

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DOĞU KARADENİZ BÖLGESİNDEKİ TEK AÇIKLIKLI KEMER KÖPRÜLER  
İÇİN DOĞAL FREKANS, YER DEĞİŞTİRME VE GERİLME FORMÜLLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnş. Müh. Berna ÇORUHLU**

**NİSAN 2017  
TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce**

**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /**

**Tezin Savunma Tarihi : / /**

**Tez Danışmanı :**

**Trabzon**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

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

**Jüri Üyeleri**

**Başkan :** .....

**Üye :** .....

**Üye :** .....

**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

“Doğu Karadeniz Bölgesi’ndeki Tek Açıklıklı Kemer Köprüler için Doğal Frekans, Yer Değiştirme ve Gerilme Formülleri” adlı bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Böyle önemli bir konuda çalışmamı sağlayan, yoğun çalışma temposu içerisinde çalışmamın her aşamasında ilgisini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden daima yararlandığım değerli hocam Doç. Dr. Temel TÜRKER’e minnet ve şükranlarımı sunarım.

Tez jürimde yer alarak tezimi inceleme zahmetine katlanan ve önerilerini benimle paylaşan Prof. Dr. Alemdar BAYRAKTAR ve Doç. Dr. Ali URAL’a teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmama yaptıkları katkı ile destek veren ve fikirleri ile bana yol gösteren kıymetli hocam Yrd. Doç. Dr. Hasan Basri BAŞAĞA ve değerli abim Doç. Dr. Yakup Emre ÇORUHLU’ya teşekkür ederim.

Çalışmam süresince gereken kolaylığı sağlayan Çay İşletmeleri Genel Müdürlüğü’nün değerli yöneticilerine ve mesai arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Yaşamım boyunca her türlü konuda desteklerini esirgemeyen çok kıymetli ve saygıdeğer annem ve babam başta olmak üzere, sevgili kardeşlerime en kalbi şükranlarımı sunarım.

Berna ÇORUHLU

Trabzon 2017



## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

*Yüksek Lisans Tezi* olarak sunduğum “*Doğu Karadeniz Bölgesi’ndeki Tek Açıklıklı Kemer Köprüler için Doğal Frekans, Yer Değiştirme ve Gerilme Formülleri*” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım *Doç. Dr. Temel TÜRKER*’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 14/04/2017

*Berna ÇORUHLU*

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa No

ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	VIII
SUMMARY .....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIX
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XX
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Konuyla İlgili Daha Önce Yapılmış Çalışmalar.....	2
1.3. Tezin Amacı ve Kapsamı .....	8
1.4. Tarihi Taş Kemer Köprüler ve Çeşitleri.....	9
1.4.1. Taş Kemer Köprülerin Tarihi Gelişimi ve Türkiye'deki Tarihi Taş Kemer Köprüler.....	14
1.4.2. Taş Kemer Köprü Elemanları.....	20
1.4.3. Taş Kemer Köprü Yapımı .....	22
1.4.4. Tarihi Taş Kemer Köprülere Etkiyen Yükler.....	23
1.5. Sonlu Eleman Yöntemi'yle Tarihi Taş Kemer Köprülerin Modellenmesi ve Analizleri .....	24
1.5.1. SAP2000 Programında Sonlu Eleman Model Oluşturulması .....	24
1.5.2. Çok Serbestlik Dereceli Sistemler İçin Modal Analiz Formülasyonu .....	25
1.5.3. Çoklu Regresyon Yöntemi .....	26
1.5.3.1. Çoklu Regresyon Modeli Varsayımları.....	27
1.5.3.2. Tahmincilerin Anlamlılığının Sınanması ( $R^2$ ) .....	28
1.5.4. En Küçük Kareler Yöntemi.....	28
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	30
2.1. Seçilen Köprüler Hakkında Genel Bilgiler .....	30

2.2.	Köprülerin Sonlu Eleman Modelleri ve Yapısal Analizleri .....	30
2.2.1	Tarihi Pazaryolu Köprüsü .....	32
2.2.2.	Tarihi Zanoý Köprüsü... ..	36
2.2.3.	İlecik Köprüsü.....	41
2.2.4.	Meryem Ana-1 Köprüsü.....	45
2.2.5.	Meryem Ana-2 Köprüsü.....	49
2.2.6.	Tarihi Akköy Köprüsü.....	54
2.2.7.	Tarihi Cimil Köprüsü... ..	58
2.2.8.	Tarihi Demirkapı Köprüsü .....	63
2.2.9.	Diktaş Köprüsü.....	67
2.2.10.	Tarihi Gültepe Köprüsü.....	72
2.2.11.	Tarihi Dibekli Köprüsü .....	76
2.2.12.	Tarihi Kamberli Köprüsü .....	81
2.2.13.	Tarihi Krom Köprüsü... ..	85
2.2.14.	Tarihi Yağlıdere Köprüsü.....	89
2.2.15.	Tarihi Uğurtaş (Bağava) Köprüsü .....	94
2.2.16.	Tarihi Kırıklı Köprüsü.....	98
2.2.17.	Tarihi Olucak Köprüsü .....	103
2.2.18.	Ortaköy Köprüsü.....	107
2.2.19.	Tarihi Şenyuva Köprüsü.....	112
2.2.20.	Tarihi Yeşilköy Köprüsü .....	116
2.2.21.	Tarihi Veliköy Köprüsü.....	121
2.2.22.	Tarihi Cami Mahallesi Köprüsü .....	125
2.2.23.	Tarihi Çamlıtepe Köprüsü .....	130
2.2.24.	Tarihi Erenköy Köprüsü.....	134
2.2.25.	Tarihi Halilli Köprüsü... ..	139
2.2.26.	Tarihi Hayrat Köprüsü.....	143
2.2.27.	Tarihi Taşgeçit Köprüsü.....	148
2.2.28.	Tohumoğlu Köprüsü.....	152
2.2.29.	Tarihi Torul Köprüsü .....	157
2.2.30.	Kocaköprü.....	162
3.	BULGULAR VE İRDELEMELER .....	167
3.1.	Doğal Frekansların Değerlendirilmesi .....	167

3.2.	Mod Şekillerinin Değerlendirilmesi.....	170
3.3.	Yer Değiştirmelerin Değerlendirilmesi .....	172
3.4.	Gerilmelerin Değerlendirilmesi.....	174
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	179
5.	KAYNAKLAR.....	182

ÖZGEÇMİŞ



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

DOĞU KARADENİZ BÖLGESİNDEKİ TEK AÇIKLIKLI KEMER KÖPRÜLER İÇİN  
DOĞAL FREKANS, YER DEĞİŞTİRME VE GERİLME FORMÜLLERİ

Berna ÇORUHLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Temel TÜRKER  
2017, 186 Sayfa

Bu çalışmada, Sonlu Eleman Yöntemi kullanılarak tarihi taş kemer köprülerin doğal frekansları ile statik ve dinamik yükler altındaki davranışına ait yer değiştirme ve gerilme hesabı için formüller geliştirilmeye çalışılmıştır. Uygulama olarak Doğu Karadeniz Bölgesi'nde bulunan farklı geometrik özelliklere sahip otuz adet tarihi taş kemer köprü seçilmiştir. Sunulan tez çalışması, başlıca dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, literatürde taş kemer köprüler üzerine yapılmış çalışmalardan, modellemede kullanılan yöntemlerden ve formüllerin elde edilmesinde kullanılan yöntemden bahsedilmiştir. İkinci bölümde, köprülerin oluşturulan sonlu eleman modelleri üzerinde modal analizden elde edilen doğal titreşim frekansları ile mod şekilleri, statik ve dinamik analizlerden elde edilen en büyük yer değiştirmeler ile çekme ve basınç gerilmeleri sunulmuştur. Üçüncü bölümde, geometrik boyutlara bağlı olarak frekans, yer değiştirme ve gerilme değerlerinin hesabı için birer formül ortaya konulmuştur. Dördüncü bölümde ise, yapılan çalışmalardan çıkarılan sonuçlar ve gelecek çalışmalara ışık tutacağı ümit edilen öneriler sunulmaktadır. Çalışma sonucunda, önerilen formüllerin köprülerin frekans, yer değiştirme ve gerilme değerlerinin tahmininde gerçeğe oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Modal Analiz, Sonlu Eleman Yöntemi, Statik ve Dinamik Analiz, Taş Kemer Köprüler.

Master Thesis

SUMMARY

FORMULATIONS FOR NATURAL FREQUENCIES, DISPLACEMENT AND STRESSES OF SINGLE SPAN ARCH BRIDGE IN EAST BLACK SEA REGION

Berna ÇORUHLU

Karadeniz Technical University  
Institute of Natural Sciences  
Department of Civil Engineering

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Temel TÜRKER  
2017, 186 pages

In this study, it was tried to be developed formulas for the natural frequencies, displacement and stress for static and dynamic load on the historic stone arch bridges. It was selected thirty historical stone arch bridges, with different geometric features from the East Black Sea Region, in Turkey. The presented thesis consists of four main sections. In the first chapter, it was mentioned about the literature studies on stone arch bridges, and methods used in modeling and also the method used to obtain the formulas. In the second chapter, there were presented natural vibration frequencies obtained from modal analysis of bridges with mode shapes, on the developed finite element models in this study, pulling and pressure stresses which were produced from static and dynamic analysis, and the greatest displacement. In the third chapter, it was revealed that the frequencies depending on geometric dimensions, one each formulas for calculation of displacement and stress. In the fourth chapter, the results obtained from this study and the suggestions that are expected to lead the way future studies were presented. At the end of the study, it has been seen that the proposed formulas give very close results to reality on estimation of frequency, displacement and stress values of bridges.

**Keywords:** Modal Analysis, Finite Element Method, Static and Dynamic Analysis, Stone Arch Bridges.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1.1. Biçimlerine göre taş köprüler .....	11
Şekil 1.2. Açıklık sayılarına göre taş köprüler.....	12
Şekil 1.3. Planına göre taş köprüler.....	12
Şekil 1.4. Kesik köprüler .....	13
Şekil 1.5. Üzerinde odacıklar bulunan köprüler .....	13
Şekil 1.6. Kemer biçimlerine göre köprüler.....	13
Şekil 1.7. Döşeme kısmı basamaklı köprüler.....	14
Şekil 1.8. Pont du Gard, Fransa .....	15
Şekil 1.9. Anji Köprüsü, Çin.....	15
Şekil 1.10. Cender Suyu Köprüsü.....	16
Şekil 1.11. Karamağara Köprüsü.....	16
Şekil 1.12. Justinianus Köprüsü.....	17
Şekil 1.13. Misis Köprüsü, Adana.....	17
Şekil 1.14. Aspendos Köprüsü, Antalya .....	18
Şekil 1.15. Malabadi Köprüsü, Diyarbakır .....	18
Şekil 1.16. Uzunköprü, Edirne.....	19
Şekil 1.17. Timisvat Köprüsü, Rize.....	19
Şekil 1.18. Coşandere Köprüsü, Trabzon .....	20
Şekil 1.19. Kemer köprü elemanları.....	21
Şekil 1.20. Yeni yapılmış kemer ve oturmuş 3 mafsallı kemer için kemer davranışı .....	22
Şekil 1.21. Şematik olarak taş kemer köprü yapım şekli.....	23
Şekil 1.22. İki serbestlik dereceli bir sistemin analitik modeli .....	25
Şekil 2.1. Köprülerin modellenmesinde kullanılan sekiz düğüm noktalı katı eleman .....	31
Şekil 2.2. Tarihi Pazaryolu Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli.....	32
Şekil 2.3. Tarihi Pazaryolu Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli .....	33

Şekil 2.4.	Tarihi Pazaryolu Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	35
Şekil 2.5.	Tarihi Pazaryolu Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	36
Şekil 2.6.	Tarihi Pazaryolu Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler .....	36
Şekil 2.7.	Tarihi Zanoş Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli.....	37
Şekil 2.8.	Tarihi Zanoş Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli ...	37
Şekil 2.9.	Tarihi Zanoş Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	39
Şekil 2.10.	Tarihi Zanoş Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	40
Şekil 2.11.	Tarihi Zanoş Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler .....	40
Şekil 2.12.	İlecik Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli .....	41
Şekil 2.13.	İlecik Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli .....	42
Şekil 2.14.	İlecik Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları.....	44
Şekil 2.15.	İlecik Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	44
Şekil 2.16.	İlecik Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler .....	45
Şekil 2.17.	Meryem Ana-1 Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli.....	45
Şekil 2.18.	Meryem Ana-1 Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli .....	46
Şekil 2.19.	Meryem Ana-1 Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	48
Şekil 2.20.	Meryem Ana-1 Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	49
Şekil 2.21.	Meryem Ana-1 Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler .....	49
Şekil 2.22.	Meryem Ana-2 Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli.....	50
Şekil 2.23.	Meryem Ana-2 Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli .....	50



Şekil 2.24. Meryem Ana-2 Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	53
Şekil 2.25. Meryem Ana-2 Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	53
Şekil 2.26. Meryem Ana-2 Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler .....	54
Şekil 2.27. Tarihi Akköy Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli.....	54
Şekil 2.28. Tarihi Akköy Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli ..	55
Şekil 2.29. Tarihi Akköy Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	57
Şekil 2.30. Tarihi Akköy Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	58
Şekil 2.31. Tarihi Akköy Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler .....	58
Şekil 2.32. Tarihi Cimil Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli.....	59
Şekil 2.33. Tarihi Cimil Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli ....	59
Şekil 2.34. Tarihi Cimil Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	62
Şekil 2.35. Tarihi Cimil Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	62
Şekil 2.36. Tarihi Cimil Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler .....	63
Şekil 2.37. Tarihi Demirkapı Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli.....	63
Şekil 2.38. Tarihi Demirkapı Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli .....	64
Şekil 2.39. Tarihi Demirkapı Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	66
Şekil 2.40. Tarihi Demirkapı Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	67
Şekil 2.41. Tarihi Demirkapı Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler .....	67
Şekil 2.42. Diktaş Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli.....	68
Şekil 2.43. Diktaş Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli .....	68
Şekil 2.44. Diktaş Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları.....	71

Şekil 2.45. Diktaş Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	71
Şekil 2.46. Diktaş Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler .....	72
Şekil 2.47. Tarihi Gültepe Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli.....	72
Şekil 2.48. Tarihi Gültepe Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli .....	73
Şekil 2.49. Tarihi Gültepe Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	75
Şekil 2.50. Tarihi Gültepe Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	76
Şekil 2.51. Tarihi Gültepe Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler .....	76
Şekil 2.52. Tarihi Dibekli Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli.....	77
Şekil 2.53. Tarihi Dibekli Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli.....	77
Şekil 2.54. Tarihi Dibekli Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	79
Şekil 2.55. Tarihi Dibekli Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	80
Şekil 2.56. Tarihi Dibekli Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler .....	80
Şekil 2.57. Tarihi Kamberli Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli.....	81
Şekil 2.58. Tarihi Kamberli Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli .....	82
Şekil 2.59. Tarihi Kamberli Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	84
Şekil 2.60. Tarihi Kamberli Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	84
Şekil 2.61. Tarihi Kamberli Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler .....	85
Şekil 2.62. Tarihi Krom Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli.....	85
Şekil 2.63. Tarihi Krom Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli ....	86
Şekil 2.64. Tarihi Krom Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	88

Şekil 2.65. Tarihi Krom Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	89
Şekil 2.66. Tarihi Krom Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler .....	89
Şekil 2.67. Tarihi Yağlıdere Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli.....	90
Şekil 2.68. Tarihi Yağlıdere Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli .....	90
Şekil 2.69. Tarihi Yağlıdere Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	93
Şekil 2.70. Tarihi Yağlıdere Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	93
Şekil 2.71. Tarihi Yağlıdere Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler .....	94
Şekil 2.72. Tarihi Uğurtaş Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli.....	94
Şekil 2.73. Tarihi Uğurtaş Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli .....	95
Şekil 2.74. Tarihi Uğurtaş Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	97
Şekil 2.75. Tarihi Uğurtaş Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	98
Şekil 2.76. Tarihi Uğurtaş Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler .....	98
Şekil 2.77. Tarihi Kırıklı Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli.....	99
Şekil 2.78. Tarihi Kırıklı Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli .....	99
Şekil 2.79. Tarihi Kırıklı Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	102
Şekil 2.80. Tarihi Kırıklı Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	102
Şekil 2.81. Tarihi Kırıklı Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler .....	103
Şekil 2.82. Tarihi Olucak Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli.....	103
Şekil 2.83. Tarihi Olucak Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli .....	104
Şekil 2.84. Tarihi Olucak Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	106

Şekil 2.85. Tarihi Olucak Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	107
Şekil 2.86. Tarihi Olucak Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler .....	107
Şekil 2.87. Ortaköy Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli .....	108
Şekil 2.88. Ortaköy Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli.....	108
Şekil 2.89. Ortaköy Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları.....	111
Şekil 2.90. Ortaköy Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	111
Şekil 2.91. Ortaköy Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler .....	112
Şekil 2.92. Tarihi Şenyuva Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli.....	112
Şekil 2.93. Tarihi Şenyuva Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli .....	113
Şekil 2.94. Tarihi Şenyuva Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	115
Şekil 2.95. Tarihi Şenyuva Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	116
Şekil 2.96. Tarihi Şenyuva Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler .....	116
Şekil 2.97. Tarihi Yeşilköy Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli.....	117
Şekil 2.98. Tarihi Yeşilköy Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli .....	117
Şekil 2.99. Tarihi Yeşilköy Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	120
Şekil 2.100. Tarihi Yeşilköy Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	120
Şekil 2.101. Tarihi Yeşilköy Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler .....	121
Şekil 2.102. Tarihi Veliköy Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli .....	121
Şekil 2.103. Tarihi Veliköy Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli .....	122
Şekil 2.104. Tarihi Veliköy Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları.....	124

Şekil 2.105. Tarihi Veliköy Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	125
Şekil 2.106. Tarihi Veliköy Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler .....	125
Şekil 2.107. Tarihi Cami Mahallesi Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli .....	126
Şekil 2.108. Tarihi Cami Mahallesi Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli .....	126
Şekil 2.109. Tarihi Cami Mahallesi Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	129
Şekil 2.110. Tarihi Cami Mahallesi Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	129
Şekil 2.111. Tarihi Cami Mahallesi Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler .....	130
Şekil 2.112. Tarihi Çamlıtepe Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli .....	130
Şekil 2.113. Tarihi Çamlıtepe Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli .....	131
Şekil 2.114. Tarihi Çamlıtepe Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	133
Şekil 2.115. Tarihi Çamlıtepe Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	134
Şekil 2.116. Tarihi Çamlıtepe Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler .....	134
Şekil 2.117. Tarihi Erenköy Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli .....	135
Şekil 2.118. Tarihi Erenköy Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli .....	135
Şekil 2.119. Tarihi Erenköy Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	138
Şekil 2.120. Tarihi Erenköy Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	138
Şekil 2.121. Tarihi Erenköy Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler .....	139
Şekil 2.122. Tarihi Halilli Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli .....	139
Şekil 2.123. Tarihi Halilli Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli .....	140
Şekil 2.124. Tarihi Halilli Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	142

Şekil 2.125. Tarihi Halilli Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	143
Şekil 2.126. Tarihi Halilli Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler .....	143
Şekil 2.127. Tarihi Hayrat Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli .....	144
Şekil 2.128. Tarihi Hayrat Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli .....	144
Şekil 2.129. Tarihi Hayrat Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları.....	147
Şekil 2.130. Tarihi Hayrat Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları.....	147
Şekil 2.131. Tarihi Hayrat Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler.....	148
Şekil 2.132. Tarihi Taşgeçit Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli .....	148
Şekil 2.133. Tarihi Taşgeçit Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli .....	149
Şekil 2.134. Tarihi Taşgeçit Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları.....	151
Şekil 2.135. Tarihi Taşgeçit Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları.....	152
Şekil 2.136. Tarihi Taşgeçit Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler.....	152
Şekil 2.137. Tohumoğlu Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli .....	153
Şekil 2.138. Tohumoğlu Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli .	153
Şekil 2.139. Tohumoğlu Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları.....	155
Şekil 2.140. Tohumoğlu Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları.....	156
Şekil 2.141. Tohumoğlu Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler.....	156
Şekil 2.142. Tarihi Torul Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli .....	157
Şekil 2.143. Tarihi Torul Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli .....	158
Şekil 2.144. Tarihi Torul Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları.....	160

Şekil 2.145. Tarihi Torul Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	161
Şekil 2.146. Tarihi Torul Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler .....	161
Şekil 2.147. Kocaköprü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli .....	162
Şekil 2.148. Kocaköprü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli .....	163
Şekil 2.149. Kocaköprü'de kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları .....	165
Şekil 2.150. Kocaköprü'de kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları.....	165
Şekil 2.151. Kocaköprü'de kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler .....	166
Şekil 3.1. Seçilen parametrelerin tipik köprü kesitinde gösterilmesi .....	167

## TABLolar DİZİNİ

### Sayfa No

Tablo 2.1. Köprülerin analitik modelinde dikkate alınan malzeme özellikleri .....	31
Tablo 3.1. Köprü boyut parametrelerine bağlı olarak ilk üç doğal frekansın değişimi ....	168
Tablo 3.2. İlecik Köprüsü'nün önerilen formülle frekanslarının belirlenmesi ve hata oranları .....	169
Tablo 3.3. Tarihi Kamberli Köprüsü'nün önerilen formülle frekanslarının belirlenmesi ve hata oranları .....	170
Tablo 3.4. Köprü parametrelerine bağlı ilk üç mod şeklinin değişimi .....	171
Tablo 3.5. Köprülerde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem (Y) yükü kombinasyonundan oluşan en büyük yer değiştirmeler .....	173
Tablo 3.6. Köprü isimlerine göre köprünün kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem (Y) yükünden oluşan gerilmeler .....	175
Tablo 3.7. Köprü parametrelerine göre köprünün 1. ve 2. yük kombinasyonlarından oluşan gerilmeler .....	177



## SEMBOLLER DİZİNİ

[C]	Sönüm matrisi
f	Frekans
{f(t)}	Zamana bağımlı kuvvet vektörü
b	Köprü genişliği
h	Kemer yüksekliği
H	Köprü yüksekliği
[K]	Rijitlik matrisi
[k <sub>r</sub> ]	Genelleştirilmiş rijitlik matrisi
L	Köprü uzunluğu
l	Kemer açıklığı
[M]	Kütle matrisi
m	Kütle
[m <sub>r</sub> ]	Genelleştirilmiş kütle matrisi
t	Zaman
Y	Bağımlı değişken
X <sub>Enine</sub>	Enine yer değiştirme
X <sub>Düşey</sub>	Düşey yer değiştirme
X <sub>i</sub>	Bağımsız değişken
{x(t)}	Zamana bağımlı yer değiştirme vektörü
{ẋ(t)}	Zamana bağımlı hız vektörü
{ẍ(t)}	Zamana bağımlı ivme vektörü
ω	Sönümsüz doğal açısal frekans
[ψ]	Modal matris
{φ}	Normalleştirilmiş öz vektör
σ <sub>Basınç</sub>	Basınç gerilmesi
σ <sub>Çekme</sub>	Çekme gerilmesi

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Geçmişten günümüze varlıklarını sürdürerek gelmiş olan tarihi köprüler, buldukları bölgede ulaşımı sağlamakla beraber insanlık tarihi açısından da büyük öneme sahiptirler. Tarihi köprüler deprem, sel, patlama ve çarpma gibi yüklere maruz kaldıklarında, yapısal ve/veya yapısal olmayan elemanlarında çeşitli hasarlar meydana gelmektedir. Söz konusu hasarların oluşmaması, oluştuğunda ise kullanımı engellememesi için tarihi köprülerin bakım ve onarımlarının periyodik olarak yapılması gerekmektedir.

Günümüzde bilgi ve teknoloji alanındaki gelişmeler, yapıların davranışlarının hem analitik hem de yerinde deneysel olarak incelenmesine olanak sağlamaktadır. Deprem, sel, patlama, çarpma gibi yükler etkisinde kalan yapıların davranışını belirlemede analitik olarak en yaygın kullanılan yöntem Sonlu Eleman Yöntemi iken deneysel olarak en yaygın ve etkin sonuç veren yöntem Deneysel Modal Analiz Yöntemi'dir. Sonlu Eleman Yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde belirli varsayımlar doğrultusunda bilgisayar ortamında oluşturulan model üzerinde analizler yapılırken, Deneysel Modal Analiz Yöntemi'nde gerçek yapı üzerinde ölçümler gerçekleştirilerek gerçek yapısal modal davranış ortaya konulmaktadır. Buna karşın deneysel çalışmalardan elde edilen veriler ileri düzeyde yapısal güvenlik değerlendirmesi yapmak için tek başına yeterli olmamakta, analitik modellere ihtiyaç duyulmaktadır.

Tarihi taş kemer köprülerde meydana gelen hasarlara karşı yapılan onarımlarda, öncelikle köprünün yapısal modeli oluşturulmakta ve bu model üzerinde statik ve dinamik yükler için analizler gerçekleştirilmektedir. Sonrasında analizlerden elde edilen yer değiştirme ve gerilme değerlerine bağlı olarak kesit tahkikleri yapılmaktadır. Bu süreç içerisinde köprü yapısal davranışı için doğru bir değerlendirme yapılabilmesi, oluşturulan analitik modelin gerçek köprüyü ne düzeyde temsil ettiğine bağlıdır. Analitik modelin doğruluğunu kontrol etmek amacıyla tercih edilen genel yaklaşım, oluşturulan analitik modelden elde edilen yapısal karakteristik parametrelerin yapıdan ölçülen değerlerle ya da yaklaşık formüllerle hesaplanan değerlerle karşılaştırılmasıdır. Her iki yaklaşımda da

karşılaştırılacak parametrenin yapı için karakteristik özellikte olması gerekmektedir. Bu nedenle karşılaştırma parametresi olarak genellikle dinamik karakteristikler olan doğal frekanslar, mod şekilleri ve modal sönüm oranları tercih edilmektedir.

Ülkemizde geçmişten günümüze kadar ulaşan farklı dönemlere ait, boyutları ve şekilleri farklı birçok taş kemer köprü mevcuttur. Tarihi taş kemer köprülerin sonlu eleman modellerinin oluşturulması ve yapısal davranışlarının değerlendirilmesi aşamasında hatalar oluşabilmektedir. Bu durumda tarihi taş kemer köprülerin yapısal davranışının doğruluğunun kontrolünü sağlayacak bir referans değer ya da yaklaşık bir formüle ihtiyaç vardır. Tarihi taş kemer köprüler için geometrik özelliklere bağlı olarak doğal titreşim frekanslarının tahmin edilebilmesi amacıyla ampirik bir formül geliştirilmesi, ülkemizdeki tarihi taş kemer köprü sayısı dikkate alındığında oldukça önemlidir.

## **1.2. Konuyla İlgili Daha Önce Yapılmış Çalışmalar**

Tarihi köprüler üzerine birçok teorik ve deneysel çalışma yapılmıştır. Teorik çalışmalarda genellikle statik ve dinamik yükler etkisindeki köprü davranışı incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda ise dinamik karakteristiklerin belirlenmesine ve kemer davranışının incelenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan bir kısmı aşağıda özetlenmiştir.

Boothby (2001), çalışmasında yığma kemer yapıların korunmasında yeni yaklaşımların geliştirilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Fanning ve Boothby (2001), çalışmalarında üç adet yığma köprüyü ANSYS programında Sonlu Eleman Yöntemi'yle modelleyip teorik analizlerini yapmışlardır. Operasyonel Modal Analiz Yöntemi'ni kullanarak köprülerin deneysel ölçümlerini gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak teorik ve deneysel analiz sonuçlarını birbirleriyle karşılaştırmışlardır.

Frunzio vd. (2001), çalışmalarında tarihi taş kemer bir köprüyü ANSYS programında modellemiş, dolgu duvarların lineer olmayan malzemeye sahip olduğunu dikkate alarak sonlu eleman model analizleri teorik olarak gerçekleştirmişlerdir.

Karaveziroğlu vd. (2001), çalışmalarında tarihi taş kemer köprülerin statik analizlerini Sonlu Eleman ve Ayrık Sonlu Eleman yöntemlerini kullanarak gerçekleştirmişler ve bu iki yöntemi karşılaştırarak Sonlu Eleman Yöntemi'nin taş kemer köprü analizleri için daha uygun olduğu sonucuna varmışlardır.

Aoki vd. (2004), 1920 yılında Japonya’da Yamakuni nehri üzerinde inşa edilen üç açıklıklı tarihi Rakanji taş kemer köprüsünün yapısal özelliklerini belirlemek için teorik ve deneysel dinamik analizler gerçekleştirmişlerdir. Köprünün malzeme özelliklerini belirleyip üç boyutlu sonlu eleman modelini oluşturmuşlardır. Oluşturulan bu model üzerinde teorik analizler yapmışlardır. Daha sonra Çevresel Titreşim Yöntemleri’yle köprünün deneysel analizlerini yapmışlardır. Son olarak elde ettikleri teorik ve deneysel dinamik karakteristikler arasında karşılaştırmalar yapmışlardır.

Toker ve Ünay (2004), genel kemerli köprü tipini yansıtabilecek şekilde kemer modeli geliştirmişler ve bu model üzerinde yapının çeşitli yükler ve fiziksel etkiler altında gerçek davranışını incelemek amacıyla matematiksel modelleme tekniklerini denemişlerdir. Denenen matematiksel modelleme teknikleriyle değişken yükler altında kemerli yapının davranışının incelenebileceğini ortaya koymuşlardır.

Ural (2005), Trabzon/Maçka’da bulunan Coşandere (Kıvalı) Köprüsünü SAP2000 programında Sonlu Eleman Yöntemi’yle modelleyip kendi ağırlığından dolayı oluşan gerilme ve şekil değiştirmeleri incelemek amacıyla statik analiz yapmıştır. Bu analiz sonucunda yapının kendi ağırlığından dolayı meydana gelen maksimum gerilmeleri güvenle taşıyabildiğini görmüştür. Ayrıca oluşturulan sonlu eleman modeline 1940-Elcento depreminin ivme kaydını etki ettirip modelin lineer-elastik deprem davranışını incelemiş ve modelin daha da detaylandırılıp kullanılan malzemelerin lineer olmayan durumu için analizlerin tekrarlanması gerektiği sonucuna varmıştır.

Bayraktar vd. (2007), tarihi köprüler üzerinde yapılan Sonlu Eleman model iyileştirmesinin köprünün deprem davranışına etkisini incelemek amacıyla Trabzon/Akçaabat’ta bulunan Şinik Köprüsü’nün ANSYS programıyla üç boyutlu modal analizini yaparak doğal frekans ve mod şekillerini belirlemişlerdir. Daha sonra Operasyonel Modal Analiz Yöntemi’yle köprünün dinamik karakteristiklerini deneysel olarak belirleyip teorik karakteristiklerle karşılaştırmışlar ve köprünün mevcut durumunu yansıtan sonlu eleman modelini oluşturmuşlardır.

Beconcini vd. (2007), beş açıklıklı tarihi taş kemer köprünün dinamik karakteristiklerini teorik ve deneysel olarak belirlemeyi amaçlamışlardır. Köprünün sonlu eleman modelinden elde edilen teorik sonuçları Operasyonel Modal Analiz’den elde edilen deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır.

Gürer vd. (2007), çalışmalarında Rize/Çamlıhemşin’de bulunan iki adet tek açıklıklı taş kemer köprüyü Sonlu Eleman Yöntemi’ni kullanarak Franc 2D programı ile modelleyip

gerilmelerini statik açıdan incelemişlerdir. Bu köprülerin her birinin dayanıklı yapılar olduğu ve uzun yıllar hizmet vermeye devam edecekleri sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca dinamik analiz yapılarak bu çalışmanın sonuçlarının daha da geliştirilebileceğini önermişlerdir.

Oliveira vd. (2007), 20. yüzyılda inşa edilen taş kemer bir köprünün üç farklı yüklenme durumunda davranışlarını inceleyip deneysel çalışmalar olmadan oluşturulan sonlu eleman modelin yapının gerçek davranışını yansıtmayacağı sonucuna ulaşmışlardır.

Sert (2007), çalışmasında Karayolları Genel Müdürlüğü, Köprüler Dairesi Başkanlığı, Tarihi Köprüler Şubesi Müdürlüğü'nün tarihi köprüler üzerinde gerçekleştirdiği onarım çalışmalarını irdelemiştir.

Alaboz (2008), Marmara bölgesindeki Mimar Sinan köprülerinin güncel durumlarının incelenmesini, köprülerde hasara sebep olan etkilerin belirlenmesini ve uygun onarım-koruma önerilerinin geliştirilmesini amaçlamıştır. Bu amaca yönelik olarak gözlem ve araştırmalar yapmış, örnek bir yapı üzerinde mühendislik modeli kurarak analitik verileri yorumlamış, taş köprülerin çözümlenmesinde izlenecek yola dair bir örnek ortaya koymuştur.

Brencich ve Sabia (2008), çalışmalarında 1866 yılında inşa edilen 18 açıklıklı tarihi Tanaro Köprüsü'nü incelemişlerdir. Köprünün malzeme özelliklerini belirleyip beş farklı sonlu eleman modeli oluşturmuşlardır. Bu sonlu eleman modelleri üzerinde yaptıkları teorik analizlerle köprünün dinamik karakteristiklerini belirlemişlerdir. Daha sonra ivmeölçerler kullanarak köprünün dinamik analizlerini gerçekleştirmişlerdir.

Rafiee vd. (2008), çalışmalarında tarihi yığma kemer yapıların dinamik ve mekanik davranışlarını belirlemek için bilgisayar modeli oluşturmuş ve bu model üzerinde yapısal analizler yapmıştır.

Ural vd. (2008), çalışmalarında tarihi kemer köprülerin korunmasının ve uygun restorasyon projelerini geliştirmek için bu yapıların mevcut koşullarını belirlemenin önemini ortaya koymuşlardır. Bu amaçla Türkiye'deki tarihi kemer köprülerin mimari ve mühendislik özellikleri üzerinde durmuşlardır.

Pela vd. (2009), tarihi kemer köprülerin sismik davranışlarını incelemek amacıyla modelledikleri köprü üzerinde doğrusal olmayan statik analiz yapmışlardır.

Ramos vd. (2009), çalışmalarında yığma yapıların korunmasında titreşimli hasar tespit tekniklerinin etkisini araştırmayı amaçlamışlardır. Laboratuvar ortamında yığma bir kemer modelleyerek önce hasarsız durumda dinamik analiz yapmışlardır. Daha sonra farklı

hasarlar için dinamik analizler gerçekleştirmiş ve bu yöntemin yığma yapılarda kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır.

Bayraktar vd. (2010), çalışmalarında tarihi yapıların deprem güvenliklerini analitik ve deneysel yöntemler kullanarak belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu amaç doğrultusunda tarihi bir köprü, tarihi bir minare ve tarihi bir kule seçip Operasyonel Modal Analiz Yöntemi'yle bu yapıların dinamik karakteristiklerini belirlemiştir. Deneysel ölçümlerden ve sonlu eleman modellerinden elde edilen dinamik karakteristikleri karşılaştırıp yapıların mevcut durumunu yansıtacak biçimde sonlu eleman model iyileştirilmesi yapmışlardır. İyileştirilmiş sonlu eleman modellerini kullanarak tarihi yapıların deprem güvenliklerini belirlemiştir. Yaptıkları çalışmadan tarihi yapıların deprem davranışlarının belirlenmesi için kullanılan sonlu eleman modellerinin hasarsız deneysel yöntemler kullanılarak iyileştirilmesinin önemini ve bu yöntemlerin tarihi yapıların güvenliklerinin belirlenmesinde güvenle kullanılabileceği sonucunu çıkarmışlardır.

Birinci (2010), çalışmasında taş kemer köprülerin dinamik karakteristiklerini deneysel ve teorik olarak belirlemeyi ve Operasyonel Modal Analiz Yöntemi'ni kullanarak köprülerin sonlu eleman modellerini iyileştirmeyi amaçlamıştır. Birer tarihi taş kemer köprü olan Şenyuva ve Osmanlı köprülerini seçip sonlu eleman modellerini ANSYS programında oluşturularak teorik analizlerini yapmıştır. Aynı köprülerin Operasyonel Modal Analiz Yöntemi'yle dinamik karakteristiklerini belirleyip teorik ve deneysel analiz sonuçlarını birbirleriyle karşılaştırmıştır. Son olarak yine Operasyonel Modal Analiz Yöntemi'yle deneysel ve teorik sonuçlar arasındaki farkları en aza indirecek şekilde sonlu eleman model iyileştirmesi yapmıştır. Çalışma sonunda, uygun ölçüm cihazları kullanılarak gerçekleştirilen Operasyonel Modal Analiz Yöntemi'nin, karmaşık geometrik ve malzeme özelliklerine sahip taş kemer köprülerin dinamik karakteristiklerinin belirlenmesinde ve sonlu eleman modellerinin iyileştirilmesinde güvenle kullanılabileceği sonucuna varmıştır.

Orhan (2010), çalışmasında kagir kemer köprülerin yük taşıma kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılan mevcut yöntemleri incelemiş ve tek açıklıklı dairesel kagir kemer köprülerin göçme yüklerinin rijit-blok analiz yöntemiyle hesaplanmasına yönelik olarak Matlab programını kullanarak bir algoritma geliştirmiştir. Elde edilen sonuçlar, literatürdeki mevcut sonuçlarla uyumlu çıkmıştır. Ayrıca, kemer yüksekliğini, kemer kalınlığını, sürtünme katsayısını ve kemer bloklarının sayısını parametreler olarak alarak

tek açıklıklı kagir kemerlerin değişimsel göçme yüklerini değerlendirmiştir. Çalışma kapsamında geliştirdiği ve Kemer adını verdiği programla yaptığı analizlerden elde ettiği sonuçların, programın oluşturulmasında yapılan kabuller de dikkate alındığında, gerçek değerlere kabul edilebilir yakınlıkta olduğunu görmüştür.

Sayın vd. (2011), çalışmalarında Malatya/Darende'deki Tarihi Uzunok Köprüsü'nü ANSYS paket programında modelleyerek doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik analizlerini yapmışlardır. Analizlerde temel ortamını doğrusal elastik olarak kabul edip analiz sonuçlarını karşılaştırarak köprünün sismik davranışını incelemiştir. Sonuç olarak aktif deprem kuşağı üzerinde bulunan bölgelerde tarihi yapıların sismik davranışlarının belirlenmesinde deprem etkilerinin gerçekçi bir şekilde dikkate alınması gerektiğini vurgulamışlardır.

Halifeoğlu vd. (2013), çalışmalarında Samsun ili Vezirköprü ilçesinde bulunan Tarihi Kurt Köprüsü'nde 2007-2009 yılları arasında gerçekleştirilen restorasyon proje ve uygulama çalışmaları ile teknik araştırmaları incelemiştir. Çalışmalarının, kendilerinden sonra gerçekleştirilecek restorasyon çalışmalarına katkı sağlayacağı düşüncesini ortaya koymuşlardır.

Korkmaz vd. (2013), taş kemer köprülerin deprem davranışını belirlemek amacıyla Rize/Ardeşen'de bulunan Timisvat Tarihi Köprü'sünü SAP2000 bilgisayar programında Sonlu Eleman Yöntemi'yle modellemiştir. Bu model üzerinde 10 farklı depremin ivme kayıtlarını kullanarak zaman tanım alanında dinamik analizler gerçekleştirmişlerdir. Bu analizler sonucunda deprem kayıtlarına ait yer değiştirme ve gerilme değerlerini bulup sonuçları karşılaştırmışlardır.

Özkaya (2013), çalışmasında yığma kemer köprülerin göçme yüklerinin hesaplanmasında kullanılan mevcut yöntemleri incelemiş ve tek açıklıklı yığma kemer köprülerin belirli yükler altında göstermiş olduğu davranışları statik analiz yöntemiyle değerlendirmiştir. Çalışmada kullandığı modeli, 3 boyutlu olarak ANSYS paket programıyla oluşturmuş ve analiz sonuçlarını yine bu programı kullanarak elde etmiştir. Elde ettiği sonuçlar literatürdeki mevcut çalışmalar ile uyum göstermiştir.

Altunışık vd. (2015), çalışmalarında hasarlı yapılarda yapılan restorasyon çalışmalarının yapısal davranışa olan etkilerini belirlemek amacıyla Dandalaz Köprüsü'nü seçip köprünün restorasyon öncesi ve sonrası durumlarına ait analizler gerçekleştirmişlerdir. Dandalaz Köprüsü'nün yapısal davranışının belirlenmesi amacıyla altı farklı analiz gerçekleştirmişlerdir. İlk üç analizde köprünün mevcut durumunu, son üç

analizde ise köprünün restorasyon sonrasındaki durumunu kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem yükleri için ayrı ayrı incelemişlerdir. Her bir analiz sonucunda, köprüde meydana gelen maksimum yer değiştirme, çekme ve basınç gerilmeleri ile çekme ve basınç şekil değiştirmelerini hem sayısal hem de kontur diyagramı olarak elde etmişlerdir. Çalışma sonunda yapılacak restorasyon çalışmalarının yapısal davranışı olumlu yönde etkilediğini tespit etmişlerdir.

Bayraktar vd. (2015a), çalışmalarında ülkemizin farklı bölgelerinde inşa edilmiş, içlerinde tarihi taş yığma bir köprünün de bulunduğu dört farklı taşıyıcı sisteme sahip uzun açıklıklı köprüye çevresel titreşimlere dayalı yapı sağlığı izleme sistemlerinin uygulanıp uygulanamayacağını araştırmayı amaçlamışlardır. Bu amaç doğrultusunda köprülerin dinamik karakteristiklerini deneysel olarak Çevresel Titreşim Testi Yöntemi ve analitik olarak Sonlu Eleman Yöntemi ile belirleyip sonuçları irdelemişlerdir. Çalışma sonucunda çevresel titreşimlere dayalı yapı sağlığı izleme sistemlerinin uzun açıklıklı tarihi köprülere uygulanabileceğini görmüşlerdir. Ayrıca, tarihi köprü sonlu eleman modellerinin iyileştirilmesinde deneysel ölçümlerin gerekliliğini de ortaya koymuşlardır.

Bayraktar vd. (2015b), çalışmalarında tarihi taş kemer köprülerin frekans ve sönüm oranlarını belirlemeyi amaçlamışlardır. Taş ve horosan harç ile inşa edilmiş, farklı açıklıklara sahip sekiz adet tarihi taş kemer köprü seçmişlerdir. Köprülerin dinamik karakteristiklerini Operasyonel Modal Analiz Yöntemi'ni kullanarak belirlemişlerdir. Seçtikleri köprülerin frekansları, sönüm oranları ve mod şekillerini Geliştirilmiş Frekans Ayırıştırma Alanı ve Rastgele Kimlik Tespiti tekniklerini kullanarak belirlemişlerdir. Köprüleri; frekansları, sönüm oranları ve mod şekilleri açısından birbirleriyle karşılaştırmışlardır. Çalışmanın sonunda, tarihi taş kemer köprülerin frekanslarını, sönüm oranlarını ve mod şekillerini belirlemek için bir formül önermişlerdir.

Ercan ve Nuhoğlu (2015), çalışmalarında üç açıklıklı tarihi kemer köprünün statik ve dinamik yapısal özelliklerini tahribatlı ve tahribatsız yöntemlerle araştırmayı amaçlamışlardır. İzmir/Çeşme'de birinci derece deprem bölgesinde bulunan bir köprüyü seçip şiddetli bir depremde göstereceği davranışı değerlendirmişlerdir. Köprünün zemin yapısını ve iç parametrelerini belirleyip üç boyutlu katı modelini oluşturmuşlardır. Köprüden tahribatlı yöntemlerle numuneler alıp üzerinde testler yapmışlardır. Operasyonel Modal Analiz Yöntemi'yle yapının dinamik karakteristiklerini tespit etmişlerdir. Deneysel ve sayısal analiz sonuçlarını değerlendirip iyileştirilen model üzerinde davranış spektrumu analizi yaparak köprünün deprem performansını belirlemişlerdir.



Koçyiğit (2015), çalışmasında Edirne Sarayı'nda Tunca Nehri üzerine kurulmuş Fatih Köprüsü'nü SAP2000 programında Sonlu Eleman Yöntemi'yle modellemiştir. Köprünün geometrik ve malzeme özelliklerini dikkate alarak kendi ağırlığı ve deprem yükleri etkisi altında analizini yapmış ve sonuçları değerlendirmiştir.

Orhan ve Özyazıcıoğlu (2015), tek açıklıklı dairesel taş kemer köprülerin göçme yüklerinin limit analizin alt-limit teorisine göre belirlenmesi amacıyla Matlab programında bir algoritma geliştirmişlerdir. Geliştirilen algoritmayla elde edilen sonuçların literatürdeki mevcut sonuçlarla uyumlu olduğunu görüp bu çalışmayla temeli oluşturulan programın bazı eklemeler ve değişikliklerle geliştirilmesinin mümkün olduğunu ortaya koymuşlardır.

Sert vd. (2015a), çalışmalarında Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen tarihi köprülerin restorasyon projeleri kapsamında farklı köprülerin analiz çalışmaları ve sonuçlarını irdelenmişlerdir. Tarihi köprülerin yapısal davranışı ve etkiler karşısında gösterdiği dayanımın bilinmesinin yapı mühendisliği açısından ne denli önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Sert vd. (2015b), çalışmalarında Diyarbakır ili Batman suyu üzerinde bulunan Tarihi Malabadi Köprüsü'nün 2009-2013 yılları arasında Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilen restorasyon-konservasyon çalışmalarını değerlendirmişlerdir. Taş kemer köprülerde yapılacak restorasyon çalışmalarının; köprünün özgün yapım sistemi ile malzeme özelliklerinin korunması ve en az müdahale ilkesi esas alınarak gerçekleştirilmesi gerektiğini ortaya koymuşlardır.

Türker vd. (2015), çalışmalarında laboratuvar ortamında oluşturdukları 1/10 ölçekli taş kemer köprü modelinin dinamik davranışını deneysel olarak incelemeyi amaçlamışlardır. Çevresel Titreşim Testi kullanarak yapının dinamik karakteristiklerini belirlemiş, SAP2000 programında üç boyutlu katı elemanlar kullanarak modal analiz gerçekleştirmişlerdir. Deneysel olarak elde edilen dinamik karakteristikler ile modal analizden elde edilen analitik sonuçları karşılaştırıp farklılıkları ortaya koymuşlardır.

### **1.3. Tezin Amacı ve Kapsamı**

Bu çalışmanın amacı, Sonlu Eleman Yöntemi kullanılarak tarihi taş kemer köprülerin teorik dinamik karakteristiklerinin belirlenmesi ve doğal frekans, yer değiştirme ve gerilmelerinin hesabı için formüller geliştirilmesidir. Uygulama olarak Doğu Karadeniz

Bölgesi’nde bulunan farklı geometrik özelliklere sahip otuz adet tarihi taş kemer köprü seçilmiştir.

Çalışmanın “Genel Bilgiler” bölümünde, ilk olarak literatürde bu konuda yapılmış çalışmalardan ve bu çalışmalarda kullanılan yöntemlerden bahsedilmiştir. Daha sonra tarihi yapıların sonlu eleman modellemesi ve tarihi taş kemer köprüler hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca bu bölümde teorik modal analiz yöntemi ve bu yöntemle ait formülasyonlar verilmiştir. Son olarak tarihi taş kemer köprülerin doğal frekans, yer değiştirme ve gerilmelerinin hesabı için geliştirilecek olan formüllerin elde edilmesinde kullanılan yöntemler belirlenmiştir. Çalışmanın “Yapılan Çalışmalar” bölümünde ise ilk olarak seçilen tarihi taş kemer köprülerin SAP2000 (2008) programı kullanılarak 3-boyutlu sonlu eleman modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan analitik modeller üzerinde modal analizler gerçekleştirilip mod şekilleri ve doğal titreşim frekansları verilmiştir. Yapılan literatür araştırmaları sonucunda, taş kemer köprülerin geometrik özelliklerine dayalı olarak geliştirilmiş bir frekans formülü gözlemlenmemiştir. Tarihi taş kemer köprülerin doğal frekanslarının geometrik boyutlara bağlı olarak hesaplanmasını sağlayacak bir formül elde edilmiştir. Ayrıca her bir köprünün kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem yükleri için statik ve dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu yüklemeler altında yapılan analizler sonrasında farklı yük kombinasyonları için köprülerde oluşan en büyük yer değiştirmeler ile çekme ve basınç gerilmeleri hesaplanmıştır. Çalışmanın bu bölümünde son olarak elde edilen yer değiştirme ve gerilme değerlerinin yaklaşık hesabı için de formüller geliştirilmiştir. Tarihi taş kemer köprüler için doğal frekansların, yer değiştirmelerin ve gerilmelerin geometrik boyutlara bağlı olarak yaklaşık hesabı için formül geliştirilmesinde Çoklu Regresyon Yöntemi kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen diğer sonuçlar ve öneriler çalışmanın son bölümü olan “Sonuçlar ve Öneriler” başlığı altında sunulmuştur.

#### **1.4. Tarihi Taş Kemer Köprüler ve Çeşitleri**

İnsanların ilk çağlardan beri derin vadileri aşmak için basit şekilli köprüler yaparak ulaşımı sağlamaya çalıştıkları ve bu amaçla ağaç dallarından, sarmaşıklardan ve doğal taşlardan faydalandıkları bilinmektedir. İlk köprülerin taş ve ağaç ayaklar üzerine oturtulan ahşap kirişlerden oluştuğu görülmüştür. Daha uzun açıklıkların geçilebilmesi ve daha

dayanıklı köprüler oluşturulabilmesi amacıyla zamanla kemerlerden oluşan taş köprüler yapılmaya başlanmıştır (Tunç, 1978).

Köprüler, stratejik, ekonomik ve sosyal amaçlar gibi pek çok değişik nedenlerle inşa edilmişlerdir. Bu köprülerde, geçmişte yaşanan depremler, savaşlar ve seller vb. olaylardan dolayı pek çok hasar meydana gelmiş, bazıları yıkılmıştır. Bu köprülerin bazıları ise günümüze kadar ulaşmıştır. Günümüze kadar gelen köprülerin çoğunun, inşasında çok dayanıklı malzeme kullanılarak inşa edilen iyi tasarlanmış kemer formdaki köprüler olduğu görülmektedir. Taş köprüleri inşa eden ustalar ya da mimarlar büyük açıklıkları geçebilmek için köprülerde kullanılması gereken en uygun formun kemer formu olduğunu keşfetmişlerdir. Kemer formunun en önemli avantajı düşey yükler altında basınç gerilmelerini taşıyıp, çekme gerilmelerinin oluşmasına izin vermemesidir. Bu durumdan dolayı köprüler, kemer elemanları kullanılarak inşa edilmişlerdir.

Tarihi köprüler inşa edildikleri dönemde maruz kalacakları yaya trafiği ve at arabası yükleri gibi kuvvetler düşünülerek tasarlanmalarına rağmen, günümüzde, gelişen teknolojinin sonucu olarak ağır trafik yüklerine maruz kalmışlardır. Bu köprülerin günümüze kadar ulaşmış olması ve halen artan yükleri taşıyor olmaları onların yapısal durumlarının çok iyi olduğu anlamına gelmemektedir. Bu nedenle, tarihi köprülerin maruz kaldıkları yükleri ne kadar güvenli taşıdıkları ve bu yapıların ne kadar sağlam olduklarının araştırılması, bu eski köprülerin giderek artan yükleri taşıyabilmeleri için uygun güçlendirmelerin yapılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Eski bir köprünün gerçekten güçlendirmeye ihtiyacı olup olmadığını, eğer ihtiyaç varsa hangi yöntemin kullanılması gerektiğini belirlemek için onun mevcut yapısal davranışının ve göçmeye neden olacak yüklerin çok iyi belirlenmesi gerekmektedir. Mühendislik deneyimleri sonucu, bu yapıların yıkılmasının temel nedeni olarak yapı malzemelerinin dayanımı kaybetmesi değil, yapı geometrik formunun bozulması olduğu ortaya çıkmıştır.

Köprü tipini doğuran en büyük etken, nehir ya da vadi yatağının derinliği ve genişliği olmaktadır. Geniş bir yatakta, yüksek ve geniş açıklıklara gereksinim duyulmaz. Aksine yakın genişlikteki gözler, suyu rahatlıkla geçirebilirler. Dere yatağının yaygın oluşu, köprü boyunu uzatır, göz adedi fazlalaşır. Bu durumda tabliyede düz olur. Derin yataklı sularda, ana yatak için teknik bakımdan ayakları oturtmak olanaksız veya güçtür. Bu nedenle, zeminin yükseldiği sığ uçlara yerleştirilen ayakların arası geniş ve yüksek bir kemerle bağlanır. Böylece kurulan, ana göz veya gözler, etrafındaki yardımcı açıklıklarla, güçlü eğimlerle her iki sahilden yükselen dik köprüleri doğurur (Gürer vd., 2007).

Taş köprülerin çeşitliliği konusunda iki farklı kaynakta farklı biçimlerde sınıflandırma vardır. İter (1978), taş köprüleri akarsu yatağının derinliği ve genişliğine bağlı olarak iki sınıfta toplamıştır. İlk sınıfta ortadaki geniş ve yüksek ana kemere doğru her iki yandan güçlü bir çıkışla yükselen dik köprüler yer alırken, ikinci sınıfta iki veya çok sayıdaki kemer gözler arasında yükseklik ve genişlik bakımından büyük fark göstermeyen köprü yolunun düz veya hemen hemen düz olduğu köprüler bulunmaktadır.

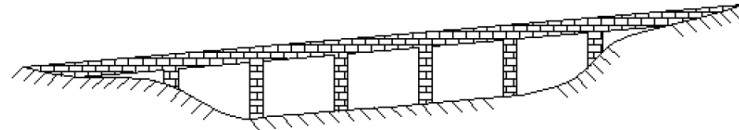
Çulpan (2002) ve Altınsapan (2001) ise tarihi köprüleri farklı özelliklerine göre sekiz gruba ayırmıştır. Bunlar;

1. Biçimlerine göre köprüler (Şekil 1.1)

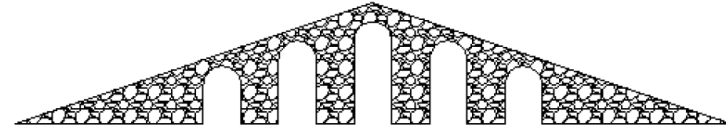
a. Yatay şekilli köprüler (düz köprüler)

b. Her iki kıyıdan itibaren büyük kemere doğru çıkış ve inişli (tek, çift veya çok hörgüçlü) şekilliler (dik köprüler)

c. Her iki kıyıdan itibaren hafif meyille başlayıp sonra yatay şekil alanlar



a. Düz köprü



b. Dik köprü



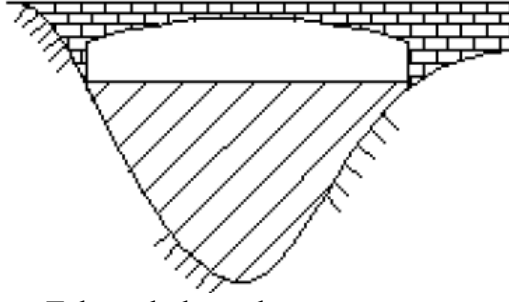
c. Hafif meyille başlayıp sonra yatay olan köprü

Şekil 1.1. Biçimlerine göre taş köprüler (Altınsapan, 2001)

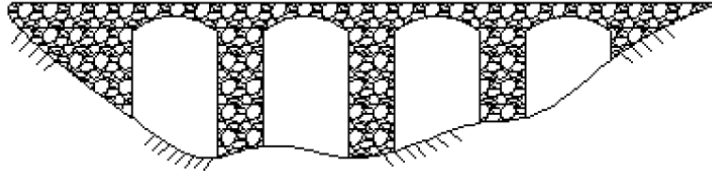
2. Açıklıklarının sayısına göre köprüler (Şekil 1.2)

a. Tek gözlü, ayaksız (bir kıyıdan diğerine uzatılmış) köprüler

b. Çok gözlü köprüler



a. Tek gözlü köprüler



b. Çok gözlü köprüler

Şekil 1.2. Açıklık sayılarına göre taş köprüler (Altınsapan, 2001)

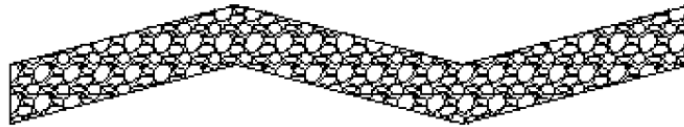
## 3. Planına göre köprüler (Şekil 1.3)

a. Tek ve geniş açılı kırık şekilliler

b. Birkaç geniş açılı zikzak şekilliler



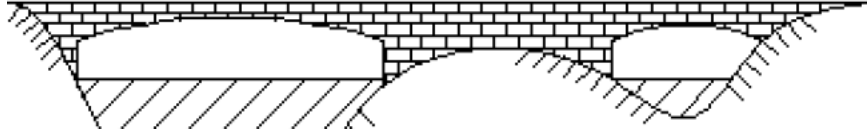
a. Tek ve geniş açılı kırık şekilliler



b. Birkaç geniş açılı zikzak şekilliler

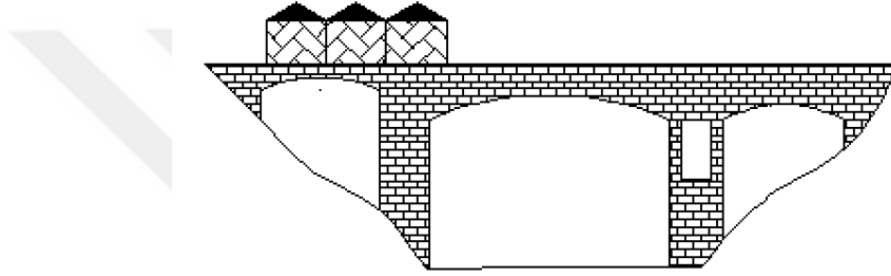
Şekil 1.3. Planına göre taş köprüler (Altınsapan, 2001)

## 4. İnşa edildikleri arazinin topografyasına göre yapılan kesik köprüler (Şekil 1.4)



Şekil 1.4. Kesik köprüler (Altınsapan, 2001)

5. Üzerinde veya bazı ayakları içinde ev, dükkan veya odacıklar bulunan köprüler (Şekil 1.5)

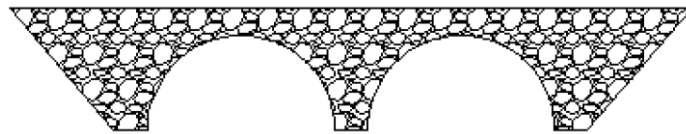


Şekil 1.5. Üzerinde odacıklar bulunan köprüler (Altınsapan, 2001)

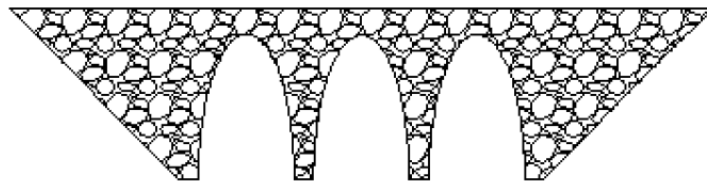
6. Kemer biçimlerine göre köprüler (Şekil 1.6)

a. Yuvarlak kemerli köprüler

b. Sivri kemerli köprüler



a. Yuvarlak kemerli köprüler



b. Sivri kemerli köprüler

Şekil 1.6. Kemer biçimlerine göre köprüler (Altınsapan, 2001)

7. Selyaran (payanda) biçimlerine göre köprüler

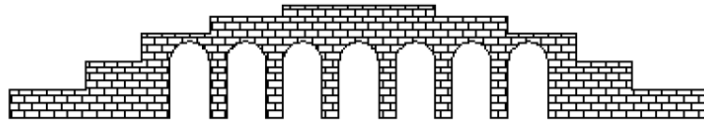
a. Üçgen payandalı köprüler

b. Çokgen payandalı köprüler

c. Yuvarlak payandalı köprüler

d. Merdiven basamağı gibi kademeli yapılmış payandaları olan köprüler

8. Döşeme kısmı, merdiven basamakları gibi kademeli yapılmış olan köprüler (Şekil 1.7)



Şekil 1.7. Döşeme kısmı basamaklı köprüler (Altınsapan, 2001)

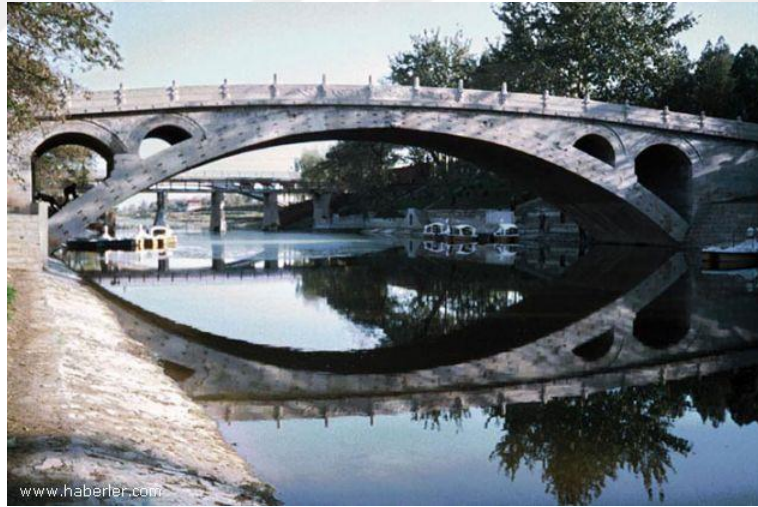
#### 1.4.1. Taş Kemer Köprülerin Tarihi Gelişimi ve Türkiye'deki Tarihi Taş Kemer Köprüler

Karmaşık bir yapı formuna sahip en eski taş kemer köprünün, M.Ö. 9. asırda yapılmış olan İzmir'deki Melez Çayı üzerindeki tek açıklıklı köprü olduğu düşünülmektedir (Özer, 2006). Mezopotamya ve Mısır'da basit formlarda kemer köprüler yapılmış olsa da, Romalılar en önemli kemer köprü inşacıları olmuşlardır (Özer, 2006). Romalıların yapmış olduğu, en etkileyici su kemerlerinden biri olan "Pont du Gard" Şekil 1.8'de görülmektedir. Fransa'nın güneyinde yer alan ve M.Ö. 19 yılı civarlarında yapıldığı düşünülen bu kemer, yaklaşık 275m uzunluğunda ve 49m yüksekliğinde olup üç katlı olarak yapılmıştır. En alt katta 6, orta katta 11 ve en üst katta 35 adet kemer bulunan bu yapı, tamamen harç kullanılmadan inşa edilmiştir.



Şekil 1.8. Pont du Gard, Fransa (URL-1, 2017)

Çin'deki en eski köprü M.S. 581-618 yılları arasında yapıldığı düşünülen Anji Köprüsü'dür (Şekil 1.9). Basık kemer formundaki bu tek açıklıklı köprü, 37.02m uzunluğunda ve 7.23m yüksekliğindedir.



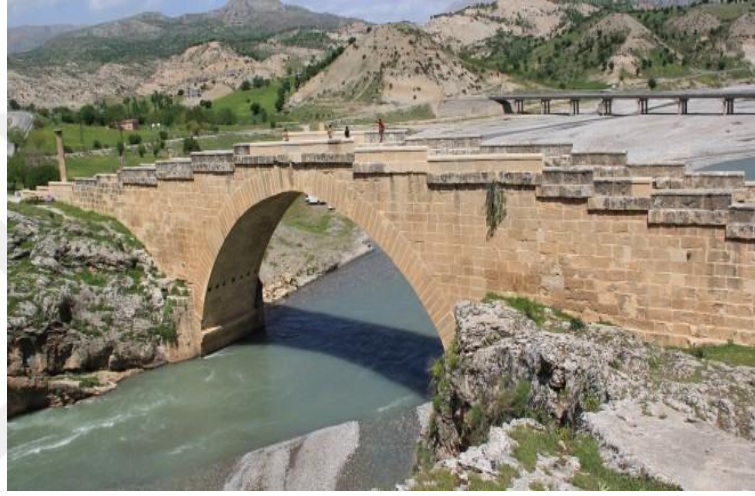
Şekil 1.9. Anji Köprüsü, Çin (URL-2, 2017)

Kemer köprü yapımındaki gelişmeler 18. yüzyılın ortalarına kadar sadece mimari zarafet kaygılarına bağlı uygulamalarla sınırlı kalmıştır. 18. yüzyılda ise bu dönemin en önemli mühendislerinden biri olan Perronet, kemer ayaklarının genişliğinin azaltıldığı çok basık kemerler kullanarak köprüler yapmıştır. 19. yüzyılda ise özellikle demiryollarının gelişmesi nedeniyle kagir köprülerin ve büyük viyadüklerin sayısı artmıştır. 20. yüzyılın



başında tamamlanan Lüksemburg'daki 84m açıklıklı Adolphe Köprüsü'nün yapımcısı Sejourne, kagir kemer köprüler tekniğinin yeni bir atılım yapmasını sağlamıştır. Kagir köprülerin yapımı, yüksek maliyetleri nedeniyle 20. yüzyılın ortalarında terk edilmiştir (Begimgil, 1997; Özer, 2006).

Türkiye'de ise çeşitli boyut, tarz ve açıklıklarda inşa edilmiş çok sayıda kagir kemer köprü bulunmaktadır. Cender Suyu Köprüsü, Karamağara Köprüsü ve Justinianus Köprüsü Türkiye'deki Roma döneminden kalan köprülerden bazılarıdır (Şekil 1.10-11-12).



Şekil 1.10. Cender Suyu Köprüsü (URL-3, 2017)



Şekil 1.11. Karamağara Köprüsü (URL-4, 2017)



Şekil 1.12. Justinianus Köprüsü (URL-5, 2017)

Ceyhan Nehri üzerinde bulunan Misis Köprüsü ise Anadolu'nun ilk Roma köprüsü olarak bilinmektedir. Selçuklular, Bizanslılar ve Haçlılar arasındaki savaşlara sahne olan efsanevi kent Misis'in adını taşıyan bu köprü, Ramazanoğlu Beyliği ve Osmanlı Dönemleri'nde şiddetli depremlerle tahrip olmuş ama buna rağmen ayakta kalabilmiş eserlerden biridir (Frunzio vd., 2001; Gürer, 2007). Adana'da Ceyhan Nehri üzerinde bulunan Misis Köprüsü 9 gözlü olup, 135m uzunluğunda ve 6.5m genişliğindedir (Şekil 1.13).



Şekil 1.13. Misis Köprüsü, Adana (URL-6, 2017)

Tarihi Belkıs (Aspendos) Köprüsü Antalya-Manavgat Karayolu, Serik ilçesi çıkışında Aspendos Akropolü'nün 2km güneyinde Köprüpazar Çayı üzerinde

bulunmaktadır. Aspendos Köprüsü'nün toplam 220m uzunluğunda olduğu ve en kesitinin 3.5m ile 6.5m arasında değiştiği belirlenmiştir. Köprü yedi adet kemer taşıyıcı sisteme sahiptir. En dar kemer yedinci kemer olup, kemer açıklığı 5.20m; en geniş kemer ise ikinci kemer olup, kemer açıklığı 16m düzeyindedir. Belkıs Köprüsü'nün mevcut durumuna ait görünüş Şekil 1.14'te verilmektedir (Bayraktar vd., 2015a).



Şekil 1.14. Aspendos Köprüsü, Antalya (URL-7, 2017)

Malabadi (Batmansu) Köprüsü (1147-1154), Artukoğlu İlgazi Temurtaş tarafından yaptırılmıştır. Toplam 240m uzunluğunda olan köprü 40.80m açıklıktaki ana kemeriyle dünyanın günümüze ulaşmış en geniş açıklı taş kemer köprüsüdür. Malabadi Köprüsü'ne ait görünüş Şekil 1.15'te verilmektedir (Sert, 2007).



Şekil 1.15. Malabadi Köprüsü, Diyarbakır (URL-8, 2017)



Uzunköprü, Osmanlı Dönemi'nde (M.S. 1427-1443) Padişah II. Murat tarafından Edirne'de yaptırılmıştır. Orijinalinde 1392m olan köprü, 174 adet gözden oluşmaktadır. Günümüzde 1266m uzunluğu ile dünyanın en uzun taş köprüsü olup köprüye ait görünüş Şekil 1.16'da verilmektedir (Sert, 2007).



Şekil 1.16. Uzunköprü, Edirne

Rize-Ardeşen Çamlıhemşin yolu Fırtına deresi üzerinde bulunan 19-20. yy Osmanlı Dönemi'ne ait Timisvat Köprüsü doğal taşlarla yapılmış olan bir köprüdür. Yalnızca yayalar tarafından kullanılan bu tarihi köprü 35m uzunluğunda, 13m yüksekliğinde ve 2.7m genişliğindedir. Timisvat Köprüsü'nün görünümü Şekil 1.17'de verilmektedir (Korkmaz vd., 2013).



