



**DEMİRYOLU KÖPRÜLERİNİN DEPREM ETKİSİ ALTINDA FARKLI
YÖNETMELİKLERE GÖRE TASARIMI**

Tolga YILMAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EKİM 2015

Tolga Yılmaz tarafından hazırlanan “DEMİRYOLU KÖPRÜLERİNİN DEPREM ETKİSİ ALTINDA FARKLI YÖNETMELİKLERE GÖRE TASARIMI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüritarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

DanışmanÖğr. Gör. Dr. Çağatay BELGİN

İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan : Prof. Dr. Abdussamet ARSLAN

İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Yusuf DEMİREL

İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye : Doç. Dr. Sabahattin AYKAÇ

İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye : Doç. Dr. İlker KALKAN

İnşaat Mühendisliği, Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 07/10/2015

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Tolga YILMAZ

07/10/2015

DEMİRYOLU KÖPRÜLERİNİN DEPREM ETKİSİ ALTINDA FARKLI YÖNETMELİKLERE GÖRE TASARIMI

(Yüksek Lisans Tezi)

Tolga YILMAZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ekim 2015

ÖZET

Deprem yönetmelikleri teknik literatürdeki gelişmelere ve yaşanmakta olan deprem tecrübelerimize göre belirli aralıklarda güncellenmekte ve değiştirilmektedir. Deprem yönetmeliklerinde yapılan bu değişiklikler genellikle tasarım esasları üzerinde yapılmaktadır. Bu çalışmada, örnek bir demiryolu köprüsüne ilişkin American Association of State Highway and Transportation Officials(AASHTO, 2002), European Standard(EUROCODE) ve Ulaştırma Bakanlığı Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliklerinde önerilen tasarım yöntemleri karşılaştırması yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı bir demiryolu köprüsünün depreme göre tasarımında anılan yönetmeliklerdeki farklılıkların incelenmesidir. Yönetmeliklerdeki projelendirme için önemli farklılıklar derlenerek çalışmanın içinde verilmiştir. Elde edilen bulguların tartışması yapılarak sonuç ve önerilere gidilmiştir. Bu çalışma sonucunda Demiryolu Düzenleme Genel Müdürlüğünce hazırlanan Demiryolu Teknik Şartnamesinde kullanılacak deprem yönetmeliğine ve Eurocode'a milli ek önerisinde bulunulmuştur.

Bilim Kodu : 911.1.144
Anahtar Kelimeler : Demiryolu köprüsü, Sismik analiz, Kenar ayak, Orta ayak
Sayfa Adedi : 69
Danışman : Öğr. Gör. Dr. Çağatay BELGİN

COMPARISON OF RAILWAY BRIDGES FROM SEISMIC ASPECT ACCORDING TO
AASHTO, EUROCODE AND TURKISH EARTHQUAKE CODE

(M. Sc. Thesis)

Tolga YILMAZ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

October 2015

ABSTRACT

Earthquake codes have been periodically revised and updated depending on the technical literature improvements and our earthquake experiences. These revisions and updates in earthquake codes have been generally performed according to the design principals. In this paper, the design methods given in Turkish Earthquake Code, AASHTO and EUROCODE related to a typical railway bridge were considered for comparison. The purpose of this study is to investigate the differences in the aforementioned codes in the seismic design of a railway bridge. The important differences of design methods in the mentioned earthquake codes were provided in the compiled study. By discussion of the findings, some conclusions and recommendations were reached. End of the study, earthquake design code was suggested for railway technical specification which is being prepared by General Directorate of Railway Regulation and national annex was suggested for Eurocode.

Science Code : 911.1.144

Key Words : railway bridge, seismic analysis, bridge peer

Page Number : 69

Supervisor : Lecturer. Dr. Çağatay BELGİN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi kapsamında yapılan bu çalışmada, örnek bir demiryolu köprüsü ülkemizde kullanılan 3 farklı yönetmeliğe göre tasarlanarak sonuçlar irdelenmiştir.

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam boyunca deneyimlerinden istifade ettiğim danışman hocam Sayın Dr. Çağatay BELGİN' e yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemde tarifsiz emekleri olan sevgili aileme teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana her türlü kolaylığı sağlayan TCDD ve Köprüler Şubesi Müdürü Sayın Dr. Varol AKAR' a teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca tarafıma yapmış olduğu maddi ve manevi katkılar için ülkemizin güzide kurumlarından TÜBİTAK' a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xv
RESİMLERİN LİSTESİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. AASHTO'YA GÖRE KÖPRÜLERİN DEPREM ETKİSİNE KARŞI TASARIMI	5
2.1. Giriş.....	5
2.2. AASHTO' nun Tarihçesi	5
2.3. Şartname Kapsamı	5
2.4. İvme Katsayısı.....	7
2.5. Önem Sınıflandırılması	7
2.6. Deprem Performansı Kategorisi.....	7
2.7. Zemin Etkisi	8
2.8. Yerel Zemin Katsayısı.....	8
2.9. Elastik Deprem Davranış Katsayısı	9
2.9.1. Mod birleştirme yöntemi için elastik deprem davranış katsayısı.....	9
2.10. Deprem Yüğü Azaltma Katsayıları	9
2.11. Ortogonal Deprem Yüğülerinin Birleştirilmesi	11

	Sayfa
2.12. Hesap Esasları	11
2.12.1. Çözüm yönteminin seçilmesi	12
2.12.2. Düzgün yayılı yük yöntemi	13
2.12.3. Tek modlu çözüm yöntemi	13
2.12.4. Çok modlu çözüm yöntemi	14
2.12.5. Zaman tanım alanında çözüm yöntemi	14
3. EUROCODE’A GÖRE KÖPRÜLERİN DEPREM ETKİSİNE KARŞI TASARIMI	15
3.1. Giriş	15
3.2. Eurocode’ un Tarihçesi	15
3.3. Şartname Kapsamı	16
3.4. İvme Katsayısı	16
3.5. Zemin Etkisi	16
3.6. Zemin Katsayısı	17
3.7. Elastik Analizde Kullanılan Tasarım Spektrumları	18
3.7.1. Yatay tasarım spektrumu	18
3.7.2. Düşey tasarım spektrumu	19
3.8. Davranış Katsayısı	19
3.9. Ortogonal Deprem Yüklerinin Birleştirilmesi	20
3.10. Hesap Esasları	21
3.11. Düzgün Yayılı Yük Yöntemi	22
3.12. Mod Yöntemi	22
3.13. Zaman Tanım Alanında Çözüm Yöntemi	22
3.14. Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanında Çözüm Yöntemi	22

4. KIYI VE LİMAN YAPILARI, DEMİRYOLLARI, HAVA MEYDANLARI İNŞAATLARINA İLİŞKİN DEPREM TEKNİK YÖNETMELİĞİNE GÖRE KÖPRÜLERİN DEPREM ETKİSİNE KARŞI TASARIMI	23
4.1. Giriş.....	23
4.2. Deprem Teknik Yönetmeliğinin Tarihçesi.....	23
4.3. Yönetmelik Kapsamı.....	23
4.4. Deprem Etkisi Tanımları.....	24
4.4.1. (D1) Deprem düzeyi.....	24
4.4.2. (D2) Deprem düzeyi.....	24
4.4.3. (D3) Deprem düzeyi.....	24
4.5. Zemin Sınıflarının Tanımlanması	24
4.6. Deprem Tasarım Spektrumları	25
4.7. Demiryolu Köprülerinin Deprem Performansı Bakımından Sınıflandırılması ...	27
4.7.1. Özel köprüler.....	27
4.7.2. Basit köprüler	27
4.7.3. Normal köprüler	27
4.8. Demiryolu Köprüleri İçin Performans Düzeyleri.....	28
4.8.1. Minimum hasar performans düzeyi (MH)	28
4.8.2. Kontrollü hasar performans düzeyi (KH)	28
4.8.3. İleri hasar performans düzeyi (İH).....	28
4.8.4. Göçme hasar durumu (GH).....	28
4.9. Demiryolu Köprülerinde Öngörülen Performans Hedefleri.....	28
4.10. Tasarım Yöntemleri	29
4.10.1. Dayanıma göre tasarım yöntemi (DGT)	29

	Sayfa
4.10.2. Şekil değiştirmeye göre tasarım yöntemi (ŞGT).....	29
4.11. Deprem Yüğü Azaltma Katsayıları	30
4.12. Dayanıma Göre Tasarıma Göre Elastik Analiz Yöntemleri	31
4.12.1. Eşdeğer deprem yüğü yöntemi ile analiz	31
4.12.2. Mod birleştirme yöntemi ile analiz	31
5. SAYISAL ÖRNEK	33
5.1. Demiryolu Köprüsü Modeli	33
5.1.1. Köprü elemanları.....	33
5.1.2. Malzeme bilgileri	35
5.1.3. Zemin ve deprem parametreleri	36
5.1.4. Kenar ayağa etkiyen yükler.....	36
5.1.5. Elastomer mesnet özellikleri	36
5.2. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 2002) Yönetmeliğine Göre Deprem Tasarımı	37
5.2.1. Deprem yükünün modellenmesi	37
5.2.2. Deprem modellemesi çıktıları	39
5.2.3. Kenar ayak modeli ve tasarımı.....	39
5.2.4. Kenar ayak modeli çıktıları.....	43
5.2.5. Orta ayak modeli ve tasarımı	44
5.2.6. Orta ayak modeli çıktıları	45
5.3. Avrupa Birliği Yönetmeliğine (EUROCODE) Göre Deprem Tasarımı	45
5.3.1. Deprem yükünün modellenmesi	45
5.3.2. Deprem modellemesi çıktıları	47
5.3.3. Kenar ayak modeli ve tasarımı.....	48
5.3.4. Kenar ayak modeli çıktıları.....	50

	Sayfa
5.3.5. Orta ayak modeli ve tasarımı	51
5.3.6. Orta ayak modeli çıktıları	51
5.4. Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliğine(DLH) Göre Deprem Tasarımı.....	51
5.4.1. Deprem yükünün modellenmesi	51
5.4.2. Deprem modellemesi çıktıları	53
5.4.3. Kenar ayak modeli ve tasarımı.....	53
5.4.4. Kenar ayak modeli çıktıları.....	56
5.4.5. Orta ayak modeli ve tasarımı	56
5.4.6. Orta ayak modeli çıktıları	56
5.5. Düzce Deprem Kayıtlarına Göre Deprem Tasarımı.....	57
5.6. Sonuçların Değerlendirilmesi.....	58
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	69

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Deprem performans kategorisinin belirlenmesi.....	8
Çizelge 2.2. Yerel zemin katsayısı(S).....	9
Çizelge 2.3. Deprem yükü azaltma katsayıları	10
Çizelge 2.4. Minimum gerekli hesap	12
Çizelge 2.5. Düzenli köprü koşulları	13
Çizelge 3.1. Tip 1 spektrumunu tanımlayan parametre değerleri.....	17
Çizelge 3.2. Tip 2 spektrumunu tanımlayan parametre değerleri.....	18
Çizelge 3.3. Düşey tasarım spektrum parametre değerleri	19
Çizelge 3.4. Davranış katsayısı değerleri(q)	20
Çizelge 4.1. Kısa periyod zemin katsayısı (F_a)	26
Çizelge 4.2. 1 saniyelik periyod zemin katsayısı (F_v).....	26
Çizelge 4.3. Demiryolu köprülerinde öngörülen performans hedefleri.....	29
Çizelge 4.4. Demiryolu köprüleri için çeşitli deprem düzeylerinde uygulanacak tasarım yöntemleri	29
Çizelge 4.5. Ayak davranış katsayıları	30
Çizelge 5.1. Demiryolu köprüsü model bilgileri	34
Çizelge 5.2. Beton özellikleri.....	35
Çizelge 5.3. Donatı özellikleri	36
Çizelge 5.4. Kenar ayağa etkiyen yükler	36
Çizelge 5.5. Depremsellik özellikleri(AASHTO).....	38
Çizelge 5.6. Deprem yüklemesinden kenar ayağa aktarılan yükler.....	39
Çizelge 5.7. Demiryolu köprüsü kenar ayağa ait zemin parametreleri.....	41
Çizelge 5.8. Zemin itkileri	42
Çizelge 5.9. AASHTO yük kombinasyonları	43

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.10. Kenar ayak temeli çıktıları.....	43
Çizelge 5.11. Kenar ayak ön perde çıktıları.....	44
Çizelge 5.12. Kenar ayak yan perde çıktıları.....	44
Çizelge 5.13. Orta ayak çıktıları	45
Çizelge 5.14. Yatay yönde deprem hareketi için depremsellik özellikleri (EUROCODE)	45
Çizelge 5.15. Düşey yönde deprem hareketi için depremsellik özellikleri (EUROCODE)	46
Çizelge 5.16. Deprem yüklemesinden kenar ayağa aktarılan yükler.....	47
Çizelge 5.17. Demiryolu köprüsü kenar ayağa ait zemin parametreleri.....	48
Çizelge 5.18. Zemin itkileri	49
Çizelge 5.19. EUROCODE yük kombinasyonları.....	50
Çizelge 5.20. Kenar ayak temeli çıktıları.....	50
Çizelge 5.21. Kenar ayak ön perde çıktıları.....	50
Çizelge 5.22. Kenar ayak yan perde çıktıları.....	51
Çizelge 5.23. Orta ayak çıktıları	51
Çizelge 5.24. Depremsellik özellikleri(DLH).....	52
Çizelge 5.25. Deprem yüklemesinden kenar ayağa aktarılan yükler.....	53
Çizelge 5.26. Demiryolu köprüsü kenar ayağa ait zemin parametreleri.....	54
Çizelge 5.27. Zemin itkileri	55
Çizelge 5.28. DLH yük kombinasyonları	55
Çizelge 5.29. Kenar ayak temeli çıktıları.....	55
Çizelge 5.30. Kenar ayak ön perde çıktıları.....	56
Çizelge 5.31. Kenar ayak yan perde çıktıları.....	56
Çizelge 5.32. Orta ayak çıktıları	57

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.33. Deprem yüklemesinden kenar ayağa aktarılan yükler.....	57
Çizelge 5.34. Orta ayak çıktıları	57
Çizelge 5.35. Deprem yüklemesinde kenar ayağa aktarılan yükler.....	58
Çizelge 5.36. Orta ayakta oluşan maksimum gerilmeler ve yatay yer değiştirmeler	58
Çizelge 5.37. Kenar ayak çıktıları.....	58

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. AASHTO deprem tasarım akış şeması	6
Şekil 4.1. Spektrum grafiği	27
Şekil 5.1. Tepki spektrumu	38
Şekil 5.2. Kenar ayağa etkiyen statik zemin itkileri	40
Şekil 5.3. Kenar ayağa etkiyen dinamik zemin itkileri.....	41
Şekil 5.4. Yatay spektrum grafiği(EUROCODE).....	46
Şekil 5.5. Düşey spektrum grafiği(EUROCODE)	47
Şekil 5.6. Tepki spektrum eğrisi(DLH)	52
Şekil 5.7. Deprem yüklemesinden x yönünde kenar ayağa aktarılan yükler	60
Şekil 5.8. Deprem yüklemesinden y yönünde kenar ayağa aktarılan yükler	60
Şekil 5.9. Deprem yüklemesinden dolayı orta ayakta oluşan maksimum gerilmeler.....	61
Şekil 5.10. Deprem yüklemesinden dolayı orta ayakta oluşan yatay yer değiştirmeler .	61
Şekil 5.11. Kenar ayak ön perde moment sonuçları	62
Şekil 5.12. Kenar ayak ön perde kesme sonuçları	62
Şekil 5.13. Kenar ayak yan perde moment sonuçları.....	63
Şekil 5.14. Kenar ayak yan perde kesme sonuçları	63
Şekil 5.15. Kenar ayak temel moment sonuçları	64
Şekil 5.16. Kenar ayak temel kesme sonuçları	64

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 5.1. Köprü en kesiti.....	34
Resim 5.2. Köprü boy kesiti	35
Resim 5.3. Demiryolu köprüsü modeli	37
Resim 5.4. Demiryolu köprüsü kenar ayak modeli.....	40
Resim 5.5. Demiryolu köprüsü orta ayak modeli	44
Resim 5.6. Düzce deprem kaydı(ıvme-zaman).....	57

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
A	Donatı alanı
a	İvme değeri
a_g	İvme değeri
a_{gr}	Referans tepe ivmesi
A₀	Etkin yer ivme katsayısı
A(T)	Spektral ivme katsayısı
a_{vg}	Düşey ivme değeri
CF	Merkezkaç kuvveti
C_{sm}	Elastik deprem davranış katsayısı
D	Ölü yük
E	Deprem yükü
E	Toprak basıncı
EQ	Deprem yükü
EQX	Boyuna doğrultuda elastik kuvvet
EQY	Enine doğrultuda elastik kuvvet
EQZ	Düşey doğrultuda elastik kuvvet
F_a	Kısa periyot zemin katsayısı
F_v	1 saniyelik periyot katsayısı
G	Ölü yük
H	Toprak yükü
H	Eğilme yönündeki kesit yüksekliği
I	Bina önem katsayısı
K	Genel rijitlik
k	Spesifik bölgeleri dikkate almak için kullanılan faktör
K_a	Aktif basınç katsayısı
K_{ad}	Dinamik durumdaki aktif basınç katsayısı

Simgeler**Açıklamalar**

<i>K_{ae}</i>	Dinamik basınç katsayısı
<i>K_{ai,d}</i>	i'inci zeminde dinamik aktif basınç katsayısı
<i>K_{ai,s}</i>	i'inci zemin tabakasında statik aktif basınç katsayısı
<i>K_{ai,t}</i>	i'inci zemin tabakasında toplam aktif basınç katsayısı
<i>K_{as}</i>	Statik durumdaki aktif basınç katsayısı
<i>K_d</i>	Sükûnetteki basınç katsayısı
<i>K_H</i>	Yatay rijitlik
<i>k_h</i>	Yatay eşdeğer deprem katsayısı
<i>K_p</i>	Pasif basınç katsayısı
<i>K_{pi,s}</i>	i'inci zemin tabakasında statik pasif basınç katsayısı
<i>K_{pi,t}</i>	i'inci zemin tabakasında toplam pasif basınç katsayısı
<i>K_v</i>	Düşey rijitlik
<i>k_v</i>	Düşey eşdeğer deprem katsayısı
<i>K_θ</i>	Dönme rijitliği
<i>L</i>	Köprü boyu
<i>L_s</i>	Plastik ile sıfır olan momentler arasındaki mesafe
<i>L_F</i>	Hareketli yükten oluşan boyuna doğrultudaki yük
<i>(L+I)</i>	Hareketli yük
<i>M</i>	Köprünün toplam kütlesi
<i>M</i>	Moment kuvveti
<i>N_{SPT}</i>	Standart penetrasyon deneyi darbe sayısı
<i>P_{atalet}</i>	Deprem durumunda zemin ataletinin oluşturduğu yük
<i>P_{depremalt}</i>	Depremden dolayı kenar ayak alt kısmındaki yük
<i>P_{depremüst}</i>	Depremden dolayı kenar ayak üst kısmındaki yük
<i>P_{durgun}</i>	Sükûnetteki zemin yükü
<i>P_{düşey}</i>	Hareketli yükten dolayı oluşan sürşarj yükü
<i>P_e</i>	Eşdeğer statik deprem yükü
<i>PI</i>	Plastisite İndeksi
<i>P_{toprak}</i>	Temele gelen zemin yükü
<i>P_{yatay}</i>	Yatay doğrultudaki zemin yükü
<i>R</i>	Deprem yükü azaltma katsayısı
<i>(R+S+T)</i>	Büzülme ve ısı yükleri

Simgeler**Açıklamalar**

$R_a(T_{x,1})$	Deprem yükü azaltma katsayısı
S	Yerel zemin katsayısı
S_{ae}	Deprem tasarım spektrumu
$S_{ae}(T_{x,1})$	T periyoduna karşı gelen elastik spektral ivme
S_{MS}	Doğal titreşim periyodlarına karşı gelen spektral ivme
S_{M1}	Doğal titreşim periyodlarına karşı gelen spektral ivme
S_s	Kısa titreşim periyoduna karşı gelen spektral ivme
S_1	1 sn titreşim periyoduna karşı gelen spektral ivme
T	Köprü doğal periyodu
T	Isı yükü
$T_B(s)$	Sabit spektral ivmelenme limiti
$T_C(s)$	Sabit spektral ivmelenme limiti
$T_D(s)$	Sabit deplasmanın başladığı değer
T_L	Uzun periyod bölgesine geçiş periyodu
T_m	m' inci titreşim moduna ilişkin periyot
T_o	Spektrum köşe periyodu
T_s	Spektrum köşe periyodu
V	Kesme kuvveti
$V_{x,1}$	Eşdeğer deprem yükü
Q	Hareketli yük
Q_x	Boyuna doğrultuda elastik kuvvet
Q_y	Enine doğrultuda elastik kuvvet
Q_z	Düşey doğrultuda elastik kuvvet
q	Davranış katsayısı
W	Rüzgâr yükü
W	Köprü ağırlığı
γ	Önem faktörü
β	Spektrum alt sınır faktörü
λ	Ayakta kesme açıklığı oranına bağlı katsayı
α_s	Ayakta kesme açıklığı oranı
η	Min. eşdeğer deprem yükü için kullanılan katsayı
α	Şev Açısı

Simgeler**Açıklamalar**

β	Duvar-Dolgu ara kesitinin yatayla yaptığı açı
$\emptyset$	Dolgunun içsel sürtünme açısı
δ	Dolgu ile duvar arasındaki sürtünme açısı
γ_{dolgu}	Dolgu birim hacim ağırlığı
α	Şev açısı
β	Arka dolgu yüzeyinin yatayla yaptığı açı
$\emptyset$	Dolgunun içsel sürtünme açısı
δ_d	Duvar ve zemin arasındaki sürtünme açısı değeri
$\emptyset_d$	Zemin kayma direnci açısının tasarım değeri
Ψ	Duvarın arka yüzünün eğim açısı
β	Şev açısı
α	Duvar-Dolgu ara kesitinin yatayla yaptığı açı
λ	Eşdeğer deprem ivmesine bağlı olarak hesaplanan açı

Kısaltmalar**Açıklamalar**

AASHTO	American Association of State Highway Officials
ATC	Applied Technology Council
CALTRANS	California Department of Transportation
CQC	Karesel Birleştirme Kuralı
DBYBHY	Deprem Bölgelerindeki Binalar Hakkında Yönetmelik
DGT	Dayanıma Göre Tasarım Yöntemi
DL	Ölü Yük
DLH	Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü
EN	Avrupa Birliği Normu
EUROCODE	Avrupa Birliği Standardı
GH	Göçme Hasar Performans Düzeyi
İH	İleri Hasar Performans Düzeyi
KH	Kontrollü Hasar Performans Düzeyi
MH	Minimum Hasar Performans Düzeyi
MMSM	Çok Modlu Spektrum Çözüm Yöntemi
ÖS	Önem Sınıfı

Kısaltmalar**Açıklamalar****SAP**

Structural Analysis Program

SMSM

Tek Modlu Spektrum Çözüm Yöntemi

SPC

Sismik Performans Kategorisi

ŞGT

Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım Yöntemi

TCA

Transportation Corridor Agencies

1. GİRİŞ

Konu

Dünya’da meydana gelen büyük yıkıcı depremler sonrasında ülkeler deprem yönetmeliklerini sıklıkla güncelleme yoluna gitmişlerdir. Nitekim Türk Deprem Yönetmeliği 1999 yılında ülkemizde meydana gelen büyük deprem felaketinden sonra güncelleştirilmiş olup, yeni yönetmeliklerin doğmasına neden olmuştur. Bilim insanları dünyanın farklı bölgelerinde uygulanan deprem yönetmeliklerini inceleyerek ve karşılaştırarak çeşitli öneriler sunmuşlardır. I.G. Buckle 11. Dünya Deprem Mühendisliği Konferansında yayınladığı bildiride Amerika, Yeni Zelanda, Japonya ve Avrupa Birliğinin karayolu köprüleri deprem tasarımına yaklaşımlarını karşılaştırarak deprem tasarımındaki olası yönelim hakkında önerileri ortaya koymuştur[1]. Benzer şekilde Michio OKAHARA ve arkadaşları karayolu köprülerinin deprem tasarımında kullanılan Amerika, Kaliforniya, Yeni Zelanda Japonya ve Avrupa Birliği yönetmeliklerini inceleyerek benzerlik ve farklılıkları ortaya koymuşlardır[2].

