

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI AÇIKLIKLARA SAHİP KONJİC VE AŞAĞI TOKATLI TARIHİ YIĞMA
TAŞ KÖPRÜLERİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ ANSYS VE SAP2000 İLE
YAKIN VE UZAK FAY ALTINDAKİ DAVRANIŞLARININ VE KEMER
YÜKSEKLİK DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUSTAFA YEŞİL

HAZİRAN 2019

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI AÇIKLIKLARA SAHİP KONJİC VE AŞAĞI TOKATLI TARİHİ YIĞMA
TAŞ KÖPRÜLERİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ ANSYS VE SAP2000 İLE
YAKIN VE UZAK FAY ALTINDAKİ DAVRANIŞLARININ VE KEMER
YÜKSEKLİK DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa YEŞİL

DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi Memduh KARALAR

ZONGULDAK
Haziran 2019

KABUL:

Mustafa YEŞİL tarafından hazırlanan “Farklı Açıklıklara Sahip Konjic ve Aşağı Tokatlı Tarihi Yığma Taş Köprülerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ANSYS ve SAP2000 ile Yakın ve Uzak Fay Altındaki Davranışlarının ve Kemer Yükseklik Değişiminin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 24/06/2019

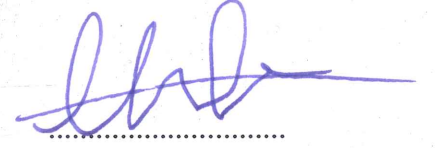
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Memduh KARALAR

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü



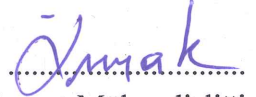
Üye : Doç. Dr. Turhan BİLİR

İstanbul Üniversitesi, Cerrahpaşa Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Burak ÖZ

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

..../..../2019



Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”



Mustafa YEŞİL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

**FARKLI AÇIKLIKLARA SAHİP KONJİC VE AŞAĞI TOKATLI TARİHİ YIĞMA
TAŞ KÖPRÜLERİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ ANSYS VE SAP2000 İLE
YAKIN VE UZAK FAY ALTINDAKİ DAVRANIŞLARININ VE KEMER
YÜKSEKLİK DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ**

Mustafa YEŞİL

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Memduh KARALAR

Haziran 2019, 129 sayfa

Tarihi kemer köprüler kültürel mirasımızın en önemli unsurlarındandır. Bu yönleriyle tarihi kemer köprüleri korumak ve sonraki nesillere aktarabilmek hepimizin sorumlulukları arasındadır. Bu sorumluluğu doğru şekilde yerine getirebilme görevinde; tarihi kemer köprüleri daha iyi tanımak, kullanılan malzemeleri ve bu malzemelerin hangi teknikle bir araya getirildiği anlamak oldukça yararlı olacaktır.

Bu çalışmada tarihi kemer köprüler hakkında bilgi verilmiş, kemer köprülerin yapısı, kemer köprüyü oluşturan kısımlar ve kemer köprünün yapım aşamaları anlatılmış, kemer köprü türleri incelenmiştir. Teorik ve örnek bir restorasyon projesi üzerinden kemer köprülerin yapım aşamaları gösterilmiştir.

ÖZET (devam ediyor)

Çalışmanın son kısmında iki ayrı tarihi kemer köprü, Solidworks programı aracılığıyla üç boyutlu modellenmiştir. Oluşturulan bu modeller statik ve dinamik analizlerinin yapılabilmesi için ANSYS ve SAP2000 programına aktarılmış, köprülerin gerçek malzeme bilgisi, geometrisi ve sınır şartları programda tanımlanarak statik ve dinamik analizler yapılmış, köprüler üzerinde oluşan maksimum deformasyon, stres ve elastik gerilmeler hesaplanmıştır. Tüm bu analizlerde Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılmış, programlar üzerinde modellerin oluşturulması ve programların analize hazırlanması aşamalarında yapılan tüm işlem ve ayarlamalar ekran görüntüleri ile anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Solidworks, ANSYS, SAP2000, Sonlu Elemanlar Yöntemi

Bilim Kodu: 624.02.00

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

**INVESTIGATION OF BEHAVIOR CHANGE OF CONJIC AND TOKATLI
HISTORICAL MASONRY STONE BRIDGES WITH DIFFERENT OPENINGS AND
BELT HEIGHT UNDER NEAR AND FAR FAULT USING THE FINITE ELEMENT
METHOD ANSYS AND SAP2000**

Mustafa YEŞİL

**Zonguldak Bülent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Memduh KARALAR

June 2019, 129 pages

Historical arched bridges are one of the most important elements of our cultural heritage. For this reason, protecting and carrying them into the future is everyone's responsibility. While fulfilling this responsibility correctly; identifying arched bridges and better understanding the materials and the techniques that were used, would be quite beneficial.

In this study, information about historical arched bridges has been given. Structure, parts and construction process of arched bridges told and types of arched bridges has been analyzed. Construction process of arched bridges has been shown via a theoretical and sample restoration project.

ABSTRACT (continued)

In the last section of this work, two different historical arched bridges were modeled three dimensionally via solidworks program. To make statistic analysis, these models were transferred to ANSYS and SAP2000 program. Static and dynamic analyses were done by elastic stresses were calculated. Finite Element Method was used in all these analyzes, all the processes and adjustments made during the stages of the preparation of the models on the programs and the preparation of the programs for the analysis are explained with screenshots.

Keywords: Solidworks, ANSYS, SAP2000, Finite Element Method

Science Code: 624.02.00

TEŞEKKÜR

Bu alıŐmayı tamamlamamda katkılarını esirgemeyen başta Danışman Hocam Dr. Öğr. Üyesi Memduh KARALAR olmak üzere, üzerimde hakkı ve emeği olan diğer tüm hocalarıma teşekkür ederim.

ÇalıŐmalarımın her aşamasında desteğini esirgemeyen Karabük İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü ve Karabük İl Özel İdaresi yönetici ve çalıŐanlarına teşekkür ederim.

Uzun soluklu bu çalışmanın bitirilmesinde hep yanımda olan; değerli eŐime, aileme ve dostlarıma teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxi
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 AMAÇ	3
BÖLÜM 3 LİTERATÜR TARAMASI	5
3.1 TARİHİ KEMER KÖPRÜLER	5
3.1.1 Tarihi Kemer Köprüyü Oluşturan Bölümler.....	7
3.1.2 Tarihi Kemer Köprü Tipleri.....	9
3.1.3 Tarihi Kemer Köprü Yapım Aşamaları	10
3.1.4 Yapım Aşamaları Örneği (Konjic Köprüsü Restorasyon Projesi).....	12
3.2 MODELLEME VE ANALİZ KONUSUNDA BENZER ÇALIŞMALAR.....	22
BÖLÜM 4 KÖPRÜLERİN TANITIMI	25
4.1 TARİHİ KONJİC KÖPRÜSÜ	25
4.1.1 Tarihçe	25
4.1.2 Konum.....	26
4.1.3 Köprünün Mimari ve Kesit Özellikleri	26

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
4.2 TARİHİ AŞAĞI TOKATLI KEMER KÖPRÜSÜ	27
4.2.1 Tarihçe	27
4.2.2 Konum.....	28
4.2.3 Köprünün Mimari ve Kesit Özellikleri	28
BÖLÜM 5 MODELLEME	33
BÖLÜM 6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	65
KAYNAKLAR.....	125
BİBLİYOGRAFYA	127
ÖZGEÇMİŞ	129

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1 Tarihi kemer köprü örneği, Mostar Köprüsü	5
Şekil 3.2 Kemer köprü kesitinde oluşan iç kuvvetler.....	6
Şekil 3.3 Kemer köprü kesitinde oluşan iç kuvvetlerin mesnetle taşınması.	6
Şekil 3.4 Tarihi kemer köprüyü oluşturan kısımlar.....	7
Şekil 3.5 Dik köprü örneği, Giresun-Yağlıdere	9
Şekil 3.6 Düz köprü örneği, Adana	10
Şekil 3.7 Tarihi kemer köprü yapım aşamaları	10
Şekil 3.8 Tarihi Konjic Köprüsü genel görünümü	12
Şekil 3.9 Köprünün II. Dünya Savaşı sırasında yıkılmış durumu, 1945	13
Şekil 3.10 Ahşap tabliyeli durum, 1962	13
Şekil 3.11 Beton tabliyeli durum memba görünüşü, 2004	13
Şekil 3.12 Beton tabliyeli durum mansap görünüşü, 2004	14
Şekil 3.13 a) Köprü ve kum-çakıl ocağı, b) Zarar görmüş köprü kısımları	14
Şekil 3.14 a) Açığa çıkan ahşap ızgaralar, b) Taş yüzeylerindeki bozulmalar	14
Şekil 3.15 Rölöve vaziyet planı.....	15
Şekil 3.16 Rölöve mansap görünüşü	15
Şekil 3.17 Orijinal halin mansap görünüşü	15
Şekil 3.18 Ayak plan ve görünüşleri	15
Şekil 3.19 Detay çizimleri ve köprü genel görünüşü	16
Şekil 3.20 Eklentilerin sökülmesi a) Çelik kirişler, b) Beton eklentiler	17
Şekil 3.21 a) Köprüye ait orijinal taşlar, b) Geçici yaya köprüsü	17
Şekil 3.22 a) Kemer için askıya alma çalışması, b) Kemer yapım çalışması.....	18
Şekil 3.23 a) Ayakların sökülmesi, b) Ayakların yeniden yapılması.....	18
Şekil 3.24 İskele üzerinde tamamlanmış köprü kemeri	18
Şekil 3.25 a) Ayak taşların birbirine bağlanması, b) Kemer yerleştirilmesi	19
Şekil 3.26 a) Kilit taşlarının taşınması, b) Kilit taşının yerine montajı.....	19
Şekil 3.27 Tamamlanmış köprü kemerleri	19
Şekil 3.28 a) Taş tahkimat yapılması, b) Kitabe köşkünün yapılması	20

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.29 a) Korniş ve korkuluklar, b) Köprü döşemesi.....	20
Şekil 3.30 Tamamlanmış korniş, korkuluk ve döşeme.	21
Şekil 3.31 a) Taş yüzeylerde yüz açma çalışması, b) Taş ızgaralar	21
Şekil 3.32 a) Köprü döşemesi, b) Kitabe köşkü ve kitabe	21
Şekil 3.33 Restorasyonu tamamlanmış Konjic Köprüsü görünümü	22
Şekil 4.1 09.07.2019 tarihli Google-Earth görüntüsü	26
Şekil 4.2 Tarihi Konjic Köprüsü	26
Şekil 4.3 Tarihi Konjic Köprüsü boyutları.....	27
Şekil 4.4 09.07.2019 tarihli Google-Earth görüntüsü	28
Şekil 4.5 Tarihi Aşağı Tokatlı Köprüsü membadan görünüş.....	29
Şekil 4.6 Tarihi Aşağı Tokatlı Köprüsü mansabdan görünüş	29
Şekil 4.7 Tarihi Aşağı Tokatlı Köprüsü üstten görünüş.....	30
Şekil 4.8 Tarihi Aşağı Tokatlı Köprüsü rölöve, membadan görünüm	30
Şekil 4.9 Tarihi Aşağı Tokatlı Köprüsü rölöve, üstten görünüm	31
Şekil 4.10 Tarihi Aşağı Tokatlı Köprüsü rölöve, kesit görünüm	31
Şekil 5.1 Konjic Köprüsü rölöve (Autocad Programı).....	33
Şekil 5.2 Tokatlı Köprüsü rölöve üstten (Autocad Programı).	34
Şekil 5.3 Tokatlı Köprüsü rölöve yandan (Autocad Programı).	34
Şekil 5.4 Konjic Köprüsü şablon çizimi (Solidworks Programı).....	35
Şekil 5.5 Tokatlı Köprüsü şablon çizimi (Solidworks Programı).	35
Şekil 5.8 Konjic Köprüsü kemerin oluşturulması (Solidworks Programı).	36
Şekil 5.9 Konjic Köprüsü tempanın oluşturulması (Solidworks Programı).....	37
Şekil 5.10 Konjic Köprüsü ayakların oluşturulması (Solidworks Programı).....	37
Şekil 5.11 Tokatlı Köprüsü kemerin oluşturulması (Solidworks Programı).....	38
Şekil 5.12 Tokatlı Köprüsü tempanın oluşturulması (Solidworks Programı).....	38
Şekil 5.13 Tokatlı Köprüsü korkulukların oluşturulması (Solidworks Programı).	39
Şekil 5.14 Büyük montajı yapılmış Konjic Köprüsü (Solidworks Programı).....	39
Şekil 5.15 Büyük montajı yapılmış Tokatlı Köprüsü (Solidworks Programı).	40
Şekil 5.16 Konjic Köprü modelinin aktarılması (Ansys Programı).	41
Şekil 5.17 Tokatlı Köprü modelinin aktarılması (Ansys Programı).	41
Şekil 5.18 Malzeme gruplarının oluşturulması (Ansys Programı).....	43

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.19 Konjic Köprüsünün analize hazırlanması (Ansys Programı).....	44
Şekil 5.20 Tokatlı Köprüsünün analize hazırlanması (Ansys Programı).....	44
Şekil 5.21 Konjic Köprüsü malzeme gruplarının atanması (Ansys Programı).....	45
Şekil 5.22 Tokatlı Köprüsü malzeme gruplarının atanması (Ansys Programı).....	45
Şekil 5.23 Konjic Köprüsü alt eleman bağlantılarının tanımlanması (Ansys Programı).....	46
Şekil 5.24 Tokatlı Köprüsü alt eleman bağlantılarının tanımlanması (Ansys Programı).....	46
Şekil 5.25 Kojic Köprüsü mesh işlemi (Automatic) (Ansys Programı).....	47
Şekil 5.26 Kojic Köprüsü mesh işlemi (Hex Dominant) (Ansys Programı).....	48
Şekil 5.27 Kojic Köprüsü mesh işlemi (Sweep) (Ansys Programı).....	48
Şekil 5.28 Kojic Köprüsü mesh işlemi (Multizone) (Ansys Programı).....	49
Şekil 5.29 Kojic Köprüsü mesh işlemi (Tetrahedrons) (Ansys Programı).....	49
Şekil 5.30 Tokatlı Köprüsü mesh işlemi (Automatic) (Ansys Programı).....	50
Şekil 5.31 Tokatlı Köprüsü mesh işlemi (Hex Dominant) (Ansys Programı).....	50
Şekil 5.32 Tokatlı Köprüsü mesh işlemi (Sweep) (Ansys Programı).....	51
Şekil 5.33 Tokatlı Köprüsü mesh işlemi (Multizone) (Ansys Programı).....	51
Şekil 5.34 Tokatlı Köprüsü mesh işlemi (Tetrahedrons) (Ansys Programı).....	52
Şekil 5.35 Konjic Köprüsü mesnet ve yer çekimi yükü tanımlanması (Ansys Programı).....	53
Şekil 5.36 Tokatlı Köprüsü mesnet ve yer çekimi yükü tanımlanması (Ansys Programı).....	54
Şekil 5.37 Cape Mend 1992, deprem kaydı (Yakın Fay).....	56
Şekil 5.38 Chi-Chi 1999, deprem kaydı (Yakın Fay).....	56
Şekil 5.39 Imperial Valley 1979, deprem kaydı (Yakın Fay).....	57
Şekil 5.40 Kobe 1995, deprem kaydı (Yakın Fay).....	57
Şekil 5.41 Northridge 1994, deprem kaydı (Yakın Fay).....	58
Şekil 5.42 Superstition Hills 1987, deprem kaydı (Yakın Fay).....	58
Şekil 5.43 Borrego Mount 1968, deprem kaydı (Uzak Fay).....	59
Şekil 5.44 Friuli, Italy 1976, deprem kaydı (Uzak Fay).....	59
Şekil 5.45 Kobe 1995, deprem kaydı (Uzak Fay).....	60
Şekil 5.46 Morgan Hill 1984, deprem kaydı (Uzak Fay).....	60
Şekil 5.47 NW California 1941, deprem kaydı (Uzak Fay).....	61
Şekil 5.48 Konjic Köprüsü deprem ivme kaydı uygulanması (Ansys Programı).....	62
Şekil 5.49 Tokatlı Köprüsü deprem ivme kaydı uygulanması (Ansys Programı).....	62

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 6.1 Konjic Köprüsü, Statik Analiz (Total Deformasyon).	66
Şekil 6.2 Tokatlı Köprüsü, Statik Analiz (Total Deformasyon).	66
Şekil 6.3 Konjic Köprüsü, Statik Analiz (Maximum Principal Elastic Strain).....	67
Şekil 6.4 Tokatlı Köprüsü, Statik Analiz (Maximum Principal Elastic Strain).	67
Şekil 6.5 Konjic Köprüsü, Statik Analiz (Maximum Principal Stress).....	68
Şekil 6.6 Tokatlı Köprüsü, Statik Analiz (Maximum Principal Stress).	68
Şekil 6.7 Konjic Köprüsü, Cape Mend 1992 (Total Deformasyon).	70
Şekil 6.8 Tokatlı Köprüsü, Cape Mend 1992 (Total Deformasyon).	70
Şekil 6.9 Konjic Köprüsü, Cape Mend 1992 (Maximum Principal Elastic Strain).....	71
Şekil 6.10 Tokatlı Köprüsü, Cape Mend 1992 (Maximum Principal Elastic Strain).....	71
Şekil 6.11 Konjic Köprüsü, Cape Mend 1992 (Maximum Principal Stress).	72
Şekil 6.12 Tokatlı Köprüsü, Cape Mend 1992 (Maximum Principal Stress).....	72
Şekil 6.13 Konjic Köprüsü, Chi-Chi 1999 (Total Deformasyon).	73
Şekil 6.14 Tokatlı Köprüsü, Chi-Chi 1999 (Total Deformasyon).....	73
Şekil 6.15 Konjic Köprüsü, Chi-Chi 1999 (Maximum Principal Elastic Strain).	74
Şekil 6.16 Tokatlı Köprüsü, Chi-Chi 1999 (Maximum Principal Elastic Strain).	74
Şekil 6.17 Konjic Köprüsü, Chi-Chi 1999 (Maximum Principal Stress).	75
Şekil 6.18 Tokatlı Köprüsü, Chi-Chi 1999 (Maximum Principal Stress).	75
Şekil 6.19 Konjic Köprüsü, Imperial Valley 1979 (Total Deformasyon).	76
Şekil 6.20 Tokatlı Köprüsü, Imperial Valley 1979 (Total Deformasyon).....	76
Şekil 6.21 Konjic Köprüsü, Imperial Valley 1979 (Maximum Principal Elastic Strain).	77
Şekil 6.22 Tokatlı Köprüsü, Imperial Valley 1979 (Maximum Principal Elastic Strain).	77
Şekil 6.23 Konjic Köprüsü, Imperial Valley 1979 (Maximum Principal Stress).....	78
Şekil 6.24 Tokatlı Köprüsü, Imperial Valley 1979 (Maximum Principal Stress).	78
Şekil 6.25 Konjic Köprüsü, Kobe 1995 (Total Deformasyon).....	79
Şekil 6.26 Tokatlı Köprüsü, Kobe 1995 (Total Deformasyon).	79
Şekil 6.27 Konjic Köprüsü, Kobe 1995 (Maximum Principal Elastic Strain).	80
Şekil 6.28 Tokatlı Köprüsü, Kobe 1995 (Maximum Principal Elastic Strain).....	80
Şekil 6.29 Konjic Köprüsü, Kobe 1995 (Maximum Principal Stress).	81
Şekil 6.30 Tokatlı Köprüsü, Kobe 1995 (Maximum Principal Stress).....	81
Şekil 6.31 Konjic Köprüsü, Northridge 1994 (Total Deformasyon).....	82

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 6.32 Tokatlı Köprüsü, Northridge 1994 (Total Deformasyon).	82
Şekil 6.33 Konjic Köprüsü, Northridge 1994 (Maximum Principal Elastic Strain).....	83
Şekil 6.34 Tokatlı Köprüsü, Northridge 1994 (Maximum Principal Elastic Strain).....	83
Şekil 6.35 Konjic Köprüsü, Northridge 1994 (Maximum Principal Stress).	84
Şekil 6.36 Tokatlı Köprüsü, Northridge 1994 (Maximum Principal Stress).....	84
Şekil 6.37 Konjic Köprüsü, Superstition Hills 1987 (Total Deformasyon).	85
Şekil 6.38 Tokatlı Köprüsü, Superstition Hills 1987 (Total Deformasyon).....	85
Şekil 6.39 Konjic Köprüsü, Superstition Hills 1987 (Maximum Principal Elastic Strain).	86
Şekil 6.40 Tokatlı Köprüsü, Superstition Hills 1987 (Maximum Principal Elastic Strain).	86
Şekil 6.41 Konjic Köprüsü, Superstition Hills 1987 (Maximum Principal Stress).	87
Şekil 6.42 Tokatlı Köprüsü, Superstition Hills 1987 (Maximum Principal Stress).	87
Şekil 6.43 Konjic Köprüsü, Borrego Mount 1968 (Total Deformasyon).	88
Şekil 6.44 Tokatlı Köprüsü, Borrego Mount 1968 (Total Deformasyon).....	88
Şekil 6.45 Konjic Köprüsü, Borrego Mount 1968 (Maximum Principal Elastic Strain).	89
Şekil 6.46 Tokatlı Köprüsü, Borrego Mount 1968 (Maximum Principal Elastic Strain).	89
Şekil 6.47 Konjic Köprüsü, Borrego Mount 1968 (Maximum Principal Stress).	90
Şekil 6.48 Tokatlı Köprüsü, Borrego Mount 1968 (Maximum Principal Stress).	90
Şekil 6.49 Konjic Köprüsü, Friuli, Italy 1976 (Total Deformasyon).	91
Şekil 6.50 Tokatlı Köprüsü, Friuli, Italy 1976 (Total Deformasyon).	91
Şekil 6.51 Konjic Köprüsü, Friuli, Italy 1976 (Maximum Principal Elastic Strain).....	92
Şekil 6.52 Tokatlı Köprüsü, Friuli, Italy 1976 (Maximum Principal Elastic Strain).	92
Şekil 6.53 Konjic Köprüsü, Friuli, Italy 1976 (Maximum Principal Stress).	93
Şekil 6.54 Tokatlı Köprüsü, Friuli, Italy 1976 (Maximum Principal Stress).....	93
Şekil 6.55 Konjic Köprüsü, Kobe 1995 (Total Deformasyon).	94
Şekil 6.56 Tokatlı Köprüsü, Kobe 1995 (Total Deformasyon).....	94
Şekil 6.57 Konjic Köprüsü, Kobe 1995 (Maximum Principal Elastic Strain).	95
Şekil 6.58 Tokatlı Köprüsü, Kobe 1995 (Maximum Principal Elastic Strain).	95
Şekil 6.59 Konjic Köprüsü, Kobe 1995 (Maximum Principal Stress).	96
Şekil 6.60 Tokatlı Köprüsü, Kobe 1995 (Maximum Principal Stress).	96
Şekil 6.61 Konjic Köprüsü, Morgan Hill 1984 (Total Deformasyon).	97
Şekil 6.62 Tokatlı Köprüsü, Morgan Hill 1984 (Total Deformasyon).....	97

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 6.63 Konjic Köprüsü, Morgan Hill 1984 (Maximum Principal Elastic Strain).....	98
Şekil 6.64 Tokatlı Köprüsü, Morgan Hill 1984 (Maximum Principal Elastic Strain).	98
Şekil 6.65 Konjic Köprüsü, Morgan Hill 1984 (Maximum Principal Stress).....	99
Şekil 6.66 Tokatlı Köprüsü, Morgan Hill 1984 (Maximum Principal Stress).	99
Şekil 6.67 Konjic Köprüsü, NW California 1941 (Total Deformasyon).	100
Şekil 6.68 Tokatlı Köprüsü, NW California 1941 (Total Deformasyon).....	100
Şekil 6.69 Konjic Köprüsü, NW California 1941 (Maximum Principal Elastic Strain).....	101
Şekil 6.70 Tokatlı Köprüsü, NW California 1941 (Maximum Principal Elastic Strain).	101
Şekil 6.71 Konjic Köprüsü, NW California 1941 (Maximum Principal Stress).....	102
Şekil 6.72 Tokatlı Köprüsü, NW California 1941 (Maximum Principal Stress).	102
Şekil 6.73 Tokatlı Köprüsü (Sivri Kemer).	105
Şekil 6.74 Tokatlı Köprüsü (Basık Kemer).....	105
Şekil 6.75 Sivri Kemer, Statik Analiz (Total Deformasyon).	106
Şekil 6.76 Basık Kemer, Statik Analiz (Total Deformasyon).....	106
Şekil 6.77 Sivri Kemer, Statik Analiz (Maximum Principal Elastic Strain).....	107
Şekil 6.78 Basık Kemer, Statik Analiz (Maximum Principal Elastic Strain).....	107
Şekil 6.79 Sivri Kemer, Statik Analiz (Maximum Principal Stress).....	108
Şekil 6.80 Basık Kemer, Statik Analiz (Maximum Principal Stress).	108
Şekil 6.81 Sivri Kemer, Dinamik Analiz (Total Deformasyon).....	110
Şekil 6.82 Basık Kemer, Dinamik Analiz (Total Deformasyon).	110
Şekil 6.83 Sivri Kemer, Dinamik Analiz (Maximum Principal Elastic Strain).	111
Şekil 6.84 Basık Kemer, Dinamik Analiz (Maximum Principal Elastic Strain).....	111
Şekil 6.85 Sivri Kemer, Dinamik Analiz (Maximum Principal Stress).	112
Şekil 6.86 Basık Kemer, Dinamik Analiz (Maximum Principal Stress).....	112
Şekil 6.87 Tokatlı Köprüsü'nün SAP2000 programında modellenmesi.....	114
Şekil 6.88 Tokatlı Köprüsü, Statik Analiz (Total Deformasyon).	115
Şekil 6.89 Tokatlı Köprüsü, Statik Analiz (Maximum Principal Elastic Strain).	115
Şekil 6.90 Tokatlı Köprüsü, Statik Analiz (Maximum Principal Stress).	116
Şekil 6.91 Tokatlı Köprüsü, Cape Mend 1992 (Total Deformasyon).	117
Şekil 6.92 Tokatlı Köprüsü, Cape Mend 1992 (Maximum Principal Elastic Strain).....	117
Şekil 6.93 Tokatlı Köprüsü, Cape Mend 1992 (Maximum Principal Stress).....	118

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 6.94 Tokatlı Köprüsü, Friuli Italy 1976 (Total Deformasyon)	118
Şekil 6.95 Tokatlı Köprüsü, Friuli Italy 1976 (Maximum Principal Elastic Strain).....	119
Şekil 6.96 Tokatlı Köprüsü, Friuli Italy 1976 (Maximum Principal Stress).....	119
Şekil 6.97 Tokatlı Köprüsü ilk 10 Mod şekli	121





ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 5.1 Köprü Modelleri Alt Eleman Sayıları	40
Çizelge 5.2 Doğal yapı taşlarının ortalama fiziksel özellikleri	42
Çizelge 5.3 Köprü Modellerinde Kullanılan Malzeme Özellikleri	43
Çizelge 5.4 Konjic Köprüsü Mesh Yöntemine Göre Oluşan Nokta ve Eleman Sayısı	52
Çizelge 5.5 Tokatlı Köprüsü Mesh Yöntemine Göre Oluşan Nokta ve Eleman Sayısı.....	52
Çizelge 5.6 Analizlerde Kullanılan Yakın Fay Deprem Kayıtlarına Ait Veriler	55
Çizelge 5.7 Analizlerde Kullanılan Uzak Fay Deprem Kayıtlarına Ait Veriler	55
Çizelge 6.1 Statik Analiz Neticesinde Ulaşılan Sonuçlar	69
Çizelge 6.2 Dinamik Analiz Neticesinde Ulaşılan Sonuçlar.....	103
Çizelge 6.3 Kemer yükseklik değişimine göre sonuçlar (Statik Analiz).	109
Çizelge 6.4 Kemer yükseklik değişimine göre sonuçlar (Dinamik Analiz).....	113
Çizelge 6.5 Tokatlı Köprüsü, Statik Analiz (ANSYS - SAP2000).....	116
Çizelge 6.6 Tokatlı Köprüsü, Cape Mend 1992 (ANSYS - SAP2000).	120
Çizelge 6.7 Tokatlı Köprüsü, Friuli Italy 1976 (ANSYS - SAP2000).....	120
Çizelge 6.8 Tokatlı Köprüsü ilk 10 Mod'a ait periyotlar	122



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

E	: Elastisite Modülü
Mw	: Moment Büyüklüğü
d	: Derinlik
PGA	: En Büyük Yer İvmesi
PGV	: En Büyük Yer Hızı
Ap	: Pik Deprem İvmesi
Vp	: Pik Deprem Hızı

KISALTMALAR

AUTOCAD	: Auto Computer Aided Design
KN	: Kilo Newton
Kg	: Kilogram
m	: Metre
Mpa	: Mega Pascal
mm	: Milimetre
N	: Newton
P	: Pascal
SAP2000	: Structural Analysis Program



BÖLÜM 1

GİRİŞ

İnsanlık tarihinin başlangıcı aynı zamanda inşaat faaliyetlerinin de başlangıcı kabul edilebilir. Bilinen en eski uygarlıkların dahi barınma, savunma ve hayatlarını sürdürebilmek için farklı amaçlarla yapılar inşa ettikleri bilinmektedir. Bu yapılar içerisinde kuşkusuz en önemlilerinden birisi köprülerdir. Tarih boyunca insan, en ilkel yöntemlerden başlayıp günümüz modern teknolojisine kadar gelen süreçte birçok farklı usul ve formda köprüler inşa etmiş ve benzersiz eserler ortaya çıkarmıştır. Yapılan bu köprüler içerisinde yaygın olarak kemer formu kullanılmıştır.

Bilinen ilk kemer formu örnekleri, M.Ö. 3000 yıllarında Mezopotamya'da Sümerlere ait yer altı mezarlarında görülmüştür. Mısırlılarca yapılan kemerler, bu medeniyetinde aynı zamanlarda kemer formunun yapısal potansiyeli hakkında bilgi sahibi olduklarını göstermektedir. Ancak, kemer formunu bulanlar her ne kadar Sümerler ya da Mısırlılar olsa da, kemeri en işlevsel kullanan ve görsel olarak en güzel örnekleri verenler Romalılar olmuştur (Toker ve Ünay 2004, Ural'dan 2005).

Günümüz mühendislik imkânları ve inşaat malzemelerinin bulunmadığı geçmiş dönemlerde, tarihi köprü tasarımının temel unsurlarından biri olan kemer formu ile büyük açıklıkların geçilmesi veya ağır yüklerin taşınması mümkün olabilmiştir. Ülkemizde de yaygın olarak görülmekte olan kemer köprüler, Anadolu'da ve özellikle 19. yüzyılda Osmanlılar tarafından tek açıklıklı taş kemer formunda inşa edilmiştir (Bayraktar vd. 2007).

Geçmişten günümüze kadar gelen ve binlerce yıllık tarihe sahip olan bu tarihi yapıların büyük kısmı zaman içerisinde meydana gelmiş depremler, savaşlar ve yangınlar gibi afetlerden etkilenmiş veya yıkılmışlardır. Ayrıca, yapı malzemelerinin dayanım özelliklerini kaybetmesi, deformasyonlar ve düzensiz yüklemeler tarihi yapıların yavaş yavaş yok olmalarının diğer unsurlarıdır (Toker ve Ünay 2004, Bayraktar vd.'den 2007).

İnsanlık tarihi boyunca insanlar tarafından yapılan ve kültürel miras olarak tanımlanabilecek değerlerin korunup geçmiş uygarlıkların izleri olarak gelecek nesillere aktarılması hususu, günümüzde dünya milletlerinin evrensel görevi olarak kabul edilmekte ve bu amaca hizmet etmek üzere birçok uluslar arası örgüt kurulmuş bulunmaktadır. Bu kapsamda oldukça zengin kültür varlıklarına sahip olan ülkemizin de önemli sorumlulukları olduğu kuşkusuzdur (Sümerkan ve Okman 1999, Ural'dan 2005).

Bu amaçla gerek dünyada gerekse ülkemizde birçok akademik çalışma yapılmış ve yenileri de yapılmaya devam etmektedir. Tarihi kemer köprüler üzerine hazırlanmış çalışmalar genel olarak iki kısımda değerlendirilebilir. Bir kısım yayınlarda; tarihi kemer köprülerin tarihi yönleri, yapıldıkları bölge, kullanılan malzeme, mimari ve görsel özellikleri üzerinde durulurken bir kısım çalışmalarda; tarihi kemer köprülerin statik özellikleri yönüyle incelendiği, dayanım ve yük taşıma kapasitelerinin irdelendiği görülmektedir. Bu statik analizlerde genelde SAP2000 programı kullanılmış, modellenen tarihi köprülerin farklı yükler altındaki davranışları incelenmiştir.

Bu tez çalışmasında; tarihi kemer köprülerde kullanılan malzeme ve bağlayıcılar incelenmiş, kemer köprülerin özellikleri, yükü taşıma şekilleri ve kemer köprüyü oluşturan kısımlar anlatılmış, teorik ve örnek bir restorasyon projesi üzerinden kemer köprüünün yapım aşamaları gösterilmiştir. Diğer çalışmalardan farklı olarak bu tez çalışmasında; köprü modelinin oluşturulması için Solidworks programı kullanılmış, analizler ise Ansys programı yardımıyla yapılmıştır. Analizlerde yöntem olarak Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılmıştır. Köprülerin zati ağırlıkları altında statik, farklı büyüklük ve özellikteki örnek deprem yükleri etkisi altında dinamik analizler yapılmış, analizler sonucunda modellenen tarihi kemer köprülerde oluşan maksimum yer değiştirme, stres ve elastik gerilmeler hesaplanmış ve görseller kullanılarak bu yüklerin köprüünün hangi kısımlarında oluştuğu gösterilmiştir.

BÖLÜM 2

AMAÇ

Bu tez çalışması ile; tarihi kemer köprülerin özellikleri, yük taşıma şekilleri, yapım aşamaları ve türleri gibi hususların daha iyi anlaşılması hedeflenmiş, örnek iki ayrı tarihi kemer köprü üzerinden statik ve dinamik yükler altında tarihi kemer köprü davranışlarının tespiti amaçlanmıştır.

Bu kapsamda literatür araştırması yapılarak; tarihi kemer köprüler genel olarak incelenmiş, tarihi kemer köprüleri oluşturan kısımların tanımı yapılmış, tarihi kemer köprü türleri anlatılmıştır. Şematik olarak tarihi kemer köprülerin yapım aşamaları gösterilmiş, örnek bir restorasyon projesi üzerinden tarihi kemer köprüünün inşası resimlerle anlatılmıştır.

Yapılacak analizlere referans olması amacıyla literatür taraması yapılarak tarihi kemer köprüler üzerinde statik ve dinamik yük analizi yapan akademik çalışmalar araştırılmış; bu çalışmalarda incelenen tarihi kemer köprülerin özellikleri, analizlerde kullanılan yöntemler, bilgisayar programları ve malzeme bilgisi irdelenmiş, analizler neticesinde ulaşılan sonuçlar özet halinde gösterilmiştir.

Bu çalışma kapsamında yapılması hedeflenen analizler için biri çok açıklıklı ve biri tek açıklıklı olmak üzere iki ayrı tarihi kemer köprü seçilmiştir. Bu köprüler hakkında detaylı araştırma yapılarak; köprülerin tarihçeleri ve konum bilgileri anlatılmış, modelleme aşamasında kullanılmak üzere mimari ve kesit özellikleri incelenmiştir.

Tarihi kemer köprülerin statik ve dinamik yükler altındaki davranışlarının tespiti amacıyla seçilen biri tek, biri çok açıklıklı iki tarihi kemer köprü Solidworks programında gerçek boyutları referans alınarak modellenmiş sonra oluşturulan bu model Ansys programına aktarılmıştır. Ansys programı ile oluşturulan modelin gerçek durumdaki sınır şartları tanımlanmış, modellerin yer çekimi kuvveti altında ölü yük analizleri, örnek deprem ivmeleri tesiri altında dinamik analizleri yapılmıştır. Modelleme ve analiz işlemleri için bilgisayar

programlarında yapılan tüm işlem ve ayarlamalar, ekran görüntülerinden de yararlanılarak anlatılmıştır.

Sonuç bölümünde ulaşılan tüm veriler tablolar halinde bir araya getirilmiş, tarihi kemer köprülerin statik ve dinamik etkiler altındaki davranışı iki ayrı köprü örneği üzerinden açıklanmıştır.

Çalışmanın son kısmında köprü kemer yüksekliğinin köprünün davranışına olan etkisini görebilmek amacıyla, bir köprünün kemer yüksekliği artırılıp azaltılarak statik ve dinamik analizler yapılmış ve sonuçlar incelenmiştir. Benzer şekilde ANSYS ve SAP2000 programları arasındaki farkların tespiti amacıyla bir köprü SAP2000 programında yeniden modellenerek analizler yapılmış, ANSYS ve SAP2000 programları arasındaki modelleme ve analiz aşamalarındaki farklılıklar açıklanmıştır.

BÖLÜM 3

LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde tarihi kemer köprüler ile ilgili teorik ve şematik bilgilerin yanı sıra, tarihi kemer köprüler üzerine yapılmış statik ve dinamik analizleri içeren akademik çalışmalara yer verilmiştir.

3.1 TARİHİ KEMER KÖPRÜLER

Modern çağ ile birlikte her yapıda olduğu gibi köprü tasarımında da değişimler yaşanmıştır. En eski dönemlerden beri köprü inşaatında taş ve ahşap malzeme kullanıldığı bilinmektedir. Köprü tasarımında ahşap malzemeden taşa geçilmesi, köprü tasarımı için önemli bir adım olmuş, uzun ömürlü köprülerin inşası mümkün olmuştur. (Ceylan 2013).

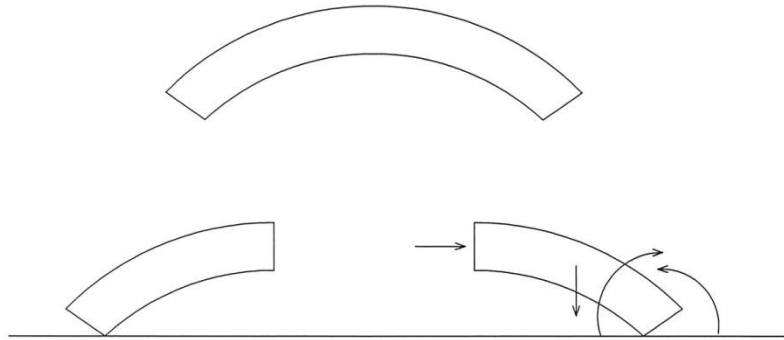
Ahşap malzemeden, doğal taş malzeme kullanımına imkan sağlayan en önemli değişim köprülerde kemer formunun kullanılmasıdır. Kemer üzerine gelen tüm kuvvetleri kemer hattı ile mesnetlere aktarılması yöntemi, köprü tasarımında en önemli gelişme olarak görülmüştür. Kemer kullanımı, akarsularda ve derin vadilerde büyük açıklıkların kolaylıkla geçilebilmesine imkân sağlamıştır. Kemer, boyut ve mimari görünüş açısından ülke ve kültürler göre değişse de, köprü yapımının vazgeçilmez unsuru olmuştur. Şekil 3.1'de tarihi kemer köprü örneği gösterilmiştir (Gürbüz 2012).



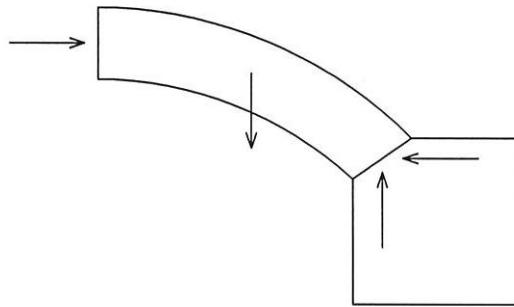
Şekil 3.1 Tarihi kemer köprü örneği, Mostar Köprüsü (URL-1).

Kemer Köprülerin esas olan hareketli yükler dışında eğilmeye çalışma gibi bir durumun bulunmayışıdır. Yalnız basınç etkisinde bulunurlar ve bundan ötürü taş, dökme çelik, beton gibi çekme dayanımı zayıf yapı elemanlarından yapılabilirler. Günümüzde tuğla, ahşap, alüminyum ve dövme çelikten yapılmış kemer köprüler de mevcuttur.

Kemerler bir yönüyle köprü için en basit yapı tasarımıdır. Çünkü taş veya kayadan yapıldığı düşünüldüğünde kemer formunu oluşturmaktan başka bir unsura gerek yoktur. Taşların uygun biçimde hazırlanması ve uygun şekillerin oluşturulması halinde kendiliğinden dayanak olarak çalışacaklardır. Yapının dengede olduğu düşünüldüğünde mesnetlerde oluşan itme kuvvetlerinin zemin tarafından taşınabilecektir. Bu kuvvetler zeminde üzerinde çekme, basınç ve kayma kuvvetleri olarak oluşacaktır. Mesnetlerde oluşturan dayanakların amacı gerilmeyi yayararak zemini taşıyabileceği sınıra kadar düşürmektir. Bu dayanaklarda oluşan kuvvetin zemine aktarılması geniş bir yüzey içinde olacağından gerilmeler oldukça düşecektir. Herhangi bir kemer kesitinde oluşan iç kuvvetler ve bu kuvvetlerin mesnette taşınması Şekil 3.2-3'de gösterilmiştir (URL-2).



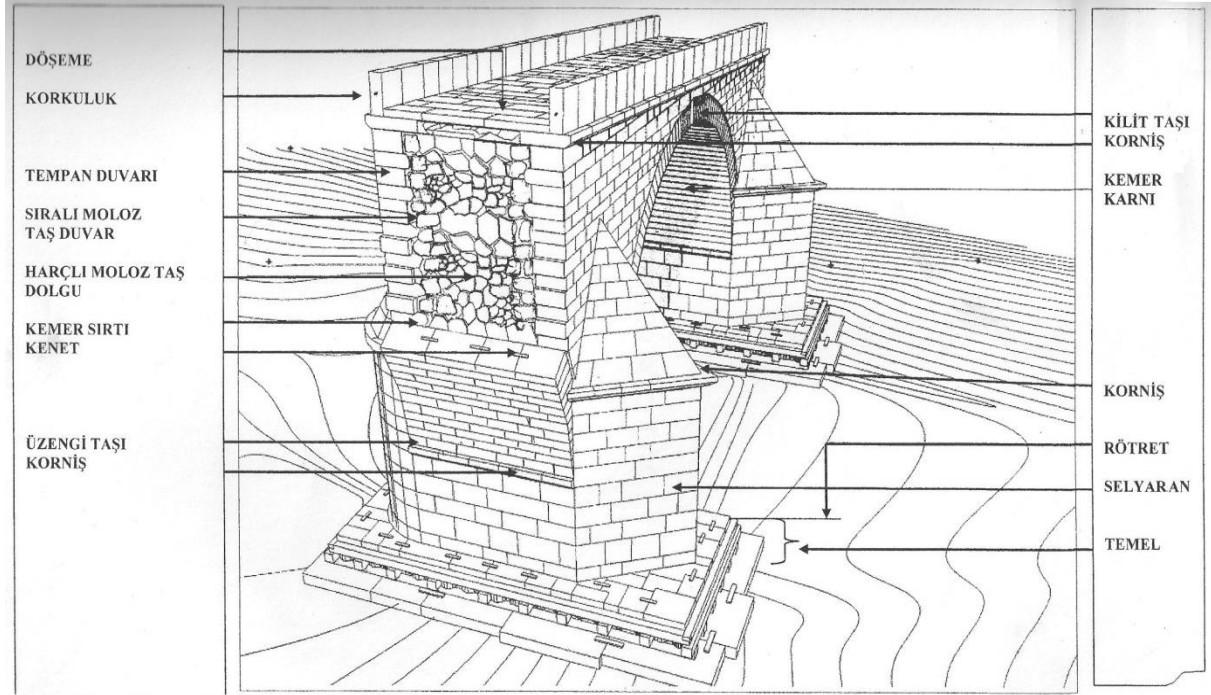
Şekil 3.2 Kemer köprü kesitinde oluşan iç kuvvetler.



Şekil 3.3 Kemer köprü kesitinde oluşan iç kuvvetlerin mesnetle taşınması.

3.1.1 Tarihi Kemer Köprüyü Oluşturan Bölümler

Tarihi kemer köprüler mimari ve kullanılan malzeme açısından farklılık gösterse de, kapsamlı bir Tarihi Kemer Köprüyü oluşturan kısımlar Şekil 3.4'de gösterilerek, bu kısımların tanımları Sert 2007'de verilen tanımlar ile aşağıda açıklanmıştır (Sert 2007, Ceylan'dan 2013).



Şekil 3.4 Tarihi kemer köprüyü oluşturan kısımlar (Sert 2007, Ceylan'dan 2013).

Taş Radye Temel: Suyun temel tabanında yapacağı oyulmaların önlenmesi, temel stabilizesinin sağlanması ve talveg kotunun özgün hale getirilmesi amacıyla, köprünün zemine oturduğu yüzeyi projesinde gösterildiği şekliyle bir döşeme gibi boydan boya kaplayan taş temeldir.

Tempan (Kılıf) Duvarı: Köprü gövdesini memba ve mansap taraftan sınırlayan duvardır.

Hafifletme Odacıkları: Köprü ayaklarına gelen yükü azaltmak amacıyla yapılmış olan köprü içersindeki boşluklardır.

Selyaran: Suyun ayaklara zarar vermeden gözler içinden geçmesini sağlayan ve ayakta çeşitli şekillerde yapılan köprü elemanıdır. Membada suyun akışını ikiye bölerek gözlere doğru yönlendiren ve ayağa gelen ilk darbeyi karşılayan selyaran bölümü burun, mansapta ise gözlerden geçen suların ayak diplerinde anaför yaparak köprü ayaklarını oymasını engellemek amacıyla yapılan selyaran bölümü topuktur.

Kitabe: Bir anıt eserin üzerine eserin yaptıranı ve yılı gibi tanıtım ve bilgilendirme amaçlı yazılan yazıttır. Kitabe Selçuklu Döneminde genellikle basit ve sade bir şekilde tempan veya korkuluk üstünde yer almakta iken, Osmanlı döneminde zamanla gelişerek kitabeye özel köşkler yapılmaya başlanmıştır.

Korkuluk: Köprünün iki tarafında ve tempan duvarının üzerinde yükselen ve geçişte güvenliği sağlayan köprü elemanıdır. Korkuluklar; Selçuklu Döneminde genellikle tempan duvarı üzerinde aynı hizada düz bir şekilde yükselmekte iken, Osmanlı Döneminde zamanla gelişerek tempan duvarından önde ve tempan duvarı ile korkuluklar arasında korniş taşı kullanılarak yapılmaya başlanmıştır.

Baba Taşları: Köprü Başlarına ve korkuluğun başlangıç kısımlarına konulan düşey taşlardır. Bunlardan düz ve sade şekilde olanların yanı sıra devlet ileri gelenlerin kavuklarını hatırlatır şekilde başlıklı olanları da vardır.

Çörten: Köprü döşemelerinin üstüne gelen kar ve yağmur sularını köprüden uzaklaştırmak için yapılmış ve tempan duvarından dışa doğru uzanan yonu taşı oluktur.

Korniş: Köprünün her iki tarafında tempan duvarı ile korkuluğu ayıran, boydan boya giden düz veya profilli çıkıntıdır.

Üzengi Taşı: Kemer yayının başladığı ve ayağa oturduğu ilk taş, yastık taşıdır.

Kemer Alını: Kemere cephesinden bakıldığında görünen taş dizisidir.

Kemer Karnı: Kemerin alt(iç) yüzey alanıdır.

Kemer Sırtı: Kemerin üst (dış) yüzey alanıdır.

Kenet: İki taş bloğu birbirine bağlamak için kullanılan iki ucu kıvrık maden parçasıdır.

Kanat Duvarı: Genellikle taşkınlarla yatak dışına taşan akarsuların çevredeki araziye dağılmasını önleme ve köprünün kenar ayakları civarında meydana gelecek oyulmaları önlemek üzere köprünün bulunduğu akarsuyun iki sahili boyunca yapılan duvardır.

Pilon: Orta ayak burnu ya da topuğu üstünde döşemeye kadar yükselen kule şeklindeki hacimdir.

Rötret: Temelle zemin üstünde kalan yapı kısmını ayıran düzlemdir.

3.1.2 Tarihi Kemer Köprü Tipleri

Tarihi Kemer Köprüler mimari şekillerine göre iki ana grupta incelenebilir.

Dik köprü: Köprünün ortasındaki yüksek ve geniş asıl kemere iki yakadan keskin bir çıkışla yükselen köprülere dik köprü denir. Derin yataklı sularda ana yatak için, teknik bakımdan, ayakları oturtmak olanaksız veya çok güçtür. Bu nedenle, zeminin yükseldiği sığ uçlara yerleştirilen ayakların arası, geniş ve yüksek bir kemerle bağlanır. Böylece kurulan, ana göz (bazı hallerde gözler), etrafındaki yardımcı küçük açıklıklarla ve güçlü eğimlerle her iki sahilden yükselen dik köprüleri doğurur. Şekil 3.5'de örnek bir dik köprü gösterilmiştir (İlter 1978, Ceylan'dan 2013).



Şekil 3.5 Dik köprü örneği, Giresun-Yağlıdere (URL-3).

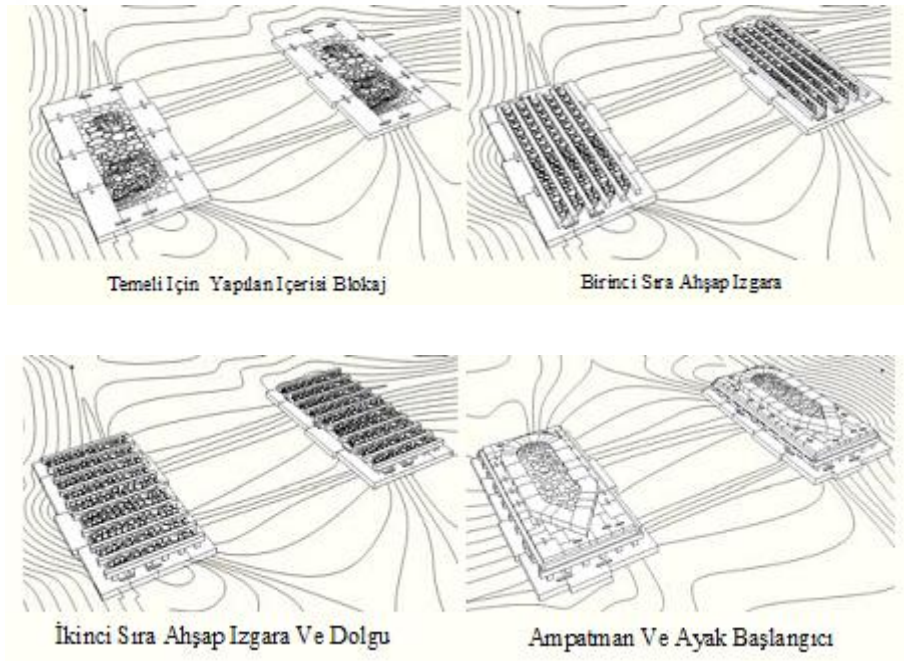
Düz köprü: Birbirlerine benzer ölçülerde iki veya daha fazla sayıda kemer ve bu kemeleri birbirine bağlayan köprü yolunun eğimsiz veya oldukça az eğimli olarak tasarlanmış köprülere düz köprü denir. Köprü tipini doğuran en büyük etken, nehir yatağının derinliği ve genişliği olmaktadır. Geniş bir yatakta, yüksek geniş açıklara gereksinme duyulmaz. Aksine, yakın genişlikteki gözler, suyu rahatlıkla geçirebilirler. Yine esas yatağın yaygın oluşu, köprü boyunu uzatır, göz adedi fazlalaşır. Bu kuruluştta tabliyede düz olur. Şekil 3.6'da örnek bir düz köprü gösterilmiştir (İlter 1978, Ceylan'dan 2013).



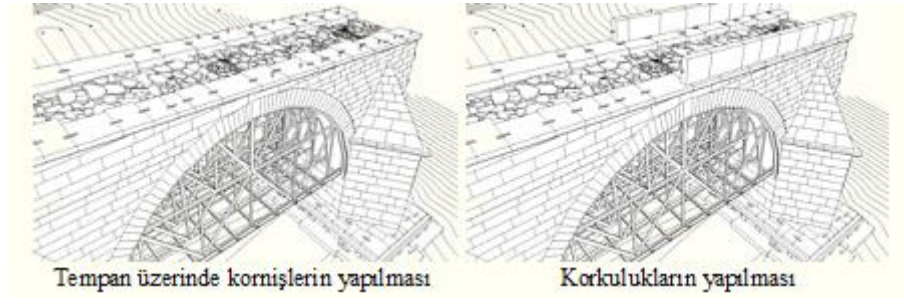
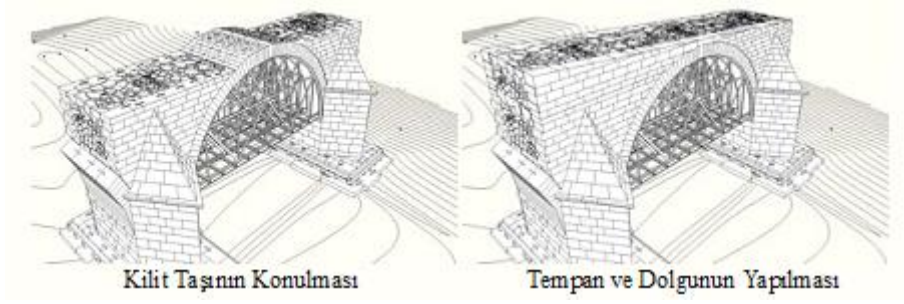
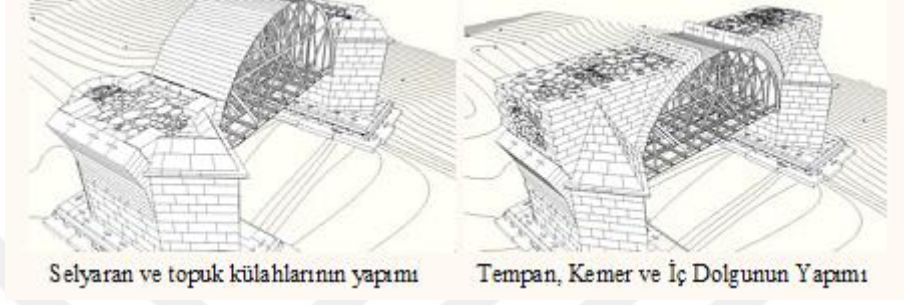
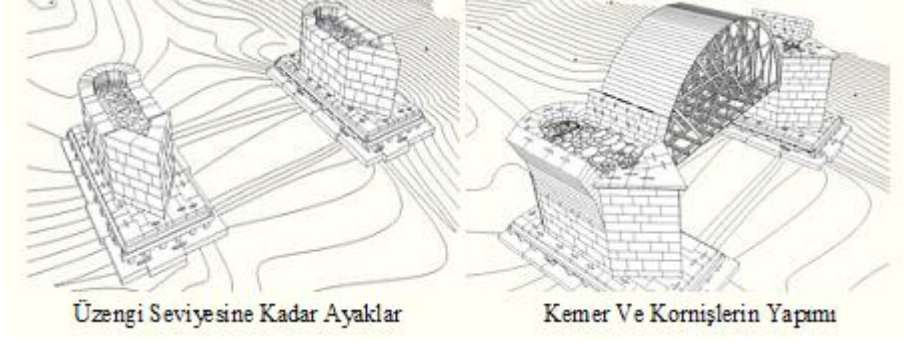
Şekil 3.6 Düz köprü örneği, Adana (URL-4).

3.1.3 Tarihi Kemer Köprü Yapım Aşamaları

Tarihi kemer köprüler yapıları gereği farklı fiziksel özelliklere sahip malzemelerin bir araya gelerek oluşturduğu kompozit bir yapıdır. Tarihi kemer köprü; kemer, tempan, ayaklar gibi asıl bileşenler ile bunları destekleyen, görsel ve yardımcı elemanlardan oluşmaktadır. Tarihi kemer köprüünün yapım aşamaları Şekil 3.7'de şematik olarak gösterilmiştir (Sert vd. 2009)



Şekil 3.7 Tarihi kemer köprü yapım aşamaları (Sert vd. 2009).



Şekil 3.7 (devam ediyor)

3.1.4 Yapım Aşamaları Örneği (Konjic Köprüsü Restorasyon Projesi)

02.02.2005 tarihinde; Bosna-Hersek, Hersek-Neretva Kantonu, Konjic Belediyesi ile Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Türk İşbirliği ve Kalkınma İdaresi Başkanlığı (TİKA) arasında imzalanan protokol kapsamında Tarihi Konjic Köprüsü'nün restorasyon çalışmalarına başlanılmıştır.

Başbakanlık Türk İş Birliği Kalkınma İdaresi Başkanlığının finansmanı ile Karayolları Genel Müdürlüğü Köprüler Dairesi Başkanlığı, Tarihi Köprüler Şube Müdürlüğü tarafından hazırlanan Tarihi Konjic Köprüsü Restorasyonu (Yeniden Yapım) projesi Bosna Hersek Kültür ve Spor Bakanlığı, Ulusal Anıtları Koruma Komisyonu tarafından onaylanmıştır. Projenin ihalesi 08.03.2007 tarihinde yapılmış ve 24.04.2007 tarihinde 1.475.000 Euro bedelle sözleşme imzalanmıştır. Proje 15.06.2009 tarihinde tamamlanmış ve 16.06.2009 tarihinde köprünün açılışı yapılmıştır.

Konjic Köprüsü, 17. yy klasik Osmanlı Mimarlığı'nın güzel bir örneğini teşkil etmektedir. Sivri formlu 6 adet kemeri bulunan köprüde, kemer açıklıkları 6.72 m. ile 13.56 m. arasında değişmektedir. İki kanat duvarı arasında uzunluğu 86.20 m., korkulukların dışından genişliği ise 5.35 m.dir. Kemerler, 2 ve 3 sıradan oluşan ahşap kirişlemeler üzerinde yer alan 5x12 metre ebatlarındaki taş ampatmanlar üzerine inşa edilen beş adetkargir ayak üzerine oturmaktadır. Kitabe köşkünün nehir tabanından yüksekliği 16.27 m.dir. Konjic Köprüsünün eski tarihli genel görünümü Şekil 3.8'de gösterilmiştir (Sert vd. 2009).

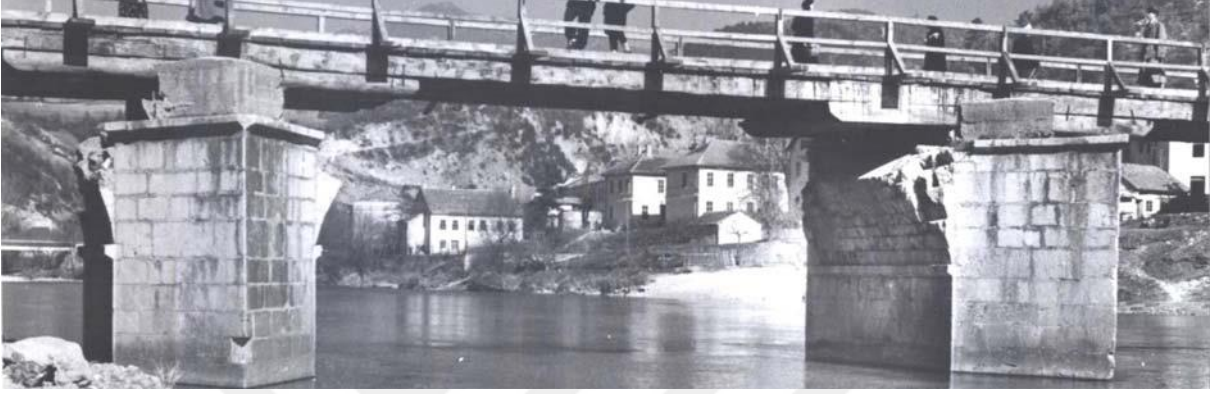


Şekil 3.8 Tarihi Konjic Köprüsü genel görünümü (Sert vd. 2009).

Dünya genelinde birçok tarihi yapının yok olmasına neden olan II. Dünya Savaşının son günlerinde (03.05.1945) yapılan bombardıman sonucu köprü ağır hasar almış, köprünün dört kemeri tamamen yıkılmıştır. İki yakayı birbirine bağlamak için köprünün sağlam kalan kemerleri de yıkılarak ahşap konstrüksiyon bir köprü oluşturulmuş, ahşap malzemenin zamanla çürümesi sonucunda 1962 yılında kagir ayaklar üzerine beton başlıklar yapılarak köprü araç trafiğine açılmıştır. Köprünün yıllara göre durumu Şekil 3.9-11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Köprü'nün II. Dünya Savaşı sırasında yıkılmış durumu, 1945 (Sert vd. 2009).



Şekil 3.10 Ahşap tabliyeli durum, 1962 (Sert vd. 2009).



Şekil 3.11 Beton tabliyeli durum memba görünüşü, 2004 (Sert vd. 2009).

Köprü'nün yeniden kullanımı için üzengi hattının hemen üstünde kalan kısımları tamamen yıkılmış, selyaranların burun ve topuk kısımlarındaki külahları tamamen kaldırılmıştır. Sonradan yapılan beton başlık ve betonarme döşeme köprü ayaklarına ciddi hasar vermiştir.

Memba tarafında bulunan selyaranların sivri olan burun kısımları, oluşan taşkınlarla gelen molozların etkisi ile zarar görmüştür. Yine nehir yatağında meydana gelen değişimler ile memba tarafında nehirden kum ve çakıl alınması sonucunda köprü ayak temellerinde oyulmalar oluşmuş, zemin ile köprü arasındaki esnek enerji sönmüleyici ahşap ızgaralarda çürüme ve kopmalar oluşmuştur. Bakımsızlık nedeniyle taş yüzeylerde bitkileşme ve bunun

sonucunda floral bozulmalar meydana gelmiştir. Köprünün restorasyon öncesi durumuna ait görseller Şekil 3.12-14'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12 Beton tabliyeli durum mansap görünüşü, 2004 (Sert vd. 2009).



(a)

(b)

Şekil 3.13 a) Köprü ve kum-çakıl ocağı, b) Zarar görmüş köprü kısımları (Sert vd. 2009).

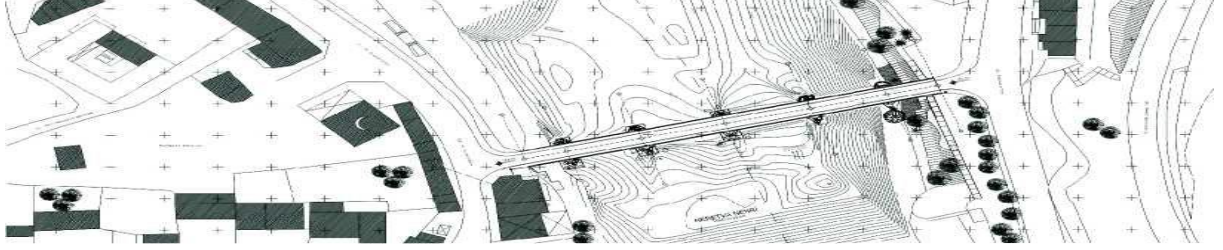


(a)

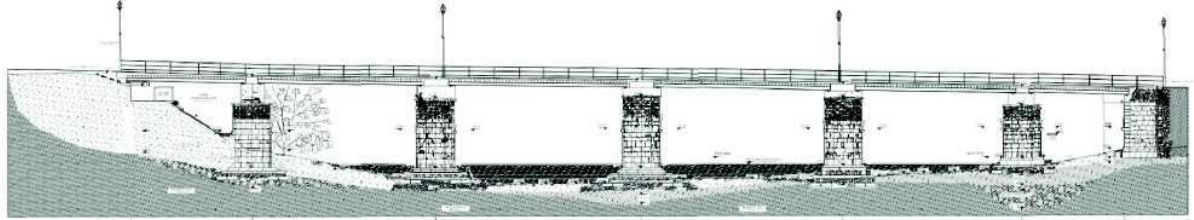
(b)

Şekil 3.14 a) Açığa çıkan ahşap ızgaralar, b) Taş yüzeylerindeki bozulmalar (Sert vd. 2009).

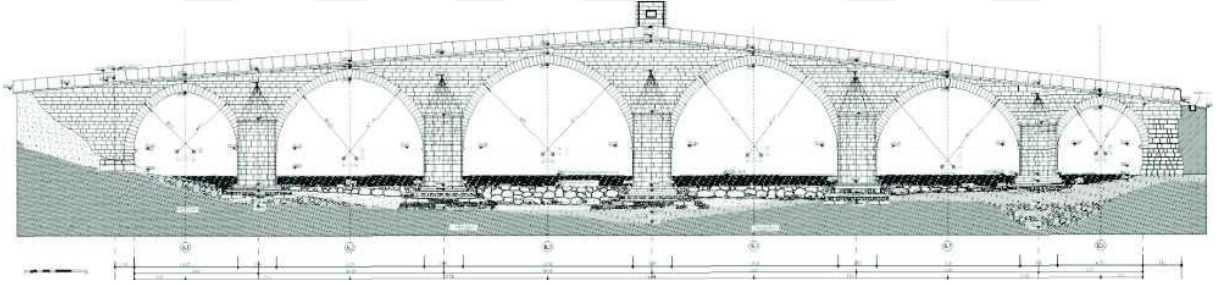
Tarihi Konjic Köprüsü'nün yeniden yapılması için hazırlanan restorasyon projeleri köprü'nün bulunduğu Bosna Hersek'in ilgili kurumlarınca onaylanması sonrasında köprü'nün restorasyon işine başlanılmıştır. Köprü'nün restorasyon projesine ait plan ve görünüşler Şekil 3.15-19'da gösterilmiştir.



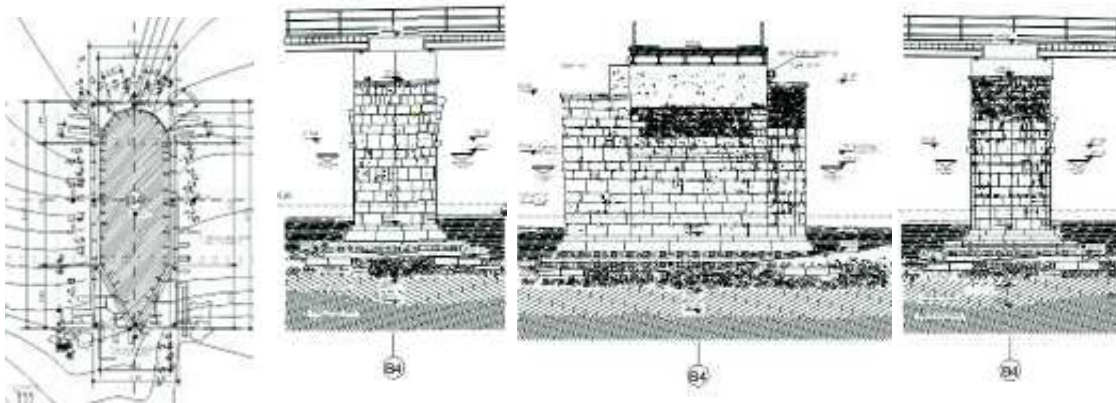
Şekil 3.15 Rölöve vaziyet planı (Sert vd. 2009).



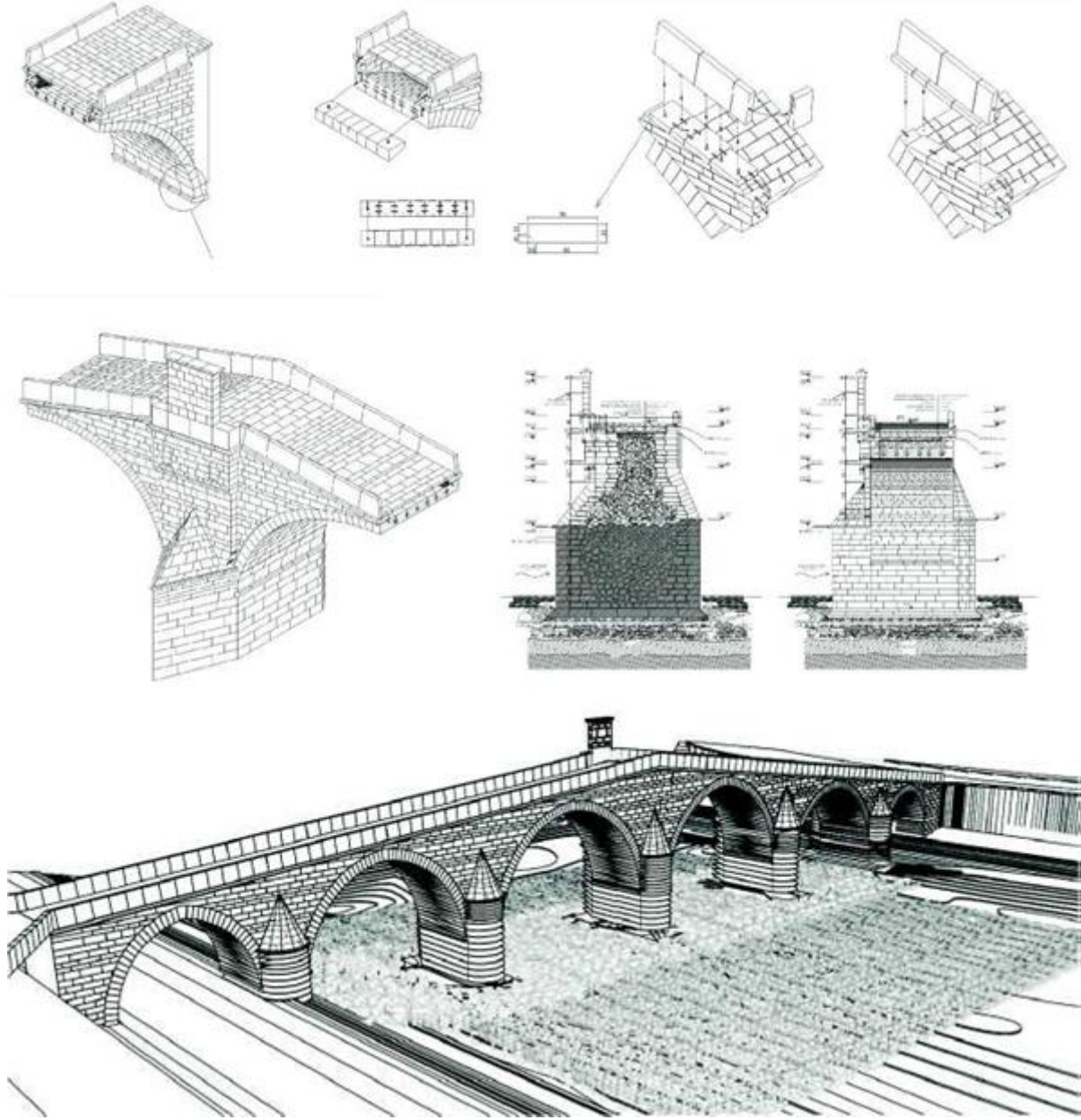
Şekil 3.16 Rölöve mansap görünüşü (Sert vd. 2009).



Şekil 3.17 Orijinal halin mansap görünüşü (Sert vd. 2009).



Şekil 3.18 Ayak plan ve görünüşleri (Sert vd. 2009).



Şekil 3.19 Detay çizimleri ve köprü genel görünüşü (Sert vd. 2009).

