

DİJİTAL FOTOGRAMETRİ YÖNTEMİ İLE ZEMİN KAYMA YÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ

¹Atıla DEMİRÖZ, ²Özcan TAN, ³Ayhan GÖKTEPE, ⁴Hakan KARABÖRK

^{1,2}Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Selçuklu, Konya, TÜRKİYE

³Selçuk Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Selçuklu, Konya, TÜRKİYE

⁴Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Selçuklu, Konya, TÜRKİYE

¹ademiroz@selcuk.edu.tr, ²ozcantan@selcuk.edu.tr, ³agoktepe@selcuk.edu.tr, ⁴hkarabork@selcuk.edu.tr

(Geliş/Received: 18.12.2017; Kabul/Accepted in Revised Form: 28.12.2017)

ÖZ: Model temellerle yükleme deneylerinde sınır taşıma gücüne ulaşıldığı anda kırılma yüzeyleri çıplak gözle görülemede, kırılma yüzeylerini görmek için deneye bir süre daha devam ederek temelin oturmasının artması gerekmektedir. Bu durumda çıplak gözle belirlenen kırılma yüzeyleri gerçekte kırılma anına karşılık gelen yüzeyler olmadığından ölçülen kırılma geometrisi de gerçek durumu yansıtmamaktadır.

Bu çalışmada kırılma yüzeylerinin fotogrametri tekniği ile yüklemenin başlangıcından sonuna kadar sürekli olarak izlenebilmesidir. Bu amaçla, geogrid donatılı ve donatısız kum üzerine oturan sürekli temellerde taşıma gücünü etkileyen değişik faktörlere göre belirlenen deneyler yapılmış ve fotogrametrik olarak izlenmiştir. Deneylerde çekilen fotoğraflar dijital fotogrametri tekniğiyle değerlendirilerek kayma yüzeyleri sayısallaştırılarak koordinatları belirlenmiştir. Bu teknik ile donatılı ve donatısız zeminlerde oluşan kayma yüzeyleri daha doğru bir şekilde belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dijital fotogrametri tekniği, Geogrid, Görüntü analizi, Sürekli temel.

Evaluation of The Shear Surfaces in The Soils Using Digital Photogrammetry Technique

ABSTRACT: During the loading tests with model foundations, it is not possible to see the failure surfaces with the naked eye when the limit bearing capacity is reached and it is necessary to continue the test for a while to see the failure surfaces. In this case, since the failure surfaces determined by the naked eye are not actually the surfaces corresponding to the failure moment, the measured failure geometry does not reflect the actual situation.

The purpose of this study is to continuously monitor the failure surfaces from the beginning to the end of the loading with the photogrammetry technique. For this purpose, tests were carried out and photogrammetrically monitored according to different factors affecting the bearing capacity on strip foundations sitting on geogrid reinforced sand and unreinforced sand. The photographs taken in the tests were evaluated by digital photogrammetry technique and their coordinates were determined by the shear surfaces were digitized. The shear surfaces formed on the reinforced and unreinforced soils with this technique have been determined more accurately.

Key Words: Digital photogrammetry technique, Geogrid, Image analysis, Strip foundation.

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda, taşıma gücünü arttırmak ve oturmaları izin verilen değerlerde tutmak için zemin içerisine yerleştirilen çeşitli donatılar (geotekstil, geogrid vb.) kullanılmaya başlanmış olup, günümüzde kullanımları hızla artış göstermektedir. Geogridler, yüksek çekme dayanımı, elastisite modülü ve sıyrılma direncine sahip, üzerinde düzgün olarak dağılmış elips, dikdörtgen ya da kare boşluklar bulunan ve özellikle zemin güçlendirmesinde kullanılan bir geosentetik türüdür. Geogridlerle güçlendirmedeki asıl amaç, zemin yapısı içerisinde düşük deformasyona karşılık yüksek çekme

mukavemeti oluşturmaktır. Bu da temel zemini ile geogrid arasındaki kenetlenme sayesinde ortaya çıkmaktadır (Demiröz ve Tan, 2008)

Model temellerle yükleme deneylerinde sınır taşıma gücüne ulaşıldığı anda kırılma yüzeyleri çıplak gözle görülemede, kırılma yüzeylerini görmek için deneye bir süre daha devam ederek temelin oturmasının artması gerekmektedir. Bu durumda çıplak gözle belirlenen kırılma yüzeyleri gerçekte kırılma anına karşılık gelen yüzeyler olmadığından ölçülen kırılma geometrisi de gerçek durumu yansıtmamaktadır. Çalışmanın amacı, kırılma yüzeylerinin fotogrametri tekniği ile yüklemenin başlangıcından sonuna kadar sürekli olarak izlenebilmesidir. Bu amaçla, geogrid donatılı ve donatısız kum üzerine oturan sürekli temellerde taşıma gücünü etkileyen değişik faktörlere göre belirlenen deneyler yapılmış ve fotogrametrik olarak izlenmiştir. Dijital fotogrametri üzerinde günümüze kadar çok çeşitli bilimsel araştırmalar yapılmış olup bunlardan birkaç tanesi aşağıda özet olarak verilmiştir.

Summers ve diğ. (2003), Yozgat İli, Kerkenez Dağının eteklerindeki maden devrinden kalma şehrin taş duvarları ve yol kaplamasında kullanılan taşların dokusu fotogrametrik tekniklerle rölöveleri çıkarılmıştır. Çalışmada taş duvarlar için kontrol noktaları belirlenmiş, Total Station ile koordinatları ölçülmüş ve fotoğraflar çekilmiştir. Fotoğraflar AERIAL 5.3 yazılımıyla düzeltme yapılarak AutoCAD yazılımında gerekli çizimler yapılmıştır. İstenen doku, geleneksel yöntemle yapılan ölçüme göre kısa bir sürede tamamlanmıştır.

Yakar ve Yıldız (2005), Konya İli, Beyşehir İlçesinde restorasyon amaçlı belgelendirme ve tespit çalışmasında 29 adet tescilli yapı fotogrametrik olarak belgelenmiştir. Araştırmacılar projede TOPCON 3005 Total Station aletiyle 15 adet kontrol noktasında ölçümler yapmış ve daha sonra tescilli yapıları Kodak EasyShare DX4530, Nikon Coolpix 950 dijital kameralarla fotoğrafları çekilmiştir. Sonuç olarak tüm rölöveler Photo Modeler yazılımıyla 3D boyutlu olarak oluşturulmuştur.

