

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TARİHİ KÖPRÜLERİN YAPISAL DAVRANIŞINA RESTORASYON  
ÇALIŞMALARININ ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnş. Müh. Ali Fuat GENÇ**

**HAZİRAN 2015**

**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

Bu tez çalışması Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

“Tarihi Köprülerin Yapısal Davranışına Restorasyon Çalışmalarının Etkisi” isimli tez çalışmasını bana öneren ve her aşamasında beni destekleyen, daha iyi ve güzel çalışmalar için devamlı teşvik eden değerli Hocam Sayın Doç. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Tez çalışmamda kullandığım köprü hakkında genel bilgileri ve ilgili dökümanları benimle paylaşan değerli Hocam Sayın Prof. Dr. Alemdar BAYRAKTAR'a ve tez ile ilgili değerli görüş ve önerilerini benimle paylaşan Hocam Sayın Doç. Dr. Barış SEVİM'e teşekkür ederim.

Akademik hayatım boyunca bana destek olan ve bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan Hocalarım Sayın Arş. Gör. Süleyman İstemihan COŞĞUN'a, Arş. Gör. Bayram Ali TEMEL'e, Arş. Gör. Barbaros ATMACA'ya, Arş. Gör. Mustafa ERGÜN'e, Arş. Gör. Hasan SESLİ'ye, Arş. Gör. Emre SARI'ya ve Arş. Gör. Ahmet KUVAT'a teşekkür ederim.

Tez çalışmalarımda hep yanımda olan ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli arkadaşlarım Mohammad Manzoor NASERY'e ve Muhammed KAYA'ya şükranlarımı sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca bana her türlü desteği sağlayan babam Mahmut Yılmaz GENÇ'e, annem Leyla GENÇ'e ve dedem Mehmet Sadık GENÇ'e müteşekkir olduğumu belirtir, bu çalışmanın ülkemize faydalı olmasını temenni ederim.

Ali Fuat GENÇ  
Trabzon 2015

## **TEZ ETİK BEYANNAMESİ**

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Tarihi Köprülerin Yapısal Davranışına Restorasyon Çalışmalarının Etkisi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda 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.

01/06/2015

Ali Fuat GENÇ

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa No</u></b>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VII
SUMMARY.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. İlgili Çalışmalar.....	2
1.3. Tezin Amacı ve İçeriği.....	5
1.4. Yığma Kemer Köprüler.....	6
1.4.1. Yığma Kemer Köprü Yapımı, Çeşitleri ve Bölümleri.....	9
1.4.2. Tarihi Kemer Köprü Restorasyon Çalışmaları.....	14
1.5. Köprülerin Analitik Modellenmesi.....	18
1.5.1. Analizlerde Yapılan Kabuller.....	18
1.6. Sonlu Eleman Yöntemine Dayalı Dinamik Formülasyon.....	20
1.6.1. Analitik Dinamik Karakteristiklerin Belirlenmesi.....	20
1.6.2. Newmark Yöntemine Göre Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz.....	21
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER.....	24
2.1. Dandalaz Köprüsü.....	24
2.1.1. Köprü Genel Bilgileri.....	24
2.1.1.1. Köprünün Adı, Yeri ve Genel Özellikleri.....	24
2.1.1.2. Köprünün Tarihi Geçmişi ve Önemi.....	26
2.1.1.3. Köprünün Şimdiki ve Gelecekteki Kullanımı.....	26
2.1.2. Köprünün Mimari ve Yapısal Özelliklerinin Belirlenmesi.....	26
2.1.2.1. Mimari Yapı, Taşıyıcı Sistem ve Malzemeler.....	26

2.1.2.2.	Lokal Sismisitesi.....	27
2.1.2.3.	Malzeme ve Zemin İncelemesi.....	28
2.1.3.	Köprüde Hasar Değerlendirmesi .....	29
2.1.3.1.	Mimari ve Taşıyıcı Sistem Sorunları.....	29
2.1.3.2.	Malzeme Sorunları.....	30
2.1.3.3.	Bitkilenme Sorunları.....	31
2.1.4.	Köprüde Restorasyon Çalışmaları .....	32
2.1.4.1.	Köprüde Yapılmış Restorasyon Çalışmaları .....	32
2.1.4.2.	Köprüde Yapılacak Restorasyon Çalışmaları.....	32
2.2.	Yapısal Analizler ve Değerlendirmeler .....	34
2.2.1.	Köprünün Restorasyon Öncesi Durumu Dikkate Alınarak Gerçekleştirilen Analizler .....	35
2.2.1.1.	Restorasyon Öncesi Durum İçin Köprünün Kendi Ağırlığı Altındaki Davranışının Belirlenmesi .....	38
2.2.1.2.	Restorasyon Öncesi Durum İçin Köprünün Kendi Ağırlığı ve Hareketli Yükler Altındaki Davranışının Belirlenmesi .....	45
2.2.1.3.	Restorasyon Öncesi Durum İçin Köprünün Kendi Ağırlığı, Hareketli Yükler ve Y-Doğrultusunda Deprem Yüğü Altındaki Davranışının Belirlenmesi.....	52
2.2.2.	Köprünün Restorasyon Sonrasında Gerçekleştirilen Analizleri.....	59
2.2.2.1.	Restorasyon Sonrası Durum İçin Köprünün Kendi Ağırlığı Altındaki Davranışının Belirlenmesi .....	61
2.2.2.2.	Restorasyon Sonrası Durum İçin Köprünün Kendi Ağırlığı ve Hareketli Yükler Altındaki Davranışının Belirlenmesi .....	67
2.2.2.3.	Restorasyon Sonrası Durum İçin Köprünün Kendi Ağırlığı, Hareketli Yükler ve Y-Doğrultusunda Deprem Yüğü Altındaki Davranışının Belirlenmesi.....	73
2.3.	Analizler Sonucunda Elde Edilen Verilerin Değerlendirilmesi.....	80
3.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	81
4.	KAYNAKLAR .....	84

ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

TARİHİ KÖPRÜLERİN YAPISAL DAVRANIŞINA RESTORASYON  
ÇALIŞMALARININ ETKİSİ

Ali Fuat GENÇ

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Doç. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK  
2015, 87 Sayfa

Bu tez çalışmasında, tarihi köprü restorasyon çalışmalarının köprülerin yapısal davranışına etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, seçilen kemer köprünün restorasyon öncesi ve sonrası durumları için analizler yapılarak restorasyon etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Tez çalışması dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde tarihi yapıların öneminden bahsedilerek, bu yapıların korunmasının gerekliliği vurgulanmıştır. Daha sonra yığma kemer köprülerle ilgili yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir. Akabinde kemer köprüler hakkında genel bilgiler verilerek, kısa tarihçesine değinilmektedir. Bölümün son kısmında sonlu eleman yöntemi ve deprem analizleri için gerekli formülasyonlar verilmiştir. İkinci bölümde yapılan çalışmalara yer verilmektedir. Seçilen köprü hakkında detaylı bilgi verildikten sonra restorasyon öncesi ve sonrası; kendi ağırlığında, kendi ağırlığı ve hareketli yükler, kendi ağırlığı-hareketli yükler ve deprem yükleri analizlerine ait sonuçlar kontur diagramları yardımıyla verilmektedir. Daha sonra tüm sonuçlar tablolar ile verilmiştir. Üçüncü bölümde çalışmadan elde edilen sonuçlar ve öneriler maddeler halinde sunulmaktadır. Son bölümde yararlanılan kaynaklar belirtilmiştir.

Çalışma sonunda, tarihi kemer köprü restorasyon çalışmalarının köprülerin yapısal davranışına olumlu yönde etki ettiği belirlenmiş olup, restorasyon çalışmalarının gerekliliği ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Tarihi Kemer Köprüler, Kemer Köprü Analizleri, Sonlu Eleman Yöntemi, Yapısal Davranış, Restorasyon Etkisi



Master Thesis

SUMMARY

RESTORATION WORKS EFFECT ON STRUCTURAL RESPONSE OF HISTORICAL  
BRIDGES

Ali Fuat GENÇ

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Civil Engineering Graduate Program  
Supervisor: Assoc. Prof. Ahmet Can ALTUNIŞIK  
2015, 87 Pages

In this thesis, restoration works effect on historical bridges is investigated. For this purpose, chosen arch bridge is analyzed for before and after restoration case and with these analyses it is aimed to investigate the effect of the restoration.

The thesis consists of four chapters. In the first chapter, by mentioning the importance of the historical structures it has emphasized the necessity of protection of these structures. Then the studies which have been made before, are related to the masonry arch bridges are mentioned. After that general information about masonry arch bridges is given and short history of masonry arch bridges is addressed. In the last part of the section, required formulations are provided for the finite element method and seismic analysis. Studies which are made within the thesis are taken place in the second part. After detailed information about chosen bridge were given, the results of dead load, dead and live loads, dead-live and earthquake loads analyses for before and after restoration case are given with contour diagrams. Then whole results are given with tables. In the third section, the results and suggestions which are obtained from study are listed. In the last chapter, it is given sources benefited and suggestions.

As a result of the study, it is pointed out that restoration of historical arch bridges effect the structural behavior of the bridges positively and the necessity of restoration works is demonstrated.

**Key Words:** Masonry Arch Bridges, Finite Element Method, Structural Response, Restoration Effect

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Şekil 1.1. Roma dönemine ait Cendere Köprüsü.....	7
Şekil 1.2. Roma dönemine ait ve Justinianus Köprüsü.....	7
Şekil 1.3. Artuklu dönemine ait Malabadi Köprüsü .....	8
Şekil 1.4. Artuklu dönemine ait Hasankeyf Köprüsü .....	8
Şekil 1.5. Selçuklu dönemine ait Akköprü .....	9
Şekil 1.6. Osmanlı dönemine ait Mostar köprüsü.....	9
Şekil 1.7. Şematik olarak kemer köprü inşası.....	10
Şekil 1.8. Kemer davranışı a) yeni yapılmış kemer b) oturmuş 3 mafsallı kemer.....	10
Şekil 1.9. Düz Köprü (Uzun Köprü-Edirne).....	11
Şekil 1.10. Dik Köprü (Taş Köprü-Hakkari) .....	12
Şekil 1.11. Hasarlı köprü örnekleri .....	17
Şekil 1.12.. Kemer köprü restorasyon çalışmaları .....	17
Şekil 1.13. Değişik dizilişlere sahip taş yığma şekilleri .....	18
Şekil 1.14. Makro modelleme.....	19
Şekil 1.15. Basitleştirilmiş mikro modelleme.....	19
Şekil 1.16. Detaylı mikro modelleme .....	20
Şekil 2.1. Dandalaz Köprüsü'nün yerini gösteren haritalar .....	24
Şekil 2.2. Dandalaz Köprüsü'ne ait bazı görünüşler.....	25
Şekil 2.3. Aydın ili ve ilçelerine ait deprem haritası.....	28
Şekil 2.4. Mimari ve taşıyıcı sistem sorunlara ait bazı görünüşler .....	30
Şekil 2.5. Kemer bölgesine ait bazı ayrışma ve eleman kayıpları .....	30
Şekil 2.6. Köprüde tempan duvar hasarlarına ait kopma, kırılma ve çatlama sorunları ...	31
Şekil 2.7. Dandalaz Köprüsü'nde bitkilenme sorunlarına ait bazı görünüşler .....	31
Şekil 2.8. Dandalaz Köprüsü restorasyon projesine ait memba ve mansap görünüşler ...	33
Şekil 2.9. SOLID186 elemanının genel görünüşü ve sonlu eleman ağında alacağı durumlar.....	35
Şekil 2.10. Dandalaz Köprüsü'nün restorasyon öncesi durumuna ait sonlu eleman modeli, perspektif ve görünüşleri .....	37
Şekil 2.11. Köprü'nün restorasyon öncesi durumu için, kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizler sonucunda meydana gelen yerdeğiştirmelere ait kontur diyagramı.....	40

Şekil 2.12. Köprünün restorasyon öncesi durumu için kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizler sonucunda meydana gelen çekme gerilmelerine ait kontur diyagramı .....	41
Şekil 2.13. Köprünün restorasyon öncesi durumu için, kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizler sonucunda meydana gelen basınç gerilmelerine ait kontur diyagramı .....	42
Şekil 2.14. Köprünün restorasyon öncesi durumu için, kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizlerden çekme durumunda şekildeğiştirmelere ait kontur diyagramı.....	43
Şekil 2.15. Köprünün restorasyon öncesi durumu için, kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizlerden basınç durumunda şekildeğiştirmelere ait kontur diyagramı.....	44
Şekil 2.16. Restorasyon öncesi durumda kendi ağırlığı ve hareketli yükler altında yerdeğiştirme kontur diyagramı.....	47
Şekil 2.17. Köprünün restorasyon öncesi durumu için kendi ağırlığı ve hareketli yükler altında çekme gerilmelerinin dağılışına ait kontur diyagramı .....	48
Şekil 2.18. Köprünün restorasyon öncesi durumu için, kendi ağırlığı ve hareketli yükler altında basınç gerilmelerinin dağılışına ait kontur diyagramı .....	49
Şekil 2.19. Köprünün restorasyon öncesi durumu için kendi ağırlığı ve hareketli yükler altında çekme durumunda şekildeğiştirmelere ait kontur diyagramı ....	50
Şekil 2.20. Köprünün restorasyon öncesi durumu için kendi ağırlığı ve hareketli yükler altında basınç durumunda şekildeğiştirmelere ait kontur diyagramı.....	51
Şekil 2.21. Yarımca istasyonundan alınan Kocaeli Depremine ait ivme kaydı.....	52
Şekil 2.22. Köprünün restorasyon öncesi durumu için, kendi ağırlığı, hareketli ve y-doğrultusundaki deprem yükü altında yerdeğiştirmelere ait kontur diyagramı	54
Şekil 2.23. Köprünün restorasyon öncesi durumu için, kendi ağırlığı, hareketli yük ve y-doğrultusundaki deprem yükü altında çekme gerilmelerinin dağılışına ait kontur diyagramı .....	55
Şekil 2.24. Köprünün restorasyon öncesi durumu için, kendi ağırlığı, hareketli yük ve y-doğrultusundaki deprem yükü altında basınç gerilmelerinin dağılışına ait kontur diyagramı .....	56
Şekil 2.25. Köprünün restorasyon öncesi durumu için, kendi ağırlığı, hareketli yük ve y-doğrultusundaki deprem yükü altında çekme durumunda şekildeğiştirmelere ait kontur diyagramı .....	57
Şekil 2.26. Köprünün restorasyon öncesi durumu için, kendi ağırlığı, hareketli yük ve y-doğrultusundaki deprem yükü altında basınç durumunda şekildeğiştirmelere ait kontur diyagramı .....	58
Şekil 2.27. Dandalaz Köprüsü'nün restorasyon sonrası durumuna ait sonlu elaman modeli, perspektif ve görünüşleri.....	60
Şekil 2.28. Köprünün restorasyon sonrası durumu için, kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizler sonucunda meydana gelen yerdeğiştirmelere ait kontur diyagramı.....	62

Şekil 2.29. Köprünün restorasyon sonrası durumu için, kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizler sonucunda meydana gelen çekme gerilmelerine ait kontur diyagramı .....	63
Şekil 2.30. Köprünün restorasyon sonrası durumu için, kendi ağırlığı altındaki analizleri sonucunda meydana gelen basınç gerilmelerine ait kontur diyagramı .....	64
Şekil 2.31. Köprünün restorasyon sonrası durumunda, kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizlerden çekme durumu için şekildeğiştirmelere ait kontur diyagramı .....	65
Şekil 2.32. Köprünün restorasyon sonrası durumunda, kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizlerden basınç durumu için şekildeğiştirmelere ait kontur diyagramı .....	66
Şekil 2.33. Köprünün restorasyon sonrası durumu için, kendi ağırlığı ve hareketli yükler altında gerçekleştirilen analizler sonucunda meydana gelen yerdeğiştirmelere ait kontur diyagramı.....	68
Şekil 2.34. Köprünün restorasyon sonrası durumu için, kendi ağırlığı ve hareketli yükler altında gerçekleştirilen analizler sonucunda meydana gelen çekme gerilmelerine ait kontur diyagramı .....	69
Şekil 2.35. Köprünün restorasyon sonrası durumu için, kendi ağırlığı ve hareketli yükler altındaki analizleri sonucunda meydana gelen basınç gerilmelerine ait kontur diyagramı .....	70
Şekil 2.36. Köprünün restorasyon sonrası durumunda, kendi ağırlığı ve hareketli yükler altında gerçekleştirilen analizlerden çekme durumu için şekildeğiştirmelere ait kontur diyagramı .....	71
Şekil 2.37. Köprünün restorasyon sonrası durumunda, kendi ağırlığı ve hareketli yükler altında gerçekleştirilen analizlerden basınç durumu için şekildeğiştirmelere ait kontur diyagramı .....	72
Şekil 2.38. Köprünün restorasyon sonrası durumu için, kendi ağırlığı, hareketli ve y-doğrultusundaki deprem yükü altında gerçekleştirilen analizler sonucunda oluşan yerdeğiştirmelere ait kontur diyagramı .....	75
Şekil 2.39. Köprünün restorasyon sonrası durumu için, kendi ağırlığı, hareketli ve y-doğrultusundaki deprem yükleri dikkate alınarak gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen çekme gerilmelerinin dağılışıma ait kontur diyagramı .	76
Şekil 2.40. Köprünün restorasyon sonrası durumu için, kendi ağırlığı, hareketli ve y-doğrultusundaki deprem yükleri dikkate alınarak gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen basınç gerilmelerinin dağılışıma ait kontur diyagramı..	77
Şekil 2.41. Köprünün restorasyon sonrası durumunda, kendi ağırlığı, hareketli ve y-doğrultusundaki deprem yükleri altında gerçekleştirilen analizlerden çekme durumu için şekildeğiştirmelere ait kontur diyagramı.....	78
Şekil 2.42. Köprünün restorasyon sonrası durumunda, kendi ağırlığı, hareketli ve y-doğrultusundaki deprem yükleri altında gerçekleştirilen analizlerden basınç durumu için şekildeğiştirmelere ait kontur diyagramı.....	79

## TABLULAR DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 2.1. Restorasyon öncesi analizlerde kullanılan malzeme özellikleri .....	36
Tablo 2.2. Köprünün restorasyon sonrası analizlerinde kullanılan malzeme özellikleri ...	59
Tablo 2.3. Köprünün restorasyon öncesi analizlerinde elde edilen sonuçlar .....	80
Tablo 2.4. Köprünün restorasyon sonrası analizlerinde elde edilen sonuçlar .....	80

## SEMBOLLER DİZİNİ

M	Sistem kütle matrisi
C	Sistem sönüm matrisi
K	Sistem rijitlik matrisi
U	Zamana bağlı yerdeğiştirme vektörü
$\dot{U}$	Zamana bağlı hız vektörü
$\ddot{U}$	Zamana bağlı ivme vektörü
R	Sisteme etkiyen ve zamanla değişen dış yük vektörü
t	Zaman
$\beta, \gamma$	İntegrasyon parametreleri
KA	Kendi ağırlığı
HY	Hareketli yük
DY	Deprem yükü

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Tarihi yapılar medeniyetlerin kimliklerini oluşturan temel unsurlardır. Bulunduğu topraklarda farklı yüzyıllardan yansımalar taşıyan bu eserler, geçmiş ile günümüzü bağlayan kuvvetli bir bağ görevi görmektedirler. Geçmiş nesillerin yaşantıları hakkında bilgi veren bir çok ipucu, o nesillerin bıraktığı tarihi yapılardan rahatlıkla anlaşılabilir. Bu nedenle günümüzde ülkelerin kendi tarihsel bütünlüğünü gelecek nesillere aktarmada tarihi yapıların yaşatılması büyük önem arz etmektedir.

Tarihi yapıların en önemlilerinden ve en eskilerinden biri de hiç kuşkusuz köprülerdir. Köprüler bir bakıma nehirlerin bilezikleri olan sanat değeri yüksek yapılardır. Tarihten günümüze, bölgeden bölgeye değişiklik gösteren birçok köprü çeşidi ortaya çıkmış, ortaya çıkan bu köprüler yeniliklerle beraber geliştirilerek günümüzdeki formlarına ulaşmışlardır. Tarihte insanların inşa ettiği köprüler günümüze sadece bir yapı birimi olarak değil, daha çok bir kültür mirası, günümüzle eski yüzyılları bağlayan bir bağ ve üzerinden geçen uygarlıkların ayak izleri olarak ulaşmışlardır.

Köprüler içerisinde, günümüze kadar inşa edilmiş en önemli köprü tipi yığma kemer köprülerdir. Bu köprü tipini oluşturan ve köprüye de adını veren kemerlerdir. Kemer formu, tasarımı ile pek çok tarihi yapının vazgeçilmez yapı elemanı haline gelmiştir. Kemer formu, yığma yapılarda hem yapısal hem de estetik kaygılara yönelik sıklıkla kullanılmaktadır. Geniş açıklıkların geçilmesinde uygun olan ve bu nedenle sıklıkla kullanılan kemer formu, geometrik biçiminden dolayı genellikle basınç etkisinde kalmaktadır. Yüksek basınç dayanımından dolayı taş, kemer formunun temel yapı malzemesi olmuştur. Zaman içerisinde kullanılan malzeme ve inşaat tekniklerinde kayda değer bir değişiklik olmamasına rağmen kemer tiplerinde büyük değişiklikler gözlenmiştir. Değişik kültür ve uygarlıklarda, kendilerine özgü, hem işlevsel hem de dekoratif amaçlı, çok farklı kemer formları kullanılmıştır (Toker ve Ünay, 2004).

Tarihi yapıların zaman içerisinde ortak kaderlerini teşkil eden yapısal bozulmalar ve hasarlar yığma kemer köprüler için de geçerlidir (Ural vd., 2007). Binlerce yıllık geçmişe

sahip olan tarihi yapılar yaşamları boyunca doğal afetler nedeniyle veya insan eli tarafından zarar görmekte ya da yıkılmaktadırlar. Tarihi yapıların zarar görmesinde ya da yıkılmasında; yapı malzemelerinin dayanımını yitirmesi, zamana bağlı şekil değiştirmeler, tasarım dışı kullanımın neden olduğu aşırı ve düzensiz yüklemeler, depremler, zemin oturmaları, sel felaketleri, yangınlar ve savaşlar önemli rol oynamaktadır (Toker ve Ünay, 2004).

Günümüzde teknolojinin gelişmesi ile beraber kemer köprülerin yerini betonarme ve çelik köprüler almıştır. Ancak kemer köprüler bazı ülkelerde karayolu ve demiryolu ulaşımında hala büyük oranda kullanılmaktadır. Ülkemizde de pek çok kemer köprü şu an kullanımdadır. Kullanımda olan bu köprülerdeki en büyük sorun hiç şüphesiz ağırlaşan trafik yükleridir. Üretim aşamasında çok daha hafif yükler için tasarlanan kemer köprüler, bu yüzyılda ağır trafik yükleri nedeniyle hasar görmektedir. Doğal afetler, savaşlar, yangınlar gibi tarihi yapılara zarar veren bu tür etkiler köprülerin de zaman içinde yıkılmasına veya ağır hasar görerek kullanım dışı kalmasına yol açmaktadır. Bu tür yıkımları önlemek amacıyla zamanında ve yerinde restorasyonlar yapılmalıdır. Bu tür kurtarıcı uygulamalar hem o yapıyı hem de taşıdığı kültürü yaşatmada büyük önem taşımaktadır. Ancak yapılan uygulamalarda tarihi yapıların özgünlüğü kaybolmamalı, aslına uygun çalışmalar gerçekleştirilmelidir.

Son yıllarda ülkemizde ve dünyada tarihi yapı restorasyon çalışmaları hızlı bir artış göstermektedir. Bu çalışmalar ile beraber restorasyonların yapısal davranışa etkileri de önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Son yıllarda bilgisayar destekli analiz programlarının gelişmesi ile tarihi köprülerin yapısal davranışını incelemek amacıyla sonlu eleman yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem sayesinde, köprülerin hasarlı ve restore edilmiş durumları analiz edilebilmekte olup, restorasyon çalışmalarının köprüye etkileri incelenebilmektedir. Bu tür yapılan çalışmalar, kemer köprüler hakkında daha fazla bilgi birikiminin oluşmasına yardım etmekle beraber, gelecekte yapılacak olan köprü restorasyonları için de bir kaynak oluşturmaktadır.

## **1.2. İlgili Çalışmalar**

Tarihi yığma kemer köprüler ile ilgili günümüze kadar pek çok çalışma yapılmıştır. Çalışmalarda genellikle köprülerin teorik modellenmesi ve analiz çalışmaları, köprülerin lineer ve lineer olmayan davranışlarına yönelik çalışmalar, sonlu eleman modellemelerinin



iyileştirilmesine yönelik deneysel ve teorik çalışmalar ile tarihi kemer köprülere yönelik istatistiki çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bunlardan bazıları aşağıda verilmektedir.

Araştırmacılar öncelikle köprülerin teorik modellenmesi ve analizleri için pek çok çalışma ortaya koymuşlardır. Toker ve Ünay (2004), yaptıkları çalışmada, genel bir yığma köprü modeli üzerinde, çeşitli yük etkileri altında matematiksel modelleme tekniklerini deneyerek, bu gibi yapıların davranışlarının anlaşılabilmesi için sonlu eleman yönteminin uygun olduğunu belirtmişlerdir. Ural (2005), Trabzon ilinde bulunan Coşandere kemer köprüsünü sonlu eleman metodu ile modellemiş, doğrusal elastik, statik ve dinamik analizleri yaparak sonuçları irdelemiştir. Dede ve Ural (2007), Trabzon ilinde bulunan Coşandere kemer köprüsünü Matlab programında sonlu eleman yöntemine dayalı olarak ürettikleri program ve ayrı bir sonlu eleman paket programında analiz ederek, ürettikleri programın doğruluğunu araştırmışlardır. Kanit ve Işık (2007), kemer geometrisine sahip model yığma duvarların deneysel ve sayısal yöntemlerle mekanik davranışlarını belirlemişler ve çeşitli sayısal analiz yöntemlerinin bu tür yapıların analizlerinde kullanılmasının uygunluğunu araştırarak, ayırık eleman yöntemi sonuçlarının, sonlu farklar yöntemi sonuçlarından daha gerçekçi olduğunu belirtmişlerdir. Orhan (2010), yaptığı çalışmada kagir kemer köprülerin yük taşıma kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılan yöntemleri incelemiş ve tek açıklıklı kemer köprülerin göçme yüklerini rijit blok yöntemiyle hesaplamaya yönelik bir algoritma geliştirmiştir. Sayın vd. (2011), Malatya ilinde bulunan Uzunok kemer köprüsünün 3 boyutlu sonlu eleman modelini oluşturmuşlar, doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik analizler yaparak sonuçları incelemişlerdir. Stablon vd. (2011), Saint Ouen viyadüğüne ait, deneysel çalışmalardan aldıkları malzeme özelliklerini kullanarak sonlu eleman metodu ile önce örnek bir duvarın düşey yük altında hasarını izlemişler ve daha sonra köprünün bir açıklığını 3 boyutlu modelleyip önce kendi ağırlığı altında daha sonra dingil aksı boyunca yükleyerek analizini yapmışlar, gerilme, şekil değiştirme ve çatlakları incelemişlerdir. Tao vd. (2012), kemer köprüler için dört farklı sonlu eleman modelleme tekniği ortaya koyarak bu modelleme tekniklerinin kesinliğini ve uygunluğunu araştırmıştır. Korkmaz vd. (2013), Rize ilinde bulunan tarihi Timisvat köprüsünün farklı depremler altında ki sonlu eleman analizlerini gerçekleştirerek analiz sonuçlarını detaylı olarak irdelemişlerdir.

Araştırmacılar daha sonra kemer köprüler için oluşturdukları sonlu eleman modellerinin köprülerin gerçek davranışlarını ne kadar yansıttığını araştırmışlar, bu amaçla deneysel araştırmalar yapmışlardır. Bayraktar vd. (2007a) tarafından Trabzon ili Akçaabat

ilçesinde bulunan tarihi Şinik köprüsü Operasyonel Modal Analiz ve sonlu eleman yöntemi ile analizlere tabi tutulmuş ve elde edilen dinamik karakteristikleri karşılaştırılarak teorik ve deneysel yoldan elde edilen dinamik karakteristikler arasındaki farklılıkların giderilmesi için sonlu eleman model iyileştirilmesinin gerekliliği ortaya konulmuş ve sınır şartlarında ki değişimler dikkate alınarak model iyileştirmesi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra köprü 1992 Erzincan depremi altında analiz edilmiş ve analiz sonuçları irdelenmiştir. Bayraktar vd. (2010), Osmanlı köprüsü, İskenderpaşa minaresi ve Ayasofya çan kulesinin sonlu eleman modellerini Operasyonel Modal Analiz yöntemi yardımıyla iyileştirerek, tarihi yapıların deprem davranışlarının belirlenmesi için kullanılan sonlu eleman modellerinin tahribatsız deneysel yöntemler kullanılarak iyileştirilmesinin önemi vurgulanmıştır. Birinci (2010) yaptığı çalışmada ele aldığı taş kemer köprülerin dinamik karakteristiklerini teorik ve deneysel olarak elde etmiş ve köprülerin sonlu eleman modellerini Operasyonel Modal Analiz yöntemi ile iyileştirmiştir. Altunışık vd. (2011) Rize ili dahilinde bulunan Mikron kemer köprüsünün sonlu eleman modelini Operasyonel Modal Analiz verileri ile iyileştirmiş ve iyileştirilmiş sonlu eleman modeli sonuçlarının deneysel verilere yaklaştığını gözlemlemiştir. Sevim-vd. (2011a) tarafından Rize ilinde bulunan Mikron köprüsünün Operasyonel Modal Analiz yardımı ile sonlu eleman modeli iyileştirilmiş ve köprünün 1992 Erzincan depremi altında lineer olmayan davranışı incelenerek, sonlu eleman iyileştirmesinin lineer olmayan analizlere büyük etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Sevim-vd. (2011b), Osmanlı ve Şenyuva köprülerinin ortam titreşimi testleri ile iyileştirilmiş ve iyileştirilmemiş sonlu eleman modelleri deprem analizleri altında karşılaştırılmış ve sonlu eleman iyileştirilmesinin tarihi kemer köprü analizlerinin bütüncü parçası olması gerektiği vurgulanmıştır. Castellazzi vd. (2012), 15 açıklıklı tren yolu köprüsü üzerinde yaptıkları deneysel analizler ile sonlu eleman modelini iyileştirerek, iyileştirilmiş sonlu eleman modelinin köprünün yapısal durumunun ve güçlendirme müdahalelerinin değerlendirilmesi için kullanılabilmesi için sonucuna varmışlardır. Çalık vd. (2014), Trabzon ilinde bulunan Küçük Fatih camisinin hasar görmüş tonoz çatısının tamir öncesi ve sonrası için ortam titreşim testleri uygulanmış ve elde edilen verileri karşılaştırarak sonuçları irdelenmişlerdir. Ortam titreşim testlerinin, yapının tepkisini anlamada ve sonlu eleman modeli iyileştirmede kullanılmasının gerekliliğini vurgulamışlardır.

Köprülerle ilgili diğer bir araştırma konusu olarak, yığma kemer köprülerin hasar tipleri, güçlendirme teknikleri üzerinde durulmuş ve bu güçlendirmelerin yapıya etkileri

incelenmiştir. Lourenço ve Oliveira (2006) yaptıkları çalışmada ICOMOS'un (tarihi mimari yapıların analiz ve restorasyonu için uluslararası bilim komisyonu) tavsiyelerinden özetle bahsederek hasar görmüş tarihi bir kemer köprü üzerinde bu tavsiyelere uygun olarak araştırmalar yapmışlardır. Ural vd. (2007) yaptıkları çalışmada Trabzon ve çevresinde bulunan tarihi kemer köprülerdeki ortak hasarlar, hasar nedenleri ve yapılmış olan onarım çalışmaları hakkında bilgiler vermişlerdir. Ural vd. (2008), köprülerle ilgili yaptıkları çalışmada köprülerin ne çeşit bozulmalara ve hasarlara maruz kaldığı sırasıyla açıklanmış ve Karayolları Genel Müdürlüğü'nün yaptığı bazı restorasyon çalışmalarına kısaca değinilmiştir. Oliveira vd. (2010), Kuzey Porto'da bulunan Zameiro köprüsünün geçmişte gördüğü hasarlar ve onarımlar üzerinde kısa bir inceleme yapılmış; düzenli bakım çalışmalarının olmaması ve uygun drenaj sistemlerinin bulunmamasının Kuzey Portekiz'deki yığma kemer köprülerin hasar görmesinin ana nedeni olduğu belirtilmiştir. Gürbüz (2012) yaptığı çalışmada Kayseri ili sınırları dahilinde bulunan taş köprüleri detaylı olarak incelemiş, geometrik ölçümler ve çizimler yaparak, sistematik katalog düzeni içinde her bir köprünün ayrıntılı tanımı ile eserlerin karşılaştırma ve değerlendirmelerini yapmıştır. Ceylan (2013), Karayolları 13. Bölge Müdürlüğü'ne bağlı illerde tarihi kemer köprüleri araştırmış, köprülerde hasara neden olan etkileri ve onarım-koruma yollarını incelemiştir. Cakır ve Uysal (2014), yığma kemerlerin polimer kompozit malzemeler ile güçlendirilmesini araştırmış yaptığı deneysel çalışmalar ile sayısal analizleri karşılaştırıp bu tür malzemelerin yapının frekans ve sönüm oranlarını olumlu etkilediğini gözlemlemiştir.

### **1.3. Tezin Amacı ve İçeriği**

Tarihi kemer köprülerle ilgili bugüne kadar pek çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların çoğunluğu, kemer formunun ve kemer köprünün yapısal davranışını incelemeye yönelik olmuştur. Eski yıllarda basit yaklaşımlarla analiz edilen köprüler, teknolojinin de gelişmesiyle bilgisayar yazılımları sayesinde daha geniş analiz yöntemleri kullanılarak değerlendirilmeye başlanmıştır. Bu analiz yöntemlerinin gerçekçiliğini araştırmak için çok sayıda deneysel çalışmalar da yapılmıştır. Son yıllarda ise gerçek köprüler üzerinde alınan deneysel verilerin sayısal analizlere aktarılmasıyla gerçek davranışa daha fazla yaklaşım amaçlanmıştır. Bir diğer araştırma konusunda da, köprülerde kullanılan yapısal malzemelerin mekanik özellikleri incelenmiş ve yapısal davranışa olan

etkileri araştırılmış, kompozit malzemelerle güçlendirme yöntemleri irdelenmiştir. Ayrıca, tarihi mirasın doğru şekilde korunabilmesi, hasar görmüş yapıların özgün şekilde restorasyonu için birçok araştırma yapılmış, restorasyon teknikleri incelenmiştir.

