

ÜÇ AÇIKLIKLI TARİHİ YIĞMA KEMER KÖPRÜNÜN YAPISAL DAVRANIŞININ BELİRLENMESİ

¹Emre ERCAN, ²Ayhan NUHOĞLU

¹Ege Üniv. Müh. Fak. İnşaat Müh. Böl., İzmir
E-mail: emre.ercan@ege.edu.tr (Tel :232 311 1586)

²Ege Üniv. Müh. Fak. İnşaat Müh. Böl., İzmir
E-mail: ayhan.nuhoglu@ege.edu.tr (Tel:232 311 1925)

Özet

Bu çalışmada üç açıklıklı tarihi bir kemer köprünün mevcut statik ve dinamik yapısal özellikleri tahribatlı ve tahribatsız yöntemler ile araştırılmıştır. Böylece İzmir ili Çeşme ilçesinde birinci derece riskli deprem bölgesinde yer alan ve halen yerel araç geçişlerinde kullanılan yığma taş köprünün olası şiddetli bir depreme karşı göstereceği davranış teorik olarak değerlendirilmiştir. Bu amaçla öncelikle köprünün bulunduğu bölgenin zemin parametreleri mikrotremor ölçümleri ile belirlenmiştir. Akabinde taşıyıcı sistemin iç yapısının belirlenebilmesi için köprünün yığma ayakları ve kemerleri üzerinde darbe-eko testleri uygulanarak yığma yapı elemanlarının sürekli olup olmadığı, taş, moloz taş ve harç kalınlıklarının hangi mertebelerde oldukları ortaya çıkarılmıştır. Bu bilgilerin ışığında köprünün üç boyutlu sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Üçüncü aşamada köprüden tahribatlı yöntemlerle alınan harç ve taş numuneler üzerinde; eksenel basınç, yarmada çekme ve nokta yükü testleri yapılmıştır. Aynı zamanda yapı üzerinde gerçekleştirilen operasyonel modal analiz uygulaması ile köprünün dinamik karakteristikleri deneysel olarak tespit edilmiştir. Deneysel ve nümerik analiz sonuçlarının değerlendirilmesi ile iyileştirilen sonlu elemanlar modeli üzerinde davranış spektrumu analizleri yapılarak köprünün deprem tesirine karşı yapısal performansı belirlenmiştir.

Giriş

Mevcut yapı taşıyıcı sistemlerinin dinamik tesirler etkisindeki yapısal davranışlarının gerçekçi olarak belirlenmesinde deneysel ve teorik analiz yöntemleri birlikte kullanılmaktadır. Doğrudan mevcut yapı üzerinde pratik olarak uygulanabilen test yöntemleri özellikle son otuz yıl boyunca ölçüm cihaz ve yazılımlardaki teknolojik gelişmeler ile birlikte oldukça yaygın hale getirmiştir. Deneysel ve Operasyonel Modal Analiz Yöntemleri olarak da anılan söz konusu tahribatsız yaklaşımlar yapısal olarak oldukça heterojen özelliklere sahip olan tarihi yapıların mevcut dayanımlarının pratik ve gerçekçi olarak değerlendirilmesinde önemli avantajlara sahiptir.

Tarihi eserlerin deprem gibi dinamik tesirler etkisindeki davranışının belirlenmesi konusunda çeşitli çalışmalarla karşılaşmak mümkündür (Koçak, 1999; Lourenço,1996 ; Bayraktar ve diğ,

2010; Lourenço, 2001, Brencich ve De Francesco, 2004; Pelà ve diğ. 2009-2013; Ercan, 2010; Castellazzi ve diğ. 2012).

Belirtilen çalışmalarda, yığma taş tipinde inşa edilmiş olan tarihi köprüler üzerinde uygulanan deneysel, operasyonel ve teorik modal analiz prosedürleri hakkında açıklamalar yer almıştır. Tüm bu çalışmalar esas olarak mevcut yapının dış yükler altında hangi deformasyonlara uğrayabileceğini belirlemekte ve buradan hareketle taşıyıcı sistemde oluşabilecek ekstremum gerilmelere ulaşmaktadır. Böylece yapı taşıyıcı sisteminde mevcut olan kusurlar ve/veya şiddetli bir deprem sırasında oluşabilecek hasarlar ve mevcut zayıf noktalar belirlenebilmektedir. Bu kapsamda gerçekleştirilen teorik analizlerde kullanılan bilgisayarın ve yazılımın performansı, deneysel ve operasyonel uygulamalarda ise kullanılan cihazların teknolojik özellikleri daha gerçekçi sonuçlara ulaşmakta önemli rol oynadıkları görülmektedir.

