrusal olmayan analizler sonucu elde edilen yerdeğiştirme değerleri aynıdır.

0.146g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için doğrusal olmayan analiz sonucu hiçbir kolonda göçme durumu meydana gelmemiştir. 0.206g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için doğrusal olmayan analiz sonucu çapı 1.3m ve yüksekliği 7.5m ve 10m olan kolonların, 0.292g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için çapı 1.3m ve yükseklikleri 4.5m, 7.5m ve 10m ve çapı 1.6m ve yüksekliği 10m olan kolonların göçme durumlarının olduğu tespit edilmiştir.

0.146g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için kolonda oluşan yerdeğiştirme değerleri doğrusal ve doğrusal olmayan analizler sonucu sırasıyla 0.06-0.58 cm ve 0.06-0.87 cm arasında, 0.206g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için kolonda oluşan yerdeğiştirme değerleri doğrusal ve doğrusal olmayan analizler sonucu sırasıyla 0.09-1.23 cm ve 0.09-1.56 cm ve 0.292g maksimum ivme değerine sahip Kocaeli depremi için kolonda oluşan yerdeğiştirme değerleri doğrusal ve doğrusal olmayan analizler sonucu sırasıyla 0.13-1.75 cm ve 0.13-7.75 cm arasında elde edilmiştir. Analizler sonucu depremin maksimum ivme değerinin artmasıyla kolonlarda meydana gelen yerdeğiştirmenin arttığı görülmüştür.

Buna ilaveten analiz sonucunda, elastik sınır değerini geçmemiş bir kolonda doğrusal olmayan analiz sonucunda elde edilen taban kesme kuvvetlerinin doğrusal analizine göre daha büyük olduğu, bunun aksine elastik değerini geçmiş veya göçme durumu olan bir kolonda doğrusal analiz sonucu elde edilen taban kesme kuvveti değerinin doğrusal olmayan analizine göre daha büyük olduğu anlaşılmıştır. Analizler sonucu depremin maksimum ivme değerinin artmasıyla kolonlarda meydana gelen taban kesme kuvvetinin arttığı görülmüştür.

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar ışığında bazı öneriler aşağıda sunulmuştur:

➤ Yapılan çalışmada tipik bir elastomer mesnet seçilerek köprü üzerindeki yerleşimi dikkate alınarak dinamik karakteristikleri belirlenmiştir. Farklı boyutlara sahip elastomer

mesnetler düşünöldüğünde, bu elastomer mesnetlerin dinamik karakteristikleri üzerindeki etkisi incelenebilir.

➤ Yapılan çalışmada dairesel kolonların çaplarına ve yüksekliklerine bağı olarak yer değıştirmeleri incelenmiştir. Köprü orta ayakları için dikdörtgen ve kutu kesit olarak inşa edilecek kolonların yer değıştirmeleri incelenip, bunlardan hangisinin daha uygun olacağı belirlenebilir.

➤ Yapılan çalışmada köprü kolonu ile zemin arasındaki bağıntı ankastre mesnetli gibi düşünölerek çözüm yapılmıştır. Yapıların davranışının daha iyi gözlemlenebilmesi açısından kolonlarla beraber çalışan yüzeysel veya kazıklı temel sistemlerinin etkidiğı bir üstyapı modelinde depreme karşı yapı performansı incelenebilir.



5. KAYNAKLAR

- AASHTO LRFD, 1998. Bridge Design Specifications, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C.
- AASHTO LRFD, 1998. Bridge Design Specifications, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C.
- AASHTO, 2002. Standard Specifications for Highway Bridges, Seventeenth Edition, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C.
- Akogul, C. ve Celik, O. C., 2008. Effect of elastomeric bearing modeling parameters on the Seismic design of RC highway bridges with precast concrete girders, Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering, 13-28.
- Akoğul, C., 2007. Prekast Kirişli Betonarme Köprülerin Aashto'ya Göre Depreme Dayanıklı Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Ali, M.K., 2010. Öngermeli Betonarme Köprü Kirişi Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- Altunışık, A.C., 2010. Karayolu Köprülerinin Yapısal Davranışlarının Analitik ve Deneysel Yöntemlerle Belirlenmesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye.
- Aviram, A., Mackie, K. R. ve Stojadinović, B., 2008. Guidelines for nonlinear analysis of bridge structures in California, Pacific Earthquake Engineering Research Center.
- Aydinoğlu, M. N., 2005. Mevcut veya Güçlendirilen Köprü ve Viyadüklerinin Deprem Performanslarının Nonlinear Analiz Yöntemleri ile Değerlendirilmesi, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Raporu, İstanbul.
- Bae, S. ve Bayrak, O., 2008. Plastic hinge length of reinforced concrete columns, ACI Structural Journal, 105,3, 290.
- Başegmez, İ.H., 2007. Kesme Açısından Yetersiz Betonarme Kısa Kolonların Lifli Polimerler ile Depreme Karşı Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Billah, A. M. ve Alam, M. S., 2016. Plastic hinge length of shape memory alloy (SMA) reinforced concrete bridge pier, Engineering Structures, 117, 321-331.
- Caltrans, S., 2004. Caltrans seismic design criteria version 1.3, California Department of Transportation, Sacramento.