Bu tez çalışmasında, tarihi köprülerin restorasyon öncesi ve sonrasına ait durumlar için analizler gerçekleştirilmiş olup, restorasyon çalışmalarının yapısal davranışa olan etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, Aydın İli, Karacasu İlçesi'nin 4km doğusunda, Karacasu-Tavas Karayolu ve Dandalaz çayı üzerinde, Osmanlı döneminden kalma tarihi Dandalaz Köprüsü üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

Çalışmanın ilk bölümünde, genel bilgiler üzerinde durulmakta, konuyla ilgili daha önce yapılan çalışmalar sunulmakta ve yığma kemer köprüler hakkında bilgiler verilip restorasyon çalışmaları anlatılmaktadır. Daha sonra yapılan sonlu eleman analizlerine ve zaman tanım alanında dinamik analizlere ait formülasyonlar sunulmaktadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, Dandalaz Köprüsü'ne ait genel bilgiler, köprünün tarihi geçmişi ve önemi, şimdi ve gelecekte ki kullanımından bahsedilmekte olup, mimari, yapısal ve malzeme özellikleri sunulmaktadır. Köprüye etki eden hasar tipleri anlatıldıktan sonra restorasyon çalışmalarından özetle bahsedilmektedir. Daha sonra ANSYS programı kullanılarak köprünün restorasyon öncesi ve sonrasına ait; kendi ağırlığında, kendi ağırlığı ve hareketli yükler altında ve Kocaeli depremi kullanılarak yapılmış dinamik analizler sonucunda elde edilen yerdeğiştirmeler, asal gerilmeler ve şekildeğiştirmeler kontur diyagramları ile sunulmaktadır.

Üçüncü bölümde, tez çalışmasından elde edilen sonuçlara ve yapılan önerilere yer verilmektedir.

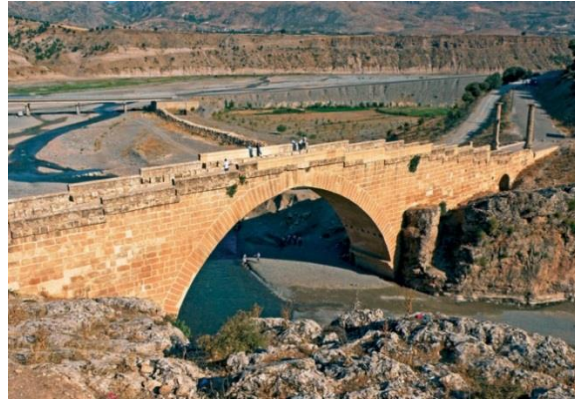
Dördüncü bölümü, kaynaklar kısmı oluşturmaktadır.

#### **1.4. Yığma Kemer Köprüler**

Köprü yapımında kullanılan taş ve kereste bilinen en eski köprü malzemeleridir. Başlarda kullanılan kereste, daha sonra yerini taşa bırakmış ve uzun ömürlü köprülerin inşası başlamıştır. Malzemenin dayanıklılığı ve zorlu doğa şartlarına karşı direnç göstermesi inşa edilecek bir yapı için çok önemlidir. Bu nedenle taş malzemeyle yapılan köprüler yüzyıllar boyunca ayakta kalabilmiştir (Ceylan, 2013). Kereste malzemedan, taş malzemeye geçişi sağlayan ve taş köprü gelişimini etkileyen en önemli olay köprülerde kemerin kullanılmaya başlanmasıdır. Kemere gelen bütün kuvvetlerin kemer hattı boyunca

dayanaklarına aktarılması esas, köprü mimarlığındaki en önemli gelişme olarak görülmüştür. Kemer kullanımı, akarsularda ve derin vadilerde büyük açıklıkların kolaylıkla geçilebilmesine imkân sağlamıştır. Kemer, boyut ve mimari görünüş açısından ülke ve kültürler göre değişse de, köprü yapımının vazgeçilmez unsuru olmuştur (Gürbüz, 2012).

Yığma köprülerin en önemli unsuru olan kemer formunun ilk örneklerine M.Ö. 3000 yıllarında Mezopotamya'da Sümerlere ait yeraltı mezarlarında rastlanmaktadır. Bu tarihte kemer formunun Mısırlılar tarafından da kullanıldığına dair bulgular bulunmaktadır. Ancak, kemer formunu bulanlar her ne kadar Sümerler veya Mısırlılar olsa da, en etkin ve göz alıcı şekilde kullananlar Romalılar olmuştur (Toker ve Ünay, 2004). Romalılar birçok alanda olduğu gibi köprü, su kemeri ve yol yapımında da ileri seviyeye ulaşmışlardır. Köprülerinde, iri ve köşeli taşlar kullanmışlardır. Yunanlılar ise köprü yapımında Romalıların seviyelerine ulaşamamışlardır (Ceylan, 2013).

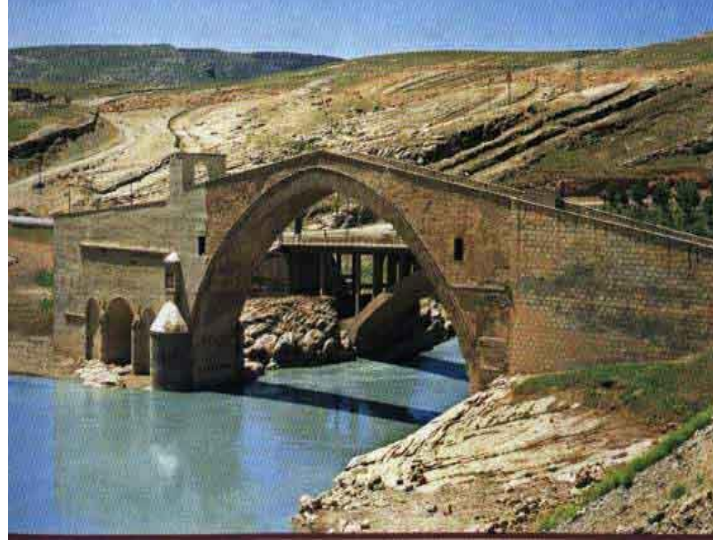


Şekil 1.1. Roma dönemine ait Cendere Köprüsü (URL-1, 2015)



Şekil 1.2. Doğu Roma dönemine ait Justinianus Köprüsü (URL-2, 2015)

Anadolu'nun Türk yurdu olması ile birlikte başlayan imar faaliyetlerinin başında yer alan köprü inşası; Beylikler döneminden başlayarak (M.S 1165 Artukoğulları) Ahlat'dan Bitlis'e doğru yapılan büyük yolun üzerinde köprüler ve köprülerin başlarında hanlar inşa edilmesi ile başlamıştır. Beyliklerle başlayan köprü imarı Selçuklu dönemi ile devam etmiştir (Gürbüz 2012).



Şekil 1.3. Artuklu dönemine ait Malabadi Köprüsü (URL-3, 2015)



Şekil 1.4. Artuklu dönemine ait Hasankeyf Köprüsü (URL-4, 2015)

Osmanlı dönemi öncesi Türk köprülerinde sivri kemer kullanıldığı genellemesi yapılabilir. Roma döneminde kullanılan yuvarlak kemerlerin yerine, dayanıklı olan ve az malzeme ile inşa edilebilen “sivri kemerler” kullanılmıştır. Bu uygulama şekli Osmanlı



köprü mimarisini daha ince, daha narin çizgilere ulaştırmıştır. Böylece Türk köprüleri, büyük hacimler kaplayan mimari elemanlara sahip özellikle Roma ve Bizans köprüleri yanında ince silüetleri ile daha zarif görünümlü yapılar olmuşlardır (Tunç,1978; Ceylan, 2013).



Şekil 1.5. Selçuklu dönemine ait Akköprü (URL-5, 2015)

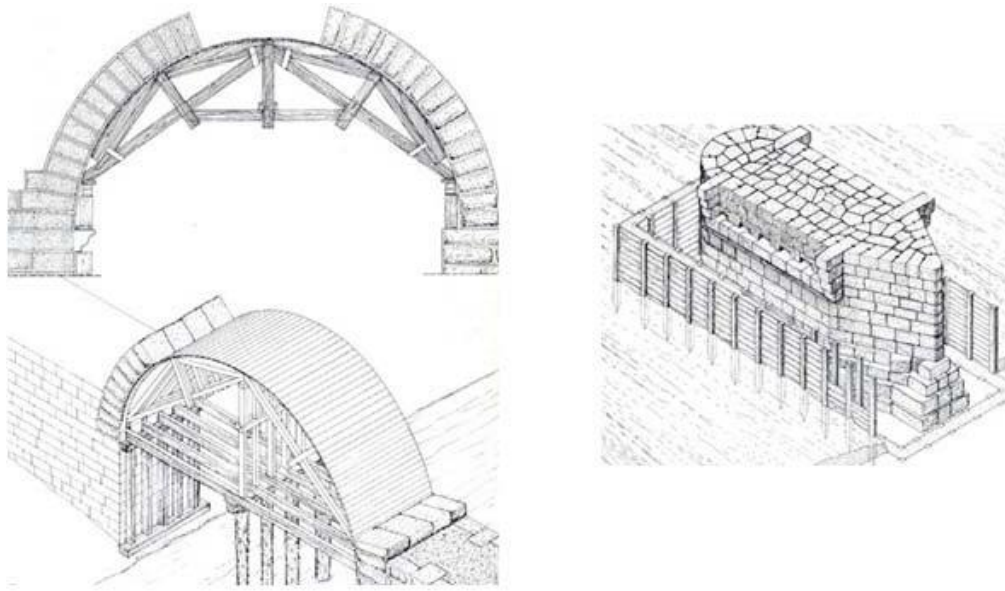


Şekil 1.6. Osmanlı dönemine ait Mostar Köprüsü (URL-6, 2015)

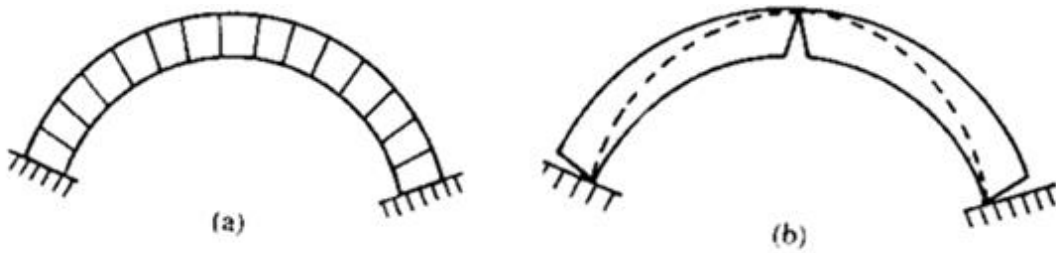
#### **1.4.1. Yığma Kemer Köprü Yapımı, Çeşitleri ve Bölümleri**

Yığma kemer köprü inşası ustalık gerektiren bir iştir. Yığma kemer köprülerin yapımında, öncelikle kemerin oturacağı mesnetler yani kemer ayakları inşa edilir. Sonra kemerin inşa sırasında oturacağı iskele kurulur. Düz ya da kama şeklinde 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 yapıyı ayakta tutabilmek için, iskele geçici bir destek olarak kullanılır (Şekil 1.7). Destek kaldırıldığında, kemer mesnetleri itmeye başlar. Mesnetler kaçınılmaz olarak bu itkiye biraz izin verir ve kemer bu hareketle beraber hafifçe yayılır ve açılır. Aşağıda bir kemerin mesnetlerinin izin vermesiyle, genişlemiş olan açıklığa yerleşmesi gösterilmektedir. (Şekil 1.8). Kemer taşlarının, mukavemet gösteremeyen ara yüzeylerden ayrılmasıyla birlikte kemer çatlamakta ve üç mafsallı kemer formu oluşmaktadır. Bu üç mafsallı kemer çok iyi bir kararlılığa sahiptir. Bu şekilde kemer çevre şartlarına makul bir cevap vermiş olmaktadır (Heyman, 1999; Dabanlı, 2008; Orhan, 2010).



Şekil 1.7. Şematik olarak kemer köprü inşası (Birinci, 2010)



Şekil 1.8. Kemer davranışı a) yeni yapılmış kemer b) oturmuş 3 mafsallı kemer (Orhan, 2010)



Kemer yapımı tamamlandıktan sonra, üst dolgu malzemesini muhafaza edecek olan kemer üstü (tempan) duvarları inşa edilmektedir. Bu duvarlarda, genelde büyük moloz taşlar kullanılmaktadır. Son aşama olarak, genelde büyük boyutlu taşların kullanıldığı yol dolgu malzemesinin, kemer üst duvarları arasına yerleştirilmesiyle köprünün yapımı tamamlanmış olmaktadır (Özer, 2006; Orhan, 2010).

Taş kemer köprüler şekillerine göre iki grupta sınıflandırılmaktadırlar (İlter, 1978).

1) Düz Köprüler: İki veya çok sayıda kemerler arasında, yükseklik ve genişlik bakımından, büyük fark göstermeyen, köprü yolunun düz veya hemen hemen düz olduğu köprülerdir. Düz köprüler genellikle geniş yataklı nehirlerde inşa edilir. Esas yatağın yaygın oluşu, köprü boyunu uzatır, göz adedi fazlaşır. Bu kuruluştta tabliyede düz olur. Şekil 1.9'da düz köprü örneği verilmektedir.

2) Dik Köprüler: Derin yataklı sular da ve vadilerde köprü ayaklarını vadiye oturtmak güçtür. Bu nedenle köprü ayakları vadinin her iki yakasından yükselen kenar kısımlara yerleştirilir ve araları geniş ve yüksek kemerlerle bağlanır. Böylece iki yaka arasında güçlü bir eğimle yükselen dik köprüler inşa edilmiş olur. Şekil 1.10'da dik köprü örneği verilmektedir.



Şekil 1.9. Düz Köprü (Uzun Köprü-Edirne) (URL-7, 2015)



Şekil 1.10. Dik Köprü (Taş Köprü-Hakkari) (URL-8, 2015)

Taş kemer köprüleri daha geniş sınıflandırmakta mümkündür (Çulpan, 2002; Gürbüz, 2012);

- 1) Yatay şekilli düz köprüler,
- 2) Her iki kıyıdan itibaren büyük kemere doğru çıkışlı ve inişli dik köprüler,
- 3) Her iki kıyıdan itibaren hafif meyille başlayıp sonra yatay şekil alan köprüler,
- 4) Tek gözlü ve ayaksız köprüler,
- 5) Çok gözlü köprüler,
- 6) Eğri köprüler: Bu köprüler nehir alanında ayakları sağlam zemini izlemesi ve nehrin akıntı kütlelerinin köprüye yapacağı ana basıncı dağıtmak için inşa edilmiştir;
- 7) Kesik köprüler,
- 8) Üzerinde veya ayakları üzerinde küçük oda bulunan köprüler,
- 9) Yuvarlak veya sivri kemerli köprüler,
- 10) Selyaran şekillerine göre köprüler. Bu şekiller üçgen, çokgen veya yuvarlak olmak üzere çeşitli formlarda yer almaktadır. Merdiven basamağı gibi kademeli inşa edilmiş olanları da bulunmaktadır.
- 11) Köprü döşemesi merdiven gibi basamaklı yapılmış köprüler.

Taş kemer köprüleri oluşturan birçok yapı elemanı bulunmaktadır. Her devlet ve uygarlık kendine has özelliklerde köprüler ve köprü elemanları inşa etmişlerdir. Aşağıda bu yapı elemanları sıralanmıştır (Tunç, 1978; Gürbüz, 2012);

- Ayak: Köprü kemerlerinin ve tabliyenin yükünü taşıyan taş veya tuğladan yapılan dayanak,
- Kemer: Birer ucu köprü ayaklarına oturan ve ayaklar arasındaki açıklığı geçmek için kullanılan yay şeklindeki yapı elemanı,
- Çevre Taşları: Tempan duvardan 3-5cm içeride veya dışarıda bulunan ve kemerin formunu belli eden kemerin yan yüzeylerindeki taşlardır. En üstteki taş kilit taşıdır,
- Tempan Duvarı: Çevre taşların üzerine yapılan veya köprü gözünü kıyıya bağlayan duvar,
- Tabliye: Köprü'nün döşemesi, esas olarak üzerinden geçilen yol,
- Selyaran: Köprü ayaklarının su içindeki üçgen kısmı. Selyaranlar suyun ayaklara fazla zarar vermeden kemer gözleri içine geçmesini sağlar. Suyun akış yönündeki (membra) su ile gelen çöplerin birikinti yapmaması için genellikle yuvarlak yapılmıştır. Gidiş (mansap) yönündeki burunlar ise anafordan dolayı sivri yapılmaktadır. Bu sivri kısma aynı zamanda köprü mahmuzu da denir,
- Kenar Duvar: Suyu kaynak yönünde toplayarak köprü ayaklarına sevk eden duvardır,
- Korkuluk Duvarı: Tabliyenin iki yanında yer alan geçiş sırasında güvenliği sağlayan duvardır,
- Baba Taşları: Köprü'nün girişinde korkuluk duvarı üzerinde yer alan dikey taşlardır.
- Boşaltma Gözü: Köprü'nün ana kemerini destekleyen, suyun fazla geldiği dönemlerde kullanılan yuvarlak kemerli gözleridir
- Hafifletme gözü: Bu gözler taşkınlarda suyu boşaltmak ve köprü'nün zarar görmesini engellemek maksadı ile yapılan köprüye aynı zamanda dekoratif bir görüntü veren gözlerdir.
- Korniş Taşı: Yol seviyesini belirleyen tempan duvarını sınırlandıran kısımdır. Büyük kemer üzerinden teğet geçer ve köprü eğimine uygun devam eder,
- Kitabeler: Köprü'nün yaptırınını, yaptırıldığı tarihi, mimarını ya da kitabeyi yazan sanatkarı belirtmektedir. Bu yüzden köprüler için kitabeler belge niteliğindedir,
- Balkonlar: Seferlerde köprüden geçen birliklerin denetlenmesi hatta mevcutların sayılması amacı ile düzenlenen kitabe köşkü ya da balkonlardan faydalanılmıştır. Balkonlar halkın dinlenip sohbet ettiği mekânlar olarak da kullanılmaktadır,

- Odacıklar: Bazı köprülerin ayakları içinde köprü muhafız ve memurlarının oturması ya da yolcuların barınması için odacıklar oluşturulmuştur,

#### **1.4.2. Tarihi Kemer Köprü Restorasyon Çalışmaları**

Yapılan her yapı zaman içerisinde değişime uğrar, hasar görür, yıkılır ve tamir edilir. Bu süreç tüm yapılar için geçerlidir. Bir yapı hasar gördüğünde veya yıkıldığında, eğer o yapıya yeniden ihtiyaç varsa onarılır ve yeniden kullanıma sunulur. Bu onarım bazı zaman o yapıyı yeniden kullanmak için, bazı zaman da o yapının taşıdığı kültür mirasını korumak için yapılır.

Tarihî yapıların korunması ve restorasyonu hakkında uluslararası bir çerçeve belirlemek amacıyla 1964 yılında “venedik tüzüğü” kabul edilmiştir. Buna göre; onarım uzmanlık gerektiren bir iştir ve esas amacı anıtın estetik ve tarihi değerini korumak ve ortaya çıkarmak ve kaybolmasını engellemektir. Yapılan değişiklikler o günün damgasını taşımalıdır. Anıta mal edilmiş farklı devirlerin katkıları korunmalıdır. Geleneksel tekniklerin yetersiz kaldığı durumlarda yeterliliği bilimsel olarak kanıtlanmış modern teknikler kullanılabilir. Eksik kısımların tamamlanması durumunda bütünüyle uyumlu olması gereklidir; fakat onarım orijinalden ayırtedilebilecek şekilde yapılmalıdır (Keskin ve Özen, 2011).

Ülkemizde yapılacak restorasyon çalışmalarının belirli bir çerçevede, belirli ilke ve tekniklerle yürütülmesi amacıyla Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği (TMMOB) tarafından “Taşınmaz Kültür Varlıklarının Rölöve, Restitüsyon ve Restorasyon Projelerine İlişkin Teknik Şartname”si çıkarılmıştır. Şartnamede restorasyon projelerine ilişkin ilke ve teknikler verilmektedir (TMMOB, 2011). Şartnameye göre restorasyon projelerinin hazırlanmasında şu ilkeler göz önünde tutulmalıdır.

- a) Kültür varlığının korunmasında ve onarılmasındaki amaç, onları bir sanat eseri olduğu kadar, bir tarihi belge olarak da korumaktır. Bu nedenle yapılacak müdahalelerde, yapının bir ya da birden fazla dönemin sosyal, kültürel ve ekonomik yaşamının belgeleri olduğu unutulmamalıdır,
- b) Yapının günümüze ulaşmış sosyo-kültürel ve tarihi kimliğini oluşturan mekansal, biçimsel ve yapısal özellikleri ve çevre içindeki özgün konumu korunacaktır,

- c) Yeni bir kullanımın gerekmesi halinde, bu kullanım yapının özgün değerlerini ve niteliklerini bozmayacak ve onların algılanmasını güçleştirmeyecek ölçeklerde tasarlanmalıdır,
- d) Onarım müdahaleleri varsayımlara dayandırılmamalıdır,
- e) Koruma ve kullanım için gerekli müdahaleler, yapının özgün bünyesinden farklı nitelik ve tekniklerle oluşturulmalıdır,
- f) Yapının yaşadığı farklı dönemlerdeki ekler, o dönemin yaşamının ve yapım tekniklerinin kaybedilmemesi gereken öğeleri ise korunmalıdır,
- g) Bir dönemin açığa çıkartılması için eşdeğer değerlere sahip diğer dönemlerin tahrip ya da yok edilmesinden kaçınılmalıdır,
- h) Restorasyon projesi genellikle, yalnız strüktürün sağlamlaştırılması ve uygulanacak teknolojilerin belirtilmesiyle kalmaz, tarihi yapının yeniden kullanılmasıyla ilgili önerileri de içerir. Verilmesi istenen işlevin yapıya uyulanabilirliği araştırılır ve yeniden kullanım projesinin eserin kütsel ve mekansal özelliklerini bozacak ekler, değişimler getirmemesine dikkat edilir. Restorasyonda önemli olan yapının korunmasıdır, yeniden kullanım bir araçtır.
- i) Yeni işlev verilen binalarda çağdaş kullanım ile ilgili servis mekanlarının bina içine yerleştirilmesi, yapının deprem koşullarına uygun hale getirilmesi, yangına karşı önlem alınması, sakatların binaya girebilmeleri için engellerin kaldırılması gibi konular proje aşamasında çözümlenmelidir.

Kültür varlıklarının korunmasındaki temel yaklaşım sürekli bakımlarının sağlanmasıdır. Restorasyon uygulamalarına geçmeden önce yapılan araştırmalar ve belgeleme çalışmaları yapıların ayrıntılı olarak tanınmasını sağlamaktadır. Kültür varlığının restorasyonu için aşağıda sıralanan tekniklerin biri ya da çoğu kez birkaçı bir arada uygulanmaktadır. Bilimsel restorasyonda olabildiğince az müdahaleyle, kültür varlığının tarihi belge ve estetik değerinin korunması esastır. Onarım sırasında yapılan müdahalelerin derecesi, sağlamlaştırmadan yeniden yapıma doğru artmaktadır. Koruma açısından en uygunu ise sağlamlaştırmayla yetinmektir (TMMOB, 2011). Çıkarılan şartnameye göre hasar nedenlerini ortadan kaldıracak veya etkilerini azaltacak koruma teknikleri aşağıda sıralanmaktadır:

a. Sağlamlaştırma: Yapısal malzemelerin sağlamlaştırılması, taşıyıcı sistemin sağlamlaştırılması, çemberleme, bağlantı çubukları ve gergi uygulaması.

b. Bütünleme: Bir bölümü hasar görmüş, yada yok olmuş yapı ve öğeleri ilk tasarımlarındaki bütünlüğe kavuşturacak biçimde geleneksel ya da çağdaş malzeme kullanılarak tamamlama işlemidir. Bütünleme ancak gerçek yapısal verilere ya da belgelere dayandırıldığında kabul edilebilen bir uygulamadır.

c. Yenileme: Zamanla değişen yaşam biçimi ve ona bağlı isteklerle işlevini yitirmiş tarihi yapıların farklı bir işleve uyarlanması ya da işlevleri devam eden ancak konfor koşulları eskiyerek standart altı kalan tarihi yapıların güncelleştirilmesidir.

d. Yeniden Yapım: Tümüyle yıkılmış, yok olmuş ya da çok harap durumda olan bir kültür varlığının veya sitin elde bulunan belgelere dayanılarak yeniden yapılmasıdır. Bu ancak özel durumlarda kabul edilen bir uygulamadır.

e. Temizleme: Kültür varlığının ve kentsel sitlerin genel etkisini bozan, tarihi ve estetik değer taşımayan (muhtes) eklerden arındırılmasıdır.

f. Taşıma: Genel olarak bir kültür varlığının yerinde korunması temel prensiptir. Ancak, başka bir alternatifin kesin olarak bulunmadığı ve yüksek kamu çıkarı bulunan çok önemli Bayındırlık etkinlikleri, jeolojik yapı ya da doğal afetler bir kültür varlığının ya da tarihi yerleşmenin bulunduğu yerde korunmasını zorlaştırabilir, olanaksız kılabilir. Bu durumda kültür varlığı ya da yerleşmenin önceden belirlenen uygun bir konuma taşınarak orada yaşamını sürdürmesi gerekebilir.

Ülkemizde son yıllarda tarihi mirasın korunmasına yönelik birçok restorasyon çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmalar arasında tarihi kemer köprülerin de büyük bir yeri vardır. Tarihi kemer köprüler aşağıda sıralanmış etkenlerden dolayı genellikle hasar görmektedir (Ural vd., 2008).

- Mesnet oturması,
- Seller,
- Depremler,
- Yetersiz kaplama ve drenaj,
- Yığma malzemelerinin dayanıksız olması,
- Aşırı ve düzensiz yükleme,
- Savaşlar,
- Bitki örtüsü ve biyolojik kolonizasyon varlığı,
- Dere yatağının daralması.

Tarihi köprüler maruz kaldıkları bu durumlar sonucunda büyük hasar görmekte ve bazı zaman yıkılmaktadırlar. Aşağıda hasarlı köprülere ait bazı resimler verilmektedir (Şekil 1.11). Bu gibi durumlarda, yapıyı kurtarmak ve yeniden kullanıma sunmak amacıyla restorasyon çalışmaları yapılmaktadır.



Şekil 1.11. Hasarlı köprü örnekleri (URL 9, 2015; URL 10, 2015)

Son yıllarda tarihi eserlerin öneminin daha fazla anlaşılması ile Ülkemizde ve dünyada pek çok tarihi kemer köprünün restorasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Aşağıda tarihi kemer köprü restorasyonlarına ait bazı görünüşler verilmektedir (Şekil 1.12).



Şekil 1.12. Kemer köprü restorasyon çalışmaları (URL 11, 2015; URL 12, 2015)

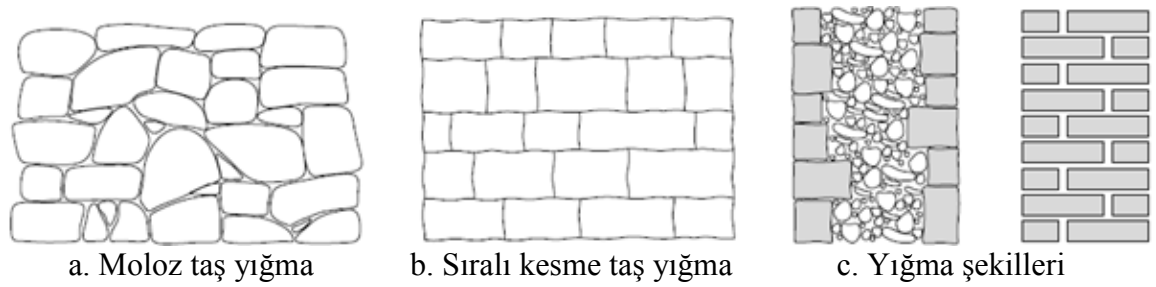


## 1.5. Köprülerinin Analitik Modellenmesi

Kullanılan malzemelerin farklılığı ve genel yapının homojen olmaması nedeniyle kemer köprüler, analizleri zor yapılardır. Geçmişten günümüze kadar bu köprüler için birçok hesap yöntemi geliştirilmiştir. Ancak günümüzde bu tür yapıların analizleri için, daha uygun bir yöntem olan sonlu eleman yöntemi kullanılmaktadır. Bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda, sonlu eleman yöntemi kullanılarak analizler gerçekleştirilmiş olup, analizlerde bilimsel dünyada kabul edilmiş ve yaygın olarak kullanılan ANSYS(2015) sonlu eleman paket programı kullanılmıştır (Altunışık, 2010).

### 1.5.1. Analizlerde Yapılan Kabüller

Tarihi kemer köprüler genellikle taş, tuğla, harç, dolgu gibi malzemelerin değişik biçimlerde ve geometrik düzen içerisinde kullanılması ile oluşturulmuş yığma yapılardır. Şekil 1.13’de değişik dizilişlere sahip yığma şekilleri verilmiştir. Köprülerde kullanılan malzemelerin farklı mekanik özelliklere sahip oluşu ve mekanik özelliklerinin tam olarak bilinmemesi, malzemelerin diziliş biçimlerinin farklı oluşu bu tür yapıların teorik olarak modellenmesini oldukça zorlaştırmaktadır (Birinci, 2010). Bu nedenle, bu tür yapıların modellenmesi için değişik modelleme teknikleri geliştirilmiştir.



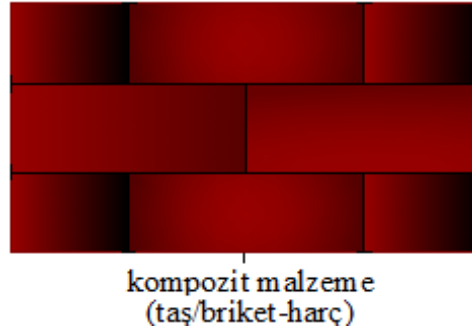
Şekil 1.13. Değişik dizilişlere sahip taş yığma şekilleri (Lourenço, 1999)

Literatürde yığma yapıların teorik olarak modellenmesinde farklı üç yöntem kullanılmaktadır (Lourenço, 1999; Oliviera, 2003; Romano, 2005; Birinci, 2010);

- Makro Modelleme
- Basitleştirilmiş Mikro Modelleme
- Detaylı Mikro Modelleme

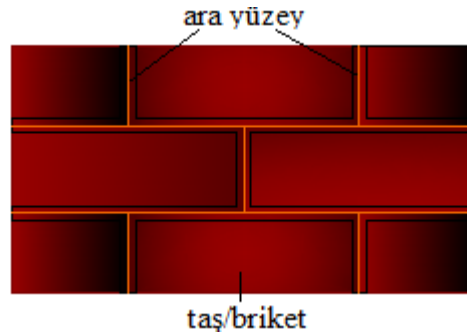


İlk yöntem olan makro modellemede yapının homojen izotrop veya anizotrop bir malzeme olduğu düşünülür. Bu yöntemde yığma yapıda kullanılan malzemelerin özellikleri birleştirilerek kompozit malzeme olarak düşünülür (Birinci, 2010). Makro modellemeye ait örnek çizim Şekil 1.14’ te verilmektedir.



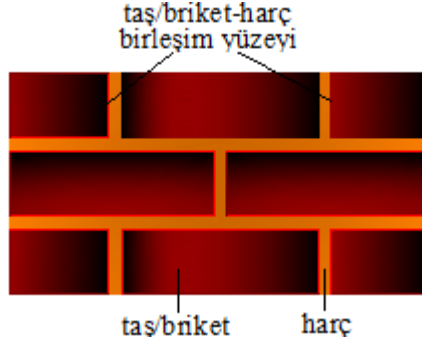
Şekil 1.14. Makro modelleme (Lourenço, 1999)

Basitleştirilmiş mikro modellemede taş veya briket, harç kalınlığının orta noktasından geçtiği düşünülen bir ara yüzeye kadar genişletilen elemanlarla temsil edilmektedir. Bu modellemede harcın poisson oranı yoksayılmakta, arayüzeyler ayrıca tanımlanmaktadır (Romano, 2005; Birinci, 2010). Basitleştirilmiş mikro modellemeye ait örnek çizim Şekil 1.15’ de verilmektedir.



Şekil 1.15. Basitleştirilmiş mikro modelleme (Lourenço, 1999)

Detaylı mikro modellemede ise taş ve harç elemanlar birbirinden bağımsız olarak modellenmekte ve her elemanın mekanik özellikleri dikkate alınmaktadır. Bu tip modellemede arayüzeyler ayrıca tanımlanmaktadır (Oliviera, 2003; Bayraktar vd., 2007b; Birinci, 2010). Detaylı mikro modellemeye ait örnek çizim Şekil 1.16’ da verilmektedir.



Şekil 1.16. Detaylı mikro modelleme (Lourenço, 1999)

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda makro modelleme tekniği kullanılarak sonlu eleman modelleri oluşturulmuş ve analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler lineer elastik olarak gerçekleştirilmiştir.

## 1.6. Sonlu Eleman Yöntemine Dayalı Dinamik Formülasyon

### 1.6.1. Analitik Dinamik Karakteristiklerinin Belirlenmesi

Yapı sistemlerinin yer hareketi etkisindeki sönümlü hale ait ortak hareket denklemi,

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{U}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{U}} + \mathbf{K}\mathbf{U} = \mathbf{R} \quad (1.1)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir. Burada,  $\mathbf{M}$ ,  $\mathbf{C}$  ve  $\mathbf{K}$  sistemin sırasıyla kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini,  $\mathbf{U}$ ,  $\dot{\mathbf{U}}$  ve  $\ddot{\mathbf{U}}$  ise aynı sistemin rölatif yerdeğiştirme, hız ve ivme vektörlerini göstermektedir.  $\mathbf{R}$  ise sisteme etkiyen ve zamanla değişen dış yük vektörüdür.

Bir köprüye veya herhangi bir yapı sistemine ait doğal frekanslar ve mod şekilleri, o sisteme ait sönümsüz serbest titreşim hareket denkleminin çözümünden elde edilmektedir. Bu durumda, denklem (1.1)'te sönümün ve dış kuvvetin olmadığı kabul edilirse, sistemin zamana bağlı sönümsüz serbest titreşim hareket denklemi,

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{U}} + \mathbf{K}\mathbf{U} = \mathbf{0} \quad (1.2)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir (Chopra, 2006; Altunışık, 2010).

### 1.6.2. Newmark Yöntemine Göre Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz

Tez kapsamında yapılan çalışmalarda, köprülerin deprem güvenliklerinin belirlenmesi için gerçekleştirilen dinamik analizlerde Newmark yöntemi dikkate alınmıştır.

