

YAPI SAĞLIĞI İZLEME SİSTEMLERİNİN FARKLI TAŞIYICI SİSTEMLİ UZUN AÇIKLIKLI TARİHİ KÖPRÜLERE UYGULANMASI

Alemdar BAYRAKTAR, Temel TÜRKER, Ahmet Can ALTUNIŞIK

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Müh. Bölümü 61080 Trabzon
Tel: (0533) 641 96 93, E-Mail: alemdar@ktu.edu.tr

² Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Müh. Bölümü 61080 Trabzon
Tel: (0462) 377 26 19, E- Mail: temelturker@ktu.edu.tr

³ Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Müh. Böl. 61080 Trabzon
Tel: (0462)377 40 20, E- Mail: ahmetcan8284@hotmail.com

Özet

Bu çalışmada, Ülkemizin farklı bölgelerinde inşa edilmiş dört farklı taşıyıcı sisteme sahip uzun açıklıklı köprünün dinamik davranışı Çevresel Titreşim Testi Yöntemiyle incelenmiştir. Bu köprüler, Antalya-Manavgat karayolunda Aspendos Akropolü'nün 2km güneyinde Köprüpazar Çayı üzerinde yer alan tarihi taş yığma Belkıs Köprüsü, Samsun-Bafra karayolunda Kızılırmak Nehri üzerinde bulunan üstten betonarme kemerli Ali Çetinkaya Köprüsü, Artvin'in Borçka ilçesinde Çoruh Nehri üzerinde bulunan üstten çelik kemerli Borçka Köprüsü ve Şanlıurfa-Gaziantep karayolunda Fırat Nehri üzerinde bulunan alttan kemerli Birecik Köprüsü'dür. Her bir köprünün mevcut durumlarının doğal frekansları, mod şekilleri ve modal sönüm oranları yerinde gerçekleştirilen hasarsız dinamik ölçüm yöntemiyle belirlenmiştir. Hassas ivmeölçerler ile trafik, rüzgar, insan hareketi vb çevresel etkiler altında köprülerin tepkileri ölçülmüştür. Sonlu eleman modeli üzerinden gerçekleştirilen teorik modal analiz sonuçları deneysel ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve sonuçlar arasındaki farklılıklar irdelenmiştir.

Giriş

Tarihi köprüler, taş, betonarme ve çelik malzeme kullanılarak farklı taşıyıcı sistemli olarak inşa edilmişlerdir. Bu köprülerin davranışlarının analitik yöntemlerle belirlenmesinde zorluklar ve belirsizlikler bulunmaktadır. Bu nedenle, deneysel yöntemlere dayalı yapı sağlığı izleme sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Literatür incelendiğinde yapı sağlığı izleme sistemlerinin çoğunlukla yığma taş ve kısa açıklıklı tarihi köprülere uygulandığı görülmektedir (1-25).

Bu çalışma kapsamında, yığma taş, üstten betonarme kemerli, alttan betonarme kemerli ve çelik kemerli uzun açıklıklı tarihi köprülere yapı sağlığı izleme sistemlerinin uygulanması amaçlanmaktadır. Bu amaçla, dört adet farklı taşıyıcı sistemli tarihi köprü seçilmiş ve deneysel dinamik karakteristikleri Çevresel Titreşim Testi Yöntemi ile belirlenmiştir.

Uygulamalar

Uygulama olarak, Belkıs (Aspendos) Köprüsü, Ali Çetinkaya Köprüsü, Borçka Köprüsü ve Birecik Köprüsü seçilmiştir. Her bir köprü ile ilgili yapılan izleme çalışmalarını aşağıda verilmektedir.