Çalışmalara köprüye sonradan eklenen betonarme ve çelik üst yapının sökümü ile başlanılmış, yayaların geçebilmesi için geçici yaya köprüsü oluşturulmuştur. Köprüye ait orijinal taş ve harç numuneleri incelenerek, restorasyonda kullanılacak harç karışımları ve taşların özellikleri belirlenmiştir. Köprü'nün yıkılan kısımlarına ait sudan çıkarılan orijinal taşlar ve köprü'nün orijinal halini gösteren fotoğraf ve gravürler incelenerek uygulama projesi bu verilere göre geliştirilmiştir. Yapılan bu çalışmalara ait görseller Şekil 3.20-21'de gösterilmiştir.



(a)

(b)

Şekil 3.20 Eklentilerin sökülmesi a) Çelik kirişler, b) Beton eklentiler (Sert vd. 2009).



(a)

(b)

Şekil 3.21 a) Köprüye ait orijinal taşlar, b) Geçici yaya köprüsü (Sert vd. 2009).

Kemerlerin geometrilerine uygun şekilde profil malzemedan askıya alma iskeleleri hazırlanarak kemer örgüleri tamamlanmıştır. Kemerler arasında kalan tempan duvar ve dolgu işleri yapılmış, projeye uygun olarak köprü ayaklarındaki hasarlı kısımlar sökülerek orijinal taşların düzeltilmesi yoluyla yeniden yapılmıştır. Köprü civarındaki yapılan kazı ile toprağa gömülü haldeki köprü ayağı ortaya çıkarılmıştır.

Köprü'nün memba tarafında bulunan ve suyun akış rejimini bozarak köprü ayak temellerinde oyulma ve bozulmalara neden olan kum ve çakıl ocağının daha geriye alınması ile akarsuyun akış rejiminin orijinal hale gelmesi sağlanmış ve köprü'nün zarar görmesi engellenmiştir. Yapılan bu çalışmalara ait görseller Şekil 3.22-27'de gösterilmiştir.



(a)

(b)

Şekil 3.22 a) Kemer için askıya alma çalışması, b) Kemer yapım çalışması (Sert vd. 2009).



(a)

(b)

Şekil 3.23 a) Ayakların sökülmesi, b) Ayakların yeniden yapılması (Sert vd. 2009).



Şekil 3.24 İskele üzerinde tamamlanmış köprü kimeri (Sert vd. 2009).



(a)

(b)

Şekil 3.25 a) Ayak taşların birbirine bağlanması, b) Kemer yerleştirilmesi (Sert vd. 2009).



(a)

(b)

Şekil 3.26 a) Kilit taşlarının taşınması, b) Kilit taşının yerine montajı (Sert vd. 2009).



Şekil 3.27 Tamamlanmış köprü kemerleri (Sert vd. 2009).

Köprünün kemerleri, tempan örgüsü ve kornişleri ile ilgili tüm işlerin tamamlanması sonrasında döşeme ve korkulukların yapımına geçilmiştir. Köprü kanat duvarlarında araştırma kazıları ve onarım çalışmaları yapılmıştır.

Akarsuyun talveg kotunu orijinal seviyesine getirmek ve köprü ayaklarının temellerini korumak amacıyla köprünün memba ve mansap tarafında, radye temel niteliğinde istifli taş tahkimat çalışması yapılmıştır. Köprünün orta kısmında ve kitabe köşkünde bulunan köprü kitabeleri hazırlanarak yerlerine montajı yapılmış köprü aydınlatma çalışmaları tamamlanmıştır. Yapılan bu çalışmalara ait görseller Şekil 3.28-32'de gösterilmiştir.



Şekil 3.28 a) Taş tahkimat yapılıması, b) Kitabe köşkünün yapılıması (Sert vd. 2009).



Şekil 3.29 a) Korniş ve korkuluklar, b) Köprü döşemesi (Sert vd. 2009).



Şekil 3.30 Tamamlanmış korniş, korkuluk ve döşeme (Sert vd. 2009).



(a)

(b)

Şekil 3.31 a) Taş yüzeylerde yüz açma çalışması, b) Taş ızgaralar (Sert vd. 2009).



(a)

(b)

Şekil 3.32 a) Köprü döşemesi, b) Kitabe köşkü ve kitabe (Sert vd. 2009).

Restorasyon çalışmaları aslına uygun olarak projelendirilen ve uygulanan Tarihi Konjic Köprüsü'nün yeniden yapımı 2009 yılında tamamlanarak kullanıma açılmıştır. Restorasyonu tamamlanmış Konjic Köprüsü'nün genel görünümü Şekil 3.33'de gösterilmiştir (Sert vd. 2009).



Şekil 3.33 Restorasyonu tamamlanmış Konjic Köprüsü görünümü (Sert vd. 2009).

3.2 MODELLEME VE ANALİZ KONUSUNDA BENZER ÇALIŞMALAR

Tarihi kemer köprüler hakkında hazırlanmış birçok akademik çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların bir kısmı, tarihi kemer köprülerin tarihsel yönleri ve işlevleri gibi hususlar üzerinde dururken bir kısmı, tarihi kemer köprülerin bilgisayar programları yardımıyla modellenmesi ve oluşturulan bu modellerin farklı yükler altında statik ve dinamik etkiler altında analizlerini konu edinmiştir. Bu tez çalışmasında da ele alınacak modelleme ve analiz konusunda benzer şekilde yapılmış çalışmalar incelenerek, referans teşkil etmeleri yönüyle bu çalışmalarda kullanılan tarihi kemer köprülerle ilgili malzeme bilgisi ve kabuller dikkate alınmıştır.

Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden URAL (2005) tarafından hazırlanmış akademik çalışmada; Tarihi Kemer Köprüler hakkında bilgi verilmiş, Trabzon'un Maçka ilçesinde bulunan inceleme konusu Coşandere (Kınalı) Köprüsü'nün tarihçesi, kesit özellikleri ve malzeme bilgisi hususlarına değinilmiştir. Bahse konu köprü SAP2000 programı ile modellenerek önce kendi ağırlığı altında oluşan gerilme ve şekil değiştirmeler incelenmiş, daha sonra 1940-Elcentro depreminin ivme kaydı köprüye etkiltilerek inceleme yapılmıştır. Bu analizlerde Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda; oluşturulan modelin kendi ağırlığı altındaki yükleri güvenle taşıyabildiği, kemer köprü'nün zayıf olduğu yönde etkiyen deprem yükü altında kemer

yüksekliğinin orta bölgesinde maksimum gerilmelerin oluştuğu görülmüştür. Bu yönde gelebilecek yükler altında köprü de göçme mekanizmasının meydana gelmesi ihtimalinin bulunduğu sonucuna varılmıştır (Ural 2005).

Korkmaz, Zabin, Çarhoğlu, Nuhoglu (2013) tarafından hazırlanan çalışmada; sonlu elemanlar yöntemi ile yapılmış önceki çalışmalardan bahsedilmiş, Rize ili Ardeşen ilçesi Çamlıhemşin yolu üzerindeki inceleme konusu Tarihi Timisvat Köprüsünün tarihçesi, kesit özellikleri ve malzeme bilgisi hususlarına değinilmiştir. Bahse konu köprü; SAP2000 programı ile modellenmiş ve farklı deprem yükleri altında doğrusal dinamik analizleri yaptırılmıştır. Zaman tanım alanında yapılan analizler sonucunda her bir deprem kaydına ait yer değiştirme ve gerilme değerleri bulunmuş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Analizler sonucunda en büyük gerilmenin büyük kemerde oluştuğu, gerilme değerlerinde en yüksek değere Kobe depreminde, en düşük değere ise Anza depreminde ulaşıldığı sonucuna varılmıştır (Korkmaz vd. 2013).

Bayraktar, Altunışık, Türker, Sevim (2007) tarafından hazırlanan çalışmada; Trabzon ili Akçaabat ilçesinde bulunan inceleme konusu Şinik tarihi kemer köprüsünün tarihçesi, kesit özellikleri ve malzeme bilgisi hususlarına değinilmiştir. Teorik analizler ve deneysel ölçümler sonucu elde edilen dinamik karakteristikleri kullanılarak sonlu eleman modelinin iyileştirilmesi ve seçilen ivme kaydı için köprünün deprem davranışının belirlenmesi amaçlanmıştır. Deneysel ölçümlerde çevresel etkilerin uyarıcı olarak dikkate alındığı Operasyonel Modal Analiz yöntemi kullanılmıştır. Çalışma sonunda, yapıların deprem davranışına sonlu eleman model iyileştirilmesinin etkisi belirlenmiştir (Bayraktar vd. 2007).

Çoruhlu, Türker, Yanık, Bayraktar (2017) tarafından hazırlanan çalışmada; Sonlu Eleman Yöntemi kullanılarak tarihi taş kemer köprülerin doğal frekansları için ampirik bir formül geliştirilmeye çalışılmıştır. Uygulama olarak Doğu Karadeniz Bölgesi'nde bulunan farklı geometrik özelliklere sahip otuz adet tarihi taş kemer köprü seçilmiştir. Çalışma sonucunda, önerilen ampirik formülün köprülerin frekans değerlerinin tahmininde gerçeğe oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmüştür (Çoruhlu vd. 2017).



BÖLÜM 4

KÖPRÜLERİN TANITIMI

Bu bölümde modelleme işlemlerinde kullanılmak üzere Tarihi Konjic Köprüsü ve Tarihi Tokatlı Kemer Köprülerinin tarihçeleri, konumları, mimari ve kesit özellikleri hakkında elde edilen bilgi, resim, rölöve çizim ve projeleri sunulmuştur.

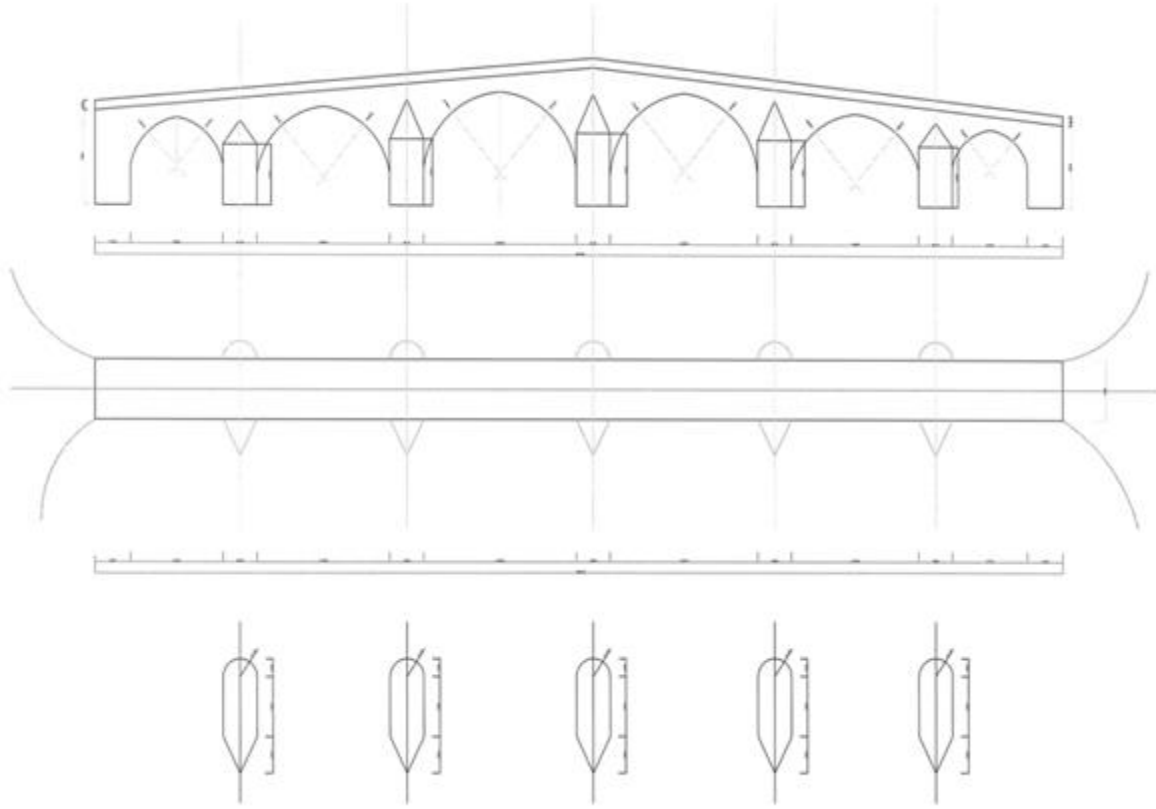
4.1 TARİHİ KONJİC KÖPRÜSÜ

4.1.1 Tarihçe

Bosna-Hersek'te Osmanlı İdaresi döneminde dini, sosyal, eğitim, ticari ve askeri amaçlı olmak üzere toplam 3.560 yapının inşa edildiği bilinmektedir. 415 yıl Osmanlı İdaresinde kalan Bosna-Hersek'te, yapılan araştırmalar sonucunda 121 adet Osmanlı köprüsünün bulunduğu tespit edilmiştir. (Sert vd. 2009).

Bugünkü Konjic Köprüsünün inşasından önce, Neretva Nehri üzerinde birçok köprünün inşa edilmiş olduğu kayıtlardan anlaşılmaktadır. 1665 yılında Konjic'i ziyaret eden Evliya Çelebi, Neretva Nehri üzerinde Karagöz Bey Köprüsü olarak anılan büyük bir ahşap köprünün varlığından söz etmiştir. 1666 yılında yıkılan ahşap köprünün yerine yapılan Konjic Köprüsü, 19. Osmanlı Padişahı Sultan IV. Mehmet'in saltanatı sırasında M.1682 yılında inşa edilmiştir. İlk yapıldığı yıllarda, nehir üzerindeki tek geçiş noktası olmasından dolayı stratejik açıdan büyük önem taşımıştır.

Konjic Köprüsü'nün tamirine ihtiyaç duyulduğunda Hacı Bali Vakfı gelirinin bu köprüye tahsis edilmesi hususunda Sultan IV. Mehmet tarafından Hersek Sancağı Beyi ve Mostar Kadısına hitaben yazılan H. 1097/M.1686 tarihli bir ferman bulunmaktadır. (Sert vd. 2009).



Şekil 4.3 Tarihi Konjic Köprüsü boyutları.

4.2 TARİHİ AŞAĞI TOKATLI KEMER KÖPRÜSÜ

4.2.1 Tarihçe

Tarihi Aşağı Tokatlı Köprüsü, Ankara Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulu'nun 15.11.1994 tarih ve 3778 sayılı kararı ile tescillenmiş ve koruma altına alınmış bir yapıdır.

Karabük İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü'nün resmi internet sitesinde Tarihi Aşağı Tokatlı Köprüsü'nün 18.Yüzyılda yaptırılmış olabileceği belirtilmektedir. Köprü ile ilgili yayınlanmış herhangi bir akademik çalışma bulunmamakla birlikte, Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan envanter fişiyle ile Kültür ve Turizm Bakanlığı tarafından hazırlanan tescil fişi köprüye ait bilgi veren az sayıda belge arasında yer almaktadır (Emek 2012).

4.2.2 Konum

Karabük İli Safranbolu İlçesi Aşağı Tokatlı mahallesi sınırları içerisinde bulunan Tarihi Aşağı Tokatlı Kemer Köprüsü Söğütlüdere Kanyonu üzerinde bulunmaktadır. Köprü akarsu yatağı üzerinde doğu-batı eksininde konumlandırılmıştır. Köprüye ait uydu görüntüsü Şekil 4.4'de gösterilmiştir.

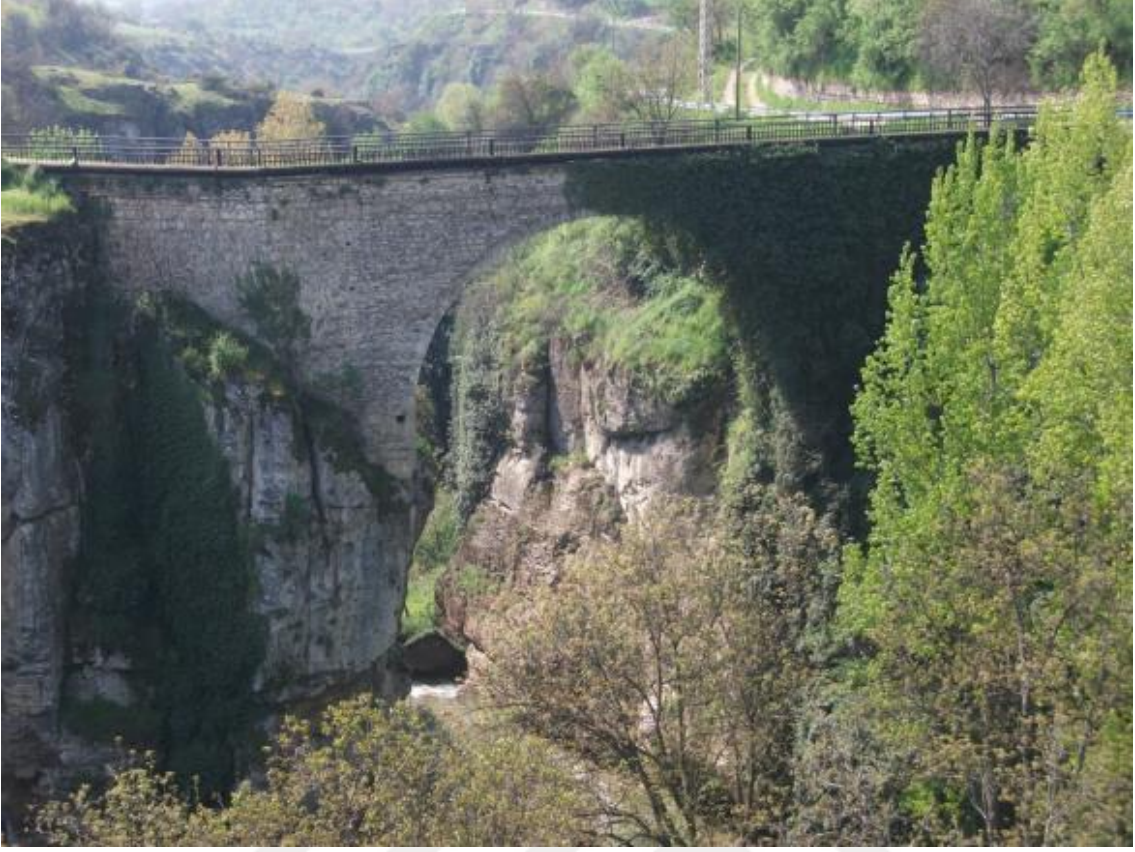


Şekil 4.4 09.07.2019 tarihli Google-Earth görüntüsü (URL-5).

4.2.3 Köprünün Mimari ve Kesit Özellikleri

Kasnak şeklinde bir kemer ve tek göze sahip köprünün kemer taşlarında düzgün ince yonu taşlar kullanılmış; tempan duvarları ve kemer karnında küçük boyutlu yöresel taş malzeme kullanılarak sıralı moloz taş tekniğinde örülmüştür. Tempan duvarının alt bölümlerinde özgün taş örgüsü görülürken üst seviyelerde farklı boyut ve cinste taş kullanılarak onarımlar yapıldığı görülmektedir.

Köprü yaklaşık 47.26 metre uzunluğunda 4.10 metre genişliğindedir. Köprü zemininden su seviyesine kadar olan yüksekliği 30.70 metredir. Doğu batı doğrultusunda uzanan köprü doğu yönünde 33.70 metre düz devam ettikten sonra güneydoğuya doğru keskin bir dönüş yaparak 13.56 metre devam etmektedir. Köprü genişliği batı girişinde 4.08 metre iken dönüşün başladığı kesimde 4.21 metreye genişleyip dönüşten sonra 3.21metreye daralmakta, daha sonra köprü çıkışına doğru tekrar genişleyerek 3.86 metreyi bulmaktadır.Basık dairesel formlu kemeri, memba cephesinde 11.54 m, mansap cephesinde 15.59 m genişliğinde; su seviyesine kadar yüksekliği 28.68 m.'dir. Köprüye ait görünüşler ve röleve çizimleri Şekil 4.5-10'da gösterilmiştir (Emek 2012).



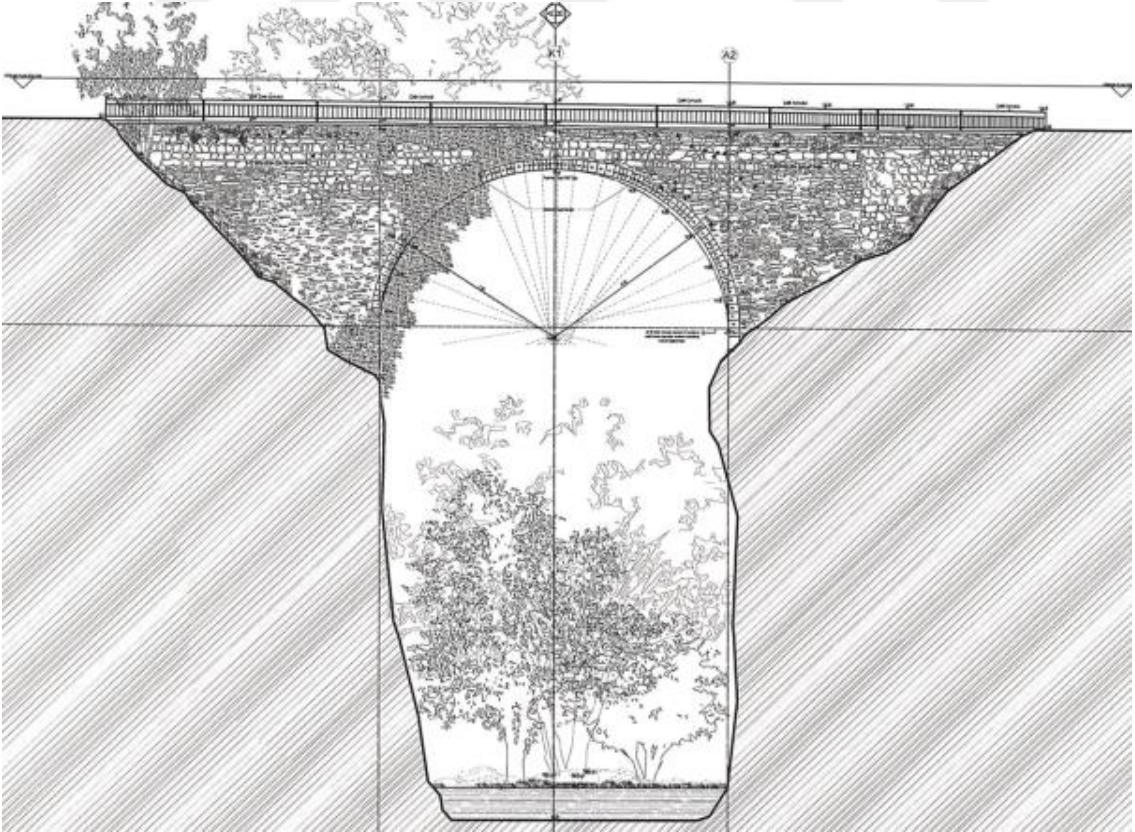
Şekil 4.5 Tarihi Aşağı Tokatlı Köprüsü membadan görünüş (Emek 2012).



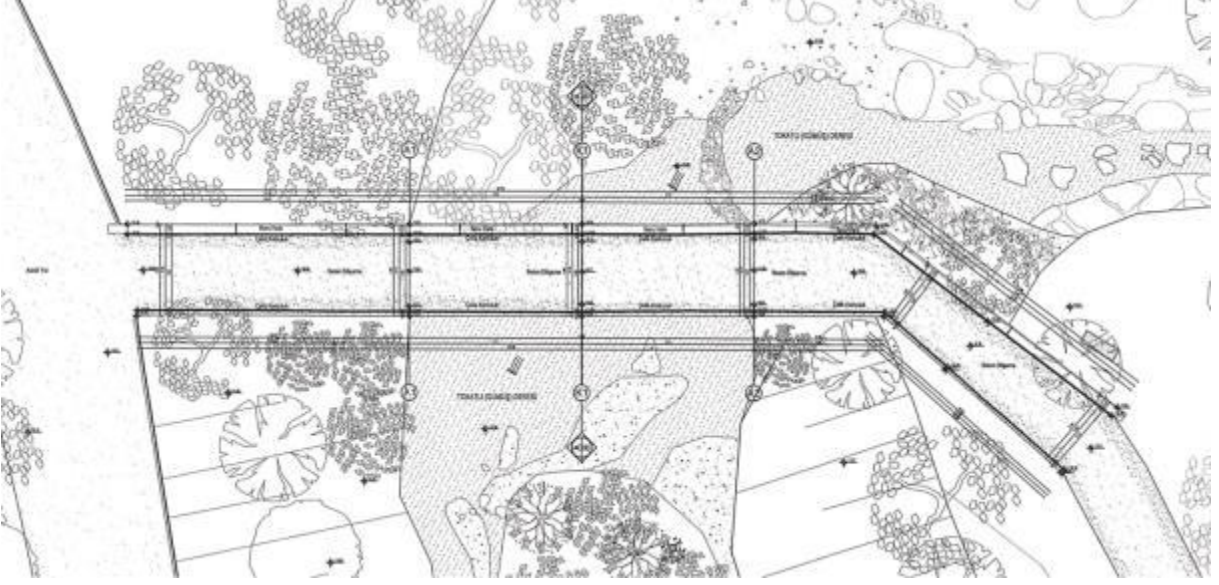
Şekil 4.6 Tarihi Aşağı Tokatlı Köprüsü mansabdan görünüş (Emek 2012).



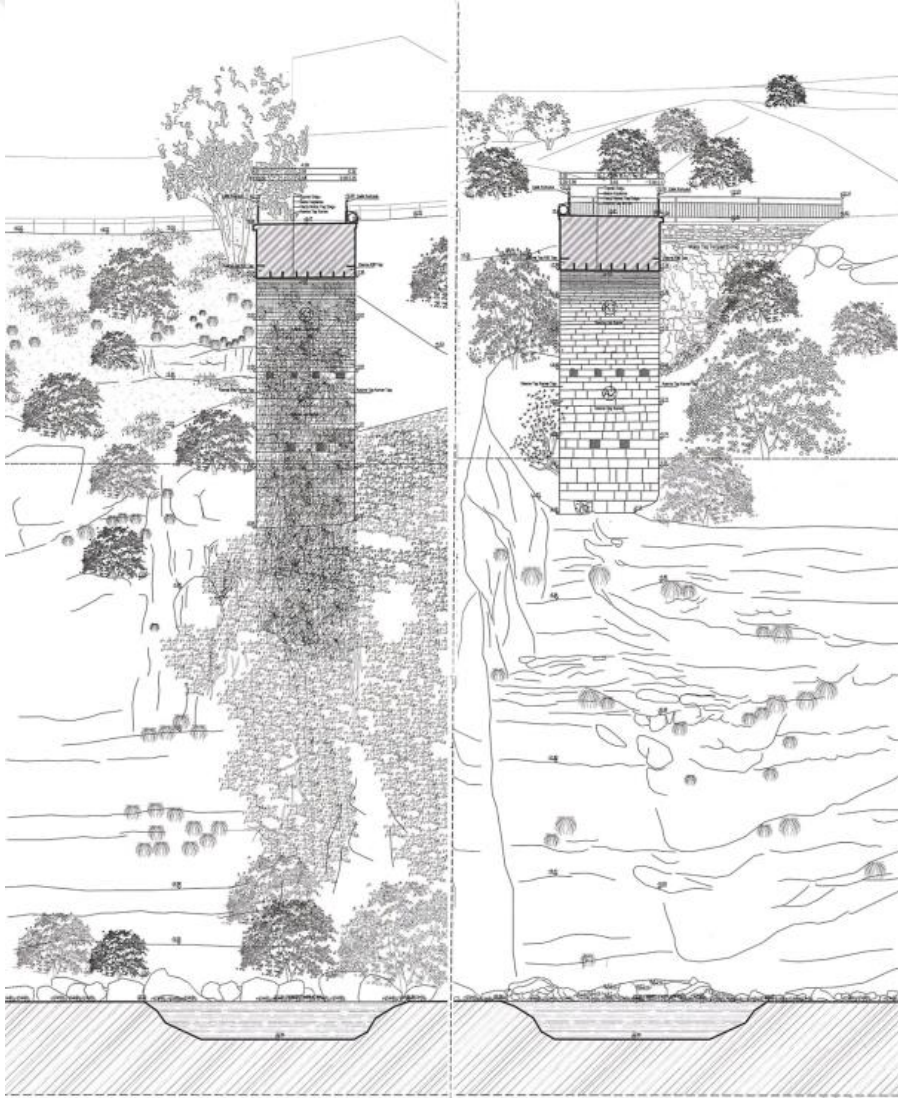
Şekil 4.7 Tarihi Aşağı Tokatlı Köprüsü üstten görünüş (Emek 2012).



Şekil 4.8 Tarihi Aşağı Tokatlı Köprüsü rölöve, membadan görünüm (Emek 2012).



Şekil 4.9 Tarihi Aşağı Tokatlı Köprüsü rölöve, üstten görünüm (Emek 2012).



Şekil 4.10 Tarihi Aşağı Tokatlı Köprüsü rölöve, kesit görünüm (Emek 2012).

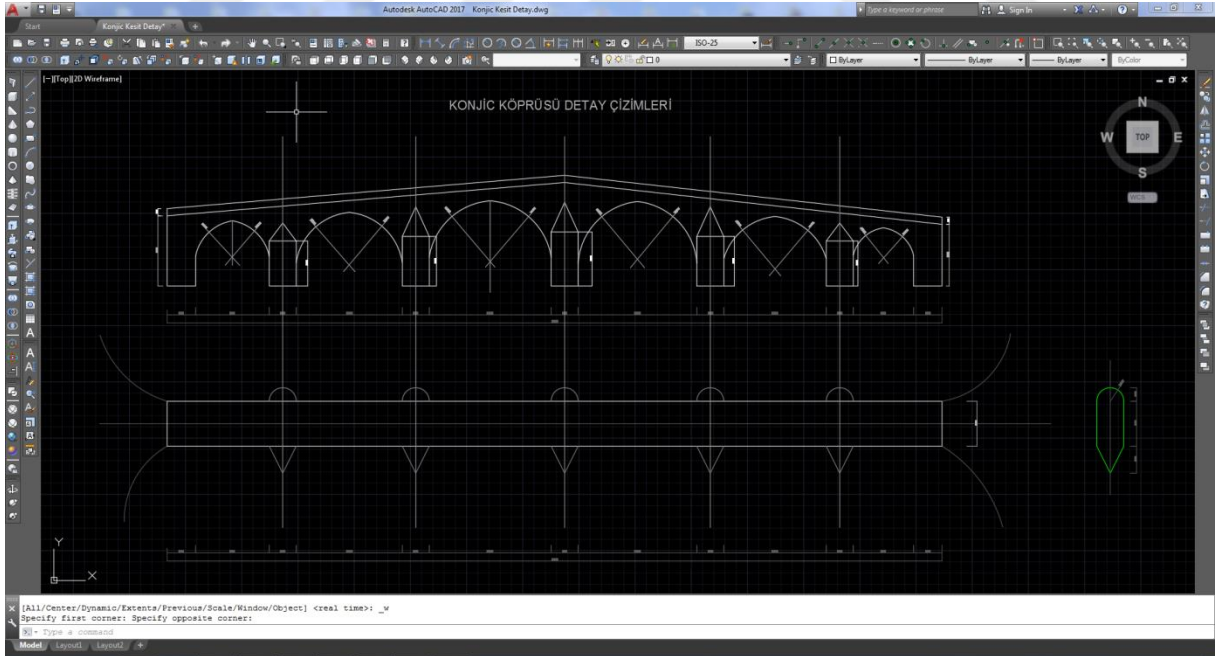


BÖLÜM 5

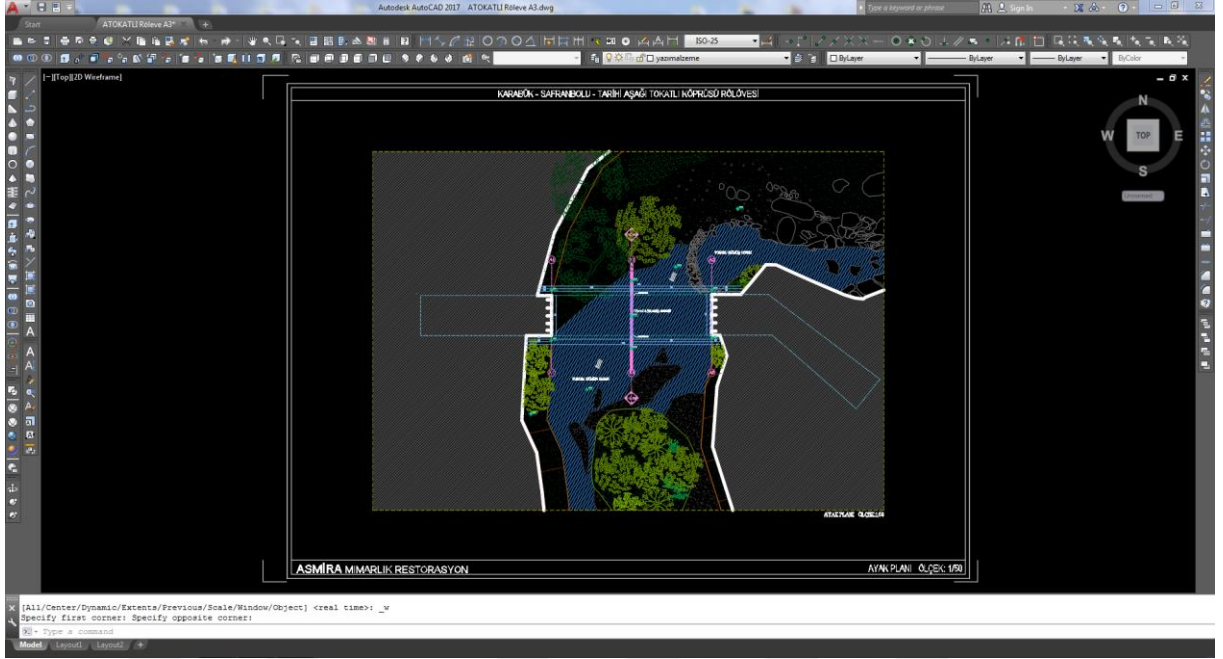
MODELLEME

Bu bölümde inceleme konusu Tarihi Konjic ve Tokatlı Kemer Köprülerinin modelleme aşamaları detaylarıyla sunulmuştur. Modelleme işlemlerinde Autocad, Solidworks ve Ansys programları kullanılmıştır. Köprülerin ilk çizimleri ve ölçülerinin tespitinde Autocad programı, köprülerin üç boyutlu modellenmesinde Solidworks programı ve oluşturulan üç boyutlu modellerin statik ve dinamik analizlerinin yapılmasında Ansys programından yararlanılmıştır.

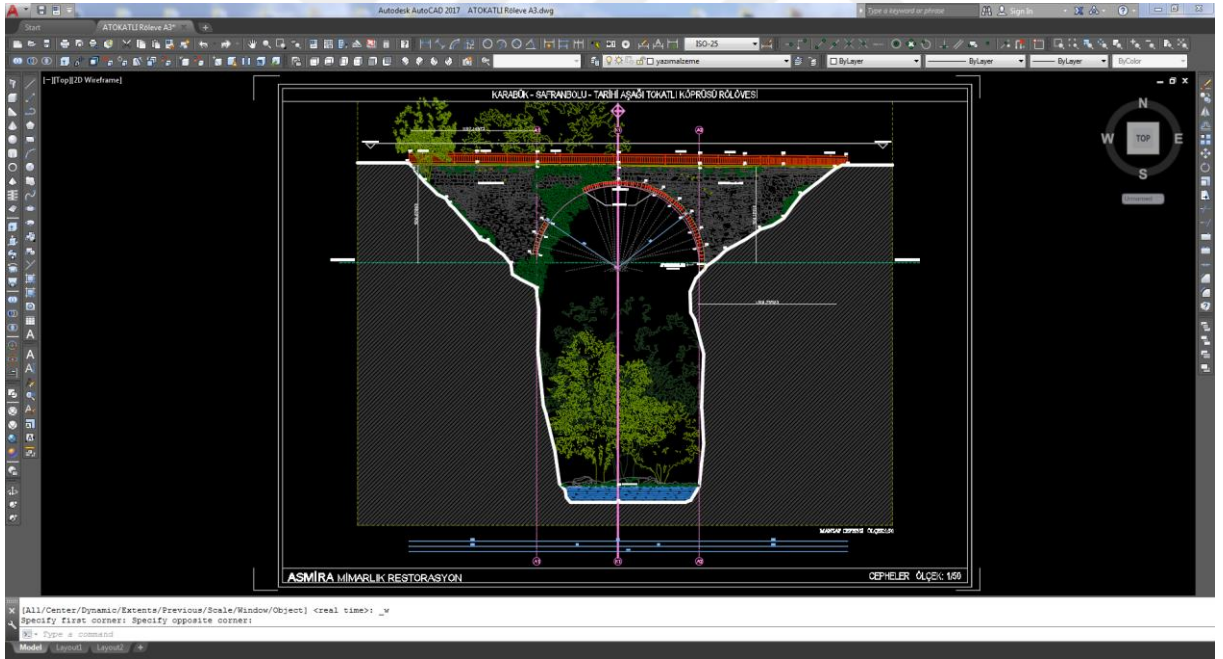
Köprülerin modelleme çalışmasına ilk önce köprülerin gerçeğe en yakın mimari ölçüleri belirlenerek ve bu ölçüler üzerinden Autocad yardımı ile hazırlanan rölövenin oluşturulması ile başlanılmıştır. Hazırlanan rölöve çizimleri Şekil 5.1-3'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Konjic Köprüsü rölöve (Autocad Programı).

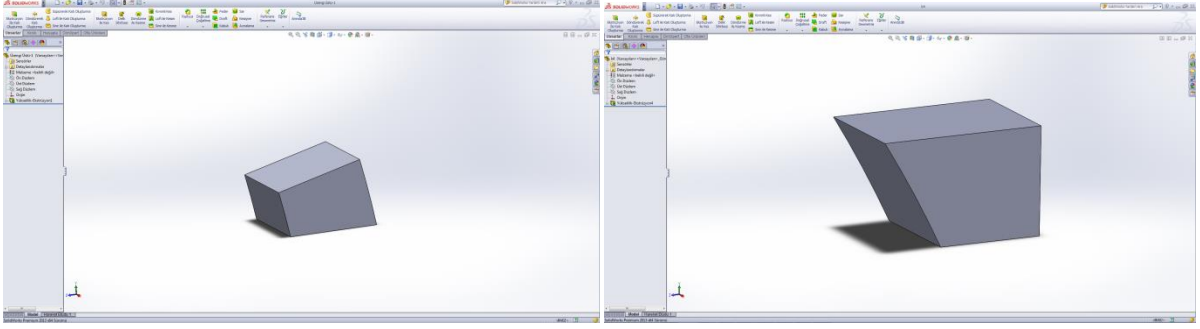


Şekil 5.2 Tokatlı Köprüsü rölöve üstten (Autocad Programı).

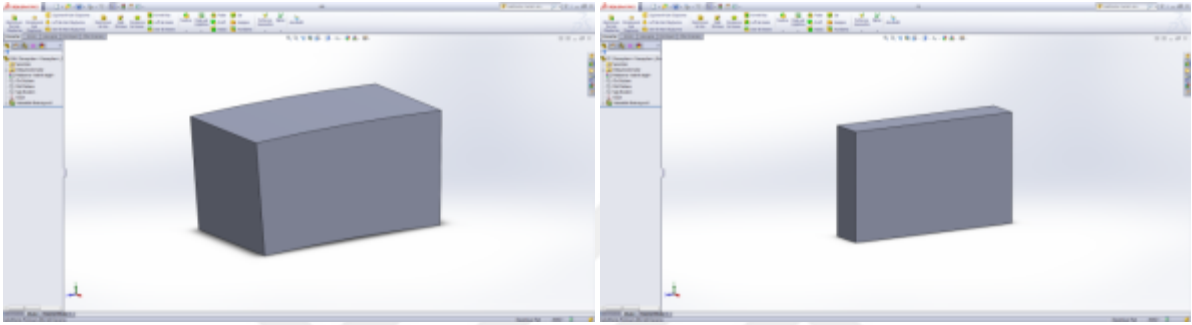


Şekil 5.3 Tokatlı Köprüsü rölöve yandan (Autocad Programı).

Oluşturulan rölöve sonrası, burada belirlenen ölçüler referans alınarak Solidworks programında ilk şablon çizimler hazırlanmıştır. Şablon çizim, köprüyü oluşturan kısımlara ait binlerce sayıda alt elemanın oluşturulmasında referans olarak kullanılmıştır. Hazırlanan şablon çizimleri Şekil 5.4-5'de gösterilmiştir.

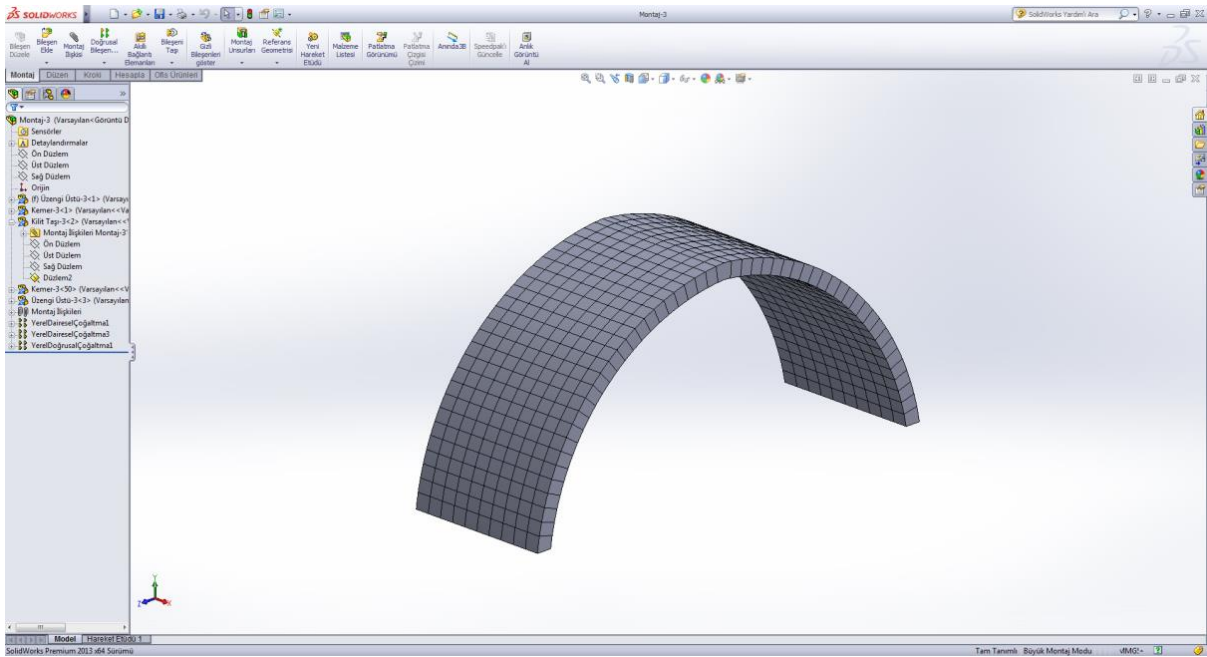


Şekil 5.6 Konjic Köprüsü alt eleman oluşturulması (Solidworks Programı).

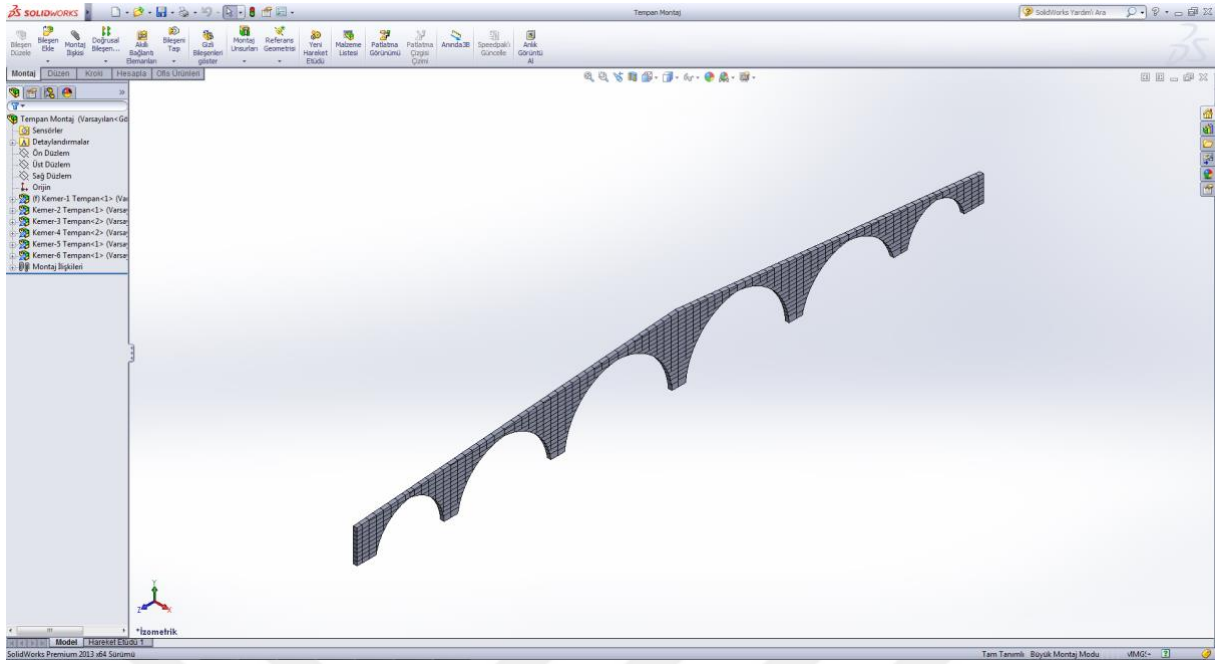


Şekil 5.7 Tokatlı Köprüsü alt eleman oluşturulması (Solidworks Programı).

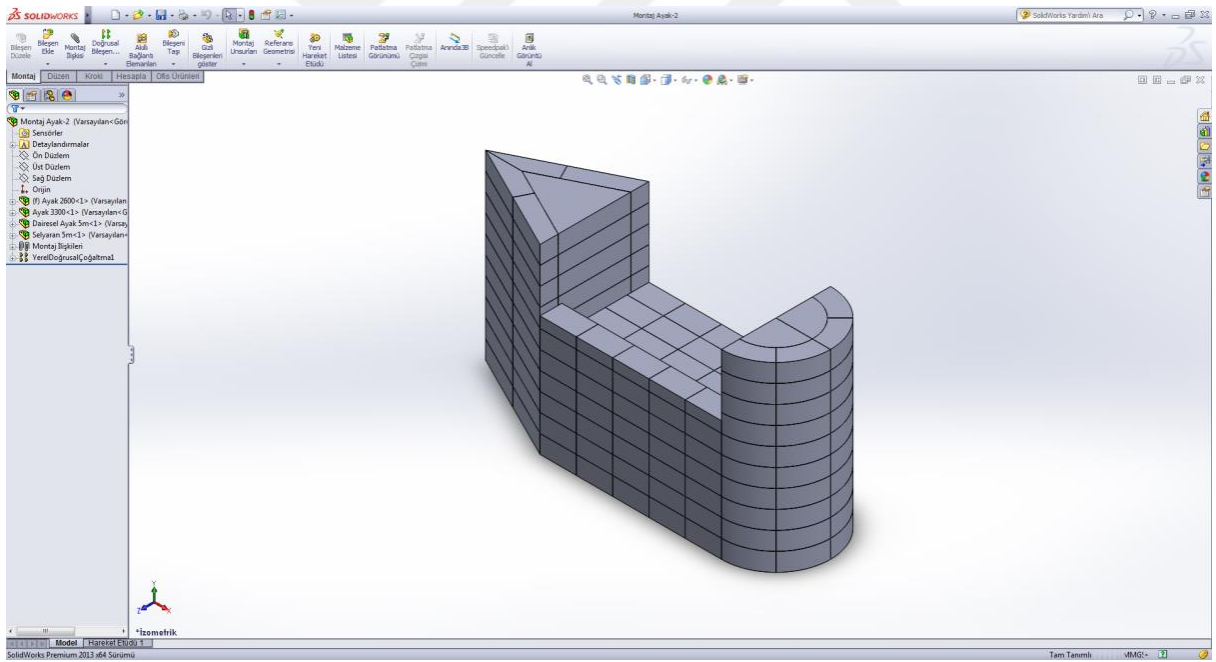
Ayrı ayrı tasarlanarak oluşturulan alt elemanlar, köprülerin geometrisine uygun şekilde Solidworks programında alt montajları yapılarak, köprülerin ana kısımları oluşturulmuştur. Oluşturulan köprülere ait ana kısımlar Şekil 5.8-13'de gösterilmiştir.



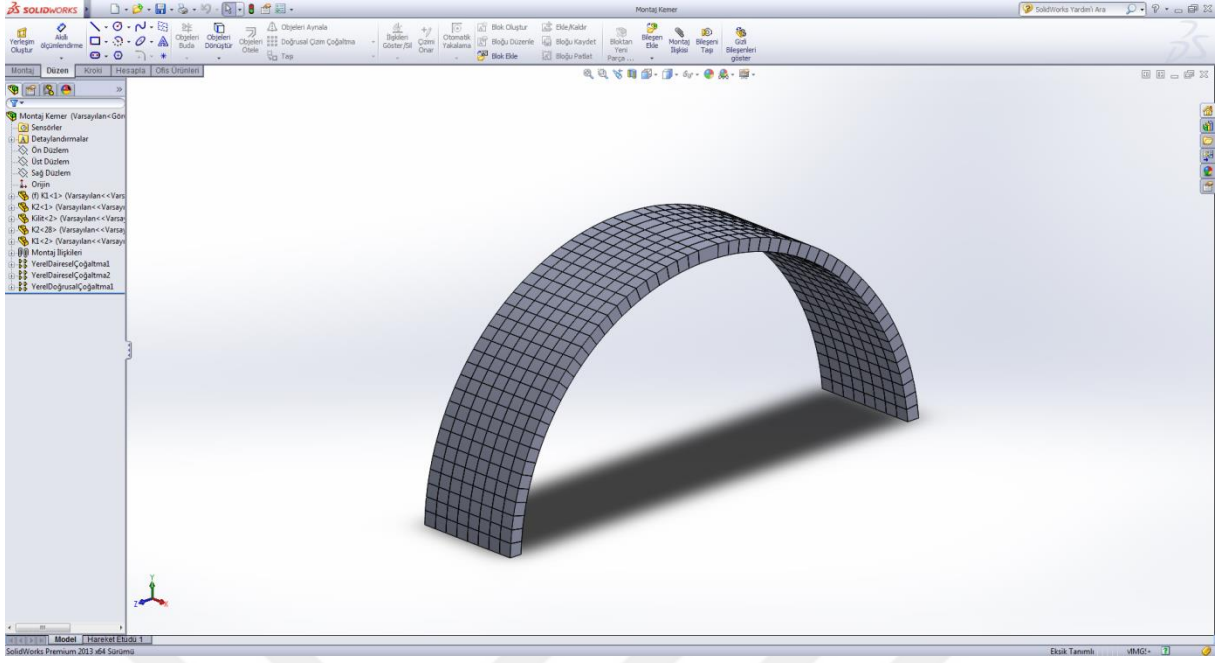
Şekil 5.8 Konjic Köprüsü kemerin oluşturulması (Solidworks Programı).



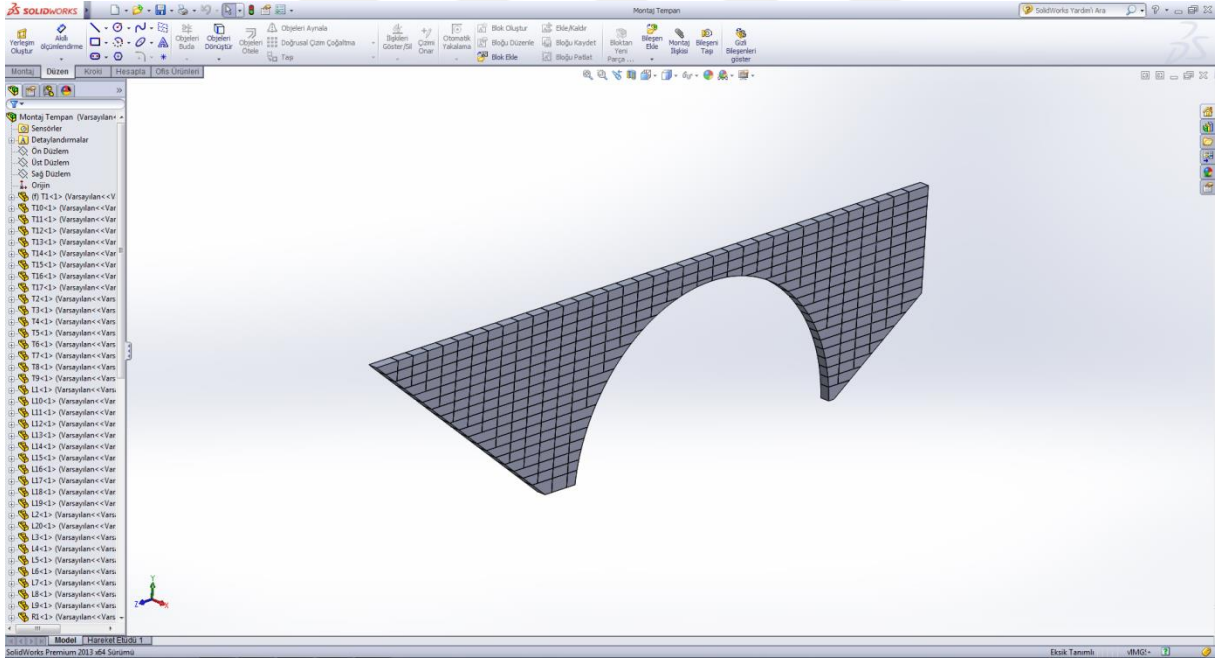
Şekil 5.9 Konjic Köprüsü tempanın oluşturulması (Solidworks Programı).



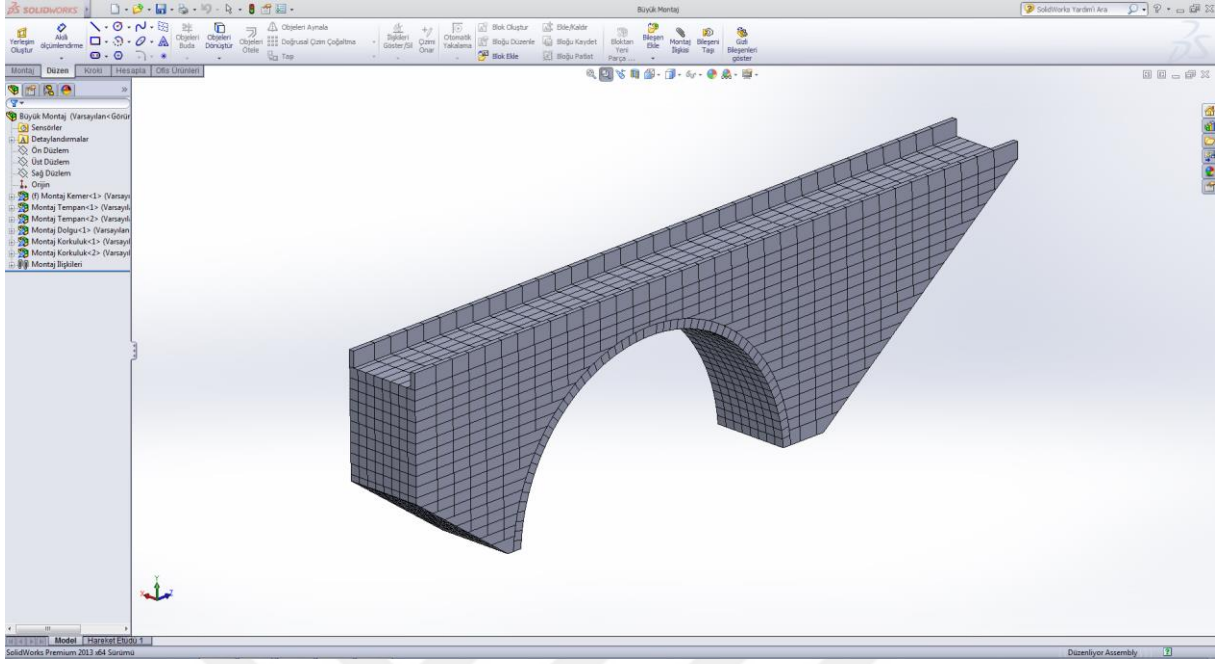
Şekil 5.10 Konjic Köprüsü ayakların oluşturulması (Solidworks Programı).



Şekil 5.11 Tokatlı Köprüsü kemerin oluşturulması (Solidworks Programı).



Şekil 5.12 Tokatlı Köprüsü tempanın oluşturulması (Solidworks Programı).



Şekil 5.15 Büyük montajı yapılmış Tokatlı Köprüsü (Solidworks Programı).

Solidwork programı yardımıyla hazırlanan üç boyutlu köprü modelleri binlerce adet alt elamanın birleştirilmesi sonucunda hazırlanmıştır. Köprü modellerini oluşturan alt eleman sayıları Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 Köprü modelleri alt eleman sayıları.

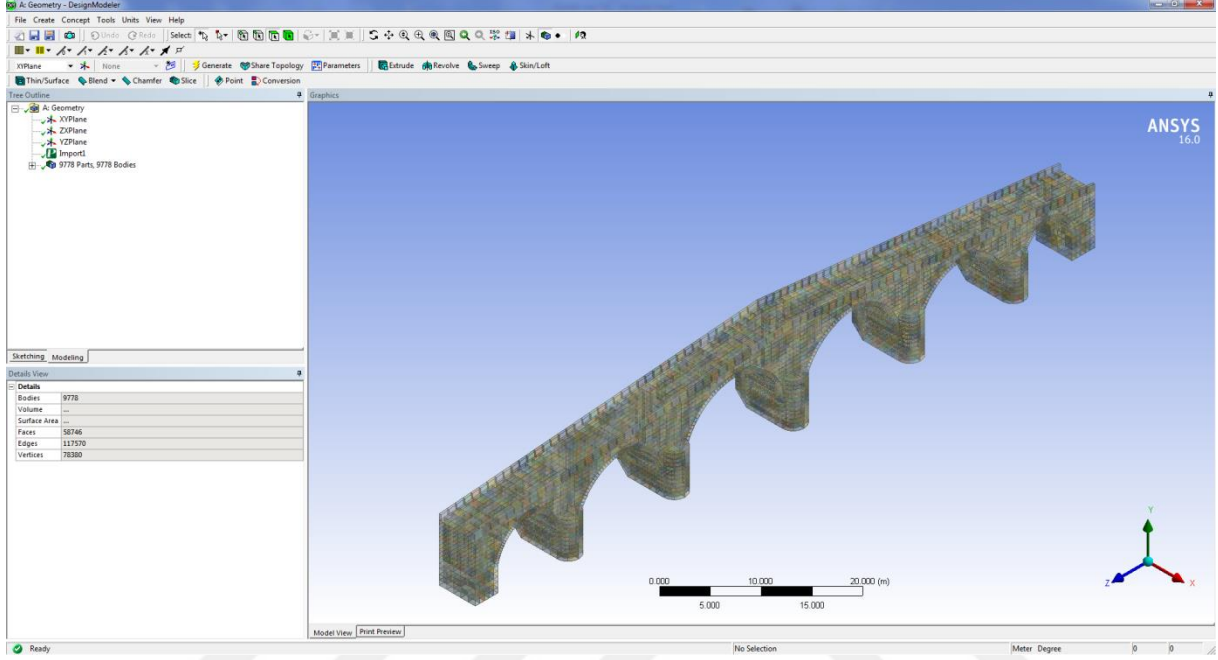
	Konjic Köprüsü (Adet)	Tokatlı Köprüsü (Adet)
Alt Eleman Sayısı	9778	3176

Solidworks Programı ile hazırlanan köprü modelleri statik ve dinamik analizlerinin yapılabilmesi için Ansys Programında tanımlanmıştır.

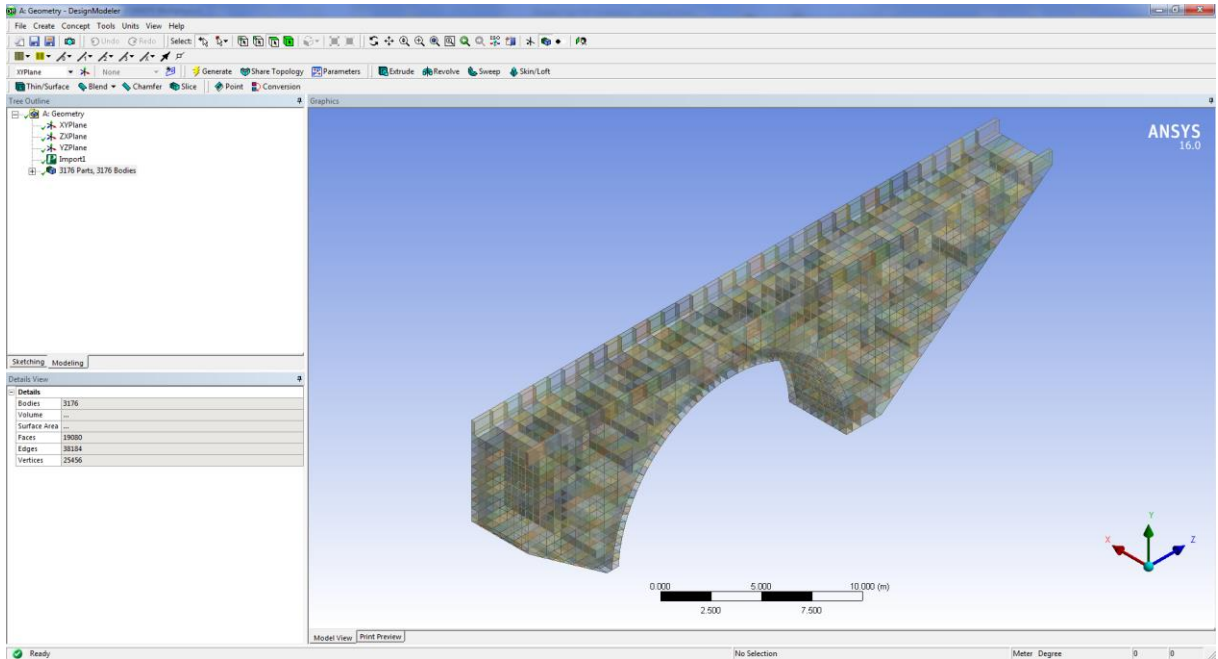
Ansys Programı, Solidworks de hazırlanmış tasarımların farklı yük ve sınır şartları altında statik ve dinamik analizlerinin yapılmasına imkan tanımaktadır. Bu çalışmanın yapılabilmesi için Ansys programında, geometrinin tanımlanması, geometriyi oluşturan alt elemanların bağlantılarının tanımlanması, geometriyi oluşturan malzemelerin sınıflandırılması ve malzeme özelliklerinin tanımlanması, malzeme özellikleri belli geometrinin sonlu elemanlara bölünerek (Mesh İşlemi) tanımlanması, geometrinin sınır şartlarının tanımlanması, analizin

hangi yük altında yapılacağını belirlenmesi ve son olarak analiz yaptırılması işlemlerin yapılması gerekmektedir.

Çalışmaya ilk önce Solidworks de hazırlanmış geometrilerin Ansys programına aktırılması ile başlanılmıştır. Köprü modellerinin programa aktırılması Şekil 5.16-17'de gösterilmiştir.



Şekil 5.16 Konjic Köprü modelinin aktırılması (Ansys Programı).



Şekil 5.17 Tokatlı Köprü modelinin aktırılması (Ansys Programı).

Ansys programında tanımlanmış geometriyi oluşturan alt elemanın hespi köprünün farklı bir kısmında bulunmakta olup bu kısımlarda bulunan malzemelerin fiziksel özellikleri de birbirinden farklıdır.

Tarihi kemer köprüde yaygın olarak doğal taş malzemeler kullanılmıştır. Bilinen en eski yapı malzemelerinden olan Taş, uzun ömürlü olması istenilen yapıların inşasında özellikle tercih edilmiştir. Tarihi yapılarda taşın yaygın olarak kullanılmasının nedeni, kolay temin edilebilir olması ve her bölgede bulunuyor olmasındandır (Ünay 2002, Mahrebel'den 2006).

Doğal taş, taşıma gücü ve basınç dayanımı yüksek; çekme dayanımı zayıf olan bir malzemedir. Bu özelliğinden dolayı, yalnız basınç kuvveti alan kemerler, tonozlar ve kubbelerde kullanılması uygundur. Basınç yüklerini alan duvarlar ve ayaklar da taş malzemeden yapılmıştır. Basınç altında bazı taşların deformasyonu, betonla benzer özellikler gösterir. Betonun elastisite modülü $E = (14\sim30) \times 10^3$ MPa iken, granitin elastisite modülü $E = (15\sim70) \times 10^3$ MPa mertebesindedir. Elastisite modülünün bilinmesi, taşıyıcı elemanın yüklenmesi sonucu yaptığı sehim hesabı için gereklidir. Çizelge 5.2'de doğal yapı taşlarının ortalama fiziksel özellikleri gösterilmiştir (Çamlıbel 2000, Mahrebel'den 2006).

Çizelge 5.2 Doğal yapı taşlarının ortalama fiziksel özellikleri (Mahrebel 2006).

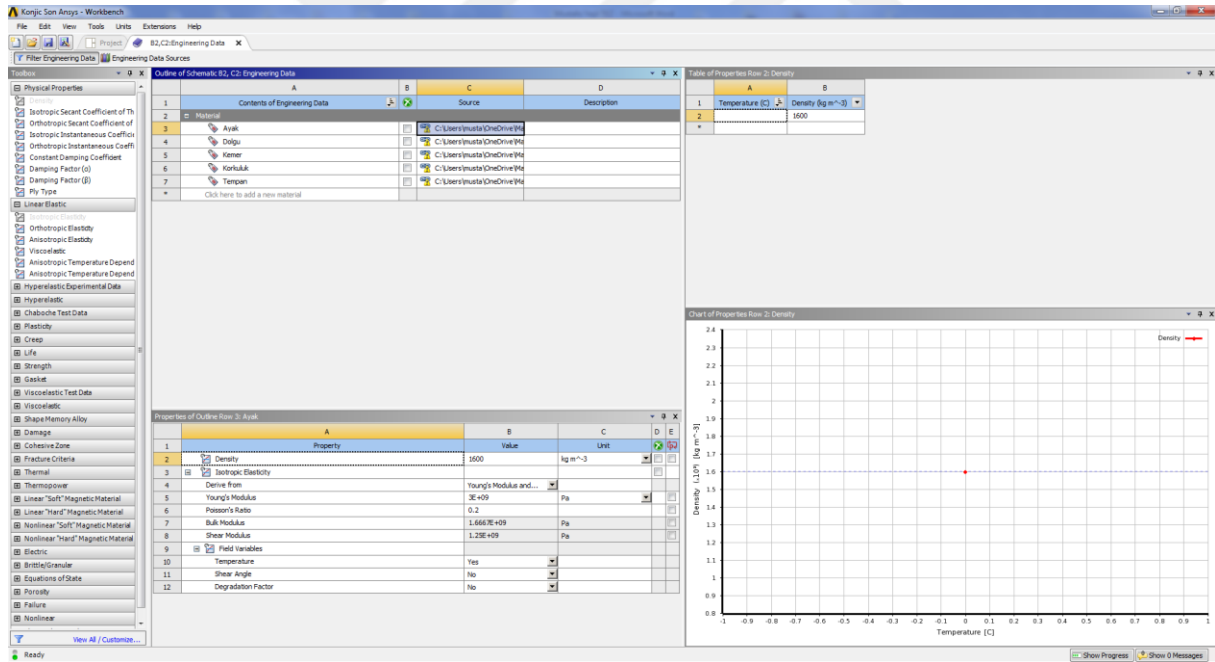
Taşın Cinsi	Basınç Dayanımı (Mpa)	Kayma Dayanımı (Mpa)	Çekme Dayanımı (Mpa)	Elastisite Modülü (Mpa)
Granit	30-70	14-33	4-7	15000-70000
Mermer	25-65	9-45	1-15	25000-70000
Kireç Taşı	18-65	6-20	2-6	10000-55000
Kum Taşı	5-30	2-10	2-4	13000-50000
Kuvars	10-30	3-10	3-4	15000-55000
Serpartin	7-30	2-10	6-11	23000-45000

Herhangi bir yapının davranışlarının analizinde malzeme özellikleri büyük önem taşımaktadır. İncelenen yapıların tarihi yapı olması malzeme özelliklerinin tespitini oldukça zorlaştırmaktadır. Konu ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, analiz için kullanılacak malzeme özelliklerinin birbirine benzer yaklaşık değerler alınarak çözüldüğü görülmüştür. Bu çalışmada da tarihi yapının analizlerinde kullanılacak malzeme özellikleri aşağıdaki Çizelge 5.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.3 Köprü modellerinde kullanılan malzeme özellikleri.

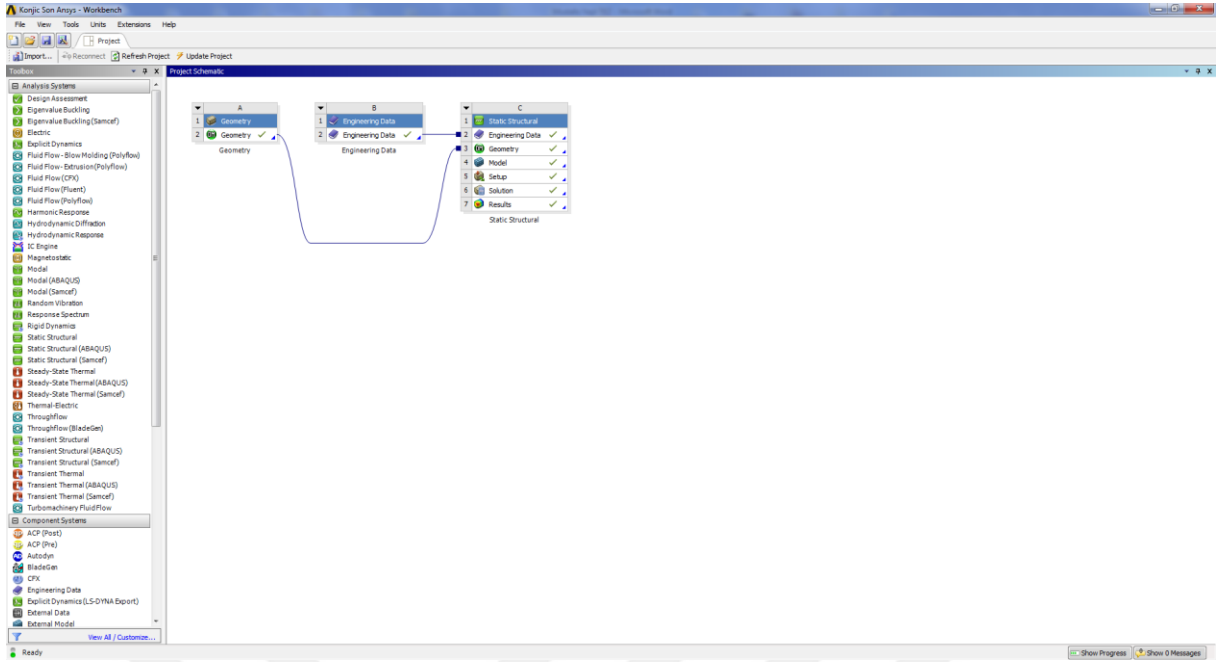
Malzeme	Elastisite Modülü (N/m ²)	Poisson Oranı	Yoğunluk (kg/m ³)
Kemer	3.00x10 ⁹	0,20	2400
Tempan	2.50x10 ⁹	0,20	2400
Korkuluk	3.00x10 ⁹	0,20	2400
Dolgu	1.50x10 ⁹	0,05	1600
Ayak	3.00x10 ⁹	0,20	2400

Ansyes Programı üzerindeki Engineering Data sekmesi ile model üzerinde bulunan ve daha önceden litaretür araştırması ile karakteristik özellikleri belirlenmiş Elastisite Modülü, Poisson Oranı ve Yoğunluk değerleri için; Ayak, Dolgu, Kemer, Korkuluk ve Tempan malzeme grupları oluşturulmuştur. Malzeme gruplarının oluşturulması Şekil 5.18'de gösterilmiştir.