Şekil 1.17. Timisvat Köprüsü, Rize

Trabzon'un Maçka ilçesinden Sümela'ya giden yol güzergahının sağında Maçka'ya yaklaşık 5km uzaklıkta Değirmendere'nin Altındere kolu üzerinde kendi adını verdiği mevkide bulunan Coşandere (Kınalı) Köprüsü'nün 19. yüzyılda Osmanlılar tarafından yapıldığı sanılmaktadır. Yuvarlak kemerli, üstten kavisli tek gözlü köprünün kemer kısmı sarı ve yeşil iki renkli taş işçiliğine sahiptir. Yaklaşık boyu 32m, kemer açıklığı 14m ve yüksekliği 9m olan köprüye ait görünüş Şekil 1.18'de verilmektedir (Ural, 2005).

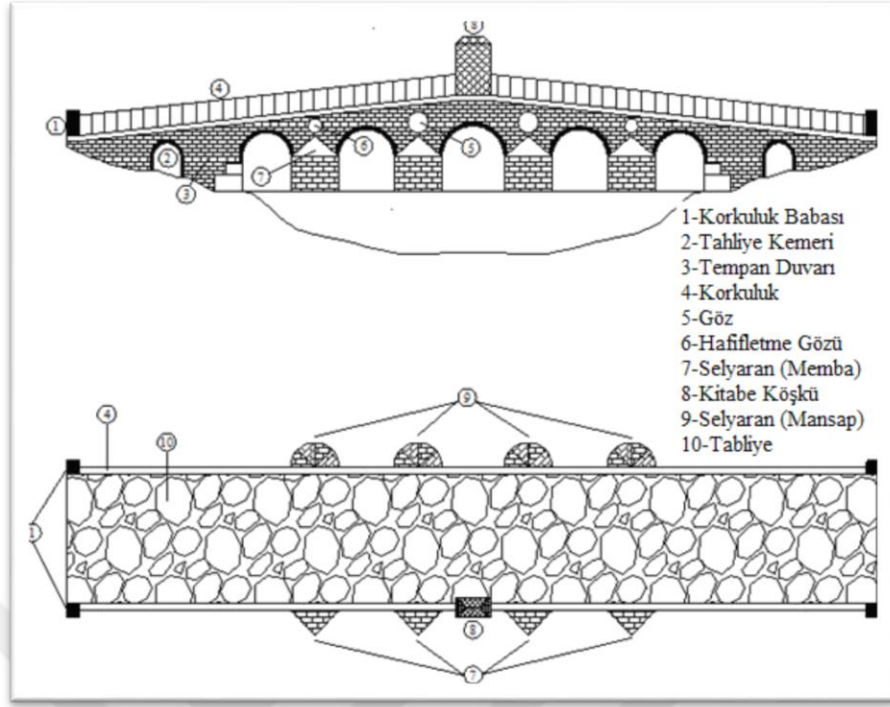


Şekil 1.18. Coşandere Köprüsü, Trabzon (URL-9, 2017)

Çoğunluğu sivri kemerli olan Selçuklu köprüleri ise, kesme taş işçiliğindeki incelikleriyle öne çıkmaktadır. Ancak köprü mimarisinin Türkiye'deki en güzel örnekleri 16. yüzyılda inşa edilen Mimar Sinan eserleridir (Ural vd, 2008). Mimar Sinan'ın eserlerinin üzerine adını yazmaması birtakım karışıklıklara neden olsa da mimari ve yapısal benzerlikler üzerinde yapılan çalışmalar, büyük ustanın 11 köprü inşa ettiğini göstermektedir. Silivri Köprüsü dışında, bütün köprülerinde sivri kemeri tercih eden Sinan, ayak formları için ise suyun şiddetini dikkate alarak değişik uygulamalar yapmıştır (Toker ve Ünay, 2004).

#### 1.4.2. Taş Kemer Köprü Elemanları

Taş kemer köprüler temel, ayak, kemer, tempan duvar, selyaran gibi birçok elemandan oluşmaktadır (Şekil 1.19).



Şekil 1.19. Kemer köprü elemanları (Tunç, 1978)

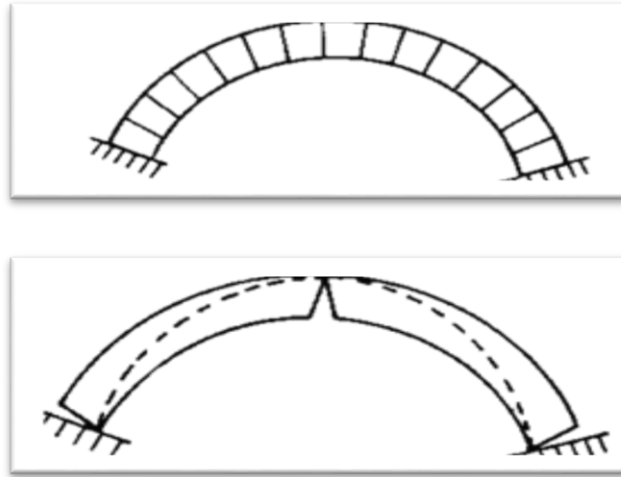
Taş kemer köprü elemanları aşağıda kısaca açıklanmaktadır (Tunç, 1978):

- Temel: Köprü'nün zeminle bağlı olan elemanıdır.
- Ayak: Köprü kemerlerinin ve tabliyenin taşıma gücünü yüklenen taş, tuğla veya ağaçtan yapılan dayanaktır.
- Kemer: İki duvar veya ayak arasındaki bir açıklığın üstünü örtmek için, birer ucu belli ayaklara oturtularak, yuvarlak şekilde yapılan ahşap veya kagir inşaata denir. Burada meydana gelen boşluğa da köprü gözü denir.
- Kemer Açıklığı: Bir kemerin bindiği iki duvar, iki ayak veya sütun arasındaki mesafeye denir.
- Tempan Duvarı: Köprü'nün taşıyıcı taş duvarına denir.
- Tabliye: Köprü'nün en üst kısmında olan bölümdür.
- Selyaran: Suyun açıklara yönelmesi ve çarparak köprüye zarar vermemesi için, köprü ayaklarının memba tarafına yapılan üçgen planlı masif taş bölümdür. Taş köprülerin günümüze taşınmasında önemi büyüktür.
- Korkuluk: Tabliyenin iki tarafında ve tempan duvarının üzerinde yükselen ve geçişte güveni sağlayan kısımlardır.

- Korkuluk Babası: Köprülerin başlarına ve korkulukların başlangıç kısımlarına yerleştirilen dikey taşlardır.
- Hafifletme Gözü: Köprülerde taşıyıcı kemerin üst kısımlarında, köprü ağırlığını azaltmak için kullanılan dairesel açıklıklardır.
- Göz: Mimari terminolojide birkaç ayrı anlama gelen terim, köprülerde kemer açıklıklarını belirtmek için kullanılan terimdir.

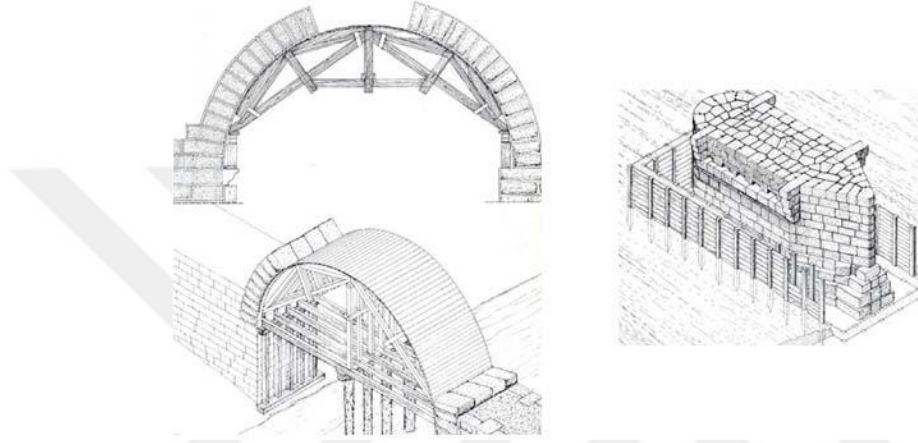
### 1.4.3. Taş Kemer Köprü Yapımı

Taş kemer köprülerin yapımında, öncelikle temeller inşa edilir. Sonrasında kemerin oturacağı mesnetler yani kemer ayakları inşa edilir. Sonra, düz ya da kama şeklindeki biçimlendirilmiş kemer taşları, iskelenin üzerine, kemer ayaklarından itibaren her iki taraftan yerleştirilmeye başlanır. Taşların arasında harç kullanılabileceği gibi harçsız olarak da yerleştirilebilirler. Son taş olan kilit taşı yerine yerleştirilene kadar bu yapı ayakta durmadığı için, iskele geçici bir destek olarak kullanılır. Destek kaldırıldığında kemer, mesnetleri itmeye başlar. Mesnetler kaçınılmaz olarak bu etki nedeniyle hafifçe yayılır ve açılır. Şekil 1.20’de bir kemerin mesnetlerinin izin vermesiyle, genişlemiş olan açıklığa yerleşmesi gösterilmiştir. Kemer taşlarının, mukavemet gösteremeyen ara yüzeylerden ayrılmasıyla birlikte kemer çatlar ve üç mafsallı kemer formu oluşur. Bu şekilde kemer, çevre şartlarına makul bir cevap vermiş olur (Dabanlı, 2008; Heyman, 1999).



Şekil 1.20. Yeni yapılmış kemer ve oturmuş 3 mafsallı kemer için kemer davranışı (Dabanlı, 2008)

Kemerin yapımı tamamlandıktan sonra, kemerin üst dolgu malzemesini muhafaza edecek olan kemer üstü duvarları inşa edilir. Bu duvarlarda, genelde büyük moloz taşlar kullanılmaktadır. Son olarak, genelde büyük boyutlu taşların kullanıldığı yol dolgu malzemesinin, kemer üst duvarları arasına yerleştirilmesiyle köprünün yapımı tamamlanmış olur (Özer, 2006). Şekil 1.21’de bir taş kemer köprünün yapım şekli şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 1.21. Şematik olarak taş kemer köprü yapım şekli (Özer, 2006)

#### 1.4.4. Tarihi Taş Kemer Köprülere Etkiyen Yükler

Tarihi taş kemer köprüler farklı türlerdeki yüklere maruz kalabilirler. Bunlar sabit yük, hareketli yük, mesnet çökmeleri, deprem yükü, rüzgar yükü ve kar yüküdür. Bu yük etkileri aşağıda kısaca açıklanmıştır.

- Sabit Yük: Köprünün kendi ağırlığı olup köprüye her zaman aynı biçimde etki eden yüküdür.
- Hareketli Yük: Köprüye sonradan yüklenen, kısa bir zaman diliminde değişim gösteren yüküdür.
- Mesnet Çökmeleri: Mesnetlerde oluşan yatay ve düşey hareketlerdir.
- Deprem Yükü: Deprem yükü köprüye etki ettiğinde köprünün formu, taşıyıcı sistemi, kütlesi, doluluk boşluk oranı gibi çeşitli etkenlere bağlı olarak köprüyü olumsuz yönde etkiler. Köprünün karakteristik özelliklerinin deprem kuvvetine olumsuz yönde katkı vermesi çoğu zaman felaketlerle sonuçlanmıştır. Ayrıca köprünün deprem karşısında ne



gibi davranışlar sergileyeceğinin önceden tahmin edilmesi durumunda, alınacak tedbirler köprünün bu kuvvete karşı korunmasına yardımcı olacaktır (Hasol, 1998).

## **1.5. Sonlu Eleman Yöntemi'yle Tarihi Taş Kemer Köprülerin Modellenmesi ve Analizleri**

### **1.5.1. SAP2000 Programında Sonlu Eleman Model Oluşturulması**

Yığma yapıların ayrıntılı yapısal analizlerinde genellikle Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılır. Yapısal analiz, yapının tamamı ya da belirli bir elemanın matematiksel modelinin hazırlanmasıyla başlar. Yapı, analizin amacına uygun bir şekilde ve çok sayıda sonlu elemanlara ayrılır. Yapıyı oluşturan taşıyıcı elemanlar, yapının geometrik boyutları, yapı üzerine etki eden yükler, mesnetlerin ve elemanların birleşim noktalarının hareket yetenekleri ve serbestlik derecesi göz önüne alınarak model içerisinde tanımlanır. Matematiksel modellemenin amacı, yapının tamamının, belli bir bölümünün ya da taşıyıcı elemanlarının çeşitli yükler veya fiziksel etkiler altında gerçek davranışının gözlenmesini sağlamaktır. Yapının gerçek davranışı genellikle çok karmaşıktır. Bu nedenle, yapıyı modellemek için birçok sadeleştirmenin yapılması zorunludur. Yalın ve basit bir model elde etmek için, yapı elemanlarını oluşturan malzemenin mekanik özelliklerinin de uygun şekilde tanımlanması gereklidir (Özer, 2006).

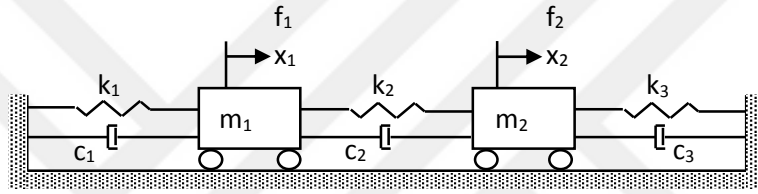
Matematiksel modellemenin temel prensipleri şunlardır:

- En iyi sonucu veren model her zaman en basit olanıdır. Analizin amacının ve kapsamının dışına çıkan daha ayrıntılı ve karmaşık modeller hata riskini artırır.
- Matematiksel modeli oluşturan elemanların boyutları seçilirken, analiz için gerekli olan bütün taşıyıcı sistem etkileri göz önünde bulundurulmalıdır.
- Yapının tamamını tanımlayan büyük bir modelin bir bölümünü ayırarak yapılan model, o bölümün ya da elemanın ayrıntılı davranışını incelemek için yeterli değildir (Toker ve Ünay, 2004).
- Ayrıntılı davranış için sınır koşullarını ve bağlantı şekillerini doğru bir şekilde tanımlayan modeller gereklidir.
- Malzeme davranışı ile ilgili olarak yapılan kabuller malzemenin çok küçük bir parçasının davranışına göre belirlenir. Malzeme modelinde, malzemenin gerilme-birim deformasyon özellikleri göz önüne alınmalıdır.

- Yapının sınır koşulları, mesnetlerin ve düğüm noktalarının hareket yeteneklerine göre düzenlenmelidir (Ünay, 2002).

### 1.5.2. Çok Serbestlik Dereceli Sistemler İçin Modal Analiz Formülasyonu

Bir yapıya ait dinamik karakteristikler olan doğal frekanslar, sönüm oranları ve mod şekillerinin belirlenmesinde aşağıdaki işlem adımları takip edilir. Çok serbestlik dereceli sistemleri temsil etmek amacıyla iki serbestlik dereceli bir sistemin analitik modeli Şekil 1.22’de verilmiştir (Türker, 2011).



Şekil 1.22. İki serbestlik dereceli bir sistemin analitik modeli

Çok serbestlik derecesine sahip bir sisteme ait genel hareket denklemi,

$$[M] \{\ddot{x}(t)\} + [C] \{\dot{x}(t)\} + [K] \{x(t)\} = \{f(t)\} \quad (1.1)$$

bağıntısıyla verilebilir (Chopra, 2015). Burada,  $[M]$ ,  $[C]$  ve  $[K]$  sırasıyla çok serbestlik dereceli sistemin kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini ve  $\{\ddot{x}(t)\}$ ,  $\{\dot{x}(t)\}$ ,  $\{x(t)\}$  ve  $\{f(t)\}$  ise sırasıyla çok serbestlik dereceli sistemin zamana bağlı ivme, hız, yer değiştirme ve kuvvet vektörlerini göstermektedirler. Yapıda sönüm olmaması durumunda, analitik model kütle ve rijitlik terimleriyle ifade edilir. Bu durumda hareket denklemi,

$$[M] \{\ddot{x}(t)\} + [K] \{x(t)\} = \{f(t)\} \quad (1.2)$$

bağıntısıyla verilir. Yapının doğal frekanslarını veya modal özelliklerini bulmak için yapının serbest titreşim yaptığı düşünülürse, bu durumda hareket denklemi,

$$[M]\{\ddot{x}(t)\} + [K]\{x(t)\} = \{0\} \quad (1.3)$$

olarak elde edilir. Bu denklemin çözümü için,

$$\{x(t)\} = \{X\} e^{i\omega t} \quad (1.4)$$

olduğu varsayılır (Chopra, 2015). Burada;  $\{X\}$   $N \times 1$  boyutunda zamandan bağımsız genlik vektörünü gösterir. (1.4) denklemi kullanılarak (1.3) denklemi düzenlenirse,

$$([K] - \omega^2 [M]) \{X\} e^{i\omega t} = \{0\} \quad (1.5)$$

denklemi elde edilir. Bu denklemin sıfırdan farklı çözümü için,

$$\det[K] - \omega^2 [M] = 0 \quad (1.6)$$

olmalıdır. Bu denklemin çözümünden  $N$  serbestlik derecesi kadar sönümsüz doğal açısız frekans ( $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_N$ ) elde edilir. Her bir doğal frekansa karşılık yapının almış olduğu şekil, mod şekli olarak tanımlanır. Doğal frekansların küçükten büyüğe doğru sıralanması sonucunda elde edilen en küçük frekans temel frekans ve bu frekansa karşılık gelen mod şekli temel mod şekli olarak adlandırılır.

### 1.5.3. Çoklu Regresyon Yöntemi

Bir değişkeni etkileyen iki ve daha fazla bağımsız değişken arasındaki neden- sonuç ilişkilerini doğrusal bir modelle açıklamak ve bu bağımsız değişkenlerin etki düzeylerini belirlemek için yararlanılan yöntemle çoklu doğrusal regresyon yöntemi denir (Özdamar, 2003).

Çoklu doğrusal regresyonu, bağımlı değişkeni etkilediği düşünülen bağımsız değişkenlerden hangisi ya da hangilerininin bağımlı değişkeni daha çok etkilediğini bulmak

ya da bağımlı değişkeni etkilediği belirlenen değişkenler yardımıyla bağımlı değişken değerini kestirebilmek olarak ifade edilebilir (Alpar, 1997).

$X_i$ 'ler bağımsız değişkenleri ve  $Y$  de bağımlı değişkeni göstermek üzere en genel çoklu regresyon denklemi;

$$Y = \alpha + \beta_0 X_1 + \beta_1 X_2 + \beta_2 X_3 + \dots + \beta_k X_k + U_i \quad (1.7)$$

şeklinde yazılır (Alpar, 1997).

### 1.5.3.1. Çoklu Regresyon Modeli Varsayımları

Çoklu regresyon modeli varsayımları aşağıda verilmektedir (Alpar, 1997):

- Model doğrusal kurulmuştur.
- $X$  değerleri yinelenen örneklemelerde değişmez.  $X$  açıklayıcı değişkeninin yinelenen örneklemelerde aynı kaldığı düşünülür.
- Bozucu  $U_i$  teriminin ortalaması sıfırdır.

$$E(U_i/X) = 0 \quad (1.8)$$

Varsayıma göre  $U_i$ 'lerin verilmiş  $X_i$  değerlerine koşullu olan ortalaması sıfırdır.

- $U_i$ 'nin varyansı (bütün  $X_i$ 'ler için) aynıdır.

$$\text{Var}(U_i/X_i) = 0 \quad (1.9)$$

- Bozucu (hata) terimleri arasında ardışık bağımlılık yoktur.

$$\text{cov}(U_i, U_j) = 0, i \neq j \quad (1.10)$$

Burada  $i$  ile  $j$  farklı gözlemi, 'cov' ise ortak varyansı göstermektedir.

$X_i$ 'ye karşılık gelen  $U_i$ 'ler birbirinden bağımsızdır.

- $U_i$  ile  $X_i$ 'nin ortak varyansı sıfırdır.

$$\text{cov}(U_i, X_i) = 0 \quad (1.11)$$

Her hata terimi açıklayıcı değişkenden bağımsızdır.

- Regresyon modeli doğru kurulmuş olmalıdır. Başka bir deyişle modelde kuruluş sapması ya da hatası bulunmamalıdır.
- Açıklayıcı değişkenler arasında tam doğrusal ilişki bulunmamaktadır.

Çoklu regresyon analizinde ancak bu varsayımların geçerli olması durumunda model En Küçük Kareler Yöntemi'yle tahmin edilebilir.

### 1.5.3.2. Tahmincilerin Anlamlılığının Sınanması ( $R^2$ )

$R^2$ , bağımlı değişkendeki değişimin % kaçının açıklayıcı değişkenlerle yapıldığını gösterir.

$0 \leq R^2 \leq 1$ 'dir.  $R^2$ , 1'e yaklaştıkça bağımsız değişkenler bağımlı değişkeni tam açıklar.  $R^2$ , 0'a yaklaştıkça bağımsız değişkenler bağımlı değişkeni hiç açıklamaz.

### 1.5.4. En Küçük Kareler Yöntemi

En Küçük Kareler Yöntemi, birbirine bağlı olarak değişen iki fiziksel büyüklük arasındaki matematiksel bağlantıyı, mümkün olduğunca gerçeğe uygun bir denklem olarak yazmak için kullanılan standart bir regresyon yöntemidir. Bu yöntem, analiz sonucu elde edilmiş veri noktalarına "mümkün olduğu kadar yakın" geçecek bir fonksiyon eğrisi bulmayı sağlar. Gauss-Markov Teoremi'ne göre en küçük kareler yöntemi, regresyon için optimal yöntemdir.

Gerçek yaşamın çeşitli alanlarında herhangi bir uygulama ile toplanan veriler tablo şekline getirilerek incelenir ve toplanan veriyi modelleyen bir fonksiyon bulunmaya çalışılır. Bir veri tablosuna en iyi uyan fonksiyonu bulma sürecine regresyon analizi denir. Regresyon analizi yaparken en çok kullanılan yöntemlerden biri en küçük kareler yöntemidir. En Küçük Kareler Yöntemi, tıp, finans, mühendislik, ziraat, biyoloji ve sosyoloji gibi çeşitli bilim dallarında çeşitli değişkenler arasındaki ilişkiler belirlenirken

kullanılan en önemli araçlar arasındadır. Bu yöntem kısaca aşağıdaki gibi özetlenebilir. Belli ölçümler sonucunda  $i=1, 2, \dots, n$  için  $(x_i, y_i)$  verileri elde edilmiş olsun. Burada, her bir  $y_i$ 'nin  $x_i$ 'ye bağlı olarak değiştiği varsayılmaktadır.  $(x_i, y_i)$  düzlemde noktalar olarak düşünüldüğünde, pratikte bu noktalar düzgün bir eğri üzerinde, başka bir deyimle, bilinen bir fonksiyonun grafiği üzerinde bulunmazlar. Hatta bazı durumlarda,  $(x_i, y_i)$ ler arasında ne tür bir bağlantı bulunduğu dahi bilinmeyebilir. Ancak, yapılan ölçümlerin doğası gereği, her  $i=1, 2, \dots, n$  için  $y_i=f(x_i)$  olacak biçimde bir fonksiyonun var olduğu, analizlerde yapılan hata nedeniyle bu eşitliklerin bazıları veya hepsinin sağlanmadığı kabul edilebilir. Bu düşünceyle, ölçülen  $y_i$  değeri  $f(x_i)$  için yaklaşık değer kabul edilerek bu yaklaşımdaki hatanın minimum olduğu  $f$  fonksiyonu belirlenmeye çalışılır. Bu amacı gerçekleştirmek için  $f$  fonksiyonunun birtakım parametrelere bağlı bir ifadesi bulunduğu varsayıp eldeki veriler yardımıyla bu parametreler belirlenmeye çalışılır. Örneğin,  $f$  fonksiyonu

$$y = f(x) = mx + b \quad (1.12)$$

ifadesinde olduğu gibi bir doğrusal fonksiyon veya

$$y = f(x) = ax^2 + bx + c \quad (1.13)$$

ifadesinde olduğu gibi bir karesel fonksiyon olabilir ki bu durumlarda belirlenmesi gereken parametreler  $a, b, c$  ve  $m$ 'dir.  $y_i$  değeri  $f(x_i)$  için yaklaşık değer,  $f(x_i) \approx y_i$  kabul edilince yapılan hata  $y_i - f(x_i)$ 'dir ve amaç, bu hatalar minimum olacak şekilde bir  $f$  fonksiyonu bulmaktır.  $y_i - f(x_i)$  farklarından her birine bir artık denir. En Küçük Kareler Yöntemi'nde aranan fonksiyon ya da onun parametreleri, tüm artıkların kareleri toplamı olan

$$\sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2 = (y_1 - f(x_1))^2 + \dots + (y_n - f(x_n))^2 \quad (1.14)$$

ifadesini minimum yapacak şekilde belirlenir.

## **2. YAPILAN ÇALIŞMALAR**

### **2.1. Seçilen Köprüler Hakkında Genel Bilgiler**

Bu çalışmada, tarihi taş kemer köprülerin doğal frekans, yer değiştirme ve gerilmelerinin elde edilebileceği formüller bulmak amacıyla Doğu Karadeniz Bölgesi'nde bulunan 30 adet tarihi taş kemer köprü seçilmiştir. Farklı köprü genişliği, kemer açıklığı ve yüksekliğine sahip olan bu köprüler, SAP2000 (2008) programında Sonlu Eleman Yöntemi'yle modellenmiş; sabit yük, hareketli yük ve bulunduğu bölgedeki deprem yüklerine göre analiz edilmiştir. Öncelikle modal analizler yapılarak köprülerin doğal titreşim frekanslarındaki değişimler belirlenmiş, sonrasında statik ve dinamik analizler yapılarak yer değiştirme ve gerilme değerleri elde edilmiştir. Malzeme değerleri tüm köprüler için literatürde verilen ortalama değerler olarak alınmıştır (Bayraktar, 2007). Mesnet koşulları olarak ise rölöve çizimlerinde belirtilen boyutlara zemin içerisine doğru 1m daha ilave edilerek oluşturulan sınırlarda ankastre mesnet kabulü yapılmıştır. Yapılan analizler ile her bir köprü için değerlendirmeler aşağıda sunulmaktadır.

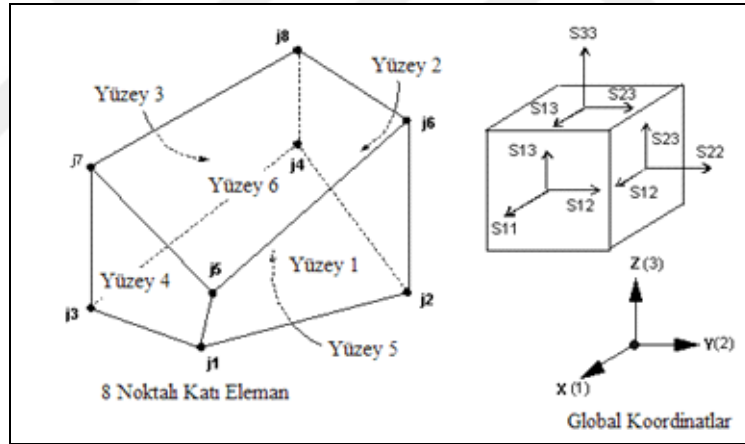
### **2.2. Köprülerin Sonlu Eleman Modelleri ve Yapısal Analizleri**

Malzeme özellikleri olarak literatürde önerilen mekanik değerler (elastisite modülü, Poisson oranı ve birim hacim ağırlık) dikkate alınmıştır. Tablo 2.1'de köprülerin analitik modelinin oluşturulmasında kullanılan malzemeler için dikkate alınan mekanik özellikler verilmektedir. Doğu Karadeniz Bölgesi'nin depremsellik derecesi dikkate alınarak dinamik analiz yapılmıştır.

Tablo 2.1. Köprülerin analitik modelinde dikkate alınan malzeme özellikleri

Malzeme	Elastisite modülü (N/m <sup>2</sup> )	Poisson oranı	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
Kemer	$3.00 \times 10^9$	0.20	2400
Duvar	$2.50 \times 10^9$	0.20	2400
Süs kemer	$3.00 \times 10^9$	0.20	2400
Korkuluk	$3.00 \times 10^9$	0.20	2400
Dolgu	$1.50 \times 10^9$	0.05	1600
Döşeme	$2.50 \times 10^9$	0.20	2200

Köprülerin modellenmesinde her bir noktasında üç serbestliği olan sekiz düğüm noktalı 3 boyutlu katı elemanlar kullanılmıştır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Köprülerin modellenmesinde kullanılan sekiz düğüm noktalı katı eleman

Köprülerin oluşturulan analitik modelleri üzerinde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem yükleri için statik ve dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Hareketli yük olarak 500kg/m<sup>2</sup>'lik yayılı yük dikkate alınmıştır. Deprem yükü analizleri, bölgenin depremselliği, zemin bilgileri ve yapı özellikleri göz önüne alınarak Davranış Spektrumu Yöntemi'yle gerçekleştirilmiştir. TDY'ye göre 4. derece deprem sınıfı ve 4. Derece zemin sınıfı seçilmiştir. Bu yüklemeler altında yapılan analizler sonrasında farklı yük kombinasyonları için köprülerde oluşan en büyük çekme ve basınç gerilmeleri



hesaplanmıştır. Köprülerde oluşan gerilmelerin hesaplanmasında aşağıda verilen yük kombinasyonları dikkate alınmıştır.

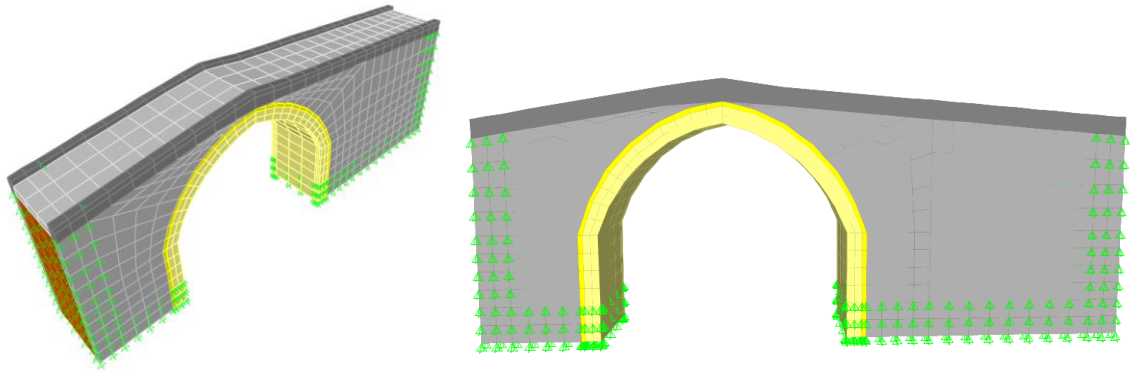
- 1.Kombinasyon: Kendi ağırlığı + Hareketli yük (1.4G +1.6Q)
- 2.Kombinasyon: Kendi ağırlığı + Hareketli yük + Deprem yükü (G + Q + E)

### 2.2.1. Tarihi Pazaryolu Köprüsü

Tarihi Pazaryolu Köprüsü, Trabzon Düzköy/Çayırbağ mevkiinde, Kadahor deresi üzerinde bulunmaktadır. Köprü tek gözlü olup kemer açıklığı 8.28m, kemer yüksekliği 6.77m, köprü genişliği 3.23m'dir.

Analitik Modelin Oluşturulması:

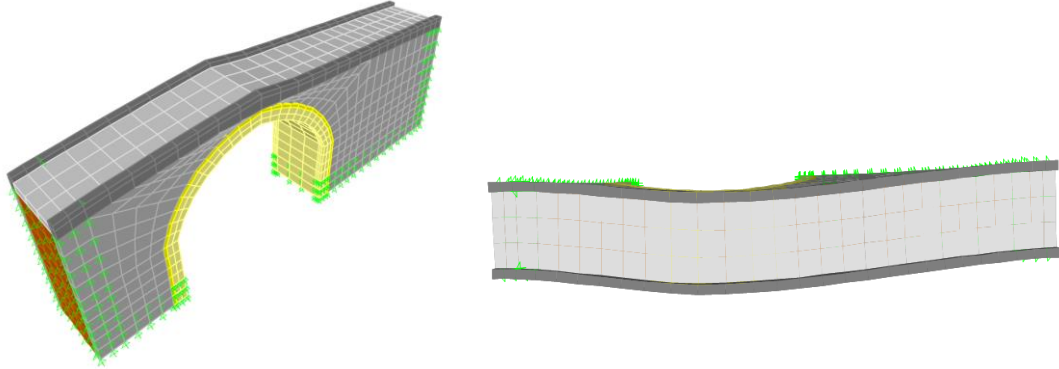
Tarihi Pazaryolu Köprüsü'nün temin edilen rölöve projesi üzerinden SAP2000 programında 3 boyutlu analitik modeli oluşturulmuştur. Köprü'nün analitik modeli Şekil 2.2'de verilmiştir.



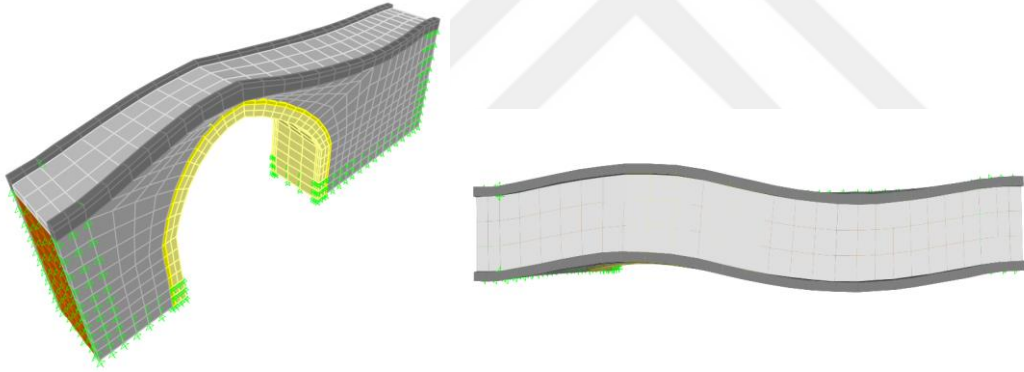
Şekil 2.2. Tarihi Pazaryolu Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli

### Modal Analiz Gerçekleştirilmesi:

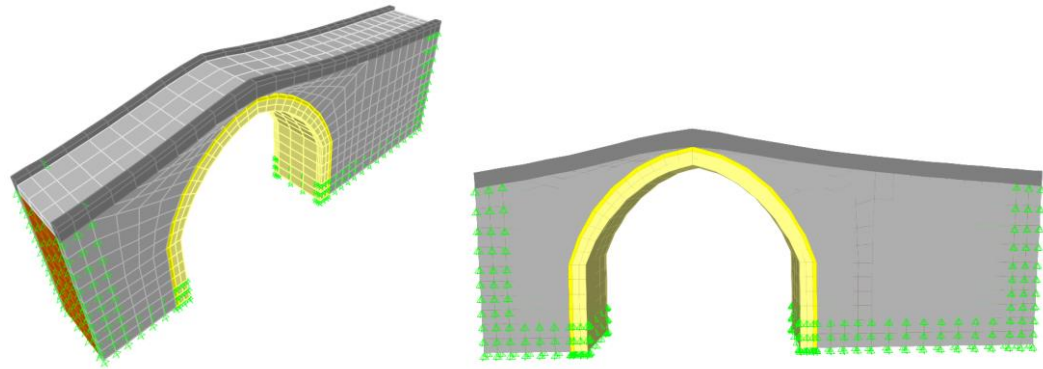
Tarihi Pazaryolu Köprüsü'nün analitik modeli üzerinde öncelikle modal analizi gerçekleştirilmiştir. Modal analizden elde edilen ilk beş mod şekli ve frekansları Şekil 2.3'te verilmektedir.



Birinci mod (Yanal hareket)  $f_1=13.07467$  Hz



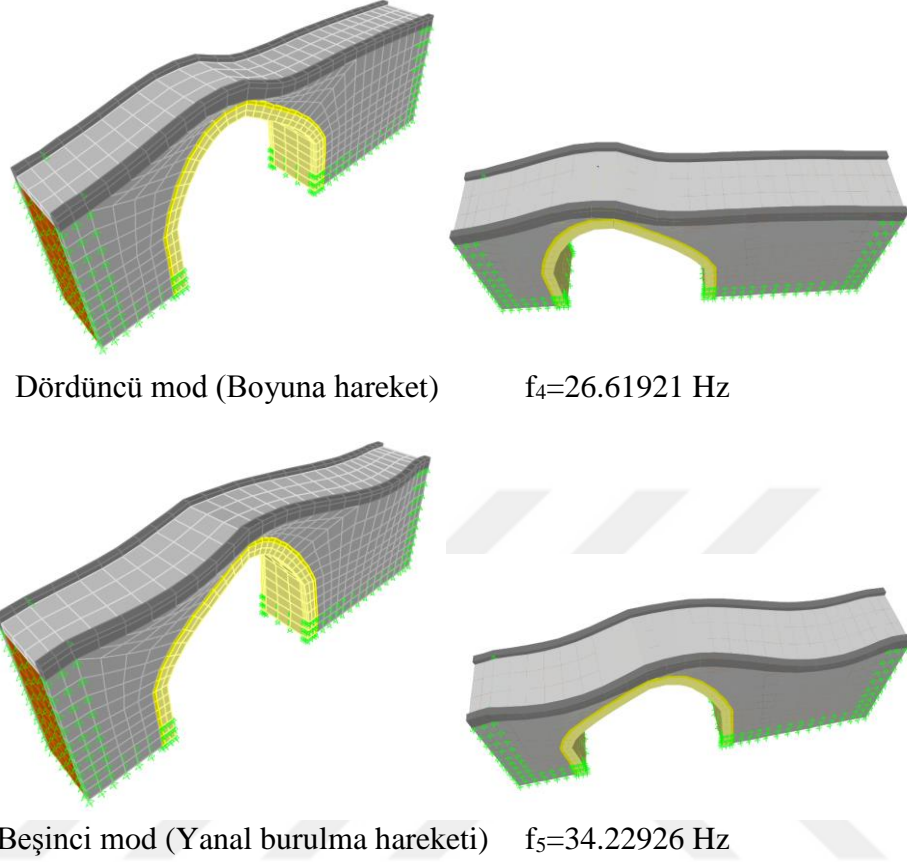
İkinci mod (Burulma hareketi)  $f_2=23.01439$  Hz



Üçüncü mod (Kemer düşey hareket)  $f_3=24.13224$  Hz

Şekil 2.3. Tarihi Pazaryolu Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli

Şekil 2.3'ün devamı

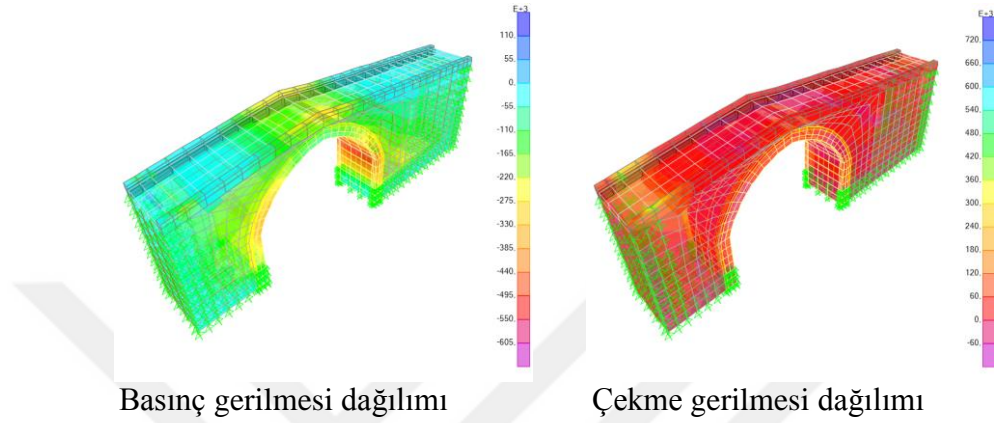


#### Statik ve Dinamik Analizlerin Gerçekleştirilmesi:

Tarihi Pazaryolu Köprüsü'nün sabit, hareketli ve deprem yükleri etkisinde analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden köprüde oluşan en büyük çekme ve basınç gerilmeleri elde edilmiştir. Köprü'nün kendi ağırlığı altındaki analizinden, en büyük basınç gerilmesi  $0.385 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.48 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Köprü'nün hareketli yük altındaki analizinden en büyük basınç gerilmesi  $0.04 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.054 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Deprem'in enine, boyuna ve düşey yönlerde etkimesi durumları için sırasıyla çekme ve basınç dağılımları incelenmiş ve en büyük çekme-basınç gerilmelerinin depremin enine yönde etkimesi durumunda olduğu belirlenmiştir. En büyük basınç gerilmesi  $0.99 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.99 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

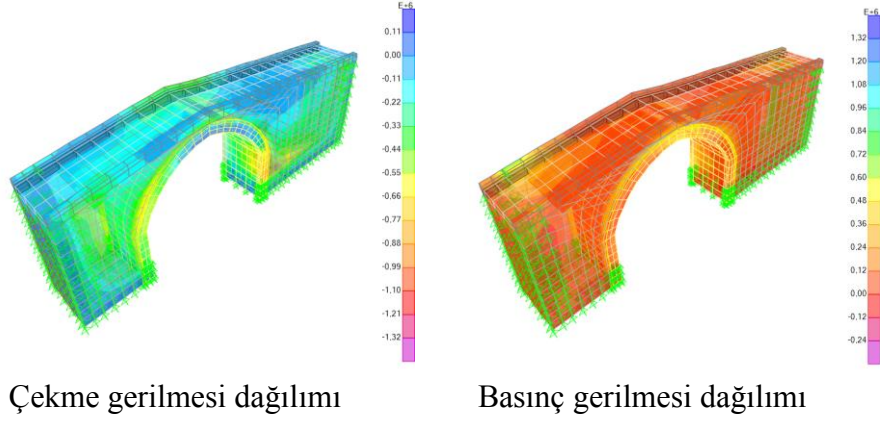
Tarihi Pazaryolu Köprüsü'nün kendi ağırlığı ve hareketli yük etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan en büyük çekme ve en büyük basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.4'te verilmektedir.

Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer yan kısımlarında daha fazla, çekme gerilmelerinin ise duvar yan mesnet bölgelerinde daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.605 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.72 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



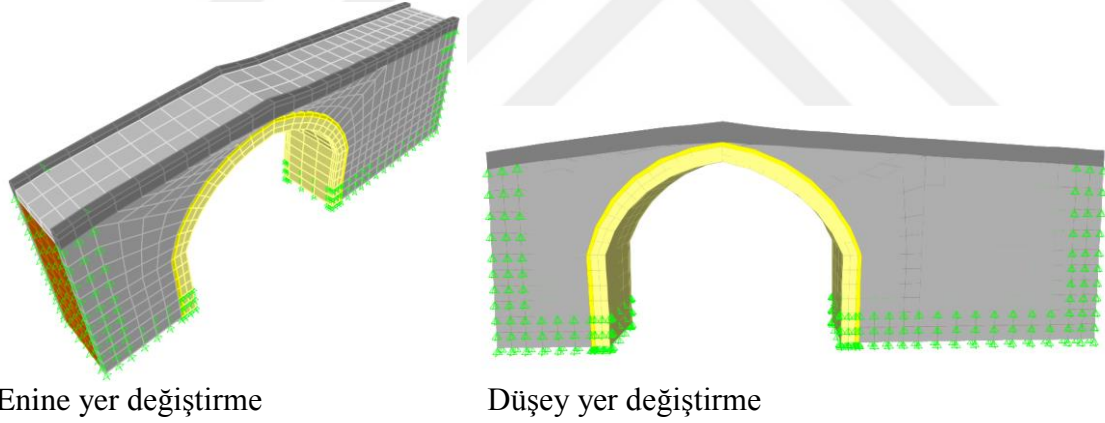
Şekil 2.4. Tarihi Pazaryolu Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Pazaryolu Köprüsü'nün kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.5'te verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer ayak kısımlarında daha fazla olduğu, çekme gerilmelerinin ise köprü duvar yan kısımlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $1.32 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $1.32 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



Şekil 2.5. Tarihi Pazaryolu Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Pazaryolu Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde enine doğrultuda 1.85mm ve düşey doğrultuda 1.06mm yer değiştirme meydana gelmiştir (Şekil 2.6).



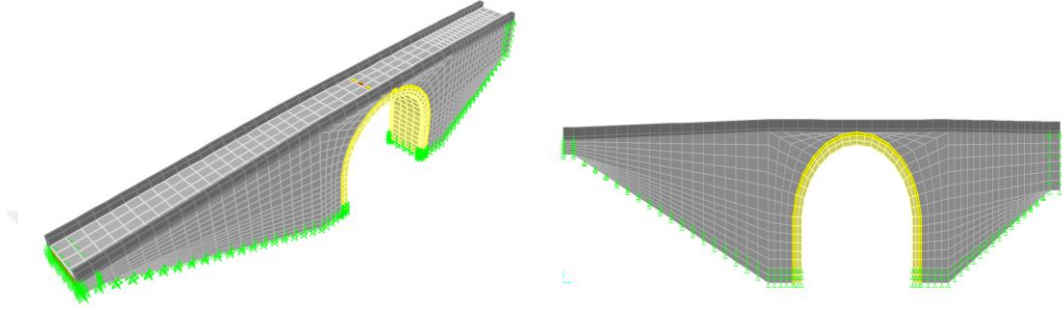
Şekil 2.6. Tarihi Pazaryolu Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler

### 2.2.2. Tarihi Zanoş Köprüsü

Tarihi Zanoş Köprüsü, Trabzon Düzköy/Çayırbağ mevkiinde, Kadahor deresi üzerinde bulunmaktadır. Köprü tek gözlü olup kemer açıklığı 10.72m, kemer yüksekliği 9.41m, köprü genişliği 4.3m'dir.

### Analitik Modelin Oluşturulması:

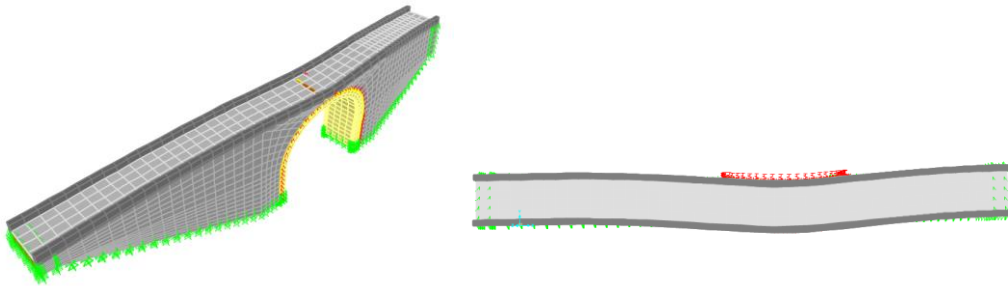
Tarihi Zanoy Köprüsü'nün temin edilen rölöve projesi üzerinden SAP2000 programında 3 boyutlu analitik modeli oluşturulmuştur. Köprü'nün analitik modeli Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.7. Tarihi Zanoy Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli

### Modal Analiz Gerçekleştirilmesi:

Tarihi Zanoy Köprüsü'nün analitik modeli üzerinde öncelikle modal analizi gerçekleştirilmiştir. Modal analizden elde edilen ilk beş mod şekli ve frekansları Şekil 2.8'de verilmektedir.

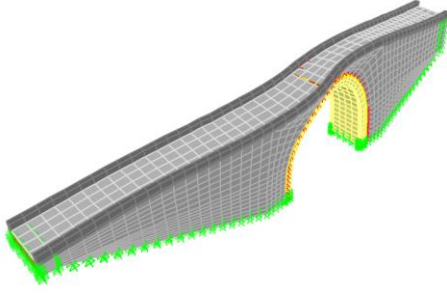


Birinci mod (Yanal hareket)  $f_1=10.17928$  Hz

Şekil 2.8. Tarihi Zanoy Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli

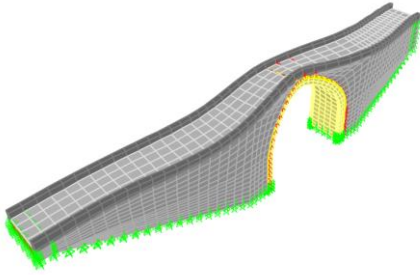
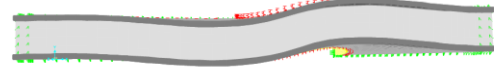


Şekil 2.8'in devamı



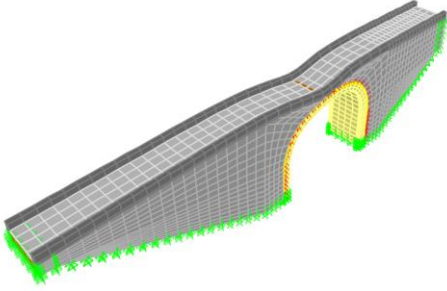
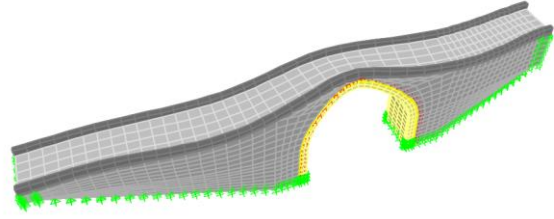
İkinci mod (Burulma hareketi)

$f_2=15.81022$  Hz



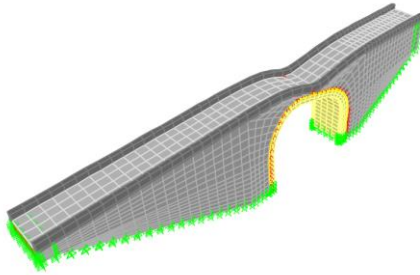
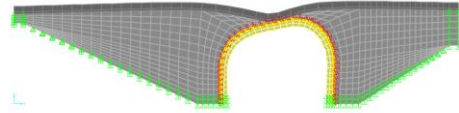
Üçüncü mod (Yanal burulma hareketi)

$f_3=23.3576$  Hz

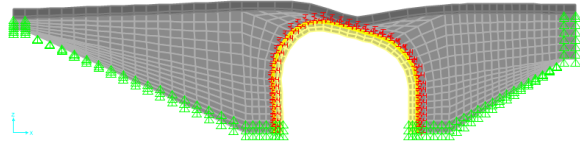


Dördüncü mod (Kemer düşey hareket)

$f_4=24.43664$  Hz



Beşinci mod (Kemer düşey hareket)  $f_5=24.60978$  Hz

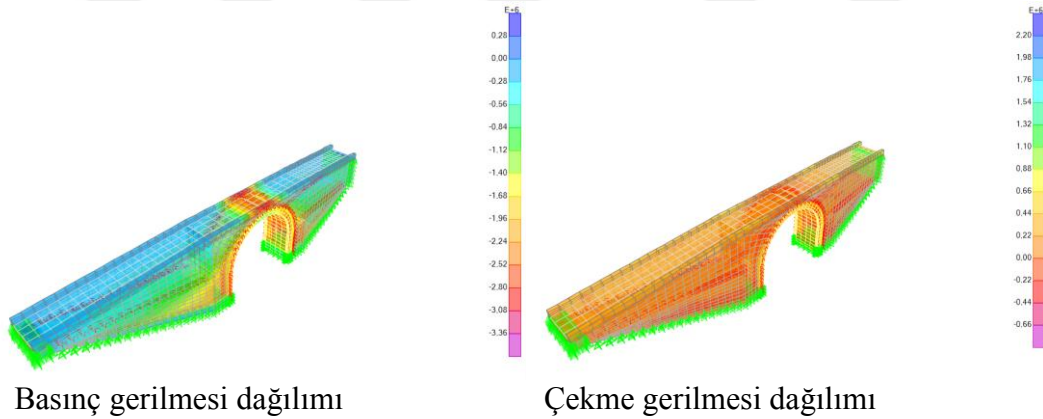


Statik ve Dinamik Analizlerin Gerçekleştirilmesi:

Tarihi Zanoz Köprüsü'nün sabit, hareketli ve deprem yükleri etkisinde analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden köprüde oluşan en büyük çekme ve basınç gerilmeleri

elde edilmiştir. Köprünün kendi ağırlığı altındaki analizinden, en büyük basınç gerilmesi  $0.228 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.108 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Köprünün hareketli yük altındaki analizinden en büyük basınç gerilmesi  $0.0385 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.0288 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Depremi enine, boyuna ve düşey yönlerde etkimesi durumları için sırasıyla çekme ve basınç dağılımları incelenmiş ve en büyük çekme-basınç gerilmelerinin depremin enine yönde etkimesi durumunda olduğu belirlenmiştir. En büyük basınç gerilmesi  $0.935 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.935 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

Tarihi Zanoz Köprüsü'nün kendi ağırlığı ve hareketli yük etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan en büyük çekme ve en büyük basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprünün gerilme dağılımları ise Şekil 2.9'da verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst bölgelerinde daha fazla, çekme gerilmelerinin ise köprü yan duvarlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $3.36 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $2.2 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

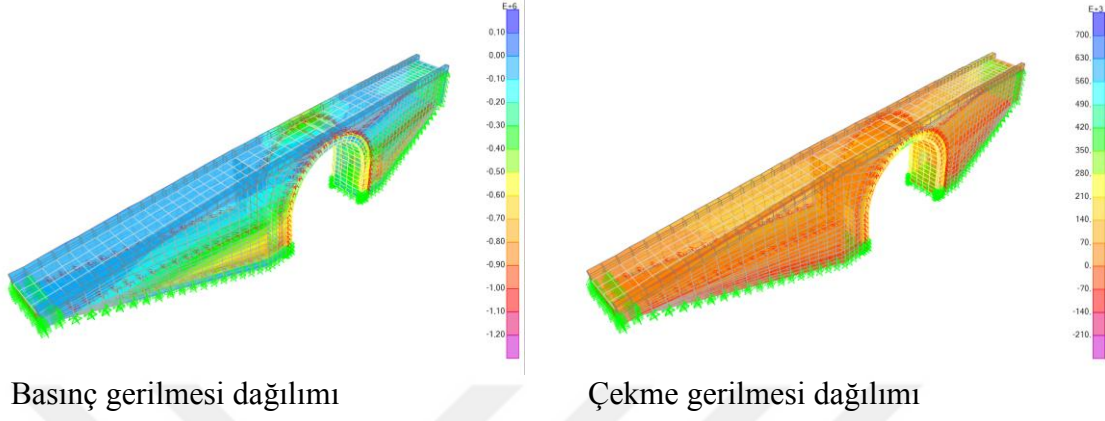


Şekil 2.9. Tarihi Zanoz Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Zanoz Köprüsü'nün kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprünün gerilme dağılımları ise Şekil 2.10'da verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer mesnet bölgelerinde daha fazla olduğu, çekme gerilmelerinin ise köprü yan duvarlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük

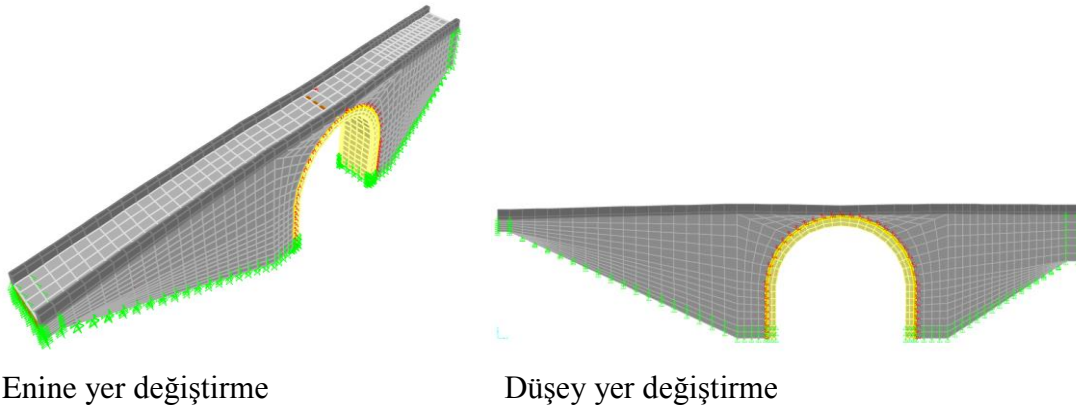


basınç gerilmesi  $1.2 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.7 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



Şekil 2.10. Tarihi Zanoz Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Zanoz Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde enine doğrultuda 3.6mm ve düşey doğrultuda 1.7mm yer değiştirme meydana gelmiştir (Şekil 2.11).



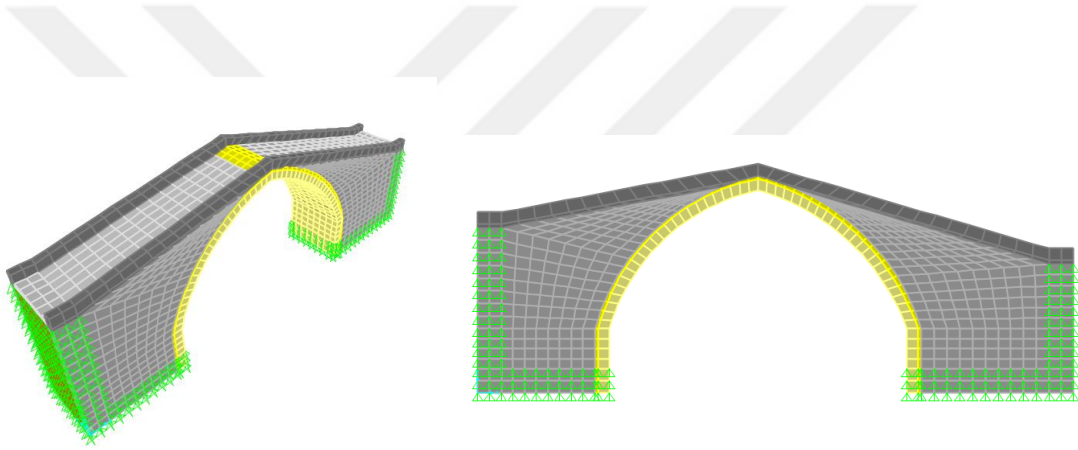
Şekil 2.11. Tarihi Zanoz Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler

### 2.2.3. İlecik Köprüsü

İlecik Köprüsü, Gümüşhane’de bulunmaktadır. Köprü tek gözlü olup kemer açıklığı 12.5m, kemer yüksekliği 8.51m, köprü genişliği 3.75m’dir.

Analitik Modelin Oluşturulması:

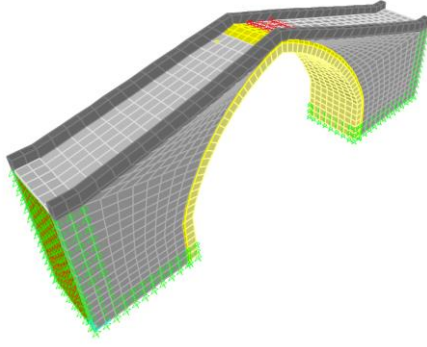
İlecik Köprüsü’nün temin edilen rölöve projesi üzerinden SAP2000 programında 3 boyutlu analitik modeli oluşturulmuştur. Köprünün analitik modeli Şekil 2.12’de verilmiştir.



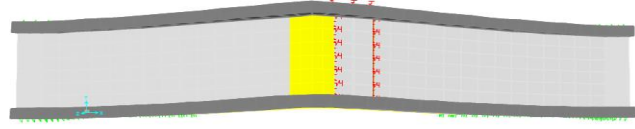
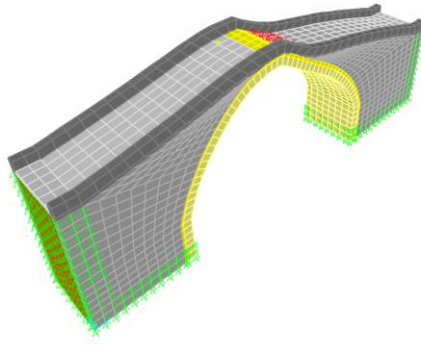
Şekil 2.12. İlecik Köprüsü’nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli

Modal Analiz Gerçekleştirilmesi:

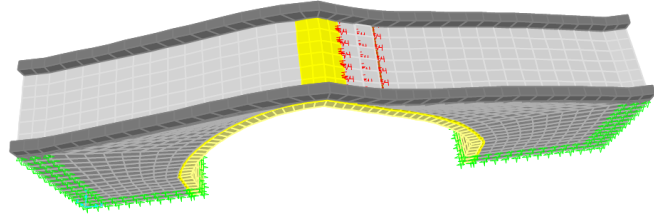
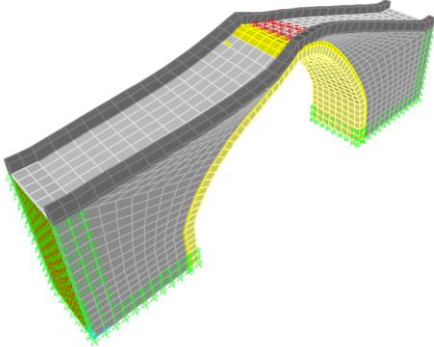
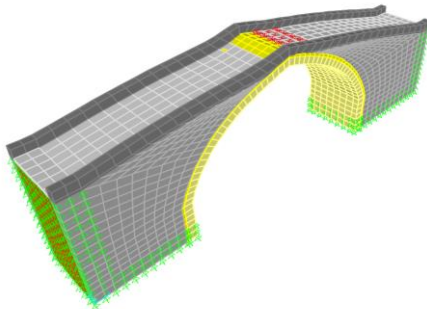
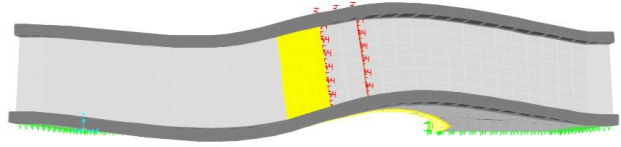
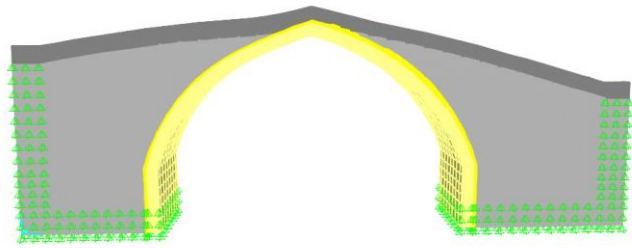
İlecik Köprüsü’nün analitik modeli üzerinde öncelikle modal analizi gerçekleştirilmiştir. Modal analizden elde edilen ilk beş mod şekli ve frekansları Şekil 2.13’te verilmektedir.



Birinci mod (Yanal hareket)

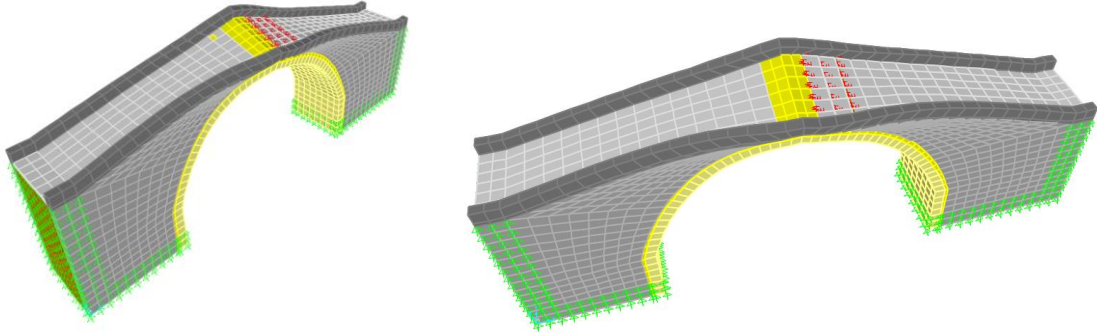
 $f_1=12.39091$  Hz

İkinci mod (Kemer boyunca hareket)

 $f_2=23.17745$  HzÜçüncü mod (Burulma hareketi)  $f_3=23.34432$  HzDördüncü mod (Kemer düşey Hareket)  $f_4=26.26205$  Hz

Şekil 2.13. İlecik Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli

Şekil 2.13'ün devamı

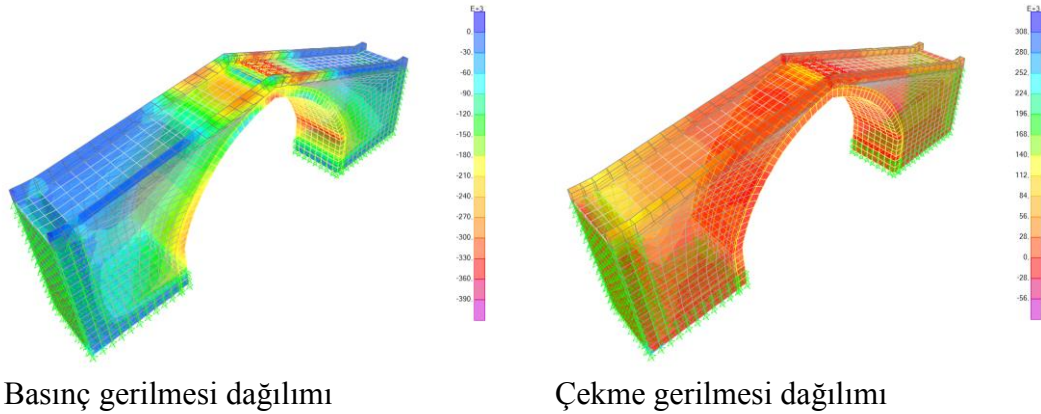


Beşinci mod (Kemer burulma hareketi)  $f_5=32.34518$  Hz

#### Statik ve Dinamik Analizlerin Gerçekleştirilmesi:

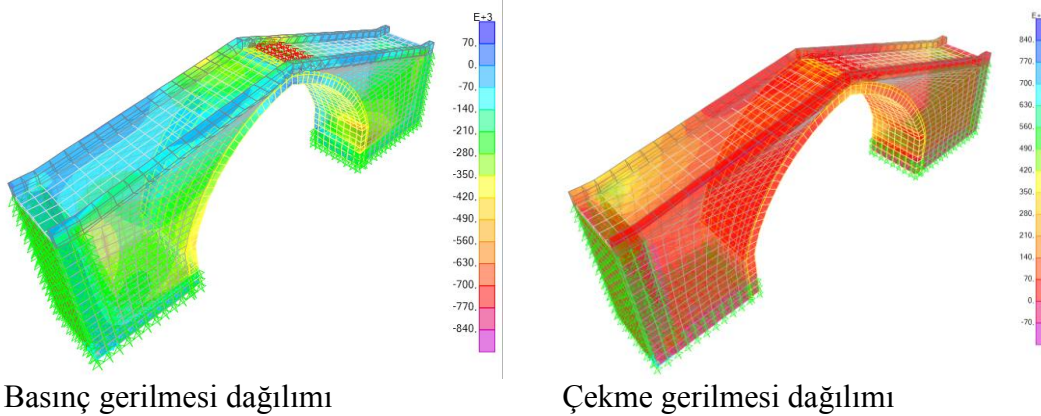
İlecik Köprüsü'nün sabit, hareketli ve deprem yükleri etkisinde analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden köprüde oluşan en büyük çekme ve basınç gerilmeleri elde edilmiştir. Köprü'nün kendi ağırlığı altındaki analizinden, en büyük basınç gerilmesi  $0.221 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.165 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Köprü'nün hareketli yük altındaki analizinden en büyük basınç gerilmesi  $0.052 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.0495 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Deprem'in enine, boyuna ve düşey yönlerde etkimesi durumları için sırasıyla çekme ve basınç dağılımları incelenmiş ve en büyük çekme-basınç gerilmelerinin depremin enine yönde etkimesi durumunda olduğu belirlenmiştir. En büyük basınç gerilmesi  $0.72 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.72 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

İlecik Köprüsü'nün kendi ağırlığı ve hareketli yük etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan en büyük çekme ve en büyük basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.14'te verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst bölgelerinde daha fazla, çekme gerilmelerinin ise duvar yan kısımlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.39 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.308 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



Şekil 2.14. İlecik Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları

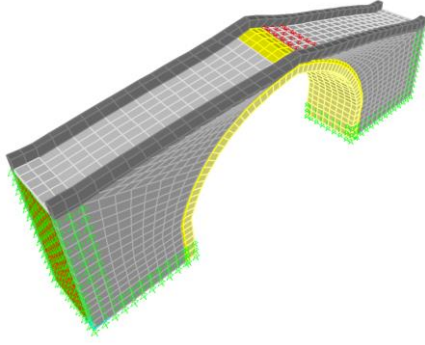
İlecik Köprüsü'nün kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.15'te verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst bölgelerinde daha fazla olduğu, çekme gerilmelerinin ise köprü yan duvarlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.84 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.84 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



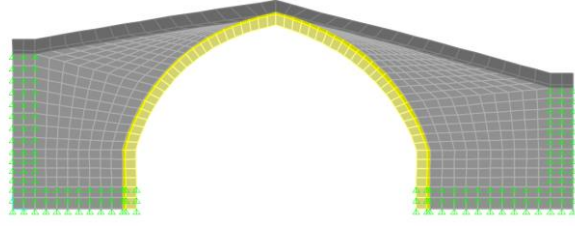
Şekil 2.15. İlecik Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları

İlecik Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde enine doğrultuda 2.5mm ve düşey doğrultuda 1.5mm yer değiştirme meydana gelmiştir (Şekil 2.16).





