

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TARİHİ KÖPRÜLERİN YAPISAL DAVRANIŞINA
KEMER GEOMETRİSİNİN ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Burcu YILMAZ

KASIM 2016

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

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

Jüri Üyeleri

Başkan :

Üye :

Üye :

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

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

“Tarihi Köprülerin Yapısal Davranışına Kemer Geometrisinin Etkisi” isimli tez çalışmasını bana öneren ve her aşamasında beni destekleyen, bilgi ve deneyimiyle desteğini esirgemeyen ve çalışmalarımız süresince gösterdiği hoşgörü ve sabrından dolayı Hocam Sayın Doç. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda kullandığım köprü hakkında genel bilgileri ve ilgili dokümanları benimle paylaşan değerli Hocam Sayın Prof. Dr. Alemdar BAYRAKTAR'a teşekkür ederim.

Akademik hayatta ve zor zamanlarımda hep yanımda olan değerli arkadaşım Arş. Gör. Ali Fuat GENÇ'e şükranlarımı sunarım.

Tüm öğrenim hayatım boyunca her türlü desteği ile yanımda olan ve bugünlere gelmemde büyük pay sahibi babam Nazmi H. KANBUR'a, annem Rabia KANBUR'a, kardeşlerim Merve KANBUR ve Furkan KANBUR'a desteklerinden dolayı müteşekkirim.

Tüm desteğiyle yanımda olan ve her zaman sabırla yardımcı olan eşim Hüseyin YILMAZ'a teşekkür eder, bu çalışmanın yeni çalışmalara faydalı olmasını temenni ederim.

Burcu YILMAZ

Trabzon 2016

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Tarihi Köprülerin Yapısal Davranışına Kemer Geometrisinin Etkisi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

04/11/2016

Burcu YILMAZ

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa No</u> |
|--|-----------------|
| ÖNSÖZ..... | III |
| TEZ ETİK BEYANNAMESİ..... | IV |
| İÇİNDEKİLER..... | V |
| ÖZET..... | VII |
| SUMMARY..... | VIII |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | IX |
| TABLolar DİZİNİ..... | XII |
| SEMBOLLER DİZİNİ..... | XIII |
| 1. GENEL BİLGİLER..... | 1 |
| 1.1. Giriş..... | 1 |
| 1.2. İlgili Çalışmalar..... | 2 |
| 1.3. Tezin Amacı ve İçeriği..... | 5 |
| 1.4. Köprülerin Analitik Modellenmesi..... | 6 |
| 1.5. Sonlu Eleman Yöntemine Dayalı Dinamik Formülasyon..... | 7 |
| 1.5.1. Analitik Dinamik Karakteristiklerin Belirlenmesi..... | 7 |
| 1.5.2. Newmark Yöntemine Göre Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz..... | 8 |
| 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR..... | 11 |
| 2.1. Göderni Köprüsü..... | 11 |
| 2.1.1. Köprü Genel Bilgileri..... | 11 |
| 2.1.1.1. Köprünün Konumu..... | 11 |
| 2.1.1.2. Köprünün Tarihi Geçmişi ve Önemi..... | 13 |
| 2.1.1.3. Köprünün Şimdiki ve Gelecekteki Kullanımı..... | 14 |
| 2.1.2. Köprünün Yapısal Özelliklerinin Belirlenmesi..... | 14 |
| 2.1.2.1. Mimari Yapı, Taşıyıcı Sistem ve Malzemeler..... | 14 |
| 2.1.2.2. Lokal Sismisitesi..... | 16 |
| 2.1.2.3. Geometrik Ölçüm..... | 17 |
| 2.1.2.4. Malzeme İncelenmesi..... | 21 |
| 2.1.2.5. Zemin İncelenmesi..... | 22 |
| 2.2. Yapısal Analizler ve Değerlendirmeler..... | 23 |

| | | |
|----------|--|----|
| 2.2.1. | Göderni Köprüsü İçin Gerçekleştirilen Analizler..... | 27 |
| 2.2.1.1. | Köprünün Kendi Ağırlığı Altındaki Davranışının Belirlenmesi | 27 |
| 2.2.1.2. | Köprünün Kendi Ağırlığı ve Hareketli Yükler Altındaki Davranışının Belirlenmesi | 31 |
| 2.2.1.3 | Köprünün Kendi Ağırlığı, Hareketli Yükler ve Deprem Yüğü Altındaki Davranışının Belirlenmesi | 37 |
| 2.2.2. | Analiz Sonuçlarının Tablolara Aktarılması | 43 |
| 2.2.2.1. | Kemer Yükseklikleri Değiştirilerek Yapılan Analiz Sonuçları | 43 |
| 2.2.2.2. | Kemer Kalınlıkları Değiştirilerek Yapılan Analiz Sonuçları | 43 |
| 2.3. | Analizler Sonuçlarının Değerlendirilmesi | 50 |
| 2.3.1. | Kemer Yüksekliği Değiştirilerek Elde Edilen Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi | 50 |
| 2.3.2. | Kemer Kalınlığı Değiştirilerek Elde Edilen Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi | 54 |
| 3. | SONUÇLAR VE ÖNERİLER..... | 58 |
| 4. | KAYNAKLAR..... | 61 |
| ÖZGEÇMİŞ | | |

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

TARİHİ KÖPRÜLERİN YAPISAL DAVRANIŞINA
KEMER GEOMETRİSİNİN ETKİSİ

Burcu YILMAZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK
2016, 63 Sayfa

Bu tez çalışmasında, tarihi köprülerin statik ve dinamik davranışlarına kemer açıklık ve yükseklik etkisinin sonlu eleman analizleri yardımıyla belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla, Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yer alan Göderni Köprüsü uygulama olarak seçilmiş olup ANSYS programında oluşturulan sonlu eleman modelleri üzerinde statik ve dinamik analizler gerçekleştirilerek etkilerin incelenmesi amaçlanmıştır.

Tez çalışması dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde tarihi yapıların öneminden bahsedilerek, bu yapıların korunmasının gerekliliği vurgulanmıştır. Daha sonra tarihi yığma kemer köprülerle ilgili yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir. Bölümün son kısmında sonlu eleman yöntemi ve dinamik analiz için gerekli formülasyonlar verilmiştir. İkinci bölümde, yapılan çalışmalara ve seçilen köprü hakkındaki bulgulara yer verilmektedir. Köprü hakkında detaylı bilgi verildikten sonra kemer kalınlığı ve kemer yüksekliği değiştirilerek; kendi ağırlığında, kendi ağırlığı ve hareketli yükler ile kendi ağırlığı, hareketli yükler ve deprem yükleri altındaki analizlerine ait sayısal sonuçlar kontur diyagramları yardımıyla verilmektedir. Daha sonra tüm sonuçlar tablolar ve grafikler ile karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Üçüncü bölümde, çalışmadan elde edilen sonuçlar ve öneriler maddeler halinde sunulmaktadır. Son bölümde ise yararlanılan kaynaklar belirtilmiştir.

Çalışma sonucunda, tarihi yığma köprülerin ana taşıyıcı elemanı olan kemerlerin, köprünün yapısal davranışını nasıl ve ne düzeyde etkilediği belirlenmiş olup, bu yönde yapılacak çalışmaların gerekliliği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Tarihi Yığma Köprüler, Statik ve Dinamik Analiz, Sonlu Eleman Yöntemi, Yapısal Davranış

Master Thesis

SUMMARY

THE EFFECT OF ARCH GEOMETRY ON STRUCTURAL BEHAVIOR OF THE
HISTORICAL BRIDGES

Burcu YILMAZ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Ahmet Can ALTUNIŞIK
2016, 63 Pages

In this thesis, it is aimed to determine the arch width and arch height effects on the static and dynamic behaviors of the historical bridges with the finite element analyses. For this purpose, Göderni Bridge which is located in the southeastern region of Anatolia is selected as the application and investigation of the effects is aimed with making static and dynamic analyses on the finite element models which constituted on the ANSYS package.

The thesis consists of four chapters. In the first chapter, by mentioning the importance of the historical structures it has emphasized the necessity of protection of these structures. After that general studies about historical masonry arch bridges is given. In the last part of the section, required formulations are provided for the finite element method and dynamic analysis. Studies which are made within the thesis and findings of chosen bridge are taken place in the second part. After detailed information about chosen bridge were given, the results of dead load, dead and live loads, dead-live and earthquake loads analyses for changing arch thickness and arch height case are given with contour diagrams. Then all results are given in comparison with tables and graphs. In the third section, the results and suggestions which are obtained from study are listed. In the last chapter, it is given sources benefited and suggestions.

At the end of the study, the effect of arches which are the main structural elements of historical masonry bridges, on the structural behavior of the bridges has been determined how and at what level and it is pointed out the necessity of the studies that will be made in this direction.

Key Words: Historical Masonry Bridges, Static and Dynamic Analyses, Finite Element Method, Structural Response

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | <u>Sayfa No</u> |
|--|-----------------|
| Şekil 1.1. Yığma yapıların analitik modelleme yöntemleri | 7 |
| Şekil 2.1. Diyarbakır haritası ve Göderni Köprüsü..... | 11 |
| Şekil 2.2. Göderni Köprüsü yerleşim yeri | 12 |
| Şekil 2.3. Göderni Köprüsü'ne ait bazı görünüşler..... | 13 |
| Şekil 2.4. Diyarbakır ili ve ilçelerine ait deprem haritası | 16 |
| Şekil 2.5. Göderni Köprüsü ayak ve döşeme röleve planı | 18 |
| Şekil 2.6. Göderni Köprüsü memba (a) ve mansap (b) cephe röleveleri | 19 |
| Şekil 2.7. Göderni Köprüsü A-A', B-B', C-C' ve D-D' en kesitleri röleveler | 20 |
| Şekil 2.8. Tarihi köprülerde yapı elemanlarına ait şematik görünüşler | 21 |
| Şekil 2.9. SOLID186 elemanının genel görünüşü ve sonlu elaman ağında alabileceği durumlar..... | 24 |
| Şekil 2.10. Göderni Köprüsü'ne ait üçboyutlu sonlu elaman modeli ile perspektif ve görünüşler | 26 |
| Şekil 2.11. Köprünün kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen yerdeğiştirmelere ait kontur diyagramı..... | 27 |
| Şekil 2.12. Köprünün kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen çekme gerilmelerine ait kontur diyagramı | 28 |
| Şekil 2.13. Köprünün kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen basınç gerilmelerine ait kontur diyagramı | 29 |
| Şekil 2.14. Köprünün kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizlerden çekme durumu için şekildeğiştirmelere ait kontur diyagramı | 30 |
| Şekil 2.15. Köprünün kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizlerden basınç durumu için şekildeğiştirmelere ait kontur diyagramı | 31 |
| Şekil 2.16. Köprünün kendi ağırlığı ve hareketli yük altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen yerdeğiştirmelere ait kontur diyagramı | 32 |
| Şekil 2.17. Köprünün kendi ağırlığı ve hareketli yük altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen çekme gerilmelerine ait kontur diyagramı | 33 |
| Şekil 2.18. Köprünün kendi ağırlığı ve hareketli yük altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen basınç gerilmelerine ait kontur diyagramı..... | 34 |
| Şekil 2.19. Köprünün kendi ağırlığı ve hareketli yük altında gerçekleştirilen analizlerden çekme durumu için şekildeğiştirmelere ait kontur diyagramı | 35 |
| Şekil 2.20. Köprünün kendi ağırlığı ve hareketli yük altında gerçekleştirilen analizlerden basınç durumu için şekildeğiştirmelere ait kontur diyagramı..... | 36 |
| Şekil 2.21. 1999 Kocaeli depremi, Düzce istasyonundan alınan kaydın DZC270 kodlu yatay bileşeni | 37 |

| | |
|---|----|
| Şekil 2.22. Köprünün kendi ağırlığı, hareketli yükler ve deprem yükü altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen yerdeğiştirmelere ait kontur diyagramı..... | 38 |
| Şekil 2.23. Köprünün kendi ağırlığı, hareketli yükler ve deprem yükü altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen çekme gerilmelerine ait kontur diyagramı | 39 |
| Şekil 2.24. Köprünün kendi ağırlığı, hareketli yükler ve deprem yükü altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen basınç gerilmelerine ait kontur diyagramı | 40 |
| Şekil 2.25. Köprünün kendi ağırlığı, hareketli yükler ve deprem yükü altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen çekme durumu için şekildeğiştirme kontur diyagramı | 41 |
| Şekil 2.26. Köprünün kendi ağırlığı, hareketli yükler ve deprem yükü altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen basınç durumu için şekildeğiştirme kontur diyagramı | 42 |
| Şekil 2.27. Analizlerde dikkate alınan kemer yüksekliklerine ait şematik görünüşler | 43 |
| Şekil 2.28. Analizlerde kullanılan kemer kalınlığına ait şematik görünüş | 43 |
| Şekil 2.29. Kemer yüksekliğinin değiştirilmesi ile birlikte, KA, KA+HY, KA+HY+DY altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği | 51 |
| Şekil 2.30. Kemer yüksekliğinin değiştirilmesi ile birlikte, KA, KA+HY, KA+HY+DY altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen çekme gerilmeleri grafiği | 52 |
| Şekil 2.31. Kemer yüksekliğinin değiştirilmesi ile birlikte, KA, KA+HY, KA+HY+DY altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen basınç gerilmeleri grafiği | 52 |
| Şekil 2.32. Kemer yüksekliğinin değiştirilmesi ile birlikte, KA, KA+HY, KA+HY+DY altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen çekme şekildeğiştirmeleri grafiği | 53 |
| Şekil 2.33. Kemer yüksekliğinin değiştirilmesi ile birlikte, KA, KA+HY, KA+HY+DY altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen basınç şekildeğiştirmeleri grafiği | 53 |
| Şekil 2.34. Kemer kalınlığının değiştirilmesi ile birlikte, KA, KA+HY, KA+HY+DY altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği | 55 |
| Şekil 2.35. Kemer kalınlığının değiştirilmesi ile birlikte, KA, KA+HY, KA+HY+DY altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen çekme gerilmeleri grafiği | 55 |
| Şekil 2.36. Kemer kalınlığının değiştirilmesi ile birlikte, KA, KA+HY, KA+HY+DY altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen basınç gerilmeleri grafiği | 56 |

- Şekil 2.37. Kemer kalınlığının değiştirilmesi ile birlikte,
KA, KA+HY, KA+HY+DY altında gerçekleştirilen analizler
sonucunda elde edilen çekme şekildeğiştirmeleri grafiği 56
- Şekil 2.38. Kemer kalınlığının değiştirilmesi ile birlikte,
KA, KA+HY, KA+HY+DY altında gerçekleştirilen analizler
sonucunda elde edilen basınç şekildeğiştirmeleri grafiği 57



TABLULAR DİZİNİ

| | <u>Sayfa No</u> |
|--|-----------------|
| Tablo 2.1. Köprünün analizlerinde dikkate alınan malzeme özellikleri | 25 |
| Tablo 2.2. Köprünün farklı kemer yükseklikleri için kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analiz sonuçları..... | 44 |
| Tablo 2.3. Köprünün farklı kemer yükseklikleri için kendi ağırlığı ve hareketli yükler altında gerçekleştirilen analiz sonuçları..... | 45 |
| Tablo 2.4. Köprünün farklı kemer yükseklikleri için kendi ağırlığı, hareketli yükler ve deprem yükü altında gerçekleştirilen analiz sonuçları..... | 46 |
| Tablo 2.5. Köprünün farklı kemer kalınlıkları için kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analiz sonuçları..... | 47 |
| Tablo 2.6. Köprünün farklı kemer kalınlıkları için kendi ağırlığı ve hareketli yükler altında gerçekleştirilen analiz sonuçları..... | 48 |
| Tablo 2.7. Köprünün farklı kemer kalınlıkları için kendi ağırlığı, hareketli yükler ve deprem yükü altında gerçekleştirilen analiz sonuçları..... | 49 |

SEMBOLLER DİZİNİ

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

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yol istikametindeki nehir ve vadileri geçebilmek amacıyla yapılmış olan yapılar köprüler olarak adlandırılmaktadır. Taşların ocaklardan çıkartılması, yontulması ve inşası bakımından, taş kemer köprülerin inşaatı önemli ölçüde kalifiye işçilik gerektirmektedir. Günümüzde ise bu düzeyde kalifiye işçilik hem çok nadir ve hem de çok pahalıdır. Bu nedenlerden dolayı yığma taşıyıcı sisteme sahip taş kemer köprüler günümüzde oldukça nadir inşa edilmektedir (Celasun, 1974).

Geçmişten günümüze kadar ulaşılmış tarihi yığma yapılar deprem gibi beklenmedik doğal afetler karşısında zarar görmekteirler. Tarihi yapıların zarar görmesinde ya da yıkılmasında ki tek neden depremler değildir. Bunun yanında, yapı malzemelerinin dayanımını yitirmesi, zamana bağlı deformasyonlar, eleman kayıpları, yanlış kullanımdan dolayı oluşan aşırı ve düzensiz yüklemeler, zemin oturmaları, sel felaketleri, bitkilenmeler, yangınlar ve savaşlar gibi etmenler tarihi yapılarda hasara ve yıkıma sebep olan diğer nedenlerdir (Toker ve Ünay, 2004).

Tarihi yapılar içerisinde yığma kemer köprüler önemli bir yere sahiptir. Bu yapıların en önemli özelliği ve köprüye genel adını veren eleman kemerleridir. Kemerler, yığma yapılarda yapısal ve estetik kaygılara yönelik olarak sıkça kullanılmaktadır (Toker ve Ünay, 2004). Nehir yatağının derinliği ve genişliği göz önünde bulundurularak bu form sayesinde geniş açıklıkları geçmek mümkün olmuştur.

Yığma kemer köprüler, geometrik biçiminden dolayı genellikle basınç kuvvetlerinin etkisinde kalmaktadır. Taş ve tuğla, sahip oldukları büyük basınç dayanımlarından dolayı kemer formunun temel yapı malzemeleri olmuşlardır. Zaman içerisinde yığma kemer köprü inşasında kullanılan malzeme ve inşaat tekniklerinde önemli bir değişiklik olmamasına rağmen kemer tiplerinde büyük değişimler gözlenmiştir. Her uygarlık zaman içerisinde kendine özgü kemer formları kullanmıştır (Toker ve Ünay, 2004).

Son yüzyılda çelik ve betonarme yapı malzemelerinin kullanıma başlanmasıyla yığma kemer köprülerin inşası hemen hemen tükenmiştir. Fakat dünyanın pek çok yerinde, özellikle de Avrupa'da mevcut bulunan tarihi kemer köprülerin kullanımı hala devam etmektedir. Dolayısıyla kültürel mirasımızda önemli bir yere sahip bu köprüler, ilk tasarım

amacı olan hafif trafik yüklerini taşımanın dışında, tren ve otoyol gibi ağır yüklere de maruz kalmışlardır. Maruz kalınan bu yüklerden dolayı yığma kemer köprüler yapı malzemelerinin dayanımını kaybetmesiyle beraber ağır hasara uğramışlardır. Bunun sonucunda restorasyon ve onarım gereksinimi doğmuştur.

Tarihi yapıların korunması ve geleceğe güvenle devredilebilmesi için öncelikle yapısal davranışlarının detaylı bir şekilde bilinmesi gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda, analitik olarak sonlu eleman analizleri ve tahribatsız yöntem olarak deneysel modal analiz yöntemi geliştirilmiş ve kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında, tarihi yığma yapıların yük taşıyan elemanlarının yapısal davranışlarını anlamakta sonlu eleman yönteminin elverişli bir hesap yöntemi olduğu bilinmektedir.

Köprüler, üç boyutlu yapısal davranış sergileyen diğer yapıların aksine, yerçekimi doğrultusundaki düşey eksenin oluşturduğu düzlem içerisinde yük aktarma mekanizmasını gerçekleştirmektedir. Deprem ve sel gibi afetlerin neden olduğu yük etkilerinden dolayı, düşey düzleme dik doğrultuda da önemli şekilde değişim ve iç kuvvetler oluşmaktadır. Ancak taş kemer köprülerin geometrik formunu belirleyen yapısal davranış unsurları söz konusu esas düzlem içerisinde gerçekleşir (Toker ve Ünay, 2004).

Kemer köprülerde, esas taşıyıcı sistem elemanı kemerlerdir. Kemerlerin geometrik şekli ve formu köprünün yapısal davranışını önemli ölçüde değiştirebilmektedir. Farklı kemer geometrilerinin, çeşitli yükler altında incelemesi özellikle kullanımda olan yığma kemer köprülerin onarımında ve yeni yapılacak kemer köprü inşasında önemli bir kaynak sağlayabilmektedir.

1.2. İlgili Çalışmalar

Tarihi yığma kemer köprüler, günümüze kadar pek çok araştırmacı tarafından farklı yönleri ile incelenmiştir. Genel itibari ile ilgili çalışmalar analitik tabanlı olup, laboratuvar ortamında inşa edilmiş ölçekli kemerler üzerinde de deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Saïdi vd. (1998), Amerika'nın Nevada eyaleti sınırları içerisinde bulunan Reno-Sparks bölgesindeki 26 adet köprünün yapısal performanslarını belirlemişlerdir. Analizler sonrasında köprü taşıyıcı sistem elemanlarının yerdeğiştirme değerleri, kesit tesirleri ve süneklik düzeyleri elde edilmiştir. Çalışma kapsamında, maksimum ivme değeri 0.3g olan

muhtemel bir deprem için köprü ayaklarında oluşabilecek hasar durumları değerlendirilmiştir.

Toker ve Ünay (2004), kemerli taş köprü tipolojisini yansıtacak şekilde geliştirilen kemer modeli üzerinde ve çeşitli yük etkileri altında matematiksel modelleme tekniklerini değerlendirmişlerdir.

Bayraktar vd. (2007a), Trabzon'da bulunan tarihi Şinik Köprüsü'nün dinamik karakteristikleri Operasyonel Modal Analiz ve sonlu eleman yöntemi ile elde edilmiş daha sonra teorik ve deneysel sonuçların farklılıklarının giderilmesi için sonlu eleman model iyileştirilmesinin gerekliliği ortaya konulmuş ve model iyileştirmesi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra köprü 1992 Erzincan depremi altında analiz edilmiş ve analiz sonuçları incelenmiştir.

Kanıt ve Işık (2007), kemer geometrisindeki yığma duvarların deneysel ve sayısal yöntemlerle mekanik davranışlarını belirlemişler ve çeşitli sayısal analiz yöntemlerinin bu tür yapıların analizlerinde kullanılmasının uygunluğunu araştırarak, ayırık eleman yöntemi sonuçlarının, sonlu farklar yöntemi sonuçlarına göre daha gerçekçi olduğunu belirlemişlerdir.

Drosopoulos vd. (2008), taş kemer köprülerin sonlu eleman modelini oluşturarak göçme yüklerini hesaplamışlardır. Köprülerin mekanik davranışları üzerinde geometrinin etkisi olduğunu gözlemlemişlerdir. Çalışmadan, kemer yüksekliğindeki azalmanın genellikle yük limitinin artmasına neden olduğu ifade edilmiştir. Bu azalmanın daha fazla artırılması ise yük limitinde azalmaya yol açmaktadır. Ayrıca, sığ kemerlerde basınç yüklerinden doğan sorunlar oluşurken, derin kemerler 4 mafsallı göçme mekanizmasıyla göçtüklerini gözlemlemişlerdir.

Bayraktar vd. (2010), tarihi Osmanlı Köprüsü, İskenderpaşa Minaresi ve Ayasofya Çan Kulesi'nin teorik ve deneysel farklılıklarını gidermek için Operasyonel Modal Analiz yöntemi kullanılarak iyileştirilmiş, tarihi yapıların sonlu eleman modellerinin tahribatsız deneysel yöntemler kullanılarak iyileştirilmesinin önemine değinilmiştir.

Birinci (2010), ele aldığı tarihi kemer köprülerin dinamik karakteristiklerini teorik ve deneysel olarak elde etmiş, köprülerin sonlu eleman modellerini Operasyonel Modal Analiz yöntemi ile iyileştirmiştir.

Oliveira vd. (2010), Portekiz ve İspanya civarlarına odaklanarak bu çevredeki 59 adet yığma kemer köprünün üzerinde yapılan anket sonuçlarını raporlandırmışlardır. Bu köprüler arasından 8 köprüyü seçerek referans olarak almışlar ve bu referans köprülerinin

yük taşıma kapasitelerinin değerlendirilmesiyle ilgili olarak çalışma yapmışlardır. Sonuç olarak, kemer kalınlığının ve dolgu malzemesinin fiziksel özelliklerinin yük taşıma kapasitesi açısından büyük önemi olduğunu tespit etmişlerdir.

Altunışık vd. (2011), Rize’de bulunan tarihi Mikron Köprüsü’nün sonlu eleman modeli Operasyonel Modal Analiz verileri ile iyileştirmiş. İyileştirme sonucunda sonlu teorik sonuçların deneysel verilere yaklaştığı gözlemlenmiştir.

Sevim vd. (2011a), Rize’de bulunan tarihi Mikron Köprüsü’nün sonlu eleman modeli Operasyonel Modal Analiz yardımı ile iyileştirilmiş ve iyileştirilmiş model üzerinde köprünün 1992 Erzincan depremi altında lineer olmayan davranışı incelenerek, sonlu eleman iyileştirmesinin lineer olmayan analizlere büyük etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

Sevim vd. (2011b), tarihi Osmanlı ve Şenyuva köprüleri Operasyonel Modal Analiz ile iyileştirilmiş ve iyileştirilmemiş sonlu eleman modelleri deprem analizleri altında analiz edilerek sonuçlar karşılaştırılmış ve sonlu eleman model iyileştirmesinin tarihi kemer köprü analizleri için çok önemli olduğu vurgulanmıştır.

Arteaga ve Morer (2012), birbirinden farklı taş kemer köprülerin geometrilerinin yapısal kapasitelerine olan etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla, MATLAB programında Livesley (1978) tarafından geliştirilen bir uygulamadan yararlanmışlardır. Köprülerin gerçek geometrileriyle idealize edilmiş durumlarını karşılaştırmışlardır. Bu çalışma sonucunda, farklı şekillerin geometrik hatalarını tahmin etmenin yanı sıra taş köprülerin yapısal değerlendirmelerle hata yüzdelerini hesaplamayı amaçlamışlardır.