Newmark yönteminde, hız ve yerdeğiştirmeler  $t$  ile  $t + \Delta t$  zamanı arasında,

$$\dot{\mathbf{U}}_{t+\Delta t} = \dot{\mathbf{U}}_t + [(1-\gamma)\ddot{\mathbf{U}}_t + \gamma\ddot{\mathbf{U}}_{t+\Delta t}] \Delta t \quad (1.3)$$

$$\mathbf{U}_{t+\Delta t} = \mathbf{U}_t + \dot{\mathbf{U}}_t(\Delta t) + [(0.5-\beta)\ddot{\mathbf{U}}_t + \beta\ddot{\mathbf{U}}_{t+\Delta t}](\Delta t)^2 \quad (1.4)$$

şeklindeki gibi ifade edilebilmektedir (Bathe, 1996; Chopra, 2006; Altunışık, 2010). Burada,  $\mathbf{U}_t$ ,  $\dot{\mathbf{U}}_t$ ,  $\ddot{\mathbf{U}}_t$  sırasıyla  $t$  anındaki yerdeğiştirme, hız ve ivme vektörlerini,  $\mathbf{U}_{t+\Delta t}$ ,  $\dot{\mathbf{U}}_{t+\Delta t}$ ,  $\ddot{\mathbf{U}}_{t+\Delta t}$  sırasıyla  $t+1$  anındaki yerdeğiştirme, hız ve ivme vektörlerini göstermektedir. Bu denklemden,  $\beta$  ve  $\gamma$  integrasyon parametreleri olup  $\Delta t$  zaman aralığındaki ivmenin değişimini tanımlamaktadır. Ayrıca bu parametreler, kullanılan yöntemin stabilite ve doğruluk karakteristiklerini belirlemektedir.  $\gamma = \frac{1}{2}$  ve  $\frac{1}{6} \leq \beta \leq \frac{1}{4}$  seçilmesi Newmark yönteminin doğruluğu için yeterli olmaktadır (Chopra, 2006; Altunışık, 2010).

Bölüm 1.6.1'de verilen (1.1) denkleminin  $t$  ve  $t+1$  anındaki dengesi dikkate alındığında,

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{U}}_t + \mathbf{C}\dot{\mathbf{U}}_t + \mathbf{K}\mathbf{U}_t = \mathbf{R}_t \quad (1.5)$$

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{U}}_{t+1} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{U}}_{t+1} + \mathbf{K}\mathbf{U}_{t+1} = \mathbf{R}_{t+1} \quad (1.6)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir. Eğer (1.6) denkleminin (1.5) denklemini çıkarılırsa artımsal hareket denklemi,

$$\mathbf{M}\Delta\ddot{\mathbf{U}}_t + \mathbf{C}\Delta\dot{\mathbf{U}}_t + \mathbf{K}\Delta\mathbf{U}_t = \Delta\mathbf{R}_t \quad (1.7)$$

şeklinde elde edilmektedir. Burada,  $\Delta$  değişim operatörünü göstermek üzere,

$$\left. \begin{aligned} \Delta \ddot{\mathbf{U}}_t &= \ddot{\mathbf{U}}_{t+1} - \ddot{\mathbf{U}}_t \\ \Delta \dot{\mathbf{U}}_t &= \dot{\mathbf{U}}_{t+1} - \dot{\mathbf{U}}_t \\ \Delta \mathbf{U}_t &= \mathbf{U}_{t+1} - \mathbf{U}_t \end{aligned} \right\} \quad (1.8)$$

şeklinde ifade edilmektedir. (1.3) ve (1.4) denklemleri artımsal olarak düzenlenirse;

$$\Delta \dot{\mathbf{U}}_t = (\Delta t) \ddot{\mathbf{U}}_t + \gamma (\Delta t) \Delta \dot{\mathbf{U}}_t \quad (1.9)$$

$$\Delta \mathbf{U}_t = (\Delta t) \dot{\mathbf{U}}_t + \frac{(\Delta t)^2}{2} \ddot{\mathbf{U}}_t + \beta (\Delta t)^2 \Delta \ddot{\mathbf{U}}_t \quad (1.10)$$

ifadeleri elde edilmektedir. (1.10) denkleminde  $\Delta \ddot{\mathbf{U}}_t$  çekilecek olursa;

$$\Delta \ddot{\mathbf{U}}_t = \frac{1}{\beta (\Delta t)^2} \Delta \mathbf{U}_t - \frac{1}{\beta (\Delta t)} \dot{\mathbf{U}}_t - \frac{1}{2\beta} \ddot{\mathbf{U}}_t \quad (1.11)$$

şeklinde elde edilmektedir. (1.11) denklemini (1.9) denkleminde yerine konursa,

$$\Delta \dot{\mathbf{U}}_t = \frac{\gamma}{\beta (\Delta t)} \Delta \mathbf{U}_t - \frac{\gamma}{\beta} \dot{\mathbf{U}}_t + \Delta t \left( 1 - \frac{\gamma}{2\beta} \right) \ddot{\mathbf{U}}_t \quad (1.12)$$

şeklinde elde edilmektedir. (1.11) ve (1.12) denklemleri artımsal hareket denklemi (1.7)'de yerine konur ve düzenlenirse;

$$\left( \mathbf{K} + \frac{\gamma}{\beta (\Delta t)} \mathbf{C} + \frac{1}{\beta (\Delta t)^2} \mathbf{M} \right) \Delta \mathbf{U}_t = \Delta \mathbf{R}_t + \left( \frac{1}{\beta (\Delta t)} \mathbf{M} + \frac{\gamma}{\beta} \mathbf{C} \right) \dot{\mathbf{U}}_t + \left[ \frac{1}{2\beta} \mathbf{M} + \Delta t \left( \frac{\gamma}{2\beta} - 1 \right) \mathbf{C} \right] \ddot{\mathbf{U}}_t \quad (1.13)$$

ifadesi elde edilmektedir. Dinamik hareket denkleminin, her  $\Delta t$  zaman aralığı içinde statik denge konumu sağlanarak çözümü elde edilmektedir. Burada adım adım çözümde ilk önce  $\Delta \mathbf{U}_t$  (1.10) denkleminde bulunmaktadı. Daha sonra, (1.11) ve (1.12) denklemleri yardımıyla  $\Delta \dot{\mathbf{U}}_t$  ve  $\Delta \ddot{\mathbf{U}}_t$  elde edilmektedir. Bir sonraki adıma ait değerler, (1.14) denkleminde elde edilmektedir. İşlemler bu şekilde çözüm aralığı boyunca devam etmektedir (Altunışık, 2010).

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{U}_{t+1} &= \mathbf{U}_t + \Delta \mathbf{U}_t \\ \dot{\mathbf{U}}_{t+1} &= \dot{\mathbf{U}}_t + \Delta \dot{\mathbf{U}}_t \\ \ddot{\mathbf{U}}_{t+1} &= \ddot{\mathbf{U}}_t + \Delta \ddot{\mathbf{U}}_t \end{aligned} \right\} \quad (1.14)$$

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

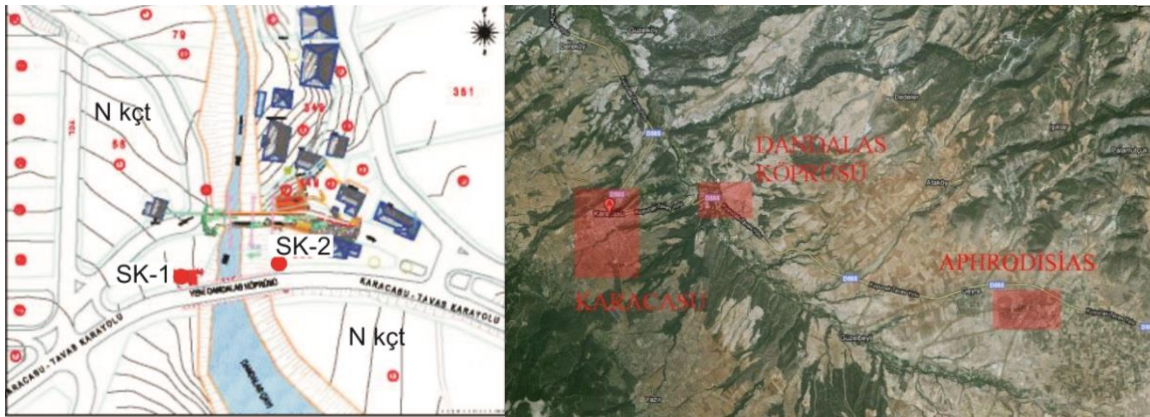
Bu tez çalışması kapsamında, restorasyon çalışmalarının tarihi kemer köprülerin yapısal davranışına etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, tek açıklıklı Dandalaz Köprüsü örnek olarak seçilmiş ve köprünün hem restorasyon öncesi hem de restorasyon sonrası durumları; kendi ağırlığı, kendi ağırlığı ve hareketli yükler, kendi ağırlığı hareketli yükler ve deprem yükü altında analiz edilerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Köprü üç boyutlu olarak ANSYS(2015) programında modellenerek analizleri gerçekleştirilmiştir. Deprem analizlerinde Yarımca istasyonundan alınan 1999 Kocaeli depremi ivme kaydı kullanılmıştır.

### 2.1. Dandalaz Köprüsü

#### 2.1.1. Köprü Genel Bilgileri

##### 2.1.1.1. Köprünün Adı, Yeri ve Genel Özellikleri

Restorasyon çalışmalarının köprülerin yapısal davranışına etkilerini incelemek amacıyla yapılan çalışmalarda, Dandalaz tarihi kemer köprüsü ele alınmıştır. Dandalaz Köprüsü, Aydın İli, Karacasu İlçesi'nin 4km doğusunda, Karacasu-Tavas Karayolu ve Dandalaz Çayı üzerinde bulunmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Dandalaz Köprüsü'nün yerini gösteren haritalar (Bayraktar, 2013)

Karacasu'nun güney doğusunda toplanan sular ile oluşmaya başlayan Dandalaz ayı, Babadağ eteklerinden gelen Işıklar Deresi ve Akyar Deresi'nin katılımlarıyla büyüyerek Kuyucak yakınlarında Büyük Menderes ile birleşmektedir.

Köprü, Karacasu ile Denizli'nin Tavas İlçesi arasında kervan ve ticaret yolu üzerinde inşa edilmiştir. Tarihi köprünün güneyine araç ulaşımının sağlanması için betonarme kemer köprü inşa edilmiştir (Bayraktar, 2013). Dandalaz Köprüsü'nn mevcut haline ait bazı görünüşler Şekil 2.2'de verilmektedir.



a) Memba görünüşü



b) Mansap görünüşü

Şekil 2.2. Dandalaz Köprüsü'ne ait bazı görünüşler

### **2.1.1.2. Köprünün Tarihi Geçmişi ve Önemi**

Dandalaz Köprüsü'nün yapım tarihi kesin olarak bilinmemekle beraber kaynaklarda Osmanlı dönemine ait olduğu belirtilmektedir. Köprünün bulunduğu bölgenin 1426 yılında II. Murat tarafından Osmanlı Devletine katıldığı göz önüne alınırsa, kaynaklara göre köprünün en erken 15.yy'da yapılmış olabileceği düşünülmektedir. M.Ö. 1.yy'dan M.S. 6.yy'a kadar önemli Roma yerleşimlerinden birisi olan Aphrodisias antik kentinin Dandalaz Köprüsü'nün yakınlarında bulunması, bu güzergahın bölgenin tek yolu olarak daha eski tarihlerde de kullanıldığını göstermektedir (Bayraktar, 2013).

### **2.1.1.3. Köprünün Şimdiki ve Gelecekteki Kullanımı**

Dandalaz Köprüsü, taşıyıcı sistem elemanlarında bulunan ağır hasarlardan dolayı kullanım dışı kalmıştır. Bu nedenle köprünün yeniden kullanımı için restorasyon ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Restorasyon çalışmaları ile beraber köprünün yaya trafiğine açılması hedeflenmektedir.

## **2.1.2. Köprünün Mimari ve Yapısal Özelliklerinin Belirlenmesi**

Tarihi köprüler gibi kültürel ve yapısal anlamda büyük öneme sahip mühendislik yapılarının, yapıya gelebilecek statik ve dinamik yüklere karşı nasıl bir davranış göstereceğinin doğru bir şekilde anlaşılabilmesi için köprünün mimari ve geometrik özelliklerinin, bölgenin sismik aktivitesi ile malzeme ve zemin özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir (Bayraktar, 2013).

### **2.1.2.1. Mimari Yapı, Taşıyıcı Sistem ve Malzemeler**

Kasnak şeklinde bir kemer ve tek göze sahip köprünün kemer taşları, dikdörtgen şekilli işlenmiş kireç taşıdan yapılmıştır. Tempan duvarı, alt seviyelerde dikdörtgen şekilli kaba yonu taş malzemeden oluşmaktadır. Köprünün diğer bölümlerinde ise onarımlar



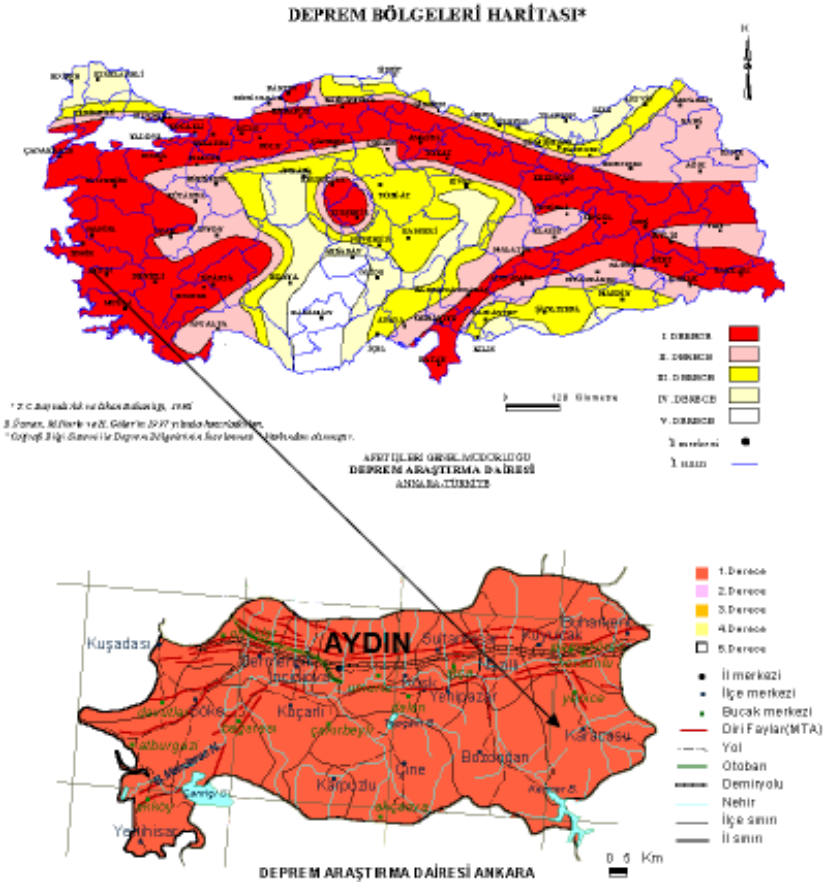
sırasında boşalan taşların yerine sıralı moloz taş kaplama yapıldığı anlaşılmaktadır. (Bayraktar, 2013).

Köprü, yaklaşık olarak 6.24m genişliğinde ve 30.27m uzunluğunda olup, su seviyesinden kemer iç yüzeyine olan yüksekliği 20.16m'dir. Köprünün özgün döşemesi üzerine asfalt kaplama yapılmıştır. Korkuluklar onarılarak ve yenilenerek kısmen korunmuş durumdadır.

#### **2.1.2.2. Lokal Sismisitesi**

Bakanlar Kurulu'nun 18.4.1996 tarih ve 96/8109 sayılı kararı ile yürürlüğe giren yeni deprem haritasına göre Türkiye 5 bölgeye ayrılmıştır. Yer ivmesinin  $\geq 0.40g$  olması beklenen bölgeler I. Derece, 0.30-0.40g arasında olması beklenen bölgeler II. Derece, 0.20-0.30g arasında olması beklenen bölgeler III. Derece, 0.10-0.20g arasında olması beklenen bölgeler IV. Derece ve 0.1g'den küçük olması beklenen bölgeler V. derece bölge olarak belirlenmiştir. Ülkemiz yüzölçümünün %70'ine yakın bir bölümü I. ve II. Derece deprem bölgesinde yer almaktadır.

Türkiye deprem haritasında Aydın İli'nin tamamının I. Derece deprem kuşağında olduğu görülmektedir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Aydın ili ve ilçelerine ait deprem haritası (URL-13, 2015).

### 2.1.2.3. Malzeme ve Zemin İncelemesi

Dandalaz Köprüsü taş kemer bir köprüdür. Bu tür köprüler genel olarak sadece taş kelimesiyle ifade edilse bile taşıyıcı sistemi içerisinde taş, dolgu, çelik ve ahşap gibi değişik malzemeler farklı amaçlar doğrultusunda kullanılmaktadır. Köprüde kemer düzgün kesme taş, tempan duvarlar ise farklı tip taşlardan inşa edilmiştir. Köprü elemanlarında bağlayıcı malzeme olarak kireç esaslı harç ve yer yer çimento harçı da kullanılmıştır. Köprü'nün tempan duvarları arasında kalan dolgu kısmı diğer tarihi köprülerde olduğu gibi, büyüklükleri değişken kireçtaşı, kum ve çakıl taşlarından oluşmaktadır. Korkuluklar düzgün kesme taştan yapılmıştır.

Dandalaz Köprüsü'nde kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerini tespit etmek amacıyla köprüden taş ve harç numuneleri alınarak deneylere tabi tutulmuştur. Deneyler sonucunda taş ve harçlara ait elde edilen mekanik özellikler, Dandalaz Köprüsü'nün analizleri sonucunda elde edilen yerdeğiştirme, gerilme ve şekildeğiştirme değerlerini

kontrol etmek amacıyla kullanılmıştır. Alınan numunelere göre taşların ortalama basınç dayanımları 50MPa civarında ve birim hacim ağırlıkları 2200-2400kg/m<sup>3</sup> aralığında elde edilmiştir. Köprüden alınan harç numuneleri deneylere tabi tutulmuş ve yapılan deneylerde harç numunelerinin ortalama basınç dayanımı 5-7MPa olarak çıkmıştır. Arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen jeolojik ve jeofizik veriler doğrultusunda yerel zemin sınıfı Z3, zemin emniyet gerilmesi 100-150KN/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir (Bayraktar, 2013).

### **2.1.3. Köprüde Hasar Değerlendirmesi**

Köprüde zaman içerisinde oluşmuş sorunlar, mimari sorunlar, taşıyıcı sistem sorunları, malzeme sorunları ve bitkilenme sorunları olarak dört ana başlıkta incelenebilir. Mimari sorunlar, zamanla yapıda kullanıcıların oluşturduğu köprünün özgünlüğünü bozan niteliksiz ekler, yapı çevresinde yapıya zarar verebilecek oluşumlar olarak tanımlanabilir. Taşıyıcı sistem sorunları, yapıda zaman içerisinde meydana gelmiş yapısal deformasyonlar, taşıma gücü kayıpları ve yıkılmalar olarak adlandırılabilir. Malzeme sorunları, yapıyı oluşturan malzemelerde zamana, atmosferik koşullara ve yapı bakımsızlığına bağlı olarak oluşmuş sorunlardır ve genellikle taş köprülerde yıkıma doğru gidişin ilk basamağını oluştururlar. Bitkilenme sorunları yapıda zamanla oluşan bitkileşmelerle alakalıdır.

#### **2.1.3.1. Mimari ve Taşıyıcı Sistem Sorunları**

Yapım tarihi kesin olarak bilinmeyen; mimari formu ve malzeme özellikleri hasarlı olarak günümüze kadar gelen köprünün batı yönünde oturduğu zeminin oyulması nedeniyle temel ve kemer taşları ile üzerindeki dolgu malzemesinin köprünün yapısal davranışını bozacak şekilde kısmen yok olduğu, kemer karnında düşen kemer taşlarının alttan yapıştirma yöntemiyle tamamlanması ve yeni onarımlar sebebiyle özgün dokusunun bozulduğu ve yakın çevresine inşa edilen muhdes yapılar nedeniyle de görsel bütünlüğünü yitirmeye başladığı anlaşılmaktadır. Ayrıca özgün döşeme kaplaması üzerine asfalt kaplanmış ve köprü üzerine Karacasu Belediyesi tarafından ilçeye su götürmek amacıyla

yaklaşık 50cm çapında çelik boru yerleştirilmiştir (Bayraktar, 2013). Yukarıda belirtilen mimari ve taşıyıcı sistem sorunlarına ait bazı görüntüler Şekil 2.4’de verilmektedir.



Şekil 2.4. Mimari ve taşıyıcı sistem sorunlara ait bazı görüntüler

### 2.1.3.2. Malzeme Sorunları

Köprüde kullanılan taş ve harç malzemesinde genellikle eski yapılarda görülen ve malzeme tahribatına sebep olan aşırı yüklenme, su, nem ve çeşitli biyolojik etkiler gibi nedenlerden kaynaklanan bozulmalar, ayrışmalar ve çatlaklar bulunmaktadır.

Kemerin iç bölümünde yer alan taşıyıcı elemanlarda kopmalar, kemer bölgesinde boyuna çatlaklar ve taş hasarları mevcuttur. Dandalaz Köprüsü’nün kemer bölgesine ait bazı ayrışma ve eleman kayıpları Şekil 2.5’de gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Kemer bölgesine ait bazı ayrışma ve eleman kayıpları

Köprünün tempan duvarlarının bazı bölgelerinde taş kopmaları ve kırılmaları, bazı bölgelerde ise kemer eksenini boyunca ve boşluklara dik bir şekilde çatlaklar oluşmuştur. Dandalaz Köprüsü'nün tempan duvarlarına ilişkin kopma, kırılma ve çatlama sorunlarına ait bazı görüntüler Şekil 2.6'da gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Köprüde tempan duvar hasarlarına ait kopma, kırılma ve çatlama sorunları

### 2.1.3.3. Bitkilenme Sorunları

Taş malzeme üzerinde ve derzlerde kendini gösteren sarmaşık ve bitki kökleri taşların aralıklarına girerek sistemin ayrışmasına neden olmaktadır. Ayrıca bitkiler nem tutarak da malzemelerin zaman içerisinde deformasyona uğramalarına yol açmaktadır. Bunun yanında bazı alg ve likenlerin salgıladıkları sıvılar asit etkisi yaparak yüzeysel lekelenmelere sebep olmaktadır. Dandalaz Köprüsü'nde bitkilenme sorunlarına ait görüntüler Şekil 2.7'de gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Dandalaz Köprüsü'nde bitkilenme sorunlarına ait bazı görüntüler

## **2.1.4. Köprüde Restorasyon Çalışmaları**

### **2.1.4.1. Köprüde Yapılmış Restorasyon Çalışmaları**

Dandalaz Köprüsü'nün kemer taşlarının yekpare ve büyük boyutlu olması, tempan duvarlarının zemine yakın kısımlarında yer alan taşların düzgün kesme taş niteliğinde olması, buna karşın üst kısımdaki taşların ise daha küçük boyutlu taşlarla ve düzensiz örgüde yapılmış olması köprünün geçmiş yıllarda onarım geçirdiğini göstermektedir (Bayraktar, 2013).

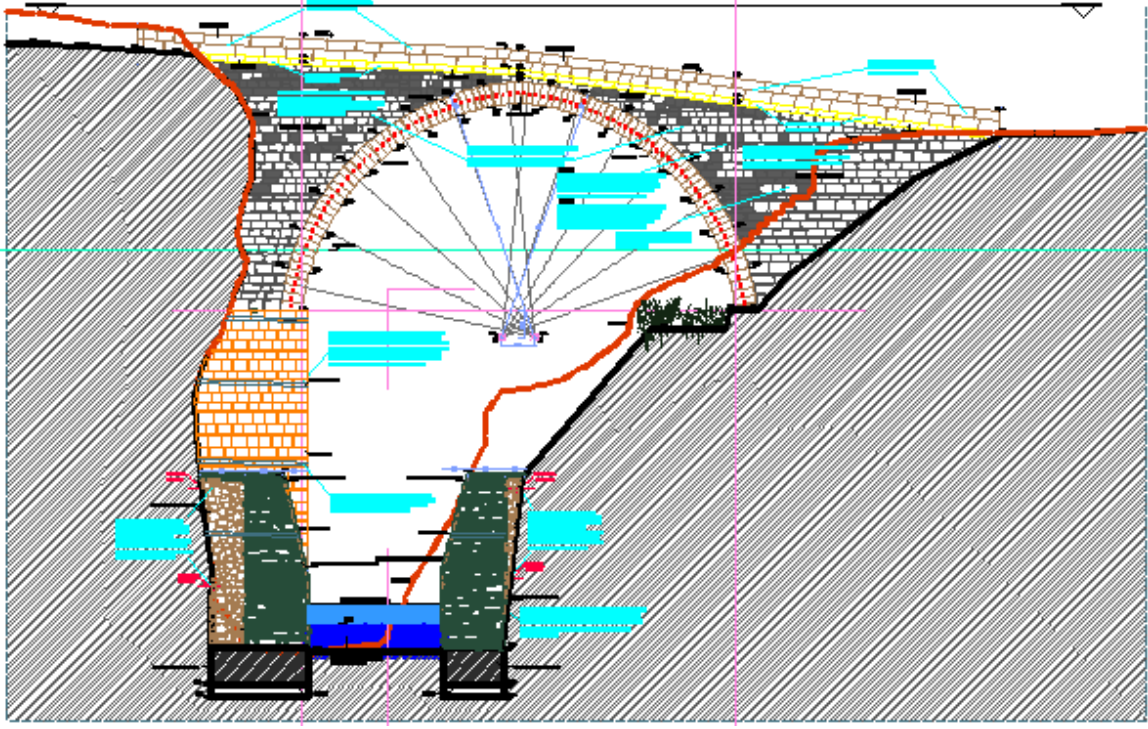
Karayolları Genel Müdürlüğü kayıtlarında 1974 yılında köprü ayağında oyulmaların olduğu ve bu amaçla kaplama yapıldığı fakat, kaplamanın da yetersiz kaldığı ifade edilmektedir. Halen taşıt ve insan geçişine kapalı olan köprüde, yakın tarihlerde korkuluk, tempan duvarları ve kemer iç bölgesinde onarımlar yapıldığı anlaşılmaktadır.

### **2.1.4.2. Köprüde Yapılacak Restorasyon Çalışmaları**

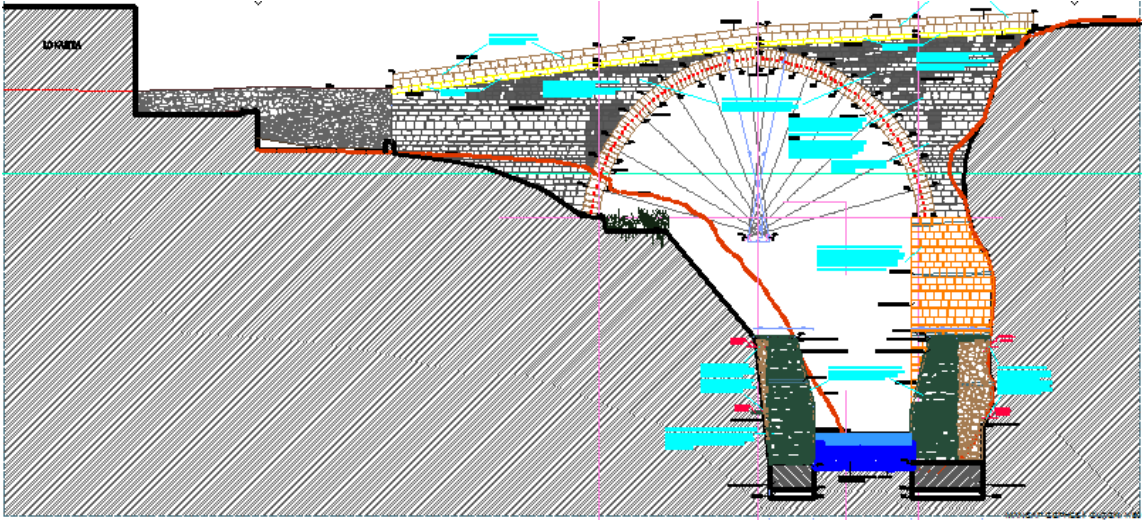
Tarihi öneme sahip Dandalaz Köprüsü mevcut halinde bulunan yapısal ve yapısal olmayan elemanlarında kopma, bozulma, çatlama, boşalma, bitkilenme vb. gibi sorunlardan dolayı köprünün yaya ve araç trafiği için tehlike arzemesi ve bunun yanında köprünün özgün dokusunun bozulması nedeniyle kullanım dışı kalmıştır. Belirtilen bu problemler köprü için restorasyon çalışmalarını gerekli kılmıştır.

Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından Dandalaz Köprüsü, köprüde bulunan hasarların ortadan kaldırılması, köprünün yapısal davranışının iyileştirilmesi ve geleceğe güvenle devredilmesi amacıyla için ihale edilmiştir. İlgili firma tarafından köprü için hazırlanan restorasyon projesine ait memba ve mansap cephe görünüşleri Şekil 2.8'de verilmektedir.





a) Membra görünüşü



b) Mansap görünüşü

Şekil 2.8. Dandalaz Köprüsü restorasyon projesine ait memba ve mansap görünüşler (Bayraktar, 2013).

## 2.2. Yapısal Analizler ve Değerlendirmeler

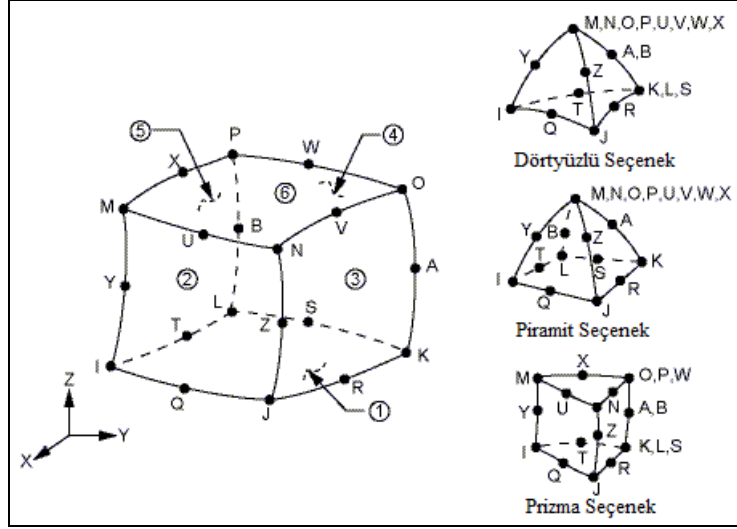
Yapılan çalışmalarda, Dandalaz Köprüsü'nün restorasyon öncesi ve sonrası yapısal davranışlarının belirlenmesi amacıyla, köprünün sonlu eleman analizleri gerçekleştirilmiştir. Köprüye ait sonlu eleman analizlerinde kullanılan taşıyıcı sitem eleman boyutları ve malzeme özellikleri ilgili firma tarafından sağlanan çizim dosyalarından ve diğer kaynaklardan elde edilmiştir. Köprünün restorasyon öncesi ve sonrası durumu için hazırlanan sonlu eleman modelleri ANSYS(2015) yapısal analiz programında oluşturulmuştur.

Gerçekleştirilen analizler aşağıda gruplandırılmıştır:

- 1) Köprünün Restorasyon Öncesi Durumu İçin Gerçekleştirilen Analizler,
  - Kendi ağırlığı altındaki köprü davranışının belirlenmesi
  - Kendi ağırlığı ve hareketli yükler altındaki köprü davranışının belirlenmesi
  - Kendi ağırlığı, hareketli yükler ve deprem yükü altındaki köprü davranışının belirlenmesi
- 2) Köprünün Restorasyon Sonrası Durumu İçin Gerçekleştirilen Analizler,
  - Kendi ağırlığı altındaki köprü davranışının belirlenmesi
  - Kendi ağırlığı ve hareketli yükler altındaki köprü davranışının belirlenmesi
  - Kendi ağırlığı, hareketli yükler ve deprem yükü altındaki köprü davranışının belirlenmesi

Köprünün ANSYS programında oluşturulan sonlu eleman modellerinde SOLID186 katı elemanlar kullanılmıştır. SOLID186 elemanı toplam 20 düğüm noktasına ve her bir düğüm noktasında üç adet deplasman serbestlik derecesine sahip bir elemandır. SOLID186 elemanının ve bu elemanın analizlerde gerçekleştirilen sonlu eleman ağı sırasında dönüşebileceği durumlar Şekil 2.9'da verilmektedir. Şekil 2.9'dan de görüleceği üzere sonlu eleman ağı oluşturulurken bu eleman tetrahedral, piramit ve prizma durumlarına dönüşebilmektedir.





