

Sismik Tekstil ile Güçlendirilmiş Düşey Delikli Yığma Tuğla ve Bims Blokların Üç Noktalı Kesme Deneyi

¹Berna İstegün, ²Ayşenur Subaşı ve ^{*3}Erkan Çelebi

^{1,2}Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Türkiye

^{*3}Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Türkiye

Abstract

The goal of this study is to evaluate the shear capacity and the crack pattern of the masonry building units after reinforcing application. Experimental investigations were performed to indicate the effect of strengthening by using the seismic textile and the relevant insulation plaster. The reinforcing system is a hybrid multiaxial seismic fabric consisting of alkali resistant glass and polypropylene fibers. The material of this plaster consists of expanded glass granular. For triplet shear tests on perforated bricks and pumice blocks with and without seismic retrofitting, a total of twelve specimens were produced. The plaster having thickness of 2 cm and seismic textile was applied only on single side of the triplet specimens. All experimental tests in this study were performed at the structural mechanics laboratory of Sakarya University. The maximum vertical load- controlled cylinder with vertical force capacity of 50 kN and with loading speed of 1.5 mm/min. is applied perpendicular to the triplet specimens to obtain accurate information about the cracking behavior of the two mortar joints under shear stressing by an internal inductive displacement transducers. The experimental results of this study were given with respect to force-displacement curves comparatively for all considered test specimens. It was observed from the final state of the experiments that all the specimens without retrofitting had a slide failure along the mortar joints. It is concluded that the strength and the ductility capacity increased considerably by applying of seismic textile and relevant plaster.

Key words: Triplet shear tests, retrofitting, seismic fabric, masonry wall, expanded glass granular

Özet

Bu çalışmanın amacı yığma yapı birimlerinin güçlendirme uygulamalarından sonra kırılma durumunu ve kesme kapasitesini ölçmektir. Deneysel araştırmalar yalıtım sıvası ile sismik kumaş kullanarak güçlendirmenin etkilerini göstermek için yürütülmüştür. Güçlendirilmiş sistem, alkali dayanımlı cam elyaf (AR) ve polipropilen liflerden örülmüş çok eksenli sismik tekstil malzemesinden oluşmakta olup; sıvanın malzeme içeriği geliştirilmiş cam kürecik esaslıdır. Üç noktalı kesme deneyleri için tuğla ve bims bloklardan toplam 12 numune üretilerek söz konusu numunelerin bazıları sismik tekstil malzemesi ile güçlendirilmiştir. Güçlendirme işlemi, deney numunesinin tek tarafına 2 cm kalınlığında olacak şekilde uygulanmıştır. Bütün deneyler Sakarya Üniversitesi'nin yapı mekaniği laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Kuvvet kapasitesi 50 kN olan ve 1.5 mm/dk yükleme hızına sahip düşey yük kontrollü silindirin yer değiştirme ölçen mekanik özelliği, kesme gerilmesi etkisindeki yığma blok-harç ara yüzeylerinde meydana gelen kayma miktarı ve çatlak davranışları hakkında bilgi edinmek amacıyla kullanılmıştır. Bu deneysel çalışmanın sonuçları, tüm test numuneleri için kuvvet-deplasman ilişkileri açısından karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Güçlendirilmemiş numuneler ile gerçekleştirilen deneylerde, eleman-harç ara yüzeyleri boyunca kayma kırılmasının olduğu gözlemlenmiştir. Sismik kumaş ve cam kürecik esaslı yalıtım sıvası uygulanarak güçlendirilen yığma elemanlarda ise dayanımın ve süneklik kapasitesinin önemli ölçüde arttığı sonucuna varılmıştır.