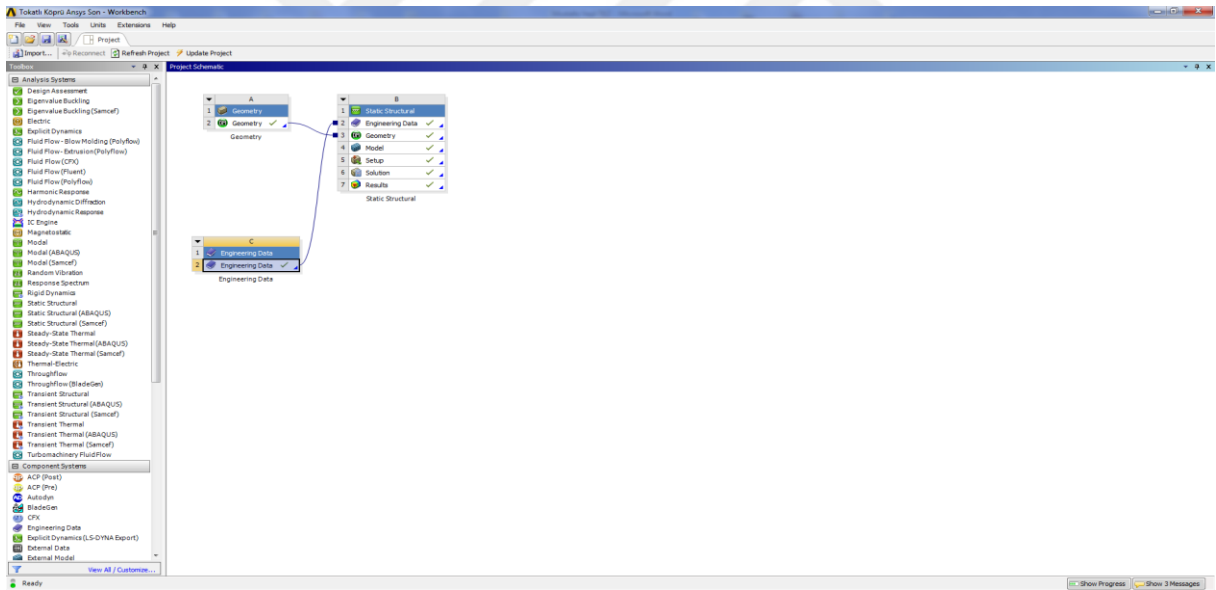


Şekil 5.18 Malzeme gruplarının oluşturulması (Ansys Programı).

Köprü modellerinin analize hazırlanması için Static Strucural sekmesi altında yeni bir işlem başlatılmıştır. Önceden Ansys programına aktarılmış Geometri ve malzeme gruplarının oluşturulduğu Engineering Data verileri bu işlem altında birleştirilmiştir. Köprülerin analize hazırlanması işlemi 5.19-20'de gösterilmiştir.

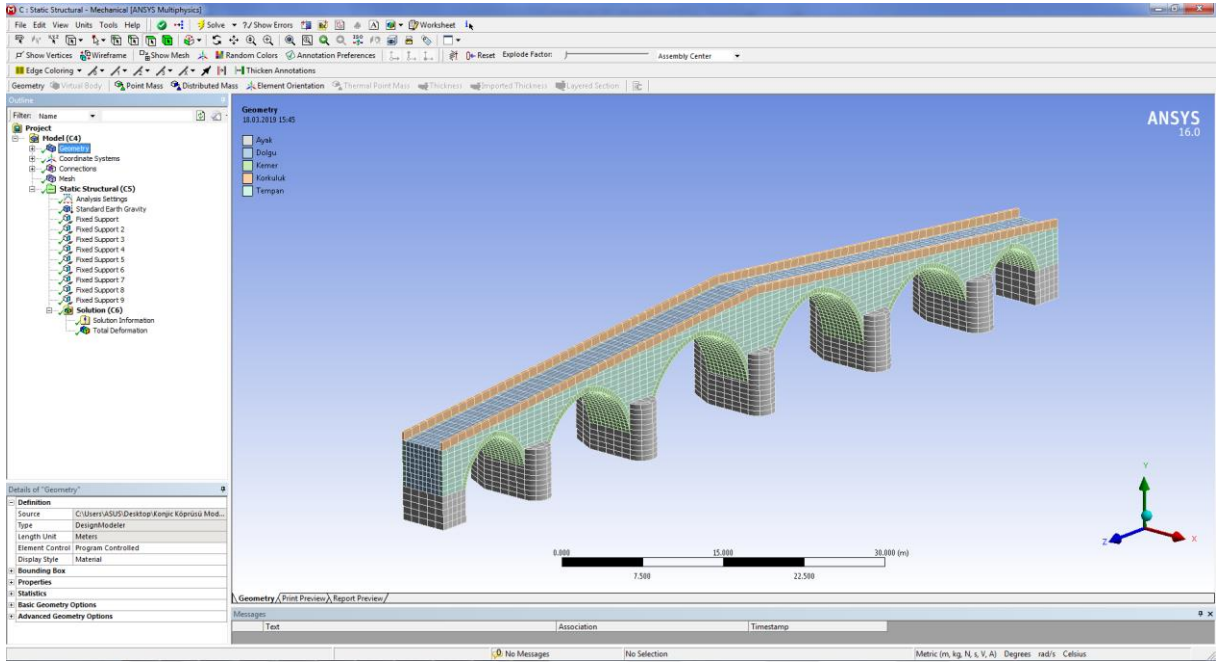


Şekil 5.19 Konjic Köprüsünün analize hazırlanması (Ansys Programı).

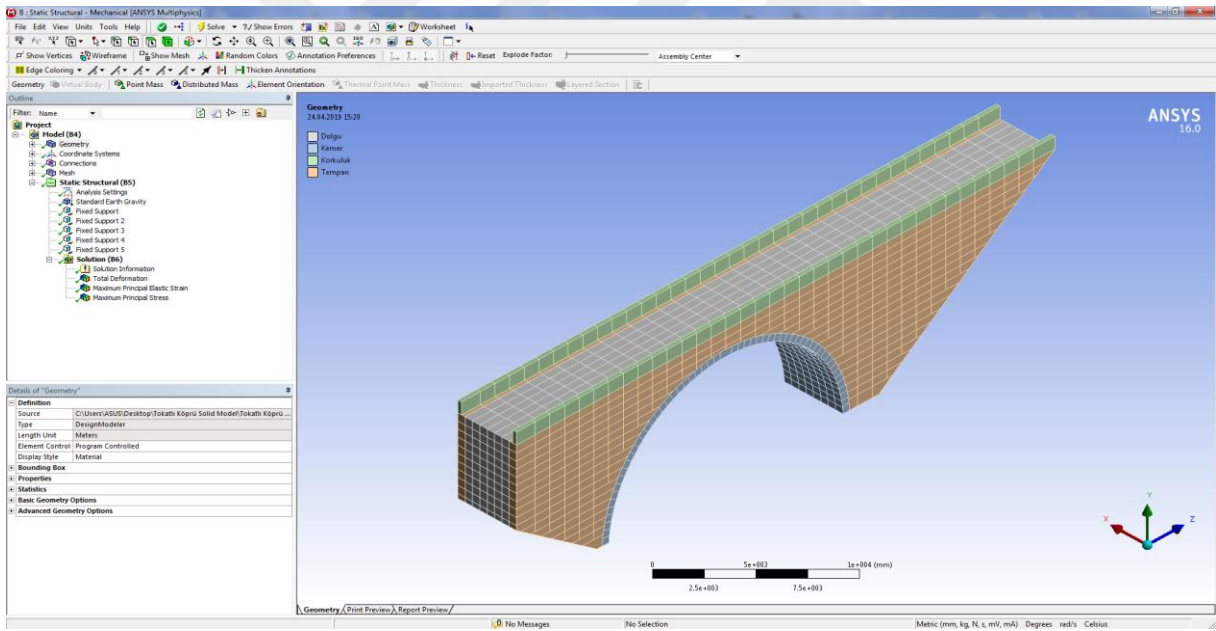


Şekil 5.20 Tokatlı Köprüsünün analize hazırlanması (Ansys Programı).

Köprülerin geometrisini oluşturan alt elemanların önceden oluşturulmuş malzeme grupları içinde uygun düşün malzeme bilgisi ile tanımlanması gerekmektedir. Modelleri oluşturan tüm alt elemanlar ayrı ayrı seçilerek olması gereken malzeme grubuna tanımlanmıştır. Program arayüzünde farklı malzeme grubu için farklı bir renk tonu seçilmiştir. Köprü bileşenlerini oluşturan malzeme gruplarının model üzerindeki görünümü Şekil 5.21 ve Şekil 5.22'de görülmektedir.

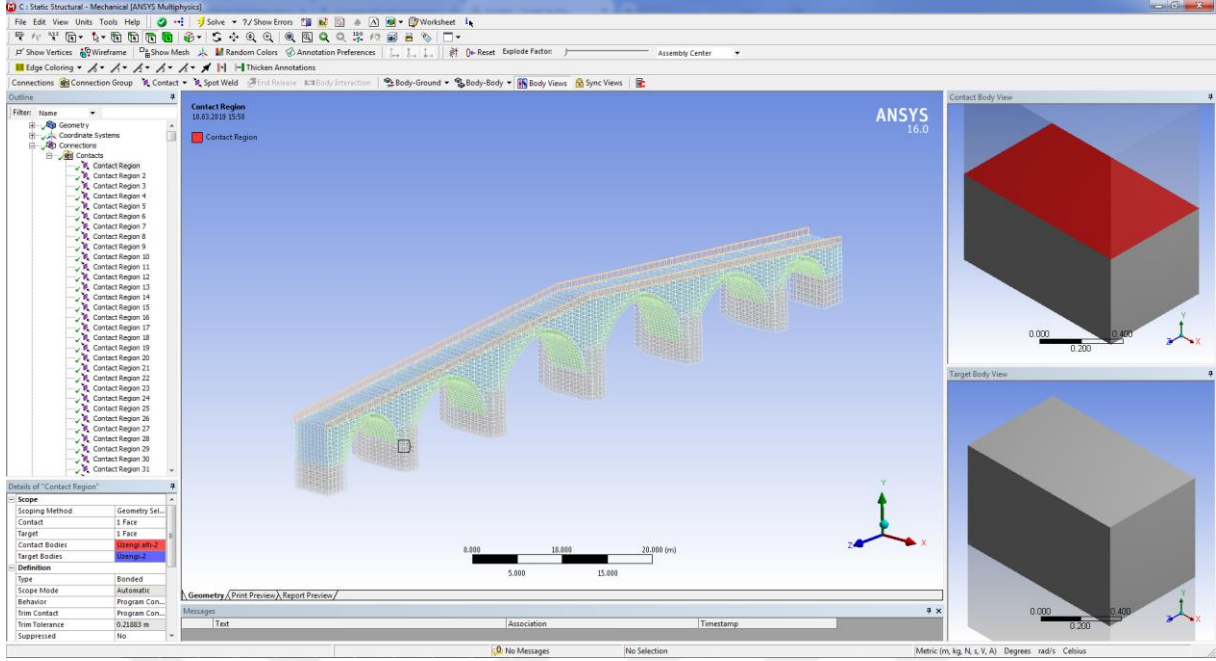


Şekil 5.21 Konjic Köprüsü malzeme gruplarının atanması (Ansys Programı).

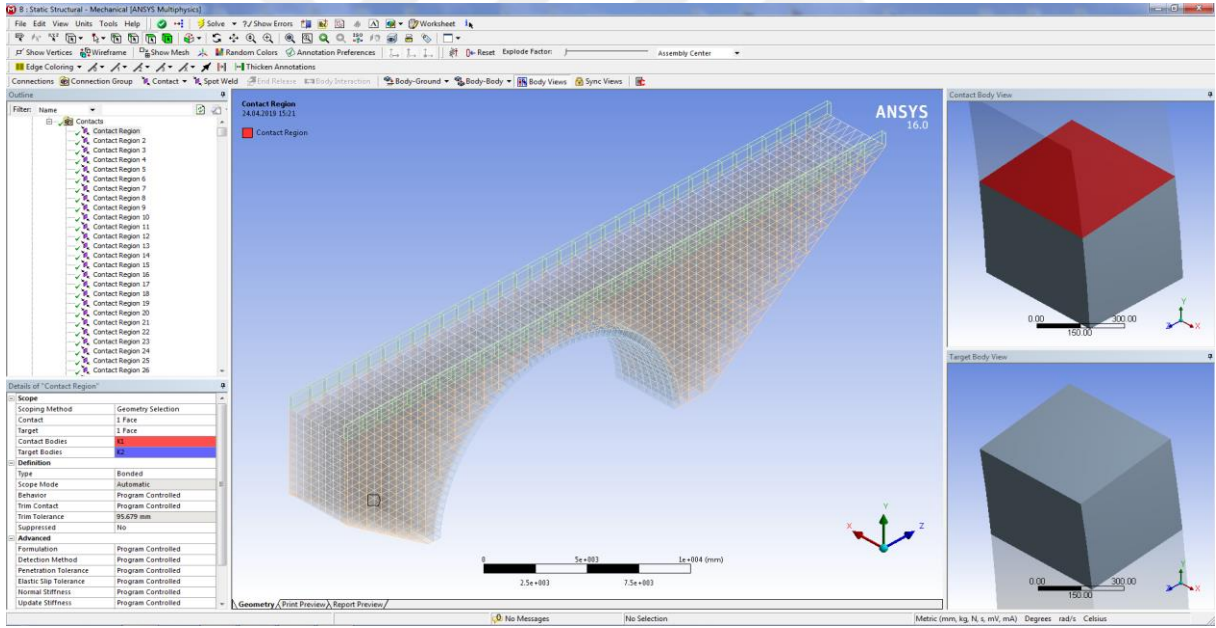


Şekil 5.22 Tokatlı Köprüsü malzeme gruplarının atanması (Ansys Programı).

Malzeme bilgisi tanımlanmış köprü modellerini oluşturan alt elemanların birbiri ile olan bağlantıları program üzerindeki Connection sekmesi üzerinden düzenlenmiştir. Gerçek yapı koşulları dikkate alınarak tüm alt elemanların birbirileri olan bağlantısı "Bonded" (Bağlı) olacak şekilde tanımlanmıştır. Alt eleman bağlantılarının tanımlanması işlemi Şekil 5.23-24'de gösterilmiştir.



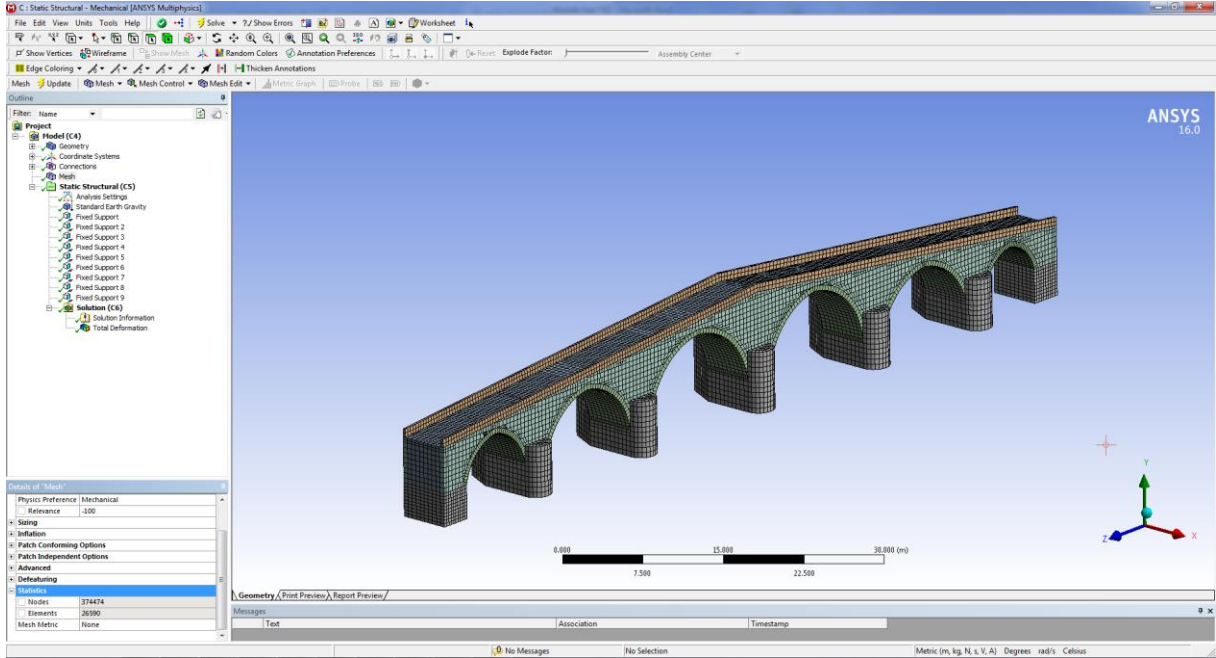
Şekil 5.23 Konjic Köprüsü alt eleman bağlantılarının tanımlanması (Ansys Programı).



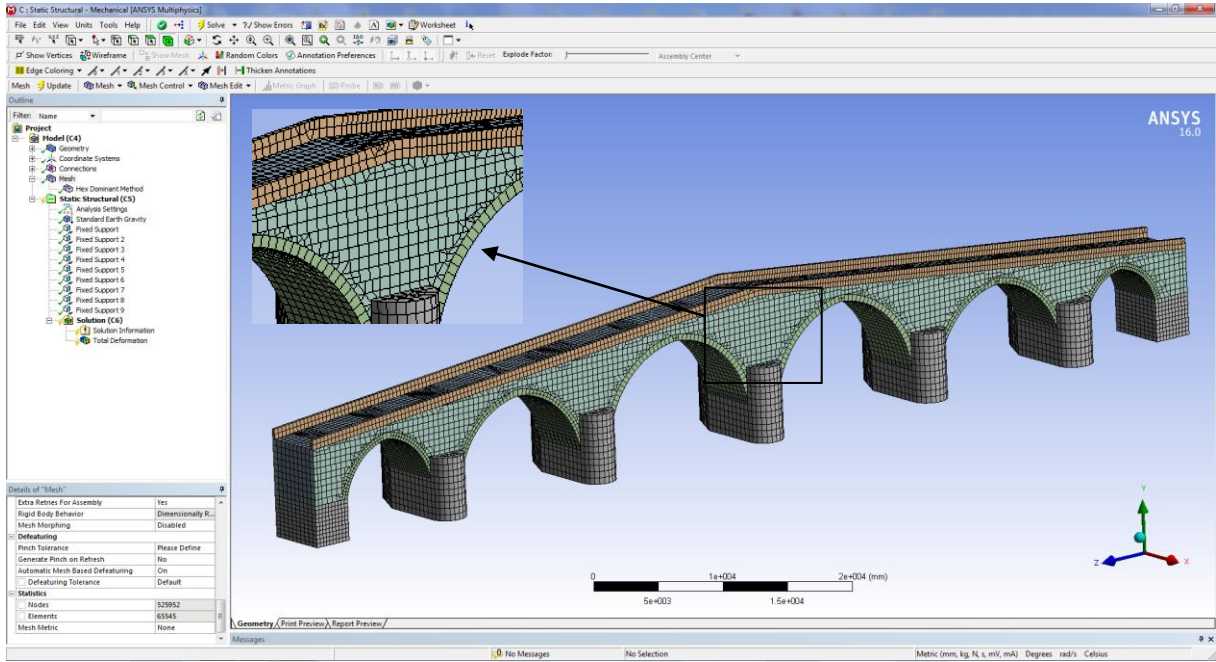
Şekil 5.24 Tokatlı Köprüsü alt eleman bağlantılarının tanımlanması (Ansys Programı).

Modelin oluşturulmasında bir sonraki adım köprü kısımlarını oluşturan alt elemanların, daha küçük ve tanımlanabilir boyutlardaki elemanlara bölünmesidir. Bu işlem program üzerindeki Mesh sekmesi üzerinden düzenlenmiştir. Bu işlem ile köprü modelini oluşturan tüm alt elemanlar, analiz için daha küçük sonlu elemanlara bölünmektedir.

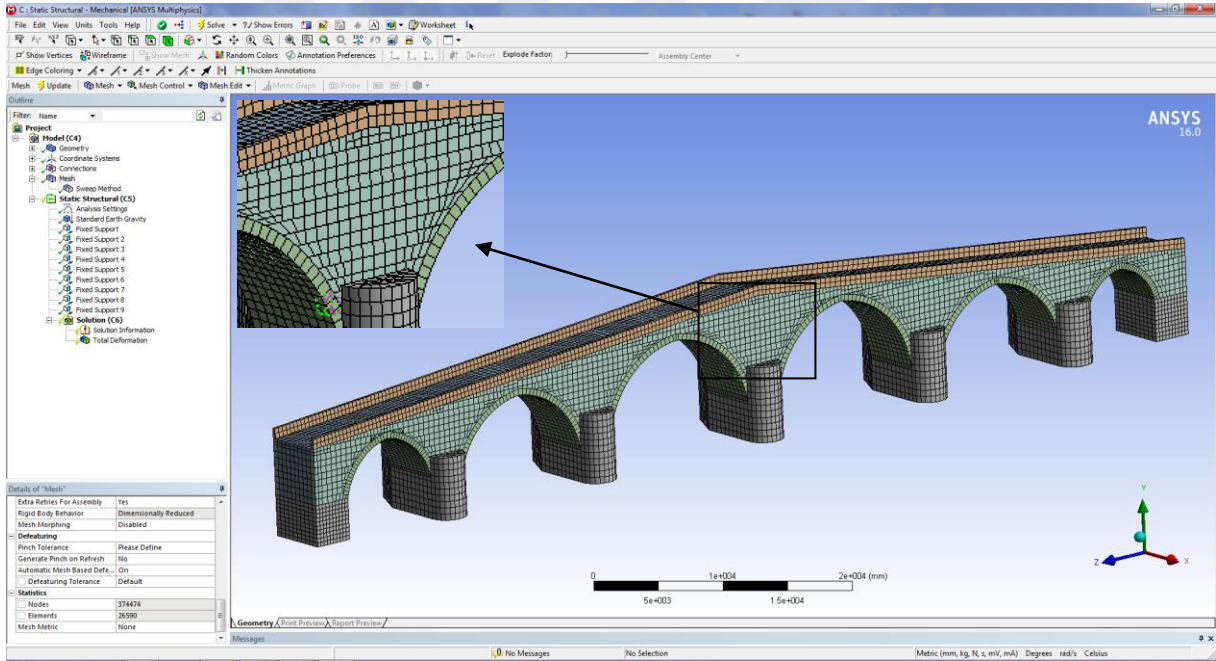
Program üzerinde ayrıca bir ayar yapılmadığında program Automatic ayar üzerinden kendisi Mesh işlemini yapmaktadır. Programda Mesh sekmesi altında Method sekmesi üzerinden Mesh ayarları ve Mesh metodu değiştirilebilmektedir. Programda farklı olarak uygulanabilecek dört ayrı Mesh Yöntemi bulunmakta olup bunlar Hex Dominant, Sweep, Multizone ve Tetrahedrons olarak isimlendirilmiştir. Bu Mesh Yöntemleri, sonlu elamanlar oluşturulurken kullandıkları dürtgensel veya üçgensel geometrik şekiller ile birbirinden ayrılmaktadır. Program üzerindeki tüm Mesh versiyonları üzerinden Mesh işlemi yapılmış, her Mesh işlemi için oluşan eleman sayısı ve düğüm noktası sayısı tablo halinde gösterilmiştir. Farklı mesh yöntemlerine göre köprü modellerinin mesh şekilleri aşağıdaki Şekil 5.25-34’de gösterilmiştir.



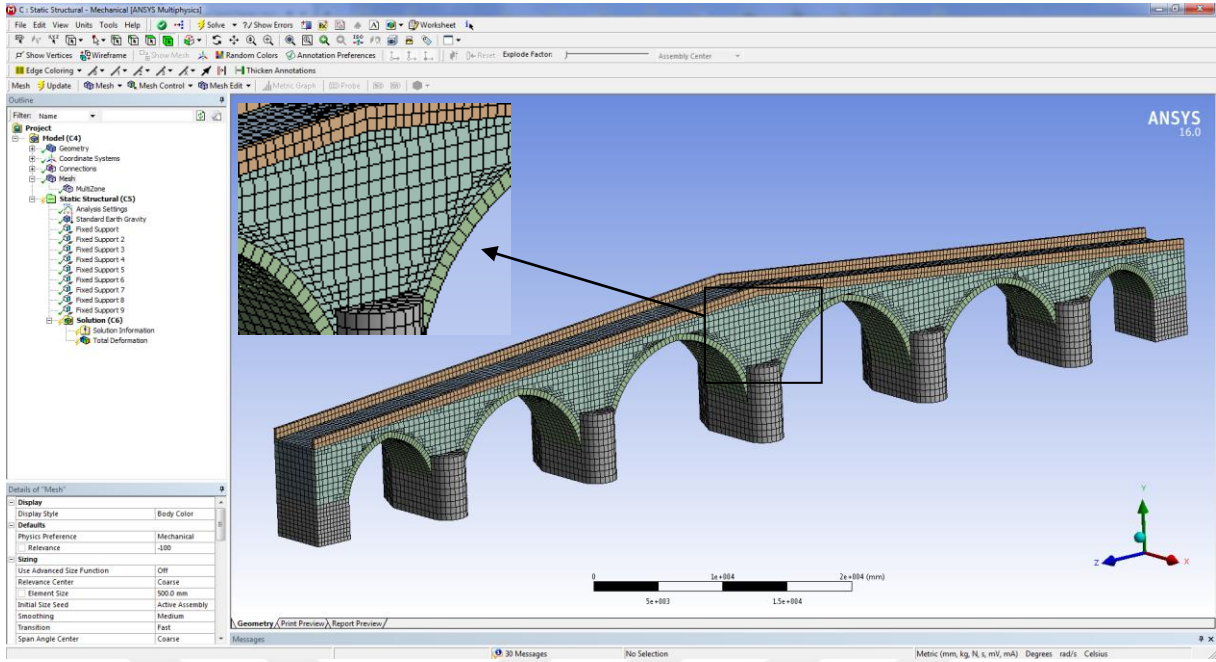
Şekil 5.25 Kojic Köprüsü mesh işlemi (Automatic) (Ansys Programı).



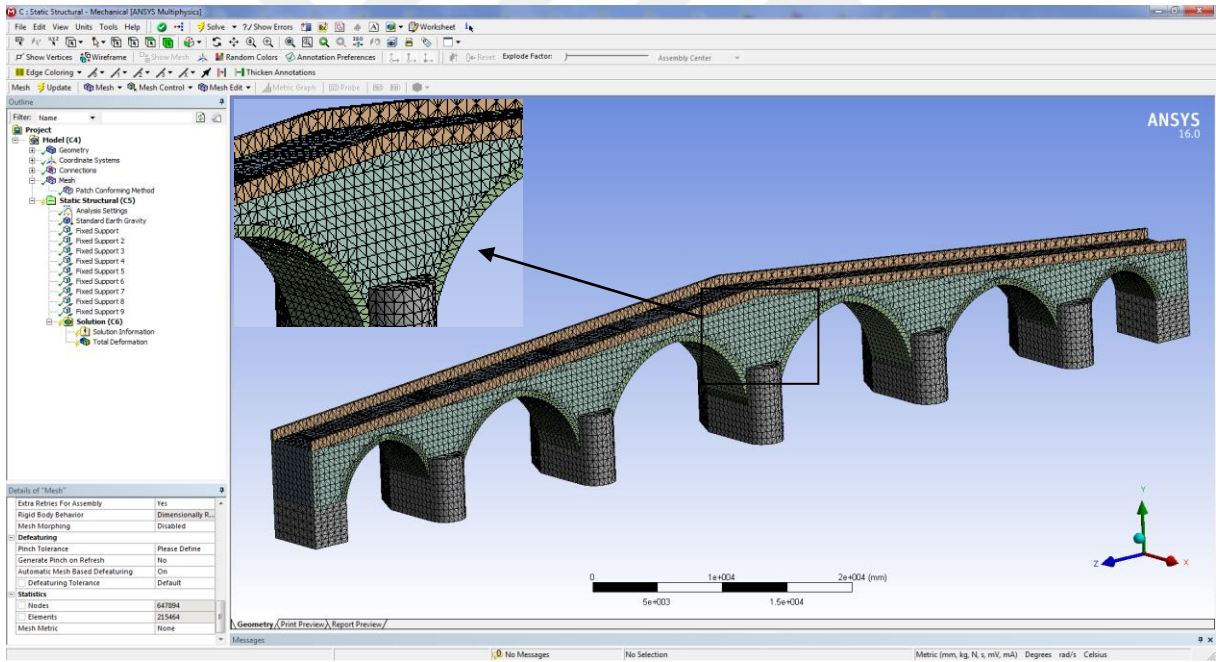
Şekil 5.26 Kojic Köprüsü mesh işlemi (Hex Dominant) (Ansys Programı).



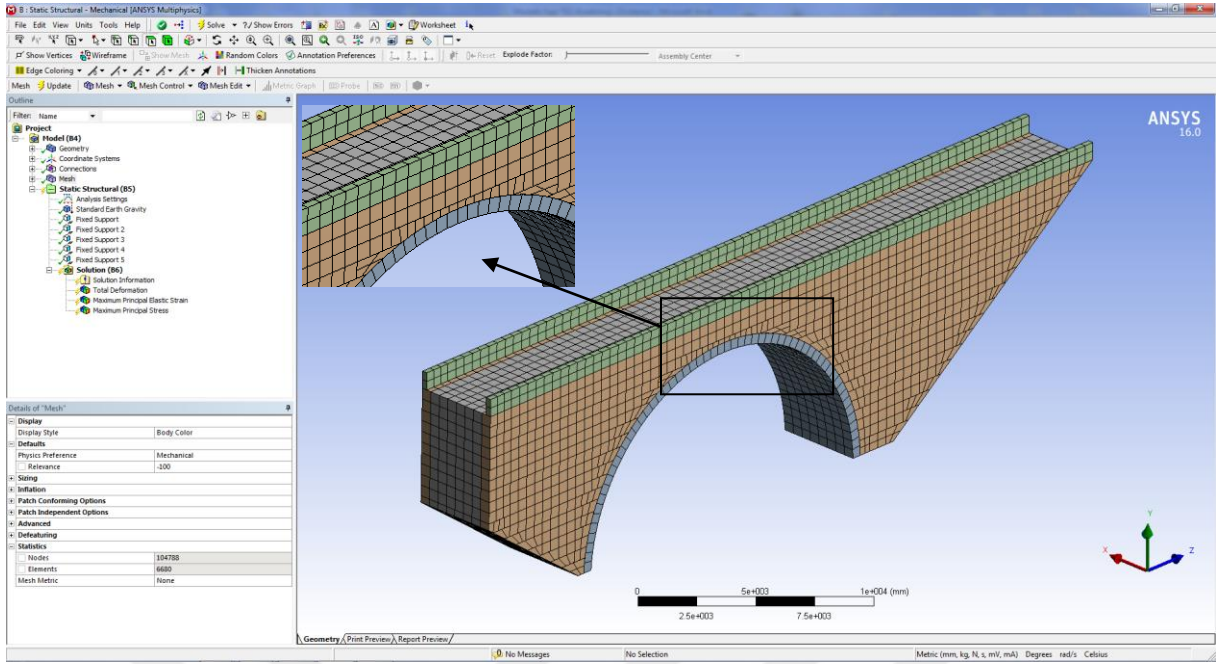
Şekil 5.27 Kojic Köprüsü mesh işlemi (Sweep) (Ansys Programı).



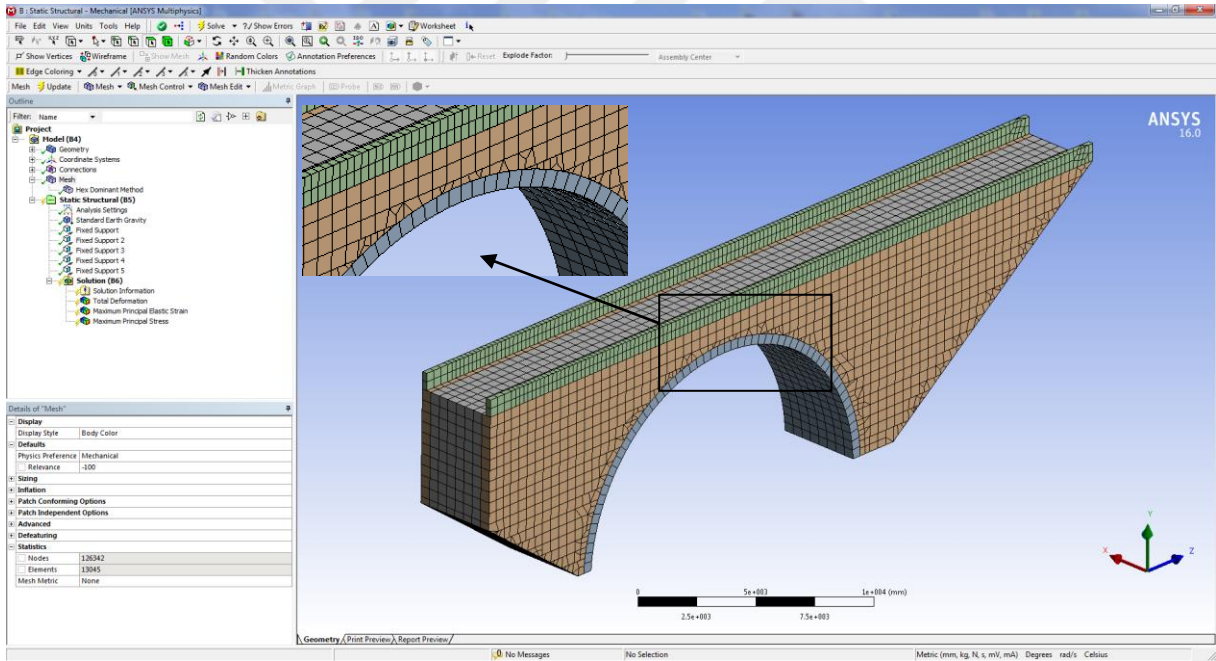
Şekil 5.28 Kojic Köprüsü mesh işlemi (Multizone) (Ansys Programı).



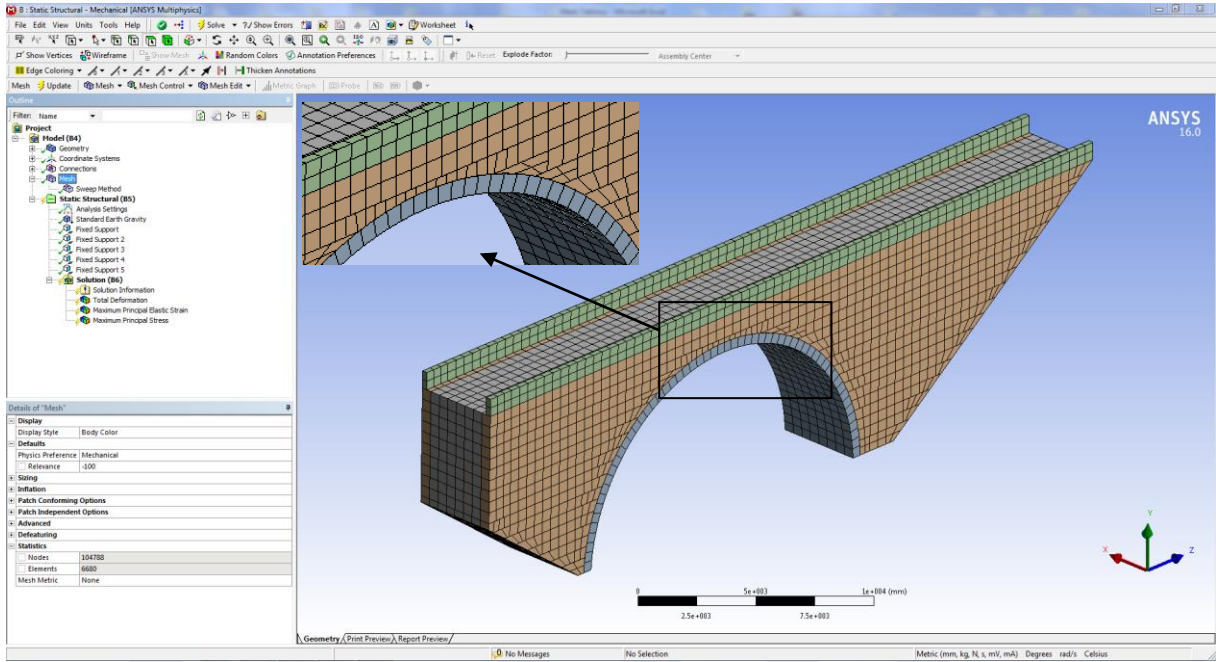
Şekil 5.29 Kojic Köprüsü mesh işlemi (Tetrahedrons) (Ansys Programı).



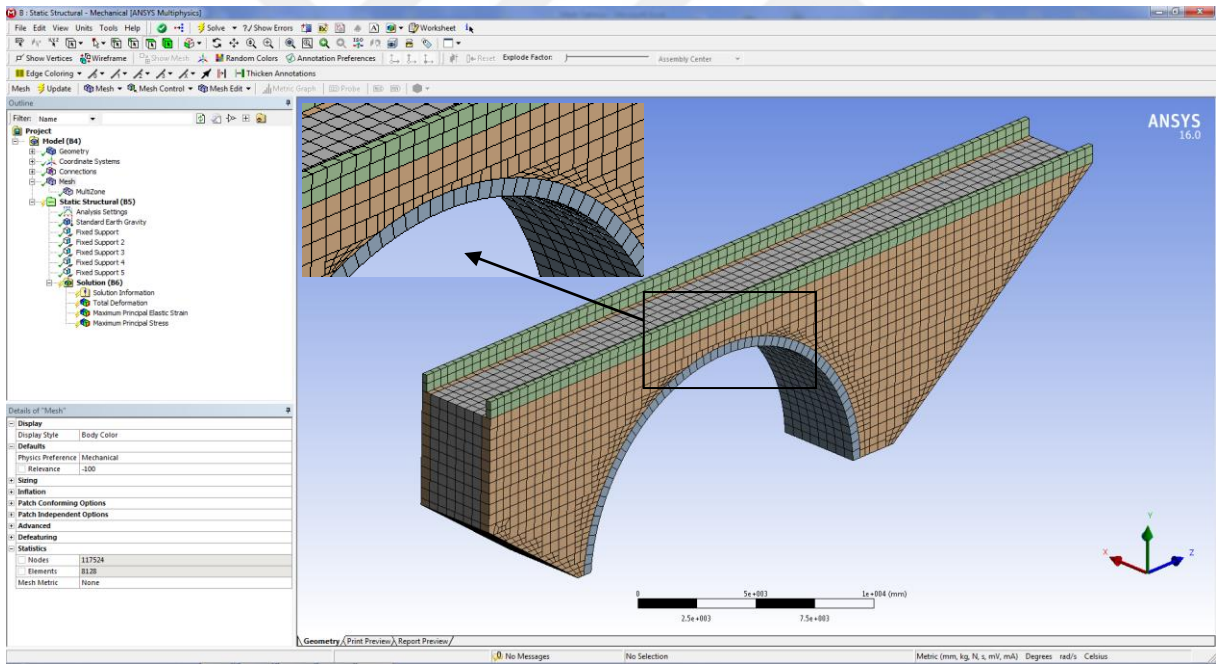
Şekil 5.30 Tokatlı Köprüsü mesh işlemi (Automatic) (Ansys Programı).



Şekil 5.31 Tokatlı Köprüsü mesh işlemi (Hex Dominant) (Ansys Programı).



Şekil 5.32 Tokatlı Köprüsü mesh işlemi (Sweep) (Ansys Programı).

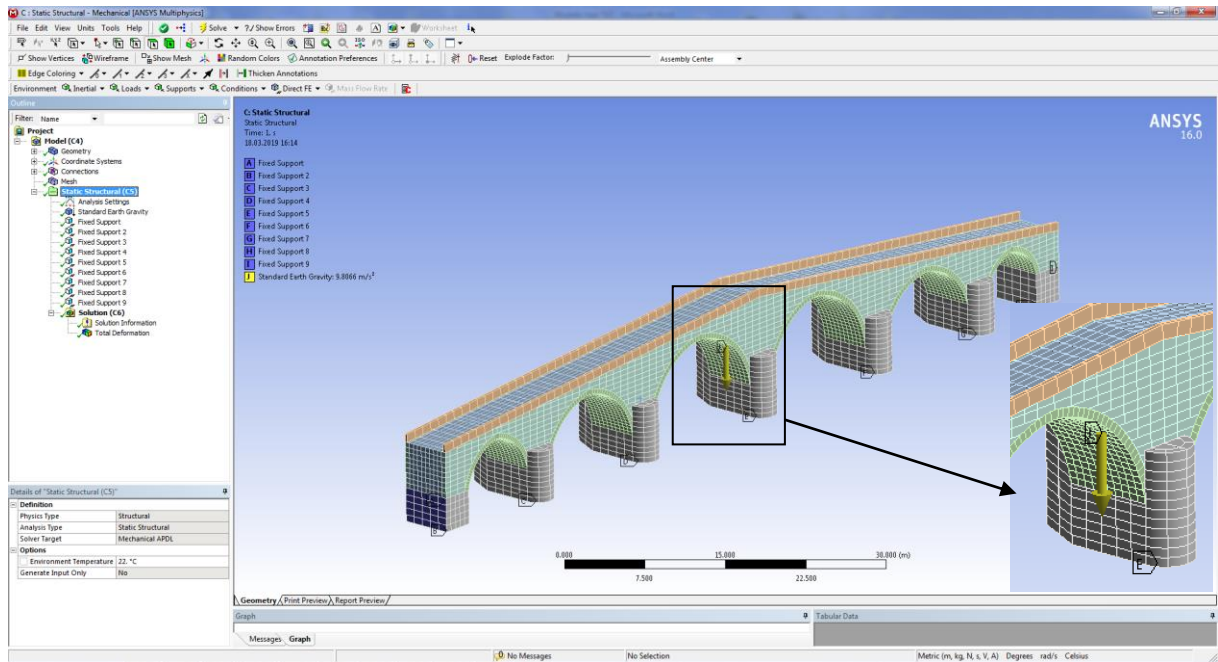


Şekil 5.33 Tokatlı Köprüsü mesh işlemi (Multizone) (Ansys Programı).

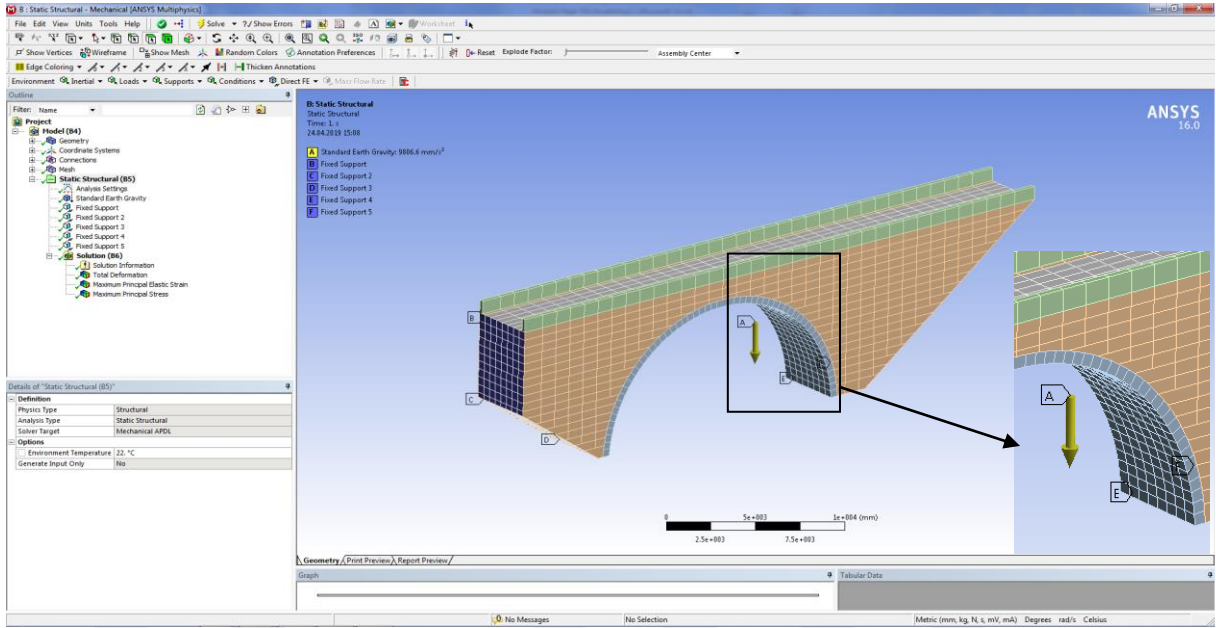
Çizelge 5.4-5 incelendiğinde farklı Mesh yöntemine göre farklı eleman ve düğüm nokta sayısı olduğu görülmektedir. Mesh işlemi ileride yapılacak analizlerin gerçek davranışa daha yakın sonuçlar bulunabilmesi açısından önem teşkil etmektedir. Mesh işlemi sonucu oluşan sonlu eleman ve düğüm noktaları sayısındaki artış, Mesh işleminin kalitesini ve doğru orantılı olarak yapılacak analizlerin gerçekçiliğini olumlu yönde etkilemektedir. Yapılan literatür araştırması ve değerlendirme neticesinde; eleman sayısı ve düğüm noktası adedi en yüksek olan Tetrahedrons Mesh Yöntemi analiz için seçilmiştir.

Programın Static Structural sekmesi üzerinden modelin sınır şartları, mesnet koşulları ve analiz yükünün tanımlanması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında yapıların öncelikle kendi ağırlığı altında ölü yük analizinin yapılması ve kendi ağırlığı altında oluşan yüklerin hesaplanması planlanmıştır. Daha sonra ise köprülere örnek bir deprem yükleri uygulanarak, köprüler üzerinde bu depremler sonucu oluşan etkilerin hesaplanması hedeflenmiştir. Bu amaçla köprüye önce Standart Yer Çekimi kuvveti uygulanarak analiz yaptırılmış daha sonra örnek deprem yükleri uygulanarak oluşan etkiler hesaplanmıştır.

Köprünün gerçek koşullardaki mesnet özellikleri program üzerinde tanımlanmış, köprünün kendi ağırlığı altındaki davranışının analizi için program üzerinden Standart Yer Çekimi köprü üzerinde tanımlanmıştır. Köprü modellerinde mesnet ve yer çekimi yükünün tanımlanması işlemi 5.35-36'da gösterilmiştir.



Şekil 5.35 Konjic Köprüsü mesnet ve yer çekimi yükü tanımlanması (Ansys Programı).



Şekil 5.36 Tokatlı Köprüsü mesnet ve yer çekimi yükü tanımlanması (Ansys Programı).

Konjic köprü modeli gerçek durumu dikkate alınarak dokuz ayrı yüzey üzerinden zemine mesnetlendiği, Tokatlı köprü modelinin ise gerçek durumu dikkate alınarak beş ayrı yüzey üzerinden zemine mesnetlendiği öngörülmüştür. Program üzerinde gerçek durumdaki gibi zemine temas halindeki elemanların yüzeyleri seçilerek köprü'nün bu yüzeylerden zemine yük aktardığı tanımlanmıştır. Program üzerinden standart yer çekim kuvveti köprü'lere düşey yönde, yatay eksenine dik (-)Y eksenı yönünde tanımlanmıştır. Ansys programı bu haliyle köprü modellerinin kendi ağırlıkları altında ölü yük analizi yapımına hazır hale getirilmiştir.

Program üzerindeki bir sonraki adım dinamik analiz ayarlarının yapılmasıdır. Ölü yük analizi için hazırlanmış köprü modelleri üzerine farklı deprem ivme kayıtları ayrı ayrı tanımlanarak köprü'lere dinamik analizinin yapılması hedeflenmiştir.

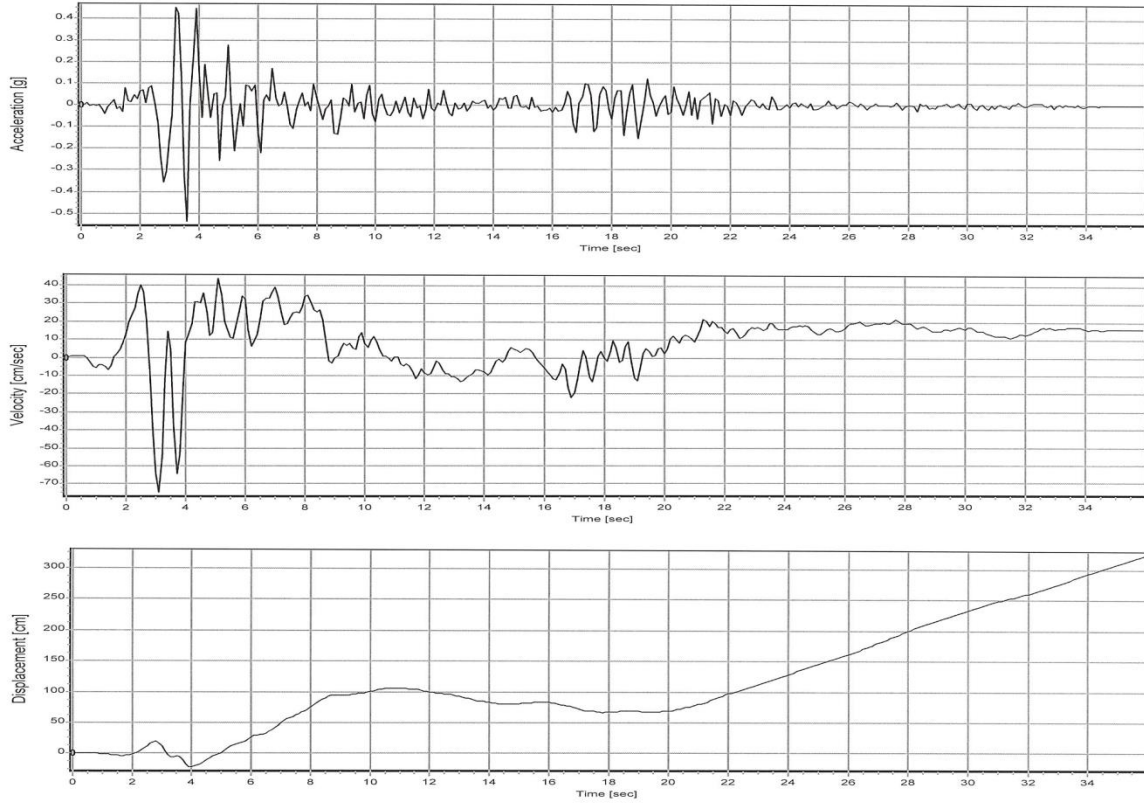
Bu amaçla altı adet Yakın ve beş adet Uzak Fay olarak ölçümü yapılmış deprem kayıtlarından yararlanılmıştır. Analizlerde kullanılması planlanan bu deprem kayıtlarına ait bilgiler aşağıdaki Çizelge 5.6-7'de, bu depremlerin zamana bağlı ivme, hız ve yer değiştirme grafikleri Şekil 5.36-47'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.6 Analizlerde kullanılan Yakın Fay deprem kayıtlarına ait veriler.

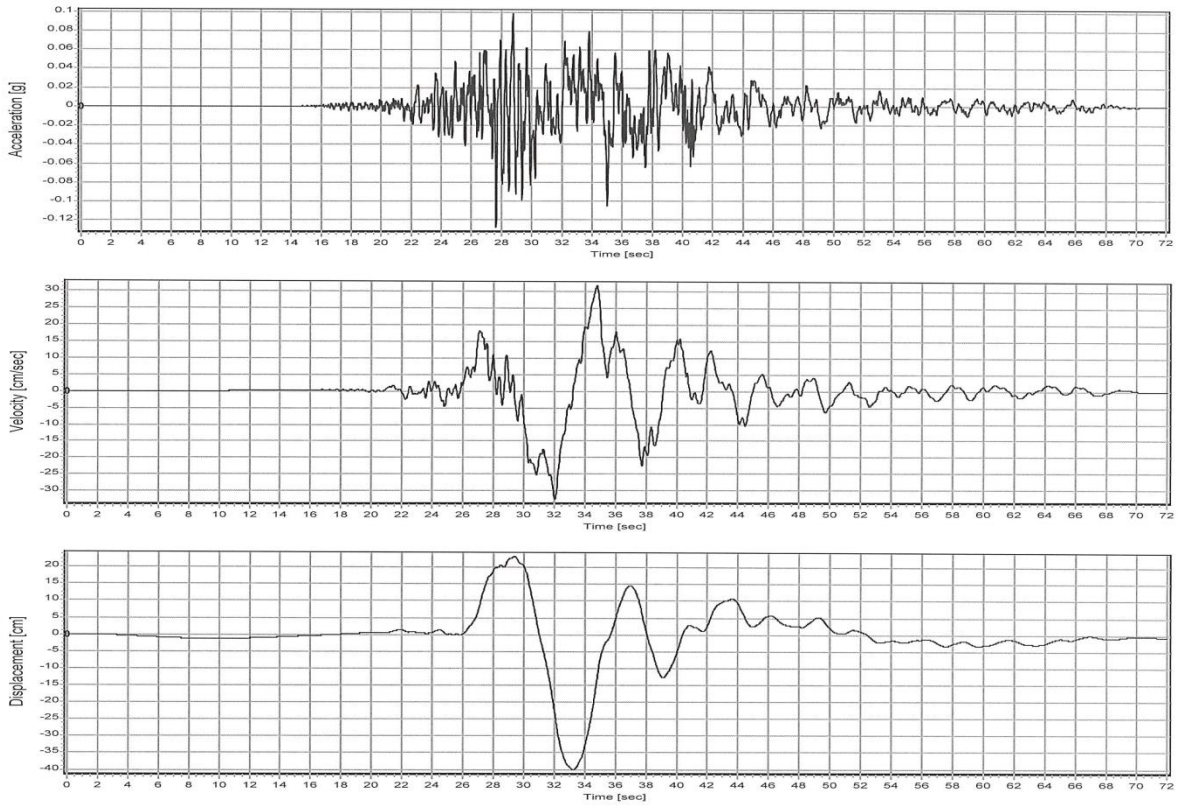
Sıra No	Deprem	İstasyon	M_w	d (km)	PGA	PGV	Ap/Vp	TPV	TP
1	Cape Mend,1992	Petrolia, 090	7,1	9,5	0,7	90	7,2	0,7	0,7
2	Chi-Chi,1999	TCU087, EW	7,6	3,2	0,1	41	3,1	8,0	9,5
3	Imperial Valley,1979	El Centro DA, 270	6,5	5,3	0,4	71	4,8	2,6	4,5
4	Kobe,1995	KJM, 000	6,9	0,6	0,8	81	9,9	0,9	0,9
5	Northridge,1994	Newh-W.Pico. 046	6,7	7,1	0,5	93	4,8	2,0	3,2
6	Superstition Hills,1987	PTS, 225	6,6	0,7	0,5	112	3,9	1,9	2,2

Çizelge 5.7 Analizlerde kullanılan Uzak Fay deprem kayıtlarına ait veriler.

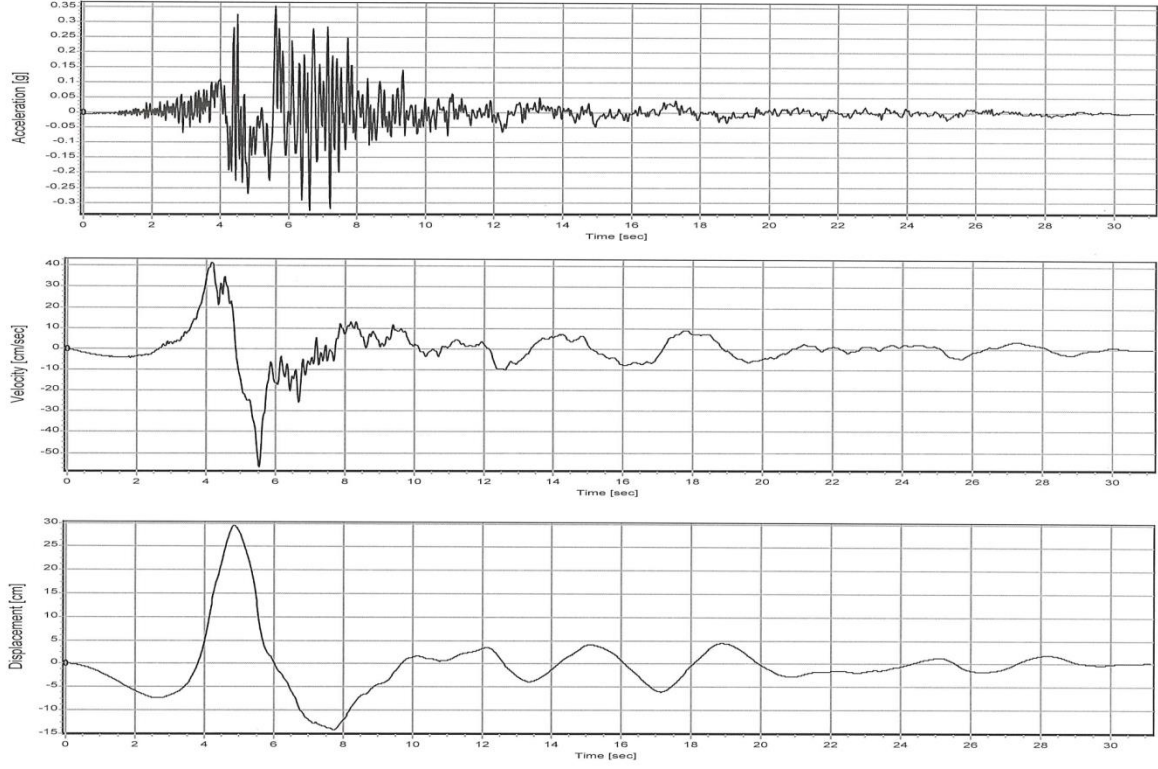
Sıra No	Deprem	İstasyon	A_p (g)	V_p (cm/s)	Ap/Vp (1/s)
1	Borrego Mount,1968	Hollywood Storage Lot / 180°	0,01	2,33	4,7
2	Friuli, Italy, 1976	Conegliano / 0°	0,03	4,29	7,7
3	Kobe, 1995	FUK / 0°	0,05	3,52	13,6
4	Morgan Hill, 1984	San Francisco Int. Airport, / 90°	0,06	3,65	16,7
5	NW California, 1941	Ferndale City Hall / 45°	0,02	0,76	23,6



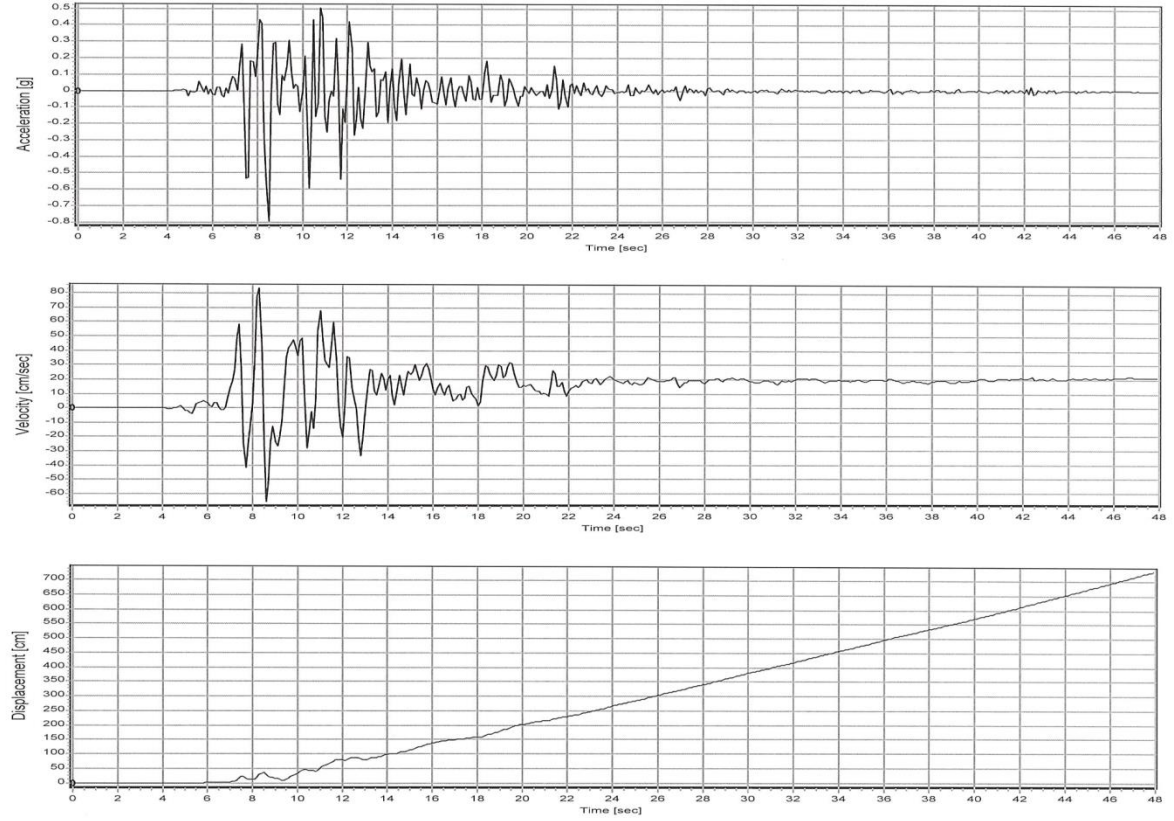
Şekil 5.37 Cape Mend 1992, deprem kaydı (Yakın Fay).



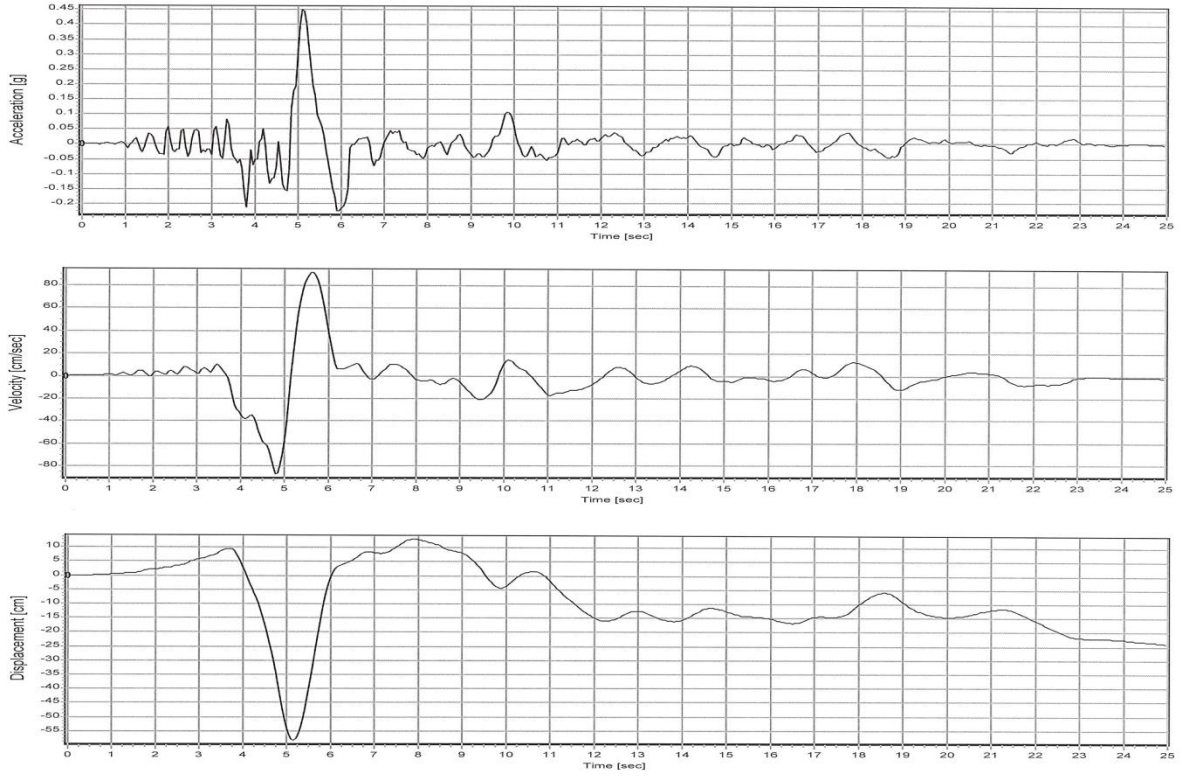
Şekil 5.38 Chi-Chi 1999, deprem kaydı (Yakın Fay).



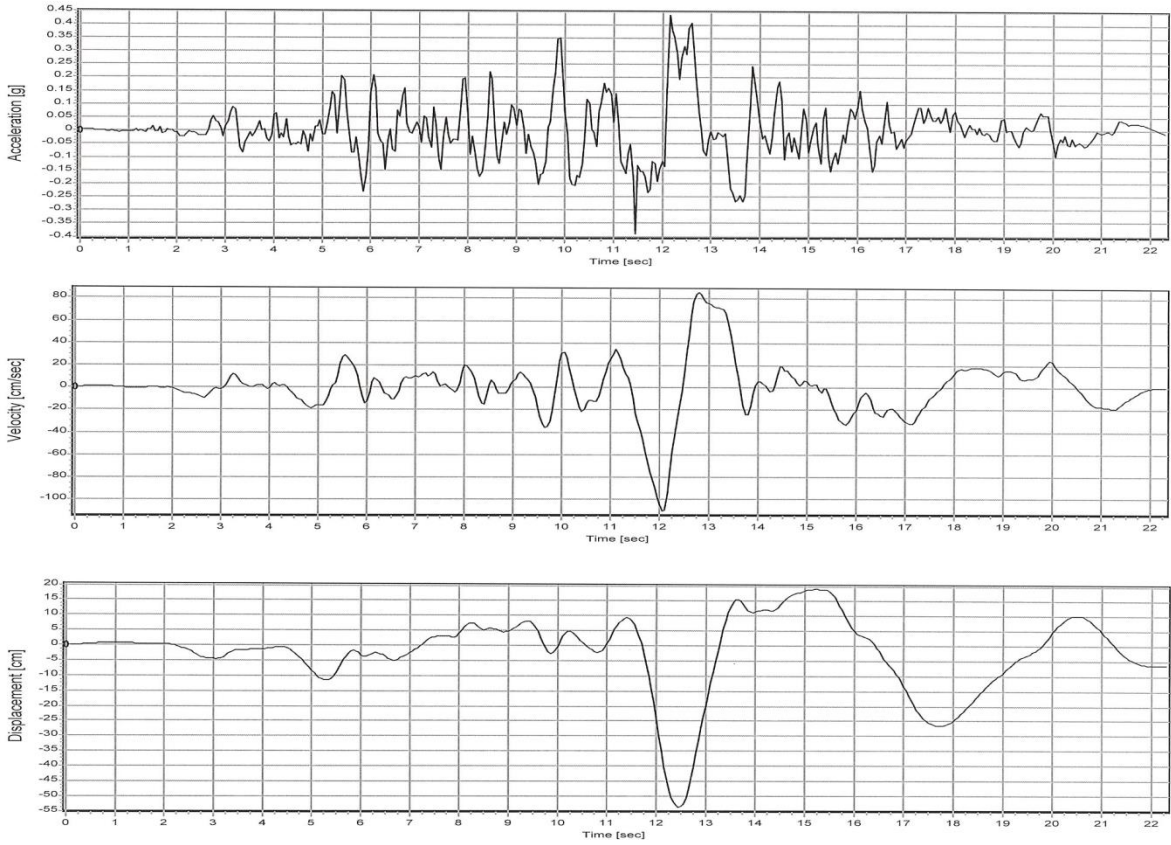
Şekil 5.39 Imperial Valley 1979, deprem kaydı (Yakın Fay).



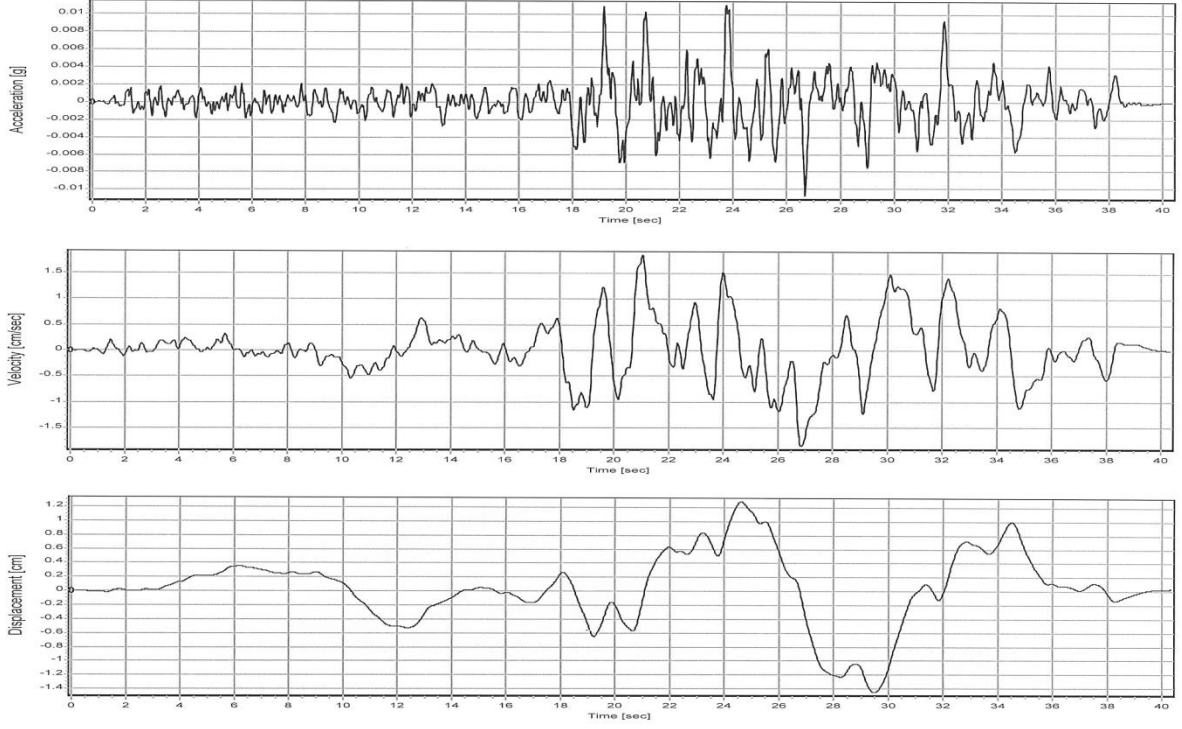
Şekil 5.40 Kobe 1995, deprem kaydı (Yakın Fay).



