

Dynamic Analysis Of Rize Timisvat Bridge By Finite Element Method

Bayram Ali ÖKSÜZ*¹

¹Chamber of Civil Engineers, Rize, Turkey.
Corrisponding Author: bay.ali_@hotmail.com.

Keywords:

*Dynamic analyze,
Stone bridges,
Historical structures*

Abstract

Historical structures serve as a bond that connects the past and the present. Stone bridges is part of the historical buildings considered as cultural heritage. Many of these historical bridges have been exposed to earthquakes over time, damaged or destroyed by disasters such as fire. Earthquakes are one of the most important external factors that cause historical buildings to be damaged. The behavior of these structures should be determined in order to prevent damage to earthquakes and protect their structural integrity and necessary precautions should be taken accordingly. Timisvat bridge is one of the historical stone structures. The bridge is one of the largest spans from the numerous historical stone arch bridges in the province of Rize. It was built with 19th century Ottoman architecture. In this study, dynamic analysis method was preferred in order to determine the current status of the bridge and to determine the earthquake behavior. Scope of this work; 3D model of the bridge was realized with ANSYS 16.0 analysis program. The bridge is modeled to consist of 3 different building elements. Duzce station records of 1999 Kocaeli earthquake and Erzincan station records of 1992 Erzincan earthquake were used for analysis. As a result of the study; For the mentioned earthquakes, compressive stresses, tensile stresses, displacement values and maximum acceleration values that can occur on the bridge were obtained. The results were interpreted with tables and graphs.

Rize Timisvat Köprüsünün Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Dinamik Analizi

Anahtar Kelimeler;

*Dinamik analiz,
Taş köprüler,
Tarihi yapılar*

Özet

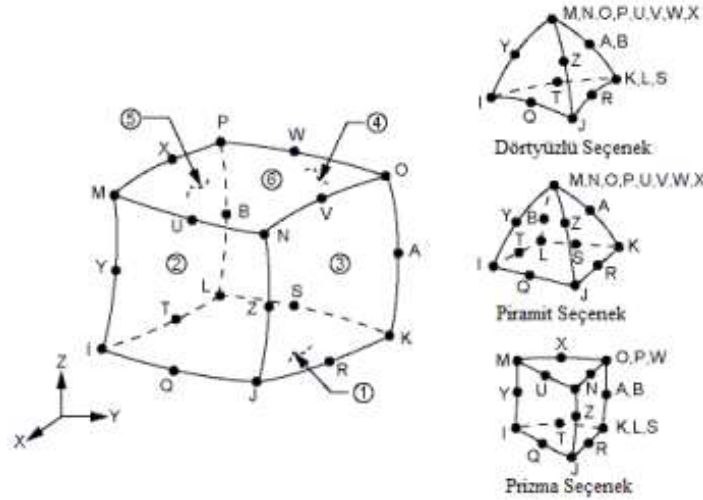
Tarihi yapılar geçmiş ile günümüzü bağlayan birer bağ görevi görürler. Kültür mirası olarak kabul edilen tarihi yapıların bir kısmında taş köprüler oluşturmaktadır. Bu tarihi köprülerin birçoğu, zaman içerisinde depremlere maruz kalmış, yangın gibi afetlerden zarar görmüş ya da yıkılmıştır. Depremler tarihi yapıların hasar görmelerine sebep olan en önemli dış faktörlerdendir. Bu yapıların depremlerden en az hasar görmeleri ve yapısal bütünlüklerini korumaları için davranışlarının belirlenmesi ve buna bağlı olarak gerekli önlemlerin alınması gerekir. Timisvat köprüsü de tarihi taş yapılardan bir tanesidir. Köprü Rize ilindeki çok sayıda tarihi taş kemer köprüden en büyük açıklıklı olandır. 19.yy osmanlı mimarisi ile inşa edilmiştir. Köprünün mevcut durumunu belirlemek ve deprem davranışını ortaya koymak için bu çalışmada dinamik analiz yöntemi tercih edilmiştir. Çalışma kapsamında; köprünün 3D modeli ANSYS 16.0 analiz programı ile gerçekleştirilmiştir. Köprü; 3 farklı yapı elemanından oluşacak biçimde modellenmiştir. Analizler için 1999 Kocaeli depreminin Düzce istasyonu kayıtları ve 1992 Erzincan depreminin Erzincan istasyonu kayıtları kullanılmıştır. Çalışma neticesinde; söz konusu depremler için köprüde meydana gelebilecek basınç gerilmeleri, çekme gerilmeleri, yerdeğiştirme değerleri ve maksimum ivme değerleri elde edilmiştir. Sonuçlar tablo ve grafiklerle yorumlanmıştır.

