

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**TARİHİ YIĞMA TAŞ YAPILARIN BİLGİSAYAR DESTEKLİ ANALİZİ:
AYVALIKEMER (SİLLYON) KÖPRÜSÜ YAPISI ÖRNEĞİ**

Oğuzhan Şafak BATAR

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEMMUZ 2019

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TARİHİ YIĞMA TAŞ YAPILARIN BİLGİSAYAR DESTEKLİ ANALİZİ:
AYVALIKEMER (SİLLYON) KÖPRÜSÜ YAPISI ÖRNEĞİ**

Oğuzhan Şafak BATAR
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 30.07.2019 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Engin EMSEN (Danışman)

Doç. Dr. İbrahim AYDOĞDU

Dr. Öğr. Üyesi Hamid Farrokh GHATTE

ÖZET

TARİHİ YIĞMA TAŞ YAPILARIN BİLGİSAYAR DESTEKLİ ANALİZİ: AYVALIKEMER (SİLLYON) KÖPRÜSÜ YAPISI ÖRNEĞİ

Oğuzhan Şafak BATAR

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi. Engin EMSEN

Temmuz 2019; 102 sayfa

Anadolu toprakları tarih boyunca birçok medeniyete ev sahipliği yapmıştır. Bu medeniyetlerden günümüze birçok tarihi yapı miras olarak kalmıştır. Bu yapıların içerisinde, tarihi kemer köprüler önemli şekilde yer tutmaktadır. Ülkemiz coğrafyası, çeşitli medeniyetlere ev sahipliği yaptığı gibi birçok nehir, ırmak ve akarsuyu da içerisinde barındırmaktadır. Bu nedenle geçmiş toplumlar tarafından ulaşımını kolaylaştırmak adına yapılan tarihi kemer köprüleri de kültürel mirası olarak bünyesinde bulundurmaktadır. Fakat bu köprüler, günümüze gelene kadar doğal afetler, zaman ve insanlardan kaynaklı tahribata uğramıştır.

Bu tez çalışması, genel hatlarıyla dört ana başlık halinde hazırlanmıştır. Tezde öncelikle, tarihi kemer köprüler hakkında genel bilgiye yer verilmiştir. Bu genel bilgiye değinecek olursak, tarihi kemer köprülerin tanıtımı, tarihi yapılarla ilgili geçmişte yapılan çalışmalar, yapı elemanları, köprülerin hasar türleri ve incelemesi yapılacak köprünün coğrafi açıdan jeolojik durumu konu edilmiştir. Akabinde bu tarihi yapıların korunması hususunda yapılması gereken restorasyon çalışmalarının önemi vurgulanmıştır. Daha sonra bu yapılara ait geometrik özelliklerin, gelişen teknolojik yöntemlerin de yardımıyla, YLT (Yersel Lazer Tarama) yöntemi kullanılarak nasıl dijital ortama aktarıldığı ve analize yönelik üç boyutlu modelin oluşturulduğu hakkında detay bilgiye yer verilmiştir. Son olarak ise, teze konu olan tarihi kemer köprünün restore edilmiş haline ait üç boyutlu modelin bilgisayar destekli analizi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar irdelenerek sunulmuştur.

ANAHTAR KELİME: Ayvalıkemer (Sillyon) Köprüsü, Makro modelleme, Tarihi yapıların analizi, Yersel lazer tarama.

JURİ: Dr. Öğr. Üyesi Engin EMSEN

Doç. Dr. İbrahim AYDOĞDU

Dr. Öğr. Üyesi Hamid Farrokh GHATTE

ABSTRACT

COMPUTER AIDED ANALYSIS OF HISTORICAL STONE MASONRY STRUCTURES: EXAMPLE OF AYVALIKEMER (SILLYON) BRIDGE STRUCTURE

Oğuzhan Şafak BATAR

MSc Thesis in Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Engin EMSEN

June 2019; 102 pages

Anatolia has hosted many civilizations throughout history. From these civilizations to the present, many historical structures have been inherited. In these structures, historical arch bridges have a significant place role. The geography of our country, houses many rivers, as well as hosts various civilizations. For this reason, historical arch bridges were made in order to facilitate transportation by past societies are also included as cultural heritage. But these bridges have been destroyed by natural disasters, time and people until today.

This thesis study has been prepared in four main titles. First, general information about historical arch bridges is given. In this general information, the introduction of historical arch bridges, historical studies on historical buildings, structural elements, damage types of bridges and geological status of the bridge to be examined are discussed. Subsequently, the importance of the restoration works to be done for the protection of these historical buildings was emphasized. Then, with the help of developing technological methods, the geometric properties of these structures were transferred to digital environment by using TLS (Terrestrial Laser Scanning) method and detailed information about the three-dimensional model for analysis was given. Finally, a computer-aided analysis of the three-dimensional model of the restored state of the historical arch bridge subject to the thesis was carried out and the results were presented.

KEYWORDS: Ayvalıkemer (Sillyon) Bridge, Macro modeling, Analysis of historical structures, Terrestrial laser scanning.

COMMITTEE: Asst. Prof. Dr. Engin EMSEN

Assoc. Prof. Dr. İbrahim AYDOĞDU

Asst. Prof. Dr. Hamid Farrokh GHATTE

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Tezimi hazırlamam süresince en başta güvenini ve anlayışını benden esirgemeyen, yardımı ve yaptığı yorumlarla tezime katkıda bulunan, genel hatlarıyla tezimi belirlememde yardımcı olan, mesleki ve kişisel anlamada gelişmemde katkıda bulunan değerli tez danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Engin EMSEN'e şükran ve saygılarımı sunarım.

Tezime kaynak ve lojistik destek oluşturan köklü kurumumuz Karayolları Genel Müdürlüğü 13'üncü Bölge Müdürlüğü'ne teşekkürlerimi bir borç bilirim. Ayrıca yersel lazer tarama uygulamalarının yapılması süreci (üç boyutlu nokta bulutunun ve ortofoto görüntünün üretimi) ve ilgili tez bölümünün yazım sürecindeki desteklerinden dolayı Karayolları 13'üncü Bölge Müdürlüğü'nden görevli Harita Mühendisi Dr. Emre TERCAN'a çok teşekkür ederim. Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsüne ait analizde kullanılan diğer tüm teknik ve mekanik bilgilerin sağlanmasında Karayolları 13'üncü Bölge Müdürlüğü'nden Yüksek Mimar İbrahim CEYLAN'a çok teşekkür ederim.

Eğitim ve öğretim hayatım boyunca maddi manevi her konuda bana destek olan, hiçbir şeyi esirgemeyen, bana sonuna kadar güvenen annem Lutfiye CİĞERLİ'ye, ailemin diğer fertleri ve aynı zamanda meslektaşlarım Z. Bahadır ÇİLEK ve H. Cem ÇİLEK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarak bu tez çalışmasını aileme ithaf ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
AKADEMİK BEYAN	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	2
3. MATERYAL VE METOT	4
3.1. Yığma Kemer Köprüler.....	4
3.2. Yığma Kemer Köprü İnşası, Çeşitleri ve Yapı Elemanları.....	8
3.2.1. Düz kemer köprüler	9
3.2.2. Dik kemer köprüler	10
3.3. Tarihi Kemer Köprülerde Yapı Elemanları.....	11
3.3.1. Temel	11
3.3.2. Duvar.....	12
3.3.3. Döşeme.....	14
3.3.4. Kemer	14
3.3.5. Sütün ve ayaklar	15
3.3.6. Sel yaran.....	16
3.4. Tarihi Yapılarda Tercih Edilen Malzemeler	17
3.4.1. Doğal taşlar	17
3.4.2. Tuğla	18
3.4.3. Kâgir malzeme	18
3.4.4. Harç.....	19
3.5. Tarihi Yapılarda Oluşan Davranışlar	19
3.6. Tarihi Yapılarda Meydana Gelen Hasar Tipleri.....	22
3.6.1. Zeminden kaynaklı hasarlar	22
3.6.2. Taşıyıcı sistem tasarımından kaynaklanan hatalar	23
3.6.3. İklim koşullarının neden olduğu hasarlar.....	23
3.6.4. Doğal afetler nedeni ile oluşan hasarlar	23

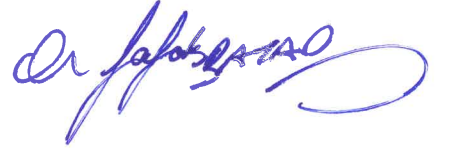
3.6.5. Yapay yollarla oluşan hasarlar	24
3.7. Tarihi Yapılarda Yersel Lazer Tarama	25
3.7.1. Yersel lazer tarama teknolojileri ve kullanılan ekipmanlar	25
3.7.2. Yersel lazer tarama yönteminin uygulanma süreci	26
3.7.3. Tarihi yapılarda yersel lazer taramanın önemi.....	28
3.8. Tarihi Yapılarda Modelleme Yöntemleri.....	28
3.8.1. Detaylı mikro modelleme.....	29
3.8.2. Basitleştirilmiş mikro modelleme	29
3.8.3. Makro modelleme	31
3.9. Tarihi Yapılarda Modelleme Araçları	33
3.10. Tarihi Yapılarda Analiz Yöntemleri	33
3.10.1. Düşey ve yatay yükler altında statik analiz.....	33
3.10.2. Serbest titreşim analizi (modal analiz).....	34
3.10.3. Davranış spektrumu analizi.....	34
3.10.4. Zaman tanım alanında analiz	35
3.11. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	35
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	36
4.1. Sillyon Antik Kenti Ayvalıkemer (Sillyon) Köprüsü	36
4.1.1. Tarihçe	36
4.1.2. Yerleşim alanı depremselliği	37
4.1.3. Hasar türleri ve tespiti	39
4.1.4. Restorasyon planı ve uygulaması	41
4.1.5. Yersel lazer tarama ile nokta bulutlarının oluşturulması	45
4.1.6. Makro modelleme için ön çalışma	46
4.1.7. Makro modelleme için malzeme ve yük kabulleri.....	52
4.1.8. Makro modelleme ile yapısal analiz	55
4.1.9. Düşey ve yatay yükler altında statik analiz.....	56
4.1.10. Serbest titreşim analizi (modal analiz).....	61
4.1.11. Davranış spektrum analizi.....	68
4.2. Tartışma.....	78
5. SONUÇLAR	81
6. KAYNAKLAR	83
7. EKLER.....	88
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Tarihi Yığma Taş Yapıların Bilgisayar Destekli Analizi: Ayvalıkemer (Sillyon) Köprüsü Yapısı Örneği” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olduğunu belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

30 / 07 / 2019

Oğuzhan Şafak BATAR



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

cm	: Santimetre
cm ²	: Santimetre kare
E	: Elastisite modülü
E _h	: Harç elastisite modülü
E _k	: Kompozit malzeme elastisite modülü
E _t	: Tuğla elastisite modülü
G	: Ölü yük
GPa	: Giga Pascal
J	: Joule
kgf	: Kilogram kuvvet
kN	: Kilo Newton
m	: Metre
m ²	: Metre kare
m ³	: Metre küp
mj	: Mikro joule
mm	: Milimetre
mm ²	: Milimetre kare
mm ³	: Milimetre küp
MPa	: Mega Pascal
N	: Newton
Pa	: Pascal
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R _a (T)	: Deprem yükü azaltma katsayısı
S	: Nehir yükü

s^2	: Saniye kare
sn	: Saniye
t_h	: Harç kalınlığı
t_t	: Tuğla kalınlığı
tonf	: Ton kuvvet
Q	: Hareketli yük
°C	: Derece (Celsius)
σ	: Basınç gerilmesi
σ_e	: Basınç emniyet gerilmesi
Δl	: Pimler arası mesafe
τ	: Kayma gerilmeleri
τ_e	: Kayma emniyet gerilmeleri
ρ_k	: Tuğla ve harç arasındaki aderansa ait katsayı

Kısaltmalar

ABS	: Mutlak Değerlerin Toplamı
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
CQC	: Tam Karesel Birleştirme
DE	: Ayrık Elemanlar
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
MÖ	: Milattan Önce
MS	: Milattan Sonra
NIR	: Yakın Kızılötesi
SI	: Uluslararası Ölçüm Sistemi
SRSS	: Karelerinin Toplamının Karekökü
TBDY-2018	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018
TBMM	: Türkiye Büyük Millet Meclisi

TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TS2510	: Kâgir Duvarlar Hesap ve Yapım Kuralları
TS704	: Harman Tuğla Standardı
YLT	: Yersel Lazer Tarama
3D	: Üç Boyutlu (Three Dimensional)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Roma dönemine ait Çanakkale Tuzla köprüsü (Anonim 1, 2019)	5
Şekil 3.2. Roma dönemine ait Adana Misis köprüsü (Anonim 2, 2019).....	5
Şekil 3.3. Artuklu dönemine ait Batman Hasankeyf köprüsü (Anonim 3, 2019).....	6
Şekil 3.4. Artuklu dönemine ait Diyarbakır Malabadi köprüsü (Anonim 4, 2019).....	6
Şekil 3.5. Osmanlı dönemine ait Bosna - Hersek Mostar köprüsü (Anonim 5, 2019)	7
Şekil 3.6. Selçuklu dönemine ait Sivas Eğri köprü (Anonim 6, 2019).....	7
Şekil 3.7. Osmanlı dönemine ait İstanbul Kanuni Sultan Süleyman köprüsü (Anonim 7, 2019).....	8
Şekil 3.8. Yığma kemer köprüsü inşası şematik gösterimi (Birinci 2010)	9
Şekil 3.9. Yığma kemer köprü davranışı; a) Yeni yapılmış kemer; b) Mesnetlerinde oturma oluşmuş kemer (Orhan 2010)	9
Şekil 3.10. Düz kemer köprü Edirne uzun köprü (Anonim 8, 2019).....	10
Şekil 3.11. Dik kemer köprü Artvin çifte köprü (Anonim 9, 2019)	10
Şekil 3.12. Tarihi kemer köprülerde yapı elemanları (Anonim 10, 2019).....	11
Şekil 3.13. Sürekli temel örnekleri	11
Şekil 3.14. Duvar çeşitleri; a) Moloz taş duvarlar; b) Kaba yonu taş duvar (Anonim 11, 2019).....	12
Şekil 3.15. İnce yonu taş duvar (Anonim 12, 2019)	13
Şekil 3.16. Kesme blok taş duvar (Anonim 13, 2019).....	13
Şekil 3.17. Kemer yapı elemanları.....	14
Şekil 3.18. Kemer oluşturan kısımlar	15
Şekil 3.19. Sütunların ön planda olduğu kemer köprü örneği Adana Varda köprüsü (Anonim 14, 2019).....	16
Şekil 3.20. Sel yaran örneği Bosna–Hersek Drina köprüsü (Anonim 15, 2019).....	16
Şekil 3.21. Delikli ve dolu tuğla elemanları (TS704 1979).....	18
Şekil 3.22. Basınç yüküne maruz kalan taşıyıcı elemanın kırılma tepkisi (Ünay 2002)	19

Şekil 3.23. Yığma yapı elamanın yanal yükler karşısında gösterdiği deformasyon ve basınç çizgisinin konumu (Ünay 2002).....	20
Şekil 3.24. Kayma gerilmesi sonucu kırılma (Ünay 2002).....	20
Şekil 3.25. Yapıda diyagonal çatlakların meydana gelişi (Ünay 2002).....	21
Şekil 3.26. Yanal yük etkisinde yığma yapıda meydana gelen salınımlar (Yorulmaz vd. 1984)	21
Şekil 3.27. Yapısal bir düşey taşıyıcının çökme aşamaları (Yorulmaz vd. 1984)	22
Şekil 3.28. Temelde meydana gelen oturma sonucu oluşan çatlaklar (Wilson 2018)	23
Şekil 3.29. Tarihi bir yapıda sel baskını sonucu oluşan tahribat	24
Şekil 3.30. Savaş nedeni ile hasar gören tarihi Mostar köprüsü (Anonim 16, 2019)	25
Şekil 3.31. Yersel lazer tarama iş akışı	26
Şekil 3.32. Yapının yenileme çalışmaları sonrası tarama yapan istasyonlardan birisi ..	27
Şekil 3.33. Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsü üç boyutlu nokta bulutu ortofotosu.....	28
Şekil 3.34. Yığma duvarlarındaki modelleme teknikleri, a) detaylı mikro modelleme, b) basitleştirilmiş mikro modelleme, c) makro modelleme (Lourenço 1996)	29
Şekil 3.35. Basitleştirilmiş mikro model tekniği	30
Şekil 3.36. Yığma duvarın mikro model analizi: a) kuvvet- yer değiştirme diyagramı, b,c) maksimum ve nihai yüklerdeki deformasyonlar (Lourenço 2000).....	30
Şekil 3.37. Birim hücre yöntemi ile homojenleştirme işlemi	32
Şekil 3.38. İki adımlı homojenleştirme işlemi (Schueremans 2001)	32
Şekil 4.1. Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsü memba yönü	36
Şekil 4.2. Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsü temel yapısı.....	37
Şekil 4.3. Anadolu ve Akdeniz bölgesinin ana tektonik yapıları.....	38
Şekil 4.4. Güneybatı Türkiye'nin jeolojik haritası.....	39
Şekil 4.5. Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsü bitkilenme ve malzeme kaybı	41
Şekil 4.6. Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsü mansap cephesi	41
Şekil 4.7. Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsü tempan duvarı ve sel yaran	42
Şekil 4.8. Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsü mansap yönü yeniden tasarımı projesi ..	43

Şekil 4.9. Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsü mansap yönü restorasyon uygulaması	44
Şekil 4.10. Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsü memba yönü restorasyon uygulaması.....	44
Şekil 4.11. Köprü restorasyon sonrası yersel lazer tarama yoluyla edinilen mansap yönü nokta bulutu dosyası.....	45
Şekil 4.12. Köprü restorasyon sonrası yersel lazer tarama yoluyla edinilen memba yönü nokta bulutu dosyası.....	45
Şekil 4.13. Köprü restorasyon sonrası yersel lazer tarama yoluyla edinilen kuş bakışı nokta bulutu dosyası	46
Şekil 4.14. Nokta bulutundan rastgele seçilen mansap 2’inci kemer 17 numaralı noktaya ait koordinatlar.....	46
Şekil 4.15. Mansap cephesine ait nokta bulutu dosyasında seçilen koordinatlar	47
Şekil 4.16. Memba cephesine ait nokta bulutu dosyasında seçilen koordinatlar	47
Şekil 4.17. Auto-CAD 3D’ye aktarılan koordinatlı noktaların perspektif görünüşü.....	48
Şekil 4.18. Koordinatlı noktalarla oluşturulan iskeletin perspektif görünüşü	48
Şekil 4.19. Memba ve mansap cepheleri yüzeylerine ait oluşturulan çizgiler	49
Şekil 4.20. “LOFT” komutu ile yapıya ait ara yüzey modeli	49
Şekil 4.21. “PATCH” komutu ile oluşturulan memba ve mansap cepheleri yüzey modeli	50
Şekil 4.22. “SCULPT” komutu ile oluşturulan katı eleman modeli	50
Şekil 4.23. Mansap yönüne ait oluşturulan katı eleman modelinin perspektifi	51
Şekil 4.24. Memba yönüne ait oluşturulan katı eleman modelinin perspektifi	51
Şekil 4.25. Oluşturulan katı eleman modelinin kuş bakışı görünüşü.....	52
Şekil 4.26. ABAQUS’te etki ettirilen hareketli yük gösterimi	54
Şekil 4.27. ABAQUS’te etki ettirilen korkuluk ve nehir yükleri gösterimi	54
Şekil 4.28. ABAQUS’te sonlu elemanlar modeli perspektif görünüşü (mesh ağı)	55
Şekil 4.29. Statik analiz etkisinde deforme olmamış gerilme modeli (G yükleme).....	56
Şekil 4.30. Statik analiz etkisinde deforme olmuş gerilme modeli (G yükleme).....	56
Şekil 4.31. Statik analiz etkisinde deforme olmamış yer değiştirme modeli (G yükleme).....	57

Şekil 4.32. Statik analiz etkisinde deforme olmuş yer değiştirme modeli (G yüklemesi).....	57
Şekil 4.33. Statik analiz etkisinde deforme olmamış gerilme modeli (GQ yüklemesi) ..	58
Şekil 4.34. Statik analiz etkisinde deforme olmuş gerilme modeli (GQ yüklemesi).....	58
Şekil 4.35. Statik analiz etkisinde deforme olmamış yer değiştirme modeli (GQ yüklemesi).....	59
Şekil 4.36. Statik analiz etkisinde deforme olmuş yer değiştirme modeli (GQ yüklemesi).....	59
Şekil 4.37. Statik analiz etkisinde deforme olmamış gerilme modeli (GS yüklemesi) ..	60
Şekil 4.38. Statik analiz etkisinde deforme olmuş gerilme modeli (GS yüklemesi)	60
Şekil 4.39. Statik analiz etkisinde deforme olmamış yer değiştirme modeli (GS yüklemesi)	61
Şekil 4.40. Statik analiz etkisinde deforme olmuş yer değiştirme modeli (GS yüklemesi)	61
Şekil 4.41. Modal analiz sonrası 1'inci mod deforme olmamış yer değiştirme modeli .	63
Şekil 4.42. Modal analiz sonrası 1'inci deforme olmuş yer değiştirme modeli	63
Şekil 4.43. Modal analiz sonrası 2'inci mod deforme olmamış yer değiştirme modeli .	64
Şekil 4.44. Modal analiz sonrası 2'inci mod deforme olmuş yer değiştirme modeli	64
Şekil 4.45. Modal analiz sonrası 3'üncü mod deforme olmamış yer değiştirme modeli.....	65
Şekil 4.46. Modal analiz sonrası 3'üncü mod deforme olmuş yer değiştirme modeli....	65
Şekil 4.47. Modal analiz sonrası 4'üncü mod deforme olmamış yer değiştirme modeli.....	66
Şekil 4.48. Modal analiz sonrası 4'üncü mod deforme olmuş yer değiştirme modeli....	66
Şekil 4.49. Modal analiz sonrası 5'inci mod deforme olmamış yer değiştirme modeli .	67
Şekil 4.50. Modal analiz sonrası 5'inci mod deforme olmuş yer değiştirme modeli	67
Şekil 4.51. Modal analiz sonrası 50'inci mod deforme olmamış yer değiştirme modeli.....	68
Şekil 4.52. Modal analiz sonrası 50'inci mod deforme olmuş yer değiştirme modeli ...	68
Şekil 4.53. Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsü yatay elastik tasarım spektrumu eğrisi.....	69

Şekil 4.54. Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsü düşey elastik tasarım spektrumu eğrisi	69
Şekil 4.55. G+SPCX yüklemesi sonucu deforme olmamış gerilme modeli	71
Şekil 4.56. G+SPCX yüklemesi sonucu deforme olmuş gerilme modeli	71
Şekil 4.57. G+SPCX yüklemesi sonucu deforme olmamış yer değiştirme modeli	72
Şekil 4.58. G+SPCX yüklemesi sonucu deforme olmuş yer değiştirme modeli	72
Şekil 4.59. G+SPCY yüklemesi sonucu deforme olmamış gerilme modeli	73
Şekil 4.60. G+SPCY yüklemesi sonucu deforme olmuş gerilme modeli	73
Şekil 4.61. G+SPCY yüklemesi sonucu deforme olmamış yer değiştirme modeli	74
Şekil 4.62. G+SPCY yüklemesi sonucu deforme olmuş yer değiştirme modeli	74
Şekil 4.63. G+SPCZ yüklemesi sonucu deforme olmamış gerilme modeli	75
Şekil 4.64. G+SPCZ yüklemesi sonucu deforme olmuş gerilme modeli	75
Şekil 4.65. G+SPCZ yüklemesi sonucu deforme olmamış yer değiştirme modeli.....	76
Şekil 4.66. G+SPCZ yüklemesi sonucu deforme olmuş yer değiştirme modeli.....	76
Şekil 4.67. G+SPCXYZ yüklemesi sonucu deforme olmamış gerilme modeli.....	77
Şekil 4.68. G+SPCXYZ yüklemesi sonucu deforme olmuş gerilme modeli.....	77
Şekil 4.69. G+SPCXYZ yüklemesi sonucu deforme olmamış yer değiştirme modeli...	78
Şekil 4.70. G+SPCXYZ yüklemesi sonucu deforme olmuş yer değiştirme modeli.....	78
Şekil 4.71. Detaylı mikro modelleme için nokta bulutu dosyasından kemer elemana ait veriler ile ön çalışma yapılması.....	79
Şekil 4.72. Detaylı mikro modelleme için ABAQUS'e aktarılan katı elaman modeline ait 97 adet parçanın görünümü	80

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Yapılarda kullanılan doğal taşlarının ortalama fiziksel değerleri (Ünay 2002)	17
Çizelge 3.2. Doğal duvar taşlarının dayanım gruplarına göre en küçük basınç dayanımları (TS2510 1977)	17
Çizelge 3.3. Tuğlaların ortalama mekanik özellikleri.....	18
Çizelge 4.1. Güneybatı Anadolu ve yakın çevresinde hissedilen tarihsel dönem depremlerinin dağılımı (Softa vd. 2018).....	37
Çizelge 4.2. ABAQUS birim cetveli.....	52
Çizelge 4.3. Traverten taşı elastisite modülleri ve yoğunluğu.....	53
Çizelge 4.4. Traverten taşı basınç gerilmesi değerleri.....	53
Çizelge 4.5. Analizlerde kullanılacak elastisite modülü hesap tablosu	53
Çizelge 4.6. Analizlerde kullanılacak yük miktarları	53
Çizelge 4.7. Makro modellemede kullanılacak yük kombinasyonları.....	55
Çizelge 4.8. Yapının analiz sonucu modal periyotları ve frekansları (Mod 1-50)	62
Çizelge 4.9. Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsü yatay elastik tasarım spektrumu tablosu	70
Çizelge 4.10. Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsü düşey elastik tasarım spektrumu tablosu	70

1. GİRİŞ

Tarihi yapılar uygarlıkların tarihsel kimliğini ve karakteristik yapılarını günümüze taşıyan en önemli unsurlar olarak görülürler. Bulundukları coğrafyalarda farklı zaman dilimlerinin bir yansıması olan bu yapılar, geçmiş, günümüz ve gelecek arasında kuvvetli bir köprü görevi icra etmektedir.

Bu köprü görevini teşkil eden en önemli eserlerden biri ise adından da anlaşılacağı gibi tarihi köprülerdir. İnşaat teknolojisinin geçmişten bu yana gelişimini takip eden bu yapısal elemanlar içerisinde köprüler, her daim ilk sırada yer almışlardır. Her ne kadar yapılış amaçları ihtiyaç neticesinde doğmuş olsa da bir nevi sanat eseri olarak da değerlendirilebilirler. Tarihi köprüler, toplumların aralarındaki kültür farklılıkları gibi, hem bulundukları coğrafyalar hem de kullanılan malzemeler neticesinde farklılıklar gösterirler. Tarihi köprüler arasında, günümüze kadar ayakta kalmayı başarmış en önemli köprü çeşidi yığma kemer köprülerdir. Bu köprü tipini meydana getiren ve köprüye de ismini veren kemerlerdir.

Kemer formu, geniş açıklıkların geçilmesinde uygunluk sağlamıştır ve bu nedenden dolayı en fazla tercih edilen formdur. Fakat geometrik tasarımıyla dolayı basınç etkisine maruz kalmaktadır. Bu sebeple temel yapı malzemesi geçmişte taş olmuştur. Zamanın ilerlemesine bağlı olarak, gelişen teknoloji ve inşaat teknikleri neticesinde hem kullanılan malzeme de hem de tasarımlarda kemer formlarında değişiklikler görülmüştür. Günümüz toplumlarında kültür ve sosyoekonomik farklılıklar kemer köprülere, özgünlük ve dekoratif dokunuşlar katmaktadır (Toker ve Ünay 2004).

Tarihi yapıların korunması amacıyla bu yapıların geometrik ve malzeme özelliklerinin ayrıntılı bir biçimde belirlenmesi ve uygun modelleme teknikleri kullanılarak bilgisayar destekli yapısal analizlerinin gerçekleştirilmesi oldukça önemlidir.

Davranışın belirlenmesine yönelik yapılan hesaplar, tarihi yapılar için uygun olan restorasyon, onarım ve güçlendirme tekniklerinin seçilmesinde ihtiyaç duyulan bilgiyi sağlamaktadır. Analizleri gerçekleştirmek amacıyla kullanılan mevcut yöntemler, kendi içerisinde kullandıkları yaklaşım ve kabullere bağlı olarak çeşitli avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Bu tez çalışmasının amacı; tarihi yığma taş yapıların analizi konusunda etkili ve güvenilir bir yöntem sunmak ve bu yöntemi kullanarak Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsünde bulunan sahne yapısının olası bir deprem yüklemesi altında gerçekleştireceği davranışı bilgisayar destekli olarak irdelemektir.

2. KAYNAK TARAMASI

Tarihi yapılar ile ilgili günümüze kadar birçok çalışma icra edilmiştir. Bu çalışmalarda genel olarak yapıların teorik modellenmesi ve analizleri, köprülerin lineer ve lineer olmayan davranışlarına yönelik çalışmalar, sonlu eleman modellemelerinin iyileştirilmesine yönelik deneysel ve teorik çalışmalar ile tarihi kemer köprülere yönelik istatistiki çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan birkaçına aşağıda değinilmiştir.

Öztürk ve Mahberel (2006), tarihi yapıların sağlamlık ve güvenliğinin belirlenmesi, güçlendirilmesi ve restorasyonu konusunda çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında; tarihi yapılar, kullanılan malzemelerin irdelenmesi ve taşıyıcı sistem elemanlarının yerinde belirlenmesi hususunda gerekli çalışmalar ve hasarlara yönelik detaylar konu edilmiştir. Ayrıca bu yapıların güvenliğinin belirlenmesi, yanal yükler neticesinde oluşabilecek davranış ve gerekli durumlarda uygulanabilecek restorasyon ve güçlendirme örneklerine yer verilmiştir. Uygulamada Edirne Muradiye Cami ve İstanbul Vefa Lisesi örnekleri yer bulmuştur.

Ural ve Doğangün (2007), yığma yapıların deprem performansını mikro modelleme tekniğini kullanarak incelemişlerdir. İncelemelerinde basitleştirilmiş mikro modelleme yöntemini kullanarak tarihi yığma yapıların ait yanal yükler sonucu davranışlarına dikkat çekmişlerdir. Yapılan bu çalışmada 4 farklı yığma yapı modeli incelenmiştir. Çalışmanın aşamaları ilk olarak doğrusal elastik analiziyle gerçekleştirilmiştir. Bu analizin neticesinde en çok düşey eksenindeki hatıla ait olan modelde ötekilerine nazaran en düşük düzeyde yatay yer değiştirme (deplasman) meydana gelmiştir. Model analiz neticesinde aynı modele ait periyotlar diğerlerine kıyasla daha küçük oluşmuştur. Yığma yapının düşey hatıllarla destek olunduğunda yanal yüklere karşı çok daha mukavemet gösterdiği ortaya çıkmıştır.

Toker ve Ünay (2004), yaptıkları çalışmada, tarihi bir yığma köprü modellemesine etkiyen, birçok yüke maruz kalması sonucunda matematiksel modelleme tekniklerini kullanarak, bu ve buna benzeyen tarihi yapıların davranışlarının idrak edilebilmesi için sonlu elemanlar yönteminin uygun olduğunu belirtmişlerdir. Bu yöntem bu tür tarihi yapılarda kabul görülen yöntemlerden birisidir.

Kanıt ve Işık (2007), kemer geometrisine şeklinde inşa edilmiş yığma duvarların deneysel ve sayısal bulgular kullanarak mekanik tepkilerini belirlemişler ve çeşitli sayısal çözüm metotlarının bu tür yapıların analizlerinde kullanılmasının elverişliliğini araştırarak, ayırık eleman yöntemi neticesinin, sonlu farklar yöntemi neticelerinden daha gerçekçi olduğuna kanaat getirmişlerdir.

Korkmaz vd. (2013), Rize şehrinde bulunan Osmanlı döneminde inşa edilen, tarihi Timisvat taş kemer köprüsünün farklı yanal yüklere maruz kalması sonucunda analiz neticelerini ayrıntılı olarak incelemişlerdir.

Castellazzi vd. (2012), 15 adet açıklıktan meydana gelen tren yolu köprüsü üzerine bitirdikleri deneysel çözümlemeler ile sonlu eleman modelini geliştirerek, iyileştirilmiş sonlu eleman modelinin köprünün yapısal vaziyetinin ve güçlendirme müdahalelerinin değerlendirmesi için yardım alınabileceği neticesinde karar kılmışlardır.

Ural vd. (2007), edindikleri bulgulara Trabzon ve etrafında bulunan tarihi kemer köprülerdeki ortak hasarlar, hasar sebeplerini ve tamamlanmış olan restorasyonlar hakkında görüşlerini sunmuşlardır.

Ural vd. (2008), tarihi kemer köprülerle ilgili icra ettikleri analizler neticesinde köprülerin hangi çeşit bozulmalara ve hasarlara tabi olduğu izah edilmiş ve Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından yaptırılan bazı restorasyonlar ile ilgili bilgiler sunulmuştur.

Ceylan (2013), KGM 13'üncü Bölge Müdürlüğü'ne bağlı şehirlerde tarihi kemer köprüleri incelemiş, köprülerde bozulmalara sebep olan tesirleri irdelemiştir. Ayrıca bu köprüleri tamir ve koruma yöntemlerini tetkik etmiştir.

Tez konusuyla ilgili gerekli literatür taraması yapılmıştır. Tarihi yapıların incelenmesine yönelik çalışmalarının, hızlı ve kolay uygulanan bir teknik olması nedeniyle, "makro modelleme" yöntemi üzerine yoğunlaştığı görülmüştür.

Bir diğer modelleme yöntemi ise "mikro modelleme" tekniğidir. Bu yöntemin, davranışı çok daha iyi temsil etmesine karşın detaylı çalışma gerektirmesi nedeniyle modelleme ve analiz süresi oldukça uzun olmaktadır. Bu nedenle mikro modelleme tekniğinin, büyük ölçekli yapıların analizi konusunda etkili bir yöntem olmadığı söylenebilir.

Bu tez çalışmasında hazırlanacak bilgisayar modeli, yığma taş yapıların davranışını iyi temsil edebilen ve yapının göçme durumları hakkında da bilgi verebilen özel bir "makro modelleme" tekniğiyle oluşturulacaktır. Bu kapsamda önerilecek olan yöntem literatüre yenilik getirecektir. Ayrıca, örnek olarak ele alınan Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsü yapısının incelenmesiyle ilgili literatürde herhangi bir analitik çalışmaya rastlanmamıştır.

3. MATERYAL VE METOT

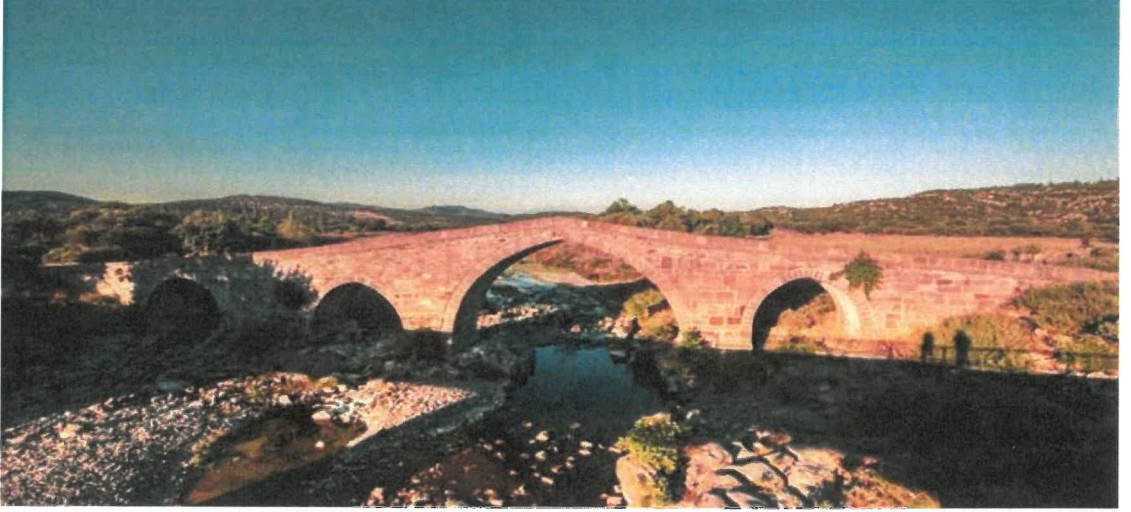
3.1. Yığma Kemer Köprüler

Günümüz şartlarında her ne kadar köprü yapımında bileşen olarak beton ve çelik kullanılsa da, bu durum geçmişte böyle değildi. Köprü yapımında genel olarak teknolojinin henüz istenen seviyede olmamasından dolayı yapay malzemeler yerine, doğal malzemeler olan ağaç kerestesi ve taş kullanılmaktaydı. Fakat kerestenin günümüzde maruz kaldığı gibi geçmişte de güneş, yağmur, rüzgâr ve tuz etkisi gibi doğal sorunlarla karşılaşmasından dolayı bu bileşende zamanla yerini taş bırakmıştır. Yapı malzemesi olarak kullanılan ve tedarik konusunda sorun yaşatmayan taşlar, dayanımları ve kuvvetli doğa şartlarına karşın gösterdikleri mukavemet neticesinde de büyük bir önem teşkil etmişlerdir. Böylece köprülerin ömründe uzama meydana gelmiş ve bir uygarlıktan diğerine yüzyıllar sonrasında dahi miras olarak kalmışlardır.

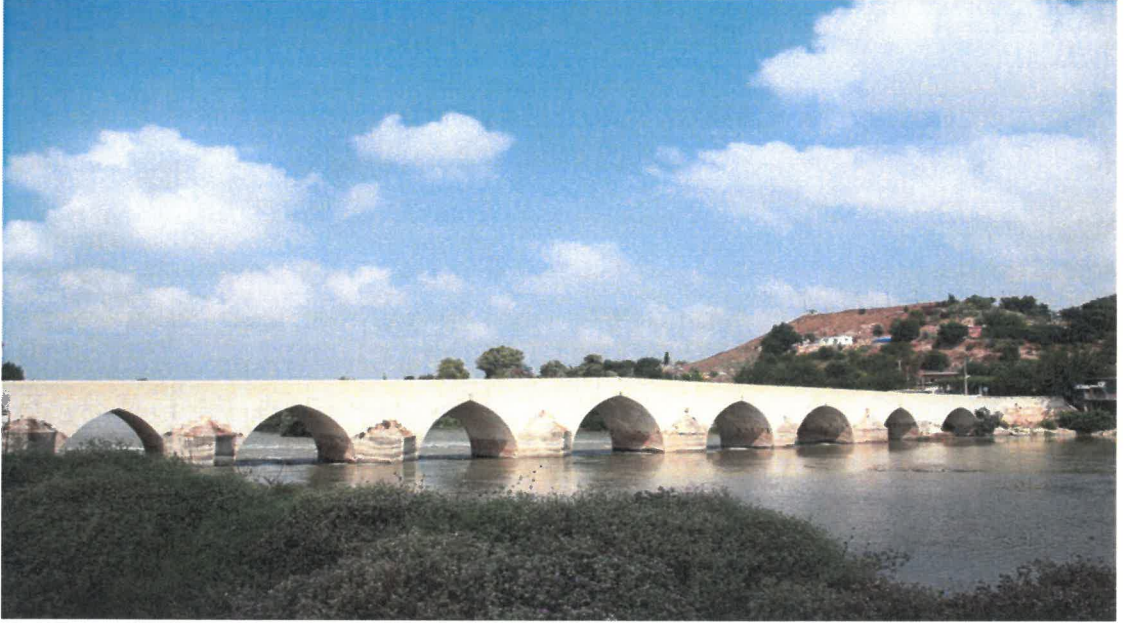
Keresteden, taş malzemeye geçişi gerçekleştiren ve taş köprü modelinin gelişmesine etkiyen en önemli olgu köprülerde kemerin kullanılmaya başlanmasıdır. Köprülerde kemer, uygulanması en kolay elemandır. Taş, temin etmesi rahat bir malzeme olduğundan kemerin uygulanmasına engel teşkil edecek bir durum oluşturmaz. Taşlar kendilerine verilen şekil ve zaviye ile herhangi ikinci bir malzemeye ihtiyaç duymadan görevlerini yapacaklardır.

Kemere etkiyen tüm kuvvetlerin, kemer hattı boyunca mesnetlere iletmesi esası, köprü mimarlığındaki en mühim vaka olarak görülebilir. Kemer kullanımı, akarsularda, derin vadilerde ve buna benzer birçok zorlu mahallerde büyük açıklıkların kolaylıkla geçilebilmesine olanak sağlamıştır.

Kemer, boyut ve tasarım açısından toplum ve kültürler göre değişiklik gösterse de, köprü yapımının vazgeçilmez ögesi arasında gösterilir (Gülbüz 2012). Yığma kemer köprülerin tarihte görülen ilk örneklerine M.Ö. 3000 yıllarında Mezopotamya'da Sümerlere ait yeraltı kabirlerinde denk gelinmektedir. Bu tarihte kemer biçiminin Mısırlılar tarafından da uygulandığına dair neticeler bulunmaktadır. Fakat, kemer formunu bulanlar her ne kadar Sümerler veya Mısırlılar olsa da, en aktif ve görkemli şekilde kullananlar Romalılar olmuştur (Toker ve Ünay 2004). Romalılar birçok alanda olduğu gibi köprü, su kemeri ve yol yapımında da çok ileri düzeye erişmişlerdir (Şekil 3.1-2). Kemer köprülerinde, iri ve köşeli taşlara yer vermişlerdir (Ceylan, 2013).



Şekil 3.1. Roma dönemine ait Çanakkale Tuzla köprüsü (Anonim 1, 2019)

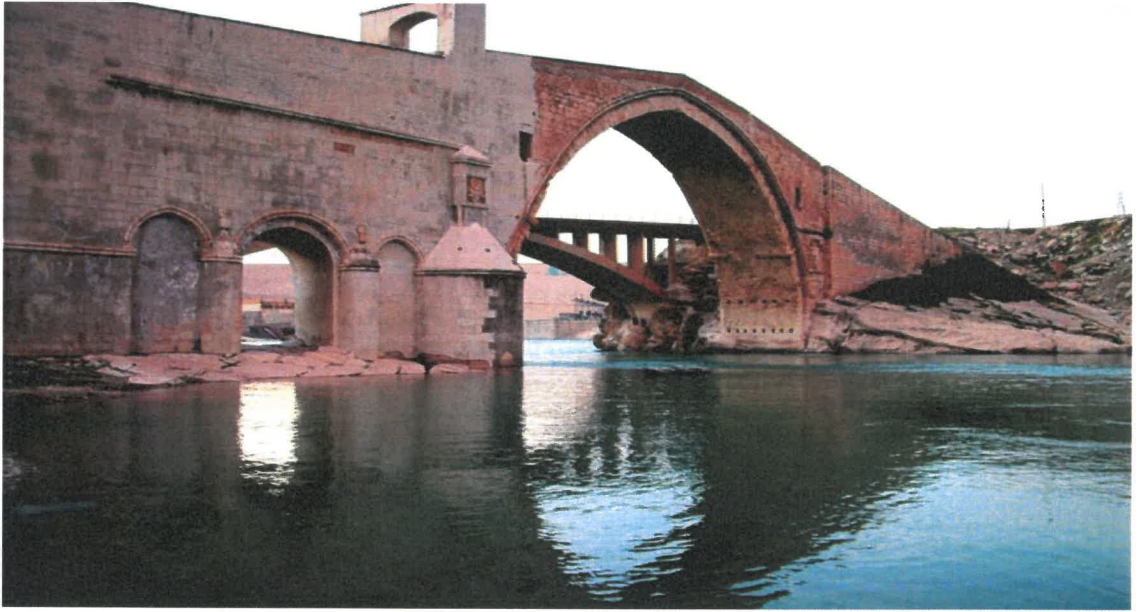


Şekil 3.2. Roma dönemine ait Adana Misis köprüsü (Anonim 2, 2019)

Roma ve Bizans İmparatorluklarının yıkılmasını takip eden süreçte Anadolu'nun Türk toplumlarına ev sahipliği yapması ile başlayan imar faaliyetlerinin başını çeken köprü inşası; Beylikler döneminden başlayarak (MS 1165 Artukoğulları) Ahlat'tan Bitlis'e kadar yapılan büyük yolun üzerinde bulunan köprüler ve köprülerin başlarında hanlar inşa edilmesi ile başlamıştır (Şekil 3.3-4). Beyliklerle başlayan köprü yapımı Selçuklu dönemi ile devam etmiştir (Gürbüz 2012).



Şekil 3.3. Artuklu dönemine ait Batman Hasankeyf köprüsü (Anonim 3, 2019)

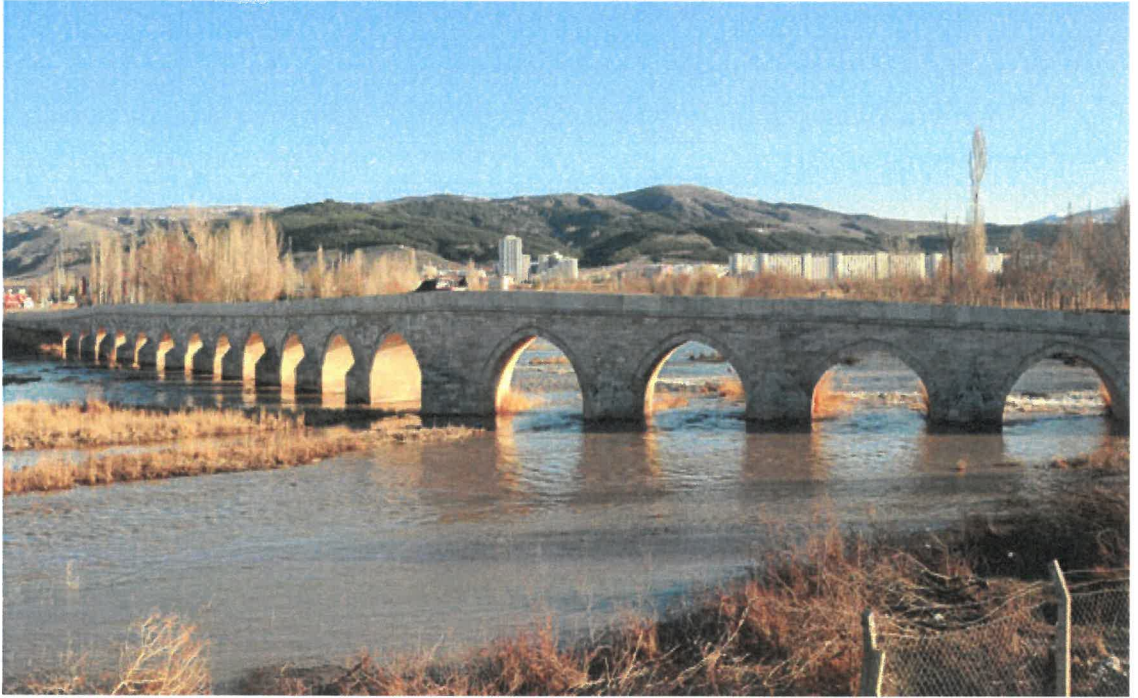


Şekil 3.4. Artuklu dönemine ait Diyarbakır Malabadi köprüsü (Anonim 4, 2019)

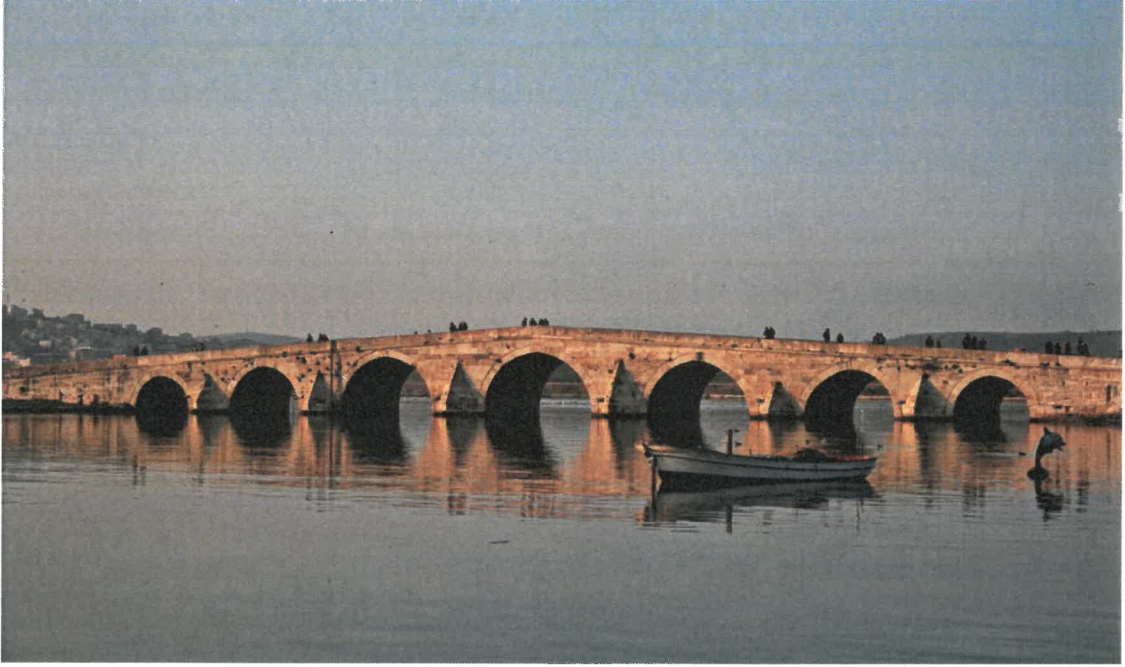
Roma dönemi ve Beylikler dönemini takip eden Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde, Türk köprülerinde kemer köprülerin mimari biçimlerinde daha sivri kemerler tercih edildiği görülmüştür (Şekil 3.5-7). Bu köprü şekli Türk mimarisini daha zarif ve estetik bir çizgiye ulaştırmıştır. Böylece Türk köprüleri, hacimli ve kalın fiziki özelliklere sahip Roma ve Bizans köprülerine nazaran, ince ve narin silüetleri ile daha estetik bir görünüme sahip olmuşlardır (Tunç 1978; Ceylan 2013).