Yapısı ve işlevi bakımından demiryolu köprülerinin hem güvenlik hem de trafiğin sürdürülebilirliği açısından depreme dayanımlı olarak tasarlanmasının gereği açıktır. Ülkemizde demiryolu köprülerinde yaygın olarak kullanılan yönetmelikler Amerika ve Avrupa Birliği yönetmelikleridir. Ayrıca Ulaştırma Bakanlığı Altyapı Genel Müdürlüğü tarafından 2008 yılında yürürlüğe giren ve Türk Deprem Yönetmeliğinin tamamlayıcısı niteliğinde olan Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği de demiryolu köprülerinin deprem tasarımında kullanılan yönetmeliklerdendir. Betonarme demiryolu köprülerinde kullanılan hem deprem tasarım yükleri hem de kenar ayaklara etki eden zemin basınç tasarımındaki esaslar bahsedilen 3 yönetmelik de farklılıklar barındırmaktadır. Amerika, Avrupa Birliği ve ülkemizde yayınlanan bu yönetmeliklerde önerilen tasarım yöntemlerinin ve aralarındaki farklılıkların irdelenmesinin yararlı olacağı açıktır. Bu çalışmada SAP 2000 yazılımı kullanılarak örnek bir demiryolu köprüsü bahsedilen 3 yönetmeliğe göre sonlu eleman programları yardımıyla çözümlenerek, çıktılar kıyaslanmıştır.

Konu İle İlgili Çalışmalar

Bu bölümde çalışma konusu ile yakından ilgili olan yapılmış çalışmalardan bazı örnekler aşağıda kısaca özetlemiştir.

I.G. Buckle (1996) yapmış olduğu çalışmada Amerika, Japonya, Yeni Zelanda ve Avrupa Birliğinde karayolu köprülerinin deprem tasarım esaslarını inceleyerek kıyaslama yapmıştır ve deprem tasarımının nasıl şekillenebileceğine dair önerilerde bulunmuştur. Buckle çalışmasında yönetmeliklerde kullanılan deprem tasarım esaslarını aşama aşama incelemiş ve kullanılan farklı kombinasyonlar ve yaklaşımlar verilmiştir. Buckle geleceğe dair tahminlerinde ise davranış katsayısı olan R ya da q değerinin değişeceğini, özellikle de deprem tasarımında kullanılan zemin özelliklerinin ve zemin modellemelerinin güncellenebileceğini öngörmüştür. Ayrıca gelecekteki yönelimin performansa dayalı tasarım olacağını aktarmıştır [1].

Michio OKAHARA ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada Amerika, Yeni Zelanda, Avrupa Birliği ve Kaliforniya eyaletinde karayolu köprülerinde uygulanan deprem yönetmeliklerini karşılaştırarak Japonya’da o sıralarda çalışmaları devam eden deprem yönetmeliği için öneriler sunmuşlardır. Çalışmada bahsedilen yönetmeliklerdeki hedef performans, servis ömrü, maliyet döngüsü, yük ve yük kombinasyonları, zemin sınıflandırılması ve kullanılan formülasyonlar, tasarım spektrumları ve davranış katsayı gibi tasarım esasları karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda Buckle’nin önerilerine atıfta bulunulmuş ve Japonya’da planlanan yeni yönetmelikte performans bazlı tasarımın ön plana çıkması gerektiğini ve ülkenin içinde bulunduğu şartlarla uyumlu olması gerektiğini savunmuşlardır [2].

Amerika’ da Ulusal Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi ve diğer ilgili kurumlarının işbirliği ile R. Moyes ve arkadaşları tarafından 1997 yılında sunulan köprüler ve diğer karayolları yapıları için sismik tasarım kriterleri adlı raporlarında; köprüler, tüneller, istinat yapıları ve temeller için farklı sismik yönetmelikleri incelemişler ve karşılaştırmışlardır. Yapılan çalışmada AASHTO 16. Baskı, AASHTO LRFD, Caltrans, ATC-32, TCA, Yeni Zelanda, Eurocode 8 ve Japon yönetmeliklerinin mevcut sismik tasarım esasları incelenmiş ve mevcut ve gelecek tasarım esaslarını geliştirmek için öneriler sunulmuştur. Özet olarak sismik tasarımdaki yönelimin performansa dayalı olduğu belirtilmiştir [3].

İTÜ Şükrü EROL(1994) yılında yapmış olduğu tez çalışmasında örnek bir karayolu köprüsünün Amerika ve Japonya yönetmeliklerine göre tasarımı karşılaştırılmıştır. Çalışmada bahse konu yönetmeliklerindeki sismik tasarım esasları açıklanarak 4 açıklıklı bir karayolu köprüsü tasarlanarak karşılaştırma yapılmıştır [4].

W.P. Yen ve arkadaşlarının 2003 yılında yapmış oldukları çalışmada Amerikan ve Japon yönetmeliklerindeki deprem tasarım esasları karşılaştırılarak 2 açıklıklı örnek bir köprü örnek olarak modellenmiştir. Bu modelde kolon 3 farklı ölçekte modellenerek sarsma tablasında test edilmiştir. Deneyin sonuçları başka bir yayında verilmiştir [5].

S. H. De C. Santos ve arkadaşlarının 2013 yılında yapmış oldukları çalışmada Amerikan, Avrupa, İtalya, Brezilya ve Romanya yönetmeliklerindeki sismik tasarım esasları karşılaştırılmıştır. Çalışmada örnek betonarme bina türü yapı bahsedilen yönetmeliklere göre modellenerek sonuçlar irdelenmiştir. Spektrumlardaki farklılıklardan dolayı analiz çıktılarında %100' varan oranlarda farklı sonuçlar elde edilmiştir [6].

Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı yukarıda bahsedilen literatürden farklı olarak örnek bir demiryolu köprüsü Amerika, Avrupa Birliği ve Türk yönetmeliklerine göre sonlu elemanlar metodu ile çözümlenerek elde edilen bulguların irdelenmesidir. Amerika, Avrupa Birliği ve Türk yönetmeliklerindeki tasarım kriterleri ve bu farklı kriterler sonucunda ortaya çıkan bulgular sayısal bir örnek ile incelenmiştir.

2. AASHTO'YA GÖRE KÖPRÜLERİN DEPREM ETKİSİNE KARŞI TASARIMI

2.1. Giriş

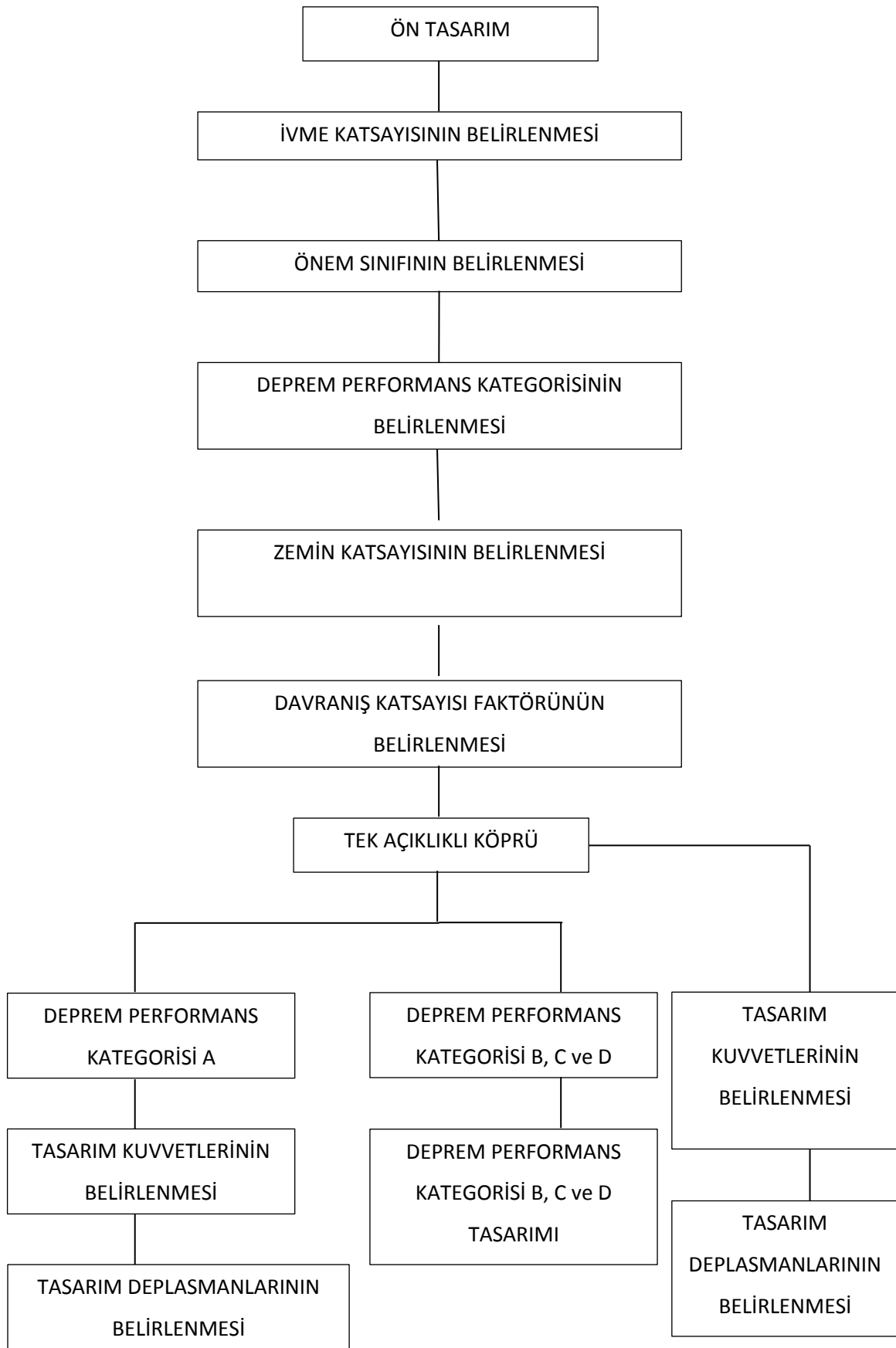
AASHTO, köprülerin depreme dayanıklı tasarımı ve yapımı için Amerika'da kullanılan standartlardandır. Yapı ömrü boyunca hafif ile orta şiddetteki depremlerde köprü elemanlarının elastik sınırlar içinde kalması, büyük şiddetteki depremlerde ise köprünün tamamen ya da kısmen çökmesinin engellenmesi amaçlanmaktadır [7].

2.2. AASHTO' nun Tarihçesi

AASHTO; İlk yıllarda AASHO, Amerikan Eyalet Karayolları Kurumu daha sonra ise AASHTO, Amerikan Eyalet Karayolları ve Ulaştırma Kurumu olarak adlandırılmıştır. AASHTO' nun ilk yönetmeliği 1931 yılında yayımlanmış olup, sırasıyla 1935, 1941, 1944, 1949, 1953, 1957, 1961, 1965, 1969, 1973, 1977, 1983, 1989, 1992, 1996'dır. Bu çalışmada kullanılan 17. Baskı 2002 yılında yayınlanmıştır [7].

2.3. Şartname Kapsamı

Şartnamede IA bölümünde verilen kısım, yeni yapılacak köprülerin depreme dayanıklı tasarımı için oluşturulmuştur. Şartname, çelik ve betonarme/ön gerilmeli kirişli 150 m'yi aşmayan köprüler için uygulanmaktadır. Asma, kablolu, kemer tipi ve hareketli köprüler şartnamenin kapsamında değildir [7, 17].



Şekil 2.1. AASHTO deprem tasarım akış şeması[7,17]

2.4. İvme Katsayısı

Şartnamenin uygulanmasında kullanılacak ivme katsayısı (a), risk haritalarından belirlenmektedir, AASHTO' da ivme katsayılarıyla tanımlanan deprem yükünün 50 yıllık bir süre içinde aşılma olasılığı yüzde 10'dur (75 yıllık sürede asılma olasılığı %15'e yakındır). Bu değer yaklaşık 475 yıllık dönüş periyoduna eşittir. Aşağıda sözü geçen durumlarda, “yere özel” ivme katsayılarının uzmanlarca belirlenmesi gerekir [7,16, 17].

- Aktif fay hattına yakın olan yerler
- Bölgede düşük olasılıklı depremlerin beklenmesi ($<10\%$)
- Köprünün önemine göre uzun süre kullanılması (>50 yıl)

Türkiye’de ise DBYBHY, bina önem katsayısı $I=1$ olan yapılar için tasarım depreminin 50 yıllık bir süre içinde asılma olasılığı %10 olarak tanımlanmaktadır [7]. AASHTO’ nun köprü yönetmeliği ve DBYBHY’ nin bina yönetmeliği olduğu göz önüne alınırsa iki yönetmeliğin ortaya koyduğu şartları eşleştirmek doğru görünmemektedir. Ancak uygulamada deprem parametrelerinin yönetmeliğimizden seçilmesi zorunluluğu bu karşılaştırmaların yapılmasını gerekli kılmaktadır. Bu çalışmada da ivme katsayısı DBYBHY’ den alınmıştır.

2.5. Önem Sınıflandırılması

0,29’den büyük ivme katsayılarına sahip köprülerde, Deprem Performansı Kategorisinin belirlenmesi için Önem Sınıflandırılması (ÖS) yapılması gerekir [7, 16, 17].

1. Birincil Köprüler - $\text{ÖS} = I$
2. İkincil Köprüler - $\text{ÖS} = II$

2.6. Deprem Performansı Kategorisi

Her köprü, İvme Katsayısı (a) ve Önem Sınıfına (ÖS) göre dört Deprem Performans Kategorisinden birine atanır ve hesap ve tasarım kuralları, Deprem Performans Kategorisi tarafından belirlenir [7, 16, 17].

Çizelge 2.1. Deprem performans kategorisinin belirlenmesi

İvme Katsayısı	Köprü Sınıflandırılması	
	Birincil(I)	İkincil(II)
$a \leq 0,09$	A	A
$0,09 \leq a \leq 0,19$	B	B
$0,19 \leq a \leq 0,29$	C	C
$0,29 \leq a$	D	C

2.7. Zemin Etkisi

Yerel zemin koşullarının köprü üzerindeki etkisi, zemin profil tiplerine bağlı olarak Yerel Zemin Katsayısı (S) ile göz önüne alınmaktadır. Dört Zemin Profil Tipi tanımlanmaktadır:

- Tip I, aşağıdakilerden biridir:
- Kaya (760m/sn' den daha büyük bir kayma dalgası hızı ile karakterize edilmektedir)
- Kalınlığı 60m'yi geçmeyen ve kaya üzerinde bulunan kum, çakıl ya da sert kil tabakaları içeren sert zeminler
- Tip II, sert kil ya da derin kohezyonsuz zeminlerdir. Zemin kalınlığı 60m'den fazladır ve kaya üzerinde kum, çakıl ya da sert kil tabakaları bulunmaktadır.
- Tip III, yumuşak-orta sertlikte kil ve kumdur.
- Tip IV, kalınlıkları 12m'yi asan yumuşak kil ya da silttir.

Bu tipler, yaklaşık olarak yönetmeliğimizdeki Z1, Z2, Z3 ve Z4 zemin profiline karşı gelmektedir. Bölgeye özel elastik deprem katsayısının uzmanlarca belirlendiği durumlarda bölge katsayısı kullanılmasına gerek kalmamaktadır [7, 16, 17].

2.8. Yerel Zemin Katsayısı

Yerel Zemin Katsayısı (S) zemin koşullarının, elastik davranış katsayısı ve spektrum üzerindeki etkisini yaklaşık olarak hesaba katmak için belirlenmiştir [7, 16, 17].

Çizelge 2.2. Yerel zemin katsayısı(S)

Zemin Profil Tipi	S
I	1
II	1,2
III	1,5
IV	2

2.9. Elastik Deprem Davranış Katsayısı

Elastik deprem davranış katsayısı, elastik hesapta kullanılan yatay deprem kuvvetini tanımlamaktadır. Deprem yönetmeliğimizdeki spektral ivme katsayısına $A(T)$ yaklaşık olarak karşı gelmektedir. Uzmanlarca hazırlanan %5 sönüm oranlı, yere özel davranış spektrumu bu koşulların yerini alabilir. Bu spektrumun depremselliği ve zemin koşullarını göz önüne alması gerekmektedir. % 2 sönümlü spektrumlarda deprem katsayıları 1,25 ile arttırılabilir. Düşey deprem yükü, spektrumun koordinatları 0,67 ile çarpılması sonucu yeterli yakınlıkta hesaplanabilmektedir [7,16, 17].

2.9.1. Mod birleştirme yöntemi için elastik deprem davranış katsayısı

Elastik deprem davranış katsayısı C_{sm} , tasarım kuvvetlerinin belirlenmesi için aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır:

$$C_{sm} = \frac{1.2 a S}{T m^{2/3}} \quad (2.1)$$

Burada, a risk haritasından alınan ivme Katsayısı, S Boyutsuz Yerel Zemin Katsayısı (Çizelge 2.2) ve T_m köprünün m 'inci titreşim moduna ilişkin periyoddur. C_{sm} değerinin $2,5a$ 'yı geçmemesi gerekmektedir. Zemin Profil Tipinin III ya da IV ve $a \geq 0,30$ olduğu yerlerde C_{sm} $2a$ 'den fazla olamaz [7, 16, 17].

2.10. Deprem Yüğü Azaltma Katsayıları

Deprem Performans Kategorisi B, C ya da D olan köprülerin eleman ve bağlantıları için tasarım kuvvetleri, elastik deprem kuvvetlerinin uygun bir Deprem Yüğü Azaltma

Katsayısına (R) bölünmesiyle elde edilmektedir. Bu azaltma katsayıları Çizelge 2.3’de verilmiştir. Bu katsayılar, deprem yönetmeliğindeki taşıyıcı sistem davranış katsayısının karşılığıdır [7, 16, 17].

Çizelge 2.3. Deprem yükü azaltma katsayıları

Altyapı ¹	R	Bağlantı ³	R
Perde Ayak ²	2	Üstyapı ile kenar ayak arasında	0,8
Betonarme kazık grubu		Üstyapıda genleşme derzi	0,8
a. Yalnız düşey kazıklar	3		
b. Eğik kazık varsa	2		
Tek kolon	3	Kolon, orta ayak veya kazık grubu ile başlık kirişi yada üstyapı arasında ⁴	1
Çelik ya da kompozit kazık grubu		Kolon ya da ayak ile temel arasında ⁴	1
a. Yalnız düşey kazıklar	5		
b. Eğik kazık varsa	3		
Kolon grubu ayak	5		

1. R katsayısı altyapının iki dik aksı için kullanılmalıdır.
2. Perde ayak, zayıf doğrultuda kolon gibi düşünülerek tek kolona ilişkin R katsayısı ile hesaplanabilir. Gerekli etriye şartlarının sağlanması gerekmektedir.
3. Kesme ve eksenel yükü aktarmaya yarayan mekanik gereçlerdir (örneğin mesnetler ve deprem takozu). Katsayılar sadece bağlantı aracı yardımıyla hareketi engellenmiş doğrultuda oluşan kuvvete uygulanmalıdır.
4. Bağlantılar kolonda oluşan plastik mafsala ilişkin en büyük kuvvetlere göre hesaplanabilir.

Eksenel kuvvete ilişkin bulunan nominal moment kapasitesi, dayanımdaki artış göz önüne alınarak 1,30 ile arttırılmalıdır.

2.11. Ortogonal Deprem Yüklerinin Birleştirilmesi

Ortogonal deprem kuvvetlerin birleştirilmesi, deprem hareketinin yönündeki belirsizliği ve yatayda iki dik yönde deprem kuvvetlerinin eş zamanlı oluşma olasılığını hesapta göz önüne almak için yapılmaktadır. İki dik yönde hesaplanan elastik deprem kuvvetlerin birleştirilmesiyle aşağıdaki iki “Yük Durumu” oluşturulmaktadır [7, 17].

