

TEK KATLI DUVAR DEFORMASYONUNUN GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİ KULLANILARAK BELİRLENMESİ

DETERMINATION OF SINGLE LAYER WALL DEFORMATION BY USING IMAGE PROCESSING TECHNIQUES

Dr. Öğr. Üyesi Abdulkerim İLGÜN 

KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye.

Arş. Gör. Dr. Ahmad Javid ZIA 

KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye.

Dr. Öğr. Üyesi Vahdettin DEMİR 

KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye.

Arş. Gör. Abdullah MÜSEVİTOĞLU 

KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye.

Arş. Gör. Sadrettin SANCIOĞLU 

KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye.

Geliş Tarihi / Received: 19.05.2021
Kabul Tarihi / Accepted: 31.08.2021

Araştırma Makalesi / Research Article
DOI: 10.38065/euroasiaorg.590

ÖZET

Görüntü işleme tekniği son zamanlarda mühendislik problemlerinin çözümlerinde sıkça kullanılmaktadır. Mühendislik çalışmalarında kullanılan görüntü işleme tekniği uygulamalarında malzemenin ilk durumu ile değişimden sonraki durumu arasında belirli aralıklarla fotoğraflar çekilerek çalışma esnasında değişimleri gözlenmektedir. Bu fotoğraflar esas alınarak değişim sayısal verilere aktarılmakta ve malzemenin değişimi bu veriler sayesinde gözlenmektedir. Görüntü işleme tekniği uygulamalarında hazır sistemler kullanılmaktadır. Fakat bu sistemler oldukça pahalı sistemlerdir. Bu çalışmada daha basit ve uygulanabilir bir sistem geliştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında doğal taşlar ile 20*30*10 cm boyutlarında 9 adet tek katmanlı duvar sistemlerinde başlangıç kayma deneyi yapılmıştır. Deneyler esnasında yük altında duvarlarda oluşan deplasman değerleri potansiyometrik lineer cetveller yardımıyla ölçülmüştür. Aynı zamanda deney esnasında başlangıç durumundan, deneyin sonuçlanmasına kadar belli aralıklarla görüntüler alınmıştır. Görüntüler ArcGIS programında sayısallaştırılarak duvarda oluşan değişimler dijital verilere dönüştürülmüştür. Deneysel veriler ile sayısallaştırılan görüntüler üzerinden tespit edilen veriler karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda deneysel değerler ile sayısallaştırılan değerler arasında ortalama %84 benzerlik görülmüştür. Çalışma sonucunda yapılan görüntü sayısallaştırma uygulamasının oldukça başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir. Bu kapsamda daha büyük ölçekli yapılacak olan deneylerde ve veri sayısının fazla olduğu deneylerde bu sistemin kullanılması hem hızlı hem de ekonomik olarak faydalı olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Görüntü sayısallaştırma, potansiyometrik lineer cetvel, tek katmanlı duvar, deformasyon.

ABSTRACT

Image processing technique has been used frequently in the solution of engineering problems recently. In engineering studies, photographs are taken at certain intervals between the initial state of the material and the state after the change, and changes during the study are observed with the Image processing technique. Based on these photos, the change is transferred to numerical data and the change of the material is observed thanks to these data. Package program systems are used in Image processing technique applications. But these systems are quite expensive systems. In this

study, a simpler and feasible system has been developed. The initial sliding test was carried out on 9 single-layer wall systems with natural stones in 20 * 30 * 10 cm dimensions. The displacement values formed on the walls under load during the experiments were measured with the help of potentiometric linear rulers. At the same time, photographs were taken at certain intervals from the baseline to the conclusion of the experiment. The photographs were digitized in the ArcGIS program and the changes on the wall were converted into numerical data. Experimental data and data obtained by photographs were compared. As a result of this comparison, 84% similarity is observed between experimental values and analytical values. It is observed that the image digitization application performed as a result of the study yielded very successful results. In this context, it is believed that the use of this system will be both fast and economically beneficial in larger scale experiments and the number of data.

Keywords: Photograph digitizing, potentiometric ruler, single-layer wall, deformation.

1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmelerin getirdiği yenilikler, ölçüm için kullanılan cihaz ve aletlerin kapasitelerini arttırarak geliştirmeli ya da tam anlamıyla yerine geçmelidir. Yeni ölçüm yöntemleri, ölçümün doğruluğunu ve hassasiyet netliğini arttırırken aynı zamanda kolay uygulanabilmeli ve irdelenebilmelidir. Ölçüm, mühendisliğin her disiplninde önemli olduğu gibi inşaat mühendisliği bölümündeki yapısal çalışmalarında önemli bir unsurdur. Yapısal çalışmalarda deney numunesinin üzerine bir yük (çekme, basınç, eğilme, itme vb.) uygulanır. Uygulanan yük etkisi altında numune üzerinde oluşacak deformasyonlar, yapılan deneysel çalışmanın baz alındığı standartlara göre belirli noktalardan elektriksel olarak ölçülür. Elektriksel ölçüm sonuçları, veri toplama cihazı sayesinde anlamlı ölçüm sonuçlarına (mm, kN vb.) dönüştürülür.