Materyal

Nispeten büyük boyutlara (Uzunluk=43m, yükseklik=13m, maksimum açıklık=7m, genişlik=6m) sahip olan, üç açıklıklı yığma taş kemer tipinde bir köprünün mevcut yapısal özellikleri çeşitli tahribatlı ve tahribatsız uygulamalar ile belirlenmeye çalışılmıştır. Böylece söz konusu tarihi eserin özellikle olası şiddetli bir depremde en gayri müsait durumda gösterebileceği deplasman ve gerilme davranışlarına ulaşılmıştır. Nihayetinde olası şiddetli bir depremde nasıl bir yapısal davranış sergileyebileceği sayısal olarak ortaya çıkarılmıştır.

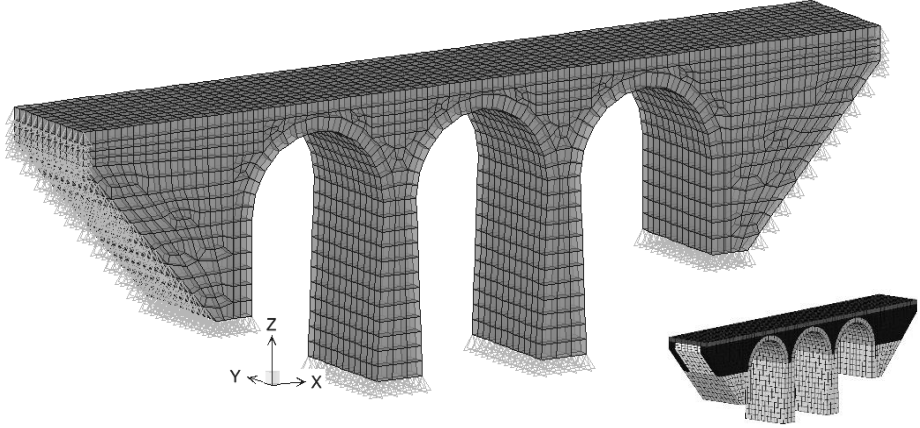
Eski İzmir- Çeşme yolu üzerinde Zeytinler mahallinde yer alan Roma tarzındaki köprü 1950'li yıllarda yeni karayolu hizmete açılınca yoğun kullanım özelliğini yitirmiş ve gözden uzak bir konuma düşmüştür. 1990'lı yıllarda yeni otoyolun inşa edilmesi ile kemer köprünün buradan görülmesi mümkün olmuştur. Köprü halen yerel ulaşım kapsamında kullanılmaktadır. İzmir - Çeşme otoyolunda Çeşme yönüne doğru ilerlerken Zeytinler çıkışından yaklaşık 2km geride otoyolun hemen sağ yanında yer almaktadır.



Şekil 1. Üç açıklıklı kemer köprü İzmir - Çeşme – Zeytinler

3. Yöntem

İnceleme konusu köprünün mevcut durumunun boyutlarını, yapıda meydana gelmiş çatlakların yerini ve büyüklüklerini tespit etmek için yapının rölövesi çıkarılmıştır (Ercan, 2010). Yerinde ve laboratuarda gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda köprüyü oluşturan malzemelerin mekanik özellikleri belirlenmiştir. Böylece elde edilen veriler yardımı ile yapının 3 boyutlu sonlu elemanlar katı modeli bilgisayar ortamında (SAP 2000, 2005) oluşturulmuştur. (Şekil 2).



Şekil 2. Köprünün 3-boyutlu katı modeli

Kemer köprünün bulunduğu bölgenin zeminin dinamik parametrelerinin belirlenmesi amacıyla yapının çevresindeki 5 noktada mikrotremor ölçümleri yapılarak zeminin hakim periyodu ve büyütme katsayıları elde edilmiştir. Köprünün iç yapısının belirlenebilmesi için köprünün yığma ayakları ve kemerleri üzerinde Darbe-Eko testi uygulanmıştır ve incelenen bölgelerin yığma taş yapısının sürekli olup olmadığı, taş, moloz taş ve harç tabakalarının kalınlıkları ortaya çıkarılmıştır. Köprünün yakın civarında bulunan ve köprüde kullanılmış olan malzeme ile benzer olduğu değerlendirilen taşlar laboratuara götürülmüş ve bunlardan alınan numuneler (Şekil 3.) üzerinde eksenel basınç testi, yarmada çekme testi ve nokta yükü testi, deneyleri yapılmıştır. Elde edilen malzeme parametreleri yapının sonlu elemanlar modelinde kullanılarak köprü modeli analiz için hazırlanmıştır. Sonlu Elemanlar analizleri ile elde edilen modal analiz sonuçları değerlendirilmiş ve yapının gerekli noktalarına ivmeölçerler yerleştirilerek gerçekleştirilen operasyonel modal analiz ile köprünün dinamik karakteristikleri deneysel olarak da çıkartılmıştır. Elde edilen deneysel ve nümerik modal analiz sonuçları karşılaştırılarak yapının sonlu elemanlar modeli iyileştirilmiştir. Son olarak davranış spektrumu analizleri yapılarak köprünün yapısal güvenilirliği ortaya çıkarılmış değerlendirilmiştir.