- Celep Z. ve Kumbasar N., 2001. Yapı Dinamiği, Üçüncü baskı, İstanbul, Rehber Matbaacılık.
- Chopra, A. K., Goel, R. K. ve Chintanapakdee, C., 2004. Evaluation of a modified MPA procedure assuming higher modes as elastic to estimate seismic demands, Earthquake Spectra, 20,3, 757-778.
- DBYBHY, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Resmi Gazete, Ankara.
- Demiryolları, T. U. B. ve Limanlar, H. M. İ. G. M., 2008. Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği, İMO, İstanbul.
- Deng, L., Ghosn, M., Znidaric, A. ve Casas, J. R., 2001. Nonlinear flexural behavior of prestressed concrete girder bridges, Journal of Bridge Engineering, 6,4, 276-284.
- Dowell, R. K. ve Johnson, T. P., 2011. Shear and bending flexibility in closed-form moment solutions for continuous beams and bridge structures, Engineering Structures, 33,12, 3238-3245.
- Erhan, S. ve Dicleli, M., 2017. Parametric study on the effect of structural and geotechnical properties on the seismic performance of integral bridges, Bulletin of Earthquake Engineering, 1-29.
- Fahjan Y.M., 2008, İMO Teknik Dergi, 19, 4423-4444.
- Fajfar, P., 2000. A nonlinear analysis method for performance-based seismic design, Earthquake spectra, 16,3, 573-592.
- Ganbat, B., 2008. Köprülerin Deprem Performansının İtme Analizi Yöntemi İle Belirlenmesi ve Bayrampaşa Köprüsünün Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Green, T., Yazdani, N., Spainhour, L. ve Cai, C., 2001. Effect of bearing stiffness and skew angle on performance of precast concrete bridge, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1770, 27-33.
- Gunasekaran, U., Amaladosson, R. T., Narayanan, P. ve Ashokkumar, K., 2013. Performance Assessment of an Existing Reinforced Cement Concrete T-Beam and Slab Bridge Using Pushover Analysis, Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, 8,2, 83-90.
- Güngör, O., 2010. Mevcut Bir Karayolu Köprüsünün Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Yöntemler ile Performans Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

- Hameed, A., Koo, M.-S., Dai Do, T. ve Jeong, J.-H., 2008. Effect of lead rubber bearing characteristics on the response of seismic-isolated bridges, KSCE Journal of Civil Engineering, 12,3, 187-196.
- Hasan, R., Xu, L. ve Grierson, D., 2002. Push-over analysis for performance-based seismic design, Computers & structures, 80,31, 2483-2493.
- Inel, M. ve Ozmen, H. B., 2006. Effects of plastic hinge properties in nonlinear analysis of reinforced concrete buildings, Engineering structures, 28,11, 1494-1502.
- Kalkan, E., ve Kunnath, S. K., 2007. Assessment of current nonlinear static procedures for seismic evaluation of buildings, Engineering structures, 29,3, 305-316.
- Matlab, 1999. Mathworks Inc, MATLAB User Guide, Natick, MA.
- Mitoulis, S. A., 2015. Uplift of elastomeric bearings in isolated bridges subjected to longitudinal seismic excitations, Structure and Infrastructure Engineering, 11,12, 1600-1615.
- Özgen, K., 2001. Betonarme Sistemlerde İyileştirme ve Güçlendirme Esasları, Yapı Malzemesi ve Deprem Semineri, İTÜ, İstanbul, Mart, 102-111.
- Özpolat, A., 2016. Öngerilmeli Betonarme I Kesitli Hızlı Tren Köprülerin Sismik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye.
- Penzien, J., 2000. Seismic performance of transportation structures, Earthquake Engineering Research Institute (EERI) Distinguished Lecture, Annual Meeting, St. Louis, US, June 3,2000.
- Priestley, M.J.N., Seible, F. ve Calvi, G., M., 1996. Seismic design and retrofit of bridges, Wiley, New York.
- Raju, N. K. 2006. Prestressed concrete: Tata McGraw-Hill Education.
- Rašeta, A., Lađinović, Đ. ve Radujković, A., 2017. The estimation of seismic performances of reinforced concrete girder bridges using nonlinear dynamic analysis, Tehnički vjesnik, 24,2, 489-496.
- SAP2000, 2008. Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Computers and Structures Inc, Berkeley, California, USA.
- Shatarat, N., 2012. Effect of plastic hinge properties in nonlinear analysis of highway bridges, Jordan Journal of Civil Engineering, 6,4, 501-510.
- Shatarat, N., Shehadeh, M. ve Naser, M., 2017. Impact of plastic hinge properties on capacity curve of reinforced concrete bridges, Advances in Materials Science and Engineering 13, 6310321.
- TBDY, 2016. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Resmi Gazete, Ankara.

