



The effect of mortar and bond type on mechanical parameters of masonry walls

Musa Yetkin*^{ID}, Yusuf Calayır^{ID}, Kürşat Esat Alyamaç^{ID}

Department of Civil Engineering, Engineering Faculty, Fırat University, 23119 Elazığ, Türkiye

Highlights:

- The effect of mortar and bond type on the mechanical parameters of masonry walls was investigated.
- The walls were subjected to the diagonal compression test.
- The use of steel fiber reinforced mortar improved the mechanical parameters of the masonry walls.

Keywords:

- Masonry walls
- Steel fiber reinforced mortar
- Joint thickness
- Bond type
- Diagonal compression test

Article Info:

Research Article

Received: 28.02.2022

Accepted: 21.03.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1080258

Correspondence:

Author: Musa Yetkin

e-mail:

musayetkin@firat.edu.tr

phone: +90 539 840 9240

Graphical/Tabular Abstract

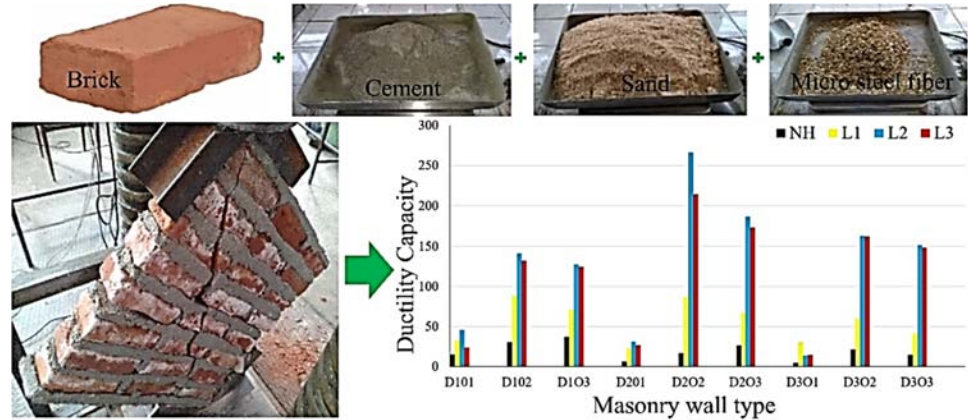


Figure A. Summary of the workflow carried out in this study

Purpose:

We investigated the effect of mortar and bond type on the mechanical parameters of masonry walls. We examined the effect of steel fiber reinforced mortar and joint thickness as mortar type. Steel fiber mortars were 0%, 1%, 2% and 3% by weight. Joint thicknesses were 1 cm, 2 cm and 3 cm. We used three different bond types (stack bond, 1/2 stretcher bond and 1/3 stretcher bond). Accordingly, we created 108 masonry wall elements in total. We subjected these wall elements to the diagonal compression test (Figure A).

Theory and Methods:

We experimentally investigated the effect of steel fiber reinforced mortar, different joint thicknesses and bond types on the mechanical parameters of masonry walls. We created wall elements for 36 different types. We subjected these walls to the diagonal compression test.

Results:

As a result of the tests; it has been determined that cracks occur along the loading direction and for walls formed with fibrous mortars, the length of this crack decreases as the fiber content in the mortar increases. The wall elements created with non-fibrous mortars suddenly collapsed when they reached their maximum load values. No such collapse was observed in the walls formed with fibrous mortars. The masonry walls using non-fibrous mortars have lower values in terms of mechanical parameters than walls using fibrous mortars. The masonry walls in which the stretcher bond types are used are the walls that have higher values in terms of mechanical parameters compared to the walls in which the stack bond type is used. When the joint thickness is compared, it has been determined that the highest numerical values in terms of mechanical parameters occur on walls with a joint thickness of 2 cm.

Conclusion:

The wall elements created by using steel fiber mortar exhibited a better behavior than the other walls in terms of collapse pattern. This clearly shows the positive effect of steel fiber on the collapse behavior of masonry walls. The highest numerical values in terms of mechanical parameters were obtained for the mortars containing 2% micro steel fiber, 2 cm joint thickness and walls with 1/2 stretcher bond type, respectively.



Yığma duvarların mekanik parametrelerine harç ve örgü tipinin etkisi

Musa Yetkin*^{ID}, Yusuf Calayır^{ID}, Kürşat Esat Alyamaç^{ID}

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 23119 Elazığ, Türkiye

ÖNEÇIKANLAR

- Harç ve duvar örgü tipinin yığma duvarların mekanik parametreleri üzerindeki etkisi incelenmiştir
- Duvarlar diyagonal basınç testine tabi tutulmuştur
- Çelik lif takviyeli harç kullanımı, yığma duvarların mekanik parametrelerini önemli ölçüde iyileştirmiştir

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 28.02.2022

Kabul: 21.03.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1080258

Anahtar Kelimeler:

Yığma duvarlar,
çelik lifli harç,
derz kalınlığı,
örgü tipi,
diyagonal basınç testi

ÖZ

Bu çalışmada, harç ve örgü tipinin yığma duvarların mekanik parametrelerine olan etkisi araştırılmıştır. Buna bağlı olarak içeriğinde farklı karışım oranlarında çelik lif bulunan dört farklı harç tipi (%0, %1, %2 ve %3 oranında çelik lif içeren harç), üç farklı derz kalınlığı (10 mm, 20 mm ve 30 mm) ve üç farklı örgü tipi (düz, 1/2 şaşırtmalı ve 1/3 şaşırtmalı örgü tipleri) için toplamda 108 adet duvar elemanı oluşturulmuştur. Daha sonra ilgili duvar elemanları diyagonal basınç testine tabi tutulmuştur. Testler sonucunda, her bir duvar elemanının göçme biçimleri ve süneklik kapasitesi, maksimum kayma mukavemeti, maksimum yer değiştirme miktarı ve göçme yükü gibi mekanik parametreleri elde edilmiştir. Bu mekanik parametreler bakımından en iyi davranışı gösteren duvar elemanı (optimum duvar elemanı) belirlenmiştir.

The effect of mortar and bond type on mechanical parameters of masonry walls

HIGHLIGHTS

- The effect of mortar and bond type on the mechanical parameters of masonry walls was investigated
- The walls were subjected to the diagonal compression test
- The use of steel fiber reinforced mortar improved the mechanical parameters of the masonry walls

Article Info

Research Article

Received: 28.02.2022

Accepted: 21.03.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1080258

Keywords:

Masonry walls,
steel fiber reinforced mortar,
joint thickness,
bond type,
diagonal compression test

ABSTRACT

In this study, the effect of mortar and bond types on the mechanical parameters of masonry walls was investigated experimentally. Accordingly, a total of 108 wall elements were created for four different mortar types (0%, 1%, 2% and 3% steel fiber by weight), three different joint thicknesses (10 mm, 20 mm and 30 mm) and three different bond types (stack bond and stretcher bond (1/2 and 1/3) types). Then, diagonal compression test was carried out for wall elements. As a result of the tests, the failure patterns and the mechanical parameters such as ductility capacity, maximum shear strength, maximum displacement and failure load were obtained for each wall element. The wall element (optimal wall element) showing the best behavior in terms of these mechanical parameters was determined.

1. Giriş (Introduction)

İnsanoğlu barınma ihtiyacını giderebilmek için yüzyıllardır farklı farklı çözümler denemiştir. Önceleri ağaç dalları ve kütükleri sayesinde bu ihtiyaç giderilirken, ancak çevre koşullarına karşı güçlü olma isteği insanoğlunu yeni çözümler bulmaya mecbur kılmıştır. Buna bağlı olarak taş ve tuğla gibi yığma birimlerin birbirine harçlı/harçsız olarak kenetlenmesi ile oluşturulan ve yığma yapı olarak adlandırdığımız yapı sistemi ortaya çıkmıştır. Binlerce yıllık yapı kültürünün bir sonucu olarak ortaya çıkmış olan bu yapıların bir kısmı günümüze kadar ayakta kalabilmiş ve teknolojileri hakkında bilgi edinmemizi sağlamıştır. Bu yapılar gevrek malzemelerle inşa edildikleri için süneklikleri genel olarak düşüktür. Düşük süneklikleri nedeniyle bu yapılar deprem vb. yükler altında aniden göçebilmektedirler. Nitekim geçmişte yaşanan büyük depremlerde birçok yığma yapı yıkılmış ve ciddi ölçüde can ve mal kayıpları meydana gelmiştir (Şekil 1). Bu kayıplar nedeniyle yığma yapılara olan güven azalmış ve daha çok kırsal bölgelerde az katlı yapılar için tercih edilir olmuştur. Ancak günümüze kadar ulaşabilen ve herhangi bir hasara uğramadan ayakta kalmayı başarabilen cami, kilise, minare, çan kulesi, köprü, kale ve han gibi birçok yığma yapı mevcuttur. Bu durum, yığma yapıların deprem vb. kuvvetler karşısında tamamen kötü bir davranışa sahip olduğu fikrinin yanlış olduğunu, uygun projelendirme ve yapım teknikleri ile yığma yapıların bu gibi kuvvetler karşısında iyi bir davranış sergileyebileceğini göstermektedir. Örneğin, Erzincan Depremi'nde (1992) şehir merkezinde bulunan yığma yapılar (Belediye Binası, Orman Bölge Şefliği Binası vd.), Kocaeli (İzmit) Depremi'nde (1999) ise Devlet Su İşleri Hizmet Binası, birçok çerçeve taşıyıcı sisteme sahip yapıların yıkıldığı depremi hasarsız veya çok az hasar görek atlatmışlardır [1, 2].

Yığma yapıları daha sünek bir davranış sergileyebilecek hale getirebilmek için birtakım çözümler üretmeyi amaçlayan çalışmalar yürütülmektedir. Bu çalışmaların odak noktaları; genel olarak sünekliği ve çekme dayanımı düşük olan yığma yapıların bu

özelliklerini iyileştirerek süneklik kapasitelerini, çekme mukavemetlerini ve şekil değiştirme özelliklerini artırabilmektedir. Bu çalışma kapsamında; yeni yapılacak yığma yapıların daha sünek bir davranış sergilemesini sağlayabilmek için bir çözüm üretmek amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, beton içerisine eklenen çelik lifin betonun birçok mekanik parametresine (basınç dayanımı, çekme dayanımı, sünekliği, elastisite modülü vs.) olan olumlu etkileri göz önünde bulundurularak, yığma yapılarda da derz harcının içerisinde çelik lif kullanılabileceği düşünülmüştür. Buna bağlı olarak, harç içerisinde belirli oranlarda çelik lif kullanılarak laboratuvar ortamında oluşturulan yığma duvar elemanları için çelik lifin yığma duvar elemanlarının davranışına etkisi incelenmiştir. Öncelikle, yığma duvar oluşturmada kullanılan dolu harman tuğlası, kum ve harç birimleri için birtakım fiziksel ve mekanik deneyler gerçekleştirilmiştir. Daha sonra dolu harman tuğlası ve dört farklı harç tipi (ağırlıkça %0, %1, %2 ve %3 oranında çelik lif içeren harçlar) için, üç farklı derz kalınlığı ve üç farklı örgü tipine sahip olan 36 farklı seri ve her bir seriden 3 tekrar numunesi olmak üzere toplamda 108 adet duvar elemanı laboratuvar ortamında oluşturulmuştur. Bu duvar elemanları gerekli kür koşulları sağlandıktan sonra diyagonal basınç testine tabi tutulmuş ve her bir duvar elemanının göçme biçimleri ve süneklik kapasitesi, maksimum kayma mukavemeti, maksimum deplasman miktarı ve göçme yükü gibi mekanik parametreleri belirlenmiştir. Bu mekanik parametreler bakımından duvar elemanları değerlendirilerek en iyi davranışı gösteren optimum duvar elemanı belirlenmiş ve harç ve örgü tipinin duvar elemanı davranışına olan etkisi irdelenmiştir.