Enine yer değiştirme



Düşey yer değiştirme

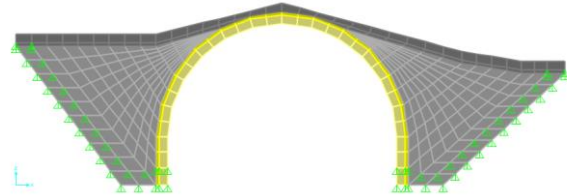
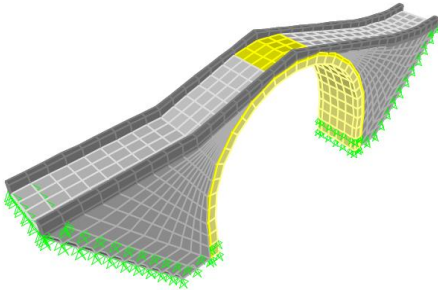
şekil 2.16. İlecik Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler

#### 2.2.4. Meryem Ana-1 Köprüsü

Meryem Ana-1 Köprüsü, Gümüşhane'de bulunmaktadır. Köprü tek gözlü olup kemer açıklığı 13.18m, kemer yüksekliği 9.27m, köprü genişliği 3.65m'dir.

Analitik Modelin Oluşturulması:

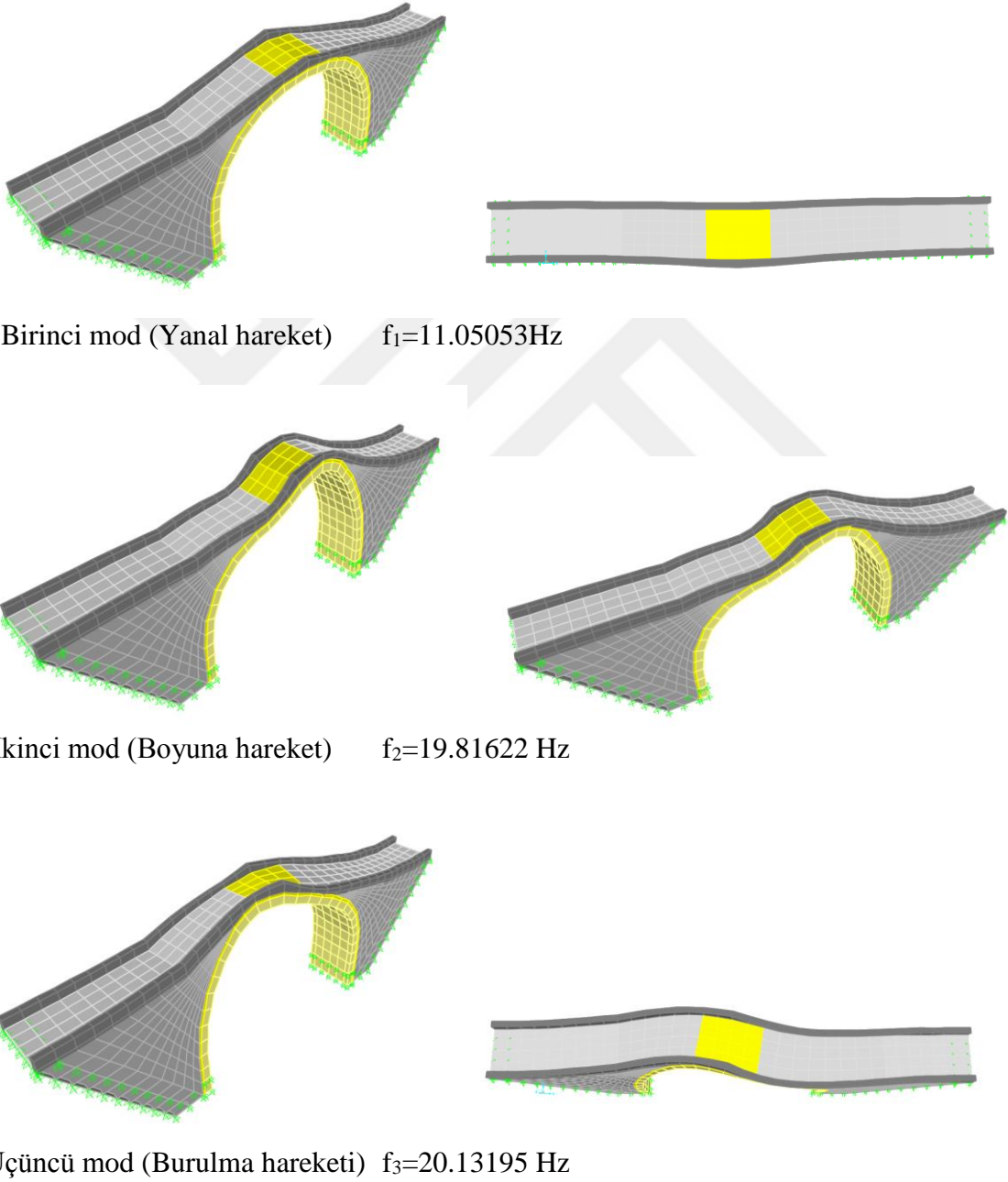
Meryem Ana-1 Köprüsü'nün temin edilen rölöve projesi üzerinden SAP2000 programında 3 boyutlu analitik modeli oluşturulmuştur. Köprü'nün analitik modeli şekil 2.17'de verilmiştir.



şekil 2.17. Meryem Ana-1 Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli

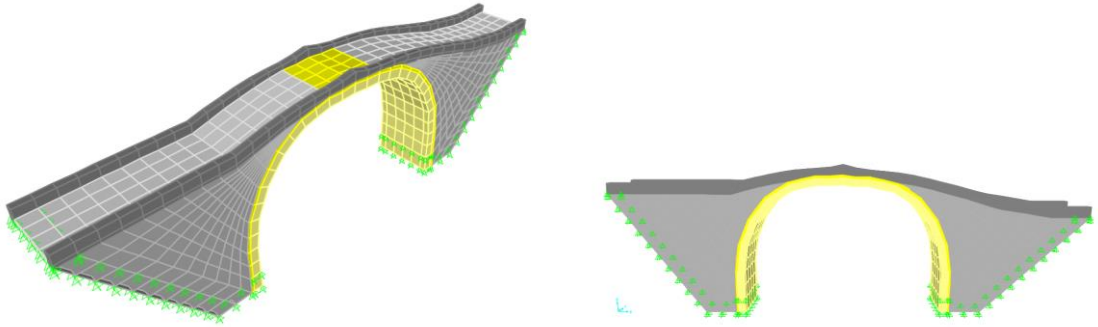
### Modal Analiz Gerçekleştirilmesi:

Meryem Ana-1 Köprüsü'nün analitik modeli üzerinde öncelikle modal analizi gerçekleştirilmiştir. Modal analizden elde edilen ilk beş mod şekli ve frekansları Şekil 2.18'de verilmektedir.

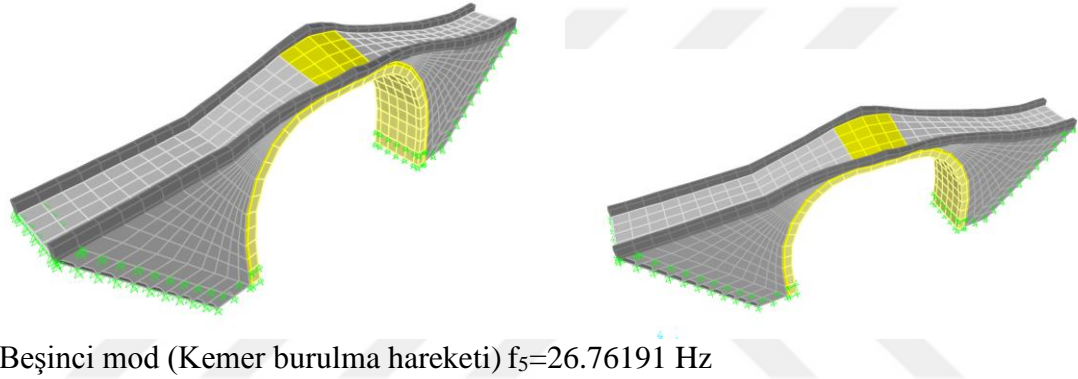


Şekil 2.18. Meryem Ana-1 Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli

Şekil 2.18'in devamı



Dördüncü mod (Kemer düşey hareket)  $f_4=22.40095$  Hz



Beşinci mod (Kemer burulma hareketi)  $f_5=26.76191$  Hz

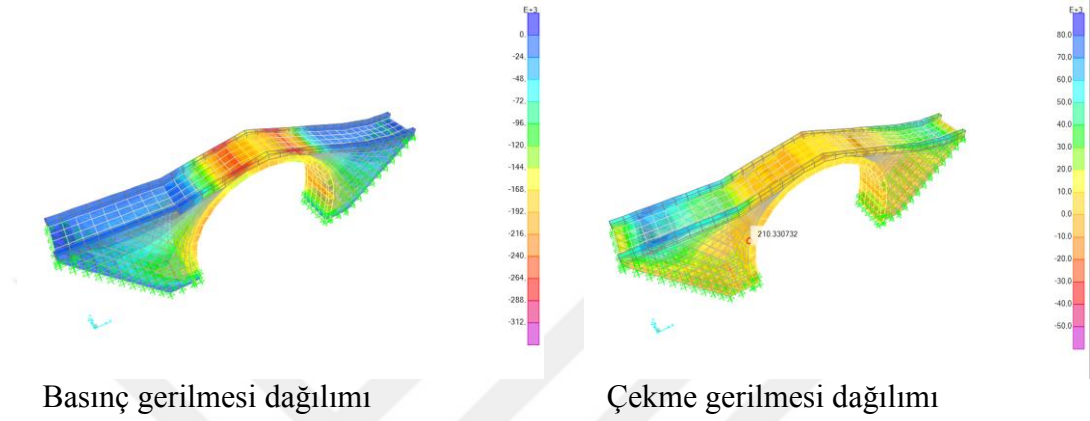
Statik ve Dinamik Analizlerin Gerçekleştirilmesi:

Meryem Ana-1 Köprüsü'nün sabit, hareketli ve deprem yükleri etkisinde analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden köprüde oluşan en büyük çekme ve basınç gerilmeleri elde edilmiştir. Köprü'nün kendi ağırlığı altındaki analizinden, en büyük basınç gerilmesi  $0.182 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.052 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Köprü'nün hareketli yük altındaki analizinden en büyük basınç gerilmesi  $0.042 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.014 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Deprem'in enine, boyuna ve düşey yönlerde etkimesi durumları için sırasıyla çekme ve basınç dağılımları incelenmiş ve en büyük çekme-basınç gerilmelerinin depremin enine yönde etkimesi durumunda olduğu belirlenmiştir. En büyük basınç gerilmesi  $0.6 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.6 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

Meryem Ana-1 Köprüsü'nün kendi ağırlığı ve hareketli yük etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan en büyük çekme ve en büyük basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.19'da verilmektedir.

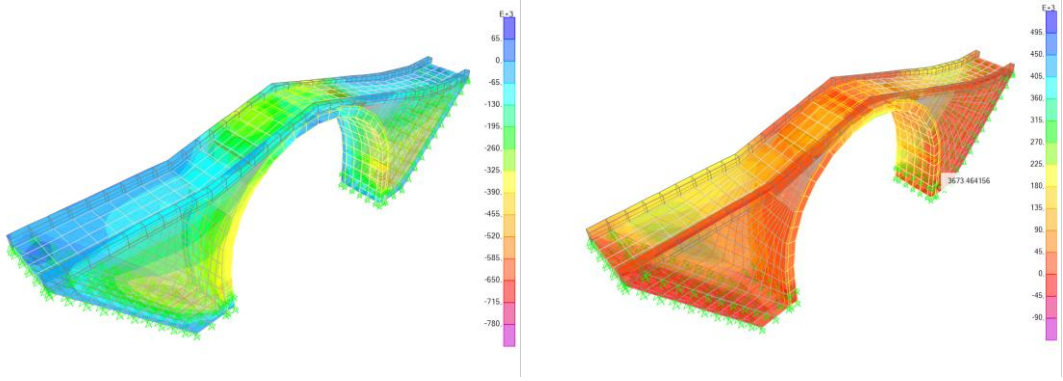


Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst bölgelerinde daha fazla, çekme gerilmelerinin ise duvar üst kısımlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.312 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.08 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



Şekil 2.19. Meryem Ana-1 Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Meryem Ana-1 Köprüsü'nün kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.20'de verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer mesnet bölgelerinde daha fazla olduğu, çekme gerilmelerinin ise kemer yan duvarlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.78 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.495 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

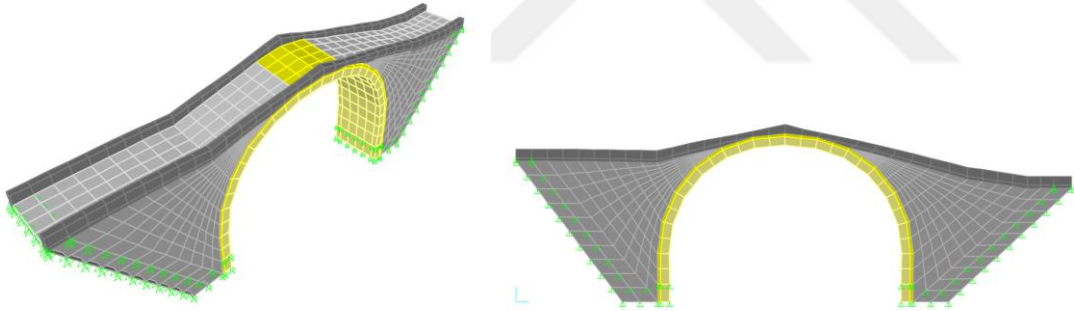


Basınç gerilmesi dağılımı

Çekme gerilmesi dağılımı

Şekil 2.20. Meryem Ana-1 Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Meryem Ana-1 Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde enine doğrultuda 3.1mm ve düşey doğrultuda 1.9mm yer değiştirme meydana gelmiştir (Şekil 2.21).



Enine yer değiştirme

Düşey yer değiştirme

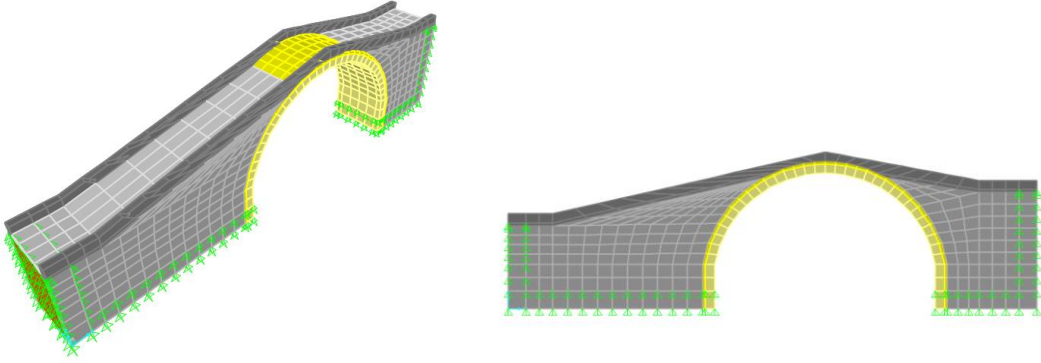
Şekil 2.21. Meryem Ana-1 Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler

### 2.2.5. Meryem Ana-2 Köprüsü

Meryem Ana-2 Köprüsü, Gümüşhane'de bulunmaktadır. Köprü tek gözlü olup kemer açıklığı 12.36m, kemer yüksekliği 7.6m, köprü genişliği 3.72m'dir.

### Analitik Modelin Oluşturulması:

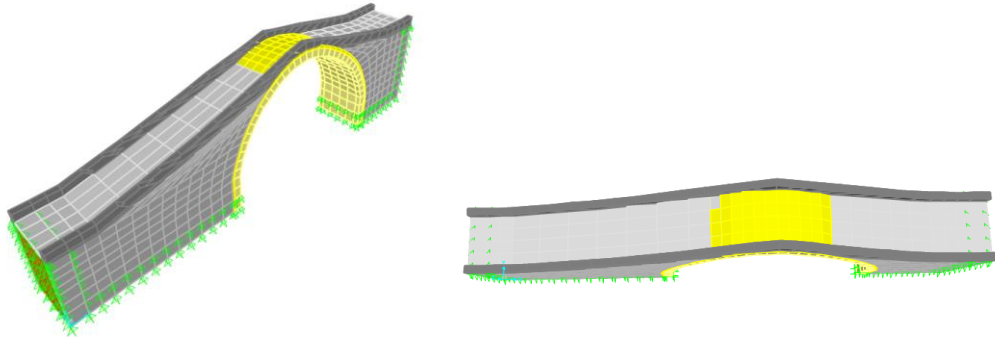
Meryem Ana-2 Köprüsü'nün temin edilen rölöve projesi üzerinden SAP2000 programında 3 boyutlu analitik modeli oluşturulmuştur. Köprü'nün analitik modeli Şekil 2.22'de verilmiştir.



Şekil 2.22. Meryem Ana-2 Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli

### Modal Analiz Gerçekleştirilmesi:

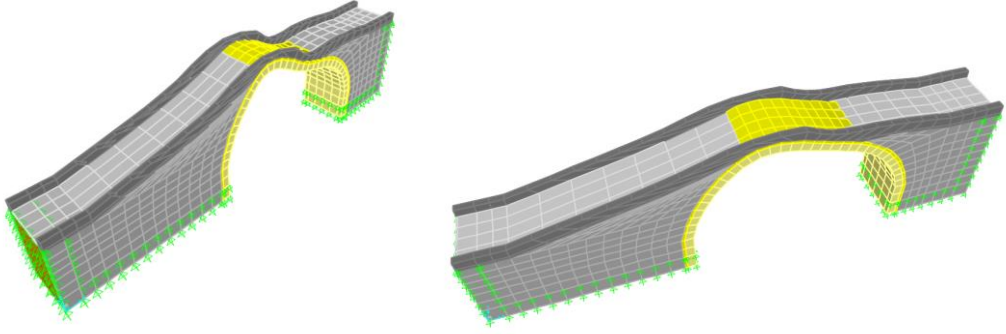
Meryem Ana-2 Köprüsü'nün analitik modeli üzerinde öncelikle modal analizi gerçekleştirilmiştir. Modal analizden elde edilen ilk beş mod şekli ve frekansları Şekil 2.23'de verilmektedir.



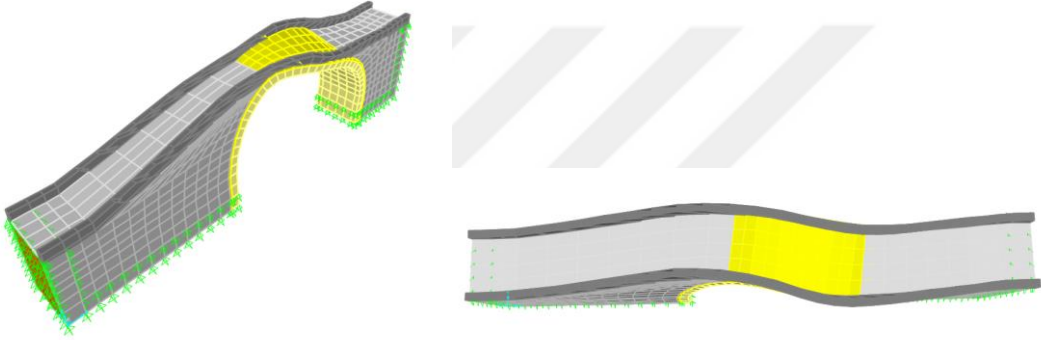
Birinci mod (Yanal hareket)  $f_1=12.91953$  Hz

Şekil 2.23. Meryem Ana-2 Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli

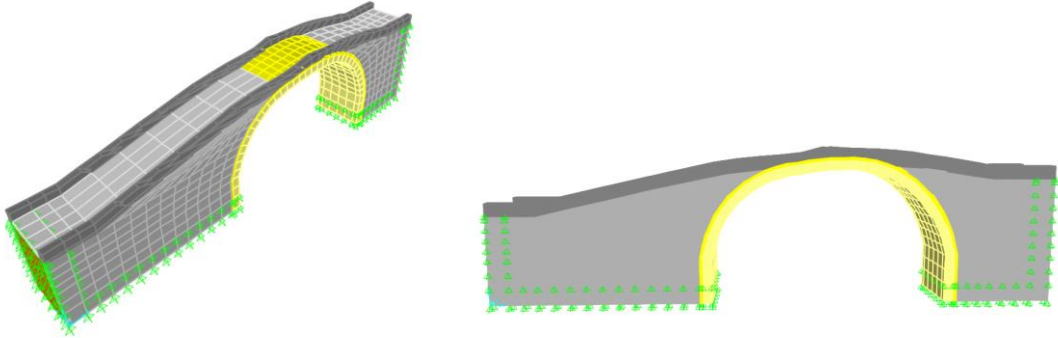
Şekil 2.23'ün devamı



İkinci mod (Boyuna hareket)  $f_2=22.55156$  Hz

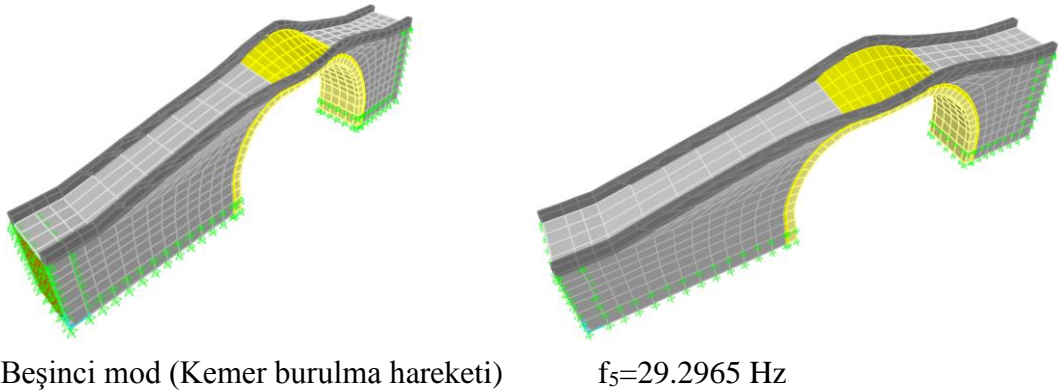


Üçüncü mod (Burulma hareketi)  $f_3=23.20552$  Hz



Dördüncü mod (Kemer düşey hareket)  $f_4=23.69224$  Hz

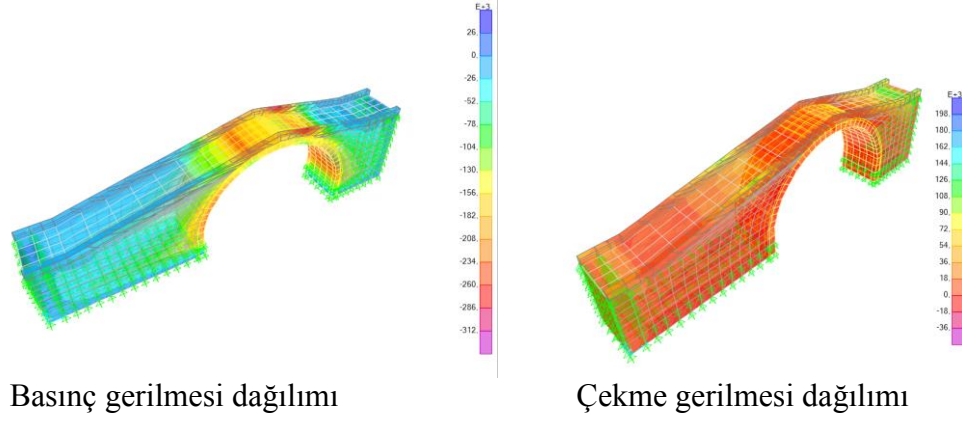
Şekil 2.23'ün devamı



Statik ve Dinamik Analizlerin Gerçekleştirilmesi:

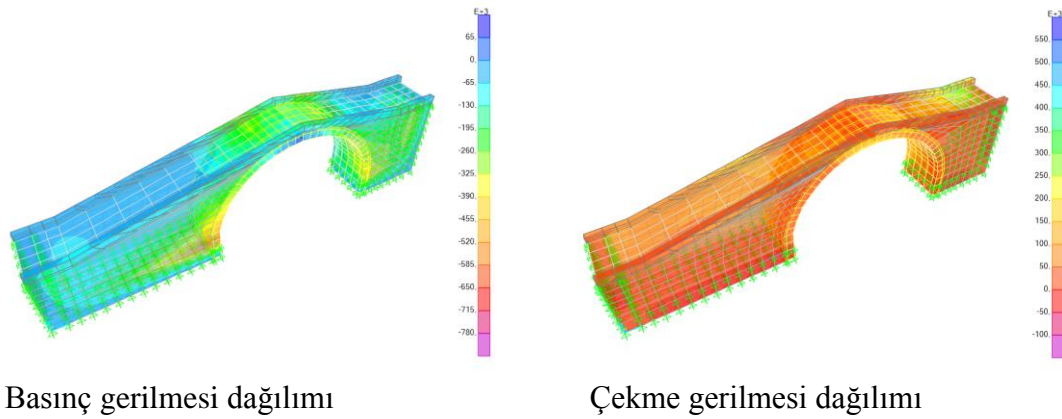
Meryem Ana-2 Köprüsü'nün sabit, hareketli ve deprem yükleri etkisinde analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden köprüde oluşan en büyük çekme ve basınç gerilmeleri elde edilmiştir. Köprü'nün kendi ağırlığı altındaki analizinden, en büyük basınç gerilmesi  $0.168 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.09 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Köprü'nün hareketli yük altındaki analizinden en büyük basınç gerilmesi  $0.054 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.035 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Depremin enine, boyuna ve düşey yönlerde etkimesi durumları için sırasıyla çekme ve basınç dağılımları incelenmiş ve en büyük çekme-basınç gerilmelerinin depremin enine yönde etkimesi durumunda olduğu belirlenmiştir. En büyük basınç gerilmesi  $0.605 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.66 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

Meryem Ana-2 Köprüsü'nün kendi ağırlığı ve hareketli yük etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan en büyük çekme ve en büyük basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.24'te verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst ve kenar mesnet bölgelerinde daha fazla, çekme gerilmelerinin ise kemer üst kısımlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.312 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.198 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



Şekil 2.24. Meryem Ana-2 Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları

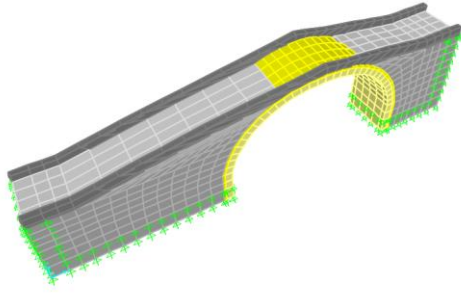
Meryem Ana-2 Köprüsü'nün kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.25'te verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer ayak kısımlarında daha fazla olduğu, çekme gerilmelerinin ise kemer üst kısımlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.78 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.55 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



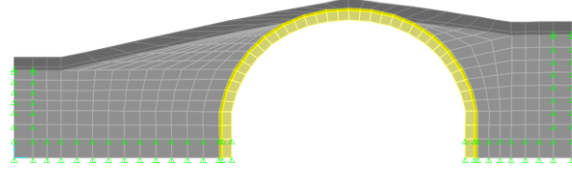
Şekil 2.25. Meryem Ana-2 Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Meryem Ana-2 Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde enine doğrultuda 2.1mm ve düşey doğrultuda 1.6mm yer değiştirme meydana gelmiştir (Şekil 2.26).





Enine yer değiştirme



Düşey yer değiştirme

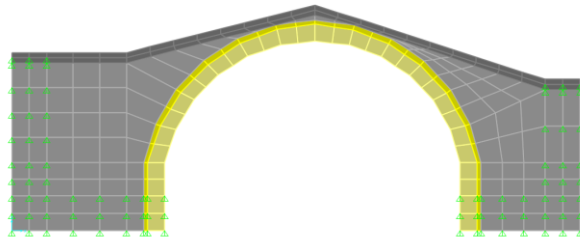
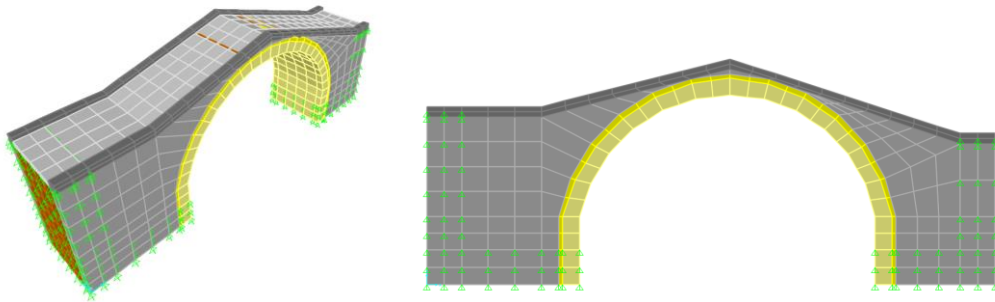
Şekil 2.26. Meryem Ana-2 Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler

### 2.2.6. Tarihi Akköy Köprüsü

Tarihi Akköy Köprüsü, Giresun/Yağlıdere'de bulunmaktadır. Köprü tek gözlü olup kemer açıklığı 8.51m, kemer yüksekliği 5.46m, köprü genişliği 3.06m'dir.

Analitik Modelin Oluşturulması:

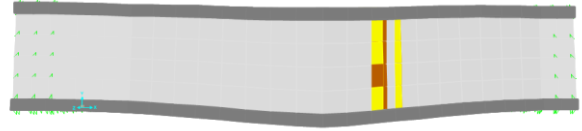
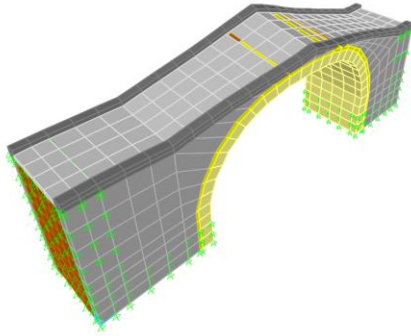
Tarihi Akköy Köprüsü'nün temin edilen rölöve projesi üzerinden SAP2000 programında 3 boyutlu analitik modeli oluşturulmuştur. Köprünün analitik modeli Şekil 2.27'de verilmiştir.



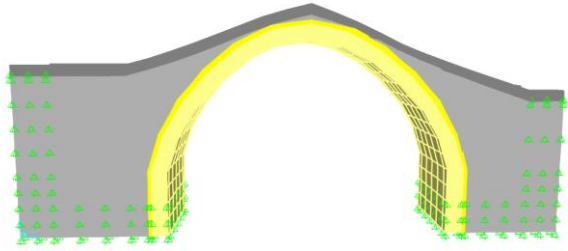
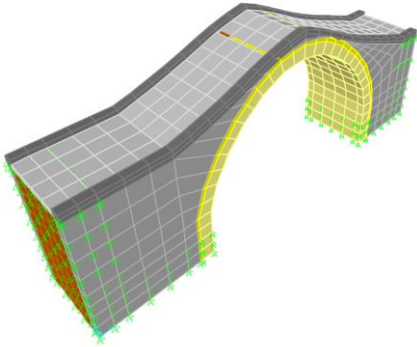
Şekil 2.27. Tarihi Akköy Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli

### Modal Analiz Gerçekleştirilmesi:

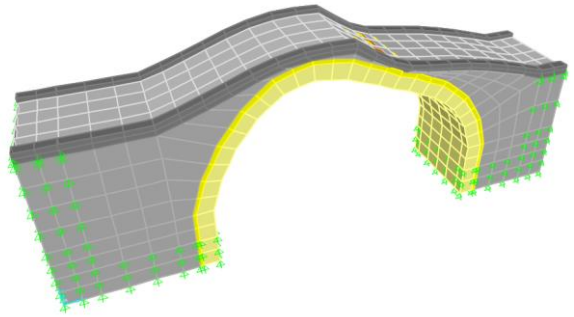
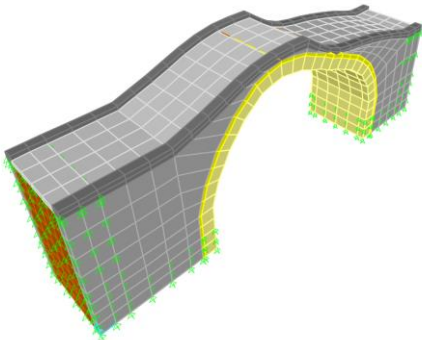
Tarihi Akköy Köprüsü'nün analitik modeli üzerinde öncelikle modal analizi gerçekleştirilmiştir. Modal analizden elde edilen ilk beş mod şekli ve frekansları Şekil 2.28'de verilmektedir.



Birinci mod (Yanal hareket)  $f_1=20.6731$  Hz



İkinci mod (Kemer düşey hareket)  $f_2=33.39057$  Hz

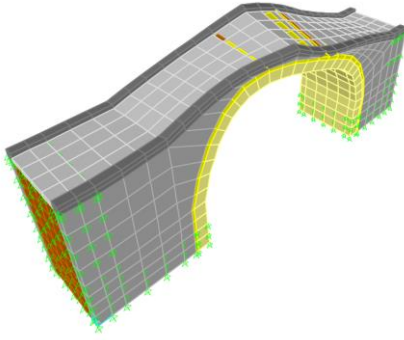


Üçüncü mod (Boyuna hareket)  $f_3=34.08907$  Hz

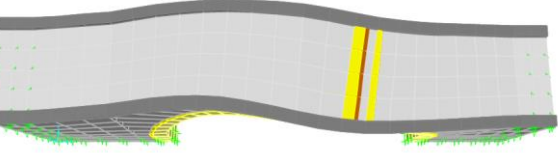
Şekil 2.28. Tarihi Akköy Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli



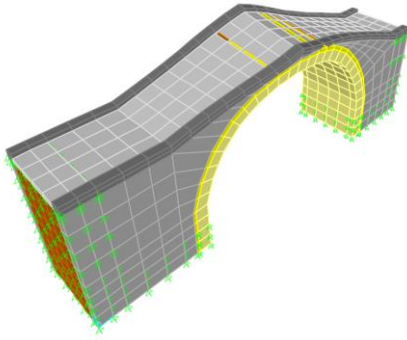
Şekil 2.28'in devamı



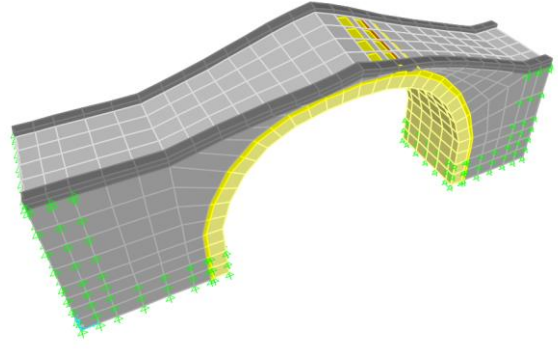
Dördüncü mod (Burulma hareketi)



$f_4=41.69306$  Hz



Beşinci mod (Kemer burulma hareketi)



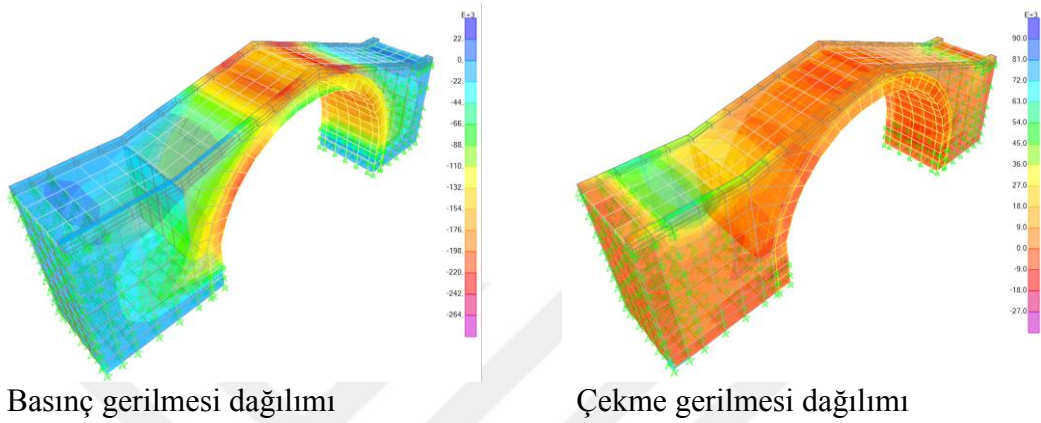
$f_5=44.85996$ Hz

Statik ve Dinamik Analizlerin Gerçekleştirilmesi:

Tarihi Akköy Köprüsü'nün sabit, hareketli ve deprem yükleri etkisinde analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden köprüde oluşan en büyük çekme ve basınç gerilmeleri elde edilmiştir. Köprü'nün kendi ağırlığı altındaki analizinden, en büyük basınç gerilmesi  $0.121 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.055 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Köprü'nün hareketli yük altındaki analizinden en büyük basınç gerilmesi  $0.054 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.0275 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Depremin enine, boyuna ve düşey yönlerde etkimesi durumları için sırasıyla çekme ve basınç dağılımları incelenmiş ve en büyük çekme-basınç gerilmelerinin depremin enine yönde etkimesi durumunda olduğu belirlenmiştir. En büyük basınç gerilmesi  $0.336 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.336 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

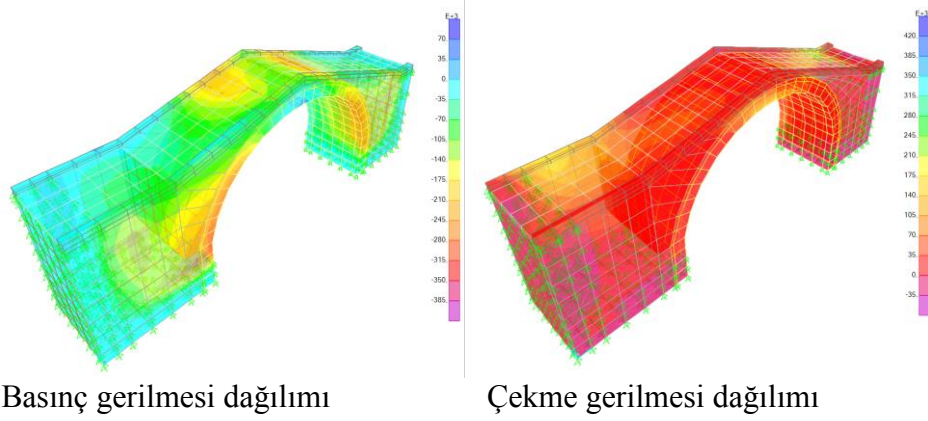
Tarihi Akköy Köprüsü'nün kendi ağırlığı ve hareketli yük etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan en büyük çekme ve en büyük basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.29'da verilmektedir.

Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst ve yan bölgelerinde daha fazla, çekme gerilmelerinin ise döşeme kısmında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.264 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.09 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



Şekil 2.29. Tarihi Akköy Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Akköy Köprüsü'nün kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.30'da verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst ve yan bölgelerinde daha fazla, çekme gerilmelerinin ise köprü döşeme kısımlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.385 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.42 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

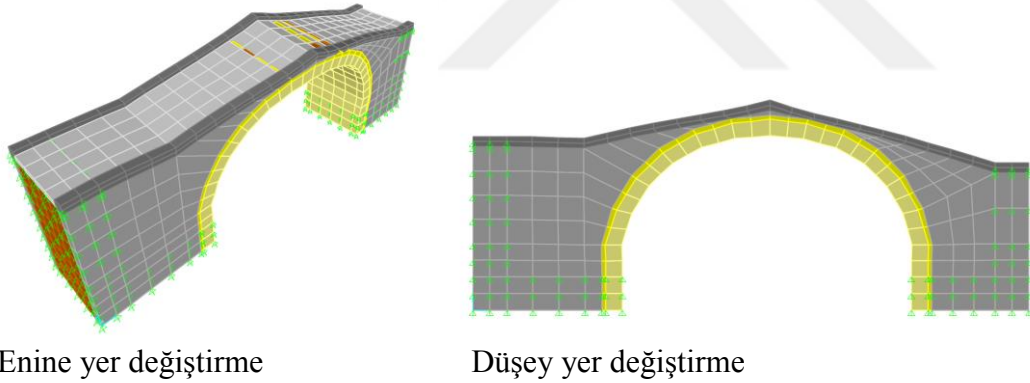


Basınç gerilmesi dağılımı

Çekme gerilmesi dağılımı

Şekil 2.30. Tarihi Akköy Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Akköy Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde enine doğrultuda 0.7mm ve düşey doğrultuda 0.8mm yer değiştirme meydana gelmiştir (Şekil 2.31).



Enine yer değiştirme

Düşey yer değiştirme

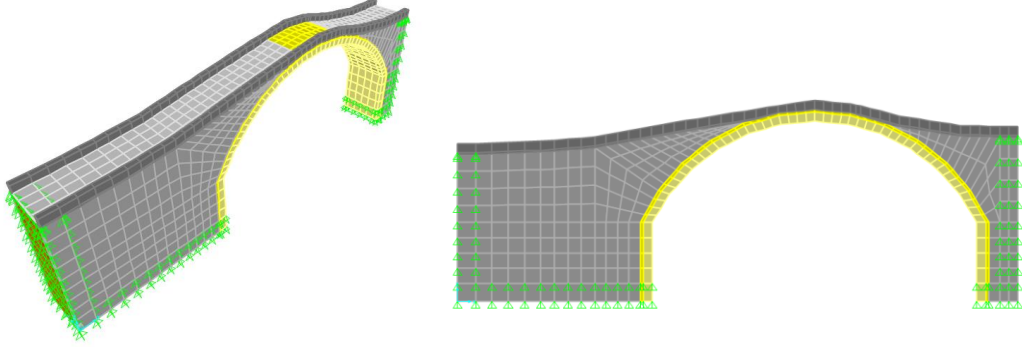
Şekil 2.31. Tarihi Akköy Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler

### 2.2.7. Tarihi Cimil Köprüsü

Tarihi Cimil Köprüsü, Rize/ İkizdere'de bulunmaktadır. Köprü tek gözlü olup kemer açıklığı 17.83m, kemer yüksekliği 9.9m, köprü genişliği 3.4m'dir.

### Analitik Modelin Oluşturulması:

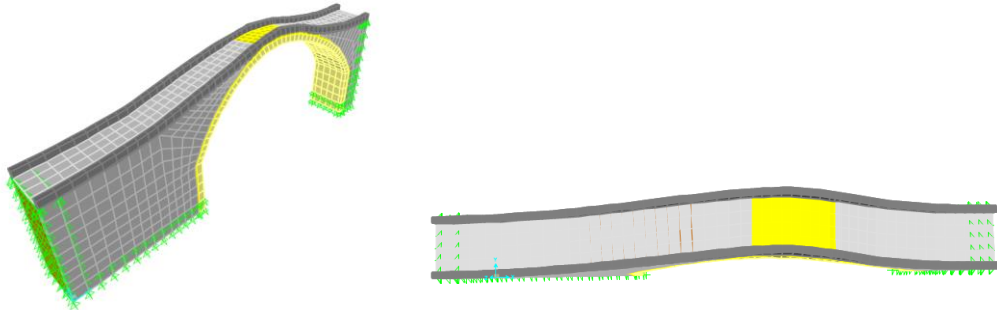
Tarihi Cimil Köprüsü'nün temin edilen rölöve projesi üzerinden SAP2000 programında 3 boyutlu analitik modeli oluşturulmuştur. Köprü'nün analitik modeli Şekil 2.32'de verilmiştir.



Şekil 2.32. Tarihi Cimil Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli

### Modal Analiz Gerçekleştirilmesi:

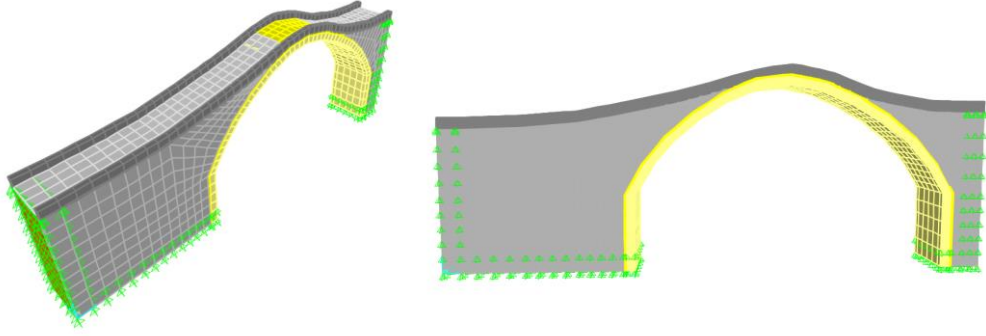
Tarihi Cimil Köprüsü'nün analitik modeli üzerinde öncelikle modal analizi gerçekleştirilmiştir. Modal analizden elde edilen ilk beş mod şekli ve frekansları Şekil 2.33'te verilmektedir.



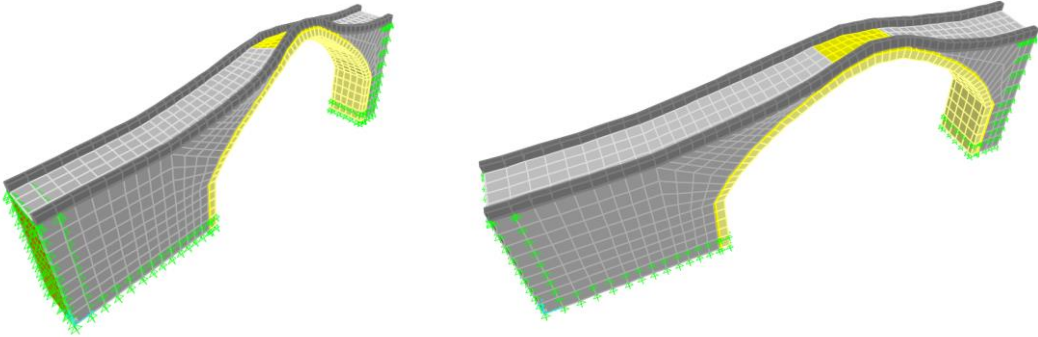
Birinci mod (Yanal hareket)  $f_1=8.79505$  Hz

Şekil 2.33. Tarihi Cimil Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli

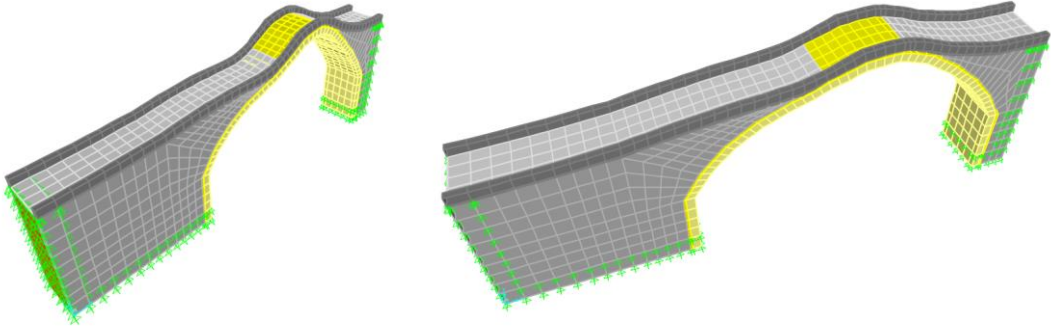
Şekil 2.33'ün devamı



İkinci mod (Kemer düşey hareket)  $f_2=15.73848$  Hz

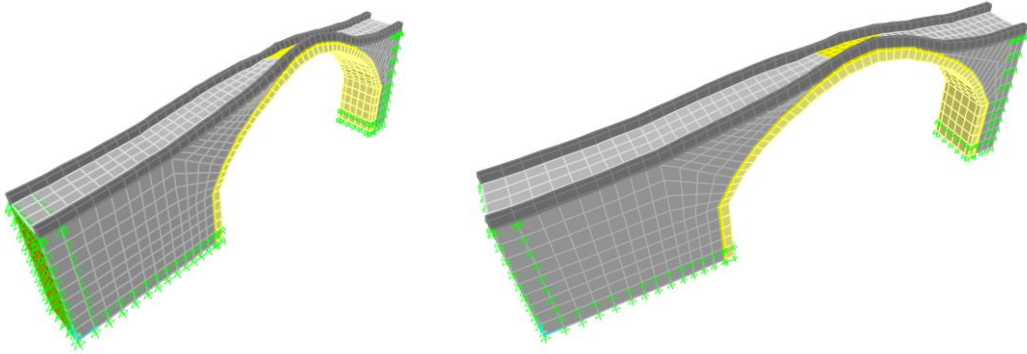


Üçüncü mod (Kemer burulma hareketi)  $f_3=16.00709$  Hz



Dördüncü mod (Boyuna hareket)  $f_4=16.26617$  Hz

Şekil 2.33'ün devamı



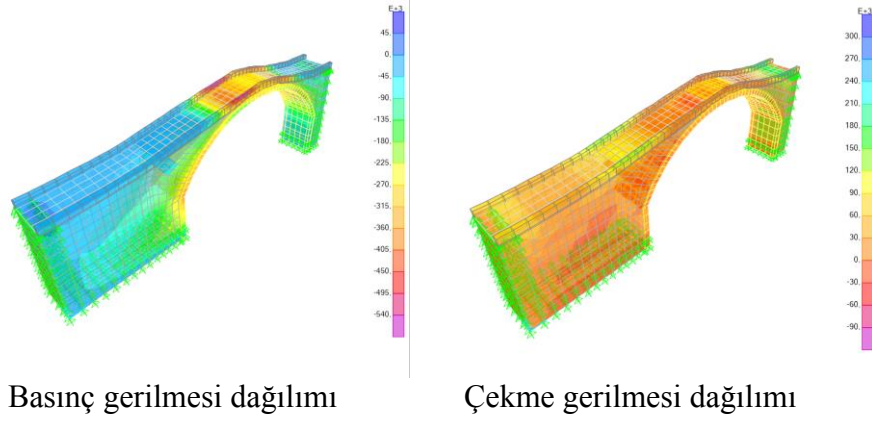
Beşinci mod (Kemer burulma hareketi)  $f_5=23.98462\text{Hz}$

Statik ve Dinamik Analizlerin Gerçekleştirilmesi:

Tarihi Cimil Köprüsü'nün sabit, hareketli ve deprem yükleri etkisinde analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden köprüde oluşan en büyük çekme ve basınç gerilmeleri elde edilmiştir. Köprü'nün kendi ağırlığı altındaki analizinden, en büyük basınç gerilmesi  $0.312 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.154 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Köprü'nün hareketli yük altındaki analizinden en büyük basınç gerilmesi  $0.12 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.081 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Depremin enine, boyuna ve düşey yönlerde etkimesi durumları için sırasıyla çekme ve basınç dağılımları incelenmiş ve en büyük çekme-basınç gerilmelerinin depremin enine yönde etkimesi durumunda olduğu belirlenmiştir. En büyük basınç gerilmesi  $0.88 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.88 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

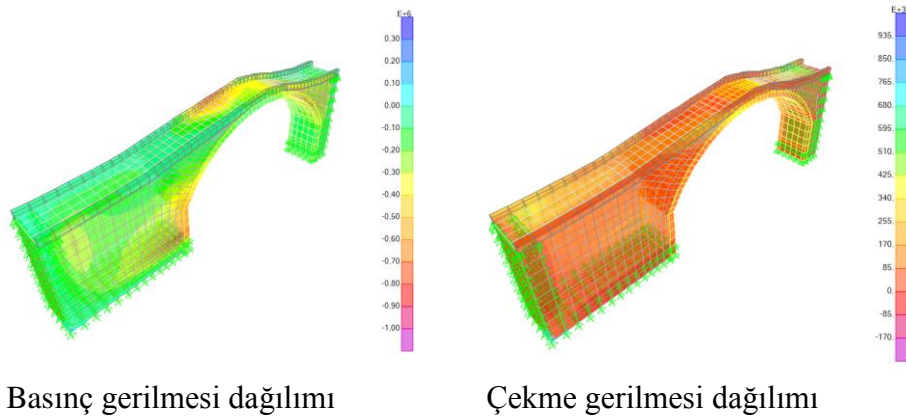
Tarihi Cimil Köprüsü'nün kendi ağırlığı ve hareketli yük etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan en büyük çekme ve en büyük basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.34'te verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst bölgelerinde daha fazla, çekme gerilmelerinin ise duvar üst kısımlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.54 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.3 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.





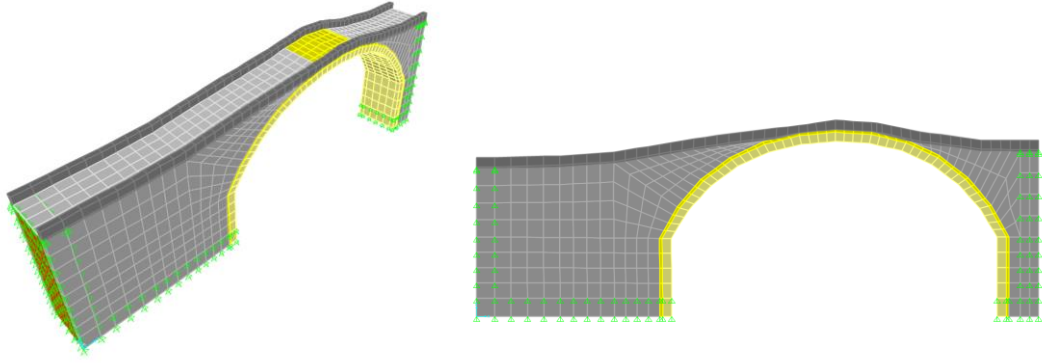
Şekil 2.34. Tarihi Cimil Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Cimil Köprüsü'nün kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.35'te verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer ayak kısımlarında daha fazla olduğu, çekme gerilmelerinin ise duvar üst kısımlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $1.00 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.935 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



Şekil 2.35. Tarihi Cimil Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Cimil Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde enine doğrultuda 4.4mm ve düşey doğrultuda 3.2mm yer değiştirme meydana gelmiştir (Şekil 2.36).



Enine yer değiştirme

Düşey yer değiştirme

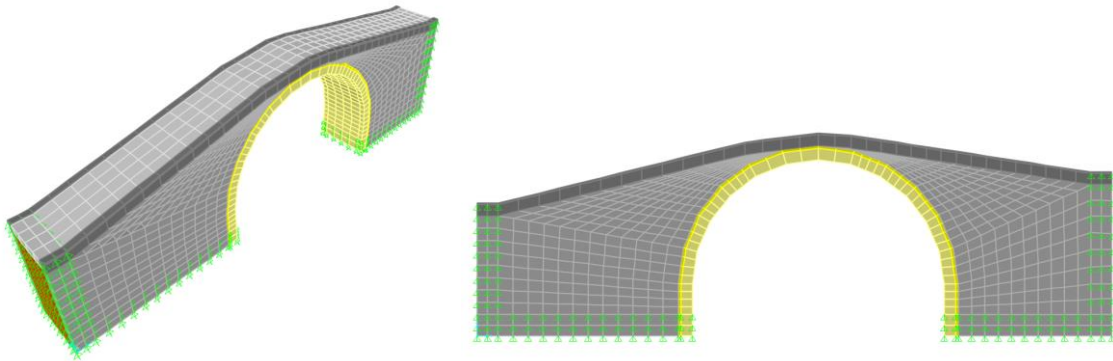
Şekil 2.36. Tarihi Cimil Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler

### 2.2.8. Tarihi Demirkapı Köprüsü

Tarihi Demirkapı Köprüsü, Gümüşhane ili Torul-Kopuz yolunda bulunmaktadır. Köprü tek gözlü olup kemer açıklığı 12m, kemer yüksekliği 8.36m, köprü genişliği 3.58m'dir.

Analitik Modelin Oluşturulması:

Tarihi Demirkapı Köprüsü'nün temin edilen rölöve projesi üzerinden SAP2000 programında 3 boyutlu analitik modeli oluşturulmuştur. Köprü'nün analitik modeli Şekil 2.37'de verilmiştir.

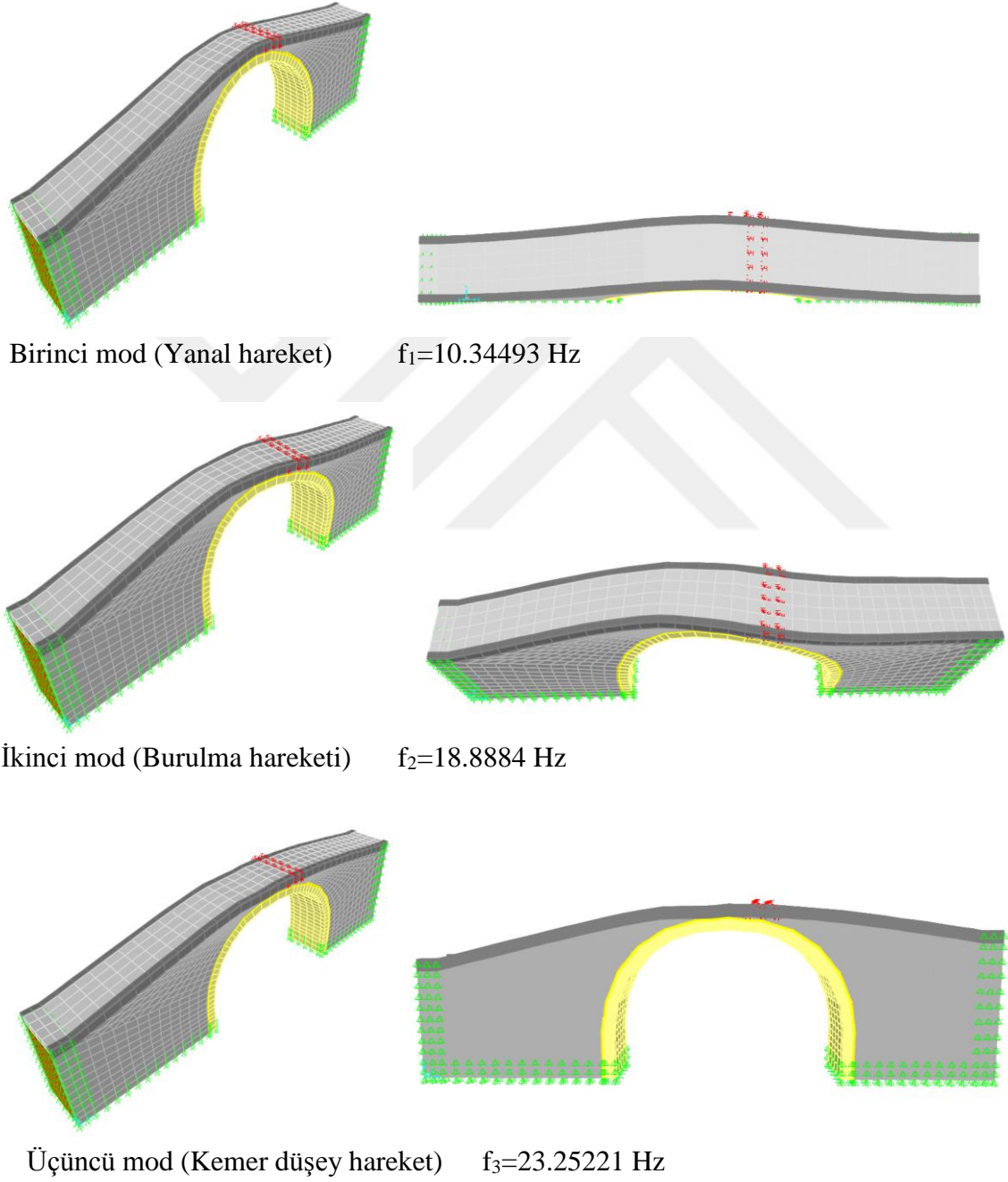


Şekil 2.37. Tarihi Demirkapı Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli



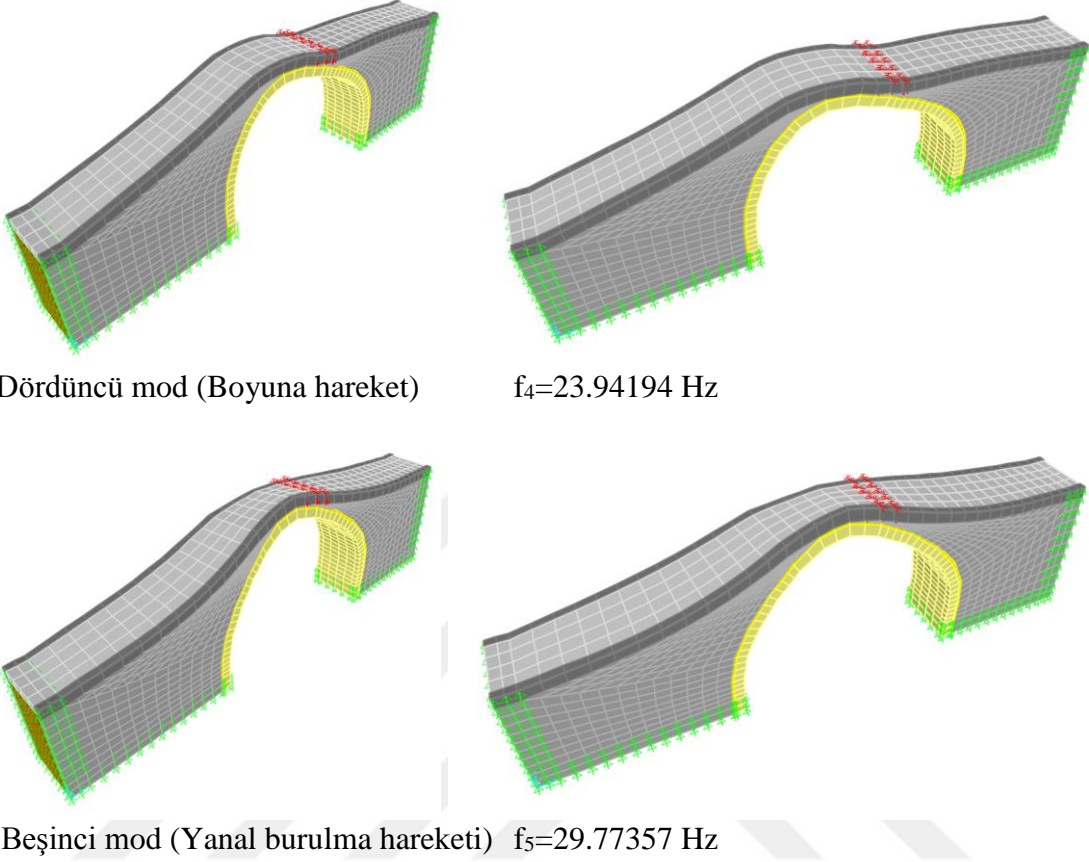
### Modal Analiz Gerçekleştirilmesi:

Tarihi Demirkapı Köprüsü'nün analitik modeli üzerinde öncelikle modal analizi gerçekleştirilmiştir. Modal analizden elde edilen ilk beş mod şekli ve frekansları Şekil 2.38'de verilmektedir.



Şekil 2.38. Tarihi Demirkapı Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli

Şekil 2.38'in devamı

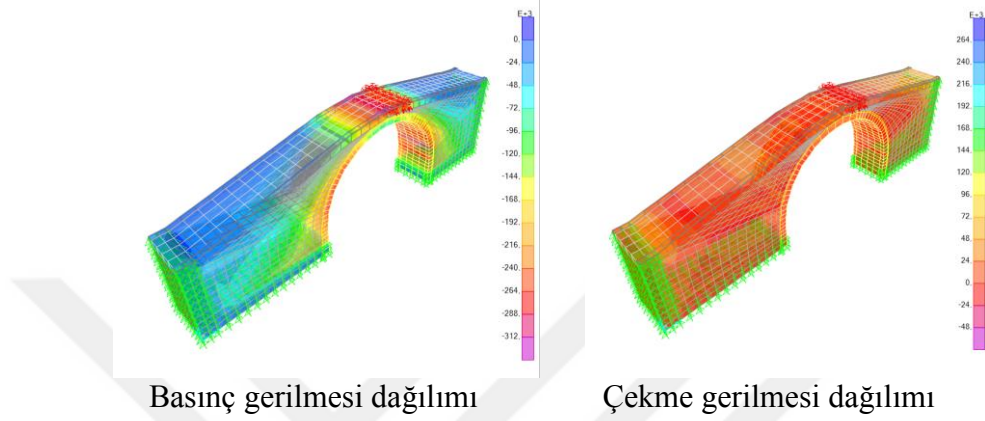


#### Statik ve Dinamik Analizlerin Gerçekleştirilmesi:

Tarihi Demirkapı Köprüsü'nün sabit, hareketli ve deprem yükleri etkisinde analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden köprüde oluşan en büyük çekme ve basınç gerilmeleri elde edilmiştir. Köprü'nün kendi ağırlığı altındaki analizinden, en büyük basınç gerilmesi  $0.195 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.165 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Köprü'nün hareketli yük altındaki analizinden en büyük basınç gerilmesi  $0.048 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.019 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Deprem'in enine, boyuna ve düşey yönlerde etkimesi durumları için sırasıyla çekme ve basınç dağılımları incelenmiş ve en büyük çekme-basınç gerilmelerinin depremin enine yönde etkimesi durumunda olduğu belirlenmiştir. En büyük basınç gerilmesi  $0.935 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.935 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

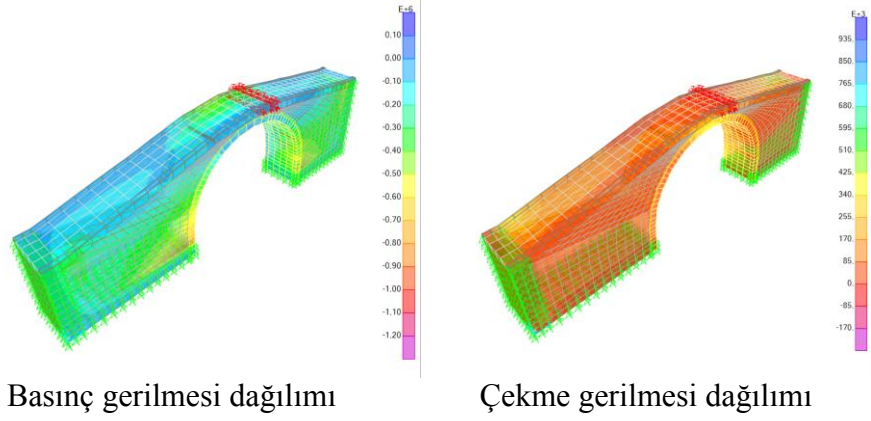
Tarihi Demirkapı Köprüsü'nün kendi ağırlığı ve hareketli yük etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan en büyük çekme ve en büyük basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.39'da verilmektedir.

Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst ve yan bölgelerinde daha fazla, çekme gerilmelerinin ise duvar üst kısımlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.312 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.264 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



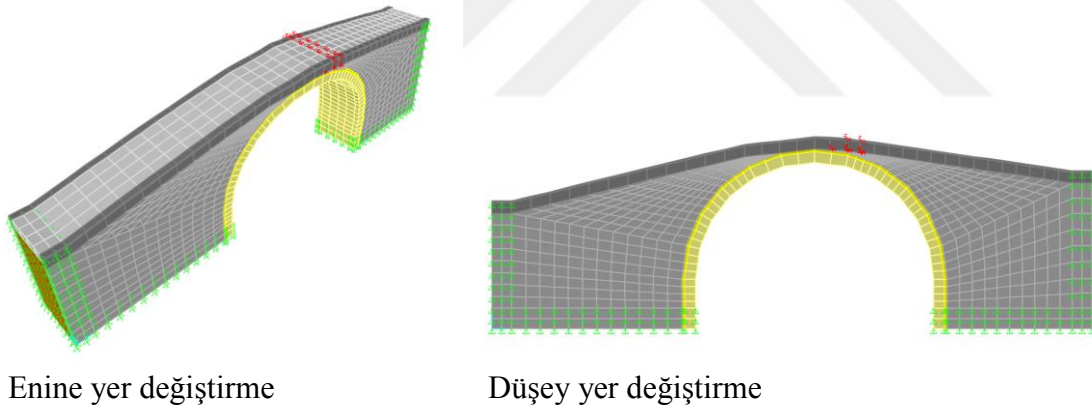
Şekil 2.39. Tarihi Demirkapı Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Demirkapı Köprüsü'nün kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.40'ta verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer kenar mesnet bölgesinde daha fazla olduğu, çekme gerilmelerinin ise köprü üst kısımlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $1.2 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.935 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



Şekil 2.40. Tarihi Demirkapı Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Demirkapı Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde enine doğrultuda 3.4mm ve düşey doğrultuda 1.7mm yer değiştirme meydana gelmiştir (Şekil 2.41).