1 GİRİŞ

Tarihi yapılar ait oldukları medeniyetlerin kimliklerini oluşturur, geçmiş ile günümüzü bağlayan birer bağ görevi görürler [1]. Yüzlerce yıllık geçmişe sahip olan bu yapıların iyi bir şekilde korunup geleceğe aktarılması gerekmektedir. Kültür mirası olarak kabul edilen tarihi yapıların bir kısmında tarihi köprüler oluşturmaktadır.. Bu tarihi köprülerin birçoğu, zaman içerisinde depremlere maruz kalmış, yangın gibi afetlerden zarar görmüş ya da yıkılmıştır. Depremler tarihi yapıların hasar görmelerine sebep olan en önemli dış faktörlerdendir [2, 3]. Bu yapıların depremlerden en az hasar görmeleri ve yapısal bütünlüklerini korumaları için davranışlarının belirlenmesi ve buna bağlı olarak gerekli önlemlerin alınması gerekir [4]. Köprülerin deprem davranışları çeşitli bilgisayar programları ile analiz edilebilmektedir [5]. Bununla ilgili bugüne kadar literatürde pek çok çalışma yapılmıştır [6]. Çalışmalarda genellikle köprülerin teorik modellenmesi ve analiz çalışmaları, köprülerin doğrusal ve doğrusal olmayan davranışlarına yönelik çalışmalar, sonlu eleman modellemelerinin iyileştirilmesine yönelik deneysel ve teorik çalışmalar ile tarihi kemer köprülere yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir [3]. Bu konuda bölgemizde yapılmış pek çok çalışma vardır [7], Trabzon'un Maçka ilçesi yakınlarında bulunan Coşandere (Kınalı) Köprüsünü modellemiş, statik olarak kendi ağırlığından dolayı oluşan gerilme ve şekil değiştirmeleri bularak ve modelin doğrusal elastik deprem davranışını incelenmiştir. Bayraktar vd. (2007), tarihi köprülerin deprem davranışına sonlu eleman model iyileştirilmesinin etkisini araştırmak için Trabzon'un Akçaabat ilçesinde bulunan yaklaşık 100 yıllık tarihe sahip Şinik Köprüsünü seçmiş, tarihi köprü'nün sonlu elemanlar yöntemi ile üç boyutlu modal analizini yaparak doğal frekansları ve mod şekillerini belirlemişlerdir [4]. Bu çalışmada, Timisvat köprüsü üç boyutlu sonlu elemanlar ile modellenerek doğrusal dinamik analiz çözümünden elde edilen sonuçlar ile köprü'nün davranışı incelenmiştir.

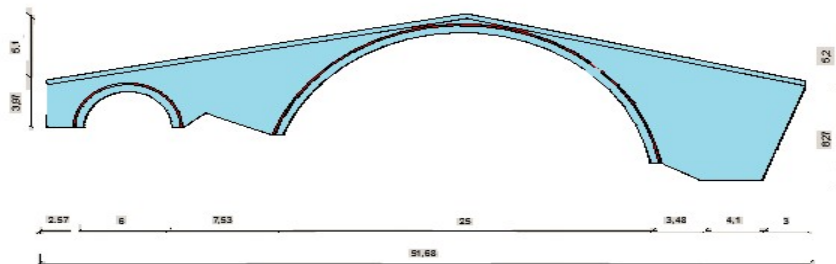
2 BILGISAYAR MODELİ

Köprü'nün bilgisayar modelinde 3 farklı malzeme tanımlaması yapılmıştır. Tüm elemanların sonlu elemanlar modeli için 3D SOLID186 elemanları kullanılmıştır. SOLID186 elemanı her bir düğüm noktasında 3 deplasman serbestlik dereceli toplam 20 düğüm noktasına sahiptir. SOLID186 elemanının sonlu eleman ağı sırasında dönüşebileceği durumlar Şekil 1'de verilmektedir [8].



Şekil 1. SOLID186 elemanının genel görünüşü ve sonlu eleman ağına dönüşebilecek durumlar [8].

Şekil 1'de görüldüğü gibi sonlu eleman ağı oluşturulurken bu eleman tetrahedral, piramit ve prizma durumlarına dönüşebilmektedir. Bu çalışmaya konu olan Timisvat köprüsünün geometrik ölçüleri Şekil 1'deki gibidir.



