



Analysis of brick wall debris for reusing

Deniz Üçer Erduran^{1,3} , İsmail Ozan Demirel^{2,3} , Soofia Tahira Elias-Ozkan^{1*}

¹Middle East Technical University, Department of Architecture, 06800, Ankara, Turkey

²Middle East Technical University, Department of Civil Engineering, 06800, Ankara, Turkey

³Bilkent University, Department of Architecture, 06800, Ankara, Turkey

Highlights:

- Demolition process
- Condition of brick walls after demolition
- Compression and shear tests

Keywords:

- Brick
- Demolition
- Debris
- Strength
- Compression
- Shear
- Reuse

Article Info:

Research Article
Received: 25.09.2019
Accepted: 21.03.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.624512

Correspondence:

Author: Deniz Üçer Erduran
e-mail:
deniz.ucer@bilkent.edu.tr
phone: +90 534 228 4330

Graphical/Tabular Abstract



Figure A. Process of the research: Demolition, visual investigation, preparation for reuse, and testing

Purpose:

This study aims to demonstrate the final mechanical strength of brick debris and its suitability for reusing.

Theory and Methods:

Brick wall debris after machinery demolition of an infilled reinforced concrete frame building was analyzed to determine its final condition and possibility of reusability. Obtained wall sections were of double-leaf cavity walls that were cement plastered on one surface while the other surfaces were bare. Bare surfaces were plastered with a suitable plaster according to the reusing proposal and mechanical tests were applied. The compressive strength of brick units was calculated according to TS EN 772-1. Cubic specimens of recovered and added plaster were tested under uniaxial compression according to TS EN 1015-11 and wall sections were tested for initial shear strength according to TS EN 1052-3.

Results:

Mean compression strength of the bricks was calculated as 6.9 MPa, mean cube equivalent strength of mortar/plaster was calculated as 19.7 MPa and mean initial strength was found as 0.5 MPa. Strength of the new equivalent bricks is between 2.4 and 8.1 MPa, while that of the new mortar is about 21.9 MPa and limit shear resistance in Eurocode 6 is 0.1 MPa. Consequently, the final mechanical values of the wall debris are either within the range of new equivalents or above the allowable limits that is promising for reusing.

Conclusion:

The need for a database on recovery of debris for reuse was emphasized. Specific ways for typical construction practices such as reinforced concrete or masonry infill elements should be presented there. Similarly, analysis and use of hollow brick debris presented in this current study is intended to be a part of that database.



Kâgir duvar atıklarının yeniden kullanım için analizi

Deniz Üçer Erduran^{1,3} , İsmail Ozan Demirel^{2,3} , Soofia Tahira Elias-Ozkan^{1*}

¹Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, 06800, Ankara, Türkiye

²Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara, Türkiye

³Bilkent Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, 06800, Ankara, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Bina yıkım süreci
- Tuğla, sıva ve harç içeren duvar atıkları
- Basınç ve kayma testleri

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 25.09.2019

Kabul: 21.03.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.624512

Anahtar Kelimeler:

Tuğla,
yıkım,
atık,
dayanım,
basınç,
başlangıç kayma,
yeniden kullanım

ÖZ

Tuğla duvarlar sağlam ve uzun ömürlü olmalarına rağmen farklı sebeplerle yıkıma maruz kalırlar. Bu çalışma Ankara Çiğdem Mahallesi'nde 1990'larda inşa edilmiş tuğla duvar dolgu betonarme bir kooperatif binasının yıkım sürecini sunmaktadır. Yıkım sonrası atık olarak sahada biriken yatay delikli tuğla duvar parçaları incelenmiş ve yeniden kullanıma uygun olabilecekleri gözlenmiştir. Tuğlalar, sıva ve harç numuneleri laboratuvarında basınç testine, duvar parçaları da başlangıç kayma dayanımı testine tabi tutulmuştur. Elde edilen mukavemet değerleri ve ölçülen diğer fiziksel özellikler ilgili standartlardaki değerlerden yüksek olduğu için kullanılabilirliklerinin uygun olduğu sonucuna varılmış ve uygun bir yeniden kullanım metodu sunulmuştur. Son olarak, bu metod temel alınarak yıkımda oluşan genel duvar atıklarının kurtarılması için nasıl düzenlemeler yapılabileceği tartışılmıştır.

Analysis of brick wall debris for reusing

H I G H L I G H T S

- Demolition process
- Condition of brick walls after demolition
- Compression and shear tests

Article Info

Research Article

Received: 25.09.2019

Accepted: 21.03.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.624512

Keywords:

Brick,
demolition,
debris,
strength,
compression,
shear,
reuse

ABSTRACT

Although they are strong and durable, masonry walls face demolition due to various reasons. Current research presents the demolition process of a reinforced concrete building having hollow brick masonry infill walls, which was constructed during the 1990s in Çiğdem District in Ankara as a cooperative mass housing project. The wall sections with horizontally perforated bricks that were accumulated on the plot as a result of the demolition pointed out that they can be suitable for a reusing project. Bricks, plaster, and mortar samples were tested under compression as well as initial shear strength tests on wall sections in a laboratory. Strength results and other physical parameters assessed stayed above the limiting values defined in the related standards. Therefore, it was concluded that obtained material is appropriate for reusing and a method was proposed for the proper integration.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Makalenin bu kısmı kaynak taramasına ve çalışmanın nesnesi olan binaya dair bilgileri sunmaktadır.

1.1. İnşaat ve Yıkım Atıklarının Değerlendirilmesi (Approaches on Assessment of Construction and Demolition Waste)

Kentlerde oluşan toplam çöpün büyük bir bölümü İnşaat ve Yıkım Atıklarıdır (İYA). Bu oran Çin’de %40, Kanada’da %33, İngiltere’de %32, Amerika Birleşik Devletlerinde %26, Avrupa Birliği ülkelerinde ise ortalama %25 değerindedir [1-6]. Bu yüksek oranlar, atıkların incelenmesi ve farklı ölçeklerde yeniden değerlendirilmesine dair çalışmalara ve düzenlemelere yol açmıştır.

Çin’de İYA’nın yeniden kullanılması konusunda kısıtlı çalışmalar mevcuttur ve genel uygulama karışık atıkların öğütülerek kâgir ünite üretimine dâhil edilmesi şeklindedir. Bu üniteler düşük kalitede üretilmekte, istinat duvarı inşası, otopark yüzey kaplaması ve yol taban dolgusu gibi sınırlı uygulamalarda kullanılmaktadır [1, 2]. Bu kullanımları artırmak üzere yapılan düzenlemeler yeni alt yapı projeleri için %15, binalar için de %5 geri dönüştürülmüş yapı malzemesini koşul olarak tanımlamaktadır [1]. Kanada’da yapılan bir çalışma İYA’nın genelde aktif ve tehlikeli içerik barındırmadığını ve bu sebeple yeniden kullanıma uygun olduğunu belirtmektedir [3]. Ayrıca bu çalışma, incelenen atıkların yaklaşık %75 oranında malzemenin orijinal özelliklerini taşımaya devam ettiğini ve bunun geri dönüşüm için yüksek bir potansiyel olduğunu hatırlatmaktadır. İngiltere’de yeni inşaat ve yıkım sırasında oluşan çöplerin kirlenmişlik (kontaminasyon) seviyeleri dikkate alınarak sağlıklı bir şekilde yeniden döngüye girmesi hedeflenmektedir. Ülkedeki güncel durum, İYA’nın %51 kadarının gömülerek bertaraf edildiğini, %40 kadarının arazi ıslahında değerlendirildiğini ve %9 kadarının parçalanmak suretiyle olası kullanımlar için bekletildiğini göstermektedir [4, 5]. Avrupa Birliği Komisyonu İYA’da yeniden kullanım ve geri dönüşüm ortalamasının üye ülkeler arasında %55 olduğunu ortaya koymaktadır [6].

Türkiye’de ilgili istatistiki veriler yaygın olmamakla beraber, konuyla ilgili düzenlemeleri kronolojik olarak takip etmek mümkündür. Atık yönetimi 1980’lerden başlamak üzere Çevre Kanunu kapsamında oluşturulmuştur. İYA’ya yönelik ilk özelleşmiş yönetmelik 2000’lerde Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği adı ile yayımlanmıştır [7-10]. Bu yönetmelik: Hafriyatın en aza indirilmesi; çıkan toprağın alt yapı projelerinde değerlendirilmesi; toprak ile inşaat atıklarının ayrı depolanması; zorunlu seçici yıkım uygulanması, daha iyi kurtarım ve bertaraf yöntemleri önerilmesi konularını dört ana prensip olarak belirtmektedir. Bu dokümanın en güncel hali yıkım lisansı ve yıkım planı olmak üzere iki önemli dokümanı zorunlu hale getirmiştir [10]. Bu dokümanlar yıkım sürecinin tasarlanması, takibi, ortaya çıkan atığın gruplanması ve olası malzeme kurtarım miktarlarını içermesi

açısından önemlidir. Ülkedeki güncel durumu inceleyen Aydın İpekçi vd. [11] yeniden kullanılabilir potansiyelde çok atık üretildiğini ve bertaraf edildiğini ortaya koymuştur. Tadilat sonrası çıkan atıkları toplayan kuruluşların olmasının geri kazanım için çok önemli olduğunu ve kullanıcıların maddi bir karşılık beklemeden inşaat atıklarını teslim edeceklerini belirtmiştir. Ayrıca Maçın vd. [12] İstanbul merkezli kentsel dönüşüm üzerine çalışmışlar, mevcut inşaat-yıkıntı atık yönetimi uygulamalarını ve atık miktarlarını analiz etmişlerdir. Etkin bir yönetimle beklenen atık miktarının %20 civarında azaltılabileceğini ve iyileştirilmiş atık yönetiminin bir zorunluluk olduğunu göstermişlerdir.