Malzeme Testleri

Urla Zeytinler Köyü'nde bulunan köprü kaba yontulmuş andezit taşı, harç, moloz dolgu taşı ve kimeri oluşturan düzgün kesilmiş andezit taşı ile inşa edilmiştir. Yapının analizi için taşıyıcı sistemi oluşturan malzemelerin parametreleri gereklidir. Bu nedenle malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için bir dizi tahribatlı ve tahribatsız testler yapılmıştır. Yapıyı oluşturan taşlar üzerinde schmidt çekici, ultra ses darbe, yoğunluk, porozite ve bağıl nem, tek eksenli basınç ve yarmada çekme testleri yapılmıştır (Şekil 3). Bu testlerden elde edilen sonuçlar literatürde (Lourenço 2001, Lourenço, 1996) bulunan bağıntılar yardımı ile yığma sisteminin malzeme özelliklerinin elde edilmesi için kullanılmıştır. Buna göre yığma taş sistemi oluşturan malzemelerin mekanik özellikleri Tablo 1' de sunulmuştur (TS699, 1987; Ulusay ve diğ., 2001).



Şekil 3. Hazırlanmış karot numuneleri ve ultra ses darbe testi

Tablo 1. Köprüye ait malzemelerin özellikleri

	Yığma Taş	Taş Kemer
Basınç Dayanımı (MPa)	14.36	10.05
Çekme Dayanımı (MPa)	1.43	1.01
Elastisite Modülü (MPa)	2250	807
Kayma Modülü (MPa)	500	328
Görünür Yoğunluk (kg/m ³)	2000	2000
Poisson Oranı	0.17	0.17

Darbe - Eko Testi

Zeytinler Kemer Köprüsündeki taşıyıcı sistemin iç yapısının belirlenebilmesi için 7 farklı noktada Darbe-eko testi yapılmış (Şekil 4.) ve SIBIE yöntemi kullanılarak sonuçlar irdelenmiştir (Ercan, 2010; Ohtsu, 2002; Ata vd., 2007). Darbe-eko testinde darbe belli bir mesafeden düşürülen bir çelik bilye veya bir çekiç ile verilmiştir. Böylece elastik dalgalar elde edilmektedir.

Doğru vuruş hızını elde etmek için birçok kere denemeler yapılmıştır. Yansıyan elastik dalgaların yüzeyde oluşturduğu titreşimleri tespit etmek için, 50 kHz'lik ivmeölçer kullanılmıştır. Elde edilen veriler fourier - sektra analizleri FFT (Hızlı Fourier Dönüşümü) ile analiz edilmiştir. Test edilen bölgelerin kesitleri kare elemanlara bölünerek mesh edilmiş ve SIBIE yöntemi uygulanmıştır (Sansalone 1997; Sansalone ve diğ, 1997).

Çalışma konusu köprünün yığma ayakları üzerinde gerçekleştirilen darbe-eko testi ile kolonun taş yapısının sürekli olduğu, diğer bir değişle kolon içersinde moloz taş dolgu olmadığı anlaşılmıştır. Kemerde yapılan darbe eko testleri sonucunda taşlar arasındaki harç tabakalarının kalınlıklarının 2-3 cm mertebelerinde olduğu ve harcın tam olarak yüzeylere temas etmediği tahmin edilmiştir. Taş boyutlarının iç kesimlerde nasıl devam ettiği tespit edilmiştir. Tüm bu tespitler ışığında sonlu elemanlar modelinde gerekli düzenlemeler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. Zeytinler kemer köprü darbe-eko testi Zeminde İncelemeler

Zemin etüdü: Zemin koşullarını belirlemek için köprü civarında daha önceden yapılmış zemin etüdü raporları incelenmiştir. Köprünün bulunduğu bölge civarında bina yapmak için yapılan zemin etüt raporlarında yararlanarak köprünün bulunduğu alanın, Z2 sınıfı C grubu olduğu ve zemin emniyet gerilmesinin 14 N/cm^2 ve yatak katsayısının 300 kN/m^3 mertebelerinde olduğu görülmüştür (İlerler, 2009).