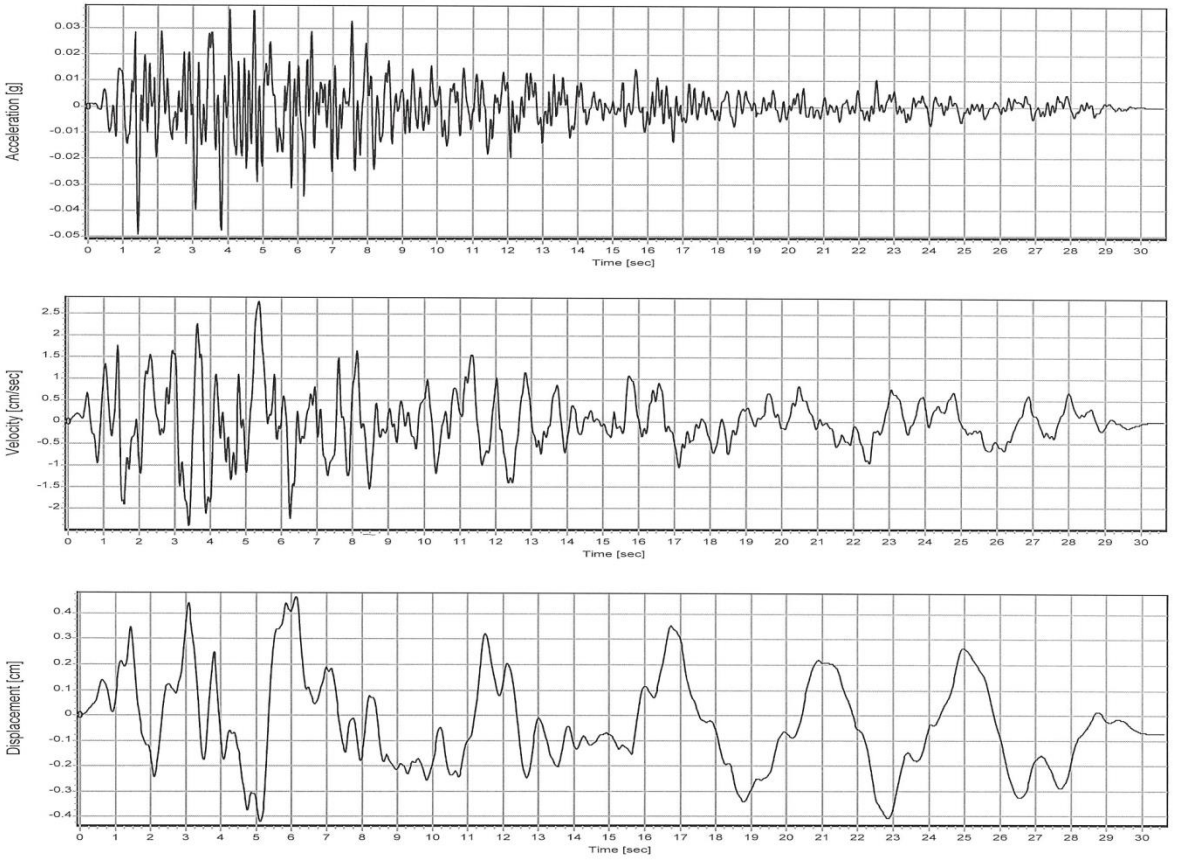
Şekil 5.41 Northridge 1994, deprem kaydı (Yakın Fay).



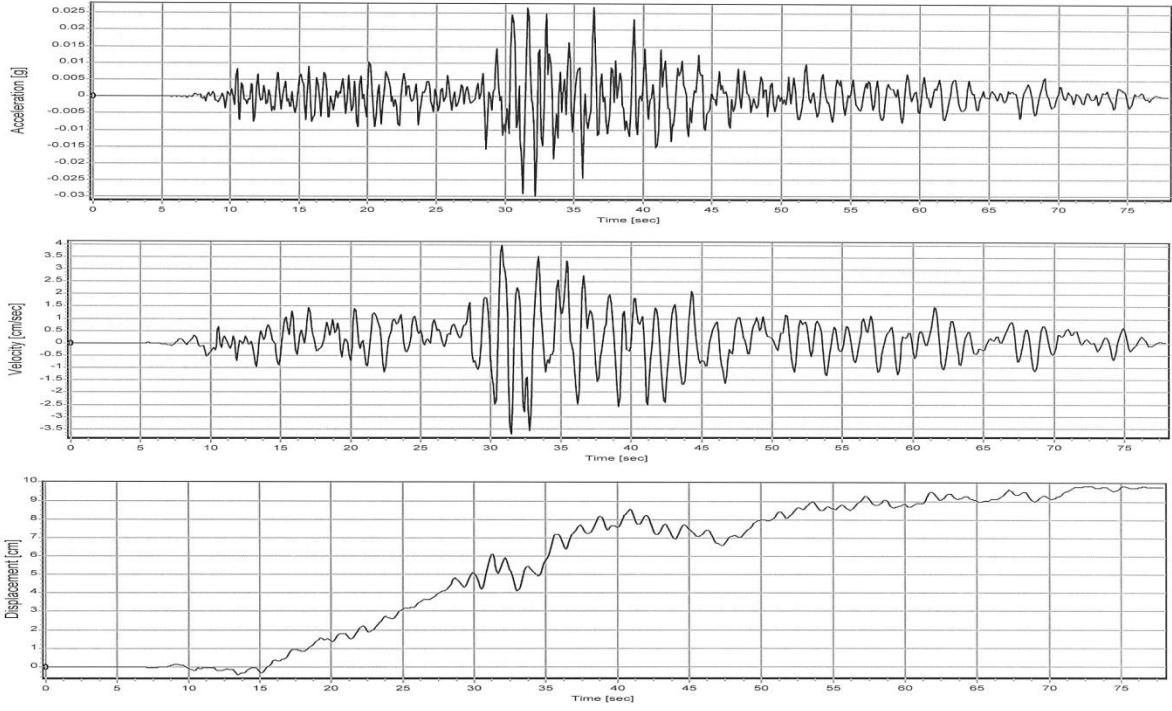
Şekil 5.42 Superstition Hills 1987, deprem kaydı (Yakın Fay).



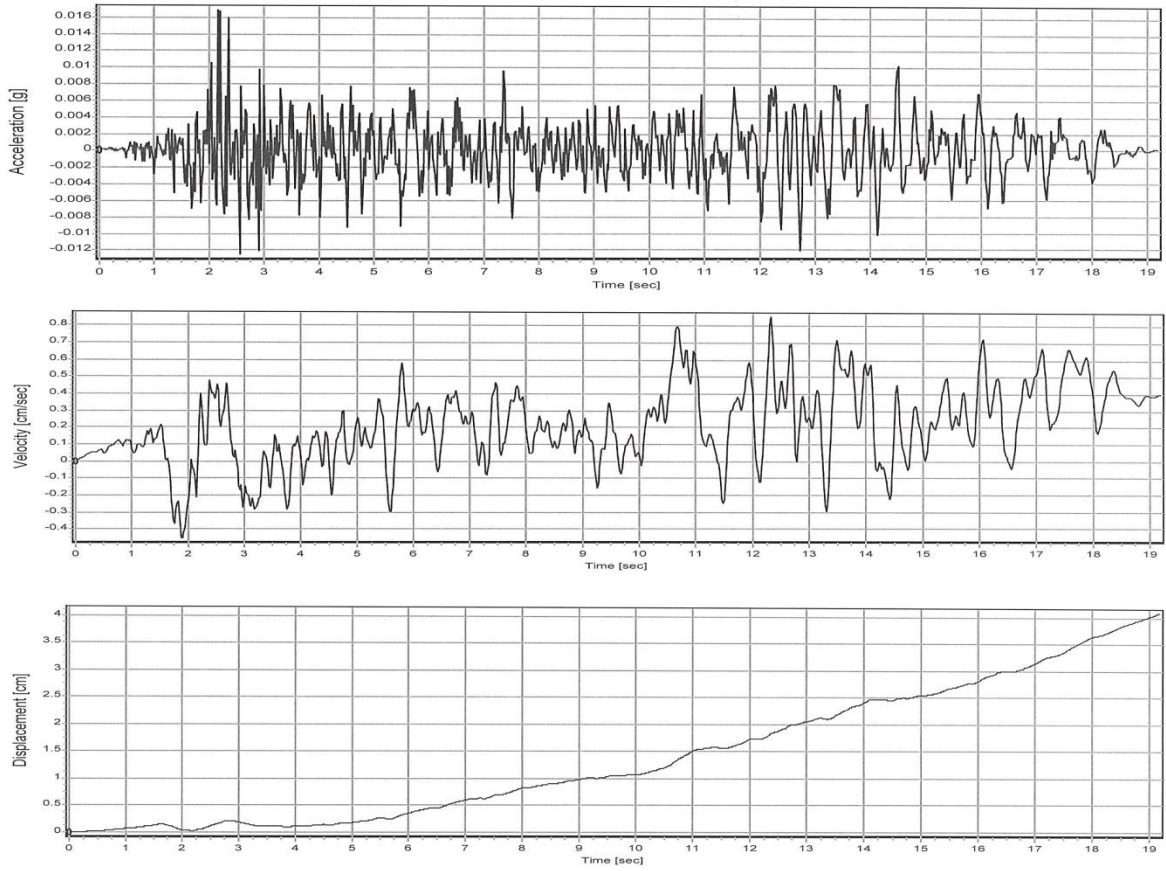
Şekil 5.43 Borrego Mount 1968, deprem kaydı (Uzak Fay).



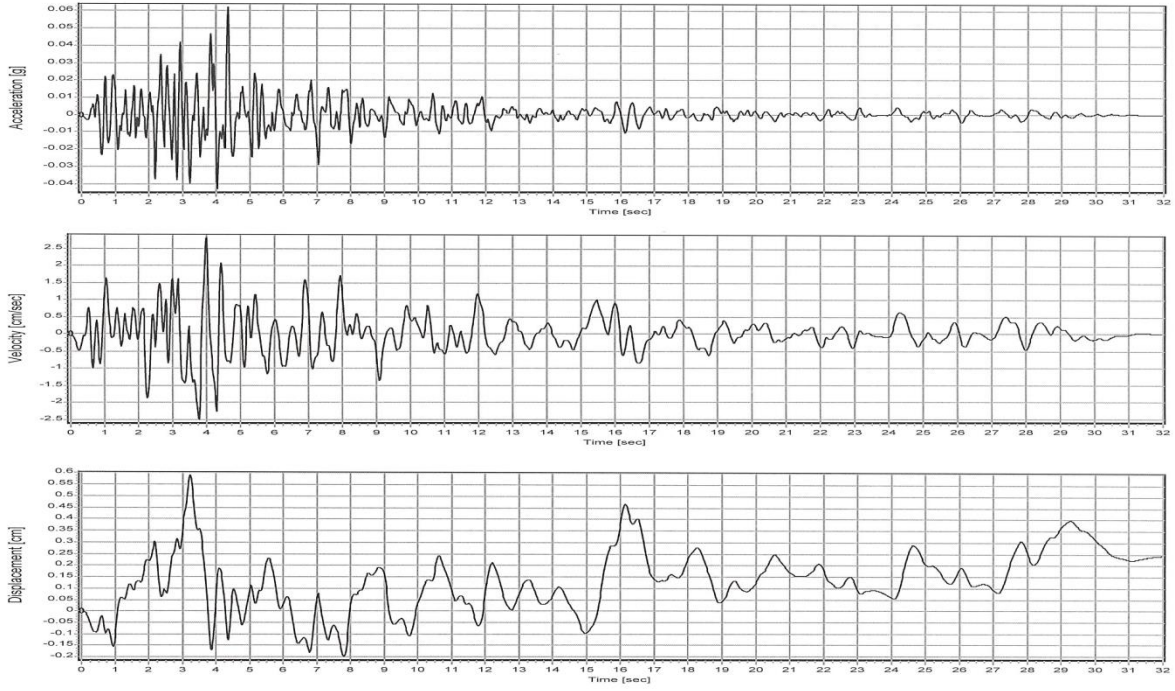
Şekil 5.44 Friuli, Italy 1976, deprem kaydı (Uzak Fay).



Şekil 5.45 Kobe 1995, deprem kaydı (Uzak Fay).



Şekil 5.46 Morgan Hill 1984, deprem kaydı (Uzak Fay).

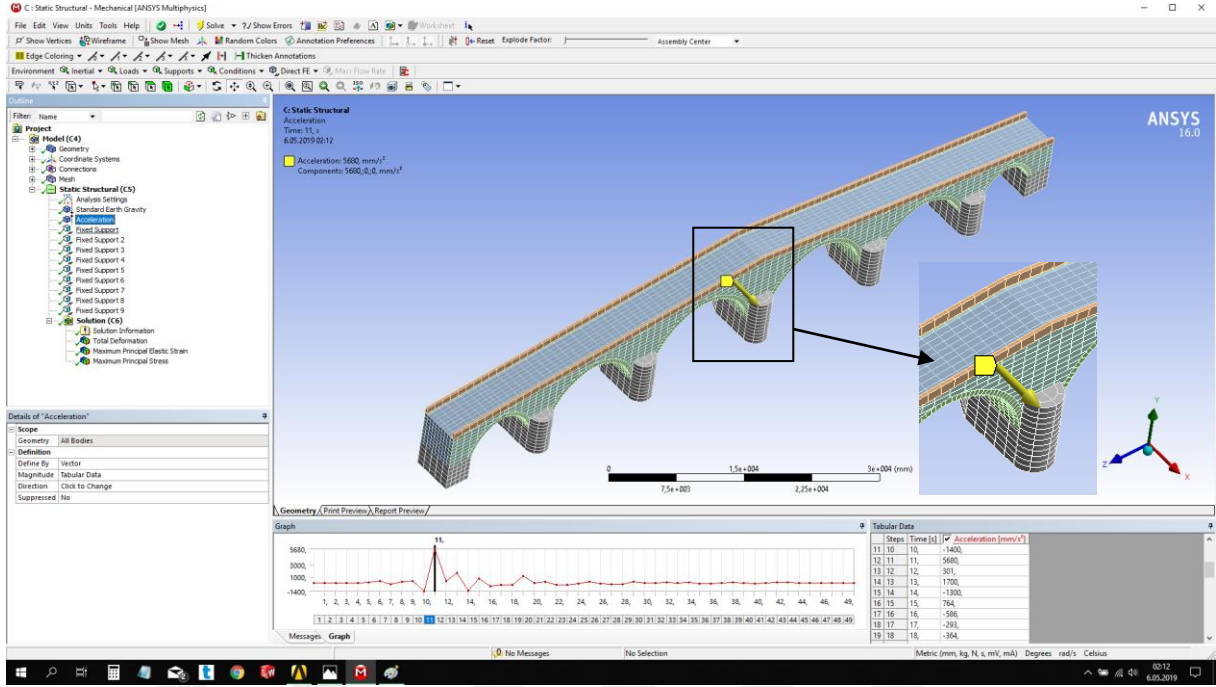


Şekil 5.47 NW California 1941, deprem kaydı (Uzak Fay).

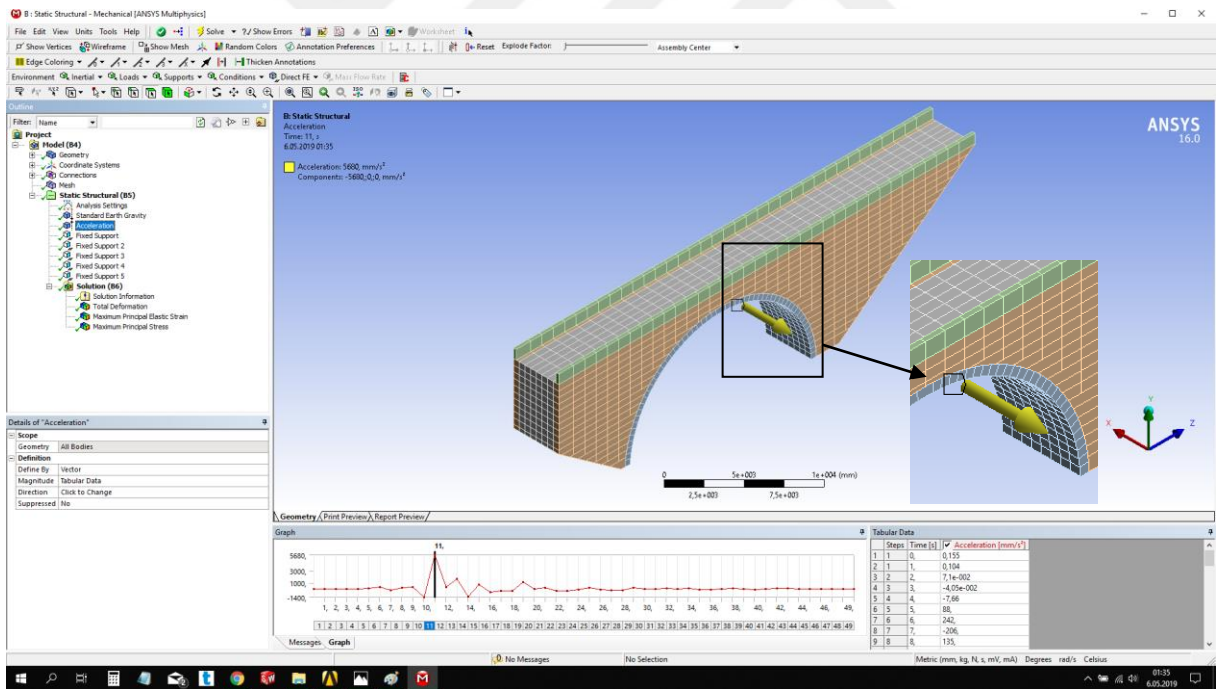
Ansys programı üzerinde dinamik analiz yapabilmek için ölü yük analizi için hazır hale getirilmiş köprü modelleri üzerine, program üzerinden deprem ivme kaydı tanımlanması gerekmektedir. Bu işlem için programda zamana bağlı deprem ivme kaydının tanımlanabileceği Acceleration yükünün tanımlanması gerekmektedir. Programda analiz ayarları sekmesi ile Acceleration yükünün zamana bağlı adım sayısı ayarlanmıştır. Yine yükün yönü; incelenen benzer akademik çalışmalarda da kullanılan şekilde, köprü modellerinin geometrik olarak dayanımın en zayıf olacağı tempan duvarlarına dik yönde uygulanmıştır.

Yukarıda özellikleri gösterilmiş tüm deprem kayıtları için iki ayrı köprü modeli farklı kaydedilerek analizler tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar kaydedilmiştir.

İki ayrı köprü modeli içinde deprem ivme kayıtları benzer yönde uygulanmıştır. Bu şekilde benzer yön ve şiddetteki deprem kaydı altında, tek ve çok açıklıklı iki ayrı tarihi kemer köprüdeki davranışın karşılaştırılması imkanı oluşacaktır. Köprü modellerine deprem ivme kaydının uygulanması Şekil 5.48-49'da gösterilmiştir.



Şekil 5.48 Konjic Köprüsü deprem ivme kaydı uygulanması (Ansys Programı).



Şekil 5.49 Tokatlı Köprüsü deprem ivme kaydı uygulanması (Ansys Programı).

Ansys Programı üzerinde; Geometri (Geometry), Bağlantı (Connections) ve Sonu Elemanlar (Mesh) ayarlamaları yapılan köprü modellerine iki aşamalı analiz yaptırılması planlanmıştır. Birinci aşamada sadece yer çekimi kuvveti altında ölü yük analizi yaptırılarak sonuçların kaydedilmesi, ikinci aşamada benzer geometri, sınır şartları ve mesh ayarları değiştirilmeden

yer çekimi kuvveti üzerine tanımlanmış modellere deprem yüklerin uygulanması ve analiz yaptırılarak sonuçların alınması hedeflenmiştir.

Analiz işlemi başlatılmadan önce program üzerinden sonucunu görmek istediğimiz işlemin tanımlanması gerekmektedir. Programda Solution sekmesi üzerinden Total Deformasyon, Maximum Principal Elastic Strain ve Maximum Principal Stress analizi tanımlanarak köprü modeli üzerindeki maksimum deformasyon ve yerdeğiştirmenin, maksimum elastik gerilmelerin ve maksimum stresin tespiti hedeflenmiştir.

Bu işlem sonrası program üzerindeki Solve komutu ile köprü modellerinin önce yerçekimi kuvveti altında sonra deprem yükü altında analizleri yaptırılmıştır.





BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu bölümde Tarihi Konjic ve Tarihi Aşağı Tokatlı Kemer Köprüleri bilgisayar programları yardımıyla modellenerek statik ve dinamik analizleri yapılmış, elde edilen sonuçlar görseller ve çizelgeler halinde sunulmuştur.

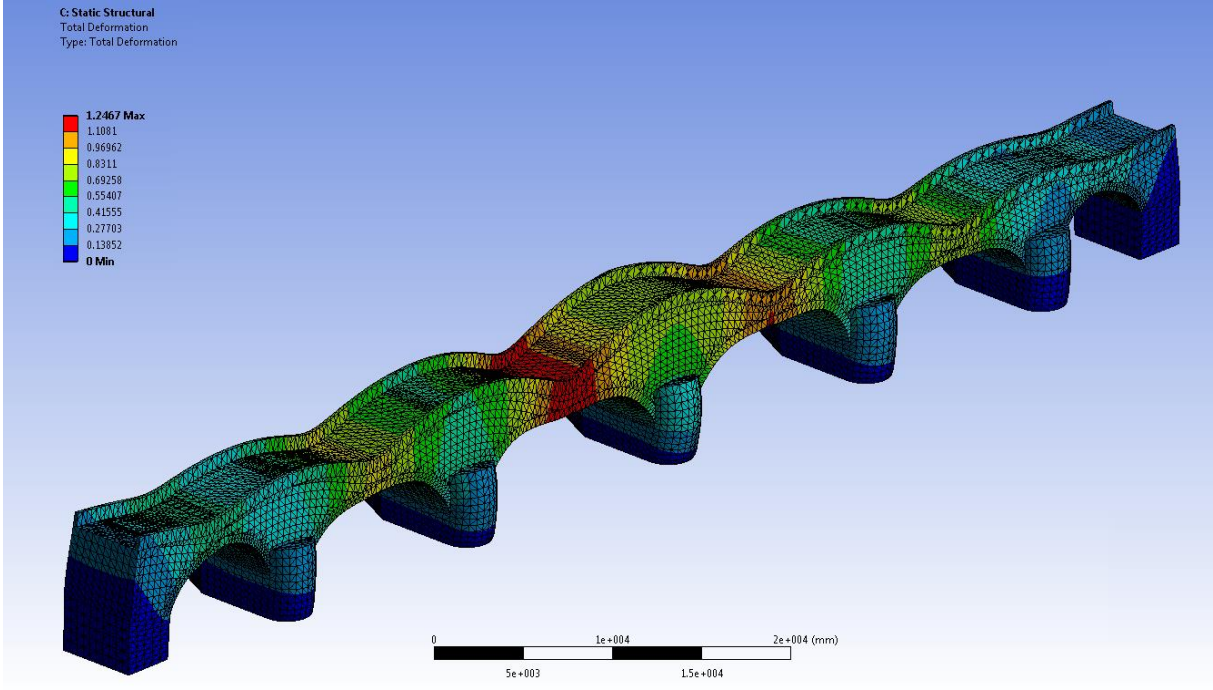
Bu çalışmada statik ve dinamik analizler için yaygın olarak kullanılan SAP2000 programının aksine, modelleme için Solidworks programı, analiz için Ansys programı kullanılmıştır. Yapılan analizlerde hedeflenen, incelenen tarihi kemer köprülerin yapısal analizi, kendi ağırlıkları altındaki ve örnek deprem ivme kaydı altında deformasyon ve yer değiştirme miktarı, maksimum elastik şekil değiştirme ve maksimum stres verilerinin hesaplanmasıdır.

Hesaplamalarda halihazırda mühendislik problemlerinin çözümü için yaygın olarak kullanılan Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile çözümü zor ve büyük elemanlardan oluşan yapılar daha küçük ve çözülebilir alt elemanlara bölünmekte, bu alt elemanların analizi sonucunda oluşan sonuçların birleştirilmesi ile asıl yapının analiz sonucuna ulaşılmaktadır.

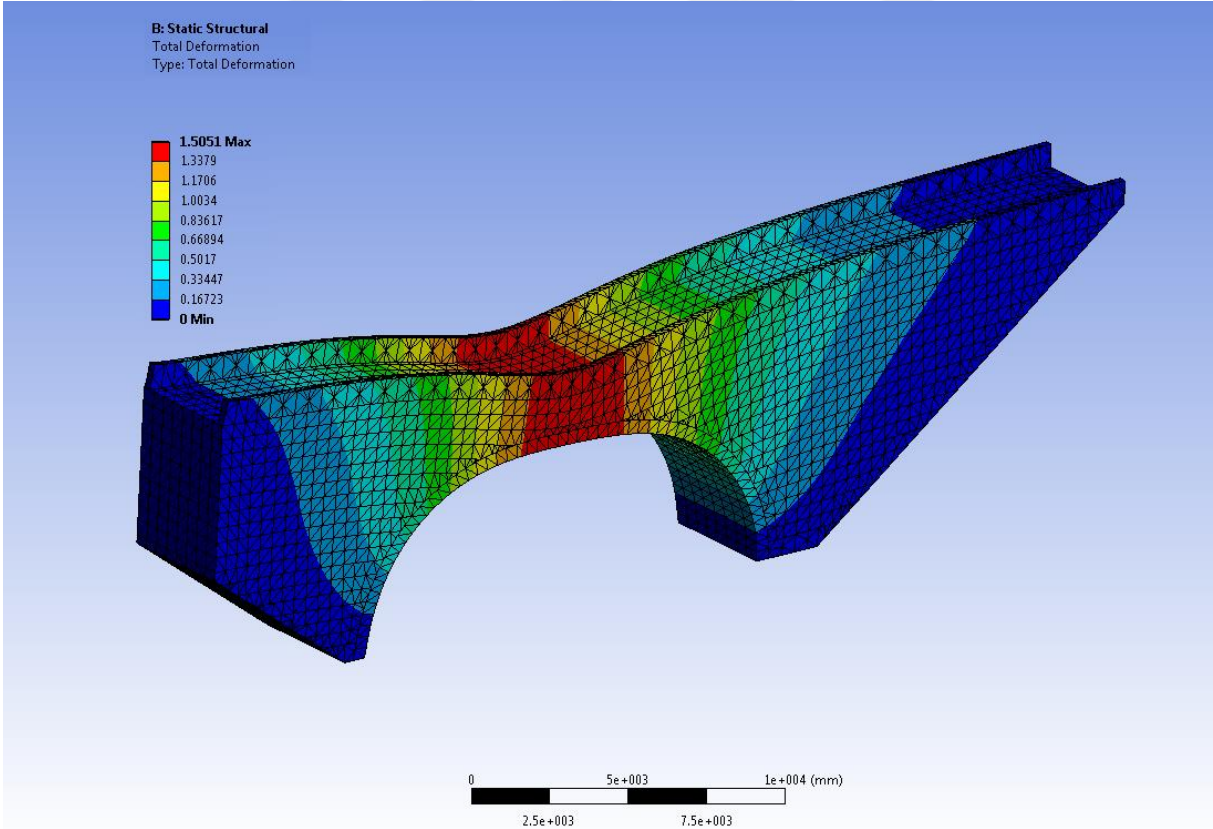
Çalışmanın son kısmında; Tokatlı köprü modelinin kemer yüksekliği artırılıp, azaltılarak kemer yüksekliğinin elde edilen sonuçlara etkisi araştırılmıştır. Son olarak Tokatlı köprüsü SAP2000 programında modellenerek, benzer koşullarda analizleri yapılmış, bu model üzerinden ANSYS ve SAP2000 programları arasındaki farklar incelenmiştir.

Bölüm 5’de modelleme ve ayarlama aşamaları detayları ile anlatılan köprü modellerinin, Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılarak Solidworks ve Ansys Programı yardımıyla statik ve dinamik analizleri yapılmıştır.

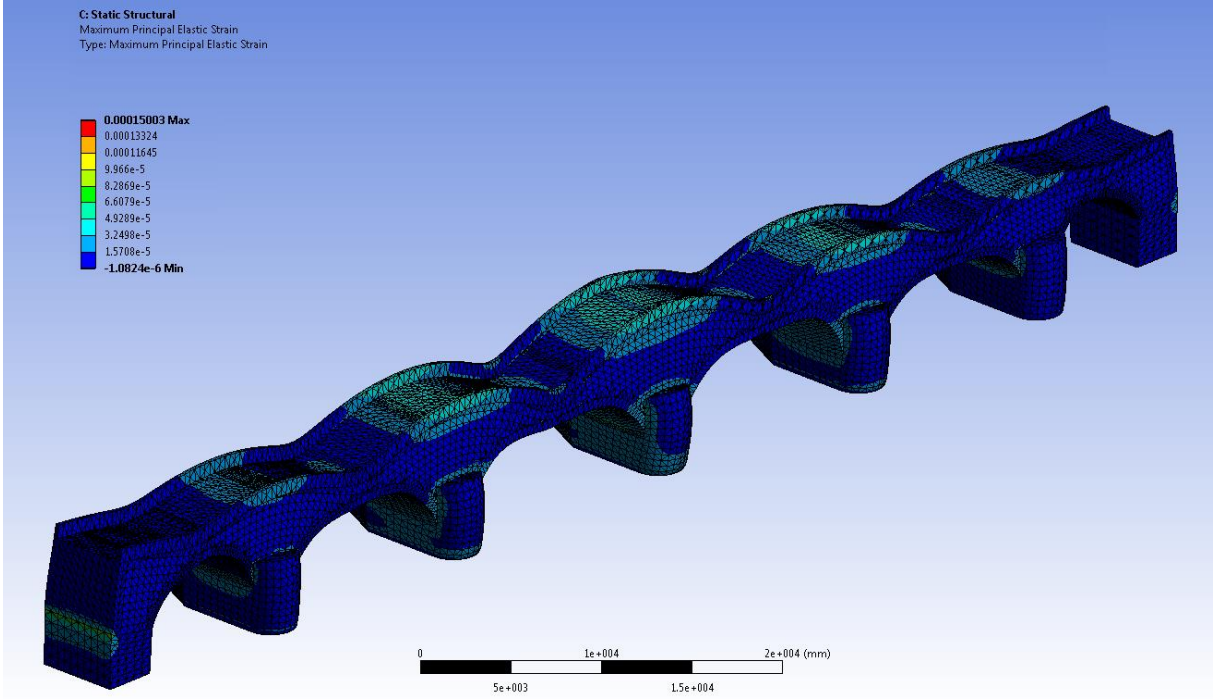
Analizler iki aşamalı yaptırılmış olup öncelikle yer çekimi kuvveti altında köprü modellerinin deformasyon ve yer değiştirme miktarı, maksimum elastik şekil değiştirme ve maksimum stres verileri hesaplanmış, elde edilen sonuçlar Şekil 6.1-6’da gösterilmiştir.



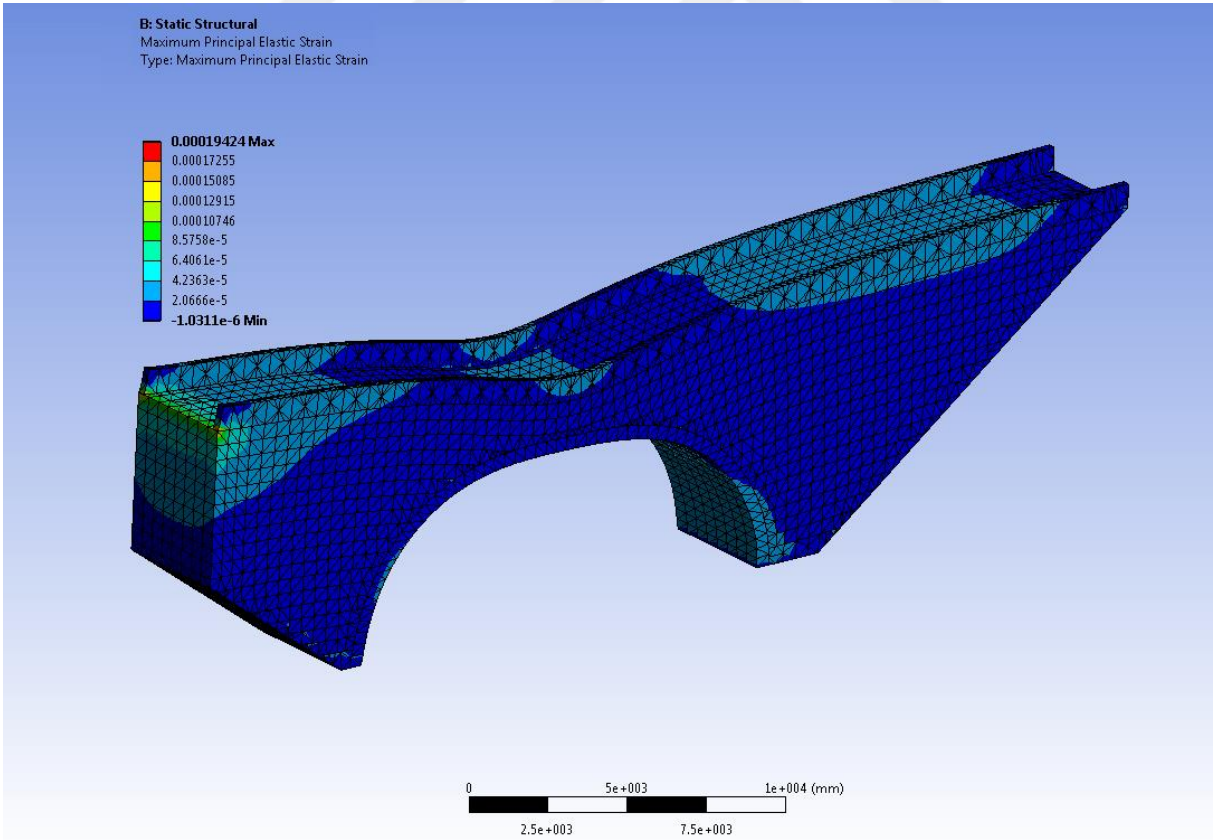
Şekil 6.1 Konjic Köprüsü, Statik Analiz (Total Deformasyon).



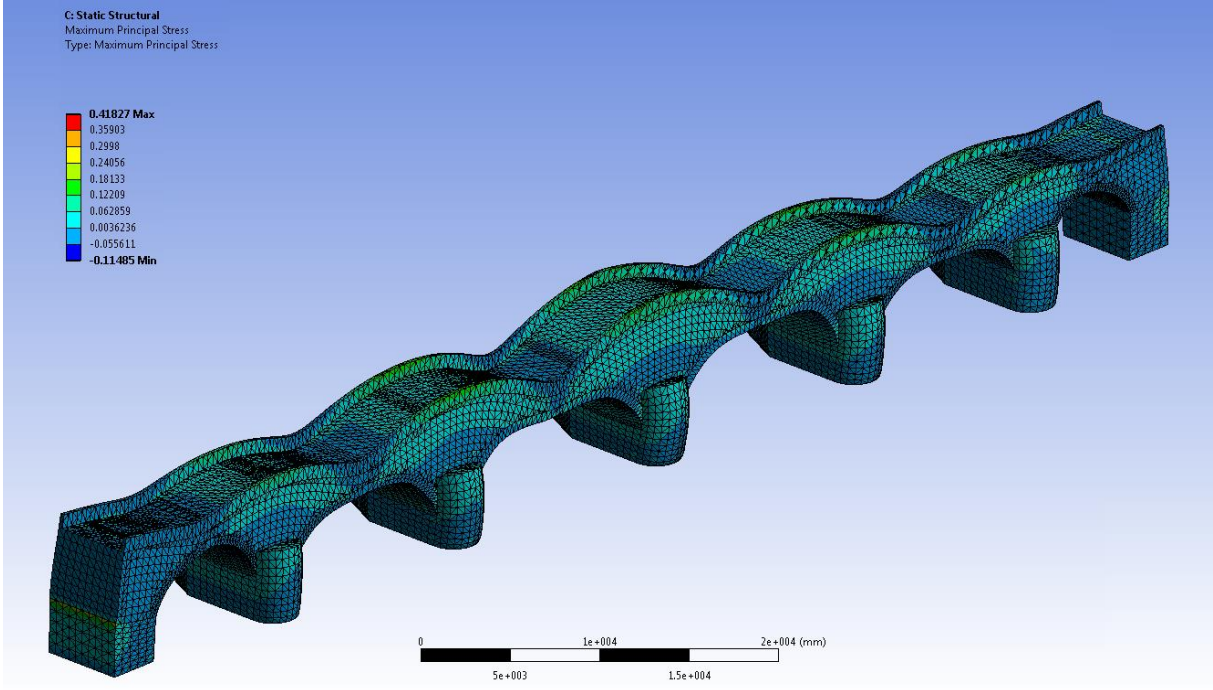
Şekil 6.2 Tokatlı Köprüsü, Statik Analiz (Total Deformasyon).



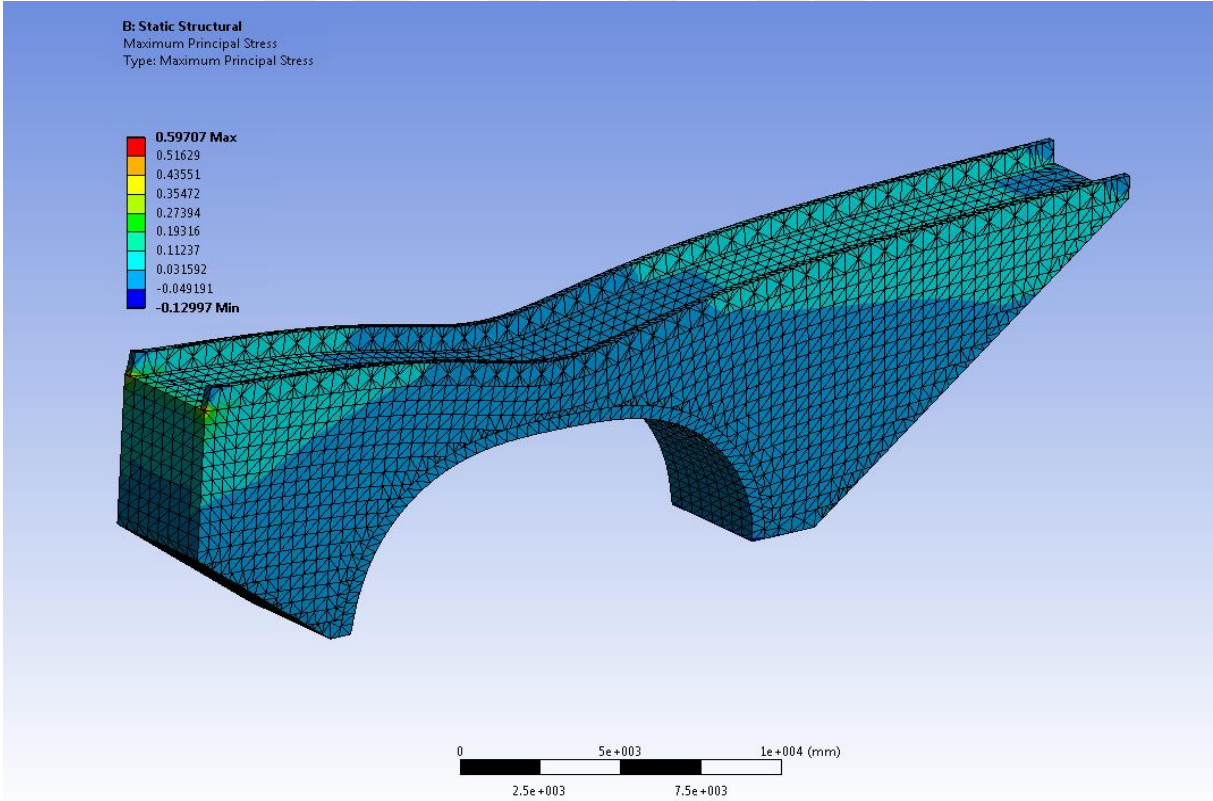
Şekil 6.3 Konjic Köprüsü, Statik Analiz (Maximum Principal Elastic Strain).



Şekil 6.4 Tokatlı Köprüsü, Statik Analiz (Maximum Principal Elastic Strain).



Şekil 6.5 Konjic Köprüsü, Statik Analiz (Maximum Principal Stress).



Şekil 6.6 Tokatlı Köprüsü, Statik Analiz (Maximum Principal Stress).

Yapılan statik analiz neticesinde köprü üzerindeki maksimum yer değiştirmenin; konjic köprüsü için açıklığı en geniş olan 3 nolu kemerin en tepe noktasında 1,25 mm olarak

gerçekleştiği, tokatlı köprüsü için kemerin en tepe noktasında 1,51 mm olarak gerçekleştiği görülmüştür. Program arayüzünde yer değiştirme miktarı renk skalası ile gösterilmektedir. Model üzerindeki rengin kırmızı tonlarına yaklaştığı kısımlarda yerdeğiştirme miktarı artarken, mavi tonlara yaklaştığı kısımlarda en az yer değiştirme görülmüştür. Analiz ile köprü modelleri üzerindeki en yüksek deformasyon ve yer değiştirmenin beklendiği kısımların köprü kemerlerinin en tepe noktaları olduğu görülmektedir. Analiz sonucu incelendiğinde; kemer açıklığının artmasının da deformasyonu arttırdığı, en yüksek yer değiştirmenin en büyük açıklıklı kemerde; en düşük yer değiştirmenin ise açıklığı en az olan kemerde oluştuğu görülmüştür.

Modeller üzerinde maksimum elastik gerilmelerin; Konjic Köprüsü için ayakların ekseninde, kemer ile ayakların birleştiği kısımda, Tokatlı köprüsü için zemin ve köprünün temas ettiği bölgelerde beklendiği görülmektedir. Yapıların kendi ağırlığı altında oluşan elastik gerilmelerin oldukça düşük seviyede; Konjic Köprüsü için 0,00015 mm/mm, Tokatlı Köprüsü için 0,00019 mm/mm seviyesinde kaldığı görülmüştür.

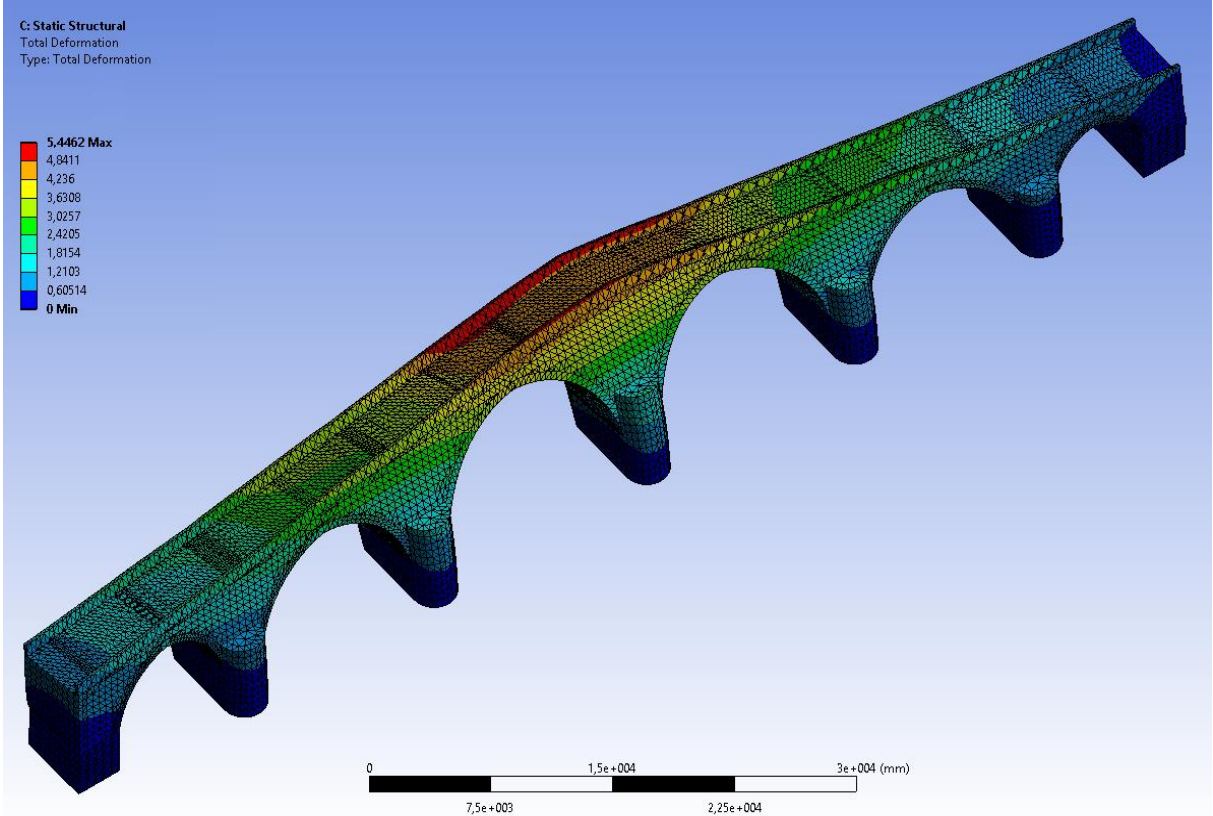
Model üzerindeki maksimum stresin, elastik gerilmelerin en yüksek olduğu bölgelerde beklendiği, oluşan maksimum stres değerinin; Konjic Köprüsü için 0,42 Mpa mertebesinde oluştuğu, Tokatlı Köprüsü için 0,60 Mpa mertebesinde oluştuğu gözlenmiştir.

Yukarıda ekran görüntüleri ile gösterilen Tarihi Konjic ve Tarihi Aşağı Tokatlı Kemer Köprüleri için statik analiz ile ulaşılan sonuçlar aşağıda Çizelge 6.1'de bir araya getirilerek gösterilmiştir.

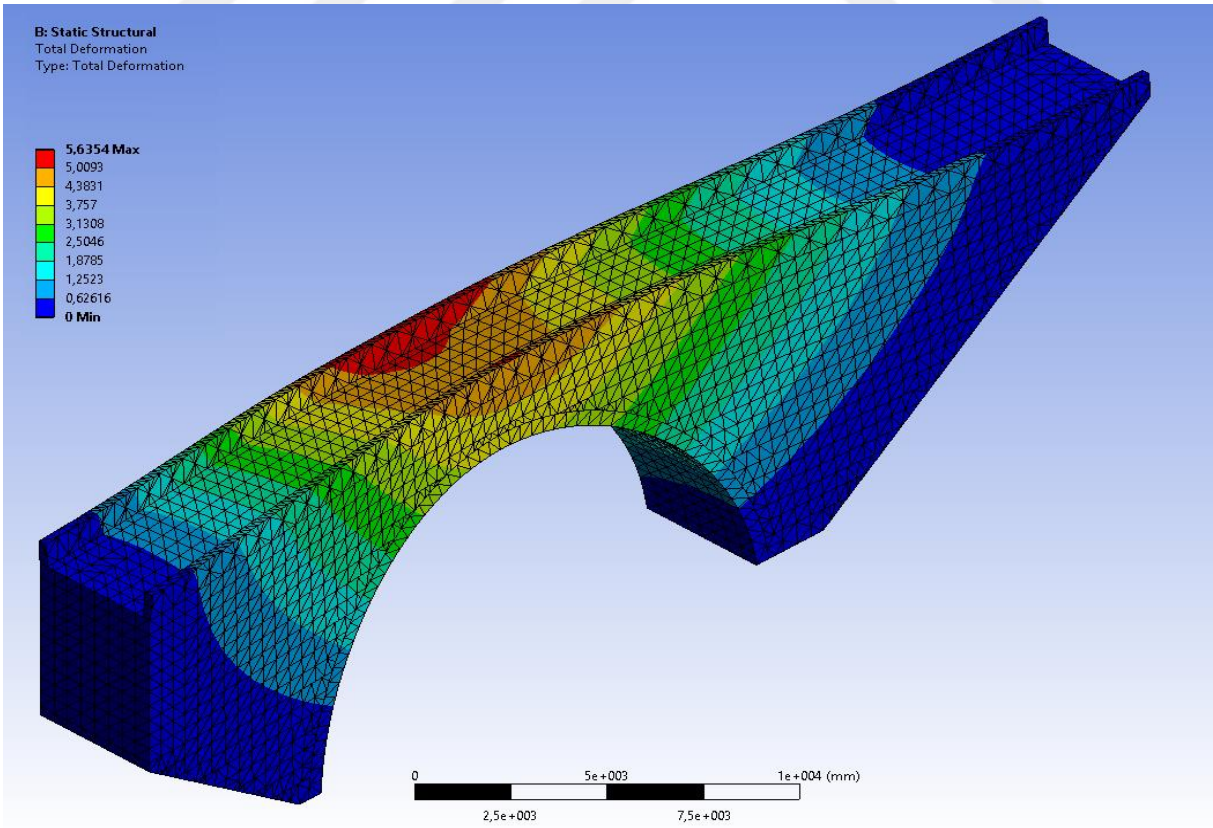
Çizelge 6.1 Statik analiz neticesinde ulaşılan sonuçlar.

İncelenen Köprü	Total Deformation (mm)	Maximum Principal Elastic Strain (mm/mm)	Maximum Principal Stress (Mpa)
Konjic Köprüsü	1,25	0,00015	0,42
Aşağı Tokatlı Kemer Köprüsü	1,51	0,00019	0,60

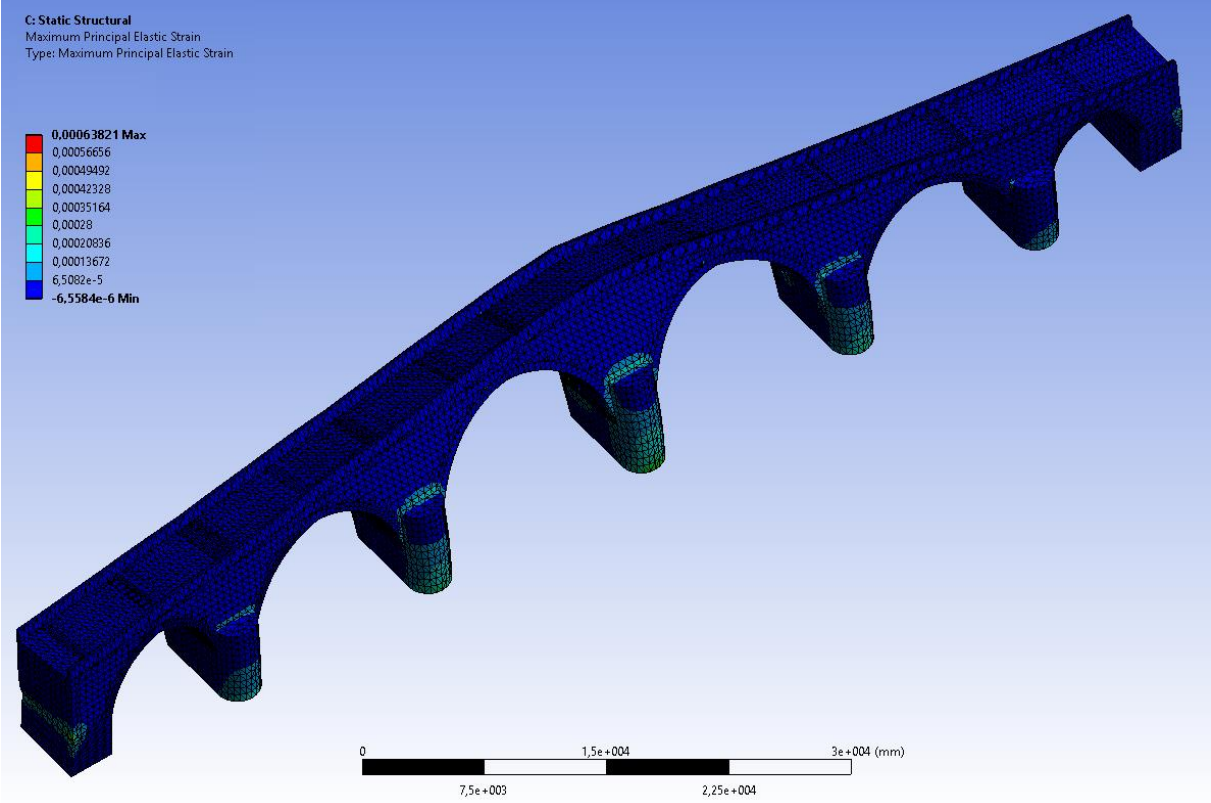
Statik analiz sonrasında detayları Bölüm 5'de anlatıldığı şekilde Dinamik analiz aşamasına geçilmiştir. Kullanılan deprem kayıtları üzerinden analizler ayrı ayrı yaptırılarak, deprem kuvveti altında köprü modellerinin deformasyon ve yer değiştirme miktarı, maksimum elastik şekil değiştirme ve maksimum stres verileri hesaplanmış, elde edilen sonuçlar Şekil 6.7-72'de gösterilmiştir.



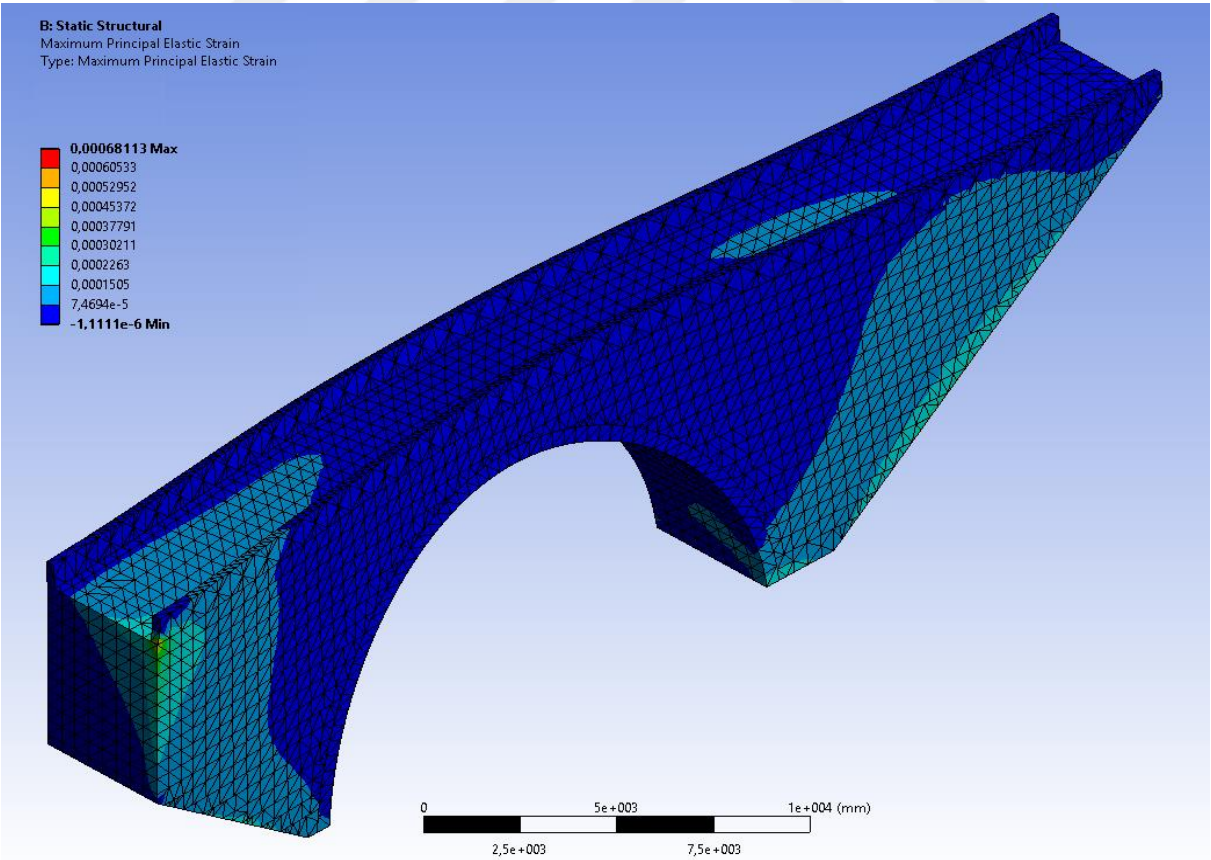
Şekil 6.7 Konjic Köprüsü, Cape Mend 1992 (Total Deformasyon).



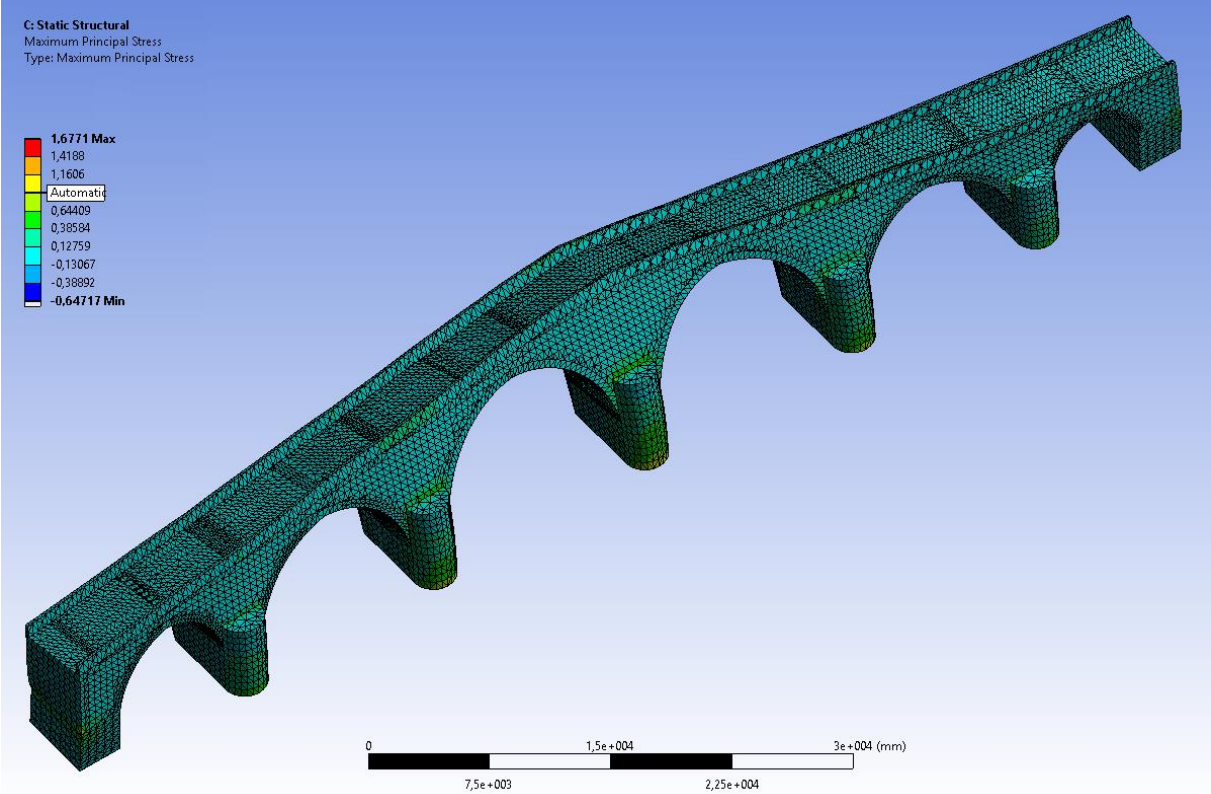
Şekil 6.8 Tokatlı Köprüsü, Cape Mend 1992 (Total Deformasyon).



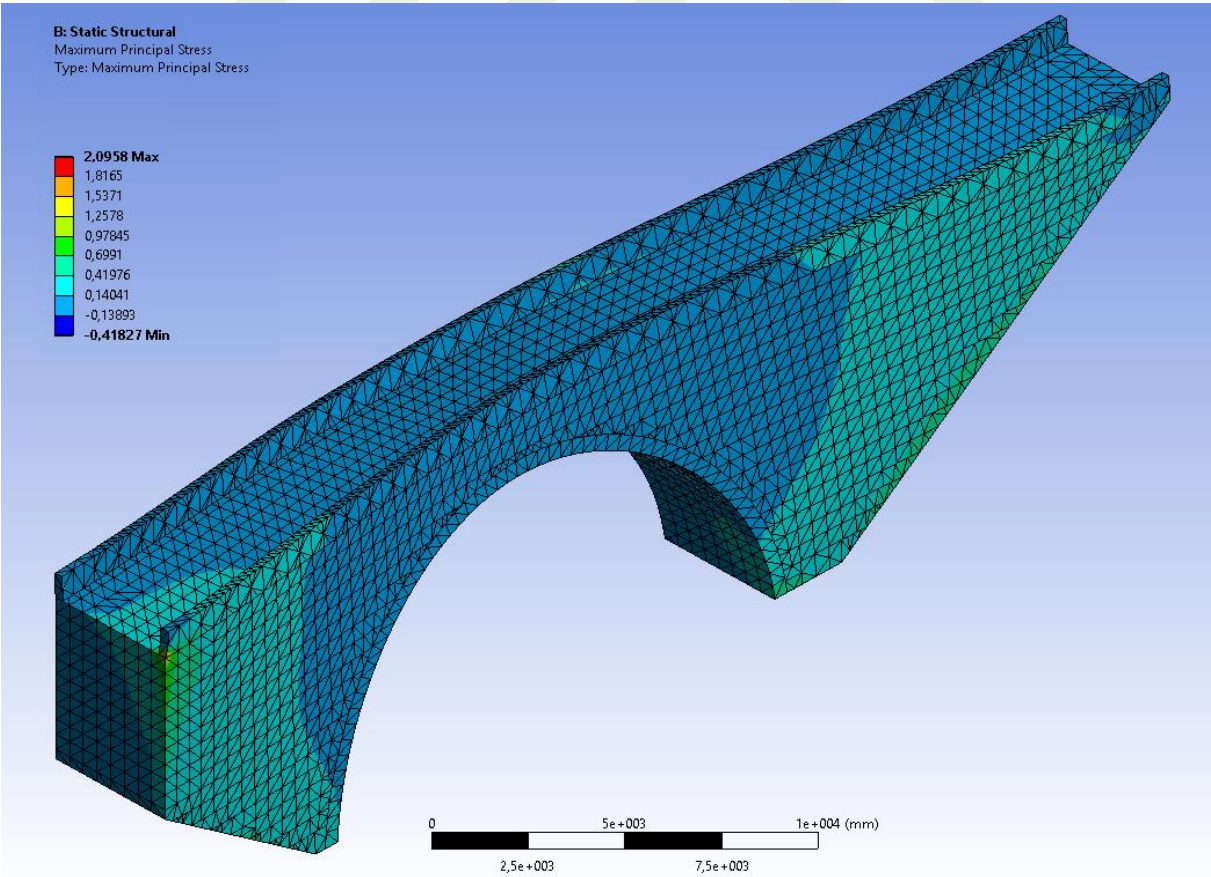
Şekil 6.9 Konjic Köprüsü, Cape Mend 1992 (Maximum Principal Elastic Strain).



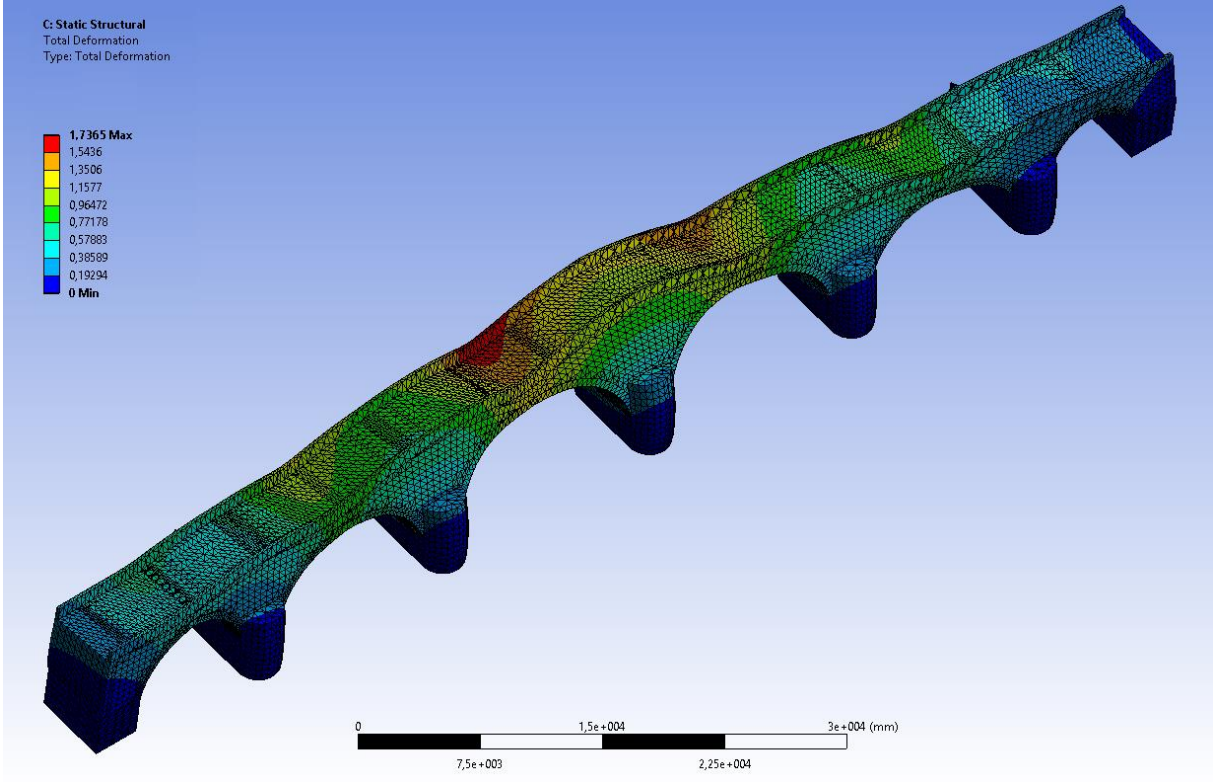
Şekil 6.10 Tokatlı Köprüsü, Cape Mend 1992 (Maximum Principal Elastic Strain).



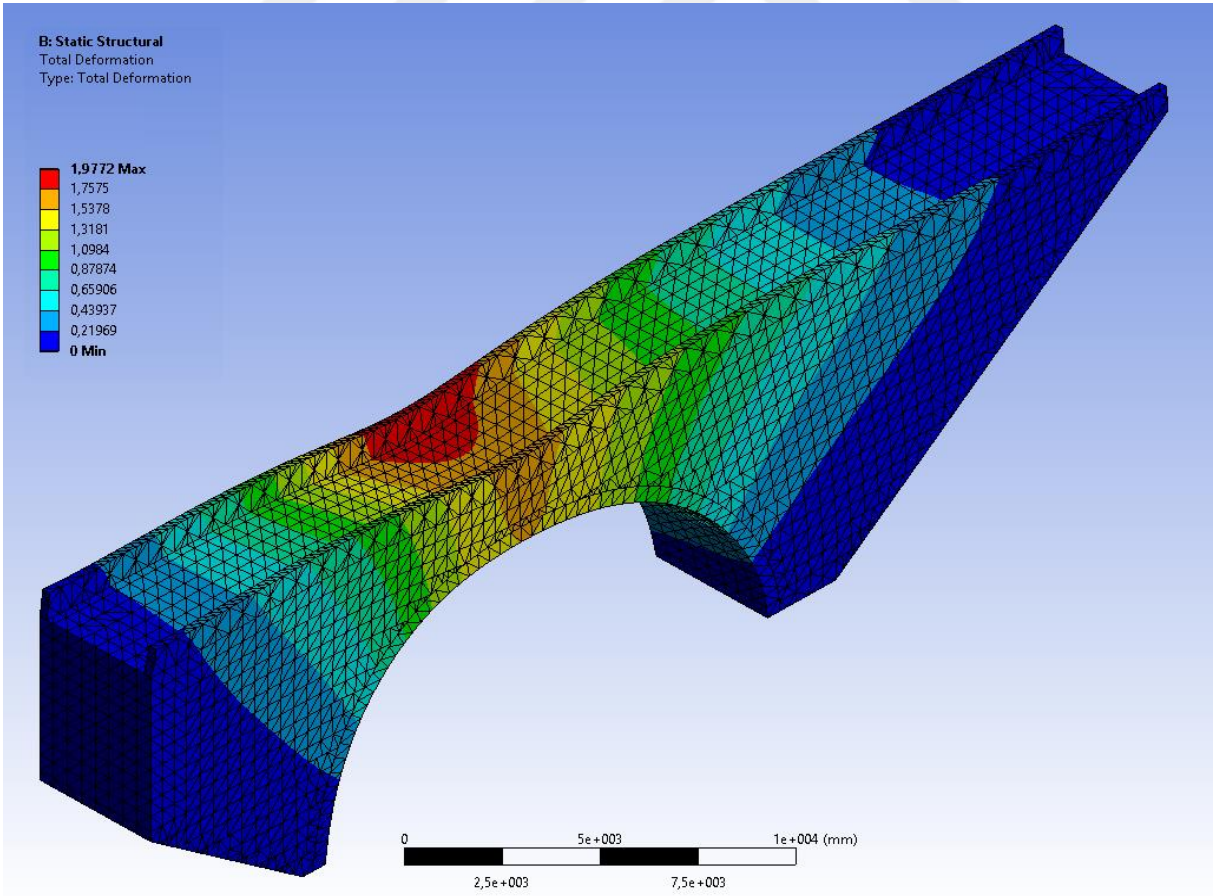
Şekil 6.11 Konjic Köprüsü, Cape Mend 1992 (Maximum Principal Stress).



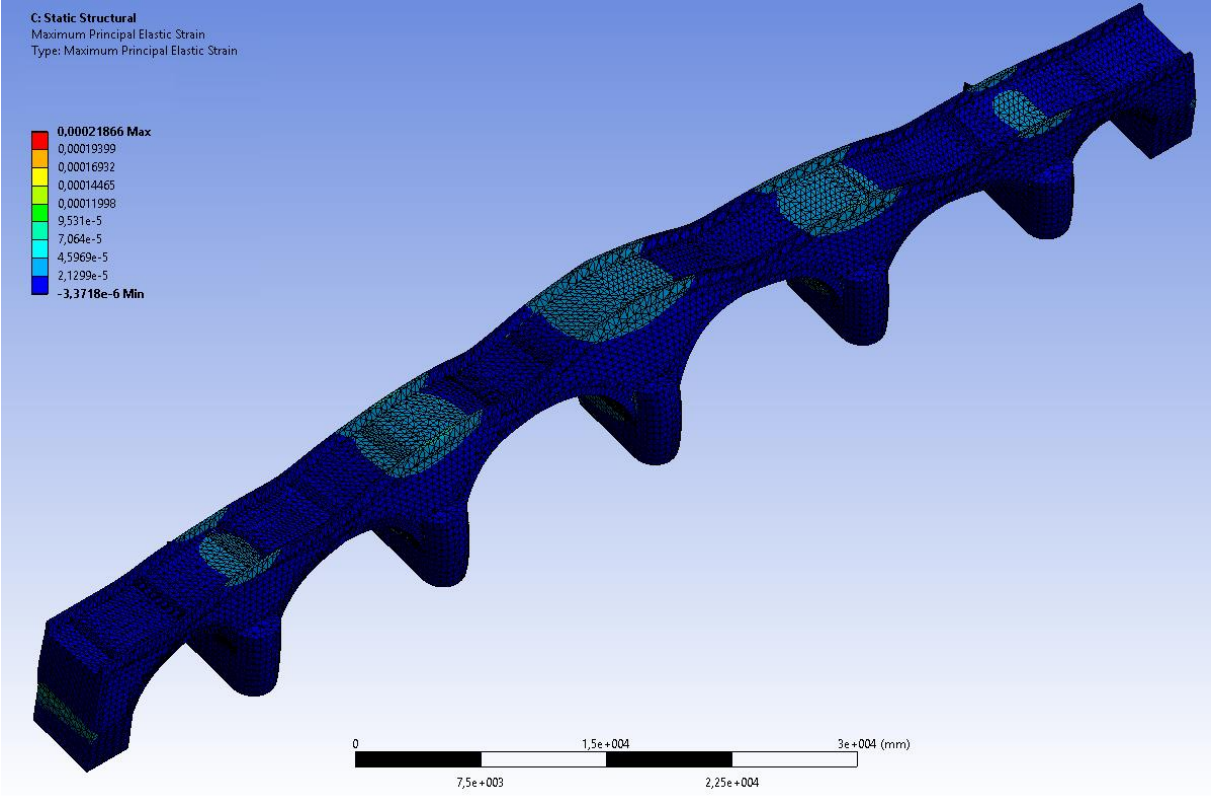
Şekil 6.12 Tokatlı Köprüsü, Cape Mend 1992 (Maximum Principal Stress).