- Yük Durumu 1: Boyuna doğrultuda hesapta elde edilen elastik kuvvetin mutlak değerini (Q_x) tamamına, diğer dik (enine) doğrultuda elde edilen mutlak değerinin (Q_y) %30'unun eklenmesiyle, her elemanın asal eksenlerindeki elastik kuvvetler bulunur.

$$Q_x + 0,3 Q_y \quad (2.2)$$

- Yük Durumu 2: Enine doğrultuda hesapta elde edilen elastik kuvvetin mutlak değerinin (Q_y) tamamına, diğer dik (boyuna) doğrultuda elde edilen mutlak değerinin (Q_x) %30'unun eklenmesiyle, her elemanın asal eksenlerindeki elastik kuvvetler bulunur.

$$Q_y + 0,3 Q_x \quad (2.3)$$

2.12. Hesap Esasları

Köprülerin deprem yükü altındaki hesabında dört farklı çözüm yöntemi verilmektedir:

1. Düzgün yayılı yük yöntemi
2. Tek modlu spektrum çözüm yöntemi (SMSM)
3. Çok modlu spektrum çözüm yöntemi (MMSM)
4. Zaman tanım alanında çözüm yöntemi

Her yöntemde ayakların, kolonların ve kenar ayak mesnetlerinin aynı zamanda aynı yer hareketine maruz kaldığı kabul edilmiştir. Hesaplar sonucunda elde edilen yer değiştirme değerlerinde, Bölüm 2.10'da tanımlanan deprem yükü azaltma kullanılmayacak ve Deprem Performans Kategorisinden B, C, D için hesaplanacak minimum mesnet genişlikleriyle karşılaştırılacaktır [7, 17].

2.12.1. Çözüm yönteminin seçilmesi

Tek açıklıklı köprülerde ivme katsayısına bağlı olmaksızın ve Deprem Performans Kategorisi A'daki tüm köprülerde dinamik hesaba gerek olmadığı belirtilmiştir. Düzenli ya da düzensiz olması fark etmeksizin iki ya da daha fazla açıklığa sahip diğer tüm köprülerde, tek modlu spektrum çözüm yöntemi ya da çok modlu spektrum çözüm yönteminden biri uygulanabilir. Tek modlu spektrum çözüm yöntemi, SPC B, C ve D'deki düzenli köprüler için minimum hesap olarak tayin edilmiştir. Bununla birlikte çok modlu spektrum çözüm yöntemi, aynı kategorilerde düzensiz köprüler için minimumdur, Çizelge 2.4'de verilen minimum hesaplar yerine daha ayrıntılı sonuç veren zaman tanım alanında çözüm yapılabilir [7, 16, 17].

Çizelge 2.4. Minimum gerekli hesap

Deprem Performans Kategorisi	2-6 açıklıklı düzenli köprüler	2 ya da daha fazla açıklıklı düzensiz köprüler
A	Gerekmez	Gerekmez
B, C, D	Düzgün yayılı ya da tek modlu çözüm yöntemi	Çok modlu çözüm yöntemi

Düzensiz köprü, iki kenar ayak arasında kütlede, rijitlikte ve/ya da geometride ani ve olağan dışı bir değişiklik olan köprüye verilmiş tanımdır. Düzenli köprü ise düzensiz köprü tanımı dışındaki köprülerdir. Çizelge 2.5' de düzenli köprülerin koşulları verilmiştir [7, 16, 17].

Çizelge 2.5. Düzenli köprü koşulları

Açıklık sayısı	2	3	4	5	6
En büyük kapsam açısı	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰
Bir açıklıktan diğerine en büyük açıklık oranı	3	2	2	1,5	1,5
Bir açıklıktan diğerine en büyük ayak rijitliği oranı	-	4	3	2	2

2.12.2. Düzgün yayılı yük yöntemi

Bir eşdeğer statik çözüm şekli olan bu yöntem, boyuna ve enine yönde deprem kuvvetinin bulunması için kullanılmaktadır. Bu yöntem deprem davranışında esas olarak birinci titreşim modunun etkili olduğu düzenli köprüler için uygundur. İç kuvvet ve yer değiştirmeler yeter doğrulukta hesaplanmaktadır. Köprü doğal periyodu (T), köprünün tüm ağırlığı (W) ve genel rijitlik (K) ile hesaplanmaktadır [17].

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{W}{g K}} \quad (2.4)$$

Elastik deprem katsayısı Csm, Eş. 2.1 yardımıyla bulunur. Köprüye etki ettirilecek eşdeğer statik deprem yükü (p_e), aşağıdaki eşitlikle bulunmaktadır (L: Köprü boyu).

$$P_e = \frac{C_{sm} W}{L} \quad (2.5)$$

Bu yöntem sonucunda kenar ayaklarda enine kesme kuvvetleri %100'e yakın daha büyük çıkabilmektedir. Bu durum istenmediği halde tek modlu spektrum çözümü önerilmektedir [8].

2.12.3. Tek modlu çözüm yöntemi

Düzgün köprülerin hesabında kullanılan ve her iki doğrultudaki ilk modu göze alan Rayleigh analizine dayanan bir yöntemdir. Bağlıntılar genel rijitlik, kütle ve mod şekillerindeki kütle katılımlarına göre verilmektedir. Tek modlu çözüm yöntemi ile düzgün yayılı yük yöntemine göre daha doğru sonuçlar elde edilmektedir [17].

2.12.4. Çok modlu çözüm yöntemi

Çok modlu spektrum hesabı tüm düzensiz köprülerde yapılmalıdır. Geometrisi düzgün olmayan köprülerde, modları basitleştirmek mümkün olmadığı gibi, toplam etkiyi elde etmek için birden fazla titreşim modunun hesaba katılması gerekmektedir. Enine ve boyuna titreşim modlarının etkileşimini göz önüne alabilecek üç boyutlu çerçeve çözümüne dayalı bir bilgisayar programı kullanılmalıdır [7, 16, 17].

Köprü taşıyıcı sistemi, yapının tüm rijitlikleri ve atalet etkileri göz önüne alınarak üç boyutlu olarak modellenmelidir. Her düğüm noktasında 6 serbestlik derecesi olmalıdır. Yapı kütlesi en az üç öteleme yönünde tanımlanmalıdır. Yapıya ilişkin tüm elemanların kütlesi hesaba katılmalıdır. Genellikle hareketli yüklerin atalet etkileri hesaba alınmamaktadır. Ancak yoğun trafiğin olduğu büyük şehirlerde hareketli yükün zati yüklere oranı yüksek olmaktadır. Bu durumlarda hareketli yük dahil edilebilir. Üstyapı çubuk elemanları, birleşim ve mesnet noktaları dışında en az dörtte bir noktalarında tanımlı düğüm noktaları ile modellenmelidir. Derzler ve deprem takozları uygun rijitlikteki birkaç elemanla temsil edilebilir. Orta kolon ve ayaklar da çubuk eleman olarak modellenmelidir. Kısa ve rijit ayaklarda orta düğüm noktaları gerekmektedir. Uzun ve esnek ayakların üçte bir noktalarında düğüm noktaları tanımlanmalıdır. Modelde kolonların üstyapıya göre dış merkezliliği oluşturulmalıdır. Temel zemini koşulları istenirse ayak altlarında ve kenar ayaklarda eşdeğer doğrusal yaylarla tanımlanabilir. Periyodlar ve mod şekilleri, mesnetli taşıyıcı sistemin kütle ve elastik rijitliği kullanılarak bulunmaktadır. En az açıklık katsayısının 3 katı ve en çok 25 mod göz önüne alınarak çözüm yapılmalıdır. Eleman iç kuvvetleri ve yer değiştirmeleri, mod etkilerinin tam karesel birleştirme Kuralıyla (CQC) birleştirilmesiyle bulunmaktadır [7, 17].

2.12.5. Zaman tanım alanında çözüm yöntemi

Deprem kayıtları kullanılarak zaman artımı ile çözüm yapılabilir. Yerel kayıt yoksa, yerel spektruma uyumlu en az beş deprem kaydı kullanılmalıdır. Bölgeye özel spektrum bulunmadığı durumlarda Eş. 2.1'de verilen deprem katsayısı ile bu spektrumlar oluşturabilir. Zaman tanım alanında hesabın inelastik yapılması durumunda Bölüm 2.10'da verilen azaltma katsayısı R , elemanlar ve bağlantılar için 1 değerini almaktadır [17].

3. EUROCODE'A GÖRE KÖPRÜLERİN DEPREM ETKİSİNE KARŞI TASARIMI

3.1. Giriş

Bu standart yapıların güvenlik, hizmet verebilirlik ve dayanıklılıkları ile ilgili prensipleri ve gerekleri kapsamaktadır. Almanya, Avusturya, Belçika, Birleşik Krallık, Bulgaristan, Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Hırvatistan, Hollanda, İrlanda, İspanya, İsveç, İsviçre, İtalya, İzlanda, Kıbrıs, Letonya, Litvanya, Lüksemburg, Macaristan, Malta, Norveç, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovakya, Slovenya, Türkiye ve Yunanistan bu standartları düzenleyen komitenin üye ülkeleridir [9]. Bu standardın, binaların ve inşaat mühendisliği alanına giren işlerin, geoteknik hususlar, yapısal yangın tasarımı, depremleri içeren durumlar, uygulamalar ve geçici yapıları da kapsayan yapısal tasarımı için EN 1991, EN 1992, EN 1993, EN 1994, EN 1995, EN 1996, EN 1997, EN 1998 ve EN 1999 ile birlikte kullanılması tasarlanmıştır. Üye ülkelere standartlarda belirtilen konular üzerinde milli ek oluşturma imkanı tanınmaktadır. Ülkemizde henüz bir milli ek oluşturulmamıştır. Bu çalışma kapsamında” EN 1998, Depreme Dayanıklı Yapıların Tasarımı (Eurocode 8)” ve “EN 1998’in alt başlıklarından “EN 1998-2, Depreme Dayanıklı Yapıların Tasarımı-Bölüm 2: Köprüler” ve “EN 1998-1, Depreme Dayanıklı Yapıların Tasarımı Bölüm 1: Genel kurallar, binalar için sismik kurallar” bölümleri incelenecektir.

3.2. Eurocode’ un Tarihçesi

Avrupa Komitesi 1975’de teknik açıdan uyumu ve tekniksel engelleri ortadan kaldırmak amacıyla bir çalışma programı başlatmaya karar vermiştir. Bu programda ilk aşamada üye ülkelerle uyumlu teknik kurallar belirlenmiş daha sonra üye ülkelere kendi milli eklerini oluşturma imkânı sunulmuştur. 15 yıllık çalışma sonucunda Avrupa Komitesi Komisyonu ile Avrupa Standardizasyon Komitesi arasındaki bir anlaşmayla yapılan çalışmalar Avrupa Standardizasyon Komitesine devredilerek, binaların ve inşaat mühendisliği alanına giren işlerin, geoteknik hususlar, yapısal yangın tasarımı, depremleri içeren durumlar, uygulamalar ve geçici yapıları da kapsayan yapısal tasarımı için EN 1991, EN 1992,

EN 1993, EN 1994, EN 1995, EN 1996, EN 1997, EN 1998 ve EN 1999 standartları tasarlanmıştır.

3.3. Şartname Kapsamı

“EN 1998-2, Depreme Dayanıklı Yapıların Tasarımı-Bölüm 2: Köprüler” bölümü köprülerin depreme dayanıklı tasarımı için oluşturulmuştur. Şartname kapsamında asma köprüler, ahşap ve taş köprüler, hareketli köprüler yoktur. Kablolu ve kemer köprüler için kullanılmasına rağmen bahse konu köprülerin tasarımının tamamını karşılamamaktadır [11].

3.4. İvme Katsayısı

Şartname kapsamında ülkelerin kendi topraklarını şartnamenin hedefine uygun şekilde deprem bölgelerine göre sınıflandırması tavsiye edilmektedir. Şartnamede referans tepe ivmesi olarak a_g tanımlanmış olup, hesaplarda kullanılacak ivme değeri a ; a_g ile önem faktörü γ 'in çarpımından oluşmaktadır. Şartnamede ivme katsayılarıyla tanımlanan deprem yükünün 50 yılda aşılma olasılığının %10, buna karşılık da 475 yıllık dönüş periyoduna denk gelmesi önerilmektedir [11].

$$a = a_g * \gamma \quad (3.1)$$

Bu denklemde γ katsayısının milli ekte düzenlenebileceği belirtilmektedir. Türkiye’de ise DBYBHY, bina önem katsayısı $I=1$ olan yapılar için tasarım depreminin 50 yıllık bir süre içinde asılma olasılığı %10 olarak tanımlanmaktadır. Uygulamada deprem parametrelerinin yönetmeliğimizden seçilmesi zorunluluğundan bu çalışmada da ivme katsayısı DBYBHY’ den alınmıştır.

3.5. Zemin Etkisi

Yerel zemin koşullarının köprü üzerindeki etkisi, zemin profil tiplerine bağlı olarak Zemin Katsayısı (S) ile göz önüne alınmaktadır. Yedi Zemin Profil Tipi tanımlanmaktadır:

- Tip A, kayma dalgası hızı 800 m/s'den büyük, kaya ya da kayaya benzer jeolojik formasyonlardır.
- Tip B, kayma dalgası hızı 360-800 m/s arasında, N_{SPT} değeri 50'den büyük ve drenajsız kayma dayanımı 250 kPa' dan büyük sıkı kum, çakıl ya da rijit kil tabakasından oluşmaktadır.
- Tip C, kayma dalgası hızı 180-360 m/s arasında, N_{SPT} değeri 15-50 ve drenajsız kayma dayanımı 70-250 kPa arasında sıkı ya da orta sıklıktaki kum, çakıl ya da rijit kil tabakasından oluşmaktadır.
- Tip D, kayma dalgası hızı 180 m/s' den küçük, N_{SPT} değeri 15'den küçük ve drenajsız kayma dayanımı 70 kPa' den gevşek tabakalardan oluşmaktadır.
- Tip E, kayma dalgası hızı değeri C ya da D olan 5-20 m' lik tabaka ve daha derinde kayma dalgası hızı değeri 800 m/sn'den büyük tabakadan oluşmaktadır.
- Tip S_1 , kayma dalgası hızı değeri 100 m/sn' den küçük ve drenajsız kayma mukavemeti 10-20 kPa arasında olan en azından 10 m derinliğinde $PI > 40$ olan yumuşak kil ve silt tabakasından oluşmaktadır.
- Tip S_2 , yukarıdakilerin dışında ve akıcı-hassas zemin profilinden oluşmaktadır.

Şartnamede S_1 ve S_2 zemin profilleri için deprem hareketindeki kritik durumu üzerinde durulması gerektiğini önermektedir. Şartnamede verilen zemin sınıflandırması dışındaki özel durumlar için milli ekte düzenleme yapılmasına izin vermektedir [11].

3.6. Zemin Katsayısı

Zemin Katsayısı (S) zemin koşullarının, elastik davranış katsayısı ve spektrum üzerindeki etkisini yaklaşık olarak hesaba katmak için belirlenmiştir. Zemin katsayısı Tip 1 ve Tip 2 spektrumları için aşağıdaki Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2' de verilmiştir [11].

Çizelge 3.1. Tip 1 spektrumunu tanımlayan parametre değerleri

Zemin Sınıfı	S	$T_B(s)$	$T_C(s)$	$T_D(s)$
A	1	0,15	0,4	2
B	1,2	0,15	0,5	2
C	1,15	0,20	0,6	2
D	1,35	0,20	0,8	2
E	1,4	0,15	0,5	2

Çizelge 3.2. Tip 2 spektrumunu tanımlayan parametre değerleri

Zemin Sınıfı	S	T _B (s)	T _C (s)	T _D (s)
A	1	0,05	0,25	1,2
B	1,35	0,05	0,25	1,2
C	1,5	0,10	0,25	1,2
D	1,8	0,10	0,30	1,2
E	1,6	0,05	0,25	1,2

Zemin sınıfı S₁ ve S₂ sınıfı için özel çalışma yapılması gerekmektedir [12].

3.7. Elastik Analizde Kullanılan Tasarım Spektrumları

Şartnamede deprem hareketinin hem yatay hem de düşey olarak tasarlanması önerilmiştir. Bu nedenle hem yatay tasarım spektrumu hem de düşey tasarım spektrumu tanımlanmaktadır.

3.7.1. Yatay tasarım spektrumu

Yatay Tasarım Spektrumu; deprem hareketinin yatay düzlemdeki modellemesi için kullanılmaktadır. Eşitlik 3.2, Eş. 3.3, Eş. 3.4 ve Eş. 3.5' de yatay tasarım spektrumları verilmiştir [11].

$$0 \leq T \leq T_B : S_d(T) = a_g k S \left[1 + \frac{T}{T_B} \left(\frac{2.5}{q} - 1 \right) \right] \quad (3.2)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_d(T) = a_g k S \frac{2.5}{q} \quad (3.3)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_d(T) = a_g k S \frac{2.5}{q} \left[\frac{T_C}{T_2} \right] \geq \beta a_g k \quad (3.4)$$

$$T_D \leq T : S_d(T) = a_g k S \frac{2.5}{q} \left[\frac{T_C T_D}{T_2} \right] \geq \beta a_g k \quad (3.5)$$

Burada $\beta=0,2$ ve $k=1$ alınması önerilmektedir. Ancak milli ekte farklı değerlerin kullanılmasına imkan verilmektedir.

3.7.2. Düşey tasarım spektrumu

Düşey Tasarım Spektrumu; deprem hareketinin düşey yöndeki modellenmesi için kullanılmaktadır. Eş. 3.2, Eş. 3.5’ de verilen eşitlikler düşey tasarım spektrumları ile aynıdır. Bu eşitliklerde Zemin Katsayısı 1 alınmaktadır ve düşey ivme değeri kullanılmaktadır. Çizelge 3.3’ de ise düşey tasarım spektrumunun parametre değerleri verilmiştir [11].

Çizelge 3.3. Düşey tasarım spektrum parametre değerleri

Spektrum	a_{vg} / a_g	$T_B(s)$	$T_C(s)$	$T_D(s)$
1	0,90	0,05	0,15	1
2	0,45	0,05	0,15	1

3.8. Davranış Katsayısı

Çizelge 3.4’ de verilen davranış katsayısı(q), yapıların doğrusal olmayan davranışını temsilen deprem yükünü azaltmak için kullanılan bir katsayıdır. Bu katsayılar, deprem yönetmeliğindeki taşıyıcı sistem davranış katsayısının karşılığıdır.

Çizelge 3.4. Davranış katsayısı değerleri(q)

Eleman Tipi	Sismik Davranış	
	Sınırlı Sünek	Sünek
Betonarme ayaklar:	1,5	$3,5\lambda(\alpha_s)$
Eğilmeye çalışan düşey ayaklar	1,2	$2,1 \lambda(\alpha_s)$
Eğilmeye çalışan eğik destekler		
Çelik Ayaklar:	1,5	3,5
Eğilmeye çalışan düşey ayaklar	1,2	2
Eğilmeye çalışan eğik destekler	1,5	2,5
Normal bağlantılı ayaklar	-	3,5
Eksantrik bağlantılı ayaklar	-	3,5
Döşemeye rijitçe bağlanan ayaklar:	1,5	1,5
Genel	1	1
Locked-in yapılar(EN 1998-2 Bölüm 4.6.9)		
Kemerler	1,2	2

$$\alpha_s = L_s/h \quad (3.6)$$

$$\alpha_s \geq 3 \text{ ise; } \lambda(\alpha_s) = 1 \quad (3.7)$$

$$3 > \alpha_s \geq 1 \text{ ise; } \lambda(\alpha_s) = \sqrt{(\alpha_s/3)} \quad (3.8)$$

Düşey Tasarım Spektrumu hesabında $q=1$ alınmaktadır [11].

3.9. Ortogonal Deprem Yüklerinin Birleştirilmesi

Ortogonal deprem kuvvetlerin birleştirilmesi, deprem hareketinin yönündeki belirsizliği ve yatayda iki dik yönde deprem kuvvetleri ve düşey yöndeki deprem kuvvetlerinin eş zamanlı oluşma olasılığını hesapta göz önüne almak için yapılmaktadır.

Üç yönde hesaplanan elastik deprem kuvvetlerin birleştirilmesiyle aşağıdaki 3 “Yük Durumu” oluşturulmaktadır [11].

- Yük Durumu 1: Boyuna doğrultuda hesapta elde edilen elastik kuvvetin mutlak değerini (Q_x) tamamına, diğer dik (enine) doğrultuda elde edilen mutlak değerinin (Q_y) %30'unun ve düşey doğrultudaki elde edilen mutlak değer (Q_z) %30'unun eklenmesiyle, her elemanın asal eksenlerindeki elastik kuvvetler bulunur.

$$Q_x + 0,3Q_y + 0,3Q_z \quad (3.9)$$

- Yük Durumu 2: Enine doğrultuda hesapta elde edilen elastik kuvvetin mutlak değerinin (Q_y) tamamına, diğer dik (boyuna) doğrultuda elde edilen mutlak değer (Q_x) %30'unun ve düşey doğrultudaki elde edilen mutlak değer (Q_z) %30'unun eklenmesiyle, her elemanın asal eksenlerindeki elastik kuvvetler bulunur.

$$Q_y + 0,3Q_x + 0,3Q_z \quad (3.10)$$

- Yük Durumu 3: Enine doğrultuda hesapta elde edilen elastik kuvvetin mutlak değerinin (Q_y) %30'unun, diğer dik (boyuna) doğrultuda elde edilen mutlak değer (Q_x) %30'unun ve düşey doğrultudaki elde edilen mutlak değer (Q_z) tamamının eklenmesiyle, her elemanın asal eksenlerindeki elastik kuvvetler bulunur.

$$Q_z + 0,3Q_x + 0,3Q_y \quad (3.11)$$

3.10. Hesap Esasları

Köprülerin deprem yükü altındaki hesabında dört farklı çözüm yöntemi verilmektedir [11].

1. Düzgün yayılı yük yöntemi
2. Mod yöntemi
3. Zaman tanım alanında çözüm yöntemi
4. Doğrusal olmayan zaman tanım alanında çözüm yöntemi

3.11. Düzgün Yayılı Yük Yöntemi

Bir eşdeğer statik çözüm şekli olan bu yöntem, boyuna, enine ve düşey yönde deprem kuvvetinin bulunması için kullanılmaktadır. Bu yöntem deprem davranışında esas olarak birinci titreşim modunun etkili olduğu düzenli köprüler için uygundur. İç kuvvet ve yer değiştirmeler yeterli doğrulukta hesaplanmaktadır.