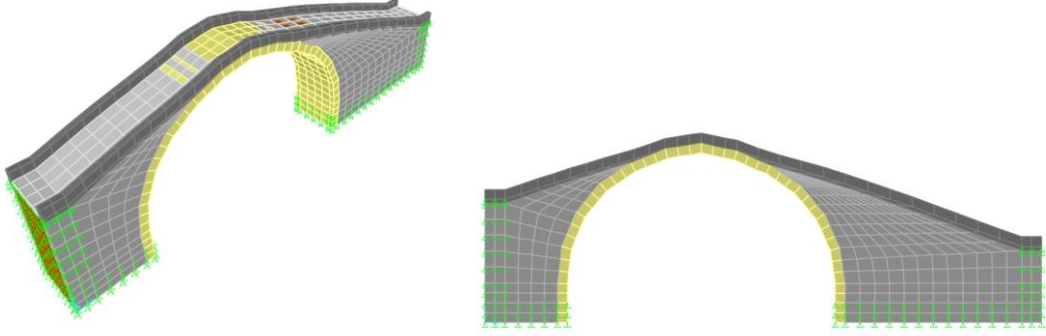
Şekil 2.41. Tarihi Demirkapı Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler

### 2.2.9. Diktaş Köprüsü

Diktaş Köprüsü, Rize/Hemşin'de bulunmaktadır. Köprü tek gözlü olup kemer açıklığı 13.52m, kemer yüksekliği 9.01m, köprü genişliği 3.1m'dir.

### Analitik Modelin Oluşturulması:

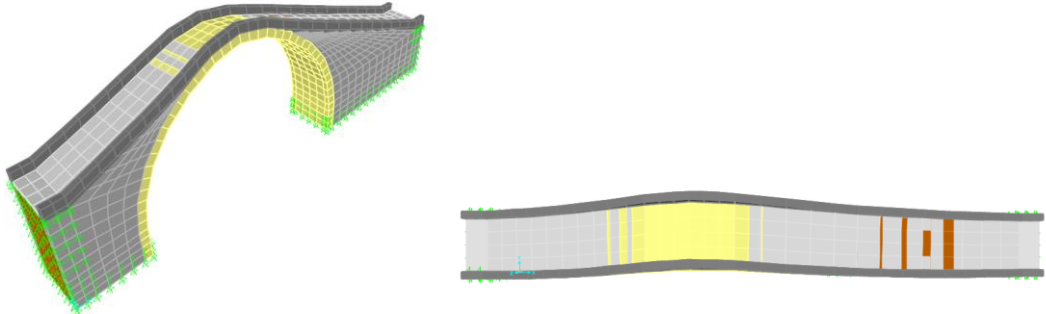
Diktaş Köprüsü'nün temin edilen rölöve projesi üzerinden SAP2000 programında 3 boyutlu analitik modeli oluşturulmuştur. Köprü'nün analitik modeli Şekil 2.42'de verilmiştir.



Şekil 2.42. Diktaş Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli

### Modal Analiz Gerçekleştirilmesi:

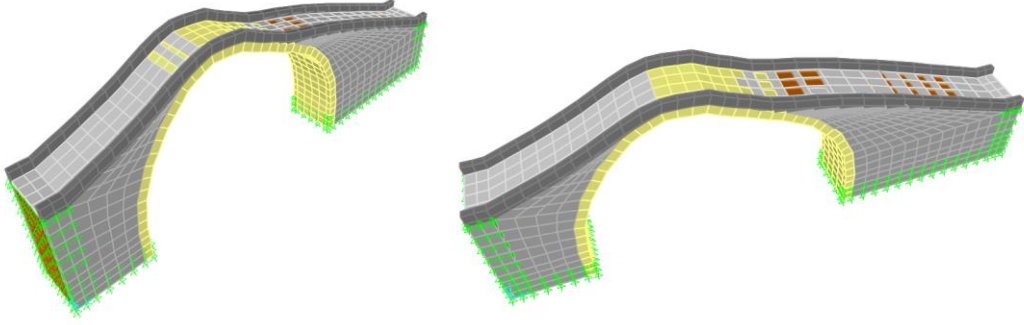
Diktaş Köprüsü'nün analitik modeli üzerinde öncelikle modal analizi gerçekleştirilmiştir. Modal analizden elde edilen ilk beş mod şekli ve frekansları Şekil 2.43'te verilmektedir.



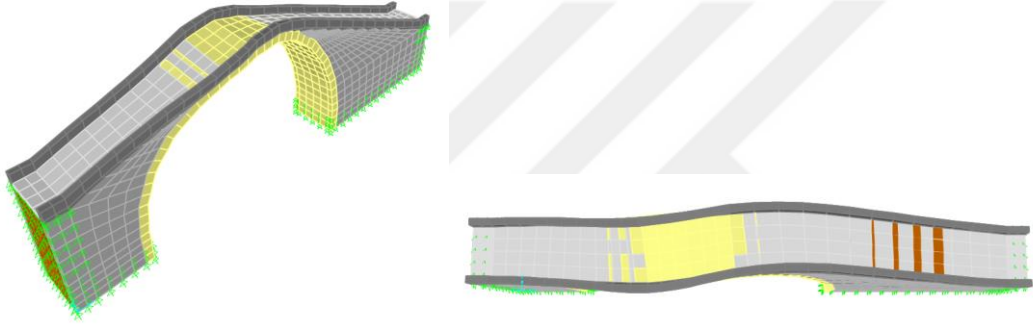
Birinci mod (Yanal hareket)  $f_1=10.14807$  Hz

Şekil 2.43. Diktaş Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli

Şekil 2.43'ün devamı

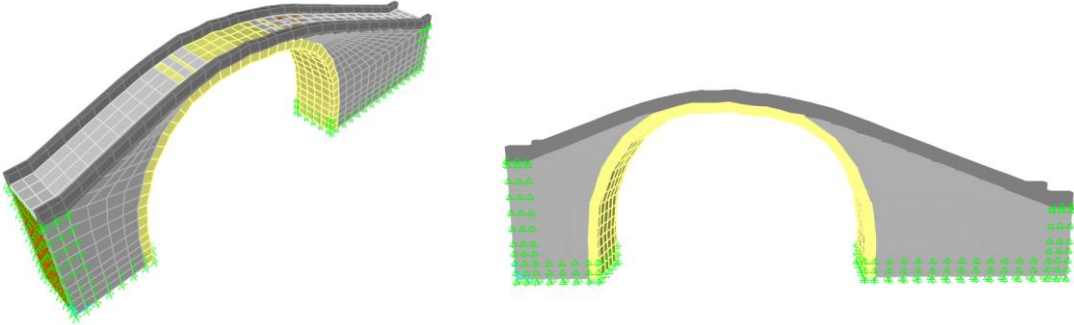


İkinci mod (Boyuna hareket)  $f_2=17.50696$  Hz



Üçüncü mod (Burulma hareketi)

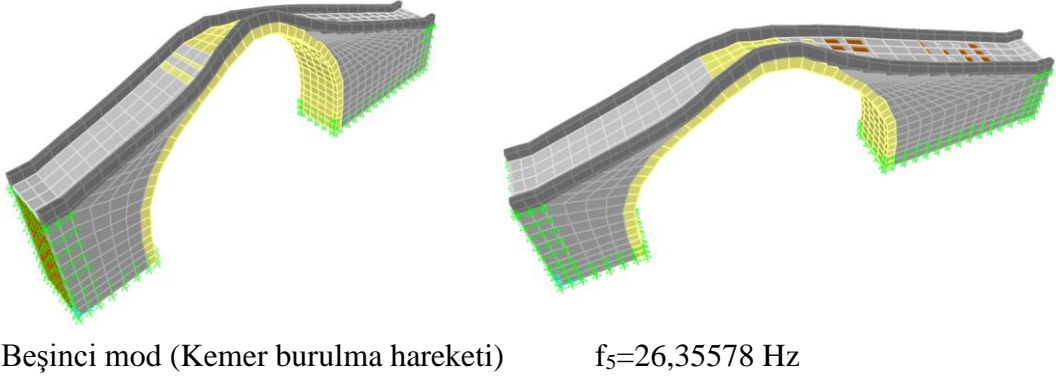
$f_3=18.43998$  Hz



Dördüncü mod (Kemer düşey hareket)  $f_4=23.3352$  Hz



Şekil 2.43'ün devamı

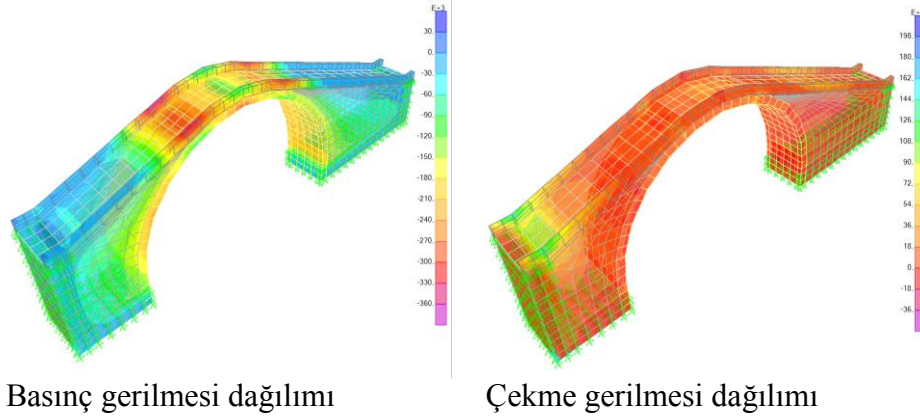


Beşinci mod (Kemer burulma hareketi)  $f_5=26,35578$  Hz

#### Statik ve Dinamik Analizlerin Gerçekleştirilmesi:

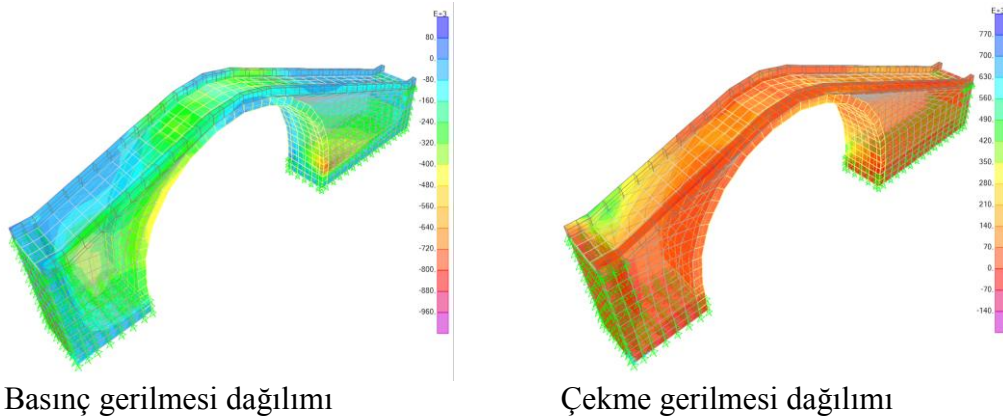
Diktaş Köprüsü'nün sabit, hareketli ve deprem yükleri etkisinde analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden köprüde oluşan en büyük çekme ve basınç gerilmeleri elde edilmiştir. Köprü'nün kendi ağırlığı altındaki analizinden, en büyük basınç gerilmesi  $0.176 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.11 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Köprü'nün hareketli yük altındaki analizinden en büyük basınç gerilmesi  $0.078 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.045 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Deprem'in enine, boyuna ve düşey yönlerde etkimesi durumları için sırasıyla çekme ve basınç dağılımları incelenmiş ve en büyük çekme-basınç gerilmelerinin deprem'in enine yönde etkimesi durumunda olduğu belirlenmiştir. En büyük basınç gerilmesi  $0.825 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.9 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

Diktaş Köprüsü'nün kendi ağırlığı ve hareketli yük etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan en büyük çekme ve en büyük basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.44'te verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst bölgelerinde daha fazla, çekme gerilmelerinin ise duvar üst kısımlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.36 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.198 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



Şekil 2.44. Diktaş Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları

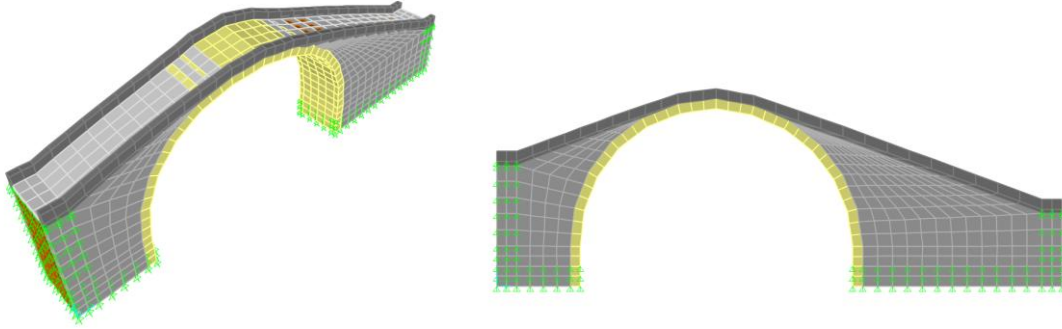
Diktaş Köprüsü'nün kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.45'te verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer alt mesnet bölgesinde daha fazla olduğu, çekme gerilmelerinin ise duvar üst kısımlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.96 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.77 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



Şekil 2.45. Diktaş Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Diktaş Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde enine doğrultuda 3.6mm ve düşey doğrultuda 2mm yer değiştirme meydana gelmiştir (Şekil 2.46).





Enine yer değiştirme

Düşey yer değiştirme

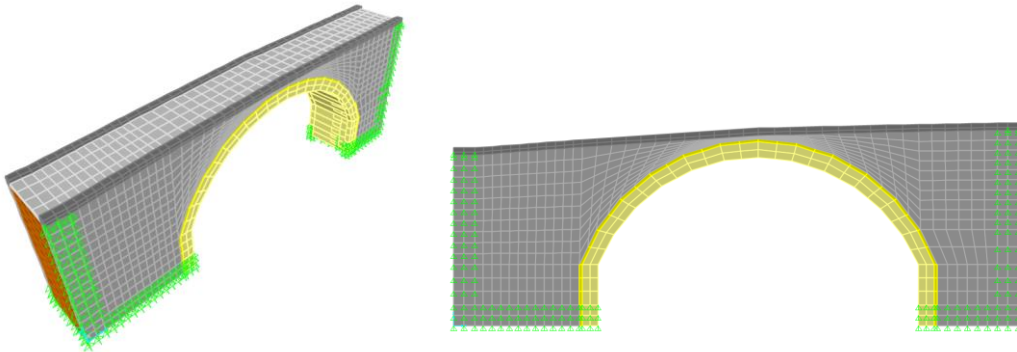
şekil 2.46. Diktaş Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler

### 2.2.10. Tarihi Gültepe Köprüsü

Tarihi Gültepe Köprüsü, Giresun/Bulancak'ta bulunmaktadır. Köprü tek gözlü olup kemer açıklığı 15.36m, kemer yüksekliği 8.06m, köprü genişliği 3.85m'dir.

Analitik Modelin Oluşturulması:

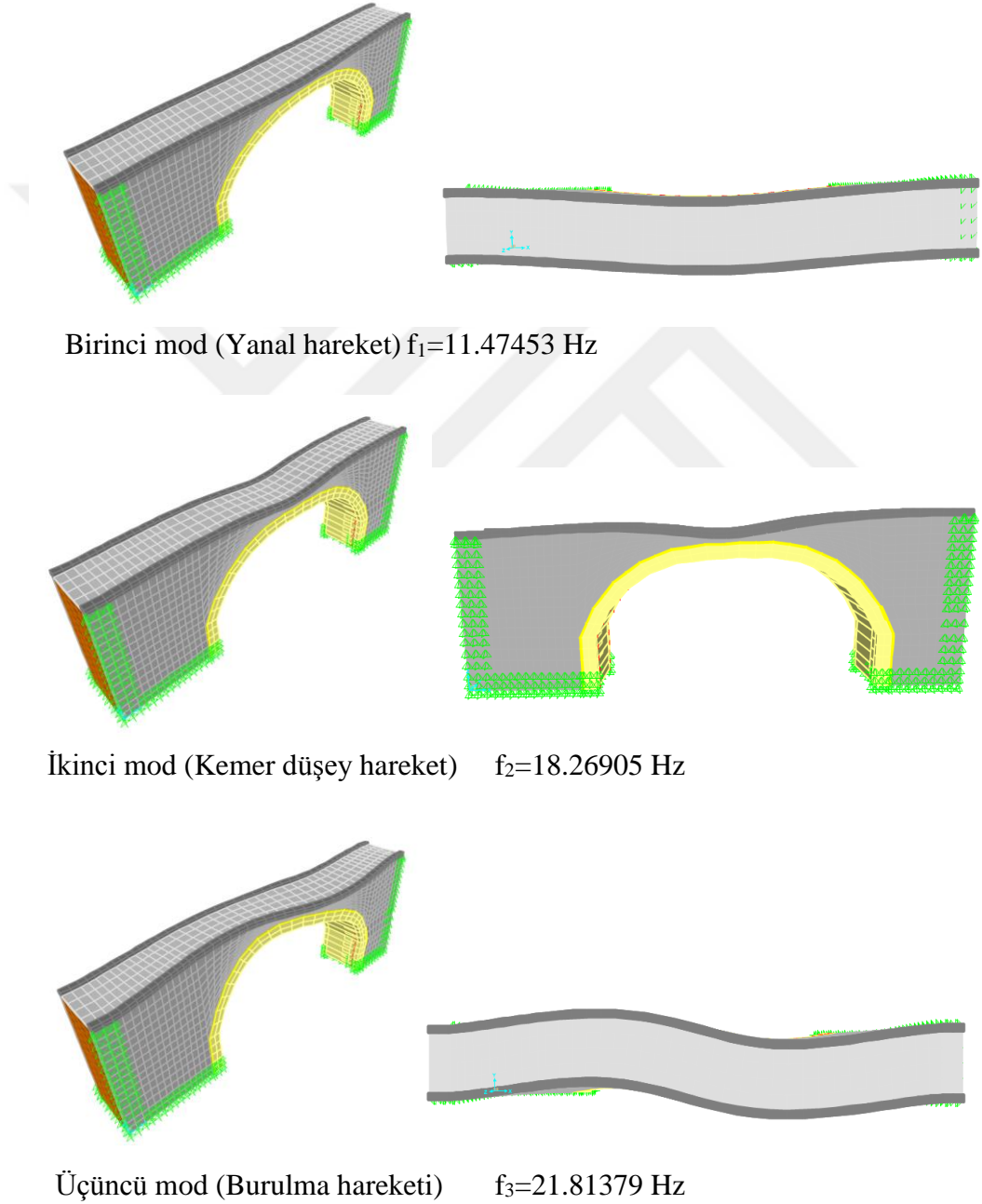
Tarihi Gültepe Köprüsü'nün temin edilen rölöve projesi üzerinden SAP2000 programında 3 boyutlu analitik modeli oluşturulmuştur. Köprü'nün analitik modeli şekil 2.47'de verilmiştir.



şekil 2.47. Tarihi Gültepe Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli

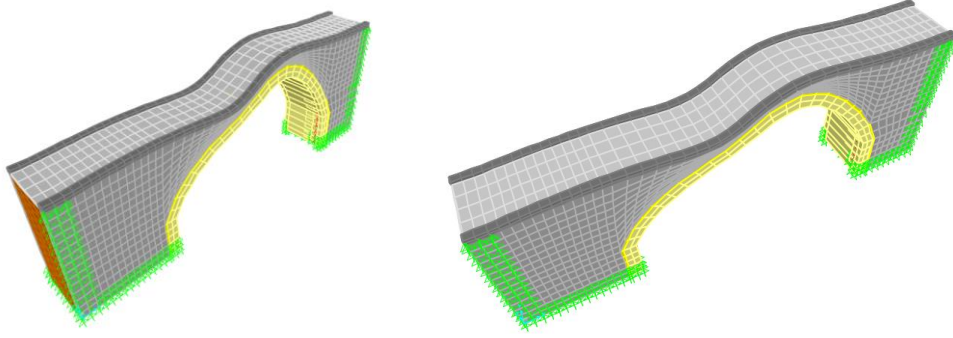
### Modal Analiz Gerçekleştirilmesi:

Tarihi Gültepe Köprüsü'nün analitik modeli üzerinde öncelikle modal analizi gerçekleştirilmiştir. Modal analizden elde edilen ilk beş mod şekli ve frekansları Şekil 2.48'de verilmektedir.

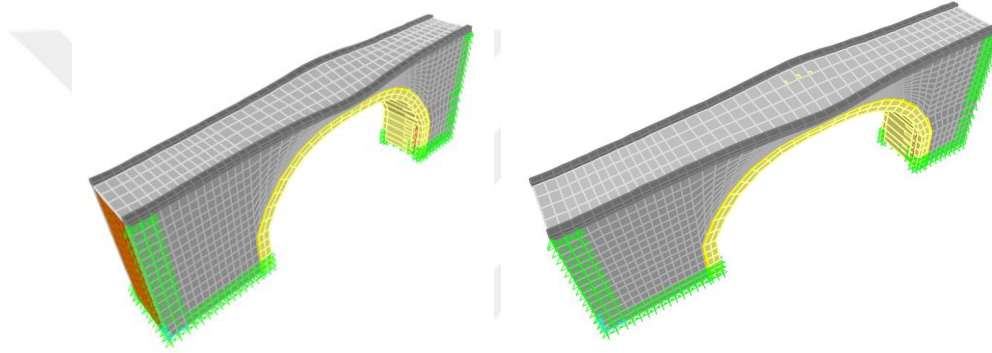


Şekil 2.48. Tarihi Gültepe Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli

Şekil 2.48'in devamı



Dördüncü mod (Boyuna hareket)  $f_4=2441377$  Hz



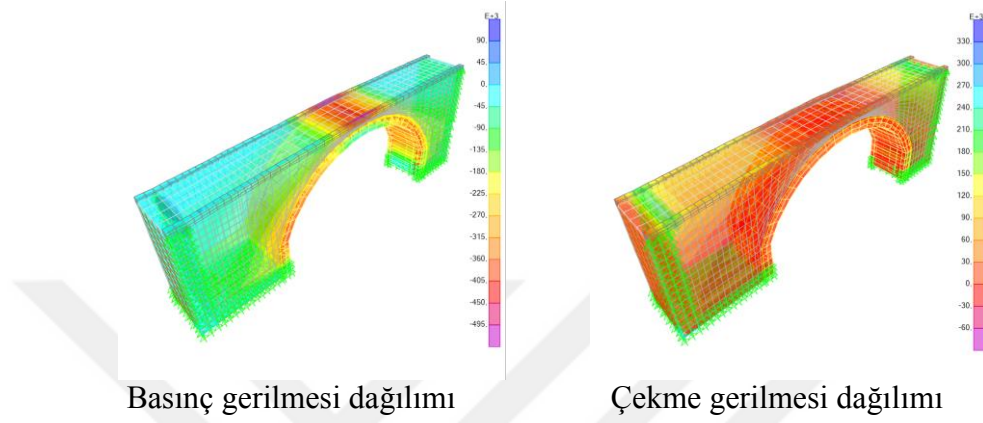
Beşinci mod (Kemer burulma hareketi)  $f_5=29.31504$  Hz

Statik ve Dinamik Analizlerin Gerçekleştirilmesi:

Tarihi Gültepe Köprüsü'nün sabit, hareketli ve deprem yükleri etkisinde analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden köprüde oluşan en büyük çekme ve basınç gerilmeleri elde edilmiştir. Köprü'nün kendi ağırlığı altındaki analizinden, en büyük basınç gerilmesi  $0.288 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.198 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Köprü'nün hareketli yük altındaki analizinden en büyük basınç gerilmesi  $0.066 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.0336 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Depremin enine, boyuna ve düşey yönlerde etkimesi durumları için sırasıyla çekme ve basınç dağılımları incelenmiş ve en büyük çekme-basınç gerilmelerinin depremin enine yönde etkimesi durumunda olduğu belirlenmiştir. En büyük basınç gerilmesi  $0.715 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.78 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

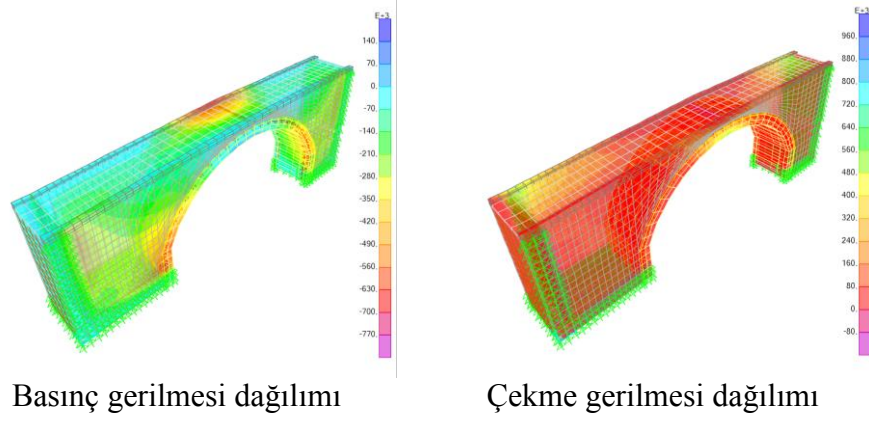
Tarihi Gültepe Köprüsü'nün kendi ağırlığı ve hareketli yük etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan en büyük çekme ve en büyük basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.49'da verilmektedir.

Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst bölgelerinde daha fazla, çekme gerilmelerinin ise duvar üst kısımlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.495 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.33 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



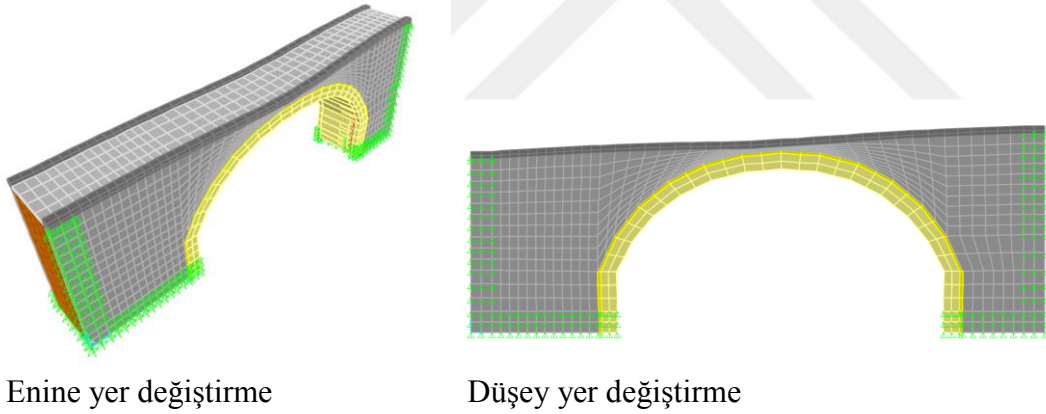
Şekil 2.49. Tarihi Gültepe Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Gültepe Köprüsü'nün kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.50'de verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst bölgesinde daha fazla olduğu, çekme gerilmelerinin ise duvar üst kısımlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.77 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.96 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



Şekil 2.50. Tarihi Gültepe Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Gültepe Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde enine doğrultuda 2.7mm ve düşey doğrultuda 1.9mm yer değiştirme meydana gelmiştir (Şekil 2.51).



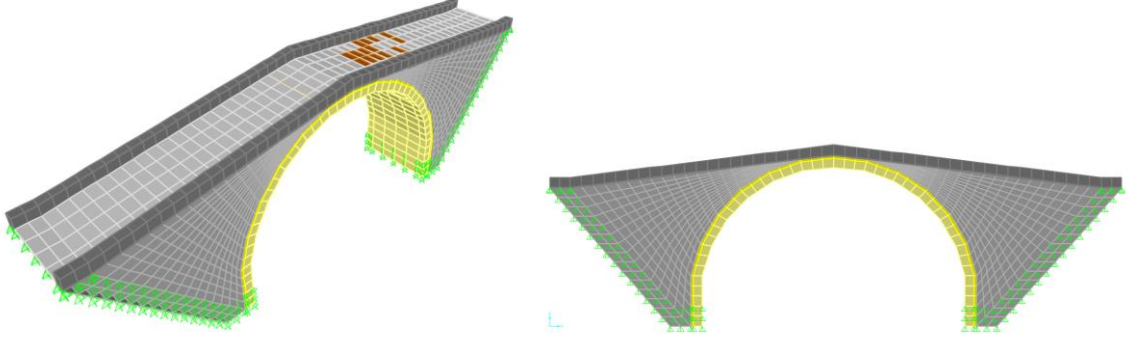
Şekil 2.51. Tarihi Gültepe Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler

### 2.2.11. Tarihi Dibekli Köprüsü

Tarihi Dibekli Köprüsü, Gümüşhane/Şiran Dibekli Köyü'nde bulunmaktadır. Köprü tek gözlü olup kemer açıklığı 12.98m, kemer yüksekliği 7.85m, köprü genişliği 4.37m'dir.

### Analitik Modelin Oluşturulması:

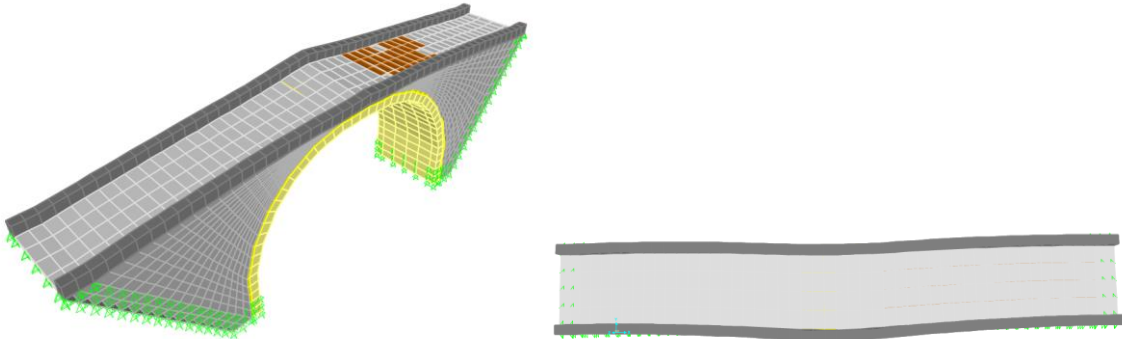
Tarihi Dibekli Köprüsü'nün temin edilen rölöve projesi üzerinden SAP2000 programında 3 boyutlu analitik modeli oluşturulmuştur. Köprü'nün analitik modeli Şekil 2.52'de verilmiştir.



Şekil 2.52. Tarihi Dibekli Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli

### Modal Analiz Gerçekleştirilmesi:

Tarihi Dibekli Köprüsü'nün analitik modeli üzerinde öncelikle modal analizi gerçekleştirilmiştir. Modal analizden elde edilen ilk beş mod şekli ve frekansları Şekil 2.53'te verilmektedir.

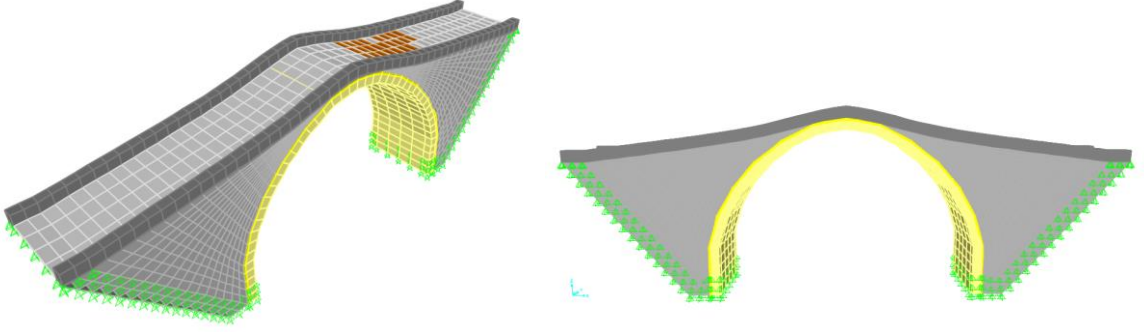


Birinci mod (Yanal hareket)  $f_1=15.37969$  Hz

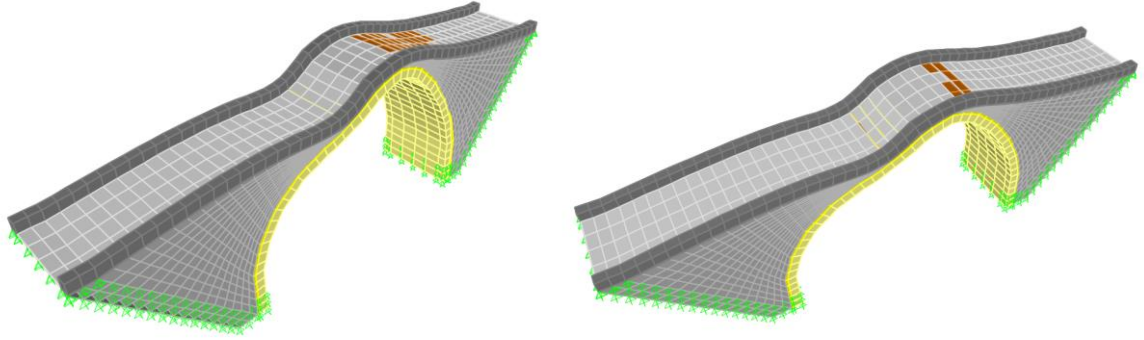
Şekil 2.53. Tarihi Dibekli Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli



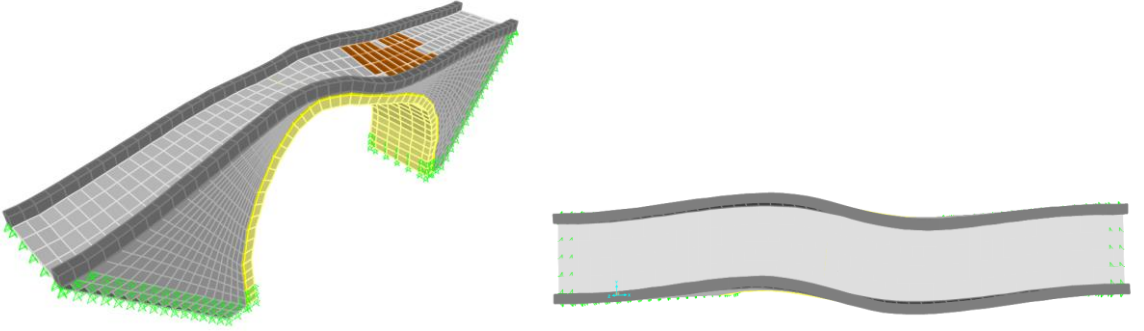
Şekil 2.53'ün devamı



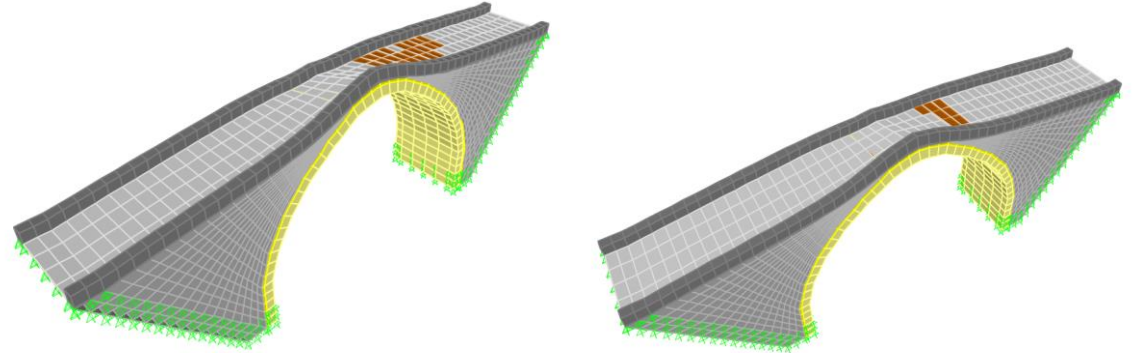
İkinci mod (Kemer düşey hareket)  $f_2=22.62546$  Hz



Üçüncü mod (Boyuna hareket)  $f_3=24.10168$  Hz



Dördüncü mod (Burulma hareketi)  $f_4=26.43342$  Hz

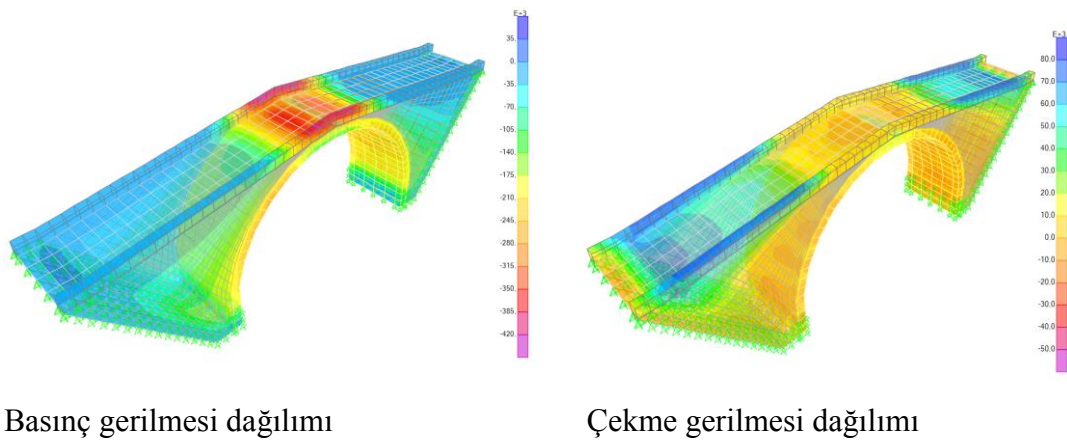


Beşinci mod (Kemer burulma hareketi)  $f_5=29.46821$  Hz

### Statik ve Dinamik Analizlerin Gerçekleştirilmesi:

Tarihi Dibekli Köprüsü'nün sabit, hareketli ve deprem yükleri etkisinde analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden köprüde oluşan en büyük çekme ve basınç gerilmeleri elde edilmiştir. Köprü'nün kendi ağırlığı altındaki analizinden, en büyük basınç gerilmesi  $0.208 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.0585 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Köprü'nün hareketli yük altındaki analizinden en büyük basınç gerilmesi  $0.0845 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.0264 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Deprem'in enine, boyuna ve düşey yönlerde etkimesi durumları için sırasıyla çekme ve basınç dağılımları incelenmiş ve en büyük çekme-basınç gerilmelerinin depremin enine yönde etkimesi durumunda olduğu belirlenmiştir. En büyük basınç gerilmesi  $0.42 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.42 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

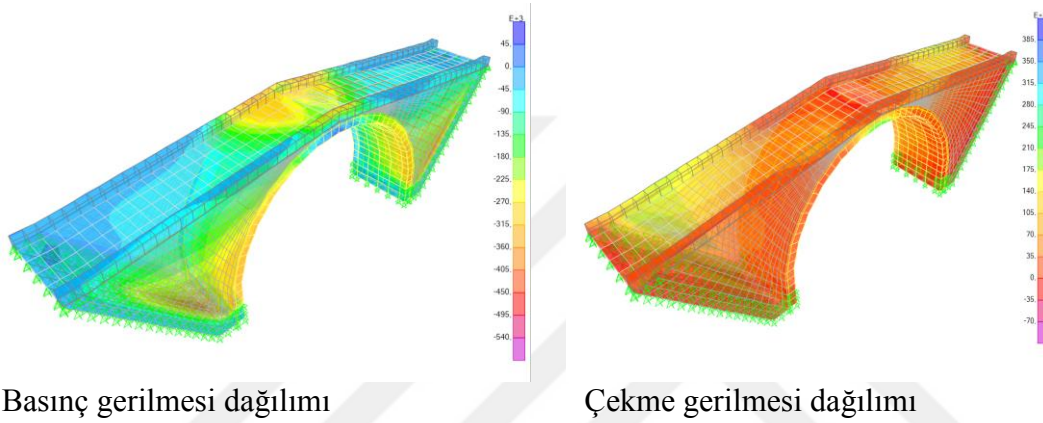
Tarihi Dibekli Köprüsü'nün kendi ağırlığı ve hareketli yük etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan en büyük çekme ve en büyük basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.54'te verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst bölgelerinde daha fazla, çekme gerilmelerinin ise döşeme yan kısımlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.42 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.08 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



Şekil 2.54. Tarihi Dibekli Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları

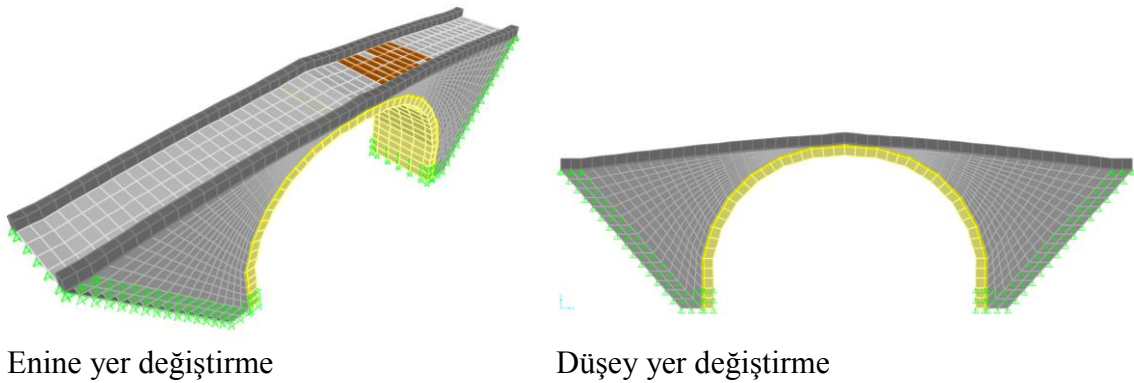


Tarihi Dibekli Köprüsü'nün kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.55'te verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst ve yan kısımlarında daha fazla olduğu, çekme gerilmelerinin ise duvar üst kısımlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.54 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.385 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



Şekil 2.55. Tarihi Dibekli Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Dibekli Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde enine doğrultuda 1.5mm ve düşey doğrultuda 1.6mm yer değiştirme meydana gelmiştir (Şekil 2.56).



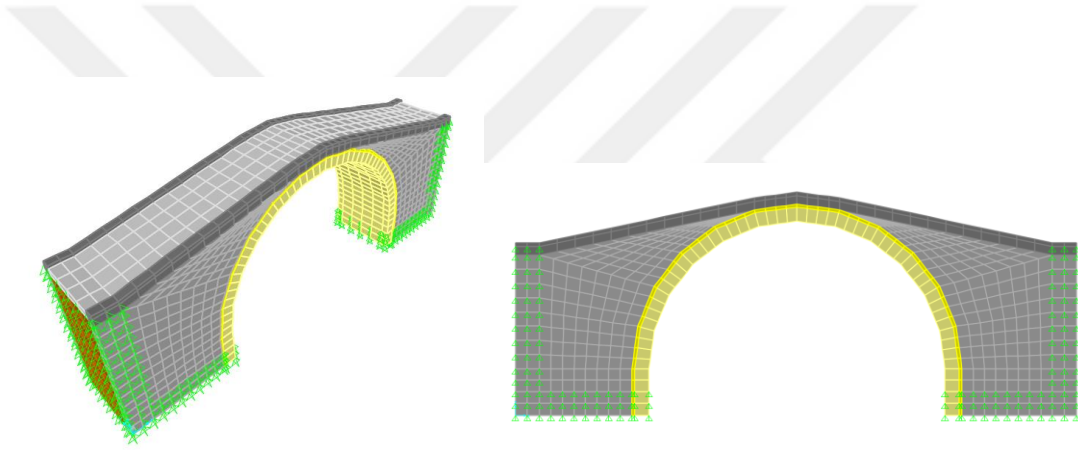
Şekil 2.56. Tarihi Dibekli Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler

### 2.2.12. Tarihi Kamberli Köprüsü

Tarihi Kamberli Köprüsü, Gümüşhane/Merkez’de bulunmaktadır. Köprü tek gözlü olup kemer açıklığı 12.32m, kemer yüksekliği 8.07m, köprü genişliği 4.02m’dir.

Analitik Modelin Oluşturulması:

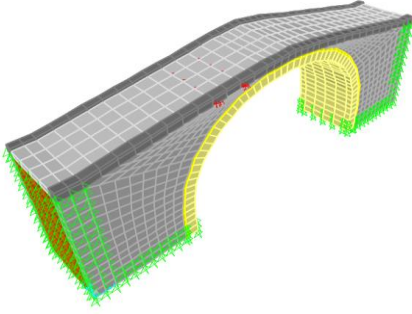
Tarihi Kamberli Köprüsü’nün temin edilen rölöve projesi üzerinden SAP2000 programında 3 boyutlu analitik modeli oluşturulmuştur. Köprü’nün analitik modeli Şekil 2.57’de verilmiştir.



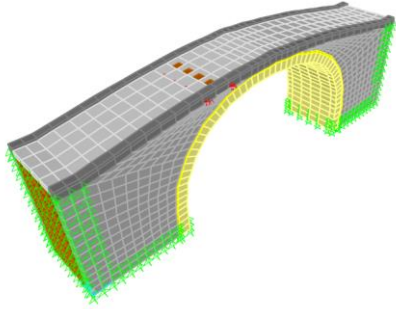
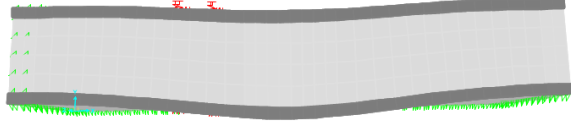
Şekil 2.57. Tarihi Kamberli Köprüsü’nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli

Modal Analiz Gerçekleştirilmesi:

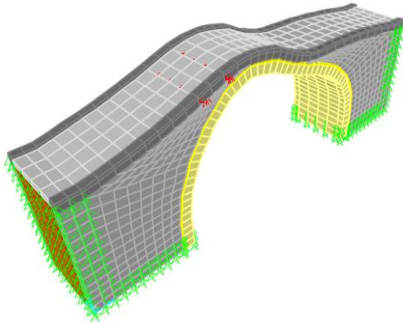
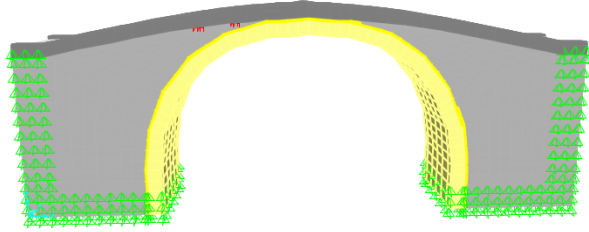
Tarihi Kamberli Köprüsü’nün analitik modeli üzerinde öncelikle modal analizi gerçekleştirilmiştir. Modal analizden elde edilen ilk beş mod şekli ve frekansları Şekil 2.58’de verilmektedir.



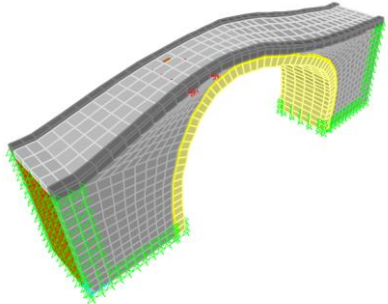
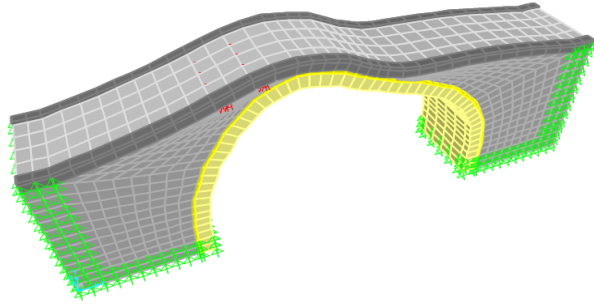
Birinci mod (Yanal hareket)  $f_1=13.8365$  Hz



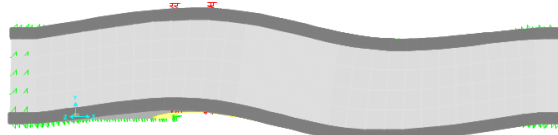
İkinci mod (Kemer düşey hareket)  $f_2=22.40694$  Hz



Üçüncü mod (Boyuna hareket)  $f_3=24.97453$  Hz

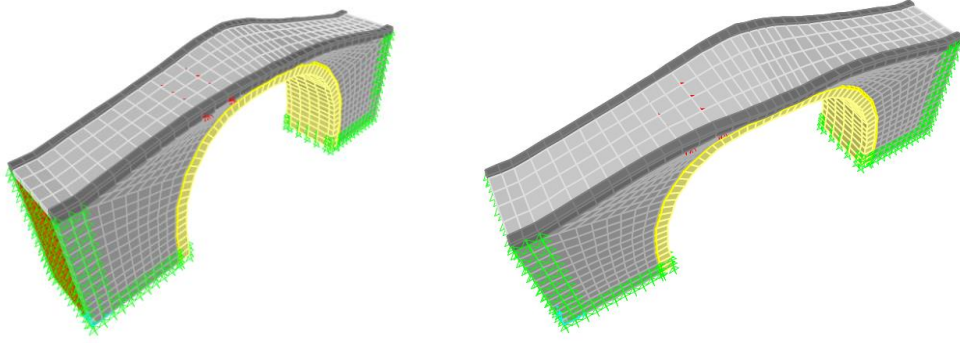


Dördüncü mod (Burulma hareketi)  $f_4=26.62213$  Hz



Şekil 2.58. Tarihi Kamberli Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli

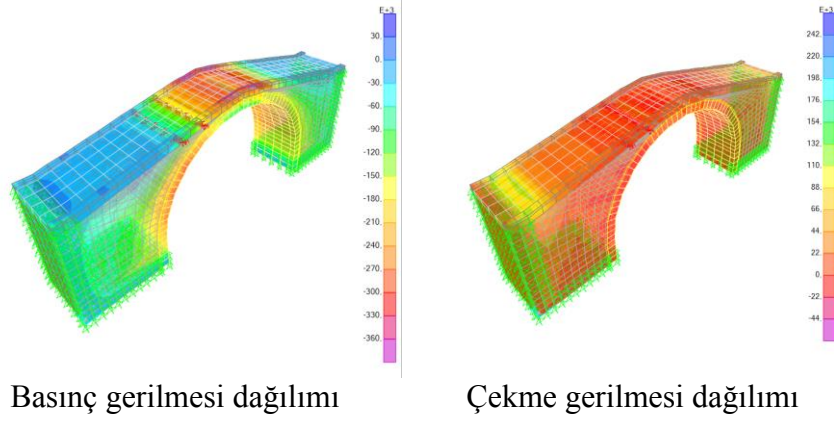
Şekil 2.58'in devamı

Beşinci mod (Kemer burulma hareketi)  $f_5=32.90937$  Hz

#### Statik ve Dinamik Analizlerin Gerçekleştirilmesi:

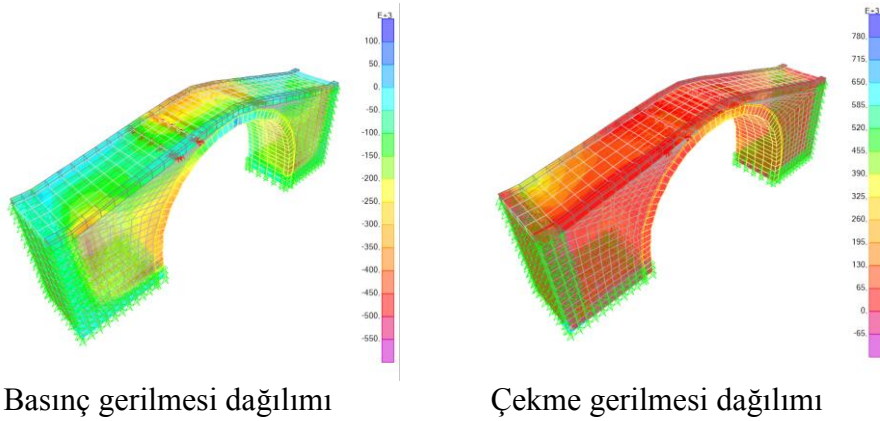
Tarihi Kamberli Köprüsü'nün sabit, hareketli ve deprem yükleri etkisinde analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden köprüde oluşan en büyük çekme ve basınç gerilmeleri elde edilmiştir. Köprü'nün kendi ağırlığı altındaki analizinden, en büyük basınç gerilmesi  $0.168 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.154 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Köprü'nün hareketli yük altındaki analizinden en büyük basınç gerilmesi  $0.078 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.015 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Depremin enine, boyuna ve düşey yönlerde etkimesi durumları için sırasıyla çekme ve basınç dağılımları incelenmiş ve en büyük çekme-basınç gerilmelerinin depremin enine yönde etkimesi durumunda olduğu belirlenmiştir. En büyük basınç gerilmesi  $0.66 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.66 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

Tarihi Kamberli Köprüsü'nün kendi ağırlığı ve hareketli yük etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan en büyük çekme ve en büyük basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.59'da verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst bölgelerinde daha fazla, çekme gerilmelerinin ise köprü üst kısımlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.36 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.242 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



Şekil 2.59. Tarihi Kamberli Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları

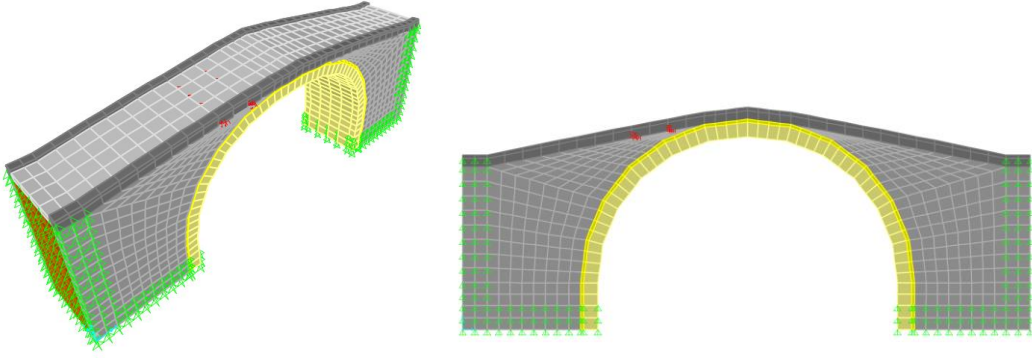
Tarihi Kamberli Köprüsü'nün kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.60'da verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst ve yan kısımlarında daha fazla olduğu, basınç gerilmelerinin ise duvar üst kısımlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.55 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.78 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



Şekil 2.60. Tarihi Kamberli Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Kamberli Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde enine doğrultuda 1.8mm ve düşey doğrultuda 1.5mm yer değiştirme meydana gelmiştir (Şekil 2.61).





Enine yer değiştirme

Düşey yer değiştirme

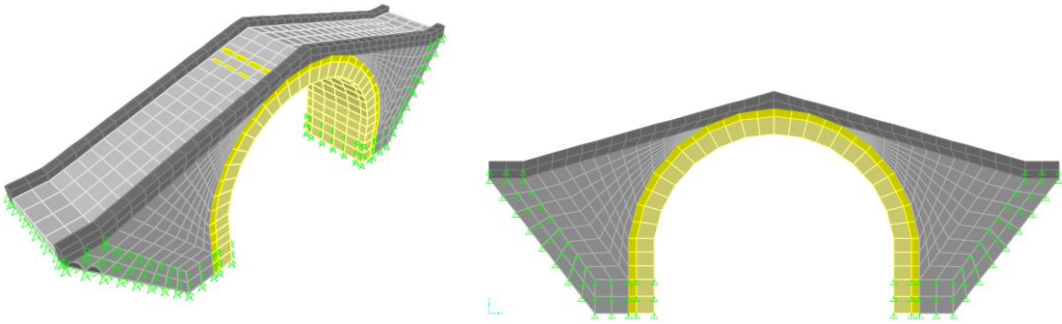
şekil 2.61. Tarihi Kamberli Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler

### 2.2.13. Tarihi Krom Köprüsü

Tarihi Krom Köprüsü, Gümüşhane/Merkez Yağlıdere Köyü'nde bulunmaktadır. Köprü tek gözlü olup kemer ağıklığı 7.08m, kemer yüksekliği 5.28m, köprü genişliği 3.08m'dir.

Analitik Modelin Oluşturulması:

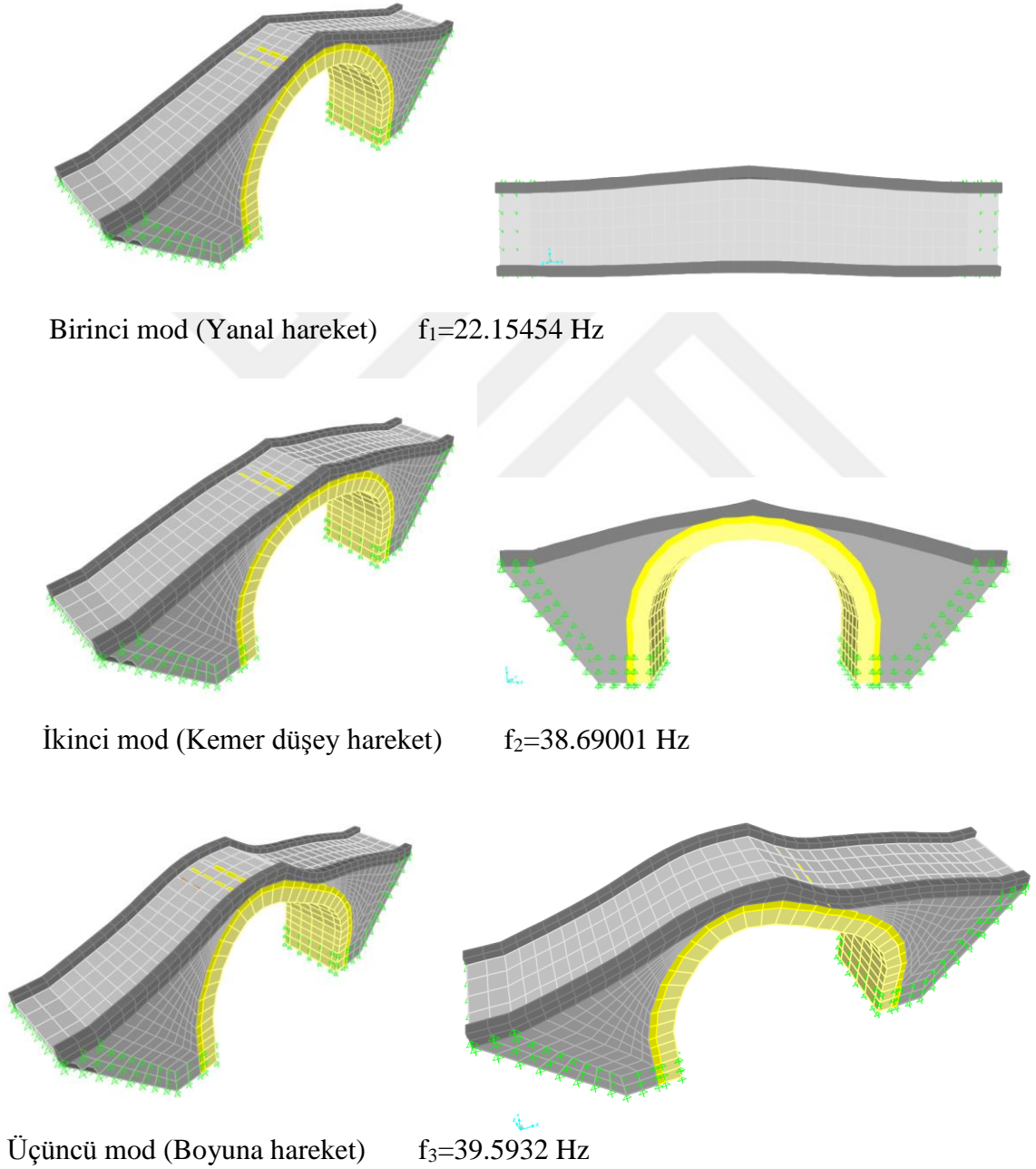
Tarihi Krom Köprüsü'nün temin edilen rölöve projesi üzerinden SAP2000 programında 3 boyutlu analitik modeli oluşturulmuştur. Köprü'nün analitik modeli şekil 2.62'de verilmiştir.



şekil 2.62. Tarihi Krom Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli

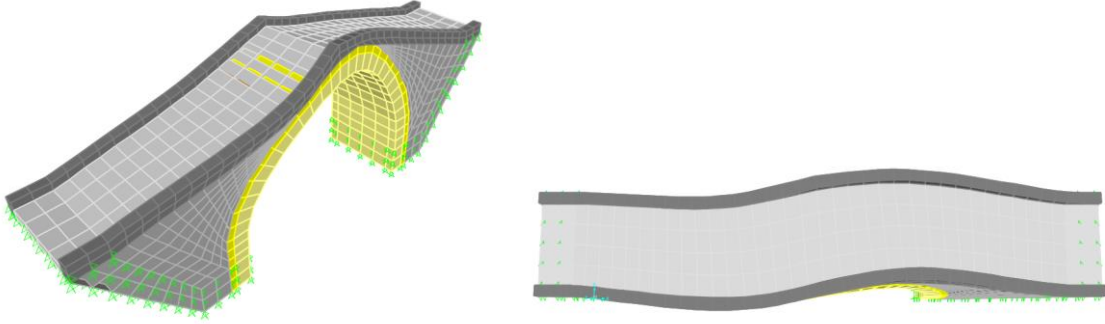
### Modal Analiz Gerçekleştirilmesi:

Tarihi Krom Köprüsü'nün analitik modeli üzerinde öncelikle modal analizi gerçekleştirilmiştir. Modal analizden elde edilen ilk beş mod şekli ve frekansları Şekil 2.63'te verilmektedir.

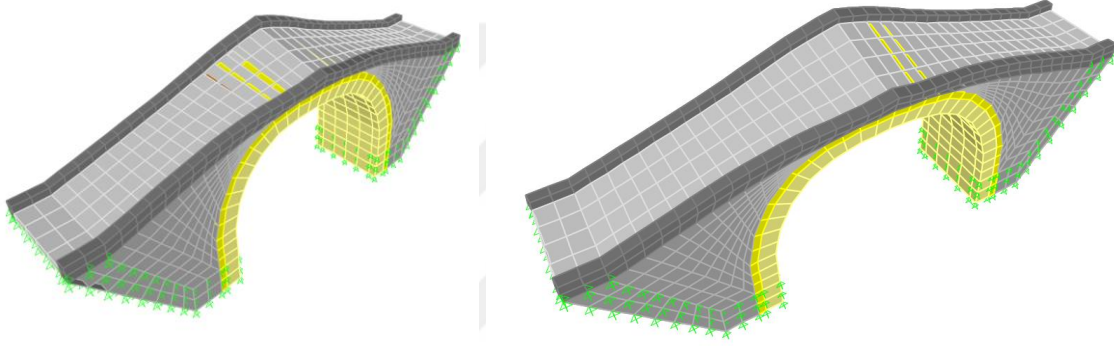


Şekil 2.63. Tarihi Krom Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli

Şekil 2.63'ün devamı



Dördüncü mod (Burulma hareketi)  $f_4=43.84018$  Hz



Beşinci mod (Kemer burulma hareketi)  $f_5=50.5408$  Hz

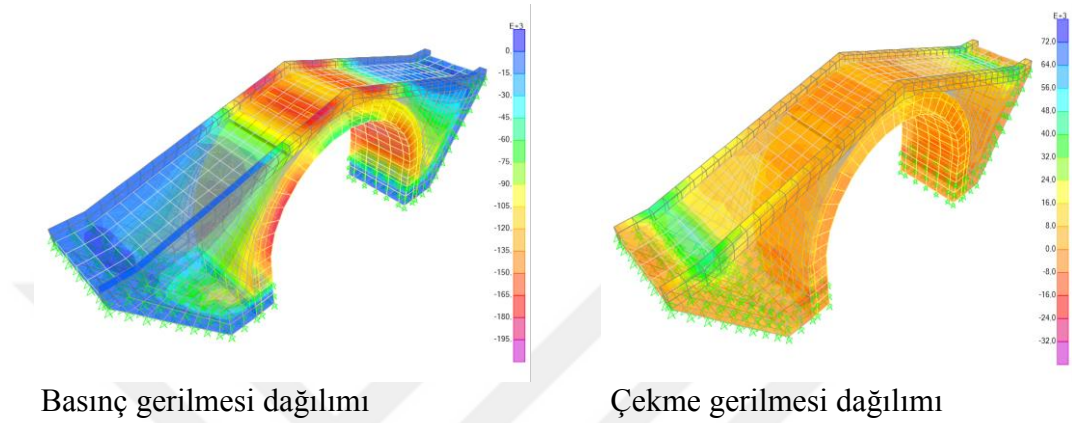
Statik ve Dinamik Analizlerin Gerçekleştirilmesi:

Tarihi Krom Köprüsü'nün sabit, hareketli ve deprem yükleri etkisinde analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden köprüde oluşan en büyük çekme ve basınç gerilmeleri elde edilmiştir. Köprü'nün kendi ağırlığı altındaki analizinden, en büyük basınç gerilmesi  $0.102 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.045 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Köprü'nün hareketli yük altındaki analizinden en büyük basınç gerilmesi  $0.0312 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.0072 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Deprem'in enine, boyuna ve düşey yönlerde etkimesi durumları için sırasıyla çekme ve basınç dağılımları incelenmiş ve en büyük çekme-basınç gerilmelerinin depremin enine yönde etkimesi durumunda olduğu belirlenmiştir. En büyük basınç gerilmesi  $0.336 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.385 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

Tarihi Krom Köprüsü'nün kendi ağırlığı ve hareketli yük etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan en büyük çekme ve en büyük basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.64'te verilmektedir.

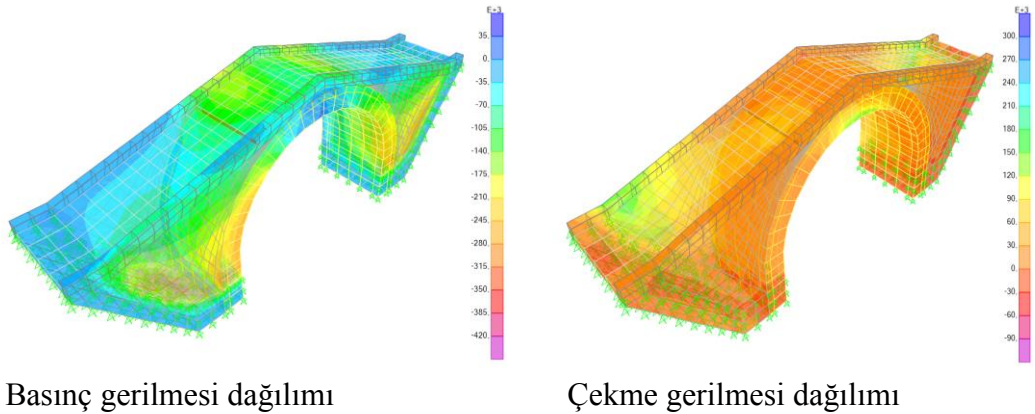


Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst ve yan kısımlarında daha fazla, basınç gerilmelerinin ise döşeme üst kısımlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.195 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.072 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



Şekil 2.64. Tarihi Krom Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Krom Köprüsü'nün kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.65'te verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer alt bölgelerinde daha fazla olduğu, basınç gerilmelerinin ise köprü üst kısımlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.42 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.3 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

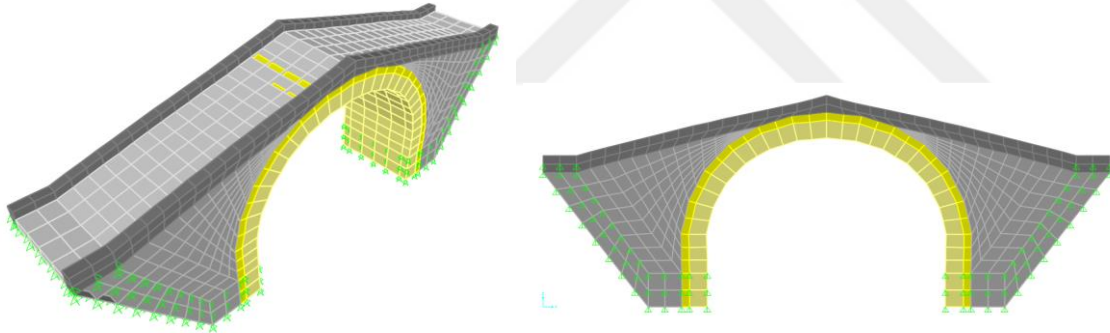


Basınç gerilmesi dağılımı

Çekme gerilmesi dağılımı

Şekil 2.65. Tarihi Krom Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Krom Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde enine doğrultuda 0.6mm ve düşey doğrultuda 0.6mm yer değiştirme meydana gelmiştir (Şekil 2.66).



