

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR UNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

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

**YERİNDE DÖKÜM BETONARME KÖPRÜ TASARIMI VE BİR
PROJE ÖRNEĞİ**

Shamsulhaq RAHMANİ

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Halil NOHUTCU**



MANİSA-2020

TEZ ONAYI

Shamsulhaq RAHMANİ tarafından hazırlanan "**Yerinde Döküm Betonarme Köprü Tasarımı Ve Bir Proje Örneği**"adlı tez çalışması 30.01.2020 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

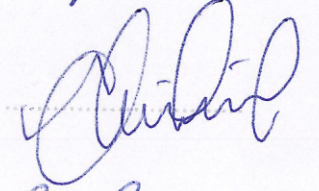
Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Halil NOHUTCU
Manisa Celal Bayar Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Ali DEMİR
Manisa Celal Bayar Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Emre ERCAN
Ege Üniversitesi



TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Shamsulhaq RAHMANİ



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
SİGMELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLO DİZİNİ	XI
TEŞEKKÜR.....	XII
ÖZET	XIII
ABSTRACT	XIV
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Köprü Tipini Belirleyen Faktörler.....	3
2.2. Köprü Çeşitleri	4
2.2.1. Betonarme Köprüler	5
2.2.3. Ahşap Köprüler	5
2.2.4. Demir ve Çelik Köprüler.....	6
2.2.5. Asma Köprüler	7
2.2.6. Kirişli Köprüler	8
2.2.7. Kafes Kirişli Köprüler.....	9
2.2.8. Konsol Köprüler	10
2.2.9. Kablo Gergili Köprüler	11
2.2.10. Kemer Köprüler.....	12
2.2.11. Hareketli Köprüler.....	14
2.2.12. Yerinde Dökme Betonarme Köprü	15
2.3. Türkiye’de Köprüler.....	17
2.4. Türkiye’deki Sürekli Tabliye Yerinde Dökme Ardgermeli Köprü Örnekleri. 22	
2.4.1. Melikşah (Fen Lisesi) Köprüsü – Ankara	22
2.4.2. Atatürk Havalimanı Köprüleri – İstanbul.....	24
2.4.3. Kayseri Büyükşehir Belediyesi Köprüleri – Kayseri	26
2.4.4. Öğretmenevi Kavşak Köprüsü – Manisa	27
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER.....	28
3.1. Genel Köprü Bileşenleri.....	28
3.1.1. Üst Yapı Bileşenleri	28

3.1.1.1. Köprü Döşeme.....	28
3.1.1.3. Korkuluklar	34
3.1.2. Alt Yapı Bileşenleri.....	37
3.1.2.1. Orta Ayaklar (Kolon)	37
3.1.2.2. Kenar Ayaklar	41
3.1.2.3. Donatılı Toprak Duvar	43
3.1.2.4. Temel.....	44
4. PROJE	51
4.1. Köprü Genel Bilgisi	51
4.1.1. Köprü Planı	51
4.1.2. Köprü Profili	52
4.2. Yapısal Bileşenler	52
4.2.1. Köprü Üstyapı	52
4.2.1.1. Yerinde Döküm Kirişi.....	52
4.2.2. Köprü Altyapı.....	53
4.2.2.1. Kolon, Temel.....	53
4.2.2.2. Köprüde Betonarme Mesnetler	56
4.3. Malzeme	56
4.4. Yükler.....	57
4.4.1. Sabit Yükler.....	57
4.4.2. Sabit (Ölü) Yüklerin Hesabı.....	57
4.4.3. Hareketli Yükler	58
4.4.4. Dinamik Etki Katsayısı	59
4.4.5. Yaya Yüğü (PL)	60
4.4.6. H30-S24 Kamyon Yüğü.....	60
4.4.7. Şerit Yükleme.....	61
4.4.8. Yüğü Kombinasyonları	66
4.4.9. Tasarım Değerleri.....	67
5. KÖPRÜ TASARIMI VE 3D MODELLEMESİ	68
5.1. CSi Bridge Programı	68
5.2. Köprü Tasarımı	69
5.2.1. Yol Çizgisi (Layout Line)	69
5.2.2. Trafik Şeridi Belirlenmesi.....	70

5.2.3. Malzeme Özelliklerini Tanımlaması.....	72
5.2.3.1. Yerinde Döküm Kiriş Beton (Deck Concrete).....	73
5.2.3.2. Başlık Kiriş, Kolon Ve Temel Beton 74	
5.2.3.3. Fore Kazık Beton 75	
5.2.3.4. Betonarme Çeliği (S420)..... 76	
5.2.4. Kesit Özellikleri ve Boyutlandırması 77	
5.2.4.1. Yerinde Döküm Kiriş Kesiti 77	
5.2.4.2. Başlık Kiriş Kesiti 78	
5.2.4.3. Kazık kesti..... 81	
5.2.4.4. Kolon (Orta Ayak) Kesiti 82	
5.2.5. Altyapı Bileşenlerinin Tanımlaması..... 83	
5.2.5.1. Elastomer Mesnetler..... 83	
5.2.5.2. Kenar Ayaklar (Abutments) 85	
5.2.5.3. Kolon veya Orta Ayak, Başlık Kiriş (Bents)..... 86	
5.2.6. Respons Spektrumu Fonksiyonu..... 88	
5.2.7. Köprü Birleştirilmesi..... 89	
5.2.8. Yük Ataması..... 92	
5.2.8.1. Sabit Yüklerin Ataması 92	
5.2.8.2. Hareketli Yük Ataması..... 97	
5.2.9. 3D Modellemesi 100	
6. SİSMİK TASARIM - CSİ BRIDGE..... 102	
6.1. Sismik Tasarım Parametrelerinin Ayarlanması..... 102	
6.2. Model Analiz Sonuçları 103	
6.3. İtme Analizi Sonuçları 107	
6.4. Bentler İçin Demand/Capacity(Talep/Kapasite) Oaranı 125	
7. ÜST YAPI TASARIMI (SUPERSTUCTURE DESIGN) - CSi BRIDGE..... 126	
7.1. Tasarım Tercihleri 126	
7.2. Yük Kombinasyonları 127	
7.3. Köprü Tasarım Talebi (Bridge Design Request)..... 129	
7.4. Köprü Tasarımı Başlat 131	
8. TASARIM DONATI KONTROLÜ..... 132	
9. KÖPRÜ TASARIM SONUÇLARI 134	
KAYNAKLAR 135	

EKLER.....	136
EK A. Köprü temelinin oturacağı seviye için statik projeye esas zemin parametreleri	136
EK B. CSi Bridge ve SAP2000 programıyla analiz sonucunda ilk altı mod şekilleri	136
ÖZGEÇMİŞ	141



SİGMELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

kN	Kilo newton
m	Metre
N	Newton
γ	Beton birim hacim ağırlığı
f_c	Beton basınç dayanımını
ϕ	Dinamik etki katsayısı
A_p	En kesit alanı
I_{xp}	Atalet momenti
Q_{em}	Zeminin emniyetli taşıma gücü
Z3	Yerel zemin sınıfı
K_s	Zemin yatak katsayısı
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
LRFD	Load and Resistance Factor Design
KGM	Karayolları genel müdürlüğü
DC	Yapının kendi ağırlıkları ve yapısal olmayan ek zati yükler (Dead Load of Structural Components and Nonstructural Attachments)
DW	Yüzey kaplama zati yükleri (Dead Load of Wearing Surfaces and Utilities)
PL	Yaya yükü (Pedestrian Live Load)
IRC	Institute for Research in Construction
M.Ö	Milattan Önce
M.S	Milattan Sonra
w	Yol genişliği
TŞ	Tasarım şerit sayısı
L	Açıklık uzunluğu
W	Ağırlık
Edk	Enine dağılım katsayısı
η	Süneklik, fazlalık ve operasyonel önemi ile ilgili bir faktör
γ_i	Yük faktörler
q_i	Belirtilen yükler
E_c	Beton elatisite modülü
E_s	Betonarme çeliğin elatisite modülü

U	Poisson oranı
f_{yk}	Betonarme çeliğin minimum akma dayanımı



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Ahşap köprü	6
Şekil 2.2. Çelik köprü.....	7
Şekil 2.3. Asma köprü elemanları	7
Şekil 2.4. Clifton asma köprüsü (İngiltere).....	8
Şekil 2.5. Kirişli köprüsü	9
Şekil 2.6. Kafes kirişli köprü	10
Şekil 2.7. Konsol köprüler	11
Şekil 2.8. Kablo Gergili Köprüler.....	11
Şekil 2.9. Malabadi kemer köprüsü (Diyarbakır Türkiye 1147).....	13
Şekil 2.10. Tower köprüsü (Londra, İngiltere)	15
Şekil 2.11. Dairesel boşluklu ve hücreli boşluklu yerinde dökme betonarme köprü şematik en kesitleri.....	15
Şekil 2.12. Yerinde dökme kirişe ait en kesiti	16
Şekil 2.13. Öğretmenevi kavşak köprüsü (Manisa, Türkiye).....	17
Şekil 2.14. Basit kirişli ve sürekli kirişli sistemlerin moment diyagramı	19
Şekil 2.15. Kesitin açıklık boyunca değişimi.....	20
Şekil 2.16. Basit kirişli sistem ve sürekli kiriş sistem ayak farkı.....	20
Şekil 2.17. Prefabrikat kirişli köprüler ve sürekli köprülerde mesnet farkı	21
Şekil 2.18. Değişken kesitli yerinde dökme ardgermeli sürekli tabliye köprü, Atatürk Havalimanı,	22
Şekil 2.19. Ankara Melikşah Köprüsü boy kesiti	23
Şekil 2.20. Ankara Melikşah Köprüsü açıklık ve mesnet kesitleri	23
Şekil 2.21. Ankara Melikşah Köprüsü yapım aşaması	24
Şekil 2.22. Ankara Melikşah Köprüsü'nün tamamlanmış hali	24
Şekil 2.23. Atatürk Havalimanı Köprüleri – İstanbul	25
Şekil 2.24. Atatürk havalimanı köprüsü tamamlanmış hali.	25
Şekil 2.25. Tabliye kesitleri.	26
Şekil 2.26. Köprü boy kesiti.....	27
Şekil 2.27. Öğretmenevi kavşak köprüsü – Manisa.....	27
Şekil 3.1. Yerinde döküm betonarme köprü en kesiti.....	29
Şekil 3.2. Daha önce yapılmış olan projenin yerinde döküm köprü donatı detayları	30
Şekil 3.3. Tasarımda kullanılmış elastomer mesnet aks aksenleri	32
Şekil 3.4. Elastomer mesnet detayı	32
Şekil 3.5. Orta ayak, üst yapı ile altyapı arasındaki bağlantısı	33
Şekil 3.6. Yaya ve oto korkuluğu.....	34
Şekil 3.7. Daha önce yapılmış olan projenin yaya korkuluğu detayları.....	35
Şekil 3.8. Daha önce yapılmış olan projenin oto korkuluğu D-D kesitin plan detayları	36
Şekil 3.9. Daha önce yapılmış olan projenin oto korkuluğu detayları	37
Şekil 3.10. Köprü orta ayak	38

Şekil 3.11. Daha önce yapılmış olan projenin orta ayak A-A kesitin donatı detayları	39
Şekil 3.12. Daha önce yapılmış olan projenin orta ayak B-B kesitin donatı detayları	40
Şekil 3.13. Daha önce yapılmış olan projenin orta ayak C-C ve D-D kesitin donatı detayları.....	41
Şekil 3.14. Köprü kenar ayağı.....	42
Şekil 3.15. Daha önce yapılmış olan projenin kenar ayak donatı detayları	43
Şekil 3.16. Donatılı toprak duvar	44
Şekil 3.17. Temel aplikasyon planı	45
Şekil 3.18. Daha önce yapılmış olan projenin kazık donatı detayları.....	46
Şekil 3.19. Daha önce yapılmış olan projenin kazık donatı detayları 1/50.....	47
Şekil 3.20. Daha önce yapılmış olan projenin temel donatı detayları.....	48
Şekil 4.1. Köprü planı	51
Şekil 4.2. Köprü profili	52
Şekil 4.3. Yerinde döküm kirişin en kesiti.....	52
Şekil 4.4. Temel aplikasyon planı	54
Şekil 4.5. Kolon1 detayı.....	54
Şekil 4.6. Kolon2 detayı.....	55
Şekil 4.7. Kolon3 detayı.....	55
Şekil 4.8. Kolonlarda betonarme mesnetler	56
Şekil 4.9. H30-S24 kamyon yükü	60
Şekil 4.10. H30-S24 kamyon dönüştürülmüş yükü	61
Şekil 4.11. Şerit yükleme.....	62
Şekil 4.12. Şerit dönüştürülmüş yükü	63
Şekil 5.1. Yol çizgisi (Layout Line).....	70
Şekil 5.2. Trafik şeridi belirlemesi (Lane1)	71
Şekil 5.3. Trafik şeridi belirlemesi (Lane2)	72
Şekil 5.4. Components menüsünden malzemeler özelliklerinin seçimi.....	73
Şekil 5.5. Yeni malzemeler eklemek.....	73
Şekil 5.6. Malzemelerin özelliklerini eklemek	73
Şekil 5.7. Yerinde döküm kiriş beton özellikleri	74
Şekil 5.8. Başlık kiriş, kolon ve temel beton özellikleri	75
Şekil 5.9. Fore kazık beton özellikleri.....	76
Şekil 5.10. Betonarme çeliğin özellikleri	77
Şekil 5.11. Yeni tabliye kesit seçimi.....	78
Şekil 5.12. Yerinde döküm kiriş kesiti tanımlaması	78
Şekil 5.13. Yeni çubuk kesit ekleme.....	79
Şekil 5.14. Başlık kiriş kesiti tanımlaması	79
Şekil 5.15. Başlık kiriş betonarme detayı	80
Şekil 5.16. kazık kesiti tanımlaması.....	81
Şekil 5.17. Section Designer (kesit tasarımcısı) yardımıyla kolon kesitlerinin tanımlaması	82
Şekil 5.18. Kolonların alt kesitlerini tanımlaması.....	83

Şekil 5.19. Kolonların üst kesitlerini tanımlaması.....	83
Şekil 5.20. Elastomer mesnetlerin özellikleri.....	84
Şekil 5.21. Elastomer mesnetlerin rijitlikleri	85
Şekil 5.22. Abutment (Kenar ayak) tanımlaması.....	86
Şekil 5.23. Bent1, Bent2 ve Bent3 özellikleri	87
Şekil 5.24. Bent1	87
Şekil 5.25. Bent2	87
Şekil 5.26. Bent3	88
Şekil 5.27. Loads menüsünden deprem yükü için Spektrumu seçimi.....	88
Şekil 5.28. Spektrum fonksiyonu tanımı.....	89
Şekil 5.29. Köprü açıklarının başlangıç ve bitiş noktaları	90
Şekil 5.30. Köprü başlangıç ve bitiş noktalarının parametreleri.....	90
Şekil 5.31. Ben1, bent2 ve bent3 parametreleri	91
Şekil 5.32. Köprü plan görünüşü.....	92
Şekil 5.33. Loads menüsünden yük tanınması	93
Şekil 5.34. Sağ kaldırım yük dağılım tanımı verisi.....	94
Şekil 5.35. Sol kaldırım yük dağılım tanımı verisi	94
Şekil 5.36. Sağ korkuluk yük dağılım tanımı verisi.....	95
Şekil 5.37. Sol korkuluk yük dağılım tanımı verisi	95
Şekil 5.38. Loads menüsünden yayılı alan yük için area load seçimi.....	96
Şekil 5.39. Asfalt yük dağılımı tanım verisi	96
Şekil 5.40. Sağ yaya yük dağılımı tanım verisi.....	97
Şekil 5.41. Sol yaya yük dağılımı tanım verisi	97
Şekil 5.42. Hat yük atamaları.....	98
Şekil 5.43. Alan yük atamaları.....	98
Şekil 5.44. Kamyon yük ataması	99
Şekil 5.45. Şerit yük ataması.....	99
Şekil 5.46. 3D Köprü modeli – CSİ Bridge	100
Şekil 5.47. 3D Köprü modeli – CSİ Bridge	100
Şekil 5.48. 3D Köprü modeli – CSİ Bridge	101
Şekil 5.49. 3D Köprü modeli – CSİ Bridge	101
Şekil 6.1. Sismik tasarım parametreleri	103
Şekil 6.2. Mod 1; ($T = 0.82222$; $f = 1.21622$ Hz, CSiBridge)	104
Şekil 6.3. Mod 2; ($T = 0.59488$; $f = 1.68102$ Hz, CSiBridge)	104
Şekil 6.4. Mod 3; ($T = 0.52426$; $f = 1.90744$ Hz, CSiBridge)	105
Şekil 6.5. Mod 4; ($T = 0.26845$; $f = 3.72511$ Hz, CSiBridge)	105
Şekil 6.6. Mod 5; ($T = 0.24129$; $f = 4.14437$ Hz, CSiBridge)	106
Şekil 6.7. Mod 6; ($T = 0.24001$; $f = 4.16644$ Hz, CSiBridge)	106
Şekil 6.8. Statik itme eğrisi - Yük durumu 1	108
Şekil 6.9. Statik itme eğrisi - Yük durumu 2	109
Şekil 6.10. Statik itme eğrisi - Yük durumu 3	110
Şekil 6.11. Statik itme eğrisi - Yük durumu 4	111
Şekil 6.12. Statik itme eğrisi - Yük durumu 5	112
Şekil 6.13. Statik itme eğrisi - Yük durumu 6	113

Şekil 6.14. ATC-40 Spektrum kapasitesi - Yük durumu 1	114
Şekil 6.15. ATC-40 Spektrum kapasitesi - Yük durumu 2	115
Şekil 6.16. ATC-40 Spektrum kapasitesi - Yük durumu 3	116
Şekil 6.17. ATC-40 Spektrum kapasitesi - Yük durumu 4	117
Şekil 6.18. ATC-40 Spektrum kapasitesi - Yük durumu 5	118
Şekil 6.19. ATC-40 Spektrum kapasitesi - Yük durumu 6	119
Şekil 6.20. FEMA 440 Equivalent linearization - Yük durumu 1	120
Şekil 6.21. FEMA 440 Equivalent linearization - Yük durumu 2	121
Şekil 6.22. FEMA 440 Equivalent linearization - Yük durumu 3	122
Şekil 6.23. FEMA 440 Equivalent linearization - Yük durumu 4	123
Şekil 6.24. FEMA 440 Equivalent linearization- Yük durumu 5	124
Şekil 6.25. FEMA 440 Equivalent linearization - Yük durumu 6	125
Şekil 6.26. Demand/Capacity (Talep/Kapasite) oranları	125
Şekil 7.1. Tasarım şartnamesinin belirlenmesi	127
Şekil 7.2. Design/Rating menüsünden yük kombinasyonlarını ekleme penceresinin seçimi	128
Şekil 7.3. Yük kombinasyonlarının tanımlanması	128
Şekil 7.4. Yük kombinasyonları için köprü tasarım şartnamesini ekleme	128
Şekil 7.5. Köprü tasarım şartnamesinden yük kombinasyonlarının seçimi	129
Şekil 7.6. Stress (gerilme) için üst yapı tasarım parametreleri ayarlaması	130
Şekil 7.7. Shear (kesme) için üst yapı tasarım parametreleri ayarlaması	130
Şekil 7.8. Flexure (eğilme) için üst yapı tasarım parametreleri ayarlaması	131
Şekil 7.9. Üst yapı tasarımı gerçekleştirilmesi	131
Şekil 8.1. Tasarım donatı kontrolü	132
Şekil 8.2. Boyuna donatı alanı	132
Şekil 8.3. Kesme donatı alanı	133
Şekil 8.4. Donatı oranı	133
Şekil EK B.1. Mod 1; ($T = 0.82222$; $f = 1.21622$ Hz, CSiBridge, SAP2000)	138
Şekil EK B.2. Mod 2; ($T = 0.59488$; $f = 1.68102$ Hz, CSiBridge, SAP2000)	138
Şekil EK B.3. Mod 3; ($T = 0.52426$; $f = 1.90744$ Hz, CSiBridge, SAP2000)	139
Şekil EK B.4. Mod 4; ($T = 0.26845$; $f = 3.72511$ Hz, CSiBridge, SAP2000)	139
Şekil EK B.5. Mod 5; ($T = 0.24129$; $f = 4.14437$ Hz, CSiBridge, SAP2000)	140
Şekil EK B.6. Mod 6; ($T = 0.24002$; $f = 4.16644$ Hz, CSiBridge, SAP2000)	140

TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 4.1. Köprü planı detayı	51
Tablo 4.2. Kolonlar	53
Tablo 4.3. Sabit yükler nedeniyle moment değerleri	58
Tablo 4.4. Sabit yükler nedeniyle kesme değerleri	58
Tablo 4.5. Kamyon yükü azaltma katsayıları	59
Tablo 4.6. Tasarımda kullanacak dinamik etki katsayıları	60
Tablo 4.7. Yol genişliğine göre trafik şeriti sayısı	61
Tablo 4.8. Şerit yük hesabında yük sınıfı	62
Tablo 4.9. Trafik şeridi azaltma katsayısı	63
Tablo 4.10. Hareketli yükler nedeniyle oluşan momentler	64
Tablo 4.11. Hareketli yükler nedeniyle kesme kuvvetleri	64
Tablo 4.12. Yük kombinasyonları	67
Tablo 6.1. Saha sınıfı tanımları(AASHTO 3.10.3.1-1)	102
Tablo EK A. 1. Zemin parametreleri	137

TEŞEKKÜR

Tez konumun belirlenmesinde, kaynak araştırması yapılmasında, tezin yazılmasında ve konu bütünlüğünün oluşturulmasında desteğini esirgemeyen danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Halil NOHUTCU'ya teşekkür ederim. Ayrıca yüksek lisans eğitimim sırasında bilgi ve tecrübeleri benimle paylaşan Celal Bayar Üniversitesi'nde yüksek lisans yapan arkadaşım M. Hamid RAHMATULLAH'a teşekkür ederim. Lisansüstü öğrenim hayatımın tüm zorlu aşamalarında maddi manevi her yönden yardımcı olan değerli aileme yürekten teşekkür ederim.

Shamsulhaq RAHMANİ
Manisa, 2020



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Yerinde Döküm Betonarme Köprü Tasarımı Ve Bir Proje Örneği

Shamsulhaq RAHMANİ

**Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimler Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Halil NOHUTCU

Ulaşımı hızlandıran en önemli etkenlerden biri köprülerdir. Türkiye'nin fiziki yapısı sebebiyle köprüler çok önemli noktadadırlar. Dünyada olduğu gibi Türkiye'de yeni yapılan köprülerin büyük bir bölümünü yerinde döküm kiriş köprüler oluşturmaktadır. Türkiye'de yapılan yeni tip yerinde döküm kiriş köprü olan Manisa Öğretmenevi Köprülü Kavşağı Köprüsü, bu tür köprülerin bir örneğidir. Bu tez çalışmasında; Yerinde döküm betonarme köprü CSI Bridge programı yardımı ile modellenerek analizi ve tasarımı yapılmıştır. Köprü dört açıklıklı ve her açıklık uzunluğu eşit (23m) olarak yapılmıştır. Köprü toplam uzunluğu ise 92 metre olarak yapılmıştır. Köprü tabliye malzemesi betonarme olarak seçilmiştir. Köprü tabliye (yerinde döküm kiriş) genişliği sabit olarak 9 metre yapılmıştır. Modellenen köprü sistemine AASHTO LRFD standartlarına uygun olarak hareketli yük, sabit yük, vb. yüklemeler tatbik edildikten sonra sistemin analizi ve tasarımı gerçekleştirilmiştir. Altıncı bölümde, model spektrum sismik tasarımı yapılmıştır ve en uygun sonuçlar elde edilmiştir. Son olarak, bölüm 7'de Superstructure Design (üst yapı tasarımı) yapılmış ve sonuçları sunulmuştur. Böylece tüm model, yapı, kullanılan malzemeler, yeryüzündeki konum, sismik büyüklük gibi özellikler ve şartlar incelenerek tasarımın yeterli ve kabul edilebilir olup olmadığı belirlendi.

Anahtar Kelimeler: AASHTO LRFD, Yerinde döküm betonarme köprü tasarımı, CSiBridge, Yerinde döküm betonarme köprüler

2020, 141 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Design Of Cast İn Place Reinforced Concrete Bridge And a Project Example

Shamsulhaq RAHMANİ

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Assistant Professor Halil NOHUTCU

One of the most important factors that speed up transportation is the bridges. Due to the physical structure of Turkey. Bridges are very important as in the world, a large part of the newly built bridges in Turkey are cast-in-place bridges. The new type of bridge over the cast beam made in Turkey Manisa - Ogretmenev Interchange bridge is an example of such bridge. In this thesis; The cast-in-place bridge was modeled and analyzed with the help of CSI Bridge. The bridge has four spans and each span length is equal (23m). The total length of the bridge is 92 meters. Bridge deck material is selected as reinforced concrete. The bridge deck has a fixed width of 9 meters. Modeled bridge system in accordance with AASHTO LRFD standards moving load, constant load, etc. analysis and design of the system after loading. In Section 6, the model, spectrum seismic design is made. And the most appropriate results were obtained. Finally, in Chapter 7, superstructure design is made. And presented the results. Thus, all the model, structure, materials used, location on the earth, seismic size and features such as conditions and conditions are examined, whether the design is sufficient and acceptable.

Keywords: AASHTO LRFD, Design of cast in place reinforced concrete bridge and a Project example, CSiBridge, cast in place reinforced concrete bridges

2020, 141 pages

1. GİRİŞ

Tarihin en eski zamanlarda nehir veya su akıntısı olan vadilerin üzerini geçmek için iki basit mesnet olan köprü yapılmıştır. Bu köprüler taş veya ahşaptan yapılarak, mesafe arttığı zaman araya destek eleman kullanılıyordu bu destek eleman çoğunlukla taşı. Köprü kurma çok eski bir insan sanatıdır. İlk köprüler doğal köprüler, tek taş plakalar, ip köprüler ve dere üstünden geçen ahşap köprülerdi. Kayrak taşlardan, ortada buluşana kadar birbiri üzerine dizilmiş taşlardan yapılmış basit kemerli kayrak taşlardan geliştirilen ilkel taş köprülerdi. Bu tür kemerler eski Mısır, Yunanistan, küçük Asya ve Meksika’da bulunuyordu. Böyle bir inşaat yöntemi sadece kısa açıklıklara izin verirdi. Etruscans tarafından M.Ö. 700 yıllarında mümkün olan orijinal kemer icat edildi, ve kullanıldı. Daha büyük açıklıklar oluşturmak yüzer köprüler de uzun zaman önce kullanıldı. Xerxes’in Hellespont’ta M.S. 480’da Pers ve Yunanistan arasındaki savaşta köprü kurduğu biliniyor. Köprüler de Uzak Doğu’da uzun zaman önce inşa edilmiştir [1].

Çin, köprü inşaatında uzun bir geleneğe sahiptir. Eski Çin köprülerinde taş ve ahşap köprüler ile ip köprüler vardı. M.S. 610’da inşa edilmiş ve halen mevcut olan Chiao Çin nehri üzerindeki AnChi köprüsü, sıg kemerle ayırt edilir. Kuanhsien Çin’deki An-Lan halat köprülül köprüsü, yaklaşık M.S. 900 inşa edilmiş ve sekiz açıklık, toplam uzunluğu yaklaşık 325 metredir. Ayrıca 1950 yılında inşa edilen ilk yerinde dökme beton köprü, Almanya’nın Balduinstein kentindeki Lahn nehrinin ortasına yerleştirildi. 1677 yılında Japonya’da yapılan Nishikigama’da bulunan Kintaibashi ahşap kemer köprüsü, erken Çin ve Japon ahşap köprüler için tipiktir [1].

İlk metal köprü 1779’da Severn Nehri’nin üzerine kuruldu, şimdi İngiltere ile Galler arasındaki sınırdır. Kullanılan malzeme demirdir. Ne yazık ki, bu malzeme kırılgandır ve tekrarlanan yüklere maruz kalan köprüler için uygun değildir. Bir sonraki köprü inşaat aşaması, çelik köprü tasarım ve inşaatıdır. 19. Yüz yılın ikinci yarısında, betonarme bina ve köprü yapılarında kullanılmayı başladı, İlk uygulaması 19.Yüz yılın sonunda yapıldı, İlk denemeler başarısız oldu, çünkü mühendisler ve araştırmalar öngerilim kayıplarının niteliğini bilmiyordu [1]. 20. Yüzyılın ilk yarısında, Öngerilmeli betonun geniş uygulama alanına başladı. Türkiye’de karayollarında en çok uygulanan köprü tipleri, betonarme köprüler, çelik köprüler, asma köprüler ve betonarme döşemeden oluşan kompozit köprülerdir.

Son zamanlarda yerinde döküm betonarme köprüler yaygın bir şekilde yapılmaya başlanmıştır. Bu tip köprüler çoğunlukla kısa açıklıklı yerlerde oldukça uygun bir çözümdür. Köprülerin tabliyesi yerinde döküm olarak yani sürekli olarak tasarlanacaktır. Bu çalışmada Manisa merkezde bulunan yerinde döküm betonarme kirişli olan köprü bu tür köprülerin bir örneğidir. Bu köprü şehir içi ulaşımında trafik sıkıntısını gidermek ve zaman tasarrufuyla beraber insanlar üzerinde oluşacak pozitif etkilerin artması sağlayacaktır. Trafik yoğunluğu ve beraberinde trafikte kaybedilen zaman, yorgunluk, stres ve iş verimliliği kaybının en önemli nedenlerinden biridir. Bu köprü 4 açıklıklı olup toplam uzunluğu 92 metredir. Köprü aks açıklıkları eşit ve 23m olarak yapılmıştır. Köprü tabliyesi, 1.3m yüksekliğinde yerinde döküm kiriş olarak tasarlanmıştır. Yerinde döküm köprüler, orta açıklıklı otoyol için çekici ve ekonomik bir yapı şekli sunar. Kapalı bölümün burulma özellikleri genellikle destek düzenlemelerinin azaltılması ve basitleştirilmesinde avantajlıdır. Plandaki eğrilik gerektiğinde özellikle yararlıdır. Bu çalışmada yerinde döküm betonarme köprü tasarımı CSi Bridge programı kullanılarak yapılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

Bir köprünün ana fonksiyonu araçları taşımak veya bir nehir, bir kanyon veya farklı bir trafik hattını geçirmektir. Köprünün bu özellikleri yanında emniyeti, ekonomikliği esas olarak estetikliği de sağlayan bir tasarım yapılması gerekmektedir. Köprü çevre ile uyum içinde olmalıdır [2].

2.1. Köprü Tipini Belirleyen Faktörler

1- Arazinin geometrik durumu

Köprü tipi seçimi kara yolunun düşey ve yatay konumuna ve platformun altındaki ve üstündeki açıklığa bağlıdır. Örnek olarak, bir karayolu bir yatay kurba üzerinde olduğu zaman sürekli kutu kirişli ve plakalı kirişler daha uygun seçeneklerdir. Ayrıca su üzerinde yüksek ve uzun açıklıklı özel köprü yapımı gerekebilir, ve saha geometrisi yapım sürecinde trafiğin nasıl yönlendireceğini belirleyecektir. Bu planlama önemli güvenlik problemi olup, planlama aşamasında düşünülmelidir **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı..**

2- Arazinin altyapı durumu

Sahadaki zeminin durumu köprü ayaklarının temellerini kazıklı temel, tekil temel olmasını belirleyecektir. Zeminin oturma problemi varsa ona göre köprü tipi seçimi yapılmalıdır. Sahadaki sismik hareketleri araştırılması gereken bir konudur. Sismik aktivite fazla ise altyapı özellikleri değişecektir. Bundan dolayı üstyapının yükü de değişecektir **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı..**

3- Fonksiyonel gereksinimler

Köprü mevcut durumda ve gelecekteki trafik hacmini taşıyabilmelidir. Şerit sayısı belirlenirken kaldırımlar ve bisiklet şeritleri varsa refüj ve drenaj yapıları kar mücadelesi dikkate alınmalıdır **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı..**

4- Estetik

Her tasarımcı tasarım yaparken seçilen köprü tipinin estetik ve beğeni toplanmasını gözünde bulundurmalıdır ve ayrıca köprüyü güzel yapacak ne bir denklem ne bilgisayar yazılımı ne de şartname mevcuttur **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı..**

5- Ekonomi ve bakım

Genel bir kural olarak az derzli, minimum sayıda açıklıklı ve fazla kiriş aralığı olan köprüler en ekonomik köprülerdir. Çelik yapılar betonarme yapılara göre daha çok bakım gerektirecektir. Daha bir ekonomik köprü yapmak için tasarımcıya alternatif projeler üretmesine olanak vermelidir ve ayrıca maliyet ve çelik yapılarındaki boyanmasındaki tehlike dikkate alınmalıdır **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı..**

6- Yapım kısıtları

Köprülerin yapım süresi de önemlidir. Köprü yapım süresi, köprü tipine göre değişkenlik gösterir. Genel olarak köprü yapımında öngerilmeli elemanların kullanımı yapım süresini azaltacaktır. Ancak büyük elemanlarının taşınması ve kaldırılması zordur. İş gücü ve malzemeler de köprü seçimini etkiler mesela yakında ön gerilmeli kiriş üretecek fabrika yoksa ve yakında çelik kiriş üretecek fabrika varsa o zaman çelik yapı ve çelik elemanlarını kullanmak daha ekonomik olur **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı..**

2.2. Köprü Çeşitleri

1. Malzemelerine göre köprüler
 2. Kullanım amaçlarına göre köprüler
 3. Taşıyıcı sistemlerine göre köprüler
 4. Açıklığa göre köprüler
 5. Hareket durumlarına göre köprüler
1. Malzemeye göre köprüleri
 - Betonarme köprüler
 - Çelik köprüler
 - Ahşap köprüler
 - Taş köprüler
 2. Kullanıma amaçlarına göre köprüler
 - Otoyolu köprüler
 - Demiryolu köprüler
 - Yaya köprüler
 - Boru hattı köprüleri

Ticari amaçlı yük taşımacılığı için inşa edilen köprüler

3. Taşıyıcı sistemlerine göre köprüler

Kafes köprüler

Kirişli köprüler

Asma köprüler

Kemer köprüler

4. Açıklığa göre köprüler

Kısa açıklıklı 15 metreye kadar

Orta açıklıklı 50 metreye kadar

Büyük açıklıklı 50 ile 150 metreye kadar

Çok büyük açıklıklı 150 metreden fazla olanlardır

5. Hareket durumlarına göre köprüler

Yatay hareketli

Düşey hareketli

İner-kalkar köprü

2.2.1. Betonarme Köprüler

İlk zamanlarda betonarme köprüler taş köprülere benzer şekilde inşa edilmiştir. Ancak bu tür malzemenin kendisine has özeliği fark edilmiş ve farklı yapım türü 20. yüzyılda geliştirilmiştir. Özellikle kemer köprü betonarme yaparken daha narin yapılabilmesine imkân sağlamıştır. Bu kemerin üstünde yol, kemerle düşey kolonlarla bağlı olabileceği gibi alta kemere asılı olarak da düzenlenebilir. Genelde büyük açıklıklı betonarme kemer köprüler, üç açıklıdır [4].

2.2.2. Öngerilmeli Beton Köprüler

Öngerilmeli betonun gelişmesi 1940’larda betonun düşük çekme olmasını engellemiştir. Öngerilme köprülere beton dökmeden önce gerilen ve beton dökümünden ve sertleşmesinden sonra serbest bırakılan çelik çubuklarla verilebilir. Değer bir kısmı öngerilme verme şekil de beton döküldükten ver sertleştikten sonra, yerleştiren öngerilme kablolarına kuvvet tatbik edilip bunun uçlarından ankre edilmesidir. Öngerilmeye, beton yüksek basınç ve çeliğin yüksek çekme mukavemetiyle birleştirmektedir. Öngerilmeli beton köprüler ilk Almanya’da 1936’da yapılmıştır. Daha sonra Fransa’da öngerilmeli köprü yapılmıştır [4].

2.2.3. Ahşap Köprüler

Yapılan Ahşap köprüler 1800'lerde daha çok sanatkârlar tarafından inşa edilmiştir. Kafes sistem türüne göre taşıyıcı sisteme önem verilmiştir. Kemer türünden ahşap taşıyıcı sisteme de ahşap köprülerde rastlanır. Kafes sistem köprülerde alt başlık çekme, üst boşluk basınç gerilmeleri taşırlar. Köşegen türünden olanlar kesme kuvvetine karşı koyuyorlar. Daha son zamanlarda ahşap köprülerde demir çubuklar kullanılmıştır. Ahşap köprüler 1870'den sonra bakımı masraflı olması için ve ayırıcı trafik yüklerine karşı yeterince mukavim olmamasından dolayı yavaş yavaş terk edilmektedir [4].



Şekil 2.1. Ahşap köprü

2.2.4. Demir ve Çelik Köprüler

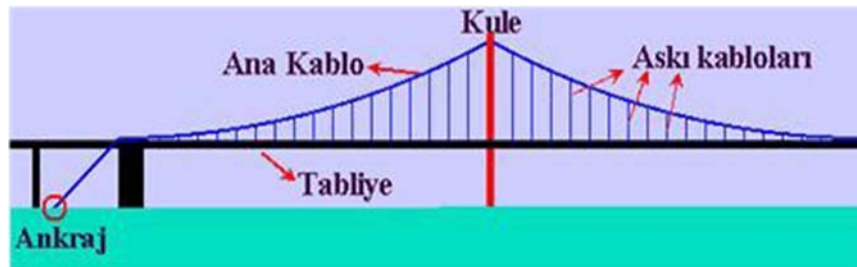
19. yüzyılda bu tür köprülerde önemli ilerlemeler yapılmıştır. Eğer önceleri taş ve ahşap köprü yapım tekniğine uygun olarak demir ve çelik köprüler yapılmışsa da, bu tür malzemenin kendine has imkânlarının olduğunu anlaşılmıştır. Bu köprülerin bir kısmı olan asma köprülerde, iki ayağa bağlı köprü tabliyesi çelik halatlara aslı olarak taşınır. Başka türü de kafes taşıyıcı sistemi olan çelik köprülerdir. Bunların özeliği yüksek titreşimler mukavimdi [4].



Şekil 2.2. Çelik köprü

2.2.5. Asma Köprüler

20. yüzyılda uzun açıklıklar için asma köprüler yaygınlaşmıştır. Bunlar kule, kablo ve ankraj olmak üzere üç elemanla belirlenmiştir. Kablolar yüksek mukavemetli çelik tellerden ibarettir ve kablolar köprü tabliyesi taşınır. Genelde t-kablolar helisel şekildedir. Köprünün kulelerine kablolar bağlanacaktır, ve bunlar köprü tabliyesine bağlanıp mesnetlik teşkil ederler. Bu kablolar genel olarak çelik taşıyıcılardır [4].



Şekil 2.3. Asma köprü elemanları

Şekil 2.3'te asma köprü elemanlarını görülmektedir. Görüldüğü gibi burada kule ana kabloları taşımaktadır. Ankraj ana kablolarının gergin ve ayakta kalabilmesi için kabloları dışarıya ve aşağıya doğru çekerler. Burada askı ve ya ara kabloları tabliyedeki yükü ana kabloya aktırır. Ankrajlar zeminin sağlam olduğu yerlerde ve ya da direk zemine bağlanır, zeminin zayıf olduğu zamanlarda beton ağırlık şeklinde yapılmaktadır.

Asma köprülerde kule kuleler çelik ve ya betonarme olarak yapılabilir. Eski asma köprülerde taş da kullanılmıştır. Burada ana taşıyıcı sistemi oluşturan kablolar her zaman çekme altında olduğu için burkulma yapmayacağından rijitliği önemli değildir. Sadece çekme kuvvetini taşıyacak kadar kesite sahip olmasını yeterlidir. Kuleler ise tamamen basınç altında olduğu için tasarımı daha kolaydır. Bu tür köprüler büyük açıklıklara sahip olabilir. Ayrıca asma köprülerinin rijitliklerini tamamen tabliye ile ilgilidir. Dolayısıyla demir yolu gibi ağır taşıtlar için pek uygun değildir. İnşa aşamasında kablolar ve kuleler rüzgârdan oldukça etkilenirler. Ayrıca rüzgârdan gelen aerodinamik yüklerin etkisinin araştırması dikkatli bir şekilde yapılması gerekiyor [4].



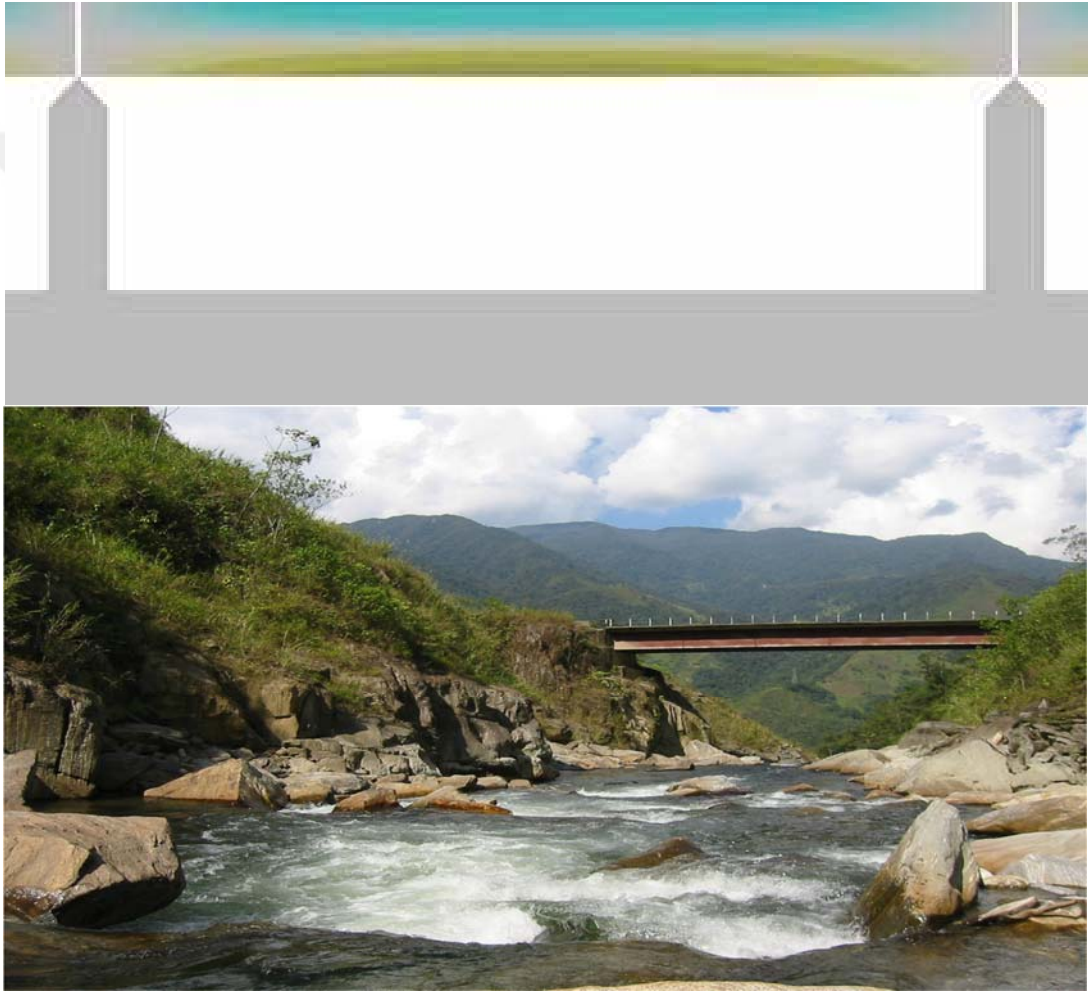
Şekil 2.4. Clifton asma köprüsü (İngiltere)

2.2.6. Kirişli Köprüler

Kirişli köprüler oldukça yaygındır. Genellikle kısa ve orta açıklık için kullanılır ayrı kesme ve eğilme yükü taşır. Kiriş köprüsü en basit ve en eski köprü türüdür. İnsanlar tarafından yapılan ilk kiriş köprüleri doğanın bir taklidi olarak ortaya çıktı, tarih öncesi insanlar bir akıntıya düşen ve aynı teknik somunu kendileri için uygun olan yerlerde kullanmıştır. Genellikle her iki uçta bir dayanak veya iskele tarafından desteklenen bir veya daha fazla açıklıktan oluşur. Kısa ve orta açıklıklarda uygulanmaktadır. Yapımı basit ve ekonomik olduğu için tercih edilir.

Karayolu köprülerinde I şeklinde çelik kirişler mesnetler arasında yerleşmektedir. Daha sonra üstüne 20cm betonarme plak dökülüp ve demir yolu

köprülerinde ise demiryolu boyunca kirişlere koymuş olan enlemlere mesnetlendirler, ve ayrıca kiriş köprüler tek açıklıklı olabileceği gibi, sürekli kiriş şeklinde çok açıklık da olabilir. Kaynaklı ve ya perçinli de olabilir. Büyük açıklıklar için mesnet tarafından gelen kablolar açıklık boyunca tabliyenin taşıyıcılığını arttırlar. Kirişin bir yüzü yola gelmek için kutu kesitli olarak da tertiplenebilir. Düşey çelik plaklar kutu kesitine kaynak yaparak, köprünün taşıyıcılığı artacaktır. Bir kiriş köprüsünün tasarımının, şu anda kullanımda olan herhangi bir köprü tasarımının en ekonomik olduğu kabul edilir [5].



Şekil 2.5. Kirişli köprüsü

2.2.7. Kafes Kirişli Köprüler

Tek açıklıklı kafes kiriş köprülerde açıklık ortalarında yükseklik artırılarak daha taşıyıcılık elde etmiş olur. Bu durumda malzeme ekonomik olarak kullanılmış olacaktır. Bu tür köprüler sürekli de yapılabilir. Mesnet bölgesinde yüksekleri büyüktür. Ayrıca bu tür köprüler diğer tür köprü şekilleriyle beraber de

kullanabilecektir. Kafes kiriş kemer şeklinde olabildiği gibi konsol olarak da düzenlenebilir [5].

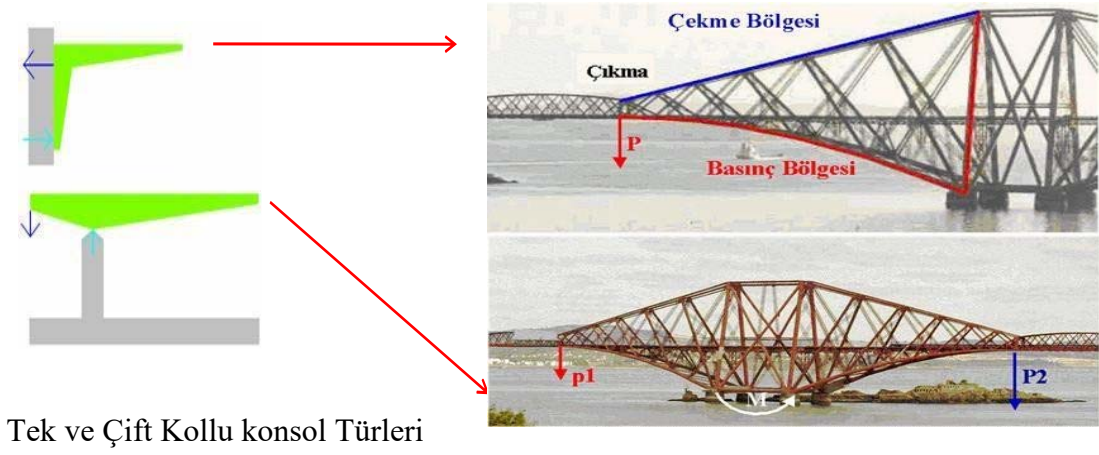
- 1- Kafes elemanları aksenal kuvvete maruz kalıyor Açık web sistem, katı web kirişli modele göre daha köprülerin yapılmasına olanak vermektedir.
- 2- Bu avantajlar artan bakım ve bakım maliyetlerini de beraberinde getirecektir. Rüzgâr yükü kafes boşluklarından geçeceği için kemerli sistem ve aerodinamik yapısı kirişliye göre daha üstündür.
- 3- Kafe köprüler nadiren estetik görünümü sahiptirler özellikle açıklarda bu görünümünden uzaktır.



Şekil 2.6. Kafes kirişli köprü

2.2.8. Konsol Köprüler

Kirişli ve kemer köprülerde mesnetlenme genellikle kirisin iki ucundan olmaktadır. Konsol köprülerde ise mesnetlenme tek bir noktadandır. İki tür konsol (çıkma) görülmektedir: Tek kollu ve çift kollu [5].