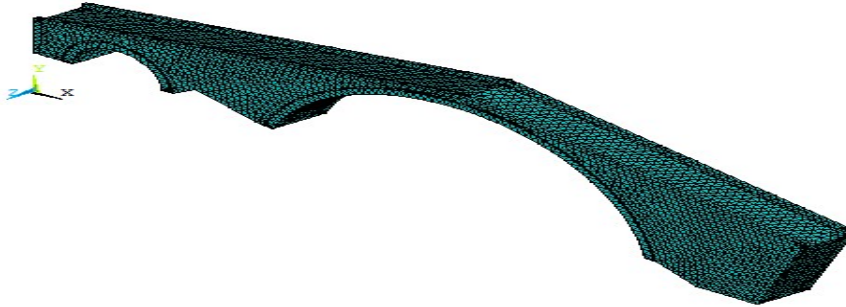
Şekil 2. Timisvat Köprüsü Geometrik Ölçüleri

Köprünün toplam uzunluğu 51.70 m açıklıklı iki kemere ve 13.87m yüksekliğe sahiptir. Kemer açıklıkları 25.2m'ye 6m, kemer yarıçapları 13m'ye 6m dir.Köprü kemeri iki parçadır 0.15m ve 0.58m olmak üzere 2 ye ayrılır.Köprü yan duvarları 0.5m , dolgu malzemesi ise 2.5m kalınlığındadır. Köprünün kesit özellikleri şekil 2 de verilmektedir.Köprünün analizinde, kemer, yan duvarlar ve dolgu için üç farklı malzeme kullanılmıştır. Analizde ele alınan malzeme özellikleri ise tablo 1'deki gibidir.

Tablo 1. Taş kemer köprü modelinde kullanılan malzeme özellikleri

Malzeme	Elastisite Modülü (N/m ²)	Poisson oranı	Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)
Dolgu	1.5x10 ⁹	0.05	1.30
Yan duvarlar	2.5x10 ⁹	0.20	1.40
Kemer	3.0x10 ⁹	0.25	1.60

Sonuçların yeterli hassaslıkta elde edilebilmesi için bilgisayar modeli 47079 mesh aralığı kullanılmıştır. Meshli model resmi şekil 3'te görüldüğü gibidir.



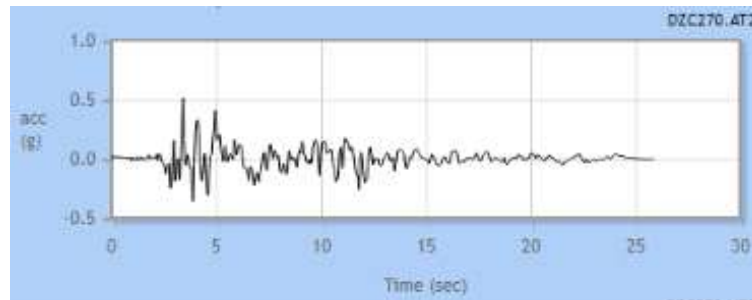
Şekil 3. Timisvat Köprüsü Mesh Görüntüsü

Köprünün bilgisayar modelini oluşturmak için yapı malzemelerinin elastisite modülü, poisson oranı ve birim hacim ağırlıkları gibi değerlerin bilinmesi gerekmektedir. Fırtına deresi üzerinde inşa edilmiş taş kemer köprüler için bu değerlerin ortalamaları daha önceki çalışmalarda tespit edilmiştir [4, 11, 12]. Bu çalışmada da söz konusu değerler tablo 2'deki gibi alınmıştır.

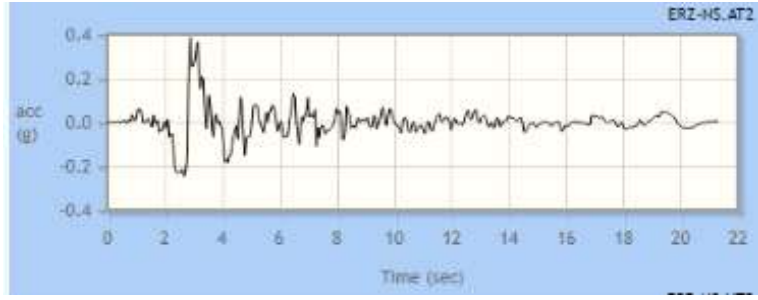
Tablo 1. Taş kemer köprü modelinde kullanılan malzeme özellikleri

Malzeme	Elastisite Modülü (N/m ²)	Poisson oranı	Birim Hacim Ağırlık(kg/m ³)
Dolgu	1.5x10 ⁹	0.05	1.30
Yan duvarlar	2.5x10 ⁹	0.20	1.40
Kemer	3.0x10 ⁹	0.25	1.60