Milani ve Lourenço (2012), çalışmalarında ele aldıkları köprülerin statik lineer olmayan davranışlarını üç boyutlu sonlu eleman modelleri ile elde etmişlerdir. Bunun yanında iki boyutlu ve üç boyutlu analizler yardımıyla eğri kemer ve eksantristeli yüklenmiş düzgün kemer davranışlarını incelemişler ve iki boyutlu modellemenin bu durumlar dışında kemer köprülerin analizlerinde kullanımının yeterli olduğunu vurgulamışlardır.

Solla vd. (2012), stabilite ve dayanıklılık açısından önemli olduğunu bildikleri taş kemer köprülerin yapısal şekli hakkında araştırmalar yapmışlardır. Çalışma, seçilen köprülerin modellenmesini ve yapısal analizlerini içermektedir. Yapısal değerlendirme çalışmaları kapsamında taş kemerin en uygun boyutlar kullanılarak yük taşıma kapasitesini belirlemek amacıyla yapmışlardır.

Korkmaz vd. (2013), Rize’de bulunan tarihi Timisvat Köprüsü’nün sonlu eleman modelini oluşturmuş ve farklı depremler altındaki analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında, yapılan analizlerin sonuçları detaylı olarak incelenmiştir.

Pela vd. (2013), ele aldıkları üç açıklıklı taş kemer köprü üzerinde lineer olmayan statik analiz ve lineer olmayan dinamik analizler yaparak lineer olmayan statik analizin etkinliğini ortaya koymuşlardır. Daha sonra sonlu eleman modeli üzerinde seçilen kontrol noktalarının sismik kapasite tahminindeki etkinliğini araştırmışlardır.

Reccia vd. (2014), ele aldıkları üç boyutlu taş kemer köprü üzerinde lineer olmayan analiz ve limit analiz yaparak dolgunun ve ayak oturmasının köprünün davranışına etkilerini incelemişlerdir.

Bayraktar vd. (2015), ele aldıkları sekiz farklı taş kemer köprüyü Operasyonel Modal Analiz yöntemi ile analiz edip dinamik karakteristiklerini elde etmişlerdir. Çalışma sonunda köprülerin birinci mod frekansı için maksimum kemer açıklığına bağlı bir formül önermişlerdir.

Costa vd. (2015), yaptıkları çalışmada sonlu eleman ve ayırık eleman mikro modelleme yöntemleri ile taş kemer köprülerin yük taşıma kapasitelerini incelemişlerdir. Bu amaçla Kuzey Portekiz’de bulunan dört adet köprüyü ele alıp artımsal statik yüklemeye altında analiz etmişlerdir. Sonuç olarak bu iki analiz yönteminden elde edilen maksimum yük değerleri ve mafsal mekanizmaları benzer çıkmıştır.

D'Ambrisi vd. (2016), çalışmalarında taş kemer köprüleri çimento katkılı karbon fiber malzeme ile güçlendirmiş ve bu güçlendirmenin köprünün yapısal davranışına etkilerini incelemiştir.

Zampieri vd. (2016), yaptıkları çalışmada, zaman içinde kemer kalınlığında meydana gelen yerel hasarın, dolayısı ile kalınlık azalmasının kemerin sismik davranışına ve yıkılma mekanizmasına olan etkilerini sismik limit analiz yöntemi ile incelemişlerdir. Sonuç olarak, önerdikleri yöntemin, kemer kalınlığındaki azalmanın kemer kalınlığına oranı maksimum 0.3 olan durumlar için uygun olduğunu vurgulamışlardır.

1.3. Tezin Amacı ve İçeriği

Bu tez çalışması, tarihi yığma taş köprülerde sıklıkla görülen kemer formunun geometrik özelliklerinin köprülerin statik ve dinamik davranışlarına olan etkisini araştırmak üzere gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, Diyarbakır’ın Kulp ilçesinde bulunan

tarihi Göderni Köprüsü'nün kemer özelliklerinde değişiklikler dikkate alınarak, ANSYS programında sonlu eleman yöntemiyle modellemeleri yapılmıştır. Tez, elde edilen analiz sonuçlarının tablolar halinde sunulması ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesiyle sonuçlanmaktadır.

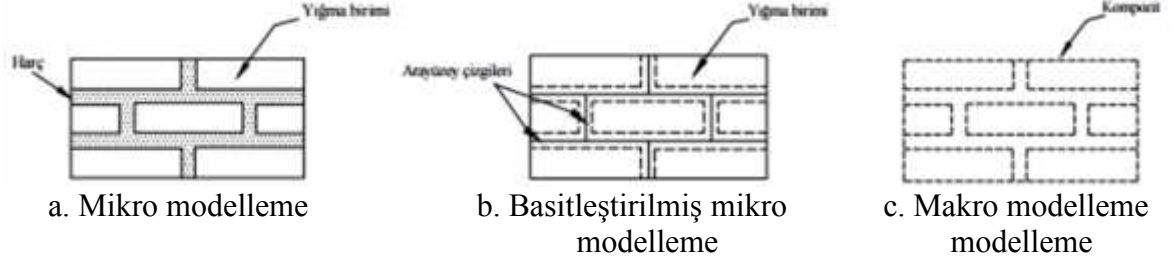
1.4. Köprülerin Analitik Modellenmesi

Kullanılan malzemelerin farklılığı ve genel yapının homojen olmaması nedeniyle analizleri zor olan kemer köprülerin yapısal analizlerinde, günümüzde sonlu eleman analizi kullanılmaktadır. Yapısal analiz, yapının tamamı ya da belirli bir elemanın analitik modelinin hazırlanmasıyla başlamaktadır. Bu işleme yapının ayrıştırılması denilmektedir. Yapı, ayrıştırma sırasında, analizin amacına uygun bir şekilde ve sayıda sonlu elemanlara ayrılmaktadır. Yapıyı oluşturan elemanlar, yapının geometrik boyutları, yapı üzerine etki eden yükler, mesnetlerin ve elemanların birleşim noktalarının hareket yetenekleri ve serbestlik derecesi göz önüne alınarak model içerisinde tanımlanmaktadır.

Analitik modellemenin amacı, yapının tamamının, belli bir bölümünün ya da elemanlarının çeşitli yükler veya fiziksel etkiler altında gerçek davranışının gözlenmesini sağlamaktır. Yapının gerçek davranışı genellikle çok karmaşıktır. Bu nedenle, yapıyı modellemek için birçok sadeleştirmenin yapılması zorunludur. Yalın ve basit bir model elde etmek için, yapı elemanlarını oluşturan malzemenin mekanik özelliklerinin de uygun bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Yığma yapıların analitik modellenmesinde yapının büyüklüğüne bağlı olarak;

- Mikro Modelleme
- Basitleştirilmiş Mikro Modelleme
- Makro Modelleme

olmak üzere üç farklı teknik kullanılmaktadır (Lourenço, 1999; Oliveira, 2003; Romano, 2005; Birinci, 2010). İlgili yöntemlere ait görünüş Şekil 1.1'de verilmektedir.



Şekil 1.1. Yığma yapıların analitik modelleme yöntemleri (Lourenço, 1999)

Mikro modellemede, yığma duvarı oluşturan yığma birimi ve harcın malzeme özellikleri ayrı ayrı değerlendirilmektedir. Bu modelleme tekniği genellikle dikkate alınacak yapı sisteminin bir bölümünün çözümü için uygundur (Oliveira, 2003; Bayraktar vd., 2007b; Birinci, 2010). Basitleştirilmiş mikro modellemede, yığma birimler harç tabakasının kalınlığının yarısı kadar genişletilerek harç tabakası ihmal edilmekte ve yığma birimler birbirlerinden ara yüzey çizgileriyle ayrılmaktadır. Sistemde meydana gelmesi muhtemel çatlakların bu ara yüzey çizgilerinde meydana geleceği kabul edilmektedir (Romano, 2005; Birinci, 2010). Makro modelleme ise, taş, tuğla vb. birimler ve harç arasında ayırım yapmaksızın, yapı elemanını kompozit olarak kabul eden ve bu malzemelerin ortak özelliğini yansıtan eşdeğer bir malzeme modelidir. Bu yaklaşım, büyük yapı sistemlerinin modellenmesinde bilgisayar çözüm süresini önemli ölçüde azalttığından dolayı genelde tercih edilmektedir.

1.5. Sonlu Eleman Yöntemine Dayalı Dinamik Formülasyon

Sonlu eleman analizinde öncelikle modeli oluşturan elemanların bireysel davranışı, sonra da modelin tamamının davranışı önemlidir. Kusursuz bir model oluşturmak için malzeme davranışı ve elemanların bireysel davranışının çok iyi incelenmesi gereklidir.

1.5.1. Analitik Dinamik Karakteristiklerin Belirlenmesi

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

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

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

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

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

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

1.5.2. Newmark Yöntemine Göre Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz

Tez kapsamında yapılan çalışmalarda, köprülerin deprem davranışlarının belirlenmesi için gerçekleştirilen dinamik analizlerde Newmark yöntemi tercih edilmiştir.

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

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

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

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

Bölüm 1.5.1'de verilen (1.1) denkleminin t ve $t + \Delta t$ anındaki dengesi dikkate alındığında,

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

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

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

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

şeklinde elde edilmektedir. Burada, Δ değişim operatörünü göstermek üzere,

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

2.1. Göderni Köprüsü

Bu tez çalışmasında, kemer taşıyıcı sistemine sahip tarihi yağma taş köprülerin kemer kalınlık ve açıklıklarının köprünün statik ve dinamik davranışı üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, Diyarbakır ilinde, Kulp ilçe merkezine 30 km uzaklıktaki Taşköprü Köyü'nde bulunan Göderni Köprüsü uygulama olarak seçilmiştir. Köprü kemerlerinin kalınlıklarının ve yüksekliklerinin değişimiyle birlikte yapısal davranışı izlenmiş ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

2.1.1. Köprü Genel Bilgileri

2.1.1.1. Köprünün Konumu

Göderni Köprüsü, Sarum Çayı'nın ayırdığı Kulp, Silvan ve Hazro ilçelerini birbirine bağlayan önemli bir eserdir (Şekil 2.1). Bingöl ilinin Genç ilçesinden kaynağını alan Sarum Çayı, Diyarbakır sınırları içerisinde, Kulp ile Lice ilçeleri arasında sınır oluşturarak akış göstermektedir. Kaynağını Bingöl dağlarından aldığı için debisi yüksektir. Şekil 2.2'de köprünün konumu verilmektedir.



Şekil 2.1. Diyarbakır haritası ve Göderni Köprüsü (URL-1, 2016).



Şekil 2.2. Göderni Köprüsü yerleşim yeri (Süllü, 2012).

İnşa dönemi kesin olarak bilinmemekle birlikte, 19. yy'ın ikinci yarısına tarihleyebileceğimiz Göderni Köprüsü, iki gözlü ve segment kemerlidir. Geleneksel Osmanlı taş köprü yapımında görülmeyen segment kemer biçimi, mimarideki yeni arayışlar ve Batı etkisiyle bu dönem içerisinde ortaya çıkmış, çelik ve betonarme köprülerin de esin kaynağı olmuştur.

Düz köprüler grubu içerisine giren ve kemer biçimi açısından aynı özelliklere sahip bu eserlerden Göderni Köprüsü, diğerlerine göre daha büyük ölçülerde inşa edilmiştir. Göderni Köprüsü sarımtırak renkli kesme taş örgülüdür. Göderni Köprüsü'ne ait bazı görünüşler Şekil 2.3'te verilmektedir.



Şekil 2.3. Göderni Köprüsü'ne ait bazı görüşler

2.1.1.2. Köprünün Tarihi Geçmişi ve Önemi

Göderni Köprüsü'nün vakfiyesi ve üzerinde inşa ya da onarım kitabesi bulunmamaktadır. Tarihçesi hakkında bilgi veren herhangi bir arşiv kaydı olmayan köprüde, dönem işareti sayılabilecek herhangi bir süsleme unsuruna da rastlanmamıştır. Bu nedenle köprünün kesin inşa tarihi bilinmemektedir.

Köprünün ve bölgede inşa edilen diğer köprülerin tarihsel süreç içerisinde aldığı biçim bir bütün olarak değerlendirildiğinde; mimari tasarım, segment (yay) kemer biçimi ve malzeme-teknik kullanımı açısından, Geç Osmanlı döneminde, 19.yy'ın ikinci yarısında inşa edilmiş olacağı düşünülmektedir.

19.yy'ın ikinci yarısında görülen mimarideki tikanıklığı aşma çabasının bir ifadesi olarak, biçimlerde yeni arayışlar ortaya çıkmış, yuvarlak kemerin yanı sıra segment kemerler de kullanılır olmuştur. Bu kemer biçimi Geç Osmanlı döneminde ortaya çıkmakla

birlikte Erken Cumhuriyet döneminde de kullanılmıştır. Bu dönemde ortaya çıkan betonarme ve çelik köprülerin kemer biçimlerinin esin kaynağı da sözü edilen ve taş köprülerde kullanılan yay kemerdir (Süllü, 2012).

Tempan duvarı üst seviyesinde görülen örgü farkı, beton harpuşta korkuluklar ve derzlerde görülen çimento esaslı harç kullanımı, Göderni Köprüsü'nün geç dönem onarım izleridir. Ayrıca, kuzey yöndeki kemerin yay biçiminde kısmi bir bozukluk görülmektedir. Bu durum, geç dönem onarım izlerinden ziyade inşa döneminden günümüze ulaşmış olacağı kanaatine varılmıştır (Süllü, 2012).

2.1.1.3. Köprü'nün Şimdiki ve Gelecekteki Kullanımı

Mevcut durumu itibariyle özgün biçimi ile günümüze ulaşmış Göderni Köprüsü kullanım durumundadır. Yapılacak restorasyon çalışmaları sonucunda, köprü'nün yapısal davranışının iyileştirilmesi yaya ve araç trafiği için güvenli bir duruma gelmesi planlanmaktadır.

2.1.2. Köprü'nün Yapısal Özelliklerinin Belirlenmesi

Tarihi köprüler gibi geçmişi günümüze bağlayan önemli mühendislik yapılarının statik ve/veya dinamik yükler altında göstereceği davranışın doğru bir şekilde belirlenebilmesi için taşıyıcı sistemin mimari ve geometrik özelliklerinin, bölgenin sismik aktivitesi ile malzeme ve zemin özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir.

2.1.2.1. Mimari Yapı, Taşıyıcı Sistem ve Malzemeler

Göderni Köprüsü, Kulp ilçe merkezine 30km uzaklıktaki Taşköprü Köyü'nde bulunmaktadır. Sarum Çayı üzerine kurulmuş olan köprü, Kulp ile Silvan ve Hazro ilçelerini birbirine bağlayan önemli bir geçit noktasında yer almaktadır. Günümüzde karayolu taşıt trafiğine açık durumdaki köprü, Taşköprü Köyü'nün 1.5km kuzeybatısında yer almaktadır. Köprü'nün yakın çevresinde herhangi bir yapılaşma bulunmamaktadır.

Düz köprüler grubu içerisine giren eser, akarsu yatağı üzerine, iki gözlü ve segment kemerli olarak kuzey-güney doğrultusunda kurulmuştur. Köprü'nün özgün döşemesi

günümüze ulaşmamış; kum, çakıl ve sıkıştırılmış topraktan ibaret bir biçim kazanmıştır. Tabliyenin ortasına doğru kısmi bir çökme bulunmaktadır. Köprüyle bağlantılı çevre yolları stabilize ya da asfalttır. Korkuluklar, tabliyenin iki kenarında, tempan duvarının üzerinde yükselen, bazı kısımları ise yıkılmış beton harpuşta biçimlidir. Köprünün kornişi yoktur.

Göderni Köprüsü, Sarum Çayı'nın iki kenarı ve ortasındaki kayalık zemin üzerinde yükselen ayaklara oturan, eş açıklık ve yükseklikte iki kemerden ibarettir. Akarsu yatağının özelliği nedeniyle yüksek tutulmuş ayaklar üzerinde birleşen kemerler segment biçimlidir. Memba cephesine göre kuzeyde yer alan kemerin yay biçiminde bir bozukluk bulunmaktadır. Kemer eğrisinin kilit noktasının iki yanında görülen bu bozukluk, köprünün inşa döneminden günümüze ulaşmış olmalıdır. Zira, kemer ve özellikle alınlık taşı örgüsünün özgün olduğu düşünülmektedir. Tempan duvarı ile aynı yüzeydeki kemer alınlık taşları, sarımtırak renkli, düzgün kesme taş örgülüdür. Kemer karnı da yatay sıralar izleyen, düzgün kesme taş örgülüdür. Özellikle, kuzey yöndeki kemerin kilit taşı çevresi ve karnında çatlaklar görülmektedir. Tempan duvarı alt sıra kesme taş örgüsü özgün olmakla birlikte, üst sıra örgülerde kısmen kaba yonu ve kesme taşlar bir arada kullanılmıştır. Örgü farkı ve çimento esaslı harç kullanımı, tempan duvarı üst sıralarındaki onarımlara işaret etmektedir.

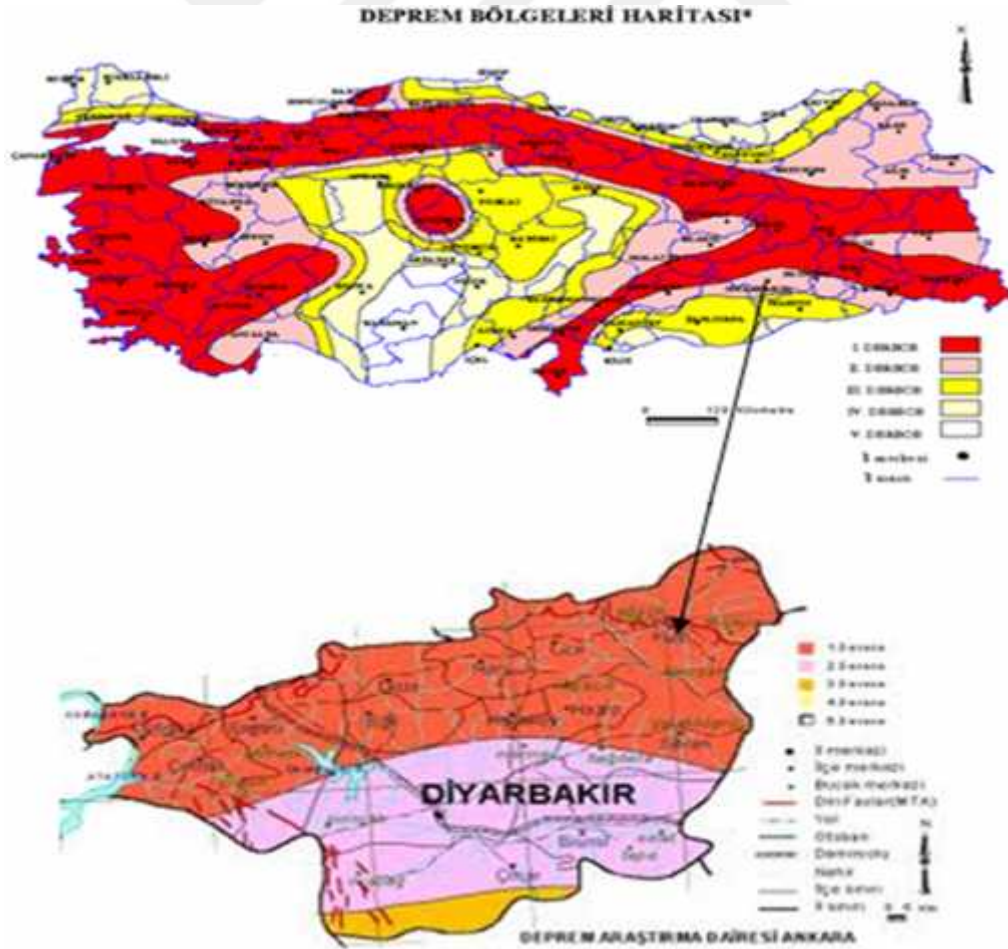
Kesme taş örgü tekniğinin görüldüğü orta ayakta bir selyaran bulunmaktadır. Ortada birleşen kemerlerin üzengi taşı yüksekliğinde, çok az basık olmak üzere yarım daire kesitli ve ayak ile birlikte örülmüş selyaran sağlam durumdadır. Selyaranın üst kısmındaki bir-iki sıra taş örgü ile tempan duvarına yaslanmış külahın alt kısmında çok az doku kaybı bulunmaktadır. Her iki yönde kayalıklarla birleşen tempan duvarının özellikle güney yönünde onarım izleri görülmektedir.

Mansap cephesinde, güney yön tempan duvarı ve kemerinde daha yoğun olmak üzere, çimento esaslı harç kullanımı ve bitkilenmeye dair sorunlar göze çarpmaktadır. Esas olarak memba ile aynı özelliklere sahip cephede orta ayağın topuğu yoktur. Kuzey yön tempan duvarı kaya kütesine yaslanmakla birlikte, ayrıca, duvarın yarı yüksekliğinde bir payanda ile desteklenmektedir. Kesme taş malzemeli payanda, ayak ile birlikte örülmüştür. Aynı yönde, tempan duvarının ucunda bir kanat duvarı bulunmaktadır. Çok az doğuya kırılmış duvar, geç dönemde inşa edilmiştir. Köprünün inşasında sarımtırak renkte kesme taş kullanılmış; dolguda moloz taş, bağlayıcı malzeme olarak da kireç harcı tercih edilmiştir. Köprünün üzerinde herhangi bir süsleme unsuru yoktur (Süllü, 2012).

2.1.2.2. Lokal Sismisitesi

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

Diyarbakır İli deprem haritasında, Diyarbakır il ve ilçelerinin içinde buldukları deprem kuşakları gösterilmektedir (Şekil 2.4). Harita incelendiğinde, Diyarbakır ilinin büyük bir bölümünün I. ve II. Derece deprem kuşağında, güneyde kalan küçük bir bölümünün ise III. Derece deprem kuşağında olduğu görülmektedir.

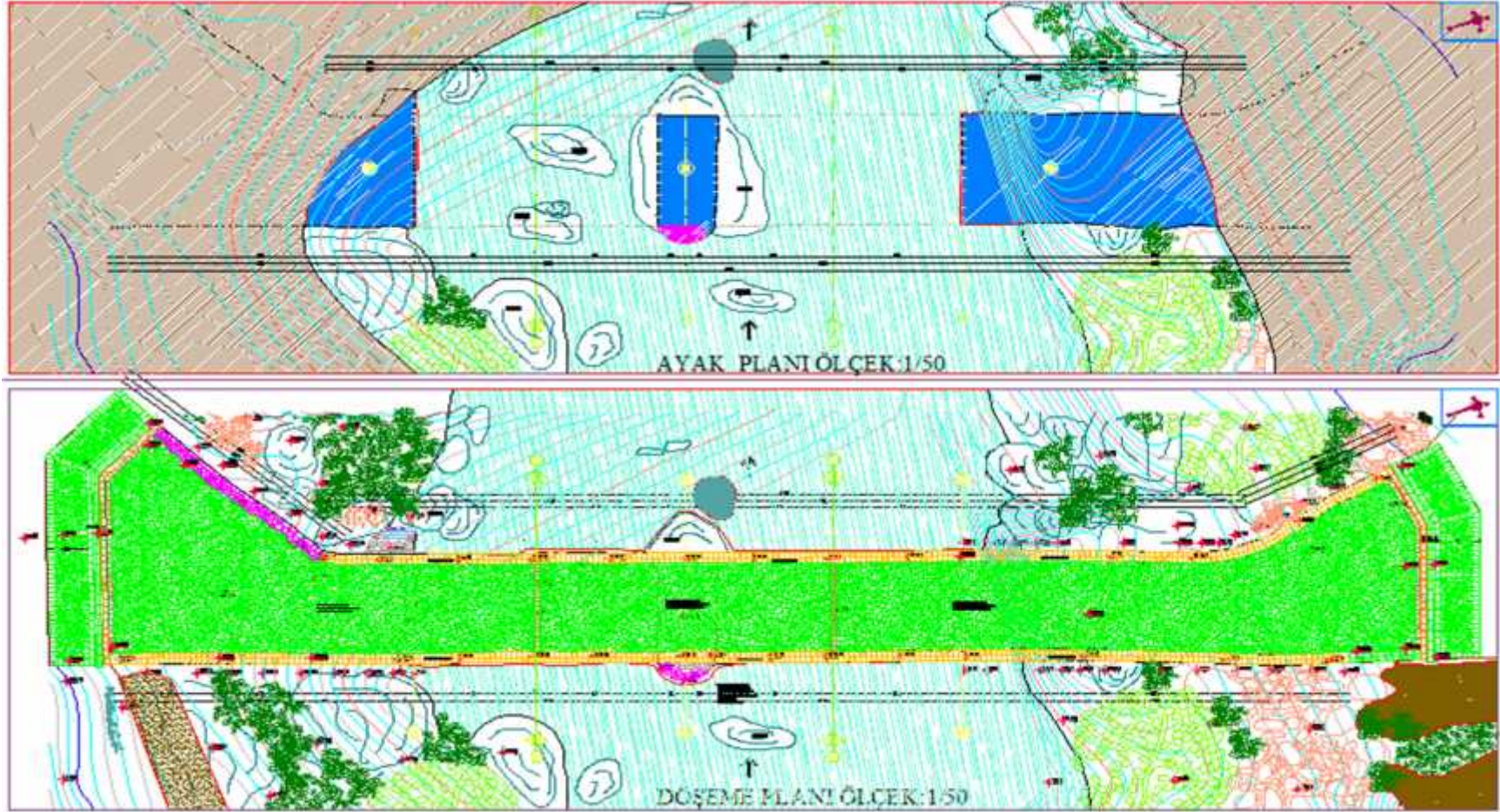


Şekil 2.4. Diyarbakır ili ve ilçelerine ait deprem haritası (URL-2, 2016).