Yalçın (2005), Doğu Karadeniz Bölgesinde Rize İli, Ardeşen İlçesinde yerleşim yerlerinin yoğun olduğu alanlarda heyelan duyarlılık analizi yapılarak, heyelan açısından tehlikeli alanların belirlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması ve de yeni yerleşim merkezlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma alanında Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ve dijital fotogrametri tekniklerinden yararlanılarak heyelan bölgesinin heyelan envanter haritası üretilmiştir.

Avşar (2006), çalışmasında, Kapuağası Köprüsündeki her bir taşın 2B ve 3B koordinatları belirlemek amacıyla köprünün her iki yüzünün resimleri yüzeye paralel ve bindirmeli olarak yaklaşık 10, 20 ve 40 m mesafeden çekilerek fotogrametrik değerlendirmesi Pictran yazılımı ile yapılmıştır. Sonuç olarak köprünün çeşitli ölçeklerde rölöveleri üretilmiş ve üç boyutlu olarak modellenmesi yapılmıştır.

Aydar (2007), tarafından yapılan çalışmada, İstanbul Tapu ve Kadastro II. Bölge Müdürlüğü Binasının ön cephe resimlerini cep telefonu ve dijital kamera ile çekerek elde edilen resimleri Pictran, Photo Model ve Pho Topol fotogrametrik yazılımları kullanarak düşeye çevirmiştir. Çalışmanın amacı, iki ayrı veri elde etme aracıyla alınan resimlerin düşeye çevirme yöntemi kullanarak karşılaştırma yapılmasıdır. Araştırmacı elde edilen sonuçlara göre cep telefonu ile çekilen resimlerin dijital kamerayla çekilen resimlere göre daha iyi sonuçların alındığını belirtmiştir.

Yakar ve diğ. (2005), Konya İli, Sille Köyünde (Mahallesi) tarihi dokunun korunması amacıyla yapılan Kentsel Koruma Projesi'nde fotogrametrik ölçüm teknikleri esas alınarak rölöve ve sokağın silüetlerinin çıkarılması hedeflenmiştir. Proje çalışmasında Kodak DSC 4530 dijital kamera ile sokağın fotoğrafları çekilmiş ve Photo Modeler yazılımıyla elde edilen tüm çizimler değerlendirilmiştir.

Bitellia ve diğ. (2007), Pompeii antik kentteki "Lararium" tapınağının (antik Roma evlerinde, LAR adı verilen ve evlerin içini koruduğuna inanılan tanrıya adanmış kutsal mekân, bi nevi küçük tapınma mekânı) günümüze kadar meydana gelen değişiklikleri ortaya çıkarmak amacıyla objenin üç eski fotoğrafından yararlanarak, geçmişteki durumunun modellenmesi ve de fotogrametrik yöntemlerle Lararium'un mevcut hali modellenmiştir.

Erwes ve diğ. (2003), tarafından yapılan çalışmada, Brezilya'da 23 m. yüksekliğinde 107 m. uzunluğundaki binanın fotogrametrik olarak ölçekli cephe üç ayrı ortofoto üretilerek ele alınmıştır. Araştırmacılar, binanın büyük oluşu ve ağaçların olması nedeniyle yakından fotoğraf çekerek binanın üç ayrı parça olarak ele alınmış ve üç ayrı ortofoto üretilerek daha sonra birleştirilmiştir. 30 adet kontrol

noktası belirlenerek kontrol noktaları arasındaki mesafeler ölçülmüştür. Ayrıca ölçümler, LEICA TSR 307 Total Station aleti ile koordinat sistemiyle ölçümler tekrar kontrol edilmiştir. PhotoModeler 4.0 yazılımıyla ortofotolar üretilerek ve ortofoto görüntüleri AutoCAD yazılımı ile cepheye ait çizimler elde edilmiştir.

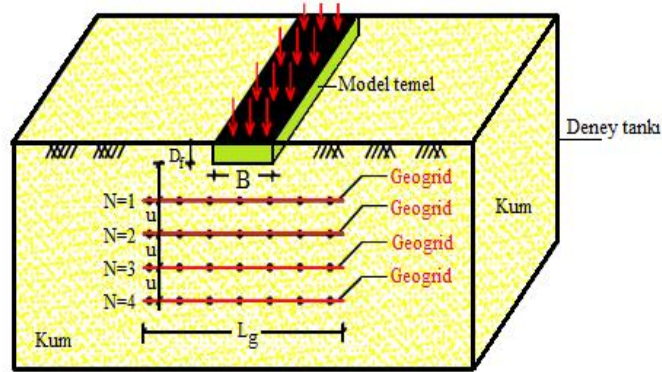
Köken ve diğ. (2014), yazarlar, tersinir-tekrarlanır yüklemeye maruz kiriş-kolon birleşim bölgelerindeki dönme açısının tespitinde iki farklı ölçüm tekniği kullanmışlardır. Birinci yöntemde yapı mekaniği deneylerinde yaygın olarak kullanılan klasik ölçüm tekniğiyle yer değiştirmeler elektronik deplasman ölçerler (LVTD) yardımıyla ölçülmüştür. İkinci yöntemde dijital fotogrametrik ölçüm tekniği kullanılmıştır. Test edilen 10 adet deney numunesinin kiriş-kolon birleşim bölgesindeki dönme açıları bu iki yöntem kullanılarak belirlenmiştir. Her iki yöntemde ölçüm ve değerlendirme prosedürü tartışıldıktan sonra elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Çalışma sonunda fotogrametrik ölçüm tekniğinin elektronik deplasman ölçerlerin (LVDT) kullanıldığı klasik ölçüm tekniğine alternatif olabileceği sonucuna varılmıştır.

Maraş ve diğ. (2016), Bu çalışmada, Kurt Köprüsünün dokümantasyonun hazırlanması, tahrip olmuş yapısının, tahrip olan kısımlarına ait bilgilerin dijital fotogrametri tekniğiyle 3B model oluşturulmuştur. 3B modeller üzerinden köprüünün plan, kesit ve görünüşleri hazırlanmıştır.