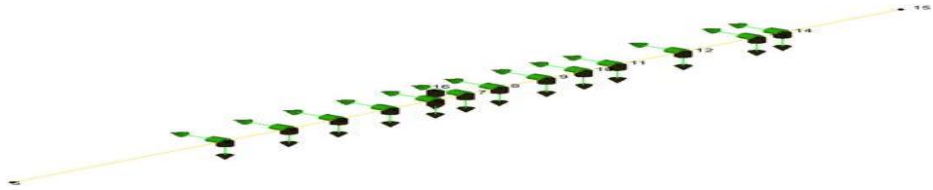
Belkıs (Aspendos) Köprüsü

Tarihi Belkıs (Aspendos) Köprüsü Antalya–Manavgat Karayolu, Serik ilçesi çıkışında Aspendos Akropolü'nün 2km güneyinde Köprüpazar Çayı üzerinde bulunmaktadır. Aspendos Köprüsünün toplam 220m uzunluğunda olduğu ve en kesitinin 3.5m ile 6.5m arasında değiştiği belirlenmiştir. Köprü yedi adet kemer taşıyıcı sisteme sahiptir. En dar yedinci kemer olup, kemer açıklığı 5.20m; en geniş kemer ise ikinci kemer olup, kemer açıklığı 16m düzeyindedir. Belkıs Köprüsü'nün mevcut durumuna ait görünüş Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Aspendos Köprüsü

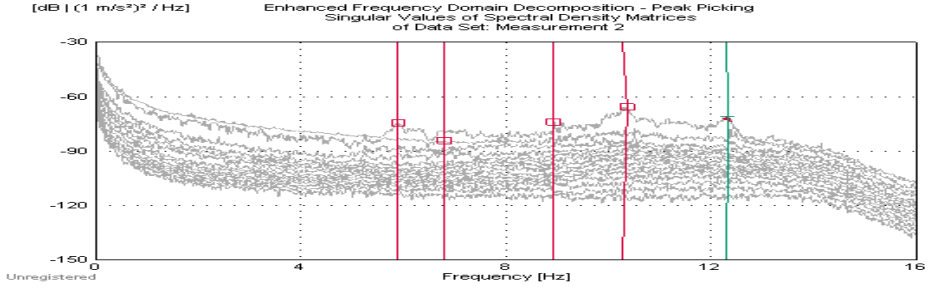
Belkıs Köprüsü'nün doğal frekans ve modal sönüm oranları Çevresel Titreşim Testi Yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen hasarsız ölçüm yöntemiyle belirlenmiştir. Ölçümlerde köprü'nün titreşim kayıtlarını toplamak amacıyla B&K8340 tipinde sismik ivmeölçerler kullanılmıştır. İvmeölçerler köprüye yatay ve düşey yönde monte edilmiştir. Köprü üzerinde ivmeölçer yerleşimine ait görünüşler Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 2. Aspendos Köprüsü Üzerinde İvmeölçer Yerleşim Düzeni

İvmeölçerlerden gelen sinyaller B&K3560 veri toplama ünitesi aracılığıyla toplanmış PULSE (26) ve OMA (27) yazılımında analiz edilmiştir. Ölçümlerden elde edilen sinyaller Geliştirilmiş Frekans Tanım Alanında Ayırıştırma Yöntemi kullanılarak analiz edilmiş ve spektral yoğunluk fonksiyonları elde edilmiştir. Şekil 3'te Aspendos Köprüsü için elde edilen tipik bir spektral yoğunluk fonksiyonu görülmektedir.

Aspendos Köprüsü'nde Çevresel Titreşim Testi kullanılarak 0-12.5Hz frekans aralığında gerçekleştirilen ölçümlerde elde edilen ilk beş doğal frekans ve sönüm oranı değerleri Tablo 1'de verilmektedir. Tablo 1'de ayrıca, üç boyutlu başlangıç sonlu eleman modelinden belirlenen teorik frekanslar da sunulmaktadır.



Şekil 3. Aspendos Köprüsü İçin Elde Edilen Spektral Yoğunluk Fonksiyonu

Tablo 1. Aspendos Köprüsü'nün Doğal Frekans ve Sönüm Oranları

Mod No	DeneySEL Frekans (Hz)	Teorik Frekans (Hz)	Sönüm Oranı (%)
1	5.89	9.12	1.78
2	6.81	15.03	0.20
3	8.94	16.58	0.15
4	10.28	17.04	2.24
5	12.32	21.91	0.27

Ali Çetinkaya Köprüsü

Samsun ili Bafra ilçesinde bulunan Ali Çetinkaya Köprüsü'nün görünüşü Şekil 4'te verilmektedir. Köprü Kızılırmak nehrinin Karadeniz'e döküldüğü ve vadinin oldukça geniş olduğu bir yerde inşa edilmiştir. Üstten betonarme kemer sistemle inşa edilen köprü 7 ayrı kemerden oluşmaktadır ve kemerler sekiz adet ayağa oturmaktadır. Türkiye'deki Bowstring tipteki köprüler arasında 250m'lik uzunluğu ile en uzun olan köprüdür. Her bir kemer açıklığı yaklaşık 36m uzunluğunda ve 6.2m genişliğindedir. Köprü tabiyesi ve ayakları da betonarme olarak inşa edilmiştir.