Key words: Üçlü kesme deneyi, güçlendirme, sismik kumaş, yığma yapı, geliştirilmiş cam kürecik

*Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Sakarya University, 54187, Sakarya TURKEY. E-mail address: ecelebi@sakarya.edu.tr, Phone: +902642955731

1. Giriş

Son yıllarda yaşanan şiddetli depremlerin neden olduğu ölümlerin ve ölümcül yaralanmaların çoğu; yığma yapıların ana bileşeni olan duvarların hasar görmesi veya çökmesi sonucu meydana gelmiştir. Yığma yapılar; taşıyıcı sistemleri olan duvarlarının, süneklikten yoksun olmaları ve yeterli kesme gerilmesi-kayma dayanımı kapasitesine sahip olmamaları sebebiyle depremlerden önemli ölçüde etkilenmişlerdir. Ancak mevcut yapıların depreme dayanıklılığını, stabilitesini ve süneklik kapasitelerini etkin güçlendirme yöntemleri ile arttırmak mümkündür. Kompozit sismik tekstil malzemelerinin duvar yüzeyine harici olarak uygulanması, bahsi geçen yapıların güçlendirilmesinde sık kullanılan etkili yöntemlerden biridir. Karlsruhe Teknoloji Enstitüsü laboratuvarında on yıllık bir çalışma sonucu, alkali dirençli cam ve polipropilen liflerden oluşan hibrit çok eksenli sismik kumaş geliştirilerek, yığma duvarlar üzerinde çok sayıda deney gerçekleştirilmiştir [1]. Uygulanan yükler altında, güçlendirilmiş yığma duvar numunesinin davranışını ve oluşan çatlak modellerini daha iyi analiz edebilmek maksadıyla, araştırmacılar tarafından birçok deney düzeneği ve farklı duvar malzemeleri kullanılmıştır [2]. Deneysel programlar, küçük ölçekli duvar numunelerinin yanı sıra; 1:1 ölçeğiyle hazırlanmış gerçek duvar boyutlarındaki numuneleri de içermektedir. Küçük ölçekli testler kapsamında çeşitli kesme deneyi yöntemleri kullanılarak; dayanım parametreleri, kesme gerilmeleri altında duvar derzlerinin davranışı ve oluşan çatlak modelleri incelenmiştir [3]. Bu çalışmada, kompozit sismik kumaş kullanılarak güçlendirilen ve güçlendirme olmaksızın ele alınan düşey boşluklu tuğla duvar numuneleri ile bims blok duvar numunelerinin statik düşey yükleme altındaki mekanik davranışlarının incelenmesi ve çatlak formlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Yığma birim ve harç ara yüzeyinin kesme performansının belirlenebilmesi amacıyla, söz konusu sismik kumaş numune yüzeyine tek taraflı uygulanmış olup, genişletilmiş cam kürecik esaslı yapıştırma sıvası kullanılmıştır. Sıva kalınlığı 2 cm olarak dikkate alınmıştır. Referans olarak değerlendirilen güçlendirilmemiş numuneler, uygulanan üç noktalı kesme deneyleri ile ayrıca incelenerek, elde edilen deney sonuçları kuvvet-yer değiştirme ilişkileri ve kayma dayanımı parametreleri bakımından karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

2. Materyal ve Metod

Sakarya Üniversitesi'nin yapı malzemesi laboratuvarında yükleme hızı 1.5 mm/dk olan basma-çekme test cihazı kullanılarak yürütülen deneylerde; üçlü blok numuneler düşey yüke tabi tutulup, tuğla ve bims duvar-harç ara yüzeyinden kaymaya zorlanmıştır. Eğilme momentinin etkisini azaltmak ve uygulanan yükü düzgün bir şekilde aktarabilmek amacıyla, üçlü numunenin orta tuğlası üzerine çelik levha yerleştirilmiştir. Her iki uçtaki tuğla/bims elemanlar ise rijit iki L profil tarafından desteklenerek ankastre mesnet koşullarının oluşturulması sağlanmıştır. Bims duvar durumundaki mesnet koşullarının tuğla duvar durumundaki mesnet koşullarına eşdeğer olabilmesi için bu iki L profil gijon demirlerle sıkıştırılıp birbirlerine sabitlenmiştir. Bims bloklar ile oluşturulan numunelerin genişliği cihaz açıklığından büyük olduğu için ilgili numuneler test cihazına tuğla elemanların yerleştirildiği doğrultunun aksi doğrultuda konuşlandırılmıştır. Bunun sonucu olarak düzeneğin havada kalan kısımları 10x10'luk ağaç ayaklar ve teleskopik direklerle desteklenmiştir. Deneysel çalışmanın sonuçları, 50 kN düşey kuvvet kapasitesine sahip yük silindirin entegre edilmiş bir yer değiştirme sensörü tarafından kaydedilmiştir.