2. Lifler Hakkında Genel Bilgi ve Çelik Lifler (General Information about Fibers and Steel Fibers)

Bir boyutu diğer boyutuna oranla çok büyük olan, doğal yollarla bulunabilen veya yapay olarak üretilebilen her çeşit malzemeye lif denilmektedir [6]. Yaklaşık 4500 yıl önce kullanılan saman takviyeli kil harcı (kerpiç), bilinen en eski lifli yapı malzemesi olarak kabul edilebilir. Günümüzde betonun değişik alanlarda kullanma ihtiyacının



Askeri Garnizon binası [3]



Aşkale okul binası [4]



Üst katı boşluklu tuğla ile imal edilmiş yığma yapı [2]



Konsol çıkmalı yığma yapı [5]

Şekil 1. Çeşitli depremlerde hasar gören bazı yığma yapılar (Some masonry structures damaged in various earthquakes)

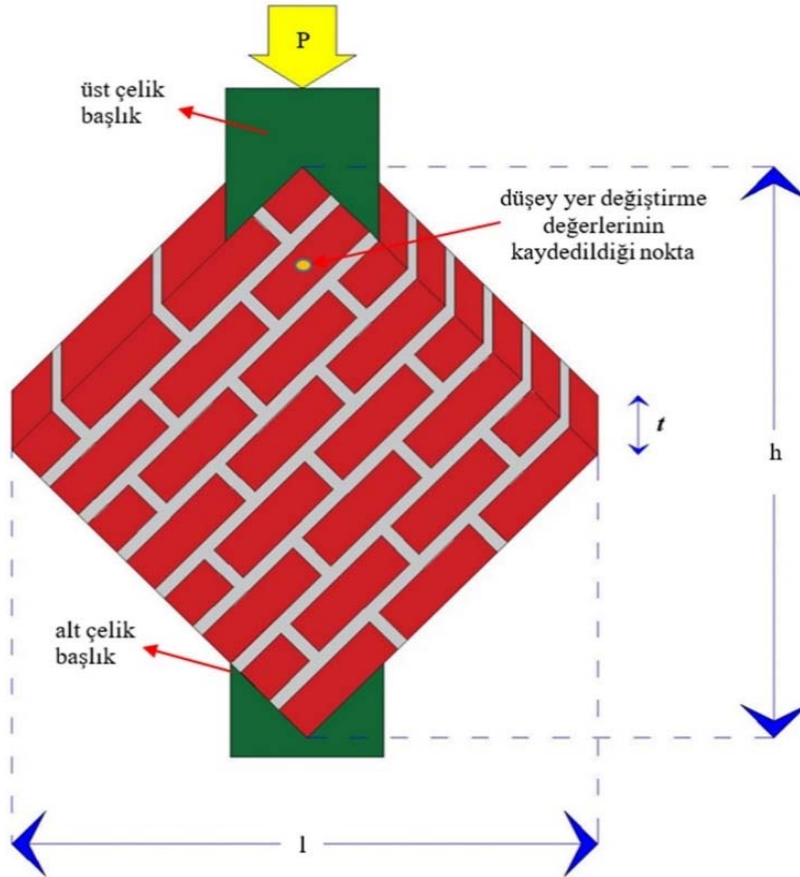
ortaya çıkması ve beton teknolojisindeki gelişmelerin neticesinde lif katkıli betonlar üretilmeye başlanmıştır [7]. Betonun içerisine farklı miktarlarda, farklı narinlik oranlarında, farklı tiplerde lifler ilave edilerek beton özellikleri olumlu yönde iyileştirilmeye çalışılmıştır.

Normal beton içerisinde çelik lif kullanılmasının betona pek çok etkisi vardır. Lee [8], çelik lif oranı arttıkça basınç dayanımının %16'ya kadar arttığını belirtmiştir. Wu vd. [9], yüksek performanslı betonların içerisine kancalı uçlu çelik liflerin %2 hacim oranında katılmasıyla beton basınç dayanımının lifsiz betona nazaran yaklaşık %50 arttığını bildirmişlerdir. Tokyay vd. [10] çelik lifli betonların lifsiz betona nazaran %35 daha fazla çekme dayanıma sahip olduğunu, Bentur ve Mindess [11] bu fazlalığın yaklaşık olarak %5 ile %133 arasında değiştiğini söylemişlerdir. Yarmada çekme dayanımı için ise lifli betonların lifsiz betona göre daha yüksek bir dayanıma sahip olduğu, bu artışın Gao vd. [12] %78, Sevil [13] %54, Kayalı vd. [14] %118 oranında olduğunu tespit etmişlerdir. Ünal vd. [15] çelik lifli betonların lifsiz betonlara göre eğilme dayanımının %21,2 daha fazla olduğunu belirlemiştir. Yazıcı vd. [16] lif hacmi ve narinliğe bağlı olarak eğilme dayanımındaki artışın %3 ile %81 arasında olduğunu ifade etmişlerdir. Wu vd. [9] ise yüksek dayanıma sahip betonlarda çelik lifli betonların eğilme dayanımlarının lifsiz betonlara göre %44 daha fazla olduğunu söylemişlerdir. Aydın [17] ise yüksek dayanımlı betonlarda eğilme dayanımındaki artışın %104 kadar olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, çekme veya eğilme yüklemesine tabi tutulan betonlarda lif miktarı arttıkça yorulma dayanımı artmaktadır [18–20]. Çelik lifli betonun lifsiz betona nazaran darbe yüklerine %100 ile %1200 arasında daha dayanıklı olduğu söylenmektedir [21–25]. Çelik lif kullanılan numunelerde beton çatlasa bile numune yük taşımaya

devam eder ve lifli numunenin tokluğu lifsiz numuneye göre %100 ile %1200 arasında artabilir [26]. Tokyay vd. [10] bu artışın %110 seviyesinde olduğunu söylemişlerdir. Atış ve Karahan [27], beton içerisinde kullanılan lif miktarı arttıkça rötrenin giderek azaldığını belirlemişlerdir. Çelik lifin bu olumlu etkileri dikkate alınarak çelik lifli beton uygulamaları tünellerde, havaalanı ve karayolu yol kaplamalarında, yüksek performanslı beton üretiminde, endüstri yapılarında, hidrolik yapılarında, stratejik öneme sahip yapılarda, prefabrik yapılarda, sığınak kaplamalarında, betonarme panel elemanlarında ve patlamaya karşı dayanıklı olması gereken yapılar gibi daha pek çok yerde kullanılmaktadır.

3. Diyagonal Basınç Testi (Diagonal Compression Test)

Yığma duvarların kayma dayanımları ASTM E-519 [28] ve RILEM LUM-B6 [29] standartlarının tavsiye ettiği esaslara bağlı olarak belirlenebilmektedir (Şekil 2). Bu testlerin kullanılarak yığma duvarlar Diyagonal basınç testinin esası, yığma duvar elemanlarına diyagonal doğrultusu boyunca bir yüklem yaparak basınç ve kayma kuvvetlerinin duvar elemanına aynı anda etkimesi durumunda duvar elemanının davranışının belirlenmesine dayanmaktadır. Bu testler esnasında, duvar elemanının yüklem altında göçene kadar taşıdığı yükün ve yapmış olduğu deformasyonların zamana bağlı olarak değişiminin kayıt altına alınması gerektiği belirtilmiştir. Bu kayıtlar sayesinde duvar elemanına ait kayma gerilmesi (τ_0), Eş. 1 yardımıyla hesaplanabilmektedir. Eş. 1-2 için; P uygulanan yük, A_n numuneye uygulanan yüklemenin alanı, l ve h sırasıyla numunenin diyagonal doğrultudaki uzunluğu ve yüksekliği, t numunenin genişliği ve n ise yığma birimin brüt alanını ondalık cinsinden ifade eden bir katsayıdır.



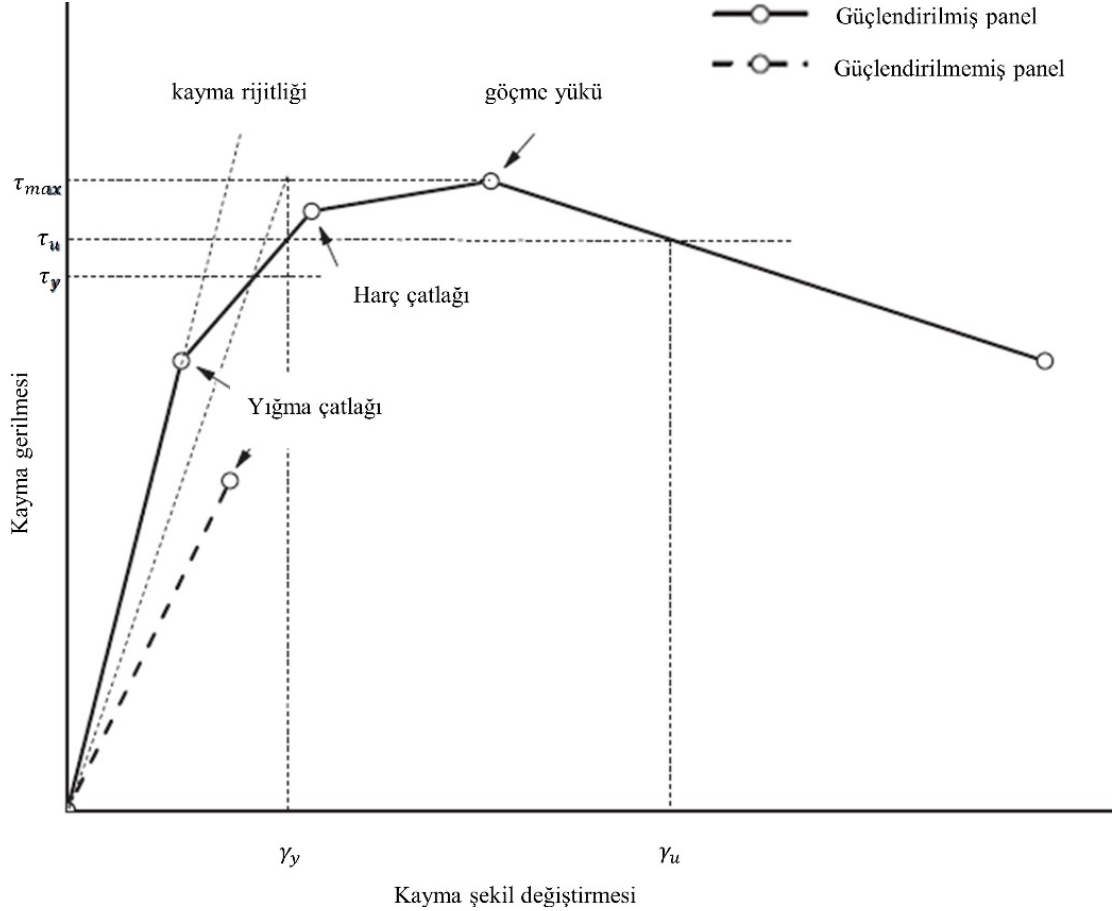
Şekil 2. Diyagonal basınç testlerinin uygulanması (Application of the diagonal compression test)