DENEYSSEL TASARIM VE DİJİTAL FOTOMETRİ YÖNTEMİ (EXPERIMENTAL DESIGN AND DIGITAL PHOTOMETRY METHOD)

Seçilen Tasarım Parametreleri (Selected Design Parameters)

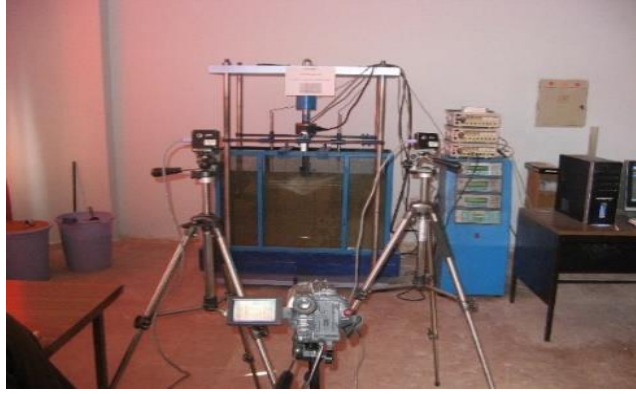
Çalışmada; geogrid donatılı kum üzerine oturan sürekli temellerin sınır taşıma gücünü etkileyen ve kontrol edilebilen donatı etki oranı (u), temel genişliği (B), temel derinliği (D_f), donatı tabaka sayısı (N), donatı tabakasının uzunluğu (genişliği) (L_g), parametreleri kullanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Donatı geometrik parametreleri

Figure 1. Reinforcement geometric parameters

Model temelerde taşıma gücü deneyleri kumun rölatif sıklığı %85 seçilerek, donatısız ve değişik derinlik oranlarında donatı kullanılarak iki farklı grupta deneyler yapılmıştır. Çalışmaya ait ayrıntılı bilgi Demiröz, (2008) doktora tezinde verilmiştir. Yükleme platformu içerisine yerleştirilen deney tankı alt rijit taban plakasına kaynakla sabitlenmiştir. Böylelikle deney esnasında tankın herhangi bir dönme ve ötelenme yapması engellenmiştir (Şekil 2). Deneylerde donatı malzemesi olarak kullanılan GEOGRİD UR55 Türkiye'de 2000 yılından beri Çevre Plastik Ürünleri San. Tic. Taah. Ltd. tarafından üretilmektedir (URL-1). Yerleştirilen donatılar boyuna nervürler, temel plakasının uzun kenarına paralel olarak yerleştirilmiştir. Deneyde kullanılan kum zeminin sınıfı kötü derecelenmiş temiz kumdur (SP). Kuma ait sonuçları aşağıda verilmiştir (Çizelge 1).



Şekil 2. Deney kasası ve yükleme çerçevesi
Figure 2. Test case and loading frame

Çizelge 1. Kumun fiziksel özellikleri
Table 1. Physical properties of sand

Tanımlama (USCS)	SP
Efektif dane çapı D_{10} (mm)	0,35
D_{30} (mm)	0,48
D_{60} (mm)	0,55
Üniformluk katsayısı C_u	1,375
Derecelenme katsayısı C_c	1,05
Özgül yoğunluk G_s	2,68
Minimum boşluk oranı (e_{min})	0,53
Maksimum boşluk oranı (e_{max})	0,71
Minimum kuru birim hacim ağırlığı γ_{min} (kN/m ³)	15,54
Maksimum kuru birim hacim ağırlığı γ_{max} (kN/m ³)	17,52
Rölatif Sıklık (%)	85

Dijital Fotogrametri ile Deney Tasarımı (Experimental Design with Digital Photogrammetry)

Dijital fotogrametri sayısal kameralar ile çekilen stereo fotoğraflar yardımıyla güvenilir ölçüler elde etme bilimi ve tekniğidir. Fotogrametri; fotoğraflar üzerinden nesnelere ölçme tekniği ve görüntü verilerinin metrik yorumlanması olarak da tanımlanmaktadır (Wolf ve Dewitt, 2000). İnsanoğlu objelere bakarken sağ ve sol göz, objeleri farklı açılarla görmekte ve her gözde cismin ayrı bir görüntüsü oluşmaktadır. Bu görüntüler optik sinirler aracılığıyla beynin görme merkezinde birleştirilerek 3B görme olayı gerçekleşmektedir. Fotogrametrik değerlendirme yapılacak sahanın iki farklı noktadan ortak görüntü alanı oluşturacak şekilde sayısal görüntüleri elde edilmekte ve bu fotoğrafların ortak görüntü alanlarının 3B görüntü değerlendirmesi yapılmaktadır. Fotogrametri, gelişen teknolojiye paralel olarak bugün, artık fotoğraf yerine video veya CCD (Charge Couple Device, Yük bağlamalı Düzen, Dijital) kameralarla üretilen veya tarayıcılarla elektronik olarak optik ya da manyetik ortamlara sayısal olarak kaydedilen görüntüleri kullanmaktadır.

Dijital Fotogrametride Kullanılan Yazılımlar (Software Used in Digital Photogrammetry)

Fotogrametrik çalışmalar için kullanılacak sayısal kameralar yüksek çözünürlüklü olmalıdır (Göktepe, 1998). Düşük çözünürlüklü kameralar üç boyutlu görsel sunular için yeterli olabilir ancak metrik ölçümler için yeterli değildir. Kullanılacak yazılımlar ihtiyaca göre seçilir. Üç boyutlu görselleştirme ya da ortofoto yapılacaksa yazılım amaca uygun seçilmelidir. Sağladığı üstünlüklerden dolayı ışın demetleri yöntemine göre alım yapıldıysa bu yöntemin verilerini kullanan değerlendirme

yazılımları kullanılmalıdır. Her türlü CAD yazılımı ve bu verileri kullanabilen görsel sunum araçları değişik ihtiyaçlar için kullanılabilir. Ancak günümüzde resimler doğrudan digital formatta çekilmekte ve bilgisayar ortamında bu amaçla yazılmış programlarla (Pictran, Photomodeler, Z-Map, vs) değerlendirilmektedir. Çalışmada dijital görüntü işlemek için kullanılan yazılım Pictran yazılımıdır. Pictran yazılımı, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü Fotogrametri Laboratuvarından temin edilerek değerlendirilmeler yapılmıştır.

Deneylerde Dijital Fotogrametri Yönteminin Uygulanması (Application of Digital Photogrammetry in Experiments)

Deneylerde çekilen resimlerden, kayma yüzeyinin ilk oluşumunu, yatay hareket miktarını, kum zemindeki kabarmaları ve kayma yüzeyinin şeklini belirlemek için dijital fotogrametri yöntemi uygulanmıştır. Deneylerde stereo model oluşturabilmek için farklı noktalardan çekilen sayısal görüntülerin birbirleriyle %60-%70 örtülü alan oluşturacak şekilde alımları yapılmıştır.