Enine yer değiştirme

Düşey yer değiştirme

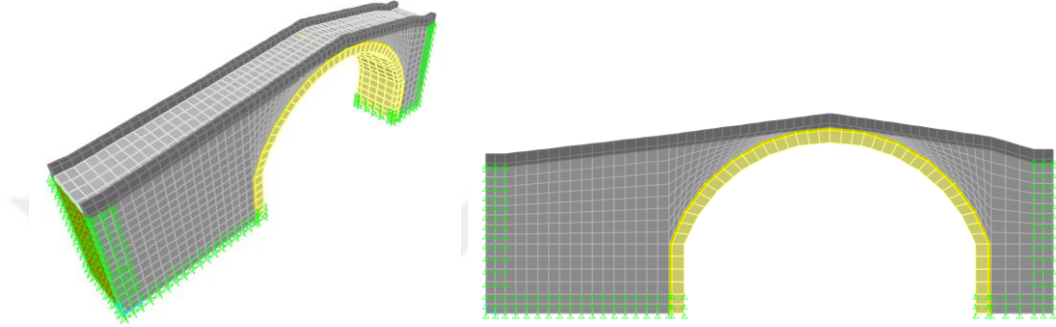
Şekil 2.66. Tarihi Krom Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler

#### 2.2.14. Tarihi Yağlıdere Köprüsü

Tarihi Yağlıdere Köprüsü, Gümüşhane/Merkez'de bulunmaktadır. Köprü tek gözlü olup kemer açıklığı 15.36m, kemer yüksekliği 8.98m, köprü genişliği 4.09m'dir.

### Analitik Modelin Oluşturulması:

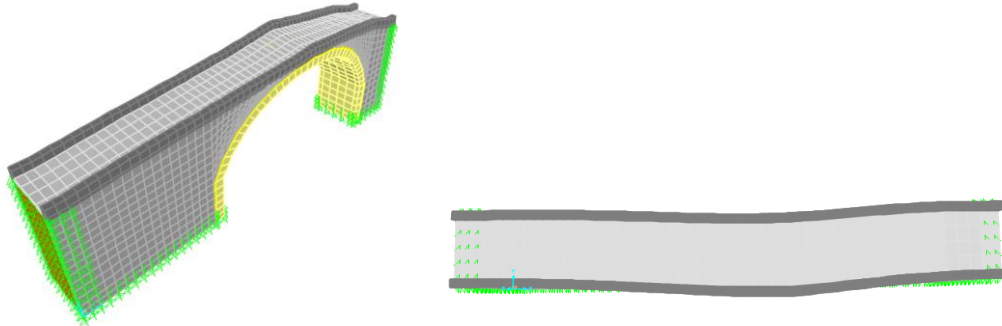
Tarihi Yağlıdere Köprüsü'nün temin edilen rölöve projesi üzerinden SAP2000 programında 3 boyutlu analitik modeli oluşturulmuştur. Köprü'nün analitik modeli Şekil 2.67'de verilmiştir.



Şekil 2.67. Tarihi Yağlıdere Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli

### Modal Analiz Gerçekleştirilmesi:

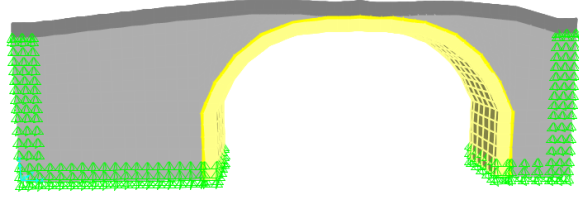
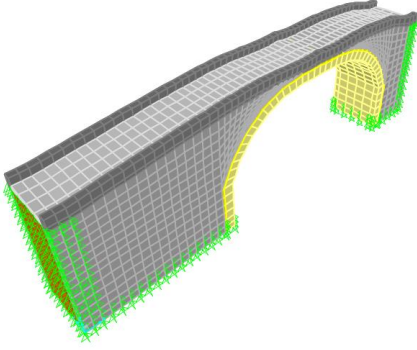
Tarihi Yağlıdere Köprüsü'nün analitik modeli üzerinde öncelikle modal analizi gerçekleştirilmiştir. Modal analizden elde edilen ilk beş mod şekli ve frekansları Şekil 2.68'de verilmektedir.



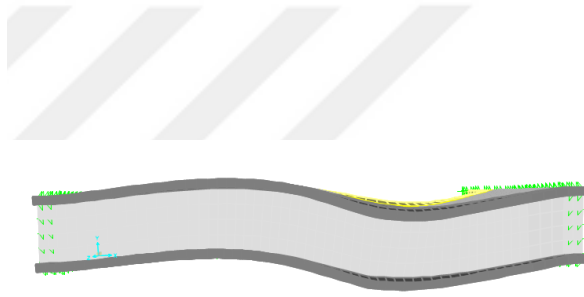
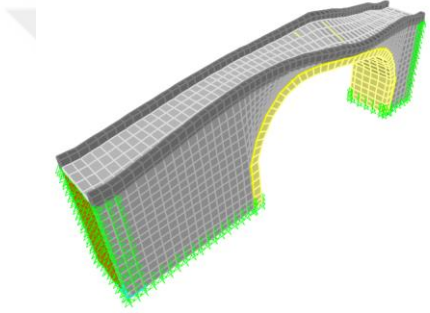
Birinci mod (Yanal hareket)  $f_1=10.52369$  Hz

Şekil 2.68. Tarihi Yağlıdere Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli

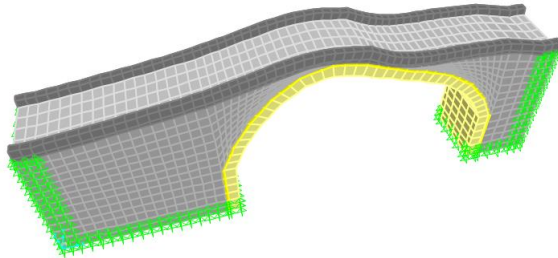
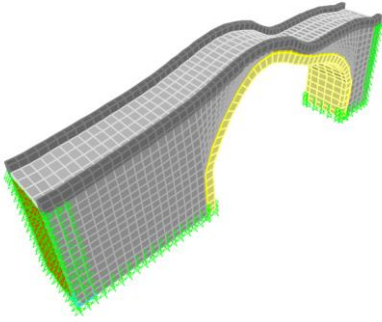
Şekil 2.68'in devamı



İkinci mod (Kemer düşey hareket)  $f_2=18.2026$  Hz

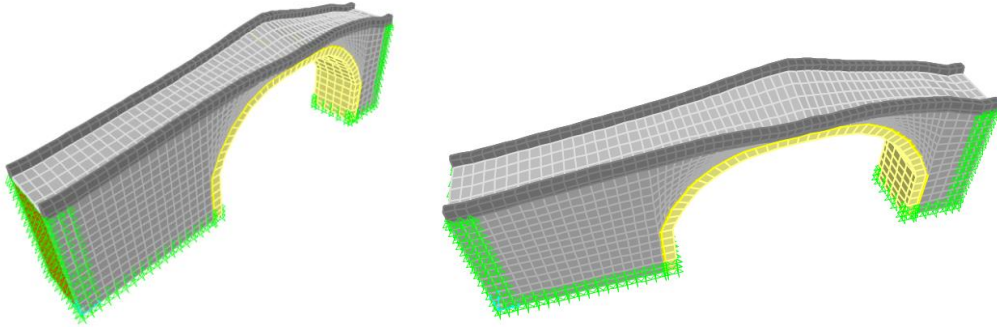


Üçüncü mod (Burulma hareketi)  $f_3=19.5335$  Hz



Dördüncü mod (Boyuna hareket)  $f_4=20.40874$  Hz

Şekil 2.68'in devamı

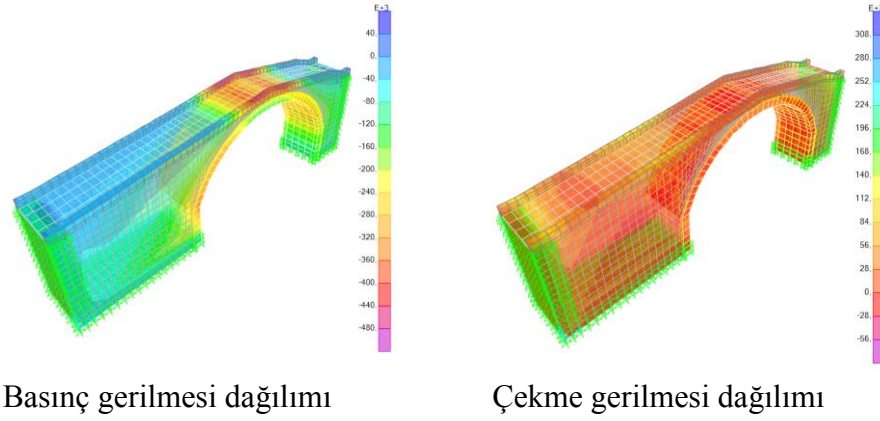


Beşinci mod (Kemer burulma hareketi)  $f_5=26.97785$  Hz

Statik ve Dinamik Analizlerin Gerçekleştirilmesi:

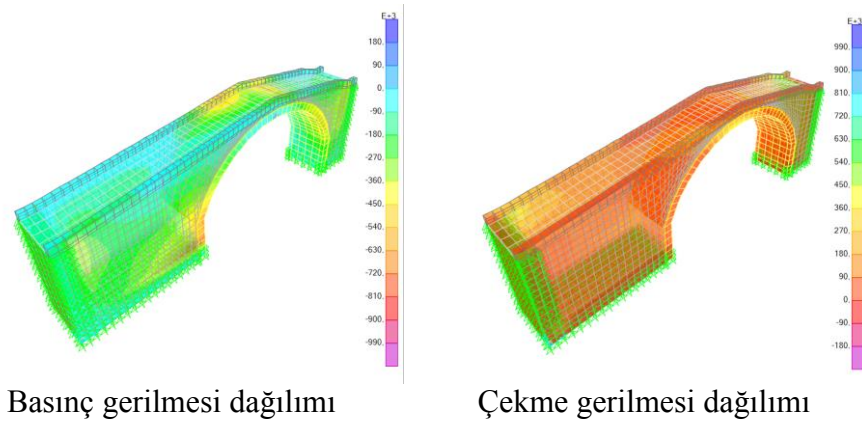
Tarihi Yağlıdere Köprüsü'nün sabit, hareketli ve deprem yükleri etkisinde analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden köprüde oluşan en büyük çekme ve basınç gerilmeleri elde edilmiştir. Köprü'nün kendi ağırlığı altındaki analizinden, en büyük basınç gerilmesi  $0.264 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.187 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Köprü'nün hareketli yük altındaki analizinden en büyük basınç gerilmesi  $0.066 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.0242 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Deprem'in enine, boyuna ve düşey yönlerde etkimesi durumları için sırasıyla çekme ve basınç dağılımları incelenmiş ve en büyük çekme-basınç gerilmelerinin depremin enine yönde etkimesi durumunda olduğu belirlenmiştir. En büyük basınç gerilmesi  $0.84 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.84 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

Tarihi Yağlıdere Köprüsü'nün kendi ağırlığı ve hareketli yük etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan en büyük çekme ve en büyük basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.69'da verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst bölgelerinde daha fazla, çekme gerilmelerinin ise döşeme kısmında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.48 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.308 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



Şekil 2.69. Tarihi Yağlıdere Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları

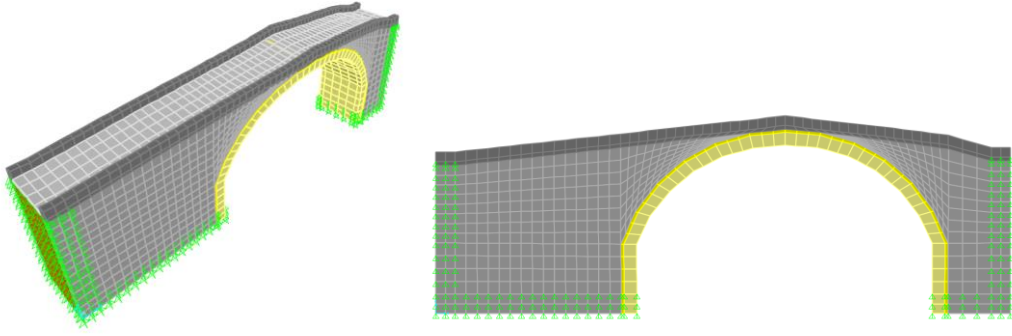
Tarihi Yağlıdere Köprüsü'nün kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.70'te verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst ve ayak kısımlarında daha fazla olduğu, çekme gerilmelerinin ise döşeme kısmında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.99 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.99 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



Şekil 2.70. Tarihi Yağlıdere Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Yağlıdere Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde enine doğrultuda 3.1mm ve düşey doğrultuda 2.4mm yer değiştirme meydana gelmiştir (Şekil 2.71).





Enine yer değiştirme

Düşey yer değiştirme

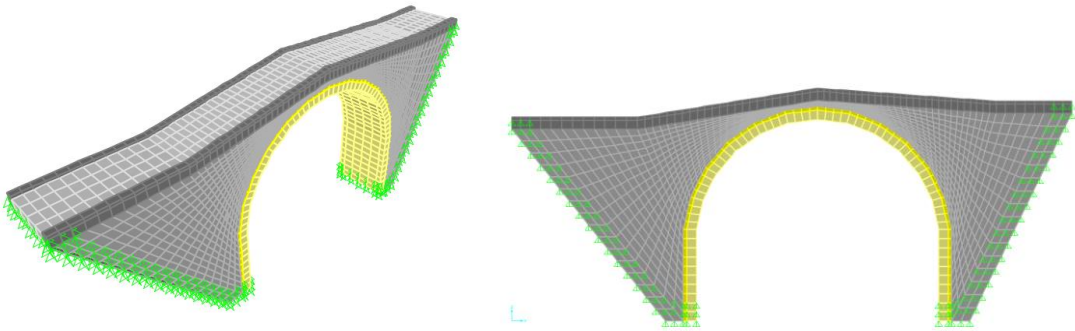
Şekil 2.71. Tarihi Yağlıdere Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler

### 2.2.15. Tarihi Uğurtaş (Bağava) Köprüsü

Tarihi Uğurtaş Köprüsü, Gümüşhane/Torul Uğurtaş Köyü'nde bulunmaktadır. Köprü tek gözlü olup kemer açıklığı 13.66m, kemer yüksekliği 11.29m, köprü genişliği 4.05m'dir.

Analitik Modelin Oluşturulması:

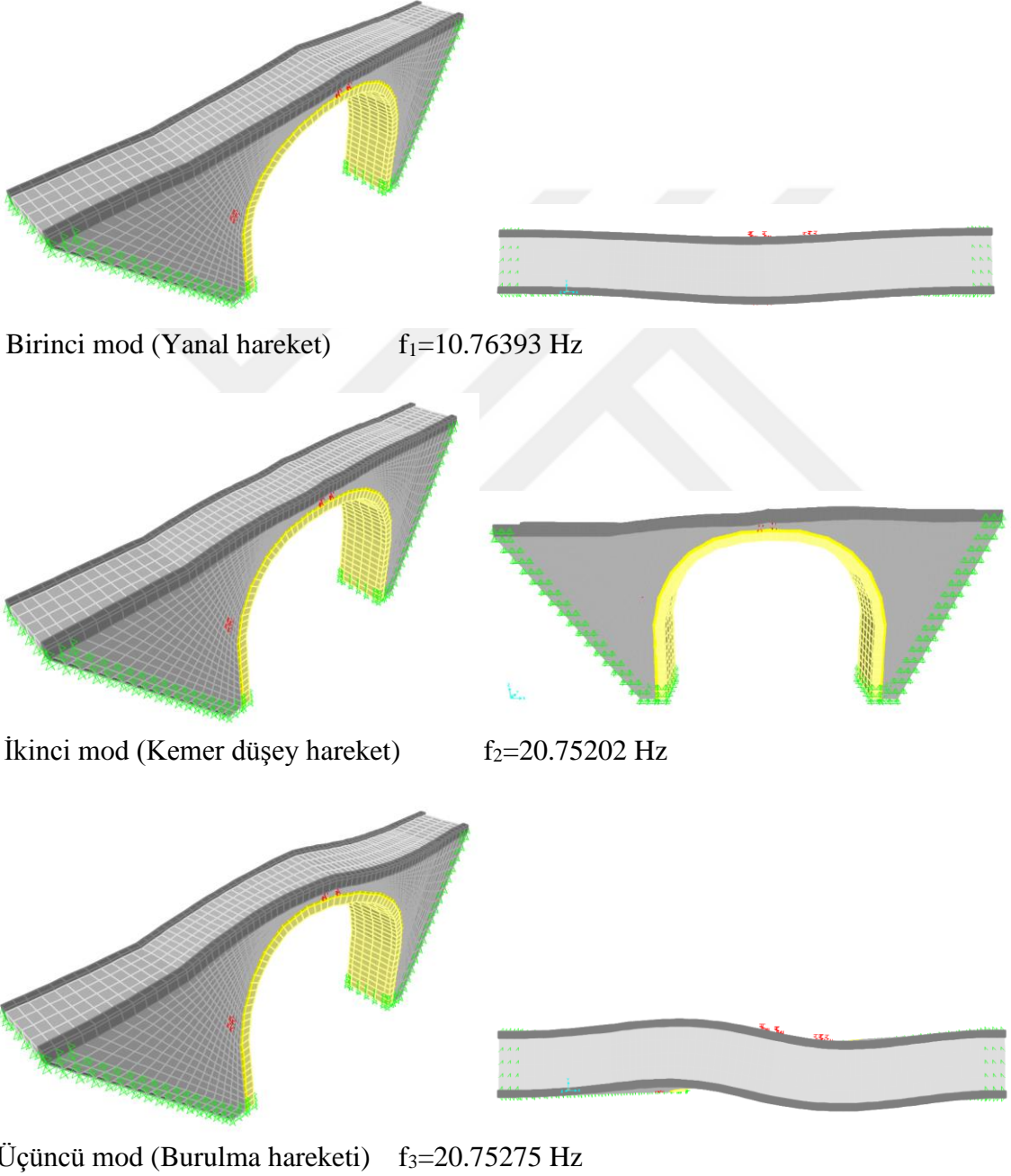
Tarihi Uğurtaş Köprüsü'nün temin edilen rölöve projesi üzerinden SAP2000 programında 3 boyutlu analitik modeli oluşturulmuştur. Köprü'nün analitik modeli Şekil 2.72'de verilmiştir.



Şekil 2.72. Tarihi Uğurtaş Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli

### Modal Analiz Gerçekleştirilmesi:

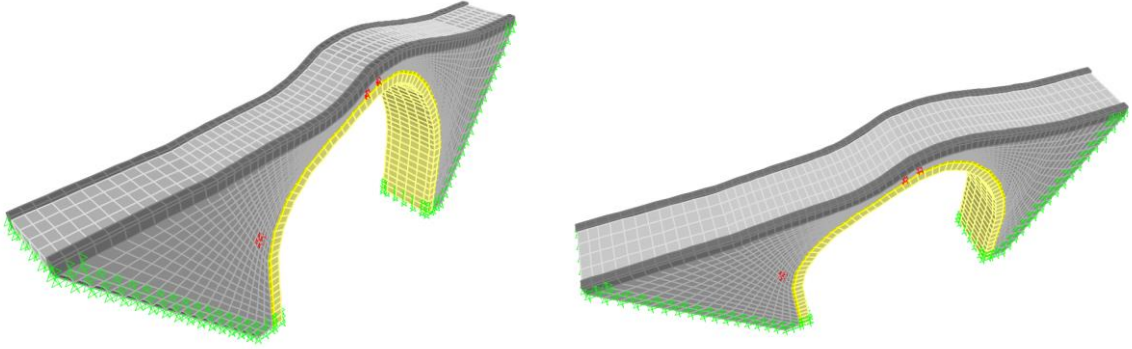
Tarihi Uğurtaş Köprüsü'nün analitik modeli üzerinde öncelikle modal analizi gerçekleştirilmiştir. Modal analizden elde edilen ilk beş mod şekli ve frekansları Şekil 2.73'te verilmektedir.



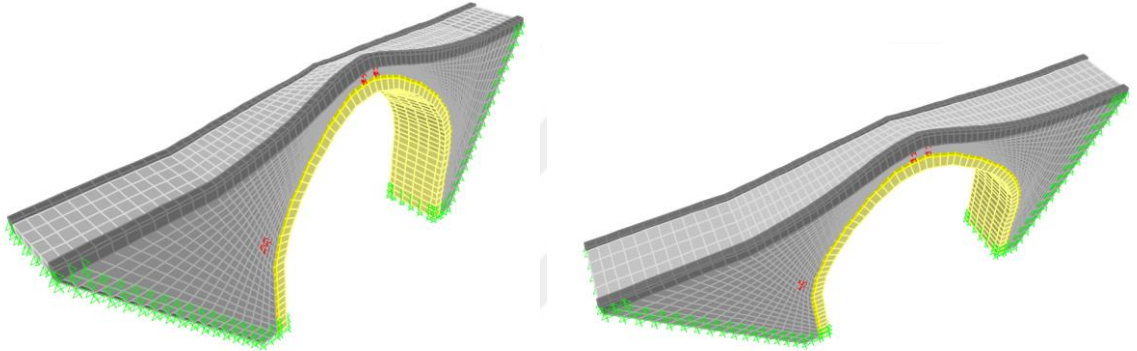
Şekil 2.73. Tarihi Uğurtaş Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli



Şekil 2.73'ün devamı



Dördüncü mod (Boyuna hareket)  $f_4=23.973$  Hz



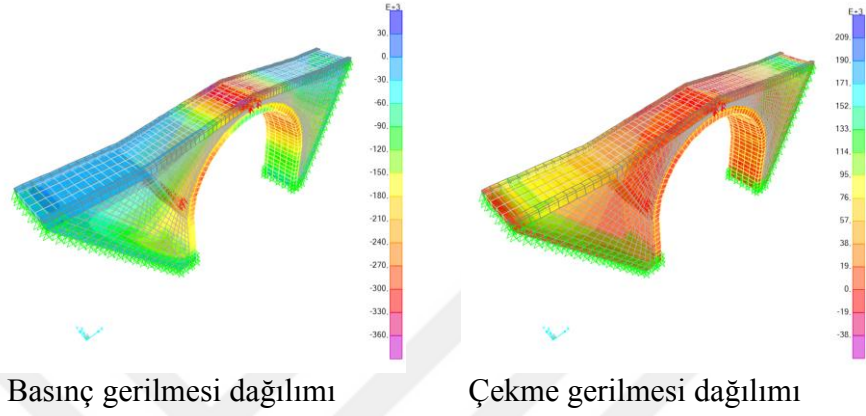
Beşinci mod (Kemer burulma hareketi)  $f_5=31.12469$  Hz

Statik ve Dinamik Analizlerin Gerçekleştirilmesi:

Tarihi Uğurtaş Köprüsü'nün sabit, hareketli ve deprem yükleri etkisinde analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden köprüde oluşan en büyük çekme ve basınç gerilmeleri elde edilmiştir. Köprü'nün kendi ağırlığı altındaki analizinden, en büyük basınç gerilmesi  $0.216 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.132 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Köprü'nün hareketli yük altındaki analizinden en büyük basınç gerilmesi  $0.042 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.0143 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Depremin enine, boyuna ve düşey yönlerde etkimesi durumları için sırasıyla çekme ve basınç dağılımları incelenmiş ve en büyük çekme-basınç gerilmelerinin depremin enine yönde etkimesi durumunda olduğu belirlenmiştir. En büyük basınç gerilmesi  $0.66 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.66 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

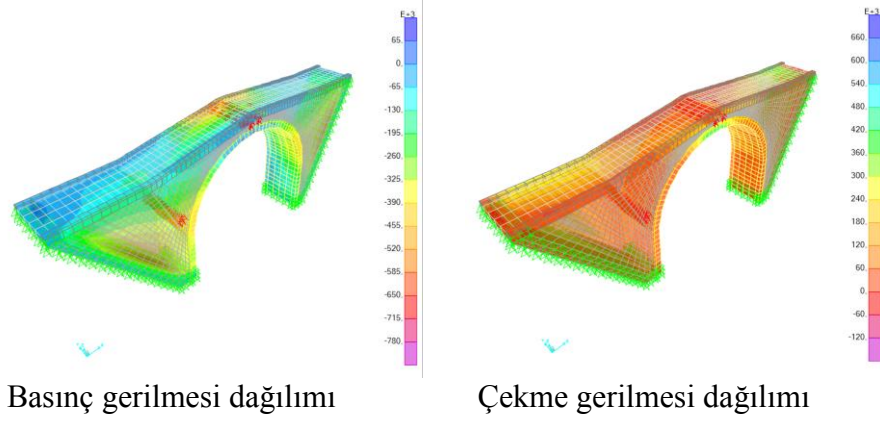
Tarihi Uğurtaş Köprüsü'nün kendi ağırlığı ve hareketli yük etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan en büyük çekme ve en büyük basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.74'te verilmektedir.

Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst bölgelerinde daha fazla, çekme gerilmelerinin ise döşeme kısmında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.36 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.209 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



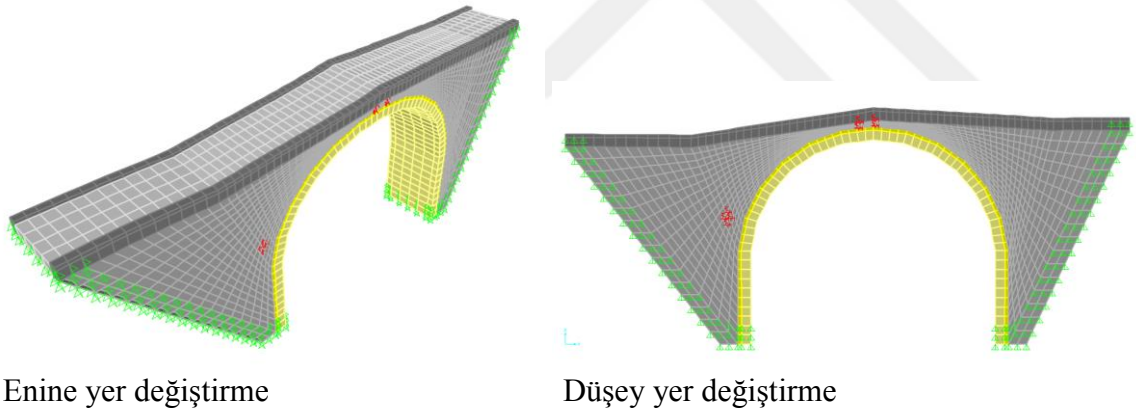
Şekil 2.74. Tarihi Uğurtaş Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Uğurtaş Köprüsü'nün kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.75'te verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst ve yan kısımlarında daha fazla olduğu, çekme gerilmelerinin ise döşeme kısmında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.78 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.66 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



Şekil 2.75. Tarihi Uğurtaş Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Uğurtaş Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde enine doğrultuda 3mm ve düşey doğrultuda 1.7mm yer değiştirme meydana gelmiştir (Şekil 2.76).



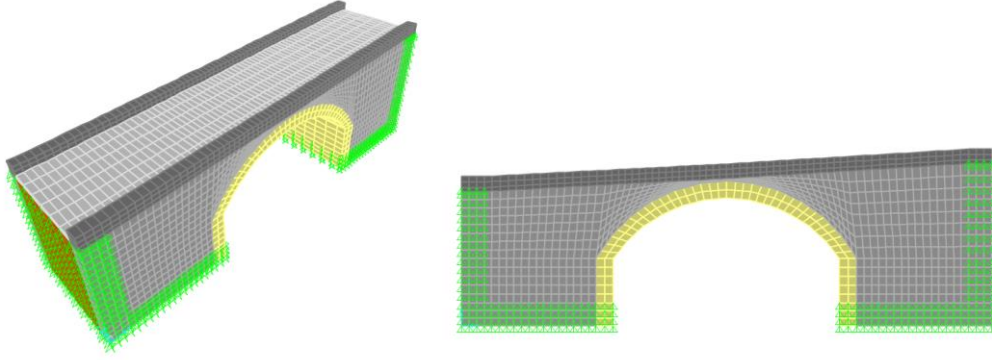
Şekil 2.76. Tarihi Uğurtaş Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler

### 2.2.16. Tarihi Kırıklı Köprüsü

Tarihi Kırıklı Köprüsü, Gümüşhane ili Köse yolunda bulunmaktadır. Köprü tek gözlü olup kemer açıklığı 9.97m, kemer yüksekliği 5.64m, köprü genişliği 6.08m'dir.

### Analitik Modelin Oluşturulması:

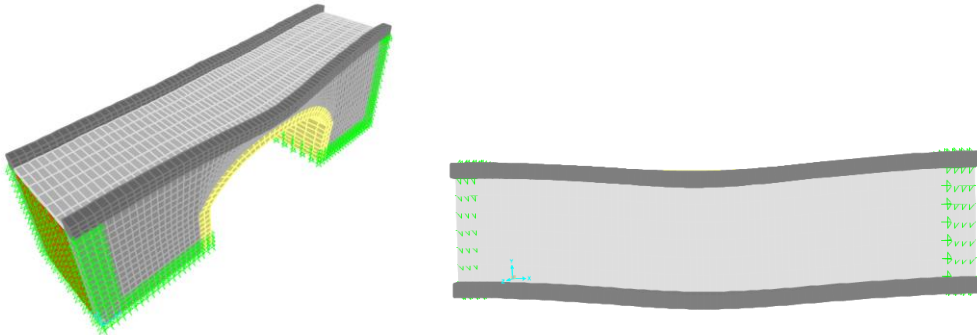
Tarihi Kırıklı Köprüsü'nün temin edilen rölöve projesi üzerinden SAP2000 programında 3 boyutlu analitik modeli oluşturulmuştur. Köprü'nün analitik modeli Şekil 2.77'de verilmiştir.



Şekil 2.77. Tarihi Kırıklı Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli

### Modal Analiz Gerçekleştirilmesi:

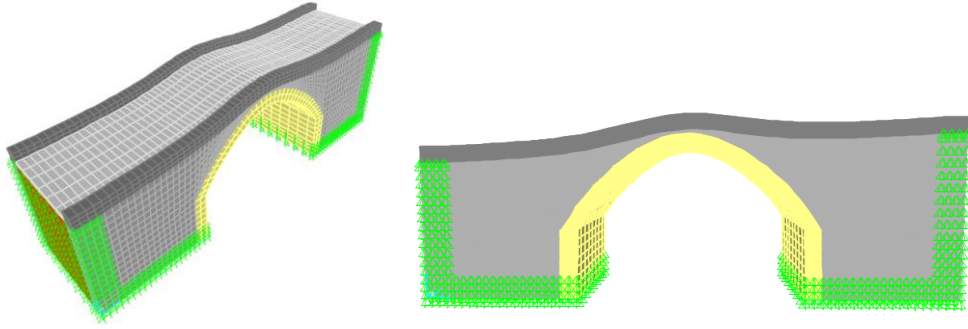
Tarihi Kırıklı Köprüsü'nün analitik modeli üzerinde öncelikle modal analizi gerçekleştirilmiştir. Modal analizden elde edilen ilk beş mod şekli ve frekansları Şekil 2.78'de verilmektedir.



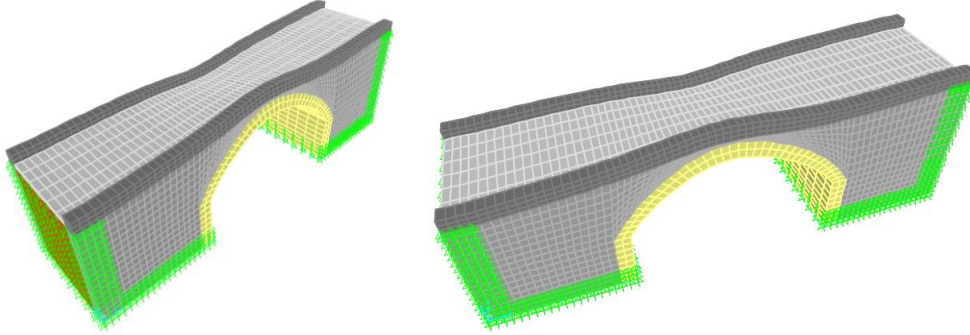
Birinci mod (Yanal hareket)  $f_1=21.81562$  Hz

Şekil 2.78. Tarihi Kırıklı Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli

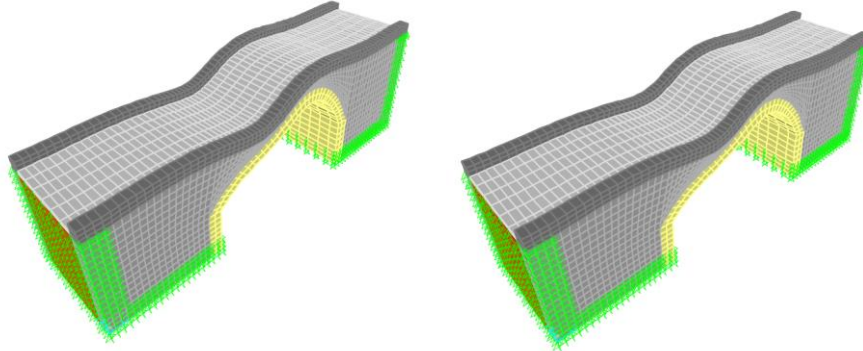
Şekil 2.78'in devamı



İkinci mod (Kemer düşey hareket)  $f_2=25.83915$  Hz

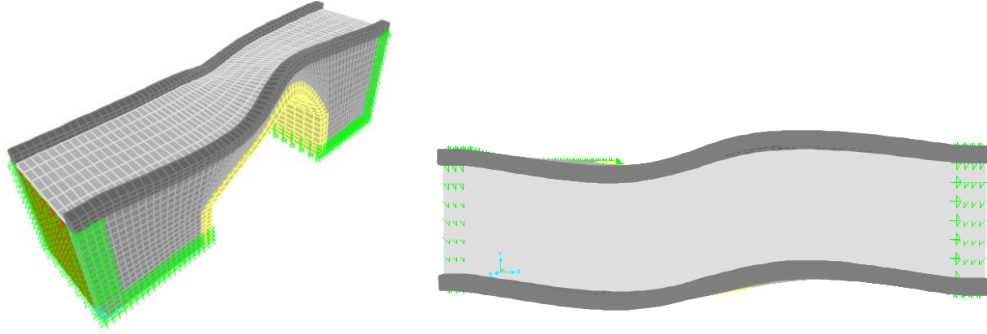


Üçüncü mod (Kemer burulma hareketi)  $f_3=34.89274$  Hz



Dördüncü mod (Boyuna hareket)  $f_4=35.09741$  Hz

Şekil 2.78'in devamı

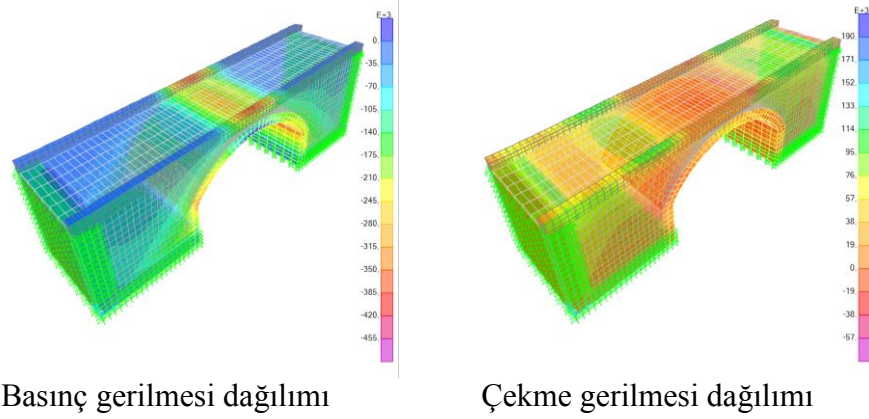
Beşinci mod (Burulma hareketi)  $f_5=36.00138$  Hz

## Statik ve Dinamik Analizlerin Gerçekleştirilmesi:

Tarihi Kırıklı Köprüsü'nün sabit, hareketli ve deprem yükleri etkisinde analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden köprüde oluşan en büyük çekme ve basınç gerilmeleri elde edilmiştir. Köprü'nün kendi ağırlığı altındaki analizinden, en büyük basınç gerilmesi  $0.286 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.12 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Köprü'nün hareketli yük altındaki analizinden en büyük basınç gerilmesi  $0.048 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.016 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Depremin enine, boyuna ve düşey yönlerde etkimesi durumları için sırasıyla çekme ve basınç dağılımları incelenmiş ve en büyük çekme-basınç gerilmelerinin depremin enine yönde etkimesi durumunda olduğu belirlenmiştir. En büyük basınç gerilmesi  $0.336 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.336 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

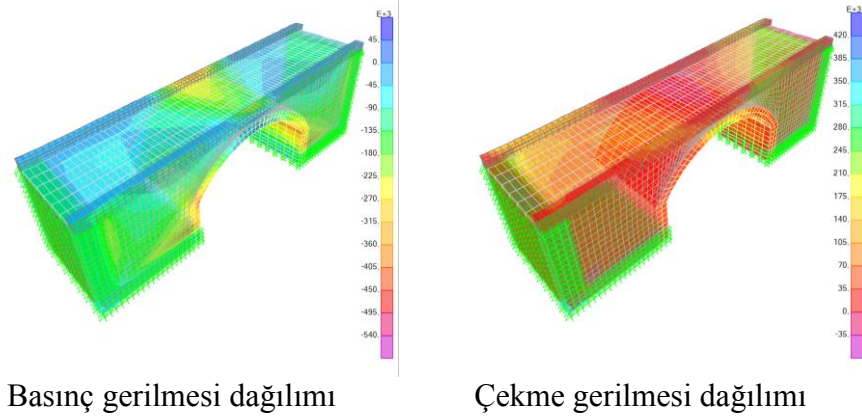
Tarihi Kırıklı Köprüsü'nün kendi ağırlığı ve hareketli yük etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan en büyük çekme ve en büyük basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.79'da verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst ve yan kısımlarında daha fazla, basınç gerilmelerinin ise döşeme kısmında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.455 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.19 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.





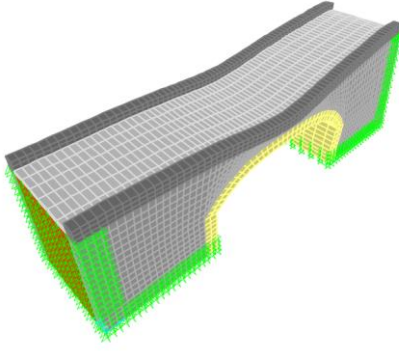
Şekil 2.79. Tarihi Kırıklı Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Kırıklı Köprüsü'nün kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.80'de verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst ve yan kısımlarında daha fazla olduğu, basınç gerilmelerinin ise döşeme kısmında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.54 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.42 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

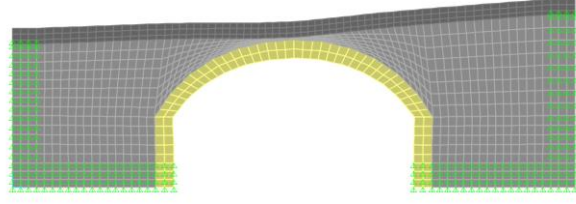


Şekil 2.80. Tarihi Kırıklı Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Kırıklı Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde enine doğrultuda 0.7mm ve düşey doğrultuda 0.9mm yer değiştirme meydana gelmiştir (Şekil 2.81).



Enine yer değiştirme



Düşey yer değiştirme

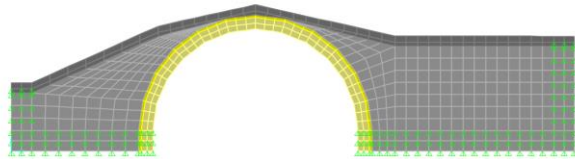
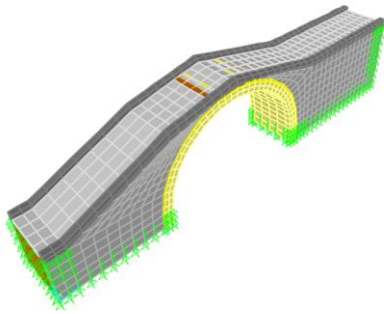
Şekil 2.81. Tarihi Kırıklı Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler

### 2.2.17. Tarihi Olucak Köprüsü

Tarihi Olucak Köprüsü, Gümüşhane/Merkez Olucak Köyü'nde bulunmaktadır. Köprü tek gözlü olup kemer açıklığı 10.1m, kemer yüksekliği 6m, köprü genişliği 3.64m'dir.

Analitik Modelin Oluşturulması:

Tarihi Olucak Köprüsü'nün temin edilen rölöve projesi üzerinden SAP2000 programında 3 boyutlu analitik modeli oluşturulmuştur. Köprü'nün analitik modeli Şekil 2.82'de verilmiştir.

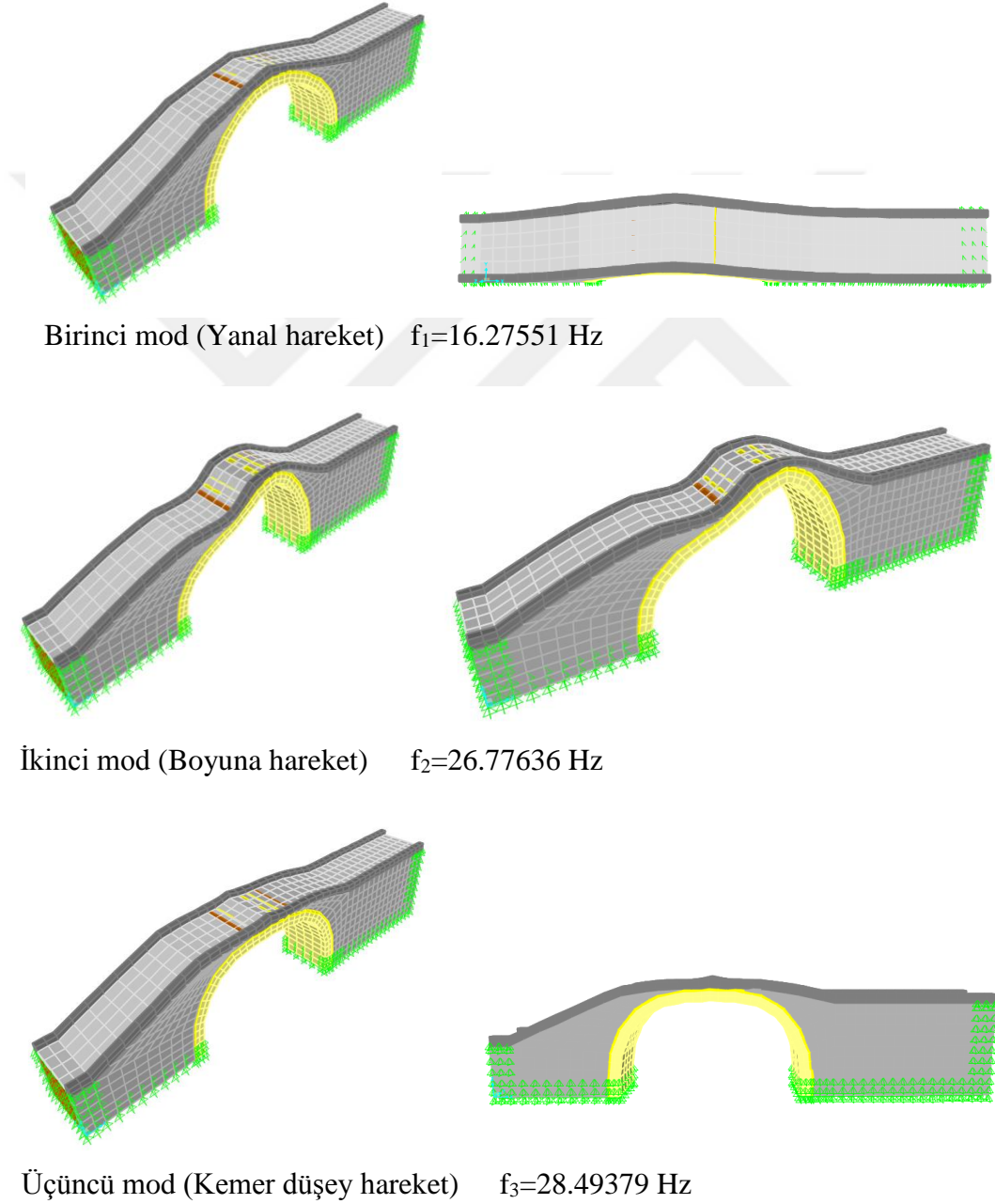


Şekil 2.82. Tarihi Olucak Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli



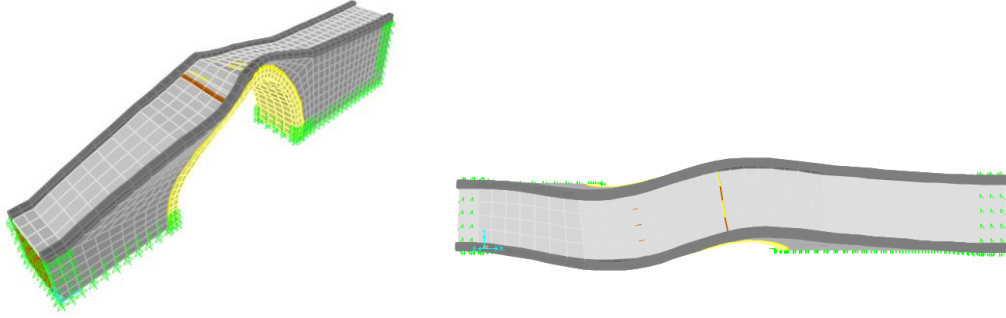
### Modal Analiz Gerçekleştirilmesi:

Tarihi Olucak Köprüsü'nün analitik modeli üzerinde öncelikle modal analizi gerçekleştirilmiştir. Modal analizden elde edilen ilk beş mod şekli ve frekansları Şekil 2.83'te verilmektedir.

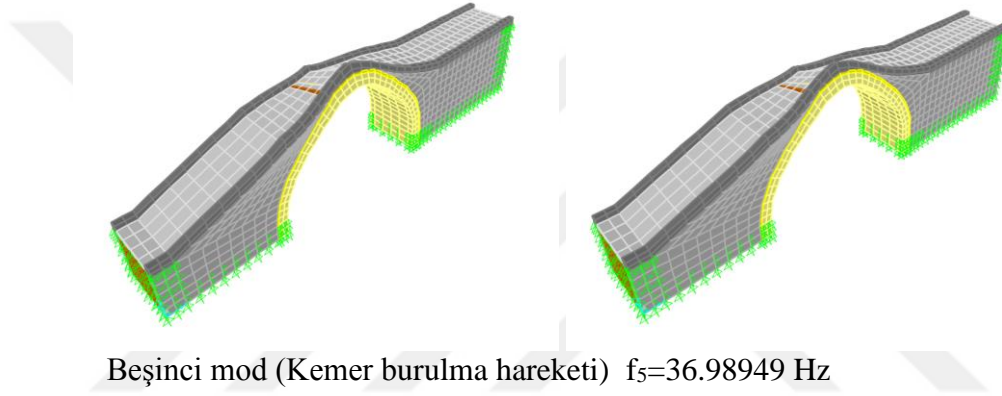


Şekil 2.83. Tarihi Olucak Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli

Şekil 2.83'ün devamı



Dördüncü mod (Burulma hareketi)  $f_4=29.29635$  Hz



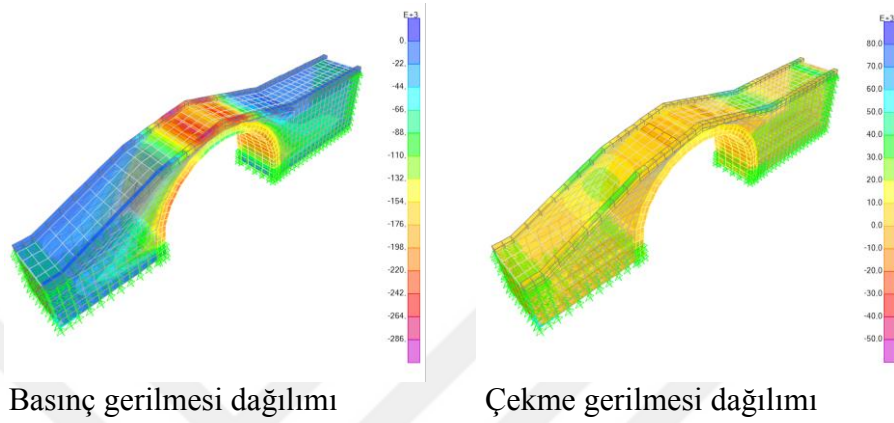
Beşinci mod (Kemer burulma hareketi)  $f_5=36.98949$  Hz

Statik ve Dinamik Analizlerin Gerçekleştirilmesi:

Tarihi Olucak Köprüsü'nün sabit, hareketli ve deprem yükleri etkisinde analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden köprüde oluşan en büyük çekme ve basınç gerilmeleri elde edilmiştir. Köprü'nün kendi ağırlığı altındaki analizinden, en büyük basınç gerilmesi  $0.156 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.048 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Köprü'nün hareketli yük altındaki analizinden en büyük basınç gerilmesi  $0.054 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.0108 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Deprem'in enine, boyuna ve düşey yönlerde etkimesi durumları için sırasıyla çekme ve basınç dağılımları incelenmiş ve en büyük çekme-basınç gerilmelerinin depremin enine yönde etkimesi durumunda olduğu belirlenmiştir. En büyük basınç gerilmesi  $0.6 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.6 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

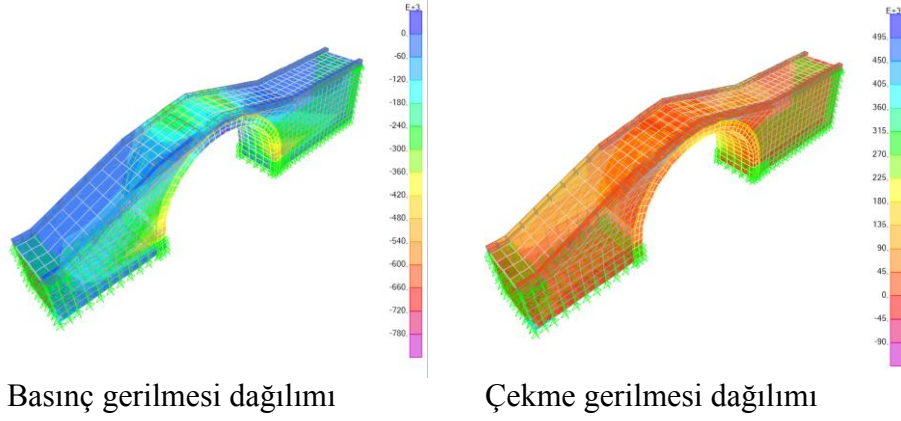
Tarihi Olucak Köprüsü'nün kendi ağırlığı ve hareketli yük etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan en büyük çekme ve en büyük basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.84'te verilmektedir.

Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst bölgelerinde daha fazla, çekme gerilmelerinin ise döşeme kısmında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.286 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.08 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



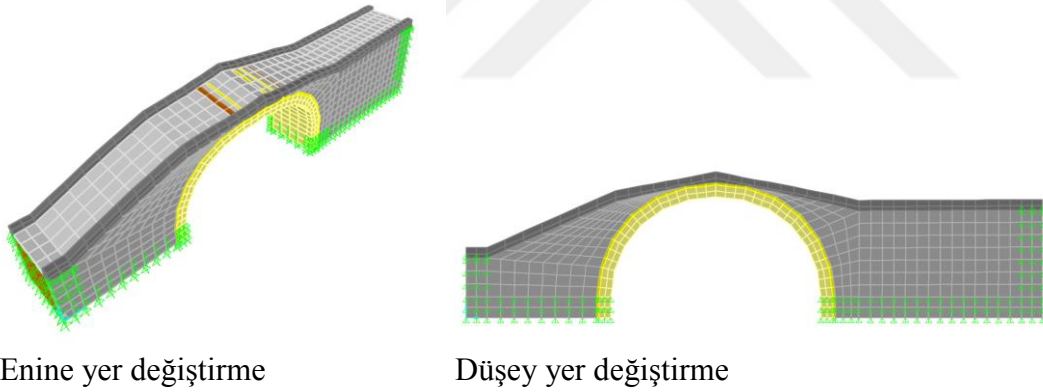
Şekil 2.84. Tarihi Olucak Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Olucak Köprüsü'nün kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.85'te verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer mesnet bölgelerinde daha fazla olduğu, çekme gerilmelerinin ise kemer üst kısımlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.78 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.495 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



Şekil 2.85. Tarihi Olucak Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Olucak Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde enine doğrultuda 1.3mm ve düşey doğrultuda 1.1mm yer değiştirme meydana gelmiştir (Şekil 2.86).



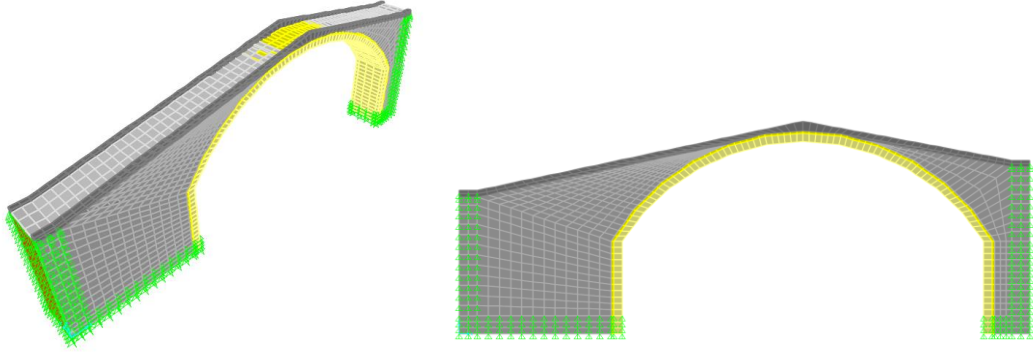
Şekil 2.86. Tarihi Olucak Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler

### 2.2.18. Ortaköy Köprüsü

Ortaköy Köprüsü, Rize/Hemşin'de bulunmaktadır. Köprü tek gözlü olup kemer açıklığı 19.98m, kemer yüksekliği 10.6m, köprü genişliği 2.78m'dir.

### Analitik Modelin Oluşturulması:

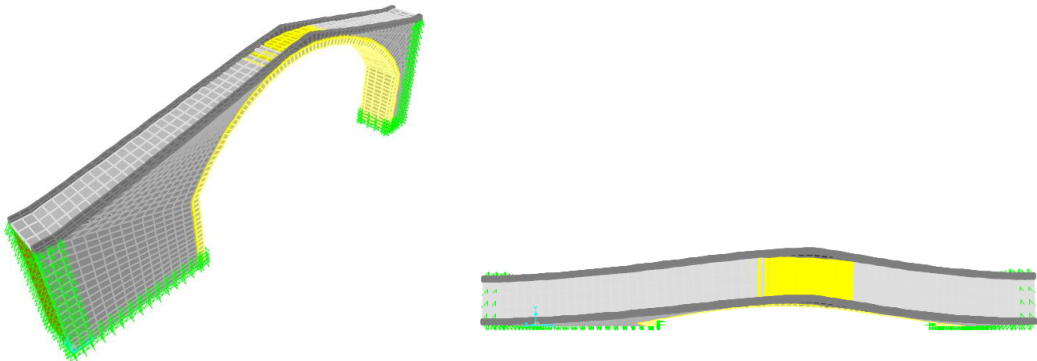
Ortaköy Köprüsü'nün temin edilen rölöve projesi üzerinden SAP2000 programında 3 boyutlu analitik modeli oluşturulmuştur. Köprü'nün analitik modeli Şekil 2.87'de verilmiştir.



Şekil 2.87. Ortaköy Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli

### Modal Analiz Gerçekleştirilmesi:

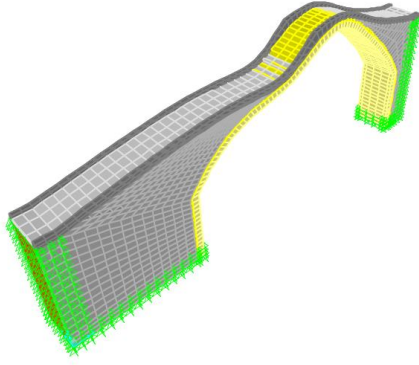
Ortaköy Köprüsü'nün analitik modeli üzerinde öncelikle modal analizi gerçekleştirilmiştir. Modal analizden elde edilen ilk beş mod şekli ve frekansları Şekil 2.88'de verilmektedir.



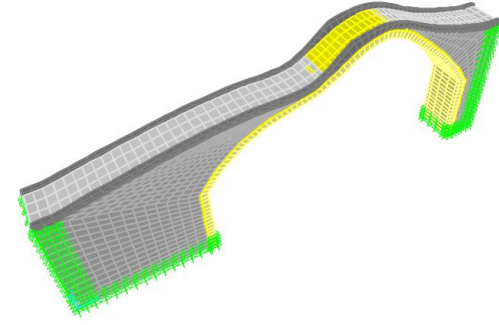
Birinci mod (Yanal hareket)  $f_1=6.73018$  Hz

Şekil 2.88. Ortaköy Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli

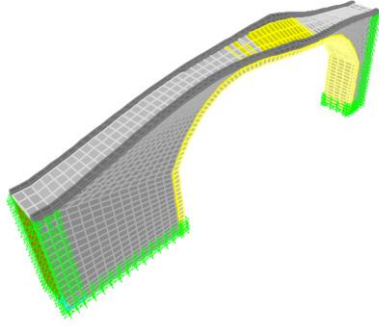
Şekil 2.88'in devamı



İkinci mod (Boyuna hareket)

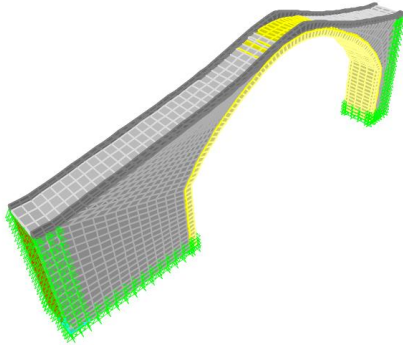
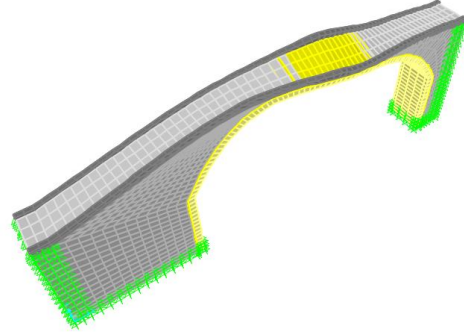


$f_2=12.59768$  Hz



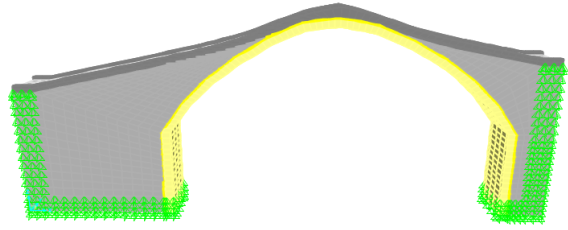
Üçüncü mod (Kemer burulma hareketi)

$f_3=13.0899$  Hz



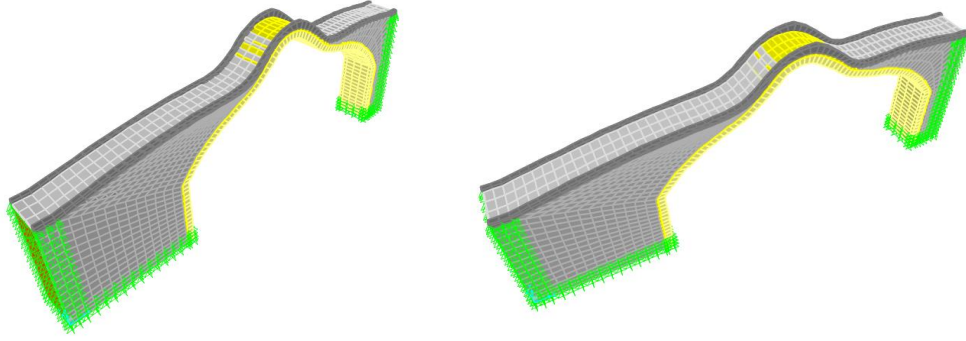
Dördüncü mod (Kemer düşey hareketi)

$f_4=13.29095$  Hz





Şekil 2.88'in devamı



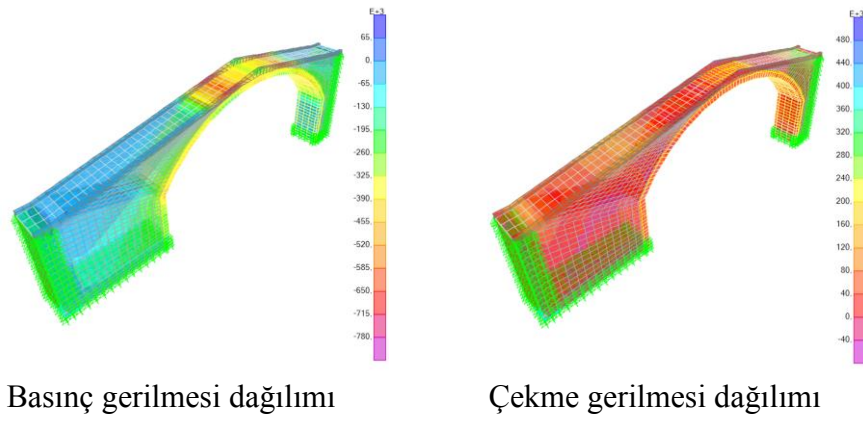
Beşinci mod (Kemer burulma hareketi)  $f_5=19.84685$  Hz

#### Statik ve Dinamik Analizlerin Gerçekleştirilmesi:

Ortaköy Köprüsü'nün sabit, hareketli ve deprem yükleri etkisinde analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden köprüde oluşan en büyük çekme ve basınç gerilmeleri elde edilmiştir. Köprü'nün kendi ağırlığı altındaki analizinden, en büyük basınç gerilmesi  $0.35 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.24 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Köprü'nün hareketli yük altındaki analizinden en büyük basınç gerilmesi  $0.156 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.065 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Depremin enine, boyuna ve düşey yönlerde etkimesi durumları için sırasıyla çekme ve basınç dağılımları incelenmiş ve en büyük çekme-basınç gerilmelerinin depremin enine yönde etkimesi durumunda olduğu belirlenmiştir. En büyük basınç gerilmesi  $1.21 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $1.21 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

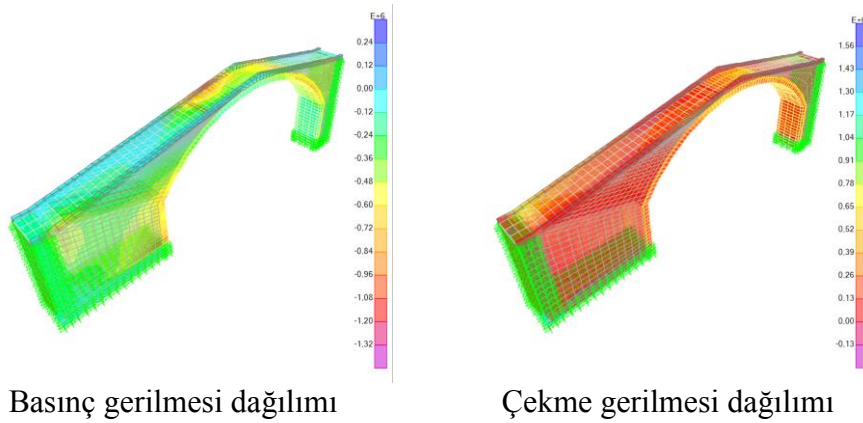
Ortaköy Köprüsü'nün kendi ağırlığı ve hareketli yük etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan en büyük çekme ve en büyük basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.89'da verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst bölgelerinde daha fazla, basınç gerilmelerinin ise döşeme kısmında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.78 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.48 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.





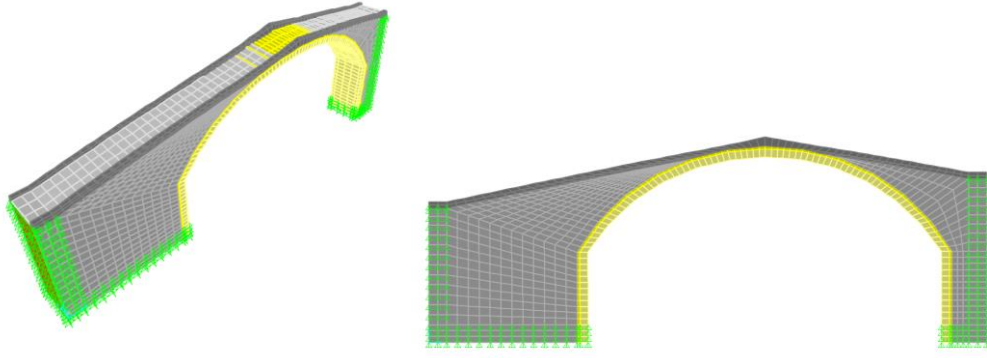
Şekil 2.89. Ortaköy Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Ortaköy Köprüsü'nün kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.90'da verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst bölgelerinde daha fazla olduğu, çekme gerilmelerinin ise kemer üst ve döşeme kısımlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $1.32 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $1.56 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



Şekil 2.90. Ortaköy Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Ortaköy Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde enine doğrultuda 7.9mm ve düşey doğrultuda 4.2mm yer değiştirme meydana gelmiştir (Şekil 2.91).



Enine yer değiştirme

Düşey yer değiştirme

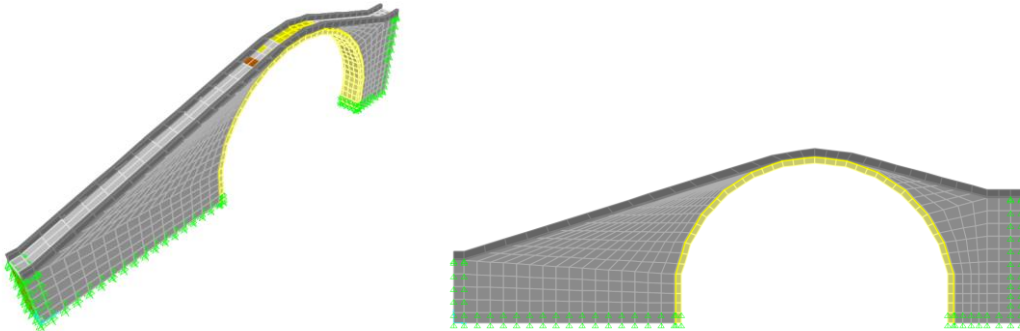
Şekil 2.91. Ortaköy Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler

### 2.2.19. Tarihi Şenyuva Köprüsü

Tarihi Şenyuva Köprüsü, Rize/Çamlıhemşin'de bulunmaktadır. Köprü tek gözlü olup kemer açıklığı 25.56m, kemer yüksekliği 15.29m, köprü genişliği 2.84m'dir.