Duvarda gerilmeler ara yüzler vasıtasıyla aktarılmaktadır. Kayma gerilmeleri durumunda, taşıma kapasitesine etki eden ana faktörlerden biri sürtünme olarak bilinmektedir. Duvarlarda kayma gerilmeleri birçok farklı yöntemle elde edilebilmektedir. Mikro ebatlı duvar numunelerin de normal ve yatay yükleri temsil etmesi sebebiyle EN 1052-3 (EN 1052-3, 2002) standardının önerdiği başlangıç kayma dayanım testi yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca başlangıç kayma deneyi uygulanabilirlik ve doğru değerlendirme açısından birçok araştırmacı tarafından duvar numuneleri için kullanılmaktadır (Andreotti et al., 2018; Calderón et al., 2017). Duvarın başlangıç kayma dayanımı, deney numunesi ön basınç yükü altındayken göçme durumuna ulaşana kadar yatay yük uygulanması ile elde edilmektedir. Deney esnasında göçme durumuna kadar yük ve deplasman sürekli kontrol edilmektedir. Yatay yükün ölçümü yük ölçüm cihazı yardımıyla yapılırken, deplasman ölçümleri potansiyometrik cetveller yardımıyla yapılmaktadır. Yük ölçüm cihazı ve potansiyometrik lineer cetvel yardımıyla elde edilen veriler belirli zaman aralıklarında bilgisayara aktarılmaktadır. Potansiyometrik lineer cetveller kullanım kolaylığı ve hassas olarak veri alınabilmesi sebebiyle deneysel çalışmalarda deplasman ölçümleri için sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle yapı, mekanik ve deprem laboratuvarlarında numunelerin davranışlarının belirlenmesinde önemli rol oynadığı için yaygın olarak kullanılmaktadır. İnşaat mühendisliği açısından incelersek duvar basınç ve kayma deneylerinde (Demir, 2012; ZIA, 2020), girişlerde eğilme dayanımının belirlenmesinde (Hu & Wu, 2018; Nahhas, 2013; Wang & Belarbi, 2011), betonarme çerçevelerde (Baran & Sevil, 2010), kolonlar üzerinde yapılan deneyler (Verderame et al., 2008) gibi birçok alanda deplasman değişimlerini ölçmek için kullanılmaktadır. Potansiyometrik lineer ile ölçüm yapılırken iki olumsuz durum göze çarpmaktadır. Bunlardan ilki potansiyometrik lineer cetveller doğrusal olarak ölçüm yapabilmektedir. Diğeri ise ölçüm yapabildiği çalışma mesafesinin sınırlı olmasıdır. Bu durumlar, malzeme sünek davranış gösterdiğinde veya büyük ölçekli deneyler yapılması gerektiğinde sorun oluşturmaktadır. Bu sebeple bu tür çalışmalar için alternatif yöntem arayışlarına devam edilmektedir.

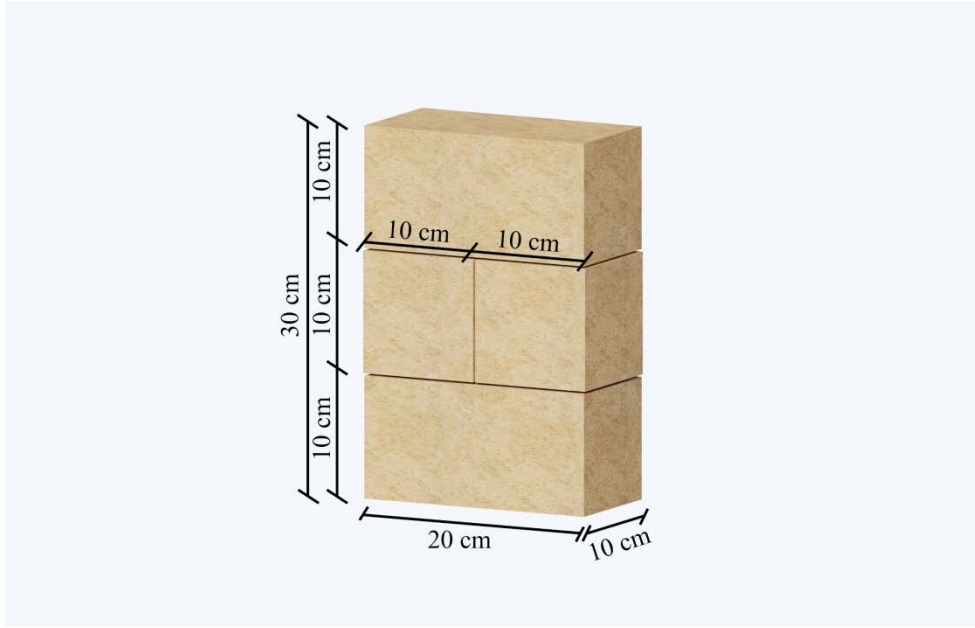
Görüntü işleme tekniği ile belirli yazılımlar kullanılır ve görüntülerden anlamlı verilere ulaşılır. Bir başka deyişle sayısal ve görüntü içeren verilerin işlenmesidir (Dinçer, 2009). Görüntü işlenerek

