

**ÇELİK KEMER KÖPRÜLERİN
SONLU ELEMANLAR PROGRAMI
İLE MODELLENMESİ**

Hasan Ali AKCA

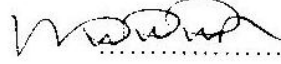
**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2009
ANKARA**

Hasan Ali AKCA tarafından hazırlanan ÇELİK KEMER KÖPRÜLERİN SONLU ELEMENLAR PROGRAMI İLE MODELLENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Meral BEĞİMGİL



Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

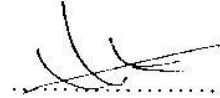
Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mehmet Emin TUNA



Mimarlık Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Meral BEĞİMGİL



İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Doç. Dr. Kurtuluş SOYLUK



İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Tarih: 26/06/2009

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nail ÜNSAL



Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



Hasan Ali AKCA

**ÇELİK KEMER KÖPRÜLERİN SONLU ELEMENLAR PROGRAMI İLE
MODELLENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Hasan Ali AKCA

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2009**

ÖZET

Bu çalışma kapsamında dört adet çelik kemer yaya köprüsünün, bilgisayar destekli analiz, analiz sonuçlarına göre de tasarımı yapılmıştır. Böylece bu modellerin birbirleriyle kıyaslanma olanağı doğmuştur.

Modellemeler yapılırken iki farklı açıklık seçilmiştir. Her bir açıklık için çelik boru profil ve I profil için modellemeler tekrarlanmıştır. Daha sonra ise oluşan tesirlere göre kesit tasarımları ilgili Türk standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Bu tasarım sonucunda modellemeler birbiri içerisinde deformasyon, moment ve eksenel yük vb. parametrelerde kıyaslanmıştır.

Bilim Kodu : 911.1.144
Anahtar Kelimeler : Sonlu elemanlar, kemer köprü, çelik, modelleme
Sayfa Adedi : 61
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Meral BEGİMGİL

**MODELLING OF STEEL ARCH BRIDGE WITH FINITE ELEMENT
MODELLING PROGRAM**

(M.Sc. Thesis)

Hasan Ali AKCA

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

June 2009

ABSTRACT

In this study, computer aided analysis of four steel truss arch pedestrian bridges are performed and then the design of the bridges are completed according to obtained result from the analysis. Therefore, it was possible to compare these models.

Models are done by two different spans. For each span, models are repeated with steel pipe profile and steel I profile. After that, sections are designed according to related Turkish Standards. In conclusion, models are compared by the parameters joint displacement, axial force, moment etc.

Science Code : 911.1.144
Key words : Finite element modelling, arch bridge, steel, modelling
Page Number : 61
Adviser : Yrd. Doç. Dr. Meral BEĞİMGİL

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez çalışmalarım sürecinde değerli zamanını benim için ayırarak yardımlarını esirgemeyen, yapıcı önerileriyle değerli katkılarda bulunarak beni yönlendiren değerli hocam Yrd. Doç.Dr. Meral Begimgil'e;

Yüksek lisans öğrenimim boyunca her an maddi ve manevi varlığını ve desteğini yanımda hissettiğim ve lisanslı SAP 2000 programını kullanmama izin veren ÇESKON Müh.İnş. A.Ş. Genel müdürü Güner İnci'ye;

En zor günlerimde hep yanımda olan, sevgisiyle bana yaşama ve başarma azmi veren ve hayatımın her döneminde benden maddi manevi hiçbir yardımını esirgemeyen sevgili annem Fadime Akca' ya şükranlarımı sunarım. Eğer O olmasaydı, bu zor ve yorucu çalışma asla tamamlanamazdı.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kemer Sistemler	2
1.2. Kemerin Tarihçesi.....	2
1.3. Kemer Tipleri	3
1.4. Kemerin Diğer Köprü Tipleri ile Karşılaştırması	5
1.5. Kemer Köprü Tasarımı	6
1.6. Tezin Amacı ve Yöntem.....	7
2. ANALİZ VE TASARIM.....	9
2.1. Yükler	9
2.1.1. Ölü yük	9
2.1.2. Hareketli yük	9
2.1.3. Rüzgâr yükü	9
2.1.4. Deprem yükü.....	10
2.1.5. Sıcaklık yükü	10
2.2. Kombinasyonlar	11

Sayfa

2.3. Modellemeler	12
2.3.1. Model 1	13
2.3.2. Model 1 yükleme görünüşleri	14
2.3.3. Model 1 eksenel yük ve moment diyagramları	20
2.3.4. Model 1 deformasyon görünüşü	21
2.3.5. Model 2	21
2.3.6. Model 2 yükleme görünüşleri	22
2.3.7. Model 2 eksenel yük ve moment diyagramları	27
2.3.8. Model 2 deformasyon görünüşü	28
2.3.9. Model 3	28
2.3.10. Model 3 yükleme görünüşleri	29
2.3.11. Model 3 eksenel yük ve moment diyagramları	35
2.3.12. Model 3 deformasyon görünüşü	36
2.3.13. Model 4	36
2.3.14. Model 4 yükleme görünüşleri	37
2.3.15. Model 4 Eksenel yük ve moment diyagramları	42
2.3.16. Model 4 deformasyon görünüşü	43
3. ELEMENLERİN BOYUTLANDIRILMASI	44
3.1. Malzeme Bilgisi	44
3.2. Elemanların Boyutlandırılması	45
3.3. Sonuçların Değerlendirilmesi	45
4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	48
KAYNAKLAR	51

Sayfa

EKLER	52
EK-1 Model 1 Eleman Kesit Tablosu	53
EK-2 Model 2 Eleman Kesit Tablosu	54
EK-3 Model 3 Eleman Kesit Tablosu	55
EK-4 Model 4 Eleman Kesit Tablosu	56
EK-5 Model 1 Eleman Kesit Tasarımları	57
ÖZGEÇMİŞ	61

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Üç mafsallı kemer	4
Şekil 1.2. İki mafsallı kemer	4
Şekil 1.3. Bir mafsallı kemer	4
Şekil 1.4. İki ucu ankastre kemer	4
Şekil 1.5. Çeşitli şekillerde kemer köprüler	5
Şekil 2.1. Model açıklık ve yükseklik gösterimi.....	13
Şekil 2.2. Model 1 perspektif görünümü.....	14
Şekil 2.3. Model 1 hareketli yük yüklemesi (LLLeft)	14
Şekil 2.4. Model 1 hareketli yük yüklemesi (LLRight).....	15
Şekil 2.5. Model 1 yanal rüzgâr yüklemesi (WIND)	15
Şekil 2.6. Model 1 kemer yatay rüzgâr yüklemesi yakınlaştırılmış görünümü	16
Şekil 2.7. Model 1 kemer düşey rüzgâr yüklemesi (WINDUPDW)	16
Şekil 2.8. Model 1 kemer düşey rüzgâr yüklemesi yakınlaştırılmış görünümü	17
Şekil 2.9. Model 1 platform düşey rüzgâr yüklemesi (WINDPLT).....	17
Şekil 2.10. Model 1 pozitif sıcaklık yüklemesi (TEMPL)	18
Şekil 2.11. Model 1 pozitif sıcaklık yüklemesi yakınlaştırılmış görünümü	18
Şekil 2.12. Model 1 negatif sıcaklık yüklemesi(TEMMN)	19
Şekil 2.13. Model 1 negatif sıcaklık yüklemesi yakınlaştırılmış görünümü ...	19
Şekil 2.14. Model 1 eksenel yük diyagramı	20

Şekil	Sayfa
Şekil 2.15. Model 1 moment diyagramı.....	20
Şekil 2.16. Model 1 deformasyon görünümü.....	21
Şekil 2.17. Model 2 genel görünümü.....	21
Şekil 2.18. Model 2 hareketli yük yüklemesi (LLLeft)	22
Şekil 2.19. Model 2 hareketli yük yüklemesi (LLRight).....	22
Şekil 2.20. Model 2 yanal rüzgâr yüklemesi (WIND)	23
Şekil 2.21. Model 2 kemer yatay rüzgâr yüklemesi yakınlaştırılmış görünümü	23
Şekil 2.22. Model 2 kemer düşey rüzgâr yüklemesi (WINDUPDW)	24
Şekil 2.23. Model 2 kemer düşey rüzgâr yüklemesi yakın görünümü	24
Şekil 2.24. Model 2 platform düşey rüzgâr yüklemesi (WINDPLT).....	25
Şekil 2.25. Model 2 pozitif sıcaklık yüklemesi (TEMPL)	25
Şekil 2.26. Model 2 pozitif sıcaklık yüklemesi yakınlaştırılmış görünümü	26
Şekil 2.27. Model 2 negatif sıcaklık yüklemesi(TEMMN)	26
Şekil 2.28. Model 2 negatif sıcaklık yüklemesi yakınlaştırılmış görünümü ...	27
Şekil 2.29. Model 2 eksenel yük diyagramı.....	27
Şekil 2.30. Model 2 moment diyagramı.....	28
Şekil 2.31. Model 2 deformasyon görünümü.....	28
Şekil 2.32. Model 3 genel görünümü.....	29
Şekil 2.33. Model 3 hareketli yük yüklemesi (LLLeft)	29
Şekil 2.34. Model 3 hareketli yük yüklemesi (LLRight).....	30
Şekil 2.35. Model 3 yanal rüzgâr yüklemesi (WIND)	30
Şekil 2.36. Model 3 yanal rüzgâr yüklemesi yakınlaştırılmış görünümü	31

Şekil	Sayfa
Şekil 2.37. Model 3 kemer düşey rüzgâr yüklemesi (WINDUPDW)	31
Şekil 2.38. Model 3 kemer düşey rüzgâr yüklemesi yakın görünümü	32
Şekil 2.39. Model 3 platform düşey rüzgâr yüklemesi (WINDPLT).....	32
Şekil 2.40. Model 3 pozitif sıcaklık yüklemesi (TEMPL)	33
Şekil 2.41. Model 3 pozitif sıcaklık yüklemesi yakınlaştırılmış görünümü	33
Şekil 2.42. Model 3 negatif sıcaklık yüklemesi (TEMMN)	34
Şekil 2.43. Model 3 negatif sıcaklık yüklemesi yakınlaştırılmış görünümü ...	34
Şekil 2.44. Model 3 eksenel yük diyagramı	35
Şekil 2.45. Model 3 moment diyagramı	35
Şekil 2.46. Model 3 deformasyon görünümü.....	36
Şekil 2.47. Model 4 genel görünümü.....	36
Şekil 2.48. Model 4 hareketli yük yüklemesi (LLLeft)	37
Şekil 2.49. Model 4 hareketli yük yüklemesi (LLRight).....	37
Şekil 2.50. Model 4 yanal rüzgâr yüklemesi (WIND)	38
Şekil 2.51. Model 4 yanal rüzgâr yüklemesi yakınlaştırılmış görünümü	38
Şekil 2.52. Model 4 kemer düşey rüzgâr yüklemesi (WINDUPDW)	39
Şekil 2.53. Model 4 kemer düşey rüzgâr yüklemesi yakın görünümü	39
Şekil 2.54. Model 4 platform düşey rüzgâr yüklemesi (WINDPLT).....	40
Şekil 2.55. Model 4 pozitif sıcaklık yüklemesi (TEMPL)	40
Şekil 2.56. Model 4 pozitif sıcaklık yüklemesi yakınlaştırılmış görünümü	41
Şekil 2.57. Model 4 negatif sıcaklık yüklemesi (TEMMN)	41
Şekil 2.58. Model 4 negatif sıcaklık yüklemesi yakınlaştırılmış görünümü ...	42
Şekil 2.59. Model 4 eksenel yük diyagramı	42

Şekil	Sayfa
Şekil 2.60. Model 4 moment diyagramı.....	43
Şekil 2.61. Model 4 deformasyon görünümü.....	43

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Tepki salınım fonksiyonu.....	10
Çizelge 2.2. Yük kombinasyonları.....	11
Çizelge 2.3. Model tanımları	13
Çizelge 3.1. Çelik malzeme bilgisi.....	44
Çizelge 3.2. Deformasyon tablosu	46
Çizelge 3.3. Kemer iç kuvvetler tablosu	47
Çizelge 3.4. Yapı toplam ağırlık tablosu.....	47

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
A	En kesit alanı
E	Çeliğin elastisite modülü
G	Çeliğin kayma modülü
h	Kemer ok yüksekliği
I	Atalet momenti
i_x, i_y	Atalet yarı çapı
k	Burkulma katsayısı
l	Kemer açıklığı
M_2	2 yönünde moment
M_3	3 yönünde moment
P	Eksenel yük
s	Çubuk boyu
St	Çeliğin kalite sembolü
s_k	Çubuk burkulma boyu
W_{2-2}	2-2 yönünde mukavemet momenti
W_{3-3}	3-3 yönünde mukavemet momenti
α_t	Isı genleşme katsayısı
λ	Narinlik katsayısı
σ_a	Malzeme akma gerilmesi
σ_{bem}	Basınç emniyet gerilmesi
$\sigma_{çem}$	Çekme emniyet gerilmesi
ω	Burkulma ile ilgili katsayı

Kısaltmalar**Açıklama****TS**

Türk Standartı

MÖ

Milattan önce

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun yaptığı tüm keşifler hayatını sürdürebilmek içindir. İlk olarak yaşayacak yerler keşfetmiş, yemek için bir şeyler bulmuş, özellikle avlanmak için yeni aletler icat etmiş ve barınmak için binalar inşa etmiştir. Köprüler bu örneklerden bir tanesidir. İlk köprüler, engelleri veya açıklıkları geçmek için MÖ 5000'li yıllarda tahtadan yapılmıştır.

Başta kolay gibi görülen bu yapılar açıklıkların artması ve araya kolonlar eklenerek birden fazla açıklık olması nedeni ile zamanla daha karmaşık hale gelmiştir. Yapının karmaşıklığı ve büyüklüğü yapının sosyal önemini ön plana çıkartmıştır. Böylece köprüler sadece yapısal değil aynı zamanda sosyal bir obje olarak da ön plana çıkmıştır.

En basit köprü bir ağaç kütüğünün bir nehrin üzerine yerleştirilerek, insanların nehrin bir yakasından diğer yakasına geçmesini sağlamıştır. İlk köprüler ahşap olmakla birlikte, tahtanın dış etkilerle çabuk özelliğini yitirmesi nedeniyle zamanla tahta yerine taş köprülerde kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonraları ise insanın demiri şekillendirebilmesi ile demir köprüler ön plana çıkmıştır. İlk demir köprü, 1777 yılında T. M. Pritchard tarafından tasarlanan Coalbrookdale köprüsüdür. Bu köprünün açıklığı ise 31 metredir. Dökme demirin çekme dayanımının çok olmamasından dolayı, bu malzemeyle yapılan köprüler çoğunlukla kemer şeklinde tasarlanmıştır.

1784 yılında ise dövme çeliğin icadıyla daha büyük açıklıklar geçilmeye başlandı. Bunların ilkleri arasında 140 metre açıklık geçen ve demir kutu kesitten imal edilmiş olan Britannia köprüsü vardır. Dökme çeliğin en büyük dezavantajı düşük çekme gerilmesi idi. Teknolojinin ilerlemesi ile, 1850 li yıllarda demir ve karbon alaşımıyla çelik icat edildi. Çelikle yapılan ilk köprü, 1890 yılında İskoçya'da yapılan ve 521 metre açıklık geçen Forth köprüsüdür.

1.1. Kemer Sistemler

Uzun açıklıklar için kullanılan yapı şekillerinden birisi kemer sistemlerdir. Kemerler düşey reaksiyonların yanı sıra, yatay reaksiyonlar tarafından da desteklenen yapılardır. Yatay reaksiyonlar belirgin bir itme uygulayacak kapasitede olmalıdır. Eğer bu olmazsa kemer eğik giriş gibi davranır. Eğik girişlerde yüksek eğilme momentleri oluşurken, kemerlerde küçük eğilme momentleri oluşur. Yatay itmeler düşey reaksiyonların oluşturduğu momentlerin karşılanmasını sağlarlar. Buna göre düzgün yayılı düşey yük etkisi altında merkez eksenli parabol olan bir kemerde, eğilme momenti olmaz[1].

Düşük eğilme momentleri olduğu için de kemer, eski yapılarda oldukça fazla tercih edilmiştir. Kemerlerde yatay reaksiyonlar söz konusu olduğunda, temel bu yükü taşıyacak kapasitede olmalıdır. Kaya zeminler bu tip kemerler için uygundur. Bazı durumlarda ise mesnetler birbirine kablo ile bağlanır.

1.2. Kemerin Tarihçesi

Kemerlerin kullanımı oldukça eskilere dayanır. Eski Mısır'da kemerler, taşıyıcı bir sistem olarak değil, mimari amaçlarla yapılmıştır. Uyguladığı kuvvet ile kemerler, Mısırlıları ürkütmüştür " kemer asla uyumaz " deyimini bu dönemde kullanılmıştır. Bu durum mesnetlerdeki yatay itmenin mesnetlerin göçmesine neden olabileceği inancının o dönemlerde mevcut olduğunu göstermektedir [2]. Babil döneminde kanalizasyon sistemiyle bağlantılı olarak kemer yapımı M.Ö. 1300 yıllarına kadar gitmektedir. Eski Çin'de ise bu tür yapıların ne zaman kullanıldıkları konusunda bir bilgi yoktur. Bu örneklerin hiçbiri tam olarak bir kemer gibi görünmese de kemer yapıların tarihi geçmiş ve modern mimariyi etkilemesi açısından oldukça önemlidir [3].

Gerçek kemer tipi bir yapının ilk kullanımı Romalılar zamanında olmuştur. Kemerleri köprü yapımında da ilk olarak Romalılar kullanmıştır. Bu dönemde

yapılmış en uzun açıklıklı köprülerden birisi, Narni de yapılmıştır. Kemer ok yüksekliği 30 metre civarında olup, en uzun açıklığı 35 metre civarındadır. Roma dönemine ait kemer yapılar, kesme taş veya tuğladan yapılmıştır. Bunun yanı sıra içi beton dolgulu ya da dolgusuz taşlar da kullanılmıştır. Rönesans döneminde de pek çok yığma kemer köprü inşa edilmiştir. Ancak bu dönemler, mühendislikten ziyade mimari gelişmenin baskın olduğu dönemlerdir. Kemer yapılarda modern periyot 1700 lerde başlamıştır. Bu dönemde bir ayak üzerinde birleşen iki kemerin itme kuvvetinin birbirini dengeleyeceği düşünülmüş, bu durumda köprü ayağının sadece düşey yük etkisinde bırakacağı görüşü, bu tip yapıların gerçekleştirilmesinde temel prensip olarak belirlenmiştir. Betonarmenin devreye girmesi, kemer köprülerin yapımında büyük gelişme sağlanmasına neden olmuştur.

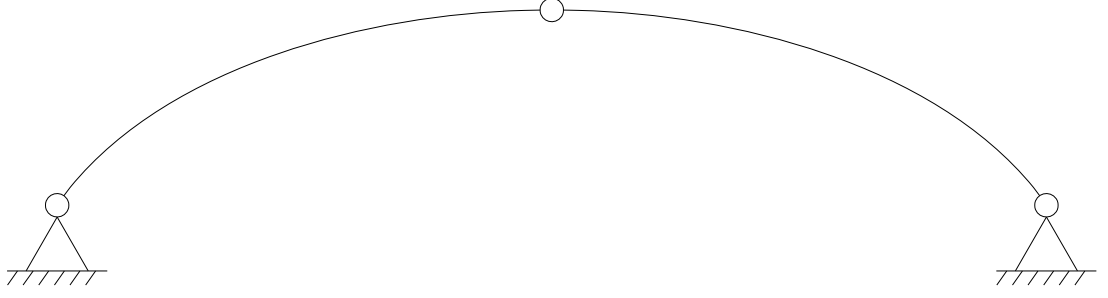
Yüksek dayanımlı çelik alaşımların son dönemlerde hızlı bir gelişim kaydetmesi, metal yapımında itici güç olmuştur. Düşük ağırlık ve yüksek dayanım gösteren alaşımların da devreye girmesiyle ağırlıktan da tasarruf yapılabilmesi metal kemer köprülerin ekonomik ve fiziksel sınırlarını da etkilemiştir.