$$\tau_0 = \frac{0,707P}{A_n} \quad (1)$$

$$A_n = \left(\frac{t+h}{2}\right) \times t \times n \quad (2)$$

Literatürde yığma duvar elemanlarına diyagonal basınç testlerinin uygulandığı birçok çalışma mevcuttur. Alecci vd. [30], yığma birimi olarak harman tuğlası ve üç farklı harç kullanarak ürettikleri duvar elemanlarına diyagonal basınç testi uygulamış, testler sonucunda duvarın dayanımı ve sünekliği ile harç dayanımı arasında kuvvetli bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir. Başaran vd. [31], dıştan polipropilen lif ve çelik elyaf takviyesi ile güçlendirdikleri yığma duvar elemanlarına diyagonal basınç testleri yapmışlardır. Testler sonucunda, polipropilen lif ve çelik elyaf takviyesinin duvar elemanlarının süneklik kapasitesini, kayma direncini ve rijitliğini artırdığını tespit etmişlerdir. Çobanoğlu [32], on farklı binadan almış olduğu duvar elemanları için yapmış olduğu diyagonal basınç testleri sonucunda, diyagonal basınç kapasitesini etkileyen en önemli faktörün harcın kalitesi olduğunu belirtmiştir. Atay [33], yatay delikli tuğla ve dört farklı harç (normal harç, PVC katkılı harç, polipropilen lif katkılı harç ve geogrid katkılı harç) kullanarak ürettiği yığma duvar elemanları için diyagonal basınç testleri gerçekleştirmiş ve katkı kullanılan harçlar ile üretilen yığma duvar elemanların normal harç ile üretilen yığma duvar elemanlara göre kırılma yükünün, kayma dayanımının, kayma şekil değiştirmesinin ve enerji yutma kapasitesinin arttığını belirlemiştir. Shermi ve Dubey [34], iki farklı harç karışım oranı kullanarak ve üç farklı oranda kaynaklı tel örgüsü ile güçlendirerek ürettikleri yığma duvarlar için diyagonal basınç

testleri gerçekleştirmişlerdir. Testler sonucunda kaynaklı tel örgüsünün yığma duvar elemanlarının kayma mukavemetine ve sünekliğine olumlu katkısının olduğunu tespit etmişlerdir. Mezrea vd. [35], sıva harcının, tekstil malzemesinin (bazalt ve karbon) ve ankraj uygulamasının yığma duvarların davranışına etkisini belirleyebilmek için ürettikleri duvar elemanlarını diyagonal basınç testine tabi tutmuşlardır. Deneyler sonucunda, sıva harcı tipinin duvar elemanlarının mekanik özelliklerini ciddi ölçüde etkilediğini, tekstil malzemesinin ve ankraj uygulamasının duvar elemanlarının kayma mukavemetini ve enerji yutma kapasitesini artırdığını ifade etmişlerdir. Büyükkaragöz ve Koprman [36], farklı derz kalınlıklarına sahip olacak şekilde ürettikleri yığma duvar elemanları, farklı karışım oranlarında çelik lif içeren sıva harcı ile dıştan güçlendirerek diyagonal basınç testine maruz bırakmışlardır. Derz kalınlığı arttıkça kayma mukavemetinin arttığını, çelik lifli sıva harcı ile güçlendirilmiş tüm duvar elemanları için süneklik kapasitesinin, deplasman yapabilme yeteneğinin ve enerji yutma kapasitesinin arttığını ifade etmişlerdir. Ayrıca harç kalınlığının artırılmasının ve yüksek miktarda çelik lif kullanılmasının aderansı azalttığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar, diyagonal basınç testinin yığma duvar elemanlarının davranışını belirlemede sıklıkla tercih edilen bir yöntem olduğunu göstermiştir. Yapılan çalışmaların genel itibarıyla, yığma duvarların güçlendirilerek sünekliğinin, enerji yutma kapasitesinin, yük taşıma kapasitesinin, deplasman yapabilme yeteneğinin iyileştirilmesi yönünde olduğu görülmektedir. Yapılacak güçlendirme ile yığma duvarların ideal kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi grafiğinin Şekil 3'teki gibi olması beklenmektedir [37]. Bu çalışma kapsamında



Şekil 3. Duvar elemanlarının idealleştirilmiş kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi grafiği [37]
(The idealized shear stress-shear strain curves of masonry elements)

da, deneysel olarak oluşturulan yığma duvar elemanları için harç içerisinde çelik lif kullanılarak duvar elemanlarının mekanik parametrelerinin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır.

4. Malzemeler ve Deneysel Yöntem (Materials and Experimental Method)

Yığma duvarların davranışları, yığma ve harç birimlerinin fiziksel ve mekanik özelliklerine, duvar örgü tipine, derz kalınlığına ve yapım işçiliğine bağlıdır. Bu nedenle, duvara ait yığma birim ve harç bileşenlerinin temel özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle, deneylerde kullanılan tuğla ve harç birimlerinin ayrı ayrı birtakım fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Çalışma kapsamında yapılan tüm deneyler Fırat Üniversitesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmalarda yığma birimi olarak 190×90×60 mm boyutlarında tam dikdörtgenler prizması şeklinde üretilmiş olan ve herhangi bir delik veya boşluğa sahip olmayan kil bazlı dolu harman tuğlası piyasadan temin edilerek kullanılmıştır. Tuğla numunesi için gerçekleştirilen deneylerde TS EN 772-16, TS EN 771-1, TS EN 772-3, TS EN 772-13 ve TS EN 772-1 standartlarından yararlanılmıştır

[38–41]. Harç oluşturmak için; Birlik Beton (Elazığ) kum ocağından temin edilen kalker esaslı kırmataş kum, CEM I-42.5/R tipi çimento ve düz geometriye sahip olarak üretilmiş olan mikro çelik lifler (Kemerli Metal San. ve Tic. A.Ş. - Kayseri) kullanılmıştır. Deneylerde kullanılacak olan kum için elek analizi, TS EN 933-1 [42] standardının belirttiği şekilde yapılmıştır. Kullanılan malzemelere ait fiziksel ve mekanik özellikler Tablo 1’de verilmiştir.

Duvar elemanlarının yapımında kullanılacak olan harç için çimento:kum oranı 1:4 olarak seçilmiştir. Bu çimento:kum oranı için optimum su miktarı, harcın derz üzerinde akıp gitmeyecek ve kolaylıkla işlenebilecek şekilde plastik kıvamda olmasına özen gösterilerek 0,62 olarak belirlenmiştir. Duvar elemanlarının yapımında kullanılacak harcın içerisindeki lif oranı için ağırlıkça %0, %1, %2 ve %3 oranları kullanılmıştır. Dolu harman tuğlası ve çelik lifli/lifsiz harçlar kullanılarak, 1 cm, 2 cm ve 3 cm olmak üzere 3 farklı derz kalınlığı ve düz örgü, 1/2 şaşırtmalı örgü ve 1/3 şaşırtmalı örgü olmak üzere 3 farklı örgü tipi için yığma duvar elemanları üretilmiştir (Şekil 4).

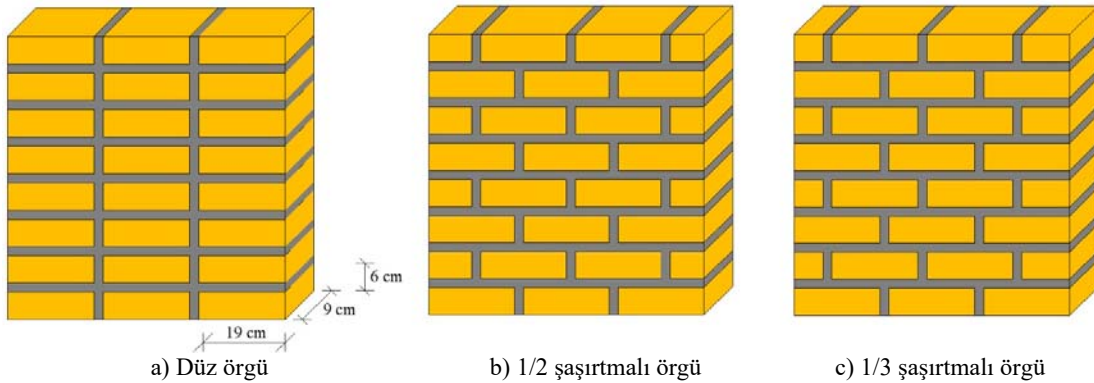
Duvar elemanları üretilirken özel kalıplar kullanılmış, bu sayede duvarların düzgün bir biçimde örülmesi ve istenilen derz kalınlığında

Tablo 1. Malzemelere ait fiziksel ve mekanik özellikler (Physical and mechanical properties of the materials)

Malzeme	Özellik	Değer
Tuğla	Boyutlar (mm)	190 × 90 × 60
	Basınç Dayanımı (MPa)	24,67
Kum	Boşluk Yüzdesi (%)	4,94
	Su emme miktarı (%)	19,0
Çelik Lif	Net Kuru Yoğunluk (kg/m ³)	1690,2
	Brüt Kuru Yoğunluk (kg/m ³)	1606,94
Elastisite Modülü (MPa)		4198

Elekten Geçen (%)	Elekten Kalan (%)
0	100,00
4	95,71
2	86,56
1	61,80
0,5	47,16
0,25	23,46
0,0625	3,92
Elek Abı	0
	100

Tip	Düz
Boy (mm)	6
Çap (mm)	0.35
Narinlik	17.143
Elastisite Modülü (MPa)	200000
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	7.8



Şekil 4. Örgü tipleri (Bond types)

olması sağlanmıştır. Buna bağlı olarak 36 farklı tipte duvar elemanı ve her bir duvar elemanı için 3 tekrar duvar elemanı olmak üzere toplamda 108 adet duvar elemanı oluşturulmuştur (Şekil 5). Duvar elemanlarına ait isim kodlaması Tablo 2’de verildiği gibidir.