Dünya genelinde İYA’nın en büyük iki bileşenini beton ve kâgir atıkları oluşturmaktadır [5, 6]. Her ne kadar aktif/tehlikeli olmasalar da, hacimce ve ağırlıkça büyük olmaları depolama ve bertaraf için geniş alanlara ihtiyaç yaratmaktadır. İYA’nın geri dönüştürülmesi bu nedenle sürdürülebilir ekonomi için oldukça büyük bir önem arz etmektedir [13, 14]. Son yıllarda yürütülen çalışmalarda, İYA’nın potansiyelinin sadece dolgu malzemesi olmanın çok ötesinde olduğu ortaya konmuş ve daha uygun kullanım yöntemleri önerilmeye başlanmıştır [15-17]. İYA’nın öğütülerek jeopolimer betona dönüştürülmesi ile çimento ihtiyacı olmaksızın yeni yapı inşası ve zemin güçlendirmesinde kullanılması hedeflenmektedir [18-20]. Bu yaklaşımla, hem İYA’nın depolama alan ihtiyacında hem de yeni çimento üretiminde ve dolayısıyla açığa çıkacak doğaya zararlı gaz miktarında önemli ölçüde azalma beklenmektedir [13]. Güncel çalışmalarda, sadece İYA’nın kullanımıyla basınç dayanımı 30 MPa’dan yüksek olan jeopolimer beton üretilbildiği ortaya konmaktadır [19, 20]. Tarihi kâgir yapıların yaygın olduğu Kanada’da tuğla duvarların yeniden kullanımıyla ilgilenen bir çalışma harç tipinin önemine dikkat çekmektedir. Özellikle 1960 öncesi yapılarda kireç harç bulunması sebebiyle tuğla birimlerin sökülümü ve yeniden kullanımı kolay olmaktadır [21]. Daha sonra çimento içerikli harçların yaygınlaşması ile tuğlaların sökülmesi zorlaşmış, duvar parçalarının kırılarak tuğla-harç karışımı şeklinde geri dönüşümünün uygunluğu ortaya çıkmıştır. Avrupa Birliği Ülkelerinde kâgir duvar atıklarının farklı oranlarda tuğla kırığı, hafif beton, seramik bazı ürünler ve doğal taşlar içeren karışımlar olduğu ifade edilmiştir [6]. Bunların geri dönüştürülmüş agregalar olarak özellikle mekanik dayanım gereksinimi yüksek olmayan bölücü duvarlar, prefabrik paneller ve çatı kaplama malzemeleri gibi ürünlerde kullanıldığı belirtilmiştir. Hollanda ve Belçika gibi yüzölçümü küçük ülkelerde de hem bertaraf için alan gereksinimini azaltmak hem de topraktan alınan mineral miktarını kısıtlamak üzere geri dönüşüme önem verilmektedir. Tuğla duvar parçalarının yüksek dereceli fırınlarda ısıtılması ile çimento bileşenlerinin parçalanması sağlanmış ve %40’dan fazla tuğla iyi durumda kurtarılabilmektedir [22]. Ayrıca kesim teknolojilerinin gelişmesi ile kesilmiş kâgir duvar parçaları da bileşik (kompozit) bloklar olarak yeniden kullanıma sunulmuştur. Danimarka’da yapılan The Resource Rows Konut Projesinde

benzer bloklar estetik bir cephe anlayışıyla yeniden değerlendirilmiştir [23]. Kâgir ünite üretiminde başka döngülerden gelen atıkların kullanımı da yaygındır. Örneğin Binici vd. [24] tekstil fabrikalarının atık külünü ve pomzayı tuğla üretiminde katkı maddesi olarak değerlendirmişlerdir. Sonuçlar yüksek fırında üstün niteliklere sahip tuğla üretiminin mümkün olduğunu göstermişlerdir. Murathan vd. [25] bor işletmesi atığı, termik santral uçucu külü ve atık su arıtma tesisi çamurunu belli oranlarda doğal kil ile karıştırarak tuğla üretiminde kullanmışlardır. Deneylerin sonucuna göre, elde edilen malzemenin yeni tuğlaya yakın fiziksel özellikler gösterdiğini bulmuşlardır. Böylece, benzer kalitede ve çevre dostu bir yapı malzemesi üretilebileceğini göstermişlerdir. Yiğit vd. [26] su arıtma tesislerinde oluşan çamurların yakılması ile ortaya çıkan küllerin başka atık türleri olan mermer çamuru ve termik santral uçucu külüyle karıştırılarak potansiyel bir yapı malzemesine dönüşeceğini ortaya koymuşlardır.

Kaynak taraması kâgir duvarlar malzemelerinin farklı ölçeklerde yeniden kullanım kavramı ile ilişkilenebildiğini göstermiştir. İkinci bölüm bu duvarlar için malzemelerin testlerini sunmaktadır.

1.2. Kâgir Duvarların Mekanik Dayanımları (Mechanical Strength of Masonry Walls)

Kâgir binaların güvenli kullanımları ve geri dönüşümleri için malzeme durumlarının tespitine uygun birçok analiz yöntemi bulunmaktadır.

Sarangapani vd. [27] çalışmalarında tuğla ve harcı değiştirmeden, bağ dayanım değerini artırmanın yollarını aramışlardır. Kâgir duvar basınç değeri-bağ dayanımı ilişkisini ortaya koymak üzere farklı tuğla ve harç birleşimleri ile çalışmışlardır. Tuğla-harç ara yüzlerini çimento şerbeti sürme, epoksi uygulama, pürüzleme, oyuklar oluşturma, tuğlaları ıslatma gibi yöntemlerle farklılaştırmışlardır. Kâgir basınç dayanımının bağ dayanımı ile ilişkisinin, harcın dayanımı ile olan ilişkisinden daha güçlü olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Gumaste vd. [28] güçlü tuğla-zayıf harç, zayıf tuğla-güçlü harç duvar birleşimlerini basınç testine tabi tutmuşlardır. Kullandıkları kalıp üretimi tuğlaların tek başlarına basınç dayanımlarında belirsizlik katsayısı oldukça yüksek çıkmış ve genelde kırık oluşumu tuğlalarda başlamıştır. Tel kesme tuğlalarda ise kırık oluşumu ara yüzden ilerlemiştir. Farklı örgü tipleriyle oluşturulan duvar parçaları benzer elastisite modülü göstermişler ve farklı elastisite modülüne sahip harçlarla oluşturulan duvar parçaları sonuçları çok az değiştirmiştir. Pavia ve Hanley [29] eğilme mukavemeti üzerine çalışmışlar ve doğal hidrolik kireç harçlarını farklı karışım oranlarıyla denemişlerdir. Su emiciliği yüksek olan harçların tuğlaya daha güçlü bağlandığı sonucunu elde etmişlerdir. Finalde güçlü bağ kuvveti için bağlayıcının güçlü olması gerektiği genel kanısının aksine, harcın su emme kapasitesinin sağlam bağla daha güçlü bir ilişkisi olduğunu göstermişlerdir.

Lumantarna vd. [30] bağ dayanımını eğilme ve kayma dayanımı olarak incelemişler ayrıca kâgir duvar parçaları ve harç üzerinde basınç testleri uygulamışlardır. Bu testleri hem tarihi değeri olan binalar üzerinde yani yerinde hem de numune almak suretiyle laboratuvarında denemişlerdir. Çalışmanın sonucunda kâgir duvar dayanımının tuğla ve harcın mekanik özelliklerine ve arada kurulan bağın kalitesine bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca bağ kalitesinin yanı sıra beklenen kırılma oluşumlarının tuğla ile harcın göreceli dayanım değerlerinden etkilendiğini göstermişlerdir.

Yukarıda özetlenen çalışmalar bir araya geldiğinde, kâgir duvar dayanım özelliklerinde tuğla, harç ve kurdukları bağ üç ana parametre olarak ön plana çıkmaktadır. Bağ bileşik bir ürün olan kâgiri oluşturduğu için önemlidir. Farklı malzeme kombinasyonları ve tuğla yüzey değiştirme çalışmalarının gösterdiği gibi bu bağ mekanik olarak kurulmaktadır. Yüzey pürüzlerinin ve oyuklarının artırılması, harcın hidrasyon sürecinin küreleme ya da önceden ıslatma ile uzatılması gibi detaylar aynı ürünleri kullanarak daha sağlam bağlar dolayısıyla da dayanımı daha yüksek kâgir duvarlar oluşturmak açısından önemlidir. Bu bilgi kâgir atıkların yeniden kullanılması durumunda da oldukça faydalıdır.

1.3. Örnek Bina, Yıkımı ve Numuneler (Selected Building, Demolition and Samples)

Türkiye’de son yıllarda artan kentsel dönüşüm projeleri dâhilinde bir yıkım süreci Ankara kent merkezinde gözlemlenmiş ve bilgiler toplanmıştır. Atıklardan numuneler alınmış ve testler uygulanmıştır. Her ne kadar malzemelerin son durumlarını belirleyen ana etken yıkım anı olsa da, malzemelerin yaşamları boyunca taşıdıkları özellikler ve durumları da oldukça etkilidir ve incelenmiştir.

1.3.1. Bina ve konumu (The building and its location)

Ankara, Çankaya, Çiğdem Mahallesinde bulunan Çiğdem Kent Kooperatif Konutları yedi bina olarak 1980’lerde projelendirilmiş ve 1990’larda inşa edilmiştir [31-33]. Dolgu duvarları yatay delikli tuğladan inşa edilmiş olan binaların, farklı duvar sistemleri bulunmaktadır. Dış cepheler yalıtımlı boşluklu duvar (yalıtımlı sandviç sistem) iken, iç bölüntüler tek kat tuğla örgüdür. Bu duvarlar dış cephede kireç izleri barındıran çimento bazlı sıva ile kaplanmıştır. İç yüzeylerde ise alçı sıva bulunmaktadır. Dış cepheler boşluklu duvar olduğundan dışarıda kalan tuğlalar çimento sıva içerirlerken, iç katmanlar alçı içermektedir ve bu iki duvarın arasında gizli kalmış olan yüzeyler sıvasız yani çıplaktır.