istenilen verilerin toplanması, klasik yöntemler ile kıyaslandığında ihmal edilebilecek bir maliyete sahiptir. Bu yöntemde numune ile etkileşim olmadığından herhangi bir elektriksel gürültü ve bağlantı kablosu fazlalığı oluşmamaktadır. Bu yöntemde sınırsız sayıda istenilen noktadan ölçüm alınabilmektedir (Karamişe, 2018). İnşaat mühendisliğinde görüntü işleme tekniği pek çok çalışmada kullanılmıştır. Kaçın ve Aydın (2020) yaptıkları çalışmada, betonarme kirişlerin eğilme etkisi altındaki davranışını görüntü işleme metodunu kullanarak incelemiştir. Eğilme etkisi altında oluşan çatlakları tespit etmek ve yüzeyde oluşan gerilme değişimlerinin görselleştirilmesi için bu yöntem kullanılmıştır. Kirişlerde zamana bağlı oluşan deplasmanlar belirlenmiş ve klasik ölçüm yöntemleriyle kıyaslanmıştır. Görüntü işleme tekniği sayesinde, oluşan çatlakların ve deplasmanların deney durdurulmadan ölçülebileceği anlaşılmıştır (Kaçın ve Aydın, 2020). Bilici (2017) yaptığı çalışmada polipropilen lif katkılı betonarme kirişlerin ve bir yarışma kapsamındaki köprünün düşey yer değiştirmelerini görüntü işleme teknolojisi ile bularak gerçek sonuçlarla karşılaştırmıştır (Bilici, 2017). Onat (2008) yaptığı çalışmada farklı görüntü işleme yöntemleriyle lifli betonlarda çatlak tespiti (Onat, 2008), Çankaya ve diğ. (2013) beton basınç dayanımı görüntü işleme yöntemi ile tespit etmişlerdir (Çankaya ve ark, 2013). Lee ve diğ. (2013) yaptıkları çalışmada betonda oluşan yüzeysel çatlakları analiz edebilmek için otomatik görüntü işleme tekniğini kullanmışlardır (Lee ve ark, 2013). Nesne takibi görüntü içindeki hareket etmekte olan bir nesnenin herhangi t süresinde yer ve hareketiyle ilgili verileri bulma problemi (Dinçer, 2009). Nesne, bir adım önceki tanımlanan görüntüdeki ilgili noktaların anlık görüntüdeki aday noktalarıyla eşleştirilmesi ile izlenir. Ardışık iki görüntü arasındaki istenen noktalarının özelliklerinin eşleştirilmesi, nesnenin hareket tahmininde çok önemli bir adımdır. Eşleşme için genellikle öklid uzaklığı kullanılır (Babu ve Parate, 2013). Başlangıç görüntüsünde hedef noktası kullanıcı tarafından belirlenir. Her bir görüntü içinde belirlenen hedef noktası, ardışık iki görüntü arasındaki ilişki kurulduktan sonra bir sonraki görüntüde yerini güncelleyerek son görüntüye kadar işleme devam eder. Böylelikle nesnenin tüm görüntülerde pozisyonu belirlenir (Talu, 2010; Bhatt, ve Patel, 2015). Görüntü işleme teknikleri tek katmanlı taş duvarın mekanik davranışı hakkında fikir edinme üzerine çalışmalar son birkaç yıldır ilgi çeken bir konu olmuştur.

Büyük ölçekli numunelerde ve yüksek deplasman yapan sünek malzemelerde potansiyometrik lineer cetvelin ölçüm yapabilen çalışma mesafesi yeterli olmayabilir. Ayrıca potansiyometrik liener cetveller doğrusal olarak ölçüm yapabildiğinden yüzeyde oluşan kusurlar ve malzemenin şekil değiştirmesi hatalı ölçümlere neden olabilmektedir. Bu tip durumlardan oluşabilecek hataların önüne geçilmesi fikirden yola çıkılarak çalışma kapsamında, laboratuvar ortamında hazırlanmış tek katmanlı taş duvarların, yatay deformasyonu görüntü işleme teknikleri kullanılarak incelenmiştir. Ek olarak elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