Şekil 2.9. SOLID186 elemanın genel görünüşü ve sonlu eleman ağında alacağı durumlar (ANSYS, 2015)

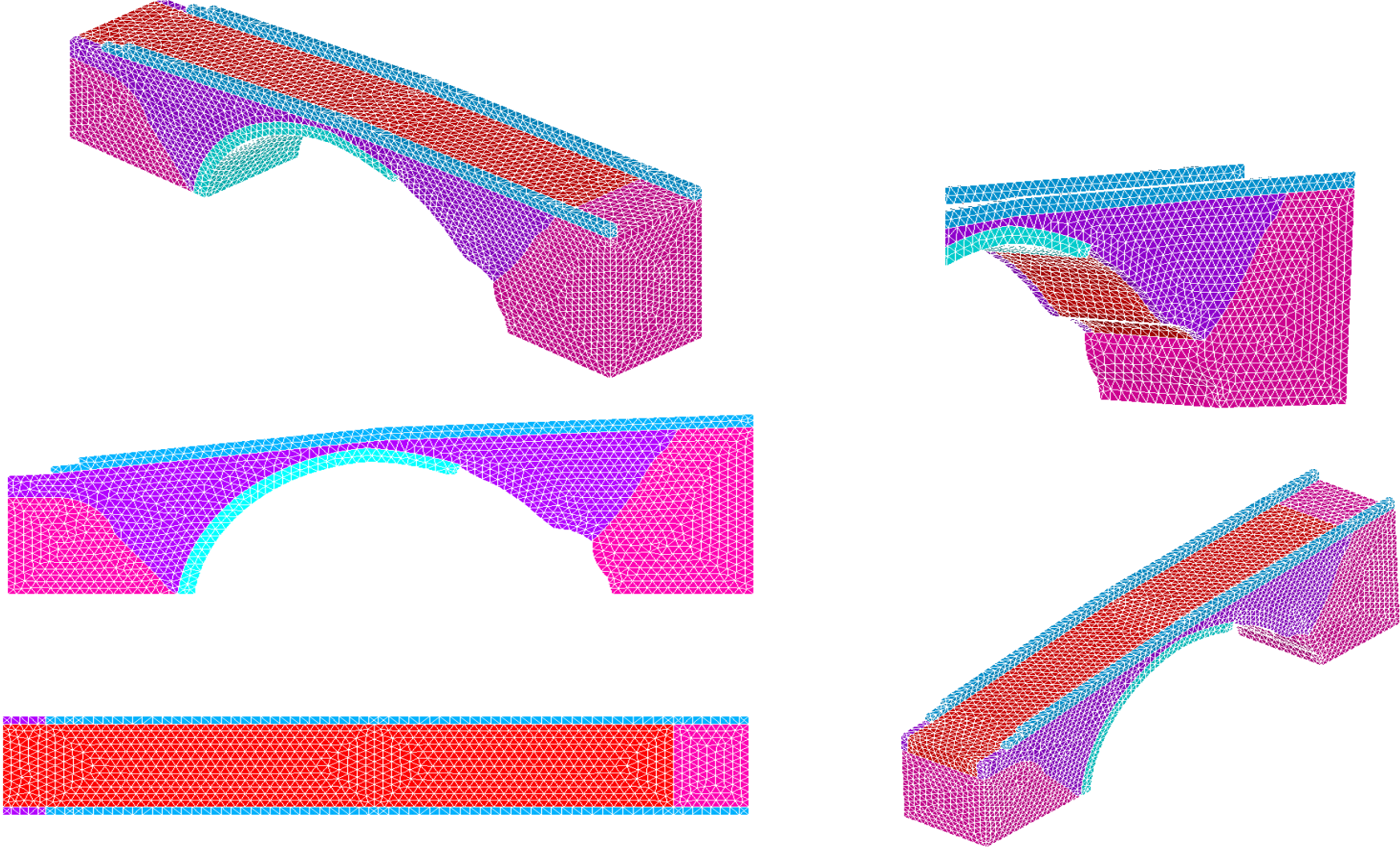
### 2.2.1. Köprü'nün Restorasyon Öncesi Durumu Dikkate Alınarak Gerçekleştirilen Analizler

Dandalaz Köprüsü'nün restorasyon öncesi durumu dikkate alınarak yapılan sonlu eleman analizlerinde köprü'nün hasarlı durumu dikkate alınmıştır. Tüm analizler doğrusal elastik olarak gerçekleştirilmiştir. Restorasyon öncesi analizlerde taşıyıcı sistem elemanları için kullanılan malzeme özellikleri kaynaklar dikkate alınarak belirlenmiş, köprüdeki taşıyıcı sistem elemanlarında bulunan kopma, bozulma ve çatlama gibi hasar durumlarından dolayı malzeme özellikleri belirli oranda azaltılmıştır. Aşağıda restorasyon öncesi duruma ait oluşturulan sonlu eleman modeli Şekil 2.10'da verilmektedir.

Mühendislik yapılarında, taşıyıcı sistem elemanlarındaki hasarlar sonlu eleman analizlerinde dikkate alınan elastisite modülü değerinin azaltılmasıyla hesaplara katılabilir (Bayraktar, 2013). Restorasyon öncesi durum analizleri için kullanılacak malzeme özellikleri Tablo 2.1'de verilmektedir.

Tablo 2.1. Restorasyon öncesi analizlerde kullanılan malzeme özellikleri

Taşıyıcı Sistem Elemanları	Malzeme Özellikleri		
	<i>Elastisite Modülü</i> ( $N/m^2$ )	<i>Poisson Oranı</i> (-)	<i>Yoğunluğu</i> ( $kg/m^3$ )
Taş Kemer	3.25E9	0.20	2000
Yan Duvar	1.95E9	0.20	2000
Dolgu	3.90E8	0.20	1800
Korkuluk	3.25E9	0.20	2000
Yamaç	7.00E9	0.20	2500



Şekil 2.10. Dandalaz Köprüsü'nün restorasyon öncesi durumuna ait sonlu elaman modeli, perspektif ve görüşleri

### 2.2.1.1. Restorasyon Öncesi Durum İçin Köprünün Kendi Ağırlığı Altındaki Davranışının Belirlenmesi

Köprünün restorasyon öncesi durumu için kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizler sonucunda meydana gelen yerdeğiştirmelere ait kontur diyagramı Şekil 2.11’de verilmektedir. Şekil 2.11’den de görüleceği üzere yerdeğiştirmeler kemer açıklık ortasından köprü ayaklarına ve kenar mesnetlere doğru azalmaktadır. Kemerin hasarlı oluşundan dolayı maksimum yerdeğiştirme kemerin tam ortasında değil, hasarlı tarafa yakın çıkmıştır. Maksimum yerdeğiştirme değeri 5.0mm olarak elde edilmiştir.

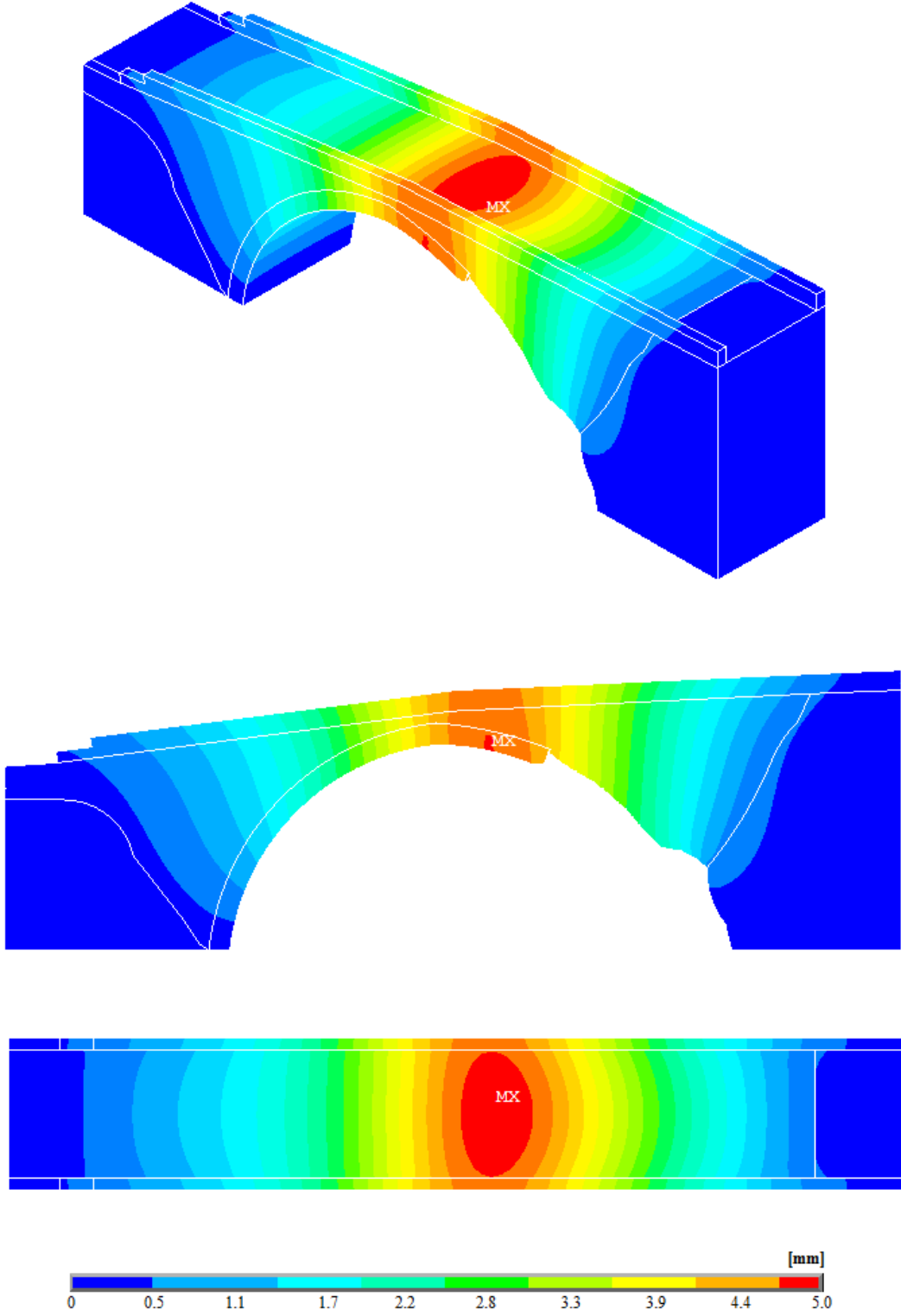
Köprünün restorasyon öncesi durumu için, kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen çekme gerilmelerinin dağılışına ait kontur diyagramı Şekil 2.12’de verilmektedir. Şekil 2.12’den de görüleceği üzere çekme gerilmelerinin maksimum değeri hasarlı tarafta yamacın mesnet yüzeyi ile birleştiği noktalarda meydana gelmiştir. Köprünün hasarlı tarafında yamacın mesnet yüzeyi ile birleşim bölgelerinde 0.90MPa ve hasarsız tarafta ortalama 0.19MPa gibi değerler elde edilmiştir. Bunun yanında kemerin alt yüzeyinde 0.35MPa ve yamaçlara yakın korkuluklar üzerinde, hasarsız tarafta 0.2MPa ve hasarlı tarafta 0.5MPa civarında sonuçlar çıkmıştır. Genel olarak köprüde çekme gerilmeleri hasarlı bölgede daha yüksek çıktığı görülmektedir.

Köprünün restorasyon öncesi durumu için, kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen basınç gerilmelerinin dağılışına ait kontur diyagramı Şekil 2.13’de verilmektedir. Şekil 2.13’den de görüleceği üzere basınç gerilmelerinin maksimum değerleri hasarlı durumda bulunan tempan duvarlarda lokal olarak 2.3MPa olarak elde edilmektedir. Bunun yanında kemerin hasarsız tarafında yamaç ile birleştiği noktalarında 1.0MPa ve korkuluğun orta kısmında 1.2MPa değerinde gerilmeler oluşmaktadır. Köprünün geri kalan kısımlarında 0.65MPa değerini geçmeyen gerilmeler elde edilmiştir. Köprüde gerilmelerin genel olarak hasarlı tarafta daha yüksek çıktığı görülmektedir.

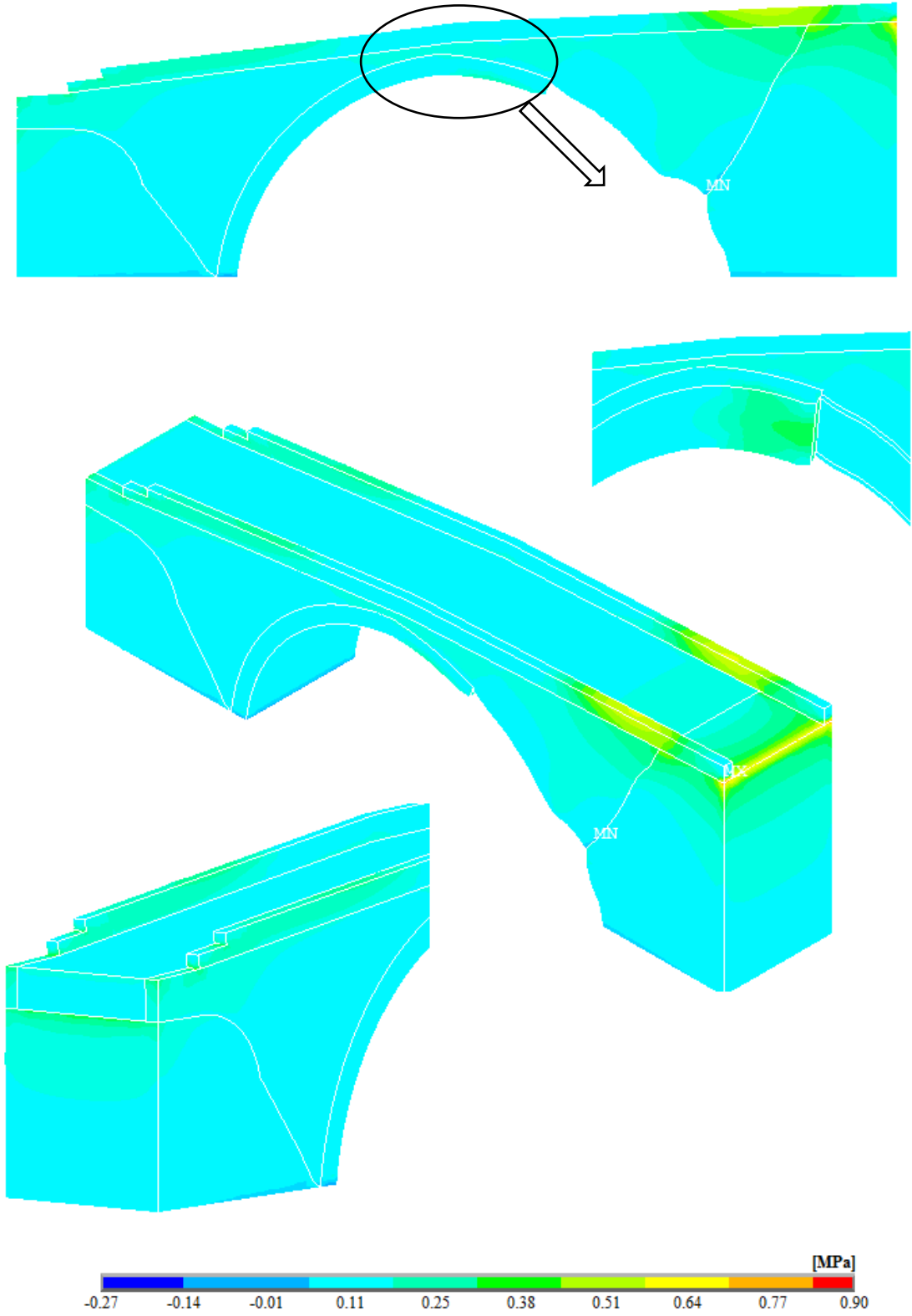
Köprünün restorasyon öncesi durumu için, kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen şekildeğiştirmelere ait kontur diyagramı çekme ve basınç durumları için Şekil 2.14 ve Şekil 2.15’de verilmektedir.

Şekil 2.14’den de görüleceği üzere köprünün hasarlı tarafında yamaç ile mesnetlenme yüzeyi arasındaki bölgede çekme gerilmelerinden dolayı oluşan şekildeğiştirme miktarı  $2.49E-4$ , hasarlı tarafta dolgu ile yamaç birleşim yerinde  $2.21E-4$ , hasarlı kısımda dolgu alt yüzeyinde  $1.38E-4$ , hasarlı tarafta korkuluk üzerinde  $1.4E-4$  ve kemerin orta alt yüzeyinde  $0.7E-4$  değerinde şekildeğiştirmeleri elde edilmiştir.

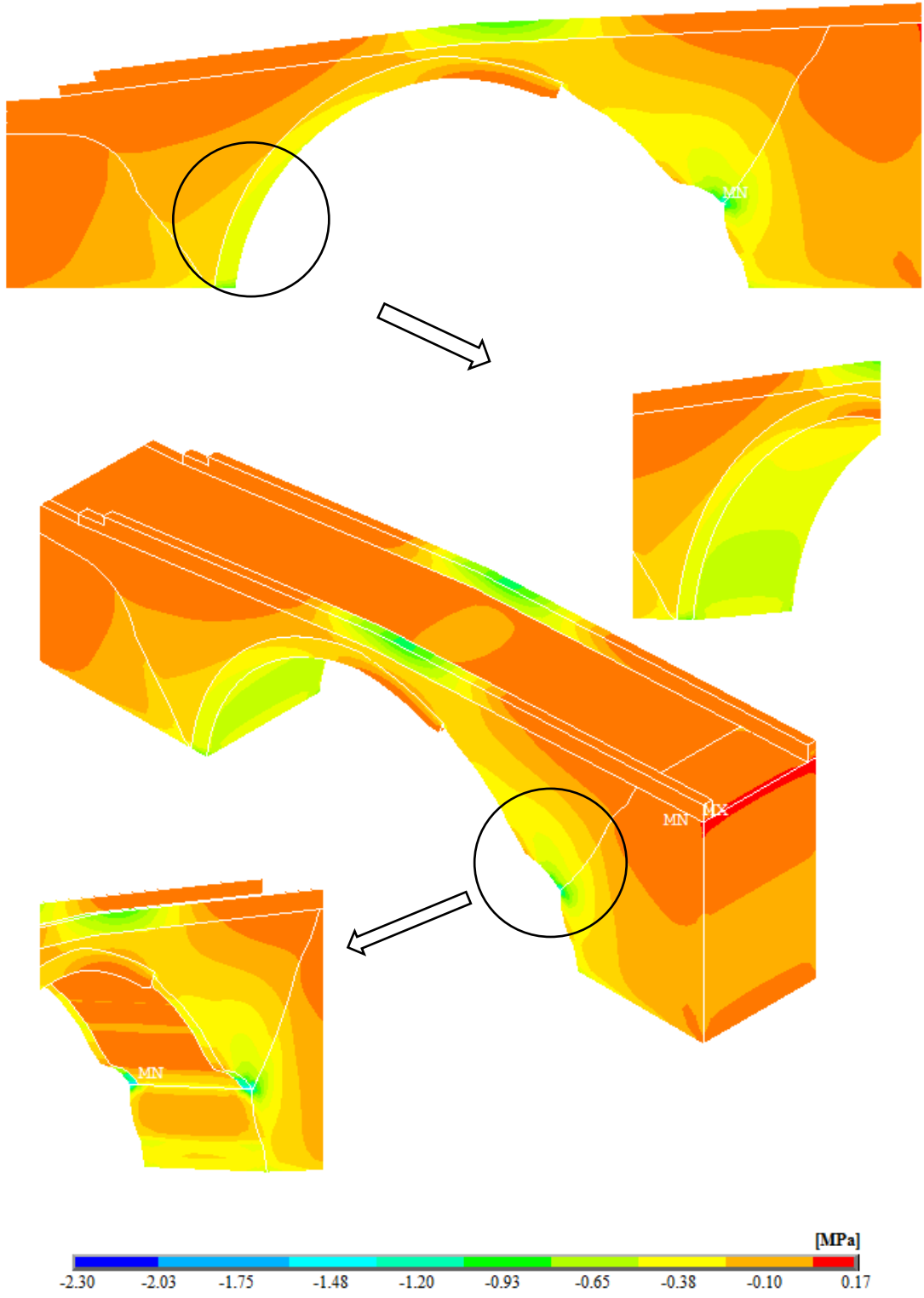
Şekil 2.15'den de görüleceği üzere köprünün hasarlı kısmının yamaç ile birleştiği kısımda basınç gerilmelerinden dolayı oluşan şekildeğiştirme miktarı  $1.15E-3$  çıkmaktadır. Bunun yanında korkuluk ve döşeme ortasında, köprünün yamaç ile birleşim yerlerinde ve kemerin yamaçlara yakın yerlerinde şekildeğiştirme miktarları  $0.38E-3$  değerini aşmamaktadır.



Şekil 2.11. Köprünün restorasyon öncesi durumu için, kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizler sonucunda meydana gelen yerdeğişimlere ait kontur diyagramı

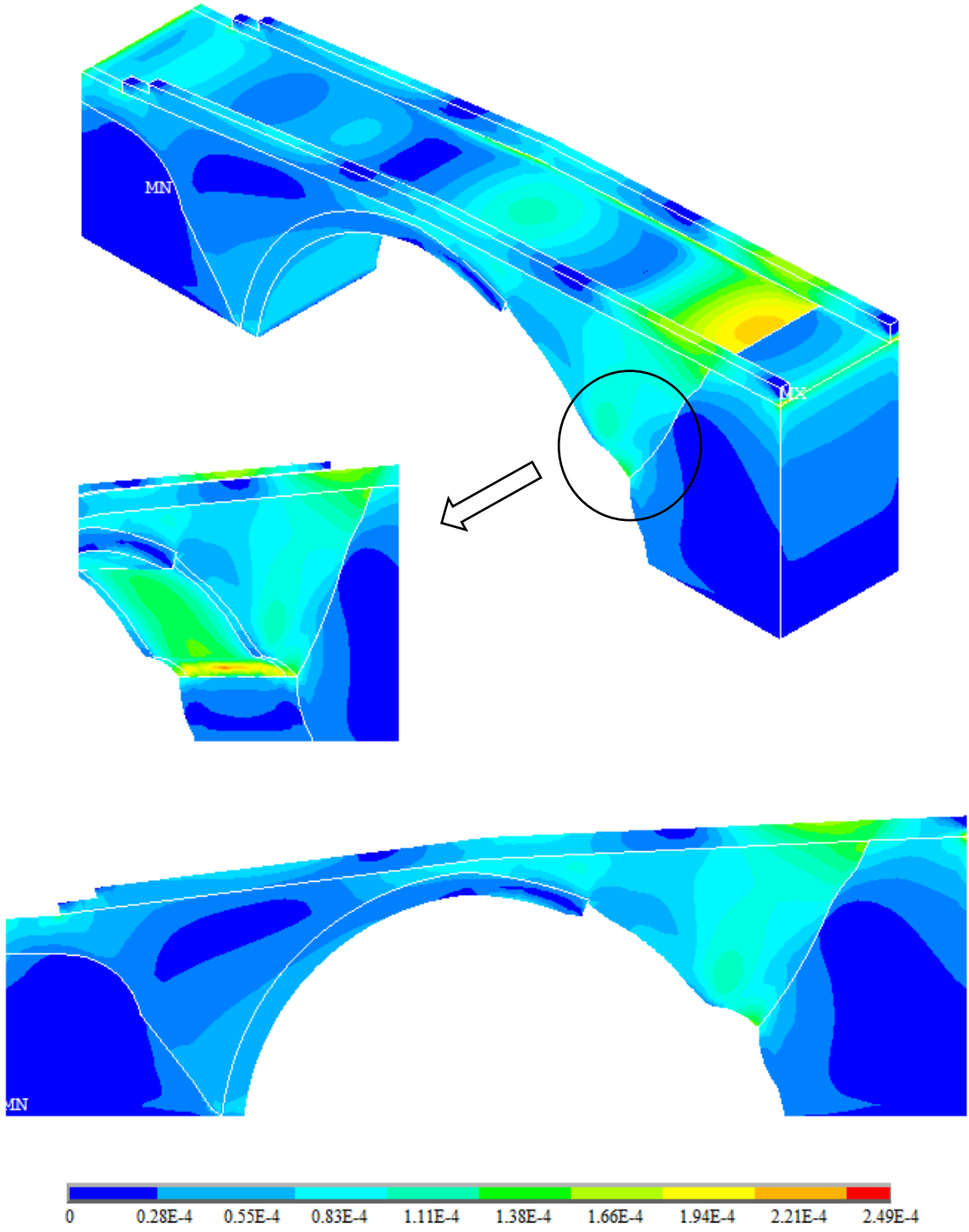


Şekil 2.12. Köprünün restorasyon öncesi durumu için kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizler sonucunda meydana gelen çekme gerilmelerine ait kontur diyagramı

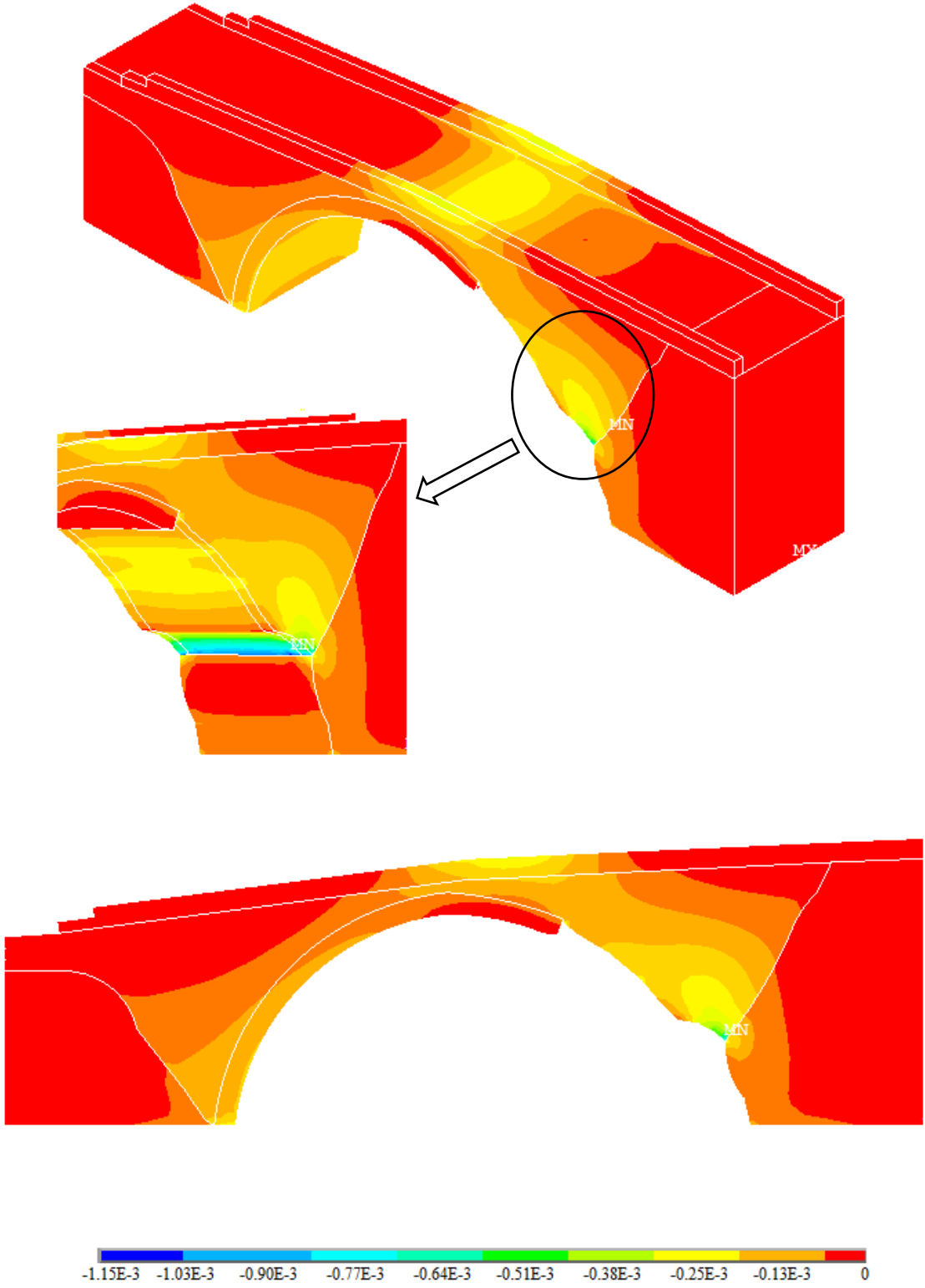


Şekil 2.13. Köprünün restorasyon öncesi durumu için, kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizler sonucunda meydana gelen basınç gerilmelerine ait kontur diyagramı





Şekil 2.14. Köprünün restorasyon öncesi durumu için, kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizlerden çekme durumunda şekildeğişimlere ait kontur diyagramı



Şekil 2.15. Köprünün restorasyon öncesi durumu için, kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizlerden basınç durumunda şekildeğişimlere ait kontur diyagramı

### 2.2.1.2. Restorasyon Öncesi Durum İçin Köprünün Kendi Ağırlığı ve Hareketli Yükler Altındaki Davranışının Belirlenmesi

Köprünün restorasyon öncesi durumu için, kendi ağırlığı ve hareketli yükler altındaki analizleri gerçekleştirilmiştir. Köprü üzerindeki hareketli yük değeri  $5\text{KN/m}^2$  olarak dikkate alınmış ve hesaplanan yükler köprü döşemesi üzerine yayılı şekilde etkittirilmiştir.

Analizler sonucunda meydana gelen yerdeğiştirmelere ait kontur diyagramı Şekil 2.16'da verilmektedir. Şekil 2.16'dan da görüleceği üzere yerdeğiştirmeler kemer açıklık ortasından köprü ayaklarına ve kenar mesnetlere doğru azalmaktadır. Kemerin hasarlı oluşundan dolayı maksimum yerdeğiştirme kemerin tam ortasında değil, hasarlı tarafa yakın çıkmıştır. Maksimum yerdeğiştirme değeri  $5.5\text{mm}$  olarak elde edilmiştir.

Köprünün restorasyon öncesi durumu için, kendi ağırlığı ve hareketli yükler altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen çekme gerilmelerinin dağılışına ait kontur diyagramı Şekil 2.17'de verilmektedir. Şekil 2.17'den de görüleceği üzere çekme gerilmelerinin maksimum değerleri, köprünün hasarlı tarafında yamacın mesnet yüzeyi ile birleşim bölgesinde lokal olarak  $0.93\text{MPa}$  değerinde elde edilmektedir. Ayrıca, hasarlı taraf korkuluklarında  $0.6\text{MPa}$ , hasarsız tarafta köprünün yamaçla birleşim bölgelerinde  $0.4\text{MPa}$  ve kemerin orta iç kısmında  $0.39\text{MPa}$  değerinde gerilmeler oluşmaktadır. Bu kısımlar hariç köprünün diğer taşıyıcı elemanlarında çekme gerilmeleri maksimum  $0.10\text{MPa}$  değerine ulaşmaktadır.

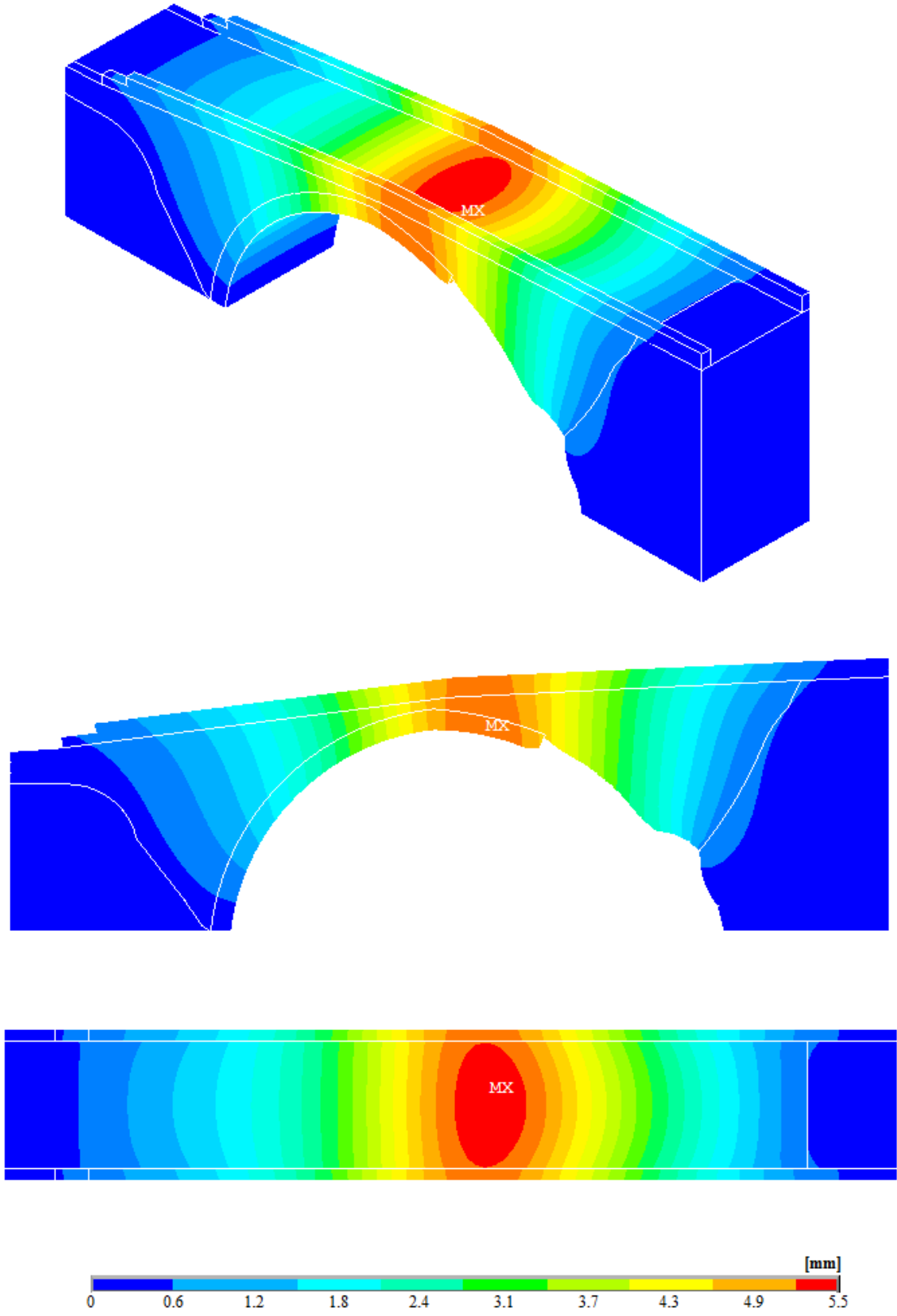
Köprünün restorasyon öncesi durumu için, kendi ağırlığı ve hareketli yükler altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen basınç gerilmelerinin dağılışına ait kontur diyagramı Şekil 2.18'de verilmektedir. Şekil 2.18'den de görüleceği üzere basınç gerilmelerinin maksimum değerleri hasarlı tarafta bulunan tempan duvarların yamaç ile birleşim bölgelerinde  $2.44\text{MPa}$  olarak elde edilmektedir. Ayrıca, kemerin hasarsız tarafının yamaca mesnetlendiği bölgelerde ve korkuluk ortalarında  $1.0\text{MPa}$  civarında gerilme yığılmaları mevcuttur. Bu bölgeler dışında tempan duvarlar, kemerler, dolgu ve yamaçlarda elde edilen basınç gerilmeleri maksimum  $0.1\text{MPa}$  civarındadır.

Köprünün restorasyon öncesi durumu için, kendi ağırlığı ve hareketli yükler altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen şekildeğiştirmelere ait kontur diyagramı çekme ve basınç durumları için Şekil 2.19 ve Şekil 2.20'de verilmektedir.