3.12. Mod Yöntemi

Bu yöntem, yapının dinamik davranışının tek serbest dereceli modelle yeterince temsil edilebildiği şartlarda uygulanmaktadır. Bu şartlar aşağıdaki durumlarda oluşmaktadır:

- Boyuna doğrultuda yaklaşık olarak düz olan sürekli köprülerde, deprem yüklerini taşıyan ayakların toplam kütesinin döşemenin kütesinin % 20 'sinden daha az olduğu durumda oluşmaktadır.
- Enine doğrultuda döşemenin merkezine göre yaklaşık olarak simetrik olan köprülerde, taşıyıcı elemanların rijitlik merkeziyle döşemenin kütle merkezi arasındaki teorik eksantrisitenin döşemenin uzunluğunun % 5' den az olduğu durumda oluşmaktadır.
- Basit mesnetli köprülerde taşıyıcı ayaklarda, her ayağın kütesinin döşemenin kütesinden % 20 daha az olduğu durumda oluşmaktadır.

3.13. Zaman Tanım Alanında Çözüm Yöntemi

Bu yöntemde, daha önce kayda her accelerogram için ortalama ekstrem tepkiler alınarak deprem hareketi tasarlanmaktadır.

3.14. Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanında Çözüm Yöntemi

Bu yöntemde, yapının zamana bağlı tepkisinde deprem hareketinin differansiyel eşitliğinin sayısal integrasyonu sonucu elde edilmektedir. Sismik girdiler daha önce kaydedilen yer hareketi verileridir. Bu yöntemde kalıcı yüklerle birlikte geçici yükler gibi ikincil etkiler de hesaba katılmalıdır.

4. KIYI VE LİMAN YAPILARI, DEMİRYOLLARI, HAVA MEYDANLARI İNŞAATLARINA İLİŞKİN DEPREM TEKNİK YÖNETMELİĞİNE GÖRE KÖPRÜLERİN DEPREM ETKİSİNE KARŞI TASARIMI

4.1. Giriş

Bu yönetmelik; yeni yapılacak, büyütülecek, değiştirilecek kıyı-liman, demiryolu ve hava meydanı yapılarının depreme dayanıklı tasarımı ve bu tür mevcut yapıların deprem performanslarının değerlendirilmesi için kullanılmaktadır [13]. Bu yönetmelikte ilke olarak performansa göre tasarım esas alınmıştır. Bu yaklaşımda belirli deprem hareketlerinde taşıyıcı sistemde oluşabilecek hasarlar sayısal olarak tahmin edilmektedir ve hasar limitleri içerisinde olup olmadığı kontrol edilmektedir. Bu çalışma kapsamında yönetmeliğin üçüncü bölümünde sunulan demiryolu köprülerinin depreme dayanıklı tasarımı kısmı ele alınmıştır.

4.2. Deprem Teknik Yönetmeliğinin Tarihçesi

Bu yönetmelik, 06 / 03 / 2006 tarihli ve 26100 sayılı Resmi Gazete’ de yayımlanan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmeliğin kıyı ve liman yapıları, demiryolu köprüleri ve hava meydanı yapıları hususunda tamamlayıcısı niteliğinde olup, 01 / 09 / 2008 tarihinde Ulaştırma Bakanlığınca yürürlüğe sokulmuştur [13].

4.3. Yönetmelik Kapsamı

Betonarme, ön gerilmeli beton, çelik ve kompozit demiryolu köprülerinin deprem etkileri altında tasarımı ve mevcut köprülerin deprem performanslarının değerlendirilmesi için uygulanmaktadır. Kemer köprüler, asma köprüler, ve eğik askılı köprüler ile deprem yalıtımlı köprüler bu yönetmelik kapsamında değildir [13].

4.4. Deprem Etkisi Tanımları

Yönetmelikte bahsedilen deprem düzeyleri aşağıda verilmiş olup, 3 adet deprem düzeyi tanımlanmaktadır [13, 15].

4.4.1. (D1) Deprem düzeyi

D1 düzeyindeki deprem için 50 yılda aşılma olasılığı % 50, geri dönüş periyodu ise 72 yıldır.

4.4.2. (D2) Deprem düzeyi

D2 düzeyindeki deprem için 50 yılda aşılma olasılığı %10, geri dönüş periyodu ise 475 yıldır.

4.4.3. (D3) Deprem düzeyi

D3 düzeyindeki deprem için 50 yılda aşılma olasılığı %2, geri dönüş periyodu ise 2475 yıldır.

4.5. Zemin Sınıflarının Tanımlanması

Yönetmelikte ivme spektrumunda kullanılmak üzere 6 zemin sınıfı tanımlanmıştır [13].

- A sınıfı, kayma dalgası hızı 1500 m / sn' den büyük sert kayadan oluşmaktadır.
- B sınıfı, kayma dalgası hızı 760 ile 1500 m / sn arasında olan kayadan oluşmaktadır.
- C sınıfı, kayma dalgası hızı 360 ile 760 m / sn arasında olan veya N_{SPT} değeri 50' den büyük olan veya drenajsız kayma mukavemeti 100 kPa' dan büyük olan çok sıkı zeminler ve yumuşak kayadan oluşmaktadır.
- D sınıfı, kayma dalgası hızı 180 ile 360 m / sn arasında olan veya N_{SPT} değeri 15 ile 50 arasında olan veya drenajsız kayma mukavemeti 50 ile 100 kPa arasında olan katı zeminlerden oluşmaktadır.

- E sınıfı, kayma dalgası hızı 180 m / sn' den küçük olan veya N_{SPT} değeri 15' den küçük olan veya drenajsız kayma mukavemeti 50 kPa' dan küçük olan zemin profili ya da $PI > 20$, $w \geq \%40$ ve drenajsız kayma mukavemeti 25 kPa' dan küçük 3 metreden kalın yumuşak kil bulunan zeminlerden oluşmaktadır.
- F sınıfı, sahada özel çalışma gerektiren zeminlerden oluşmaktadır. Bu tür zeminlere örnek olarak yüksek derecede hassas killeri, turbalar ve yüksek derecede organik killeri, çok yüksek plastisiteli killeri ve çok kalın yumuşak/orta sert killeri verilebilmektedir.

4.6. Deprem Tasarım Spektrumları

D1, D2, D3 deprem düzeylerine karşılık B sınıfı zemin için referans olarak alınan S_S ve S_1 kullanarak diğer zeminler için spektral ivme değerleri hesaplanmaktadır. S_S ve S_1 değerleri Türkiye genelinde tanımlanan koordinatlara göre yönetmelikte verilmiştir.

$$S_{MS} = F_a \times S_S \quad (4.1)$$

$$S_{M1} = F_V \times S_1 \quad (4.2)$$

Deprem tasarım spektrumları Eş. 4.3' de tanımlanmıştır:

$$\begin{aligned} S_{ae}(T) &= 0.4 S_{MS} + 0.6 \frac{S_{MS}}{T_o} T & (T_o \leq T) \\ S_{ae}(T) &= S_{MS} & (T_o \leq T \leq T_s) \\ S_{ae}(T) &= \frac{S_{M1}}{T} & (T_s \leq T \leq T_L) \\ S_{ae}(T) &= \frac{S_{M1} T_L}{T^2} & (T_L \leq T) \end{aligned} \quad (4.3)$$

$$T_L = 12 \text{ sn}$$

$$T_s = S_{M1} / S_{MS} \text{ ve } T_o = 0,2 T_s \quad (4.4)$$

Spektral ivme değerlerinin hesabında kullanılan kısa periyod zemin katsayısı (F_a) ve 1 saniyelik periyod zemin katsayısı (F_v) sırasıyla Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’ de verilmiştir [13].

Çizelge 4.1. Kısa periyod zemin katsayısı (F_a)

Zemin Sınıfı	Kısa Periyod Spektral İvmesi(g)				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,50$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s \geq 1,25$
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1	1	1	1	1
C	1,2	1,2	1,1	1	1
D	1,6	1,4	1,2	1,1	1
E	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
F	-	-	-	-	-

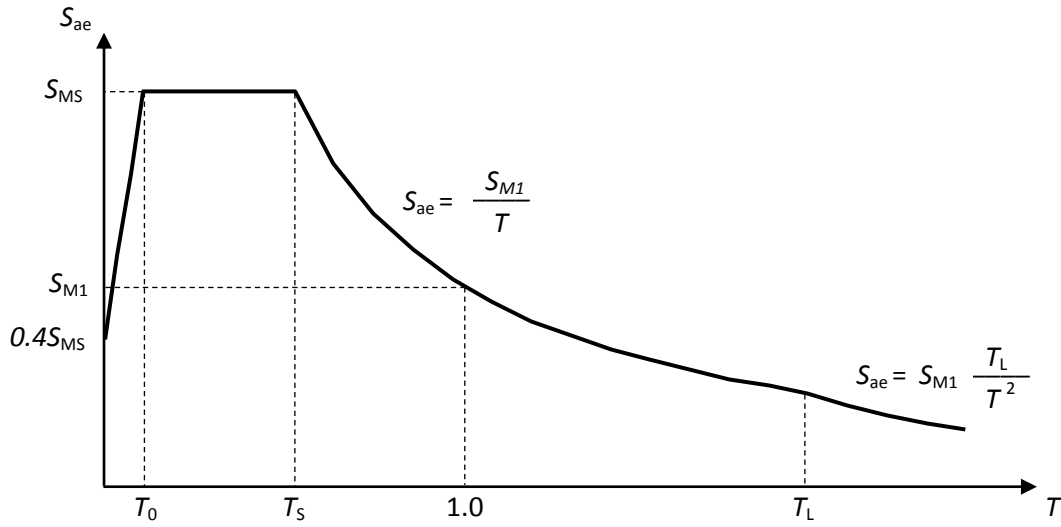
Ara değerler için doğrusal interpolasyon yapılacaktır.

Çizelge 4.2. 1 saniyelik periyod zemin katsayısı (F_v)

Zemin Sınıfı	1 sn periyodunda Spektral İvme (g)				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,20$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1	1	1	1	1
C	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
D	2,4	2	1,8	1,6	1,5
E	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
F	-	-	-	-	-

Ara değerler için doğrusal interpolasyon yapılacaktır.

F sınıfı zemin için sahada özel geoteknik inceleme yapılması gerekmektedir [13].



Şekil 4.1. Spektrum grafiği

4.7. Demiryolu Köprülerinin Deprem Performansı Bakımından Sınıflandırılması

Demiryolu köprüleri, önem durumuna göre 3 şekilde sınıflandırılmakta olup, tasarım yöntemlerinin belirlenmesinde rol almaktadır [13, 15].

4.7.1. Özel köprüler

Özel köprüler; stratejik öneme sahip güzergahta bulunan veya deprem sonrasında kısa sürede hizmet vermeye devam etmesi gereken köprülerdir.

4.7.2. Basit köprüler

Basit köprüler; özel köprüler kapsamında olmayan tek açıklıklı ve açıklığı 10 m' ye kadar olan köprüler veya yer ivmesi 0,10g' den daha küçük olan köprülerdir.

4.7.3. Normal köprüler

Normal köprüler; özel köprüler ve basit köprüler sınıfına girmeyen köprülerdir.

4.8. Demiryolu Köprüleri İçin Performans Düzeyleri

Demiryolu köprüleri için deprem etkisi altında oluşabilecek performans düzeyleri 4 şekilde sınıflandırılmıştır [13, 15].

4.8.1. Minimum hasar performans düzeyi (MH)

Minimum Hasar Performans Düzeyinde köprünün işlevini etkileyecek herhangi bir hasarın oluşmadığı, trafiğin devam ettiği hasar durumudur.

4.8.2. Kontrollü hasar performans düzeyi (KH)

Kontrollü Hasar Performans Düzeyinde köprünün fonksiyonelliğini çok ağır olmayacak şekilde etkileyen, trafiğin kısa süre kesintiye uğratan hasar durumudur.

4.8.3. İleri hasar performans düzeyi (İH)

İleri Hasar Performans Düzeyinde köprünün fonksiyonelliğini büyük oranda yitirdiği, uzun süre trafiğin kapanması hatta köprünün hizmet dışı kalmasına neden olacak hasar durumudur.

4.8.4. Göçme hasar durumu (GH)

Göçme hasar durumunda, köprünün tamamen işlevini yitirerek trafik kesintiye uğramış olmaktadır.

4.9. Demiryolu Köprülerinde Öngörülen Performans Hedefleri

Köprü sınıfı ve önemine göre hedeflenen performans düzeyleri Çizelge 4.3' de verilmiştir [13, 15].

Çizelge 4.3. Demiryolu köprülerinde öngörülen performans hedefleri

Köprü Sınıfı	D1	D2	D3
Özel Köprüler	-	MH	KH
Normal Köprüler	MH	KH	(İH)
Basit Köprüler	(MH)	KH	(İH)

Çizelge 4.3’ de verilen parantez içerisindeki hedeflerin kendiliğinden gerçekleşeceği kabul edilmektedir.

4.10. Tasarım Yöntemleri

Demiryolu köprüleri için çeşitli deprem düzeylerinde uygulanacak tasarım yöntemleri Çizelge 4.4’ de verilmiştir [13, 15].

Çizelge 4.4. Demiryolu köprüleri için çeşitli deprem düzeylerinde uygulanacak tasarım yöntemleri

Köprünün Sınıfı	D1	D2	D3
Özel Köprüler	-	DGT	ŞGT
Normal Köprüler	DGT	ŞGT	-
Basit Köprüler	-	DGT	-

4.10.1. Dayanıma göre tasarım yöntemi (DGT)

Dayanıma göre tasarım yöntemi (DGT), köprünün elastik sınırlar içerisinde doğrusal elastik analize uygun olarak yapılan tasarım yöntemlerinden biridir.

4.10.2. Şekil değiştirmeye göre tasarım yöntemi (ŞGT)

Şekil değiştirmeye göre tasarım yöntemi (ŞGT), günümüzde yeni yaklaşım yöntemlerinden performansa dayalı tasarımı ilke edinmektedir. Deprem etkisi altında oluşacak hasarlar sayısal olarak tahmin edilerek limitler içerisinde kalıp kalmadığı kontrol edilmektedir.

4.11. Deprem Yüğü Azaltma Katsayıları

Hesaplanacak elastik deprem yükleri, Deprem Yüğü Azaltma Katsayısına (R) bölünerek azaltılmaktadır. Çizelge 4.5’ de verilen orta ayak için tanımlanan davranış katsayılarına göre Köprü Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) belirlenmektedir [13, 15].

Çizelge 4.5. Ayak davranış katsayıları

Orta Ayak Taşıyıcı Sitemi	Performans Düzeyi	
	MH	KH
Tek kolon veya enine doğrultuda narin perde	1,5	2,5
Enine doğrultuda tek veya çok açıklıklı betonarme veya çelik çerçeve	2,5	5
Enine doğrultuda tek veya çok açıklıklı çelik çaprazlı çerçeve	2	3,5
Enine doğrultuda bodur perde	1,5	2.
Boyuna doğrultuda konsol olarak eğilmeye çalışan ayaklar	1,5	2,5
Boyuna doğrultuda tabliye ile monolitik olarak eğilmeye çalışan ayaklar	2,5	4

$$R = \frac{\sum R_j V_j}{\sum V_j} \quad (4.5)$$

$R \leq 1,5$ olan sistemlerde Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı, R alınmaktadır ancak $R > 1,5$ ise Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı Eş. 4.6’ ya göre hesaplanmaktadır.

$$R_a(T) = 1.5 + (R - 1.5) \frac{T}{T_s} \quad (0 \leq T \leq T_s) \quad (4.6)$$

$$R_a(T) = R \quad (T_s < T)$$

4.12. Dayanıma Göre Tasarıma Göre Elastik Analiz Yöntemleri

Bu çalışma kapsamında Dayanıma Göre Tasarım uyguladığından sadece Dayanıma Göre Tasarıma Göre Elastik Analiz Yöntemlerinden bahsedilmiştir. Elastik Analiz Yöntemleri 2 çeşittir.

4.12.1. Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile analiz

Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi İle Analiz yönteminde; boyuna doğrultuda birbirine tabliye ile bağlanmış tek serbest dereceli sistem olarak çalışan köprülerde, enine yönde ise ayak rijitliklerinin köprü boyunca simetriğe yakın olan düzenli köprülerde uygulanmaktadır.

Ayrıca birinci moda ait etkin kütlelerin köprü toplam kütesine oranının minimum 0,70 olduğu köprülerde uygulanmaktadır. Köprüye etkiyen eşdeğer deprem yükü Eş. 4.7' ye göre hesaplanmaktadır [13].

$$V_{x,1} = \frac{M S_{ae}(T_{x,1})}{R_a(T_{x,1})} \geq \eta M S_{ae}(0) \quad (4.7)$$

Özel Köprülerde $\eta = 0,20$, Basit Köprülerde $\eta = 0,10$, Normal Köprülerde $\eta = 0,15$ alınmaktadır.

4.12.2. Mod birleştirme yöntemi ile analiz

Eşdeğer deprem yükü kapsamı dışındaki tüm köprülerde, Mod Birleştirme Yöntemi kullanılmaktadır. İç kuvvet ve yer değiştirme büyüklüklerinin her biri için titreşim modu için hesaplanan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi için Tam Karesel Birleştirme (CQC) kuralı uygulanmaktadır [13].

5. SAYISAL ÖRNEK

Bu bölümde mevcut bir demiryolu köprüsünün Türkiye’ de kabul gören ve sıkça kullanılan 3 farklı yönetmeliğe göre deprem analizi yapılarak sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulacaktır; böylelikle bu çalışmanın konusu olan yönetmeliklerden kaynaklı farklılıklar ve benzerlikler incelenebilecektir.

Demiryolu köprüsü kenar ayakları 3 farklı yönetmeliğe göre modellenerek benzer şekilde karşılaştırmalı sonuçlar sunulacaktır. Seçilen demiryolu köprüsü SAP 2000 yazılımında modellenerek tasarım yapılmıştır. Modelle ilgili bilgiler ve tasarım parametreleri 3 yönetmeliğe göre ilerleyen bölümlerde verilmiştir.

5.1. Demiryolu Köprüsü Modeli

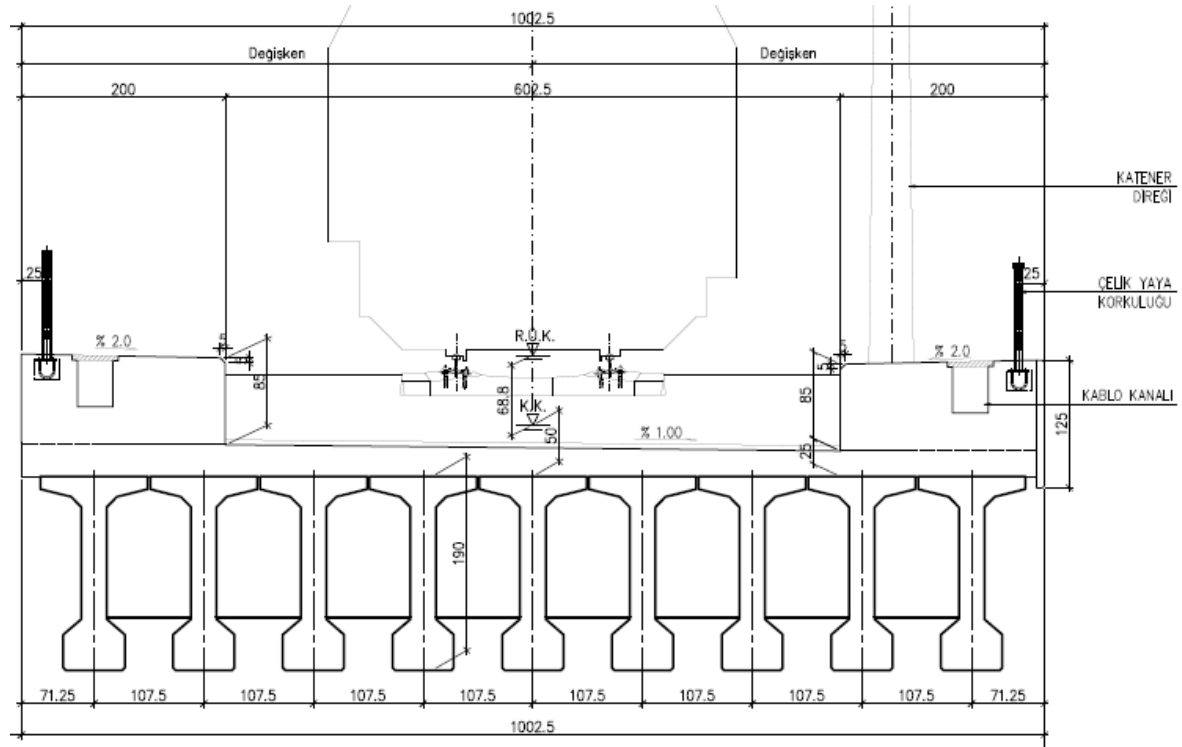
Seçilen betonarme demiryolu köprüsü SAP 2000 yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Üstyapı, prefabrik ön gerilmeli boyuna kirişlerin betonarme plakla bağlanması ile oluşan basit mesnetli kompozit bir ızgaradır ve modelle ilgili bilgiler Bölüm 5.1.1’ de verilmiştir. Bu çalışmanın konusu öngerme kiriş olmadığından öngerme kiriş hesaplanmamıştır. Çalışmanın ana konusu olan deprem tasarımı için modelde boyuna deprem durumunda üstyapının kalkan duvarına çarparak kenar ayağa yükü ilettiği, enine deprem durumunda ise deprem takozları vasıtasıyla deprem yükünün kenar ayağa aktarıldığı kabul edilmiştir. Kenar ayağa üstyapıdan etkileyen yükler basit kiriş kabulü ile bulunmuştur.

