İMO Teknik Dergi, 2015 7139-7165, Yazı 437

Betonarme Çerçeve İçerisindeki Sandviç Duvarların Birleşik İki Yönlü Yükler Altındaki Davranışı

İbrahim Serkan MISIR*
Özgür ÖZÇELİK**
Serap KAHRAMAN***

ÖZ

Sunulan çalışmada, betonarme çerçeve içerisindeki sandviç duvarların iki yönlü birleşik yükler altındaki davranışını ortaya koymak üzere yapılan, Z bağlantı içeren ve içermeyen sandviç dolgulu ve ayrıca dolgusuz üç adet çerçevenin deney sonuçları değerlendirilmiştir. Büyük geometrik ölçekli numunelerde ayrıca, oluşan hasarın bir fonksiyonu olarak duvarların düzlemdışı rijitliğindeki azalma ve uygulanan düzlemdışı yüklerin belirli bir alt sınır dayanımı aşıp aşmadığı araştırılmıştır. İki yönlü yükleme altında dolgu duvarı göçmeye ulaştıran hasarın klasik *kemerlenme davranışından* farklı olarak duvar diyagonali üzerinde geliştiği bulgulanmıştır. Z bağlantılar sayesinde, sandviç duvarın düzlemdışı davranışı bağlantısız numuneye göre belirgin şekilde iyileşmiş, belirlenen düzlemdışı alt sınır dayanım ve düzlemdışı stabilite ileri ötelenme seviyelerine kadar korunmuştur. Bu sonuçlara dayanarak, ülkemizdeki deprem ve tasarım yönetmeliklerine dolgu duvarlar için imalat detayları, özel olarak sandviç duvarlarda Z bağlantı kullanımı ve dolgu duvar hasar sınırlarına ilişkin kriterler konulması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Dolgulu betonarme çerçeve, sandviç duvar, tekrarlı düzlemiçi yükleme, eşzamanlı düzlemdışı yükleme, deneysel yöntemler, deprem mühendisliği.

ABSTRACT

The Behavior of Double-Whyte Hollow Clay Brick Walls under Bidirectional Loads in R/C Frames

In this study, tests performed for three almost full scale reinforced concrete frames with two different infill conditions, namely sandwich walls with and without Z-ties under bi-directional load imposed on the walls, and a bare frame under uni-directional in-plane load are presented and the experimental results are evaluated. Particular emphasis on the behavior of these types of walls is given regarding the following aspects: (i) as a function of in-plane damage levels, decrease in out-of-plane stiffness and (ii) due to the progressively

Not: Bu yazı
- Yayın Kurulu'na 02.01.2014 günü ulaşmıştır.
- 30 Eylül 2015 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir - serkan.misir@deu.edu.tr
** Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir - ozgur.ozcelik@deu.edu.tr
*** Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir - serap.kahraman@deu.edu.tr

increased in-plane damage, determining a lower bound out-of-plane strength limit. Contrary to the classical arching action observed under only out-of-plane loads, subjected to combined bi-directional action it is observed that damage on the walls appeared on the wall diagonals. Z-ties substantially improve the out-of-plane stability of the wall compared to the one without Z-ties, and help the wall to maintain its integrity up to higher inter-story drift levels. Based on these results, it is strongly suggested that certain constructive principles regarding ties used for double-whyte walls and damage limits for these type of walls should be introduced in earthquake and design codes.

Keywords: Reinforced concrete infilled frames, double-whyte wall, cyclic in-plane loading, simultaneous out-of-plane loading, experimental methods; earthquake engineering.

1. GİRİŞ

Ülkemizde barınma ve ticari amaçlı kullanım için en çok tercih edilen yapısal sistem dolgulu betonarme çerçevelerdir. Bu yapıların sismik etkiler altındaki davranışlarının anlaşılması da bu sebeple önemlidir. Dolgu duvarlar bir yapı elemanı gibi detaylandırılmadığı için depremlerde maruz kaldıkları hasarlar ciddi bir can güvenliği tehlikesi oluşturmakta ve depremin neden olduğu ekonomik kayıplar arasında önemli bir yer tutmaktadır. Oysa taşıyıcı sistem ile etkileştikleri, sistemin dinamik karakterini değiştirip yapısal bir eleman gibi çalıştıkları bilinmektedir. Dolgu duvarların yapısal sistemler üzerinde genellikle çok baskın bir etkisi vardır. Fardis [1], dolgusuz çerçevenin tasarımında göz önüne alınan süneklik düzeyi ve yer ivmelerinin bile yapı davranışında görece minör bir rol oynadığını belirtmiştir. Bu bulgulara rağmen, bünyesinde barındırdığı çok sayıda bilinmezlik sebebiyle ülkemizdeki mühendislik hesap ve uygulamalarında genelde yapısal özellikleri ile değil yalıtım özellikleri ile ön plana çıkmaktadır.

Depremlerde yumuşak kat mekanizmalarına genellikle dolgu duvarların yapı içerisindeki düzensiz dağılımlarının öncülük ettiği bilinir. Bununla birlikte deneysel araştırmalar düzenli dolgu duvar dağılımında bile zayıf-yumuşak kat mekanizmasının oluşabildiğini göstermiştir [2]. Betonarme çerçeve sisteme göre ötelenme rijitliği çok daha yüksek olan duvarlar, göçmelerinden sonra ilgili katta rijitliğin büyük oranda değişmesine ve bu katın diğer katlara göre yumuşamasına neden olmaktadır. Bu tespit Şekil 1.a'da görülen deprem sonrası hasar gözlemleri ile de uyumludur [3]. Çerçeve içerisindeki dolgu duvarlar, deprem sırasında kat ötelenme talebi sebebiyle düzlemiçi, duvarın kütlesine etkiyen dinamik atalet kuvvetleri sebebiyle düzlemdışı birleşik etkilere maruz kalırlar. Günay ve Mosalam [4], 2009 L'Aquila depreminde, içinde bulunduğu çerçeveye nazaran yüksek rijitliğe sahip dolgu duvarların, birleşik düzlemiçi ve düzlemdışı etkiler altında gevrek göçmesi ile tetiklenen zayıf-yumuşak kat mekanizmasının, gerçekleşen deprem hasarında büyük bir rol oynadığını belirtmiştir. ODTU Van depremi saha gözlem raporunda [5] ise, dolgu duvar hasarlarının yaygın gözlenen bir hasar olduğu, gözlenen hasar ve performans açısından bu depremin dolgu duvarların yapı performansına etkisini açıkça ortaya koyduğu ifade edilmiştir. Dolgu duvarlar yapıya ciddi rijitlik kazandırmış ve düzlemleri içinde kaldıkları müddetçe yapının kat ötelemelerini sınırlayabilmiştir. Ancak bazı durumlarda düzlem dışına devrilerek binaların davranışında ani değişikliklere neden olmuştur. Bu sebeple yeni binalarda dolgu duvar yapımı, montajı ve çerçeve sistemle olan ilişkisinin acilen ele