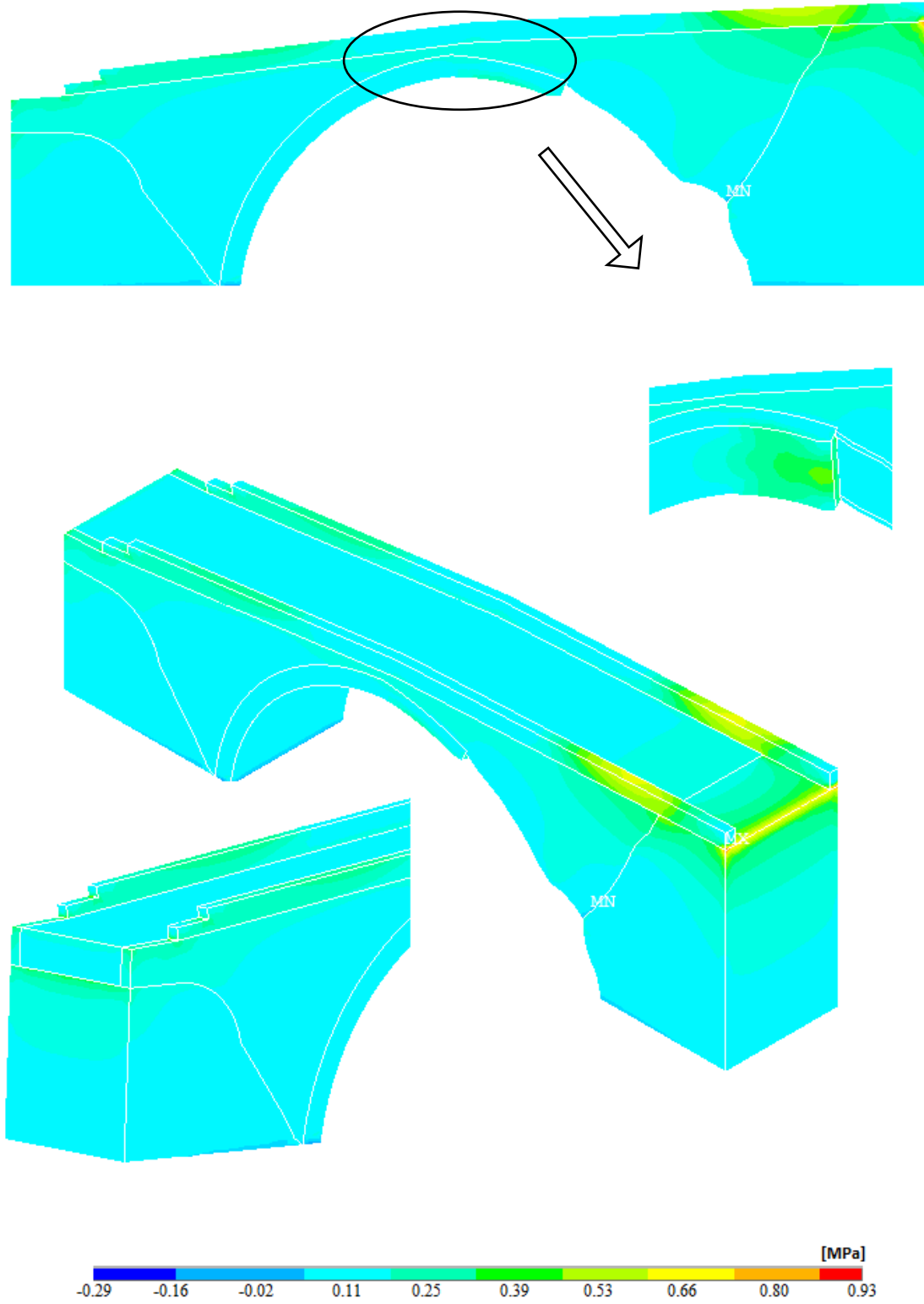
Şekil 2.19'dan da görüleceği üzere köprüde meydana gelen şekildeğiştirme miktarı çekme durumu için maksimum, köprünün hasarlı tarafında yamaç ile mesnet yüzeyi birleşim bölgelerinde lokal olarak  $2.65\text{E-4}$  değerinde elde edilmiştir. Bunun yanında

hasarlı tarafta dolgu ile yamaç birleşim bölgelerinde  $2.36E-4$  değerinde şekildeğiştirme değerleri elde edilmiştir. Çekme durumunda bu kısımlar hariç köprünün taşıyıcı sistem elemanlarında genel olarak elde edilen şekildeğiştirme değeri  $1.76E-4$  olarak elde edilmiştir.

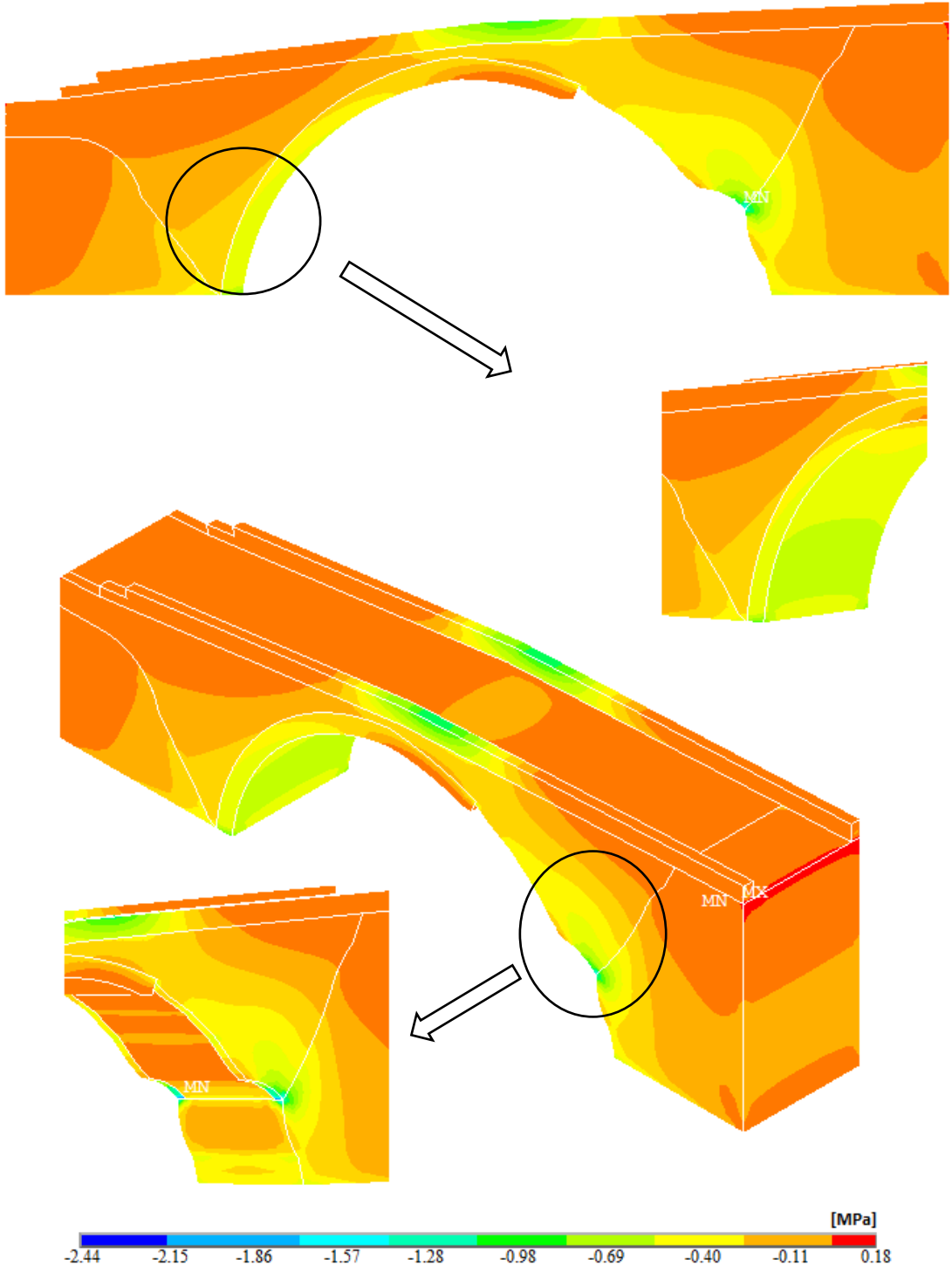
Şekil 2.20'den de görüleceği üzere köprüde meydana gelen şekildeğiştirme miktarı basınç durumu için maksimum, hasarlı kısımda dolgunun yamaç ile birleştiği bölgelerde  $1.22E-3$  olarak elde edilmiştir. Basınç durumunda bu kısımlar hariç köprünün taşıyıcı sistem elemanlarında genel olarak  $0.41E-3$  değerinde şekildeğiştirme değerleri elde edilmiştir.



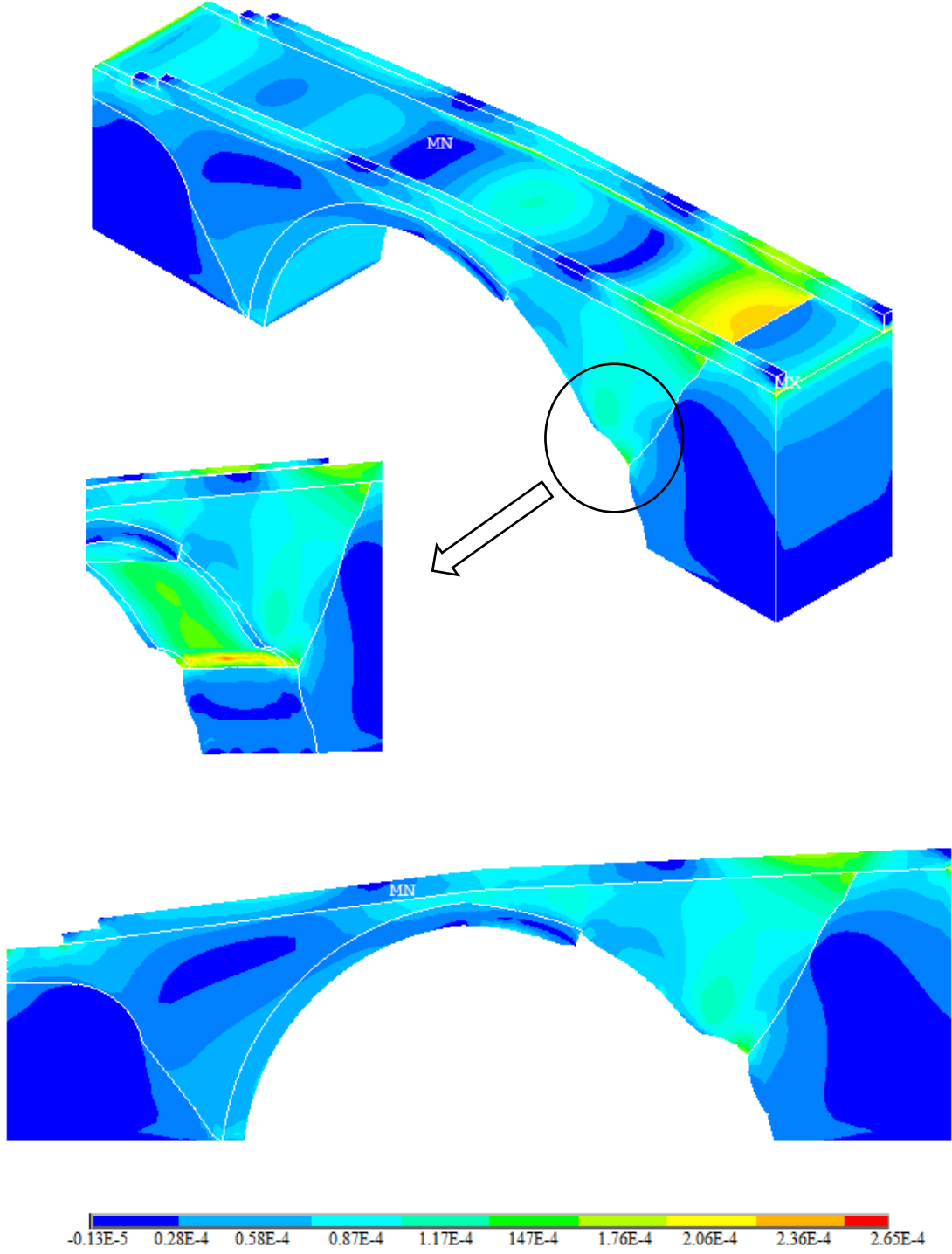
Şekil 2.16. Restorasyon öncesi durumda kendi ağırlığı ve hareketli yükler altında yerdeğiştirme kontur diyagramı



Şekil 2.17. Köprünün restorasyon öncesi durumu için kendi ağırlığı ve hareketli yükler altında çekme gerilmelerinin dağılışına ait kontur diyagramı

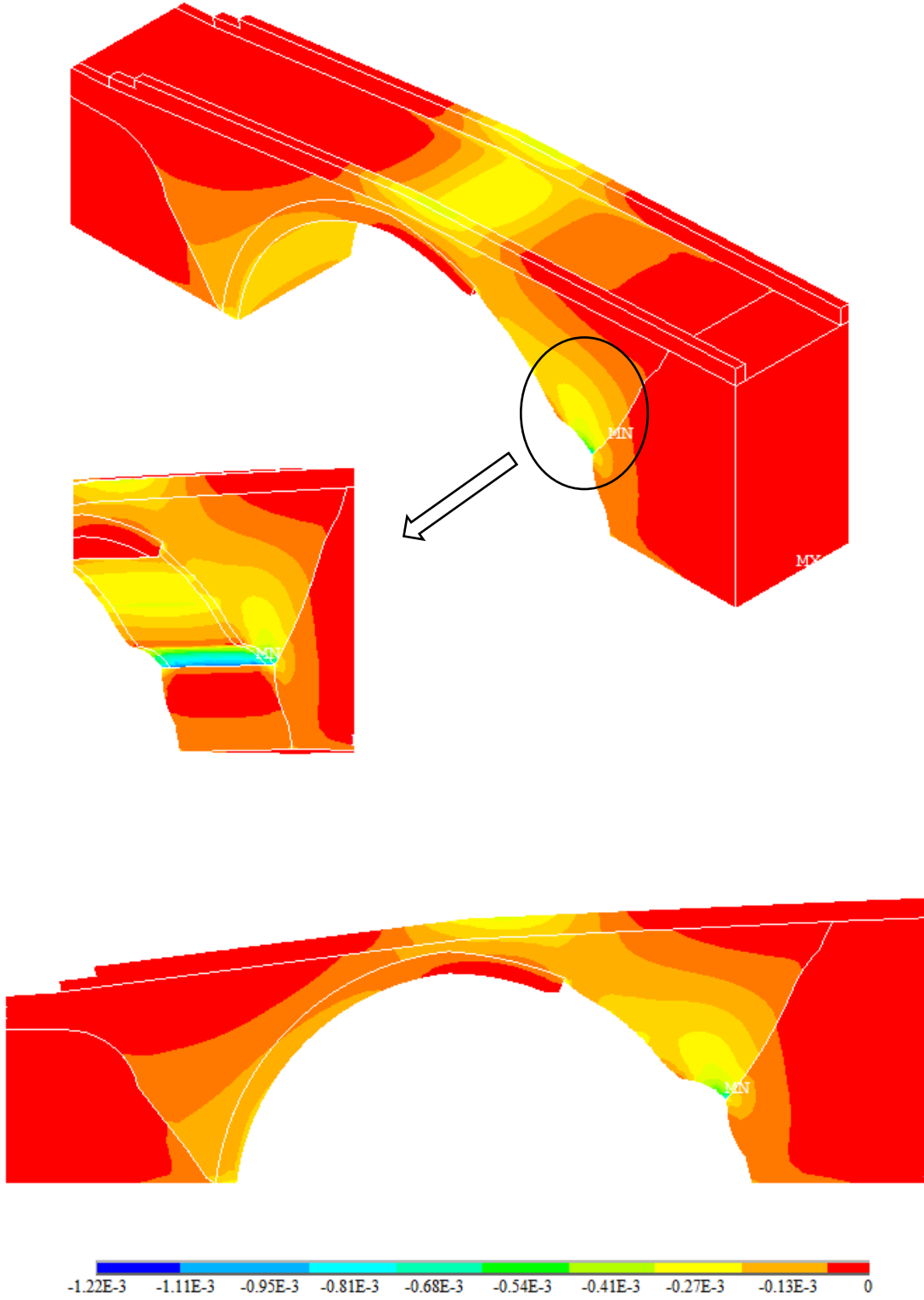


Şekil 2.18. Köprünün restorasyon öncesi durumu için, kendi ağırlığı ve hareketli yükler altında basınç gerilmelerinin dağılışına ait kontur diyagramı



Şekil 2.19. Köprünün restorasyon öncesi durumu için kendi ağırlığı ve hareketli yükler altında çekme durumunda şekildeğişimlere ait kontur diyagramı

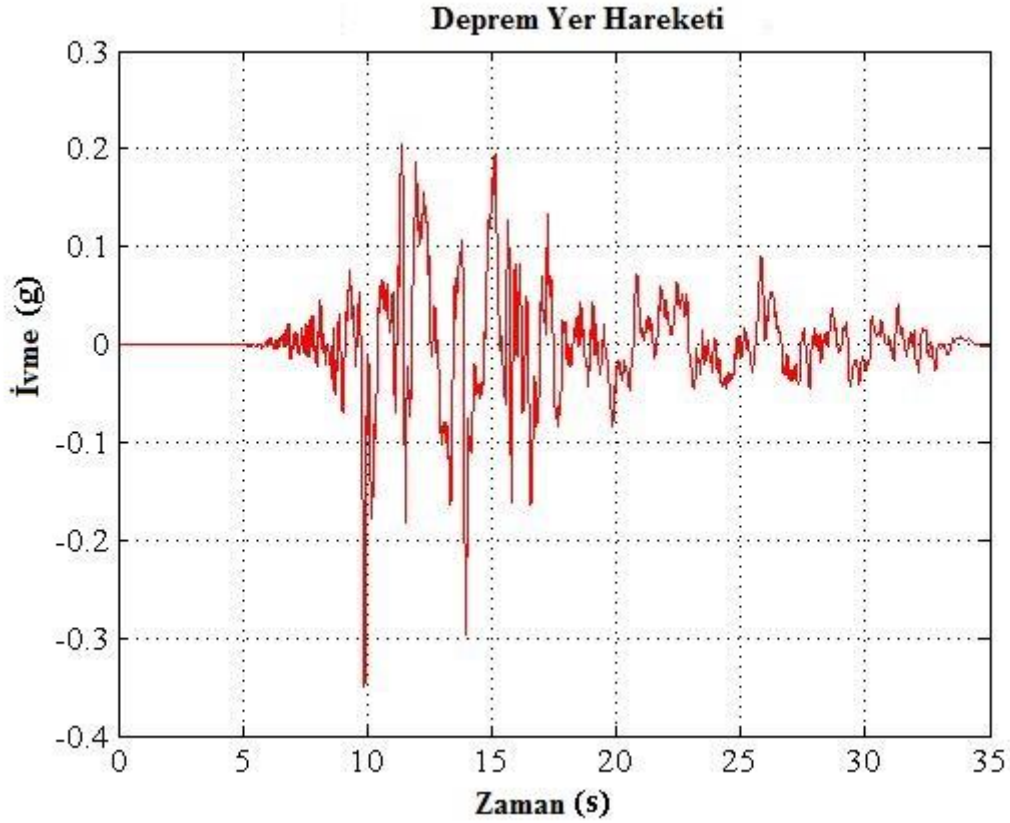




Şekil 2.20. Köprünün restorasyon öncesi durumu için kendi ağırlığı ve hareketli yükler altında basınç durumunda şekildeğişimlere ait kontur diyagramı

### 2.2.1.3. Restorasyon Öncesi Durum İçin Köprünün Kendi Ağırlığı, Hareketli Yükler ve Y\_Doğrultusunda Deprem Yükü Altındaki Davranışının Belirlenmesi

Köprünün restorasyon öncesi ve sonrası için gerçekleştirilen deprem analizlerinde 1999 yılında meydana gelen Kocaeli depremi Yarımca istasyonu ivme kaydı seçilmiş, bu ivme kaydı köprüye düşey doğrultuda uygulanmıştır. Analizlerde %5 sönüm oranı kullanılmıştır. Deprem analizleri bilgisayarda büyük hacim gerektirdiği için ivme kaydının en etkili 10 saniyesi yapıya uygulanarak analiz edilmiştir (8-18 sn). Analizlerde kullanılan ivme kaydı Şekil 2.21 de verilmektedir.



Şekil 2.21. Yarımca istasyonundan alınan Kocaeli Depremine ait ivme kaydı (URL-14, 2014).

Köprünün restorasyon öncesi durumu için, kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem yükü altında gerçekleştirilen analizler sonucunda meydana gelen yerdeğişirmelere ait kontur diyagramı Şekil 2.22'de verilmektedir. Şekil 2.22'den de görüleceği üzere yerdeğişirmeler kemer açıklık ortasından köprü ayaklarına ve kenar mesnetlere doğru

azalmaktadır. Kemerin hasarlı oluşundan dolayı maksimum yerdeğiştirme kemerin tam ortasında değil, hasarlı tarafa yakın çıkmıştır. Maksimum yerdeğiştirme değeri 6.5mm olarak elde edilmiştir.

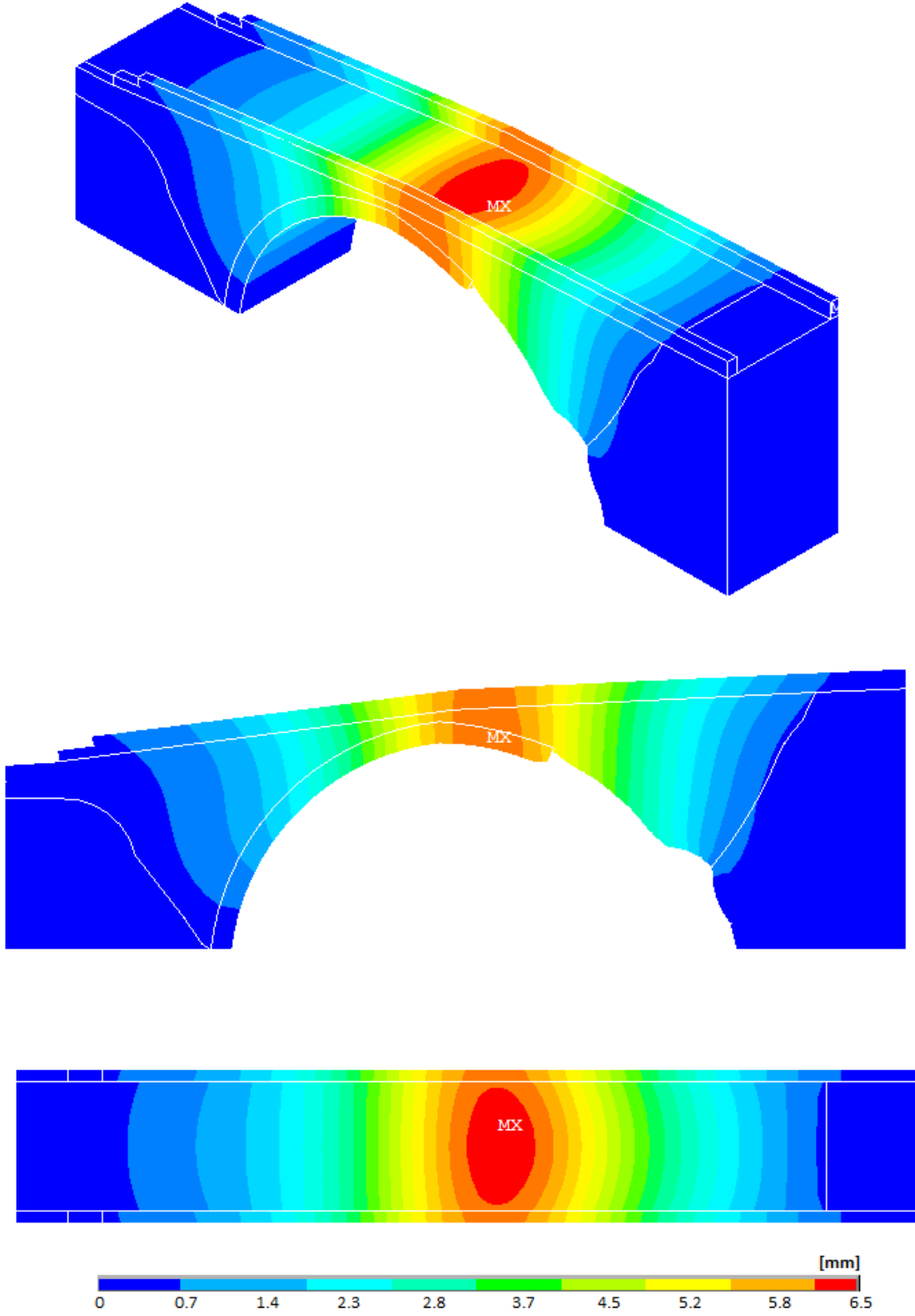
Köprünün restorasyon öncesi durumu için, kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem yükü altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen çekme gerilmelerinin dağılışına ait kontur diyagramı Şekil 2.23'de verilmektedir. Şekil 2.23'den de görüleceği üzere çekme gerilmelerinin maksimum değerleri köprünün hasarlı tarafında yamaç ile mesnet yüzeyi birleşim bölgelerinde ve hasarlı taraf korkuluklarında lokal olarak 1.14MPa değerinde elde edilmektedir. Ayrıca, hasarsız tarafta korkuluklarda 0.70MPa ve kemerin orta iç kısmında 0.62MPa değerinde gerilmeler oluşmaktadır. Bu kısımlar hariç köprünün genelinde çekme gerilmeleri maksimum 0.12MPa değerine ulaşmaktadır.

Köprünün restorasyon öncesi durumu için, kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem yükü altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen basınç gerilmelerinin dağılışına ait kontur diyagramı Şekil 2.24'de verilmektedir. Şekil 2.24'den de görüleceği üzere basınç gerilmelerinin maksimum değerleri hasarlı durumda bulunan tempan duvarların yamaç ile birleşim bölgelerinde 3.02MPa olarak elde edilmektedir. Ayrıca, kemerin hasarsız tarafının yamaca mesnetlendiği bölgelerde 1.2MPa ve korkuluk ortalarında 2.0MPa civarında gerilme yığılmaları bulunmaktadır. Köprünün taşıyıcı sistem elemanlarında genellikle 0.88MPa değerinde gerilmeler elde edilmektedir. Bu bölgeler dışında tempan duvarlar, kemerler, dolgu ve yamaçlarda elde edilen basınç gerilmeleri maksimum 0.1MPa civarındadır.

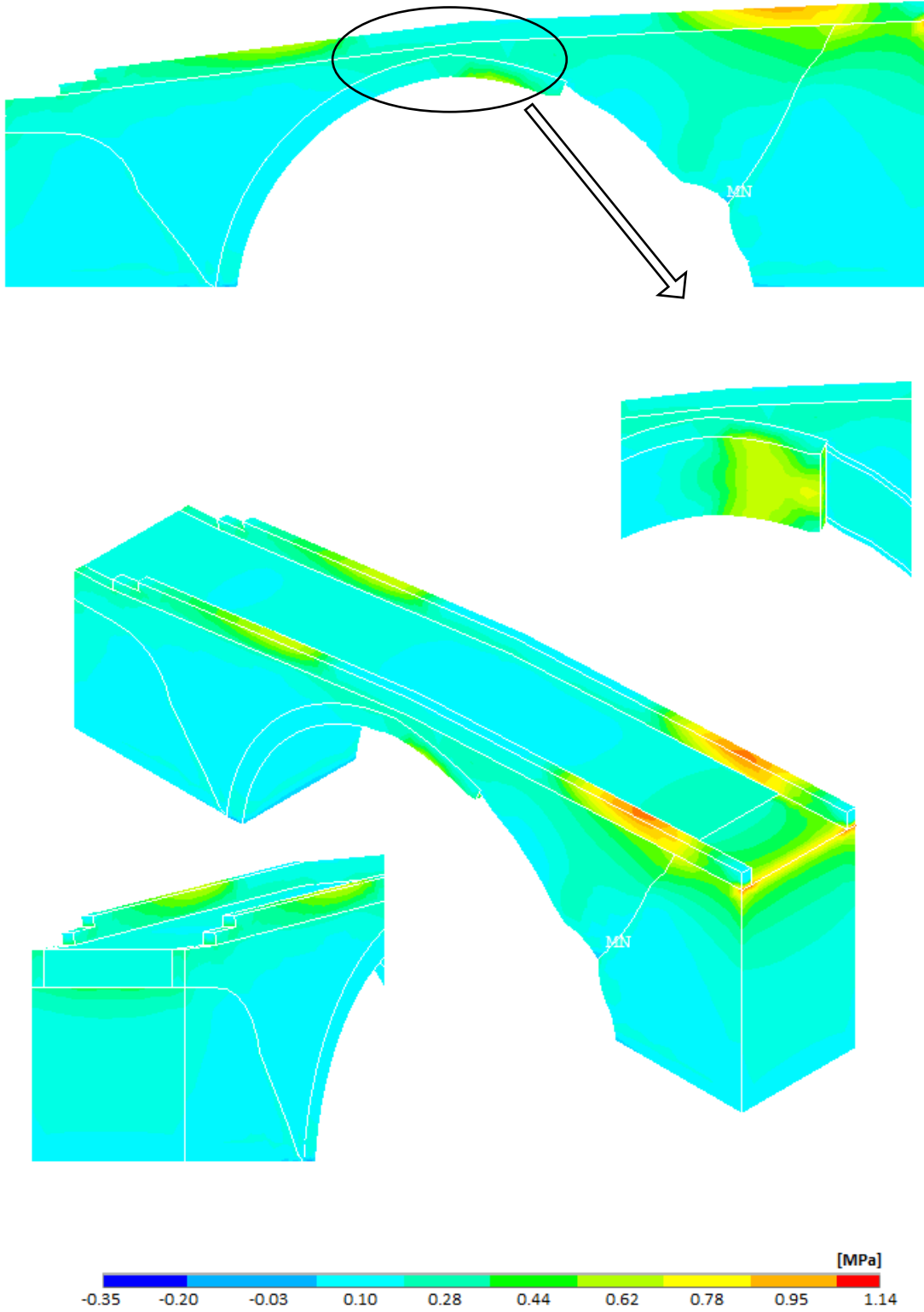
Köprünün restorasyon öncesi durumu için, kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem yükü altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen şekildeğiştirmelere ait kontur diyagramı çekme ve basınç durumları için Şekil 2.25 ve Şekil 2.26'da verilmektedir.

Şekil 2.25'den de görüleceği üzere köprüde meydana gelen şekildeğiştirme miktarı çekme durumu için maksimum, hasarlı kısımda dolgunun yamaç ile birleştiği bölgelerde  $3.1E-4$  olarak elde edilmiştir. Çekme durumunda bu kısımlar hariç köprünün taşıyıcı sistem elemanlarında genellikle  $2.10E-4$  civarında şekildeğiştirme değerleri oluşmaktadır.

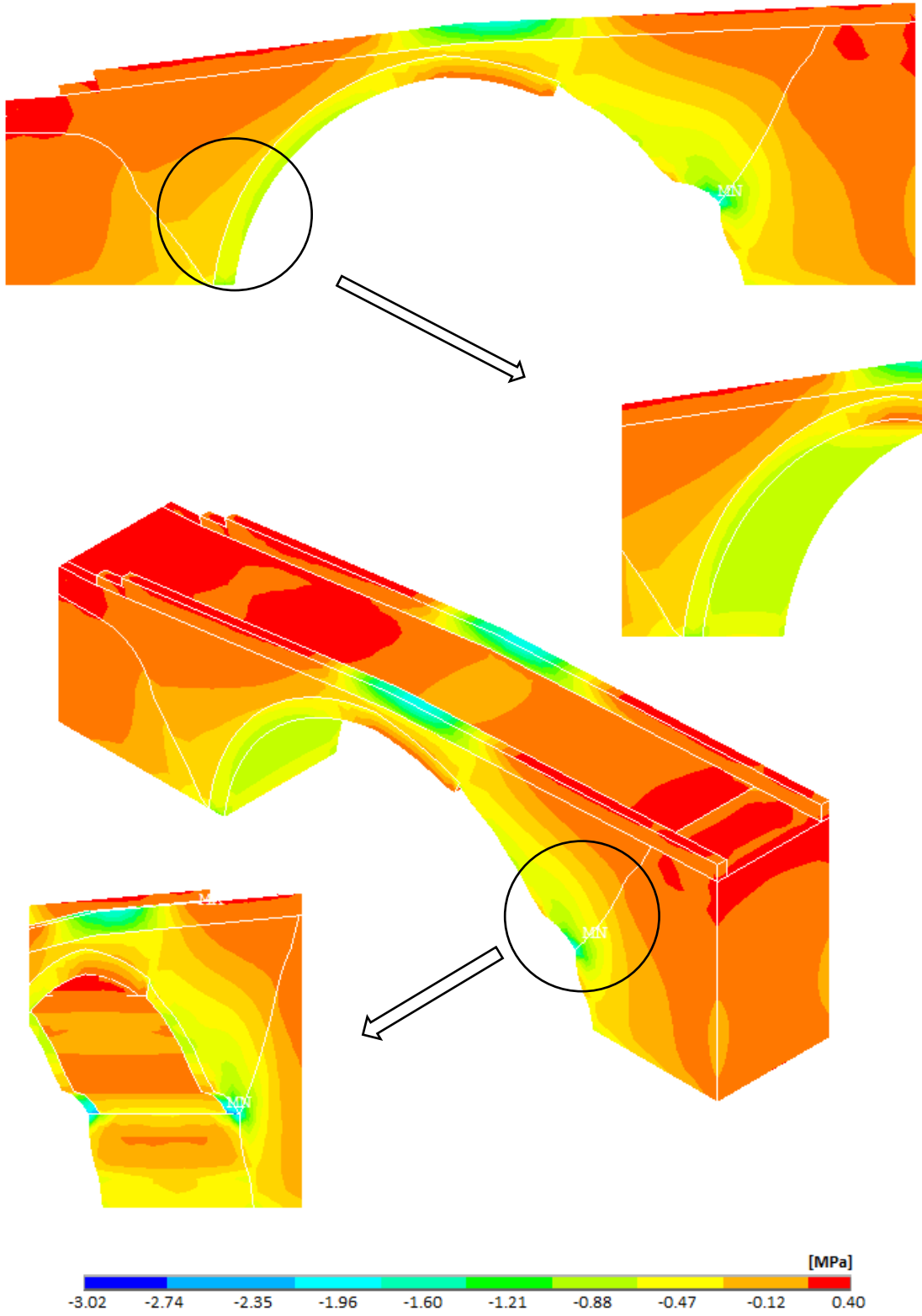
Şekil 2.26'dan da görüleceği üzere köprüde meydana gelen şekildeğiştirme miktarı basınç durumu için maksimum, hasarlı kısımda köprünün yamaçla birleştiği bölgelerde  $1.5E-3$  olarak elde edilmiştir. Basınç durumunda bu kısımlar hariç köprünün taşıyıcı sistem elemanlarında genel olarak elde edilen şekildeğiştirme değerleri  $0.55E-3$  civarındadır.