Kemer köprülerin yapımında pek çok malzeme kullanılmakla birlikte, malzeme seçimi kullanım durumuna göre de değişir. Kısa açıklıklı yapılarda betonarme, orta açıklıklı yapılarda hem betonarme hem de çelik kullanılabilir. Bununla birlikte çok uzun açıklıklar söz konusu olduğunda çelik ya da yüksek dayanımlı alaşımlar en iyi çözüm olmaktadır.

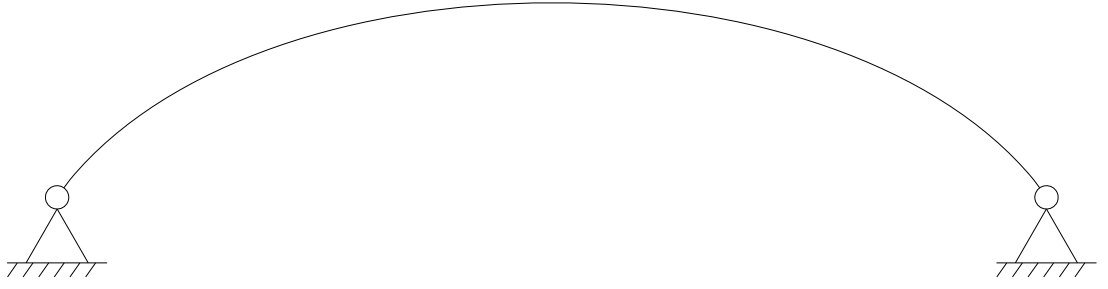
1.3. Kemer Tipleri

Eski dönemlerde dairesel formlar kullanılmakla birlikte, daha sonra eliptik formlar ve başka formlar da devreye girmiştir. Günümüzün modern köprülerinde eliptik, parabolik, yarım daire, dairesel yaylar veya poligon şeklinde kemerler mevcuttur. En çok kullanılan kemer tipleri;

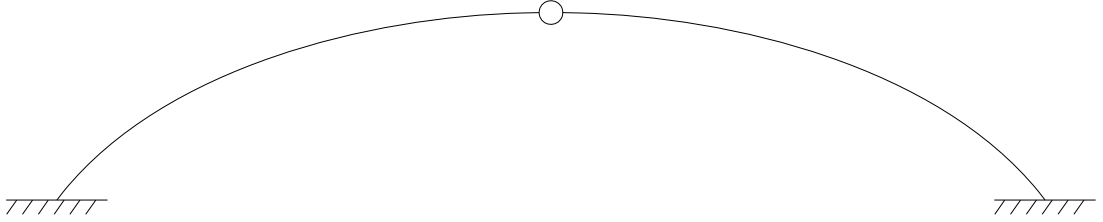
- Üç mafsallı kemer
- İki mafsallı kemer
- Bir mafsallı kemer
- İki ucu ankastre kemerdur.



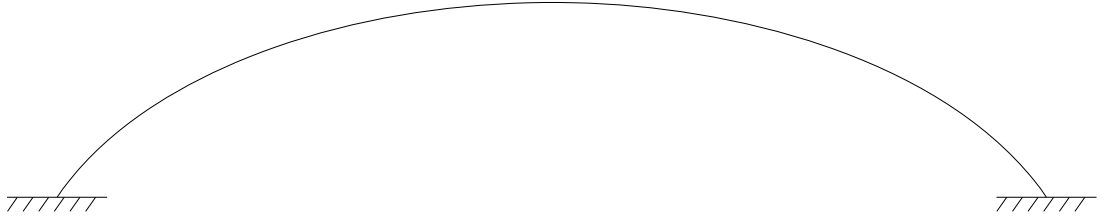
Şekil 1.1. Üç mafsallı kemer



Şekil 1.2. İki mafsallı kemer

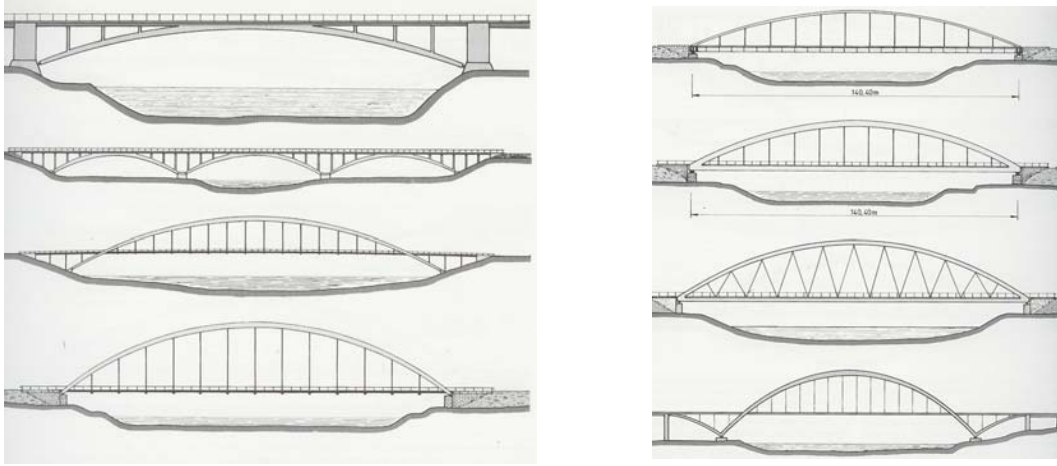


Şekil 1.3. Bir mafsallı kemer



Şekil 1.4. İki ucu ankastre kemer

Burada esneklik üç mafsallı kemerden her iki ucu ankastre kemere doğru gidildikçe azalmaktadır. Üç masallı kemerler köprü ve binaların yapımında kullanılmaktadır. Köprü yapımında kullanıldığında köprü kafes formunu alır. Üç mafsallı kemerlerde mesnetlerde aşırı oturma olabilir. Buna karşılık büyük eğilme momentleri oluşmaz. Her iki ucu mafsallı kemerler ise daha rijit bir temel gerektirir. Rijitlik yüksek olduğundan, temelde oluşacak farklı oturmalar, yüksek gerilmelere neden olabilir. Eğer yeterince rijit bir temel söz konusu olursa, her iki ucu ankastre kemer üç mafsallı kemere göre daha ekonomiktir ve daha az deplasman oluşur.



Şekil 1.5. Çeşitli şekillerde kemer köprüler

1.4. Kemerin Diğer Köprü Tipleri ile Karşılaştırması

Basit kirişli köprülerle karşılaştırılması:

Basit açıklık kirişleri veya makaslar normalde en az açıklık geçen yapı tipidir ve maksimum 250 metre açıklık geçebilirler. Kemerler, köprü görünümünün önem kazanması ile çok kısa açıklıklar dışında tercih edilmektedir. Ayrıca kemerler 50–250 metre aralığında bu köprülere göre daha ekonomiktirler.

Konsol veya sürekli makas sistemle karşılaştırılması:

Bu tip için normal kullanım açıklığı 150 metre ile 550 metre aralığıdır. Kemerler ise 150–300 metre aralığında bu köprü tipine göre daha ekonomiktir.

Askılı köprülerle karşılaştırılması:

Askılı köprüler normal şartlarda 150 metreden daha az açıklık için kullanılmazlar. 650 metreden daha büyük açıklıklarda ise en kullanışlı çözümdür. 300 metrenin altında kemerler askılı tipe göre daha ekonomik olsa da açıklığın artmasıyla bu durum tersine dönmektedir.

1.5. Kemer Köprü Tasarımı

Bir köprünün tasarımında dikkate alınması gereken faktörler 3 kategoride ele alınabilir.

- Ekonomik
- Fonksiyonel
- Fiziksel

İlaveten idarenin belirlediği düzenlemeler de karşılanmalıdır. Ekonomi önemli bir rol oynamaktadır. Ekonomi sadece yapının tipi ve kullanılacak malzemenin cinsiyle alakalı değildir. Açıklık sayısı, inşaa metodu ve buna benzer şeyler de ekonomi ile ilgilidir. Dolayısıyla projenin ekonomik fizibilitesi oldukça önem teşkil etmektedir. Fonksiyonel planlama ise seviye ve doğrultunun düşünülmesi, şerit sayısı, ulaşım imkanları ve görünüşler ile ilgilidir. İnşaat alanındaki şartlarda fonksiyonel planlamayı etkiler. Estetik etkin bir performans için şart değilse de, göze hoş görünmeyen bir köprü için tam olarak fonksiyonel değerlendirilmesi yapılmamalıdır. Fiziksel planlama; temel malzemesi, köprü tipi ve açıklık sayısı gibi parametreleri içerir. Temel derinliği ve zemin karakterini belirlemek için sondaj yapılması gerekmektedir.

Eğer köprü bir akarsu üzerindeyse, akış yönü de planlamanın önemli bir parçası olmalıdır [4].

1.6. Tezin Amacı ve Yöntem

Bu çalışmada çelik kemer köprünün analiz ve tasarımı yapılmıştır. Bu amaçla özellikle çelik kemer iki köprünün farklı açıklıklarda tasarımı yapılmıştır. Analizde kullanılan yük etkileri, tasarıma esas olan standartlar yardımıyla belirlenmiştir. Burada elde edilen sonuçlar ilgili elemanların kesitlerinin belirlenmesinde kullanılmış, böylece köprünün tasarımı tamamlanmıştır.

Bu amaçla Ankara'da ilgili standartlara uygun olarak yapılmış bir uygulama yeniden ele alınmıştır. Ayrıca köprünün şekli yaklaşık olarak aynı olmakla birlikte, daha uzun bir açıklık seçilerek model tekrarlanmıştır. İkinci tasarlanan köprü örnek olarak seçilmiş uygulamaya göre %15 civarında daha uzundur.

Analizler için hazır paket program kullanılmıştır. Bunun için dünya çapında geçerliliği olan, Prof.E.L.Wilson ve A.Habibullah tarafından geliştirilen SAP2000 V.11.0.8 kullanılmıştır. Çelik köprülerle ilgili temel bilgiler ve uygulamaya yönelik tasarım bilgilerini de içeren kitaplar mevcuttur [4]. Ayrıca bu tip köprülerin analiz ve tasarımı için gelişmiş ülkelerde çeşitli standartlar da bulunmaktadır [5]. Çelik köprülerin tasarımı sürecinde imalat, sadece çelik malzemeyle sınırlı değildir. Köprüde betonarmenin de kullanıldığı yerler mevcut olup, betonarme tasarım da köprü tasarımı içinde kullanılmaktadır. Literatürde çelik kemer köprülerle ilgili farklı analiz yaklaşımlarını içeren çeşitli çalışmalar vardır [6, 7]. Ülkemizde de çelik yapılarla ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bunların içinde hem çelik yapılarla doğrudan ilgili [8], hem de konuyla ilişkilendirilebilecek [9] çalışmalar mevcuttur.

Bu çalışmanın birinci bölümünde çeliğin, kemer sistemlerin tarihçesi anlatılmış, çeşitli kemer tipleri tanıtılarak köprünün tasarımının ana esasları

ele alınmıştır. Bölüm 2’de çelik ile ilgili malzeme özellikleri detaylı olarak ele alınmış, Bölüm 3’te ise analizi ve tasarımı yapılacak olan çelik kemer köprülerin geometrik detayları verilmiş ve buna göre analiz ve tasarımın nasıl yapılacağı açıklanmıştır. Bölüm 4’ te ise elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

2. ANALİZ VE TASARIM

Bu çalışmada dört adet model yapılacaktır. İlk iki modelde farklı açıklık ve yükseklikteki kemer köprü modelleri I profil kullanılarak modellenmiştir. Daha sonra ise bu I profil kullanılarak yapılan modeller, boru profil kullanılarak tekrar modellenmiştir. Model kıyaslamaları kısmında ise bu modeller birbiri ile detaylı olarak kıyaslanacaktır. İlk aşamada ise yükler açıklanmıştır. Kemer köprüye etki edecek yükler TS-498'e uygun olarak alınmıştır.

2.1. Yükler

2.1.1. Ölü yük

Ölü yük, yapının tüm sabit parçalarını ve ilavelerinin ağırlıklarını kapsamaktadır. Bu yük SAP2000 programı tarafından otomatik olarak alınmaktadır. Tüm ağırlık hesapları için aşağıdaki kabuller yapılmıştır. Bu yük hesaplanırken SAP2000 programına yapısal çelik birim hacim ağırlığı $\gamma = 78,5 \text{ kN/m}^3$ olarak tanımlanmıştır.

2.1.2. Hareketli yük

Hareketli yük, tabliye üzerindeki insan yükünü kapsamaktadır. Hareketli yük, şartnameye uygun olarak $0,500 \text{ ton/m}^2$ olarak alınmıştır. Ayrıca hareketli yük sağ ve sol taraflara ayrı ayrı etki ettirilmiştir.

2.1.3. Rüzgâr yükü

Rüzgâr yükü üç farklı durum olarak yapıya etki ettirilmiştir. 1. durum tabliyeye düşey yönde etki eden rüzgâr yüküdür. 2. durum ise kemere düşey yönde etki eden rüzgâr yüküdür. 3. durum ise kemere ve tabliyeye yatay yönde etki eden rüzgâr yükünü göstermektedir. Rüzgâr yükleri TS-498 Çizelge-5'e uygun olarak, zeminden 0–8 metre yükseklik arasında $0,5 \text{ kN/m}^2$, 9–20 metre aralığında ise $0,8 \text{ kN/m}^2$ olarak alınmıştır. Rüzgâr yükü kesitin birim genişliği ile çarpılarak yapıya etki ettirilmiştir.

2.1.4. Deprem yükü

Yapıya etkiyen deprem yükü SAP 2000 programında “Tepki salınım fonksiyonu” tanımlanarak yapıya yüklenmiştir. Tepki salınımı için tanımlanan fonksiyon aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 2.1. Tepki salınım fonksiyonu

Name	Period	Accel
Text	Sec	Unitless
ABYYHYZ2	0	1
ABYYHYZ2	0,15	2,5
ABYYHYZ2	0,4	2,5
ABYYHYZ2	0,5	2,0913
ABYYHYZ2	0,6	1,8075
ABYYHYZ2	0,7	1,5978
ABYYHYZ2	0,8	1,4359
ABYYHYZ2	0,9	1,3068
ABYYHYZ2	1	1,2011
ABYYHYZ2	1,5	0,8684
ABYYHYZ2	1,9	0,7188
ABYYHYZ2	2,5	0,5771
ABYYHYZ2	3	0,4988
ABYYHYZ2	3,5	0,4409
ABYYHYZ2	4	0,3962
ABYYHYZ2	4,5	0,3606
ABYYHYZ2	5	0,3314
ABYYHYZ2	5,5	0,3071
ABYYHYZ2	6	0,2865
ABYYHYZ2	6,5	0,2687
ABYYHYZ2	7	0,2532
ABYYHYZ2	7,5	0,2396
ABYYHYZ2	8	0,2276
ABYYHYZ2	8,5	0,2168
ABYYHYZ2	9	0,2071
ABYYHYZ2	9,5	0,1983

2.1.5. Sıcaklık yükü

Çelik yapıya +25°C ve -25°C sıcaklık yükü yüklenmiştir.

2.2. Kombinasyonlar

Kombinasyonlar şartnameye uygun olarak aşağıda tabloda gösterildiği gibi tanımlanmıştır.

Çizelge 2.2. Yük kombinasyonları

Kombinasyon Adı	Kombo Tipi	Durum Tipi	Durum Adı	Yük Faktörü
DEADC	Linear Add	Linear Static	DL	1
DEADC		Linear Static	LLLeft	0,5
DEADC		Linear Static	LLRight	0,5
LLC	Linear Add	Linear Static	DL	1
LLC		Linear Static	LLLeft	1
LLC		Linear Static	LLRight	1
DAMAC	Linear Add	Linear Static	DL	1
DAMAC		Linear Static	LLLeft	1
DAMAC		Linear Static	LLRight	0,75
WINDEMT	Linear Add	Linear Static	DL	1
WINDEMT		Linear Static	LLLeft	0,5
WINDEMT		Linear Static	LLRight	0,5
WINDEMT		Linear Static	WIND	1
WIND05LL	Linear Add	Linear Static	DL	1
WIND05LL		Linear Static	LLLeft	0,75
WIND05LL		Linear Static	LLRight	0,75
WIND05LL		Linear Static	WIND	1
05WINDLL	Linear Add	Linear Static	DL	1
05WINDLL		Linear Static	LLLeft	1
05WINDLL		Linear Static	LLRight	1
05WINDLL		Linear Static	WIND	0,5
WIND45DW	Linear Add	Response Combo	DEADC	1
WIND45DW		Linear Static	WIND	1
WIND45DW		Linear Static	WINDUPDW	1
WIND45DW		Linear Static	WINDPLT	1
WIND45UP	Linear Add	Response Combo	DEADC	1
WIND45UP		Linear Static	WIND	1
WIND45UP		Linear Static	WINDUPDW	-1
WIND45UP		Linear Static	WINDPLT	-1
EQXC	Linear Add	Response Combo	LLC	1
EQXC		Response Spectrum	SPECX	1
EQYC	Linear Add	Response Combo	LLC	1
EQYC		Response Spectrum	SPECY	1
TEMPLC	Linear Add	Response Combo	DEADC	1
TEMPLC		Linear Static	TEMPL	1
TEMMNC	Linear Add	Response Combo	DEADC	1
TEMMNC		Linear Static	TEMMN	1
ENVE	Envelope	Response Combo	05WINDLL	1
ENVE		Response Combo	DAMAC	1
ENVE		Response Combo	DEADC	1

Çizelge 2.2. (Devam) Yük kombinasyonları

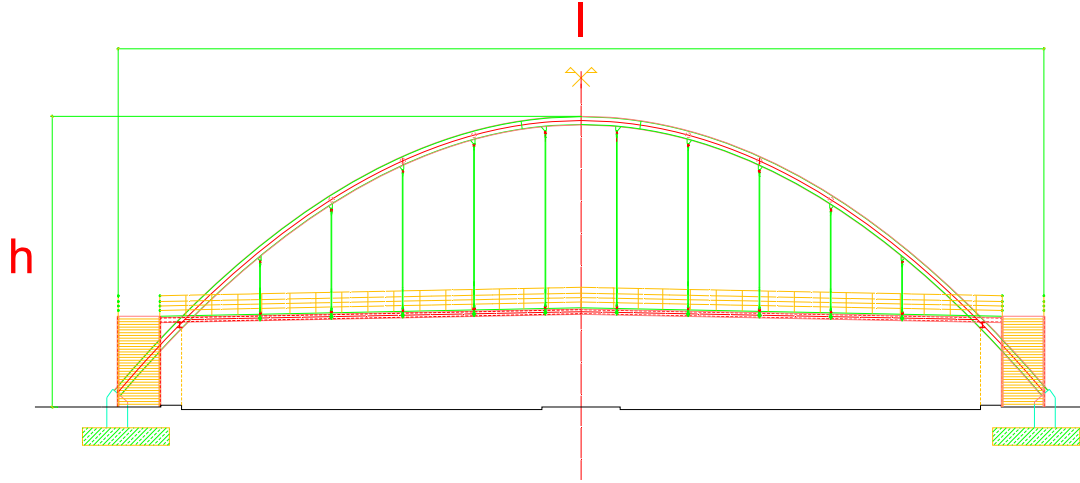
Kombinasyon Adı	Kombo Tipi	Durum Tipi	Durum Adı	Yük Faktörü
ENVE		Response Combo	EQXC	1
ENVE		Response Combo	EQYC	1
ENVE		Response Combo	LLC	1
ENVE		Response Combo	TEMMNC	1
ENVE		Response Combo	TEMPLC	1
ENVE		Response Combo	WIND05LL	1
ENVE		Response Combo	WINDEMT	1
ENVE		Response Combo	WIND45UP	1
ENVE		Response Combo	WIND45DW	1

2.3. Modellemeler

Bu çalışmada farklı açıklık, yükseklik ve profil cinsinde dört adet model yapılmıştır.