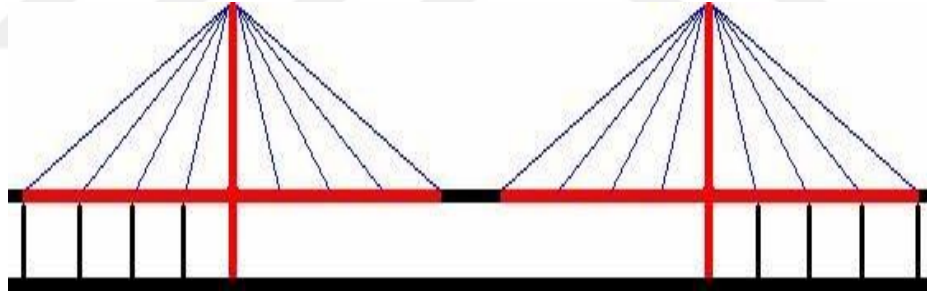


Tek ve Çift Kollu konsol Türleri

Şekil 2.7. Konsol köprüler

2.2.9. Kablo Gergili Köprüler

Kablo gergili köprüler konsol köprüler ile bağlantılıdır. Burada kablolar çekme gerilmesine tabiiye ise basınç gerilmesine maruz kalır. Kablo gergili köprüler ile konsol köprüler arasındaki en büyük fark tabliyelerin asılı olarak durmasıdır. Gergi kabloları yüksek mukavemetli çeliklerden yapılmaktadır. Birkaç örnekte de bu gergiler beton kılıf ile sarılmıştır. Kuleler ise genellikle betonarme yapılmakta bazen de çelik olmaktadır [5].

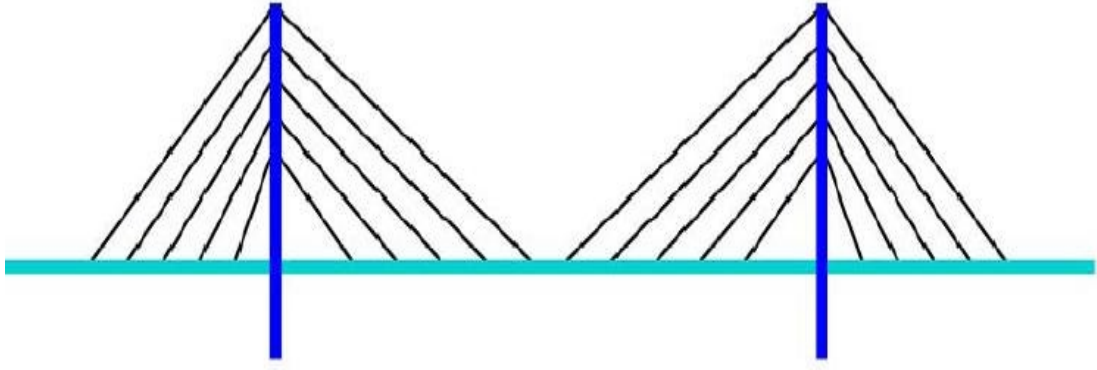


Şekil 2.8. Kablo Gergili Köprüler

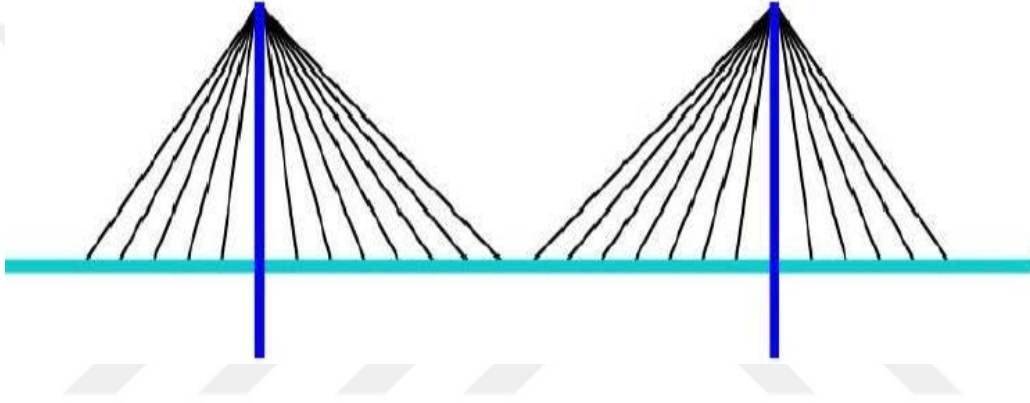
Büyük ve uzun bir gergili köprünün inşası sırasında iki uç kirişleri ortada birleşene kadar olası salınımlar büyük sorun oluşturmaktadır [4].

Kabloların kuleye bağlanma şekline göre iki tasarım grubuna ayrılmaktadır

- 1- Arp Tasarımı: Kablolar kule boyunca yaklaşık olarak birbirine paralel bir şekil alacak şekilde bağlanır.



2- Fan Tasarımı: Kablolar kulenin en üst noktasına bağlanır.



2.2.10. Kemer Köprüler

Kemer köprülerinin en masif olanları mesnetlere bağla olanıdır. Kemer köprüsü, yarım daire biçimli bir yapıdır. Bu tür köprülerde mesnetler dönebilecek şekilde, mafsallı olarak tasarladığı gibi bazı köprülerde tam tepe noktasında dönebilir ve dönmeye müsaade edebilir. Bunlar daha az masiflerdir. Bu tür köprü yol köprü üzerinde olabilir, gelen yükü basınç elemanlarıyla kemere verecek, bu tür köprülerde yol köprüünün altından da geçebilir [4].

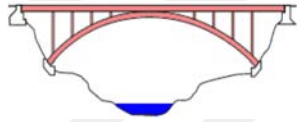
Bu durumda yolun yükü çekme taşıyan elemanlarla köprüye ilecektir. Bazı durumlarda yolun seviyesi kemerin üzerinden yani kemer altta ve yolu üstünden geçebilir. Eğer mesnet zemini sağlam değilse o durumdan mesnetler birbirine bağlanabilir. Bu tür köprülerde kemerler genelde basınç taşıdıklarından burkulmaya karşı da korunmasını gerekiyor. 1931’de dünyanın en uzun kemer köprüsü New York’ta inşa edilmiştir. Bu köprüünün 504 metre açıklıklı kemer köprüsüdür. Günümüzde bulunan kemer köprüler tuğla, alüminyum, ahşap ve dövme çelikten yapılmış kemer köprüler bulunmaktadır [4].



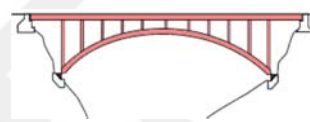
Şekil 2.9. Malabadi kemer köprüsü (Diyarbakır Türkiye 1147)

Kemer köprü tipleri

Mafsalsız kemer köprüler



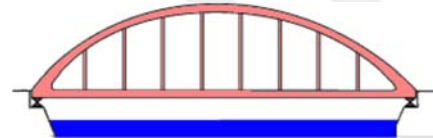
İki mafsallı kemer köprüler



Üç mafsallı kemer köprüler



Bağlı kemer köprüler



Bu tür köprülerin kemerler en kesit ölçüleri uzunluklarına oranla olarak küçük olan eğri eksenli taşıyıcı sistemlerdir. Kemerin en uzunluğu kullandığı malzemeye göre değişiyor ayrıca kemer uzunluğu malzemeye bağlıdır. Çelik kargır ve ya ahşaba oranla daha büyük en kesitler gerektirecektir [4].

Tarihsel kemer köprüler çoğunlukla taş ve ya tuğla yapılmıştır. Daha sonra günümüzde çelik, ahşap ve betonarme malzeme kullanarak daha ekonomik ve daha büyük açıklıkları geçinebilmektedir. Ve ayrıca kemerler köprü için en basit yapıdır çünkü taş ve ya kayadan yapıldığı takdirde kemer formunu oluşturmaktan sonra başka şeye ihtiyaç duyulmayacaktır. Kemer köprüler tek ve ya çift ve ya daha fazla açıklıklı olabilir genelde uzun mesafe olunca açıklıkları artacaktır. Kemerleme etkisi eğilme momentini azaltır yani kesme gerilmelerini azaltacaktır. Kemer köprüler kirişli köprü ve ya kafes kirişli göre daha ekonomiktir [5].

1- Kemer köprülerin avantajları

Kemer köprülerde tüm kemer basınç altındadır. Bu basınç dayanaklara aktırılmakta ve zemin gerilmesi tarafından karşılanacaktır. Kemerlerde çekmenin olmayışa basit kirişlere göre daha fazla açıklıkların asılabileceği ve çekme dayanımı olmayan malzeme ile inşa edilmektedir.

2- Kemer köprülerin dezavantajları

Kemer köprülerde tüm kemer tamamen inşa edilmeden kendi başına taşıyıcı değildir bu yüzden tamamına kadar bir kalp üzerinde durması ya da çıkma tarzındaki kemerin kablo ile asılması gerekmektedir. Ayrıca taş ve ya beton kemerlerin çıkma tarzında inşa mümkün değildir. Büyük kemerlerde oluşan büyük etki kuvvetlerinin önemli bir kayma olmadan dayanaklar tarafından taşınması bir yatay bileşeni vardır.

2.2.11. Hareketli Köprüler

Bu tür köprüler gemi ve büyük deniz vasıtalarına geçit verirler. Özellikle gerekli yükseklikte sabit köprü yapımı mümkün değilse ve ya maliyet açısından pahalı olacaksa o zaman bu tür köprülere tercih edilir. Hareketi için ilave düzenlerin projelendirmesi gerektiğinden genellikle görüşleri zarif değildir. Bu tür köprüler hareket esnasında bir uç sabit kalırken diğer uç kaldırılır, ayrıca bunun tanımış örneği 1894'ten kalan Tower köprüsü Londra şehrinde Thames nehri üzerinde yer alan iki katlı aşağıda Şekil 2.10'da görüldüğü gibi bir açılır kapanır köprüsüdür. Bazı köprüler ise hareket düşey esken etrafında dönme ile sağlanır ve ayrıca bu köprünün açılıp kapanması zaman alsa da her türlü geçişe uygundur. Diğerlerine nazaran daha ucuz olarak inşa edebilir. Hareket için daha az güce ihtiyaç gösterirler. Köprünün hareketi yatay hareketle de gerçekleştirilebilir [4].



Şekil 2.10. Tower köprüsü (Londra, İngiltere)

2.2.12. Yerinde Dökme Betonarme Köprü

Yerinde dökme betonarme köprüsü (ayrıca boşluklu Köprüsü olarak da bilinir), üzerinden karayolu, demiryolu, yaya yolu, su yolu veya tesisat hattı geçen; kenarlarda kenar ayaklara, varsa ortada orta ayaklara oturtulan mühendislik yapılarıdır. Köprüler kullanılan malzeme cinsine, açıklıklarına, yapısal formlarına, yük taşıma biçimine ve döşeme tiplerine göre çok çeşitlidir. Kısa açıklıkların geçilmesinde kirişli köprülerin yanı sıra plak (döşeme) şeklindeki köprülerin kullanımı uygun olmuştur ve zamanla kısa açıklıklarda yerinde dökme köprüler kirişli köprülerin yerini almıştır. Şekil 2.11’de yerinde dökme köprülere ait iki adet şematik en kesit verilmiştir [16].



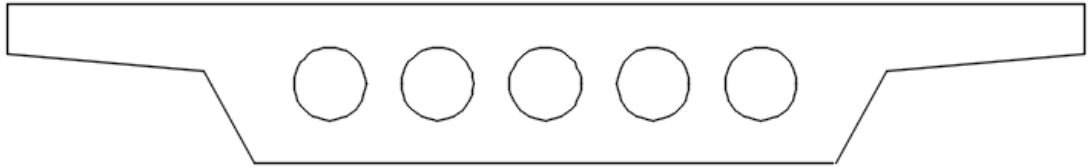
Şekil 2.11. Dairesel boşluklu ve hücresel boşluklu yerinde dökme betonarme köprü şematik en kesitleri

Basit köprü üst yapılarında döşeme plağı yük taşıyıcı elemandır. Her iki yöndeki açıklık kabiliyeti ve yüksek dayanımından dolayı noktasal yüklerin dağıtılmasında biçim bakımından çok uygundur. Yerinde dökme köprüler betonarme veya öngerilmeli beton olarak yapılabilir. Dolu gövdeli ya da boşluklu döşeme alt yapı üzerine oturtulur. Yerinde dökme köprülerin açıklık limiti (sınırı) yükün büyüklüğüne bağlıdır ve yapım maliyeti, malzeme ve işçilikle ilgilidir. Yerinde

dökme beton plak döşemeler mesnet elemanları ile birlikte yekpare olarak dökülür. Betonarme köprü döşemeleri bilinen analiz yöntemleri veya deneysel analiz yöntemlerinden elde edilen analiz yöntemleri yardımı ile tasarlanır. Analiz, plak biçimini, mesnet şartlarını ve plak rijitliğini hesaba katmalıdır [16].

Yerinde dökme Köprülerin; Düşük açıklıkta sığ derinlik, geometrik esneklik, Temiz ve cazip görünüş, İyi yük dağıtma sistemi, gerilme ve burulma rijitliği, Az bakım gerektirmesi gibi unsurlar olumlu yönleridir. Ancak; Fazla sabit yük, Orta derinlikte malzeme kullanımı yetersizliği, boşlukların bakımı problem olabilmesi ve Öngerilmeli ise bazen onarılamaması gibi unsur olumsuz yönleridir. Yüksek sabit yük etkisi derinlikte uygun varyasyon sağlayarak ya da boşluklar bırakılarak azaltılabilir. Yerinde döküm köprüler 6–30 m açıklıkta uygundur. 10 m’ye kadar açıklıklarda sabit derinlikli dolu gövdeli betonarme plak köprüler kullanılır. 8 m’nin üzerinde betonarme dolu gövdeli plaklarda, 0.60 m derinlik uygundur [16].

Boşluklu plak köprüler köprünün sabit yük ağırlığını azalttığı için tercih edilebilir. 10 m’den 15–20’ m’e kadar açıklıktaki boşluklu betonarme plaklarda 1.2 m derinlik uygundur. 15–30 m boşluklu öngerilmeli plaklarda 1.5 m’ye kadar plak kalınlığı uygundur. Bu çalışmada köprünün her açıklık boyu 23 m olarak yaptığından döşeme kalınlığı 1.3 m olarak seçilmiştir. Boşluklar genelde dairesel veya dikdörtgendir. Bu çalışmada kesitte dairesel boşluklar kullanmıştır [16].



Şekil 2.12. Yerinde dökme kirişe ait en kesiti

Boşlukların derinliği plak derinliğinin %60-%80’ arasında olması uygundur ve plak tek bir levha gibi davranır. Boşluklar bu sınırı aşınca plak hücresel döşeme gibi davranır. Boşluklar açıklık boyunca yapılabildiği gibi, sadece açıklık ortası boyunca da yapılabilir. Bu durumda mesnetlere yakın yerlerde kesme kuvvet değerini karşılamak için yapı dolu gövdeli yapılır. Hücresel yapılarda hücre burulmasının ihmal edilmesi hareketli yük, moment ve gerilmelerin de çok ciddi eksik tahminler yapılmasına sebep olacağı genel bir yargıdır. Ancak boşluklu plak durumunda hücre burulmasının etkisinin dikkate alınması konusundaki görüşler

farklıdır. Bazıları boşluklu plaklarda enine hücre burulmasının ihmal edilmesi fikrini sürdürürken, bazıları analizlerde bu burulmanın da hesaba katılması fikrini savunmaktadır. Hücresel ve boşluklu yerinde dökme köprülerin en kesitlerinin deformasyon biçimi özel dikkat gerektirir, çünkü bunun köprünün yük dağıtma karakteristiği üzerinde önemli etkisi vardır [16].



Şekil 2.13. Öğretmenevi kavşak köprüsü (Manisa, Türkiye)

2.3. Türkiye’de Köprüler

Türkiye’de köprülerin büyük çoğunluğu tek açıklıklı prekast kiriş kullanılarak inşa edilmektedir. Yapılan pek çok uygulama sonunda, bu yöntemin hem estetik hem de ekonomik açıdan verimli olmadığı görülmüştür. Köprü açıklıkları, prekast kirişleri taşıyan araç ve vinç kapasiteleri ile kısıtlanabilmekte ve 30-40 metre gibi değerleri aşamamakta, kesit yüksekliği ise 1.4-2.0 m arasında değişmektedir. Bu yöntem ile basit mesnetli izostatik sistemler yapılabildiğinden, maksimum moment değeri açıklık ortasında oluşmakta ve ekonomik açıdan verimsiz bir sistem ortaya çıkmaktadır. Ayrıca her ayakta oldukça büyük kütleli başlık kirişi ve çift sıra mesnet kullanılması, ortaya hem ekonomik hem de estetik olmayan bir sistem çıkarmaktadır [13].

Buna karşın, ardgermeli sürekli kiriş sistemi kullanılarak tasarlanan hiperstatik tabliyelerde, oluşan moment, mesnet ve açıklık tarafından paylaşılır. Bu yöntemle ortalama 50 m açıklıklar dolu ya da boşluklu tabliyelerle rahatlıkla geçilebilmektedir. Kesit ise değişken boyutlu, mesnet kısmında daha derin, açıklık ortasında ise 1.0-1.4m yükseklik ile oluşturulabilmektedir. Böylece ayak sayısı azaltılarak, hem beton miktarından tasarruf edilmekte hem de estetik köprüler elde edilmektedir. Ayrıca iş süresi açısından da oldukça hızlı olduğu son olarak Ankara'daki Melikşah Köprüsü'nün 60 günde tamamlanması ile tekrar görülmüştür. Bu yöntemle tasarlanmış ve şu sıralar inşa aşamasında olan Kayseri Belediye Köprüleri ve diğer önemli örnekler örneklenecektir[13].

Türkiye'deki yerinde dökme ardgermeli sürekli köprüler ve Prekast kirişli köprüler

Yöntem 1

Prekast kirişler ile inşa edilmiş tek açıklıklı izostatik köprüler, ülkemizde yaygın olarak kullanılan köprü inşa yöntemidir. Bu yöntemle inşa edilen köprülerde, açıklık uzunlukları prekast kirişleri taşıyan araç ve vinç kapasitelerine bağlı olarak sınırlandırılmakta ve maksimum açıklık uzunluğu olarak 30m-40m uygun görülmektedir (ODTÜ, 2014).

Bunun yanında, bu yöntem ile yapılan köprülerin tasarımında kullanılan kiriş yükseklikleri 1.4m-2.0m arasında değişmektedir. Köprü sisteminin tasarımında basit kirişli izostatik sistem kullanılması, açıklık ortalarında daha büyük eğilme momenti değerlerinin elde edilmesine ve mesnet noktalarında moment oluşmamasına sebep olmaktadır. Bu durum, prekast kirişlerin boyutlandırılması açısından çok efektif bir tasarım olmamaktadır. Bunun yanında, prekast kiriş yönteminde ayaklarda her bir kiriş için bir mesnet yerleştirilmekte ve bu da orta ayaklarda iki sıra mesnet kullanılması anlamına gelmektedir. Ayaklarda kullanılan büyük kütleli başlık kirişleri, mesnet ve derz sayısı bakımından incelendiğinde, bu sistem ne ekonomik ne de estetik bir sonuç sunmaktadır [13].

Yöntem 2

Sürekli kiriş yöntemi kullanılarak açıklık uzunluğu 50m olabilen ve kesit yükseklikleri açıklıkta 1.0m-1.4m arasında, mesnetlerde ise açıklık kesit yüksekliğinin yaklaşık iki katı mertebesinde olan yerinde dökme ardgermeli köprüler inşa edilmektedir (Karaesmen, 2002). Sürekli kiriş için hesaplanan statik moment (w

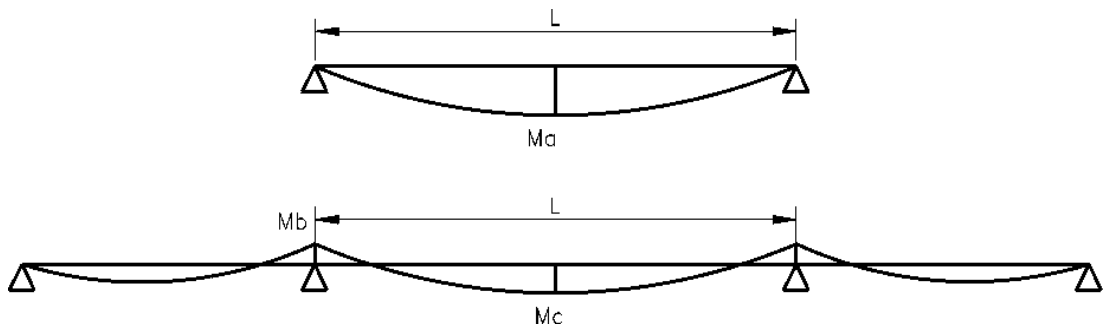
12/8) açıklık ve mesnet kesitlerinde paylaşılır. Sürekli kiriş oluşturularak daha uzun mesafeler geçilmekte ve böylece ayak sayısı, derz sayısı ve ayaklarda kullanılacak mesnet sayısı azaltılmaktadır[13].

Bu çalışmada, öngermeli prekast köprü ile yerinde dökme ardgermeli köprü arasındaki farklar ele alınacaktır. Son zamanlarda yapılmış ve yapılmakta olan köprü örnekleri ile iki yöntemin karşılaştırılması yapılacaktır.

İki Yöntemin Karşılaştırılması

Basit kiriş ve sürekli kiriş sistemleri incelendiğinde, en önemli konu bu sistemlerle elde edilen maksimum eğilme momenti değerleridir. Basit kirişli ve sürekli kirişli sistemlerin moment dağılımları Şekil 2.14'te verilmektedir. Basit kirişli sistemde maksimum moment değeri açıklık ortasında oluşmakta ve $(wL^2/8)$ formülü ile hesaplanmaktadır. Bu değer, Prekast kiriş kesiti boyutlandırılmasında kullanılır [13].

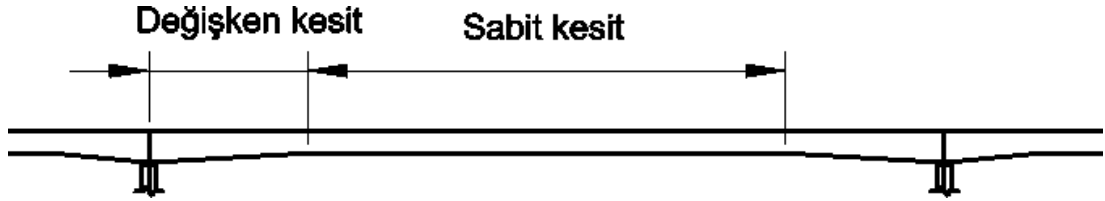
Sürekli kirişli sistemlerde ise, açıklık momenti ve mesnet momentlerinin mutlak değerce toplamı statik moment değerine eşit olmaktadır. Tabliye yüksekliğinin hesabında kullanılan moment değerleri, basit kirişli sisteme göre daha küçüktür. Bu durum da, aynı açıklık uzunluğuna sahip köprülerde tabliye yüksekliği daha az olan, ya da aynı tabliye yüksekliğinde daha uzun açıklıklı köprü tasarlanmasını sağlayabilmektedir [13].



Şekil 2.14. Basit kirişli ve sürekli kirişli sistemlerin moment diyagramı

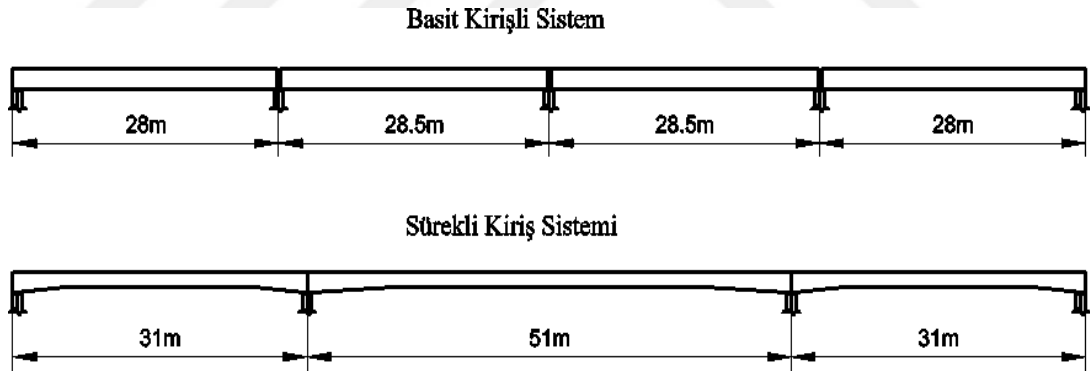
kesme kuvveti elde edilmektedir. Bu yüzden, mesnette açıklık kesitlerine kıyasla daha derin kesitlerin kullanılması gerekmektedir. Böylece, açıklık boyunca gerekli yerlerde kesit boyutları değiştirilerek hem efektif hem de ekonomik bir tasarım

yapılabilmektedir. Şekil 2.15'te tabliye kesitinin açıklık boyunca değişimi görülmektedir. Yerinde dökme köprülerde, genellikle açıklığın %60'ı sabit kesitli olarak inşa edilmektedir. Köprü ağırlığını azaltmak için bu kesitlerde boşluklar da tanımlanabilmektedir. Açıklığın her iki tarafı için, kesit yüksekliği açıklık uzunluğunun %20'lik kısmında gerekli kapasiteye göre arttırılmakta ve bu sayede malzeme ihtiyaç duyulan bölgelere aktarılarak, ekonomi sağlanmaktadır [13].



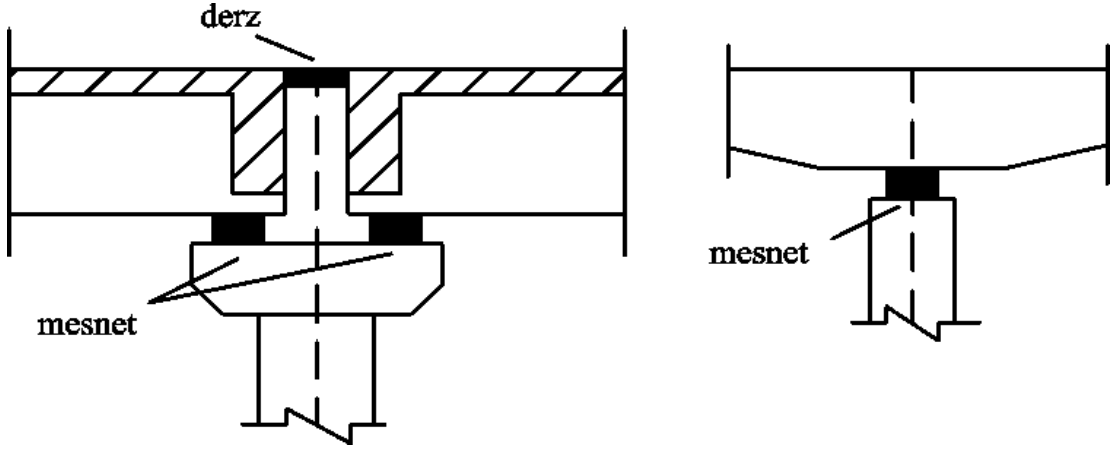
Şekil 2.15. Kesitinin açıklık boyunca değişimi

Prekast kiriş ve sürekli tabliye sistemlerinin, toplam uzunluğu aynı olan iki köprüde kullanılması Şekil 2.16 'da gösterilmektedir. Sürekli tabliye sisteminde orta açıklık uzunluğu arttırılarak ayak sayısı azaltılmakta ve süreklilik koşuluna bağlı olarak mesnet ile açıklık kesitleri değişken kesitli yapılabilmektedir [13].



Şekil 2.16. Basit kirişli sistem ve sürekli kiriş sistemi ayak farkı

Şekil 2.17'de verildiği gibi prekast kirişli köprülerde, her bir ayakta iki sıra mesnet ve tek sıra derz kullanılması gerekmektedir. İki sıra mesnet kullanılması, başlık kirişi boyutlarının artmasına ve büyük kütleli başlık kirişleri kullanılmasına neden olmaktadır. Sürekli tabliye sisteminde ise, tek sıra mesnet kullanılarak başlık kirişi boyutları azaltılabilmektedir. Bunun yanında, derz sayısının azalması, yapı elemanlarının bakım ve onarım işleri açısından da kazanç sağlamaktadır.



Şekil 2.17. Prekast kirişli köprüler ve sürekli köprülerde mesnet farkı

olurken, eğri eksenli (yatay kurp olan) köprülerde ise uygulamanın yapılması biraz daha zor olmaktadır. Köprü eğriliği, düz prekast kirişlerden oluşan kırık dilimler halinde yapılabilir. Dilim sayısı ile orantılı olarak ayak sayısı da artmış olur. Yerinde dökme köprülerde, yatay kurp uygulaması hem daha kolay hem de ayak sayısını azaltarak malzeme bakımından daha ekonomik olmaktadır. Yerinde dökme köprü yöntemi ile inşa edilen İstanbul-Atatürk Havalimanı köprülerinde T-kolu köprüsü Şekil 2.18’de gösterilmektedir [13].



Şekil 2.18. Değişken kesitli yerinde dökme ardgermeli süreki tabliye köprü, Atatürk Havalimanı,

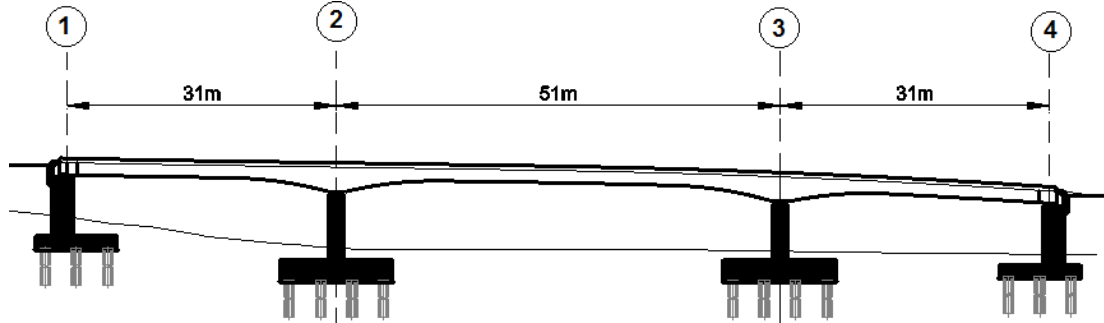
2.4. Türkiye’deki Sürekli Tabliye Yerinde Dökme Ardgermeli Köprü Örnekleri

Bu bölümde, yerinde dökme yöntemi kullanılarak Türkiye’de yapılmış ve yapılacak olan köprü örnekleri özetlenmiştir.

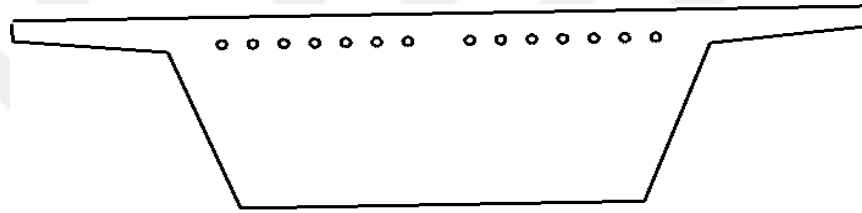
2.4.1. Melikşah (Fen Lisesi) Köprüsü – Ankara

Melikşah Köprüsü, Konya karayolu üzerinde bulunan ve Fen Lisesi kavşağında inşa edilen, iki şeritli ve tek taraflı yaya kaldırım yolu olan yan yana iki adet köprüden oluşmaktadır. Köprülerin yapımında işveren Ankara Büyükşehir Belediyesi’dir. KMG Proje tarafından tasarımı yapılan köprülerin yapım işlerinde ana yüklenici Enam İnşaat’tır. Ardgerme uygulaması, pot mesnetler ve derzlerin temini Freysaş-Freyssinet tarafından yapılmıştır. Köprüler, üç açıklıklı olmak üzere, kenar açıklıkları 31m, orta açıklık 51m ve köprü toplam uzunluğu 113m’dir (Şekil 2.19). Mesnette 2.8m ve açıklıkta 1.4m kalınlığında değişken kesitli tabliye tasarlanmıştır. 51m’lik orta açıklık kesitinde beton ağırlığını azaltmak için boşluklu kesit kullanılmıştır(Şekil 2.20). 12 adet 31C15 Freyssinet ankraj sistemi tasarlanmış, fakat kesite 14 adet (2 adet rezerv) ankraj yerleştirilmiştir. 12 adet tendonun germe işlemi, önce sol sonra sağ uçtan olmak üzere, iki uçtan da yapılmıştır (toplam germe uzunluğu =113m). 3 aksında sabit mesnet, diğer ayaklarda ise boyuna doğrultuda kayıcı pot mesnetler kullanılmıştır. Yan yana iki köprü’nün yapımı 60 günde

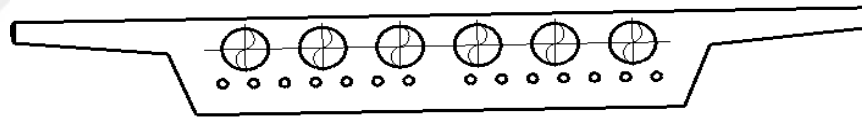
tamamlanmıştır ve inşa süresi açısından yerinde dökme ardgermeli köprü yönteminin hızlı bir yapım yöntemi olduğunun bir örneğidir. Şekil 2.21’de ve Şekil 2.22’de yapım aşamasında ve tamamlanmış köprü fotoğrafları paylaşılmıştır [13].



Şekil 2.19. Ankara Melikşah Köprüsü boy kesiti



Mesnet kesiti



Açıklık kesiti

Şekil 2.20. Ankara Melikşah Köprüsü açıklık ve mesnet kesitleri



Şekil 2.21. Ankara Melikşah Köprüsü yapım aşaması



Şekil 2.22. Ankara Melikşah Köprüsü'nün tamamlanmış hali

2.4.2. Atatürk Havalimanı Köprüleri – İstanbul

Atatürk Havalimanı Köprüleri, Atatürk Havalimanı çevresinde bulunan ve ardgermeli olarak yapılan 7 adet köprüden oluşmaktadır (Şekil 2.23). Tek açıklıklı ve eğri eksenli en uzun köprü 46m uzunluğunda ve tabliye kalınlığı mesnette 2.0m, açıklıkta ise 1.2m'dir. 3 adet köprü eğri eksenli ve çok açıklıklıdır. Bu köprülerden en uzununu 168m, kenar açıklıkları 30m, orta açıklıkları 36m uzunluğundadır. Tabliye, mesnette 1.76m, açıklıkta ise 1.06m kalınlığındadır. Tüm köprüler 9 ay gibi bir

sürede tamamlanmıştır. Köprülerin yapımında, işveren İstanbul Büyükşehir Belediyesi ve yüklenici Özka İnşaat'tır. Ardgerme kabloları ve sismik izolatörlerin temini ile bu işlerin uygulaması Freysaş-Freyssinet tarafından yapılmıştır [13].



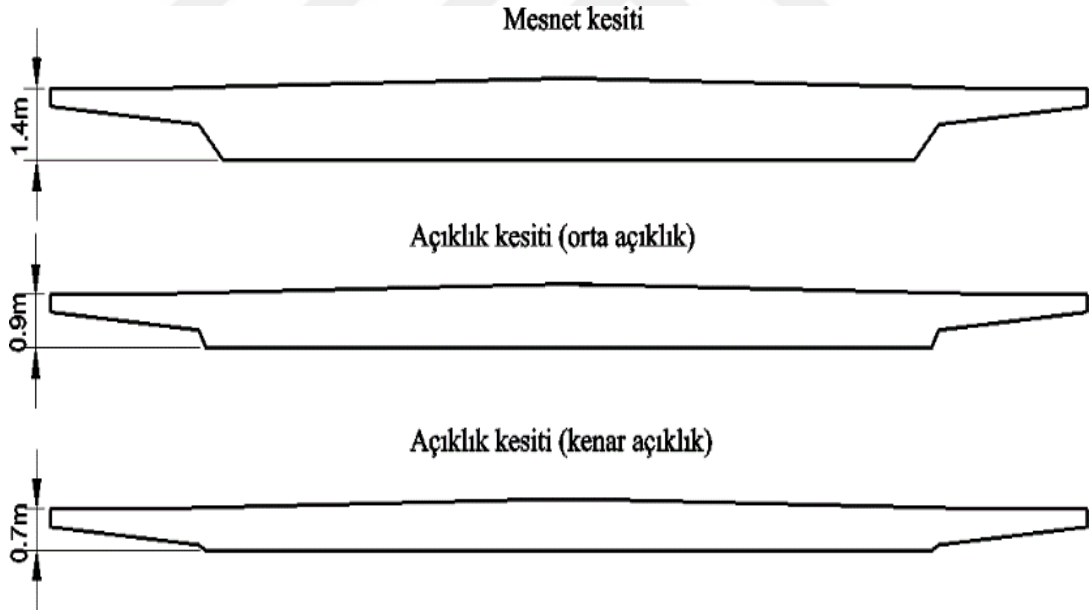
Şekil 2.23. Atatürk Havalimanı Köprüleri – İstanbul



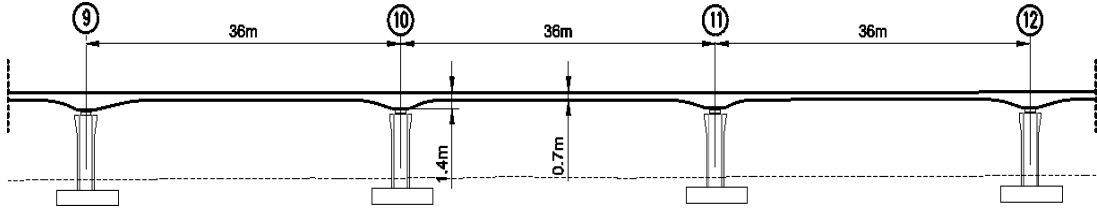
Şekil 2.24. Atatürk havalimanı köprüsü tamamlanmış hali.

2.4.3. Kayseri Büyükşehir Belediyesi Köprüleri – Kayseri

Kayseri Büyükşehir Belediyesi Köprüleri, ardgermeli olarak inşa edilecek olan üç adet uzun köprü ve dört adet yonca köprüden oluşmaktadır. Köprü işlerinde, işveren Kayseri Büyükşehir Belediyesi, ana yüklenici ise Baran kaya İnşaat'tır. Ardgerme kablolarının temini, ardgerme işlerinin uygulaması ile pot mesnet ve kurşun çekirdekli mesnet temini Freysaş-Freyssinet tarafından sağlanmaktadır. Köprülerden en uzun 738m olup, kenar açıklıklar 30m ve orta açıklıklar 36m uzunluğundadır. Köprü genişliği 21m, tabliye; mesnet kesitinde 1.40m, açıklık kesitinde ise kenar açıklıklarda 0.90m, orta açıklıklarda 0.70m kalınlığındadır (Şekil 2.25). Şekil 2.26'da gösterildiği gibi, tabliye değişken kesitli olarak tasarlanmıştır. Ortadaki 8 ayakta, her ayakta 2 adet olmak üzere kurşun çekirdekli mesnet; diğer ayaklarda ise tek doğrultuda kayıcı pot mesnetler kullanılmıştır. Kenar ayaklarda ise 2 adet boyuna kayıcı ve 1 adet iki doğrultuda kayıcı pot mesnet kullanılmıştır. 738m uzunluğundaki tabliyenin, sadece köprü başında ve sonunda genişleme derzi kullanılmıştır [13].



Şekil 2.25. Tabliye kesitleri.



Şekil 2.26. Köprü boy kesiti

2.4.4. Öğretmenevi Kavşak Köprüsü – Manisa

Manisa merkezde bulunan köprü; 4 açıklıklı olup toplam uzunluğu 92 metredir. Köprü aks açıklıkları eşit ve 23m olarak alınmıştır. Köprü tabliyesi, 1.3m yüksekliğinde yerinde döküm kiriş olarak tasarlanmıştır. Tabliye genişliği 9m olup 2 adet tek yönü 3m genişliğindeki şeritlerden ve 1m genişliğindeki kaldırımlardan oluşmaktadır. Tabliye üzerinde 6cm kalınlığında asfalt kaplama mevcuttur. Köprü orta ayakları, 3 adet sırasıyla 6.436m, 6.196m ve 5.506m boyutları olan kolonlardan oluşturulmuştur. Orta ayak temelleri, 9 adet 1m çapındaki dairesel fore kazıklar yapılmıştır. Kazık uzunluğu 25m olarak seçilmiştir. Köprü'nün kenar ayakları ise mesnetler ile bağlamıştır. 92m uzunluğundaki tabliyenin, sadece köprü başında ve sonunda genişleme derzleri yapılmıştır. İnşa süresi açısından yerinde döküm betonarme köprü yönteminin hızlı bir yapım yöntemi olduğunun bir örneğidir. Şekil 2.27'de tamamlanmış köprü fotoğrafı paylaşılmıştır.



Şekil 2.27. Öğretmenevi kavşak köprüsü – Manisa

3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

Karayolu yapılarını boyutlandırmak için dünyada çeşitli yönetmelikler kullanılmaktadır. 2007 yılında yürürlüğe giren AASHTO-LRFD, 2002 yılında yayınlanan AASHTO Standart Specifications for Highway Bridges, 2001 yılında Güncellenen CALTRANS Seismic Design Criteria 2001, 1998 yılında yayınlanan EUROCODE-8 Design Provisions for Earthquake Resistance of Structure Part 2-Bridge ve Japan Road Association Specifications for Highway Bridges bunların en Yaygın olarak kullanılanlarıdır. Karayolları Genel Müdürlüğü ise karayolu yapıları için şartname olarak AASHTO Standart Specifications for Highway Bridges 2002'yi kullanmaktadır. En son KGM tarafından çıkarılan Yol Boyu Mühendislik Yapıları İçin Deprem Yönetmeliği ve DLH tarafından yayınlanan Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava meydanları İnşaatları Deprem Teknik Yönetmeliği yukarıda yazılan yönetmeliklerin adeta bir çevirisi gibidir.

Bu tez çalışma kapsamında bulunan, Manisa öğretmenleri kavşak köprüsü, AASHTO yönetmeliğine göre tasarlanmış, dört açıklıklı bir köprü AASHTO-LRFD'ye göre yeniden boyutlandırılmıştır. Tasarım aşamasında sismik tasarımı için TSC-2007'nin vereleri kullanılmaktadır. Tez çalışmasında CSiBridge programı kullanarak tasarımı yapılmıştır.

3.1. Genel Köprü Bileşenleri

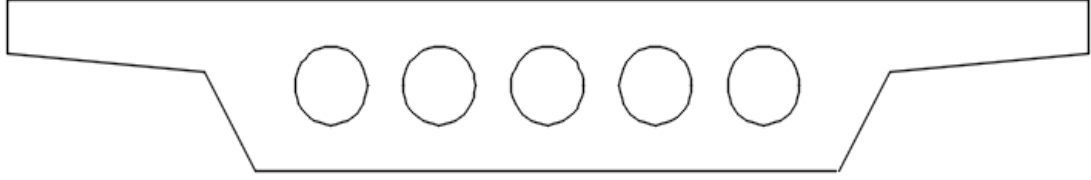
3.1.1. Üst Yapı Bileşenleri

- Köprü döşeme
- Elastomer mesnetler
- Korkuluk

3.1.1.1. Köprü Döşeme

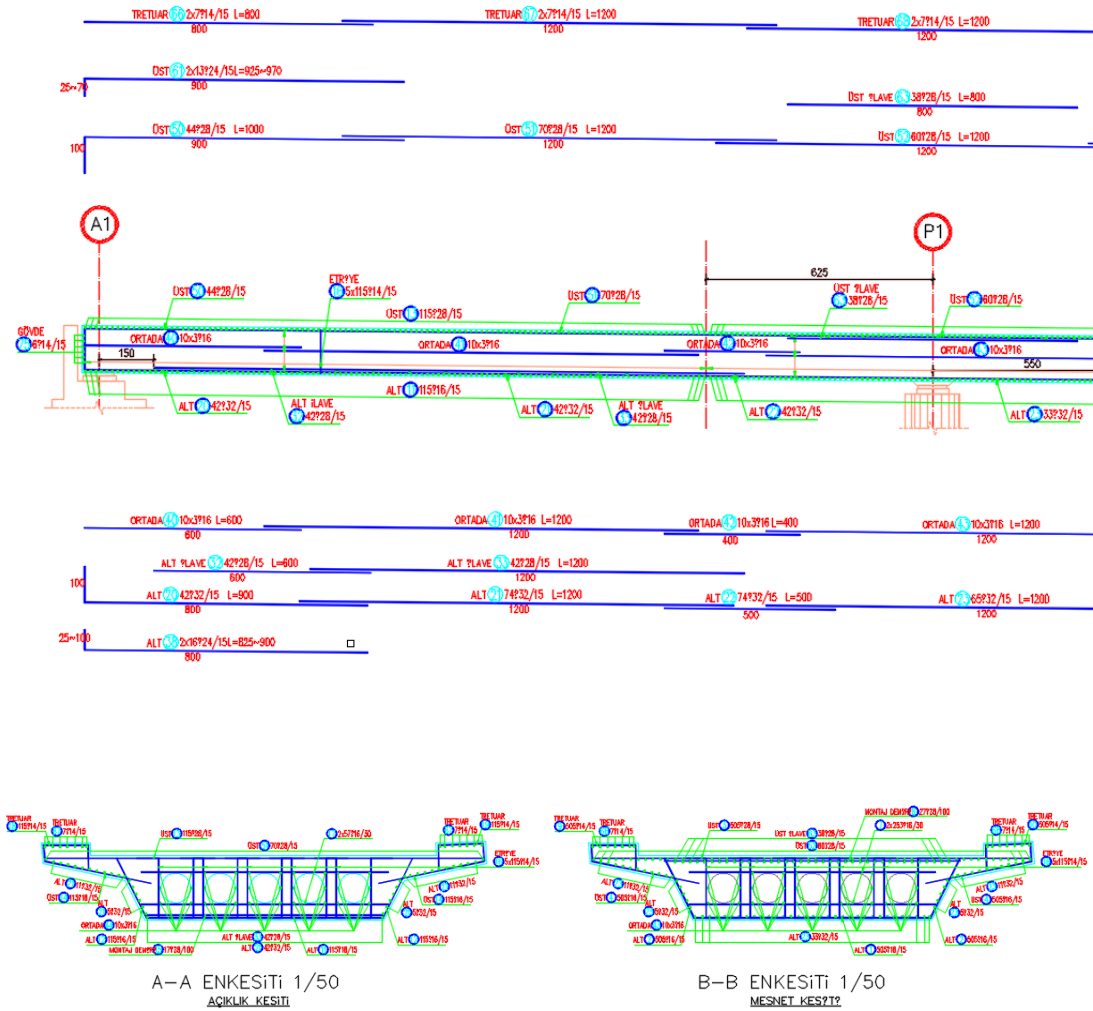
Köprünün üst yapısı, döşeme, kiriş, makas vs. parçalardan oluşur. Bu bileşenler köprünün tipine göre (beton veya çelik veya kompozit olsun) değişir. Köprünün üst yapısı, üzerinden geçen yükü taşır. Bu yüklerin oluşturduğu kuvvetlerin aşağıdaki alt yapılara aktarılmasına yardımcı olur. Köprü döşemeleri köprü tipine göre değişmektedir. Bu çalışmada köprü tipi yerinde döküm betonarme kiriş olarak seçilmektedir. Köprü döşemesi, yerinde döküm kiriş olarak yapılacaktır. Bu tür köprülerin kiriş kesitleri, dairesel boşluklu veya hücreli boşluklu olarak

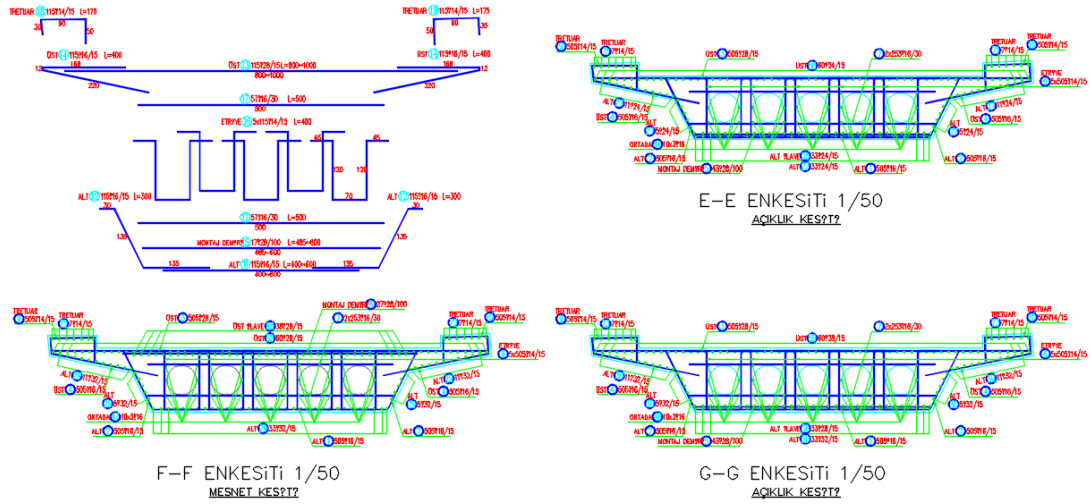
yapılacaktır. Tezde kiriş tipi dairesel boşluklu olarak yapılmıştır. Köprü kiriş üzerinde 6 cm asfalt kaplama yapılmaktadır. Şekil 3.1’de yerinde döküm betonarme köprüsü, dairesel boşluklu kirişin en kesiti görülmektedir.