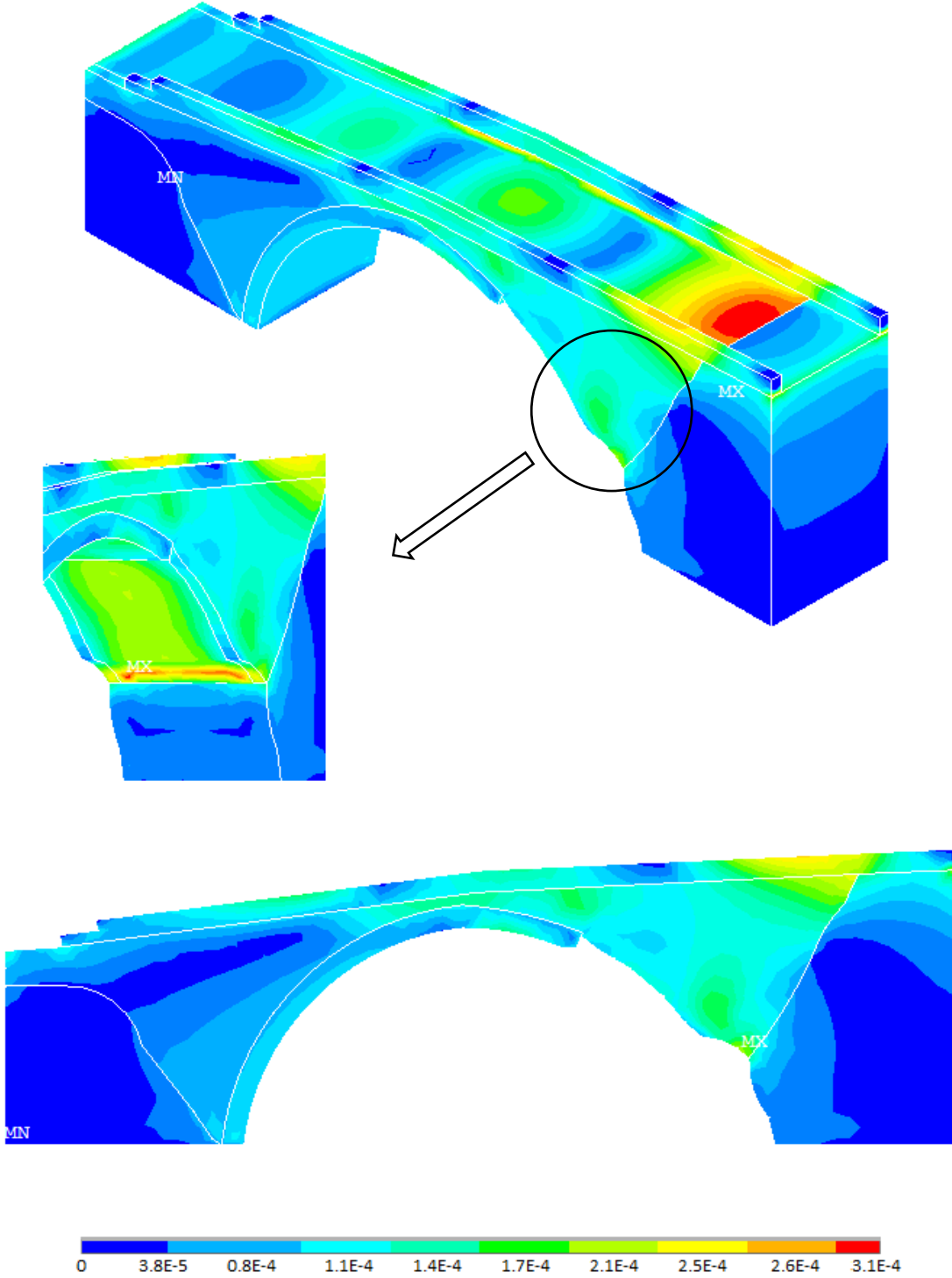
Şekil 2.22. Köprünün restorasyon öncesi durumu için, kendi ağırlığı, hareketli ve y-doğrultusundaki deprem yükü altında yerdeğiştirmelere ait kontur diyagramı



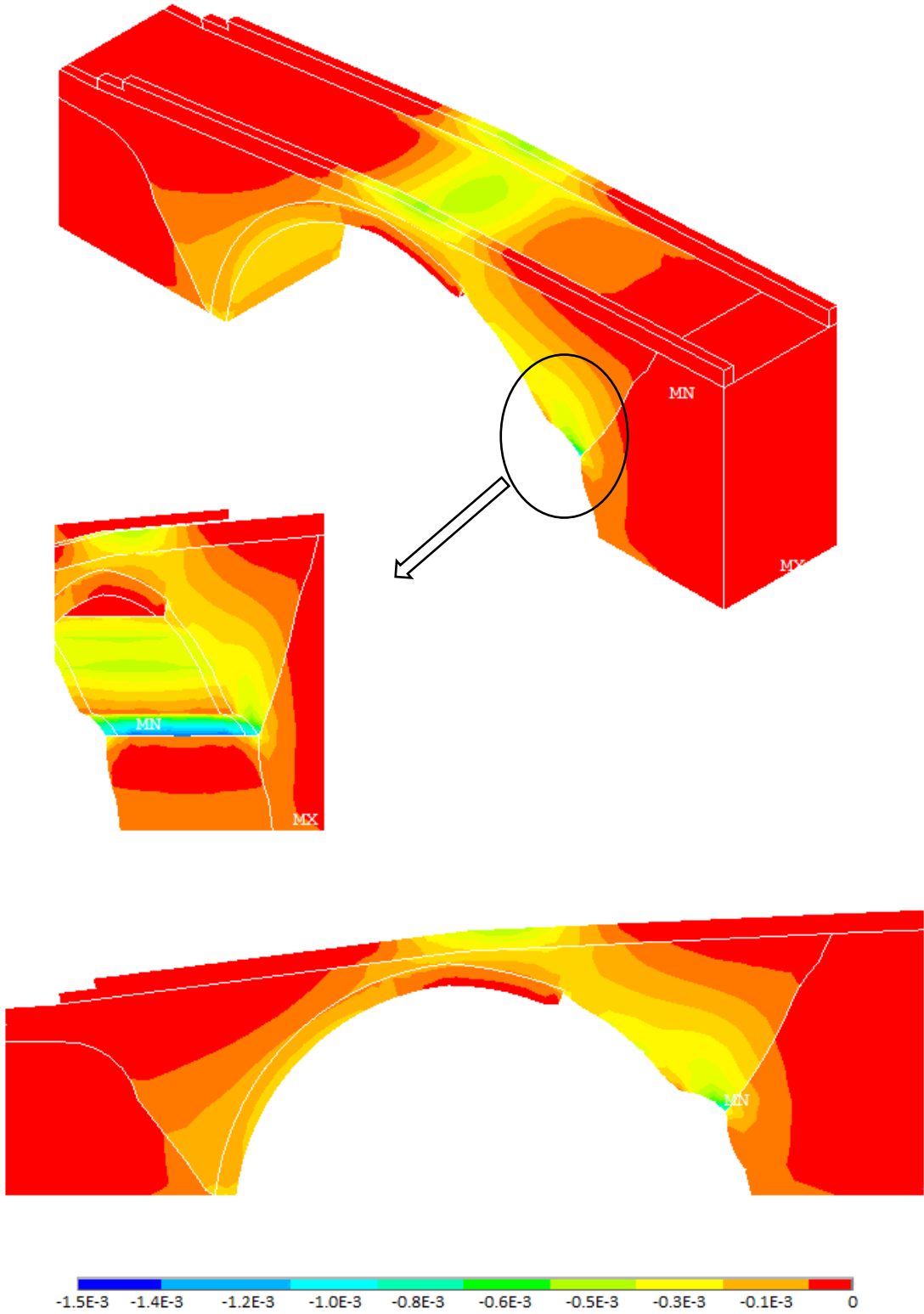
Şekil 2.23. Köprünün restorasyon öncesi durumu için, kendi ağırlığı, hareketli yük ve y-doğrultusundaki deprem yükü altında çekme gerilmelerinin dağılışına ait kontur diyagramı



Şekil 2.24. Köprünün restorasyon öncesi durumu için, kendi ağırlığı, hareketli yük ve y-doğrultusundaki deprem yükü altında basınç gerilmelerinin dağılışına ait kontur diyagramı



Şekil 2.25. Köprünün restorasyon öncesi durumu için, kendi ağırlığı, hareketli yük ve y-doğrultusundaki deprem yükü altında çekme durumunda şekildeğişimlere ait kontur diyagramı



Şekil 2.26. Köprünün restorasyon öncesi durumu için, kendi ağırlığı, hareketli yük ve y-doğrultusundaki deprem yükü altında basınç durumunda şekildeğişimlere ait kontur diyagramı



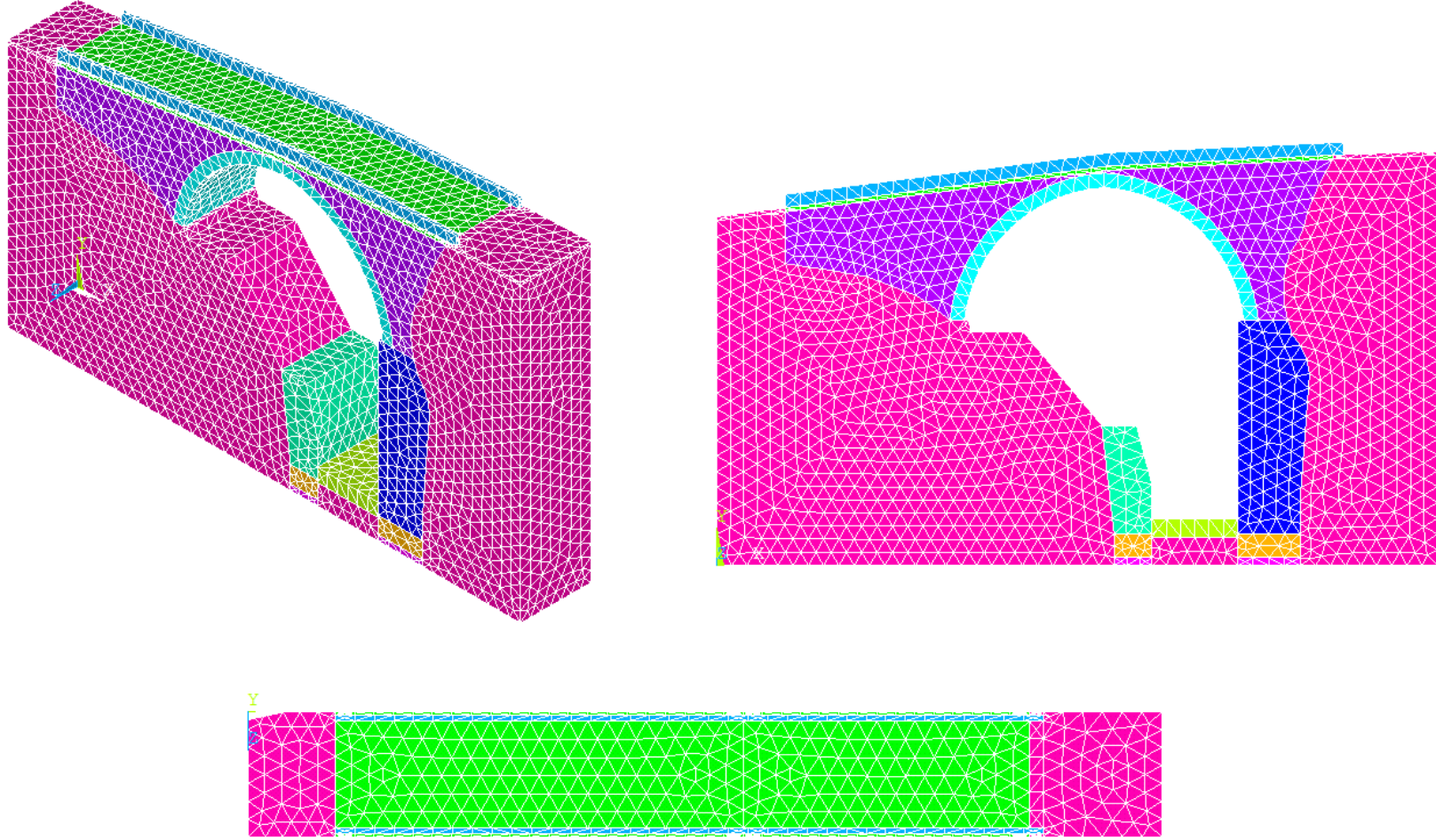
### 2.2.2. Köprünün Restorasyon Sonrasında Gerçekleştirilen Analizleri

Dandalaz Köprüsü'nün restorasyon sonrası durumuna göre yapılmış analizlerde köprünün hasar görmüş ve kopmuş elemanlarının tamamlandığı ve sağlamlaştırıldığı kabul edilmiştir. Köprünün sonlu eleman modeli, ilgili firma tarafından hazırlanan restorasyon projesi baz alınarak oluşturulmuştur.

Dandalaz Köprüsü'nün restorasyon sonrası durumu dikkate alınarak oluşturulan sonlu eleman modeli Şekil 2.27'de verilmektedir. Analizlerde taşıyıcı sistem elemanları için kullanılan malzeme özellikleri Tablo 2.2'de verilmektedir.

Tablo 2.2. Köprünün restorasyon sonrası analizlerinde kullanılan malzeme özellikleri

Taşıyıcı Sistem Elemanları	Malzeme Özellikleri		
	<i>Elastisite Modülü</i> ( $N/m^2$ )	<i>Poisson Oranı</i> (-)	<i>Yoğunluğu</i> ( $kg/m^3$ )
Kemer	5.0E9	0.2	2000
Yan Duvar	3.0E9	0.2	2000
Dolgu	6.0E8	0.2	1800
Yamaç	7.0E9	0.2	2500
Korkuluklar	5.0E9	0.2	2000
Temel	7.0E9	0.2	2500
Temel Altı Beton	7.0E9	0.2	2500
Dere İçi Tahkimat	5.0E9	0.2	2000
Kısa İstinat Duvarı	3.0E9	0.2	2000
Uzun İstinat Duvarı	3.0E9	0.2	2000
Yol Malzemesi	6.0E8	0.2	1800



Şekil 2.27. Dandalaz Köprüsü'nün restorasyon sonrası durumuna ait sonlu elaman modeli, perspektif ve görünüşleri

### 2.2.2.1. Restorasyon Sonrası Durum İçin Köprünün Kendi Ağırlığı Altındaki Davranışının Belirlenmesi

Köprünün restorasyon sonrası durumda, kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizlerinde elde edilen yerdeğiştirmelere ait kontur diyagramı Şekil 2.28’de verilmektedir. Şekil 2.28’den de görüleceği üzere maksimum yerdeğiştirme kemerin orta noktasında 2.2mm olarak elde edilmiştir. Bunun dışında yerdeğiştirmeler kenar yamaçlara doğru düzgün şekilde azalmaktadır.

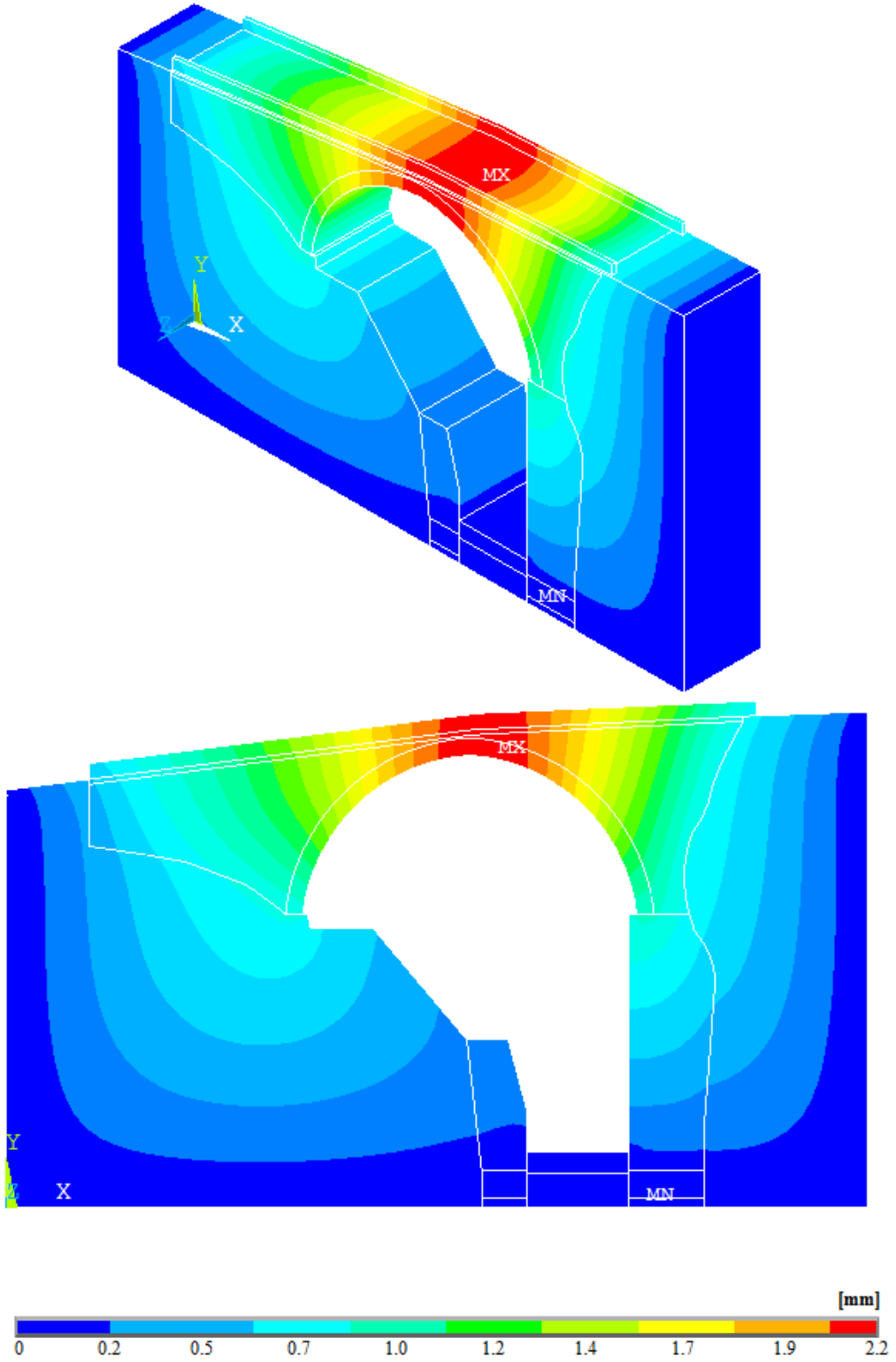
Köprünün restorasyon sonrası durumunda kendi ağırlığı altındaki analizleri sonucunda elde edilen çekme gerilmelerine ait kontur diyagramı Şekil 2.29’da verilmektedir. Buna göre çekme gerilmelerinin maksimum değerleri, köprünün her iki tarafında yamaçların mesnet yüzeyleri ile birleşim bölgelerinde 1.29MPa olarak elde edilmiştir. Bu kısımlar hariç köprünün taşıyıcı sistem elemanlarında çekme gerilmeleri maksimum 0.17MPa değerine ulaşmaktadır.

Köprünün restorasyon sonrası durumu için, kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen basınç gerilmelerinin dağılışına ait kontur diyagramı Şekil 2.30’da verilmektedir. Şekil 2.30’dan da görüleceği üzere basınç gerilmelerinin maksimum değerleri kemerin sağ ve sol kenarlarının zemine oturduğu bölgelerde 1.39MPa olarak elde edilmiştir. Bunun dışında köprünün taşıyıcı sistem elemanlarında 0.49MPa değerinde gerilmeler oluşmaktadır.

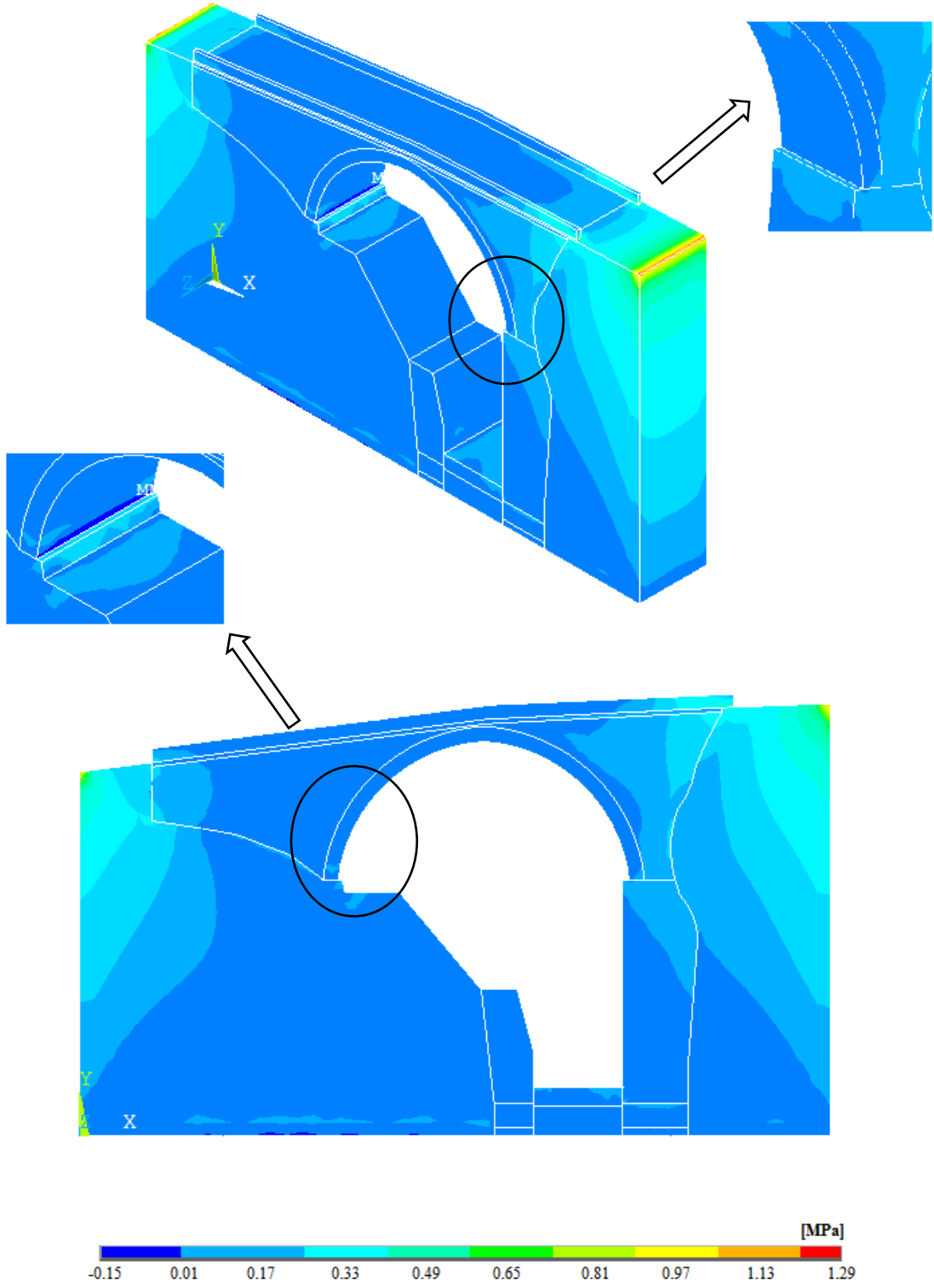
Köprünün restorasyon sonrası durumu için, kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen şekildeğiştirmelere ait kontur diyagramı çekme ve basınç durumları için Şekil 2.31 ve Şekil 2.32’de verilmektedir.

Şekil 2.31’den de görüleceği üzere köprüde meydana gelen şekildeğiştirme miktarı çekme durumu için maksimum, köprünün yamaçlarla ve yamaçların mesnet yüzeyleri ile birleşim bölgelerinde  $1.71E-4$  olarak elde edilmiştir. Çekme durumunda bu kısımlar hariç köprünün taşıyıcı sistem elemanlarında elde edilen şekildeğiştirme değerleri  $0.57E-4$  değerini aşmamaktadır.

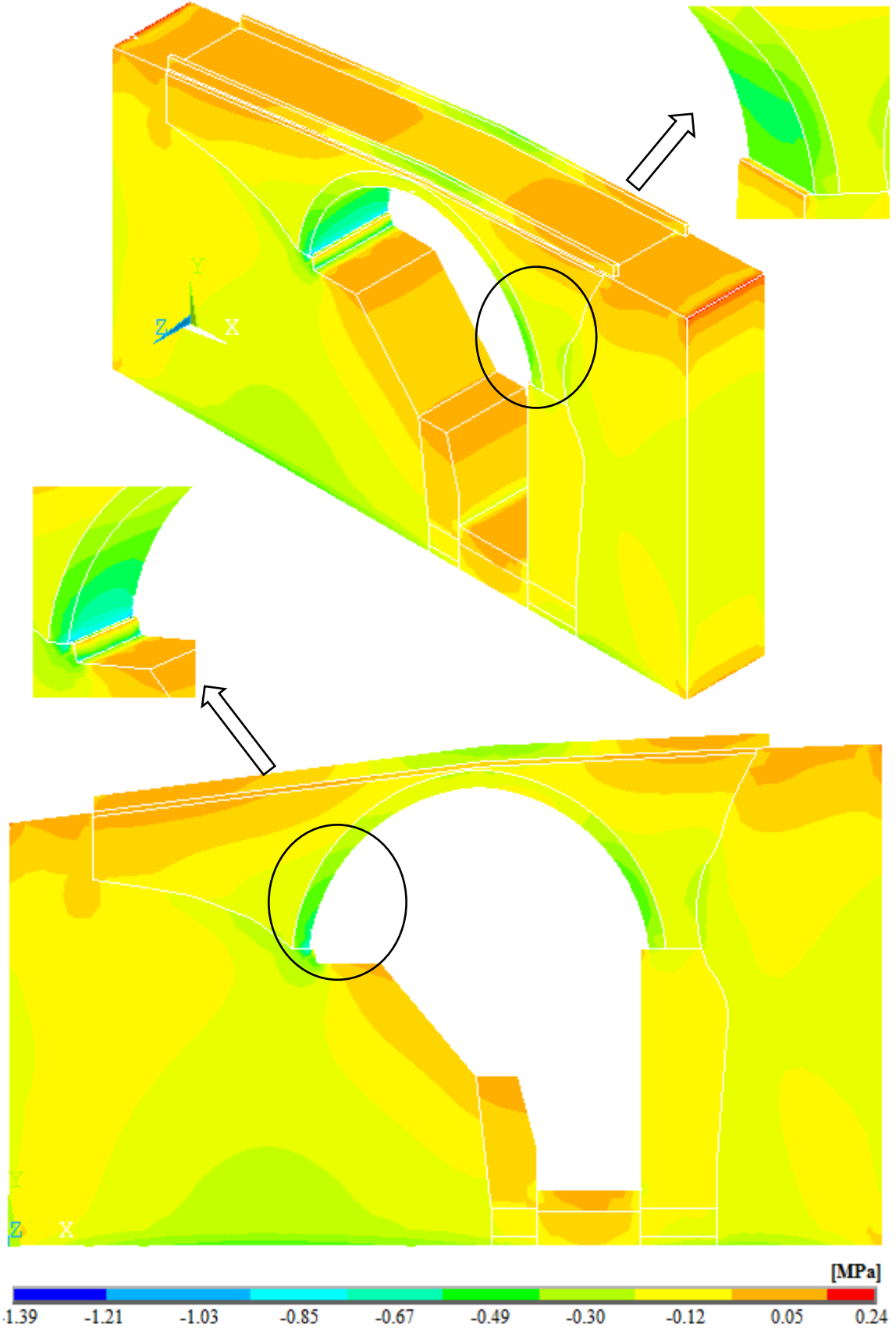
Şekil 2.32’den de görüleceği üzere köprüde meydana gelen şekildeğiştirme miktarı basınç durumu için maksimum, kemerin kenar alt kısımlarında  $0.22E-3$  olarak elde edilmiştir. Basınç durumunda bu kısımlar hariç köprünün taşıyıcı sistem elemanlarında elde edilen şekildeğiştirme değerleri  $0.10E-3$  civarında oluşmaktadır.



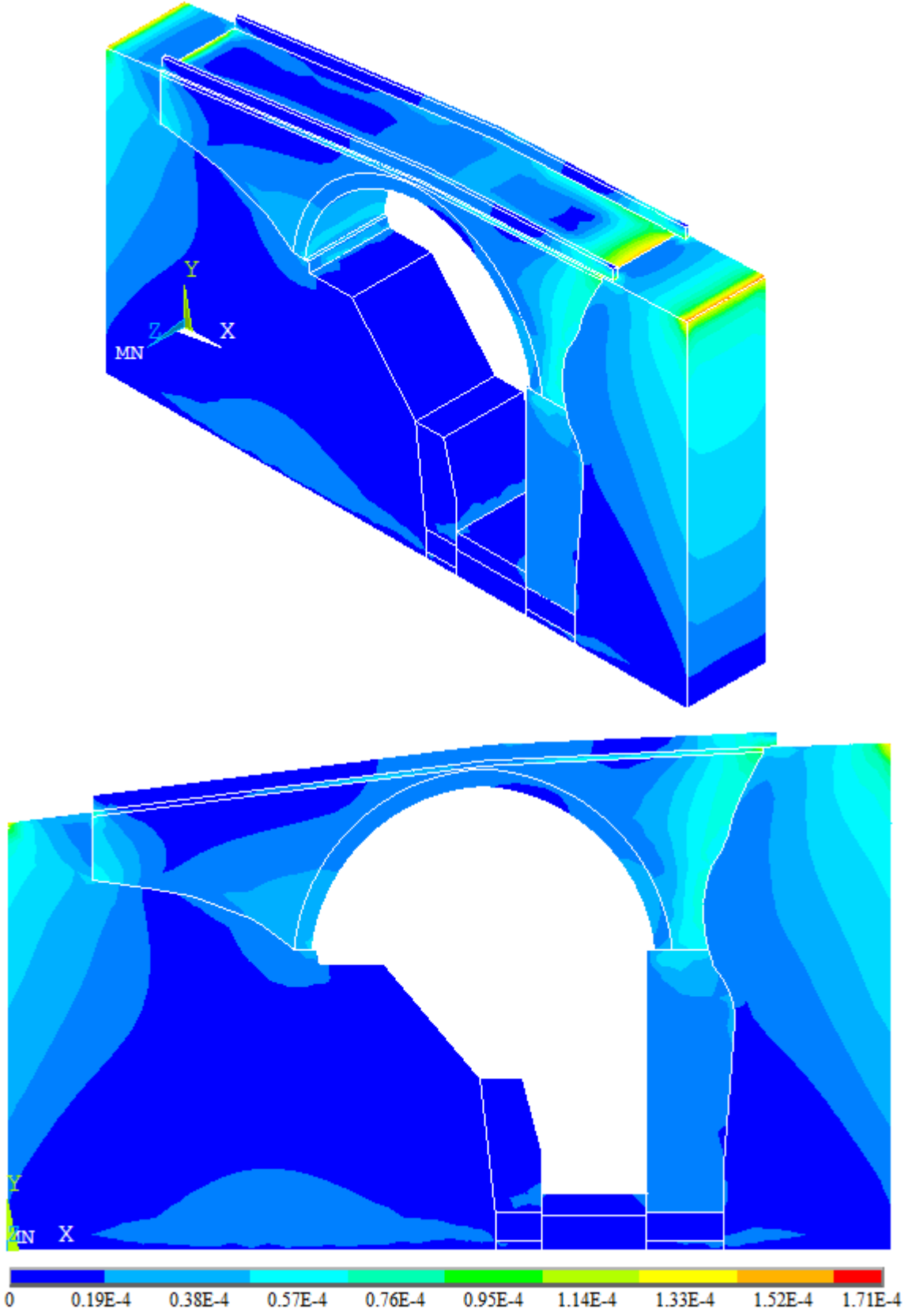
Şekil 2.28. Köprünün restorasyon sonrası durumu için, kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizler sonucunda meydana gelen yerdeğişimlere ait kontur diyagramı



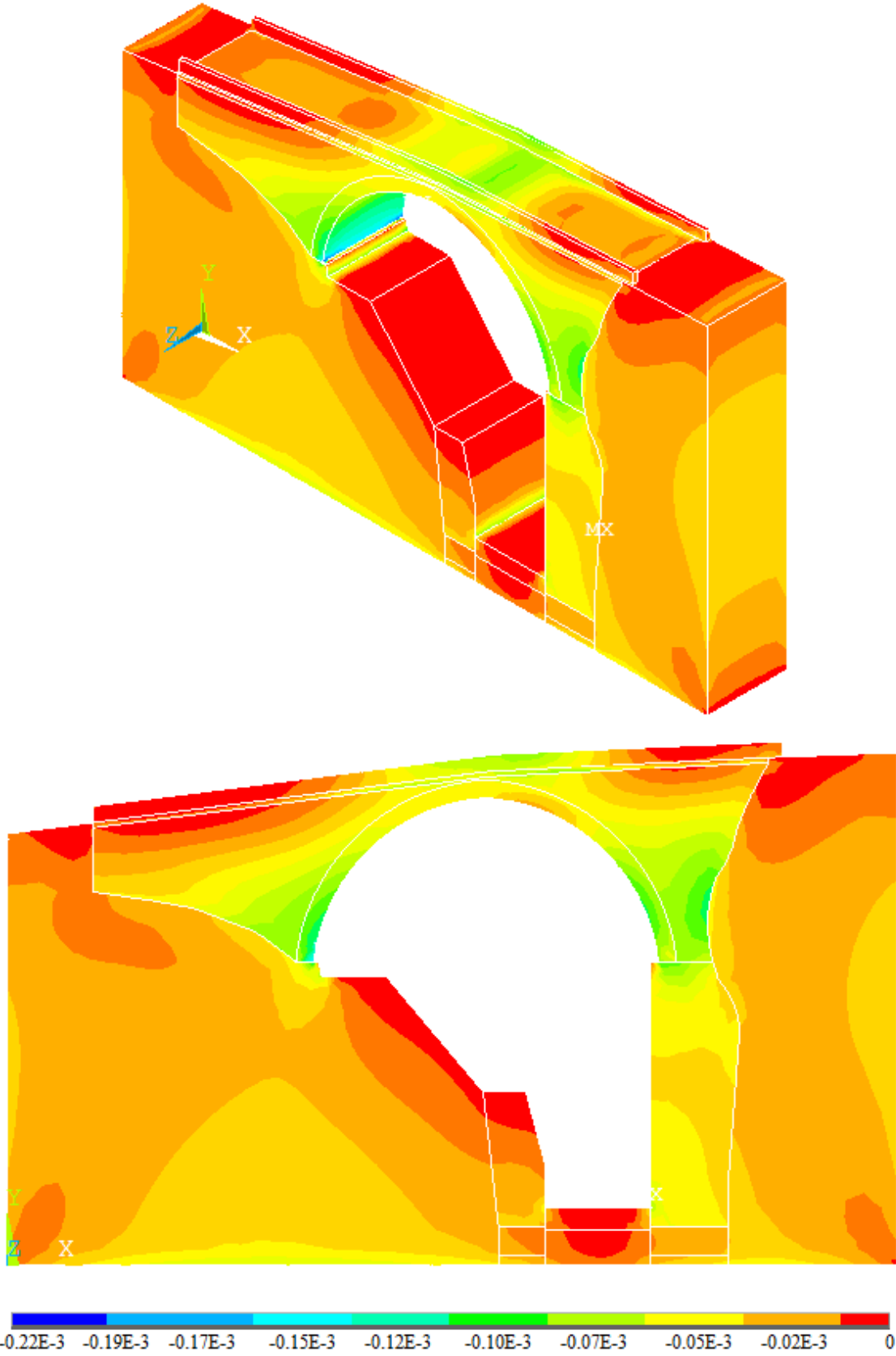
Şekil 2.29. Köprünün restorasyon sonrası durumu için, kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizler sonucunda meydana gelen çekme gerilmelerine ait kontur diyagramı



Şekil 2.30. Köprünün restorasyon sonrası durumu için, kendi ağırlığı altındaki analizleri sonucunda meydana gelen basınç gerilmelerine ait kontur diyagramı



Şekil 2.31. Köprünün restorasyon sonrası durumunda, kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizlerden çekme durumu için şekildeğiştirmelere ait kontur diyagramı



Şekil 2.32. Köprünün restorasyon sonrası durumunda, kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizlerden basınç durumu için şekildeğişimlere ait kontur diyagramı



### 2.2.2.2. Restorasyon Sonrası Durum İçin Köprünün Kendi Ağırlığı ve Hareketli Yükler Altındaki Davranışının Belirlenmesi

Köprünün restorasyon sonrası durumu için, kendi ağırlığı ve hareketli yükler altındaki davranışı belirlenmiştir. Köprü üzerindeki hareketli yük değeri  $5\text{KN/m}^2$  olarak dikkate alınmış ve hesaplanan yükler köprü döşemesi üzerine yayılı olarak etkittirilmiştir.

