

Tarihi Köprülerin Dokümantasyonu İçin Dijital Fotogrametri ile 3B Modellerinin Oluşturulması ve Dinamik Analizlerinin Yapılması (Tarihi Kurt Köprüsü Örneği) (Composing 3D Models with Digital Photogrammetry for Documentation of Historical Bridges and Making Dynamic Analyzes (Example of Historical Kurt Bridge))

Erdem Emin MARAŞ¹, Kemal HACİEFENDİOĞLU², Fahri BİRİNCİ², Gül USLU¹

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Samsun

²Ondokuz Mayıs Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Samsun

eamaras@omu.edu.tr

ÖZET

Yüzyıllar boyunca birçok medeniyetin gelişimine tanıklık eden Anadolu toprakları; toplumların haberleşme, askeri, ticaret gibi ulaşımaya dayalı gereksinimlerinin sağlanması amacıyla bir uçtan bir uca yol ağları ile örülmüştür. Bu süreç içinde, ulaşım sisteminin parçası olan köprüler de; ticari, iktisadi, askeri, sosyal ve kültürel konulara hizmet eden yararlı yapılar olarak, zamanla kültür tarihinin tamamlayıcı bir unsuru haline gelmişlerdir.

Tarihi eserler geçmişten günümüze gelene kadar, doğal ya da doğal olmayan birçok tahribata maruz kalmaktadır. Bu nedenle; kültürel mirasın korunması ve bir sonraki kuşakları, tarih hakkında bilgilendirmek amacı ile yapılan çalışmalar, tüm dünyada gün geçtikçe hızlanmakta ve önemi büyük ölçüde artmaktadır. Artan bu önem, kültürel miras üzerine yapılan bu çalışmaların daha kolay ve daha detaylı olması için teknolojiyi de teşvik etmekte, bu da kullanılan ölçme sistemlerinin gelişmesini sağlamaktadır.

Tarihi yapıların bakım ve onarımı, korunması için altlık olacak verilerin (röleve ve üç boyutlu model) hazırlanmasında fotogrametrik yöntemler uzun yıllardır kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında; Anadolu'daki köprü mimarlığının önemli örneklerinden biri olan Samsun ili, Vezirköprü ilçesinde, İstavloz Çayı üzerinde bulunan Tarihi Kurt Köprüsü'nün üç boyutlu modellenmesi yapılarak dokümantasyonu gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: 3B Modelleme, Yersel Fotogrametri, Tarihi Köprüler

ABSTRACT

Anatolia, which witnessed the evolution of very different civilizations for centuries, has been bonded by routes from end to end in order to supply the transportation requirements of societies, such as for communication, military and trade. Also in this period, bridges—which are a part of the transportation system, serving as useful structures for commercial, financial, militaristic, social and cultural issues—have become an integral part of cultural history over time.

Historical artifacts, surviving from the past until today, expose a great deal of destruction, both natural and unnatural. For this reason, studies which are carried out to inform the next generation and protect the cultural heritage are accelerating day by day all

over the world, and their importance is growing rapidly. This increasing importance has stimulated the technology to make these studies of cultural heritage easier and more detailed. This also provides opportunities for the development of current measurement systems.

Photogrammetric methods have being used for many years to produce base map data (measured drawings and three-dimensional models) for the maintenance, repair and conservation of historic buildings. In this study, the historical Kurt Bridge, constructed on İstavloz Stream in the Vezirköprü district in Samsun and one of the most important examples of bridge architecture, has been documented through the creation of a 3D model.

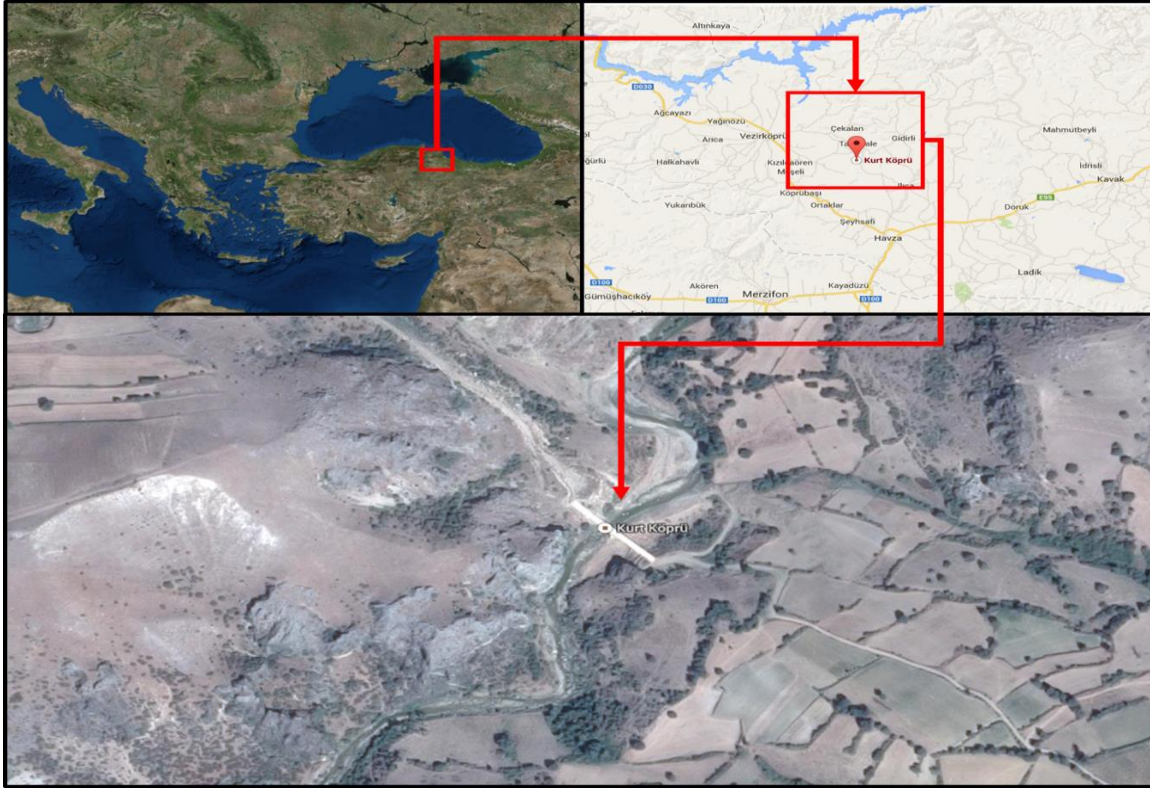
Keywords: 3D Modelling, Terrestrial Photogrammetry, Historical Bridges

1. GİRİŞ

Anadolu yüzyıllardır birçok medeniyete ev sahipliği yaptığından tarihi ve kültürel önemi yüksek çok sayıda mimari yapıya sahiptir. Antik çağlardan başlayarak Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinden günümüze kadar birçok eser varlığını korumuştur (UNESCO,1972). Fakat bu eserler deprem, sel, erozyon, yangın gibi doğa olayları, beşeri faaliyetler ile tamamen ya da kısmen yok olmuş veya yok olma tehlikesiyle karşı karşıya kalmıştır. 1972 yılındaki Paris Konferansında mimari ve kültürel mirasın korunması ve gelecek kuşaklara aktarılması tüm katılımcı devletlerin güvencesi altına alınmıştır (Durduran,2003).

