

TAŞ KEMER KÖPRÜLERİN DEPREM DAVRANIŞLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ: TİMİSVAT KÖPRÜSÜ ÖRNEĞİ

Kasım Armağan KORKMAZ¹, Pınar ZABİN^{2*}, Asuman Işıl ÇARHOĞLU², Ayhan NUHOĞLU³

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, TÜRKİYE

²Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, TÜRKİYE

³Ege Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, TÜRKİYE

Özet- Türkiye'de yaygın olarak görülen Osmanlı dönemi taş kemer köprüleri, kültürel tarihimizde önemli bir yere sahiptir. Bu tarihi köprülerin yapısal davranışlarının bilinmesi köprülerin korunmasında önemli rol oynayacaktır. Yapılan çalışmada, taş kemer köprülerin deprem davranışlarının belirlenmesi amacıyla, Rize-Ardeşen Çamlıhemşin yolu üzerindeki, 19-20. yy Osmanlı dönemi Timisvat tarihi köprüsü ele alınmıştır. Tarihi köprü, sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmiş, model üzerinde deprem ivme kayıtları ile zaman tanım alanında dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Zaman tanım alanında yapılan analizler sonucunda her bir deprem kaydına ait yer değiştirme ve gerilme değerleri bulunmuş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler- Kemer Köprüler, Tarihi Yapılar, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz

SEISMIC BEHAVIOR INVESTIGATION OF ARC STONE BRIDGES: TIMISVAT BRIDGE CASE

Abstract- Stone arch bridges from Ottoman time are widely seen in Turkey. Not only being a bridge, stone arch bridges have significant role in cultural history of the country. Definition of structural behaviors for such historical bridges will have an important role in the protection process. In the present study, to determine seismic behavior of stone arch bridges, Rize-Ardeşen Çamlıhemşin region was studied. Timisvat bridge from 19th and 20th Century Ottoman time. The bridge was modelled through finite element method, and time history analyses were carried out. In the analyses, earthquake data were used from A soil class and B soil class. As a result of time history analyses, displacements and stress values for each earthquake data were found and results were evaluated comparatively.

Keywords- Arch Bridges, Historical Buildings, Finite Element Method, Time History Analysis

* pinarusta@sdu.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Geçmiş ve bugün arasında güçlü bir bağ oluşturmak için önemli rol oynayan tarihi yapılar kültürel miras ve kültürel kimliğin en paha biçilmez yansımasıdır. Tarihi yapılar olmadan bir medeniyet dönemini anlamak ve yorumlamak mümkün değildir [1]. Anadolu’da yaygın olarak kullanılan kemer köprüler, tarihi yapıların hiç kuşkusuz en önemlilerinden biridir. Tarihi köprüler, geçmişte özellikle 19. Yüzyıl Osmanlı döneminde tek açıklıklı taş kemer köprü formu şeklinde görülmektedir [2]. Bu tarihi köprülerin birçoğu, zaman içerisinde depreme maruz kalmış, savaş ve yangın gibi afetlerden zarar görmüş ya da yıkılmıştır. Bu etkilerin yanı sıra yapı malzemelerinin dayanımlarını yitirmesi, düzensiz yüklemeler de tarihi yapıların yavaş yavaş yok olmalarına neden olmuştur [3].

Fiziksel ve kimyasal olumsuz şartlara maruz kalan tarihi yapıların korunması ve onarılması için yapısal davranışlarının tam olarak bilinmesi gereklidir. Birçoğu eğrisel geometrik formda olan, yığma taş ve tuğla sistemli bu yapıların davranışını hesap yöntemleriyle ayrıntılı bir şekilde incelemek ve sonlu elemanlar analizi ile gerçekçi bir şekilde modellemek mümkündür [4].