5.1.1. Köprü elemanları

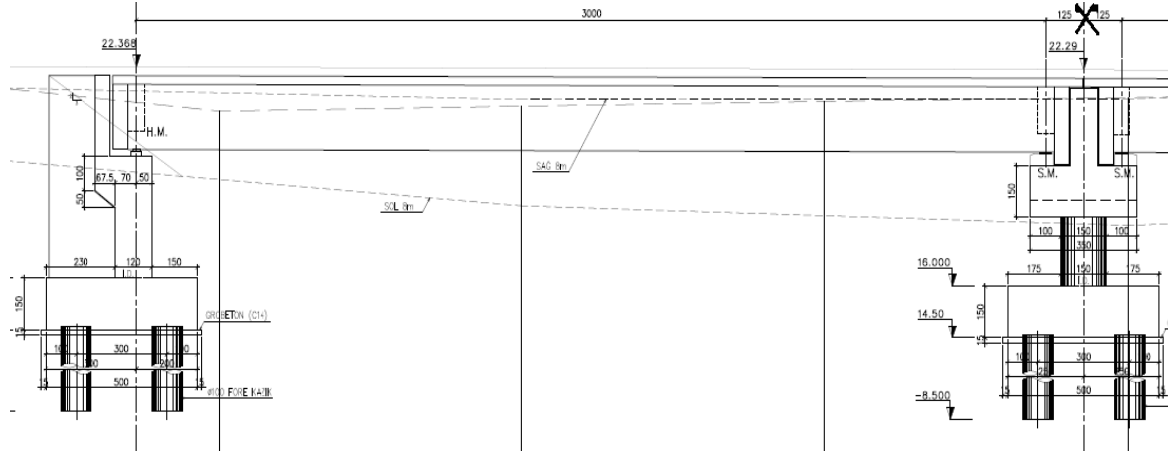
Demiryolu köprüsünün hesap açıklığı 30 m olup, köprü genişliği 10 m’ dir. Üstyapı, her açıklıkta 190 cm yüksekliğinde 9 adet prekast kiriş ve 25 cm kalınlığında yerinde dökme döşeme betonundan oluşmaktadır. Prekast kiriş ve betonarme döşemenin kompozit olarak davranış gösterdiği kabul edilmiştir. Köprüye ait özet bilgiler Çizelge 5.1’ de, modele ait gösterimler ise Resim 5.1 ve Şekil 5.2’ de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Demiryolu köprüsü model bilgileri

Köprü toplam uzunluğu(m)	62,5
Platform genişliği(m)	10
Kiriş alanı(m ² /kiriş)	0,7713
Kiriş atalet momenti-x yönünde(m ⁴ /kiriş)	0,3331
Kompozit kesit alanı(m ² /kiriş)	1,0039
Kompozit kesit atalet momenti(x yönünde)(m ⁴ /kiriş)	0,5328
Kiriş sayısı(adet)	9



Resim 5.1. Köprü en kesiti



Resim 5.2. Köprü boy kesiti

Resim 5.2’ de de görüleceği üzere köprü orta ayağa göre simetriktir. Demiryolu köprüsü modelinde orta ayak eşdeğer kolona çevrilerek 318x150 cm(4,77 m²) boyutlarında modellenmiştir. Kenar ayak temel boyutları 5x11,25*1,50 m’dir. Kenar ayak perde yüksekliği 5,95 m olup, kenar ayakların duvar kalınlığı 120 cm, kalkan duvarının kalınlığı 50 cm, yan duvarlar ise 80 cm kalınlığındadır. Kalkan duvarı yüksekliği kenar ayağın üstünden 2,40 m aşağısına kadar uzanmaktadır.

5.1.2. Malzeme bilgileri

Köprüde elevasyonlarda C25 sınıfı, prekast kirişlerde C40 sınıfı beton kullanılmıştır. Donatı çeliği olarak S420 seçilmiştir ve prekast kirişte kullanılan öngerilme donatısı 270-K düşük gevşemeli tiptir. Türk standartlarının belirttiği malzeme özellikleri programda tanımlanmıştır. Malzeme bilgileri Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3’ de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Beton özellikleri

Beton Sınıfı	C25	C40
Basınç dayanımı(MPa)	25	40
Elastisite Modülü	23650	29915

Çizelge 5.3. Donatı özellikleri

Donatı Çeliği	S420	270-K
Akma dayanımı(MPa)	420	1689
Elastisite Modülü(Nmm ²)	2X10 ⁵	2X10 ⁵

5.1.3. Zemin ve deprem parametreleri

Mevcut köprü için etkin yer ivmesi $A_0=0,40g$ alınmıştır. Kenar ayak arkasındaki zeminin birim hacim ağırlığı 20 kN/m^3 , içsel sürtünme açısı ise 35° dir. Zemine ait sınıflandırma 3 yönetmeliğe göre değiştiğinden zemin sınıfları ilerleyen bölümlerde verilmiştir.

5.1.4. Kenar ayağa etkiyen yükler

Bu çalışmada kenar ayağa etkiyen statik ve dinamik zemin itkileri 3 yönetmeliğe göre tasarlanacağından bu bölümde Çizelge 5.4’ de verilen yükler tüm modellerde sabit alınmıştır. Burada hareketli yük, fren ve ivmelenme yükleri, ısı değişikliği ve rötre yükü Eurocode esaslarına göre hesaplanmıştır.

Çizelge 5.4. Kenar ayağa etkiyen yükler

Kenarayağa gelen zati yük(kN)	5253
Kenar ayağa gelen balast+travers yükü(kN)	1921
Hareketli yük(kN)	2611
Fren ve ivmelenme yükleri(kN)	1260
Isı değişikliği ve rötre yükü(kN)	580

5.1.5. Elastomer mesnet özellikleri

Elastomer mesnetler SAP 2000 programında link eleman olarak tanımlanmıştır. Elastomer mesnet ebatları $50 \times 40 \times 4 \text{ cm}$ ’dir. Hesaplanan rijitlikler aşağıda verilmiştir.

$$K_h = G \cdot A / h_{rt} = 6250 \text{ kN/m}$$

$$K_v = E \cdot A / h_{rt} = 7233796 \text{ kN/m}$$

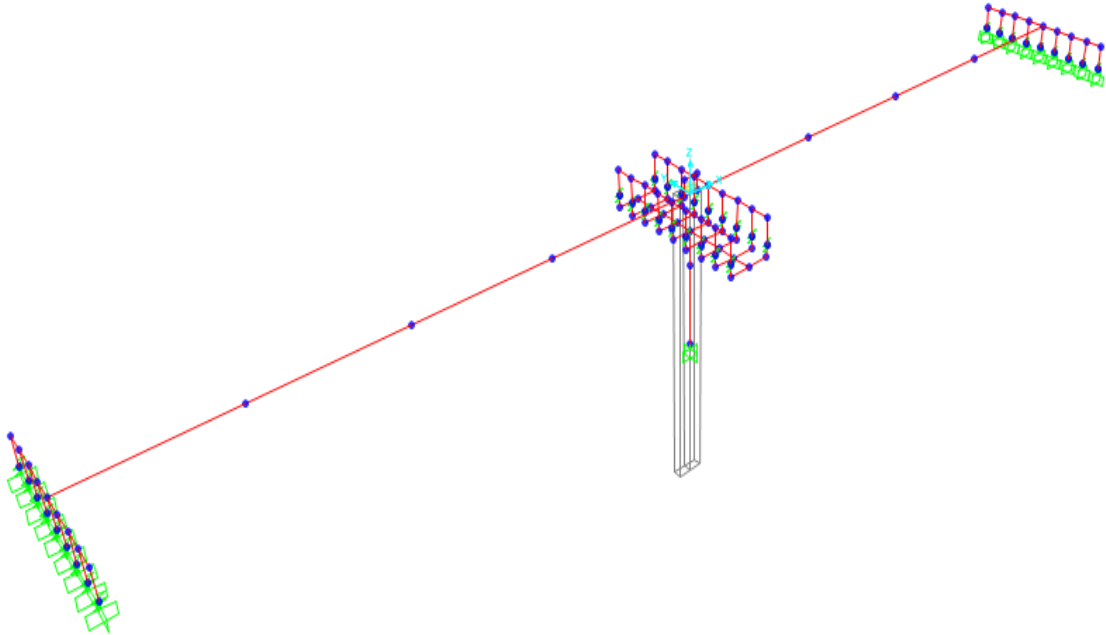
$$K_{\theta}=E \cdot I / h_{rt}=96450 \text{ kNm/m}$$

5.2. American Association of State Highway and Transportation Officials(AASHTO, 2002) Yönetmeliğine Göre Deprem Tasarımı

Bu bölümde demiryolu köprüsünün AASHTO' ya göre deprem tasarımı yapılacaktır. İlk önce Resim 5.3' deki modelde AASHTO' ya göre deprem yükleri belirlenecek ve analiz çıktıları ele alınacaktır. Daha sonra kenar ayağa aktif dinamik basınç etki ettirilerek AASHTO' ya göre elde edilen sonuçlar irdelenecektir.

5.2.1. Deprem yükünün modellenmesi

AASHTO, Amerika Birleşik Devleti tarafından karayolu köprülerine uygulanmakta olan yönetmeliklerindendir. Bu yönetmelikte köprünün elemanları arasındaki geometrik farklılıkları ve deprem yüklemesi altındaki kompleks davranışı nedeniyle Çok Modlu Analiz Yönteminin kullanılması önerilmiştir. Yönetmeliğe göre uygulanacak yöntemde kullanılacak depremsellik özellikleri Çizelge 5.5' de verilmiştir.



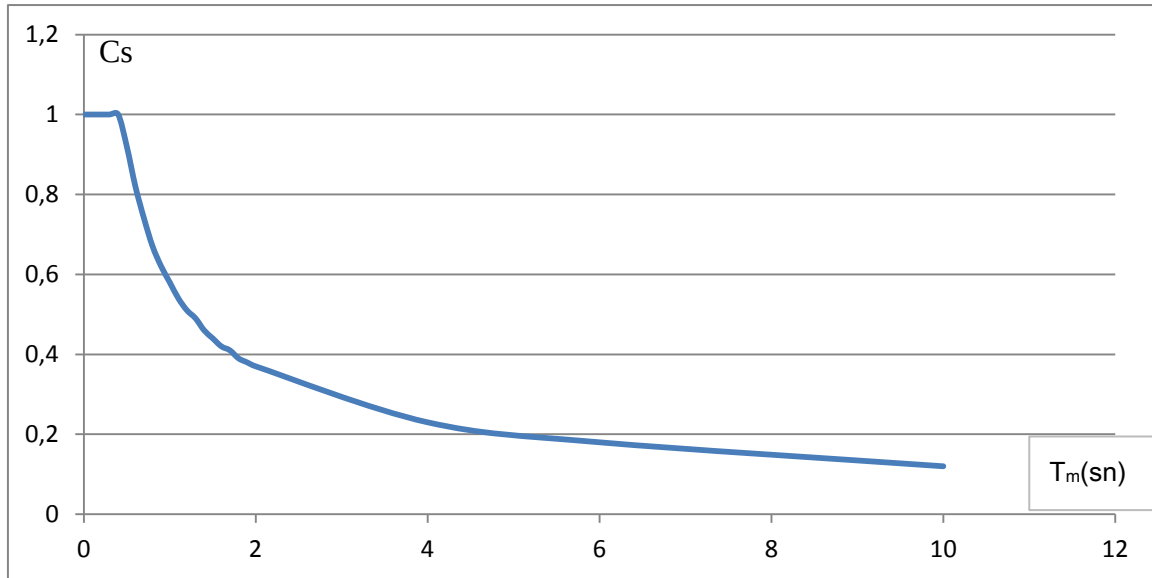
Resim 5.3. Demiryolu köprüsü modeli

Çizelge 5.5. Depremsellik özellikleri(AASHTO)

Deprem Bölgesi	1. Derece	
Etkin Yer İvme Katsayısı	a=0,40g	
Yapı Önem Katsayısı	IC=I	AASHTO DIVISION IA 3.3
Sismik Performans Kategorisi	SPC=D	AASHTO DIVISION IA 3.4
Spektral İvme Katsayısı	S=1,2	AASHTO DIVISION IA 3.5.1
Etki Azaltma faktörü	R _{enine} =3	AASHTO DIVISION IA 3.7
Etki Azaltma faktörü	R _{boyuna} =3	AASHTO DIVISION IA 3.7

Çok Modlu Analiz Yöntemi için kullanılacak spektrum fonksiyonu aşağıda verilerek Şekil 5.1’ de spektrum grafiği gösterilmiştir.

$$C_s = \frac{1,2*a*S}{T_m^{2/3}} ; (\text{AASHTO DIVISION IA 3.6.2}) \quad (5.1)$$



Şekil 5.1. Tepki spektrumu

Dinamik Analiz sonucunda elde edilen veriler aşağıda verilen kombinasyonlara göre birleştirilmiştir.

1. Kombinasyon 1: $DL+EQX/R+0,3EQY/R$
2. Kombinasyon 2: $DL+EQY/R+0,3EQX/R$
3. Kombinasyon 3: $DL+EQX/R^*+0,3EQY/R^*$
4. Kombinasyon 4: $DL+EQY/R^*+0,3EQX/R^*$

R^* AASHTO DIVISION IA 7.2.1(B)'ye göre $SPC=D$ için 1 alınmıştır. DL ile gösterilen kalıcı yük hesabında trafik yükü katılmamıştır.

5.2.2. Deprem modellemesi çıktıları

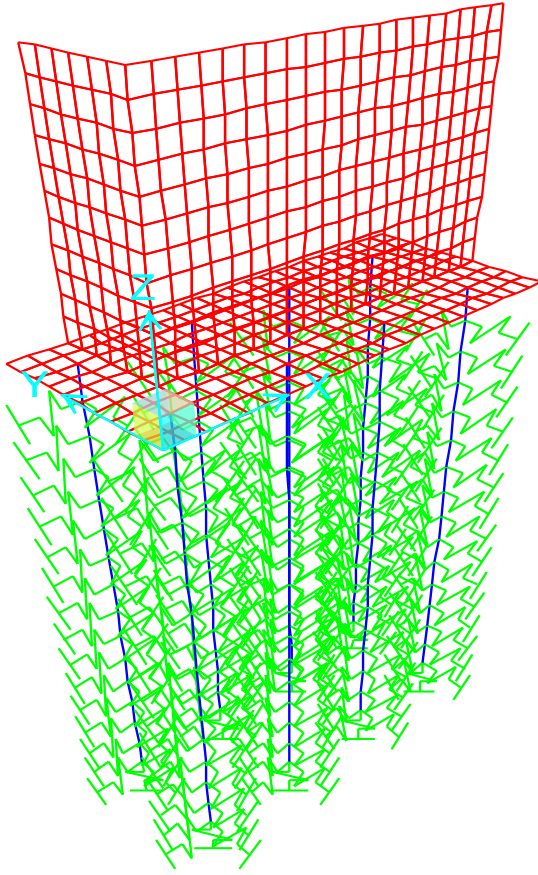
Demiryolu köprüsünün AASHTO 'ya göre deprem modellemesi yapıldıktan sonra çıktılarına ait Çizelgeler aşağıda verilmiştir. Deprem Yüklemesinden elde edilen maksimum yükler Çizelge 5.6' da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Deprem yüklemesinden kenar ayağa aktarılan yükler

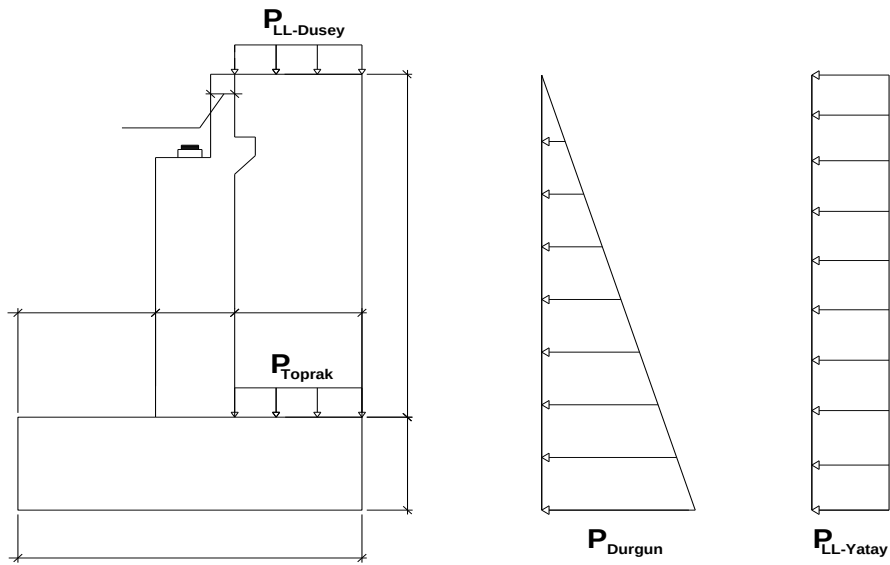
x yönünde	3555 kN
y yönünde	3645 kN

5.2.3. Kenar ayak modeli ve tasarımı

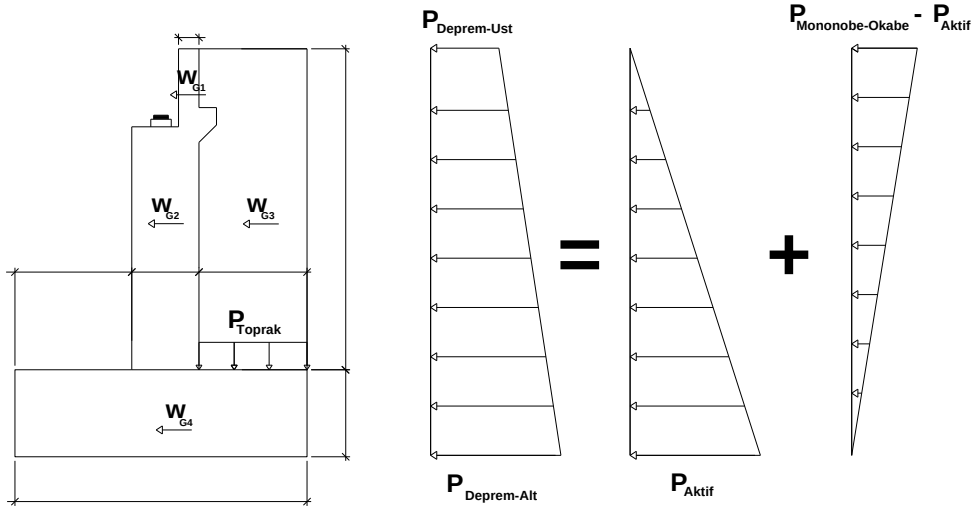
Bu bölümde demiryolu köprüsü Resim 5.4' de verilen kenar ayak modelinde AASHTO 'da tanımlanan tasarıma uygun olarak zemin itkileri yüklenerek analiz yapılmıştır.



Resim 5.4. Demiryolu köprüsü kenar ayak modeli



Şekil 5.2. Kenar ayağa etkiyen statik zemin itkileri



Şekil 5.3. Kenar ayağa etkiyen dinamik zemin itkileri

Çizelge 5.7. Demiryolu köprüsü kenar ayağa ait zemin parametreleri

Şev Açısı;	$\alpha =$	0°		
Duvar-Dolgu Ara Kesitinin Yatayla Yaptığı Açı;	$\beta =$	90°		
Dolgunun İçsel Sürtünme Açısı;	$\phi =$	35°		
Dolgu ile Duvar Arasındaki Sürtünme Açısı;	$\delta =$	23,3°		
Dolgu Birim Hacim Ağırlığı;	$\gamma_{dolgu} =$	20	kN/m ³	
Yatay Eşdeğer Deprem Katsayısı ;	$k_h = 0,5 \cdot A_g =$	0,20	(AASTO 6.4.3)	
Düşey Eşdeğer Deprem Katsayısı;	$k_v =$	0		

Kenar ayağa gelen zemin itkilerinin hesaplarında kullanılan katsayılar aşağıda belirtilmiştir.

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{kh}{1-kv} \right] = 11,3^\circ$$

Sükûnetteki basınç katsayısı; $K_d = 1 - \sin(\phi) = 0,426$

Aktif basınç katsayısı;

$$Ka = \frac{\sin^2(\beta + \phi)}{\sin^2\beta * \sin(\beta - \delta) * \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) * \sin(\phi - \alpha)}{\sin(\beta - \delta) * \sin(\alpha + \beta)}}\right]^2} = 0,244$$

Dinamik basınç katsayısı;

$$Kae = \frac{\sin^2(\beta + \phi - \theta)}{\cos\theta * \sin^2\beta * \sin(\beta - \delta - \theta) * \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) * \sin(\phi - \alpha - \theta)}{\sin(\beta - \delta - \theta) * \sin(\alpha + \beta)}}\right]^2} = 0,384$$

Demiryolu köprüsü modeline tanımlanan zemin itkilerinden kaynaklanan yüklemeler Çizelge 5.8’ de verilmiştir. Daha önce Çizelge 5.4’ de diğer yüklemeler gösterilmişti.

Çizelge 5.8. Zemin itkileri

DÜŞEY ETKİLER	Ptoprak	119 kPa
	Pdüşey	52,10 kPa
YATAY ETKİLER	Pdurgun	63,54 kPa
	Pyatay	22,2 kPa
	Pdepremalt	36,42 kPa
	Pdepremüst	20,84 kPa
	Patalet	26,40kPa

Demiryolu köprüsü modelinde kullanılan yük kombinasyonları AASHTO 3.22’ den alınmış olup, aşağıda verilmektedir.