2.1. Test numunelerinin ve deney düzeneklerinin özellikleri

Test numunelerinde kullanılan düşey delikli tuğla ve bims blok Şekil 1’de gösterilmiştir.



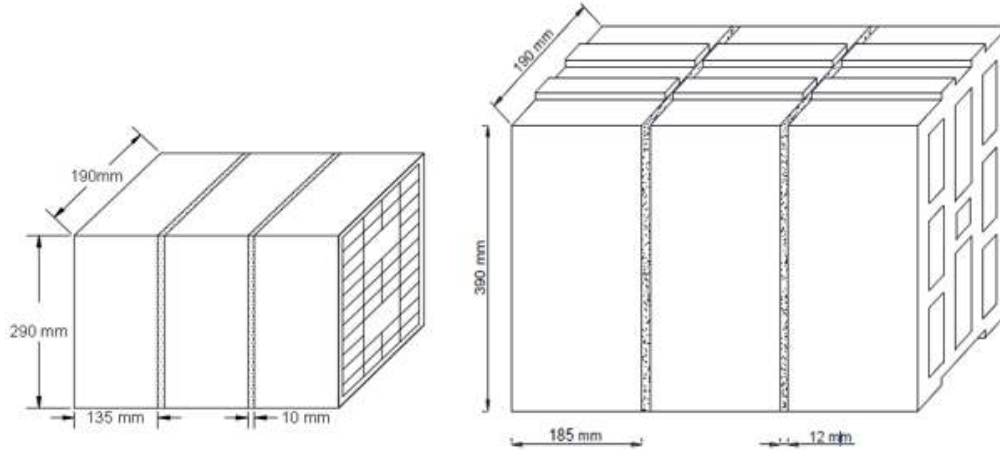
Şekil 1. Test numunelerinde kullanılan düşey delikli tuğla ve bims blok

Tuğla ve bims bloğa ait teknik özellikler ise Tablo 1’de verilmiştir. Bahsi geçen yığma bloklara ait basınç dayanımı değerleri tuğla için 6-15 MPa, bims için 1.2-2.5 değerleri arasında değişmekte olup, tabloda ifade edilen dayanım verileri deneysel çalışmalardan elde edilen ortalama değerlerdir.

Tablo 1. Tuğla ve Bims Özellikleri

	BİRİM	TUĞLA	BİMS
Ebat	cm	19*29*13.5	19*39*18.5
Sarfiyat	adet/m ²	22-35	12.5-13
Basınç Dayanımı	N/mm ²	10	1.5
Isıl Direnç	W/mK	0.32	0.22
Yangına Dayanım	-	A1	A1
Tolerans	-	T1	D1
Kategori	-	T1	D1
Brüt Kuru Birim Hacim Kütlesi	kg/mm ³	700	550
Net Kuru Birim Hacim Kütlesi	kg/mm ³	1800	750

Üretilen 12 adet numune Şekil 2’de gösterilen üçerli bloklardan oluşturulmuştur. İlgili numunelerin geliştirilmiş cam kürecik esaslı yapıştırma sıvası kullanılmak suretiyle 6 tanesi güçlendirilmiş olup, kalan üçer adet numune referans olarak ele alınmıştır.