Bu konuda yapılmış pek çok çalışma bulunmaktadır. Hatzigeorgiou vd. (1999), tarihi yığma Artha köprüsünü sonlu elemanlar ile modellemiş ve model üzerinde doğrusal ve doğrusal olmayan statik ve dinamik analiz uygulamışlardır [5]. Boothby (2001), yığma kemer yapıların korunmasında yeni yaklaşımların geliştirilmesi gerektiğini vurgulamıştır [6]. Fanning ve Boothby (2001), İrlanda Dublin’deki Griffith köprüsünü ANSYS programı ile 3 boyutlu solid eleman olarak modellenmiş ve model üzerinde analiz yapmışlardır [7]. Aoki vd. (2004), 1920 de Yamakuni nehri üzerinde inşa edilen Rakanji tarihi taş köprüsünün dinamik yapısal özelliklerini belirlemek için teorik ve deneysel dinamik analizler yapmışlardır [8]. Toker ve Ünay (2004), genel kemerli taş köprü tipolojisini yansıtacak şekilde geliştirilen kemer modeli üzerinde ve çeşitli yük etkileri altında matematiksel modelleme tekniklerini denemişlerdir [4]. Ural (2005), Trabzon’un Maçka ilçesi yakınlarında bulunan Coşandere (Kınalı) Köprüsünü SAP2000 programında modellemiş, statik olarak kendi ağırlığından dolayı oluşan gerilme ve şekil değiştirmeleri bularak ve modelin lineer elastik deprem davranışını incelenmiştir [2]. Zong vd. (2005), beton dolgulu çelik Beichuan köprüsünü ANYS sonlu elemanlar programında modelleyerek analitik modal ve dinamik deneysel analizler gerçekleştirilmişlerdir [9]. 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 köprünün sonlu elemanlar yöntemi ile üç boyutlu modal analizini yaparak doğal frekansları ve mod şekillerini belirlemişlerdir [3]. Ural vd. (2008), Türkiye’deki tarihi kemer köprülerin mimari ve mühendislik özellikleri üzerinde durmuşlardır [1]. Rafiee vd. (2008), tarihi yığma kemer yapıların dinamik ve mekanik davranışlarını belirlemek için bilgisayar modeli oluşturmuş ve üzerinde yapısal ve kırılma analizleri yapmışlardır [10]. Pelà vd. (2009), tarihi kemer köprülerin sismik davranışlarını incelemek için modellenen köprü üzerinde doğrusal olmayan statik analiz yapmışlardır [11]. Bayraktar vd. (2009), Malatya-Elazığ karayolu üzerinde bulunan Kömürhan Köprüsünün analitik ve deneysel olarak elde edilen dinamik karakteristiklerinin karşılaştırılması için, köprünün modelini SAP2000 programı ile modellemiş ve dinamik karakteristiklerini analitik olarak elde etmişlerdir [12]. Yıldız ve Koç (2010) çalışmalarında Mardin’deki tarihi sekiz köprüyü kısaca tanıtmış ve bunların köprü mimarisi içerisindeki yerini belirlemeye çalışmışlardır [13]. Sayın vd. (2011) çalışmalarında Malatya ilinin Darende ilçe merkezindeki tarihi Uzunok köprüsünün doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik analizlerini yapmışlardır. Köprüyü üç boyutlu sonlu elemanlarla modellemiş, doğrusal ve doğrusal olmayan çözümlerden elde edilen sonuçları birbirleri ile karşılaştırarak köprünün sismik davranışını incelemişlerdir [14].

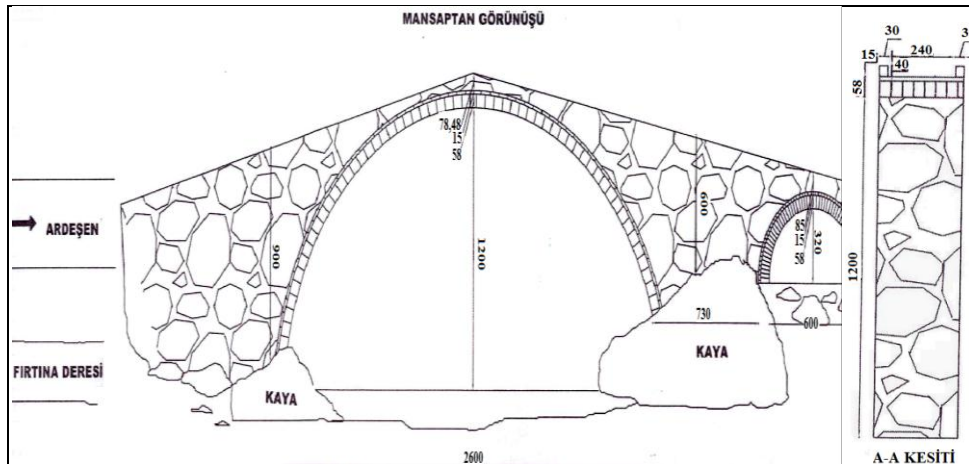
1. TİMİSVAT KÖPRÜSÜ (TİMİSVAT BRİDGE)

Rize'nin, deniz seviyesinden 2000m yüksekliğe ve 50km'lik bir mesafeye ulaşan topografyası, oldukça dik yamaçlar meydana getirmektedir. Bu durum akarsuların denize hızlı bir akışla dökülerek derin vadiler açmalarına neden olmuştur. Buna bağlı olarak dağlık arazide yaşayanlar sıkça karşılarına çıkan akarsu vadilerini geçip konutlarına, yaylalarına ve tarım alanlarına ulaşmak için köprüler inşa etmiştir. Bu bakımdan, Rize yöresinde taş kemer köprü mimarisi oldukça gelişmiştir. Yöre ikliminin etkisiyle bu köprüler çabuk yıpranmış ve sık sık onarım görmüşlerdir. Köprülerin tümü, akarsu yatağının her iki yanında karşılıklı birer ayak üzerine yükselen yuvarlak ya da hafif sivri kemerli bir yay formundadır. İlk çağlardan itibaren farklı zaman ve mekanlarda farklı toplumlar tarafından kullanılan bu formun, tercih edilmesindeki ana faktör kullanımından doğan işlevidir. Köprülerin kemer biçiminde yapılmasının temelinde yatan düşünce, köprü'nün sık sık sel suları ile taşan akarsuların altında kalmamasını sağlamaktır. Ormanlık bir bölge olmasına rağmen köprülerin, ahşap yerine taştan yapılmasının nedeni; taşın, ahşaba göre suya karşı daha sağlam ve dayanıklı bir malzeme olmasıdır [15].