Tarihi eserlerin gelecek kuşaklara hasara uğramadan aktarılması için ilk olarak dokümantasyonunun yapılması gereklidir. Kültürel varlıkların mevcut halleriyle veya günümüzdeki durumlarından elde edilecek verilerle üretilen özgün halleriyle dokümantasyonunu yapmak; oluşmuş ve oluşacak hasarları görmede oldukça önemlidir (Durduran,2003).

Çalışma kapsamındaki Tarihi Kurt Köprüsü; Roma ve Doğu Roma Döneminde Sinop, Samsun, Amasya gibi önemli merkezlerin ortasında yer almaktadır.



Şekil.1 Çalışma bölgesi



Şekil.2 Tarihi Kurt Köprüsünün onarımdan önce ve sonra görünümü

Tarihi Kurt Köprüsü; Samsun ili Vezirköprü ilçesinde, Kızılırmak Nehri üzerindeki Altınkaya Baraj Gölüne dökülen İstavroz Çayı üzerinde bulunmakta ve Havza İlçesi Kayabaşı Köyü ile Vezirköprü ilçesi Tekekıranı Köylerini birbirine bağlamaktadır. 1. Derece deprem kuşağı üzerinde bulunan Tarihi Kurt Köprüsü; 41°06' Kuzey enlemi ile 35° 36' Doğu boylamı üzerinde bulunmakta olup, Havza ilçesine 18 km, Vezirköprü'ye ise 15 km uzaklıktadır. (Şekil.1)

Köprü, 95 m uzunluğunda, 4,8 m genişliğindedir. İki büyük, üç adet de küçük kemerden oluşan köprü yakın zamanda bir onarım geçirmiştir. Onarımı esnasında; ana kemer, boşaltma gözleri ve yüzeylerinde meydana gelmiş doku kayıpları giderilmiş, selyaranlar özgün boyutlarına uygun olarak

yeniden yapılmış, birkaç günümüze sağlam olarak gelmiş olan korniş taşları özgün boyutlarda tamamlanmıştır. Tamamen yok olan döşeme ve korkuluklar yeniden yapılmıştır. (Şekil.2)

Kitabesi bulunmayan Tarihi Kurt Köprüsü ile ilgili yapılan kaynak araştırmalarında, köprüye ilişkin yazılı/görsel bir bilgi/belgeye rastlanmamıştır. Ancak; köprünün mimari özelliklerinin, köprüye yüklenen işlevlerin iyi incelenmesi ve köprünün bulunduğu tarihi yol güzergâhı ile bu güzergâh üzerindeki tesislerin ayrıntılı incelenmesi sonucunda köprünün, Doğu Romalılar döneminde yapıldığı, Selçuklular döneminde onarımlar geçirdiği ve şimdiki yapısıyla günümüze ulaştığı söylenebilir (Halifeoğlu, 2013).

2. PROBLEMİN TANIMI ve ÇALIŞMANIN AMACI

Fotogrametri, özellikle son yıllarda geliştirilen sayısal değerlendirme sistemleri yardımıyla nesnelerin görüntülerden üç boyutlu (3B) modelinin elde edilmesinde kullanılmaktadır. Bu yöntemin en önemli avantajı nesnelerin, görüntüleme tekniklerine göre daha gerçeğe yakın bir gösterim elde etmesidir. Elde edilen bu modeller tarihi miras, toprak yönetimi ve tıp uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Kültürel mirasın belgelendirilmesi konusunda da, 3B modeller, görselleştirme için çok önemli araç olmaktadır (El-Hakim, 2001).

Yersel fotogrametri yöntemi, otomatik yöneltme ve ölçme işlemleri, 3B vektör veri, sayısal ortofoto, sayısal yüzey ve arazi modellerinin üretimi gibi birçok imkân sunmaktadır. Elde edilen sonuç ürünlerinin sayısal olması, bu ürünlerin dokümantasyon ve fotogrametrik röleve dışında 3B modelleme, 3B verinin görselleştirilmesi, yönetilmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında sunulması gibi farklı uygulama alanlarında da kullanılmasına olanak sağlamaktadır (Wolf ve Dewitt, 2000).

Kültürel mirasın değerinin ve değişiminin anlaşılması için gerekli bilginin elde edilmesi, tarihi eserlerin korunması açısından önem arz etmektedir. Kültürel mirasın bakım ve korunmasında, kültürel mirasın fiziksel durumunun, yapısının ve onun tarihi ve kültürel önemini garanti altına almak için çıkarılacak kayıtların;

- Güvenli bir arşivde korunması,
- İlgili mesleki kuruluşlarının ve halkın kolayca ulaşabileceği şekilde olması,
- Kolayca elde edilebilmesi,
- Standart bir formatta oluşturulması ve uygun güncel bilgi teknolojilerinin kullanılması, kültürel mirasın korunması açısından en önemli konulardır (Durduran, 2003).

Fotogrametrik yöntem, bilinen ölçme yöntemlerine göre çok fazla miktarda veri elde edilebilir. Diğer ölçme yöntemleriyle neredeyse yapılması olanaksız olan şekil ve motifler fotogrametrik yöntemle kolaylıkla yapılabilir (Avşar, 2006). Tarihi yapılar, insanlığın çeşitli yaşam süreçlerinde değişik amaçlarla inşa ettiği ve bugün tarihi dokular barındırması sebebiyle korunması gereken yapılardır. Özellikle

dinamik yükler gibi tekrarlı yüklemeler altında tamamen yıkılabilen veya kısmen hasar gören bu yapıların davranışlarını tespit etmek oldukça önemlidir (Mele v.d., 2003).

Günümüze kadar ulaşabilen bu yapıları daha ileriki kuşaklara sunabilmek adına dış etkilere karşı korumak için doğru analizler yapılması gerekmektedir. Özellikle herhangi bir nedenle hasar görmüş bu yapıların onarım ve güçlendirmeleri gerekmektedir. Bunun için hasar nedenlerinin doğru olarak tespit edilmesi gerekmektedir (Betti ve Vignolli, 2011). Ayrıca çatlak etütleri yapıp haritalanmalı ve bilgisayar modellenmesi yapılarak çatlak nedeni olan çekme gerilmelerinin büyüklükleri olabildiğince sağlıklı bir şekilde hesaplanmalı buna bağlı olarak onarım, güçlendirme projesi hazırlanmalıdır (Ural v.d., 2008).