- TSE, TS 3233, 1979. Öngerilmeli Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1-44.
- TSE, TS 500, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 29-31.
- Uluğ, N.İ., 2008. Öngerilmeli Bir Köprü Tasarımı ve Performans Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- URL-1, <https://slidex.tips/download/ngerilmel-beton-prof-dr-metin-hsem>, 15.03.2018.
- URL-2, <https://www.slideshare.net/ekremcakmak/ekrem-akmak-kaldırma-aralarında-sal-ve-gvenlii-sunumu-asgem>, 15.03.2018.
- URL-3, <http://www.koskerler.com.tr/genel-bilgi.asp.htm>, 15.03.2018.
- URL-4, <http://www.deryalastik.com/2017/02/12/elastomermesnet/>, 15.03.2018.
- URL-5, <http://www.izkakaucuk.com/index.php/elastomer-mesnet-mesnet-takozu/elastomer-mesnet-mesnet-takozu-%C3%B6l%C3%A7%C3%BCleri-detayli-bilgi>, 15.03.2018.
- URL-6, <https://wiki.csiamerica.com/display/kb/Nonlinear>, 15.03.2018.
- Wang, H.-L., Liu, S.-W. ve Zhang, Z., 2016. Seismic Performance and Effects of Different Joint Shapes for Unbonded Precast Segmental Bridge Columns, Journal of Mechanics, 32,4, 427-433.
- Wilde, K., Gardoni, P. ve Fujino, Y., 2000. Base isolation system with shape memory alloy device for elevated highway bridges, Engineering structures, 22,3, 222-229.
- XTRACT, 2001. Cross Sectional Analysis of Components, Imbsen Software System, Sacramento.
- Yazdani, N., Eddy, S. ve Cai, C.S., 2000. Effect of Bearings on Precast Prestressed Concrete Bridges, Journal of Bridge Engineering, 5(3), 224-232.
- Yüksel, E.S., 2008. Mevcut Bir Viyadüğün Deprem Performansının Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Yöntemler ile Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Zhao, X., Wu, Y.-F., Leung, A. Y. ve Lam, H. F., 2011. Plastic hinge length in reinforced concrete flexural members, Procedia Engineering, 14, 1266-1274.

ÖZGEÇMİŞ

Mohammad Tordi KARIMI, 1990 yılında Afganistan'ın Andkhoi ilinde doğdu. İlkokulu Pakistan'ın Greenwich Grammer okulunda tamamladıktan sonra ortaokulu ve lise öğrenimini Andkho'in Abo Muslim lisesinde gördü. 2010 yılında girdiği Öğrenci Burs Seçme Sınavı'nda gösterdiği başarı sonucu Hindistan'ın National Institute of Technology Warangal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde "Lisans" eğitimi almaya hak kazandı. 2014 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu ve lisans eğitimini tamamladı. 2015 yılında Yurtdışı Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığı (YTB) tarafından sunulduğu bursa başvurup aynı yıl Türkiye'ye geldi. Bir yıl Türkçe Hazırlık eğitimi de alarak 2016 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda "Yüksek Lisans" eğitimine başladı. 2018 yılından itibaren Çelebi Group Firmasında Çelik ve Betonarme Grubunda statik mühendisi olarak çalışmaktadır.