Şekil 2.1. Model açıklık ve yükseklik gösteriminde yapının yükseklik ve açıklığını gösteren şekil vardır.

Çizelge 2.3. Model tanımları çizelgesinde ise modellerin detaylı bilgileri bulunmaktadır. Tüm modellerde tabliyeler aynı seçilmiş olup, açıklığı 43 metre olan ilk iki modelde tabliyeyi kemere taşımak için 10 adet kablo, açıklık 53 metre olan üçüncü ve dördüncü modelde ise 12 adet kablo kullanılmıştır.



Şekil 2.1. Model açıklık ve yükseklik gösterimi

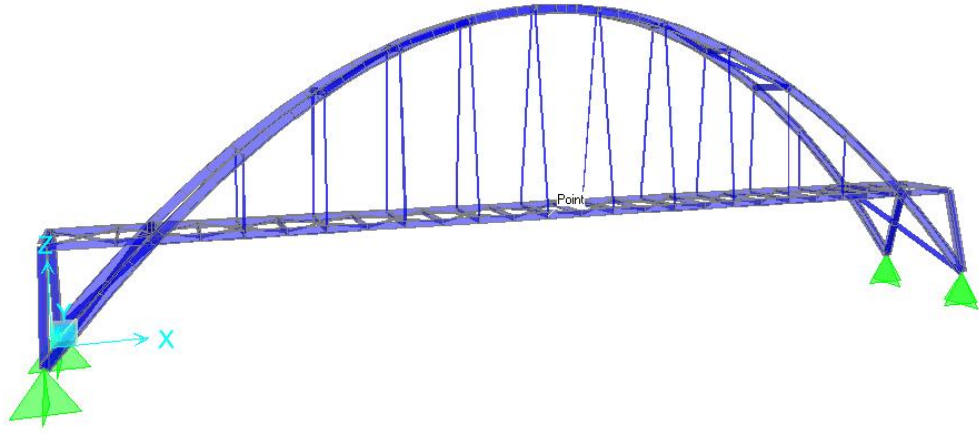
Çizelge 2.3. Model tanımları

Model Adı	Açıklık(l) [m]	Kemer Ok Yüksekliği(h) [m]	Profil Cinsi
Model1	43	13,5	I Profil
Model2	43	13,5	Boru Profil
Model3	53	16,5	I Profil
Model4	53	16,5	Boru Profil

2.3.1. Model 1

Model 1 43 metre açıklığında, 13,5 metre yüksekliğindedir. Model 1'in ana taşıyıcı kemeri HE400-A olarak seçilmiştir.

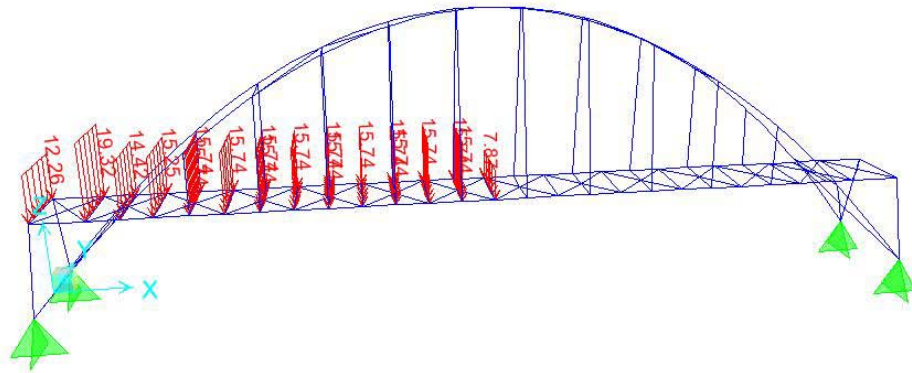
Object Model



Şekil 2.2. Model 1 perspektif görünümü

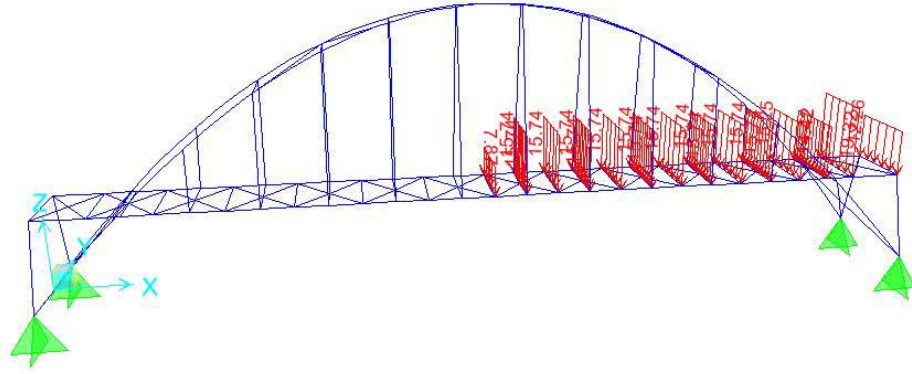
2.3.2. Model 1 yükleme görünümleri

Object Model



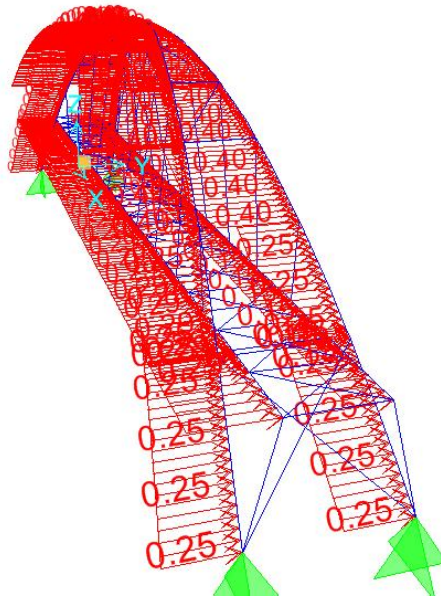
Şekil 2.3. Model 1 hareketli yük yüklemesi (LLLeft)

Object Model

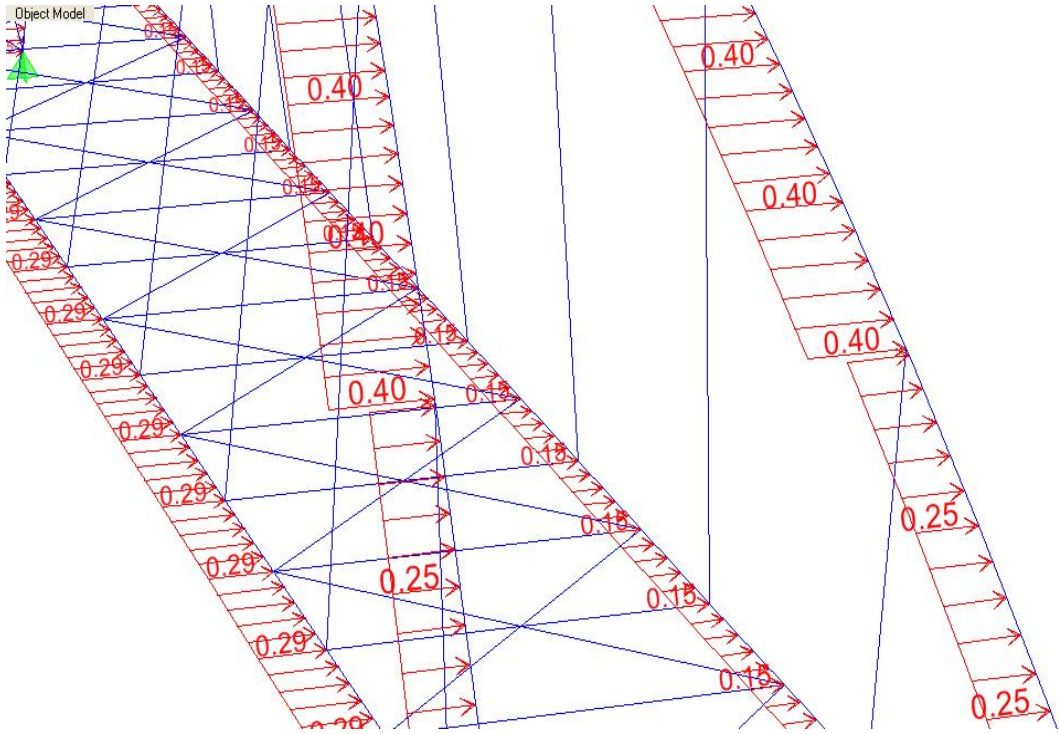


Şekil 2.4. Model 1 hareketli yük yüklemesi (LLRight)

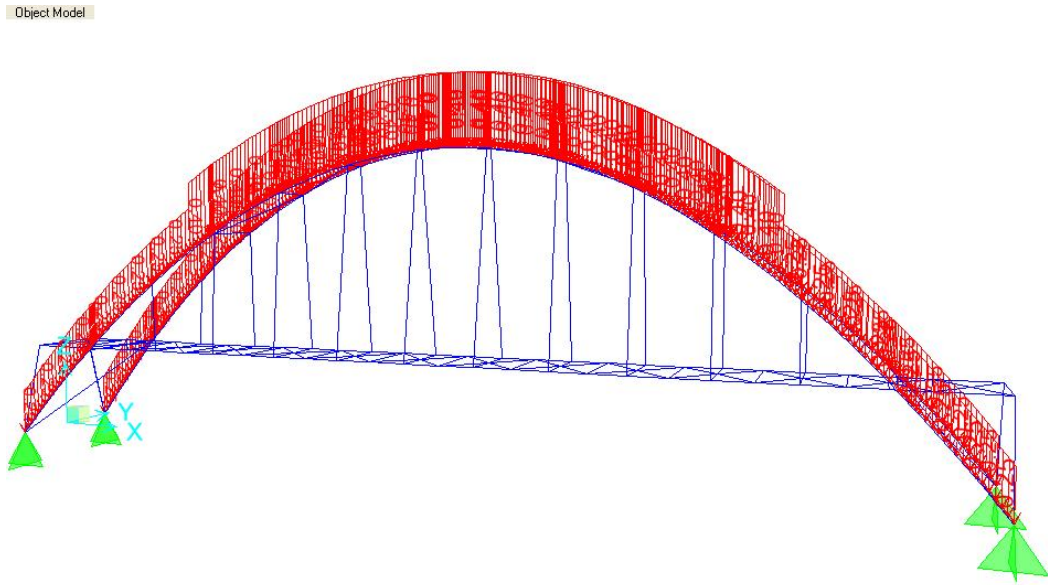
Object Model



Şekil 2.5. Model 1 yanal rüzgâr yüklemesi (WIND)

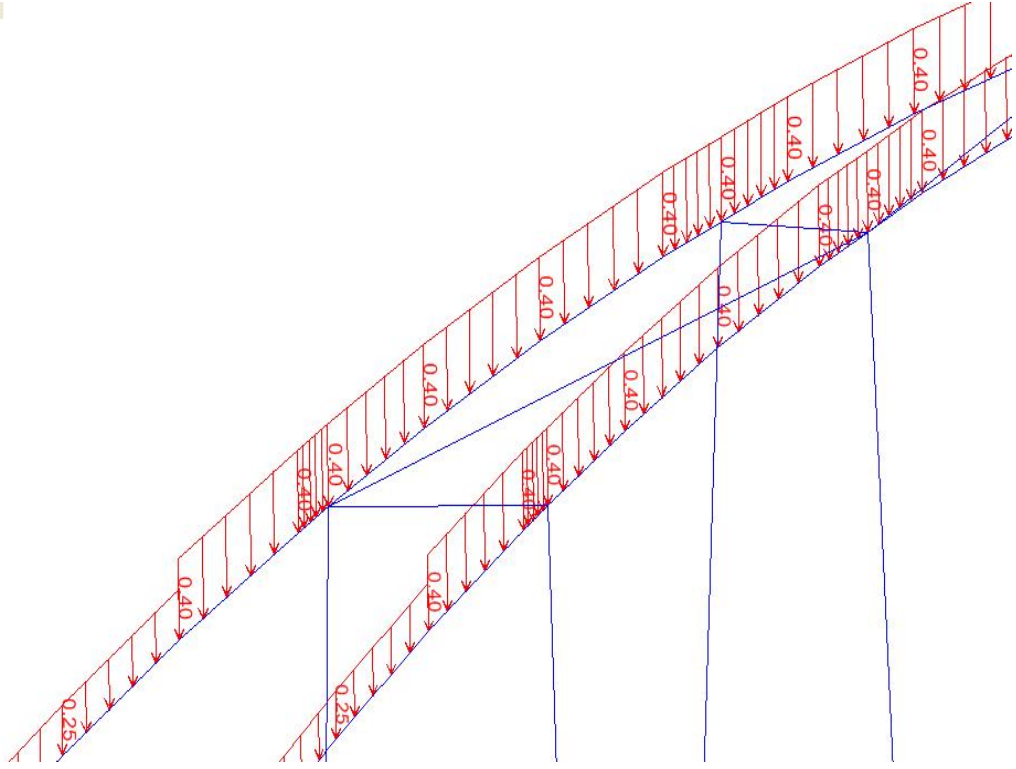


Şekil 2.6. Model 1 kemer yatay rüzgâr yüklemesi yakınlaştırılmış görünümü



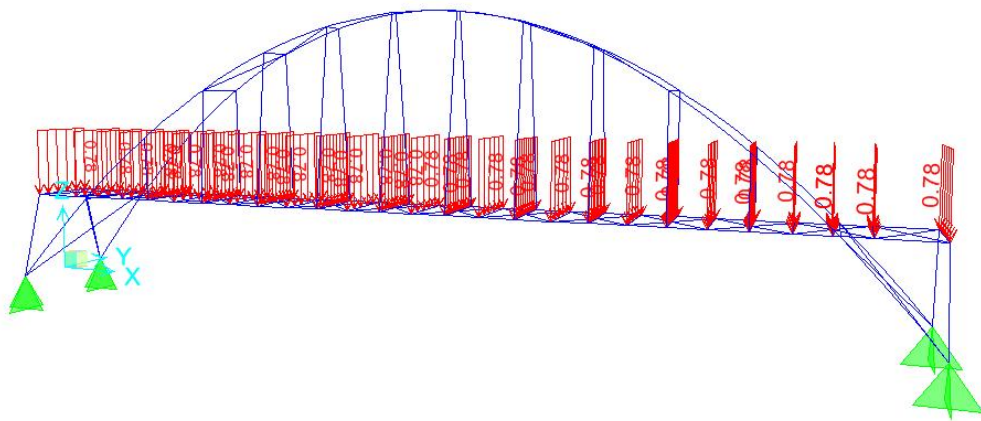
Şekil 2.7. Model 1 kemer düşey rüzgâr yüklemesi (WINDUPDW)

Object Model



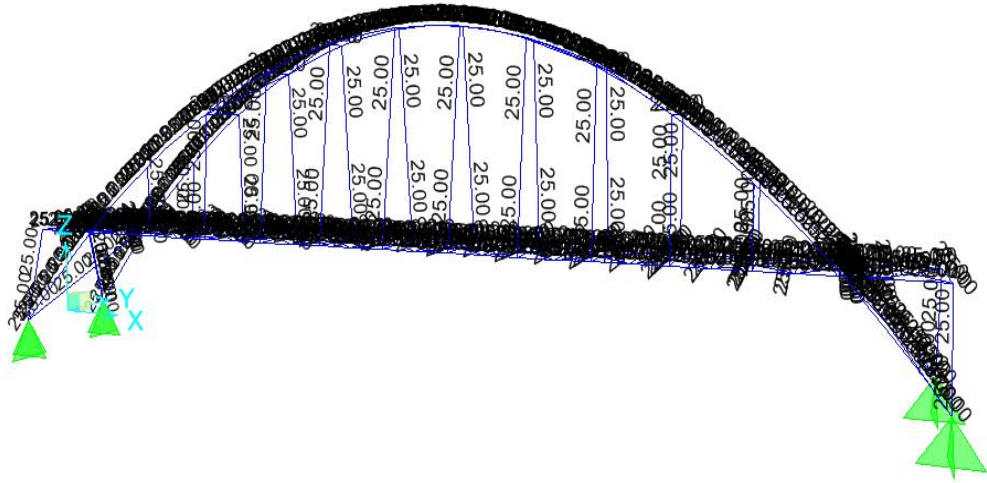
Şekil 2.8. Model 1 kemer düşey rüzgâr yüklemesi yakınlaştırılmış görünümü

Object Model



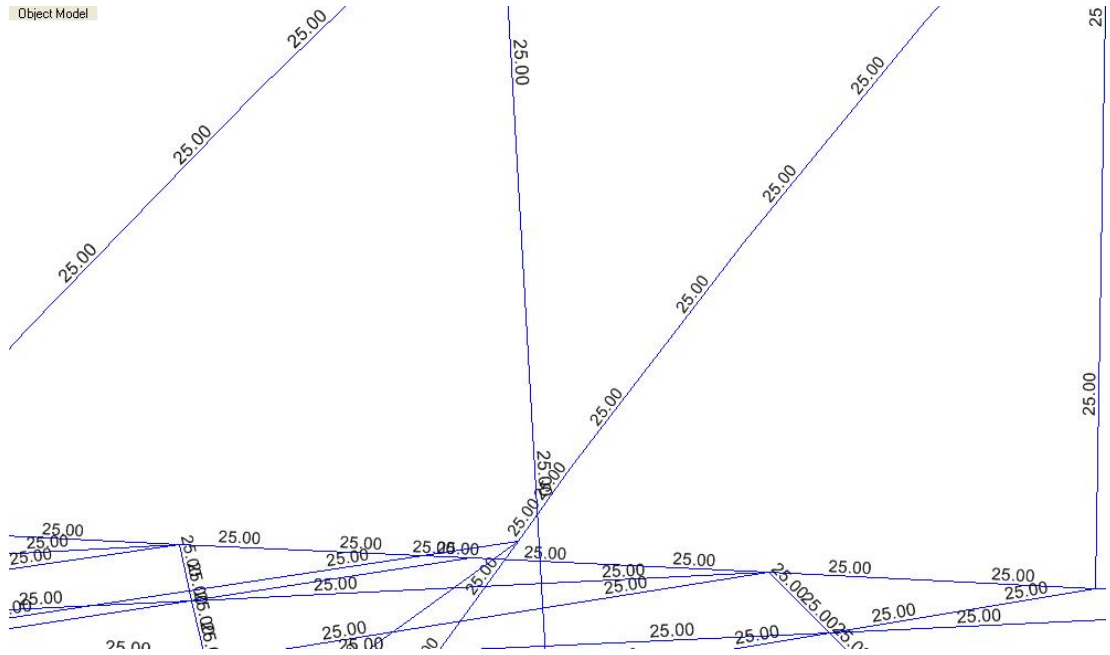
Şekil 2.9. Model 1 platform düşey rüzgâr yüklemesi (WINDPLT)