Ali Çetinkaya Köprüsü üzerinde çevresel titreşimler altında dinamik ölçümler gerçekleştirilmiştir. Köprü üzerindeki ölçümde toplam 11 adet sismik ivmeölçer kullanılmıştır. İvmeölçerler köprünün hem yatay hem de düşey doğrultudaki hareketlerini ölçebilecek şekilde yerleştirilmiştir. Alınan ölçümler köprü ortasındaki bir referans sinyali dikkate alınarak birleştirilmiştir. Toplam 60dk süre ile rüzgar yükü, su basıncı etkisi ve diğer çevresel titreşimler altında köprünün davranışı izlenmiştir. İvmeölçerlerden gelen sinyallerin toplanması ve kayıt edilmesinde 17 kanala sahip veri toplama ünitesi kullanılmıştır. Köprünün gerçekleştirilen ölçümüne ve ivme ölçer yerleşimine ait görünüşler Şekil 5'de verilmektedir.



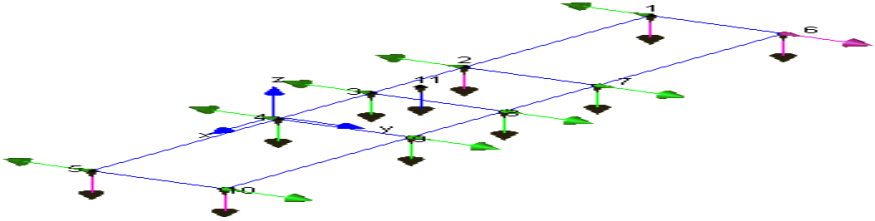
Şekil 4. Ali Çetinkaya Köprüsü



İvmeölçer yerleşimi

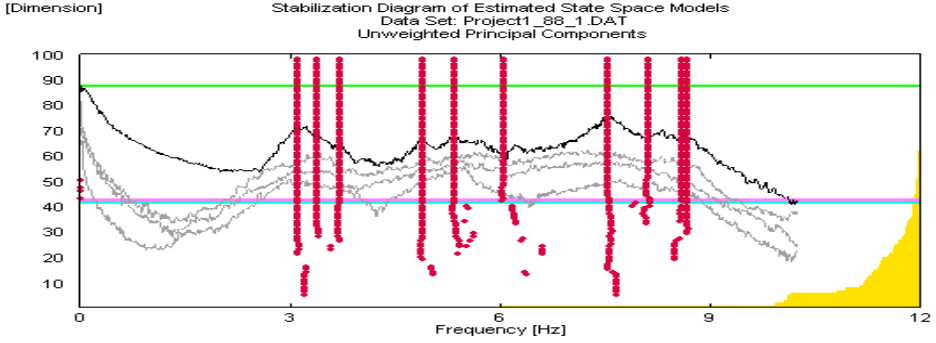


Veri toplama ünitesi



Şekil 5. Ali Çetinkaya Köprüsü Üzerindeki Dinamik Ölçümlere Ait Görünüşler

Referanslı ölçüm yapıldığından dolayı, ilk ölçümde memba tarafı ikinci ölçümde ise mansap tarafının ölçümü gerçekleştirilmiş ve köprü orta noktasına düşey yönde yerleştirilen ivmeölçer yardımıyla sinyaller birleştirilmiştir. Ali Çetinkaya Köprüsü'nün 0-12.5Hz frekans aralığında gerçekleştirilen ölçümünden elde edilen sinyallerin Fourier dönüşümleri yapılmış ve spektrumlar elde edilmiştir. Köprü'nün dinamik karakteristikleri, Geliştirilmiş Frekans Tanım Alanında Ayrıştırma (GFTAA) Yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Her bir kanaldaki sinyal için elde edilen spektrumlar ve kararlılık diyagramlarına ait bir örnek Şekil 6'da, frekans ve sönüm oranları Tablo 2'de verilmektedir. Tablodaki teorik frekanslar üç boyutlu başlangıç sonlu eleman modelinden elde edilmiştir.