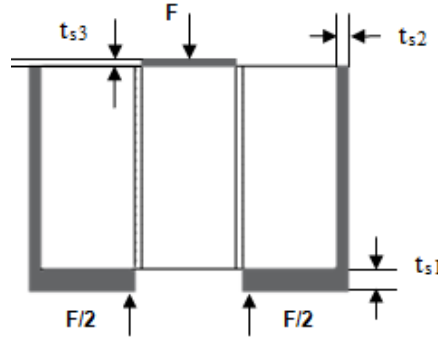
Şekil 2. Deneylerde kullanılan üçlü test numuneleri

Söz konusu güçlendirme işlemi, Şekil 3'te gösterildiği üzere alkali dirençli cam elyaf ve polipropilen liflerden oluşan çok eksenli hibrit sismik tekstil malzemesi ve özel yapıştırma sıvasının bir kombinasyonudur. İlgili kompozit kumaşa ait düşey, yatay ve diyagonal doğrultuda (60^0) çekme mukavemetinin ortalama değerleri ise sırasıyla 2680 N/50 mm, 2100 N/50 mm ve 1222 N/85 mm'dir. Üçlü numunelerin oluşturulması amacıyla kullanılan derz malzemesi çimento harcı olup, çimento/kum hacimsel oranı 1/4'tür. Özel yapıştırma sıvaları ve sismik kumaş, numunelere tek taraflı uygulanarak güçlendirme işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Çok eksenli sismik hibrit tekstil malzemesi

DeneySEL çalışmanın amacı, kompozit sismik kumaş ile güçlendirilmiş düşey boşluklu tuğla duvar elemanlarının kesme kuvveti altında mekanik karakteristikleri ve çatlak formlarının belirlenmesi ve elde edilen verilerin güçlendirilmemiş referans numuneler ile karşılaştırmalı olarak incelenmesidir. Üç noktalı kesme deneyinin şematik gösterimi Şekil 4'te verilmiş olup, düşey delikli tuğla deneylerinde kullanılan L profil ve levha kalınlıkları $t_{s1}=30$ mm, $t_{s2}=12$ mm, $t_{s3}=12$ mm'dir. Bims blok deneylerinde kullanılan levha kalınlıkları ise $t_{s1}=35$ mm, $t_{s2}=20$ mm, $t_{s3}=15$ mm'dir.



Şekil 4. Deney düzeneği

Çalışma kapsamında yürütülen 12 adet deney, Şekil 5’de verilen basma-çekme test cihazında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5. Basma-çekme test cihazı

2.2. Deney programı ve sayısal bulgular

Oluşturulan her bir üçlü deney grubu için bir isimlendirme yapılmış olup, Tablo 2’de bu kodlara yer verilmiştir.

Tablo 2. Duvar Numunelerinin Kodları

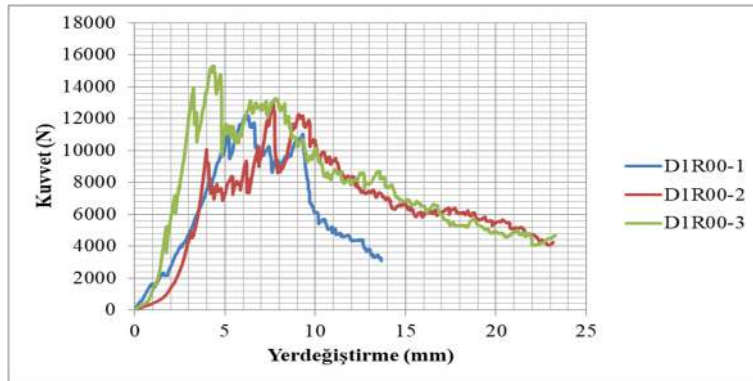
Duvar Kodu	Güçlendirme Durumu	Duvar Tipi	Sıva Tipi
D1R00	Referans	Tuğla	Sıvasız
D3R00	Referans	Bims	Sıvasız
D1G03	Var	Tuğla	Cam kürecik esaslı sıva
D31G03	Var	Bims	Cam kürecik esaslı sıva

Referans olarak değerlendirilen güçlendirilmemiş tuğla numuneler D1R00 olarak isimlendirilmiştir. Bu gruba ait üç adet numune üzerinde gerçekleştirilen deneylerde, kuvvet-yer değiştirme eğrileri elde edilmiştir. D1R00 grubuna ait numunelerin deney öncesi ve kesme kuvvetine maruz bırakıldıktan sonraki durumları Şekil 6’da gösterilmiştir.



