

FOTOGRAMETRİK YÖNTEM KULLANILARAK KÖPRÜ DEFORMASYONLARININ BELİRLENMESİ

Levent TAŞÇI

Fırat Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri (Geomatik) Mühendisliği Bölümü
23279 ELAZIĞ TÜRKİYE
ltasci@firat.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, Boğaziçi Üniversitesi Yapı Kulübü tarafından 2010 yılında düzenlenen "Design and Construct" yarışmasına Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümü öğrencileri tarafından hazırlanarak katılmaya hak kazanılan çelik kemer köprü kullanılmıştır. Bu köprünün, açıklığı 6.90 mt, genişliği 0,90 mt, maksimum yüksekliği 1,60 m, olan ve tabliye kısmı alttan ve üstten gelen kemerlerin ortasında; yerden 1.20mt yukarıdadır. Laboratuvar ortamında 17 referans noktasından oluşan bir jeodezik referans test ağı kurulmuştur. Jeodezik referans test ağı reflektörsüz Total Station kullanılarak ölçülmüş ve lokal sistemde koordinat verilmiştir. Profesyonel bir fotoğraf makinesi kullanılarak yükleme öncesi ve yükleme sonrası resimler iki farklı noktadan çekilerek köprüde oluşan yer değiştirmeler belirlenmiştir.

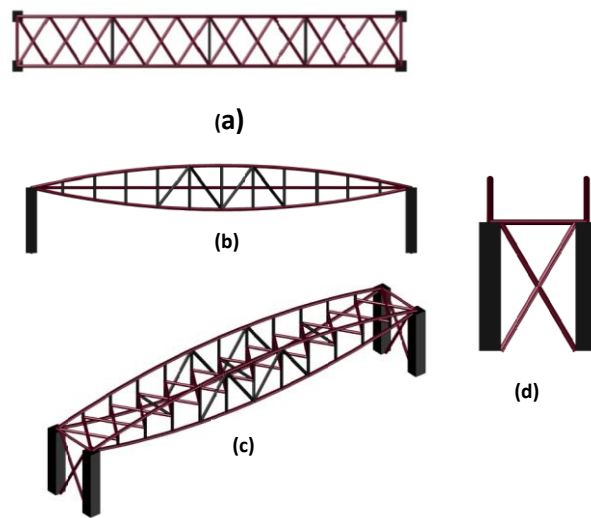
Anahtar Kelimeler: Köprü, Deformasyon, Fotogrametri

1.Giriş

Fotogrametrik ölçme bir objenin iki boyutlu fotoğrafının alınması ile üç boyutlu değerlendirilmenin yapıldığı bir metottur (David and Ja'uregui etc 2003). Fotogrametrik teknikler bir kameranın en az iki farklı konumundan veya en az iki kameradan alınan görüntüler ile mühendislik yapılarının doğasına uygun çok fazla sayıda nokta kümesi yardımıyla 3-D deformasyon ölçmesi imkân sağlar (Albert, etc 2002; Hampel 2010). Fotogrametrik yöntemlerin avantajı kontaklı olmamasıdır (Maas and Hampel 2003, Hampel and Maas 2006; T., Whiteman 2002). Buda alet kurulma ve yöneltme hatasını ortadan kaldırmaktadır. İzlenen yapının boyutuna bağlı olarak bir yada iki boyutlu deformasyonların belirlenmesi için tek bir kamera yeterli olabilir.

2.Tasarlanmış Köprünün Tanıtımı

Köprü nehir köprüsü olarak tasarlanmıştır. Köprünün açıklığı 6.90 mt, genişliği 0,90 mt, maksimum yüksekliği 1,60 m, olan ve tabliye kısmı alttan ve üstten gelen kemerlerin ortasında; yerden 1.20 mt yukarıdadır. Birleşim yerlerinde 6mm ve 8mm levhalar kullanılmıştır. Cıvatalar arası yatay e mesafeleri minimum 3.5d, köşelere minimum 27°2,5, kolonlar kutu profil olup 80x80x3 boyutlarında optimizasyon yapılarak seçilmiştir. Seçilen tüm profiller 2d uzaklıkta tasarlanmıştır. Kemer kirişlerin dış kısımları 34°3 lük boru profil, dikme, çapraz ve tabliye kısımları yarışma şartlarında da belirtilen st-37 mukavemet özelliğini taşımaktadır. Köprünün genel görünüşleri Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. (a) Köprünün üstten görünüşü; (b) Köprünün önden görünüşü; (c) Köprünün 3 boyutlu görünüşü; (d) Köprünün yandan görünüşü