Şekil 3.5. Osmanlı dönemine ait Bosna - Hersek Mostar köprüsü (Anonim 5, 2019)



Şekil 3.6. Selçuklu dönemine ait Sivas Eğri köprü (Anonim 6, 2019)



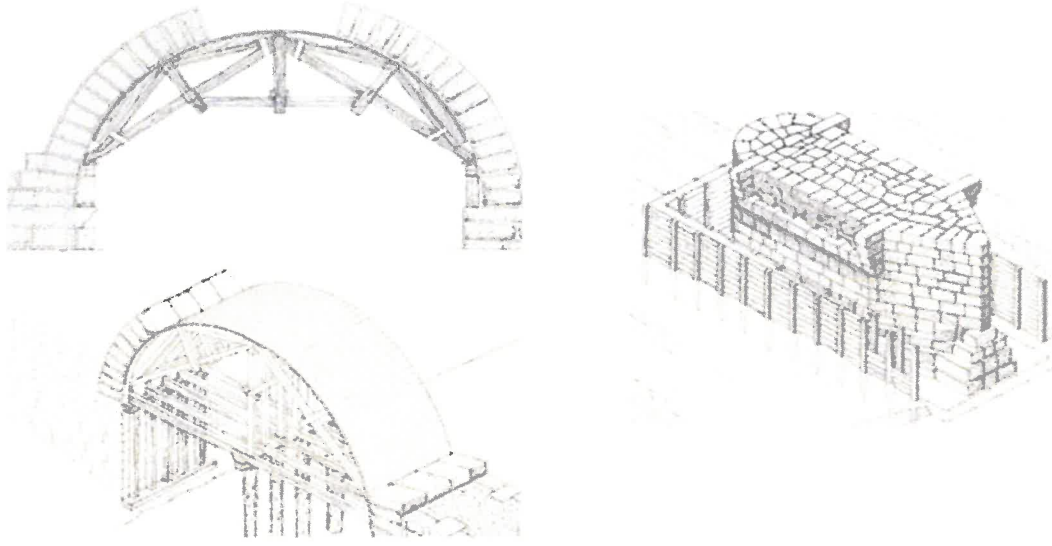
Şekil 3.7. Osmanlı dönemine ait İstanbul Kanuni Sultan Süleyman köprüsü (Anonim 7, 2019)

3.2. Yığma Kemer Köprü İnşası, Çeşitleri ve Yapı Elemanları

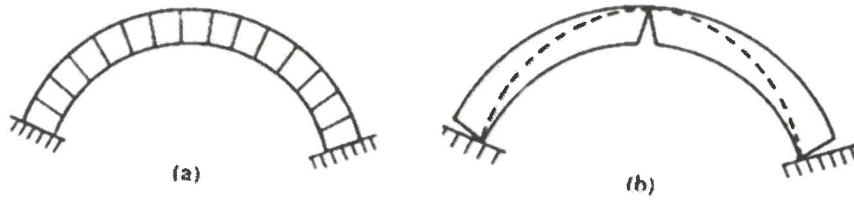
Yığma kemer köprü yapımı, el becerisinin yanı sıra üzerine yapılacağı zeminin sağlam olmasını da gerektirir. Zemin emniyeti düşük olan yerlerde inşa edilecek olan kemer köprülerin, onları taşıyacak olan yapı elemanlarının boyut ve kesitleri büyük olmalıdır. Çünkü bir süre sonra yapı doğal olarak üzerine inşa edildiği zemine karşı etkileşim gerçekleştirir ve kendisini taşıyan mesnetlere kuvvet uygular.

Yığma kemer köprülerin inşasında, ilk olarak kemerin oturacağı mesnetler yani kemer ayakları inşa edilir. Sonrasında kemerin inşa sırasında üzerine yığılarak imal edileceği iskele sistemi hazırlanır. Prizma ya da küp şekli verilen kemer taşları, iskelenin üzerine, kemer mesnetlerinden itibaren her iki yönden dizilmeye başlanır. Taşların arasında harç yerleştirileceği gibi harçsız olarak da imal edilebilir. Son taş sistemi kilit görevi göreceğinden, yerine konulduktan sonra yapı belli bir süre iskelenin yardımı ile ayakta tutulur (Birinci 2010) (Şekil 3.8).

İskele sistemi söküldükten sonra, kemer mesnetleri zorlamaya başlar. Mesnet ayakları kendisine etkiyen bu kuvveti belli miktarda absorbe eder ve kemer bu durumla birlikte doğal olarak yayılır ve genişler. Bu durumda kemer çevre şartlarına uyum sağlamış olmaktadır (Heyman 1999; Genç 2015; Dabanlı 2008; Orhan 2010) (Şekil 3.9).



Şekil 3.8. Yığma kemer köprüsü inşası şematik gösterimi (Birinci 2010)



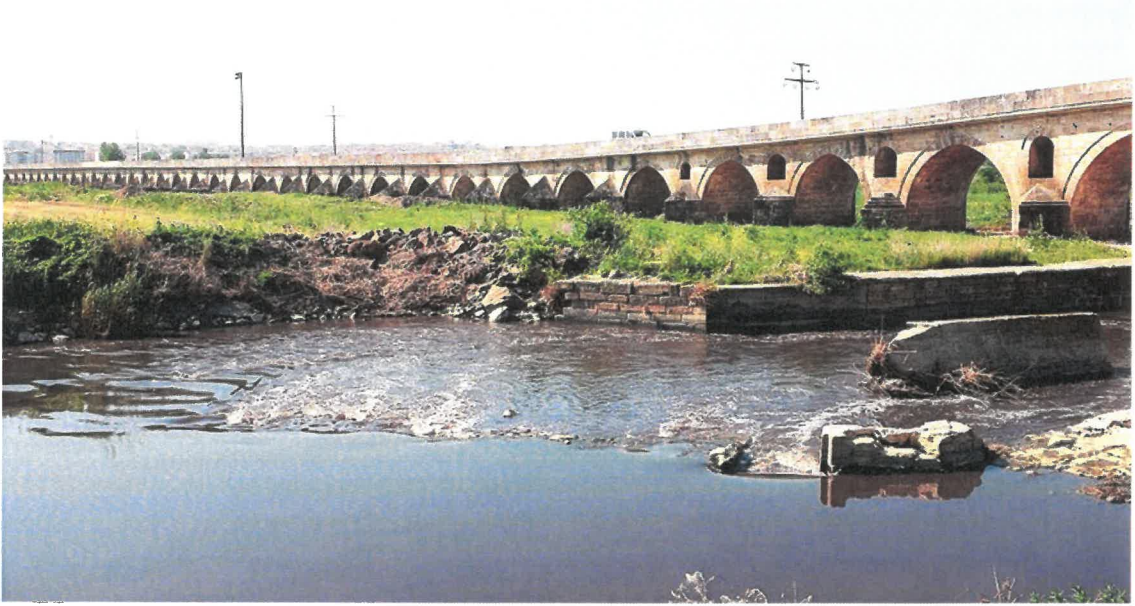
Şekil 3.9. Yığma kemer köprü davranışı; **a)** Yeni yapılmış kemer; **b)** Mesnetlerinde oturma olmuş kemer (Orhan 2010)

Kemerin inşasının ardından, üst dolgu malzemesini koruyacak olan kemer üstü (tempan) duvarları yapılmaktadır. Tempan duvarlarında, genellikle hacimli moloz taşlar tercih edilmektedir. Kemerin inşasının sonuna gelindiğinde, genelde hacimce geniş taşların kullanıldığı yol dolgu materyallerinin, kemer üst duvarları arasına yerleştirilmesiyle köprünün inşası tamamlanmıştır (Özer 2006; Orhan 2010). Taş kemer köprüler biçimlerine göre iki farklı sınıfa ayrılmaktadırlar (İlter 1978).

- Düz kemer köprüler
- Dik kemer köprüler

3.2.1. Düz kemer köprüler

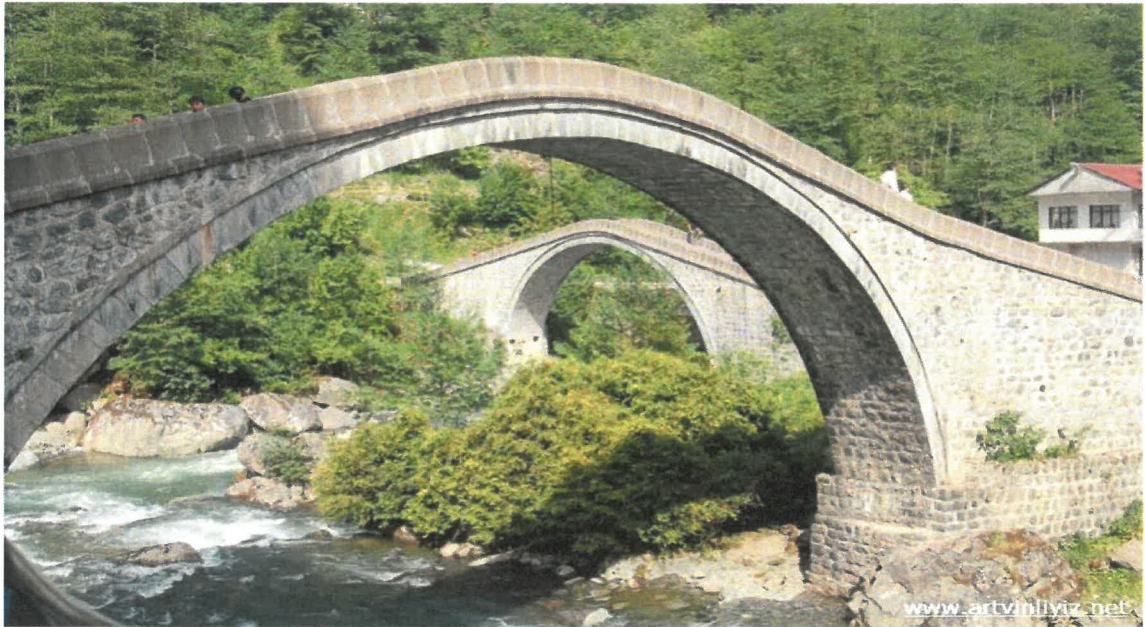
İki ya da daha fazla sayıda kemerler arasında, genişlik ve yükseklik açısından, fazla değişiklik göstermeyen, köprü yolunun düz olduğu kemer köprü çeşididir. Düz kemer köprülere çoğunlukla geniş yataklı nehirlerde ihtiyaç duyulur (Şekil 3.10). Dere yatağının geniş olması, köprü uzunluğunu çoğaltır, göz sayısı artar.



Şekil 3.10. Düz kemer köprü Edirne uzun köprü (Anonim 8, 2019)

3.2.2. Dik kemer köprüler

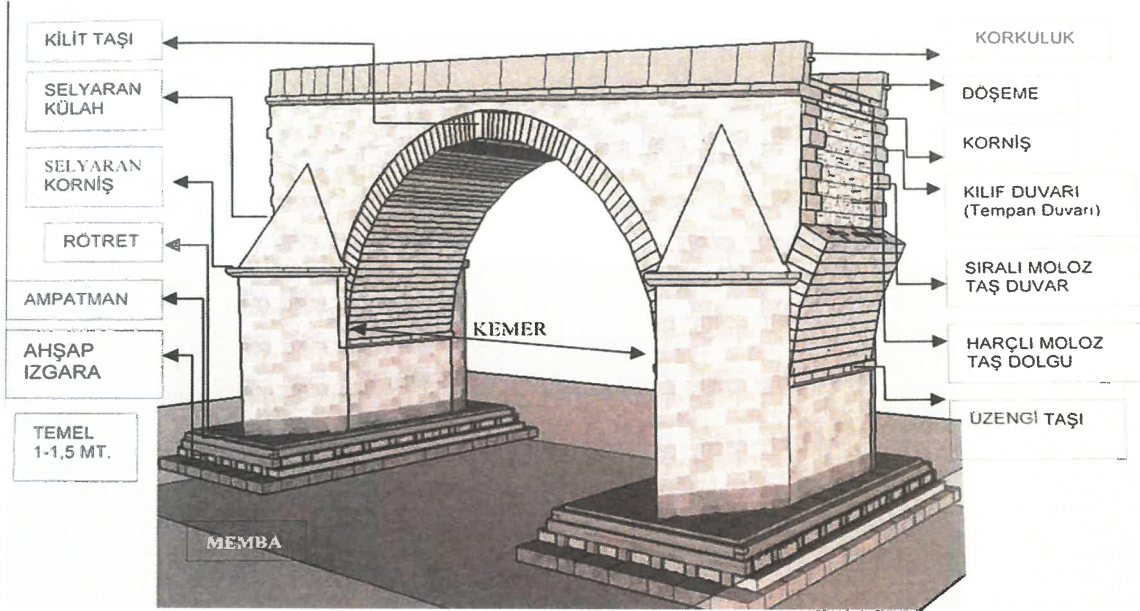
Su derinliğinin fazla olduğu akarsu ve nehirlerde köprü ayaklarını inşası oldukça zordur. Bu sebepten dolayı, köprü ayakları inşa edileceği su yataklarının her iki yakasından yükselen kenar bölümlerine oturtularak, araları geniş ve nispeten daha yüksek kemerlere bağlantıları sağlanır. Böylece akarsu veya nehrin her iki tarafında bulunan kara parçaları yüksek bir eğimle inşa edilen köprülerle bağlanmış olur (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Dik kemer köprü Artvin çifte köprü (Anonim 9, 2019)

3.3. Tarihi Kemer Köprülerde Yapı Elemanları

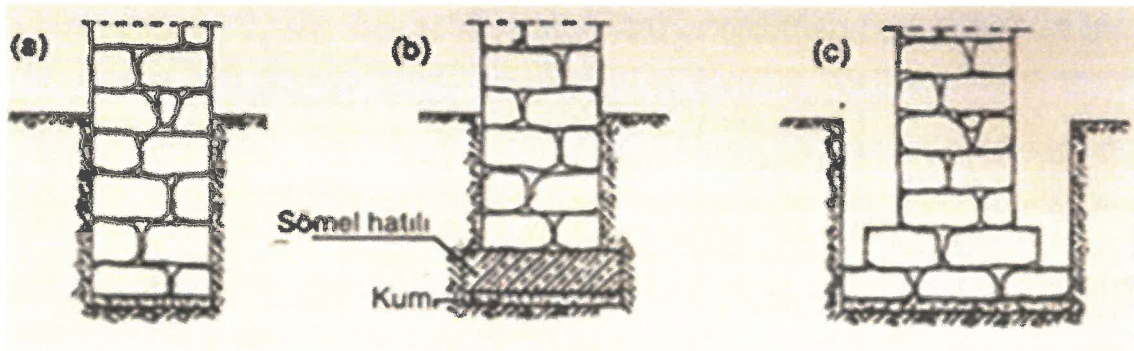
Tarihi taş kemer köprüleri meydana getiren birden fazla yapı elemanı mevcuttur (Şekil 3.12). Her uygarlık kendi kültürüne yönelik özelliklerde köprüler ve köprü elemanları inşa etmişlerdir. Bu yapı elemanları aşağıda sıralanmıştır (Tunç 1978; Gürbüz 2012).



Şekil 3.12. Tarihi kemer köprülerde yapı elemanları (Anonim 10, 2019)

3.3.1. Temel

Temel, yapıya etkiyen tüm yüklerin zemine aktarılmasını sağlayan yapı elemanıdır. Günümüzde her ne kadar çeşitli ve detaylı olsa da, geçmişte tarihi yapılarda çok fazla etkili şekilde kullanılmadığı gözlenmiştir. Sağlam zeminlerde yüzeysel temel tercih edilirken, nispeten daha zayıf olan zeminler de yapının sağlam kayanın üzerine oturması için derin temeller tercih edilmiştir (Özdemir 2018) (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Sürekli temel örnekleri

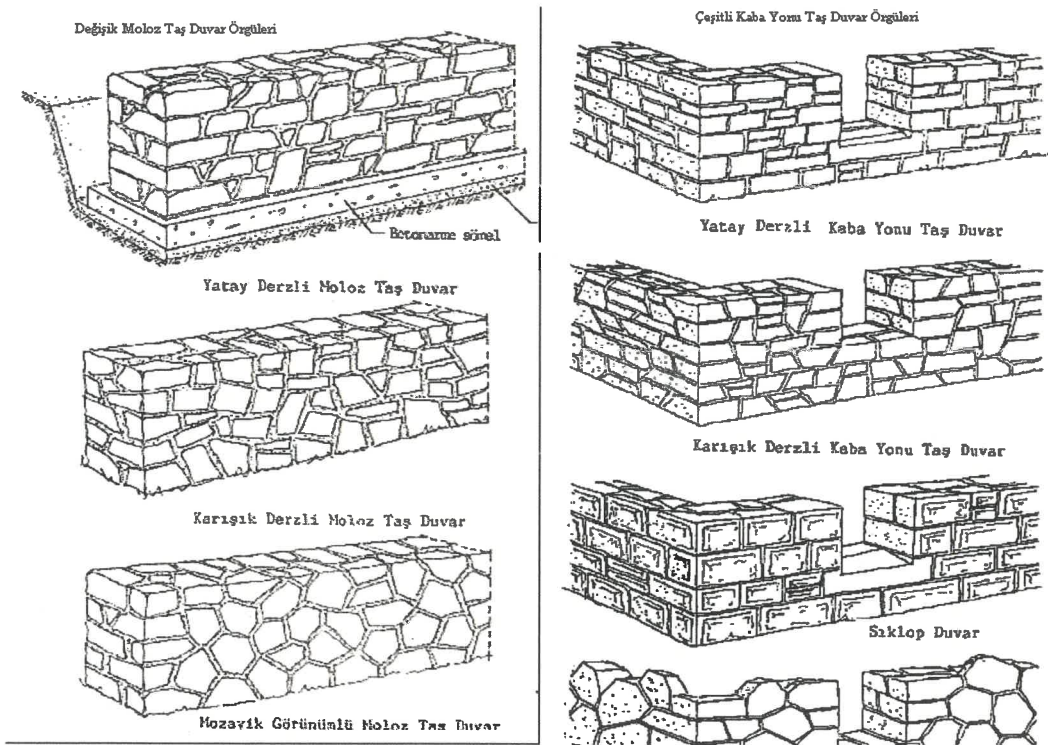
3.3.2. Duvar

Kerpiç, taş, gibi çeşitli malzemelerden imal edilen, yükleri zemine doğru ileten düşey yönde düzlemsel elemanlar olarak tarif edilir. Duvarların ölçülerini teşkil edecek olan durumlar; üst yapı doğrultusunda gelen düşey ve eğik yükler, kullanılan materyalin cinsi, yanal doğrultuda deprem yükleri olarak sıraya konabilir. Duvar kendisine etkiyen yükleri üstlenebilmesi için yekpare bir şekilde çalışması gerekir. Gerilme kuvvetlerini duvar kesitlerinde homojen bir şekilde yaymak için duvarı oluşturan malzemeler birbirlerine hatıl veya harçlar ile bağlanmalıdır (Öztürk ve Mahberel 2006).

Duvarlar kemer köprülerde; tempan duvarı, korkuluk duvarı, sıralı moloz taş duvarı olmak üzere çeşitli şekillerde kullanılır. Duvarlar örülme çeşidine göre; moloz taş duvarlar, kaba yonu taş duvarlar, ince yonu taş duvarlar ve kesme blok taş duvarlar şeklinde sınıflandırılabilirler (Şekil 3.14-16).

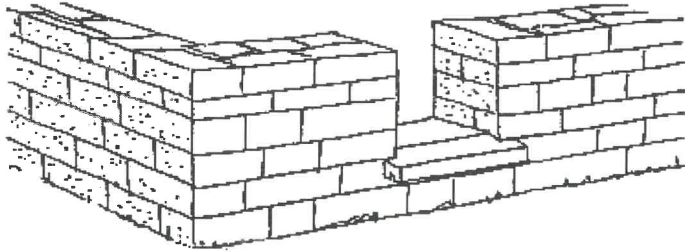
Moloz taş duvarlar: Duvarı oluşturan malzeme olan taşın, temini çok kolaydır. Ayrıca taş, duvarın örülmesinden önce herhangi bir uygulamaya maruz bırakılmadığı için doğada temin edildiği şekilde kullanıldığından adını bu duvar tipine verir. Karayollarında heyelan riski oluşturan bölgelerde, bina subasmanlarında, yapı temellerinde kalıp olarak, arazileri birbirinden ayırma duvarlarında kullanılır.

Kaba yonu taş duvarlar: Taşların rastgele yontularak düzlendiği yüzeylerin, görünen duvar yüzeylerine denk gelebilecek durumda inşa edilen duvar çeşididir. Yüzeyi sıvanmayacak cephe duvarları ile çevre ve istinat duvarlarında uygulanır.



Şekil 3.14. Duvar çeşitleri; **a)** Moloz taş duvarlar; **b)** Kaba yonu taş duvar (Anonim 11, 2019)

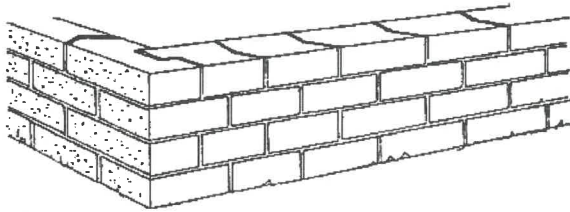
İnce yonu taş duvarlar: Kullanılan malzeme kalınlığının küçük olmasından dolayı estetik amaçlı yapılan, uygulanması zahmetli ve maliyeti yüksek duvar tipidir. Cephe kaplama alanlarında kullanılır.



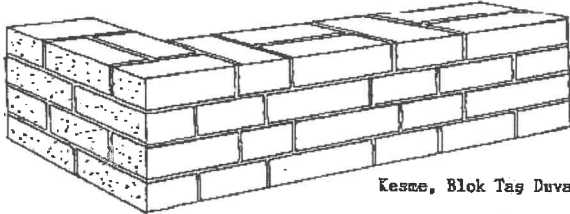
İnce Yonu Taş Duvar Örgüsü

Şekil 3.15. İnce yonu taş duvar (Anonim 12, 2019)

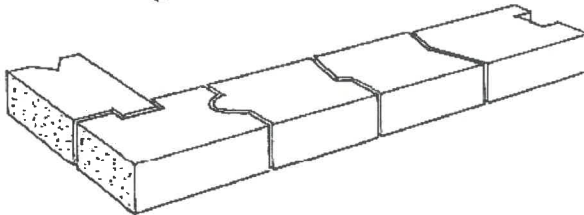
Kesme blok taş duvarlar: Taşların lego tarzında, birbirini bağlayıcı şekiller halinde olmasını gerektiren ve bu şekillerin elle verilmesinden dolayı çok nadir görülen, maliyet yüksek ve uygulanması çok güç olan neredeyse derzsiz denebilecek bir duvar tipidir.



Kesme, Blok Taş Duvar (Taş derinliği, duvar kalınlığına eşit)



Kesme, Blok Taş Duvar



Taşların, birbirlerine geçme örnekleri

Kesme Blok Taş Duvar Örgüleri

Şekil 3.16. Kesme blok taş duvar (Anonim 13, 2019)

3.3.3. Döşeme

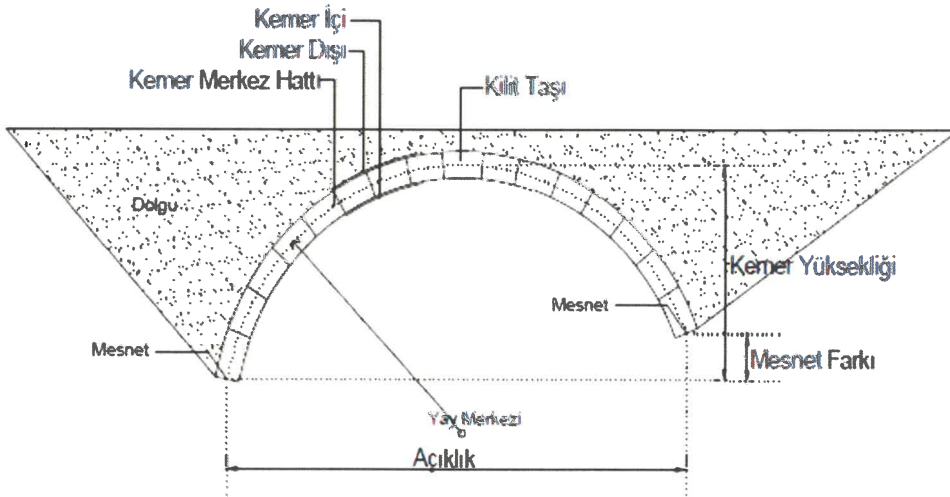
Döşeme, yapıya rijit bir davranış sergileme özelliği katan, yapıda katların birbirinden ayrılmasını sağlayan, kendisini taşıyabilecek kapasitede olup gelen yükleri diğer taşıyıcı elemanlara ileten bir yapı elemanıdır. Yapıya etkiyen döşemeler, yapılırken kullanılan malzemenin türüne göre kâgir, betonarme, ahşap, çelik döşemeler gibi isimlendirilmektedir (Soygeniş 1999).

Tarihi kemerlerde ise döşeme, tempan duvarı ve kemerin birleşimi gerçekleşikten sonra kalan boşluklar dolgu malzemesi ile doldurulduktan sonra gerekli döşeme malzemesinin uygulanmasının ardından tamamlanmış olur. Döşeme kendisine etkiyen tüm yükleri kemere iletir.

3.3.4. Kemer

Kemer yapısı, iki tane sütunu veya dikey duvarları birbirine bağlayan, kapı, çatı ya da pencere tarzı oluşan açıklıkları geçmek için imal edilmiş eğri eksene sahip yatay taşıyıcılardır. Kemerler her ne kadar günümüzde betonarme veya çelikten oluşsa da geçmişte kereste, tuğla ya da taşlarla inşa edilmişlerdir. Kemerler estetik duruşlarının yanı sıra günümüzde kullanılan tabiri ile kiriş görevi görerek yapı elemanı olarak da çok önemli görevler üstlenirler.

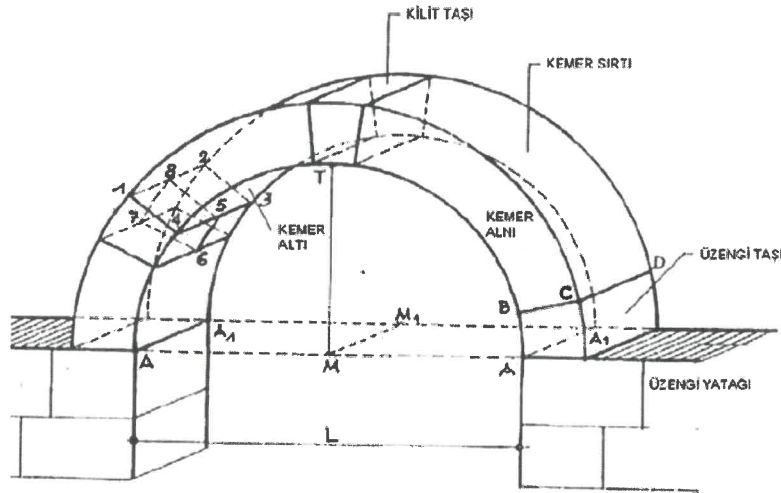
Kemerlerin inşası aşamasında yığma tuğla veya taşların dizilmesinin ardından en önemli görevi kemerin tam ortasına konulan kilit taşı icra eder. Kilit taşı, adı da üzerinden anlaşılacağı gibi hem kemeri hem de yapıyı sağlamlık açısından kilitler (Dirlik 2017) (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Kemer yapı elemanları

Kemerlerde birçok yapı taşı görev almaktadır. Bunlardan bazıları; kilit taşı, örgü taşı, korniş taşı ve üzengi taşıdır (Şekil 3.18). Kemerin inşası üzengi yatağının sırtına konulan, üzengi taşıyla başlamaktadır. Kemerin düşey eksen merkezinde önceden de önemine değindiğimiz kilit taşı bulunmaktadır. Kilit ile üzengi taşlarının arasında bulunan kısımlara örgü taşları yani kemer taşları yerleştirilir (Bayülke 1992).

Kemer, kendisine etkiyen hem yatay hem de düşeydeki yükleri, üzerine inşa edildiği ve bir nevi kolon görevi gören sütun ya da ayaklara ileten ve bunula beraber bu yükleri taşıyabilme kapasitesine de sahip yapı elemanıdır. Mesnetleri gergi çekme çubukları içermektedir. Gergi çubukları içermeyen inşa edildiği takdirde mutlaka dayanımı yüksek sütun ya da duvarlar üstüne yapılmalıdır (Bayraktar 2005).



Şekil 3.18. Kemerin oluşturan kısımlar

Geniş açıklıklara sahip yapıların inşası, ilk olarak kemer yapılarının bulunması ile başlamıştır. Kemerlerim, yapısal ilerlemenin ilk adımı olduğunu söylemek uygun olacaktır. Kemere etkiyen kuvvetler, kemerin tasarımından dolayı basınç kuvveti olarak etki ederler ve kemer tarafından yan kısımlardaki yapısal elemanlara iletilir. Bu sebepten ötürü kemerler yalnızca basınç üzerinde direnç göstermektedirler. Dolayısı ile tuğla, taş gibi basınca karşı direnç gösteren malzemelerin kemer kirişlerde kullanılması tesadüf olmamıştır (Özer 2006).

3.3.5. Sütun ve ayaklar

Sütunlar tek parça şeklinde veya birden fazla taş bloktan oluşan, düşey yönde tasarlanan ve kemerlerden etkiyen yükleri temele aktaran yapı elemanlarıdır. Birkaç blok ile oluşturulurlar ise, ahşap ya da bronz kenetlerin yardımı ile birleştirilebilirler. Genellikle daire ya da çokgen kesite sahip olabilen sütunun taşıdığı kemer kirişlerin ağırlıklarını kendisinde toplama maksadıyla sütunun başlık kısmı, ağırlıkları altında bulunan yapı elemanlarına aktarmak maksadıyla sütunlara taban yapılmaktadır (Çamlıbel 2000).

Ayaklar, en kesitlerinin sütunların en kesitlerinden daha geniş olmasıyla birlikte; duvara benzer şekilde imal edilmiş olan düşey taşıyıcılardandır (Şekil 3.19). Mekân örtüsüne ait düzen ile kullanılış amacına aynı zamanda da yükün aktarılma yönleri dikkate alınarak değişik ölçü ve şekillerde yapılmışlardır (Wilson 2018).



Şekil 3.19. Sütunların ön planda olduğu kemer köprü örneği Adana Varda köprüsü (Anonim 14, 2019)

3.3.6. Sel yaran

Köprü ayaklarının su içindeki üçgen, yarım daire veya çokgen planlı masif taş kısımdır. Sel yaranlar suyun ayaklara fazla zarar vermeden kemer gözleri içine geçmesini sağlar. Suyun geliş yönündeki (memba) su ile gelen çöplerin birikinti yapmaması için genellikle yuvarlak yapılmıştır. Gidiş yönündeki (mansap) burunlar ise anafordan dolayı sivri yapılmaktadır. Bu sivri kısma aynı zamanda köprü mahmuzu da denir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Sel yaran örneği Bosna–Hersek Drina köprüsü (Anonim 15, 2019)

3.4. Tarihi Yapılarda Tercih Edilen Malzemeler

3.4.1. Doğal taşlar

Doğada kolayca tedarik edilebilen ya da taş ocaklarından çıkarılan, doğal etkilerine karşı mukavemeti fazla olan, homojen bir yapıya sahip olan doğal taş, magma tabakasının zaman geçtikçe soğumaya geçmesi ve sertleşmesi sonucunda meydana gelen bir malzemedir (Türkçü 2000).

Doğal taşlar, kereste ile birlikte tercih edilen yapı malzemelerinden en eski olanlardan birisidir. Ayrıca dayanımının yüksek olması tercih edilmesini de kolay kılmıştır. Bir diğer tercih edilme sebebi ise kolayca bulunması ve kolay şekil alabilmesidir. Bu nedenle birçok tarihi yapıda doğal taşlara rastlanmaktadır (Ünay 2002).

Doğal taşlara ait çeşitli mekanik özelliklere dair deney sonuçları aşağıda gösterilmektedir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Yapılarda kullanılan doğal taşlarının ortalama fiziksel değerleri (Ünay 2002)

Taşın cinsi	Basınç dayanımı (MPa)	Kayma dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (MPa)
Granit	30-70	14-33	4-7	30000-55000
Mermer	25-65	9-35	1-15	25000-70000
Kireç taşı	18-35	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
Serpantin	7-30	2-10	6-11	23000-43000

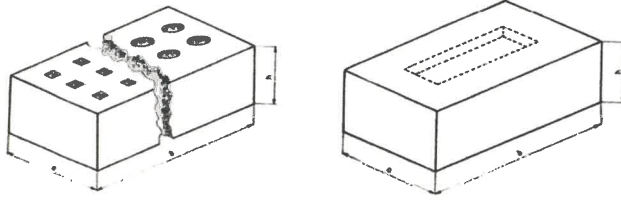
Tarihi yapılardaki taşıyıcı elemanların imal edilmesinde kullanılacak olan doğal taşlara ait minimum basınç dayanımları Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından aşağıda belirtilmiştir (TS2510 1977) (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Doğal duvar taşlarının dayanım gruplarına göre en küçük basınç dayanımları (TS2510 1977)

Dayanım grupları	Taş cinsleri	En küçük basınç dayanımı (kgf/cm ²)
I	Kireç taşı, traverten, kireç bağlayıcılı kum taşı	350
II	Yoğun kireçtaşı, dolomit, bazalt	500
III	Silis bağlayıcılı kumtaşı, grovak vb.	800
IV	Granit, siyenit, diorit, melafir, diabaz vb.	1200

3.4.2. Tuğla

Tuğla; balçık, killi toprak ve kilin ayrı olarak veya birleştirilmesi sonucu ihtiyaç duyulması halinde ise kiremit tozu, öğütülmüş tuğla tozları ve su ile harmanlanıp biçimi verilmesinin ardından kurutulması gerekir. Bu işlem de genellikle harman bölgelerinde taş ocaklarda pişirilmesi kaidesiyle tamamlanmış olur. Tuğla duvar örülmesinde taş ile birlikte tercih edilen malzemelerdendir (TS704 1979) (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Delikli ve dolu tuğla elemanları (TS704 1979)

Tuğlanın ana bileşeni kildir. Kil ise dere ya da akarsular da yataklarda biriken ince taneli, taşlardan doğal şartlar sonucu kalıntı olarak elde edilir. Killer su ile birleştirilerek yapı elemanı olarak kullanılacağı şekli alır. Tuğlalar, çok yüksek sıcaklıklı ocaklarda, fırınlarda hatta teknolojinin gelişmediği zamanlarda güneşle ısıtılarak elde edildiği bilinmektedir (Ünay 2002).

Her malzemede olduğu gibi tuğlada da içeriğini oluşturan materyallerin kalitesi, tuğlanın ve kullanıldığı yapı elemanının dayanımını doğrudan etkilemektedir. Her ne kadar doğal taşlar kadar basınç dayanımına sahip olmasa da, tuğlalar içeriğindeki malzemelerin kalitesine bağlı olarak 10 MPa ile 30 MPa arasında dayanım göstermektedir (Çizelge 3.3). Tuğlanın yüksek sıcaklıklar neticesinde fırınlanmış hali, fırınlanmamış haline kıyasla yapılan deneyler sonucunda daha fazla basınç dayanımına sahip olduğu neticesine kavuşulmuştur (Ünay 2002).

Çizelge 3.3. Tuğlaların ortalama mekanik özellikleri

Basınç dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Kayma dayanımı (MPa)
10-30	2.5-5	10-20

3.4.3. Kâgir malzeme

Tuğla ve doğal taşın, birbirlerine bağlayıcı bir madde ile bağlanması sonucu ortaya çıkan malzemeye denir. Eski tarihi yapıların birçok taşıyıcı elemanı kâgir malzeme kullanılarak inşa edilmiştir. Kâgir malzeme, taş veya tuğla gibi homojen yapıda değildir. Çeşitli fiziksel yollarla bileşenlerine ayrılacağından heterojen bir formdadır. Birim ağırlık değeri 21~22 kN/m³ arasındadır. Kâgir malzemelerin dayanımları, kendisini oluşturan malzemelerin kalitesine, işçiliğe ve doğal şartların etkisine bağlı olarak değişiklik gösterirler (Wilson 2018).

3.4.4. Harç

Tarihi yığma yapılarda düşey taşıyıcı yapı elemanları çerisinde malzemelerin başlangıç noktalarındaki ve birbirleri arasındaki bağlantıyı sağlamak görevini icra eden malzemedir. Taşıyıcıya devamlılık kazandıran yapı harçları horasan harcı ve kireç harcı olmak üzere ikiye ayrılır.

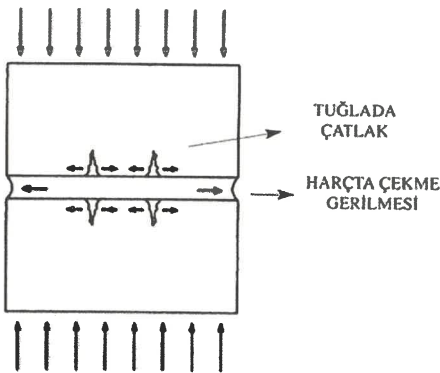
Horasan harcı; Yapı malzemesi olarak tercih edilen doğal taş ve tuğlanın kullanılmaya başlamasıyla, harçlarında artık kullanıma girmesi kaçınılmaz olmuştur. Bu nedenle her ne kadar fazla bir bağlayıcı özelliği bulunmasa da ilk harç çamur olmuştur. Sonrasında ise, kireç harcı kullanılmaya başlanmıştır. Kireç harcından sonra ise bu harcın bileşenlerinin içerisine; volkanik tüfler, pişmiş kil gibi malzemeler eklenerek daha çabuk priz alan ve daha sert bir forma ulaşan yeni bir harç türetilmiştir. Roma ve Bizans dönemlerini takip eden süreçte Selçuklu ve Osmanlı dönmlerinde de inşa edilen yapılarda horasan harcına rastlanmaktadır (Küban 1998).

Kireç harcı: Roma ve Eski Yunan dönemlerinde, yapılarda tercih edilen harçlar, kireç ile inşa edilmiştir. Kireç harcının oluşturulmasında küçük çapta agregalar ile aderansı artırmak adına doğal kireç taşından elde edilen kireç tozu kullanılmıştır. Ayrıca kireç harcının hazırlanmasında içerisine organik olan ve organik olmayan malzemeler katıldığına dair bulgulara rastlanmıştır (Böke vd. 2004).

3.5. Tarihi Yapılarda Oluşan Davranışlar

Tarihi yapılarda, meydana gelen davranışı sağlıklı yorumlamak için yapıyı meydana getiren malzemelerin içeriklerini ve yapıya etkileyen yükler altında bu malzemelerin gösterdiği direnci bilmek gerekir.

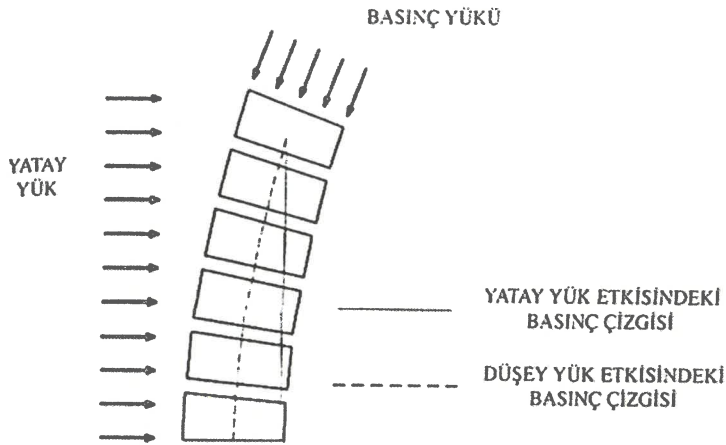
Betonarme hesaplarda nasıl ki düşey ve yatay taşıyıcıların düşey yükler altında gösterdikleri basınç gerilmeleri (σ) oluyorsa, tarihi yapılar da bu gerilme mevcuttur. Aşağıda bu durum sonucunda, yapının davranış biçimi gösterilmiştir (Şekil 3.22). Normal şartlar altında bu taşıyıcı elemanlara etkileyen basınç gerilmelerinin, basınç emniyet gerilmelerini (σ_e) geçmemesi gerekir. Taşıyıcı elamanların kalınlıkları bu hesaba göre belirlenir. Bunun yanında elde edilen kalınlıklarına göre, taşıyıcı elemanın kesitinde yanal yüklerin etkisi altında meydana gelecek kayma gerilemeleri (τ), yapıyı oluşturan malzemenin kayma emniyet gerilmesi (τ_e)'den küçük olması gerekir (Wilson 2018).



Şekil 3.22. Basınç yüküne maruz kalan taşıyıcı elemanın kırılma tepkisi (Ünay 2002)

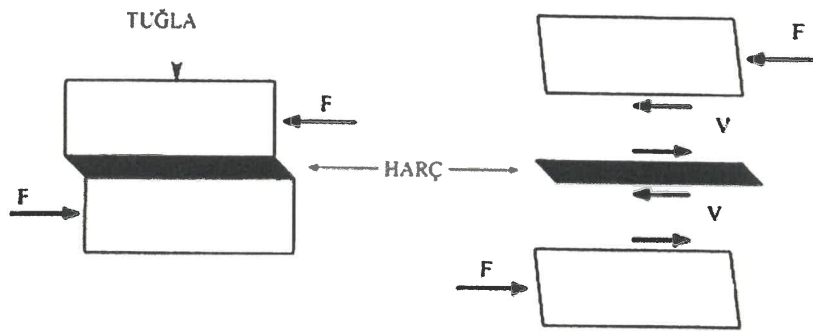
Yığma yapıları oluşturan malzemeler genellikle doğal taş ve tuğladır. Her iki malzemede gevrek malzemelerdir ve tıpkı beton gibi basınca karşı davranış gösterir. Harçlı ve yığma yapılar bileşenlerinde donatı bulundurmadiğundan, betonarme elemanlar gibi sünek davranış gösteremezler. Tıpkı betonarme yapılarda olduğu gibi düşey yükler, döşemelerden kemerele, oradan düşey taşıyıcı yığma duvarlara ve son olarak temele etki eder.

Yalnız yanal yükler neticesinde meydana gelen atalet momenti yığma yapılarda kuvvetli etkiye bulunur (Şekil 3.23). Yatay atalet momenti, uğradığı etkiye rağmen rijit davranış gösteren bu yükleri düşey taşıyıcılı duvarlara etki ettirir. Fakat bu yükler düşey taşıyıcılara kesme ve eğilme olarak etki eder (Yorulmaz vd. 1984).

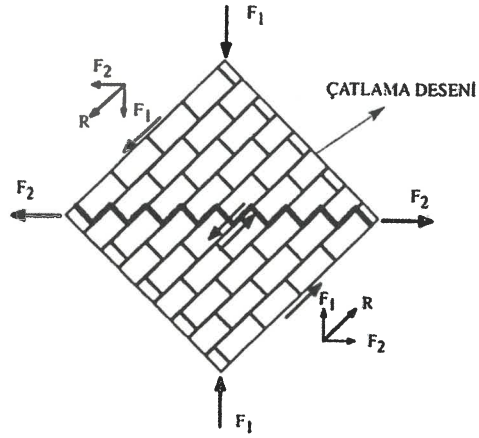


Şekil 3.23. Yığma yapı elamanının yanal yükler karşısında gösterdiği deformasyon ve basınç çizgisinin konumu (Ünay 2002)

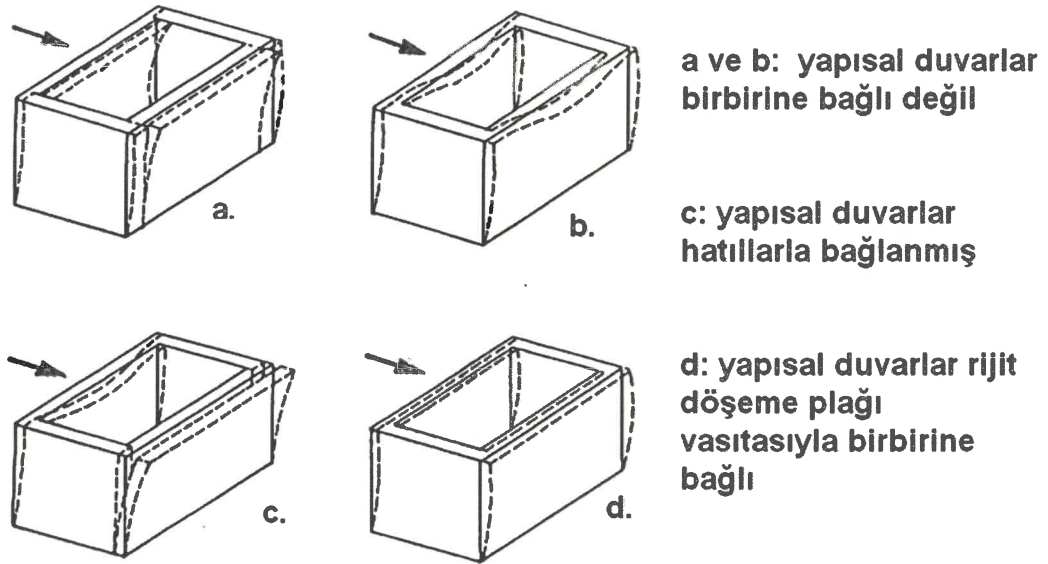
Yanal yüklerin etkisine maruz kalan yığma yapılarda, düşey taşıyıcı eleman ve döşeme birleşim noktaları gibi kritik bölgelerde çatlaklar meydana gelir ve bu süreç yapıyı göçme sürecine sokar (Şekil 3.24-27).



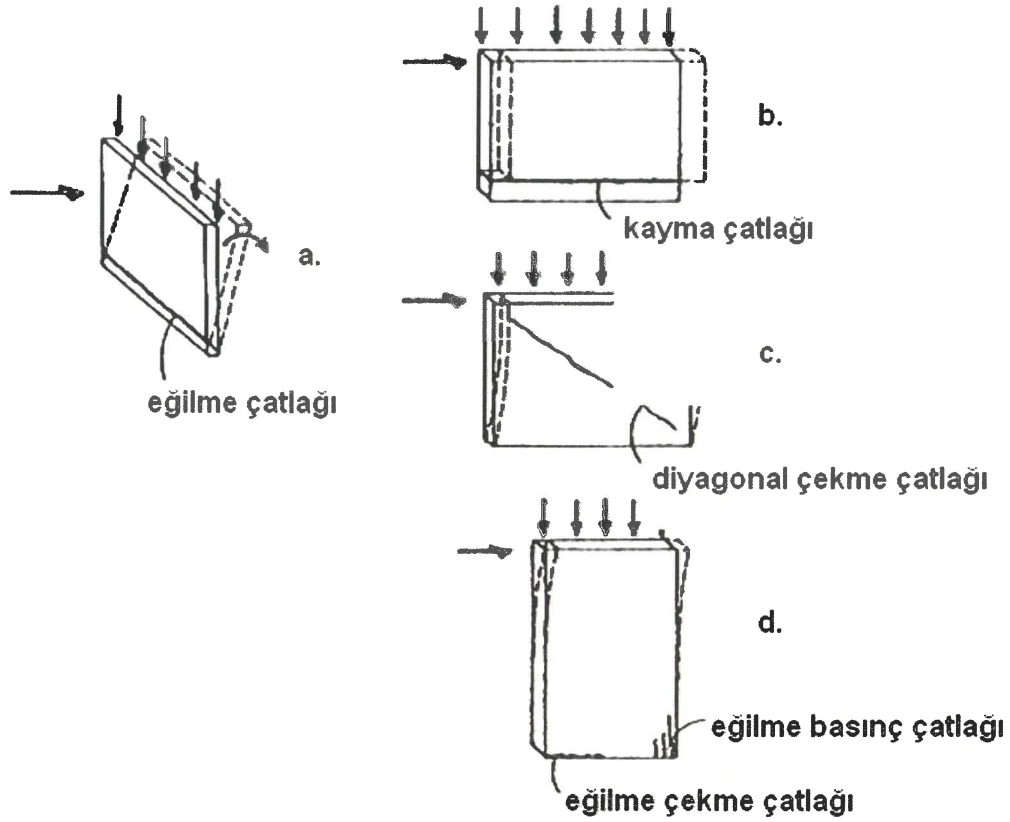
Şekil 3.24. Kayma gerilmesi sonucu kırılma (Ünay 2002)



Şekil 3.25. Yapıda diyagonal çatlakların meydana gelişi (Ünay 2002)



Şekil 3.26. Yanal yük etkisinde yığma yapıda meydana gelen salınımlar (Yorulmaz vd. 1984)



Şekil 3.27. Yapısal bir düşey taşıyıcının çökme aşamaları (Yorulmaz vd. 1984)

3.6. Tarihi Yapılarda Meydana Gelen Hasar Tipleri

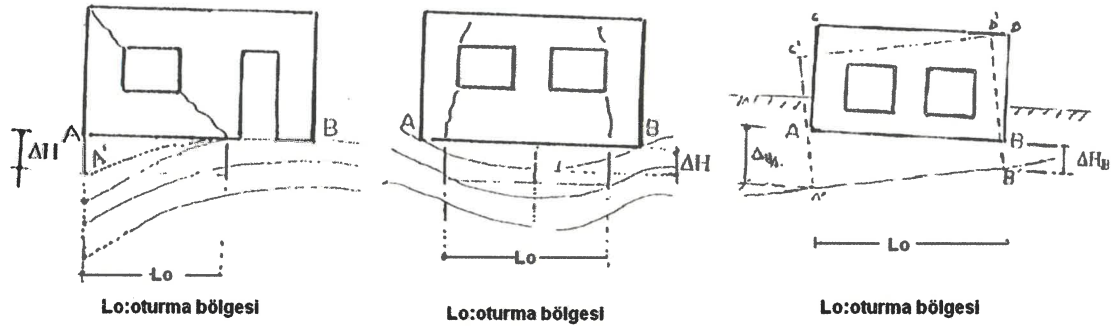
Tarihi yapılar ve özellikle köprüler zamanın ilerlemesine bağlı olarak hafif ve ağır yönde çeşitli etkiler sonucu hasar görmüşlerdir. Tarihi yapılarda hasar nedenini belirlemeden önce, yapının tarihini, daha önceden oluşan yıpranma ve çatlakları, kullanılan malzemelerin cinsini ve bu malzemelerin mekanik ve kimyasal özelliklerini, yanal ve düşey yüklere karşı göstermiş oldukları mukavemetleri, üzerine inşa edildikleri zeminin yapısını ve inşa aşamasında meydana gelen imalat hatalarını bilmek teşhisin konulmasında avantaj sağlayacaktır. (Döndüren vd. 2017).

