



**T.C.
MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

KİRİŞLİ KÖPRÜLERİN DEPREM ETKİSİ ALTINDAKİ DAVRANIŞI

Noorullrahman ANJUMANİ

BURDUR, 2021

**T.C.
MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

KİRİŞLİ KÖPRÜLERİN DEPREM ETKİSİ ALTINDAKİ DAVRANIŞI

Noorullrahman ANJUMANİ

Dr. Öğr.Üyesi Gülhan İNCE

BURDUR, 2021

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

Noorullrahman ANJUMANI tarafından **Dr. Öğr. Üyesi Gülhan İNCE** yönetiminde hazırlanan “**Kirişli Köprülerin Deprem Etkisi Altındaki Davranışı**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi:14/04/2021

Prof. Dr. Fuat DEMİR

(Başkan)

Süleyman Demirel Üniversitesi(İmza)

Dr. Öğr.Üyesi Gülhan İNCE

(Jüri Üyesi)

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi(İmza)

Dr. Öğr.Üyesi Altan YILMAZ

(Jüri Üyesi)

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi.....(İmza)

ONAY

Bu Tez, Enstitü Yönetim Kurulu’nun _____ Tarih ve _____ Sayılı Kararı ile Kabul Edilmiştir.

(İmza)

.....
Doç. Dr. Ahmet UYUMAZ

Müdür
Fen Bilimleri Enstitüsü

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum **“Kirişli Köprülerin Deprem Etkisi Altındaki Davranışı”** başlıklı bu tezin;

- Kendi çalışmam olduğunu,
- Bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı,
- Bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi,
- Tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını,
- Kullandığım verilerde değişiklik yapmadığımı,
- Sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi,

bildirir, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

14 / 04 / 2021

Noorullrahman ANJUMANİ

TEŞEKKÜR

Elhamdülillahi rabbilalemeen, vassalatü vassalamü ala rasulina Muhammedin ve ala alihi vashabihi acmaeen. Bu tezin tamamlanmasını nasip eden Rabbime sonsuz hamdlar ve şükürler olsun. Bu çalışma için beni her aşamamda yardımcı olan değerli danışmam hocam Dr. Öğr.Üyesi Gülhan İNCE'ye teşekkürlerimi sunarım. Her şeyden önce, bir öğretmen ve bir danışman olarak benim için bir bilgi kaynağı olmuştur. Bir lider olarak yardımsever ve teşvik edici bir hocamdır. Tezimde onunla çalıştığım için kendimi çok şanslı hissediyorum.

Son olarak, bana kendimi eğitime, daha iyi hale getirme fırsatı sağlayan ve eğitim hayatımın her aşamasında beni destekleyen ebeveynlerime ve genel olarak aile üyelerime sonsuz sevgilerimi, saygılarımı ve çok teşekkürlerimi sunarım.

Teşekkürler

Nisan, 2021

Noorullrahman ANJUMANİ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİL DİZİNİ.....	iv
ÇİZELGE DİZİNİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	2
2.1 Köprünün Tarihçesi.....	2
2.2 Karayolu Köprülerinin Sınıflandırılması	4
2.3 Literatür Taraması	9
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	15
3.1 Köprü Modellerinin Tanıtılması.....	15
3.2 CSi Bridge Programının Tanıtılması.....	16
3.3 CSI Bridge Program Kullanılarak Köprünün Modellenmesi	17
3.3.1 Birimler.....	17
3.3.2 Aks Düzeni	17
3.3.3 Yol Şeritlerin Tanımlaması.....	17
3.3.4 Köprü Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması.....	18
3.3.4.1 C40 Beton Sınıfının Tanımlanması	19
3.3.4.2 C30 Beton Sınıfının Tanımlanması	19
3.3.4.3 (A416Gr270) Öngerme Malzeme Sınıfının Tanımlanması	20
3.3.4.4 (A615Gr60) Donatı Çeliğinin Tanımlanması	21
3.3.4.5 (A709Gr50W) Çelik Sınıfı Tanımlanması	22
3.3.5 Köprü Kirişlerinin Tanımlanması	23
3.3.5.1 ASSHTO Tip IV Prekast Kiriş Tanımlanması	23
3.3.5.2 Tabliye Özelliklerinin Tanımlanması.....	25
3.3.5.3 ASSHTO Prekast I Kiriş Kesitinin Tanımlanması	25
3.3.5.4 ASSHTO Prekast U Kiriş Kesitinin Tanımlanması	26
3.3.5.5 ASSHTO Çelik I Kiriş Kesitinin Tanımlanması	27
3.3.5.6 ASSHTO Çelik U Kiriş Kesitinin Tanımlanması	28
3.3.5.7 Başlık Kiriş Tanımlanması.....	29
3.3.5.8 Kolon Kesitin Tanımlanması.....	31
3.3.5.9 Kenar Ayak Kesitin Tanımlanması.....	32
3.3.6 Köprü Bileşenlerinin Tanımlanması	33
3.3.6.1 Elastomerik Mesnetleri Tanımlanması	33
3.3.6.2 Elastomerik Mesnetlerin Programda Tanımlanması	34
3.3.6.3 Kolonun Zemine Bağlantısı	35
3.3.6.4 Kenar Ayağın (Abutment) Kirişler ile Bağlantısı	36
3.3.7 Başlık Kirişlerinin Kolonlara Bağlantısının Tanımlanması	37
3.3.8 Köprü Entegrasyonu.....	38
3.3.8.1 Köprü Modelinin Üç Boyutlu Olarak Tamamlanması.....	41
3.3.9 Yüklerin Tanımlanması.....	41

3.3.9.1.	Ölü Yüklerin Tanımlanması	41
3.3.9.2.	Öngerme Yükü ve Tendon Tanımlanması.....	42
3.3.9.3.	Taşıt Hareketli Yükleri Tanımlanması	42
3.3.9.4.	Taşıt Yükünün Oluşturulması,.....	45
3.3.9.5.	Taşıt Sınıfının Oluşturulması	46
3.3.9.6.	Hareketli Yükü Tanımlanması	46
3.3.9.7.	Deprem Yükü Tanımlanması.....	48
3.3.9.8.	Yer Hareketinin Tehlikesi Tanımlanması	48
3.3.9.9.	Yük Kombinasyonları.....	50
3.3.9.10.	Sismik Tasarım Parametrelerinin Tanımlanması.....	51
3.3.9.11.	Sismik Tasarım İçin Otomatik Olarak Oluşturulmuş Yük Kombinasyonları.....	51
3.3.9.12.	Talep / Kapasite Oranları.....	52
4.	ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	53
5.	SONUÇ.....	83
	KAYNAKLAR.....	85

ŞEKİL DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Roma viyadüğü, Pont du Gard,Fransa.....	2
Şekil 2.2. Cofordbrookdale, Telford, İngiltere'deki ilk dökme demir kafes köprü.....	3
Şekil 2.3. Millau viyadüğü, Fransa.....	3
Şekil 2.4. En uzun açıklıklı köprü, Akashi Kaikyo köprüsü, Japonya	4
Şekil 2.5. Bir iskeleyi paylaştan iki basit çelik kiriş	5
Şekil 2.6. Sürekli kirişli çelik köprü	5
Şekil 2.7. Eğri eksenli beton kutu kirişli köprü.....	6
Şekil 2.8. Tek açıklıklı öngerilmeli betonarme I-kirişli köprü.....	6
Şekil 2.9. Öngerilmeli beton kutu kiriş köprü.....	7
Şekil 2.10. Çelik kafes köprü.....	7
Şekil 2.11. Çelik kemer köprü.....	8
Şekil 2.12. Askılı köprü.....	8
Şekil 2.13. Asma köprü.....	9
Şekil 3.1. Köprü boy kesiti	16
Şekil 3.2. 3D köprü sonlu eleman modeli	16
Şekil 3.3. Yol platformunun oluşturulması.....	17
Şekil 3.4. Yolun iç şeridi oluşturulması	18
Şekil 3.5. Yolun kenar şeridi oluşturulması.....	18
Şekil 3.6. C40 beton malzeme özellikleri.....	19
Şekil 3.7. C30 beton malzeme özellikleri.....	20
Şekil 3.8. Öngerme malzeme özelliklerinin tanımlanması.....	21
Şekil 3.9. Donatı çeliği (A615Gr60) malzeme özellikleri.....	22
Şekil 3.10. Çelik sınıfı (A709Gr50W) malzeme özellikleri.....	23
Şekil 3.11. ASSHTO tip IV prekast kiriş tanımlanması.....	24
Şekil 3.12. ASSHTO tip IV prekast kirişin özellikleri.....	24
Şekil 3.13. ASSHTO tip IV prekast kiriş için seçilen tabliye tipi.....	25
Şekil 3.14. ASSHTO tip IV prekast kiriş tabliye özellikleri.....	26
Şekil 3.15. Prekast U kiriş özellikleri.....	26
Şekil 3.16. Prekast U kiriş tabliyesi özellikleri.....	27

Şekil 3.17. Çelik I kiriş özellikleri.....	27
Şekil 3.18. Çelik I kiriş tabliyesi özellikleri.....	28
Şekil 3.19. Çelik U kiriş özellikleri.....	28
Şekil 3.20. Çelik U kiriş tabliyesi özellikleri.....	29
Şekil 3.21. Başlık kirişin kesiti.....	29
Şekil 3.22. Başlık kiriş kesit özellikleri.....	30
Şekil 3.23. Başlık kiriş için donatı tanımı	30
Şekil 3.24. Kolon kesiti.....	31
Şekil 3.25. Kolon kesit özellikleri	31
Şekil 3.26. Kolon için donatı tanımı	32
Şekil 3.27. Kenar ayak kesiti.....	32
Şekil 3.28. Kenar ayak kesit özelliklerinin tanımlanması.....	33
Şekil 3.29. Elastomerik mesnet kesiti.....	34
Şekil 3.30. Elastomerik mesnet yapısı.....	34
Şekil 3.31. Kenar ayak için mesnet tanımlanması.....	35
Şekil 3.32. Başlık kiriş mesnet tanımlanması.....	35
Şekil 3.33. Temel mesnet tanımlanması.....	36
Şekil 3.34. Kenar ayak tanımlanması.....	37
Şekil 3.35. Başlık kirişlerinin ve kolonların tanımlanması	38
Şekil 3.36. Kolonların oluşturma işlemi.....	38
Şekil 3.37. Köprü açıklıkları için başlangıç-bitiş istasyonları.....	39
Şekil 3.38. Yol platform mesafelerinin belirlenmesi.....	39
Şekil 3.39. Köprünün orta ayakların açıklığı tanımlanması.....	40
Şekil 3.40. Köprü planı görünümü.....	40
Şekil 3.41. 3D köprü.....	41
Şekil 3.42. Öngerilme yük tipinin tanımlanması	42
Şekil 3.43. Tendon tanımlanması.....	42
Şekil 3.44. Kamyon ve şerit yükleri	43
Şekil 3.45. HL 93 taşıt yüklemesi	44
Şekil 3.46. Tasarım tandem dingil yükleri	44
Şekil 3.47. Tasarım şerit yükü ile HL93 tasarım kamyon yükü	44
Şekil 3.48. Tasarım şerit yükü ile tasarım tandem yükü	45
Şekil 3.49. Taşıt yükü tanımlanması	45
Şekil 3.50. Taşıt yükü ve şerit yükü tanımlanması	45

Şekil 3.51. Taşıt sınıfının seçilmesi	46
Şekil 3.52. Taşıt yükü ve şerit yükleri taşıt sınıfına atanması	46
Şekil 3.53. Hareketli yük oluşturulması	47
Şekil 3.54. Hareketli yük durumunun oluşturulması	47
Şekil 3.55. AASHTO 2012 spektrum eğrisi	49
Şekil 3.56. TSC 2018 spektrum eğrisi.....	49
Şekil 3.57. Sismik tasarım parametreleri.....	51
Şekil 3.58. Otomatik oluşturulan yük durumları.....	52
Şekil 3.59. AASHTO 2012 ve TSC 2018 için talep / kapasite oranları	52
Şekil 4.1. Köprü doğal titreşim periyotları	53
Şekil 4.2. 1. mod boyuna doğrultu.....	54
Şekil 4.3. 2. mod burulma.....	54
Şekil 4.4. 3. mod enine doğrultu.....	55
Şekil 4.5. TBDY 2018'e ve AASHTO 2012'ye göre X yönü taban kesme kuvveti.....	56
Şekil 4.6. TBDY 2018'e ve AASHTO 2012'ye göre Y yönü taban kesme kuvveti.....	57
Şekil 4.7. TBDY 2018'e göre prekast U kirişli modelin yer değiştirmesi	57
Şekil 4.8. AASHTO 2012'ye göre prekast U kirişli modelin yer değiştirmesi	58
Şekil 4.9. TBDY 2018'e göre prekast I kirişli modelin yer değiştirmesi	58
Şekil 4.10. AASHTO 2012'ye göre prekast I kirişli modelin yer değiştirmesi	59
Şekil 4.11. TBDY 2018'e göre çelik I kirişli modelin yer değiştirmesi.....	59
Şekil 4.12. AASHTO 2012'ye göre prekast I kirişli modelin yer değiştirmesi	60
Şekil 4.13. TBDY 2018'e göre çelik U kirişli modelin yer değiştirmesi	60
Şekil 4.14. AASHTO 2012'ye göre çelik U kirişli modelin yer değiştirmesi	61
Şekil 4.15. Prekast I, prekast U, çelik U ve çelik I kirişli modeller için boyuna doğrultudaki yer değiştirme değerleri.....	62
Şekil 4.16. Prekast I, prekast U, çelik U ve çelik I kirişli modeller için enine doğrultudaki yer değiştirme değerleri.....	63
Şekil 4.17. TBDY 2018'e göre prekast U kirişli model için eksenel kuvvet diyagramı.....	64
Şekil 4.18. TBDY 2018'e göre prekast U kirişli model için kesme kuvvet diyagramı.....	64
Şekil 4.19. TBDY 2018'e göre prekast U kirişli model için burulma moment diyagramı...65	
Şekil 4.20. TBDY 2018'e göre prekast U kirişli model için eğilme moment diyagramı.....	65
Şekil 4.21. AASHTO 2012'ye göre prekast U kirişli model için eksenel kuvvet diyagramı.....	66
Şekil 4.22. AASHTO 2012'ye göre prekast U kirişli model için kesme kuvvet diyagramı.....	66

Şekil 4.23. AASHTO 2012'ye göre prekast U kirişli model için burulma moment diyagramı.....	67
Şekil 4.24. AASHTO 2012'ye göre prekast U kirişli model için eğilme moment diyagramı.....	67
Şekil 4.25. TBDY 2018'e göre prekast I kirişli model için eksenel kuvvet diyagramı.....	68
Şekil 4.26. TBDY 2018'e göre prekast I kirişli model için kesme kuvvet diyagramı.....	68
Şekil 4.27. TBDY 2018'e göre prekast I kirişli model için burulma moment diyagramı.....	69
Şekil 4.28. TBDY 2018'e göre prekast I kirişli model için eğilme moment diyagramı.....	69
Şekil 4.29. AASHTO 2012'ye göre prekast I kirişli model için eksenel kuvvet diyagramı.....	70
Şekil 4.30. AASHTO 2012'ye göre prekast I kirişli model için kesme kuvvet diyagramı....	70
Şekil 4.31. AASHTO 2012'ye göre prekast I kirişli model için burulma moment diyagramı.....	71
Şekil 4.32. AASHTO 2012'ye göre prekast I kirişli model için eğilme moment diyagramı.....	71
Şekil 4.33. TBDY 2018'e göre çelik I kirişli model için eksenel kuvvet diyagramı.....	72
Şekil 4.34. TBDY 2018'e göre çelik I kirişli model için kesme kuvvet diyagramı.....	72
Şekil 4.35. TBDY 2018'e göre çelik I kirişli model için burulma moment diyagramı.....	73
Şekil 4.36. TBDY 2018'e göre çelik I kirişli model için eğilme moment diyagramı	73
Şekil 4.37. AASHTO 2012'ye göre çelik I kirişli model için eksenel kuvvet diyagramı.....	74
Şekil 4.38. AASHTO 2012'ye göre çelik I kirişli model için kesme kuvvet diyagramı.....	74
Şekil 4.39. AASHTO 2012'ye göre çelik I kirişli model için burulma moment diyagramı.....	75
Şekil 4.40. AASHTO 2012'ye göre çelik I kirişli model için eğilme moment diyagramı.....	75
Şekil 4.41. TBDY 2018'e göre çelik U kirişli model için eksenel kuvvet diyagramı.....	76
Şekil 4.42. TBDY 2018'e göre çelik U kirişli model için kesme kuvvet diyagramı.....	76
Şekil 4.43. TBDY 2018'e göre çelik U kirişli model için burulma moment diyagramı.....	77
Şekil 4.44. TBDY 2018'e göre çelik U kirişli model için eğilme moment diyagramı.....	77
Şekil 4.45. AASHTO 2012'ye göre çelik U kirişli model için eksenel kuvvet diyagramı....	78
Şekil 4.46. AASHTO 2012'ye göre çelik U kirişli model için kesme kuvvet diyagramı.....	78
Şekil 4.47. AASHTO 2012'ye göre çelik U kirişli model için burulma moment diyagramı.....	79

Şekil 4.48. AASHTO 2012’ye göre çelik U kirişli model için eğilme moment diagramı.....	79
Şekil 4.49. Köprü modelleri için aksenal kuvvetler.....	81
Şekil 4.50. Köprü modelleri için kesme kuvvetleri.....	81
Şekil 4.51. Köprü modelleri için burulma momentleri.....	82
Şekil 4.52. Köprü modelleri için eğilme momentleri.....	82



ÇİZELGE DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Köprü modellerinde kullanılan elaman kesitleri.....	15
Tablo 4.1. Köprü modellerin doğal titreşim periyot değerleri (sn).....	53
Tablo 4.2. Taban kesme kuvvet/ağırlık.....	56
Tablo 4.3. Köprü modellerin boyuna ve enine doğrultu için yer değiştirme değerleri.....	62
Tablo 4.5. Köprü modellerin düşey doğrultu için yer değiştirme değerleri.....	63
Tablo 4.4. Köprü modellerin kesit tesirleri.....	80



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Isıl genleşme katsayısı
AASHTO	: Amerikan Devlet Karayolu ve Ulaşım Yetkilileri Derneği
CQC	: Tam Karesel Birleştirme
DC	: Yapının kendi ağırlıkları ve yapısal olmayan ek zati yükler
DW	: Yüzey kaplama zati yükleri
E	: Elastisite modülü
EI	: Eğilme rijitliğine
Es	: Çeliğin elastik esneklik modülü
fck	: Betonun karakteristik basınç dayanımı
Fy	: Çeliğin minimum akma dayanımı
LRFD	: Yük ve Dayanım Katsayıları Tasarımı
SRSS	: Kareleri Toplamının Kare Kökü
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
T	: Doğal titreşim periyodu
Vx	: X doğrultusuna ait taban kesme kuvveti
Vy	: Y doğrultusuna ait taban kesme kuvveti
W	: Köprü ağırlığı
v	: Pozisyon oranı

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Kirişli Köprülerin Deprem Etkisi Altındaki Davranışı

Noorullrahman ANJUMANİ

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr.Üyesi Gülhan İNCE

Nisan, 2021

Bu tez çalışmasında, girişli köprülerin deprem etkisi altındaki davranışı incelenmiştir. Çalışmada, 72 metre açıklığa sahip çelik I kesitli, çelik U kesitli, prekast betonarme I kesitli ve U kesitli giriş olmak üzere farklı üst yapı tipine sahip köprü modelleri mod birleştirme yöntemine göre analiz edilmiştir. Spektrum eğrileri AASHTO 2012 şartnamesine ve TBDY 2018 yönetmeliğine göre tanımlanmış, her bir tip köprü için iki model olmak üzere toplamda sekiz ayrı model oluşturulmuştur.

Çalışma beş bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde, köprüler ile ilgili genel bilgileri verilmiştir. İkinci bölümde karayolu köprülerin tarihçesi ve konu ile ilgili geçmişte yapılmış çalışmalar gözden geçirilmiştir. Üçüncü bölümde, köprü modellerinin kesit ve malzeme özellikleri, mesnet koşulları, ölü yükler, hareketli yükler ve spektrum eğrileri tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde AASHTO 2012 ve TBDY 2018'e göre deprem etkisi altında analiz edilen köprü modellerine ait elde edilen bulgular tablo ve grafikler halinde sunulmuş ve irdelenmiştir. Beşinci bölümde tez çalışmasından elde edilen sonuçlar sunulmuştur. AASHTO 2012 yönetmeliğine göre elde edilen değerler TBDY 2018 yönetmeliğine göre elde edilen değerlerden daha yüksektir. Her iki yönetmelik için yapılan değerlendirmeler I kesit tipinin U kesit tipine göre daha avantajlı olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: çelik girişli köprü, betonarme girişli köprü, öngerilmeli betonarme köprü, sismik analiz, CSi Bridge

SUMMARY

M. Sc. Thesis

Seismic Behavior of Girder Bridges

Noorullrahman ANJUMANİ

**Burdur Mehmet Akif Ersoy University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Department**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Gülhan İNCE

April, 2021

In this thesis, the effect of beam cross-section shape and material on the behavior of beam bridges under the effect of earthquake has been investigated. In the study, precast reinforced concrete I and U-beam, steel I-beam and U beam bridge models with a span of 72 meters were analyzed according to the modal combination method. Spectrum curves were defined according to AASHTO 2012 specification and TBDY 2018 regulations, and a total of eight different models were created, two models for each type of bridge.

This thesis study consists of five chapters. In the first part, general information about bridges were given. In the second part, the history of highway bridges, and previous studies on the subject are reviewed. In the third chapter, cross-section and material properties of bridge models, support conditions, dead loads, moving loads and spectrum curves are introduced. In the fourth chapter, according to AASHTO 2012 and TBDY 2018 the findings of the bridge models analyzed under the effect of earthquake are presented and examined in tables and graphs. In the fifth chapter, the results obtained from the thesis study were presented. The values obtained according to the AASHTO 2012 regulation are higher than the values obtained according to the TBDY 2018 regulation. For both regulations, it has been observed that the I section type is more advantageous than the U section type.

Keywords: steel beam bridge, reinforced concrete beam bridge, prestressed reinforced concrete bridge, seismic analysis, CSi Bridge

1. GİRİŞ

Köprüler hem kentler arası hem de kent içi ulaşım ağının can damarıdır. Köprüler, ulaşımında karayolu ve demiryolu ağ sistemlerinde kritik role sahiptirler. Köprü yapım maliyetleri ve köprülerin şehirlerarası ulaşım ağını oluşturduğu düşünüldüğünde köprülerin deprem etkisi altındaki davranışlarının incelenmesinin oldukça önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Köprülerin tasarımı için kullanılan en geniş kapsamlı yönetmeliklerden biri olan Amerikan Eyalet Karayolları ve Ulaştırma Kurumunun yayınladığı AASHTO yönetmeliğidir. AASHTO-LRFD, doğrusal olmayan malzeme özelliklerini ve elastik ötesi davranışını göz önünde bulundurarak köprülerin tasarlanmasına olanak sağlamaktadır (AASHTO, 2012).

Bu çalışmada, kirişli köprülerin deprem etkisi altında davranışı üzerine, kiriş enkesit şekli ve malzemesinin etkisi AASHTO 2012 ve TBDY 2018 yönetmelikleri dikkate alınarak incelenmiştir. Çalışmada, dört farklı kirişli köprü sistemi CSi Bridge bilgisayar programı kullanılarak modellenmiş ve AASHTO-LRFD 2012'e göre dizayn edilmiştir. Köprü modellerinde tabliye kirişleri dışındaki tüm elemanları aynı kesit ve malzemeye sahipken sadece tabliye kirişi enkesitleri farklıdır. Tasarımı yapılan modeller için TBDY 2018 ve AASHTO 2012 yönetmelikleri dikkate alınarak mod birleştirme yöntemine göre toplam sekiz adet analiz gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın ilk bölümde, köprüler ile ilgili genel bilgileri verilmiştir. İkinci bölümde karayolu köprülerin tarihçesi ve konu ile ilgili geçmişte yapılmış çalışmalar gözden geçirilmiştir. Üçüncü bölümde, köprü modellerinin kesit ve malzeme özellikleri, mesnet koşulları, ölü yükler, hareketli ve spektrum eğrileri tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde AASHTO 2012 ve TBDY 2018'e göre deprem etkisi altında analiz edilen köprü modellerine ait elde edilen bulgular tablo ve grafikler halinde sunulmuş ve irdelenmiştir. Beşinci bölümde tez çalışmasından elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Köprünün Tarihçesi

19. ve 20. yüzyılın başlarında, hem yapısal analizler hem de malzeme bilimleri çok büyük ilerlemeler kaydetmiştir. Eski zamanlarda köprüler ahşap, taş ve kil gibi kolayca erişilebilen doğal kaynaklar ile çok sınırlı açıklıklara sahip olarak inşa edilebilmiştir. Romalılar kemer şekli ve harç malzemesi kullanarak güçlü ve hafif köprüler ve uzun viyadükler inşa edebilmişlerdir (Şekil 2.1).

Dünyanın ilk dökme demir kafes köprüsü (Şekil 2.2) ise 1779'da İngiltere'nin Cofordbrookdale kentinde inşa edilmiştir. Bu köprü ara sıra hafif ulaşım araçları için ve yayalar için hala kullanılmaktadır (Wang, 2014).

Modern teknolojinin yardımıyla, özellikle bilgisayarın icat edilmesinden sonra köprüler inanılmaz uzun açıklıklar ile inşa edilmeye başlamıştır. Roma viyadük yapısı olan Millau Viyadüğü (Şekil 2.3), güney Fransa'da bir kablo köprü olarak inşa edilmiştir. Yapı 343 m yüksekliği ile dünyanın en yüksek köprüsüdür. Şu anda, dünyanın en uzun açıklık köprüsü (1991 m), Japonyada Kobe şehrini Awaji adasına bağlayan Akashi Kaikyo asma köprüsüdür (Şekil 2.4) (Wang, 2014).



Şekil 2.1. Roma viyadüğü, Pont du Gard, Fransa (Wang, 2014)



Şekil 2.2. Cofordbrookdale, Telford, İngiltere'deki ilk dökme demir kafes köprü (Wang, 2014)



Şekil 2.3. Millau viyadüğü, Fransa (Wang, 2014)



Şekil 2.4. En uzun açıklıklı köprü, Akashi Kaikyo köprüsü, Japonya (Wang, 2014)

2.2. Karayolu Köprülerinin Sınıflandırılması

Üstyapı tipine bağlı olarak, karayolu köprüleri aşağıdaki sınıflara ayrılabilir.

- Plak köprüler
- Kirişli köprüler
- Kemer köprüler
- Kafes köprüler
- Kablolu köprüler
- Asma köprüler

Köprülerin sayısına ve uzunluklarına bakıldığında, kirişli köprülerin dünyadaki en yaygın karayolu köprüleri olduğu görülmektedir. Uzun açıklıklı köprüler için, kemer, kafes ve kablolu köprü seçenekleri tercih edilebilir. Uzun açıklıklı köprüler için bazı örnekler Şekil 2.5 ile 2.13'te gösterilmiştir (Fu, 2013).



Şekil 2.5. Bir iskeleyi paylaşan iki basit çelik kiriş (Fu, 2013)



Şekil 2.6. Sürekli kirişli çelik köprü (Fu, 2013)



Şekil 2.7. Eğri eksenli beton kutu kirişli köprü (Fu, 2013)



Şekil 2.8. Tek açıklıklı öngerilmeli betonarme I-kirişli köprü (Fu, 2013)



Şekil 2.9. Öngerilmeli beton kutu kiriş köprü (Fu, 2013)



Şekil 2.10. Çelik kafes köprü (Fu, 2013)



Şekil 2.11. Çelik kemer köprü (Fu, 2013)



Şekil 2.12. Askılı köprü (Fu, 2013)



Şekil 2.13. Asma köprü (Fu, 2013)

2.3. Literatür Taraması

Literatürde çelik ve betonarme köprülerle ilgili yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Ayoub ve Filip (2000) çalışmalarında yükler altında çelik-beton kompoze kirişin analizi için yeni bir kiriş eleman tanımı sunmuştur. Eleman iç kuvvet ve yatay deplasmandan bağımsız bir yaklaşımla karma bir formülasyondan türetmiştir. Çalışma sonucunda yapısal modelde toplam serbestlik derecesinin azaldığı ve analitik simülasyonda önemli ölçüde işlem tasarrufu elde edildiği görülmüştür.

Gheitasi ve Harris (2005) çalışmalarında döşeme yüzey deliminasyonunun çelik beton kompoze köprülerin performansına etkisi incelenmişlerdir. İnceleme sonucunda döşemedeki bozulmanın sistemin bütüncül davranışı bakımından etkisi minimal olduğu fakat bu durumun sistem duktilitesi ve yük taşıma kapasitesindeki indirgeme karakteristiklerini etkileyeceği belirtilmişlerdir.

Erciyes (2006) çalışmasında çelik kafes kemerli bir köprünün, bilgisayar destekli analizi ve analiz sonuçlarına göre tasarımını yapmıştır. Köprü tasarımı Amerikan Standartlarına göre çelik kafes kemer olarak yapılmıştır. Çelik elemanların bağlantılarının, kaynaklı olduğu varsayılmış ve daha gerçekçi bir tasarım için, kafes sistemde oluşabilecek

moment etkileri de dikkate alınmıştır. Sıcaklık, darbe ve rüzgâr yükleri de dikkate alınarak, tasarımda diğer faktörlerin de yer alması sağlanmıştır. Tasarım sırasında yapılan kesit tayininde, boru tipi profil, kemer sistemin ağırlığını en aza indiren profil tipi olduğu görülmüştür. Ayrıca boru kesit kullanımının kemerin estetiği yönünden en uygun kesit olduğu görülmüştür.

Akoğul (2007) çalışmasında prekast öngerilmeli kirişli betonarme köprülerin depreme dayanıklı tasarımı ve elastomer mesnetlerin kullanılması durumunda deprem davranışındaki değişimi incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda, deprem yükü azaltma katsayılarının iki yönetmelik arasında birbirinden çok farklı olduğu ve iki yönetmelik arasındaki en önemli farkın yapı önem katsayısı olduğu görülmüştür.

Sarsık (2008) çalışmasında köprü üst yapısında kullanılan dokuz tip öngerilmeli prefabrik I kesitli köprü kirişinin değişen açıklıklarda hesabını yapmıştır ve kirişlerin hangi açıklıklarda efektif olarak kullanılacağını belirlemeyi hedeflemiştir. Kirişte kullanılan öngerme donatılarında zamana bağlı öngerilme kayıpları hesaplanmış ve kayıplardan sonra dört farklı yükleme safhasında kesitlerde oluşan asal gerilmeler emniyet gerilmeleriyle kontrol etmiştir.

Uluğ (2008) çalışmasında kuvvet esaslı doğrusal yöntemle, AASHTO-1996 yönetmelik kriterlerine göre tasarımı yapılmış mevcut bir köprüyü, AASHTO-LRFD yönetmeliğine göre yeniden tasarlamış ve tasarım sonuçlarını karşılaştırmıştır. Çalışma kapsamında, AASHTO-LRFD yönetmeliğinde verilen tasarım ilkeleri anlatılmış ve köprünün elemanlarının bu yönetmeliğe uygun olarak boyutlandırılması incelenmiştir. Sonuç olarak mevcut köprü tasarımının daha güvensiz tarafta kaldığı ve mevcut köprünün hesap raporu incelendiğinde, azaltılmış deprem yüklerine göre başlık kirişlerinin boyutlandırıldığı ve başlık kirişlerinin yetersiz kaldığı görülmüştür.

Aktaş (2010) çalışmasında bir köprünün, AASHTO yönetmeliğine göre boyutlandırılmış ve DLH ve CALTRANS yönetmeliklerine göre deprem performansı değerlendirmiştir. Köprü ayaklarında oluşan plastik mafsallı dönme değerlerinin limit birim şekil değiştirme değerlerini aşmadığı gözlenmiştir. Enine yönde kolon üst bölgesinde plastik mafsallı oluşumu gözlenmemiş fakat boyuna ve enine yönde kolonların alt bölgesinde plastik mafsallı oluşumu gözlenmiştir.