Görüntüler bilgisayar kontrollü olarak çalışan 1/150 sn hızında seri çekim yapabilen Dragonfly Express video kamera ile alınmıştır. Kamerada alınan görüntülerin tek bir fotoğrafik görüntü olarak da kaydedilme özelliği mevcuttur. Görüntüler alınırken poz aralığı olarak 1/15 sn/poz seçilmiştir. Poz aralığının büyük seçilmesinin nedeni, yük uygulandığı zaman objedeki deplasmanları daha net ve belirgin olarak görüntüleyebilmektir. Deplasmanlar yük uygulandığı anlarda olduğundan dinamik bir hareket söz konusu değildir. Çekilen resimlerin bilgisayar ortamında dijital fotogrametri PICTRAN yazılımında dış yöneltmesinin (exterior orientation) yapılabilmesi için obje üzerinde 12 adet sabit kontrol noktası işaretlenmiştir. Bu noktalar, TOPCON GTS 701 elektronik uzunluk ölçer (EUÖ) ile ölçüleri yapılmıştır (Şekil 3). Bu noktaların hesaplanan koordinatları (X, Y, Z) Çizelge 2’de verilmiştir.



Şekil 3. TOPCON GTS 701
Figure 3. TOPCON GTS 701

Çizelge 2. Deney tankı üzerindeki kontrol noktalarının obje koordinatları

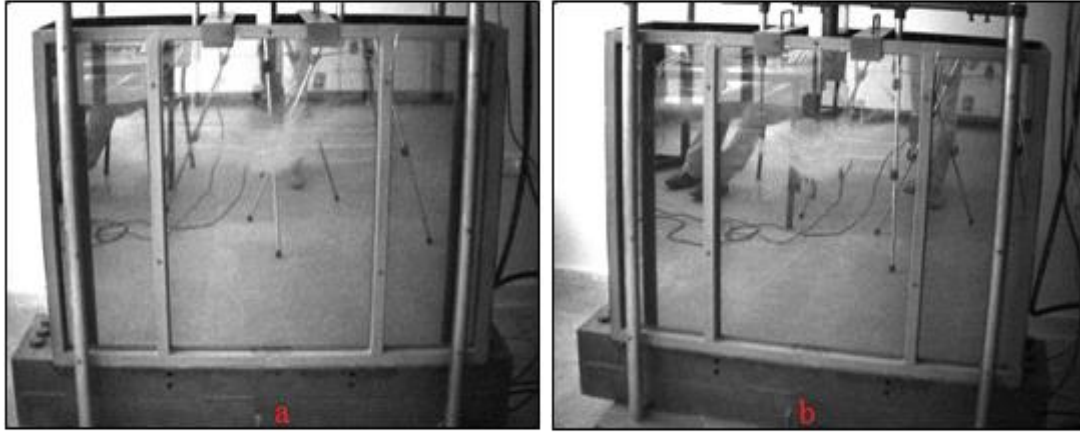
Table 2. Object coordinates of control points on the test tank

Nokta	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	99.4910	400.3420	304.2650
2	99.0220	400.3500	304.2660
3	98.7570	400.3360	304.2680
4	99.3970	400.5420	304.3170
5	98.9890	400.5440	304.3190
6	99.4020	401.0880	304.3180
7	98.9620	401.0850	304.3160
8	99.4270	401.2940	304.2680
9	99.0750	401.2910	304.2660
10	99.7770	401.2880	304.2670
11	100.1490	401.1980	304.2190
12	99.5120	400.8160	304.3190

Bu çalışmada, objenin ebatları 110 cm, 80 cm ebatlarında, kullanılan Dragonfly video kameranın odak uzaklığı $f=8$ mm'dir. Bu nedenle fotoğraf çekimleri, obje ile çekim noktaları arasındaki uzaklık 3 m olarak seçilmiştir. İki çekim noktası arasındaki uzaklık (baz uzunluğu) ise 1,5 m olarak seçilmiştir. Fotogrametride en iyi stereoskopik alan derinliği $b/h=0,3-0,6$ (baz/çekim uzaklığı) oranları arasında sağlanmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada $b/h=0,5$ baz/yükseklik oranı elde edilecek şekilde bir fotoğraf çekim düzeni oluşturulmuştur. Sonuçta fotoğraf ölçeği $1/mr=1/375$ olarak hesaplanmıştır. Böylelikle en uygun stereoskopik görüş ve netlik sağlanmıştır.

Görüntülerin stereoskopik değerlendirmesine geçmeden önce, Dragonfly Express Video kameranın kalibrasyonu yapılmıştır. Kalibrasyonun asıl amacı, kamera sistemini en iyi şekilde ifade eden iç yöneltme (interior orientation) parametrelerin hesaplanmasıdır. Bu parametreler, resim çekim kamerasının düzeltilmiş odak uzaklığı (f), resim ana noktasının (principal point) fotoğraf orta noktasına göre koordinatları (öteleme değerleri x_0 , y_0) ile mercek distorsiyonuna ait denklemin katsayıları hesaplanmıştır. Sayısal görüntüdeki her bir pikselin büyüklüğü ise $7,4$ μm olarak bulunmuştur. Stereoskopik görüntü alımı için objenin iki farklı noktadan görüntüleri alınmıştır. Bu işlem için sol ve sağ kamera objeden 3m uzaklıkta ve 1.5m baz aralığında konumlandırılmış ve görüntüler kaydedilmiştir. 1/15 sn poz aralığında kaydedilen görüntülerin eşzamanlı olanlar arasından en uygun olan iki görüntü seçilmiştir. Seçilen bu iki ortak örtü alanına sahip görüntüler kullanılarak 3B görüntüleri elde edilmiştir. Görüntü alımları, değişik yük kademelerinde ardışık olarak tekrar edilmiştir.

Donatısız deneylere ait olan deneyde 6 dakika süre ile sol ve sağ kameralardan alınmış görüntüler Şekil 4.a ve 4.b'de verilmiştir. Deney sırasında 6 dakika süresince çekilmiş olan görüntüler 1/15 sn/poz aralığında kaydedilmiştir. 15 poz içerisinde eş zamanlı olan iki tanesi alınmıştır.