Taşıyıcı sistem ile alakalı kayma, gerilme, çatlama ve oturduğu zeminle alakalı oturma konusunda bilgi sahibi olmanın yanı sıra, insan eliyle meydana gelen sistemsel hatalar ve yapıda kullanılan malzemenin kimyasal reaksiyonları hakkında birçok mühendislik dalından yardım edinilerek hasarlara tanı koymak daha kolay olacaktır (Yavuz 2012).

3.6.1. Zeminden kaynaklı hasarlar

Tarihi yapılarda zeminden kaynaklı sorunların başında temel imalatında yapılan yanlış tercihler gösterilir. Yanal yük etkimesi sırasında yapılarda; temel derinliği ve kalınlığının yeterli düzeyde olmaması, tabii zeminde oluşan sıvılaşma, meydana gelen deplaseler gibi çeşitli sorunlar sıralanmaktadır. Ayrıca zemini oluşturan yapının heterojen bir forma sahip olması da yapıda çatlaklara olanak verir (Şekil 3.28).

Gösterilen bu nedenlere ilaveten yer altı su seviyesinin çok yağışlı mevsimlerde artış göstermesi temelde olan boşlukların içerişe su dolması maruz yapıda hasarların artmasına neden olur. Tam tersi sebepten ötürü yer altı su seviyesinde azalmadan kaynaklı oluşacak boşluklar zeminin oturmasına doğal olarak da temelin hareket etmesine neden olacaktır, böylece yapıda hasar oluşması kaçınılmazdır (Amman 2012) .



Şekil 3.28. Temelde meydana gelen oturma sonucu oluşan çatlaklar (Wilson 2018)

3.6.2. Taşıyıcı sistem tasarımından kaynaklanan hatalar

Yapıların tasarımından dolayı, yatay ve düşey taşıyıcı sistemlerin imalatta düzensiz yerleştirilmesi, yapının taşıyıcı elemanları arası bağlantı köşelerinin yeterli kalitede inşa edilmemesi, hatılların eksik ve yetersiz olması, yapı taşıyıcı elemanlarının yapıya etkileyen yükleri taşıyabilecek boyutlarda tasarlanmaması gibi durumlar yapılarda kalıcı hasarlara ve beraberinde yıkıma neden olurlar.

3.6.3. İklim koşullarının neden olduğu hasarlar

Yapıyı oluşturan malzemeler, zamanla iklim şartlarına göre değişkenlik gösteren atmosferik etkilere maruz kalırlar. Atmosferin etkisi genellikle dış çevrede bulunan çatı, duvar ve bunları oluşturan malzemelere yönelik etkiler yıpranmalara neden olur.

Bu etkiler kimyasal ve fiziksel etki olarak iki grupta incelenebilir. Fiziksel etki, sıcaklık değişimi ile ortaya çıkan donma-çözülme olayı sonucu meydana gelir; kimyasal etki ise dış ortamdan kaynaklanan sülfat etkisi ile oluşur. Yapıda meydana gelen ayrışma hasarlarında yoğun ve derin çatlama durumu söz konusu ise kimyasal etki, tekil ve seyrek çatlama durumu söz konusu ise fiziksel etki araştırılmalıdır (Döndüren vd. 2017).

3.6.4. Doğal afetler nedeni ile oluşan hasarlar

Tarihi yapılar da doğal afetler sonucu yapı elemanlarında özellikle dikey taşıyıcılarda derin çatlaklar ve yıkılmalar görülür. Deprem bu tür afetlerin başında gelir. Coğrafyamız birçok fay hattını bünyesinde bulundurduğu için, topraklarımız içerisinde bulunan birçok tarihi yapıda oluşan hasarlar da bize bu konuda kanıt teşkil etmektedir.

Ayrıca aniden ortaya çıkan sel felaketleri de doğal afetlere örnek gösterilebilir (Şekil 3.29). Özellikle Trakya bölgemizde yer alan birçok tarihi eserimiz kış aylarının sonrasında eriyen kar sularına ek olarak şiddetli yağışlar sonucunda su baskınlarına maruz

kalmıştır. Bu tür su baskınları yapıda kısa vadede olmasa da uzun vadede çok büyük tahribatlara yol açmaktadır.

Ülkemizde çok görülmesine de hortum, yanardağ patlaması gibi afetler de tarihi yapılara tehdit oluşturmaktadır (Döndüren vd. 2017).



Şekil 3.29. Tarihi bir yapıda sel baskını sonucu oluşan tahribat

3.6.5. Yapay yollarla oluşan hasarlar

Tünel ve metro gibi ulaşım nedeni ile yer altı kazıları yapılması sonucunda tarihi yapıların çevresindeki doğal zeminin bozulması sonucu, heyelan ve toprak kaymaları yapıları hasara uğratabilir. Bunun yanında, arabalardan çıkan egzoz gazları, raylı sistemlerin oluşturduğu sismik yer hareketleri tarihi yapılara insan eliyle verilen zararlara örnek teşkil edebilir. (Namlı 2001)

Doğal yollarla oluşmayan ve tarihi yapılara en çok zarar veren neden ise, savaştır. Geçmişten bu yana insanoğlunun kendisinin yanı sıra en çok zarar verdiği oluşumlar geçmişten günümüze miras kalan tarihi yapılardır. Bunun en canlı ve yakın tarihte gerçekleşen en önemli örneği ise Osmanlı zamanında inşa edilen tarihi Mostar köprüsü olacaktır (Şekil 3.30). Çıkan savaş neticesinde kullanılamaz hale gelen tarihi köprü daha sonra ülkemiz önceliğinde aslına uygun olarak restore edilmiştir.



Şekil 3.30. Savaş nedeni ile hasar gören tarihi Mostar köprüsü (Anonim 16, 2019)

3.7. Tarihi Yapılarda Yersel Lazer Tarama

Son zamanların en çok tercih edilen teknolojilerinden birisi olmakla birlikte, özellikle tarihi yapılarda üstlenmiş olduğu görev, bu yöntemin en büyük başarısı lazer tarayıcılar sayesinde çok kısa sürelerde ölçümü yapılan nesnenin üç boyutlu koordinatlarına sahip olunabiliyor. Yersel lazer tarama ekipmanları nesnenin ya da yapının etrafında bulunan birden fazla noktadan veri girişi yaptığından hata payını en aza indirip şeklin orijinaline yakın bir dijital veri oluşturmaktadır.

Yersel lazer tarama tekniği dijital veriyi oluşturmasının ardından, oluşturulan bu noktalar kümesi bir nevi bulut oluşturur. İşte bu noktalar kümesine nokta bulutu adı verilir. Bu veriler CAD destekli birçok mühendislik programında işlenebilir (Öksüz ve Topan 2012).

3.7.1. Yersel lazer tarama teknolojileri ve kullanılan ekipmanlar

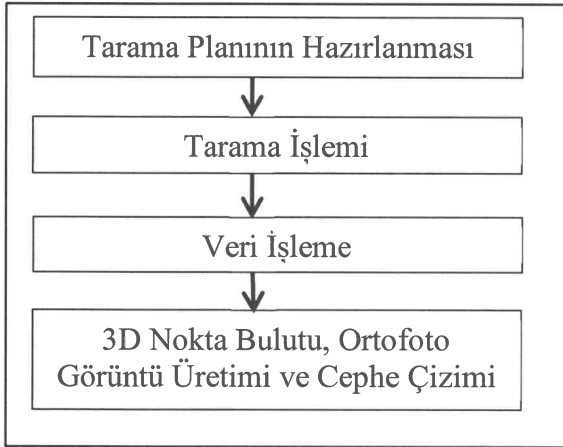
Yersel lazer tarayıcıların çalışması hedef ile temasa geçen yakın kızılötesi (NIR) ya da optik spektrum içindeki dalga boylu bir lazer ışın demetinin yayımına dayanır. Böylece donanıma bağlı olarak yayım noktasından yüzeye mesafe, sinyalin gidiş-geliş zamanı aracılığıyla ya da gönderilen ve alınan sinyal arasındaki faz farkına göre elde edilebilir. Bu mesafe ölçüm sistemi ölçülecek yüzeye doğru yönlendirilmiş bir ışın deflektörü ile birleştirilir. En genel kurulum düşey taramaya olanak sağlayan bir döner ayna ve yatay taramayı sağlamak için sistemin optik ekseninin tümünü döndüren bir yardımcı motordan meydana gelir. Her bir yayımlanan “puls” için yatay ve düşey açılar sinyal kodlayıcı ile belirlenir. Küresel bir koordinat sistemi tarayıcı üzerinde merkezilenmiş olarak tanımlanır. Burada ölçülen her noktanın 3D konumu, bir R mesafesi ve iki açıyla (θ ve φ) verilir ve bunlar kartezyen koordinat sistemine dönüştürülür (Armesto vd. 2010).

Üçgenleme yöntemi tabanlı kısa mesafeli tarayıcılar ve lazer ışının geliş gidiş zamanı ile çalışan uzun mesafeli tarayıcılar (time of flight) olmak üzere yersel lazer tarayıcıların temel olarak iki türü bulunmaktadır (Lubowiecka vd. 2009). Lazer ışının geliş gidiş zamanı ile çalışan uzun mesafeli tarayıcılarda lazer ışınının iletimi ve alımı arasındaki zaman farkı (Δt) ölçülerek tarayıcı ile taranan nokta arasındaki mesafe hesaplanmaktadır. Bu tür tarayıcılar, nesne yüzeyinden yansıyan lazer ışını toplamak için kullanılan bir foto diyot ve lazer ışınının salımı ile çalışmaya başlayan ve yansıyan ışının yakalanması ile duran zaman farkının (Δt) belirlenmesine olanak sağlayan çok hassas bir saat mekanizmasına sahiptir (Çömert vd. 2012; Riveiro vd. 2011). Bu tür tarayıcılar ile yapıların ve köprülerin ölçülmesi ve modellenmesi kısa sürede yüksek hassasiyette yapılabilmektedir.

Tarihi Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsünün tarama işleminde FARO Focus 3D X130 lazer tarayıcı kullanılmıştır. Bu lazer tarayıcı lazer ışını geliş gidiş zamanı ilkesine göre çalışmaktadır. GPS donanımına sahip olan bu tarayıcı doğrudan gün ışığında tarama işlemi yapılmasına olanak sağlanmaktadır. Normal ışık ve yansıtma şartları altında 2 mm hassasiyete sahip ve 0.6-130 metre arasında ölçüm yapabilmektedir. Tarayıcı 300 derece düşey eksen ve 360 derece yatay eksen yönünde dönme kabiliyetine sahiptir. Tarayıcı 5.2 kg ağırlığında olup 70 megapiksel renk çözünürlüğüne sahip olup saniyede 976.000 nokta verisi elde edebilmektedir (KGM 2016).

3.7.2. Yersel lazer tarama yönteminin uygulanma süreci

Bu çalışmada, yersel lazer tarama tekniği ile gerçekleştirilen fotogrametrik belgelemenin aşamaları aşağıda sunulmuştur (Şekil 3.31).



Şekil 3.31. Yersel lazer tarama iş akışı

3.7.1.1. Tarama planının hazırlanması ve tarama işlemi

Veri elde etme sürecine başlamadan önce tarama planlamasının yapılması gerekmektedir. Bu aşamada tarama gerçekleştirilecek istasyonların konumları ve sayısı, tarama çözünürlüğü, engeller ve referans sistemi gibi hususların önceden planlanması gerekmektedir. Tarama yapılacak istasyonların konumları tüm köprü yüzeyinin tam olarak kapsanmasını sağlamak için tarama sayısını minimize etmek ve engellerden kaçınmak suretiyle planlanabilir (Riveiro vd. 2011). Tam olarak taranamayan alanlar

(gölgede kalan kritik kesimler gibi) başta olmak üzere tarihi köprüdeki tüm detayların taranmasına olanak sağlayacak şekilde tarama yapılacak istasyon konumlarının özenle belirlenmesi gereklidir. Bu kritik alanlar tonozlar ve köprü orta ayak burnuna yakın alanlardır (Riveiro vd. 2011).

Taramanın konumsal çözünürlüğü, tarama cihazının açısal çözünürlüğü ve konumsal hassasiyetine bağlıdır. Konumsal çözünürlük cihazın maksimum açısal çözünürlüğüyle sınırlanır. Kabul edilebilir doğruluk genellikle belirli bir aralık için nominal bir hataya ve daha sonra nesne ile tarama mesafesine göre büyür (Riveiro vd. 2011).

Bu çalışmada; Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsünün taranmasında köprü detaylarını en hassas çıkarabilecek şekilde 12 istasyon yeri belirlenmiştir (Şekil 3.32). İstasyonlar ile köprü arasındaki mesafeler genellikle 5-8 metre aralığında mümkün olduğunca az tutulmuş ve tarama işleminin açısal çözünürlüğü 0.08° olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.32. Yapının yenileme çalışmaları sonrası tarama yapan istasyonlardan birisi

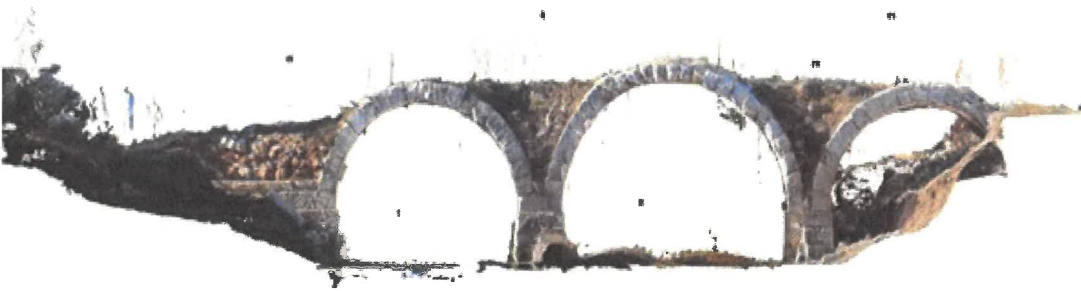
3.7.1.2. Nokta bulutu ve ortofoto görüntü elde edilmesi

Tarama istasyonlarından elde edilen nokta bulutları, köprü detayları dışında çok fazla veriyi içermektedir. Bu sebeple 3D nokta bulutu oluşturmada önce tarama verilerindeki gereksiz noktalar temizlenmektedir. Verilerin temizlenme işleminden sonra farklı istasyonlardan elde edilen nokta bulutları ortak bir koordinat sisteminde birleştirilerek köprüün tamamının tek bir 3D nokta bulutu elde edilmiştir. Elde edilen birleştirilmiş üç boyutlu ve renkli tarama verisi kullanılarak, istenilen plan, kesit ve cephe düzlemlerinde yüksek çözünürlüklü ortofotolar hazırlanmıştır. Plan ve kesit ortofotolarında öncelikli olarak kesit ve plan düzlemlerini gösteren hat ortofotoları alınmış, sonrasında kesitte görünüşe giren yüzeyleri ve planlarda zeminleri gösteren ortofotolar hazırlanmıştır (KGM 2016).

3.7.3. Tarihi yapılarda yersel lazer taramanın önemi

Bu çalışmalar, tarihi yapılara ait mevcut durumun üç boyutlu modellemesinin yapılarak, sonrasında yapılması planlanan yenileme çalışmalarına ışık tutmakla beraber, bu tarihi yapıların herhangi bir durumdan ötürü hasar görmesi ya da yok olması durumunda dijital ortamda arşiv görevi görmektedirler.

Ayrıca bu yöntem sayesinde oluşturulan nokta bulutları katı eleman model haline getirilerek tarihi yapılar üzerine analizler yapılmasına da katkı sağlamaktadır. Analizi yapılacak olan tarihi Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsünün yenileme öncesi yersel lazer tarama ile oluşturulan üç boyutlu nokta bulutu ortofotosu aşağıda gösterilmiştir (KGM 2016) (Şekil 3.33).



Şekil 3.33. Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsü üç boyutlu nokta bulutu ortofotosu

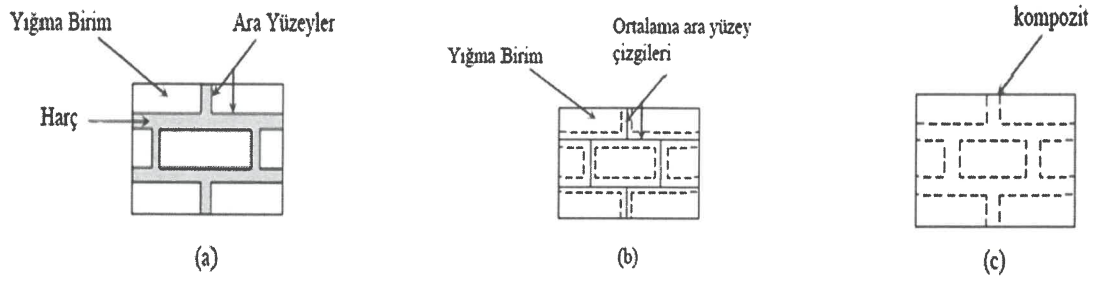
3.8. Tarihi Yapılarda Modelleme Yöntemleri

Sonlu elemanlar yöntemiyle tarihi yığma yapıların modellenmesinde kullanılan eleman ve kabuller, betonarme yapılarda kullanılan kabullerden son derece farklıdır. Betonarme yapılarda tek bir malzeme dikkate alınırken, yığma yapılarda, taş, tuğla gibi yapı malzemelerinin yanı sıra harç gibi farklı bileşenlerin bulunması sonlu elemanlar yöntemini kullanmayı modellemede çok zor kılıyor. Bu durum neticesinde modelleme yapılacaksa, kabullere uygun fakat farklı bir tekniğe ihtiyaç duyulmaktadır. Ya da bu elemanları ayırarak modellemek gerekmektedir. Fakat bu yöntem de bilinmeyen sayısını oldukça artırmaktadır (Ural 2009).

Tarihi yığma yapılarda modelleme yapılırken, makro modelleme ve mikro modelleme olarak iki temel kabul dikkate alınır. Mikro modelleme yönteminde, taşıyıcı yapı malzemesi olan taş veya tuğla ayrı, bağlayıcı etkisi sağlayan harç ayrı modellenir. Bu modelleme, kendi arasında da detaylı ve basitleştirilmiş olmak üzere ikiye ayrılır. Makro modelleme yönteminde ise, yapı malzemeleri ayrı değil, tek bir malzeme gibi kabul edilerek modelleme yapılır (Şekil 3.34).

Yapının büyüklüğüne göre en uygun modelleme tekniği aşağıda sıralanmıştır:

- Detaylı mikro modelleme,
- Basitleştirilmiş mikro model,
- Makro modelleme.



Şekil 3.34. Yığma duvarlarındaki modelleme teknikleri, **a)** detaylı mikro modelleme, **b)** basitleştirilmiş mikro modelleme, **c)** makro modelleme (Lourenço 1996)

3.8.1. Detaylı mikro modelleme

Bu modelleme tekniğinde, yığma duvarı meydana getiren yığma birimlerin ve harcın mekanik özellikleri yani elastisite modülleri, poisson oranları ve elastik olmayan diğer özellikleri ayrı ayrı dikkate alınmaktadır. Bu yaklaşımda çatlakların yığma birim elemanların arasındaki ara yüzeylerde meydana geleceği varsayılmaktadır (Lourenço 1996).

Detaylı mikro modelleme, yığma yapıdaki derz zayıflığının öne çıktığı, düzlemsel bir modelleme türüdür. Titiz bir çalışmayla, tuğla veya taştan oluşan yığma birimler ile bu birimler arasındaki derzleri oluşturan harç ayrı olarak modellenir. Böylece malzemeler arası davranış farklılığı da dikkate alınmış olur. Hem taş/tuğla bloklar hem de harç için modelleme aracı olarak sonlu elemanlar kullanılır (FEM - kabuk ya da katı eleman modelleri). Detaylı mikro modelleme yaklaşımında yığma yapı birimleriyle bağlayıcıların mekanik özellikleri tam olarak bilinmelidir. Dolayısıyla detaylı mikro modelleme öncesinde kapsamlı bir malzeme çalışması yapılması şarttır. Detaylı mikro modellemede, tüm doğrusal olmayan davranış, ara yüzlerde ve olası düşey kırılmalar ise birimin ortasında yoğunlaştırılabilir. Bu yaklaşımda doğal olarak büyük bir hesap yükü ile karşılaşılır. Bu sebepten detaylı mikro modelleme yaklaşımı yerel analizler için yaygın olarak kullanılırken, büyük ölçekli yapının bütünü değerlendiren çalışmalarda tercih edilmemektedir.

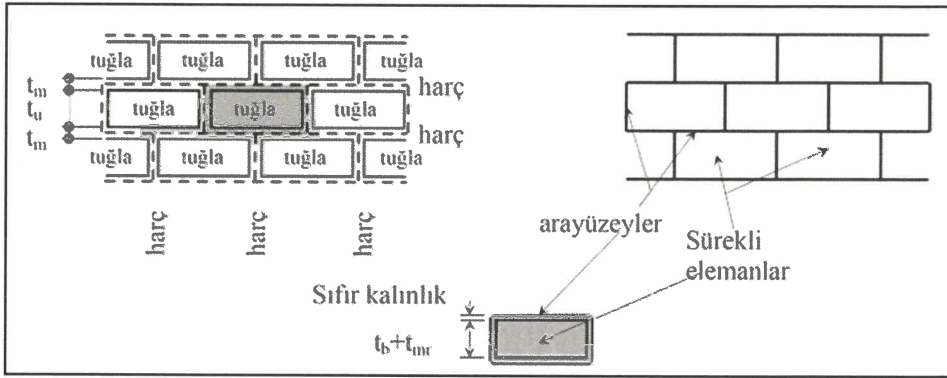
Tam bir detaylı mikro modelde bütün göçme mekanizmaları, yani birleşimdeki çatlaklar, derzde meydana gelebilen kaymalar, yığma birimin kırılması ve ezilmesi şeklinde sayılabilecek davranışlar bulunmalıdır (Lourenço 2000).

3.8.2. Basitleştirilmiş mikro modelleme

Detaylı mikro modelleme tekniği, yığma duvarların gerçek davranışlarının belirlenmesinde kullanılan en ideal modelleme tekniği olsa da, günümüzdeki bilgisayar teknolojisinin durumu da göz önüne alındığında büyük sistemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılamamaktadır. Çok büyük boyutlardaki sistem rijitlik matrisi çözüm süresini uzatmakta ve bilgisayarda büyük sonuç dosyaları üretmektedir. Bu sebepten dolayı daha basit modelleme teknikleri geliştirilmiş ve böylece yığma sistemlerin kısa zamanda daha düşük kapasiteli bilgisayarlarla çözümü mümkün kılınmıştır. Basitleştirilmiş mikro modelleme tekniği de bu tekniklerden birisidir.

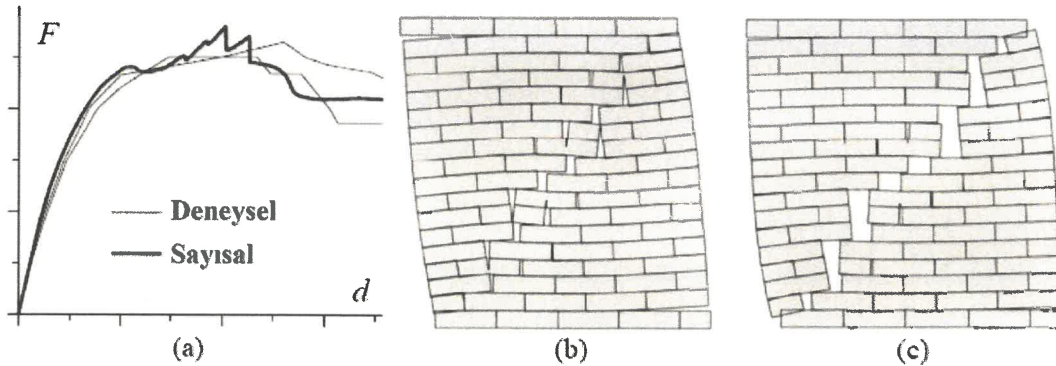
Basitleştirilmiş mikro modelleme tekniği kullanılarak yapılan modellemelerde, muhtemel göçme mekanizmalarının tümünün dikkate alınmamaktadır. Modellemede tanımlanacak olan ara yüzeylerde hem çekme hem de kayma davranışlarının birlikte tanımlanması gerekmektedir. Bu sebeple yapılan kabule göre; yığma duvarlarda meydana gelebilecek olan çekme ve kayma çatlaklarının ve tüm hasarın ara yüzeylerde oluşacağı ve tuğlalarda meydana gelebilecek olan potansiyel çatlakların ise tuğlanın orta kısmında düşey olarak gerçekleşeceği kabul edilmektedir (Ural 2009).

Bu modelleme tekniğinde, yığma birimlerin boyutları, harç tabakası kalınlığının yarısı kadar genişletilerek harç tabakası ihmal edilmektedir. Bu basitleştirilmiş malzeme yaklaşımında, harcın poisson oranı dikkate alınmadığından hassasiyet bir miktar kaybolur. Yığma birimler ortalama ara yüzey çizgisiyle birbirinden ayrılmaktadır. Meydana gelmesi muhtemel çatlakların bu ortalama ara yüzey çizgisinde meydana geleceği kabul edilmektedir (Lourenço 1996). Basitleştirilmiş mikro modelleme tekniği şematik şekilde aşağıda gösterilmiştir (Şekil 3.35).



Şekil 3.35. Basitleştirilmiş mikro model tekniği

Basitleştirilmiş mikro modelleme; ayırık elemanlar (Discrete Elements-DE) veya limit analiz tekniği kullanılarak gerçekleştirilebilir (Şekil 3.36). Ayırık eleman yönteminde, yapı ayrı blokların (katı ya da deforme olabilen) birleşimi olarak kabul edilir. Yöntem büyük yer değiştirme (derzler için) ve küçük şekil değiştirmeler (bloklar için) üzerine kuruludur. Her bir blok geometrik ve malzeme olarak modellendikten ve kuvvetler tanımlandıktan sonra, zamana bağlı hareket denklemleri sayısal olarak çözülür.



Şekil 3.36. Yığma duvarın mikro model analizi: **a)** kuvvet- yer değiştirme diyagramı, **b,c)** maksimum ve nihai yüklerdeki deformasyonlar (Lourenço 2000)

Ayrık elaman metodunda rijit veya şekil değiştirebilen blokların kullanılabilmesi, yüzeyler ve köşe noktaları arasında bağlantı sağlanabilmesi, elemanların birbiri içine girebilme imkânının olması bu metodun en çok dikkat çeken karakteristik özellikleridir. Bu tekniğin önemli bir avantajı ise büyük yer değiştirmelerin yeterli bir yaklaşımla formüle edilebilmesi, sistem elemanlarına bağımsız hareket yapabilme kabiliyeti kazandırır. Olumsuz tarafları ise birim elemanlar arası karşılıklı etkileşimin doğru bir biçimde temsil edilmesi için çok sayıda temas yüzeyi gerektirmesi ve üç boyutlu problemler için çok zaman harcanması şeklinde sayılabilir (Lourenço 2000).

Sonlu elemanlar yöntemiyle ayrık eleman yöntemi birlikte de kullanılabilir. Katı birim elemanlar (tuğla, taş, vb.) sonlu elemanlar yöntemiyle belirlenirken bağlayıcı harçlar için ise ayrık elemanlar yöntemi kullanılmaktadır. Büyük yer değiştirmeler olduğunda bu yöntemi kullanmak zorlaşır. Bu yöntemdeki en büyük zorluk, uygun malzeme parametrelerini, belirlemektir. Tuğla / taş blok ve harç bağlayıcının malzeme özelliklerinin tespit edilmesinde pratikte zorluklar bulunur. Çünkü örme yapıları elemanlar genellikle alçı, sıva gibi malzemeler ile kapatılmaktadır (Saraç 2003).

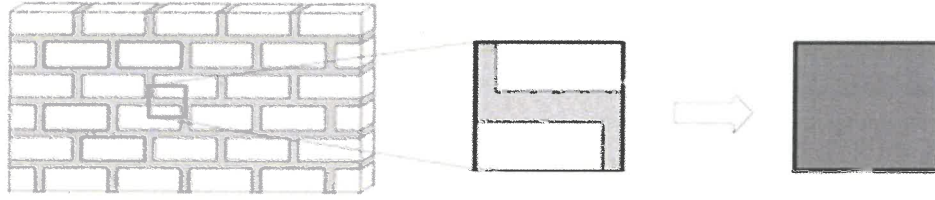
Limit analiz yaklaşımında ise, rijit blokların kullanılması, blokların birbirinin içerisine girmesine izin verilmemesi, optimizasyon sağlayan bir matematik yöntem kullanılması bu yöntemin en çok dikkat çeken özellikleridir. Limit analiz yönteminin avantajları, hızlı analiz yapma imkânı ve tasarımda kullanılabilmesidir. Bu yöntemin olumsuz tarafları ise sadece göçme yükü ve mekanizmanın tespit edilebilir olması ve çekme gerilmelerinin modele dâhil edilmemesidir. Ayrıca yükleme geçmişinin tanıtılması da zorluklar arasında yer alır.

3.8.3. Makro modelleme

Makro modelleme tekniği, mikro modelleme tekniklerinde kullanılan düğüm ve eleman sayısından çok daha az sayıda sonlu eleman gerektiği için büyük yapı sistemlerinin analizlerinde tercih edilmektedir. Bu yaklaşım genellikle karmaşık sistemli yığma yapıların duvar, ayak, payanda, kemer ve tonozlarının modellenmesinde kullanılmaktadır. Ancak bu yaklaşımda çatlak geometrisi, yayılışı ve göçme davranışı hakkında detaylı bir bilgi elde edilememektedir.

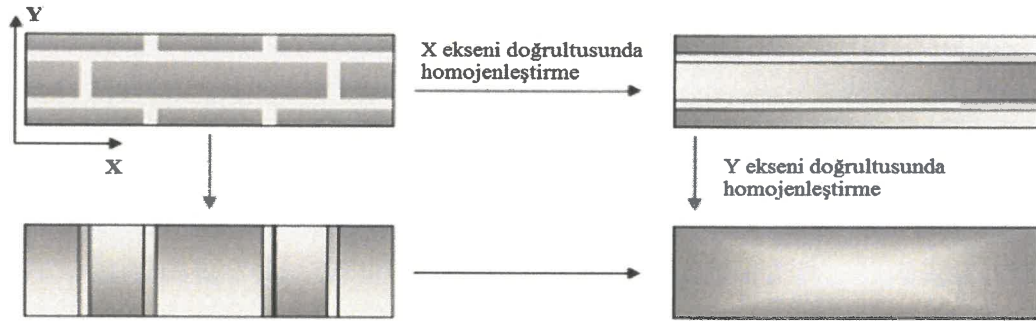
Bu modelleme tekniği, modelleme aşamasında yorumlanacak kabuller ile analizi yapılacak elemanın tasarımını kolaylaştırmasının yanı sıra, verimli sonuçlar da doğurduğundan yöntem olarak değer verilmesi gereken bir yöntemdir.

Bu yaklaşımda, malzeme kompozit kabul edilmekte olup taş veya tuğla ve harç homojenleştirilerek tek bir malzeme özelliğine dönüştürülmektedir (Lourenço 1998). Taş, tuğla ve harç arasında bir ayırım ve farklılık gözetilmeden yığma yapıyı homojen bir anizotrop ortam kabulüyle modelleme esasına dayanır. Aynı zamanda kompozit malzeme teorisi kullanılarak yığma birimin homojen ve izotrop bir malzeme özelliğine sahip olduğu kabul edilerek homojenleştirme işlemi yapılmaktadır (Proske ve Gelder 2009). Bunların yanı sıra Lourenço ve arkadaşları Şekil 3.37’de görüldüğü gibi “Birim hücre metodu” adını verdikleri bir homojenleştirme yöntemi ile yığma birimlerin nümerik modellemesini yapmıştır.



Şekil 3.37. Birim hücre yöntemi ile homojenleştirme işlemi

Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi; yığma duvardan alınan basit bir hücre incelendiğinde, harç ve tuğlanın katılım oranları dikkate alınarak malzeme parametrelerinde kullanılır ve tek bir malzeme olarak kabul edilebilir. Homojen malzeme tanımları doğrultuya göre de seçilebilir. Aşağıda yatay ve düşey doğrultuda yapılmış homojenleştirme işlemi görülmektedir (Şekil 3.38).



Şekil 3.38. İki adımlı homojenleştirme işlemi (Schueremans 2001)

Lourenço, çalışmasında tuğla ya da taş ile harç için elastisite modülü başta olmak üzere diğer malzeme parametrelerinin hesabı için;

$$E_k = (t_h + t_t) / [(t_h/E_h) + (t_t/E_t)] \times \rho_k \quad (3.1)$$

ifadeleri ile verilen bağıntıyı önermektedir. Bu bağıntıda kullanılan E_k , elde edilen kompozit malzeme için eşdeğer elastisite modülü, t_h , harç kalınlığı, t_t , tuğla kalınlığı, E_h , harcın elastisite modülü, E_t , tuğlanın elastisite modülüdür. ρ_k ise tuğla ile harç arasındaki bağın, veya aderansın etkinliğini ifade eden, 0-1 arasında değişen bir katsayı olup ortalama bir yapı için 0.5 kabul edilebilir.

Taş duvarlar için de, bu yöntemle hesap yapılabildiği gibi değişik araştırmacılar farklı yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemler farklı elemanların geometrisi ve malzeme özelliklerini dikkate alan eşdeğer malzeme özelliklerinin belirlenmesine dayanmaktadır. Eurocode8'de ise tuğla ve harçtan oluşan kompozit malzemenin mukavemeti;

$$f_{bk} = K \times f_{\text{tuğla/taş}}^{0.65} \times f_{\text{harç}}^{0.25} \quad (3.2)$$

bağıntısı ile verilmiştir. Burada K, 0.4 ile 0.6 arasında 0.05 adımlarla değişen bir sabiti ifade eder ki bu katsayı yığma yapının morfolojisine bağlıdır (Lourenço vd. 2001).

3.9. Tarihi Yapılarda Modelleme Araçları

Tarihi yapılarda, teknolojinin de gelişmesi ile birlikte bilgisayar destekli tasarım ve elde edilen analiz sonuçları, çözümlere daha kolay ulaşılmasına yardımcı olmaktadır. Özellikle deneyler ile elde edilemeyecek sonuçlar, sonlu elemanlar yöntemini kullanan analiz programları yardımı ile kolaylıkla elde edilmektedir.

Yapı mekaniğinde kullanılan modelleme araçlarının her biri sonlu eleman olarak adlandırılır. Bu elemanlarla yapılacak analizde öncelikle taşıyıcı sistem modeline ait sonlu eleman ağının (mesh) oluşturulması gerekir. Yapıya çeşitli fonksiyonlar sayesinde bir tanımlama gerçekleştirilir. Bu tanımlamada, yapıda analiz edilecek elemanları ve üzerlerine kullanılacak fonksiyonların derecesi konulan tanı neticesinde artar. Yapıda elemanların birleştikleri noktalara düğüm noktası denir. Sonlu elemanlar metodu yapıyı cebrik doğrusal olan denklemlere dönüştürür. Sonlu elemanlar analiz programında kullanılan bazı kavramlar;

- **Düğüm noktası (Joint):** Sistemin dış ortam ile birleştiği veya elemanların birbirleriyle birleştiği noktalardır.
- **Çubuk eleman (Frame):** Gerçek sistemde kesit boyutları uzunluğuna göre küçük olan elemana çubuk eleman adı verilir.
- **Kabuk eleman (Shell):** Yüzeysel taşıyıcı elemanları modellemek için kullanılan elemandır. Üzerine etkiyen bütün yatay ve düşey yükleri iletir. Kabuk eleman, hesaplama yapılırken gerekli sayıda elemana ayrılmalıdır. Bu durum uygulanmadığı zaman sağlıklı bir sonuç elde edilemez. Dolayısıyla kabul elemanları sonsuz sayıda elemanlarla tanımlama bulunulmamalıdır.
- **Katı eleman (Solid):** Her üç boyutta da uzantısı olan, simetrik veya asimetrik yapıya sahip genellikle blok halde hareket eden elemana katı cisim adı verilir.
- **Yüzey eleman (Surface):** Katı cisim gibi her üç boyutta da uzunluğa sahip olabilen, yalnız içlerinden bir boyutta kalınlığa sahip olmayan, katı modellemede yardımcı eleman olarak kullanılırlar.

3.10. Tarihi Yapılarda Analiz Yöntemleri

Tarihi yapıların analizinde, Düşey ve yatay yükler altında statik analiz, Serbest titreşim analizi (modal analiz), Davranış spektrumu analizi ve Zaman tanım alanında analiz olmak üzere dört farklı analiz yönteminden yararlanılabilir.

3.10.1. Düşey ve yatay yükler altında statik analiz

Bir yapının incelenmesi ve analizi söz konusu olduğunda mutlaka gerçekleştirilen bir analiz olan düşey yükler altında statik analiz, düşey yükleme (ölü yükler, hareketli yükler ve kar yükü de dâhil edilebilir) durumlarında yapıda oluşan yer değiştirme ve gerilme durumunu görmek maksadıyla gerçekleştirilir. Genel olarak yapının düşey yükler altında bir problemi olmayacağı beklenir. Fakat bazen yapıda meydana gelen hasarlar,

düşey yüklerin taşınması konusunda da zayıflıklara yol açabilir. Bu durumların statik analizde dikkate alınması ve muhtemel hasar bölgelerinin incelenmesi gerekir.

3.10.2. Serbest titreşim analizi (modal analiz)

Modal analiz yönteminde, yapının serbest titreşim periyotları, mod şekilleri ve kütle katılım oranları belirlenir. Yapı sisteminin davranışına, yapıya ait her bir serbest titreşim modunun katkısının bulunduğu, bu katkıların ayrı ayrı belirlenip, her bir moda ait katkının birleştirilmesi yoluyla yapının dinamik davranışın belirlenmesi esasına dayanan davranış spektrumu analizi, mod birleştirme esasına dayanır. Bu yöntemde yapı kütlelerinin, belirli seviyelerde toplandığı kabulüyle, iki ötelenme ve bir dönme hareketine bağlı olarak yapının davranışı ifade edilir. Matematik olarak sağlam bir temele dayanmasına rağmen, gerçek taşıyıcı sistem davranışını temsil etmek ve açıklamadaki eksiklikleri nedeniyle dikkatli kullanılması önerilen bir yöntemdir. Çoğu zaman modal analiz sonuçlarının, lineer statik analiz sonuçlarıyla karşılaştırılması önerilir.

3.10.3. Davranış spektrumu analizi

Zaman alanında sayısal çözümleme, yer değiştirme veya kesit etkisi gibi bir sistem parametresini zamana bağlı olan değişimini verir. Ancak, taşıyıcı sistemin güvenilirliğinin belirlenmesinde genel olarak bu parametrenin en büyük değeri etkili olur. Bu nedenle, uzun ve yorucu olan sayısal çözümlemeye ihtiyaç kalmadan, deprem hareketinin spektrumu kullanılarak, en elverişsiz değerlerin elde edilmesi önemli ölçüde kolaylık sağlar. Spektral eğriler sadece en büyük değeri verecek şekilde hazırlandıkları ve belirli bir anda çeşitli modların katkılarının bulunmasında yeterli olmadığı için, matematiksel bir yaklaşımın yapılması gerekli olur. Matematik yaklaşımlardan biri olan Mutlak Değerlerin Toplamı (ABS) yönteminde, bütün modların en büyük katkılarının aynı zamanda olduğu kabul edilerek, incelenen parametrenin meydana gelebilecek en büyük değerlerinin üst sınırını elde edilir, ancak bu değer abartılı biçimde büyük çıktığı için genellikle kullanılmaz. Bunun yerine Karelerinin Toplamının Karekökü (SRSS) yöntemiyle elde edilen değer, serbest titreşim frekansları ayrık olan sistemlerde, zaman tanım alanında çözümleme ile elde edilen sonuçlara oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu kuralın sınırlandırmasını kaldıran Tam Karesel Birleştirme (CQC) ise çok daha kapsamlı olup, serbest titreşim frekansları yakın olan sistemler için de kullanılabilir. Modların karşılıklı etkileşimi ihmal edilirse Tam Karesel Birleştirme ile Karelerin Toplamının Karekökü Kuralı üst üste düşer (Celep ve Kumbasar 2004).

Matematik birleştirme yöntemlerinin kullanılmasıyla, sistemin zaman alanında dinamik bir çözümünün yapılmasına ihtiyaç kalmaz. Ancak Modal Spektral Çözümleme Yöntemi'nde de sistemin periyot, sönüm ve mod şekilleri gibi sistemin dinamik özellikleri yanında, depremin dinamik özelliklerini içeren spektrum eğrileri kullanıldığı için, bu yöntem de dinamik bir yöntemdir. Daha önceki deprem kayıtları değerlendirilerek spektrum eğrilerinin hazırlanması ile Modal Spektral Çözümleme Yöntemi'nin başlangıcını teşkil etmek ve böylece zaman tanım alanında adım adım sayısal çözüme göre büyük bir kolaylık sağlamaktadır (Celep ve Kumbasar 2004).

3.10.4. Zaman tanım alanında analiz

Zaman tanım alanında analiz, gerçek bir deprem kaydının esas alınmasıyla yapılır. Bu analiz yönteminde yapıya, söz konusu yer hareketi, hareketin gerçekleştiği sürede yaşatılır. Zaman tanım alanında analiz yöntemi, ayrıntılı araştırmalar veya diğer çözümlerde bulunan sonuçların yorumlanması maksadıyla kullanılmaktadır.

3.11. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yapılan analizlerin doğru yorumlanması, yapıda yenileme ya da güçlendirme safhasında kritik öneme sahiptir. Yapıda gerekli görülen güçlendirme ve yenileme bu yorumlamalara bağlı olarak uygulanır. Fakat bu seviyeden önce, yorumlama aşamasında mutlaka aynı konu üzerinde yapılan diğer çalışmalarla kıyaslama yapılması daha sağlıklı sonuçlar verecektir. Böylece kıyaslama neticesinde ortaya çıkabilecek benzerlik yapıda uygulanacak çalışma açısından daha sağlıklı görüşler sunacaktır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Sillyon Antik Kenti Ayvalıkemer (Sillyon) Köprüsü

4.1.1. Tarihçe

Antalya ili Serik ilçesi sınırları içerisinde bulunur. Roma döneminden kalma bu antik şehir günümüzde Aspendos ve Perge kadar büyük olmasa da, kendisine bu iki antik şehir arasında yer bulmuştur. Edinilen bulgular neticesinde şehrin refah seviyesinin yüksek olduğuna kanaat getirilmiştir. Günümüzde maalesef yıkıntı durumundadır.

Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsü ise kentin biraz dışında akan bir derenin üzerine inşa edilmiştir (Şekil 4.1-2). 37 m uzunluğunda olup, 4.7 m tabliye genişliğine sahiptir. Ortadaki diğer ikisinden daha büyük olmakla üç adet kemer kirişe sahiptir. Köprü'nün uğradığı hasar sonucunda, KGM 13'üncü Bölge Müdürlüğü tarafından orijinaline uygun şekilde restore ettirilmiştir.



Şekil 4.1. Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsü memba yönü



Şekil 4.2. Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsü temel yapısı

4.1.2. Yerleşim alanı depremselliği

Sillyon Antik Kenti ve Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsünü içerisinde bulundurduğu Batı Akdeniz coğrafyası tarihte birçok depreme tanık olmuş ve tarihi yapılar yıkıcı hasarlara maruz kalmıştır (Çizelge 4.1).

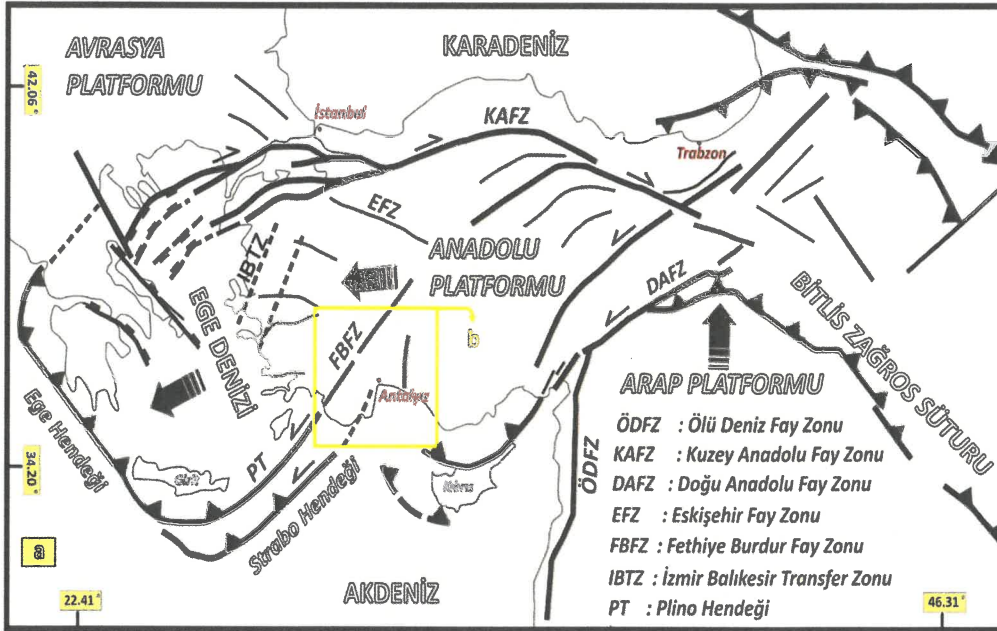
Çizelge 4.1. Güneybatı Anadolu ve yakın çevresinde hissedilen tarihsel dönem depremlerinin dağılımı (Softa vd. 2018)

Numara	Zaman	Lokasyon	Şiddet	Açıklamalar
1 ^a	88-MÖ	38.0781-30.1609	?	
2 ^b	60-MS	37.8000-29.1000	IX	
3 ^a	68-MS	Likya Kıyıları ve Demre	IX	Tsunami
4 ^{ade}	141/142-MS	Myra-Demre	VIII	
5 ^d	144-MS	Fethiye-Kalkan	VIII	
6 ^f	240-MS	Myra-Arycanda	?	
7 ^d	344-MS	Rhodos	IX	
8 ^a	494-MS	37.8383-29.0866	IX	
9 ^{ac}	529/530-MS	Myra	VIII	
10 ^e	1609-MS	Rhodos	IX	Tsunami
11 ^e	1741-MS	Rhodos	VIII	Tsunami
12 ^c	1743-MS	Antalya	?	Tsunami
13 ^e	1756-MS	Doğu Akdeniz	V	
14 ^b	1759-MS	Akdeniz Kıyıları	VIII	
15 ^b	1849-MS	Akdeniz Kıyıları	VI	
16 ^b	1857-MS	36.800-28.300	VI	
17 ^b	1869-MS	36.800-27.900	VIII	
18 ^b	1885-MS	37.800-28.200	IX	
19 ^b	1887-MS	Akdeniz Kıyıları	VII	
20 ^b	1896-MS	36.5000-28.000	X	
21 ^b	1897-MS	36.8000-28.3000	VI	

(Bayburtluoğlu 2003), kendi çalışmalarında tüm batı Akdeniz kıyısı boyunca yüksek şiddetle meydana gelen deprem neticesinde büyük hasarlar meydana geldiğini dile getirmiştir.