Şekil 3.1. Yerinde döküm betonarme köprü en kesiti

Daha önce yapılmış olan projenin yerinde döküm köprü donatı detayları aşağıda göstermektedir





Şekil 3.2. Daha önce yapılmış olan projenin yerinde döküm köprü donatı detayları

3.1.1.2. Elastomer Mesnetler

Elastomer mesnetler, köprü tasarımında üstyapı ve köprü ayakları arasındaki bağlantıyı sağlayıp moment aktaracak biçimde ya da basit mesnetli olabilir. Türkiye’de çoğunlukla yerinde döküm kirişli veya prekast kirişli betonarme köprülerin üstyapıları elastomer mesnetli olarak tasarlanmaktadır. Elastomer köprü mesnetleri, kısmen ya da tamamen elastomerden üretilmiş, köprü ile ona mesnetlik yapan yapı arasında yüklerin iletilmesi ve yer değiştirmelerin sınırlandırılması kontrol edilmesi amacıyla yapıda kullanılır. Elastomer mesnetli köprülerin en büyük üs tünlüğü, üst yapının deprem durumunda kolonlardan aktarılan momentlere maruz kalmamasıdır. Elastomer mesnet en basit ve ekonomik mesnet tiplerinden biridir. Çelik plakalarla güçlendirilmiş elastomerler, yerinde döküm kirişli köprü sistemlerinde ekonomi ve kolay üretim üstünlükleriyle tercih edilmektedirler.

Güçlendirilmiş mesnetler çelik plakaların tabakalı olarak elastomer katmanları arasına yapıştırılmasıyla üretilmektedir, Şekil 3.4’te Vulkanizasyon adı verilen bu işlem özel kurutma dolaplarında yüksek ısı ve basınç altında yapılmaktadır. Birleşen elastomerlerin maddesi doğal kauçuk (polyisoprene) ya da neopren (polychloroprene) adı verilen sentetik kauçuktur. İç plakalara ek olarak, mesnetlerin altına ve üstüne çelik yük plakaları eklenebilir.

Daha önce yapılmış olan projede kullanılmış elastomer mesnetlerin, DIN 4141'e göre teknik özellikleri

DIN = Deutsches Institut für Normung (Alman Standardizasyon Enstitüsü)

Mesnetler DIN'e uygun Neopren elastomer mesnet olacaktır

Elastomer mesnetler aşağıdaki şartlara haiz olacaktır.

Onaya göre elastomerin fiziksel özellikleri şartnamede belirtilen:

Çelik yapraklar:

Akma dayanımı $> 240 \text{ N/mm}^2$

Kopma uzaması $> \%23$

Neopren kauçuk:

Durameter sertliği : $60^\circ \pm 5$ (DIN 53 505)

Çekme mukavemeti $> 17 \text{ N/mm}^2$ (DIN 53 504 R1)

Kopma uzaması $> 450 \%$ (DIN 53 504 R1)

Sıkışma sınırı (kalıcı depormasyon) : 70° C , 24 h $< 15 \%$

22° C , 28 d $< 15 \%$ (DIN 53 517)

Koparma yayılma testi $> 20 \text{ N/mm}$ (DIN 53 515)

Elastikiyet $> 30 \%$ (DIN 53 512)

Kesme modülü : $1.0 \pm 0.2 \text{ N/mm}^2$

Adezyon, özel test $> 7 \text{ N/mm}^2$

Ozona dayanım, çatlak yok (DIN 53 509)(90 h 25° C $\%20$ uzama 200 pph m)

Bir elastomere gelen max, düşey yük :192.5 Ton

Bir elastomere gelen min, düşey yük :133.3 Ton

Eskime:

7d 70° C (DIN 53 508)

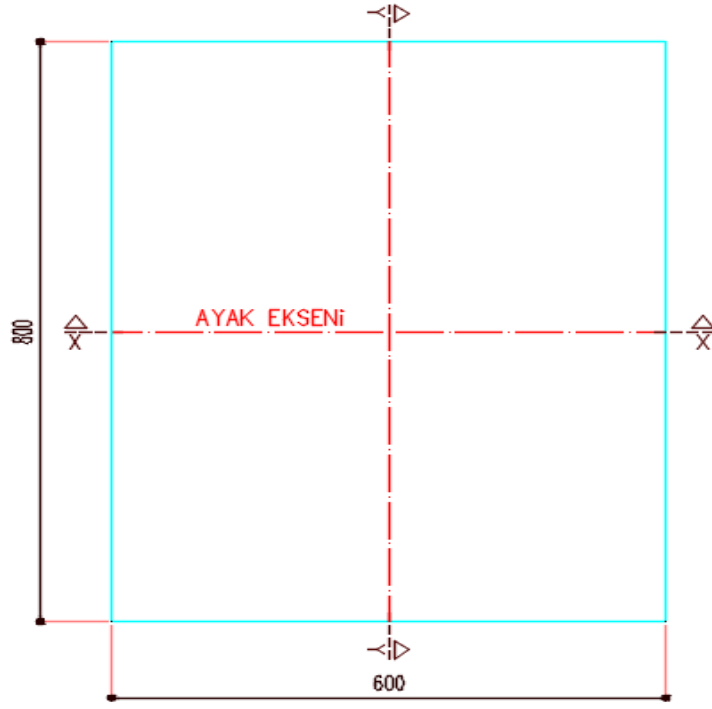
Çekme kuvveti : -15 %

Kopma uzaması : -25 %

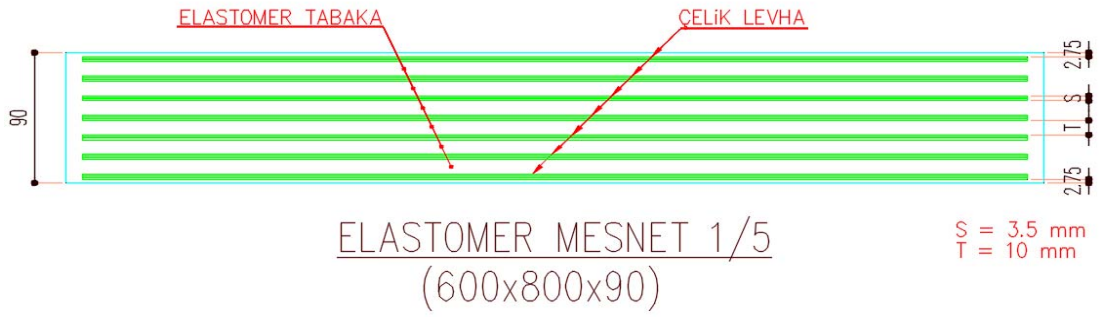
Sertlik : +5

Elastikiyet : -20 %

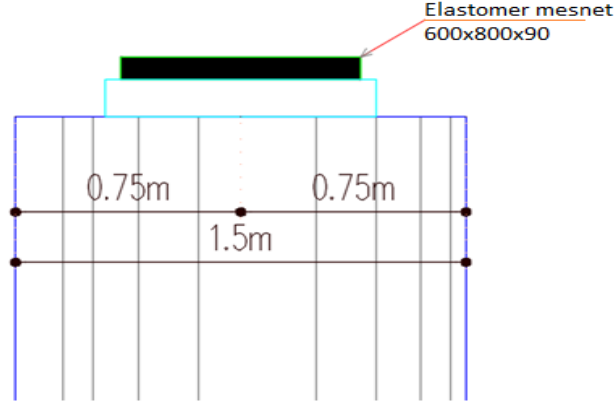
Sıkışma sınırı : -50 %



Şekil 3.3. Tasarımda kullanılmış elastomer mesnet aks aksenleri



Şekil 3.4. Elastomer mesnet detayı



Şekil 3.5. Orta ayak, üst yapı ile altyapı arasındaki bağlantısı

Programda link elemanı olarak modellenen elastomerin düşey K_1 , yatay K_2 , K_3 rijitlikleri denklem 3.1, 3.2, 3.3'te hesaplanmıştır.

A: Elastomer mesnet yüzey alanı = 0.48 m²

t_r : Elastomer tabakların toplam kalınlığı = 0.0655 m

E: Sıkışma elastisite modülü = 1687697.02 kN/m²

G: Kayma modülü = 1000 kN/m²

K_1 = Elastomerin düşey rijitliği

K_2, K_3 = Elastomerin yatay rijitlikleri

$$K_1 = EA/t_r \quad (3.1)$$

$$K_1 = \frac{1687697.02 \times 0.48}{0.0655} = 12367856 \text{ kN/m}$$

$$K_2 = GA/t_r \quad (3.2)$$

$$K_2 = \frac{1000 \times 0.48}{0.0655} = 7328.244 \text{ kN/m}$$

$$K_3 = GA/t_r \quad (3.3)$$

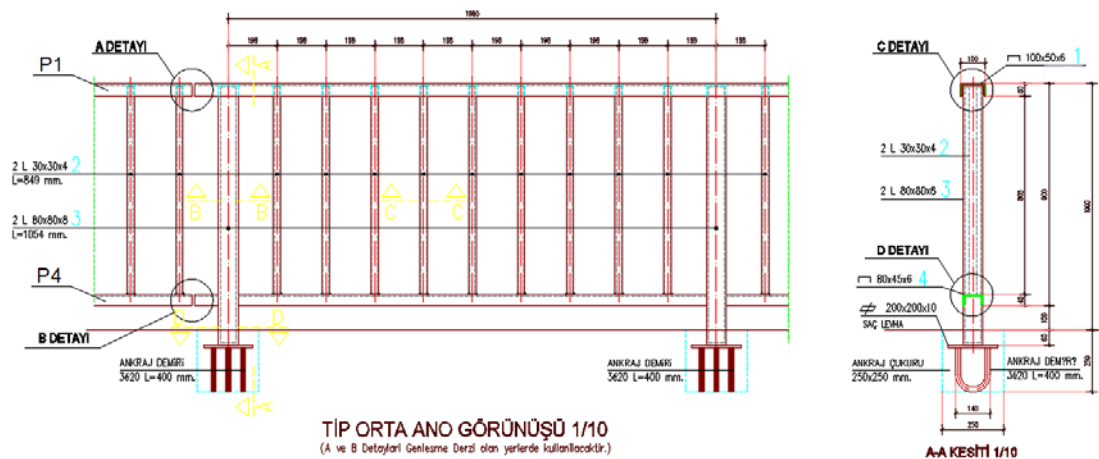
$$K_3 = \frac{1000 \times 0.48}{0.0655} = 7328.244 \text{ kN/m}$$

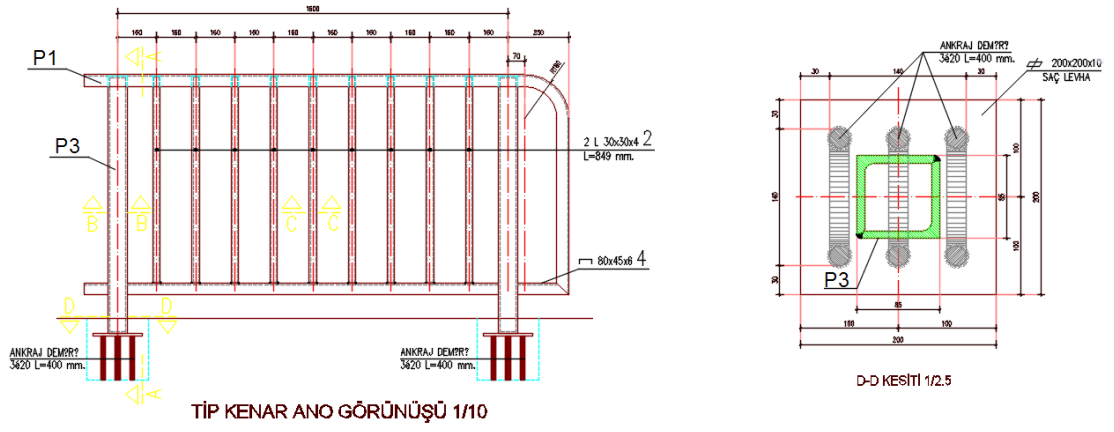
3.1.1.3. Korkuluklar

Taşıtların yoldan dışarıya çıkmaların ya da bölünmüş yollarda diğer platforma girmelerini önlemek amacı ile gerekli kesimlerde platform dış kenarlarına konan engellerdir. Korkuluk beton, w kesitli çelik ray ve çelik halat gibi malzemelerden yapılmaktadır. Köprülerde, kara yollarda, üstgeçit ve altgeçitlerde özel yaya köprü otoyol korkulukları kurulmaktadır. Trafik güvenliğini ve yayaların güvenliği sağlamakta ve ayrıca arabaların bu yapılardan yana çıkmasını önlemektedir.

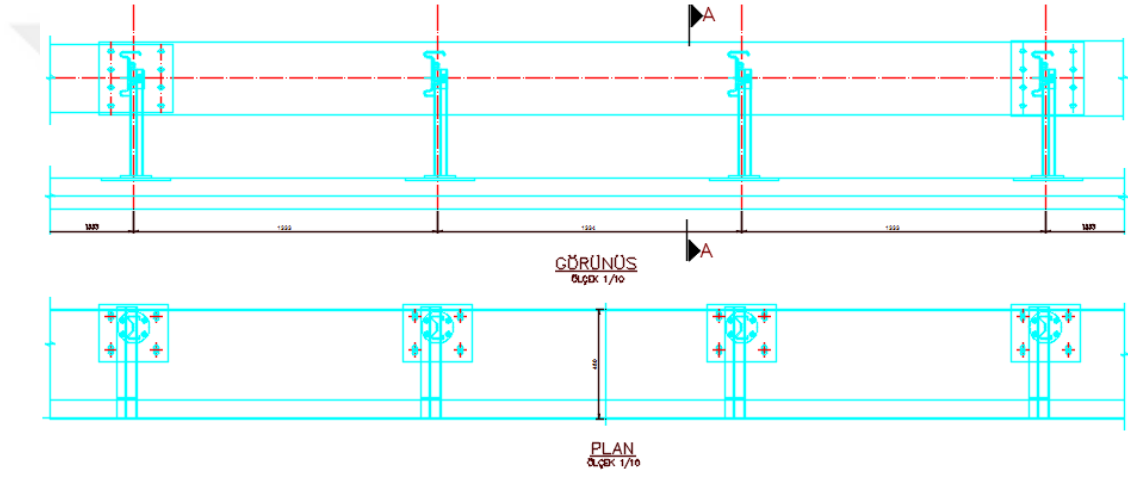


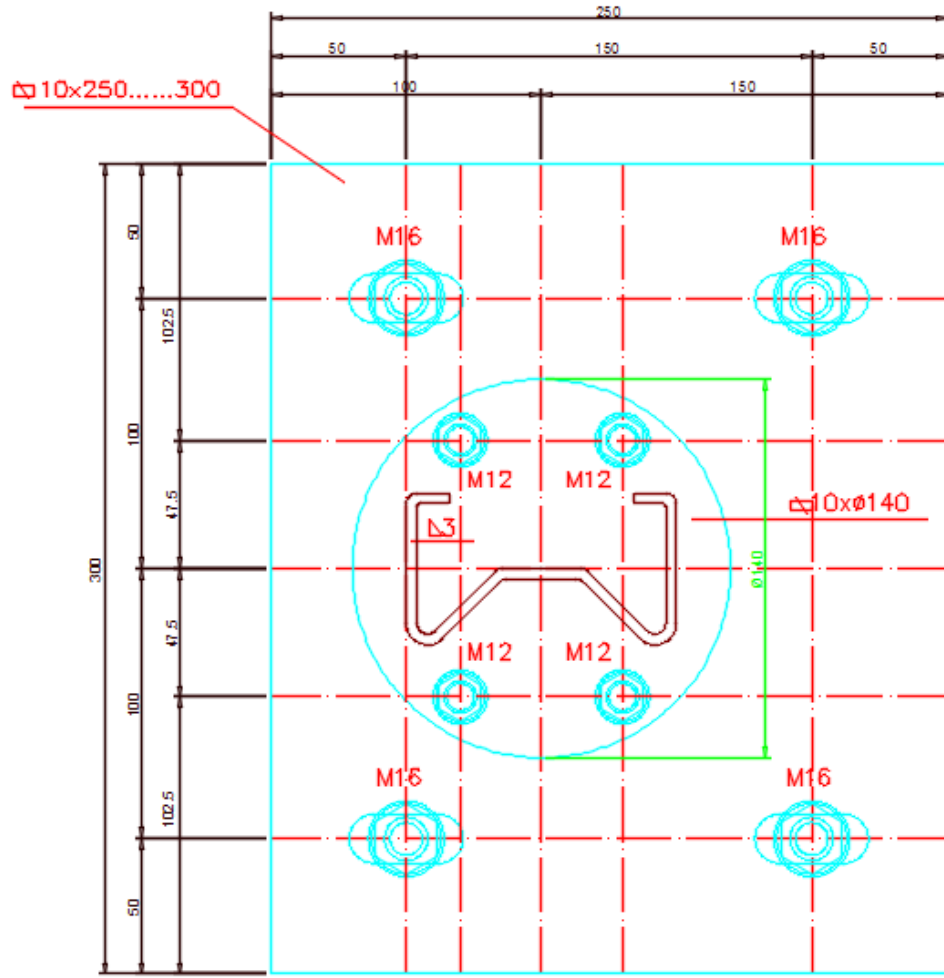
Şekil 3.6. Yaya ve oto korkuluğu



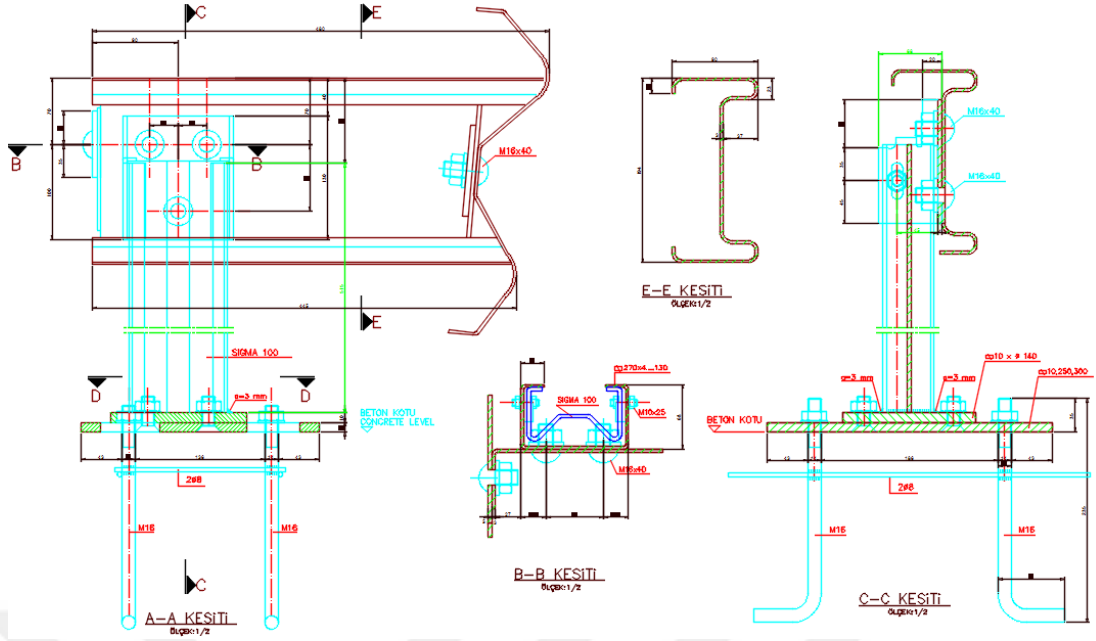


Şekil 3.7. Daha önce yapılmış olan projenin yaya korkuluğu detayları





Şekil 3.8. Daha önce yapılmış olan projenin oto korkuluğu D-D kesitin plan detayları



Şekil 3.9. Daha önce yapılmış olan projenin oto korkuluğu detayları

3.1.2. Alt Yapı Bileşenleri

Köprü altyapısında yer alan bileşenler aşağıda açıklanmıştır.

- Orta ayak
- Kenar ayak
- Donatılı toprak duvarı
- Temel

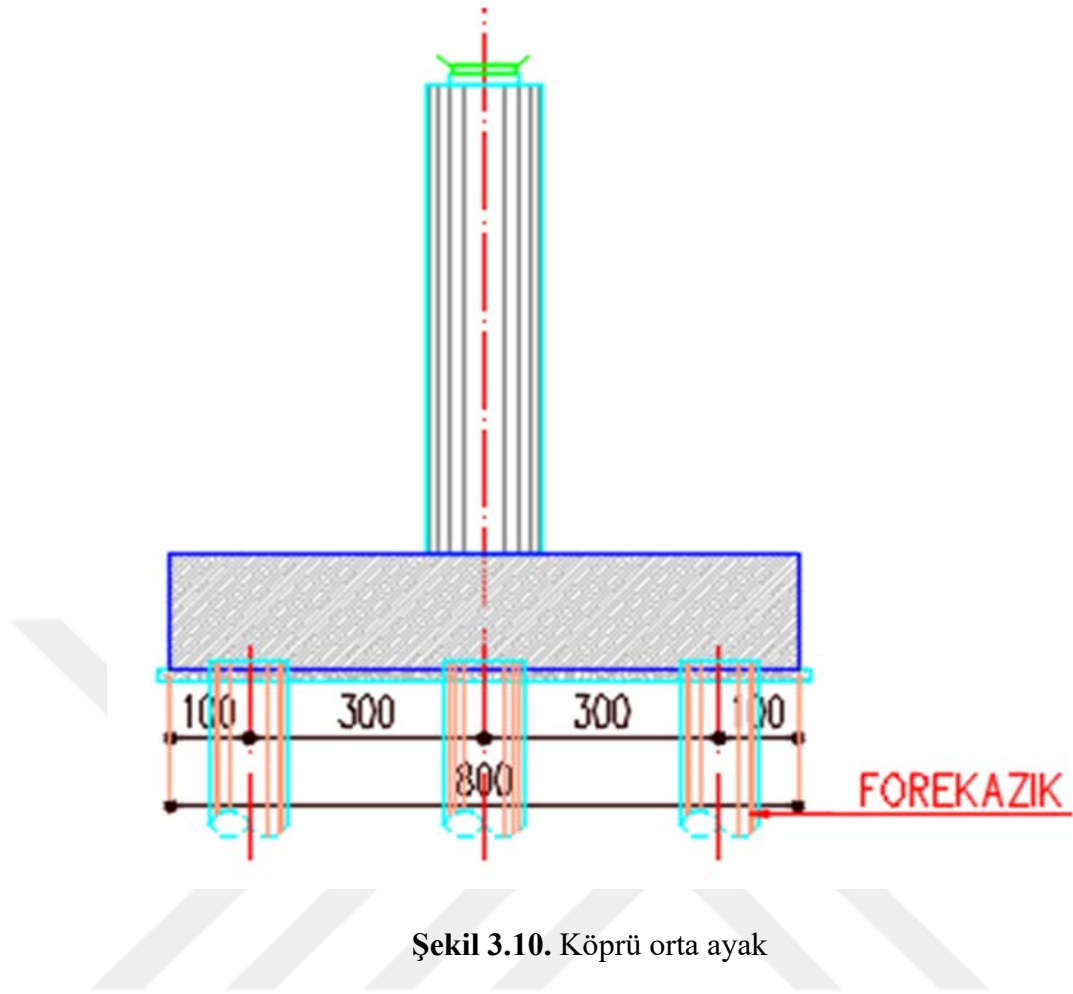
3.1.2.1. Orta Ayaklar (Kolon)

Orta ayaklar veya köprü kolonları, üst yapıyı desteklemek için kullanılan dikey yapılar veya temel yoluyla yeraltı toprağına yük iletimi için sağlanan yataklardır. Üst yapıdan gelen yükü kolonlar tarafından temel üzerine toprağı ve yapıda kazık varsa kazıklara aktıracaktır.

Ortak ayak yapısının temelinde iki işlevi vardır

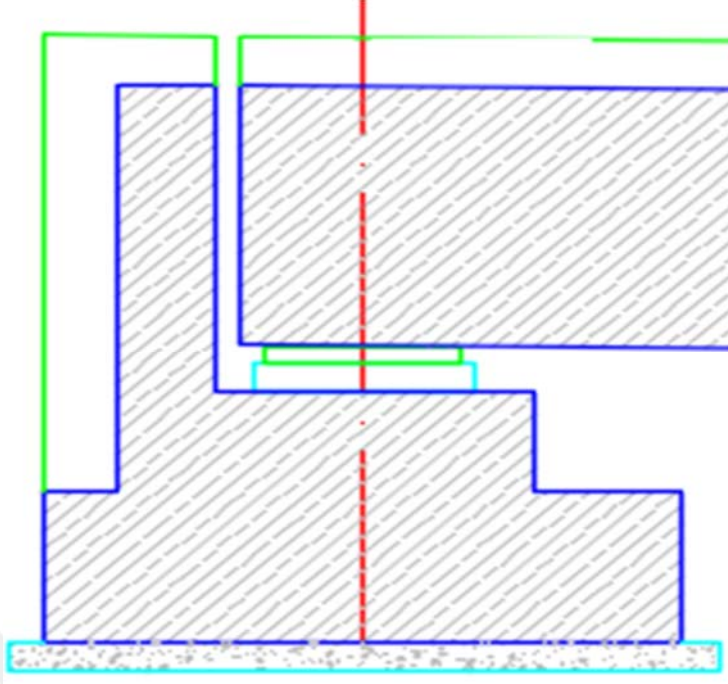
1. Temele yük iletimi
2. Yatay kuvvetlere karşı direnç

Çoğu durumda kolonlar sadece dikey yüklere dayanacak şekilde tasarlanacaktır. Sismik bölgede bulunan alanlarda, yanal yükler için kolon tasarlanması tavsiye edilir. Kolonlar çoğu betonarme olarak yapılacaktır. Köprülerde çelik kolonlar çok az durumlarda kullanacaktır.



Şekil 3.10. Köprü orta ayak

39



Şekil 3.14. Köprü kenar ayağı

B-B KESİTİ 1/25

23 6Ø18/15 ? L=345-385
270-310
23 71Ø18/15 ? L=345-385
270-310

20 71Ø14/15 Etriye L=360
50
15
115
115
50

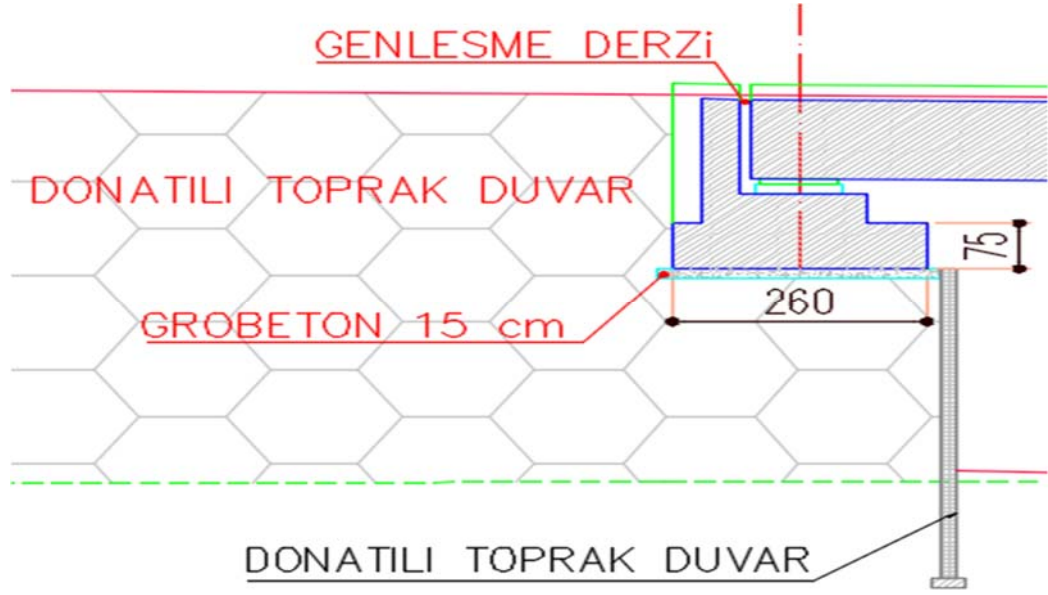
20 71Ø18/15 Üst
10 3Ø18/15 D??
10 6Ø18/15 ?
1 3Ø18/15 Dst
5 2Ø14 Cövde
18 18Ø18/15 Alt
1 18Ø18/15 Alt
10 3Ø18/15 D??
10 6Ø18/15 D??
1 3Ø18/15 Dst
7 2Ø14 Cövde
8 1Ø14/m2 Sehpa
16 6Ø18/15 ? L=300
115
95
95
115
17 8Ø18/15 D?L=300
115

23 71Ø18/15 Üst L=370
250
60
60
60
24 71Ø18/15 Alt L=370
250

9 5Ø14 Sehpa L=240
40
60
60
40

3.1.2.3. Donatılı Toprak Duvar

43



Şekil 3.16. Donatılı toprak duvar

Donatılı toprak duvar tasarımı yaparken üç tasarım yükü dikkate alınmalıdır.

1. Dolgudan gelen zemin basıncı
2. Hareketli yüklerden veya sıkıştırma tesisinden gelen ek ücret
3. Doymuş toprak koşullarından hidrolik yükler

3.1.2.4. Temel

Temel, yükü kolonlardan, kenar ayaklardan, donatılı toprak duvarlarından ve tabakanın üzerindeki dönüşlerden iletmek için yapılan yapıdır. Köprü yapıları için sağlanan temel, su hareketinden dolayı sürtünmeyi önlemek veya baltalama riskini azaltmak için yeterince derindir.

Köprü ayaklarının temeli genel olarak iki kısma ayrılır

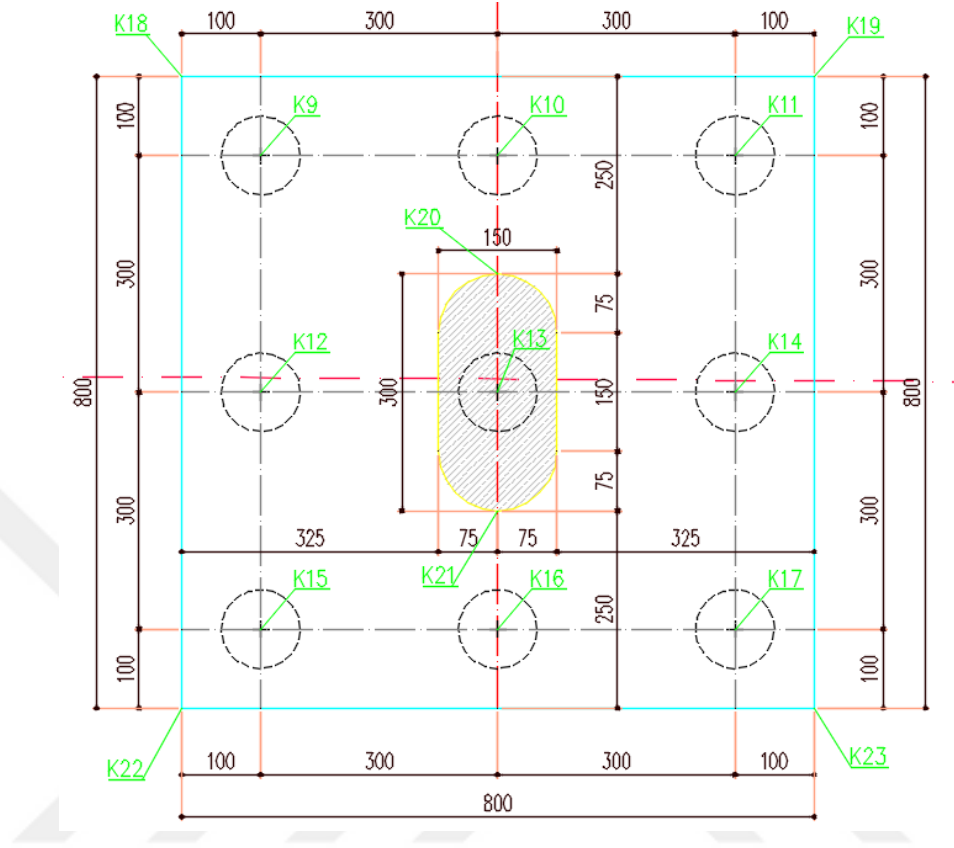
1- Yüzeysel temeller

Yüzeysel temeller daha sağlam zeminlerde yapılar eğer derin temel ve ya fore kazı yapılmasını gerek duyulmazsa o zaman yüzeysel temeller yapılır. Temel tipi seçilmesini geoteknik mühendisleri zemini inceledikten sonra karar verecektir.

2- Derin temeller

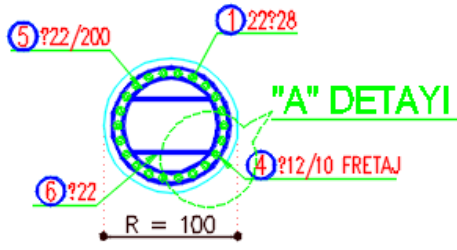
Derin temeller daha çok gevşek üst zemine köprü yüklerini taşıtmayarak daha derinde yer alan sağlam zemine ve ya ana temel kayasına yükleri taşıtan kazıklı temellerdir. Bu çalışmada temel tipi derin temel olarak seçilmiştir. Köprü temeli

(1.5m×8m×8m) ve her kolon temelinde 9 adet toplam 27 adet Fore kazık yapılmıştır. Fore kazıklar, 25m derinliğinde ve $\phi 1$ m çapında yapılmıştır.

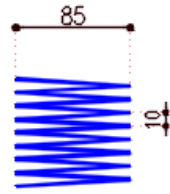


Şekil 3.17. Temel aplikasyon planı

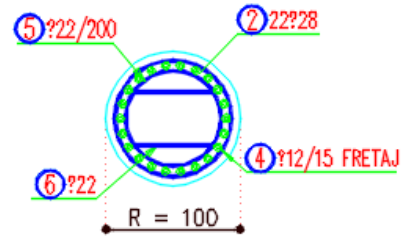
Daha önce yapılmış olan projenin kazık donatı detayları



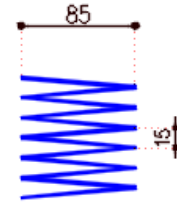
A-A KESİTİ 1/50



4 12/10 FRETAJ
(L=213.78)

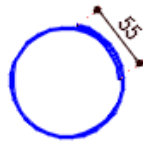


B-B KESİTİ 1/50



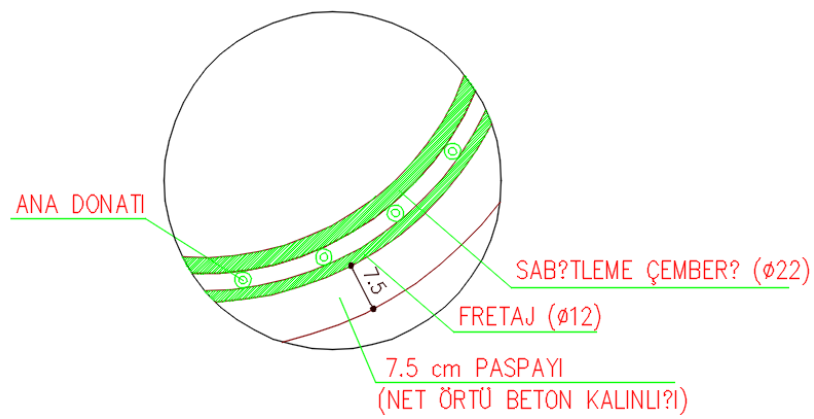
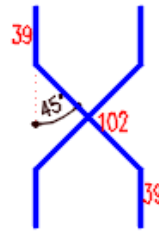
4 12/15 FRETAJ
(L=301.33)

5 11 22/200 L=300



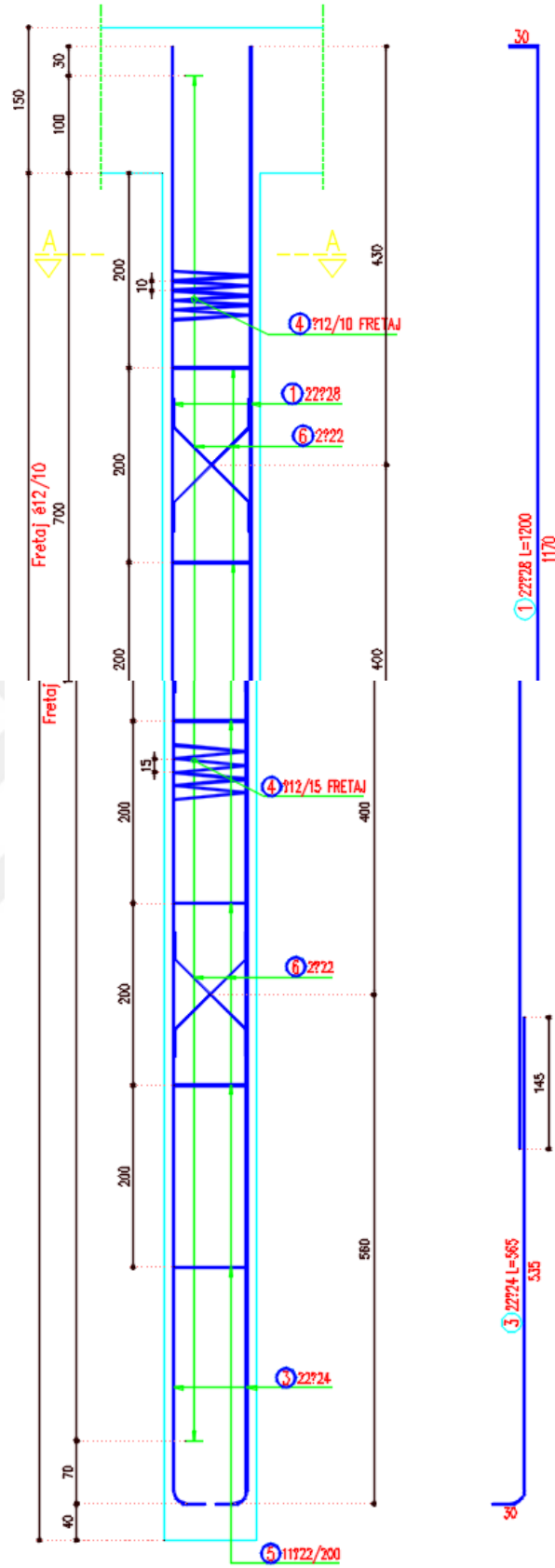
(DI? ÇAP = 78 cm.)
KAZIK DONATILARINI SAB?TLEME ÇEMBER?

6 5*22 L=180



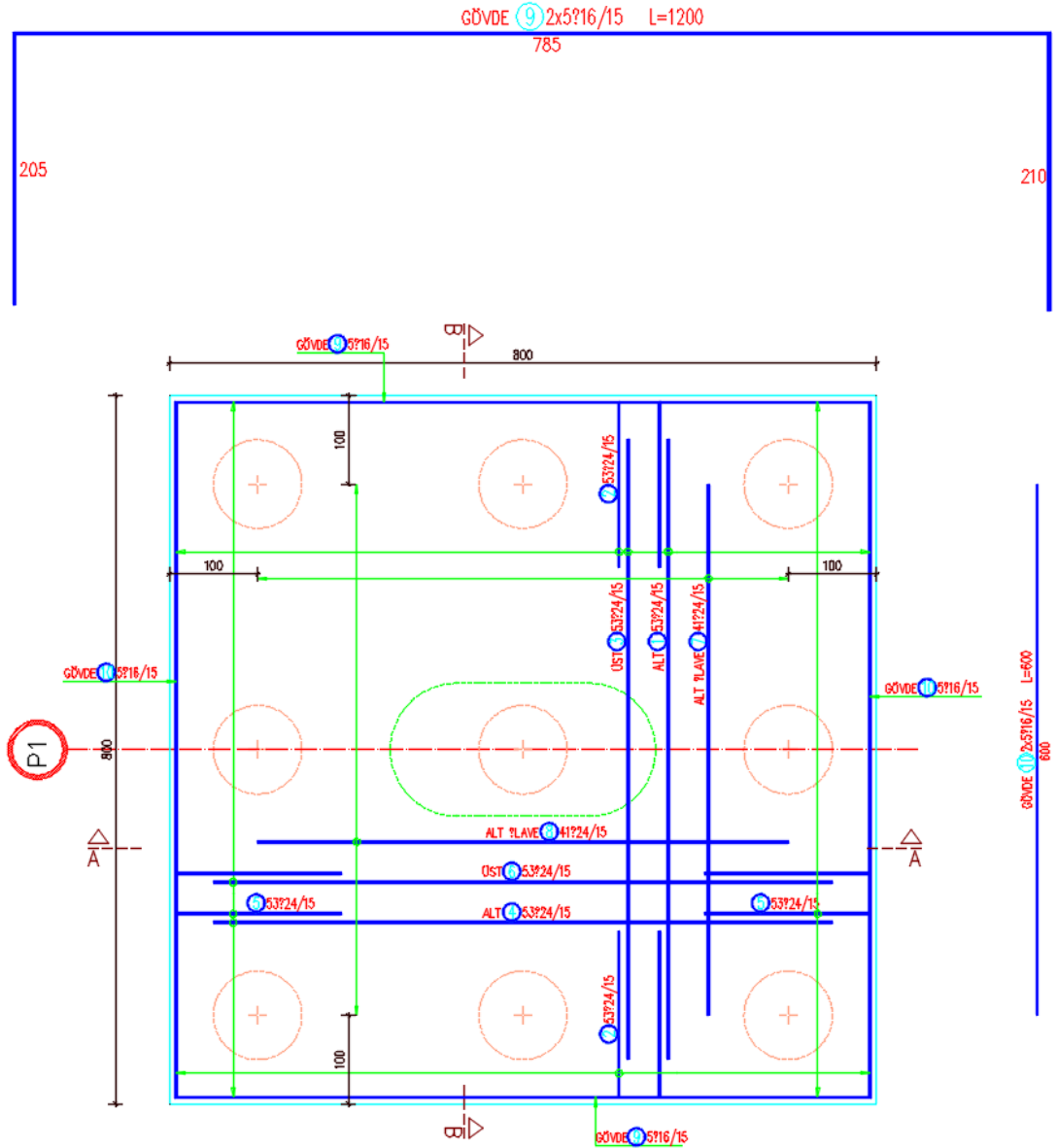
"A" DETAYI 1/10

Şekil 3.18. Daha önce yapılmış olan projenin kazık donatı detayları



Şekil 3.19. Daha önce yapılmış olan projenin kazık donatı detayları 1/50

Daha önce yapılmış olan projenin temel donatı detayları



Şekil 3.20. Daha önce yapılmış olan projenin temel donatı detayları

ÖZKUL ve ark. çalışma kapsamında, yerinde dökme argermeli sürekli köprü uygulamaları ve avantajları üzerinde çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmada, ardgermeli yerinde dökme sürekli tabliye köprülerin ve öngerilmeli prekast köprülerin karşılaştırılması yapılmış ve ardgermeli yerinde dökme yönteminin avantajları örnekleri ile sıralanmıştır. İnşa aşamasında olan bir köprü örneği ele alınarak iki yöntem arasında malzeme miktarlarının sayısal kıyaslaması yapılmıştır. Ardgermeli sürekli tabliye sisteminin kullanılması, malzeme miktarı ve yapı ağırlığı açısından %30 oranında azalma sağlamaktadır.

ÖZEL, tez çalışmasında, CSiBridge programı kullanarak betonarme köprünün sismik analizi yapmıştır ve D/C (talep/kapasite) oranları elde etmek için spektrum analizi yapmıştır. Sonuç olarak, 1'in kritik değerinden daha az olduğu bulunmuştur. Özellikle her iki Bentler (Bents) için, $D/C = 0.47$ ve boyuna $D/C = 0.81$ olarak bulunmuştur. Bir deneme olarak model analiz sonuçlarının karşılaştırılmasında frekans ve periyot değerlerinin de beklenen ve geçerli olduğu belirlenmiştir.

UĞUR ve ark., tez çalışma kapsamında, ANSYS yazılımı ile köprü tasarımı menüsü yardımı ile tek açıklıklı, basit mesnetli, boşluklu betonarme bir plak köprünün üst yapı analizi yapmıştır. Yapılan analizin uygunluğu Guyon-Massonet yöntemi ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Kıyaslama sonucu geliştirilen modelin uygunluğuna karar verilmiştir.

E. TURES, tez çalışma kapsamında, CSiBridge16 versiyonu kullanarak spektrumu analizi (FR-RSA) approximation method (yaklaşım yöntemi), kullanarak uygun sonuçları elde edilmiştir.

AKTAŞ, yüksek lisans tez çalışmasında, Öngerilme kirişli bir köprü tasarımı ve performansının değerlendirilmesi adı verilen, AASHTO–2002 yönetmeliğine göre tasarlanmıştır. Tasarımı yapılan köprünün deprem performansının değerlendirilmesi ise CALTRANS yönetmeliğine göre yapılmasını gözlemlenmiştir.

Akoğul ve ark., Çalışmasında Türkiye'deki betonarme köprü ve viyadüklerin AASHTO'ya göre depreme dayanıklı tasarımına ilişkin koşullar incelenmiştir. Özellikle depreme dayanıklı köprü tasarım aşamalarındaki belirsizlikler açıklanmaya çalışılmışlar, AASHTO koşullarının uygulanmasında karşılaşılan sorunlara çözümler geliştirilmiştir. Çalışma, tasarım aşamasında elastomer mesnetlerin modellenme biçiminin deprem davranışına olan etkisine odaklanmıştır. Çalışmada elastomer mesnetlerin gerçek bir köprü örneği üzerindeki etkileri incelemişlerdir. Elastomersiz, elastomerli ve basit olmak üzere üç ayrı model çözmüşlerdir.

SAFAEİ, yüksek lisans tez çalışmasında bir prekast kirişli betonarme köprünün farklı açıklıklara göre, AASHTO 2002 şartnamesine uygun, SAP2000 programını kullanarak analizi ve ön tasarımı yapılmıştır. Analiz ve tasarım sürecinde temellerin üst yapıya etkisini ihmal etmiş ve modellerde temeller ankastre mesnet tanımlanmıştır. Özellikle 3 modelde de aynı tip elastomer mesnet kullanılıp, “Sismik

Tasarım” doğrultusunda “Çok Modlu (24 mod) Spektral Analiz Yöntemi” ve SAP2000 analiz programı kullanılarak belirlenmiştir. Spektral ivme periyot eğrisi modele göre çizilip, deprem yükü etkisi altında düşey, yatay, burulma ve dönme rijitlikleri hesaplandıktan sonra farklı modların etkisi modellerde uygulanmıştır.

Tez kapsamında, Bridge Superstructure Design Russian Bridge Code SNiP 2.05.03-84, Yerinde döküm betonarme köprü örnek projesi CSİ Bridge programı kullanarak yapılmıştır.

Bu tez kapsamında, Bridge Seismic Design Automated Seismic Design of Bridges AASHTO Guide Specification for LRFD Seismic Bridge Design, CSiBridge’i kullanarak bir köprü örnek projesi tasarımı yapılmıştır. Köprü tasarım için gerekli ilk adımları, ve sismik tasarımı detaylı olarak anlatılmıştır.

FARHAD, tez çalışma kapsamında, asma ve eğik kablo askılı köprülerin CSİ Bridge programı yardımı ile farklı açıklıklarda ve farklı malzemelerle modellenerek analizi ve tasarımı yapılmıştır. Köprülerin ana açıklığı 250, 500, 750, 1000, 1500 ve 2000 metre kullanılmıştır. Köprü tabliye malzemesi çelik ve betondan seçilmiştir. Köprü tabliye genişliği sabit olarak 27 metre kullanılmıştır. Modellenen köprü sistemlerine AASHTO LRFD standartlarına uygun olarak trafik, hareketli yük, rüzgâr yükü vb. yüklemeler tatbik edildikten sonra sistemin analiz ve tasarımı gerçekleştirmiştir. Asma ve eğik kablo askılı köprü sistemlerinin CSiBridge programı ile toplam 24 adet köprü modellenmesi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre en uygun ve en ekonomik köprü tipinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonunda; 250 metre açıklık için beton tabliyeli eğik kablo askılı köprüler ekonomik çakarken, 2000 metre için ise çelik tabliyeli asma köprüler ekonomik sonuçlar vermektedir.