Şekil 6. Ali Çetinkaya Köprüsü'nün Deneysel Ölçümünden Elde Edilen Spektrum Diyagramı

Tablo 2. Ali Çetinkaya Köprüsü'nün Doğal Frekans ve Sönüm Oranları

Mod No	Deneysel Frekans (Hz)	Teorik Frekans (Hz)	Sönüm Oranı (%)
1	3.181	3.771	8.113
2	3.728	4.745	3.057
3	4.911	6.275	1.799
4	5.342	7.346	1.902
5	6.237	8.075	1.044
6	7.595	10.840	3.073

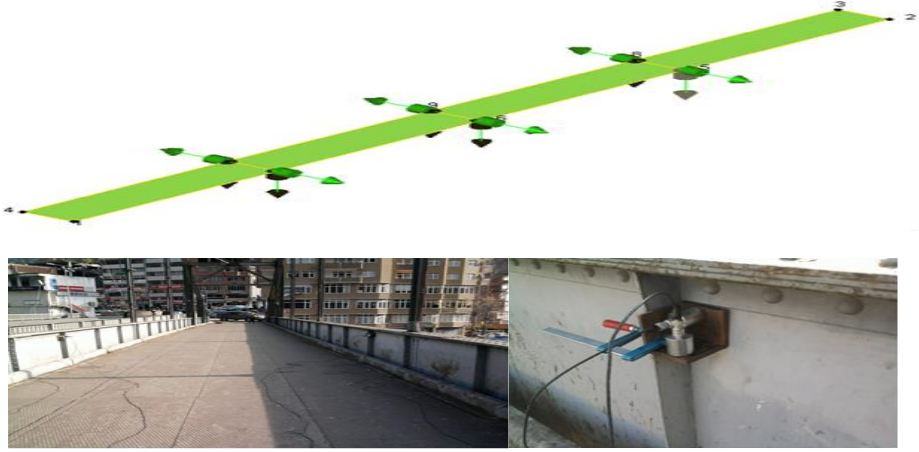
Borçka Çelik Kemer Köprüsü

Borçka Köprüsü, 1936 yılında Artvin İli Borçka ilçesinde inşa edilen çelik kemer bir köprüdür. Köprü, Alman mühendislerce projelendirilerek uygulanmıştır. Borçka Çelik Kemer Köprüsü'nün toplam uzunluğu ve genişliği yaklaşık olarak sırasıyla 114m ve 5.30m'dir. Köprü'nün ana taşıyıcı sistemi kemer olup, kemer tepe noktasının tabliyeden yüksekliği 16.30m'dir. Köprü tabiyesi kenarlarda iki ana giriş olmak üzere, orta bölgelerde enine ve boyuna doğrultuda uzanan beş ayrı giriş kademesinden oluşmaktadır. Taşıyıcı kemer ve tabliye, kenar kısımlarda rijit ayaklara oturmakta olup, ayaklar üzerinde farklı mesnetlenme şekilleri tasarlanmıştır. Köprü'nün kenar ayakları taş yığma duvar, taşıyıcı sistem elemanları (kemer, dikme, tabliye, rüzgar bağlantıları vb) çelik malzeme özelliğine sahip olup, bağlantı noktaları perçinli birleşimlerden oluşmaktadır (Şekil 7).