1.3.2. Yıkım süreci (The demolition process)

Yaklaşık 25 yıllık servis süresinin sonunda, binaların özellikle girişlerinde kısmi oturmalar görülmüş, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yapıların yıkılması kararı verilmiştir. Yıkım öncesi doğrama elemanlarının sökülmesi, yıkım sırasında betonarme elemanlardan donatı çeliklerinin ayrılması sağlanmıştır.



Şekil 1. Yıkım araçları hidrolik parçalayıcı (A), hidrolik kırıcı (B), kepçe (C)
(Demolition Machines Hydraulic pulverizer [A], Hydraulic breaker [B], Excavator [C])

Yıkım sırasında Şekil 1’de görüldüğü gibi Hidrolik parçalayıcı bina kısımlarını tutup, kıvrarak kopartmıştır. İkinci araç olan hidrolik kırıcı yere düşen parçaları daha küçük kısımlara ayırmış ve betondan çelikleri çıkarmıştır. Kepçe ise parçaları taşımak ve çevreyi temizlemek ile görevlendirilmiştir.

Yıkımın tüm aşamaları Şekil 2’de görüldüğü gibi oldukça sert bir şekilde gerçekleşmiştir. Binaların bir köşesi yapısal bütünlüğü bozmak için en üstten zemine kadar yıkılmıştır. Bu sırada zemin Şekil 3’de görüldüğü gibi atıklarla kaplanmıştır.

1.3.3. Atıkların incelenmesi ve numuneler (Investigation of the construction waste and the samples)

Numuneler yıkımlar tamamlandığında oluşan karışımdan rastgele toplanmışlardır. Bunlar Şekil 4’de görüldüğü gibi diğer küçük atıklar arasında dikkat çeken büyük birimler olmuşlar ve içlerinde 20 tuğla içeren duvar parçaları dahi bulunmuştur. Bu parçaların kenarlara yakın bölgelerinde sıvanın bulunmadığı ve kırıkların olduğu, merkezde ise sıvalı kısımların bütünlüğünü koruduğu görülmüştür. Böylece sıvanın ana birleştirici eleman olduğu gözlemlenmiştir. Birimleri yıkım sonrası bile bir arada tutma

potansiyeli olan sıvanın bu atıkların yeniden kullanımı için bir yol sunabileceği düşünülmüştür. Kopmuş olan harçların yenilenmesi ve tuğlaların çıplak (sıvasız) olan yüzeylerinin yeniden sıvanarak kullanıma olanak sağlanabileceği düşünülmüştür.

Atıklar arasında bulunan, duvar parçaları ya da tek tuğlalar, boşluklu duvar sisteminin çimento sıvalı dış katmanına ait olduğu sürece bu çalışma için geçerli numuneler olarak değerlendirilmişlerdir. Fakat alçı sıva içerenler su emme özellikleri yeniden kullanımda tehlike oluşturabileceği için numune gurubuna dâhil edilmemişlerdir. Numuneler sahada çıkıntıları profesyonel bir yıkım ustası tarafından elektrikli kesici ve birkaç basit el aleti ile kabaca temizlenerek biriktirilmiştir. Numuneler Şekil 5’de görüldüğü gibi detaylı testler yapılmak üzere ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümünde bulunan Malzeme Laboratuvarına getirilmiştir. 13,5 cm eninde olan numune grubu bir adet üçlü, dört adet ikili tuğla ve yedi adet de tek tuğla içermektedir. İncelemede bu numunelerin iyi durumda olduğu ve neredeyse hepsinde tuğla, harç ve sıva bütünlüğünün korunduğu görülmüştür. Bir tuğla üzerinde hala okunabilir durumda olan etiket (Şekil 5C) Çorum Kömürcü Toprak Ürünleri Sanayi ve Ticaret A.Ş. tarafından TSE’ye uygun olarak üretildiğini göstermekteydi. Ayrıca 13,5 cm enli 7 tuğla 13,2 × 18,6 ×



Şekil 2. Yıkımın erken (A) ve geç (B) fazları (Early [A] and late [B] phases of the demolition)



Şekil 3. Yıkım sonrası sahada biriken atıklar (Construction waste accumulated on the plot after demolition)

18,3 (boy $\times$ en $\times$ yükseklik) ortalama ölçülerine sahipti. Harç yüksekliği 0,6 ila 1,4 cm iken sıva da 1,0 ila 2,5 cm arasında ölçülmüştür. Sıvasız tamamen temiz tek bir tuğla elde edilebilmiştir.

2. DENEYSEL YÖNTEM (EXPERIMENTAL METHOD)

Bu bölümde numuneler, hazırlık süreci ve test yöntemleri sunulmuştur. İkinci el malzemelerin sınıflandırılması için özelleşmiş standartlar bulunmazken, bu ürünlerin de yeni ürün koşullarını sağlaması gerekmektedir. Bu çalışmada incelemeler yapılırken önce ulusal standartlar tercih edilmiş,

mevcut olmamaları durumunda uluslararası standartlar kullanılmıştır. Ayrıca tuğlalarda yazan üretici firma hala üretim yapmakta ve seçilen tür tuğlanın üretimine de devam etmektedir [34]. Bu veri de karşılaştırma amaçlı kullanılmıştır.

2.1. Kurtarılan Tuğla, Sıva, Harç ve Duvar Parçalarının Hazırlanması

(Preparation of the Reclaimed Bricks, Plaster, Mortar and Wall Sections)

Tuğlaların yüzeylerinde olan sıvaya uygun bir sıva bulunması yönünde çalışılmıştır. Yedi adet tek tuğla ve üç



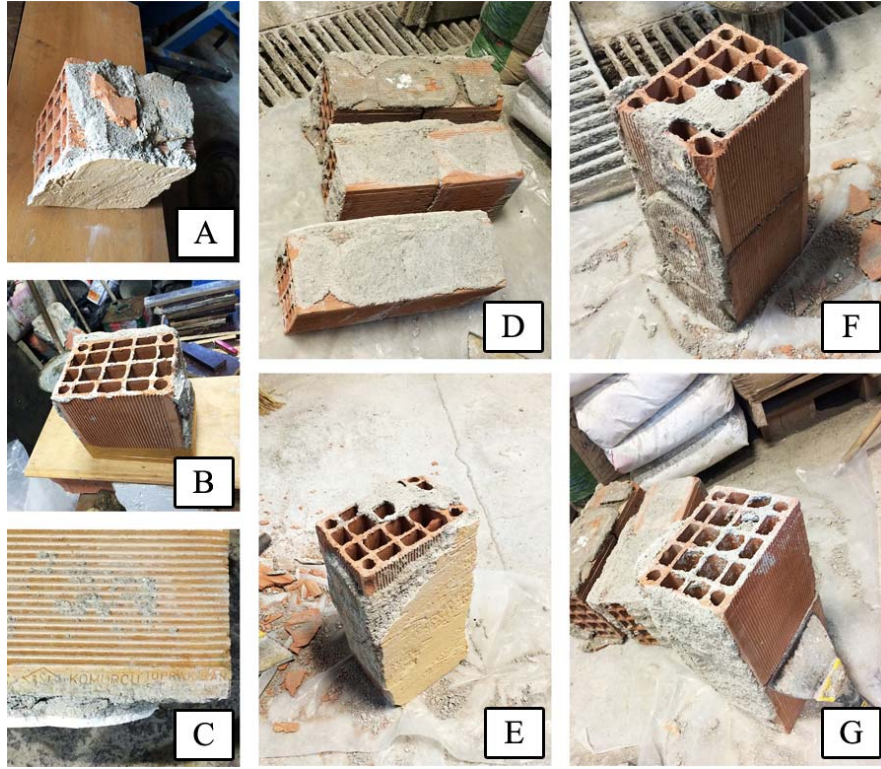
Şekil 4. Yıkım sonrası tuğla içeren karışık atıklar (A), tuğla duvar parçaları (B) ve (C)
(Mixed debris containing brick pieces [A], brick wall sections [B] and [C])

adet duvar parçası incelemeye tabi tutulmuştur. Tuğlalardan sadece bir tanesi tamamen sıvasız bulunmuş ve bu ASTM C1552 14a standardında belirlenen yöntemle basınç testine hazırlanmıştır [35]. Ek olarak iki numune üzerinde kendiliğinden ayrılmış sıva ve harç parçaları mevcut bulunmuştur. Şekil 7’de görüldüğü gibi buradan çıkarılan parçalardan iki adet $4 \times 4 \times 2,5$ cm sıva numunesi ve bir adet aynı ölçüde harç numunesi TS EN 1015-11 belgesinde tanımlandığı üzere hazırlanmıştır [36]. Bu standart küp olarak yeni numuneler üretilmesini salık verse de, kurtarılan sıva ve harç sadece 2,5 cm yüksekliğinde bulunmuş ve dolayısıyla bulunan değer daha sonra küp değerine dönüştürülmüştür. Bu dönüştürme için $5,0 \times 5,0 \times 2,5$ cm ve $5,0 \times 5,0 \times 5,0$ cm boyutlarında iki set halinde üretilen yeni

harç numuneleri basınç testine tabi tutulmuş ve her bir set için hesaplanan ortalama basınç dayanımlarının oranı Tablo 4’te gösterildiği şekilde dönüşüm hesaplamalarında kullanılmıştır. Kurtarılan sıva ve harcın basınç mukavemeti bulunduktan sonra, benzer bir karışımın oranları EN 998-2 normundan elde edilmiş ve üretilen karışım Şekil 6’da görüldüğü gibi geri kalan altı tuğlanın ve duvar parçalarının temiz yüzeylerine uygulanmıştır [37].