4. PROJE

4.1. Köprü Genel Bilgisi

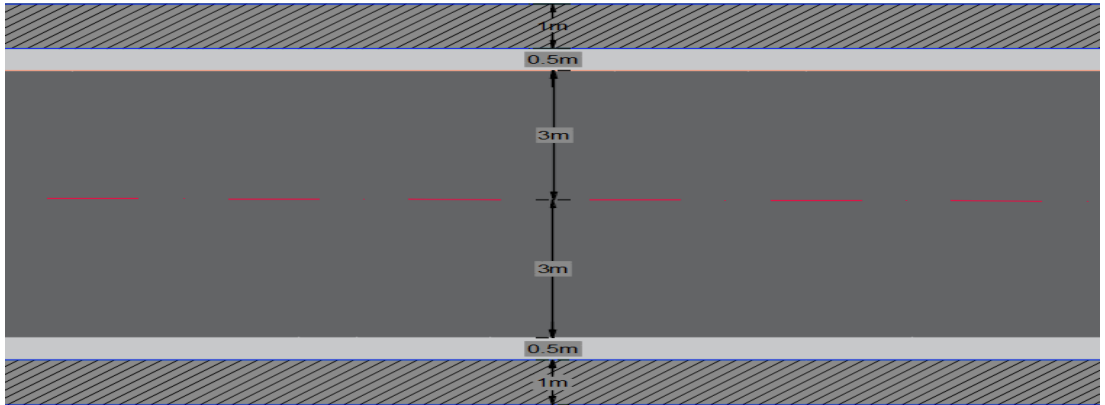
Manisa merkezde bulunan yerinde döküm betonarme köprüsü, 4 açıklıklı olup toplam uzunluğu 92 metredir. Köprü aks açıklıkları eşit ve 23m olarak yapılmıştır. Köprü tabliyesi, 1.3m yüksekliğinde yerinde döküm kiriş olarak tasarlanmıştır. Tabliye genişliği 9m olup 2 adet tek yönü 3m genişliğindeki olan şeritlerden ve 1m genişliğindeki olan kaldırımlardan oluşmaktadır. Kiriş üzerinde 6cm kalınlığında asfalt kaplama mevcuttur. Köprüde 3 adet orta ayaklar, sırasıyla 6.436m, 6.196m ve 5.506m boyutları olan kolonlardan oluşturulmuştur. Her orta ayak temelinde 9 adet 1m çapı olan fore kazıklar yapılmıştır. Kazık uzunluğu 25m olarak seçilmiştir. Köprünün kenar ayakları ise mesnetler ile bağlamıştır.

4.1.1. Köprü Planı

Bu çalışmada köprünün şerit sayısı 2 ve tek yönüdür. Genişlik ise aşağıdaki Tablo 4.1’de göstermektedir.

Tablo 4.1. Köprü planı detayı

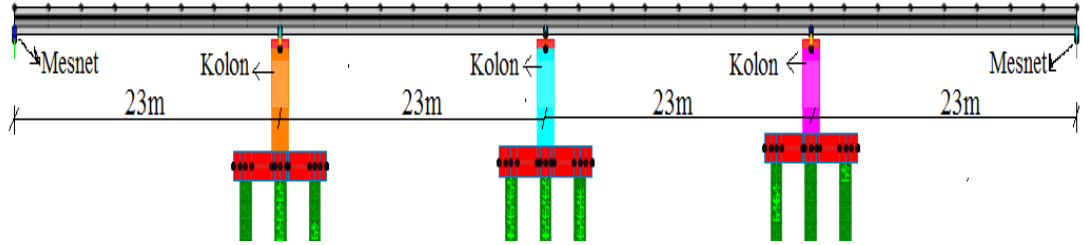
	Toplam genişlik (m)	Toplam uzunluk (m)
Platform	9	92
Şerit	3	92
Kaldırım	1	92



Şekil 4.1. Köprü planı

4.1.2. Köprü Profili

- Toplam uzunluk: 92m
- Toplam genişlik: 9m



Şekil 4.2. Köprü profili

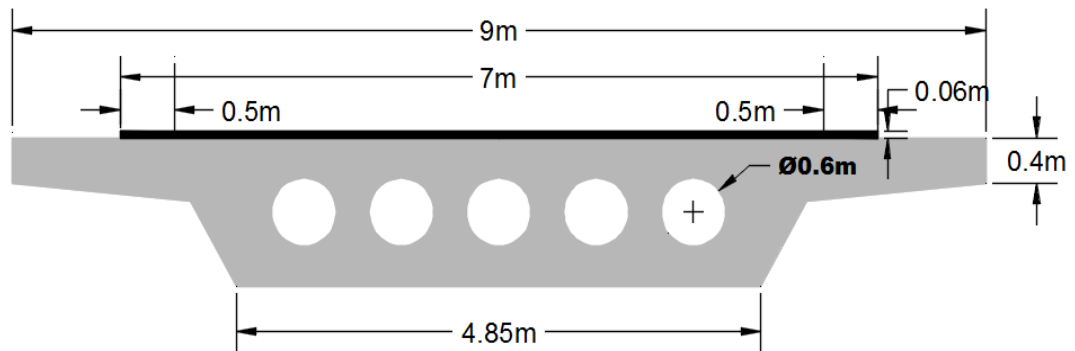
4.2. Yapısal Bileşenler

4.2.1. Köprü Üstyapı

4.2.1.1. Yerinde Döküm Kirişi

Köprü tabliyesi, yerinde döküm betonarme kiriş olarak tasarlanmıştır. Yerinde döküm kirişin toplam yükseklik 1.30m ve toplam genişlik ise 9m olarak yapılmıştır. Köprü kirişi dairesel boşluklu olarak tasarlanmıştır ve kiriş içinde 5 adet daire her birinin çap ($\phi=60\text{cm}$) olarak yapılmıştır. Kiriş üzerinde 6cm kalınlığında asfalt kaplama mevcuttur. Yerinde döküm kiriş kesit detayı Şekil 4.3'te göstermektedir.

A_p	: En Kesit Alanı	$A_p = 7.3776 \text{ m}^2$
I_{xp}	: Atalet Momenti	$I_{xp} = 1.1796 \text{ m}^4$



Şekil 4.3. Yerinde döküm kirişin en kesiti

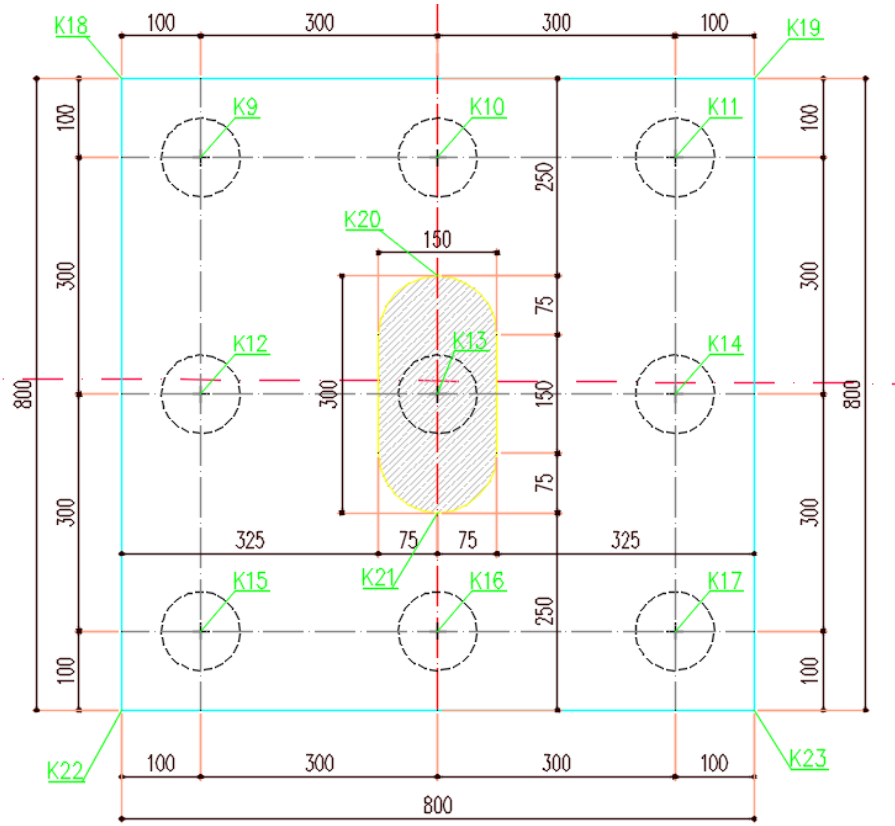
4.2.2. Köprü Altyapı

4.2.2.1. Kolon, Temel

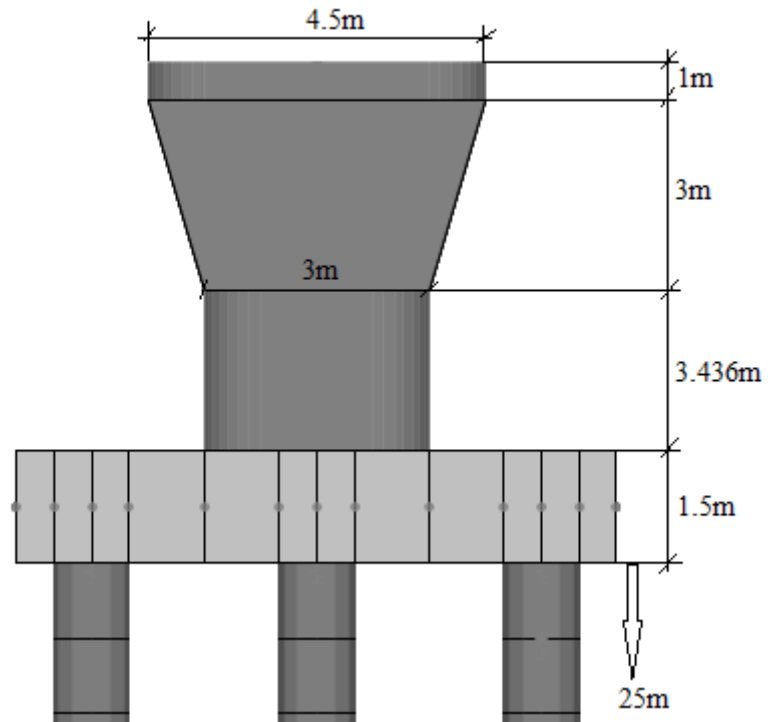
Köprüde toplam 3 adet başlık kiriş ($1\text{m} \times 1.5\text{m} \times 4.5\text{m}$) ve 3 adet farklı yükseklikte tablo 4.2’de görüldüğü gibi kolon yapılmıştır. Üst yapıdan gelen yükler kolonlar tarafından temele ve kazıklara aktırılmaktadır. Köprünün temeli ise ($1.5\text{m} \times 8\text{m} \times 8\text{m}$) ve her kolon temelinde 9 adet toplam 27 adet 25m derinlik ve $\phi 1\text{m}$ çapında fore kazık yapılmıştır ve tasarımda kazık kütlesi sıfır alınmıştır.

Tablo 4.2. Kolonlar

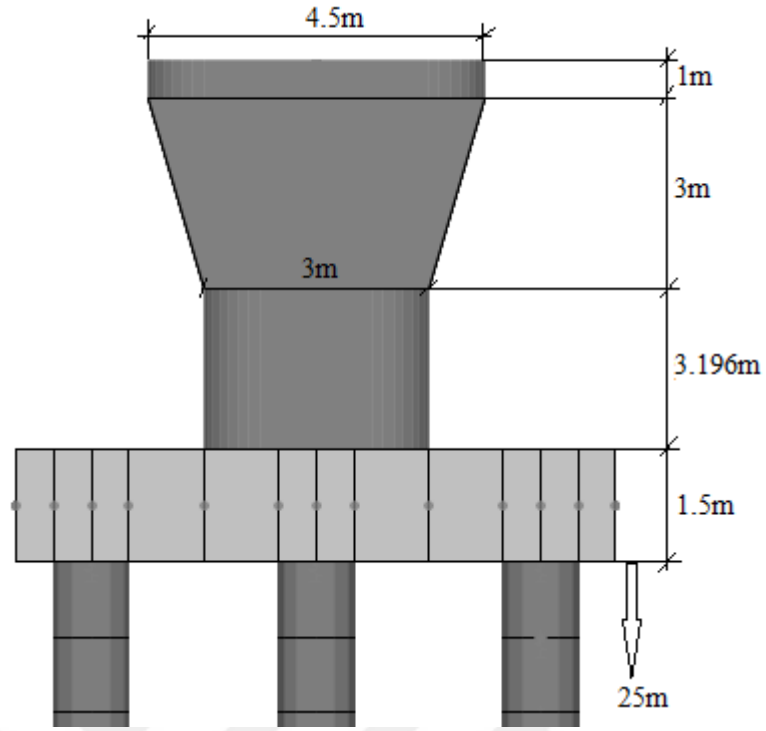
Kolon	Alt kesit (m)	Üst kesit (m)	Yükseklik (m)		Toplam yükseklik
			Alt	Üst	
1	$1.5\text{m} \times 3\text{m}$	$1.5\text{m} \times 4.5\text{m}$	3.436m	3m	6.436m
2	$1.5\text{m} \times 3\text{m}$	$1.5\text{m} \times 4.5\text{m}$	3.196m	3m	6.196m
3	$1.5\text{m} \times 3\text{m}$	$1.5\text{m} \times 4.5\text{m}$	2.506m	3m	5.506m



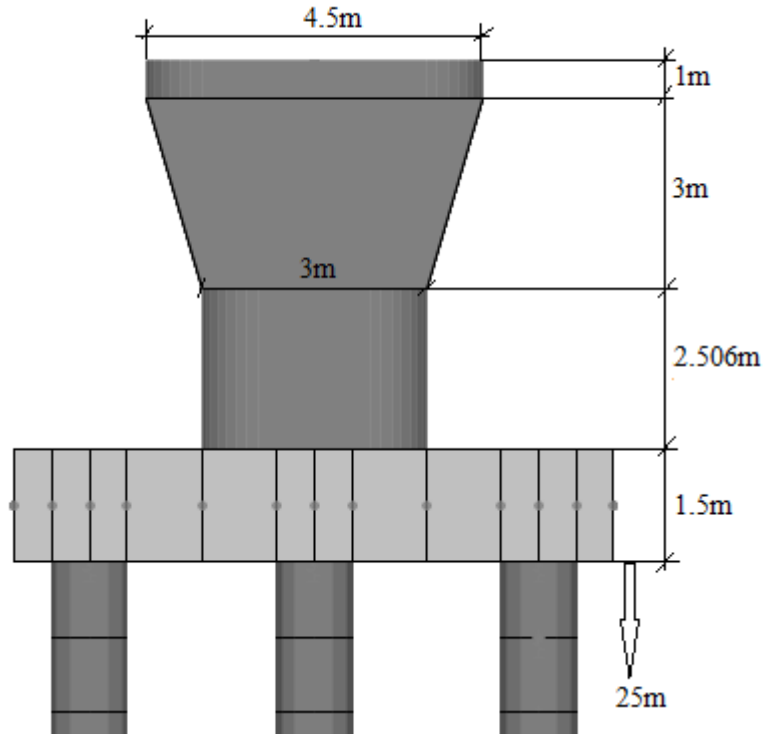
Şekil 4.4. Temel aplikasyon planı



Şekil 4.5. Kolon1 detayı



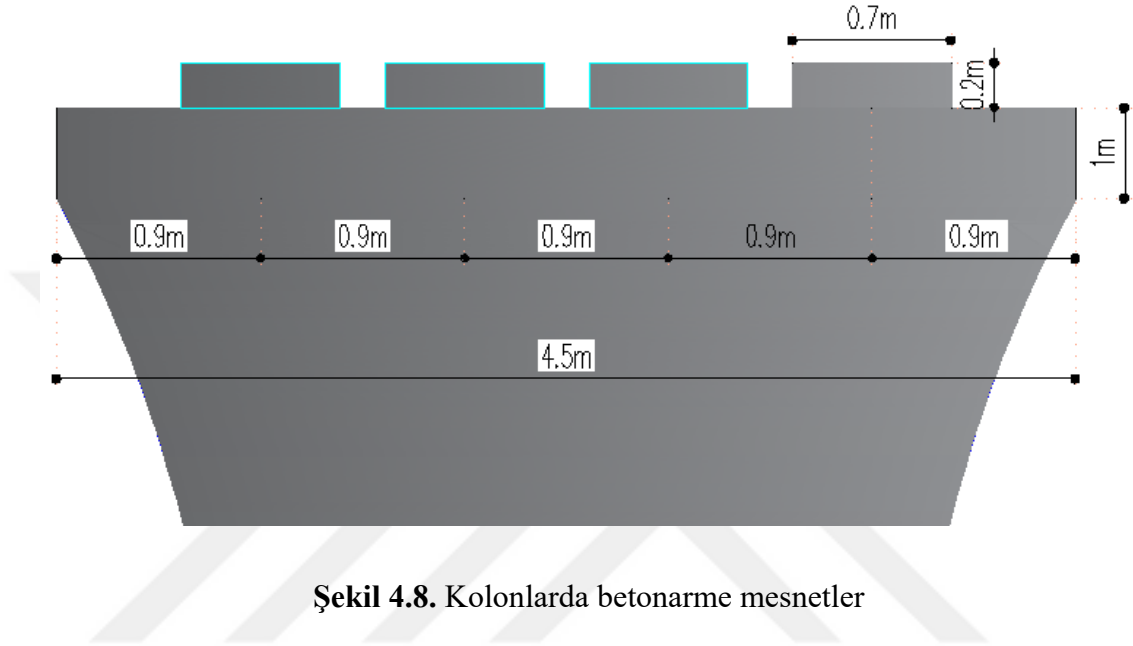
Şekil 4.6. Kolon2 detayı



Şekil 4.7. Kolon3 detayı

4.2.2.2. Köprüde Betonarme Mesnetler

Köprünün her orta kolonunda 4 adet, kenar ayaklarında ise 3 adet toplam 18 adet betonarme mesnet yapılmıştır. Bu mesnetler yerinde döküm kiriş ve başlık kiriş arasına yerleştirilmiştir. Mesnetler 0.9m mesafe ile yapılmıştır. Köprü mesnetleri aşağıda Şekil 4.8’de gösterilmektedir. Mesnetler hakkında daha fazla bilgi Bölüm 3.1.1.2’de ele alınmıştır.



Şekil 4.8. Kolonlarda betonarme mesnetler

4.3. Malzeme

Köprüde kullanılmış olan beton ve betonarme donatısına ait bilgiler aşağıda açıklanmıştır. Bu çalışmada beton elastisite modülü, denklem 4.1’de [AASHTO (2002),8.7]’ye göre hesaplanmıştır.

$$E_c = 0.043 \times \gamma^{1.5} \times \sqrt{f_c} \quad (4.1)$$

Burada; (γ), beton birim hacim ağırlığını; (f_c), beton basınç dayanımını göstermektedir. Yapılan hesaplarda, normal beton birim hacim ağırlığı ise 2500 Kg/m³ değeri alınmıştır.

1- Yerinde döküm kiriş

Beton sınıfı : C35/45

Karakteristik silindirik basınç dayanımı : $f_c = 35$ MPa

Elastisite modülü : $E_c = 31798$ MPa

$$E_c = 0.043 \times \gamma^{1.5} \times \sqrt{f_c} \quad : E_c = 0.043 \times 25^{1.5} \times \sqrt{35} = 31798 \text{ MPa}$$

2- Kolon, Başlık kiriş ve Temel

Beton sınıfı	: C30/37
Karakteristik silindir basınç dayanımı	: $f_c = 30 \text{ MPa}$
Elastisite modülü	: $E_c = 29440 \text{ MPa}$
Beton birim hacim ağırlığı	: $\gamma = 25 \text{ kN /m}^3$
$E_c = 0.043 \times \gamma^{1.5} \times \sqrt{f_c}$	: $E_c = 0.043 \times 25^{1.5} \times \sqrt{30} = 29440 \text{ MPa}$

3- Fore kazık

Beton sınıfı	: C25/30
Karakteristik silindir basınç dayanımı	: $f_c = 25 \text{ MPa}$
Elastisite modülü	: $E_c = 26875 \text{ MPa}$

4- Betonarme çeliği

Köprünün bütün yapı kısımlarında S420 betonarme çeliği kullanılmıştır.

Çelik Sınıfı	: S420
Çelik basınç akma gerilmesi	: $f_y = 420 \text{ MPa}$
Çelik çekme akma gerilmesi	: $f_{sy} = 420 \text{ MPa}$
Elastisite modülü	: $E_s = 200000 \text{ MPa}$

Köprünün kiriş ve diğer betonarme elemanlarında pas payı 5cm, fore kazık elemanlarında ise 7cm olarak seçilmiştir.

4.4. Yükler

4.4.1.Sabit Yükler

Yapının taşıyıcı sistemini oluşturan elemanların öz ağırlıkları ile üstyapıyı oluşturan, asfalt kaplama, kaldırım, korkuluk ve diğer bileşenlerin kendi ağırlıkları zati yük olarak değerlendirilir. Köprü zati yükü (DC), köprüye etki eden sabit yükler, asfalt kaplamalar, kaldırım ve korkuluk yükleri (DW) ile adlandırmaktadır. AASHTO 3.3.6'da verilen bazı malzemeleri ait birim hacim ağırlıkları verilmiştir.

Demirli beton birim hacim ağırlığı (DC)	: 25 kN/m^3
Demirsiz beton birim hacim ağırlığı (DW)	: 20 kN/m^3
Asfalt kaplama birim hacim ağırlığı (DW)	: 23 kN/m^3
Korkuluklar (DW)	: 2.25 kN/m

4.4.2.Sabit (Ölü) Yüklerin Hesabı

Yerinde döküm kirişin zati ağırlığı

$$W_{G1} = A (\text{kesit alanı}) \times \gamma (\text{betonun birim hacim ağırlığı}) \times \text{kiriş sayısı}$$

$$W_{G1} = 7.3776 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kN/m}^3 \times 1 = 184.44 \text{ kN/m}$$

Yerinde döküm kirişe etkiyen ilave sabit (ölü) yükler

$$\text{Kaldırımlar} : 2 \text{ m} \times 0.20 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 10 \text{ kN/m}$$

$$\text{Asfalt kaplama} : 7 \text{ m} \times 0.06 \text{ m} \times 23 \text{ kN/m}^3 = 9.66 \text{ kN/m}$$

$$\text{Korkuluklar} : 4 \text{ Adet} \times 2.25 \text{ kN/m} = 9 \text{ kN/m}$$

$$\text{Toplam ilave yükü} : W_{G2} = 28.66 \text{ kN/m}$$

$$\text{Toplam sabit(ölü) yükü} (W_G = W_{G1} + W_{G2}) = 184.44 \text{ kN} + 28.66 \text{ kN} = 213.1 \text{ kN/m}$$

Tablo 4.3. Sabit yükler nedeniyle moment değerleri

Mesafe (m)	Ölü (zati) yükü	Yerinde döküm kirişe etki eden sabit yükler		
	Kiriş	Kaldırım	Korkuluk	Asfalt
	Moment (kNm)	Moment (kNm)	Moment (kNm)	Moment (kNm)
0	0	0	0	0
2.875	4237.829	227.164	204.448	219.440
5.75	6979.178	373.043	335.739	360.359
8.625	8196.022	436.266	392.639	421.432
11.5	7888.359	416.832	375.149	402.660

Tablo 4.4. Sabit yükler nedeniyle kesme değerleri

Mesafe (m)	Ölü (zati) yükü	Yerinde döküm kirişe etki eden sabit yükler		
	Kiriş	Kaldırım	Korkuluk	Asfalt
	Kesme (kN)	Kesme (kN)	Kesme (kN)	Kesme (kN)
0	-1748.907	-93.865	-84.479	-90.674
5.75	-688.381	-36.365	-32.729	-35.129
11.5	372.144	21.135	19.021	20.416
17.25	1432.67	78.635	70.771	75.961
23	2493.196	136.135	122.521	131.506

4.4.3. Hareketli Yükler

Hareketli yükler, tasarım kamyon yükü, şerit yükü ve yaya yüklerinden oluşmaktadır. Kamyon yüklerinin belirlenmesi için öncelikli köprü şerit sayısının belirlenmesi gerekmektedir. Köprü tasarım şerit sayısı ($TŞ$), Yol genişliği (w) bağlı olarak belirlenmektedir [7].

$$TŞ = w/3600 \text{ (} w; \text{ mm)}$$

$$TŞ = \text{Köprü tasarım şerit sayısı}$$

$$w = \text{Yol genişliği}$$

Tasarımı yapılacak köprüde yol genişliği 7 metre olduğu için öngörülen şerit sayısı 2 olarak bulunmuştur. Kamyon yükleri, aynı anda dolu olma olasılığının düşük olmasından dolayı şerit sayısına bağlı olarak azaltılır. Bu köprünün şerit sayısı 2 olduğu için kamyon yükü azaltma katsayısı 1.00 alınmaktadır(AASHTO 3.6.1.4).

Tablo 4.5. Kamyon yükü azaltma katsayıları

Şerit sayısı	Kamyon Yükü Azaltma Katsayısı
1	1.20
2	1.00
3	0.85
>3	0.65

Türkiye’de ana yollar ve köy yolları için tanımlanan iki tip kamyon yükü bulunmaktadır. Bunlar, H30-S24 ağır yük kamyonu ve H20-S16 köy yolu kamyonlarıdır. Türkiye’de şartlarına göre tanımlanan bu ağır yük kamyonu, AASHTO-LRF’de verilen kamyon yüklerinden yaklaşık 1.5 kat daha ağırdır. Tasarımı yapılacak köprüde belirlenen kamyon yükü H30-S24 sınıfıdır [7].

4.4.4. Dinamik Etki Katsayısı

Dinamik etki katsayısı olarak nominal trafik yükleri için köprüler teknik şartnamesinde belirtilen katsayı alınmıştır. L metre cinsinden bir açıklık uzunluğu olmak üzere, dinamik etki katsayısı aşağıdaki formül ile hesaplanır. Dinamik etki katsayısı (ϕ) bulduktan sonra kamyon ve şerit yükü elde edilir [8]. AASHTO 3.8.2’de verildiği üzere araçların dinamik etki katsayısı, denklem (4.2)’de hesaplanmaktadır.

$$\phi = 1 + \frac{15}{L + 37} \quad (4.2)$$

ϕ = Dinamik etki katsayısı

L = Metre cinsinden bir açıklık uzunluğu

$$\phi = 1 + \frac{15}{L + 37} = \phi = 1 + \frac{15}{23 + 37} = 1.25 \text{ olarak hesaplandı (AASHTO 3.8.2).}$$

Tablo 4.6. Tasarımda kullanacak dinamik etki katsayıları

Aks Aralıkları	Mesnet Açıklığı (m)	Dinamik etki Katsayısı (ϕ)
Birinci Açıklık	23	1.25
İkinci Açıklık	23	1.25
Üçüncü Açıklık	23	1.25
Dördüncü Açıklık	23	1.25

4.4.5. Yaya Yüğü (PL)

Tasarımı yapılacak köprüde yaya yüğü 3.6 kN/m² alınmıştır(AASHTO 3.6.1.6).

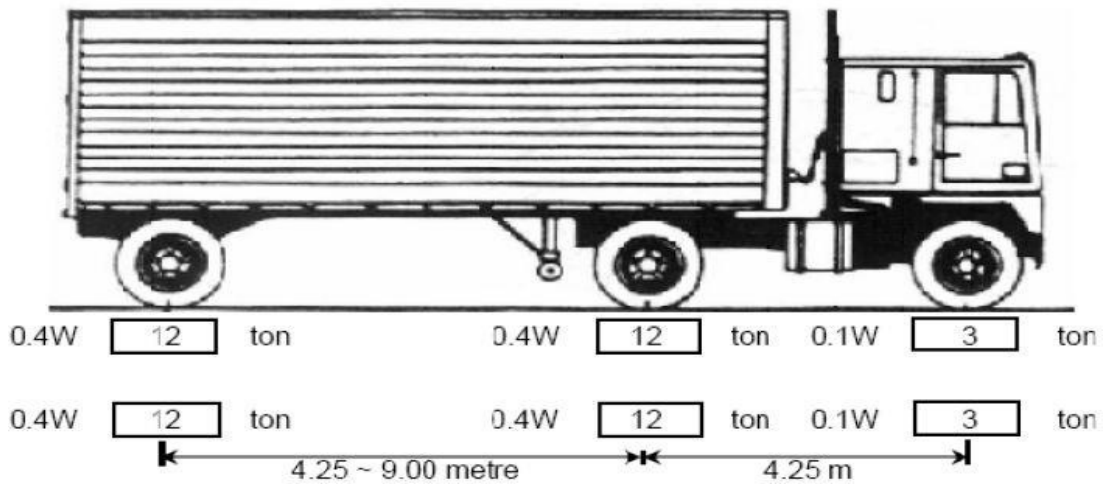
$$(q_y) = 3.6(\text{kN/m}^2) \times \text{Yaya genişliği}$$

$$(q_y) = 3.6(\text{kN/m}^2) \times 2\text{m} = 7.2 \text{ kN/m}$$

$$\text{Yaya genişliği} = \text{Yaya1} + \text{Yaya2} = 1\text{m} + 1\text{m} = 2\text{m}$$

4.4.6. H30-S24 Kamyon Yüğü

Bu çalışmada hareketli yük sınıfı olarak Türkiye’de yaygın olmak üzere, H30-S24 (H iki dingilli bir kamyon ve iki dingilinden intikal eden ağırlık $W = 60\text{kN}$ S ise ona bağlı bir yarım treyler ve tek dingilinden intikal eden $W = 240\text{kN}$ ağırlığını göstermektedir) kamyon yüğü kullanılmıştır. Şekil 4.9’da toplam ağırlığı 540kN olan H30-S24 kamyon yüğü görülmektedir [8].



Şekil 4.9. H30-S24 kamyon yüğü

Yük dağılımı ve titreşim etkileri dikkate alınarak, hareketli kamyon ön ve arka teker yükleri kirişe aşağıda hesaplanan değerlerle etkir.

Yerinde döküm betonarme kiriş olduğu için enine dağılım katsayısı 1 alınacaktır.

$T_{1,2}$ = H30-S24 kamyonun arka tekerliklere gelen yükler

T_3 = H30-S24 kamyonun ön tekerliklere gelen yükü

$P_1 = P_2$: Kamyon arka tekerliğe gelen dönüştürülmüş yükü

P_3 : Kamyon ön tekerliğe gelen dönüştürülmüş yükü

Edk: Enine dağılım katsayısı

ϕ : Dinamik etki katsayısı

$Edk = 1$

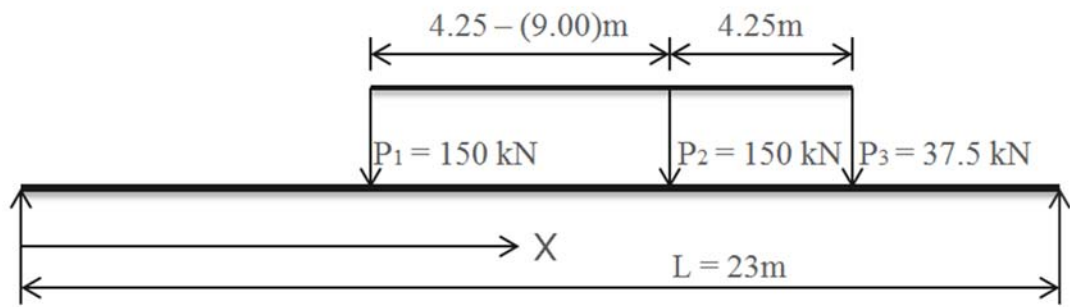
$\phi = 1.25$

$P_{1,2} = P_{1,2} = \phi \times Edk \times T_{1,2}$

$P_1 = P_2 = 1.25 \times 1 \times 120 = 150 \text{ kN}$

$P_3 = P_{1,2} = \phi \times Edk \times T_3$

$P_3 = 1.25 \times 1 \times 30 = 37.5 \text{ kN}$



Şekil 4.10. H30-S24 kamyon dönüştürülmüş yükü

4.4.7. Şerit Yükleme

Gerek standart kamyonların gerekse şerit yüklerinin 3.00 m'lik bir genişliği kapladıkları varsayılır. Hesaplarda bu yükleri yerleştirmek üzere kullanılacak birbirine eşit genişlikteki trafik şeritlerinin sayısı Tablo 4.7'de gösterilmiştir. Her bir şerit yükü, trafik şeridinin birim boyu başına üniform yayılı bir q yükü ile bir tek münferit P yükünden (sürekli açıklıklar için iki münferit yükten) ibaret olup bunlar azami etki doğuracak şekilde yerleştirilir(AASHTO, 2002).

Tablo 4.7. Yol genişliğine göre trafik şeriti sayısı

Yol genişliği (ortada bir röfüt varsa bunun genişliği hariç olmak üzere)	Trafik şeridi sayısı
6.00 m ila 9.00 m	2
9.01 m ila 13.00 m	3
13.01 m ila 16.50 m	4

Standart kamyon veya şerit yüklerinin, en büyük gerilmeleri doğuracak Şekilde, kendi trafik şeritleri içinde herhangi bir konumda oldukları varsayılmalıdır. Her bir şerit yükü, trafik şeridinin birim boyu başına düzgün yayılı bir q yükü ile bir tek tekil Q yükünden (veya sürekli açıklıklar için iki tekil yükten ibaret olup, bunlar en büyük etki doğuracak şekilde yerleştirilmelidir. Gerek tekil yük gerekse düzgün yayılı yükün, şeridin 3.00m genişliğince düzgün olarak yayıldığı varsayılmalıdır(AASHTO, 2002).

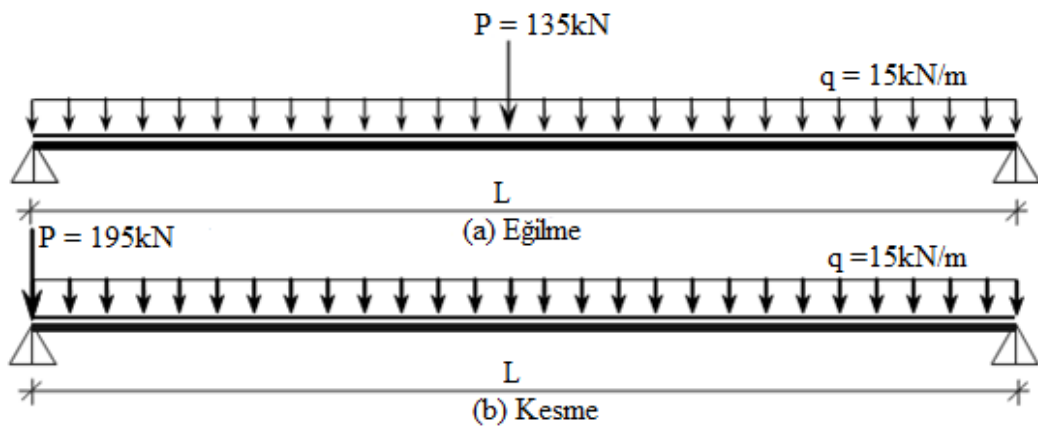
Tablo 4.8. Şerit yük hesabında yük sınıfı

YÜK SINIFI		H30-S24	H20-S16	H15-S12	H10
YÜK AĞIRLIK		30.00 (kN)	20.00 (kN)	15.00 (kN)	10.00 (kN)
P (ton)	Eğilme etkisi için	13.5	9.0	6.8	9.0
	Kesme etkisi için	19.5	13.5	9.8	13.0
q (t/m)		1.5	1.0	0.8	0.5

Eğilme momenti ve kesme kuvvetlerinin hesabı için,

Şekil 4.11’de gösterildiği gibi farklı tekil yükler kullanılmalıdır. Bu tekil yüklerden küçük olanı gerilmelerin özellikle eğilmeden büyük olanı ise gerilmelerin özellikle kesme kuvvetlerinden doğduğu durumlarda kullanılmalıdır.

Şekil 4.11’de H30-S24 kamyon yüküne dönüştürülmüş şerit yüklemesi eğilme ve kesme Hesapları için görülmektedir [12].



Şekil 4.11. Şerit yüklemesi

AASHTO 3.6.1.4'e göre maksimum etkiler birçok trafik şeridinin aynı anda yüklenmesi ile elde edildiği hallerde tam yük ihtimalinin çok zayıf olduğu göz önünde bulundurularak, hareketli yükten doğan etkiler Tablo 4.9'da verildiği şekilde azaltılabilir.

Tablo 4.9. Trafik şeridi azaltma katsayısı

Trafik Şeridi Sayısı	Azaltma Katsayısı
1	1.00
2	0.85
3 veya daha fazla	0.80

ϕ : dinamik etki katsayısı

E_{dk} : Enine dağılım katsayısı

$$E_{dk} = 1$$

$$\phi = 1.25$$

$$P_{\text{şerit1}} = e_{dk} \times \phi \times P_1 = 1.00 \times 1.25 \times 195 = 243.75 \text{ kN (Kesme hesabı için)}$$

$$P_{\text{şerit2}} = e_{dk} \times \phi \times 195 = 1.00 \times 1.25 \times 195 = 243.75 \text{ kN (Kesme hesabı için)}$$

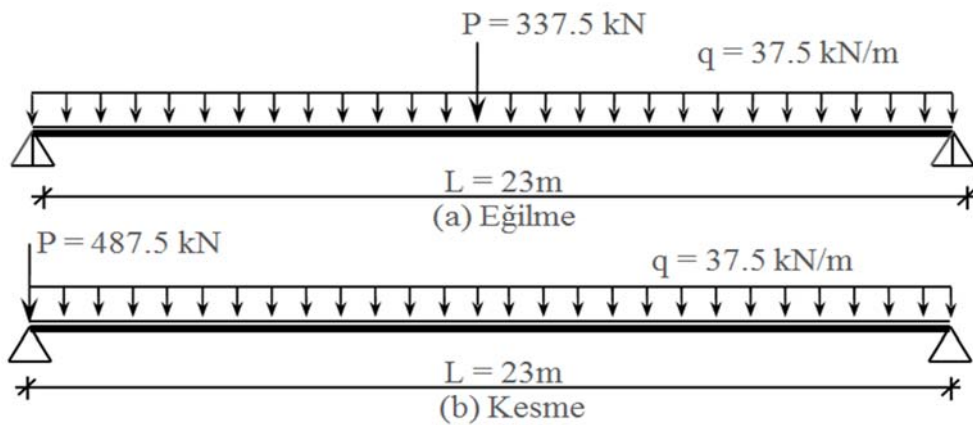
$$\Sigma p_{\text{kesme}} = \text{Şerit sayısı} \times p = 2 \times 243.75 = 487.5 \text{ kN (Kesme hesabı için)}$$

$$P_{\text{eğilme}} = 1.00 \times 1.25 \times 135 = 168.75 \text{ kN (Eğilme hesabı için)}$$

$$\Sigma p_{\text{eğilme}} = \text{Şerit sayısı} \times P_{\text{eğilme}} = 2 \times 168.75 = 337.5 \text{ kN (Eğilme hesabı için)}$$

$$q = e_{dk} \times \phi \times q_1 = 1.00 \times 1.25 \times 15 = 18.75 \text{ kN/m}$$

$$\Sigma q = \text{Şerit sayısı} \times q = 2 \times 18.75 = 37.5 \text{ kN/m (Eğilme ve kesme için yayılı yük)}$$



Şekil 4.12. Şerit dönüştürülmüş yükü

Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.'de Şerit dönüştürülmüş yükü kiriş üzerinde (a) eğilme etkisi için (b) kesme etkisi için elverişsiz yerleşimi göstermektedir.

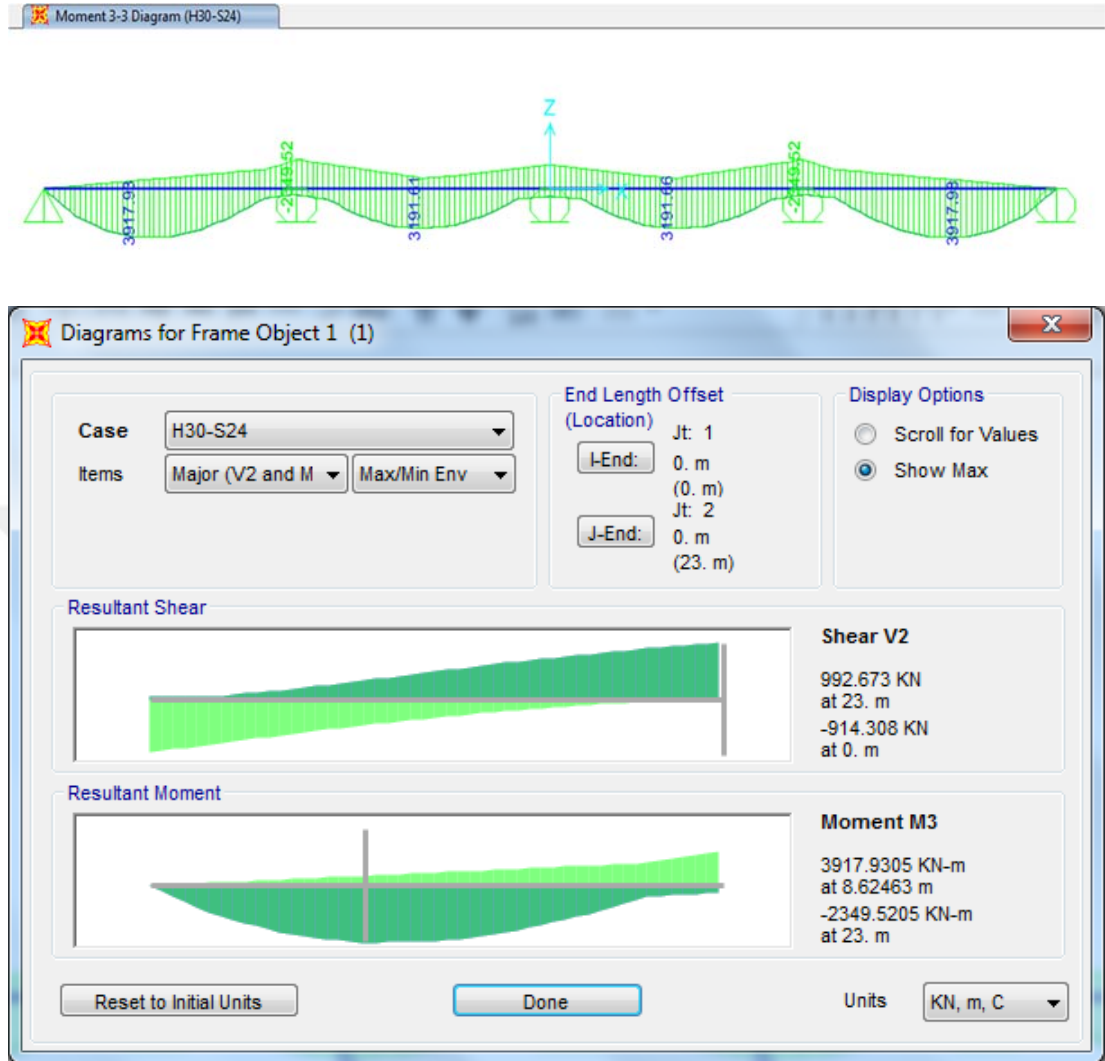
Tablo 4.10. Hareketli yükler nedeniyle oluşan momentler

Mesafe (m)	Kamyon yükü Moment (kNm)	Yaya yükü Moment (kNm)	Şerit yükü Moment (kNm)
0	0	0	0
2.875	2176.269	163.558	1435.881
5.75	3474.466	268.591	2396.894
8.625	4058.293	314.111	2891.281
11.5	4032.989	300.119	2941.319

Tablo 4.11. Hareketli yükler nedeniyle kesme kuvvetleri

Mesafe (m)	Kamyon yükü Kesme (kN)	Yaya yükü Kesme (kN)	Şerit yükü Kesme (kN)
0	70.721	-67.583	60.479
5.75	183.085	-26.183	190.117
11.5	479.122	15.217	387.656
17.25	755.2	56.617	609.634
23	968.635	98.017	819.876

H30-S24 kamyon yük kontrolü



SAP2000 programında köprünün üst yapısı modellenmiş ve sadece kamyon yükü kontrol açısından çözülmüştür. Burada SAP2000 programında 8.625 m noktasında maksimum momenti 3917.93 kNm ve CSI Bridge programında ise 8.625 m noktasında maksimum momenti 4058.293 kNm bulunmaktadır. SAP2000 programında 23 m noktasında maksimum kesme kuvveti 992.673 kN ve CSI Bridge programında ise 23 m noktasında maksimum kesme kuvveti 968.635 kN olarak bulunmaktadır, bu fark mesnetlenmeden kaynaklanmaktadır.

4.4.8. Yük Kombinasyonları

Toplam faktörlü yk(LRFD dk. 3.4.1-1).

$$Q = \eta \sum \gamma_i q_i$$

η : Süneklik, fazlalık ve operasyonel önemi ile ilgili bir faktör

$\eta = 1$ mevcut kest için(LRFD art 1.3.2).

γ_i : Yük faktörler(LRFD Tablo 3.4.1-1).

q_i : Belirtilen yükler

Tasarım için tüm sınır durumları LRFD Tablo 3.4.1-1'den alınmıştır.

Strength I(Dayanım I)

Nihai gücü kontrol etme(LRFD Tablo 3.4.1-1 ve 2).

$$\text{Maksimum } Q = 1.25(DC) + 1.50(DW) + 1.75(LL + IM)$$

$$\text{Minimum } Q = 0.90(DC) + 0.65(DW) + 1.75(LL + IM)$$

Bu yük kombinasyonu, dayanım sınır durumu tasarımı için genel yük kombinasyonudur. Basit açıklıklı köprüler için, maksimum yük faktörü maksimum etki üretir. Bununla birlikte minimum yk faktörleri l yük (DC) için ve l yük ve aşınma yüzey gerilime yükü (DW) hareketli yükün aksine kullanılır.

Service III (Servis III)

Bu yük kombinasyonu 55 mph rüzgarı olan köprülerde ve tüm yükler nominal değerlerinde alınacaktır. Ayrıca betonarme yapılarda çatlak genişliğini ve gerilme kontrol eder.

$$Q = 1.00(DC + DW) + 1.00(LL+IM)(LRFD Tablo 3.4.1-1)$$

Tablo 4.12.Yük kombinasyonları

Yük kombinasyon Limit Durumu	Zati (DC)	Kamyon (H30-S2)	Şerit	Yaya (PL)	Asfalt (DW)	Korkuluk (DW)	Kaldırım (DW)	EX	EY
Str-I1	1.25	1.75	-	1.75	1.5	1.25	1.25	-	-
Str-I2	1.25	1.75	-	1.75	1.5	0.9	0.9	-	-
Str-I3	1.25	1.75	-	1.75	0.65	1.25	1.25	-	-
Str-I4	1.25	1.75	-	1.75	0.65	0.9	0.9	-	-
Str-I5	1.25	-	1.75	1.75	1.5	1.25	1.25	-	-
Str-I6	1.25	-	1.75	1.75	1.5	0.9	0.9	-	-
Str-I7	1.25	-	1.75	1.75	0.65	1.25	1.25	-	-
Str-I8	1.25	-	1.75	1.75	0.65	0.9	0.9	-	-
Str-I9	0.9	1.75	-	1.75	1.5	1.25	1.25	-	-
Str-I10	0.9	1.75	-	1.75	1.5	0.9	0.9	-	-
Str-I11	0.9	1.75	-	1.75	0.65	1.25	1.25	-	-
Str-I12	0.9	1.75	-	1.75	0.65	0.9	0.9	-	-
Str-I13	0.9	-	1.75	1.75	1.5	1.25	1.25	-	-
Str-I14	0.9	-	1.75	1.75	1.5	0.9	0.9	-	-
Str-I15	0.9	-	1.75	1.75	0.65	1.25	1.25	-	-
Str-I16	0.9	-	1.75	1.75	0.65	0.9	0.9	-	-
Ser- III1	1	0.8	-	0.8	1	1	1	-	-
Ser-III2	1	-	0.8	0.8	1	1	1	-	-
COMB1	-	-	-	-	-	-	-	1	0.3
COMB2	-	-	-	-	-	-	-	0.3	1

4.4.9. Tasarım Değerleri

Aşağıda elde edilen tasarım değerlerinin bir özeti bulunmaktadır; bazıları modelleme sırasında bir sonraki bölümde kullanılacaktır.

- Köprünün toplam uzunluğu: 92m
- Açıklık uzunluğu: 23m (4 açıklık)
- Köprünün toplam genişliği: 9m (2 şerit-3m ve 2 kaldırım 1m)
- Kiriş tipi: Yerinde döküm betonarme
- Kesitin toplam alanı: 7.3776m²
- Yolun toplam genişliği: 7m
- Kesit atalet momenti: 1.1796m⁴
- Kirişin toplam zati yükü: 184.44 kN/m
- Kirişe etki eden toplam zati yükler: 28.66 kN/m
- Toplam ölü (zati) yük = 184.44 kN+28.66kN = 213.1 kN/m
- Tasarımda kullanacak hareketli yük: H30-S24 kombinasyonlar(Kamyon-Şerit)

5. KÖPRÜ TASARIMI VE 3D MODELLEMESİ

Bu bölümde, önerilen köprü adım adım CSiBridge programı kullanılarak üç boyutlu olarak modellenecektir.

5.1. CSi Bridge Programı

Köprü yapılarının modellenmesi, analizi ve tasarımı bilgisayarlı mühendislik araçlarında en iyisini oluşturmak için CSi Bridge'ne entegre edilmiştir. Tüm bu görevlerin yerine getirilme kolaylığı, CSi Bridge'i bugün piyasada bulunan en çok yönlü ve üretken yazılım programlardan biridir. Mühendisler CSi Bridge kullanarak karmaşık köprü geometrilerini, sınır koşullarını ve yükleme durumlarını kolayca tanımlayabilirler. Köprü modelleri, yerleşim çizgileri, açıklıklar, mesnetler, dayanaklar, kolonlar, mafsallar ve germe sonrası gibi köprü mühendislerine aşina terimler kullanılarak parametrik olarak tanımlanır. Yazılım, köprü tanımlı parametreleri değiştikçe otomatik olarak güncellenen omurga, kabuk veya katı nesne modelleri oluşturur [9].