Safaei (2010) çalışmasında, 22,50, 32,50 ve 37,50 metre açıklıklı I tip prekast kirişli betonarme köprüsünün, AASHTO 2002 şartnamesine uygun olarak bilgisayar destekli analizi yapmıştır. Çalışmada, analiz ve tasarım sürecinde köprü ayak temelleri ankastre mesnet kabul edilmiştir. Tüm modellerde, kolon ve kiriş arasında aynı tip elastomer mesnet

kullanılıp, bu elemanların deprem yükü etkisi altında düşey, yatay, burulma ve dönme rijitlikleri hesaplanmıştır.

Günaydın (2011) çalışmasında asma köprülerin yapısal davranışlarını incelemiştir. Çalışmada, İstanbul'da bulunan asma köprülerden Boğaziçi Köprüsünü ve İngiltere'de Severn Nehri üzerinde bulunan Humber Köprüsünü örnek olarak seçilmiştir. Birinci kısımda Boğaziçi Köprüsü'nün ikinci kısımda ise Humber Köprüsü'nün yapım aşamaları ve malzeme deformasyonları dikkate alınarak lineer olmayan statik analizleri gerçekleştirilmiştir.

Tören (2011) çalışmasında farklı açıklık sayısı ve farklı açıklık boylarında I ve kutu kesitli kiriş için kesit özellikleri tayin etmiştir. Çalışmada, kiriş açıklık boyunun kısa olması durumunda I ve kutu kesitli kiriş birim ağırlıklarının birbirine yakın olduğu açıklık boyu arttıkça ise I kesitli kirişin kutu kesitli kirişe göre birim ağırlığının arttığı gözlemlenmiştir. Maliyet karşılaştırması sonucunda açıklık boyu arttıkça I kesitli kiriş maliyetinin kutu kesitli kiriş maliyetine göre arttığı sonucuna varılmıştır.

Görk (2013) çalışmasında bir karayolu köprüsünün göçme riskini, gelişmiş matematiksel model kullanmak yoluyla analitik olarak tahmin edilmesi üzerine çalışmıştır. Çalışmada kirişler, doğrusal çubuk elemanı olarak, orta ayaklar ve kenar ayaklar ise kesme kapasitelerini göz önünde bulunduran doğrusal olmayan eleman modelleri ile tanımlanmıştır. Köprünün yapımında elastik olmayan bağlantı elemanları, temel ve zemin yayları kullanılmıştır. Göçme hasar görebilirlik eğrisi ve tekabül eden depremsellik eğrisinin birlikte entegre edilmesiyle yapının göçme riski elde edilmiştir.

Koç (2013) çalışmasında çelik I-kirişli kompoze köprülerin tasarımında kullanılacak yeni bir hareketli yük modeli tanımlanması ve bu hareketli yüke uygun yük katsayısı belirlenmesi üzerinde çalışmıştır. Çalışmada, ölü ve hareketli yükleri barındıran temel düşey yük kombinasyonu için asgari hedef güvenilirlik indisi Amerika'da 3,50 seçilmesine karşın, bu çalışmada 4,00 olarak seçilmiştir. Güvenirlik indisinin istatistiki hesaplarının içerdiği belirsizlikler yerel kaynaklardan elde edilen verilere göre belirlenmiş olup, elde edilemeyen yerel bilgiler için uluslararası ilgili çalışmalardan yararlanılmıştır.

Pawar vd. (2013) çalışmalarında; kompoze köprü kirişlerinin analizi karşılaştırmalı olarak yapılmıştır. Bu çalışmada yazar T kirişindeki moment değişimini açıklamış, kirişin kendi ağırlığına bağlı olarak uzun açıklık ve kısa açıklık boyunca eğilme anındaki değişimini de açıklamıştır.

Saxena ve Maru (2013) T-kesit kiriş ve kutu-kesit kiriş üstyapı analiz ve tasarımı üzerine karşılaştırmalı çalışma yapmışlardır. Çalışmada T- kiriş için ölü yük altında eğilme

momenti ve kesme kuvvetlerinin kutu- kirişli köprüden daha küçük olduğu gösterilmiştir. T-kirişin beton maliyeti kutu kirişin beton maliyetinden daha uygun olduğu görülmüştür.

Bayer (2014) çalışmasında paslanmaz çelikten kompoze bir köprünün Eurocode standartlarına göre dizaynına, maliyet analizine ve Danimarka'da yer alan geleneksel ardgermeli betonarme bir köprünün maliyet kıyasına yer vermiştir. Fiyat analizinde bayındırlık bakanlığının birim fiyat verileri ile Danimarka Karayolları genel müdürlüğünün birim fiyat verileri temel esas alınarak kıyas yapılmıştır.

Kumar (2014) çalışmasında öngerilmeli beton T-kiriş tasarımını incelenmiştir. Çalışmada öngerilmeli beton T-kiriş için eğilme momenti ve kesme kuvveti, betonarme T-kiriş köprüsünden daha az olduğunu görülmüştür. Öngerilmeli beton T-kirişin moment dayanımı, 24 m açıklıktaki beton T-kirişine kıyasla daha fazladır. Öngerilmeli beton T-kiriş için beton maliyeti betonarme T-kirişinden daha az olduğunu görülmüştür.

Dikici (2015) çalışmasında AASHTO'ya göre ankastre ve elastomer mesnetli 2 ayrı köprü modellenmiş olup, aynı şartnamenin sismik tasarım bölümünde belirtilen çözüm yöntemleri kullanılarak yapı performansları değerlendirmiştir. Yapılan modal analiz sonucunda; yapı davranışında etkili olan ilk modlarda, elastomer mesnet kullanılmasıyla beraber önemli oranda periyod artışları elde edilmiştir. Bu sonuçla, elastomer mesnetli sistem kullanılmasıyla daha esnek bir yapı sisteminin oluştuğu anlaşılmıştır.

Fatemi vd. (2015) çalışmalarında kompoze çelik-beton yatay kiriş köprüsü için yük dağılımını incelemişlerdir. Yazar, yatay kirişin moment ve kayma yük faktörünü belirlemek için yaptığı çalışmada AASHTO'ya göre yük dağılımlarının Avustralya köprü tasarım kodundan oldukça yüksek olduğunu gözlemlemiştir.

Dhanotia (2017) CSi Bridge yazılımı kullanarak çelik I-kirişli köprüsünün analizi ve tasarımını yapmıştır. Çalışmada IRC ve AASTHO kodları kullanılmıştır. Çalışmada iki açıklıklı köprüler CSi Bridge kullanılarak modellenmiş ve farklı çerçeve kesitleri ve malzeme özellikleri kullanılarak yapılan hesaplamalar ile karşılaştırılmıştır. IRC sınıf AA yükleme ve IRC sınıf A yükleme momentlerini ve sapmalarını hesaplamak için farklı deneme bölümleri alınmıştır. Açıklık uzunluğu arttıkça çelik I-kirişli köprülerdeki eğilme momentinin azaldığı sonucu vermiştir.

Gölen (2017) çalışmasında betonarme ve çelik köprülerde enleme kirişlerin ve ana kirişlerin hem eğilme rijitlikleri hem de burulma rijitliklerini dikkate alarak çözümlemeler ve Guyon-Masonnet yöntemi ve Courbon yöntemi inceleyerek kıyaslama yapmıştır. Her iki metotta uygulamalar yapılmış, yapılan uygulamalar sonucunda Courbon yönteminin daha

basit çözüm sistemi olmasına rağmen Guyon-Masonnet yönteminin daha sağlıklı sonuç verdiği görülmüş ve tablolar oluşturulmuştur.

Verma (2017) çalışmasında beton T- kirişli köprü ile kutu kirişli köprünün analiz ve tasarımı karşılaştırmıştır. Bu çalışmada, ölü yük ve hareketli yükü hesaplamak için betonarme T-kirişli köprü ile kutu kirişli köprü incelemiştir. Ölü yük hesaplaması fiziksel olarak yapılmıştır. Ölü yük eğilme momentleri, hareketli yük eğilme momentleri, rüzgar yükü eğilme momentleri ve burulma momentleri T-kirişli köprü için kutu kiriş köprüden daha az olduğu görülmüştür. 30 m ve 40 m açıklıklarda T-kirişin kutu kirişten daha ağır olduğu tespit edilmiştir. 20 metrelik açıklıklar için T-kiriş daha ekonomik olduğu, ancak açıklık daha fazlaysa, kutu kiriş her zaman uygun görülmüştür. Her ikisi için de momentler değerlendirilmiş ve T- kiriş'in 20 metrelik mesafe için daha fazla kapasiteye sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Yaman (2018) çalışmasında zamana bağlı öngermeli betonarme köprülerin beton tabliyesinin ve kirişlerinin farklı bölümlerinde oluşan sıcaklık dağılımını ve sıcaklık gardiyanlarını anlamak için sonlu eleman analizi yapmıştır. Köprü kirişlerinin ısı analizini gerçekleştirmek için sonlu eleman programları COMSOL Multiphysics ve CSi Bridge programını kullanmış ve analizler yapmıştır. Sıcak bölgelerde güneş radyasyon etkisinin köprü tasarlamak için önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

Bostan (2019) çalışmasında kutu kesitli betonarme karayolu köprülerinin dinamik davranışı üzerinde en kesit şeklinin etkisi incelemiştir. Bu amaçla, farklı en kesitli kirişlere sahip olan dört kutu kesitli köprü modellemiş, modal ve dinamik analizlerini yapmıştır. Farklı en kesit şekillerine sahip köprülerde hâkim mod, eğilmeli burulma modu olarak ortaya çıkmıştır. Burulma rijitliği arttıkça, doğal frekanslar azalmaktadır. Köprünün dinamik davranışı üzerinde araçların köprüye giriş zamanlarının, köprü üzerinde kalma zamanlarının ve araç hızlarının etkili olduğu görülmüştür.

Peker (2019) çalışmasında iki aşamalı etkin bir yaklaşım ile kompozit çelik I kiriş köprülerin optimum tasarımını gerçekleştirmiştir. Çizgisel-Kiriş analiz yöntemi ile çözümlerde araç hareketli yük zarflarını yaratmak üzere, tesir çizgilerini kullanmanın karmaşık, yorucu ve zaman alıcı olduğu ortaya çıkmıştır. En elverişsiz yüklemeler altında Çizgisel-Kiriş analiz yöntemiyle çözümlerin, tesir çizgileriyle analize göre daha kolay ve daha pratik olduğu görülmüştür.

Rasekh (2020) çalışmasında öngermeli kirişli betonarme köprülerin ve çelik kirişli köprülerin inşaat maliyetleri ve deprem performansları karşılaştırılmalı olarak irdelenmiştir. Çalışmada, iki ana grup olarak öngermeli kirişli ve çelik kirişli köprüler den oluşan toplam

288 köprünün tasarımları gerçekleştirilmiştir. Bu köprülerin analizinde parametre olarak, farklı zemin tipleri ve sismik bölgeleri, farklı açıklık uzunlukları, kolon yükseklikleri, dikkate alınarak karşılaştırmalar gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak öngermeli betonarme kirişli köprülerin çelik kirişli köprülere göre hem maliyet hem performans açısından daha iyi bir konumda olduğu tespit edilmiştir.

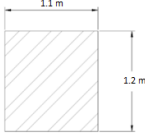
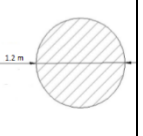
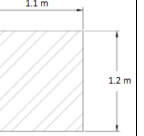
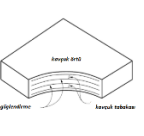
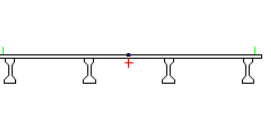
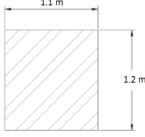
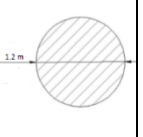
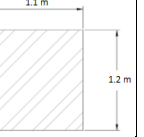
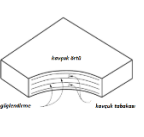
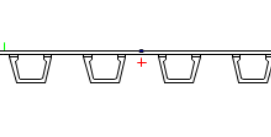
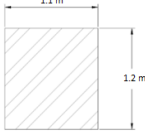
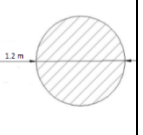
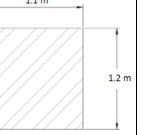
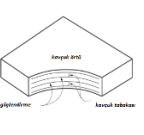
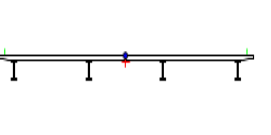
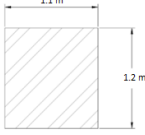
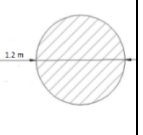
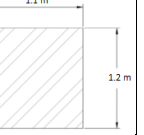
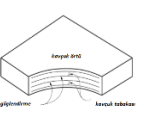
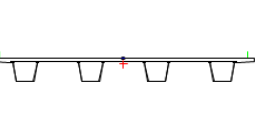


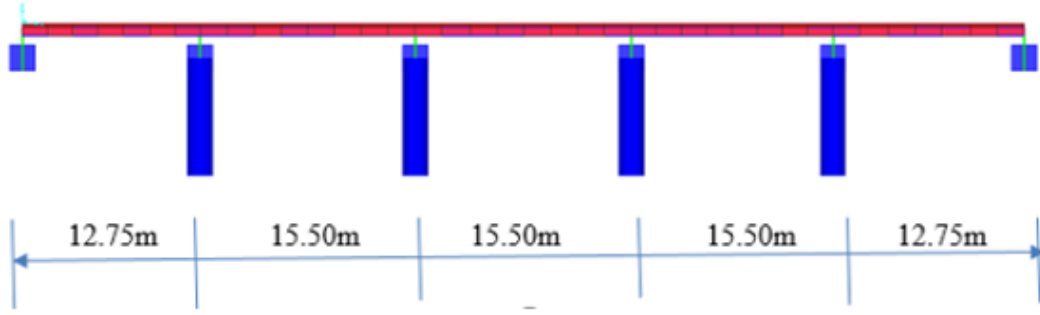
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Köprü Modellerinin Tanıtılması

Bu çalışmada Prekast I ve U kirişli betonarme ve çelik I ve U kirişli köprülerin AASHTO 2012 şartnamesine uygun olarak CSI Bridge programını yardımıyla analizi ve dizaynı yapılmıştır. Çalışmaya esas alınan köprü modelleri toplam 72 m uzunluğa, 15,1 m genişliğe ve 5 açıklığa sahiptir. İlk ve son açıklık 12,75 m, orta açıklıklar 15.5 m'dir. Köprü platformu döşeme ve dikdörtgen betonarme kesitli dört adet başlık kirişi ve iki adet kenar ayakta oluşmaktadır. Köprü kirişleri köprünün başlangıç ve son kısmında yer alan kenar ayaklar ve başlık kirişlerine elastomer mesnetlerle bağlanırken, başlık kirişleri 4.467 m aralıklı dört adet kolon üzerine oturmaktadır. Kolonlar ise ankastre olarak zemine bağlanmaktadır. Betonarme tabliyenin kalınlığı 0,203 metredir. Bu köprü 4 şeritten oluşmaktadır (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2). Ölü yükler, hareketli yükler ve taşıt yükleri tanımlanırken AASHTO 2012 dikkate alınmıştır.

Tablo 3.1. Köprü modellerinde kullanılan elaman kesitleri

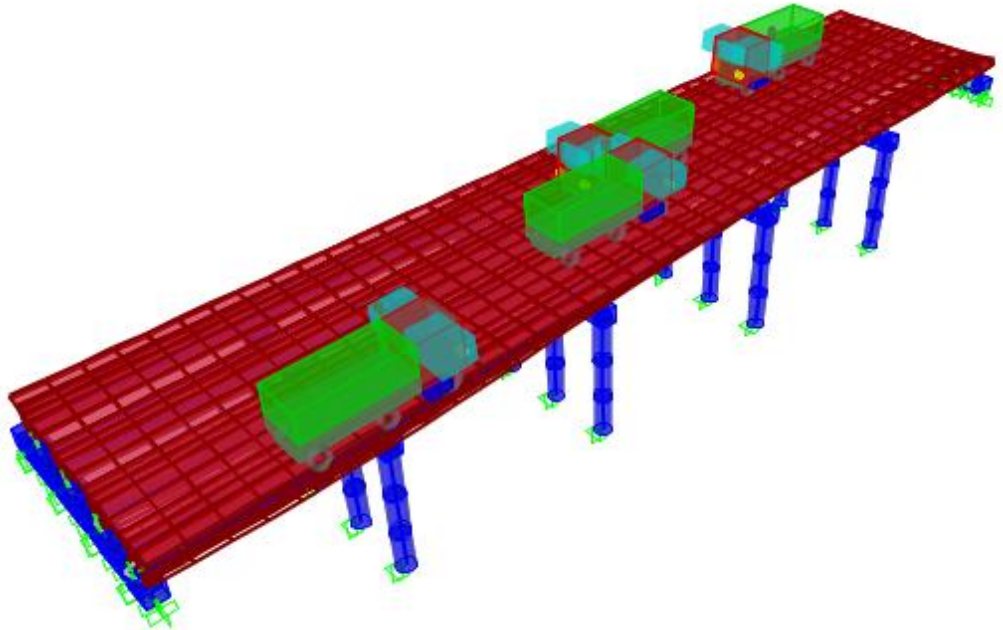
Model	Başlık kirişi Kesiti	Kolon Kesiti	Kenar ayak Kesiti	Elastomer mesnet	Köprü Kiriş ve tabliyesi
Prekast I Kirişli Model					
Prekast U Kirişli Model					
Çelik I Kirişli Model					
Çelik U Kirişli Model					



Şekil 3.1. Köprü boy kesiti

3.2. CSi Bridge Programının Tanıtılması

CSi Bridge kullanarak mühendisler karmaşık köprü geometrilerini, sınır koşullarını ve yük durumlarını kolayca tanımlayabilmektedirler. Yazılım, köprü tanımlama parametreleri değişikçe otomatik olarak modelleri oluşturur. Kullanıcının tasarım süreci üzerinde tam kontrolü korurken, basit veya karmaşık köprü modelleri oluşturmaya ve verimli bir şekilde değişiklik yapmasına kolaylık sağlar. CSi Bridge tasarımı, çelik ve betonarme köprülerin hızlı ve kolay bir şekilde tasarlanmasını ve güçlendirilmesini sağlar. Şeritler ve araçlar hızlı bir şekilde tanımlanır. CSi Bridge programında oluşturulmuş köprü sonlu eleman modeli Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. 3D köprü sonlu eleman modeli

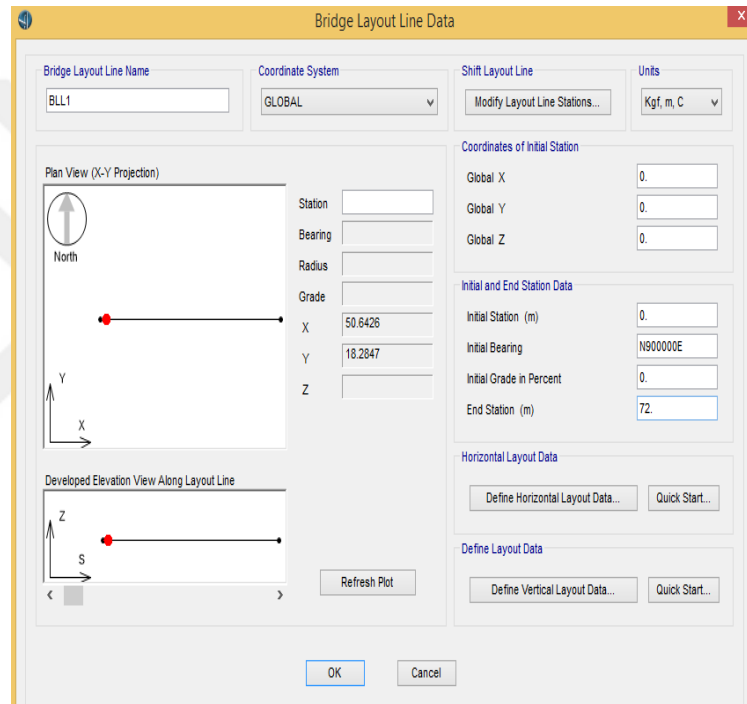
3.3. CSI Bridge Program Kullanılarak Köprünün Modellenmesi

3.3.1. Birimler

Bu çalışmada birimler KN/m/C olarak kabul edilmiştir.

3.3.2. Aks Düzeni

CSi Bridge programında modellemenin ilk adımı aks çizgilerini tanımlamaktır. Köprü eğimsiz düz olacaktır. Köprünün toplam uzunluğu 72 metredir ve başlangıç değeri sıfır alınmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Yol platformunun oluşturulması

3.3.3. Yol Şeritlerin Tanımlaması

Bu model için 15,1 metre genişliğinde dört şerit tanımlanmıştır (Şekil 3.4 ve Şekil 3.5).

Bridge Lane Data

General
Lane Name: LANE1
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
BLL1	0.	1.825	3.65	0.
BLL1	0.	1.825	3.65	0.
BLL1	72.	1.825	3.65	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
Station
Bearing
Radius
Grade
X: 71.4957
Y: -9.4453
Z
☒ 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 3.4. Yolu iç şeridi oluşturulması

Bridge Lane Data

General
Lane Name: LANE3
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
BLL1	0.	5.475	3.65	0.
BLL1	0.	5.475	3.65	0.
BLL1	72.	5.475	3.65	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
Station
Bearing
Radius
Grade
X
Y
Z
☒ 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 3.5. Yolu kenar şeridi oluşturulması

3.3.4. Köprü Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması

Çalışmaya esas alınan köprü modellerinde kullanılan her malzemenin programda aşağıda görüldüğü gibi tanımlanmıştır.

3.3.4.1. C40 Beton Sınıfının Tanımlanması

Elastisite Modülü (E) = 3.4×10^7 kN/m²

Pozisyon Oranı = 0.20

Isıl genleşme katsayısı = 1.0×10^{-5} °C

Karakteristik basınç dayanımı = 4.0×10^4 kN/m²

Prekast kirişler: AASHTO Tip-IV prekast kiriş kesiti ve AASHTO U kesiti ve köprü tabliyesinde beton sınıfı C40 kullanılmıştır. Beton sınıfı C40 Şekil 3.6'de gösterildiği gibi tanımlanmıştır.

The screenshot shows a software window titled "Material Property Data" with a close button (X) in the top right corner. The window is divided into several sections for defining material properties:

- General Data:** Includes fields for "Material Name and Display Color" (set to "C40" with a blue color swatch), "Material Type" (set to "Concrete" with a dropdown arrow), "Material Grade" (set to "fc 4000 psi"), and "Material Notes" with a "Modify/Show Notes..." button.
- Weight and Mass:** Includes "Weight per Unit Volume" (set to "25") and "Mass per Unit Volume" (set to "2.5493"). A "Units" dropdown is set to "KN, m, C".
- Isotropic Property Data:** Includes "Modulus Of Elasticity, E" (34000000), "Poisson, U" (0.2), "Coefficient Of Thermal Expansion, A" (1.000E-05), and "Shear Modulus, G" (14166667).
- Other Properties For Concrete Materials:** Includes "Specified Concrete Compressive Strength, fc" (40000), "Expected Concrete Compressive Strength" (40000), a checkbox for "Lightweight Concrete" (unchecked), and a "Shear Strength Reduction Factor" field.

At the bottom, there is a checkbox "Switch To Advanced Property Display" (unchecked) and two buttons: "OK" and "Cancel".

Şekil 3.6. C40 beton malzeme özellikleri

3.3.4.2. C30 Beton Sınıfının Tanımlanması

Elastisite Modülü (E) = 3.2×10^7 kN/m²

Pozisyon Oranı = 0.20

Isıl genleşme katsayısı = $1.0 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}$

Karakteristik basınç dayanımı = $3.0 \times 10^4 \text{ kN/m}^2$

Kolonlar, başlık kirişi ve kenar ayaklarında beton sınıfı C30 kullanılmıştır.

Beton sınıfı C30 Şekil 3.7'de gösterildiği gibi tanımlanmıştır.

The image shows a 'Material Property Data' dialog box for C30 concrete. The 'General Data' section includes 'Material Name and Display Color' (C30), 'Material Type' (Concrete), 'Material Grade' (fc 4000 psi), and 'Material Notes'. The 'Weight and Mass' section shows 'Weight per Unit Volume' (25) and 'Mass per Unit Volume' (2.5493). The 'Isotropic Property Data' section includes 'Modulus Of Elasticity, E' (32000000), 'Poisson, U' (0.2), 'Coefficient Of Thermal Expansion, A' (1.000E-05), and 'Shear Modulus, G' (13333333). The 'Other Properties For Concrete Materials' section includes 'Specified Concrete Compressive Strength, fc' (30000), 'Expected Concrete Compressive Strength' (30000), and a checkbox for 'Lightweight Concrete'. The 'Switch To Advanced Property Display' checkbox is unchecked. The 'OK' button is highlighted.

Property	Value
Material Name and Display Color	C30
Material Type	Concrete
Material Grade	fc 4000 psi
Material Notes	
Weight per Unit Volume	25
Mass per Unit Volume	2.5493
Modulus Of Elasticity, E	32000000
Poisson, U	0.2
Coefficient Of Thermal Expansion, A	1.000E-05
Shear Modulus, G	13333333
Specified Concrete Compressive Strength, fc	30000
Expected Concrete Compressive Strength	30000
Lightweight Concrete	☐

Şekil 3.7.C30 beton malzeme özellikleri

3.3.4.3. A416Gr270 Öngerme Malzeme Sınıfının Tanımlanması

Minimum Akma Dayanımı, $F_y = 1689905 \text{ kN/m}^2$

Elastik Esneklik Modülü, $E_s = 1.965 \times 10^8$

Prekast I ve prekast U kirişli modellerde öngerme çeliği olarak (A416-Gr 270) kullanılmıştır. Malzeme özellikleri, Şekil 3.8'de gösterildiği gibi tanımlanmıştır.

The screenshot shows a 'Material Property Data' dialog box with the following sections and values:

- General Data:**
 - Material Name and Display Color: A416Gr270
 - Material Type: Tendon
 - Material Grade: Grade 270
 - 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: 1.965E+08
 - Poisson, U: 0.
 - Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1.170E-05
 - Shear Modulus, G:
- Other Properties For Tendon Materials:**
 - Minimum Yield Stress, Fy: 1689905.2
 - Minimum Tensile Stress, Fu: 1861584.6
- Switch To Advanced Property Display:** (unchecked)
- Buttons:** OK, Cancel

Şekil 3.8. Öngerme malzeme özellikleri

3.3.4.4. A615Gr60 Donatı Çeliğinin Tanımlanması

Minimum Akma Dayanımı, $F_y = 413685.5 \text{ kN/m}^2$

Elastik Esneklik Modülü, $E_s = 1.999 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$

Pozisyon Oranı = 0.30

Donatı çeliği (A615Gr60) tüm köprü modellerinde kolon, başlık kiriş ve kenar ayaklarında kullanılmıştır ve Şekil 3.9'de gösterildiği gibi tanımlanmıştır.

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: A615Gr60

Material Type: Rebar

Material Grade: Grade 60

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: 413685.5

Minimum Tensile Stress, Fu: 620528.2

Expected Yield Stress, Fye: 455054

Expected Tensile Stress, Fue: 682581

☐ Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Şekil 3.9. Donatı çeliği (A615Gr60) malzeme özellikleri

3.3.4.5. A709Gr50W Çelik Sınıfı Tanımlanması

Minimum Akma Dayanımı, $F_y = 344737.9 \text{ kN/m}^2$

Elastik Esneklik Modülü, $E_s = 1.999\text{E}+08 \text{ kN/m}^2$

Pozisyon Oranı = 0.30

Çelik sınıfı (A709Gr50W) Çelik I ve U kirişli köprü modellerinde I ve U kiriş kesitinde kullanılmıştır ve Şekil 3.10'de gösterildiği gibi tanımlanmıştır.

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: A709Gr50W [Red Color Box]

Material Type: Steel [Dropdown]

Material Grade: Grade 50W [Text Box]

Material Notes: [Text Box] Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 76.9729 [Text Box]

Mass per Unit Volume: 7.849 [Text Box]

Units

KN, m, C [Dropdown]

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 1.999E+08 [Text Box]

Poisson, U: 0.3 [Text Box]

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1.170E-05 [Text Box]

Shear Modulus, G: 76903069. [Text Box]

Other Properties For Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 344737.9 [Text Box]

Minimum Tensile Stress, Fu: 482633.1 [Text Box]

Expected Yield Stress, Fye: 379211.7 [Text Box]

Expected Tensile Stress, Fue: 530896.4 [Text Box]

☐ Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

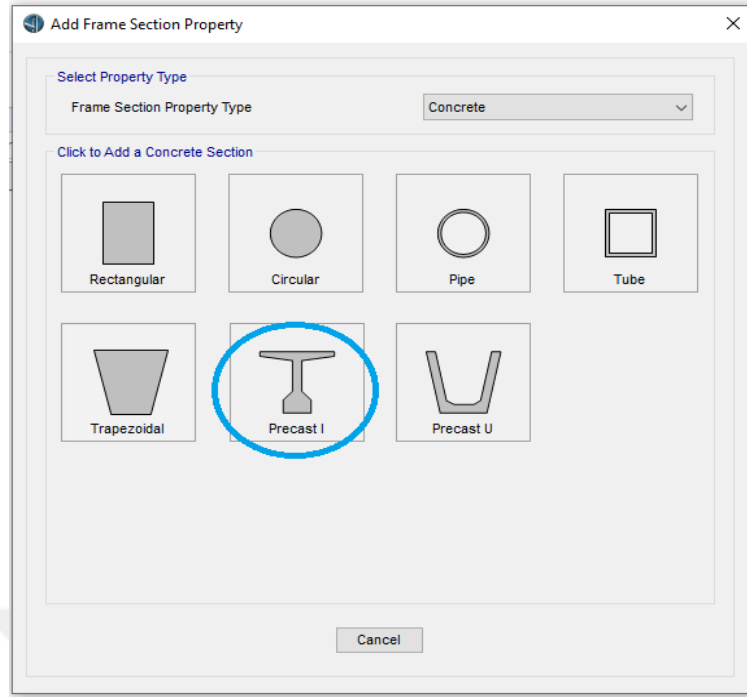
Şekil 3.10. Çelik sınıfı (A709Gr50W) malzeme özellikleri

3.3.5. Köprü Kirişlerinin Tanımlanması

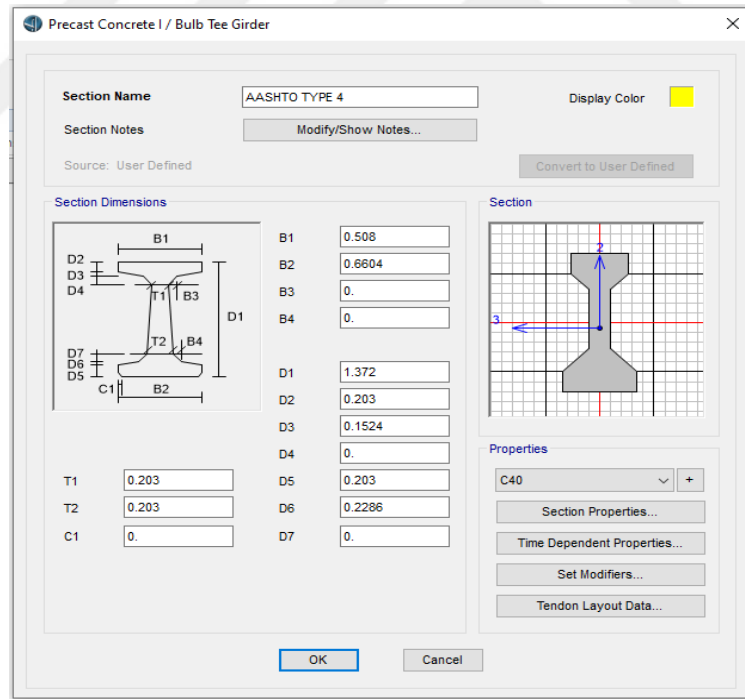
Modellerde kullanılan köprü kirişleri sırayla aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

3.3.5.1. ASSHTO Tip IV Prekast Kiriş Tanımlanması

Prekast beton Tip IV Kiriş, ASSHTO standardından seçilerek programda aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır (Şekil 3.11 ve Şekil 3.12).