Object Model



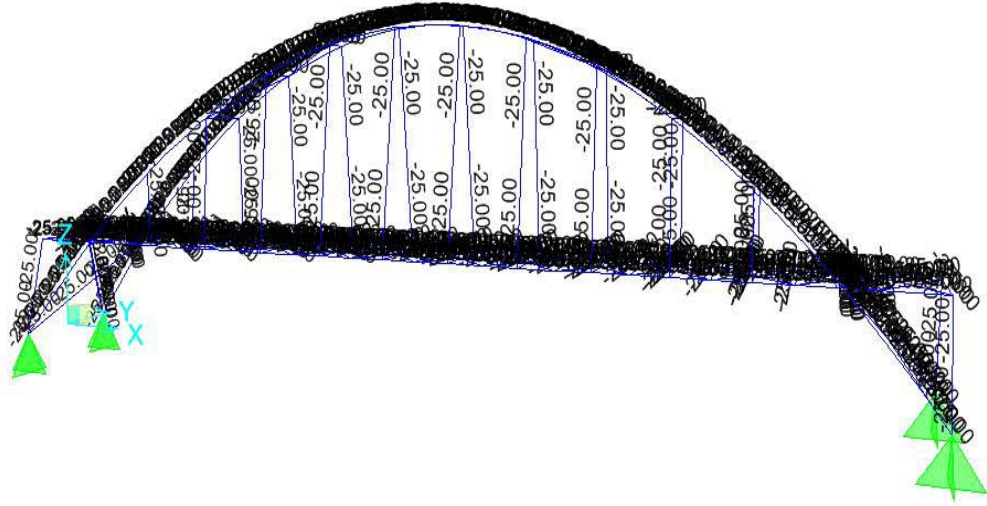
Şekil 2.10. Model 1 pozitif sıcaklık yüklemesi (TEMPL)

Object Model



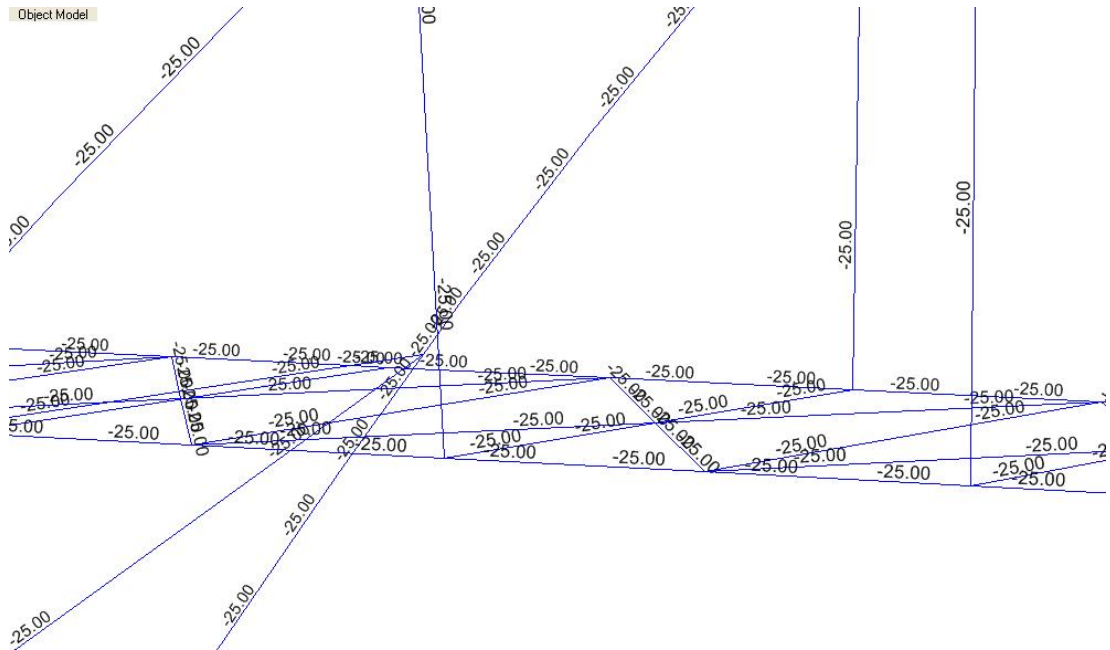
Şekil 2.11. Model 1 pozitif sıcaklık yüklemesi yakınlaştırılmış görünümü

Object Model



Şekil 2.12. Model 1 negatif sıcaklık yüklemesi(TEMN)

Object Model

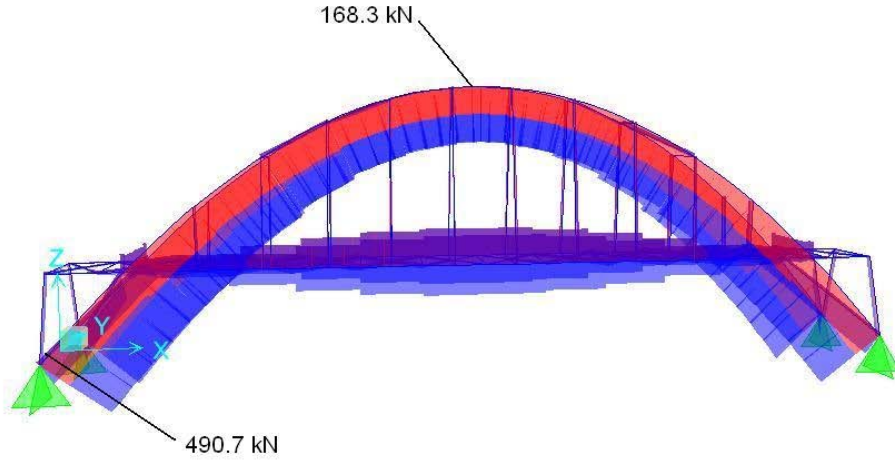


Şekil 2.13. Model 1 negatif sıcaklık yüklemesi yakınlaştırılmış görünümü

2.3.3. Model 1 eksenel yük ve moment diyagramları

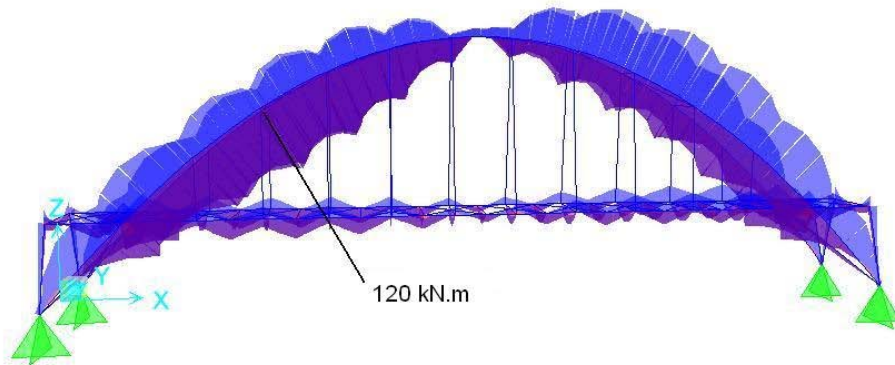
Aşağıdaki moment ve eksenel yük grafiklerinde analizler sonucu Model 1 de oluşan ENVE yük kombinasyonunda oluşan tesirler yer almaktadır.

Analysis Model



Şekil 2.14. Model 1 eksenel yük diyagramı

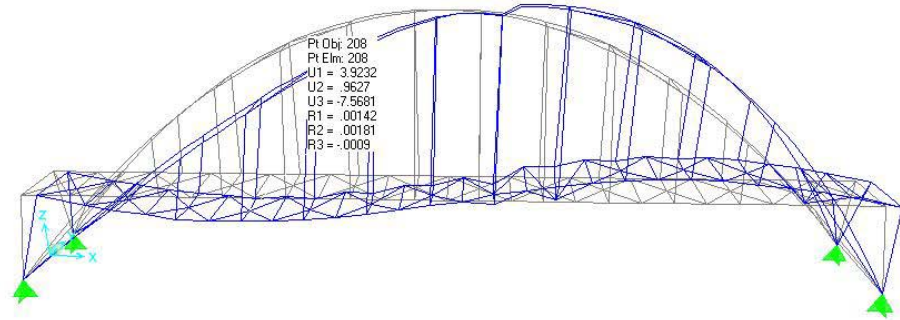
Analysis Model



Şekil 2.15. Model 1 moment diyagramı

2.3.4. Model 1 deformasyon görünümü

Analysis Model

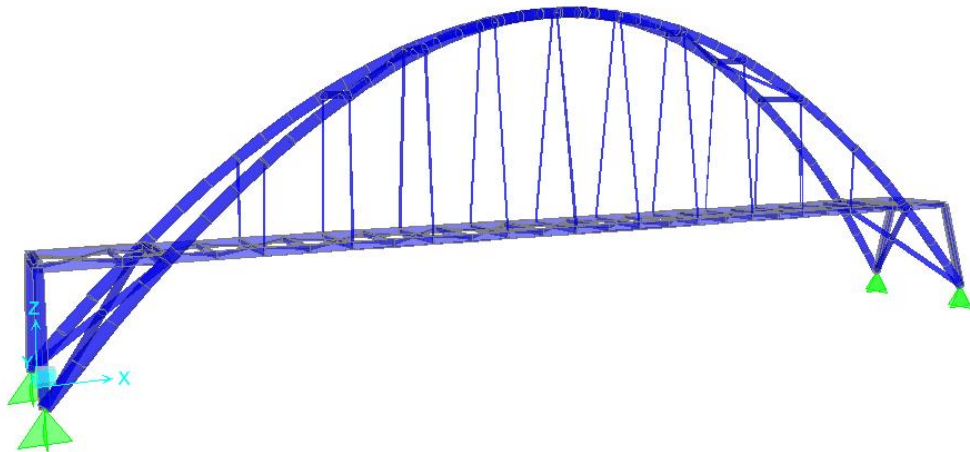


Şekil 2.16. Model 1 deformasyon görünümü

2.3.5. Model 2

Model 2'nin açıklığı 43 metre, kemer ok yüksekliği ise 13,5 metredir. Model 2'nin ana taşıyıcı kemeri boru 457mm çap, 12.5 mm et kalınlıklı boru kesit olarak seçilmiştir.

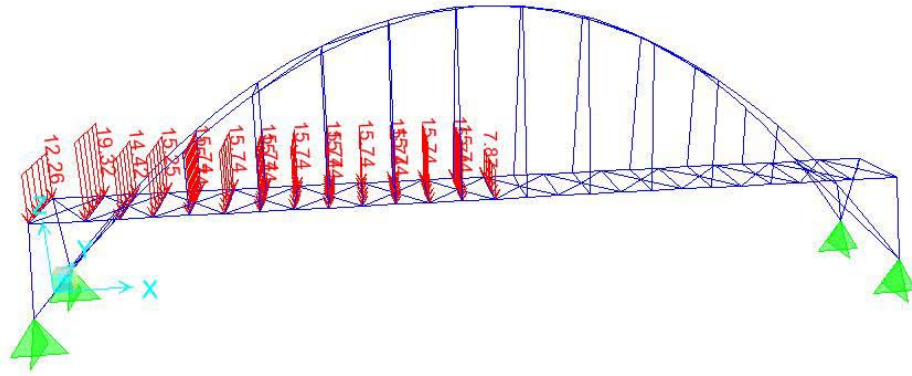
Object Model



Şekil 2.17. Model 2 genel görünümü

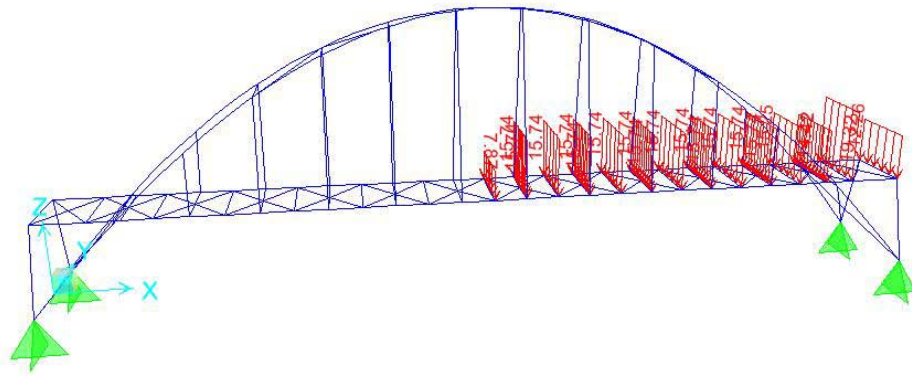
2.3.6. Model 2 yükleme görünümleri

Object Model



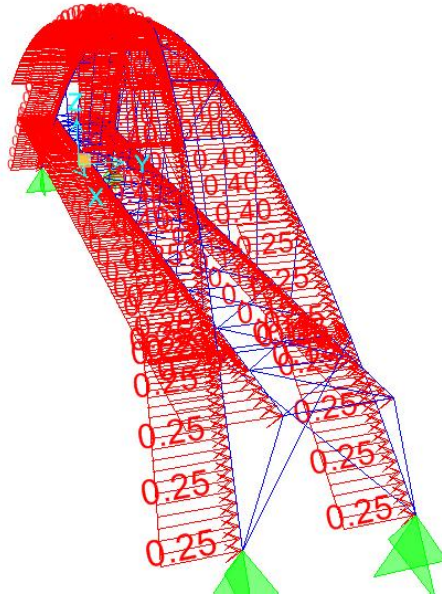
Şekil 2.18. Model 2 hareketli yük yüklemesi (LLLeft)

Object Model



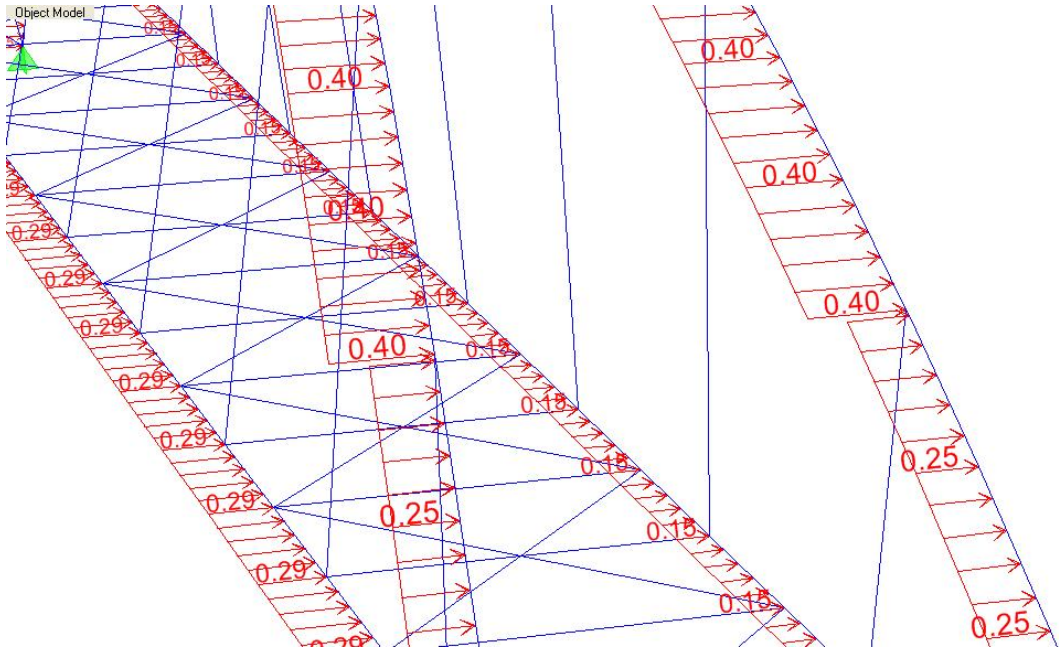
Şekil 2.19. Model 2 hareketli yük yüklemesi (LLRight)

Object Model



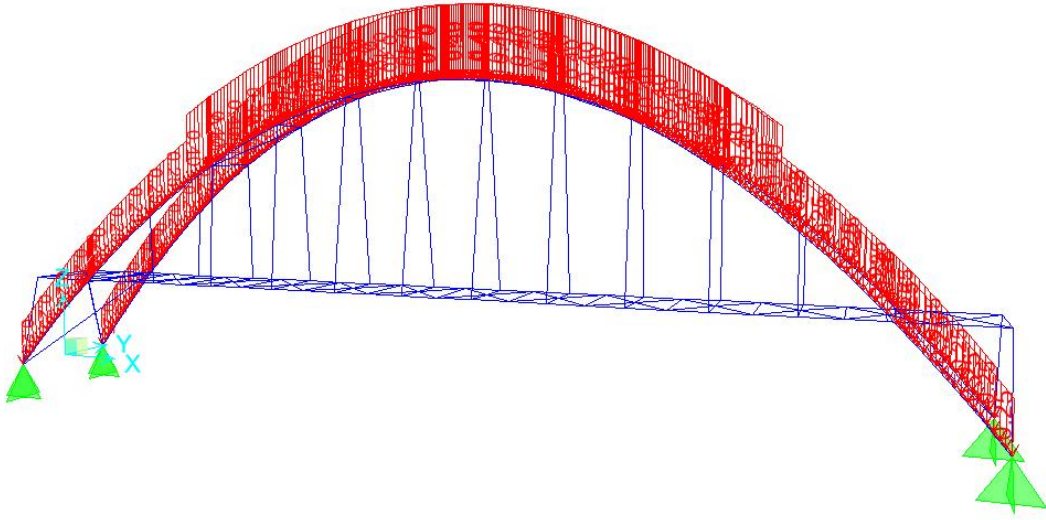
Şekil 2.20. Model 2 yanıl rüzgâr yüklemesi (WIND)

Object Model



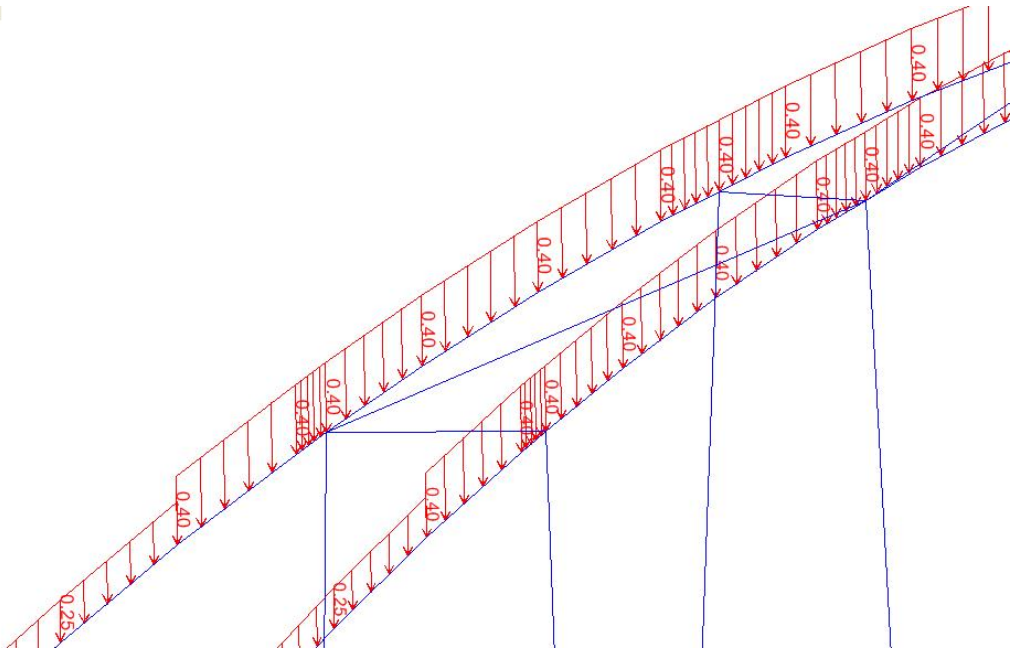
Şekil 2.21. Model 2 kemer yatay rüzgâr yüklemesi yakınlaştırmış görünümü