Şekil 4. (a) Sol kamera ile 6. dakikada alınan görüntü ($B=8$ cm, $D_f=0$ cm), (b) Sağ kamera ile 6. dakikada alınan görüntü ($B=8$ cm, $D_f=0$ cm)

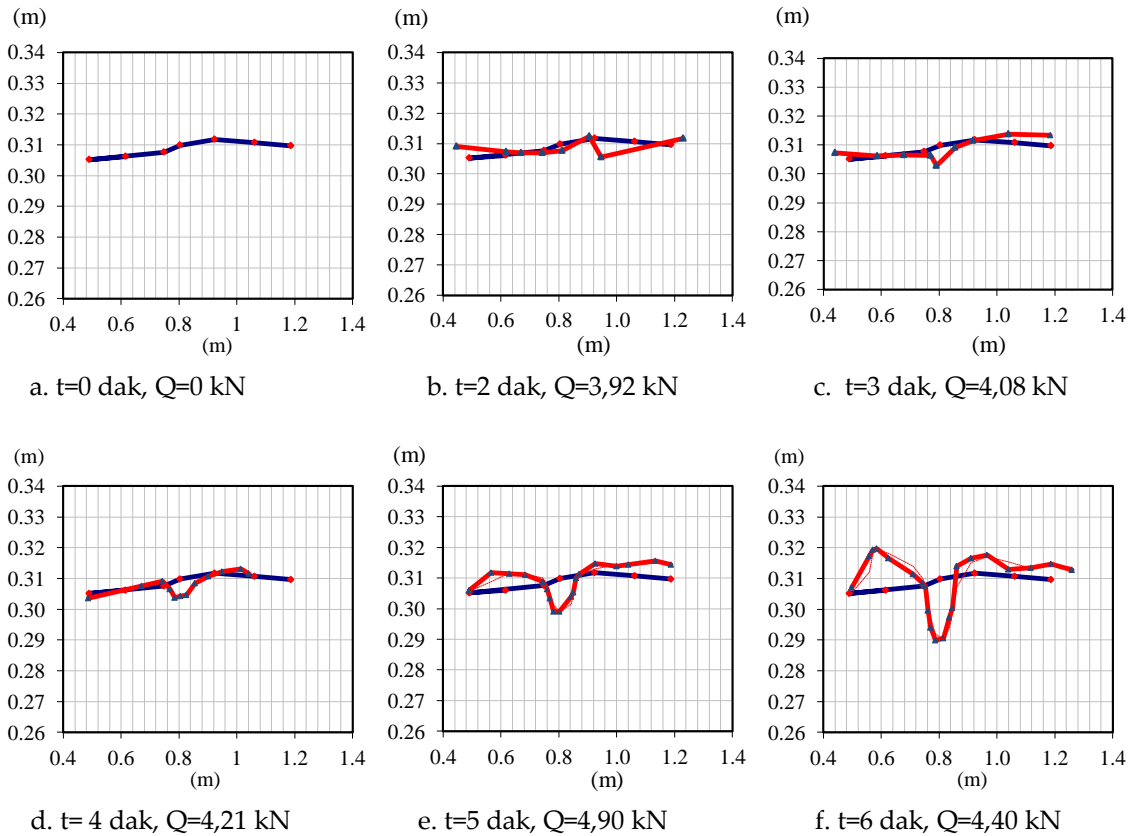
Figure 4. (a) Image taken with the left camera in the 6th minute ($B=8$ cm, $D_f=0$ cm) (b) Image taken with the right camera in the 6th minute

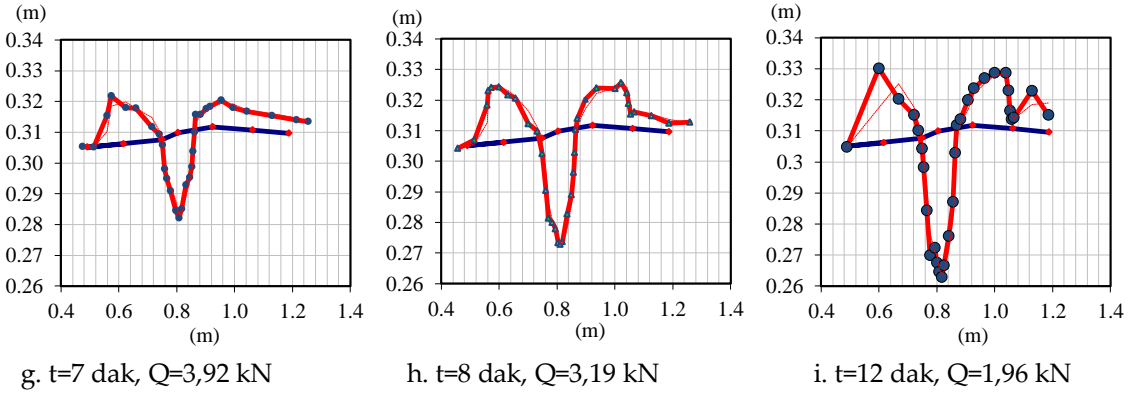
Seçilen eş zamanlı görüntüler ile stereoskopik görüntü (proje) oluşturulmuştur. Projeye ait görüntü özellikleri tanımlandıktan sonra iç yöneltme (interior orientation) işlemi yapılmıştır. İç yöneltme işlemi PICTRAN yazılımının PICTRAN-D modülüyle, demet dengemesi PICTRAN B modülü ile yapılmıştır. Demet dengemesinin amacı, iç yöneltmesi yapılan resimlerin dış yöneltme işlemini gerçekleştirilmesidir. Bu işlem adımı obje üzerinde önceden işaretlenen kontrol noktalarının (12 adet) TOPCON GTS 701 cihazı ile hesaplanan obje koordinatları ile bilgisayar ortamında ölçülen görüntü koordinatları arasında 3B dönüşüm yapılarak her iki koordinat sistemi arasındaki bilinmeyenler hesaplanmıştır. Bu bilinmeyenler obje koordinat sistemi ($X;Y;Z$) ile resim koordinat sistemi ($x;y;z$) arasındaki dönüklük ve öteleme değerlerinin hesaplanması için yapılmıştır.