alınması, mevcut binalarda ise çerçeve içerisindeki dolgu duvarların düzlem içi ve düzlem dışı davranış etkileşimlerinin bilimsel çalışmalarla irdelenmesi önerilmiştir [5].

Dolgu duvarlara etkiyecek düzlemdışı deprem ivmelerinin yapının üst katlarında daha yüksek olacağı ve en üst kattaki dolgu duvarlarda daha yüksek düzlemdışı hasar gelişeceği öngörülebilir. Fakat L'Aquila depremi sonrası saha gözlemleri, önemli miktardaki duvar hasarının binanın alt ve orta katlarında yoğunlaştığını göstermiştir (Şekil 1.b) [4, 6]. Düzlemdışı mekanizmalara bağlı oluşan dolgu duvar göçmeleri, yapıya uygun olmayan şekilde bağlantı veya düzlemiçi hasar ile tetiklenmektedir. Araştırmalar, dolgu duvarların düzlemdışı göçme riskinin, düzlemiçi deformasyonlara bağlı hasarın bir sonucu olduğunu, bu durumun yanal atalet yüklerine karşı dolgu duvarın dayanımını büyük oranda düşürebildiğini göstermiştir [7].



(a) *(b)*

Şekil 1. (a) 1999 Kocaeli [3], (b) 2009 L'Aquila depremleri yumuşak kat hasarları [4].

Birbirine mesafeli iki kanattan oluşan boşluklu tuğla dolgu duvarlar İtalyan yapı pratiğinin bir parçasıdır. 2009 L'aquila depreminde bu dolgu duvarların çerçeve ara yüzeyinin ayrışması ve köşe kırılması ile düzlemi dışına devrildiği raporlamıştır. Dolgu duvarlar yapıların göçmesini önleyebilmiş, ancak yıkıcı bir hasar düzeyine de ulaşmışlardır. (Şekil 2.a). L'Aquila depreminde eşzamanlı iki yönlü deprem yükleri altında göçen duvarlar, deprem süresinin görece kısa olması nedeni ile kat göçmelerine yol açmamıştır [4].

Sandviç duvar olarak isimlendirilen iki kanatlı boşluklu tuğla dolgu duvarlar ülkemiz yapı pratiğinin de önemli bir parçası olup orta boşluğu ısı izolasyonu amacıyla strafor köpük ile doldurulmaktadır. Diğerleri gibi bu duvar türü de yapıya ciddi rijitlik kazandırmakta, düzlemleri içinde varlığını koruyabildiği sürece yapı elemanlarının ciddi ötelemelere maruz kalmasını engelleyerek binanın göçmesini engelleyebilmektedir. Ancak Van depremleri sonrası saha araştırmaları [5], bu duvarların bazı durumlarda düzlem dışı göçerek (Şekil 2.b) bina davranışını ani olarak değiştirebildiğini göstermiştir. Ülkemizdeki uygulamalarda sandviç duvarların dış kanadı genellikle izolasyon detayı gerekçesiyle çerçeve dışına bir miktar çıkarılarak daha narin bir duruma sebebiyet verilir ve duvar kanatlarının düzlemdışı stabilitelerinin geliştirilmesi için metal bağlantılar kullanılmaz. Bu duvarlar çoğunlukla bina çeperinde yer almakta ve burulma etkisiyle biraz daha yüksek düzlemiçi ötelenmelere maruz kalmaktadır. Ayrıca dış cephede mimari gereksinimlerle eğrisel formda veya pencere boşlukları içerecek şekilde imal edilmesi bu duvarları daha hasar görebilir bir hale getirmektedir. Araştırmalar, dolgu duvarların düzlemdışı salınımının, temel titreşim moduna katılan kütle miktarını azaltacağından, yapının global tepkisine faydalı

olabileceğini göstermektedir [1, 7]. İki narin kanattan oluşan sandviç dolgu duvarların düzlemdışı rijitliğinin genel olarak aynı toplam kalınlıktaki diğer dolgulara göre daha düşük olması bu faydayı artırıcı yöndedir. Fakat burada dikkat edilmesi gereken nokta, düzlemiçi ve düzlemdışı yük etkileşimi altında duvarların düzlemi dışına devrilme tehlikesidir.



(a) *(b)*

Şekil 2. (a) L'Aquila [4], (b) Van depremi alt ve orta katların sandviç duvar hasarları.

Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin düzlemiçi doğrultudaki davranışı monotonik, çevrimsel ve atalet yükleri altında çok sayıda deneysel ve sayısal çalışma ile incelenmiştir (örn: [1, 2, 8, 9]). Dolgu duvarlar binanın rijitlik, dayanım, sönüm, histeretik davranış ve deformasyon kapasitesini değiştirmekle kalmayıp ayrıca bir yer hareketi altında aynı parametrelerdeki istem düzeyini de değiştirmektedir. Duvarların sağladığı rijitlik artışı, duvarlar sebebiyle yapı kütlesinin artmasından çok daha baskın olup genellikle yapının periyodunu kısaltmaktadır [8]. Deprem istemi, dolgulu çerçeve sistemin ötelenme kapasitesinden küçük olduğunda deprem yükleri altında gerçekleşen deformasyonlar boş çerçevenin yaptığı deformasyonlardan çok daha küçüktür ve bu anlamda son derece faydalı etkileri vardır. Ayrıca içerisinde bulundukları çerçevenin dayanımlarını artırırlar. Fakat, özellikle rijit dolgu duvarlı çerçeve sistemlerde ötelenme kapasitesinin aşılması durumunda alt katlardaki dolgu duvarlar hızlıca hasar görmekte ve bu durum yumuşak kat oluşumuna yol açmaktadır [2]. Ayrıca dolgu duvar-çerçeve etkileşimi nedeniyle duvarlar plastik mafsalların kirişlerde oluşmasını engellemekte ve genellikle duvar köşelerinde yoğunlaşan hasar sebebiyle mafsallar kolonlarda gelişebilmektedir [2, 10]. Dolgu duvarların önemli etkilerinin fark edilmesi sonucu iki farklı *depreme dayanıklı yapı tasarım felsefesi* ön plana çıkmıştır. Bunlardan ilki, dolgu duvarları yapısal sistemden izole ederek çerçeve-duvar etkileşimini azaltıp yapıya olan etkisini doğru şekilde ihmal etmektir. İkinci yaklaşım ise dolgu duvarları çerçeve içine sıkıca yerleştirerek katkılarından faydalanmak ve bu durumu tasarım, detaylandırma ve yapım aşamalarında dikkate almaktır [8]. İkinci yaklaşımın avantajı, dolgu duvar hasarının hangi seviyelerde gerçekleşeceğini, çerçeve ile birlikte

çalışan bu rijit ve gevrek elemanların binaya vereceği olası lokal ve global etkileri gözlemeyi mümkün kılmasıdır [11]. Bu yaklaşım ayrıca dolgu duvarlar üzerindeki iki yönlü kuvvet etkileşiminin tasarım aşamasına dahil edilmesine de imkan verir.

Duvarların sadece düzlemdışı yükler altındaki davranışlarına ilişkin yapılan çok sayıda deneysel ve analitik çalışma vardır (örn: [12, 13]). Testler sırasında yanal yükler, ani hava basıncı değişimi, noktasal veya alana yayılı statik yükler ve sarsma tablası ile verilen atalet kuvvetleri olarak uygulanmış, numune boyutlarının değişim aralığı ise çerçevenin görünüm oranı (genişlik/yükseklik) ve duvarın narinlik oranı (yükseklik/kalınlık) olmak üzere iki boyutsuz değişkenle ifade edilmiştir. Deneysel bulgular duvarın çatlamasından sonra gelişen kemerlenme etkisi sebebiyle düzlemdışı dayanımın, duvarın basınç dayanımı ile güçlü bir ilişki içinde olduğunu göstermiş ve bu etkiye dayanan çok sayıda analitik model önerilmiştir (örn: [13, 14, 15, 16]). EC8 [17] ve FEMA 356 [18] dolgu duvarların tasarım depremi altındaki düzlemdışı tepkisini göz önüne almakta ve etkiyecek deprem kuvvetlerinin elde edilmesi için basitleştirilmiş bir yöntem önermektedir. EC8'de düzlemdışı kapasiteye ilişkin bir hesap önerisi bulunmazken, FEMA 356'da böyle bir hesap önerisi vardır ve sunulan yaklaşım Angel ve Abrams [15] yöntemine dayanmaktadır. Ancak bu yaklaşım sadece düzlemiçi hasarı olmayan duvarlar için geliştirilmiştir. Dolayısıyla bu iki yönetmelik içerisinde de, düzlemiçi doğrultuda ön hasar ile azalmış düzlemdışı dayanımı göz önüne alan bir yaklaşım bulunmamaktadır.

Dolgu duvarların iki yönlü yükler altındaki hasar görebilirliği ve stabilitelerini kaybetme potansiyelleri görece az sayıda deneysel araştırmaya konu olmuştur [7, 15, 16, 19, 20, 21]. Araştırmalar, tek yönde hasar verilmiş numunelerin ardışık olarak diğer yönde test edilmesi veya eşzamanlı yüklemeler altında yürütülmüştür. Henderson ve diğ. [20], 1993 yılında tamamlanan ön düzlemdışı hasar verilen boşluklu dolgu duvarlarda düzlemiçi dayanımındaki bozulmanın araştırıldığı ardışık testlerde, çatlamış duvarda büyük düzlemiçi yük düşmelerinin oluşmadığını raporlamıştır. Angel ve diğ. [15] ise, yığma dolgu duvarların eşzamanlı yüklemelerde düzlemdışı kapasitesinin, düzlemiçi ön hasar miktarına bağlı olarak, yarı yarıya azaldığını ve bu etkinin, dolgu duvar narinlik oranının yükselmesi ile artış gösterdiğini bildirmiştir. Flanagan ve Bennett [16], boşluklu tuğla dolgulu tek katlı ve tek açıklıklı çelik çerçeveler üzerinde ardışık ve eşzamanlı testler gerçekleştirmiştir. Bu testler sırasında numunelere, *(i)* düzlemiçi hasardan sonra göçene kadar düzlemdışı yükleme, *(ii)* düzlemdışı hasardan sonra göçene kadar düzlemiçi yükleme ve *(iii)* belirli aralıklarla arttırılan ve sonra sabit tutulan düzlemiçi tepe ötelenmelerinde uygulanan düzlemdışı yüklemeler uygulanmıştır. Test sonuçları, önemli yük düşmelerinin ardışık değil eşzamanlı yüklemeler altında gerçekleştiğini göstermiştir. Eşzamanlı olarak test edilen numunede, iki yöndeki davranış arasında güçlü bir etkileşim gözlenmiş, düzlemdışı kapasitesinin %57'sine eşit düzlemdışı basınç etkileri altında düzlemiçi kapasitenin %42 azaldığı görülmüştür. Calvi ve Bolognini [7], hemen kullanım ve göçme öncesi limitlerine karşılık gelen ötelenme oranlarına kadar (%0.1-0.4 arası ve %1.2) yüklenerek düzlemiçi hasar verilmiş betonarme çerçeve içerisindeki dolgu duvarları eşzamanlı olarak düzlemdışı yönde test etmiştir. Hasar verilmemiş donatısız duvarların düzlemdışı göçmesi için 2.5g ivme gerekirken, %0.4 ve %1.2 tepe ötelenmesi verilmiş duvarlarda bu değer sırasıyla %73 ve %82 azalmıştır. Najafgholipour ve diğ. [21], küçük boyutlu ve çerçevesiz yığma duvar numunelerine eşzamanlı iki yönlü yükler uygulamış, düzlemiçi kesme ve düzlemdışı eğilme etkileri arasında güçlü bir etkileşim gözlemiştir.