Şekil 3.11. AASHTO tip IV prekast kiriş tanımlanması



Şekil 3.12. AASHTO tip IV prekast kirişin özellikleri

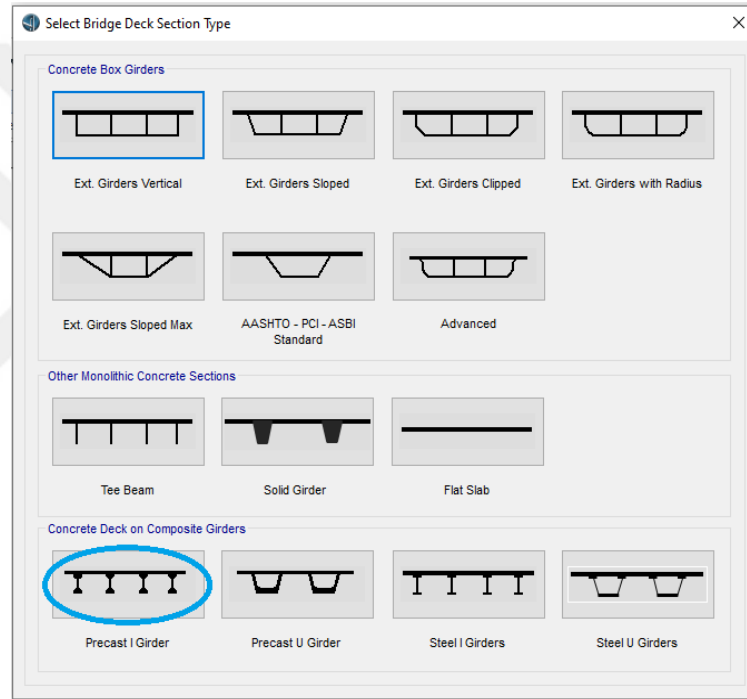
3.3.5.2. Tabliye Özelliklerinin Tanımlanması

Köprü kirişleri için kesit ve malzeme tanımlandıktan sonra, tabliye üstyapı paneli kullanılarak köprü döşeme-kiriş sistemi tanımlanmıştır.

3.3.5.3. AASHTO Prekast I Kiriş Kesitinin Tanımlanması

Prekast I kiriş kesitinin tanımlanması aşağıda gösterilmiştir.

1- Yeni tabliye sekmesi tıklanarak tabliye tipini “kompozit kiriş üzerine beton-prekast I kiriş” olarak seçilmiştir (Şekil 3.13).



Şekil 3. 13. AASHTO Tip IV prekast kiriş için seçilen tabliye tipi

- 2- Döşeme malzemesi “C 40” olarak tanımlanmıştır.
- 3- Modelin toplam iç kiriş sayısını 4 olarak tanımlanmıştır.
- 4- Köprünün toplam genişliğini 15,1 metre olarak girilmiştir.
- 5- Döşeme kalınlığı 0.203 metre olarak girilmiştir.
- 6- Kiriş ASSHTO Tip IV olarak seçilmiştir.

Köprü tabliyesinin detaylı bilgileri şekil 3.14'de gösterilmektedir. Prekast U kirişli, çelik I ve çelik U kirişli köprü modelleri için de tabliye özellikleri aynı şekilde tanımlanmıştır (AASHTO, 2012).

Define Bridge Section Data - Precast Concrete I Girder

Section Data

Item	Value
General Data	
Bridge Section Name	BSEC1
Slab Material Property	C40
Number of Interior Girders	2
Total Width	15.1
Girder Longitudinal Layout	Along Layout Line
Constant Girder Spacing	Yes
Constant Girder Haunch Thickness (t2)	Yes
Constant Girder Frame Section	Yes
Slab Thickness	
Top Slab Thickness (t1)	0.203
Concrete Haunch Thickness (t2)	0.
Girder Section Properties	
Girder Section	AASHTO TYPE 4
Fillet Horizontal Dimension Data	
f1 Horizontal Dimension	0.4572
f2 Horizontal Dimension	0.4572
Left Overhang Data	
Left Overhang Length (L1)	0.762

Girder Output

Modify/Show Girder Force Output Locations...

Modify/Show Properties

Materials... Frame Sects... Units: KN, m, C

Modify/Show Tendons

Tendon Layout Data...

Modify/Show Load Patterns

Load Patterns...

OK Cancel

Şekil 3.14. AASHTO Tip IV prekast kiriş tabliyesi özellikleri

3.3.5.4. AASHTO Prekast U Kiriş Kesitinin Tanımlanması

Prekast U kiriş kesiti ve tabliye özelliklerini aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi tanımlanmıştır (Şekil 3.15 ve Şekil 3.16).

Precast Concrete U Girder

Section Name: U KIRIŞ

Section Notes: Modify/Show Notes...

Source: User Defined

Display Color: [Blue]

Convert to User Defined

Section Dimensions

B1	2.1987	D1	1.4002
B2	1.4986	D2	0.1746
B3	0.2	D3	0.0762
B4	0.0953	D4	0.
B5	0.1447	D5	0.
B6	0.	D6	0.1238
		D7	0.1746

Section

Properties

C40

Section Properties...

Time Dependent Properties...

Set Modifiers...

OK Cancel

Şekil 3.15. Prekast U kiriş özellikleri

Define Bridge Section Data - Precast Concrete U Girder

Section Data

Item	Value
General Data	
Bridge Section Name	BSEC1
Slab Material Property	C40
Number of Interior Girders	2
Total Width	15,1
Girder Longitudinal Layout	Along Layout Line
Constant Girder Spacing	Yes
Constant Girder Haunch Thickness (t2)	Yes
Constant Girder Frame Section	Yes
Slab Thickness	
Top Slab Thickness (t1)	0.203
Concrete Haunch Thickness (t2)	0.075
Girder Section Properties	
Girder Section	U Kiriş
Girder Modeling In Area Object Models	
Girders Modeling Object Type	Frame
Fillet Horizontal Dimension Data	
F1 Horizontal Dimension	0.305
F2 Horizontal Dimension	0.305

Girder Output

Modify/Show Girder Force Output Locations...

Modify/Show Properties

Materials... Frame Sects... Units: KN, m, C

Modify/Show Load Patterns

Load Patterns...

Convert To User Bridge Section

OK Cancel

Şekil 3.16. Prekast U kiriş tabliyesi özellikleri

3.3.5.5. AASHTO Çelik I Kiriş Kesitinin Tanımlanması

Çelik I kiriş kesiti ve tabliye özelliklerini aşağıda şekilde gösterdiği gibi tanımlanmıştır (Şekil 3.17 ve Şekil 3.18).

I/Wide Flange Section

Section Name: Steel I Display Color: [Red]

Section Notes: Modify/Show Notes...

Dimensions

Outside height (t3)	1,2
Top flange width (t2)	0,6
Top flange thickness (tf)	0,05
Web thickness (tw)	0,035
Bottom flange width (t2b)	0,6
Bottom flange thickness (tfb)	0,05

Material: A709Gr50W

Property Modifiers: Set Modifiers...

Section Properties... Time Dependent Properties...

OK Cancel

Şekil 3.17. Çelik I kiriş özellikleri

Define Bridge Section Data - Steel I Girder

Section Data

Item	Value
General Data	
Bridge Section Name	BSEC1
Slab Material Property	C40
Number of Interior Girders	2
Total Width	15.1
Girder Longitudinal Layout	Along Layout Line
Constant Girder Spacing	Yes
Constant Girder Haunch Thickness (t2)	Yes
Constant Girder Frame Section	Yes
Slab Thickness	
Top Slab Thickness (t1)	0.203
Concrete Haunch + Steel Flange Thickness (t2)	0.05
Girder Section Properties	
Girder Section	Steel I
Girder Modeling In Area Object Models	
Girders Modeling Object Type	Mixed
Maximum Meshed Element Height for Girder Web	0.3048
Fillet Horizontal Dimension Data	
t1 Horizontal Dimension	0.305

Girder Output

Modify/Show Girder Force Output Locations...

Modify/Show Properties

Materials... Frame Sects... Units: KN, m, C

Modify/Show Load Patterns

Load Patterns...

Convert To User Bridge Section

OK Cancel

Şekil 3.18. Çelik I kiriş tabliyesi özellikleri

3.3.5.6. AASHTO Çelik U Kiriş Kesitinin Tanımlanması

Çelik U kirişin kesiti ve tabliye özellikleri aşağıda şekildeki gibi tanımlanmıştır (Şekil 3.19 ve Şekil 3.20).

Built Up Hybrid U-Section

Section Name: U STEEL

Section Notes: Modify/Show Notes...

Web Data

Material (Base): A709Gr50W

Vertical Clear Depth: 1.0192

Thickness: 0.012

Web Spacing at Top (CL to CL): 1.4256

Top Flange Data

Material: A709Gr50W

Width (Per Each): 0.171

Thickness: 0.022

Bottom Flange Data

Material: A709Gr50W

Width: 1.0192

Thickness: 0.022

Lip (Web CL to Flange Edge): 0.0171

Section

Properties

Section Properties...

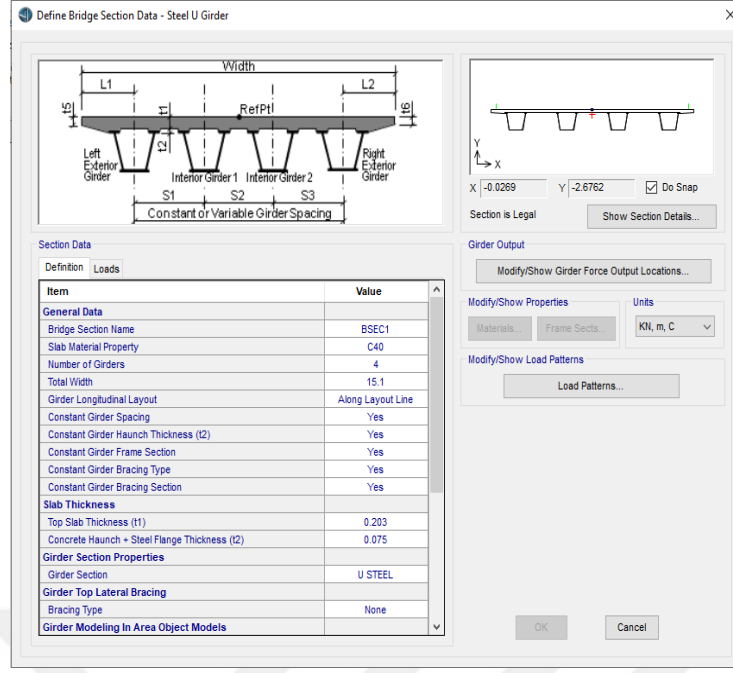
Time Dependent Properties...

Property Modifiers

Set Modifiers...

OK Cancel

Şekil 3.19. Çelik U kiriş özellikleri

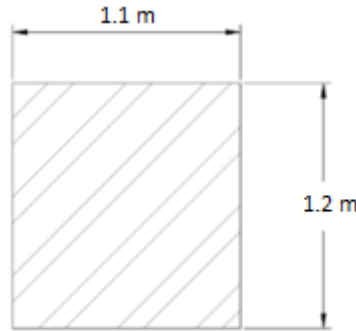


Şekil 3.20. Çelik U kiriş tabliyesi özellikleri

3.3.5.7. Başlık Kiriş Kesitinin Tanımlanması

Köprü modellerinin tümünde aynı başlık kiriş kesiti kullanılmıştır. Başlık kiriş kesiti ve programda tanımlanması Şekil 3.21 ve Şekil 3.22'de gösterilmiştir. Başlık Kiriş “çerçeve özellikleri paneli” kullanılarak ve dikdörtgen beton kesit seçilerek aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

- 1- Malzeme C30 Beton olarak seçilmiştir.
- 2- Derinlik (t_3) 1,2 metre ve genişlik (t_2) 1,1 metredir.



Şekil 3.21. Başlık kirişin kesiti

Rectangular Section

Section Name: BAŞLIK KIRIŞ (BENT CAP) Display Color: [Blue]

Section Notes: [Modify/Show Notes...]

Dimensions

Depth (t3): 1.2

Width (t2): 1.1

Section

[Diagram showing a rectangular section with dimensions t2 and t3]

Material

Material: C30

Property Modifiers

[Set Modifiers...]

Properties

[Section Properties...]

[Time Dependent Properties...]

[Concrete Reinforcement...]

[OK] [Cancel]

Şekil 3.22. Başlık kirişi kesit özellikleri

- 1-Donatı malzemesi A615Gr60 olarak seçilmiştir.
- 2-Tasarım tipi “kiriş” olarak seçilmiştir (Şekil 3.23).

Reinforcement Data

Rebar Material

Longitudinal Bars: + A615Gr60

Confinement Bars (Ties): + A615Gr60

Design Type

☐ Column (P-M2-M3 Design)

☒ Beam (M3 Design Only)

Concrete Cover to Longitudinal Rebar Center

Top: 0.0635

Bottom: 0.0635

Reinforcement Overrides for Ductile Beams

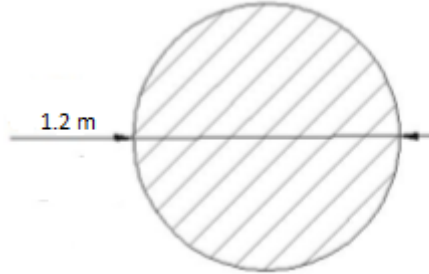
	Left	Right
Top	0.	0.
Bottom	0.	0.

[OK] [Cancel]

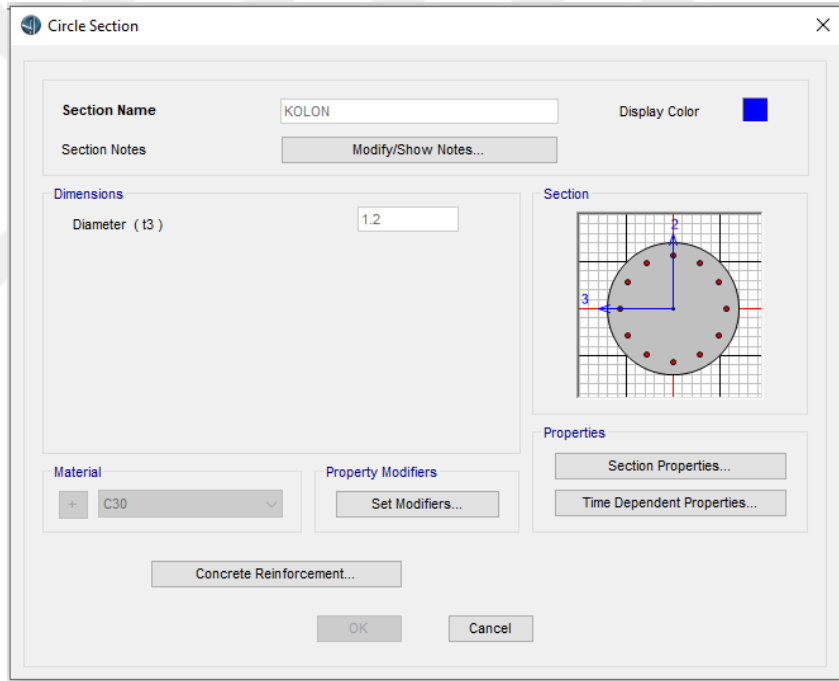
Şekil 3.23. Başlık kirişi için donatı tanımı

3.3.5.8. Kolon Kesitinin Tanımlanması

Köprü modellerinin tümünde 1,2 m çapında kolon kesiti kullanılmıştır. Kolon kesiti ve programda tanımlanması Şekil 3.24 ve Şekil 3.25'de gösterilmiştir.



Şekil 3.24. Kolon kesiti



Şekil 3.25. Kolon kesit özellikleri

- 1- Dairesel kolon kesiti seçilmiştir, çapı 1,2m ve donatı malzemesi olarak A615-GR60 seçilmiştir.
- 2- Boyuna donatı sayısı 12 ve donatı çapı 18 mm'dir (#18).
- 3- Donatı konfigürasyon daireseldir ve nervürlü donatı seçilmiştir (Şekil 3.26).

Reinforcement Data

Rebar Material

Longitudinal Bars: + A615Gr60

Confinement Bars (Ties): + A615Gr60

Design Type

☒ Column (P-M2-M3 Design)

☐ Beam (M3 Design Only)

Reinforcement Configuration

☐ Rectangular

☒ Circular

Confinement Bars

☐ Ties

☒ Spiral

Longitudinal Bars - Circular Configuration

Clear Cover for Confinement Bars: 0.06

Number of Longitudinal Bars: 12

Longitudinal Bar Size: + #18

Confinement Bars

Confinement Bar Size: + #8

Longitudinal Spacing of Confinement Bars: 0.2

Check/Design

☐ Reinforcement to be Checked

☒ Reinforcement to be Designed

OK

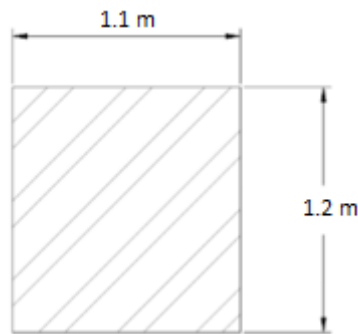
Cancel

Şekil 3.26. Kolon için donatı tanımı

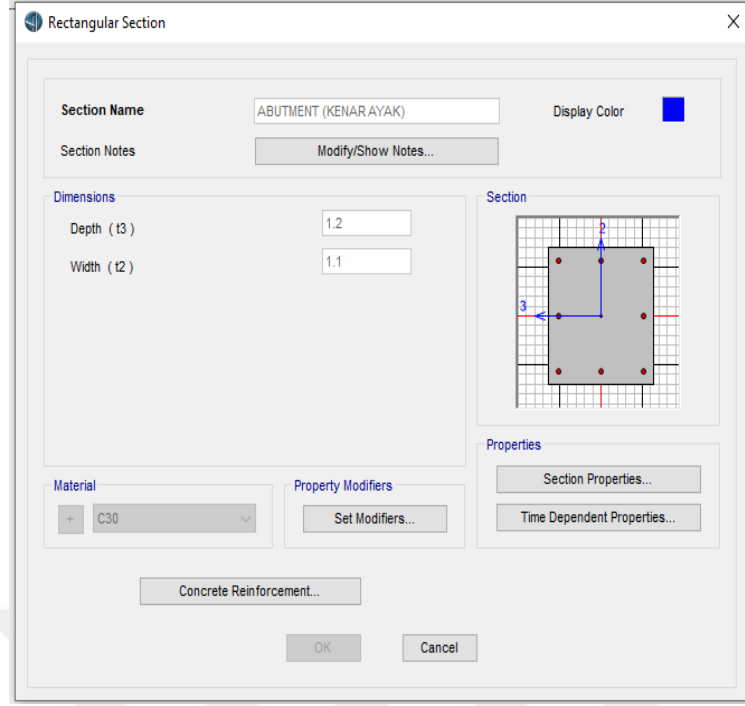
3.3.5.9. Kenar Ayak Kesitinin Tanımlanması

Tüm köprü modellerinde aynı kenar ayak kesiti kullanılmıştır. Kenar ayak kesiti ve programda tanımlanması Şekil 3.27 ve Şekil 3.28'de gösterilmiştir. Dikdörtgen beton kesit seçerek, kenar ayak aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

- 1- Malzeme C30 Beton olarak seçilmiştir.
- 2- Derinlik (t_3) 1,2 metre ve genişlik (t_2) 1,1 metredir.



Şekil 3.27. Kenar ayak kesiti



Şekil 3.28. Kenar ayak kesit özellikleri

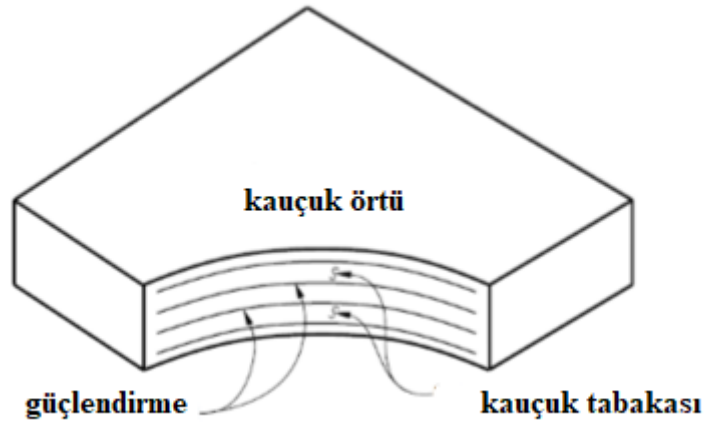
3.3.6. Köprü Bileşenlerinin Tanımlanması

Köprü modeli dört başlık kirişi, on altı kolon ve köprünün her iki uç noktasında bulunan iki kenar ayaklardan oluşmaktadır. Köprü kirişleri kenar ayaklara ve başlık kirişlerine, başlık kirişleri kolonlara, kolonlar ve kenar ayaklar ise zemine bağlanmaktadır. Bu bağlantıları sağlamak için tanımlanan mesnet özellikleri aşağıda anlatılmıştır.

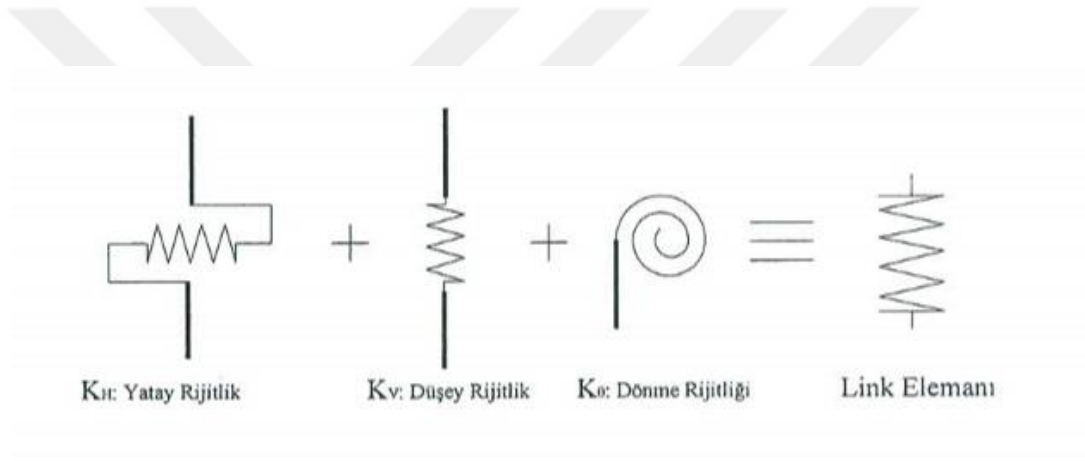
Başlık kirişler (bents) ve kenar ayaklar (abutments) ile prekast ve çelik kirişler arasında hareketi veya sismik etkinin yol açabileceği hasarı kontrol etmek için elastomer mesnetler yerleştirilmiştir. Köprü bileşenleri aşağıdaki bölümlerde tanımlanmıştır.

3.3.6.1. Elastomerik Mesnetleri Tanımlanması

Genel olarak köprü mesnetleri döşemeden etkiyen kuvvetleri veya yükleri alt yapıya aktarır ve üst yapının dönme ve ötelenme hareketine izin verir. Bu çalışmada, köprü kirişlerinin kenar ayaklara ve başlık kirişlerine bağlantısı için elastomerik mesnetler, kolonların temele bağlantısı için ankastre mesnetler kullanılmıştır. Elastomer mesnet kesiti ve yapısı Şekil 3.29 ve Şekil 3.30'de verilmiştir.



Şekil 3.29. Elastomerik mesnet kesiti



Şekil 3.30. Elastomerik mesnet yapısı

3.3.6.2. Elastomerik Mesnetlerin Programda Tanımlanması

Kenar ayaklar ve başlık kirişleri için elastomerik mesnetleri, Şekil 3.31 ve Şekil 3.32’te gösterildiği gibi tanımlanmıştır.

Bridge Bearing Data

Bridge Bearing Name: ABUDMENT BEARING

Units: KN, m, C

Bridge Bearing Is Defined By:

☐ Link/Support Property

☒ User Definition

User Bearing Properties

DOF/Direction	Release Type	Stiffness
Translation Vertical (U1)	Fixed	
Translation Normal to Layout Line (U2)	Free	
Translation Along Layout Line (U3)	Free	
Rotation About Vertical (R1)	Free	
Rotation About Normal to Layout Line (R2)	Free	
Rotation About Layout Line (R3)	Fixed	

OK Cancel

Şekil 3.31. Kenar ayak için mesnet tanımlanması

Bridge Bearing Data

Bridge Bearing Name: BAŞLIK KIRIŞ BEARING

Units: KN, m, C

Bridge Bearing Is Defined By:

☐ Link/Support Property

☒ User Definition

User Bearing Properties

DOF/Direction	Release Type	Stiffness
Translation Vertical (U1)	Fixed	
Translation Normal to Layout Line (U2)	Fixed	
Translation Along Layout Line (U3)	Fixed	
Rotation About Vertical (R1)	Free	
Rotation About Normal to Layout Line (R2)	Free	
Rotation About Layout Line (R3)	Free	

OK Cancel

Şekil 3.32. Başlık kirişi için mesnet tanımlanması

3.3.6.3. Kolonun Temele Bağlantısı

Bu köprü modelinde kolonların temele bağlantısı Şekil 3.33'te gösterildiği gibi ankastre olarak tanımlanmıştır.

Foundation Spring Data

Foundation Spring Name: FOUNDATION

Units: KN, m, C

Foundation Spring Is Defined By:

☐ Link/Support Property

☒ User Definition

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

Property is Defined for This Area in an Area Spring: 1.

User Foundation Spring

DOF/Direction	Release Type	Stiffness
Translation Vertical (U1)	Fixed	
Translation Along Skew (U2)	Fixed	
Translation Normal to Skew (U3)	Fixed	
Rotation About Vertical (R1)	Fixed	
Rotation About Line Along Skew (R2)	Fixed	
Rotation About Line Normal to Skew (R3)	Fixed	

OK Cancel

Şekil 3.33. Temel mesnet tanımlanması

3.3.6.4. Kenar Ayağın (Abutment) Kirişler ile Bağlantısı

Köprü modelinde üst yapının her bir uç noktasında yer alan iki kenar ayak şekilde gösterildiği gibi tanımlanmıştır (Şekil 3.34).

Bridge Abutment Data

Bridge Abutment Name: KENAR AYAK (ABUTMENT)

Units: KN, m, C

Girder Support Condition

☐ Integral

☒ Connect to Girder Bottom Only

Substructure Type

☐ Foundation Spring

☒ Continuous Beam (Continuously Supported)

Section Property: + ABUTMENT (KENAR AYAK)

Beam Length: 14.6

Foundation Spring

Foundation Spring Property: + FOUNDATION

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

OK Cancel

Şekil 3.34. Kenar ayak tanımlanması

3.3.7. Başlık Kirişlerinin Kolonlara Bağlantısı

Başlık kirişlerinin kolonlara mesnetlenmesi aşağıdaki adımlar dikkate alınarak tanımlanmıştır (Şekil 3.35).

- 1- Başlık kirişinin uzunluğu 14.6 metredir.
- 2- Kolon sayısı 4'tür.
- 3- Kiriş tipi "single bearing line" olarak seçilmiştir.
- 4- Kiriş destek tipi seçeneğinde "sadece kiriş tabanına bağlan" seçilmiştir.

Bridge Bent Data

Bridge Bent Name: BENT1

Units: KN, m, C

Girder Support Condition:
 ☐ Integral
 ☒ Connect to Girder Bottom Only

Bent Data:
 Cap Beam Section: BAŞLIK KİRİŞ (BENT CAP)
 Cap Beam Length: 14.6
 Number of Columns: 4
 Modify/Show Column Data...

Bent Type:
 ☒ Single Bearing Line (Continuous Superstructure)
 ☐ Double Bearing Line (Discontinuous Superstructure)

OK Cancel

Şekil 3.35. Başlık kirişlerinin ve kolonların tanımlanması

“Kolon verilerini düzenle” düğmesini kullanarak kolonlar aşağıdaki gibi düzenlenmiştir (Şekil 3.36).

1-Her kolon arasında 4,467 metre boşluk (köprü geometrisine bağlı olarak) sağlamak için aşağıdaki mesafe değerleri girilmiştir.

2-Kolon yüksekliği 10 metre olmalıdır ve açı sıfırdır.

3-Son olarak, temel mesnetleri tanımlanmıştır.

Bridge Bent Data

Bridge Bent Name: BENT1

Modify/Show Properties:
 Frame Section Properties...
 Foundation Properties...

Units: KN, m, C

Column Data

Column	Section	Distance	Height	Angle	Foundation
1	KOLON	0.6	10.	0.	Fixed
2	KOLON	5.067	10.	0.	Fixed
3	KOLON	9.533	10.	0.	Fixed
4	KOLON	14.	10.	0.	Fixed

Şekil 3.36. Kolonların oluşturma işlemi

3.3.8. Köprü Entegrasyonu

Köprünün tüm bileşenleri ayrı ayrı tanımlandığından modelin tek bir köprü şeklinde entegre edilmesi gerekir. Tüm bileşenleri bir araya getirmek için aşağıdaki adımlar izlenir.

1- Köprünün referans çizgisi kenar ayak ve başlık kiriş koordinatları tanımlar. Modelde beş açıklık bulunduğundan, referans hattının Şekil 3.37'de gösterildiği gibi başlangıç ve bitiş noktaları girilerek beş açıklığa sahip olacak şekilde tanımlanmıştır.

Define Bridge Spans

Span Label	Start Station m	Length m	End Station m	Start Support	End Support
Span 1	0.	12.75	12.75	KENAR AYAK	BENT1
Span 1	0.	12.75	12.75	KENAR AYAK ...	BENT1
Span 2	12.75	15.5	28.25	BENT1	BENT1
Span 3	28.25	15.5	43.75	BENT1	BENT1
Span 4	43.75	15.5	59.25	BENT1	BENT1
Span 5	59.25	12.75	72.	BENT1	KENAR AYAK ...

Note: 1. Bridge object location is based on bridge section insertion point following specified layout line.

Şekil 3.37. Köprü açıklıkları için başlangıç-bitiş istasyonları

2- Başlangıç ve bitiş kenar ayaklar için, altyapı özelliği “Abutment” olarak seçilir. Alt yapı yüksekliği (Global Z), tabliye kalınlığı (0,203 m), kiriş derinliği (1,37 m) ve sabit bir alt yapı üzerine oturan 0,050 metre kalınlık mesnetler dikkate alınarak -1,63 metre olarak girilmiştir. Mesnet özelliği “Abutment Bearing” olarak seçilmiştir. Son olarak, mesnet kalınlığı 0,050 metre olduğundan, mesnetler için Global Z-1,57 metre olarak girilmiştir (Şekil 3.38).

Bridge Object Abutment Assignments

Bridge Object Name: BOBJ1

Units: KN, m, C

Start Abutment: [] End Abutment: []

Start Abutment

Superstructure Assignment

Support Name: Start Abutment

Abutment Direction (Bearing Angle): Default

Diaphragm Property: + None

Steel U-Girder Diaphragm: + None

Substructure Assignment

☐ None

☒ Abutment Property: + KENAR AYAK (ABUTMENT)

☐ Bent Property: +

Substructure Location

Elevation (Global Z): -1.63

Horizontal Offset: 0.

Note: Horizontal offset is from layout line to midlength of abutment.