3. Jeodezik ağı ve deney düzeneğinin tanıtılması

Laboratuvar ortamında farklı yükseklik ve mesafelerde 17 adet referans noktası tesis edilmiştir. Bu noktaların hareketsiz bölgelerde bulunmasına dikkat edilmiştir (laboratuvarın kolon, giriş ve duvarlarında v.b) (Şekil 2). Laboratuvar ortamında belirlenen noktalar Şekil 2'de verilen hedef işaretleri kullanılarak belirgin hale getirilmiştir. Referans noktaları reflektörsüz total station kullanılarak ölçülmüştür. Referans noktalarına lokal koordinat sisteminde koordinat verilmiştir. Köprü üzerinde deformasyonları belirleyebilmek için 2 adet obje noktası seçilmiştir (O_U ve O_A) (Şekil 3). Bu noktaların bulunduğu yere 2 adet Komparatör yerleştirilmiştir.

Çalışmada köprüye yük verilmeden önce okumalar yapılmış ve bu okumalar referans okuması olarak alınmıştır. Yük verildikten sonra farklı yüklerdeki okumalar komparatörlerin de okuma gerçekleştirdiği

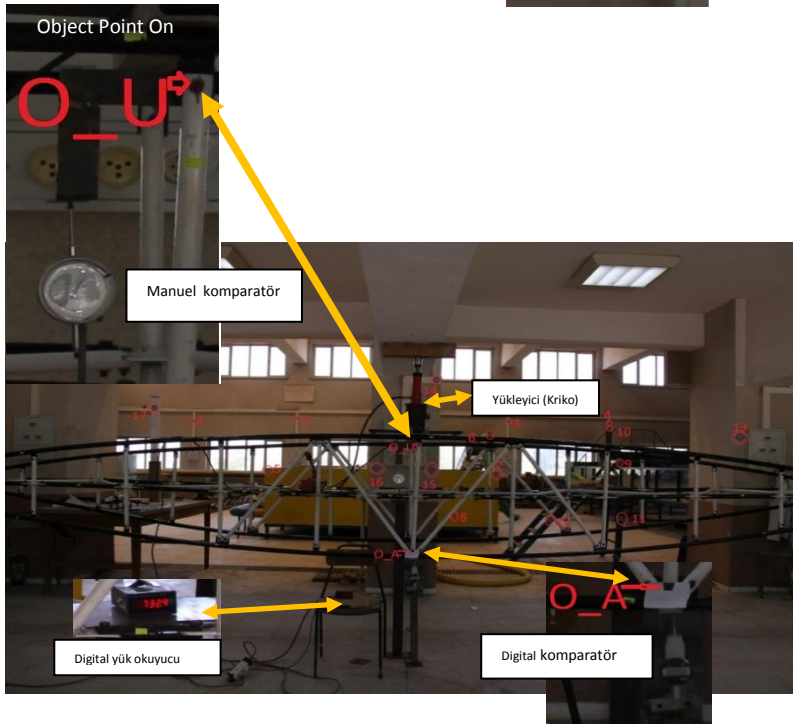
noktalarda reflektörsüz olarak görünür lazer ışığı göndererek aynı noktalarda yapılmıştır.

Fotogrametrik yöntem ile analiz yapabilmek için 15.3 Mega pixele sahip Canon EOS 50D DSLR fotoğraf makinesi kullanılmıştır. Fotoğraf makinesi düzeçli bir tripoda monte edilerek hareketsiz olması sağlanmıştır. Ayrıca çekim esnasında deklanşöre basarak makinede harekete neden olmamak için uzaktan kumandalı bir deklanşör kullanılmıştır. Fotoğraf çekimleri köprüden 3m uzaklıkta belirlenen 2 adet nokta üzerinden tek fotoğraf makinesi ile gerçekleştirilmiştir. Belirlenen bu iki nokta arasındaki yatay mesafe yaklaşık 30 cm' dir.