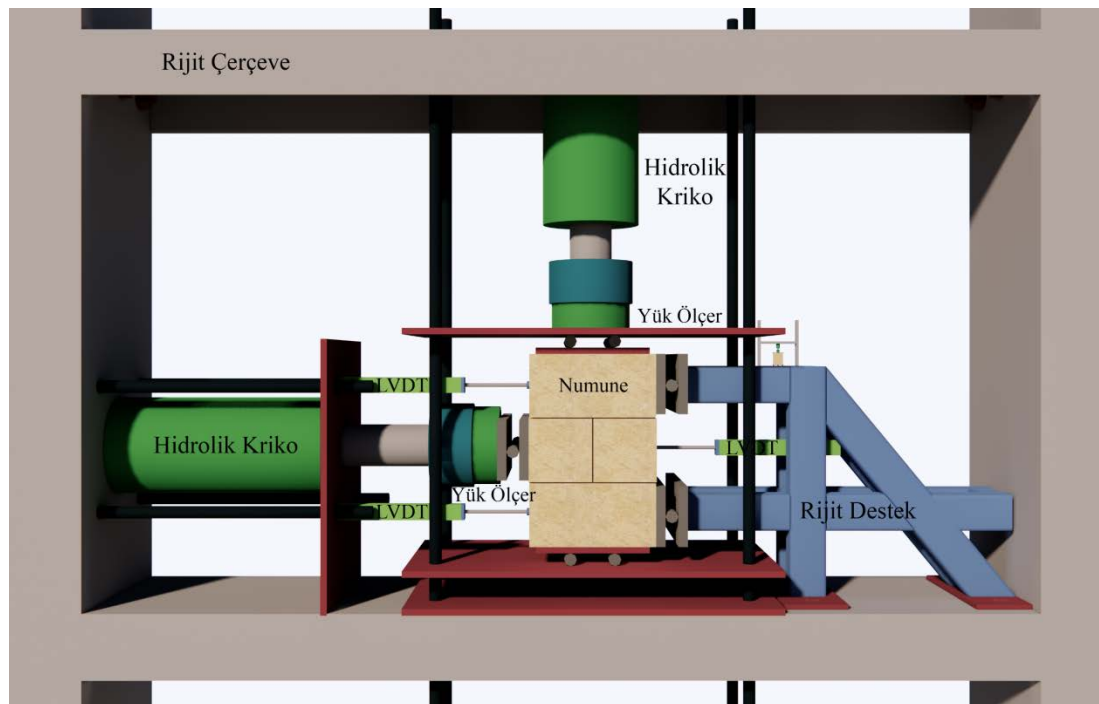
2. YÖNTEM

Çalışmada doğal taş duvarlarının kayma dayanımlarının belirlenmesi için dokuz adet doğal taş tek katmanlı duvar numunesinde başlangıç kayma dayanım testleri uygulanmıştır. Taş duvarlarda başlangıç kayma dayanımlarının belirlenmesi EN 1052-3 (EN 1052-3, 2002) 'e göre yapılmıştır. Numuneler EN 1052-3'e uygun olarak ilk kademede 20x10x10 cm boyutlarında 1 adet, ikinci kademede 10x10x10 cm boyutlarında 2 adet ve son kademede 20x10x10 cm boyutlarında 1 adet bireysel taş elemanı olacak şekilde üç kademe olarak kireç harcı ile üretilmiştir. Deney numunesine ait şematik gösterim Şekil 1'de yer almaktadır.



Şekil 1. Deney numunesi

EN 1052-3'e göre her numune mümkün olduğunca sabit üç farklı basınç gerilmesi altında kayma deneyine tabi tutulmaktadır. Standardın ilgili bölümüne göre basınç gerilmeleri yaklaşık olarak $0.2N/mm^2$, $0.6N/mm^2$ ve $1.0N/mm^2$ büyüklüklerde uygulanmıştır. Deneysel çalışma KTO Karatay Üniversitesi Yapı Mekaniği laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen deneyde alt ve üst tabakada bulunan doğal taşların yatay yöndeki hareketi kısıtlanmıştır. Numunenin deney düzeneği ile birleştiği alt ve üst kısımlarında oluşan sürtünmelerin en aza indirilmesi amacıyla kayıcı miller eklenmiştir. Orta kademedan 300 kN kapasiteli hidrolik kriko ile yük verilerek başlangıç kayma deneyi yapılmıştır. Deney esnasında hidrolik krikonun altına yerleştirilen 600 kN kapasiteli yük ölçer yardımıyla yük değerleri ölçülmüştür. Deneylerde yükleme göçme durumuna kadar uygulanıp tek katmanlı taş duvarların davranışı test edilmiştir. Yapılan yükleme sonucu oluşan deplasmanlar potansiyometrik lineer cetveller ve görüntü işleme teknikleri yardımıyla ölçülmüştür. Deney düzeneği şematik olarak Şekil 2'de verilmiştir.

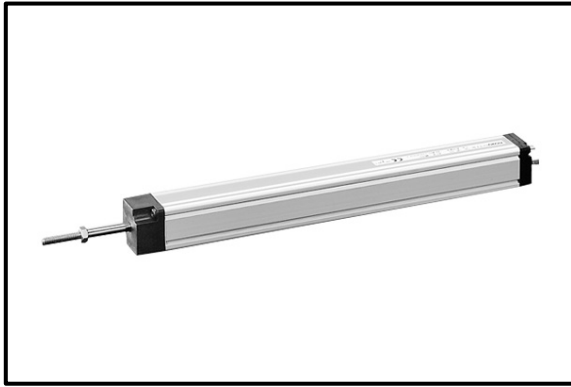


Şekil 2. Başlangıç kayma dayanımı deney düzeneği (Z1a, 2020).