Object Model



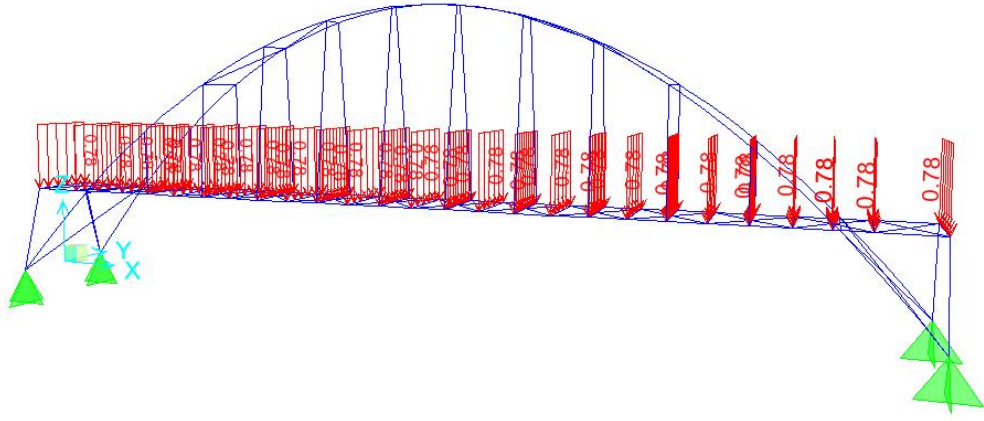
Şekil 2.22. Model 2 kemer düşey rüzgâr yüklemesi (WINDUPDW)

Object Model



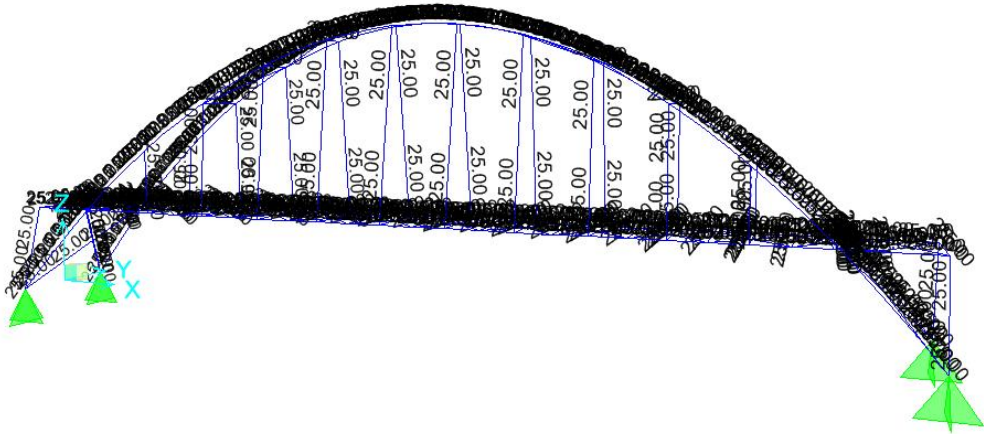
Şekil 2.23. Model 2 kemer düşey rüzgâr yüklemesi yakın görünümü

Object Model

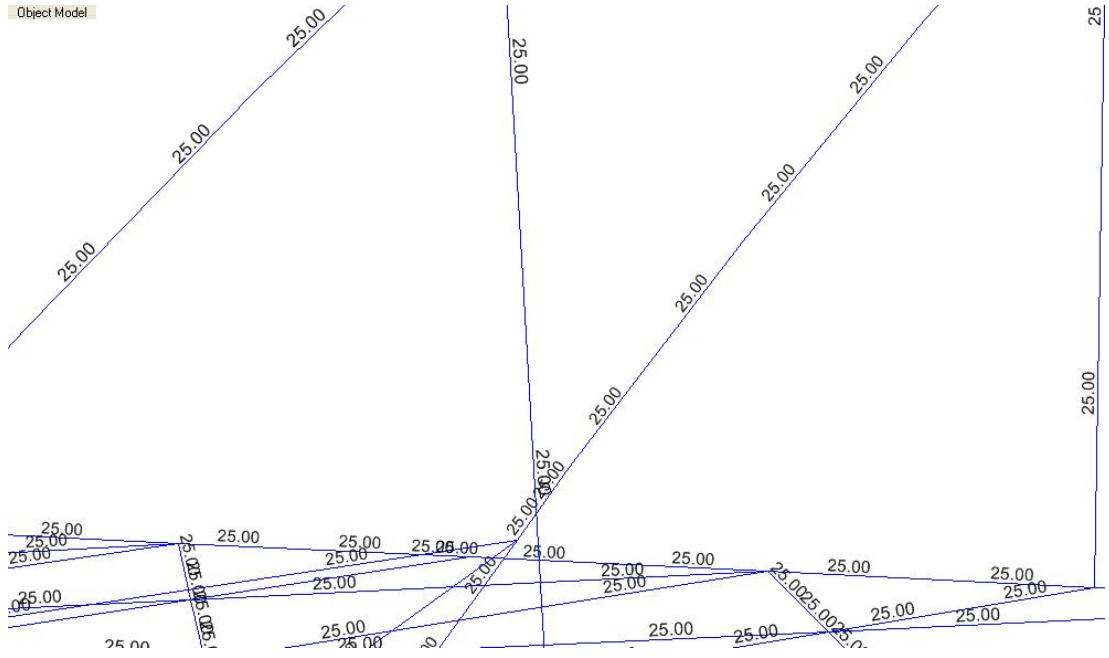


Şekil 2.24. Model 2 platform düşey rüzgâr yüklemesi (WINDPLT)

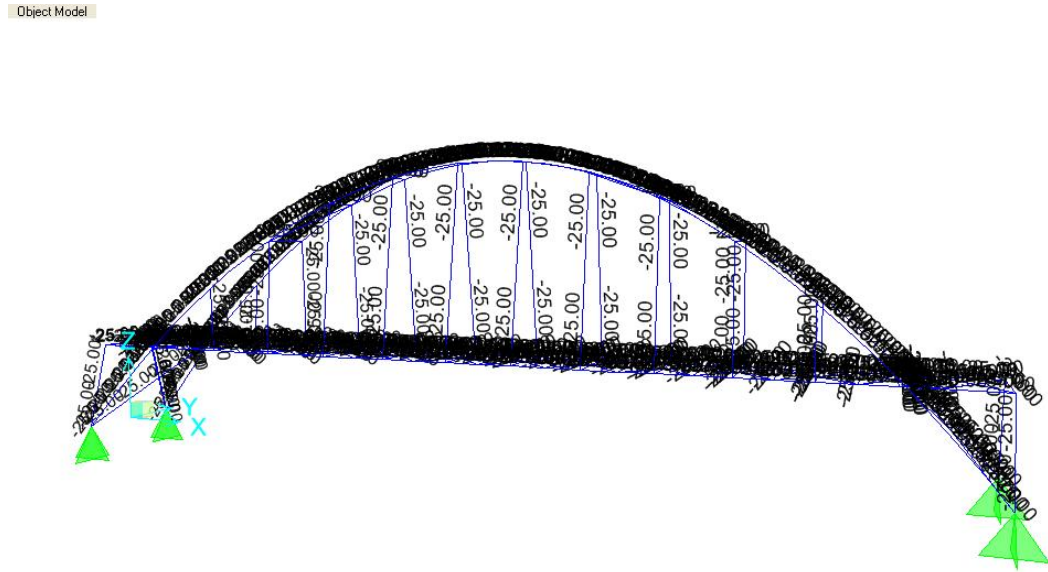
Object Model



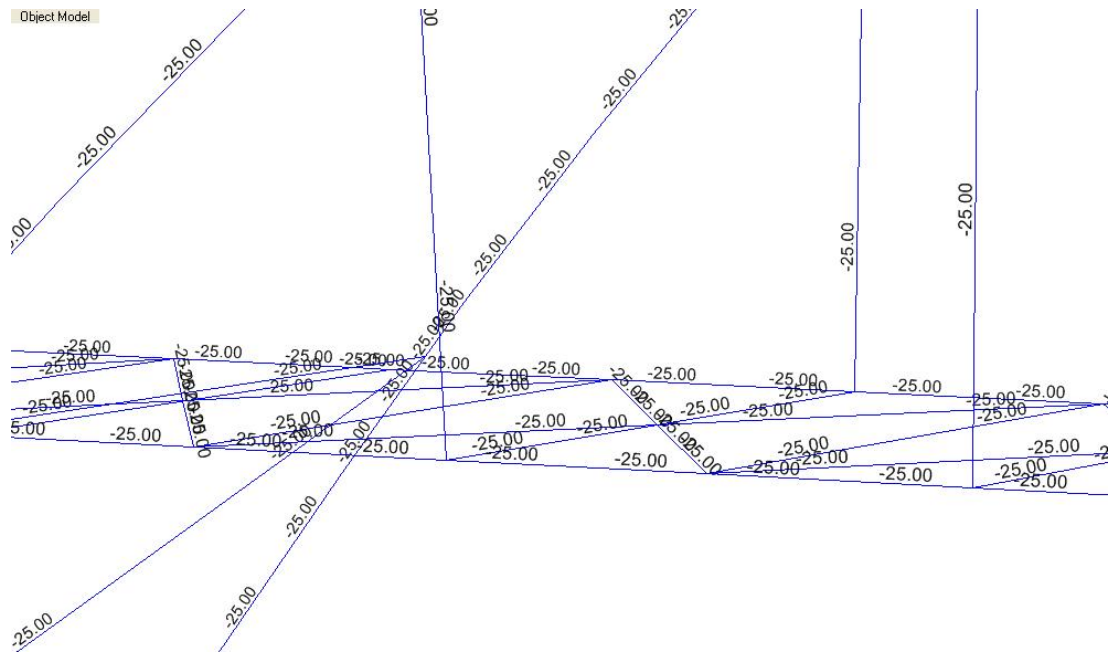
Şekil 2.25. Model 2 pozitif sıcaklık yüklemesi (TEMPL)



Şekil 2.26. Model 2 pozitif sıcaklık yüklemesi yakınlaştırılmış görünümü



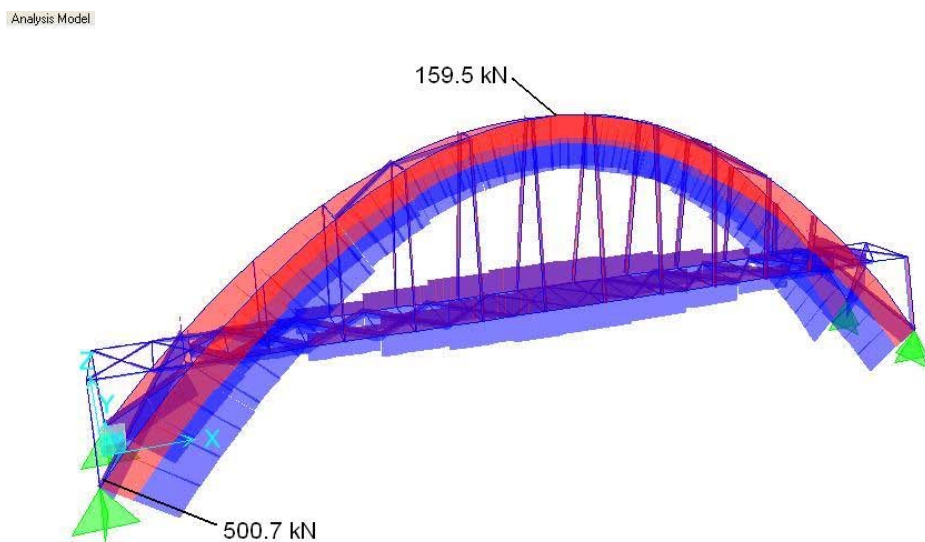
Şekil 2.27. Model 2 negatif sıcaklık yüklemesi(TEMN)



Şekil 2.28. Model 2 negatif sıcaklık yüklemesi yakınlaştırılmış görünümü

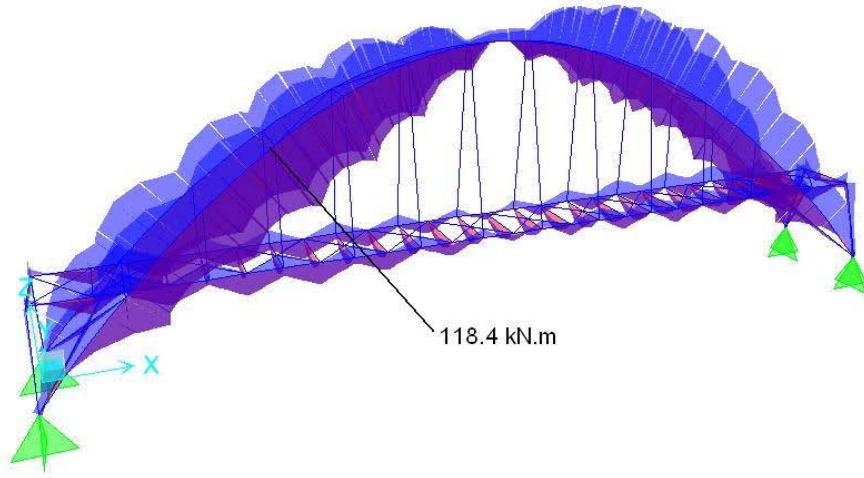
2.3.7. Model 2 eksenel yük ve moment diyagramları

Aşağıdaki moment ve aksel yük grafiklerinde analizler sonucu Model 2 de oluşan ENVE yük kombinasyonunda oluşan tesirler yer almaktadır.



Şekil 2.29. Model 2 eksenel yük diyagramı

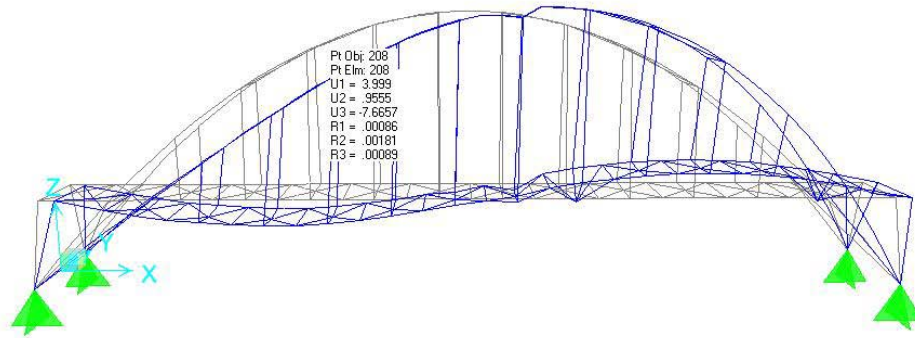
Analysis Model



Şekil 2.30. Model 2 moment diyagramı

2.3.8. Model 2 deformasyon görünümü

Analysis Model

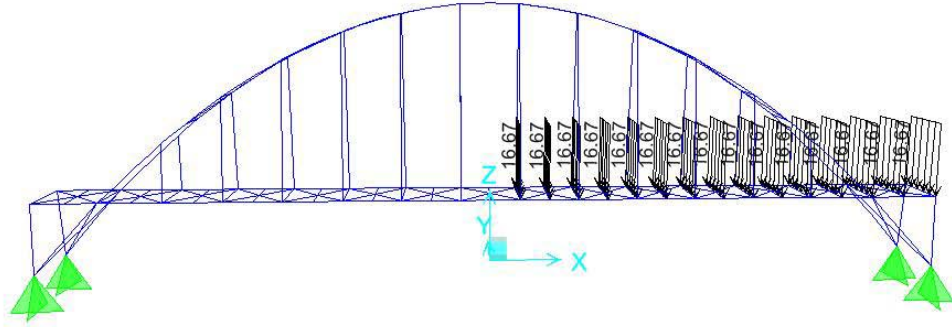


Şekil 2.31. Model 2 deformasyon görünümü

2.3.9. Model 3

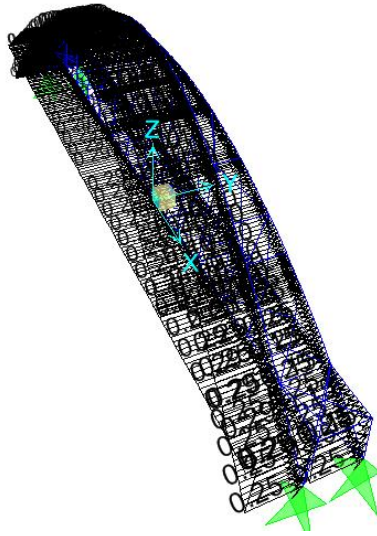
Model 3 53 metre açıklığında, 16,5 metre kemer ok yüksekliğindedir. Model 3'ün ana taşıyıcı kemeri yapma kesit olarak seçilmiştir.

Object Model

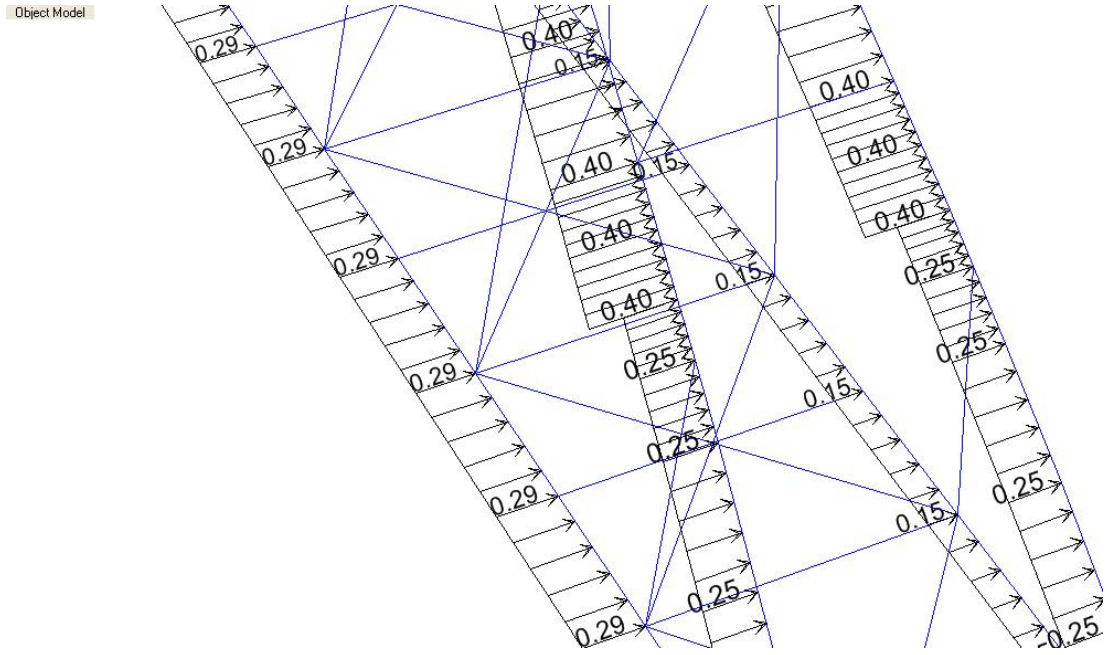


Şekil 2.34. Model 3 hareketli yük yükleme (LLRight)

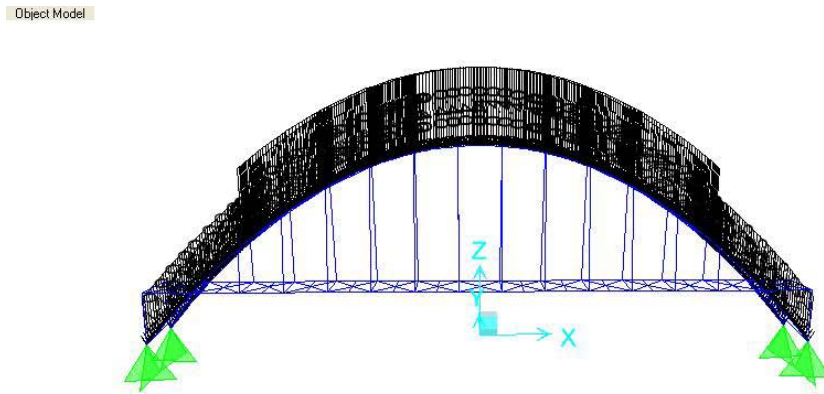
Object Model



Şekil 2.35. Model 3 yanıl rüzgâr yükleme (WIND)