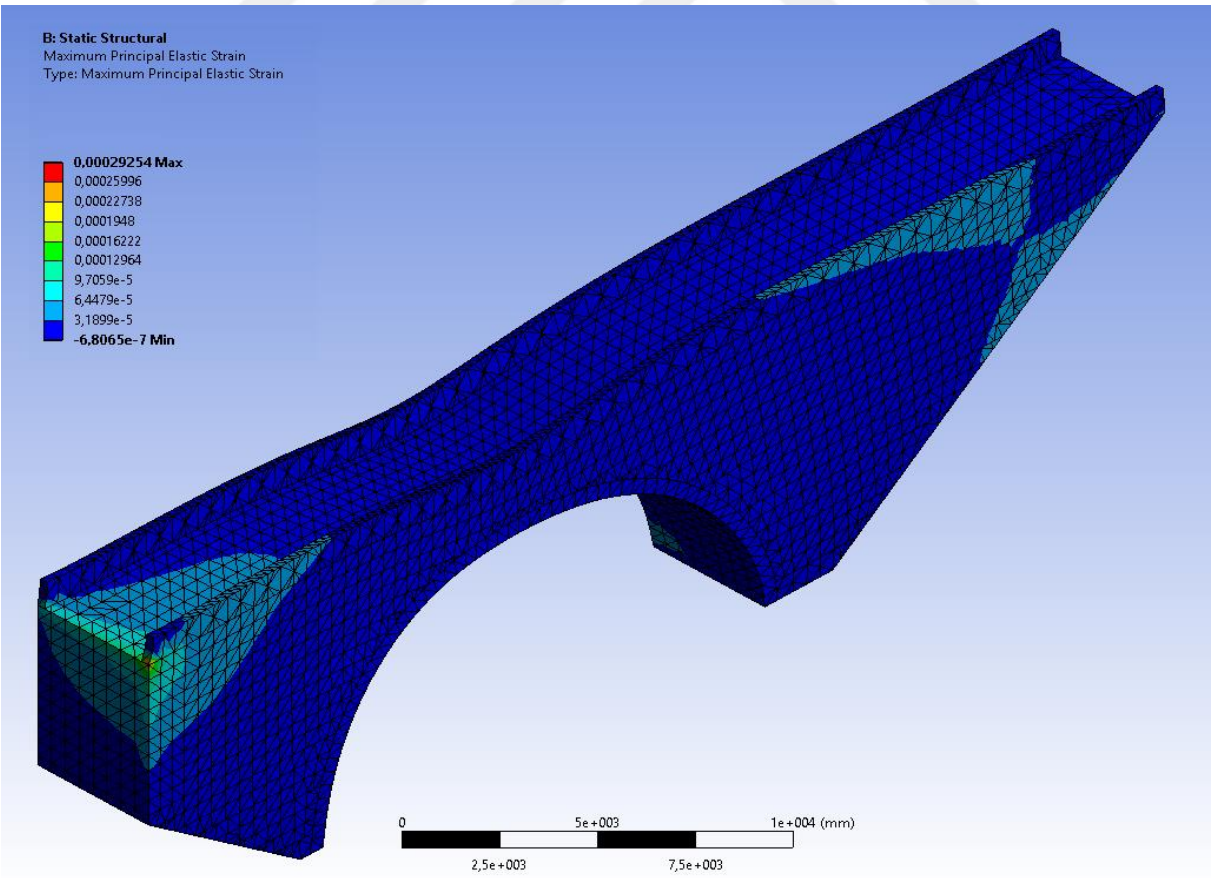
Şekil 6.13 Konjic Köprüsü, Chi-Chi 1999 (Total Deformasyon).



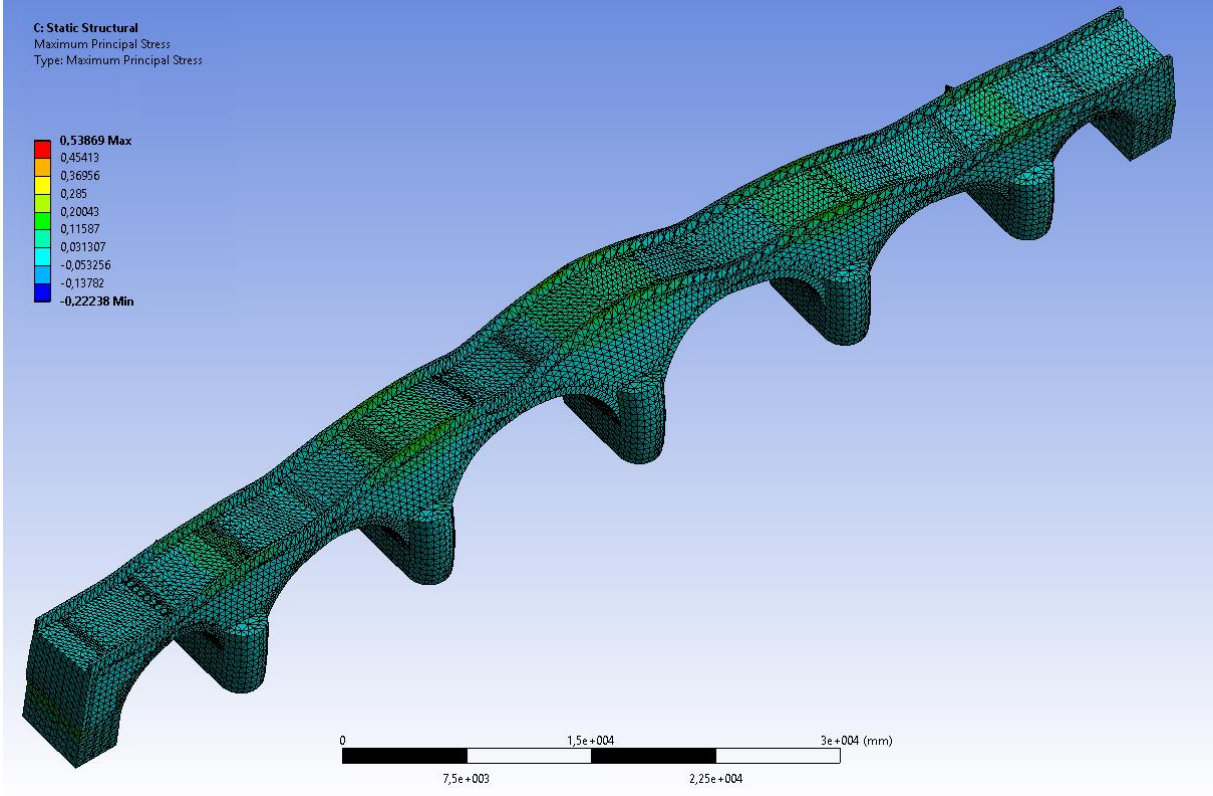
Şekil 6.14 Tokatlı Köprüsü, Chi-Chi 1999 (Total Deformasyon).



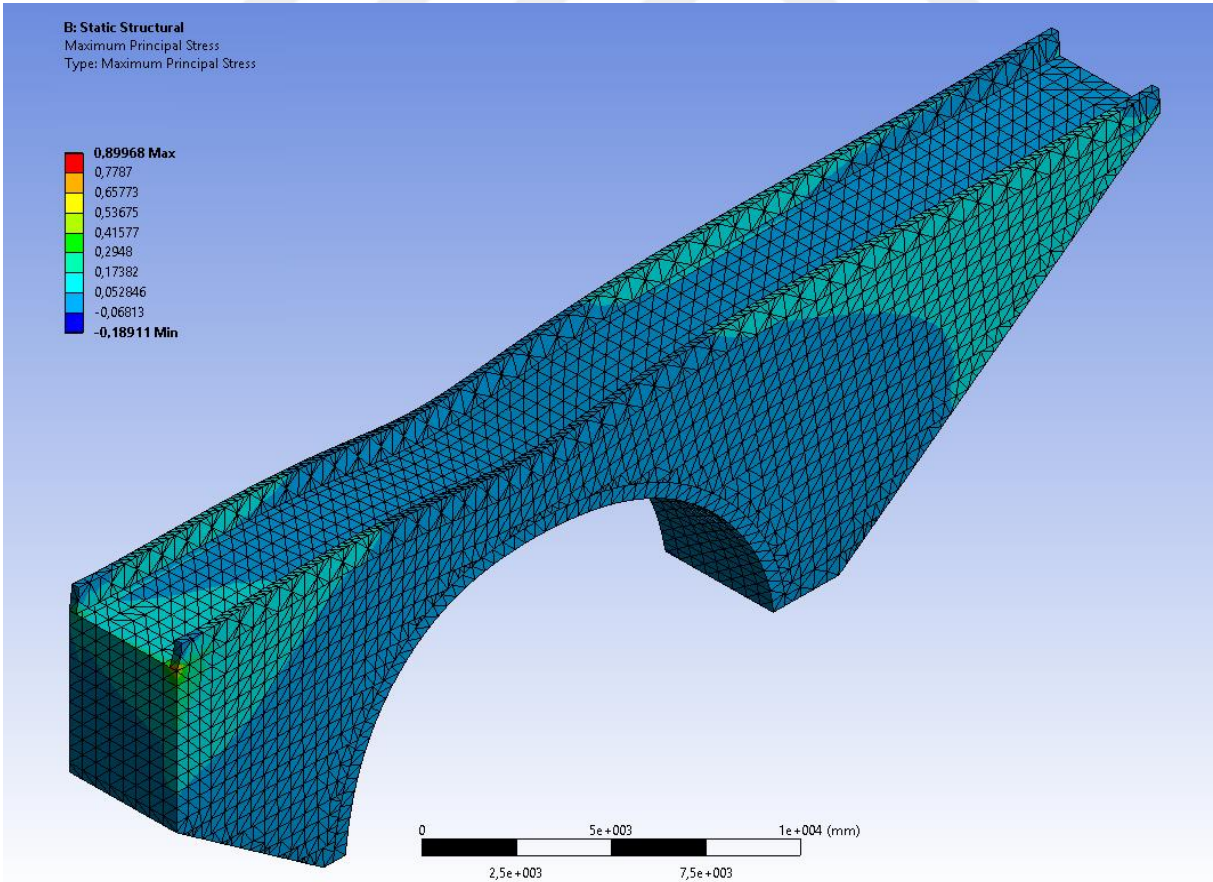
Şekil 6.15 Konjic Köprüsü, Chi-Chi 1999 (Maximum Principal Elastic Strain).



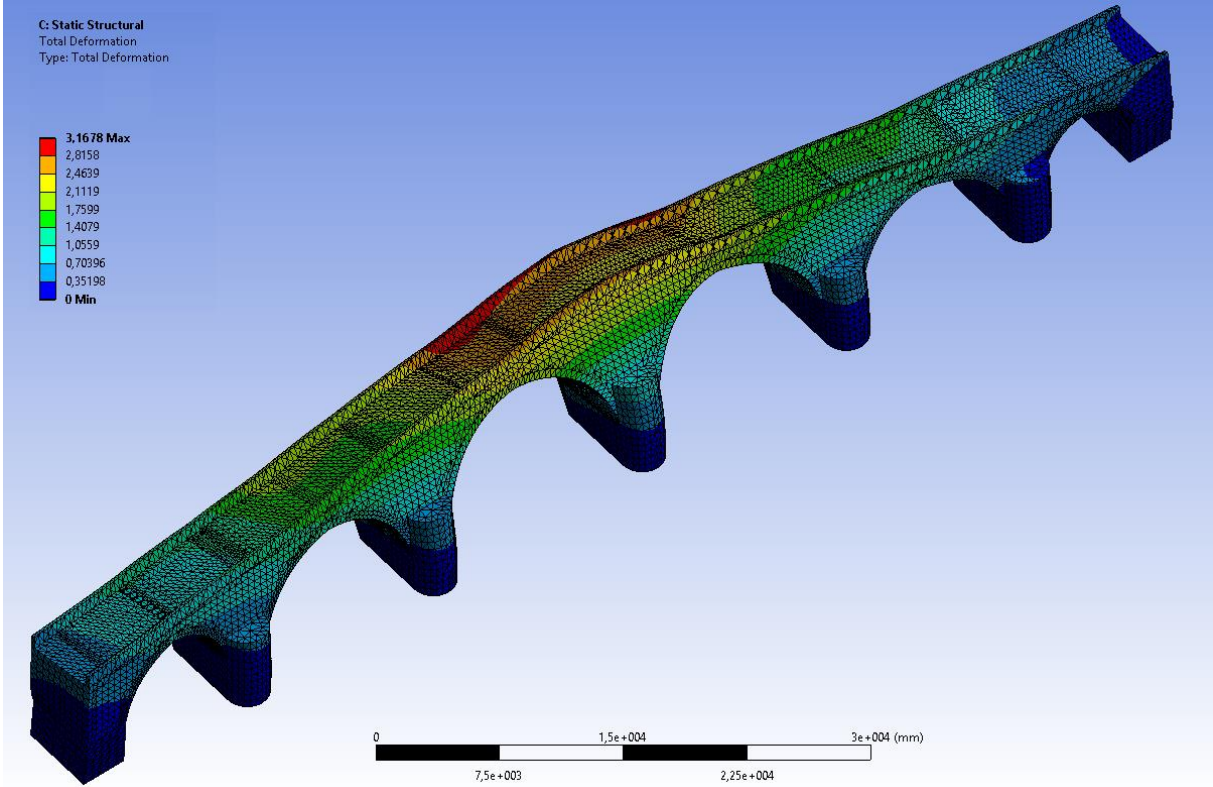
Şekil 6.16 Tokatl Köprüsü, Chi-Chi 1999 (Maximum Principal Elastic Strain).



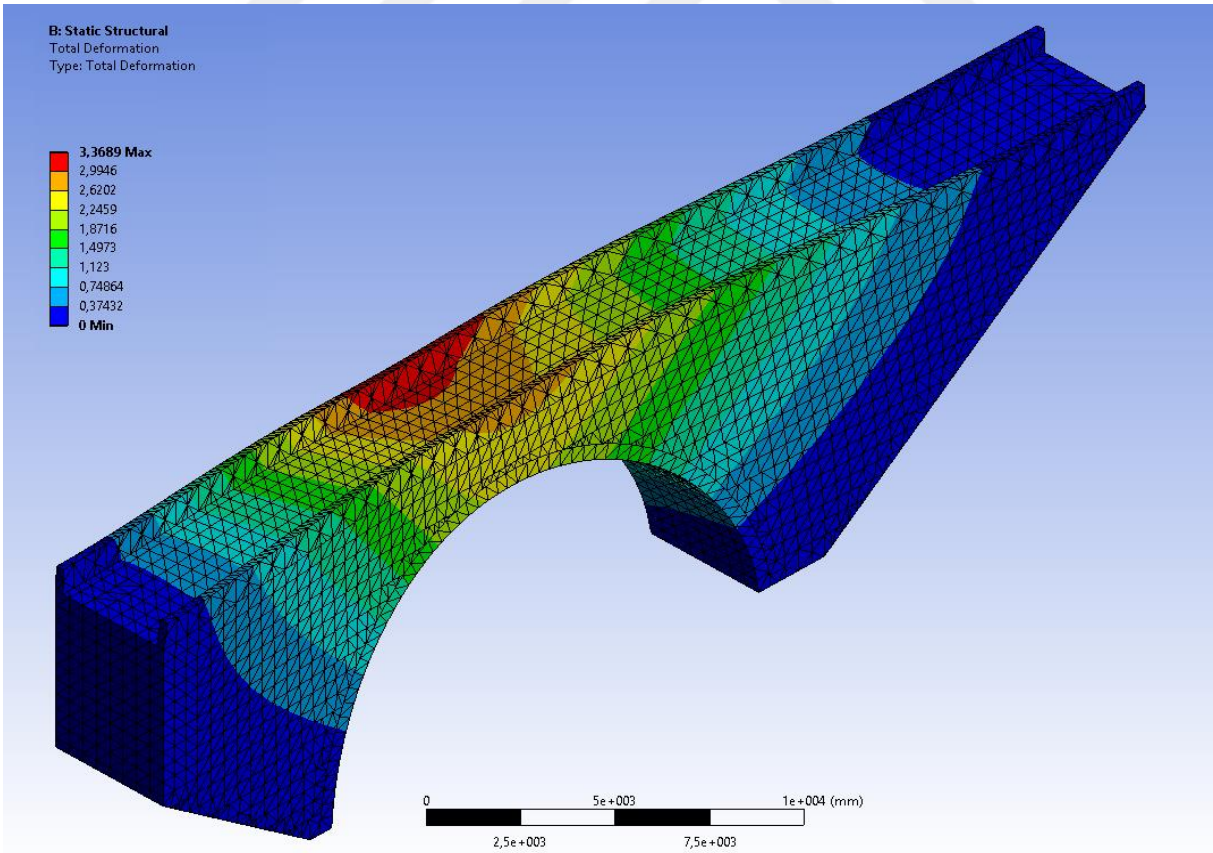
Şekil 6.17 Konjic Köprüsü, Chi-Chi 1999 (Maximum Principal Stress).



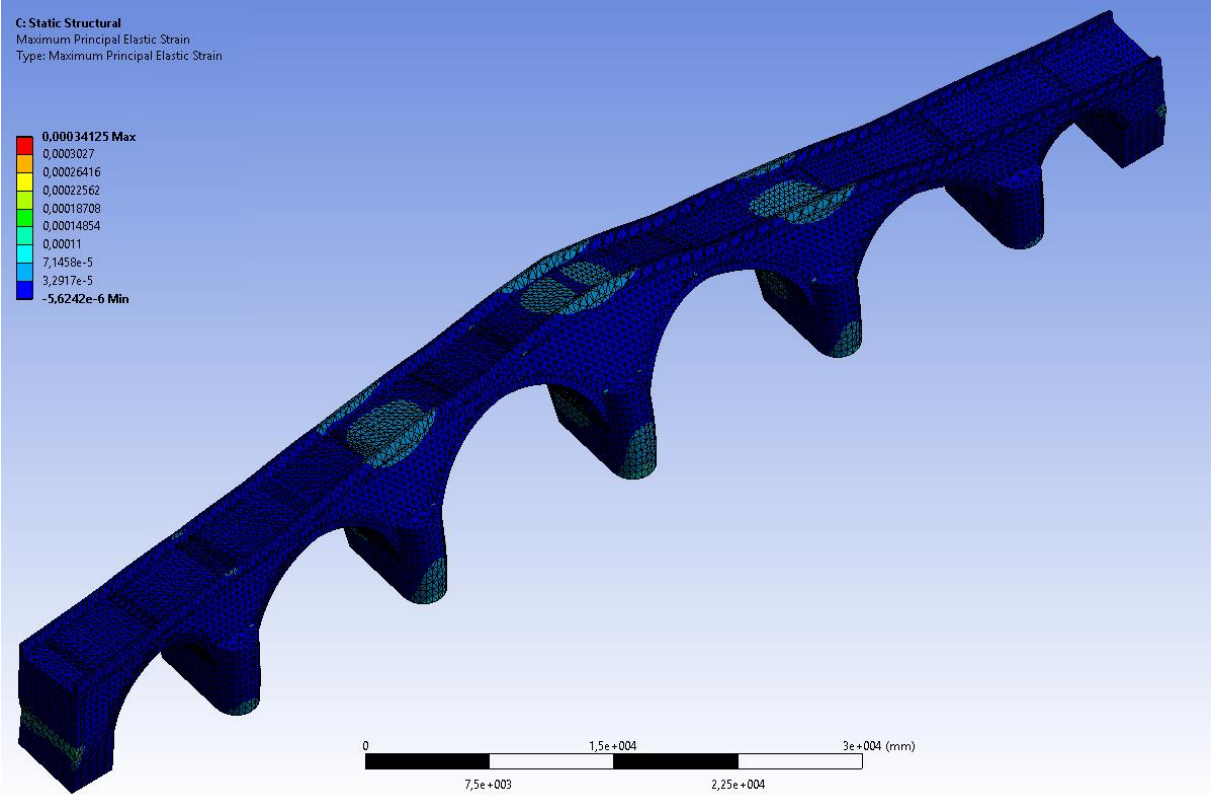
Şekil 6.18 Tokatlı Köprüsü, Chi-Chi 1999 (Maximum Principal Stress).



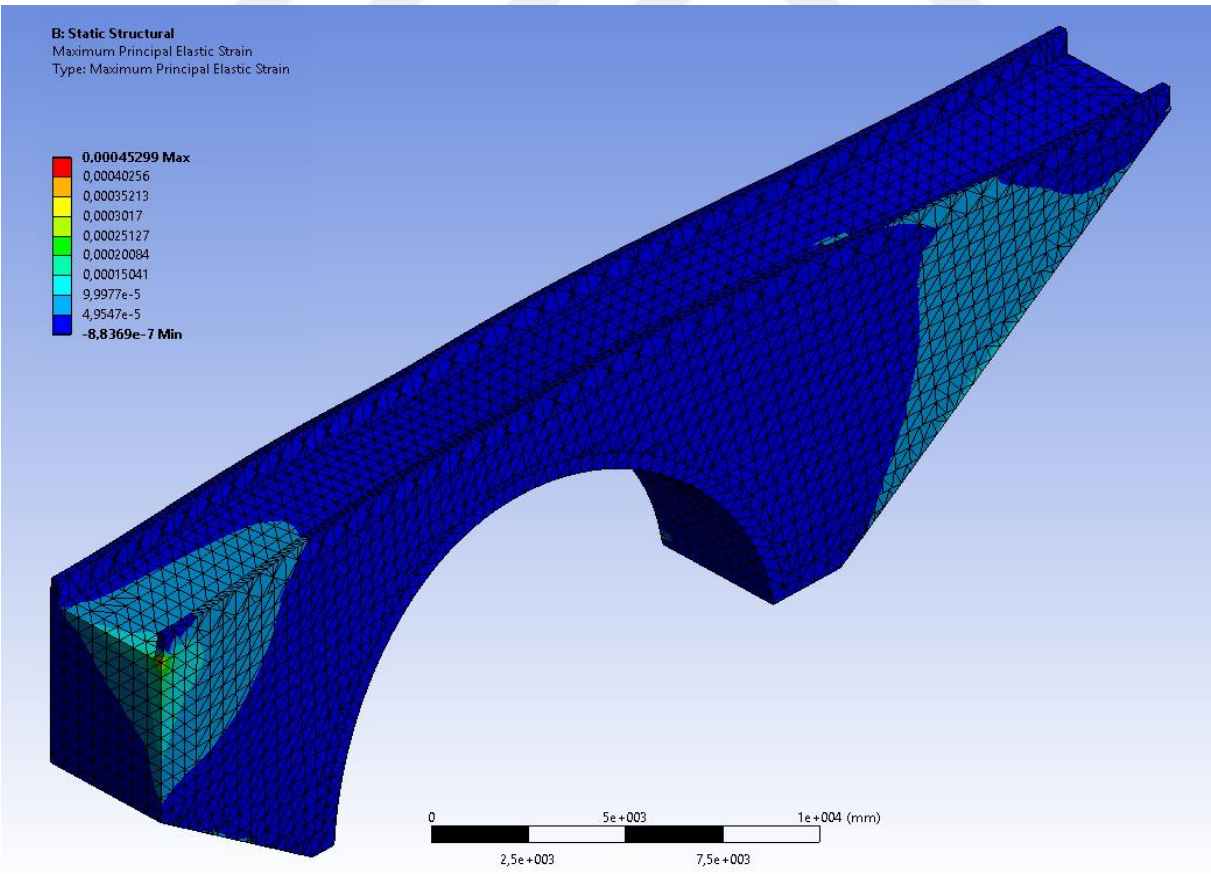
Şekil 6.19 Konjic Köprüsü, Imperial Valley 1979 (Total Deformasyon).



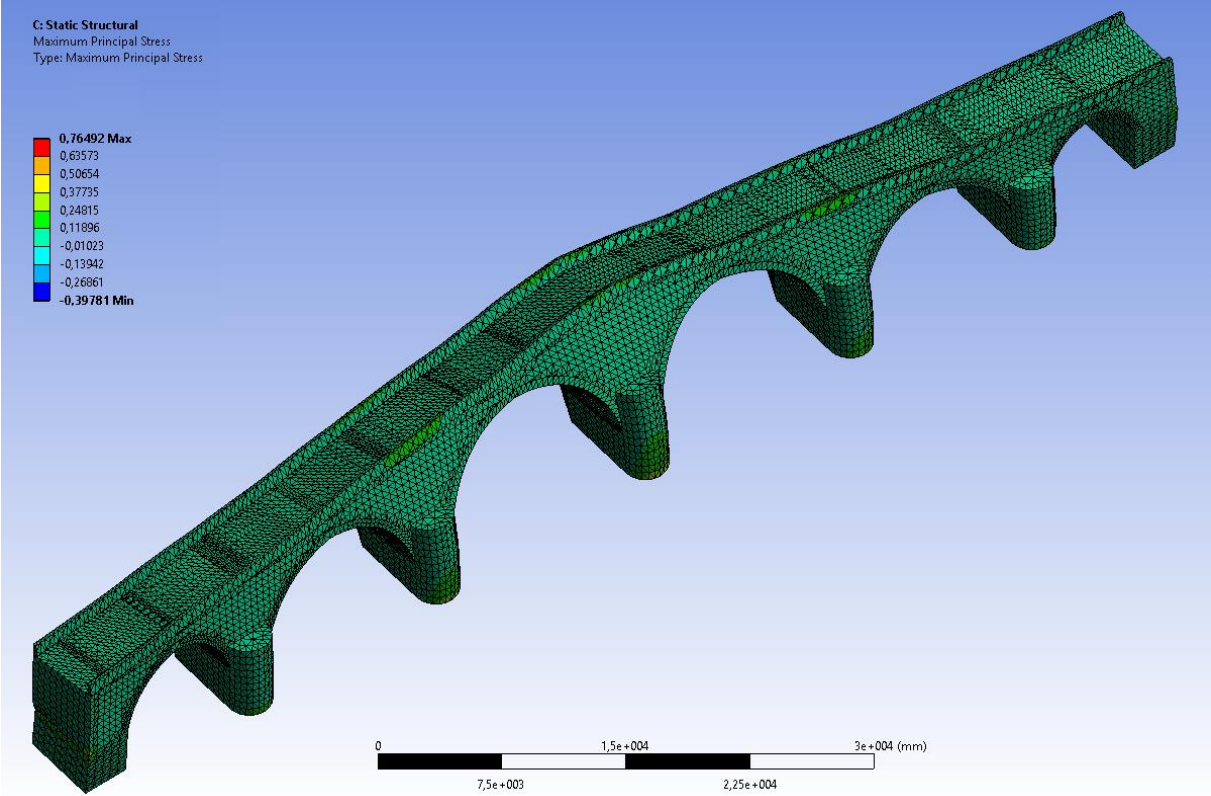
Şekil 6.20 Tokatlı Köprüsü, Imperial Valley 1979 (Total Deformasyon).



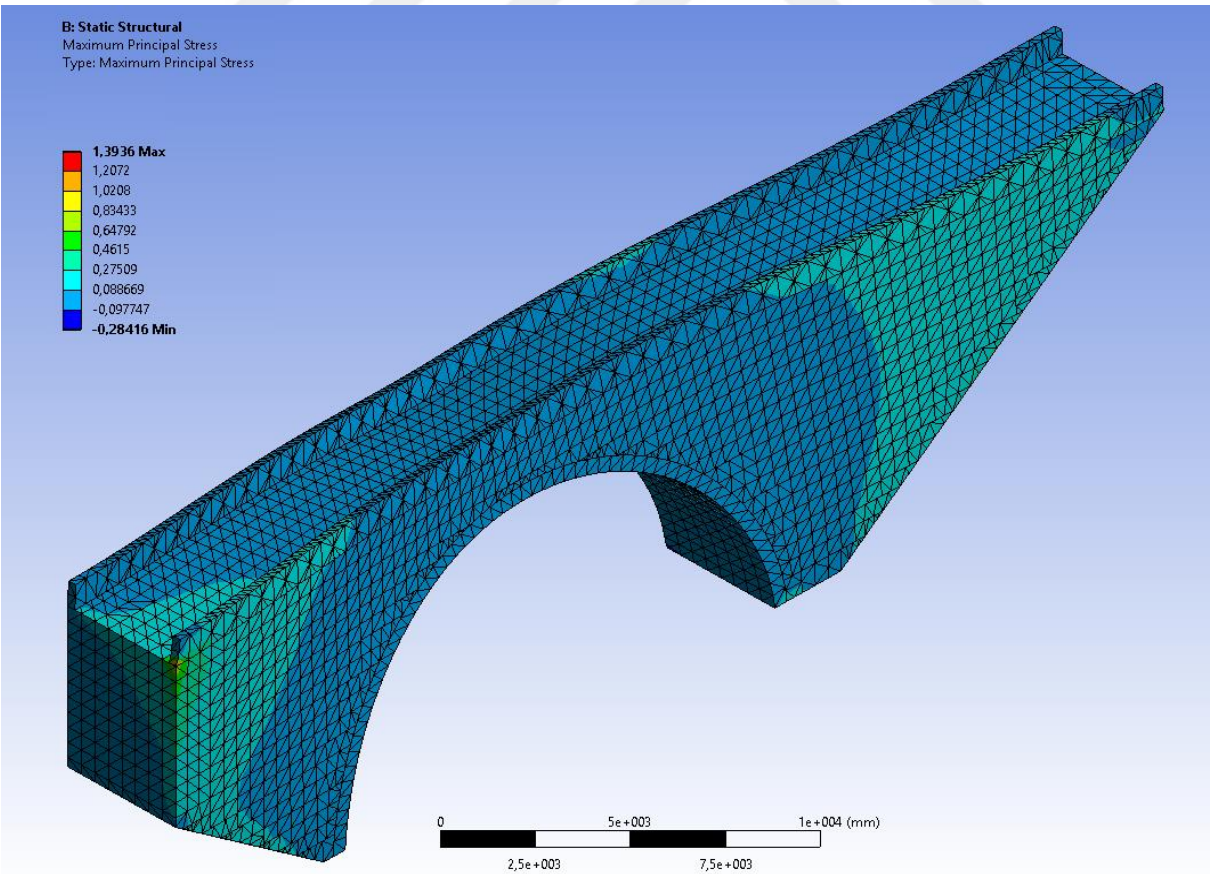
Şekil 6.21 Konjic Köprüsü, Imperial Valley 1979 (Maximum Principal Elastic Strain).



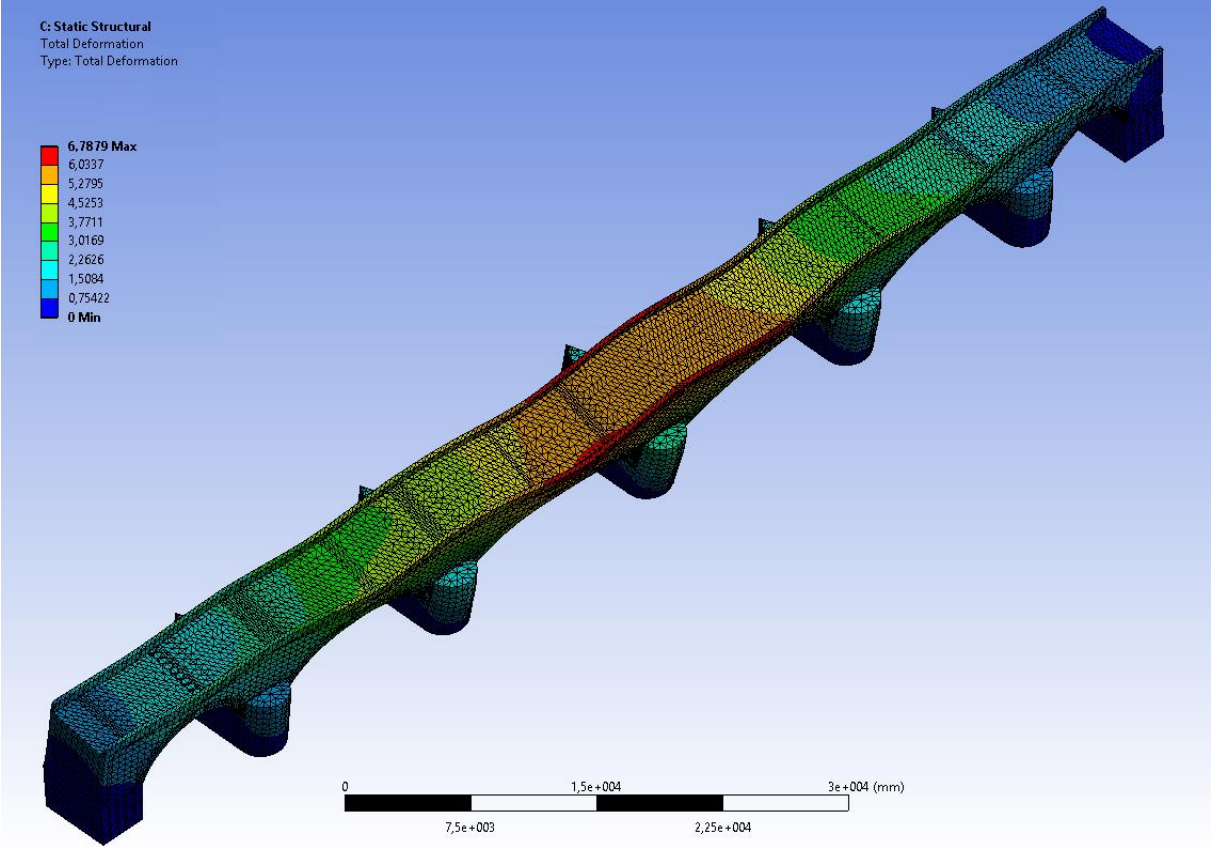
Şekil 6.22 Tokatlı Köprüsü, Imperial Valley 1979 (Maximum Principal Elastic Strain).



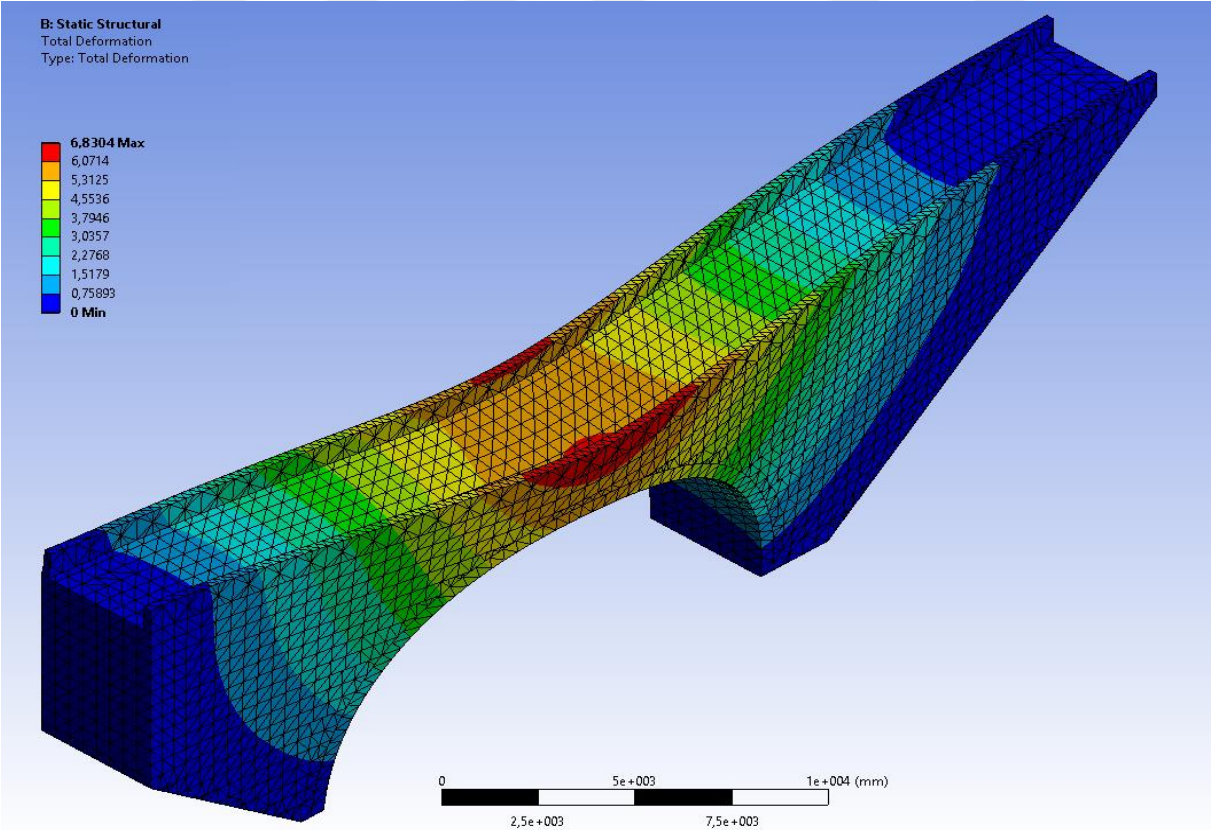
Şekil 6.23 Konjic Köprüsü, Imperial Valley 1979 (Maximum Principal Stress).



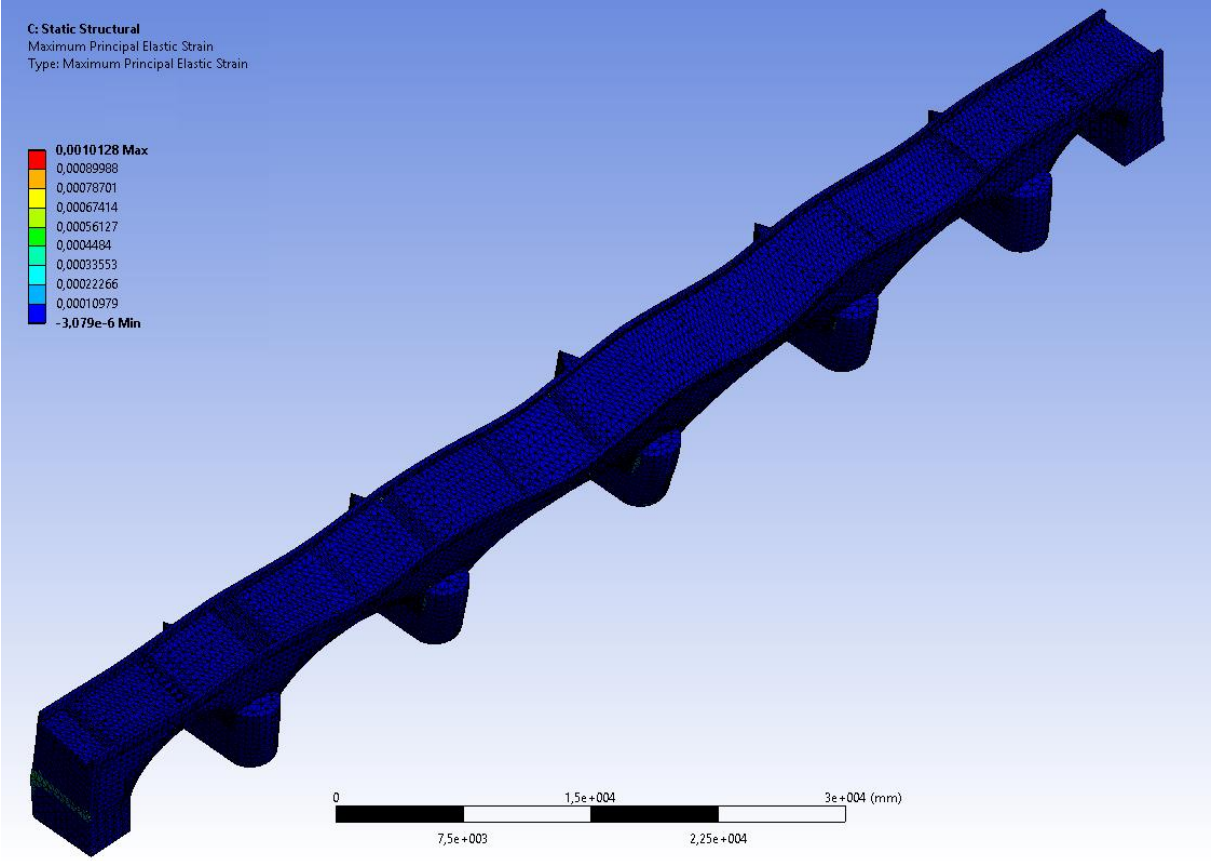
Şekil 6.24 Tokatlı Köprüsü, Imperial Valley 1979 (Maximum Principal Stress).



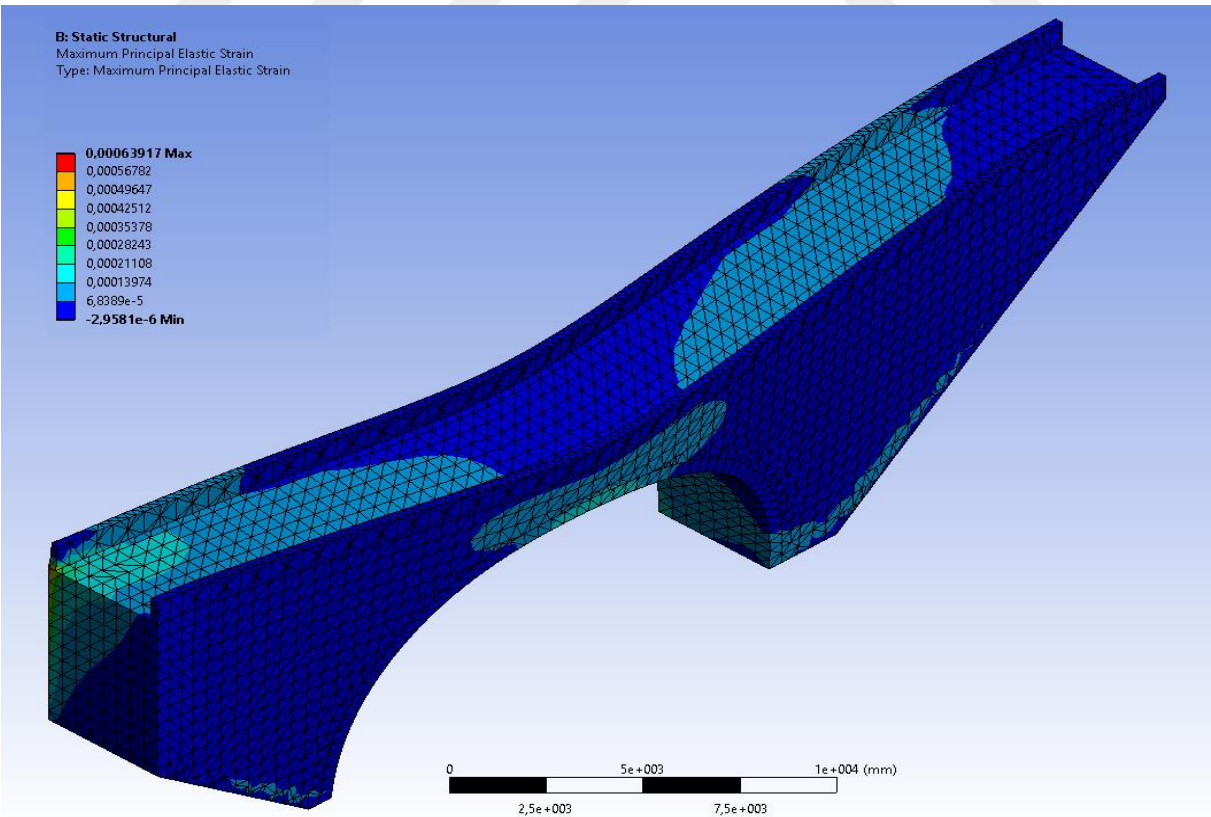
Şekil 6.25 Konjic Köprüsü, Kobe 1995 (Total Deformasyon).



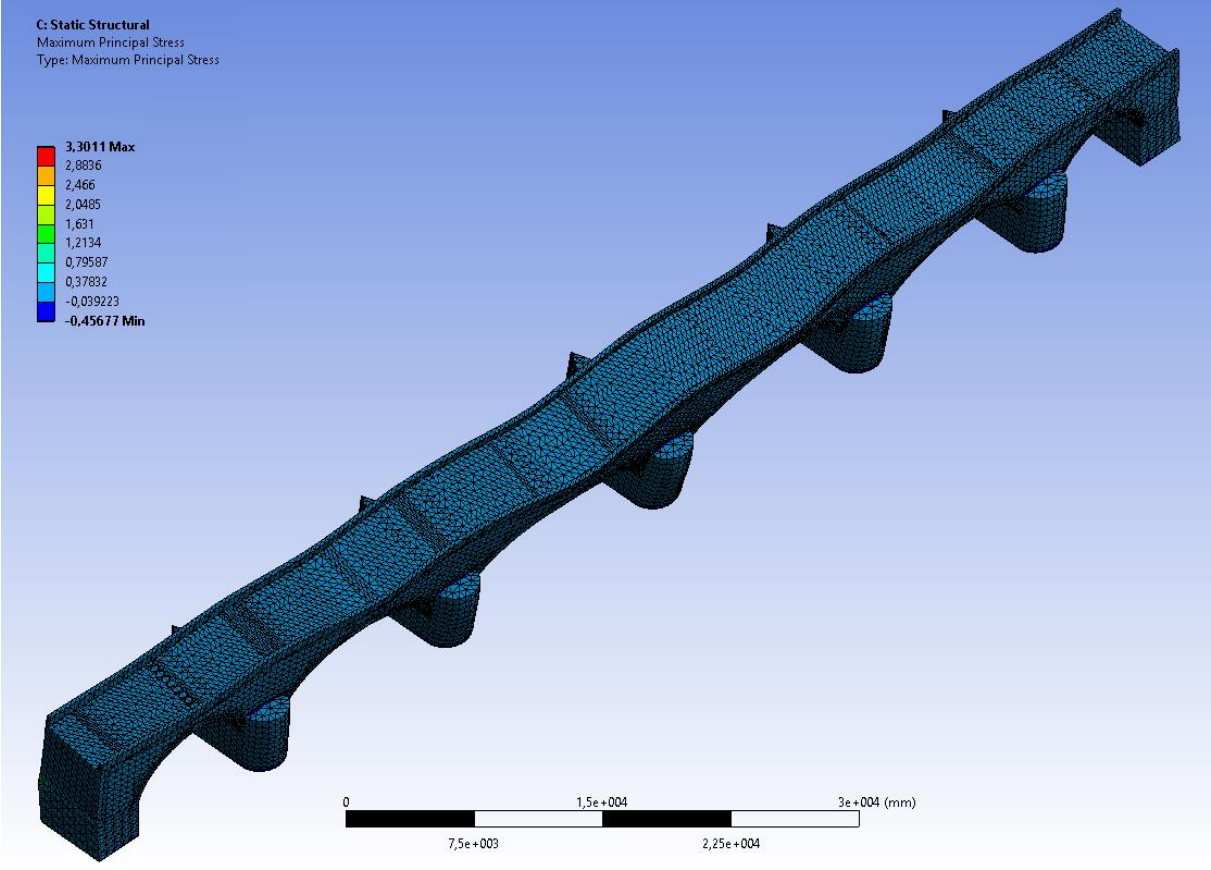
Şekil 6.26 Tokatlı Köprüsü, Kobe 1995 (Total Deformasyon).



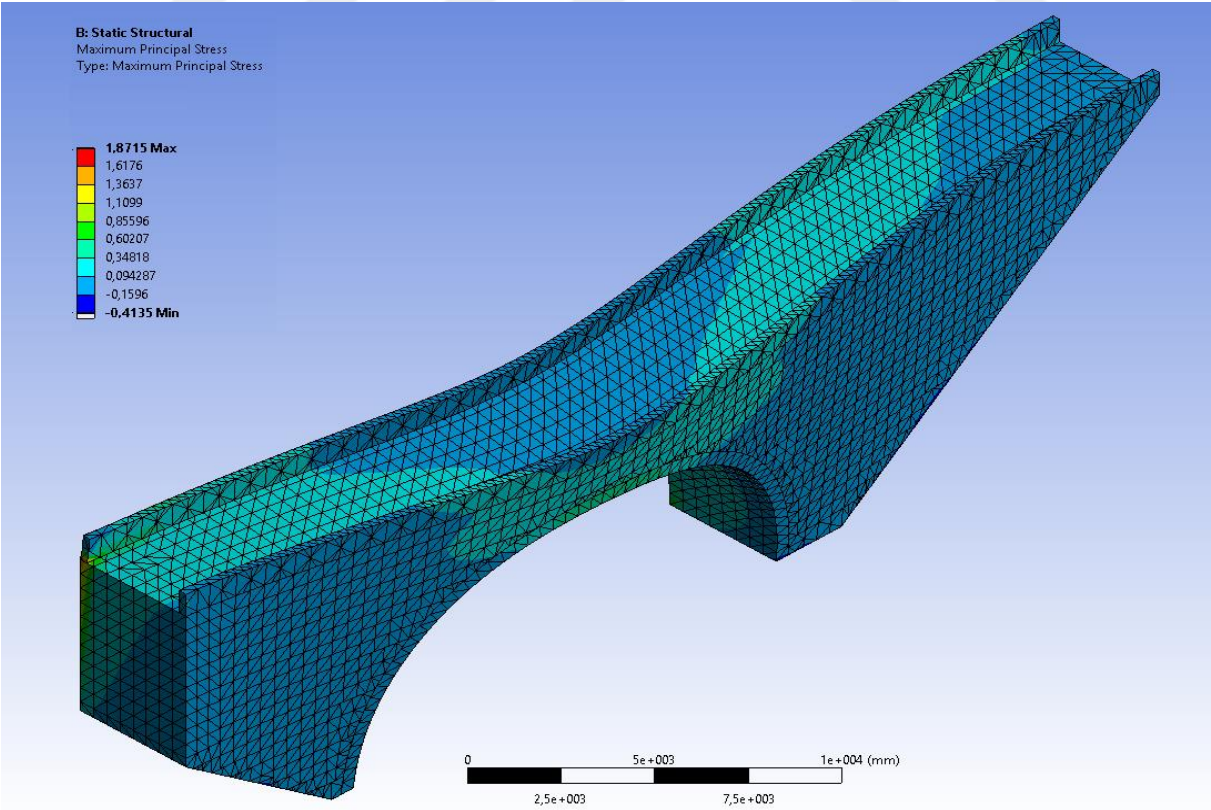
Şekil 6.27 Konjic Köprüsü, Kobe 1995 (Maximum Principal Elastic Strain).



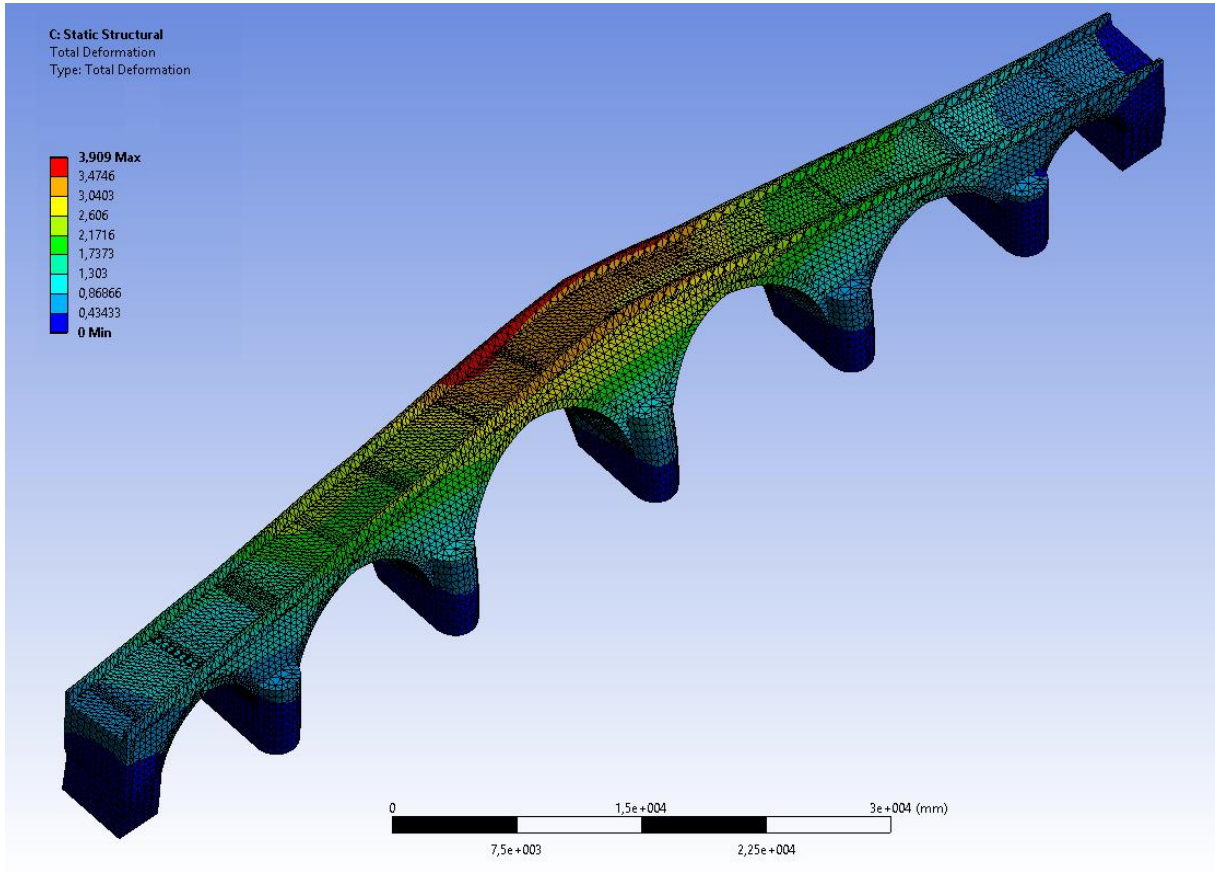
Şekil 6.28 Tokatlı Köprüsü, Kobe 1995 (Maximum Principal Elastic Strain).



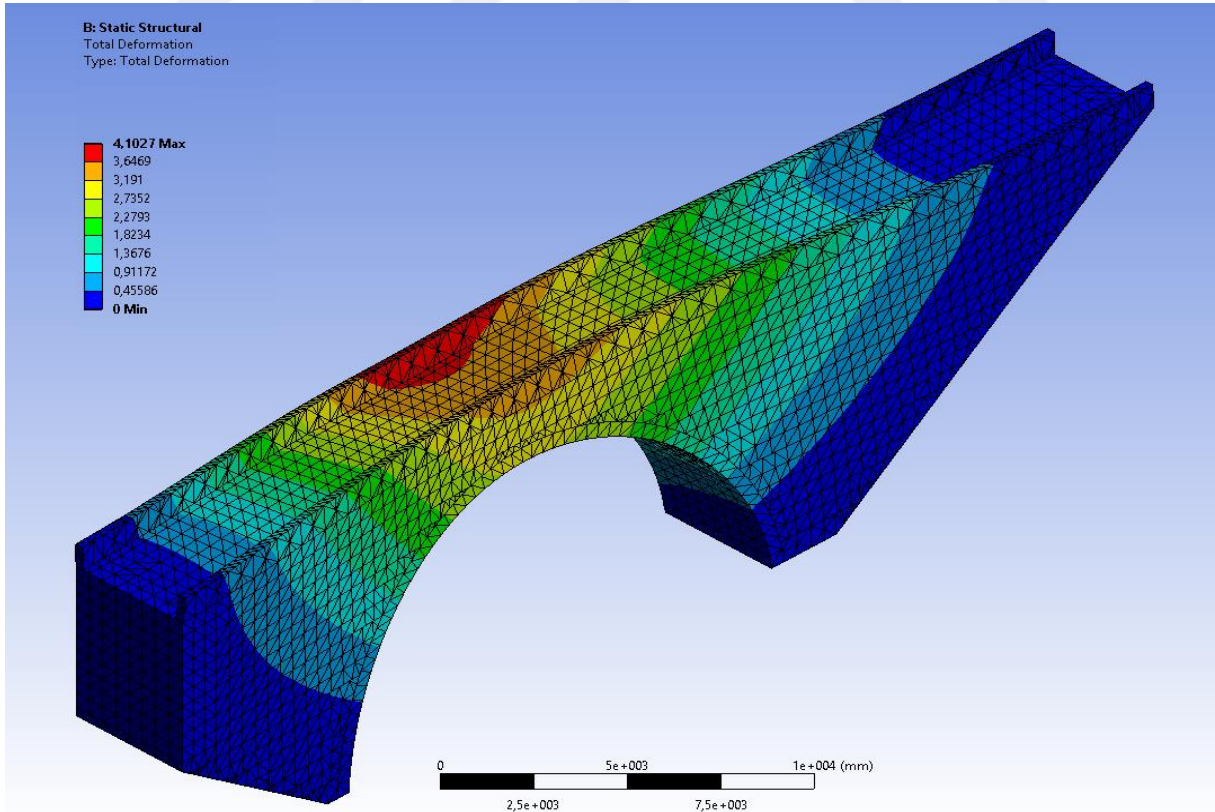
Şekil 6.29 Konjic Köprüsü, Kobe 1995 (Maximum Principal Stress).



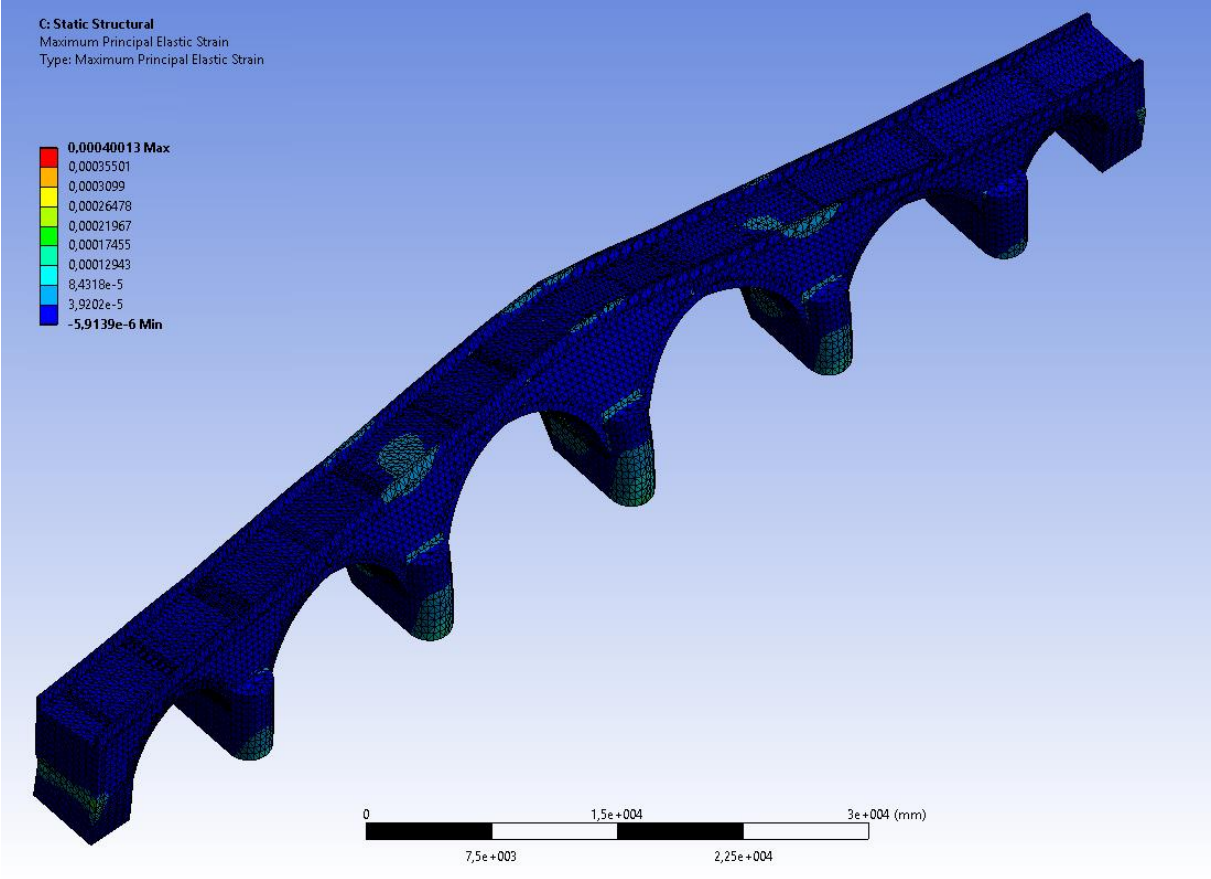
Şekil 6.30 Tokatlı Köprüsü, Kobe 1995 (Maximum Principal Stress).



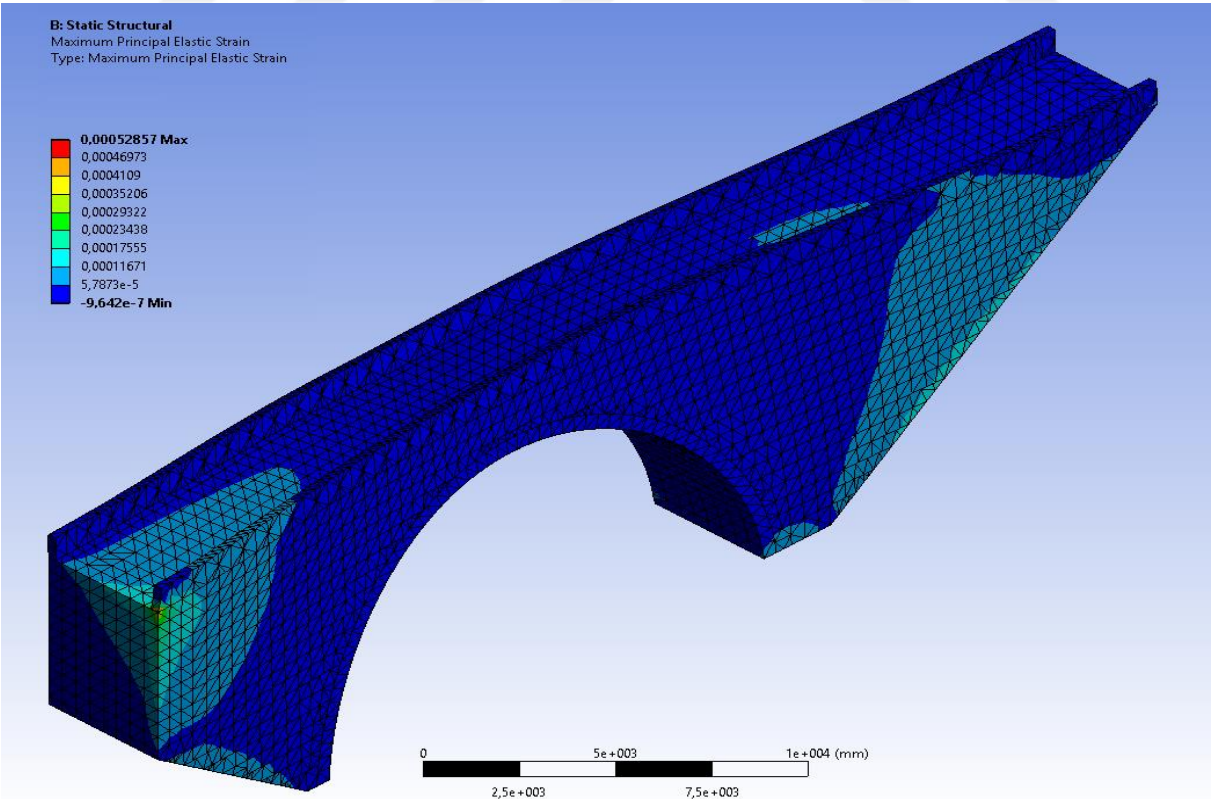
Şekil 6.31 Konjic Köprüsü, Northridge 1994 (Total Deformasyon).



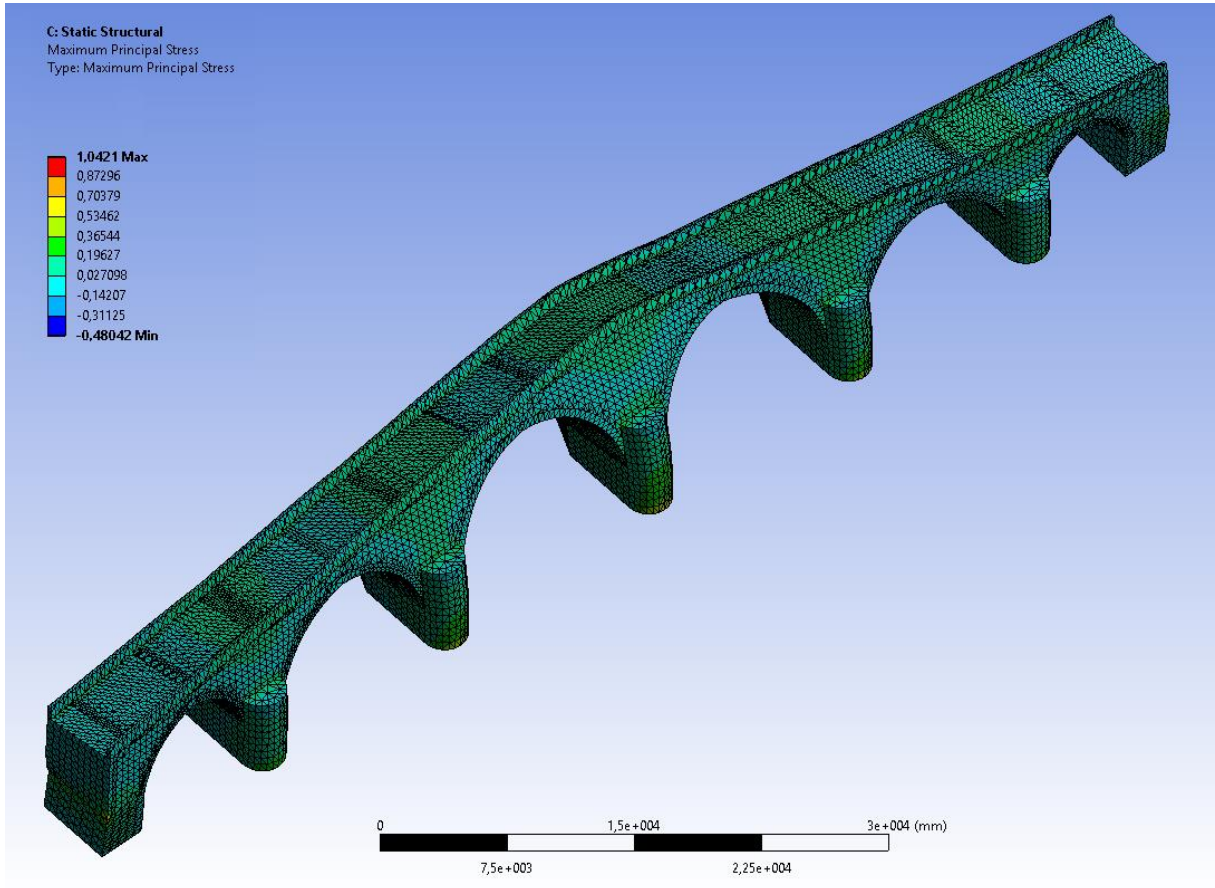
Şekil 6.32 Tokatlı Köprüsü, Northridge 1994 (Total Deformasyon).



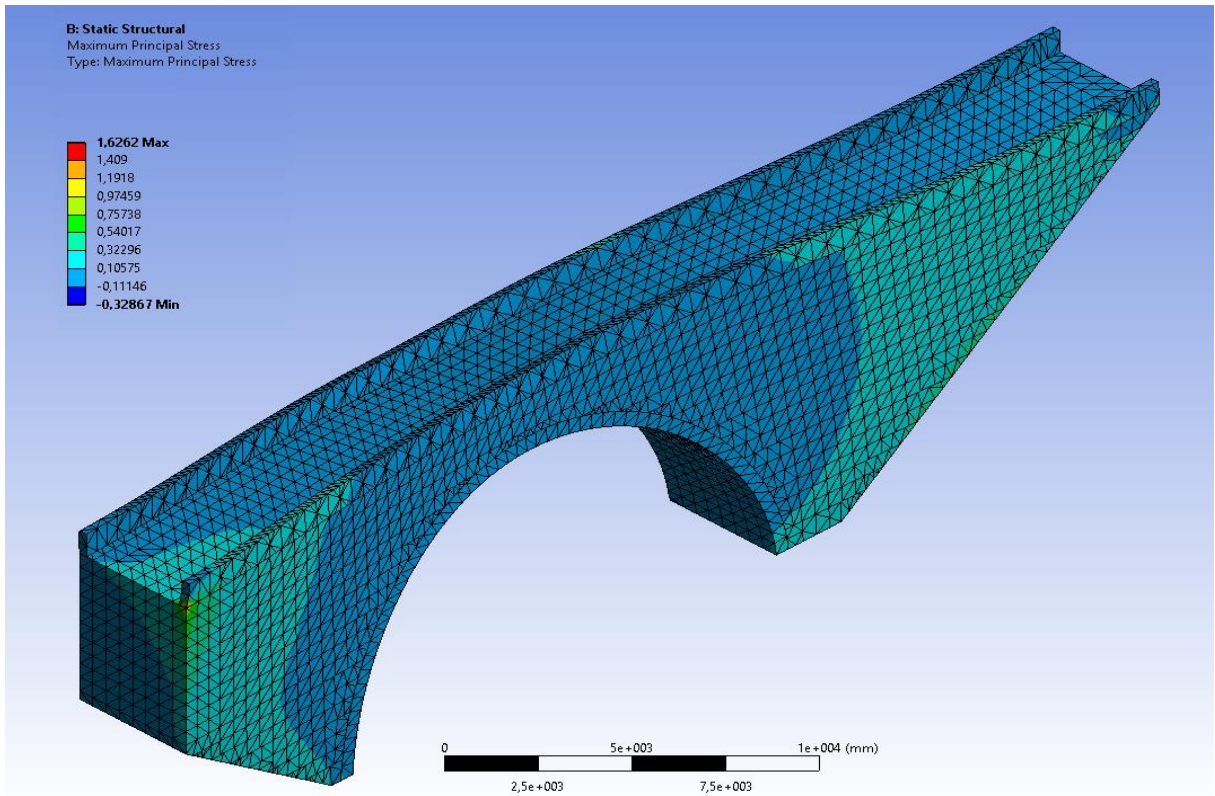
Şekil 6.33 Konjic Köprüsü, Northridge 1994 (Maximum Principal Elastic Strain).