Timisvat köprüsü Fırtına deresi üzerinde Osmanlı döneminde doğal taşlarla yapılan 10+000 km uzunluğunda bir köprüdür. Yalnızca yayalar tarafından kullanılan bu tarihi köprü 12.00 - 3.20 m uzunluğunda, 26.00 - 6.00 m açıklığında iki geniş kemere sahiptir. Timisvat köprüsünün görünümü Şekil 1'de, kesit özellikleri Şekil 2'de verilmektedir. Tablo 1'de de köprü'nün karakteristik özellikleri sunulmaktadır.



Şekil 1. Timisvat köprüsü (Timisvat bridge) [16]



Şekil 2. Timisvat köprüsünün en kesit özellikleri (Cross-sectional properties of Timisvat bridge) [17]

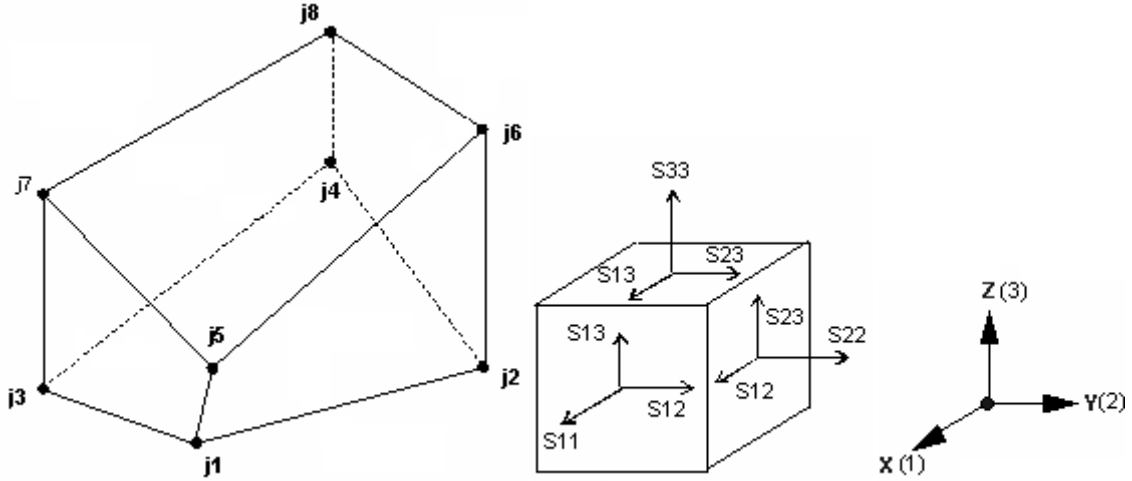
Tablo1. Timisvat köprüsünün karakteristik özellikleri (Characteristic properties of Timisvat bridge) [17]

TAŞ KEMER KÖPRÜ KARAKTERİSTİK ANALİZİ				
Kayıt No*:..... Proje No*:..... Dosya No*:..... Köprü Sıra No*:.....				
KÖPRÜNÜN	ADI / MAHALLİ ADI	OSMANLI (TİMİSVAT) TARİHİ KÖPRÜ	SU ADI	FIRTINA DERESİ
	CİNSİ/ ADI	Taş Kemer Köprü	DÖŞEME UZUNLUĞU / ENİ (m)	58,10 MT. 3.00 MT.
BULUNDUĞU YER	BÖLGE NO	10	DÖŞEMENİN CİNSİ	Doğal taş
	K. KESİM NO		KEMER CİNSİ / TIPI	ÇİFT MERKEZLİ GENİŞ KEMER
	K. KESİM UZUNLUĞU VE KÖPRÜ YERİ km Sİ	10±000	KEMER YÜKSEKLİĞİ (üzengiden) (m) / ADEDİ	12,00 MT.-3,20 MT.
	İL/ İLÇESİ/BELDESİ	RİZE-ARDEŞEN	KEMER AÇIKLIKLARI	26,00 MT.-6,00 MT.
	YOLU	AYR.-ÇAMLIHEMŞİN	HAFİFLETME / BOŞALTMA GÖZÜ	Yok
	PAFTA/ ADA/ PARSEL		KİTABE	Yok
	ÇEVRE DÜZENLEMESİ İHTİYACI	Yok	KORKULUK	Var (Moloz Taş)
TARİHSEL TANIM	YAPAN/ YAPTIRAN		KORNİŞ	Var
	YAPIM TARİHİ/ DÖNEMİ	19-20 YY GENÇ OSMANLI	ÇÖRTEN	Yok
	MİMARİ ÇAĞ (ÜSLUP)		BABA TAŞLARI	Var
			TAHRİP HAZNELERİ	Yok
		AYAK TEMEL YAPISI	Sağlam kaya üzerine oturtulmuş	
ONARIMLAR	ONARIMA İHTİYACI VARMI?	Var	DAHA ÖNCE YAPILAN ONARIMLAR VE TARİHİ*	
	ONARIMA İHTİYACI VARSA YERİ	DÖŞEME KORKULUK DERZLER		
MEVCUT DURUM	KULLANIM DURUMU	YAYA	İHALE BEDELİ VE TARİHİ*	
	SU SEVİYESİ (m)			
	DERE YATAĞININ DURUMU			
	YAKININDAKİ KUM-ÇAKIL OCAĞININ DURUMU	Yok		
YAKININDAKİ KÖPRÜ DURUMU	Yok			
KORUNMA DURUMU	TAŞIYICI YAPI	ORTA	NOT:	
	DIŞ YAPI	İYİ		
	ÜST YAPI	İYİ		
	İÇ YAPI	ORTA		