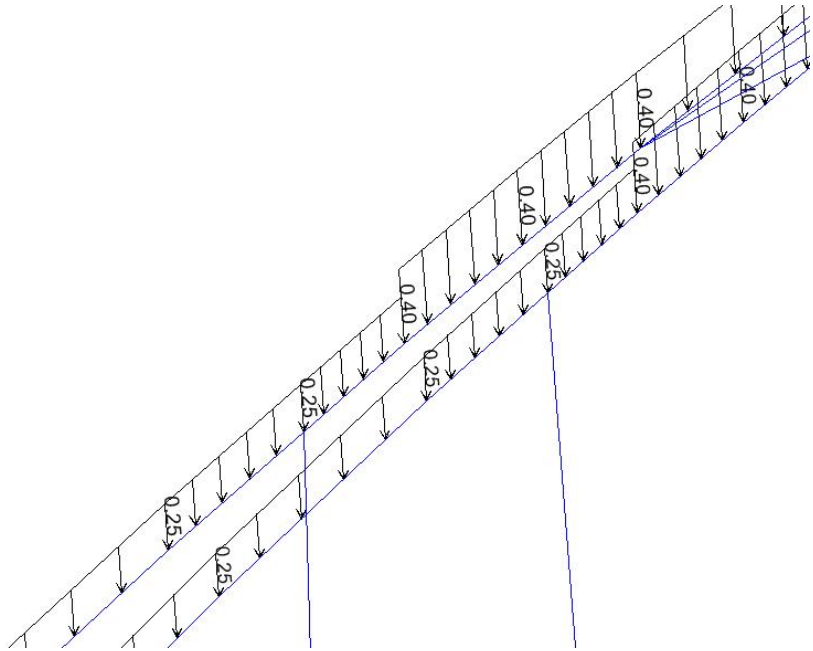


Şekil 2.36. Model 3 yanıl rüzgâr yüklemesi yakınlaştırlmış görünümü



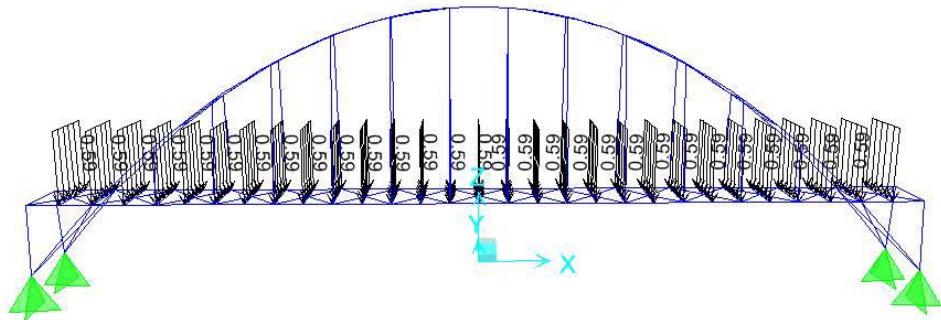
Şekil 2.37. Model 3 kemer düşey rüzgâr yüklemesi (WINDUPDW)

Object Model



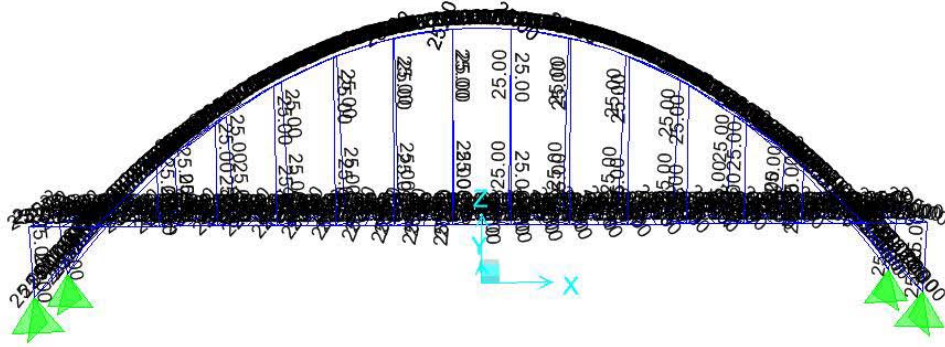
Şekil 2.38. Model 3 kemer düşey rüzgâr yüklemesi yakın görünümü

Object Model



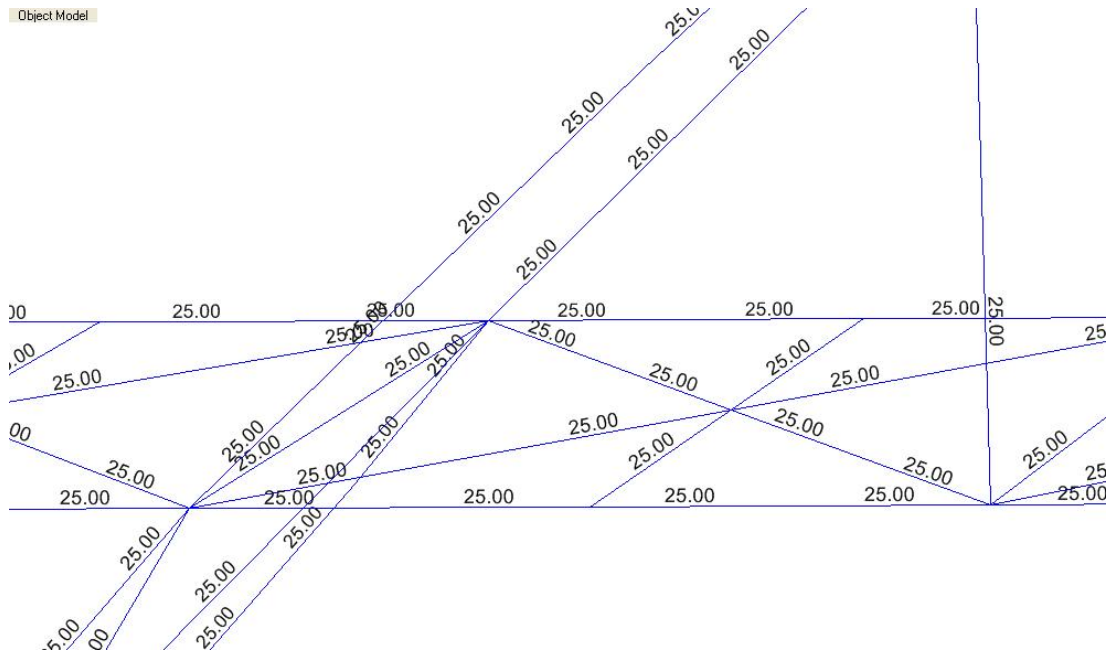
Şekil 2.39. Model 3 platform düşey rüzgâr yüklemesi (WINDPLT)

Object Model



Şekil 2.40. Model 3 pozitif sıcaklık yüklemesi (TEMPL)

Object Model

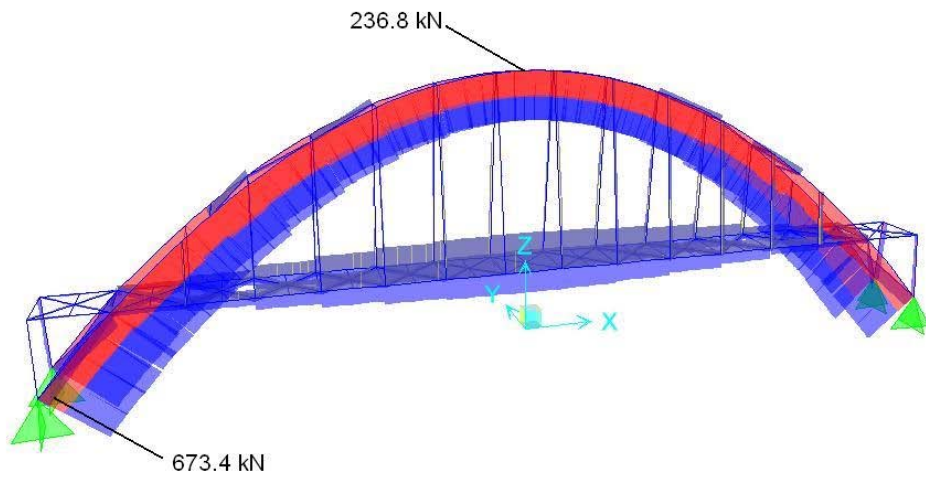


Şekil 2.41. Model 3 pozitif sıcaklık yüklemesi yakınlaştırılmış görünümü

2.3.11. Model 3 eksenel yük ve moment diyagramları

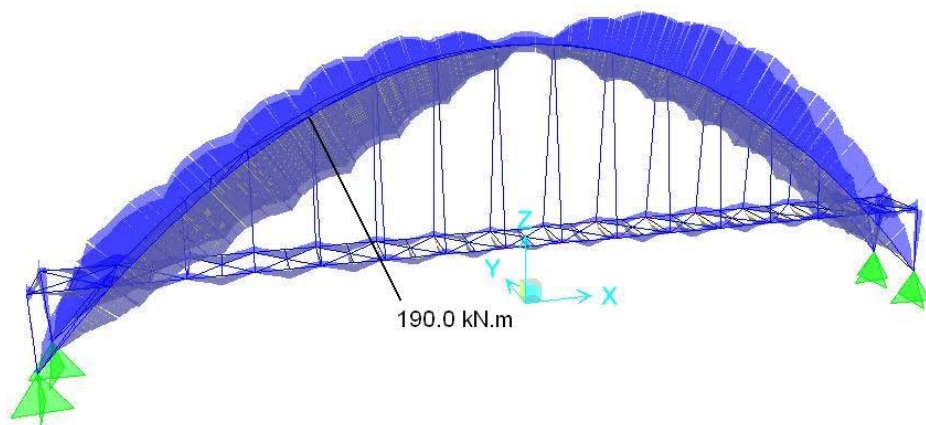
Aşağıdaki moment ve eksenel yük grafiklerinde analizler sonucu Model 3 te oluşan ENVE yük kombinasyonunda oluşan tesirler yer almaktadır.

Analysis Model



Şekil 2.44. Model 3 eksenel yük diyagramı

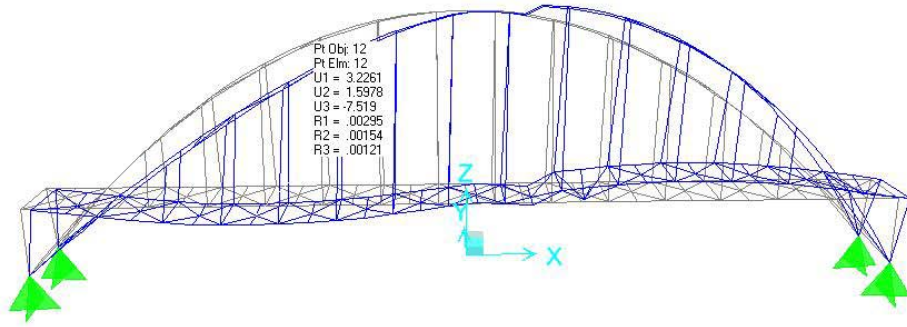
Analysis Model



Şekil 2.45. Model 3 moment diyagramı

2.3.12. Model 3 deformasyon görünümü

Analysis Model

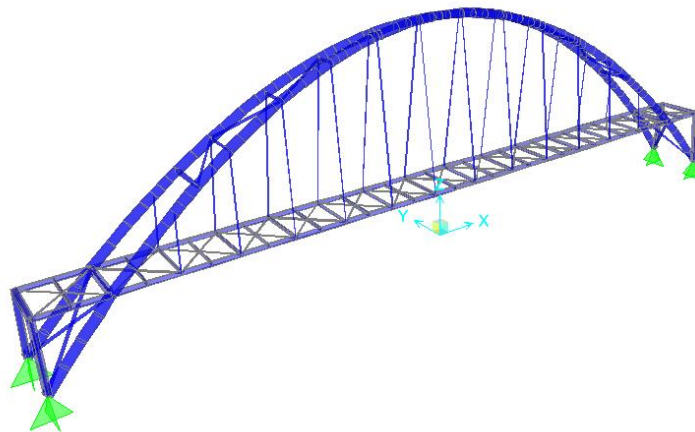


Şekil 2.46. Model 3 deformasyon görünümü

2.3.13. Model 4

Model 4 53 metre açıklığında, 16,5 metre ok yüksekliğindedir. Model 4'ün ana taşıyıcı kemeri 610mm çaplı, 12,5 mm et kalınlıklı boru kesit olarak seçilmiştir.

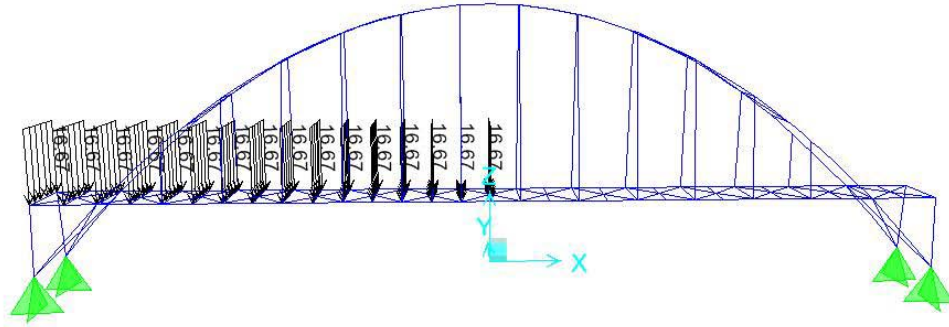
Object Model



Şekil 2.47. Model 4 genel görünümü

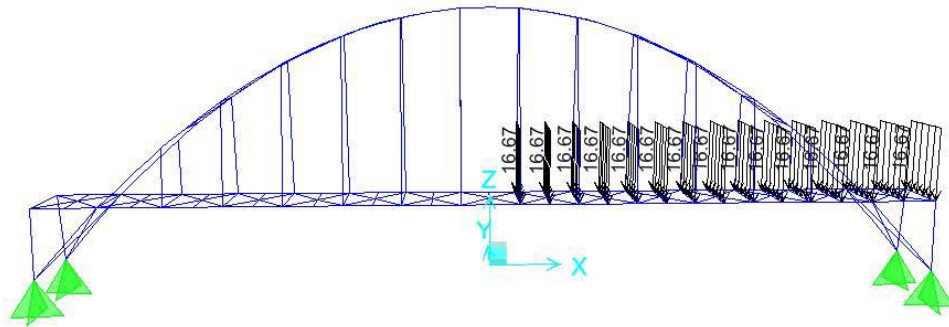
2.3.14. Model 4 yükleme görünümleri

Object Model



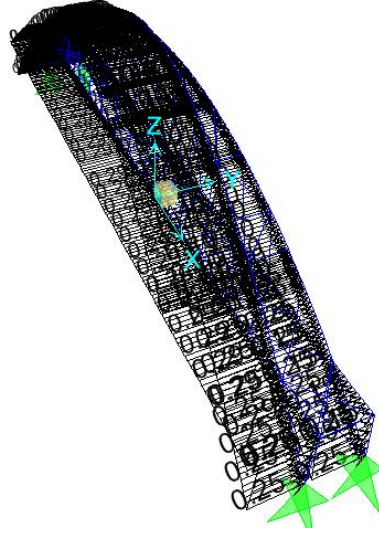
Şekil 2.48. Model 4 hareketli yük yükleme (LLLeft)

Object Model



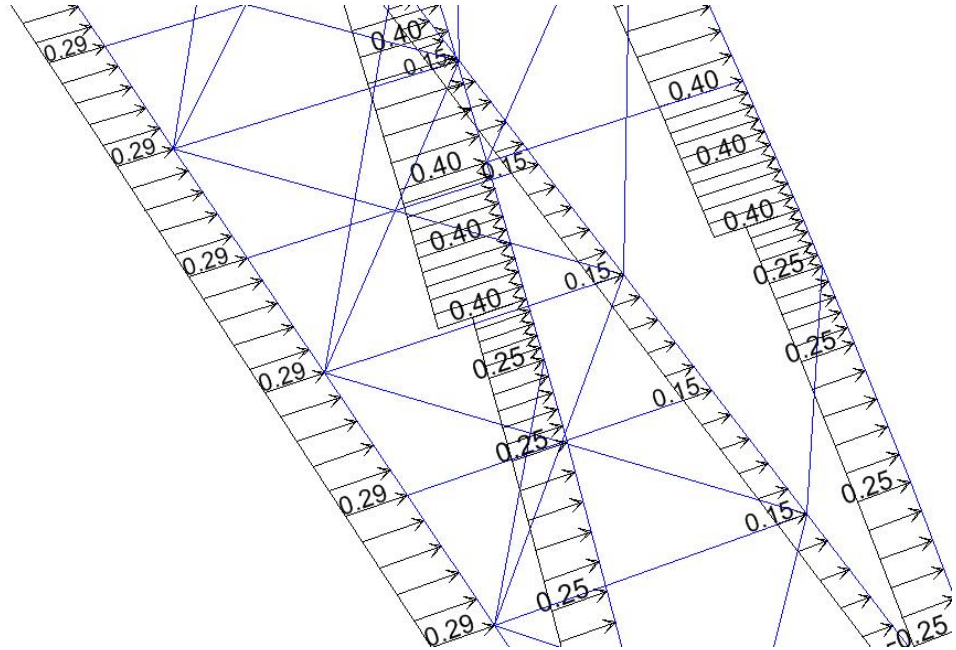
Şekil 2.49. Model 4 hareketli yük yükleme (LLRight)

Object Model



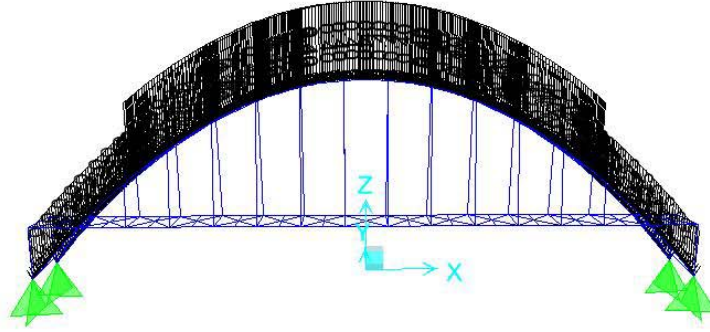
Şekil 2.50. Model 4 yanal rüzgâr yüklemesi (WIND)

Object Model



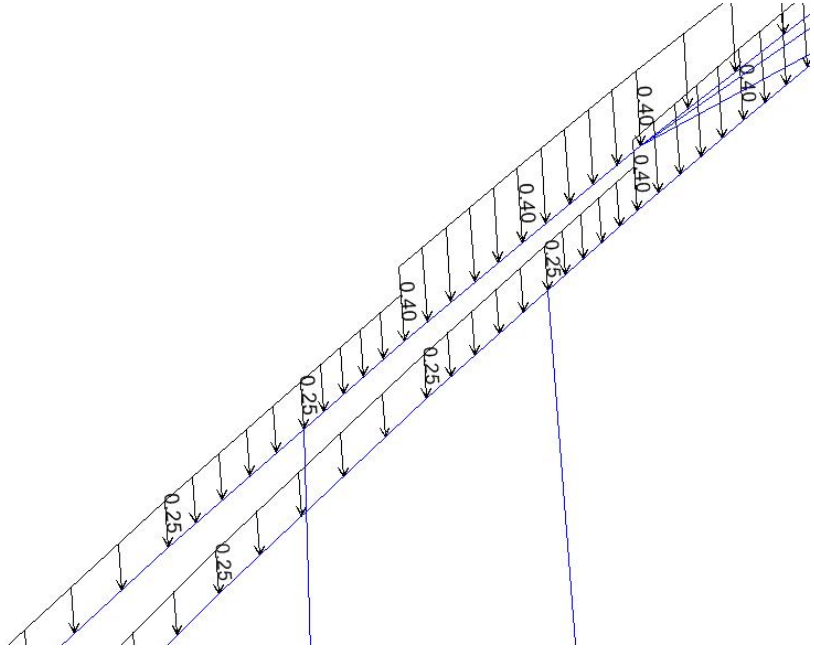
Şekil 2.51. Model 4 yanal rüzgâr yüklemesi yakınlaştırılmış görünümü