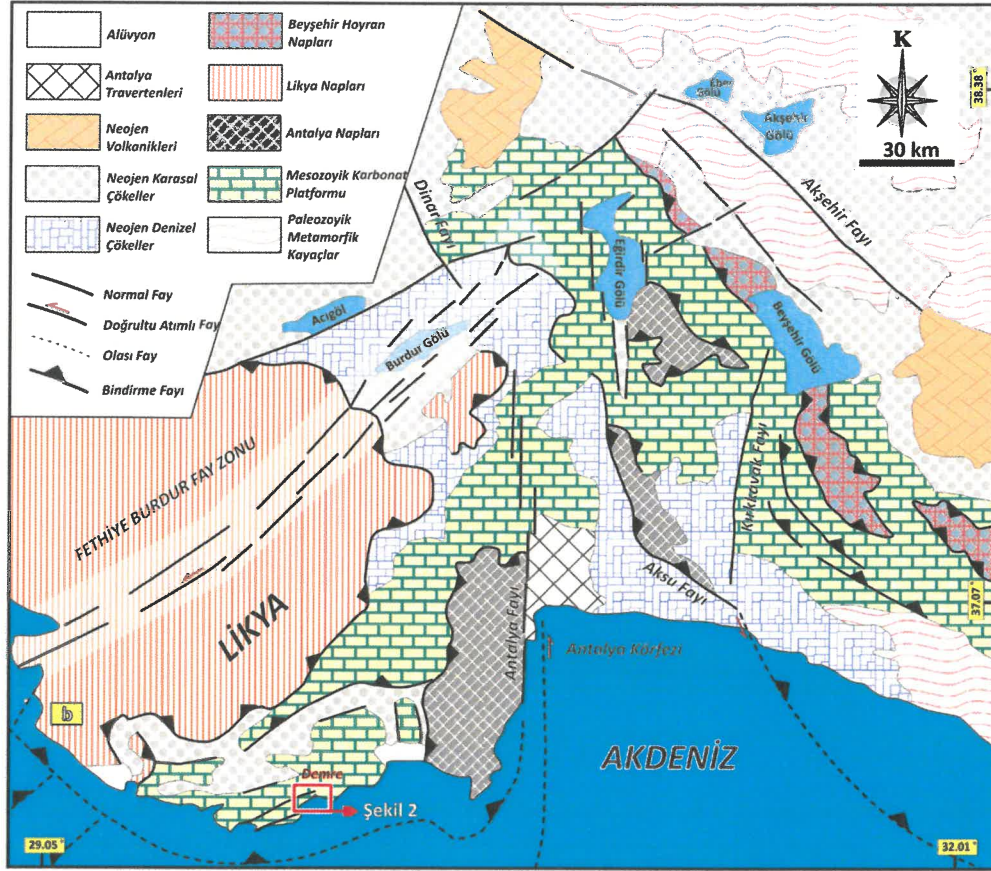
(Guiooni vd. 1994); (Ötüken 1996) ve (Duggan 2004), Myra antik kentinde M.S. 529 yılında meydana geldiklerini düşündükleri büyük bir depremde korkunç hasar bıraktığını ifade etmişlerdir. Bununla beraber bu depremten tüm batı Akdeniz kıyı şeridinin yoğun bir şekilde etkilendiğini ve bu depremlerin ilerleyen zaman içerisinde yeniden oluştuğuna dair bulgular sunmuşlardır.

Anadolu ve Akdeniz bölgeleri zemin yapılarına ait çeşitli literatür çalışmaları yapılmıştır. Bu bölgelere ait tektonik katmanlar ve jeolojik harita aşağıda bulunan şekillerde gösterilmiştir (Softa vd. 2018) (Şekil 4.3-4).



Şekil 4.3. Anadolu ve Akdeniz bölgesinin ana tektonik yapıları

1743, 1759, 1849, 1858, 1887 ve 1911'de depremler Antalya ve Rodos kıyılarını etkilemiştir (Duggan 2004). 1969 ve 1975 yıllarındaki depremlerde ise bütün Akdeniz kıyı şeridi, özellikle Kaş, Kalkan, Rodos ve etrafı çok yoğun biçimde etkilenmiştir (Duggan 2005).



Şekil 4.4. Güneybatı Türkiye'nin jeolojik haritası

4.1.3. Hasar türleri ve tespiti

Köprü'nün üst döşeme kaplaması ve korkulukları günümüze ulaşmamış olup, taş temel in su seviyesi altında kalması nedeniyle su yüzeyinden izlenebildiği kadarıyla malzeme kayıpları, akarsu ve taşıdığı alüvyonlara bağlı taş yüzeyinde oluşmuş, renk değişimi ve bazı bölümlerinde tümüyle yok olmuşluk izlenmiştir (Şekil 4.5). Köprüye ait yapı elemanlarında tespiti yapılan bozulmalar, bozulmanın niteliğine göre aşağıda sınıflandırılmıştır:

- Köprü yapı mimari elemanlarında izlenen malzemeye dayalı bozulmalar
 1. Ayak
 - i) Malzemede oyuklanma
 - ii) Yüzey kaybı (5 cm'den az)
 - iii) Yüzey kaybı (5 cm'den fazla)
 - iv) Malzeme kaybı
 - v) Kabuklanma
 2. Tempan duvarı
 - i) Malzemede oyuklanma
 - ii) Yüzey kaybı (5 cm'den az)

- iii) Yüzey kaybı (5 cm'den fazla)
- iv) Malzeme kaybı

3. Kemer giriş

- i) Malzemede oyuklanma
- ii) Yüzey kaybı (5 cm'den az)
- iii) Yüzey kaybı (5 cm'den fazla)
- iv) Kabuklanma
- v) Kılcal çatlak
- vi) Taş malzemede yerinde oynama
- vii) Parça kopması
- viii) Malzeme kaybı
- ix) Orijinal merkezinden deplase olmuş taş örgü kemer

4. Döşeme kaplaması

- i) Malzeme kaybı

• Köprü Yapı Mimari Elamanlarında İzlenen Dış Faktörlere Dayalı Bozulmalar

1. Ayak

- i) Kabuklanma-yosunlaşma
- ii) Toprak birikintisi

2. Tempan duvarı

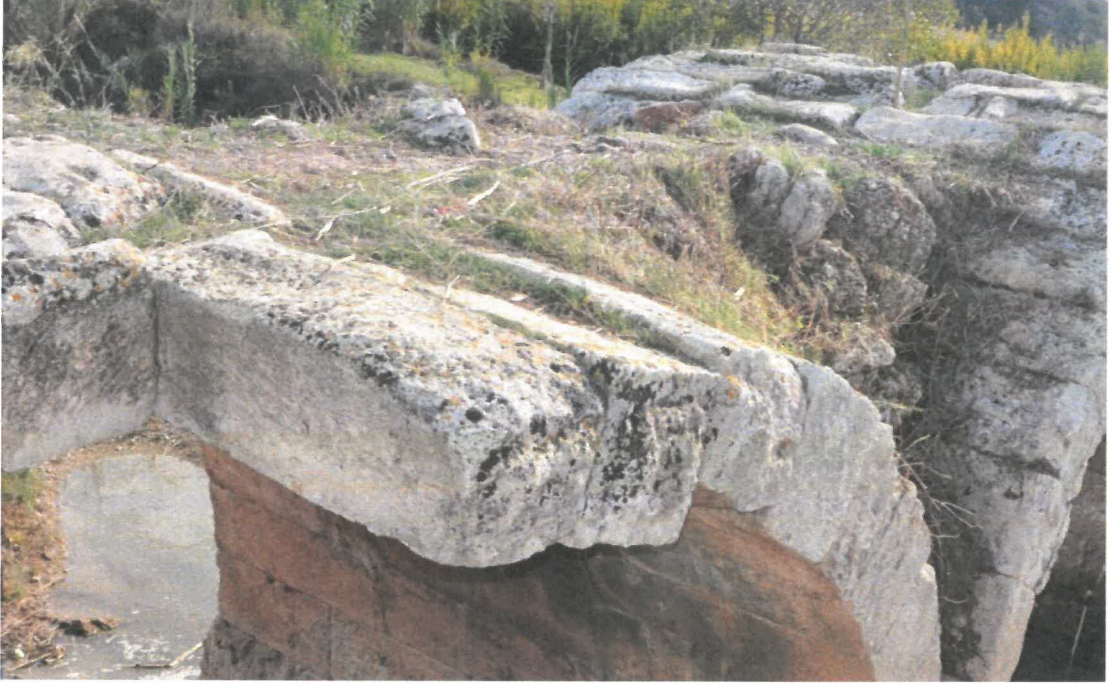
- i) Bitkilenme
- ii) Toprak birikintisi

3. Kemer giriş

- i) Atmosferik kirlenme ve renk değişimi
- ii) Tuzlanma

4. Döşeme kaplaması

- i) Bitkilenme
- ii) Toprak birikintisi



Şekil 4.5. Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsü bitkilenme ve malzeme kaybı

4.1.4. Restorasyon planı ve uygulaması

Köprünün üç adet kemeri, kısmi malzeme kayıpları dışında korunarak günümüze ulaşmış olduğundan malzeme kayıpları tamamlanarak yeniden tasarımlama projesine aktarılmıştır. Mansap yönü güney doğu kemerin toprak altında kalan kısmı da, kemer formuna uygun olarak kesme taş malzemeyle kaplanmıştır (Şekil 4.6). Aynı durum kemerin oturduğu taş ayak içinde söz konusudur (Şekil 4.7).



Şekil 4.6. Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsü mansap cephesi

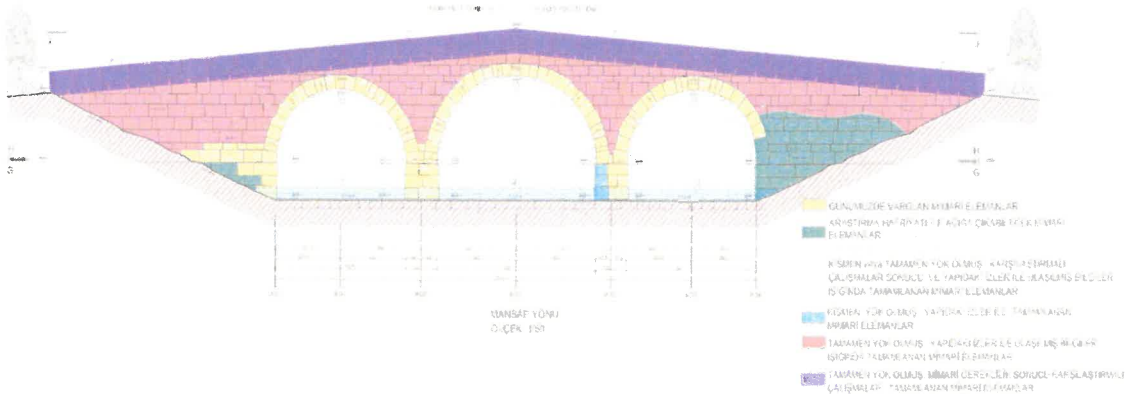


Şekil 4.7. Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsü tempan duvarı ve sel yaran

Kaba yonu kesme taş kaplamalı tempan duvarları ise güney batı kemerin her iki yüzünün alt kısmı ile 1'inci kemer ve 2'inci kemer arası kısmi kaplama dokusu hariç tümüyle yok olmuştur. tempan duvarlarının yok olması nedeniyle, kaplama arka kısmındaki moloz taş dolgu dokusu ve toprak malzeme görülmektedir.

Mevcut tempan duvarı kaplaması dikkate alınarak, mansap ve memba cepheleri kesme taşla kaplanmıştır. Günümüze ulaşan aynı özellikli Roma dönemi köprülerinde de benzer bir düzenleme mevcuttur. Köprü'nün orta kemerinin her iki yanında, ayaklara oturan iki adet sel yaran, güneydoğu kısımda yer alanın kısmi malzeme kaybı dışında, korunarak günümüze ulaşmıştır.

Mevcut özgün dokusuyla sel yaranlar yeniden tasarımlama projesine yansıtılmıştır (Şekil 4.8). Güney batı kemer alt kısmında, kesme taş temel katmanı mevcut olup, diğer kemer açıklıklarındaki taş temel ise, az sayıda bölümü dışında tümüyle yok olmuştur. Mevcut özgün taş temel kurgusu, yok olmuş ayak etrafı ve kemer açıklıklarına da aktarılarak, düzenlenmiştir.



Şekil 4.8. Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsü mansap yönü yeniden tasarımı projesi

Köprüye ait yenileme projesi, yapının özgün dokusu bozulmadan korunarak, yaşatılabilmesi amacıyla, rölöve analiz paftalarıyla birlikte tespit edilen sorunların kaynaklarının ortadan kaldırılması, yok olan bölümlerinin yeniden tasarımı projesinden gelen verilerle birlikte tamamlanarak, gerekli müdahale önerilerini kapsamaktadır. Onarıma başlanmadan önce iskele kurularak, köprü askıya alınmış, onarıma yönelik imalatlara askılama sonrasında başlanmıştır (Şekil 4.9). Taş yüzeylerde görülen kabuklanma ve yosunlaşmalar küçük el aletleri ile mekanik olarak temizlenmiştir. Tüm taş yüzeylerde gözlemlenen, kararma, kirlenme ve mikrobiyolojik oluşumların temizliği de mekanik olarak yapılmıştır.

Mevcut taş temel katmanı ile hafriyat sonucunda ortaya çıkarılacak taş temelde, mevcut taş bloklarda, özelliğini kaybetmiş bölümler çürütülerek aynı cins ve renk de malzemeye tamamlanmış, eksik olan taş temel ise hafriyatla ulaşılan temel kalınlığında, yenileme projesinde öngörüldüğü şekilde, yine aynı cins malzemeye tamamlanmıştır. Kemerlerin oturduğu ayakların eksik olan bölümleri de özgün malzeme ve formuna uygun olarak yenilenmiştir. Ayak iç kısmında muhtemel görülen boşalmalar için kontrollü bir şekilde hidrolik kireç enjeksiyonu yapılmıştır.

Köprüün temel, ayak, kemer, tempan duvarı ve sel yaran gibi yapı elemanlarının günümüze ulaşmış bölümlerindeki yaklaşık 5 cm derinliğe kadar taş yüzeyinde oyuklanmalar ve yüzey kayıpları şeklinde görülen bozulmalara, her hangi bir malzeme müdahalesinde bulunulmamış, bu bölümler temizlenerek, olduğu gibi korunmuştur. Köprü etrafında, köprü yapı elemanlarından koparak düşmüş dağınık halde bulunan taş malzemeler köprü tamamlamalarında, uygun düşen bölümlerde kullanılmıştır. Yeni ve eski tüm taş yüzeylere nefes aşabilen su itici malzeme sürülmüştür.

Tempan duvarı üst kısmında yenileme projesinde verilen detay doğrultusunda kesme taş ilavesi yapıp, üzerine öneri projesi doğrultusunda 30 cm derinlik ve 70 cm yüksekliğinde özgün taş renk ve dokusuna uygun kesme taş malzemeye, korkuluk imalatı tamamlanmıştır.

Köprünün araç trafiğine kapatılması için, kuzey doğu girişine yenileme projesine uygun olarak taş baba dikilmiş, güney batı girişinde ise taş kaide üzerine köprü kitabesi yerleştirilmiştir. Bu işlemlerin ardından yenileme çalışmaları tamamlanmıştır (Şekil 4.10).



Şekil 4.9. Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsü mansap yönü restorasyon uygulaması



Şekil 4.10. Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsü memba yönü restorasyon uygulaması

4.1.5. Yersel lazer tarama ile nokta bulutlarının oluşturulması

Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsü yenileme çalışmalarının tamamlanmasının ardından, ortaya çıkan son yapı yersel lazer tarama yöntemi ile nokta bulutu haline getirilmiştir. Bu nokta bulutu dosyası, Autodesk Recap programına aktarılmıştır (Şekil 4.11-13). “Recap” dosyasındaki yapının, katı eleman modeli haline getirilmesinde ön çalışma böylece başlamıştır.



Şekil 4.11. Köprü restorasyon sonrası yersel lazer tarama yoluyla edinilen mansap yönü nokta bulutu dosyası



Şekil 4.12. Köprü restorasyon sonrası yersel lazer tarama yoluyla edinilen memba yönü nokta bulutu dosyası

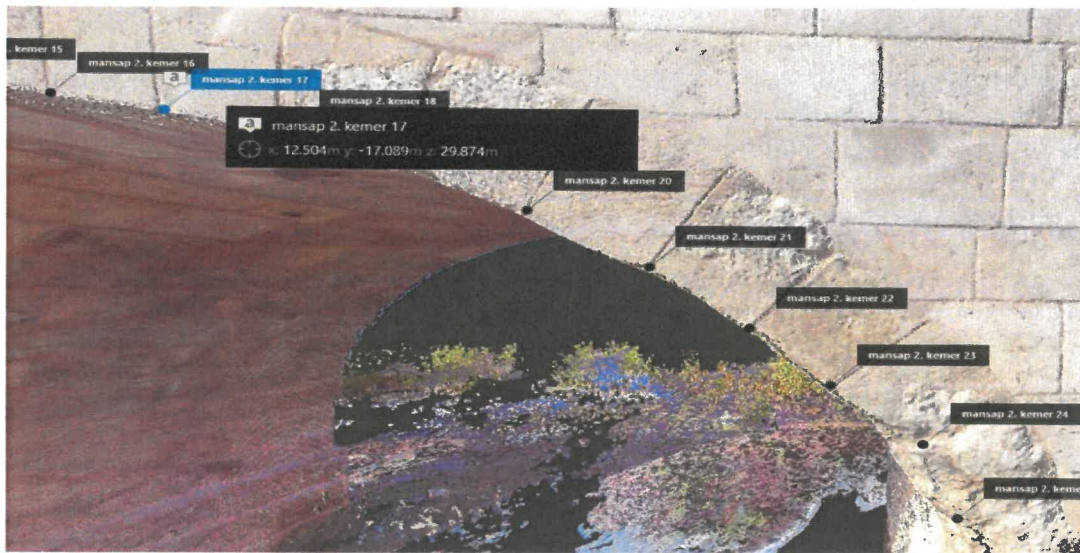


Şekil 4.13. Köprü restorasyon sonrası yersel lazer tarama yoluyla edinilen kuş bakışı nokta bulutu dosyası

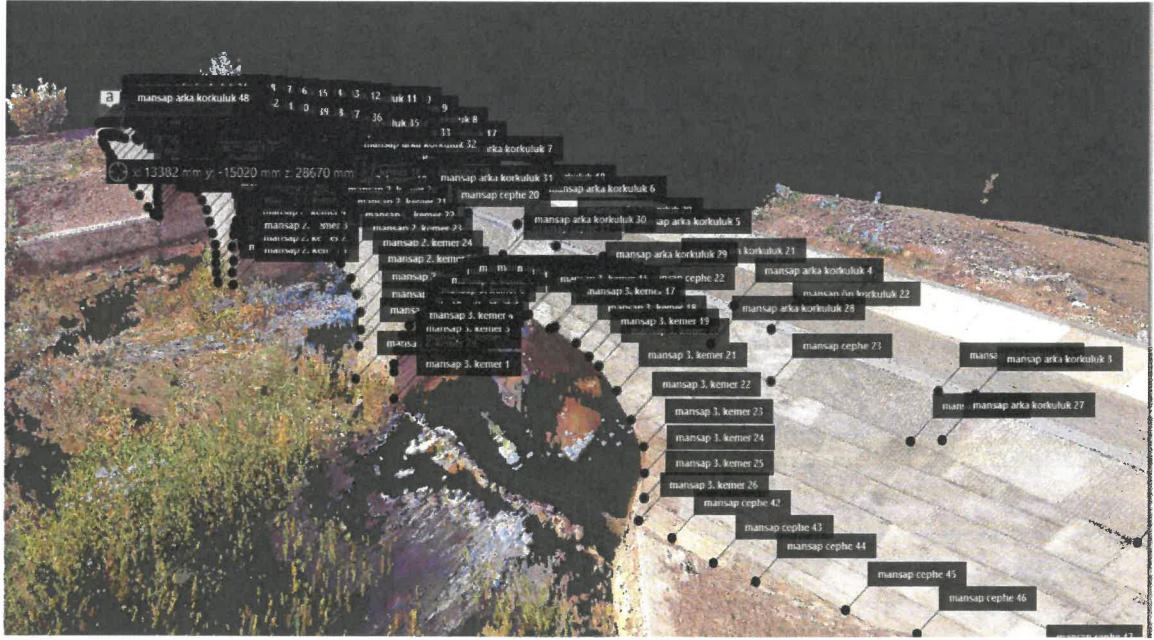
4.1.6. Makro modelleme için ön çalışma

Yersel lazer tarama yöntemi neticesinde oluşturulan nokta bulutu dosyaları yardımıyla ABAQUS (Student Edition)'e aktarılacak katı eleman modelinin oluşturulmasında çeşitli adımlar izlenmiştir (ABAQUS Tutorials 2019; Simulia ABAQUS 2014).

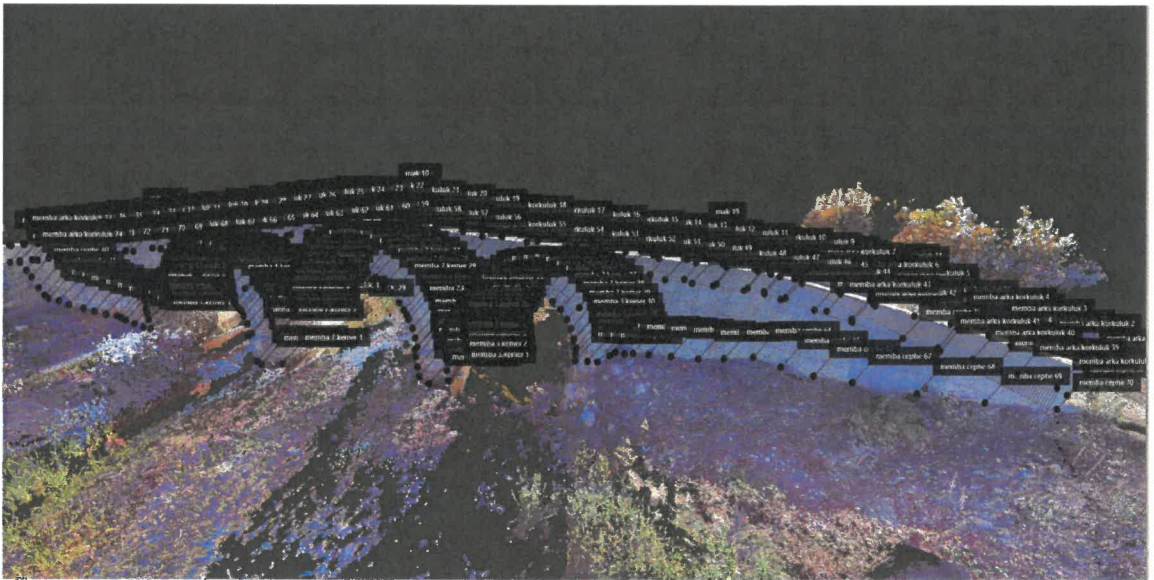
Öncelikle, tarihi köprüye ait nokta bulutu dosyasında, yapıyı birebir modellemek adına memba ve mansap cephelerinden ayrı ayrı olmak üzere kemerler, korkuluklar, temeller, kıvrımlar ve tüm yüzeylerden gerekli görülen noktalar belirlenerek 3 boyutlu koordinatlamalar yapılmıştır (Şekil 4.14-16). “Recap” dosyasında seçilen her bir nokta mahallere ve sayılara ayrılarak Excel’e aktarılmıştır. Oluşturulan koordinat dosyaları mahallere net bir şekilde ayrılarak ayrıca renklendirilmiştir. Sözü edilen Excel tabloları EK-5 te görülmektedir.



Şekil 4.14. Nokta bulutundan rastgele seçilen mansap 2’inci kemer 17 numaralı noktaya ait koordinatlar



Şekil 4.15. Mansap cephesine ait nokta bulutu dosyasında seçilen koordinatlar

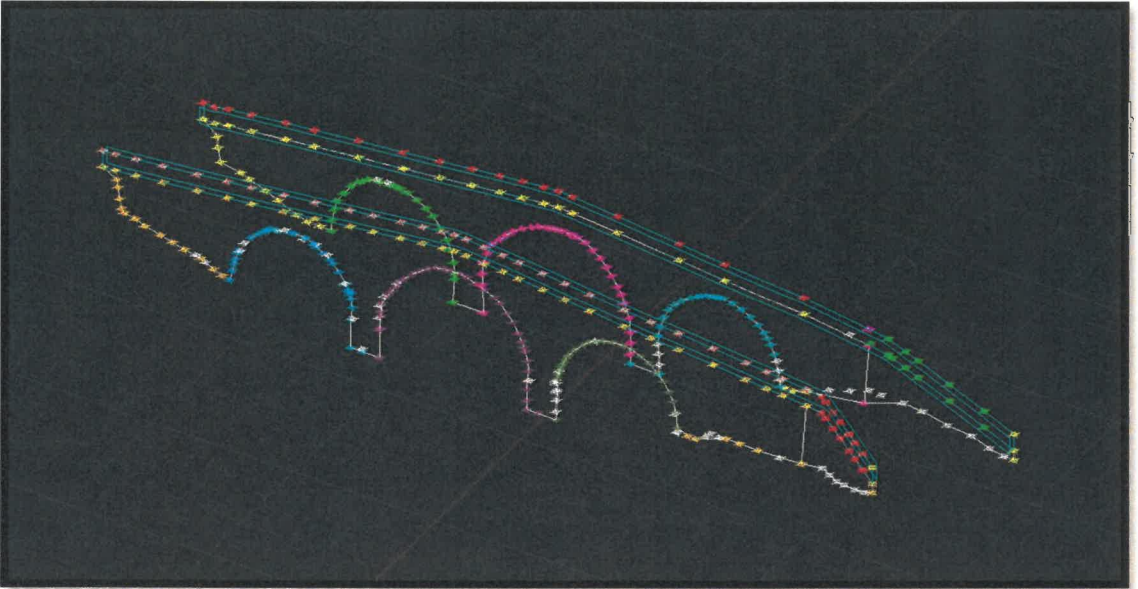


Şekil 4.16. Memba cephesine ait nokta bulutu dosyasında seçilen koordinatlar

Koordinatları Excel’e işlenen tüm memba ve mansap noktalarına ait veriler daha sonra, Auto-CAD 3D’ye aktarılarak analizi yapılacak katı eleman modelinin oluşturulmasında bir adım daha geride bırakılmıştır (Şekil 4.17). Aktarılan noktalar Excel tablolarındaki renklendirmeye paralel renklendirilmiştir. Noktalar aktarılmasını takip eden durumda Auto-CAD 3D içerisinde “3DPOLY” komutu kullanılarak, noktalar tek tek birleştirildikten sonra yapı iskeleti ortaya çıkmıştır (Şekil 4.18).

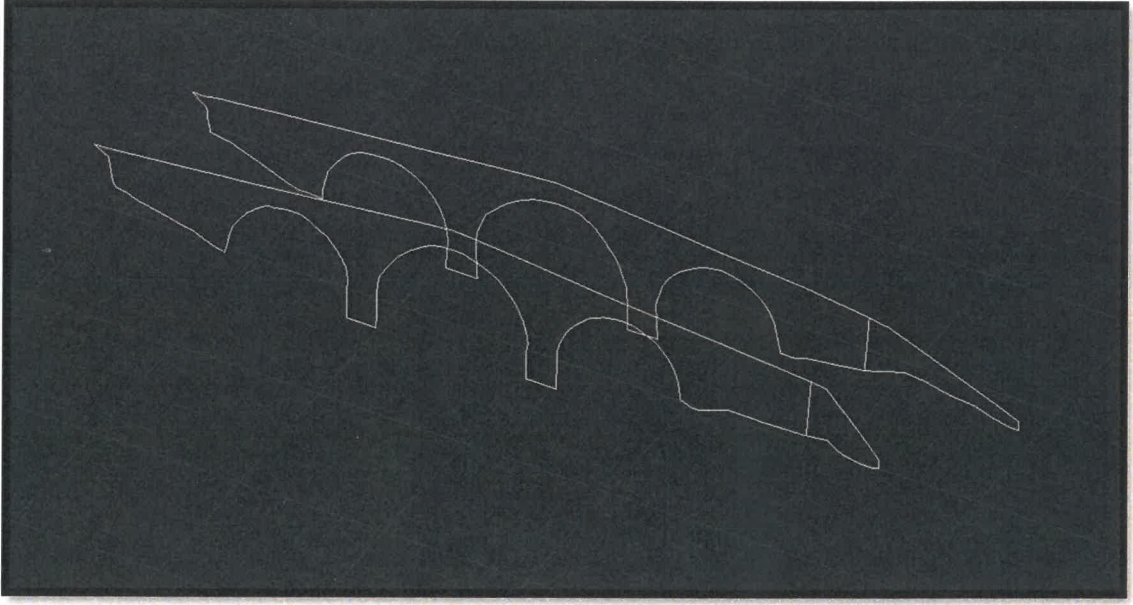


Şekil 4.17. Auto-CAD 3D’ye aktarılan koordinatlı noktaların perspektif görünüşü



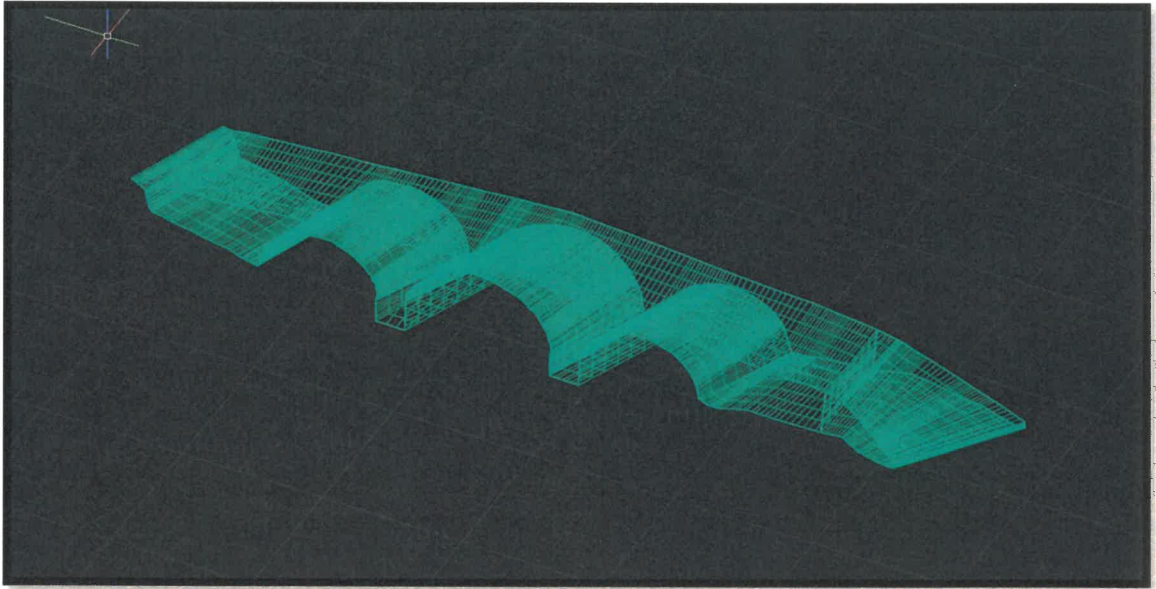
Şekil 4.18. Koordinatlı noktalarla oluşturulan iskeletin perspektif görünüşü

Auto-CAD 3D’de iskelet çizimin oluşturulmasından sonra, yüzey modelleme aşamasına geçilmiştir. Yüzey modellemede öncesinde oluşturulan çizgilerin tek parça olması modellemenin daha kolay elde edilmesinde önem arz etmektedir. Aşağıda memba ve mansap cepheleri yüzeylerine ait tek parça çizim görülmektedir (Şekil 4.19).



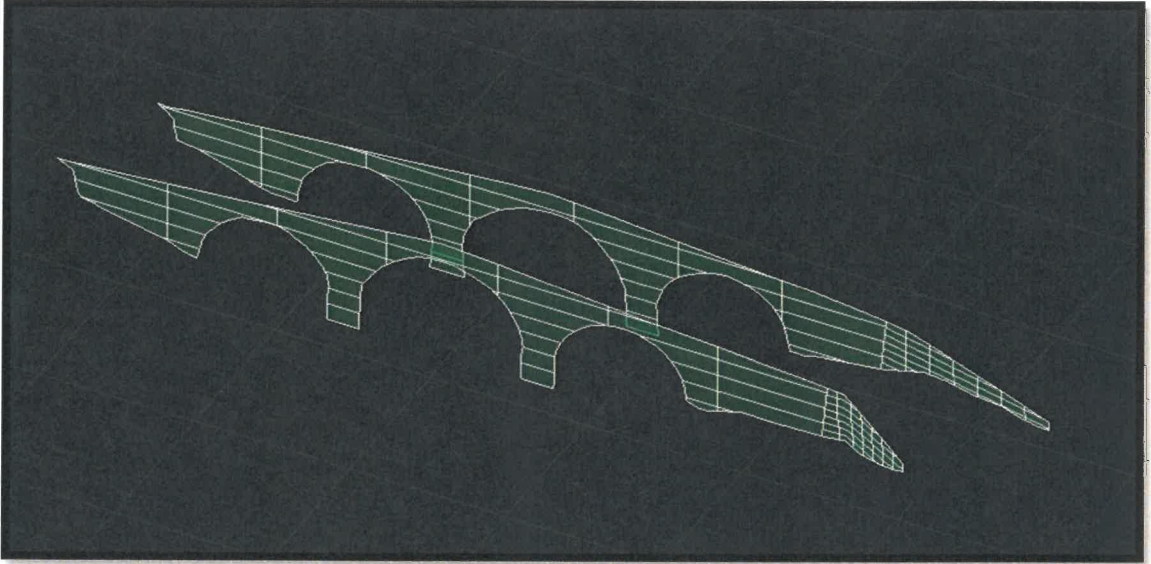
Şekil 4.19. Memba ve mansap cepheleri yüzeylerine ait oluşturulan çizgiler

Yüzey çizgilerinin oluşturulmasının ardından, Auto-CAD 3D’de “SURFACE” ana komutu altında bulunan “LOFT” komutu yardımı ile memba ve mansap cephelerine ait iki yüzeyin arasında bulunan düzlemsel alan yüzey olarak oluşturulur (Şekil 4.20). Bu aşamada karşılaşılabilecek sorunlar öncesinde noktasal ve çizgisel modellemede dikkatli olunmalıdır.



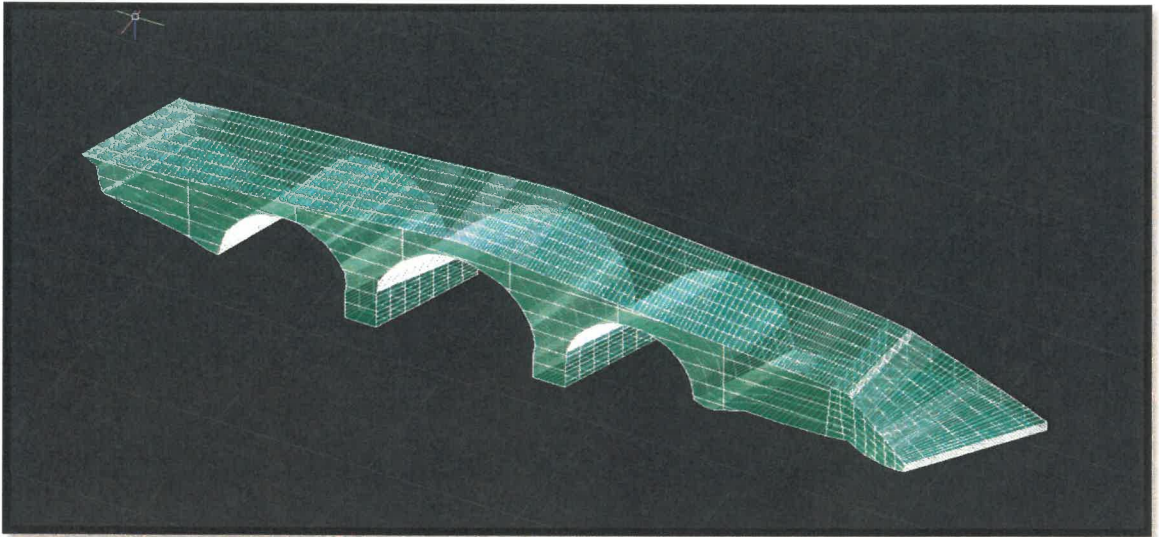
Şekil 4.20. “LOFT” komutu ile yapıya ait ara yüzey modeli

Ara yüzeyin oluşturulmasının ardından memba ve mansap cephelerine ait düzlemsel çizgiler kullanılarak yüzeylerin oluşturulması gerekir. Auto-CAD 3D’de “SURFACE” ana komutu altında bulunan “PATCH” komutu ile her iki çizgi düzlemsel olarak yüzey olarak modellenmiştir (Şekil 4.21).

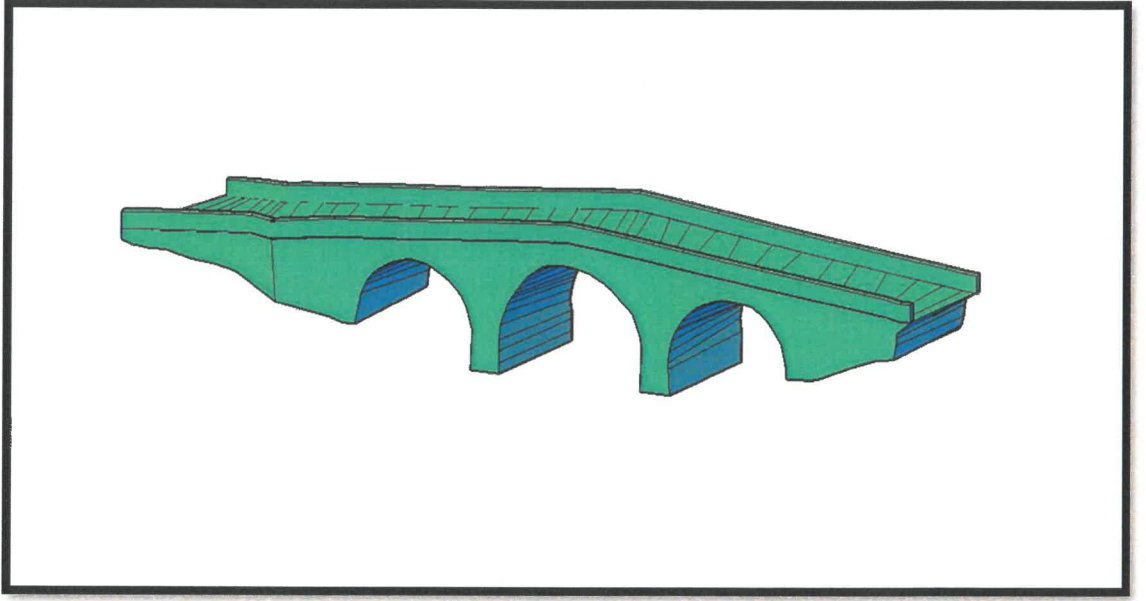


Şekil 4.21. “PATCH” komutu ile oluşturulan memba ve mansap cepheleri yüzey modeli

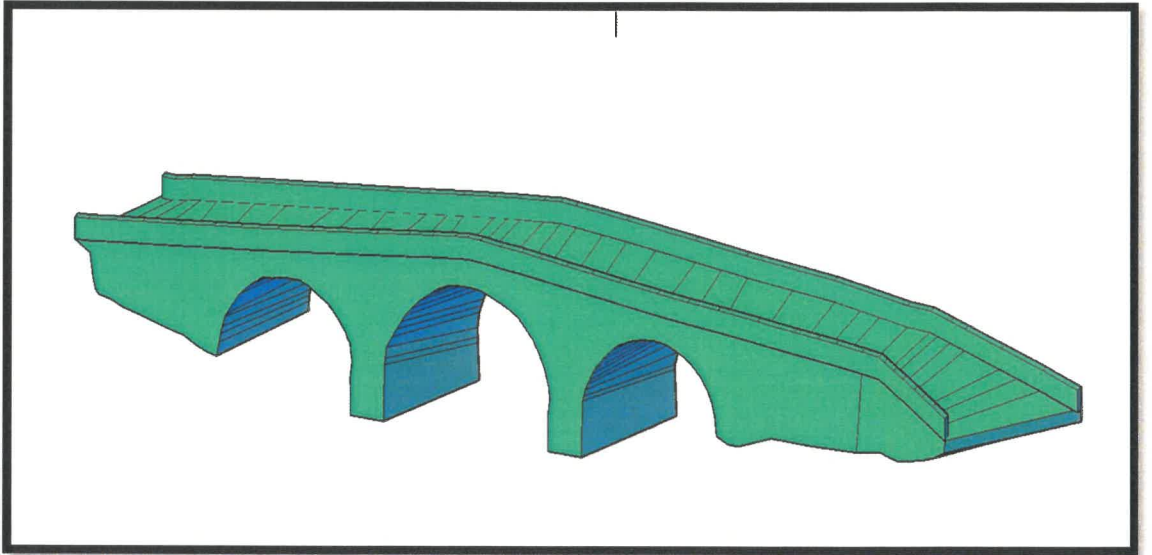
Tüm yüzeylerin oluşturulmasının ardından modeli, ABAQUS’e aktarmadan önce, son olarak Auto-CAD 3D’de “SURFACE” ana komutu altında bulunan “SCULPT” komutu ile tüm model seçilerek katı model duruma getirilmiştir (Şekil 4.22). Böylece tüm köprü tek parça şekilde makro modelleme öncesi istenilen durum elde edilerek, analize uygun modelleme oluşturulmuştur (Şekil 4.23-25).



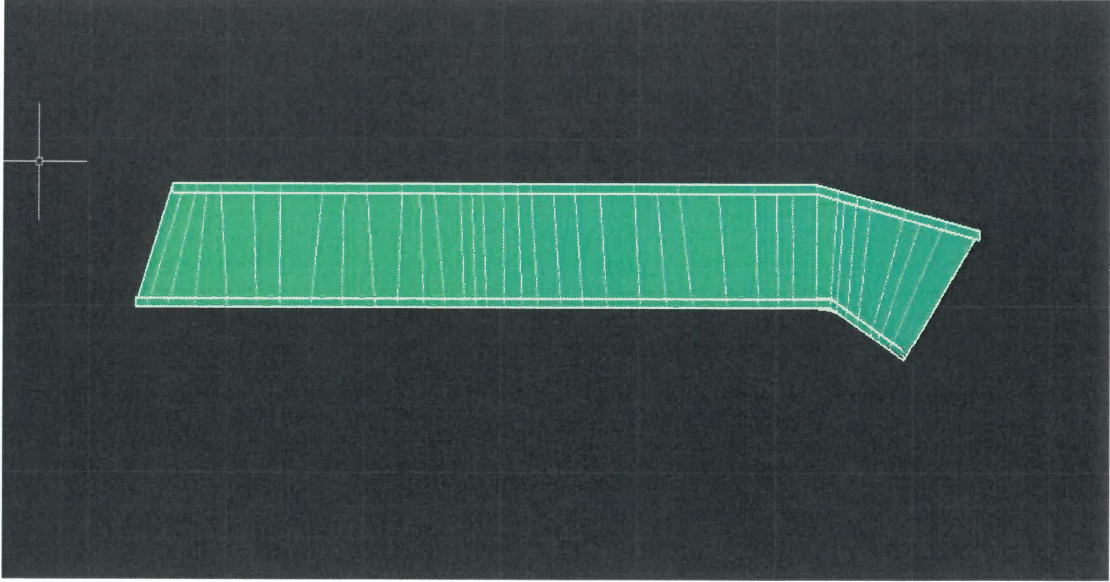
Şekil 4.22. “SCULPT” komutu ile oluşturulan katı eleman modeli



şekil 4.23. Mansap yönüne ait oluşturulan katı eleman modelinin perspektifi



şekil 4.24. Memba yönüne ait oluşturulan katı eleman modelinin perspektifi



Şekil 4.25. Oluşturulan katı eleman modelinin kuş bakışı görünüşü

4.1.7. Makro modelleme için malzeme ve yük kabulleri

ABAQUS'e aktarılan katı eleman modelin, makro modelleme yöntemi ile yapılması planlanan analizler öncesi mekanik özelliklerinin, dikkate alınacak yüklerin ve kabul edilecek yük kombinasyonlarının program kütüphanesine işlenmesi gerekiyor.

ABAQUS'e herhangi bir veri girişi yapmadan önce programın dikkate aldığı birim cetveli aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. ABAQUS birim cetveli

Büyükklük	SI	SI (mm)
Uzunluk	m	mm
Kuvvet	N	N
Kütle	kg	ton (10^3 kg)
Zaman	s	s
Gerilme	Pa (N/m^2)	MPa (N/mm^2)
Enerji	J	mj (10^{-3} J)
Yoğunluk	kg/m^3	ton/mm^3

Katı eleman modeli haline getirilen Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsünün modellemesi mm cinsinden yapıldığı için, programa girilecek tüm değerler SI (mm) başlığı altındaki değerler cinsinden işlenecektir.

Deney sonuçlarından elde edilen veriler neticesinde traverten taşına ait elastisite modülü, dikey ve yatay deney sonuçlarının aritmetik ortalaması olarak kabul edilmiştir. (Çizelge 4.3). Restorasyonda kullanılan traverten taşına ait mekanik özellikler aşağıdaki çizelgelerde ve EK-1’de verilmiştir (Çizelge 4.4).

Malzeme elastisite modülü, tarihi yapılarda modelleme yönteminde de değinildiği üzere, yapıyı oluşturan malzeme ve malzemelerin birbiri ile aderansını sağlayan harcın kompozit bir yapıya büründüğü kabul edilerek, Lourenço’ya ait denklemle yeniden hesaplanacaktır (Çizelge 4.5). Denklemden kullanılan traverten taşı kalınlığı 30 cm, bağlayıcı madde kalınlığı ise 1 cm olarak kabul edilmiştir.

Traverten taşına ait poisson oranı ise yayınlanan makalede, yapılan deneysel çalışmalar sonucu 0.3 olarak dikkate alınmıştır (Çelik ve Çobanoğlu 2019).

Çizelge 4.3. Traverten taşı elastisite modülleri ve yoğunluğu

E_t -ortalama (GN/m ²)	E_t -dikey (GN/m ²)	E_t -yatay (GN/m ²)	g (ton/mm ³)
30.8	26.4	35.2	2.304×10^{-9}

Çizelge 4.4. Traverten taşı basınç gerilmesi değerleri

σ ortalama (kg/cm ²)	σ paralel (kg/cm ²)	σ dikey (kg/cm ²)	σ ortalama (N/mm ²)
373.1	427.5	318.7	36.5886

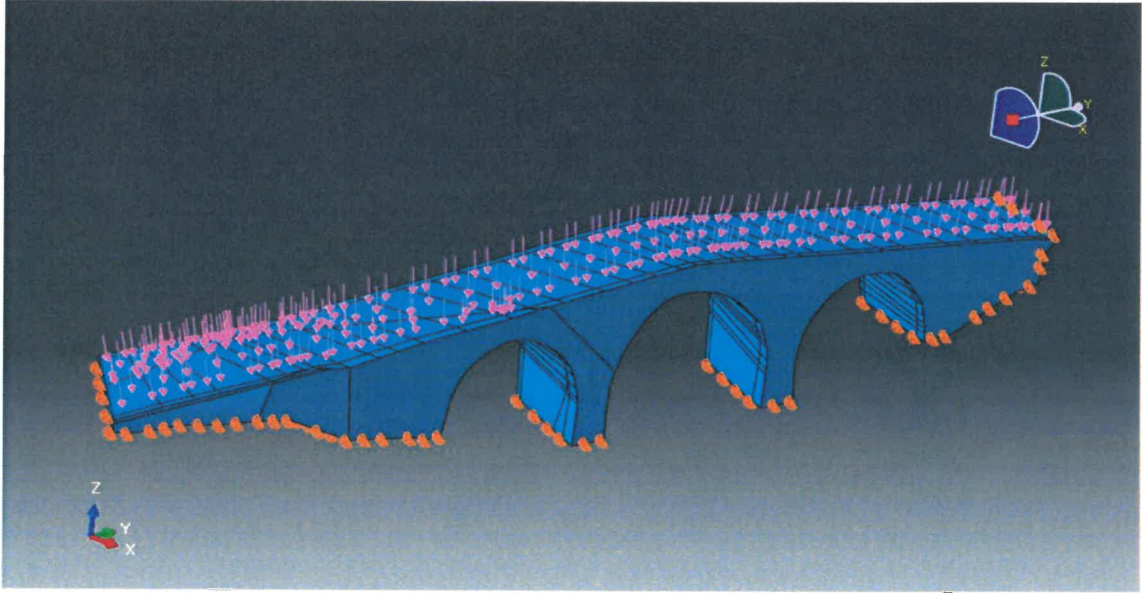
Çizelge 4.5. Analizlerde kullanılacak elastisite modülü hesap tablosu

E_k (N/mm ²)	t_h (mm)	t_t (mm)	E_h (N/mm ²)	E_t (N/mm ²)	ρ_k
14.954×10^3	10	300	1.6×10^4	3.08×10^4	0.5

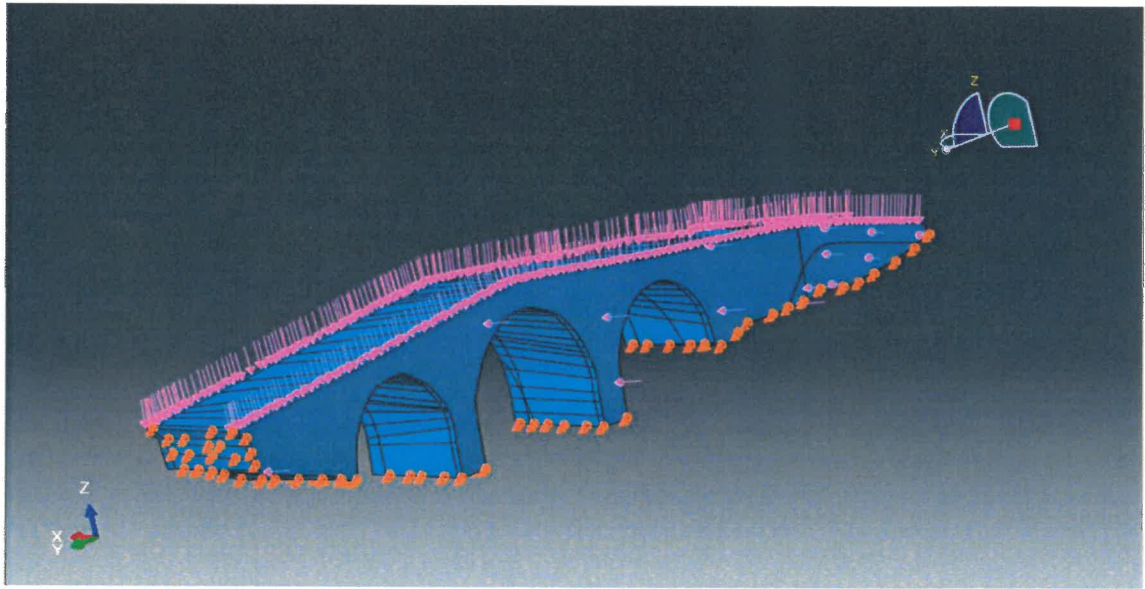
Analizde kabul edilen hareketli yükler ve yer çekimi etkisine ait yük kabulleri ise aşağıdaki tabloda verilmiştir (Çizelge 4.6). Yüklemelere ait gösterimler ise aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir (Şekil 4.26-27).