2.1.1. Yeni sıva hazırlanması (Preparation of the new plaster)

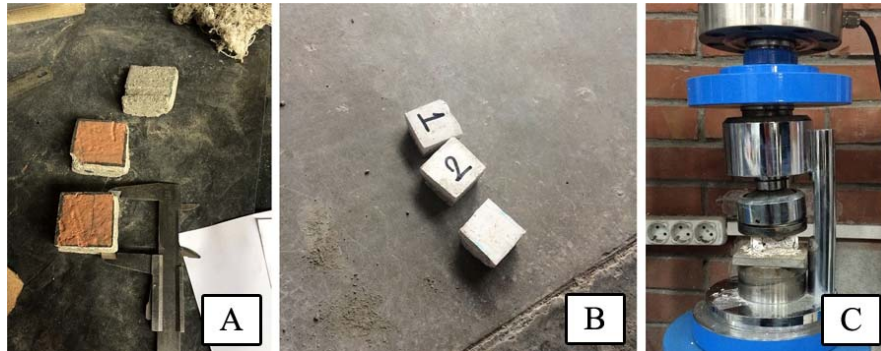
Tablo 3’de gösterildiği gibi, eski yassı numuneler 23 MPa basınç dayanımı göstermiştir. Bu değer yapılan dönüşümle küp dayanımı olarak 19,7 MPa’a tekabül ettiği



Şekil 5. Laboratuvara getirilen tuğla numunelerinin yatay (A) ve düşey (B) derzleri, firma etiketi (C), duvar parçaları yatay (D) ve düşey (E) derzleri, duvar parçaları eski sıvalı yüzey (F) ve sıvasız yüzey (G) (The bed joint [A] and head joint [B] of the bricks brought to the laboratory, the seal of the company [C], the bed joint [D] and head joint [E] of the wall sections, plastered [F] and bare [G] surfaces of the wall sections)



Şekil 6. Tuğlaların sıvanması (A), başlık yapılması (B) ve basınç testi (C) (Plastering the bricks [A], capping [B] and compression test [C])



Şekil 7. Eski harç ve sıva numuneleri (A), başlık yapılması (B) ve basınç testi (C) (Old mortar and plaster samples [A], capping [B] and compression test [C])

hesaplanmıştır. Buna benzer yeni sıva elde edilmesinde IBC [38] ve EN-998-2 [37] dokümanlarında bulunan çimento

karışımları oranları ve beklenen basınç dayanımları incelenmiştir. En yakın değer 17,5 MPa dayanımı; 1 birim

çimento, 1/4 birim hidrolik kireç ve 7/2 birim kum ile hazırlanan, sıva harçları için ASTM C 270 yönetmeliğinde de tanımlanan M tip karışım olarak tercih edilmiştir [39].

2.1.2. Duvar parçalarının hazırlanması (Preparation of the wall sections)

Yeni sıva karışımının hazırlanmasının ardından Şekil 8’de görüldüğü gibi duvar parçaları hazırlanmıştır. İki tuğla içeren iki duvar parçası ve üç tuğla içeren bir duvar parçası sıva ile kaplanmış ve TS EN 1052-3 [40] standardına göre başlangıç kayma dayanımı testi için hazırlanmıştır.

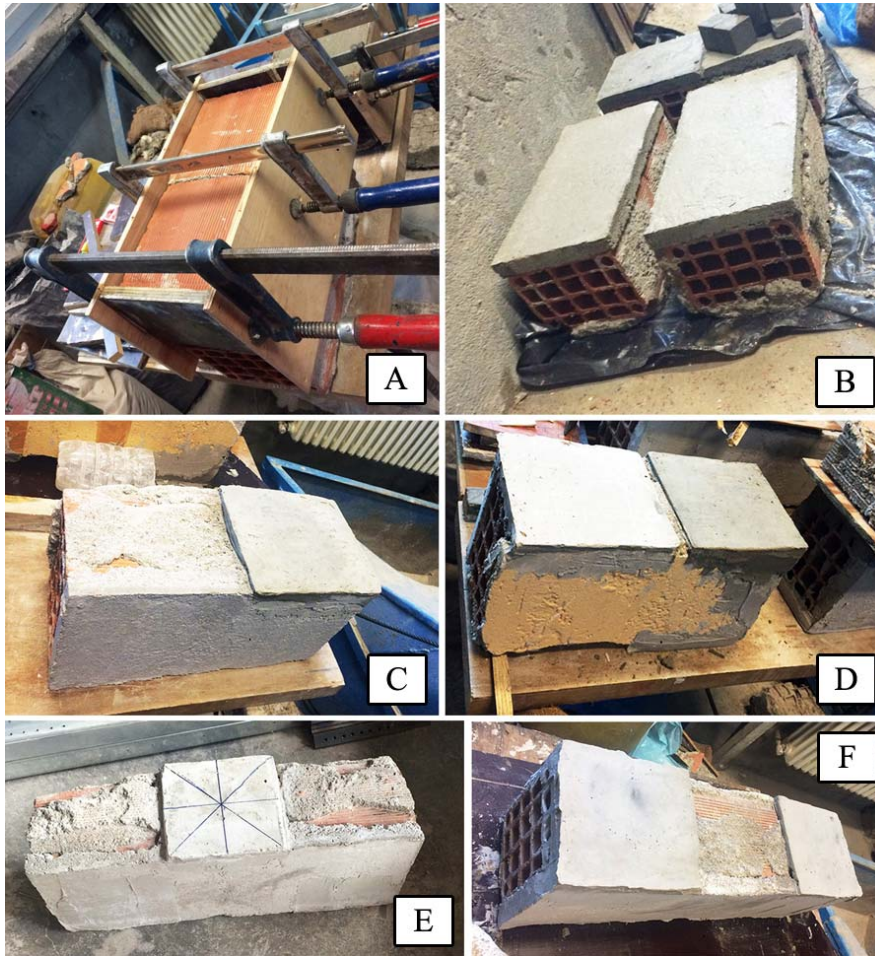
2.2. Testler (Tests)

TS EN 771-1 A-1 [41] standardı tuğlaların sınıflandırılması için gerekenleri ve tüm ilgili standartları içerdiği için bu çalışmadaki tuğlaların analizi için kullanılmıştır. Ek olarak TS EN 1015-11 [36] yeni ve eski sıva/harç karışımlarının basınç mukavemet ölçümleri için kullanılmıştır. Sıvalı tuğlalar TS EN 772-1 [42] standardına göre test edilirken, sıvalı duvar parçaları da TS EN 1052-3 [40] standardına göre

test edilmiştir. Tuğladan elde edilen değerler, hem ilgili Türk Standartlarıyla hem de firmanın güncel üretimindeki yeni değerlerle karşılaştırılırken, kayma dayanımları Eurocode 6 [43] dokümanında verilen limit değerler ile kıyaslanmıştır.

2.2.1. Tek tuğlalar (Bricks)

Bahsedilen yedi tuğladan elde edilen ortalama ölçümler $13,2 \times 18,6 \times 18,3$ cm’dir ($w \times l \times h$) ve TS EN 771-1 A-1 [41] standardındaki sınıflandırmada 5,7 NT (Normal Tuğla) $19,0 \times 19,0 \times 13,5$ cm grubuna düşmektedir. EN 772-3 tuğlanın net hacmi ve boşluk yüzdesinin hesabı için kuru ve yaş ağırlık karşılaştırmasını önermektedir [44], fakat bu çalışmadaki numuneler için uygun bulunmamıştır çünkü sıva ve harç kalıntıları sonuçları değiştirmektedir. Alternatif olarak ASTM C67-14 standardında bulunan ve tuğlanın deliklerinin ince kum ile doldurularak boşluk hesabının yapılmasını ve brüt hacimle kıyaslanmasını öneren standart dikkate alınmıştır [45]. Bir tuğla üzerinde denenen bu yöntem, %56 boşluk ($2585,5 / 4551$ cm³) oranını vermiştir. Ayrıca çok yakın bir sonuç %55 boşluk ($227/126,4$ cm²) da olabildiğinde dik açıdan çekilmiş bir fotoğrafın CAD



Şekil 8. Başlangıç kayma deneyi hazırlık süreci, yeni sıva yapılacak temiz duvar yüzeyi (A), sıvalı duvar parçaları (B), iki tuğlalı duvar parçası üst başlık (C), alt başlıklar (D), üç tuğlalı duvar parçası üst başlık (E), alt başlıklar (F)

(Process for the initial shear strength test, bare surface of the wall section to be plastered [A], Plastered wall sections [B], Upper cap of the wall section with two bricks [C], lower cap [D], Upper cap of the wall section with three bricks [E], lower cap [F])

yazılımı üzerinden alan hesabı yapılmasıyla elde edilmiştir. Sıvasız tek tuğlanın ağırlığı ve bu hacim hesapları birlikte değerlendirildiğinde brüt hacimden elde edilen birim hacim kütlesi $0,76 \text{ g/cm}^3$ ($3,5 \text{ kg} / 13,3 \times 18,7 \times 18,5 \text{ cm}^3$) olarak ölçülmüştür. Net hacimden elde edilen değer ise $1,68 \text{ g/cm}^3$ ($3,5 \text{ kg} / 13,3 \times 18,7 \times 18,5 \text{ cm}^3 \times 45/100$) olarak ortaya çıkmıştır. Bahsedilen standarda göre bu değerler 1 g/cm^3 'den az brüt yoğunlukla hafif yoğunluklu (Low Density) grubuna ve daha net sınıflandırmada da Tuğla Sınıfı 0,8 olarak net yoğunluklu 701- 800 kg/m^3 grubuna düşmektedir.

Son olarak bir adet sıvasız ve altı adet sıvalı tuğla $2,5 \text{ kN/s}$ yükleme hızı ile basınç testine tabi tutulmuş ve elde edilen maksimum yük, mukavemet hesabında Eş. 1'e göre hesaplanmıştır.

$$\sigma_c = F_c / A \quad (1)$$

Bu eşitlikte σ_c kâgir birimin basınç mukavemetini (kgf/cm^2), F_c Göçme yük değeri (kgf), A ise deneye tabi alt ve üst yüzeylerinin brüt alan ortalamasını (cm^2) belirtmektedir [42].