Fotogrametrik olarak 3B modelleme yöntemi, tarihi köprülerin dayanıklılığının tespit edilmesi, onarımı ve güçlendirme projelerinin yapılabilmesi için son dönemlerde inşaat mühendisliği alanında önem kazanan ve ayrıca birçok araştırma yapılan bir konu olarak ortaya çıkmıştır (Sevim v.d., 2011; Brencich ve Sabia, 2008). Özellikle kısmi hasarlı olan tarihi köprülerin tekrarlı yüklemeler altındaki davranışlarının tespit edilmesi ve yapının ömrünün ne kadar olduğunun tespit edilebilmesi için ya da oluşan yüklemeye karşısında yıkılıp yıkılmayacağının tahmini için çok önemli olmaktadır (Senthivel ve Lourenço, 2009; Ozkula ve Kuribayashi, 2007). Diğer taraftan kısmi hasarlı bir köprünün güçlendirme projelerinin hazırlanarak yapının statik ve dinamik davranışları irdelenebilir (Magalhães ve Cunha, 2011).

Tarihi yapıların dış yüklere karşı korunması için çeşitli mühendislik yaklaşımları kullanılmaktadır (Hacıefendioğlu, 2010; Lucchesi ve Pintucchi, 2007). Bu mühendislik yaklaşımlarının temel amacı yapının dış etkilere, özellikle deprem etkilerine karşı ne kadar dayanıklı olduğudur. Bu dayanıklılık durumunu tahmin edebilmek için öncelikle, yapının çok iyi bir şekilde hazırlanmış analiz modeliyle deprem analizi yapılması gerekmektedir. Bu analiz sonucunda yapının duyarlılığı belirlenmiş olacaktır (Verstryngiev.d., 2011; Ramos v.d., 2010). Duyarlılığı belirlenen yapının dayanımı ve taşıyıcı elemanlarının özellikle depreme karşı yük taşıma kapasitesi hesaplanabilmektedir.

Ülkemiz coğrafi konumu ve zengin tarihsel geçmişi nedeniyle birçok tarihi eseri içinde barındırmaktadır. Ayrıca topraklarının %95'i

deprem bölgesinde bulunan ülkemizde depremin tarihi köprülere verebileceği zarar, hasar görmüş ve tamamen yıkılmış birçok tarihi yapının kalıntılarından anlaşılmaktadır.

Yapıların deprem süresince, göstereceği dinamik davranışlar sistem için beklenmeyen etkilere sebep olabilmektedir (Pelàv.d., 2009; Branco ve Guerreiro, 2011; Betti ve Vignoli, 2008). Bu nedenle, yapıların hizmet kalitesi/hizmet ömrü düşmekte ve aynı zamanda malzeme üzerinde oluşacak olan kusurlar ya da çatlaklar önemli hasarlara sebep olabilmektedir. Hasarların ilerlediği durumda ise yapılacak onarım ve güçlendirme mümkün ise çok masraflı olabilmektedir. Bu tip bölgelerde bulunan tarihi köprüler üzerinde yapılacak olan düzenli kontroller bu olumsuzlukları ortadan kaldıracaktır (Rafiev.d., 2008). Böylece önemli ölçüde maddi kazanım sağlandığı gibi, kültürel mirasımızı tehdit eden unsurlar da ortadan kaldırılmış olacaktır.

Bu çalışmada örnek olarak bir tarihi köprünün dokümantasyonunun hazırlanması, bir kısmı tahrip olmuş yapısının, tahrip olan kısımlarına ait bilgilerin fotogrametrik tekniklerle elde edilmesi ve bu bilgiler kullanılarak oluşturulan modellerin sayısal modellere dönüştürülerek çevresel etkilere karşı dayanıklılıkları, davranışlarının incelenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca Tarihi yapıların 3B model olarak oluşturulmasının yanı sıra, bu yapıların beklenmedik yüklemelere maruz kalacağı kuvvetler araştırılacaktır. Böylelikle tarihi yapıların dokümantasyonunun önemli bir unsuru olan disiplinler arası çalışma gerçekleştirilmiş olacaktır.

3. UYGULAMA

Fotogrametrik yöntemler ile tarihi Kurt Köprüsünün tamamının 3B modelini oluşturulmuştur. Diğer taraftan yan yüzeylerde resimler düşeye çevrilerek 2 boyutlu ölçümler yapılmıştır. Fotogrametrik yöntemlerle elde edilen 3B modeller üzerinden köprünün plan, kesit ve görünüşleri hazırlanmıştır. Elde edilen bu veriler yardımı ve sonlu elemanlar modeli ile yapının deprem analizi yapılmış ve köprü üzerindeki etkileri gösterilmiştir.

a. Köprü Boyutlarının Belirlenmesi

Çalışma başlangıcında, Köprü etrafında 4 adet noktadan oluşan kapalı poligon ağı oluşturulmuştur. Poligon noktalarının koordinatları TOPCON GR5 GPS aleti ile

ölçülmüştür. Ölçülen poligon noktalarının koordinatları Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Poligon Noktalarının Koordinatları

Nokta No	Y (m)	X (m)	Z (m)
P1	467292,08	4552139,01	423,24
P2	467244,36	4552102,26	423,84
P3	467227,96	4552104,00	422,72
P4	467267,38	4552166,30	421,83

Köprünün her iki yüzeyinde toplamda 50 kontrol noktası tesis edilmiş ve nokta ölçümleri yapılmıştır (Şekil.3). Noktalar için yatay doğrultu, düşey açı ve kenar okumaları PENTAX V-227N aleti ile ölçülmüştür.



Şekil.3 Kontrol noktalarının tesisi ve ölçümü

Köprünün her iki yüzeyinin resimlerini çekmek için Pictran D yazılımına uygun olan Nikon D5100 dijital kamera ve 18-55VR Lens seçilmiştir. Kameranin çözünürlüğü 16.2MP'dir. Çekilen resimler 4928*3264 piksel boyutundadır. Kamerada kullanılan lens 18-55 mm odak uzaklığı aralığını kapsar (35 mm eşdeğeri: 27-82,5 mm). Özellikle Nikon DX biçimli D-SLR sensörleri ile birlikte kullanılmak için tasarlanan bu objektif, keskin fotoğraflar ve videolar üretir. Asferik objektif elemanı, yüksek çözünürlük ve kontrast sağlarken aynı zamanda küresel sapmayı ve diğer dağılma türlerini en aza indirger (URL-1).

Köprünün her iki yüzünün resimleri mümkün olduğunca yüzeye paralel ve bindirmeli olarak yaklaşık 10, 20 ve 30 m mesafeden çekilmiştir. Kullanılan kameranin kalibrasyonu sonucunda x_0 : -0,016014mm, y_0 : -0,812574mm ve c (kameranin odak uzaklığı): 51,935285mm olarak bulunmuştur.

Arazide çekilen fotoğrafların fotogrametrik değerlendirmelerini yapmak için Pictran-D programı kullanılmıştır. Böylelikle köprünün ön ve arka cephesinin ortofoto görüntüleri oluşturulmuştur (Şekil.4 ve Şekil.5)

Köprünün ön cephesi için kontrol noktalarının karesel ortalama hatası $\pm 0,0289$ m'dir. Köprünün arka cephesi için kontrol noktalarının karesel $\pm 0,0246$ m'dir.