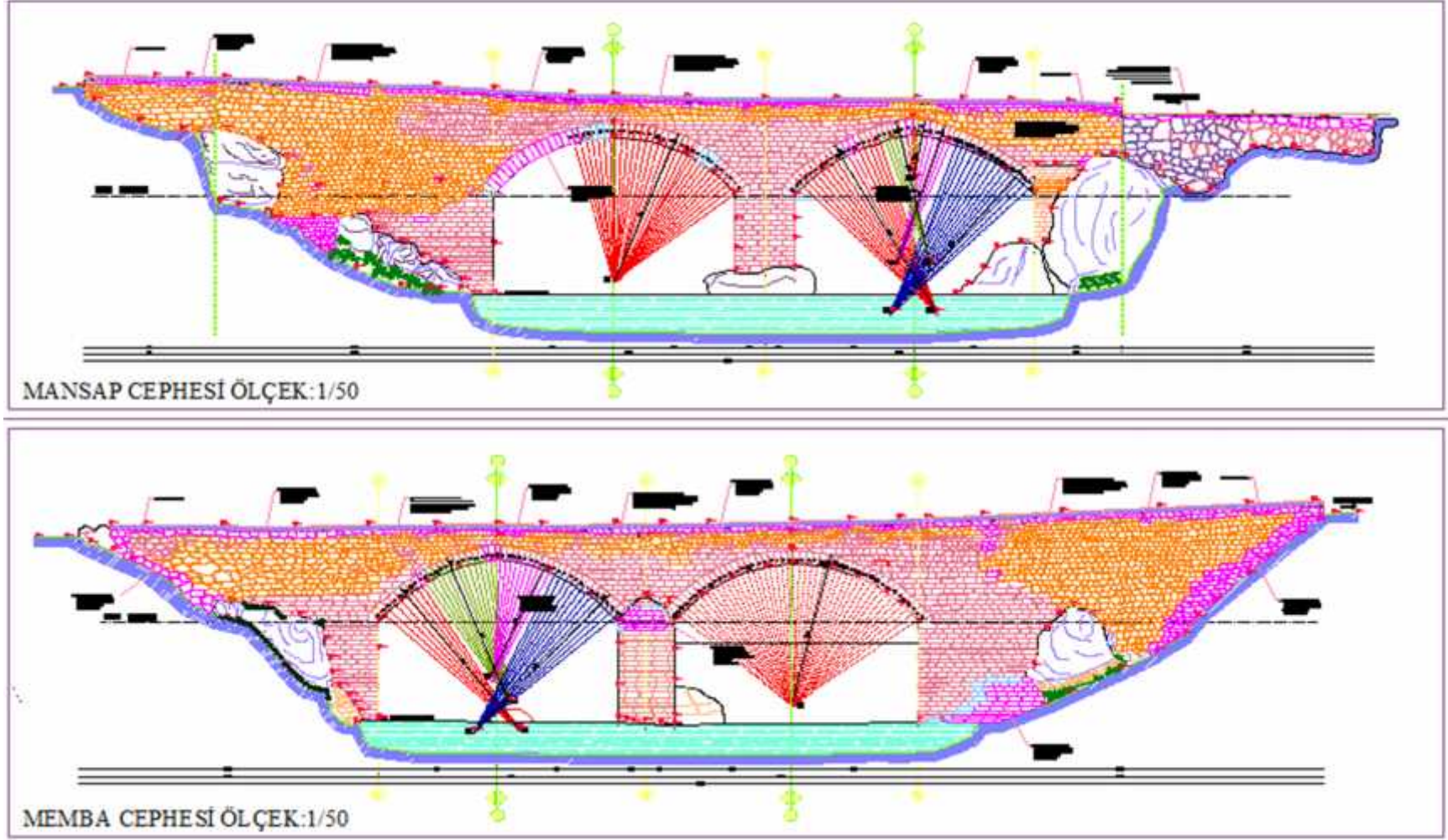
2.1.2.3. Geometrik Ölçüm

Göderni Köprüsü'nün geometrik verileri Abdulkadir Aslan Mühendislik tarafından yerinde ölçümler yapılarak elde edilmiştir. Köprü belirlenen mimari konumu ile yolu düz olarak devam eden ve çok açıklıklı taş kemer köprüler grubuna ait köprüler içerisinde değerlendirilmektedir. Göderni Köprüsü'nün geometrik verileri dikkate alınarak hazırlanan röleve çizimlerine ait bazı görünüşler (ayak ve döşeme rölöve planı, memba ve mansap cephe röleveleri) Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da verilmektedir. Göderni Köprüsü'nün A-A', B-B', C-C' ve D-D' en kesit röleveleri ise Şekil 2.7'de verilmektedir.

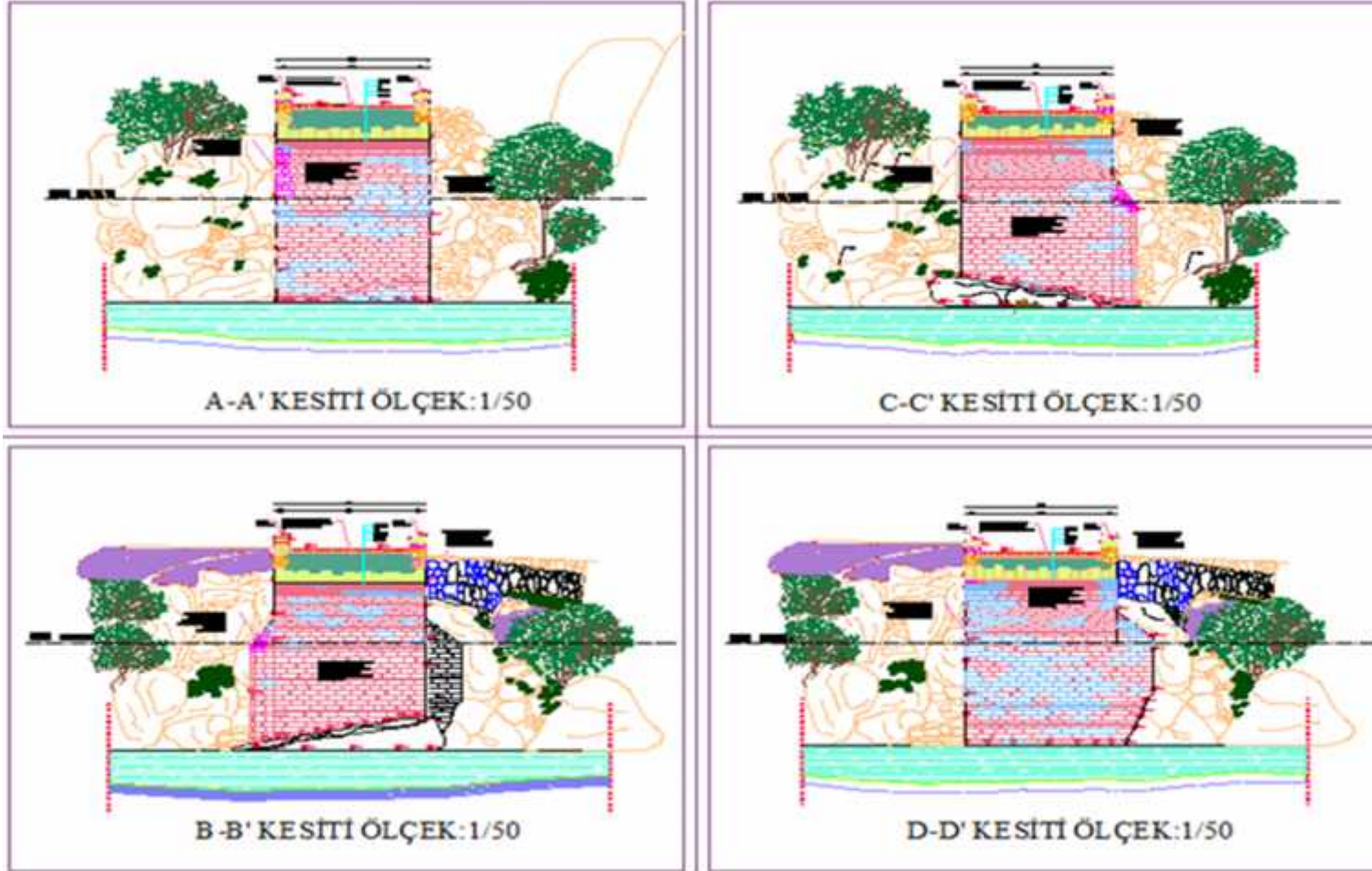




Şekil 2.5. Göderni Köprüsü ayak ve döşeme röleve planı (Bayraktar, 2013).



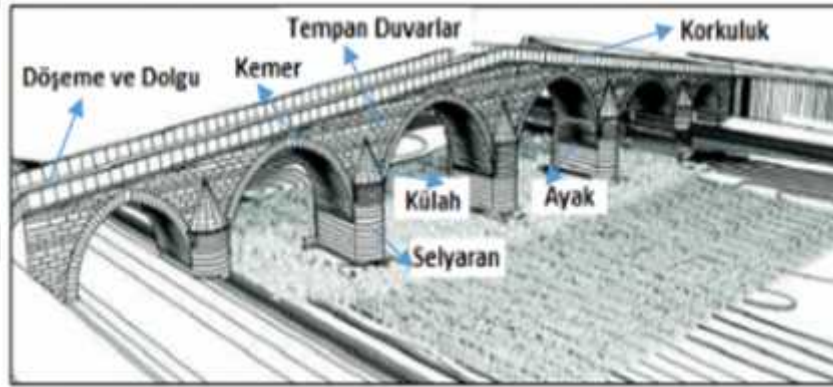
Şekil 2.6. Göderni Köprüsü memba (a) ve mansap (b) cephe röleveleri (Bayraktar, 2013).



Şekil 2.7. Gödemi Köprüsü A-A', B-B', C-C' ve D-D' en kesitleri röleleler (Bayraktar, 2013).

2.1.2.4. Malzeme İncelemesi

Göderni Köprüsü taş kemer bir köprüdür. Bu tür köprüler genel olarak sadece taş kelimesiyle ifade edilse bile taşıyıcı sistemi içerisinde taş, dolgu, çelik ve ahşap gibi değişik malzemeler farklı amaçlar doğrultusunda kullanılmaktadır. Köprü'nün harç ve derzlerinde çimento esaslı harç kullanılmıştır. Tarihi köprülerde yapı elemanlarına ait şematik görünüşler Şekil 2.8'de verilmektedir. Köprü'nün yan duvarları (tempan duvarlar) arasında kalan dolgu kısmı diğer tarihi köprülerde de olduğu gibi, büyüklükleri 10-30cm arasında değişen kireçtaşı, kum ve çakıl tanelerinden oluşmaktadır. Bu dolgunun hemen altında bağlayıcı dolgu bulunmaktadır. Bu dolgu genelde taş blokları ve aralarındaki beyazımsı gri renkli harçtan oluşmaktadır.



Şekil 2.8. Tarihi köprülerde yapı elemanlarına ait şematik görünüşler (URL-3, 2016).

Göderni Köprüsü'nde kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerini tespit etmek amacıyla T.C. Mardin Valiliği, İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, Mardin Müzesi, Restorasyon-Konservasyon ve Analiz Laboratuvarı tarafından köprüden alınan taş ve harç numuneleri üzerinde gerekli deneyler yapılmış, analiz sonuçları teknik rapor hazırlanarak sunulmuştur (Teknik Rapor, 2012). Deneyler sonucunda taş ve harçlara ait elde edilen mekanik özellikler, Göderni Köprüsü'nün analizleri sonucunda elde edilen yerdeğiştirme, gerilme ve şekildeğiştirme değerlerini kontrol etmek amacıyla kullanılmıştır.

Alınan numuneler üzerinde direk olarak basınç dayanımı belirlenmemiş olup, sadece nitelik tespiti amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, taşların ortalama basınç dayanımlarının 30-50MPa civarında değişeceği sonucuna varılmıştır. Bu nitelik ve ilgili

değerler literatür ile de uyumludur. Bu nitelikteki taşların ortalama birim hacim ağırlıkları 2000-2400kg/m³ aralığında değişmektedir.

Köprüde kullanılan harçlardan da numuneler alınmış ve bu numuneler deneysel işlemlere tabi tutularak nitelik tespiti yapılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen nitelik tespitleri literatür ile de karşılaştırıldığında harç numunelerin ortalama basınç dayanımının 4-9MPa civarında değişeceği sonucuna varılmıştır.

2.1.2.5. Zemin İncelemesi

Tarihi yapılarda, temel zemini ile ilgili yeterli bilgi bulunmaması durumunda temel zemininin yeterli sayıda gözlem çukurları ve sondajlar ile incelenmesi gerekmektedir. Temel zeminini oluşturan her tabaka için yapılacak laboratuvar deneylerinde dane büyüklükleri, birim hacim ağırlıkları, su muhtevası ve boşluk oranı gibi büyüklüklerin belirlenmesi gerekmektedir. Belirsizlik durumunda standart penetrasyon, taşıma gücü ve gerekli diğer ölçümlerin yapılması yararlı olmaktadır.

Göderni Köprüsü'nün zemin profilini belirlemek amacıyla gözlemsel zemin etüt raporu Karayolları 9. Bölge Müdürlüğü'ne sunulmak üzere hazırlanmıştır (Bayraktar, 2013). Kaya numunelerin mekanik özellikleri belirlemek amacıyla, nokta yükü deneyleri yapılmış, ilk araştırma çukurunda 31.54kg/cm² değeri elde edilirken, ikinci araştırma çukurunda 29.93kg/cm² değeri elde edilmiştir. Ofiyolitik kayalar sağlam dayanımlı bir kayaç olduğundan genelde bu kaya türünde yapılan serbest basınç deneyleri 1000-1500kg/cm² değerleri verebilmektedir.

Yerinde yapılan incelemeler, bölgedeki sondaj logları ve literatür dikkate alınarak, zemin Elastisite modülü 7E9N/m² olarak seçilmiştir. Literatürde bu tür kayalar için belirtilen Poisson oranı 0.15 ile 0.35 arasında değişmektedir. Analizlerde Poisson oranı 0.2 olarak dikkate alınmıştır. Zemin kütlelerinin yoğunluğu hakkında genel bir bilgi bulunmamaktadır. Analizlerde yoğunluk 2500kg/m³ olarak dikkate alınmıştır. Bu değer de literatürde bu tür kayalar için öngörülen değerlere uygun olmaktadır.

2.2. Yapısal Analizler ve Değerlendirmeler

Göderni Köprüsü'nün gerçekleştirilecek restorasyon çalışmaları sonrası durumuna ait farklı kemer özellikleri dikkate alınarak yapısal davranışının belirlenmesi amacıyla, köprünün sonlu eleman yöntemiyle analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde taşıyıcı sistem elemanlarına ait genel bilgiler, eleman boyutları ve malzeme özellikleri köprünün röleve ve restorasyon projelerinden, sanat tarihi raporlarından, mimari raporlardan ve ilgili kaynaklardan elde edilmiştir. Köprünün restorasyon sonrası durumu için hazırlanan sonlu eleman modelleri ANSYS yapısal analiz programında oluşturulmuştur. Bu amaçla gerçekleştirilen analizler aşağıdaki gibi gruplandırılmıştır.

A. Kemer Yüksekliği Değiştirilerek Yapılan Analizler;

| | |
|------------------------------------|--------------------------------|
| ✓ Birinci Kemer Yüksekliği: 2.86m, | İkinci Kemer Yüksekliği: 2.64m |
| ✓ Birinci Kemer Yüksekliği: 2.96m, | İkinci Kemer Yüksekliği: 2.74m |
| ✓ Birinci Kemer Yüksekliği: 3.06m, | İkinci Kemer Yüksekliği: 2.84m |
| ✓ Birinci Kemer Yüksekliği: 3.16m, | İkinci Kemer Yüksekliği: 2.94m |
| ✓ Birinci Kemer Yüksekliği: 3.26m, | İkinci Kemer Yüksekliği: 3.04m |
| ✓ Birinci Kemer Yüksekliği: 3.36m, | İkinci Kemer Yüksekliği: 3.14m |
| ✓ Birinci Kemer Yüksekliği: 3.46m, | İkinci Kemer Yüksekliği: 3.24m |
| ✓ Birinci Kemer Yüksekliği: 3.56m, | İkinci Kemer Yüksekliği: 3.34m |
| ✓ Birinci Kemer Yüksekliği: 3.66m, | İkinci Kemer Yüksekliği: 3.44m |
| ✓ Birinci Kemer Yüksekliği: 3.76m, | İkinci Kemer Yüksekliği: 3.54m |

B. Kemer Kalınlığı Değiştirilerek Yapılan Analizler

| | |
|----------------------------------|------------------------------|
| ➤ Birinci Kemer Kalınlığı: 22cm, | İkinci Kemer Kalınlığı: 39cm |
| ➤ Birinci Kemer Kalınlığı: 32cm, | İkinci Kemer Kalınlığı: 49cm |
| ➤ Birinci Kemer Kalınlığı: 42cm, | İkinci Kemer Kalınlığı: 59cm |
| ➤ Birinci Kemer Kalınlığı: 52cm, | İkinci Kemer Kalınlığı: 69cm |
| ➤ Birinci Kemer Kalınlığı: 62cm, | İkinci Kemer Kalınlığı: 79cm |
| ➤ Birinci Kemer Kalınlığı: 72cm, | İkinci Kemer Kalınlığı: 89cm |
| ➤ Birinci Kemer Kalınlığı: 82cm, | İkinci Kemer Kalınlığı: 99cm |

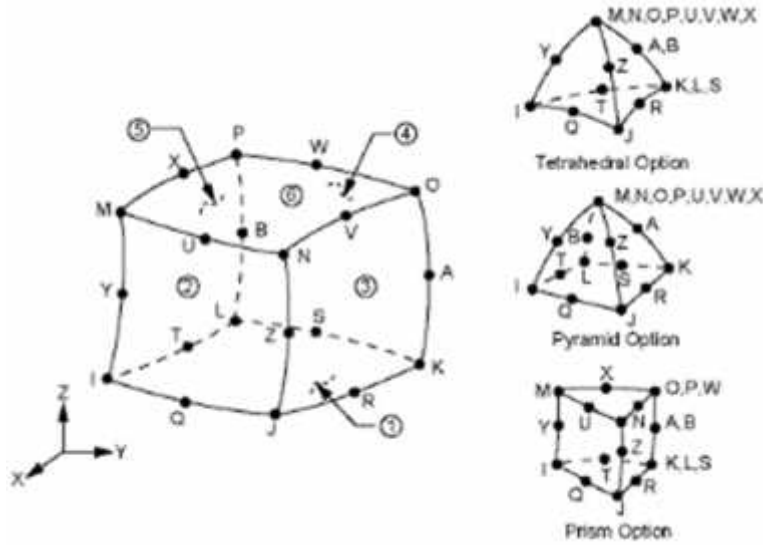
- Birinci Kemer Kalınlığı: 92cm, İkinci Kemer Kalınlığı: 109cm
- Birinci Kemer Kalınlığı: 102cm, İkinci Kemer Kalınlığı: 119cm

Yukarıda belirtilen ondokuz farklı durum için gerçekleştirilen analizler sonucunda köprünün,

- ✓ Kendi ağırlığı altındaki davranışının belirlenmesi
- ✓ Kendi ağırlığı ve hareketli yükler altındaki davranışının belirlenmesi amaçlanmaktadır.
- ✓ Kendi ağırlığı, hareketli yükler ve deprem yükü altındaki davranışının belirlenmesi

amaçlanmaktadır.

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

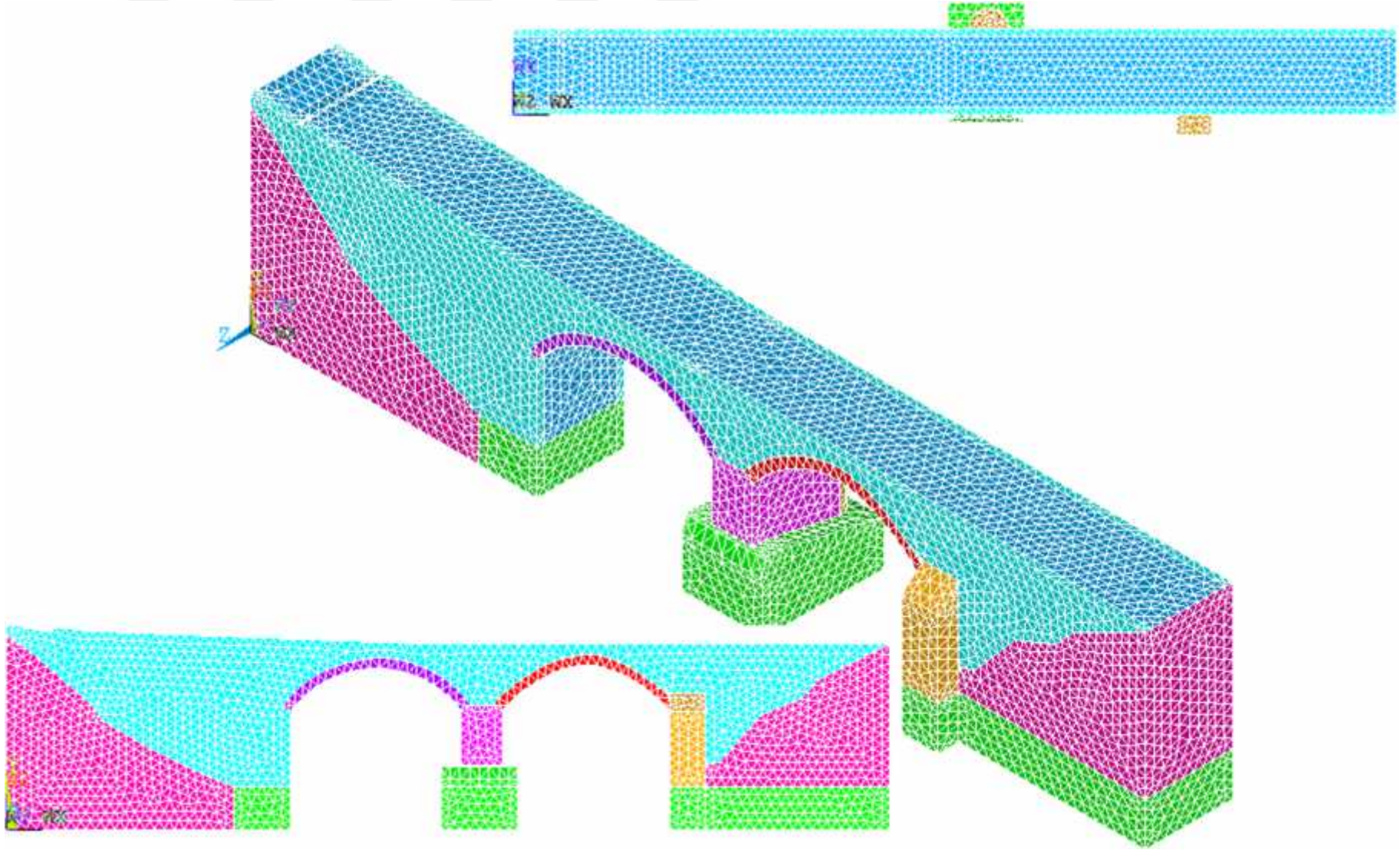


Şekil 2.9. SOLID186 elemanının genel görünüşü ve sonlu eleman ağındaki dönüşebileceği durumlar (ANSYS, 2015).

Göderni Köprüsü'nün restorasyon sonrası durumu dikkate alınarak oluşturulan sonlu eleman modeli Şekil 2.10'da verilmektedir. Sonlu eleman modeli 87782 sonlu elemandan oluşmaktadır. Analizlerde yapı-zemin etkileşimi dikkate alınmıştır. Tüm analizler doğrusal elastik olarak gerçekleştirilmiştir. Analizlerde taşıyıcı sistem elemanları için kullanılan malzeme özellikleri Tablo 2.1'de verilmektedir.

Tablo 2.1. Köprünün analizlerinde dikkate alınan malzeme özellikleri (Teknik Rapor, 2012).

| Taşıyıcı Sistem Elemanları | Malzeme Özellikleri | | |
|-----------------------------------|--|------------------------------|--|
| | <i>Elastisite Modülü (N/m²)</i> | <i>Poisson Oranı (-)</i> | <i>Birim Hacim Ağırlığı (kg/m³)</i> |
| Taş Kemer | 5.00E9 | 0.20 | 2000 |
| Yan Duvar | 3.00E9 | 0.20 | 2000 |
| Dolgu | 6.0E08 | 0.20 | 1800 |
| Selyaran ve Külâh | 5.00E9 | 0.20 | 2000 |
| Korkuluk | 5.00E9 | 0.20 | 2000 |
| Zemin | 7.00E9 | 0.20 | 2500 |
| Temel | 7.00E9 | 0.20 | 2500 |



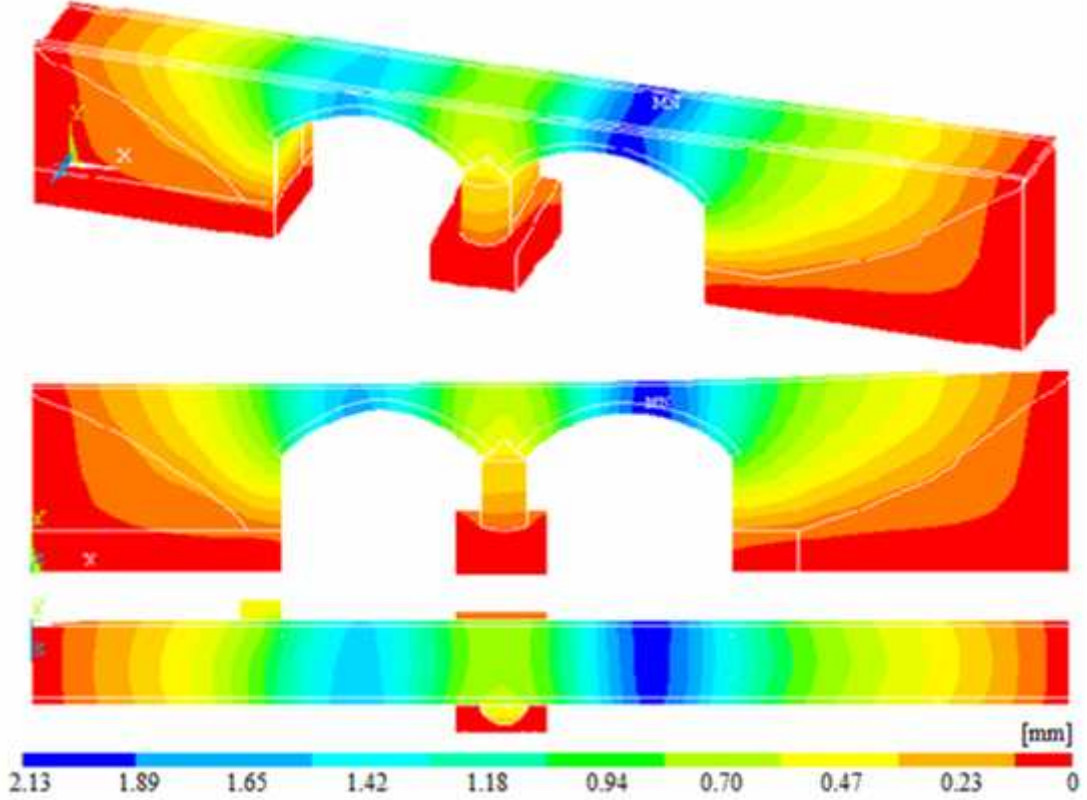
Şekil 2.10. Göderni Köprüsü'ne ait üçboyutlu sonlu elaman modeli ile perspektif ve görünüşler

2.2.1. Göderni Köprüsü İçin Gerçekleştirilen Analizler

Göderni Köprüsü'nün kemer yüksekliklerinin birinci ve ikinci kemer için sırasıyla 3.26m ve 3.04m, kemer kalınlıklarının 0.52m ve 0.69m olması durumunda gerçekleştirilen analizlerde oluşturulan sonlu eleman modeli 146678 düğün noktası ve 87782 sonlu elemandan oluşmaktadır. Analizlerde yapı-zemin etkileşimi dikkate alınmıştır. Tüm analizler doğrusal elastik olarak gerçekleştirilmiştir.