Duvar elemanlarının diyagonal basınç testleri için ASTM E-519 [28] ve RILEM LUM-B6 [29] standartları kullanılmıştır. ASTM E-519 [28] ve RILEM LUM-B6 [29] standartlarına göre; diyagonal basınç testi yapılacak duvar elemanı sayısı üçten az olmamalı, üretilen duvar elemanları en az yedi gün üretildiği yerden taşınmamalı, laboratuvar koşullarında (24±8 °C) minimum 28 gün bekletilmeli, duvarlardaki harç fazının hidratasyon ısısını düşürebilmek için bu süreçte nemlendirilmesi/sulanması ile kür işlemi yapılmalı, yüklemesnasında duvarların bir dakikadan az iki dakikadan çok olmayacak şekilde maksimum yük değerine ulaşması sağlanmalı, duvarlara ait gerilme-şekil değiştirme eğrisinin elde edilebilmesi için en az on deformasyon/şekil değiştirme değeri kayıt altına alınmalı ve bu değerlerin mümkün olduğunca maksimum yük değerine yakın olmasına özen gösterilmeli, yükleme altında duvar elemanlarının

aniden göçmesi ihtimali olan durumlarda deformasyon/şekil değiştirme ölçer cihazlar duvar elemanından çıkarılmalı ve duvar elemanları yüklenmeye devam edilmeli ve maksimum yük değeri tespit edilmelidir. Tüm bu kurallar göz önünde bulundurularak, duvar elemanları oluşturulduğu günden testin yapılacağı güne kadar yerinden oynatılmayarak laboratuvar koşullarında bekletilmiş ve belirli saat aralıklarında sulanarak kür işleminin yapılmasına özen gösterilmiştir. İlgili standartların belirttiği şekilde duvar elemanları için üretim, muhafaza ve uygun ölçüm koşulları sağlandıktan sonra duvar elemanlarının diyagonal basınç testleri gerçekleştirilmiştir. Duvar elemanlarına hidrolik basınç test presisi yardımıyla düzgün artan bir yük uygulandığı sırada, duvar elemanlarının taşıdığı yük değerleri yük hücresi yardımıyla, yapmış oldukları düşey yer değiştirme değerleri ise potansiyometrik cetveller yardımıyla veri toplama sistemine (TESTBOX-1001) kaydedilmiştir. Duvar elemanlarının yapmış oldukları düşey yer değiştirme değerleri, yükleme doğrultusundaki diyagonal üzerinde bulunan ve yüklemenin yapıldığı köşe noktasının yaklaşık olarak 15 cm aşağısındaki bir noktadan alınmıştır (Şekil 2).



Şekil 5. Duvar elemanlarının oluşturulması süreci (The process of preparing masonry walls)

Tablo 2. Duvar elemanlarına ait isim kodlamaları (Name coding of wall elements)

Duvar Adı	Derz Kalınlığı (cm)	Lif Oranı (%)	Örgü Tipi	Duvar Adı	Derz Kalınlığı (cm)	Lif Oranı (%)	Örgü Tipi
D1NHO1	1	0	Düz	D1L2O1	1	2	Düz
D1NHO2	1	0	1/2 Şaşırtmalı	D1L2O2	1	2	1/2 Şaşırtmalı
D1NHO3	1	0	1/3 Şaşırtmalı	D1L2O3	1	2	1/3 Şaşırtmalı
D2NHO1	2	0	Düz	D2L2O1	2	2	Düz
D2NHO2	2	0	1/2 Şaşırtmalı	D2L2O2	2	2	1/2 Şaşırtmalı
D2NHO3	2	0	1/3 Şaşırtmalı	D2L2O3	2	2	1/3 Şaşırtmalı
D3NHO1	3	0	Düz	D3L2O1	3	2	Düz
D3NHO2	3	0	1/2 Şaşırtmalı	D3L2O2	3	2	1/2 Şaşırtmalı
D3NHO3	3	0	1/3 Şaşırtmalı	D3L2O3	3	2	1/3 Şaşırtmalı
D1L1O1	1	1	Düz	D1L3O1	1	3	Düz
D1L1O2	1	1	1/2 Şaşırtmalı	D1L3O2	1	3	1/2 Şaşırtmalı
D1L1O3	1	1	1/3 Şaşırtmalı	D1L3O3	1	3	1/3 Şaşırtmalı
D2L1O1	2	1	Düz	D2L3O1	2	3	Düz
D2L1O2	2	1	1/2 Şaşırtmalı	D2L3O2	2	3	1/2 Şaşırtmalı
D2L1O3	2	1	1/3 Şaşırtmalı	D2L3O3	2	3	1/3 Şaşırtmalı
D3L1O1	3	1	Düz	D3L3O1	3	3	Düz
D3L1O2	3	1	1/2 Şaşırtmalı	D3L3O2	3	3	1/2 Şaşırtmalı
D3L1O3	3	1	1/3 Şaşırtmalı	D3L3O3	3	3	1/3 Şaşırtmalı

5. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

Bu bölümde, 108 adet yığma duvar elemanının ASTM E-519 [28] ve RILEM LUM-B6 [29] standartlarının tavsiye ettiği şekilde gerçekleştirilen diyagonal basınç testlerine ait bulgular verilmiştir. Duvar elemanları göçme biçimleri bakımından incelendiğinde;

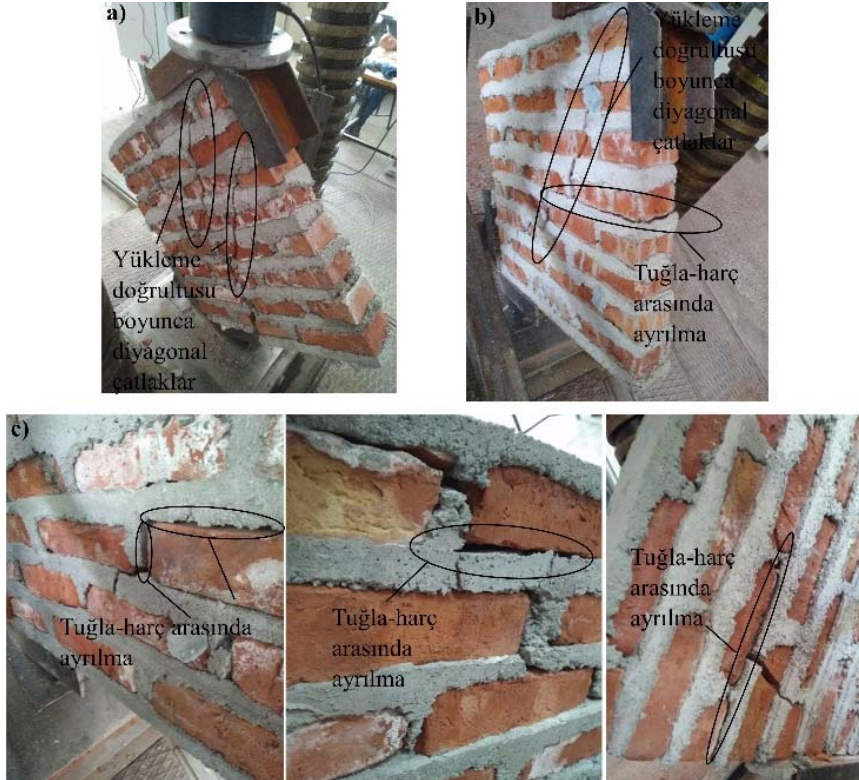
- Yükleme doğrultusu boyunca çatlakların meydana geldiği ve bu çatlakların alt çelik başlığın bulunduğu bölgeye doğru ilerlediği görülmüştür (Şekil 6a, Şekil 6-b). Ancak lifli harçlar ile oluşturulan duvarlar için harç içerisindeki lif miktarı arttıkça bu çatlakların uzunluğunun azaldığı belirlenmiştir.
- Bazı duvar elemanları için tuğla ile harç arasında ayrılmaların olduğu görülmüştür (Şekil 6b, Şekil 6c).
- Üst çelik başlık altındaki tuğla ve harçlarda ezilmelerin olduğu, ancak bu ezilmelerin hiçbir duvar elemanının göçme biçimini etkilemediği ve hemen hemen tüm duvar elemanlarının yükleme doğrultusunda meydana gelen çatlaklar nedeniyle göçmeye uğradığı gözlenmiştir (Şekil 7).
- Tüm duvarlar için yükleme esnasında harçların yanı sıra tuğlalarda da kırılmalar oluşmuştur. Bu durum harç mukavemetinin iyi düzeyde olmasına işaret etmektedir (Şekil 7).
- Lifsiz harç (NH) kullanılarak oluşturulan duvar elemanları için ayrılarak (dağılarak) göçme gözlemlenirken (Şekil 8a), lifli harçlar (L1, L2 ve L3) kullanılarak oluşturulan duvar elemanları için harç içerisinde mikro çelik lif kullanıldığından dolayı toptan göçme meydana gelmemiştir (Şekil 8b).
- Duvar elemanlarında oluşan çatlak/göçme biçimleri yığma duvarların öngörülen çatlak/göçme davranışı ile benzerlik göstermektedir [43–46].

Duvar elemanları için yüklemeler esnasında kaydedilen yük ve yer değiştirme verileri kullanılarak her bir duvar elemanına ait süneklik

kapasiteleri, maksimum kayma mukavemetleri, yapmış oldukları maksimum yer değiştirme ve taşıdıkları maksimum yük değerleri belirlenmiştir. Her bir duvar elemanı için belirlenen bu mekanik parametrelerin değişimini gösteren grafikler Şekil 9, Şekil 10'da sunulmuştur.