2. TİMİSVAT KÖPRÜSÜNÜN DEPREM DAVRANIŞININ DEĞERLENDİRİLMESİ (EVALUATION SEISMIC BEHAVIOR OF TIMISVAT BRIDGE)

Bu çalışmada, taş kemer köprülerin deprem davranışlarının belirlenmesi amacıyla, Rize-Ardeşen Çamlıhemşin yolu üzerindeki, 19-20. yy Osmanlı dönemi Timisvat tarihi köprüsü ele alınmıştır. Tarihi köprü, SAP2000 bilgisayar programı ile modellenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi ile hazırlanan modelde 4812 adet düğüm noktası ve 3012 adet 3-boyutlu (SOLID)

eleman kullanılmıştır. Solid eleman üç boyutlu yapıların modellenmesinde ve analizinde kullanılan sekiz düğüm noktasına sahip bir elemandır. Solid elemanda Analiz sonuçları S11 ve S22 olarak gösterilir. S11 X yönündeki gerilme olarak tanımlanırken S22 Y yönündeki gerilme olarak tanımlanır [18] Solid elemanda tanımlanan gerilmeler, eksenler ve solid eleman şekil 3'te gösterilmiştir.

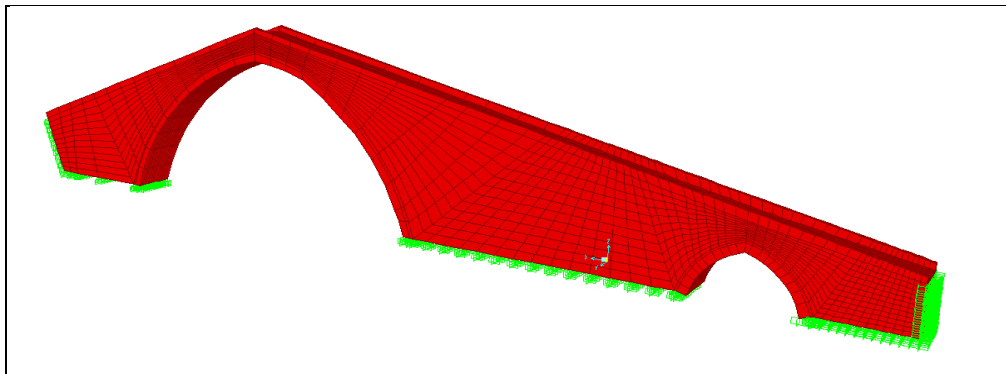


Şekil 3. SAP2000 de Solid (katı) eleman ve solid elemandaki gerilmeler (Solid elements and solid element stress in sap2000)

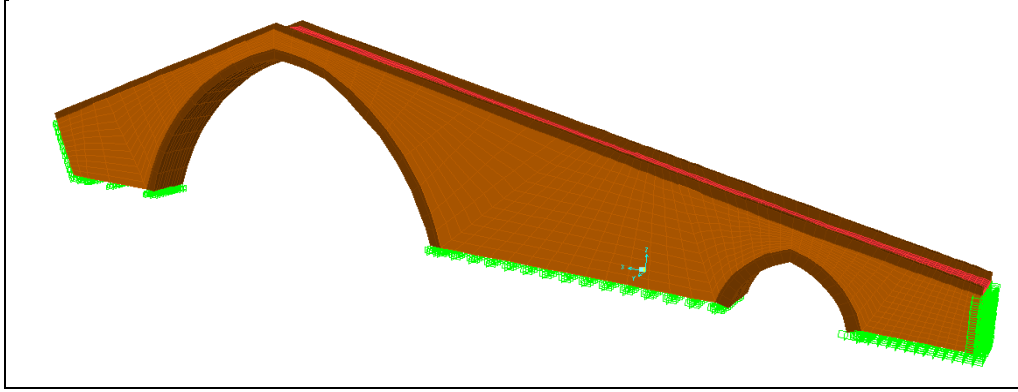
Timisvat köprüsü taşıyıcı kemer, yan duvarlar, dolgu malzemesi ve üst kısmında bulunan korkuluklardan oluşmaktadır. Köprü'nün kemer, yan duvar ve dolgu malzeme özellikleri Tablo 2' de verilmiştir Çalışmada, malzeme özelliklerini belirleme güçlüğü nedeniyle, kaynak taramasından elde edilen ve genelde kullanılan malzeme özellikleri kullanılarak malzeme tanımlanması yapılmıştır. Modellemede dolgu olarak kullanılan malzemenin, yapının yük taşıma mekanizmasına doğrudan katkısı olmamaktadır. Bu nedenle, malzeme atamasında dolgu malzemenin elastisite modülü Sap2000 programının kabul ettiği minimum sınırlar içerisinde atanmıştır. Şekil 4 ve 5'de yapısal model verilmiştir.