CSi Bridge tasarımı, çelik ve beton köprülerin hızlı ve kolay bir şekilde tasarlanmasına ve güçlendirilmesine olanak sağlar. Parametrik modelleyici, kullanıcının basit veya karmaşık köprü modelleri oluşturmaya ve tasarım süreci üzerinde tam kontrol sağlarken verimli bir şekilde değişiklik yapmasına izin verir. Şeritler ve araçlar hızlı bir şekilde tanımlanabilir ve genişlik efektleri içerebilir. Basit ve pratik Gantt çizelgeleri, inşaat dizilerinin modellenmesini ve programlanmasını simüle etmek için kullanılabilir [10].

CSi Bridge'in parametrik olarak tanımlanmış köprü modelleri, kullanıcının modelleme çabalarını büyük ölçüde azaltır. Tabliye-kiriş ve üstyapı - alt yapı bağlantısı, CSI Bridge tarafından dâhili olarak ele alınmaktadır. Taşıyıcı kule sistemleri ve temel sisteminin modellenmesi kolayca tanımlanabilmektedir. CSI Bridge Programı daha önceleri köprü tasarımında kullanılan (SAP2000/Bridge) programın geliştirilerek uygulamaya sunulmuştur. Bu program kullanılarak mesleği, köprü yapılarının analizi, tasarımı ve değerlendirmesi olan kullanıcılar, köprü tasarımını kolaylıkla yapabilmektedir. CSi Bridge, aynı zamanda, karmaşık nesne konfigürasyonlarının otomatik sonlu elemanların birbirine geçirilmesi, çok hassas kabuk elemanları, gelişmiş gerdirmeye yükleri ve en son AASHTO çelik ve beton

tasarım şartnameleri dahil olmak üzere sayısal teknikler, çözüm algoritmaları ve tasarım şartnamelerindeki en son gelişmeleri de sunar [10].

CSi Bridge tasarım paketinin içine tamamen entegre olmuş, aşamalı yapı, sürünme ve büzülme analizi, hedef kuvvetlere kablo gerdirme, kamber ve şekil bulma, geometrik doğrusal olmayanlık (P-delta ve büyük yer değiştirmeler), malzeme doğrusal olmayanlığı (üst yapı, rulmanlar, alt yapı ve toprak destekleri), burkulma ve statik ve dinamik analiz. Bunların hepsi tek bir kapsamlı model için geçerlidir. Ayrıca, AASHTO LRFD tasarımı otomatik yüke dâhil edilmiştir [9]. [www.csiamerica.com]

5.2. Köprü Tasarımı

Birimler

Modellemeden önce, kullanıcıların işlem boyunca kullanılacak birimleri seçmeleri gerekir. Bu tasarımda kN.m.C kabul edilen birim olacaktır.

5.2.1. Yol Çizgisi (Layout Line)

CSi Bridge Program'ında modellemenin ilk adımı, yol çizgisini tanımlamaktır. Düzen çizgisi köprünün kontrol geometrisini tanımlar. Önerilen köprü, çarpıklık olmadan düz olacaktır. Bu nedenle, bu yol çizgisi, yerleşim isteminde iki istasyonla (başlangıç, sonu) temsil edilecektir. Modelin toplam uzunluğu 92m olduğundan son istasyonun 92m olması gerekiyor ve ilk değer genellikle sıfırdır(Şekil 5.1).

Bridge Layout Line Data

Bridge Layout Line Name: **Reference Line**

Coordinate System: GLOBAL

Shift Layout Line: Modify Layout Line Stations...

Units: KN, m, C

Plan View (X-Y Projection)

Station: **92.**

Bearing: N 90°00'00" E

Radius: Infinite

Grade: 0. %

X: 92.

Y: 0.

Z: 0.

Coordinates of Initial Station

Global X: 0.

Global Y: 0.

Global Z: 0.

Initial and End Station Data

Initial Station (m): 0.

Initial Bearing: N900000E

Initial Grade in Percent: 0.

End Station (m): 92.

Horizontal Layout Data

Define Horizontal Layout Data... Quick Start...

Define Layout Data

Define Vertical Layout Data... Quick Start...

Refresh Plot

OK Cancel

Şekil 5.1. Yol çizgisi (Layout Line)

5.2.2. Trafik Şeridi Belirlenmesi

Bu model için, ikinci seçenek modelleme sırasında kullanılacaktır. İkinci seçenek seçildiğinden, 3m genişliğinde olan ve yol çizgisi iki taraf boyunca uzanan iki şerit (Lane1, Lane2) tanımlanır.

Bridge Lane Data

General

Lane Name: **LANE1** Notes...

Coordinate System: GLOBAL Units: KN, m, C

Maximum Lane Load Discretization Lengths

Along Lane: 3. Across Lane: 3.

Additional Lane Load Discretization Parameters Along Lane

☐ Discretization Length Not Greater Than 1/ of Span Length

☒ Discretization Length Not Greater Than 1/ 10. of Lane Length

Lane Data

Bridge Layout Line	Station m	Centerline Offset m	Lane Width m	Radius m
Reference Line	0.	1.5	3.	0.
Reference Line	0.	1.5	3.	0.
Reference Line	92.	1.5	3.	0.

Lane type

☒ Fixed Lane ☐ Floating Lane Set

1 Fixed Lane ☐ Auto Floating Lane Width Define Floating Lanes

Plan View (X-Y Projection)

North

Y

X

Layout Line: Reference Line

Station: 92. Bearing: N 90°00'00" E Radius: Infinite Grade: 0. %

X: 92. Y: 0. Z: 0.

☒ Snap To Layout Line ☐ Snap To Lane

Lane Edge Type

Left Edge: Interior Right Edge: Interior

Objects Loaded By Lane

☒ Program Determined ☐ Group

OK Cancel

Şekil 5.2. Trafik şeridi belirlemesi (Lane1)

Bridge Lane Data

General
Lane Name: **LANE2** [Notes...]
Coordinate System: GLOBAL
Units: KN, m, C

Maximum Lane Load Discretization Lengths
Along Lane: 3
Across Lane: 3

Additional Lane Load Discretization Parameters Along Lane
☒ Discretization Length Not Greater Than 1/ 4 of Span Length
☒ Discretization Length Not Greater Than 1/ 10 of Lane Length

Lane Data

Bridge Layout Line	Station m	Centerline Offset m	Lane Width m	Radius m
Reference Line	0.	-1.5	3.	0.
Reference Line	92.	-1.5	3.	0.
Reference Line	92.	-1.5	3.	0.

Lane type
☒ Fixed Lane ☐ Floating Lane Set
1 Fixed Lane ☐ Auto Floating Lane Width Define Floating Lanes

Plan View (X-Y Projection)

Layout Line: Reference Line
Station: 92.
Bearing: N 90°00'00" E
Radius: Infinite
Grade: 0. %
X: 92.
Y: 0.
Z: 0.
☒ Snap To Layout Line ☐ Snap To Lane

Lane Edge Type
Left Edge: Interior
Right Edge: Interior

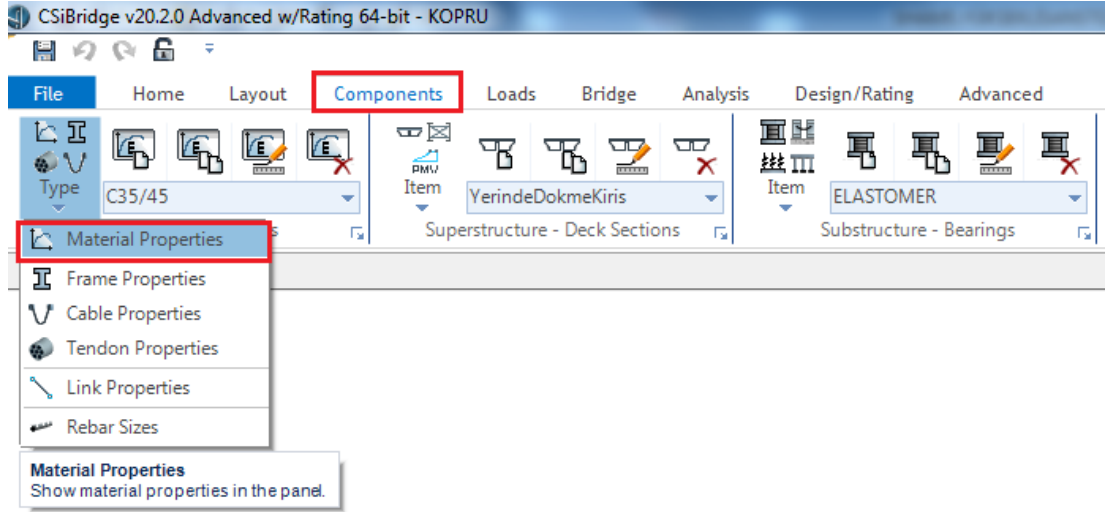
Objects Loaded By Lane
☒ Program Determined ☐ Group

OK Cancel

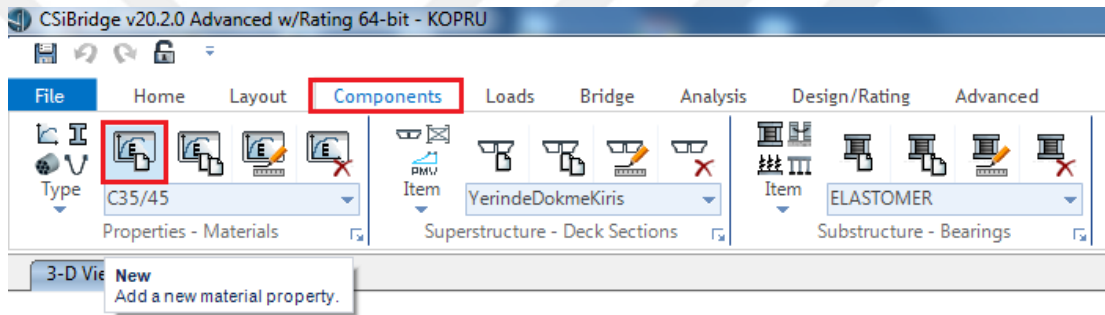
Şekil 5.3. Trafik şeridi belirlemesi (Lane2)

5.2.3. Malzeme Özelliklerini Tanımlaması

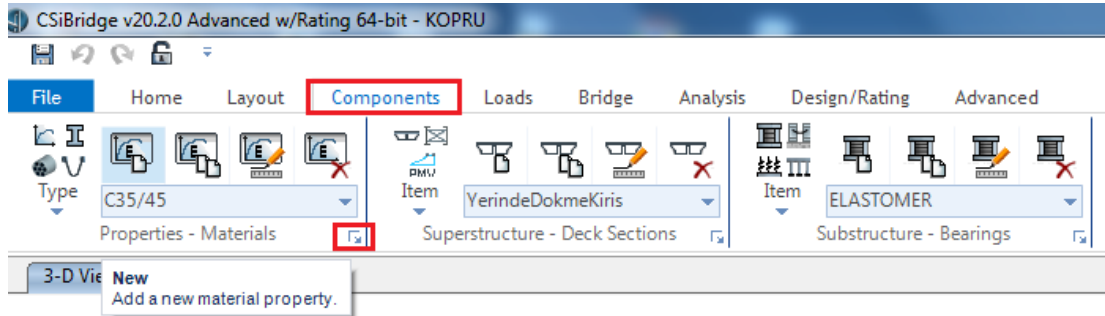
CSI Bridge içinde standart olarak, bütün özellikleri ile tanımlanması olan çelik ve beton malzemeleri vardır. İstenildiğinde bu malzeme tiplerine alakalı özelliklerin bir kısmı veya tamamı değiştirilebileceği gibi yeni malzeme tipleri de tanımlanabilir ve kullanılabilir. Tanımlanan veya seçilen malzeme tipleri, kesit tanımlaması esnasında kullanılmaktadır. CSI Bridge programında malzeme seçimi ve özelliklerin tanımlanması aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir. Malzeme özellikleri tanımlamak için **Components** (Bileşenler) komutuna tıklayarak başlanır. Sonra Şekil 5.6'da görüldüğü gibi **Material Properties** (Malzeme Özellikleri) seçilerek devam edilir. Tasarımda kullanacak, yerinde döküm kiriş, kolon, başlık kiriş, temel, kazık ve donatı çeliği gibi köprü modelini oluşturmak için kullanılan her malzeme, aşağıda adım adım tanımlanacaktır.



Şekil 5.4. Components menüsünden malzemeler özelliklerinin seçimi



Şekil 5.5. Yeni malzemeler eklemek



Şekil 5.6. Malzemelerin özelliklerini eklemek

Bu çalışmada tanımlanan tüm malzeme özellikleri ayrı ayrı aşağıda tanımlanmıştır.

5.2.3.1. Yerinde Döküm Kiriş Betonunu (Deck Concrete)

CSI Bridge programında hazır menüdeki beton sınıfı kullanılacağı gibi kullanıcı tarafında farklı beton sınıfları da tanımlanabilmektedir. Beton malzeme özellikleri CSI Bridge programına aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

- 28 günlük beton dayanımı
- Betonun birim ağırlığı, $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$
- Elastisite modülü, $E_c = 31798 \text{ MPa}$
- Poisson oranı, $(U) = 0.2$

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: C35/45

Material Type: Concrete

Material Grade:

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 25.

Mass per Unit Volume: 2.5493

Units: KN, m, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 31798929.

Poisson, U: 0.2

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1.000E-05

Shear Modulus, G: 13249554.

Other Properties For Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, f_c : 35000.

Expected Concrete Compressive Strength: 35000.

☐ Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor:

☐ Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Şekil 5.7. Yerinde döküm kiriş beton özellikleri

5.2.3.2. Başlık Kiriş, Kolon Ve Temel Betonu

- 28 günlük beton dayanımı
- Betonun birim ağırlığı, $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$
- Elastisite modülü, $E_c = 29440 \text{ MPa}$

- Poisson oranı, $(U) = 0.2$

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: C30/37

Material Type: Concrete

Material Grade:

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 25

Mass per Unit Volume: 2.5493

Units: KN, m, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 29440087

Poisson, U: 0.2

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1.000E-05

Shear Modulus, G: 12266703

Other Properties For Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, f_c : 30000

Expected Concrete Compressive Strength: 30000

☐ Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor:

☐ Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Şekil 5.8. Başlık kiriş, kolon ve temel beton özellikleri

5.2.3.3. Fore Kazık Betonu

- 28 günlük beton dayanımı
- Betonun birim ağırlığı, $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$
- Elastisite modülü, $E_c = 26857 \text{ MPa}$
- Poisson oranı, $(U) = 0.2$

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: C25/30

Material Type: Concrete

Material Grade:

Material Notes: [Modify/Show Notes...](#)

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 25

Mass per Unit Volume: 2.5493

Units

KN, m, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 26857000

Poisson, U: 0.2

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 9.900E-06

Shear Modulus, G: 11190417

Other Properties For Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, f_c : 25000

Expected Concrete Compressive Strength: 25000

☐ Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor:

☐ Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Şekil 5.9. Fore kazık beton özellikleri

5.2.3.4. Betonarme Çeliği (S420)

- Minimum akma dayanımı, $f_{yk} = 420000 \text{ kN/m}^2$
- Elastisite modülü, $E_s = 200000 \text{ MPa}$
- Poisson oranı, $(U) = 0.3$

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: S420

Material Type: Rebar

Material Grade:

Material Notes: [Modify/Show Notes...](#)

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 76.9729

Mass per Unit Volume: 7.849

Units

KN, m, C

Uniaxial Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 1.999E+08

Poisson, U: 0.3

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1.170E-05

Shear Modulus, G:

Other Properties For Rebar Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 420000.

Minimum Tensile Stress, Fu: 500000.

Expected Yield Stress, Fye: 420000.

Expected Tensile Stress, Fue: 500000.

☐ Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

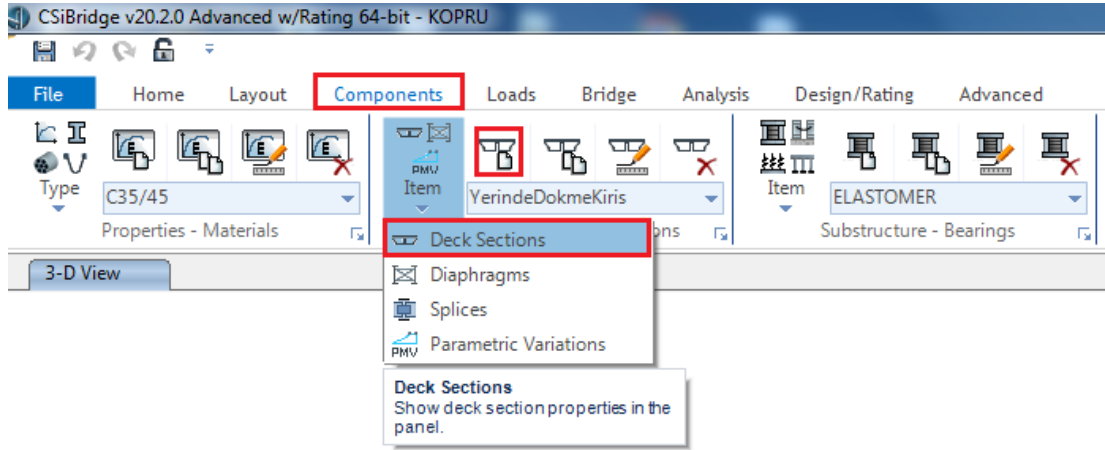
Şekil 5.10. Betonarme çeliğin özellikleri

5.2.4. Kesit Özellikleri ve Boyutlandırması

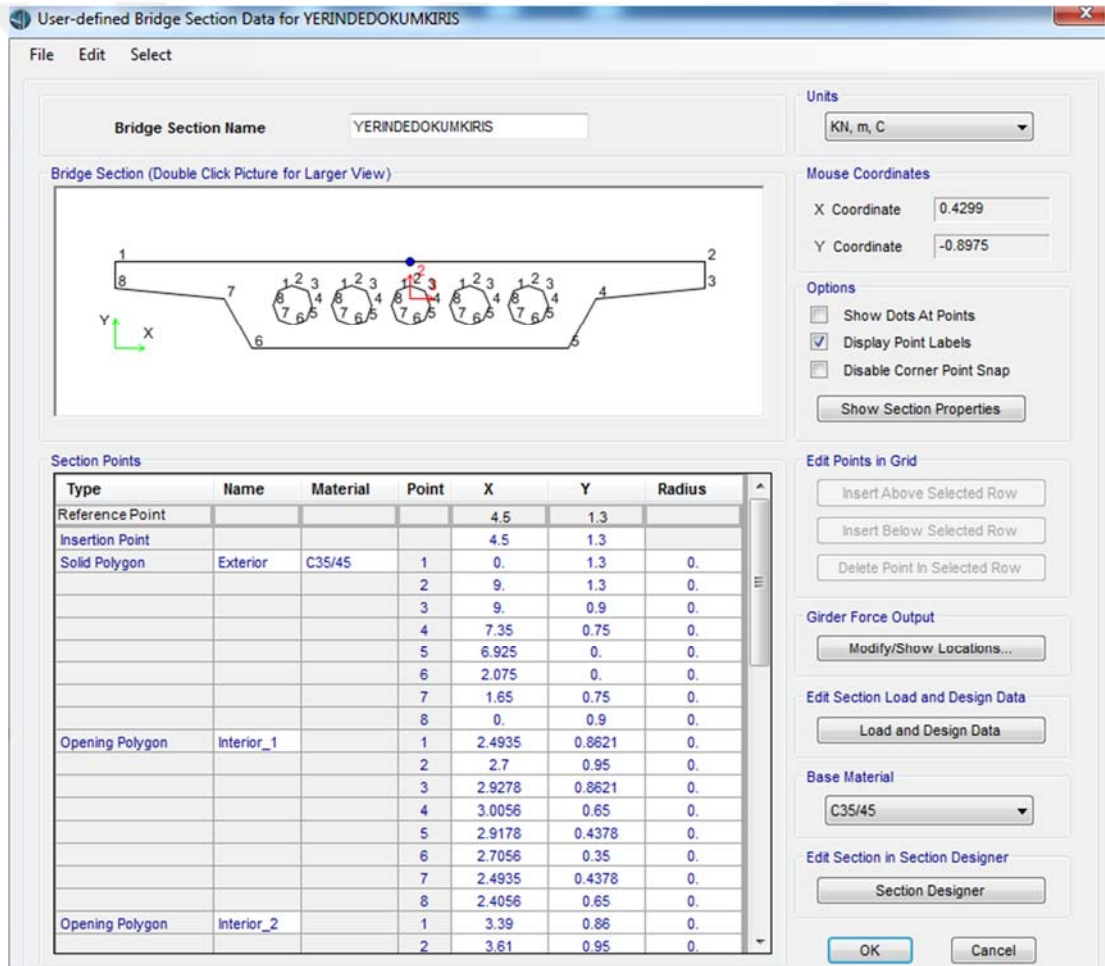
Yerinde döküm kiriş, kolon, başlık kiriş, temel ve kazık kesit özellikleri aşağıda adım adım tanımlanacaktır.

5.2.4.1. Yerinde Döküm Kiriş Kesiti

Yerinde döküm kiriş (Tabliye) kesit özellikleri tanımlamak için **Components** (Bileşenler) komutunun altında bulunan **Superstructure – Deck Sections** (Üst Yapı - Tabliye Bölümleri)’nden başlanır. Sonra Şekil 5.11’de görüldüğü gibi **Deck Sections** (Tabliye Bölümleri) seçilir. Her yeni tabliye kesit özelliklerini eklemek için **New** (Yeni) komutu seçilerek eklenir.



Şekil 5.11. Yeni tabliye kesit seçimi

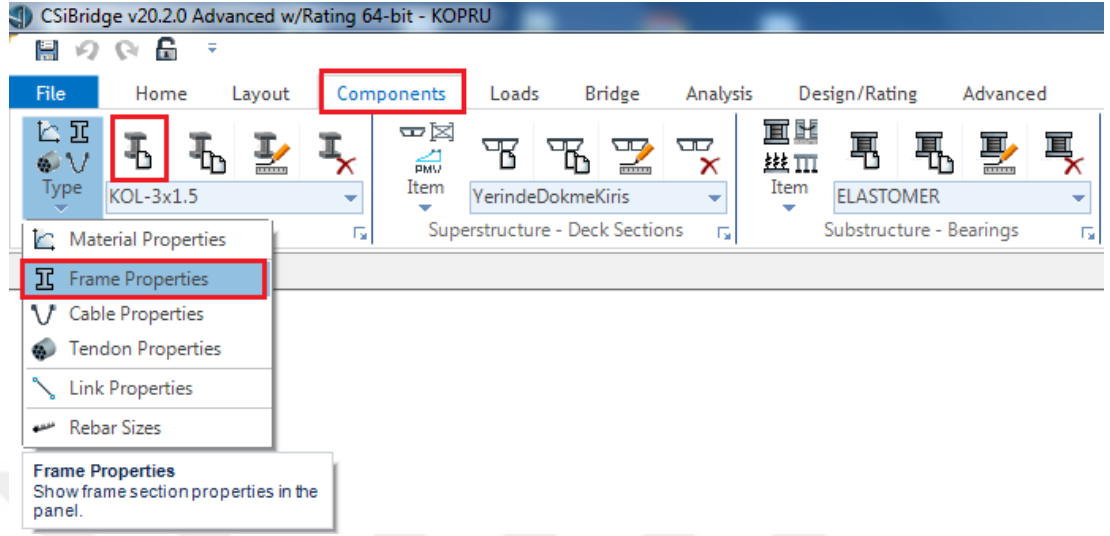


Şekil 5.12. Yerinde döküm kiriş kesiti tanımlaması

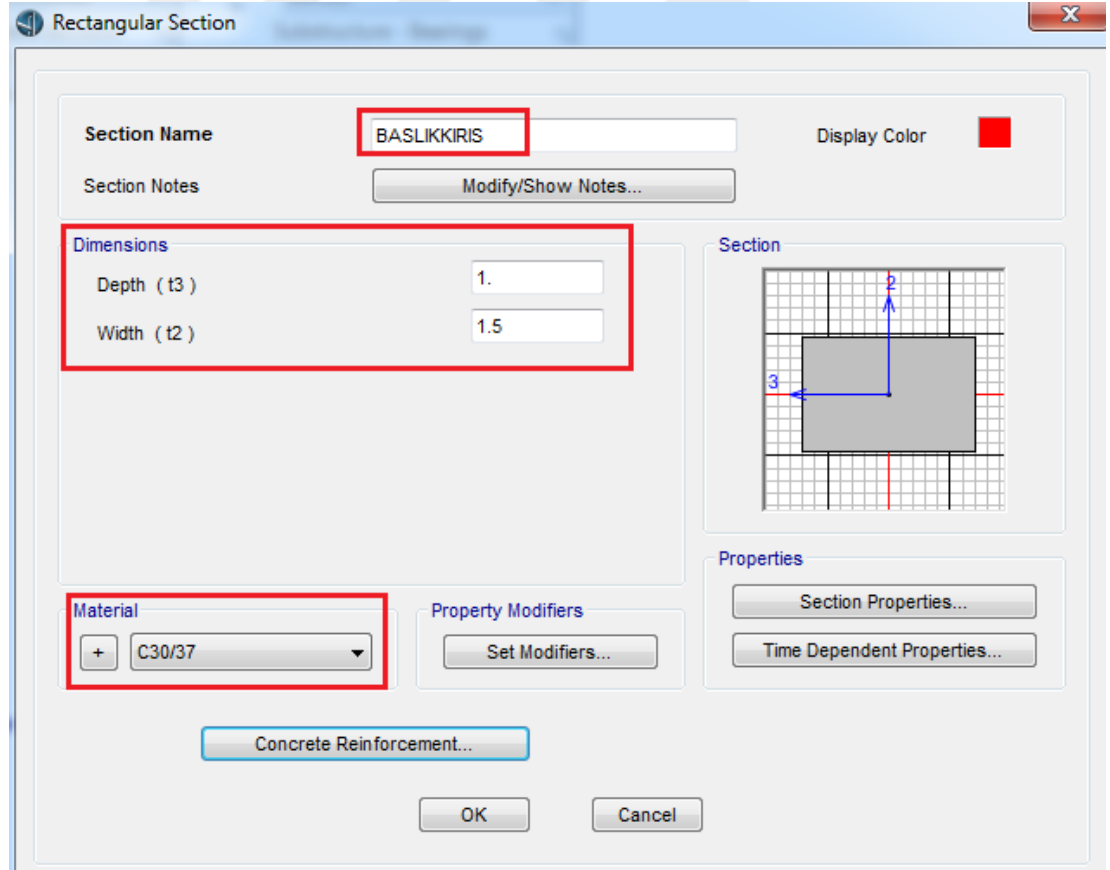
5.2.4.2. Başlık Kiriş Kesiti

Başlık kiriş özelliklerini tanımlamak için **Components** (Bileşenler) komutuna tıklayarak başlanır. Sonra Şekil 5.13'te görüldüğü gibi **Frame Properties** (Çubuk

Özellikleri) seçilerek devam edilir. Sonra her yeni kesit özelliklerini eklemek için **New** (Yeni) komutu seçilerek eklenir.



Şekil 5.13. Yeni çubuk kesit ekleme



Şekil 5.14. Başlık kiriş kesiti tanımlaması

Bu iki aşama sonucunda betonarme donatı verileri aşağıdaki adımlarla tanımlanacaktır.

- 1- Materyal, daha önce Bölüm 5.2.3.4’te tanımlanmış olan “donatı çeliği” olarak seçilmiştir.
- 2- Kiriş bölümü tanımlandığından, **Design Type** (tasarım tipi), **Beam** (kiriş) olarak seçilmiştir(Şekil 5.15).

The image shows a software dialog box titled "Reinforcement Data". It contains several sections for configuring reinforcement parameters. The "Rebar Material" section has two rows: "Longitudinal Bars" and "Confinement Bars (Ties)", both with a "+" button and a dropdown menu set to "S420". The "Design Type" section has two radio buttons: "Column (P-M2-M3 Design)" and "Beam (M3 Design Only)", with the latter selected. The "Concrete Cover to Longitudinal Rebar Center" section has two rows: "Top" and "Bottom", each with a text input field set to "0.05". The "Reinforcement Overrides for Ductile Beams" section has a table with columns "Left" and "Right", and rows "Top" and "Bottom", with all input fields set to "0.". At the bottom are "OK" and "Cancel" buttons.

Şekil 5.15. Başlık kiriş betonarme detayı

5.2.4.3. Kazık kesti

Çap: 1 m

Beton sınıfı: C25/30

Derinlik: 25 m

Kazık kütlesi sıfır alınmıştır

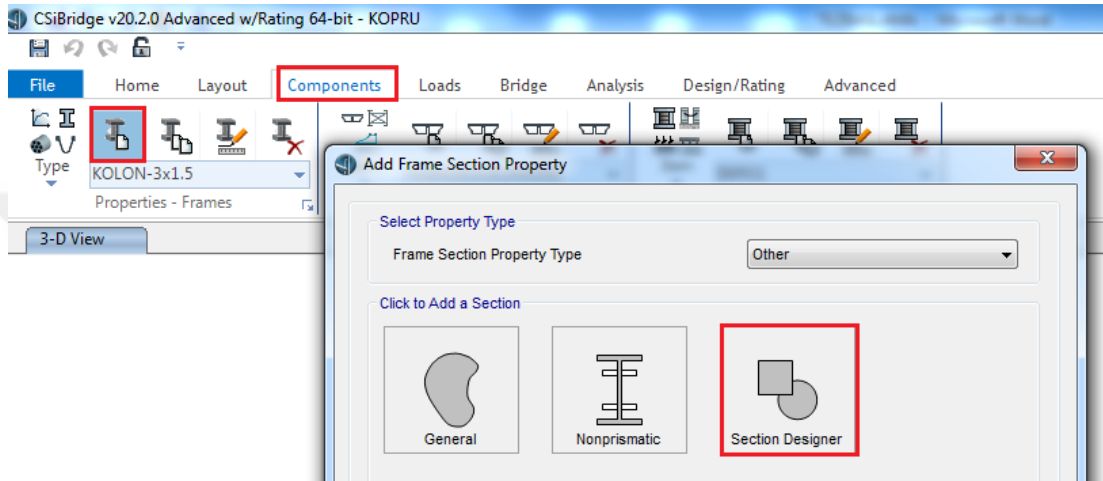
The image shows a software window titled "Circular Section". It contains the following elements:

- Section Name:** A text box containing "KAZIK".
- Display Color:** A green square icon.
- Section Notes:** A text box and a "Modify/Show Notes..." button.
- Dimensions:** A section with a "Diameter (t3)" field set to "1.".
- Material:** A dropdown menu showing "C25/30".
- Property Modifiers:** A "Set Modifiers..." button.
- Concrete Reinforcement:** A button labeled "Concrete Reinforcement...".
- Section:** A preview of a circular cross-section with a grid of dots and a blue line indicating the diameter.
- Properties:** Buttons for "Section Properties..." and "Time Dependent Properties...".
- Buttons:** "OK" and "Cancel" buttons at the bottom.

Şekil 5.16. kazık kesiti tanımlaması

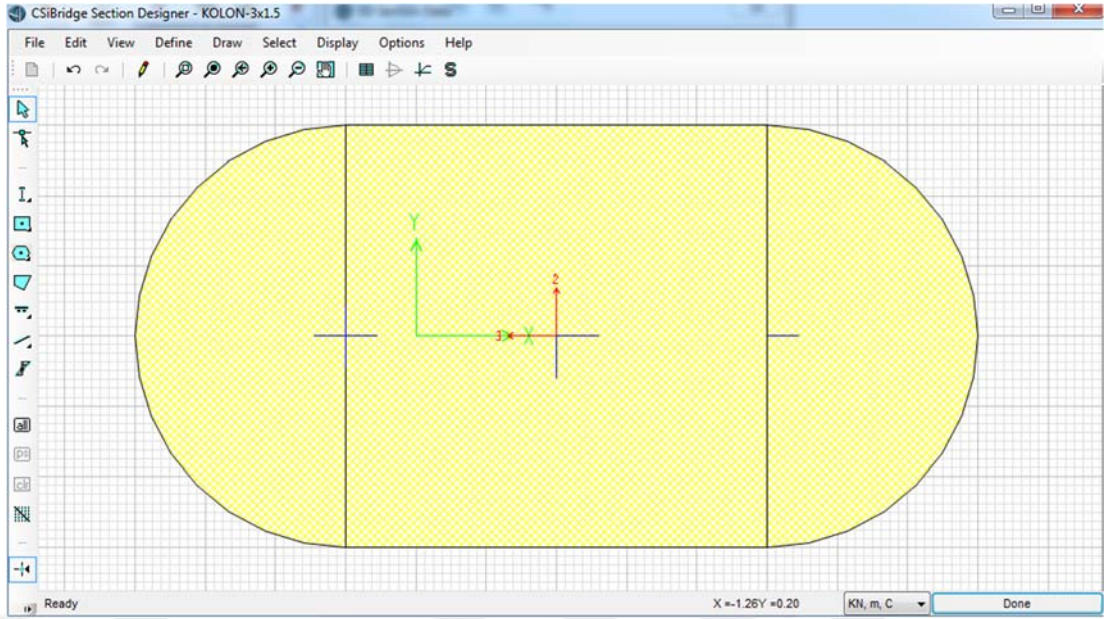
5.2.4.4. Kolon (Orta Ayak) Kesiti

Tasarımda toplam üç kolon yapılmıştır. Kolon kesitlerin tanımlanmak için **Components** (Bileşenler) komutuna tıklayarak başlanır. Sonra Şekil 5.12’de görüldüğü gibi **Frame Properties** (Çubuk Özellikleri) seçilerek devam edilir. Sonra her yeni kesit özelliklerini eklemek için **New** (Yeni) komutu seçilerek eklenir. Yeni komutu seçtikten sonra istenen kesiti Şekil 5.15’te görüldüğü gibi **Section Designer** (Kesit Tasarımcısı) yardımıyla istenen kesitleri tanımlanmış oluruz.

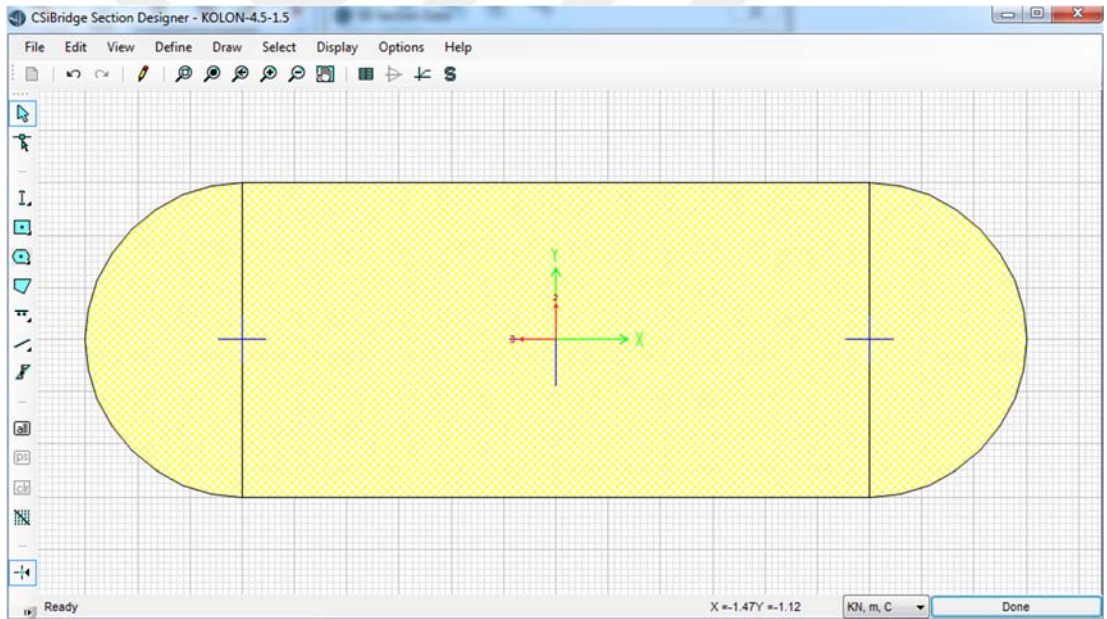


Şekil 5.17. Section Designer (kesit tasarımcısı) yardımıyla kolon kesitlerinin tanımlaması

Tezde iki adet ($4.5\text{m} \times 1.5\text{m}$ ve $3\text{m} \times 1.5\text{m}$) boyutları olan kolon kesitleri tanımlanmıştır. Her kolon eşit yükseklikte üst ve farklı yükseklikte alt kısımlardan oluşmaktadır, kolonlarının alt kesitlerin yükseklikleri sırasıyla 3.436m, 3.196m ve 2.506m olarak yapılmıştır. Üst kesitlerin yüksekliği ise eşit ve 3m olarak yapılmıştır.



Şekil 5.18. Kolonların alt kesitlerini tanımlaması



Şekil 5.19. Kolonların üst kesitlerini tanımlaması

5.2.5. Altyapı Bileşenlerinin Tanımlaması

5.2.5.1. Elastomer Mesnetler

Bu modelde, $600 \times 800 \times 90 \text{ mm}$ boyutunda elastomer mesnetler kullanılmaktadır. Her kenar ayaklar (Abutment) için 3 adet ve orta ayaklarda 4 adet elastomer mesnetler kullanılmaktadır. Elastomer mesnetler hakkında detaylı bilgi bölüm 3.1.1.2'de verilmiştir.

Link/Support Property Data

Link/Support Type: **Linear**

Property Name: **ELASTOMER**

Property Notes:

Set Default Name

Modify/Show...

Total Mass and Weight

Mass: 0. Rotational Inertia 1: 0.

Weight: 0. Rotational Inertia 2: 0.

Rotational Inertia 3: 0.

Factors For Line, Area and Solid Springs

Property is Defined for This Length In a Line Spring: 1.

Property is Defined for This Area In Area and Solid Springs: 1.

Directional Properties

Direction	Fixed	Properties
☒ U1	☐	Modify/Show for All...
☒ U2	☐	
☒ U3	☐	
☐ R1	☐	
☐ R2	☐	
☐ R3	☐	

Fix All Clear All

P-Delta Parameters

Advanced...

OK

Cancel

Şekil 5.20. Elastomer mesnetlerin özellikleri

Linear Link/Support Directional Properties

Link/Support Name

Directional Control

Direction Fixed

☒ U1 ☐

☒ U2 ☐

☒ U3 ☐

☐ R1 ☐

☐ R2 ☐

☐ R3 ☐

Shear Distance from End J

U2 0.

U3 0.

Units

KN, m, C

Stiffness Values Used For All Load Cases

☒ Stiffness Is Uncoupled ☐ Stiffness Is Coupled

U1 U2 U3 R1 R2 R3

12367856. 7328.244 7328.244

Damping Values Used For All Load Cases

☒ Damping Is Uncoupled ☐ Damping Is Coupled

U1 U2 U3 R1 R2 R3

0. 0. 0.

OK Cancel

Şekil 5.21. Elastomer mesnetlerin rijitlikleri

5.2.5.2. Kenar Ayaklar (Abutments)

Köprü modelinde üst yapının her bir bitiş noktasına yerleştirilmiş iki **Abutments** (Kenar ayaklar) vardır. Talimatları takip ederek aşağıda belirtildiği gibi CSi Bridge **Abutment** panelindeki değerleri seçerek Abutment'lar tanımlanır.

- 1- **Girder Support Condition** (Kiriş Mesnet Şartı), **Connect to Girder bottom Only** (sadece kirişin dibine bağla) olarak seçilmiştir.
- 2- Abutmentlar için tanımlanmış bir bölüm olmadığından, **Substructure Type** (Altyapı Tipi) **Foudation Spring** (Temel Yay) olarak seçilmiştir.
- 3- Temel yay özelliği **Fixed** (Sabit) olarak seçildi.

Bridge Abutment Data

Bridge Abutment Name: **BABT**

Units: KN, m, C

Girder Support Condition:

- ☐ Integral
- ☒ **Connect to Girder Bottom Only**

Substructure Type:

- ☒ **Foundation Spring**
- ☐ Continuous Beam (Continuously Supported)

Section Property: +

Beam Length:

Foundation Spring:

Foundation Spring Property: + **Fixed**

Note: When substructure type is grade beam, foundation spring property represents a line spring.

OK Cancel

Şekil 5.22. Abutment (Kenar ayak) tanımlaması

5.2.5.3. Kolon veya Orta Ayak, Başlık Kiriş (Bents)

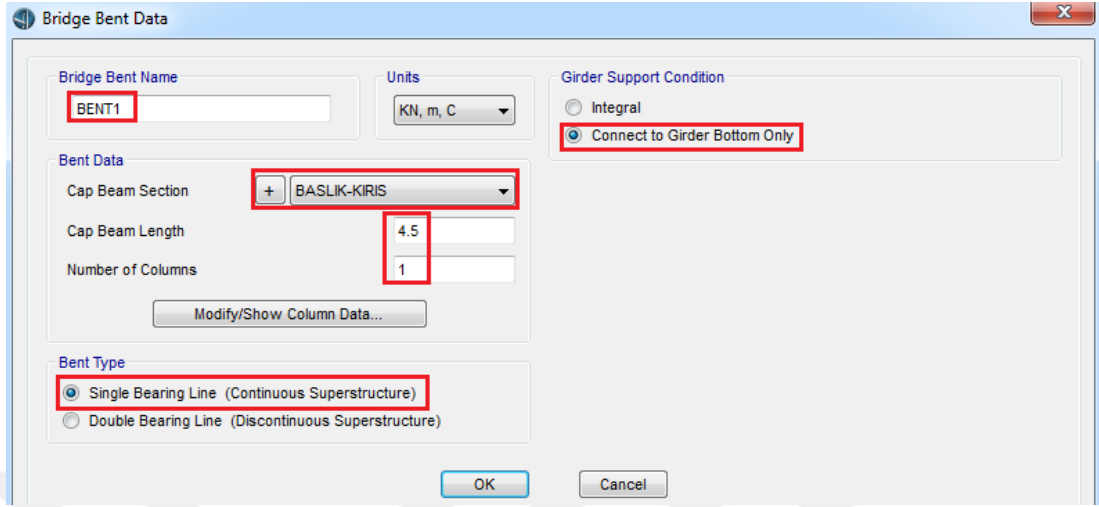
Daha önce tanımlanan abutmentlara ek olarak, üst yapıyı desteklemek için 23m aralıklı üç **Bents** aşağıdaki adımlar göz önüne alınarak tanımlanır.

- 1- **Cap Beam Length** (Başlık kiriş uzunluğu) 4.5m olarak alınmıştır.
- 2- **Number of Columns** (Kolon sayısı) ise 1 olarak girilmiştir. Köprüde 3 adet kolon bulunmaktadır. Kolon sayısı yerinde 3 olsaydı, üç Bentler birden tanımlanmış olurdu, ama burda üçünü ayrı ayrı tanımladığım için kolon sayısı, **Bent1** için 1olarak girilmiştir.
- 3- Bent tipi, **Single Bearing Line** (ek mesnet çizgi) olarak seçilmiştir çünkü köprü modeli sürekli üst yapıya sahiptir(birden fazla açıklık).
- 4- **Girder Suport Condition** (Kirişli destek tipi seçeneği), **Connect to Girder bottom Only** (sadece kirişin dibine bağla) olmalıdır.

Modify/Show Column Data (kolon verilerini değiştir) düğmesini kullanarak kolonlar aşağıda görüldüğü gibi düzenlenir.

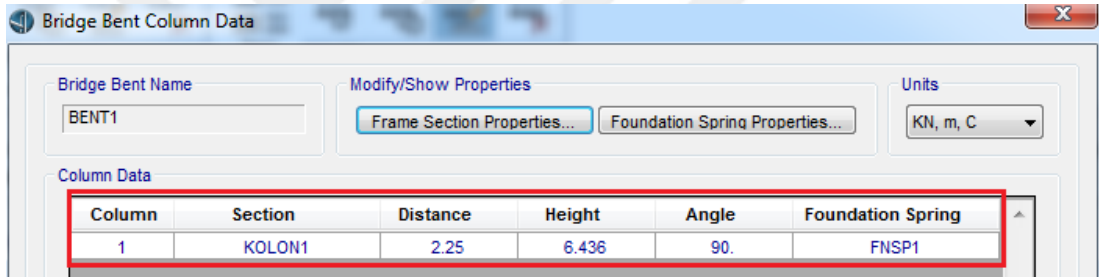
- 5- Başlık kiriş ve kolonlarının üst kısım 4.5m olduklarından köprü geometrisine sağlamak için mesafe 2.25m olarak alınmalıdır.

- 6- Kolonların yüksekliği aşağıda gördüğümüz gibi sırasıyla 6.436m, 6.196m ve 5.506m olarak girilmiştir.



The image shows the 'Bridge Bent Data' dialog box for 'BENT1'. The 'Bridge Bent Name' is 'BENT1'. The 'Units' are 'KN, m, C'. The 'Girder Support Condition' is 'Connect to Girder Bottom Only'. The 'Bent Data' section shows 'Cap Beam Section' as 'BASLIK-KIRIS', 'Cap Beam Length' as '4.5', and 'Number of Columns' as '1'. The 'Bent Type' is 'Single Bearing Line (Continuous Superstructure)'. The 'OK' button is highlighted.

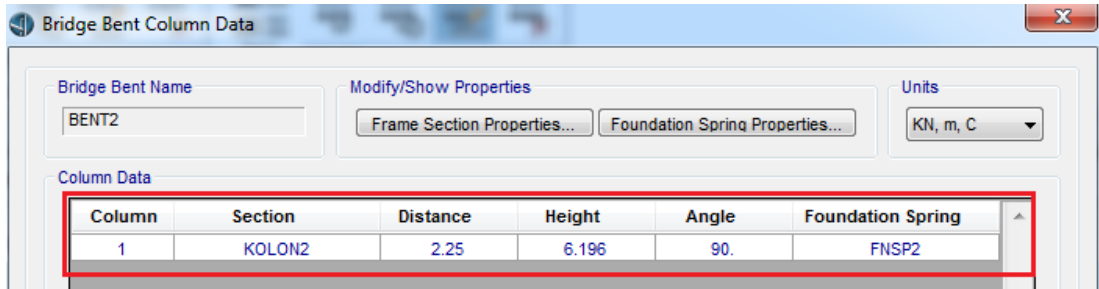
Şekil 5.23. Bent1, Bent2 ve Bent3 özellikleri



The image shows the 'Bridge Bent Column Data' dialog box for 'BENT1'. The 'Bridge Bent Name' is 'BENT1'. The 'Units' are 'KN, m, C'. The 'Column Data' table is highlighted with a red border.

Column	Section	Distance	Height	Angle	Foundation Spring
1	KOLON1	2.25	6.436	90.	FNSP1

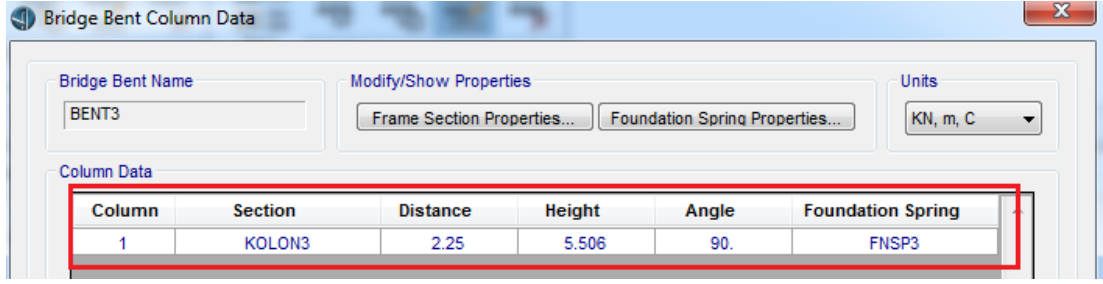
Şekil 5.24. Bent1



The image shows the 'Bridge Bent Column Data' dialog box for 'BENT2'. The 'Bridge Bent Name' is 'BENT2'. The 'Units' are 'KN, m, C'. The 'Column Data' table is highlighted with a red border.