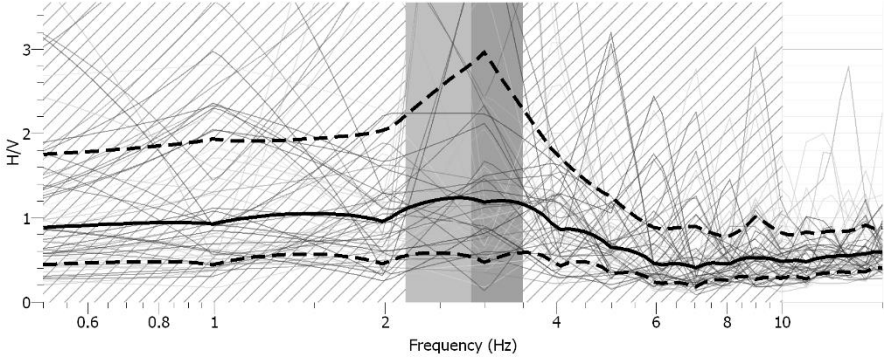
Mikrotremor ölçümleri: Mikrotremorlar genlikleri 10^{-4} mm ile 10^{-2} mm aralığında, periyotları 10^{-3} saniyeden bir kaç saniyeye kadar süren sismik dalgalardır. Mikrotremorların en önemli özelliği noktadan noktaya belirgin değişimler göstermesidir (Nakamura, 1989). Bu değişimler ölçülen yerin jeolojik özellikleri ile ilişkilidir. Mikrotremor ölçümler yardımıyla zemin hakim periyodu ve zemin büyütme katsayıları elde edilebilmektedir. Çalışma kapsamında ele alınan köprünün zemin parametrelerinin belirlenmesi amacıyla yapı çevresindeki 5 noktada 20'şer dakikalık mikrotremor ölçümleri yapılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Zeytinler Köprüsünde mikrotremor ölçümü ve GURALP CMG-5 tipi üç bileşenli dijital ivmeölçer

Verilerin değerlendirilmesinde Nakamura 'nın (1989) geliştirdiği yöntem kullanılmıştır. Nakamura (1989), yönteminde mikrotremor kayıtlarından kaynak etkisini uzaklaştırmak için bir yaklaşım önermiştir. Referans noktası gerektirmeyen bu yaklaşım sismik yoğunluğun az olduğu veya temel kayanın bulunmadığı alanlarda kolayca uygulanabilmektedir. Söz konusu yöntem, ölçüm yapılan yerin transfer fonksiyonunun modifiye edilmesine dayanır. Buna göre birinci varsayım, mikrotremorları oluşturan Rayleigh türü yüzey dalgalarıdır ve bunlar yüzey kaynakları tarafından yaratılır. Bu dalga türü, tabakalı bir ortamda hem yatay hem de düşey hareketlerden eşit şekilde etkilenmektedir.

Arazi çalışması için kullanılan ekipman üç eksenli ivmeölçer ve diz üstü bilgisayardan oluşmaktadır. İvmeölçerin görünümü Şekil 5.'de gösterilmiştir. GURALP CMG-5 tipi üç bileşenli dijital ivmeölçer kullanılmıştır. Değerlendirme yöntemi olarak kullanılan Nakamura (1989) yaklaşımında, bu kapsamda geliştirmiş olan bir yazılım olan Geopsy V.2.6.3 (Sesaray-2.0.5) kullanılmıştır. Köprüden alınan 20'şer dakikalık ivme kayıtlarının birer dakikalık kısımları için zemin hakim frekansları elde edilmiştir. Buna göre Şekil 6.'da görüleceği üzere bölgedeki hakim periyot 0.28 ile 0.45 saniye aralığındadır.



Şekil 6. Köprü'nün bulunduğu bölgenin mikrotremor ölçüm sonucu belirlenen hakim frekans (1/Periyot) aralığı

Operasyonel Modal Analiz (OMA)

Yığma yapıların hazırlanan bilgisayar modellerinin doğrulunu göstermek yada matematiksel modeli iyileştirmek için kullanılan en avantajlı yöntemlerden biri Operasyonel Modal Analizdir (Ercan, 2010; Bayraktar vd., 2010; Maia vd., 1997; Pelà 2009 ve 2013). Bu amaçla köprü üzerinde OMA uygulaması yapılmış ve buradan elde edilen veriler kullanılarak teorik sonlu elemanlar modeli iyileştirilmiştir.

Kemer köprüdeki OMA testi 12 adet tek eksenli ivmeölçer kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 7). Kullanılan ivmeölçerler 0–50 Hz aralığındaki sinyallere duyarlı ve 10 Volt/g hassasiyetindedir. İvmeölçerlerden elde edilen sinyaller 17 kanallı Brüel&Kjaer 3560 veri toplama ünitesinde birleştirilip PULSE yazılımına aktarılmıştır. Alınan sinyaller burada işlendikten sonra Artemis - Oma yazılımı (OMA, 2006) kullanılarak dinamik karakteristikler elde edilmiştir. Çalışmalar esnasında kullanımda olmayan köprüyü titreştirmek amacıyla köprü üzerinden sürekli taşıt geçirilerek çevresel etkilerden yararlanılmıştır.