2.2.2. Eski harç/sıva ve yeni sıva (Old mortar/plaster and the new plaster)

Basınç testine tabi tutulan yeni ve eski sıva/harç numunelerinden elde edilen yük değerleri Eş. 2 aracılığıyla basınç mukavemetine çevrilmiştir.

$$f_m = P / A \quad (2)$$

Basınç mukavemetini f_m , maksimum yükü P , A ise deneye tabi alt ve üst yüzeylerinin brüt alan ortalamasını belirtmektedir.

2.2.3. Duvar parçaları (Wall Sections)

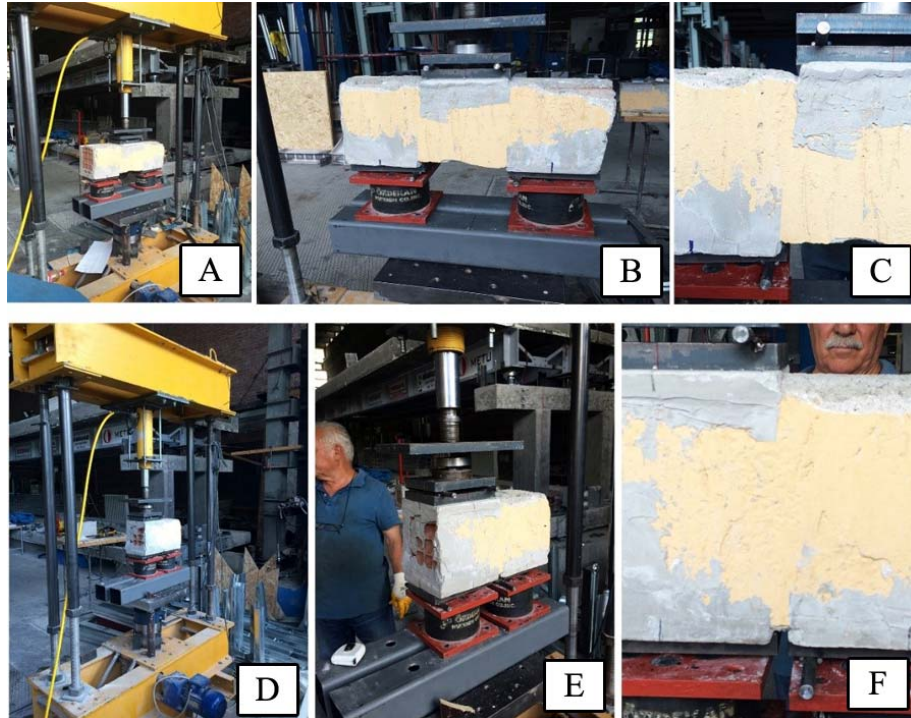
TS EN 1052-3 [40] standardına göre kayma dayanımları ön yükleme olmayan düzeneğe göre Şekil 9'da görüldüğü gibi yapılmış ve aşağıda belirtilen eşitliğe göre mukavemet değerleri hesaplanmıştır. İki tuğla içeren duvar birimleri için bir tek harç ara yüz alanı hesaba katılırken, üç tuğlalı olanlarda iki ara yüz dikkate alınmıştır (Eş. 3).

$$f_{voi} = F_i \text{ büyük} / (A_1 + A_2) \quad (3)$$

Bu eşitlikte, f_{voi} : Her kâgir numunenin kayma dayanımı (N/mm^2), $F_i \text{ büyük}$: Her kâgir numunenin taşıyabildiği en yüksek kesme yükü (N), A_1 birinci ve A_2 de ikinci kâgir numunenin derzlerine paralel en kesit alanını göstermektedir (mm^2) [40].

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Testlerden elde edilen sonuçlar ve yapılan hesaplamalar bu başlık altında verilmiştir.



Şekil 9. Duvar parçaları üzerinde başlangıç kayma testi, üç tuğlalı duvar parçası için deney düzeneği (A), mesnetler ve yükleme (B), derz detayı (C), iki tuğlalı duvar parçası için deney düzeneği (D), mesnetler ve yükleme (E), derz detayı (F)
(Initial shear strength test on wall sections, test set up for the wall section with three bricks [A], supports and loading [B], joint detail [C], test set up for the wall section with two bricks [D], supports and loading [E], joint detail [F])

3.1. Sonuçlar, Standartlar ve Firma Değerleri (Results, Standards and the Measurements from the Company)

Numune tuğlalardan elde edilen basınç değerleri, firmanın güncel üretilen tuğlalardan elde ettikleri fiziksel özellikler, eski ve yeni sıva mukavemet değerleri ve duvar parçalarının başlangıç kayma dayanımları bu kısımda sunulmuştur.

3.1.1. Kurtarılmış tuğla mukavemeti (Strength of the recovered bricks)

Tuğlaların basınç testine tabi tutulması sonucu elde edilmiş olan mukavemet değerleri Tablo 1’de listelenmiştir. Bu tabloda birinci ve ikinci kolonlar numune numara ve açıklama notlarını içerirken, üçüncü ve dördüncü kolon kuvvetin uygulandığı yüzeyin, yani başlığın en ve boy değerlerini içermektedir. Beşinci kolon hesap için gerekli olan (üç ve dördüncü kolonlardaki değerler aracılığıyla) hesaplanmış olan yüzey alanını içerirken, P değeri tuğla numunesinin kırılma yükünü, R de bu değerın mukavemet değerine dönüştürülmüş halini belirtmektedir. Aranan değerler bunlarla sınırlı olmasına rağmen, tuğla yüksekliği ve başlıklı numune yüksekliği de tablonun sonunda ek olarak bilgi amaçlı verilmiştir.

Numunelerden bir tanesinin (3 numaralı numune) başlığı gözle görülür düzeyde eğri sonuç vermiş ve elde edilen değer sonuçlar içerisine dâhil edilmemiştir. Böylece eski ve yeni sıva içeren üniteler için basınç dayanım değeri ortalaması 6,86 MPa bulunmuş, çıplak (sıvasız) tek tuğla ise 6,34 MPa değerini vermiştir. Bu dayanım değerleri dikkate alındığında, elde edilmiş olan tuğlalar TSE 771-1 A-1 [41] standardına göre, en düşük değeri 4 MPa olan ve ortalaması en az 5 MPa olan 5,0 Yatay Delikli Tuğla Sınıfı’na düşmektedir.

Kırılma oluşumları tuğladan tuğlaya farklılık göstermiştir ve tek tip bir kırılma şemasından bahsetmek mümkün olmamıştır. Bazılarında eski sıva üzerinde kısmi kırık, bazılarında sıva tabakasında ayrılma, bazılarında tuğla gövdesinde parçalanma oluşmuştur.

3.1.2. Yeni tuğlaların fiziksel özellikleri (Physical properties of the new bricks)

Daha önce belirtildiği gibi, kurtarılmış tuğlaları üretmiş olan firma, üretimine devam etmekte ve üretim bandında kontrolü sağlamak üzere TSE onaylı testler yapmaktadır. Firmadan elde edilen değerler Tablo 2’de verilmiştir. Buna göre ilk

Tablo 1. Kurtarılan tuğla basınç mukavemet değerleri (Compressive strength values of the recovered bricks)

Tuğla, numune no.	En, mm	Boy, mm	Yüzey alanı, mm ²	Fc, kN	σ_c , MPa (N/mm ²)	Tuğla Yüksekliği, mm	Başlıklarla yükseklik, mm
1	185	186	34410	267,5	7,77	182	215
2	180	187	33660	257,6	7,65	182	210
3	180	187	33660	99,6	2,96	184	230
4	180	187	33660	252,7	7,51	183	210
5	185	187	34595	215,2	6,22	184	220
6	175	187	32725	167,9	5,13	183	230
<i>Ortalama</i>					6,86		
14, Sıvasız tuğla	133	187	24871	157,6	6,34	183	189

Tablo 2. Yeni tuğlaların fiziksel özellikleri (Adapte edilmiş veri [46]) (Physical properties of the new bricks)

Yatay delikli tuğla 185 x 185 x 135 mm (en, boy, yükseklik)														
Numuneler	Deney tarihi		Brüt hacim (cm ³)	Net hacim (cm ³)	Boşluk hacmi (cm ³)	Su içinde ağırlık (g)	Yaş ağırlık (g)	Kuru ağırlık (g)	Boşluk (%)	Brüt kuru hacim kütlesi (kg/m ³)	Net kuru hacim kütlesi (kg/m ³)	Yüzey alanı (cm ²)	F _c [kN]	σ _c [MPa]
10	22-04-15	Ort.	4478	1369	3109	1618	2988	2553	69	570	1863	337,1	206	6,11
		Min.	4449	978	2908	1147	2125	1813	65	407	1849	334,9	135	4,01
		Maks.	4503	1583	3477	1871	3454	2942	78	655	1876	338,6	276	8,14
10	29-05-15	Ort.	4637	1614	-	-	-	-	-	645	1850	-	-	3,90
		Min.	4590	1600	-	-	-	-	-	640	1830	-	-	3,50
		Maks.	4670	1630	-	-	-	-	-	660	1870	-	-	4,30
10	02-09-16	Ort.	4548	1612	-	-	-	-	65	640	1810	-	-	2,80
		Min.	4520	1600	-	-	-	-	64	635	1790	-	-	2,40
		Maks.	4590	1630	-	-	-	-	65	650	1830	-	-	3,00
10	07-11-16	Ort.	4473	-	-	-	-	2979		660	-	-	-	5,04
		Min.	4411	-	-	-	-	2958		660	-	-	-	3,89
		Maks.	4527	-	-	-	-	3005		680	-	-	-	6,53

kolon numune sayısını, ikinci kolon deney tarihini, üçüncü ortalama, minimum ve maksimum değerleri gösterirken; dört, beş ve altıncı kolonlar brüt hacim; net hacim ve boşluk hacmini vermektedir. Sonraki kolonlar, su içinde ağırlık, yaş ağırlık, kuru ağırlık ve boşluk yüzdesi, kuru brüt hacimce yoğunluk ve kuru net hacimce yoğunluk; kesit alanı, kırılma yükü ve basınç dayanımını göstermektedir. Tabloda görüldüğü gibi bu test dizisi, dört farklı tarihte 10'ar adet numuneye uygulanmıştır. Sonuçlara göre boşluk oranı %64 ile %78 arasında değişiklik göstermektedir. Ayrıca kuru brüt yoğunluk 407 ile 680 kg/m³ arasında değişirken, kuru net yoğunluk da 1.790 ile 1.876 kg/m³ arasında değişmektedir. Son olarak basınç mukavemeti 2,4 ile 8,14 MPa arasında yer almıştır. Bu değerler, kurtarılmış tuğlalardan elde edilen değerlerin, yeni üretimlerle kıyaslanması için referans değerler kullanılmış ve tartışmalar kısmında değerlendirilmiştir.