Köprünün restorasyon sonrası durumda, kendi ağırlığı ve hareketli yükler altında gerçekleştirilen analizlerinde elde edilen yerdeğiştirmelere ait kontur diyagramı Şekil 2.33'de verilmektedir. Şekil 2.33'den de görüleceği üzere maksimum yerdeğiştirme kemerin orta noktasında  $2.4\text{mm}$  olarak elde edilmiştir. Bunun dışında yerdeğiştirmeler kenar yamaçlara doğru düzgün şekilde azalmaktadır.

Köprünün restorasyon sonrası durumu için, kendi ağırlığı ve hareketli yükler altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen çekme gerilmelerinin dağılışına ait kontur diyagramı Şekil 2.34'de verilmektedir. Şekil 2.34'den de görüleceği üzere çekme gerilmelerinin maksimum değerleri, köprünün her iki tarafında yamaçların mesnet yüzeyleri ile birleşim bölgelerinde lokal olarak  $1.31\text{MPa}$  olarak elde edilmiştir. Bu kısımlar hariç köprünün taşıyıcı sistem elemanlarında çekme gerilmeleri maksimum  $0.20\text{MPa}$  değerine ulaşmıştır.

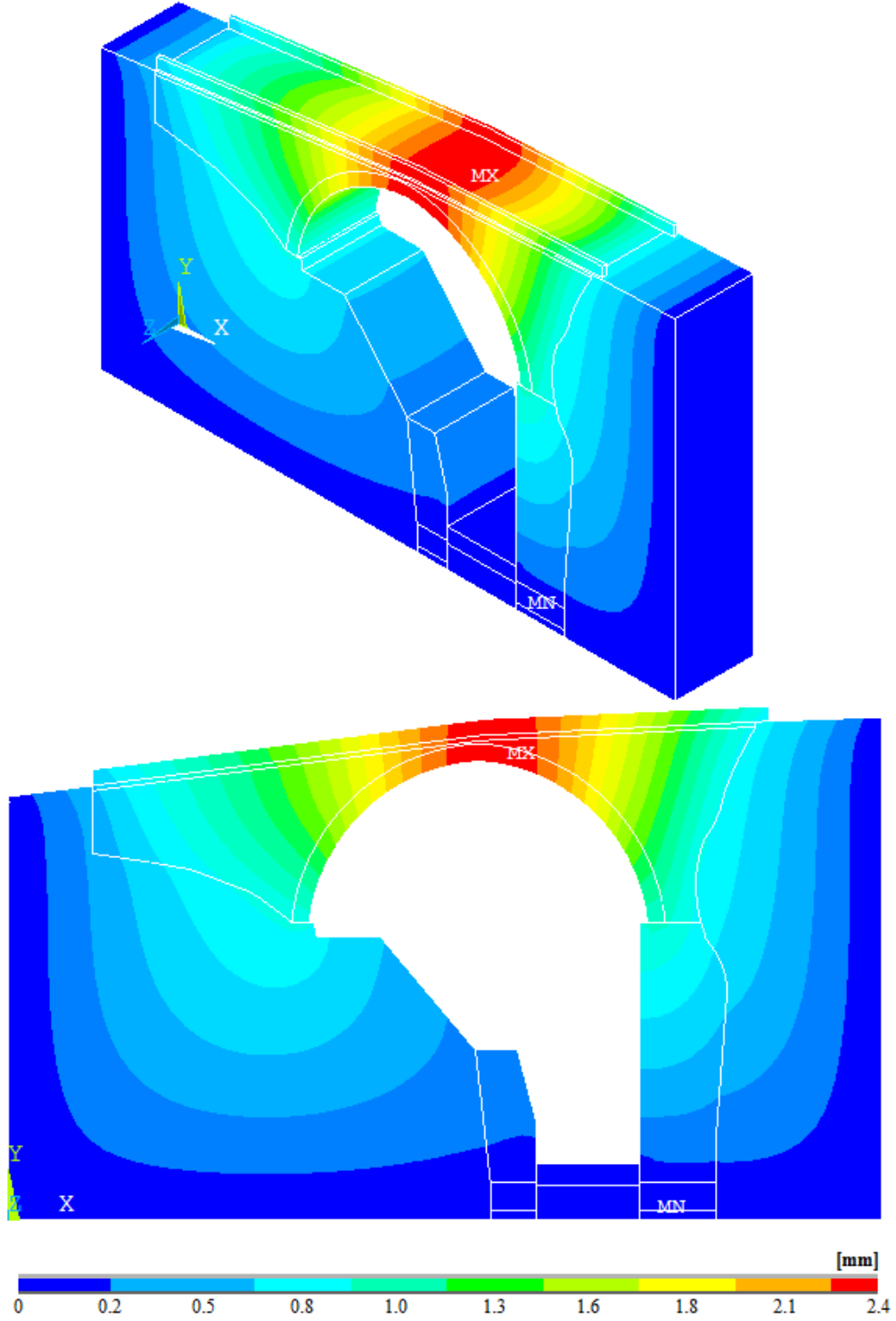
Köprünün restorasyon sonrası durumu için, kendi ağırlığı ve hareketli yükler altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen basınç gerilmelerinin dağılışına ait kontur diyagramı Şekil 2.35'de verilmektedir. Şekil 2.35'den de görüleceği üzere basınç gerilmelerinin maksimum değerleri kemerin sağ ve sol kenarlarının zemine oturduğu yerlerde  $1.46\text{MPa}$  olarak elde edilmiştir. Bunun dışında köprüde genel olarak elde edilen basınç gerilmeleri değeri  $0.51\text{MPa}$  değerini aşmamaktadır.

Köprünün restorasyon sonrası durumu için, kendi ağırlığı ve hareketli yükler altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen şekildeğiştirmelere ait kontur diyagramı çekme ve basınç durumları için Şekil 2.36 ve Şekil 2.37'de verilmektedir.

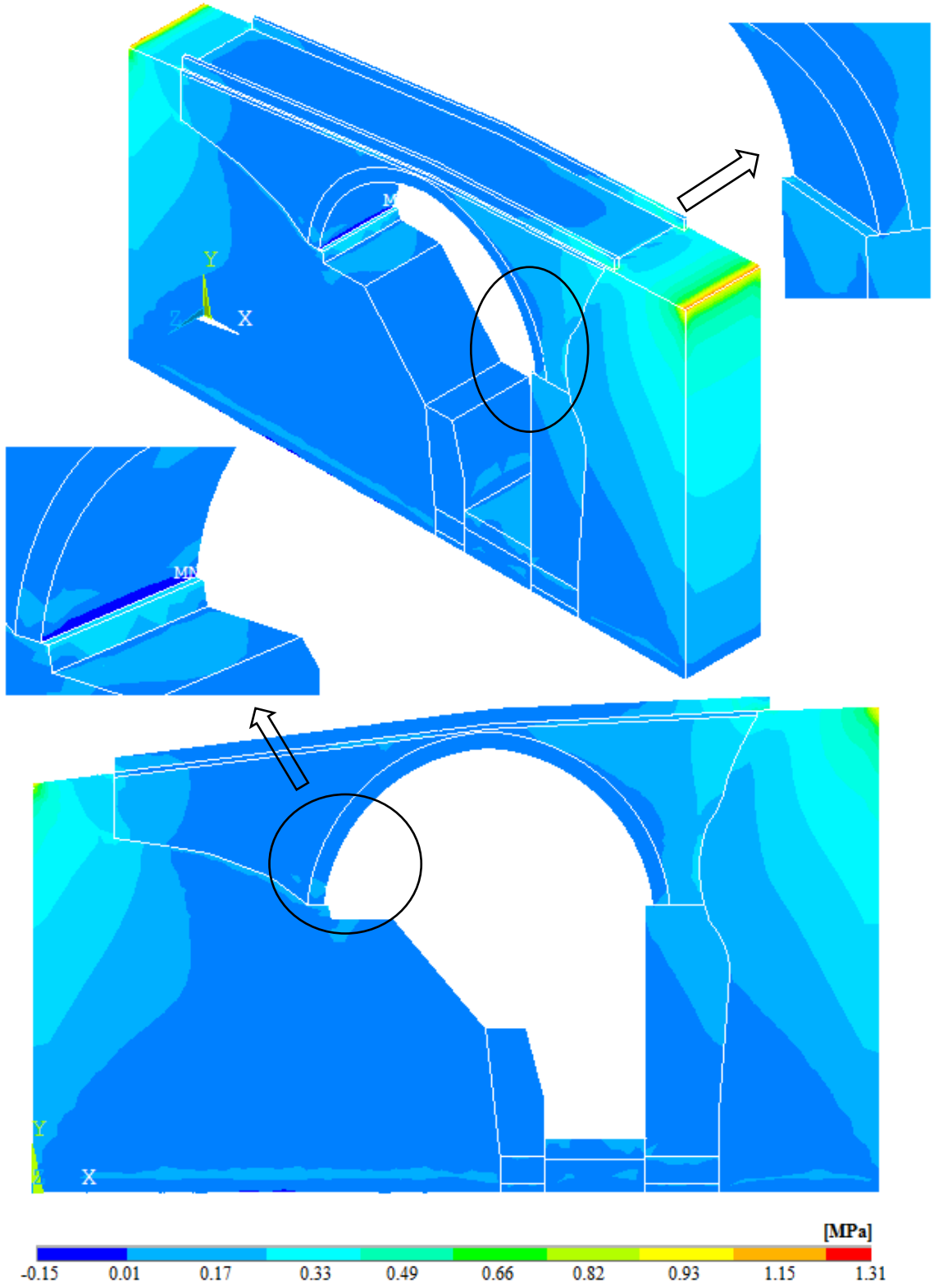
Şekil 2.36'dan da görüleceği üzere köprüde meydana gelen şekildeğiştirme miktarı çekme durumu için maksimum, köprünün yamaçlarla ve yamaçların mesnet yüzeyleri ile birleştiği bölgelerde  $1.73\text{E-4}$  olarak elde edilmiştir. Çekme durumunda bu kısımlar hariç köprünün taşıyıcı sistem elemanlarında elde edilen şekildeğiştirme değerleri  $0.57\text{E-4}$  değerini aşmamaktadır.

Şekil 2.37'den de görüleceği üzere köprüde meydana gelen şekildeğiştirme miktarı basınç durumu için maksimum, kemerin kenar alt kısımlarında  $0.23\text{E-3}$  olarak elde

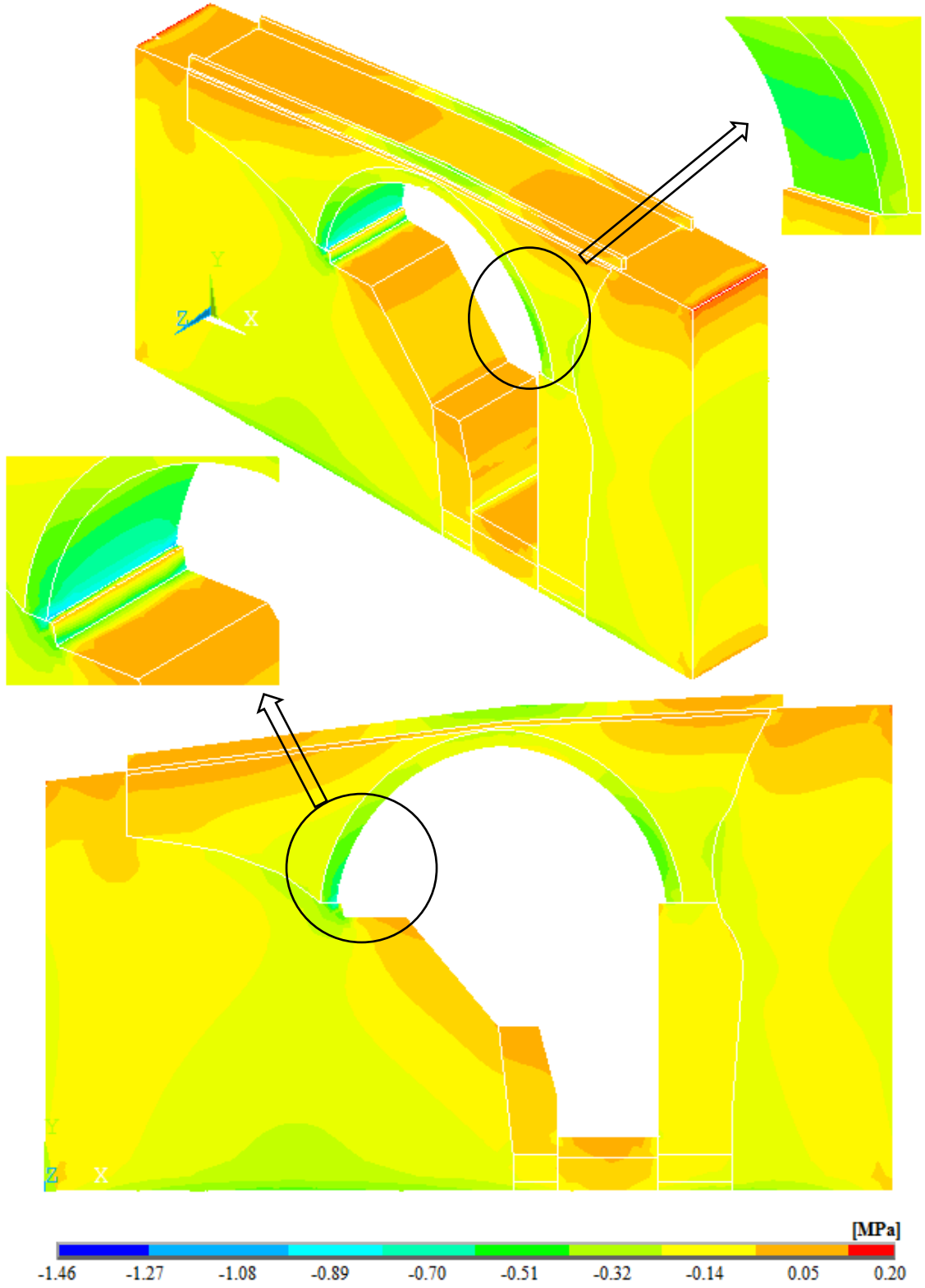
edilmiştir. Basınç durumunda bu kısımlar hariç köprünün taşıyıcı sistem elemanlarında elde edilen şekildeğiştirme değerleri  $0.13E-3$  değerini aşmamaktadır.



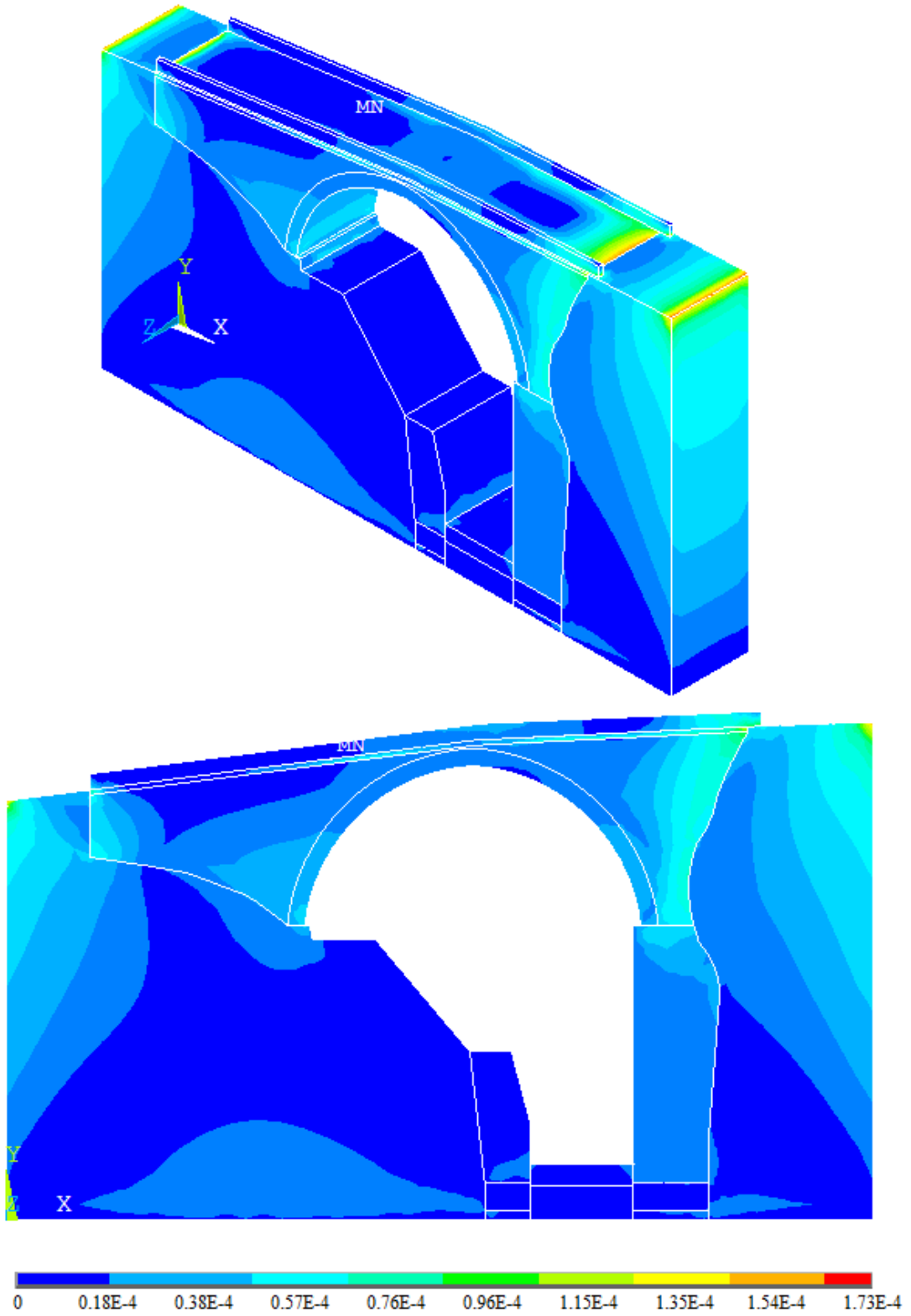
Şekil 2.33. Köprünün restorasyon sonrası durumu için, kendi ağırlığı ve hareketli yükler altında gerçekleştirilen analizler sonucunda meydana gelen yerdeğiştirmelere ait kontur diyagramı



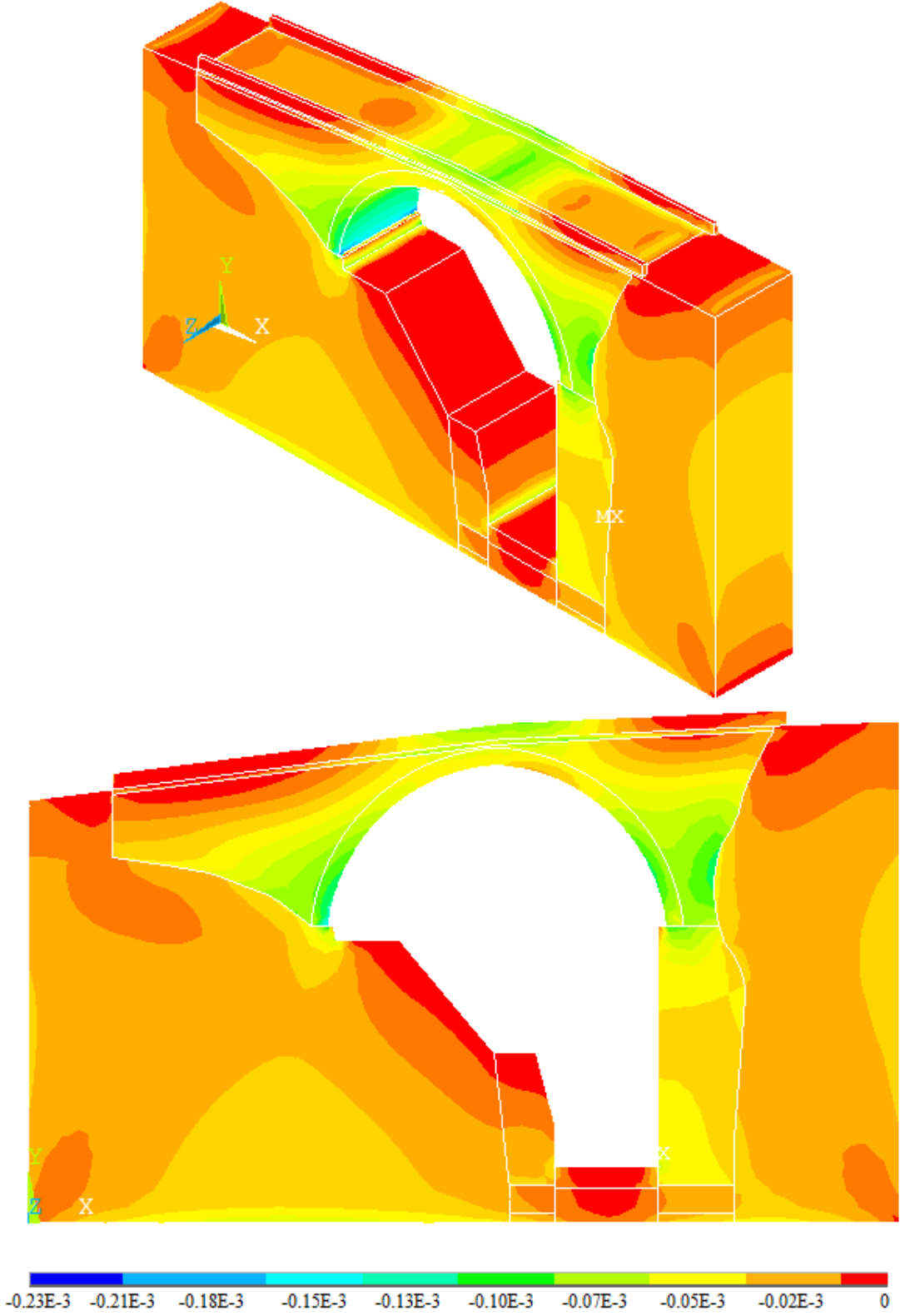
Şekil 2.34. Köprünün restorasyon sonrası durumu için, kendi ağırlığı ve hareketli yükler altında gerçekleştirilen analizler sonucunda meydana gelen çekme gerilmelerine ait kontur diyagramı



Şekil 2.35. Köprünün restorasyon sonrası durumu için, kendi ağırlığı ve hareketli yükler altındaki analizleri sonucunda meydana gelen basınç gerilmelerine ait kontur diyagramı



Şekil 2.36. Köprünün restorasyon sonrası durumunda, kendi ağırlığı ve hareketli yükler altında gerçekleştirilen analizlerden çekme durumu için şekildeğiştirmelere ait kontur diyagramı



Şekil 2.37. Köprünün restorasyon sonrası durumunda, kendi ağırlığı ve hareketli yükler altında gerçekleştirilen analizlerden basınç durumu için şekildeğiştirmelere ait kontur diyagramı

### 2.2.2.3. Restorasyon Sonrası Durum İçin Köprünün Kendi Ağırlığı, Hareketli Yükler ve Y-Doğrultusunda Deprem Yükü Altındaki Davranışının Belirlenmesi

Köprünün restorasyon öncesi ve sonrası deprem analizlerinde 1999 yılında meydana gelen Kocaeli depremi Yarımca istasyonu ivme kaydı seçilmiş, bu ivme kaydı köprüye düşey yönde etkittirilmiştir. Deprem analizi için gerekli bilgiler restorasyon öncesi durumda verilmektedir.

Köprünün restorasyon sonrası durumu için, kendi ağırlığı, hareketli yük ve deprem yükü altında gerçekleştirilen analizler sonucunda meydana gelen yerdeğiştirmelere ait kontur diyagramı Şekil 2.38'de verilmektedir. Şekil 2.38'den de görüleceği üzere maksimum yerdeğiştirme kemerin orta noktasında 3.0mm olarak elde edilmiştir. Bunun dışında yerdeğiştirmeler kenar yamaçlara doğru düzgün şekilde azalmaktadır.

Köprünün restorasyon sonrası durumu için, kendi ağırlığı, hareketli ve deprem yükleri altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen çekme gerilmelerinin dağılışına ait kontur diyagramı Şekil 2.39'da verilmiştir. Şekil 2.39'dan da görüleceği üzere çekme gerilmelerinin maksimum değerleri, köprünün her iki tarafında yamaçların mesnet yüzeyleri ile birleşim bölgelerinde lokal olarak 1.56MPa olarak elde edilmektedir. Bu kısımlar hariç köprünün taşıyıcı sistem elemanlarında çekme gerilmeleri maksimum 0.39MPa değerine ulaşmaktadır.

Köprünün restorasyon sonrası durumu için, kendi ağırlığı, hareketli ve deprem yükleri altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen basınç gerilmelerinin dağılışına ait kontur diyagramı Şekil 2.40'da verilmektedir. Şekil 2.40'dan da görüleceği üzere basınç gerilmelerinin maksimum değerleri kemerin sağ ve sol kenarlarının zemine oturduğu bölgelerde 1.82MPa olarak elde edilmiştir. Bunun dışında köprüde elde edilen basınç gerilmeleri değeri 0.65MPa değerini aşmamaktadır.

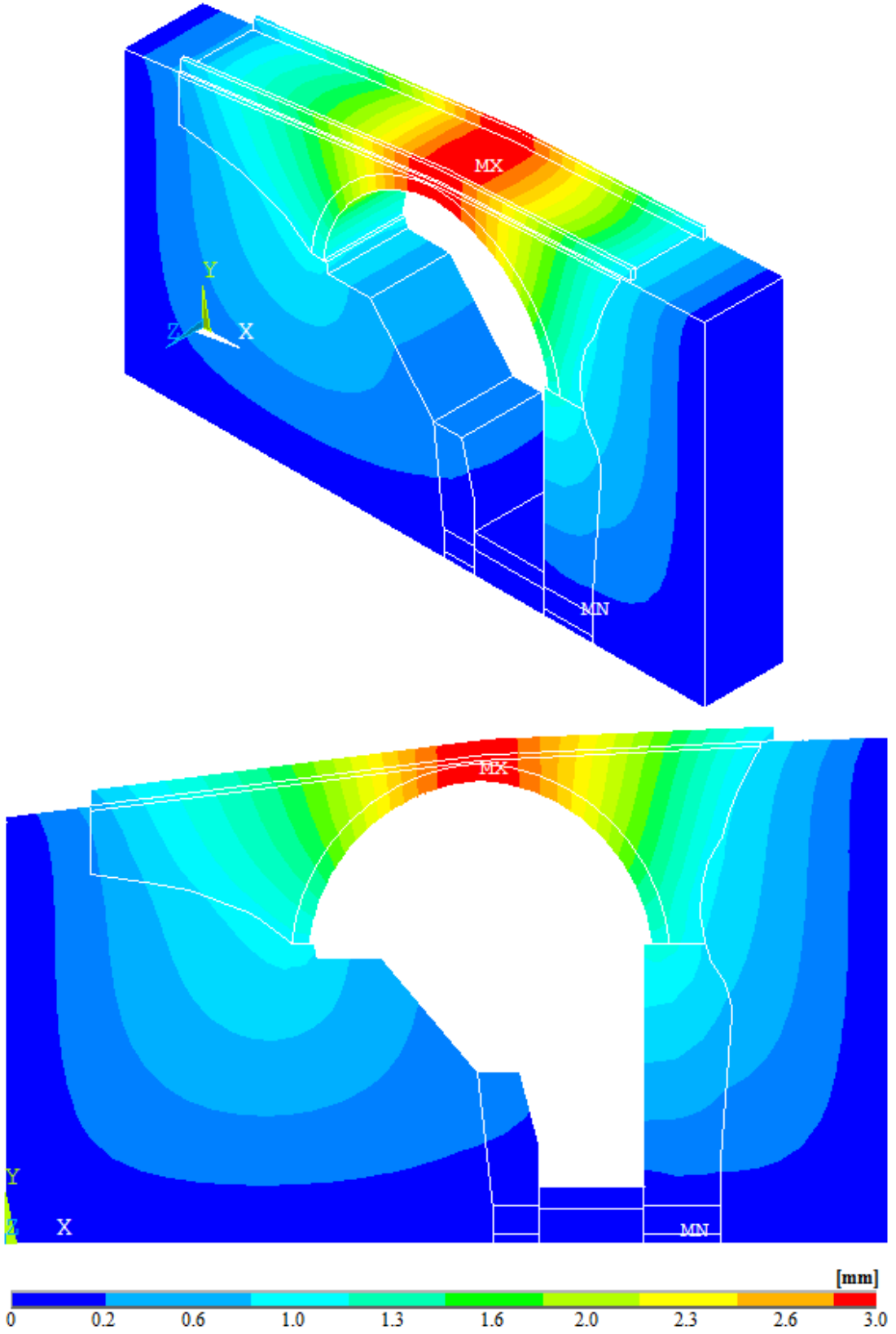
Köprünün restorasyon sonrası durumu için, kendi ağırlığı, hareketli ve deprem yükleri altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen şekildeğiştirmelere ait kontur diyagramı çekme ve basınç durumları için Şekil 2.41 ve Şekil 2.42'de verilmektedir.

Şekil 2.41'den de görüleceği üzere köprüde meydana gelen şekildeğiştirme miktarı çekme durumu için maksimum, köprünün yamaçlarla ve yamaçların mesnet yüzeyleri ile birleştiği bölgelerde  $1.96E-4$  olarak elde edilmiştir. Çekme durumunda bu kısımlar hariç

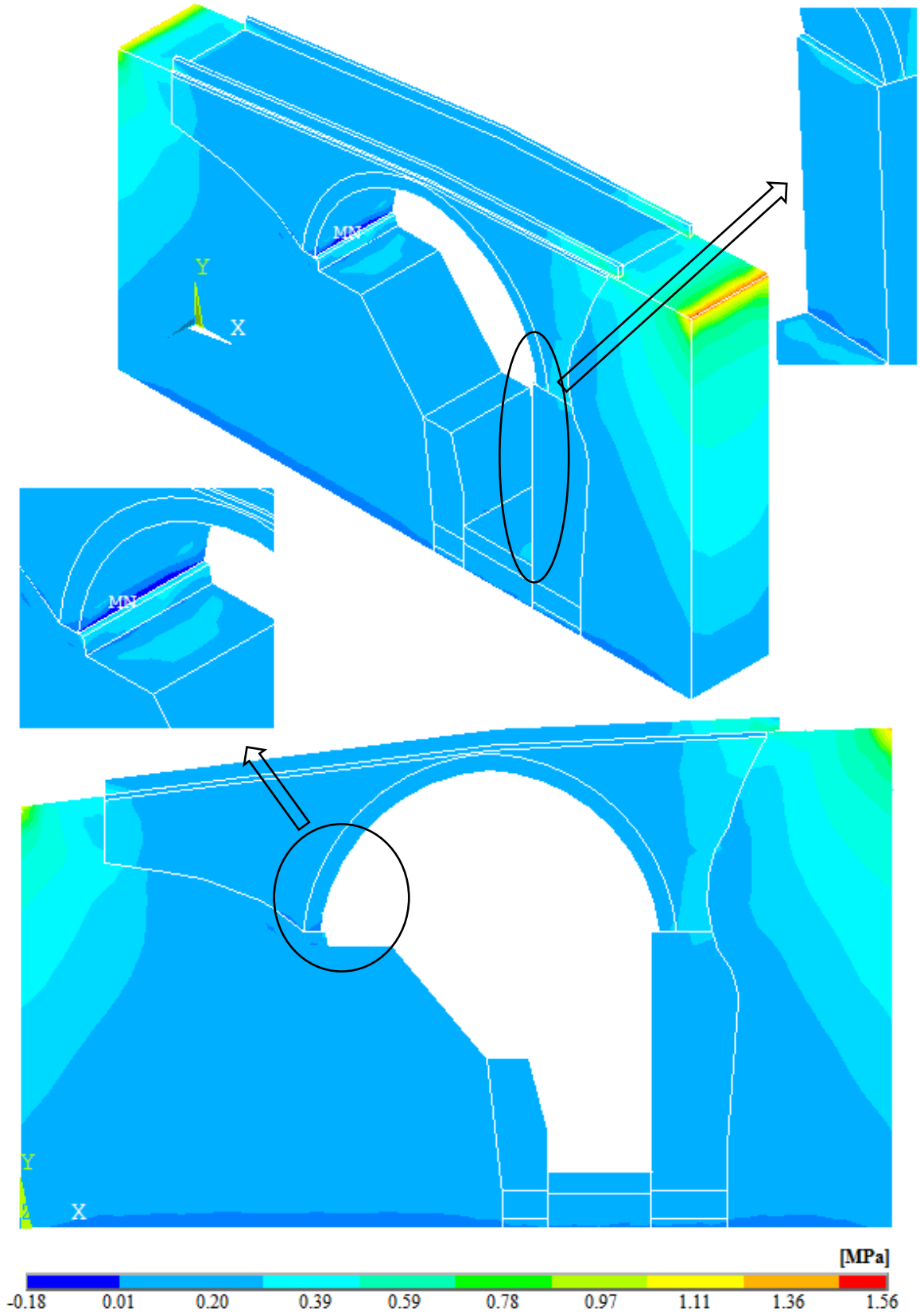
köprünün taşıyıcı sistem elemanlarında elde edilen şekildeğiştirme değerleri  $0.91E-4$  değerini aşmamaktadır

Şekil 2.42'den de görüleceği üzere köprüde meydana gelen şekildeğiştirme miktarı basınç durumu için maksimum, kemerin kenar alt kısımlarında  $0.27E-3$  olarak elde edilmiştir. Basınç durumunda bu kısımlar hariç köprünün taşıyıcı sistem elemanlarında elde edilen şekildeğiştirme değerleri  $0.19E-3$  değerini aşmamaktadır.