Dinamik analizlerde kullanılan deprem ivmeleri için ise bölgesel olarak büyük hasarlara yol açmış Düzce 1999 ve Erzincan 1992 depremlerine ait 2'şer farklı kayıttan faydalanılmıştır [9]. Kayıtlar Berkeley Üniversitesi veritabanından alınmıştır [10]. Söz konusu ivme zaman grafikleri şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 4a. 1999 Düzce Deprem İvme-Zaman Grafiği (270 AT2)

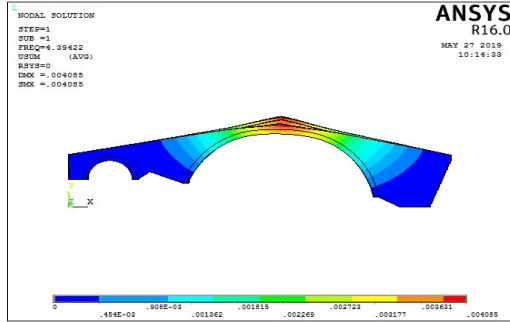


Şekil 4b. 1992 Erzincan Depremi Kuzey-Güney Bileşeni (N-S) İvme-Zaman Grafığı

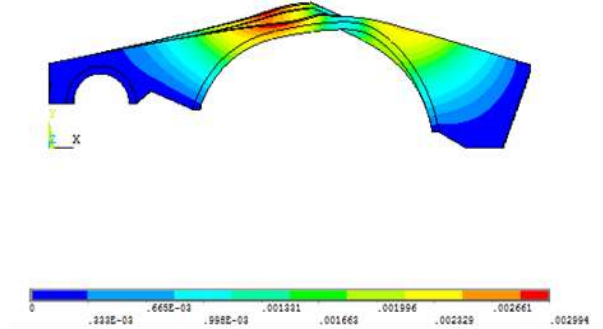
Şekil 4. Dinamik Analizlerde Kullanılan İvme Zaman Grafikleri

3. SAYISAL SONUÇLAR

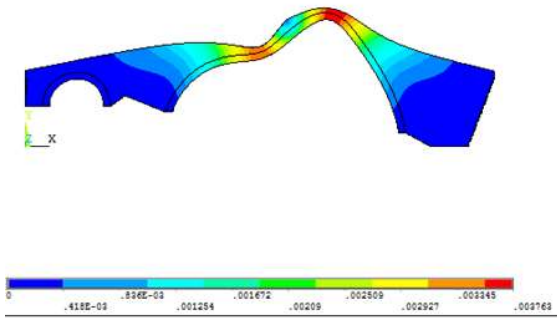
Timisvat köprüsü 3D bilgisayar modeli üzerine modal analiz ve time history analizleri uygulanmıştır. Zaman tanım alanında yapılan analizler sonucunda ilk 5 mod için frekans değerleri ve mod şekillerine bakılmıştır. Ayrıca analizler sonucunda modele uygulanan deprem ivme kayıtları için yer değiştirme, çekme gerilmesi, basınç gerilmesi değerler hesaplanmıştır. Modal analiz sonucunda elde edilen frekans ve mod şekil değiştirmeleri Şekil 5'deki gibidir.



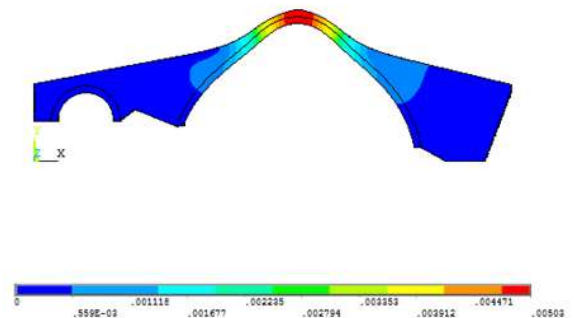
Şekil 5a. Mod 1 ($f_1 = 4.394$)



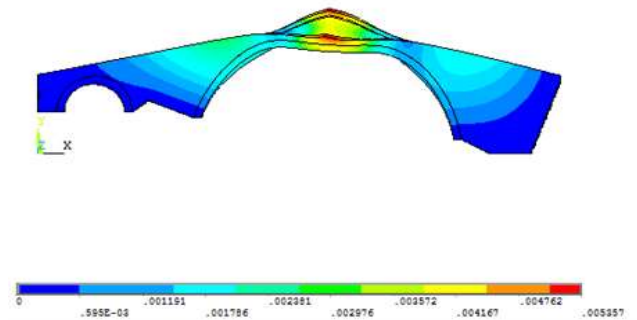
Şekil 5b. Mod 2 ($f_2 = 8.456$)



Şekil 5c. Mod 3 ($f_3 = 9.190$)