Şekil 6. D1R00 grubuna ait numunelerin deney öncesi ve sonrasındaki durumu

Her gruba ait üç numune olması sebebiyle D1R00-1, D1R00-2 ve D1R00-3 şeklinde isimlendirme yapılmıştır. D1R00-1 numunesi için üç noktalı kesme deneyi altında elde edilen maksimum kuvvet 12200 N olmuştur. D1R00-2 ve D1R00-3 numuneleri için ise maksimum kesme kuvveti değerleri 12920 N ve 15316 N olarak ölçülmüştür. Kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri Şekil 7’de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.



Şekil 7. D1R00 numunelerinin kuvvet-yerdeğiştirme ilişkilerinin karşılaştırılması

D1R00-1 numunesi için f_v kayma gerilmesi EN 1052-3’e [4] göre Denklem 1’de verildiği gibi hesaplanmıştır. Burada F_{max} maksimum kesme kuvveti değerini, A ise tuğla duvar-harç ara yüzey alanını ifade etmektedir.

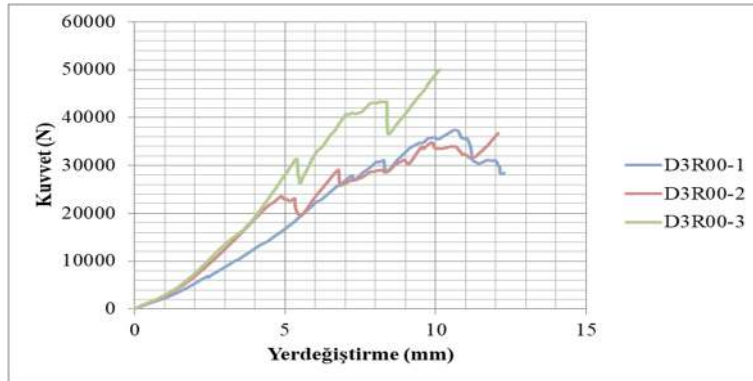
$$f_v = F_{max} / 2A \quad (1)$$
$$f_v = 12200 / (2 \times 190 \times 290) = 0.11 \text{ MPa}$$

Benzer şekilde D1R00-2 ve D1R00-3 numuneleri için de üç noktalı kesme deneyleri gerçekleştirilmiş ve f_v kayma gerilmesi değerleri sırasıyla 0.117 ve 0.138 MPa olarak hesaplanmıştır. Referans olarak değerlendirilen güçlendirilmemiş bims numuneler ise D3R00 olarak isimlendirilmiştir. Bu gruba ait üç adet numune üzerinde gerçekleştirilen deneylerde, kuvvet-yer değiştirme eğrileri elde edilmiştir. D3R00 grubuna ait numunelerin deney öncesi ve kesme kuvvetine maruz bırakıldıktan sonraki durumları Şekil 8’de verilmiştir