ZEMİN KAYMA YÜZEYLERİNİN DİJİTAL FOTOGARAMETRİ YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ (EVALUATION OF SOIL SHEAR SURFACES BY DIGITAL PHOTOGRAMMETRY)

Model temellerle yükleme deneylerinde sınır taşıma gücüne ulaşıldığı anda kırılma yüzeyleri çıplak gözle görülememektedir. Dijital fotogrametri tekniğiyle kırılma yüzeyleri çıplak gözle izlemeye göre daha doğru bir şekilde belirlenebilmektedir. Deneylerde çekilen fotoğraflar dijital fotogrametri tekniğiyle değerlendirilerek kayma yüzeylerinin koordinatları sayısallaştırılmıştır. Bu şekilde temel zemininde kırılma gerçekleşene kadar kayma yüzeylerinin gelişimi izlenmiştir. İki farklı açıdan çekilen fotoğraflardan oluşan üç boyutlu görüntülerle obje üzerindeki deplasmanların tespiti için dış yönlendirmede kullanılan obje üzerindeki 12 referans noktası kullanılmıştır. Deneyler esnasında kum tanelerinin hareketlerini modellemek için tank içerisine kum istenilen sıklıkta yerleştirilirken belirli aralıklarla 1-3 sıra beyaz renkli kum taneleri 2-2,5 mm kalınlığında tabaka olacak şekilde serpilmiştir. Bu şekilde deney başlangıcında yatay ve birbirine paralel olan doğrulara (referans doğruları) ait koordinatların deney esnasındaki değişimi izlenmiştir. Temel genişliği B=8 cm olan donatısız ve donatılı temeller için yapılan değerlendirme sonuçları örnek olarak verilmiştir.

Temel genişliği B=8 cm ve temel derinliği D=0 olan donatısız deneyde deney başlangıcından itibaren t=0, t=2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ve 12 dakikalarda çekilen resimler değerlendirilerek referans doğrusunun (beyaz renkli ince kum tabakasının) koordinatları belirlenmiştir. Verilen grafiklerden kum tanelerindeki hareketler belirgin bir şekilde görülmektedir. Referans doğrusunun altındaki noktalar kum tanesinin aşağıya doğru hareketini, üstündeki noktalar ise yukarıya doğru hareketini göstermektedir. Deney başlangıcından 5 dakika sonra sınır taşıma gücüne ulaşılmıştır. Deney esnasında kırılma yüzeyleri çıplak gözle t=8 dakika sonra görülmüştür. 5. ve 8. dakikalar için çizilen grafikler karşılaştırıldığında çıplak gözle izlenen kayma yüzeylerinin kayma yenilmesi durumuna karşılık gelmediği, iki durum arasında kum tanesinin yaklaşık 3 cm daha fazla oturma yaptığı görülmektedir. Deney başlangıcında yatay olan doğruya ait koordinatların zamana (yük artışına) bağlı değişim grafikleri Şekil 5'de verilmiştir.





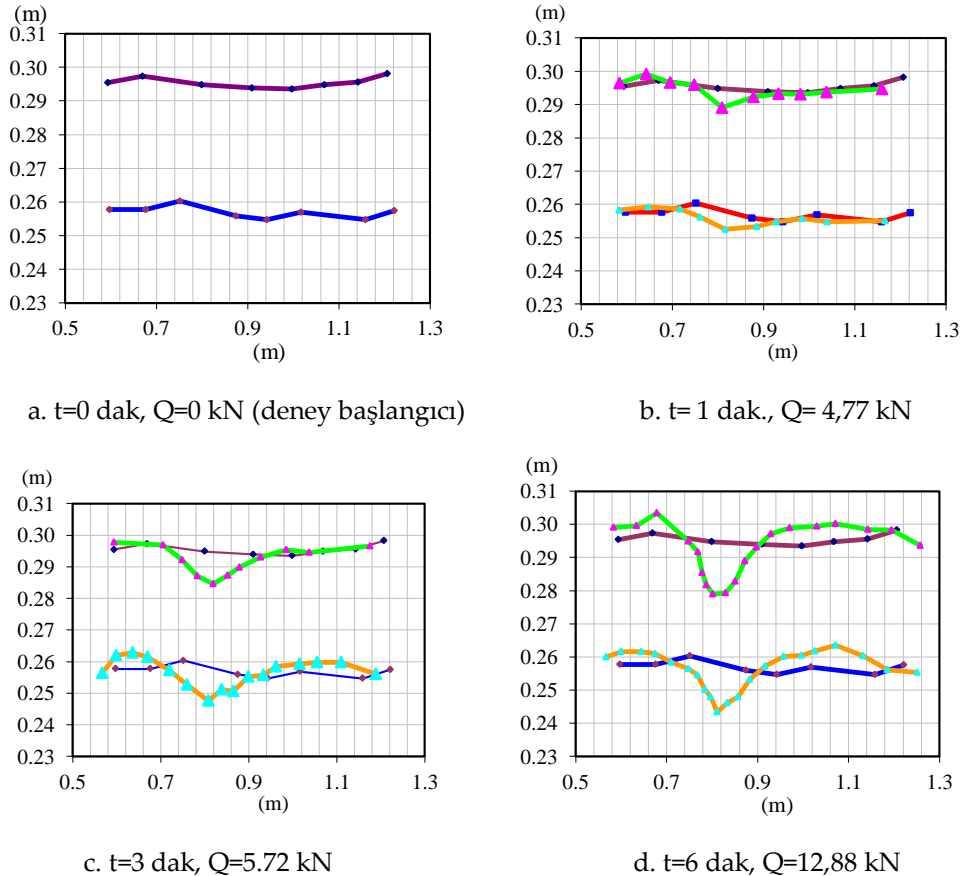
Şekil 5. ($B=8$ cm, $D_f=0$ cm) donatısız zeminde dijital fotogrametri tekniği ile belirlenmiş kum hareketleri

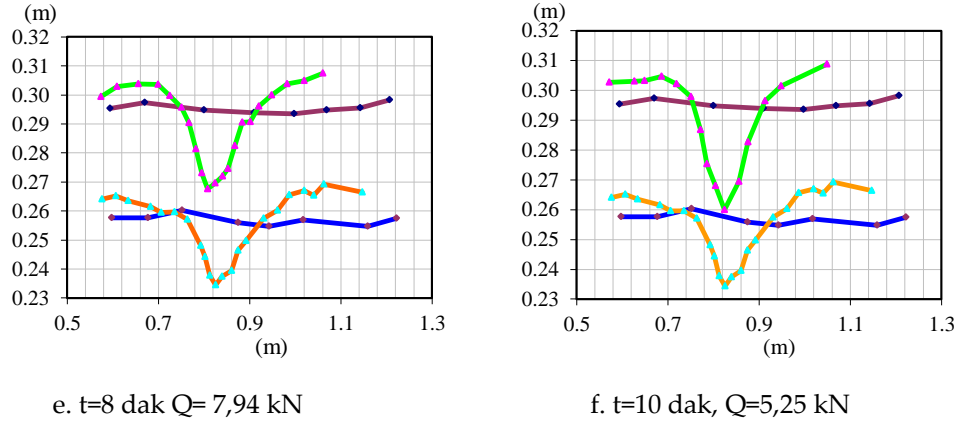
Figure 5. ($B = 8$ cm, $D_f = 0$ cm) sand motions determined by digital photogrammetry in unreinforced soil