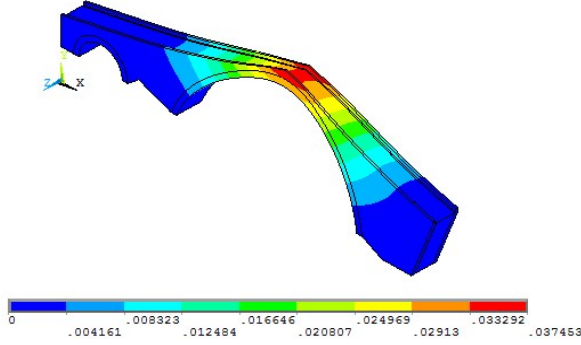
Şekil 5d. Mod 4 ($f_4 = 10.857$)



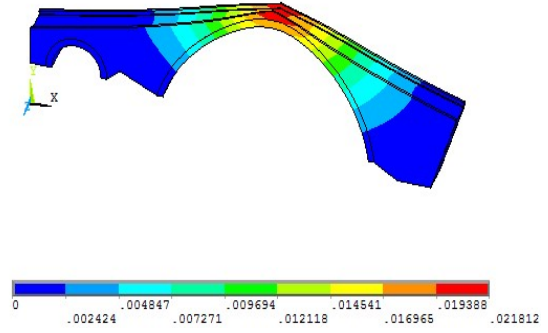
Şekil 5e; Mod 5 ($f_5 = 12.6 94$)

Şekil 5. Mod şekilleri ve Frekans Değerleri

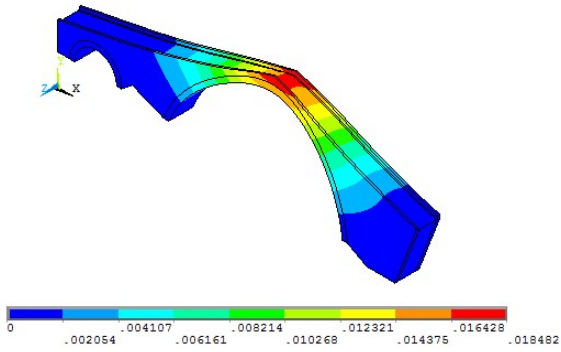
Timisvat köprüsünün üç boyutlu modeli ve yer değiştirmenin zamanla değişim grafiklerinin gösterildiği köprü'nün tepe noktası yer değiştirmeleri verilmiştir. İlk dinamik analizde 1999 Kocaeli Düzce depreminin 270 AT -180 AT kaydı kullanılmıştır. İkinci dinamik analizde 1992 Elazığ depreminin Kuzey-Güney bileşeni ve Doğu-Batı bileşenleri kullanılmıştır. Deprem ivme kayıtlarından elde edilen yer değiştirme değerleri şekil 6 ve tablo 2'deki gibidir.



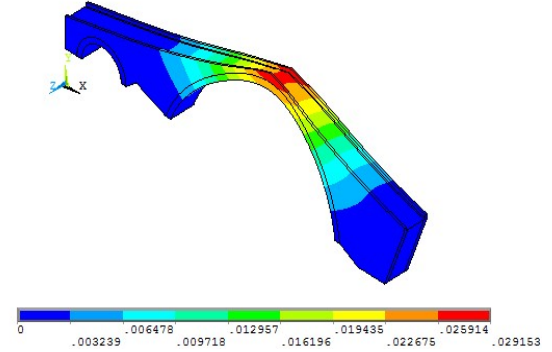
Şekil 6a. 1999 Kocaeli Düzce depremi ivme-zaman Yer değiştirme modeli