Analitik Modelin Oluşturulması:

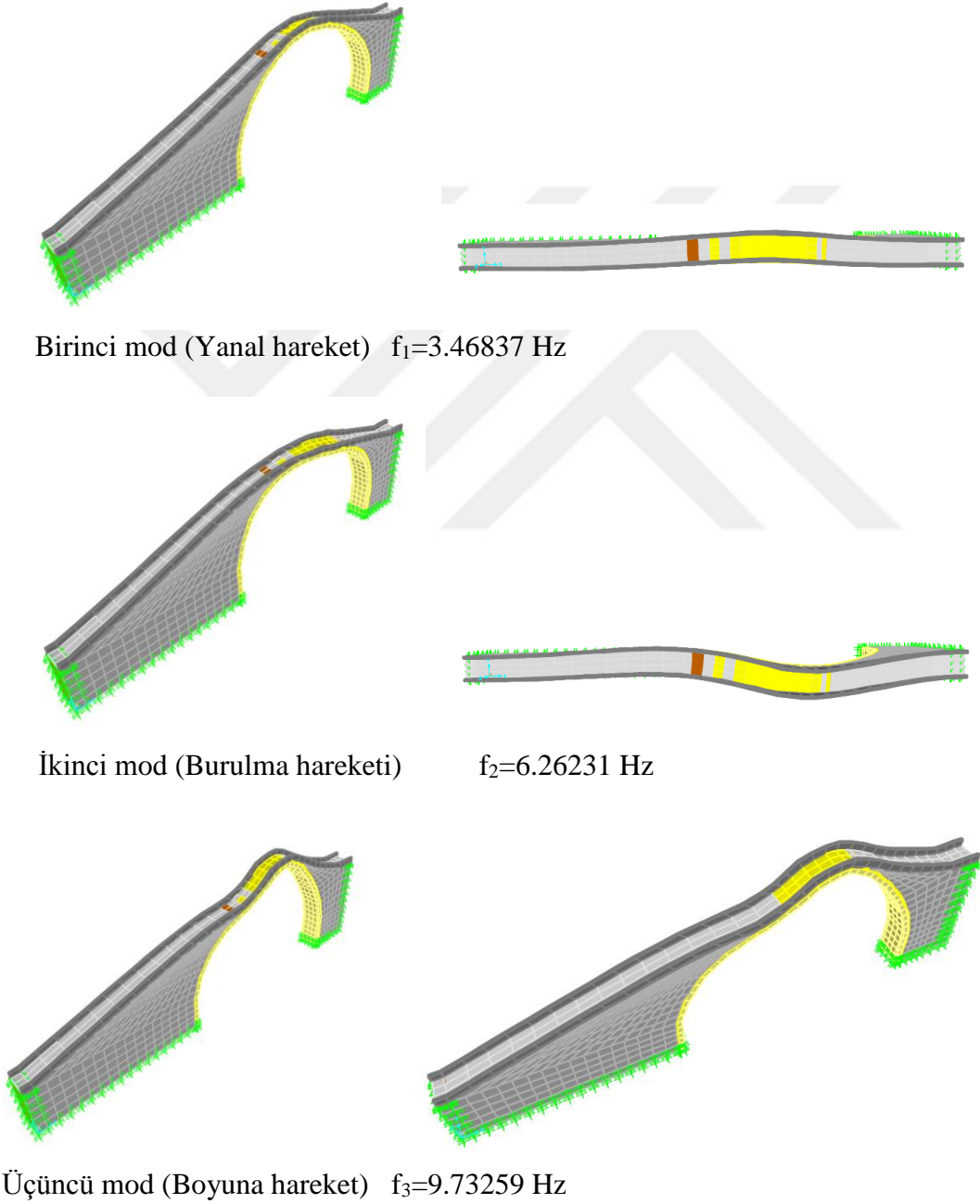
Tarihi Şenyuva Köprüsü'nün temin edilen rölöve projesi üzerinden SAP2000 programında 3 boyutlu analitik modeli oluşturulmuştur. Köprü'nün analitik modeli Şekil 2.92'de verilmiştir.



Şekil 2.92. Tarihi Şenyuva Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli

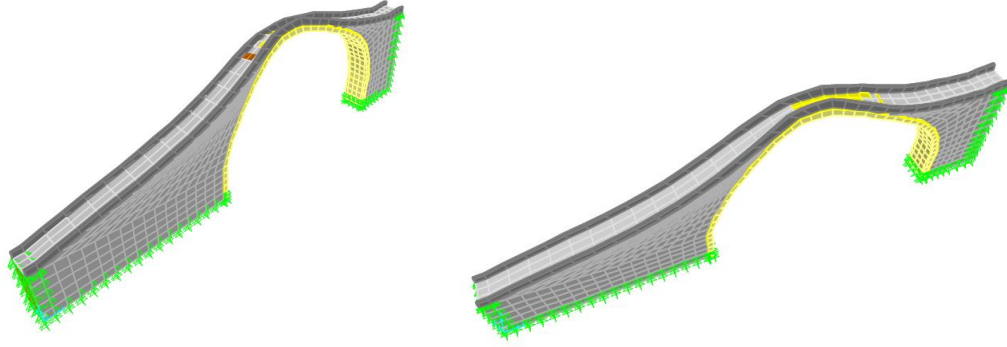
### Modal Analiz Gerçekleştirilmesi:

Tarihi Şenyuva Köprüsü'nün analitik modeli üzerinde öncelikle modal analizi gerçekleştirilmiştir. Modal analizden elde edilen ilk beş mod şekli ve frekansları Şekil 2.93'te verilmektedir.

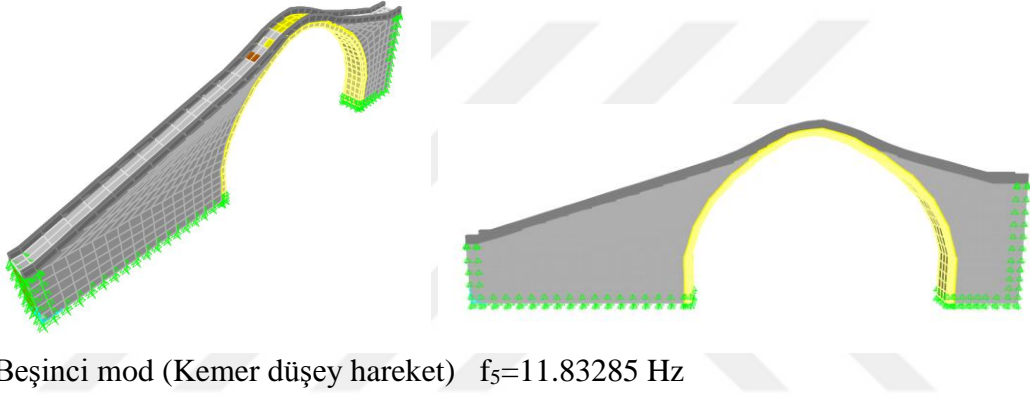


Şekil 2.93. Tarihi Şenyuva Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli

Şekil 2.93'ün devamı



Dördüncü mod (Kemer burulma hareketi)  $f_4=9.92584$  Hz



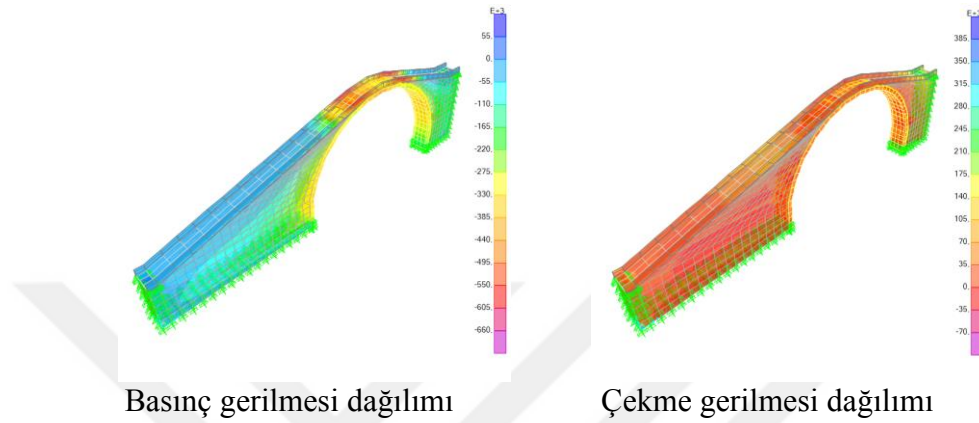
Beşinci mod (Kemer düşey hareket)  $f_5=11.83285$  Hz

Statik ve Dinamik Analizlerin Gerçekleştirilmesi:

Tarihi Şenyuva Köprüsü'nün sabit, hareketli ve deprem yükleri etkisinde analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden köprüde oluşan en büyük çekme ve basınç gerilmeleri elde edilmiştir. Köprü'nün kendi ağırlığı altındaki analizinden, en büyük basınç gerilmesi  $0.336 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.22 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Köprü'nün hareketli yük altındaki analizinden en büyük basınç gerilmesi  $0.13 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.045 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Depremin enine, boyuna ve düşey yönlerde etkimesi durumları için sırasıyla çekme ve basınç dağılımları incelenmiş ve en büyük çekme-basınç gerilmelerinin depremin enine yönde etkimesi durumunda olduğu belirlenmiştir. En büyük basınç gerilmesi  $2.64 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $2.64 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

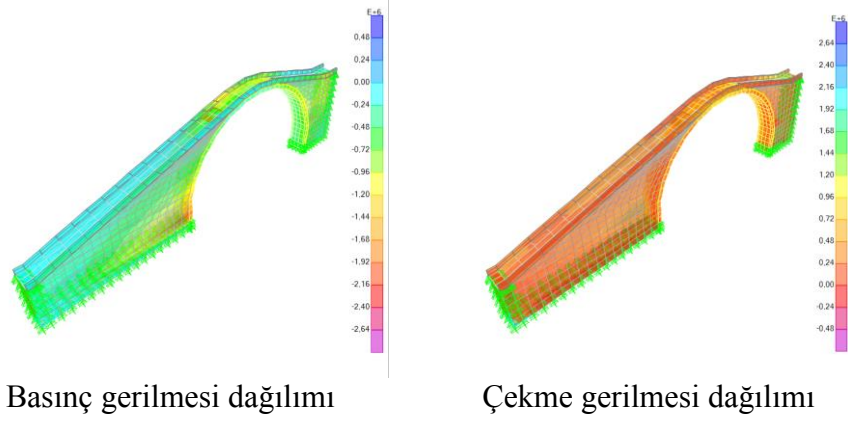
Tarihi Şenyuva Köprüsü'nün kendi ağırlığı ve hareketli yük etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan en büyük çekme ve en büyük basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.94'te verilmektedir.

Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst bölgelerinde daha fazla, basınç gerilmelerinin ise döşeme kısmında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.66 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.385 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



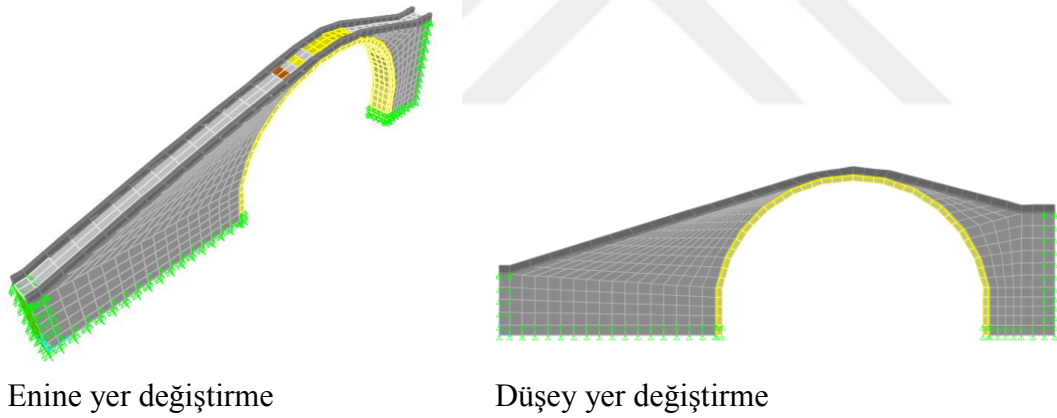
Şekil 2.94. Tarihi Şenyuva Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Şenyuva Köprüsü'nün kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.95'te verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin köprü ayaklarında daha fazla olduğu, basınç gerilmelerinin ise döşeme kısmında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $2.64 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $2.64 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



Şekil 2.95. Tarihi Şenyuva Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Şenyuva Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde enine doğrultuda 34.7mm ve düşey doğrultuda 8.3mm yer değiştirme meydana gelmiştir (Şekil 2.96).



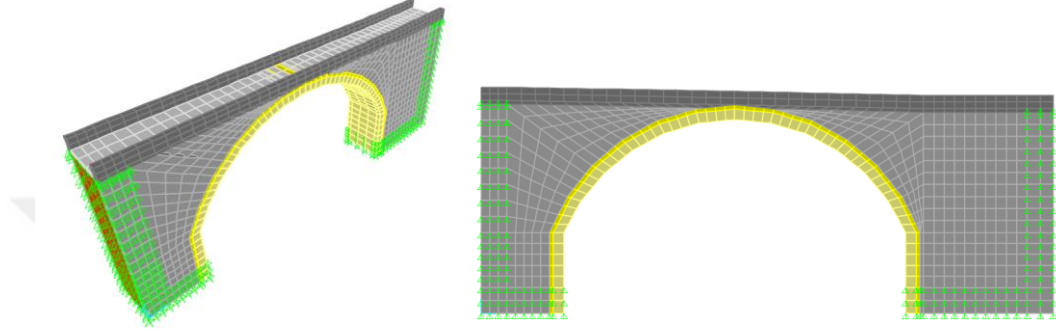
Şekil 2.96. Tarihi Şenyuva Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler

### 2.2.20. Tarihi Yeşilköy Köprüsü

Tarihi Yeşilköy Köprüsü, Rize/Güneysu'da bulunmaktadır. Köprü tek gözlü olup kemer açıklığı 13.08m, kemer yüksekliği 7.41m, köprü genişliği 2.47m'dir.

### Analitik Modelin Oluşturulması:

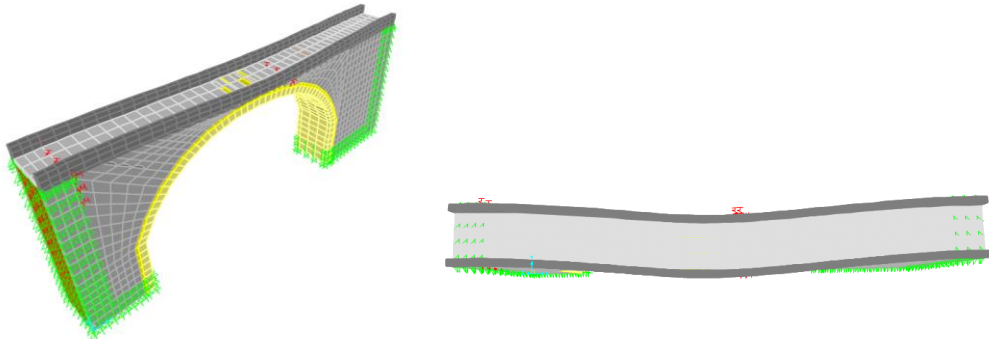
Tarihi Yeşilköy Köprüsü'nün temin edilen rölöve projesi üzerinden SAP2000 programında 3 boyutlu analitik modeli oluşturulmuştur. Köprü'nün analitik modeli Şekil 2.97'de verilmiştir.



Şekil 2.97. Tarihi Yeşilköy Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli

### Modal Analiz Gerçekleştirilmesi:

Tarihi Yeşilköy Köprüsü'nün analitik modeli üzerinde öncelikle modal analiz gerçekleştirilmiştir. Modal analizden elde edilen ilk beş mod şekli ve frekansları Şekil 2.98'de verilmektedir.

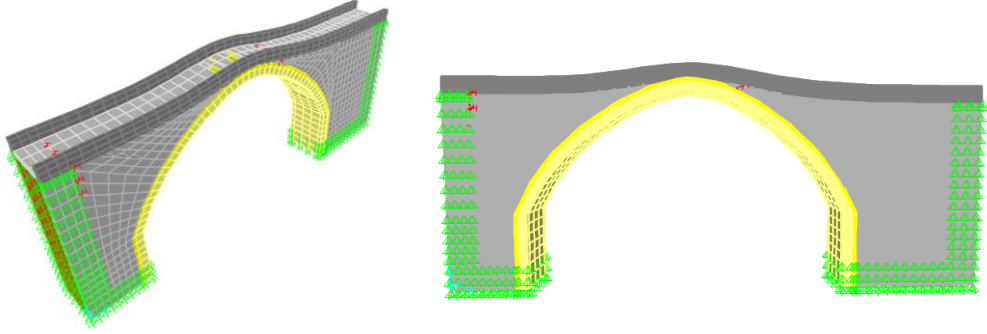


Birinci mod (Yanal hareket)  $f_1=12.46704$  Hz

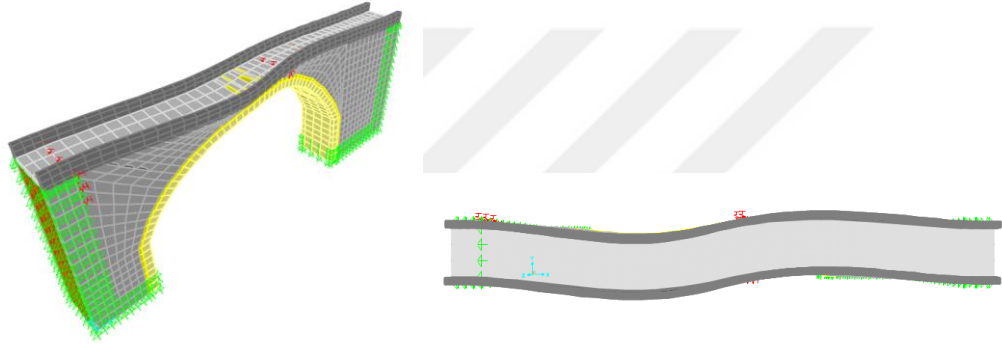
Şekil 2.98. Tarihi Yeşilköy Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli



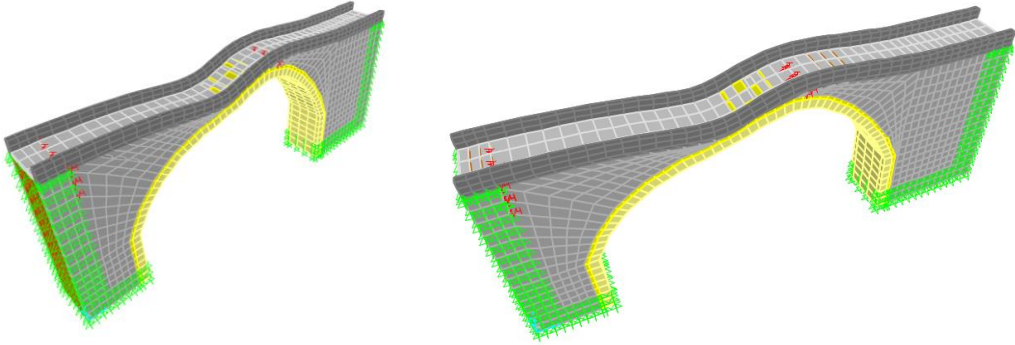
Şekil 2.98'in devamı



İkinci mod (Kemer düşey hareket)  $f_2=21.81447$  Hz

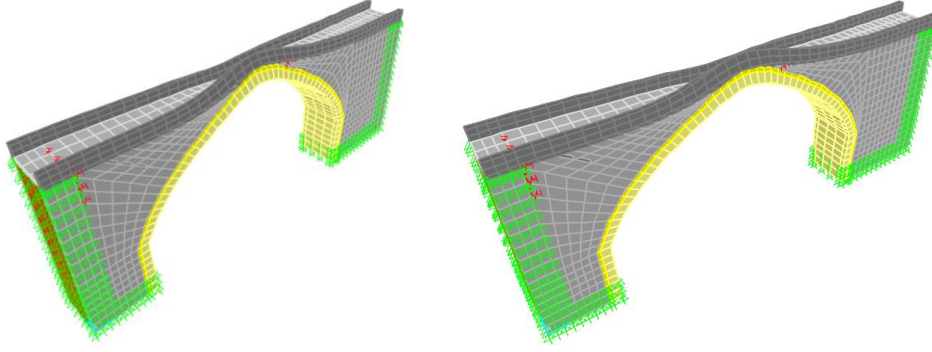


Üçüncü mod (Burulma hareketi)  $f_3=23.70906$  Hz



Dördüncü mod (Boyuna hareket)  $f_4=28.87906$  Hz

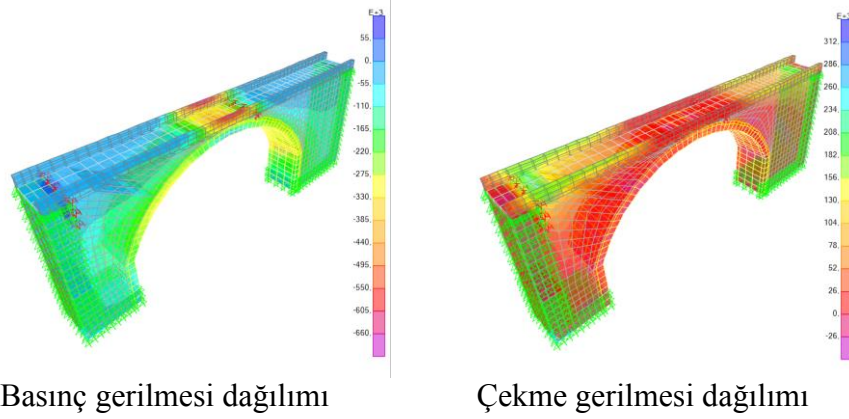
Şekil 2.98'in devamı

Beşinci mod (Kemer burulma hareketi)  $f_5=35.51247$  Hz

#### Statik ve Dinamik Analizlerin Gerçekleştirilmesi:

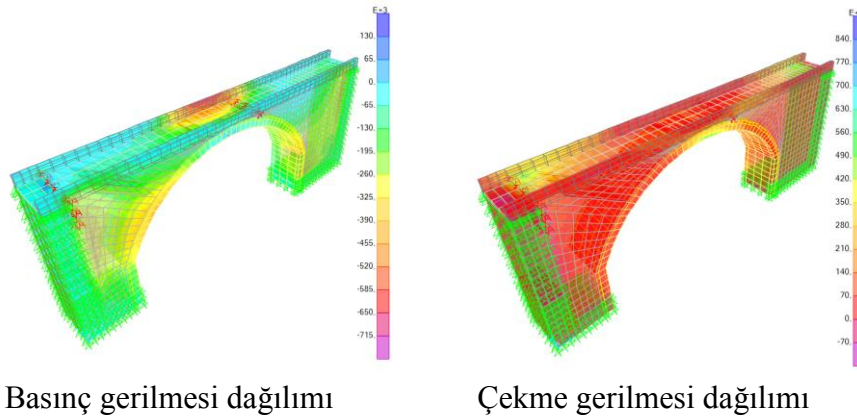
Tarihi Yeşilköy Köprüsü'nün sabit, hareketli ve deprem yükleri etkisinde analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden köprüde oluşan en büyük çekme ve basınç gerilmeleri elde edilmiştir. Köprü'nün kendi ağırlığı altındaki analizinden, en büyük basınç gerilmesi  $0.3 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.192 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Köprü'nün hareketli yük altındaki analizinden en büyük basınç gerilmesi  $0.13 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.04 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Depremin enine, boyuna ve düşey yönlerde etkimesi durumları için sırasıyla çekme ve basınç dağılımları incelenmiş ve en büyük çekme-basınç gerilmelerinin depremin enine yönde etkimesi durumunda olduğu belirlenmiştir. En büyük basınç gerilmesi  $0.66 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.66 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

Tarihi Yeşilköy Köprüsü'nün kendi ağırlığı ve hareketli yük etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan en büyük çekme ve en büyük basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.99'da verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst bölgelerinde daha fazla, çekme gerilmelerinin ise döşeme kısmında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.66 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.312 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



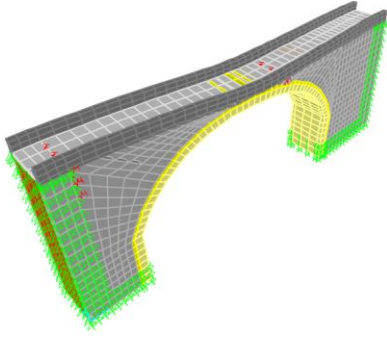
Şekil 2.99. Tarihi Yeşilköy Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Yeşilköy Köprüsü'nün kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.100'de verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst kısmında daha fazla olduğu, basınç gerilmelerinin ise döşeme yan kısımlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.715 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.84 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

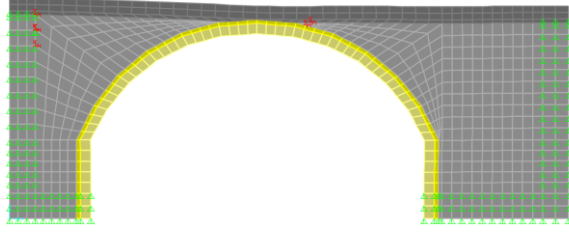


Şekil 2.100. Tarihi Yeşilköy Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Yeşilköy Köprüsünde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde enine doğrultuda 2.4mm ve düşey doğrultuda 1.5mm yer değiştirme meydana gelmiştir (Şekil 2.101).



Enine yer değiştirme



Düşey yer değiştirme

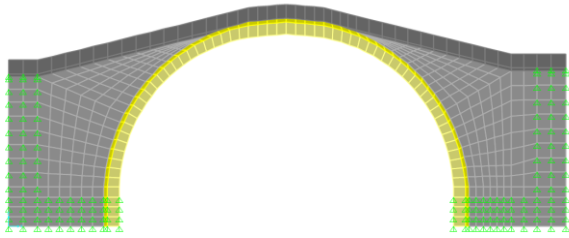
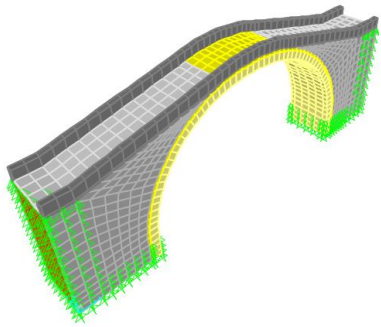
Şekil 2.101. Tarihi Yeşilköy Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler

### 2.2.21. Tarihi Veliköy Köprüsü

Tarihi Veliköy Köprüsü, Rize/Gündoğdu'da bulunmaktadır. Köprü tek gözlü olup kemer açıklığı 11.6m, kemer yüksekliği 6.65m, köprü genişliği 2.5m'dir.

Analitik Modelin Oluşturulması:

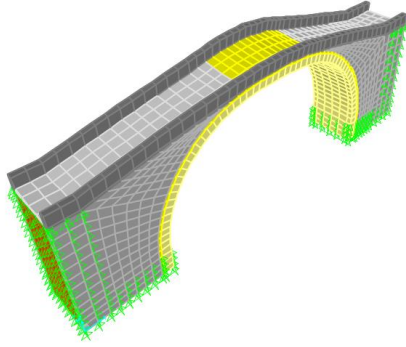
Tarihi Veliköy Köprüsü'nün temin edilen rölöve projesi üzerinden SAP2000 programında 3 boyutlu analitik modeli oluşturulmuştur. Köprü'nün analitik modeli Şekil 2.102'de verilmiştir.



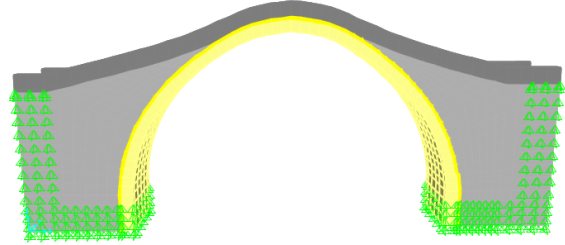
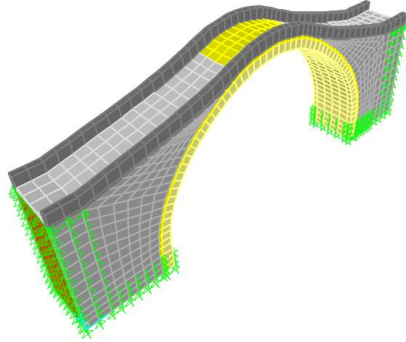
Şekil 2.102. Tarihi Veliköy Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli

### Modal Analiz Gerçekleştirilmesi:

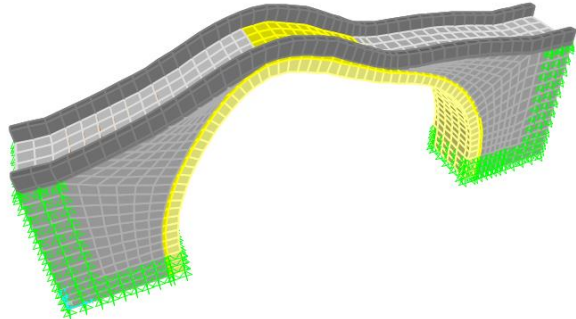
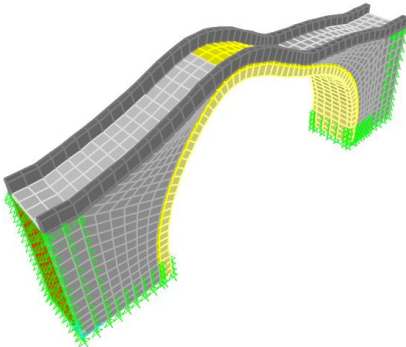
Tarihi Veliköy Köprüsü'nün analitik modeli üzerinde öncelikle modal analizi gerçekleştirilmiştir. Modal analizden elde edilen ilk beş mod şekli ve frekansları Şekil 2.103'te verilmektedir.



Birinci mod (Yanal hareket)  $f_1=13.50685$  Hz



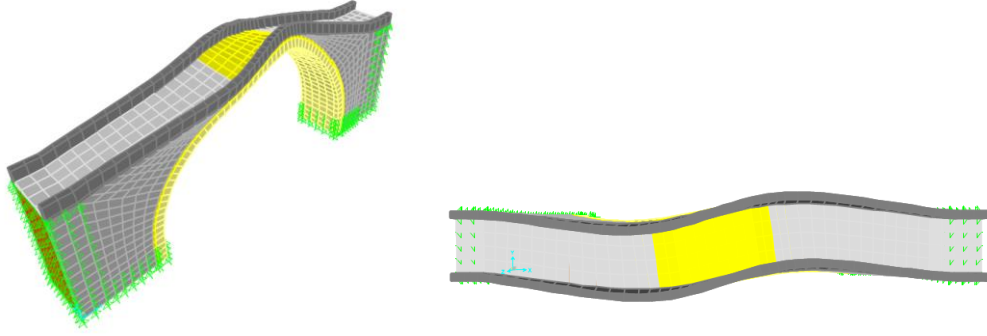
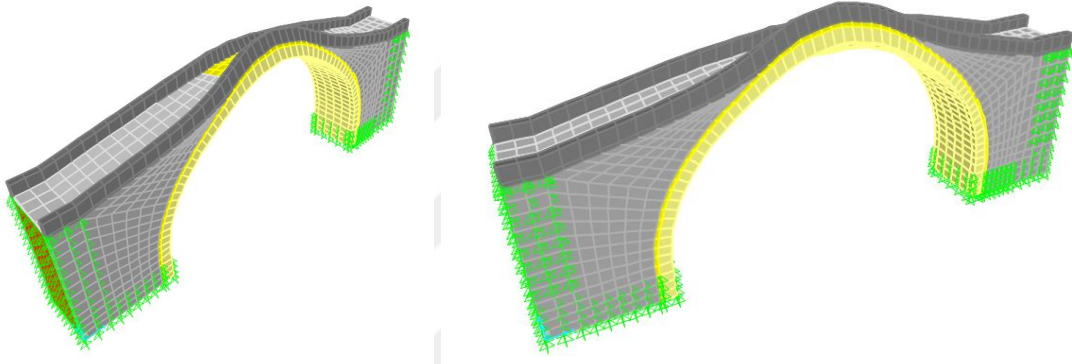
İkinci mod (Kemer düşey hareket)  $f_2=24.60962$  Hz



Üçüncü mod (Boyuna hareket)  $f_3=25.12211$  Hz

Şekil 2.103. Tarihi Veliköy Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli

Şekil 2.103'ün devamı

Dördüncü mod (Burulma hareketi)  $f_4=27.0624$  HzBeşinci mod (Kemer burulma hareketi)  $f_5=32.03087$  Hz

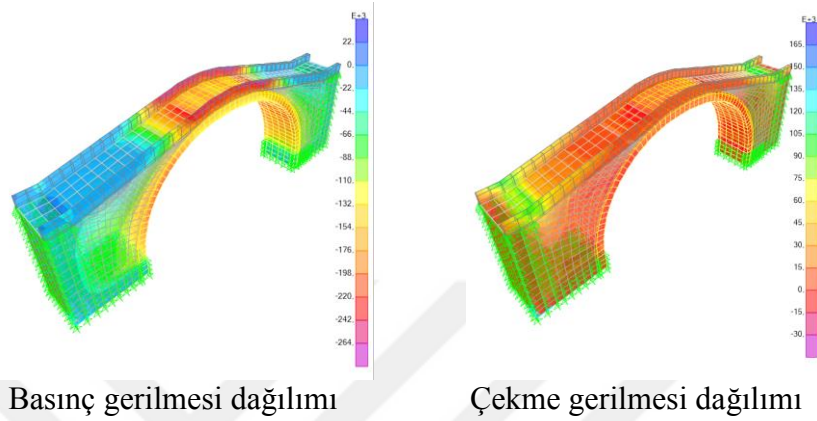
#### Statik ve Dinamik Analizlerin Gerçekleştirilmesi:

Tarihi Veliköy Köprüsü'nün sabit, hareketli ve deprem yükleri etkisinde analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden köprüde oluşan en büyük çekme ve basınç gerilmeleri elde edilmiştir. Köprü'nün kendi ağırlığı altındaki analizinden, en büyük basınç gerilmesi  $0.18 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.099 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Köprü'nün hareketli yük altındaki analizinden en büyük basınç gerilmesi  $0.0455 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.017 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Deprem'in enine, boyuna ve düşey yönlerde etkimesi durumları için sırasıyla çekme ve basınç dağılımları incelenmiş ve en büyük çekme-basınç gerilmelerinin depremin enine yönde etkimesi durumunda olduğu belirlenmiştir. En büyük basınç gerilmesi  $0.6 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.6 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

Tarihi Veliköy Köprüsü'nün kendi ağırlığı ve hareketli yük etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan en büyük çekme ve en büyük basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.104'te verilmektedir.



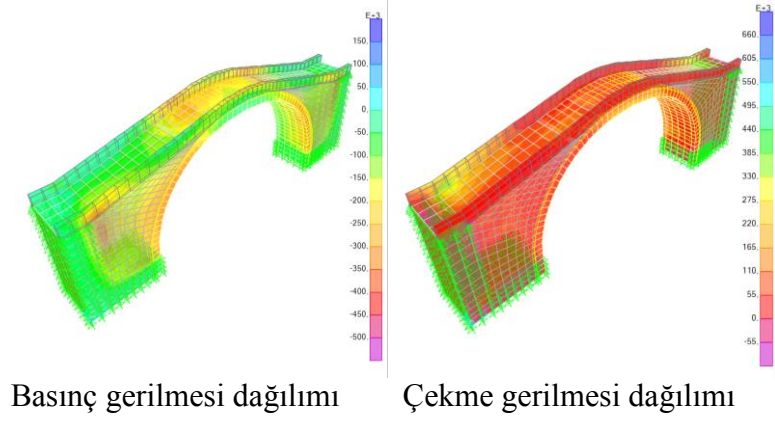
Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst bölgelerinde daha fazla, çekme gerilmelerinin ise döşeme orta kısımlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.264 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.165 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



Şekil 2.104. Tarihi Veliköy Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları

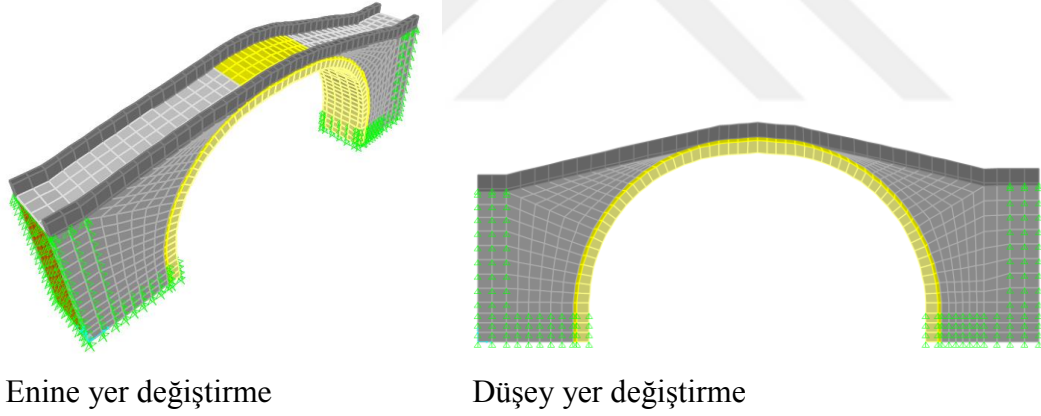
Tarihi Veliköy Köprüsü'nün kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprünün gerilme dağılımları ise Şekil 2.105'te verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst ve yan kısımlarında daha fazla olduğu, çekme gerilmelerinin ise döşeme kısmında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.5 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.66 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.





Şekil 2.105. Tarihi Veliköy Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Veliköy Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde enine doğrultuda 1.8mm ve düşey doğrultuda 1.4mm yer değiştirme meydana gelmiştir (Şekil 2.106).



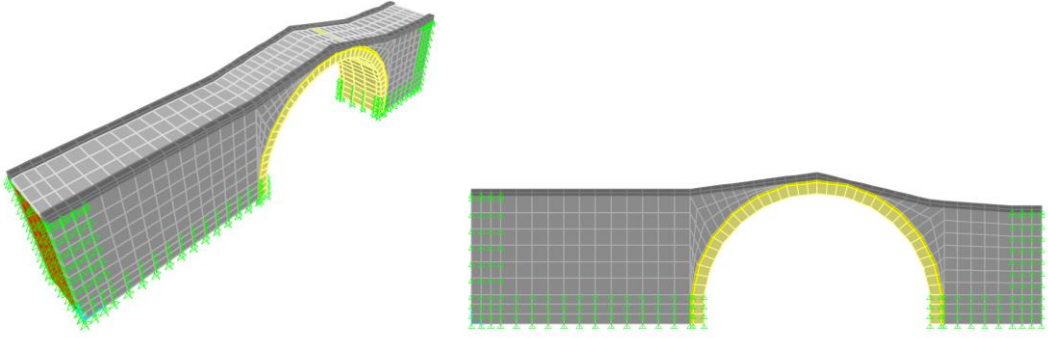
Şekil 2.106. Tarihi Veliköy Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler

### 2.2.22. Tarihi Cami Mahallesi Köprüsü

Tarihi Cami Mahallesi Köprüsü, Trabzon/Araklı'da bulunmaktadır. Köprü tek gözlü olup kemer açıklığı 7.74m, kemer yüksekliği 4.45m, köprü genişliği 2.55m'dir.

### Analitik Modelin Oluşturulması:

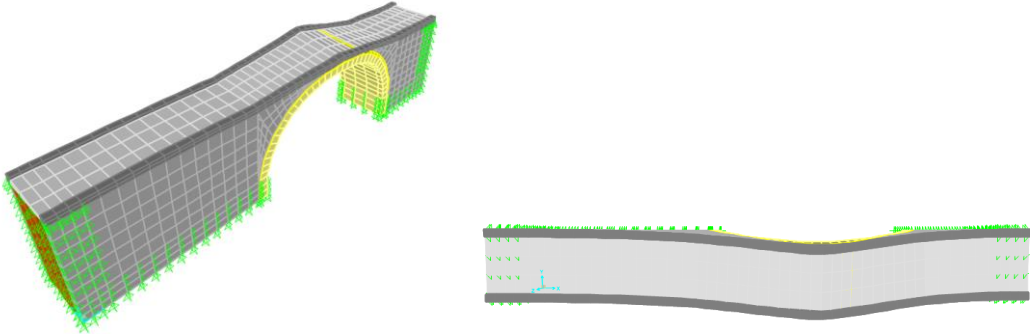
Tarihi Cami Mahallesi Köprüsü'nün temin edilen rölöve projesi üzerinden SAP2000 programında 3 boyutlu analitik modeli oluşturulmuştur. Köprü'nün analitik modeli Şekil 2.107'de verilmiştir.



Şekil 2.107. Tarihi Cami Mahallesi Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli

### Modal Analiz Gerçekleştirilmesi:

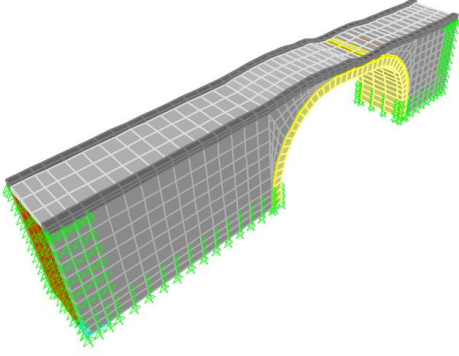
Tarihi Cami Mahallesi Köprüsü'nün analitik modeli üzerinde öncelikle modal analiz gerçekleştirilmiştir. Modal analizden elde edilen ilk beş mod şekli ve frekansları Şekil 2.108'de verilmektedir.



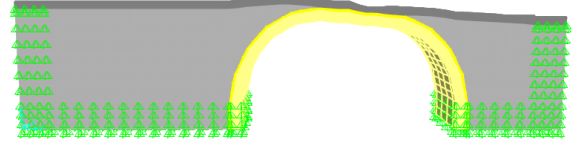
Birinci mod (Yanal hareket)  $f_1=23.53118$  Hz

Şekil 2.108. Tarihi Cami Mahallesi Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli

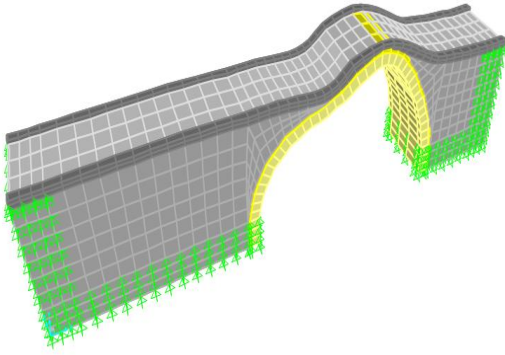
Şekil 2.108'in devamı



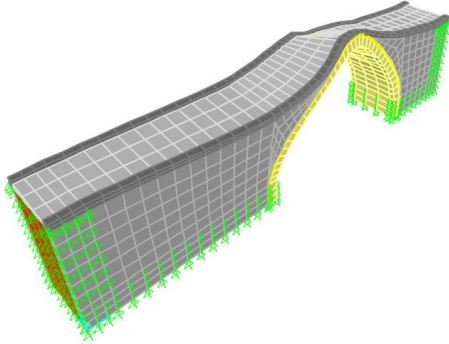
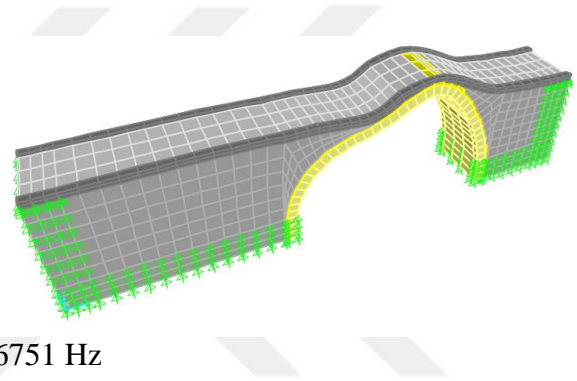
İkinci mod (Kemer düşey hareket)



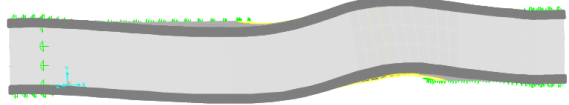
$f_2=37.47502$  Hz



Üçüncü mod (Boyuna hareket)  $f_3=40.36751$  Hz

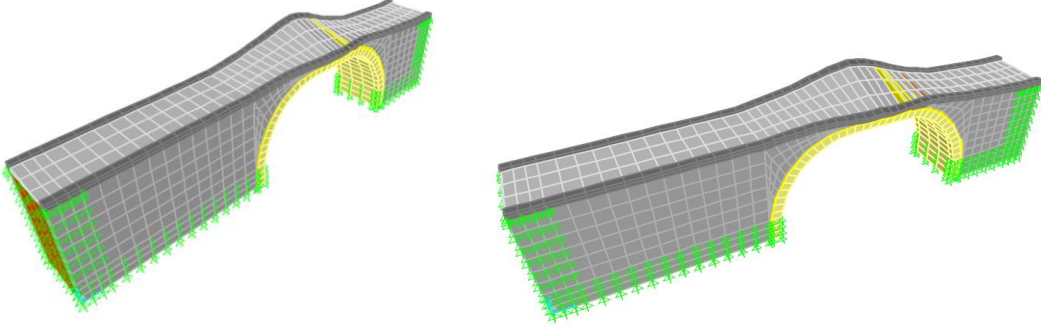


Dördüncü mod (Burulma hareketi)



$f_4=41.23056$  Hz

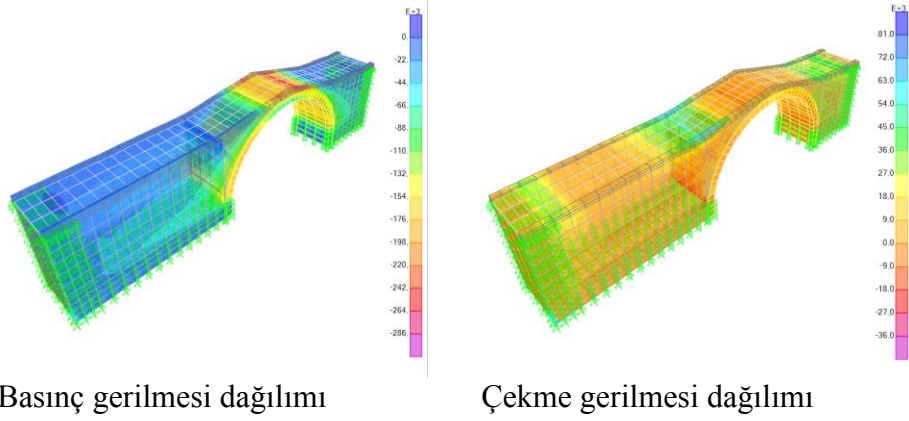
Şekil 2.108'in devamı

Beşinci mod (Kemer burulma hareketi)  $f_5=51.2026$  Hz

#### Statik ve Dinamik Analizlerin Gerçekleştirilmesi:

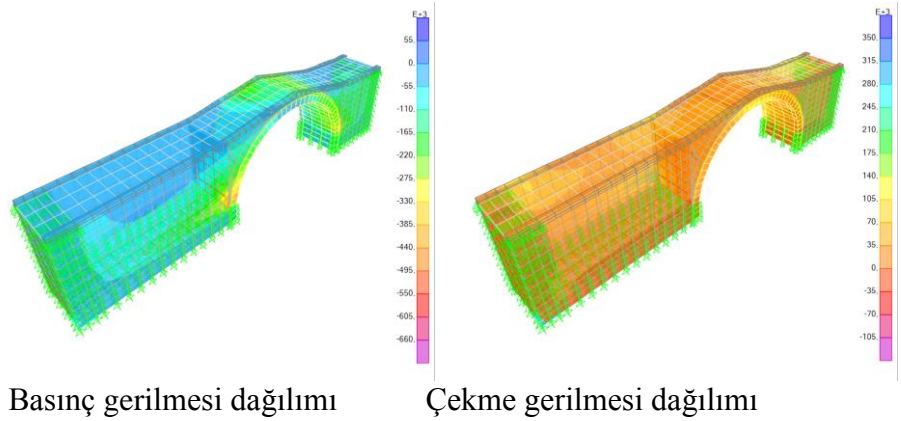
Tarihi Cami Mahallesi Köprüsü'nün sabit, hareketli ve deprem yükleri etkisinde analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden köprüde oluşan en büyük çekme ve basınç gerilmeleri elde edilmiştir. Köprü'nün kendi ağırlığı altındaki analizinden, en büyük basınç gerilmesi  $0.143 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.044 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Köprü'nün hareketli yük altındaki analizinden en büyük basınç gerilmesi  $0.0715 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.0135 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Deprem'in enine, boyuna ve düşey yönlerde etkimesi durumları için sırasıyla çekme ve basınç dağılımları incelenmiş ve en büyük çekme-basınç gerilmelerinin depremin enine yönde etkimesi durumunda olduğu belirlenmiştir. En büyük basınç gerilmesi  $0.495 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.54 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

Tarihi Cami Mahallesi Köprüsü'nün kendi ağırlığı ve hareketli yük etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan en büyük çekme ve en büyük basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.109'da verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst bölgelerinde daha fazla, çekme gerilmelerinin ise döşeme kısmında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.286 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.081 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



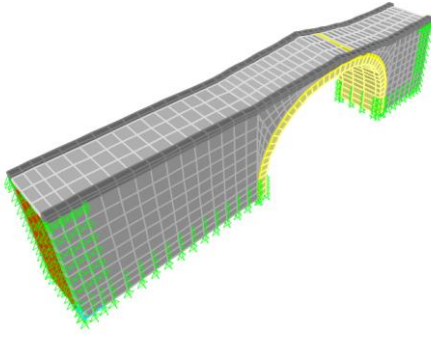
Şekil 2.109. Tarihi Cami Mahallesi Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Cami Mahallesi Köprüsü'nün kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.110'da verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin köprü ayaklarında daha fazla olduğu, çekme gerilmelerinin ise döşeme kısmında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.66 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.35 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

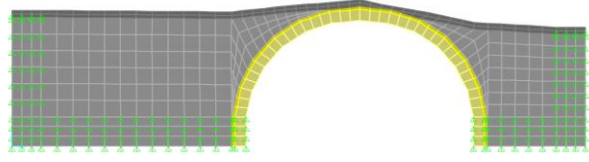


Şekil 2.110. Tarihi Cami Mahallesi Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Cami Mahallesi Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde enine doğrultuda 0.6mm ve düşey doğrultuda 0.6mm yer değiştirme meydana gelmiştir (Şekil 2.111).



Enine yer değiştirme



Düşey yer değiştirme

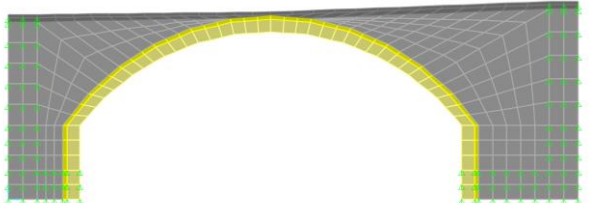
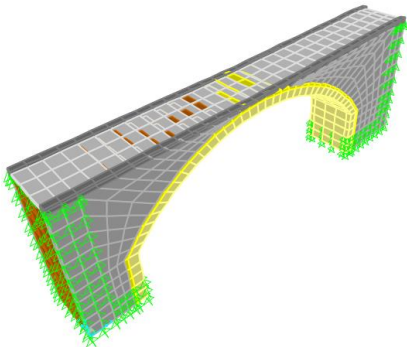
Şekil 2.111. Tarihi Cami Mahallesi Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler

### 2.2.23. Tarihi Çamlıtepe Köprüsü

Tarihi Çamlıtepe Köprüsü, Trabzon/Araklı'da bulunmaktadır. Köprü tek gözlü olup kemer açıklığı 13.16m, kemer yüksekliği 5.77m, köprü genişliği 2.65m'dir.

Analitik Modelin Oluşturulması:

Tarihi Çamlıtepe Köprüsü'nün temin edilen rölöve projesi üzerinden SAP2000 programında 3 boyutlu analitik modeli oluşturulmuştur. Köprü'nün analitik modeli Şekil 2.112'de verilmiştir.

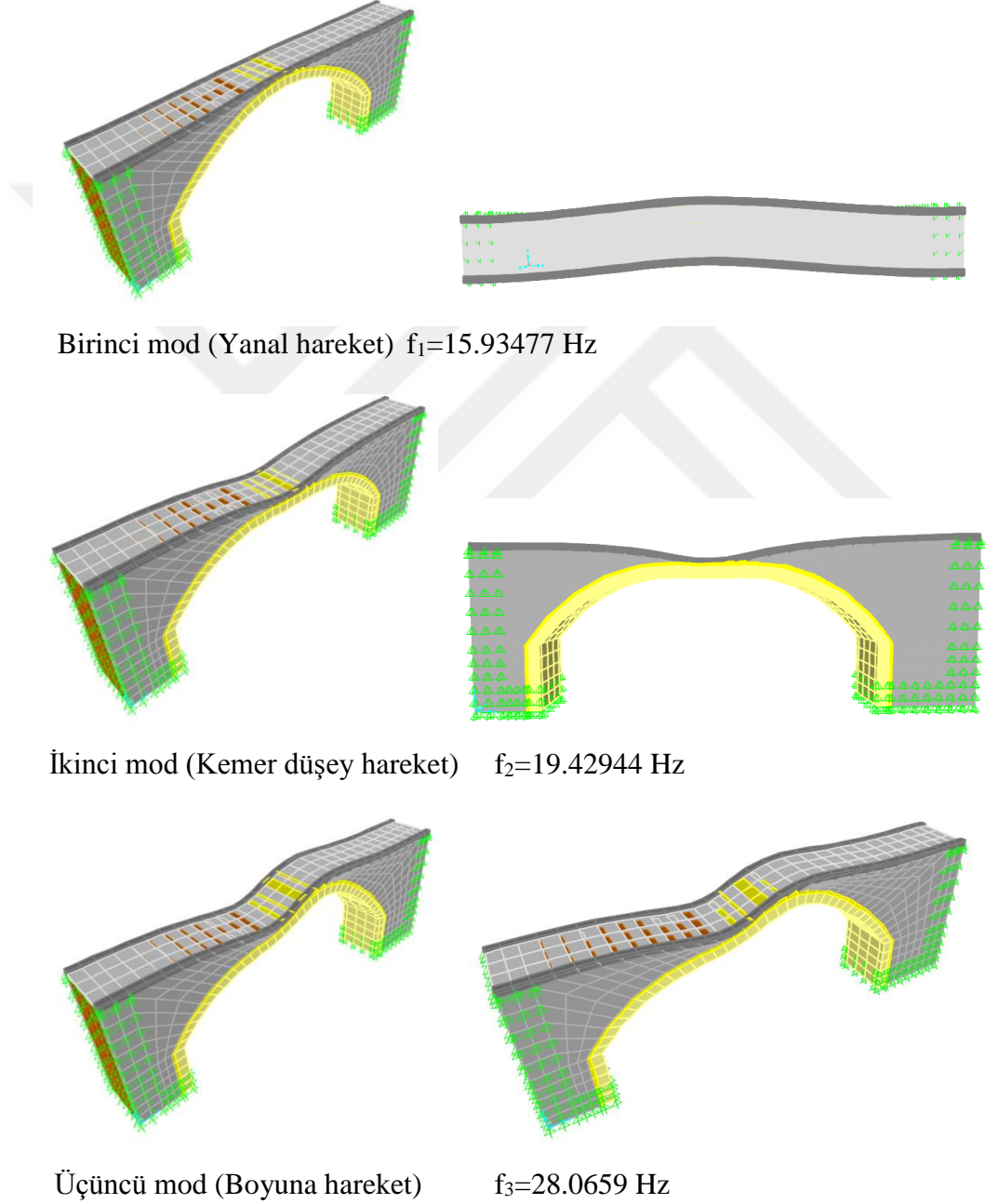


Şekil 2.112. Tarihi Çamlıtepe Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli



### Modal Analiz Gerçekleştirilmesi:

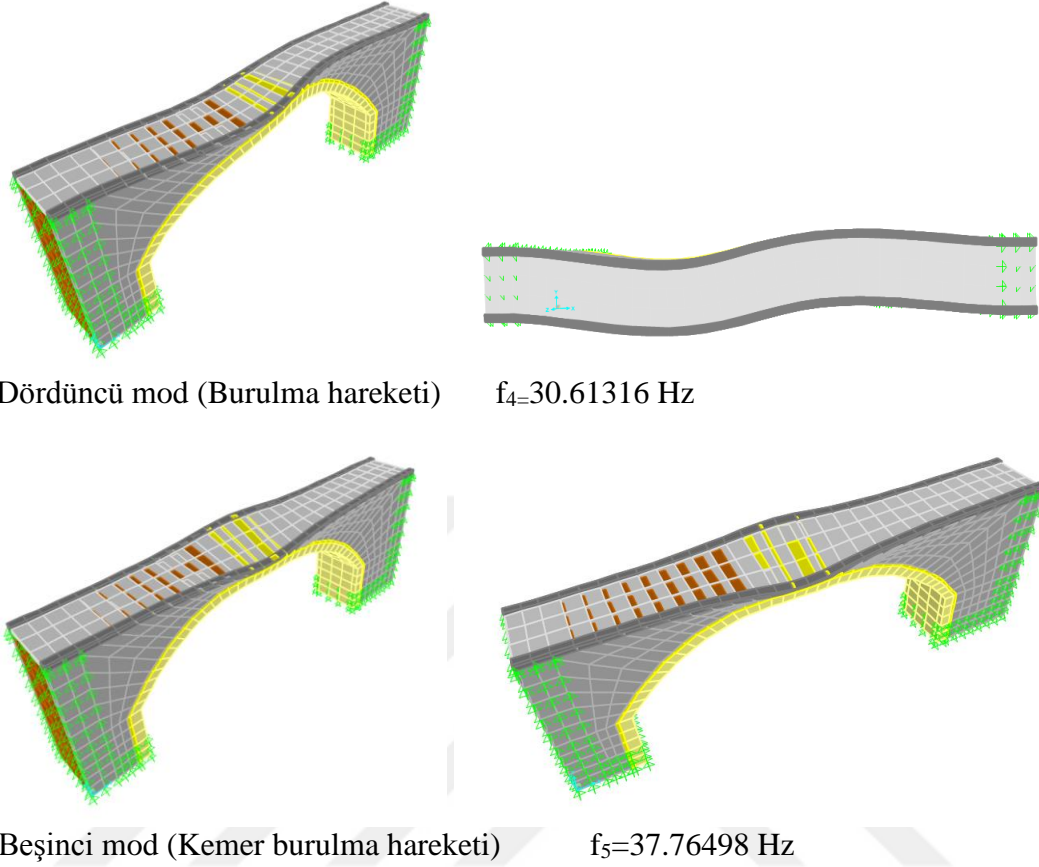
Tarihi Çamlıtepe Köprüsü'nün analitik modeli üzerinde öncelikle modal analizi gerçekleştirilmiştir. Modal analizden elde edilen ilk beş mod şekli ve frekansları Şekil 2.113'te verilmektedir.



Şekil 2.113. Tarihi Çamlıtepe Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli



Şekil 2.113'ün devamı

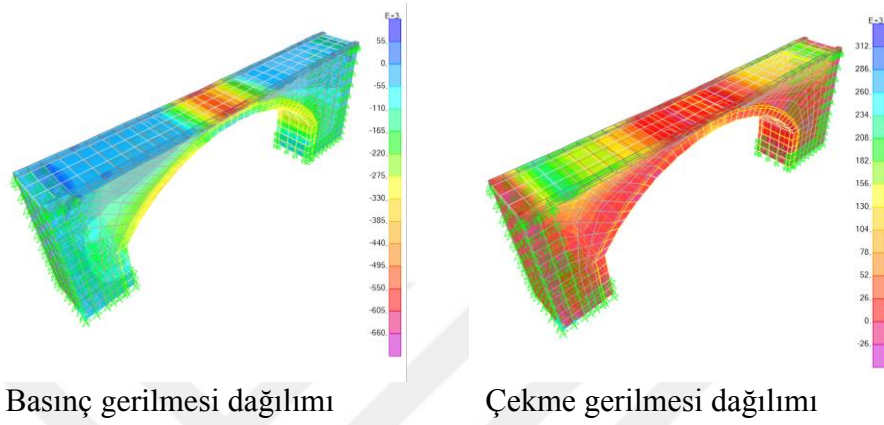


#### Statik ve Dinamik Analizlerin Gerçekleştirilmesi:

Tarihi Çamlıtepe Köprüsü'nün sabit, hareketli ve deprem yükleri etkisinde analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden köprüde oluşan en büyük çekme ve basınç gerilmeleri elde edilmiştir. Köprü'nün kendi ağırlığı altındaki analizinden, en büyük basınç gerilmesi  $0.336 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.168 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Köprü'nün hareketli yük altındaki analizinden en büyük basınç gerilmesi  $0.117 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.035 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Depremin enine, boyuna ve düşey yönlerde etkimesi durumları için sırasıyla çekme ve basınç dağılımları incelenmiş ve en büyük çekme-basınç gerilmelerinin depremin enine yönde etkimesi durumunda olduğu belirlenmiştir. En büyük basınç gerilmesi  $0.44 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.48 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

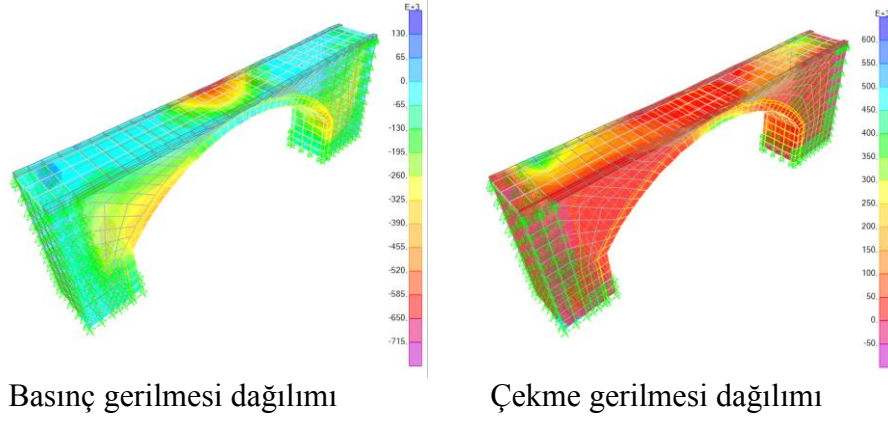
Tarihi Çamlıtepe Köprüsü'nün kendi ağırlığı ve hareketli yük etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan en büyük çekme ve en büyük basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.114'te verilmektedir.

Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst bölgelerinde daha fazla, çekme gerilmelerinin ise döşeme yan kısımlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük çekme gerilmesi  $0.66 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük basınç gerilmesi  $0.312 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



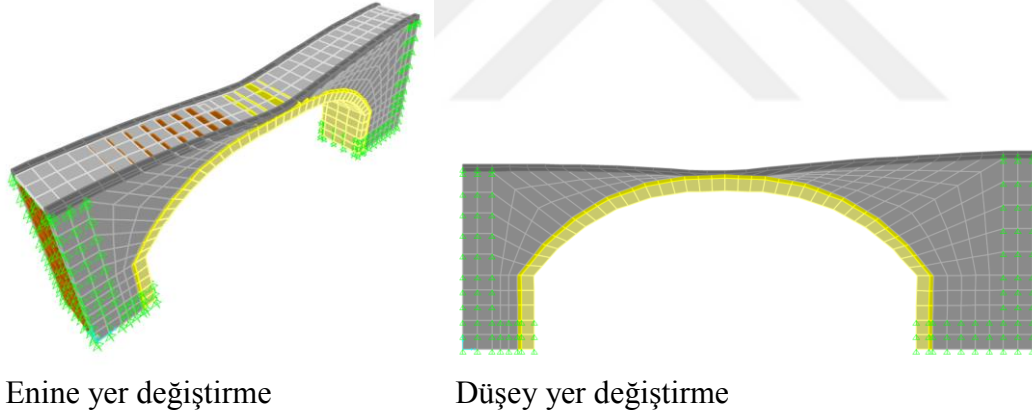
Şekil 2.114. Tarihi Çamlıtepe Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Çamlıtepe Köprüsü'nün kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.115'te verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst kısımlarında daha fazla olduğu, çekme gerilmelerinin ise döşeme kısmında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.715 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.6 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



Şekil 2.115. Tarihi Çamlıtepe Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Çamlıtepe Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde enine doğrultuda 1.4mm ve düşey doğrultuda 1.6mm yer değiştirme meydana gelmiştir (Şekil 2.116).



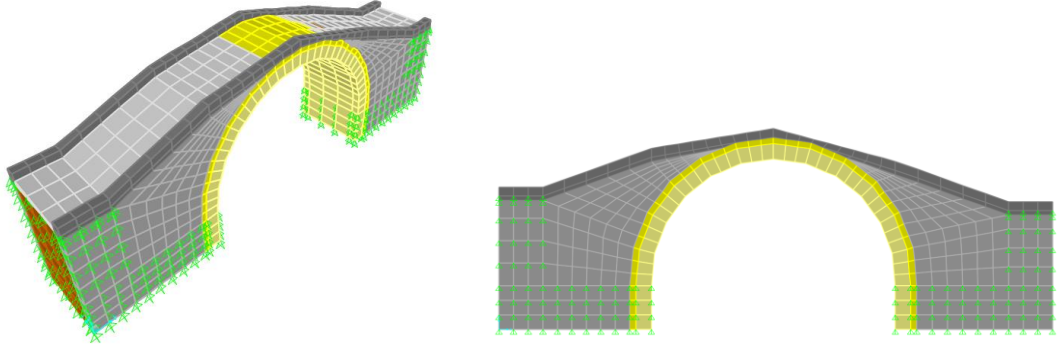
Şekil 2.116. Tarihi Çamlıtepe Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler

#### 2.2.24. Tarihi Erenköy Köprüsü

Tarihi Erenköy Köprüsü, Trabzon/Cumapazarı'nda bulunmaktadır. Köprü tek gözlü olup kemer açıklığı 5.54m, kemer yüksekliği 3.9m, köprü genişliği 2.16m'dir.

### Analitik Modelin Oluşturulması:

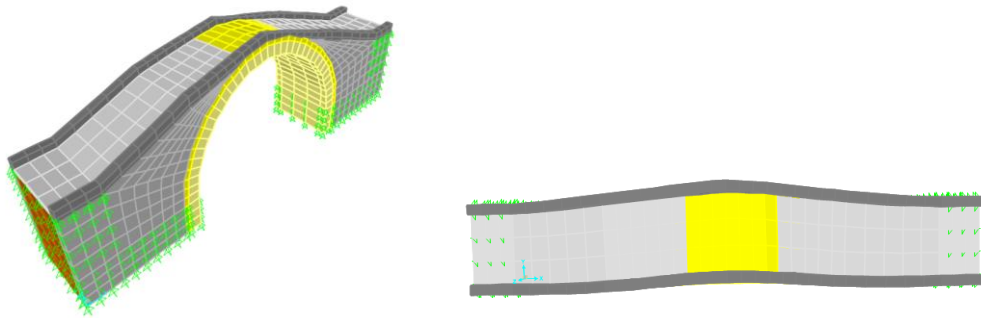
Tarihi Erenköy Köprüsü'nün temin edilen rölöve projesi üzerinden SAP2000 programında 3 boyutlu analitik modeli oluşturulmuştur. Köprü'nün analitik modeli Şekil 2.117'de verilmiştir.



Şekil 2.117. Tarihi Erenköy Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli

### Modal Analiz Gerçekleştirilmesi:

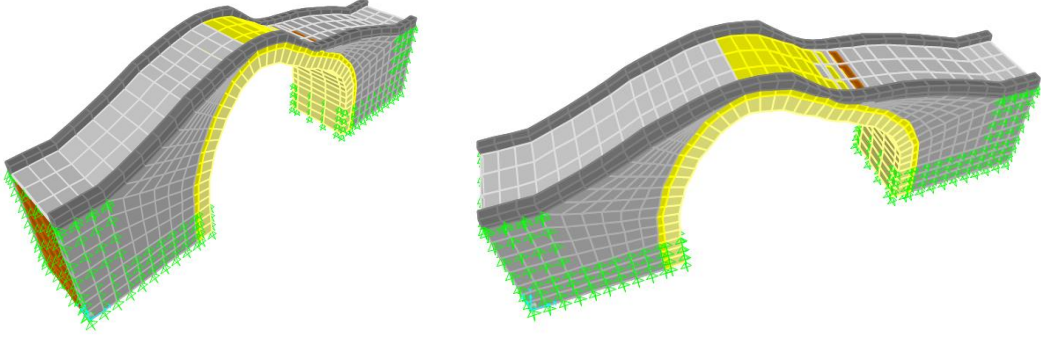
Tarihi Erenköy Köprüsü'nün analitik modeli üzerinde öncelikle modal analizi gerçekleştirilmiştir. Modal analizden elde edilen ilk beş mod şekli ve frekansları Şekil 2.118'de verilmektedir.