3.1.3. Eski harç/sıva, yeni sıva mukavemeti (Strength of the old mortar/plaster, new plaster)

İki eski sıva ve bir harç numunesinden elde edilen değerler Tablo 3'de gösterilmiştir. Bu tablodaki ilk dört kolon sırasıyla: numune adı, boy (l), en (b) ve yüksekliği (h) göstermektedir. Peşi sıra yüzey alanı (A), hacim (V) ve yoğunluk (D) değerleri gösterilmiştir. Ağırlık (W) ile ifade edilirken, maksimum yük (P) ve basınç mukavemeti de (f_m numune) dir. Son iki kolon dönüştürme katsayısı (K) ve eşlenik küp geometrisi değerini göstermektedir (f_m küp). Dönüştürme katsayısının hesaplanması Tablo 4'de belirtilmiştir. Görüldüğü gibi sıva numunelerinden ve harç numunesinden elde edilen değerler çok yakındır ve gruplanabileceği görülmüştür. Ortalama yoğunluğu 1,8 g/cm³ ve basınç mukavemeti de 19,66 MPa'dır.

Yeni oluşturulmuş olan üç yassı ve üç küp numune sonuçları Tablo 3 ile aynı kısaltmalarla Tablo 4'de verilmiştir. Bu tabloda da görülebileceği gibi, bu karışımla elde edilmiş numunelerin yoğunluğu 2,12 g/cm³ iken, prizma basınç dayanımları ortalaması 25,69 MPa ve küp dayanım ortalaması 21,9 MPa'dır. Bu değerler ayrıca yassı prizma ve küp arasındaki dayanım oranını da ortaya koymuştur.

Son olarak, duvar parçalarından elde edilen başlangıç kayma mukavemet değerleri aşağıdaki kısımda ele alınmıştır.

3.1.4. Başlangıç kayma dayanımı (Initial shear strength)

İki ve üç adet tuğla içeren duvar parçaları üzerinde yapılan başlangıç kayma deneyinden elde edilen sonuçlar, Tablo 3 ve Tablo 4'deki kısaltmaları kullanarak Tablo 5'de sunulmuştur.

Görüldüğü gibi ortalama başlangıç kayma mukavemeti (f_{v0i}) 0,52 MPa'dır. Kırıklar beklendiği gibi harç derzlerinde oluşmuştur (Şekil 10).

3.2. Tartışmalar (Discussions)

Bu çalışma tuğla, harç ve sıvaların sökülerek, ayrı ayrı yeniden kullanılmasına dair bir öneri içermese de, bu bileşenlerin duvar parçaları olarak bir birliktelik halinde kullanılmasının uygun olup olmadığını araştırmaktadır. Bu sebeple bu bileşenlere dair parametreler duvar parçalarının özelliklerinin tespiti için incelenmiştir. Tablo 1'de verildiği gibi tuğlaların ortalama basınç değeri 6,86 MPa (sıvalı) iken, değer aralığı da 5,13 ile 7,78 MPa arasında ölçülmüştür. Elde edilen bu değerler, firmadan alınan yapılmış tüm testlerin en düşük ve en yüksek ortalama değeri olan 2,8 ve 6,11

Tablo 3. Eski sıva ve harç numunesi mukavemet değerleri (Compressive strength values of the old plaster and mortar)

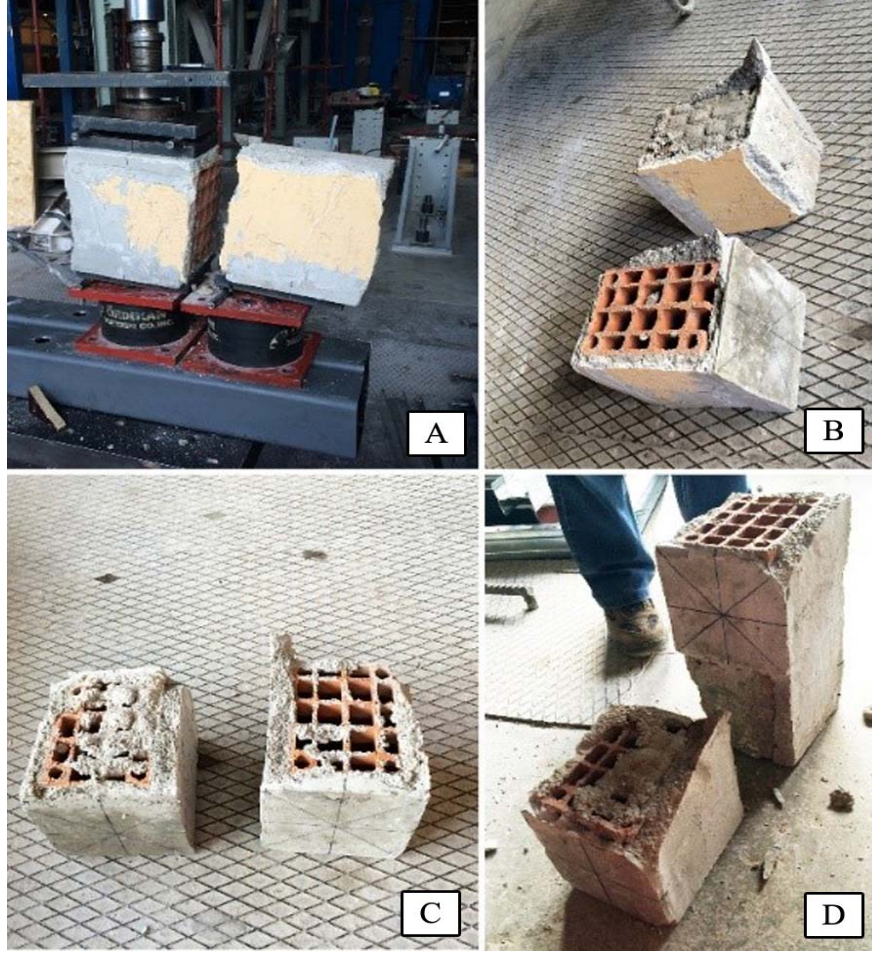
Basınç testi										
	en [mm]	boy [mm]	yükseklik [mm]	Yüzey alanı [mm ²]	Hacim [mm ³]	Ağırlık [g]	Hacim ağırlığı [g/cm ³]	F [kN]	f_m numune [MPa]	f_m küp [MPa]
Sıva 1	45	45	24	2025	48600	82,8	1,7	42,7	21,10	17,94
Sıva 2	46	46	24	2116	50784	95,7	1,9	53,2	25,15	21,38
Harç	48	45	24	2160	51840	94,3	1,8	47,9	23,13	19,66
Ortalama							1,8		23,13	19,66

Tablo 4. Yeni harç mukavemet değerleri (Compressive strength values of the new mortar)

Basınç testi, Çimento harcı 42,5N PC : kireç : kum (1 : 0,25 : 3,5)										
Numune no	en [mm]	Boy [mm]	yükseklik [mm]	Yüzey alanı [mm ²]	Hacim [mm ³]	Ağırlık [g]	Hacim ağırlığı [g/cm ³]	F [kN]	f_m [MPa]	
1	Prizma	50	25	2500	62500	137,74	2,20	64,4	25,76	
2						131,97	2,11	64,45	25,78	
3						120,93	1,93	63,85	25,54	
Ortalama									25,69	
4	Küp	50	50	2500	125000	270,83	2,17	53,17	21,27	
5						269,97	2,16	56,7	22,68	
6						270,01	2,16	54,41	21,76	
Ortalama									21,90	
Ortalama f_m küp / f_m prizma =					0,85					

Tablo 5. Başlangıç kayma mukavemet değerleri (Initial shear strength values)

Başlangıç kayma dayanım testi		Ara yüz					
Numune		en [mm]	yükseklik [mm]	kesit alanı [mm ²]	F_i büyük [kgf]	kN	f_{v0i} [MPa]
1	İki tuğlalı	175	185	32375	1820	17,8	0,55
2	İki tuğlalı	175	185	32375	1823	17,9	0,55
		175	185	32375			
3	Üç tuğlalı	175	195	34125	3075	30,1	0,45
			Toplam	66500			
Ortalama							0,52



Şekil 10. Başlangıç kayma testi sonrası iki tuğlalı duvar parçasının durumu (A), harç ve tuğlanın ara yüzden ayrılması (B), harcın iki yüzeyde de kalması (C), üç tuğlalı duvar parçasında harcın ara yüzden ayrılması (D)
(The wall section with two bricks after initial shear test [A], separation of mortar and brick at the interface [B], distribution of mortar to the both surfaces [C], separation of mortar and brick at the interface in the wall section with three bricks [D])

MPa'nın yanı sıra değer aralığı olan 2,40 ile 8,14 MPa ile karşılaştırıldığında, kurtarılan tuğlaların dayanımlarının yeniden kullanım için uygun olduğunu göstermektedir.