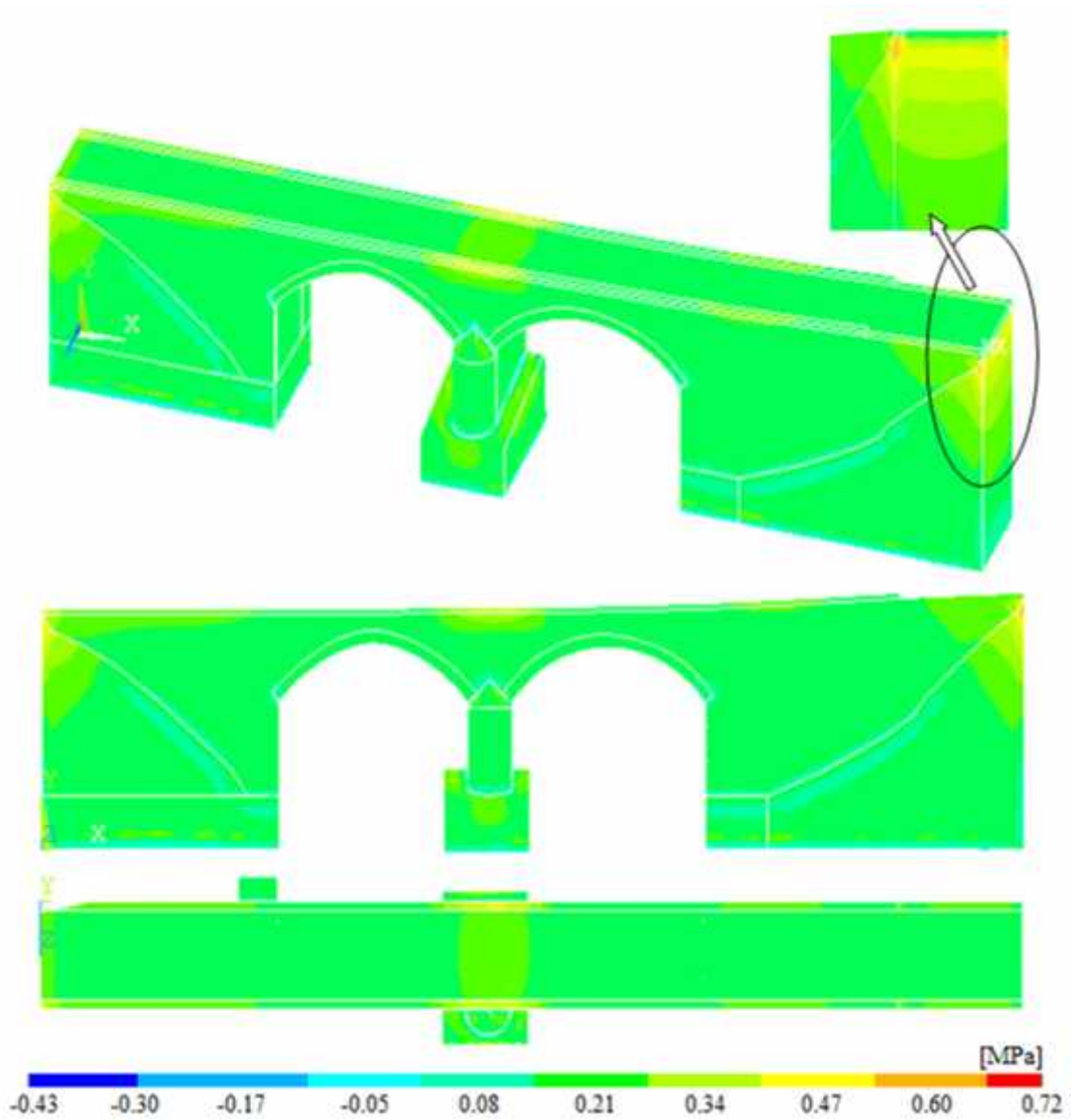
2.2.1.1. Köprü'nün Kendi Ağırlığı Altındaki Davranışının Belirlenmesi

Göderni Köprüsü'nün kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizler sonucunda meydana gelen yer değiştirmelere ait kontur diyagramı Şekil 2.11'de verilmektedir. Şekil 2.11'den de görüldüğü üzere yerdeğişimler kemer açıklık ortalarından orta ayağa ve kenar mesnetlere doğru azalmaktadır. Maksimum yerdeğiştirme kemer açıklık ortalarında 2.13 mm olarak elde edilmiştir.



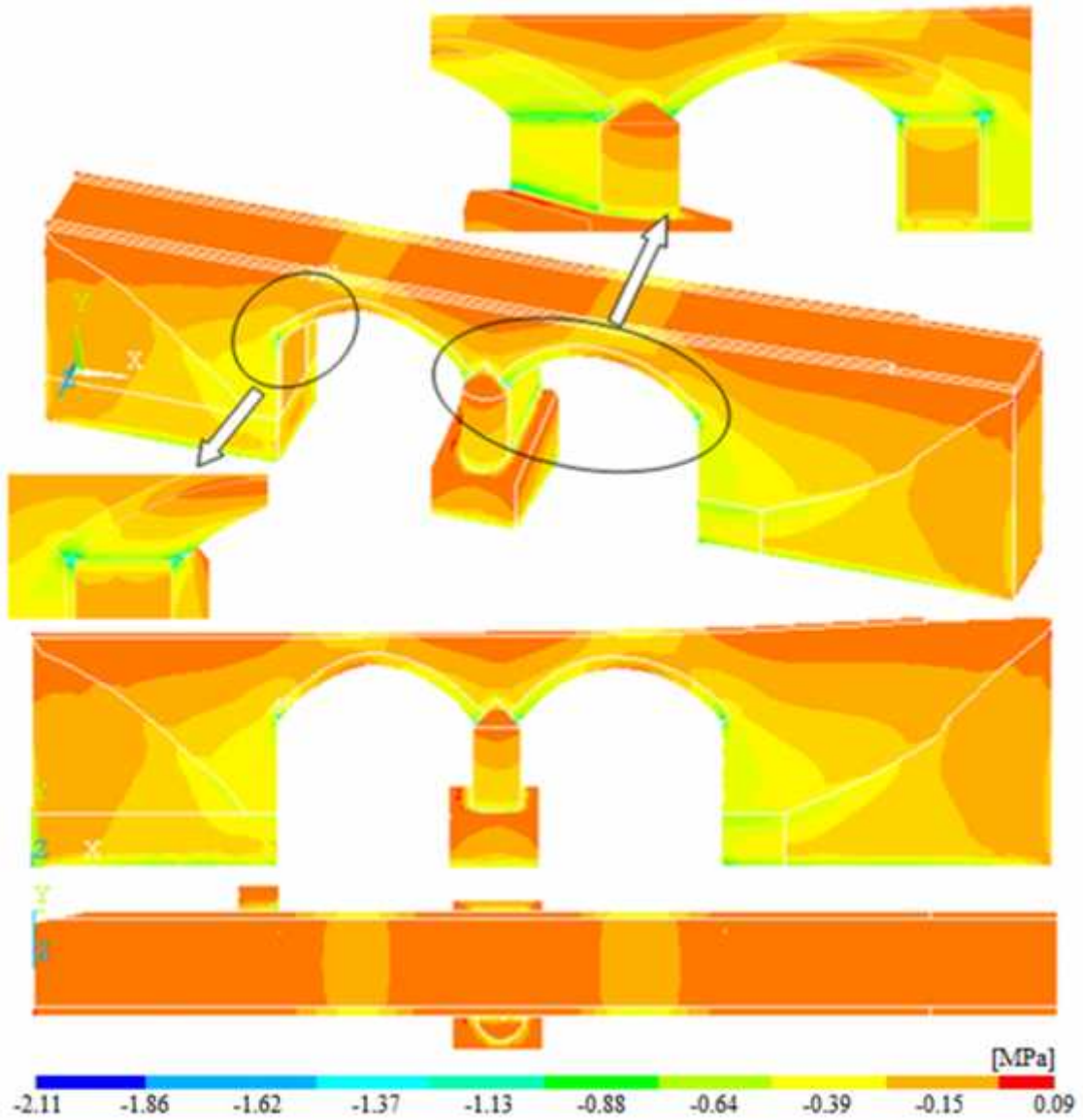
Şekil 2.11. Köprü'nün kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen yerdeğişimlere ait kontur diyagramı

Köprünün kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen çekme gerilmelerinin dağılımına ait kontur diyagramı Şekil 2.12’de verilmektedir. Şekil 2.12’den de görüldüğü üzere çekme gerilmelerinin maksimum değerleri köprünün kenar yamaçlara birleşen bölgelerinde lokal olarak 0.72MPa değerinde elde edilmektedir. Ayrıca, tempan duvarlarda, kemerlerin orta noktalarının iç kısımlarında, orta ayak tabliye iz düşüm kısımlarında 0.37MPa değerinde gerilmeler oluşmaktadır. Bu kısımlar hariç köprünün diğer taşıyıcı elemanlarda çekme gerilmeleri maksimum 0.18MPa değerine ulaşmıştır.



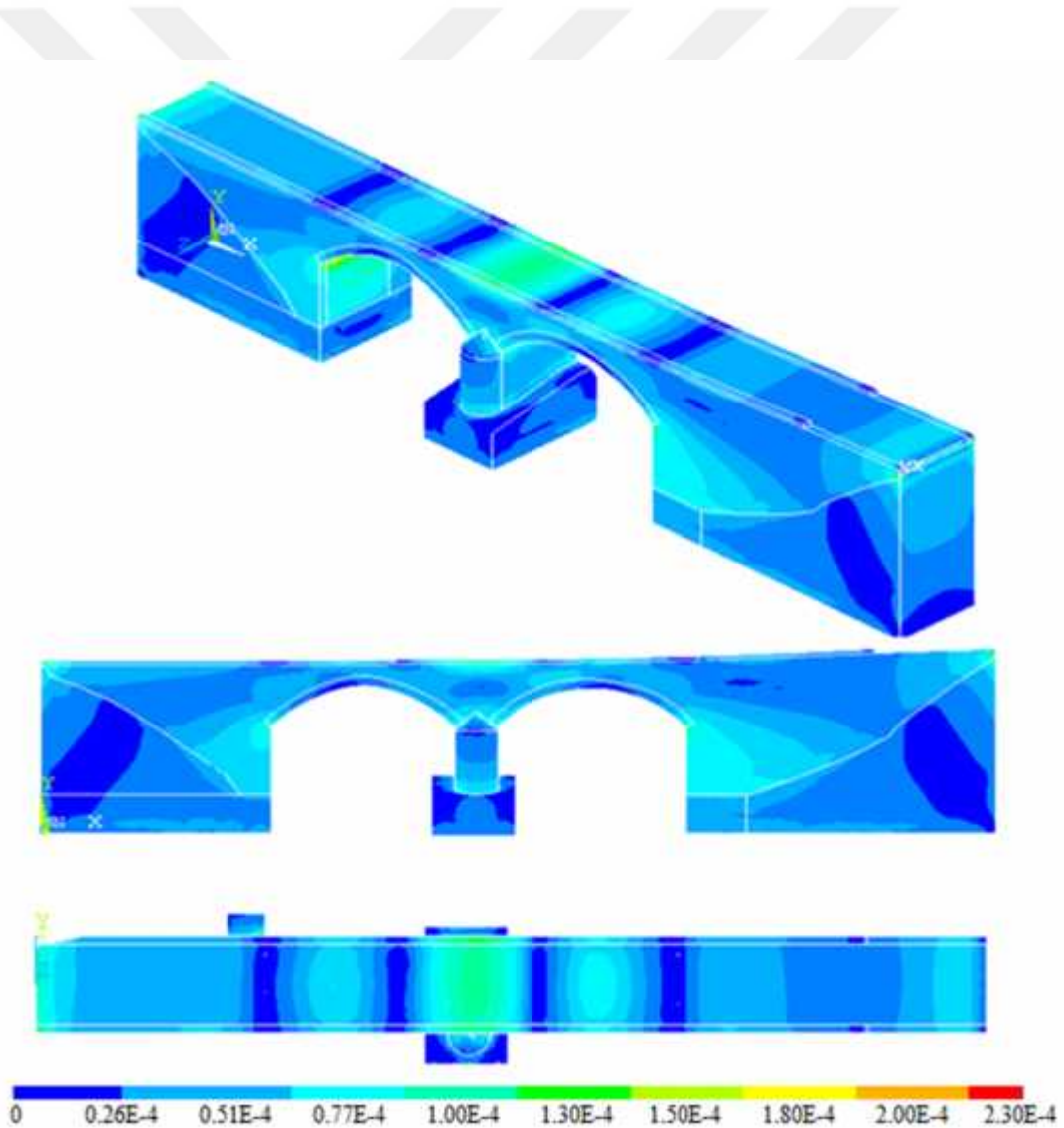
Şekil 2.12. Köprünün kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen çekme gerilmelerine ait kontur diyagramı

Köprünün kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen basınç gerilmelerinin dağılımına ait kontur diyagramı Şekil 2.13'te verilmektedir. Şekil 2.13'ten de görüldüğü üzere basınç gerilmelerinin maksimum değerleri tempın duvarlarda, kemerlerin orta ayak ve yamaçlara oturan alt bölgelerinde ve orta ayakta 2.11MPa olarak elde edilmektedir. Ayrıca, orta ayağın temel oturan kısımlarında, kemer-yan duvar birleşim kısımlarında ve zemin taban kısmında 1.25MPa civarında gerilme yığılmaları mevcuttur. Bu bölgeler dışında tempın duvarlar, kemerler, dolgu ve yamaçlarda elde edilen basınç gerilmeleri maksimum 0.39MPa civarındadır.

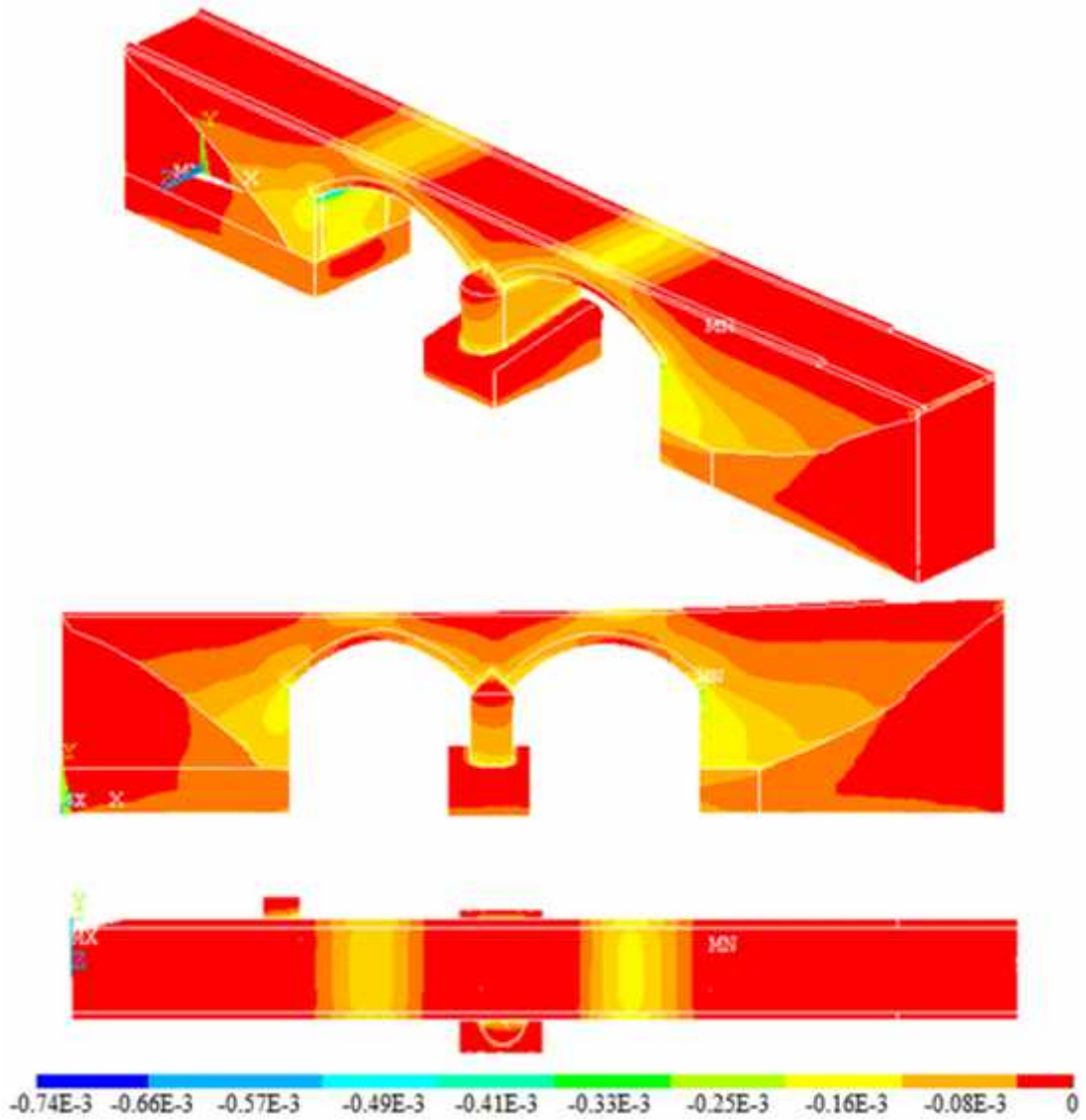


Şekil 2.13. Köprünün kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen basınç gerilmelerine ait kontur diyagramı

Köprünün kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen şekil değiştirmelere ait kontur diyagramı çekme ve basınç durumları için Şekil 2.14 ve Şekil 2.15'te verilmektedir. Şekil 2.14 ve Şekil 2.15'ten de görüldüğü üzere köprüde meydana gelen şekil değiştirme miktarı çekme durumu için maksimum $0.23E-3$, basınç durumu için ise maksimum $0.74E-3$ 'tür. Çekme durumunda maksimum değer hariç genel olarak elde edilen şekil değiştirme değerleri tempan duvar ve kemer alt bölgelerinde, kemer iç kısımlarında ve döşeme üzerinde bazı bölgelerde $0.14E-3$ civarında elde edilmiştir. Basınç durumunda ise maksimum değer hariç genel olarak elde edilen şekil değiştirme değerleri kemerlerin tempan duvarlara birleştiği kısımlarda, kemer açıklık ortalarının tabliye iz düşüm noktalarında ve kemer orta ayaklarında $0.16E-3$ civarında elde edilmiştir.



Şekil 2.14. Köprünün kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizlerden çekme durumu için şekil değiştirmelere ait kontur diyagramı

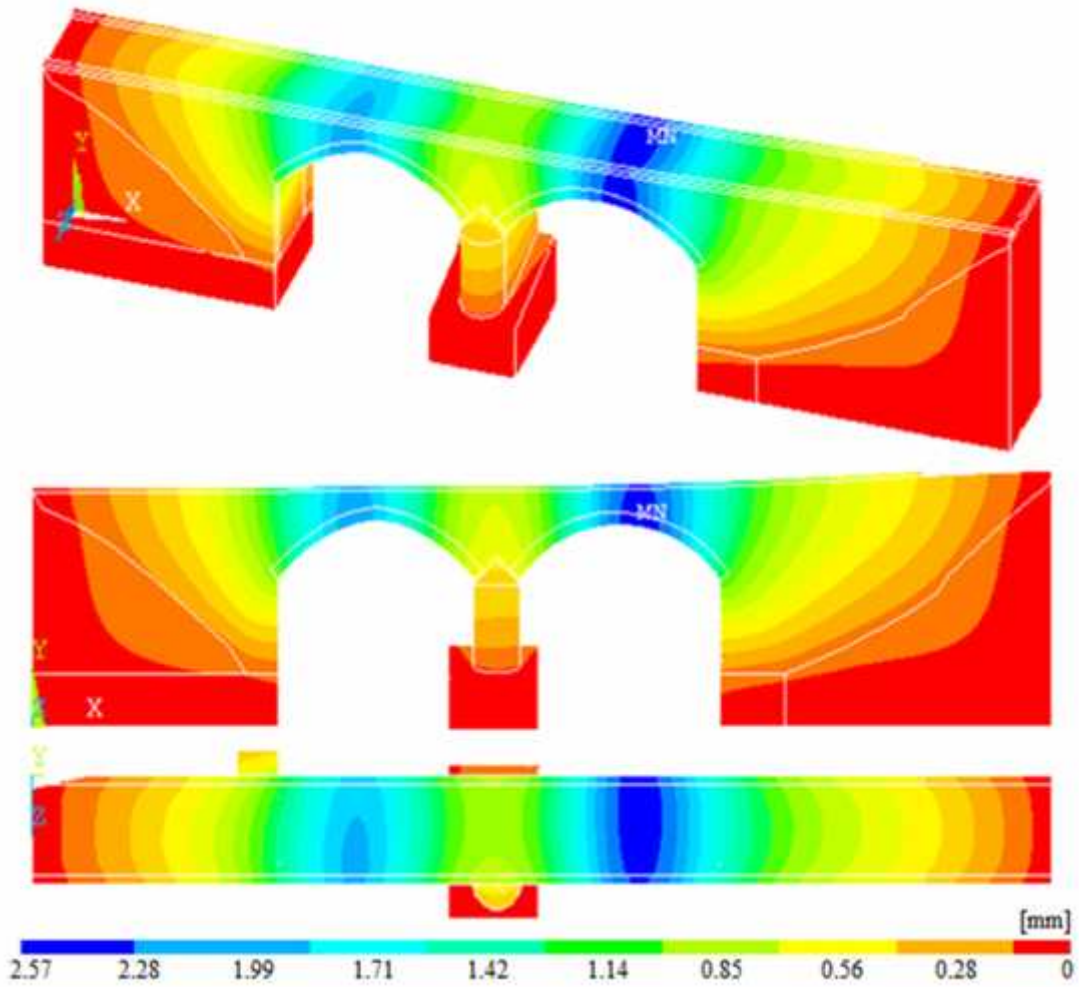


Şekil 2.15. Köprü'nün kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analizlerden basınç durumu için şekildeğişimlere ait kontur diyagramı

2.2.1.2. Köprü'nün Kendi Ağırlığı ve Hareketli Yükler Altındaki Davranışının Belirlenmesi

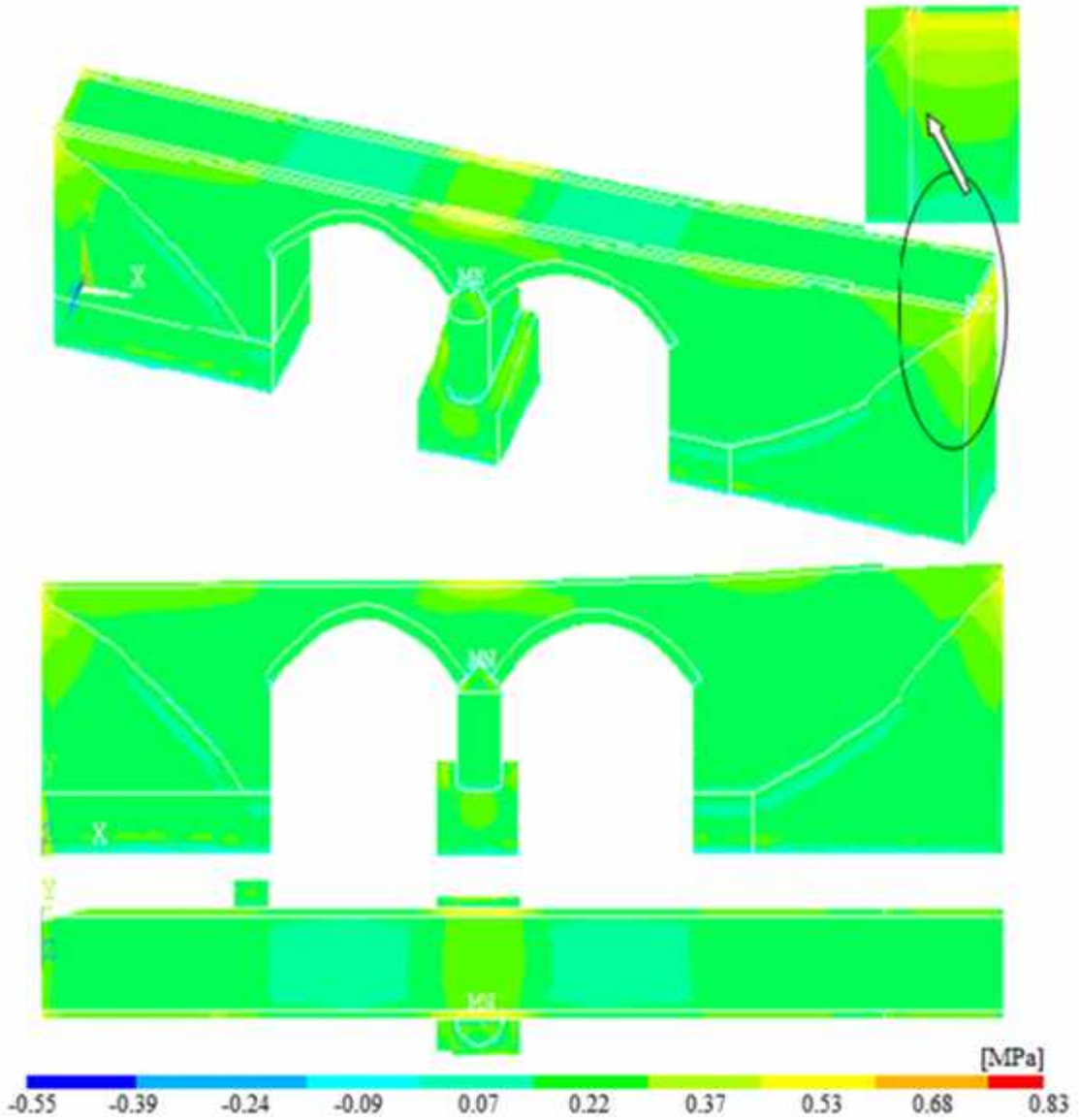
Göderni Köprüsü'nün kendi ağırlığı ve hareketli yükler altında gerçekleştirilen analizler sonucunda meydana gelen yerdeğişimlere ait kontur diyagramı Şekil 2.16'da verilmektedir. Köprü üzerindeki hareketli yük olarak taşıt ve yaya yükü dikkate alınmış, toplam hareketli yük değeri 15kN/m^2 olarak seçilerek hesaplanan yükler köprü döşemesi üzerine basınç yükü şeklinde etkilmiştir. Analizlerde yapının kendi ağırlığı da hesaba katılmış ve yapı-zemin etkileşimi göz önünde bulundurulmuştur. Şekil 2.16'dan da görüldüğü üzere yerdeğişimler kemer açıklık ortalarından orta ayağa ve kenar

mesnetlere doğru azalmaktadır. Maksimum yerdeğiştirme kemer açıklık ortalarında 2.57mm olarak elde edilmiştir.