Ardından ön ve arka cephe için yapılan sayısallaştırma ile köprünün vektör verileri elde

edilmiştir. Ön ve arka cepheye ait bu vektör veriler kullanılarak köprünün 3B modellemesi gerçekleştirilmiştir. Şekil.6 (a), (b), (c)'de köprünün farklı cephelerinin örnekleri verilmektedir.

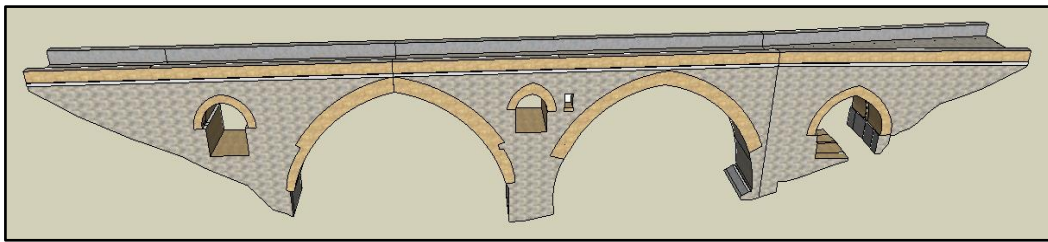
Köprünün 3B modelinden faydalanarak nokta bulutu çıkarılmıştır (Şekil.7). Gerçekleştirilen tüm çalışmaların ardından köprünün rölevesi oluşturularak dokümantasyon tamamlanmıştır.



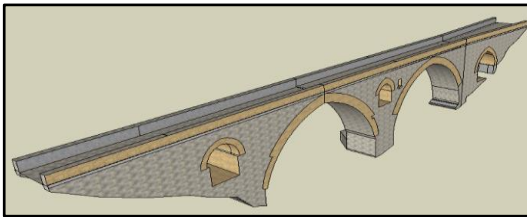
Şekil.4 Köprünün ön cephe ortofoto görüntüsü



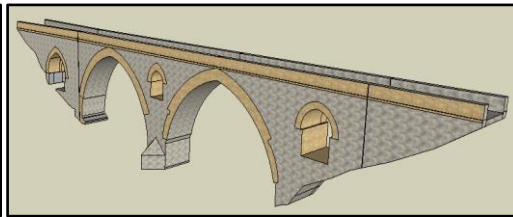
Şekil.5 Köprünün arka cephe ortofoto görüntüsü



(a)



(b)



(c)

Şekil.6 Köprünün 3B gösteriminin farklı açılardan görünümü (a,b,c)



Şekil.7 Oluşturulan nokta bulutu

b. Deprem Analizi

Tarihi yapılar, bulundukları deprem bölgesine ve zemin durumuna bağlı olarak, düşey yükleri iyi bir şekilde karşılasalar da, yatay deprem yüklerinde hasara uğrayabilmektedirler. Bu yapılar belirli hasarlara uğrasalar da, yüzlerce binlerce sene ayakta kaldıklarından ve gelecekte de en az bir o kadar süre daha ayakta kalabilmeleri istendiğinden, bu uzun süreler boyunca mutlaka birden çok sayıda depreme maruz kalmaları söz konusu olmaktadır. Tarihi Kurt Köprüsünün Dijital Fotogrametrik yöntem ile hazırlanan 3B dinamik analizinin yapılması için ANSYS sonlu elemanlar paket programına atanmıştır.

Analizde deprem verileri olarak 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depreminin x, y ve z doğrultusunda zaman bağlı ivme kayıtları, 0.05 viskoz sönüm oranına göre x, y ve z doğrultusunda frekans-ivme kayıtlarına (Spektrum) dönüştürülüp kullanılmıştır (Tablo 2). Tablo 2'e göre depremin en büyük frekansı y doğrultusunda, en büyük ivmesi ise z doğrultusundadır.

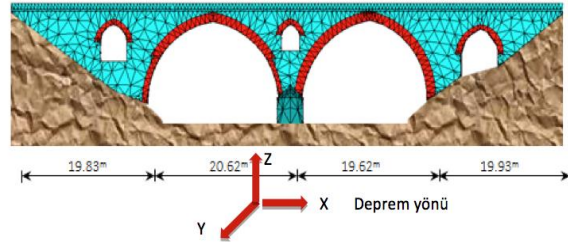
Tablo 2. Depremin x, y ve z doğrultusundaki frekans- ivme kayıtları (Max. ve Min. değerler kırmızı ile belirtilmiştir).

	X		Y		Z	
	Frekans	İvme (m/sn ²)	Frekans	İvme (m/sn ²)	Frekans	İvme (m/sn ²)
1	0.300	0.073	0.250	0.022	0.290	0.099
2	0.890	0.285	0.810	0.075	0.630	0.333
3	1.610	0.392	1.110	0.166	0.750	0.497
4	1.140	0.575	1.320	0.126	0.960	0.614
5	1.720	0.474	1.790	0.099	1.060	0.718
6	1.520	0.358	2.080	0.079	1.110	0.847
7	1.790	0.550	2.500	0.118	1.250	0.508
8	2.380	0.709	3.850	0.329	1.430	0.428
9	2.940	0.617	3.330	0.267	1.850	0.446
10	3.130	0.580	4.550	0.164	2.080	0.649
11	3.850	0.682	5.560	0.294	2.380	0.517
12	4.550	0.453	6.250	0.266	2.630	0.667
13	5.560	0.357	5.560	0.294	3.130	0.540
14	6.250	0.370	7.140	0.178	3.850	0.370
15	7.140	0.304	8.330	0.194	4.170	0.425
16	8.330	0.288	10.000	0.153	5.560	0.294
17	10.000	0.298	12.500	0.178	7.140	0.267
18	12.500	0.256	16.670	0.155	8.330	0.233
19	16.670	0.258	25.000	0.096	12.500	0.191

Olası deprem senaryoları için aynı yapıya ait bir çok analiz yapmakta ve kritik bölgelerin daha kesin olarak belirlenmesine çalışılmakta fayda vardır. Bununla birlikte bu çalışmada da görüleceği üzere, literatürdeki belli başlı deprem ivmeleri ile analizleri gerçekleştirmek, oluşabilecek her tür deprem altında bu yapıdaki kritik bölgeleri belirlemede yeterli olabilecektir.

c. Köprüye ait Sonlu Elemanlar Modeli

Kurt Köprüsüne ait veriler kullanılarak oluşturulan sonlu elemanlar modeli Şekil 8 de verilmektedir.