Object Model



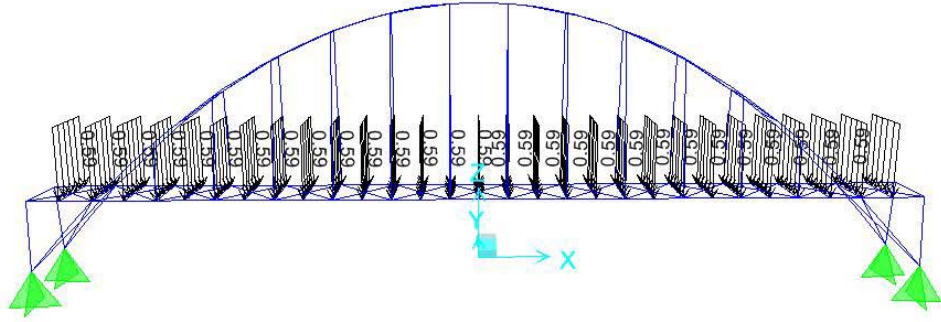
Şekil 2.52. Model 4 kemer düşey rüzgâr yüklemesi (WINDUPDW)

Object Model



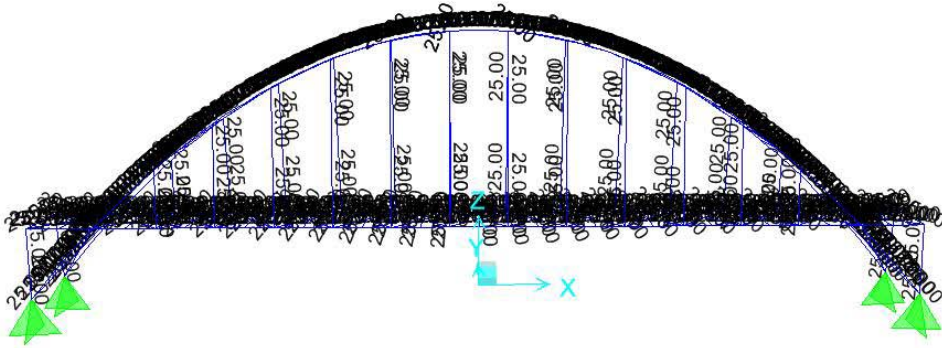
Şekil 2.53. Model 4 kemer düşey rüzgâr yüklemesi yakın görünümü

Object Model

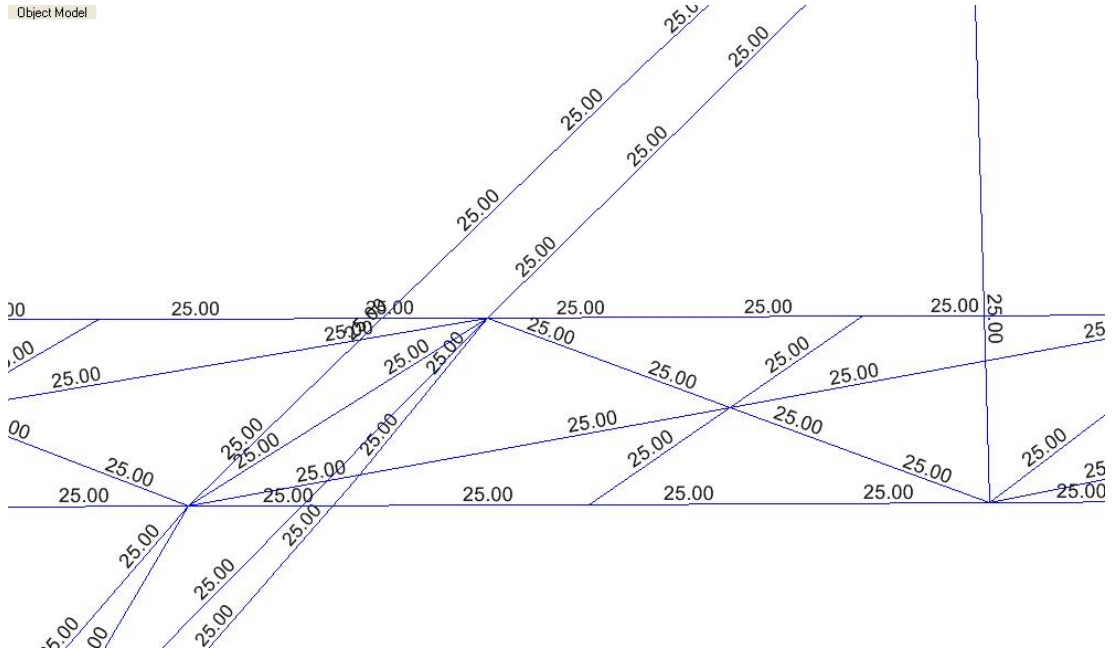


Şekil 2.54. Model 4 platform düşey rüzgâr yüklemesi (WINDPLT)

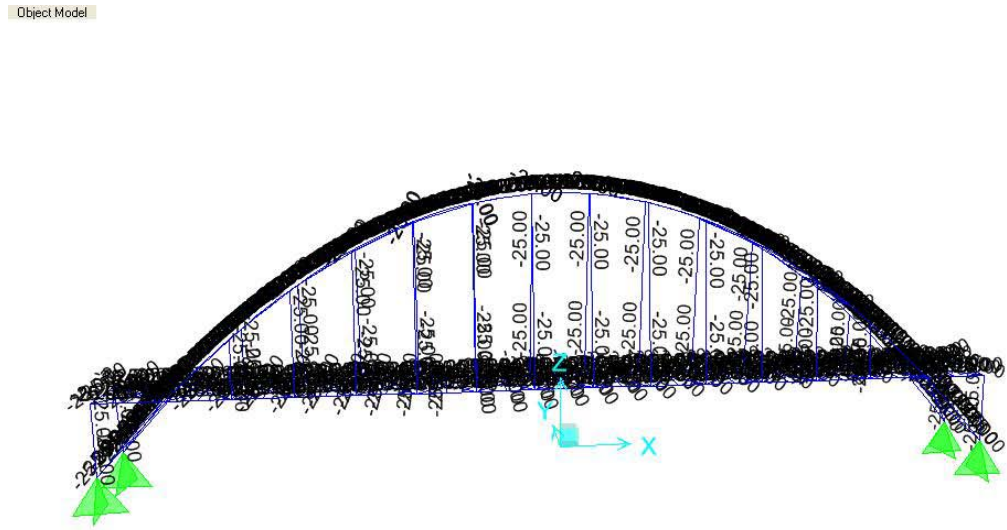
Object Model



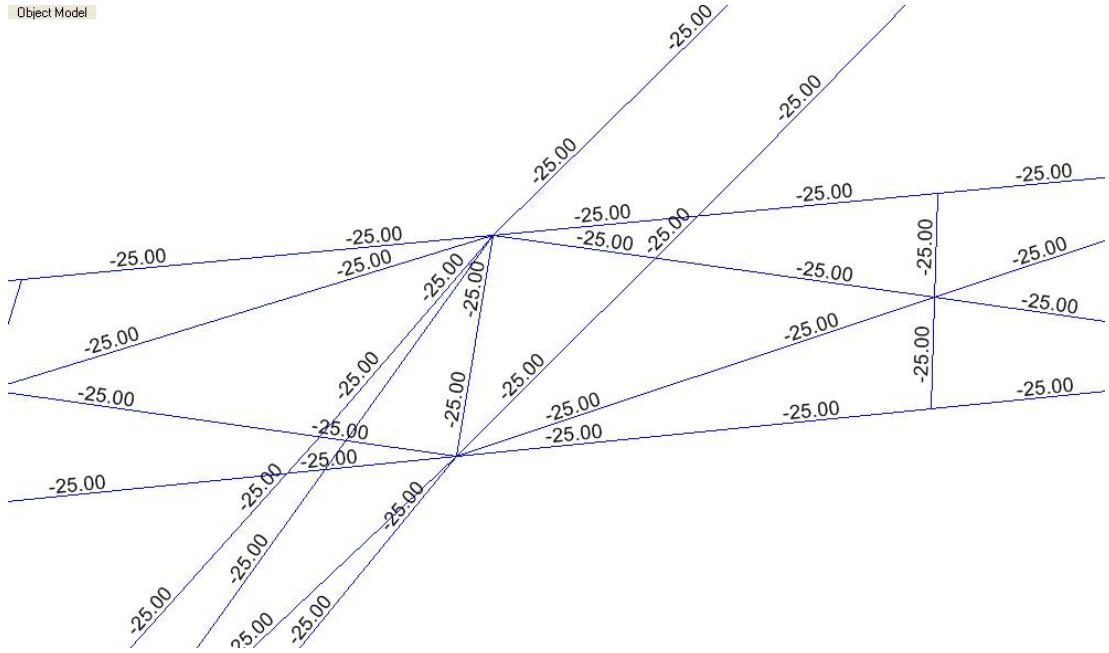
Şekil 2.55. Model 4 pozitif sıcaklık yüklemesi (TEMPL)



Şekil 2.56. Model 4 pozitif sıcaklık yüklemesi yakınlaştırılmış görünümü



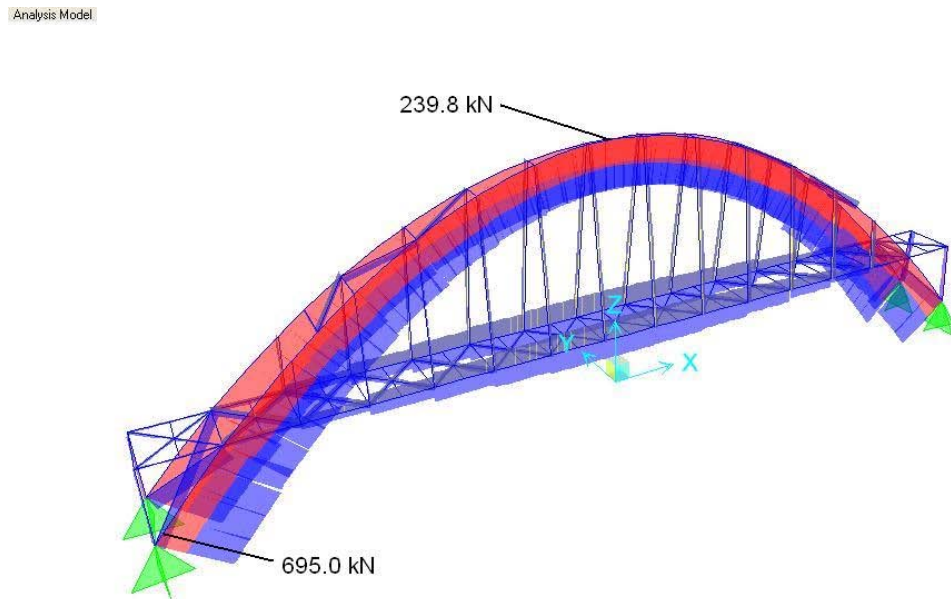
Şekil 2.57. Model 4 negatif sıcaklık yüklemesi (TEMN)



Şekil 2.58. Model 4 negatif sıcaklık yüklemesi yakınlaştırılmış görünümü

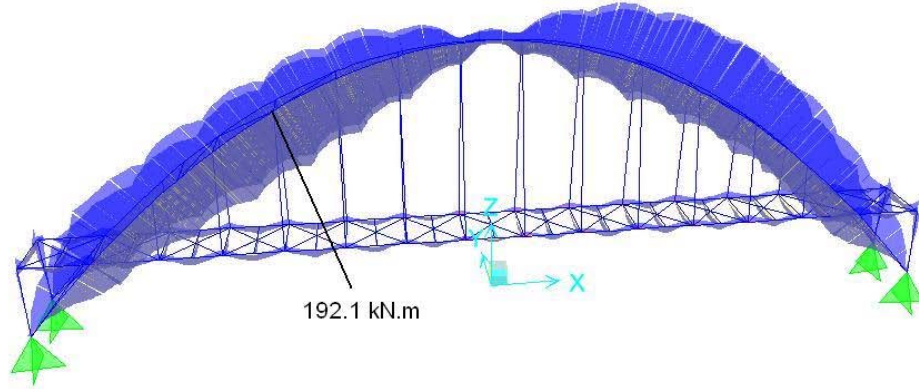
2.3.15. Model 4 Eksenel yük ve moment diyagramları

Aşağıdaki moment ve eksenel yük grafiklerinde analizler sonucu Model 4 te oluşan ENVE yük kombinasyonunda oluşan tesirler yer almaktadır.



Şekil 2.59. Model 4 eksenel yük diyagramı

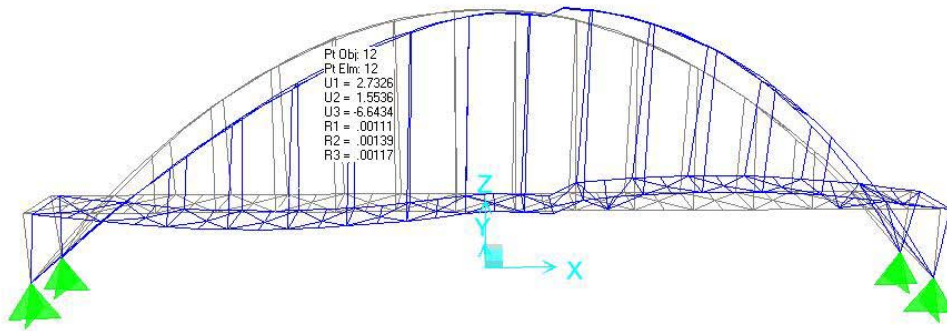
Analysis Model



Şekil 2.60. Model 4 moment diyagramı

2.3.16. Model 4 deformasyon görünümü

Analysis Model



Şekil 2.61. Model 4 deformasyon görünümü

3. ELEMENLARIN BOYUTLANDIRILMASI

3.1. Malzeme Bilgisi

Malzeme özellikleri Normal yapı çeliği fiziksel ve kimyasal özellikleri TS 908, TS 909, TS 910, TS 911, TS 912, TS 913 ve TS 2162 deki St 37 işaretli mamullere uyan çeliklerdir. Bu tip çeliklerin tasarım için kullanılan özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çelik malzeme bilgisi

The image shows a 'Material Property Data' dialog box for a material named 'STEEL'. The dialog is organized into several sections:

- General Data:**
 - Material Name and Display Color: STEEL (with a color swatch)
 - Material Type: Steel (dropdown menu)
 - Material Notes: Modify/Show Notes...
- Weight and Mass:**
 - Weight per Unit Volume: 76.9822
 - Mass per Unit Volume: 7.85
- Units:**
 - KN, m, C (dropdown menu)
- Isotropic Property Data:**
 - Modulus of Elasticity, E: 2.059E+08
 - Poisson's Ratio, U: 0.3
 - Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.200E-05
 - Shear Modulus, G: 79207559
- Other Properties for Steel Materials:**
 - Minimum Yield Stress, Fy: 235359.6
 - Minimum Tensile Stress, Fu: 362846.1
 - Effective Yield Stress, Fye: 235359.6
 - Effective Tensile Stress, Fue: 362846.1
- Switch To Advanced Property Display:** (checkbox, currently unchecked)
- Buttons:** OK, Cancel

3.2. Elemanların Boyutlandırılması

Elemanların boyutlandırılması aşamasında, ön tasarımda elemanlar seçilerek modellemeler yapılmış olup bir sonraki aşamada ise kesitler seçilerek modellemeler tamamlanmıştır. Fakat ön tasarım prosedürü bu tezde incelenmemiş olup, son tasarım sonuçları detaylıca açıklanmıştır.

Elemanların boyutlandırılması aşamasında deformasyon ve gerilme gibi iki faktör göz önünde bulundurulmuştur. Platform tasarımında gerilmeler boyutlandırmada esas alınırken, kemer boyutlandırılmasında deformasyon kıstası baskın olmuştur.

Elemanların boyutlandırılmasında TS-648 Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları kullanılmıştır. Yapıda bulunan her farklı profil tipi için ENVE kombinasyonunda ortaya çıkan çubuk kuvvetleri alınarak, boyutlandırma yapılmıştır. Boyutlandırmada kullanılan eleman kesit özellikleri ve eleman tasarımları EK 1-8'de verilmiştir.

3.3. Sonuçların Değerlendirilmesi

Sonlu elemanlar yöntemi ile yapının modelinin yapılması, yapının gerçekte davranışını anlayabilmek için günümüzde kullanılan en kolay yöntemdir. Bu çalışmada, 4 farklı çelik kemer yaya köprüsü modellenerek sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, yapıyı doğru modelleyebilmek ve ayrıca modellemelerde geometri ve boyutların yapı davranışı üzerindeki etkisini irdelemektir. Bu çalışma kapsamında yapılan dört adet modelde yapı geometrisini mümkün olduğu kadar aynı tutabilmek için kemer ok yüksekliğinin açıklığa oranı sabit tutulmuştur. Modellemeler yapılarak,

yapının davranışını anlayabilmek için gerekli çeşitli parametreler gözlemlenmiştir.

Bu parametrelerin en önemlisi, deformasyondur. Yapı elemanlarının geometrisinin ve düğüm noktalarının orijinal koordinatından yüklemeler altında ne kadar yer değiştirdiğini göstermesinden dolayı yapı analiz ve tasarımı aşamasında önemli bir role sahiptir. Ayrıca sadece yapısal anlamda tasarım kriterinin sağlanması yeterli değildir. Bunun yanında kullanılabilirlik kriteri de sağlanmalıdır. Deformasyonların fazla olması, hem yapının statik anlamda hem de fonksiyonel olarak kullanılamamasına neden olabilmektedir. Deformasyon yapının karşılaşılabilecek fiziksel problemleri algılamada önemli bir rol oynamaktadır. Yapılan modellemelerde de, deformasyon statik açıdan olmamasına rağmen fonksiyonel açıdan, elemanların boyutlandırılmasında anahtar rol oynamıştır. Yapının karayolu üzerinde olması nedeni ile yapabileceği deformasyon sınırlı tutulmalıdır. Deformasyonlar 7 cm mertebelerinde sabitlenerek eleman boyutlandırılması yapılmıştır. Her bir model için çıkan deformasyon değerleri Çizelge 3.2'de özetlenmiştir. Ayrıca deformasyonların mesnetten uzaklığının toplam açıklığa oranı da aynı olmuştur.

Çizelge 3.2. Deformasyon tablosu

Model Adı	Maksimum Deplasman[cm]
Model1	7,57
Model2	7,67
Model3	7,52
Model4	6,65

Bir diğer parametre ise çubuk kuvvetleridir. Elemanlar yükleme sonucunda, üzerlerinde oluşan eksenel yüklere göre statik açıdan tahkik edilmeli ve çubuk kuvvetleri çubuk taşıma kapasitesini aşmamalıdır. Çünkü herhangi bir çubukta oluşabilecek kapasite aşımı, yapının göçmesine neden olabilecektir. Bu çalışmada, her bir çubuk kesiti için en çok zorlanan kesit belirlenerek,

eleman boyutlandırması bu çubuğa göre yapılmıştır. Yapının mevcut geometri ve boyutlarına göre yapının en çok zorlanan bölgesi tayin edilmiştir. Bu elemanlar yapının ana taşıyıcı olan kemer elemanlarıdır. Yapının kemer formasyonunda olması nedeni ile eksenel yükler eğilme momentlerine göre daha baskın rol oynamaktadır. Kemer elemanlarda oluşan maksimum zorlanmaların olduğu elemandaki çubuk iç kuvvetleri ve çubuk numarası Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Kemer iç kuvvetler tablosu

Model Adı	Eksenel Yük[kN]	Moment[kNm]	Eleman Numarası
Model1	360	104.2	312
Model2	362	103.8	312
Model3	488.1	192.7	274
Model4	491	195.9	274

Yapıların toplam ağırlıkları Çizelge 3.4'te, gerilmeler ise Çizelge 3.5'te özetlenmiştir.