Şekil 6b. 1999 Kocaeli Düzce depremi 180 at Yer değiştirme modeli



Şekil 6c. 1992 Erzincan depremi kuzey-güney bileşeni Yer değiştirme modeli



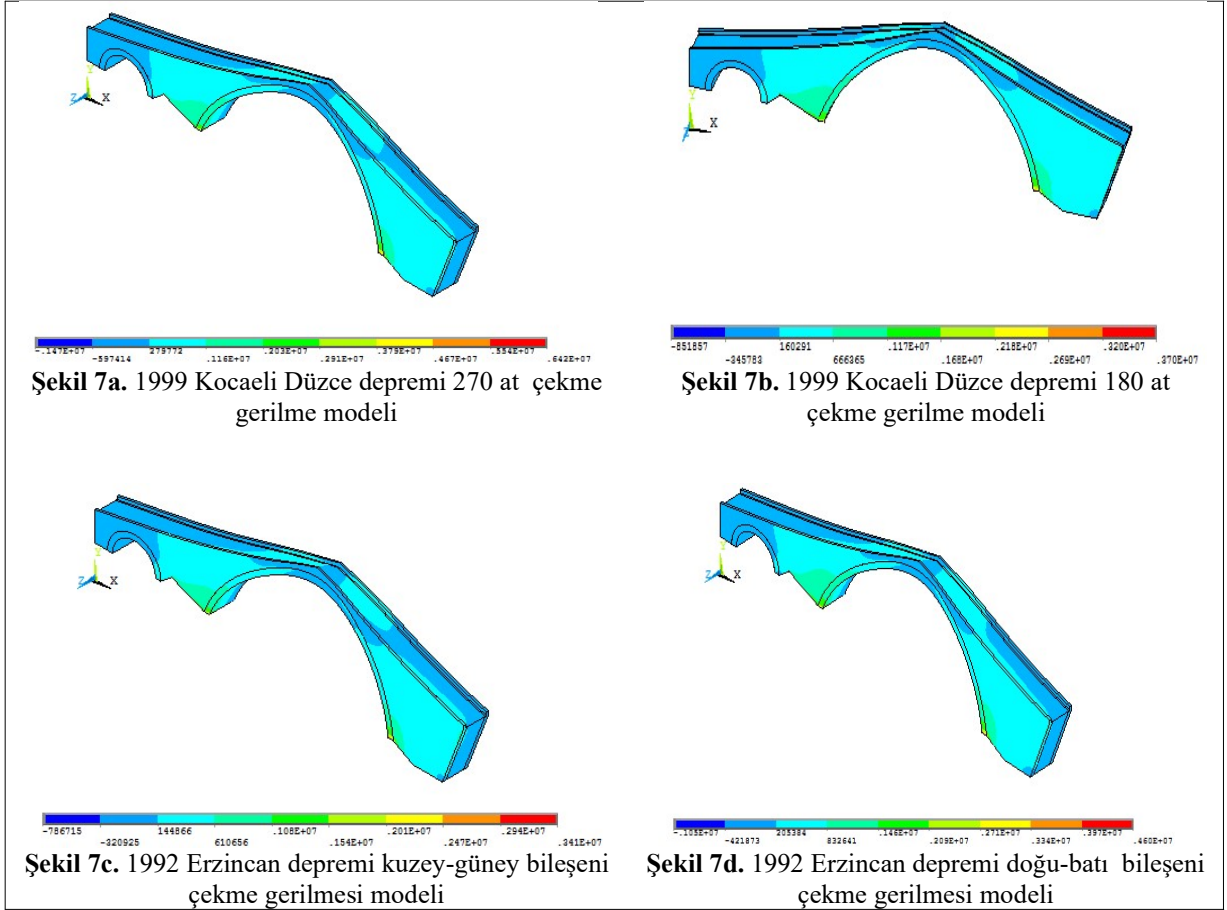
Şekil 6d. 1992 Erzincan depremi doğu-batı bileşeni Yer değiştirme modeli

Şekil 6. Kullanılan Depremlerin Yer Değiştirme Modelleri

Tablo 2. Taş kemer köprü modelinde yer değiştirme değerleri ;
Uygulanan Deprem Zaman (sn) Yer Değiştirme Değeri (m)

Uygulanan Deprem	Zaman (sn)	Yer Değiştirme Değeri (m)
1999 Kocaeli Düzce 270 at	3.445	0.037453
1999 Kocaeli Düzce 180 at	3.63	0.021812
1992 Erzincan depremi kuzey-güney	3.165	0.018482
1992 Erzincan depremi doğu-batı	3.63	0.029153

Deprem ivme kayıtlarından elde edilen çekme gerilme şekilleri şekil 7'de gösterilmektedir.