Column	Section	Distance	Height	Angle	Foundation Spring
1	KOLON2	2.25	6.196	90.	FNSP2

Şekil 5.25. Bent2

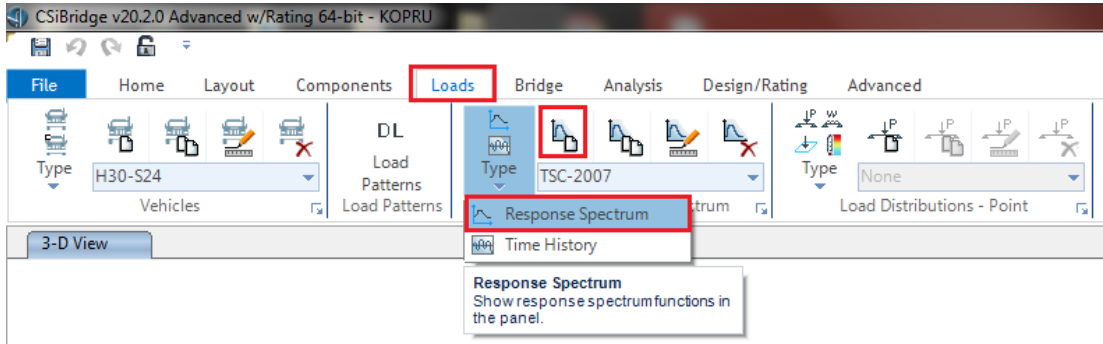


Şekil 5.26. Bent3

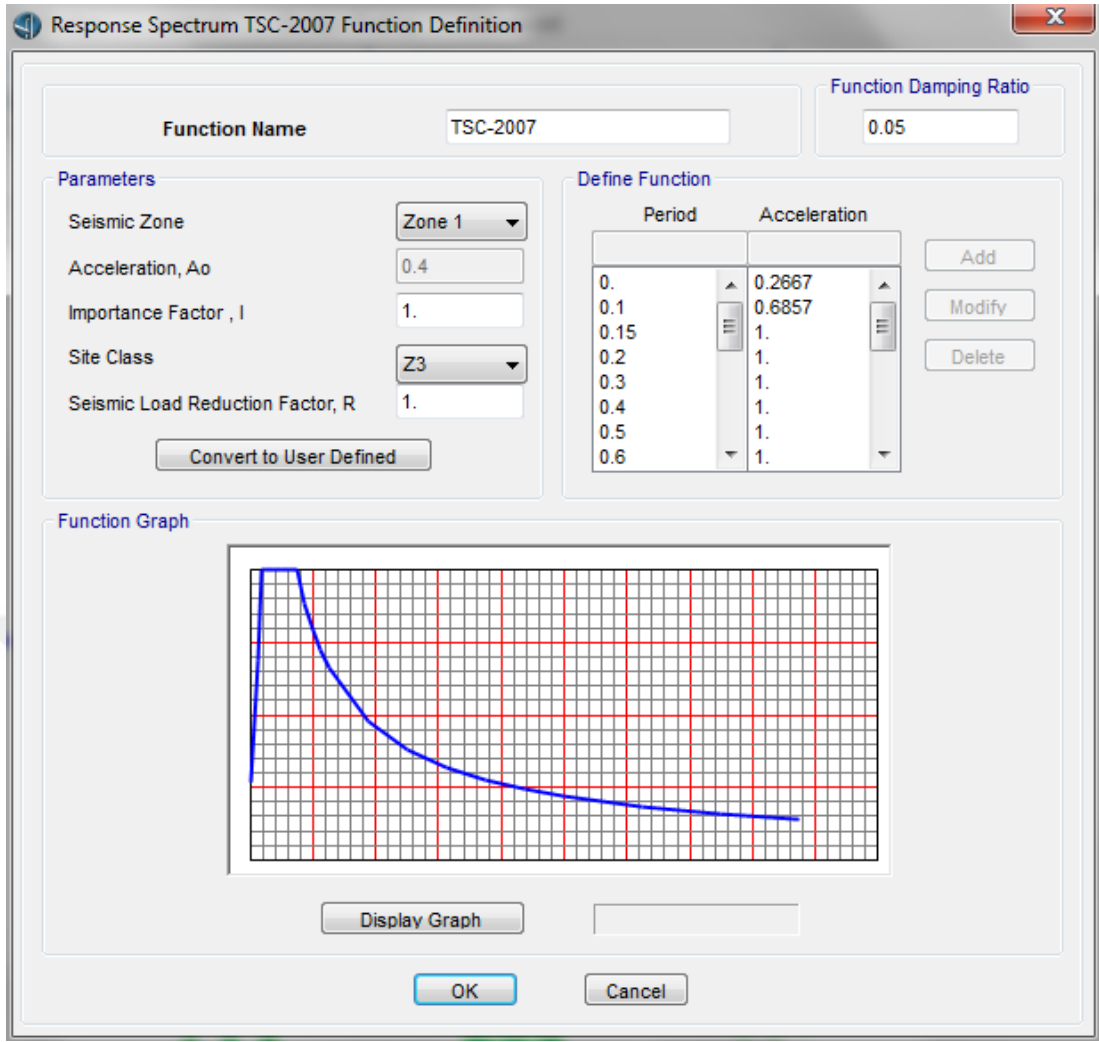
5.2.6. Respons Spektrumu Fonksiyonu

Deprem yükünü tanımlamak için Şekil 5.27’de **Loads** (Yükler) komutunun altındaki, **Function – Response Spectrum** (Fonksiyon – Tepki Spektrumu) bölümü kullanıp aşağıdaki adımları takip ederek, Şekil 5.28’de görüldüğü gibi deprem yükünü tanımlamış oluruz.

- 1- CSiBridge fonksiyon panelini kullanarak, fonksiyon tipi “**Response Spectrum**” olarak seçilmiştir ve standart olarak “TSC-2007” seçilmiştir.
- 2- Deprem bölgesi ($Z=1$) ve ivme katsayısı ise 0.4 olarak Şekil 5.28’de görüldüğü gibi alınmıştır.
- 3- Son olarak, **Function Graph** (Fonksiyon grafiği), Şekil 5.28’de görüldüğü gibi program tarafından otomatik olarak çizilir.



Şekil 5.27. Loads menüsünden deprem yükü için Spektrumu seçimi



Şekil 5.28. Spektrum fonksiyonu tanımı

5.2.7. Köprü Birleştirilmesi

Köprünün tüm bileşenleri ayrı ayrı tanımlandığından, tek bir köprüye monte edilmelidir. “Köprü nesnesi atamaları” olarak da adlandırılan bu işlem, CSi Bridge programının analizi gerçekleştirirken yükleri ve eğilmeleri izole etmesini sağlar. Sırayla tüm bileşenleri monte etmek için aşağıdaki adımlar uygulanır.

- 1- Köprünün referans çizgisi kenar ayaklarının ve kolonlarının yerleri tanımlar. Model dört açıklığa sahip olduğundan, yol çizgisi, Şekil 5.29’de görüldüğü gibi 92m uzunluğunu dikkate alarak başlangıç ve bitiş istasyonlarının değerlerini girerek dört açıklığa ayarlanmıştır.

Bridge Object Data dialog box. Fields include Bridge Object Name (KOPRU), Layout Line Name (Reference Line), Coordinate System (GLOBAL), and Units (KN, m, C). The Define Bridge Spans table is highlighted with a red border.

Span Label	Start Station m	Length m	End Station m	Start Support	End Support
Span 1	0.	23.	23.	BABT	BENT1
Span 2	23.	23.	46.	BENT1	BENT2
Span 3	46.	23.	69.	BENT2	BENT3
Span 4	69.	23.	92.	BENT3	BABT

Buttons: Add, Modify, Delete. Radio buttons: By Station (selected), By Length.

Şekil 5.29. Köprü açıklarının başlangıç ve bitiş noktaları

2- Köprünün başlangıç ve bitiş noktaları (Abutmentlar), **Substructure Assignment** (Altyapı ataması) “**Abutment**” olarak seçilmiştir. Alt yapı kotu (Global Z), mesnet kalınlığı (9cm), kiriş derinliği (1.3m) olarak dikkate alınarak “-1.39m” olarak girilir. Mesnet özelliği Abutmentlar için elastomer olarak seçilmiştir. Abutmentlarda 3 adet Elastomer mesnet 0.9m aralıkta yerleştirilmiştir.

Bridge Object Abutment Assignments dialog box. Fields include Bridge Object Name (KOPRU) and Units (KN, m, C). The Start Abutment tab is active.

Superstructure Assignment

- Support Name: Start Abutment
- Abutment Direction (Bearing Angle): Default
- Diaphragm Property: + None

Substructure Assignment

- None
- Abutment Property: + BABT
- Bent Property: +

Substructure Location

- Elevation (Global Z): -1.39
- Horizontal Offset: 0.
- Note: Horizontal offset is from layout line to midlength of abutment.

Bearing Assignment

- Girder-by-Girder
- General (selected)
- Bearing Property: + ELASTOMER
- Restrainer Property at Bearing: + None
- Elevation at Layout Line (Global Z): -1.3
- Rotation Angle from Bridge Default: 0.
- Number of Bearings for Bridge Section: 3
- Uniform Spacing: 0.9
- Offset from Section Ref. Point to Bearing Center: 0.

Bearing-by-Bearing Overwrites

Buttons: OK, Cancel.

Şekil 5.30. Köprü başlangıç ve bitiş noktalarının parametreleri

3- Köprü orta ayaklar için kolon parametreleri **Bent** olarak seçilmiştir. Altyapı yüksekliği (Global Z), mesnet kalınlığı 9cm, kiriş derinliği 1.3m olarak dikkate alınarak “- 1.39” olarak girilir. Mesnet özellikleri elastomer

olarak seçilmiştir. Her kolonda 4 adet elastomer 0.9m aralıkta yerleştirilmiştir.

Bridge Object Bent Assignments

Bridge Object Name: KOPRU

Units: KN, m, C

Specify Bent Considered

Bent Is At the End of This Span: Span 1

Bent Is At This Station: 23

Support Name: Span 2

Superstructure Assignment

Superstructure Continuity Condition: Continuous

Mesh Superstructure to Match Bent Bearing: Yes

Diaphragm Property: + None

Steel U-Girder Diaphragm: + None

Mesh U-Girder to Match Bent Bearing: Yes

Bent Assignment

Bent Property: + BENT1

Bent Direction (Bearing Angle): Default

Bent Location

Elevation (Global Z): -1.39

Horizontal Offset: 0

Note: Horizontal offset is from bridge layout line to midlength of cap beam.

Bearing Assignment

☐ Girder-by-Girder ☒ General

Bearing Property: + ELASTOMER

Restraint Property at Bearing: + None

Elevation (At Layout Line, Global Z): -1.3

Rotation Angle from Bridge Default: 0

Number of Bearings for Bridge Section: 4

Uniform Spacing: 0.9

Offset from Section Ref. Point to Bearing Center: 0

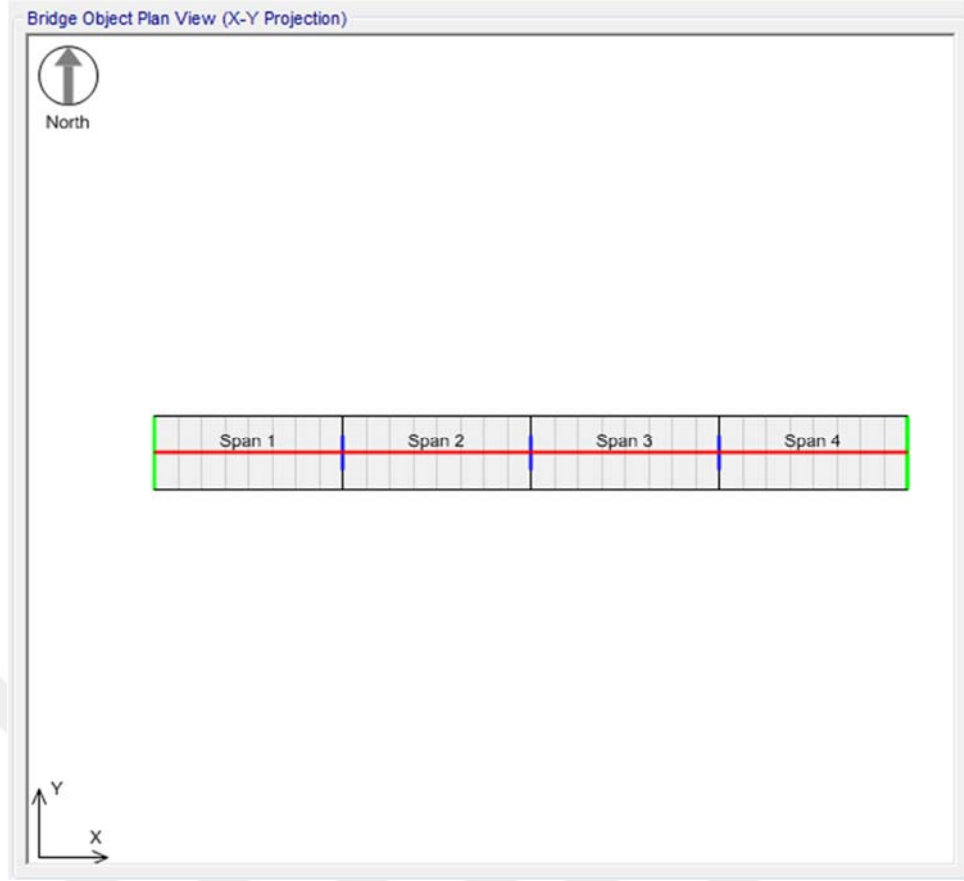
Bearing-by-Bearing Bearing Overwrites

Modify/Show Overwrites... No Overwrites Exist

OK Cancel

Şekil 5.31. Ben1, bent2 ve bent3 parametreleri

4- Yukarıdaki tüm adımları tamamladıktan sonra, Şekil 5.32'deki gibi basitleştirilmiş bir köprü nesne planı elde edilir.

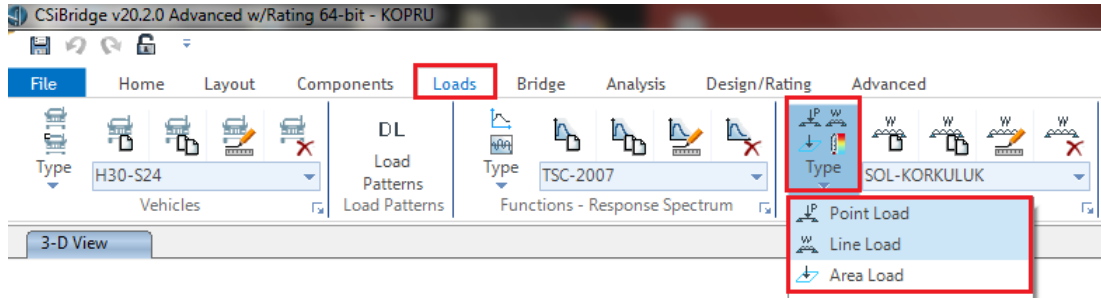


Şekil 5.32. Köprü plan görünüşü

5.2.8. Yük Ataması

5.2.8.1. Sabit Yüklerin Ataması

Sabit yükler (kaldırım, korkuluk, asfalt kaplama) yükleri daha önce bölüm 4.4.2’de hesaplanmıştır. Bu yükleri tanımlamak için **Loads** (Yükler) komutunun altındaki **Load Distributions–Point** (Yük Dağılımları-Nokta) bölümünde bulunan **Line Load** (Hat Yük) komutunu Şekil 5.33’deki gibi seçerek başlanır. Köprü Hat Yükü Dağılım Tanımını penceresinden **Add New Line Load** (Yeni Hat Yük Ekle) komutundan köprü hat yük dağılım tanımı veri penceresi açılır. Sonra eklenecek hat yüklerinin adları, hangi yön olacakları ve değerleri tanımlanacaktır. Örnek olarak aşağıdaki şekillerde tanımlanmış kaldırım, korkuluk, yaya, asfalt yükleri göstermektedir.



Şekil 5.33. Loads menüsünden yük tanınması

1- Kaldırım yük ataması

- Sağ kaldırım yükü = 5 kN/m
- Sol kaldırım yükü = 5 kN/m
- Toplam kaldırım yükü = 10 kN/m

Bridge Area Load Distribution Definition Data

Load Name: SAG-KALDIRIM Units: KN, m, C

Load Direction: Load Type: Force, Coordinate System: GLOBAL, Direction: Gravity

Load Value: Left Edge Value: 5, Right Edge Value: 5

Load Transverse Location: Left Reference Location: Right Edge of Deck, Left Load Distance from Left Ref. Location: 1, Right Reference Location: Right Edge of Deck, Right Load Distance from Right Ref. Location: 0

Load Vertical Location: Top Slab is Loaded at Midheight of its Thinnest Portion

OK Cancel

Şekil 5.34. Sağ kaldırım yük dağılım tanımı verisi

Bridge Area Load Distribution Definition Data

Load Name: SOL-KALDIRIM Units: KN, m, C

Load Direction: Load Type: Force, Coordinate System: GLOBAL, Direction: Gravity

Load Value: Left Edge Value: 5, Right Edge Value: 5

Load Transverse Location: Left Reference Location: Left Edge of Deck, Left Load Distance from Left Ref. Location: 0, Right Reference Location: Left Edge of Deck, Right Load Distance from Right Ref. Location: 1

Load Vertical Location: Top Slab is Loaded at Midheight of its Thinnest Portion

OK Cancel

Şekil 5.35. Sol kaldırım yük dağılım tanımı verisi

2- Korkuluk yük ataması

- Sağ korkuluk yükü = 4.5 kN/m

- Sol korkuluk yükü = 4.5 kN/m
- Toplam korkuluk yükü = 9 kN/m

The screenshot shows the 'Bridge Line Load Distribution Definition Data' dialog box. The 'Load Name' field is set to 'SAG-KORKULUK'. The 'Units' are set to 'KN, m, C'. Under 'Load Direction', 'Load Type' is 'Force', 'Coordinate System' is 'GLOBAL', and 'Direction' is 'Gravity'. Under 'Load Value', the 'Value' is '4.5'. Under 'Load Transverse Location', 'Reference Location' is 'Right Edge of Deck' and 'Load Distance from Reference Location' is '0.'. Under 'Load Vertical Location', it states 'Top Slab is Loaded at Midheight of its Thinnest Portion'. The 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

Şekil 5.36. Sağ korkuluk yük dağılım tanımı verisi

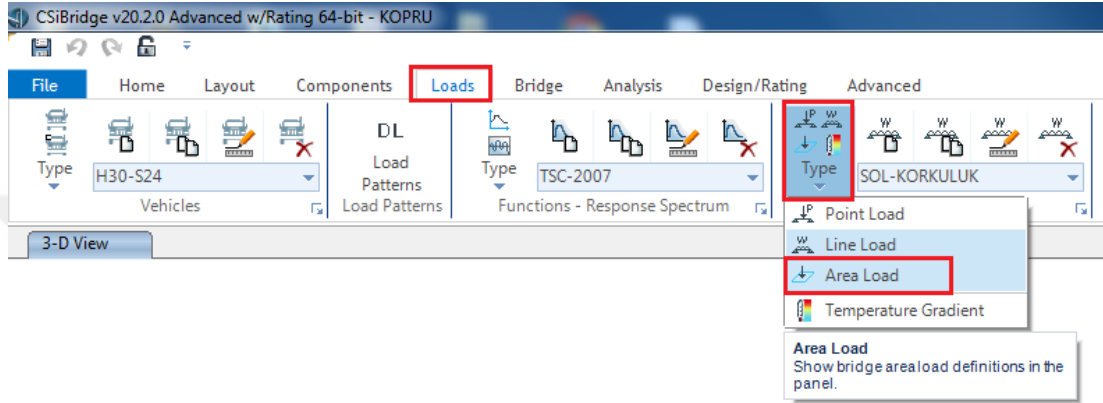
The screenshot shows the 'Bridge Line Load Distribution Definition Data' dialog box. The 'Load Name' field is set to 'SOL-KORKULUK'. The 'Units' are set to 'KN, m, C'. Under 'Load Direction', 'Load Type' is 'Force', 'Coordinate System' is 'GLOBAL', and 'Direction' is 'Gravity'. Under 'Load Value', the 'Value' is '4.5'. Under 'Load Transverse Location', 'Reference Location' is 'Left Edge of Deck' and 'Load Distance from Reference Location' is '0.'. Under 'Load Vertical Location', it states 'Top Slab is Loaded at Midheight of its Thinnest Portion'. The 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

Şekil 5.37. Sol korkuluk yük dağılım tanımı verisi

3- Asfalt yük ataması

Asfalt yükü daha önce bölüm 4.4.2’de 9.66 kN/m olarak hesaplanmıştır.

Asfalt yükünü CSI Bridge programında tanımlamak için **Loads** (Yükler) komutunun altındaki **Load Distributions – Point** (Yük Dağılımları - Nokta) bölümde bulunana **Area Load** (Alan Yük) komutunu Şekil 5.38’deki gibi seçerek başlanır. Köprü alan yük dağılım tanımını için **Add New Area Load** (Yeni Alan Yük Ekle) komutundan köprü alan yük dağılım tanım veri penceresi açılır. Sonra eklenecek yükü adı, hangi yönde olacak, yükün değeri ve yerinde döküm kiriş üzerinde nerden nereye olacağı tanımlanacaktır. Bu örnekte kirişe eklenecek asfalt yükü Şekil 5.39’de gösterilmiştir.



Şekil 5.38. Loads menüsünden yayılı alan yük için area load seçimi

Şekil 5.39. Asfalt yük dağılımı tanım verisi

5.2.8.2. Hareketli Yük Ataması

1-Yaya yük ataması

The dialog box is titled "Bridge Area Load Distribution Definition Data". It contains the following fields and options:

- Load Name:** SAG-YAYA
- Units:** KN, m, C
- Load Direction:**
 - Load Type: Force
 - Coordinate System: GLOBAL
 - Direction: Gravity
- Load Value:**
 - Left Edge Value: 3.6
 - Right Edge Value: 3.6
- Load Transverse Location:**
 - Left Reference Location: Right Edge of Deck
 - Left Load Distance from Left Ref. Location: 1.
 - Right Reference Location: Right Edge of Deck
 - Right Load Distance from Right Ref. Location: 0.
- Load Vertical Location:**
 - Top Slab is Loaded at Midheight of its Thinnest Portion

Buttons: OK, Cancel

Şekil 5.40. Sağ yaya yük dağılımı tanım verisi

The dialog box is titled "Bridge Area Load Distribution Definition Data". It contains the following fields and options:

- Load Name:** SOL-YAYA
- Units:** KN, m, C
- Load Direction:**
 - Load Type: Force
 - Coordinate System: GLOBAL
 - Direction: Gravity
- Load Value:**
 - Left Edge Value: 3.6
 - Right Edge Value: 3.6
- Load Transverse Location:**
 - Left Reference Location: Left Edge of Deck
 - Left Load Distance from Left Ref. Location: 0.
 - Right Reference Location: Left Edge of Deck
 - Right Load Distance from Right Ref. Location: 1.
- Load Vertical Location:**
 - Top Slab is Loaded at Midheight of its Thinnest Portion

Buttons: OK, Cancel

Şekil 5.41. Sol yaya yük dağılımı tanım verisi

Line Load Assignments - KOPRU

Load Pattern	Load Distribution	Start Station	End Station	Transverse Variation
		m	m	
KORKULUK	SOL-KORKULUK	0.	92.	None
KORKULUK	SAG-KORKULUK	0.	92.	None

Buttons: Add New, Add Copy, Delete, Up, Down, Load Patterns, Load Distributions, Variations, KN, m, C

OK Cancel

Şekil 5.42. Hat yük atamaları

Area Load Assignments - KOPRU

Load Pattern	Load Distribution	Start Station	End Station	Left Edge Variation	Right Edge Variation
		m	m		
ASFALT	ASFALT	0.	92.	None	None
KALDIRIM	SOL-KALDIRIM	0.	92.	None	None
KALDIRIM	SAG-KALDIRIM	0.	92.	None	None
YAYA	SOL-YAYA	0.	92.	None	None
YAYA	SAG-YAYA	0.	92.	None	None

Buttons: Add New, Add Copy, Delete, Up, Down, Load Patterns, Load Distributions, Variations, KN, m, C

OK Cancel

Şekil 5.43. Alan yük atamaları

2- Kamyon yük ataması

Tasarımda hareketli yük sınıfı olarak Türkiye’de yaygın olmak üzere, Şekil 4.9’da toplam ağırlığı 540kN olan H30-S24 kamyon yükü görülmektedir. Hareketli yük detaylı olarak Bölüm 4.4.6’da anlatılmıştır.

Vehicle Data - Vertical Loading

Uniform Load Scale Factor: 1 Axle Load Scale Factor: 1

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Variable Length	4.25	9.	0.	Fixed Width	240.		Fixed Width Line	3
Leading Load	Infinite		0.	Fixed Width	60.		Fixed Width Line	3
Fixed Length	4.25		0.	Fixed Width	240.		Fixed Width Line	3
Variable Length	4.25	9.	0.	Fixed Width	240.		Fixed Width Line	3

Add Insert Modify Delete

Şekil 5.44. Kamyon yük ataması

3- Şerit yük ataması

Loads

Uniform Load Scale Factor: 1 Axle Load Scale Factor: 1

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Trailing Load	Infinite		15.	Fixed Width	3.			
Trailing Load	Infinite		15.	Fixed Width	3.			

Add Insert Modify Delete

Floating Axle Loads

	Value	Width Type	Axle Width
For Lane Moments	135	One Point	
For Other Responses	195	One Point	
Floating Axle Load Scale Factor	1		

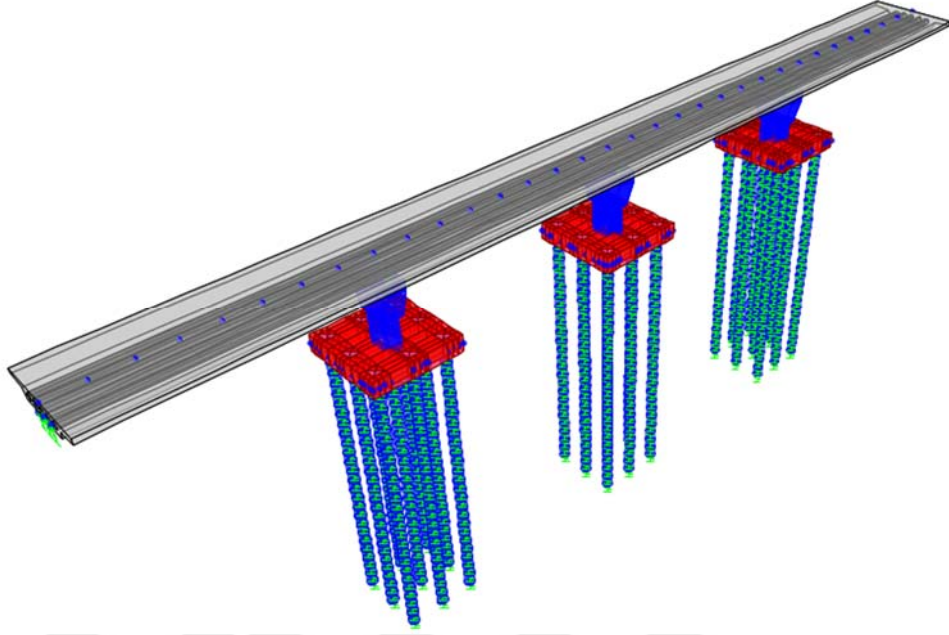
Superelevation Effects

☐ Adjust Vertical Loads for Superelevation

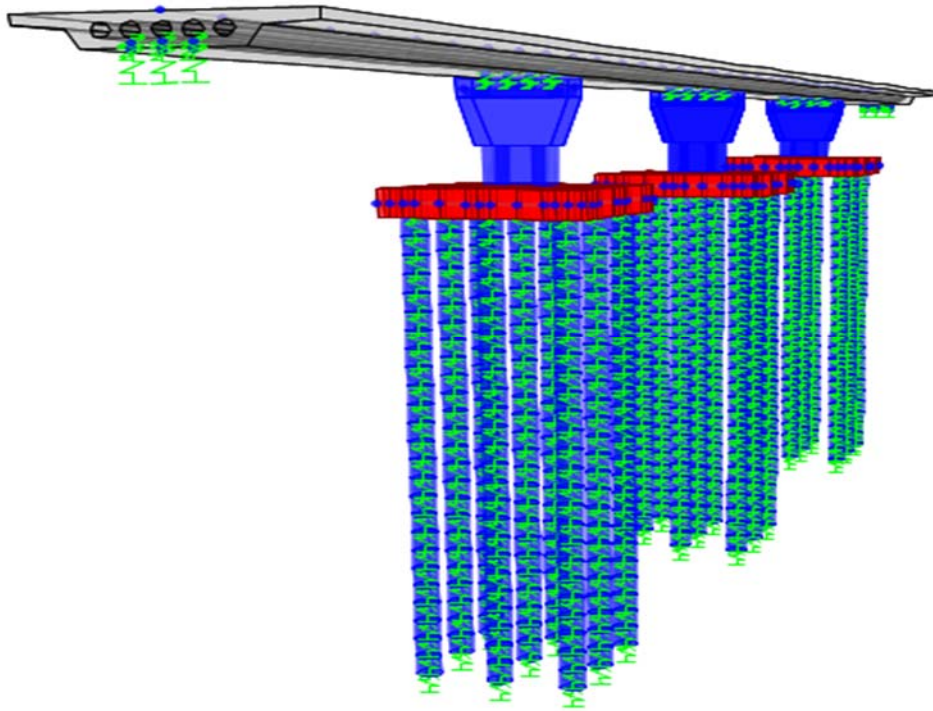
Axle Load Factor: Uniform Load Factor:

Şekil 5.45. Şerit yük ataması

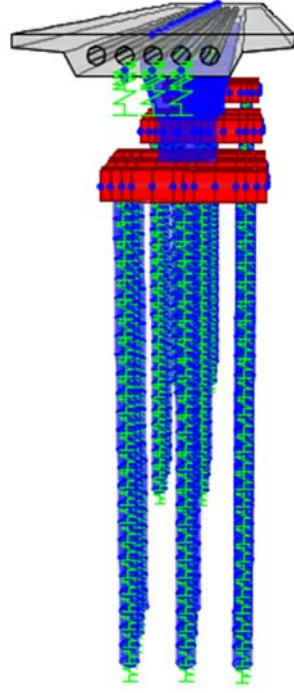
5.2.9.3D Modellemesi



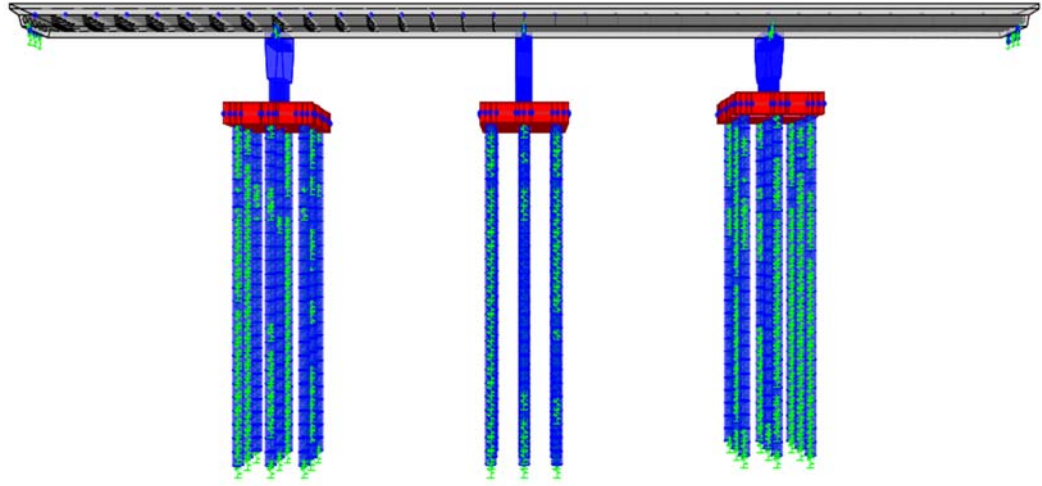
Şekil 5.46. 3D Köprü modeli – CSI Bridge



Şekil 5.47. 3D Köprü modeli – CSI Bridge



Şekil 5.48. 3D Köprü modeli – CSI Bridge



Şekil 5.49. 3D Köprü modeli – CSI Bridge

6. SİSMİK TASARIM - CSİ BRIDGE

6.1. Sismik Tasarım Parametrelerinin Ayarlanması

Modelin sismik analizini yapmadan önce aşağıdaki adımları izleyerek sismik tasarım parametreleri belirlenir(Şekil 6.1).

- 1- Tepki spektrum fonksiyonu “TSC-2007” olarak daha önce bölüm 5.2.6’da tanımlanmıştır.
- 2- **Siesmic Design Category** (Sismik Tasarım Kategorisi) “D” olarak seçilmiştir ve push-over analizi program tarafından yapılır.

D: Yapılar sismik kuvvetlere dayanacak şekilde tasarlanmalıdır. Yalnızca iyi performans sağlayabilen yapısal sistemlere izin verilir. Yaralanmaya neden olabilecek yapısal olmayan bileşenler sismik kısıtlama ile sağlanmalıdır. Can güvenliği için yapısal olmayan sistemler gerekli korumanın deprem sonrası işlevselliğe sahip olduğu kanıtlanmalıdır.

Tablo 6.1. Saha sınıfı tanımları(AASHTO 3.10.3.1-1)

Saha sınıfı	Zemin türü ve profili
A	$\bar{v}_s > 5.000$ ft/s, Sert kaya kesme dalgası hızı
B	2.500 ft/sn $< \bar{v}_s < 5.000$ ft/s, kaya
C	1.200 ft/sn $< \bar{v}_s < 2.500$ ft/s hızlı çok yoğun zemin ve zemin kayası, veya da $\bar{N} > 50$ şişme/ft veya $\bar{s}_u > 2.0$ ksf ikisiyle
D	600 ft/s $< \bar{v}_s < 1,200$ ft/s hızlı veya $15 < \bar{N} < 50$ şişme/ft veya her ikisi $1,0 < \bar{s}_u < 2,0$ ksf rijit zemin
E	$\bar{v}_s < 600$ ft/s hızlı ya da ikisiyle $\bar{N} < 15$ şişme/ft veya $\bar{s}_u < 1.0$ ksf ile zemin profili, veya yumuşak kil 10 ft’tan daha fazlasına sahip herhangi bir zemin profili $PI > 20$, $w >$ yüzde 40 ve $\bar{s}_u < 0.5$ ksf
F	Aşağıdaki gibi bölgeye özel değerlendirmeler gerektiren zeminler • Turbalar veya yüksek oranda organik killer (H = toprak kalınlığı $H > 10$ ft turba veya yüksek oranda organik kil) • Çok yüksek plastisiteli killer ($PI > 75$ ile $H > 25$ ft) • Çok kalın yumuşak/orta sertlikte killer ($H > 120$ ft)

$\bar{v}_s$ = Zemin profilinin 100 ft’ün üstü için ortalama kayma dalgası hızı

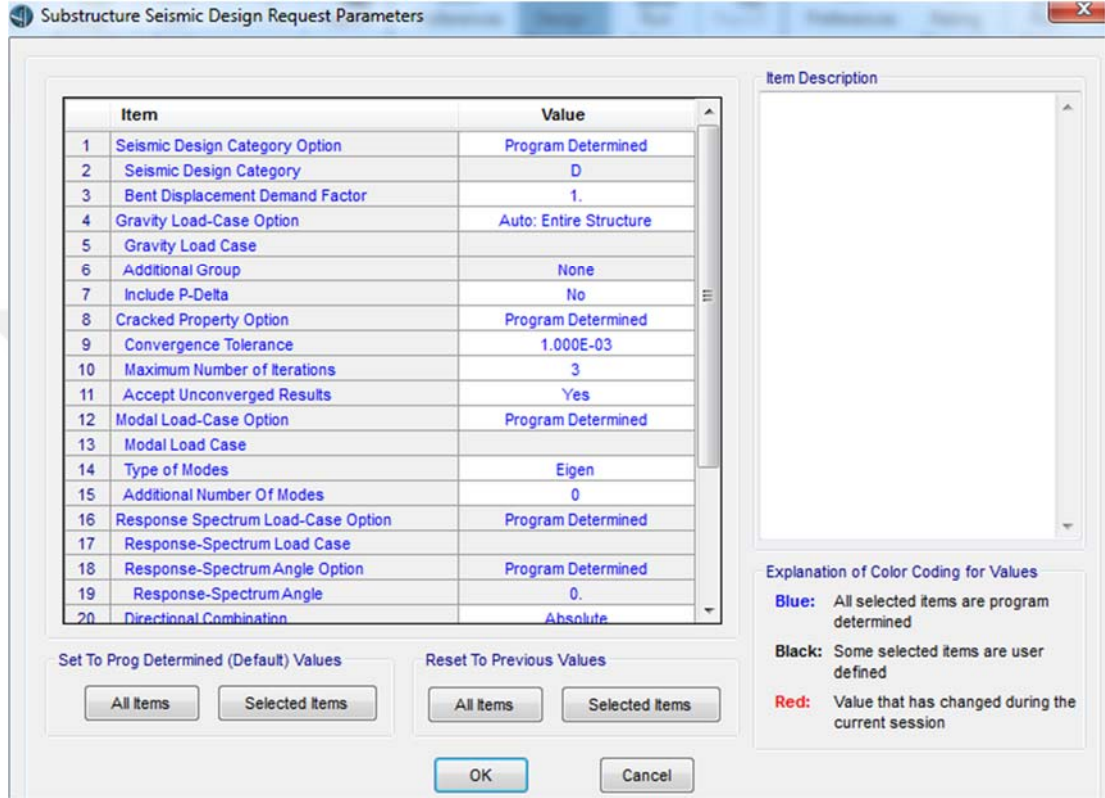
$\bar{N}$ = Zemin profilinin 100 ft’ün üstü için ortalama Standart Penetrasyon Testi (SPT) darbe sayısı (şişme/ft) (ASTM D1586)

$\bar{s}_u$ = Zemin profilinin 100 ft’ün üstü için ksf (ASTM D2166 veya ASTM D2850) cinsinden ortalama drenajsız kayma mukavemeti

PI = Plastisite endeksi (ASTM D4318)

w = Nem içeriği (ASTM D2216)

- 3- Yerçekimi yük durumu için tüm yapı kullanılır.
- 4- Çatlak özelliği ve model yükleme durumu seçenekleri “program belirlendi” olarak seçildi.
- 5- Sismik tasarım tamamlandığında; yazılım, model ve itme analizi gibi otomatik olarak oluşturulan yük durumlarını görüntüler.

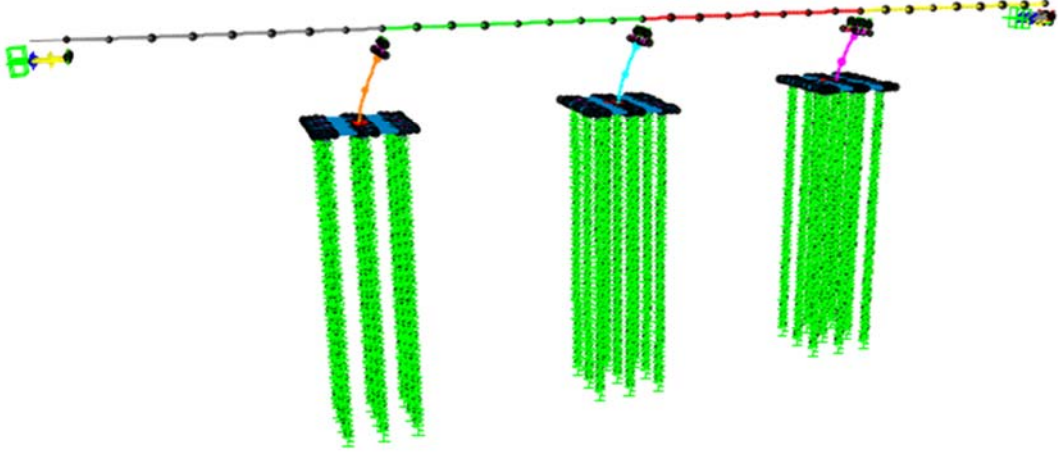


Şekil 6.1. Sismik tasarım parametreleri

6.2. Model Analiz Sonuçları

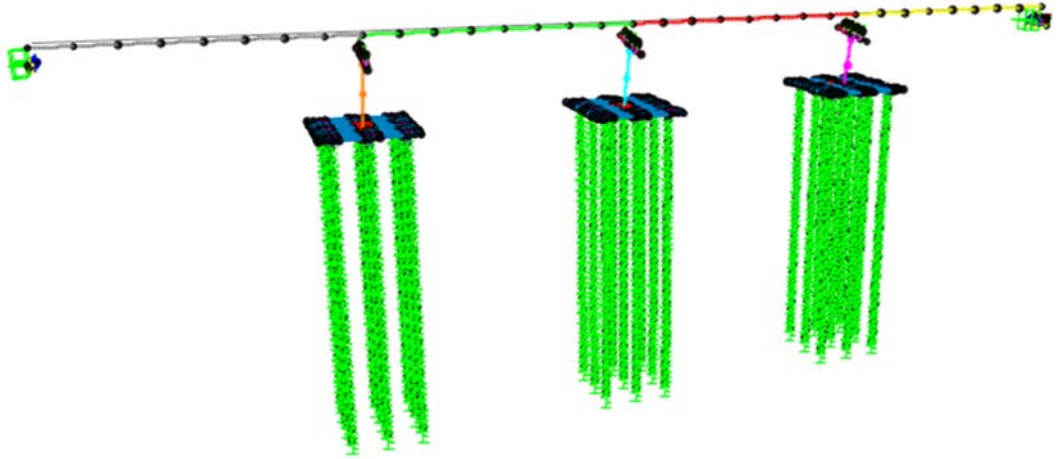
Geçerli bir sismik aktivitede, model analizi yapılarak doğal frekanslar ve herhangi bir yapının periyotları belirlenir. Önerilen köprünün tepki spektrumunu elde etmek için, ilk altı mod şekilleri ve frekansları aşağıda gösterilmiştir.

Deformed Shape (MODAL) - Mode 1; $T = 0.82222$; $f = 1.21622$



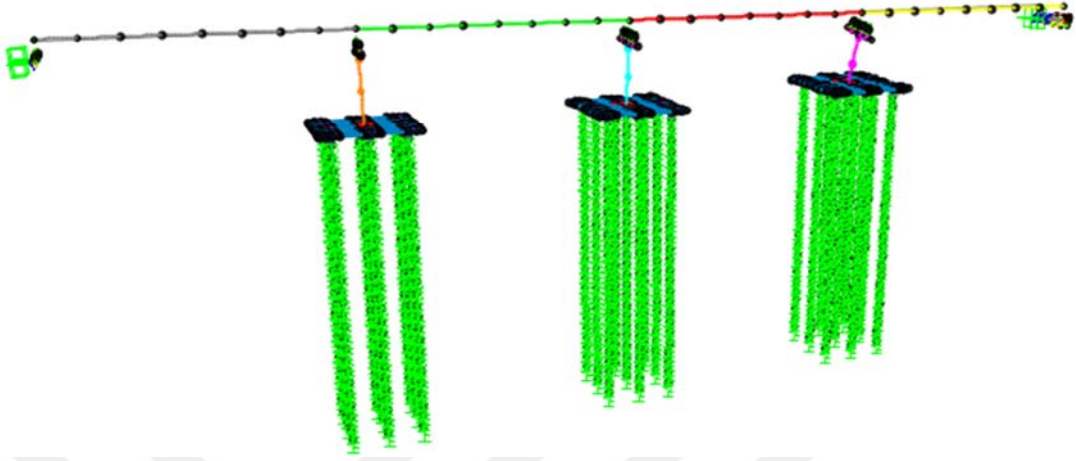
Şekil 6.2. Mod 1; ($T = 0.82222$; $f = 1.21622$ Hz, CSiBridge)

Deformed Shape (MODAL) - Mode 2; $T = 0.59488$; $f = 1.68102$



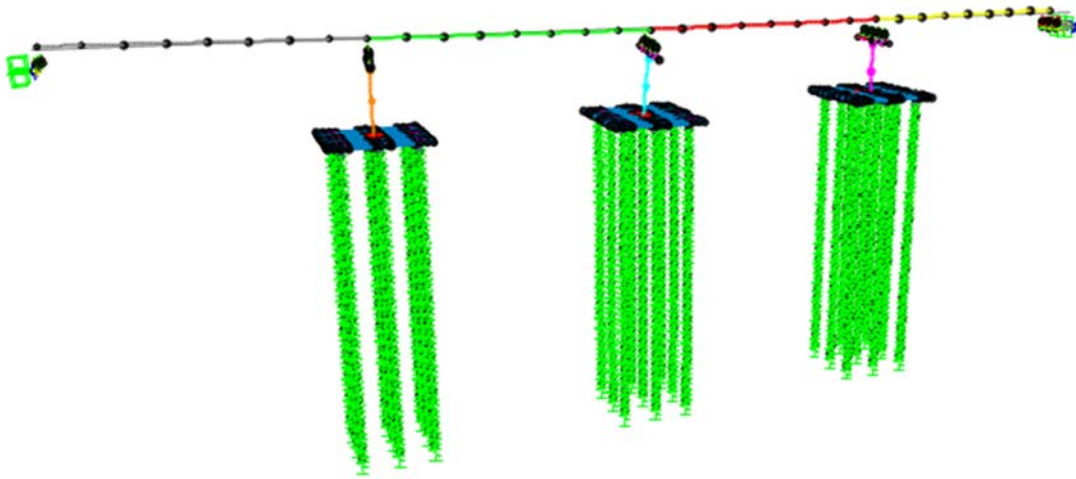
Şekil 6.3. Mod 2; ($T = 0.59488$; $f = 1.68102$ Hz, CSiBridge)

Deformed Shape (MODAL) - Mode 3; T = 0.52426; f = 1.90744



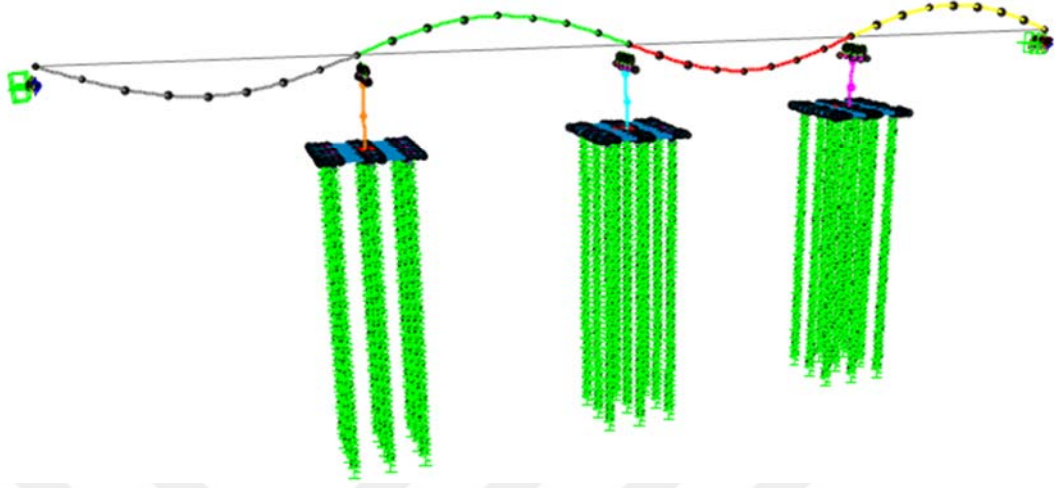
Şekil 6.4. Mod 3; (T = 0.52426; f = 1.90744 Hz, CSiBridge)

Deformed Shape (MODAL) - Mode 4; T = 0.26845; f = 3.72511



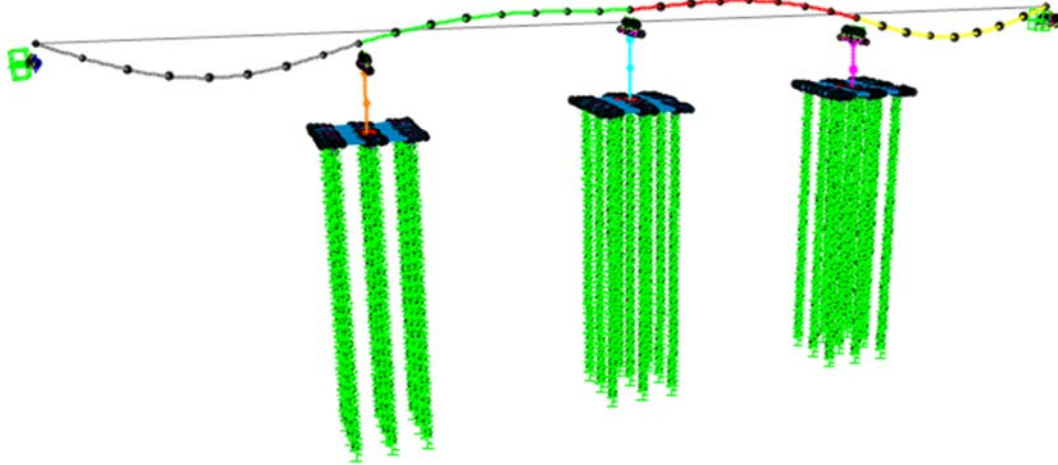
Şekil 6.5. Mod 4; (T = 0.26845; f = 3.72511Hz, CSiBridge)

Deformed Shape (MODAL) - Mode 5; T = 0.24129; f = 4.14437



Şekil 6.6. Mod 5; (T = 0.24129; f = 4.14437 Hz, CSiBridge)

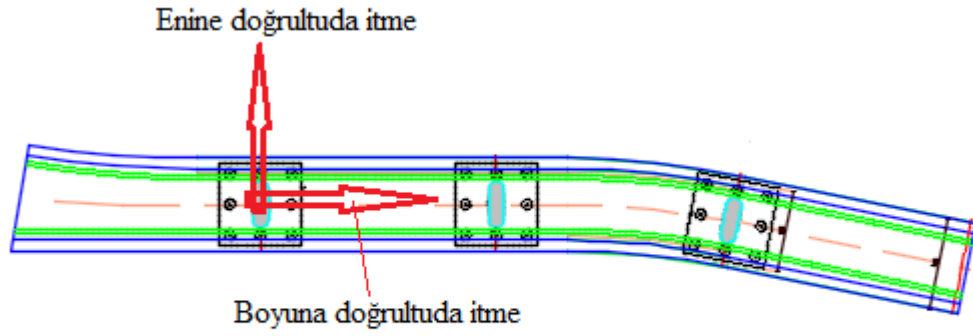
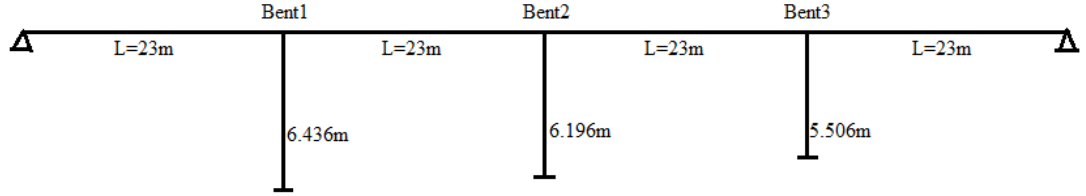
Deformed Shape (MODAL) - Mode 6; T = 0.24001; f = 4.16644



Şekil 6.7. Mod 6; (T = 0.24001; f = 4.16644 Hz, CSiBridge)

6.3. İtme Analizi Sonuçları

Sismik tasarım kategorisi “D” olduğundan, CSi Bridge programı deplasman kapasitesini itme analizini çalıştırarak hesaplar. Tipik olarak deplasman kapasitesi, eğrinin tepe değerinden hemen sonra bulunan nokta olarak alınır. Deplasman her iki yöndeki bentler kapasiteleri aşağıdaki statik itme eğrilerinde gösterilmiştir.