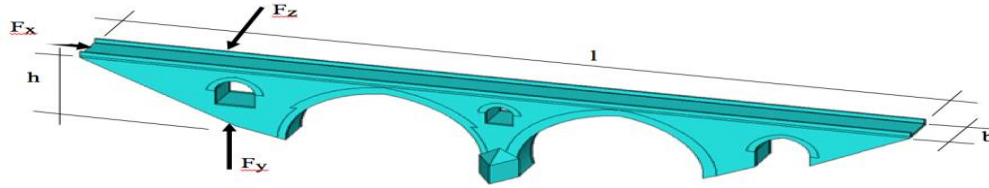


Şekil 8. Köprü sonlu elemanlar modeli

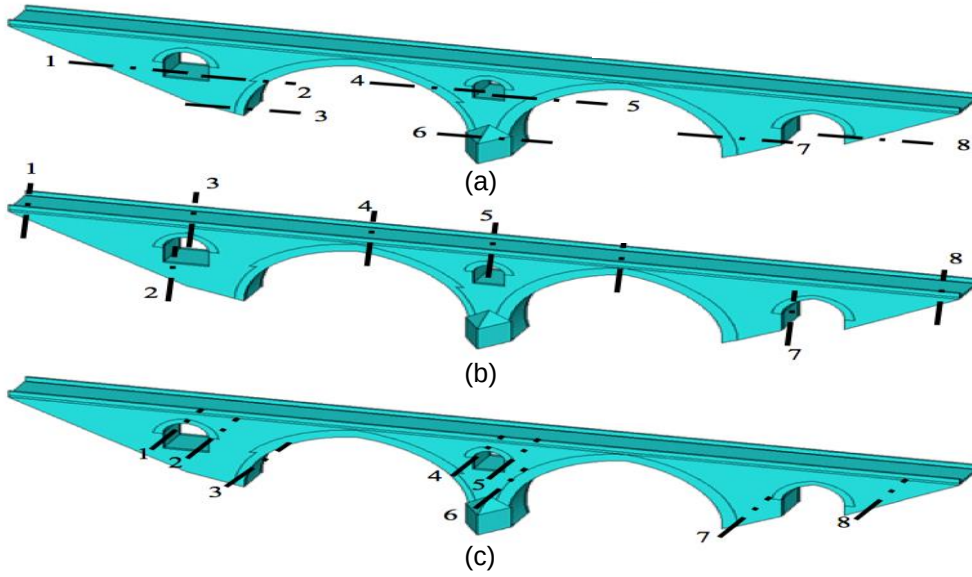
ANSYS programıyla analiz sonuçlarına göre ise, Tablo 3'den görüleceği üzere, Max. VonMises Gerilmeleri ve Max. Deplasmanlar, beklenildiği üzere, depremin 3 doğrultuda birden etkimesi durumunda gerçekleşmiştir. En büyük 2. Değerler ise, yine beklenileceği üzere, depremin z doğrultusunda etkimesi durumunda ortaya çıkmıştır. Zira Şekil 9'dan görüleceği üzere, sistemin diğer doğrultulara göre z doğrultusundaki narinliği aşırı derecede büyüktür. Örneğin tabliye düzleminde x doğrultusunda eğilme rijitliği $bl^3/12$ ile çok yüksek iken, z doğrultusunda $lb^3/12$ ile çok düşüktür. y doğrultusunda ise $bh^3/12$ ile diğer doğrultulara göre orta büyüklükte bir rijitliğe sahiptir. Elbette her doğrultuda farklı düzlemlerde değişen rijitlikler söz konusudur. İlk bakışta Şekil 10'da gösterilen düzlemler düşük rijitlik ve yüksek narinlik açısından daha kritik olarak görülmektedir. Analiz sonuçları ile daha hassas şekilde kritik bölgeler elde edilebilecektir.

Tablo 3. Deprem etki yönüne göre VonMises Gerilmeleri ile x, y ve z Deplasmanları

	Deprem Etki Yönü			
	Y	X	Z	XYZ
VM Ger. (N/m ²)	15964	2641	55573	277501
X Dep. (m)	$0.563 \cdot 10^{-4}$	$0.35 \cdot 10^{-5}$	$0.461 \cdot 10^{-4}$	$0.231 \cdot 10^{-3}$
Y Dep. (m)	$0.351 \cdot 10^{-4}$	$0.286 \cdot 10^{-5}$	$0.101 \cdot 10^{-3}$	$0.502 \cdot 10^{-3}$
Z Dep. (m)	$0.872 \cdot 10^{-5}$	$0.125 \cdot 10^{-4}$	$0.479 \cdot 10^{-3}$	0.002392



Şekil 9. Yatay yük yönleri ve 3 yöndeki genel ölçüler



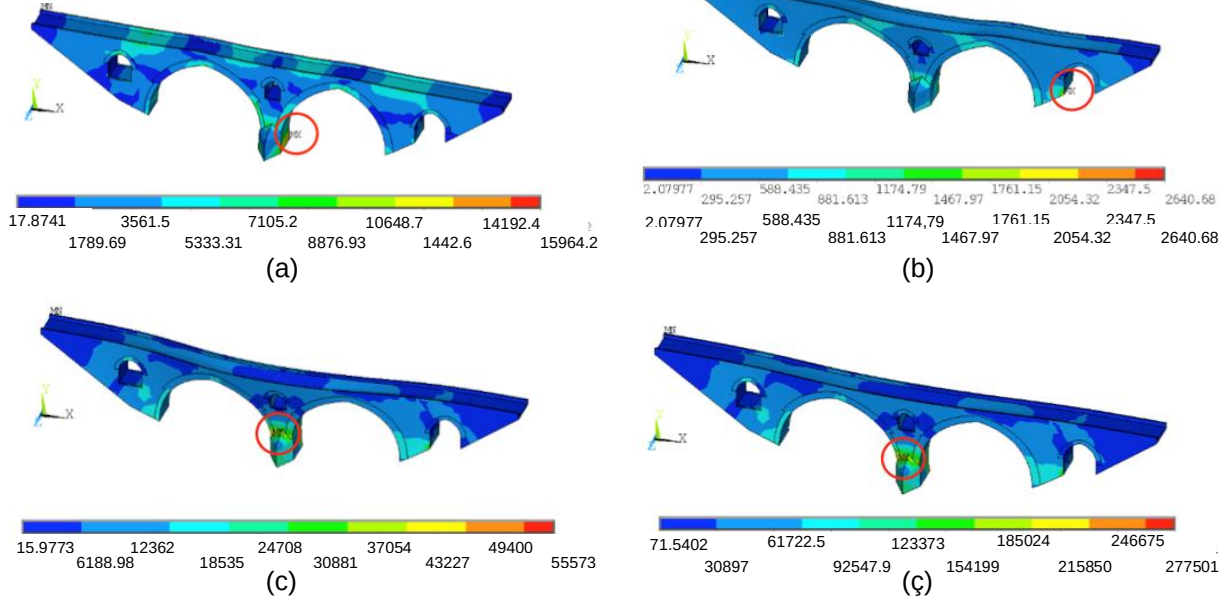
Şekil 10. (a) x doğrultusunda (b) y doğrultusunda (c) z doğrultusunda kritik düzlemler