Kurtarılmış tuğlanın kuru hacim kütlesi 0,76 g/cm³, firmanın elde ettiği en düşük ve en yüksek ortalama değerler olan 0,57 ve 0,66 g/cm³ ve değer aralığı olan 0,40 ve 0,68 g/cm³ ile karşılaştırıldığında eski tuğlanın bu parametre açısından daha ağır olduğu görülmektedir. Eski tuğlanın net hacim kütlesi olan 1,68 g/cm³ yeni tuğlanın en düşük ve en yüksek

ortalama değerleri olan 1,81 ve 1,86 g/cm³, ve değer aralığı olan 1,79 ile 1,87 g/cm³ ile karşılaştırıldığında eski tuğlanın bu parametre açısından % 7 ile % 10 daha hafif olduğu görülmektedir. Son olarak eski tuğla %56 boşluk içerirken, yeni tuğlanın en düşük ve en yüksek ortalama değerleri %65 ile %69 arasındadır ve min/maks değerleri de %64 ile %78 boşluk içermektedir. Bu açıdan bakıldığında, yeni üretilen tuğlaların boşluk oranlarının daha yüksek olduğu ortaya çıkar. Bu üç parametre beraber dikkate alındığında sonuç şöyledir: Eski tuğla daha hafif net hacim kütlesine sahip olsa

da boşluk oranı daha az olduğu için yeni üretilen tuğlalardan daha ağırdır. Firmanın bu konudaki açıklaması günümüz pratiğinde yapı malzemelerinin hafifliğinin çok önemli olduğu ve bu sebeple sağlam ve hafif tuğla üretimi yaptıkları yönünde olmuştur. Eskiyle kıyaslandığında karışım oranları değiştirilmiş, boşluk oranları da artırılmıştır. Bu açıdan bakıldığında eski tuğla değerleri yeniden kullanım açısından uygun görünürken, tek dezavantajı yapıya getireceği ekstra yük olmaktadır.

Benzer şekilde, eski sıva ve harcın basınç ortalama dayanımı 19,66 MPa (küp dayanımı) ve min/maks değerleri de 17,94 ile 21,38 MPa olarak bulunmuştur. Bu da International Building Code [IBC] dokümanında en yüksek sınıfa düşmektedir [38] ve bu yeniden kullanım için oldukça ümit verici bir sonuçtur. Son olarak bir yüzeyinde eski sıva diğer yüzeyinde yeni sıva olan duvar parçalarının kayma dayanımı 0,52 MPa'dır ve bu değer Eurocode 6'da belirtilen boşluksuz iki yüzey arasındaki harcın minimum kayma dayanımı olan 0,1 MPa ile kıyaslandığında oldukça yüksektir [43]. Belirtilen limitin üstünde çıkan kayma dayanımı bize bu parçaların bu tip kayma kuvvetleri altında güvenli bir şekilde yeniden kullanılabilirliğini göstermiştir. Bu yüksek değerlerin sebebi, eski/yeni sıvanın varlığının ve tuğlaların boşluklarına dolan harcın kayma dayanımına olan katkısından kaynaklanmaktadır.

Kısaca, tuğlalardan elde edilen basınç değerleri standartlarda tanımlı bir sınıfa düşmektedir ve piyasada TSE onayıyla sunulan birimler ile uyumluluk göstermektedir. Ayrıca oldukça yüksek çıkan harç-sıva ve kayma dayanım değeri de standartlarda tanımlananların üstünde kalmaktadır. Tüm bu mekanik ve fiziksel değerler incelenen tuğla duvar atıklarının yapı malzemesi olarak yeniden kullanım ihtimali konusunda ümit vermektedir. Bu savın güçlenmesi için numune sayısı artırmak ve istatistikî veriler üretmek gerekmektedir.

4. SİMGELER (SYMBOLS)

σ_c	: Kâgir birimin basınç mukavemeti
F_c	: Yenilme yük değeri
A	: Deneye tabi alt ve üst yüzeylerinin alan ortalaması
f_m	: Basınç mukavemeti
P	: Maksimum yük
f_{v0i}	: Her kâgir numunenin kayma dayanımı
$F_{i, büyük}$	: Her kâgir numunenin taşıyabildiği en yüksek kesme yükü
A_1, A_2	: A_1 birinci, A_2 de ikinci Kâgir numunenin, derzlerine paralel en kesit alanı

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Güncel Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliğinde temel niyet ve prensipler belirtilmiş olsa da, daha detaylı kurallara ihtiyaç olduğu görülmektedir. Bu doküman bu önerilerin nasıl uygulamaya konulacağını açıklamamaktadır. Örneğin, eğer bina yıkılacaksa en iyi malzeme kurtarımının hangi tekniklerle

hangi ölçeklerde yapılabilirliği ile ilgili yönlendirmeler bulunmamaktadır. Kurtarılan malzemelerin durum tespiti için gerekenler ve yeniden kullanımında nasıl alternatifler olabileceğiyle ilgili bilgiler de faydalı olacaktır. Bu tip eklemeler çok sık yaşanan kentsel dönüşüm uygulamaları için çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliğe katkı sağlayacak, insanları da bilinçlendirerek sosyal kazanımlar yaratacaktır.