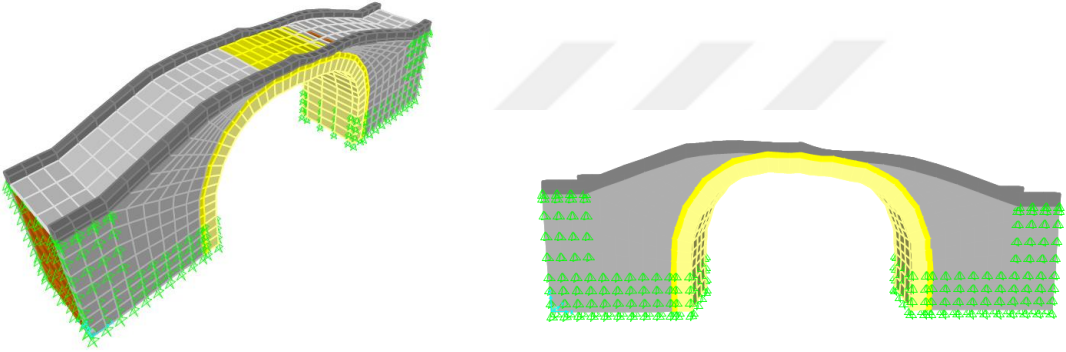
Birinci mod (Yanal hareket)  $f_1=30.31503$  Hz

Şekil 2.118. Tarihi Erenköy Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli

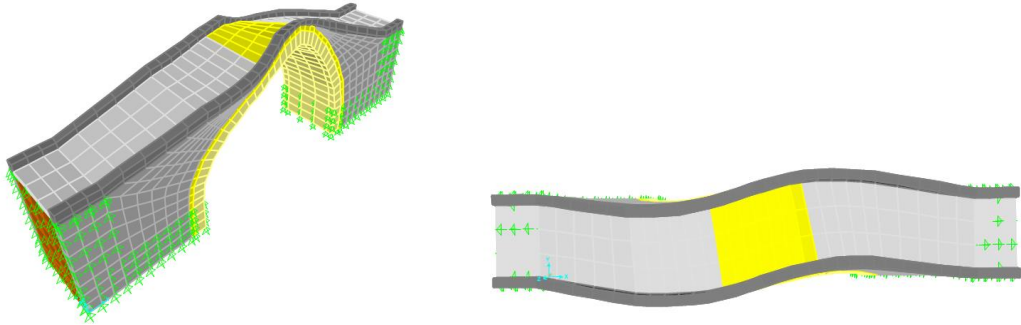
Şekil 2.118'in devamı



İkinci mod (Boyuna hareket)  $f_2=49.72049$  Hz

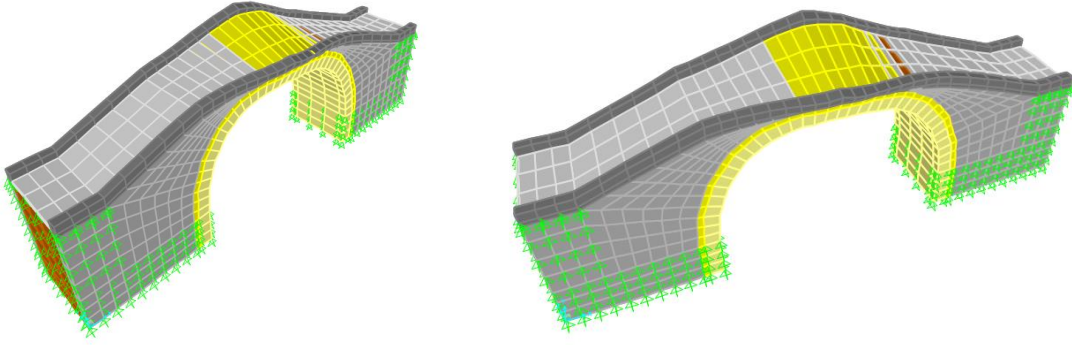


Üçüncü mod (Kemer düşey hareket)  $f_3=51.54524$  Hz



Dördüncü mod (Burulma hareketi)  $f_4=56.26112$  Hz

Şekil 2.118'in devamı

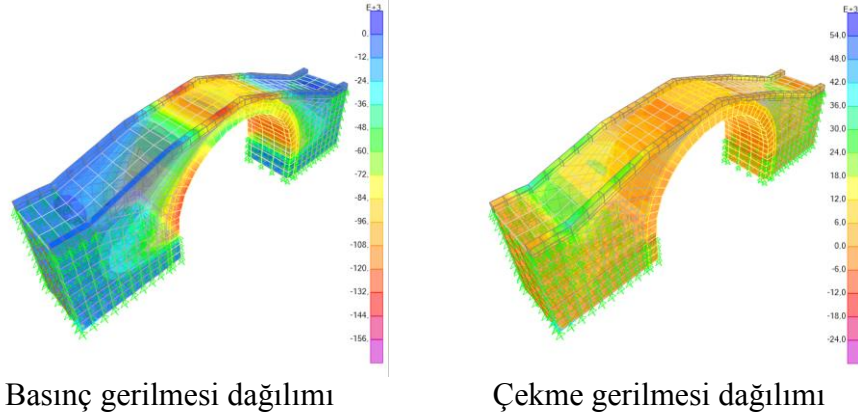
Beşinci mod (Kemer burulma hareketi)  $f_5=66.74144$  Hz

#### Statik ve Dinamik Analizlerin Gerçekleştirilmesi:

Tarihi Erenköy Köprüsü'nün sabit, hareketli ve deprem yükleri etkisinde analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden köprüde oluşan en büyük çekme ve basınç gerilmeleri elde edilmiştir. Köprü'nün kendi ağırlığı altındaki analizinden, en büyük basınç gerilmesi  $0.084 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.028 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Köprü'nün hareketli yük altındaki analizinden en büyük basınç gerilmesi  $0.0234 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.0064 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Depremin enine, boyuna ve düşey yönlerde etkimesi durumları için sırasıyla çekme ve basınç dağılımları incelenmiş ve en büyük çekme-basınç gerilmelerinin depremin enine yönde etkimesi durumunda olduğu belirlenmiştir. En büyük basınç gerilmesi  $0.24 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.24 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

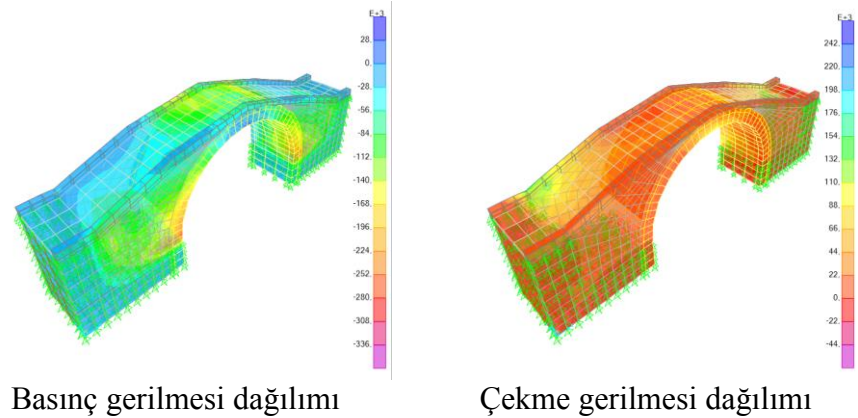
Tarihi Erenköy Köprüsü'nün kendi ağırlığı ve hareketli yük etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan en büyük çekme ve en büyük basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.119'da verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst ve yan kısımlarında daha fazla, çekme gerilmelerinin ise döşeme yan kısımlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.156 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.054 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.





Şekil 2.119. Tarihi Erenköy Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları

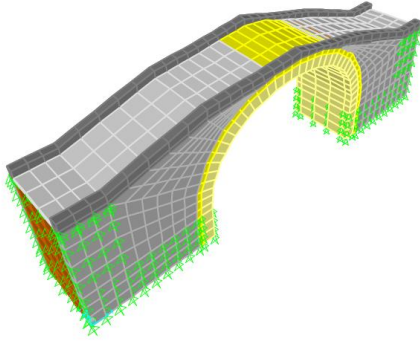
Tarihi Erenköy Köprüsü'nün kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.120'de verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer ayaklarında daha fazla olduğu, çekme gerilmelerinin ise döşeme kısmında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.336 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.242 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



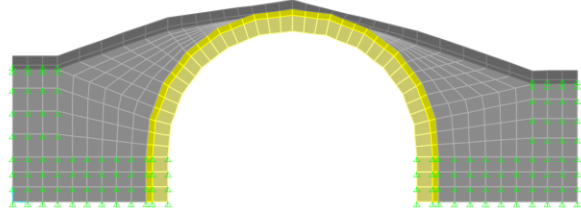
Şekil 2.120. Tarihi Erenköy Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Erenköy Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde enine doğrultuda 0.3mm ve düşey doğrultuda 0.3mm yer değiştirme meydana gelmiştir (Şekil 2.121).





Enine yer değiştirme



Düşey yer değiştirme

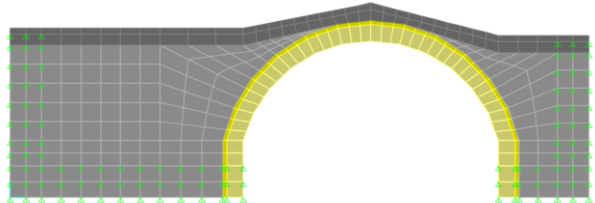
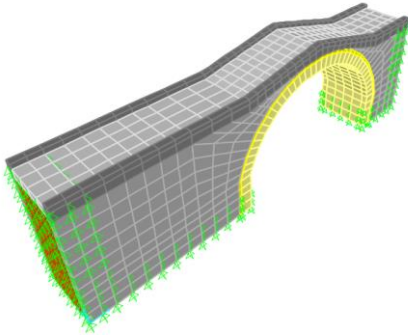
şekil 2.121. Tarihi Erenköy Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler

### 2.2.25. Tarihi Halilli Köprüsü

Tarihi Halilli Köprüsü, Trabzon/Araklı'da bulunmaktadır. Köprü tek gözlü olup kemer açıklığı 8.18m, kemer y kseklıği 4.99m, köprü genişliği 2.77m'dir.

Analitik Modelin Oluşturulması:

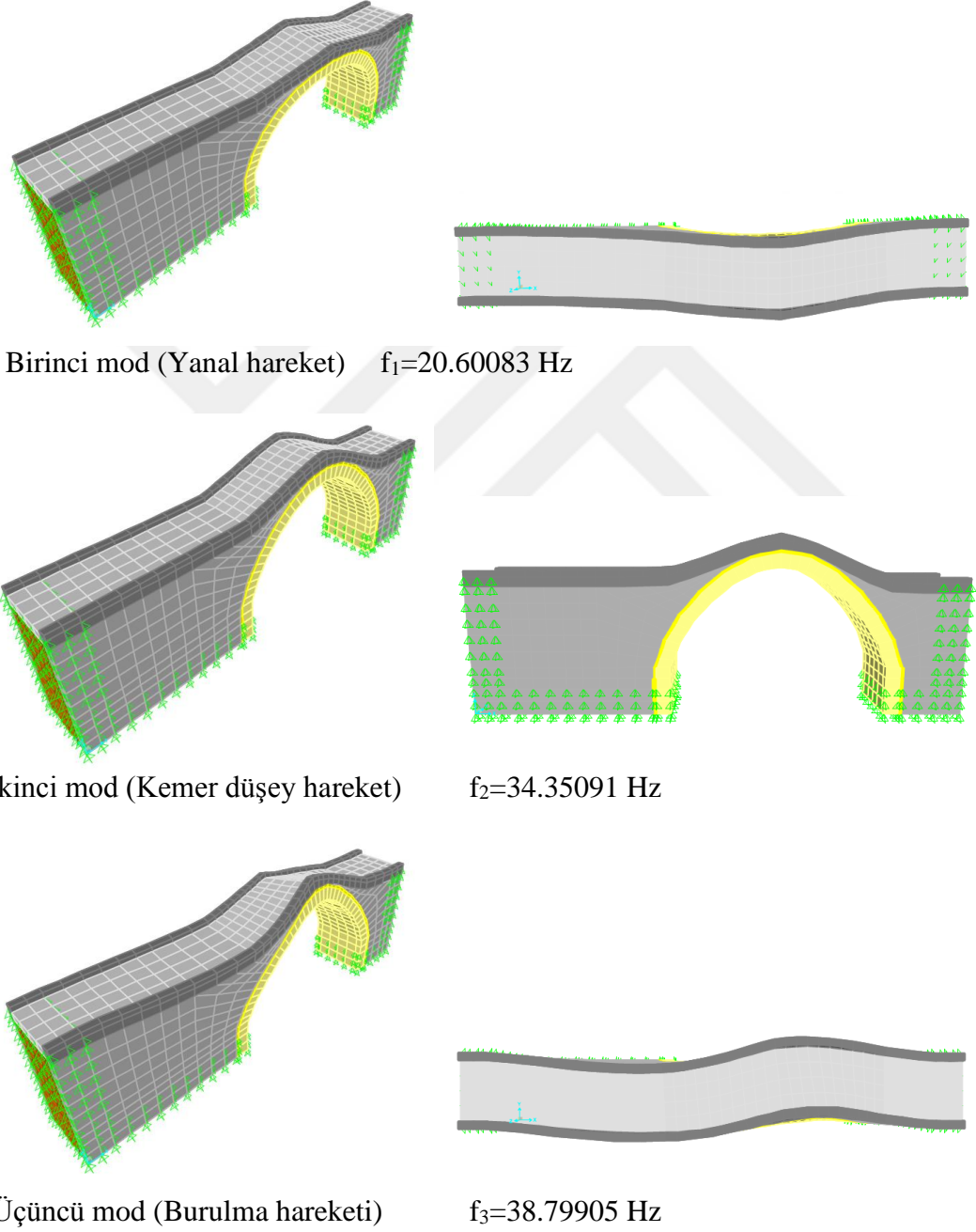
Tarihi Halilli Köprüsü'nün temin edilen rölöve projesi üzerinden SAP2000 programında 3 boyutlu analitik modeli oluşturulmuştur. Köprünün analitik modeli şekil 2.122'de verilmiştir.



şekil 2.122. Tarihi Halilli Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan   boyutlu analitik modeli

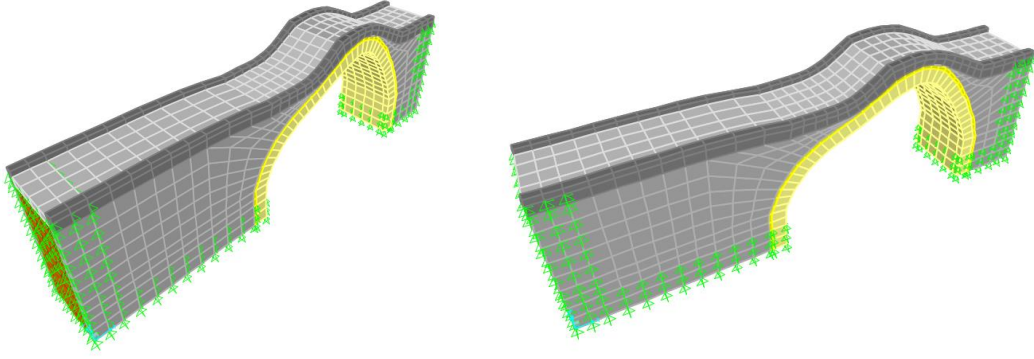
### Modal Analiz Gerçekleştirilmesi:

Tarihi Halilli Köprüsü'nün analitik modeli üzerinde öncelikle modal analizi gerçekleştirilmiştir. Modal analizden elde edilen ilk beş mod şekli ve frekansları Şekil 2.123'te verilmektedir.

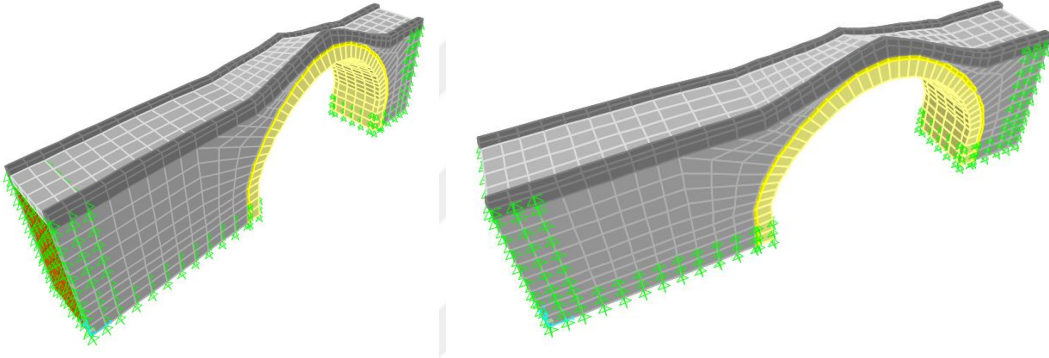


Şekil 2.123. Tarihi Halilli Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli

Şekil 2.123'ün devamı



Dördüncü mod (Boyuna hareket)

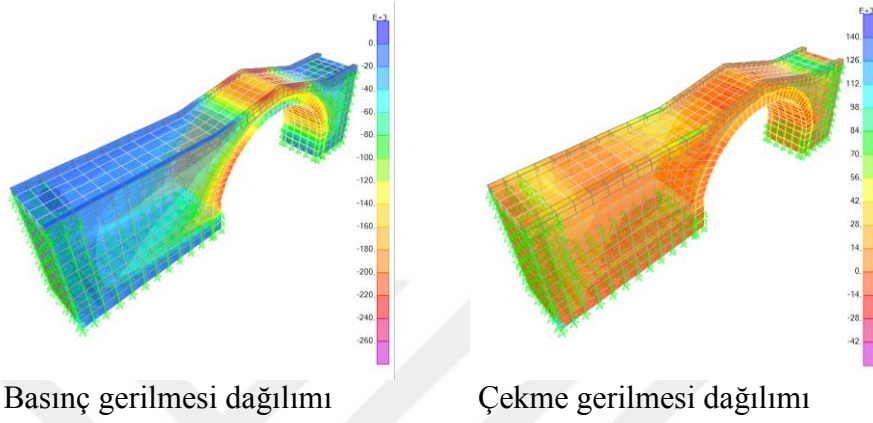
 $f_4=40.91697$  HzBeşinci mod (Kemer burulma hareketi)  $f_5=49.34421$  Hz

#### Statik ve Dinamik Analizlerin Gerçekleştirilmesi:

Tarihi Halilli Köprüsü'nün sabit, hareketli ve deprem yükleri etkisinde analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden köprüde oluşan en büyük çekme ve basınç gerilmeleri elde edilmiştir. Köprü'nün kendi ağırlığı altındaki analizinden, en büyük basınç gerilmesi  $0.144 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.08 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Köprü'nün hareketli yük altındaki analizinden en büyük basınç gerilmesi  $0.052 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.0187 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Deprem'in enine, boyuna ve düşey yönlerde etkimesi durumları için sırasıyla çekme ve basınç dağılımları incelenmiş ve en büyük çekme-basınç gerilmelerinin depremin enine yönde etkimesi durumunda olduğu belirlenmiştir. En büyük basınç gerilmesi  $0.48 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.48 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

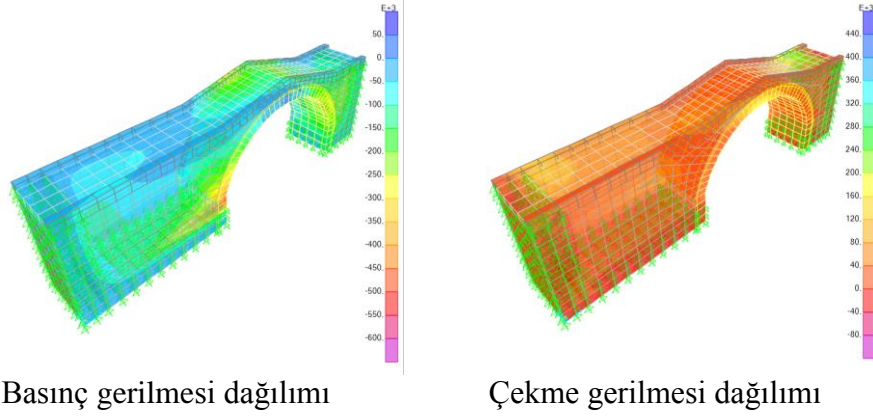
Tarihi Halilli Köprüsü'nün kendi ağırlığı ve hareketli yük etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan en büyük çekme ve en büyük basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.124'te verilmektedir.

Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst ve yan kısımlarında daha fazla, çekme gerilmelerinin ise döşeme kısmında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.26 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.14 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



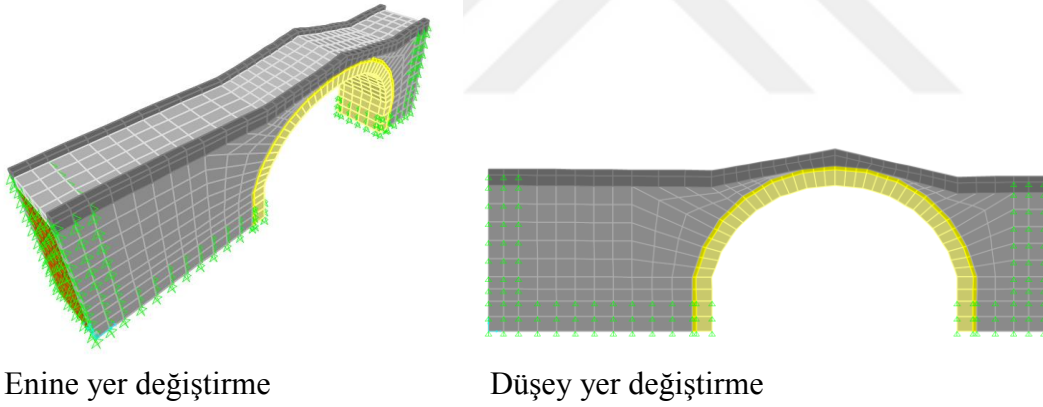
Şekil 2.124. Tarihi Halilli Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Halilli Köprüsü'nün kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.125'te verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer ayaklarında daha fazla olduğu, çekme gerilmelerinin ise döşeme kısmında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.6 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.44 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



Şekil 2.125. Tarihi Halilli Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Halilli Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde enine doğrultuda 0.7mm ve düşey doğrultuda 0.7mm yer değiştirme meydana gelmiştir (Şekil 2.126).



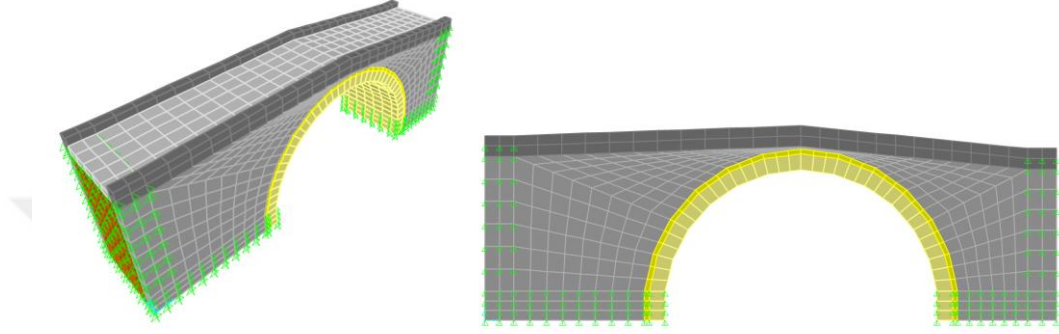
Şekil 2.126. Tarihi Halilli Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler

### 2.2.26. Tarihi Hayrat Köprüsü

Tarihi Hayrat Köprüsü, Trabzon/Hayrat'ta bulunmaktadır. Köprü tek gözlü olup kemer açıklığı 9.46m, kemer yüksekliği 5.22m, köprü genişliği 4.06m'dir.

### Analitik Modelin Oluşturulması:

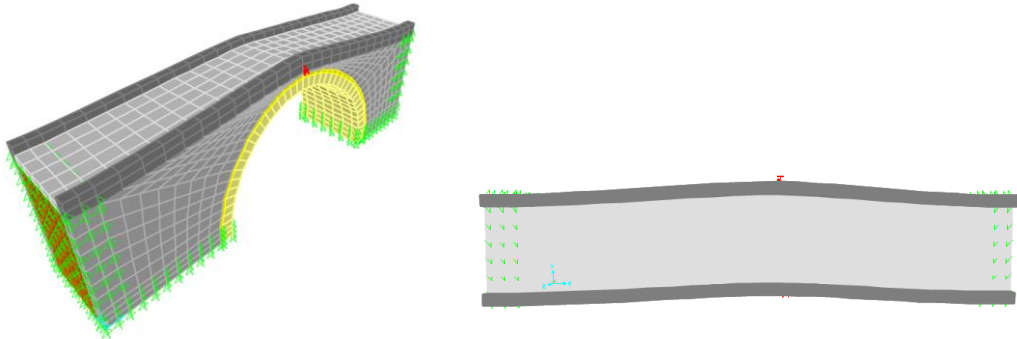
Tarihi Hayrat Köprüsü'nün temin edilen rölöve projesi üzerinden SAP2000 programında 3 boyutlu analitik modeli oluşturulmuştur. Köprü'nün analitik modeli Şekil 2.127'de verilmiştir.



Şekil 2.127. Tarihi Hayrat Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli

### Modal Analiz Gerçekleştirilmesi:

Tarihi Hayrat Köprüsü'nün analitik modeli üzerinde öncelikle modal analizi gerçekleştirilmiştir. Modal analizden elde edilen ilk beş mod şekli ve frekansları Şekil 2.128'de verilmektedir.

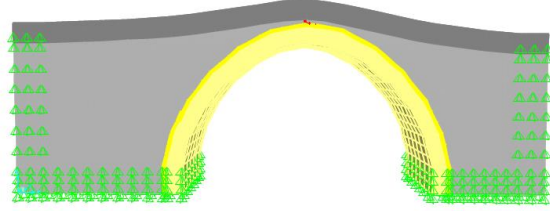
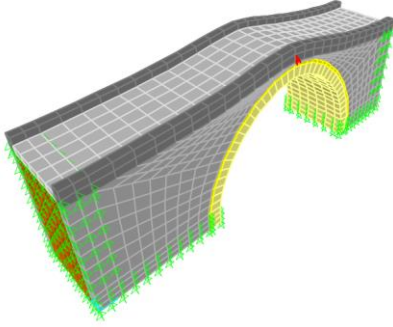


Birinci mod (Yanal hareket)  $f_1=20.97396$  Hz

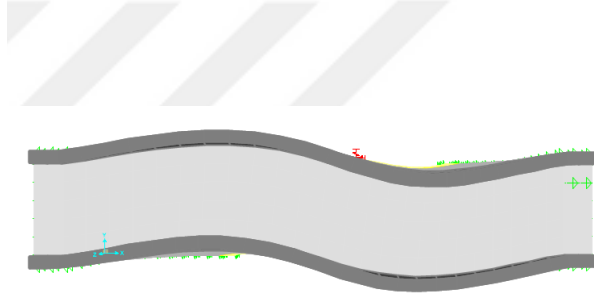
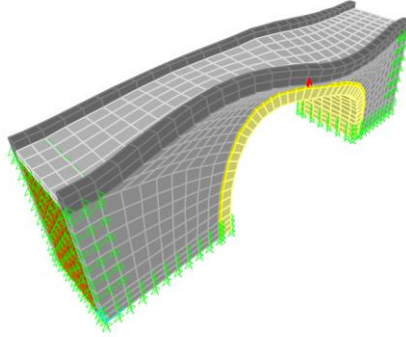
Şekil 2.128. Tarihi Hayrat Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli



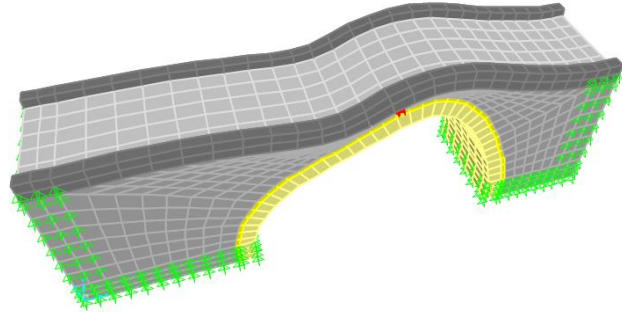
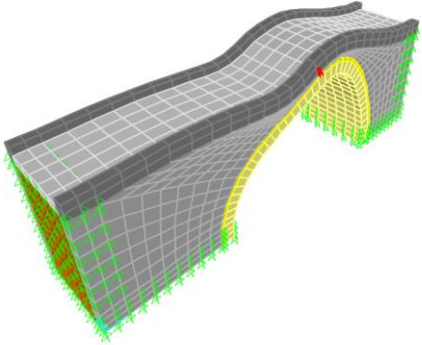
Şekil 2.128'in devamı



İkinci mod (Kemer düşey hareket)  $f_2=30.60075$  Hz



Üçüncü mod (Burulma hareketi)  $f_3=38.20747$  Hz

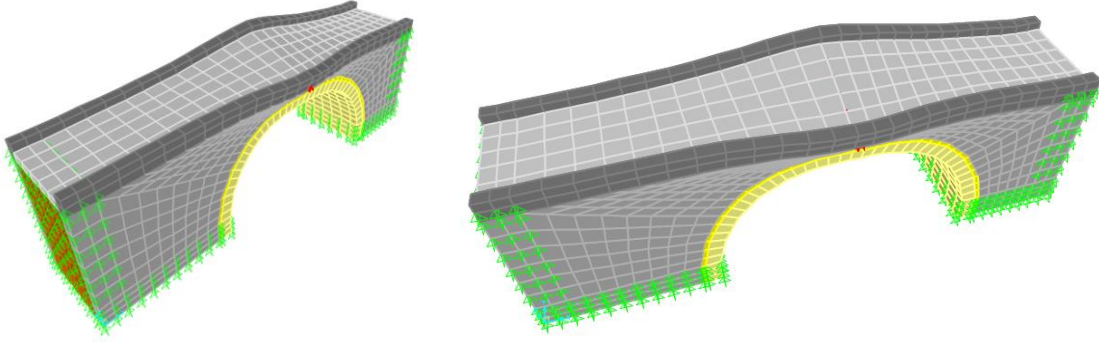


Dördüncü mod (Boyuna hareket)

$f_4=39.43011$  Hz



Şekil 2.128'in devamı

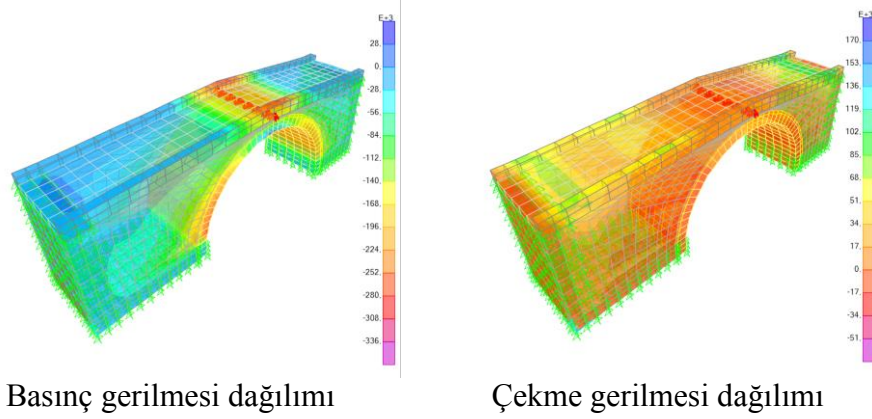


Beşinci mod (Kemer burulma hareketi)  $f_5=43.64338$  Hz

#### Statik ve Dinamik Analizlerin Gerçekleştirilmesi:

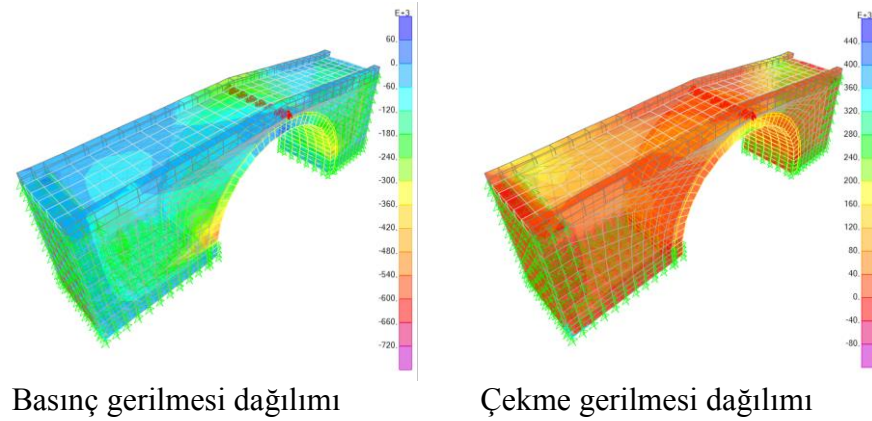
Tarihi Hayrat Köprüsü'nün sabit, hareketli ve deprem yükleri etkisinde analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden köprüde oluşan en büyük çekme ve basınç gerilmeleri elde edilmiştir. Köprü'nün kendi ağırlığı altındaki analizinden, en büyük basınç gerilmesi  $0.204 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.1 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Köprü'nün hareketli yük altındaki analizinden en büyük basınç gerilmesi  $0.0385 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.0198 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Deprem'in enine, boyuna ve düşey yönlerde etkimesi durumları için sırasıyla çekme ve basınç dağılımları incelenmiş ve en büyük çekme-basınç gerilmelerinin depremin enine yönde etkimesi durumunda olduğu belirlenmiştir. En büyük basınç gerilmesi  $0.495 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.54 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

Tarihi Hayrat Köprüsü'nün kendi ağırlığı ve hareketli yük etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan en büyük çekme ve en büyük basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.129'da verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst ve yan kısımlarında daha fazla, çekme gerilmelerinin ise döşeme kısmında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.336 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.17 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



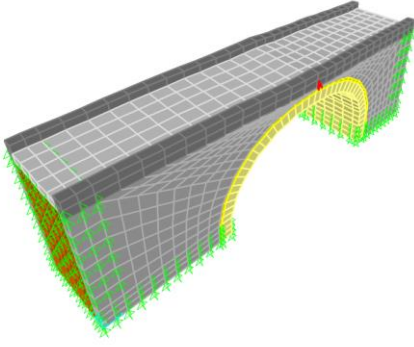
Şekil 2.129. Tarihi Hayrat Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Hayrat Köprüsü'nün kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.130'da verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer ayaklarında daha fazla olduğu, çekme gerilmelerinin ise döşeme yan kısımlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.72 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.44 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

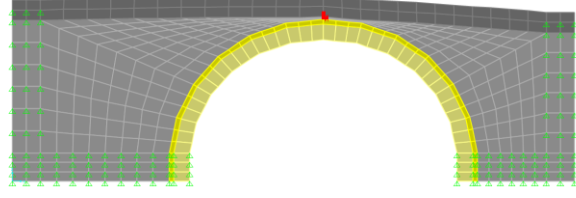


Şekil 2.130. Tarihi Hayrat Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Hayrat Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde enine doğrultuda 0.7mm ve düşey doğrultuda 0.7mm yer değiştirme meydana gelmiştir (Şekil 2.131).



Enine yer değiştirme



Düşey yer değiştirme

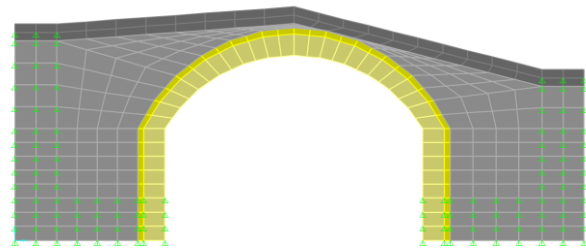
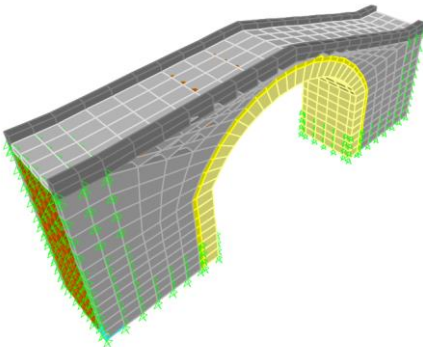
şekil 2.131. Tarihi Hayrat Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler

### 2.2.27. Tarihi Taşgeçit Köprüsü

Tarihi Taşgeçit Köprüsü, Trabzon/Araklı'da bulunmaktadır. Köprü tek gözlü olup kemer açıklığı 6.12m, kemer yüksekliği 4.37m, köprü genişliği 2.3m'dir.

Analitik Modelin Oluşturulması:

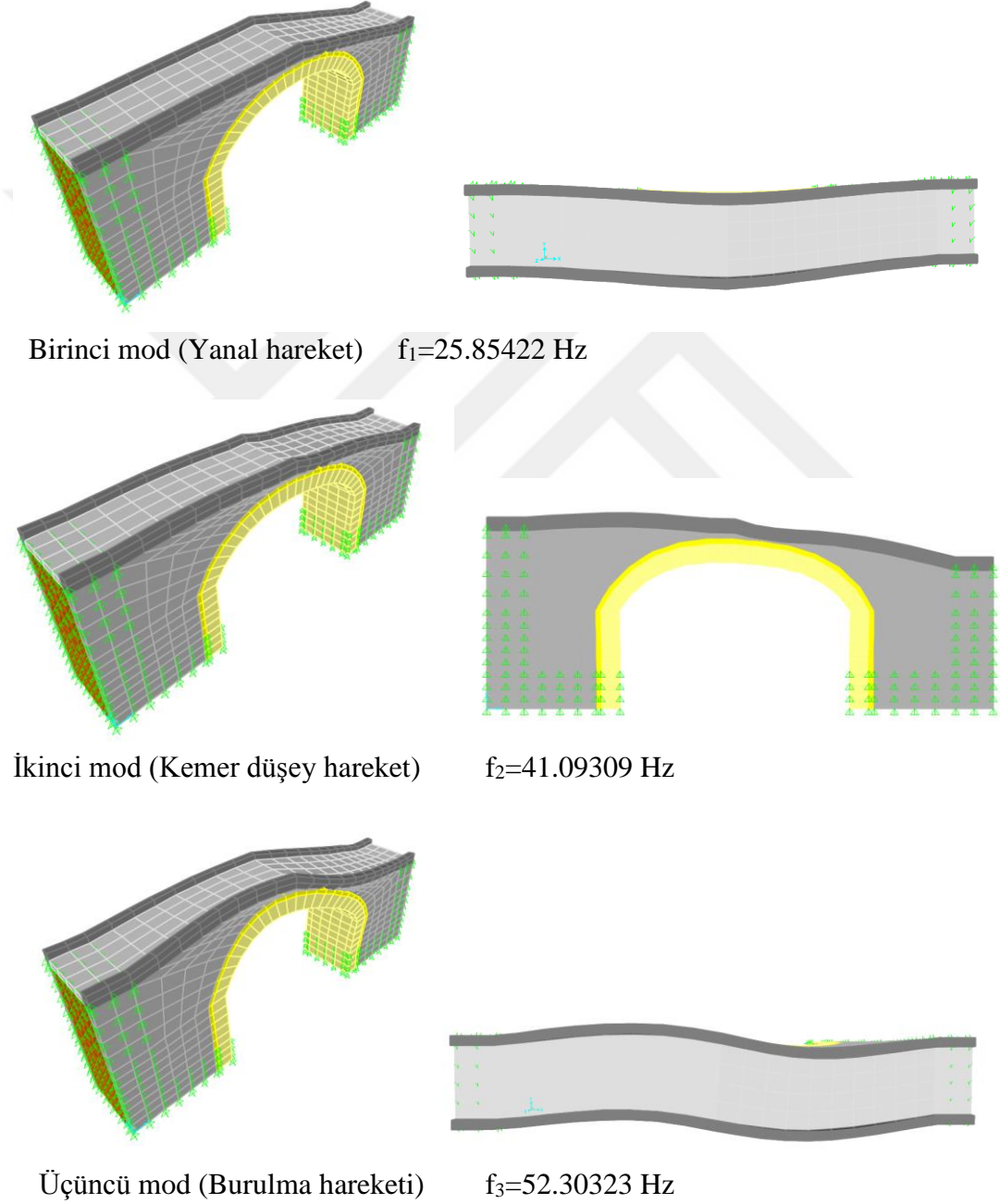
Tarihi Taşgeçit Köprüsü'nün temin edilen rölöve projesi üzerinden SAP2000 programında 3 boyutlu analitik modeli oluşturulmuştur. Köprünün analitik modeli şekil 2.132'de verilmiştir.



şekil 2.132. Tarihi Taşgeçit Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli

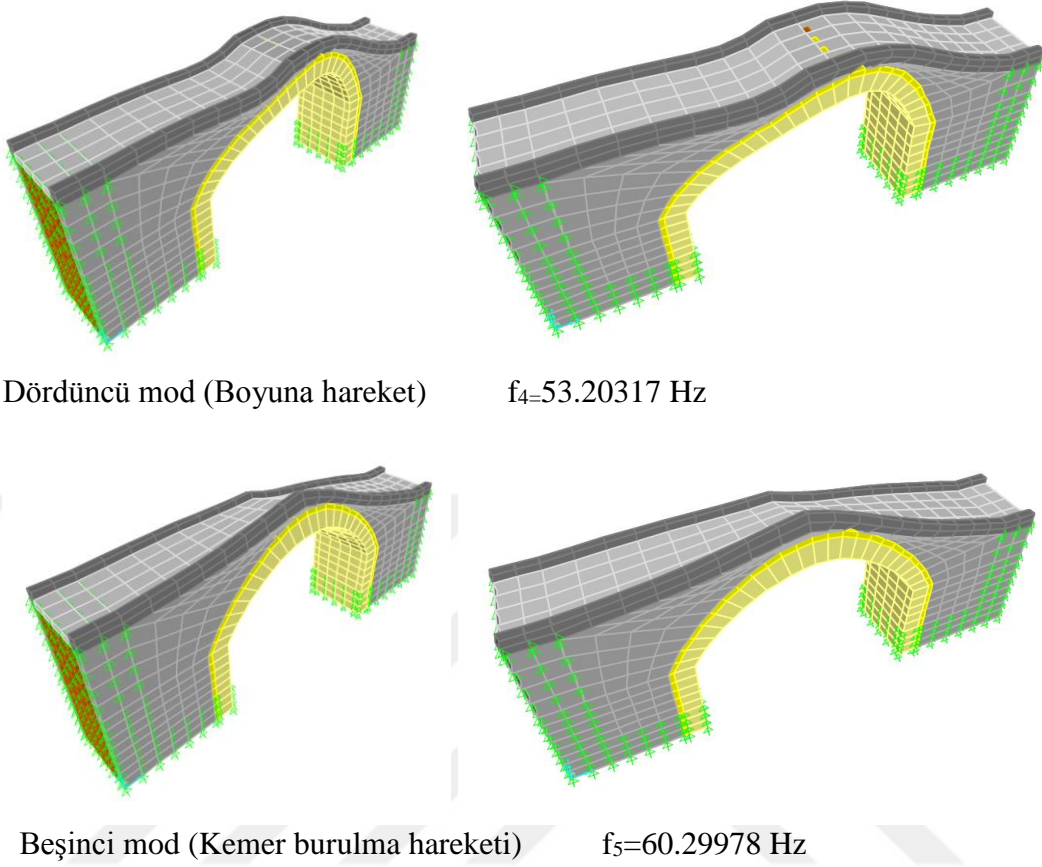
### Modal Analiz Gerçekleştirilmesi:

Tarihi Taşgeçit Köprüsü'nün analitik modeli üzerinde öncelikle modal analizi gerçekleştirilmiştir. Modal analizden elde edilen ilk beş mod şekli ve frekansları Şekil 2.133'te verilmektedir.



Şekil 2.133. Tarihi Taşgeçit Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli

Şekil 2.133'ün devamı



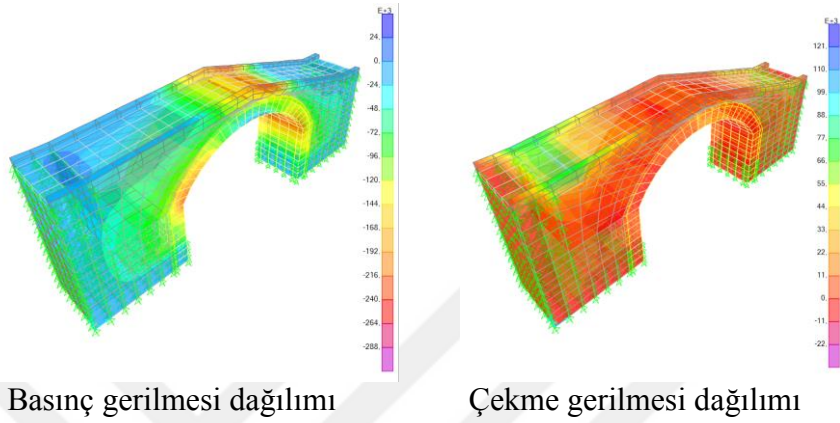
#### Statik ve Dinamik Analizlerin Gerçekleştirilmesi:

Tarihi Taşgeçit Köprüsü'nün sabit, hareketli ve deprem yükleri etkisinde analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden köprüde oluşan en büyük çekme ve basınç gerilmeleri elde edilmiştir. Köprü'nün kendi ağırlığı altındaki analizinden, en büyük basınç gerilmesi  $0.144 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.066 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Köprü'nün hareketli yük altındaki analizinden en büyük basınç gerilmesi  $0.052 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.014 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Depremin enine, boyuna ve düşey yönlerde etkimesi durumları için sırasıyla çekme ve basınç dağılımları incelenmiş ve en büyük çekme-basınç gerilmelerinin depremin enine yönde etkimesi durumunda olduğu belirlenmiştir. En büyük basınç gerilmesi  $0.288 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.288 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

Tarihi Taşgeçit Köprüsü'nün kendi ağırlığı ve hareketli yük etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan en büyük çekme ve en büyük basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.134'te verilmektedir.

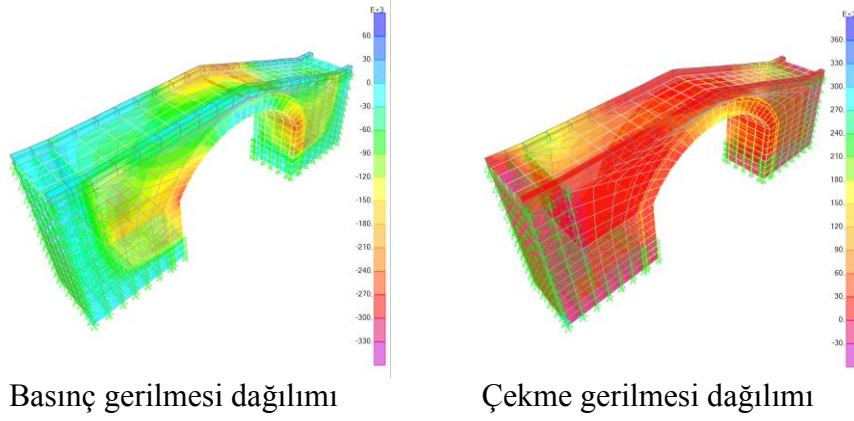


Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst ve yan kısımlarında daha fazla, çekme gerilmelerinin ise döşeme yan kısımlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.288 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.121 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



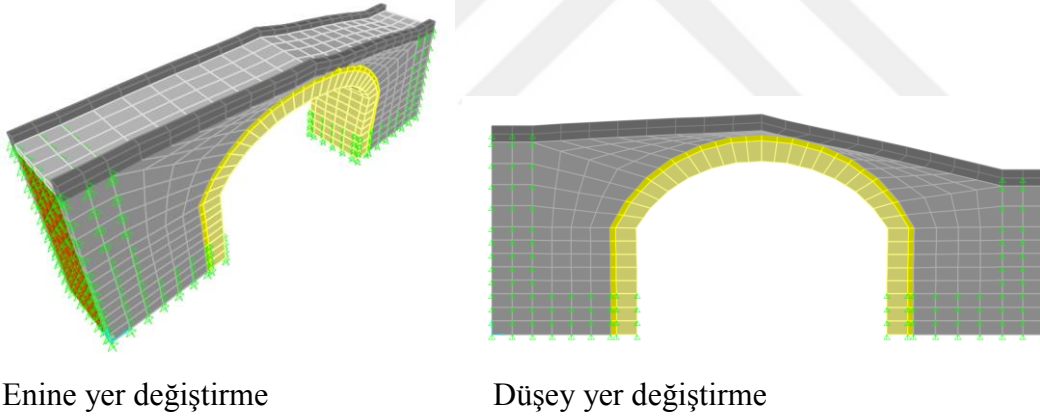
Şekil 2.134. Tarihi Taşgeçit Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Taşgeçit Köprüsü'nün kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.135'te verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst ve alt kısımlarında daha fazla olduğu, çekme gerilmelerinin ise döşeme yan kısımlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.33 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.36 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



Şekil 2.135. Tarihi Taşgeçit Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Taşgeçit Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde enine doğrultuda 0.5mm ve düşey doğrultuda 0.4mm yer değiştirme meydana gelmiştir (Şekil 2.136).



Şekil 2.136. Tarihi Taşgeçit Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler

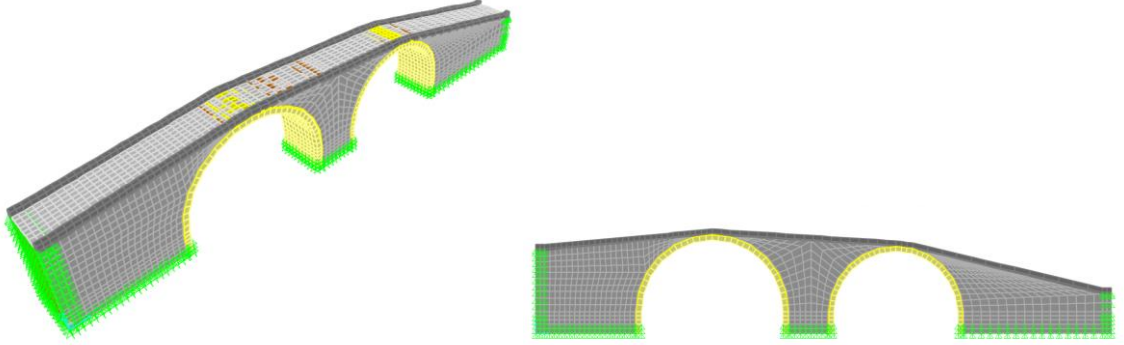
### 2.2.28. Tohumoğlu Köprüsü

Tohumoğlu Köprüsü, Gümüşhane'de bulunmaktadır. Köprü iki gözlü olup kemer açıklıkları 18.76-16.78m, kemer yükseklikleri 10.36-9.1m, köprü genişliği 5.21m'dir.



### Analitik Modelin Oluşturulması:

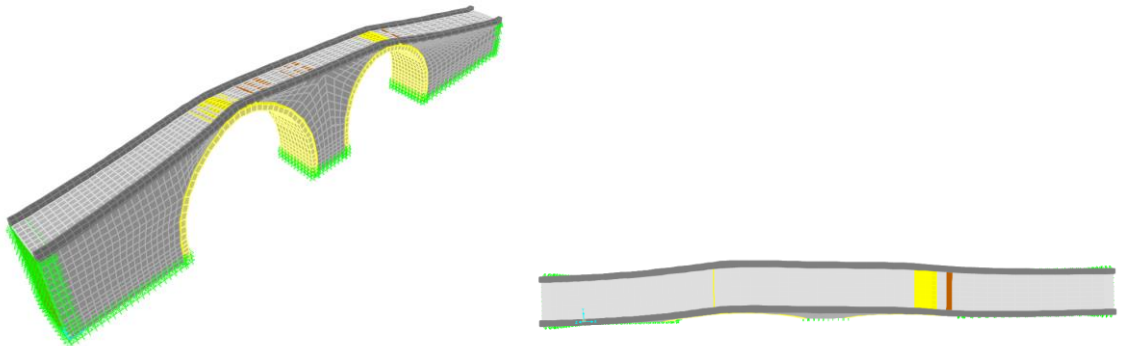
Tohumoğlu Köprüsü'nün temin edilen rölöve projesi üzerinden SAP2000 programında 3 boyutlu analitik modeli oluşturulmuştur. Köprü'nün analitik modeli Şekil 2.137'de verilmiştir.



Şekil 2.137. Tohumoğlu Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli

### Modal Analiz Gerçekleştirilmesi:

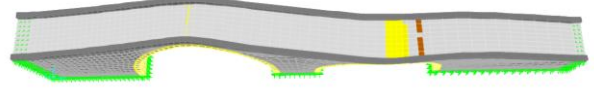
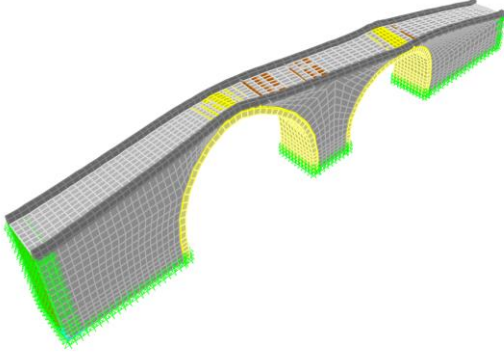
Tohumoğlu Köprüsü'nün analitik modeli üzerinde öncelikle modal analizi gerçekleştirilmiştir. Modal analizden elde edilen ilk beş mod şekli ve frekansları Şekil 2.138'de verilmektedir.



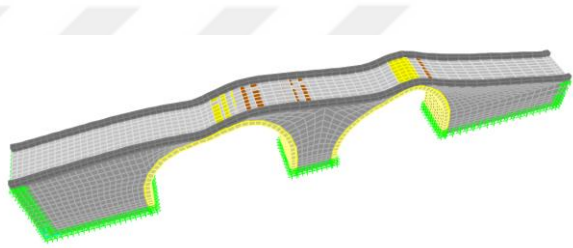
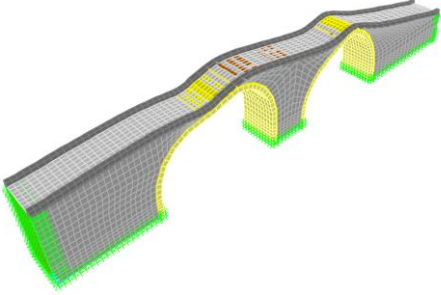
Birinci mod (Yanal hareket)  $f_1=7.98956$  Hz

Şekil 2.138. Tohumoğlu Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli

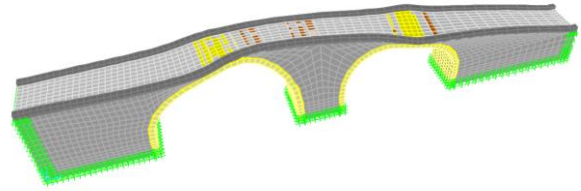
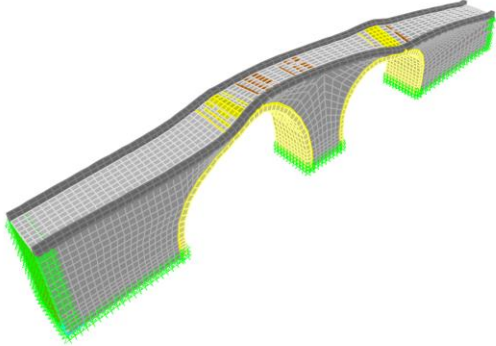
Şekil 2.138'in devamı



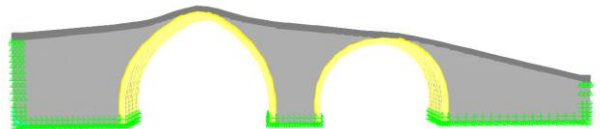
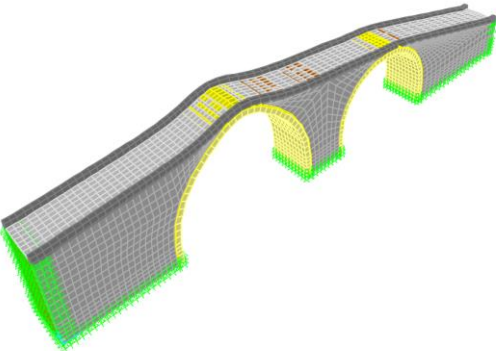
İkinci mod (Burulma hareketi)  $f_2=10.46817$  Hz



Üçüncü mod (Boyuna hareket)  $f_3=12.38661$  Hz



Dördüncü mod (Yanal burulma hareketi)  $f_4=14.95739$  Hz

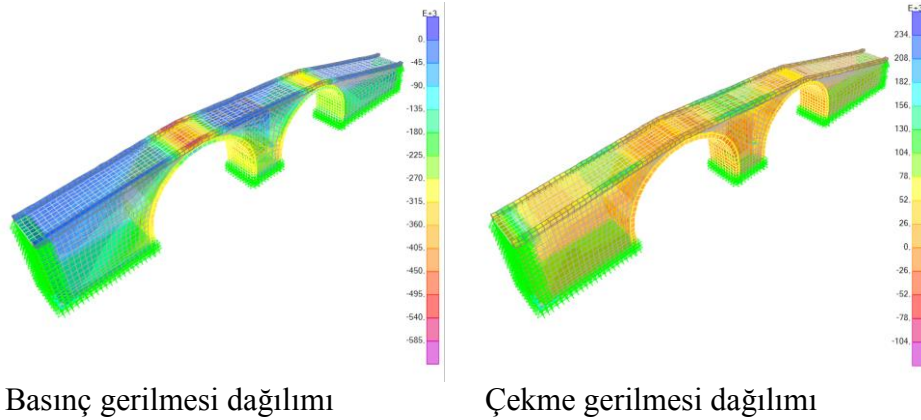


Beşinci mod (Kemer düşey hareket)  $f_5=18.04303$  Hz

### Statik ve Dinamik Analizlerin Gerçekleştirilmesi:

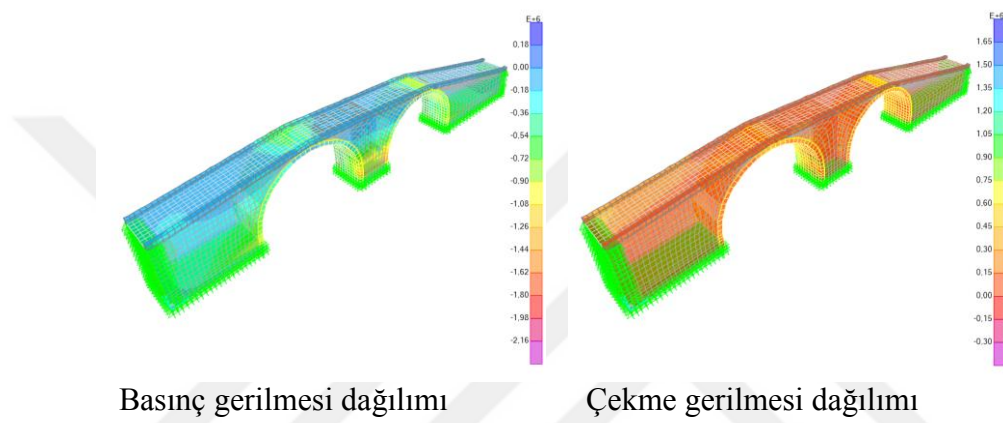
Tohumoğlu Köprüsü'nün sabit, hareketli ve deprem yükleri etkisinde analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden köprüde oluşan en büyük çekme ve basınç gerilmeleri elde edilmiştir. Köprü'nün kendi ağırlığı altındaki analizinden, en büyük basınç gerilmesi  $0.312 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.144 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Köprü'nün hareketli yük altındaki analizinden en büyük basınç gerilmesi  $0.111 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.0405 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Deprem'in enine, boyuna ve düşey yönlerde etkimesi durumları için sırasıyla çekme ve basınç dağılımları incelenmiş ve en büyük çekme-basınç gerilmelerinin depremin enine yönde etkimesi durumunda olduğu belirlenmiştir. En büyük basınç gerilmesi  $1.76 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $1.76 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

Tohumoğlu Köprüsü'nün kendi ağırlığı ve hareketli yük etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan en büyük çekme ve en büyük basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.139'da verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer üst bölgelerinde daha fazla, çekme gerilmelerinin ise duvar üst kısımlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.585 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.234 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



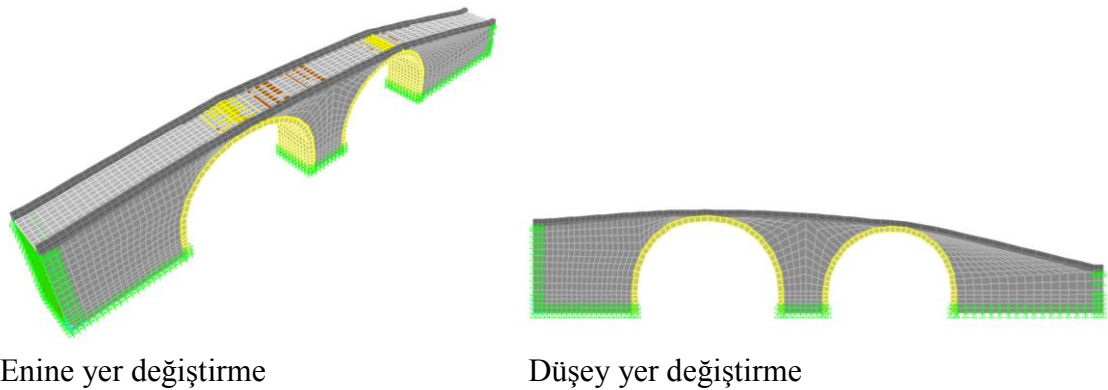
Şekil 2.139. Tohumoğlu Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tohumoğlu Köprüsü'nün kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.140'da verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin orta kemer mesnet bölgesinde daha fazla olduğu, çekme gerilmelerinin ise döşeme kısmında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $2.16 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $1.65 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.



Şekil 2.140. Tohumoğlu Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tohumoğlu Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde enine doğrultuda 5.3mm ve düşey doğrultuda 3.4mm yer değiştirme meydana gelmiştir (Şekil 2.141).



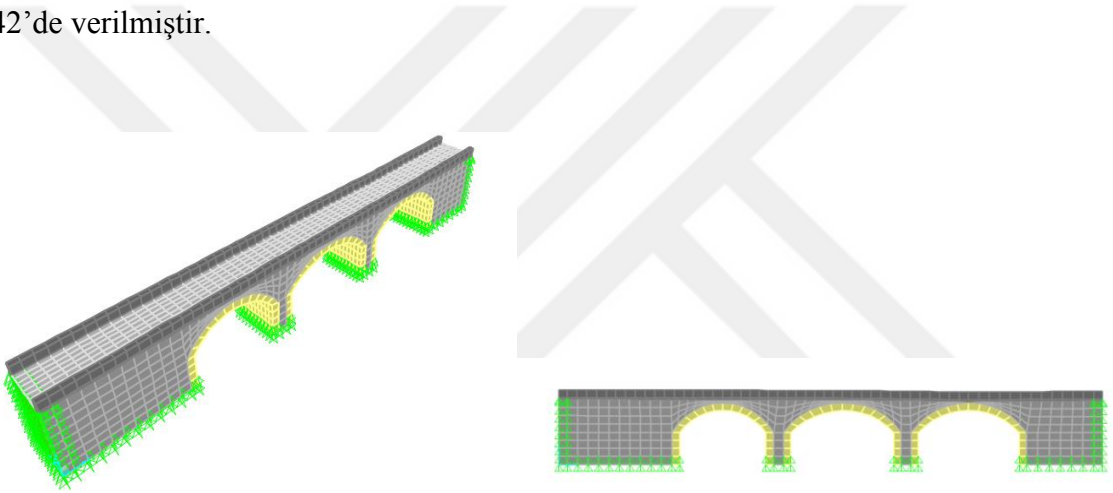
Şekil 2.141. Tohumoğlu Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler

### 2.2.29. Tarihi Torul Köprüsü

Tarihi Torul Köprüsü, Gümüşhane/Torul'da bulunmaktadır. Köprü üç gözlü olup kemer açıklıkları 10.44-12.4-12.12m, kemer yükseklikleri 6.45-6.45-6.49m, köprü genişliği 6m'dir.

#### Analitik Modelin Oluşturulması:

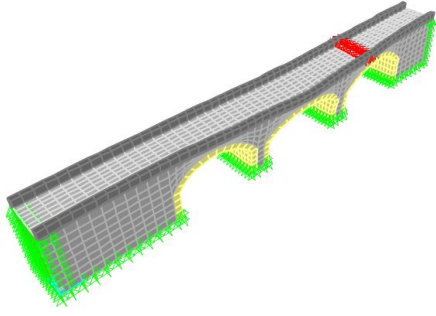
Tarihi Torul Köprüsü'nün temin edilen rölöve projesi üzerinden SAP2000 programında 3 boyutlu analitik modeli oluşturulmuştur. Köprü'nün analitik modeli Şekil 2.142'de verilmiştir.



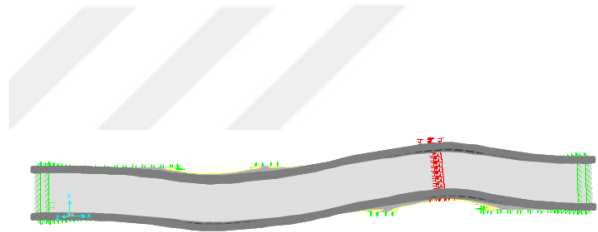
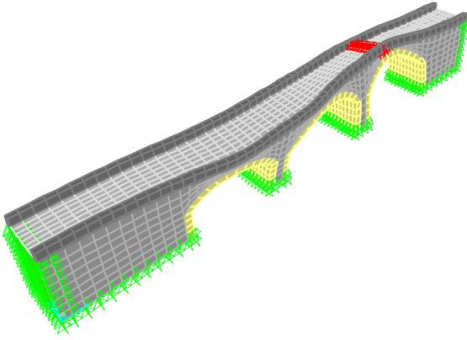
Şekil 2.142. Tarihi Torul Köprüsü'nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli

#### Modal Analiz Gerçekleştirilmesi:

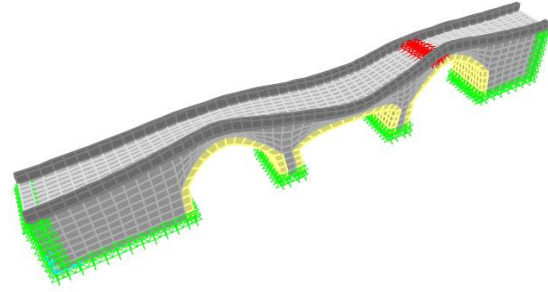
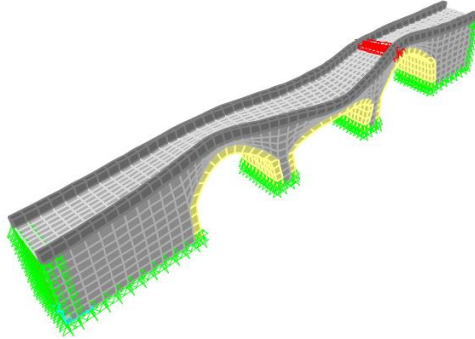
Tarihi Torul Köprüsü'nün analitik modeli üzerinde öncelikle modal analizi gerçekleştirilmiştir. Modal analizden elde edilen ilk beş mod şekli ve frekansları Şekil 2.143'te verilmektedir.