Süneklik kapasitesi bakımından değerlendirildiğinde (Şekil 9a);

- NH tip harçlar kullanılarak oluşturulan duvarlar için, derz kalınlığı aynı olan duvarlarda örgü tipi bakımından bir karşılaştırma yapıldığında, Örgü 2 ve Örgü 3 tip duvarların, Örgü 1 tip duvarlardan daha iyi bir davranış sergilediği belirlenmiştir.
- L1, L2 ve L3 tip harçlar kullanılarak oluşturulan duvarlar için derz kalınlığı aynı olan duvarlarda örgü tipi bakımından bir karşılaştırma yapıldığında, Örgü 2 ve Örgü 3 tip duvarların, Örgü 1 tip duvarlardan daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Örgü 2 ve Örgü 3 tip duvarlar kendi aralarında değerlendirildiğinde, Örgü 2 tip duvarların daha iyi bir davranış sergilediği ancak bu iki örgü tipinin sonuçları arasında çok büyük farkların olmadığı görülmüştür.
- NH tip harçlar kullanılarak oluşturulan duvarlarda süneklik kapasitesi derz kalınlığı bakımından değerlendirildiğinde; derz kalınlığı arttıkça süneklik kapasitesinin Örgü 1 ve Örgü 3 tip duvarlar için azaldığı, ancak Örgü 2 tip duvarlar için bu durumun geçerli olmadığı belirlenmiştir.
- L1 tip harçlar kullanılarak oluşturulan duvarlarda süneklik kapasitesi derz kalınlığı bakımından değerlendirildiğinde; derz kalınlığı arttıkça Örgü 2 ve Örgü 3 tip duvarlarda süneklik kapasitesinin düştüğü, Örgü 1 tipinde ise en büyük değerlerin sırasıyla derz kalınlığı 1 cm, 3 cm ve 2 cm olan duvarlarda olduğu tespit edilmiştir.
- L2 tip harçlar kullanılarak oluşturulan duvarlarda süneklik kapasitesi derz kalınlığı bakımından değerlendirildiğinde; derz



Şekil 6. Yükleme doğrultusu boyunca oluşan diyagonal çatlaklar ve tuğla ile harç arasındaki ayrılmalar (Diagonal cracks along the loading direction and separations between brick and mortar)



Şekil 7. Üst çelik başlık altında meydana gelen ezilmelere ve tuğla-harç kırılmasına örnekler (Examples of brick-mortar cracking and crushing under the upper steel shoe)



a) Lifsiz numuneler

b) Lifli numuneler

Şekil 8. Lifsiz harç ve lifli harç kullanılarak oluşturulan duvarlara ait göçme biçimlerine örnekler

kalınlığı arttıkça Örgü 1 tip duvarlar için süneklik kapasitesinin düştüğü, Örgü 2 ve Örgü 3 tip duvarlarda ise en yüksek değerlerin sırasıyla derz kalınlığı 2 cm, 3 cm ve 1 cm olan duvarlarda oluştuğu belirlenmiştir.

- L3 tip harçlar kullanılarak oluşturulan duvarlarda süneklik kapasitesi derz kalınlığı bakımından değerlendirildiğinde; en yüksek süneklik kapasitesi değerlerinin sırasıyla derz kalınlığı 2 cm, 3 cm ve 1 cm olan duvarlarda oluştuğu belirlenmiştir.
- Aynı derz kalınlığına ve aynı örgü tipine sahip duvarlar için harç tipi bakımından bir karşılaştırma yapıldığında; en yüksek süneklik kapasitesinin sırasıyla L2, L3, L1 ve NH tip harçlar ile oluşturulan duvarlarda oluştuğu ve bu durumun yalnızca D1O1 ve D3O1 tip duvarlarda görülmediği belirlenmiştir.

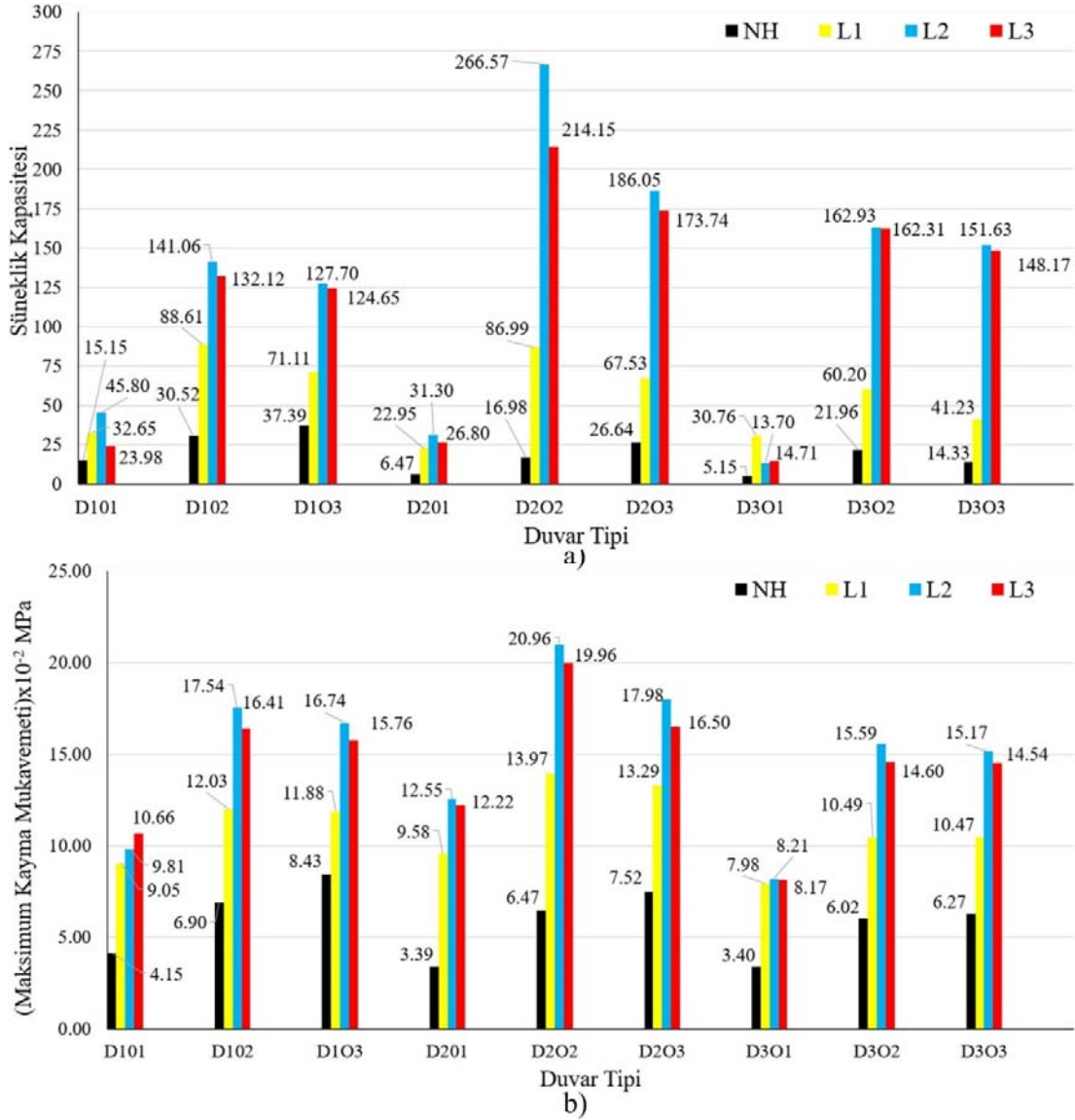
Maksimum kayma mukavemeti bakımından değerlendirildiğinde (Şekil 9b);

- NH tip harçlar kullanılarak oluşturulan duvarlar için derz kalınlığı aynı olan duvarlarda örgü tipi bakımından bir karşılaştırma yapıldığında, maksimum kayma mukavemetinin sırasıyla Örgü 3, Örgü 2 ve Örgü 1 tip duvarlarda oluştuğu belirlenmiştir.
- L1, L2 ve L3 tip harçlar kullanılarak oluşturulan duvarlar için derz kalınlığı aynı olan duvarlarda örgü tipi bakımından bir karşılaştırma yapıldığında, maksimum kayma mukavemetinin sırasıyla Örgü 2, Örgü 3 ve Örgü 1 tip duvarlarda oluştuğu belirlenmiştir.

- NH tip harçlar kullanılarak oluşturulan duvarlarda maksimum kayma mukavemeti derz kalınlığı bakımından değerlendirildiğinde; derz kalınlığı arttıkça maksimum kayma mukavemetinin düştüğü belirlenmiştir.
- L1, L2 ve L3 tip harçlar kullanılarak oluşturulan duvarlarda maksimum kayma mukavemeti derz kalınlığı bakımından değerlendirildiğinde; en büyük değerlerin sırasıyla derz kalınlığı 2 cm, 1 cm ve 3 cm olan duvarlarda oluştuğu belirlenmiştir.
- Aynı derz kalınlığına ve aynı örgü tipine sahip duvarlar için harç tipi bakımından bir karşılaştırma yapıldığında; en yüksek kayma mukavemeti değerlerinin sırasıyla L2, L3, L1 ve NH tip harçlar ile oluşturulan duvarlar için oluştuğu ve bu durumun yalnızca D1O1 tip duvarlarda görülmediği belirlenmiştir.

Maksimum yer değiştirme miktarı bakımından değerlendirildiğinde (Şekil 10a);