Çizelge 4.6. Analizlerde kullanılacak yük miktarları

Hareketli yük (Q) (N/mm ²)	Nehir yükü (S) (N/mm ²)	Yer çekimi ivmesi (g) (mm/sn ²)
0.001471	0.0490333	9810



Şekil 4.26. ABAQUS'te etki ettirilen hareketli yük gösterimi



Şekil 4.27. ABAQUS'te etki ettirilen korkuluk ve nehir yükleri gösterimi

Modelleme yapılması ve programa aktarılmasının ardından, sonlu eleman ağının (mesh) oluşturulması konusunda ortaya çıkacak sorunlar önceden öngörülerek, yapıya ait korkuluklar modellemeye dikkate alınmamıştır. Fakat bunun neticesinde korkuluk yükleri hesaplanarak yapıya memba ve mansap yönlerinde etki ettikleri yüzey alanları doğrultusunda etki ettirilmiştir.

Bu çalışmada, büyük yapı ölçeğinde mikro ve makro modelleme yöntemleriyle elde edilen sonuçların karşılaştırılması hedefiyle yola çıkılmıştır. Mikro modelleme aşamasında her ne kadar taş birim elemanların modellenmesi tamamlanmış olsa da bu tip

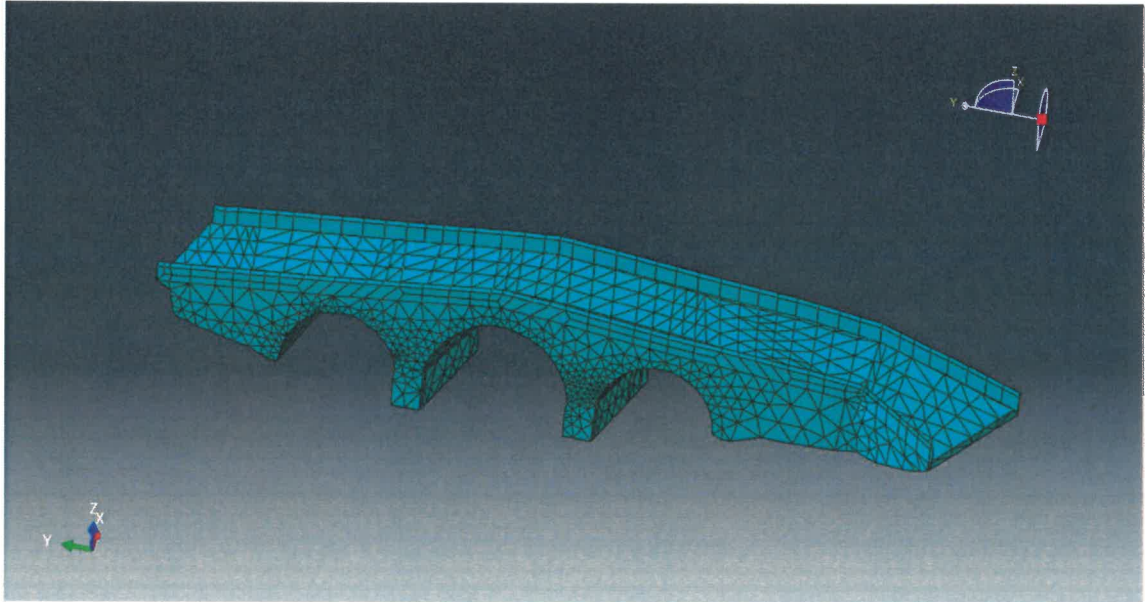
modelleme için önemli olan ve taş bloklar arası etkileşimin tanımlandığı uygun ara yüz elemanlarının belirlenmesi sonucunda programa yeterli bilgi girişi yapılmıştır. Bununla birlikte analiz öncesi yapı geometrisinin bilgisayar ortamına aktarılmasının ardından kabul edilen yük kombinasyonları aşağıdaki tabloda belirtilmiştir (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7. Makro modellemede kullanılacak yük kombinasyonları

Kombinasyon	Analiz tipi	Analiz adı
G	Statik	TEZ-SON-G
G+Q	Static	TEZ-SON-GQ
G+S	Static	TEZ-SON-GS
G+Q-50 Mod	Serbest titreşim	TEZ-SON-MOD50
G+SPECX	Davranış spektrum	TEZ-SON-SPECTRUM50X
G+SPECY	Davranış spektrum	TEZ-SON-SPECTRUM50Y
G+SPECZ	Davranış spektrum	TEZ-SON-SPECTRUM50Z
G+SPEXYZ	Davranış spektrum	TEZ-SON-SPECTRUM50XYZ

4.1.8. Makro modelleme ile yapısal analiz

Tarihi yapıların kapsamlı olarak analizi, makro modelleme teknikleriyle mümkün olup bu sayede analiz sonrası yapının yük taşıma kapasitesi, göçme mekanizması, hasar görebilme olasılığı gibi doğrusal ötesi davranış özelliklerinin belirlenmesi mümkün olmaktadır. Ancak bu analiz tipinin sonuç verebilmesi, kullanılan bilgisayar yazılımının kabiliyetine, davranışa uygun birim ve ara yüz eleman seçimine ve analizin yapıldığı bilgisayar sistemini gücüne doğrudan bağlıdır. Makro modelleme yöntemiyle tasarlanan köprünün sonlu elemanlar modeli aşağıda gösterilmiştir (Şekil 4.28).

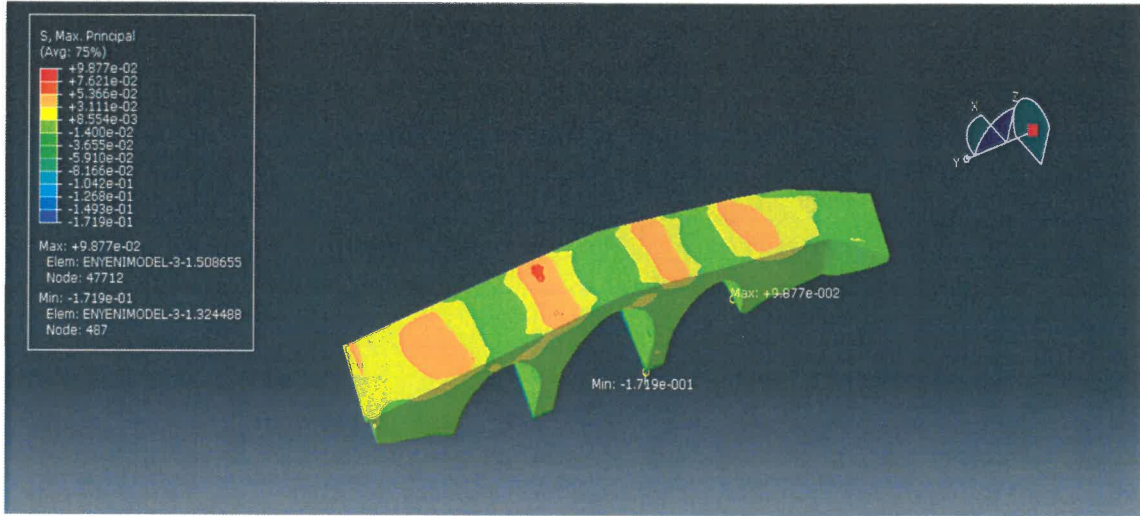


Şekil 4.28. ABAQUS'te sonlu elemanlar modeli perspektif görünüşü (mesh ağı)

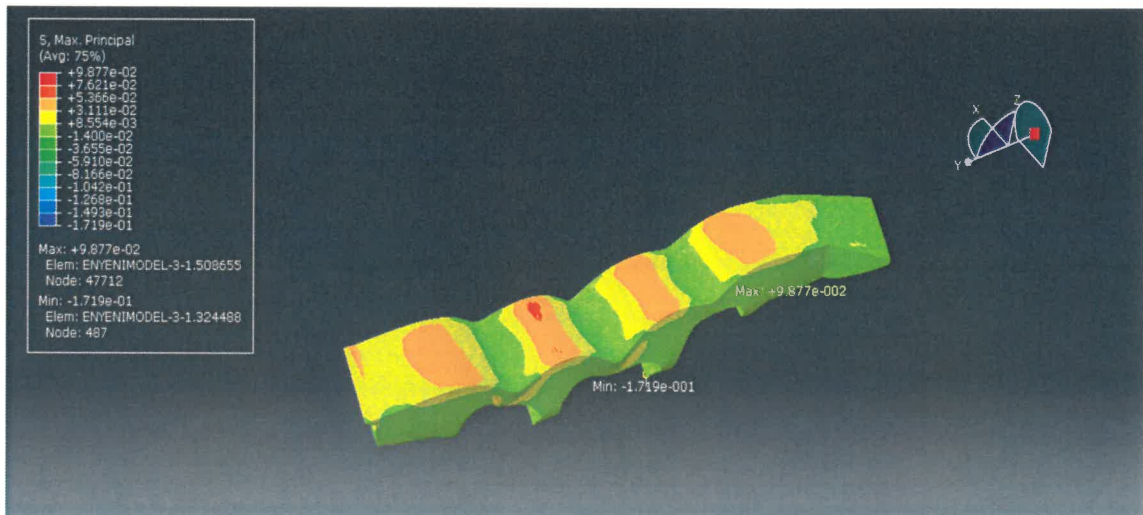
4.1.9. Düşey ve yatay yükler altında statik analiz

Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsünün düşey ve yatay yükler altında statik analizi, zati ve hareketli yükler altındaki gerilme dağılımının elde edilmesi, oluşabilecek çatlakların yerlerinin tespiti açısından önemlidir. Deprem, rüzgar gibi yatay yüklerin hesaba katılmadığı bu yükleme aslında yapının olağan yükleme halidir ve sorunsuz olarak taşıması beklenmektedir. Statik analizlerde ölü ve hareketli yükler hesaba katılır. Ölü yükler olarak yapının kendi ağırlığı, hareketli yükler olarak ise yapının üzerinden geçecek yüklemeler ve köprüye memba cephesinden etki edecek nehir yükü dikkate alınmıştır. Standart “earth gravity” komutu ile $9.81 \times 10^3 \text{ mm/s}^2$ ’lik yerçekimi ivmesi yapı kütlesine etki ettirilmiştir.

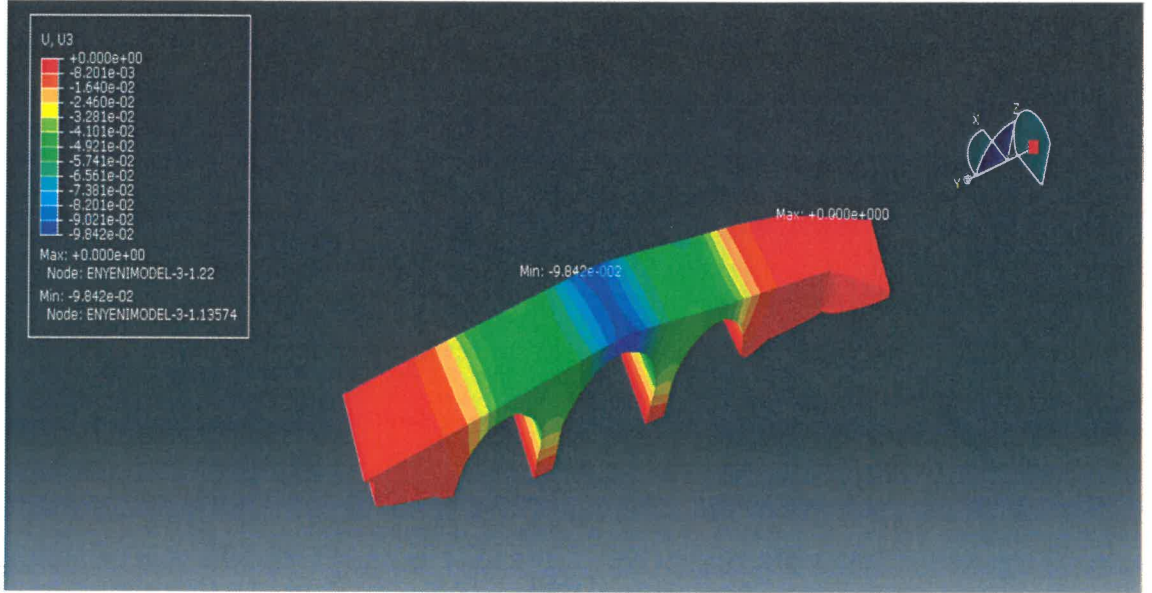
Bu yüklemeler neticesinde, elde edilen gerilme ve yer değiştirmelere ait analiz sonuçları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir (Şekil 4.29-40).



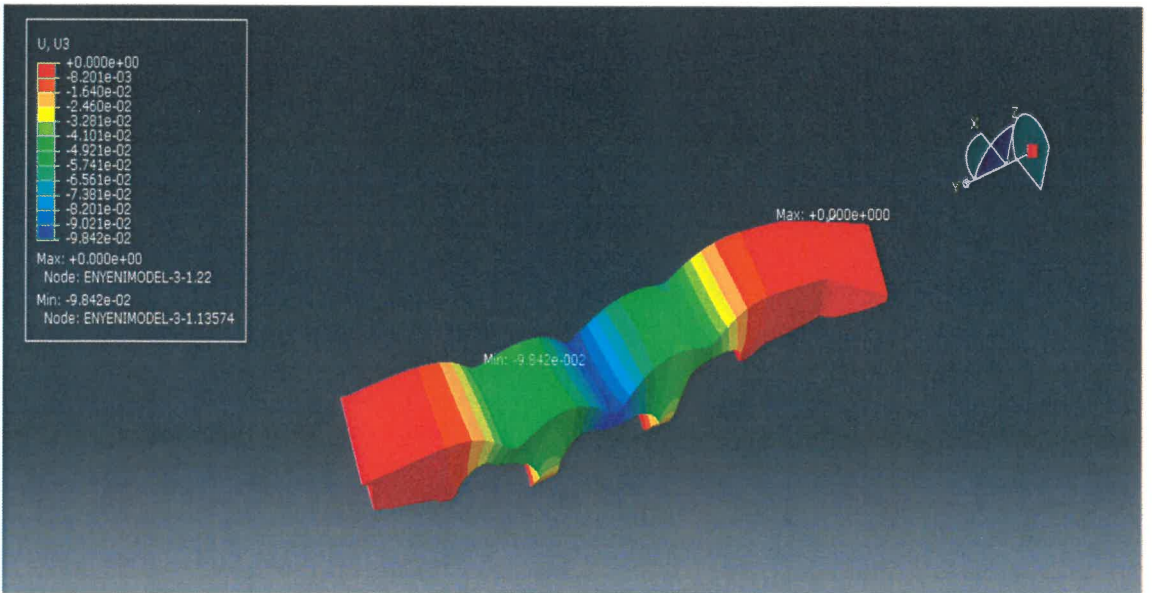
Şekil 4.29. Statik analiz etkisinde deforme olmamış gerilme modeli (G yüklemesi)



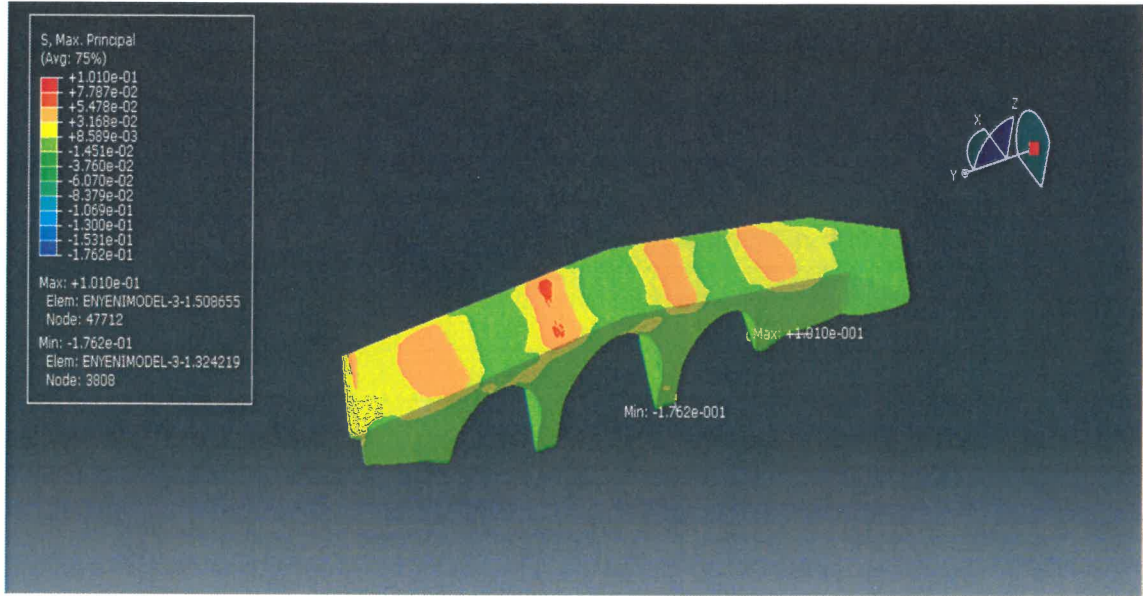
Şekil 4.30. Statik analiz etkisinde deforme olmuş gerilme modeli (G yüklemesi)



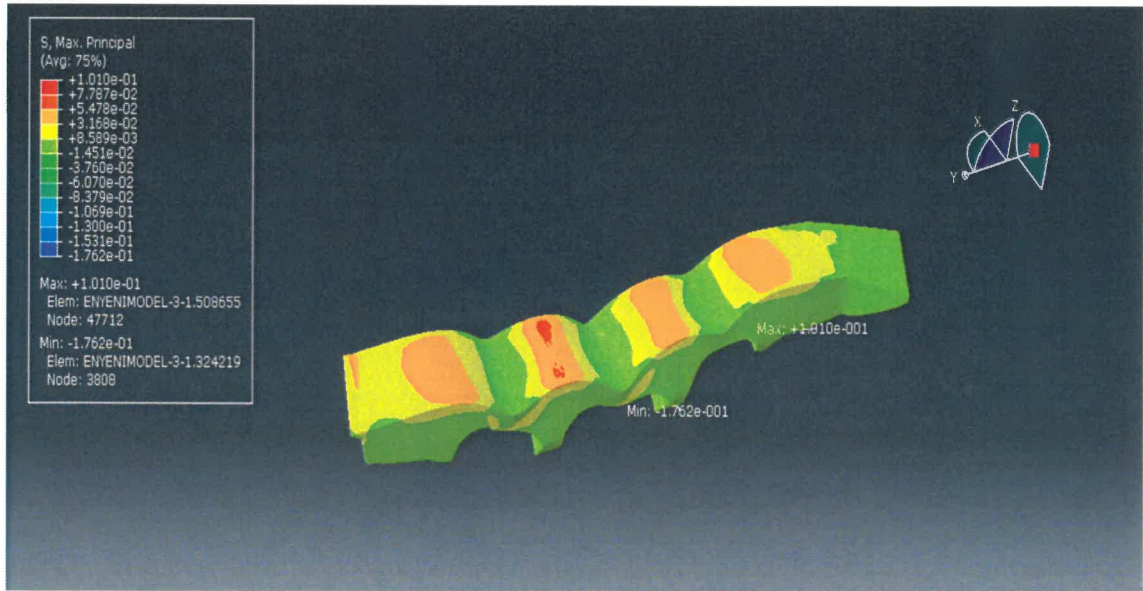
Şekil 4.31. Statik analiz etkisinde deforme olmamış yer değiştirme modeli (G yüklemesi)



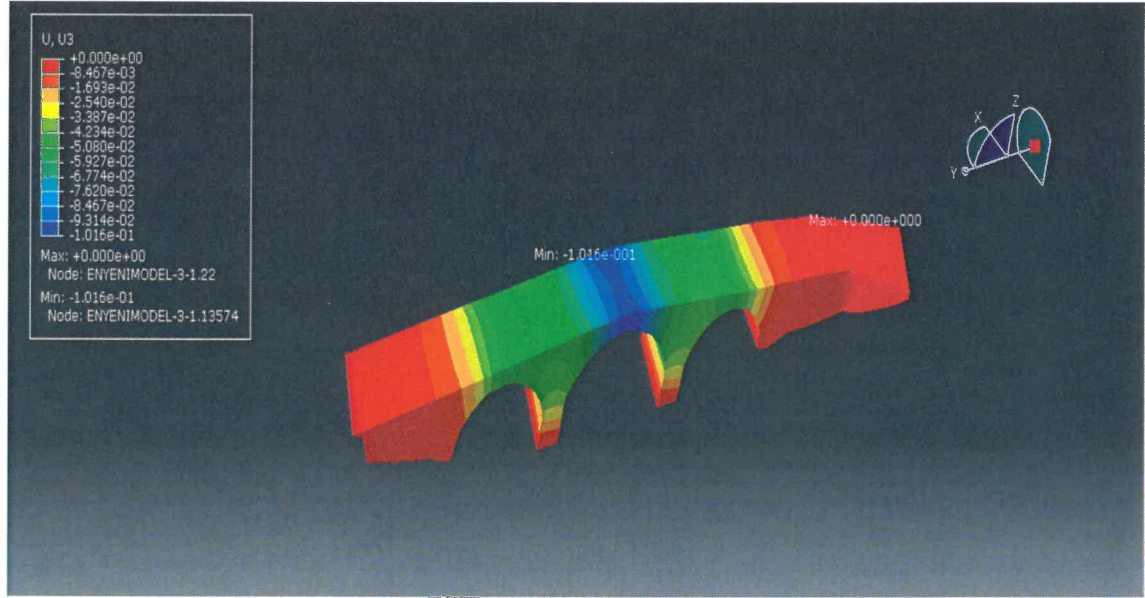
Şekil 4.32. Statik analiz etkisinde deforme olmuş yer değiştirme modeli (G yüklemesi)



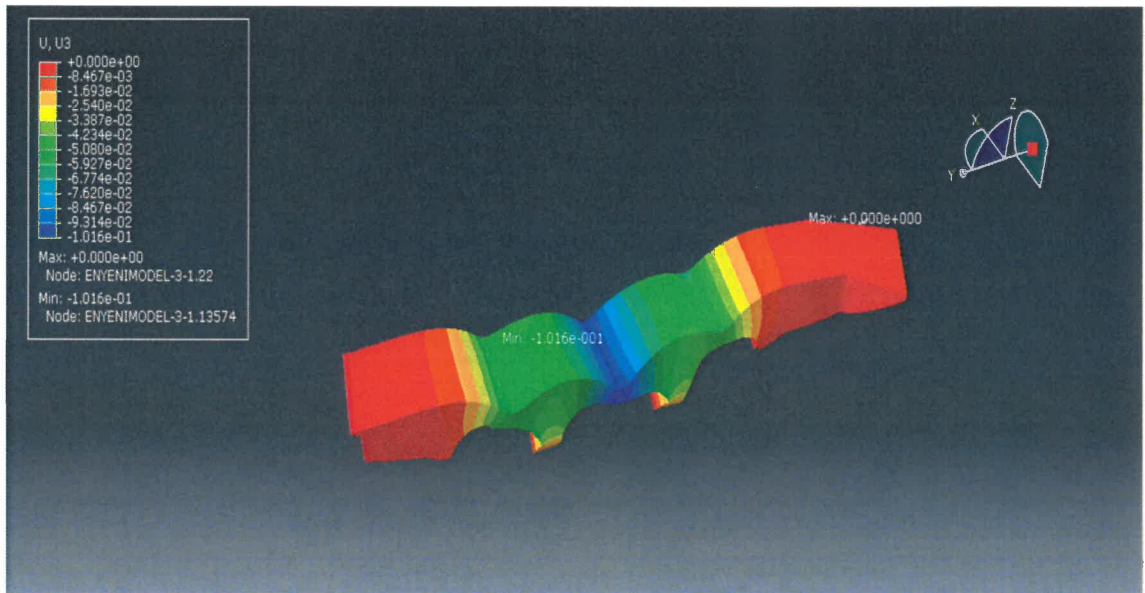
Şekil 4.33. Statik analiz etkisinde deforme olmamış gerilme modeli (GQ yüklemesi)



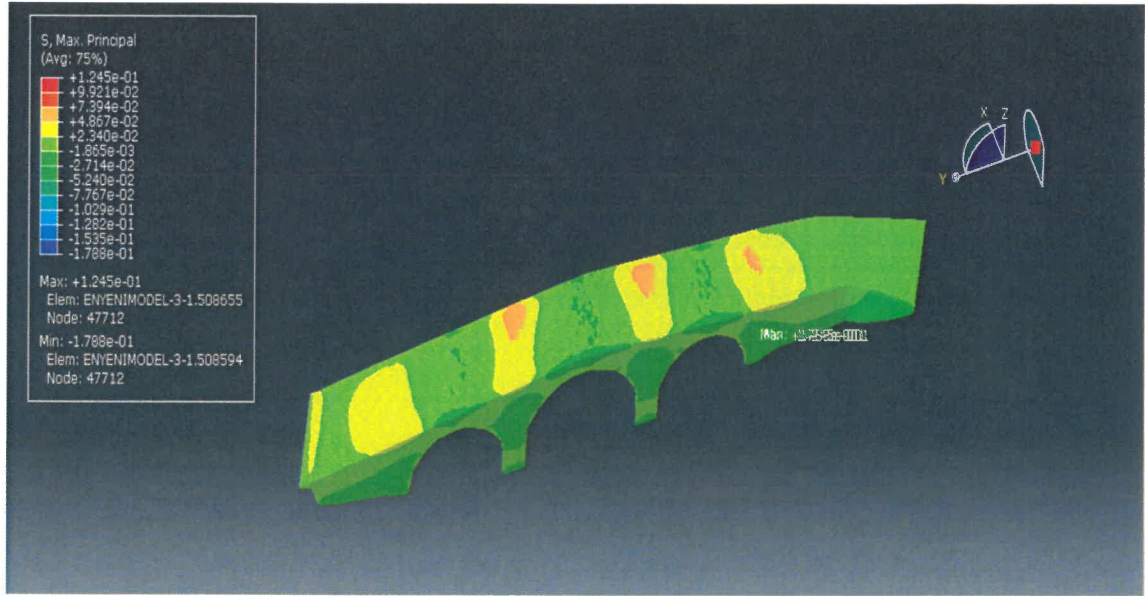
Şekil 4.34. Statik analiz etkisinde deforme olmuş gerilme modeli (GQ yüklemesi)



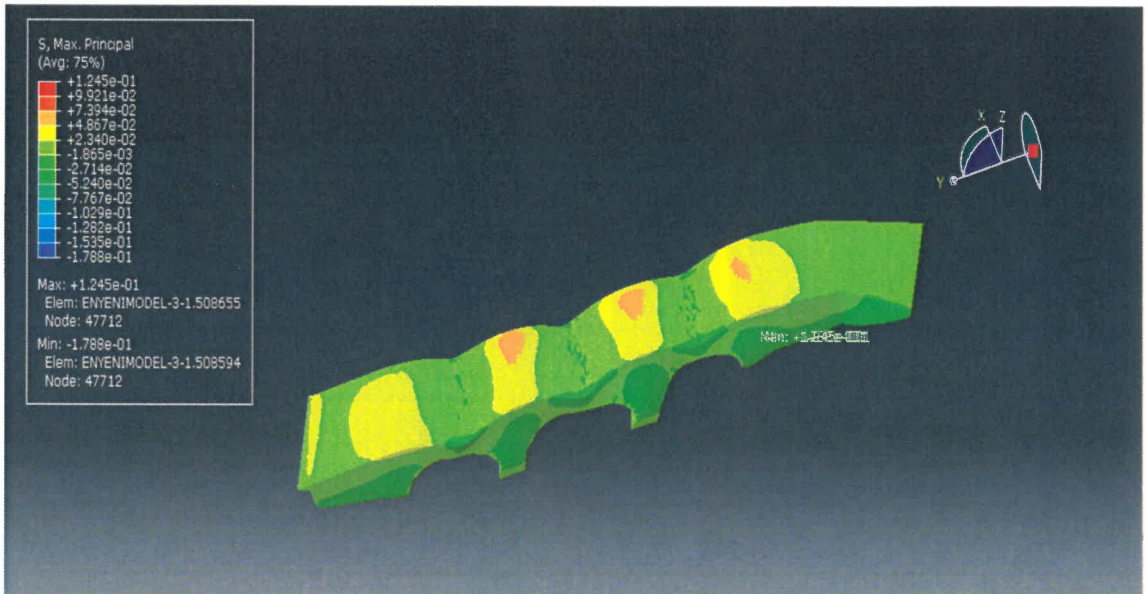
Şekil 4.35. Statik analiz etkisinde deforme olmamış yer değiştirme modeli (GQ yüklemesi)



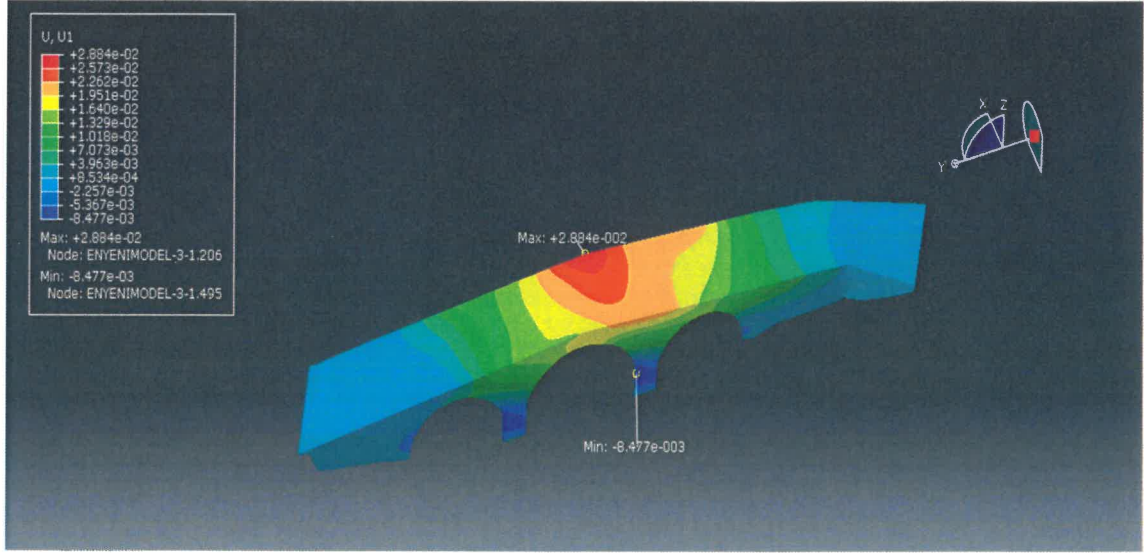
Şekil 4.36. Statik analiz etkisinde deforme olmuş yer değiştirme modeli (GQ yüklemesi)



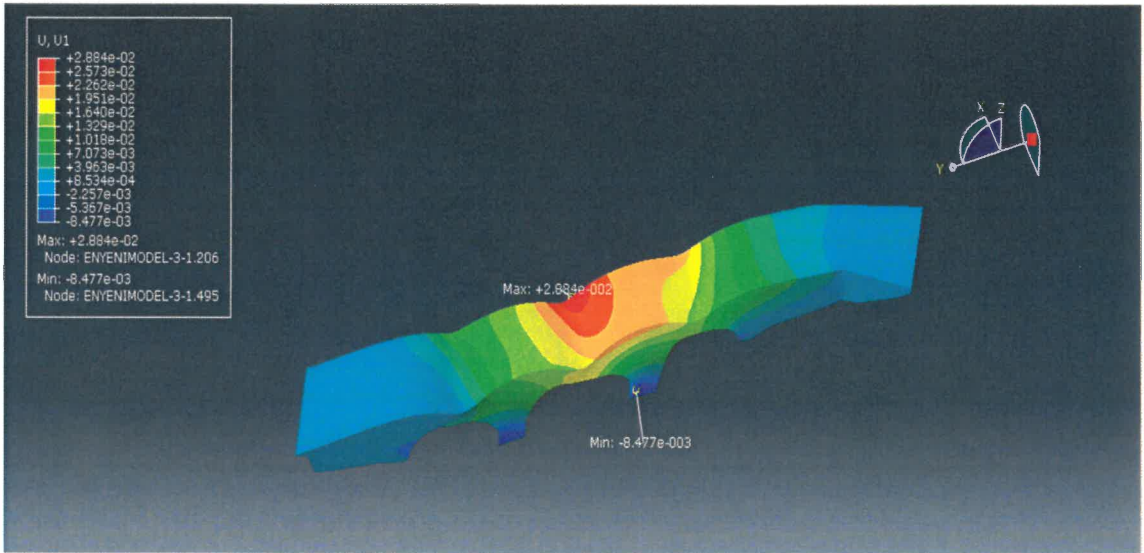
Şekil 4.37. Statik analiz etkisinde deforme olmamış gerilme modeli (GS yüklemesi)



Şekil 4.38. Statik analiz etkisinde deforme olmuş gerilme modeli (GS yüklemesi)



Şekil 4.39. Statik analiz etkisinde deforme olmamış yer değiştirme modeli (GS yüklemesi)



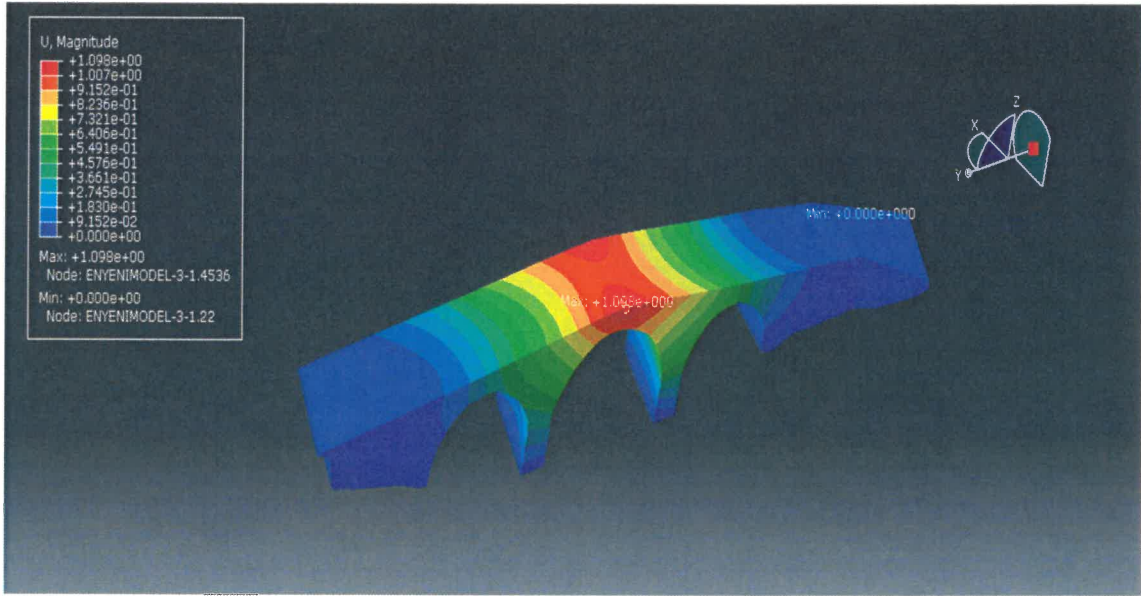
Şekil 4.40. Statik analiz etkisinde deforme olmuş yer değiştirme modeli (GS yüklemesi)

4.1.10. Serbest titreşim analizi (modal analiz)

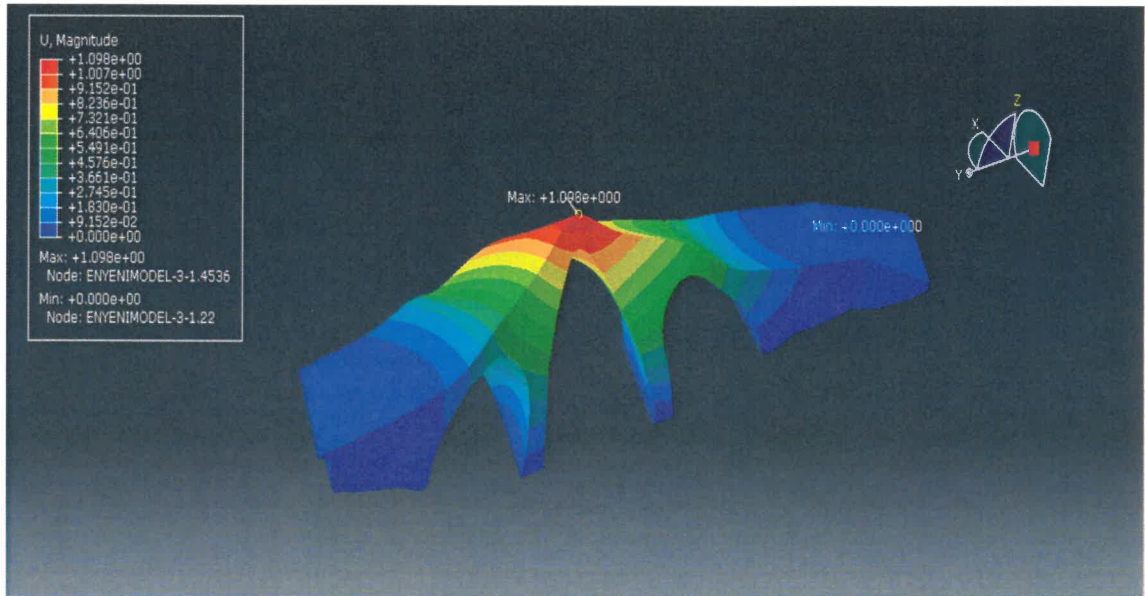
Ayvalıkemer (Sillyon) köprü yapısının serbest titreşim özellikleri bütünleşik modelleme yöntemiyle belirlenmiştir. Yapının davranış spektrum analizine yönelik olarak uygun sayıda mod şekil vektörünün dikkate alınması gerekir. Bu amaçla yapının global doğrultularda kütle katılım oranlarına bakarak ilk 50 adet modun dikkate alınmasının yeterli olacağı anlaşılmıştır. Yapının serbest titreşim özellikleri Çizelge 4.8’de ve ilgili 1’inci mod, 2’inci mod, 3’üncü mod, 4’üncü mod, 5’inci mod, ve 50’inci mod yer değiştirmeleri aşağıda sunulmuştur (Şekil 4.41-52). Mod şekillerinin ağırlıklı olarak planda gerçekleştiği görülmektedir.

Çizelge 4.8. Yapının analiz sonucu modal periyotları ve frekansları (Mod 1-50)

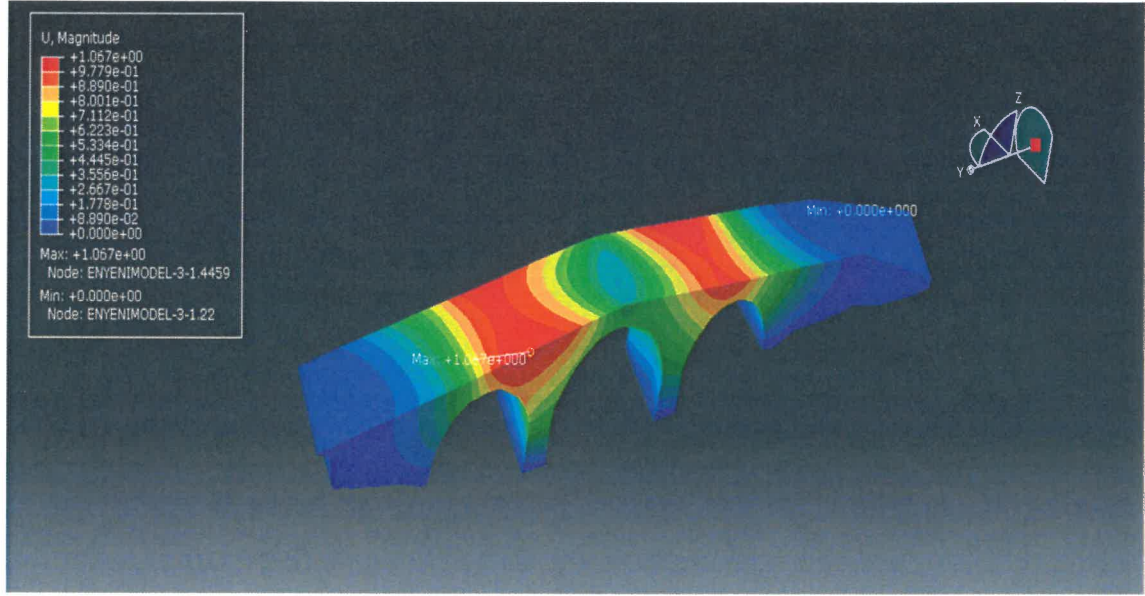
Mod No	Frekans (1/sn)	Periyot (sn)
1	27.937	0.035795
2	44.829	0.022307
3	45.844	0.021813
4	54.448	0.018366
5	63.246	0.015811
6	70.865	0.014111
7	75.652	0.013218
8	82.976	0.012052
9	85.305	0.011723
10	86.525	0.011557
11	92.545	0.010806
12	98.357	0.010167
13	109.51	0.009132
14	113.71	0.008794
15	116.59	0.008577
16	120.74	0.008282
17	121.90	0.008203
18	126.25	0.007921
19	137.82	0.007256
20	139.18	0.007185
21	141.80	0.007052
22	142.56	0.007015
23	150.32	0.006652
24	158.14	0.006324
25	159.60	0.006266
26	163.51	0.006116
27	172.62	0.005793
28	175.02	0.005714
29	182.70	0.005473
30	187.35	0.005338
31	189.31	0.005282
32	190.77	0.005242
33	191.55	0.005221
34	193.43	0.00517
35	197.82	0.005055
36	201.43	0.004965
37	206.70	0.004838
38	207.42	0.004821
39	211.06	0.004738
40	212.00	0.004717
41	218.17	0.004584
42	218.50	0.004577
43	221.83	0.004508
44	225.57	0.004433
45	227.61	0.004393
46	229.00	0.004367
47	231.75	0.004315
48	233.62	0.00428
49	237.99	0.004202
50	239.00	0.004184



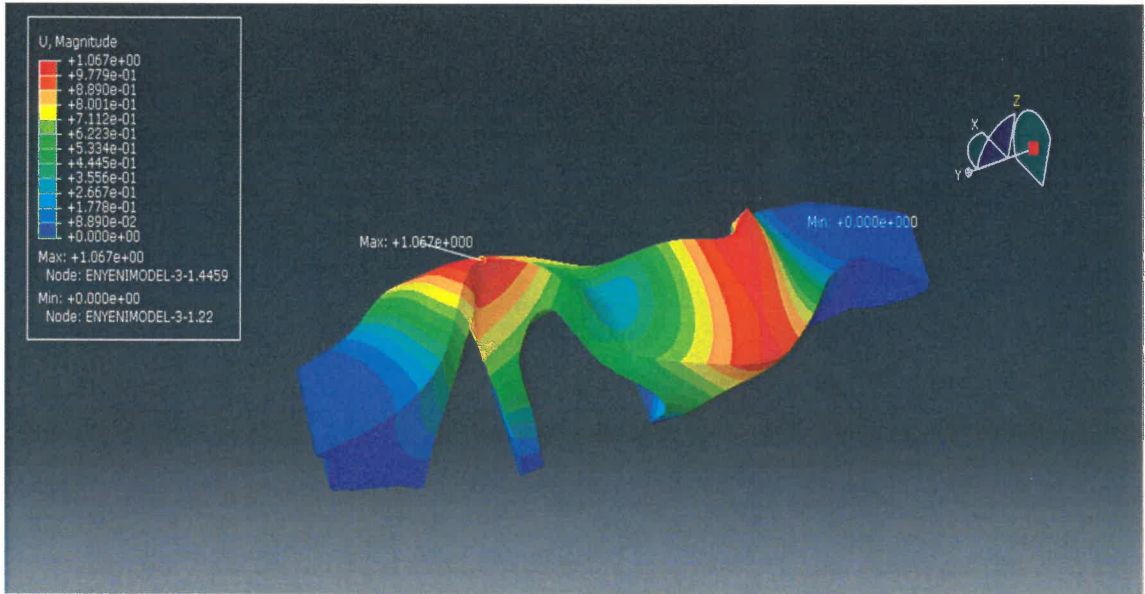
Şekil 4.41. Modal analiz sonrası 1'inci mod deforme olmamış yer değiştirme modeli



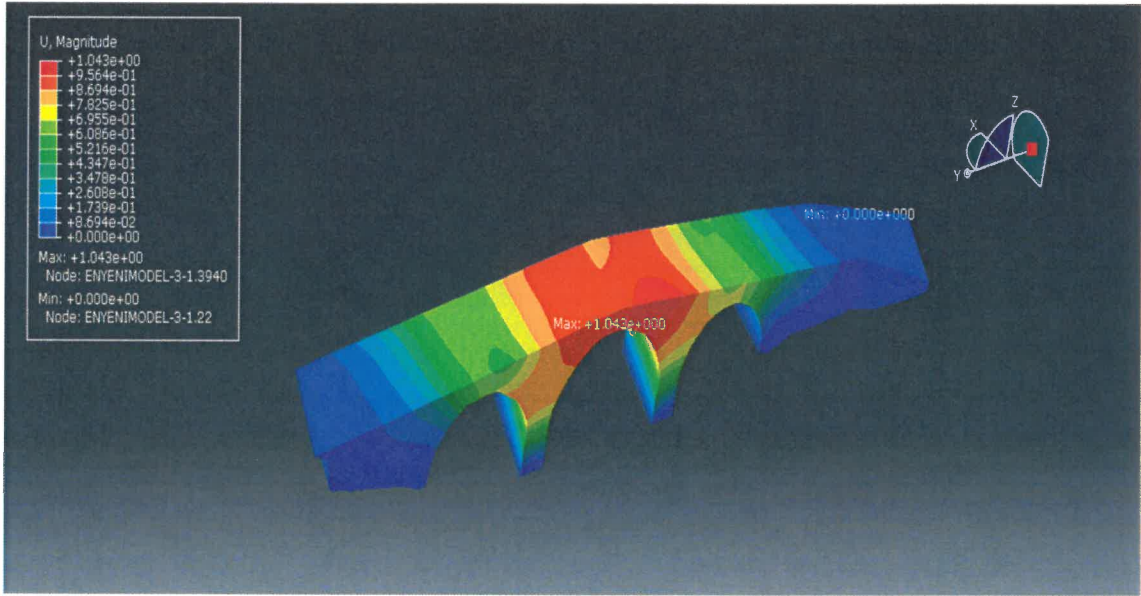
Şekil 4.42. Modal analiz sonrası 1'inci deforme olmuş yer değiştirme modeli



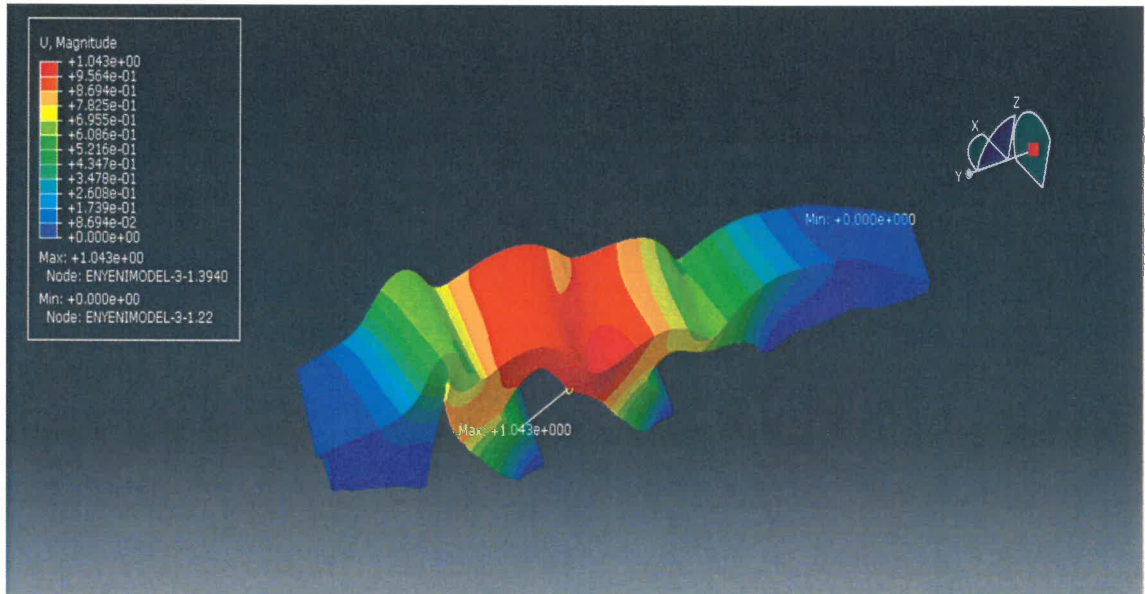
Şekil 4.43. Modal analiz sonrası 2'inci mod deforme olmamış yer değiştirme modeli