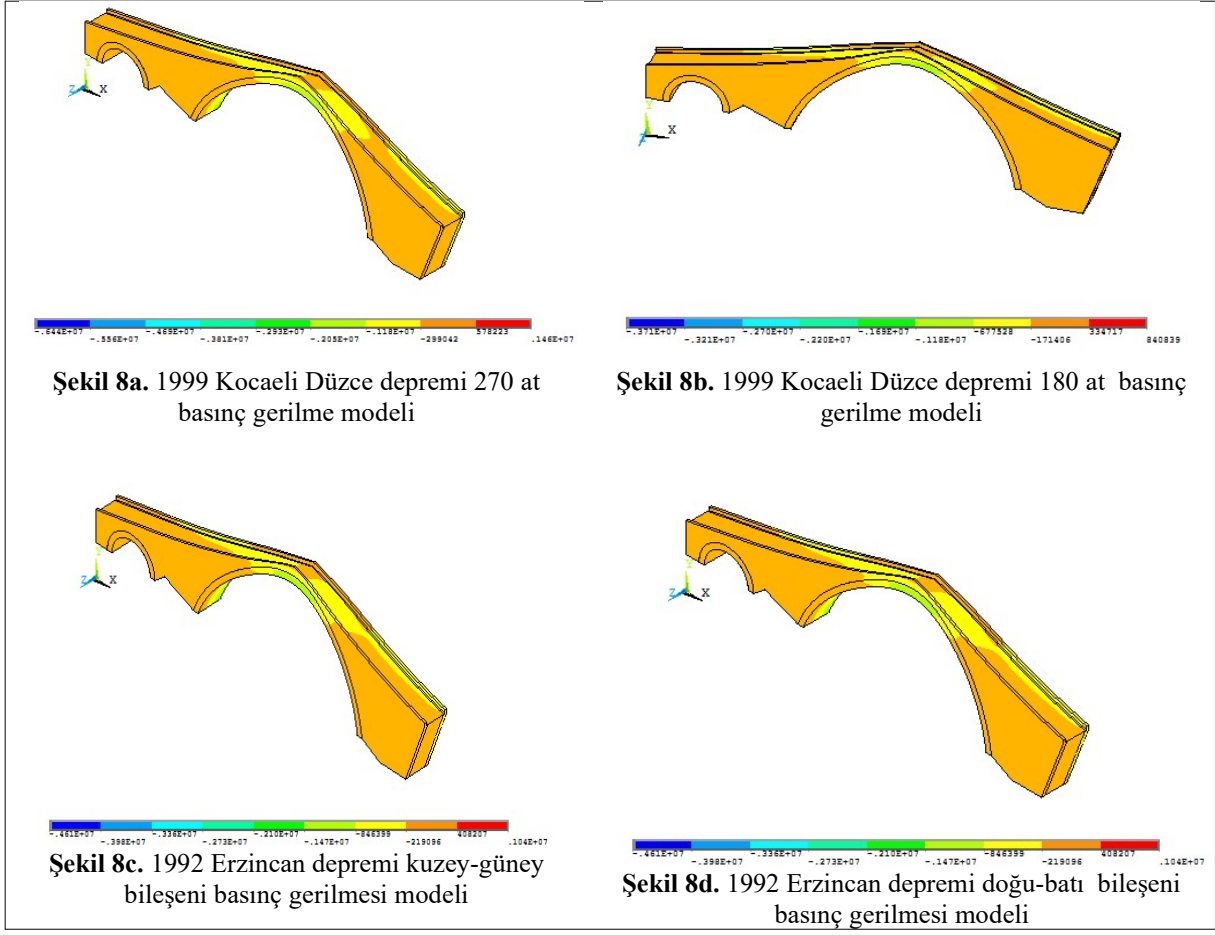
Şekil 7. Deprem Kayıtlarına Göre Oluşan Çekme Gerilmeleri

Ayrıca analizler sonucunda modele uygulanan her bir deprem ivme kaydı için çekme gerilmesi değerleri tablo halinde verilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Taş kemer köprü modelinde çekme gerilme değerleri

Uygulanan Deprem	Zaman (sn)	Çekme Gerilmesi Değeri (kN)
1999 Kocaeli Düzce 270 at	3.445	642
1999 Kocaeli Düzce 180 at	3.63	370
1992 Erzincan depremi (kuzey-güney bileşeni)	3.165	341
1992 Erzincan depremi doğu-batı	3.63	460

Deprem ivme kayıtlarından elde edilen basınç gerilmesi değerleri şekil 8'de gösterilmektedir. Ayrıca analizler sonucunda modele uygulanan her bir deprem ivme kaydı için basınç gerilmesi değerleri tablo halinde verilmiştir; Tablo 4



Şekil 8. Deprem Kayıtlarına Göre Oluşan Basınç Gerilmeleri

Tablo 4. Taş kemer köprü modelinde basınç gerilme değerleri

Uygulanan Deprem	Zaman (sn)	Basınç Gerilmesi Değeri (kN)
1999 Kocaeli Düzce 270 at	3.445	146
1999 Kocaeli Düzce 180 at	3.63	841
1992 Erzincan depremi (kuzey-güney bileşeni)	3.165	777
1992 Erzincan depremi (doğu-batı bileşeni)	3.63	104

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Rize ilinin Çamlıhemşin ilçesindeki Fırtına Deresi üzerinde bulunan tarihi Timisvat köprüsünün dinamik analizi yapılmıştır. Makro modelleme yaklaşımı esas alınarak köprünün üç boyutlu katı sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Deprem kaydı olarak, Kocaeli/Düzce ve Elazığ depremlerinin ivme kayıtları seçilmiştir.