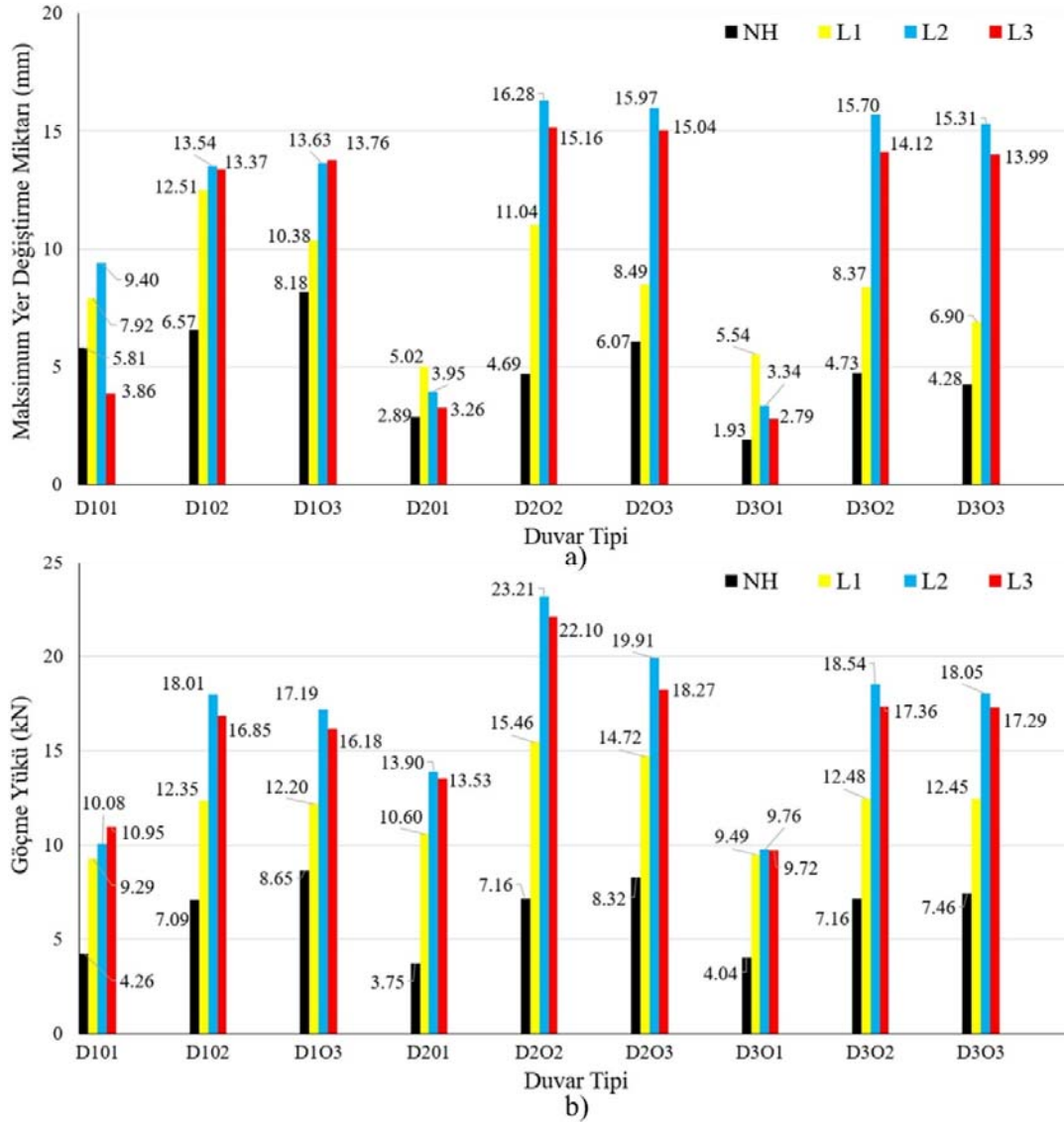
- NH tip harçlar kullanılarak oluşturulan duvarlar için derz kalınlığı aynı olan duvarlarda örgü tipi bakımından bir karşılaştırma yapıldığında, Örgü 2 ve Örgü 3 tip duvarların, Örgü 1 tip duvarlardan daha iyi davranış sergilediği görülmüştür. Ancak Örgü 2 ve Örgü 3 tipleri arasında hangi örgü tipinin daha iyi olduğu ile ilgili bir sonuca varılmamıştır. Maksimum yer değiştirme miktarı, derz kalınlığı 1 cm ve 2 cm olan duvarlar için Örgü 3 tip duvarlarda, derz kalınlığı 3 cm olan duvarlar için ise Örgü 2 tip duvarlarda görülmüştür.



Şekil 9. a) Süneklik kapasitesi ve b) Maksimum kayma mukavemeti bakımından duvar elemanlarının karşılaştırılması (Comparison of wall elements for a) ductility capacity and b) maximum shear strength)

- L1 tip harçlar kullanılarak oluşturulan duvarlar için derz kalınlığı aynı olan duvarlarda örgü tipi bakımından bir karşılaştırma yapıldığında, maksimum yer değiştirme miktarı sırasıyla Örgü 2, Örgü 3 ve Örgü 1 tip duvarlarda görülmüştür.
- L2 ve L3 tip harçlar kullanılarak oluşturulan duvarlar için derz kalınlığı aynı olan duvarlarda örgü tipi bakımından bir karşılaştırma yapıldığında, Örgü 2 ve Örgü 3 tip duvarlardaki maksimum yer değiştirme miktarının, Örgü 1 tip duvarlardan daha yüksek olduğu görülmüştür. En yüksek değerlerin ise derz kalınlığı 1 cm olan duvarlar için sırasıyla Örgü 3, Örgü 2 ve Örgü 1 tip duvarlarda, derz kalınlığı 2 cm ve 3 cm olan duvarlar için ise sırasıyla Örgü 2, Örgü 3 ve Örgü 1 tip duvarlarda meydana geldiği belirlenmiştir.
- NH tip harçlar kullanılarak oluşturulan duvarlar için maksimum yer değiştirme miktarı derz kalınlığı bakımından değerlendirildiğinde; derz kalınlığı arttıkça Örgü 1 ve Örgü 3 tip duvarlar için maksimum yer değiştirme miktarının düştüğü, ancak bu durumun Örgü 2 tip duvarlar için geçerli olmadığını belirlenmiştir.
- L1 tip harçlar kullanılarak oluşturulan duvarlar için maksimum yer değiştirme miktarı derz kalınlığı bakımından değerlendirildiğinde;

- Örgü 1 tip duvarlar için maksimum yer değiştirme miktarının sırasıyla derz kalınlığı 1 cm, 3 cm ve 2 cm olan duvarlarda olduğu, Örgü 2 ve Örgü 3 tip duvarlar için ise derz kalınlığı arttıkça maksimum yer değiştirme miktarının düştüğü görülmüştür.
- L2 tip harçlar kullanılarak oluşturulan duvarlar için maksimum yer değiştirme miktarı derz kalınlığı bakımından değerlendirildiğinde; Maksimum yer değiştirme miktarının Örgü 1 tip duvarlar için sırasıyla derz kalınlığı 1 cm, 3 cm ve 2 cm olan duvarlarda, Örgü 2 ve Örgü 3 tip duvarlar için ise sırasıyla derz kalınlığı 2 cm, 3 cm ve 1 cm olan duvarlarda olduğu belirlenmiştir.
- L3 tip harçlar kullanılarak oluşturulan duvarlar için maksimum yer değiştirme miktarı derz kalınlığı bakımından değerlendirildiğinde; Örgü 1 tip duvarlar için derz kalınlığı arttıkça maksimum yer değiştirme miktarının düştüğü, Örgü 2 ve Örgü 3 tip duvarlar için ise maksimum yer değiştirme miktarının sırasıyla derz kalınlığı 2 cm, 3 cm ve 1 cm olan duvarlarda meydana geldiği tespit edilmiştir belirlenmiştir.
- Aynı derz kalınlığına ve aynı örgü tipine sahip duvarlar için harç içeriği bakımından bir karşılaştırma yapıldığında; maksimum yer



Şekil 10. a) Maksimum yer değiştirme miktarı ve b) Göçme yükü bakımından duvar elemanlarının karşılaştırılması (Comparison of wall elements for a) maximum displacement and b) failure load)

değiştirme miktarının D1O2, D2O2, D2O3, D3O2 ve D3O3 tip duvarlar için sırasıyla L2, L3, L1 ve NH harç tipleri, D2O1 ve D3O1 tip duvarlar için sırasıyla L1, L2, L3 ve NH harç tipleri, D1O3 tip duvarlar için sırasıyla L3, L2, L1 ve NH harç tipleri, D1O1 tip duvarlar için ise en yüksek değerlerin sırasıyla L2, L1, NH ve L3 harç tipleri ile oluştuğu belirlenmiştir.

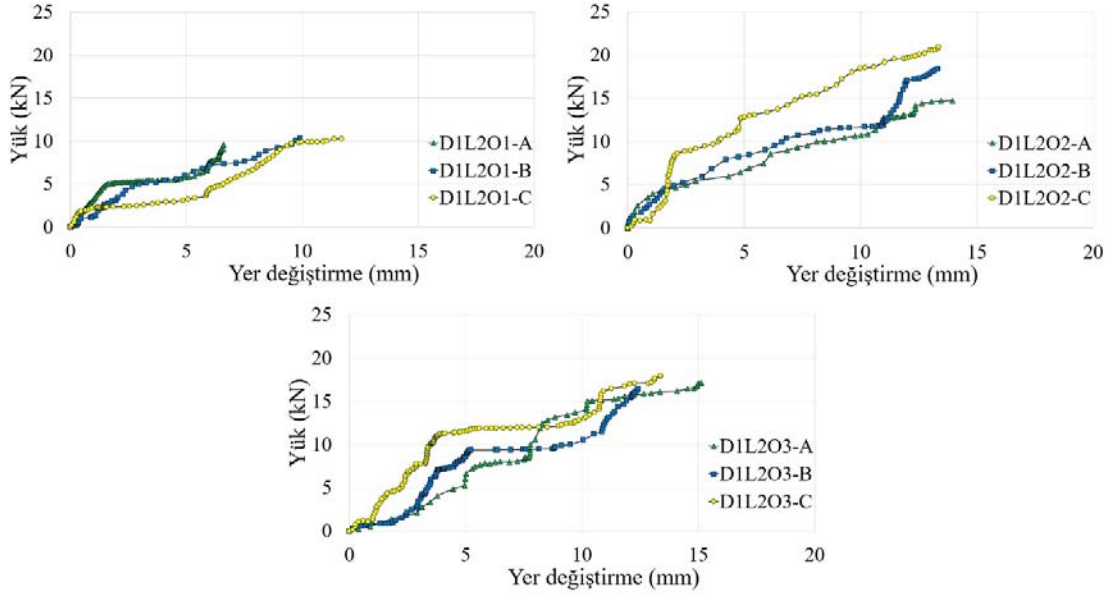
Göçme yükü bakımından değerlendirildiğinde (Şekil 10b);

- Derz kalınlığı aynı olan duvarlarda örgü tipi bakımından bir karşılaştırma yapıldığında, en büyük göçme yükü değerlerinin NH tip harçlar kullanılarak oluşturulan duvarlar için sırasıyla Örgü 3, Örgü 2 ve Örgü 1 tip duvarlarda meydana geldiği, L1, L2 ve L3 tip harçlar kullanılarak oluşturulan duvarlar için ise sırasıyla Örgü 2, Örgü 3 ve Örgü 1 tip duvarlarda meydana geldiği belirlenmiştir.
- NH tip harçlar kullanılarak oluşturulan duvarlar için göçme yükü derz kalınlığı bakımından değerlendirildiğinde; Örgü 3 tip duvarlar için derz kalınlığı arttıkça göçme yükü değerinin düştüğü, ancak bu durumun Örgü 1 ve Örgü 2 tip duvarlar için geçerli olmadığı belirlenmiştir.