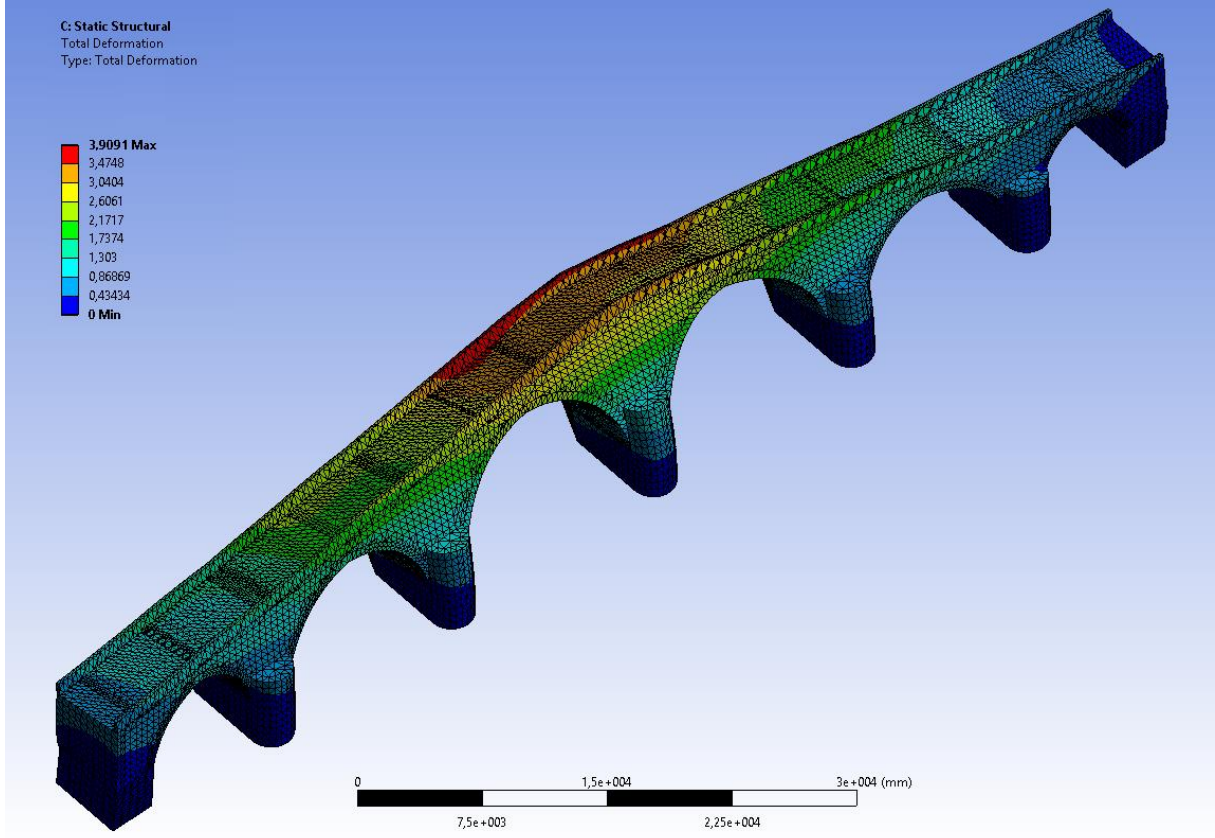
Şekil 6.34 Tokatlı Köprüsü, Northridge 1994 (Maximum Principal Elastic Strain).



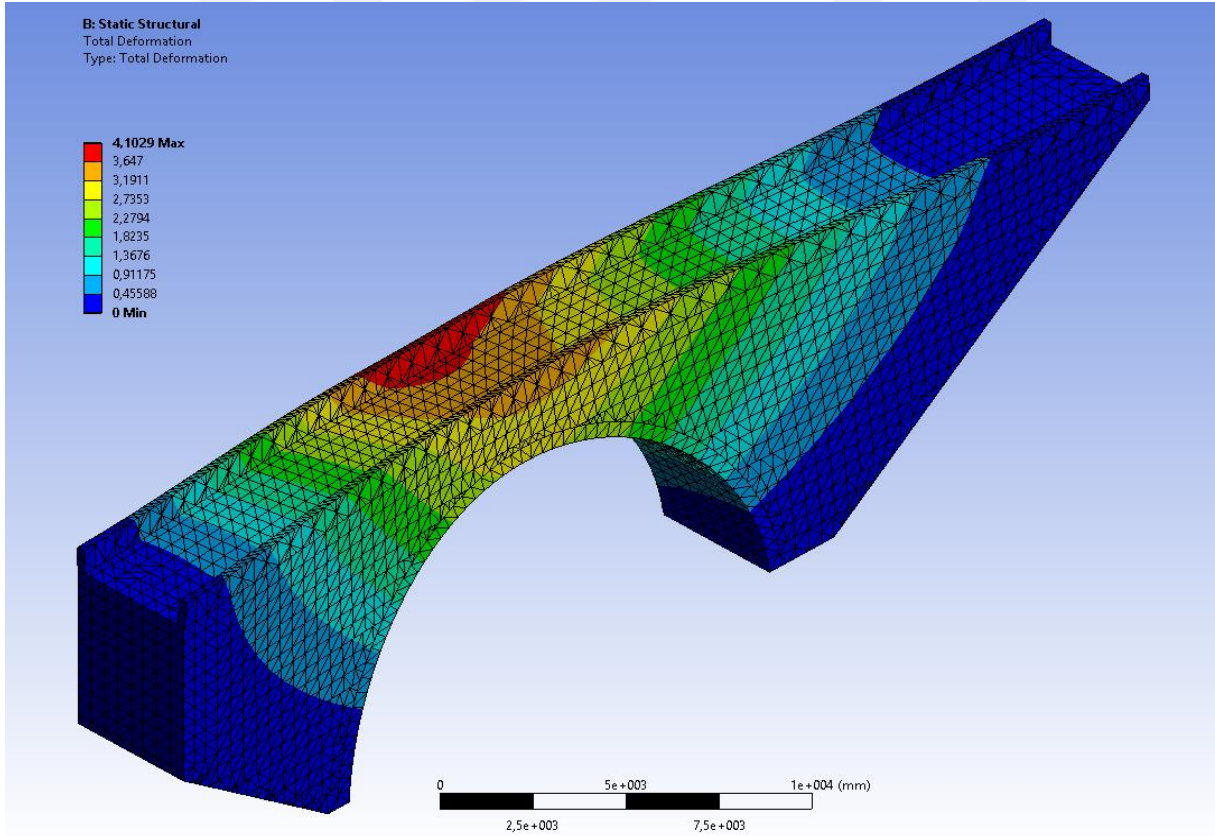
Şekil 6.35 Konjic Köprüsü, Northridge 1994 (Maximum Principal Stress).



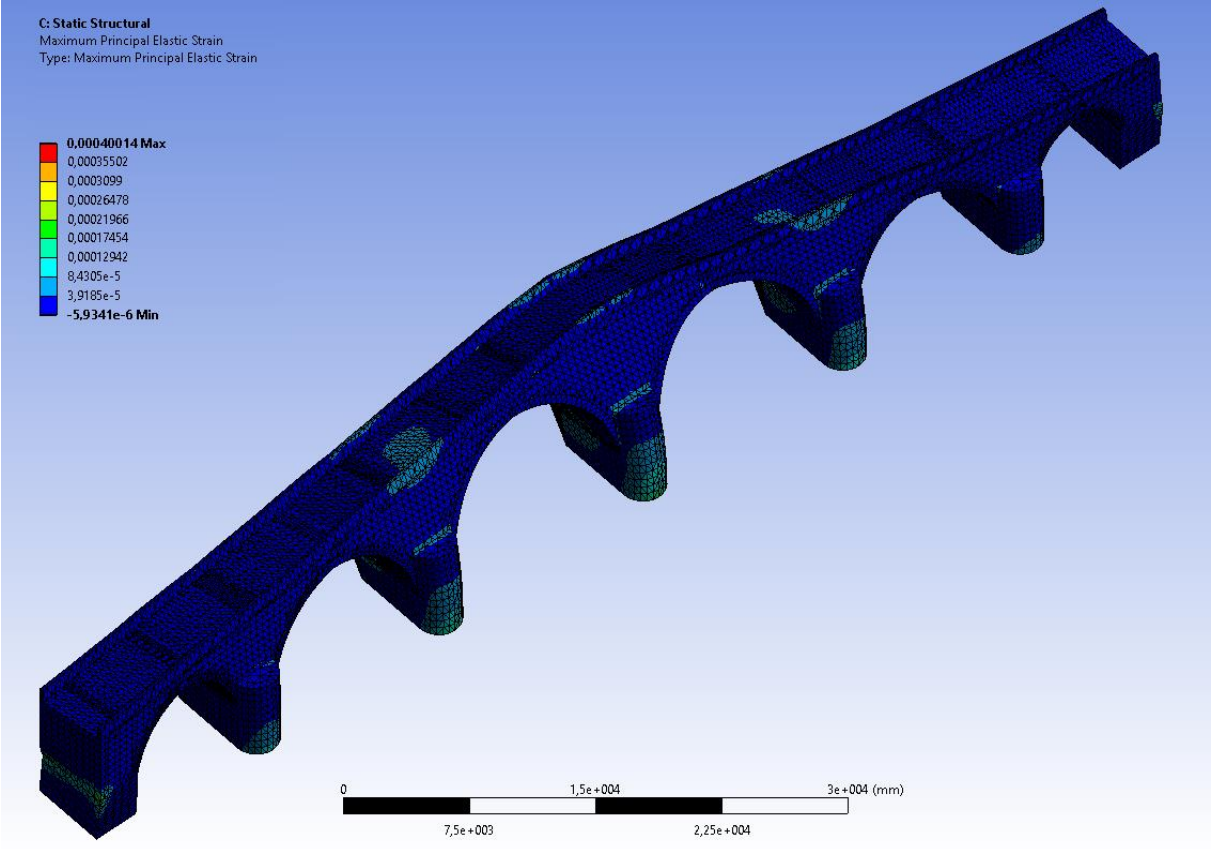
Şekil 6.36 Tokatlı Köprüsü, Northridge 1994 (Maximum Principal Stress).



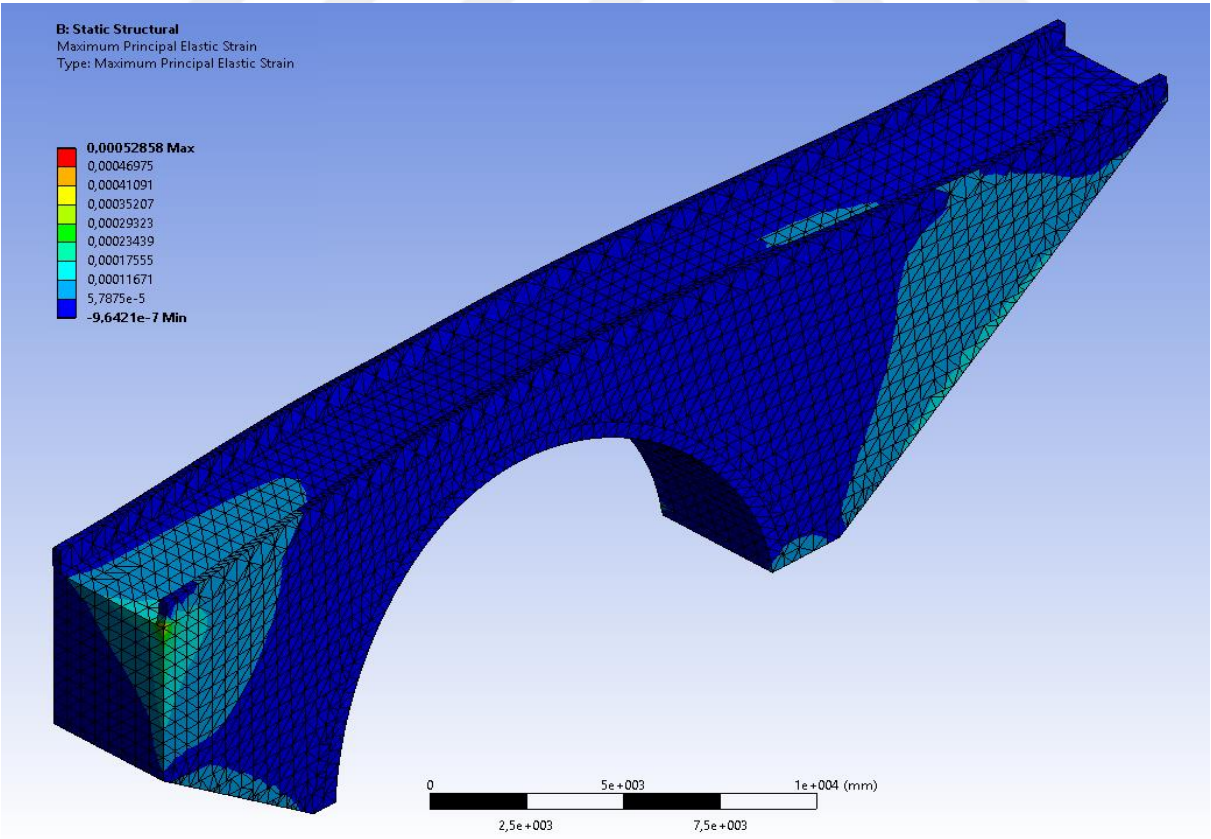
Şekil 6.37 Konjic Köprüsü, Superstition Hills 1987 (Total Deformasyon).



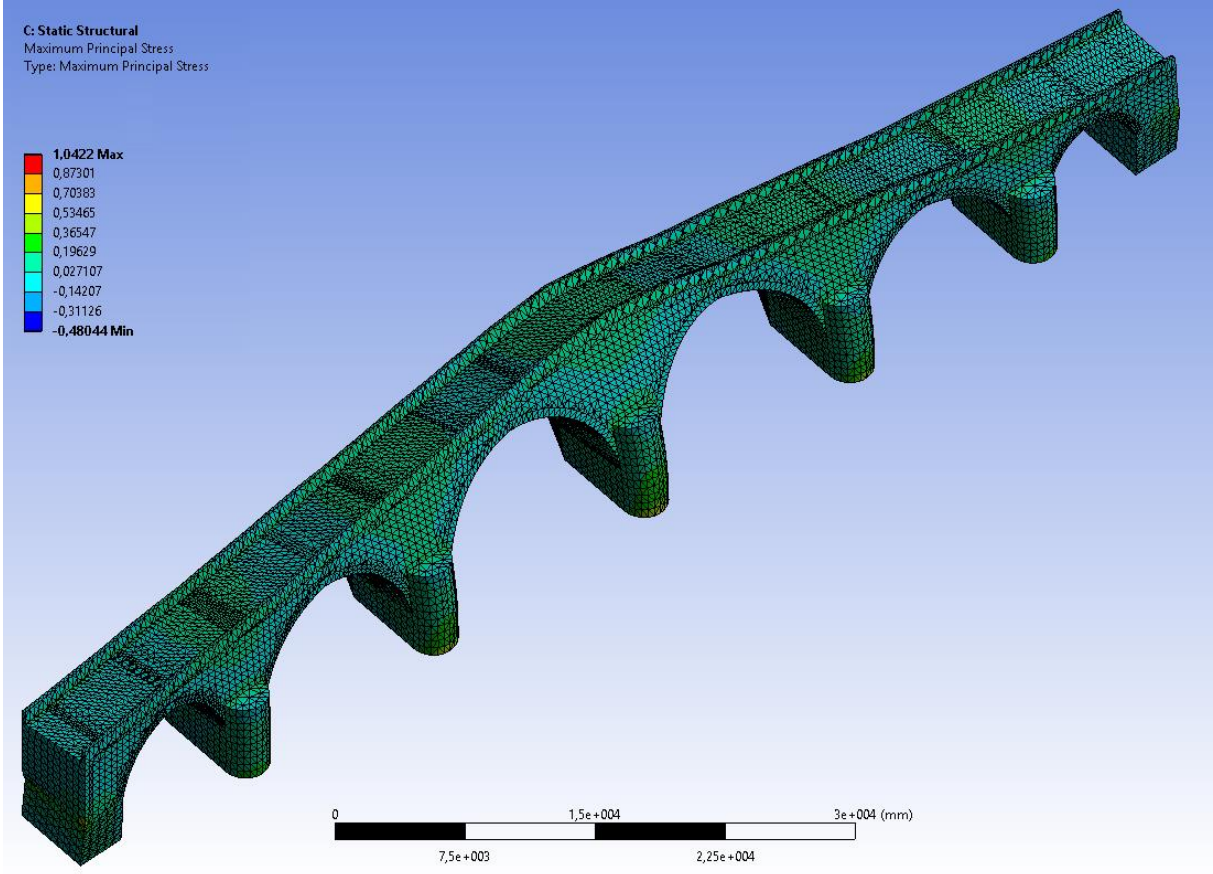
Şekil 6.38 Tokatlı Köprüsü, Superstition Hills 1987 (Total Deformasyon).



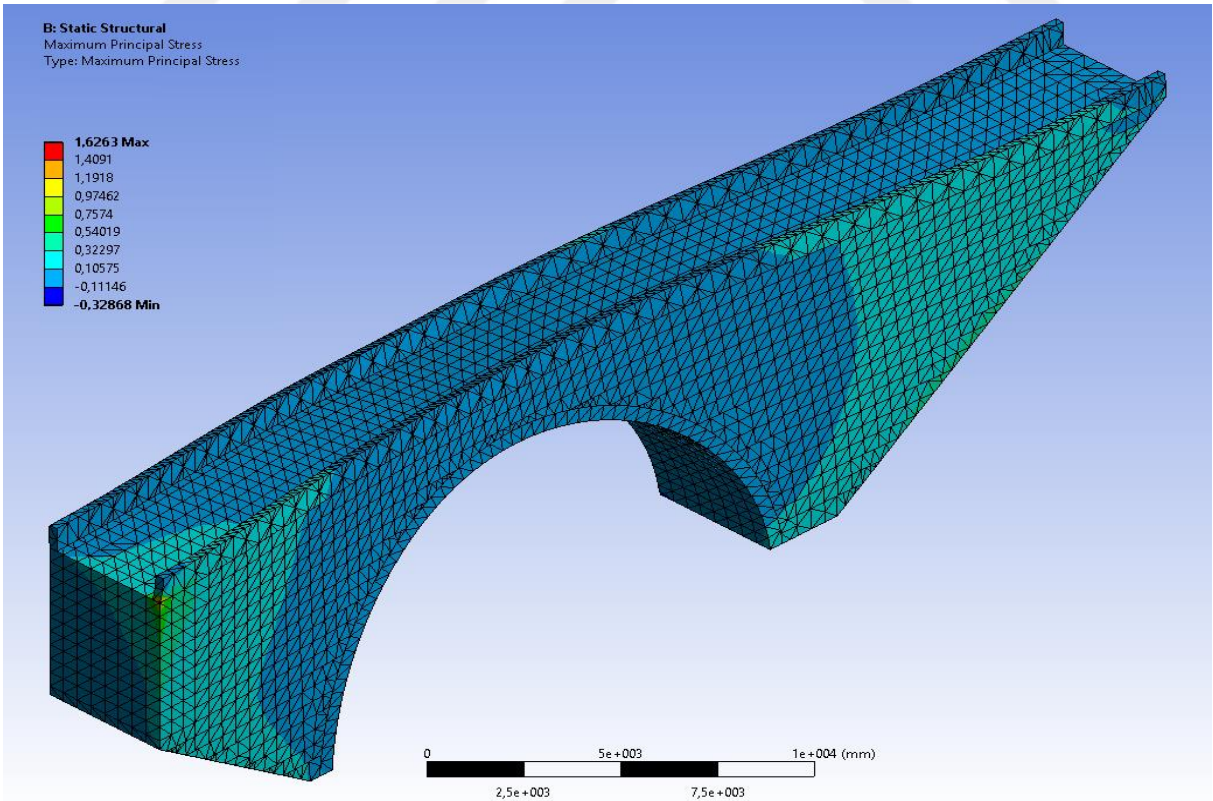
Şekil 6.39 Konjic Köprüsü, Superstition Hills 1987 (Maximum Principal Elastic Strain).



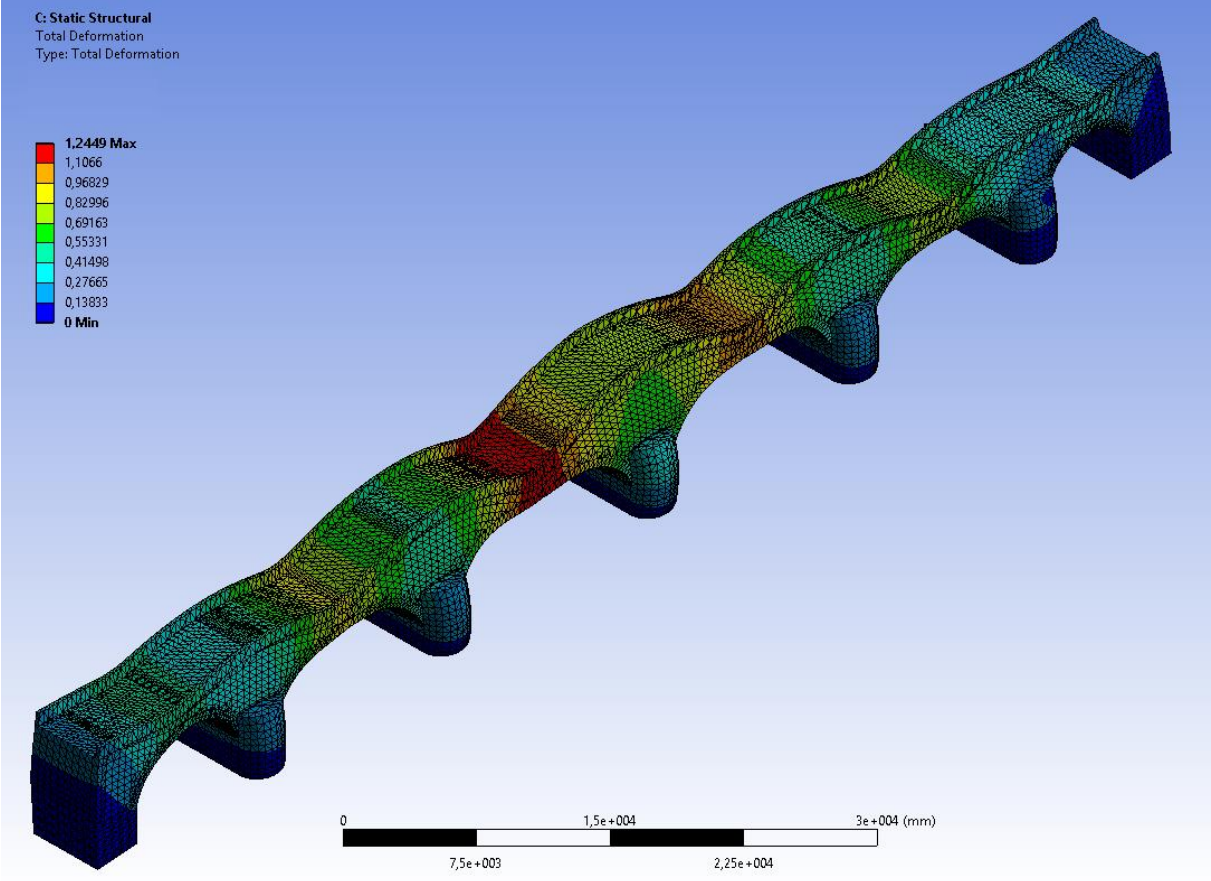
Şekil 6.40 Tokatlı Köprüsü, Superstition Hills 1987 (Maximum Principal Elastic Strain).



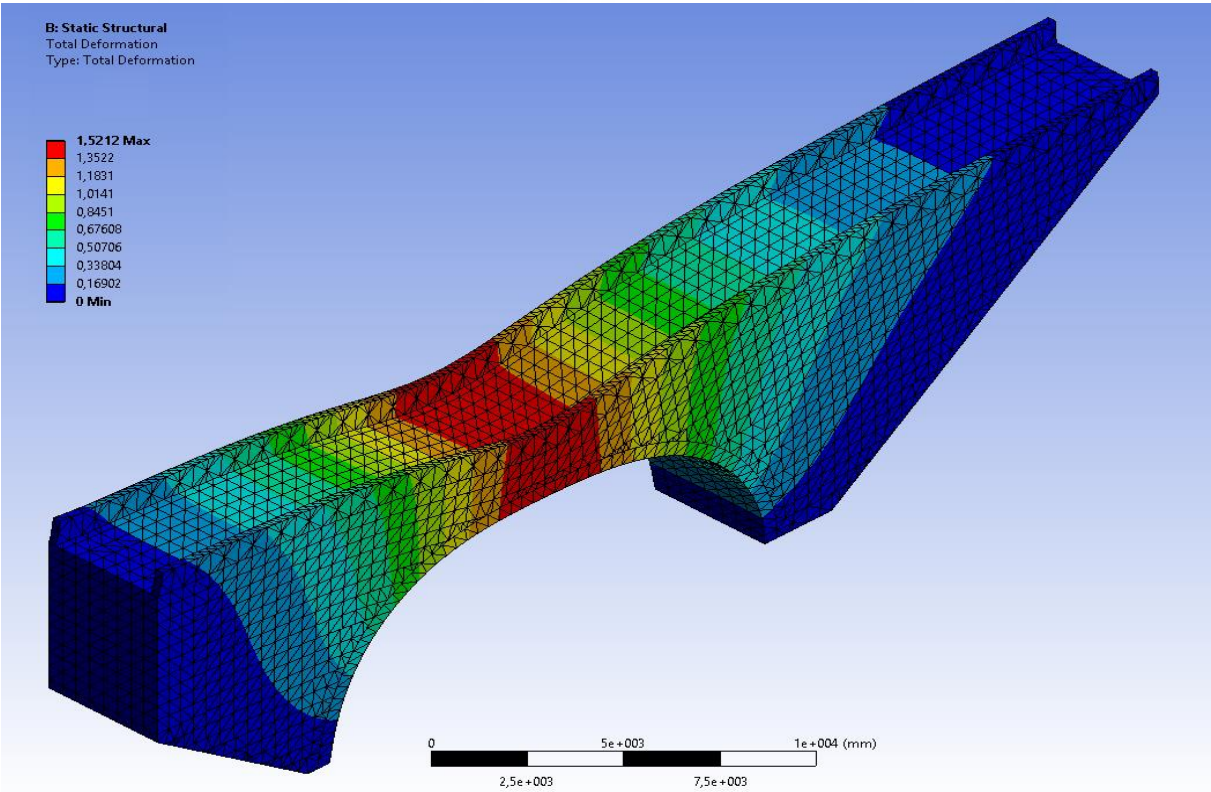
Şekil 6.41 Konjic Köprüsü, Superstition Hills 1987 (Maximum Principal Stress).



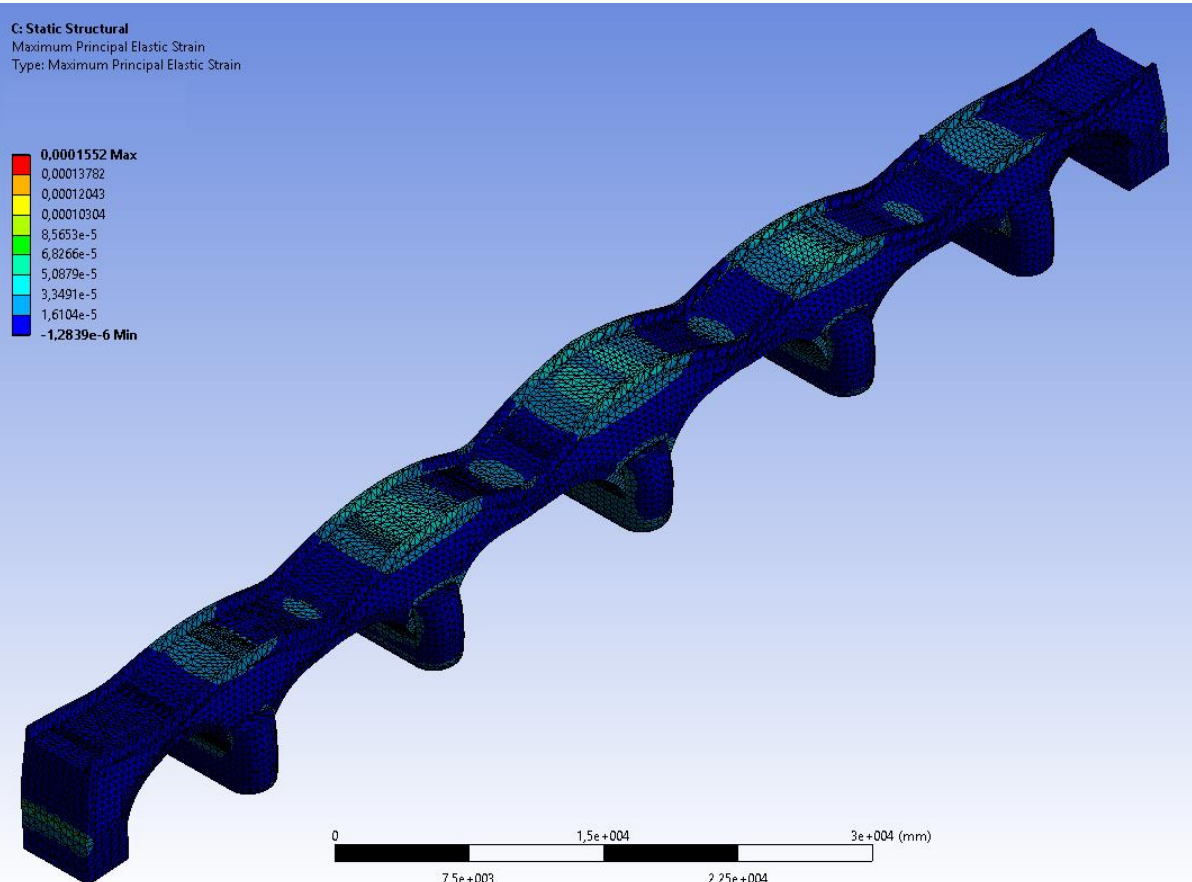
Şekil 6.42 Tokatlı Köprüsü, Superstition Hills 1987 (Maximum Principal Stress).



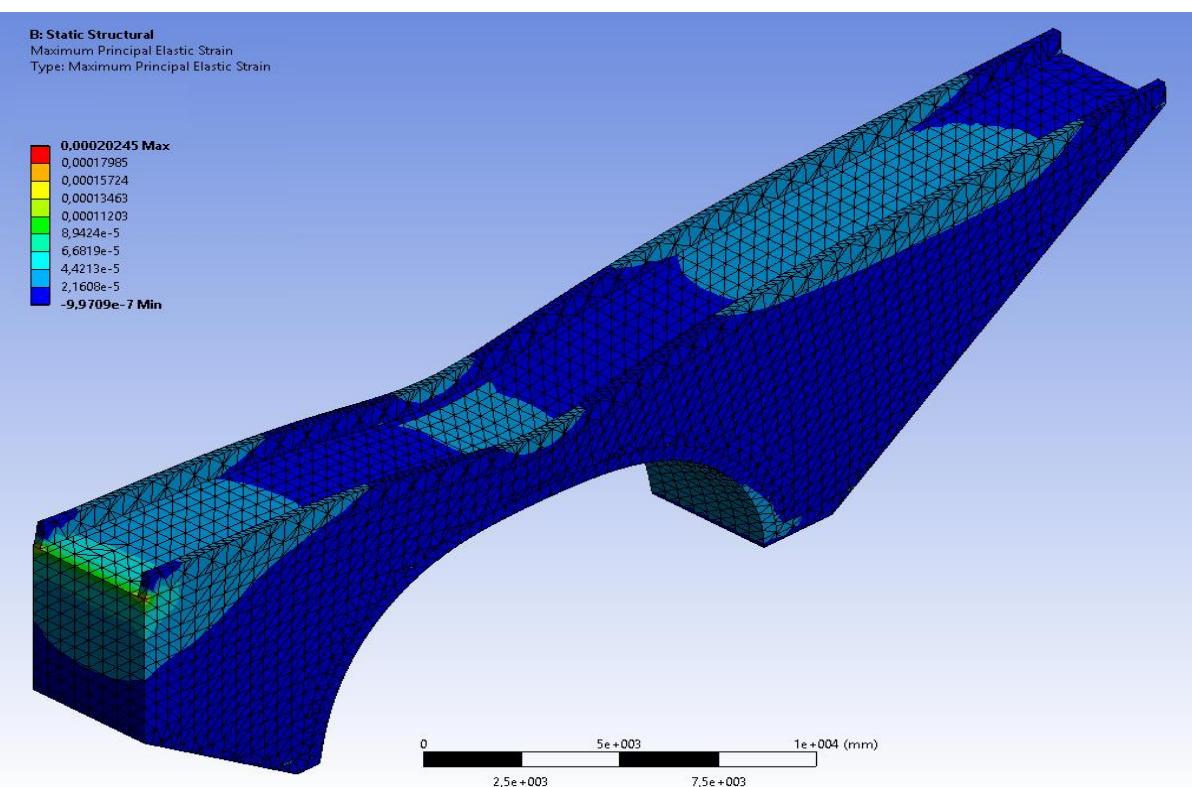
Şekil 6.43 Konjic Köprüsü, Borrego Mount 1968 (Total Deformasyon).



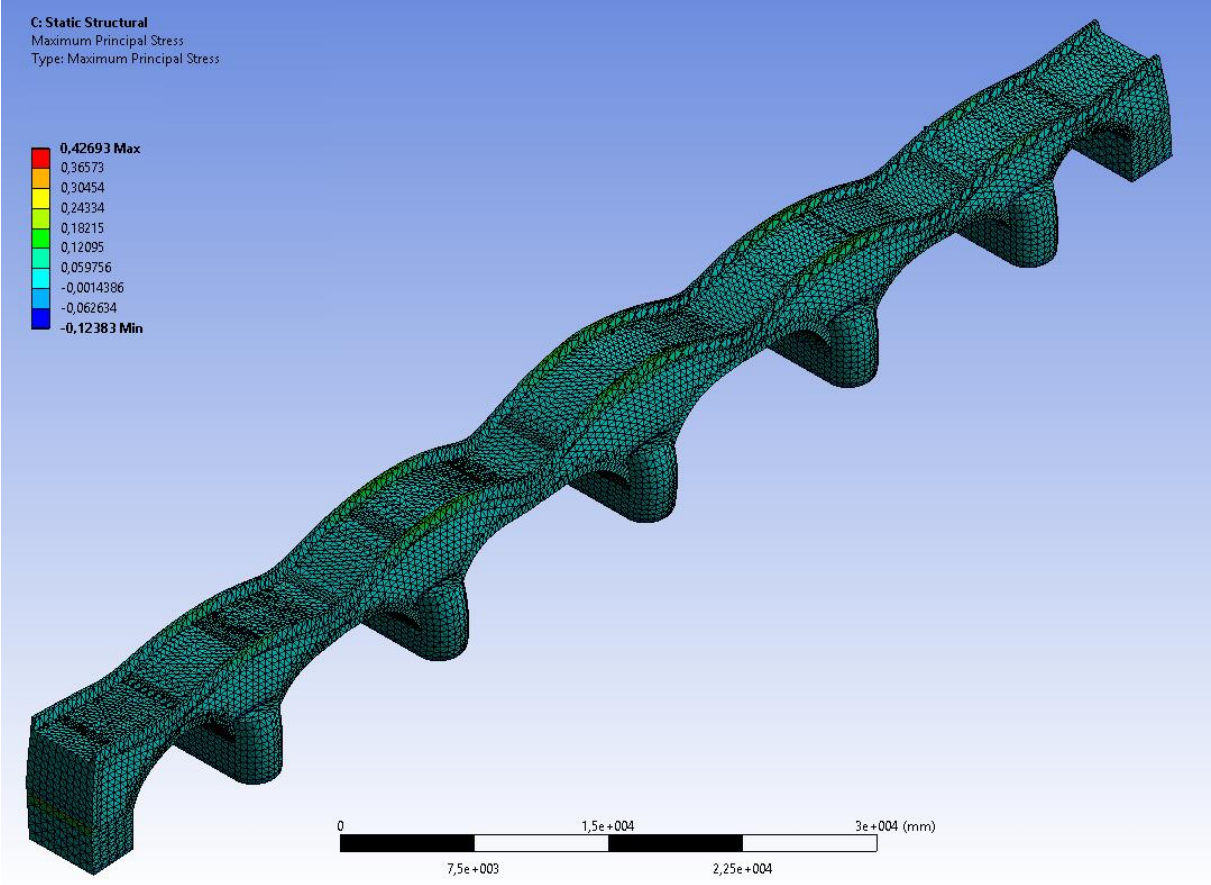
Şekil 6.44 Tokatlı Köprüsü, Borrego Mount 1968 (Total Deformasyon).



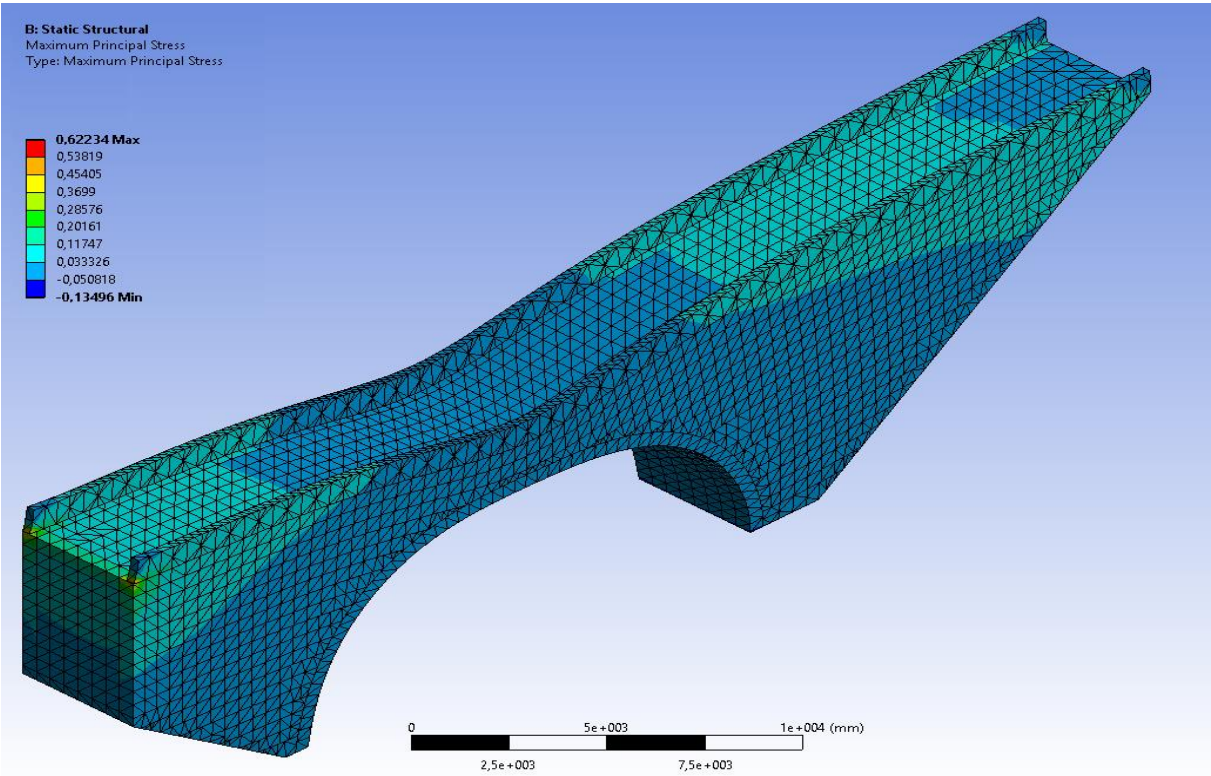
Şekil 6.45 Konjic Köprüsü, Borrego Mount 1968 (Maximum Principal Elastic Strain).



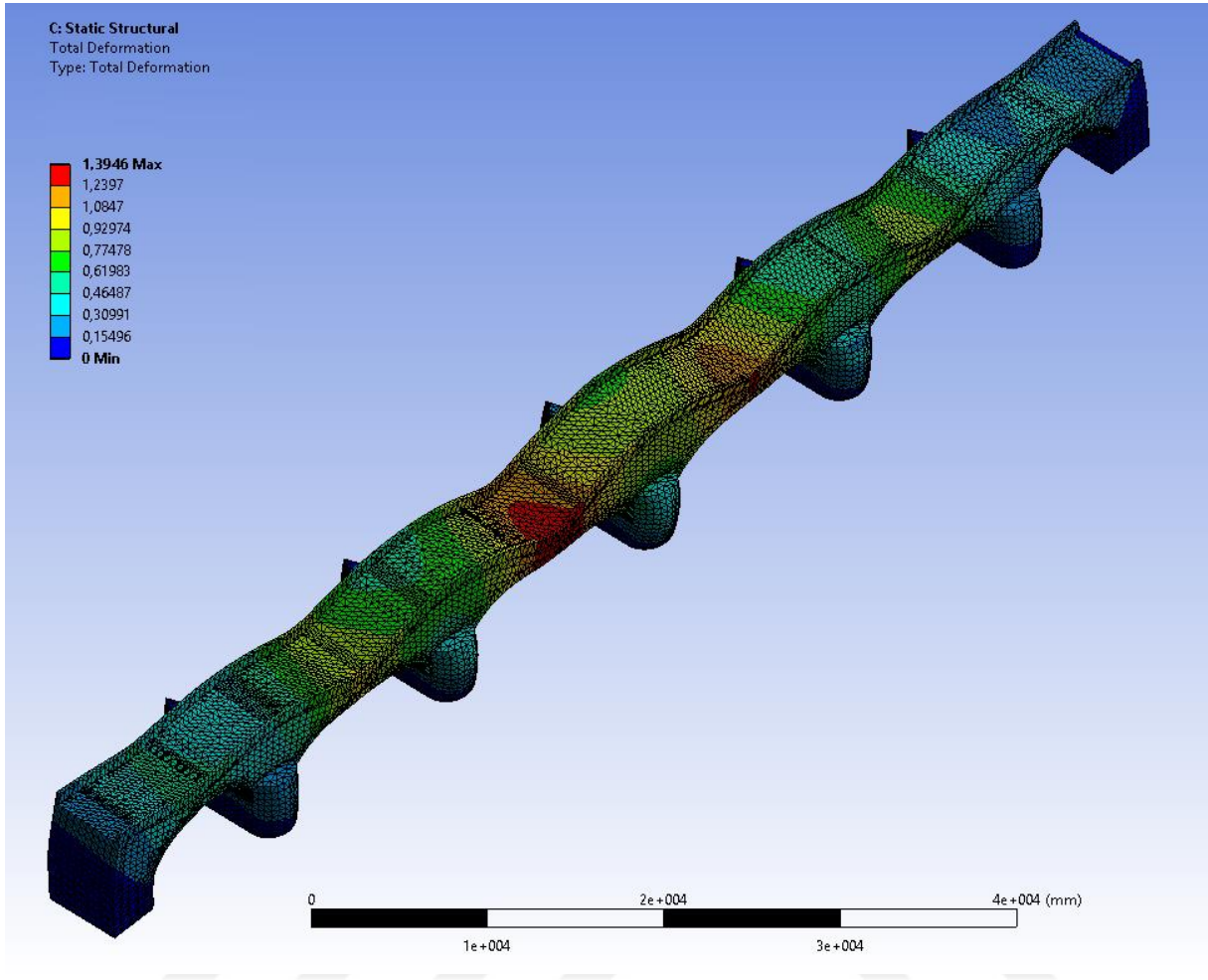
Şekil 6.46 Tokatlı Köprüsü, Borrego Mount 1968 (Maximum Principal Elastic Strain).



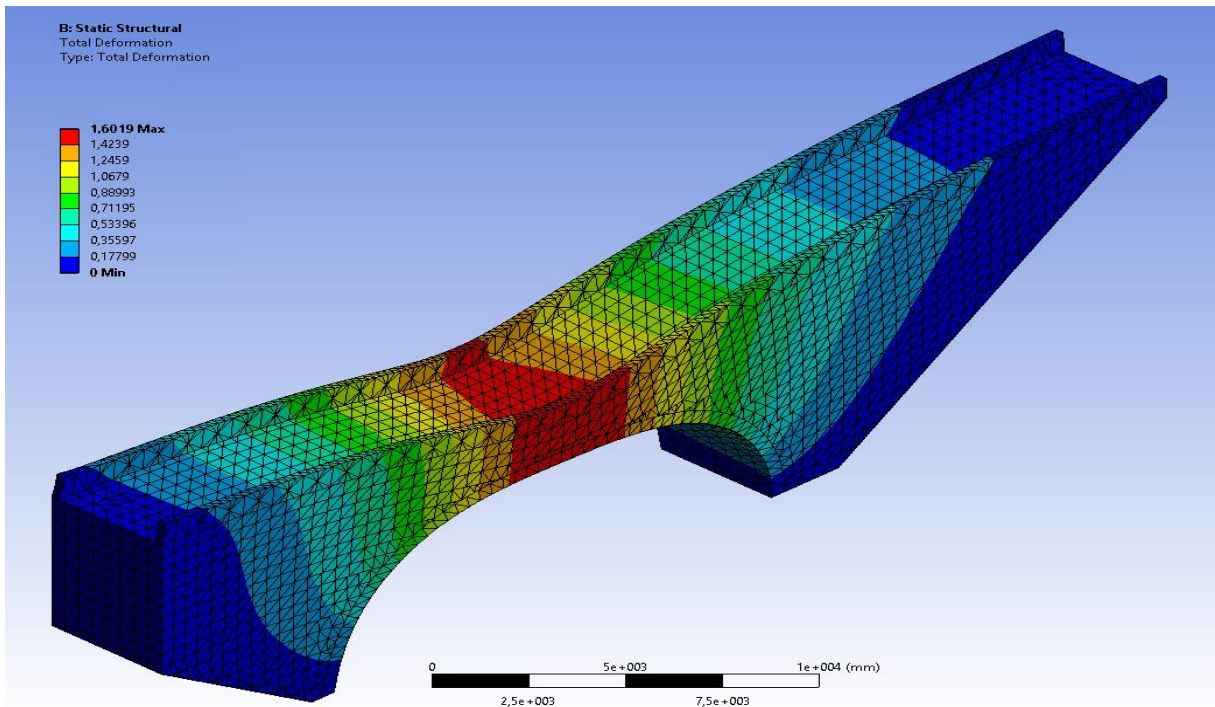
Şekil 6.47 Konjic Köprüsü, Borrego Mount 1968 (Maximum Principal Stress).



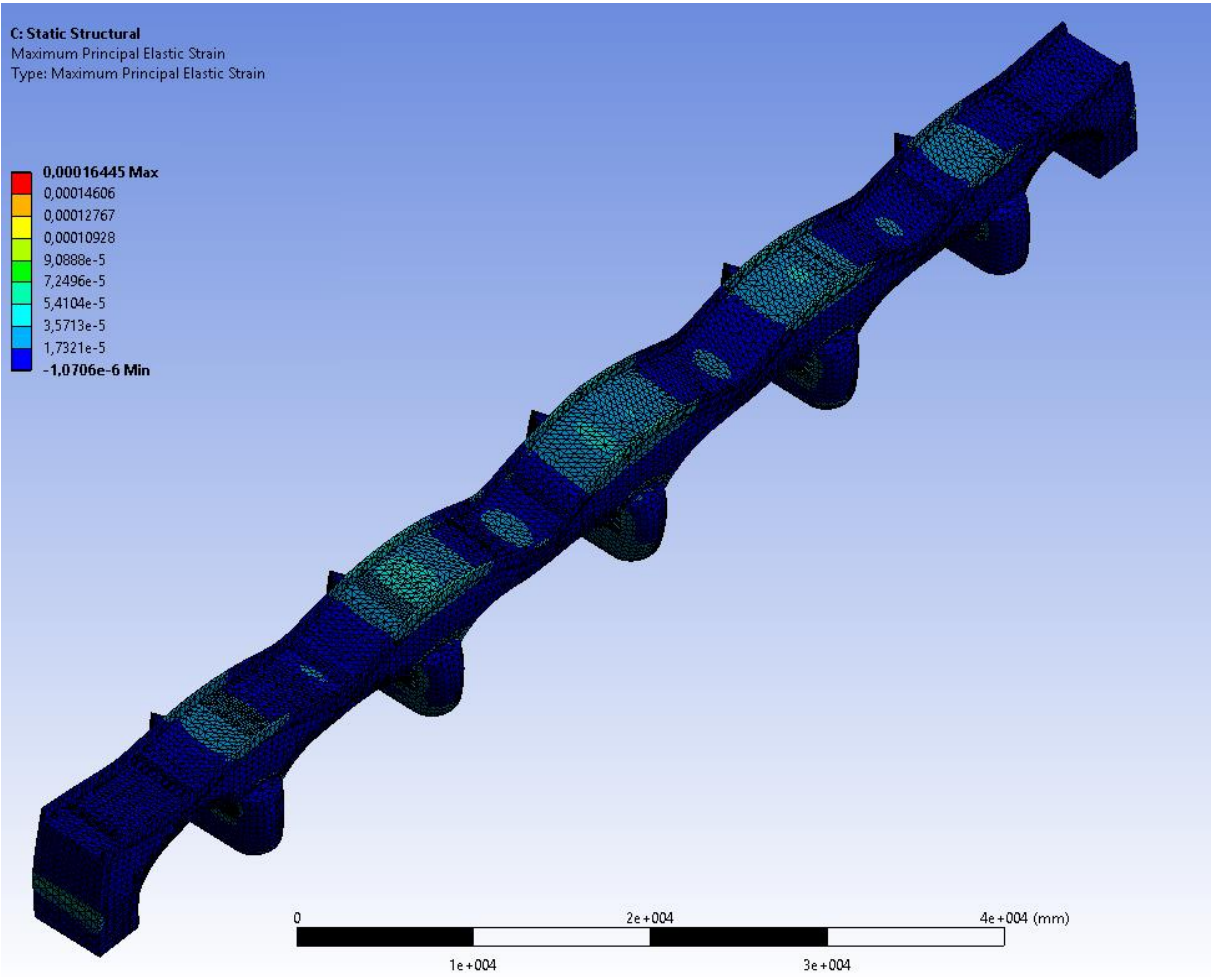
Şekil 6.48 Tokatlı Köprüsü, Borrego Mount 1968 (Maximum Principal Stress).



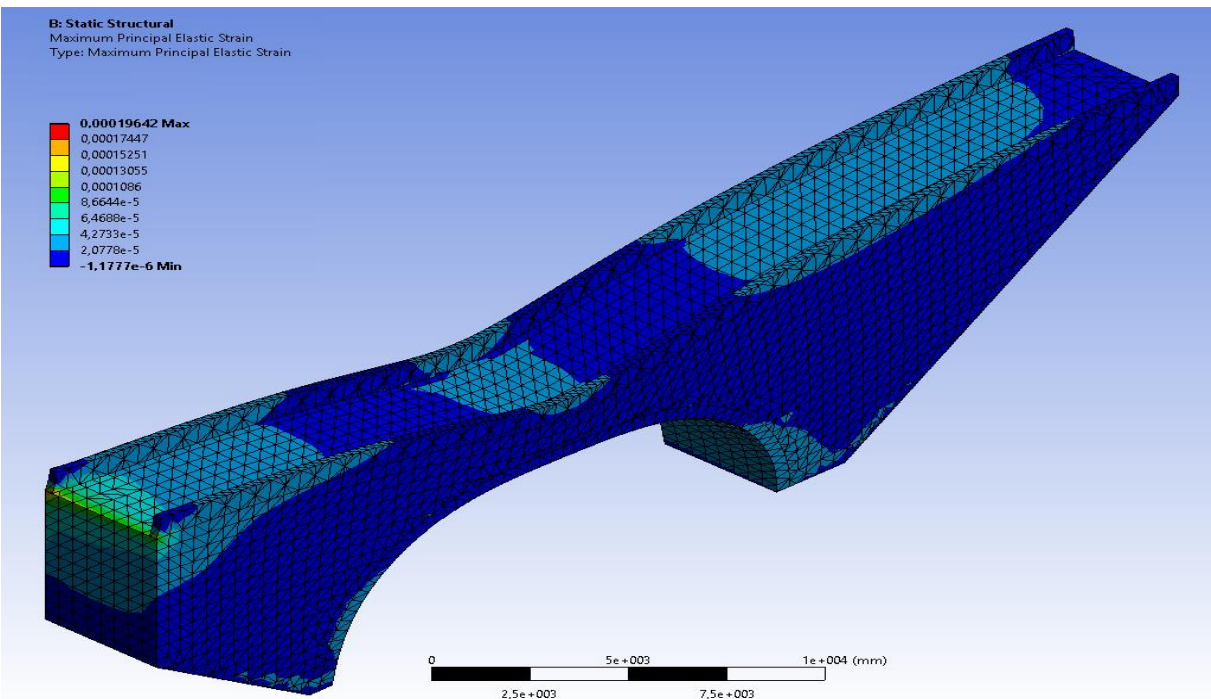
Şekil 6.49 Konjic Köprüsü, Friuli, Italy 1976 (Total Deformasyon).



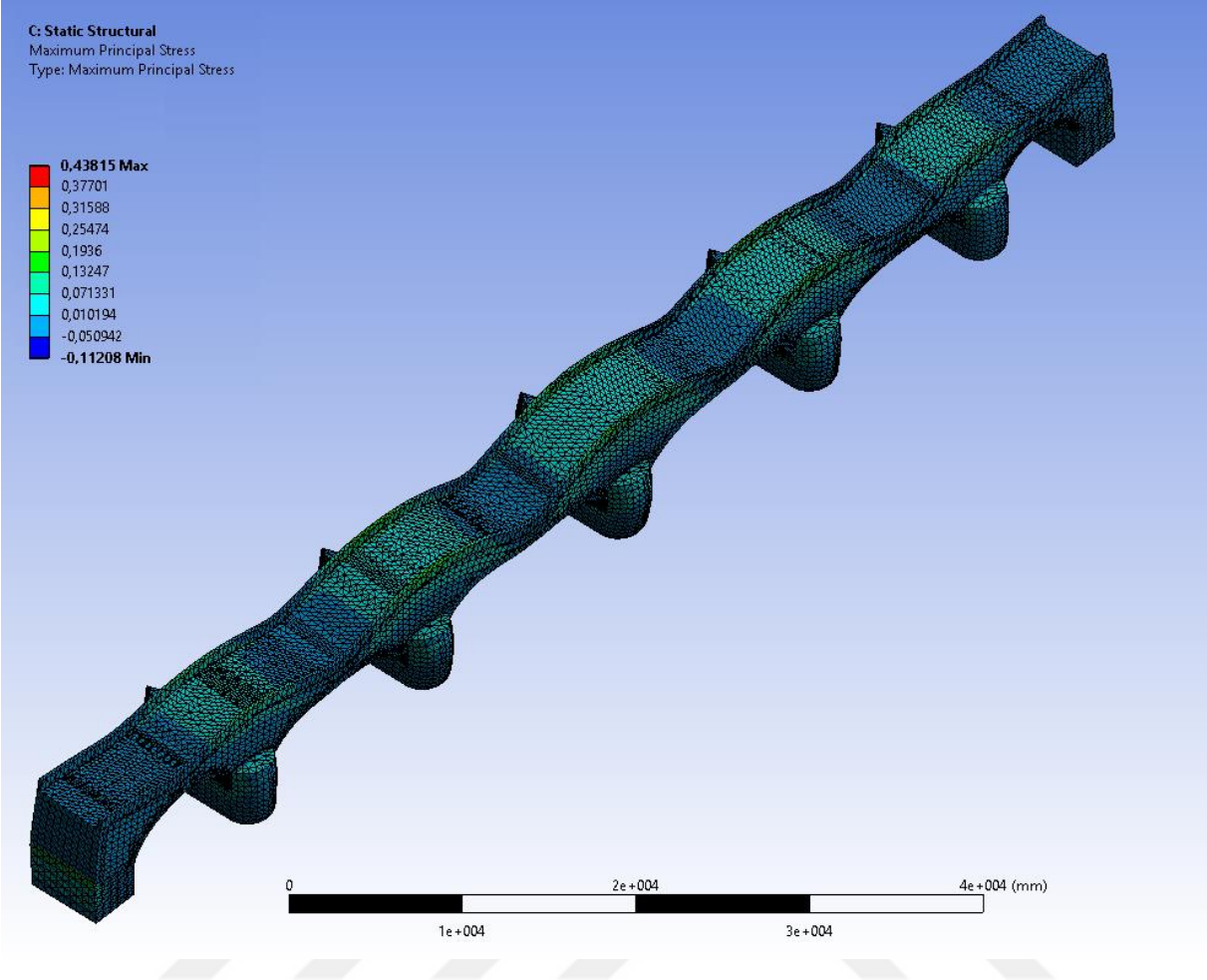
Şekil 6.50 Tokathı Köprüsü, Friuli, Italy 1976 (Total Deformasyon).



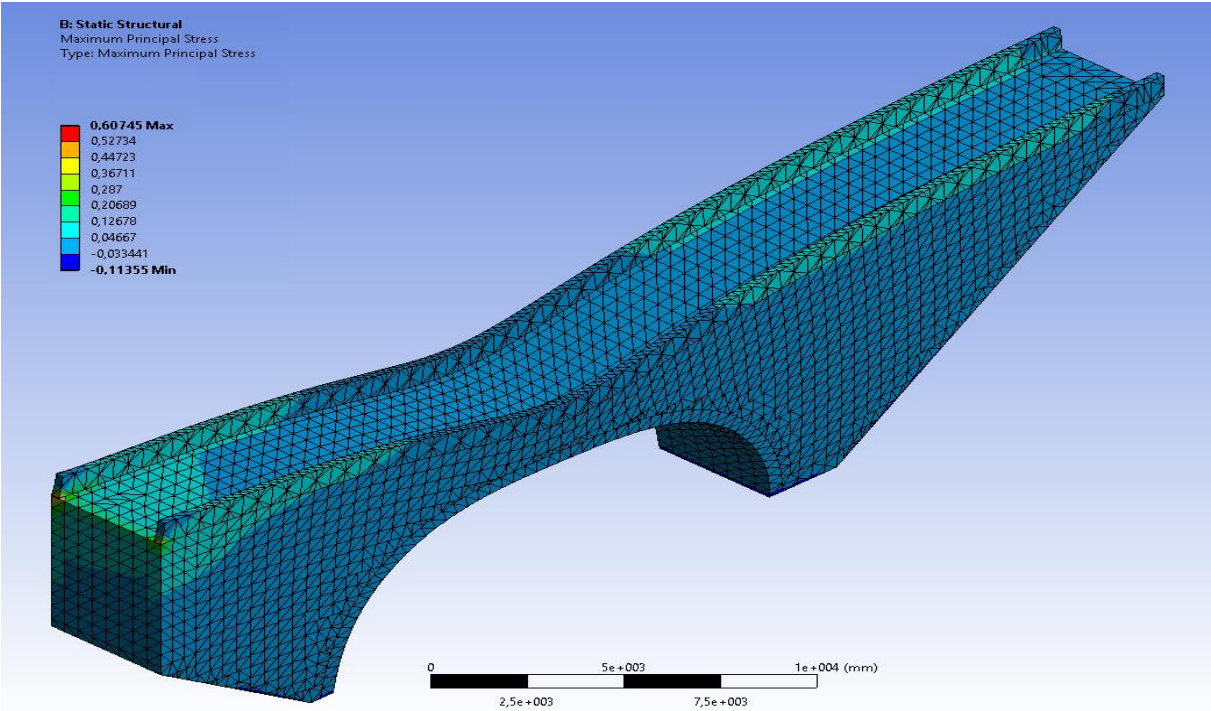
Şekil 6.51 Konjic Köprüsü, Friuli, Italy 1976 (Maximum Principal Elastic Strain).



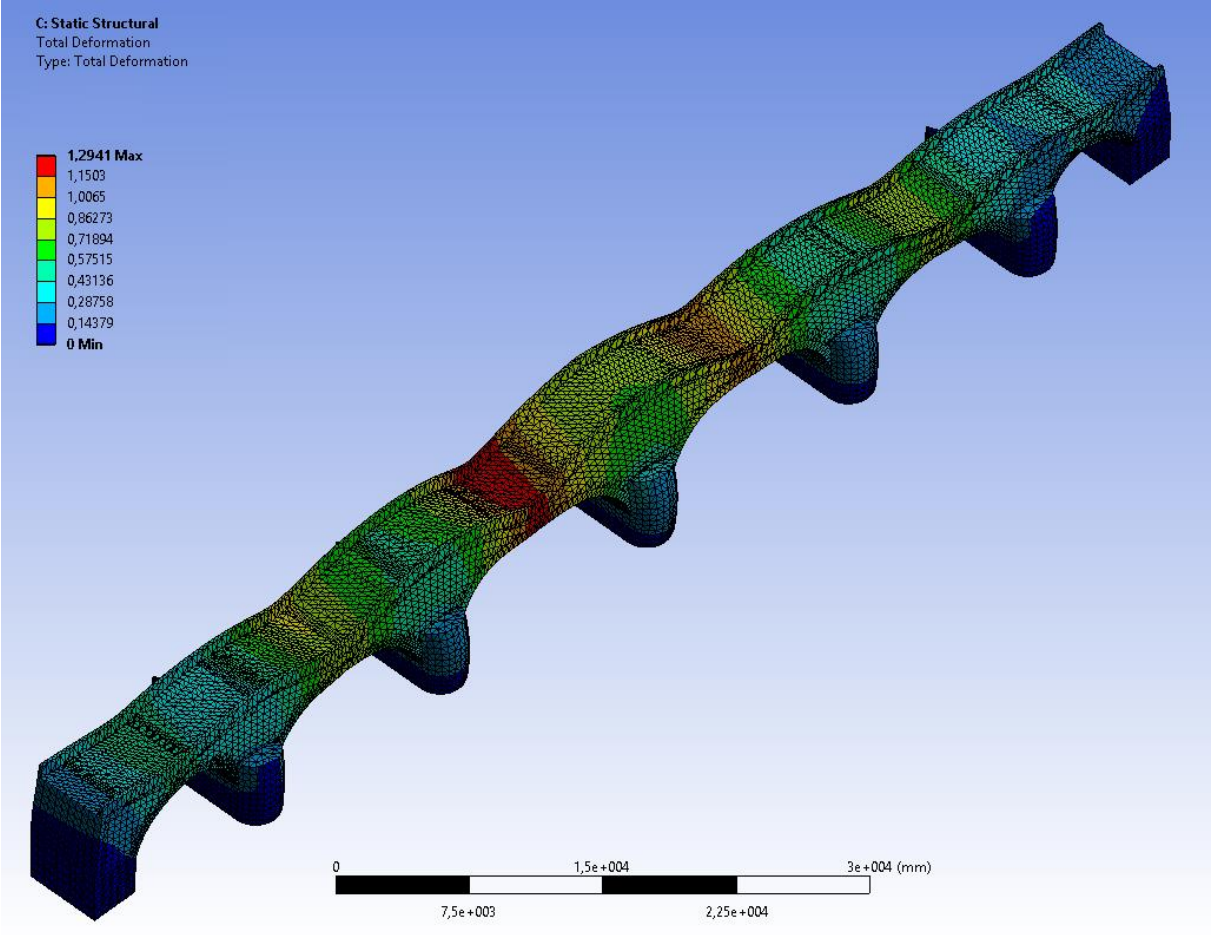
Şekil 6.52 Tokatlı Köprüsü, Friuli, Italy 1976 (Maximum Principal Elastic Strain).



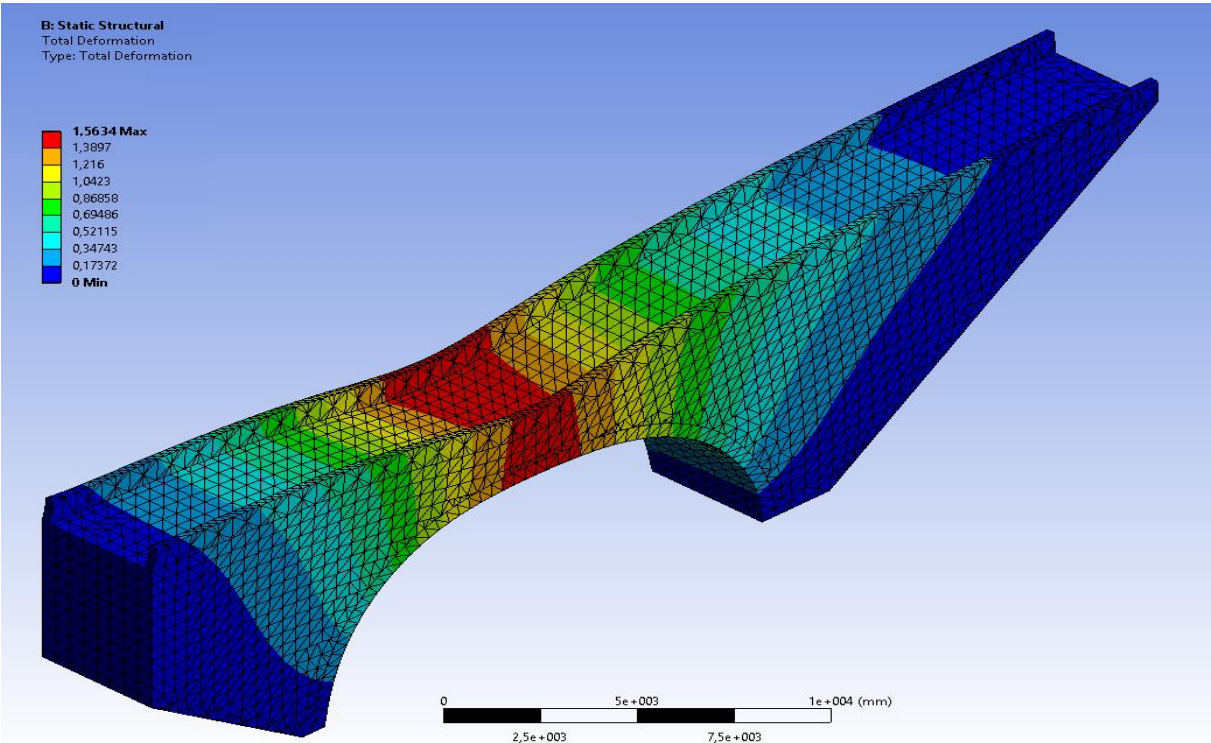
Şekil 6.53 Konjic Köprüsü, Friuli, Italy 1976 (Maximum Principal Stress).



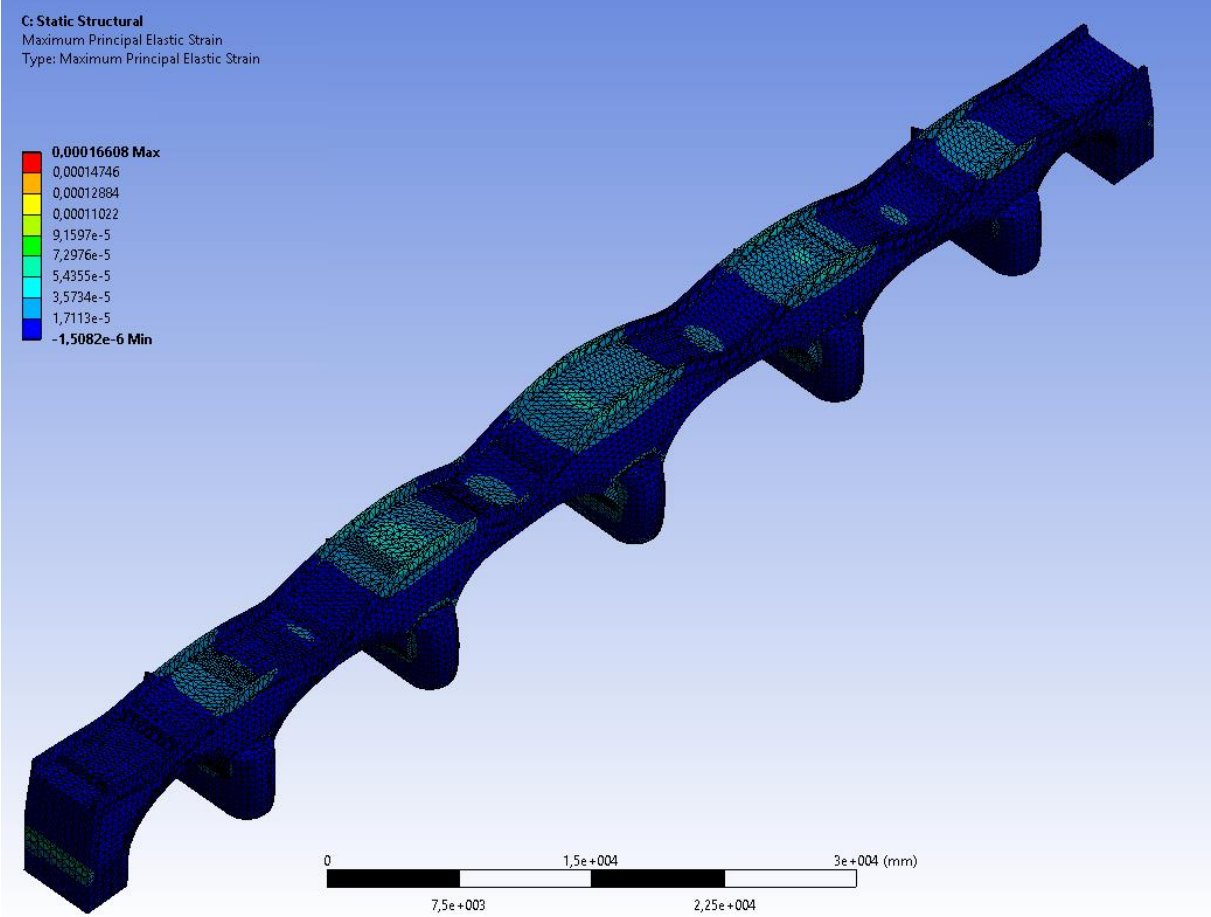
Şekil 6.54 Tokatlı Köprüsü, Friuli, Italy 1976 (Maximum Principal Stress).



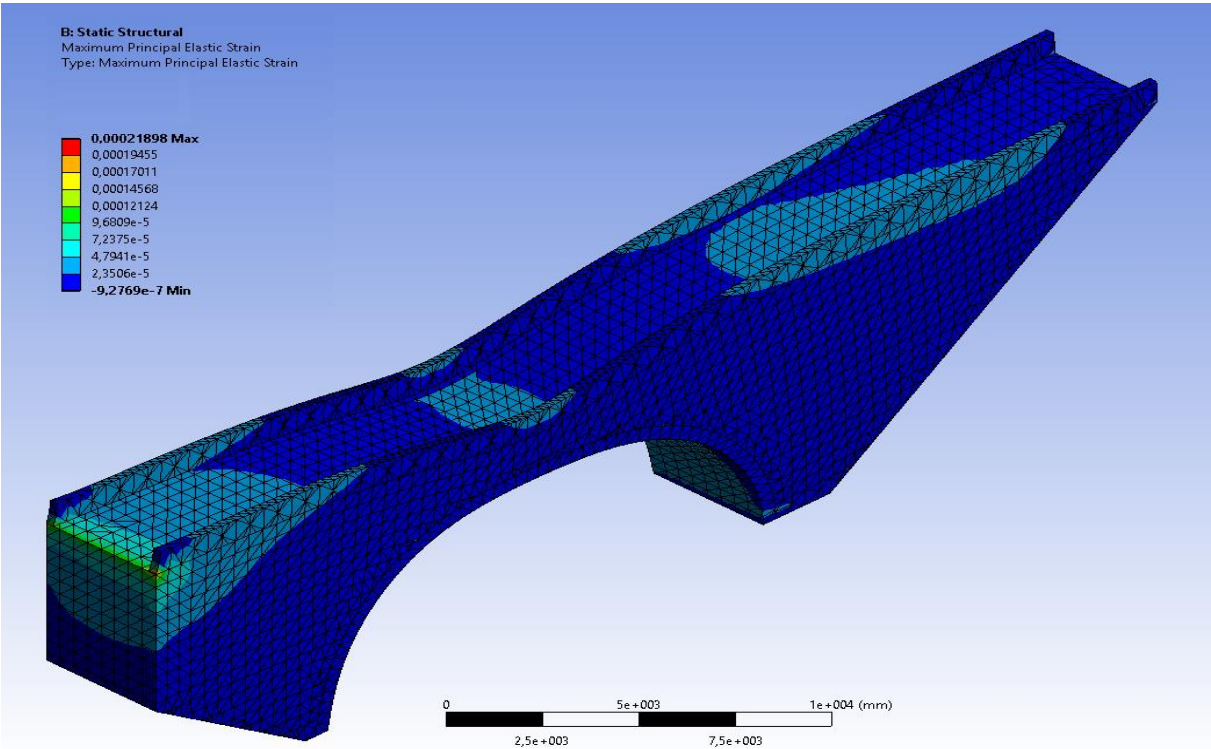
Şekil 6.55 Konjic Köprüsü, Kobe 1995 (Total Deformasyon).