Çizelge 5.9. AASHTO yük kombinasyonları

Grup	D	CF	(L+I)	E	W	(R+S+T)	LF	EQ
I	1	0	1	1	0	0	0	0
IA	1	0	2	0	0	0	0	0
IB	1	0	1	1	0	0	0	0
II	1	0	1	1	0	0	1	0
III	1	1	0	1	0.3	0	0	0
IV	1	0	0	1	0	1	0	0
V	1	0	1	1	0	1	0	0
VI	1	0	1	1	0	1	1	0
VII	1	0	0	1	0	0	0	1
VIII	1,3	0	2,171	1,3	0	0	0	0
IX	1,3	0	2,86	0	0	0	0	0
X	1,3	0	0	1,3	0	0	0	0
XI	1,3	0	1,3	1,3	0	0	1,3	0
XII	1,3	0	1,3	1,3	0	1,3	0	0
XIII	1,25	0	0	1,25	0	1,25	0	0
XIII	1,25	0	1,25	1,25	0	1,25	1,25	0
XV	1,3	1.3	0	1,3	0	1,3	0	0

5.2.4. Kenar ayak modeli çıktıları

Kenar ayağa ait model AASHTO' ya göre Bölüm 5.2.3' e göre tasarlanarak, çıktıları aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 5.10. Kenar ayak temeli çıktıları

M(kN / m)	2925
V (kN)	3230

Çizelge 5.11. Kenar ayak ön perde çıktıları

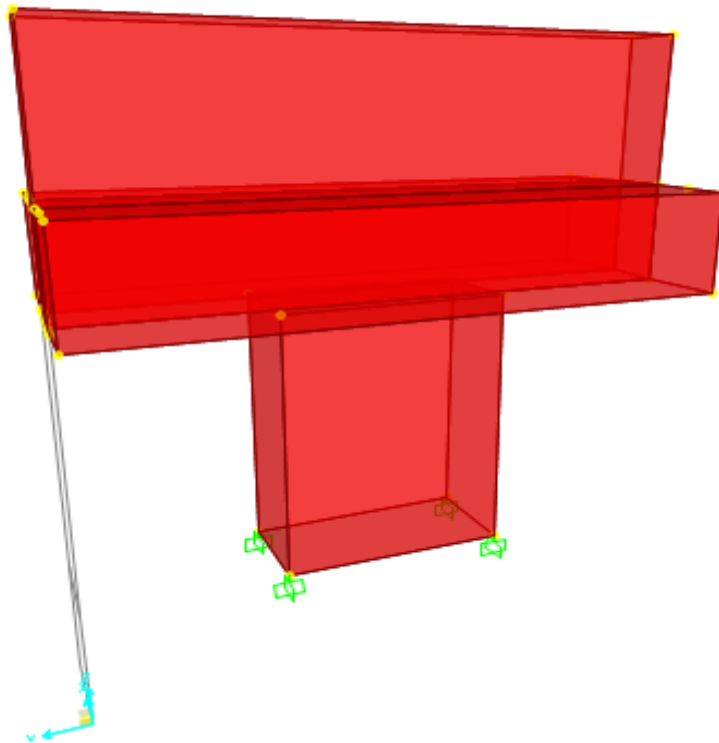
M(kN / m)	3348
V (kN)	1296

Çizelge 5.12. Kenar ayak yan perde çıktıları

M(kN / m)	434
V (kN)	321

5.2.5. Orta ayak modeli ve tasarımı

Bu bölümde demiryolu köprüsü Resim 5.5’ de verilen orta ayak modelinde AASHTO ‘da tanımlanan tasarıma uygun olarak deprem yükleri etki ettirilerek ve üstyapıdan orta ayağa aktarılan kalıcı yükler tanımlanarak analiz yapılmıştır.



Resim 5.5. Demiryolu köprüsü orta ayak modeli

5.2.6. Orta ayak modeli çıktıları

Demiryolu köprüsü orta ayağının AASHTO 'ya göre deprem modellemesi yapıldıktan sonra çıktıları ait Çizelgeler aşağıda verilmiştir. Deprem yüklemesinden elde edilen maksimum gerilme ve yatay yer değiştirme Çizelge 5.13' de verilmiştir.

Çizelge 5.13. Orta ayak çıktıları

Maksimum gerilme(kPa)	6822
Maksimum yatay yer değiştirme(m)	0,0056

5.3. Avrupa Birliği Yönetmeliğine (EUROCODE) Göre Deprem Tasarımı

Bu bölümde demiryolu köprüsünün Eurocode' a göre deprem tasarımı yapılacaktır. İlk önce Resim 5.3' deki modelde Eurocode' a göre deprem yükleri belirlenecek ve analiz çıktıları ele alınacaktır. Daha sonra kenar ayağa aktif dinamik basınç etki ettirilerek Eurocode' a göre elde edilen sonuçlar irdelenecektir.

5.3.1. Deprem yükünün modellenmesi

Eurocode, Avrupa Birliği tarafından çeşitli teknik konularda uygulanmakta olan yönetmeliklerindendir. Bu çalışmanın konusu demiryolu köprüsü olduğundan ilgili Eurocode standartları kullanılmıştır. Bu yönetmelikte hem düşey hem de yatay yönde deprem hareketi tanımlanmıştır. Yönetmeliğe göre uygulanacak yöntemde kullanılacak yatay ve düşey yönde deprem hareketi için depremsellik özellikleri sırasıyla Çizelge 5.14 ve Çizelge 5.15' de verilmiştir.

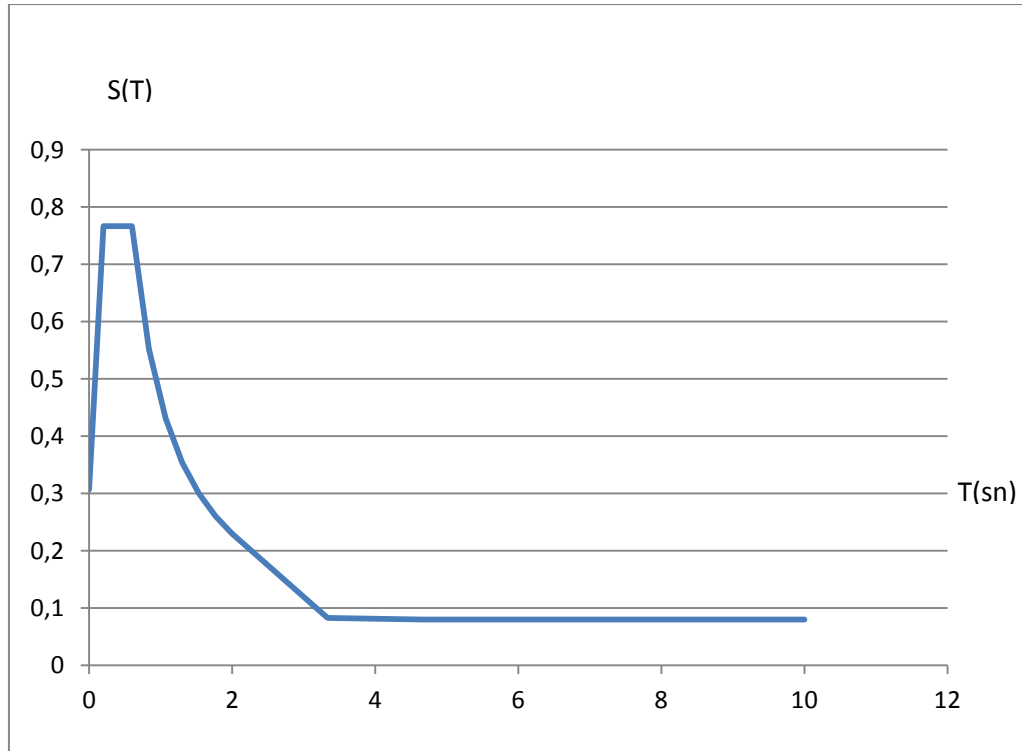
Çizelge 5.14. Yatay yönde deprem hareketi için depremsellik özellikleri(EUROCODE)

Deprem Bölgesi	1. Derece
Etkin Yer İvme Katsayısı	$A_0=0,40g$
Zemin Sınıfı	C
Zemin Katsayısı(S)	1,15
Davranış katsayısı(q)	1,5
Spektrum Tipi	1

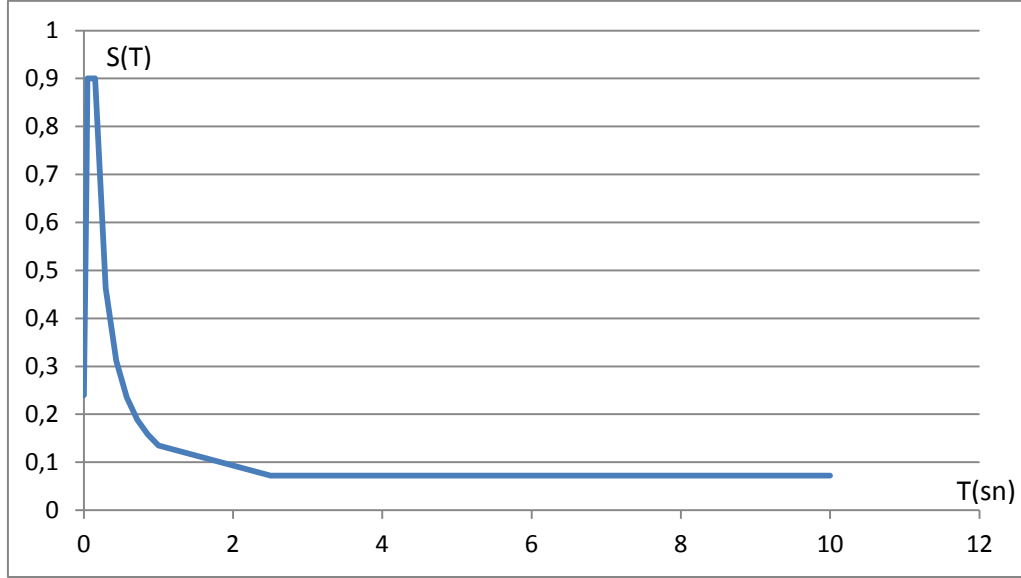
Çizelge 5.15. Düşey yönde deprem hareketi için depremsellik özellikleri(EUROCODE)

Deprem Bölgesi	1. Derece
Etkin Yer İvme Katsayısı	$A_0=0,40g$
Zemin Sınıfı	C
Zemin Katsayısı(S)	1,15
Davranış katsayısı(q)	1
Spektrum Tipi	1

Daha önce Eurocode' da kullanılan yatay ve düşey spektrum eşitlikleri Bölüm 3.7.1 ve 3.7.2' de verilmişti. Yatay ve düşey spektrumlara ait şekiller sırasıyla Şekil 5.4 ve Şekil 5.5' de verilmiştir.



Şekil 5.4. Yatay Spektrum Grafiği(EUROCODE)



Şekil 5.5. Düşey spektrum grafiği(EUROCODE)

Dinamik Analiz sonucunda elde edilen veriler aşağıda verilen kombinasyonlara göre birleştirilmiştir.

1. Kombinasyon 1: DL+EQX +0,3EQY+0,3EQZ
2. Kombinasyon 2: DL+EQY +0,3EQX+0,3EQZ
3. Kombinasyon 3: DL+0,3EQX+0,3EQY+EQZ

DL ile gösterilen zati yüke trafik yükü katılmamıştır.

5.3.2. Deprem modellemesi çıktıları

Demiryolu köprüsünün Eurocode 'a göre deprem modellemesi yapıldıktan sonra çıktılarına ait çizelgeler aşağıda verilmiştir. Deprem Yüklemesinden elde edilen maksimum yükler Çizelge 5.16' da verilmiştir.

Çizelge 5.16. Deprem yüklemesinden kenar ayağa aktarılan yükler

x yönünde	4716 kN
y yönünde	4140 kN
z yönünde	864 kN

5.3.3. Kenar ayak modeli ve tasarımı

Bu bölümde demiryolu köprüsü Resim 5.4’ de verilen kenar ayak modelinde Eurocode ‘a göre tanımlanan tasarıma uygun olarak zemin itkileri yüklenerek analiz yapılmıştır. Daha önce Şekil 5.2 ve Şekil 5.3’ de kenar ayağa etkiyen yükler gösterilmişti. Burada demiryolu köprüsü kenar ayağına ait zemin parametreleri Çizelge 5.17’ de verilmiştir.

Çizelge 5.17. Demiryolu köprüsü kenar ayağına ait zemin parametreleri

Şev Açısı;	$\alpha =$	0°		
Arka dolgu yüzeyinin yatayla yaptığı açı;	$\beta =$	0°		
Dolgunun İçsel Sürtünme Açısı;	$\emptyset =$	35°		
Dolgu ile Duvar Arasındaki Sürtünme Açısı;	$\delta =$	23,3°		
Dolgu Birim Hacim Ağırlığı;	$\gamma_{dolgu} =$	20	kN/m ³	
Yatay Eşdeğer Deprem Katsayısı;	$k_h =$	0,46	EN 1998-5	
Düşey Eşdeğer Deprem Katsayısı;	$k_v = 0,5 * k_h =$	0,23		
Duvar ve zemin arasındaki sürtünme açısının tasarım değeri;	$\delta_d =$	19,01°		
	$\Theta =$	20,5°		
Zemin kayma direnci açısının tasarım değeri;	$\emptyset_d =$	29,25°		
Duvarın arka yüzünün eğim açısı;	$\Psi =$	90°		

Kenar ayağına gelen zemin itkilerinin hesaplarında kullanılan katsayılar aşağıda belirtilmiştir.

$$\delta_d = \tan^{-1}(\tan 23,3^\circ / 1,25) = 19,01^\circ$$

$$\Theta = \tan^{-1}(0,46 / (1 + 0,23)) = 20,5^\circ$$

$$\emptyset_d = \tan^{-1}(\tan 35^\circ / 1,25) = 29,25^\circ$$

$$K_h = (0,4 * 1,15) / 1 = 0,46$$

$$K_v = 0,5 * 0,46 = 0,23$$

Aktif durumlar için;

$$K_a = \frac{\sin^2(\Psi + \emptyset_d - \Theta)}{\cos\Theta * \sin^2\Psi * \sin(\Psi - \Theta - \delta_d) * \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\emptyset_d + \delta_d) * \sin(\emptyset_d - \beta - \Theta)}{\sin(\Psi - \Theta - \delta_d) * \sin(\Psi + \beta)}} \right]^2} = 0,706$$

Pasif durumlar için;

$$K_p = \frac{\sin^2(\Psi + \emptyset_d - \Theta)}{\cos\Theta * \sin^2\Psi * \sin(\Psi + \Theta) * \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\emptyset_d) * \sin(\emptyset_d + \beta - \Theta)}{\sin(\Psi + \Theta) * \sin(\Psi + \beta)}} \right]^2} = 2,16$$

$\Theta = 0^\circ$ alınırsa;

$$K_{as} = 0,306$$

$$K_{ad} = 0,4$$

Demiryolu köprüsü modeline tanımlanan zemin itkilerinden kaynaklanan yüklemeler Çizelge 5.18’ de verilmiştir. Daha önce Çizelge 5.4’ de diğer yüklemeler gösterilmiştir.

Çizelge 5.18. Zemin itkileri

DÜŞEY ETKİLER	Ptoprak	119 kPa
	Pdüşey	52,10 kPa
YATAY ETKİLER	Pdurgun	63,54 kPa
	Pyatay	22,2 kPa
	Pdepremalt	56,08 kPa
	Pdepremüst	73,31 kPa
	Patalet	26,40 kPa

Demiryolu köprüsü modelinde kullanılan yük kombinasyonları EN 1990 Annex A2’ den alınmış olup, aşağıda verilmektedir.

Çizelge 5.19. EUROCODE yük kombinasyonları

	Dayanım+ Denge I	Dayanım+ Denge II	Servis I	Servis II	Deprem
Zati yük	1,35	1,35	1	1	1
Balast	1,80	1,80	1,33	1,33	1,33
Hareketli yük	1,45	1,45	1	1	1
Toprak Etkisi	1,50	1,50	1	1	1
Sürşarj	1,45	1,45	1	1	-
Fren	1,45	0,725	1	1	-
Merkezkaç	0,725	1,45	0,50	0,50	-
Rüzgar	1,50	1,50	1	0,60	-
Isı	1,50	1,50	1	0,60	-
Deprem yükü	-	-	-	-	-
Atalet	-	-	-	-	1

5.3.4. Kenar ayak modeli çıktıları

Kenar ayağa ait model Eurocode' a göre Bölüm 5.3.3' e göre tasarlanarak, çıktıları aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 5.20. Kenar ayak temeli çıktıları

M(kN / m)	3283
V (kN)	3395

Çizelge 5.21. Kenar ayak ön perde çıktıları

M(kN / m)	4291
V (kN)	1541

Çizelge 5.22. Kenar ayak yan perde çıktıları

M(kN / m)	543
V (kN)	337

5.3.5. Orta ayak modeli ve tasarımı

Bu bölümde demiryolu köprüsü Resim 5.5’ de verilen orta ayak modelinde Eurocode ‘a göre tanımlanan tasarıma uygun olarak yüklenerek analiz yapılmıştır. Orta ayak solid olarak modellenmiş olup, üstyapıdan aktarılan yükler orta ayağa etki ettirilmiştir.

5.3.6. Orta ayak modeli çıktıları

Demiryolu köprüsü orta ayağı Eurocode ‘a göre deprem modellemesi yapıldıktan sonra çıktıları a ait Çizelgeler aşağıda verilmiştir. Deprem Yüklemeinden elde edilen maksimum gerilme ve yatay yer değıştirme Çizelge 5.23’ de verilmiştir.

Çizelge 5.23. Orta ayak çıktıları

Maksimum gerilme(kPa)	5533
Maksimum yatay yer değıştirme(m)	0,0046

5.4. Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliğine(DLH) Göre Deprem Tasarımı

Bu bölümde demiryolu köprüsünün DLH’ a göre deprem tasarımı yapılacaktır. İlk önce Resim 5.3’ deki modelde DLH’ a göre deprem yükleri belirlenecek ve analiz çıktıları ele alınacaktır. Daha sonra kenar ayağa aktif dinamik etki ettirilerek DLH’ a göre elde edilen sonuçlar irdelenecektir.

5.4.1. Deprem yükünün modellenmesi

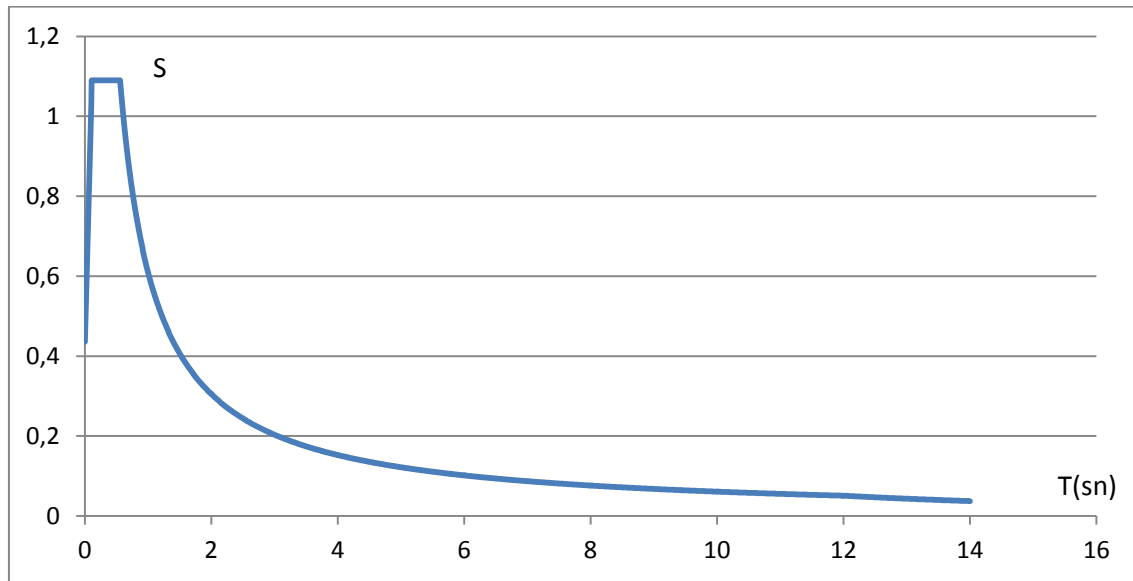
DLH, ülkemizde 2008 yılında yürürlüğe giren ve çeşitli teknik konularda uygulanmakta olan yönetmeliklerindendir. Bu bölümde bahse konu yönetmeliğe göre deprem yükü

simule edilecektir. Yöntemde kullanılacak depremsellik özellikleri Çizelge 5.24’ de verilmiştir.

Çizelge 5.24. Depremsellik özellikleri(DLH)

Deprem Bölgesi	1. Derece
Etkin Yer İvme Katsayısı	$A_0=0,40g$
Zemin Sınıfı	D
S_s	0,99
S_1	0,36
T_s	0,11
T_0	0,56
T_L	12
Deprem Düzeyi	D2
Deprem Performansı	Özel Köprü
Hedeflenen Performans Düzeyi	MH
Davranış katsayısı (R)	1,5

Daha önce DLH’ da kullanılan spektrum eşitlikleri Bölüm 4.6’ da verilmişti. Yatay spektruma ait grafik Şekil 5.11’ de verilmiştir.



Şekil 5.6. Tepki Spektrum Eğrisi(DLH)

Dinamik Analiz sonucunda elde edilen veriler aşağıda verilen kombinasyonlara göre birleştirilmiştir.

1. Kombinasyon 1: $DL+EQX/R +0,3EQY/R$
2. Kombinasyon 2: $DL+EQY/R +0,3EQX/R$

DL ile gösterilen zati yüke trafik yükü katılmamıştır.

5.4.2. Deprem modellemesi çıktıları

Demiryolu köprüsünün DLH 'ya göre deprem modellemesi yapıldıktan sonra çıktıları ait çizelgeler aşağıda verilmiştir. Deprem yüklemesinden elde edilen maksimum yükler Çizelge 5.25' de verilmiştir.

Çizelge 5.25. Deprem yüklemesinden kenar ayağa aktarılan yükler

x yönünde	4473kN
y yönünde	3951 kN

5.4.3. Kenar ayak modeli ve tasarımı

Bu bölümde demiryolu köprüsü Resim 5.4' de verilen kenar ayak modelinde DLH 'a göre tanımlanan tasarıma uygun olarak zemin itkileri yüklenerek analiz yapılmıştır. Daha önce Şekil 5.2 ve Şekil 5.3' de kenar ayağa etkiyen yükler gösterilmişti. Burada demiryolu köprüsü kenar ayağına ait zemin parametreleri Çizelge 5.26' da verilmiştir.