Tablo2. Taş kemer köprü modelinde kullanılan malzeme özellikleri (Material Properties of Stone arch bridge model) [3]

Malzeme	Elastisite Modülü (N/mm ²)	Poisson Oranı	Birim hacim ağırlık kg/m ²
Yan duvar	2500	0, 2	1400
Dolgu	1500	0, 05	1300
Taş kemer	3000	0, 2	1600



Şekil 4. Timisvat köprüsü Sap2000 modellemesi (Sap2000 modeling of Timisvat Bridge)



Şekil 5. Timisvat köprüsü Sap2000 modellemesi (Sap2000 modeling of Timisvat Bridge)

Model üzerinde Anza, Cape Mendocino, Coyote Lake, Loma Prieta, Lytle Creek, Northridge, Kobe, San Fernando, Whitter Narrows deprem ivme kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal dinamik analiz yapılmıştır. Dinamik analizde kullanılan bu depremlere ait veriler Tablo3’de verilmiştir.

Tablo 3. Analizlerde kullanılan depremlerin özellikleri(Eartquake properties used in analysis)

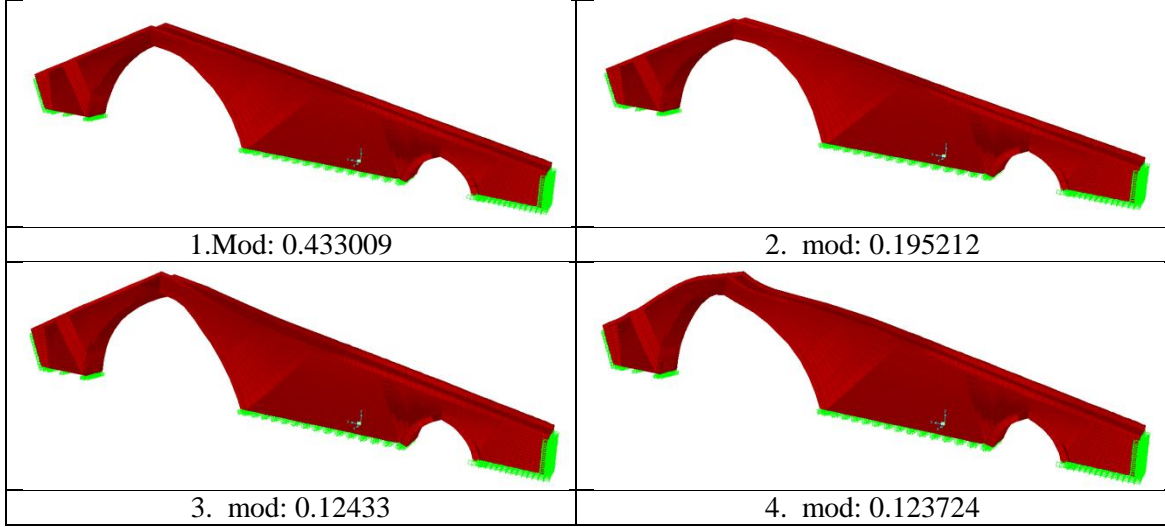
Deprem Adı	Tarih	Moment Büyüklük (Mw)	Yer Hızı (cm/s)	Yer ivmesi (g)	Odak Uzaklığı(km)	Tip	Sınıf
Anza	25/02/1980	4.9	3.3	0.065	12.1	Yanal Atımlı	A
Cape Mendocino	25/4/1992	7.1	63	0.754	8.5	Ters Eğik Atımlı	A
Coyote Lake	06/08/1979	5.7	8.3	0.132	9.3	Yanal Atımlı	A
Loma Prieta	18/10/1989	6.9	33.9	0.473	11.2	Ters Eğik Atımlı	A
Lytle Creek	12/09/1970	5.9	1.8	0.071	88.6	Ters Eğik Atımlı	A
Northridge	17/01/1994	6.7	52.1	0.5683	22.6	Ters Eğik Atımlı	B
Kobe	16/01/1995	6.9	79.3	0.8213	6.9	Yanal Atımlı	B
San Fernando	02/09/1971	6.6	15.6	0.324	24.9	Ters Eğik Atımlı	B
Whitter Narrows	10/01/1987	6.0	22	0.333	13.2	Ters Eğik Atımlı	B
Victoria, Mexica	09/06/1980	6.1	31.6	0.62	34.8	Yanal Atımlı	B

3. ANALİZ SONUÇLARI (ANALYSIS RESULTS)

Zaman tanım alanında yapılan analizler sonucunda ilk 12 mod dikkate alınmıştır. Ayrıca analizler sonucunda X ve Y yönü olmak üzere, modele uygulanan her bir deprem ivme kaydı için yer değiştirme, taban kesme ve gerilme değerleri bulunmuştur. Tablo 5’de ve Şekil 6’da analiz sonuçlarında elde edilen periyot değerleri ve mod şekilleri görülmektedir.