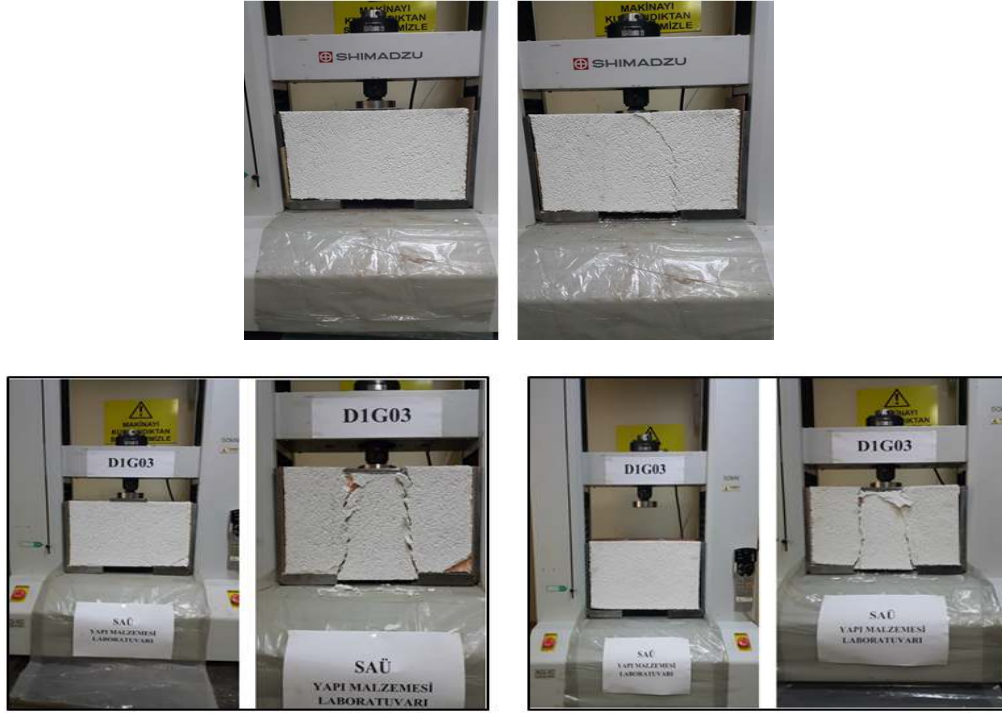
Şekil 8. D3R00 grubuna ait numunelerin deney öncesi ve sonrasındaki durumu

D3R00 numunelerinde; D3R00-1 için 31073 N, D3R00-2 için 23607 N ve D3R00-3 için 31384 N olarak belirlenen maksimum kesme kuvvetlerine karşılık gelen f_v kayma gerilmesi değerleri ise sırası ile 0.21 MPa, 0.16 MPa ve 0.21 MPa olarak hesaplanmıştır. Kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri Şekil 9’da karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



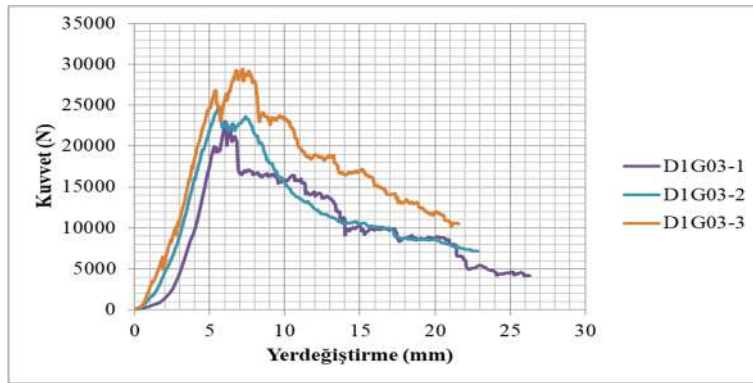
Şekil 9. D3R00 numunelerinin kuvvet-yerdeğiştirme ilişkilerinin karşılaştırılması

DeneySEL çalışmanın ikinci aşamasında; geliştirilmiş cam kürecik esaslı yapıştırma sıvası aracılığıyla numune yüzeyine tek taraflı uygulanan çok eksenli sismik tekstil malzemesinin, kesme kapasitesine etkisi incelenmiştir. Burada, 2 cm kalınlığındaki güçlendirme tabakasının tek taraflı uygulanması ile oluşturulan tuğla ve bims blok numuneleri sırasıyla D1G03 ve D31G03 olarak adlandırılmıştır. D1G03 grubuna ait numunelerde meydana gelen çatlak formları Şekil 10’daki gibidir.