VonMises gerilmelerinin max. olduğu bölgeler şu şekilde açıklanabilir: Şekil 11(a)'dan görüleceği üzere, depremin x doğrultusunda etkimesi durumunda bu doğrultuda en kritik bölge olan orta ayak altında maksimum gerilme yığılmaları oluşmuştur. Şekil 10(a)'da diğer kritik düzlemler de gösterilmiştir. Ancak tüm düzlemler arasında en kritiği, 6 ile gösterilen düzlemdir. Zira sistemin x yönünde ötelenmesi halinde orta mesnet sistemi tutmada en çok zorlanacak mesnet olup bu doğrultuda en kalınlığı en yüksek bölge de burasıdır. Ayrıca bu bölgede orta ayak destek çıkıntısı nedeniyle bir kütle yığılması da

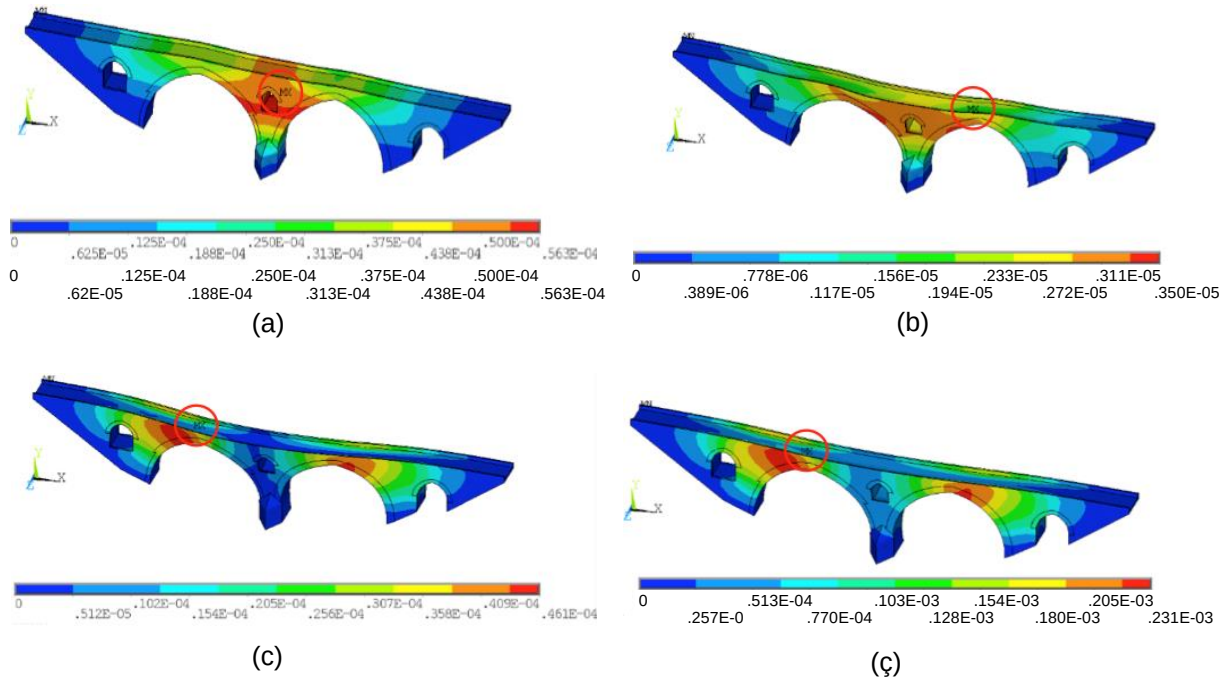
vardır. Bununla birlikte orta ayak destek çıkıntısı orta ayak ön alt bölgesini tutarak destek verdiğinden burada gerilmeler nispeten düşmüştür. Ancak dikkat edilirse orta ayak alt bölgesi arka bölümünde gerilmeler max. değerlere ulaşmıştır. Bunun da nedeni ön bölgede olan tutma etkisinin arka bölgede bulunmamasıdır. Benzer şekilde depremin z doğrultusunda etkimesi durumunda bu doğrultuda en kritik bölge olan orta ayak ortasında maksimum gerilme yığılmaları oluşmuştur. Bu bölge ve diğer kritik düzlemler Şekil 10(c)'de gösterilmiştir. Ancak, sistemin z

yönünde ötelenmesi halinde, yine orta mesnet sistemi tutmada en çok zorlanacak mesnettir. Ayrıca sistemde z doğrultusundaki en büyük rijitlik orta ayak destek çıkıntısı nedeniyle orta ayak alt bölgelerindedir. Ancak destek çıkıntısının bittiği yerde z doğrultusunda ani rijitlik düşüşü gerçekleşmiş ve max. gerilme yığılmaları burada oluşmuştur. Depremın y doğrultusundan etkimesi durumunda ise, yine bu doğrultuda düşük rijitliğe sahip bir bölgede max. gerilme yığılmaları oluşmuştur. Şekil 10(b)'den görüleceği

üzere, sistemde y doğrultusunda daha düşük rijitliğe sahip başka düzlemler de vardır ancak, bu düzlemlere oranla, düşey yük değerleri de birikerek söz konusu bölgede max.'a ulaştığından kritik gerilmeler burada oluşmuştur. Depremın x-y-z doğrultusunda birlikte etkimesi durumunda ise, yine ani rijitlik değişiminin olduğu orta ayak orta ön bölgesinde max. gerilme değerleri görülmüştür.



Şekil 11. VonMises Gerilme Dağılımları (a) x, (b) y, (c) z, (d) xyz yönü deprem etkimesi durumları (Max. değer alan bölgeler daire içine alınmıştır)

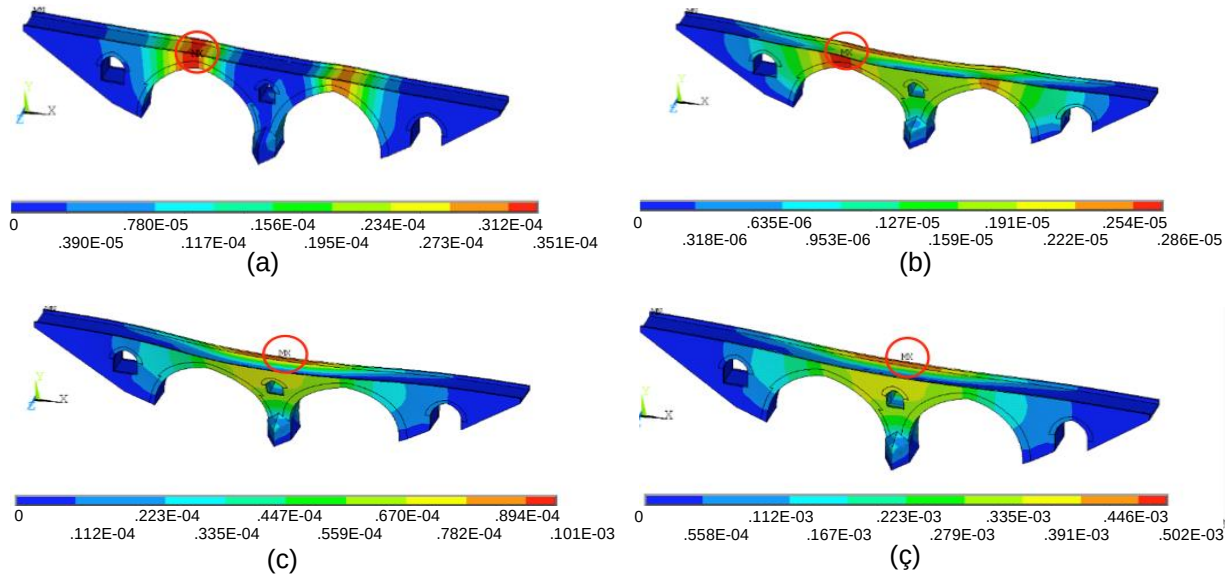


Şekil 12. x deplasmanı dağılımları (a) x (b) y (c) z (d) xyz yönü deprem etkimesi durumları (Max. değer alan bölgeler daire içine alınmıştır)