Eşzamanlı düzlemiçi ve düzlemdışı yükler altındaki tepkinin sayısal yöntemlerle hesaplanması üzerine de yine çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Shapiro ve diğ. [19], dolgu duvarın görünüm oranı (yükseklik/genişlik) 1/10'dan küçükse, düzlemdışı göçme açısından duvarın yerçekiminin iki katı büyüklüğünde yanal ivmelere kadar güvenli olabileceğini belirtmiştir. Hashemi ve Mosalam [11], düzlemdışı etkileri de içerecek şekilde basınç ve çekme çubukları kullanarak bir sayısal model geliştirmiş, modelin düzlemiçi davranışını kalibre etmek için yığma tuğla duvarlı betonarme çerçeveler üzerinde tek yönlü düzlemçi sarsma tablası testleri yürütmüştür. Geliştirilen modelin düzlemdışı davranışı, sonlu elemanlar modellerinin analiz sonuçları ile kalibre edilmiştir. Kadysiewski ve Mosalam [22], etkileşimi modellemek için lifli kesit (fiber-section) modeli geliştirmiştir. Milani [23] çok tabakalı yığma tuğla duvarların bu etkileşimi dikkate alan üç boyutlu heterojen üst limit analizini gerçekleştirmiştir. Agnihotri ve diğ. [24], etkileşimi incelemek için doğrusal olmayan sonlu elemanlar modeli geliştirmiş, ağır düzlemiçi hasar altındaki yığma duvarda düzlemdışı dayanımın hasarsız durumun üçte birine düştüğünü göstermiştir. Ayrıca Najafgholipour ve diğ. [21], düzlemiçi-düzlemdışı etkileşim diyagramını elde etmek için küçük ölçekli testlerin sonuçlarını kullanmış, tam ölçekli modeller üzerinde yürüttüğü sayısal çalışmada, çerçeve görünüm oranının etkileşim üzerindeki etkisini araştırmıştır. Görülebileceği gibi, Shapiro ve diğ. [19] dışındaki analitik yaklaşımlarda düzlemdışı davranış sayısal yöntemlerle elde edilmiş, doğrudan iki yönlü yükleme testine dayandırılmamıştır. Ayrıca boşluklu duvarlar üzerine deneysel ve analitik çalışmalar sınırlı olup [16] bağlantılı ve bağlantısız iki kanatlı duvarlar özelinde bir çalışmaya da rastlanmamıştır. Literatürde bu konuyla ilgili deneysel veri eksiği bulunmaktadır.

Literatürde, dolgu duvarların düzlemiçi-düzlemdışı hasar etkileşiminden kaynaklı göçme riskini azaltmak için çeşitli öneriler bulunmaktadır. Calvi ve Bolognini [7], sıva veya derz içerisine yerleştirilen az miktardaki sürekli donatının iki yönlü yükler altındaki tek kanat duvarların düzlemdışı göçme dayanımını başarılı şekilde arttırdığını göstermiştir. EC8 [18], narin duvarların düzlemiçi ve düzlemdışı bütünlüğünün ve davranışının iyileştirilmesi için rabis teli, duvar-kolon bağlantıları, yatay derz içine yerleştirilen donatılar ve dolgu duvarı boylu boyunca geçen sabitleme gereçleri önermektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde yürürlükte olan Yığma Yapı Yönetmeliği [25], metal bağlar ile birleştirilmiş iki kanatlı yığma duvar sistemlerinin detaylandırılmasına ilişkin öneriler içermektedir. Duvar kanatları, derz içerisine yerleştirilen tekil (Z veya dikdörtgen formda) veya sürekli donatılarla bağlanmaktadır. Bu donatılar duvarların düzlemdışı dayanımlarını benzer düzeylerde artırmaktadır. Hak ve diğ. [6] ise, göreli kat ötelemelerinin tasarım aşamasında sınırlanarak iki yönlü yükleme altında kalan duvar elemanların düzlemdışı hasar veya göçme riskini azaltmayı önermiştir. Literatürde ayrıca çerçeve-dolgu duvar arasındaki etkileşimin azaltılarak hem çerçeve hem de dolgu duvarda gelişebilecek hasar modlarının önüne geçilmesini öneren deneysel ve analitik çalışmalar bulunmaktadır [10, 26, 27]. Bu çalışmalarda panel etkisi azaltılmış yeni tür dolgu duvarlar kullanılmıştır.

Sunulan çalışma ve bulgular, Türkiye'de yoğun olarak kullanılan dolgu duvar türlerini kapsayan daha geniş bir test programının bir bölümünü yansıtmaktadır. Test programı, dolgulu çerçevelerin düzlemiçi tepkisini ve hasarsız ve artan düzlemiçi hasar altındaki duvarların düzlemdışı tepkilerini içermektedir. Tüm deney programı toplam on bir adet numune üzerinde yürütülen düzlemiçi ve düzlemdışı doğrultuda toplam on altı adet testi içermektedir. Burada sunulan deneysel çalışmalar, 2011 Van depreminde karşılaşılan

Sandviç duvar hasarlarının değerlendirilmesi ve halihazırda devam eden uygulamalar için hızlı bir iyileştirme önerisi geliştirmek üzere gerçekleştirilmiştir.