Şekil 10. D1G03-1, D1G03-2 ve D1G03-3 numunelerinin deney öncesi ve sonrasındaki durumu

D1G03-1 kodlu numune için maksimum kesme kuvvetinin değeri 23032 N olarak ölçülmüş ve buna karşılık gelen kayma gerilmesi değeri ise 0.209 MPa olarak hesaplanmıştır. D1G03-2 için 24548 N ve D1G03-3 için 29400 N olan kesme kuvvetlerine karşılık gelen f_v değerleri sırası ile 0.220 MPa ve 0.267 MPa olarak belirlenmiştir. Kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri Şekil 11’de karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.



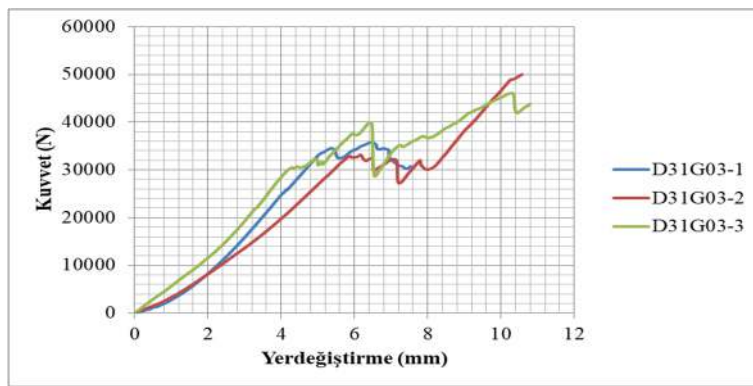
Şekil 11. D1G03 numunelerinin kuvvet-yerdeğiştirme ilişkilerinin karşılaştırılması

Güçlendirilmiş bims numunelerinde meydana gelen çatlak formları Şekil 12’de gösterilmiştir.



Şekil 12. D31G03-1, D31G03-2 ve D31G03-3 numunelerinin deney öncesi ve sonrasındaki durumu

D31G03-1 kodlu numune için maksimum kesme kuvvetinin değeri 35829 N olarak ölçülmüş ve buna karşılık gelen kayma gerilmesi değeri 0.24 MPa olarak hesaplanmıştır. D31G03-2 ve D31G03-3 numuneleri için de aynı yol izlenerek çatlak biçimleri, maksimum kesme kuvveti ve dayanım parametreleri saptanmıştır. D31G03-2 için 33164 N ve D31G03-3 için 40040 N olan kesme kuvvetlerine karşılık gelen f_v değerleri sırası ile 0.22 MPa ve 0.27 MPa olarak hesaplanmıştır. Kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri Şekil 13'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 13. D31G03 numunelerinin kuvvet-yerdeğiştirme ilişkilerinin karşılaştırılması

3. Sonuçlar

Bütün numunelere ait maksimum kesme kuvvetleri ve kayma gerilmeleri Tablo 3'te ifade edilmiştir.

Tablo 3. Numunelerin Maksimum Kesme Kuvveti ve Kayma Gerilmesi Değerleri

Duvar Kodu	Fmax (N)	f _v (MPa)
D1R00-1	12200	0.110
D1R00-2	12920	0.117
D1R00-3	15316	0.138
D3R00-1	31073	0.210
D3R00-2	23608	0.160
D3R00-3	31384	0.210
D1G03-1	23032	0.209
D1G03-2	24548	0.220
D1G03-3	29400	0.267
D31G03-1	35830	0.240
D31G03-2	33164	0.220
D31G03-3	40041	0.270

Tüm numunelerin kayma gerilmeleri elde edildikten sonra numune gruplarını karşılaştırabilmek için ortalama kayma dayanımları ve karakteristik kayma dayanımları hesaplanmıştır.