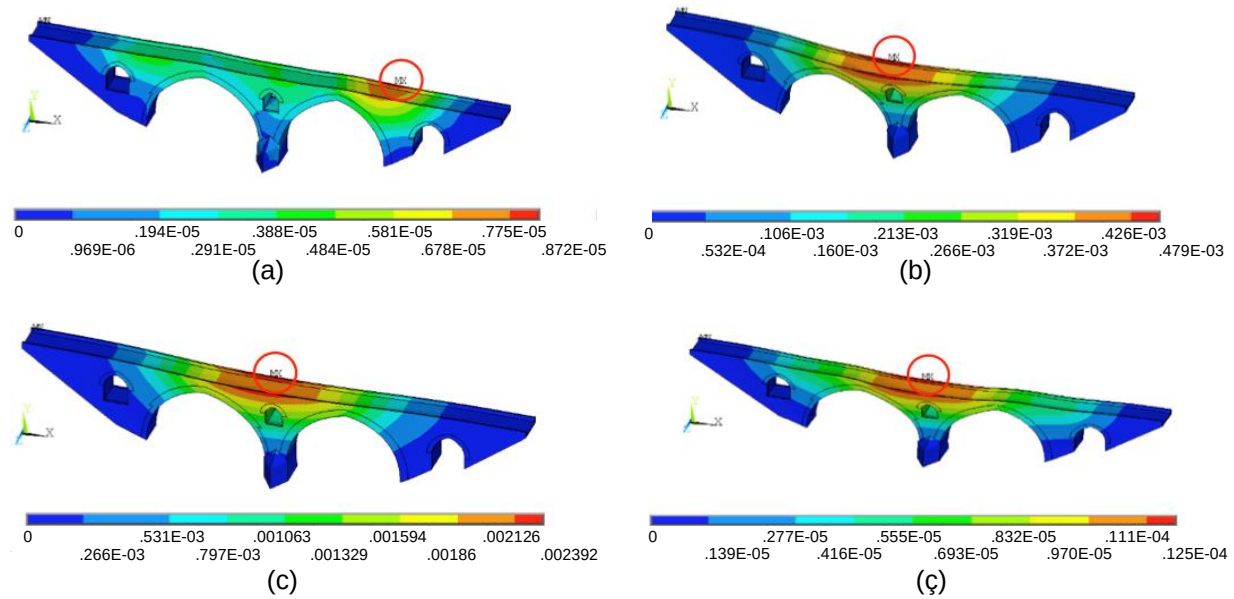
Şekil 12'den görüldüğü üzere, depremin x yönünde etkimesi durumunda max. x deplasmanları, ortadaki göz boşluğunun 2 yanlarında oluşmuştur. Zira buralar, Şekil 10(a)'dan da görüleceği üzere, x yönünde en narin düzlemlerendir. Depremin y doğrultusunda etkimesi durumunda da Şekil 10(b)'den görüleceği üzere, bu sefer y yönündeki en narin düzlemlerden birinde max. x deplasmanları oluşmuştur. Depremin z yönünden etkimesi durumunda da, ayaklar vasıtasıyla stabilitesi sağlanmış bölümlerin arasında kalan bölgelerde

max. x deplasmanları görülmüştür. Aynı durum, depremin x- y ve z doğrultusunda birlikte etkimesi hali için de geçerlidir.

Şekil 13'den görüleceği üzere max. y deplasmanları, yine sistemin y yönünde en narin olan kesitlerinde oluşmuştur. Şekil 14'den görüldüğü üzere, depremin z yönünde etkimesi durumunda sistem tabliyesi, gövde ve ayak bölgelerine göre en narin bölümü oluşturduğu için tüm deplasmanlar tabliyede en büyük değerlere ulaşmıştır.



Şekil 13. y deplasmanı dağılımları (a) x, (b) y, (c) z, (ç) xzy yönü deprem etkimesi durumları (Max. değer alan bölgeler daire içine alınmıştır)



Şekil 14. z Deplasmanı Dağılımları (a) x, (b) y, (c) z, (ç) xyz yönü deprem etkimesi durumları (Max. değer alan bölgeler daire içine alınmıştır)

4. SONUÇ

Tarihi eserlerin dokümantasyonda disiplinler arası çalışma önem arz etmektedir. Gerçekleştirdiğimiz bu çalışmada; tarihi bir köprü (Kurt Köprüsü) modellenmiş ve rölevesi çıkarılmıştır. Bu veriler kullanılarak olası bir deprem esnasında yapının nasıl hareket edeceği ve ne gibi zararlar göreceği gözler önüne serilmiştir. Bu açıdan bakıldığında gerçekleştirdiğimiz çalışma, hem tarihi eserlerin dokümantasyonunun hem de disiplinler arası çalışmanın önemine vurgu yapmaktadır.

Genel ölçme yöntemlerinin yerine tarihi eser dokümantasyonlarının hazırlanmasında gerçeğe uygun modellerin oluşturulması daha uygundur. Dijital fotogrametri yöntemi sayesinde gerçeğe yakın modellerin oluşturulabilmesi klasik yöntemlere göre daha hızlı ve daha doğru olmanın yanında tekrarlanabilir olması yöntemi çok avantajlı kılmıştır.

Özellikle kompleks yapıların modellenmesi için fotogrametri yöntemiyle ebatlarının belirlenmesi analizde kullanılacak programlara direk bu boyutların atanması çözüm öncesi yapı tanımlama kısmını çok kolay hale getireceğinden bir çok yapıyı analiz etme imkanı doğacaktır.

Bu çalışmada; Tarihi Kurt Köprüsünün dijital fotogrametri tekniği kullanarak, dokümantasyonu hazırlanmış, çeşitli ölçeklerde rölevesi üretilmiş, görselleştirme teknikleri ile 3B modellemesi yapılmıştır, deprem analizleri için salt model oluşturulmuştur.

Diğer taraftan örneği görüldüğü üzere, yapıların depreme karşı davranışı, fiziksel davranış modelleri ile kısmen anlaşılabilir kestirilebileceğinden, özellikle modelleme analizlerinin yapılması çok gerekli olmaktadır. Yani yapıların özellikle deprem etkisi gibi dinamik ve değişken etkilere karşı fiziksel davranışını tahmin etmek, bir modelleme ve analiz yapmadan yanlış yorumlamalara neden olabilir. Ancak analiz sonrası fiziksel yorumlamaların da dikkatli ve iyi bir şekilde yapılması, sadece analiz yapıp kritik bölgeleri belirlemekle kalmaması gerekmektedir.