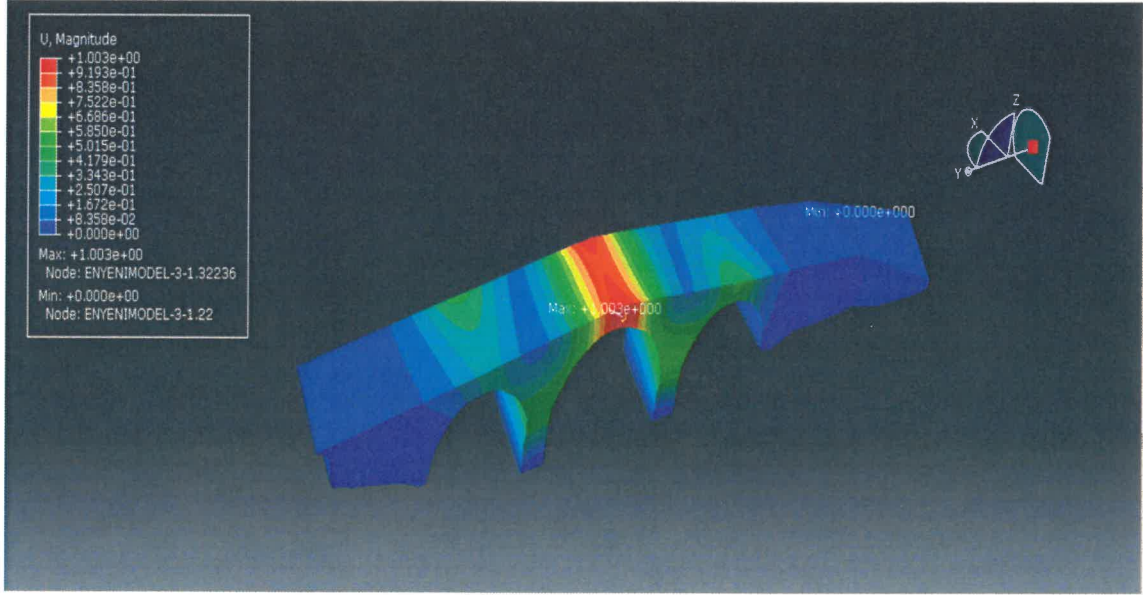
Şekil 4.44. Modal analiz sonrası 2'inci mod deforme olmuş yer değiştirme modeli



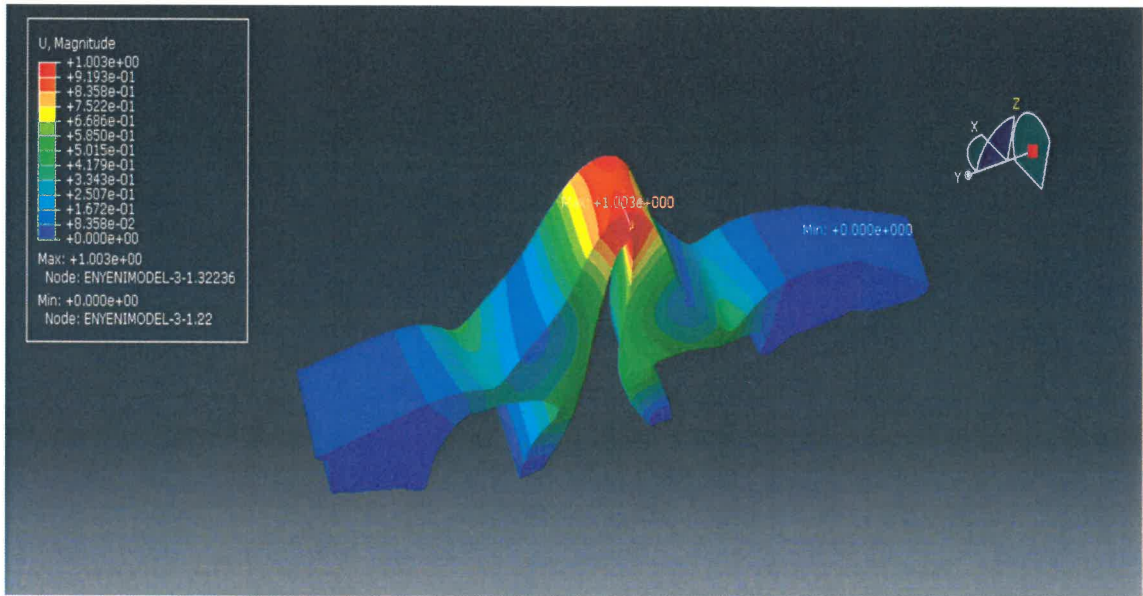
Şekil 4.45. Modal analiz sonrası 3'üncü mod deforme olmamış yer değiştirme modeli



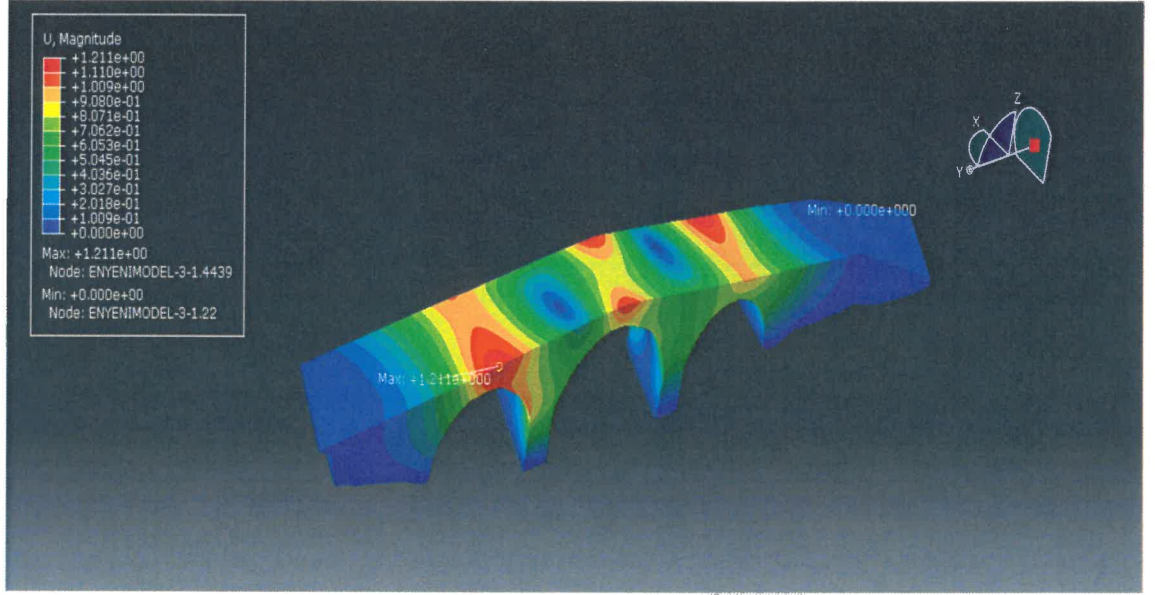
Şekil 4.46. Modal analiz sonrası 3'üncü mod deforme olmuş yer değiştirme modeli



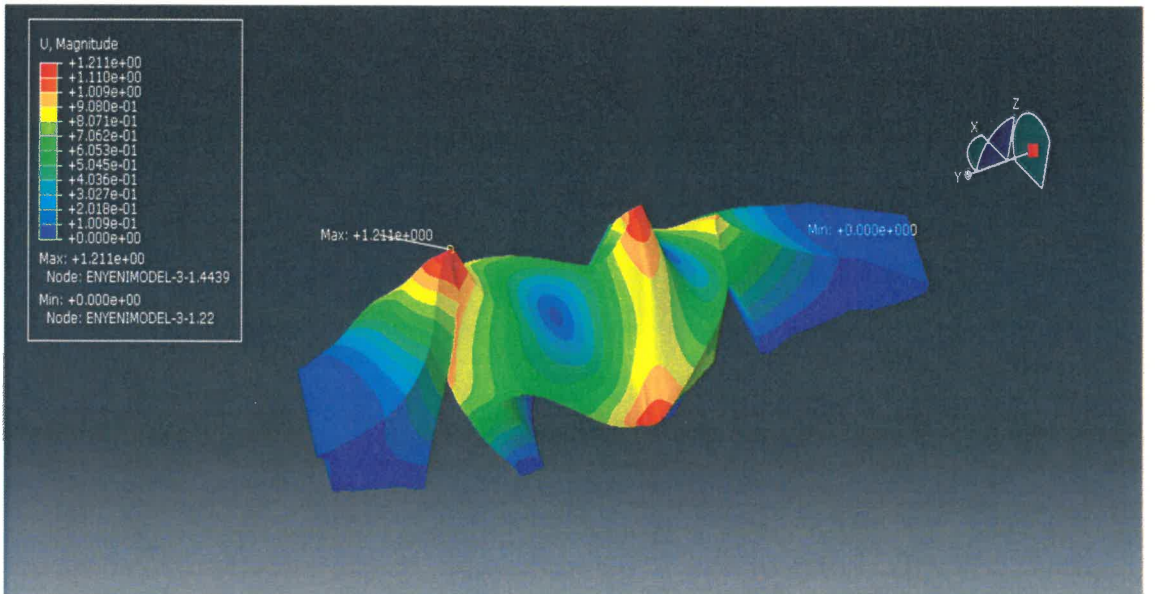
Şekil 4.47. Modal analiz sonrası 4'üncü mod deforme olmamış yer değiştirme modeli



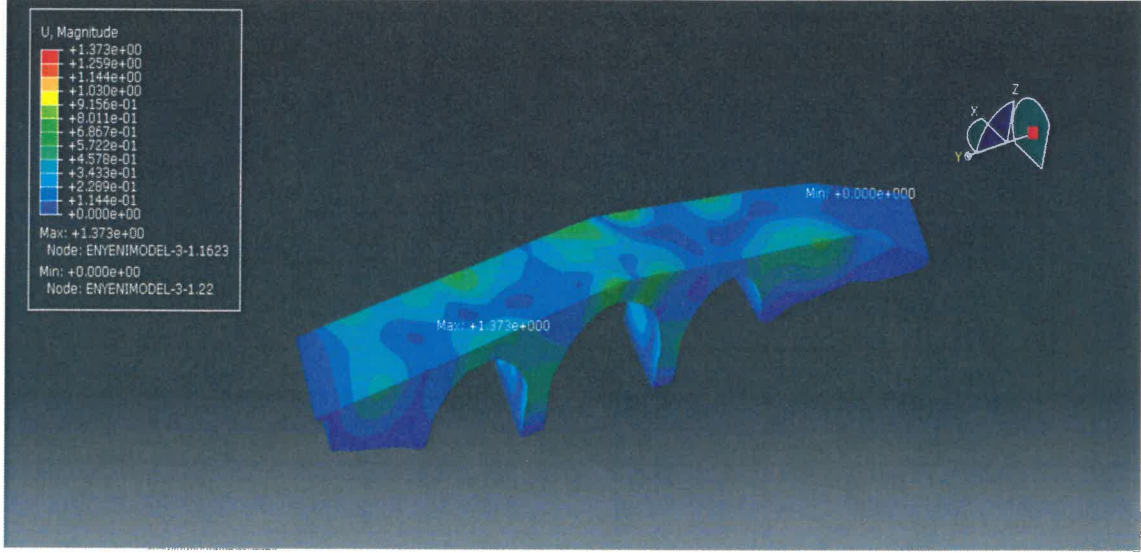
Şekil 4.48. Modal analiz sonrası 4'üncü mod deforme olmuş yer değiştirme modeli



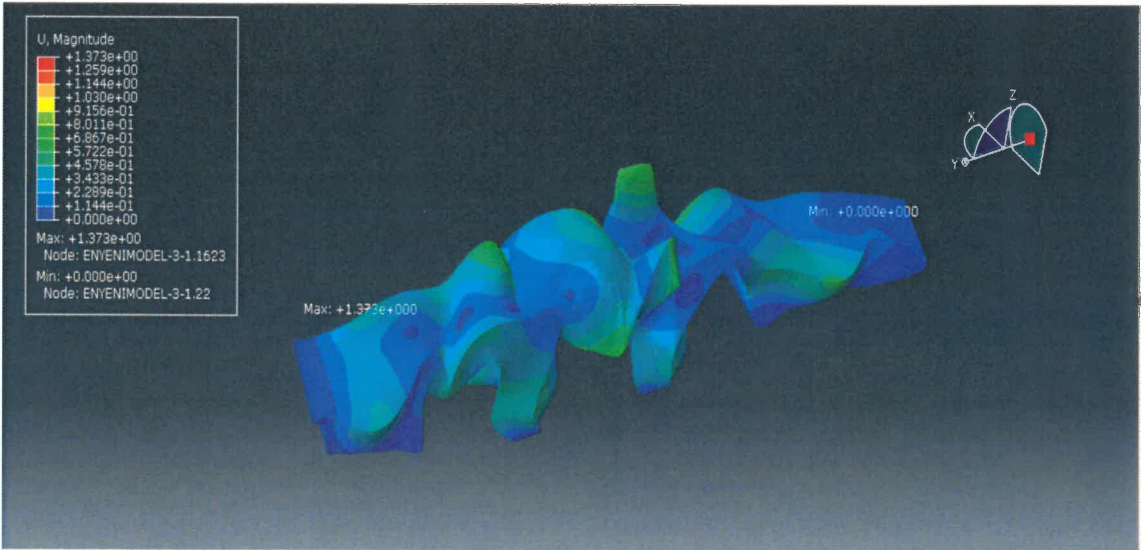
Şekil 4.49. Modal analiz sonrası 5'inci mod deforme olmamış yer değiştirme modeli



Şekil 4.50. Modal analiz sonrası 5'inci mod deforme olmuş yer değiştirme modeli



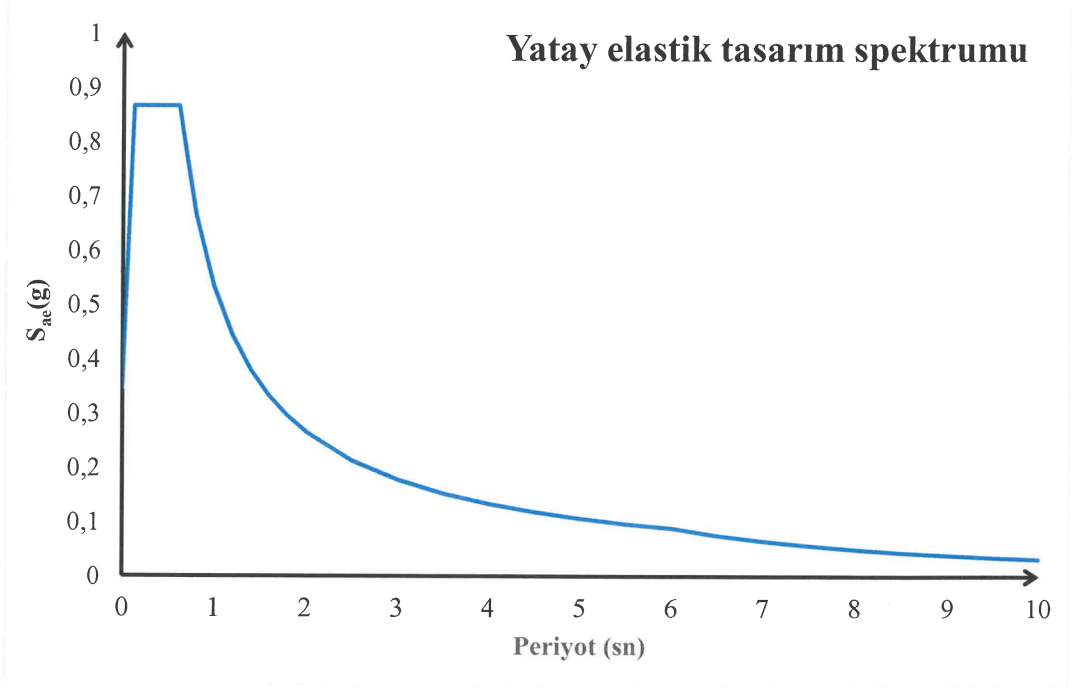
Şekil 4.51. Modal analiz sonrası 50'inci mod deforme olmamış yer değiştirme modeli



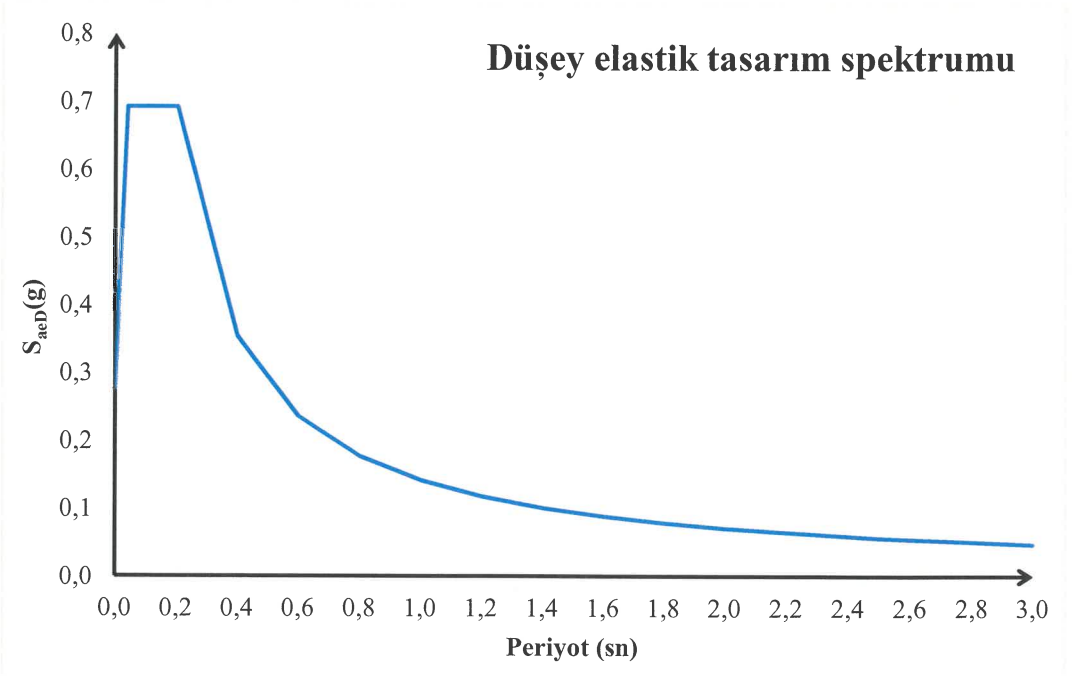
Şekil 4.52. Modal analiz sonrası 50'inci mod deforme olmuş yer değiştirme modeli

4.1.11. Davranış spektrum analizi

Ayvalıkemer (Sillyon) köprü yapısının bütünlük (makro) modellemeyeyle global doğrultularda davranış spektrum analizi yapılmıştır. Analiz öncesi köprünün koordinatları AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması'na işlenmiştir. Buradan elde edilen veriler neticesinde deprem spektrum grafiğini oluşturmak için TBDY-2018'de yer alan formüllerden faydalanılmıştır. Yatay ve düşey elastik tasarım spektrumları eğrileri aşağıda gösterilmiştir (Şekil 4.53-54). Ayrıca bu eğrilere ait, periyot ve ivme spektrumu değerlerine ait tablolar ise devamında gösterilmiştir (Çizelge 4.9-10).



Şekil 4.53. Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsü yatay elastik tasarım spektrumu eğrisi



Şekil 4.54. Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsü düşey elastik tasarım spektrumu eğrisi

Çizelge 4.9. Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsü yatay elastik tasarım spektrumu tablosu

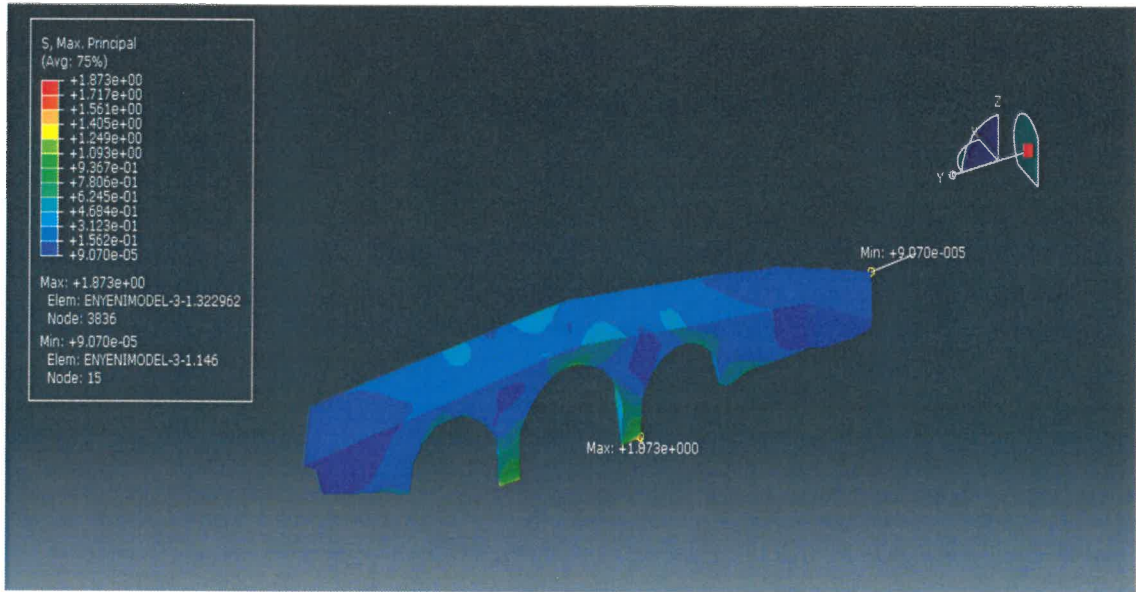
Nokta no	Periyot (sn)	İvme spektrum değeri	Sönüm oranı	S_s	S_1	Zemin tipi	SDS	SD1
1	0	0.346609	0.05	0.519	0.138	ZE	0.8665	0.53240
2	0.122883	0.866522						
3	0.614415	0.866522						
4	0.8	0.665505						
5	1	0.532404						
6	1.2	0.44367						
7	1.4	0.380289						
8	1.6	0.332753						
9	1.8	0.29578						
10	2	0.266202						
11	2.5	0.212962						
12	3	0.177468						
13	3.5	0.152115						
14	4	0.133101						
15	4.5	0.118312						
16	5	0.106481						
17	5.5	0.096801						
18	6	0.088734						
19	6.5	0.075608						
20	7	0.065192						
21	7.5	0.05679						
22	8	0.049913						
23	8.5	0.044213						
24	9	0.039437						
25	9.5	0.035395						
26	10	0.031944						

Çizelge 4.10. Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsü düşey elastik tasarım spektrumu tablosu

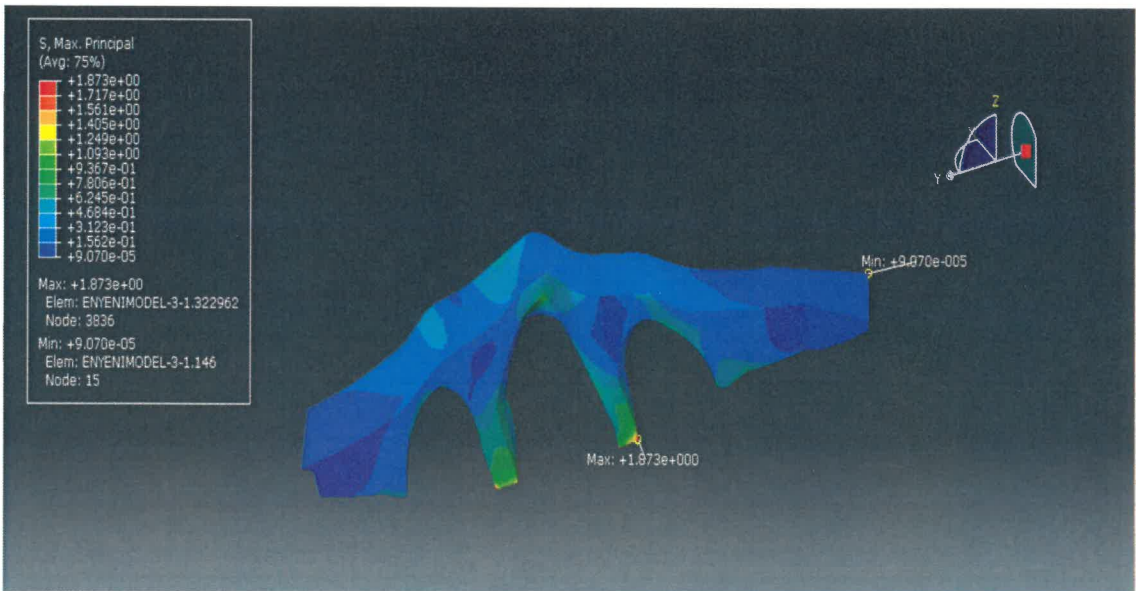
Nokta no	Periyot (sn)	İvme spektrum değeri	Sönüm oranı	S_s	S_1	Zemin tipi	SDS	SD1
1	3	0.0473	0.05	0.519	0.138	ZE	0.86652	0.532404
2	2.5	0.0568						
3	2	0.071						
4	1.8	0.0789						
5	1.6	0.0887						
6	1.4	0.1014						
7	1.2	0.1183						
8	1	0.142						
9	0.8	0.1775						
10	0.6	0.2366						
11	0.4	0.3549						
12	0.2048	0.6932						
13	0.041	0.6932						
14	0	0.2773						

Analizde her yükleme durumu için ayrı olarak elde edilen iç kuvvet ve şekil değiştirme değerlerine göre; G+SPCX (Sabit yükler ve global X eksenini doğrultusunda deprem yüklemesi), G+SPCY (Sabit yükler ve global Y eksenini doğrultusunda deprem yüklemesi), G+SPCZ (Sabit yükler ve global Z eksenini doğrultusunda deprem yüklemesi) ve G+SPCXYZ (Sabit yükler ve aynı anda global X eksenini, Y eksenini ve Z eksenini doğrultularında deprem yüklemesi) şeklinde dört farklı yük kombinasyon tanımlanmıştır.

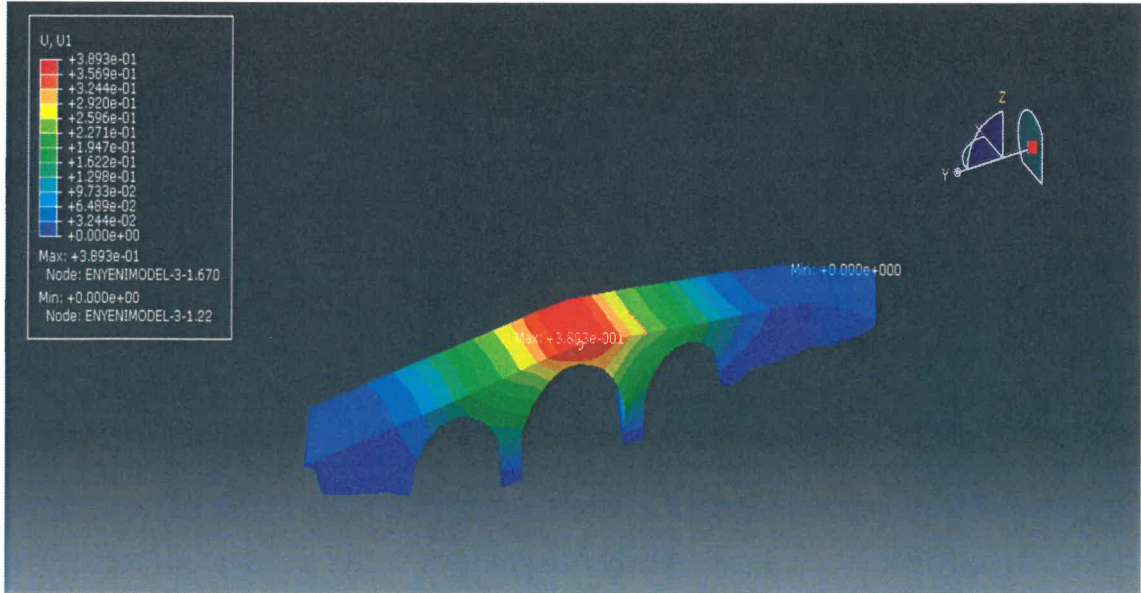
Bu kombinasyonların sonucu global X, Y, Z doğrultularında ayrı ayrı ve bu üç doğrultuda aynı anda etkiyen yükleme neticesinde yapıda meydana gelen maksimum gerilmeler ve yer değiştirme değerleri aşağıda gösterilmiştir (Şekil 4.55-70).



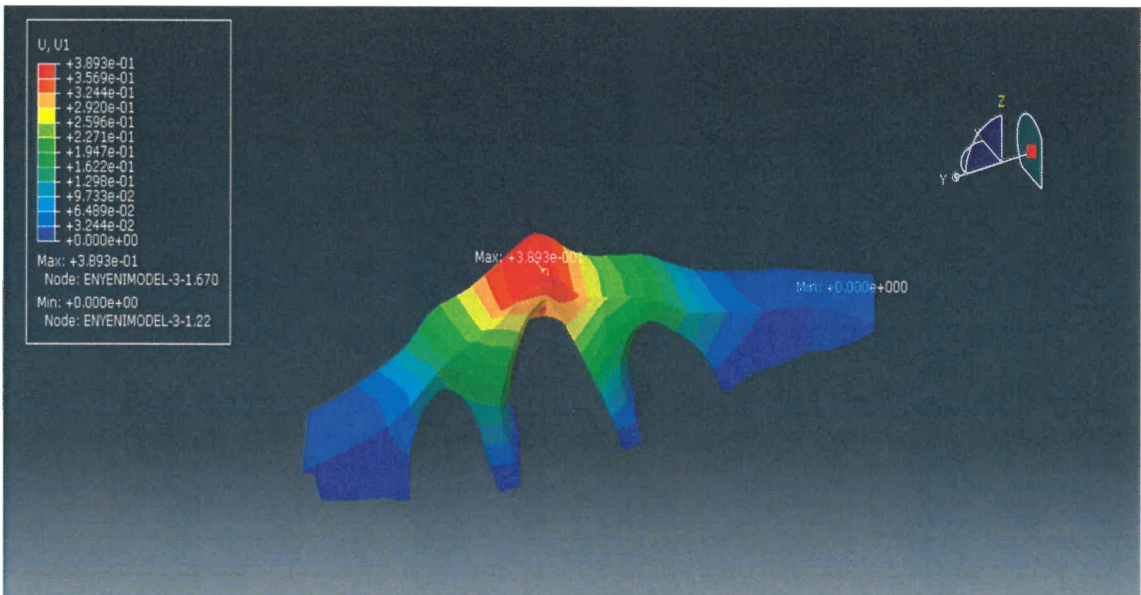
Şekil 4.55. G+SPCX yüklemesi sonucu deforme olmamış gerilme modeli



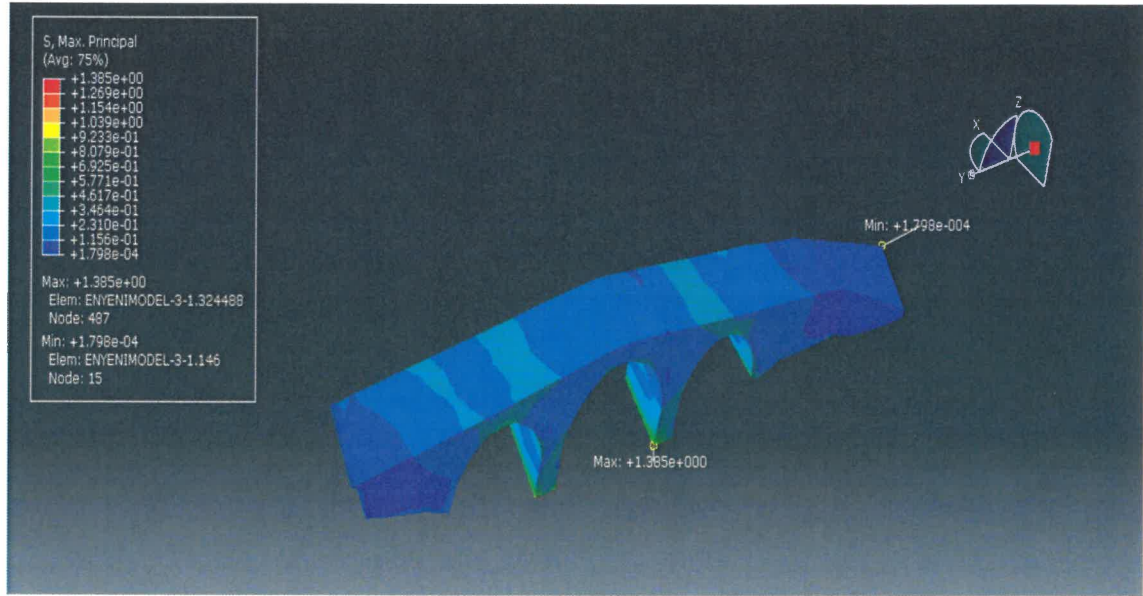
Şekil 4.56. G+SPCX yüklemesi sonucu deforme olmuş gerilme modeli



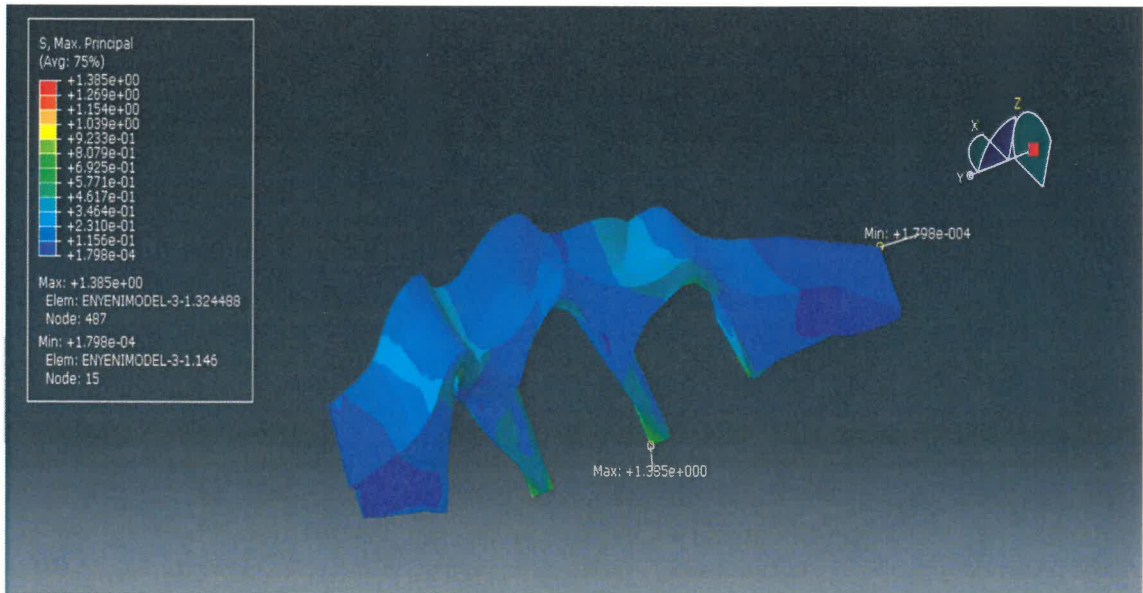
Şekil 4.57. G+SPCX yüklemesi sonucu deforme olmamış yer değiştirme modeli



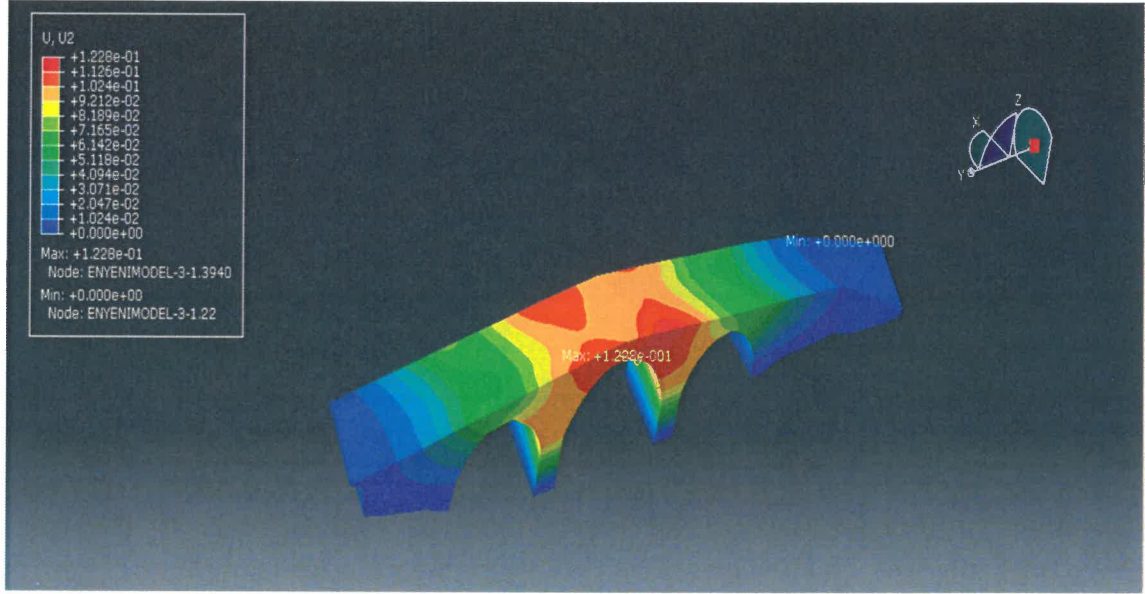
Şekil 4.58. G+SPCX yüklemesi sonucu deforme olmuş yer değiştirme modeli



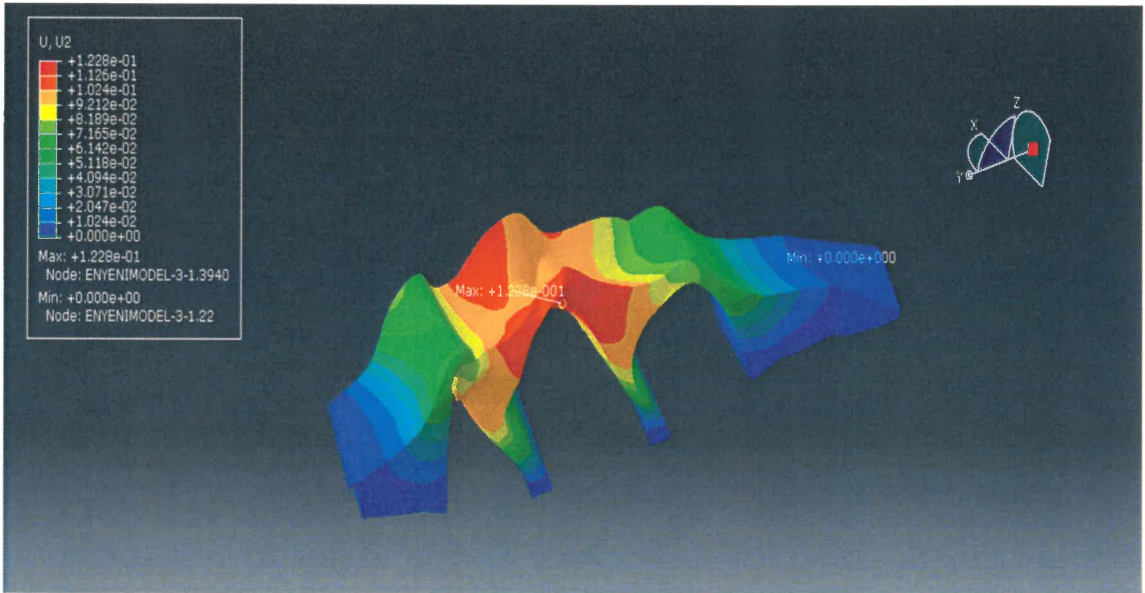
Şekil 4.59. G+SPCY yüklemesi sonucu deforme olmamış gerilme modeli



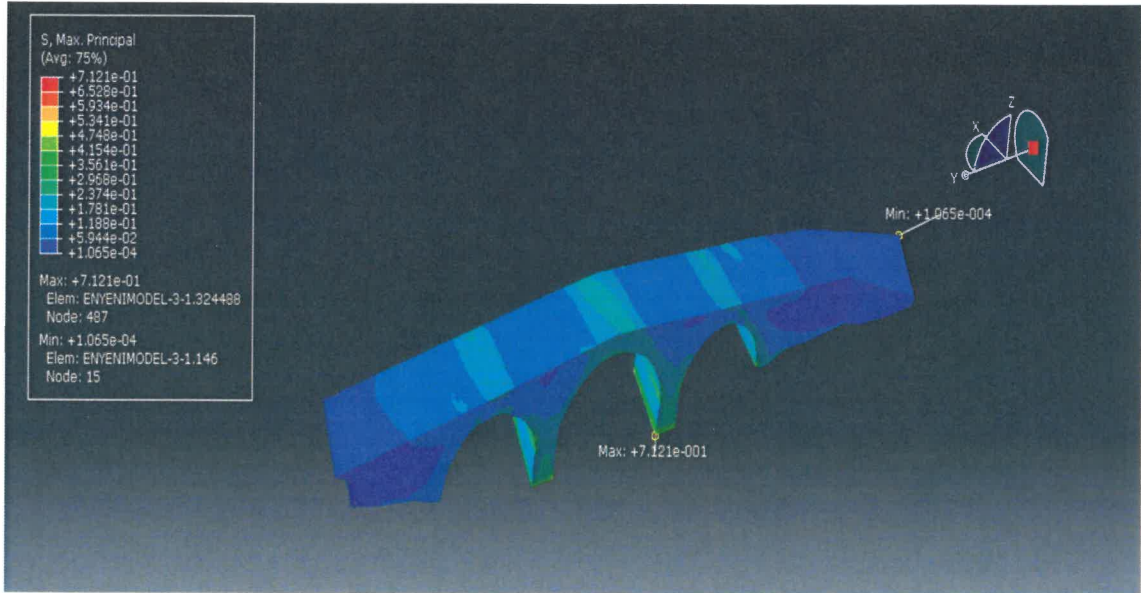
Şekil 4.60. G+SPCY yüklemesi sonucu deforme olmuş gerilme modeli



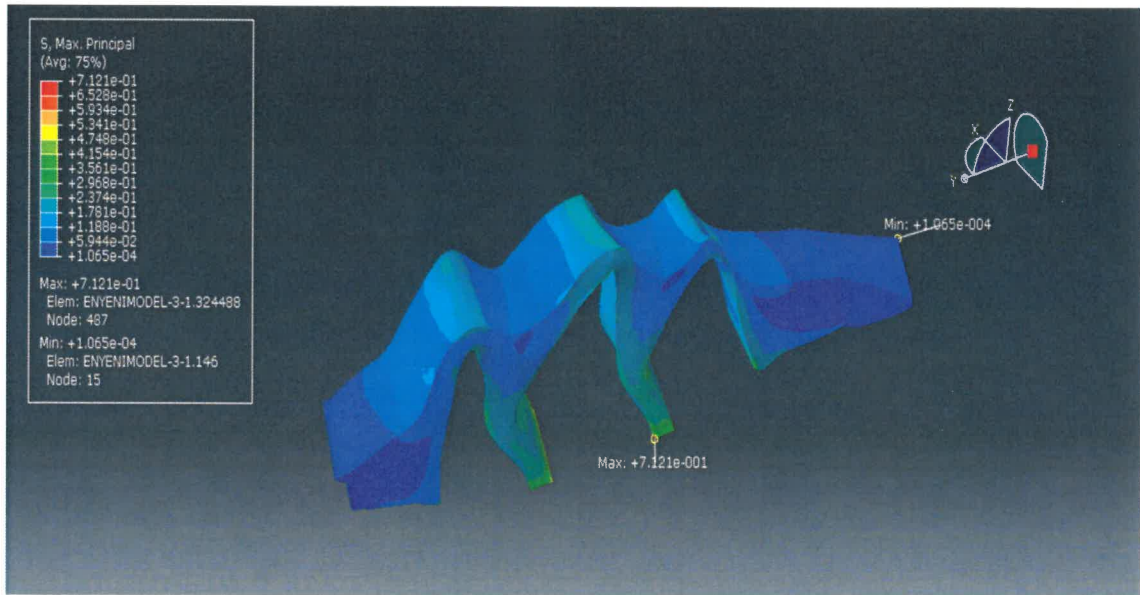
Şekil 4.61. G+SPCY yüklemesi sonucu deforme olmamış yer değiştirme modeli



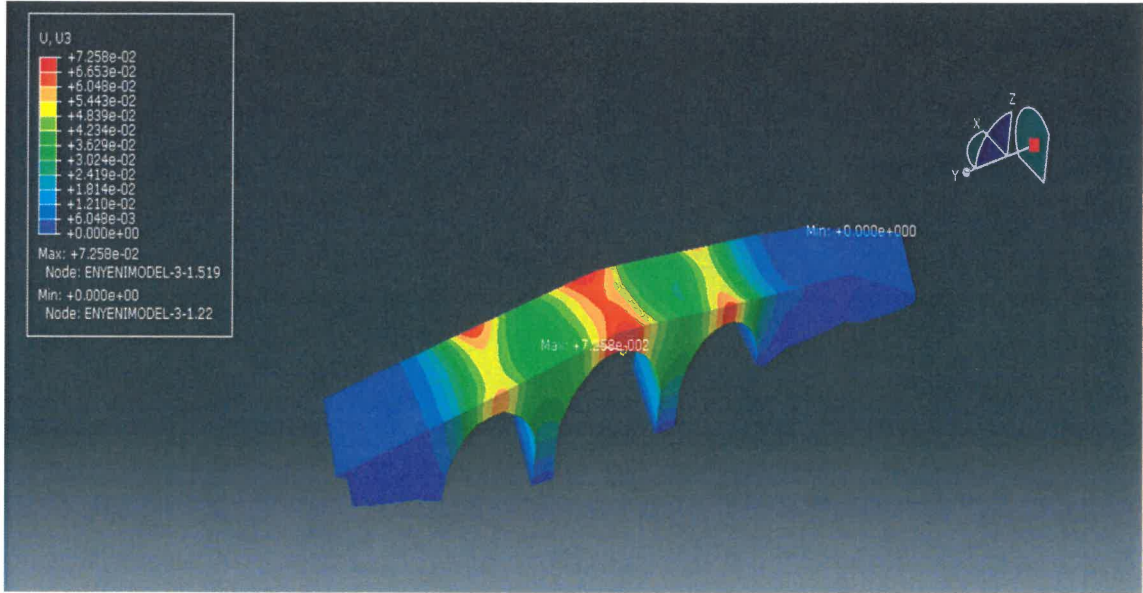
Şekil 4.62. G+SPCY yüklemesi sonucu deforme olmuş yer değiştirme modeli



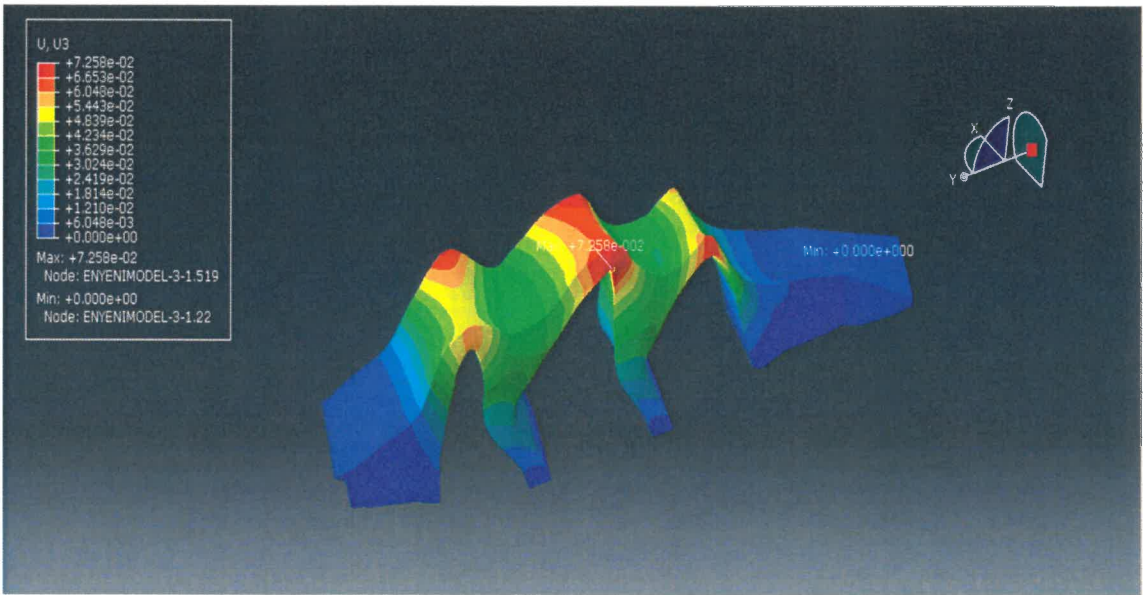
Şekil 4.63. G+SPCZ yüklemesi sonucu deforme olmamış gerilme modeli