$$f_{v_m} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{v_n}}{n} \quad (2)$$

$$f_{v_k} = 0.8 * f_{v_m} \quad (3)$$

f_{vm}: Ortalama kayma dayanımı

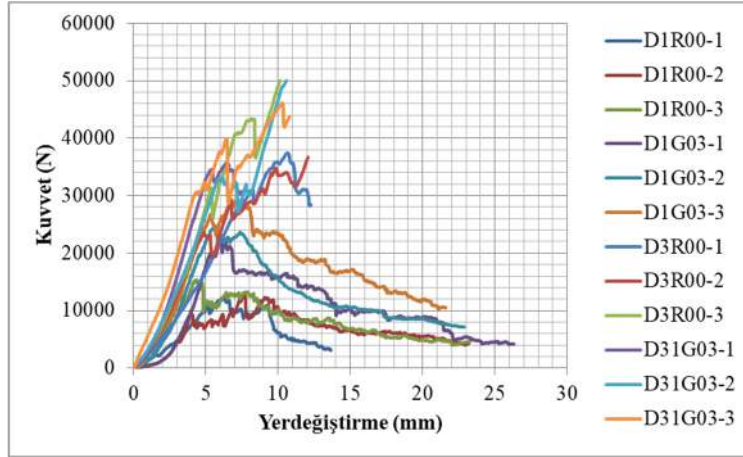
f_{vk}: Karakteristik kayma dayanımı

Ortalama ve karakteristik dayanımlar Denklem 2-3'de belirtilen formüller ile hesaplanarak Tablo 4'de gösterilmiştir.

Tablo 4. Numunelerin Ortalama ve Karakteristik Kayma Dayanımları

Duvar Kodu	f _{vm} (MPa)	f _{vk} (MPa)
D1R00	0.138	0.110
D3R00	0.190	0.150
D1G03	0.232	0.186
D31G03	0.240	0.190

Tüm numunelerin kuvvet-deplasman ilişkilerinin karşılaştırılması Şekil 14'de verilmiştir.



Şekil 14. Tüm numunelerin kuvvet-yerdeğiştirme ilişkilerinin karşılaştırılması

4. Tartışma

Bu çalışmada, sismik tekstil malzemesi ile güçlendirilen tuğla ve bims duvar numunelerinin üç noktalı kesme deneyleri ile mekanik davranışları incelenmiştir. Ayrıca güçlendirme işlemine tabi tutulmadan ele alınan numunelerle karşılaştırmalar yapılarak, ülkemizde ki mühendislik hizmeti almamış ve kültürel mirasımızın önemli öğeleri olan yığma yapı stoğunun olası depremleri minimum hasarla atlatabilmesi için güçlendirmenin önemine odaklanmaya çalışılmıştır. Elde edilen bilgiler ışığında, alkali dirençli cam ve polipropilen esaslı kompozit malzemenin süneklik kapasitesini önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir. Söz konusu malzemenin numune yüzeyine tatbik edilmesini sağlayan cam kürecik esaslı yapıştırma sıvası da enerji yutma kapasitesi üzerinde etkilidir. Referans numunelerde yapılan deneyler bimsin süneklik kapasitesinin tuğladan daha yüksek olduğunu göstermiştir. Ayrıca sismik kumaş dayanımı önemli ölçüde arttırmakla beraber, deprem kumaşının üç parça ile bindirmeli olarak kullanılması durumunda tek parça olarak kullanılmasına kıyasla daha düşük bir dayanım artışı olduğu gözlenmiştir. Bununla beraber her iki durumda da sünekliğe önemli ölçüde katkıda bulunduğu tespit edilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Wallner C., “Erdbeengerechtes Verstärken von Mauerwerk durch Faserverbundwerkstoffe Experimentelle und Numerische Untersuchungen”, *Ph. D. Thesis*, Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, Germany, (2008).
- [2] Oliveira, D.V.C., “Experimental and Numerical Analysis of Blocky Masonry Structures Under Cyclic Loading”, *Ph. D Thesis*, University of Minho, Portugal, 19-25 (2003).
- [3] Lourenço P. B., Barros J. O. and Oliveira J. T., “Shear Testing of Stack Bonded Masonry”, *Construction and Building Materials*, 18, p.125-132 (2004).
- [4] EN 1052-3, European norms for methods of test for masonry–Part 3: Determination of initial shear strength., 1996.