Testler sırasında, büyük geometrik ölçekli, tek katlı-tek açıklıklı bir adet referans betonarme çerçeve ile iki adet sandviç duvarlı betonarme çerçeve numunesine eşzamanlı çevrimsel düzlemiçi tepe ötelenmeleri ve monotonik düzlemdışı yükler uygulanmıştır. Sandviç duvarlı deney elemanlarından biri ülkemizde yaygın kullanım şekline sadık kalınarak hazırlanmış, diğerinde ise düzlemdışı davranışın iyileştirilmesi amacıyla belirli aralıklarla kanatları birbirine bağlayan tekil metal bağlantılar (Z bağlantılar) kullanılmıştır.

Çalışmanın ana hedefi, bahsi geçen iki farklı dolgu duvar türünün iki yönlü eşzamanlı yükler altındaki davranışının belirlenmesidir. Bu anlamda dolgu duvarların belirli düzlemiçi ötelenme değerlerinde sergiledikleri düzlemdışı rijitlik, uygulanan düzlemdışı yüklerin belirli bir alt dayanımı aşıp aşmadığı ve olası stabilite problemleri araştırılmıştır. Çalışmanın diğer hedefi, Türkiye'de yaygın olarak kullanılan sandviç dolgu duvar türü ile betonarme çerçeve arasındaki düzlemiçi etkileşimin gözlenmesidir. Numunelerin çerçeve ve duvar elemanlarında artan ötelenme boyunca gelişen hasar dağılımı, nihai hasar modları, duvarların düzlemiçi doğrultuda çerçevenin ötelenme rijitliğine ve dayanımına katkıları araştırılmıştır. Ayrıca artan ötelenme boyunca numunelerdeki dayanım ve rijitlik azalması ile enerji tüketme kabiliyetlerindeki değişim incelenmiştir.

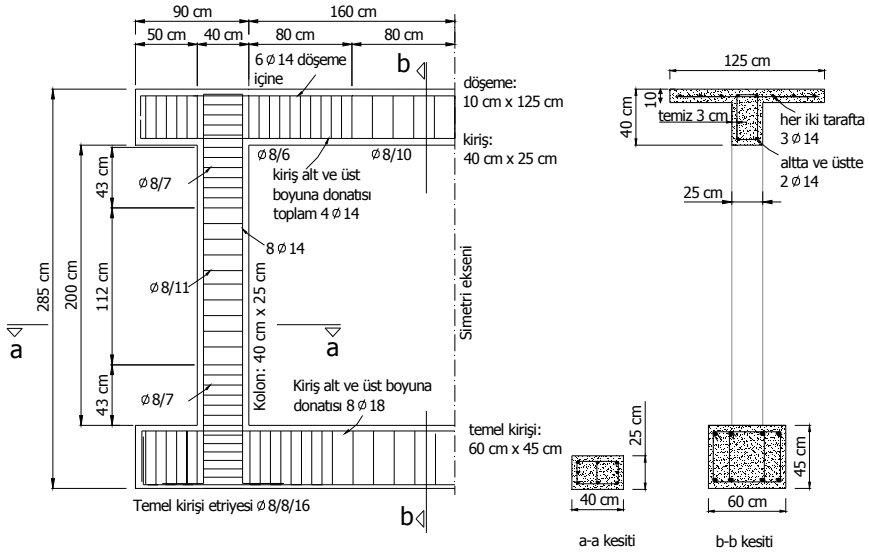
2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalışma kapsamında, kapasite tasarımı ilkeleri göz önünde bulundurularak tasarlanmış betonarme çerçevelere sahip bir adet dolgusuz ve iki farklı türde dolgu duvarlı çerçeve numuneleri test edilmiştir. Numunelerde ölçeğin küçük olması dolgu duvar-çerçeve rijitlik oranını değiştirmekte, gerçekçi olmayan sonuçlara ve çoğunlukla yanlış yorumlara neden olabilmektedir. Olumsuzluklara sebep olan bu boyut etkisinden kaçınmak, deneysel çalışma sonuçlarını gerçek hayattaki yapılara uygulayabilmek için numune boyutları laboratuar koşullarında tam ölçeğe olabildiğince yakın (4/5 geometrik ölçek) seçilmiştir. Test numunelerine düzlemiçi doğrultuda artan tepe ötelenmeleri uygulanmış, kontrollü hasar verilmiştir. İkinci bir yükleme sistemi ile de belirli düzlemiçi tepe ötelenme değerlerinde dolgu duvarlar üzerine düzlemdışı doğrultuda yükler uygulanmıştır. Bu sayede incelenen dolgu duvar türlerinin artan hasar düzeyi ile düzlem dışı davranışı arasındaki ilişkinin belirlenmesine çalışılmıştır. Deneyler sırasında çeşitli ölçerler ile betonarme çerçeve ve dolgu duvarın depremi benzeştiren yükler altındaki şekil değiştirmeleri izlenmiş ve hasarlar gözlenmiştir. Çalışmanın iki ana değişkeni, dolgu duvarın varlığı ve sandviç duvar için Z metal bağlantılarının varlığıdır. Makalenin ileriki bölümlerinde dolgusuz çerçeve, BaF, yalın ve Z bağlantı içeren sandviç dolgu duvarlar, SW ve SWZ, bu dolgu duvarları içeren çerçeve numuneleri ise sırasıyla, SWF ve SWZF olarak anılmıştır. Betonarme çerçevelerin imalatı, duvarların örülmesi işleri ve testler Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mühendisliği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

2.1. Test Numuneleri

Test numuneleri tek katlı ve tek açıklıklı düzlem çerçeve olarak boyutlandırılmıştır. Kiriş kesitleri tablalıdır. Ayrıca numunelerin kolon-kiriş birleşimlerinin, gerçek yapılardaki