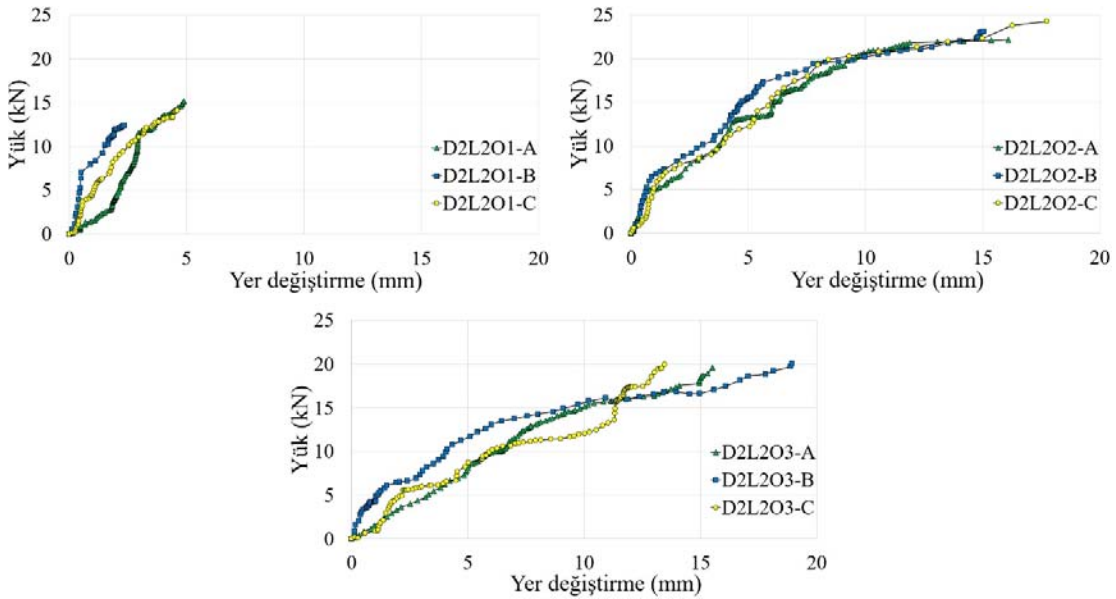
- L1 tip harçlar kullanılarak oluşturulan duvarlar için göçme yükü derz kalınlığı bakımından değerlendirildiğinde; en büyük göçme yükü değerlerinin sırasıyla derz kalınlığı 2 cm, 3 cm ve 1 cm olan duvarlarda meydana geldiği belirlenmiştir.
- L2 ve L3 tip harçlar kullanılarak oluşturulan duvarlar için göçme yükü derz kalınlığı bakımından değerlendirildiğinde; Örgü 1 tip duvarlar için en büyük göçme yükü değerinin sırasıyla derz kalınlığı 2 cm, 1 cm ve 3 cm olan duvarlarda oluştuğu, Örgü 2 ve Örgü 3 tip duvarlar için ise en büyük göçme yükü değerlerinin sırasıyla derz kalınlığı 2 cm, 3 cm ve 1 cm olan duvarlarda oluştuğu görülmüştür.
- Aynı derz kalınlığına ve aynı örgü tipine sahip duvarlar için harç içeriği bakımından bir karşılaştırma yapıldığında; en büyük göçme yükü değerinin D1O1 tip duvarlar hariç tüm duvarlarda sırasıyla L2, L3, L1 ve NH harç tipleri ile oluştuğu, D1O1 tip duvarlar için ise sırasıyla L3, L2, L1 ve NH harç tipleri ile oluştuğu belirlenmiştir.

Şekil 9, Şekil 10 bir bütün olarak değerlendirilirse;

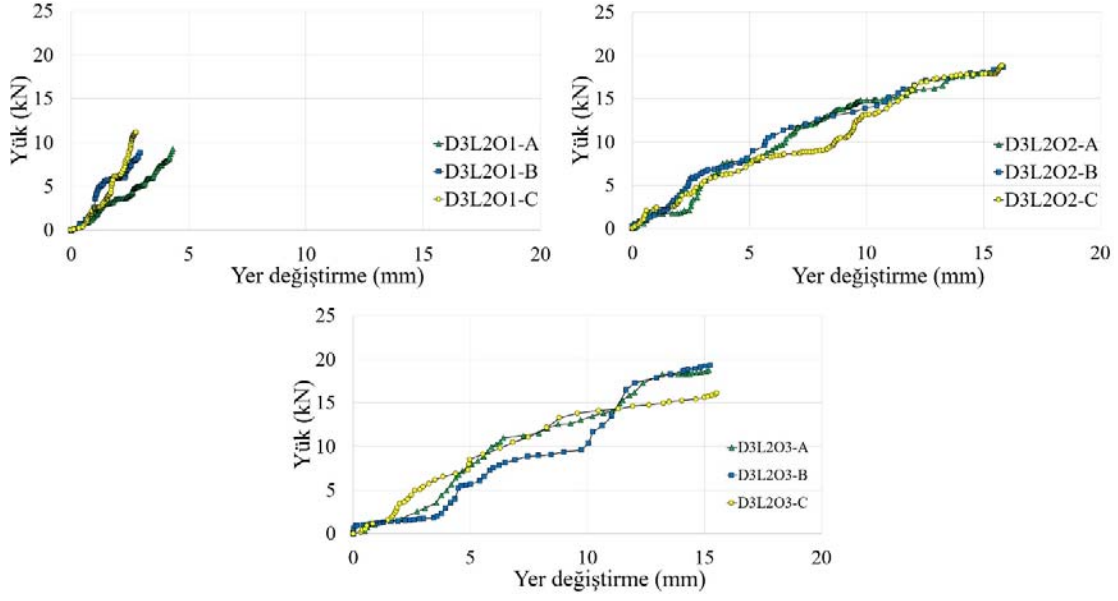
- NH tip harçların kullanıldığı duvarlar, hemen hemen tüm derz kalınlıkları ve örgü tipleri için mekanik parametreler bakımından en düşük sayısal değerlere sahip olan duvarlardır. Bu nedenle çelik lifin duvarların mekanik parametrelerine olan olumlu etkisi aşikârdır.
- Örgü 1 tip duvarlar, hemen hemen tüm derz kalınlıkları ve harç tipleri için mekanik parametreler bakımından en düşük sayısal değerlere sahip olan duvarlardır. Bu örgü tipi için genel olarak anlamlı sonuçlar elde edilememiştir.
- Harç tipine göre bir kıyaslama yapıldığında, en büyük sayısal değerlerin genel olarak L2 tip harçların kullanıldığı duvarlarda meydana geldiği görülmüştür. L2 tip harçlar kullanılarak oluşturulan duvarlar için yük-yer değiştirme eğrileri Şekil 11- Şekil 13'te verilmiştir.
- Örgü tipleri bakımından bir kıyaslama yapıldığında, Örgü 2 ve Örgü 3 tip duvarlara ait sonuçlar Örgü 1 tip duvarlardan daha yüksek çıkmıştır. Örgü 2 ve Örgü 3 tip duvarlar için elde edilen sonuçlar birbirine çok yakın olsa da hemen hemen tüm durumlarda da Örgü 2 tip duvarlar daha iyi bir performans sergilemiştir. Ayrıca saha uygulamaları için 1/2 şaşırtmalı örgü tipi 1/3 şaşırtmalı örgü tipine göre işçilik bakımından daha avantajlıdır.
- Derz kalınlığına göre bir kıyaslama yapıldığında, en büyük sayısal değerlerin derz kalınlığı 2 cm olan duvarlarda olduğu belirlenmiştir.
- Yukarıda sıralanan tüm bu sonuçlar için mekanik parametreler bakımından en iyi davranışı sergileyen duvarlar, derz kalınlığı 2 cm (D2), harç tipi L2 (%2 lifli harç) ve Örgü tipi 2 (O2) şeklindeki D2L2O2 tip duvarlar olduğu ortaya çıkmıştır.



Şekil 11. L2 tip harçlar kullanılarak oluşturulan duvarlar için yük-yer değiştirme eğrileri-derz kalınlığı 1 cm
(The load-displacement curves for masonry walls constructed using L2 type mortars-joint thickness 1 cm)



Şekil 12. L2 tip harçlar kullanılarak oluşturulan duvarlar için yük-yer değiştirme eğrileri-derz kalınlığı 2 cm
(The load-displacement curves for masonry walls constructed using L2 type mortars-joint thickness 2 cm)



Şekil 13. L2 tip harçlar kullanılarak oluşturulan duvarlar için yük-yer değiştirme eğrileri-derz kalınlığı 3 cm
(The load-displacement curves for masonry walls constructed using L2 type mortars-joint thickness 3 cm)

6. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışma kapsamında, harç ve örgü tipinin yığma duvarların mekanik parametrelerine olan etkisi incelenmiştir. Bu doğrultuda, içeriğinde farklı karışım oranlarında çelik lif bulunan harçlar ile farklı derz kalınlıklarına ve örgü tiplerine sahip olacak şekilde duvar elemanları oluşturulmuş ve bu duvar elemanları diyagonal basınç testine tabi tutularak mekanik parametreler bakımından en iyi davranışı gösteren (optimum) duvar elemanı belirlenmiştir.

Deneysel çalışmalar kapsamında öncelikle kum, yığma birimi (dolu harman tuğlası) ve harç birimleri için birtakım fiziksel ve mekanik deneyler gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bu birimler kullanılarak, 4 farklı harç tipi (ağırlıkça %0, %1, %2 ve %3 oranında çelik lif içeren harçlar), 3 farklı derz kalınlığı (1 cm, 2 cm ve 3 cm) ve 3 farklı örgü tipi (düz örgü, 1/2 şaşırtmalı örgü ve 1/3 şaşırtmalı örgü) için toplamda 108 adet duvar elemanı oluşturulmuş ve ilgili duvar elemanları diyagonal basınç testine tabi tutulmuştur. Her bir duvar elemanının göçme biçimleri, süneklik kapasitesi, maksimum kayma mukavemeti, maksimum yer değiştirme miktarı ve göçme yükü elde edilmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Diyagonal basınç testleri esnasında yükleme doğrultusu boyunca çatlakların meydana geldiği ve bu çatlakların alt çelik başlığın bulunduğu köşeye doğru ilerlediği gözlemlenmiştir. Harç içerisindeki lif miktarı arttıkça yükleme köşegeni doğrultusunda meydana gelen bu çatlakın uzunluğunun azaldığı görülmüştür.
- Duvar elemanlarında oluşan çatlak/göçme biçimleri yığma duvarların öngörülen çatlak/göçme davranışı ile benzerlik göstermektedir.
- Lifsiz harç kullanılarak oluşturulan duvar elemanları için ayrılarak (dağılarak) göçme gözlemlenirken, lifli harçlar kullanılarak oluşturulan duvar elemanlarında böyle bir göçme biçimi meydana gelmemiştir.
- Lifsiz harçların kullanıldığı duvarlar, hemen hemen tüm derz kalınlıkları ve örgü tipleri için mekanik parametreler bakımından en düşük sayısal değerlere sahip olan duvarlardır. Bu nedenle çelik lifin mekanik parametrelere olumlu etkisi aşikârdır.