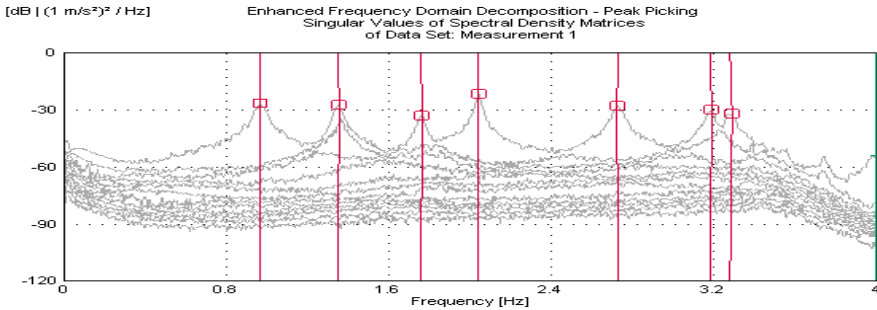


Şekil 7. Borçka Çelik Kemer Köprüsü

Köprüsü'nün dinamik davranışını deneysel olarak belirlemek amacıyla köprü üzerinde çevresel titreşim testleri gerçekleştirilmiştir. Aktif bir trafik güzergâhı üzerinde bulunmayan köprüdeki ölçümlerde, yaya hareketi ve rüzgâr etkilerinden oluşan titreşimler için sismik özellikteki sinyalleri ölçme özelliğine sahip hassas ivmeölçerler kullanılmıştır. İvmeölçerler, köprü'nün hem düşey hem de yatay yöndeki hareketlerini ölçebilecek amacıyla Şekil 8'de gösterilen biçimde köprüye yerleştirilmiştir. Köprü tabliyesinde kenar kirişler üzerine ivmeölçerler yatay ve düşey doğrultularda bağlanmıştır. Köprü tabliyesine yerleştirilen ivmeölçerden gelen sinyaller 17 kanallı veri toplama ünitesinde toplanmıştır. Ölçümlerde 12 adet ivmeölçer kullanılmış olup, 60 dakika süre ile 0-3.25Hz aralığında titreşim verileri toplanmıştır. Köprü'nün dinamik karakteristikleri hem Geliştirilmiş Frekans Tanım Alanında Ayrıştırma (GFTAA) Yöntemi hem de Stokastik Alt Alan Belirleme (SAB) Yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Doğal titreşim frekansları ile sönüm oranları Şekil 9'da verilen spektrum kullanılarak elde edilmiş olup, Tablo 3'te verilmektedir. Teorik frekanslar üç boyutlu başlangıç sonlu eleman modelinden hesaplanmıştır.



Şekil 8. İvmeölçer Yerleşimi ve Bağlantısına Ait Görünüşler



Şekil 9. Borçka Köprüsü'nün Deneysel Ölçümünden Elde Edilen Spektrum Diyagramı

Tablo 3. Borçka Çelik Kemer Köprüsü'ne Ait Dinamik Karakteristikler

Mod No	Teorik Frekans (Hz)	Deneysel Frekansı (Hz)	Sönüm Oranı (%)		
1	0.780	0.970	0.968	2.185	1.801
2	1.863	1.352	1.348	0.736	0.926
3	1.960	1.761	1.758	0.962	0.817
4	2.060	2.042	2.041	0.459	0.401
5	2.122	2.726	2.725	0.764	0.707
6	2.930	3.183	3.189	0.432	0.395
7	3.423	3.279	3.281	0.543	0.685

Birecik Köprüsü

Şanlıurfa ili Birecik ilçesinde bulunan Birecik Köprüsü'nün toplam uzunluğu ve genişliği sırasıyla 720 m ve 10 m'dir (Şekil 10). Köprü'nün taşıyıcı sistemi iki kısma ayrılmaktadır. Birecik tarafında kalan ilk kısım alttan kemer taşıyıcı sisteme sahip olup, toplam 5 kemerden oluşmaktadır. Kemerlerin her birinin kemer açıklıkları 55 m'dir. Köprü kemerleri orta açıklık kısımlarında ve kenar ayaklarda rijit bağlantılı olup, kemerlerin orta noktaları sağ ve sol kenarlarının üst noktalarında (tabliye izdüşümlerinde) derzli olarak inşa edilmiştir. Köprü'nün kemer kısmının temel ayakları, kolon, kiriş, kemer ve tabliyesi betonarme olarak inşa edilmiştir. Kemer kısmının toplam tabliye uzunluğu yaklaşık 300 m'dir. Köprü'nün Gaziantep tarafında kalan ikinci kısmı ise değişken kesitli kirişli taşıyıcı sisteme sahip olup, toplam 14 açıklıktan oluşmaktadır. Açıklıklar arasında simetrik olarak yerleştirilen 3 mafsalsal kısmı bulunmakta olup, her bir açıklık ortalama 26 m uzunluğundadır. Köprü'nün kiriş kısmının temel ayakları, kolon, kiriş ve tabliyesi betonarme olarak inşa edilmiştir. Bu kısmın toplam tabliye uzunluğu yaklaşık 380 m'dir. Köprü tabliyesinin her iki tarafında yayaların geçmesi için birer metrelik kaldırımlar ayrılmıştır.