Düşey deplasmanların gerek jeodezik yöntemlerle yapılan ölçümlerinde gerekse jeodezik olmayan yöntemlerle yapılan ölçümlerinde hem üst başlık hem de alt başlık elemanları üzerinde yer alan iki noktanın yükleme altındaki yer değişimleri kullanılmıştır. Şekil 3'de köprü'nün genel görünümü ile deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 2. Jeodezik referans ağı ve hedef işareti



Şekil 3. Köprü'nün genel görünümü ile deney düzeneği

4.Fotogrametrik yöntem

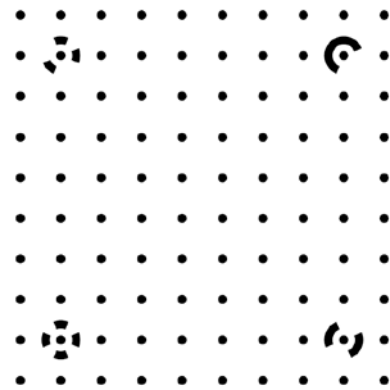
Fotogrametri genel olarak, cisimler ve oluşturdukları çevreden yayılan ışınların şekillendirdiği fotoğrafik resimlerin ve yaydıkları elektro manyetik enerjinin kayıt, ölçme ve yorumlama işlemleri sonunda bu cisimler ve çevre hakkında güvenilir bilgilerin elde edildiği bir teknoloji ve bilim dalıdır. Hava ve yersel fotogrametri olmak üzere iki kısma ayrılır. Bu çalışmada yersel fotogrametri tekniği kullanılarak, değişik yük düzenekleri altındaki noktaların hareketi izlenmiştir. Yersel fotogrametri ile obje üzerinde herhangi bir amaçla ölçü yapılması yada 3B bilgi elde edilebilmesi için kullanılacak kameranın metrik olması gerekmektedir. Metrik kamera iç yönelme elemanları (odak uzaklığı, asal nokta koordinatları ve distorsiyonlar) bilinen kameradır. Çalışmada kullanılan kamera bu amaca yönelik olarak kalibre edilmiştir. Kalibrasyon, Photomodeler yazılımı ile bu yazılımın sunduğu test alanına kamera ile çekilen 12 adet görüntü kullanılarak yapılmıştır. Test alanı üzerinde jeodezik koordinatları belli 4 adedi kontrol noktası olmak üzere toplam 100 adet noktadan oluşmaktadır (Şekil 5). Kalibrasyon sürecinde kullanılan matematik model, fotogrametrinin temel eşitlikleri olan kollinarite eşitlikleridir. Kalibrasyon işlemini takiben, yer değiştirmenin tespit edileceği uygulama alanında kontrol uzayı oluşturulmuştur. Kontrol uzayı deneysel alan üzerinde tesis edilen ve 3B uzay koordinatları bilinen 17 noktadan oluşmaktadır. Noktalama işareti olarak klasik dairesel işaretler kullanılmış olup, bu noktalara 3B koordinat bilgisi reflektörsüz elektronik takeometre ile verilmiştir. Kalibrasyonu yapılmış DSLR Canon EOS 50D kamerası ile deneysel alana 8 farklı yüklemeye zamanı için bindirmeleri yüksek olmak kaydıyla 3 m mesafeden çift görüntü çekimi yapılmıştır. Alınan bu görüntüler ayrı ayrı çiftler olarak PhotoModeler yazılımında değerlendirilerek deformasyon noktalarındaki değişimler analiz edilmiştir. Çift görüntülerin yönelme işlemi karşılıklı ve mutlak yönelme olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Karşılıklı yönelme sırasında görüntüler üzerinde seçilen en az 6 adet yönelme noktası kullanılmıştır. Yönelme sırasında ölçülen resim koordinatları karesel ortalama hatası (Overall RMS) 0.029 pixeldir. Böylece deneysel alandaki bütün noktaların da üzerinde görülebildiği 3B model alanı 0.00174 m. duyarlılıkla ortaya çıkarılmıştır. Her bir resim çifti için oluşturan modelin başlangıçta belirlenen jeodezik koordinat sistemine transformasyonu içinde mutlak yönelme işlemi yapılmıştır. Böylece model alanı üzerinde seçilen her bir detaya 3B koordinat verilmesi sağlanmıştır. Bütün bu işlemler PhotoModeler yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Yönelme işleminden sonra deneysel alan üzerinde seçilen deformasyon noktalarına her oturum için ayrı ayrı koordinat verilmiştir.