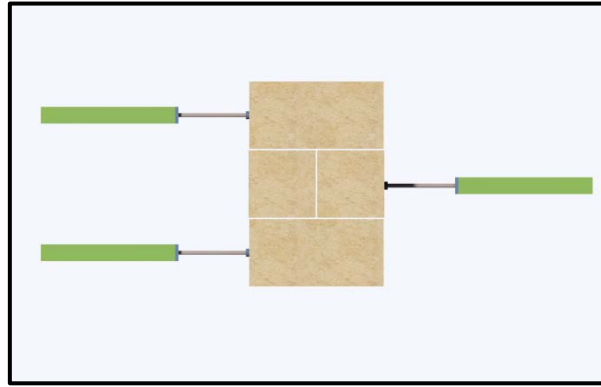
2.1. Potansiyometrik Lineer Cetvel Yardımıyla Deformasyon Ölçümü

Başta inşaat mühendisliği olmak üzere mühendislik dallarında yapılan deneysel çalışmalarda numunelerde oluşan deplasmanların hassas bir şekilde ölçülmesi gerekmektedir. Uzun sürelerden beri deneysel çalışmalarda deplasman ölçümleri için potansiyometrik lineer cetveller kullanılmaktadır (Calderón et al., 2017; Nahhas, 2013; Wang & Belarbi, 2011). Potansiyometrik lineer cetveller kullanım kolaylığı, verilerin hızlı bir şekilde aktarılabilmesi ve hassas ölçüm yapabilmesi sebebiyle tercih edilmektedir. Fakat potansiyometrik lineer cetvellerin ölçüm mesafesi sınırlı olduğundan, numunede oluşan deplasman cetvelin ölçüm yapabileceği değeri aştığında ölçüm yapamamaktadırlar. Çalışmada kullanılan potansiyometrik lineer cetveller lineer ölçüm yaptığından yerleştirme esnasında oluşan kaymalar ölçümde hatalara sebep olabilmektedir. Bu sebeple ölçüm yapılacak yüzeye potansiyometrik lineer cetveller yerleştirilirken oldukça dikkat edilmelidir.

Çalışmada kullanılan potansiyometrik lineer cetvel 0.01 mm hassasiyetle ölçüm yapabilmektedir. Deneysel düzeneği de dikkate alınarak maksimum ölçüm mesafesi 30 cm olan potansiyometrik lineer cetveller ölçümde kullanılmıştır. Deneysel çalışmada, numunenin her kademesinde ölçüm yapmak üzere potansiyometrik lineer cetveller yerleştirilmiştir. Duvar numunesi hazırlanırken veya taşların kesilmesinden dolayı yüzeylerde düzensizlikler oluşmaktadır. Deneye tabi tutulan doğal taş numunesinin alt ve üst kademelerinde yatay deplasmanın sınırlandırılması gerektiğinden numunenin sisteme tam olarak yerleştiğinden emin olmak için bu kademelerin sol kısmına potansiyometrik lineer cetveller yerleştirilmiştir. Orta kademedeki yatay yüke bağlı deplasmanı ölçmek üzere potansiyometrik lineer cetvel taşın sağ kısmına yerleştirilmiştir. Potansiyometrik lineer cetvellerin kalibrasyonu referans malzeme ile yapılarak deney aşamasına geçilmiştir. Potansiyometrik lineer cetvellerden elde edilen ölçüm verileri, veri toplama cihazı ile bilgisayara aktarılmıştır. Kullanılan potansiyometrik lineer cetvel ve potansiyometrik lineer cetvellerin deney düzeneği üzerindeki yerleşimi Şekil 3' te verilmiştir.



a) Potansiyometrik lineer cetvel



b) Potansiyometrik lineer cetvelin duvardaki konumu

Şekil 3. Potansiyometrik lineer cetvel ve potansiyometrik lineer cetvellerin duvardaki konumu

2.2. Görüntü İşleme Tekniği Kullanılarak Deformasyon Ölçümü

Nesne üzerine gelen ışığın yansımaları görüntü olarak tanımlanmaktadır (Dinçer, 2009). Görüntü işleme doğada var olan görüntülerin optik bir alıcı yardımıyla alındıktan sonra bu görüntülerin bilgisayar ortamına aktarılarak istenilen amaca göre görüntülerden bilgi çıkarma işlemidir. Görüntü işleme ile ilgili birçok yöntem ve algoritma literatürde yer almaktadır (Karamişe, 2018; Zhong ve ark., 2019; Kaçın ve Aydın, 2020). Bu çalışmada görüntü işleme aşamasında; 64MP, 0.8µm, 1/1.7" CMOS görüntü sensörüne sahip algılayıcı (Redmi Note 8 Pro) ve ArcGIS bilgisayar yazılımı kullanılmıştır.