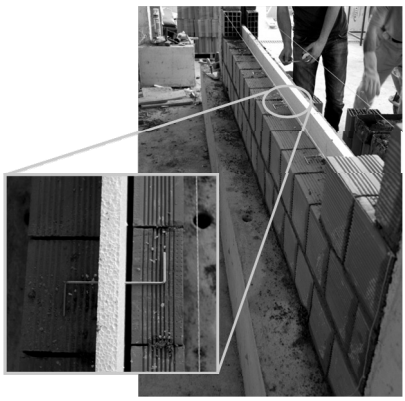
kuşatılmış birleşimler gibi davranabilmesi ve ilk hasar gören elemanlar olmamasını sağlamak için birleşimler her iki doğrultuda kiriş parçaları ile kuşatılmıştır. Geometrisi ve donatı detayı Şekil 3'de verilen numunede, kolon yüksekliği 240 cm, kolon kesiti 250x400 mm^2 boyutlarındadır. Kirişin temiz açıklığı 320 cm, kiriş kesiti 250x400 mm^2'dir. Kolon ve kiriş elemanlar sırasıyla 0.012 ve 0.006 boyuna donatı oranına sahiptir. Döşemede ayrıca 6Φ14 boyuna donatı bulunmaktadır. Donatılar S420 kalitesinde olup beton malzemesi için 25 MPa basınç dayanımı hedeflenmiştir. Betonarme çerçevelerin imalatı sırasında hazır beton kullanılmıştır. Test edilen numunelerde betonarme çerçeveler geometrik ve mekanik özellikler bakımından benzer olup dolgu duvarlar çerçevelerin üretiminden sonra örülmüş tür. Dolgulu çerçevelerde dolgunun her iki yüzü 1.5 cm kalınlığında sıvanmıştır; örgü ve sıva harcı, detayları Bölüm 3'de verilen farklı karışım oranlarına sahiptir. Numunelerde duvar-kolon ve duvar-kiriş ara yüzlerinin yani duvarın mesnet koşullarının uygun şekilde oluşturulması için özel çaba sarf edilmiş, bu ara yüzler harç ile sıkıca doldurularak *kesme tipi dolgu panelleri* oluşturulmuş, düzlemdışı doğrultuda *kemerlenme etkisi*nin oluşumu için uygun önlemler [18] alınmıştır. Sıvalı şekilde 10 cm ve 15 cm olan sandviç duvar kanatlarının narinlik parametresi (h/t) sırasıyla 20 ve 13.3'tür. Duvar ve çerçeve elemanları birbirine bağlayan yardımcı aparatlar bulunmadığından, düzlemiçi doğrultuda çerçeve ve dolgu duvarın etkileşimi sadece bu iki elemanın teması ile gerçekleşmektedir.



Şekil 3. Test çerçevesinin boyutları ve donatı detayı.

Dolgusuz ve dolgu duvarlı çerçevelerin düzlemiçi rijitlik ve nihai dayanımları SeismoStruct [28] sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak doğrusal olmayan statik itme analizi ile hesaplanmıştır. Kurulan sayısal modellerde kolon ve kiriş elemanlar şekil değiştirme tabanlı doğrusal olmayan çerçeve elemanlar ile temsil edilmiş, çubuk elemanlar için tanımlanan lif tabanlı kesitlerde sargılı ve sargısız beton için Mander modeli [28] ve donatı

çeliği için Menegetto-Pinto modeli [28] kullanılmıştır. Dolgu duvar ise TDY 2007'de [29] belirtilen esaslar çerçevesinde eşdeğer diyagonal basınç çubuğu ile modellenmiş, duvarın kalınlığı için iki duvar kanadının toplam kalınlığı olan 250 mm kullanılmıştır. Boşluklu dolgu duvarın elastisite modülü ve kesme dayanımı için sırasıyla 1000 MPa ve 0.15 MPa kullanılarak ve eşdeğer basınç çubuğu katsayısı, çubuk genişliği ve diyagonal basınç dayanımı için sırasıyla 9.59e+4, 490 mm ve 1.15 MPa değerleri modele atanarak analizler tamamlanmıştır. Analizler sonucu dolgusuz çerçevenin başlangıç rijitliği ve nihai dayanımının sırasıyla 27.4 kN/mm ve 244.0 kN olacağı, dolgulu çerçevenin ise 50.5 kN/mm ve 382.3 kN olacağı öngörülmüştür. Deneyler sırasında yük çevrimleri altında gözlenecek dayanım ve rijitlik azalmalarının mertebesi daha ileri sayısal analizlerle elde edilebilir.



Şekil 4. Z metal bağlantıların uygulanması.

Dolgu duvarlı çerçeve numuneleri aşağıda sıralanan iki farklı türde oluşturulmuştur.

1) *Z bağlantısı içermeyen sandviç dolgu duvarlı çerçeve - SWF*

   Z bağlantısı içermeyen sandviç dolgu duvar (SW), 19 x 19 x 13.5 cm ve 19 x 19 x 8.5 cm boyutlarında tuğlalardan örülmüş iki sıra duvardan (iki kanat) oluşmaktadır. Tuğla birimleri, TS EN 771-1 [30] standardındadır. Düşey ve yatay derzlerinde harç bulunan duvarda, düşey doğrultuda toplam on tuğla sırası bulunmaktadır. Duvar kanatları arasında yoğunluğu 16 dansite olan 30 mm kalınlığında strafor malzeme bulunmakta, uygulamalarda sıkça karşılaşıldığı gibi kanatlar arasında bir bağlantı bulunmamaktadır. Kalın duvar kanadı, düzlemdışı yükleme sisteminin bulunduğu yüzde oluşturulmuştur.