Test sonucunda köprü'nün deneysel modlarına ait şekil ve frekans değerleri PP (Piklerin Seçimi) yöntemine göre elde edilmiştir. Tablo 2.'de verilen sonuçların ilk 5 mod için iyileştirilmesi gerektiği görülmüştü. OMA sonuçlarına göre yapının nümerik modelinde elastisite modülü, mesnetlenme şartları ve sınır şartları değiştirilerek yapının modelinde sonlu elemanlar iyileştirmesi yapılmıştır. Böylece köprü taşıyıcı sisteminin oluşturan malzemelere ait revize edilen yeni parametreler Tablo 3.'te sunulmuştur.



Şekil 7. Kemer köprü ivmeölçerlerin yerleştirilmesi ve veri toplama cihazı

Tablo 2. Köprünün analitik ve deneysel frekansların karşılaştırılması

Mod	Analitik Frekans	İyileştirilen Analitik Frekans	Deneysel Frekans (PP)
1	5.345	7.506	7.513
2	10.456	12.644	12.86
3	16.690	12.961	18.21
4	18.341	18.556	19.80
5	25.996	27.650	27.87

Tablo 3. Köprünün sonlu elemanlar iyileştirmesinden sonra elde edilen yeni malzeme parametreleri

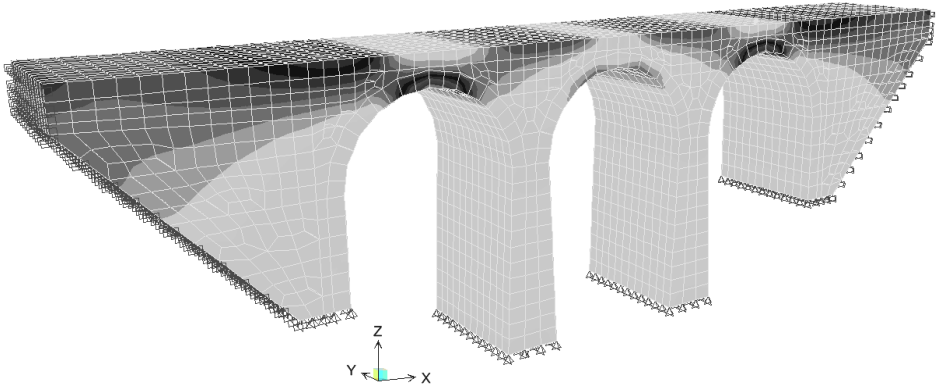
	Yığma Taş	Dolgu Malzemesi	Taş Kemer
Basınç Dayanımı (MPa)	14.36	11.5	10.05
Çekme Dayanımı (MPa)	1.43	1.15	1.01
Elastisite Modülü (MPa)	2950	1475	1600
Kayma Modülü (MPa)	1180	585	640
Görünür Yoğunluk (kg/m ³)	1900	1700	1750
Poisson Oranı	0.17	0.05	0.17

Taşıyıcı sistemin yapısal davranışına doğrudan etki eden elastisite modülü öncelikle yapıdan alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda kesme taş kısımlar için 2250MPa, moloz taş dolgu kısımlar için 807MPa olarak elde edilmiştir. Buna karşılık operasyonel modal analiz uygulamasından elde edilen veriler ışığında yapılan iyileştirmeler sonucunda bu değerler sırasıyla 2950MPa ve 1475MPa mertebelerine revize edilmiştir

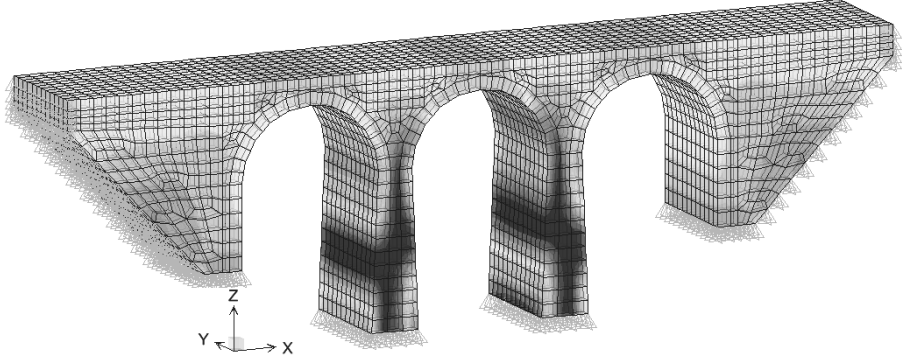
Spektrum Analizleri ve Bulgular

Yukarıda açıklanmış olan çalışmalar neticesinde mevcut yapıyı en ideal olarak temsil edecek sonlu elemanlar hesap modeli üzerinde davranış spektrumu analizleri X ve Y doğrultularında ayrı ayrı yapılmıştır. Birinci derece deprem bölgesinde Z2 zemin sınıfı olan arazide yerinde uygulanan deneylerde bulunan periyot değerleri 0,28 - 0,45 sn aralığındadır. Buna karşılık Deprem Yönetmeliği (DBYBHE, 2007) gereği T_A 0,15 den fazla T_B ise 0,40 dan az olamaz. Bu kapsamda T_A ve T_B değerleri 0,15 ve 0,45 seçilmiştir. Bu değerler dikkate alınarak davranış spektrumu fonksiyonu Deprem Yönetmeliği (DBYYHE, 2007) kapsamında tanımlanmıştır.