Çizelge 3.4. Yapı toplam ağırlık tablosu

Model Adı	Yapı Toplam Ağırlığı[kN]	Ağırlığın Açıklığa Oranı[kN/m]
Model1	292,65	6,8059
Model2	306,79	7,1347
Model3	432,05	8,1519
Model4	474,88	8,9600

Çizelge 3.5. Çubuk gerilme tablosu

Model Adı	Kemer Eleman Kesiti	Çubuk Gerilmesi[t/cm ²]	Eleman Numarası
Model1	HEA 400	0,7465	312
Model2	BORU 457X12.5	0,7647	312
Model3	YAPMA	0,6633	274
Model4	BORU 610X16	0,6272	274

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada 43 ve 53 metre açıklıklı çelik kemer yaya köprülerinin, ilgili Türk standartlarına uygun olarak bilgisayar destekli analiz ve tasarımı yapılmıştır. Analiz ve tasarım sürecinde daha önce yapılmış benzer bir uygulama esas alınmış, köprü için %23,3 daha büyük bir açıklık seçilmiştir. Çalışmada ölü yükler, hareketli yükler, sıcaklık, deprem ve rüzgâr yükleri de göz önüne alınmıştır. Mevcut yükler çeşitli kombinasyonlar halinde etki ettirilmiş ve en olumsuz şartlar için tasarım yapılmıştır.

Kemer sistemde ise sistemin ağırlığını minimize edebilmek için, farklı tipte profiller farklı açıklıklar için kullanılmıştır. Farklı açıklıklar ve farklı profil tipleri için sistemdeki etkiler irdelenerek açıklığa bağlı olarak bazı yorumlar yapılmıştır. Bu modellemeler yapılırken modeller arasında köprü açıklığının kemer ok yüksekliğine oranı ($h/l = 0,31$) olarak birbirine çok yakın seçilmiştir.

Kullanılan tasarım esasları, standartlar ve bilgisayar destekli analiz için de SAP2000 V.11.0.8 seçilmesiyle köprünün analiz ve tasarımı başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Model 1 ve Model 2 kıyaslanır ise Model 1 de seçilen I profil, seçilen boru profile göre daha hafif olmasına rağmen daha rijit bir davranış sergileyerek daha az sehim yapmıştır.

Model 3 ve Model 4 arasında da benzeri durum vardır fakat piyasa koşullarında bulunabilen boru kesitlerin sınırlı olmasından dolayı Model 4'te kesit daha büyük seçilmiş olup bu nedenle daha az sehim vermiştir.

Model 1 ve Model 2 çubuk kuvvetleri ve eksenel yük yönünden karşılaştırılırsa Model 1 de çubuklarda oluşan maksimum eksenel yük, Model

2 de Model 1 e göre %2 daha fazladır. Moment ise %1,4 oranında daha azdır.

Model 3 ve Model 4 arasında ise oluşan aksenal yük ve moment sırasıyla %3,2 ve %1,1 oranında Model 4'te fazladır.

Model 1 ve Model 2 de kemer çubuk elemanlarında oluşan gerilmeler %2 oranında değişiklik göstermektedir. Model 2 de oluşan gerilmelerin fazla olmasının nedeni boru profilin I profile göre daha ağır olmasındandır.

Model 3 ve Model 4 ise çubuk elemanlarda oluşan gerilmelerde %6 oranında Model 3'te oluşan gerilme fazladır. Bunun nedeni sehîm bahsinde belirtildiği gibi Model 4'te kullanılan boru profilin kesitinin büyük seçilmesinden dolayıdır.

Model 1 ve Model 2 de köprü toplam ağırlığı olarak, %5 oranında boru kesit kullanılan köprü daha ağırdır.

Model 3 ve Model 4 bu oran %10 civarındadır. Boru profil kullanılan köprüler ciddi anlama daha ağırdır.

Model 1 ve Model 3 sehîm yönünden kıyaslanır ise, sehîmlerin maksimum 8 cm mertebelerinde tutulmasından ötürü aralarında ciddi bir fark bulunmamaktadır.

Model 3'ün açıklığı Model 1'in açıklığından %23,3 oranında fazladır. Çubuk kuvvetleri yönünden ise %37,2 fazladır.

Model 1 ve Model 3 moment yönünden kıyaslanır ise, momentlerdeki artış Model 1 den Model 3'e %58,3 tür. Ağırlıkta gözlenilen değişim ise %47,5

oranındadır. Çubuklardaki maksimum gerilme yönünden ise %12,6 oranında Model 1 de oluşan gerilmeler daha fazladır.

KAYNAKLAR

1. McCullough, C.B., "Elastic Arch Bridges", **John Wiley & Sons**, Newyork, 141-149 (1931)
2. Cross H., "Arches, Continuous Frames, Columns, and Conduits", **Univercity of Illinois Press. Urban**, MN, 27-49 (1963)
3. Black A., "The Story of Bridges", **McGraw – Hill Book Company, Inc.**, New York, 214-247 (1936)
4. Gaylord E.H., Gaylord C.N. ve Stallmayer J.E., "Design of Steel Structures" , 3rd Edition, **McGraw Hill Inc.**, 153-168 (1992)
5. American Association of State Highway and Transportation Officials, Standard Specifications for Highway Bridges, Washington, D.C., 247-250 (1997)
6. Lee, K.M., Cho H.N. ve Choi Y.M., "Life-cycle cost – effective optimum design of steel bridges " , **Journal of contructional Steel Research**, 60, 1585-1613 (2004)
7. Kim, S.E. Choi, S.H. ve Ma S.S., " Performance based design of steel arch bridges using practical inelastic nonlinear analysis" , **Journal of Constructional Steel Research**, 59, 91-108 (2003)
8. Ayiçi , T., "Çelik kafes kirislerin bilgisayar ile boyutlandırılması", Yüksek Lisans Tezi, **Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** , Eskişehir, 12-34 (1999)
9. Kazak, Ü., " Planda eğik kutu kirişli çelik köprülerin deprem analizi " Yüksek Lisans Tezi, **O.D.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, 8-46 (1996)

EKLER

EK-1 Model 1 Eleman Kesit Tablosu

TABLE: Frame Section Properties 01 - General										
SectionName	Shape	t3	t2	tf	tw	Area	I33	I22	S33	S22
Text	Text	cm	cm	cm	cm	cm2	cm4	cm4	cm3	cm3
CABLE	Pipe	10			0,635	18,68	205,75	205,75	41,15	41,15
HE300-A	I/Wide Flange	29	30	1,4	0,85	113	18260	6310	1259,31	420,67
HE300-B	I/Wide Flange	30	30	1,9	1,1	149	25170	8563	1678	570,87
HE400A	I/Wide Flange	39	30	1,9	1,1	159	45070	8564	2311,28	570,93
I200	I/Wide Flange	20	9	1,13	0,75	33,4	2140	117	214	26
L70X7	Angle	7	7	0,7	0,7	9,4	42,29	42,29	8,41	8,41
PIPE200X8	Pipe	20			0,8	48,25	2227,44	2227,44	222,74	222,74
PIPE300X8	Pipe	30			0,8	73,39	7827,52	7827,52	521,83	521,83
UPN300-A	Channel	30	10	1,6	1	58,74	8022	494	534,8	67,55

EK-2 Model 2 Eleman Kesit Tablosu

TABLE: Frame Section Properties 01 - General										
SectionName	Shape	t3	t2	tf	tw	Area	I33	I22	S33	S22
Text	Text	cm	cm	cm	cm	cm2	cm4	cm4	cm3	cm3
CABLE	Pipe	10			0,635	18,68	205,75	205,75	41,15	41,15
HE300-A	I/Wide Flange	29	30	1,4	0,85	113	18260	6310	1259,31	420,67
HE300-B	I/Wide Flange	30	30	1,9	1,1	149	25170	8563	1678	570,87
I200	I/Wide Flange	20	9	1,13	0,75	33,4	2140	117	214	26
L70X7	Angle	7	7	0,7	0,7	9,4	42,29	42,29	8,41	8,41
PIPE200X8	Pipe	20			0,8	48,25	2227,44	2227,44	222,74	222,74
PIPE300X8	Pipe	30			0,8	73,39	7827,52	7827,52	521,83	521,83
PIPE457X12,5	Pipe	45,7			1,25	174,55	43144,8	43144,8	1888,18	1888,18
UPN300-A	Channel	30	10	1,6	1	58,74	8022	494	534,8	67,55

EK-3 Model 3 Eleman Kesit Tablosu

TABLE: Frame Section Properties 01 - General										
SectionName	Shape	t3	t2	tf	tw	Area	I33	I22	S33	S22
Text	Text	cm	cm	cm	cm	cm2	cm4	cm4	cm3	cm3
CABLE	Pipe	10			0,635	18,68	205,75	205,75	41,15	41,15
HE300B	I/Wide Flange	30	30	1,9	1,1	149	25170	8563	1678	570,87
I200	I/Wide Flange	20	9	1,13	0,75	33,4	2140	117	214	26
L70X7	Angle	7	7	0,7	0,7	9,4	42,29	42,29	8,41	8,41
PIPE160X8	Pipe	16			0,8	38,2	1106,32	1106,32	138,29	138,29
PIPE200X8	Pipe	20			0,8	48,25	2227,44	2227,44	222,74	222,74
PIPE300X8	Pipe	30			0,8	73,39	7827,52	7827,52	521,83	521,83
UPN300	Channel	30	10	1,6	1	58,74	8022	494	534,8	67,55
YAPMA	I/Wide Flange	51	30	3	1,5	247,5	115205,63	13512,66	4517,87	900,84

EK-4 Model 4 Eleman Kesit Tablosu

TABLE: Frame Section Properties 01 - General										
SectionName	Shape	t3	t2	tf	tw	Area	I33	I22	S33	S22
Text	Text	cm	cm	cm	cm	cm2	cm4	cm4	cm3	cm3
CABLE	Pipe	10			0,635	18,68	205,75	205,75	41,15	41,15
HE300B	I/Wide Flange	30	30	1,9	1,1	149	25170	8563	1678	570,87
I200	I/Wide Flange	20	9	1,13	0,75	33,4	2140	117	214	26
L70X7	Angle	7	7	0,7	0,7	9,4	42,29	42,29	8,41	8,41
PIPE160X8	Pipe	16			0,8	38,2	1106,32	1106,32	138,29	138,29
PIPE200X8	Pipe	20			0,8	48,25	2227,44	2227,44	222,74	222,74
PIPE300X8	Pipe	30			0,8	73,39	7827,52	7827,52	521,83	521,83
PIPE610X16	Pipe	61			1,6	298,58	131781,42	131781,42	4320,7	4320,7
UPN300	Channel	30	10	1,6	1	58,74	8022	494	534,8	67,55

EK-5 Model 1 Eleman Kesit Tasarımları

KESİT: HEA300		
Çubuk No=	213	
L=	436 cm	N= 4.75 ton
D=	29 cm	M(2-2)= 243.20 ton.cm
i(min)=	12.70 cm	M(3-3)= 87.2 ton.cm
k=	1	
St=	37 Mpa	
$\sigma(a)=$	2400 kgf/cm^2	$\sigma = \frac{P}{A} + \frac{M_{2-2}}{W_{2-2}} + \frac{M_{3-3}}{W_{3-3}} = 0.44218 \text{ ton/cm}^2 < 1.44 \text{ ton/cm}^2$
$\lambda=$	34.3307	
$\lambda(p)=$	131.423	$\sigma = w \times \frac{P}{A} + 0.9 \times \frac{M_{2-2}}{W_{2-2}} + 0.9 \times \frac{M_{3-3}}{W_{3-3}} = 0.4074 \text{ ton/cm}^2 < 1.44 \text{ ton/cm}^2$
n=	1.8099	
$\sigma(bem)=$	1280.8	
$\sigma(\text{çem})=$	1440	
w=	1.1243	
Section properties		
A=	113.00 cm^2	
W(2-2)=	1260 cm^3	
W(3-3)=	421 cm^3	

KESİT: HEA400		
Çubuk No=	312	
L=	94 cm	N= 36 ton
D=	39 cm	M(2-2)= 39.6 ton.cm
i(min)=	18.8 cm	M(3-3)= 1041.3 ton.cm
k=	1	
St=	37 Mpa	
$\sigma(a)=$	2400 kgf/cm^2	$\sigma = \frac{P}{A} + \frac{M_{2-2}}{W_{2-2}} + \frac{M_{3-3}}{W_{3-3}} = 0.7465 \text{ ton/cm}^2 < 1.44 \text{ ton/cm}^2$
$\lambda=$	5	
$\lambda(p)=$	131.42	$\sigma = w \times \frac{P}{A} + 0.9 \times \frac{M_{2-2}}{W_{2-2}} + 0.9 \times \frac{M_{3-3}}{W_{3-3}} = 0.6952 \text{ ton/cm}^2 < 1.44 \text{ ton/cm}^2$
n=	1.67	
$\sigma(bem)=$	1436.1	
$\sigma(\text{çem})=$	1440	
w=	1.0027	
Section properties		
A=	159 cm^2	
W(2-2)=	571 cm^3	
W(3-3)=	2310 cm^3	

EK-5 (Devam) Model 1 Eleman Kesit Tasarımları

KESİT: HEB300		
Çubuk No=	110	
L=	63 cm	N= 8.50 ton
D=	30 cm	M(2-2)= 468.10 ton.cm
i(min)=	12.99 cm	M(3-3)= 180.3 ton.cm
k=	1	
St=	37 Mpa	
$\sigma(a)=$	2400 kgf/cm^2	$\sigma = \frac{P}{A} + \frac{M_{2-2}}{W_{2-2}} + \frac{M_{3-3}}{W_{3-3}} = 0.65144 \text{ ton/cm}^2 < 1.44 \text{ ton/cm}^2$
$\lambda=$	4.84988	
$\lambda(p)=$	131.423	$\sigma = w \times \frac{P}{A} + 0.9 \times \frac{M_{2-2}}{W_{2-2}} + 0.9 \times \frac{M_{3-3}}{W_{3-3}} = 0.5922 \text{ ton/cm}^2 < 1.44 \text{ ton/cm}^2$
n=	1.67	
$\sigma(bem)=$	1436.15	
$\sigma(\zeta em)=$	1440	
w=	1.00268	
Section properties		
A=	149.00 cm^2	
W(2-2)=	1680 cm^3	
W(3-3)=	571 cm^3	

KESİT: I200		
Çubuk No=	376	
L=	175 cm	N= 0.861 ton
D=	20 cm	M(2-2)= 301.10 ton.cm
i(min)=	8.00 cm	M(3-3)= 0.03 ton.cm
k=	1	
St=	37 Mpa	
$\sigma(a)=$	2400 kgf/cm^2	$\sigma = \frac{P}{A} + \frac{M_{2-2}}{W_{2-2}} + \frac{M_{3-3}}{W_{3-3}} = 1.43394 \text{ ton/cm}^2 < 1.44 \text{ ton/cm}^2$
$\lambda=$	21.875	
$\lambda(p)=$	131.423	$\sigma = w \times \frac{P}{A} + 0.9 \times \frac{M_{2-2}}{W_{2-2}} + 0.9 \times \frac{M_{3-3}}{W_{3-3}} = 1.294 \text{ ton/cm}^2 < 1.44 \text{ ton/cm}^2$
n=	1.69881	
$\sigma(bem)=$	1393.18	
$\sigma(\zeta em)=$	1440	
w=	1.03361	
Section properties		
A=	33.40 cm^2	
W(2-2)=	214 cm^3	
W(3-3)=	26 cm^3	

EK-5 (Devam) Model 1 Eleman Kesit Tasarımları

KESİT: L70.7	
Çubuk No= 386	
L= 237.6 cm	N= 3.15 ton
D= 7 cm	M(2-2)= 2.91 ton.cm
i(min)= 2.12 cm	M(3-3)= 0.23 ton.cm
k= 1	
St= 37 Mpa	
$\sigma(a)= 2400 \text{ kgf/cm}^2$	$\sigma = \frac{P}{A} + \frac{M_{2-2}}{W_{2-2}} + \frac{M_{3-3}}{W_{3-3}} = 0.70927 \text{ ton/cm}^2 < 1.44 \text{ ton/cm}^2$ $\sigma = w \times \frac{P}{A} + 0.9 \times \frac{M_{2-2}}{W_{2-2}} + 0.9 \times \frac{M_{3-3}}{W_{3-3}} = 1.0953 \text{ ton/cm}^2 < 1.44 \text{ ton/cm}^2$
$\lambda = 112.075$	
$\lambda(p) = 131.423$	
n= 2.3993	
$\sigma(bem) = 636.566$	
$\sigma(\text{çem}) = 1440$	
w= 2.26214	
Section properties	
A= 9.39 cm ²	
W(2-2)= 8.4 cm ³	
W(3-3)= 8.4 cm ³	

KESİT: PIPE200.8	
Çubuk No= 4	
L= 419.7 cm	N= 2.46 ton
D= 20 cm	M(2-2)= 8.76 ton.cm
i(min)= 6.79 cm	M(3-3)= 0 ton.cm
k= 1	
St= 37 Mpa	
$\sigma(a)= 2400 \text{ kgf/cm}^2$	$\sigma = \frac{P}{A} + \frac{M_{2-2}}{W_{2-2}} + \frac{M_{3-3}}{W_{3-3}} = 0.09031 \text{ ton/cm}^2 < 1.44 \text{ ton/cm}^2$ $\sigma = w \times \frac{P}{A} + 0.9 \times \frac{M_{2-2}}{W_{2-2}} + 0.9 \times \frac{M_{3-3}}{W_{3-3}} = 0.1057 \text{ ton/cm}^2 < 1.44 \text{ ton/cm}^2$
$\lambda = 61.8115$	
$\lambda(p) = 131.423$	
n= 2.04358	
$\sigma(bem) = 1044.52$	
$\sigma(\text{çem}) = 1440$	
w= 1.37863	
Section properties	
A= 48.25 cm ²	
W(2-2)= 222.74 cm ³	
W(3-3)= 222.74 cm ³	

EK-5 (Devam) Model 1 Eleman Kesit Tasarımları

KESİT: PIPE300.8	
Çubuk No= 82	
L= 419.7 cm	N= 16.35 ton
D= 30 cm	M(2-2)= 75.2 ton.cm
i(min)= 10.32 cm	M(3-3)= 58.4 ton.cm
k= 1	
St= 37 Mpa	
$\sigma(a)= 2400 \text{ kgf/cm}^2$	$\sigma = \frac{P}{A} + \frac{M_{2-2}}{W_{2-2}} + \frac{M_{3-3}}{W_{3-3}} = 0.47885 \text{ ton/cm}^2 < 1.44 \text{ ton/cm}^2$
$\lambda = 40.6686$	
$\lambda(p) = 131.423$	$\sigma = w \times \frac{P}{A} + 0.9 \times \frac{M_{2-2}}{W_{2-2}} + 0.9 \times \frac{M_{3-3}}{W_{3-3}} = 0.4924 \text{ ton/cm}^2 < 1.44 \text{ ton/cm}^2$
n= 1.86541	
$\sigma(bem) = 1224.98$	
$\sigma(\text{çem}) = 1440$	
w= 1.17553	
Section properties	
A= 73.38 cm ²	
W(2-2)= 521.8 cm ³	
W(3-3)= 521.8 cm ³	

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AKCA, Hasan Ali
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 06.09.1983 - Ankara
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : (0312) 472 35 70
 e-mail : hasanali@ceskon.com.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	G.Ü. / İnş. Müh. Böl.	2009
Lisans	O.D.T.Ü. / İnş. Müh. Böl.	2005
Lise	Yavuz Sultan Fen Lisesi	2000

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005–2005	Besa İnşaat A.Ş.	Saha Mühendisi
2005-	Çeskon Müh. A.Ş.	Proje Koordinatörü

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Bilgisayar sistemlerinde ağ yönetimi, otomobiller, müzik dinlemek, seyahat etmek