Çizelge 5.26. Demiryolu köprüsü kenar ayağa ait zemin parametreleri

Şev Açısı;	$\beta =$	0 °		
Duvar-Dolgu Ara Kesitinin Yatayla Yaptığı Açı;	$\alpha =$	0°		
Dolgunun İçsel Sürtünme Açısı;	$\varnothing =$	35°		
Dolgu ile Duvar Arasındaki Sürtünme Açısı;	$\delta =$	23,3°		
Eşdeğer deprem ivmesi katsayısına bağlı olarak hesaplanan açı;	$\lambda =$	13,82°		
Dolgu Birim Hacim Ağırlığı;	$\gamma_{\text{dolgu}} =$	20	kN/m ³	
Yatay Eşdeğer Deprem Katsayısı ;	$k_h =$	0,246	DLH	
Düşey Eşdeğer Deprem Katsayısı;	$k_v =$	0		

Kenar ayağa gelen zemin itkilerinin hesaplarında kullanılan katsayılar aşağıda belirtilmiştir.

$$K_h = (1/3) * 0,4^{(1/3)} = 0,246$$

$$K_v = 0$$

$$\lambda = \tan^{-1}(0,246) = 13,82^\circ$$

Kohezyonsuz zeminlerde;

$$K_{ai,t} = \frac{\cos^2(\varnothing - \lambda - \Theta)}{\cos\lambda * \cos^2\alpha * \cos(\delta + \alpha + \lambda) * \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varnothing + \delta) * \sin(\varnothing - \beta - \lambda)}{\cos(\lambda + \alpha + \delta) * \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2} = 0,427$$

$$K_{pi,t} = \frac{\cos^2(\varnothing - \lambda + \alpha)}{\cos\lambda * \cos^2\alpha * \cos(\delta - \alpha + \lambda) * \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\varnothing + \delta) * \sin(\varnothing + \beta - \lambda)}{\cos(\lambda - \alpha + \delta) * \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2} = 7,81$$

Yukarıdaki eşitliklerde $\lambda = 0$ alınırsa; sırasıyla $K_{ai,s}$ ve $K_{pi,s}$ elde edilir.

$$K_{ai,s}=0,266$$

$$K_{pi,s}=10,82$$

$$K_{ai,d}=0,427-0,266=0,161$$

Demiryolu köprüsü modeline tanımlanan zemin itkilerinden kaynaklanan yüklemeler Çizelge 5.27’ de verilmiştir. Daha önce Çizelge 5.4’ de diğer yüklemeler gösterilmişti.

Çizelge 5.27. Zemin itkileri

DÜŞEY ETKİLER	Ptoprak	119 kPa
	Pdüşey	52,10 kPa
YATAY ETKİLER	Pdurgun	63,54 kPa
	Pyatay	22,2 kPa
	Pdepremalt	39,63 kPa
	Pdepremüst	10,78 kPa
	Patalet	26,40 Pa

Demiryolu köprüsü modelinde kullanılan yük kombinasyonları; TS 500’ den alınmış olup, aşağıda verilmektedir [14].

Çizelge 5.28. DLH yük kombinasyonları

	G(Zati yük)	Q(Hareketli Yük)	T(Isı)	W(rüzgar yükü)	E(Deprem)	H(Toprak yükü)
1	1,4	1,6	-	-	-	-
2	1	1,2	1,2	-	-	-
3	1	1,3	-	1,3	-	-
4	0,9	-	-	1,3	-	-
5	1	1	-	-	1	-
6	0,9	-	-	-	1	-
7	1,4	1,6	-	-	-	1,6
8	0,9	-	-	-	-	1,6

5.4.4. Kenar ayak modeli çıktıları

Kenar ayağa ait model DLH' ya göre Bölüm 5.4.3' e göre tasarlanarak, çıktılar aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 5.29. Kenar ayak temeli çıktıları

M(kN / m)	3583
V (kN)	4148

Çizelge 5.30. Kenar ayak ön perde çıktıları

M(kN / m)	3097
V (kN)	1127

Çizelge 5.31. Kenar ayak yan perde çıktıları

M(kN / m)	595
V (kN)	457

5.4.5.Orta ayak modeli ve tasarımı

Bu bölümde demiryolu köprüsü Resim 5.5' de verilen orta ayak modelinde DLH 'a göre tanımlanan tasarıma uygun olarak yüklenerek analiz yapılmıştır. Üstyapıdan aktarılan kalıcı yükler orta ayağa tanımlanmıştır.

5.4.6.Orta ayak modeli çıktıları

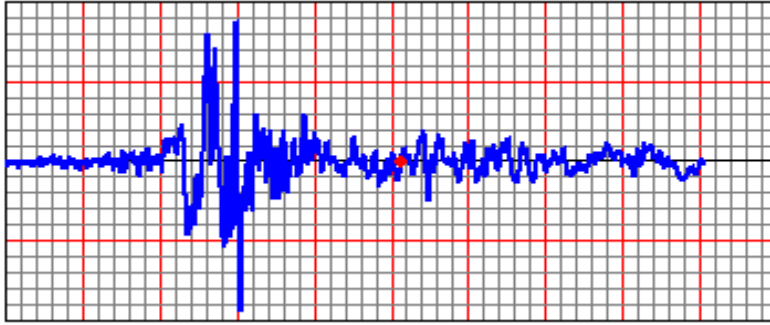
Demiryolu köprüsü orta ayağının DLH 'ya göre deprem modellemesi yapıldıktan sonra çıktılarına ait Çizelgeler aşağıda verilmiştir. Deprem yüklemesinden elde edilen maksimum gerilme ve yatay yer değiştirme Çizelge 5.32' de verilmiştir.

Çizelge 5.32. Orta ayak çıktıları

Maksimum gerilme(kPa)	7429
Maksimum yatay yer değiştirme(m)	0,0061

5.5. Düzce Deprem Kayıtlarına Göre Deprem Tasarımı

1999 yılında ülkemizde yaşanan büyük deprem kayıtlarından Düzce İstasyonuna ait veriler esas alınarak deprem tasarımı yapılmıştır. Çalışmada Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi veri bankasından yararlanılmıştır [18]. Burada dünyanın çeşitli yerlerinde meydana gelen depremlere ait kayıtlar bulunmaktadır. Düzce istasyonunun sismolojik özellikleri çalışmamızla benzerlik gösterdiğinden veriler ölçeklendirilmemiştir. Çeşitli yönlerde ait kayıtlardan en olumsuz olan Doğu-Batı yönündeki veriler seçilmiştir.



Resim 5.6. Düzce deprem kaydı(ivme-zaman)

Çizelge 5.33. Deprem yüklemesinden kenar ayağa aktarılan yükler

x yönünde	3132 kN
y yönünde	2264 kN

Çizelge 5.34. Orta ayak çıktıları

Maksimum gerilme(kPa)	3474
Maksimum yatay yer değiştirme(m)	0,0028

5.6. Sonuçların Değerlendirilmesi

Bu çalışma kapsamında AASHTO, Eurocode ve Türk yönetmeliklerine göre tasarlanan demiryolu köprüsüne ait sonuçlar, aşağıda aynı çizelgelerde verilerek karşılaştırma yapılmıştır.

Çizelge 5.35. Deprem yüklemesinden kenar ayağa aktarılan yükler

	X yönünde	Y yönünde	Z yönünde
AASHTO	3555 kN	3645 kN	-
DLH	4473 kN	3951 kN	-
EUROCODE	4716 kN	4140 kN	864 kN
DÜZCE KAYITLARI	3132 kN	2264 kN	-

Çizelge 5.36. Orta ayakta oluşan maksimum gerilmeler ve yatay yer değiştirmeler

	Maksimum gerilme (kPa)	Maksimum yatay yer değiştirme(m)
AASHTO	6822	0,0056
DLH	7429	0,0061
EUROCODE	5533	0,0046
DÜZCE KAYITLARI	3474	0,0028

Çizelge 5.37. Kenar ayak çıktıları

		Ön Perde	Yan Perde	Temel
AASHTO	Moment(kNm)	3348	434	2925
	Kesme(kN)	1296	321	3230
DLH	Moment(kNm)	3097	595	3583
	Kesme(kN)	1127	457	4148
EUROCODE	Moment(kNm)	4291	543	3283
	Kesme(kN)	1541	337	3395

3 yönetmelikte de kenar ayak tasarımında parametrelere göre zemin basınç katsayılarında farklılıklar içermektedir. 3 yönetmelikte de sükûnetteki zemin basınç katsayısı aynıdır. Aktif zemin basınç katsayısı Eurocode' da en yüksek bulunurken AASHTO' da en düşük bulunmuştur. Sadece deprem hareketinden kaynaklı zemin basınç katsayısı ise; Eurocode' da en yüksek bulunurken DLH' da en düşük bulunmuştur.

Deprem yükü azaltma katsayıları AASHTO ve DLH yönetmeliklerinde 1.5' den 5' e kadar değişirken Eurocode' da bu değer 1' den 3,5' a kadar değişmektedir.

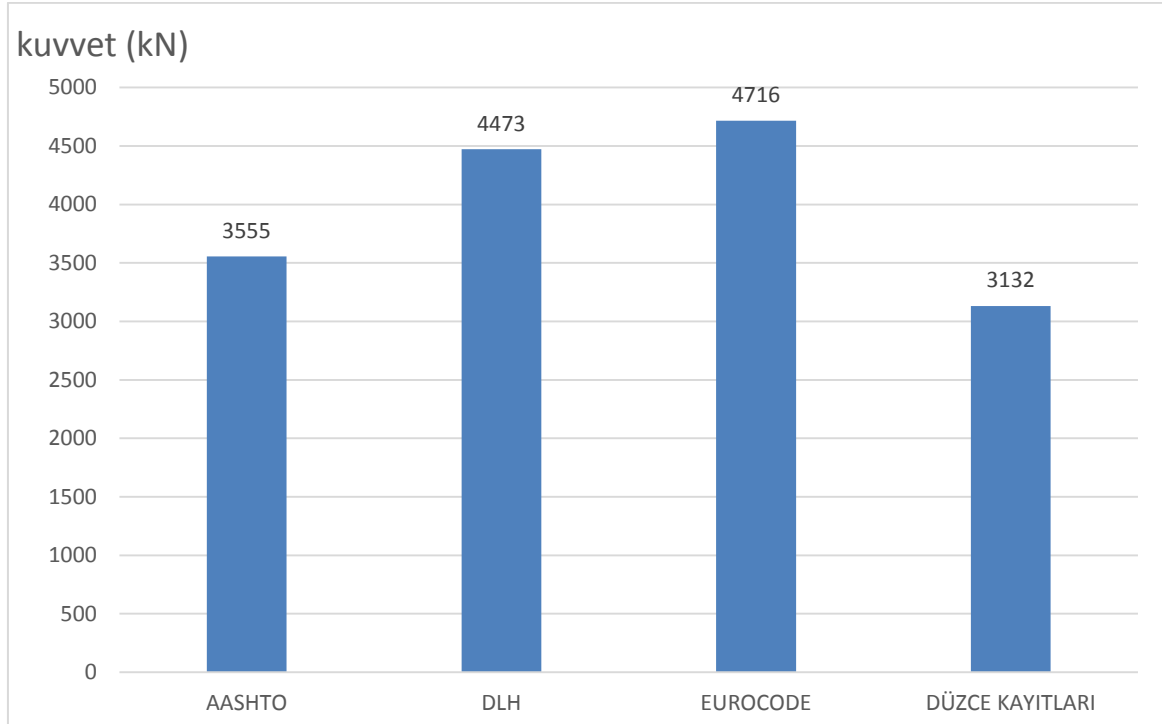
3 yönetmelikte de zemin sınıflandırılması farklılıklar içermektedir. AASHTO' da 4 gruba, Eurocode' da 7 gruba, DLH' da ise 6 gruba ayrılmaktadır.

3 yönetmelikte tasarım parametrelerindeki değişikliklerden dolayı spektrum eğrileri farklıdır.

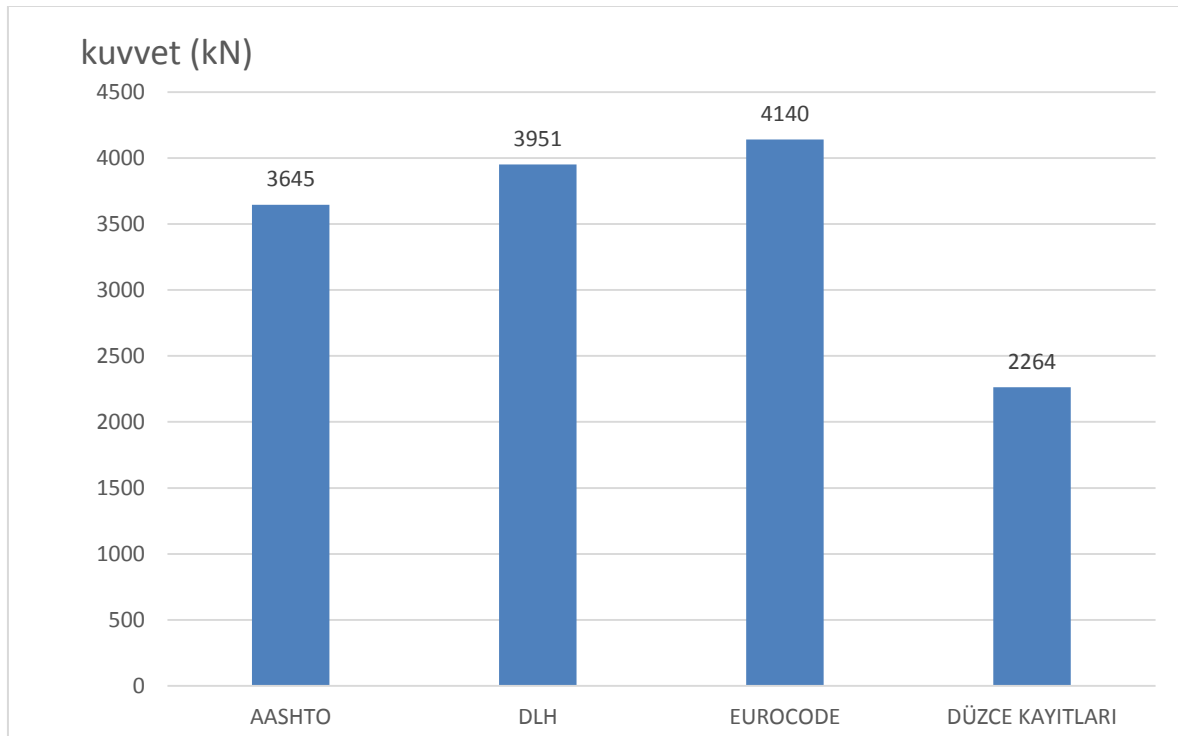
3 yönetmelikte kenar ayak modeline etki ettirilen yüklemelerde yük kombinasyon katsayıları farklıdır. DLH' da yük kombinasyonları için açıklama bulunmadığından TS 500' daki yük kombinasyonları kullanılmıştır.

AASHTO ve DLH' da x ve y yönünde deprem hareketi tasarımı yapılırken, Eurocode da ilaveten z yönünde de; yani düşey yönde deprem hareketi tasarımı yapılmaktadır.

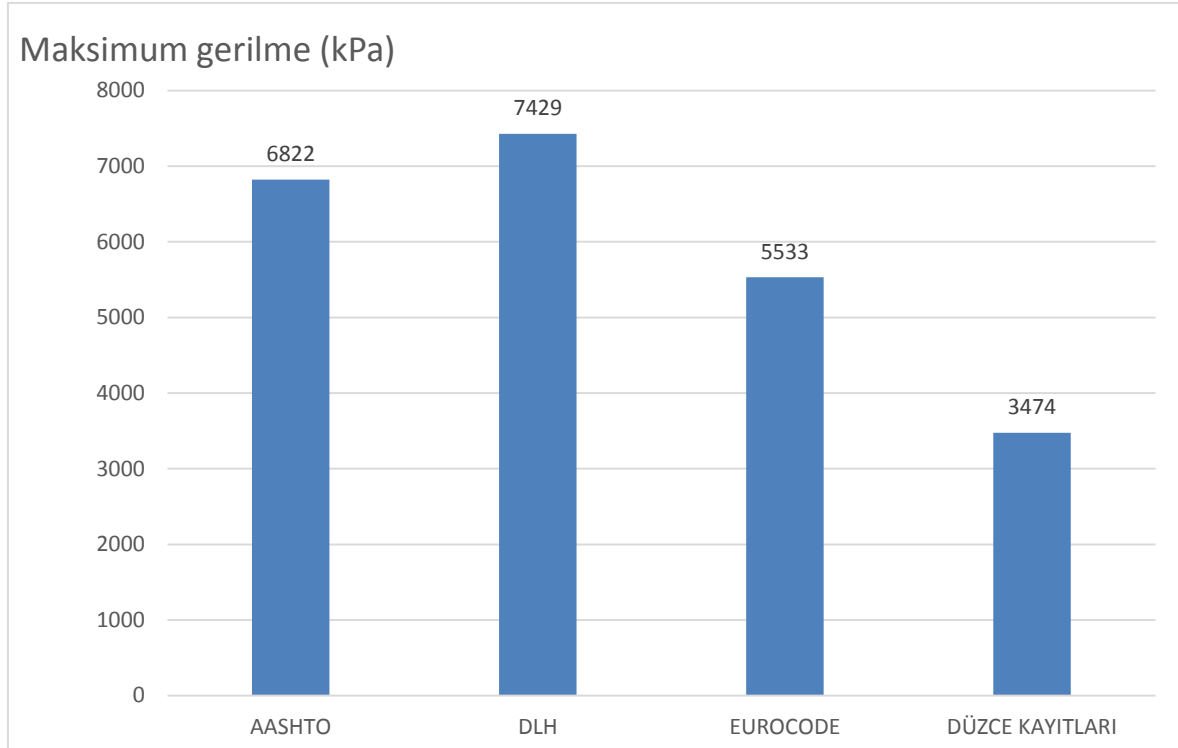
Deprem yüklemesinden x ve y yönünde kenar ayağa aktarılan yüklemelerde Eurocode diğer yönetmelik ve deprem kaydı verilerine göre güvenilir tarafta kalmaktadır. Orta ayak çıktılarını incelediğimizde ise; DLH güvenilir tarafta kalmaktadır.



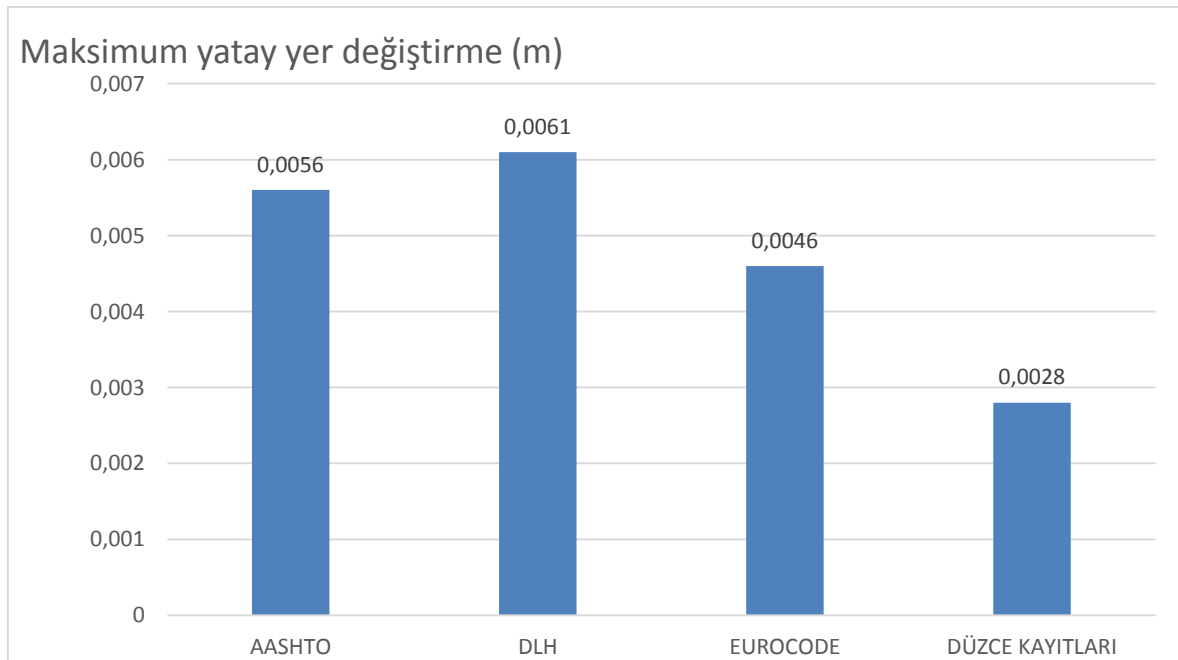
Şekil 5.7. Deprem yüklemesinden x yönünde kenar ayağa aktarılan yükler



Şekil 5.8. Deprem yüklemesinden y yönünde kenar ayağa aktarılan yükler

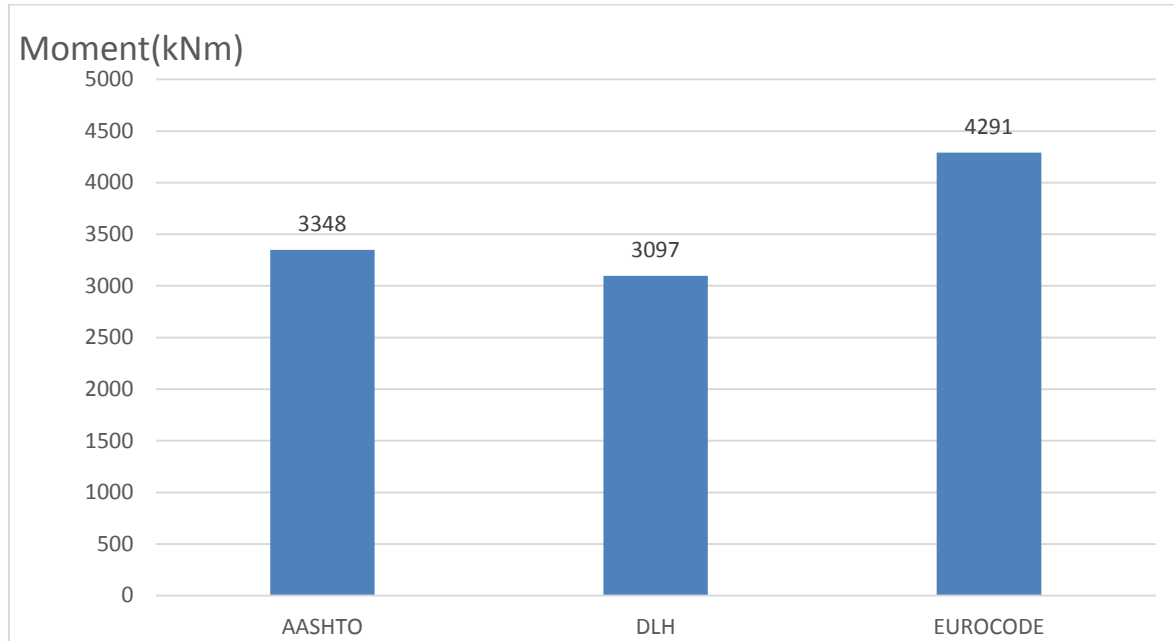


Şekil 5.9. Deprem yüklemesinden dolayı orta ayakta oluşan maksimum gerilmeler

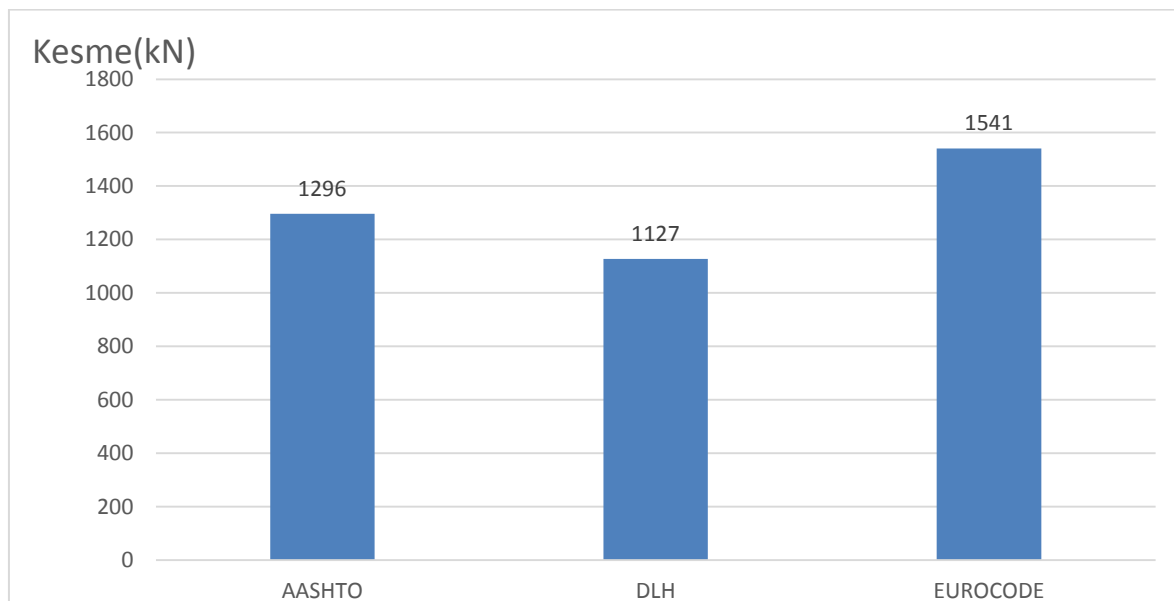


Şekil 5.10. Deprem yüklemesinden dolayı orta ayakta oluşan maksimum yatay yer değiştirmeler