Bearing Assignment

☒ Girder-by-Girder ☐ General

Bearing Property: + ABUDMENT BEARING

Restrainer Property at Bearing: + None

Elevation at Layout Line (Global Z): -1.57

Rotation Angle from Bridge Default: 0.

Number of Bearings per U Girder: 1

Girder-by-Girder Overwrites

Modify/Show Overwrites... No Overwrites Exist

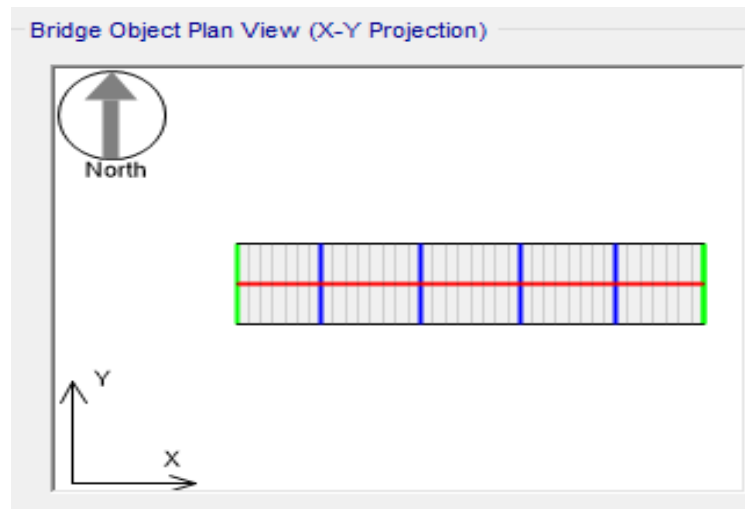
OK Cancel

Şekil.3.38. Yol platform mesafelerinin belirlenmesi

3- Başlık kirişler için, Başlık kiriş özelliği “BENT” olarak seçilir. Alt yapı yüksekliği (Global Z), tabla kalınlığı (0,203 m), kiriş derinliği (1,37 m) ve sabit bir alt yapı üzerine oturan 0,050 metre kalınlık mesnetler dikkate alınarak -1,63 metre olarak girilmiştir. Yatak özelliği “Başlık Kiriş Bearing” olarak seçilmiştir. Son olarak, mesnet kalınlığı 0,050 metre olduğundan, mesnetler için Global Z-1,57 metre olarak girilmiştir (Şekil 3.39).

Şekil 3.39. Köprünün orta ayakların açıklığı tanımlanması

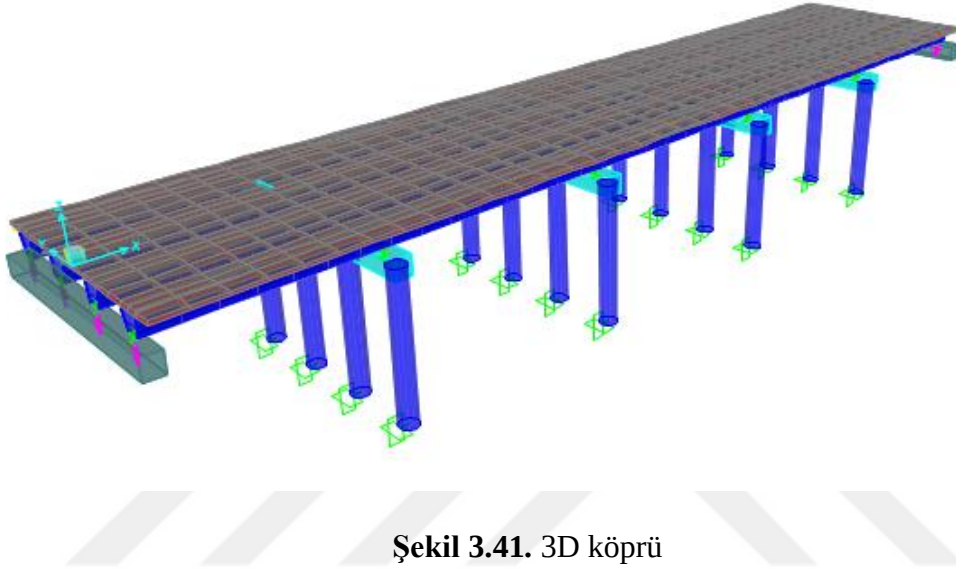
4- Yukarıdaki tüm adımları tamamlandıktan sonra, Şekil 3.40'deki gibi bir basitleştirilmiş köprü planı elde edilmiştir.



Şekil 3.40. Köprü planı görünümü

3.3.8.1. Köprü Modelinin Üç Boyutlu Olarak Tamamlanması

Yukarıdaki bölümlerde anlatılan tüm tanımların yapılması ile birlikte köprü modeli üç boyutlu olarak tanımlanmış olur. Bu çalışmaya esas alınan köprü modelinin üç boyutlu görüntüsü Şekil 3.41’de verilmiştir.



Şekil 3.41. 3D köprü

3.3.9. Yüklerin Tanımlanması

3.3.9.1. Ölü Yüklerin Tanımlanması

DC: Yapının kendi ağırlıkları ve yapısal olmayan ek zati yükler

DW: Yüzey kaplama zati yükleri

LRFD Spesifikasyonlarına (AASHTO, 2012) göre,

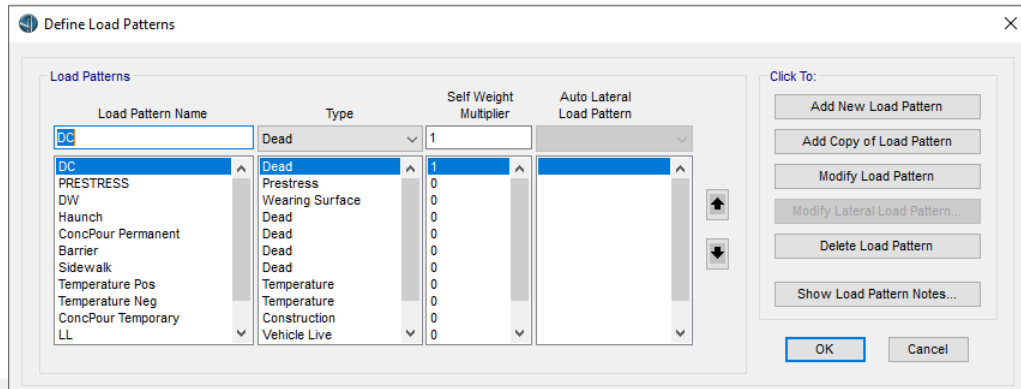
- Beton tabliyeyi destekleyen en az dört kiriş olması,
- Kirişlerin paralel ve yaklaşık aynı eğilme rijitliğine (EI) sahip olması,
- Köprü tabliyesi sabit genişliğe sahip olması
- Plandaki eğrilik sıfır derece olması

yukarıdaki koşulların yerine getirilmesi durumunda ölü yükler tüm kirişler arasında üniform olarak dağıtılabilir (LRFD Spesifikasyonlar, Art. 4.6.2.2.1).

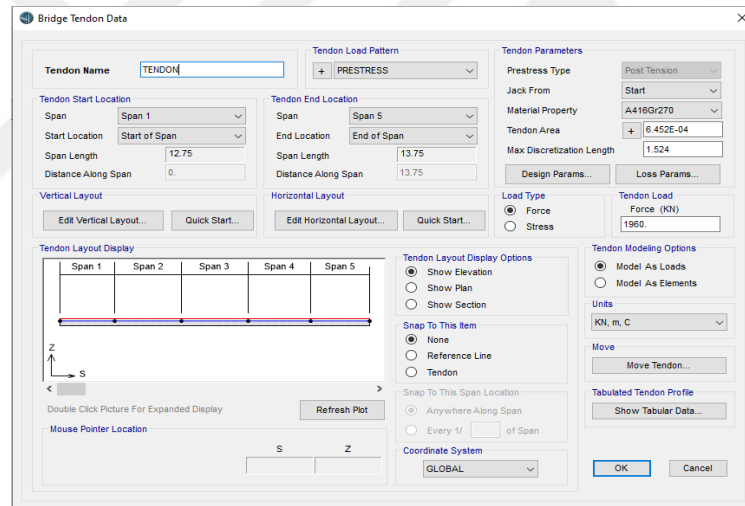
Bu çalışmada yukarıdaki koşulların sağlanması ile ölü yükler üniform olarak tanımlanmıştır.

3.3.9.2. Öngerme Yüğü ve Tendon Tanımlanması

Kirişlere öngerilme etkilerini tanımlamak için, önce öngerilme yük tipi daha sonra tendon tanımlanmıştır (Şekil 3.42 ve şekil 3.43).



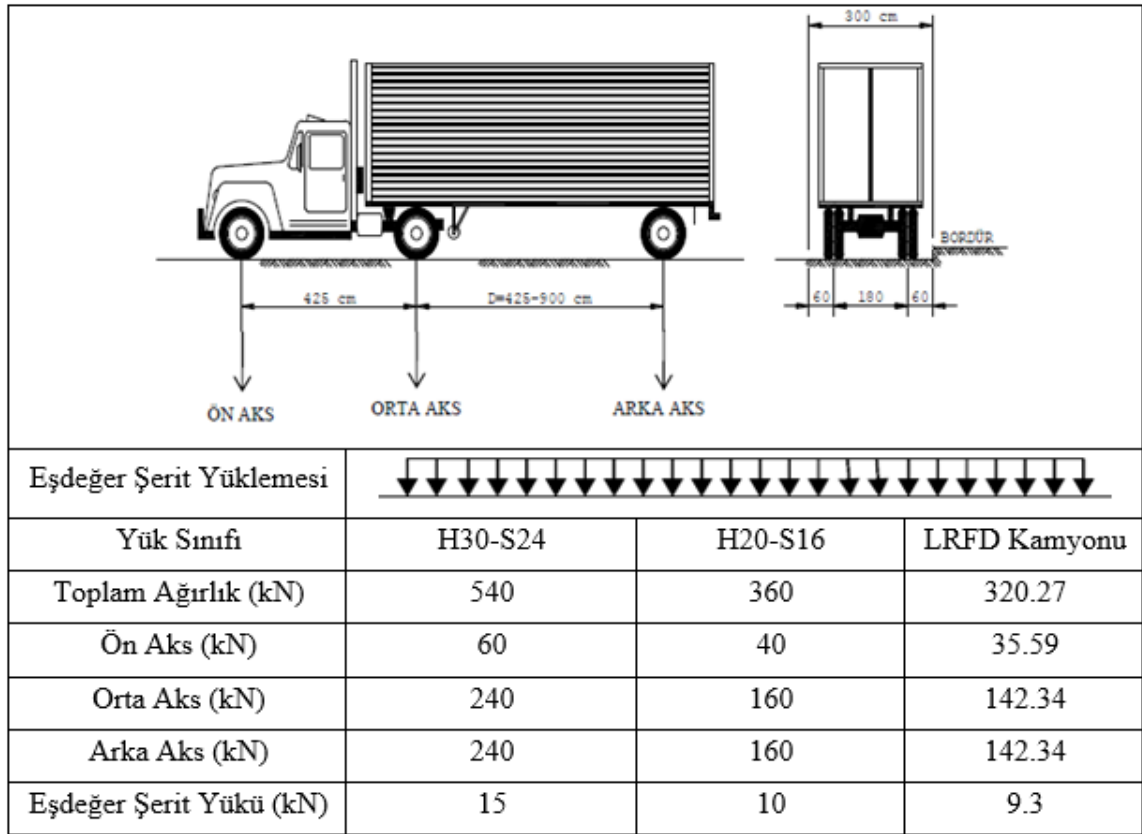
Şekil 3.42. Öngerilme yük tipinin tanımlanması



Şekil 3.43. Tendon tanımlanması

3.3.9.3. Taşıt Hareketli Yükleri Tanımlanması

Köprülerin en mühim görevlerinden birisi, köprülerin üzerinden geçen taşıtların oluşturduğu etkilerin güvenlik sınırları içerisinde karşılanmasıdır. Otoyol köprü tasarımlarında taşıt yüklerinin mutlaka dikkate alınması gerekir. Çeşitli yükleme sınıflarına göre standart kamyon yükleme ve şerit yükleme için dikkate alınması gereken yük değerleri Şekil 3.44’de verilmiştir.

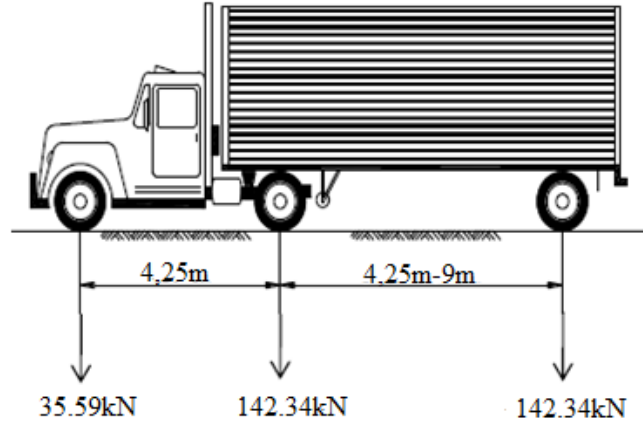


Şekil 3.44. Kamyon ve şerit yükleri (Uluğ, 2008)

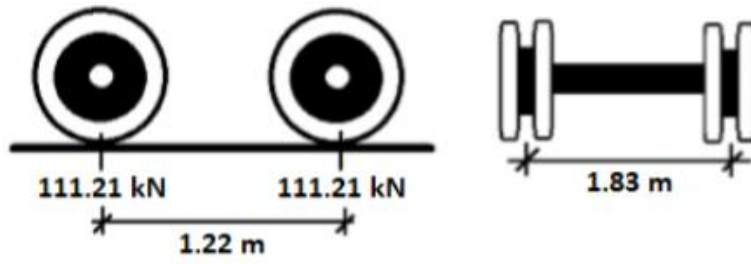
Türkiye’de köprüler tasarlanırken “Karayolları Genel Müdürlüğünün Teknik Şartnamesinde” H30S24 tasarım kamyonu hareketli yük olarak kullanılmaktadır. AASHTO LRFD (2012)'ye göre hareketli yük için iki olumsuz yükleme durumu bulunmaktadır.

- 1- Tasarım şerit yükü ile HL93 tasarım kamyon yükü
- 2- Tasarım şerit yükü ile tasarım tandem yükü

HL93 tasarım kamyonu olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada AASHTO-LRFD yönetmeliğinde HL93 tasarım kamyonu hareketli araç yükü olarak kullanılmıştır. HL93 tasarım kamyonun ve tasarım tandem dingil yükleri Şekil 3.45’te ve Şekil 3.46’te gösterilmektedir (Rasekh, 2020).

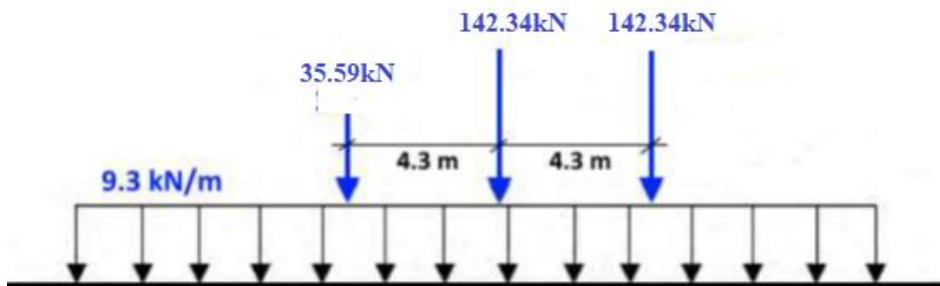


Şekil 3.45. HL 93 taşıt yükleme

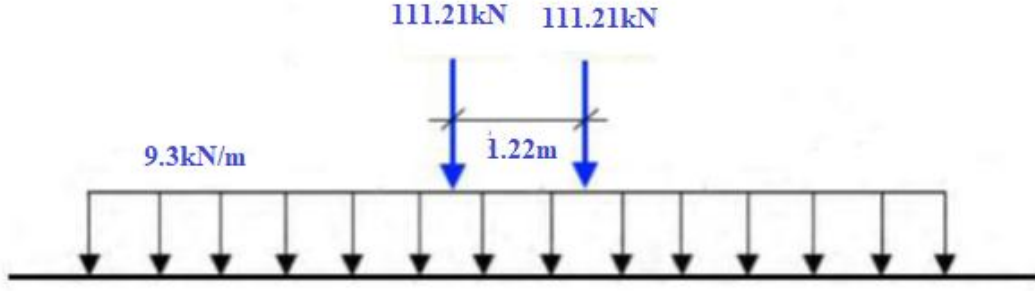


Şekil 3.46. Tasarım tandem dingil yükleri

Tasarım şerit yükü ile HL93 tasarım kamyon yükünün kombinasyonu ve tasarım şerit yükü ile tasarım tandem yükünün kombinasyonları Şekil 3.47’te ve Şekil 3.48’te verilmiştir.



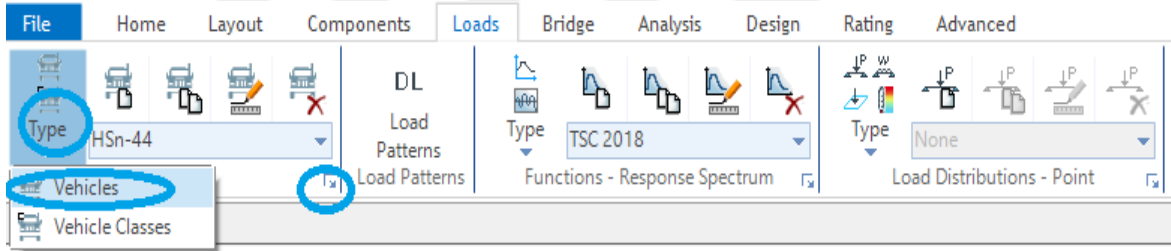
Şekil 3.47. Tasarım şerit yükü ile HL93 tasarım kamyon yükü



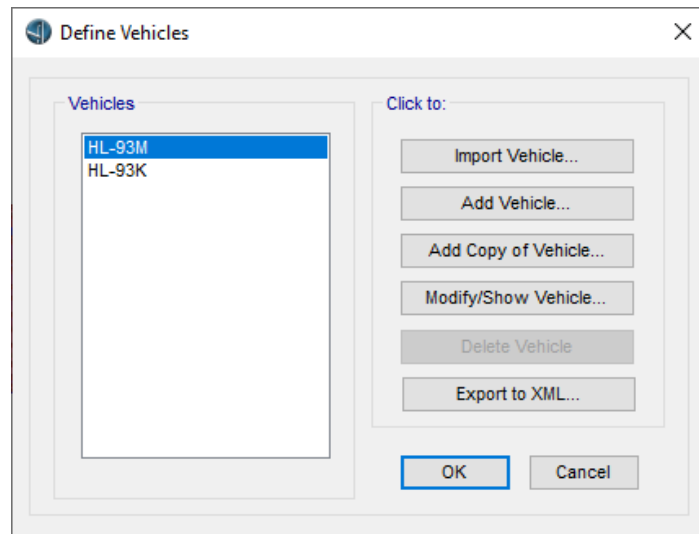
Şekil 3.48. Tasarım şerit yükü ile tasarım tandem yükü (Rasekh, 2020)

3.3.9.4. Taşıt Yükünün Oluşturulması

CSi Bridge programında standart araç tipleri oluşturmak için genel araç tanımlaması özelliği kullanılır. Bu çalışmada “HL93” tipi araç seçilmiştir. Adımları Şekil 3.49 ve Şekil 3.50’te gösterilmiştir.



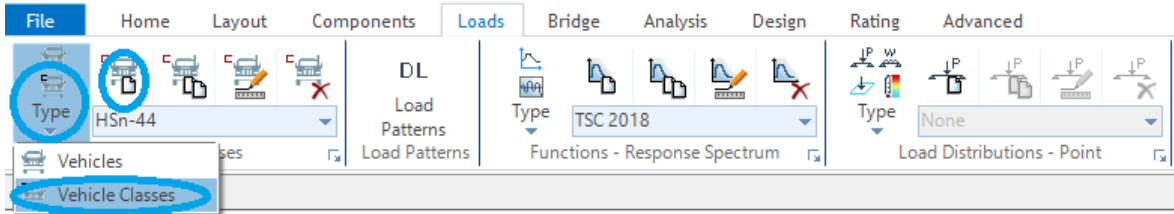
Şekil 3.49. Taşıt yükü tanımlanması



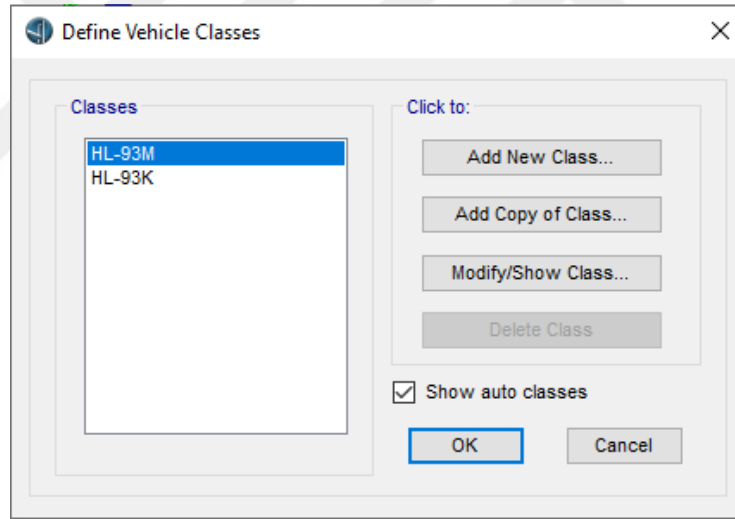
Şekil 3.50. Taşıt yükü ve şerit yükü tanımlanması

3.3.9.5. Taşıt Sınıfının Oluşturulması

Köprü modelinin taşıt hareketli yük analizini yapmak için taşıt sınıfları bir hareketli yük durumunun kullanılarak bir için tanımlanması gerekir. Bunun için “Yükler> Türleri> Taşıt sınıfları” ardından, “Yeni taşıt sınıfını ekle> taşıt sınıfı bilgi” ekranından analizde kullanılacak taşıt sınıfı seçilir. Bu ekranda Taşıt sınıf adı “HL93” seçilerek taşıt sınıfı tanımlama işlemi tamamlanmıştır (Şekil 3.51 ve Şekil 3.52).



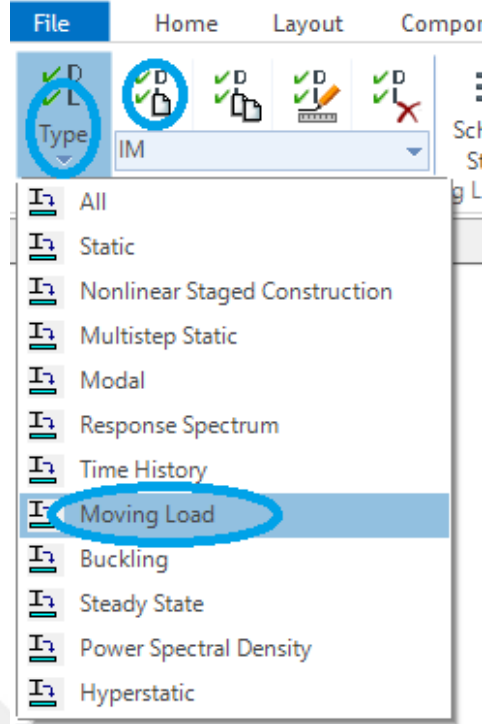
Şekil 3.51. Taşıt sınıfının seçilmesi



Şekil 3.52. Taşıt yükü ve şerit yükleri taşıt sınıfına atanması

3.3.9.6. Hareketli Yük Tanımlanması

Taşıtların analiz durumlarından birincisi olan hareketli yükü tanımlaması yapılır. Bunun için ilk olarak Analysis sekmesinde DL tip kısmında hareketli yükü, ardından “Yeni bir hareketli yük durum ekleyin” sembolüne tıklanarak “Yükleme durum veri – hareketli yükü” ekranı açılır ve tanımlama yapılır (Şekil 3.53 ve Şekil 3.54).



Şekil 3.53. Hareketli yük oluşturulması

The screenshot shows the 'Load Case Data - Moving Load' dialog box. The 'Load Case Name' is 'IM'. The 'Load Case Type' is 'Moving Load'. The 'Stiffness to Use' is 'Zero Initial Conditions - Unstressed State'. The 'Loads Applied' table shows two assignments: '1' for 'HL-93M' and '2' for 'HL-93K'. The 'Directional Factors' are 'Vertical' (checked), 'Braking/Acceleration' (unchecked), and 'Centrifugal' (unchecked). The 'MultiLane Scale Factors' table shows a reduction scale factor of 1 for all lanes. The 'Mass Source' is 'MSSSRC1'.

Assign Number	Vehicle Class	Scale Factor	Min Loaded Lanes	Max Loaded Lanes	Lanes Loaded
1	HL-93M	1	0	0	All
2	HL-93K	1	0	0	All

Number of Lanes Loaded	Reduction Scale Factor
1	1
2	1.
3	1.
4	1.

Şekil 3.54. Hareketli yük durumunun oluşturulması

3.3.9.7. Deprem Yüğü Tanımlanması

Bu çalışmada deprem etkisinin hesabı için mod birleştirme yöntemi kullanılmıştır. Mod birleştirme yöntemi, doğrusal dinamik bir istatistiksel analiz olarak düşünülebilir. Bu yöntemde, yapının bir etkiye (veya depreme) verdiği maksimum istatistiksel tepkisi hesaplanır. Dikkate alınan titreşim modlarının her birinin, tek bir serbestlik dereceli sistem olarak tepki verdiği varsayılabilir. Çeşitli deprem yönetmelik ve şartnameler, dönemlerine göre ivme spektrumları istatistiki çalışmalarla standart hale getirilmiş ve tasarım spektrumları tanımlanmıştır. İvme spektrumları depremlere ve zemin sınıflarına göre değişkenlik gösterirler. Yapının etkiye karşı verdiği tepki, her bir titreşim modunda en büyük değerlerin birleştirilmesi ile belirlenir. Her bir titreşim modu için maksimum tepki mutlaka aynı anda gerçekleşmez, bu nedenle istatistiksel maksimum tepki Kareleri Toplamının Kare Kökü (SRSS) veya Tam Karesel Birleştirme (CQC) kuralı gibi uygun bir birleştirme yöntemi ile birleştirilerek yapının yer değiştirme ve eleman uç kuvvetleri hesaplanır.

Bu çalışmada deprem etkisi AASHTO 2012 ve TBDY 2018 yönetmeliklerine göre olmak üzere iki farklı spektrum eğrisi tanımlanmıştır.

3.3.9.8. Yer Hareketinin Tehlikesi Tanımlanması

Bir sismik aktivitenin köprü modeli üzerindeki etkisini değerlendirmek için yer hareketi tehlikesinin belirlenmesi gerekir. Bu çalışmada AASHTO 2012 ve TBDY 2018 olmak üzere iki farklı tepki spektrumu için analiz yapılmıştır. CSi Bridge programında yer hareketi tehlikesi aşağıdaki adımlar takip edilerek tanımlanmıştır (Şekil 3.55 ve şekil 3.56).

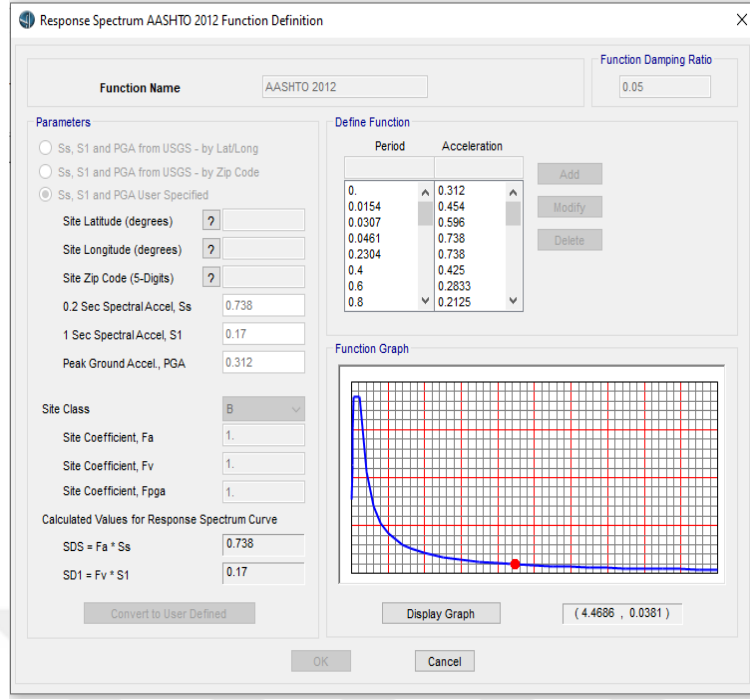
1- CSi Bridge programın fonksiyon panelini kullanarak fonksiyon tipi “Respons Spektrum”, standart “AASHTO 2012” veya “TBDY 2018” olarak seçilmiştir.

2- Bu çalışmada spektrum eğrisini belirlemek için Isparta ili için enlem ve boylam değerleri girilmiştir.

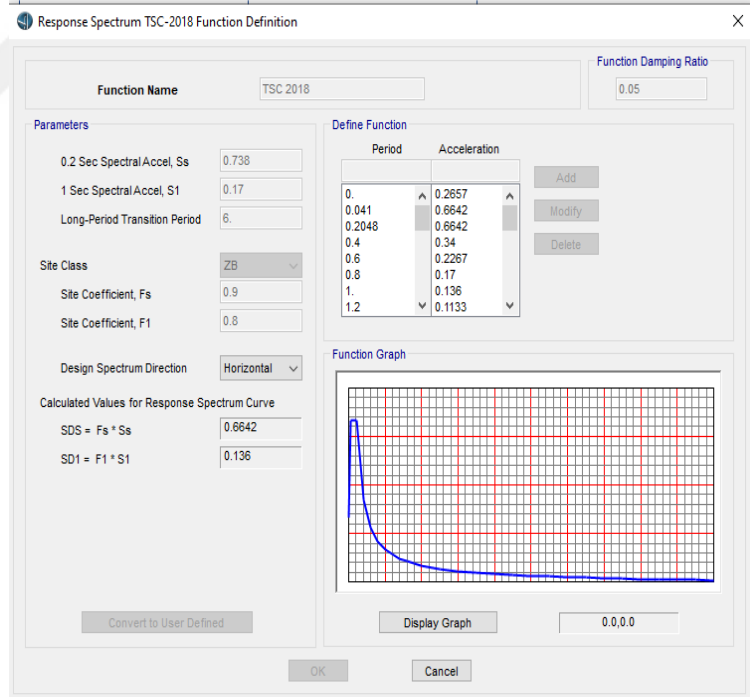
3-Köprünün bulunduğu bölgenin enlem ve boylam değerleri aşağıdaki gibi seçilmiş ve programda tanımlanmıştır. “Enlem: 37.776766, Boylam: 30.543868, S_s : 0.738, S_1 :0.170”

4- Zemin sınıf “B”

5- Son olarak, fonksiyon grafiği program tarafından çizilmiştir.



Şekil 3.55. AASHTO 2012 spektrum eğrisi



Şekil 3.56.TBDY 2018 spektrum eğrisi

3.3.9.9. Yük Kombinasyonları

Köprü modellerinin tasarımında AASHTO 2012 şartnamesine göre aşağıda tanımlanan yük kombinasyonları kullanılmıştır.