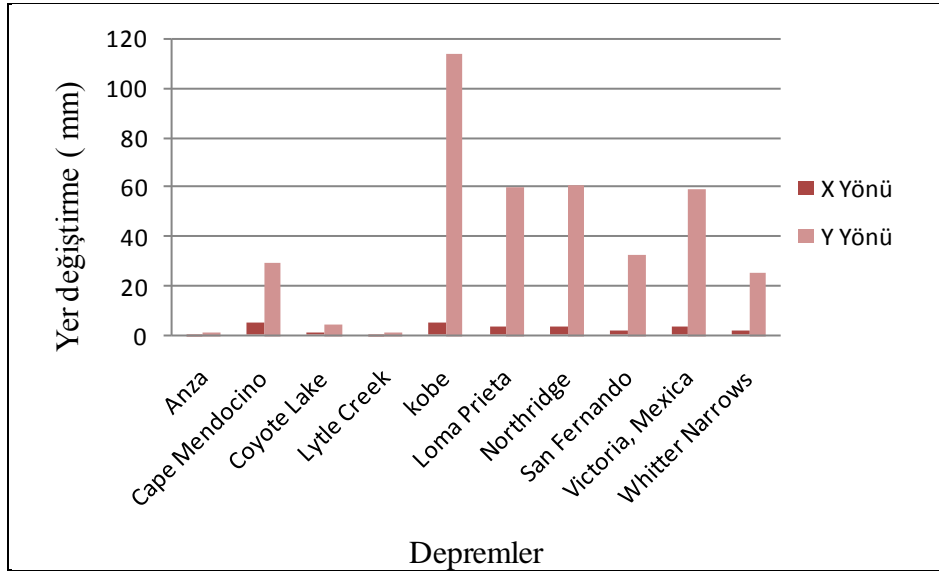
Tablo 5. Modal analiz sonucunda oluşan ilk 12 periyot (The first 12 periods result from modal analysis)

Mod	Periyot (sn)	Mod	Periyot (sn)
T1	0.433009	T7	0.076926
T2	0.195212	T8	0.076451
T3	0.12433	T9	0.070936
T4	0.123724	T10	0.065089
T5	0.101914	T11	0.056367
T6	0.09479	T12	0.053952

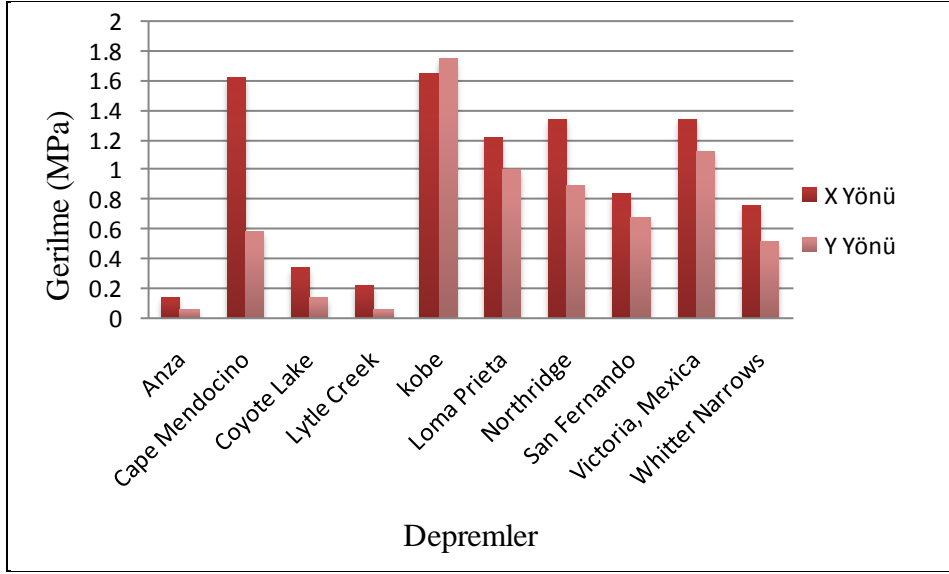


Şekil 6. Analiz sonuçlarından elde edilen mod şekilleri(Mode shapes result from modal analysis)