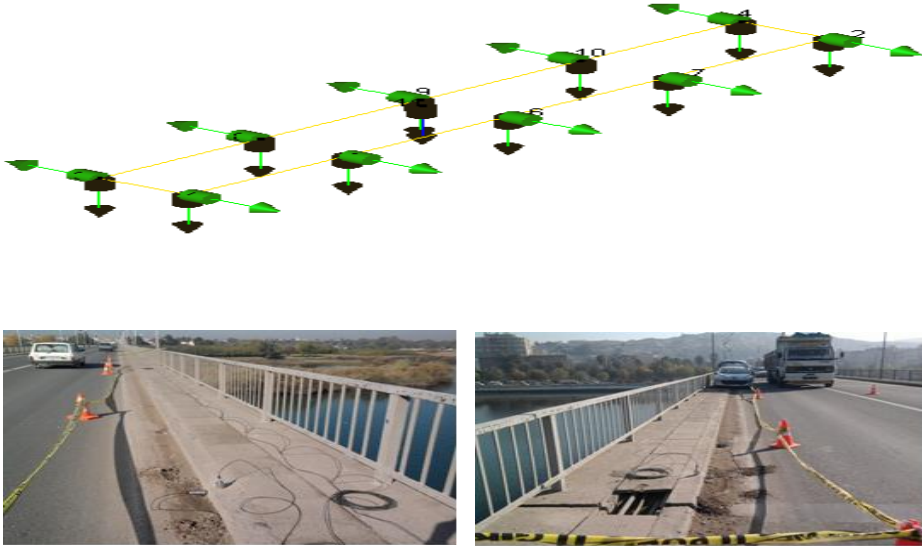


Şekil 10. Birecik Köprüsü

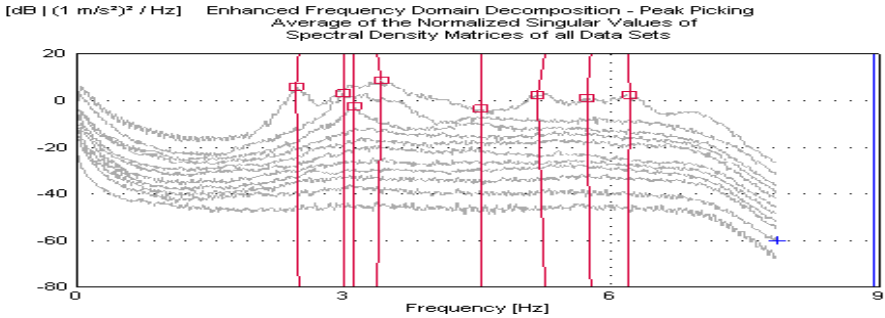
Birecik Köprüsü'nün yapısal dinamik davranışını deneysel olarak belirlemek amacıyla köprü üzerinde çevresel titreşim testleri gerçekleştirilmiş ve dinamik karakteristikleri belirlenmiştir. Aktif bir trafik güzergahı üzerinde bulunan Birecik Köprüsü üzerindeki ölçümlerde, köprüdeki trafik hareketlerinden oluşan titreşimler için, sismik özellikteki sinyalleri ölçme özelliğine sahip hassas ivmeölçerler kullanılmıştır. İvmeölçerler, köprü'nün hem düşey hem de yatay yöndeki hareketlerini ölçebilecek amacıyla Şekil 11'de gösterilen biçimde köprüye yerleştirilmiştir.