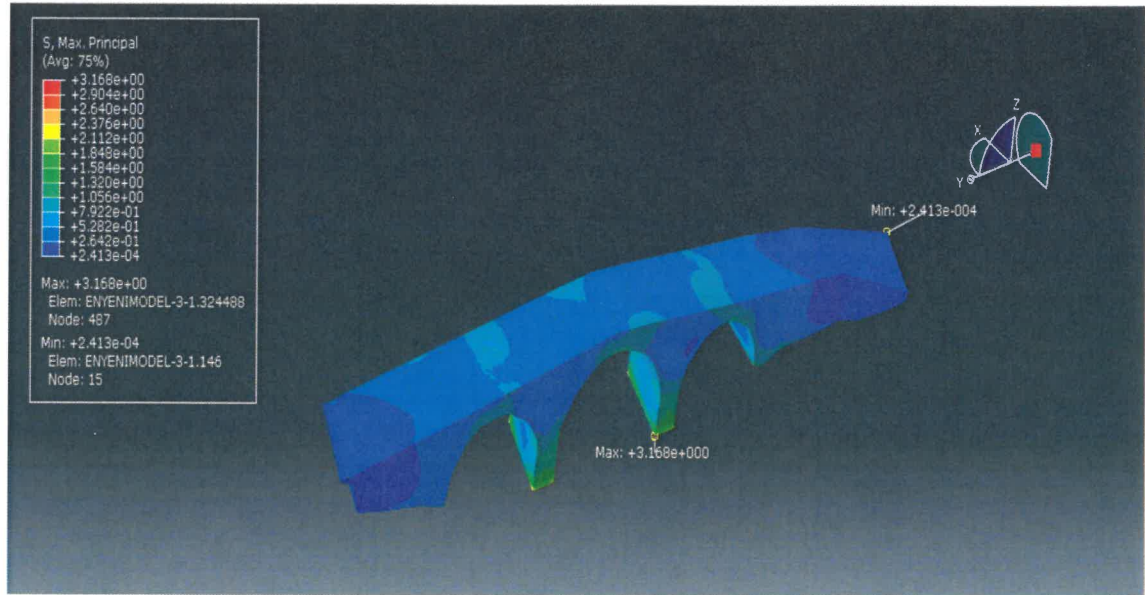
Şekil 4.64. G+SPCZ yüklemesi sonucu deforme olmuş gerilme modeli



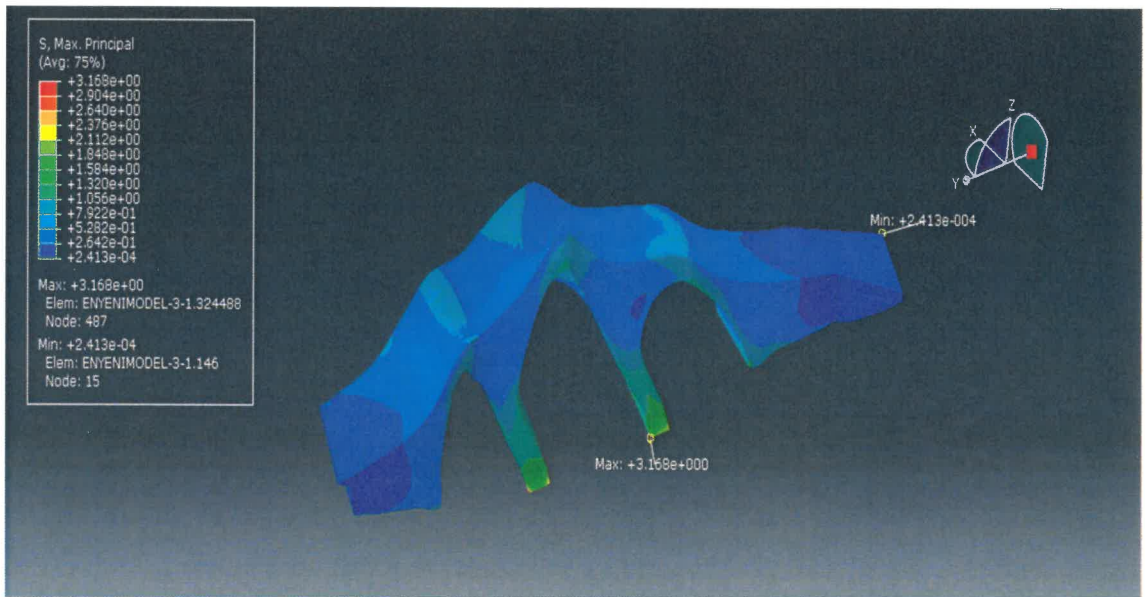
Şekil 4.65. G+SPCZ yüklemesi sonucu deforme olmamış yer değiştirme modeli



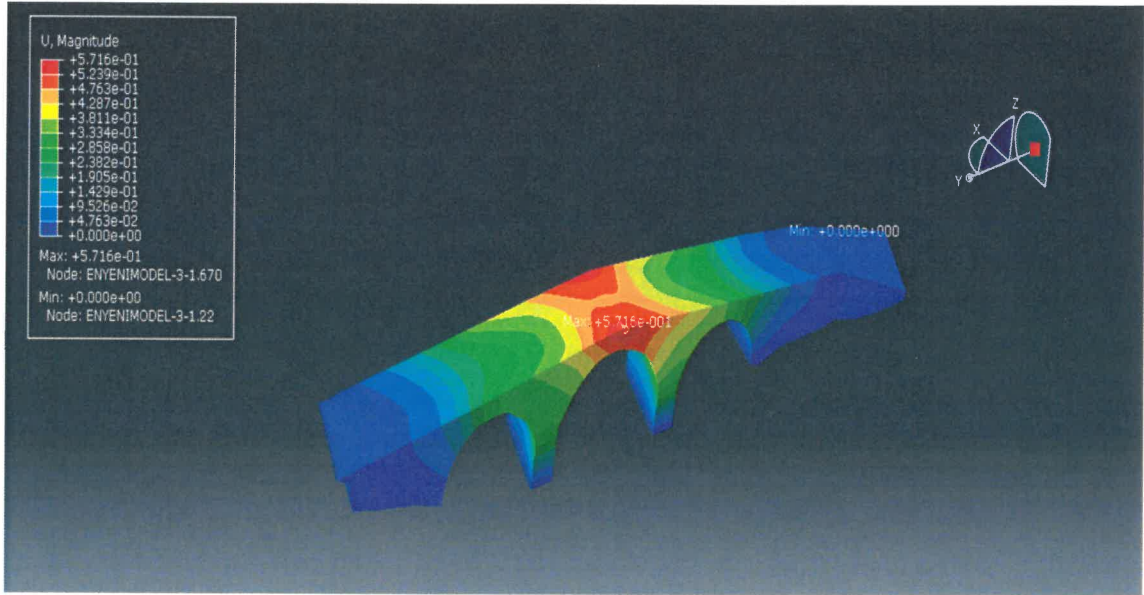
Şekil 4.66. G+SPCZ yüklemesi sonucu deforme olmuş yer değiştirme modeli



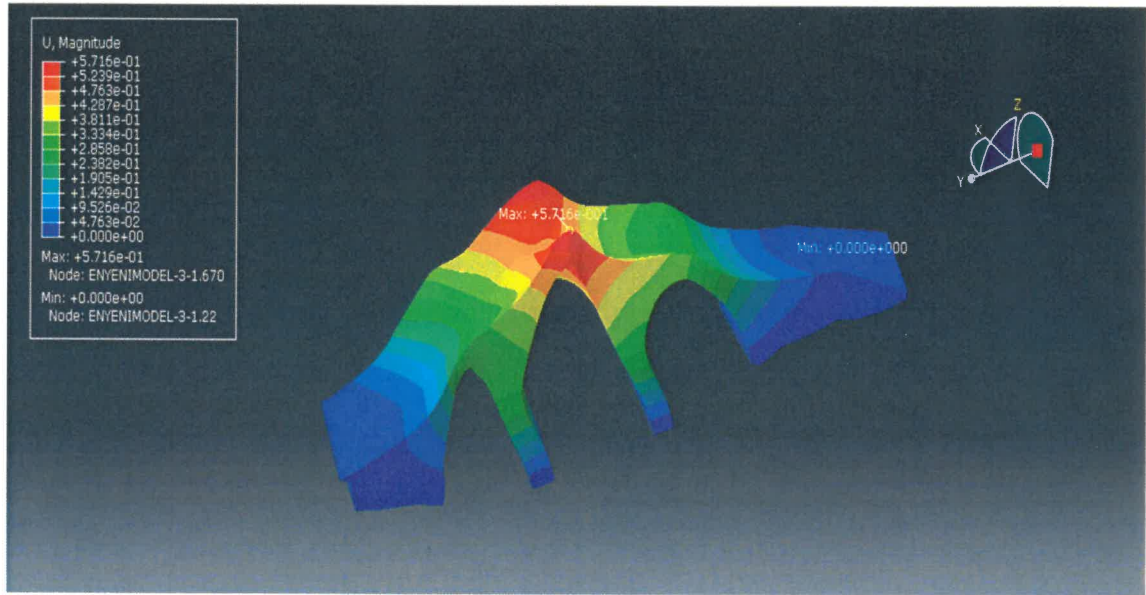
Şekil 4.67. G+SPCXYZ yüklemesi sonucu deforme olmamış gerilme modeli



Şekil 4.68. G+SPCXYZ yüklemesi sonucu deforme olmuş gerilme modeli



Şekil 4.69. G+SPCXYZ yüklemesi sonucu deforme olmamış yer değiştirme modeli



Şekil 4.70. G+SPCXYZ yüklemesi sonucu deforme olmuş yer değiştirme modeli

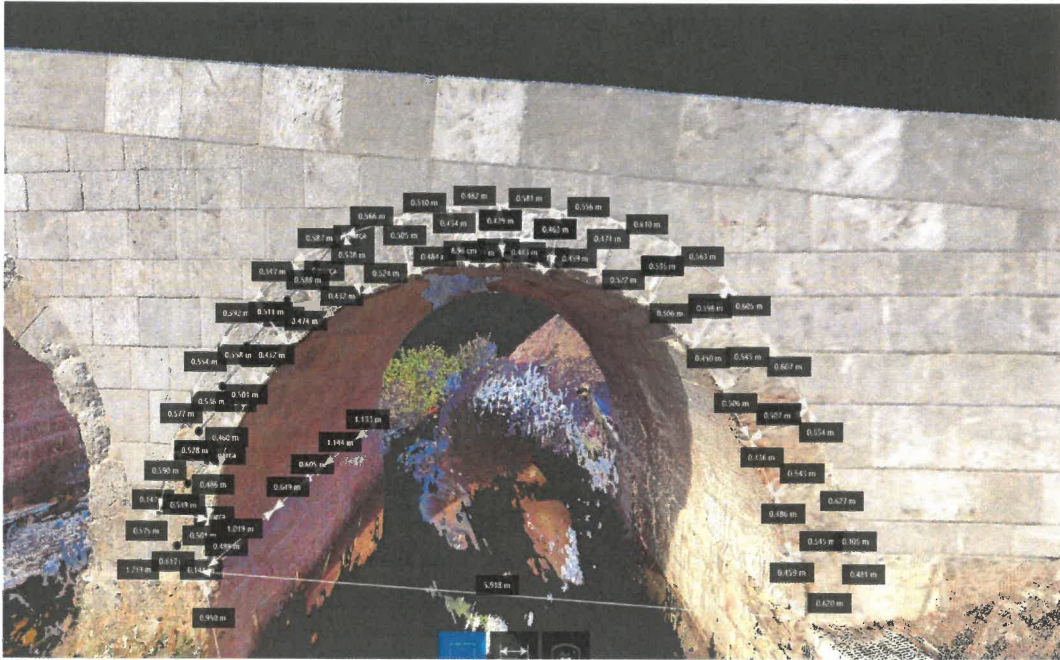
4.2. Tartışma

Bu çalışmada, yenilemesi yapılmış Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsü yapısının makro modelleme tekniğiyle bilgisayar destekli doğrusal analizi gerçekleştirilmiştir. Yapının homojen olduğu varsayımıyla yapılan modelleme çalışması sonrasında analiz, tek parça katı bir cisim (solid) modeli üzerinde yapılmıştır. Literatürde ise, köprü tipi yapılar modellenirken yapının; kemer, yan yüzey ve iç dolgu şeklinde üç kısımda ele alınabildiği de görülmektedir. Her kısma farklı malzeme özelliği tanımlanmakta ve analitik model bu şekilde daha detaylı hale getirilebilmektedir. Detaylı bir makro modelde, iç dolgu kısmının rijitliği (elastisite modülü), kemer ve yan duvara nazaran daha

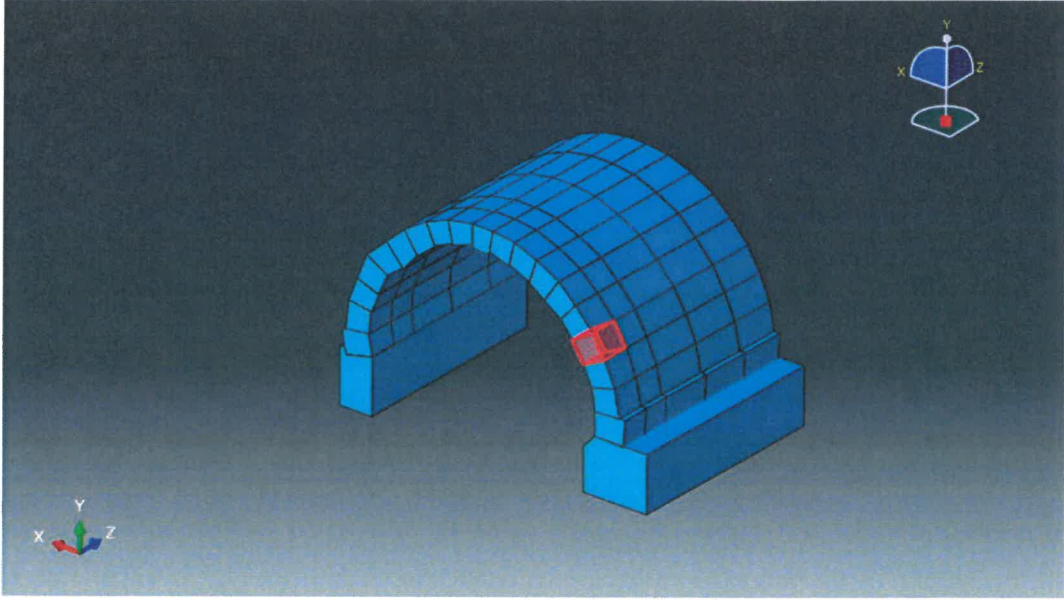
düşük seçilmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada hazırlanan homojen modelin detaylı bir modele göre daha rijit bir davranış sergileyeceği söylenebilir. Ancak, daha rijit bir yapının üzerine daha fazla deprem yükü alacağı bilgisiyle bu çalışmada elde edilen sonuçların daha güvenli tarafta kalındığı düşünülmektedir. Düşük rijitliği nedeniyle serbest titreşim periyodu yüksek bir yapıda oluşan maksimum gerilmeler daha düşük gerçekleşecektir.

Ayrıca modellemede yapının üzerinde bulunduğu zeminin rijit davranış sergilediği kabul edilmiştir. Zeminin modellenmesinde, zemine ait yatak katsayısı bilinmesine ve zeminin yaylarla modellenmesinde herhangi bir kısıtlama olmamasına rağmen, kullanılan bilgisayar altyapısı ve ABAQUS öğrenci sürümü bu konuda yeterli altyapıyı sunmamıştır. Bu nedenle elde edilen sonuçlar incelendiğinde bu durumun göz önünde tutulması yararlı olacaktır.

Tarihi yığma yapıların gerçek daha yakın davranışını modellemek adına detaylı mikro modelleme tekniği de kullanılabilir. Fakat bu model için tüm göçme mekanizmalarının, yani birleşimdeki çatlaklar, derzlerde meydana gelebilen kayma gerilmeleri, yığma birimin kırılması ve ezilmesi şeklinde sayılabilecek davranışların bilinmesi gerekir. Ayrıca modelleme aşamasında daha detaylı YLT (Yersel Lazer Tarama) verilerine ihtiyaç duyulacaktır. Bu çalışmada, detaylı mikro modelleme ile ilgili ön bir çalışma yapılmıştır. Yapıya ait kemer elemanlardan bir tanesinin nokta bulutu dosyasından verilerek çekilerek Auto-CAD 3D ve ABAQUS programlarıyla katı eleman (solid) modeli tasarlanmıştır. Fakat ABAQUS'e aktarılan kemer model başlı başına 97 adet elemandan oluşmaktadır (Şekil 4.71-72). Bu rakam yapının tamamına oranlandığında yüzlerce sayıda elemanın modellenmesi gerekliliği sonucu ortaya çıkmıştır. Bu durum eldeki mevcut bilgisayar ve program kapasitelerini ve çözüm süresini fazlasıyla aşacağından bu yöntemden vazgeçilmiştir.



Şekil 4.71. Detaylı mikro modelleme için nokta bulutu dosyasından kemer elemana ait veriler ile ön çalışma yapılması



Şekil 4.72. Detaylı mikro modelleme için ABAQUS'e aktarılan katı elaman modeline ait 97 adet parçanın görünümü

Yapıya ait malzeme özelliklerinin tayininde mevcut taş ve bağlayıcı harcın mekanik özelliklerinden faydalanılmış ve yapı için ortalama bir elastisite modülü değeri hesaplanmıştır (Çizelge 4.3-5). Esas olarak bu değer, yapının homojen olmaması nedeniyle yapının her bölgesi için aynı oranda geçerli olmayabilir. Elastisite modülünün hesabında bu tezde olduğu gibi matematiksel bir yöntemin kullanılmasının yanı sıra uygulamalı yöntemler de tercih edilebilir. Bu yöntemlerden bir tanesi de yapının dinamik özelliklerinin (modal frekanslar, periyotlar, vb.) deneysel olarak belirlenmesinden sonra analitik modelde benzer özellikleri yakalayacak şekilde elastisite modülünün kalibre edilmesidir. Bu amaçla yapının uygun yerlerine hassas ivmeölçerler bağlanmalı ve yapının doğal salınım hareketi kayıt altına alınarak hesaplamayla modal periyotlar belirlenmelidir.

Bu çalışmayla, yapı geometrisinin oluşturulmasında yersel lazer tarama tekniği sonucunda yapı geometrisinin orijinaline yakın şekilde oluşturulması modelleme sonucu çıkan sonuçların daha sağlıklı olmasına olanak sağlamıştır. Ayrıca bu modelleme yönteminde kayda değer biçimde ilerleme kaydedilip, okuyucular açısından faydalı olabilecek bilgiler tez içerisinde sunulmuştur.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada Antalya ili, Serik ilçesi sınırları içerisinde bulunan tarihi Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsünün yenileme sonucunda yatay ve düşey yükler altında yapısal analizleri tamamlanmıştır. İlk olarak yapı ile ilgili tarihsel süreç araştırılmış, sonrasında yetkili kurullar tarafından aslına uygun şekilde restore edilmesi için çalışmalar başlatılmıştır.

Öncelikle köprüde kullanılan taşın üzerinde yapılan deneysel çalışmalar neticesinde cins olarak traverten taşı olduğu raporlarla neticelendirilmiştir. Yakın çevrede hangi ocaktan traverten taşı çıkacağına dair ön etüt çalışması yapılmış, sonrasında taşın Denizli ili Kocabaş taş ocağından temin edilebileceği belirlenmiştir. Kullanılacak malzemenin bulunmasından sonra, yenileme projesi hazırlanmış ve yapının aslını korumak suretiyle çalışmalar tamamlanmıştır.

Restorasyon projesinin sonucunda, köprü son hali dikkate alınarak YLT (Yersel Lazer Tarama) yöntemiyle modellenmiş ve gerekli arşivleme çalışması yapılmıştır. YLT yöntemi neticesinde oluşturulan nokta bulutu, köprü modellemesi öncesi katı eleman modeli oluşturmada kullanılacağı için akademik çalışmamıza baştan bir özgünlük katmaktadır. Literatür tarandığında buna benzer bir modellemenin kullanılmadığı saptanmıştır.

Nokta bulutu dosyasını kullanarak oluşturulan katı eleman modeli, sonrasında ABAQUS (Student Edition) programı yardımıyla makro modelleme safhasına getirilmiştir. Modellemenin tamamlanmasının ardından yük kabul ve malzemeler programa işlenmiştir. Ayrıca literatürde yapılan araştırmalarda ABAQUS programını kullanarak tarihi yapılarla ilgili davranış spektrum analizi yapıldığına dair herhangi bir bulguya rastlanmamış olması da çalışmamıza ikinci bir özgünlük katmıştır.

Statik analiz yapılırken yapıya kendi öz ağırlığının yanı sıra, Q yüklemesi esnasında 150 kg/m^2 ve S yüklemesi neticesinde ise köprüye memba yönünden ilaveten 500 kg/m^2 taşkın yükü etki ettirilmiştir. Bu yükler ABAQUS programı birim cetveline göre analize MPa olarak işlenmiştir. Statik analiz neticesinde ortaya çıkan en büyük basınç gerilmeleri ve yer değiştirme değerlerinin köprüye zarar veremeyeceği sonucuna ulaşılmıştır.

Bulgularda analiz sonuçlarından da anlaşılabacağı üzere, asal basınç gerilmelerinin, yapıya hasar verecek düzeyde olmadığı görülmüştür. En büyük basınç gerilmesi, davranış spektrum analizi içerisinde her üç global eksen doğrultusundan aynı anda etki edebilecek deprem kuvveti sonucunda 3.168 MPa olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.67-68). Bu kuvvetin hem harç olarak kullanılan malzemenin hem de yapı malzemesi olan traverten taşına ait basınç gerilmelerini aşmadığı ve yapının emniyette olduğu analizler neticesinde kanıtlanmıştır.

Yapının dinamik özelliklerinden mod şekillerine bakıldığında olası bir deprem esnasında yapının herhangi bir şekilde yıkılma tehlikesi teşkil etmediği böylece yenilemede kullanılan malzemelerin ne kadar doğru seçildiği tetkik edilmiştir.

YLT ile oluşturulan nokta bulutu dosyası sayesinde teknolojinin, yapı analizlerinde daha net sonuçlar çıkarmak adına ne denli önemli olduğu bir kez daha kanıtlanmıştır. Köprünün yenileme sonrasında araç trafiğine kapalı oldukları sürece üzerine gelen yükleri emniyetle taşıyabildiği belirlenmiştir.

Son olarak, YLT ile elde edilen nokta bulutunun katı eleman modeline dönüştürülmesi ve bu modelin bir sonlu eleman programı yardımıyla analiz edilmesinin özgün olduğu ve literatüre sağladığı katkıyla birlikte bundan sonraki benzer çalışmalara faydalı olacağı düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Amman, B. 2012. Tarihi yapıların hasar onarım tespiti ve restorasyon çalışmaları. Yüksek lisans tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa.
- ABAQUS Tutorials, Online Documentation Dassault Systemes Simulia User Assistance 2019. Dassault Systemes.
- Armesto, J., Pardiñas, J.R., Lorenzo, H., Arias, P. 2010. Modelling masonry arches shape using terrestrial laser scanning data and nonparametric methods. *Engineering Structures*, 32, s 607-615.
- Bayburtluoğlu, C. 2003. Yüksek Kayalığın Yanındaki Yer Arycanda. Homer Kitabevi, İstanbul, 204 s.
- Bayraktar, A. 2005. Tarihi Yığma Yapıların Depreme Karşı Güçlendirilmesi. Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı, 17 Şubat, ODTÜ, Ankara.
- Bayülke, N. 1992. Yığma yapılar. İnşaat Mühendisleri Odası yayını, Ankara, 279 s.
- Birinci, F. 2010. Taş kemer köprülerin sonlu eleman modellerinin operasyonel modal analiz yöntemiyle iyileştirilmesi. Yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Böke, H., Akkurt, S. ve İpekoğlu, B. 2004. Tarihi yapılarda kullanılan horasan harcı ve sıvalarının özellikleri. *Mühendislik Dergisi*, 34322: 387-398.
- Castellazzi, G., Miranda, S.D. ve Mazzotti, C. 2012. Finite element modelling tuned on experimental testing for the structural health assessment of an ancient masonry arch bridge, *Mathematical Problems in Engineering*, doi:10.1155/2012/495019.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N. 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı. Beta Yayınları, İstanbul, 739 s.
- Ceylan, İ. 2013. Karayolları 13'üncü bölge sınırları içinde yer alan tarihi köprülerin incelenmesi. Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Çamlıbel, N. 2000. Yapıların Taşıma Gücünün İyileştirilmesi. Birsan yayınevi, İstanbul, 258 s.
- Çelik S. B. ve Çobanoğlu İ. 2019. Denizli travertenlerinde P ve S dalga hızları ile bazı fiziksel ve tek eksenli sıkışma dayanımı özellikleri arasındaki ilişkilerin araştırılması, *Politeknik Dergisi*, 22(2): 341-349.
- Çömert, R., Avdan, U., Tün, M., Ersoy, M. 2012. Mimari belgelemede yersel lazer tarama yönteminin uygulanması (Seyitgazi Askerlik Şubesi Örneği), *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4 (1): 1-18.
- Dabanlı, M. Ö. 2008. Tarihi yığma yapıların deprem performansının belirlenmesi. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bil. Enst., İstanbul, 170 s.

- Dirlik, N. 2017. Antik dönemde kemer ve tonoz, *Tarih Okulu Dergisi*, 32 s.
- Döndüren, M. S., Şişik, Ö., ve Demiröz. A. 2017. Tarihi yapılarda görülen hasar türleri, *Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Teknik Araştırmalar Dergisi*, 13: 45-58.
- Duggan, T. M. 2004. A short account of recorded calamities (Earthquakes and plagues) in Antalya province and adjacent and related areas over the past 2,300 years an incomplete list comments and observations ADALYA VII, s. 123-170.
- Duggan, T. M. 2005. Supplementary data to be added to the chronology of plague and earthquakes in Antalya province and in adjacent and related areas. Adalya, s. 357-391.
- Genç, A. F. 2015. Tarihi köprülerin yapısal davranışına restorasyon çalışmalarının etkisi. Yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Guiooni, E. vd. 1994. Catalogue of Ancient Earthquakes in the Mediterranean Area up to the 10th Century. Instituto Nazionale di Geofisica, Roma, 504 s.
- Gürbüz, S.M. 2012. Kayseri taş köprüleri. Yüksek lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Heyman, J. 1999. The Stone Skeleton, Structural Engineering of Masonry Architecture. Cambridge Üniversitesi Yayınları, Cambridge, Birleşik Krallık, 166 s.
- İlter, F. 1978. Osmanlılara Kadar Anadolu Türk Köprüleri, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Kanıt, R. ve Işık, N.S. 2007. Tuğla kemerlerin deneysel davranışı ve bilgisayar modeli analizleri, *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 22 (1): 13-20.
- KGM 2016, Antalya ili Serik ilçesi Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsü teknik rapor. Rapor No: (yayınlanmamış) Karayolları Genel Müdürlüğü, 13'üncü Bölge Müdürlüğü, Antalya.
- Korkmaz, K.A., Zabin, P., Çarhoğlu, A.I. ve Nuhoglu, A., 2013. Taş kemer köprülerin deprem davranışlarının değerlendirilmesi: Timisvat köprüsü örneği, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 2(1): 66-75.
- Küban, D. 1998. Mimarlık Kavramları. Yapı Endüstri Merkezi Yayınları, İstanbul, 91 s.
- Lourenço, P. B. 1996. Computational strategies for masonry structures, delft., Doktora tezi, Delft Teknoloji Üniversitesi, Hollanda.
- Lourenço, P. B. 1998. Experimental and numerical issues in the modelling of the mechanical behaviour of masonry. structural analysis of historical constructions II. Minho Üniversitesi, Portekiz, s. 57-91.
- Lourenço, P. B. 2000. Current experimental and numerical issues in masonry research. Minho Üniversitesi, Portugal, s. 119-136.

- Lourenço, P. B., Vasconcelos, G., ve Ramos, L. 2001. Assessment of the stability conditions of acistercian cloister. Minho Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Guimaraes, Portekiz.
- Lubowiecka, I., Armesto, J., Arias, P., Lorenzo, H. (2009). Historic bridge modelling using laser scanning, ground penetrating radar and finite element methods in the context of structural dynamics. *Engineering Structures*, 3, s. 2667-2676.
- Namlı, M. 2001. Tarihi yapıların temel sistemleri ve temel takviyesi yöntemleri. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İstanbul, 182 s.
- Orhan, S.N. 2010. Tek açıklıklı dairesel kâgir kemer köprülerin göçme yüklerinin limit analiz yöntemleri ile hesaplanması. Yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 147 s.
- Öksüz, M. ve Topan, H. 2012. Yersel lazer tarama teknolojisi ve kültürel mirasın korunması uygulamasında tarihi Gölyazı kilisesi örneği. Yüksek lisans tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı, Zonguldak.
- Ötüken, S. Y. 1996. Lyk1a ortaçağ araştırmaları ve Demre Aziz Nicolas kilisesi kazısı. Adalya I., s. 73-78.
- Özdemir, H. 2018. Tarihi yapıların bilgisayar destekli analizi: Patara antik kent tiyatrosu sahne yapısı örneği. Yüksek lisans tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, 123 s.
- Özer, S. 2006. Geleneksel yığma yapılarda srüktürel elemanların analizi. Yüksek lisans tezi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 108 s.
- Öztürk, T. ve Mahberel, H. A. 2006. Tarihi Yapıların Mevcut Güvenliğinin Belirlenmesi Onarım ve Güçlendirilmesi. 7. Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Konferansı, 11-13 Ekim, İstanbul.
- Proske, D. ve Gelder, P. 2009. Safety of Historical Stone Arch Bridges. İngiltere, 366 s.
- Riveiro, B., Morer, P., Arias, P., Arteaga, I.D. 2011. Terrestrial laser scanning and limit analysis of masonry arch bridges: *Construction and building materials*, 25(4): 1726-1735.
- Saraç, M. 2003. Tarihi yığma kâgir yapıların güçlendirilmesi. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 155 s.
- Schueremans, L. 2001. Probabilistic evaluation of structural unreinforced masonry. Doktora tezi, Leuven Katolik Üniversitesi, Heverlee, Belçika, 329 s.
- Simulia ABAQUS 6.14, Getting Started with ABAQUS Keywords Edition, Dassault Systemes, 2014.
- Softa, M., Turan, M. ve Sözbilir, H. 2018. Jeolojik, arkeolojik ve arkeosismolojik veriler ışığında Myra Antik Kenti'nde tarihsel depremlere ait deformasyon verileri, GB Anadolu. *Geological Bulletin of Turkey*, 61:51-74.

- Soygeniş, M. 1999. Yapı 2. Birsen Yayınevi, İstanbul, 254 s.
- Toker, S. ve Ünay, A.İ., 2004. Mathematical modeling and finite element analysis of masonry arch bridges, *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 17(2): 129-139.
- Tunç, G. 1978. Taş Köprülerimiz. Karayolları Genel Müd. Yayınları, Ankara, 222 s.
- Türkçü, Ç. 2000. Yapım. Birsen Yayınevi, İstanbul, 340 s.
- Ural, A. ve Doğangün, A. 2007. Mikro Modelleme Tekniği Kullanılarak Yığma Yapıların Deprem Performansının İncelenmesi. International Earthquake Symposium, ss. 323-331, 22-26 Ocak, Kocaeli.
- Ural, A., Oruç, Ş. ve Doğangün, A. 2007. Doğu Karadeniz bölgesindeki tarihi kemer köprülerin onarım ve güçlendirme çalışmaları, *Yapı Dünyası Dergisi*, 132 s.
- Ural, A., Oruç, Ş., Doğangün, A. ve Tuluk, Ö.İ. 2008. Turkish historical arch bridges and their deteriorations and failures, *Engineering Failure Analysis*, 15, s 43-53.
- Ural, A. 2009. Yığma yapıların doğrusal ve doğrusal olmayan davranışlarının incelenmesi. Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 185 s.
- Yavuz, U. C. 2012, Tarihi Yapılarda Statik Güçlendirme Teknikleri. Ankara. Kültür ve Turizm Bakanlığı Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Ünay, A. G. 2002. Tarihi Yapıların Depreme Dayanımı. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi Yayınları, Ders Kitabı, Ankara, 172 s.
- Wilson, E. L. 2018. Analysis Reference Manual for SAP2000. Berkeley, CA, USA: CSI, Computers and Structures.
- Yorulmaz, M., Vintzeleou, E., and Convenour, F. 1984. Design and construction of stone and brick masonry buildings. Building construction unde seismic conditions in the Balkan region project. Birleşmiş Milletler Gelişme Programı. Rapor No: 22834, Viyana.
- Anonim 1: <https://canakkale.com/gezilecek-yerler/tuzla-roma-koprusu> [Son erişim tarihi: 15.05.2019].
- Anonim 2: <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/adana/gezilecekyer/misis-koprusu> [Son erişim tarihi: 15.05.2019].
- Anonim 3: <https://www.artigercek.com/haberler/meclis-te-hasankeyf-aciklamasi-ciklet-degil-dinamit> [Son erişim tarihi: 15.05.2019].
- Anonim 4: https://www.yeniasya.com.tr/kultur-sanat/malabadi-koprusu-mukemmel-mimarisi-ile-gorenleri-hayrette-birakiyor_469653 [Son erişim tarihi: 15.05.2019].

- Anonim5: http://www.boytasfk.com/fotograf/mimar_sinan_in_ogrencisi_mimar_hayrettin_in_muhtesem_eseri_mostar_koprusu_7153 [Son erişim tarihi: 15.05.2019].
- Anonim 6: https://www.yeniasya.com.tr/yurt-haber/800-yillik-tarihi-kopru-neden-egri-bilen-yok_428573 [Son erişim tarihi: 15.05.2019].
- Anonim 7: <http://sibelsedefoglu.blogspot.com/2015/01/mimarsinann-ellerinden-ckma-kanuni.html> [Son erişim tarihi: 15.05.2019].
- Anonim 8: <https://www.sozcu.com.tr/hayatim/seyahat/dunyanin-en-uzun-tas-koprusu-ergene-koprusu/> [Son erişim tarihi: 15.05.2019].
- Anonim 9: <http://gezilecekyerler.com/aralik-koyu-koprusu/> [Son erişim tarihi: 15.05.2019].
- Anonim 10: <https://www.pinterest.com.au/pin/680536193663352456/?lp=true> [Son erişim tarihi: 15.05.2019].
- Anonim 11: http://ders.insaatbolumu.com/wp-content/uploads/moloz_tas_duvarlar1.gif [Son erişim tarihi: 15.05.2019].
- Anonim12: http://ders.insaatbolumu.com/wpcontent/uploads/ince_yonu_tas_duvarlar.gif [Son erişim tarihi: 15.05.2019].
- Anonim 13: http://ders.insaatbolumu.com/wp-content/uploads/kesme_tas_duvarlar.gif [Son erişim tarihi: 15.05.2019].
- Anonim 14: <http://www.karaisali.bel.tr/wp-content/uploads/2015/07/varda-koprusu.jpg> [Son erişim tarihi: 15.05.2019].
- Anonim 15: <https://www.milligazete.com.tr/haber/1496539/mimar-sinanin-bosna-hersekteki-imzasi-drina-koprusu> [Son erişim tarihi: 15.05.2019].
- Anonim 16: <https://www.dunyabulteni.net/tarih-dosyasi/mostar-koprusu-27-yil-once-bombalanmisti-h345513.html> [Son erişim tarihi: 15.05.2019].

7. EKLER

EK-1. Restorasyonda kullanılan Denizli Kocabağ travertenine ait deneysel çalışmalar sonucu elde edilen mekanik özellikler

EK-2. Restorasyonda kullanılan Master Emaco® S 285 TIX malzemesine ait üretici firma (BASF) tarafından hazırlanan bilgi broşürü

EK-3. Restorasyonda kullanılan Master Emaco® S 285 TIX malzemesine ait üretici firma (BASF) tarafından yayınlanan mekanik özellikler

EK-4. Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsüne ait koordinatların AFAD verileri

EK-5. Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsüne ait X, Y ve Z eksenleri koordinat tabloları

EK-1. Restorasyonda kullanılan Denizli Kocabağ travertenine ait deneysel çalışmalar sonucu elde edilen mekanik özellikler

Tablo. 1. Çalışma alanı travertenlerinin fizikomekanik deney sonuçları (Par: Paralel)

NO	DENEYİN ADI	TRAVERTEN TİPLERİ	FİZİKOMEKANİK ÖZELLİKLER
1	Kuru Birim Hacim Ağırlığı	1. Tip Traverten 2. Tip Traverten	2.220 gr/cm ³ 2.556 gr/cm ³
2	Doygun Birim Hacim Ağırlığı	1. Tip Traverten 2. Tip Traverten	2.304 gr/cm ³ 2.582 gr/cm ³
3	Özgül Ağırlık	1. Tip Traverten 2. Tip Traverten	2.485 2.656
4	Doluluk Oranı	1. Tip Traverten 2. Tip Traverten	% 92.0 % 97.6
5	Görünür Porozite	1. Tip Traverten 2. Tip Traverten	% 8.0 % 2.4
6	Gerçek Porozite	1. Tip Traverten 2. Tip Traverten	% 16.97 % 4.02
7	Ağırlıkça Su Emme	1. Tip Traverten 2. Tip Traverten	% 3.77 % 1.03
8	Hacimce Su Emme	1. Tip Traverten 2. Tip Traverten	% 8.36 % 2.62
9	Elastisite Deneyi	1. Tip Traverten (GN/m ²) 2. Tip Traverten (GN/m ²)	Par:35.2 dik:26.4 ----
10	Nokta Yük Dayanımı	1. Tip Traverten 2. Tip Traverten	----
11	Tek Eksenli Basma Dayanımı	1. Tip Traverten (kg/cm ²) 2. Tip Traverten (kg/cm ²)	Par:427,5 Par:665,4 Dik:318,7 Dik:855,1

5.3. Çalışma Alanı Travertenlerinin Pınarkent, Kocabaş (Kuşgölü) mevki, Kömürcüoğlu, Faber ve Irlaganlı – Yeniköy Travertenleri ile Karşılaştırılması

Çalışma alanından alınan traverten numuneleri üzerinde yapılan fiziksel ve mekanik deneylerde elde edilen sonuçlarla daha önceki çalışmacılar tarafından yapılan Pınarkent, Kocabaş (Küçükkuşgölü) mevki, Kömürcüoğlu, Faber ve Irlaganlı–Yeniköy Travertenlerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının karşılaştırılması yapılmıştır (Tablo. 2).

Çalışma alanı ve diğer traverten sahaları arasındaki farklar grafiklerle gösterilmeye çalışılmıştır.

EK-2. Restorasyonda kullanılan Master Emaco® S 285 TIX malzemesine ait üretici firma (BASF) tarafından hazırlanan bilgi broşürü

128 Ürün Broşürü
BASF Yapı Kimyasallar Ürün Bilgi Broşürü

ONARIM VE KORUMA SİSTEMLERİ ÜRÜN ÖNERİ TABLOSU

		Ürünler																		
		MasterInject® 222	MasterEmaco® N 275 TIX	MasterEmaco® A 265	MasterEmaco® S 285 TIX	MasterEmaco® N 215 FC	MasterEmaco® N 900	MasterEmaco® P 300	MasterEmaco® S 488 PG	MasterEmaco® T 1100 TIX	MasterEmaco® 1200 PG	MasterEmaco® N 605	MasterEmaco® N 601	MasterEmaco® N 600	MasterFlow® 402 RS	MasterProtect® H1100	MasterProtect® 8000 CI	MasterProtect® 330 EL	160	
Taşıyıcı Kolon, Kiriş ve Perde Onarımları																				
Döşeme ve Plak Onarımları																				
Menhol Kapakları ve Prekast Kanal Montajı																				
Pas Payı Eksiklerinin Onarımları																				
Havzaları ve Liman Pistleri Onarımları																				
Liman, İskele ve Su Yapıları Onarımları																				
Yapısal Onarımlarda Yüzey Düzeltme																				
Brüt Beton Yüzey Düzeltme ve Sıva Onarımları																				
Boya Öncesi Yüzey Düzeltme																				
Tarihi Kargir Yapı Derz Onarımları																				
Tarihi Kargir Yapı Yüzey Düzeltme ve Sıva Onarımı																				
Tarihi Kargir Yapı Yapısal Onarımı																				
Tarihi Kargir Yapı Enjeksiyonları																				
Beton, Taş, Tuğla, Mermer vb. Emici Yüzeylerin Çevresel Etkilere Karşı Korunması																				
Korozyon Koruma																				
Beton ve Çelik Yüzeylerin Korunması																				
Korozyon Onarımları																				
Karot, Tij vb. Boşlukların Doldurulması																				
İzolasyon Öncesi Onarımlar (Pah ve Segrasyon)																				
UYGULAMA TİPİ	Kalıplı Uygulamalar																			
	Malz Uygulamaları																			
	Fırça Uygulamaları																			
	Rulo Uygulamaları																			
	Püskürtme Uygulamaları																			
	Enjeksiyon Uygulamaları																			

EK-3. Restorasyonda kullanılan Master Emaco® S 285 TIX malzemesine ait üretici firma (BASF) tarafından yayınlanan mekanik özellikler

132 Ürün Broşürü
BASF Yapı Kimyasalları Ürün Bilgi Broşürü



MasterEmaco® S 285 TIX

(Eski Adı Albaria® Struttur)

Tanımı

MasterEmaco® S 285 TIX, tarihi yapılar için geliştirilmiş, puzolanik kireç esaslı, çimento içermeyen, yüksek mukavemetli, tiksotropik onarım harcıdır.

Kullanım Yerleri

- Yığma duvarların mantolanmasında
- Kemer ve tonozların mantolanmasında
- Duvar ve sıva onarımlarında
- Duvar derzlerinde karbon çubukların yerleştirilmesinde
- Yığma temellerin onarımı ve güçlendirilmesinde
- İçine agrega ilave edilerek döşeme onarımları veya kalın mantolama uygulamalarında onarım harcı olarak kullanılır

Avantajları

- Çimento içermez.
- Mekanik dayanımları yüksektir.

- Yapışma dayanımı yüksektir.
- İçerdiği suda çözülebilir tuzlar sınırlandırılmıştır.
- Kolay hazırlanır ve uygulanır.
- Nefes alabilir, su buharı geçirimsizliği yüksektir.
- Kapiler su emme özelliği düşüktür.
- Çiçeklenme direnci yüksektir.

Sarfiyat

1 m² genişliğinde ve 1 cm kalınlığında sıva elde etmek için 17,0 kg kuru ürün gereklidir.

Ambalaj

20 kg'lık torba

Raf Ömrü

Uygun depolama koşullarında üretim tarihinden itibaren 12 aydır.