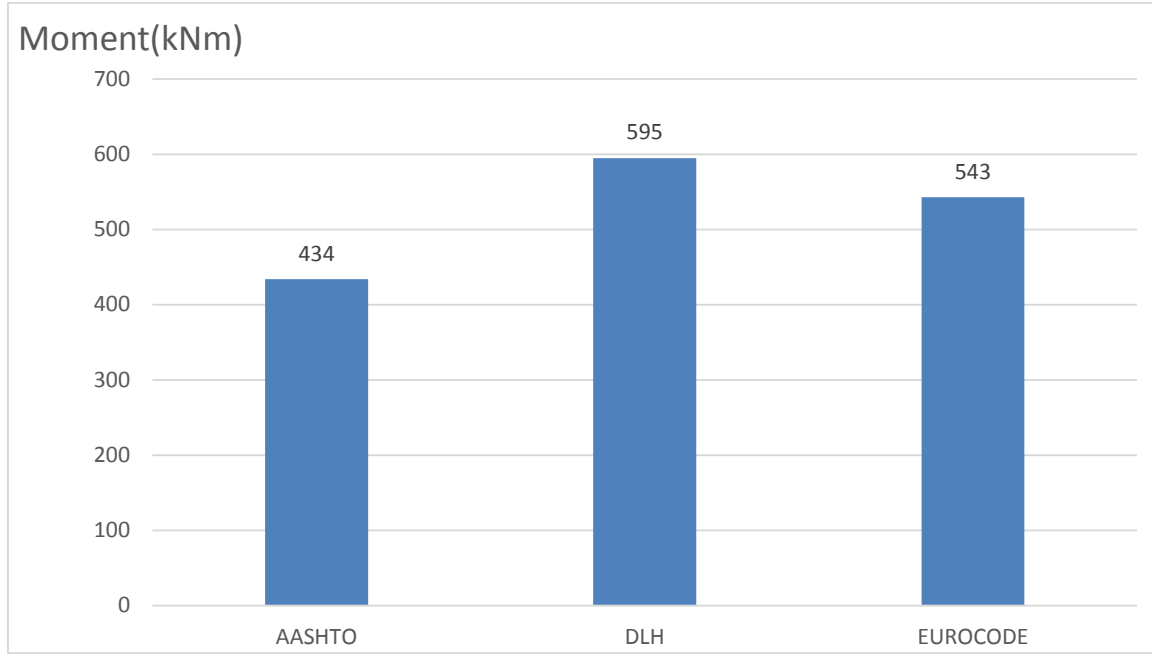
Kenar ayak tasarımı sonuçları incelendiğinde; ön perde tasarımında Eurocode sonuçlarının daha güvenilir tarafta kaldığı, yan perde sonuçlarında DLH tasarımının güvenilir tarafta kaldığı ve son olarak da temel tasarımında yine benzer şekilde DLH sonuçlarının daha güvenli tarafta kaldığı ortaya çıkmaktadır. Ekonomi düşünüldüğünde bu durum tam tersi sonuçlar doğurmaktadır.



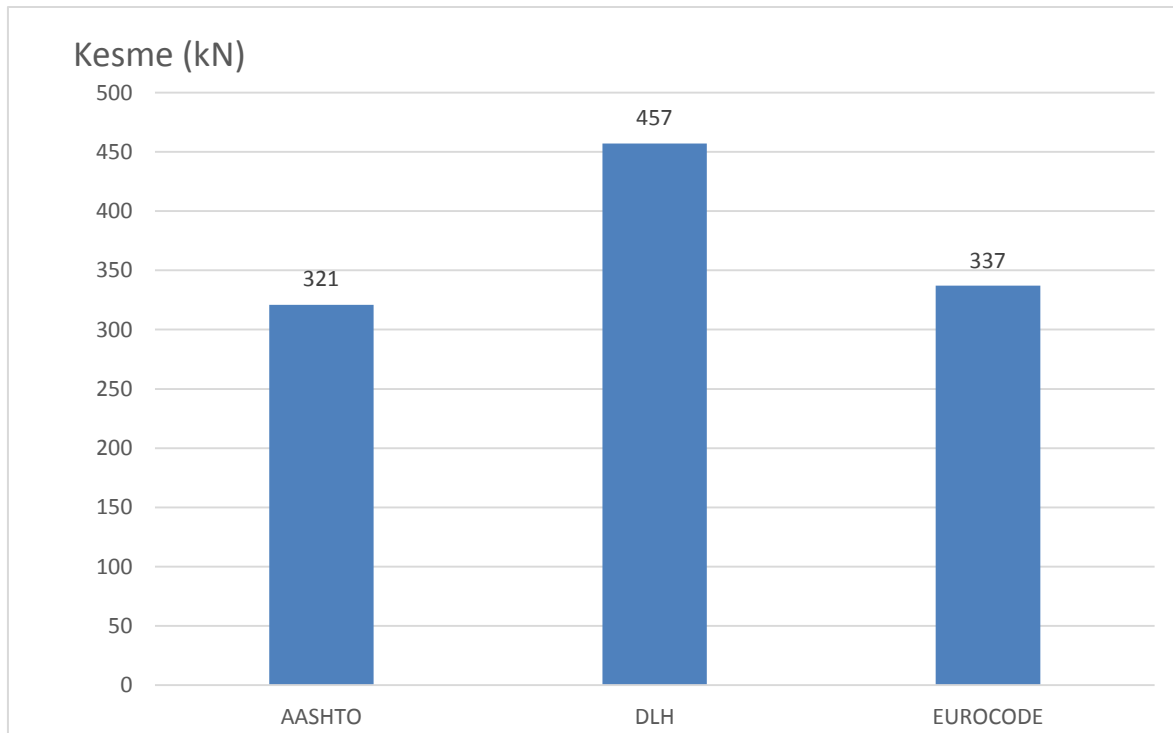
Şekil 5.11. Kenar ayak ön perde moment sonuçları



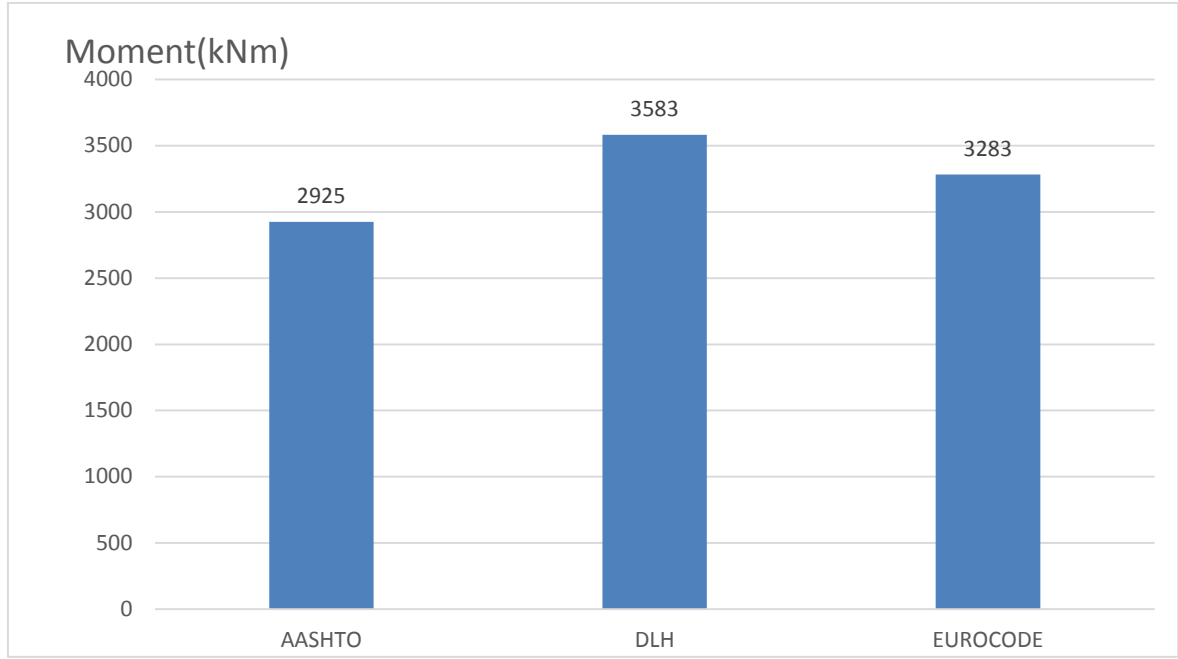
Şekil 5.12. Kenar ayak ön perde kesme sonuçları



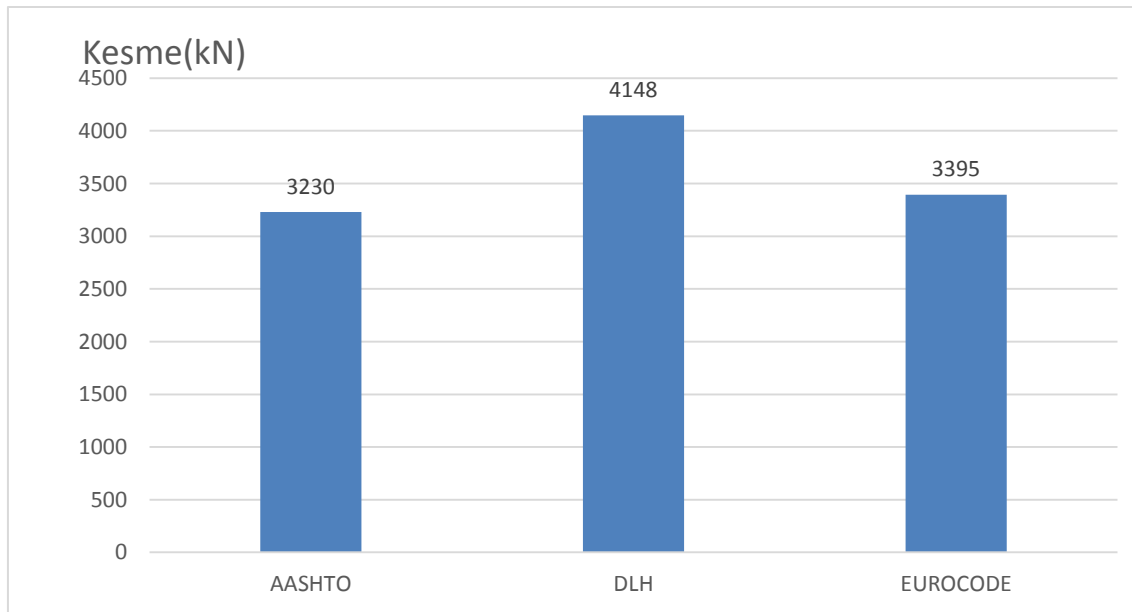
Şekil 5.13. Kenar ayak yan perde moment sonuçları



Şekil 5.14. Kenar ayak yan perde kesme sonuçları



Şekil 5.15. Kenar ayak temel moment sonuçları



Şekil 5.16. Kenar ayak temel kesme sonuçları

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye’de projelendirilen köprülerde genellikle AASHTO, Eurocode ve Türk yönetmelikleri kullanılmaktadır. AASHTO ve Eurocode’ a göre tasarım Türk yönetmeliklerindeki deprem parametreleri kullanılarak yapılmaktadır. AASHTO, Eurocode ve DLH yönetmeliklerine göre demiryolu köprüsünün tasarımı sonucunda elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir:

- Eurocode orta ayak gerilmelerinde %35 daha düşük sonuç vermektedir. Bu da Eurocode’un Avrupa’da aktif deprem hareketlerinin yaşanmadığı ülkeler için hazırlanmış olması ve Avrupa Birliğine katılımcı ve üye ülkelerin tümü için genel bir yönetmelik olarak hazırlanmasından kaynaklanmaktadır.
- Tasarımda; deprem düzeylerinin değişmesi sismik tasarım yüklerinde büyük oranda artış ya da azalmaya neden olmaktadır. AASHTO, Eurocode ve DLH yönetmeliklerine göre tasarımda depremin 50 yılda aşılma olasılığı %10’dır. Eurocode’ da γ katsayısı arttırılarak olasılık azaltılabilirken, DLH için 3 adet deprem düzeyinden biri seçilerek olasılık değişebilmektedir. AASHTO’ da ise sadece tanımlı tasarım kriterlerine göre 50 yılda aşılma olasılığı %10 olarak verilmiştir.
- Tasarım spektrum şekillerindeki farklılıklarından dolayı 3 yönetmelikte de kenar ayağa aktarılan yüklerde; Eurocode sonuçları referans alındığında x-x yönünde yaklaşık olarak AASHTO %35 düşük, DLH %5 düşük sonuç vermektedir.
- Kenar ayağa aktarılan y-y yönündeki yüklerde; Eurocode sonuçları referans alındığında yaklaşık olarak AASHTO %15 düşük, DLH %5 düşük sonuç vermektedir.
- Kenar ayak dolgusunun zemin statik-dinamik basınç katsayıları denklemlerindeki farklılıklardan dolayı 3 yönetmelikte de elde edilen kenar ayak sonuçları Eurocode sonuçları referans alınarak yaklaşık olarak aşağıda verilmiştir:
- Kenar ayak ön perde moment kuvveti sonuçlarında; AASHTO %25 düşük, DLH %35 düşük, kenar ayak ön perde kesme kuvveti sonuçlarında; AASHTO %20 düşük, DLH %40 düşük sonuç vermektedir.
- Kenar ayak yan perde moment kuvveti sonuçlarında; AASHTO %25 düşük, DLH %5 yüksek, kenar ayak yan perde kesme kuvveti sonuçlarında; AASHTO %5 düşük, DLH %30 yüksek sonuç vermektedir.

- Kenar ayak temel moment kuvveti sonuçlarında; AASHTO %10 düşük, DLH %10 yüksek, kenar ayak temel kesme kuvveti sonuçlarında; AASHTO %5 düşük, DLH %25 yüksek sonuç vermektedir.
- AASHTO ve DLH yönetmeliklerinde farklı şekillerde tanımlanan köprünün önem sınıfı Eurocode'da γ önem katsayısı ile belirtilmektedir. γ katsayısı Eurocode'da 1(bir) alınması tavsiye edilirken ülkelerin milli ekte düzenleme yapmasına imkan tanınmaktadır. γ önem katsayısı ülkemizde yürürlükte olan binalar için deprem yönetmeliğinde tanımlı önem katsayısıyla(I) benzerlik göstermektedir. Binalar için deprem yönetmeliğinde çeşitli yapıların önemine göre önem katsayısı(I) değişmektedir. Bu çalışmada da AASHTO ve DLH'da olduğu gibi köprülerin önem durumuna göre tarif edilen γ önem katsayısının milli ekte tanımlanması gereklidir.
- Orta ayak sonuçları incelendiğinde, Eurocode sonuçlarının diğer yönetmeliklerin altında kalması ve köprü önem durumunu dikkate almak amacıyla γ katsayısının 1(bir)'den büyük seçilmesi gerektiği düşünülmektedir. Bu çalışmaya özgün olmak kaydıyla orta ayak sonuçlarına göre γ katsayısının %35 oranında daha yüksek seçilmesi tavsiye edilmektedir.
- Deprem yüklerinden dolayı orta ayakta oluşan gerilmelerde, Eurocode diğer iki yönetmelikte düşük sonuç vermesine rağmen tasarımda yapıların nonlineer davranışından dolayı kullanılan davranış katsayısı(R), AASHTO için DLH ve Eurocode'un iki katı olduğundan tasarımda DLH ve Eurocode'un, AASHTO'ya göre daha da güvenli tarafta görülmektedir. Eurocode sonuçları ise DLH sonuçlarının altında kalmaktadır.

Elde edilen bulguların tartışılması sonucu bundan sonraki çalışmalarda kullanılmak üzere aşağıdaki önerilerde bulunulmuştur:

Genel olarak sonuçlar incelendiğinde 3 yönetmelik sonuçlarında da önemli oranlarda farklılıklar ortaya çıkmıştır. Elde edilen genel bulgulara göre Demiryolu Düzenleme Genel Müdürlüğünce hazırlanan Demiryolu Sistemleri Teknik Şartnamesinde köprünün deprem tasarımı için DLH'nın kullanılması önerilmiştir. Ancak; çalışma kapsamında Eurocode da milli ekte tanımlanabilen γ katsayısının tespiti gibi konularda daha kapsamlı bir çalışma yapılması gerektiği açıktır. Benzer şekilde ileriye dönük yapılacak çalışmalarda yapı-zemin etkileşimi ve dinamik etkileşimi de içeren kapsamlı bir çalışma yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Buckle, I.G. (1996). Overview of seismic design methods for bridges in different countries and future directions. *Eleventh World Conference on Earthquake Engineering*, 2113.
2. Okahara, M., Fukui, J., Nishitani, M., Matsui, K. Comparison of Performance Required by *Bridge Design Codes in Various Countries*.
3. Rojahn, C., Mayes, R., Anderson, D. G., Clark, J., Hom, J.H., Nutt, R.V. O.' Rourke, M. J. (1997). Seismic Design Criteria for Bridges and Other Highway Structures. *National Center For Earthquake Engineering Research*.
4. Erol, Ş.(1994). “*Karayolu köprülerinin sismik boyutlandırılmasıyla ilgili bazı yönetmeliklerin incelenmesi, karşılaştırılması ve uygulamalar*” Yüksek lisans, Fen Bilimleri Enst, İstanbul Teknik Üniversitesi
5. Yen, W. P., Cooper, J. D., S. W. Park, S., Unjoh, T., Terayama, and Otsuka, H. (2003) A Comparative Study of U.S.-Japan Seismic Design of Highway Bridges: I. *Design Methods. Earthquake Spectra: November* , 19, (4) 913-932.
6. Sergio, Hampshire, De., Santos, C., Zanaica , L., Bucur C., . De Souza Lima, S., Arrai ,A. (2013). *Comparative Study of Codes For Seismic Design of Structures*, 1.
7. AASHTO. (2002). *Standart Specifications for Highway Bridges*. Seventeenth Edition, American Association of State Highway and Transportation Officials.
8. DBYBHY. (2007). *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Mart
9. Celep, Z., Kumbasar, N. (2004). *Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Tasarım*, Beta Dağıtım, İstanbul.
10. 1Eurocode. (2009). *TS EN 1990: Yapı Tasarım Esasları*, Avrupa Standart Komitesi.
11. Eurocode. (2005). *EN 1998-2: Köprülerin Depreme Dayanıklı Tasarımı*, Avrupa Standart Komitesi.
12. Eurocode. (2005). *EN 1998-5: Temeller, Zemin Dayanma Yapıları ve Geoteknik Hususlar*, Avrupa Standart Komitesi.
13. Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Esasları.(2008). Ulaştırma Bakanlığı.
14. TS 500. (2000). *Betonarme Yapıların Tasarım ve Kuralları*, 1. Baskı, Türk Standartları Enstitüsü.

15. Aydınoğlu, M. N., Yetkin, Ü., Güler, I., Akarsu, Ö., Çelebi, N. (2007). Liman Yapıları ve Demiryolu Köprüleri Deprem Yönetmeliğinde Performansa Göre Tasarım Yaklaşımı. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*.
16. Safaei, F.(2010). “Betonarme Köprü Modellenmesi Üzerine Bir Çalışma” Yüksek lisans, Fen Bilimleri Enst, Gazi Üniversitesi,
17. Akoğul, C.(2007). “Prekast kirişli betonarme köprülerin AASHTO’ ya göre depreme dayanıklı tasarımı” Yüksek lisans, Fen Bilimleri Enst, İstanbul Teknik Üniversitesi
18. Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center, PEER Strong Motion Database, <http://peer.berkeley.edu/smcat/>, 2006.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : YILMAZ, Tolga
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 25.06.1989, Kırşehir
Medeni hali : Bekâr
Telefon : 0 (555) 435 90 71
Faks : -
e-mail : yilmaztolga40@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /MMF	Devam Ediyor
Lisans	Karadeniz Teknik Üniversitesi/ MMF	2012
Lise	Mamak Lisesi	2007

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013-Halen	TCDD Genel Müdürlüğü	Mühendis

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

-

Hobiler

Masa tenisi, Sinema, Futbol.



GAZİ GELECEKTİR..