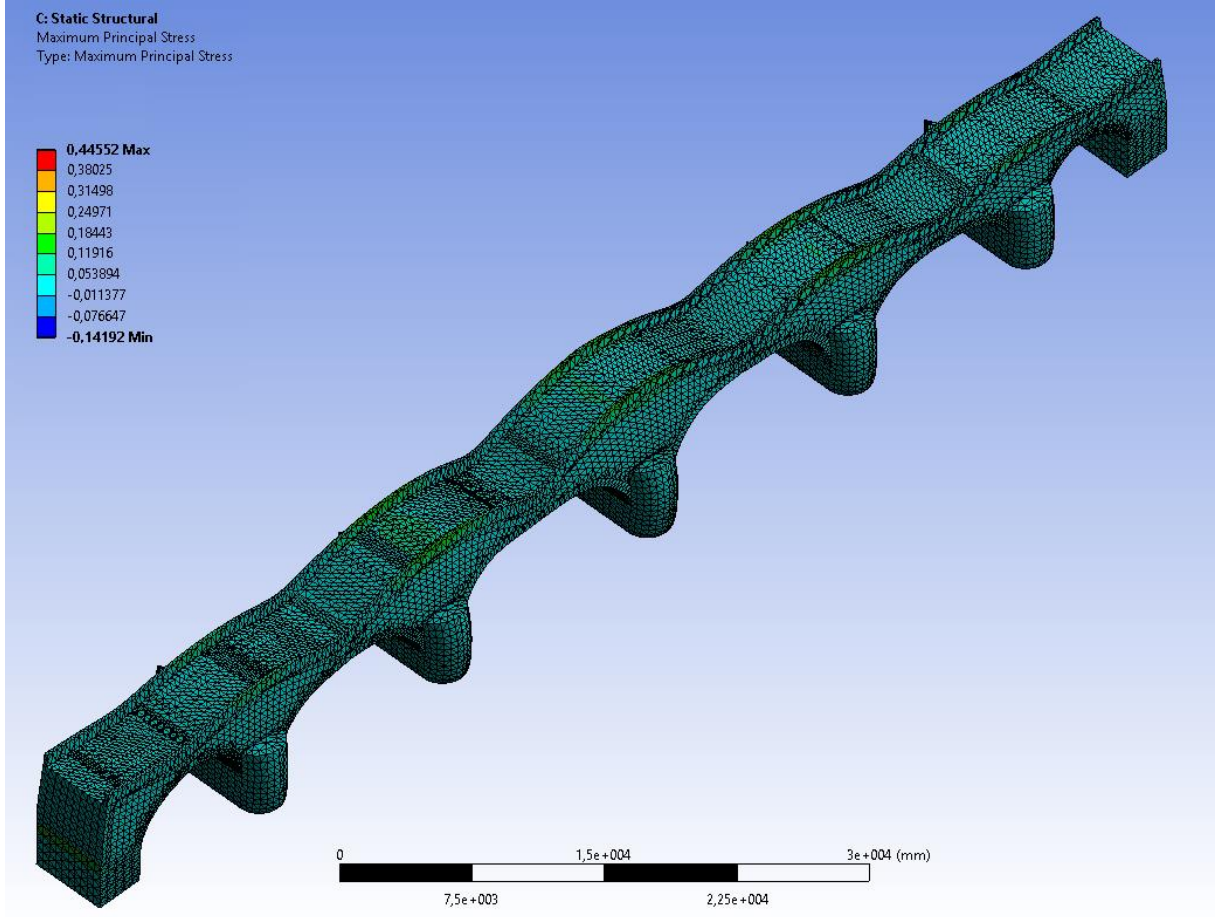
Şekil 6.56 Tokatlı Köprüsü, Kobe 1995 (Total Deformasyon).



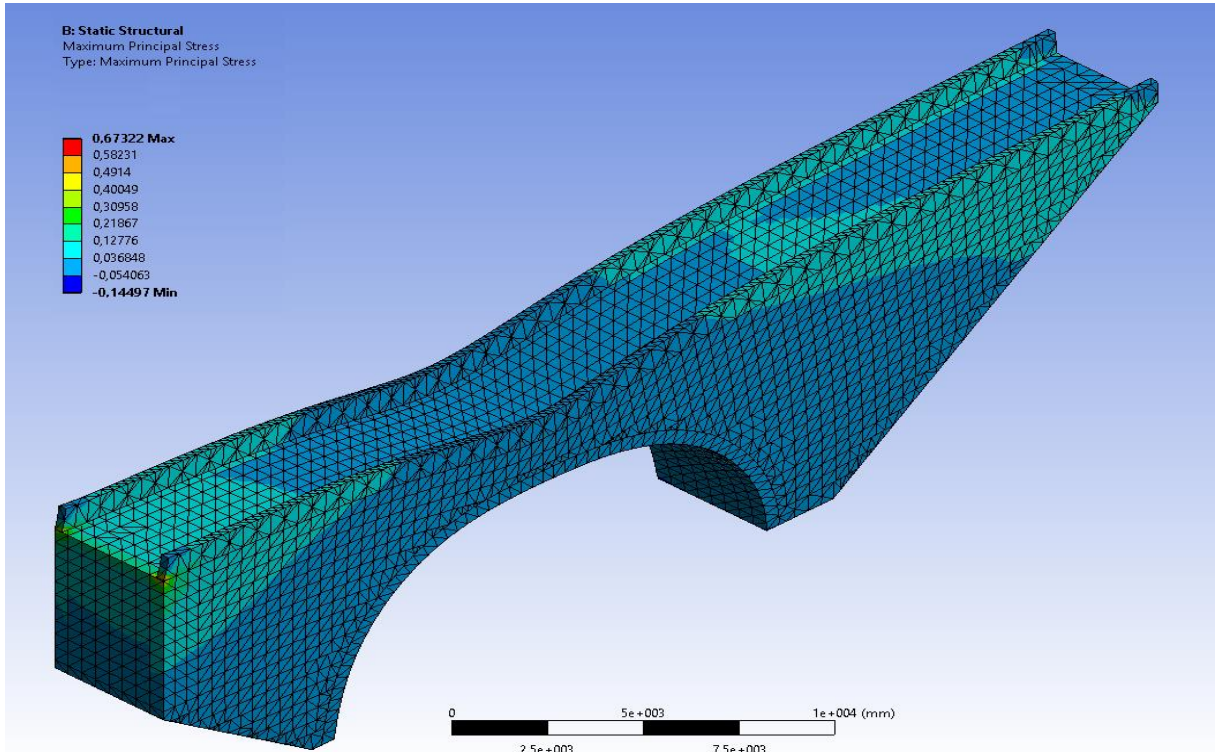
Şekil 6.57 Konjic Köprüsü, Kobe 1995 (Maximum Principal Elastic Strain).



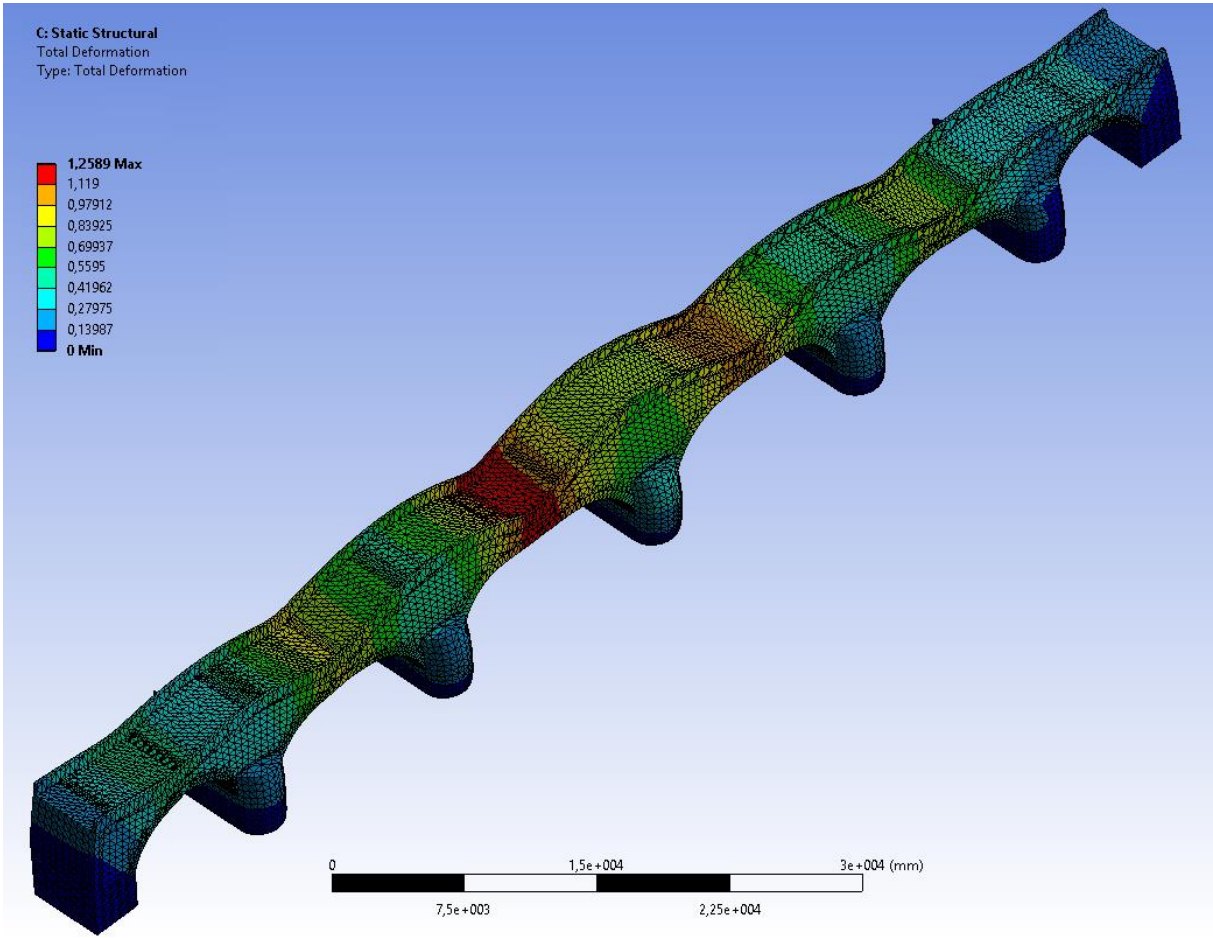
Şekil 6.58 Tokatlı Köprüsü, Kobe 1995 (Maximum Principal Elastic Strain).



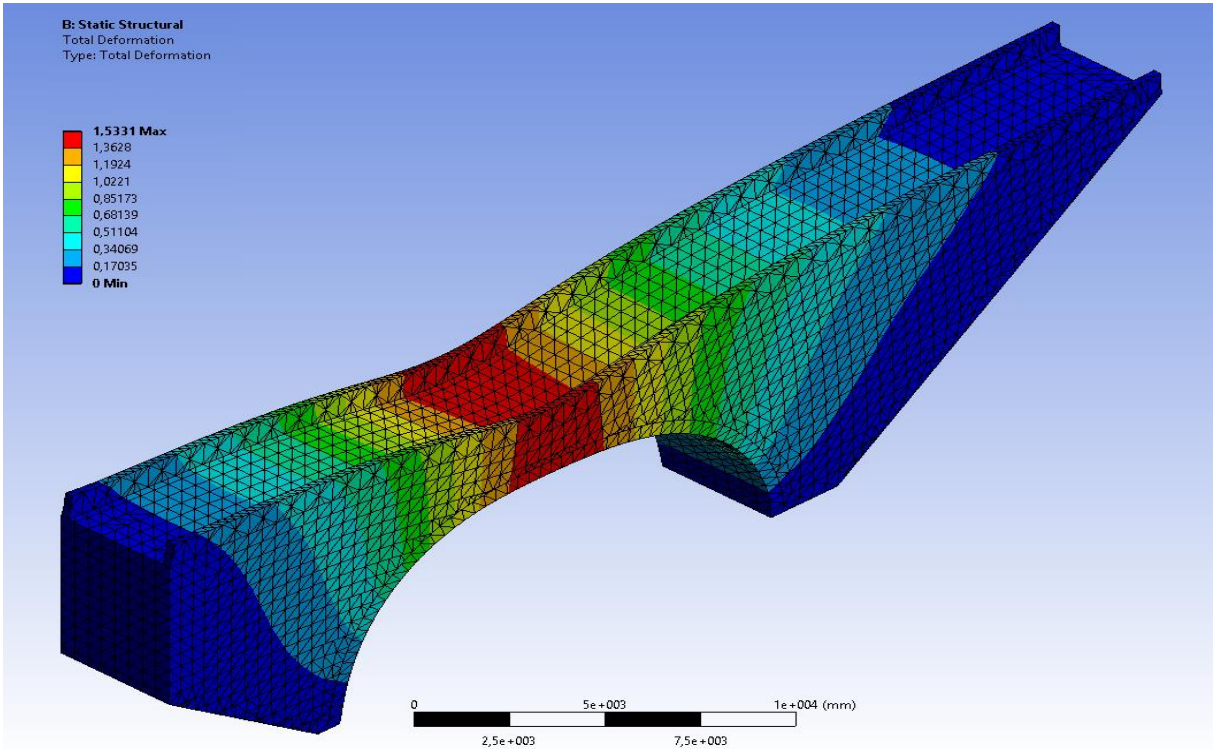
Şekil 6.59 Konjic Köprüsü, Kobe 1995 (Maximum Principal Stress).



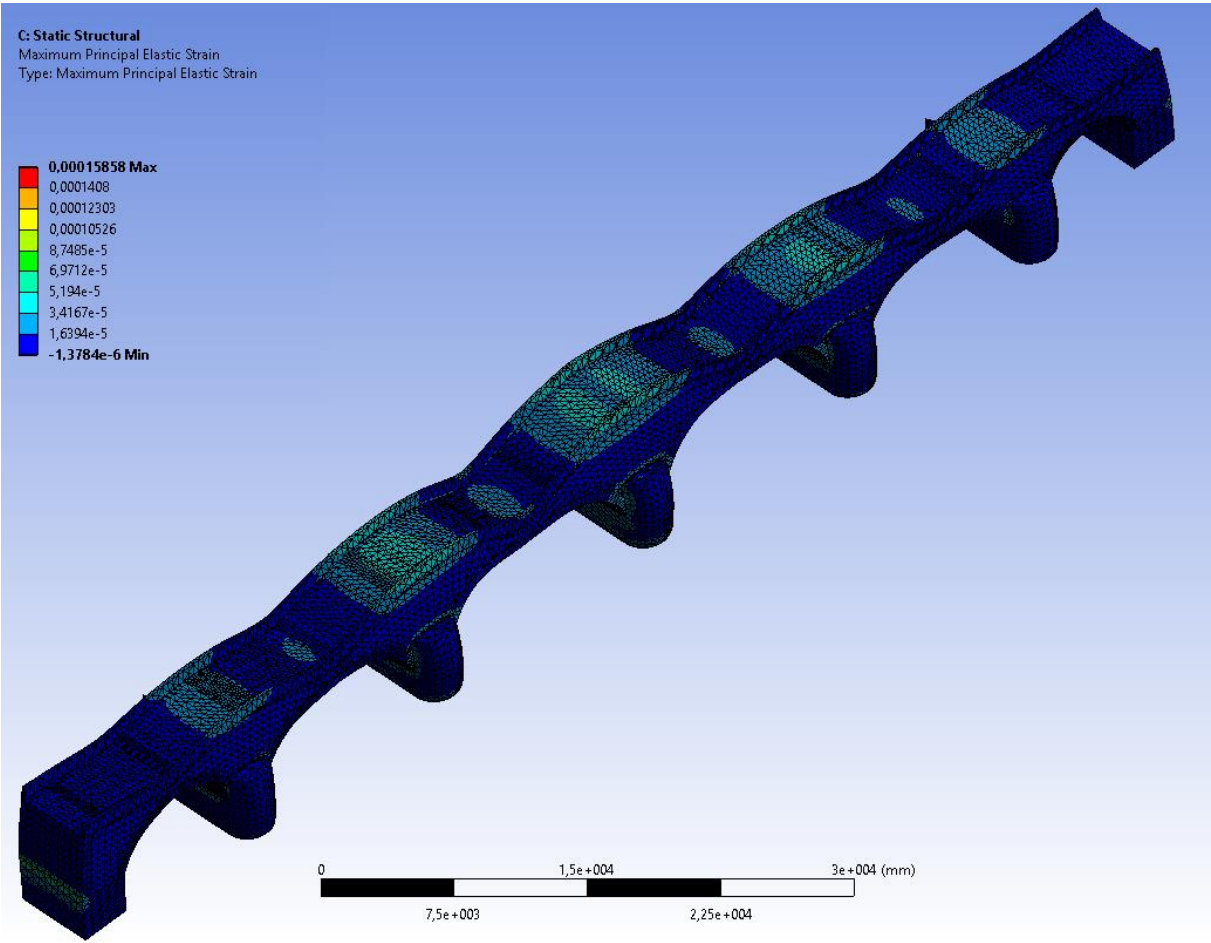
Şekil 6.60 Tokatlı Köprüsü, Kobe 1995 (Maximum Principal Stress).



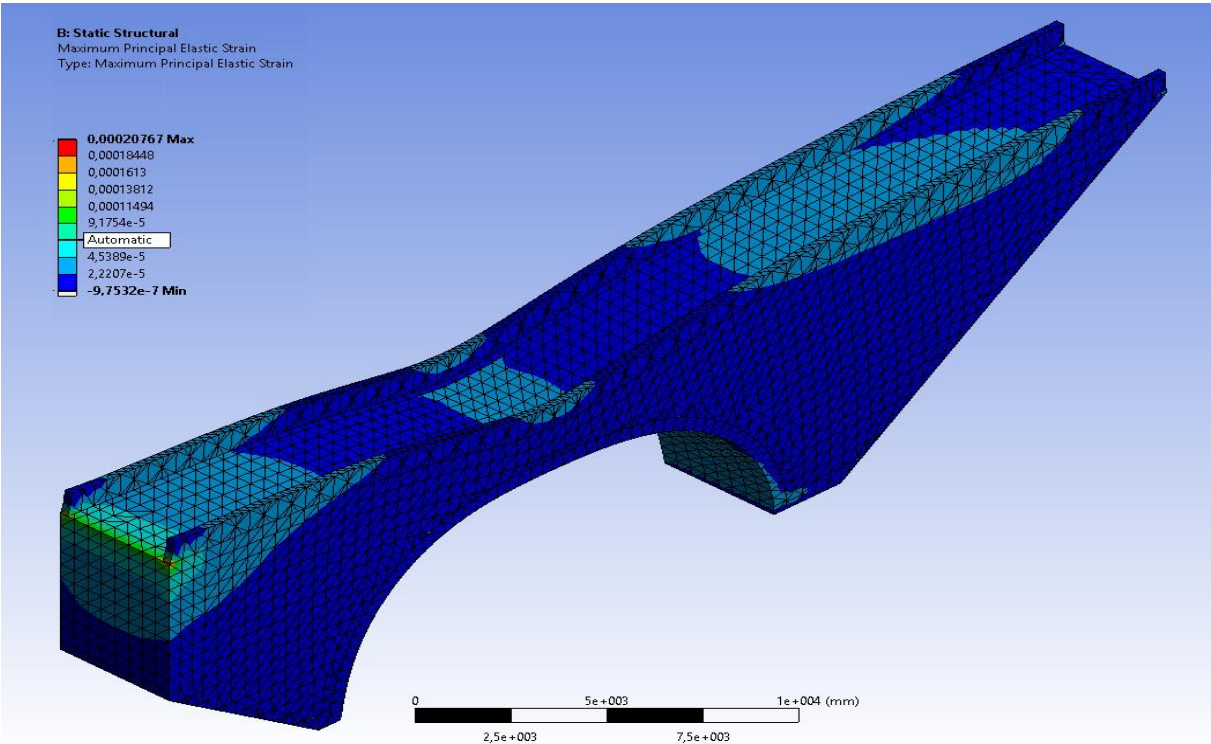
Şekil 6.61 Konjic Köprüsü, Morgan Hill 1984 (Total Deformasyon).



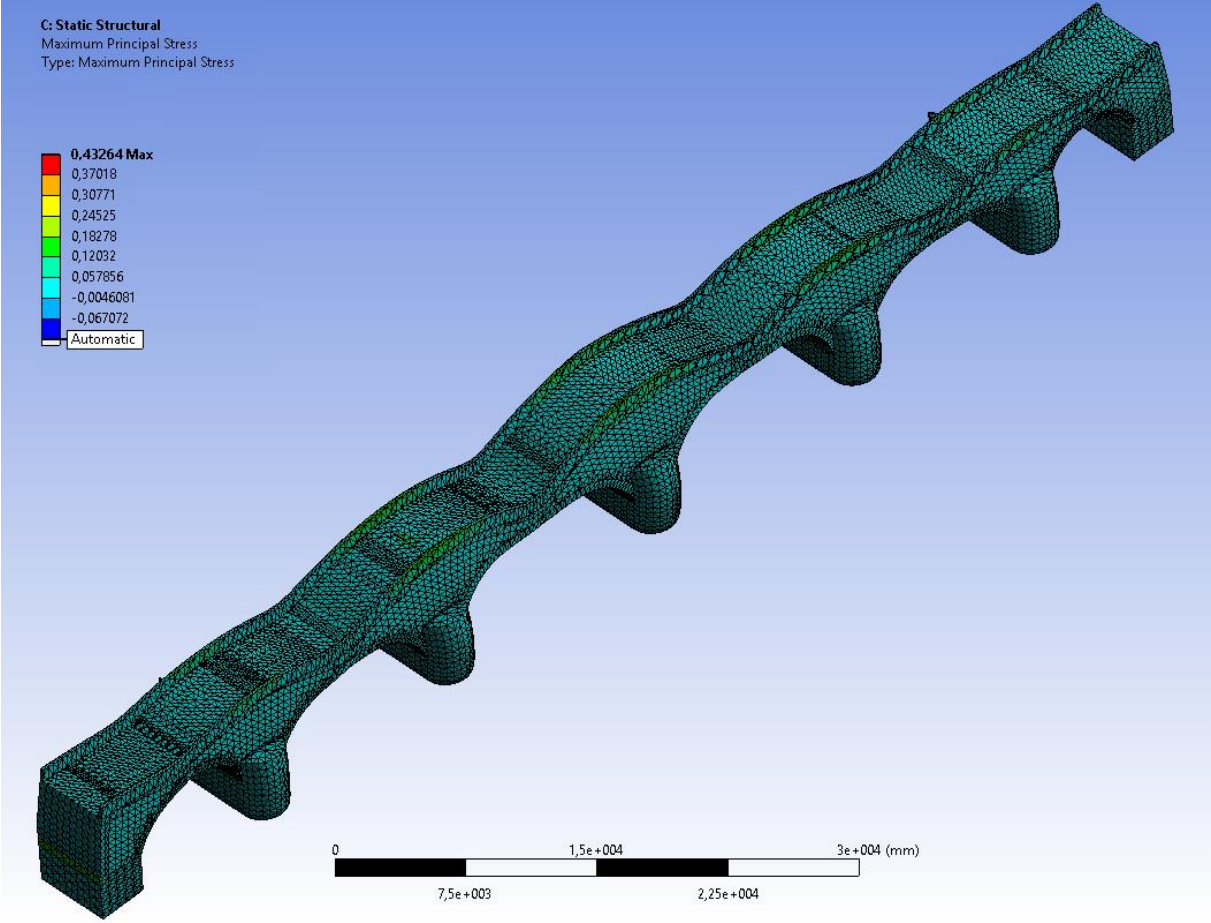
Şekil 6.62 Tokatlı Köprüsü, Morgan Hill 1984 (Total Deformasyon).



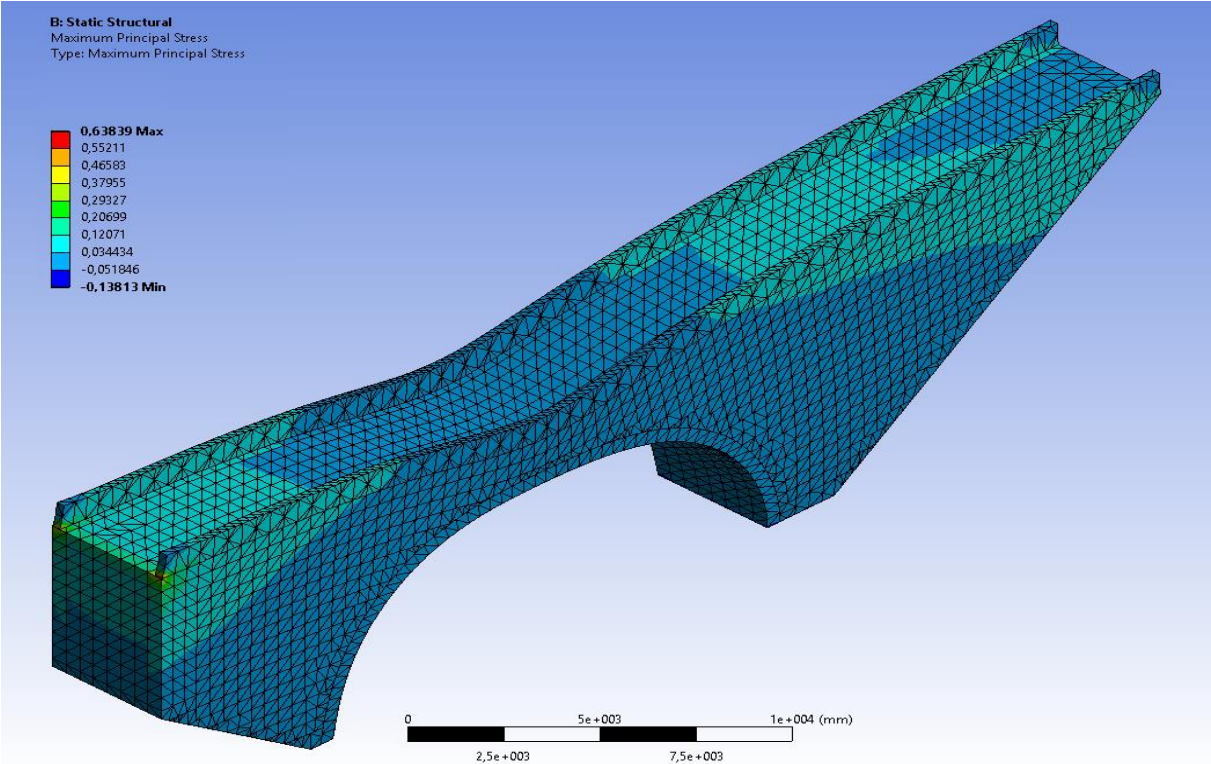
Şekil 6.63 Konjic Köprüsü, Morgan Hill 1984 (Maximum Principal Elastic Strain).



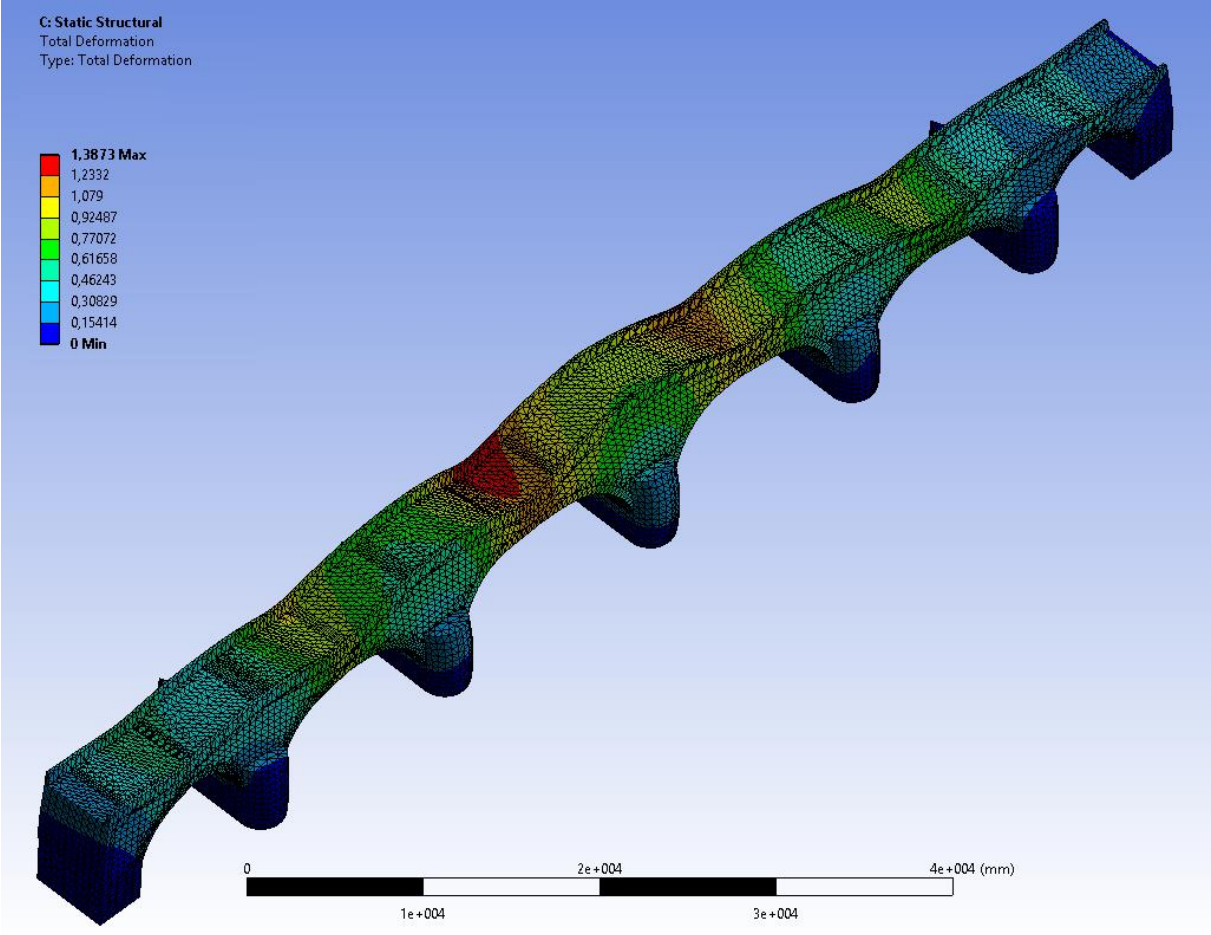
Şekil 6.64 Tokatli Köprüsü, Morgan Hill 1984 (Maximum Principal Elastic Strain).



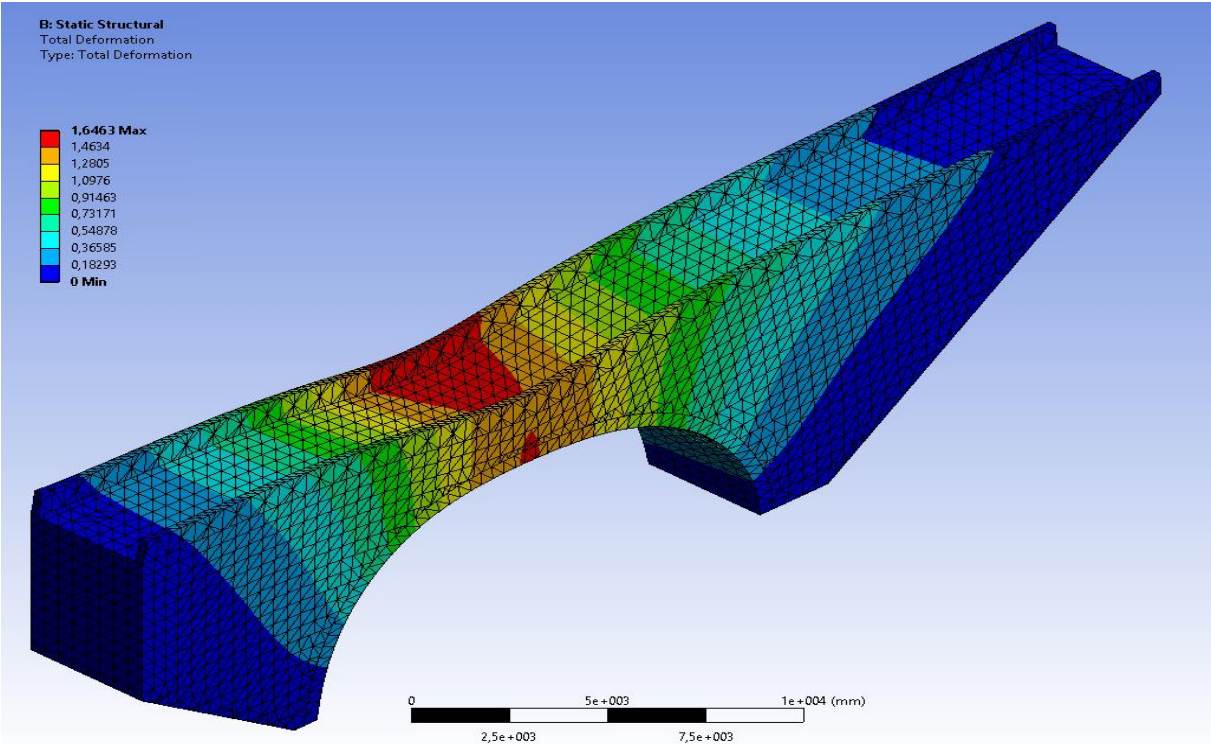
Şekil 6.65 Konjic Köprüsü, Morgan Hill 1984 (Maximum Principal Stress).



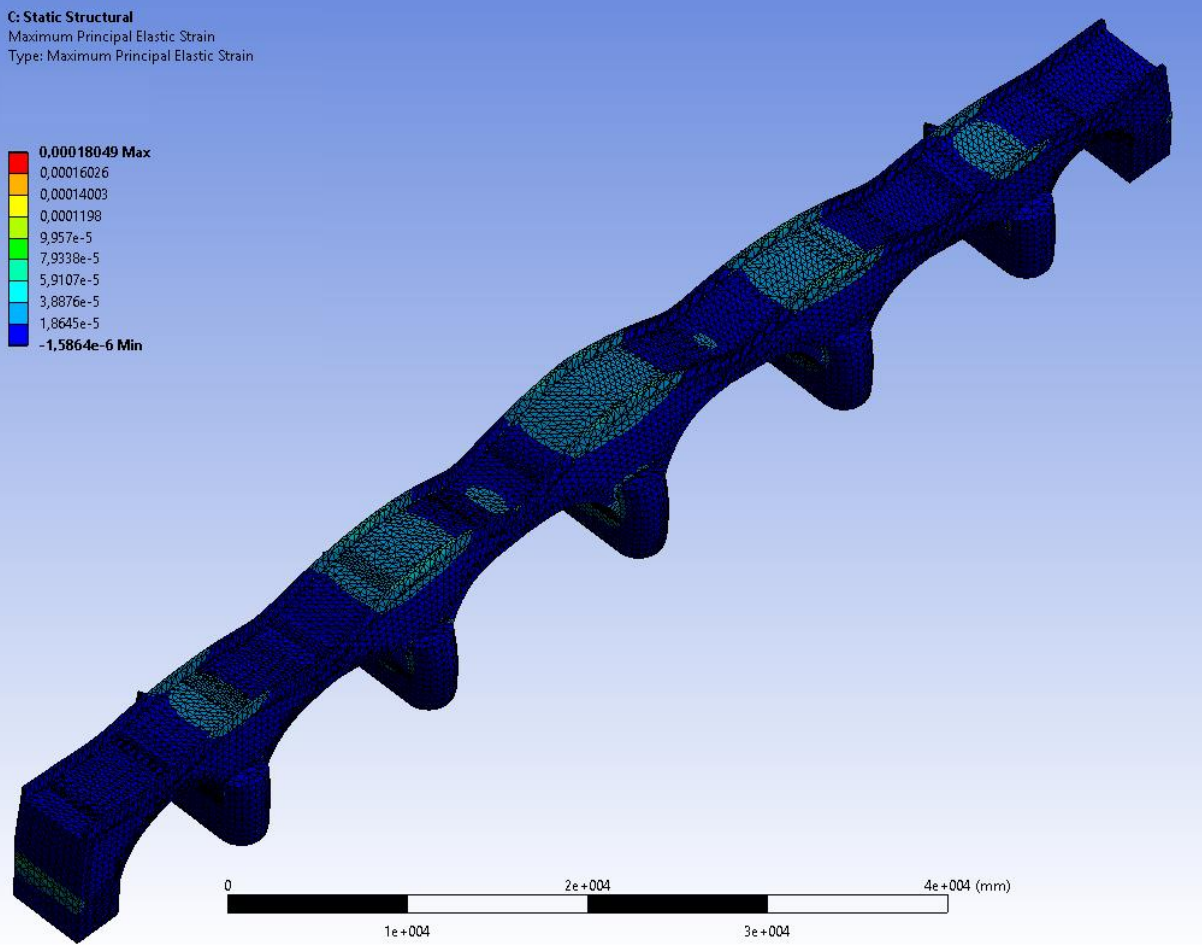
Şekil 6.66 Tokatlı Köprüsü, Morgan Hill 1984 (Maximum Principal Stress).



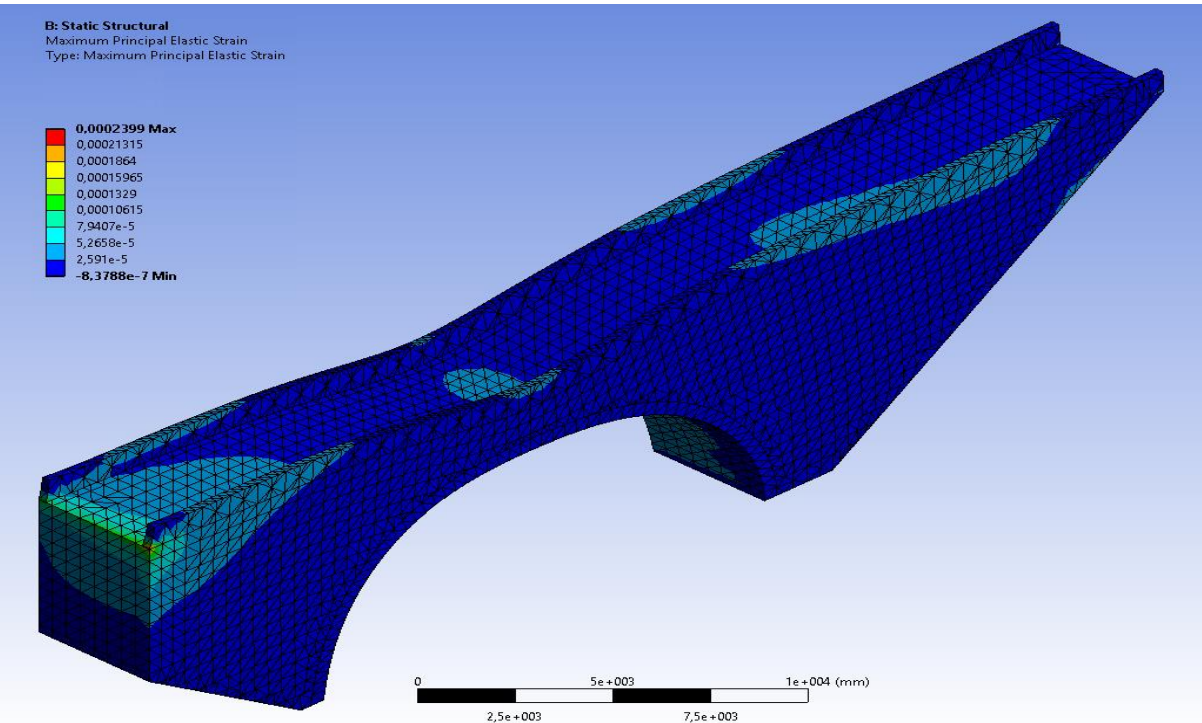
Şekil 6.67 Konjic Köprüsü, NW California 1941 (Total Deformasyon).



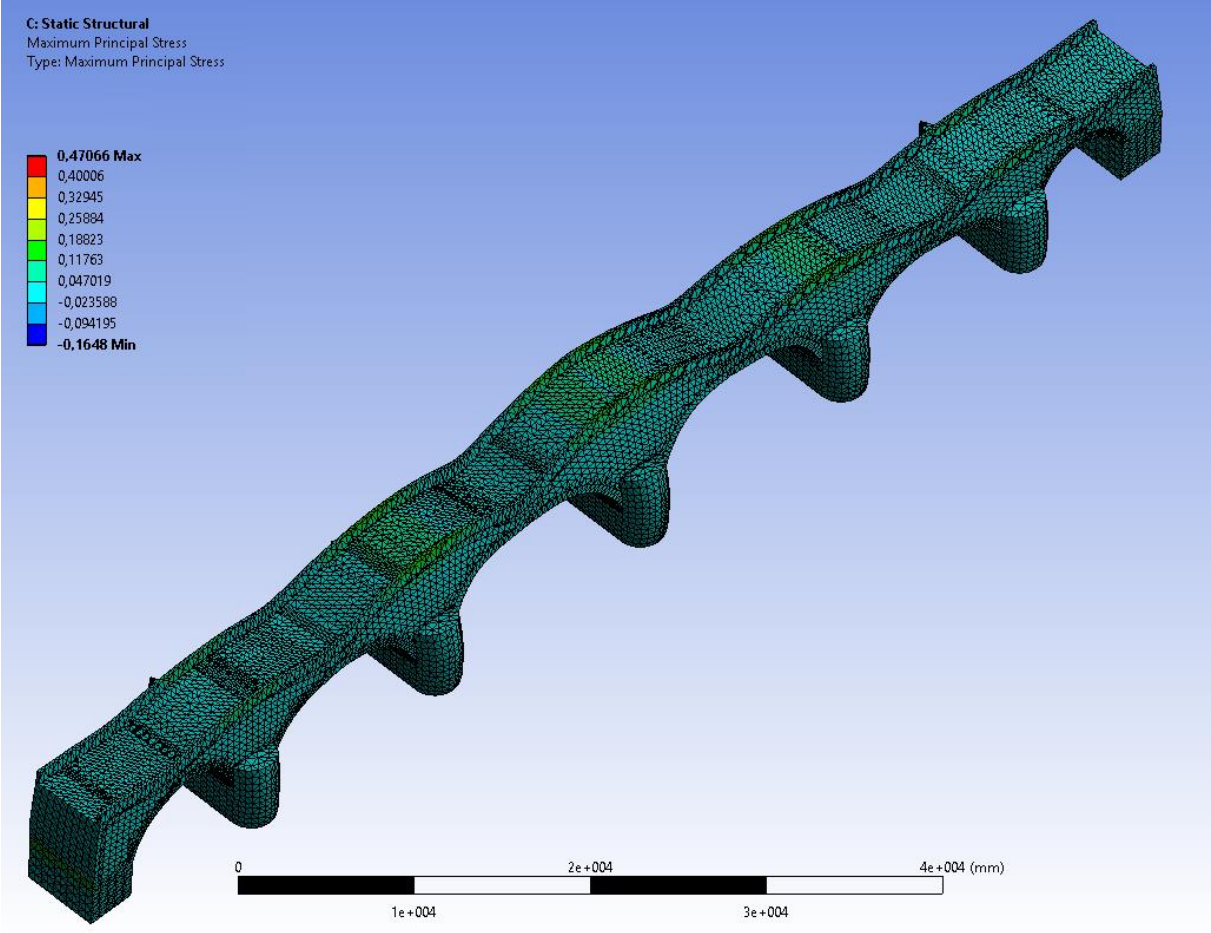
Şekil 6.68 Tokatlı Köprüsü, NW California 1941 (Total Deformasyon).



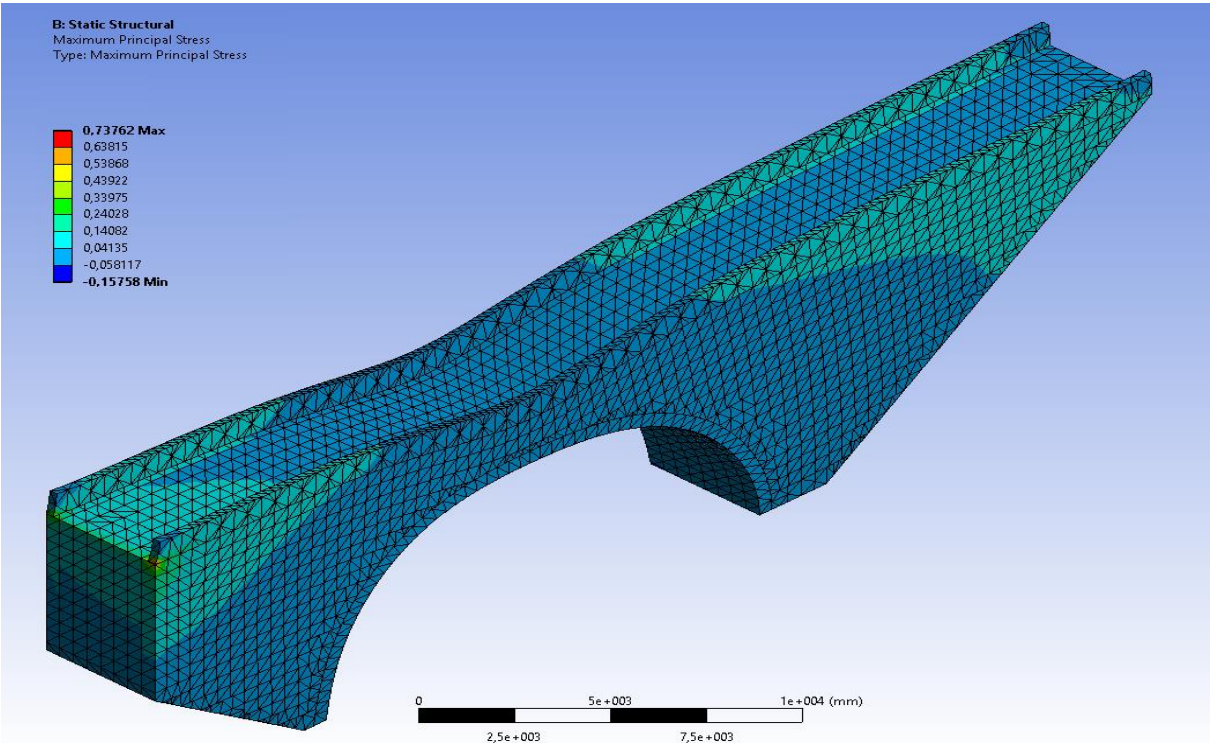
Şekil 6.69 Konjic Köprüsü, NW California 1941 (Maximum Principal Elastic Strain).



Şekil 6.70 Tokatlı Köprüsü, NW California 1941 (Maximum Principal Elastic Strain).



Şekil 6.71 Konjic Köprüsü, NW California 1941 (Maximum Principal Stress).



Şekil 6.72 Tokatli Köprüsü, NW California 1941 (Maximum Principal Stress).

Yapılan dinamik analizler neticesinde köprü modelleri üzerindeki maksimum yer değiştirmenin her iki köprü modelinde de; deprem ivmesinin büyüklüğü arttıkça, kemer üst noktası ile düşey ekseninde köprünün ağırlık merkezleri hizasında, en yüksek kısımlarında olduğu gözlemlenmiştir. Modeller üzerinde maksimum elastik gerilmelerin; Konjic Köprüsü için köprü ayakları ile kemerlerin birleştiği kısımlarda, Tokatlı Köprüsü için köprü ile zeminin temas ettiği bölgelerde beklendiği görülmektedir. Model üzerindeki maksimum stresin; elastik gerilmelerin en yüksek olduğu bölgelerde beklendiği gözlenmiştir.

Yukarıda ekran görüntüleri ile gösterilen Tarihi Konjic ve Tarihi Aşağı Tokatlı Kemer Köprüleri için dinamik analiz ile ulaşılan sonuçlar aşağıda Çizelge 6.2'de bir araya getirilerek gösterilmiştir.

Çizelge 6.2 Dinamik analiz neticesinde ulaşılan sonuçlar.

Sıra No	Fay	Deprem Kaydı	Konjic Köprüsü			Tokatlı Köprüsü		
			Total Deformation	Maximum Principal Elastic Strain	Maximum Principal Stress	Total Deformation	Maximum Principal Elastic Strain	Maximum Principal Stress
			(mm)	(mm/mm)	(Mpa)	(mm)	(mm/mm)	(Mpa)
1	Yakın Fay	Cape Mend,1992	5.45	0.00064	1.68	5.64	0.00068	2.10
2		Chi-Chi,1999	1.74	0.00022	0.54	1.98	0.00029	0.90
3		Imperial Valley,1979	3.17	0.00034	0.76	3.37	0.00045	1.39
4		Kobe,1995	6.79	0.00101	3.30	6.83	0.00064	1.87
5		Northridge,1994	3.91	0.00040	1.04	4.10	0.00053	1.63
6		Superstition Hills,1987	3.92	0.00041	1.04	4.11	0.00054	1.64
7	Uzak Fay	Borrego Mount,1968	1.24	0.00016	0.43	1.52	0.00020	0.62
8		Friuli, Italy, 1976	1.39	0.00016	0.44	1.60	0.00020	0.61
9		Kobe, 1995	1.29	0.00017	0.45	1.56	0.00022	0.67
10		Morgan Hill, 1984	1.26	0.00016	0.43	1.53	0.00021	0.64
11		NW California, 1941	1.39	0.00018	0.47	1.65	0.00024	0.74

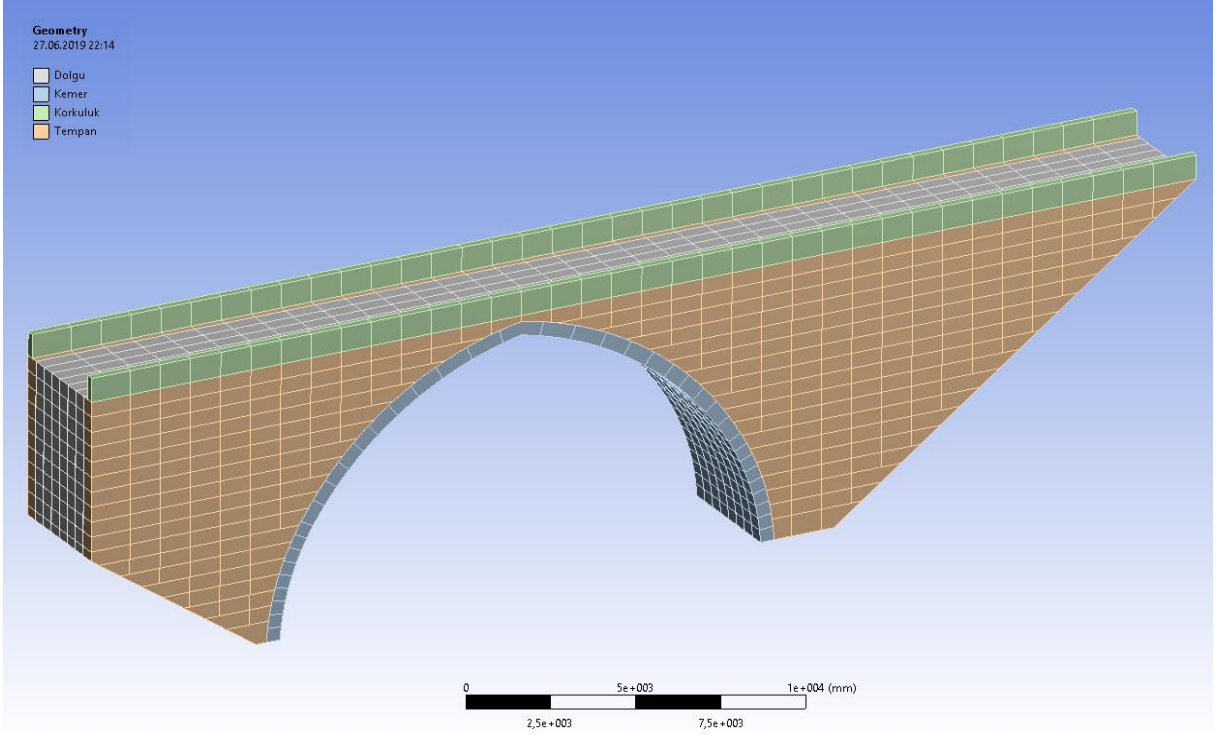
İnceleme konusu tarihi köprü modellerine Ansys programı yardımıyla Statik ve Dinamik analizler yapılmıştır. Statik analizde yer çekimi kuvveti altında oluşan yükler hesaplanırken, dinamik analizde örnek deprem etkileri altında oluşan yükler hesaplanmıştır. Analiz sonuçlarına bakıldığında; en yüksek deformasyon, elastik gerilme ve stres değerlerinin Yakın Fay deprem kayıtlarında olduğu, en yüksek değerlerin Kobe 1995 depreminde alındığı, en düşük deformasyon, elastik gerilme ve stres değerlerinin Uzak Fay deprem kayıtlarında olduğu, en düşük değerlerin Borrego Mount 1968 depreminde alındığı görülmüştür.

Yukarıda sonuçları verilen statik ve dinamik analizlerin tamamı köprülerin gerçek durumdaki orijinal geometrileri modellenerek elde edilmiştir. Bu kısımda, kemer yüksekliğinin elde edilen sonuçlara olan etkisinin görülebilmesi amacıyla, Tokatlı Köprüsü'nün kemer yüksekliği artırılıp, azaltılarak köprü yeniden modellenmiştir.

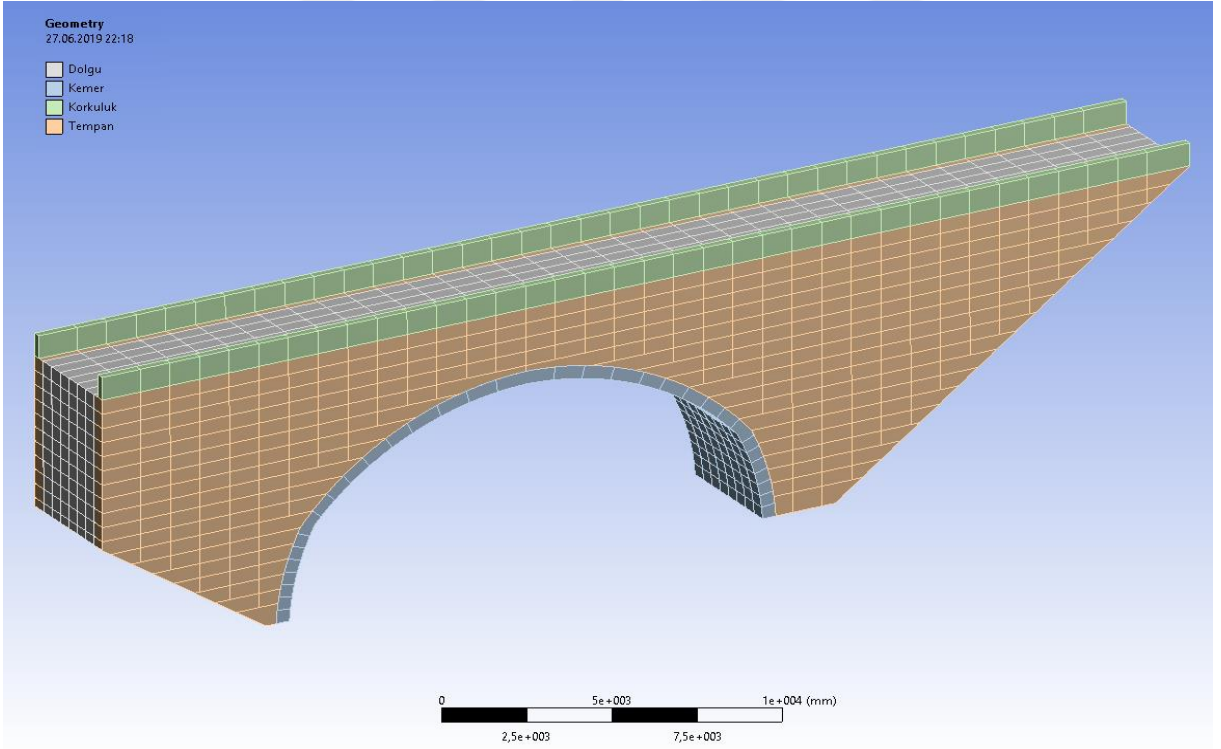
Yeniden modelleme işleminde diğer tüm veriler sabit tutularak; önce kemer yüksekliği orijinal haline göre 1 metre artırılarak köprü modellenmiş, daha sonra orijinal hale göre köprü kemer yüksekliği 1 metre azaltılarak köprü yeniden modellenmiştir.

Tokatlı köprüsü orijinal haliyle incelendiğinde; dairesel özellikte, Tam Kemer formuna sahiptir. Kemer yüksekliği arttırıldığında köprü Sivri Kemer formuna dönüşmekte, kemer yüksekliği azaltıldığında köprü Basık Kemer formuna dönüşmektedir.

Modelleme bölümünde detaylı olarak anlatılmış olan hususlar doğrultusunda Tokatlı Köprüsü Sivri Kemer ve Basık Kemer formunda yeniden modellenmiştir. Oluşturulan bu iki köprü modeli aşağıda Şekil 6.73-74'de gösterilmiştir.

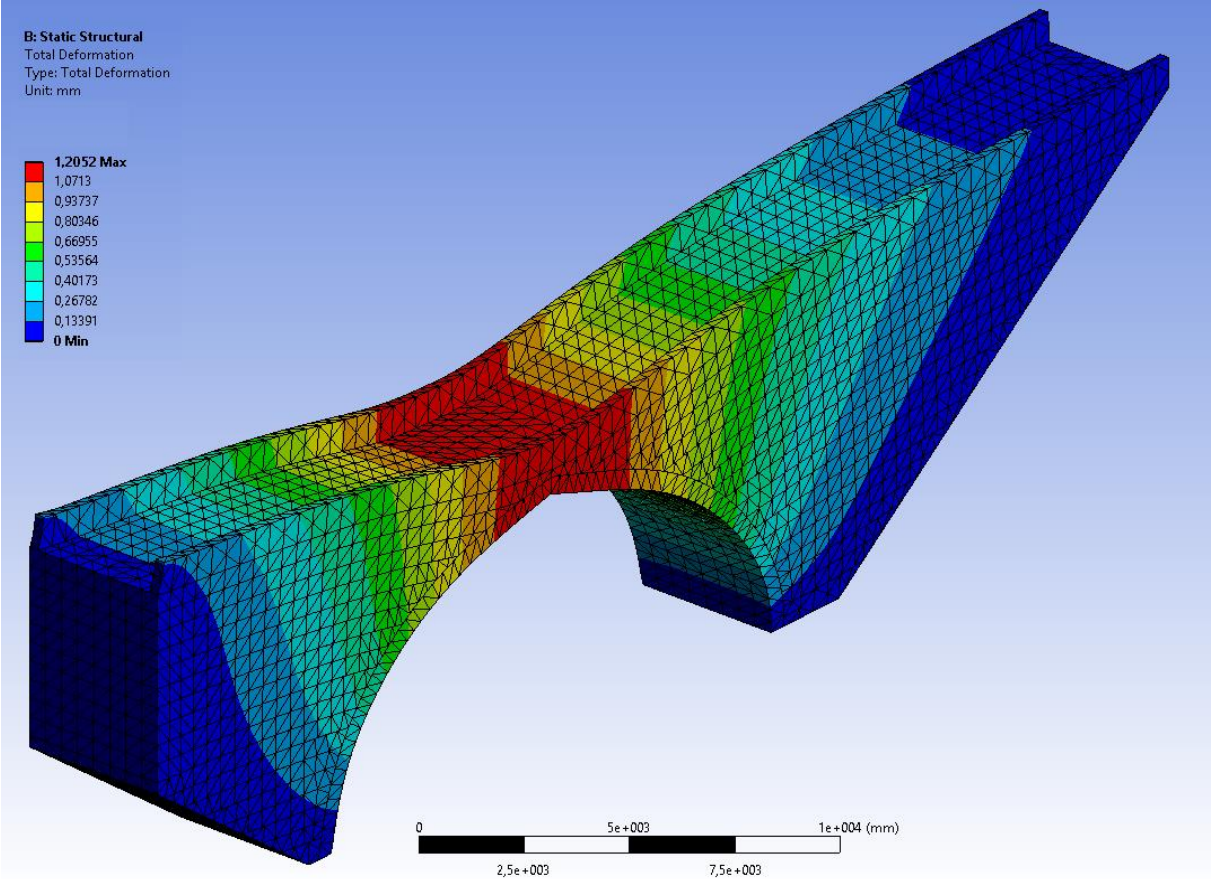


Şekil 6.73 Tokatlı Köprüsü (Sivri Kemer).

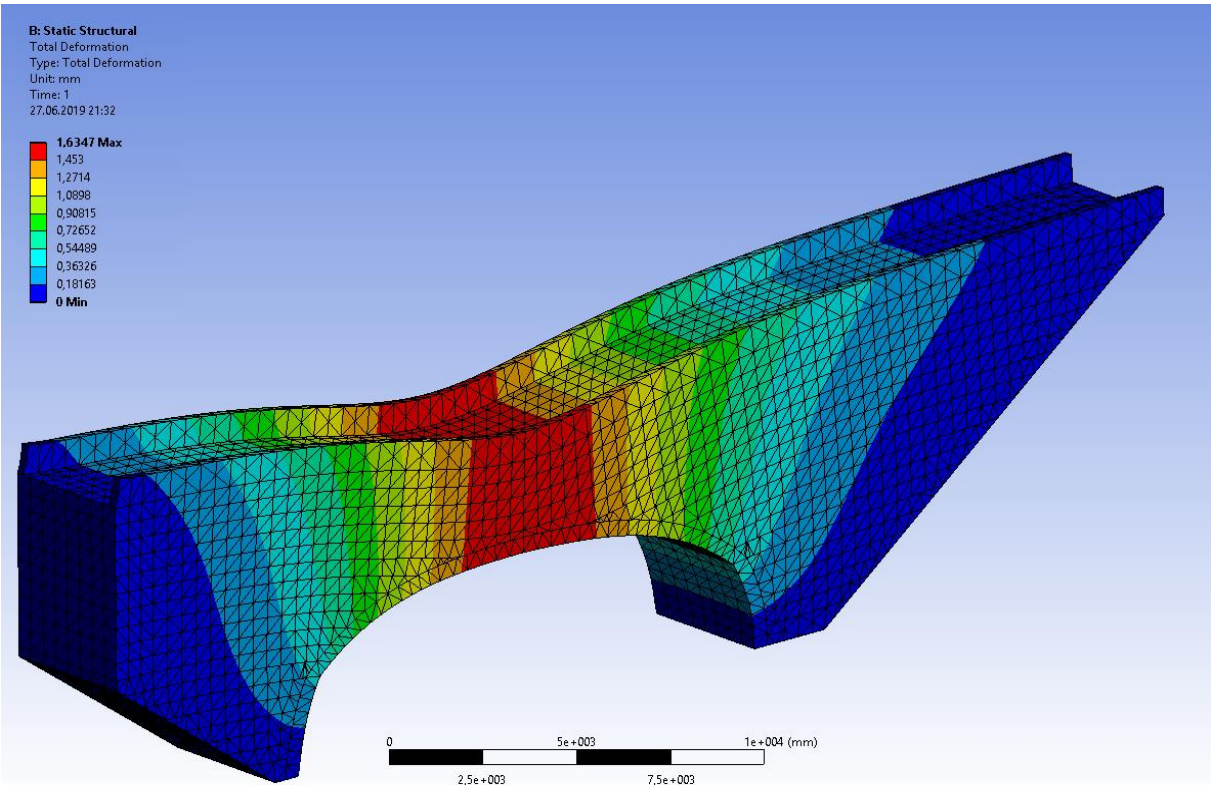


Şekil 6.74 Tokatlı Köprüsü (Basık Kemer).

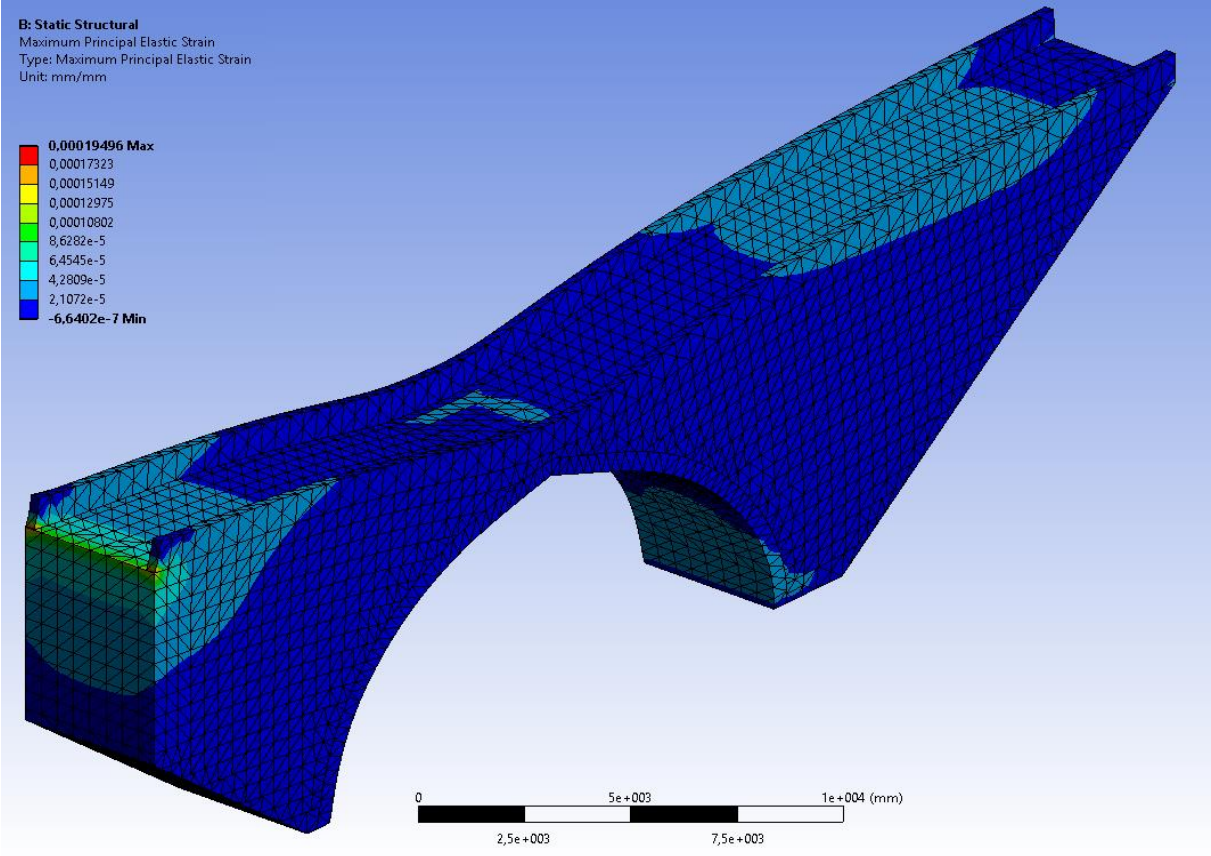
Oluşturulan bu modellerin öncelikle statik analizleri yapılarak maksimum yer değiştirme, maksimum elastik gerilme ve stres değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar her iki köprü için aşağıdaki Şekil 6.75-80'de gösterilmiştir.



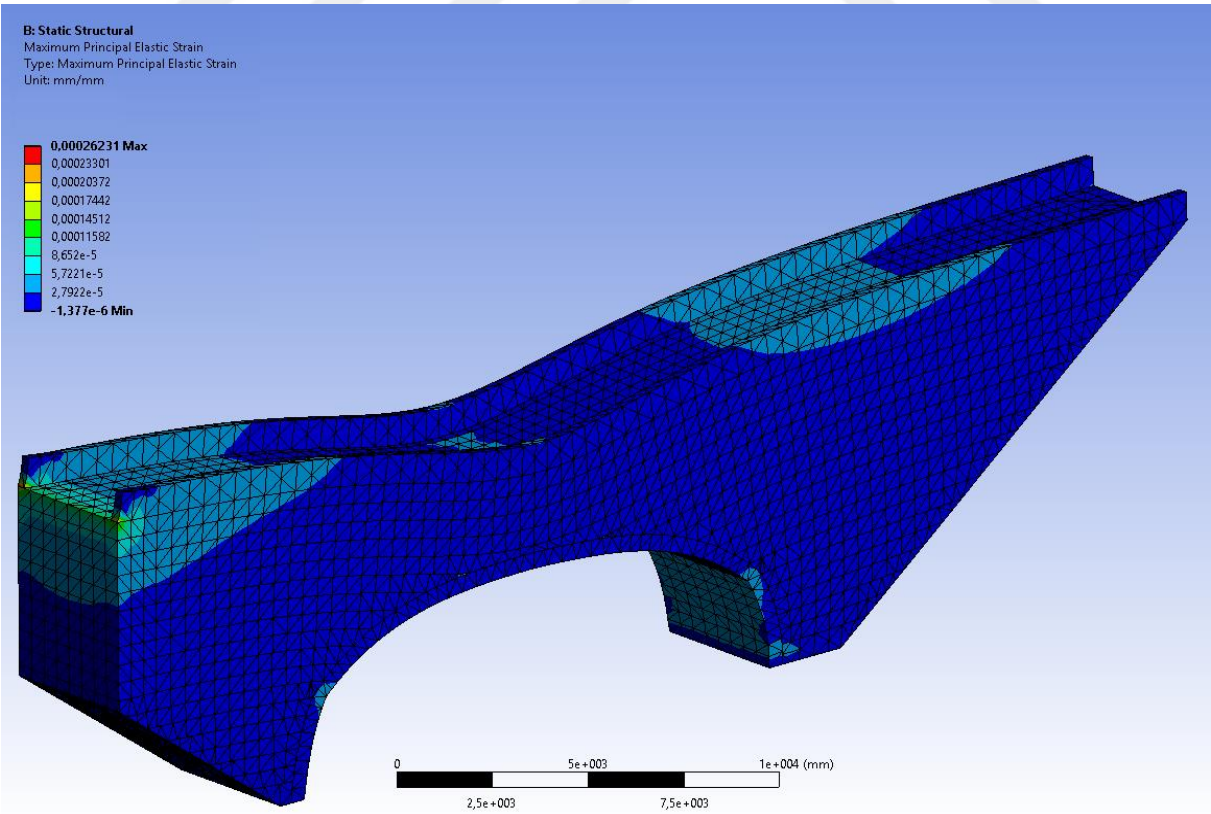
Şekil 6.75 Sivri Kemer, Statik Analiz (Total Deformasyon).