Dayanım I: Köprülerde rüzgâr etkisinin hesaba katılmadığı ve normal araç yükleri için uygulanan sınır durumdur, yapısal elemanların gerilme kontrolleri için kullanılmaktadır.

$$Q = 1.25 (DC) + 1.50 (DW) + 1.75 (LL + IM) \quad (3.1)$$

Dayanım II: Genellikle standart ağır yük araçları için kullanılan bir yük kombinasyonudur.

$$Q = 0.90 (DC) + 0.65 (DW) + 1.75 (LL + IM) \quad (3.2)$$

Kullanım I: Öngerilmeli beton bileşenlerde basınç gerilmelerinin kontrolü için kullanılan yük kombinasyondur.

$$Q = 1.00 (DC + DW) + 1.00 (LL + IM) \quad (3.3)$$

Kullanım II: Bu sınır durum, elik elemanlarda akmayı ve araç hareketli yükünün neden olduğu kritik birleşimleri kontrol etmek için elik köprülerde uygulanmaktadır.

$$Q = 1.00DC + 1.00DW + 1.30(LL+IM) \quad (3.4)$$

Kullanım III: Öngerilmeli beton bileşenlerde çekme gerilmelerinin kontrolü için kullanılan yük kombinasyondur.

$$Q = 1.00 (DC + DW) + 0.80 (LL + IM) \quad (3.5)$$

Yorulma: Tendonlardaki gerilme aralığını kontrolü için kullanılan özel bir yük kombinasyonudur (LRFD Tablo 3.4.1-1 ve 2).

$$Q = 0.75 (LL + IM) \quad (3.6)$$

3.3.9.10. Sismik Tasarım Parametrelerinin Tanımlanması

Köprü modellerinin sismik tasarımı AASHTO LRFD 2011 dikkate alınarak yapılmıştır. Buna göre TBDY 2018 tasarım ivme spektrumu için $SD_1 \leq 0,15$ olması nedeniyle sismik tasarım kategorisi “A”, AASHTO 2012 tasarım ivme spektrumu için ise $0,15 < SD_1 \leq 0,30$ olması nedeniyle sismik tasarım kategorisi “B” olarak belirlenmiştir.

Modelin sismik analizini gerçekleştirmeden önce, sismik tasarım parametreleri aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır (Şekil 3.57).

1-Daha önce bölüm 3.3.9.8’de tanımlanan tepki spektrumu fonksiyonu seçilmiştir.

2-Sismik tasarım kategorisi belirlenmiştir.

3-Modal yük durumu seçenekleri “program belirledi” olarak seçilmiştir.

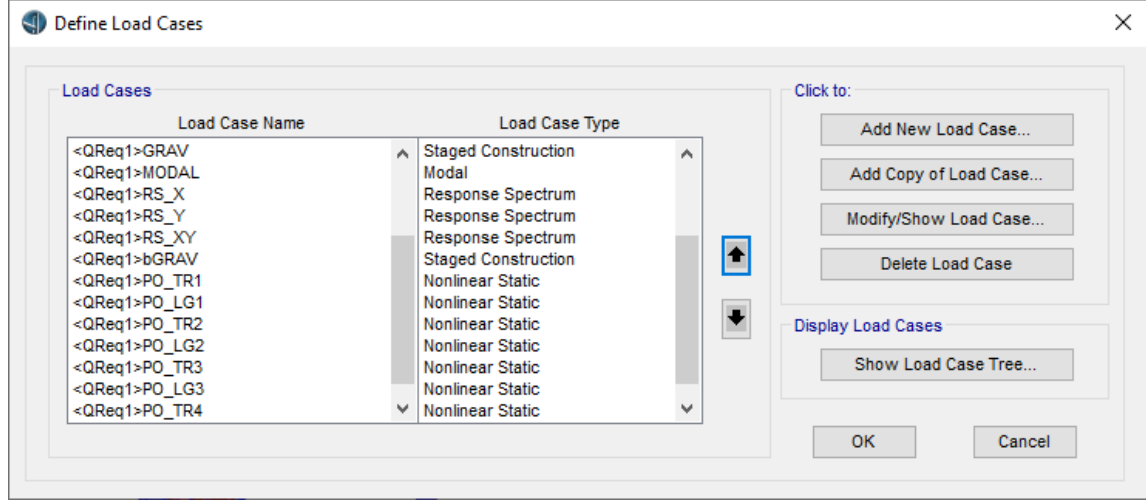
4-Sismik tasarım tamamlandığında; yazılım, modal ve spektrum analiz gibi oluşturulan yük durumlarını otomatik olarak görüntülenmiştir.

Item	Value
1 Seismic Design Category Option	Program Determined
2 Seismic Design Category	B
3 Bent Displacement Demand Factor	1.
4 Gravity Load-Case Option	Auto: Entire Structure
5 Gravity Load Case	
6 Additional Group	None
7 Include P-Delta	No
8 Cracked Property Option	Program Determined
9 Convergence Tolerance	1.000E-03
10 Maximum Number of Iterations	3
11 Accept Unconverged Results	Yes
12 Modal Load-Case Option	Program Determined
13 Modal Load Case	
14 Type of Modes	Eigen
15 Additional Number Of Modes	0
16 Response Spectrum Load-Case Option	Program Determined
17 Response-Spectrum Load Case	
18 Response-Spectrum Angle Option	Program Determined
19 Response-Spectrum Angle	0.

Şekil 3.57. Sismik Tasarım Parametreleri

3.3.9.11. Sismik Tasarım İçin Otomatik Olarak Oluşturulmuş Yük Kombinasyonları

Program tarafından otomatik olarak oluşturulan yükleme durumları aşağıda verilmiştir (Şekil 3.58).



Şekil 3.58. Otomatik oluşturulan yük durumları

3.3.9.12. Talep / Kapasite Oranları

CSi Bridge programında analiz ve dizayndan sonra talep kapasite oranları verilmiştir. Eğer talep kapasite oranları birden büyük çıkarsa alınan kesitin yetersiz anlamına gelir, eğer birden küçük çıkarsa alınan kesitin yeterli olduğu anlamına gelmektedir. Çalışmaya esas alınan tüm modellerde talep bölü kapasite oranları Şekil 3.59’de görüldüğü gibi 1’den küçük bulunmuştur (Ozel, 2016).

Units: As Noted										
Filter:										
	DesReqName	BridgeObj Text	SDCategory Text	SpanName Text	Station m	Direction Text	GenDispl Text	Demand m	Capacity m	DCRatio Unitless
►	QReq1	0 - 72 m	B	Span 1	12.75	TRANS	<QReq1>GD_TR1	0.007622	0.125952	0.0605
	QReq1	0 - 72 m	B	Span 1	12.75	LONG	<QReq1>GD_LG1	0.01804	0.125952	0.1432
	QReq1	0 - 72 m	B	Span 2	28.25	TRANS	<QReq1>GD_TR2	0.006997	0.125952	0.0556
	QReq1	0 - 72 m	B	Span 2	28.25	LONG	<QReq1>GD_LG2	0.018041	0.125952	0.1432
	QReq1	0 - 72 m	B	Span 3	43.75	TRANS	<QReq1>GD_TR3	0.006997	0.125952	0.0556
	QReq1	0 - 72 m	B	Span 3	43.75	LONG	<QReq1>GD_LG3	0.018041	0.125952	0.1432
	QReq1	0 - 72 m	B	Span 4	59.25	TRANS	<QReq1>GD_TR4	0.007622	0.125952	0.0605
	QReq1	0 - 72 m	B	Span 4	59.25	LONG	<QReq1>GD_LG4	0.01804	0.125952	0.1432

Şekil 3.59. AASHTO 2012 ve TSC 2018 için talep / kapasite oranları

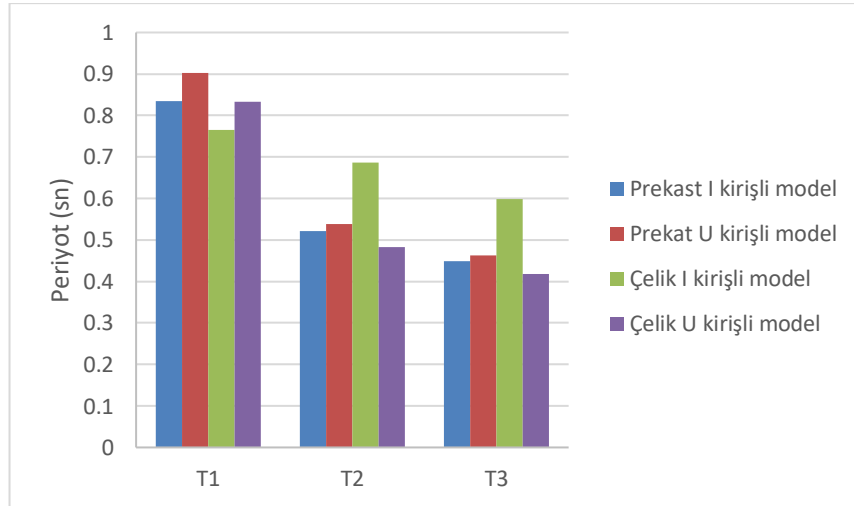
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Çalışmanın bu bölümünde TBDY 2018 ve AASHTO 2012 yönetmelikleri dikkate alınarak mod birleştirme yöntemine göre analizleri yapılan betonarme prekast I, prekast U, çelik I ve çelik U kirişli köprü modellerine ait elde edilen bulgular grafik ve tablolar halinde sunulmuştur.

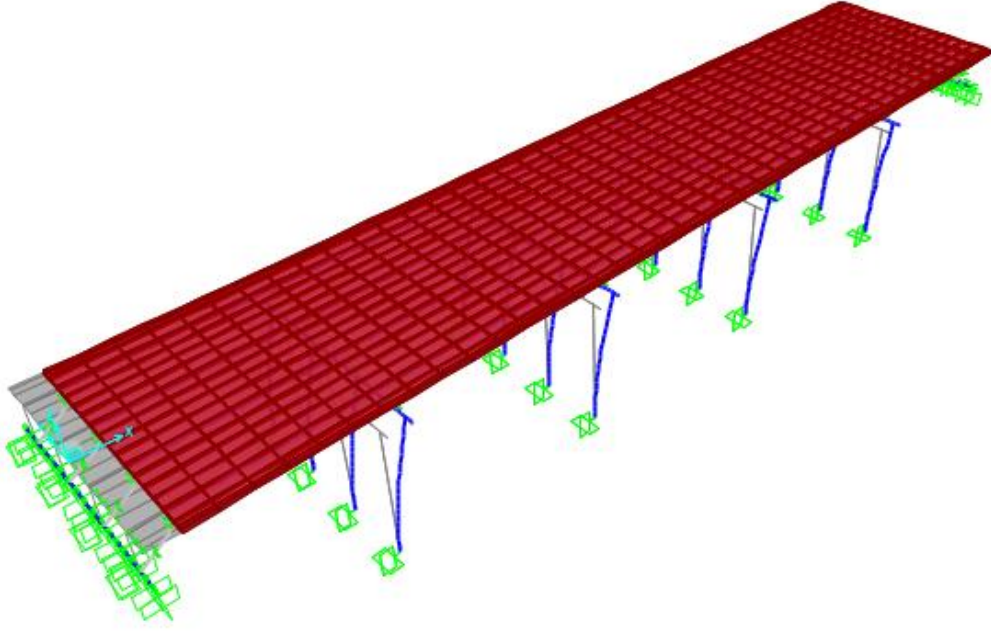
Köprü modellerine ait doğal titreşim periyodu değerleri Tablo 4.1’de verilmiştir. Şekil 4.1’de doğal titreşim periyotları grafik halinde verilmiştir. Hâkim mod boyuna doğrultuda ortaya çıkarken, 2. mod burulma ve 3. mod ise enine doğrultuda ortaya çıkmaktadır. Doğal titreşim periyodu prekast U kirişli modelde en yüksek değeri alırken, çelik I kirişli modelde en düşük değeri almıştır. Şekil 4.2 ile 4.4’te doğal titreşim mod şekilleri verilmiştir.

Tablo 4.1. Köprü modelleri doğal titreşim periyot değerleri (sn)

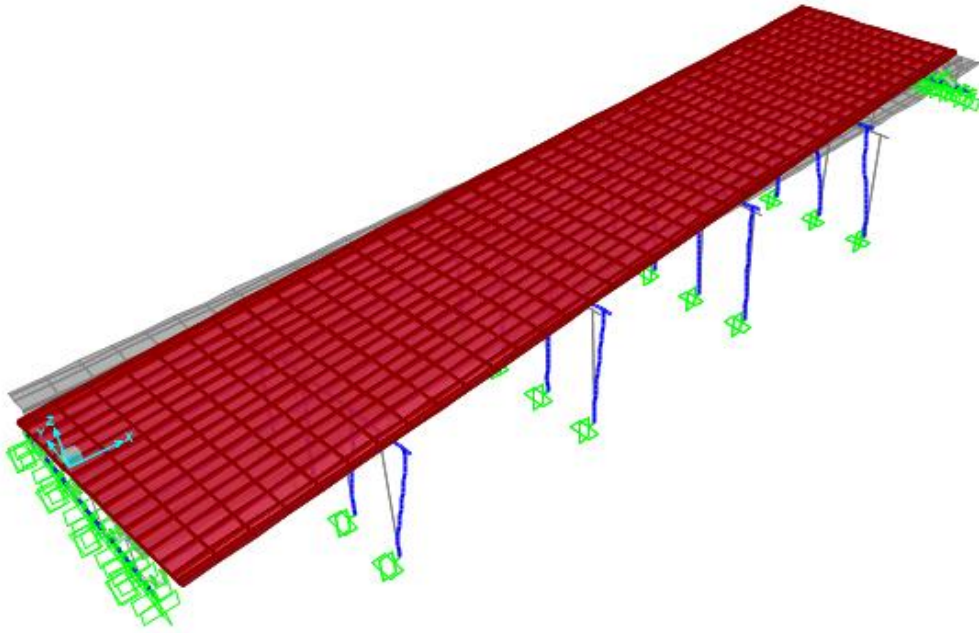
Model	T ₁	T ₂	T ₃
Prekast I kirişli model	0,83429	0,5211	0,4492
Prekast U kirişli model	0,9021	0,5376	0,463
Çelik I kirişli model	0,7655	0,68612	0,5988
Çelik U kirişli model	0,8328	0,4831	0,41797



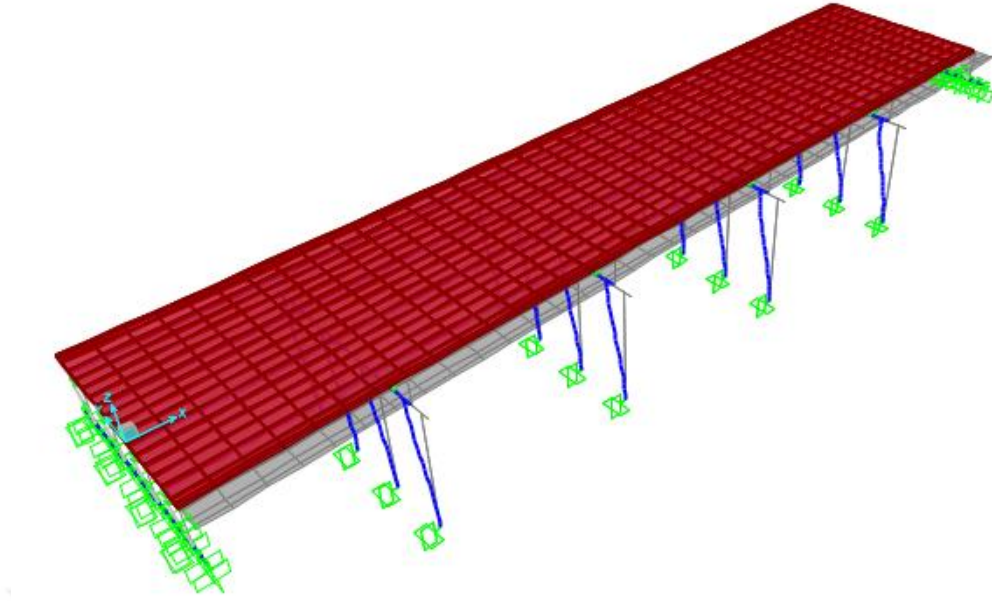
Şekil 4.1. Köprü doğal titreşim periyotları



Şekil 4.2. 1. mod boyuna doğrultu



Şekil 4.3. 2. mod burulma

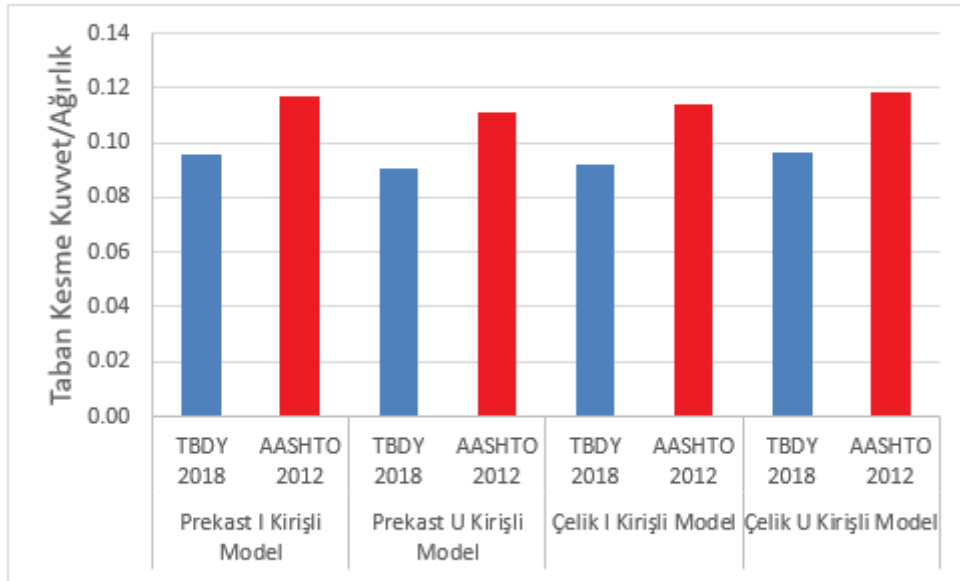


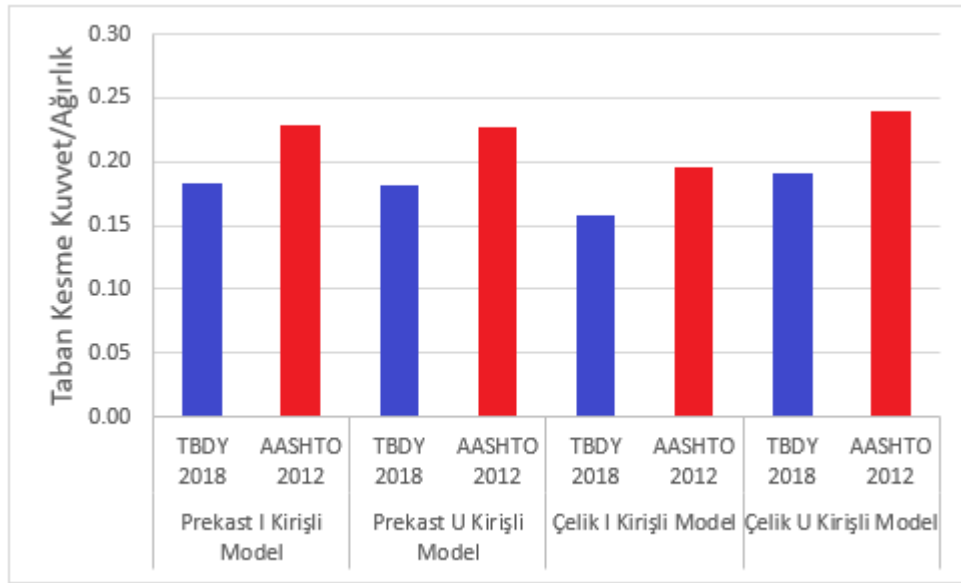
Şekil 4.4. 3. mod enine doğrultu

Köprü modellerine ait taban kesme kuvvetleri tablo 4.2’de verilmiştir. Şekil 4.5.-4.6’de ise taban kesme kuvvetleri grafik halinde verilmiştir. Yapılan analizler sonucunda tüm köprü modellerinde AASHTO 2012’ye göre elde edilen taban kesme kuvveti değerleri TBDY 2018’e göre elde edilen değerlerden daha yüksek çıkmıştır. Taban kesme kuvvetleri değerlendirildiğinde en düşük değer çelik I kirişli modelde, en yüksek değer çelik U kirişli modelde elde edilmiştir. TBDY 2018’e göre taban kesme kuvvetinin prekast U kirişli modelde, prekast I kirişli modele göre X yönünde %5,23, Y yönünde %0,88 daha az olduğu, çelik U kirişli modelde ise çelik I kirişli modele göre X yönünde %5,14, Y yönünde %17,60 daha fazla olduğu görülmüştür. AASHTO 2012’ye göre taban kesme kuvvetinin prekast U kirişli modelde, prekast I kirişli modele göre X yönünde %5,02, Y yönünde %0,85 daha az olduğu, çelik U kirişli modelde ise çelik I kirişli modele göre X yönünde %3,54, Y yönünde %18,40 daha fazla olduğu görülmüştür.

Tablo 4.2. Köprü modelleri taban kesme kuvvet/Ağırlık

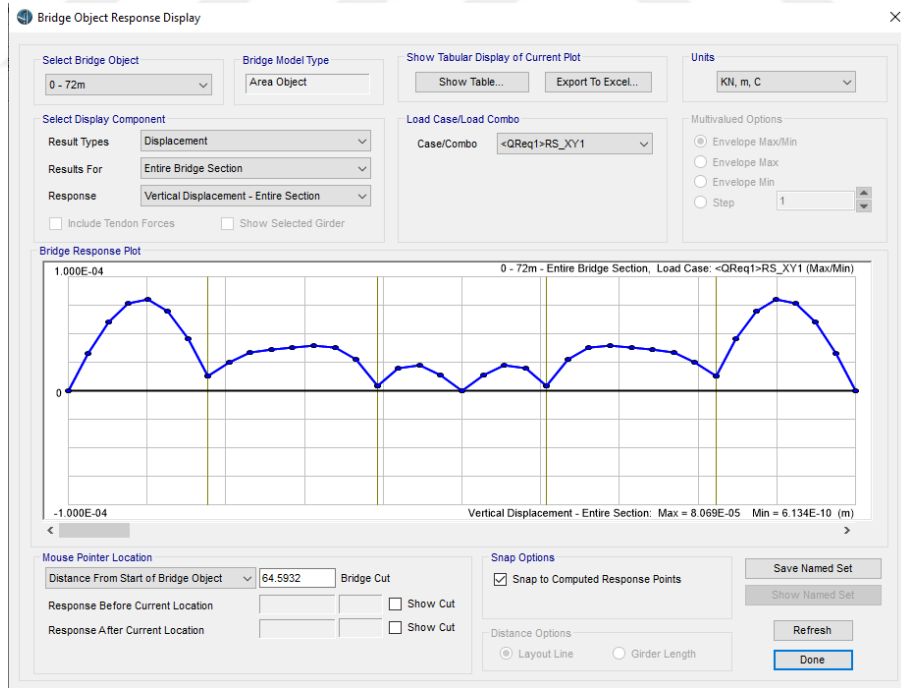
Model	Yönetmelik	V_x/W	V_y/W
Prekast I Kirişli Model	TBDY 2018	0,0957	0,1834
	AASHTO 2012	0,1171	0,2291
Prekast U Kirişli Model	TBDY 2018	0,0910	0,1818
	AASHTO 2012	0,1115	0,2272
Çelik I Kirişli Model	TBDY 2018	0,0919	0,1579
	AASHTO 2012	0,1143	0,1954
Çelik U Kirişli Model	TBDY 2018	0,0968	0,1916
	AASHTO 2012	0,1185	0,2395

**Şekil 4.5.** TBDY 2018'e ve AASHTO 2012'ye göre X yönü taban kesme kuvveti

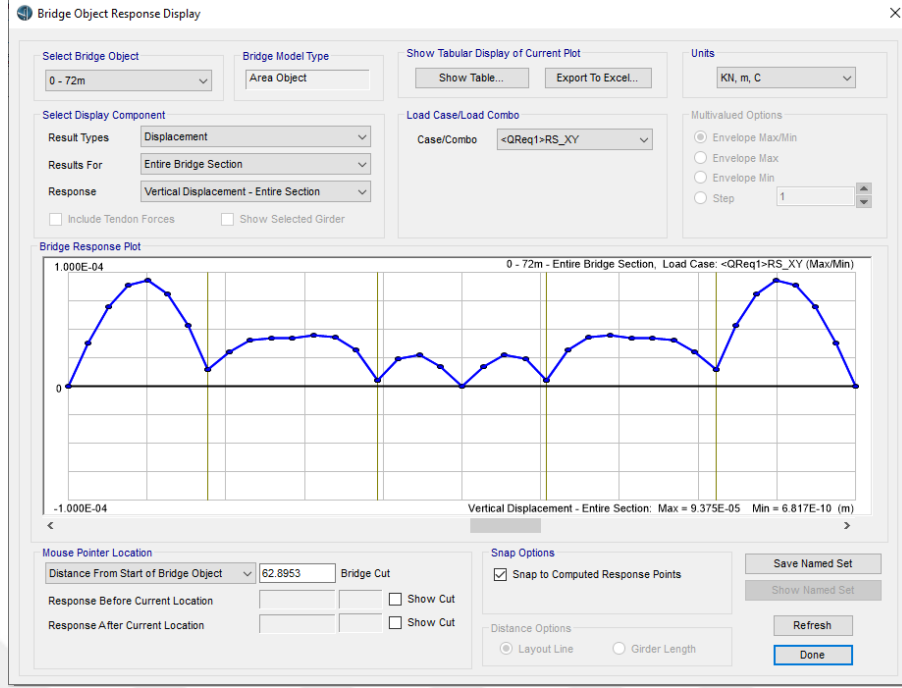


Şekil 4.6. TBDY 2018'e ve AASHTO 2012'ye göre Y yönü taban kesme kuvveti

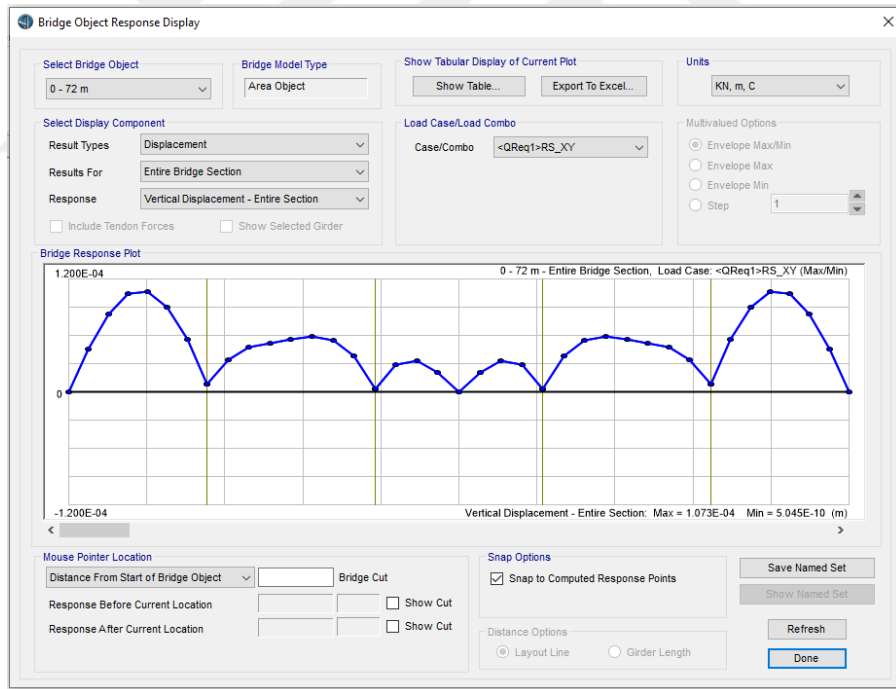
Köprü modellerinde TBDY 2018 ve AASHTO 2012'ye göre elde edilen yer değiştirme eğrileri Şekil 4.7-4.15'de verilmiştir.