2) *Z bağlantısı içeren sandviç dolgu duvarlı çerçeve - SWZF*

   SWZ duvar, malzeme ve işçilik özellikleri bakımından SW ile aynı, ilave olarak iki duvar kanadını birbirine bağlayan ve Amerika Birleşik Devletleri'nde yürürlükte olan Yığma Yapı Yönetmeliği [25] tarafından iki kanatlı *yığma duvarlar* için önerilen donatı türü, aralığı ve oranında Z metal bağlantı içermektedir. Şekil 4'de görüldüğü gibi bu bağlantılar, duvarların örülmesi sırasında, her iki duvar kanadı aynı yükseklikte iken kanatlar arasında bulunan strafor içerisinden geçirilerek duvar düzlemine dik şekilde yerleştirilmiştir. Z bağlantılar düz yüzeyli, soğuk çekim 4 mm çaplı metal donatı

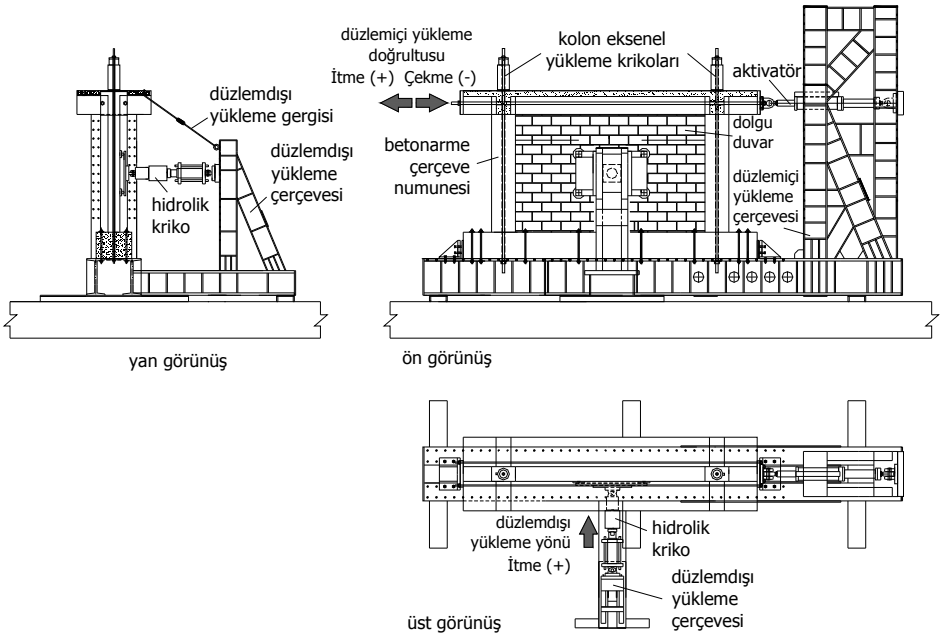
kullanılarak hazırlanmış, örgü harcı öncesinde tuğlalar üzerine yatayda 60 cm (3 sıra) ve düşeyde 40 cm (2 sıra) arayla, duvar orta bölgesinde yaklaşık 0.25 m^2 duvar alanı / metal bağlantı oranında şaşırtmalı şekilde uygulanmıştır.

2.2. Test Kurulumu ve Yükleme Profili

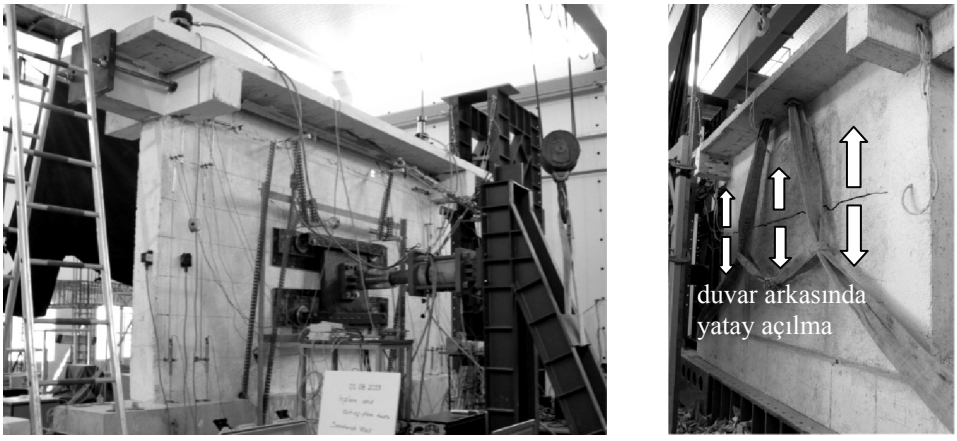
Deneysel çalışma, düzlemiçi testler ve düzlemdışı testler olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Her gruptaki test için kullanılan yükleme ve ölçüm düzenekleri ayrıdır, bununla birlikte testler birbiri içerisine geçen döngüler şeklinde yürütülmüştür. Test numuneleri, Şekil 5'de görülen çelik yükleme çerçevesi üzerine sekiz adet saplama ile sabitlenerek test edilmiştir. Numunelere kat hizalarından uygulanan düzlemiçi tepe ötelenmeleri, pozisyon kontrollü hidrolik aktivatör ile verilmiş, testler ACI 374.1-05 [31] standardına uygun olarak yürütülmüştür. 500 kN kapasiteli aktivatörün bir ucu güçlü çelik çerçeveye diğer ucu ise numunenin kiriş elemanını içerisine alan yatay bir çelik çerçeveye bağlıdır. Deney süresince, kiriş elemanda gelişecek hasardan kaynaklı kiriş eksenel uzamalarına izin vermek için çelik çerçeve ve kiriş arasında test öncesinde yaklaşık 20 mm boşluk bırakılmıştır. Numunelerin kolon elemanlarına deney süresince üstyapı ağırlığını temsilen kolon eksenel yük kapasitelerinin %10'u düzeyinde kuvvet kontrollü sabit eksenel basınç kuvveti uygulanmıştır (0.10 $f_c' A_g$, f_c': beton basınç dayanımı, A_g: kolon brüt enkesit alanı). Kolon eksenel yüklemesi için kolon elemanlar içerisinden geçen öngerme çubukları ve 300 kN kapasiteli hidrolik silindirler kullanılmıştır. Kontrollü ve kademeli olarak artan miktarda düzlemiçi hasar verilen numunelerin içerisinde yer alan dolgu duvarlara, belirli hasar düzeylerinde (belirli tepe ötelenmelerinde), çerçeve şekil değiştirmiş haldeyken, kuvvet kontrollü düzlemdışı monotonik yükler uygulanmıştır. Düzlemdışı testler sırasında ikinci bir çelik çerçeveye bağlı hidrolik piston ve ona bağlı bir dağıtma plakası kullanılmış, yükler duvar üzerinde belirli dört noktadan uygulanmıştır. Bu noktalar dolgu duvarın yükseklik ve genişliğinin orta 1/3'lük noktalarına denk gelmektedir [7]. Yükün daha üniform iletilmesi için ahşap plakalar ile yükleme yüzeyleri genişletilerek duvar üzerinde yerel ezilmeler engellenmiştir. Şekil 6.a'da deney ortamının genel görünümü verilmektedir. Test numunesi döşeme hizasından düzlemdışı yükleme sistemine sabitlenerek düzlemdışı yükleme sebebiyle numunenin ilgili doğrultuda konsol hareketi yapması engellenmiş, çerçeve düzlemdışı doğrultuda sabitlenmiştir. Bunun için kullanılan çelik halat ve çektirme ekipmanı numunenin imalatı sırasında döşeme üzerinde bırakılan deliklere bağlanmıştır.