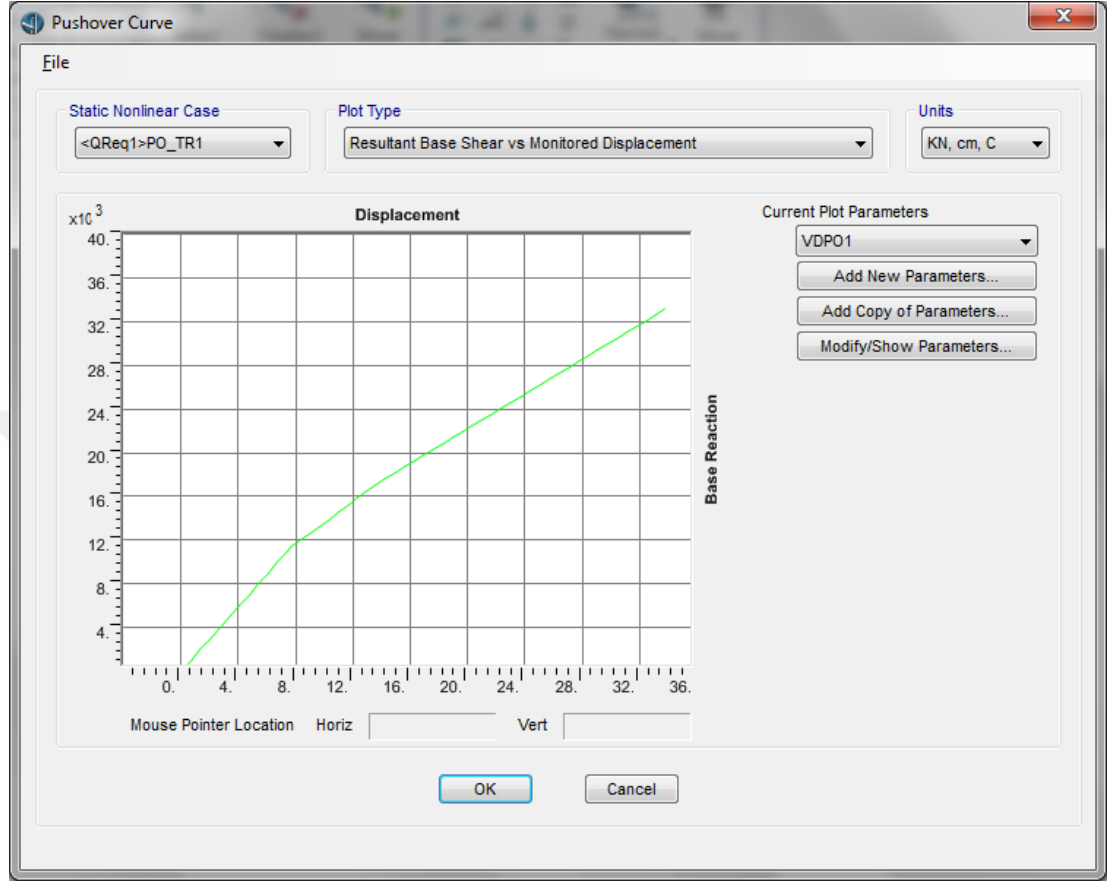
LG: Boyuna doğrultuda itme (Longitudinal Direction)

TR: Enine doğrultuda itme (Transverse Direction)

Statik İtme Eğrileri

Yük Durumu 1: PO-TR1 (Bent 1 için - Enine doğrultuda itme, Transverse Direction)

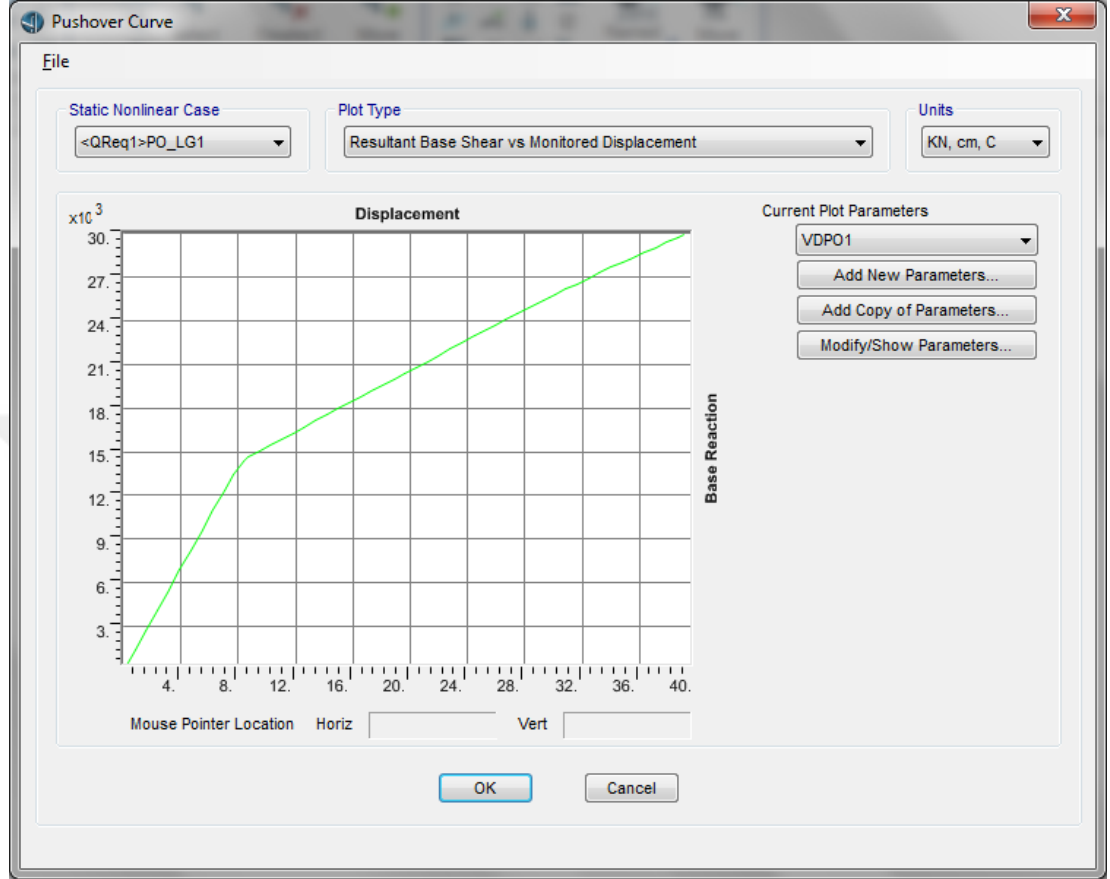
Deplasman kapasitesi: 33.75 cm



Şekil 6.8. Statik itme eğrisi - Yük durumu 1

Yük Durumu 2: PO-LG1 (Bent 1 için - Boyuna doğrultuda itme, Longitudinal Direction)

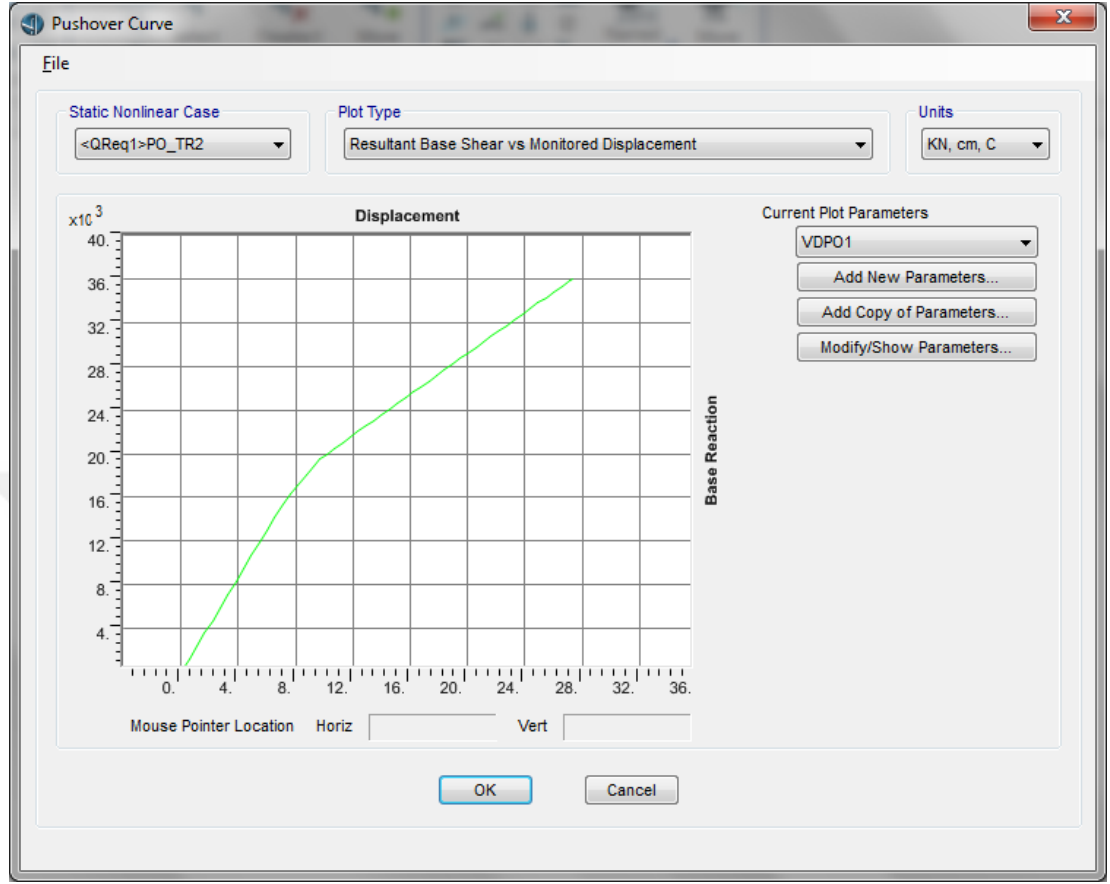
Deplasman kapasitesi: 39.18 cm



Şekil 6.9. Statik itme eğrisi - Yük durumu 2

Yük Durumu 3: PO-TR2 (Bent 2 için - Enine doğrultuda itme, Transverse Direction)

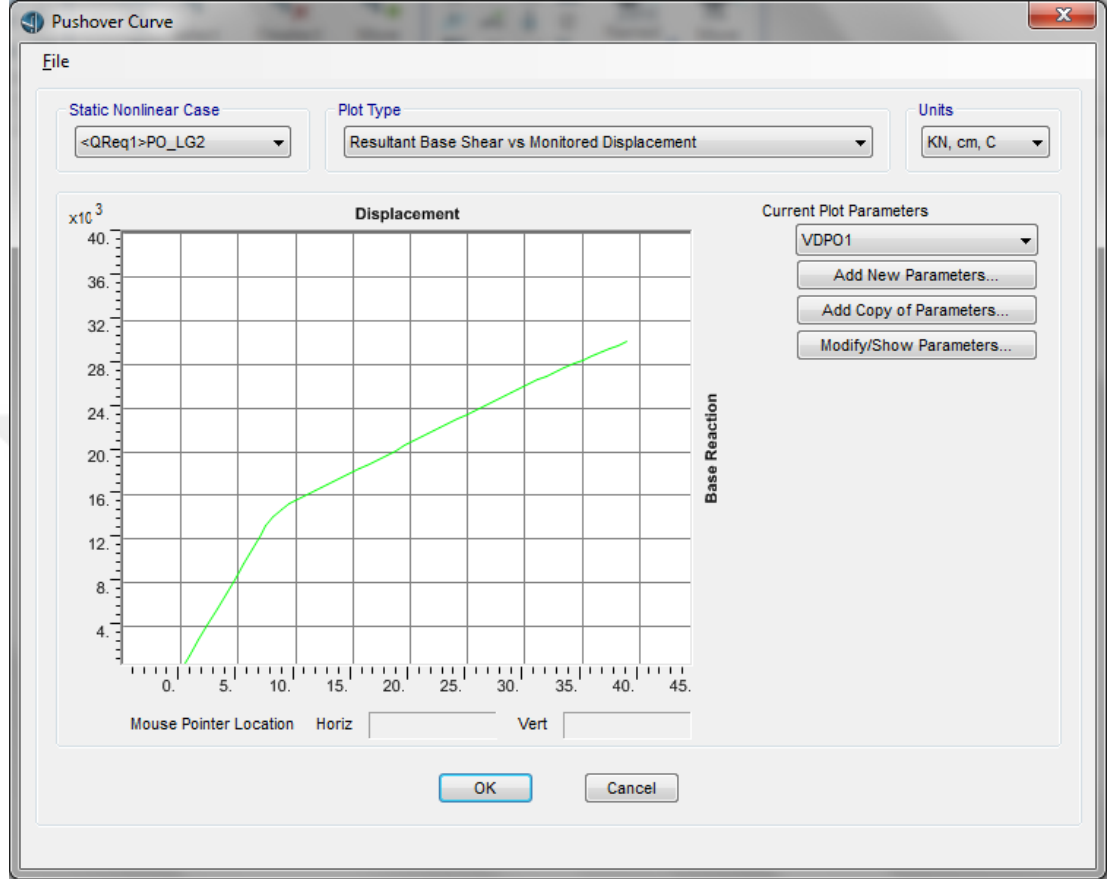
Deplasman kapasitesi: 27.22 cm



Şekil 6.10. Statik itme eğrisi - Yük durumu 3

Yük Durumu 4: PO-LG2 (Bent 2 için - Boyuna doğrultuda itme, Longitudinal Direction)

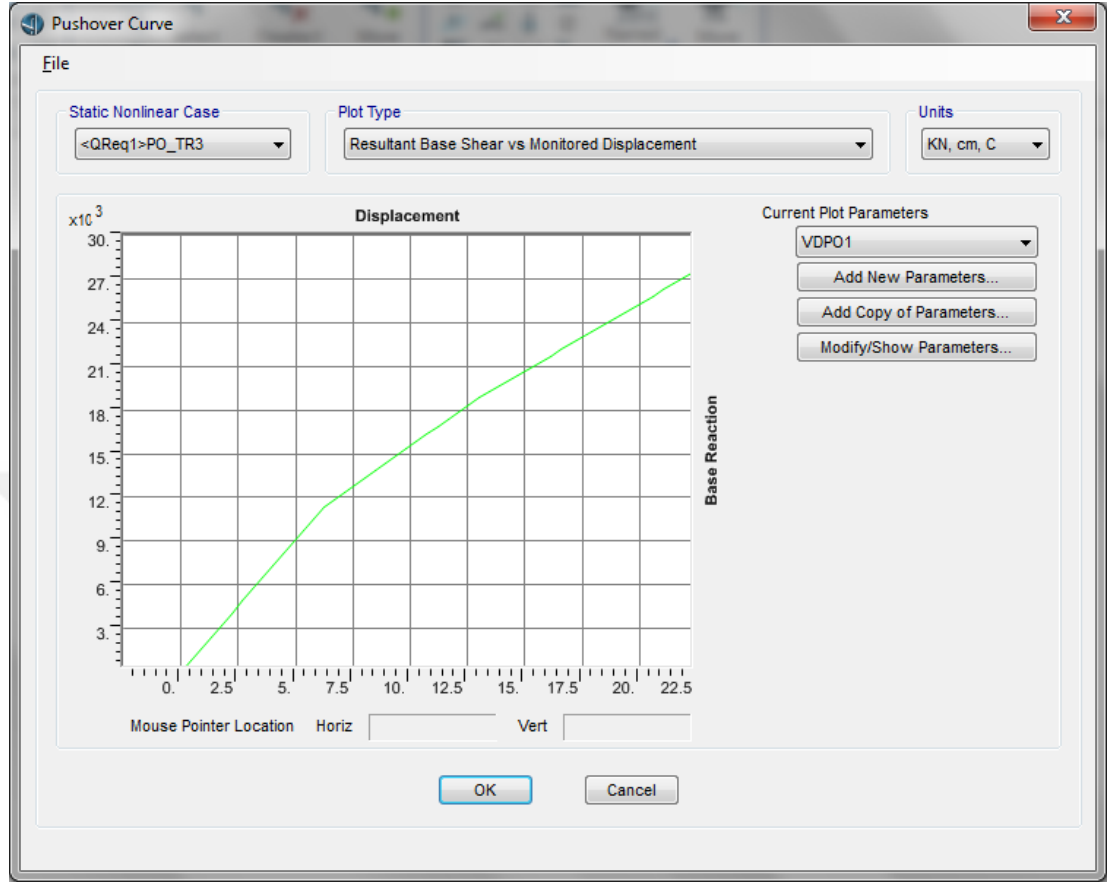
Deplasman kapasitesi: 38.87 cm



Şekil 6.11. Statik itme eğrisi - Yük durumu 4

Yük Durumu 5: PO-TR3 (Bent 3 için - Enine doğrultuda itme, Transverse Direction)

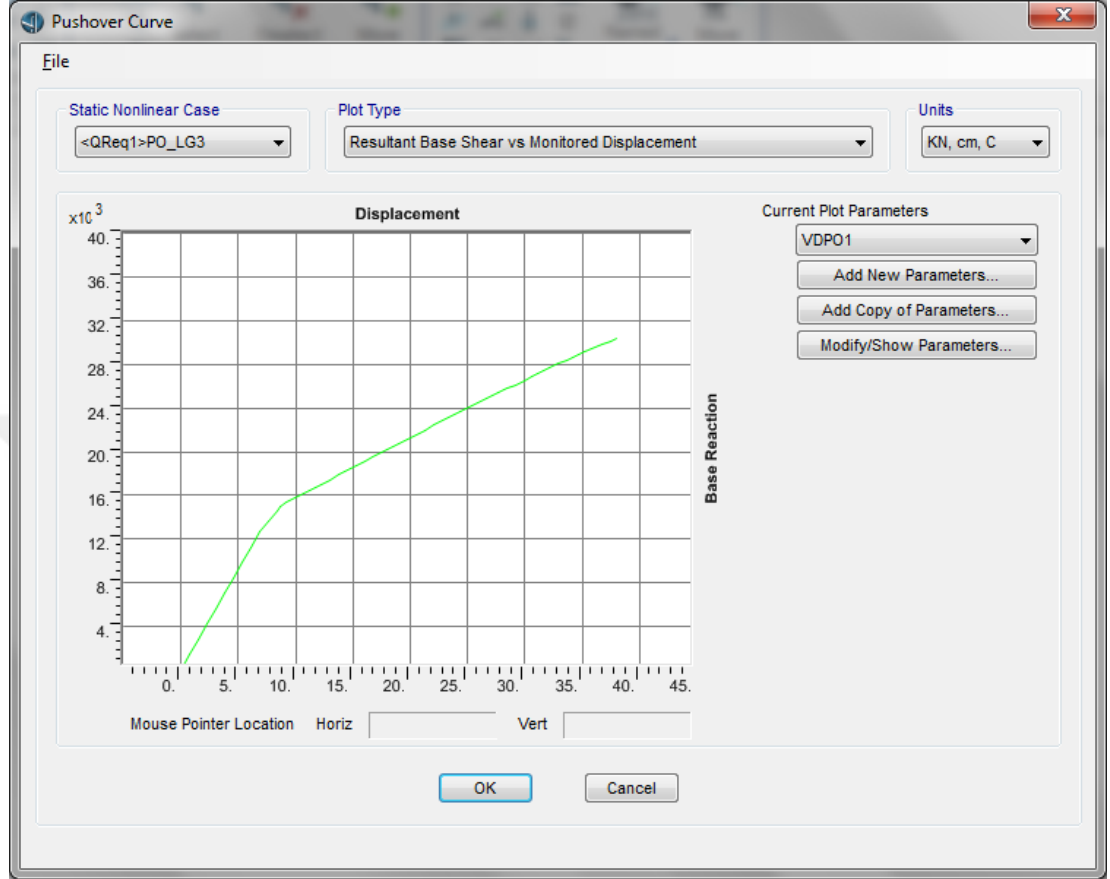
Deplasman kapasitesi: 22.18 cm



Şekil 6.12. Statik itme eğrisi - Yük durumu 5

Yük Durumu 6: PO-LG3 (Bent 3 için - Boyuna doğrultuda itme, Longitudinal Direction)

Deplasman kapasitesi: 37.85 cm

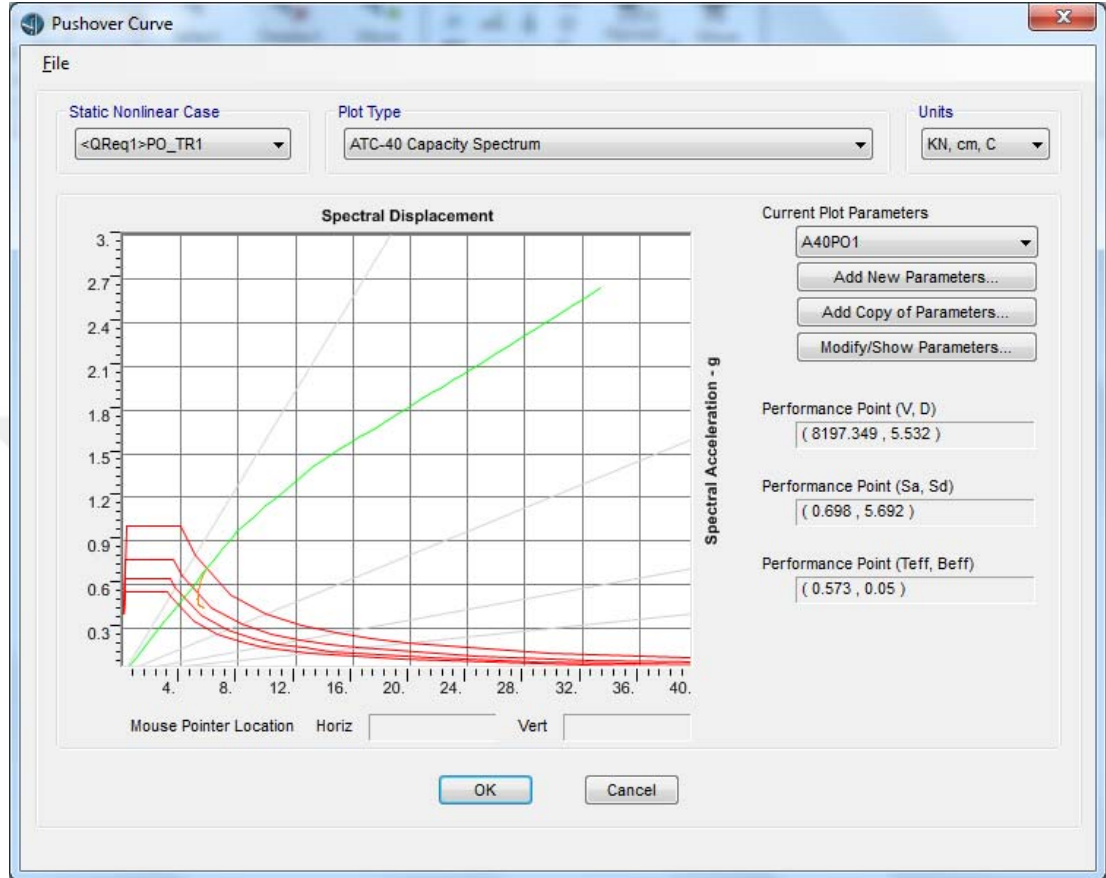


Şekil 6.13. Statik itme eğrisi - Yük durumu 6

Yük Durumu 1: PO-TR1 (Bent 1 için - Enine doğrultuda itme, Transverse Direction)

Taban kesme kuvveti (V) = 8197.349 kN

Tepe deplasmanı (D) = 5.532 cm

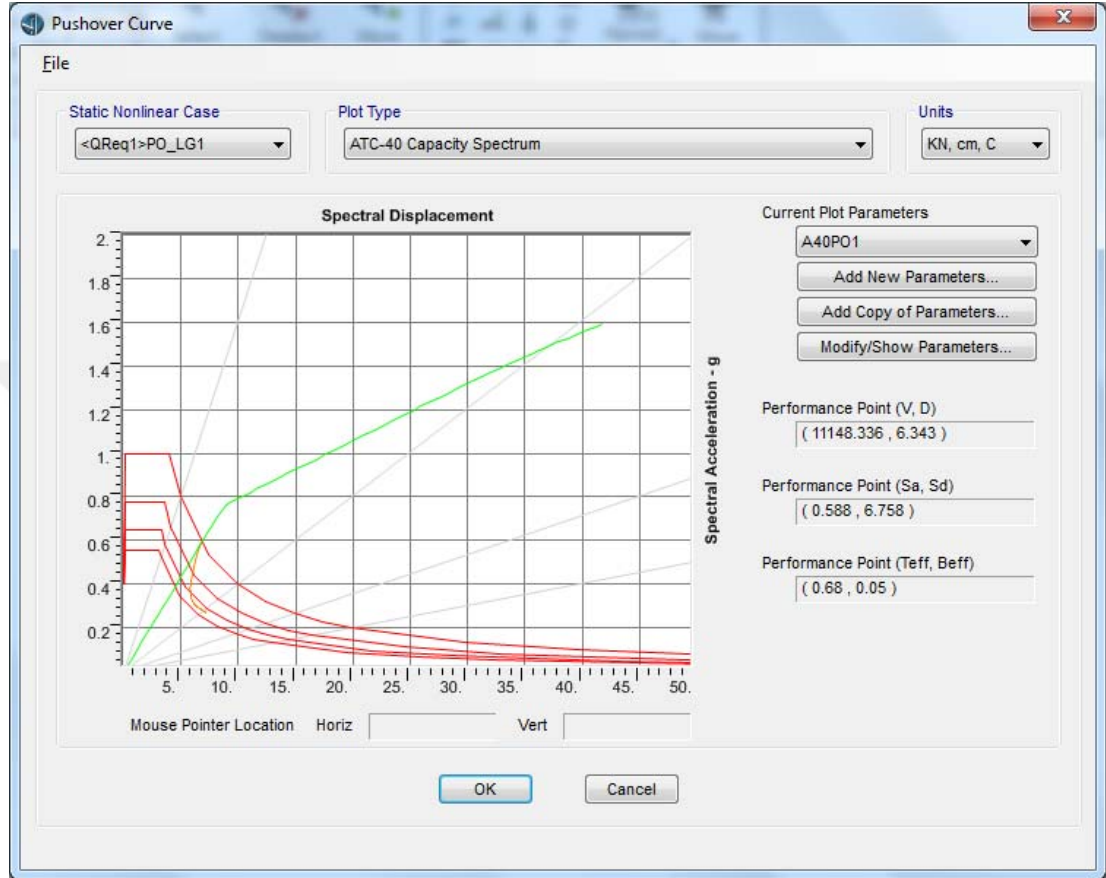


Şekil 6.14. ATC-40 Spektrum kapasitesi - Yük durumu 1

Yük Durumu 2: PO-LG1 (Bent 1 için - Boyuna doğrultuda itme, Longitudinal Direction)

Taban kesme kuvveti (V) = 11148.336 kN

Tepe deplasmanı (D) = 6.343 cm

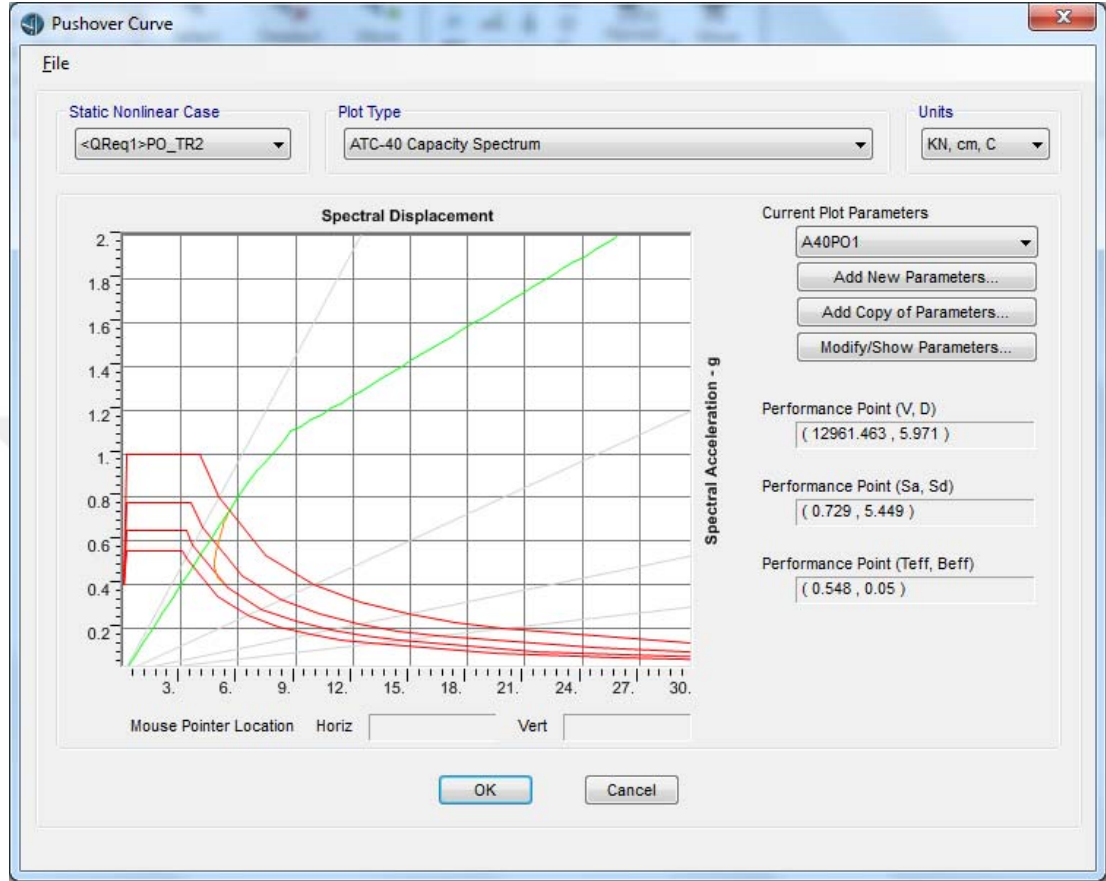


Şekil 6.15. ATC-40 Spektrum kapasitesi - Yük durumu 2

Yük Durumu 3: PO-TR2 (Bent 2 için - Enine doğrultuda itme, Transverse Direction)

Taban kesme kuvveti (V) = 12961.463 kN

Tepe deplasmanı (D) = 5.971 cm

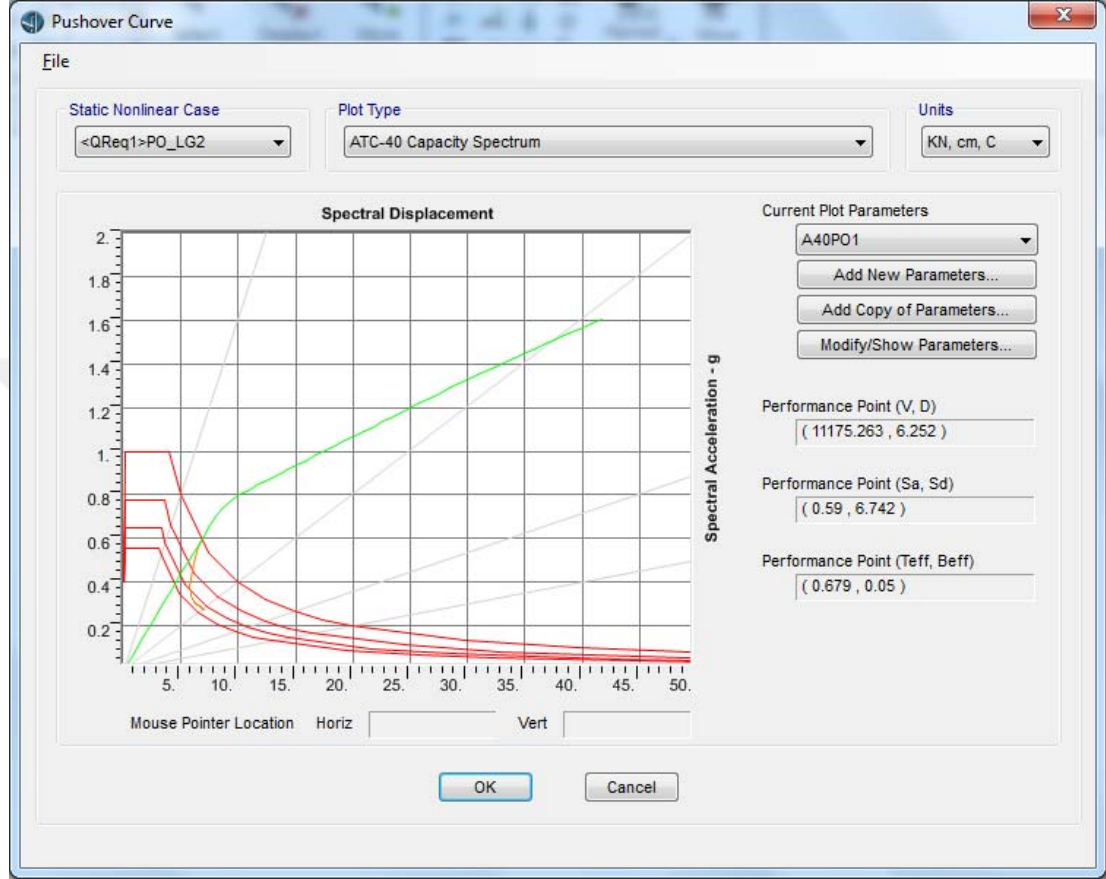


Şekil 6.16. ATC-40 Spektrum kapasitesi - Yük durumu 3

Yük Durumu 4: PO-LG2 (Bent 2 için - Boyuna doğrultuda itme, Longitudinal Direction)

Taban kesme kuvveti (V) = 11175.263 kN

Tepe deplasmanı (D) = 6.252 cm

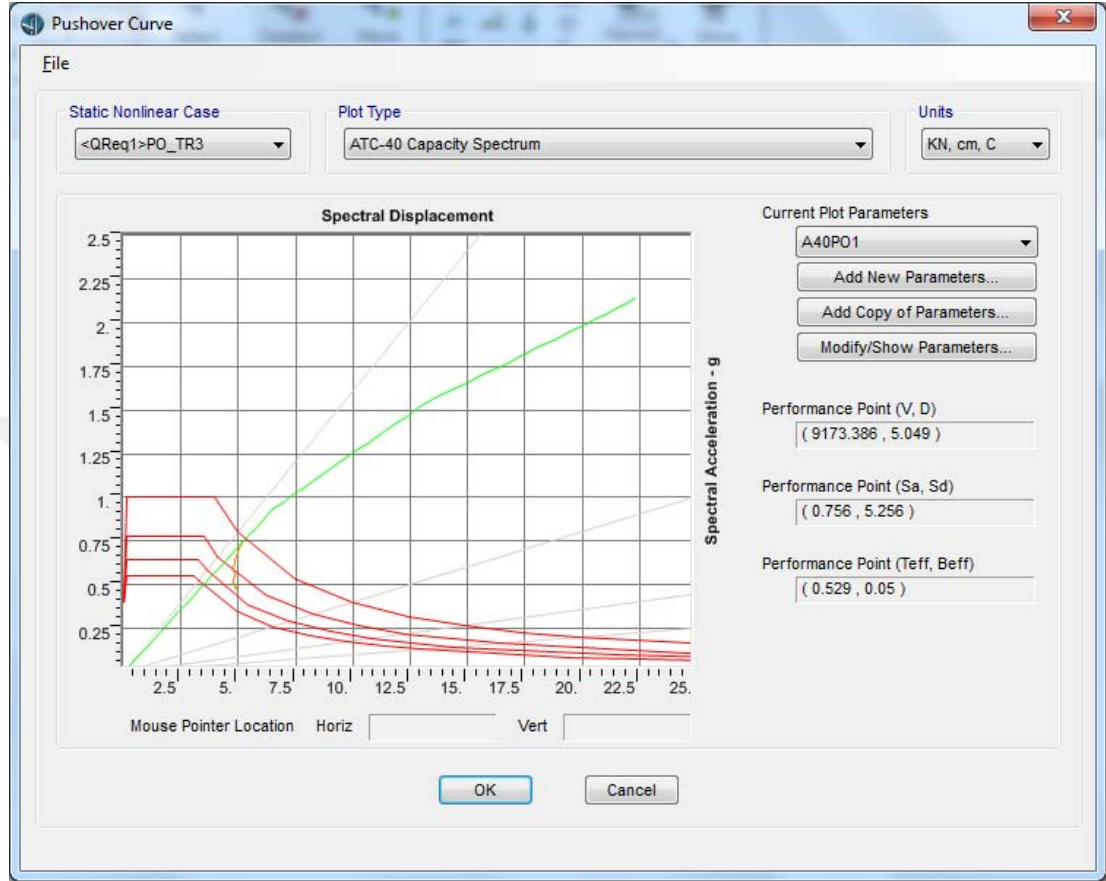


Şekil 6.17. ATC-40 Spektrum kapasitesi - Yük durumu 4

Yük Durumu 5: PO-TR3 (Bent 3 için - Enine doğrultuda itme, Transverse Direction)

Taban kesme kuvveti (V) = 9173.386 kN

Tepe deplasmanı (D) = 5.049 cm

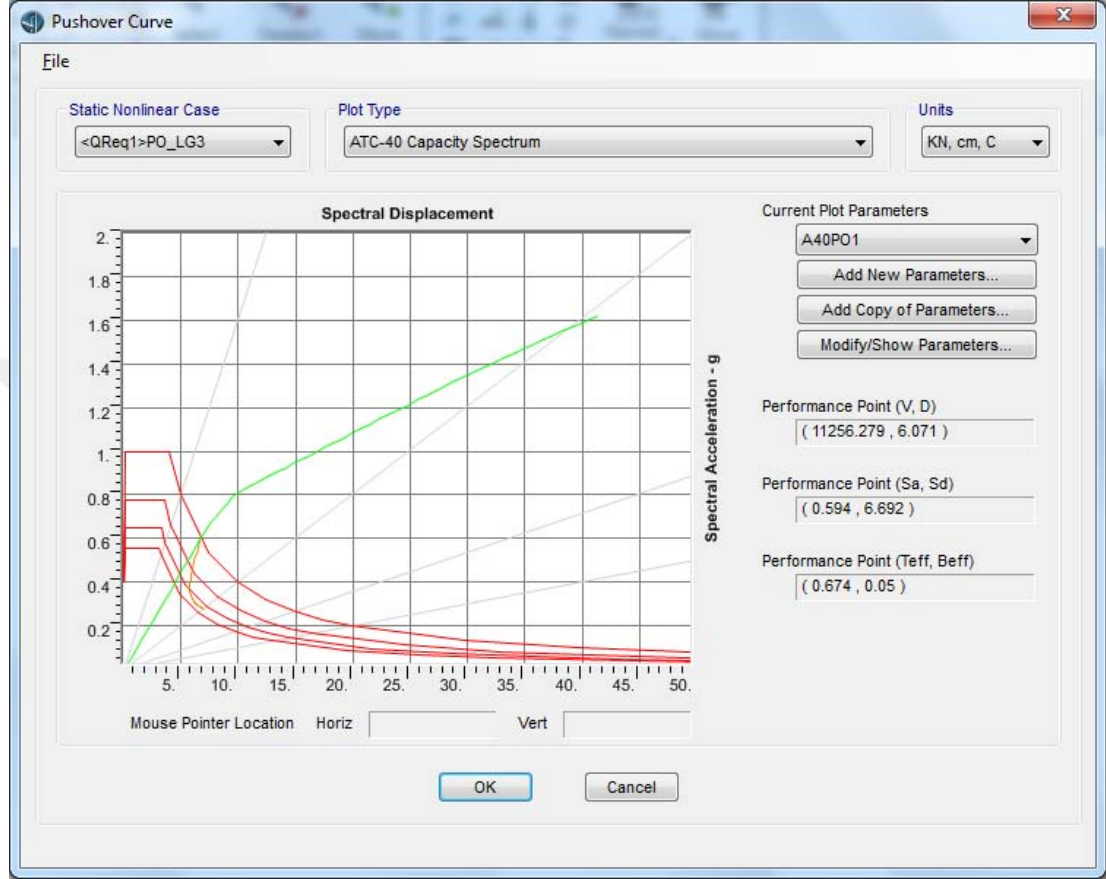


Şekil 6.18. ATC-40 Spektrum kapasitesi - Yük durumu 5

Yük Durumu 6: PO-LG3 (Bent 3 için - Boyuna doğrultuda itme, Longitudinal Direction)

Taban kesme kuvveti (V) = 11256.279 kN

Tepe deplasmanı (D) = 6.071 cm

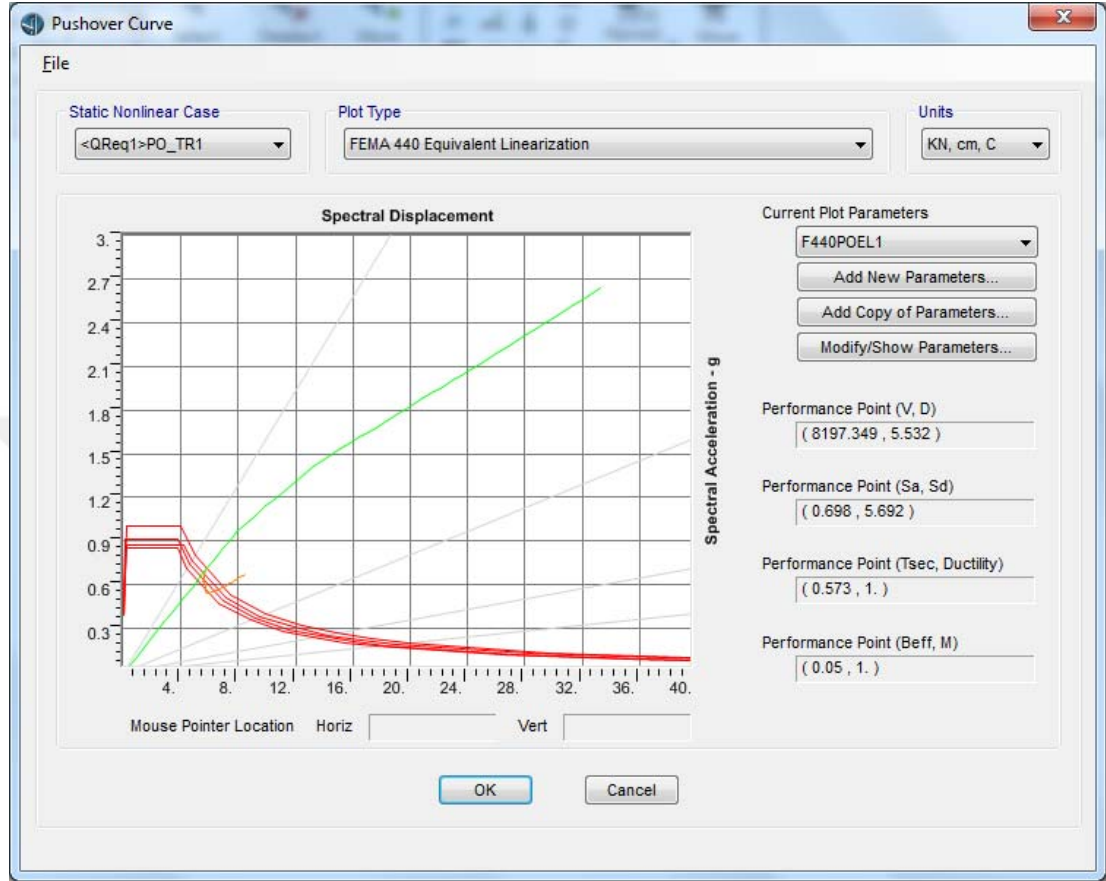


Şekil 6.19. ATC-40 Spektrum kapasitesi - Yük durumu 6

Yük Durumu 1: PO-TR1 (Bent 1 için - Enine doğrultuda itme, Transverse Direction)

Taban kesme kuvveti (V) = 8197.349 kN

Tepe deplasmanı (D) = 5.532 cm

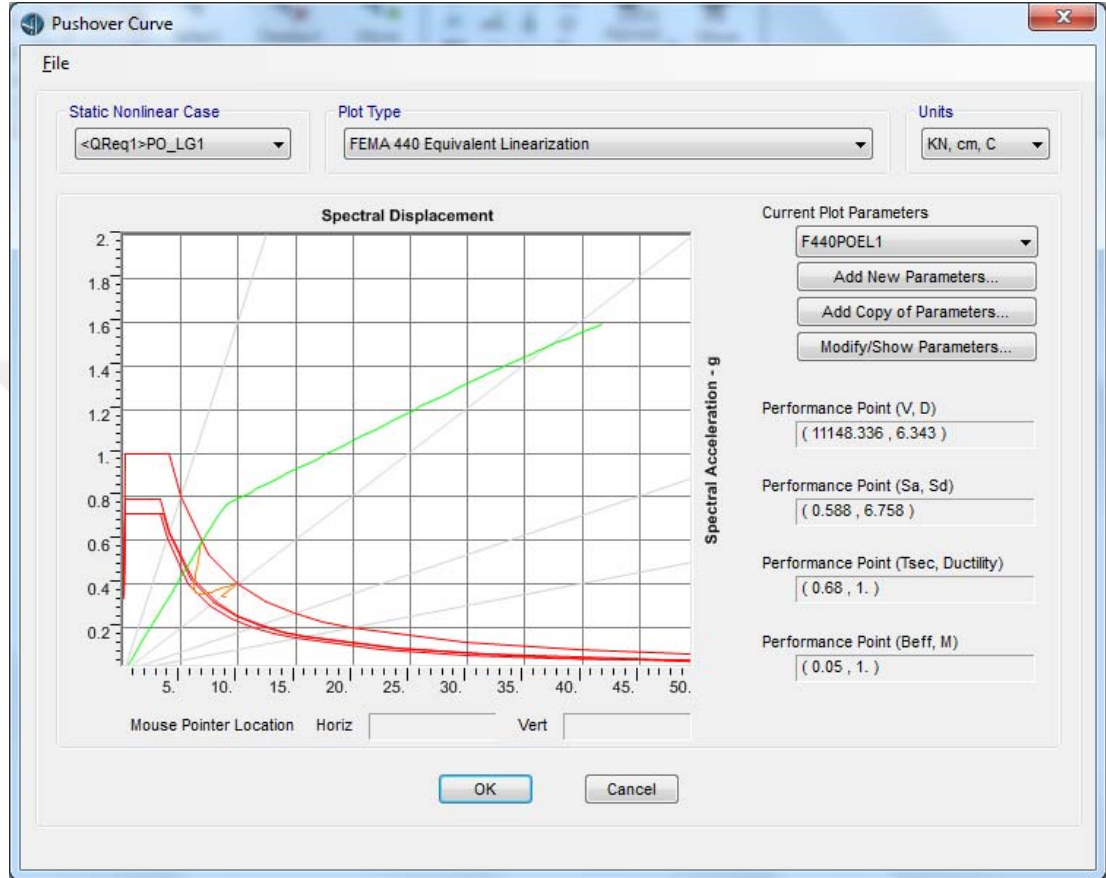


Şekil 6.20. FEMA 440 Equivalent linearization - Yük durumu 1

Yük Durumu 2: PO-LG1 (Bent 1 için - Boyuna doğrultuda itme, Longitudinal Direction)