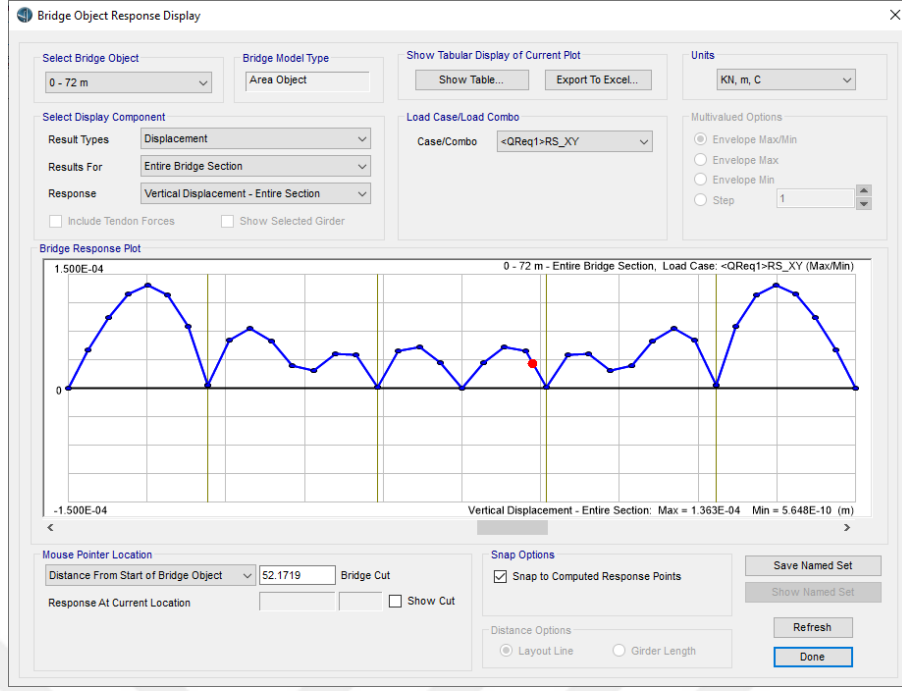
Şekil 4.7. TBDY 2018'e göre prekast U kirişli modelin yer değiştirmesi



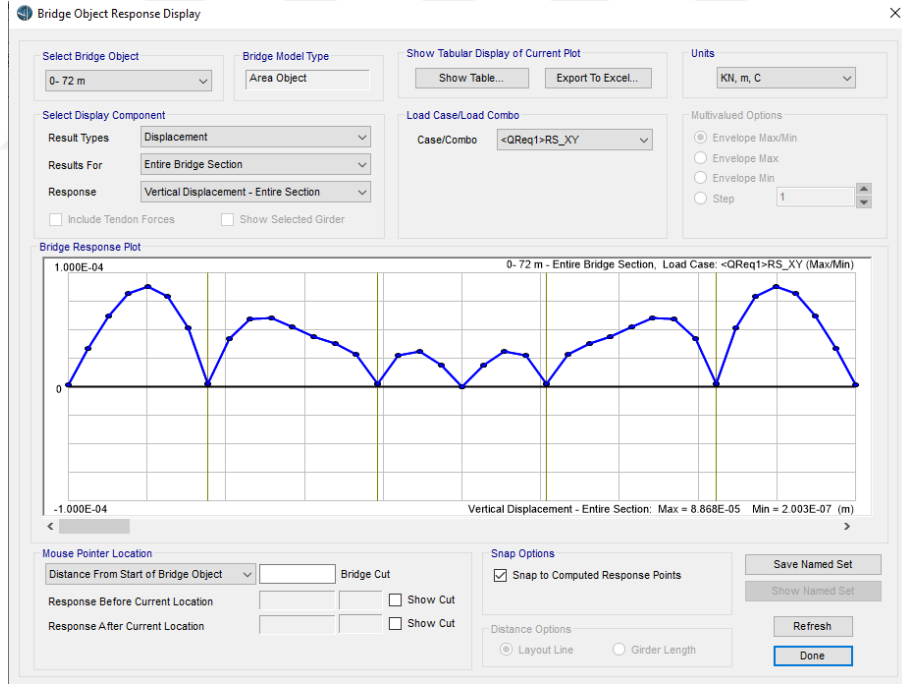
Şekil 4.8. AASHTO 2012'ye göre prekast U kirişli modelin yer değiştirmesi



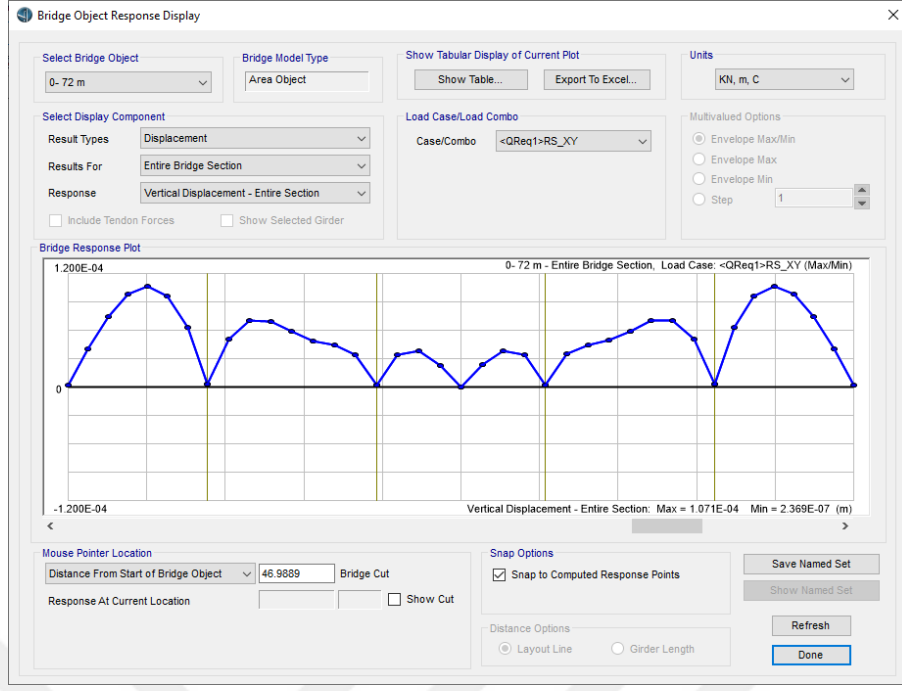
Şekil 4.9. TBDY 2018'e göre prekast I kirişli modelin yer değiştirmesi



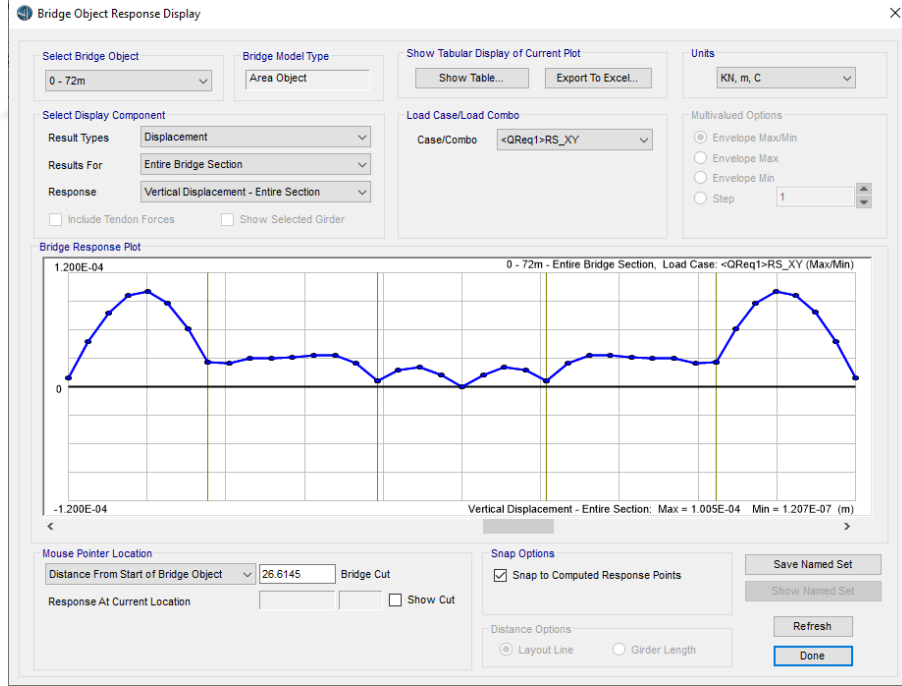
Şekil 4.10. AASHTO 2012'ye göre prekast I kirişli modelin yer değiştirmesi



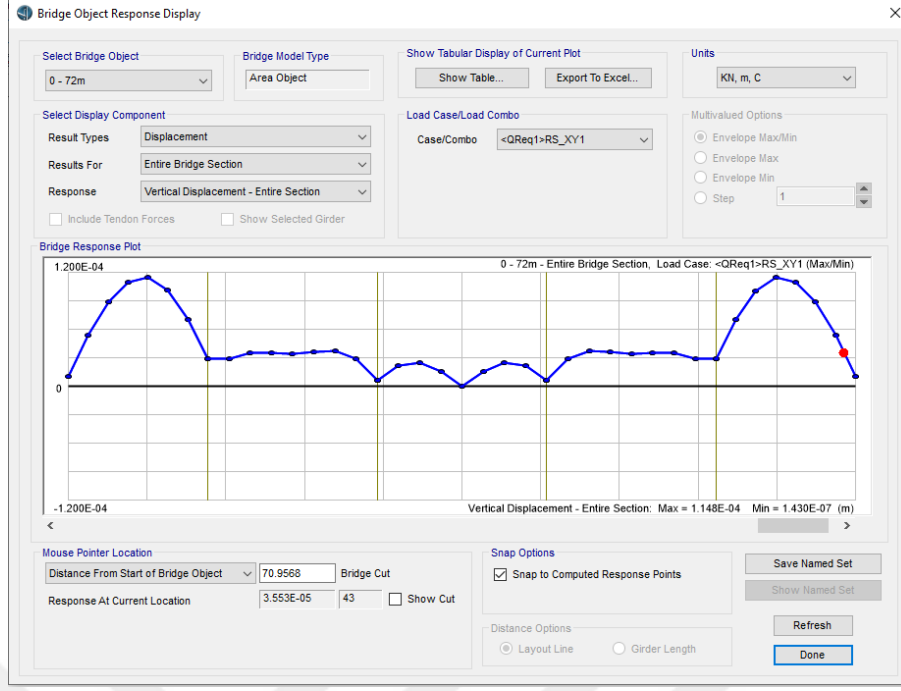
Şekil 4.11. TBDY 2018'e göre çelik I kirişli modelin yer değiştirmesi



Şekil 4.12. AASHTO 2012'ye göre çelik I kirişli modelin yer değiştirmesi



Şekil 4.13. TBDY 2018'e göre çelik U kirişli modelin yer değiştirmesi

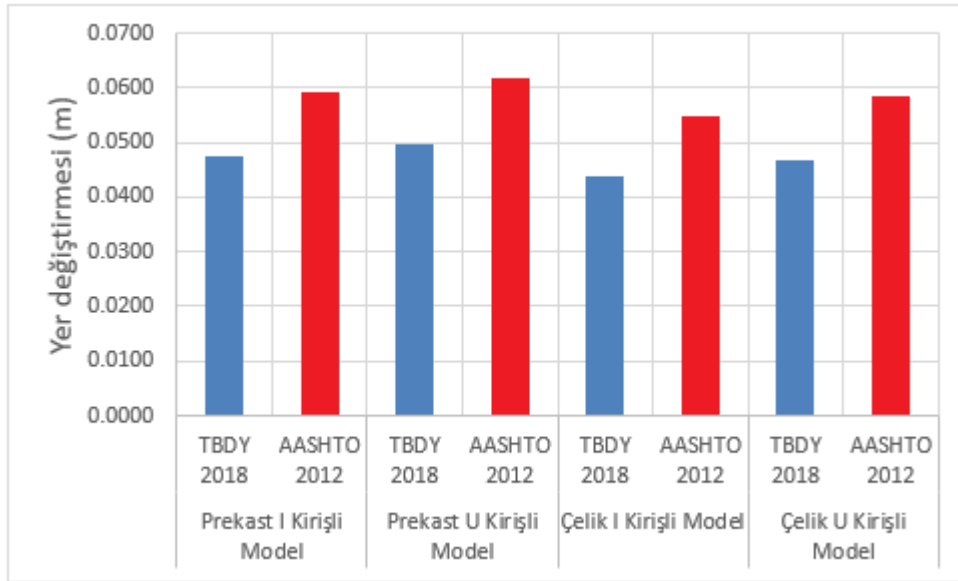


Şekil 4.14. AASHTO 2012'ye göre çelik U kirişli modelin yer değiştirmesi

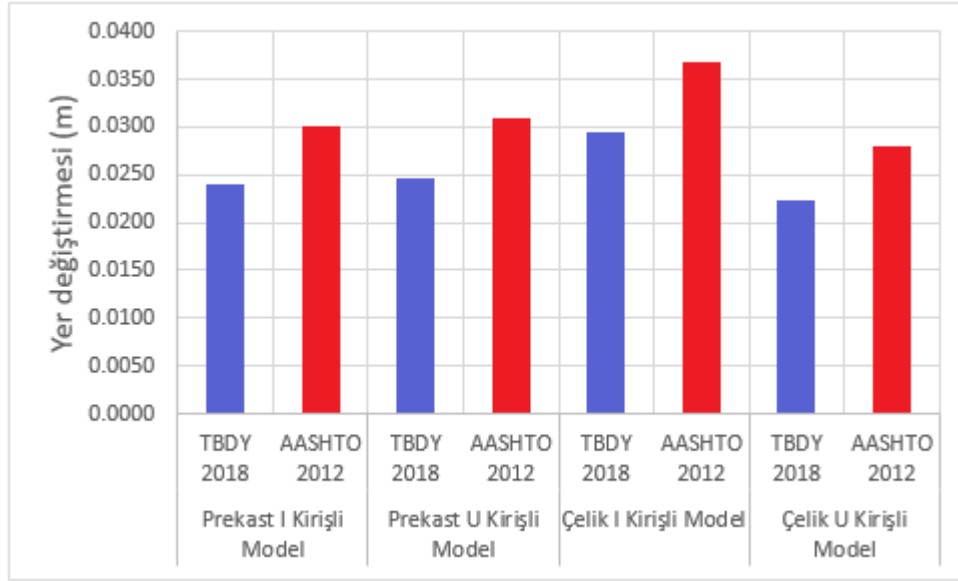
Köprü modellerine ait en büyük yer değiştirme değerleri Tablo 4.3'te ve Şekil 4.15-4.16 arasına grafik halinde verilmiştir. AASHTO 2012'ye göre elde edilen en büyük yer değiştirme değerleri TBDY 2018'e göre elde edilen değerlerden daha yüksek çıkmıştır. Yer değiştirmenin en yüksek değeri prekast U kirişli modelde, en düşük çelik I kirişli modelde elde edilmiştir. TBDY 2018'e göre en büyük yer değiştirme değeri prekast U kirişli modelde, prekast I kirişli modele göre X yönünde %2,26, Y yönünde %4,19 daha fazla olduğu, çelik U kirişli modelde ise çelik I kirişli modele göre X yönünde %31,42 daha az olduğu, Y yönünde ise %6,03 daha fazla olduğu görülmüştür. AASHTO 2012'ye göre en büyük yer değiştirme değeri prekast U kirişli modelde, prekast I kirişli modele göre X yönünde % 2,26 fazla olduğu, Y yönünde % 4,19 daha fazla olduğu, çelik U kirişli modelde ise çelik I kirişli modele göre X yönünde %31,38 daha az olduğu, Y yönünde ise %6,04 daha fazla olduğu görülmüştür.

Tablo 4.3. Köprü modelleri boyuna ve enine doğrultu için yer değiştirme değerleri

Model	Yönetmelik	Boyuna (X) doğrultu (m)	Enine (Y) doğrultu (m)
Prekast I Kirişli Model	TBDY 2018	0,0475	0,0241
	AASHTO 2012	0,0593	0,0301
Prekast U Kirişli Model	TBDY 2018	0,0495	0,0247
	AASHTO 2012	0,0619	0,0308
Çelik I Kirişli Model	TBDY 2018	0,0439	0,0294
	AASHTO 2012	0,0549	0,0368
Çelik U Kirişli Model	TBDY 2018	0,0468	0,0224
	AASHTO 2012	0,0584	0,0280



Şekil 4.15. Prestak I, prestak U, çelik U ve çelik I kirişli modeller için boyuna doğrultudaki yer değiştirme değerleri



Şekil 4.16. Prekast I, prekast U, çelik U ve çelik I kirişli modeller için enine doğrultudaki yer değiştirme değerleri

Hareketli yük altında deplasman sınır durumları ise AASHTO Bölüm 2.5.2.6.2’de belirtilmiş ve hareketli yük için deplasman sınırı $L/800$ olarak ifade edilmiştir. Köprü modellerine ait düşey yönde yer değiştirme değerleri sınır değerden küçük çıkmıştır. Tablo 4.4’de prekast I, prekast U, çelik U ve çelik I kirişli modeller için düşey yönde yer değiştirme değerleri verilmiştir.

Tablo 4.4. Köprü modellerin düşey doğrultu için yer değiştirme değerleri

MODAL	Düşey doğrultu
	m
Prekast I Kirişli Model	0,0028
Prekast U Kirişli Model	0,0020
Çelik I Kirişli Model	0,0022
Çelik U Kirişli Model	0,0024



 Bridge Object Response Display

Select Bridge Object

0 - 72m

Bridge Model Type

Area Object

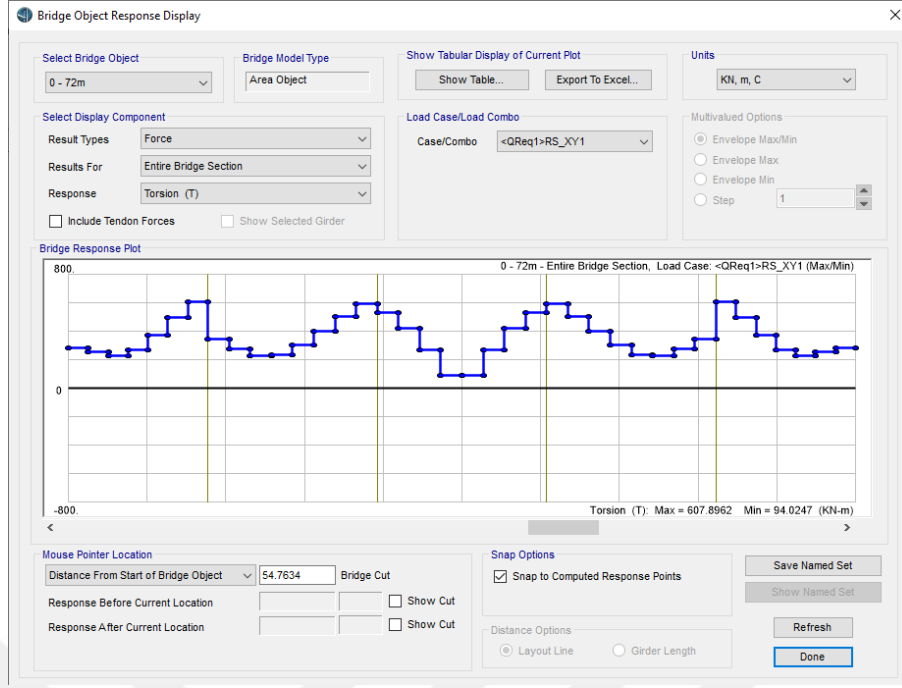
Show Tabular Display of Current Plot

Show Table...Export To Excel...

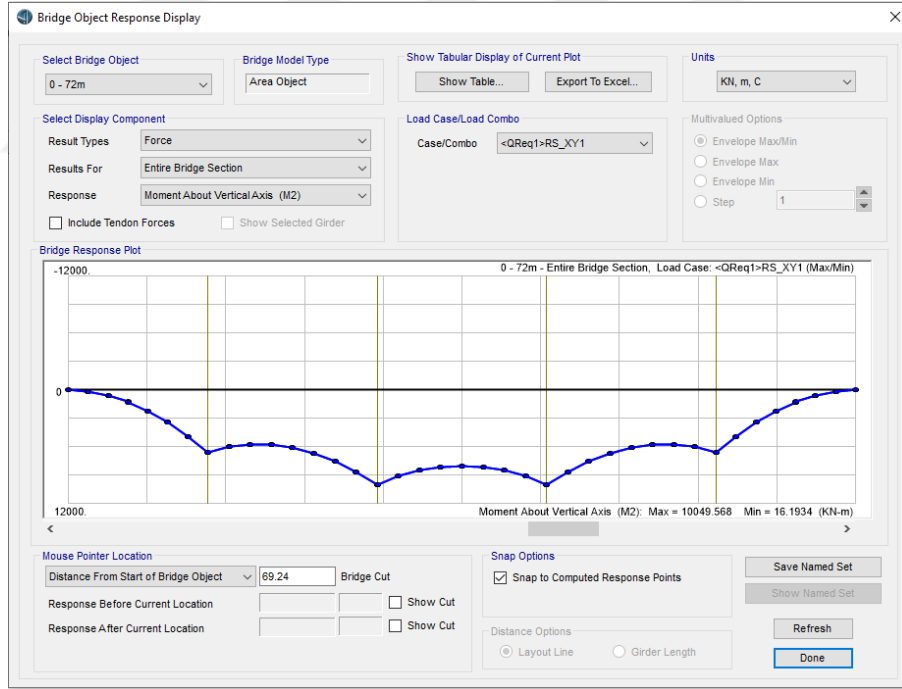
Units

KN, m, C

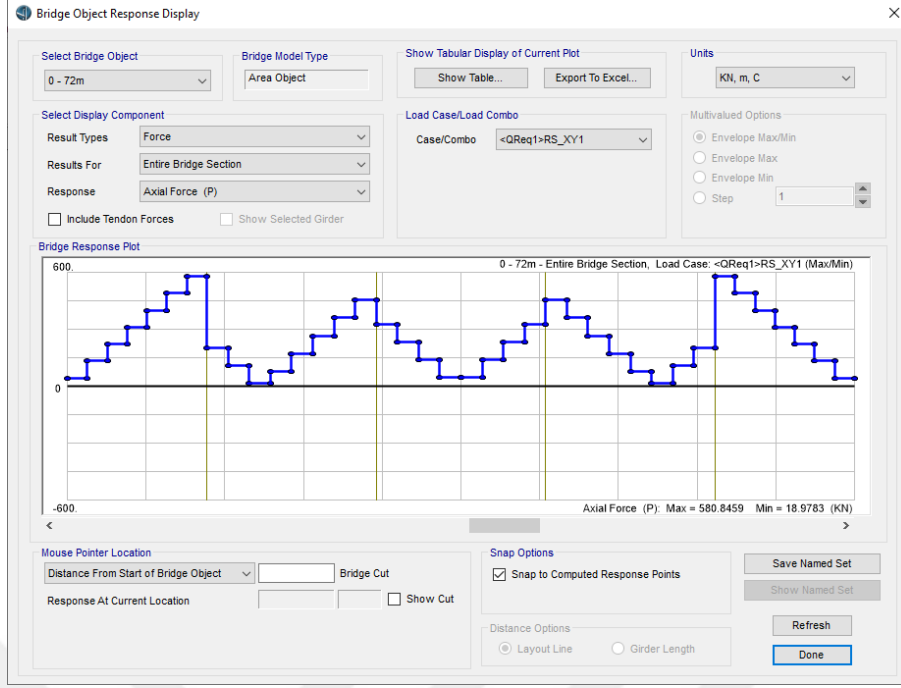




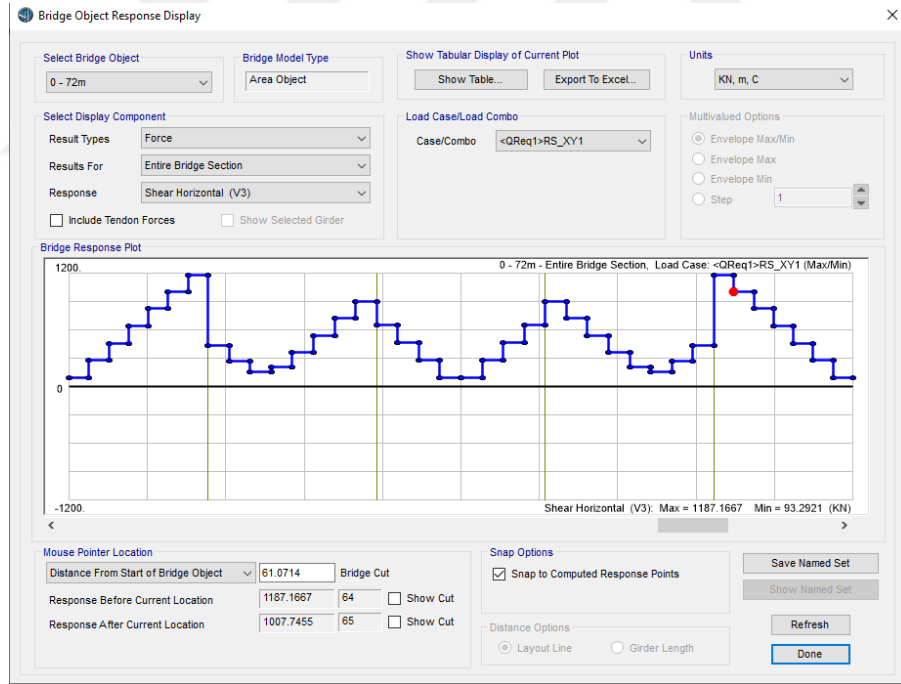
Şekil 4.19. TBDY 2018'e göre prekast U kirişli model için burulma moment diyagramı



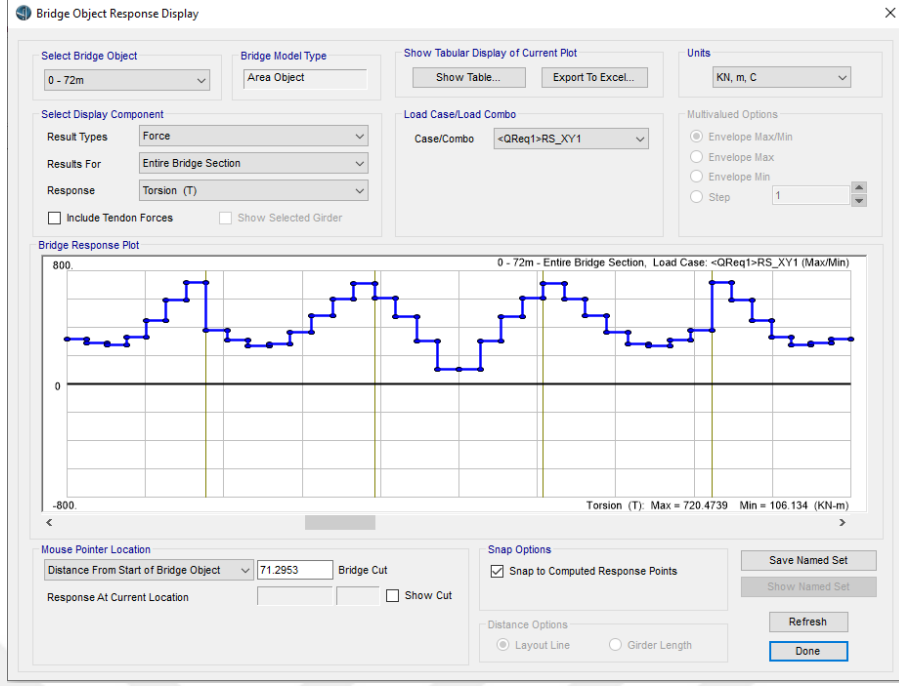
Şekil 4.20. TBDY 2018'e göre prekast U kirişli model için eğilme moment diyagramı



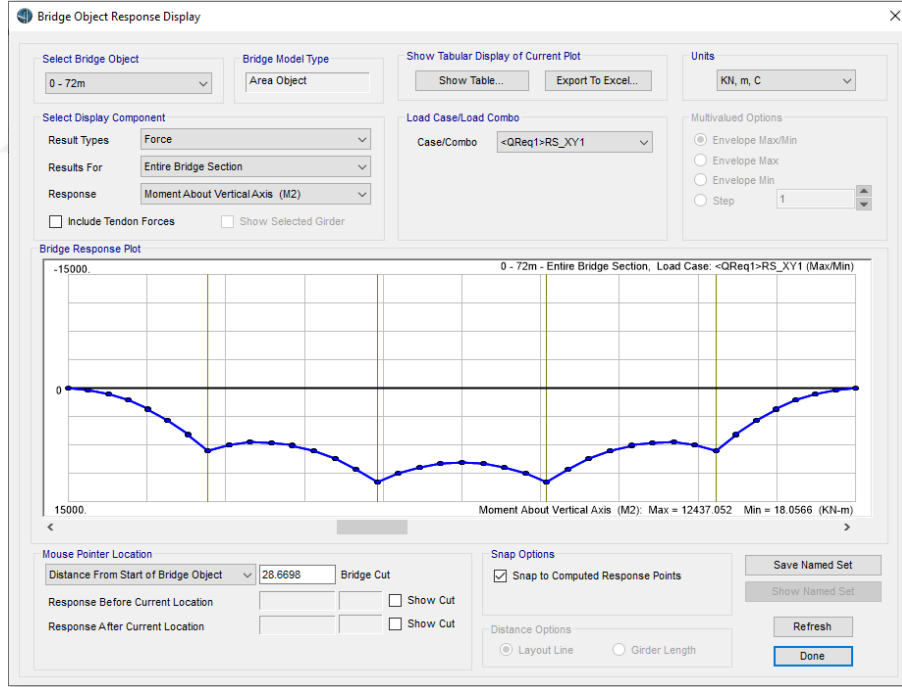
Şekil 4.21. AASHTO 2012'ye göre prekast U kirişli model için eksenel kuvvet diyagramı



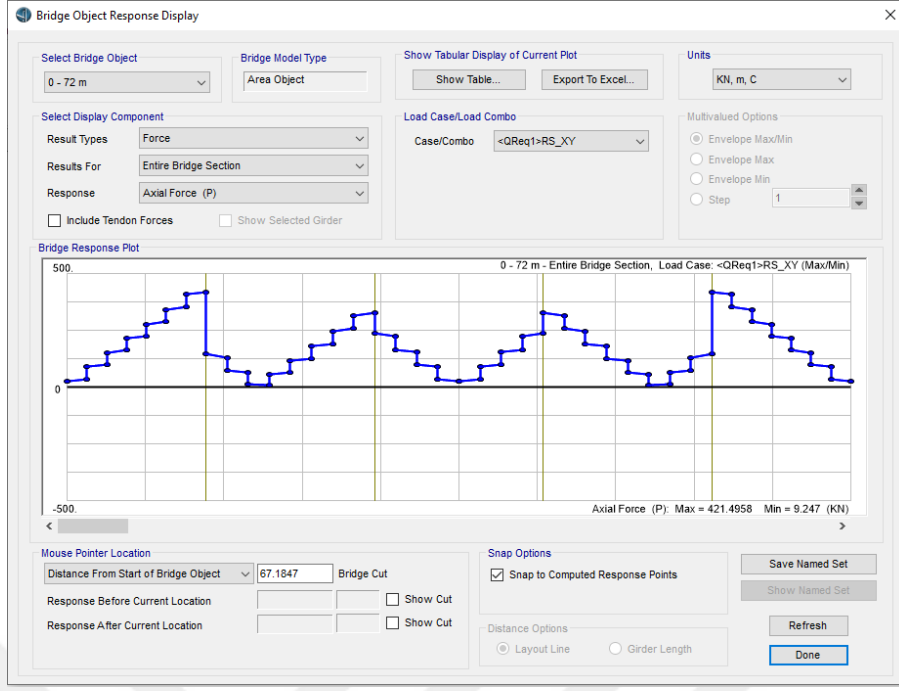
Şekil 4.22. AASHTO 2012'ye göre prekast U kirişli model için kesme kuvvet diyagramı



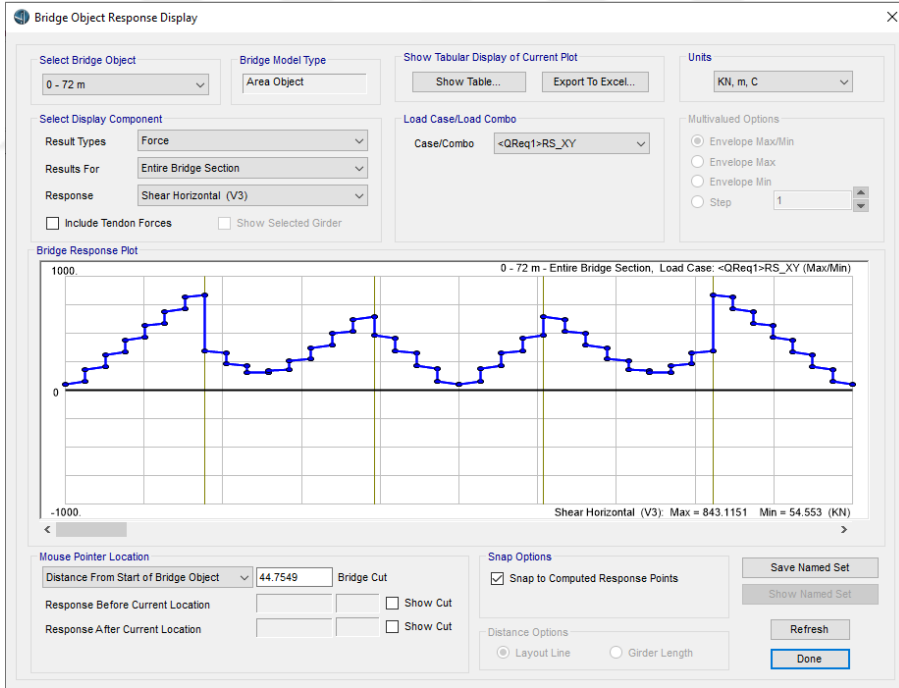
Şekil 4.23. AASHTO 2012'ye göre prekast U kirişli model için burulma moment diyagramı



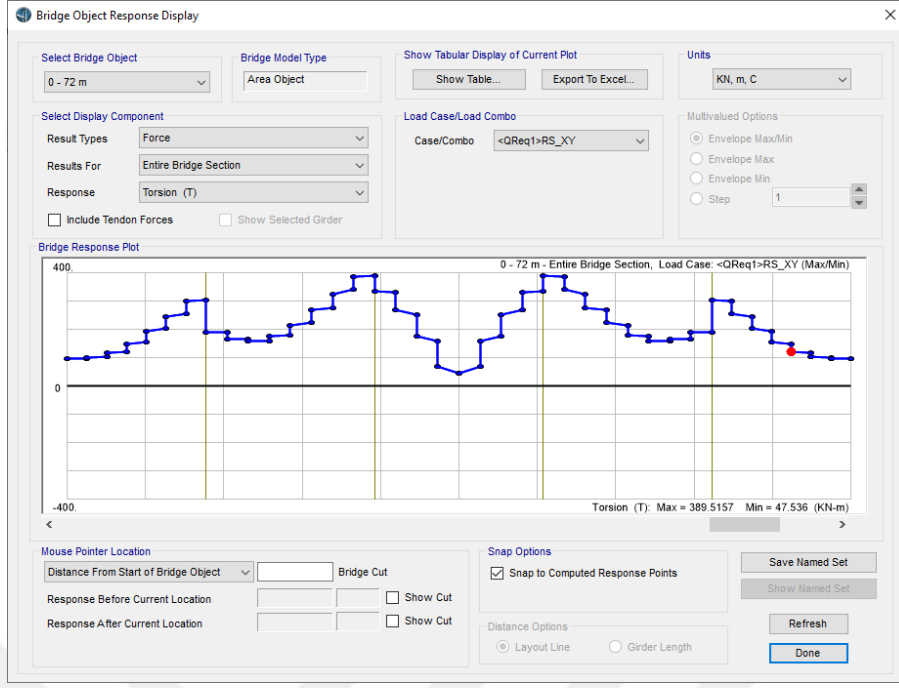
Şekil 4.24. AASHTO 2012'ye göre prekast U kirişli model için eğilme moment diyagramı