X yönündeki analiz sonucunda kenar kemelerin açıklık bölgelerinde gerilmelerinin oluştuğu gözlemlenmiştir. Özellikle her iki kenarda bulunan açıklıkların ortalarındaki çekme gerilmeleri maksimum 0,58 MPa mertebelerine ulaştığı görülmüştür. Buna karşılık oluşan bu değerler taş kemerin taşıyabileceği minimum çekme gerilmesi değerinden (1,01 MPa) küçüktür. Basınç gerilmeleri açısından bakıldığında ise, maksimum basınç gerilmesi ayak mesnetlerinde -0,34MPa mertebelerine ulaşmıştır. Şekil 8. ve Şekil 9. da X yönü spektrum analizi sonucunda oluşan S11 (yatay yöndeki normal gerilme) ve S33(düşey yöndeki normal gerilme) davranışları görülmektedir.

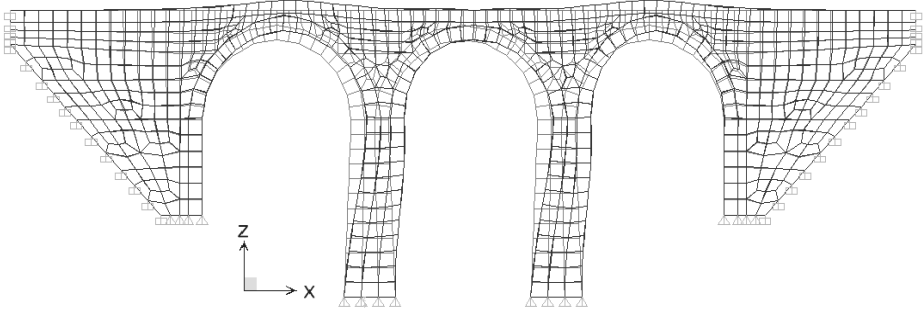


Şekil 8. X yönündeki spektral etki sonucu oluşan S11 (yatay normal gerilme) konturu



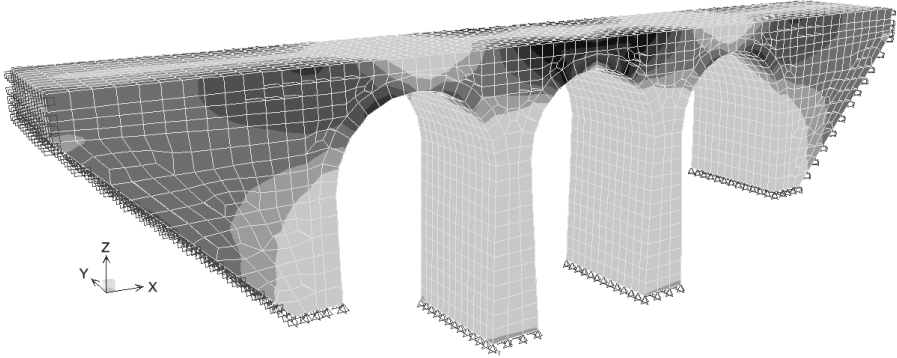
Şekil 9. X yönündeki spektral etki sonucu oluşan S33 (düşey normal gerilme) konturu

X doğrultusunda uygulanan spektral etki sonucu yapıdaki maksimum deplasman X doğrultusunda, ayak orta bölgesinde 1.57 mm olarak hesaplanmıştır (Şekil 10). Elde edilen gerilme ve deplasman değerleri genel olarak değerlendirildiğinde, üç açıklıklı kemer köprü'nün X yönündeki güvenli bir davranış sergileyeceği beklenmektedir.