5.Deneyin yapılışı

Bu çalışmada bir taşıyıcı sistem olarak tasarımı yapılmış olan çelik köprünün jeodezik ve jeodezik olmayan yöntemlerle dış yükler altında göstermiş olduğu davranış incelenmiştir. Mevcut laboratuvar ortamı köprünün tabliye diyagonalleri aracılığıyla yerçekimi doğrultusunda yüklenmesine olanak tanımadığından hidrolik kriko aracılığıyla verilecek olan deplasmanların köprüye aktarılmasında rijit bir kesite sahip olan I-kesitli bir yatay taşıyıcı eleman tercih edilmiştir. Hidrolik kriko bir I-kesitli kiriş üzerine oturtulurken araya yük hücresi yerleştirilmiş üst taraftan da laboratuvarın kirişi tarafından sınırlandırılmıştır. I-kesitli yatay taşıyıcı eleman ise köprünün orta açıklığında üst başlık elemanları üzerine oturtulmuştur.

Düşey doğrultudaki deplasmanlar köprüye köprünün orta açıklığında yer alan I kesitli yatay taşıyıcı eleman aracılığıyla köprünün üst başlık elemanlarına verilmiştir. Bu deplasmanlara köprünün gösterdiği direnç yük hücresi aracılığı ölçülmüştür.

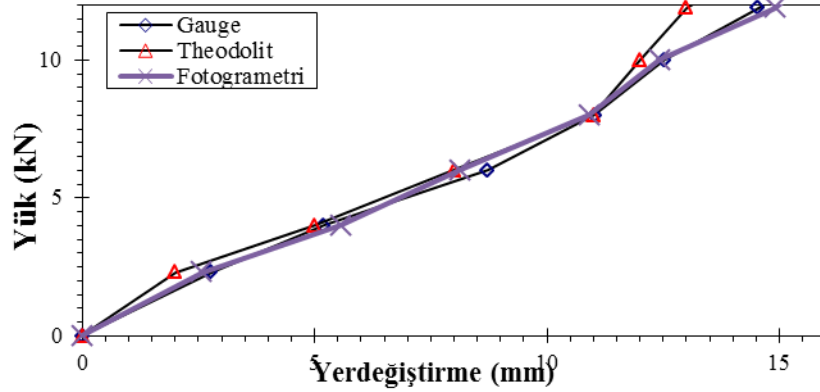
Bu kapsamda köprü kademe kademe hidrolik kriko aracılığıyla orta açıklıkta deformasyona maruz bırakılmıştır. Mevcut yüklemeler altında köprü elemanlarının plastik deformasyon göstermeyecek şekilde yüklemeye yapılmasına yani köprünün doğrusal bir davranış göstermesine dikkat edilmiştir ve her yük adımıyla orta açıklıkta meydana gelen deplasmanlar reflektörsüz teodolit ve komparatörler aracılığıyla ölçülmüştür. Aynı anda, Köprüden 3m uzaklıkta ve aralarındaki yatay mesafe 30 cm olan iki noktadan Canon EOS 50D DSLR fotoğraf makinesi ile resimler çekilmiştir. Fotogrametri ve sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen deformasyon değerleri deneysel ölçümler ile kıyaslanmıştır.