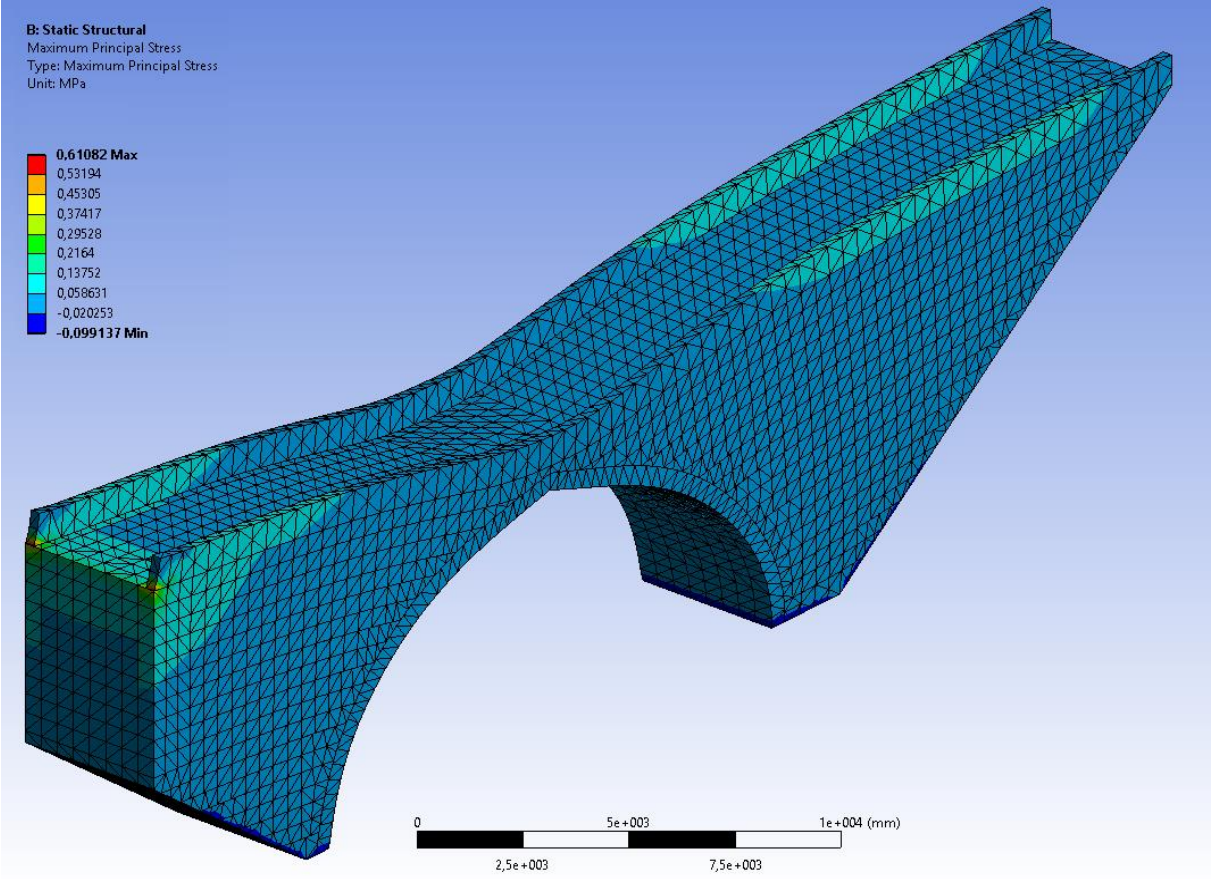
Şekil 6.76 Basık Kemer, Statik Analiz (Total Deformasyon).



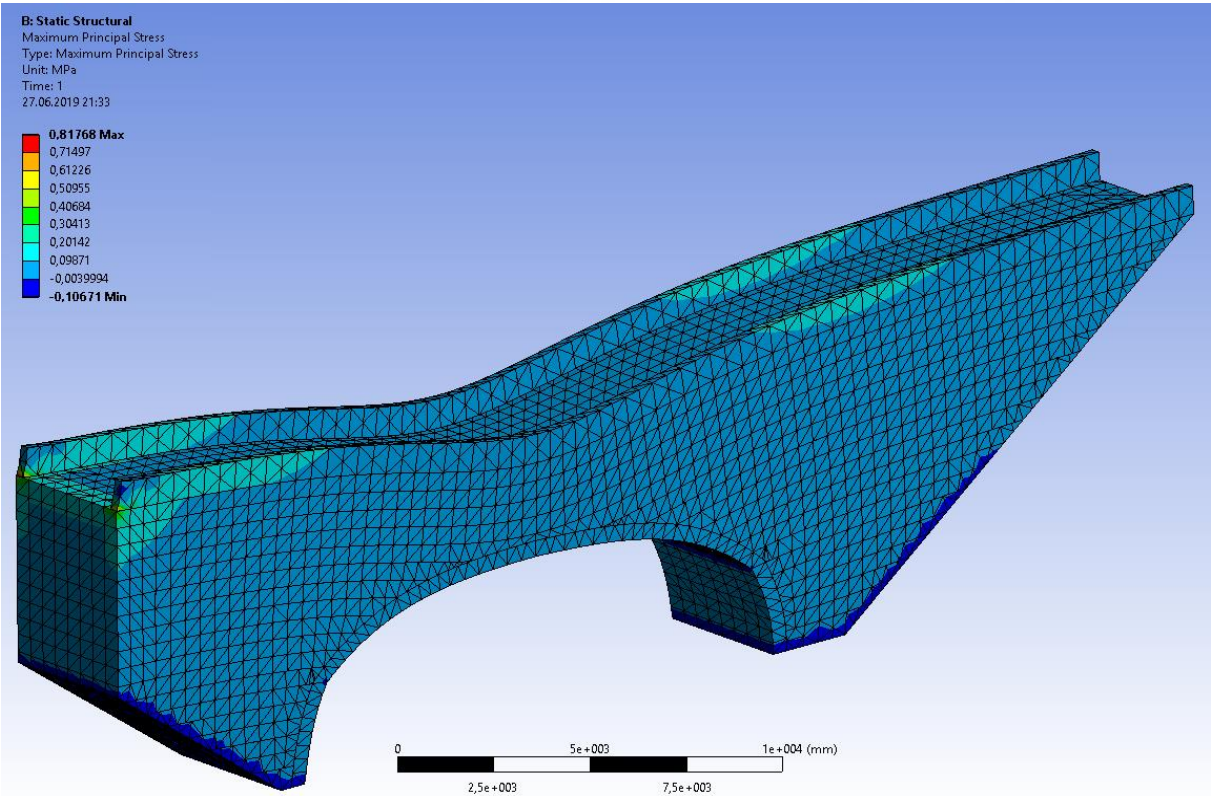
Şekil 6.77 Sivri Kemer, Statik Analiz (Maximum Principal Elastic Strain).



Şekil 6.78 Basık Kemer, Statik Analiz (Maximum Principal Elastic Strain).



Şekil 6.79 Sivri Kemer, Statik Analiz (Maximum Principal Stress).



Şekil 6.80 Basık Kemer, Statik Analiz (Maximum Principal Stress).

Sivri Kemer ve Basık Kemer formlarındaki modellerde yapılmış statik analiz sonuçları incelendiğinde; maksimum yer değiştirme, maksimum elastik gerilme ve stres değerlerine ulaşılan bölgelerin, köprünün orijinal geometrisinde de alınan sonuçlara benzer şekilde, iki köprü modelinin aynı bölgelerinde olduğu görülmüştür.

Kemer yüksekliği değişimi yapılarak yaptırılan statik analiz sonucunda alınan değerler ve köprünün orijinal formu için yapılmış statik analiz sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki Çizelge 6.3’de bir araya getirilmiştir.

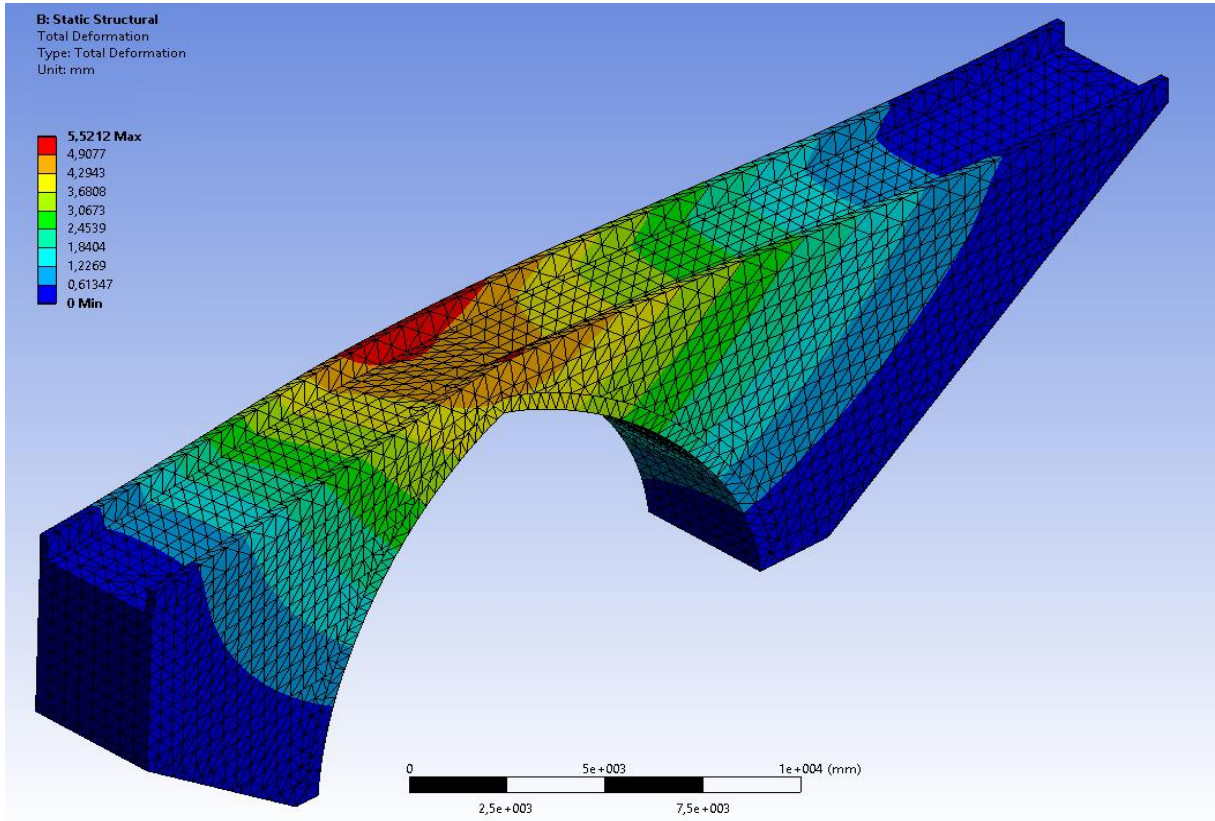
Çizelge 6.3 Kemer yükseklik değişimine göre sonuçlar (Statik Analiz).

Kemer Yüksekliği	Total Deformation (mm)	Maximum Principal Elastic Strain (mm/mm)	Maximum Principal Stress (Mpa)
8 m	1,51	0,00019	0,60
9 m	1,21	0,00019	0,61
7 m	1,63	0,00026	0,82

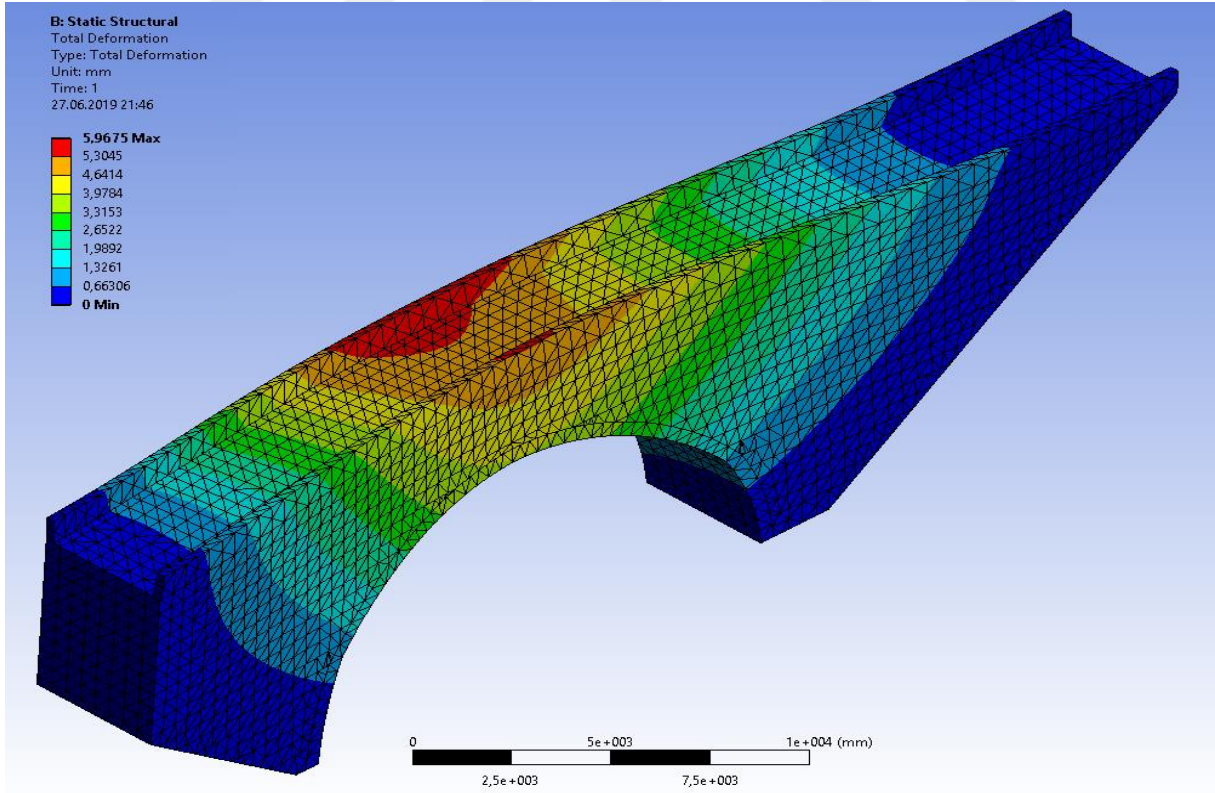
Çizelge 6.3’de verilen sonuçlar incelendiğinde; Sivri Kemer formu için, orijinal geometriye göre maksimum yer değiştirme verilerinde azalma, maksimum elastik gerilme ve stres değerlerinde çok az miktarda artma olduğu görülmüştür. Basık Kemer formu için ise, orijinal geometriye göre maksimum yer değiştirme, maksimum elastik gerilme ve stres verilerinin tamamında artış yaşandığı görülmektedir.

Kemer formu değiştirilerek yeniden modellenmiş köprüler üzerinde dinamik analiz yapılmıştır. Analiz için Cape Mend, 1992 depremi seçilmiştir. Dinamik analizde de köprünün orijinal formunda yapılmış ayarlamalar benzer şekilde uygulanmış ve bu şekilde benzer şartlar altında farklı kemer formlarına göre elde edilen sonuçların karşılaştırılması hedeflenmiştir.

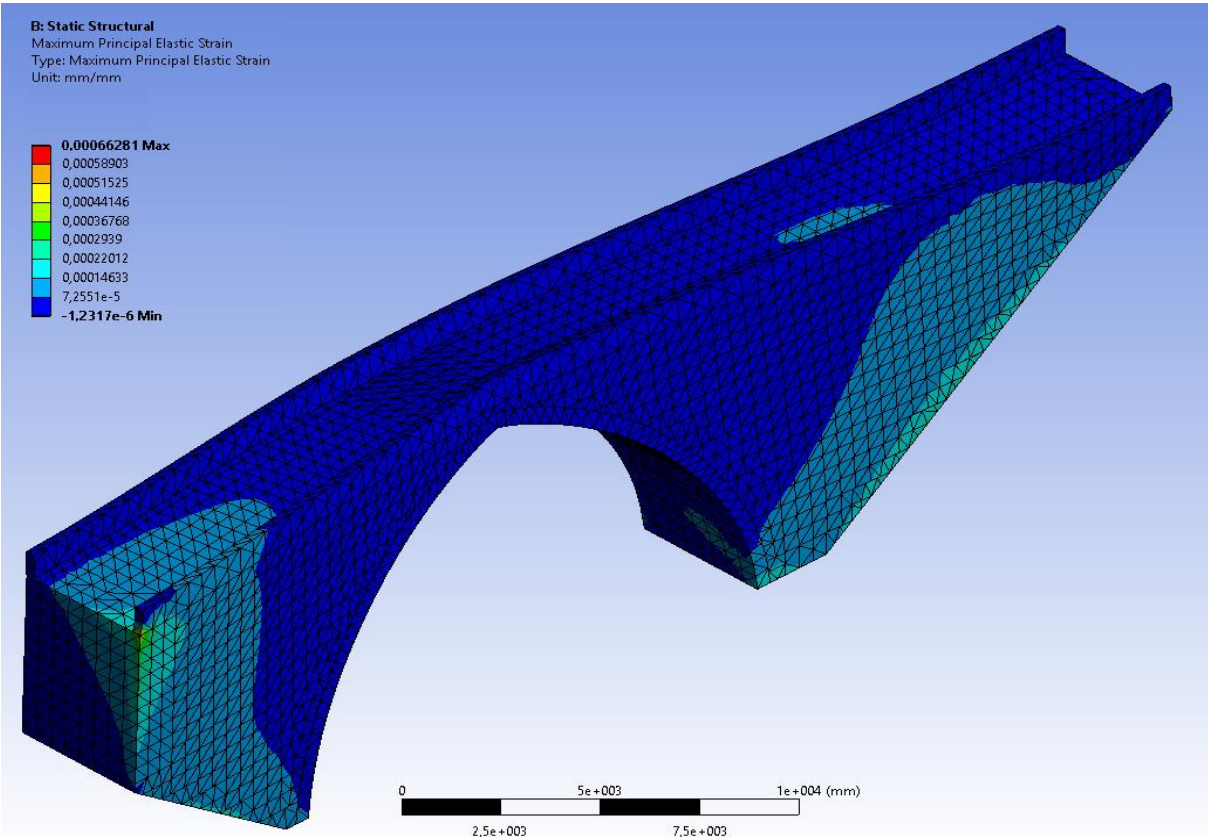
Yapılan dinamik analiz sonucunda elde edilen, maksimum deformasyon, elastik gerilmeler ve stres değerleri aşağıdaki Şekil 6.81-86’da gösterilmiştir.



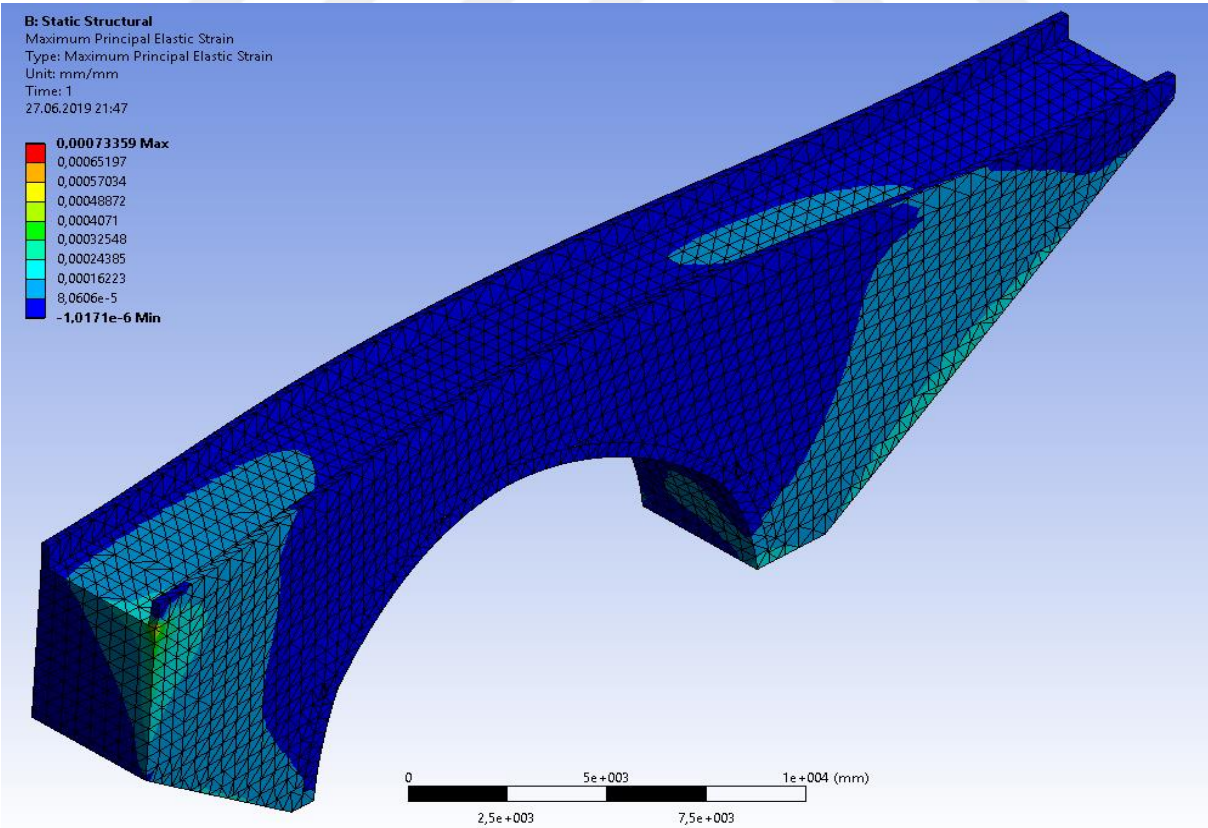
Şekil 6.81 Sivri Kemer, Dinamik Analiz (Total Deformasyon).



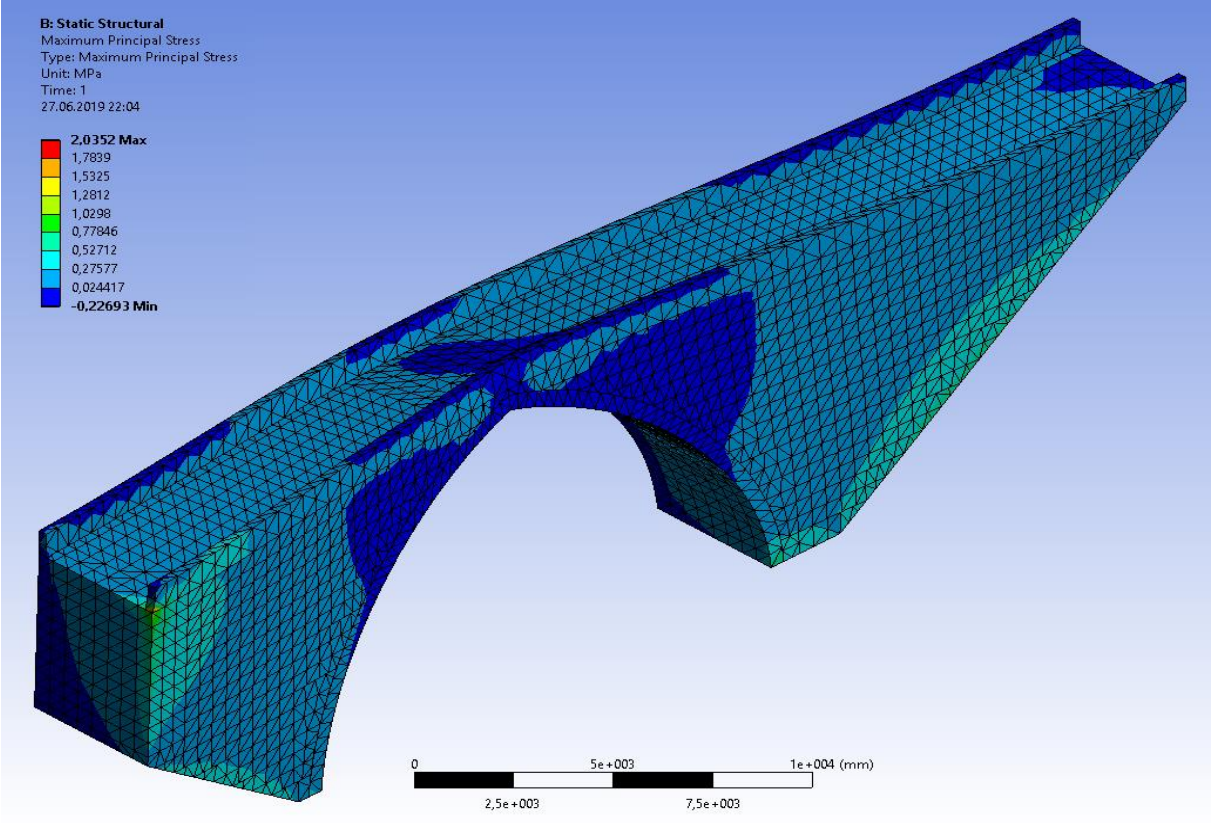
Şekil 6.82 Basık Kemer, Dinamik Analiz (Total Deformasyon).



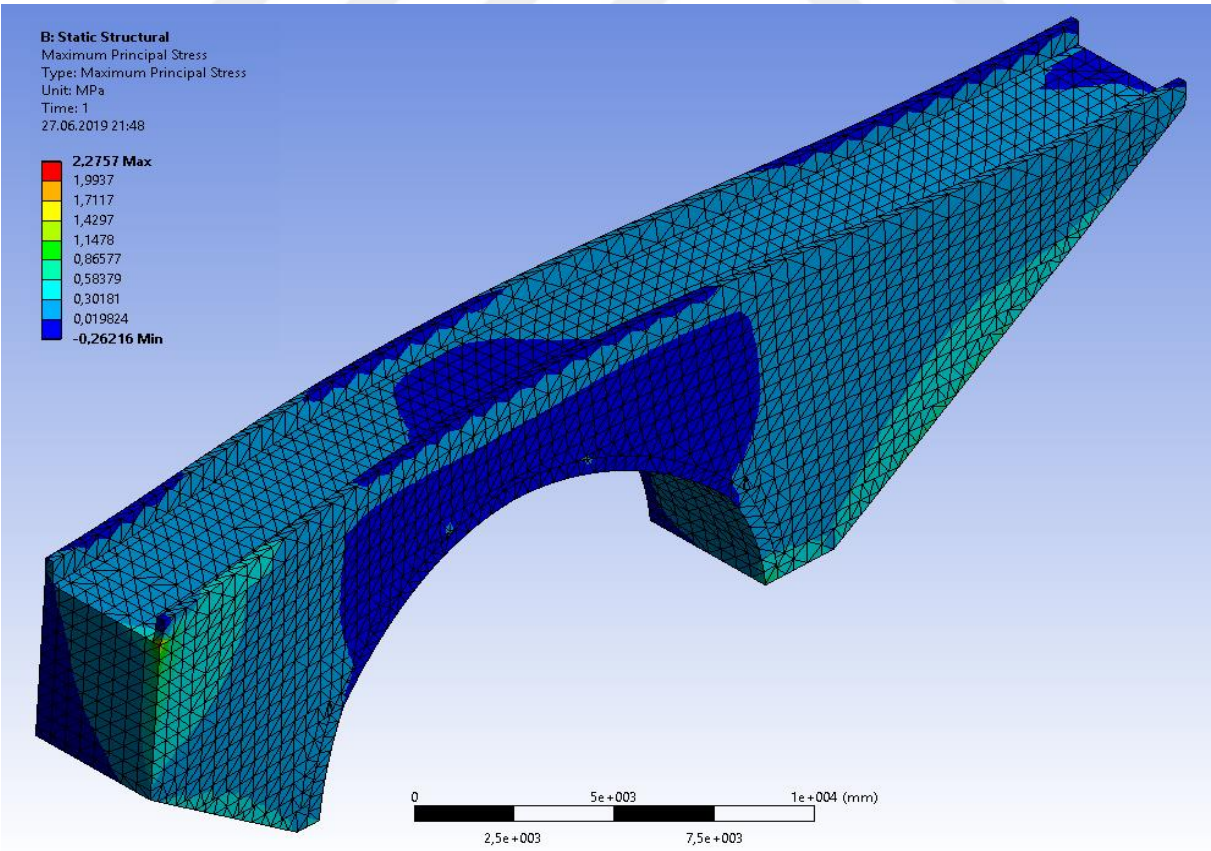
Şekil 6.83 Sivri Kemer, Dinamik Analiz (Maximum Principal Elastic Strain).



Şekil 6.84 Basık Kemer, Dinamik Analiz (Maximum Principal Elastic Strain).



Şekil 6.85 Sivri Kemer, Dinamik Analiz (Maximum Principal Stress).



Şekil 6.86 Basık Kemer, Dinamik Analiz (Maximum Principal Stress).

Sivri Kemer ve Basık Kemer formlarındaki modellerde yapılmış dinamik analiz sonuçları incelendiğinde; maksimum yer değiştirme, maksimum elastik gerilme ve stres değerlerine ulaşılan bölgelerin, statik analizde de olduğu gibi köprünün orijinal geometrisinde de alınan sonuçlara benzer şekilde, iki köprü modelinin aynı bölgelerinde olduğu görülmüştür.

Kemer yüksekliği değişimi yapılarak yaptırılan dinamik analiz sonucunda alınan değerler ve köprünün orijinal formu için yapılmış dinamik analiz sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki Çizelge 6.4’de bir araya getirilmiştir.

Çizelge 6.4 Kemer yükseklik değişimine göre sonuçlar (Dinamik Analiz).

Kemer Yüksekliği	Total Deformation (mm)	Maximum Principal Elastic Strain (mm/mm)	Maximum Principal Stress (Mpa)
8 m	5.64	0.00068	2.10
9 m	5,52	0,00066	2,04
7 m	5,97	0,00073	2,28

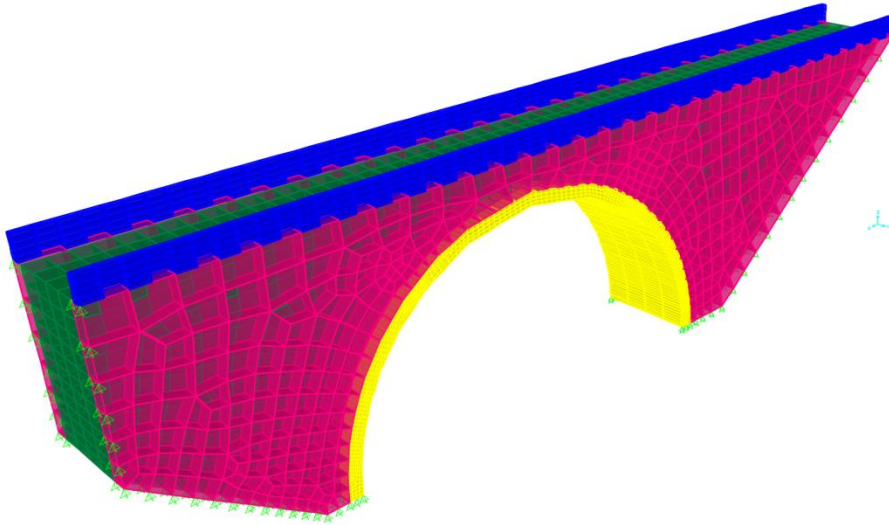
Çizelge 6.4’de verilen sonuçlar incelendiğinde; 9 metrelik kemer için, orijinal geometriye göre maksimum yer değiştirme, maksimum elastik gerilme ve stres değerlerinin tamamında azalma olduğu görülmüştür. 7 metrelik kemer formu için ise, orijinal geometriye göre maksimum yer değiştirme, maksimum elastik gerilme ve stres verilerinin tamamında artış yaşandığı görülmektedir.

Kemer yüksekliğindeki değişimin yapılan statik ve dinamik analizlere etkisine genel olarak bakıldığında; 9 metrelik kemer formunda elde edilen verilerde azalma, 7 metrelik kemer formunda elde edilen verilerde artma olduğu değerlendirilmiştir. Fakat her iki durum içinde köprü üzerindeki kritik bölgelerin çok fazla değişmediği, sadece bu verilerin rakamsal büyüklüklerinde değişimler yaşandığı görülmektedir.

Bu tez çalışmasında, Statik ve Dinamik analizler için yaygın olarak kullanılan SAP2000 programının yerine ANSYS programı kullanılmıştır. İki programda da çözüm yöntemi olarak Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılıyor olmasına rağmen, programların ara yüzü, görselleri, modellerin oluşturulması veya tanımlanması, mesh yöntemleri ve yüklerin uygulanması gibi hususlarda farklılıklar bulunmaktadır. Bahse konu bu farklılıkların görülebilmesi için

yukarıda ANSYS programı ile detaylı analizleri yapılmış bir köprü modeli, benzer geometri, malzeme bilgisi ve mesnet koşulları ile SAP2000 programında yeniden modellenmiş, bu model üzerinde kendi ağırlığı altında ve yukarıda kullanılmış biri yakın faya, biri uzak faya ait deprem ivme kayıtları altında Statik ve Dinamik analizler yapılmıştır.

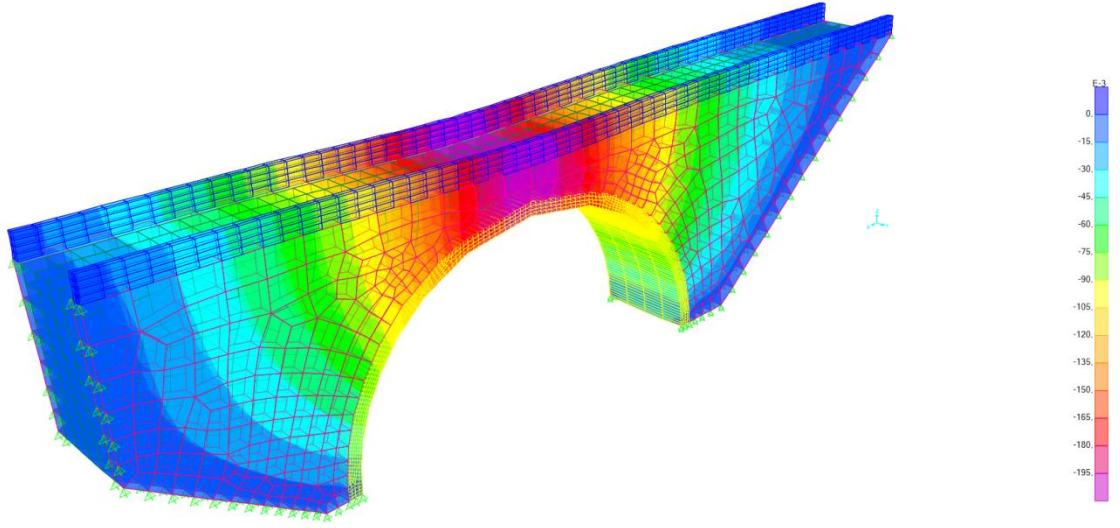
SAP2000 programında yapılacak analizlerde kullanılmak üzere Tokatlı Köprüsü seçilerek, ANSYS programında kullanılan benzer koşullarda modellenmiştir. SAP2000 programında yeniden modellenen Tokatlı Köprüsü Şekil 6.87’de gösterilmiştir.



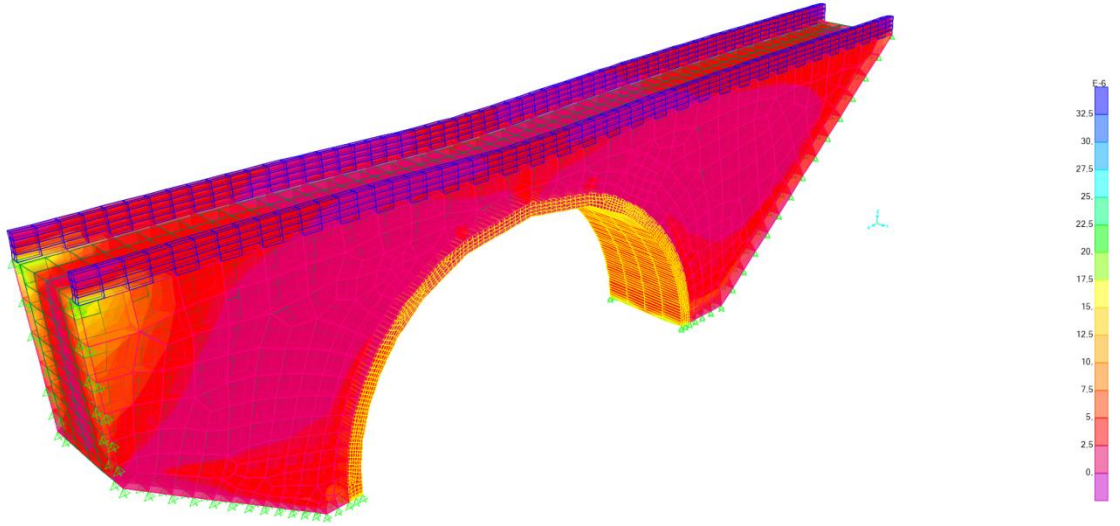
Şekil 6.87 Tokatlı Köprüsü’nün SAP2000 programında modellenmesi.

Yukarıdaki görselde de görüldüğü üzere; modellenen köprünün farklı malzeme özelliklerine sahip Kemer, Tempan, Dolgu ve Korkuluk kısımları için SAP2000 programında farklı renkler kullanılmıştır. Yine modelin tanımlanan ana kısımları ANSYS programının aksine bir bütün olarak oluşturulmuş, Kemer, Tempan, Dolgu ve Korkuluk kısımları katı model olarak tek parçadan oluşturulmuş daha sonra mesh işlemi ile sonlu elemanlarına ayrılmıştır.

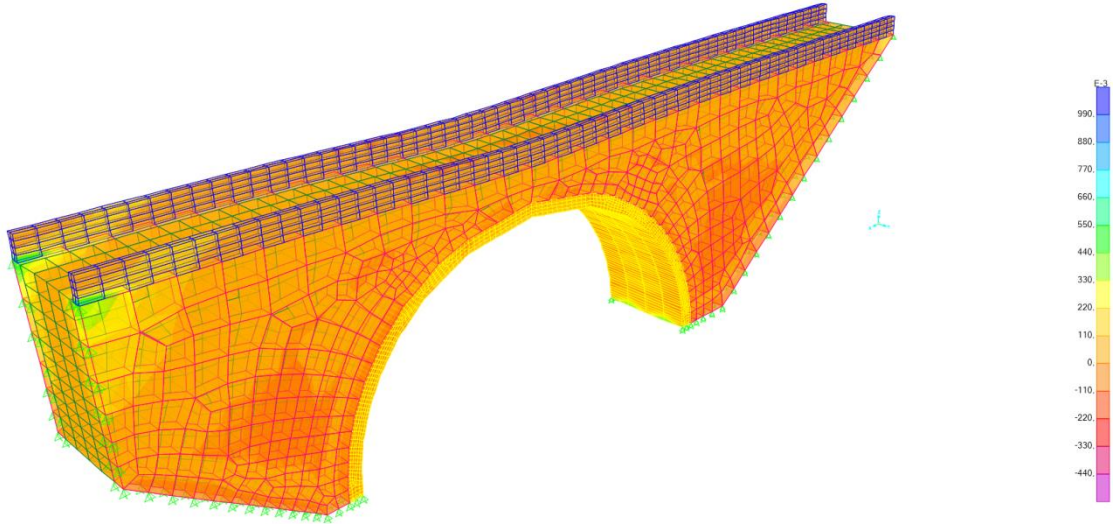
Modelin oluşturulması sonrasında kendi ağırlığı altında ölü yük analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda elde edilen, maksimum deformasyon, elastik gerilmeler ve stres değerleri aşağıdaki Şekil 6.88-90’da gösterilmiştir.



Şekil 6.88 Tokatlı Köprüsü, Statik Analiz (Total Deformasyon).



Şekil 6.89 Tokatlı Köprüsü, Statik Analiz (Maximum Principal Elastic Strain).



Şekil 6.90 Tokatlı Köprüsü, Statik Analiz (Maximum Principal Stress).

SAP2000 programında yapılan statik analiz neticesinde köprü üzerindeki maksimum yer değiştirmenin köprü kemerinin üst noktasında oluştuğu, maksimum elastik gerilme ve stres değerlerinin köprü'nün zemine dik mesnetlendiği kısımda oluştuğu görülmektedir.

Statik analiz için ANSYS programında alınan sonuçlar ile SAP2000 programında alınan sonuçlar karşılaştırıldığında, maksimum yer değiştirme, maksimum elastik gerilme ve stres değerlerinin, her iki programda da köprü'nün aynı kısımlarında oluştuğu görülmüştür.

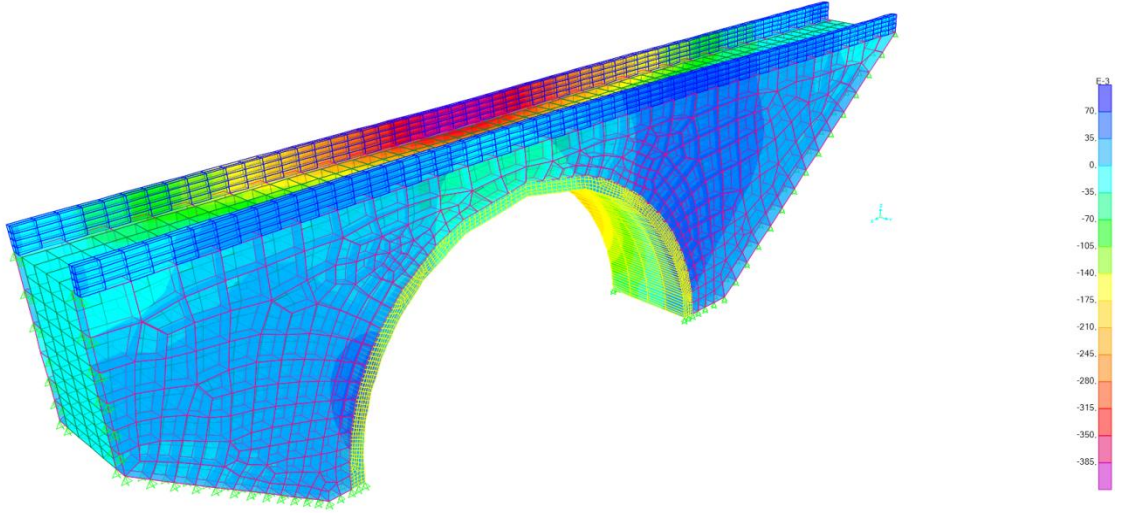
Tokatlı Köprüsü'nün ANSYS ve SAP2000 programları ile yapılmış statik analizleri sonucunda ulaşılan sonuçlar aşağıda Çizelge 6.5'de bir araya getirilerek gösterilmiştir.

Çizelge 6.5 Tokatlı Köprüsü, Statik Analiz (ANSYS - SAP2000).

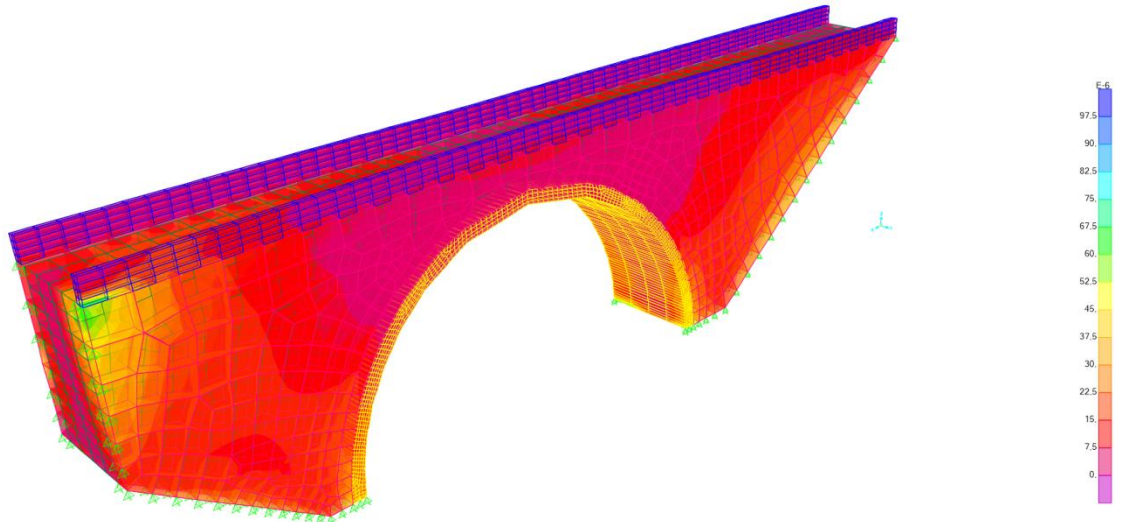
Kullanılan Program	Maximum Principal Elastic Strain (mm/mm)	Maximum Principal Stress (Mpa)
ANSYS	0,00019	0,60
SAP2000	0,00035	0,96

Çizelge 6.5'de elde edilen sonuçlar incelendiğinde; her ne kadar elde edilen maksimum değerlerin iki farklı program içinde aynı bölgelerde oluştuğu görülse de ölçülen maksimum verilerin farklı olduğu, SAP2000 programında ANSYS programına göre Maksimum elastik gerilme ve stres değerlerinde yakın fakat daha yüksek değerler ölçülmüştür.

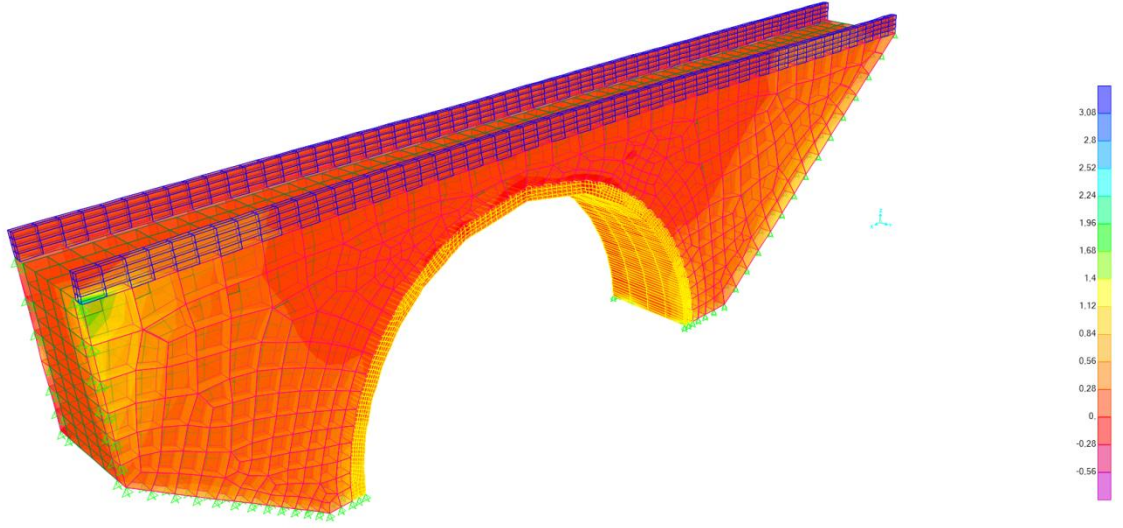
SAP2000 programı ile aynı köprü modeli üzerinde biri yakın fay, biri uzak fay olan iki deprem kaydı ile dinamik analiz yaptırılmıştır. Analiz için; yakın fay ölçümü Cape Mend 1992 depremi ve uzak fay ölçümü Friuli Italy 1976 seçilmiştir. Dinamik analizde de ANSYS programında yapılmış ayarlamalar benzer şekilde uygulanmış ve bu şekilde benzer şartlar altında iki farklı programın verdiği sonuçların karşılaştırılması hedeflenmiştir. Yapılan analiz sonucunda elde edilen, maksimum deformasyon, elastik gerilmeler ve stres değerleri aşağıdaki Şekil 6.91-96'da gösterilmiştir.



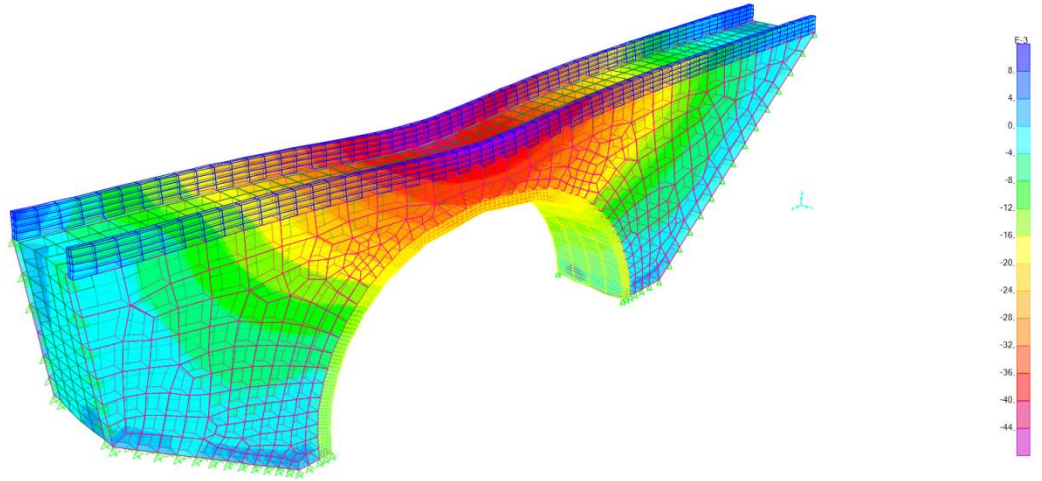
Şekil 6.91 Tokatlı Köprüsü, Cape Mend 1992 (Total Deformasyon).



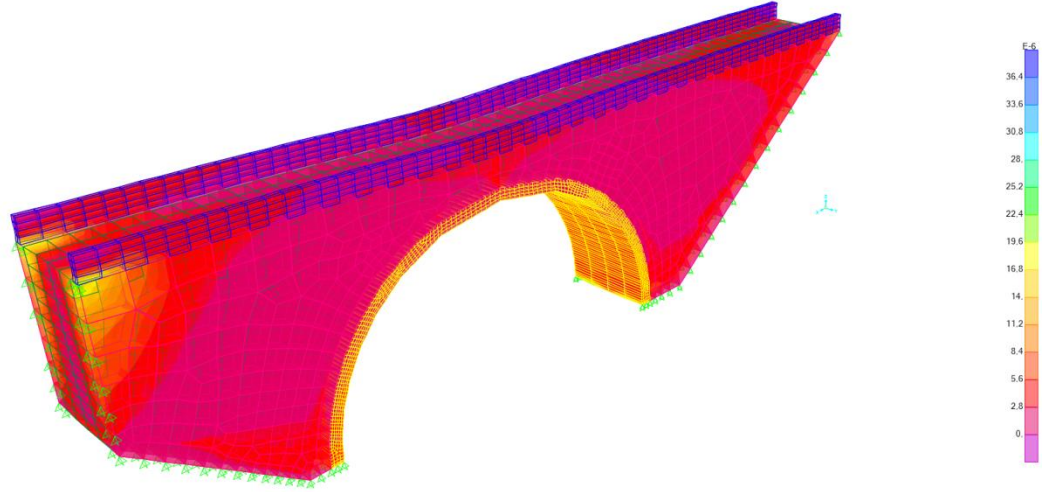
Şekil 6.92 Tokatlı Köprüsü, Cape Mend 1992 (Maximum Principal Elastic Strain).



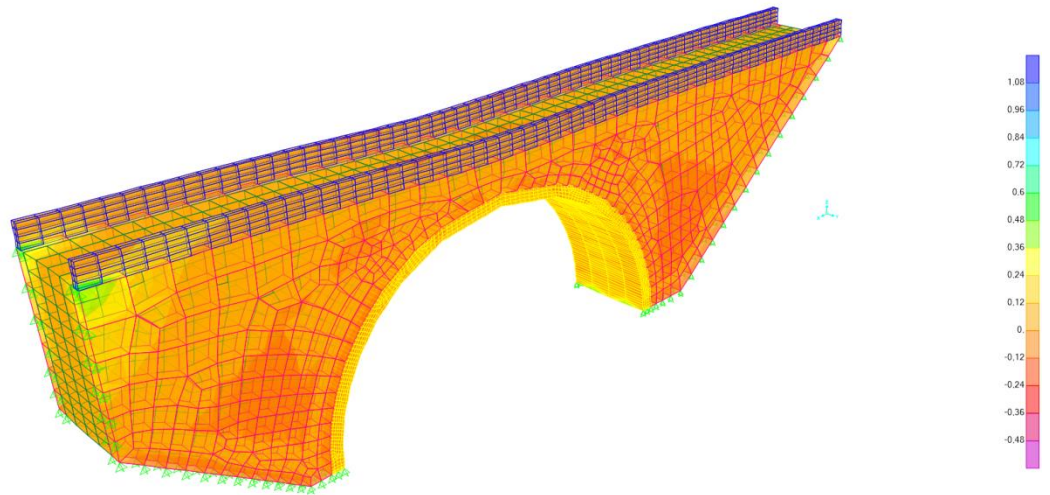
Şekil 6.93 Tokatlı Köprüsü, Cape Mend 1992 (Maximum Principal Stress).



Şekil 6.94 Tokatlı Köprüsü, Friuli Italy 1976 (Total Deformasyon).



Şekil 6.95 Tokatlı Köprüsü, Friuli Italy 1976 (Maximum Principal Elastic Strain).



Şekil 6.96 Tokatlı Köprüsü, Friuli Italy 1976 (Maximum Principal Stress).

Dinamik analiz sonucu elde edilen sonuçlar incelendiğinde maksimum yer değiştirmenin köprü'nün ağırlık merkezi hizasında ve köprü'nün en üst kotunda oluştuğu, maksimum elastik gerilme ve stresin köprü'nün zeminle birleştiği kısımda, depremin ivmesinin maksimum olduğu andaki yönünde oluştuğu görülmüştür.

Statik analizde olduğu gibi, dinamik analiz için de ANSYS ve SAP2000 programında alınan maksimum yer değiştirme, maksimum elastik gerilme ve stres değerlerinin, her iki programda da köprü'nün aynı kısımlarında oluştuğu görülmüştür.

Tokatlı Köprüsü'nün ANSYS ve SAP2000 programları ile yapılmış dinamik analizleri sonucunda ulaşılan sonuçlar aşağıda Çizelge 6.6-7'de bir araya getirilerek gösterilmiştir.

Çizelge 6.6 Tokatlı Köprüsü, Cape Mend 1992 (ANSYS - SAP2000).

Kullanılan Program	Maximum Principal Elastic Strain (mm/mm)	Maximum Principal Stress (Mpa)
ANSYS	0.00068	2.10
SAP2000	0,00106	3,28

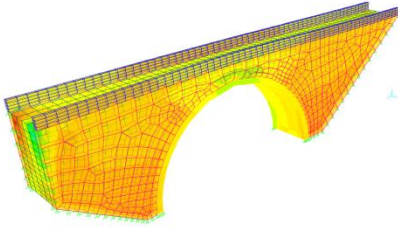
Çizelge 6.7 Tokatlı Köprüsü, Friuli Italy 1976 (ANSYS - SAP2000).

Kullanılan Program	Maximum Principal Elastic Strain (mm/mm)	Maximum Principal Stress (Mpa)
ANSYS	0.00020	0.61
SAP2000	0,00038	1,05

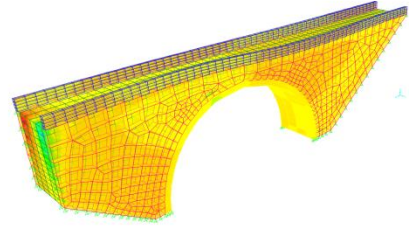
Çizelge 6.6 ve Çizelge 6.7'de elde edilen sonuçlar incelendiğinde; her ne kadar elde edilen maksimum değerlerin iki farklı program içinde aynı bölgelerde olduğu görülse de ölçülen maksimum verilerin farklı olduğu, SAP2000 programında ANSYS programına göre Maksimum elastik gerilme ve stres değerlerinde yakın fakat daha yüksek değerler ölçülmüştür.

Tokatlı Köprüsü üzerinde yapılan statik ve dinamik analizler sonucu elde edilen değerlerin ANSYS ve SAP2000 sonuçlarının birbirine oldukça yakın olması nedeniyle, Konjic köprüsünde benzer analizlerin yapılmasına ihtiyaç duyulmamıştır.

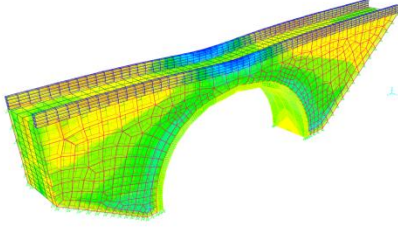
Yapıların genel davranışlarının belirlenmesinde Mod şekilleri oldukça önemlidir. Mod şekillerinin tespiti amacıyla, SAP2000 programında Modal analiz yaptırılarak Tokatlı köprüsünün ilk 10 Mod'una ait şekil değiştirme tespit edilmiş ve aşağıdaki Şekil 6.97'de, köprünün ilk 10 Mod'una ait periyotlar ise Çizelge 6.8'de sunulmuştur.



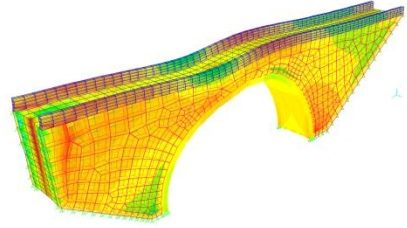
Mod-1



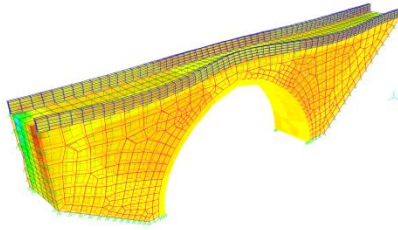
Mod-2



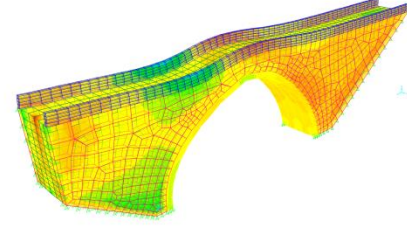
Mod-3



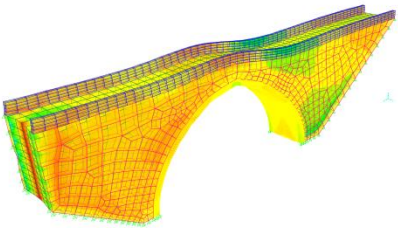
Mod-4



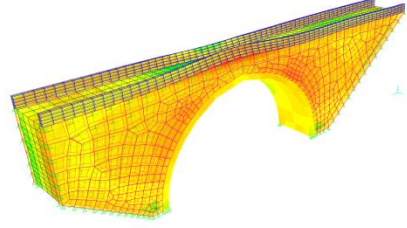
Mod-5



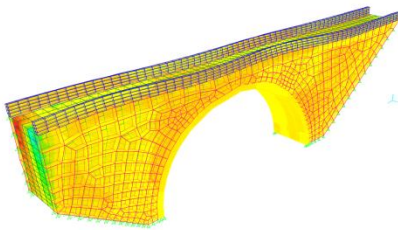
Mod-6



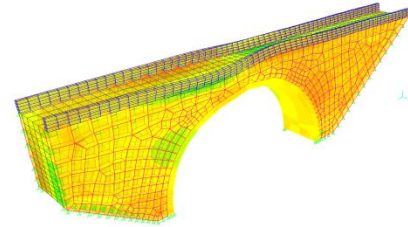
Mod-7



Mod-8



Mod-9



Mod-10

Şekil 6.97 Tokatlı Köprüsü ilk 10 Mod şekli.

Çizelge 6.8 Tokatlı Köprüsü ilk 10 Mod'a ait periyotlar.

Mod	Periyot (Sn)
1	0,04524
2	0,02531
3	0,02342
4	0,01960
5	0,01656
6	0,01360
7	0,01318
8	0,01296
9	0,01200
10	0,01025

SAP2000 programında yapılmış statik ve dinamik analizler ile ANSYS programında aynı model için elde edilen veriler topluca değerlendirildiğinde; ölçülen maksimum değerlerin köprü geometrilerinde nerdeyse aynı noktalarda oluştuğu fakat ölçülen rakamsal verilerde az da olsa farklılık bulunduğu görülmüştür. Her iki programında analizler için sonlu elemanlar yöntemini kullanmasına, köprülerin geometri ve malzeme bilgilerinin aynı olmasına rağmen oluşan bu farkın, modelleme ve mesh işlemindeki farktan kaynaklandığı değerlendirilmiştir. ANSYS programında kullanılan model, önce Solidworks programında gerçek durumundaki özellikleri dikkate alınarak, köprü bölümlerini oluşturan her taş ayrı ayrı modellenerek oluşturulmuştur. Sonra bu modele ANSYS programında mesh işlemi uygulanmış, kritik bölgelerdeki elemanlara ait değerler daha küçük parçalar üzerinden hesaplanmıştır. Fakat SAP2000 programının özelliği gereği, köprüyü oluşturan elemanlar katı model olarak bir bütün halinde oluşturulmak zorundadır. Daha sonra bu parçalar mesh işlemi ile daha küçük parçalara bölünerek analizler yapılmaktadır. Bu durum yapılan analizin hassasiyetini düşürmekte ve elde edilen verilerde ANSYS programına göre farklı sonuçlar elde edilmektedir.

İki program arasındaki bir diğer farkın modelleme işleminin pratikliği olarak söylenebilir. ANSYS programında model Solidworks programında oluşturularak kullanılabilir. Solidworks programında ise herhangi bir yapının modellenmesi oldukça pratik ve detaylı olarak yapılabilir. Fakat SAP2000 programına Solidworks programından veri aktarılamamaktadır. Ayrıca SAP2000 programında çerçeve sistemlerin modellenmesi ve oluşturulması çok pratik ve rahatken, katı modellerin oluşturulması, özellikle kemer gibi eğimli elemanların oluşturulması oldukça kapsamlı çalışma gerektirmektedir.

Çalışma kapsamında yapılmış analizler topluca değerlendirilmiştir. Analiz sonuçları standart yerçekimi altında incelendiğinde, gerilme ve yer değiştirme değerlerinin Konjic ve Tokatlı Köprüsü'nün çökmesine neden olmadığı görülmektedir. Yakın ve uzak fay depremleri altındaki dinamik davranış araştırılırken, gerilme ve yer değiştirme grafikleri elde edilmiştir. Konjic ve Tokatlı Köprüsü'nün standart yerçekimi ağırlığında sabit ve hasarsız olduğu varsayılırsa, çekme gerilmesinin 0,42 MPa'ya kadar yükseldiği Konjic Köprüsü'ne ve çekme gerilmesinin 0,60 MPa'ya kadar yükseldiği Tokatlı Köprüsü'ne zarar gelmeyeceği varsayılabilir.

Elde edilen bu gerilme gerilmesinin, literatürde bulunan yayınlar tarafından önerilen, yığma yapılar için olan ve potansiyel zararın değerlendirilmesinde kontrol olarak kullanılacak gerilme dayanımı / basınç dayanımı oranları (1/20-1/10) ile tutarlı olduğu söylenebilir. Bu nedenle, yukarıda bahsedildiği gibi, çalışmada, gerilme dayanımı / basınç dayanımı oranı 1/20 veya % 5 olarak kabul edilir ve hasar potansiyeli değerlendirilmiştir. Bu nedenle, 1/20 veya % 5'ten büyük gerilme değerlerinin, yapısal dayanıma zarar vererek, dayanımı azaltılabileceği tahmin edilmektedir. Yakın fay deprem etkisiyle artan gerilmelerinin özellikle artan A_p/V_p boyunca daha belirgin olduğu görülmektedir. Değerlendirmeler için kabul edilen yakın fay depremlerinin etkisi göz önünde bulundurarak; Konjic Köprüsü'ndeki statik yükleme altında 0,42 MPa'ya ulaşan gerilmenin, yakın fay deprem etkilerinden dolayı 3,30 MPa'ya kadar yükseldiği ve 1MPa olarak kabul edilen Konjic Köprüsü'nün gerilme kuvvetini aştığı görülmüştür. Benzer şekilde Tokatlı Köprüsü'ndeki statik yükleme altında 0,60 MPa'ya ulaşan gerilmenin, yakın fay deprem etkilerinden dolayı 2,10 MPa'ya kadar yükseldiği ve 1MPa olarak kabul edilen Tokatlı Köprüsü'nün gerilme kuvvetini aştığı görülmüştür.

Sonlu elemanlar modeli ayrıntılı olarak incelendiğinde; düğümlerdeki gerilme gerilmesinin 1 MPa'dan büyük olduğu gözlenmiştir. Bu bulgular, hasarın yakın fay depremleri altındaki gerilme stresinden kaynaklanabileceğini göstermiştir. Uzak fay için yapılan dinamik analizlerde ise, Elastik gerilme ve Maksimum Asal Gerilme değerlerinin çok küçük değerler olduğu görülmektedir. Standart yerçekimi altındaki analiz sonuçlarına bakıldığında, gerilme ve yer değiştirme değerlerinin Konjic ve Tokatlı Köprüsü'nün çökmesine neden olmadığı görülmektedir. Konjic Köprüsü'nün standart yerçekimi altında sabit ve hasarsız olduğu varsayıldığında, gerilme gerilmesinin 0,47 MPa'ya kadar yükselmesiyle Konjic Köprüsü'ne zarar gelmeyeceği, benzer şekilde gerilme gerilmesinin 0,60 MPa'ya kadar yükselmesiyle Tokatlı Köprüsü'ne zarar gelmeyeceği varsayılabilir. Sonlu elemanlar modeli ayrıntılı olarak incelendiğinde; düğümlerdeki gerilmenin 1 MPa'dan büyük olmadığı gözlenmiştir. Bu

bulgular, hasarın uzak fay depremlerinde çekme gerilmesinden kaynaklanmayabileceğini göstermiştir.

Kapsamlı modelleme ve analiz çalışmaları yapılmış çalışma konusu bu köprülerin tarihçeleri incelendiğinde, köprülerin uzun yıllar güvenle hizmet verdikleri görülmektedir. 1682 yılında yapıldığı bilinmekte olan Tarihi Konjic Köprüsü'nün II. Dünya Savaşı sırasında ciddi hasar gördüğü 1945 yılına kadar geçen yaklaşık 263 yıl boyunca sağlam ve kullanılabilir durumda olduğu bilinmektedir. Benzer şekilde Tarihi Aşağı Tokatlı Kemer Köprüsü'nün de 18. yüzyılda yapıldığı bilinmekte olup günümüzde hala ayakta olan bu köprünün de yaklaşık 220 yıldır kullanılmakta olduğu görülmektedir.

Uzun yıllar boyunca güvenle kullanılan tarihi kemer köprülerin zarar görmeleri ve hatta yıkılmalarında; savaşlar, aşırı yüklenme ve doğal afetler gibi dış unsurların etkili olduğu görülmektedir. Bu köprüleri sonraki nesillere de taşıyabilmek için; köprülerin koruma altına alınması, gerekli bakımlarının yapılması önem arz etmektedir. Son yıllarda gerek ülkemizde gerekse dünyada bu yönde atılan olumlu adımlar bulunmakta olup bu çalışmaların artırılması hepimizin ortak görevleri arasındadır.

KAYNAKLAR

- Bayraktar A, Altunışık C A, Türker T ve Sevim B** (2007) Tarihi Köprülerin Deprem Davranışına Sonlu Eleman Model İyileştirilmesinin Etkisi. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 16-20 Ekim 2007, İstanbul, Türkiye 29-40.
- Ceylan İ** (2013) Karayolları 13. Bölge Sınırları İçinde Yer Alan Tarihi Köprülerin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Isparta, 133 s.
- Çoruhlu B, Türker T, Yanık Y ve Bayraktar A** (2017) Tarihi Taş Kemer Köprülerin Modal Davranışlarının Köprü Boyutlarına Bağlı Olarak Tahmin Edilmesi. *Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması Ve Güçlendirilmesi Sempozyumu*, 2-3-4 Kasım 2017, İstanbul, 381-389.
- Emek S** (2012) Karabük Safranbolu Tarihi Aşağı Tokatlı Köprüsü Röleve Restitüsyon Restorasyon Raporu, *Karayolları Genel Müdürlüğü 15. Bölge Müdürlüğü*, Karabük, 8-60.
- Gürbüz S M** (2012) Kayseri Taş Köprüleri. *Yüksek Lisans Tezi*, Erciyes Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Sanat Tarihi Ana Bilim Dalı, Kayseri, 116 s.
- Korkmaz K A, Zabin P, Çarhoğlu I A ve Nuhoglu A** (2013) Taş Kemer Köprülerin Deprem Davranışlarının Değerlendirilmesi: Timisvat Köprüsü. *Örneği İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi* Cilt (2), Sayı 1, 66-75.
- Mahrebel H A** (2006) Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistem Özellikleri, Hasarlar, Onarım Ve Güçlendirme Teknikleri. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, 113 s.
- Sert H, Partal E, Demirci H, Avşin A ve Yılmaz S** (2009). Tarihi Köprüler Proje ve Uygulama İhaleleri. *Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları*, Ankara. 54 s.
- Ural A** (2005) Tarihi Kemer Köprülerin Sonlu Eleman Metoduyla Analizi. *Deprem Sempozyumu Kocaeli 2005*, 23-25 Mart 2005, Kocaeli, Türkiye 408-413.
- URL-1** <<https://pixabay.com/tr/photos/mostar-köprü-seyahat-bosna-1155672/>>, Ziyaret tarihi: 29.04.2019.
- URL-2** <<http://insaat.balikesir.edu.tr/dokumanlar/inism/img3>>, Ziyaret tarihi: 16.05.2019.
- URL-3** < <http://www.haber7.com/foto-galeri/20957-giresunun-700-yillik-tas-kopruleri> >, Ziyaret tarihi: 29.04.2019.
- URL-4** < <http://www.altinrota.org/yazilar/dunyanin-en-eski-koprusu-adana-taskoprunun-oykusu/107> >, Ziyaret tarihi: 29.04.2019.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

URL-5 < <https://earth.google.com/web/>>, Ziyaret tarihi: 09.07.2019.

URL-6 < <http://davidsbeenhere.com/2014/12/05/four-ottoman-bridges-must-visit-bosnia-herzegovina/>>, Ziyaret tarihi: 29.04.2019.



BİBLİYOGRAFYA

- Çamlıbel N** (2000) Yapıların Taşıma Gücünün İyileştirilmesi, *Birsen Yayınevi*, İstanbul
- İlter F** (1978) Osmanlılara Kadar Anadolu Türk Köprüleri. *Karayolları Genel Müdürlüğü Yayını*, Ankara, 244 s.
- Sert H** (2007) Geçmişten Günümüze Tarihi Köprüler. *Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu*, 27-28-29 Eylül 2007, Ankara, 321-377.
- Sümerkan M R ve Okman İ** (1999) Kültür Varlıklarıyla Trabzon. Cilt (1) *T.C.Trabzon Valiliği İl Kültür Müdürlüğü Yayınları*.
- Toker S ve Ünay A İ** (2004) Kemerli Taş Köprülerin Matematiksel Modellenmesi ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi, *G.Ü.Fen Bilimleri Dergisi*, 17(2): 129-139.
- Ünay A İ** (2002) Tarihi Yapıların Depreme Dayanımı, *ODTÜ*, Ankara.



ÖZGEÇMİŞ

08.04.1986 yılında Merkez/Zonguldak'ta doğan Mustafa YEŞİL; ilk, orta ve lise eğitimini bu şehirde tamamlamış, 2004 yılında girdiği Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden 2008 yılında mezun olmuştur. Askerlik görevini Asteğmen olarak 2009-2010 yılları arasında Kıbrıs'ta tamamlamıştır. 2008-2009 ve 2010-2011 yılları arasında farklı projelerde şantiye şefi olarak görev yapmış olup 2011 yılında Karabük İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğünde İnşaat Mühendisi olarak göreve başlamıştır. Van Depremi (2011) başta olmak üzere farklı doğal afetlerde görev yapmış olup hali hazırda Karabük İl Özel İdaresi Yol ve Ulaşım Hizmetleri Müdürlüğünde İnşaat Mühendisi olarak görev yapmaktadır. 2012 yılından beri aktif olarak farklı Hukuk ve Ceza mahkemelerinde Bilirkişilik yapmaktadır. 2012 yılında girmeye hak kazandığı Bülent Ecevit Üniversitesi Yüksek Lisans Programında eğitim hayatına devam etmektedir. 2016 yılında evlenmiştir.

ADRES BİLGİLERİ:

Adres: Barış Mahallesi 60 Nolu Sokak Ayvazcity Konutları E Blok Daire 6
Safranbolu/KARABÜK

Tel: (+90) 505 894 71 62

E-posta: mustafayesil67@windowlive.com