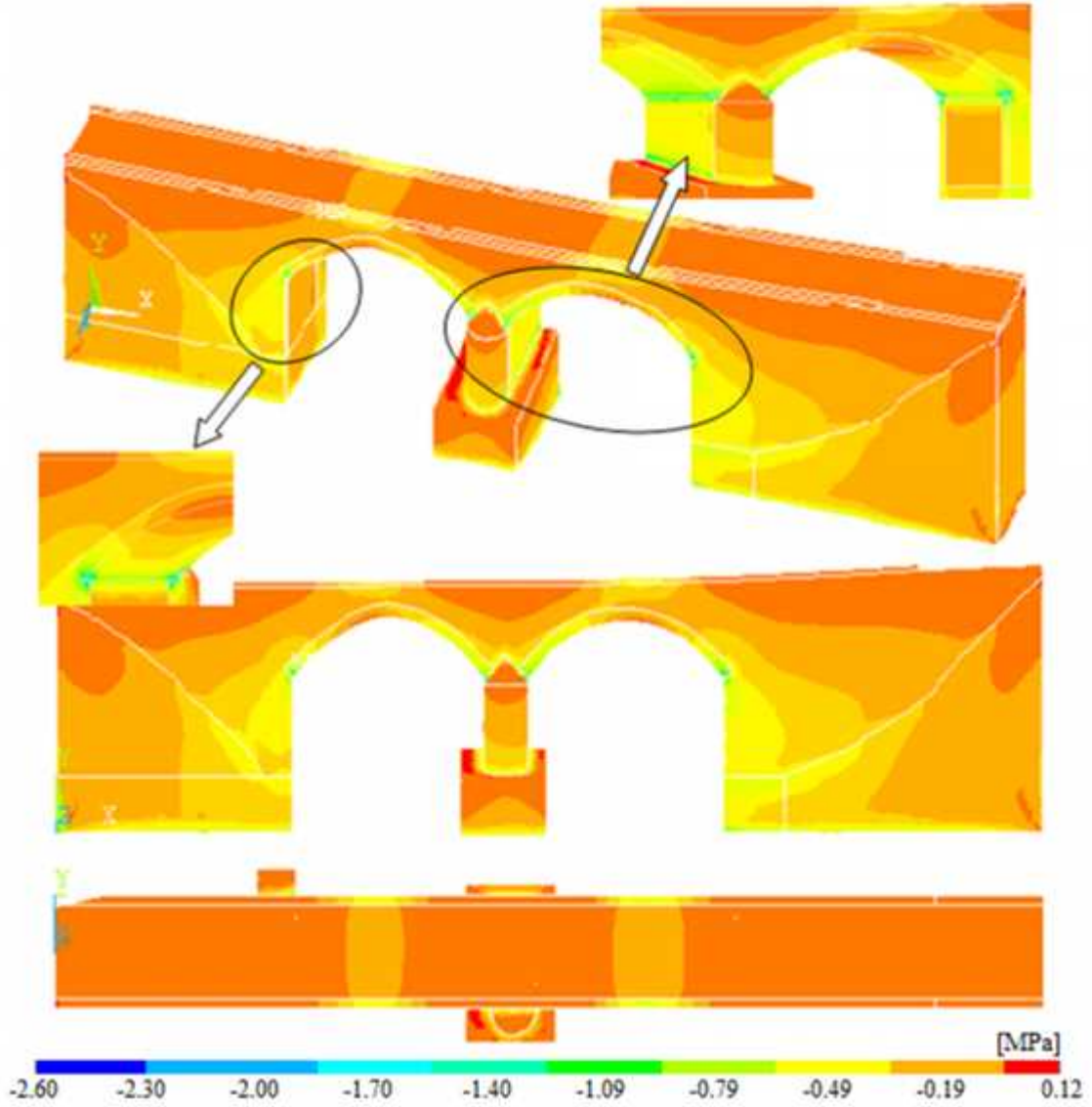
Şekil 2.16. Köprünün kendi ağırlığı ve hareketli yük altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen yerdeğiştirmelere ait kontur diyagramı

Köprünün kendi ağırlığı ve hareketli yük altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen çekme gerilmelerinin dağılışına ait kontur diyagramı Şekil 2.17’de verilmektedir. Şekil 2.17’den de görüldüğü üzere çekme gerilmelerinin maksimum değerleri köprünün kenar yamaçlara birleşen bölgelerinde lokal olarak 0.83MPa değerinde elde edilmektedir. Ayrıca, tempan duvarlarda, kemerlerin orta noktalarının iç kısımlarında, orta ayak tabliye iz düşüm kısımlarında 0.53MPa değerinde gerilmeler oluşmaktadır. Bu kısımlar hariç köprünün diğer taşıyıcı elemanlarda çekme gerilmeleri maksimum 0.22MPa değerine ulaşmıştır.



Şekil 2.17. Köprünün kendi ağırlığı ve hareketli yük altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen çekme gerilmelerine ait kontur diyagramı

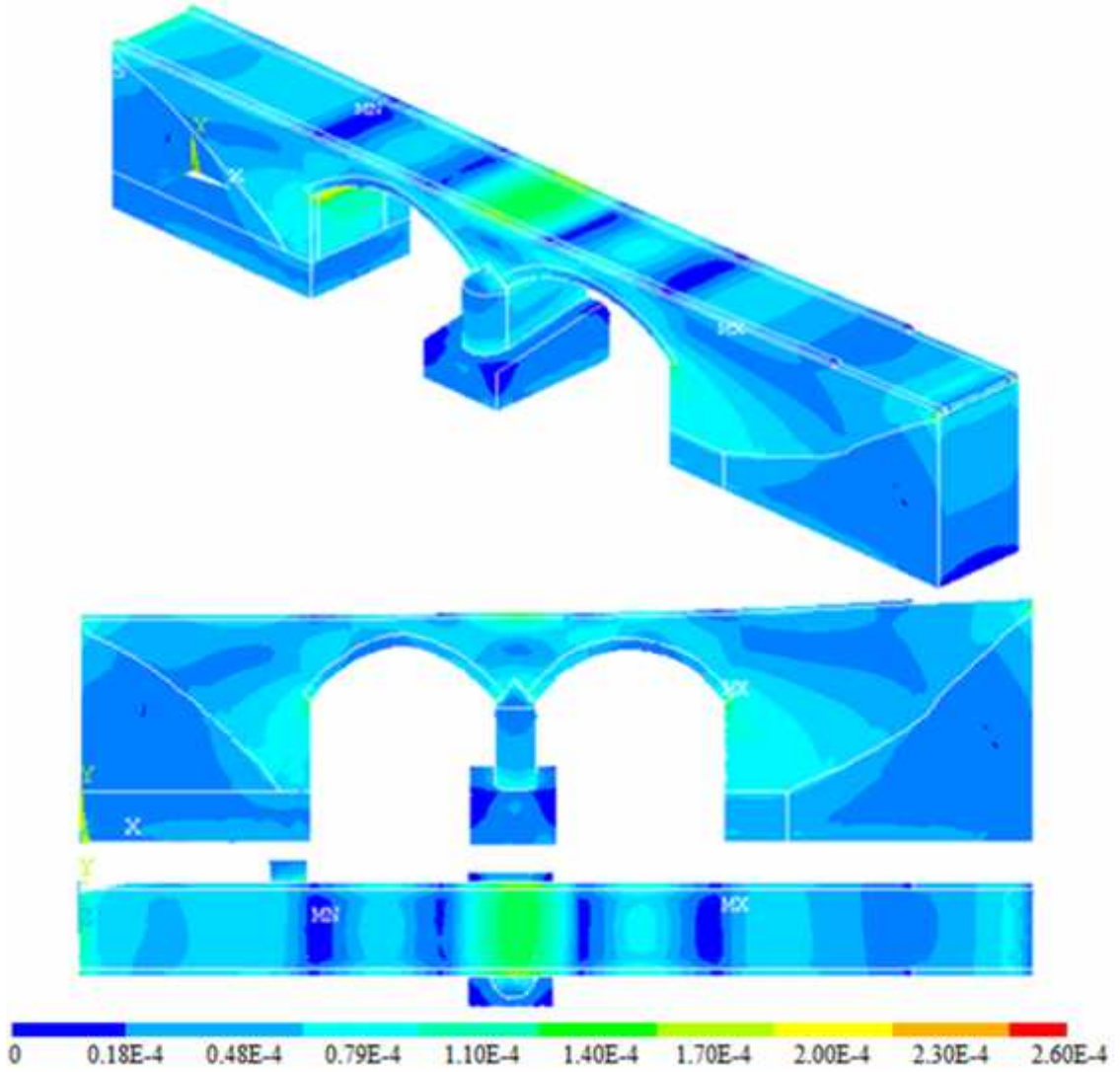
Köprünün kendi ağırlığı ve hareketli yük altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen basınç gerilmelerinin dağılışına ait kontur diyagramı Şekil 2.18'de verilmektedir. Şekil 2.18'den de görüldüğü üzere basınç gerilmelerinin maksimum değerleri tempan duvarlarda, kemerlerin orta ayak ve yamaçlara oturan alt bölgelerinde ve orta ayakta 2.6MPa olarak elde edilmektedir. Ayrıca, orta ayağın temele oturan kısımlarında, kemer-yan duvar birleşim kısımlarında ve zemin taban kısmında 1.4MPa civarında gerilme yığılmaları mevcuttur. Bu bölgeler dışında tempan duvarlar, kemerler, dolgu ve yamaçlarda elde edilen basınç gerilmeleri maksimum 0.49MPa civarındadır.



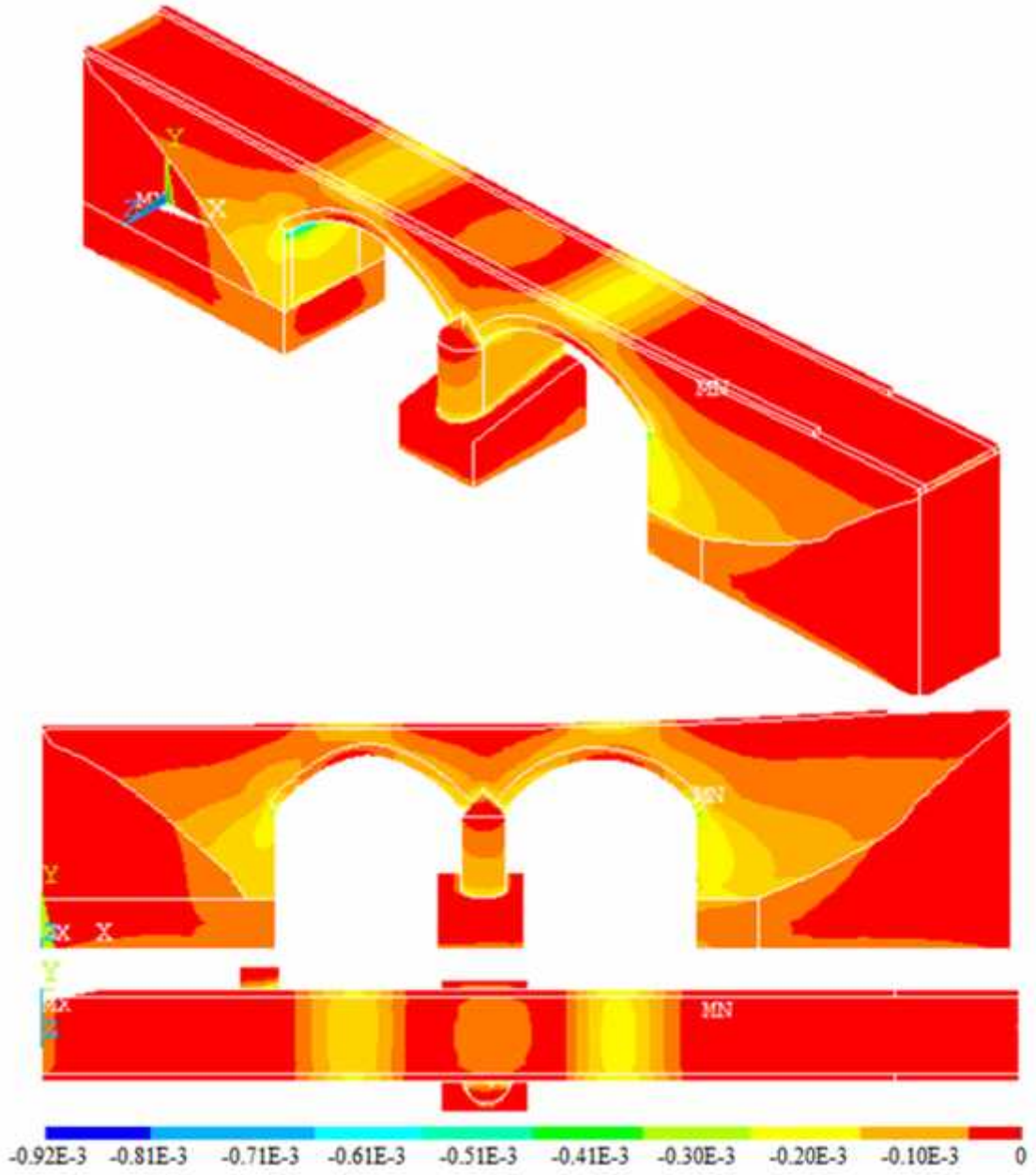
Şekil 2.18. Köprünün kendi ağırlığı ve hareketli yük altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen basınç gerilmelerine ait kontur diyagramı

Köprünün kendi ağırlığı ve hareketli yük altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen şekildeğiştirmelere ait kontur diyagramı çekme ve basınç durumları için Şekil 2.19 ve Şekil 2.20’de verilmektedir. Şekil 2.19 ve Şekil 2.20’den de görüldüğü üzere köprüde meydana gelen şekildeğiştirme miktarı çekme durumu için maksimum $0.26E-3$, basınç durumu için ise maksimum $0.92E-3$ ’tür. Çekme durumunda maksimum değer hariç genel olarak elde edilen şekildeğiştirme değerleri tempan duvar ve kemer alt bölgelerinde, kemer iç kısımlarında ve döşeme üzerinde bazı bölgelerde $0.15E-3$ civarında elde edilmiştir. Basınç durumunda ise maksimum değer hariç genel olarak elde edilen

şekildeğiştirme değerleri kemerlerin tempan duvarlara birleştiği kısımlarda, kemer açıklık ortalarının tabliye iz düşüm noktalarında ve kemer orta ayaklarında $0.61E-3$ civarında elde edilmiştir.



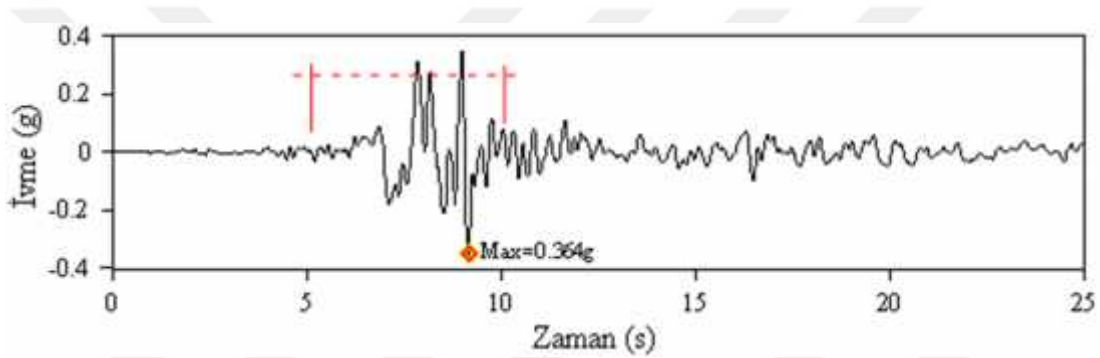
Şekil 2.19. Köprünün kendi ağırlığı ve hareketli yük altında gerçekleştirilen analizlerden çekme durumu için şekildeğiştirmelere ait kontur diyagramı



Şekil 2.20. Köprünün kendi ağırlığı ve hareketli yük altında gerçekleştirilen analizlerden basınç durumu için şekildeğiştirmelere ait kontur diyagramı

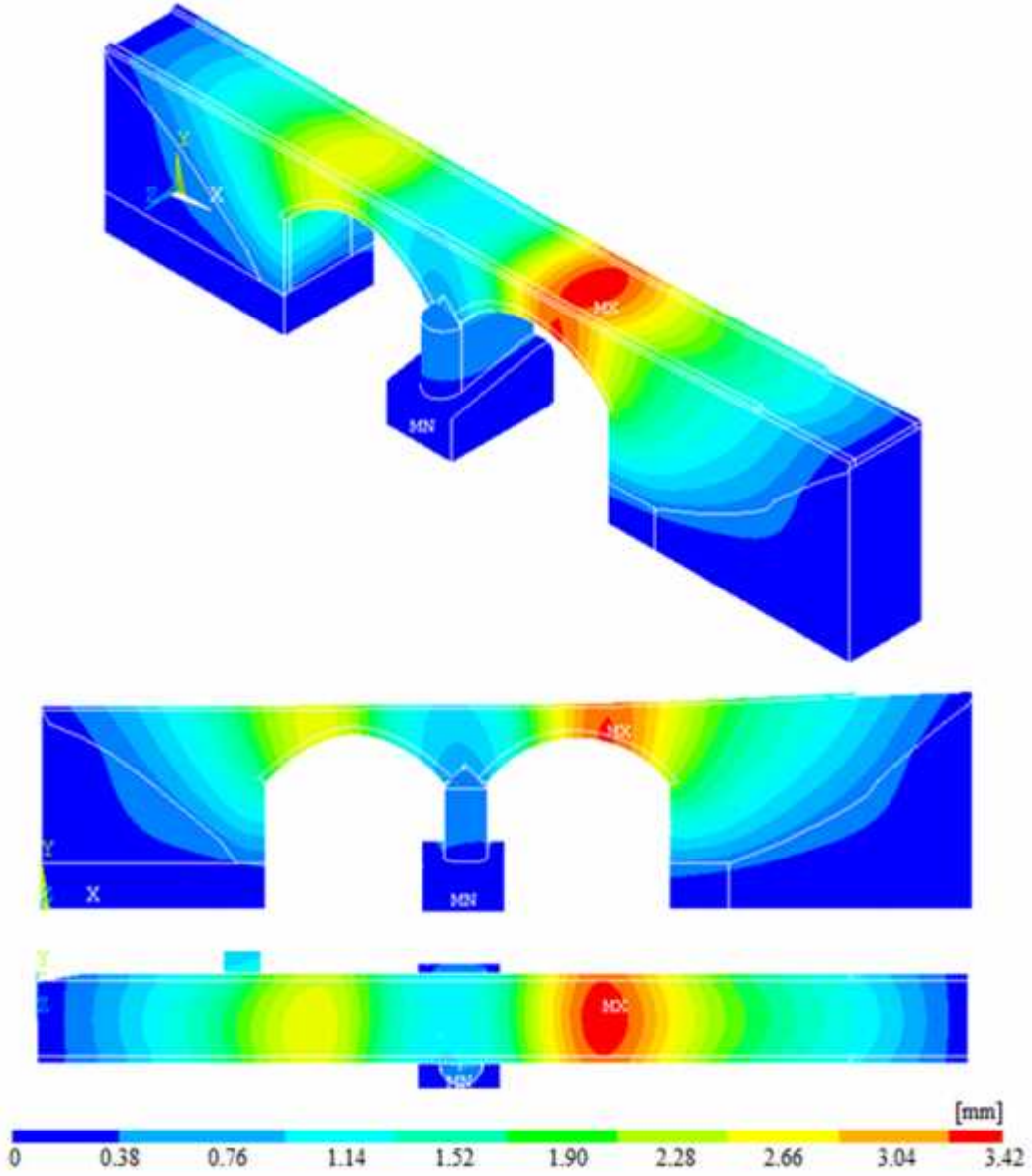
2.2.1.3. Köprünün Kendi Ağırlığı, Hareketli Yükler ve Deprem Yüğü Altındaki Davranışının Belirlenmesi

Göderni Köprüsü'nün kendi ağırlığı, hareketli yükler ve deprem yükü altında gerçekleştirilen analizleri için, 1999 yılında meydana gelen Kocaeli depremi Düzce istasyonu ivme kaydı seçilmiş, bu ivme kaydı köprüye düşey doğrultuda uygulanmıştır. Analizlerde %5 sönüm oranı kullanılmıştır. Deprem analizleri bilgisayarda büyük disk hacmi gerektirdiği için ivme kaydının en etkili 5 saniyesi (5-10sn arası) yapıya uygulanarak analiz edilmiştir. Analizlerde kullanılan ivme kaydı Şekil 2.21'de verilmektedir.



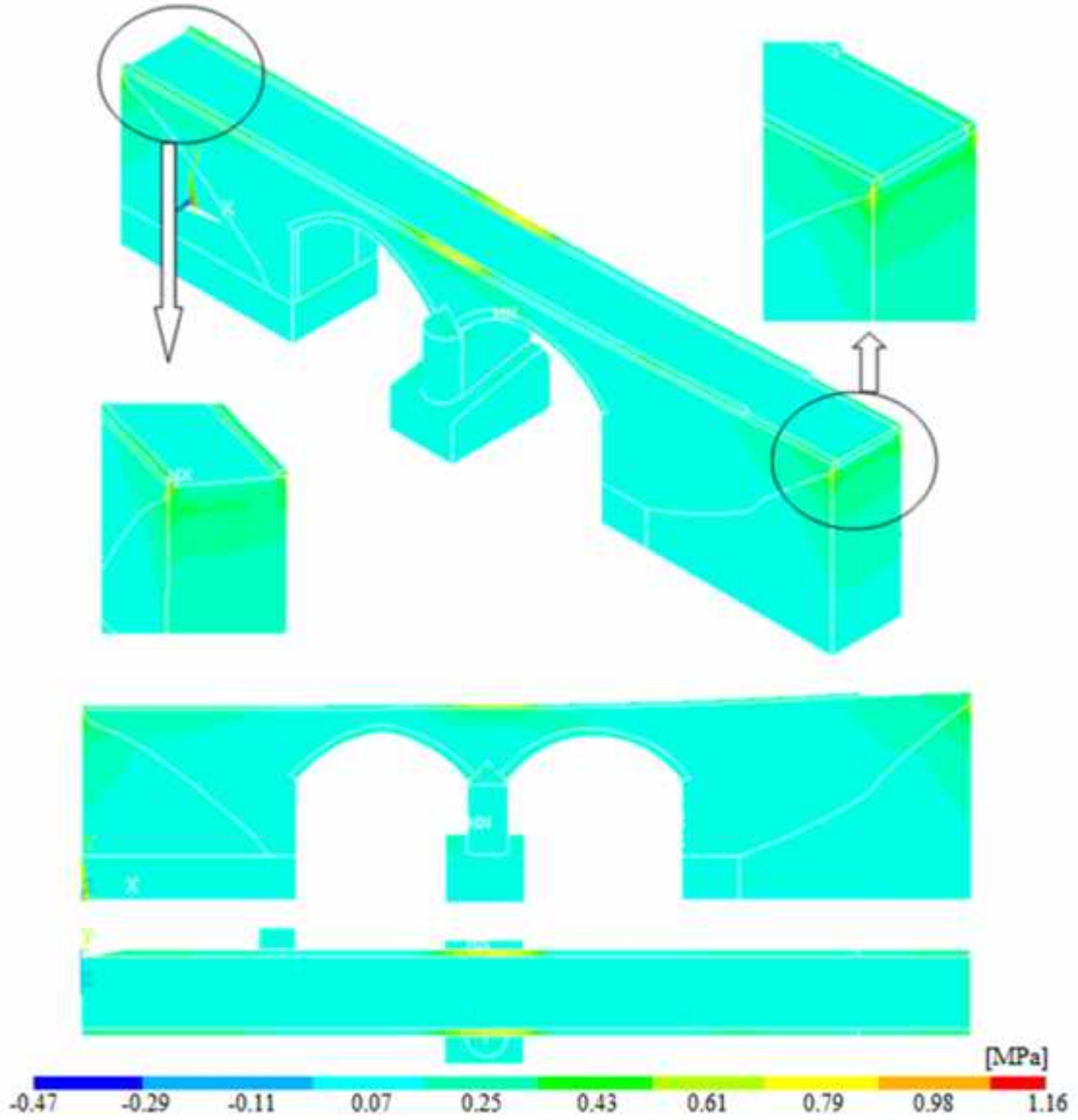
Şekil 2.21. 1999 Kocaeli depremi, Düzce istasyonundan alınan kaydın DZC270 kodlu yatay bileşeni (PEER, 2016).