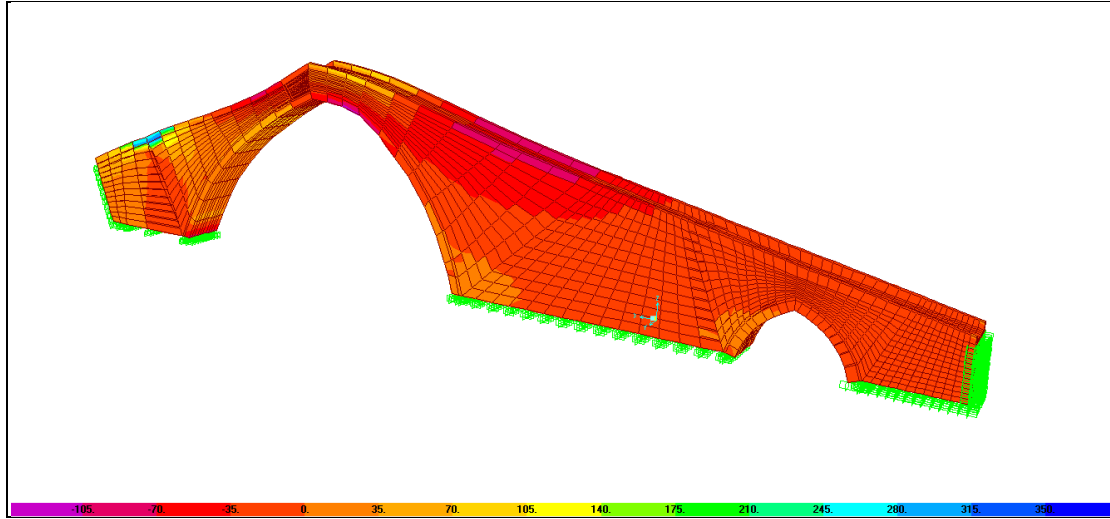
Deprem ivme kayıtlarından elde edilen yer değiştirme değerleri Şekil 7’de gerilme değerleri Şekil 8’de gösterilmiştir. Ayrıca analiz sonucunda x ve y yönü en yüksek gerilme değerini veren kobe depreminin gerilmesi Şekil 9 ve Şekil 10’da görülmektedir.



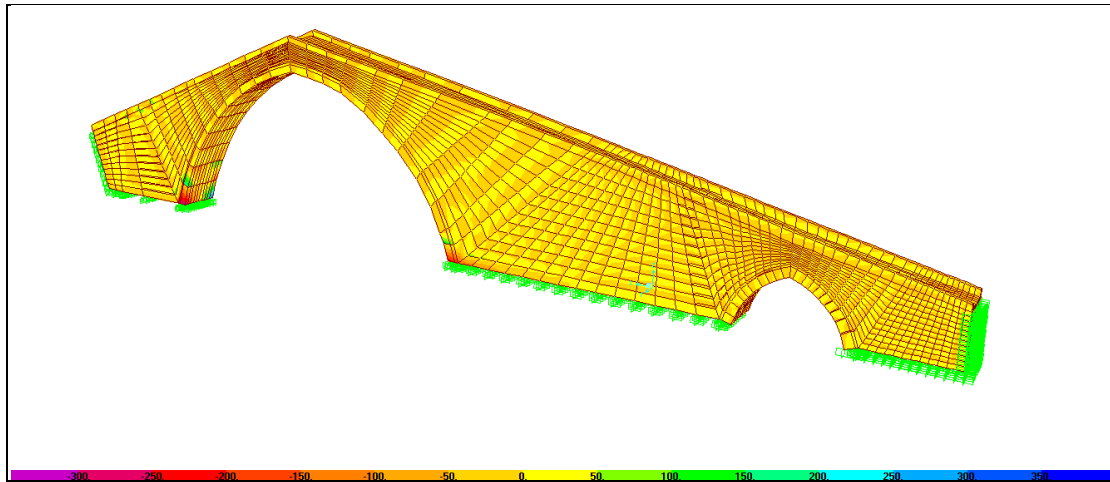
Şekil 7. deprem ivme kayıtlarından elde edilen yer değiştirme değerleri (Displacement values obtain from the earthquake acceleration records)



Şekil 8. Deprem ivme kayıtlarından elde edilen gerilme değerleri(Stress values obtain from the earthquake acceleration records)



Şekil 9. Kobe depremi x yönü gerilmesi (Kobe earthquake X direction stress)



Şekil 10. Kobe depremi y yönü gerilmesi (Kobe earthquake Y direction stress)

4. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Bu çalışmada, tarihi kemer köprülerin deprem davranışlarının incelenmesi kapsamında Rize ilinde bulunan tarihi Timisvat taş kemer köprüsü ele alınmış, SAP2000 programında solid eleman ile modellenmiştir. Üç boyutlu modele ölçeklendirilmiş 10 adet deprem ivme kaydı uygulanmıştır. Kobe depremi uygulanan depremler arasında yer hızı, yer ivmesi ve odak uzaklığı açısından en yüksek depremdir anza depremi ise büyüklük ve yer ivmesi açısından en küçük depremdir. Tarihi köprünün zaman tanım alanında doğrusal dinamik analizleri yapılarak her bir deprem ivme kaydına ait X ve Y yönü olmak üzere yer değiştirme ve gerilme değerleri elde edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, elde edilen yer değiştirme sonuçlarından y yönündeki yer değiştirmelerin, x yönüne göre daha büyük olduğu, gerilme değerlerinde ise X yönündeki gerilmelerin Y yönündeki gerilmelerden büyük olduğu görülmüştür. Yer Değiştirme sonuçları karşılaştırıldığında en büyük yer değiştirme Y yönünde 114.226087 mm olarak kobe depreminde ve en küçük yer değiştirme değeri ise X yönünde 0.361101 mm olarak anza depreminde meydana gelmiştir. Model üzerinde oluşan gerilme değerleri karşılaştırıldığında Farklı deprem ivme kayıtları ve Deprem etkisi altında yükler altında tarihi köprü 0.058 MPa ile 1.757 MPa arasında değişen basınç gerilmeleri etkisi altında kalmıştır ve en büyük gerilmeler büyük kemerde meydana gelmiştir. Gerilme değerlerinde de en yüksek sonuçlar kobe depreminde en düşük sonuçlar ise anza depreminde çıkmıştır.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1]. Ural, A., Oruç, S.,Doğangün, A. ve Tuluk, Ö.İ.,(2008). Turkish Historical Arch Bridges And Their Deteriorations and Failures, *Engineering Failure Analysis*, 15, ss:43–53.
- [2]. Ural, A.,(2005).Tarihi Kemer Köprülerin Sonlu Eleman Metoduyla Analizi, *Deprem Sempozyumu Kocaeli*.
- [3]. 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*,Istanbul, Turkey.
- [4]. Toker, S., ve Ünay A. İ.,(2004). Mathematical modeling and finite element analysis of masonry arch bridges, *G.U. Journal of Science*, 17(2), pp:129-139.
- [5]. Hatzigeorgiou, G.D. , Beskos, D.E., Teodorakopoulos, D.D. ve Sfakianakis, M.,(1999). Static And Dynamic Analysis Of The Arta Bridge By Finite Elements, *Architecture and Civil Engineering*, Vol. 2, No 1, pp:41 – 51.
- [6]. Boothby, T. E.,(2001). Analysis of masonry arches and vaults ,*Prog. Struct. Engng Mater*,3, 2 (DOI: 10.1002/pse.84).
- [7]. Fanning, P. J. ve Boothby, T. E.,(2001). Three Dimansional Modelling and Full-Scale Testing of Stone Arch Bridges, *Computers and Sutructures*, 79, pp:2645- 2662.
- [8]. Aoki, T., Komiyama, T. ve Sabia, ve D. Rivella, D.,(2004). Theoretical And Experimental Dynamic Analysis Of Rakanji Stone Arch Bridge, Honyabakei, Oita, Japan, *7th International Conference on Motion and Vibration Control*.
- [9]. Hong Zong,Z., Jaishi, B., Ping Ge, J. ve Xin Ren, W.,(2005). Dynamic analysis of a half-through concrete-filled steel tubular arch bridge, *Engineering Structures*, 27, pp:3–15.
- [10]. Rafiee, A., Vinches, M. ve Bohatier, C.,(2008). Application of the NSCD method to analyse the dynamic behaviour of stone arched structures, *International Journal of Solids and Structures*, 45, pp:6269–6283.
- [11]. Pelà, I., Aprile, A. ve Benedetti, A.,(2009). Seismic Assessment of Masonry Arch Bridges, *Engineering Structures*,31, pp:1777-1788.
- [12]. Bayraktar, A., Altunışık, A.C., Sevim, B. ve Türker, T., (2009). Kömürhan Köprüsünün Sonlu Eleman Model İyileştirilmesi, *İMO Teknik Dergi*,Yazı 307,ss:4675-4700.
- [13]. Yıldız, İ., ve Koç, E., (2010). Mardin'deki Tarihi Köprüler Üzerine Bir Değerlendirme, *Mukaddime*, Sayı 2.

- [14]. Sayın E., Karaton M. , Yön B., Calayır Y., (2011). Tarihi Uzunok Köprüsünün Yapı Zemin Etkileşimi Dikkate Alınarak Doğrusal Olmayan Dinamik Analizi, *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı 11-14 Ekim 2011 – ODTÜ – ANKARA*
- [15]. Kırlangıç, A. S., Re-Evaluation of Earthquake Performance And Strengthening Alternatives of Hagia Sophia, Master Thesis, Graduate (2008). Program in Earthquake Engineering, Boğaziçi University, 2008.
- [16]. <http://www.atlasmuhendislik.com/wbb3/thread.php?postid=3189>, [Erişim tarihi: 05.09.2011].
- [17].<http://www.bulmacabul.com/2010/03/rize-de-bir-kopru.html>, [Erişim tarihi: 05.09.2011].
- [18]. *Rize kültür ve turizm vakfı*, [Erişim: 02.07.2010].