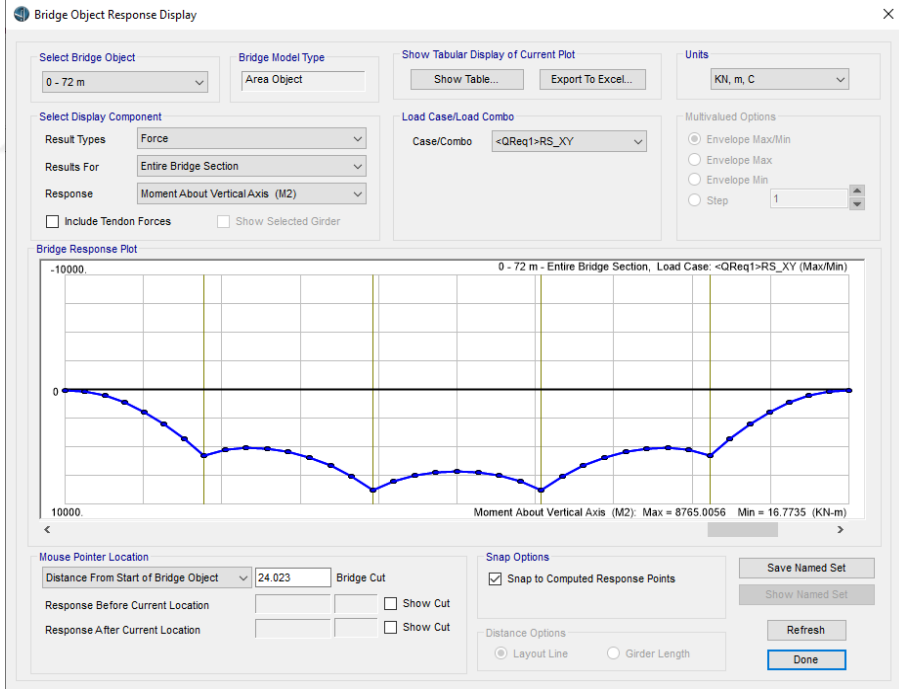
Şekil 4.25. TBDY 2018'e göre prekast I kirişli model için eksenel kuvvet diyagramı



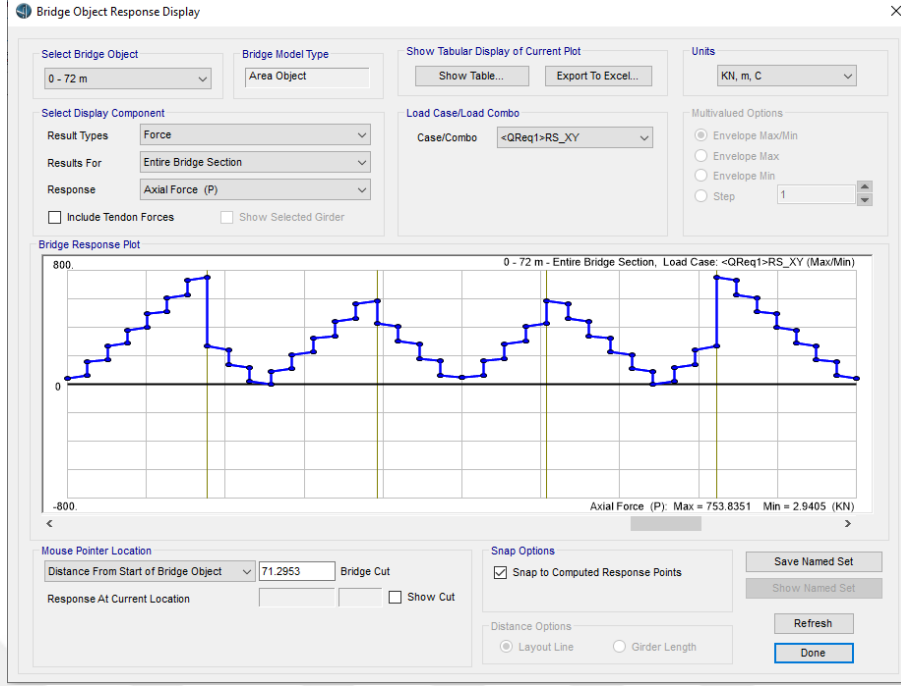
Şekil 4.26. TBDY 2018'e göre prekast I kirişli model için kesme kuvvet diyagramı



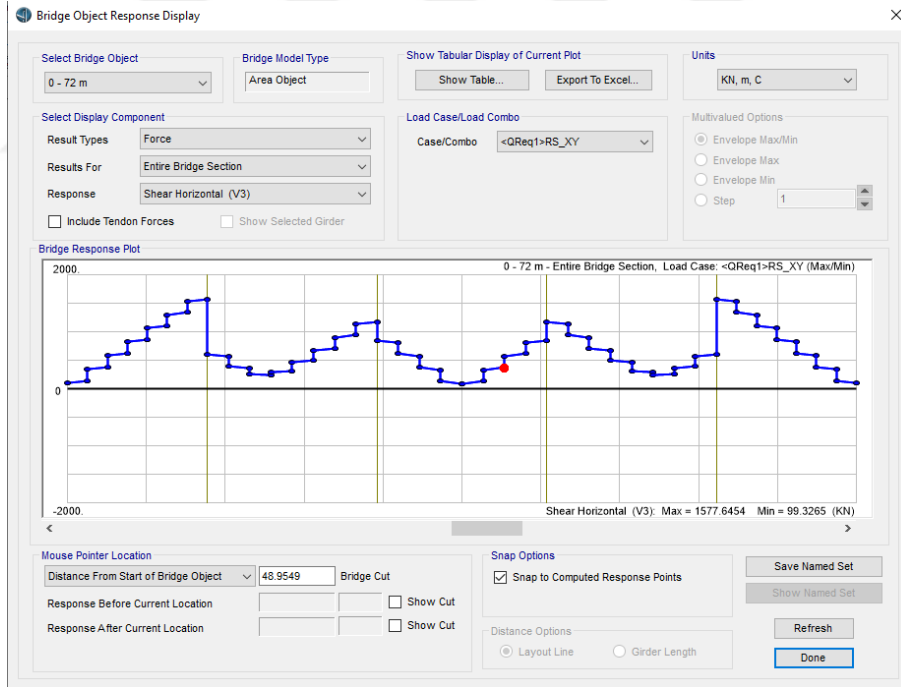
Şekil 4.27. TBDY 2018'e göre prekast I kirişli model için burulma moment diyagramı



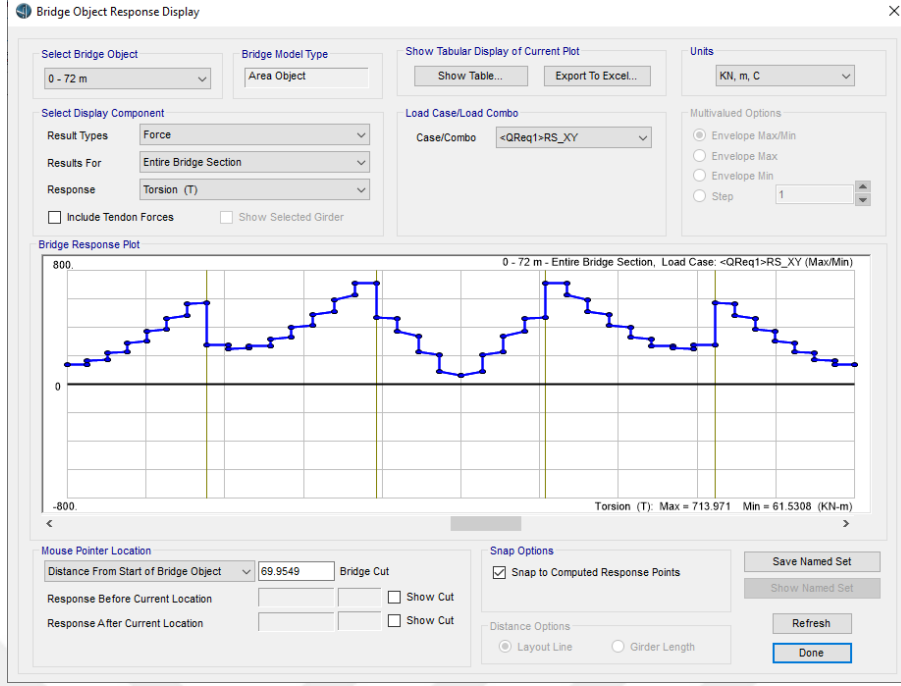
Şekil 4.28. TBDY 2018'e göre prekast I kirişli model için eğilme moment diyagramı



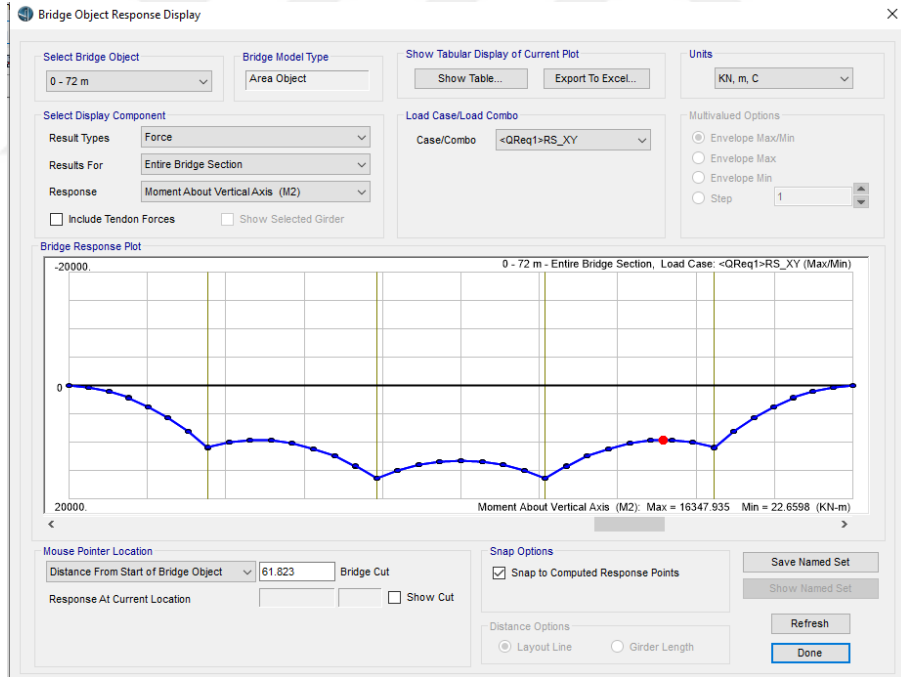
Şekil 4.29. AASHTO 2012'ye göre prekast I kirişli model için eksenel kuvvet diyagramı



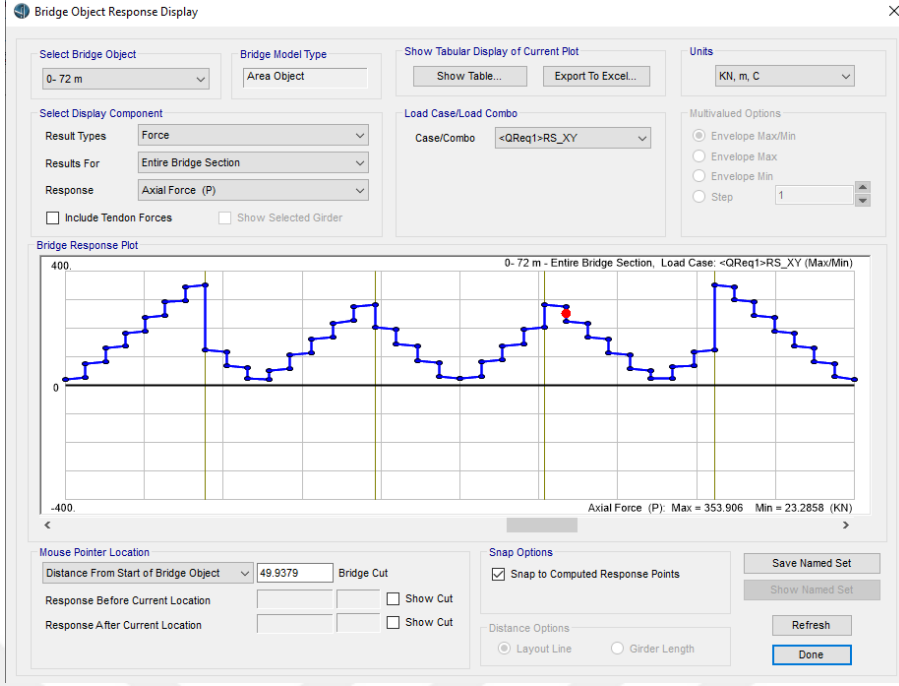
Şekil 4.30. AASHTO 2012'ye göre prekast I kirişli model için kesme kuvvet diyagramı



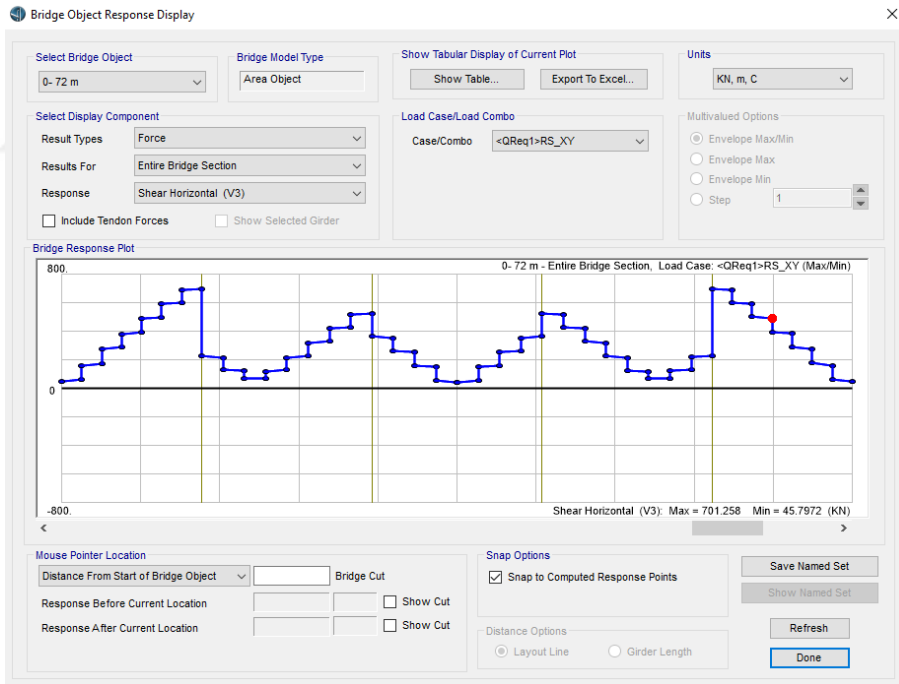
Şekil 4.31. AASHTO 2012'ye göre prekast I kirişli model için burulma moment diyagramı



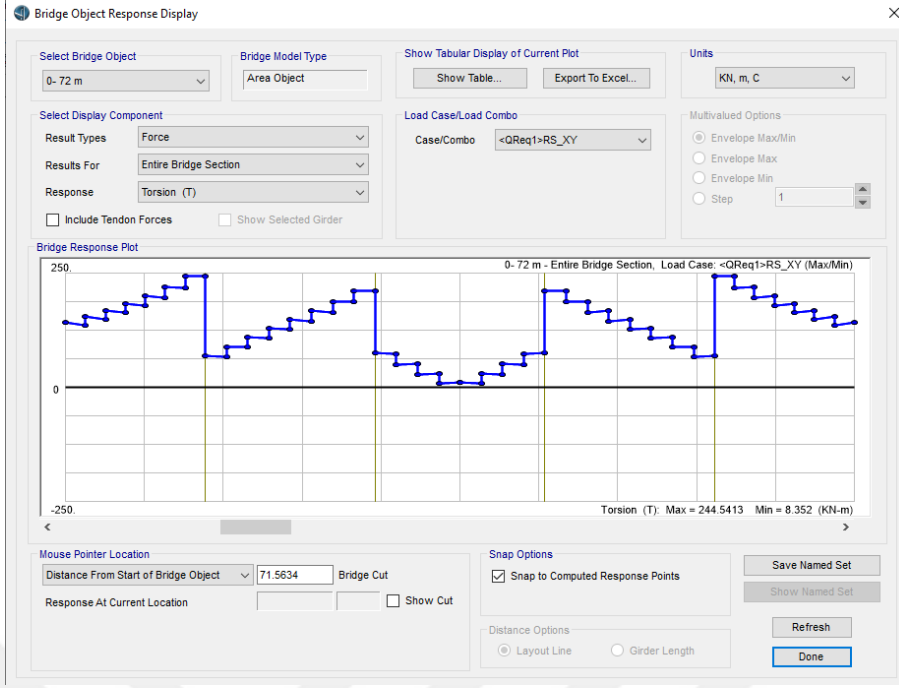
Şekil 4.32. AASHTO 2012'ye göre prekast I kirişli model için eğilme moment diyagramı



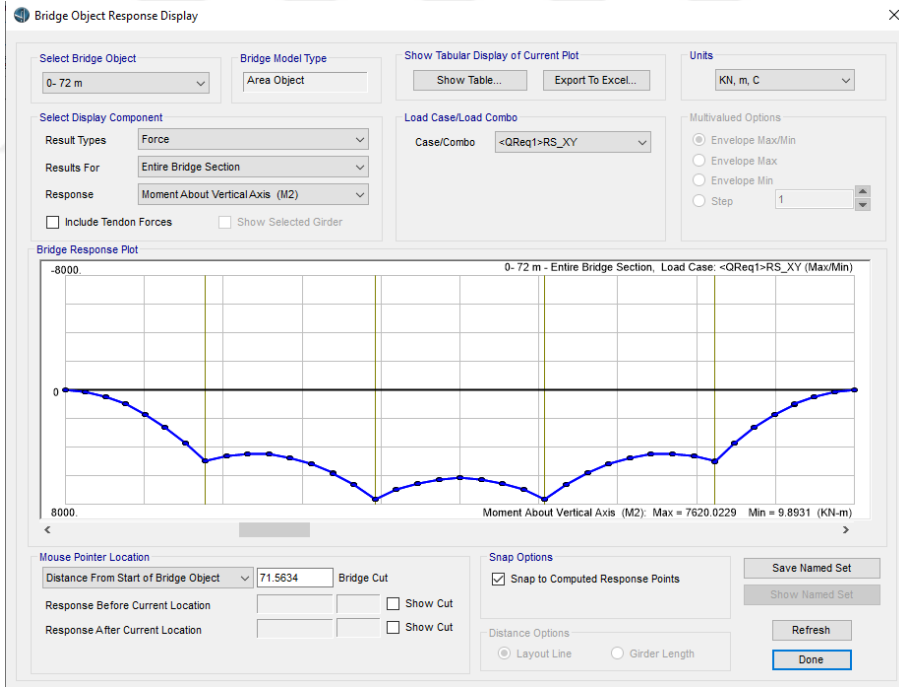
Şekil 4.33. TBDY 2018'e göre çelik I kirişli model için eksenel kuvvet diyagramı



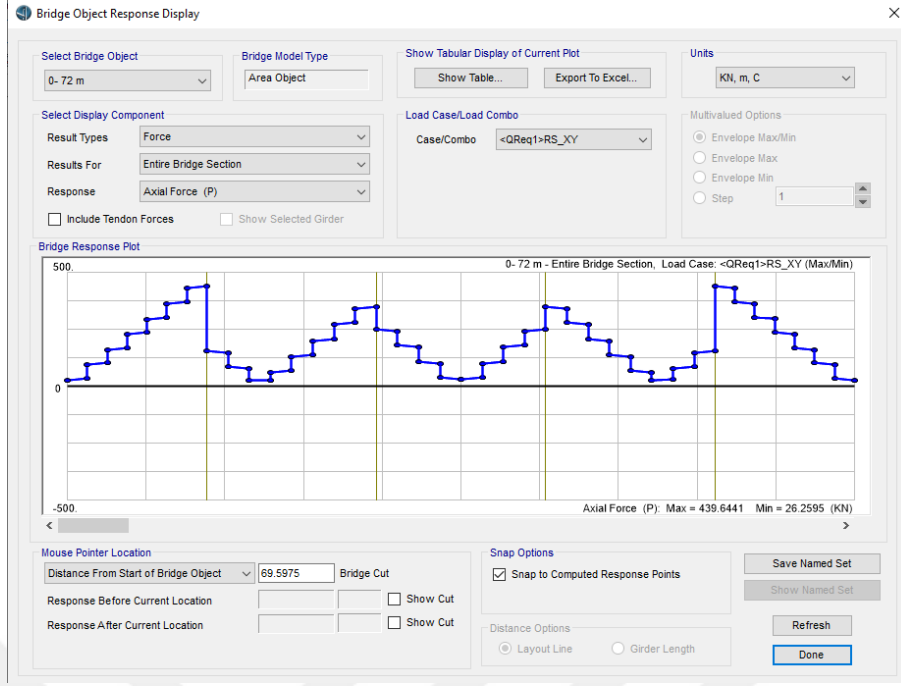
Şekil 4.34. TBDY 2018'e göre çelik I kirişli model için kesme kuvvet diyagramı



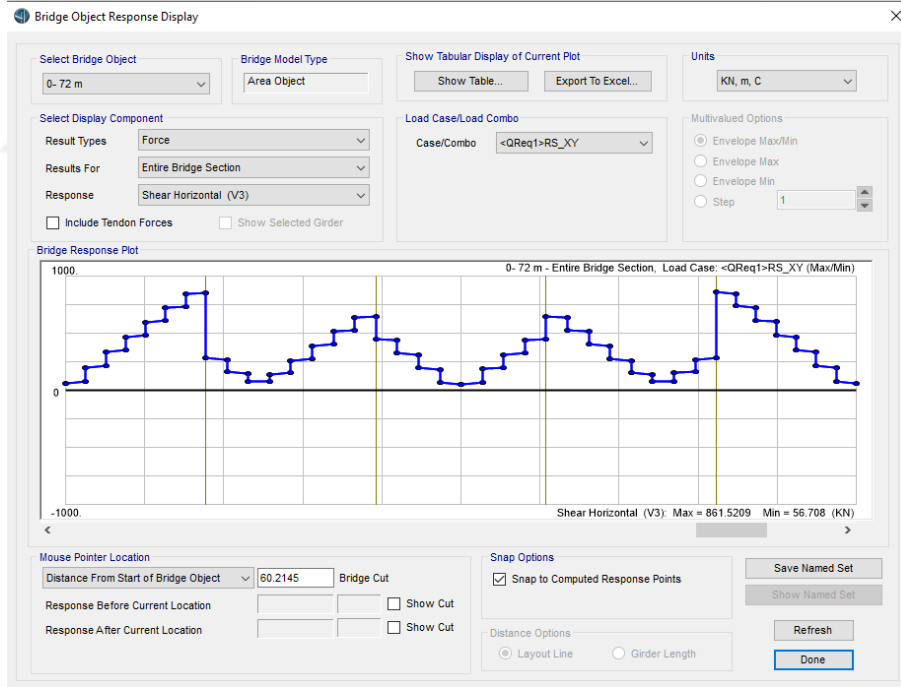
Şekil 4.35. TBDY 2018'e göre çelik I kirişli model için burulma moment diyagramı



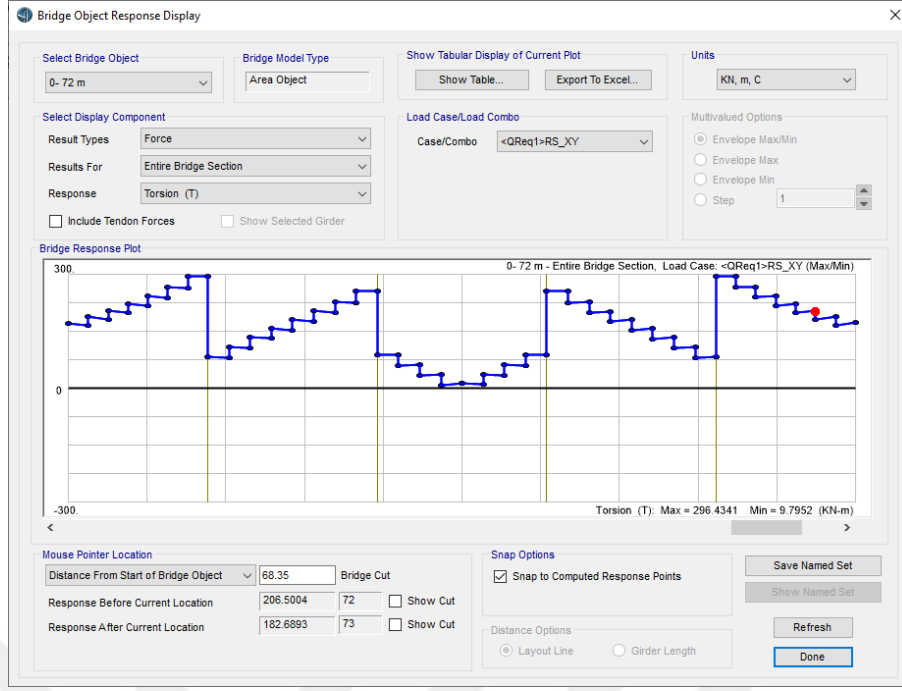
Şekil 4.36. TBDY 2018'e göre çelik I kirişli model için eğilme moment diyagramı



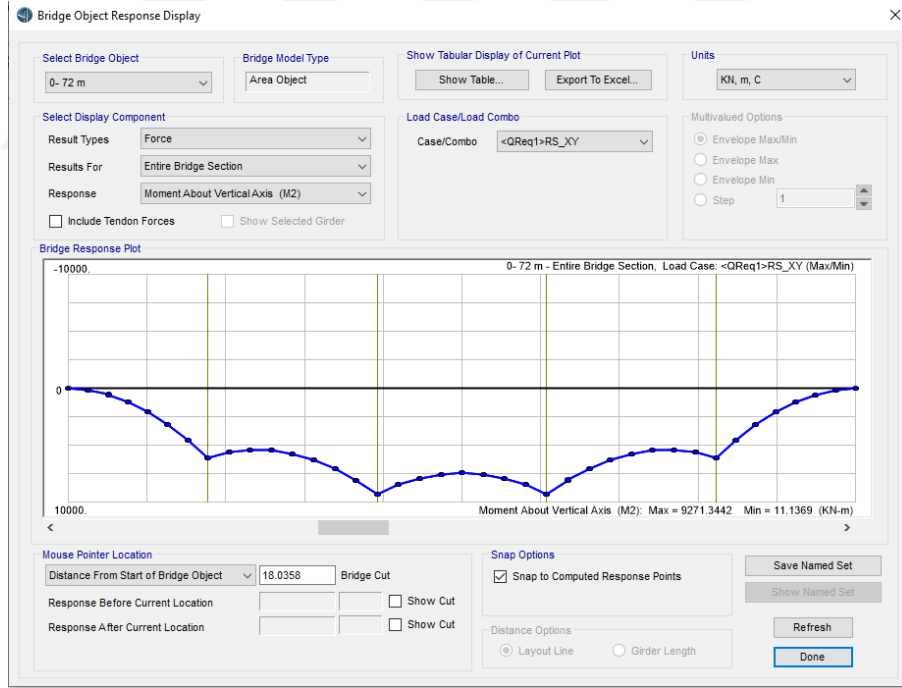
Şekil 4.37. AASHTO 2012'ye göre çelik I kirişli model için eksenel kuvvet diyagramı



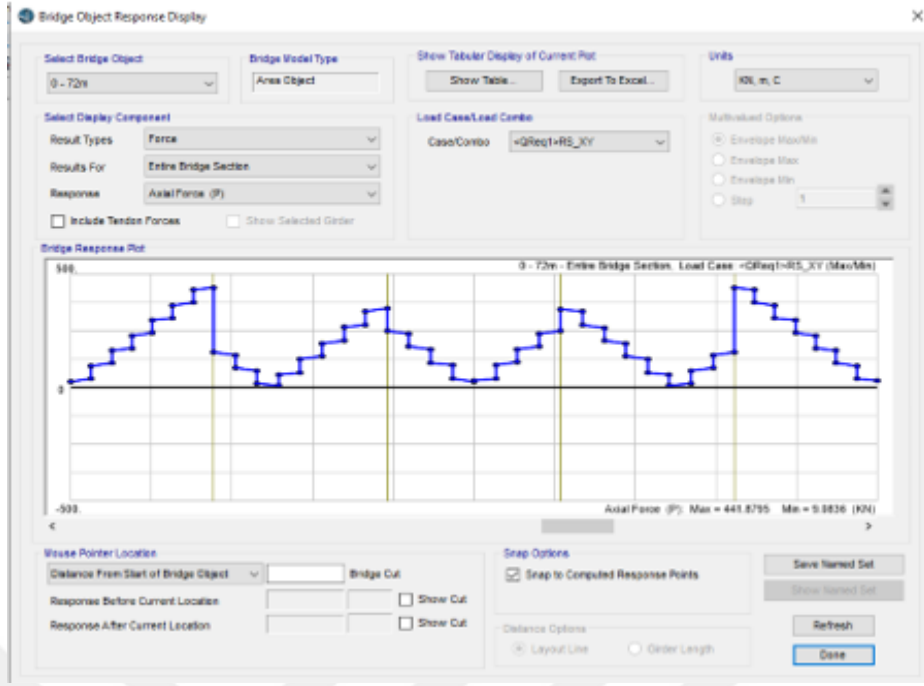
Şekil 4.38. AASHTO 2012'ye göre çelik I kirişli model için kesme kuvvet diyagramı



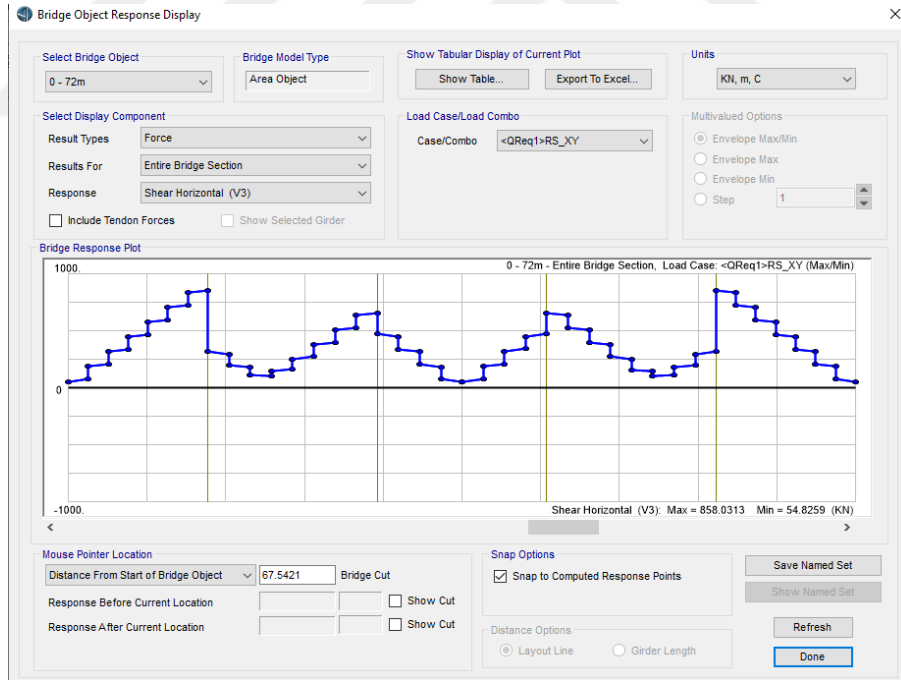
Şekil 4.39. AASHTO 2012'ye göre çelik I kirişli model için burulma moment diyagramı