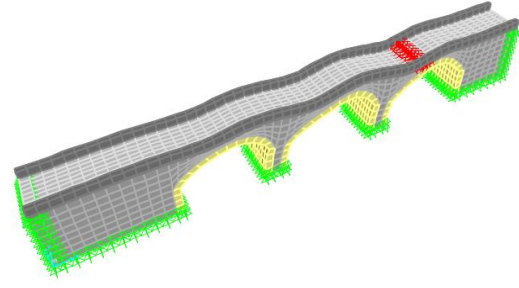
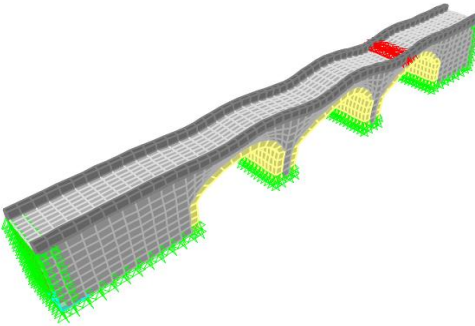
Birinci mod (Yanal hareket)  $f_1=10.65324$  Hz



İkinci mod (Burulma hareketi)  $f_2=13.09035$  Hz



Üçüncü mod (Yanal burulma hareketi)  $f_3=15.68244$  Hz

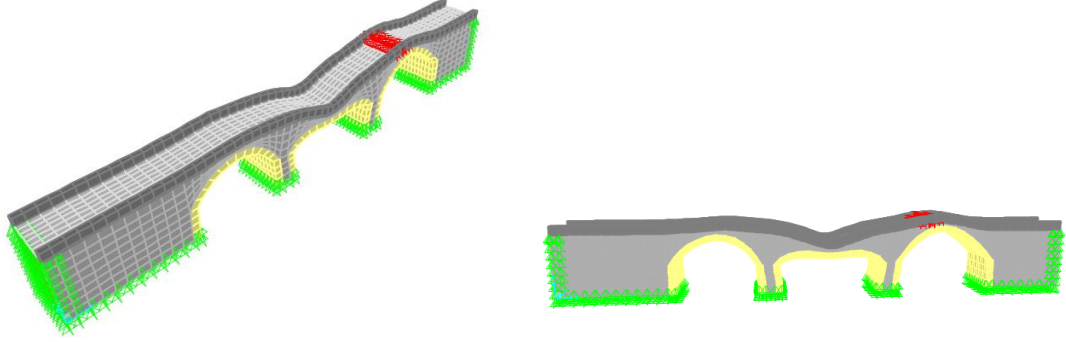


Dördüncü mod (Boyuna hareket)  $f_4=16.44722$  Hz

Şekil 2.143. Tarihi Torul Köprüsü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli



Şekil 2.143'ün devamı



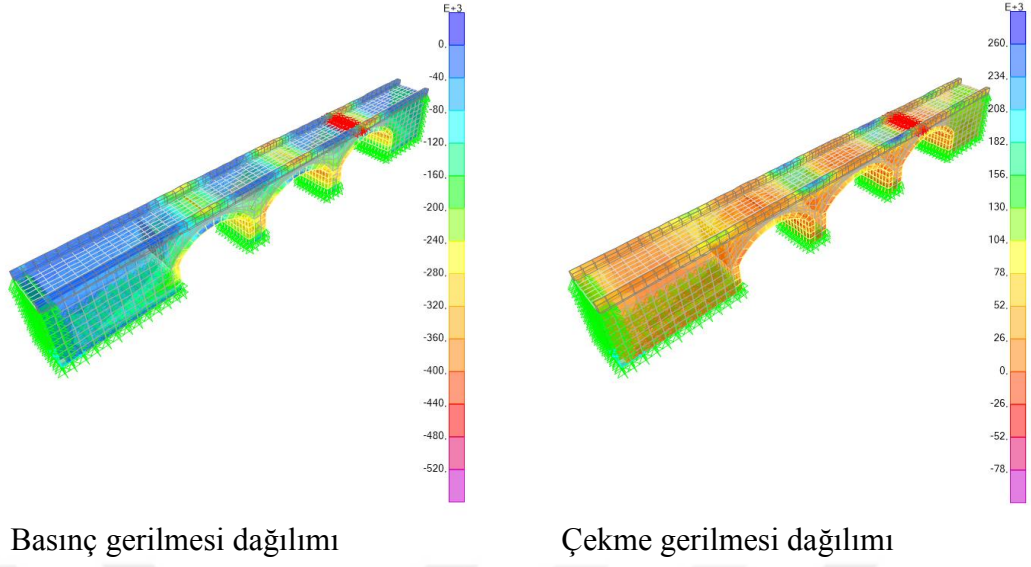
Beşinci mod (Kemer düşey hareket)  $f_5=18.08444$  Hz

#### Statik ve Dinamik Analizlerin Gerçekleştirilmesi:

Tarihi Torul Köprüsü'nün sabit, hareketli ve deprem yükleri etkisinde analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden köprüde oluşan en büyük çekme ve basınç gerilmeleri elde edilmiştir. Köprü'nün kendi ağırlığı altındaki analizinden, en büyük basınç gerilmesi  $0.312 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.16 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Köprü'nün hareketli yük altındaki analizinden en büyük basınç gerilmesi  $0.0455 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.025 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Deprem'in enine, boyuna ve düşey yönlerde etkimesi durumları için sırasıyla çekme ve basınç dağılımları incelenmiş ve en büyük çekme-basınç gerilmelerinin depremin enine yönde etkimesi durumunda olduğu belirlenmiştir. En büyük basınç gerilmesi  $1.32 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $1.32 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

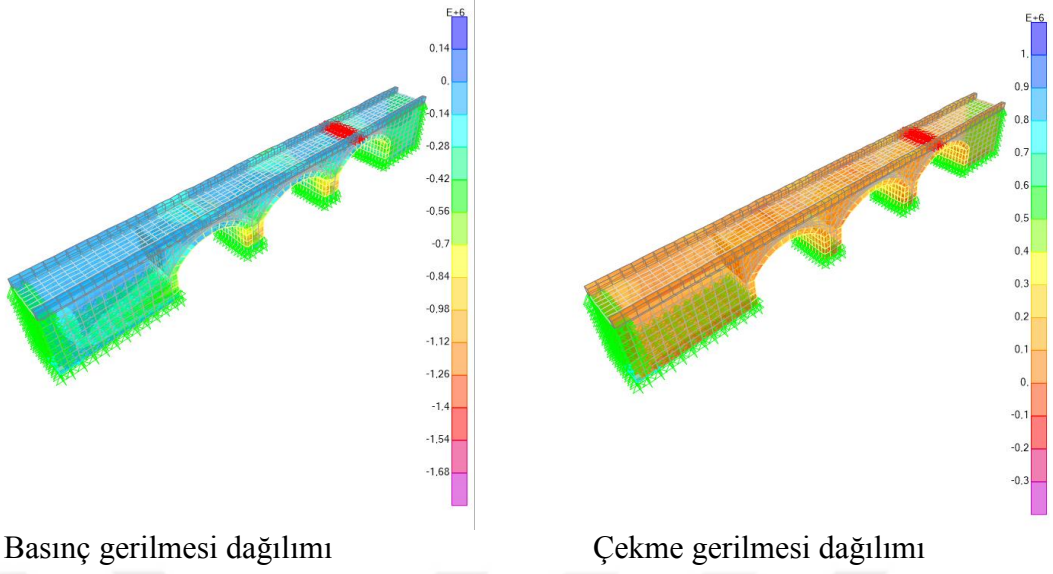
Tarihi Torul Köprüsü'nün kendi ağırlığı ve hareketli yük etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan en büyük çekme ve en büyük basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.144'te verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer ayaklarında daha fazla, çekme gerilmelerinin ise döşeme kısmında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.52 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.26 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.





Şekil 2.144. Tarihi Torul Köprüsü'nde kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Torul Köprüsü'nün kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü'nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.145'te verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin kemer ayaklarında daha fazla olduğu, çekme gerilmelerinin ise duvar üst kısımlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $1.68 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $1.00 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

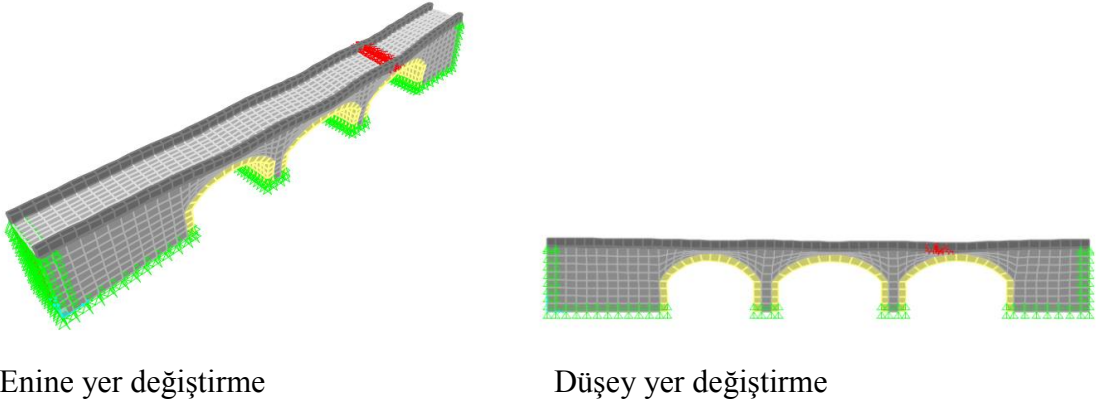


Basınç gerilmesi dağılımı

Çekme gerilmesi dağılımı

Şekil 2.145. Tarihi Torul Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Tarihi Torul Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde enine doğrultuda 2.4mm ve düşey doğrultuda 2.1mm yer değiştirme meydana gelmiştir (Şekil 2.146).



Enine yer değiştirme

Düşey yer değiştirme

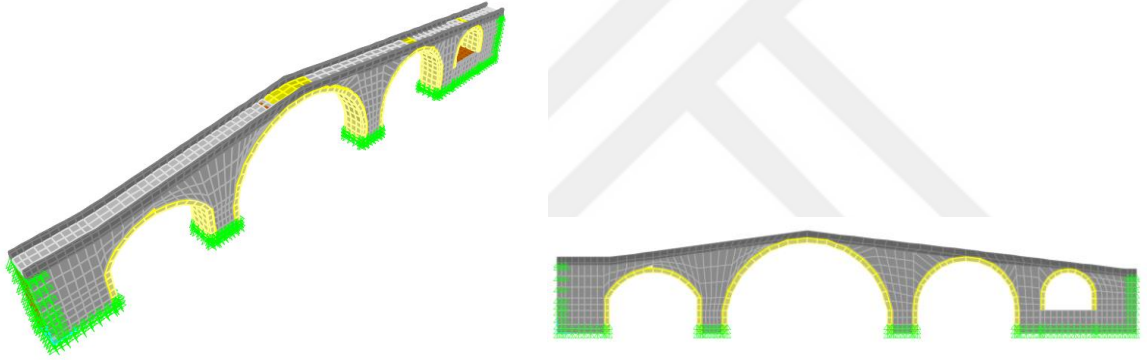
Şekil 2.146. Tarihi Torul Köprüsü'nde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler

### 2.2.30. Kocaköprü

Kocaköprü, Rize/Hemşin’de bulunmaktadır. Köprü 4 gözlü olup kemer açıklıkları 10.4-19.0-11.54-5.58m, kemer yükseklikleri 7.19-10.72-8.55-8.6m, köprü genişliği 3.03m’dir.

#### Analitik Modelin Oluşturulması:

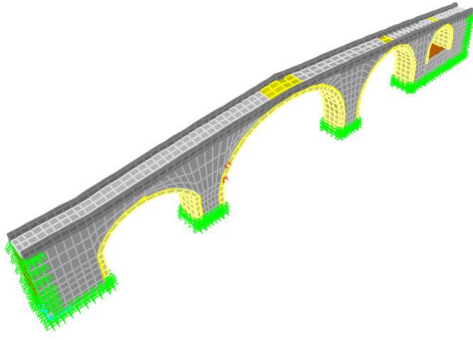
Kocaköprü’nün temin edilen rölöve projesi üzerinden SAP2000 programında 3 boyutlu analitik modeli oluşturulmuştur. Köprünün analitik modeli Şekil 2.147’de verilmiştir.



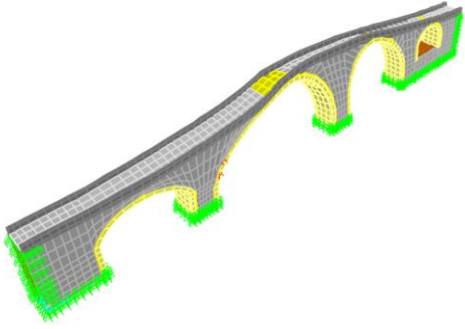
Şekil 2.147. Kocaköprü’nün SAP2000 programında oluşturulan üç boyutlu analitik modeli

#### Modal Analiz Gerçekleştirilmesi:

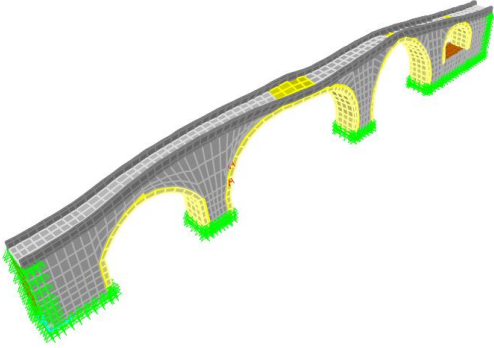
Kocaköprü’nün analitik modeli üzerinde öncelikle modal analizi gerçekleştirilmiştir. Modal analizden elde edilen ilk beş mod şekli ve frekansları Şekil 2.148’de verilmektedir.



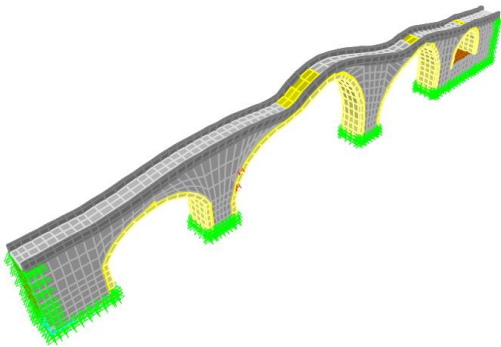
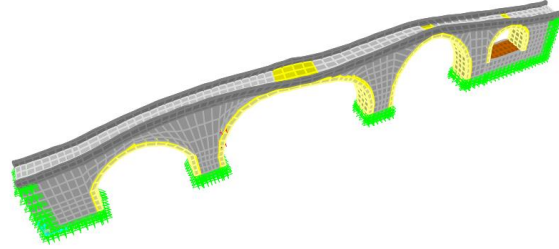
Birinci mod (Yanal hareket)  $f_1=4.19555$  Hz



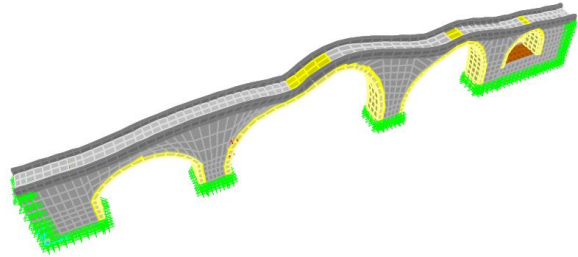
İkinci mod (Burulma hareketi)  $f_2=6.14759$  Hz



Üçüncü mod (Yanal burulma hareketi)  $f_3=8.32938$  Hz

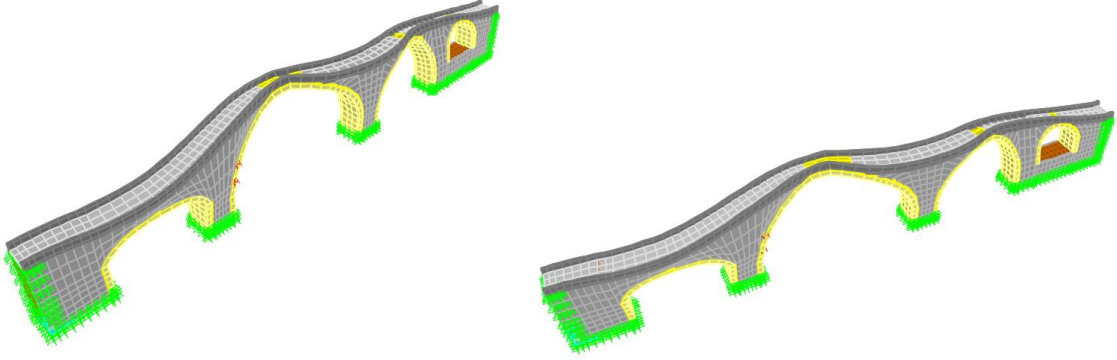


Dördüncü mod (Boyuna hareket)  $f_4=10.58365$  Hz



Şekil 2.148. Kocaköprü'nün analitik modelden elde edilen ilk beş mod şekli

Şekil 2.148'in devamı

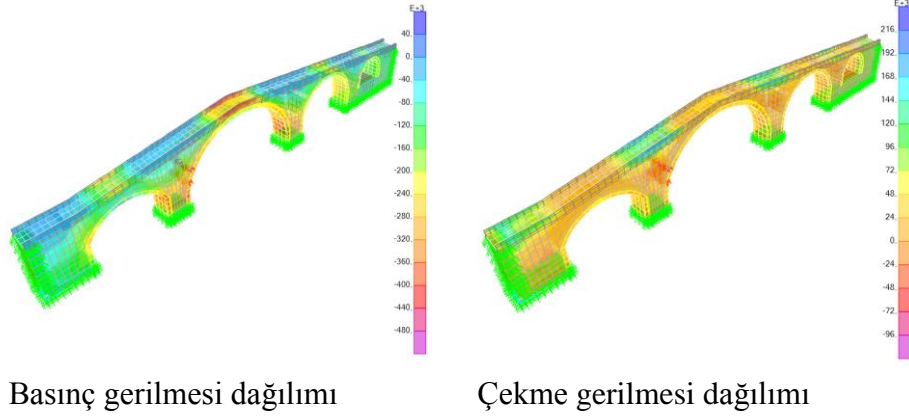


Beşinci mod (Kemer burulma hareketi)  $f_5=11.12943$  Hz

#### Statik ve Dinamik Analizlerin Gerçekleştirilmesi:

Kocaköprü'nün sabit, hareketli ve deprem yükleri etkisinde analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden köprüde oluşan en büyük çekme ve basınç gerilmeleri elde edilmiştir. Köprünün kendi ağırlığı altındaki analizinden, en büyük basınç gerilmesi  $0.325 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.135 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Köprünün hareketli yük altındaki analizinden en büyük basınç gerilmesi  $0.052 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.022 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır. Depremin enine, boyuna ve düşey yönlerde etkimesi durumları için sırasıyla çekme ve basınç dağılımları incelenmiş ve en büyük çekme-basınç gerilmelerinin depremin enine yönde etkimesi durumunda olduğu belirlenmiştir. En büyük basınç gerilmesi  $3.3 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $3.3 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

Kocaköprü'nün kendi ağırlığı ve hareketli yük etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan en büyük çekme ve en büyük basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprünün gerilme dağılımları ise Şekil 2.149'da verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin büyük kemer üst kısmı ve kemer ayaklarında daha fazla, çekme gerilmelerinin ise döşeme kısmında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $0.48 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $0.216 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

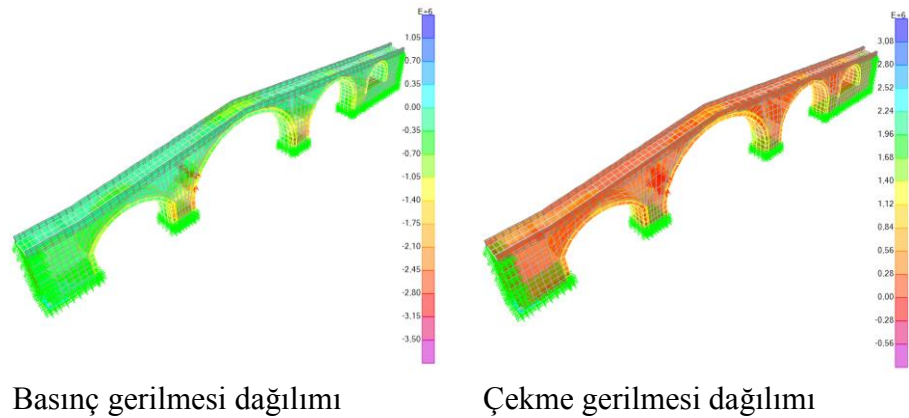


Basınç gerilmesi dağılımı

Çekme gerilmesi dağılımı

Şekil 2.149. Kocaköprü’de kendi ağırlığı ve hareketli yük etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Kocaköprü’nün kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkileri altındaki analizlerinden köprüde oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin dağılımları elde edilmiştir. Köprü’nün gerilme dağılımları ise Şekil 2.150’de verilmektedir. Köprüde bu durumda oluşan basınç gerilmelerinin büyük kemer ayaklarında daha fazla olduğu, çekme gerilmelerinin ise döşeme kısmında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum için en büyük basınç gerilmesi  $3.5 \times 10^6 \text{N/m}^2$  ve en büyük çekme gerilmesi  $3.08 \times 10^6 \text{N/m}^2$  düzeyinde hesaplanmıştır.

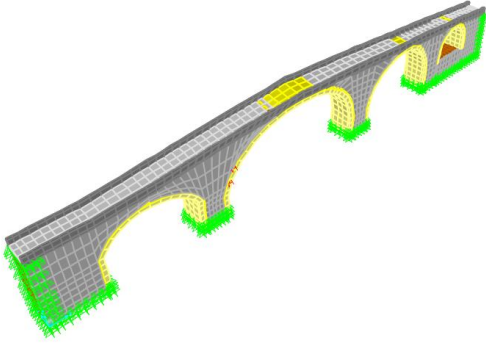


Basınç gerilmesi dağılımı

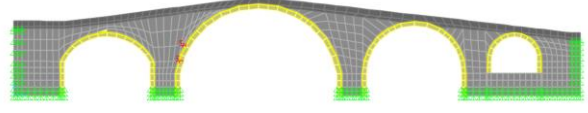
Çekme gerilmesi dağılımı

Şekil 2.150. Kocaköprü’de kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan gerilme dağılımları

Kocaköprü’de kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde enine doğrultuda 22.3mm ve düşey doğrultuda 6.2mm yer değiştirme meydana gelmiştir (Şekil 2.151).



Enine yer değiştirme



Düşey yer değiştirme

şekil 2.151. Kocaköprü'de kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeler



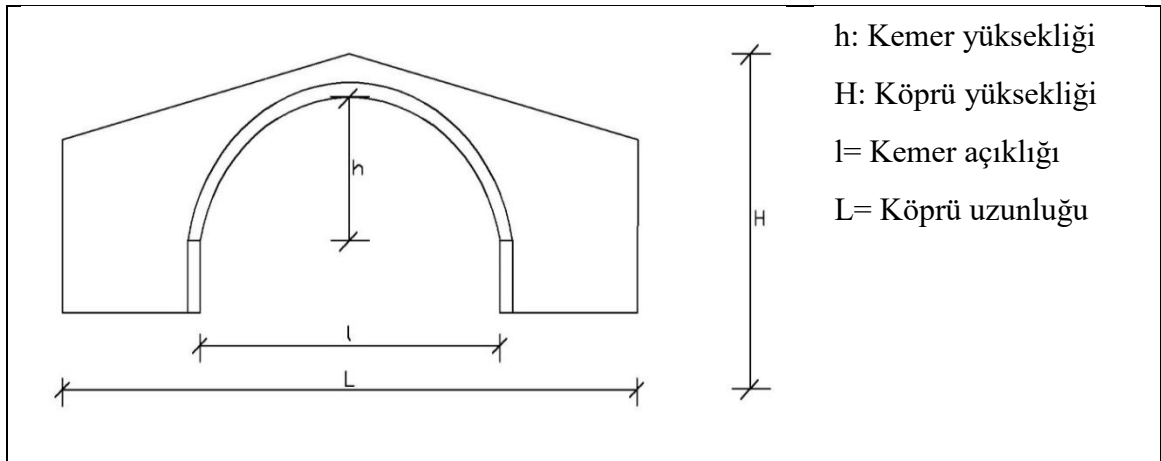


### 3. BULGULAR VE İRDELEMELER

Çalışmanın bu bölümünde köprü modelleri üzerinde modal analizler sonucunda elde edilen dinamik karakteristikler ile statik ve dinamik analizler sonucu oluşan yer değiştirme ve gerilme değerleri karşılaştırılmıştır. Bu amaçla öncelikle doğal frekanslardaki değişimler ve mod şekilleri üzerinde incelemeler yapılmış, sonrasında yer değiştirme değerleri üzerinde incelemeler yapılarak çekme ve basınç gerilmelerinin değişim aralıkları belirlenmiştir.

#### 3.1. Doğal Frekansların Değerlendirilmesi

Köprülerin modal analizi sonucu elde edilen doğal frekansları, köprü genişliği, kemer yüksekliği, köprü yüksekliği, kemer açıklığı ve köprü uzunluğu gibi parametrelerle birlikte değerlendirilmiştir. Seçilen parametreler Şekil 3.1'de köprü modeli üzerinde gösterilmiştir. Bu parametrelere bağlı olarak köprülerin ilk üç doğal frekansları Tablo 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Seçilen parametrelerin tipik köprü kesitinde gösterilmesi

Tablo 3.1. Köprü boyut parametrelerine bağlı olarak ilk üç doğal frekansın değişimi

Köprü adı	Köprü genişliği b (m)	Kemer yüksekliği h (m)	Köprü yüksekliği H (m)	Kemer açıklığı l (m)	Köprü uzunluğu L (m)	1.Frekans (Hz)	2.Frekans (Hz)	3.Frekans (Hz)
Tarihi Pazaryolu Köprüsü	3.23	6.77	8.13	8.28	21.67	13.07467	23.01439	24.13224
Tarihi Zanoyn Köprüsü	4.30	9.41	11.08	10.72	48.00	10.17928	15.81022	23.35760
İlecik Köprüsü	3.75	8.51	9.62	12.50	25.03	12.39091	23.17745	23.34432
Meryem Ana-1 Köprüsü	3.65	9.27	10.44	13.18	31.57	11.05053	19.81622	20.13195
Meryem Ana-2 Köprüsü	3.72	7.60	8.78	12.36	29.58	12.91953	22.55156	23.20552
Tarihi Akköy Köprüsü	3.06	5.46	6.50	8.51	16.37	20.67310	33.39057	34.08907
Tarihi Cimil Köprüsü	3.40	9.90	11.14	17.83	30.79	8.79505	15.73848	16.00709
Tarihi Demirkapı Köprüsü	3.58	8.36	9.64	12.00	30.26	10.34493	18.88840	23.25221
Diktaş Köprüsü	3.10	9.01	10.16	13.52	28.08	10.14807	17.50696	18.43998
Tarihi Gültepe Köprüsü	3.85	8.06	9.46	15.36	27.03	11.47453	18.26905	21.81379
Tarihi Dibekli Köprüsü	4.37	7.85	8.98	12.98	28.27	15.37969	22.62546	24.10168
Tarihi Kamberli Köprüsü	4.02	8.07	9.28	12.32	23.35	13.83650	23.40694	24.97453
Tarihi Krom Köprüsü	3.08	5.28	6.54	7.08	16.84	22.15454	38.69001	39.59320
Tarihi Yağlıdere Köprüsü	4.09	8.98	10.51	15.36	29.88	10.52369	18.20260	19.53350
Tarihi Uğurtaş (Bağava) Köprüsü	4.05	11.29	13.05	13.66	31.54	10.76393	20.75202	20.75275
Tarihi Kırıklı Köprüsü	6.08	5.64	7.15	9.97	23.37	21.81562	25.83915	34.89274
Tarihi Olucak Köprüsü	3.64	6.00	7.20	10.10	27.70	16.27551	26.77636	28.49379
Ortaköy Köprüsü	2.78	10.60	11.72	19.98	31.53	6.73018	12.59768	13.08990
Tarihi Şenyuva Köprüsü	2.84	15.29	16.68	25.56	54.46	3.46837	6.26231	9.73259
Tarihi Yeşilköy Köprüsü	2.47	7.41	8.49	13.08	21.92	12.46704	21.81447	23.70606
Tarihi Veliköy Köprüsü	2.50	6.65	7.68	11.60	19.34	13.50685	24.60962	25.12211
Tarihi Cami Mahallesi Köprüsü	2.55	4.45	5.17	7.74	13.53	23.53118	37.47502	40.36751
Tarihi Çamlıtepe Köprüsü	2.65	5.77	6.45	13.16	19.63	15.93477	19.42944	28.06590
Tarihi Erenköy Köprüsü	2.16	3.90	4.59	5.54	12.57	30.31503	49.72049	51.54524
Tarihi Halilli Köprüsü	2.77	4.99	6.12	8.18	18.53	20.60083	34.35091	38.79905
Tarihi Hayrat Köprüsü	4.06	5.22	6.76	9.46	19.89	20.97396	30.60075	38.20747
Tarihi Taşgeçit Köprüsü	2.3	4.37	5.52	6.12	13.51	25.85422	41.09309	52.30323
Tohumoğlu Köprüsü	5.21	10.36-9.10	11.59	18.76-16.78	64.72	7.989565	10.46817	12.38661
Tarihi Torul Köprüsü	6.00	6.45-6.45-6.49	8.88	10.44-12.40-12.12	65.31	10.65324	13.09035	15.68244
Kocaköprü	3.03	7.19-10.72-8.55-8.60	12.10	10.4-19.00-11.54-5.58	68.77	4.19555	6.14759	8.32938

İncelenen köprülerin modal analiz sonucu elde edilen doğal frekansları incelendiğinde, birinci frekansın 3.5-30Hz aralığında, ikinci frekansın 6.2-50Hz ve üçüncü frekansın 10-52Hz aralığında değiştiği belirlenmiştir. Modal analiz sonucu elde edilen doğal frekanslar ile köprü boyutları arasındaki ilişki değerlendirildiğinde, doğal frekansların köprü boyutlarına bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir. Köprü genişliği dışındaki parametreler için, parametrenin değeri arttıkça doğal frekansların azaldığı belirlenmiş, dolayısıyla bu parametrelerle doğal frekansların ters orantılı olduğu tespit edilmiştir. Excel programı kullanılarak birinci doğal frekansın köprü boyutlarına bağlı olarak belirlenebilmesi amacıyla bir formül elde edilmiştir. Formül, lineer olarak kemer yüksekliği (h), köprü yüksekliği (H), kemer açıklığı (l) ve köprü uzunluğu (L), parametrelerine bağlı olarak aşağıdaki şekilde elde edilmiştir. Bu formül için  $R^2$  değeri 0.86 çıkmıştır.

$$f_1 = 35.28938 - 2.23815 * h + 0.969321 * H - 0.52579 * l - 0.23352 * L \quad (3.1)$$

Köprünün ikinci ve üçüncü frekanslarının tahmini için, ayrı ayrı formüller oluşturulabileceği gibi birinci frekansa bağlı formüller de elde edilebilir. Yapılan literatür araştırmasından genellikle ikinci ve üçüncü doğal frekansın birinci doğal frekansa bağlı olarak ifade edildiği belirlenmiştir. Bu amaçla modal analiz sonucunda elde edilen doğal frekanslar incelendiğinde, köprülerin ikinci doğal frekansının birinci frekansın yaklaşık olarak 1.66 katı; üçüncü doğal frekansın ise birinci frekansın yaklaşık olarak 1.83 katı olduğu belirlenmiştir.

İlecik ve Tarihi Kamberli köprüleri, elde edilen frekans formülünün doğruluğunu test etmek için formülasyon hesabına katılmamış, bu köprülerin parametre değerleri formülde yerine konularak hata oranları belirlenmiş ve Tablo 3.2 ile Tablo 3.3'te gösterilmiştir.

Tablo 3.2. İlecik Köprüsü'nün önerilen formülle frekanslarının belirlenmesi ve hata oranları

Doğal frekanslar	Önerilen formülasyon	Analitik	Hata oranı (%)
$f_1$	13.150211 Hz	12.39091 Hz	6.13
$f_2$	21.82935 Hz	23.17745 Hz	5.82
$f_3$	24.06489 Hz	23.34432 Hz	3.09

Tablo 3.3. Tarihi Kamberli Köprüsü'nün önerilen formülle frekanslarının belirlenmesi ve hata oranları

<b>Doğal frekanslar</b>	<b>Önerilen formülasyon</b>	<b>Analitik</b>	<b>Hata oranı (%)</b>
$f_1$	14.2934 Hz	13.8365 Hz	3.3
$f_2$	23.72704 Hz	22.40694 Hz	5.89
$f_3$	26.15692 Hz	24.97453 Hz	4.73

### 3.2. Mod Şekillerinin Değerlendirilmesi

Köprülerin modal analizi sonucu elde edilen mod şekilleri, köprü genişliği, kemer yüksekliği, köprü yüksekliği, kemer açıklığı ve köprü uzunluğu gibi parametrelerle birlikte değerlendirilmiştir. Bu parametrelere bağlı olarak köprülerin ilk üç mod şekli Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.4. Köprü parametrelerine bağlı ilk üç mod şeklinin değişimi

Köprü adı	Köprü genişliği b (m)	Kemer yüksekliği h (m)	Köprü yüksekliği H (m)	Kemer açıklığı l (m)	Köprü uzunluğu L (m)	1.mod şekli	2.mod şekli	3.mod şekli
Tarihi Pazaryolu Köprüsü	3.23	6.77	8.13	8.28	21.67	Yanal	Burulma	Kemer düşey
Tarihi Zanoz Köprüsü	4.30	9.41	11.08	10.72	48.00	Yanal	Burulma	Yanal burulma
İlecik Köprüsü	3.75	8.51	9.62	12.50	25.03	Yanal	Boyuna	Burulma
Meryem Ana-1 Köprüsü	3.65	9.27	10.44	13.18	31.57	Yanal	Boyuna	Burulma
Meryem Ana-2 Köprüsü	3.72	7.60	8.78	12.36	29.58	Yanal	Boyuna	Burulma
Tarihi Akköy Köprüsü	3.06	5.46	6.50	8.51	16.37	Yanal	Kemer düşey	Kemer burulma
Tarihi Cimil Köprüsü	3.40	9.90	11.14	17.83	30.79	Yanal	Burulma	Kemer düşey
Tarihi Demirkapı Köprüsü	3.58	8.36	9.64	12.00	30.26	Yanal	Kemer düşey	Burulma
Diktaş Köprüsü	3.10	9.01	10.16	13.52	28.08	Yanal	Kemer düşey	Boyuna
Tarihi Gültepe Köprüsü	3.85	8.06	9.46	15.36	27.03	Yanal	Kemer düşey	Boyuna
Tarihi Dibekli Köprüsü	4.37	7.85	8.98	12.98	28.27	Yanal	Kemer düşey	Boyuna
Tarihi Kamberli Köprüsü	4.02	8.07	9.28	12.32	23.35	Yanal	Kemer düşey	Burulma
Tarihi Krom Köprüsü	3.08	5.28	6.54	7.08	16.84	Yanal	Kemer düşey	Burulma
Tarihi Yağlıdere Köprüsü	4.09	8.98	10.51	15.36	29.88	Yanal	Kemer düşey	Kemer burulma
Tarihi Uğurtaş (Bağava) Köprüsü	4.05	11.29	13.05	13.66	31.54	Yanal	Boyuna	Kemer düşey
Tarihi Kırıklı Köprüsü	6.08	5.64	7.15	9.97	23.37	Yanal	Boyuna	Kemer burulma
Tarihi Olucak Köprüsü	3.64	6.00	7.20	10.10	27.70	Yanal	Burulma	Boyuna
Ortaköy Köprüsü	2.78	10.60	11.72	19.98	31.53	Yanal	Kemer düşey	Burulma
Tarihi Şenyuva Köprüsü	2.84	15.29	16.68	25.56	54.46	Yanal	Kemer düşey	Boyuna
Tarihi Yeşilköy Köprüsü	2.47	7.41	8.49	13.08	21.92	Yanal	Kemer düşey	Boyuna
Tarihi Veliköy Köprüsü	2.50	6.65	7.68	11.60	19.34	Yanal	Kemer düşey	Boyuna
Tarihi Cami Mahallesi Köprüsü	2.55	4.45	5.17	7.74	13.53	Yanal	Boyuna	Kemer düşey
Tarihi Çamlıtepe Köprüsü	2.65	5.77	6.45	13.16	19.63	Yanal	Kemer düşey	Burulma
Tarihi Erenköy Köprüsü	2.16	3.90	4.59	5.54	12.57	Yanal	Kemer düşey	Burulma
Tarihi Halilli Köprüsü	2.77	4.99	6.12	8.18	18.53	Yanal	Kemer düşey	Burulma
Tarihi Hayrat Köprüsü	4.06	5.22	6.76	9.46	19.89	Yanal	Kemer düşey	Boyuna
Tarihi Taşgeçit Köprüsü	2.03	4.37	5.52	6.12	13.51	Yanal	Boyuna	Burulma
Tohumoğlu Köprüsü	5.21	10.36-9.10	11.59	18.76-16.78	64.72	Yanal	Burulma	Boyuna
Tarihi Torul Köprüsü	6.00	6.45-6.45-6.49	8.88	10.44-12.40-12.12	65.31	Yanal	Burulma	Yanal burulma
Kocaköprü	3.03	7.19-10.72-8.55-8.60	12.10	10.4-19.00-11.54-5.58	68.77	Yanal	Burulma	Yanal burulma

Modal analiz sonucu oluşan ilk üç mod şeklinin, köprü genişliği, kemer yüksekliği, köprü yüksekliği, kemer açıklığı ve köprü uzunluğu olarak belirlenen parametrelerden fazla etkilenmediği görülmüştür. Tüm köprülerin 1. mod şekilleri yanal hareket olarak belirlenmiş, daha sonra 2. mod şekilleri iki veya daha fazla kemer açıklığına sahip olan köprüler hariç genel olarak kemer düşey hareket olarak belirlenmiştir. İki veya daha fazla açıklığa sahip köprülerin 2. mod şekilleri burulma hareketi olarak belirlenmiş olup, son olarak köprülerin 3. mod şekillerinin ağırlıklı olarak burulma hareketi olduğu tespit edilmiştir.

### **3.3. Yer Değiştirmelerin Değerlendirilmesi**

Köprülerde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem (Y) yükünden oluşan 2. yük kombinasyonuna göre en büyük yer değiştirmeler, köprü genişliği, kemer yüksekliği, köprü yüksekliği, kemer açıklığı ve köprü uzunluğu gibi parametrelerle birlikte belirlenmiştir. Bu parametrelere bağlı olarak oluşan yer değiştirmeler Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5. Köprülerde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem (Y) yükü kombinasyonundan oluşan en büyük yer değiştirmeler

<b>Köprü adı</b>	<b>Enine yer değiştirme (mm)</b>	<b>Düşey yer değiştirme (mm)</b>
Tarihi Pazaryolu Köprüsü	1.85	1.06
Tarihi Zanooy Köprüsü	3.6	1.7
İlecik Köprüsü	2.5	1.5
Meryem Ana-1 Köprüsü	3.1	1.9
Meryem Ana-2 Köprüsü	2.1	1.6
Tarihi Akköy Köprüsü	0.7	0.8
Tarihi Cimil Köprüsü	4.4	3.2
Tarihi Demirkapı Köprüsü	3.4	1.7
Diktaş Köprüsü	3.6	2
Tarihi Gültepe Köprüsü	2.7	1.9
Tarihi Dibekli Köprüsü	1.5	1.6
Tarihi Kamberli Köprüsü	1.8	1.5
Tarihi Krom Köprüsü	0.6	0.6
Tarihi Yağlıdere Köprüsü	3.1	2.4
Tarihi Uğurtaş (Bağava) Köprüsü	3	1.7
Tarihi Kırıklı Köprüsü	0.7	0.9
Tarihi Olucak Köprüsü	1.3	1.1
Ortaköy Köprüsü	7.9	4.2
Tarihi Şenyuva Köprüsü	34.7	8.3
Tarihi Yeşilköy Köprüsü	2.4	1.5
Tarihi Veliköy Köprüsü	1.8	1.4
Tarihi Cami Mahallesi Köprüsü	0.6	0.6
Tarihi Çamlıtepe Köprüsü	1.4	1.6
Tarihi Erenköy Köprüsü	0.3	0.3
Tarihi Halilli Köprüsü	0.7	0.7
Tarihi Hayrat Köprüsü	0.7	0.7
Tarihi Taşgeçit Köprüsü	0.5	0.4
Tohumoğlu Köprüsü	5.3	3.4
Tarihi Torul Köprüsü	2.4	2.1
Kocaköprü	22.3	6.2



İncelenen köprülerin kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem (Y) yükü etkisinde oluşan en büyük yer değiştirmenin enine doğrultuda 0.3-34.7mm aralığında ve düşey doğrultuda 0.3-8.3mm aralığında değiştiği belirlenmiştir. En büyük yer değiştirmelerin kemer ortasında, en üst noktada olduğu tespit edilmiştir. Kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem (Y) yükü etkisinde oluşan enine ve düşey yer değiştirmeleri, köprü genişliği hariç tüm parametrelerin etkilediği görülmüştür. Parametreler arttıkça enine ve düşey yer değiştirmelerin arttığı, parametreler azaldıkça enine ve düşey yer değiştirmelerin azaldığı belirlenmiş, dolayısıyla bu parametrelerle yer değiştirmelerin doğru orantı gösterdiği tespit edilmiştir.

Excel programı kullanılarak, oluşan en büyük enine ( $X_{\text{Enine}}$ ) ve düşey ( $X_{\text{Düşey}}$ ) yer değiştirme değerlerinin köprü boyutlarına bağlı olarak belirlenebilmesi amacıyla aşağıdaki formüller elde edilmiştir. Enine yer değiştirmeye ait formül için  $R^2$  değeri 0.83 çıkarken, düşey yer değiştirmeye ait formül için  $R^2$  değeri 0.93 çıkmıştır.

$$X_{\text{Enine}} = -2.16631 + 1.4436 * h - 0.91588 * H + 0.23029 * l - 0.04371 * L \quad (3.2)$$

$$X_{\text{Düşey}} = -0.98161 + 0.47556 * h - 0.37366 * H + 0.20635 * l - 0.00853 * L \quad (3.3)$$

### 3.4. Gerilmelerin Değerlendirilmesi

Köprülerin oluşturulan analitik modelleri üzerinde kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem yükleri için statik ve dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Hareketli yük olarak  $500\text{kg/m}^2$ 'lik yayılı yük dikkate alınmıştır. Deprem yükü analizleri, bölgenin depremselliği, zemin bilgileri ve yapı özellikleri göz önüne alınarak Davranış Spektrumu Yöntemi'yle gerçekleştirilmiştir. Bu yüklemeler altında yapılan analizlerden elde edilen basınç ve çekme gerilmeleri, köprü genişliği, kemer yüksekliği, köprü yüksekliği, kemer açıklığı ve köprü uzunluğu gibi parametrelerle birlikte Tablo 3.6'te verilmiştir.

Tablo 3.6. Köprü isimlerine göre köprünün kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem (Y) yükünden oluşan gerilmeler

Köprü adı	Kendi ağırlığı		Hareketli yük		Deprem (Y) yükü	
	Basınç gerilmesi (10 <sup>6</sup> N/m <sup>2</sup> )	Çekme gerilmesi (10 <sup>6</sup> N/m <sup>2</sup> )	Basınç gerilmesi (10 <sup>6</sup> N/m <sup>2</sup> )	Çekme gerilmesi (10 <sup>6</sup> N/m <sup>2</sup> )	Basınç gerilmesi (10 <sup>6</sup> N/m <sup>2</sup> )	Çekme gerilmesi (10 <sup>6</sup> N/m <sup>2</sup> )
Tarihi Pazaryolu Köprüsü	0.385	0.48	0.04	0.054	0.99	0.99
Tarihi Zanoy Köprüsü	0.228	0.108	0.0385	0.0288	0.935	0.935
İlecik Köprüsü	0.221	0.165	0.052	0.0495	0.72	0.72
Meryem Ana-1 Köprüsü	0.182	0.052	0.042	0.014	0.6	0.6
Meryem Ana-2 Köprüsü	0.168	0.09	0.054	0.035	0.605	0.66
Tarihi Akköy Köprüsü	0.121	0.055	0.054	0.0275	0.336	0.336
Tarihi Cimil Köprüsü	0.312	0.154	0.12	0.081	0.88	0.88
Tarihi Demirkapı Köprüsü	0.195	0.165	0.048	0.019	0.935	0.935
Diktaş Köprüsü	0.176	0.11	0.078	0.045	0.825	0.9
Tarihi Gültepe Köprüsü	0.298	0.198	0.066	0.0336	0.715	0.78
Tarihi Dibekli Köprüsü	0.208	0.0585	0.0845	0.0264	0.42	0.42
Tarihi Kamberli Köprüsü	0.168	0.154	0.078	0.015	0.66	0.66
Tarihi Krom Köprüsü	0.102	0.045	0.0312	0.0072	0.336	0.385
Tarihi Yağlıdere Köprüsü	0.264	0.187	0.066	0.0242	0.84	0.84
Tarihi Uğurtaş (Bağava) Köprüsü	0.216	0.132	0.042	0.0143	0.66	0.66
Tarihi Kırıklı Köprüsü	0.286	0.12	0.048	0.016	0.336	0.336
Tarihi Olucak Köprüsü	0.156	0.048	0.054	0.0108	0.6	0.6
Ortaköy Köprüsü	0.35	0.24	0.156	0.065	1.21	1.21
Tarihi Şenyuva Köprüsü	0.336	0.22	0.13	0.045	2.64	2.64
Tarihi Yeşilköy Köprüsü	0.3	0.192	0.13	0.04	0.66	0.66
Tarihi Veliköy Köprüsü	0.18	0.099	0.0455	0.017	0.6	0.6
Tarihi Cami Mahallesi Köprüsü	0.143	0.044	0.0715	0.0135	0.495	0.54
Tarihi Çamlıtepe Köprüsü	0.336	0.168	0.117	0.035	0.44	0.48
Tarihi Erenköy Köprüsü	0.084	0.028	0.0234	0.0064	0.24	0.24
Tarihi Halilli Köprüsü	0.144	0.08	0.052	0.0187	0.48	0.48
Tarihi Hayrat Köprüsü	0.204	0.1	0.0385	0.0198	0.495	0.54
Tarihi Taşgeçit Köprüsü	0.144	0.066	0.052	0.014	0.288	0.288
Tohumoğlu Köprüsü	0.312	0.144	0.111	0.0405	1.76	1.76
Tarihi Torul Köprüsü	0.312	0.16	0.0455	0.025	1.32	1.32
Kocaköprü	0.325	0.135	0.052	0.022	3.3	3.3

Statik ve dinamik analiz sonucu oluşan basınç ve çekme gerilmeleri daha önce belirlenen parametrelere bağılı olarak değerlendirilmiş, köprülerin kendi ağırlığı ve hareketli yük altında oluşan basınç ve çekme gerilmelerinin parametrelerden etkilenmediği görülmüştür. Fakat enine doğrultudaki deprem yükü altında oluşan basınç ve çekme gerilmelerinin köprü genişliği hariç tüm parametrelerden etkilendiği tespit edilmiştir. Bu parametreler arttıkça gerilmelerin arttığı, parametreler azaldıkça gerilmelerin azaldığı belirlenmiş, dolayısıyla parametrelerle gerilmelerin doğru orantı gösterdiği tespit edilmiştir.

Farklı yük kombinasyonları için köprülerde oluşan en büyük çekme ve basınç gerilmeleri hesaplanmış ve köprü genişliği, kemer yüksekliği, köprü yüksekliği, kemer açıklığı ve köprü uzunluğu gibi parametrelerle birlikte değerlendirilmiştir. Bu parametrelere bağılı olarak oluşan gerilmeler Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7. Köprü parametrelerine göre köprünün 1. ve 2. yük kombinasyonlarından oluşan gerilmeler

Köprü adı	1. kombinasyon		2. kombinasyon	
	Basınç gerilmesi ( $10^6\text{N/m}^2$ )	Çekme gerilmesi ( $10^6\text{N/m}^2$ )	Basınç gerilmesi ( $10^6\text{N/m}^2$ )	Çekme gerilmesi ( $10^6\text{N/m}^2$ )
Tarihi Pazaryolu Köprüsü	0.605	0.72	1.32	1.32
Tarihi Zanoı Köprüsü	3.36	2.2	1.2	0.7
İlecik Köprüsü	0.39	0.308	0.84	0.84
Meryem Ana-1 Köprüsü	0.312	0.08	0.78	0.495
Meryem Ana-2 Köprüsü	0.312	0.198	0.78	0.55
Tarihi Akköy Köprüsü	0.264	0.09	0.385	0.42
Tarihi Cimil Köprüsü	0.54	0.3	1.00	0.935
Tarihi Demirkapı Köprüsü	0.312	0.264	1.2	0.935
Diktaş Köprüsü	0.36	0.198	0.96	0.77
Tarihi Gültepe Köprüsü	0.495	0.33	0.77	0.96
Tarihi Dibekli Köprüsü	0.42	0.08	0.54	0.385
Tarihi Kamberli Köprüsü	0.36	0.242	0.55	0.78
Tarihi Krom Köprüsü	0.195	0.072	0.42	0.3
Tarihi Yağlıdere Köprüsü	0.48	0.308	0.99	0.99
Tarihi Uğurtaş (Bağava) Köprüsü	0.36	0.209	0.78	0.66
Tarihi Kırıklı Köprüsü	0.455	0.19	0.54	0.42
Tarihi Olucak Köprüsü	0.286	0.08	0.78	0.495
Ortaköy Köprüsü	0.78	0.48	1.32	1.56
Tarihi Şenyuva Köprüsü	0.66	0.385	2.64	2.64
Tarihi Yeşilköy Köprüsü	0.66	0.312	0.715	0.84
Tarihi Veliköy Köprüsü	0.264	0.165	0.5	0.66
Tarihi Cami Mahallesi Köprüsü	0.286	0.081	0.66	0.35
Tarihi Çamlıtepe Köprüsü	0.66	0.312	0.715	0.6
Tarihi Erenköy Köprüsü	0.156	0.054	0.336	0.242
Tarihi Halilli Köprüsü	0.26	0.14	0.6	0.44
Tarihi Hayrat Köprüsü	0.336	0.17	0.72	0.44
Tarihi Taşgeçit Köprüsü	0.288	0.121	0.33	0.36
Tohumoğlu Köprüsü	0.585	0.234	2.16	1.65
Tarihi Torul Köprüsü	0.52	0.26	1.68	1.00
Kocaköprü	0.48	0.216	3.5	3.08

İncelenen köprülerin statik ve dinamik analiz sonucu 1. ve 2. kombinasyonlardan oluşan basınç ve çekme gerilmelerinin değerlendirilmesi sonucunda, basınç gerilmelerinin  $0.156-3.36 \times 10^6 \text{N/m}^2$  aralığında ve çekme gerilmelerinin  $0.054-2.2 \times 10^6 \text{N/m}^2$  aralığında değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca 1. kombinasyondan meydana gelen basınç ve çekme gerilmelerinin parametrelerden fazla etkilenmediği görülmüştür. 2. kombinasyondan meydana gelen basınç ve çekme gerilmelerinin köprü genişliği hariç tüm parametrelerden etkilendiği tespit edilmiştir. Bu parametreler arttıkça gerilmelerin arttığı, parametreler azaldıkça gerilmelerin azaldığı belirlenmiş, dolayısıyla parametrelerle gerilmelerin doğru orantı gösterdiği tespit edilmiştir.

Excel programı kullanılarak 2. kombinasyondan oluşan çekme ( $\sigma_{\text{Çekme}}$ ) ve basınç ( $\sigma_{\text{Basınç}}$ ) gerilmelerinin köprü boyutlarına bağlı olarak belirlenebilmesi amacıyla aşağıdaki formüller elde edilmiştir. Basınç gerilmesine ait formül için  $R^2$  değeri 0.77 çıkarken, çekme gerilmesine ait formül için R Kare değeri 0.52 çıkmıştır.

$$\sigma_{\text{Basınç}} = 0.06387 + 0.06098 * h - 0.03187 * H + 0.01026 * l + 0.01673 * L \quad (3.4)$$

$$\sigma_{\text{Çekme}} = -0.16883 - 0.09938 * h + 0.16447 * H + 0.05853 * l - 0.02135 * L \quad (3.5)$$

Köprülerde sabit yük, hareketli yük ve deprem (Y) yükü etkisi altında gerçekleştirilen analizlerde basınç gerilmelerinin köprülerin kemer ayaklarında ve kemer yan kısımlarında, çekme gerilmelerinin köprülerin duvar yan kısımlarında ve döşeme kısımlarında daha büyük değerler aldığı belirlenmiştir.

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ülkemizde geçmişten günümüze kadar ulaşan farklı dönemlere ait, boyutları ve şekilleri farklı birçok taş kemer köprü mevcuttur. Tarihi taş kemer köprülerin sonlu eleman modellerinin oluşturulması ve yapısal davranışlarının değerlendirilmesi aşamasında hatalar oluşabilmektedir. Bu durumda tarihi taş kemer köprülerin yapısal davranışının doğruluğunun kontrolünü sağlayacak bir referans değer ya da yaklaşık bir formüle ihtiyaç vardır. Yapılan literatür araştırmaları sonucunda, taş kemer köprülerin geometrik özelliklerine dayalı, analitik sonuçlar kullanılarak geliştirilmiş bir frekans formülü gözlemlenmemiştir. Tarihi taş kemer köprüler için geometrik özelliklere bağlı olarak doğal titreşim frekanslarının tahmin edilebilmesi amacıyla ampirik bir formül geliştirilmesi, ülkemizdeki tarihi taş kemer köprü sayısı dikkate alındığında oldukça önemlidir.

Bu tez çalışmasında, Sonlu Eleman Yöntemi kullanılarak tarihi taş kemer köprülerin teorik dinamik karakteristiklerinin belirlenmesi ve doğal frekanslarının hesabı için ampirik formül geliştirilmesi amaçlanmıştır. Uygulama olarak Doğu Karadeniz Bölgesi'nde bulunan farklı geometrik özelliklere sahip otuz adet tarihi taş kemer köprü seçilmiştir. Seçilen tarihi taş kemer köprülerin SAP2000 programı kullanılarak 3-boyutlu sonlu eleman modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan analitik modeller üzerinde modal analizler gerçekleştirilip mod şekilleri ve doğal titreşim frekansları verilmiştir. Ayrıca her bir köprünün kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem yükleri için statik ve dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu yüklemeler altında yapılan analizler sonrasında farklı yük kombinasyonları için köprülerde oluşan en büyük çekme ve basınç gerilmeleri ile yer değiştirmeler hesaplanmıştır. Elde edilen yer değiştirme ve gerilme değerlerinin yaklaşık hesabı için de formüller geliştirilmiştir. Tarihi taş kemer köprüler için doğal frekansların, yer değiştirmelerin ve gerilmelerin geometrik boyutlara bağlı olarak yaklaşık hesabı için formül geliştirilmesinde Çoklu Regresyon Yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Köprülerin modal analiz sonucu elde edilen doğal frekansları incelendiğinde, birinci frekansın 3.5-30Hz aralığında, ikinci frekansın 6.2-50Hz ve üçüncü frekansın 10-52Hz aralığında değiştiği belirlenmiştir. Excel programı kullanılarak birinci doğal frekansın köprü boyutlarına bağlı olarak belirlenebilmesi amacıyla,

$$f_1 = 35.28938 - 2.23815 * h + 0.969321 * H - 0.52579 * l - 0.23352 * L \quad (4.1)$$

formülü elde edilmiştir. Bu formül için  $R^2$  değeri 0.86 çıkmıştır.

- Modal analiz sonucunda elde edilen doğal frekanslar incelendiğinde, köprülerin ikinci doğal frekansının birinci frekansın yaklaşık olarak 1.66 katı; üçüncü doğal frekansın ise birinci frekansın yaklaşık olarak 1.83 katı olduğu belirlenmiştir.

- Modal analiz sonucu oluşan ilk üç mod şeklinden, tüm köprülerin 1. mod şekilleri yanal hareket olarak belirlenmiş, daha sonra 2. mod şekilleri iki veya daha fazla kemer açıklığına sahip olan köprüler hariç genel olarak kemer düşey hareket olarak belirlenmiştir. İki veya daha fazla açıklığa sahip köprülerin 2. mod şekilleri burulma hareketi olarak belirlenmiş olup, son olarak köprülerin 3. mod şekillerinin çoğunlukla burulma hareketi olduğu tespit edilmiştir.

- İncelenen köprülerin kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem (Y) yükü etkisinde oluşan en büyük yer değiştirmenin enine doğrultuda 0.3-34.7mm aralığında ve düşey doğrultuda 0.3-8.3mm aralığında değiştiği belirlenmiştir. Excel programı kullanılarak, oluşan en büyük enine ( $X_{Enine}$ ) ve düşey ( $X_{Düşey}$ ) yer değiştirme değerlerinin köprü boyutlarına bağlı olarak belirlenebilmesi amacıyla,

$$X_{Enine} = -2.16631 + 1.4436 * h - 0.91588 * H + 0.23029 * l - 0.04371 * L \quad (4.2)$$

$$X_{Düşey} = -0.98161 + 0.47556 * h - 0.37366 * H + 0.20635 * l - 0.00853 * L \quad (4.3)$$

formülleri elde edilmiştir. Enine yer değiştirme formülüne ait  $R^2$  değeri 0.83 çıkarken düşey yer değiştirme formülüne ait  $R^2$  değeri 0.93 çıkmıştır.

- İncelenen köprülerin statik ve dinamik analiz sonucu oluşan basınç ve çekme gerilmelerinin değerlendirilmesi sonucunda, basınç gerilmelerinin  $0.156-3.36 \times 10^6 \text{N/m}^2$  aralığında ve çekme gerilmelerinin  $0.054-2.2 \times 10^6 \text{N/m}^2$  aralığında değiştiği belirlenmiştir. Excel programı kullanılarak deprem yükünü de içeren en elverişsiz durum için oluşan çekme ( $\sigma_{Çekme}$ ) ve basınç ( $\sigma_{Basınç}$ ) gerilmelerinin köprü boyutlarına bağlı olarak belirlenebilmesi amacıyla,

$$\sigma_{Basınç} = 0.06387 + 0.06098 * h - 0.03187 * H + 0.01026 * l + 0.01673 * L \quad (4.4)$$



$$\sigma_{\text{Çekme}} = -0.16883 - 0.09938 * h + 0.16447 * H + 0.05853 * l - 0.02135 * L \quad (4.5)$$

formülleri elde edilmiştir. Basınç gerilmesi formülüne ait  $R^2$  değeri 0.77 çıkarken çekme gerilmesi formülüne ait  $R^2$  değeri 0.52 çıkmıştır.

- İlecik ve Tarihi Kamberli köprüleri, elde edilen formüllerin doğruluğunu test etmek amacıyla formülasyon hesabına katılmamış, bu köprülerin parametre değerleri frekans formülünde yerine konulmuş ve formülün %3.09-6.13 aralığında hata oranıyla gerçeğe oldukça yakın sonuç verdiği doğrulanmıştır.

Tüm bu veriler ışığında taş kemer köprüler için frekans, yer değiştirme ve gerilme hesabı için ortaya konulan formüllerin bu konuda çalışanlar için referans olabileceği düşünülmektedir. Bu tez çalışması baz alınarak gerçek köprüler üzerinde veya laboratuvar ortamında yapılacak deneysel çalışmalarla elde edilen sonuçlar daha da geliştirilebilecektir.

## 5.KAYNAKLAR

- Alaboz, M., 2008. Mimar Sinan Köprülerinin Güncel Durum Değerlendirmesi ve Kapuağası Köprüsü Restorasyon Projesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alpar, R., 1997. Uygulamalı Çok Değişkenli İstatiksel Yöntemlere Giriş, Nobel Yayın Dağıtım.
- Altınsapan, E., 2001. Tek Kemer Gözlu Rize Köprüleri, Anadolu Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları, Ankara.
- Altunışık, A., C., Bayraktar, A. ve Genç, A., F., 2015. Hasarlı Tarihi Köprülerin Yapısal Davranışlarına Restorasyon Çalışmalarının Etkisi, 3.Köprüler Viyadükler Sempozyumu, Mayıs, Bursa, Bildiriler Kitabı, 265-278.
- Aoki, T., Komiyama, T., Sabia, D. and Rivella, D., 2004. Theoretical and Experimental Dynamic Analysis of Rakanji Stone Arch Bridge, Honyabakei, Oiata, Japan, 7th International Conference on Motion and Vibration Control, MOVIC 04.
- Bayraktar, A., Altunışık, A., C., Sevim, B., Türker, T. ve Birinci, F. 2010. Tarihi Yapıların Deprem Güvenliklerinin Tahribatsız Deneysel Yöntemlerle Belirlenmesi, İstanbul Bülten, 107, 12-22.
- Bayraktar, A., Altunışık, A., C., Türker, T. ve Sevim, B., 2007. Tarihi Köprülerin Deprem Davranışına Sonlu Eleman Model İyileştirmesinin Etkisi, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Ekim, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 29-39.
- Bayraktar, A., Türker, T. ve Altunışık, A., C., 2015a. Yapı Sağlığı İzleme Sistemlerinin Farklı Taşıyıcı Sistemli Uzun Açıklıklı Tarihi Köprülere Uygulanması, 3.Köprüler Viyadükler Sempozyumu, Mayıs, Bursa, Bildiriler Kitabı, 291-301.
- Bayraktar, A., Türker, T. ve Altunışık, A., C., 2015b. Experimental Frequencies and Damping Ratios for Historical Masonry Arch Bridges, Construction and Building Materials, 75, 234-241.
- Beconcini, M., L., Buratti, G., Croce, P., Mengozzi, M. and Orsini, P., 2007. Dynamic Characterization of a Five Spans Historical Masonry Arch Bridge, ARCH'07-5th International Conference on Arch Bridges, 399-407.
- Begimgil, M., 1997. Donatısız Kemer Köprülerin Tasarımı, Türkiye İnşaat Mühendisliği 14. Teknik Kongresi, İzmir.
- Birinci, F., 2010. Taş Kemer Köprülerin Sonlu Eleman Modellerinin Operasyonel Modal Analiz Yöntemiyle İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- Boothby, T., E., 2001. Analysis of Masonry Arches and Vaults, Prog. Struct. Engng Mater., 3, 246-256.
- Brencich, A. ve Sabia, D., 2008. Experimental Identification of a Multi-Span Masonry Bridge: The Tanaro Bridge, Construction and Building Materials, 22, 2087–2099.
- Bolton, A., 1994. Structural Dynamics in Practice, 1st Ed., McGraw-Hill International, London.
- Chopra, A., K., Yapı Dinamiği Teori ve Deprem Mühendisliği Uygulamaları, Hilmi Luş, 4. Baskı, Palme Yayıncılık, Ankara, 2015.
- Çulpan, C., 2002. Türk Taş Köprüleri: Ortaçağdan Osmanlı Devri Sonuna Kadar, Türk Tarih Kurumu, Ankara.
- Dabanlı, Ö., Tarihi Yığma Yapıların Deprem Performansının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü, İstanbul, 2008.
- Ercan, E. ve Nuhoglu, A., 2015. Üç Açıklıklı Tarihi Yığma Köprünün Yapısal Davranışının Belirlenmesi, 3.Köprüler Viyadükler Sempozyumu, Mayıs, Bursa, Bildiriler Kitabı, 92-105.
- Fanning, P., J. ve Boothby T., E., 2001. Three- Dimensional Modelling and Full- Scale Testing of Stone Arch Bridges, Computers and Structures, 79, 2645-2662.
- Frunzio, G., Monaco, M. ve Gesualdo, A., 2001. 3D F.E.M. Analysis of a Roman Arch Bridge, Historical Constructions, P. B. Lourenço, P. Roca (Eds.), Guimarães.
- Gürer, C., Akbulut, H., ve Çetin, S., 2007. Tek Açıklıklı Kemer Sistemli Rize Köprülerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analizi, 1. Köprü ve Viyadükler Sempozyumu, Kasım, Antalya, Bildiriler Kitabı, 435-445.
- Halifeoğlu, F., M., Sert, H. ve Yılmaz, S., 2013. Tarihi Kurt Köprüsü (Mihraplı Köprü, Vezirköprü) Restorasyonu Proje ve Uygulama Çalışmaları, METU-JFA, 30, 2, 81-104.
- Hasol, D., 1998. Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü, Yem Yayınları, İstanbul.
- Heyman, J., 1999. The Stone Skeleton: Structural Engineering of Masonry Architecture, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 160 p.
- İlter, F., 1978. Osmanlılara Kadar Anadolu Türk Köprüleri, Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara.
- Karaveziroglou, M., Stavrakakis, E., Lazarides, P., Liolios, A., Giannopoulou, M., Roukounis, Y. and Yeroyianni, M., 2001. A Comparative Analysis of Some Historical Stone Arch Bridges in Greece by Two New Numerical Approaches, Historical Constructions, P.B. Lourenço, P. Roca (Eds.), Guimarães.

- Koçyiğit, Y., 2015. Edirne Fatih Köprüsünün Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi, 5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, Ekim, Erzurum, Bildiriler Kitabı, 303-311.
- Korkmaz, K., A., Zabin, P., Çarhoğlu, A., I. ve Nuhoglu, A., 2013. Taş Kemer Köprülerin Deprem Davranışlarının Değerlendirilmesi: Timisvat Köprüsü Örneği, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 2, 1, 66-75.
- Oliveira, D., V., Maruccio, C and Lourenço, P., B., 2007. Numerical Modelling of a Load Test on a Masonry Arch Bridge, ARCH'07 – 5th International Conference on Arch Bridges, 577-584.
- Orhan, S., N., 2010. Tek Açıklıklı Dairesel Kagir Kemer Köprülerin Göçme Yüklerinin Limit Analiz Yöntemleri ile Hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Orhan, S., N. ve Özyazıcıoğlu, M., H., 2015. Tek Açıklıklı Dairesel Kagir Kemer Köprülerin Göçme Yüklerinin Limit Analiz Yöntemleri İle Hesaplanması, Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 21, 3, 88-93.
- Özdamar, K., 2003. SPSS ile Biyoistatistik, Nisan Kitabevi, Eskişehir.
- Özer, O., 2006. Assessment of Masonry Arch Bridges by Mechanism Method. MS Thesis, Boğaziçi University, İstanbul.
- Özer, S., S., 2006. Geleneksel Yığma Yapılarda Strüktürel Elemanların Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- Özkaya, S., G., 2013. Tek Açıklıklı Yığma Kemer Köprülerin (Ordu, Sarpdere Köprüsü) Göçme Yüklerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Pelà, L., Aprile, A. ve Benedetti, A., 2009. Seismic Assessment of Masonry Arch Bridges, Engineering Structures, 31, 1777-1788.
- Rafiee, A., Vinches, M. ve Bohatier, C., 2008. Application of the NSCD Method to Analyse the Dynamic Behaviour of Stone Arched Structures, International Journal of Solids and Structures, 45, 6269–6283.
- Ramos, L., F., Lourenço, P., B., De Roeck, G. ve Campos- Costa, A., 2009. Damage Identification in Masonry Structures with Vibration Measurements.
- Sayın, E., Karaton, M., Yön, B. ve Calayır, Y., 2011. Tarihi Uzunok Köprüsünün Yapı Zemin Etkileşimi Dikkate Alınarak Doğrusal Olmayan Dinamik Analizi, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Ekim, Ankara, Bildiriler Kitabı, 1-8.
- SAP2000, 2008. Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Computers and Structures Inc, Berkeley, California, USA.

- Sert, H., 2007. Geçmişten Günümüze Tarihi Köprüler, Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu-1, Eylül, Ankara, Bildiriler Kitabı, 321-339.
- Sert, H., Partal, E., M., Nas, M., Yılmaz, S., Demirci, H., Avşin, A. ve Turan, G., S., 2015a. Tarihi Köprülerin Restorasyonları Kapsamında Yürütülen Yapısal Analiz Çalışmaları ve Sonuçları, 5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, Ekim, Erzurum, Bildiriler Kitabı, 83-97.
- Sert, H., Yılmaz, S., Partal, E., M., S., Demirci, H., Avşin, A., Nas, M. ve Turan, S., 2015b. Tarihi Malabadi (Batman Su) Köprüsü'nde Yürütülen Restorasyon Konservasyon Çalışmaları, 5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, Ekim, Erzurum, Bildiriler Kitabı, 143-153.
- Toker, S. ve Ünay, A.İ., 2004 Mathematical Modelling and Finite Element Analysis of Masonry Arch Bridges. G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 17, 2, 129-139.
- Tunç, G., 1978. Taş Köprülerimiz, Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara.
- Türker, T., 2011. Çevresel Titreşim Verileri Kullanılarak Yapıların Hasar Durumlarının Tespiti ve Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Türker, T., Bayraktar, A., Kocaman, İ. ve Çoruhlu, B., 2015. Ölçekli Yığma Taş Kemer Köprü Modelinin Dinamik Davranışının Deneysel ve Analitik Olarak İncelenmesi, 5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, Ekim, Erzurum, Bildiriler Kitabı, 113-126.
- Ural, A., 2005. Tarihi Kemer Köprülerin Sonlu Eleman Metoduyla Analizi, Deprem Sempozyumu, Mart , Kocaeli, Bildiriler Kitabı, 408-413.
- Ural, A., Oruç, Ş., Doğangün, A. ve Tuluk, Ö., İ., 2008. Turkish Historical Arch Bridges and Their Deteriorations and Failures, Engineering Failure Analysis, 15, 43–53.
- Ünay, A., İ., 2002 .Tarihi Yapıların Depreme Dayanımı, ODTÜ Mimarlık Fakültesi Basım İşbirliği, Ankara.
- URL-1, <https://www.biletall.com/blog/wp-content/uploads/2016/01/Pont-du-Gard.jpg>. 15.03.2017.
- URL-2, [http://img.haberler.com/galeri/84/iste-dunyanin-en-harika-kopruleri\\_15642\\_b.jpg](http://img.haberler.com/galeri/84/iste-dunyanin-en-harika-kopruleri_15642_b.jpg). 15.03.2017.
- URL-3, <http://www.adiyamandaisikgazetesi.com/wp-content/uploads/2015/07/Tarihe-Meydan-Okuyan-K%C3%B6pr%C3%BC-Cendere-K%C3%B6pr%C3%BCs%C3%BC-1-660x330.jpg>. 15.03.2017.
- URL-4, <https://sites.google.com/site/kaspinar2/karamaara-kprs>. 15.03.2017.
- URL-5, <http://gezginlerkulubu.org/turkiyede-tarihi-kopruler/>. 15.03.2017.

URL-6, [http://www.adanadan.biz/dosyalar/site\\_resim/icerik/galeri/buyuk/4561350.jpg](http://www.adanadan.biz/dosyalar/site_resim/icerik/galeri/buyuk/4561350.jpg).  
15.03.2017.

URL-7, <http://www.gezilebilecekyerler.com/wp-content/uploads/Aspendos-K%C3%B6pr%C3%BCs%C3%BC.jpg>. 15.03.2017.

URL-8, <http://www.turizmhaberleri.com/img/haber/manset/batmankopru22.jpg>.  
15.03.2017.

URL-9, <http://img.photobucket.com/albums/v501/utkuh/moto/tur3s/3025.jpg>. 15.03.2017.



## ÖZGEÇMİŞ

Berna ÇORUHLU 1991 yılında Trabzon, Merkez, Kalkınma Mahallesi'nde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Mimar Sinan İlköğretim Okulu ve Trabzon Anadolu Lisesi'nde 2009 yılında tamamladı. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 2013 yılında İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimini tamamladı. Bir yıl kadar özel sektörde inşaat mühendisi olarak çalıştı. 2014 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2015/1 ÖSYM yerleştirmesi ile Çay İşletmeleri Genel Müdürlüğü'ne inşaat mühendisi olarak atandı. Berna ÇORUHLU, İngilizce bilmekte ve halen anılan görevine devam etmektedir.