Temel genişliği $B=8$ cm, donatı sayısı $N=1$, temel derinliği $D_f=4$ cm, donatı uzunluğu $L_G=80$ cm ve temel tabanı ile donatı arasındaki düşey uzaklık $u=6$ cm olan donatılı deneye ait grafikler şekil 6'de verilmiştir.

Sınır taşıma gücüne ulaşıldığı durum ($t=6$ dak.) ile kayma yüzeyinin belirgin olarak görüldüğü durum ($t=10$ dak.) arasında yaklaşık 2 cm oturma farkının olduğu gözlenmiştir. Grafiklere bakıldığında donatılı zeminlerde sınır taşıma gücüne ulaşmak için donatısız zemine göre daha fazla oturma olduğu görülmektedir.

Donatılı zemin ait resimler şekil 7'de verilmiştir. Çalışmada fotogrametrik olarak gerçekleştirilen deneyler ve deneylerde kullanılan parametreler aşağıda verilmiştir (Çizelge 3).





Şekil 6. ($B=8$ cm $N=1$ $u=6$ cm $L_g=80$ cm, $D_f=4$ cm) donatılı zeminde dijital fotogrametri tekniği ile belirlenmiş kum hareketleri

Figure 6. $B=8$ cm $N=1$ $u=6$ cm $L_g=80$ cm, $D_f=4$ cm) sand movements determined by digital photogrammetry



Şekil 7. Donatılı zemin deneylerine ilişkin görüntüler ($B=4$ cm, $N=3$, $u=3$ cm, $L_g=32$ cm, $D_f=4$ cm)

Figure 7. Images of reinforced soil tests ($B=4$ cm, $N=3$, $u=3$ cm, $L_g=32$ cm, $D_f=4$ cm)

SONUÇ (RESULT)

Fotogrametride elde edilen resimlerin değerlendirilmesindeki otomasyon ve doğruluk, üç boyutlu cisim koordinatlarının resimlerdeki ölçmelerden elde edilmesindeki kolaylık ve sürat, artık fotogrametrinin gelişim yönünü belirleyen en önemli etkidir (Marangoz, 2002). Fotogrametrideki gelişmeler sonucunda fotogrametrik sistemlerin mühendislik uygulamalarında kullanımı yaygın bir şekilde artmaktadır. Fotogrametri kullanıcılarına sağladığı avantaj sayısal görüntü eşleme teknikleri ve dış yöneltme parametreleri ile objenin 3B sayısal modelinin oluşturulmasıdır.

Bu çalışmada elde edilen sayısal sonuçlar ve görsellere göre kum tanelerindeki deplasmanlar belirgin bir şekilde görülmektedir. Referans doğrusunun altındaki noktalar kum tanelerinin aşağıya doğru hareketini, üstündeki noktalar ise yukarıya doğru hareketini göstermektedir. Deney başlangıcından 5 dakika sonra sınır taşıma gücüne ulaşılmıştır.

Deney esnasında kırılma yüzeyleri çıplak gözle $t=8$ dakika sonra görülmüştür. 5. ve 8. dakikalar için çizilen grafikler karşılaştırıldığında çıplak gözle izlenen kayma yüzeylerinin kayma yenilmesi durumuna karşılık gelmediği, iki durum arasında kum tanelerinin yaklaşık 3 cm daha fazla oturma yaptığı görülmektedir.

Dijital fotogrametri tekniğiyle kayma bölgesindeki daha fazla sayıdaki noktanın koordinatları izlenerek daha kapsamlı sonuçlar geliştirilebilir. Bu şekilde kayma yüzeylerinin ilk oluştuğu andaki oturma ile sınır taşıma gücü arasındaki ilişkileri modellenebilir, ayrıca kayma bölgesindeki üçgen

kamanın dengesini dikkate alan taşıma gücü teorilerinin gerçek kayma yüzeyleri dikkate alınarak geliştirilmesi de araştırılabilir.

Çizelge 3. Dijital fotogrametri ölçümleri

Table 3. Digital photogrammetry measurements

Deney No	DONATISIZ					KONTROL DENEYLERİ
	Donatı Parametreleri					
	B (cm)	N	U (cm)	L _G (cm)	D _f (cm)	
DZ8-1	8	-	-	-	0	DF UYGULANDI
DZ8-2	8	-	-	-	4	DF UYGULANDI
DZ8-3	8	-	-	-	8	DF UYGULANDI
DZ8-4	8	-	-	-	12	DF UYGULANDI
Deney No	DONATISIZ					KONTROL DENEYLERİ
	Donatı Parametreleri					
	B (cm)	N	U (cm)	L _G (cm)	D _f (cm)	
DZ6-1	6	-	-	-	0	D.F. UYGULANDI
DZ10-1	10	-	-	-	0	D.F. UYGULANDI
DZ4-1	4	-	-	-	0	-
DZ4-2	4	-	-	-	2	-
DZ4-3	4	-	-	-	4	D.F. UYGULANDI
DZ4-1	4	-	-	-	6	D.F. UYGULANDI
Deney No	DONATILI					KONTROL DENEYİ
	Donatı Parametreleri					
	B (cm)	N	U (cm)	L _G (cm)	D _f (cm)	
DN8-1	8	1	4	72	0	D.F. UYGULANDI
DN8-2	8	2	4	72	0	D.F. UYGULANDI
DN8-3	8	3	4	72	0	D.F. UYGULANDI
Deney No	DONATILI					DENEY
	Donatı Parametreleri					
	B (cm)	N	U (cm)	L _G (cm)	D _f (cm)	
T-DN4-1		1	1	16	0	
T-DN4-2	4	2	2	24	2	D.F. UYGULANDI
T-DN4-3		3	3	32	4	D.F. UYGULANDI
T-DN4-4		4	4	40	6	-
T-DN4-5		1	3	48	9	-
T-DN4-6	6	2	1,5	60	6	D.F. UYGULANDI
T-DN4-7		3	6	24	3	D.F. UYGULANDI
T-DN4-8		4	4,5	36	0	D.F. UYGULANDI
T-DN4-9		1	6	80	4	D.F. UYGULANDI
T-DN4-10	8	2	8	64	0	-
T-DN4-11		3	2	48	12	D.F. UYGULANDI
T-DN4-12		4	4	32	8	D.F. UYGULANDI
T-DN4-13		1	10	60	10	D.F. UYGULANDI
T-DN4-14	10	2	7,5	40	15	-
T-DN4-15		3	5	100	0	D.F. UYGULANDI
T-DN4-16		4	2,5	80	5	D.F. UYGULANDI