Çekme gerilmeleri duvar alt kısımlarında ve özellikle kemer ayaklarında maksimum değerlere ulaşmıştır. Maksimum değerler; 1999 Kocaeli depreminin 3,46. saniyesinde 642kN ve 1992 Erzincan depreminin 3,63. saniyesinde 460kN olarak görülmüştür.

Basınç gerilmeleri köprü yan duvarlarında yoğunlaşmıştır. Maksimum değerler 1999 Kocaeli depreminin 3,63. saniyesinde 841kN ve 1992 Erzincan depreminin 3,17. saniyesinde 777kN olarak görülmüştür.

Taş kemer köprünün maksimum yer değiştirme değerleri 1999 Kocaeli depremi için 37mm, 1992 Erzincan depremi için 29mm olarak hesaplanmıştır.

Genel olarak köprü yer değiştirme değerleri tabandan tepeye doğru artış göstermiş ve düzgün olarak yayılmıştır. Bu da kemer köprünün gerilme dağılışı ve çalışma şeklinin düzenli olduğunu göstermektedir. Köprünün modellendiği haliyle ciddi bir hasarı görülmemektedir.

Çalışma neticesinde elde edilen sonuçların geliştirilmesi için lineer olmayan yöntemlerle analizlerin tekrar edilmesi ve mikro modelleme teknikleriyle çatlak analizleri yapılması önerilmektedir.

REFERANSLAR

- [1] Ahmet TURER, (2007), “Köprülerin Dinamik Özelliklerinin Çevresel Gürültü Ve Bilinen Kuvvet Uygulama İle Belirlenmesi” 1. Köprü ve Viyadükler Sempozyumu, 29-30 Kasım, Antalya, Türkiye.
- [2] M. A. Erberik, (2011), “Importance of Degrading Behavior for Seismic Performance Evaluation of Simple Structural Systems”, Journal of Earthquake Engineering, 15, p.32-49
- [3] Özmen B., Bayrak E., Bayrak Y. (2014). “An Investigation of Seismicity for the Central Anatolia Region, Turkey” Journal of Seismology, 18(3), 345-356., Doi: 10.1007/s10950-013-9411-2.
- [4] Bayraktar A, Altunışık AC, Türker T, Sevim B. (2007) “Tarihi Yığma Köprülerin Sonlu Eleman Modellerinin Operasyonel Modal Analiz Yöntemiyle İyileştirilmesi”, 1.Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Kardelen Ofset Ltd.Şti., Ankara, Türkiye.
- [5] Sarica, G., Askan, A., Caner, A., (2017), “Development of mean site-dependent response spectra for new bridge designs in Turkey, Structure and Infrastructure Engineering, 13, (2017), p.1002-1012.
- [6] E. Çabuk, N. Ş. Güçhan, A. Türer, (2015) “Tarihi Ahşap Buzlupınar Köprüsünün Yeniden Yapımı Üzerine Çalışmalar”, Ahşap Yapılarda Koruma ve Onarım Sempozyumu ve Sergisi 3, 24-25 Mart, İstanbul, Türkiye.
- [7] Ural, A.,(2005).”Tarihî Kemer Köprülerin Sonlu Eleman Metoduyla Analizi”, Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart, Kocaeli, Türkiye.
- [8] Genç, A. F. (2015) "Tarihi köprülerin yapısal davranışına restorasyon çalışmalarının etkisi", Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.
- [9] Askan A., Karınzadeh, S., Asten, M., Kılıç, N., Sisman, F.N., Erkmen, C., (2015) “Assessment of seismic hazard in the Erzincan (Turkey) region: construction of local velocity models and evaluation of potential ground motions.” Turkish Journal of Earth Sciences, 24, p.529-565.
- [10] PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center), 2019, Berkeley University,, url: <https://ngawest2.berkeley.edu/spectras/212975/searches/196403/edit>
- [11] Bayraktar, A., Altunışık, A. C., Türker, T., ve Sevim, B. (2007). Tarihi Köprülerin Deprem Davranışına Sonlu Eleman Model İyileştirilmesinin Etkisi, Sixth National Conference on Earthquake Engineering, İstanbul, Turkey.
- [12] Berna ÇORUHLU1 , Temel TÜRKER2 , Yusuf YANIK3 ve Alemdar BAYRAKTAR4 (2017) “Tarihi Taş Kemer Köprülerin Modal Davranışlarının Köprü Boyutlarına Bağlı Olarak Tahmin Edilmesi" Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu , 2-3-4 Kasım, Trabzon, Türkiye.