Her ne kadar binaların yıkılması özellikle doğal afetler sonrası zorunlu olsa da genelde az sorgulanmış, en hızlı çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Oysaki iyi bir planlama yapının yıkım yerine dönüşüm geçirmesine olanak sağlayabilmektedir. Yıkım gerekse bile maksimum malzeme kurtarılmasına yönelik bir yıkım süreci tasarlamak uygun bir yöntem olacaktır. Bu süreç binaların karakteristik ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi, yapı bileşenlerinin güncel durumlarının ve mekanik kapasitelerinin ölçülmesi ve benzeri tespitleri içermelidir. Her bina için özelleşmiş bu tip bir kurtarma planı iyi bir fikir olsa da, yakın gelecek için pek uygulanabilir değildir. Diğer taraftan tipik malzeme uygulamaları için genel prensipler içeren bir veri tabanı oluşturmak süreci hızlandıran uygun bir yöntem olabilir. Örneğin genelde oldukça sağlam ve uzun ömürlü oldukları için taşıyıcı kâgir duvarlar için yıkım öncesi ve yıkım sırasında kurtarım oranlarını artıracak kurallar belirlenebilir. Böylece kâgir duvar parçalarının kesilerek bloklar halinde yeniden kullanımı, sökülen tuğlaların temizlenerek kullanımı, ya da tuğla-harç-sıva beraber geri dönüştürülmesi alternatiflerinden uygun olanlar seçilebilir. Böyle bir veri tabanı yaygın karşılaşılan donatılı beton ve kâgir duvarlar için ulaşılabilir kesim aletleri ile uygun kesim yöntemlerini açıklayabilir, ayrıca daha kalın ve güçlü duvar türleri için özelleşmiş yöntemleri anlatabilir. Dahası malzemelerin detaylı özellikleri ve bu özelliklerin kurtarıma ve son duruma olan etkisini de belirtebilir. Örneğin, dolu ya da delikli tuğlalar ya da çok katlı boşluklu duvar kesitleri, sıvalı-sıvasız olma, donatı barındırma durumuna özel çözümler sunabilir. Böyle bir veri tabanı kurtarım alternatifleri, depolama/saklama koşulları, tamir ve yeniden kullanım koşulları ile ilgili bilgileri içerebilir ve ikinci el yapı malzemelerinin tanınmasını ve yaygınlaşmasını sağlayabilir. Ayrıca söküm ve yıkım yapan ekipler için daha çok malzemeyi daha sağlıklı bir şekilde kurtarma yollarını listeleyebilir. Bu çalışmada incelenmiş olan yatay delikli tuğlalar boşluklu cephe duvarı olarak Türkiye'de konut binalarında 1990'larda yaygın olarak kullanılmıştır. Her ne kadar tuğla boyutları ve özellikleri zaman içinde yönetmelik güncellenmeleri ile değişmiş olsa da bu çalışmadan elde edilen veriler ilgili cephe sistemi için yeniden kullanım dinamiklerini ortaya koymaktadır. Bunlardan en öne çıkanı alçı sıva içeren duvar katmanları için bertaraf ve çimento sıvalılar için onarımla yeniden kullanım önerisidir. Bu çalışmanın bir diğer esas bulgusu da çok sert bir yıkım sonrası bile yapıdaki bazı malzemelerin bütünlüklerini ve sağlamlıklarını koruyabilecekleri yönündedir. Bu gerçek bize yıkım sürecine odaklanmayı ve yasal düzenlemelerle malzeme kurtarım ve yeniden kullanımını artırmamız gerektiğini göstermektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yıkım sahasından numune alınmasını sağlayan Özgür-ol inşaat firmasına, deneylerin yapılmasını sağlayan ODTÜ İnşaat Mühendisliği elemanları Dr. Burhan A. Alam, Hasan Metin ve Cuma Yıldırım'a; çalışma sürecini yorumlarıyla yönlendiren Yar. Doç. Dr. Çağla Meral Akgül'e teşekkürler. Firmanın test sonuçlarını paylaştan Çorum Kömürü Toprak Ürünleri Sanayi ve Ticaret A.Ş. çalışanı Hakan Turgut'a, Çiğdem Mahallesi hakkında bilgi paylaşımı için muhtar H. Hüseyin Aslan'a ve sakinlerden Kemal Akın'a teşekkürler. Bina hakkında detaylı bilgiler için Kooperatif üyesi ve binanın sakini Haşmet Ülkü'ye ve ODTÜ Mimarlık Fakültesi elemanlarından Ensar Temizel'e numune alınmasındaki desteklerinden dolayı teşekkürler. Makale yazım sürecinde ilgili kaynakların bulunmasındaki yardımları ve metin hakkındaki ilerletici yorumları için Doç. Dr. Alper Aldemir'e teşekkürler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Jin, R., Li, B., Zhou, T., Wanatowski, D., Piroozfar, P., An Empirical Study of Perceptions towards Construction and Demolition Waste Recycling and Reuse in China, *Resources Conservation and Recycling*, 126, 86-98, 2017.
- Industrialization Development Report of China's Construction Waste Resource., Annual Report, China Strategic Alliance of Technological Innovation for Construction Waste Recycling Industry, 2014.
- Yeheyis, M., Hewage, K., Alam, M.S., Eskicioglu, C., Sadiq, R., An Overview of Construction and Demolition Waste Management in Canada: A Lifecycle Analysis Approach to Sustainability, *Clean Technologies and Environmental Policy*, 15 (1), 81-91, 2013.
- Douglas, I., Lawson, N., The Human Dimensions of Geomorphological Work in Britain, *Journal of Industrial Ecology*, 4 (2), 9-33, 2000.
- Lawson, N., Douglas, I., Garvin, S., McGrath, C., Manning, D., Vetterlein, J., Recycling Construction and Demolition Wastes—a UK perspective, *Environmental Management and Health*, 12 (2), 146-157, 2001.
- del Río Merino, M., Izquierdo Gracia, P., Weis Azevedo, I.S., Sustainable Construction: Construction and Demolition Waste Reconsidered, *Waste Management & Research*, 28 (2), 118-129, 2010.
- Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı. Türkiye'de Atık Yönetimi. <http://cevre.besiktas.bel.tr/Document/DownloadFile/464f2111-f74a-4af1-8139-ecab468962d1>. Yayın tarihi Temmuz 2012. Erişim tarihi Ocak 26, 2016.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Ankara. Atık Yönetimi Yönetmeliği. [Resmi Gazete Tarihi: 02.04.2015 Sayısı: 29314] <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/04/20150402-2.htm>. Yayın tarihi Nisan 2, 2015. Erişim tarihi Ocak 26, 2016.
- Çevre ve Orman Bakanlığı. Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü. Hafriyat Toprağı İnşaat ve Yıkıntı Atıkları Kontrolü Yönetmeliği. https://c_ygm.csb.gov.tr/ yönetmelikler -i-440. Yayın tarihi Mart 18, 2004. Erişim tarihi Ocak 26, 2016.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Ankara. Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü. Hafriyat Toprağı İnşaat ve Yıkıntı Atıkları Kontrolü Yönetmeliği. <https://cygm.csb.gov.tr/yikim-islemleri-ile-hafriyat-topragi-insaat-ve-yikinti-atiklarinin-kontrolu-yonetmeliği-taslagi-goruse-acilmistir-duyuru-256327>. Yayın tarihi Nisan 21, 2017. Erişim tarihi Ocak 10, 2019.
- Aydın İpekçi, C., Coşkun, N., Tıkansak Karadayı, T., The Importance of Recovered Materials Usage in terms of Sustainability in Construction Sector. *TÜBAV Bilim*, 10 (2), 43-50, 2017.
- Maçın, K. E., Demir, İ., Construction and Demolition Waste Management in Istanbul During Urban Transformation Process, *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9, 188-201, 2018.
- Mahasen, N., Steve Smith, S., Humphreys, K., The Cement Industry and Global Climate Change: Current and Potential Future Cement Industry CO₂ Emissions, *Proceedings of the 6th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies*, Kyoto-Japan, 1 - 4 Ekim, 2003.
- Zhuang, X.Y., Chen, L., Komarneni, S., Zhou, C.H., Tong, D.S., Yang, H.M., Wang, H., Fly ash-based Geopolymer: Clean Production, Properties and Applications, *Journal of Cleaner Production*, 125, 253-267, 2016.
- McKelvey D., Sivakumar V., Bell A., McLaverty G., Shear strength of Recycled Construction Materials intended for Use in Vibro Ground Improvement, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement*, 6(2), 59-68, 2002.
- Duxson, P., Fernandez-Jimenez, A., Provis, J. L., Lukey, G. C., Palom, A., van Deventer, J. S. J., Geopolymer Technology: The Current State of the Art, *Journal of Materials Science*, 42, 2917-2933, 2007.
- Ahmari, S., Ren, X., Toufigh, V., Zhang, L., Production of Geopolymeric Binder from Blended Waste Concrete Powder and Fly Ash, *Construction and Building Materials*, 35, 718-729, 2012.
- Savastano, H., Warden, P. G., Coutts, R. S., Potential of Alternative Fibre Cements as Building Materials for Developing Areas, *Cement and Concrete Composites*, 25 (6), 585-592, 2003.
- Ulugol, H., Kul, A., Yıldırım, G., Sahmaran, M., Aldemir, A., Figueira, D., Ashour, A., Mechanical and Microstructural Characterization of Geopolymers from Assorted Construction and Demolition Waste-Based Masonry and Glass, *Journal of Cleaner Production*, 280 (1), 2021.
- Yıldırım, G., Kul, A., Özçelikci, E., Şahmaran, M., Aldemir, A., Figueira, D., Ashour A. Development of Alkali-Activated Binders from Recycled Mixed Masonry-Originated Waste, *Journal of Building Engineering*, 33 (1), 2021.
- Ergun, D., Gorgolewski, M., Inventorying Toronto's Single Detached Housing Stocks to Examine the Availability of Clay Brick for Urban Mining. *Waste Management*, 45, 180-185, 2015.

22. Mulder, E., de Jong, T.P., Feenstra, L., Closed Cycle Construction: An Integrated Process for the Separation and Reuse of C&D Waste, *Waste Management*, 27 (10), 1408-1415, 2007.
23. Lendager Group. The Resource Rows Mass Housing Project. <https://lendager.com/en/architecture/resource-rows/>. Yayın tarihi, 2021. Erişim tarihi Şubat 10, 2021.
24. Binici H., Temiz H., Aksoğan O., Ulusoy A., The Engineering Properties of Fired Brick Incorporating Textile Waste Ash and Basaltic Pumice, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 24 (3), 485-498, 2009.
25. Murathan A., Asan A., Abdulkarem T. A., Evaluation of Environmental Wastes in Building Material, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28 (2), 409-416, 2013.
26. Yiğit B., Salihoğlu G., Mardani-Aghabaglou A., Salihoğlu N.K., Özen S., Recycling of Sewage Sludge Incineration Ashes as Construction Material, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35 (3), 1647-1664, 2020.
27. Sarangapani, G., Venkatarama Reddy, B. V., Jagadish, K. S., Brick-Mortar Bond and Masonry Compressive Strength, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 17 (2), 229-237, 2005.
28. Gumaste, K. S., Nanjunda Rao, K. S., Venkatarama Reddy, B. V., Jagadish, K. S., Strength and Elasticity of Brick Masonry Prisms and Walletes under Compression. *Materials and Structures*, 40 (2), 241-253, 2007.
29. Pavia, S., Hanley, R., Flexural Bond Strength of Natural Hydraulic Lime Mortar and Clay Brick, *Materials and Structures*, 43 (7), 913-922, 2010.
30. Lumantarna, R., Biggs, D. T., Ingham, J. M., Compressive, Flexural Bond, and Shear Bond Strengths of In Situ New Zealand Unreinforced Clay Brick Masonry Constructed Using Lime Mortar between the 1880s and 1940s, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 26 (4), 559-566, 2014.
31. Aslan, H. H. [Çiğdem mahallesi muhtarı]. Görüşme. Görüşme tarihi Ağustos 10, 2016.
32. Akin, K. [Çiğdem semtinin en uzun süreli sakinlerinden]. Görüşme. Görüşme tarihi Ağustos 10, 2016.
33. Ülkü, H. [Yıkılan binada uzun süre yaşayan daire sahibi]. Görüşme. Görüşme tarihi Ağustos 10, 2016.
34. Çorum Kömürcü Toprak Ürünleri Sanayi ve Ticaret A.Ş. Yatay Delikli 13.5 cm Pişmiş Kil Tuğla. http://www.komurcu.com.tr/Urunler-13_5_tugla-73.html. Yayın tarihi, 2015. Erişim tarihi Nisan 30, 2017.
35. ASTM Standard C1552 14a, Standard Practice for Capping Concrete Masonry Units, Related Units and Masonry Prisms for Compression Testing, ASTM International-West Conshohocken-PA, 2014.
36. TS EN 1015-11, Kâgir Harcı - Deney Metotları - Bölüm 11: Sertleşmiş Harcın Basınç Ve Eğilme Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Bakanlıklar-Ankara-Türkiye, 2000.
37. EN 998-2, Specification for mortar for masonry - Part 2: Masonry mortar, European Committee for Standardization-Brussels, 2003
38. International Building Code Chapter 21, Masonry, IBC Code Council-Whittier-California, 2003
39. ASTM Standard C270-19ae1, Standard Specification for Mortar for Unit Masonry, ASTM International- West Conshohocken-PA, 2019.
40. TS EN 1052-3, Kâgir - Deney metotları - Bölüm 3: Başlangıç kayma dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü-Bakanlıklar-Ankara-Türkiye, 2002.
41. TS EN 771-1 A-1, Kâgir Birimler - Özellikler -Bölüm 1: Kil Kâgir Birimler (Tuğlalar), Türk Standartları Enstitüsü-Bakanlıklar-Ankara-Türkiye, 2005.
42. TS EN 772-1, Kâgir birimler - Deney yöntemleri - Bölüm 1: Basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü-Bakanlıklar-Ankara-Türkiye, 2012.
43. Eurocode 6, Design of Masonry Structures - Part 1-1: General Rules for Reinforced and Unreinforced Masonry Structures, European Standardization Committee-Brussels-Belgium-2005.
44. EN 772-3, Methods of Test for Masonry Units - Part 3: Determination of Net Volume and Percentage of Voids of Clay Masonry Units by Hydrostatic Weighing, European Standardization Committee-Brussels-Belgium, 1998.
45. ASTM Standard C67-14, Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile, ASTM International-West Conshohocken-PA, 2014
46. Turgut, H. [Çorum Kömürcü Toprak Ürünleri Sanayi ve Ticaret A.Ş. yetkilisi]. Telefon Görüşmesi ve e-posta iletişimi. Görüşme tarihi Ağustos 11, 2016.