Köprünün kendi ağırlığı, hareketli yükler ve deprem yükleri altında gerçekleştirilen analizler sonucunda meydana gelen yerdeğiştirmelere ait kontur diyagramı Şekil 2.22'de verilmektedir. Şekil 2.22'den de görüleceği üzere yerdeğiştirmeler kemerlerin açıklık ortalarından köprü ayaklarına ve kenar mesnetlere doğru azalmaktadır. Köprüde maksimum yerdeğiştirme sağ kemerde 3.42mm değerinde elde edilmiştir. Sol kemerde maksimum yerdeğiştirme 2.66mm olarak elde edilmiştir.



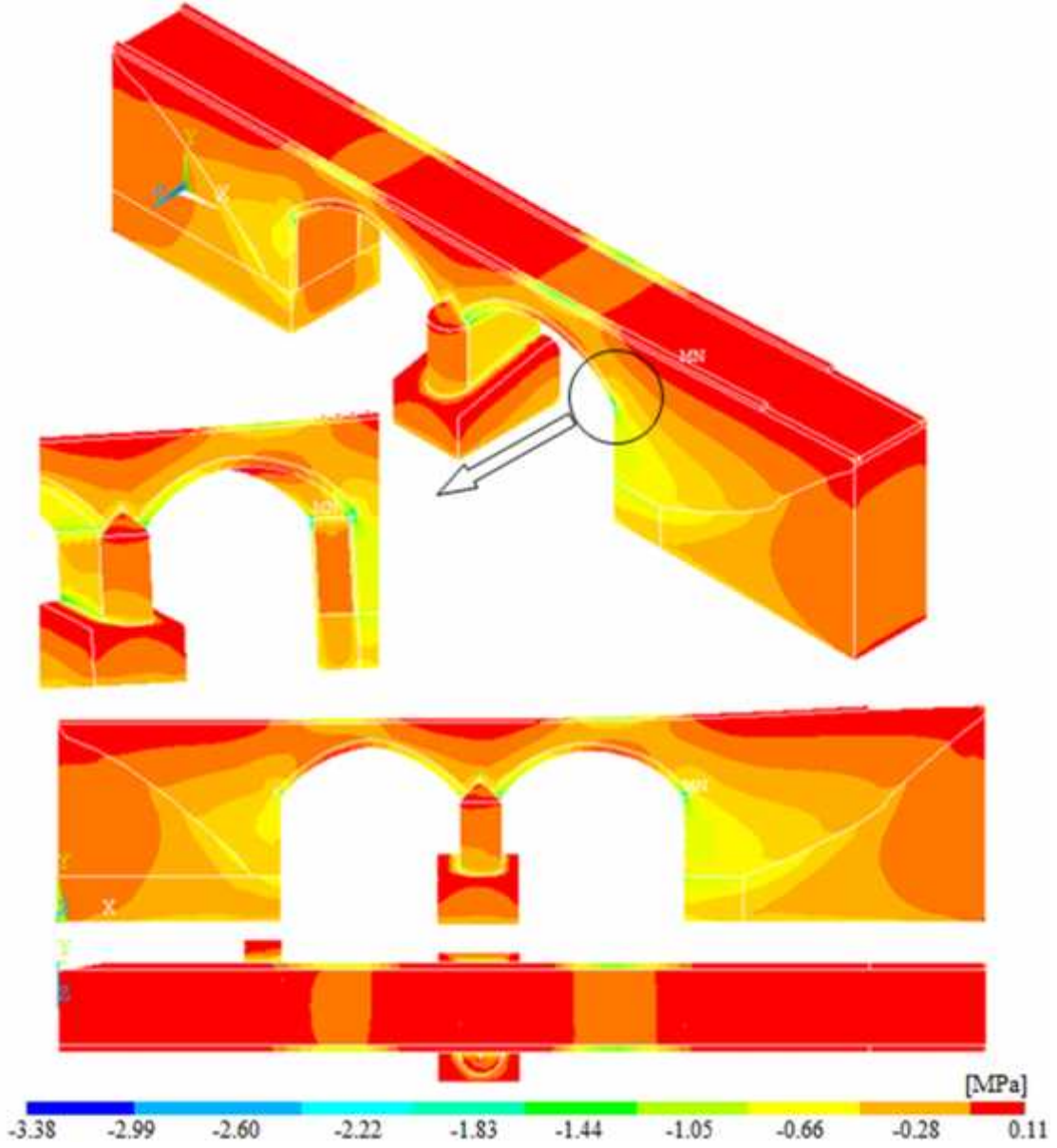
Şekil 2.22. Köprünün kendi ağırlığı, hareketli yükler ve deprem yükü altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen yerdeğiştirmelere ait kontur diyagramı

Köprünün kendi ağırlığı, hareketli yükler ve deprem yükü altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen çekme gerilmelerinin dağılışına ait kontur diyagramı Şekil 2.23'te verilmektedir. Şekil 2.23'ten de görüldüğü üzere çekme gerilmelerinin maksimum değerleri köprünün kenar yamaçlara birleşen bölgelerinde lokal olarak 1.16MPa değerinde elde edilmektedir. Ayrıca, tempan duvarlarda, kemerlerin orta noktalarının iç kısımlarında, orta ayak tabliye iz düşüm kısımlarında 0.43MPa değerinde gerilmeler oluşmaktadır. Bu kısımlar hariç köprünün diğer taşıyıcı elemanlarda çekme gerilmeleri maksimum 0.25MPa değerine ulaşmıştır.



Şekil 2.23. Köprünün kendi ağırlığı, hareketli yükler ve deprem yükü altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen çekme gerilmelerine ait kontur diyagramı

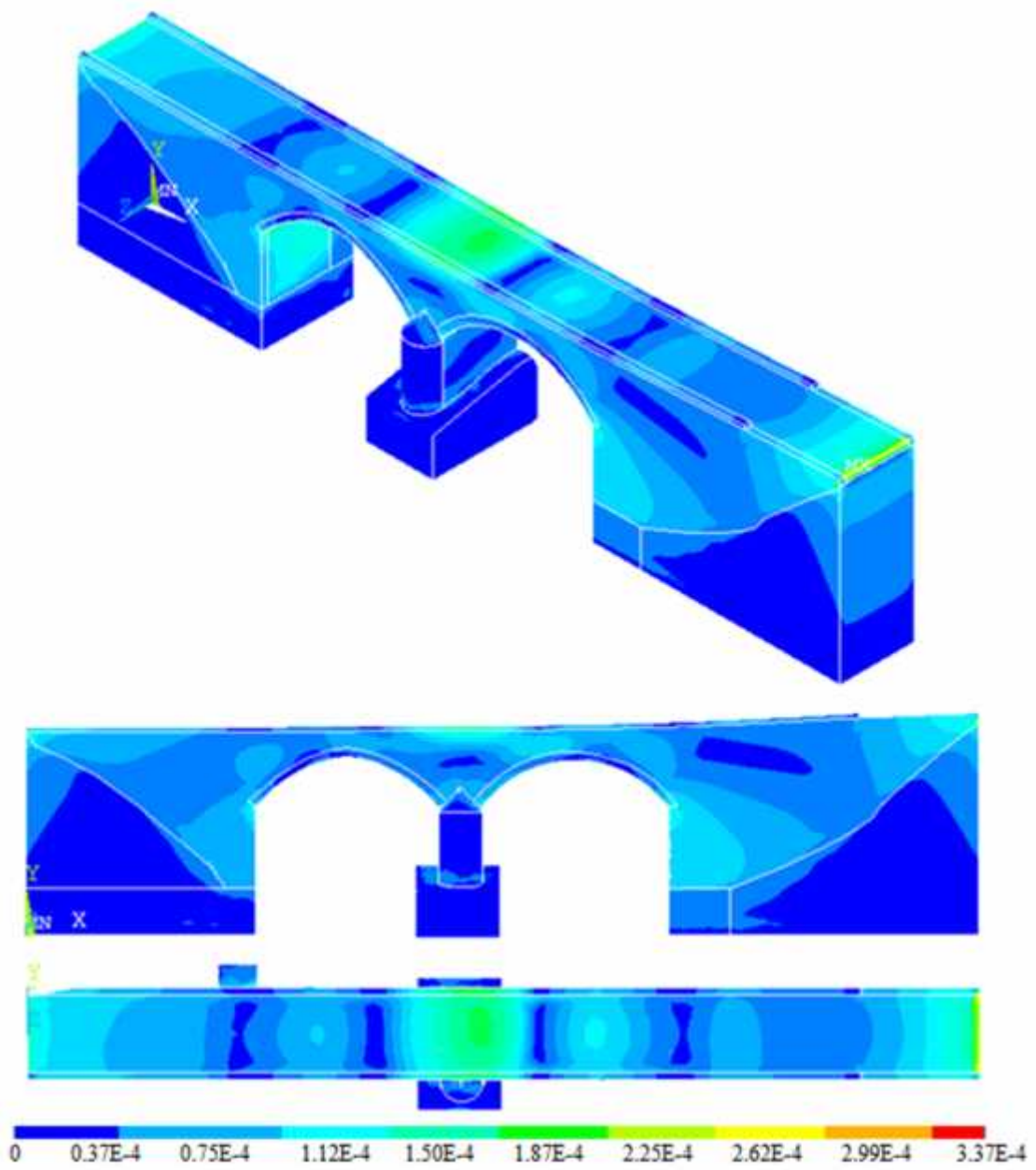
Köprünün kendi ağırlığı, hareketli yükler ve deprem yükü altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen basınç gerilmelerinin dağılışına ait kontur diyagramı Şekil 2.24'te verilmektedir. Şekil 2.24'ten de görüldüğü üzere basınç gerilmelerinin maksimum değerleri kemerlerin orta ayak ve tempan duvarlara oturan alt bölgelerinde ve orta ayakta 3.38MPa olarak elde edilmektedir. Ayrıca, orta ayağın temele oturan kısımlarında, kemer-yan duvar birleşim kısımlarında ve zemin taban kısmında 1.44MPa civarında gerilme yığılmaları mevcuttur. Bu bölgeler dışında tempan duvarlar, kemerler, dolgu ve yamaçlarda elde edilen basınç gerilmeleri maksimum 0.66MPa civarındadır.



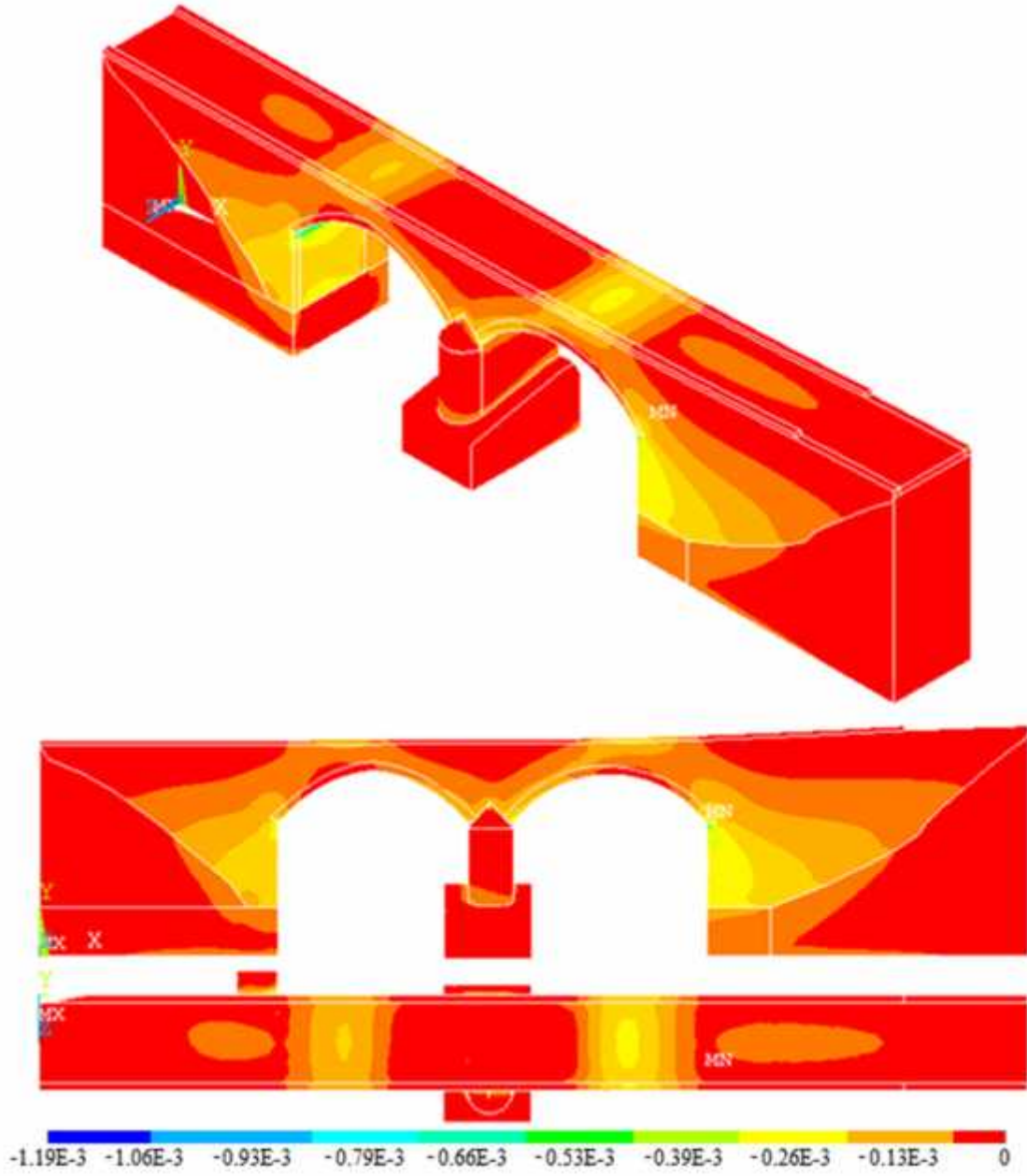
Şekil 2.24. Köprünün kendi ağırlığı, hareketli yükler ve deprem yükü altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen basınç gerilmelerine ait kontur diyagramı

Köprünün kendi ağırlığı, hareketli yükler ve deprem yükü altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen şekildeğiştirmelere ait kontur diyagramı çekme ve basınç durumları için Şekil 2.25 ve Şekil 2.26'da verilmektedir. Şekil 2.25 ve Şekil 2.26'dan da görüldüğü üzere köprüde meydana gelen şekildeğiştirme miktarı çekme durumu için maksimum $3.37E-4$, basınç durumu için ise maksimum $1.19E-3$ 'tür. Çekme durumunda maksimum değer hariç genel olarak elde edilen şekildeğiştirme değerleri tempan duvar ve kemer alt bölgelerinde, kemer iç kısımlarında ve döşeme üzerinde $2.25E-4$ olarak elde

edilmiştir. Basınç durumunda ise maksimum değer hariç genel olarak elde edilen şekil değiştirme değerleri kemerlerin tempan duvarlara birleştiği kısımlarda, kemer açıklık ortalarının tabliye iz düşüm noktalarında ve kemer orta ayaklarında $0.39E-3$ olarak elde edilmiştir.



Şekil 2.25. Köprü'nün kendi ağırlığı, hareketli yükler ve deprem yükü altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen çekme durumu için şekil değiştirme kontur diyagramı

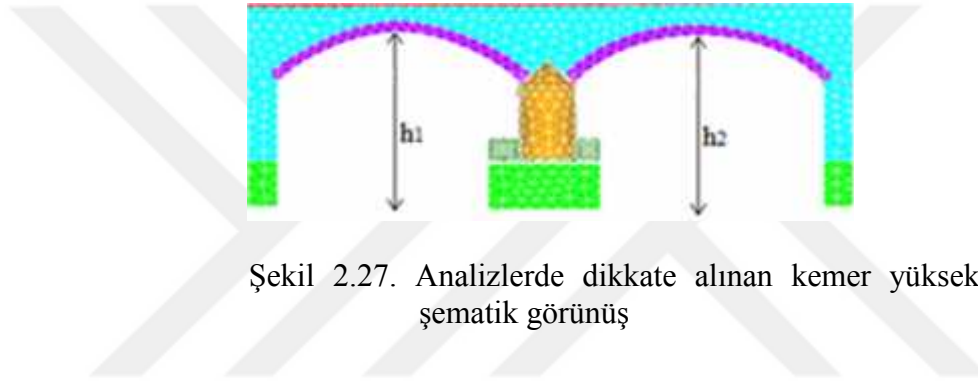


Şekil 2.26. Köprünün kendi ağırlığı, hareketli yükler ve deprem yükü altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen basınç durumu için şekildeğiştirme kontur diyagramı

2.2.2. Analiz Sonuçlarının Tablolara Aktarılması

2.2.2.1. Kemer Yükseklikleri Değiştirilerek Yapılan Analiz Sonuçları

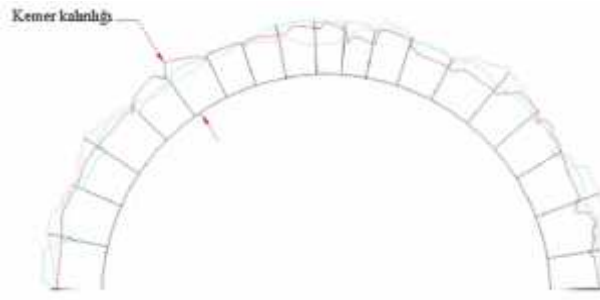
Göderni Köprüsü'nün yapısal davranışına farklı kemer kalınlık ve yüksekliklerinin etkisini görebilmek amacıyla gerçekleştirilen analizlerde önce farklı kemer yükseklikleri altında analizler gerçekleştirilmiştir. Kemer yüksekliklerini gösteren şematik görünüş Şekil 2.27'de verilmektedir. Köprü'nün kemer yüksekliklerinin değiştirilerek yapılan analizler sonuçları elde edilen sonuçlar Tablo 2.2, Tablo 2.3 ve Tablo 2.4'de verilmektedir.



Şekil 2.27. Analizlerde dikkate alınan kemer yüksekliklerine ait şematik görünüş

2.2.2.2. Kemer Kalınlıkları Değiştirilerek Yapılan Analiz Sonuçları

Kemer yüksekliği değiştirilerek gerçekleştirilen analizlerden sonra farklı kemer kalınlıkları altında analizler gerçekleştirilmiştir. Kemer kalınlığını gösteren şematik görünüş Şekil 2.28'de verilmektedir. Köprü'nün kemer kalınlıkları değiştirilerek yapılan analizlerin sonuçları Tablo 2.5, Tablo 2.6 ve Tablo 2.7'de verilmektedir.



Şekil 2.28. Analizlerde kullanılan kemer kalınlığına ait şematik görünüş (Solla vd. 2012)

Tablo 2.2. Köprünün farklı kemer yükseklikleri için kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analiz sonuçları

| Köprü Kemer Yükseklikleri (m) | ANALİZ VERİLERİ | | | | |
|-------------------------------|-----------------------|------------------|--------------|--------------------|--------------------|
| | Yerdeğiştirmeler (mm) | Gerilmeler (MPa) | | Şekildeğiştirmeler | |
| | | Çekme | Basınç | Çekme | Basınç |
| 2.86-2.64 | 2.26 | 0.73 0.05 | 2.82 0.22 | 2.31E-4 0.26E-4 | 8.10E-4 0.90E-4 |
| 2.96-2.74 | 2.23 | 0.73 0.05 | 2.65 0.21 | 2.31E-4 0.26E-4 | 7.96E-4 0.88E-4 |
| 3.06-2.84 | 2.19 | 0.73 0.06 | 2.51 0.19 | 2.31E-4 0.26E-4 | 7.80E-4 0.87E-4 |
| 3.16-2.94 | 2.16 | 0.73 0.08 | 2.26 0.16 | 2.31E-4 0.26E-4 | 7.54E-4 0.84E-4 |
| 3.26-3.04 | 2.13 | 0.72 0.08 | 2.11 0.15 | 2.32E-4 0.26E-4 | 7.40E-4 0.82E-4 |
| 3.36-3.14 | 2.09 | 0.73 0.09 | 1.99 0.13 | 2.32E-4 0.26E-4 | 6.89E-4 0.76E-4 |
| 3.46-3.24 | 2.06 | 0.73 0.09 | 1.92 0.05 | 2.32E-4 0.26E-4 | 6.74E-4 0.75E-4 |
| 3.56-3.34 | 2.03 | 0.94 0.09 | 1.89 0.12 | 2.87E-4 0.32E-4 | 6.58E-4 0.73E-4 |
| 3.66-3.44 | 2.01 | 0.94 0.09 | 1.80 0.03 | 2.88E-4 0.32E-4 | 6.54E-4 0.73E-4 |
| 3.76-3.54 | 1.99 | 0.95 0.12 | 1.79 0.03 | 2.88E-4 0.32E-4 | 6.53E-4 0.73E-4 |

Tablo 2.3. Köprünün farklı kemer yükseklikleri için kendi ağırlığı ve hareketli yükler altında gerçekleştirilen analiz sonuçları

| Köprü Kemer Yükseklikleri (m) | ANALİZ VERİLERİ | | | | |
|-------------------------------|-----------------------|------------------|--------------|--------------------|--------------------|
| | Yerdeğiştirmeler (mm) | Gerilmeler (MPa) | | Şekildeğiştirmeler | |
| | | Çekme | Basınç | Çekme | Basınç |
| 2.86-2.64 | 2.72 | 0.83 0.01 | 3.43 0.28 | 2.64E-4 0.17E-4 | 9.68E-4 1.00E-4 |
| 2.96-2.74 | 2.66 | 0.83 0.05 | 3.22 0.17 | 2.65E-4 0.17E-4 | 9.84E-4 1.00E-4 |
| 3.06-2.84 | 2.63 | 0.83 0.06 | 3.07 0.24 | 2.65E-4 0.17E-4 | 9.88E-4 1.10E-4 |
| 3.16-2.94 | 2.60 | 0.83 0.06 | 2.78 0.21 | 2.65E-4 0.17E-4 | 9.29E-4 1.10E-4 |
| 3.26-3.04 | 2.57 | 0.83 0.06 | 2.60 0.19 | 2.65E-4 0.17E-4 | 9.16E-4 1.10E-4 |
| 3.36-3.14 | 2.53 | 0.83 0.07 | 2.42 0.17 | 2.65E-4 0.18E-4 | 8.56E-4 0.95E-4 |
| 3.46-3.24 | 2.50 | 1.04 0.07 | 2.35 0.15 | 3.16E-4 0.23E-4 | 8.41E-4 0.93E-4 |
| 3.56-3.34 | 2.47 | 1.05 0.08 | 2.31 0.07 | 3.16E-4 0.23E-4 | 8.22E-4 0.91E-4 |
| 3.66-3.44 | 2.44 | 1.05 0.09 | 2.20 0.05 | 3.17E-4 0.23E-4 | 8.17E-4 0.91E-4 |
| 3.76-3.54 | 2.38 | 1.05 0.12 | 2.17 0.05 | 3.17E-4 0.23E-4 | 8.10E-4 0.90E-4 |

Tablo 2.4. Köprünün farklı kemer yükseklikleri için kendi ağırlığı, hareketli yükler ve deprem yükü altında gerçekleştirilen analiz sonuçları

| Köprü Kemer Yükseklikleri (m) | ANALİZ VERİLERİ | | | | |
|-------------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------------|---------------------------|
| | Yerdeğiştirmeler (mm) | Gerilmeler (MPa) | | Şekildeğiştirmeler | |
| | | Çekme | Basınç | Çekme | Basınç |
| 2.86-2.64 | 3.62 | 1.20 0.09 | 4.25 0.62 | 3.36E-4 0.49E-4 | 1.28E-3 0.22E-3 |
| 2.96-2.74 | 3.55 | 1.19 0.13 | 4.01 0.49 | 3.34E-4 0.48E-4 | 1.26E-3 0.19E-3 |
| 3.06-2.84 | 3.51 | 1.18 0.13 | 3.86 0.57 | 3.33E-4 0.47E-4 | 1.21E-3 0.18E-3 |
| 3.16-2.94 | 3.46 | 1.17 0.13 | 3.56 0.54 | 3.34E-4 0.48E-4 | 1.20E-3 0.20E-3 |
| 3.26-3.04 | 3.42 | 1.16 0.13 | 3.38 0.52 | 3.37E-4 0.49E-4 | 1.19E-3 0.20E-3 |
| 3.36-3.14 | 3.36 | 1.15 0.13 | 3.20 0.50 | 3.29E-4 0.46E-4 | 1.13E-3 0.18E-3 |
| 3.46-3.24 | 3.31 | 1.34 0.13 | 3.13 0.49 | 3.78E-4 0.50E-4 | 1.06E-3 0.16E-3 |
| 3.56-3.34 | 3.25 | 1.33 0.14 | 3.09 0.41 | 3.84E-4 0.53E-4 | 1.10E-3 0.18E-3 |
| 3.66-3.44 | 3.19 | 1.32 0.15 | 2.98 0.40 | 3.81E-4 0.52E-4 | 1.09E-3 0.18E-3 |
| 3.76-3.54 | 3.10 | 1.30 0.18 | 2.95 0.40 | 3.75E-4 0.49E-4 | 1.08E-3 0.10E-3 |