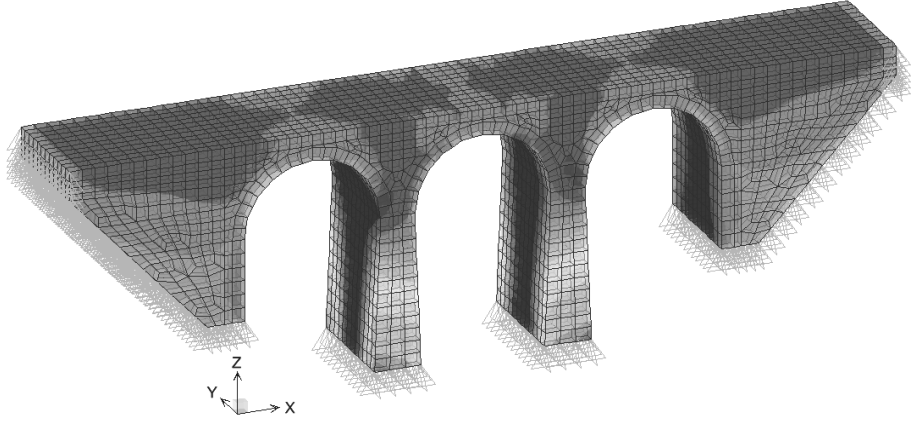


Şekil 10. X yönündeki spektral etki sonucu oluşan deformasyon şekli

Y yönündeki spektrum analizlerine ait S11 ve S33 normal gerilme davranışları Şekil 11. ve Şekil 12. de verilmiştir. Buna göre yapının orta kemerinin açıklık bölgesinde oluşan maksimum çekme gerilmesi 1.34 MPa'dır ve bu değer taş kemerin 1.01 MPa olan çekmeye dayanım gerilmesinden büyüktür (Şekil 11). Bu durumda en büyük açıklığa sahip ara kemerde çatlak formunda bir hasara yol açması beklenmelidir. Basınç gerilmeleri açısından yapıda herhangi bir olumsuz durum söz konusu olmadığı değerlendirilmiştir.

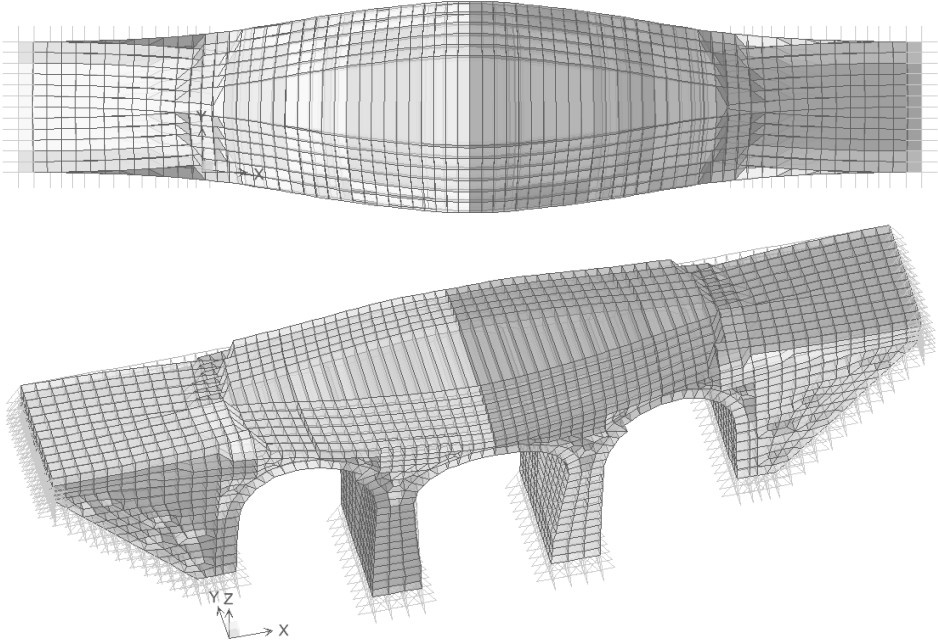


Şekil 11. Y yönündeki spektral etki sonucu oluşan S11 (yatay normal gerilme) konturu



Şekil 12. Y yönündeki spektral etki sonucu oluşan S33 (düşey normal gerilme) konturu

Yapı Y doğrultusu oluşan spektral etki sonucunda bu doğrultuda maksimum 6.32 mm deplasman yapmıştır (Şekil 13). Sonuç olarak Y yönündeki davranış spektrum analizi sonucunda orta kemerin açıklık bölgesinde çatlakların meydana gelmesi ön görülmektedir.



Şekil 13. Y yönündeki spektral etki sonucu oluşan şekil değiştirme

Sonuçlar

Roma tarzında inşa edilmiş üç açıklıklı mevcut bir kemer köprünün olası şiddetli bir deprem etkisindeki yapısal davranışının belirlenmesi konusu kapsamlı olarak ele alınmıştır. Bu amaçla günümüz koşullarında uygulanabilecek tahribatlı, tahribatsız uygulamalar ve teorik analizler sırasıyla açıklanmıştır. Birbiri ile iç içe girmiş olan söz konusu çalışmalar kapsamında ele alınan tarihi eser ile ilgili olarak gerçekleştirilen analizler sonucunda, birinci derece riskli deprem bölgesinde, Z2 sınıfı zemin üzerinde yer alan yığma taş kemer köprünün planda X (köprü boyuna paralel) yönünde oluşabilecek depreme karşı güvenli olduğu değerlendirilmiştir. Esasen dar bir vadide bir anlamda karşılıklı sert yamaçlara sıkıştırılmış olan köprünün bu doğrultuda rijit bir davranış sergilemesi beklenmektedir. Buna karşılık diğer doğrultuda (Y, köprü boyuna dik doğrultu) oluşabilecek şiddetli bir depremde ise en büyük açıklığa sahip orta kemerde tabliyeye dik doğrultuda çatlak formundaki hasarların beklenmesi gerekliliği değerlendirilmiştir.