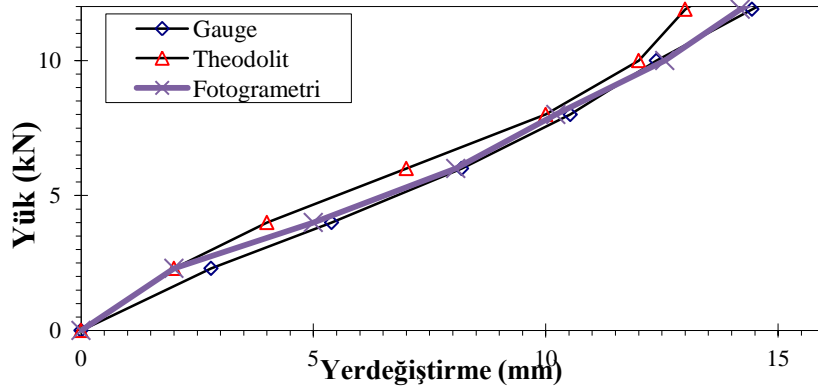
Şekil 5. Kalibrasyon test alanı

6.Sonuç ve Yorumlar

Reflektörsüz Teodolit, Komparatör ve Fotogrametrik analiz yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar birbirlerini doğrular niteliktedir. Gerek Fotogrametrik analizden elde edilen sonuçlar gerekse deneysel programdan elde edilen sonuçlar Şekil 6 ve Şekil 7' de köprü üzerinde belirlenmiş olan her iki obje noktası için ayrı ayrı gösterilmiş durumdadır.



Şekil 6 – Üst başlıkta yer alan referans noktasının yüke bağlı yer değişimi



Şekil 7 – Alt başlıkta yer alan referans noktasının yüke bağlı yer değişimi

Şekil 6 köprünün orta açıklığında üst başlık üstünde yer alan referans noktasının tanımlanmış olan düşey yükleme altındaki davranışını göstermektedir. Köprüye orta açıklıkta yüklenmiş olan yük (kN) grafikte düşey eksende yer alırken, bu referans noktasının yapmış olduğu yer değiştirmeler (mm) grafikte yatay eksende gösterilmiştir. Köprünün orta açıklığında üst başlık üstünde yer alan referans noktasına benzer şekilde alt başlık noktasında yer alan referans noktasının düşey yükleme altındaki davranışı da Şekil 7'de gösterilmiştir. Şekil 6 ve Şekil 7'de görüldüğü üzere Sayısal analiz sonucu elde edilen davranış ile deneysel çalışmada elde edilen davranış arasındaki fark çubuk elemanların bağlantıları esnasında çubuk kesitlerinde meydana gelen kayıplar ve sistemin genelinin rijitliği az bir yapıya sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Yine gerek malzeme, gerek, kesit özellikleri ve gerekse de

sınır koşullarında kabul edilmiş olan yaklaşımlar ile gerçek numune arasındaki farklarda nispi oranda bu farka katkıda bulunmaktadır.

Kaynaklar

1. Maas, H.G., Hampel, U., "Photogrammetric Techniques in Civil Engineering Material Testing and Structure Monitoring," *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 72(1), pp. 39-45 (2006).
2. Hampel, U., "Crack detection during load tests in civil engineering material testing with digital closed range photogrammetry – algorithms and applications," *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII, Part 5 Commission V Symposium, Newcastle upon Tyne, UK.* 2010 268 (2010).

3. Jauregui, D V., White, K. R., Woodward, C. B. and Leitch, K. R., "Noncontact Photogrammetric Measurement of Vertical Bridge Deflection," *Journal of Bridge Engineering*, ASCE / Jul/Aug. (2003).

4. Albert, J., H.-G. Maas, A. Schade, W. Schwarz, "Pilot studies on photogrammetric bridge deformation measurement", *Proceedings of the 2nd IAG Commission IV Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering*, 21–24 May, Berlin, Germany. (2002).

5. Hampel, U., Maas, H.-G., "Application of digital photogrammetry for measuring deformation and cracks during load tests in civil engineering material testing " (A. Grün and H. Kahmen, editors), *Optical 3-D Measurement Techniques VI, Volume II*, pp. 80–88 (2003).

6. Whiteman, T., Lichti, D., Chandler, I., "Measurement of deflections in concrete beams by close range photogrammetry," *ISPRS Commission IV Symposium: Geospatial Theory, Processing and Applications, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume XXXIV, Part 4 (2002).