Deneysel ölçümlerde Birecik Köprüsü'nü oluşturan kemerli ve kirişli kısımların dinamik karakteristikleri ayrı ayrı belirlenmiş olup, burada sadece kemer kısmı sonuçları verilmiştir. Her bir ölçüm 60 dakika süreyle gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde köprüdeki trafik akışını engellemek amacıyla referanslı ölçüm gerçekleştirilmiştir. Toplam onbir adet ivmeölçer kullanılan ölçümlerde ivmeölçerler köprü tabiyesine yatay ve düşey doğrultularda Şekil 11'de gösterilen düzende yerleştirilmiştir. Köprü tabiyesinin memba ve mansap taraflarından ölçülen sinyaller referans ivmeölçer yardımıyla birleştirilmiştir. İvmeölçerlerden gelen sinyaller veri toplama ünitesi yardımıyla toplanmış ve bilgisayara aktarılmıştır.

Geliştirilmiş Frekans Tanım Alanında Ayırıştırma (GFTAA) Yöntemi kullanılarak analiz edilen sinyallerden köprü'nün doğal titreşim frekansları ve sönüm oranları belirlenmiştir. Köprü'nün kemer taşıyıcı sisteme sahip ilk kısmı için elde edilen tekil değer spektrum örneği Şekil 12'de, doğal titreşim frekansları ve sönüm oranları Tablo 4'te verilmektedir. Teorik frekanslar üç boyutlu başlangıç sonlu eleman modelinden elde edilmiştir.



Şekil 11. Birecik Köprüsü Üzerindeki İvmeölçer Yerleşimi



Şekil 12. Köprü'nün Kemer Kısmı İçin Elde Edilen Spektrum Diyagramı

Tablo 4. Köprü'nün Kemer Kısımına Ait Doğal Frekans ve Sönüm Oranları

Mod No	Deneysel Frekans (Hz)	Teorik Frekans (Hz)	Sönüm Oranı (%)
1	2.496	3.940	4.358
2	3.115	4.770	0.899
3	3.378	5.190	0.863
4	4.545	8.920	0.118
5	5.258	9.530	3.970

Sonuçlar

Bu çalışmada, uzun açıklıklı tarihi taş yığma Belkıs (Aspendos), üstten betonarme kemerli Ali Çetinkaya, üstten çelik kemerli Borçka ve alttan kemerli Birecik köprülerinin dinamik karakteristikleri Çevresel Titreşim Testi Yöntemi ile deneysel ve Sonlu Eleman Yöntemi ile analitik olarak belirlenmiştir. Çalışmanın sonunda, çevresel titreşimlere dayalı yapı sağlığı izleme sistemlerinin uzun açıklıklı tarihi köprülere uygulanabileceği görülmüştür. Ayrıca, tarihi köprü sonlu eleman modellerinin iyileştirilmesinde deneysel ölçümlerin gerekliliği de ortaya konulmuştur.

Kaynaklar

1. Sevim, B., Bayraktar, A., Altunışık, A.C., Atamtürktür, S., Birinci, F., Finite element model calibration effects on the earthquake response of masonry arch bridges (2011) **Finite Elements in Analysis and Design**, 47 (7), pp. 621-634.
2. Bayraktar, A., Altunışık, A.C., Birinci, F., Sevim, B., Türker, T., Finite Element Analysis and Vibration Testing of a Two-Span Masonry Arch Bridge, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, Vol. 24, No. 1, 2010.
3. Bayraktar, A., Birinci, F., Altunışık, A.C., Türker, T., Sevim, B., Finite Element Model Updating of Senyuva Historical Arch Bridge using Ambient Vibration Tests, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 4(4), pp. 177–185, 2009.
4. Bayraktar, A., Sevim, B., Altunışık, A.C., Atamtürktür, S., Birinci, F., Assessment of Nonlinear Seismic Performance of a Restored Historical Arch Bridge using Ambient Vibrations, *Nonlinear Dynamics*, 63: 755–770, 2011.
5. **Bayraktar, A., Altunışık, A.C., Sevim, B., Birinci, F.**, Vibration Based Operational Modal Analysis of the Mikron Historic Arch Bridge After Restoration, *Civil Engineering and Environmental Systems*, Vol. 28, No.3, **2011**.
6. De Santis, S., Tomor, A.K., Laboratory and field studies on the use of acoustic emission for masonry bridges, (2013) **NDT and E International**, 55, pp. 64-74.
7. Melbourne, C., Tomor, A.K., Application of acoustic emission for masonry arch bridges (2006) **Strain**, 42 (3), pp. 165-172.
8. Banerji, P., Chikermane, S., Condition assessment of a heritage arch bridge using a novel model updation technique, (2012) **Journal of Civil Structural Health Monitoring**, 2 (1), pp. 1-16.
9. Helmerich, R., Niederleithinger, E., Trela, C., Bień, J., Kamiński, T., Bernardini, G., Multi-tool inspection and numerical analysis of an old masonry arch bridge, (2012) **Structure and Infrastructure Engineering**, 8 (1), pp. 27-39.