- Düz örgü tipindeki duvarlar, hemen hemen tüm derz kalınlıkları ve harç tipleri için mekanik parametreler bakımından en düşük sayısal değerleri vermiştir.
- Harç tipine göre bir kıyaslama yapıldığında, mekanik parametreler bakımından en büyük sayısal değerlerin genel olarak, içerisinde ağırlıkça %2 karışım oranında çelik lif bulunduran harçların kullanıldığı duvarlarda olduğu belirlenmiştir.
- Örgü tipleri bakımından bir kıyaslama yapıldığında, 1/2 ve 1/3 şaşırtmalı örgü tipi duvarlara ait mekanik parametre değerleri, düz örgü tipi duvarlardan daha yüksek çıkmıştır. 1/2 ve 1/3 şaşırtmalı örgü tipi duvarlar için genel olarak elde edilen sonuçlar birbirine çok yakın olsa da hemen hemen tüm durumlarda da 1/2 şaşırtmalı örgü tipi duvarlar daha iyi bir performans sergilemiştir. Ayrıca saha uygulamaları için 1/2 şaşırtmalı örgü tipi 1/3 şaşırtmalı örgü tipine göre işçilik bakımından daha avantajlıdır.
- Derz kalınlığına göre bir kıyaslama yapıldığında, mekanik parametreler bakımından en büyük sayısal değerlerin derz kalınlığı 2 cm olan duvarlarda olduğu belirlenmiştir.
- Süneklik kapasitesi, maksimum kayma mukavemeti, göçme yükü ve maksimum yer değiştirme miktarı mekanik parametreleri bakımından en iyi davranışı sergileyen duvar, içerisinde ağırlıkça %2 karışım oranında çelik lif bulunduran 2 cm derz kalınlığında harç ile üretilen 1/2 şaşırtmalı örgü tipi duvarlar olduğu ortaya çıkmıştır. Bu duvar, optimum duvar elemanı olarak adlandırılmıştır.

Bu çalışma ile harç içerisinde çelik lif kullanımının, yığma duvarların süneklik kapasitesi, maksimum kayma mukavemeti, göçme yükü ve maksimum yer değiştirme miktarı mekanik parametrelerini artırdığı belirlenmiştir. Bu parametreler bakımından en iyi davranışı sergileyen duvar elemanı (optimum duvar elemanı) ise, içerisinde ağırlıkça %2 karışım oranında çelik lif bulunduran 2 cm derz kalınlığında harç ile üretilen 1/2 şaşırtmalı örgü tipi duvardır.

Gelecek çalışmalar için farklı çelik lif tipleri, farklı örgü tipleri, farklı yığma birimleri, farklı harç içerikleri, farklı oranda çelik lif içeren harçlar, farklı derz kalınlıkları ve farklı duvar boyutları için bu durumun nasıl değişeceği hususunda deneysel çalışmaların yürütülmesi yararlı olacaktır.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (FÜBAP) tarafından MF.19.20 protokol numaralı proje ile desteklenmiştir. FÜBAP tarafından sağlanan mali destek için teşekkür ederiz.

Kaynaklar (References)

1. Bayülke N., 13 Mart 1992 Erzincan depremi raporu, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 1993.
2. Bayülke N., Yığma yapıların deprem davranışı ve güvenliği, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Ankara-Türkiye, 23-36, 2011.
3. MTA., 25 Mart (Mw 5.5) ve 28 Mart (Mw 5.5) 2004 Aşkale (Erzurum) depremleri değerlendirme raporu, Maden Tetkik Arama ve Genel Müdürlüğü, Ankara, 2004.
4. Gök Y., Altaş N.T., Zaman S., Aşkale depremleri ve etkileri, Doğu Coğrafya Dergisi, 12, 161-184, 2007.
5. Doğançın A., Ural A., Seismic performance of masonry buildings during recent earthquakes in Turkey, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing-China, 12-17, 2008.
6. Ekinçioğlu Ö., Karma lif içeren çimento esash kompozitlerin mekanik davranışı-bir optimum tasarım, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2003.
7. Kozak M., Beton travers üretiminde agrega türü (bazaltkalker) ve çelik lifin kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar 2010.
8. Lee I., Complete stress-strain characteristic of high performance concrete, New Jersey Institute of Technology, 2002.
9. Wu Z., Shi C., He W., Wu L., Effects of steel fiber content and shape on mechanical properties of ultra high performance concrete, Construction and Building Materials, 103, 8-14, 2016.
10. Tokyay M., Ramyar K., Turanlı L., Polipropilen ve çelik lifli yüksek dayanımlı betonların basınç ve çekme yükleri altındaki davranışları, 2. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul-Türkiye, 303-311, 1991.
11. Bentur A., Mindess S., Fibre Reinforced Cementitious Composites, CRC Press, London, 2006.
12. Gao J., Sun W., Morino K., Mechanical properties of steel fiber-reinforced, high-strength, lightweight concrete, Cement and Concrete Composites, 19, 307-313, 1997.
13. Sevil C., Uçucu küllü, lifli beton kompozitinde lif tipinin beton özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2001.
14. Kayali O., Haque M., Zhu B., Some characteristics of high strength fiber reinforced lightweight aggregate concrete, Cement and Concrete Composites, 25, 207-213, 2003.
15. Ünal B., Köksal F., Eyyubov C., Polipropilen ve çelik liflerin betonun donma-çözülme ve aşınma dirençlerine ortak etkisi, 5. Ulusal Beton Kongresi (Betonun Dayanıklılığı), İstanbul-Türkiye, 345-354, 2003.
16. Yazıcı Ş., Arel H.Ş., Tabak V., The effects of impact loading on the mechanical properties of the SFRCs, Construction and Building Materials, 41, 68-72, 2013.
17. Aydın S., Effects of fiber strength on fracture characteristics of normal and high strength concrete, Periodica Polytechnica Civil Engineering, 57, 191-200, 2013.
18. ACI 544.1R-96., State of the art report on fiber reinforced concrete, ACI Journal, 544, 1-66, 2002.
19. Cachim P.B., Figueiras J.A., Pereira P.A., Fatigue behavior of fiber-reinforced concrete in compression, Cement and Concrete Composites, 24, 211-217, 2002.
20. Parvez A., Foster S.J., Fatigue behavior of steel-fiber-reinforced concrete beams, Journal of Structural Engineering, 141, 04014117, 2015.
21. Arslan A., Mixed-mode fracture performance of fibre reinforced concrete under impact loading. Materials and Structures. 28, 473-478, 1995.
22. Suaris W., Shah S.P., Strain-rate effects in fibre-reinforced concrete subjected to impact and impulsive loading, Composites, 13, 153-159, 1982.
23. Zhang X.X., Ruiz G., Yu R.C., Tarifa M., Fracture behaviour of high-strength concrete at a wide range of loading rates, International Journal of Impact Engineering, 36, 1204-1209, 2009.
24. Dancygier A.N., Katz A., Yardimci M.Y., Yankelevsky D.Z., Behavior of high ductility cement composite beams under low impact, International Journal of Protective Structures, 3, 177-191, 2012.
25. Zhang X.X., Abd Elazim A.M., Ruiz G., Yu R.C., Fracture behaviour of steel fibre-reinforced concrete at a wide range of loading rates, International Journal of Impact Engineering, 71, 89-96, 2014.
26. Kızıllırmak C., Statik ve darbe yükleri altında lifli betonların mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2017.
27. Atış C.D., Karahan O., Properties of steel fiber reinforced fly ash concrete, Construction and Building Materials, 23, 392-399, 2009.
28. ASTM E519/ E519M., Standard test method for diagonal tension (shear) in masonry assemblages, West Conshohocken, PA, 2010.
29. RILEM LUM-B6., Diagonal tensile strength tests of small wall specimens, RILEM recommendations for the testing and use of constructions materials, 1991
30. Alecci V., Fagone M., Rotunno T., De Stefano M., Shear strength of brick masonry walls assembled with different types of mortar, Construction and Building Materials, 40, 1038-1045, 2013.
31. Basaran H., Demir A., Bağcı M., Investigating the behaviour of plaster mortared rural masonry walls, 2nd International Balkans Conference on Challenges of Civil Engineering, Epoka University, Tirana-Albania, 23-25 Mayıs, 2013.
32. Çobanoğlu A.B., Investigation of material properties for the Turkish masonry buildings, Master of Science Thesis. Middle East Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, 2014.
33. Atay M.N., Tuğla dolgu duvarların plastik atık malzeme, lifli polipropilen ve geogrid ile güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Osmaniye, 2017.
34. Sherri C., Dubey R.N., In-plane behaviour of unreinforced masonry panel strengthened with welded wire mesh and mortar, Construction and Building Materials, 178, 195-203, 2018.
35. Mezrea P.E., Ispir M., Balci I.A., Bal I.E., Ilki A., Diagonal tensile tests on historical brick masonry wallets strengthened with fabric reinforced cementitious mortar, Structures, 33, 935-946, 2021.
36. Büyükkaragöz A., Koprman Y., In-plane behaviour of masonry brick walls strengthened with mortar from two sides, Structures, 29, 1627-1639, 2021.
37. Wang X., Lam C.C., Iu V.P., Experimental investigation of in-plane shear behaviour of grey clay brick masonry panels strengthened with SRG, Engineering Structures, 162, 84-96, 2018.
38. TS EN 772-16., Kâğır birimler - Deney yöntemleri - Bölüm 16: Boyutların tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2012.
39. TS EN 771-1., Kâğır birimler - Özellikler - Bölüm 1: Kil kâğır birimler (Tuğlalar), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2012.
40. TS EN 772-3., Kâğır birimler- Deney metotları- Bölüm 3: Kil kâğır birimlerin net hacmi ve boşluk yüzdesinin su içerisinde tartma metoduyla tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
41. TS EN 772-1+A1., Kâğır birimler - Deney yöntemleri - Bölüm 1: Basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2015.
42. TS EN 933-1., Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımının tayini - Eleme yöntemi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2012.
43. Hamdy G., Kamal O., Al-Hariri O., El-Salakawy T., Plane and vaulted masonry elements strengthened by different techniques - Testing, numerical modeling and nonlinear analysis, Journal of Building Engineering, 15, 203-217, 2018.
44. Knox C.L., Dizhur D., Ingham J.M., Experimental study on scale effects in clay brick masonry prisms and wall panels investigating compression and shear related properties, Construction and Building Materials, 163, 706-713, 2018.
45. Basili M., Vestroni F., Marcari G., Brick masonry panels strengthened with textile reinforced mortar: Experimentation and numerical analysis, Construction and Building Materials, 227, 117061, 2019.
46. Shabdin M., Zargaran M., Attari N.K.A., Experimental diagonal tension (shear) test of Un-Reinforced Masonry (URM) walls strengthened with textile reinforced mortar (TRM), Construction and Building Materials, 164, 704-715, 2018.