Optik algılayıcı, deney düzeneğinden 1.5 m uzaklıkta deneyin başından sonuna kadar (469.25 saniye) deneyin her aşamasında 2 sn aralıklarla görüntü alınmıştır. Optik algılayıcının yataylanması ve düşeylenmesinde kamera tripotu, su terazisi ve total station aleti kullanılmıştır. Deney sonunda 30 adet 4624x2136 piksel çözünürlüğüne sahip görüntü kullanılmıştır. Bu aşamadan sonra elde edilen dijital görüntüler ArcGIS yazılımına aktarılmış ve görüntülerin sayısallaştırılması işlemine geçilmiştir. Görüntüler deney düzeneğinde yer alan, önceden belirlenmiş referans noktalar yardımıyla ölçeksel ve eksnel olarak düzenlenmiştir. Ardından her bir görüntü üzerinde yer alan noktaları işaretlenerek zamana göre noktaların konumları elde edilmiştir. Çalışmada X ve Y konumları yatay ve düşey deformasyonları (yer değiştirmeleri) ifade etmektedir. Görüntüler üzerinde aynı zamanda deney başlangıcından itibaren geçen süre de yer almaktadır. Elde edilen görüntü süresi ve deformasyon değeri not alınarak uygulama çalışması sonlandırılmıştır.

3. UYGULAMA

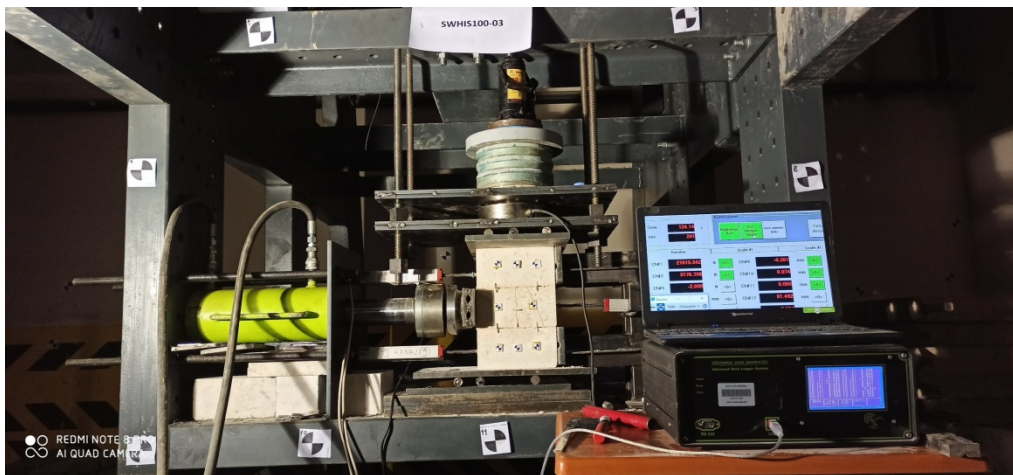
Potansiyometrik lineer cetvel ve görüntü işleme tekniği kullanılarak elde edilen sayısal veriler karşılaştırılarak çalışmanın performansı değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan performans kriterleri; Karekök Ortalama Karesel Hata (KOKH), Ortalama Mutlak Hata (OMH) ve determinasyon katsayısı (R^2)'dir. KOKH ve OMH ve R^2 ifadeleri aşağıda yer almaktadır;

$$KOKH = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\delta_p - \delta_g)^2} \quad (1)$$

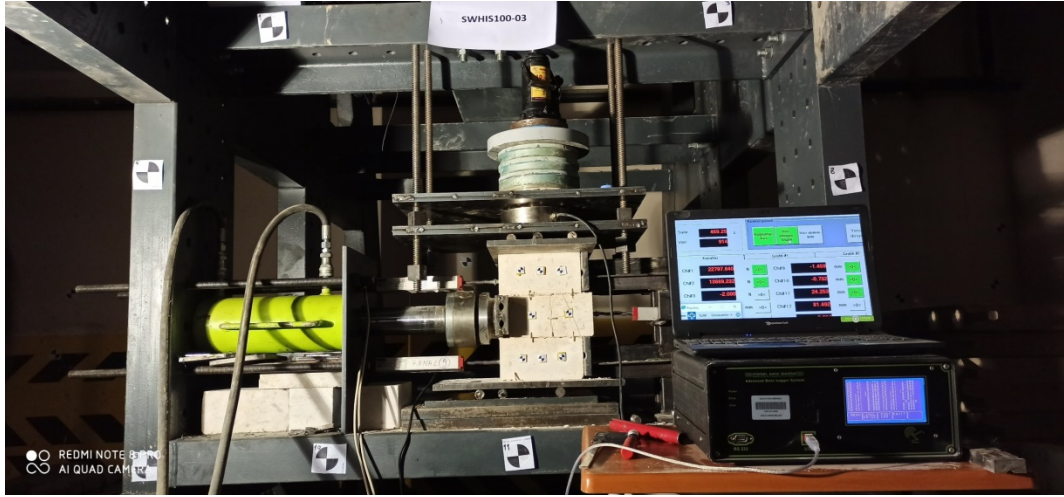
$$OMH = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\delta_p - \delta_g| \quad (2)$$

$$R^2 = \left(\frac{N \cdot (\sum \delta_p \cdot \delta_g) - (\sum \delta_p) \cdot (\sum \delta_g)}{\sqrt{(N \cdot \sum \delta_p^2) - (\sum \delta_p)^2} \cdot \sqrt{(N \cdot \sum \delta_g^2) - (\sum \delta_g)^2}} \right)^2 \quad (3)$$