10. Invernizzi, S., Lacidogna, G., Manuello, A., Carpinteri, A., AE monitoring and numerical simulation of a two-span model masonry arch bridge subjected to pier scour, (2011) **Strain**, 47 (SUPPL. 2), pp. 158-169.
11. Riveiro, B., Morer, P., Arias, P., De Arteaga, I., Terrestrial laser scanning and limit analysis of masonry arch bridges, (2011) **Construction and Building Materials**, 25 (4), pp. 1726-1735.
12. Colla, C., Das, P.C., McCann, D., Forde, M.C., Sonic, electromagnetic and impulse radar investigation of stone masonry bridges, (1997) **NDT and E International**, 30 (4), pp. 249-254.
13. Hughes, T.G., Pritchard, R., In situ measurement of dead and live load stresses in a masonry arch, (1998) **Engineering Structures**, 20 (1-2), pp. 5-13.
14. Solla, M., Lorenzo, H., Rial, F.I., Novo, A., GPR evaluation of the Roman masonry arch bridge of Lugo (Spain), (2011) **NDT and E International**, 44 (1), pp. 8-12.
15. Cancelliere, I., Imbimbo, M., Sacco, E., Experimental tests and numerical modeling of reinforced masonry arches, (2010) **Engineering Structures**, 32 (3), pp. 776-792.
16. Armesto, J., Roca-Pardiñas, J., Lorenzo, H., Arias, P., Modelling masonry arches shape using terrestrial laser scanning data and nonparametric methods, (2010) **Engineering Structures**, 32 (2), pp. 607-615.
17. Orbán, Z., Gutermann, M., Assessment of masonry arch railway bridges using non-destructive in-situ testing methods, (2009) **Engineering Structures**, 31 (10), pp. 2287-2298.
18. Brencich, A., Sabia, D., Experimental identification of a multi-span masonry bridge: The Tanaro Bridge, (2008) **Construction and Building Materials**, 22 (10), pp. 2087-2099.
19. Brencich, A., Sabia, D., Tanaro bridge: Dynamic tests on a couple of spans, (2007) **Journal of Bridge Engineering**, 12 (5), pp. 662-665.
20. Tomor, A.K., Melbourne, C., Condition monitoring of masonry arch bridges using acoustic emission techniques, (2007) **Structural Engineering International: Journal of the International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE)**, 17 (2), pp. 188-192.
21. Fanning, P.J., Boothby, T.E., Three-dimensional modelling and full-scale testing of stone arch bridges, (2001) **Computers and Structures**, 79 (29-30), pp. 2645-2662.
22. Bayraktar, A., Türker, T., Altunışık, A.C., Experimental frequencies and damping ratios for historical masonry arch bridges, *Construction and Building Materials*, Vol.75, 2015, pp. 234-241.
23. Türker, T. , Bayraktar, A. , Structural safety assessment of bowstring type RC arch bridges using ambient vibration testing and finite element model calibration, *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, Vol. 58, 2014, pp. 33-45.
24. Altunisik, A.C. , Bayraktar, A., Finite element model updating effect on the structural behavior of long span concrete highway bridges, *Computers and Concrete*, Vol.14, Issue 6, 2014, pp.745-765.
25. Türker, T., Structural evaluation of Aspendos (Belks) Masonry Bridge, *Structural Engineering and Mechanics*, Vol. 50, Issue 4, 2014, pp. 419-439.
26. OMA, Operational Modal Analysis, Release 4.0, Structural Vibration Solution A/S, Denmark 2006.
27. PULSE. Analyzers and Solutions, Release 11.2. Bruel and Kjaer, Sound and Vibration Measurement A/S, Denmark. 2006.

Anahtar Sözcükler: Çevresel Titreşim Testi, Yapı Sağlığı İzleme, Dinamik Karakteristikler, Tarihi Köprüler