Kaynaklar

1. Ata, N., Mihara, S. and Ohtsu, M., (2007)," Imaging of ungrouted tendon ducts in prestressed concrete by improved SIBIE", NDT&E International, Vol. 40, No. 3, 2007, 258-264.
2. Bayraktar A., Altunışık A.C., Sevim B., Türker T., Birinci F., (2010), "Tarihi Yapıların Deprem Güvenliklerinin Tahribatsız Deneysel Yöntemlerle Belirlenmesi", İMO İstanbul, cilt.98, ss.10-20
3. Brencich, A. and De Francesco, U., (2004). "Assessment of Multispan Masonry Arch Bridges. I: Simplified Approach." J. Bridge Eng.,9(6), 582–590.
4. Castellazzi, G., De Miranda, S., and Mazzotti, C., (2012), "Finite Element Modelling Tuned on Experimental Testing for the Structural Health Assessment of an Ancient Masonry Arch Bridge." Mathematical Problems in Engineering, p.1-18.
5. Ercan E., (2010), "*Tarihi Yığma Yapıların Güvenliklerinin Analitik Ve Deneysel Yöntemlerle Belirlenmesi*", Doktora tezi, Ege Ün. Fen Bil.Ens. İzmir.
6. İlerler M., (2009), Zemin etüd raporu, 122 ada 119 no'lu parsel, Zeytinler Köyü Urla İzmir
7. Koçak, A., (1999) "*Linear and Nonlinear Analysis of Historical Masonry Structures under Static and Dynamic Loads Case Study: Küçük Ayasofya Mosque*", Phd Thesis, Yıldız Technical University, İstanbul.
8. Lourenço P.B., (2001) "Assessment of the Stability Conditions of Cistercian Cloister", 2nd International congress on Studies in Ancient Structures, İstanbul.
9. Lourenço P.B., (1996), "*Computational Strategies for masonry Structures*", Phd Thesis, Delft University Press, Netherlands
10. Maia, N. M. M., Silva, J. M. M., (1997), *Theoretical and Experimental Modal Analysis*. John Wiley and Sons, Inc. New York, 488pp. 1997.
11. Nakahara, K. and Kitahara, M.,(2002), "Inversion of defects by linearized inverse scattering methods with measured waveforms", Proceedings International Symposium on Inverse Problems in Engineering Mechanics (ISIP2000), Berlin, Springer, 2002, 9-18.
12. Nakamura, Y., (1989), "A method for dynamic Characteristics Estimation of Sub-surface Using Microtremor on the Ground Surface", Quarterly Report of RTRI, Vol. 30, No.1, Railway Technical Institute
13. Ohtsu, M. and Watanabe, T., (2002), "Stack imaging of spectral amplitudes based on impact-echo for flaw detection", NDT&E International, Vol. 35, No. 3, 189-196
14. Pelà, L., Aprile, A., and Benedetti, A. (2009). "Seismic assessment of masonry arch bridges." Engineering Structures, p.1777-1788.
15. Pelà, L., Aprile, A., and Benedetti, A. (2013). "Comparison of seismic assessment procedures for masonry arch bridges", Construction and Building Materials, p. 381-394.
16. SAP2000, (2005) "Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures", Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA.

17. Sansalone, M.J., and Streett, W.B, (1997), "Impact-echo: The complete story", ACI Structural Journal, Vol. 94, No. 6, 777-786.
18. Sansalone M., (1997), Impact-echo: The complete story. ACI Structural Journal, Vol. 94, No. 6, pp 777-786
19. Sansalone, M.J., Streett, W.B., (1997), Impact-echo, Ithaca. NY Bullbrier Press,
20. DBYBHE , (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar 2007, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, Yayın No: İMO/09/01, İzmir.
21. TS 699, (1987) Methods of Testing Naturel Building Stones, Institute of Turkish Standards, Ankara
22. Ulusay R, Gökçeoglu C, Binal A, (2001) "Rock Mechanics Laboratory Experiments", Turkish Chambers of Geology Engineers, Ankara.

Anahtar Sözcükler: Yığma yapı, Kemer köprü, Operasyonel modal analiz, Darbe-eko, Mikrotremor, Spektrum analizi, Deprem dayanımı