Bu denklemlerde, δ_p ve δ_g sırasıyla potansiyometrik lineer cetvel ve görüntü işleme tekniği kullanılarak gözlenen ve tahmin edilen deformasyon değerlerini, N ise veri sayısını göstermektedir. Deney başlamadan önceki ve deney bitiminde çekilen görüntüler (1. ve 30. görüntü) Şekil 4'te verilmiştir.



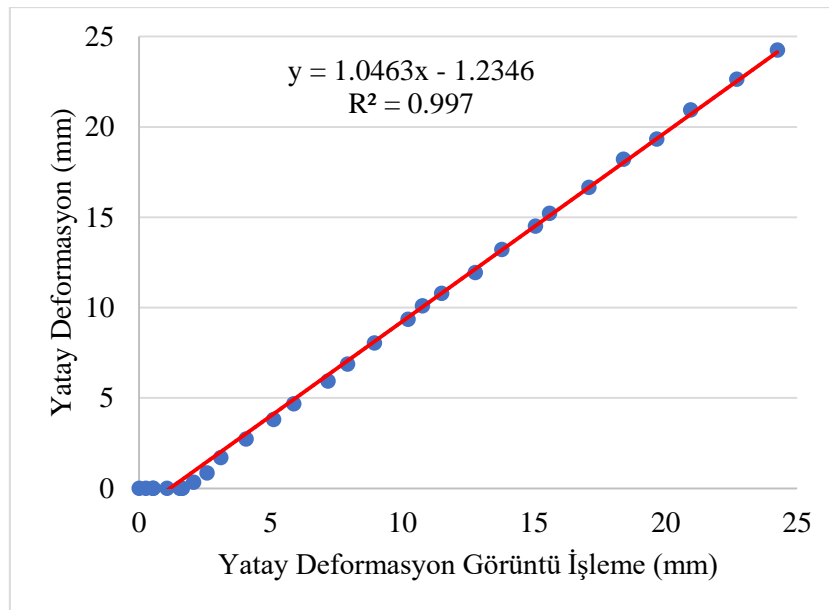
(a)



(b)

Şekil 4. Deney Başlangıcı (a), Deney Bitimi (b) görüntüleri.

Deney sonucunda, 30 adet görüntü üzerinden gerçekleştirilen çalışmanın OMH değerinin 0.580 mm, KOKH değerinin ise 0.810 mm olduğu görülmüştür. Determinasyon katsayısı ise 0.997'dir. Deneye ait saçılma grafiği Şekil 5'te yer almaktadır.



Şekil 5. Tek katlı duvar deformasyonuna ait saçılma grafiği

Deney başlangıcında alt ve üst kademedeki taşların yatayda deplasman yapması sınırlandırılmıştır. Fakat taşların boyutlarında bulunan farklılıklardan dolayı ve taşların örülmesi esnasında işçilikten dolayı yüzeyde düzensizlikler oluşabilmektedir. Bu sebeple orta kademedeki taşa yatay yük uygulandığında alt ve üst kısımdaki taşların deney düzeneği ile arasında bulunan boşluk kapanana kadar tüm duvar sistemi birlikte hareket etmektedir. Bunun sonucunda orta kademedeki duvarda herhangi bir yük gözlenmezken potansiyometrik lineer cetvelde deplasman değer okunduğundan başlangıç kısmında potansiyometrik lineer cetvel ile görüntü işleme tekniği ile elde edilen deplasman okumalarında farklılıklar gözükmemektedir. Şekil 5 incelendiğinde yatay pistonun numuneye dokunması için (başlangıçta) geçen sürede potansiyometrik lineer cetvelde farklı değerler görülse de deney sonuna doğru toplamda 25 mm'lik yatay deplasman başarılı bir şekilde

tahmin edilebilmiştir. Ayrıca bu karşılaştırma sonucunda deneysel değerler ile sayısallaştırılan değerler arasında ortalama %84 benzerlik görülmüştür.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada doğal taş duvarlarının kayma dayanımlarının belirlenmesi için dokuz adet doğal taş tek katmanlı duvar numunesinde başlangıç kayma dayanım testleri uygulanmıştır. Yapılan yüklenme sonucu oluşan deplasmanlar potansiyometrik lineer cetveller ve görüntü işleme teknikleri yardımıyla ölçülmüştür. Potansiyometrik lineer cetvel ve görüntü işleme tekniği kullanılarak elde edilen sayısal veriler karşılaştırılarak çalışmanın ortalama performansı değerleri aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