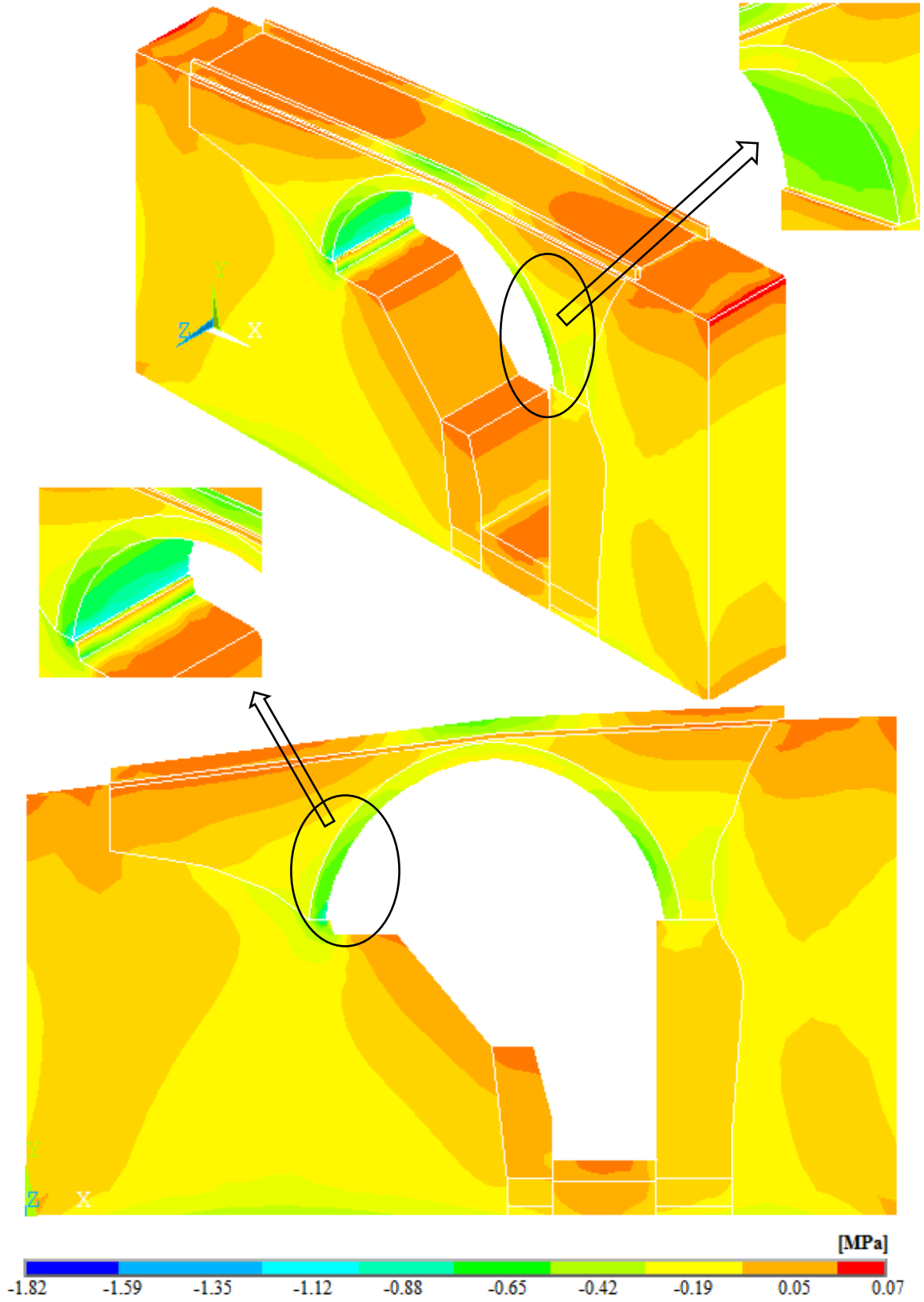




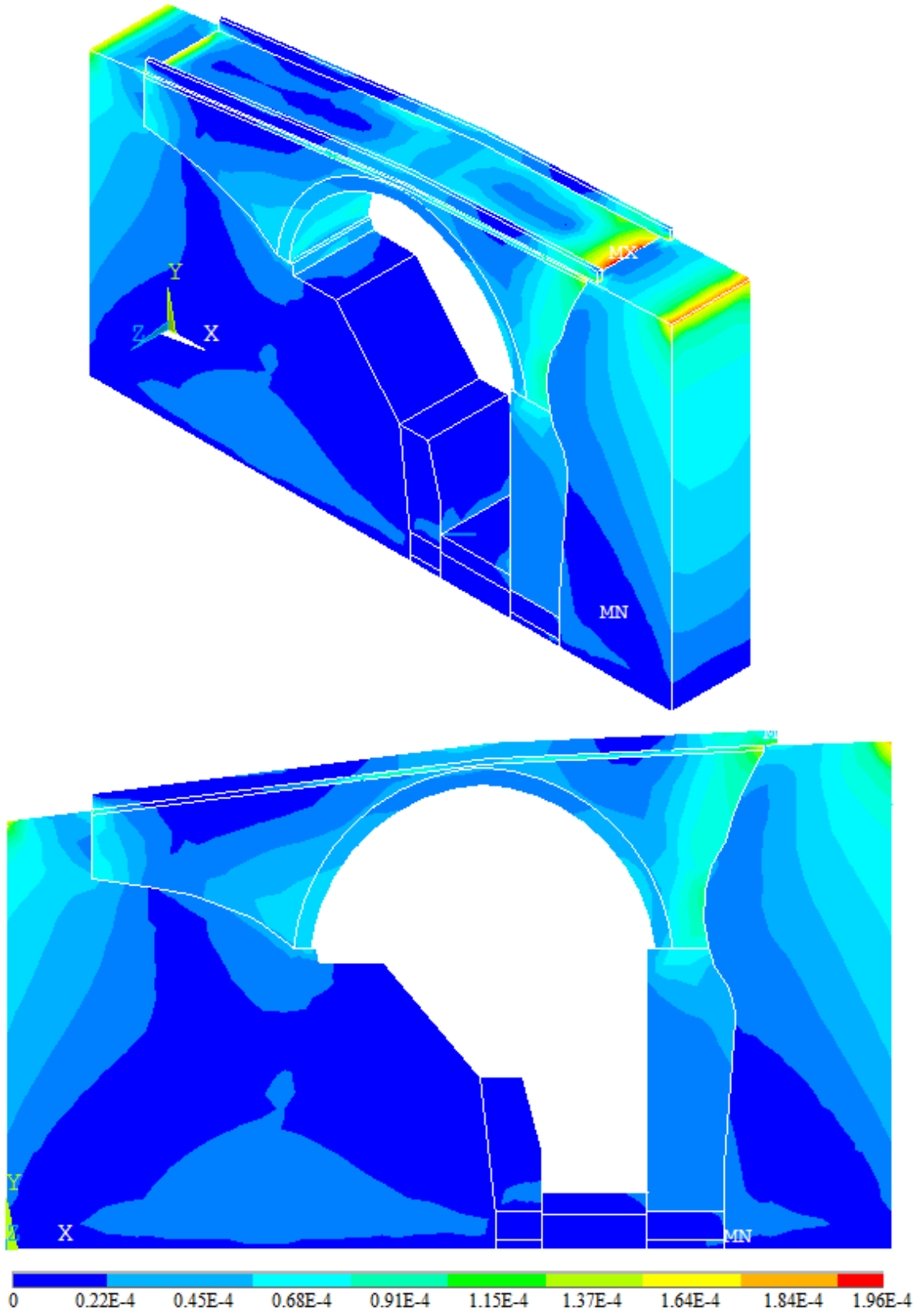
Şekil 2.38. Köprünün restorasyon sonrası durumu için, kendi ağırlığı, hareketli ve y-doğrultusundaki deprem yükü altında gerçekleştirilen analizler sonucunda oluşan yerdeğişimlere ait kontur diyagramı



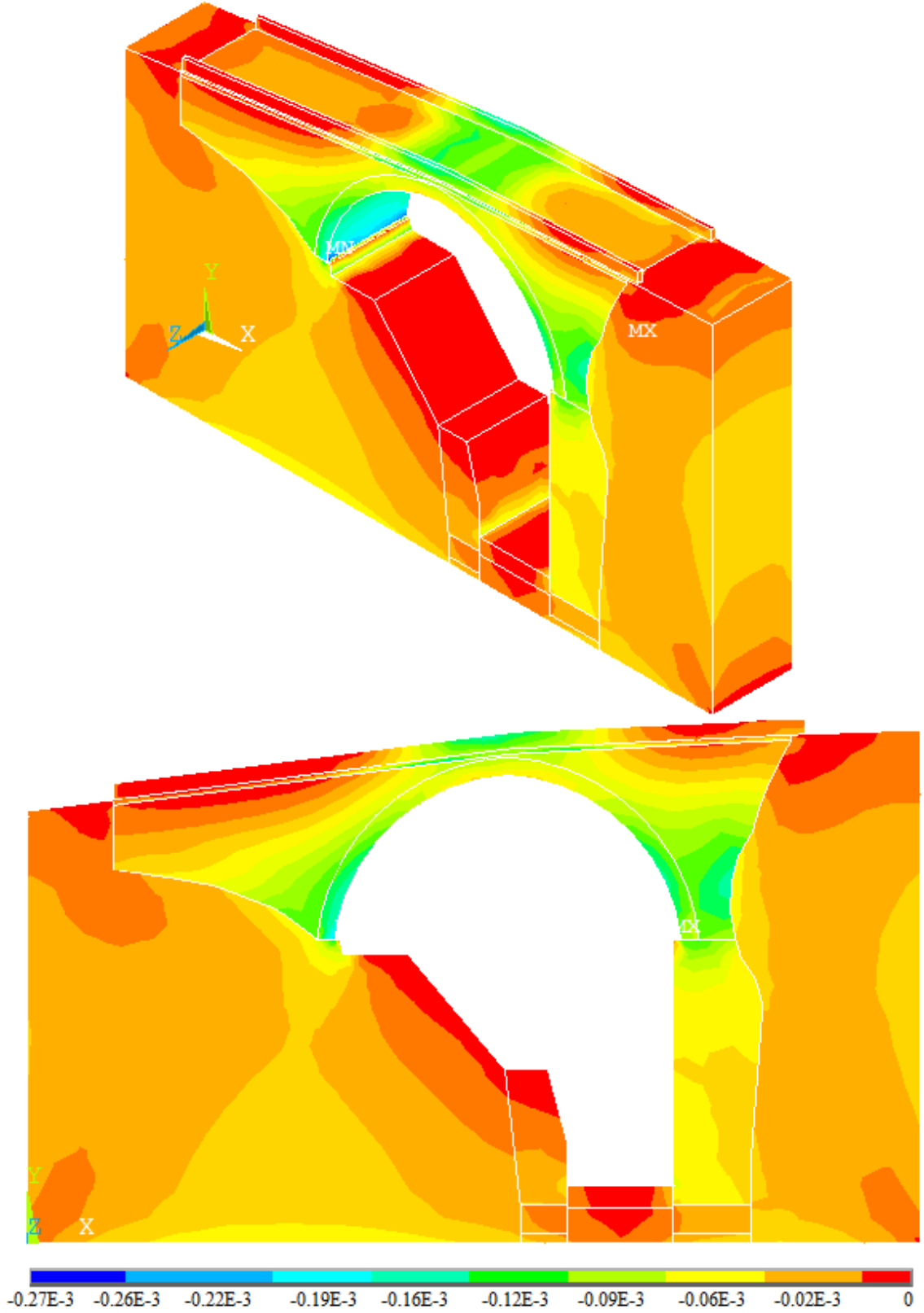
Şekil 2.39. Köprünün restorasyon sonrası durumu için, kendi ağırlığı, hareketli ve y-doğrultusundaki deprem yükleri dikkate alınarak gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen çekme gerilmelerinin dağılışına ait kontur diyagramı



Şekil 2.40. Köprünün restorasyon sonrası durumu için, kendi ağırlığı, hareketli ve y-doğrultusundaki deprem yükleri dikkate alınarak gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen basınç gerilmelerinin dağılışına ait kontur diyagramı



Şekil 2.41. Köprünün restorasyon sonrası durumunda, kendi ağırlığı, hareketli ve y-doğrultusundaki deprem yükleri altında gerçekleştirilen analizlerden çekme durumu için şekildeğiştirmelere ait kontur diyagramı



Şekil 2.42. Köprünün restorasyon sonrası durumunda, kendi ağırlığı, hareketli ve y-doğrultusundaki deprem yükleri altında gerçekleştirilen analizlerden basınç durumu için şekildeğiştirmelere ait kontur diyagramı

### 2.3. Analizler Sonucunda Elde Edilen Verilerin Değerlendirilmesi

Yapılan analizler sonucunda elde edilen tüm veriler Tablo 2.3 ve Tablo 2.4'de verilmektedir. Verilen değerlerde koyu ve italik yazılan rakamlar sadece lokal bölgelerde elde edilen ve taşıyıcı sistemi tam olarak yansıtmadığı kabul edilen maksimum değerleri, normal font ile yazılan rakamlar ise köprünün genelinde taşıyıcı sistem elemanlarında elde edilen maksimum değerleri ifade etmektedir.

Tablo 2.3. Köprünün restorasyon öncesi analizlerinde elde edilen sonuçlar

Analiz Verileri		Analiz Durumları		
		<i>KA</i> *	<i>KA</i> * + <i>HY</i> *	<i>KA</i> * + <i>HY</i> * + <i>DY</i> *
Yerdeğiştirmeler		5.0mm	5.5mm	6.5mm
Gerilmeler	Çekme	<b>0.90 MPa</b> 0.35 MPa	<b>0.93 MPa</b> 0.39 MPa	<b>1.14 MPa</b> 0.62 MPa
	Basınç	<b>2.30 MPa</b> 0.65 MPa	<b>2.44 MPa</b> 0.69 MPa	<b>3.02 MPa</b> 0.88 MPa
Şekil Değiştirmeler	Çekme	<b>2.49E-4</b> 1.38E-4	<b>2.65E-4</b> 1.76E-4	<b>3.10E-4</b> 2.10E-4
	Basınç	<b>11.5E-4</b> 3.8E-4	<b>12.2E-4</b> 4.1E-4	<b>15.0E-4</b> 5.5E-4
*KA: Kendi Ağırlığı		*HY: Hareketli Yük	*DY: Deprem Yüğü	

Tablo 2.4. Köprünün restorasyon sonrası analizlerinde elde edilen sonuçlar

Analiz Verileri		Analiz Durumları		
		<i>KA</i> *	<i>KA</i> * + <i>HY</i> *	<i>KA</i> * + <i>HY</i> * + <i>DY</i> *
Yerdeğiştirmeler		2.2mm	2.4mm	3.0mm
Gerilmeler	Çekme	<b>1.29 MPa</b> 0.17 MPa	<b>1.31 MPa</b> 0.20 MPa	<b>1.56 MPa</b> 0.39 MPa
	Basınç	<b>1.39 MPa</b> 0.49 MPa	<b>1.46 MPa</b> 0.51 MPa	<b>1.82 MPa</b> 0.65 MPa
Şekil Değiştirmeler	Çekme	<b>1.71E-4</b> 0.57E-4	<b>1.73E-4</b> 0.57E-4	<b>1.96E-4</b> 0.91E-4
	Basınç	<b>2.2E-4</b> 1.0E-4	<b>2.3E-4</b> 1.3E-4	<b>2.7E-4</b> 1.9E-4
*KA: Kendi Ağırlığı		*HY: Hareketli Yük	*DY: Deprem Yüğü	

### 3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında yapılan çalışmada tarihi köprülerin yapısal davranışına restorasyon çalışmalarının etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, Osmanlı döneminden kalan ve restorasyon sürecinde bulunan tarihi Dandalaz Köprüsü örnek olarak seçilmiştir.

Çalışmada öncelikle köprünün restorasyon öncesi ve sonrası durumlarına ait sonlu eleman modelleri ANSYS programı kullanılarak oluşturulmuştur. Daha sonra köprünün, restorasyon öncesi ve sonrası durumları için; kendi ağırlığı, hareketli ve deprem yükleri altında analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler doğrusal elastik olarak gerçekleştirilmiştir. Hareketli yük analizleri için  $5\text{KN/m}^2$  yayılı yük hesaba katılmıştır. Deprem analizleri için Yarımcı İstasyonu'ndan alınan 1999 Kocaeli depremine ait ivme kaydı kullanılmıştır. Dandalaz Köprüsü'nün mevcut durumunun ağır hasarlı olmasından dolayı restorasyon öncesi analizlerde malzemelerin elastisite modülleri azaltılarak kullanılmıştır. Analizlerin sonunda köprüye ait yerdeğiştirme, şekildeğiştirme, çekme ve basınç gerilmeleri değerleri kontor diyagramları yardımıyla elde edilmiştir.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar maddeler halinde aşağıda sıralanmıştır.

#### 1. Restorasyon öncesi durum için elde edilen sonuçlar:

- Analiz sonuçlarına göre maksimum yerdeğiştirmeler kemerin tam orta noktasında değil, kemer ortasının hasarlı kısım tarafında oluşmuştur. Yerdeğiştirmeler KA, KA+HY, KA+HY+DY analizleri için sırasıyla; 5.0mm, 5.5mm ve 6.5mm olarak elde edilmiştir.
- Restorasyon öncesi analizlerde, köprünün taşıyıcı elemanlarında oluşan çekme gerilmeleri, KA, KA+HY, KA+HY+DY analizleri için sırasıyla; 0.35MPa, 0.39MPa ve 0.62MPa olarak elde edilmiştir. Dandalaz Köprüsü'nün ağır hasarlı durumda olmasından dolayı çekme gerilmelerinin köprünün hasarlı tarafında yığıldığı görülmüştür.
- Restorasyon öncesi analizlerde köprünün taşıyıcı elemanlarında oluşan basınç gerilmeleri, KA, KA+HY, KA+HY+DY analizleri için sırasıyla; 0.65MPa, 0.69MPa ve 0.88MPa olarak meydana gelmiştir. Köprüde basınç gerilmeleri hasarlı tarafta

hasarsız tarafa göre daha yüksek çıkmıştır ve gerilmelerin hasarlı tarafta yığıldığı görülmüştür.

- Restorasyon öncesi analizlerde köprünün taşıyıcı elemanlarında oluşan şekildeğiştirme değerleri çekme durumunda, KA, KA+HY, KA+HY+DY analizleri için sırasıyla;  $1.38E-4$ ,  $1.76E-4$  ve  $2.10E-4$  olarak elde edilmiştir. Köprüde çekme durumu için şekildeğiştirme değerleri tamamen köprünün hasarlı tarafında meydana geldiği görülmüştür.
- Restorasyon öncesi analizlerde köprünün taşıyıcı elemanlarında oluşan şekildeğiştirme değerleri basınç durumunda, KA, KA+HY, KA+HY+DY analizleri için sırasıyla;  $3.8E-4$ ,  $4.1E-4$  ve  $5.5E-4$  olarak meydana gelmiştir. Köprüde basınç durumu için şekildeğiştirme değerleri köprünün hasarlı tarafında yoğun olarak meydana geldiği görülmüştür.

## 2. Restorasyon sonrası durum için elde edilen sonuçlar:

- Analiz sonuçlarına göre maksimum yerdeğiştirmeler kemerin orta noktasında oluşmuştur. Yerdeğiştirmeler KA, KA+HY, KA+HY+DY analizleri için sırasıyla; 2.2mm, 2.4mm ve 3.0mm olarak elde edilmiştir.
- Restorasyon sonrası analizlerde, köprünün taşıyıcı elemanlarında oluşan çekme gerilmeleri, KA, KA+HY, KA+HY+DY analizleri için sırasıyla; 0.17MPa, 0.20MPa ve 0.39MPa olarak meydana gelmiştir. Çekme gerilmelerinin köprüde ve kemerde düzgün dağıldığı görülmüştür.
- Restorasyon sonrası analizlerde köprünün taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan basınç gerilmeleri, KA, KA+HY, KA+HY+DY analizleri için sırasıyla; 0.49MPa, 0.51MPa ve 0.65MPa olarak elde edilmiştir. Restorasyon sonrası durumda basınç gerilmeleri köprüde ve kemerde son derece düzgün dağıldığı görülmüştür.
- Restorasyon sonrası analizlerde köprünün taşıyıcı elemanlarında oluşan şekildeğiştirme değerleri çekme durumunda, KA, KA+HY, KA+HY+DY analizleri için sırasıyla;  $0.57E-4$ ,  $0.57E-4$  ve  $0.91E-4$  olarak elde edilmiştir.
- Restorasyon sonrası analizlerde köprünün taşıyıcı elemanlarında oluşan şekildeğiştirme değerleri basınç durumunda, KA, KA+HY, KA+HY+DY analizleri için sırasıyla;  $1.0E-4$ ,  $1.3E-4$  ve  $1.9E-4$  olarak elde edilmiştir.



Restorasyon öncesi analizler sonucunda gerilme dağılıklarının taşıyıcı sistem elemanları arasında düzgün olmadığı görülmüştür. Gerilmeler köprünün hasarlı tarafında, kemerin hasar görmüş bölgelerinde yoğun olarak oluşmaktadır. Bu gerilme yığılıklarını karşılayacak bütün bir kemerin olmayışı köprü için kullanım riski oluşturmaktadır.

Restorasyon öncesi durumda şekildeğiştirmeler de genel olarak hasarlı tarafta yoğun olarak çıkmıştır. Özellikle şekildeğiştirmelerin dolgu kısımda çıkması köprünün göçme aşamasında olduğunu göstermektedir.

Restorasyon sonrası durumda elde edilen sonuçlara göre, gerilme ve şekildeğiştirme değerleri kemerin tam olarak çalışmasından dolayı taşıyıcı sistem elemanları arasında düzgün olarak yayılmıştır. Köprünün en önemli taşıyıcı sistemi olan kemerin çok az çekme gerilmesine maruz kalışı, basınç gerilmelerinin kemerin kenar kısımlarında oluşması kemerin düzgün çalıştığını ve haliyle köprünün yapısal olarak sağlamlaştığını göstermektedir. Bunun yanında şekildeğiştirme değerleri restorasyon öncesi duruma göre oldukça düşmüştür.

Yapılan bu çalışmada restorasyon çalışmasının köprünün yapısal davranışına olumlu etkideği görülmüştür. Fakat her restorasyon çalışması olumlu sonuç veremeyebilir. Yanlış şekilde yapılan restorasyon çalışmalarının yapısal davranışı bozabileceği unutulmamalıdır.

Sonuç olarak, elde edilen veriler ışığında, doğru şekilde yapılan restorasyon çalışmalarının köprülerin yapısal davranışını olumlu etkilediği görülmektedir.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar ışığında yapılan öneriler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Bu tür yapıların yapısal davranışını daha iyi belirleyebilmek amacıyla lineer olmayan analizlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.
- Tarihi köprülerde önemli hasara neden olan yangın etkileri incelenmelidir.
- Bu tür köprülerin yapısal davranışına en çok etki eden taşıyıcı sistem elemanı olan kemerlerin açıklık ve yükseklik etkileri incelenmelidir.
- Hasar durum incelemesi ve çatlak analizleri yapılmalıdır.
- Tarihi köprülerin patlatma etkisi altında simulasyon çalışmaları yapılmalıdır.
- Yakın ve uzak fay yer hareketleri altında köprü davranışı belirlenmelidir.
- Basitleştirilmiş mikro ve detaylı mikro modelleme teknikleri kullanılarak modeller oluşturulmalı ve analiz sonuçları incelenmelidir.

#### 4. KAYNAKLAR

- Altunışık, A.C., 2010. Karayolu Köprülerinin Yapısal Davranışlarının Analitik ve Deneysel Yöntemlerle Belirlenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Altunışık, A.C., Bayraktar, A., Sevim, B. ve Birinci, F., 2011. Vibration-Based Operational Modal Analysis of the Mikron Historic Arch Bridge After Restoration, Civil Engineering and Environmental Systems, 28, 3, 247-259.
- ANSYS., 2015. Swanson Analysis System, U.S.A.
- Bathe, K.J., 1996. Finite Element Procedures in Engineering Analysis, Prentice-Hall, New Jersey, USA.
- Bayraktar, A., Altunışık, A.C., Türker, T. ve Sevim, B., 2007a. Tarihi Köprülerin Deprem Davranışına Sonlu Eleman Model İyileştirilmesinin Etkisi, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Ekim, İstanbul, Türkiye.
- Bayraktar, A., Altunışık, A.C., Türker, T. ve Sevim, B., 2007b. Tarihi Yığma Köprülerin Sonlu Eleman Modellerinin Operasyonel Modal Analiz Yöntemiyle İyileştirilmesi, Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu-1, Eylül, Ankara, Bildiriler Kitabı, 429-440.
- Bayraktar, A., Altunışık, A.C., Sevim, B., Türker, T. ve Birinci, F., 2010. Tarihi Yapıların Deprem Güvenliklerinin Tahribatsız Deneysel Yöntemlerle Belirlenmesi, İMO İstanbul Bülten, 107, 12-22.
- Bayraktar, A., 2013. Aydın/Dandalaz Köprüsü'nün Yapısal Güvenlik Değerlendirmesi, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.
- Birinci, F., 2010. Taş Kemer Köprülerin Sonlu Eleman Modellerinin Operasyonel Modal Analiz Yöntemiyle İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Çakır, F. ve Uysal, H., 2014. Experimental Modal Analysis of Brick Masonry Arches Strengthened Prepreg Composites, Journal of Cultural Heritage, doi:10.1016/j.culher.2014.06.003.
- Çalık, İ., Bayraktar, A., Türker, T. ve Karadeniz, H., 2014. Structural Dynamic Identification of a Damaged and Restored Masonry Vault Using Ambient Vibrations, Measurement, 55, 462-472.

- Castellazzi, G., Miranda, S.D. ve Mazzotti, C., 2012. Finite Element Modelling Tuned on Experimental Testing for the Structural Health Assessment of an Ancient Masonry Arch Bridge, Mathematical Problems in Engineering, doi:10.1155/2012/495019.
- Ceylan, İ., 2013. Karayolları 13. Bölge Sınırları İçinde Yer Alan Tarihi Köprülerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Chopra, A.K., 2006. Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, Third Edition, Prentice Hall, USA.
- Çulpan, C., 2002. Türk Taş Köprüleri; Ortaçağdan Osmanlı Devri Sonuna Kadar, Türk Tarih Kurumu, Ankara.
- Dabanlı, Ö., 2008. Tarihi Yığıma Yapıların Deprem Performansının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Dede, T. ve Ural, A., 2007. A Finite Element Program for Historical Stone Arch Bridges. In Proceedings of the 5th International Conference on Arch Bridges (ARCH'07), September, Funchal, Madeira, Portugal, 533-541.
- Gürbüz, S.M., 2012. Kayseri Taş Köprüleri, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Heyman, J., 1999. The Stone Skeleton, Structural Engineering of Masonry Architecture. Cambridge University Press, 160pp, Cambridge, UK.
- İlter, F., 1978. Osmanlılara Kadar Anadolu Türk Köprüleri, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Kant, R. ve Işık, N.S., 2007. Tuğla Kemerlerin Deneysel Davranışı ve Bilgisayar Modeli Analizleri, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 22, 1, 13-20.
- Keskin, A. ve Özen, S., 2011. Tarihi Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, İMO İzmir Şubesi Bülteni, 158, 44-46.
- 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.
- Lourenço, P.B., 1999. Historical Structures: Models and Modelling, EPMESC VII: International Conference on Enhancement and Promotion of Computational Methods in Engineering and Science, August, Amsterdam, The Netherlands, Proceedings, 433-442.

- Lourenço, P.B. ve Oliveira, D.V., 2006. Conservation of Ancient Constructions and Application to a Masonry Arch Bridge, [http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/6527/1/Lourenco\\_Oliveira\\_2-Conservation%20of%20ancient%20constructions.pdf](http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/6527/1/Lourenco_Oliveira_2-Conservation%20of%20ancient%20constructions.pdf)
- Oliviera, D.V., 2003. Experimental and Numerical Analysis of Blocky Masonry Structures Under Cyclic Loading, Doktora Tezi, Minho University, Portugal.
- Oliveira, D.V., Costa, V.M., Sousa, J.F., ve Lourenço, P.B., 2010. Diagnosis and Repair of a Historic Stone Masonry Arch Bridge, 6th International Conference on Arch Bridges, ARCH'10, Fuzhou, Fujian, P.R. China, 817-823.
- Orhan, S.N., 2010. Tek Açıklıklı Dairesel Kâgir Kemer Köprülerin Göçme Yüklerinin Limit Analiz Yöntemleri ile Hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Özer, O., 2006. Assessment of Masonry Arch Bridges by Mechanism Method, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Romano, A., 2005. Modelling, Analysis and Testing of Masonry Structures, Doktora Tezi, The University of Naples Federico II, Italy.
- 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, Türkiye.
- Sevim, B., Bayraktar, A., Altunışık, A. C., Atamtürktür, S., ve Birinci, F. 2011a. Assessment of Nonlinear Seismic Performance of a Restored Historical Arch Bridge Using Ambient Vibrations, Nonlinear Dynamics, 63, 4, 755-770.
- Sevim, B., Bayratar, A., Altunışık, A.C., Atamtürktür, S. ve Birinci, F., 2011b. Finite Element Model Calibration Effects on The Earthquake Response of Masonry Arch Bridges, Finite Elements in Analysis and Design, 47, 621-634.
- Stablon, T., Sellier, A., Domede, N., Plu, B. ve Dieleman, L., 2011. A Numerical Tool for Masonry Arch Bridges Assessment, 9th World Congress on Railway Research, May. Lille, France.
- Tao, Y., Chen, J.F., Stratford, T. ve Ooi, J., 2012. Numerical Modelling of a Large Scale Model Masonry Arch Bridge, Structural Faults and Repair 2012, July, Edinburgh, United Kingdom.
- TMMOB, Taşınmaz Kültür Varlıklarının Rölöve, Restitüsyon ve Restorasyon Projelerine İlişkin Teknik Şartname, 28.12.2011, 31-42.
- Toker, S. ve Ünay, A.İ., 2004. Mathematical Modeling 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 Yayınları, 222s, Ankara.
- Ural, A., 2005. Tarihi Kemer Köprülerin Sonlu Eleman Metoduyla Analizi, Deprem Sempozyumu, Mart, Kocaeli, Türkiye, Bildiriler Kitabı: 408-413.
- Ural, A., Oruç, Ş. ve Doğançın, A., 2007. Doğu Karadeniz Bölgesindeki Tarihi Kemer Köprülerin Onarım ve Güçlendirme Çalışmaları, Yapı Dünyası Dergisi, 132, 48-53.
- Ural, A., Oruç, Ş., Doğançın, A. ve Tuluk, Ö.İ., 2008. Turkish Historical Arch Bridges and Their Deteriorations and Failures, Engineering Failure Analysis, 15, 43-53.
- URL-1, <http://www.vesturizm.com.tr/blog/2014/12/cendere-koprusu>. 20 Nisan 2015
- URL-2, <http://medyabar.com/haber/47382/justinyen-koprusu-icin-ezberi-bozan-arastirma.aspx>. 20 Nisan 2015
- URL-3, <http://www.goktepe.net/diyarbakir.html>. 20 Nisan 2015
- URL-4, <http://www.outdoororacle.com/Blog.aspx?blog=1223&Su-altindaki-Objektiften:-Hasankeyf>. 20 Nisan 2015
- URL-5, [http://tr.wikipedia.org/wiki/Akköprü\\_\(köprü\)](http://tr.wikipedia.org/wiki/Akköprü_(köprü)). 20 Nisan 2015
- URL-6, <http://cevaplar.mynet.com/soru-cevap/mostar-koprusu-nerededir-/104276>. 20 Nisan 2015
- URL-7, <http://www.edirnegezilecekyerler.org/tag/uzunkopru/>. 20 Nisan 2015
- URL-8, <http://colemereg.com/hakkari.html>. 20 Nisan 2015
- URL-9, <http://www.medyakocaeli.com/kultur-sanat/tarihi-roma-koprusu-gun-yuzune-cikiyor.htm>. 20 Nisan 2015
- URL-10, [http://www.araban.gov.tr/default\\_B0.aspx?content=1051](http://www.araban.gov.tr/default_B0.aspx?content=1051). 20 Nisan 2015
- URL-11, <http://www.pazar53.com/hemisindeki-tarihi-kemer-kopruler-hayat-buluyor-21911h.htm>. 22 Nisan 2015
- URL-12, [http://www.rizepazar.com/kopru\\_restorasyonu\\_devam\\_ediyor-hbr03022.html](http://www.rizepazar.com/kopru_restorasyonu_devam_ediyor-hbr03022.html). 22 Nisan 2015
- URL-13, T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı, <http://www.deprem.gov.tr/sarbis/shared/depremlaritalari.aspx>. 23 Nisan 2015
- URL-14, PEER, Pacific Earthquake Engineering Research Centre, <http://peer.berkeley.edu/smcat/data>, 20 Ekim 2014.

## ÖZGEÇMİŞ

Ali Fuat GENÇ, 1990 yılında Trabzon'da doğdu. İlk ve orta okulu 1997-2004 yılları arasında Mareşal Fevzi Çakmak İlköğretim Okulu'nda, lise öğrenimini 2004-2008 yılları arasında Affan Kitapçioğlu Lisesi'nde tamamladı. 2008 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. Lisans eğitimini 2012 yılında tamamlayarak aynı yıl içerisinde Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2015 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Of Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde göreve başlayan Genç orta derecede İngilizce bilmektedir.