Taban kesme kuvveti (V) = 11148.336 kN

Tepe deplasmanı (D) = 6.343 cm

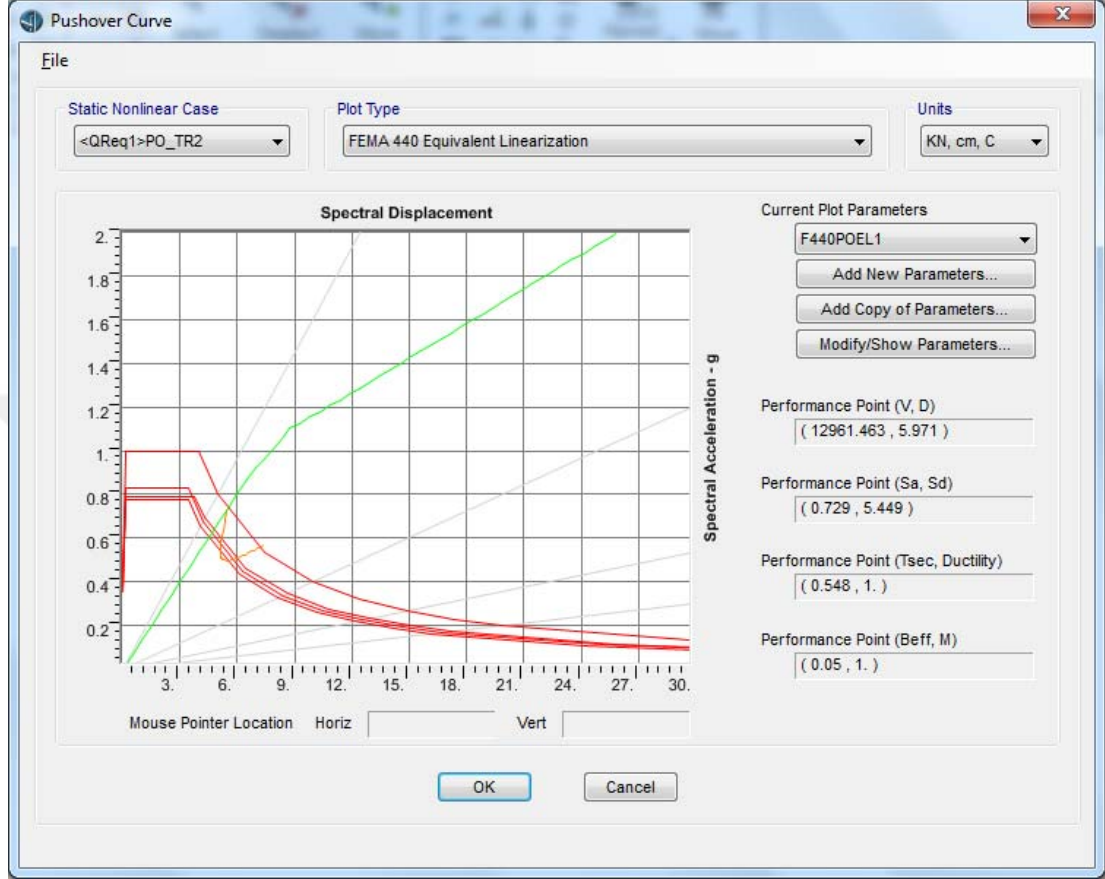


Şekil 6.21. FEMA 440 Equivalent linearization - Yük durumu 2

Yük Durumu 3: PO-TR2 (Bent 2 için - Enine doğrultuda itme, Transverse Direction)

Taban kesme kuvveti (V) = 12961.463 kN

Tepe deplasmanı (D) = 5.971 cm

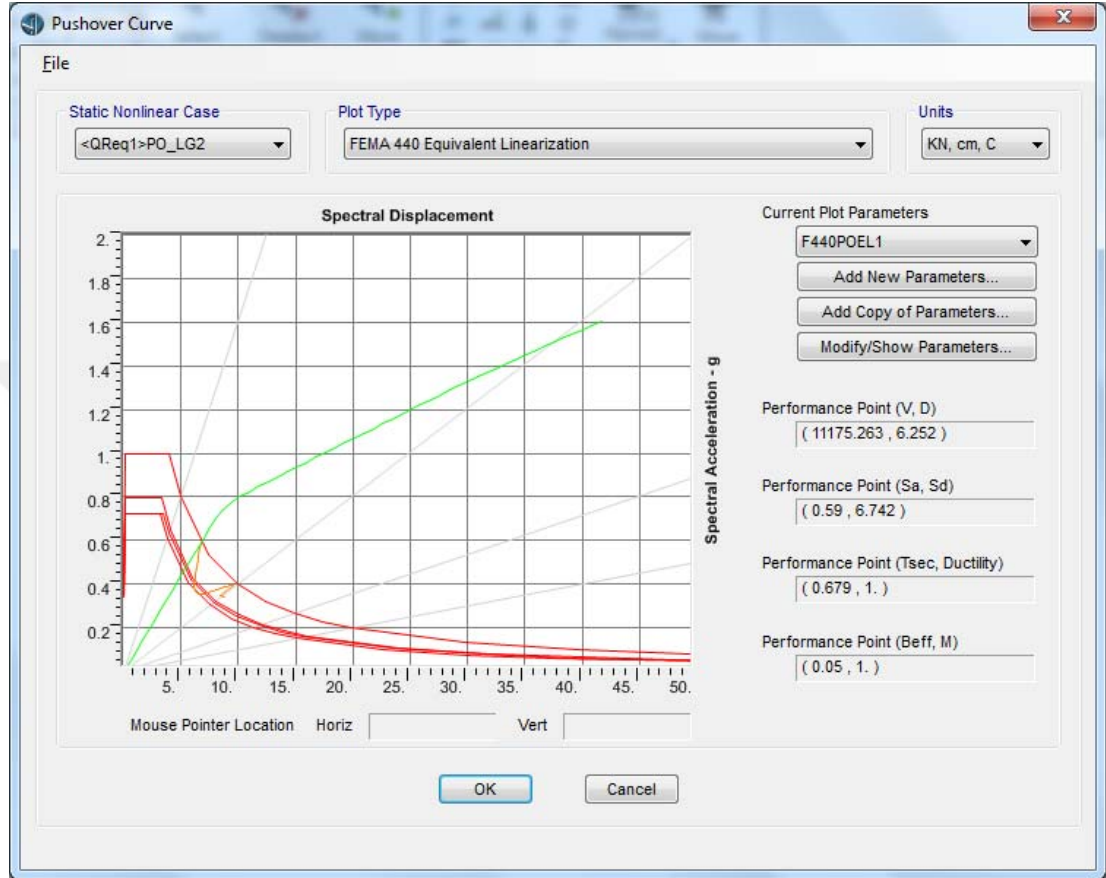


Şekil 6.22. FEMA 440 Equivalent linearization - Yük durumu 3

Yük Durumu 4: PO-LG2 (Bent 2 için - Boyuna doğrultuda itme, Longitudinal Direction)

Taban kesme kuvveti (V) = 11175.263 kN

Tepe deplasmanı (D) = 6.252 cm

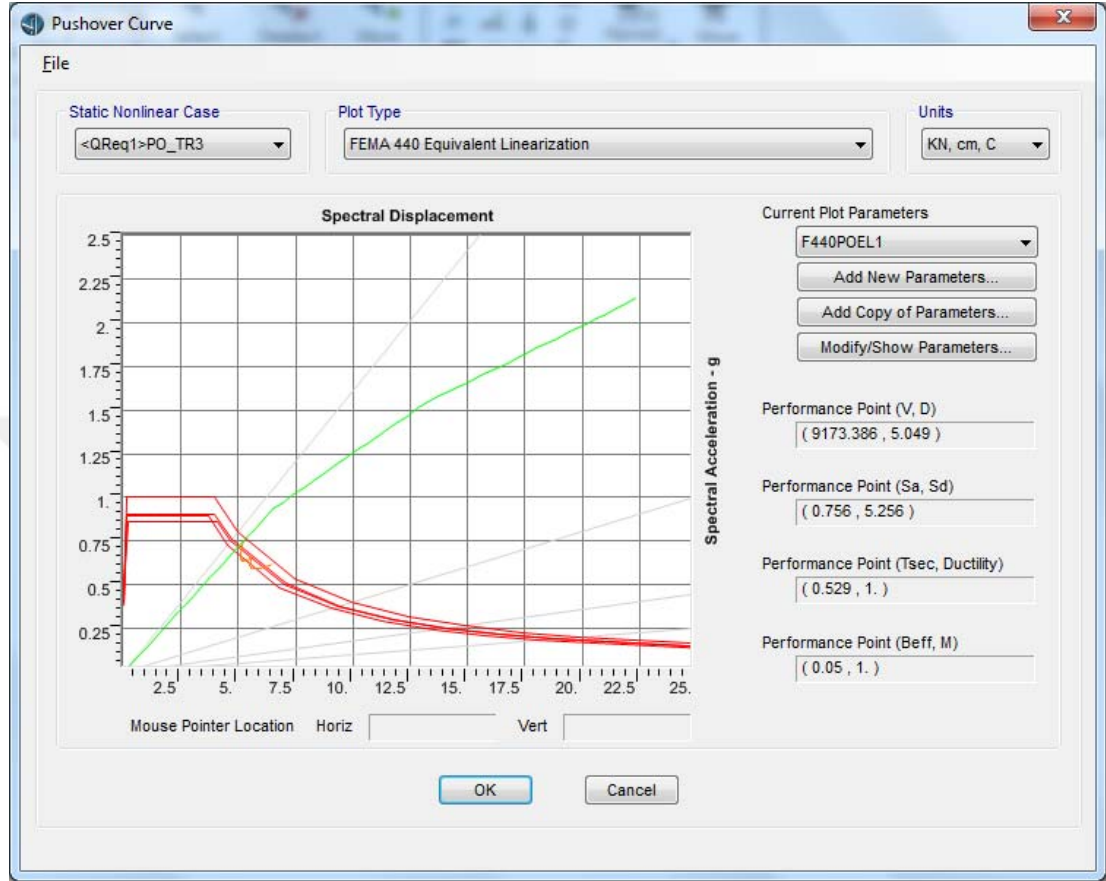


Şekil 6.23. FEMA 440 Equivalent linearization - Yük durumu 4

Yük Durumu 5: PO-TR3 (Bent 3 için - Enine doğrultuda itme, Transverse Direction)

Taban kesme kuvveti (V) = 9173.386 kN

Tepe deplasmanı (D) = 5.049 cm

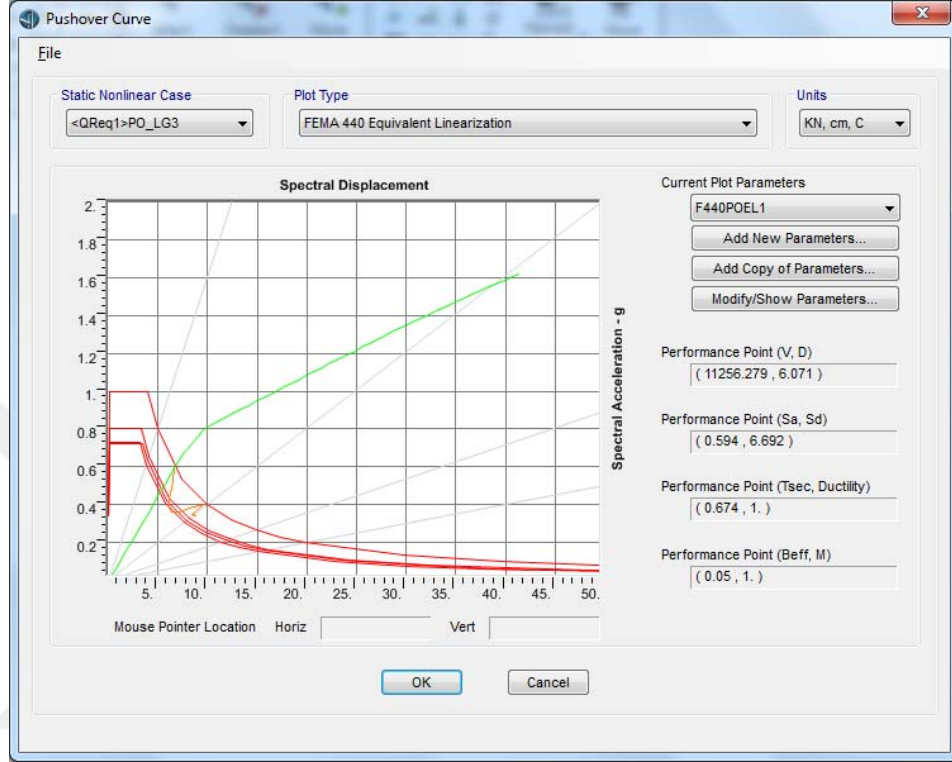


Şekil 6.24. FEMA 440 Equivalent linearization- Yük durumu 5

Yük Durumu 6: PO-LG3 (Bent 3 için - Boyuna doğrultuda itme, Longitudinal Direction)

Taban kesme kuvveti (V) = 11256.279 kN

Tepe deplasmanı (D) = 6.071 cm



Şekil 6.25. FEMA 440 Equivalent linearization - Yük durumu 6

6.4. Bentler İçin Demand/Capacity(Talep/Kapasite) Ooranı

D/C kapasiteleri 1'in kritik değerinden daha düşük, D/C = 0.25 bulunmuştur.

DesReqName	BridgeObj Text	SDCategory	SpanName Text	Station m	Direction Text	GenDispl Text	Demand m	Capacity m	DCRatio Unitless	Status Text
QReq1	KOPRU	D	Span 1	23	TRANS	<QReq1>GD_TR11	0.047158	0.188629	0.25	Finished
QReq1	KOPRU	D	Span 1	23	LONG	<QReq1>GD_LG11	0.099682	0.398752	0.25	Finished
QReq1	KOPRU	D	Span 2	46	TRANS	<QReq1>GD_TR21	0.03719	0.148758	0.25	Finished
QReq1	KOPRU	D	Span 2	46	LONG	<QReq1>GD_LG21	0.098216	0.392869	0.25	Finished
QReq1	KOPRU	D	Span 3	69	TRANS	<QReq1>GD_TR31	0.05665	0.226598	0.25	Finished
QReq1	KOPRU	D	Span 3	69	LONG	<QReq1>GD_LG31	0.095509	0.381955	0.2501	Finished

Şekil 6.26. Demand/Capacity (Talep/Kapasite) oranları

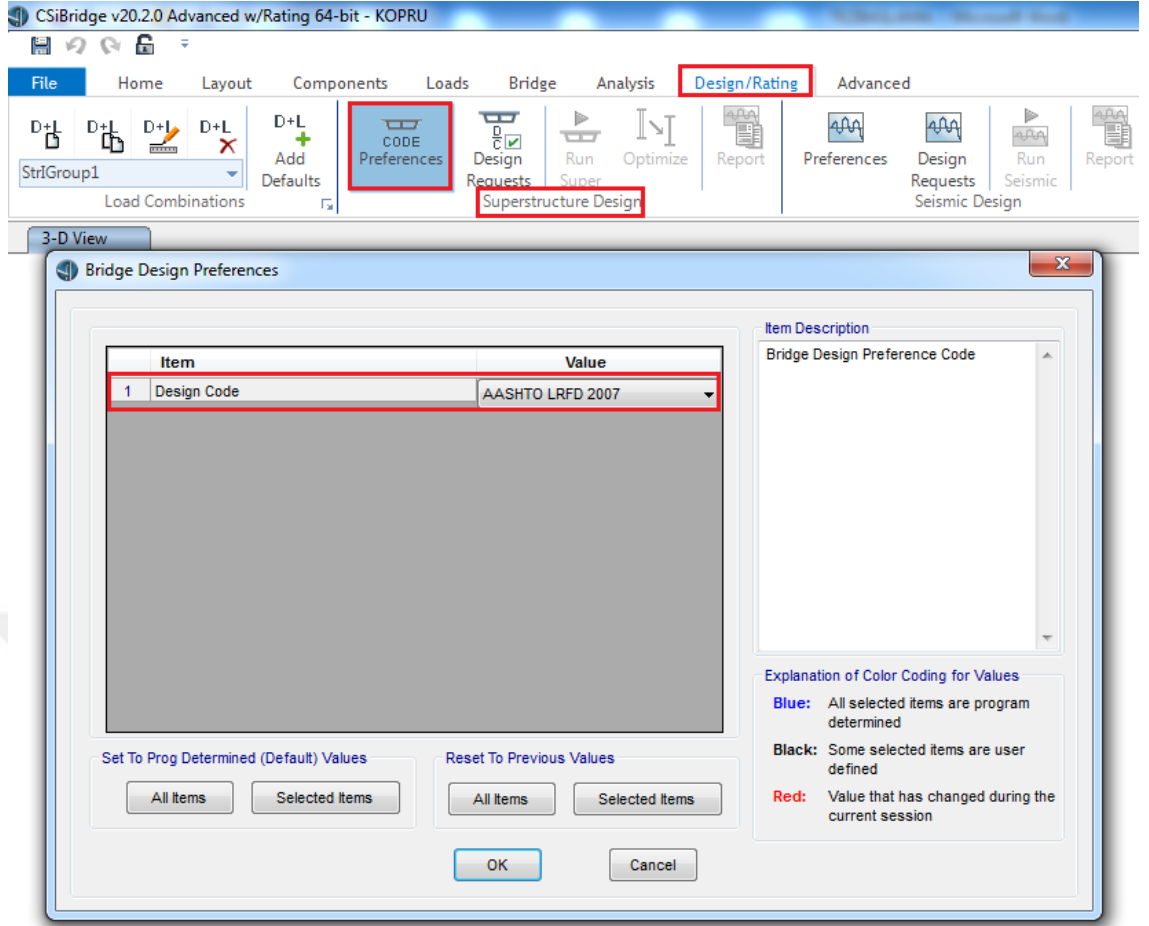
7. ÜST YAPI TASARIMI (SUPERSTRUCTURE DESIGN) - CSi BRIDGE

Bridge Design Request (Köprü Tasarım Talebi) tanımlamadan önce **Design/Rating** (Tasarım/Değerlendirme) komutuna tıklayarak → **Superstructure Design** (Üst Yapı Tasarımı) penceresinden → **CODE Preferences** (Şartname Tercihleri) komutundan AASHTO LRFD 2007 şartnamesi Şekil 7.1’de görüldüğü gibi seçildi. Halen, AASHTO STD 2002, AASHTO LRFD 2007, AASHTO LRFD 2012, CAN / CSA S6, EN 1992 ve Hindistan IRC şartnameleri bir beton kutu kesit (boşluklu kesit) kirişinin tasarımı için mevcuttur; AASHTO 2007 LRFD, AASHTO LRFD 2012, AASHTO LRFD 2014, CAN/CSA S6, EN 1992 ve Hindistan IRC şartnameleri, Kompozit Döşemeli bir Prekast I veya U Kirişinin tasarımı için mevcuttur; AASHTO LRFD 2007, AASHTO LRFD 2012, AASHTO LRFD 2014, CAN / CSA S6 ve EN 1992-1-1, Kompozit Döşeme yapılarına sahip Çelik I-Kiriş için kullanılabilir. AASHTO LRFD 2012 ve AASHTO LRFD 2014 kompozit döşemeli bir U kesitli köprü için mevcuttur.

Bu örnekte, AASHTO LRFD 2007 şartnamesi Şekil 7.1’de gösterilen dairesel boşluklu yerinde döküm betonarme köprü modeline uygulandı.

7.1. Tasarım Tercihleri

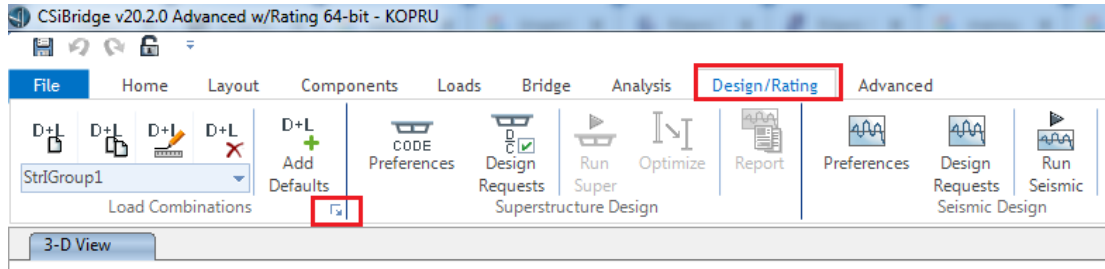
Tasarım şartnamesini seçmek için **Design/Rating** (Tasarım/Değerlendirme) → **Superstructure Design** (Üst Yapı Tasarımı) → **CODE Preferences** (Şartname Tercihleri) komutundan AASHTO LRFD 2007, Şekil 7.1’de görüldüğü gibi seçilmiştir.



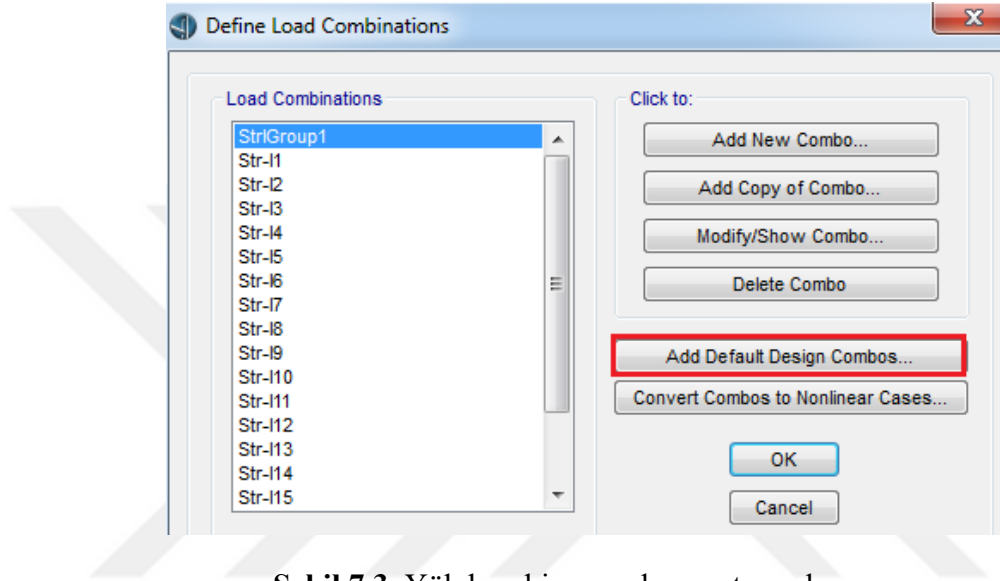
Şekil 7.1. Tasarım şartnamesinin belirlenmesi

7.2. Yük Kombinasyonları

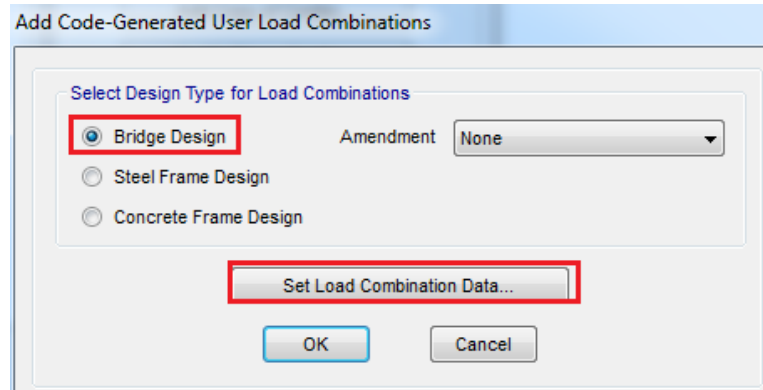
Yük kombinasyonlarını tanımlamak ve eklemek için **Design/Rating** (Tasarım/Değerlendirme) komutunun altındaki **Load Combinations** (Yük Kombinasyonları) bölümünde Şekil 7.2'deki gibi işaretlenen komutu seçerek başlanır. Yük kombinasyonlarını tanımlamak için Şekil 7.3'teki gibi **Add Default Design Combos** (Varsayılan Tasarım Kombinasyonları Ekle) komutu seçilir. Sonra Şekil 7.4'te görüldüğü gibi **Set Load Combination Data** (Yük Kombinasyonu Verilerini Ayarlaması) komutunu seçilerek köprü **Design Code** (Tasarım Şartnamesi) penceresi açılır. Bu çalışmada kullanılan yükleri kapsayan ve seçilen yük kombinasyonları, **Strength-I** (Dayanım I), **Service III** (Servis-III) Şekil 7.5'teki gibi seçilerek yük kombinasyonları tanımlanmıştır.



Şekil 7.2. Design/Rating menüsünden yük kombinasyonlarını ekleme penceresinin seçimi



Şekil 7.3. Yük kombinasyonlarının tanımlanması



Şekil 7.4. Yük kombinasyonları için köprü tasarım şartnamesini ekleme

Code-Generated Load Combinations for Bridge Design - User Defined: AASHTO LRFD 2007

Limit States for which User Defined Load Combinations are to be Generated

Select Limit States

☒ Strength I ☐ Strength II ☐ Strength III ☐ Strength IV ☐ Strength V

☐ Extreme Event I ☐ Extreme Event II ☐ Service I ☐ Service II ☒ Service III

☐ Service IV ☐ Fatigue I

Load Factors for Permanent and Transient Loads

Set Load Factors for Permanent and Transient Loads

Choose Load Cases to Use for Limit State

Limit State: Strength I

List of Load Cases

Load Case Name	Load Case Type	Design Load Type
MODAL	LinModal	Other

☐ Show Only Load Cases with Valid Design Load Types

Load Cases for User Defined Load Combinations

Load Case Name	Load Case Type	Design Load Type
H30-S24	LinMoving	Wearing Surface
KALDIRIM	LinStatic	Dead
KORKULUK	LinStatic	Quake
SERIT	LinMoving	Quake
YAYA	LinStatic	Quake

Copy to: Service III

Show Load Case Definition...

Set Design Load Type...

OK Cancel

Şekil 7.5. Köprü tasarım şartnamesinden yük kombinasyonlarının seçimi

7.3. Köprü Tasarım Talebi (Bridge Design Request)

Design/Rating (Tasarım/Değerlendirme) → **Superstructure Design** (Üst Yapı Tasarımı) → **Bridge Design Request** (Köprü Tasarım Talebi) komutu kullanıldıktan sonra aşağıdaki şekillerde görüldüğü gibi köprü tasarım isteği formu görüntülenir.

Bridge Design Request - Superstructure - AASHTO LRFD 2007

Name: **STRESS**

Notes: [Modify/Show...](#)

Bridge Object: KOPRU

Check Type: **Multicell ConcBox Stress**

Station Ranges

	Location	Start Type	Start Station	End Type	End Station
1.	Both	Bridge Start		Bridge End	

[Add](#) [Delete](#)

Design Request Parameters: [Modify/Show...](#)

Demand Sets

Name	Combo	Parameters
DSet1	SerIIIGroup16	Modify/Show

[Add](#) [Delete](#)

Şekil 7.6. Stress (gerilme) için üst yapı tasarım parametreleri ayarlaması

Burada yük kombinasyonları için **Str1Group1** ve **SerIIIGroup16** tanımlamaları program tarafından belirlenmiştir. Kesme ve Eğilme için **Str1Group1**, gerilme için **SerIIIGroup16** olarak seçilmiştir.

Bridge Design Request - Superstructure - AASHTO LRFD 2007

Name: **SHEAR**

Notes: [Modify/Show...](#)

Bridge Object: KOPRU

Check Type: **Multicell ConcBox Shear**

Station Ranges

	Location	Start Type	Start Station	End Type	End Station
1.	Both	Bridge Start		Bridge End	

[Add](#) [Delete](#)

Design Request Parameters: [Modify/Show...](#)

Demand Sets

Name	Combo	Parameters
DSet1	Str1Group1	Modify/Show

[Add](#) [Delete](#)

Şekil 7.7. Shear (kesme) için üst yapı tasarım parametreleri ayarlaması

Bridge Design Request - Superstructure - AASHTO LRFD 2007

Name: FLEXURE

Notes: [Modify/Show...]

Bridge Object: KOPRU

Check Type: Multicell ConcBox Flexure

Station Ranges

Location	Start Type	Start Station	End Type	End Station
1. Both	Bridge Start		Bridge End	

[Add] [Delete]

Design Request Parameters: [Modify/Show...]

Demand Sets

Name	Combo	Parameters
DSet1	StrlGroup1	Modify/Show

[Add] [Delete]

Şekil 7.8. Flexure (eğilme) için üst yapı tasarım parametreleri ayarlaması

7.4. Köprü Tasarımı Başlat

Analiz yapıldıktan sonra, köprü modeli bir tasarım/kontrol için hazır olacaktır. Tasarım işlemini başlatmak için **Design/Rating** (Tasarım/Değerlendirme) → **Superstructure Design** (Üst Yapı Tasarımı) çalıştır komutunu kullanılmıştır. Şekil 7.9'da gösterilen köprü tasarımı gerçekleşti.

Perform Bridge Design - Superstructure

Request Name	Bridge Object	Check Type	Status	Action
STRESS	KOPRU	Superstructure	Not Designed	Design
SHEAR	KOPRU	Superstructure	Not Designed	Design
FLEXURE	KOPRU	Superstructure	Not Designed	Design

Click to:

[Design/Do Not Design] [Delete Design for Request] [Clean up Request]

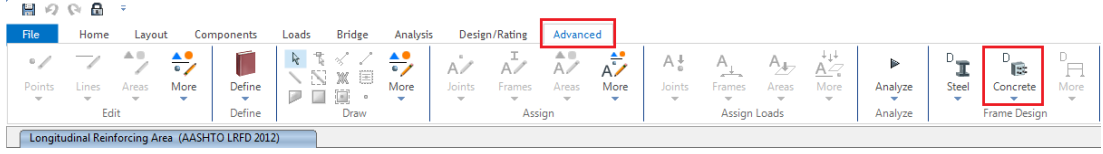
[Design/Do Not Design All] [Delete All Designs] [Clean up All Requests]

[Design Now] [OK] [Cancel]

Şekil 7.9. Üst yapı tasarımı gerçekleştirilmesi

8. TASARIM DONATI KONTROLÜ

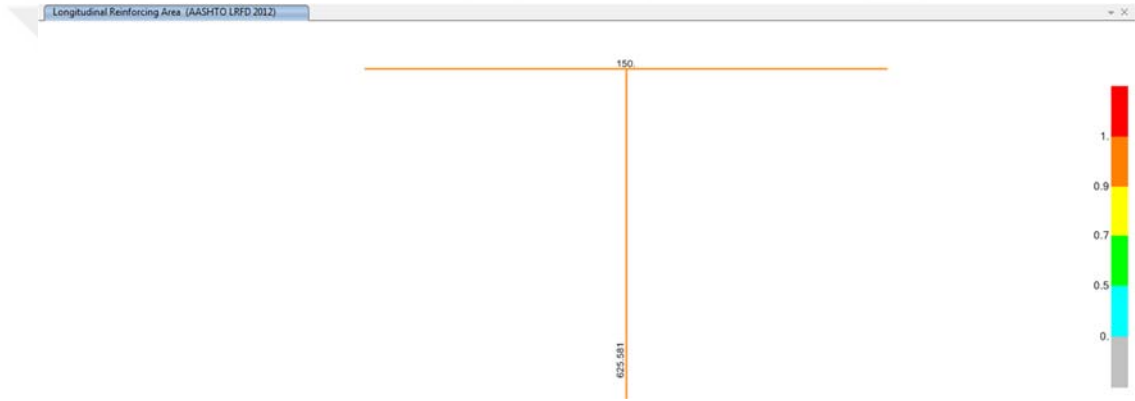
Donatılara bakmak için **Advanced** komutunda bulunan **Concrete** komutuna tıklayarak başlanır(Şekil 8.1)



Şekil 8.1. Tasarım donatı kontrolü

Başlık kiriş boyuna donatı alanı: 150 cm^2

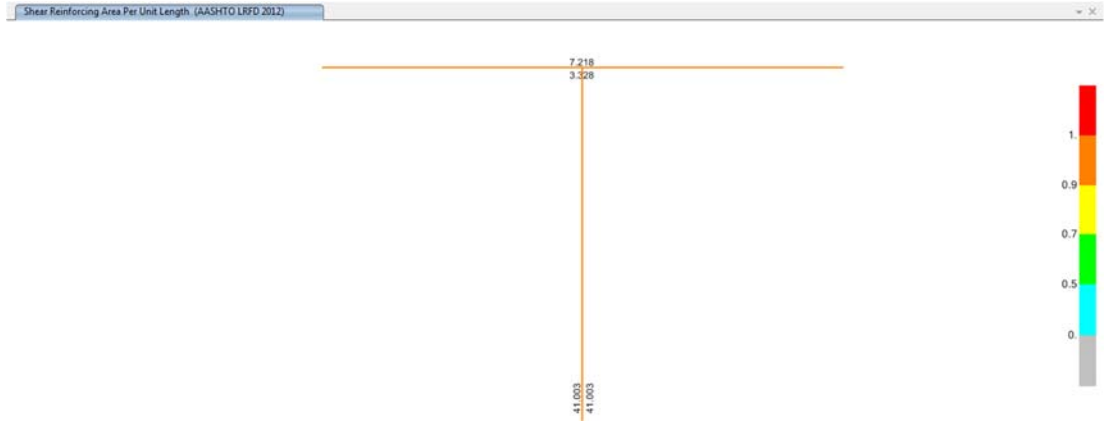
Kolon boyuna donatı alanı: 625.581 cm^2



Şekil 8.2. Boyuna donatı alanı

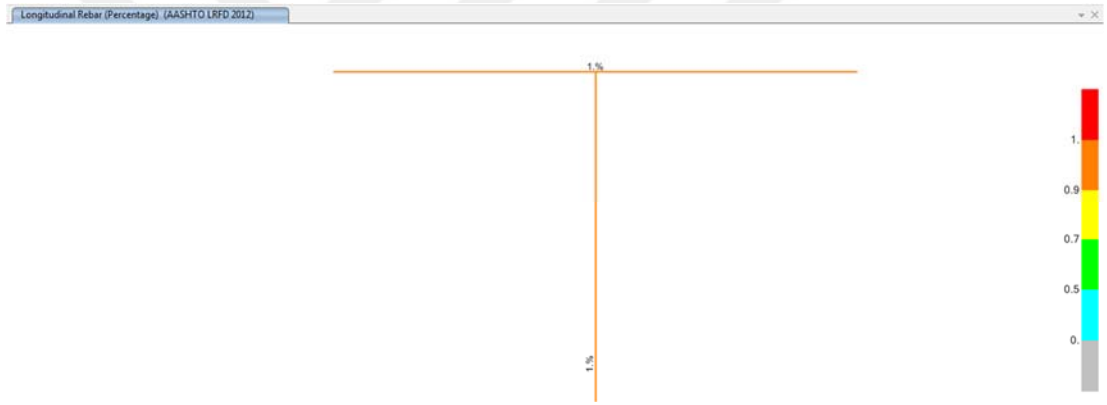
Başlık kiriş kesme donatı alanı: 7.218cm^2

Kolon kesme donatı alanı: 41.003cm^2



Şekil 8.3. Kesme donatı alanı

Tüm yapı için donatı oranı %1 olarak bulunmaktadır



Şekil 8.4. Donatı oranı

9. KÖPRÜ TASARIM SONUÇLARI

Bu tez çalışmasında Manisa öğretmenevi köprüsü AASHTO LRFD standartlarına göre yeniden boyutlandırılmış ve tasarımı yapılmıştır. Köprünün toplam uzunluğu 92 metredir. Köprü dört açıklıklı ve her açıklık uzunluğu ise eşit ve 23m olarak yapılmıştır. Köprü tasarımında CSi Bridge bilgisayar programı kullanılmıştır. Önerilen köprünün sismik tasarımı CSi Bridge yazılım programı kullanılarak yapıldı sismik tasarımı tepki spektrum fonksiyonu yardımıyla hem X hem de Y yönlerindeki sismik etkiler simüle edildi ve uygulandı.

Sismik tasarım sonucunda Demand/Capacity(Talep/Kapasite) oranı her bent için 0.25 olarak bulundu. Bu oranı 1'in kritik değerinden daha düşük bulunduğu için beklenen ve daha uygun sonuç ele adıldı. Boyuna doğrultuda ve enine doğrultuda itme analizi yapıldı itme analizi sonucunda en uygun tepe deplasmanları ve taban kesme kuvvetleri bulundu.

Çekme ve basınç gerilmeleri kontrol edildi ve bu gerilmeleri kritik değerine aşılmadığını görülmüştür. Tasarım sonucunda yerinde döküm betonarme köprüsü daha ekonomik ve yapım süresi daha az olduğunu diyebiliriz. Bu tür köprüler kısa açıklıklı olan yerlerde daha uygundur.

Tasarım sonucunda orta ayak boyuna donatı alanı 625.581 cm^2 bulundu ve mevcut projede orta ayak boyuna donatı alanı ise 587.808 cm^2 olarak bulunmuştur. Orta ayak kesme donatı alanı 41 cm^2 olarak bulundu ve orta ayak kesme donatı alanı mevcut projede 45.7812 cm^2 olarak bulunmuştur. Kazık boyuna donatı alanı 78.64 cm^2 ve kesme donatı alanı ise 2.059 cm^2 olarak bulundu ve mevcut projede kazık boyuna donatı alanı 135.4 cm^2 olarak bulunmuştur. Başlık kiriş boyuna donatı alanı 150 cm^2 ve kesme donatı alanı ise 7.218 cm^2 olarak bulundu. Donatı oranı tüm yapı için %1 olarak bulundu.

KAYNAKLAR

- [1] Jensen, J.J. History of Bridges - A philatelic review. Trondheim, Norway, 8 s.
- [2] Nohutcu, H. Standart Kesitli Öngerilmeli Kompozit Otoyol Köprü Ve Veyadük Kirişlerinin Bir Bilgisayar Programı İle Analizi Ve Tasarımı. Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa, 1996, 139 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [3] Golden Gate Bridge, USA Firth of Forth Bridge, Scotland Sunshine skyway Bridge, USA, 72 s.
- [4] Kıymaz, G. İstanbul Kültür Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Ders Notları, 2009.
- [5] Yağcı, B. Balıkesir Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İnşaat Mühendisliğine Giriş Dersi, Köprüler.
- [6] Safaei, F. Betonarme Köprü Modellenmesi Üzerine Bir Çalışma. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 2010, 83 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [7] İlter Uluğ, N. Öngerilmeli Bir Köprü Tasarımı Ve Performans Değerlendirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2008, 88 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [8] Dikici, C.İ. Prekast Kirişli Betonarme Köprüler Üzerine Bir Çalışma. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 2015, 90 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [9] Ozel, A. Seismic Design of a Prestressed Concrete Bridge. University of New Orleans, Civil Engineering, United States, 2016, 72 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [10] Farhad, A.A.A. Eğik Kablo Askılı Ve Asma Köprü Tiplerinin Ekonomiklik Karşılaştırılması. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 2018, 155 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [11] Jennifer, E.T. Implementation And Validation Of Fault-Rupture Response Spectrum Analysis Procedure In CsiBridge™ For Bridges Crossing Earthquake Fault Ruptures. California Polytechnic State University, Civil and Environmental Engineering, California, 2012, 133 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [12] SARSİK, S.T. Öngerilmeli Prefabrike I Kesitli Köprü Kirişlerinin Optimizasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2008, 61 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [13] Özkul, Ö., Erdoğan, E., Kalyoncuoğlu, C. Türkiye'deki Yerinde Dökme Ardgermeli Sürekli Köprüler, Uygulamalar Ve Avantajları, 3.Köprüler Viyadükler Sempozyumu, İnşaat Mühendisleri Odası, Bursa Şubesi, 2015, 13 s.
- [14] Bridge Seismic Design, Automated Seismic Design of Bridges AASHTO Guide Specification for LRFD Seismic Bridge Design. United States of America, 2016, 198 s.
- [15] CSI Analysis Reference Manual For SAP2000®, ETABS®, SAFE® and CSiBridge®. United States of America, 2017, 546 s.
- [16] Üğür, Y., Caferov, O., Koçak, A. Boşluklu Betonarme Plak Köprülerin Ansys Yazılımıyla Analizi. Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kayseri. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği ABD, Kayseri. Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 12 s.

EKLER

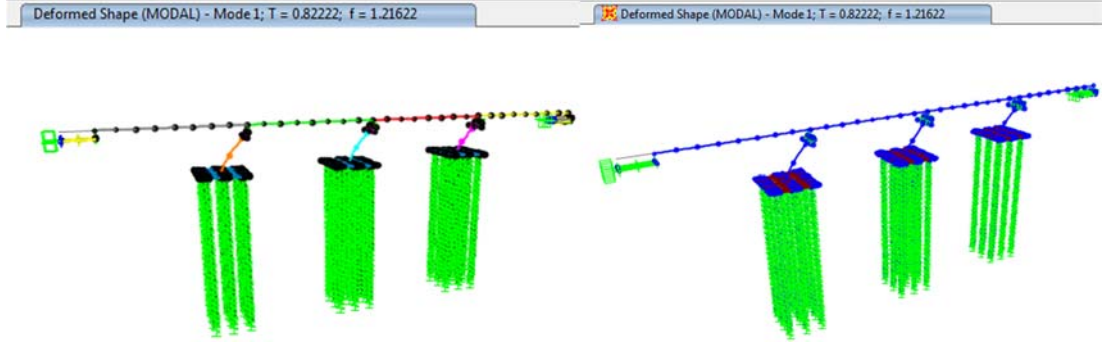
EK A. Köprü temelinin oturacağı seviye için statik projeye esas zemin parametreleri

EK B. CSi Bridge ve SAP2000 programıyla analiz sonucunda ilk altı mod şekilleri

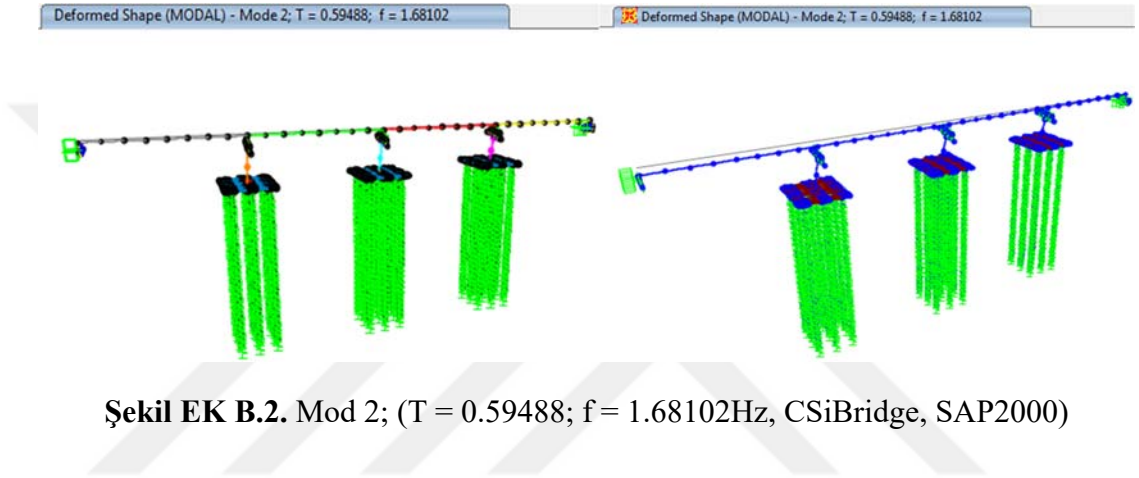


Tablo EK A. 1. Zemin parametreleri

Zeminin Emniyetli taşıma gücü	$q_{em} = 1.00 \text{ kg / cm}^2$
Zemin Grubu	C
Yerel zemin sınıfı	Z3
Etkin yer ivme katsayısı	$A_0 = 0,40$
Spektrum karakteristik periyotları	$T_a(S) = 0.15 \text{ } T_b(S) = 0.60$
Zemin Yatak Katsayısı	$K_s = 1800 \text{ t/m}^3$
Zemin Hakim Titreşim Periyodu (T_0)	0.49 sn.
Zemin Büyütmesi	2.21
Poisson Oranı	0.40
MASW“den elde edilen V_{s30} (m/s)	260.80 m/sn



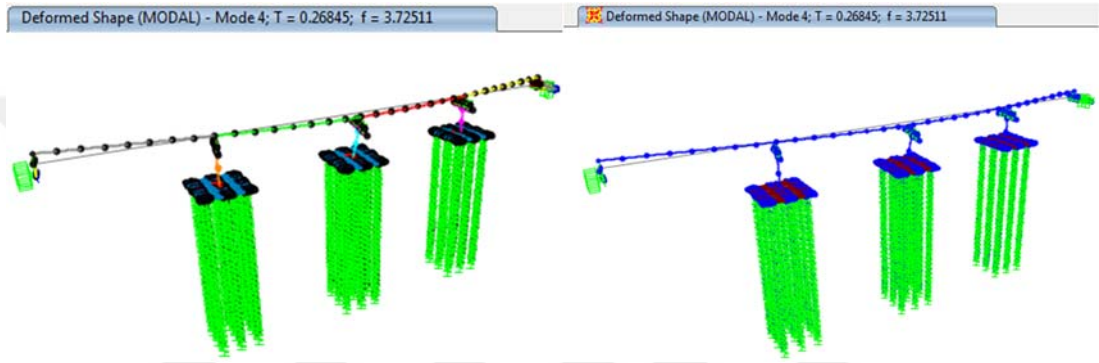
Şekil EK B.1. Mod 1; ($T = 0.82222$; $f = 1.21622$ Hz, CSiBridge, SAP2000)



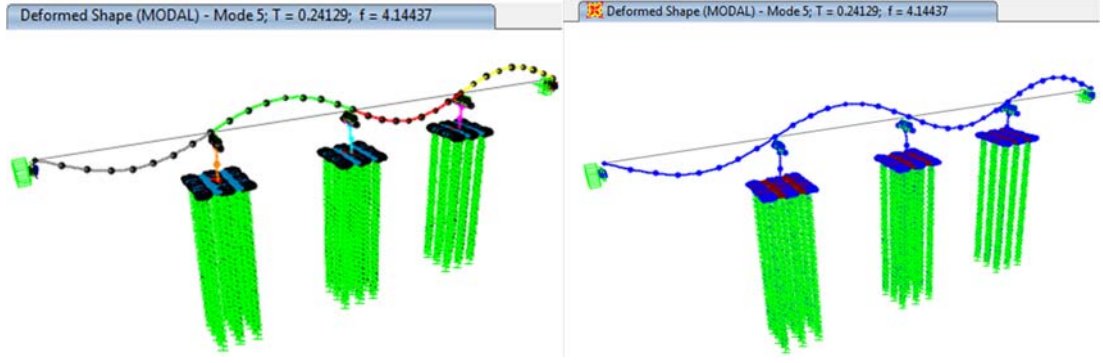
Şekil EK B.2. Mod 2; ($T = 0.59488$; $f = 1.68102$ Hz, CSiBridge, SAP2000)



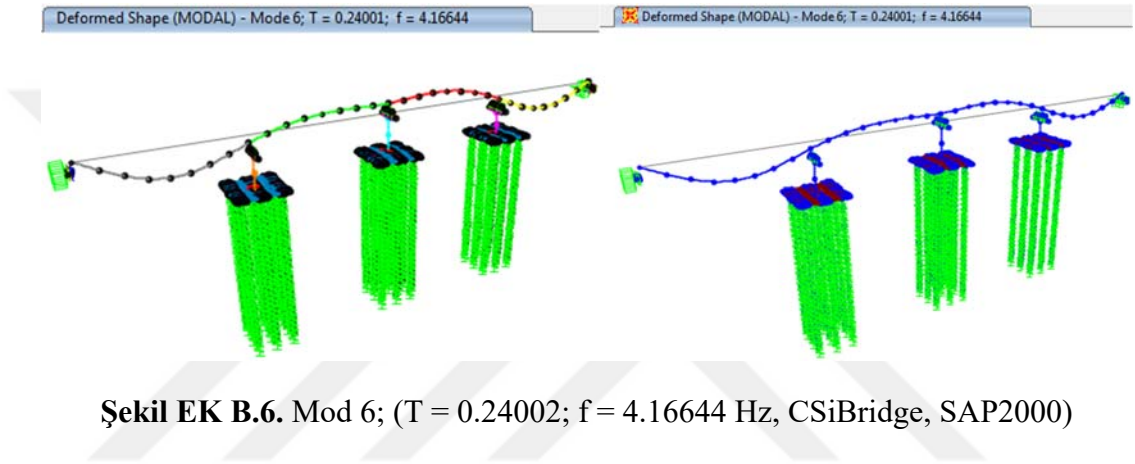
Şekil EK B.3. Mod 3; ($T = 0.52426$; $f = 1.90744$ Hz, CSiBridge, SAP2000)



Şekil EK B.4. Mod 4; ($T = 0.26845$; $f = 3.72511$ Hz, CSiBridge, SAP2000)



Şekil EK B.5. Mod 5; ($T = 0.24129$; $f = 4.14437$ Hz, CSiBridge, SAP2000)



Şekil EK B.6. Mod 6; ($T = 0.24002$; $f = 4.16644$ Hz, CSiBridge, SAP2000)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Shamsulhaq RAHMANİ
Doğum Yeri ve Yılı : Afganistan, 1992
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : Türkçe, İngilizce
E-posta : shamsrahmani777@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Onkhi Lisesi, 2011
Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği
Bölümü, 2013-2017
Yüksek Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 2018-2020