T: Taguchi Deneyi, DN: Donatılı, DZ: Donatısız, DF: Dijital Foto

B: Temel Genişliği N: Donatı Sayısı u: Donatılar Arası Uzaklık,

L_G: Donatı Uzunluğu, D_f: Temel Derinliği

Dijital fotogrametri tekniği ile sınır taşıma gücüne ulaşıldığı duruma karşılık gelen kayma yüzeylerinin doğru bir şekilde belirlenebileceği, donatılı zeminlerde donatılı zeminlere göre daha fazla oturma olduğu, bu yöntemin taşıma gücü ve diğer geoteknik çalışma alanlarında uygulanabileceği

gösterilmiştir. Dijital fotogrametri tekniğiyle mühendislik yapılarının modellenmesi için yapıya ait bilgiler (rölövesi, ebatları vb) belirlenebilir. Elde edilen veriler yardımı ile yapıların deprem etkisi altında davranışlarının incelenmesi yönünden disiplinler arası çalışmalar gerçekleştirilebilir.

Bu çalışmada "Kum Üzerine Oturan Geogrid Donatılı Sürekli Temelerde Taşıma Gücünü Etkileyen Faktörlerin Deneysel Olarak Araştırılması" başlığı ile Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü tarafından 07101035 nolu tez projesi olarak desteklenmiştir. Sağlamış olduğu destekten dolayı, Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Avşar, E.Ö., 2006, *Tarihi Köprülerin Digital Fotogrametri Tekniği Yardımıyla Modellenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, s.105, İstanbul.
- Aydar, U., 2007, *Cephe Değerlendirmelerinde Fotogrametrik ve Görselleştirme Yöntemlerinin Kıyaslanması*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 57, İstanbul.
- Bitellia, G., Girellia, V., A., Marzialib, M., Zanuttaa, A., 2007, "Use of Historical Images for The Documentation and The Metrical Study of Cultural Heritage By Means of Digital Photogrammetric Techniques", *XXI International CIPA Symposium*, Athens, Greece, 01-06 October 2007. <http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/5-C53/papers/FP028.pdf>
- Demiröz, A., 2008, *Geogrid Donatılı Kum Üzerine Oturan Sürekli Temelerde Taşıma Gücünü Etkileyen Tasarım Faktörlerinin Deneysel Olarak Araştırılması*, Selçuk Üniversitesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s:248, Konya.
- Demiröz, A., Tan, Ö., 2008, "Donatılı Zeminler Üzerindeki Sürekli Temelerin Oturmasını Etkileyen Faktörlerin Araştırılması", *Selçuk Üni., Müh-Mim., Fak., Dergisi*, c.23, s, 3, ss.13-24, Konya.
- Erwes, H., J. B., Prado., W. S., Silva, A., G. R., Melo, D. W. F., 2003, "Valuation of Orthorectification by Use of Photomodeler Software, *CIPA XIXth International Symposium in Antalya Turkey*. http://la.teikav.edu.gr/epoche/elearn/pluginfile.php/46/mod_resource/content/2/75.pdf
- Göktepe, A., 1998, *Metrik Olmayan Digital Kameraların İç Yöneltilme Elemanlarının Belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üni., Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya 59s.
- Köken, A., Koroğlu, M, A., Karabork, H., Ceylan, A., 2014, "Photogrammetric Approach in Determining Beam Column Connection Deformations", *Boletim de Ciências Geodésicas Sec Artigos*, Curitiba, Vol. 20, No.3, pp.720-733.
- Marangoz A. M., 2002, *Sayısal Kameralarla Tarihsel Yapıların Rölevelerinin Çıkarılması Olanakları*, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Müh. ABD, Uzaktan Algılama ve CBS Programı İstanbul.
- Maraş, E, E., Hacıfendioğlu, K., Birinci, F., Uslu, G., 2016, "Tarihi Köprülerin Dökümantasyonu için Dijital Fotogrametri ile 3B Modellerinin Oluşturulması ve Dinamik Analizlerinin Yapılması (Tarihi Kurt Köprüsü Örneği)" *Harita Dergisi*, Ocak 2016, Sayı 155 ss.1-15.
- Summers, F., Atalan, N., Aydın, N., Basagaç, Ö., Uçar, G., (2003), "Documentation of Archaeological Ruins and Standing Monuments using Photo-Rectification and 3D Modelling" in Altan, M. O. (ed.) *Proceedings of the XIX International Symposium CIPA 2003*, New Perspectives to Save Cultural Heritage, 660-668, Antalya, Turkey, 30 September 04 October, 2003.
- URL -1, <http://www.cevreplastik.com.tr>.
- Wolf, P, R., Dewitt, B, A., 2000, *Elements of Photogrammetry with Applications in GIS 3rd Edition*, McGraw-Hill, USA.
- Yakar, M., Yildiz, F., Yılmaz, H, M., Ulvi, A., Karasaka, L., Karabork, H., 2005, "Photogrammetric Silhouette Study and Sille Example, *CIPA 2005 XX International Symposium-Torino 2005*, Italy. <http://cipa.icomos.org/fileadmin/papers/Torino2005/595.pdf.29-06-2009>

- Yakar, M., Yıldız, F., 2005, "Digital Photogrammetric Methods in Documentation of Cultural Heritages and Beysehir Example", *CIPA 2005 XX International Symposium-Torino 2005, Italy*.
<http://cipa.icomos.org/fileadmin/papers/Torino2005/590.pdf>.29-06-2009
- Yalçın, A., 2005, *Ardeşen (Rize) Yöresinin Heyelan Duyarlılığı Açısından İncelenmesi*, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, , s: 158, Trabzon.