- 30 adet görüntü üzerinden gerçekleştirilen çalışmanın OMH değerinin 0.580 mm, KOKH değerinin ise 0.810 mm olduğu görülmüştür. Determinasyon katsayısı ise 0.997'dir.
- Deneysel ve görüntü işleme tekniği ile elde edilen veriler arasında ortalama %84 benzerlik görülmüştür. Bu benzerlik oranına göre görüntü işleme tekniği, tek katmanlı doğal taş duvarların davranışının incelenmesine başarılı olarak kullanılabilir.
- Başlangıçta taş numunesinden kaynaklı, potansiyometrik cetvel ile okunan deplasman okumalarındaki hatalar ihmal edildiğinde karşılaştırma performansının hata değerinin azalacağı düşünülmektedir. Hatta elde edilen benzerlik oranının uygulama bölümünde bulunan grafikte de görülebileceği gibi %99'lara ulaşabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- EN 1052-3. (2002). Methods of Test for Mortar for Masonry. *Part 3: Determination of initial shear strength*.
- Andreotti, G., Graziotti, F., & Magenes, G. (2018). Detailed micro-modelling of the direct shear tests of brick masonry specimens: The role of dilatancy. *Engineering Structures*, 168(May), 929–949. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.05.019>.
- Calderón, S., Sandoval, C., & Arnau, O. (2017). Shear response of partially-grouted reinforced masonry walls with a central opening: testing and detailed micro-modelling. *Materials and Design*, 118(August 2018), 122–137. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.01.019>.
- Demir, C. (2012). Seismic behaviour of historical stone masonry multi-leaf walls (Doktora tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Zia, A. J. (2020). Kesme taş ile yapılan katmanlı duvarların deneysel olarak araştırılması (Doktora tezi), KTO Karatay Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Hu, B., & Wu, Y. F. (2018). Effect of shear span-to-depth ratio on shear strength components of RC beams. *Engineering Structures*, 168(May), 770–783. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.05.017>.
- Nahas, T. M. (2013). Flexural Behavior and Ductility of Reinforced Lightweight Concrete Beams with Polypropylene Fiber. *Journal of Construction Engineering and Management*, 1(1), 4–10. <http://researchpub.org/journal/jcem/number/vol1-no1/vol1-no1-1.pdf>.
- Wang, H., & Belarbi, A. (2011). Ductility characteristics of fiber-reinforced-concrete beams reinforced with FRP rebars. *Construction and Building Materials*, 25(5), 2391–2401. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.040>
- Baran, M., & Sevil, T. (2010). Analytical and experimental studies on infilled RC frames. *International Journal of Physical Sciences*, 5(13), 1981–1998.

- Verderame, G. M., Fabbrocino, G., & Manfredi, G. (2008). Seismic response of r.c. columns with smooth reinforcement. Part I: Monotonic tests. *Engineering Structures*, 30(9), 2277–2288. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2008.01.025>
- Dinçer, S. (2009). Dijital görüntü işleme teknikleri ile matlab ve mikrokontrolör kullanılarak iki boyutlu görüntünün çizdirilmesi (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (Tez No. 292007).
- Karameşe, G. (2018). Yapı Sistemlerinde Yer değiştirme ve Şekil değiştirme Büyüklüklerinin Özel Bir Görüntü İşleme Yöntemiyle Belirlenmesi (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (Tez No. 517750).
- Kaçın, S., Aydın, M. (2020). Görüntü İşleme Yöntemi ile Betonarme Kiriş Deplasmanlarının Belirlenmesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(2), 107-117.
- Bilici, S. (2017). Görüntü İşleme Yöntemi Kullanılarak Yapısal Deformasyonların Ölçülmesi (Yüksek lisans tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (Tez No. 478595).
- Onat M. (2008). Dijital görüntü işleme yöntemleriyle lifli beton numunelerindeki çatlakların tespit edilmesi (Yüksek lisans tezi), Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ (Tez No. 237701).
- Çankaya, G., Arslan, M. H., & Ceylan, M. (2013). Görüntü işleme ve yapay sinir ağları yöntemleri ile betonun basınç dayanımının belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilim ve Teknoloji Dergisi.
- Lee, B. Y., Kim, Y. Y., Yi, S. T., & Kim, J. K. (2013). Automated image processing technique for detecting and analysing concrete surface cracks. *Structure and Infrastructure Engineering*, 9(6), 567-577.
- Babu, V., Parate, P. (2013). Interest points based object tracking via sparse representatiton, 20th IEEE International Conference on Image Processing. Australia: Melbourne., February 15-18.
- Talu, M.F. (2010). Nesne takip yöntemlerinin sınıflandırılması. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 9(18), 45-63.
- Bhatt, B., Patel, M. (2015). A comparative study of object tracking techniques. *International Journal*.
- F.Q. Zhong, X.X. Shao, C. Quan, A comparative study of 3D reconstruction methods in stereo digital image correlation, *Optics and Lasers in Engineering*, Volume 122, 2019, Pages 142-150, ISSN 0143-8166, <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2019.06.001>.