Tablo 2.5. Köprünün farklı kemer kalınlıkları için kendi ağırlığı altında gerçekleştirilen analiz sonuçları

| Köprü Kemer Kalınlıkları (m) | ANALİZ VERİLERİ | | | | |
|------------------------------|-----------------------|------------------|--------------|--------------------|--------------------|
| | Yerdeğiştirmeler (mm) | Gerilmeler (MPa) | | Şekildeğiştirmeler | |
| | | Çekme | Basınç | Çekme | Basınç |
| 0.22-0.39 | 2.30 | 0.74 0.09 | 2.03 0.14 | 2.42E-4 0.28E-4 | 6.80E-4 0.75E-4 |
| 0.32-0.49 | 2.23 | 0.74 0.09 | 2.06 0.14 | 2.42E-4 0.28E-4 | 6.80E-4 0.75E-4 |
| 0.42-0.59 | 2.17 | 0.73 0.08 | 2.07 0.12 | 2.32E-4 0.26E-4 | 7.30E-4 0.80E-4 |
| 0.52-0.69 | 2.13 | 0.72 0.08 | 2.11 0.15 | 2.32E-4 0.26E-4 | 7.40E-4 0.82E-4 |
| 0.62-0.79 | 2.09 | 0.72 0.08 | 2.12 0.15 | 2.32E-4 0.26E-4 | 7.60E-4 0.83E-4 |
| 0.72-0.89 | 2.05 | 0.72 0.08 | 2.13 0.15 | 2.32E-4 0.26E-4 | 7.80E-4 0.86E-4 |
| 0.82-0.99 | 1.93 | 0.72 0.07 | 2.15 0.15 | 2.32E-4 0.24E-4 | 7.90E-4 0.87E-4 |
| 0.92-1.09 | 1.93 | 0.71 0.06 | 2.15 0.15 | 2.27E-4 0.24E-4 | 8.60E-4 0.95E-4 |
| 1.02-1.19 | 1.92 | 0.70 0.01 | 2.17 0.16 | 2.21E-4 0.24E-4 | 9.30E-4 0.10E-3 |

Tablo 2.6. Köprünün farklı kemer kalınlıkları için kendi ağırlığı ve hareketli yükler altında gerçekleştirilen analiz sonuçları

| Köprü Kemer Kalınlıkları (m) | ANALİZ VERİLERİ | | | | |
|------------------------------|-----------------------|------------------|---------------|--------------------|---------------------|
| | Yerdeğiştirmeler (mm) | Gerilmeler (MPa) | | Şekildeğiştirmeler | |
| | | Çekme | Basınç | Çekme | Basınç |
| 0.22-0.39 | 2.81 | 0.84 0.06 | 2.56 0.21 | 2.89E-4 0.21E-4 | 8.41E-4 1.01E-4 |
| 0.32-0.49 | 2.72 | 0.84 0.06 | 2.59 0.21 | 2.85E-4 0.20E-4 | 8.44E-4 1.01E-4 |
| 0.42-0.59 | 2.64 | 0.83 0.06 | 2.60 0.18 | 2.70E-4 0.18E-4 | 9.09E-4 1.09E-4 |
| 0.52-0.69 | 2.57 | 0.83 0.06 | 2.60 0.19 | 2.65E-4 0.17E-4 | 9.16E-4 1.10E-4 |
| 0.62-0.79 | 2.52 | 0.82 0.06 | 2.65 0.19 | 2.64E-4 0.17E-4 | 9.35E-4 1.12E-4 |
| 0.72-0.89 | 2.46 | 0.82 0.06 | 2.67 0.220 | 2.63E-4 0.17E-4 | 9.62E-4 1.16E-4 |
| 0.82-0.99 | 2.42 | 0.82 0.06 | 2.67 0.22 | 2.61E-4 0.17E-4 | 10.50E-4 1.16E-4 |
| 0.92-1.09 | 2.37 | 0.62 0.05 | 2.68 0.22 | 2.60E-4 0.17E-4 | 10.60E-4 1.27E-4 |
| 1.02-1.19 | 2.33 | 0.62 0.03 | 2.72 0.23 | 2.59E-4 0.16E-4 | 10.70E-4 1.35E-4 |

Tablo 2.7. Köprünün farklı kemer kalınlıkları için kendi ağırlığı, hareketli yükler ve deprem yükü altında gerçekleştirilen analiz sonuçları

| Köprü Kemer Kalınlıkları (m) | ANALİZ VERİLERİ | | | | |
|------------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------------|---------------------------|
| | Yerdeğiştirmeler (mm) | Gerilmeler (MPa) | | Şekildeğiştirmeler | |
| | | Çekme | Basınç | Çekme | Basınç |
| 0.22-0.39 | 3.73 | 1.17 0.14 | 3.36 0.56 | 3.53E-4 0.49E-4 | 1.12E-3 0.19E-3 |
| 0.32-0.49 | 3.61 | 1.17 0.13 | 3.38 0.57 | 3.49E-4 0.49E-4 | 1.12E-3 0.19E-3 |
| 0.42-0.59 | 3.51 | 1.15 0.13 | 3.38 0.53 | 3.39E-4 0.48E-4 | 1.18E-3 0.20E-3 |
| 0.52-0.69 | 3.42 | 1.16 0.13 | 3.38 0.52 | 3.37E-4 0.49E-4 | 1.19E-3 0.20E-3 |
| 0.62-0.79 | 3.35 | 1.16 0.13 | 3.42 0.52 | 3.37E-4 0.50E-4 | 1.21E-3 0.20E-3 |
| 0.72-0.89 | 3.27 | 1.15 0.13 | 3.24 0.52 | 3.38E-4 0.50E-4 | 1.25E-3 0.21E-3 |
| 0.82-0.99 | 3.21 | 1.15 0.13 | 3.42 0.53 | 3.30E-4 0.47E-4 | 1.32E-3 0.20E-3 |
| 0.92-1.09 | 3.13 | 0.91 0.11 | 3.35 0.58 | 3.20E-4 0.43E-4 | 1.36E-3 0.23E-3 |
| 1.02-1.19 | 3.07 | 0.91 0.09 | 3.38 0.55 | 3.25E-4 0.45E-4 | 1.40E-3 0.25E-3 |

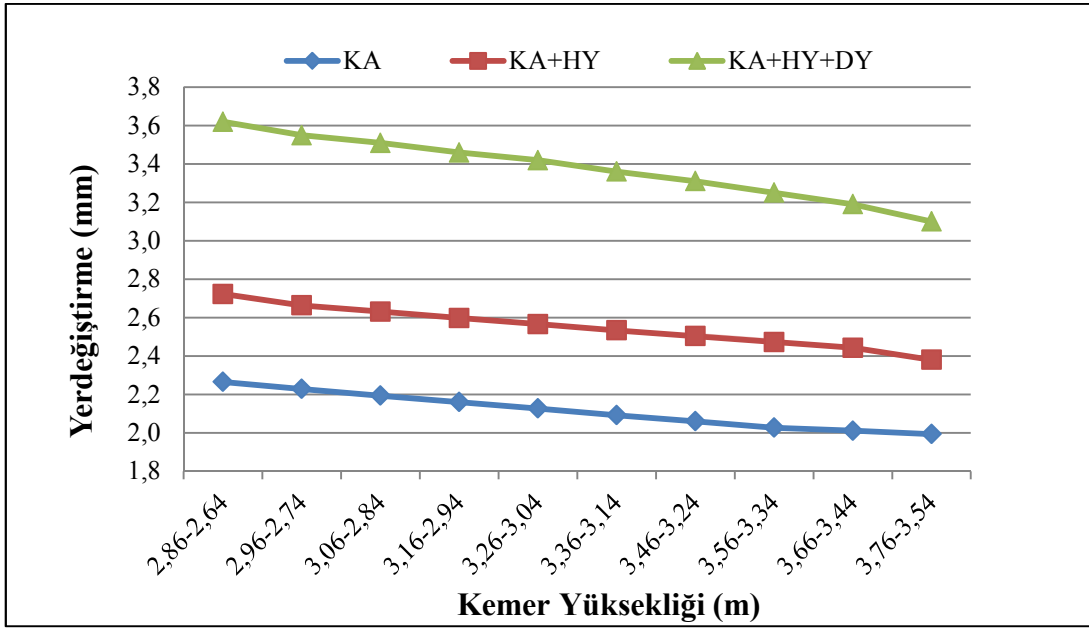
2.3. Analizler Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Göderni Köprüsü'nün yapısal davranışına farklı kemer tiplerinin etkisini görebilmek amacıyla gerçekleştirilen analizlerde, farklı kemer yükseklikleri ve kemer kalınlıkları kullanılmış olup, bu değerler altında analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen değerlere ait karşılaştırmalı grafikler oluşturulmuştur.

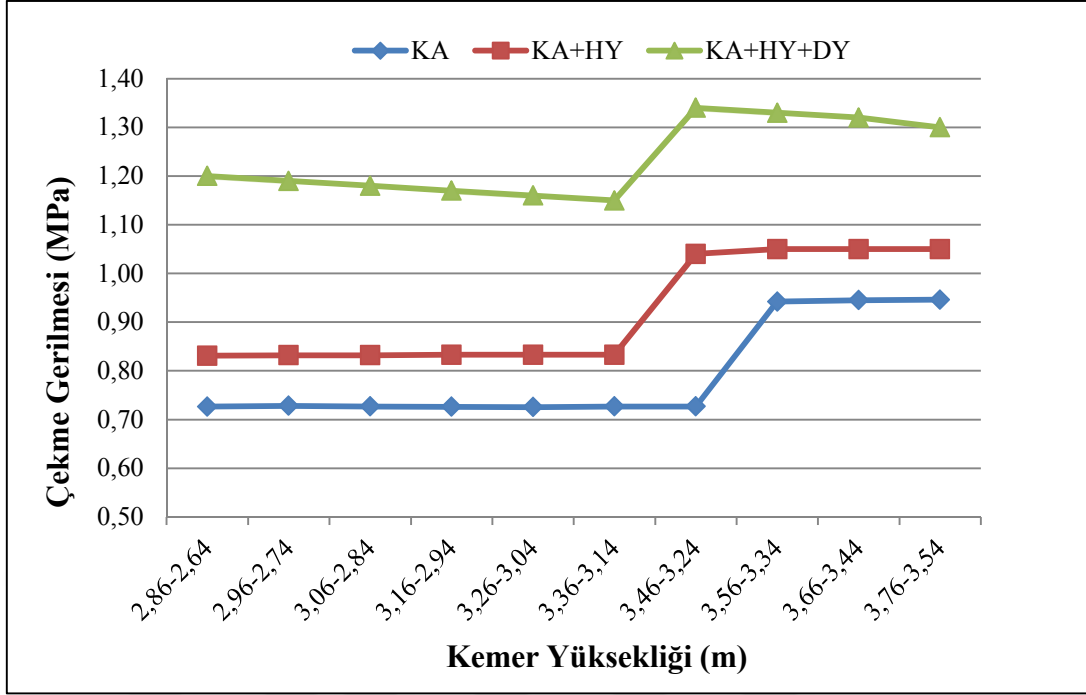
2.3.1. Kemer Yüksekliği Değiştirilerek Elde Edilen Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Kemer yüksekliklerinin değiştirilmesi sonucunda elde edilen yerdeğiştirmeler, çekme gerilmeleri, basınç gerilmeleri, çekme şekildeğiştirmeleri ve basınç şekildeğiştirmeleri Şekil 2.29-2.33'te karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Kemer yüksekliğinin artırılmasıyla yerdeğiştirmelerin düzenli olarak azaldığı görülmektedir. Maksimum yerdeğiştirme değerleri sırasıyla KA (kendi ağırlığı), KA+HY (Kendi ağırlığı+hareketli yük) ve KA+HY+DY (Kendi ağırlığı+hareketli yük+deprem yükü) analizleri için %11.94, %12.50 ve %14.36 olarak hesaplanmıştır. Çekme gerilmelerinin köprünün kendi ağırlığı altındaki yüklemeler halinde 3.46m-3.24m kemer yüksekliğinde yapılan analizlere kadar yaklaşık olarak 0.73MPa değerinde çıktığı görülmektedir. Kemer yüksekliğinin bir sonraki arttırıldığı değerde ise çekme gerilmesi 0.94MPa'a yükseldiği ve sonrasında çok fazla değişimin olmadığı görülmektedir. KA+HY yükleme durumunda da yakın değerler olarak devam eden eğri, kemer yüksekliğinin 3.36m-3.14m olduğu noktadan sonra 0.83MPa'dan 1.04MPa'a arttığı görülmektedir. Daha sonra yapılan analizlerdeki sonuçlarda çok fazla değişimin olmadığı görülmektedir. Aynı şekilde KA+HY+DY analizlerinde de benzer bir grafik ortaya çıkmış, 3.36m-3.14m kemer yüksekliğine kadar 1.20MPa'dan 1.15MPa değerine azalmış daha sonra aniden 1.34MPa değerine çıkıp geri kalan analizler sonuçlarında kayda değer bir değişiklik yaşanmamıştır. Basınç gerilmeleri üç yükleme durumu için de benzer biçimde değişmiştir. Değerler KA analizleri için 2.82MPa'dan 1.79MPa'a, KA+HY analizleri için 3.43MPa'dan 2.17MPa'a, KA+HY+DY analizleri için ise 4.25MPa'dan 2.95MPa'a düşmüştür. Çekme şekildeğiştirmeleri grafiğinde üç analiz türü için de değerlerin belli bir noktaya kadar yaklaşık olarak sabit devam ettiği görülmektedir. KA analiz sonuçları 3.46m-3.24m kemer yüksekliğinde $2.32E-4$ 'den $2.87E-4$ 'e, KA+HY analiz sonuçları 3.36m-3.14m kemer yüksekliğinde $2.65E-4$ 'den $3.16E-4$ 'e

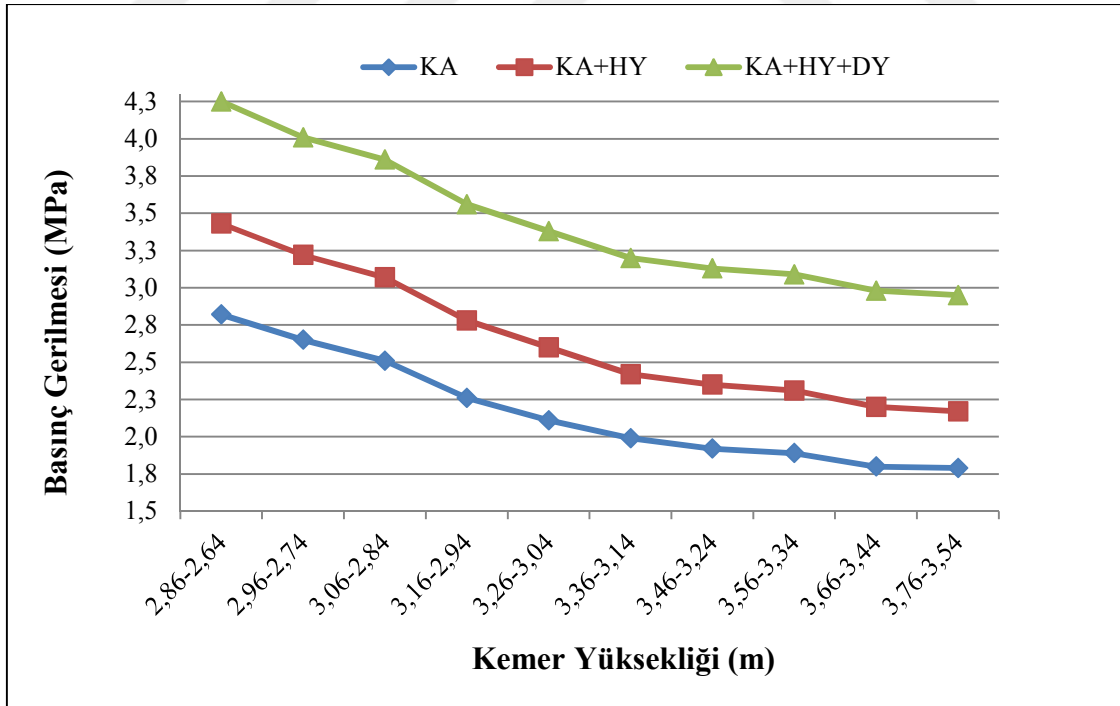
ve KA+HY+DY analiz sonuçları aynı noktada $3.29E-4$ 'den $3.78E-4$ 'e artmıştır. Her üç analiz için de belirttiğimiz kemer kalınlıklarından sonra değerlerde önemli bir değişim kaydedilmemiştir. Basınç şekildeğiştirme değerlerinde üç analiz sonuçlarında da düşüş eğilimi gözlenmektedir. Değerler HA analizleri için $8.10E-4$ 'den $6.53E-4$ 'e, KA+HY analizleri için $9.68E-4$ 'den $8.10E-4$ 'e ve KA+HY+DY analizleri için ise $1.28E-3$ 'ten $1.08E-3$ 'e azalmaktadır.



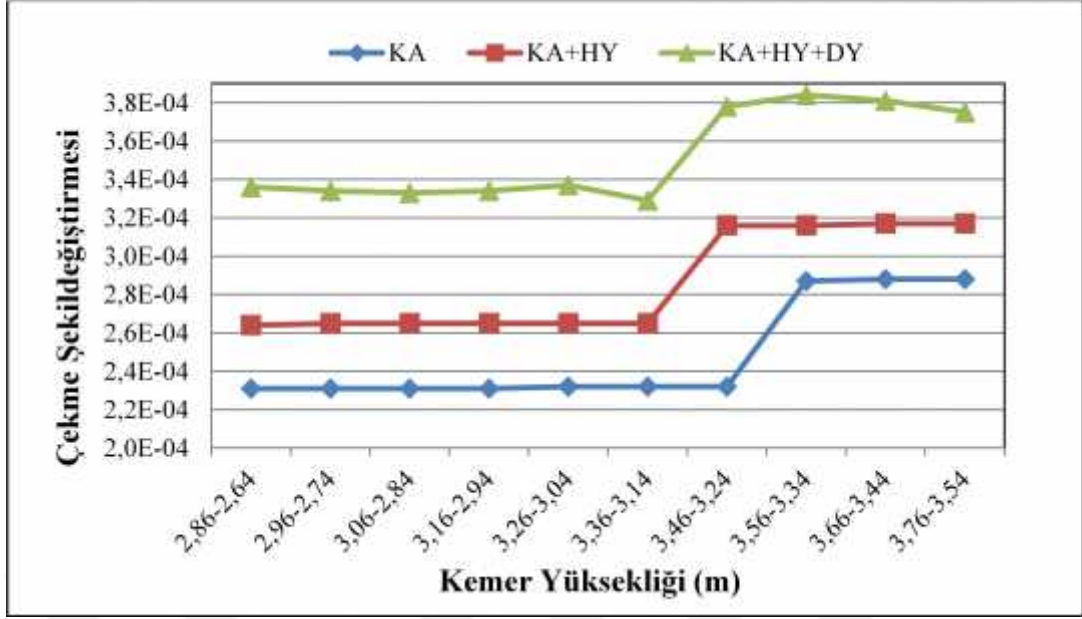
Şekil 2.29. Kemer yüksekliğinin değiştirilmesi ile birlikte, KA, KA+HY, KA+HY+DY altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği



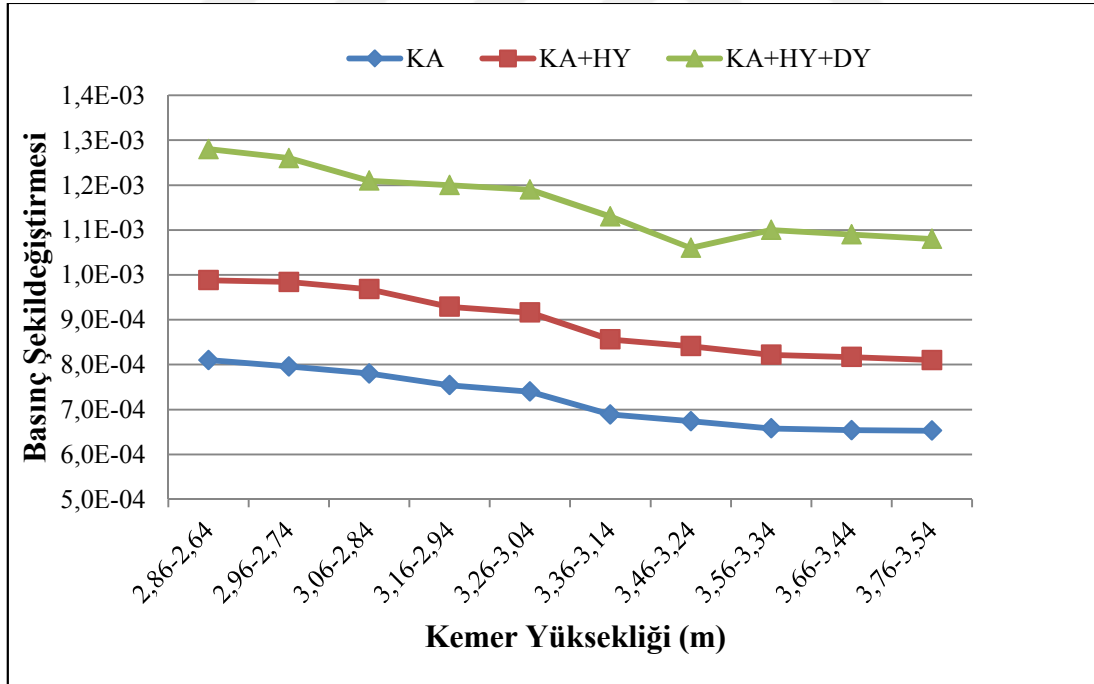
Şekil 2.30. Kemer yüksekliğinin değiştirilmesi ile birlikte, KA, KA+HY, KA+HY+DY altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen çekme gerilmeleri grafiği



Şekil 2.31. Kemer yüksekliğinin değiştirilmesi ile birlikte, KA, KA+HY, KA+HY+DY altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen basınç gerilmeleri grafiği



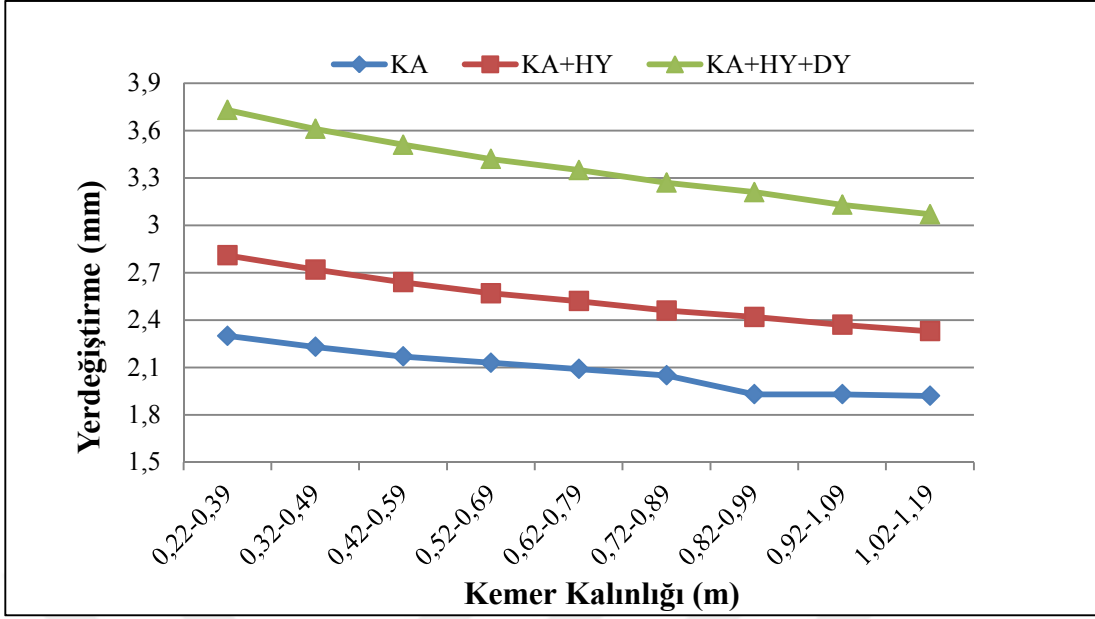
Şekil 2.32. Kemer yüksekliğinin değiştirilmesi ile birlikte, KA, KA+HY, KA+HY+DY altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen çekme şekildeğiştirmeleri grafiği



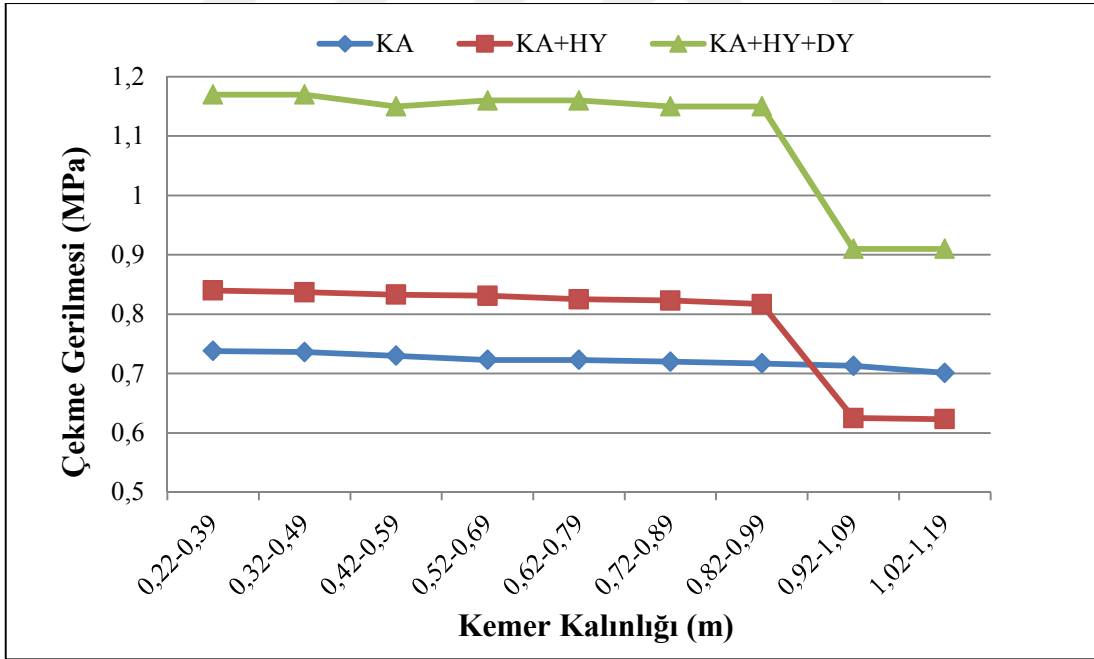
Şekil 2.33. Kemer yüksekliğinin değiştirilmesi ile birlikte, KA, KA+HY, KA+HY+DY altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen basınç şekildeğiştirmeleri grafiği