Bu tip çalışmalar, ileride ihtiyaç duyulduğunda tarihi yapıların restorasyonunda yardımcı kaynak olarak kullanılabilir. Dijital fotogrametri yöntemi ile görselleştirilmiş 3B görüntüler tarihi eserin orijinal görüntüsüne ışık tutacaktır.

3B görselleştirilmiş görüntüler diğer taraftan turist bilgi sistemlerine destek olacaktır. Yine bu çalışmalar yeni oluşturulacak CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) tabanlı kültür, turizm ve diğer çalışmalara kaynak oluşturacaktır.

BİLGİLENDİRME VE TEŞEKKÜR

Bu çalışma Ondokuz Mayıs Üniversitesinin PYO.MUH.1901.13.009 Numaralı 1901-Bilimsel AR-GE Destekleme Programı kapsamındaki 2015 yılının Nisan ayında tamamlanan BAP projesinden üretilmiştir.

Harita Mühendisliği 4. Sınıf öğrencisi Hakan Yıldız'a, Temel Bolver'e fotoğraf çekimi ve ölçümlerde katkılarından dolayı ve Akropol Firması ile Cengiz Erdoğan'a değerlendirme çalışmalarındaki katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Avşar E.Ö., (2006), **Tarihi Köprülerin Dijital Fotogrametri Tekniği Yardımıyla Modellenmesi**, Tüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Betti M., Vignoli A., (2008), **Modelling And Analysis Of A Romanesque Church Under Earthquake Loading: Assessment Of Seismic Resistance**, Engineering Structures, Volume 30, Issue 2, February 2008, Pages 352-367.
- Betti M., Vignoli A., (2011), **Numerical Assessment Of The Static And Seismic Behaviour Of The Basilica Of Santa Maria All'impruneta (Italy)**, Construction and Building Materials, Volume 25, Issue 12, December 2011, Pages 4308-4324.
- Branco M., Guerreiro L.M., (2011), **Seismic Rehabilitation Of Historical Masonry Buildings**, Engineering Structures, Volume 33, Issue 5, May 2011, Pages 1626-1634.
- Brencich A., Sabia D., (2008), **Experimental Identification Of A Multi-Span Masonry Bridge: The Tanaro Bridge**, Construction and Building Materials, Volume 22, Issue 10, October 2008, Pages 2087-2099.
- Durduran Z. (2003), **Tarihi Eserlerin Fotogrametrik Olarak Belgelenmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemine Aktarılması**, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

- El-Hakim, S. F., (2001), **A flexible approach to 3D reconstruction from single images**, ACM Proceedings of SIGGRAPH '01, Technical Sketches, Los Angeles, California, 12th to 17th August 2001. 280 pages: 186.
- Hacıefendioğlu K., (2010), **Seasonally Frozen Soil's Effect On Stochastic Response Of Masonry Minaret-Soil Interaction Systems To Random Seismic Excitation**, Cold Regions Science and Technology, Volume 60, Issue 1, January 2010, Pages 66-74.
- Halifeoğlu F.M., (2013), **Tarihi Kurt Köprüsü (Mihraplı Köprü, Vezirköprü) Restorasyonu Proje ve Uygulama Çalışmaları**, METU JFA 2013/2 (30:2) 81-104, DOI:10.4305/METU.JFA.2013.2.6
- İlter F., (1978), **Osmanlılara Kadar Anadolu Türk Köprüleri**, Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Lucchesi M., Pintucchi B., (2007), **A Numerical Model For Non-Linear Dynamic Analysis Of Slender Masonry Structures**, European Journal of Mechanics - A/Solids, Volume 26, Issue 1, January–February 2007, Pages 88-105.
- Magalhães F., Cunha A., (2011), **Explaining Operational Modal Analysis With Data From An Arch Bridge**, Mechanical Systems and Signal Processing, Volume 25, Issue 5, July 2011, Pages 1431-1450.
- Mele E., De Luca A., Giordano A., (2003), **Modelling And Analysis Of A Basilica Under Earthquake Loading**, Journal of Cultural Heritage, Volume 4, Issue 4, October–December, Pages 355-367.
- Ozkula T. A., Kuribayashi E., (2007), **Structural Characteristics Of Hagia Sophia: I—A Finite Element Formulation For Static Analysis**, Building and Environment, Volume 42, Issue 3, March 2007, Pages 1212-1218.
- Pelà L., Aprile A., Benedetti A., (2009), **Seismic Assessment Of Masonry Arch Bridges**, Engineering Structures, Volume 31, Issue 8, August 2009, Pages 1777-1788.
- Rafiee A., Vinches M., Bohatier C., (2008), **Application Of The NSCD Method To Analyse The Dynamic Behaviour Of Stone Arched Structures**, International Journal of Solids and Structures, Volume 45, Issues 25–26, 15 December 2008, Pages 6269-6283.
- Ramos L.F., Marques L., Lourenco P.B., De Roeck G., Campos-Costa A., Roque J., (2010), **Monitoring Historical Masonry Structures With Operational Modal Analysis: Two Case Studies**, Mechanical Systems and Signal Processing, Volume 24, Issue 5, July 2010, Pages 1291-1305.
- Senthivel R., Lourenco P.B., (2009), **Finite Element Modelling Of Deformation Characteristics Of Historical Stone Masonry Shear Walls**, Engineering Structures, Volume 31, Issue 9, September 2009, Pages 1930-1943.
- Sevim B., Bayraktar A., Altunışık A.C., Atamtürk S., Birinci F., (2011), **Finite Element Model Calibration Effects On The Earthquake Response Of Masonry Arch Bridges**, Finite Elements in Analysis and Design, Volume 47, Issue 7, July 2011, Pages 621-634.
- UNESCO, (1972), **Convention Concerning The Protection Of The World Cultural And Natural Heritage**, 16th November 1972, Paris
- Ural A., Oruç Ş., Doğangün A., Tuluk Ö., (2008), **Turkish Historical Arch Bridges And Their Deteriorations And Failures**, Engineering Failure Analysis, Volume 15, Issues 1–2, January–March 2008, Pages 43-53.
- Verstryngge E., Schueremans L., Gemert D., Hendriks M.A.N., (2011), **Modelling and analysis of time-dependent behaviour of historical masonry under high stress levels**, Engineering Structures, Volume 33, Issue 1, January 2011, Pages 210-217.
- Wolf, P. R., Dewitt, B. A. (2000), **Elements of Photogrammetry with Applications in GIS**, Third Edition, McGraw-Hill Companies
- URL-1:
https://www.nikon.com.tr/tr_TR/product/nikkor-lenses/auto-focus-lenses/dx/single-focal-length/af-s-dx-nikkor-18-55mm-f-3-5-5-6g-vr-ii, [Erişim 21 Kasım 2015].