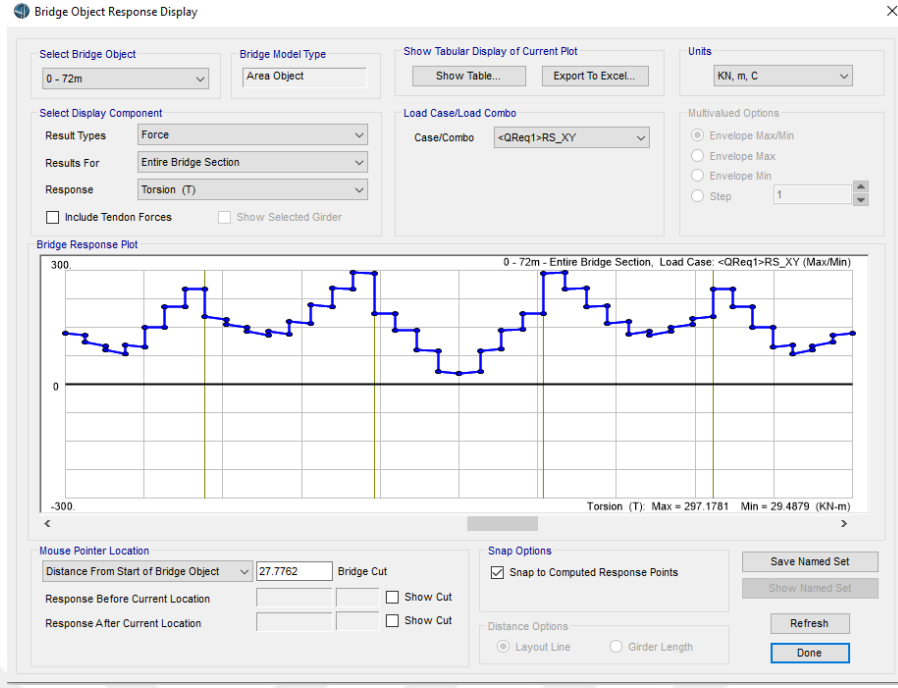
Şekil 4.40. AASHTO 2012'ye göre çelik I kirişli model için eğilme moment diyagramı



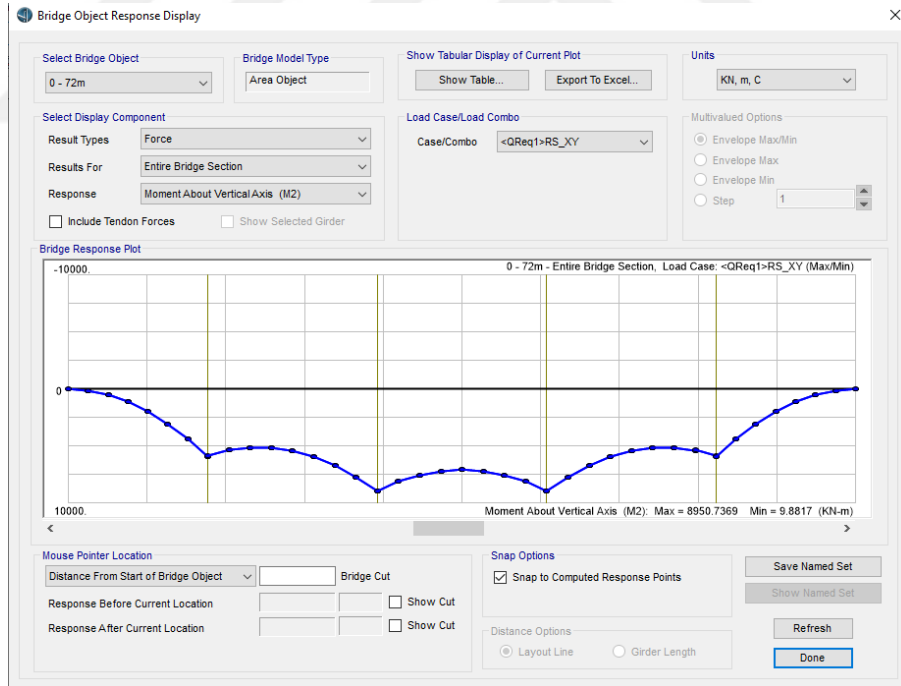
Şekil 4.41. TBDY 2018'e göre çelik U kirişli model için eksenel kuvvet diyagramı



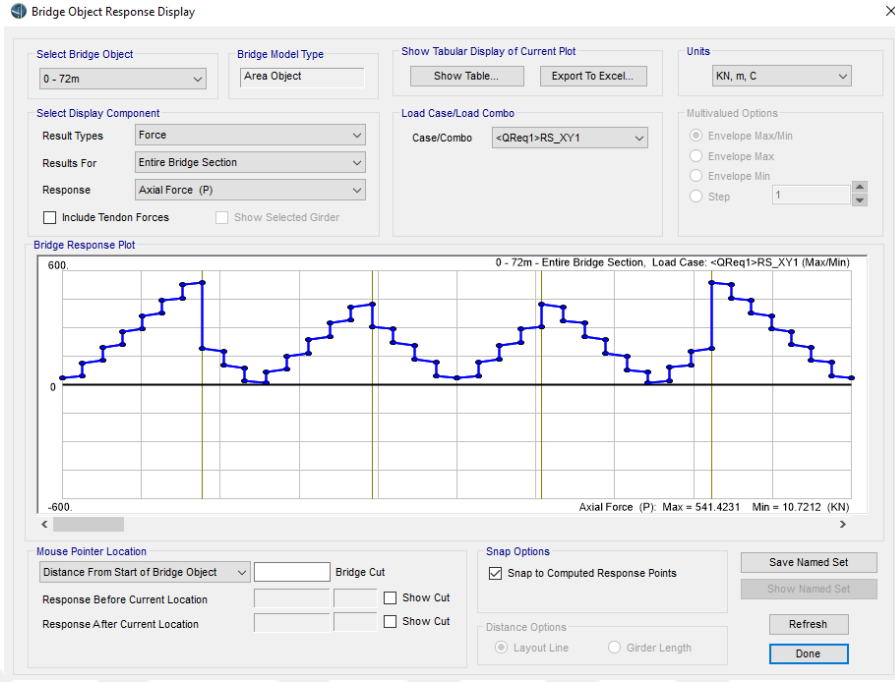
Şekil 4.42. TBDY 2018'e göre çelik U kirişli model için kesme kuvvet diyagramı



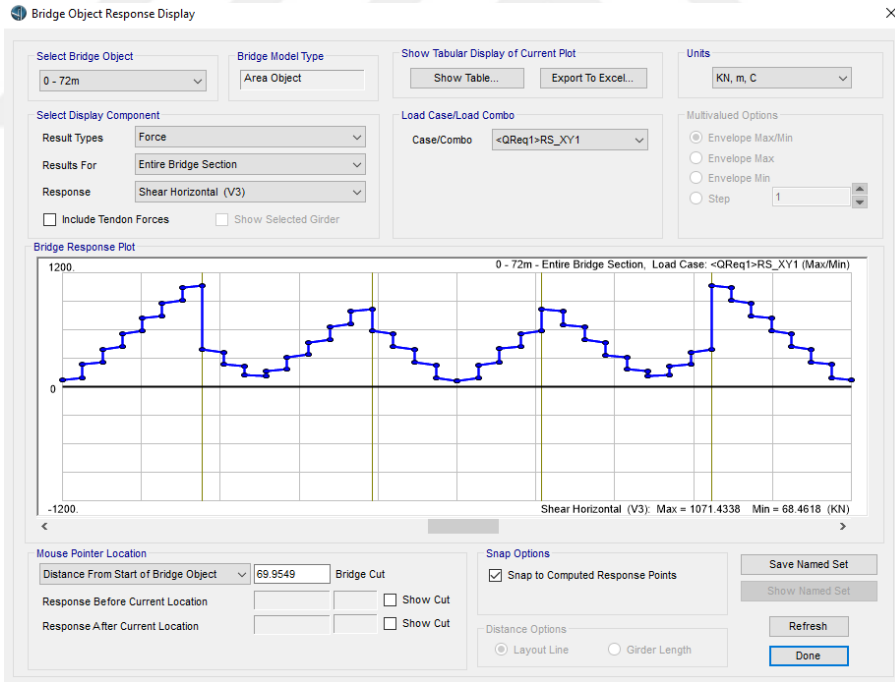
Şekil 4.43. TBDY 2018'e göre çelik U kirişli model için burulma moment diyagramı



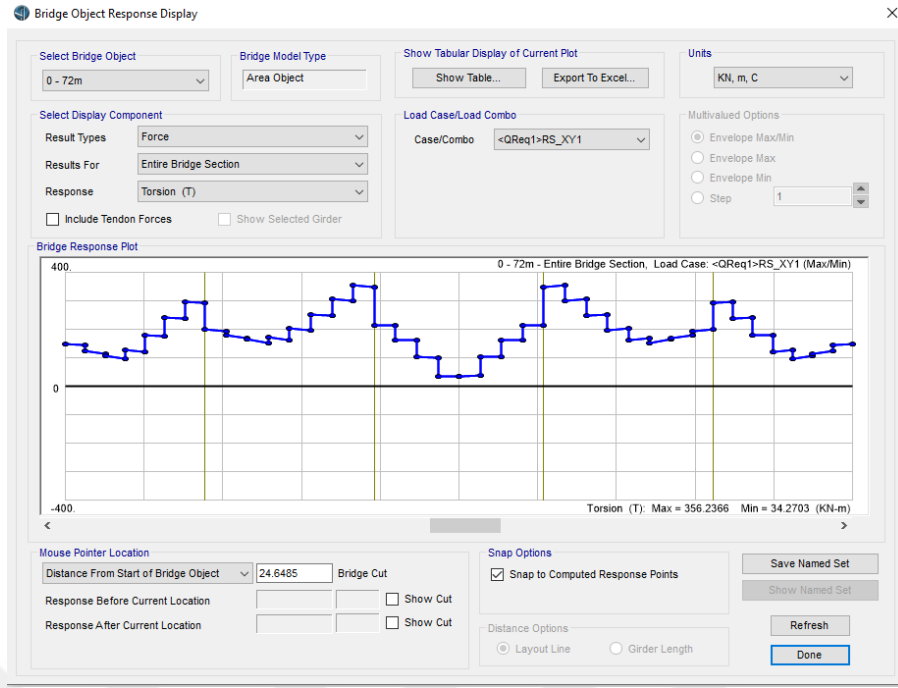
Şekil 4.44. TBDY 2018'e göre çelik U kirişli model için eğilme moment diyagramı



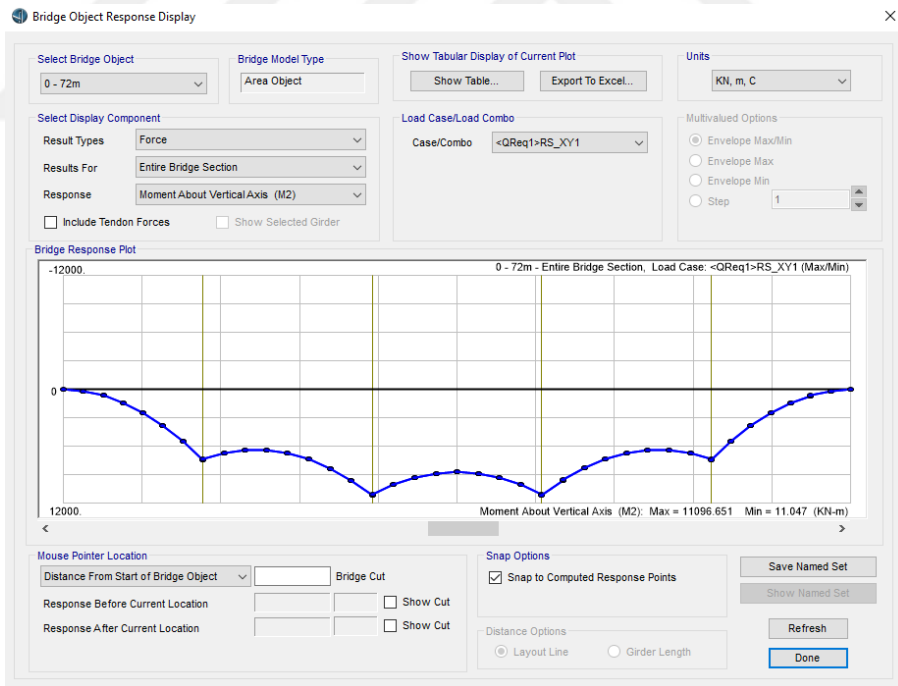
Şekil 4.45. AASHTO 2012'ye göre çelik U kirişli model için eksenel kuvvet diyagramı



Şekil 4.46. AASHTO 2012'ye göre çelik U kirişli model için kesme kuvvet diyagramı



Şekil 4.47. AASHTO 2012'ye göre çelik U kirişli model için burulma moment diyagramı



Şekil 4.48. AASHTO 2012'ye göre çelik U kirişli model için eğilme moment diyagramı

Köprü modellerine ait en büyük kesit tesiri değerleri tablo 4.5' de ve Şekil 4.49-4.52'de grafik halinde verilmiştir. AASHTO 2012'ye göre elde edilen tüm kesit tesiri değerleri TBDY 2018'e göre elde edilen değerlerden daha yüksek çıkmıştır. Tüm kesit

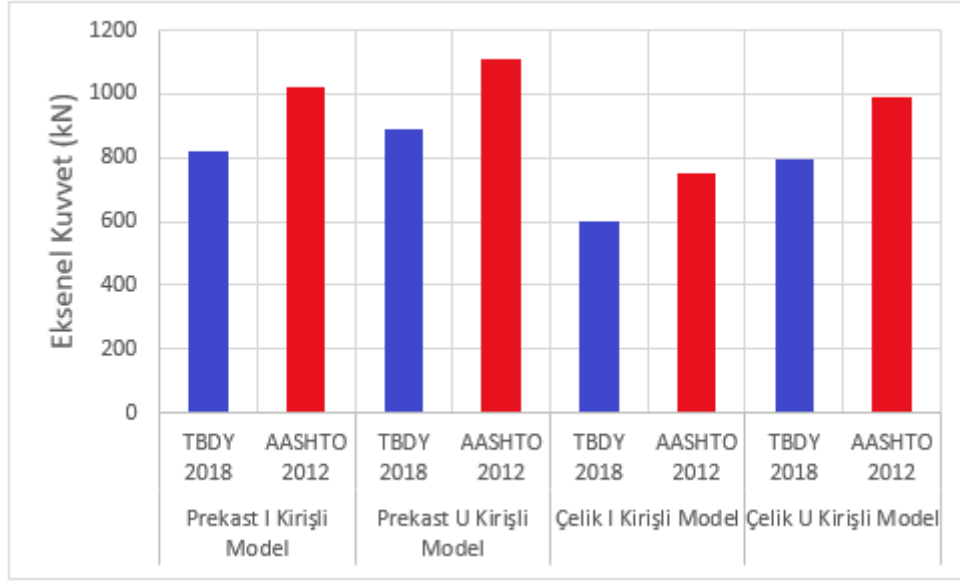
tesirleri değerleri en yüksek prekast U kirişli modelde, en düşük elik I kirişli modelde elde edilmiştir.

TBDY 2018'e göre prekast U kirişli modelde, prekast I kirişli modele göre eksenel kuvvet değerinin %7,98 daha fazla olduğu, kesme kuvveti değerinin %22,1 daha fazla olduğu, burulma momenti değerinin %10 daha fazla olduğu, eğilme momenti değerinin %9,03 daha fazla olduğu grlmştir. AASHTO 2012'ye göre prekast U kirişli modelde, prekast I kirişli modele göre eksenel kuvvet değerinin %8,02 daha fazla olduğu, kesme kuvveti değerinin %22,20 daha fazla olduğu, burulma momenti değerinin %10,64 daha fazla olduğu, eğilme momenti değerinin %9,07 daha fazla olduğu grlmştir.

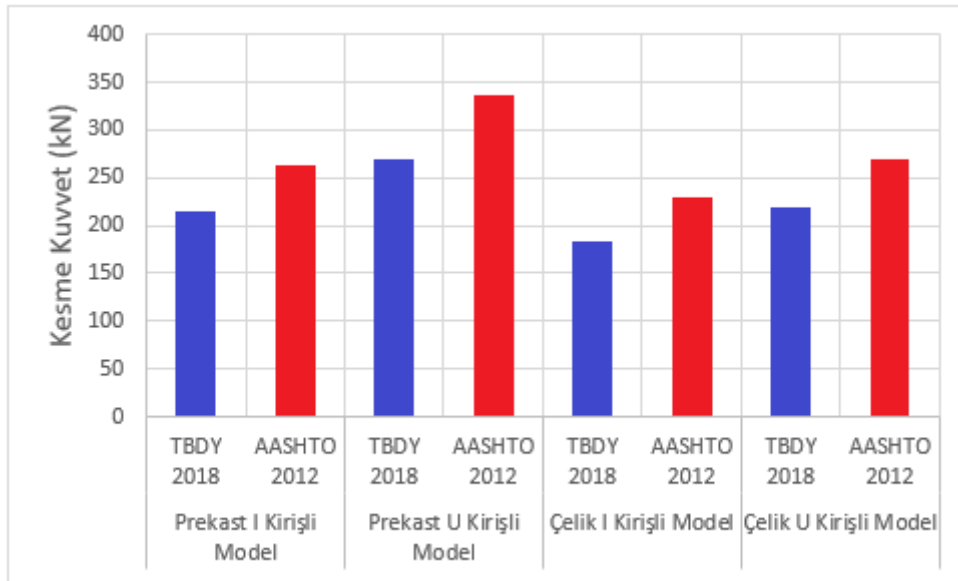
TBDY 2018'e göre elik U kirişli modelde, elik I kirişli modele göre eksenel kuvvet değerinin %24,44 daha fazla olduğu, kesme kuvveti değerinin %24,39 daha fazla olduğu, burulma momenti değerinin %18,23 daha fazla olduğu, eğilme momenti değerinin %10,90 daha fazla olduğu grlmştir. AASHTO 2012'ye göre elik U kirişli modelde, elik I kirişli modele göre eksenel kuvvet değerinin %24,40 daha fazla olduğu, kesme kuvveti değerinin %24,35 daha fazla olduğu, burulma momenti değerinin %17,73 daha fazla olduğu, eğilme momenti değerinin %10,80 daha fazla olduğu grlmştir.

Tablo 4.5. Köprü modelleri kesit tesirleri

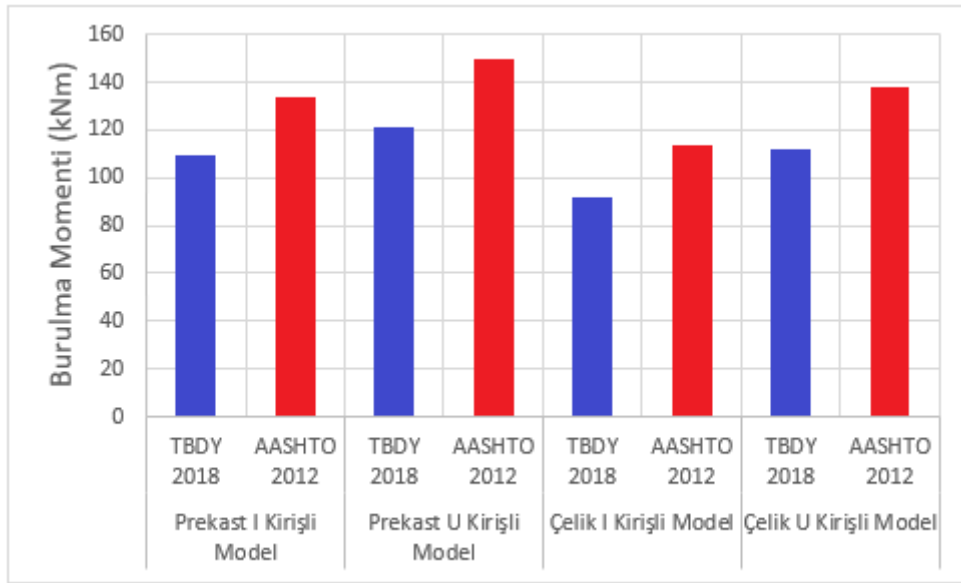
Model	Yönetmelik	Eksenel Kuvveti (kN)	Kesme Kuvveti (kN)	Burulma Momenti (kNm)	Eğilme Momenti (kNm)
Prekast I Kirişli Model	TBDY 2018	818,56	692,03	109,01	1868,13
	AASHTO 2012	1021,24	862,60	133,64	2330,73
Prekast U Kirişli Model	TBDY 2018	889,53	888,21	121,11	2053,56
	AASHTO 2012	1110,25	1108,71	149,56	2563,11
elik I Kirişli Model	TBDY 2018	599,34	598,89	91,62	1714,40
	AASHTO 2012	748,79	748,23	113,64	2141,87
elik U Kirişli Model	TBDY 2018	793,19	792,00	112,05	1924,03
	AASHTO 2012	990,43	989,01	138,12	2401,08



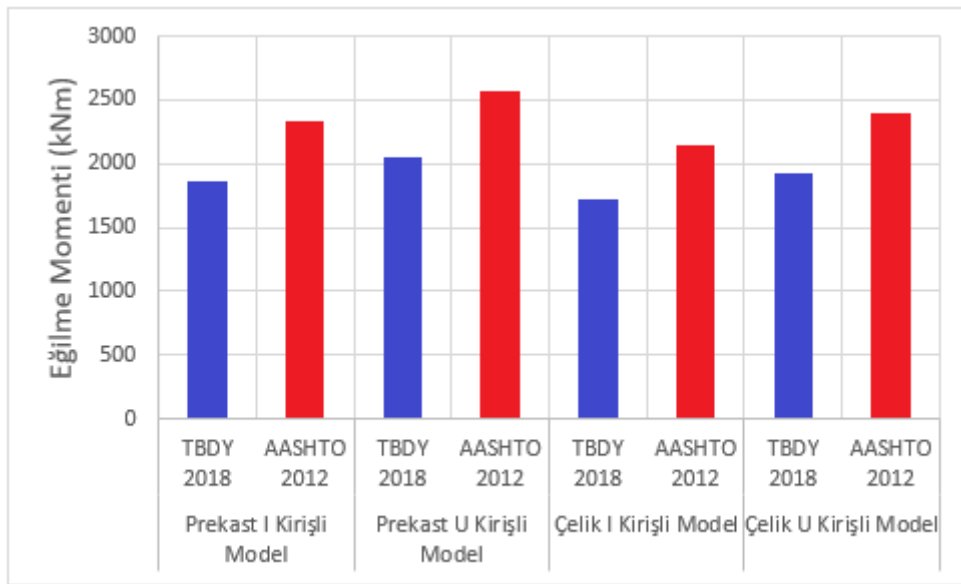
Şekil 4.49. Köprü modelleri için eksenel kuvvetler



Şekil 4.50. Köprü modelleri için kesme kuvvetleri



Şekil 4.51. Köprü modelleri için burulma momentleri



Şekil 4.52. Köprü modelleri için eğilme momentleri

5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında prekast I kirişli, prekast U kirişli betonarme, çelik I ve U kirişli olmak üzere dört farklı köprü modeli AASHTO 2012 şartnamesine uygun şekilde CSi Bridge programı kullanılarak analiz ve dizayn edilmiştir. CSi Bridge bilgisayar programı ile modellenen köprü modelin uzunluğu 72 m olmak üzere 5 açıklığa sahiptir. Köprü 4 şeritli ve 15,1 m genişliğe sahiptir. Tüm modellerde aynı tip elastomer mesnet kullanılmıştır. Modellerde kolonların temele bağlantısı ankastre olarak tanımlanmıştır. Her bir köprü modeli AASHTO 2012 ve TDBY 2018 yönetmeliklerinde tanımlanan spektrum eğrileri kullanılarak mod birleştirme yöntemine göre ayrı ayrı analiz edilmiştir. Bunun için toplam sekiz adet köprü modeli oluşturulmuştur. Yapılan analizler sonucu modellere ait, periyot, taban kesme kuvveti, yer değiştirme ve kesit tesirleri elde edilmiş ve köprü modelleri üzerinde her iki yönetmelik ve kesit türleri için aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır.

Köprü modellerinde doğal titreşim periyotları incelendiğinde, birinci doğal titreşim periyodunun en büyük değeri prekast U kirişli modelde, daha sonra prekast I kirişli, sonra çelik U kirişli ve en küçük değeri ise çelik I kirişli modelde ortaya çıkmıştır. Bu nedeni betonarme prekast kirişli modellerde üst yapı ağırlığının daha fazla, çelik kirişli modellerin üst yapı ağırlığının daha az olmasıdır. İkinci ve üçüncü titreşim modlarında ise en yüksek değer çelik I kirişli modelde ortaya çıkmıştır. Bu nedeni ise çelik I kirişli köprünün burulma rijitliğinin ve köprünün enine doğrultusundaki rijitliğinin daha düşük olmasıdır.

Analizleri yapılan köprü modellerinde; yer değiştirme, taban kesme kuvveti ve kesit tesirleri incelendiğinde AASHTO 2012 yönetmeliğine göre elde edilen değerler TBDY 2018 yönetmeliğine göre elde edilen değerlerden yaklaşık olarak %20 daha yüksektir. Bu durum yönetmeliklerde yer alan zemin bölge katsayılarının farklı tanımlanmasından kaynaklanmaktadır.

Taban kesme kuvvetleri değerlendirildiğinde hem TBDY 2018, hem de AASHTO 2012'ye göre X yönü için en yüksek değer çelik U kirişli modelde, en düşük değer prekast U kirişli modelde, Y yönü için ise en yüksek değer çelik U kirişli modelde, en düşük değer çelik I kirişli modelde elde edilmiştir. Taban kesme kuvvetinin değeri prekast U kirişli modelde prekast I kirişli modele göre Y yönünde yaklaşık aynı kalırken, X yönünde daha küçüktür. Çelik U kirişli modelde ise çelik I kirişli modele göre her iki yönde daha büyük çıkmıştır.

En büyük yer değiştirme değerleri değerlendirildiğinde hem TBDY 2018'e göre hem de AASHTO 2012'ye göre X yönünde en yüksek değer prekast U kirişli modelde, en düşük

değer çelik I kirişli modelde elde edilmiştir. Y yönünde ise en yüksek değer çelik I kirişli modelde, en düşük değer çelik U kirişli modelde elde edilmiştir. En büyük yer değiştirme değeri hem TBDY 2018, hem de AASHTO 2012 için prekast U kirişli modelde, prekast I kirişli modele göre hem X yönünde hem de Y yönünde daha büyüktür. Çelik U kirişli modelde ise hem TBDY 2018, hem de AASHTO 2012 için, çelik I kirişli modele göre X yönünde daha büyük, Y yönünde ise küçüktür.

Tüm kesit tesirleri değerleri değerlendirildiğinde, hem TBDY 2018 hem de AASHTO 2012'ye göre en yüksek değerler prekast U kirişli modelde, en düşük değerler ise çelik I kirişli modelde elde edilmiştir. Prekast U kirişli modelde, prekast I kirişli modele göre ortalama olarak eksenel kuvvet değerinin %8, kesme kuvveti değerinin %22, burulma momenti değerinin %10 ve eğilme momenti değerinin %9 daha fazla olduğu görülmüştür. Çelik U kirişli modelde, çelik I kirişli modele göre eksenel kuvvet değerinin %24 kesme kuvveti değerinin %24, burulma momenti değerinin %18 ve eğilme momenti değerinin %11 daha fazla olduğu görülmüştür.

Yapılan değerlendirmeler sonucu hem çelik hem de betonarme prekast kirişli modeller için I kesit tipinin U kesit tipine göre daha avantajlı olduğu söylenebilir.

İleriki çalışmalarda; maliyet analizi yapılarak çelik ve betonarme prekast kiriş tiplerinin etkisinin değerlendirmesi yapılabilir.

KAYNAKLAR

- AASHTO, 2012. *Standard Specifications for Highway Bridges*. Sixth Edition, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C., 1661 s.
- AASHTO LRFD, 2017. *Bridge Design Specifications*. Eight Edition, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C., 1781 s.
- Akoğul, A., 2007. Prekast Kirişli Betonarme Köprülerin ASSHTO'ya göre Depreme Dayanıklı Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Aktaş, E., 2010. Öngerilme Kirişli Bir Köprü Tasarımı ve Performansının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Ayoub, A., Filip, C., 2000. Mixed Formulation of Nonlinear Steel-Concrete Composite Beam. *Journal of Structural Engineering*, 120, 371-381.
- Bayer, T., 2014. Design of a Stainless Steel Composite Bridge According to the Eurocode and Cost Analysis, M.Sc. Dissertation. Istanbul Teknik Üniversitesi Department of Civil Engineering, Istanbul, Turkey.
- Bostan, S., 2019. Kutu Kesitli Karayolu Köprülerinde Kesit Şeklinin Dinamik Davranışa Etkisi, Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.
- Dhanotia, A., 2017. Analysis and Design of Steel I-Girder Bridge Using CSI Bridge Software, M.Sc. Dissertation. Jaypee University of Information Technology Department of Civil Engineering, Himachal Pradesh, India.
- Dikici, C.İ., 2015, Prekast Kirişli Betonarme Köprüler Üzerine Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Erciyes, F., 2006. Çelik Kafes Kemerli Bir Köprünün Analizi ve Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi. Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, Türkiye.
- Fatemi, S.J., Mohamed Ali, M.S., Sheikh, A.H., 2015. Load Distribution for Composite Steel-Concrete Horizontally Curved Box Girder Bridge. *Journal of Constructional Steel Research*, 116, 19-28.
- Fu, G., 2013. *Bridge Design and Evaluation LRFD and LRFR*. John Wiley & Sons Press, New Jersey, 437s.
- Gheitis, A., Harris, K.D., 2005. Performance Assessment of Steel-Concrete Composite Bridges With Subsurface Deck Deterioration. *Structures*, 2, 8-25.
- Gölen, M.S., 2017. Çelik Köprülerde ve Kirişli Betonarme Köprülerde Yük Paylaştırma Yöntemleri ve Kıyaslama, Yüksek Lisans Bitirme Projesi. İstanbul Gelişim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

- Görk, S., 2013. Advance Modelling and Collapse Risk Estimation of a Highway Bridge, M.Sc. Dissertation. Middle East Technical University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, Ankara, Turkey.
- Günaydın, M., 2011. Asma Köprülerin Yapısal Davranışının Yapım Aşamaları Dikkate Alınarak Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.
- Koç, A., 2013. Calibration of Turkish LRFD Bridge Design Method for Slab on Steel Plate Girders, M.Sc. Dissertation. Middle East Technical University Department of Civil Engineering, Ankara, Turkey.
- Ozel, A., 2016. Seismic Design of a Prestressed Concrete Bridge, M.Sc. Dissertation. University of New Orleans Department of Civil Engineering, Louisiana, ABD.
- Peker, F.Ü., 2019, Kompozit Çelik I-Kiriş Köprülerin Sezgisel Algoritma Teknikleriyle Optimum Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ, Türkiye.
- Kumar, R., 2014. Design of Prestress Concrete T-Beam. *International Journal of Scientific Engineering and Research*, 2, 37-42.
- Rasekh, W., 2020. Çelik Kirişli Köprülerin ve Öngermeli Kirişli Betonarme Köprülerin Maliyet ve Deprem Performansının Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi. Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, Türkiye.
- Safaei, F., 2010. Betonarme Köprü Modellenmesi Üzerine Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Sarsık, S.T., 2008. Öngerilmeli Prefabrike I Kesitli Köprü Kirişlerinin Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Saxena. A., Maru, S.D., 2013. Comparative Study of the Analysis and Design of T-Beam Girder and Box Girder Superstructure. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, 1(2), 1-5.
- TBDY, 2018. *Resmî Gazete*, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1.pdf> (Erişim Tarihi: 05.01.2021)
- Tören, A., 2011. I ve Kutu Kesitli Çelik-Betonarme Kompozit Köprü Kirişlerinin Analitik İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Uluğ, N.İ., 2008. Kuvvet Esaslı Doğrusal Yöntemle Öngerilmeli Bir Köprü Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

- Verma, S., 2017. Analysis and Design of Concrete T-Beam Girder Bridge and Box Girder Bridge, A Comparative Study, M.Sc. Dissertation. Jaypee University of Information Technology Department of Civil Engineering, Solan Himachal Pradesh, India.
- Wang, C., 2014. *Computational Analysis and Design of Bridge Structures*. CRC Press, New York, 616 s.
- Yaman, E., 2018. Modeling of Thermal Behavior of Concrete Bridge Girders, Master of Science Thesis. University of Gaziantep Graduate School of Natural and Applied Science, Gaziantep, Turkey.