Teknik Özellikleri

Malzeme Yapısı	Puzolanik Kireç ve Özel Gradasyonlu Doğal Agreg	
Su Buharı Geçirimsizliği EN1745	µ<35	WK
İçerdiği Suda Çözülebilir Tuzlar UNI 11087	Elektriksel Geçirgenliği < 80 µS.cm ⁻¹ SO ₄ <%1 Na ⁺ <%0,05 K ⁺ <%0,05	
Kapiler Su Emme UNI EN 1015/18	0,2 kg.m ⁻² .min-0,5	
Basınç Dayanımı UNI EN 1015/11	15-20 N/mm ²	
Elastisite Modülü UNI EN 13412	16.000 N/mm ²	
Uygulamada Zemin ve Ortam Sıcaklığı	+5°C +40°C	

EK-4. Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsüne ait koordinatların AFAD verileri

21.07.2019

Sismik Tehlike Haritası Özet Raporu



Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması

Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı:	yüksek	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi:	DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı	ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak - katı kil tabakaları veya $P_f > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($C_u < 25$ kPa) içeren profiller
Enlem:	36.983629°	
Boylam	30.971175°	

21.07.2019

Sismik Tehlike Haritası Özet Raporu

Çıktılar

 $S_S = 0.519$
 $S_1 = 0.138$
 $S_{DS} = 0.867$
 $S_{D1} = 0.532$
 $PGA = 0.245$
 $PGV = 10.234$
 S_S : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

 S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

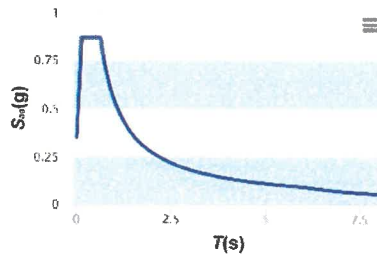
 S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

 S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

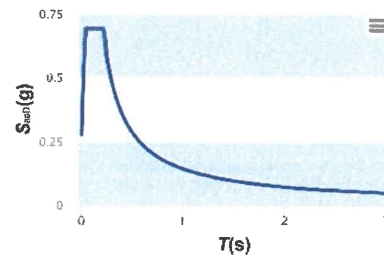
 PGA : En büyük yer ivmesi [g]

 PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

Yatay Elastik Tasarım Spektrumu



Düşey Elastik Tasarım Spektrumu



EK-5. Ayvalıkemer (Sillyon) köprüsüne ait X, Y ve Z eksenleri koordinat tabloları

MANSAP CEPHESİ					MEMBA CEPHESİ				
MAHAL İSMİ & MAHAL NO	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	3 LÜ KOORDİNAT	MAHAL İSMİ & MAHAL NO	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	3 LÜ KOORDİNAT
MANSAP CEPHE 1	1.392	-38.841	28.547	1392,-38841,28547	MEMBA CEPHE 1	14.182	-295	29.340	14182,-295,29340
MANSAP CEPHE 2	2.509	-37.274	28.634	2509,-37274,28634	MEMBA CEPHE 2	13.974	-834	29.366	13974,-834,29366
MANSAP CEPHE 3	3.814	-35.427	29.132	3814,-35427,29132	MEMBA CEPHE 3	13.620	-1.781	29.469	13620,-1781,29469
MANSAP CEPHE 4	4.938	-33.794	29.388	4938,-33794,29388	MEMBA CEPHE 4	13.168	-2.962	29.587	13168,-2962,29587
MANSAP CEPHE 5	5.379	-33.139	29.491	5379,-33139,29491	MEMBA CEPHE 5	12.608	-4.464	29.734	12608,-4464,29734
MANSAP CEPHE 6	5.852	-32.445	29.604	5852,-32445,29604	MEMBA CEPHE 6	12.097	-5.793	29.880	12097,-5793,29880
MANSAP CEPHE 7	5.952	-32.243	29.630	5952,-32243,29630	MEMBA CEPHE 7	11.696	-6.855	29.980	11696,-6855,29980
MANSAP CEPHE 8	6.376	-31.305	29.714	6376,-31305,29714	MEMBA CEPHE 8	11.141	-8.257	30.133	11141,-8257,30133
MANSAP CEPHE 9	6.791	-30.404	29.787	6791,-30404,29787	MEMBA CEPHE 9	10.561	-9.637	30.291	10561,-9637,30291
MANSAP CEPHE 10	7.699	-28.403	29.982	7699,-28403,29982	MEMBA CEPHE 10	9.936	-11.141	30.466	9936,-11141,30466
MANSAP CEPHE 11	9.141	-24.960	30.263	9141,-24960,30263	MEMBA CEPHE 11	9.505	-12.164	30.581	9505,-12164,30581
MANSAP CEPHE 12	10.029	-22.949	30.463	10029,-22949,30463	MEMBA CEPHE 12	8.993	-13.390	30.726	8993,-13390,30726
MANSAP CEPHE 13	11.169	-20.218	30.720	11169,-20218,30720	MEMBA CEPHE 13	8.590	-14.350	30.841	8590,-14350,30841
MANSAP CEPHE 14	11.990	-18.233	30.880	11990,-18233,30880	MEMBA CEPHE 14	8.230	-15.227	30.931	8230,-15227,30931
MANSAP CEPHE 15	12.260	-17.630	30.925	12260,-17630,30925	MEMBA CEPHE 15	8.001	-15.746	30.982	8001,-15746,30982
MANSAP CEPHE 16	12.563	-16.967	30.866	12563,-16967,30866	MEMBA CEPHE 16	7.774	-16.296	30.957	7774,-16296,30957
MANSAP CEPHE 17	12.960	-16.032	30.796	12960,-16032,30796	MEMBA CEPHE 17	7.435	-17.054	30.882	7435,-17054,30882
MANSAP CEPHE 18	13.390	-15.019	30.701	13390,-15019,30701	MEMBA CEPHE 18	7.084	-17.871	30.823	7084,-17871,30823
MANSAP CEPHE 19	13.916	-13.783	30.574	13916,-13783,30574	MEMBA CEPHE 19	6.777	-18.588	30.750	6777,-18588,30750
MANSAP CEPHE 20	14.506	-12.380	30.421	14506,-12380,30421	MEMBA CEPHE 20	6.333	-19.638	30.637	6333,-19638,30637
MANSAP CEPHE 21	15.182	-10.760	30.260	15182,-10760,30260	MEMBA CEPHE 21	5.915	-20.632	30.533	5915,-20632,30533
MANSAP CEPHE 22	15.960	-8.705	30.073	15960,-8705,30073	MEMBA CEPHE 22	5.454	-21.730	30.420	5454,-21730,30420
MANSAP CEPHE 23	16.703	-6.855	29.884	16703,-6855,29884	MEMBA CEPHE 23	4.829	-23.241	30.268	4829,-23241,30268
MANSAP CEPHE 24	17.183	-5.613	29.764	17183,-5613,29764	MEMBA CEPHE 24	4.293	-24.442	30.167	4293,-24442,30167
MANSAP CEPHE 25	17.758	-4.122	29.609	17758,-4122,29609	MEMBA CEPHE 25	3.777	-25.634	30.083	3777,-25634,30083
MANSAP CEPHE 26	18.155	-3.091	29.506	18155,-3091,29506	MEMBA CEPHE 26	3.134	-27.179	29.960	3134,-27179,29960
MANSAP CEPHE 27	18.575	-1.985	29.405	18575,-1985,29405	MEMBA CEPHE 27	2.545	-28.610	29.824	2545,-28610,29824
MANSAP CEPHE 28	1.398	-38.838	28.142	1398,-38838,28142	MEMBA CEPHE 28	2.163	-29.524	29.753	2163,-29524,29753
MANSAP CEPHE 29	1.773	-38.297	28.056	1773,-38297,28056	MEMBA CEPHE 29	1.869	-30.227	29.692	1869,-30227,29692
MANSAP CEPHE 30	2.304	-37.534	28.060	2304,-37534,28060	MEMBA CEPHE 30	1.435	-31.237	29.585	1435,-31237,29585

MANSAP CEPHE 31	3.003	-36.595	28.168	3003,-36595,28168	MEMBA CEPHE 31	1.143	-31.902	29.503	1143,-31902,29503
MANSAP CEPHE 32	3.846	-35.325	28.036	3846,-35325,28036	MEMBA CEPHE 32	735	-32.222	29.446	735,-32222,29446
MANSAP CEPHE 33	4.763	-34.019	28.046	4763,-34019,28046	MEMBA CEPHE 33	-23	-32.772	29.333	-23,-32772,29333
MANSAP CEPHE 34	5.463	-33.002	27.943	5463,-33002,27943	MEMBA CEPHE 34	-796	-33.336	29.237	-796,-33336,29237
MANSAP CEPHE 35	6.135	-31.885	27.782	6135,-31885,27782	MEMBA CEPHE 35	-1.728	-34.017	29.096	-1728,-34017,29096
MANSAP CEPHE 36	6.441	-31.230	27.681	6441,-31230,27681	MEMBA CEPHE 36	-2.343	-34.471	28.993	-2343,-34471,28993
MANSAP CEPHE 37	6.812	-30.410	27.384	6812,-30410,27384	MEMBA CEPHE 37	-3.143	-35.061	28.865	-3143,-35061,28865
MANSAP CEPHE 38	7.239	-29.513	27.106	7239,-29513,27106	MEMBA CEPHE 38	-4.136	-35.786	28.693	-4136,-35786,28693
MANSAP CEPHE 39	7.666	-28.557	26.721	7666,-28557,26721	MEMBA CEPHE 39	13.958	-908	29.000	13958,-908,29000
MANSAP CEPHE 40	7.914	-27.956	26.543	7914,-27956,26543	MEMBA CEPHE 40	13.943	-966	28.698	13943,-966,28698
MANSAP CEPHE 41	8.071	-27.570	26.560	8071,-27570,26560	MEMBA CEPHE 41	13.921	-1.039	28.213	13921,-1039,28213
MANSAP CEPHE 42	16.747	-7.124	26.563	16747,-7124,26563	MEMBA CEPHE 42	13.890	-1.131	27.846	13890,-1131,27846
MANSAP CEPHE 43	16.950	-6.571	26.560	16950,-6571,26560	MEMBA CEPHE 43	13.838	-1.259	27.700	13838,-1259,27700
MANSAP CEPHE 44	17.139	-6.102	26.690	17139,-6102,26690	MEMBA CEPHE 44	13.663	-1.752	27.606	13663,-1752,27606
MANSAP CEPHE 45	17.415	-5.281	27.044	17415,-5281,27044	MEMBA CEPHE 45	13.517	-2.164	27.437	13517,-2164,27437
MANSAP CEPHE 46	17.608	-4.738	27.270	17608,-4738,27270	MEMBA CEPHE 46	13.266	-2.845	27.288	13266,-2845,27288
MANSAP CEPHE 47	17.868	-4.032	27.531	17868,-4032,27531	MEMBA CEPHE 47	13.065	-3.375	27.159	13065,-3375,27159
MANSAP CEPHE 48	18.008	-3.638	27.671	18008,-3638,27671	MEMBA CEPHE 48	12.886	-3.901	27.029	12886,-3901,27029
MANSAP CEPHE 49	18.331	-2.758	27.825	18331,-2758,27825	MEMBA CEPHE 49	12.725	-4.409	26.963	12725,-4409,26963
MANSAP CEPHE 50	18.390	-2.639	28.405	18390,-2639,28405	MEMBA CEPHE 50	12.637	-4.601	26.885	12637,-4601,26885
MANSAP CEPHE 51	18.357	-2.604	28.878	18357,-2604,28878	MEMBA CEPHE 51	12.552	-4.802	26.791	12552,-4802,26791
MANSAP CEPHE 52	18.382	-2.492	29.390	18382,-2492,29390	MEMBA CEPHE 52	12.432	-5.159	26.617	12432,-5159,26617
MANSAP 1. KEMER 1	8.136	-27.410	26.561	8136,-27410,26561	MEMBA CEPHE 53	12.287	-5.551	26.472	12287,-5551,26472
MANSAP 1. KEMER 2	8.150	-27.384	26.847	8150,-27384,26847	MEMBA CEPHE 54	3.563	-26.044	26.540	3563,-26044,26540
MANSAP 1. KEMER 3	8.110	-27.333	27.195	8110,-27333,27195	MEMBA CEPHE 55	3.409	-26.429	26.538	3409,-26429,26538
MANSAP 1. KEMER 4	8.165	-27.267	27.588	8165,-27267,27588	MEMBA CEPHE 56	3.251	-26.884	26.823	3251,-26884,26823
MANSAP 1. KEMER 5	8.221	-27.136	27.830	8221,-27136,27830	MEMBA CEPHE 57	3.140	-27.079	26.995	3140,-27079,26995
MANSAP 1. KEMER 6	8.316	-26.972	28.185	8316,-26972,28185	MEMBA CEPHE 58	3.021	-27.430	26.943	3021,-27430,26943

MANSAP 1. KEMER 7	8.387	-26.838	28.404	8387,-26838,28404	MEMBA CEPHE 59	2.873	-27.741	26.993	2873,-27741,26993
MANSAP 1. KEMER 8	8.449	-26.695	28.603	8449,-26695,28603	MEMBA CEPHE 60	2.634	-28.334	26.981	2634,-28334,26981
MANSAP 1. KEMER 9	8.541	-26.426	28.845	8541,-26426,28845	MEMBA CEPHE 61	2.293	-29.150	26.971	2293,-29150,26971
MANSAP 1. KEMER 10	8.678	-26.073	29.076	8678,-26073,29076	MEMBA CEPHE 62	1.863	-30.107	26.964	1863,-30107,26964
MANSAP 1. KEMER 11	8.849	-25.682	29.268	8849,-25682,29268	MEMBA CEPHE 63	1.513	-31.037	27.026	1513,-31037,27026
MANSAP 1. KEMER 12	8.944	-25.281	29.392	8944,-25281,29392	MEMBA CEPHE 64	1.077	-31.991	27.183	1077,-31991,27183
MANSAP 1. KEMER 13	9.108	-24.885	29.466	9108,-24885,29466	MEMBA CEPHE 65	336	-32.507	27.184	336,-32507,27184
MANSAP 1. KEMER 14	9.220	-24.685	29.448	9220,-24685,29448	MEMBA CEPHE 66	-402	-33.058	27.217	-402,-33058,27217
MANSAP 1. KEMER 15	9.318	-24.515	29.414	9318,-24515,29414	MEMBA CEPHE 67	-1.170	-33.625	27.398	-1170,-33625,27398
MANSAP 1. KEMER 16	9.469	-24.183	29.361	9469,-24183,29361	MEMBA CEPHE 68	-2.289	-34.432	27.660	-2289,-34432,27660
MANSAP 1. KEMER 17	9.592	-23.935	29.274	9592,-23935,29274	MEMBA CEPHE 69	-3.264	-35.154	27.958	-3264,-35154,27958
MANSAP 1. KEMER 18	9.665	-23.754	29.175	9665,-23754,29175	MEMBA CEPHE 70	-4.120	-35.772	28.305	-4120,-35772,28305
MANSAP 1. KEMER 19	9.788	-23.460	29.017	9788,-23460,29017	MEMBA 1. KEMER 1	12.152	-5.902	26.401	12152,-5902,26401
MANSAP 1. KEMER 20	9.946	-23.063	28.767	9946,-23063,28767	MEMBA 1. KEMER 2	12.117	-6.011	26.848	12117,-6011,26848
MANSAP 1. KEMER 21	10.063	-22.763	28.490	10063,-22763,28490	MEMBA 1. KEMER 3	12.096	-6.074	27.141	12096,-6074,27141
MANSAP 1. KEMER 22	10.153	-22.491	28.172	10153,-22491,28172	MEMBA 1. KEMER 4	12.076	-6.129	27.374	12076,-6129,27374
MANSAP 1. KEMER 23	10.313	-22.287	27.782	10313,-22287,27782	MEMBA 1. KEMER 5	12.044	-6.242	27.708	12044,-6242,27708
MANSAP 1. KEMER 24	10.352	-22.152	27.318	10352,-22152,27318	MEMBA 1. KEMER 6	12.046	-6.268	27.784	12046,-6268,27784
MANSAP 1. KEMER 25	10.415	-22.021	26.894	10415,-22021,26894	MEMBA 1. KEMER 7	11.995	-6.338	27.757	11995,-6338,27757
MANSAP 1. KEMER 26	10.462	-22.000	26.505	10462,-22000,26505	MEMBA 1. KEMER 8	11.893	-6.531	28.206	11893,-6531,28206
MANSAP 1. KEMER 27	10.476	-22.046	26.118	10476,-22046,26118	MEMBA 1. KEMER 9	11.743	-6.825	28.537	11743,-6825,28537
MANSAP 1. KEMER 28	10.463	-22.089	25.677	10463,-22089,25677	MEMBA 1. KEMER 10	11.596	-7.160	28.825	11596,-7160,28825
MANSAP 1. KEMER 29	10.430	-22.099	25.215	10430,-22099,25215	MEMBA 1. KEMER 11	11.520	-7.380	28.965	11520,-7380,28965
MANSAP 1. KEMER 30	11.045	-20.796	25.215	11045,-20796,25215	MEMBA 1. KEMER 12	11.458	-7.532	29.083	11458,-7532,29083
MANSAP 2. KEMER 1	11.045	-20.796	25.666	11045,-20796,25666	MEMBA 1. KEMER 13	11.392	-7.641	29.170	11392,-7641,29170
MANSAP 2. KEMER 2	11.011	-20.809	26.177	11011,-20809,26177	MEMBA 1. KEMER 14	11.344	-7.750	29.222	11344,-7750,29222
MANSAP 2. KEMER 3	10.809	-20.789	26.622	10809,-20789,26622	MEMBA 1. KEMER 15	11.314	-7.899	29.210	11314,-7899,29210
MANSAP 2. KEMER 4	10.960	-20.746	27.233	10960,-20746,27233	MEMBA 1. KEMER 16	11.245	-8.036	29.229	11245,-8036,29229
MANSAP 2. KEMER 5	11.060	-20.538	27.780	11060,-20538,27780	MEMBA 1. KEMER 17	11.158	-8.304	29.358	11158,-8304,29358
MANSAP 2. KEMER 6	11.120	-20.408	28.127	11120,-20408,28127	MEMBA 1. KEMER 18	11.049	-8.516	29.317	11049,-8516,29317
MANSAP 2. KEMER 7	11.183	-20.244	28.406	11183,-20244,28406	MEMBA 1. KEMER 19	10.978	-8.701	29.336	10978,-8701,29336
MANSAP 2. KEMER 8	11.294	-19.964	28.779	11294,-19964,28779	MEMBA 1. KEMER 20	10.769	-8.103	29.243	10769,-8103,29243
MANSAP 2. KEMER 9	11.356	-19.736	29.072	11356,-19736,29072	MEMBA 1. KEMER 21	10.736	-8.193	29.329	10736,-8193,29329
MANSAP 2. KEMER 10	11.465	-19.466	29.362	11465,-19466,29362	MEMBA 1. KEMER 22	10.586	-8.534	29.192	10586,-8534,29192
MANSAP 2. KEMER 11	11.630	-19.138	29.606	11630,-19138,29606	MEMBA 1. KEMER 23	10.551	-8.637	29.183	10551,-8637,29183
MANSAP 2. KEMER 12	11.765	-18.797	29.818	11765,-18797,29818	MEMBA 1. KEMER 24	10.543	-8.682	29.088	10543,-8682,29088
MANSAP 2. KEMER 13	11.920	-18.434	29.923	11920,-18434,29923	MEMBA 1. KEMER 25	10.398	-8.980	28.915	10398,-8980,28915
MANSAP 2. KEMER 14	12.048	-18.143	29.947	12048,-18143,29947	MEMBA 1. KEMER 26	10.381	-10.155	28.919	10381,-10155,28919

MANSAP 2. KEMER 15	12.209	-17.777	29.971	12209,-17777,29971	MEMBA 1. KEMER 27	10.315	-10.266	28.747	10315,-10266,28747
MANSAP 2. KEMER 16	12.355	-17.416	29.934	12355,-17416,29934	MEMBA 1. KEMER 28	10.257	-10.403	28.626	10257,-10403,28626
MANSAP 2. KEMER 17	12.504	-17.089	29.874	12504,-17089,29874	MEMBA 1. KEMER 29	10.161	-10.650	28.352	10161,-10650,28352
MANSAP 2. KEMER 18	12.647	-16.722	29.802	12647,-16722,29802	MEMBA 1. KEMER 30	10.039	-10.919	27.952	10039,-10919,27952
MANSAP 2. KEMER 19	12.785	-16.427	29.668	12785,-16427,29668	MEMBA 1. KEMER 31	10.010	-10.974	27.919	10010,-10974,27919
MANSAP 2. KEMER 20	12.968	-16.013	29.474	12968,-16013,29474	MEMBA 1. KEMER 32	9.984	-11.049	27.717	9984,-11049,27717
MANSAP 2. KEMER 21	13.136	-15.629	29.228	13136,-15629,29228	MEMBA 1. KEMER 33	9.958	-11.115	27.646	9958,-11115,27646
MANSAP 2. KEMER 22	13.273	-15.299	28.948	13273,-15299,28948	MEMBA 1. KEMER 34	9.937	-11.157	27.573	9937,-11157,27573
MANSAP 2. KEMER 23	13.382	-15.020	28.670	13382,-15020,28670	MEMBA 1. KEMER 35	9.937	-11.172	27.363	9937,-11172,27363
MANSAP 2. KEMER 24	13.473	-14.659	28.348	13473,-14659,28348	MEMBA 1. KEMER 36	9.911	-11.235	27.014	9911,-11235,27014
MANSAP 2. KEMER 25	13.461	-14.474	27.899	13461,-14474,27899	MEMBA 1. KEMER 37	9.907	-11.281	26.544	9907,-11281,26544
MANSAP 2. KEMER 26	13.575	-14.300	27.439	13575,-14300,27439	MEMBA 1. KEMER 38	9.818	-11.162	26.495	9818,-11162,26495
MANSAP 2. KEMER 27	13.668	-14.237	26.941	13668,-14237,26941	MEMBA 1. KEMER 39	9.833	-11.170	25.273	9833,-11170,25273
MANSAP 2. KEMER 28	13.741	-14.250	26.456	13741,-14250,26456	MEMBA 1. KEMER 40	9.199	-11.677	25.398	9199,-11677,25398
MANSAP 2. KEMER 29	13.747	-14.311	25.313	13747,-14311,25313	MEMBA 2. KEMER 1	9.289	-12.451	25.233	9289,-12451,25233
MANSAP 3. KEMER 1	14.251	-12.945	25.462	14251,-12945,25462	MEMBA 2. KEMER 2	9.298	-12.467	26.477	9298,-12467,26477
MANSAP 3. KEMER 2	14.205	-13.013	26.296	14205,-13013,26296	MEMBA 2. KEMER 3	9.415	-12.484	26.539	9415,-12484,26539
MANSAP 3. KEMER 3	14.188	-13.036	26.533	14188,-13036,26533	MEMBA 2. KEMER 4	9.418	-12.424	26.982	9418,-12424,26982
MANSAP 3. KEMER 4	14.200	-12.976	26.988	14200,-12976,26988	MEMBA 2. KEMER 5	9.387	-12.487	27.085	9387,-12487,27085
MANSAP 3. KEMER 5	14.222	-12.855	27.482	14222,-12855,27482	MEMBA 2. KEMER 6	9.364	-12.524	27.298	9364,-12524,27298
MANSAP 3. KEMER 6	14.327	-12.690	27.877	14327,-12690,27877	MEMBA 2. KEMER 7	9.382	-12.454	27.506	9382,-12454,27506
MANSAP 3. KEMER 7	14.448	-12.429	28.278	14448,-12429,28278	MEMBA 2. KEMER 8	9.348	-12.555	27.648	9348,-12555,27648
MANSAP 3. KEMER 8	14.551	-12.057	28.661	14551,-12057,28661	MEMBA 2. KEMER 9	9.326	-12.643	27.972	9326,-12643,27972
MANSAP 3. KEMER 9	14.708	-11.772	28.898	14708,-11772,28898	MEMBA 2. KEMER 10	9.261	-12.781	28.025	9261,-12781,28025
MANSAP 3. KEMER 10	14.909	-11.357	29.123	14909,-11357,29123	MEMBA 2. KEMER 11	9.209	-12.958	28.307	9209,-12958,28307
MANSAP 3. KEMER 11	15.091	-10.941	29.288	15091,-10941,29288	MEMBA 2. KEMER 12	9.188	-13.154	28.581	9188,-13154,28581
MANSAP 3. KEMER 12	15.200	-10.628	29.356	15200,-10628,29356	MEMBA 2. KEMER 13	9.106	-13.213	28.736	9106,-13213,28736
MANSAP 3. KEMER 13	15.280	-10.385	29.380	15280,-10385,29380	MEMBA 2. KEMER 14	9.052	-13.277	28.782	9052,-13277,28782
MANSAP 3. KEMER 14	15.395	-10.143	29.366	15395,-10143,29366	MEMBA 2. KEMER 15	8.967	-13.537	29.050	8967,-13537,29050
MANSAP 3. KEMER 15	15.426	-10.084	29.433	15426,-10084,29433	MEMBA 2. KEMER 16	8.852	-13.682	29.363	8852,-13682,29363
MANSAP 3. KEMER 16	15.613	-9.679	29.334	15613,-9679,29334	MEMBA 2. KEMER 17	8.718	-14.226	29.602	8718,-14226,29602
MANSAP 3. KEMER 17	15.627	-9.603	29.403	15627,-9603,29403	MEMBA 2. KEMER 18	8.531	-14.573	29.833	8531,-14573,29833
MANSAP 3. KEMER 18	15.796	-9.209	29.266	15796,-9209,29266	MEMBA 2. KEMER 19	8.388	-14.929	29.988	8388,-14929,29988
MANSAP 3. KEMER 19	15.879	-8.965	29.108	15879,-8965,29108	MEMBA 2. KEMER 20	8.225	-15.330	30.060	8225,-15330,30060
MANSAP 3. KEMER 20	15.968	-8.791	29.027	15968,-8791,29027	MEMBA 2. KEMER 21	8.102	-15.617	30.072	8102,-15617,30072
MANSAP 3. KEMER 21	16.126	-8.453	28.730	16126,-8453,28730	MEMBA 2. KEMER 22	7.924	-15.971	30.078	7924,-15971,30078
MANSAP 3. KEMER 22	16.253	-8.144	28.319	16253,-8144,28319	MEMBA 2. KEMER 23	7.785	-16.289	30.037	7785,-16289,30037
MANSAP 3. KEMER 23	16.299	-7.838	27.883	16299,-7838,27883	MEMBA 2. KEMER 24	7.604	-16.671	29.902	7604,-16671,29902
MANSAP 3. KEMER 24	16.464	-7.743	27.480	16464,-7743,27480	MEMBA 2. KEMER 25	7.426	-17.048	29.765	7426,-17048,29765
MANSAP 3. KEMER 25	16.524	-7.633	27.004	16524,-7633,27004	MEMBA 2. KEMER 26	7.264	-17.464	29.574	7264,-17464,29574
MANSAP 3. KEMER 26	16.573	-7.599	26.517	16573,-7599,26517	MEMBA 2. KEMER 27	7.154	-17.754	29.405	7154,-17754,29405
MANSAP CEPHE 1	1.392	-38.841	28.547	1392,-38841,28547	MEMBA 2. KEMER 28	7.049	-18.062	29.079	7049,-18062,29079
MANSAP CEPHE 2	2.509	-37.274	28.834	2509,-37274,28834	MEMBA 2. KEMER 29	6.938	-18.328	28.793	6938,-18328,28793
MANSAP CEPHE 3	3.814	-35.427	29.132	3814,-35427,29132	MEMBA 2. KEMER 30	6.853	-18.574	28.385	6853,-18574,28385
MANSAP CEPHE 4	4.938	-33.794	29.388	4938,-33794,29388	MEMBA 2. KEMER 31	6.792	-18.712	28.102	6792,-18712,28102
MANSAP CEPHE 5	5.379	-33.139	29.491	5379,-33139,29491	MEMBA 2. KEMER 32	6.765	-18.822	27.889	6765,-18822,27889
MANSAP CEPHE 6	5.852	-32.445	29.604	5852,-32445,29604	MEMBA 2. KEMER 33	6.694	-18.864	27.722	6694,-18864,27722
MANSAP CEPHE 7	5.952	-32.243	29.630	5952,-32243,29630	MEMBA 2. KEMER 34	6.650	-18.969	27.346	6650,-18969,27346
					MEMBA 2. KEMER 35	6.614	-19.023	26.936	6614,-19023,26936

MANSAP CEPHE 8	6 376	-31 305	29 714	6376,-31305,29714	MEMBA 2. KEMER 36	6.613	-19.050	26.552	6613,-19050,26552
MANSAP CEPHE 9	6 791	-30 404	29 787	6791,-30404,29787	MEMBA 2. KEMER 37	6.533	-18.952	26.477	6533,-18952,26477
MANSAP CEPHE 10	7 699	-28 403	29 982	7699,-28403,29982	MEMBA 2. KEMER 38	6.553	-18.948	26.146	6553,-18948,26146
MANSAP CEPHE 11	9 141	-24 960	30 263	9141,-24960,30263	MEMBA 2. KEMER 39	6.566	-18.949	25.657	6566,-18949,25657
MANSAP CEPHE 12	10 029	-22 949	30 463	10029,-22949,30463	MEMBA 2. KEMER 40	6.612	-18.947	25.186	6612,-18947,25186
MANSAP CEPHE 13	11 169	-20 228	30 720	11169,-20228,30720	MEMBA 2. KEMER 41	5.951	-19.431	25.190	5951,-19431,25190
MANSAP CEPHE 14	11 990	-18 233	30 880	11990,-18233,30880	MEMBA 3. KEMER 1	6.026	-20.248	25.114	6026,-20248,25114
MANSAP CEPHE 15	12 260	-17 630	30 925	12260,-17630,30925	MEMBA 3. KEMER 2	6.015	-20.243	25.616	6015,-20243,25616
MANSAP CEPHE 16	12 563	-16 967	30 866	12563,-16967,30866	MEMBA 3. KEMER 3	6.033	-20.257	26.107	6033,-20257,26107
MANSAP CEPHE 17	12 960	-16 032	30 796	12960,-16032,30796	MEMBA 3. KEMER 4	6.029	-20.264	26.463	6029,-20264,26463
MANSAP CEPHE 18	13 390	-15 019	30 701	13390,-15019,30701	MEMBA 3. KEMER 5	6.104	-20.252	26.531	6104,-20252,26531
MANSAP CEPHE 19	13 916	-13 783	30 574	13916,-13783,30574	MEMBA 3. KEMER 6	6.127	-20.246	26.829	6127,-20246,26829
MANSAP CEPHE 20	14 506	-12 380	30 421	14506,-12380,30421	MEMBA 3. KEMER 7	6.138	-20.225	26.934	6138,-20225,26934
MANSAP CEPHE 21	15 182	-10 760	30 260	15182,-10760,30260	MEMBA 3. KEMER 8	6.086	-20.304	27.079	6086,-20304,27079
MANSAP CEPHE 22	15 960	-8 785	30 073	15960,-8785,30073	MEMBA 3. KEMER 9	6.064	-20.349	27.246	6064,-20349,27246
MANSAP CEPHE 23	16 703	-6 855	29 884	16703,-6855,29884	MEMBA 3. KEMER 10	6.080	-20.353	27.356	6080,-20353,27356
MANSAP CEPHE 24	17 183	-5 613	29 764	17183,-5613,29764	MEMBA 3. KEMER 11	6.053	-20.408	27.458	6053,-20408,27458
MANSAP CEPHE 25	17 758	-4 122	29 609	17758,-4122,29609	MEMBA 3. KEMER 12	6.042	-20.492	27.652	6042,-20492,27652
MANSAP CEPHE 26	18 155	-3 091	29 506	18155,-3091,29506	MEMBA 3. KEMER 13	6.019	-20.571	27.798	6019,-20571,27798
MANSAP CEPHE 27	18 575	-1 985	29 405	18575,-1985,29405	MEMBA 3. KEMER 14	5.965	-20.670	28.005	5965,-20670,28005
MANSAP ON KORKULUK 1	1 316	-38 947	29 247	1316,-38947,29247	MEMBA 3. KEMER 15	5.927	-20.810	28.213	5927,-20810,28213
MANSAP ON KORKULUK 2	1 996	-37 993	29 429	1996,-37993,29429	MEMBA 3. KEMER 16	5.825	-21.070	28.525	5825,-21070,28525
MANSAP ON KORKULUK 3	3 341	-36 105	29 730	3341,-36105,29730	MEMBA 3. KEMER 17	5.672	-21.445	28.872	5672,-21445,28872
MANSAP ON KORKULUK 4	4 248	-34 812	29 934	4248,-34812,29934	MEMBA 3. KEMER 18	5.507	-21.698	29.075	5507,-21698,29075
MANSAP ON KORKULUK 5	5 000	-33 712	30 104	5000,-33712,30104	MEMBA 3. KEMER 19	5.421	-21.969	29.212	5421,-21969,29212
MANSAP ON KORKULUK 6	5 851	-32 479	30 286	5851,-32479,30286	MEMBA 3. KEMER 20	5.363	-22.059	29.229	5363,-22059,29229
MANSAP ON KORKULUK 7	6 358	-31 349	30 404	6358,-31349,30404	MEMBA 3. KEMER 21	5.269	-22.303	29.329	5269,-22303,29329
MANSAP ON KORKULUK 8	7 061	-29 800	30 537	7061,-29800,30537	MEMBA 3. KEMER 22	5.062	-22.752	29.414	5062,-22752,29414
MANSAP ON KORKULUK 9	8 028	-27 680	30 731	8028,-27680,30731	MEMBA 3. KEMER 23	4.908	-23.204	29.437	4908,-23204,29437
MANSAP ON KORKULUK 10	8 823	-25 723	30 900	8823,-25723,30900	MEMBA 3. KEMER 24	4.693	-23.606	29.382	4693,-23606,29382
MANSAP ON KORKULUK 11	10 003	-23 028	31 162	10003,-23028,31162	MEMBA 3. KEMER 25	4.518	-23.982	29.233	4518,-23982,29233
MANSAP ON KORKULUK 12	10 883	-20 949	31 374	10883,-20949,31374	MEMBA 3. KEMER 26	4.356	-24.341	29.074	4356,-24341,29074
MANSAP ON KORKULUK 13	11 605	-19 193	31 514	11605,-19193,31514	MEMBA 3. KEMER 27	4.226	-24.687	28.810	4226,-24687,28810
MANSAP ON KORKULUK 14	12 251	-17 639	31 645	12251,-17639,31645	MEMBA 3. KEMER 28	4.100	-24.983	28.516	4100,-24983,28516
MANSAP ON KORKULUK 15	12 685	-16 711	31 560	12685,-16711,31560	MEMBA 3. KEMER 29	3.991	-25.238	28.149	3991,-25238,28149
MANSAP ON KORKULUK 16	13 110	-15 688	31 470	13110,-15688,31470	MEMBA 3. KEMER 30	3.919	-25.404	27.800	3919,-25404,27800
MANSAP ON KORKULUK 17	13 647	-14 465	31 345	13647,-14465,31345	MEMBA 3. KEMER 31	3.873	-25.522	27.386	3873,-25522,27386
MANSAP ON KORKULUK 18	14 231	-13 077	31 197	14231,-13077,31197					

MANSAP ON KORKULUK 19	14.857	-11.570	31.040	14857,-11570,31040	MEMBA 3. KEMER 32	3.881	-25.503	27.290	3881,-25503,27290
MANSAP ON KORKULUK 20	15.534	-9.834	30.889	15534,-9834,30889	MEMBA 3. KEMER 33	3.838	-25.617	27.010	3838,-25617,27010
MANSAP ON KORKULUK 21	16.138	-8.359	30.733	16138,-8359,30733	MEMBA 3. KEMER 34	3.839	-25.602	26.742	3839,-25602,26742
MANSAP ON KORKULUK 22	16.614	-7.068	30.602	16614,-7068,30602	MEMBA 3. KEMER 35	3.729	-25.565	26.538	3729,-25565,26538
MANSAP ON KORKULUK 23	17.172	-5.670	30.483	17172,-5670,30483	MEMBA CEPHE 1	14.182	-295	29.340	14182,-295,29340
MANSAP ON KORKULUK 24	17.720	-4.189	30.316	17720,-4189,30316	MEMBA CEPHE 2	13.974	-834	29.366	13974,-834,29366
MANSAP ON KORKULUK 25	18.180	-3.023	30.212	18180,-3023,30212	MEMBA CEPHE 3	13.620	-1.781	29.469	13620,-1781,29469
MANSAP ON KORKULUK 26	18.600	-1.933	30.057	18600,-1933,30057	MEMBA CEPHE 4	13.168	-2.962	29.587	13168,-2962,29587
MANSAP ARIKA KORKULUK 1	18.325	-1.828	30.081	18325,-1828,30081	MEMBA CEPHE 5	12.608	-4.464	29.734	12608,-4464,29734
MANSAP ARIKA KORKULUK 2	17.612	-3.614	30.281	17612,-3614,30281	MEMBA CEPHE 6	12.097	-5.793	29.880	12097,-5793,29880
MANSAP ARIKA KORKULUK 3	16.993	-5.235	30.444	16993,-5235,30444	MEMBA CEPHE 7	11.696	-6.855	29.980	11696,-6855,29980
MANSAP ARIKA KORKULUK 4	16.166	-7.377	30.647	16166,-7377,30647	MEMBA CEPHE 8	11.141	-8.257	30.133	11141,-8257,30133
MANSAP ARIKA KORKULUK 5	15.507	-9.110	30.825	15507,-9110,30825	MEMBA CEPHE 9	10.561	-9.637	30.291	10561,-9637,30291
MANSAP ARIKA KORKULUK 6	14.909	-10.594	30.966	14909,-10594,30966	MEMBA CEPHE 10	9.936	-11.141	30.466	9936,-11141,30466
MANSAP ARIKA KORKULUK 7	13.907	-12.993	31.206	13907,-12993,31206	MEMBA CEPHE 11	9.505	-12.164	30.581	9505,-12164,30581
MANSAP ARIKA KORKULUK 8	12.900	-15.357	31.448	12900,-15357,31448	MEMBA CEPHE 12	8.993	-13.390	30.726	8993,-13390,30726
MANSAP ARIKA KORKULUK 9	12.403	-16.517	31.559	12403,-16517,31559	MEMBA CEPHE 13	8.590	-14.350	30.841	8590,-14350,30841
MANSAP ARIKA KORKULUK 10	11.966	-17.483	31.647	11966,-17483,31647	MEMBA CEPHE 14	8.230	-15.227	30.931	8230,-15227,30931
MANSAP ARIKA KORKULUK 11	11.681	-18.132	31.601	11681,-18132,31601	MEMBA CEPHE 15	8.001	-15.746	30.982	8001,-15746,30982
MANSAP ARIKA KORKULUK 12	10.890	-20.098	31.443	10890,-20098,31443	MEMBA CEPHE 16	7.774	-16.256	30.957	7774,-16256,30957
MANSAP ARIKA KORKULUK 13	10.324	-21.445	31.321	10324,-21445,31321	MEMBA CEPHE 17	7.435	-17.054	30.882	7435,-17054,30882
MANSAP ARIKA KORKULUK 14	9.781	-22.738	31.197	9781,-22738,31197	MEMBA CEPHE 18	7.084	-17.871	30.823	7084,-17871,30823
MANSAP ARIKA KORKULUK 15	9.243	-23.943	31.063	9243,-23943,31063	MEMBA CEPHE 19	6.777	-18.588	30.750	6777,-18588,30750
MANSAP ARIKA KORKULUK 16	8.413	-25.867	30.880	8413,-25867,30880	MEMBA CEPHE 20	6.333	-19.638	30.637	6333,-19638,30637
MANSAP ARIKA KORKULUK 17	7.714	-27.574	30.725	7714,-27574,30725	MEMBA CEPHE 21	5.915	-20.632	30.533	5915,-20632,30533
MANSAP ARIKA KORKULUK 18	6.766	-29.651	30.546	6766,-29651,30546	MEMBA CEPHE 22	5.454	-21.730	30.420	5454,-21730,30420
MANSAP ARIKA KORKULUK 19	5.578	-32.257	30.304	5578,-32257,30304	MEMBA CEPHE 23	4.829	-23.241	30.268	4829,-23241,30268
MANSAP ARIKA KORKULUK 20	4.678	-33.593	30.101	4678,-33593,30101	MEMBA CEPHE 24	4.293	-24.442	30.167	4293,-24442,30167
MANSAP ARIKA KORKULUK 21	3.639	-35.097	29.870	3639,-35097,29870	MEMBA CEPHE 25	3.777	-25.634	30.083	3777,-25634,30083
MANSAP ARIKA KORKULUK 22	2.913	-36.132	29.699	2913,-36132,29699	MEMBA CEPHE 26	3.134	-27.179	29.960	3134,-27179,29960
MANSAP ARIKA KORKULUK 23	2.162	-37.192	29.540	2162,-37192,29540	MEMBA CEPHE 27	2.545	-28.610	29.824	2545,-28610,29824
MANSAP ARIKA KORKULUK 24	1.029	-38.784	29.257	1029,-38784,29257	MEMBA CEPHE 28	2.163	-29.524	29.753	2163,-29524,29753
MANSAP ARIKA KORKULUK 25	18.281	-1.866	29.417	18281,-1866,29417	MEMBA CEPHE 29	1.869	-30.227	29.692	1869,-30227,29692
MANSAP ARIKA KORKULUK 26	17.584	-3.671	29.583	17584,-3671,29583	MEMBA CEPHE 30	1.435	-31.237	29.585	1435,-31237,29585
MANSAP ARIKA KORKULUK 27	16.988	-5.225	29.756	16988,-5225,29756	MEMBA CEPHE 31	1.143	-31.902	29.503	1143,-31902,29503
MANSAP ARIKA KORKULUK 28	16.132	-7.441	29.962	16132,-7441,29962	MEMBA CEPHE 32	735	-32.222	29.446	735,-32222,29446
MANSAP ARIKA KORKULUK 29	15.441	-9.246	30.142	15441,-9246,30142	MEMBA CEPHE 33	-23	-32.772	29.333	-23,-32772,29333
MANSAP ARIKA KORKULUK 30	14.826	-10.764	30.281	14826,-10764,30281	MEMBA CEPHE 34	-796	-33.336	29.237	-796,-33336,29237

MANSAP ARIKA KORKULUK 31	13.876	-13.041	30.520	13876,-13041,30520	MEMBA CEPHE 35	-1.728	-34.017	29.096	-1728,-34017,29096
MANSAP ARIKA KORKULUK 32	12.799	-15.574	30.767	12799,-15574,30767	MEMBA CEPHE 36	-2.343	-34.471	28.993	-2343,-34471,28993
MANSAP ARIKA KORKULUK 33	12.353	-16.623	30.867	12353,-16623,30867	MEMBA CEPHE 37	-3.143	-35.061	28.865	-3143,-35061,28865
MANSAP ARIKA KORKULUK 34	11.898	-17.632	30.936	11898,-17632,30936	MEMBA CEPHE 38	-4.136	-35.786	28.693	-4136,-35786,28693
MANSAP ARIKA KORKULUK 35	11.686	-18.072	30.890	11686,-18072,30890	MEMBA ON KORKULUK 1	14.213	-204	30.021	14213,-204,30021
MANSAP ARIKA KORKULUK 36	10.845	-20.146	30.733	10845,-20146,30733	MEMBA ON KORKULUK 2	13.971	-851	30.073	13971,-851,30073
MANSAP ARIKA KORKULUK 37	10.230	-21.623	30.586	10230,-21623,30586	MEMBA ON KORKULUK 3	13.704	-1.558	30.144	13704,-1558,30144
MANSAP ARIKA KORKULUK 38	9.712	-22.864	30.471	9712,-22864,30471	MEMBA ON KORKULUK 4	13.429	-2.276	30.203	13429,-2276,30203
MANSAP ARIKA KORKULUK 39	9.179	-24.076	30.349	9179,-24076,30349	MEMBA ON KORKULUK 5	13.029	-3.318	30.308	13029,-3318,30308
MANSAP ARIKA KORKULUK 40	8.350	-26.008	30.168	8350,-26008,30168	MEMBA ON KORKULUK 6	12.541	-4.617	30.454	12541,-4617,30454
MANSAP ARIKA KORKULUK 41	7.692	-27.601	30.037	7692,-27601,30037	MEMBA ON KORKULUK 7	12.138	-5.658	30.564	12138,-5658,30564
MANSAP ARIKA KORKULUK 42	6.788	-29.581	29.846	6788,-29581,29846	MEMBA ON KORKULUK 8	11.524	-7.264	30.717	11524,-7264,30717
MANSAP ARIKA KORKULUK 43	5.603	-32.161	29.617	5603,-32161,29617	MEMBA ON KORKULUK 9	11.012	-8.505	30.851	11012,-8505,30851
MANSAP ARIKA KORKULUK 44	4.723	-33.510	29.417	4723,-33510,29417	MEMBA ON KORKULUK 10	10.538	-9.637	30.981	10538,-9637,30981
MANSAP ARIKA KORKULUK 45	3.661	-35.057	29.166	3661,-35057,29166	MEMBA ON KORKULUK 11	9.951	-11.043	31.151	9951,-11043,31151
MANSAP ARIKA KORKULUK 46	2.896	-36.118	28.991	2896,-36118,28991	MEMBA ON KORKULUK 12	9.465	-12.202	31.273	9465,-12202,31273
MANSAP ARIKA KORKULUK 47	2.219	-37.103	28.846	2219,-37103,28846	MEMBA ON KORKULUK 13	8.994	-13.327	31.417	8994,-13327,31417
MANSAP ARIKA KORKULUK 48	1.086	-38.699	28.574	1086,-38699,28574	MEMBA ON KORKULUK 14	8.626	-14.221	31.511	8626,-14221,31511
					MEMBA ON KORKULUK 15	8.338	-14.926	31.587	8338,-14926,31587
					MEMBA ON KORKULUK 16	8.122	-15.454	31.639	8122,-15454,31639
					MEMBA ON KORKULUK 17	7.968	-15.800	31.686	7968,-15800,31686
					MEMBA ON KORKULUK 18	7.611	-16.639	31.611	7611,-16639,31611
					MEMBA ON KORKULUK 19	7.226	-17.538	31.544	7226,-17538,31544
					MEMBA ON KORKULUK 20	6.810	-18.511	31.458	6810,-18511,31458

MEMBA ÖN KORKULUK 21	6.413	-19.430	31.371	6413,-19430,31371
MEMBA ÖN KORKULUK 22	5.969	-20.504	31.239	5969,-20504,31239
MEMBA ÖN KORKULUK 23	5.271	-22.162	31.080	5271,-22162,31080
MEMBA ÖN KORKULUK 24	4.588	-23.756	30.933	4588,-23756,30933
MEMBA ÖN KORKULUK 25	3.956	-25.204	30.802	3956,-25204,30802
MEMBA ÖN KORKULUK 26	3.396	-26.523	30.684	3396,-26523,30684
MEMBA ÖN KORKULUK 27	2.654	-28.306	30.554	2654,-28306,30554
MEMBA ÖN KORKULUK 28	2.141	-29.537	30.458	2141,-29537,30458
MEMBA ÖN KORKULUK 29	1.722	-30.514	30.368	1722,-30514,30368
MEMBA ÖN KORKULUK 30	1.286	-31.547	30.260	1286,-31547,30260
MEMBA ÖN KORKULUK 31	1.099	-31.945	30.187	1099,-31945,30187
MEMBA ÖN KORKULUK 32	887	-32.108	30.164	887,-32108,30164
MEMBA ÖN KORKULUK 33	382	-32.474	30.082	382,-32474,30082
MEMBA ÖN KORKULUK 34	-423	-33.061	29.974	-423,-33061,29974
MEMBA ÖN KORKULUK 35	-1.048	-33.521	29.880	-1048,-33521,29880
MEMBA ÖN KORKULUK 36	-1.767	-34.042	29.769	-1767,-34042,29769
MEMBA ÖN KORKULUK 37	-2.492	-34.577	29.658	-2492,-34577,29658
MEMBA ÖN KORKULUK 38	-3.211	-35.098	29.541	-3211,-35098,29541
MEMBA ÖN KORKULUK 39	-4.217	-35.830	29.376	-4217,-35830,29376
MEMBA ARKA KORKULUK 1	-4.068	-36.043	29.383	-4068,-36043,29383
MEMBA ARKA KORKULUK 2	-3.474	-35.621	29.494	-3474,-35621,29494
MEMBA ARKA KORKULUK 3	-2.810	-35.140	29.592	-2810,-35140,29592
MEMBA ARKA KORKULUK 4	-2.230	-34.719	29.684	-2230,-34719,29684
MEMBA ARKA KORKULUK 5	-850	-33.712	29.896	-850,-33712,29896
MEMBA ARKA KORKULUK 6	-226	-33.255	29.978	-226,-33255,29978
MEMBA ARKA KORKULUK 7	713	-32.572	30.110	713,-32572,30110
MEMBA ARKA KORKULUK 8	1.301	-32.137	30.183	1301,-32137,30183
MEMBA ARKA KORKULUK 9	1.548	-31.648	30.252	1548,-31648,30252
MEMBA ARKA KORKULUK 10	1.979	-30.619	30.370	1979,-30619,30370
MEMBA ARKA KORKULUK 11	2.492	-29.404	30.482	2492,-29404,30482
MEMBA ARKA KORKULUK 12	2.965	-28.273	30.576	2965,-28273,30576
MEMBA ARKA KORKULUK 13	3.356	-27.317	30.663	3356,-27317,30663
MEMBA ARKA KORKULUK 14	3.743	-26.400	30.725	3743,-26400,30725
MEMBA ARKA KORKULUK 15	4.083	-25.583	30.799	4083,-25583,30799
MEMBA ARKA KORKULUK 16	4.697	-24.209	30.911	4697,-24209,30911
MEMBA ARKA KORKULUK 17	5.256	-22.916	31.022	5256,-22916,31022
MEMBA ARKA KORKULUK 18	5.858	-21.469	31.163	5858,-21469,31163

MEMBA ARKA KORKULUK 19	6.596	-19.704	31.350	6596,-19704,31350
MEMBA ARKA KORKULUK 20	7.136	-18.448	31.488	7136,-18448,31488
MEMBA ARKA KORKULUK 21	7.604	-17.348	31.578	7604,-17348,31578
MEMBA ARKA KORKULUK 22	8.237	-15.894	31.690	8237,-15894,31690
MEMBA ARKA KORKULUK 23	8.607	-15.000	31.594	8607,-15000,31594
MEMBA ARKA KORKULUK 24	8.965	-14.186	31.514	8965,-14186,31514
MEMBA ARKA KORKULUK 25	9.313	-13.270	31.422	9313,-13270,31422
MEMBA ARKA KORKULUK 26	9.854	-11.973	31.262	9854,-11973,31262
MEMBA ARKA KORKULUK 27	10.374	-10.762	31.125	10374,-10762,31125
MEMBA ARKA KORKULUK 28	10.880	-9.536	30.966	10880,-9536,30966
MEMBA ARKA KORKULUK 29	11.267	-8.610	30.863	11267,-8610,30863
MEMBA ARKA KORKULUK 30	11.745	-7.517	30.745	11745,-7517,30745
MEMBA ARKA KORKULUK 31	12.274	-6.117	30.601	12274,-6117,30601
MEMBA ARKA KORKULUK 32	12.778	-4.778	30.478	12778,-4778,30478
MEMBA ARKA KORKULUK 33	13.149	-3.789	30.369	13149,-3789,30369
MEMBA ARKA KORKULUK 34	13.466	-2.951	30.287	13466,-2951,30287
MEMBA ARKA KORKULUK 35	13.843	-1.978	30.187	13843,-1978,30187
MEMBA ARKA KORKULUK 36	14.184	-1.066	30.098	14184,-1066,30098
MEMBA ARKA KORKULUK 37	14.481	-287	30.021	14481,-287,30021
MEMBA ARKA KORKULUK 38	-3.930	-35.976	28.699	-3930,-35976,28699
MEMBA ARKA KORKULUK 39	-3.393	-35.592	28.785	-3393,-35592,28785
MEMBA ARKA KORKULUK 40	-2.749	-35.111	28.886	-2749,-35111,28886
MEMBA ARKA KORKULUK 41	-2.198	-34.712	28.967	-2198,-34712,28967
MEMBA ARKA KORKULUK 42	-644	-33.574	29.215	-644,-33574,29215
MEMBA ARKA KORKULUK 43	-127	-33.192	29.293	-127,-33192,29293

MEMBA ARKA KORKULUK 44	797	-32.514	29.433	797,-32514,29433
MEMBA ARKA KORKULUK 45	1.316	-32.082	29.507	1316,-32082,29507
MEMBA ARKA KORKULUK 46	1.588	-31.574	29.573	1588,-31574,29573
MEMBA ARKA KORKULUK 47	2.028	-30.548	29.675	2028,-30548,29675
MEMBA ARKA KORKULUK 48	2.497	-29.439	29.778	2497,-29439,29778
MEMBA ARKA KORKULUK 49	2.988	-28.238	29.896	2988,-28238,29896
MEMBA ARKA KORKULUK 50	3.394	-27.270	29.969	3394,-27270,29969
MEMBA ARKA KORKULUK 51	3.747	-26.422	30.037	3747,-26422,30037
MEMBA ARKA KORKULUK 52	4.123	-25.523	30.127	4123,-25523,30127
MEMBA ARKA KORKULUK 53	4.727	-24.160	30.230	4727,-24160,30230
MEMBA ARKA KORKULUK 54	5.282	-22.874	30.337	5282,-22874,30337
MEMBA ARKA KORKULUK 55	5.896	-21.403	30.476	5896,-21403,30476
MEMBA ARKA KORKULUK 56	6.628	-19.657	30.659	6628,-19657,30659
MEMBA ARKA KORKULUK 57	7.175	-18.358	30.792	7175,-18358,30792
MEMBA ARKA KORKULUK 58	7.639	-17.274	30.885	7639,-17274,30885
MEMBA ARKA KORKULUK 59	8.234	-15.920	31.012	8234,-15920,31012
MEMBA ARKA KORKULUK 60	8.586	-15.095	30.912	8586,-15095,30912
MEMBA ARKA KORKULUK 61	8.892	-14.368	30.823	8892,-14368,30823
MEMBA ARKA KORKULUK 62	9.365	-13.202	30.708	9365,-13202,30708
MEMBA ARKA KORKULUK 63	9.857	-12.042	30.564	9857,-12042,30564
MEMBA ARKA KORKULUK 64	10.374	-10.813	30.435	10374,-10813,30435
MEMBA ARKA KORKULUK 65	10.875	-9.621	30.280	10875,-9621,30280
MEMBA ARKA KORKULUK 66	11.257	-8.686	30.182	11257,-8686,30182
MEMBA ARKA KORKULUK 67	11.722	-7.553	30.056	11722,-7553,30056
MEMBA ARKA KORKULUK 68	12.252	-6.158	29.912	12252,-6158,29912
MEMBA ARKA KORKULUK 69	12.791	-4.775	29.775	12791,-4775,29775
MEMBA ARKA KORKULUK 70	13.134	-3.848	29.678	13134,-3848,29678
MEMBA ARKA KORKULUK 71	13.454	-2.992	29.585	13454,-2992,29585
MEMBA ARKA KORKULUK 72	13.833	-1.997	29.489	13833,-1997,29489
MEMBA ARKA KORKULUK 73	14.182	-1.079	29.396	14182,-1079,29396
MEMBA ARKA KORKULUK 74	14.458	-357	29.324	14458,-357,29324

ÖZGEÇMİŞ

Oğuzhan Şafak BATAR

osafakbatar@gmail.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2015-2019	T.C. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya
Lisans 2011-2015	T.C. Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya
Ön Lisans 2008-2010	T.C. Akdeniz Üniversitesi Teknik Bilimler MYO, İnşaat Teknolojileri Bölümü, Antalya

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Serbest Mühendis 2015-Devam ediyor	Antalya
---------------------------------------	---------