2.3.2. Kemer Kalınlığı Değiştirilerek Elde Edilen Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

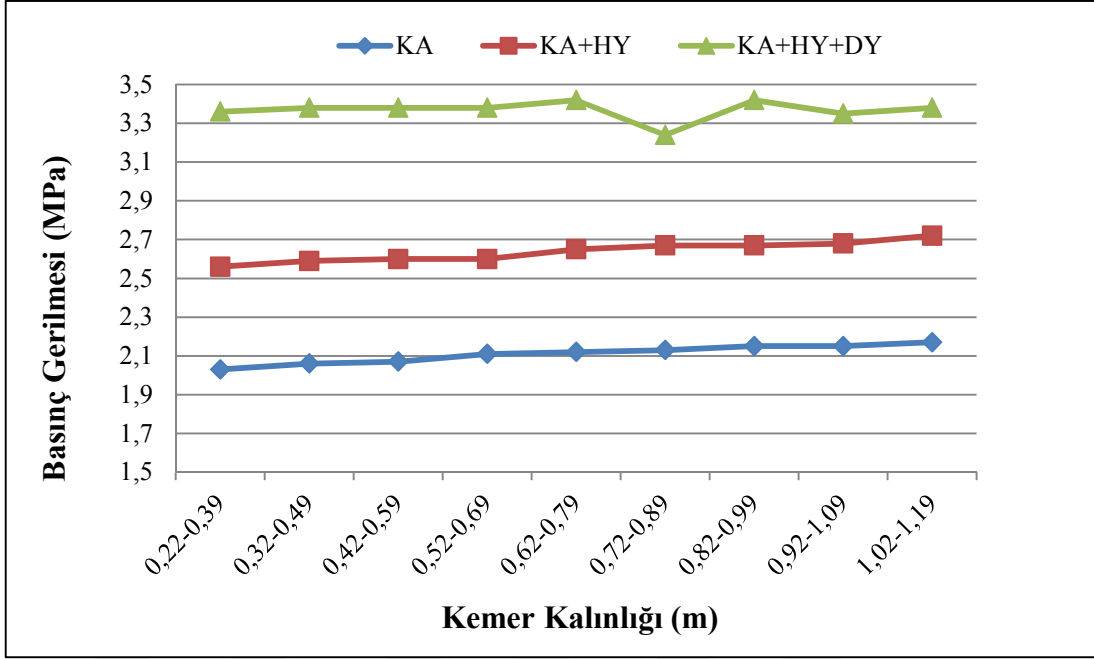
Kemer kalınlıklarının değiştirilmesi sonucunda elde edilen yerdeğiştirmeler, çekme gerilmeleri, basınç gerilmeleri, çekme şekildeğiştirmeleri ve basınç şekildeğiştirmeleri Şekil 2.34-2.38'de karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kemer kalınlığı ile yerdeğiştirmeler arasında belli bir ilişki bulunmaktadır. Kemer kalınlığının artmasıyla maksimum yerdeğiştirmeler sırasıyla KA, KA+HY ve KA+HY+DY analizleri için yaklaşık olarak %16, %17 ve %17 oranında azalmaktadır. Çekme gerilmelerinin köprünün kendi ağırlığı altındaki yüklemeler ile yapılan analizlerde düzenli azalarak 0.74MPa'dan 0.70MPa'a düştüğü görülmektedir. Kemer kalınlığının 0.82cm-0.99cm olduğu duruma kadar KA+HY ve KA+HY+DY analizleri için de benzer biçimde azalan grafik bu noktadan sonra KA+HY yüklemesi için 0.82MPa'dan 0.62MPa değerine, KA+HY+DY yüklemesi için ise 1.15MPa'dan 0.91MPa değerine aniden azalmaktadır. Basınç gerilmeleri her üç yükleme için de kemer kalınlığının artmasıyla azda olsa artmaktadır. Değerler, KA analizleri için 2.03MPa'dan 2.17MPa'a, KA+HY analizleri için 2.56MPa'dan 2.72MPa'a ve KA+HY DY analizleri için 3.36MPa'dan 3.38MPa değerine yükselmiştir. Çekme şekildeğiştirme grafiğinde üç yükleme durumu için de kemer kalınlığının artmasıyla değerlerde bir düşüş meydana gelmektedir. Değerler KA analizleri için $2.42E-4$ 'den $2.21E-4$ 'e, KA+HY analizleri için $2.85E-4$ 'den $2.59E-4$ 'e ve KA+HY+DY analizleri için ise $3.53E-4$ 'den $3.25E-4$ değerine azalmaktadır. Basınç şekildeğiştirmeleri sonuçlarına göre her üç analizde de kemer kalınlığı arttıkça basınç şekildeğiştirmeleri de artmaktadır. Basınç şekildeğiştirmeleri HA analizleri için $6.80E-4$ 'den $9.30E-4$ 'e, KA+HY için $8.41E-4$ 'den $10.70E-4$ 'e ve KA+HY DY analizleri için $11.20E-4$ 'den $14.00E-4$ 'e yükselmektedir.



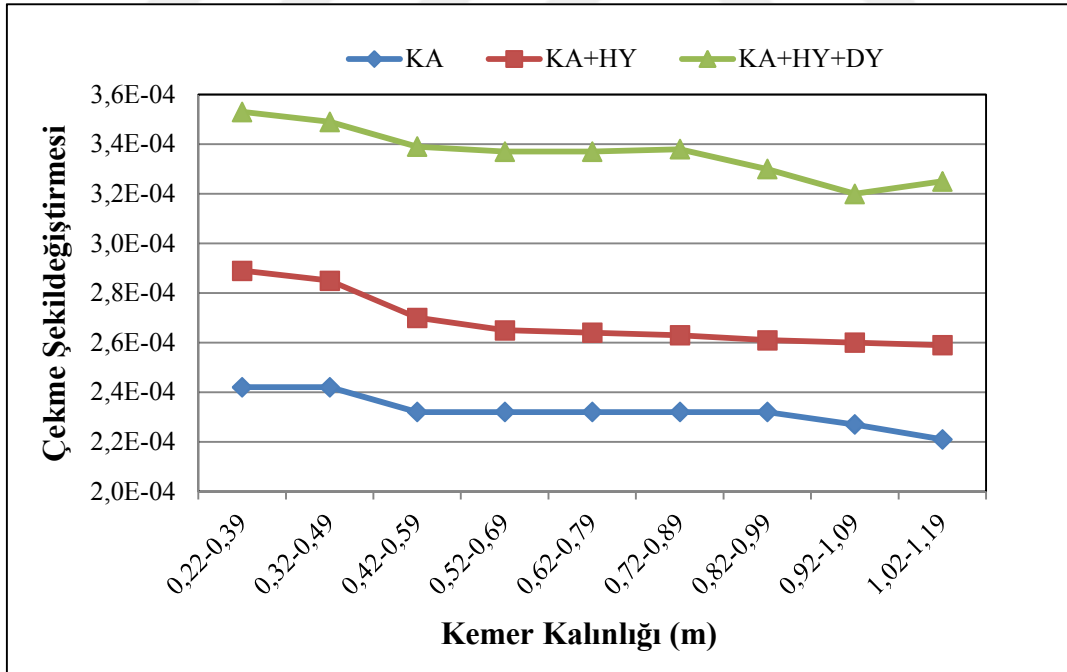
Şekil 2.34. Kemer kalınlığının değiştirilmesi ile birlikte, KA, KA+HY, KA+HY+DY altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği



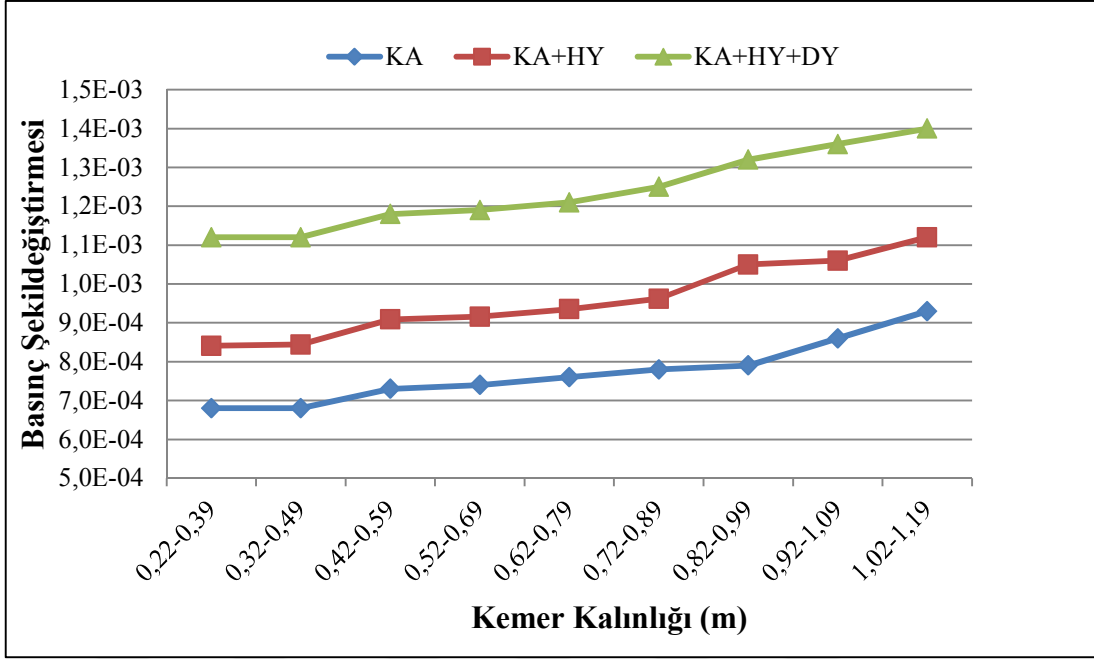
Şekil 2.35. Kemer kalınlığının değiştirilmesi ile birlikte, KA, KA+HY, KA+HY+DY altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen çekme gerilmeleri grafiği



Şekil 2.36. Kemer kalınlığının değiştirilmesi ile birlikte, KA, KA+HY, KA+HY+DY altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen basınç gerilmeleri grafiği



Şekil 2.37. Kemer kalınlığının değiştirilmesi ile birlikte, KA, KA+HY, KA+HY+DY altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen çekme şekildeğiştirmeleri grafiği



Şekil 2.38. Kemer kalınlığının değiştirilmesi ile birlikte, KA, KA+HY, KA+HY+DY altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen basınç őkildeęiřtirmeleri grafiği

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında gerçekleştirilen çalışma, tarihi köprülerin statik ve dinamik davranışına kemer geometrisinin etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, Geç Osmanlı döneminde, 19.yy'ın ikinci yarısında inşa edilmiş olduğu düşünülen tarihi Göderni Köprüsü örnek olarak seçilmiştir.

Çalışmada öncelikle köprünün farklı kemer kalınlığı ve kemer yüksekliği durumlarına ait sonlu eleman modelleri ANSYS programında oluşturulmuştur. Daha sonra köprünün kendi ağırlığı, hareketli yükler ve deprem yükleri altında analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler doğrusal elastik olarak gerçekleştirilmiştir. Hareketli yük analizleri için 15KN/m^2 basınç yükü değeri kullanılırken, deprem yükü ile yapılan analizlerde 1999 yılı Kocaeli depremine ait ivme kaydı hesaba katılmıştır. Analizler sonucunda köprüye ait yerdeğiştirmeler, çekme ve basınç gerilmeleri ile şekildeğiştirme değerleri kontor diyagramları şeklinde elde edilmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçlar grafiksel olarak da karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilen sonuçlar maddeler halinde aşağıda sıralanmıştır.

1. Kemer kalınlığının değiştirildiği durum için elde edilen sonuçlar:

- Analiz sonuçlarına göre maksimum yerdeğiştirmeler kemerin orta noktasında oluşmaktadır. Kemer kalınlığı artırıldıkça da maksimum yerdeğiştirme değerleri azalmaktadır. Yerdeğiştirmeler, KA, KA+HY, KA+HY+DY analizleri için sırasıyla; 2.30mm'den 1.92mm'ye, 2.81mm'den 2.33mm'ye, 3.73mm'den 3.07mm'ye azalmaktadır.
- Gerçekleştirilen her bir analiz için kemer kalınlığının artırılması çekme gerilmelerinin azalmasına sebep olmaktadır. Çekme Gerilmeleri, KA, KA+HY, KA+HY+DY analizleri için sırasıyla; 0.738MPa'dan 0.701MPa'a, 0.840MPa'dan 0.623MPa'a, 1.171MPa'dan 0.910MPa'a azalmaktadır.
- Basınç gerilmelerinin kemer kalınlığının artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Maksimum basınç gerilmeleri yan duvarlar ile kemerin alt kısımları arasındaki temas yüzeylerinde meydana gelmektedir. Basınç gerilmeleri, KA, KA+HY, KA+HY+DY analizleri için sırasıyla; 2.03MPa'dan 2.17MPa'a, 2.56MPa'dan 2.72MPa'a, 3.36MPa'dan 3.38MPa'a artmaktadır.

- Kemer kalınlıkları arttıkça çekme şekildeğiştirme değerlerinde azalma olduğu gözlemlenmektedir. Çekme şekildeğiştirmeleri, KA, KA+HY, KA+HY+DY analizleri için sırasıyla; $0.242E-3$ 'den $0.221E-3$ 'e, $0.289E-3$ 'den $0.259E-3$ 'e, $3.53E-4$ 'den $3.25E-4$ 'e azalmaktadır.
- Basınç şekildeğiştirme değerlerinde kemer kalınlıklarındaki artışa bağlı olarak artış gözlemlenmektedir. Basınç şekildeğiştirmeleri, KA, KA+HY, KA+HY+DY analizleri için sırasıyla; $0.68E-3$ 'den $0.93E-3$ 'e, $0.841E-3$ 'den $1.12E-3$ 'e, $1.12E-3$ 'den $1.40E-3$ 'e artmaktadır.

2. Kemer yüksekliğinin değiştirildiği durum için elde edilen sonuçlar:

- Analiz sonuçlarına göre maksimum yerdeğiştirmeler kemerin orta noktasında oluşmaktadır. Kemer yüksekliği arttırıldıkça da maksimum yerdeğiştirme değerleri azalmaktadır. Yerdeğiştirmeler, KA, KA+HY, KA+HY+DY analizleri için sırasıyla; 2.26mm 'den 1.99mm 'ye, 2.72mm 'den 2.38mm 'ye, 3.62mm 'den 3.10mm 'ye azalmaktadır.
- Çekme gerilme değerlerinde, kemer yüksekliğinin arttırılması ile ilk altı analizde önemli bir değişiklik meydana gelmemekte, sonraki analizlerde ise çekme gerilmelerinin artmasına sebep olmaktadır. Çekme Gerilmeleri, KA, KA+HY, KA+HY+DY analizleri için sırasıyla; 0.726MPa 'dan 0.946MPa 'a, 0.831MPa 'dan 1.05MPa 'a, 1.20MPa 'dan 1.30MPa 'a artmaktadır.
- Basınç gerilmelerinin kemer yüksekliğinin artışına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Maksimum basınç gerilmeleri yan duvarlar ile kemerin alt kısımları arasındaki temas yüzeylerinde meydana gelmektedir. Basınç gerilmeleri, KA, KA+HY, KA+HY+DY analizleri için sırasıyla; 2.82MPa 'dan 1.79MPa 'a, 3.43MPa 'dan 2.17MPa 'a, 4.25MPa 'dan 2.95MPa 'a azalmaktadır.
- Kemer yükseklikleri arttıkça çekme şekildeğiştirme değerlerinde artma gözlemlenmektedir. Çekme şekildeğiştirmeleri, KA, KA+HY, KA+HY+DY analizleri için sırasıyla; $0.231E-3$ 'den $0.288E-3$ 'e, $0.264E-3$ 'den $0.317E-3$ 'e, $3.36E-4$ 'den $3.75E-4$ 'e artmaktadır.
- Basınç şekildeğiştirme değerlerinde kemer yüksekliklerine bağlı olarak azalma gözlemlenmektedir. Basınç şekildeğiştirmeleri, KA, KA+HY, KA+HY+DY analizleri için sırasıyla; $0.968E-3$ 'den $0.810E-3$ 'e, $0.810E-3$ 'den $0.653E-3$ 'e, $1.28E-3$ 'den $1.08E-3$ 'e azalmaktadır.

Tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilen sonuçlar ışığında yapılan öneriler aşağıda maddeler halinde verilmektedir.

- Bu tür yapıların yapısal davranışını daha iyi belirleyebilmek amacıyla lineer olmayan analizlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.
- Basitleştirilmiş mikro ve detaylı mikro modelleme teknikleri kullanılarak modeller oluşturulmalı ve analiz sonuçları incelenmelidir.
- Analizlerden elde edilen bilgiler özellikle günümüzde artan trafik yükü gibi ağır yükleme durumlarındaki köprülerin restorasyon veya onarım çalışmalarında kullanılmalıdır.



4. KAYNAKLAR

- Altunışık, A.C., 2010. Karayolu Köprülerinin Yapısal Davranışlarının Analitik ve Deneysel Yöntemlerle Belirlenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Altunışık, A.C., Bayraktar, A., Sevim, B. ve Birinci, F., 2011. Vibration-Based Operational Modal Analysis of the Mikron Historic Arch Bridge After Restoration, *Civil Engineering and Environmental Systems*, 28, 3, 247-259.
- ANSYS, 2015. Swanson Analysis System, U.S.A.
- Arteaga, I. ve Morer, P., 2012. The Effect Geometry on Structural Capacity of Masonry Arch Bridges, *Construction and Building Materials*, 34, 97-106.
- Bathe, K.J., 1996. Finite Element Procedures in Engineering Analysis, Prentice-Hall, New Jersey, USA.
- Bayraktar, A., Altunışık, A.C., Türker, T. ve Sevim, B., 2007a. Tarihi Köprülerin Deprem Davranışına Sonlu Eleman Model İyileştirilmesinin Etkisi, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Ekim, İstanbul, Türkiye.
- Bayraktar, A., Altunışık, A.C., Türker, T. ve Sevim, B., 2007b. Tarihi Yığma Köprülerin Sonlu Eleman Modellerinin Operasyonel Modal Analiz Yöntemiyle İyileştirilmesi, Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu-1, Eylül, Ankara, Bildiriler Kitabı, 429-440.
- Bayraktar, A., Altunışık, A.C., Sevim, B., Türker, T. ve Birinci, F., 2010. Tarihi Yapıların Deprem Güvenliklerinin Tahribatsız Deneysel Yöntemlerle Belirlenmesi, İMO İstanbul Bülten, 107, 12-22.
- Bayraktar, A., 2013. Diyarbakır-Kulp/Gödemni Köprüsü'nün Yapısal Güvenlik Değerlendirme Raporu, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.
- Bayraktar, A., Türker, T. ve Altunışık, A.C., 2015. Experimental Frequencies and Damping Ratios for Historical Masonry Arch Bridges, *Construction and Building Materials*, 75, 234-241.
- Birinci, F., 2010. Taş Kemer Köprülerin Sonlu Eleman Modellerinin Operasyonel Modal Analiz Yöntemiyle İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Celasun, H., 1974. Betonarme Köprüler ve Hesap Metodları, Birinci Baskı, Çağlayan Basım Evi, İstanbul.

- Chopra, A.K., 2006. Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, Third Edition, Prentice Hall, USA.
- Costa, C., Arede, A., Morais, M. ve Anibal, A., 2015. Detailed FE and DE Modelling of Stone Masonry Arch Bridges for the Assessment of Load-carrying Capacity, *Procedia Engineering*, 114, 854-861.
- D'Ambrisi, A., Focacci, F., Luciano, R., Alecci, V. ve De Stefano, M., 2015. Carbon-FRCM Materials for Structural Upgrade of Masonry Arch Road Bridges, *Composites Part B: Engineering*, 75, 355-366.
- Drosopoulos, G.A., Stavroulakis, G.E. ve Massalas, C.V., 2008. Influence of the Geometry and the Abutments Movement on the Collapse of Stone Arch Bridges, *Construction and Building Materials*, 22, 200–210.
- Kanıt, R. ve Işık, N.S., 2007. Tuğla Kemerlerin Deneysel Davranışı ve Bilgisayar Modeli Analizleri, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 22, 1, 13-20.
- Korkmaz, K.A., Zabin, P., Çarhoğlu, A.I. ve Nuhuğlu, A., 2013. Taş Kemer Köprülerin Deprem Davranışlarının Değerlendirilmesi: Timisvat Köprüsü Örneği, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 2, 1, 66-75.
- Livesley, R.K., 1978. Limit Analysis of Structures Formed from Rigid Blocks, *Int J Numer Meth Eng*, 12, 1853–71.
- Lourenço, P.B., 1999. Historical Structures: Models and Modelling, EPMEESC VII: International Conference on Enhancement and Promotion of Computational Methods in Engineering and Science, August, Amsterdam, The Netherlands, *Proceedings*, 433-442.
- Milani, G. ve Lourenço, P.B., 2012. 3D Non-linear Behavior of Masonry Arch Bridges, *Computers & Structures*, 110, 133-150.
- Oliveira, D.V., 2003. Experimental and Numerical Analysis of Blocky Masonry Structures Under Cyclic Loading, *Doktora Tezi*, Minho University, Portugal.
- Oliveira, D.V., Lourenço, P.B. ve Lemos, C., 2010. Geometric Issues and Ultimate Load Capacity of Masonry Arch Bridges from the North West Iberian Peninsula, *Engineering Structures*, 32, 3955-3965.
- PEER, Pacific Earthquake Engineering Research Centre.
<http://ngawest2.berkeley.edu/spectras/28025/searches/26526/edit>. 15 Temmuz 2016
- Pela, L., Aprile, A. ve Benedetti, A., 2013. Comparison of Seismic Assessment Procedures for Masonry Arch Bridges, *Construction and Building Materials*, 38, 381-394.

- Reccia, E., Milani, G., Cecchi, A. ve Tralli, A., 2014. Full 3D Homogenization Approach to Investigate the Behavior of Masonry Arch Bridges: The Venice Trans-Lagoon Railway Bridge, *Construction and Building Materials*, 66, 567-586.
- Romano, A., 2005. Modelling, Analysis and Testing of Masonry Structures, Doktora Tezi, The University of Naples Federico II, Italy.
- Saiidi, M., Maragakis, E. ve Sanders, D., 1998. Evaluation and Seismic Retrofit of Highway Bridge Substructures with Tapered Columns, *Construction and Building Materials*, 12, 161-173.
- Sevim, B., Bayraktar, A., Altunışık, A.C., Atamtürktür, S. ve Birinci, F., 2011a. Assessment of Nonlinear Seismic Performance of a Restored Historical Arch Bridge Using Ambient Vibrations, *Nonlinear Dynamics*, 63, 4, 755-770.
- Sevim, B., Bayraktar, A., Altunışık, A.C., Atamtürktür, S. ve Birinci, F., 2011b. Finite Element Model Calibration Effects on the Earthquake Response of Masonry Arch Bridges, *Finite Elements in Analysis and Design*, 47, 621-634.
- Solla, M., Riveiro, B., Arias P. ve Caamano, J.C., 2012. A Novel Methodology for the Structural Assessment of Stone Arches Based on Geometric Data by Integration of Photogrammetry and Ground-Penetrating Radar, *Engineering Structures*, 35, 296-306.
- Süllü, T., 2012. Diyarbakır Kulp Göderni Köprüsü Röleve, Restitasyon ve Restorasyon Projesi Sanat Tarihi Raporu, Ankara, Türkiye.
- Teknik Rapor, 2012. Diyarbakır İli Kulp İlçesi Göderni Köprüsü Harç ve Taş Analizi, T.C. Mardin Valiliği, İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, Mardin Müzesi Restorasyon-Konservasyon ve Analiz Laboratuvarları, Mardin, Türkiye.
- Toker, S. ve Unay, A.I., 2004. Mathematical Modeling and Finite Element Analysis of Masonry Arch Bridges, *Journal of Science of Gazi University*, 17, 2, 129-139.
- URL-1, <http://www.csb.gov.tr/db/diyarbakir/webmenu/webmenu3229.jpg>. 10 Nisan 2016
- URL-2, <http://www.deprem.gov.tr/depbolge/diyarbakir.gif>. 10 Nisan 2016
- URL-3, <http://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/MerkezBirimler/SanatYapilariDairesiBaskanligi/Calismalar/TarihiKöprülercalismalar.pdf>. 15 Temmuz 2016
- Zampieri, P., Zanini, M.A. ve Faleschini, F., 2016. Influence of Damage on the Seismic Failure Analysis of Masonry Arches, *Construction and Building Materials*, 119, 343-355.

ÖZGEÇMİŞ

Burcu YILMAZ, 1988 yılında Sinop'ta doğdu. İlk ve ortaokulu 1995-2002 yılları arasında Atatürk İlköğretim Okulu'nda, lise öğrenimini 2002-2006 yılları arasında Sinop Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2007 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. Lisans eğitimini 2012 yılında tamamlayarak aynı yıl içerisinde Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2014 yılında, Salihli Belediyesi İmar ve Şehircilik Müdürlüğü'nde göreve başlayan Yılmaz orta derecede İngilizce bilmektedir.

- Altunisik, A.C., **Kanbur, B.** ve Genc, A.F., 2015. The Effect of Arch Geometry on the Structural Behavior of Masonry Bridges, Smart Structures and Systems, 16, 6, 1069-1089.
- Altunisik, A.C., **Kanbur, B.** ve Genc, A.F., 2016. Structural Response of Two-Span Masonry Bridges Considering Different Arch Curvature, The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, Under Review.