Düzlemiçi yükleme sırasında gevşetilen bu sabitleme ekipmanı, düzlemdışı yükleme öncesinde gerdirilerek tekrar hazır hale getirilmiştir. Ön testler sırasında sadece düzlemdışı yük uygulanan dolgu duvarda *kemerlenme davranışı* elde edilmiştir (Şekil 6.b) [11, 18]. Duvarın, üst ve alt kirişe mesnetli ortadan yüklenmiş plağı andıran deformasyonları ve duvar üzerinde yerel ezilmelerin gerçekleşmemesi, yükleme sisteminin amacına uygun olarak duvar üzerinde yanal atalet yüküne benzer yükler oluşturabildiğini göstermektedir.

Düzlemiçi ve düzlemdışı yüklemelerin birleşik olarak uygulanmasının sebebi deprem sırasında dolgu duvarlar üzerine mühendislik açısından anlamlı her iki doğrultudaki yükün (düzlemiçi ve düzlemdışı yükler) eşzamanlı ve taşıyıcı sistem şekil değiştirmiş haldeyken etkimesidir. Bu yüklemeler, düzlemiçi doğrultuda şekil değiştirmiş olan çerçevenin kiriş elemanı tarafından düşey doğrultuda sıkıştırılan ve kolon elemanı tarafından yatay doğrultuda itilmekte olan duvar üzerinde daha gerçekçi gerilme etkileri oluşturmaktadır.



Şekil 5. Test kurulumunun üç görünüşü.



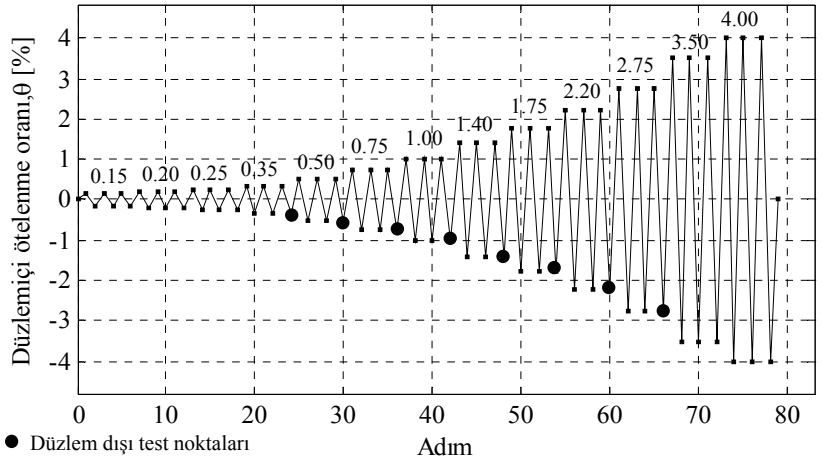
(a) *(b)*

Şekil 6. (a) Test ortamının genel görünümü, (b) düzlemdışı test sırasında dolgu duvarda gözlenen kemerlenme davranışı ve duvar arkasında gerçekleşen yatay açılmalar.

Ayrıca bu yükleme şeklinin ardışık yüklemelere göre daha zorlayıcı etkisi olduğu önceki çalışmalarla gösterilmiştir. Bunun yanında, kolon elemanlar üzerine tüm test dizisi boyunca

uygulanan eksenel doğrultudaki yükler sebebiyle kolon elemanlar bir miktar kısalmakta ve kiriş eleman duvar üzerine basınç uygulamaktadır. Bu durum gerçek hayatta çok katlı yapıların özellikle alt katlarındaki duvarların karşılaştığı bir yükleme durumuna karşılık gelmektedir. Ayrıca, dolgu duvar imalatı, çerçevelerin üretiminden sonra gerçekleştirildiğinden, üstyapı ağırlığından dolayı dolgu duvar üzerinde ön basınç etkisi bulunmamakta (kuşatılmamış duvar durumu) ve dolayısıyla dolgu duvarda bu anlamda bir dayanım artışı oluşmamaktadır.

Numunelere düzlemiçi doğrultuda uygulanan tepe ötelenme çevrimleri Şekil 7'de verilmiştir. Numunelerin dayanım ve ötelenme rijitliğindeki azalmanın gözlenebilmesi amacıyla her bir hedef ötelenme üçer tam çevrim olarak uygulanmıştır. Seçilen ilk ötelenme oranı, numunede elastik bölge olarak kabul edilebilecek iç kuvvetlerin oluşumunu sağlayacak miktardadır. Numunenin kolon tepe noktasının yaptığı yatay yerdeğiştirmenin (δ), kolon yüksekliğine (H) bölünmesi ile ötelenme oranı (θ= δ/H) elde edilmiştir.



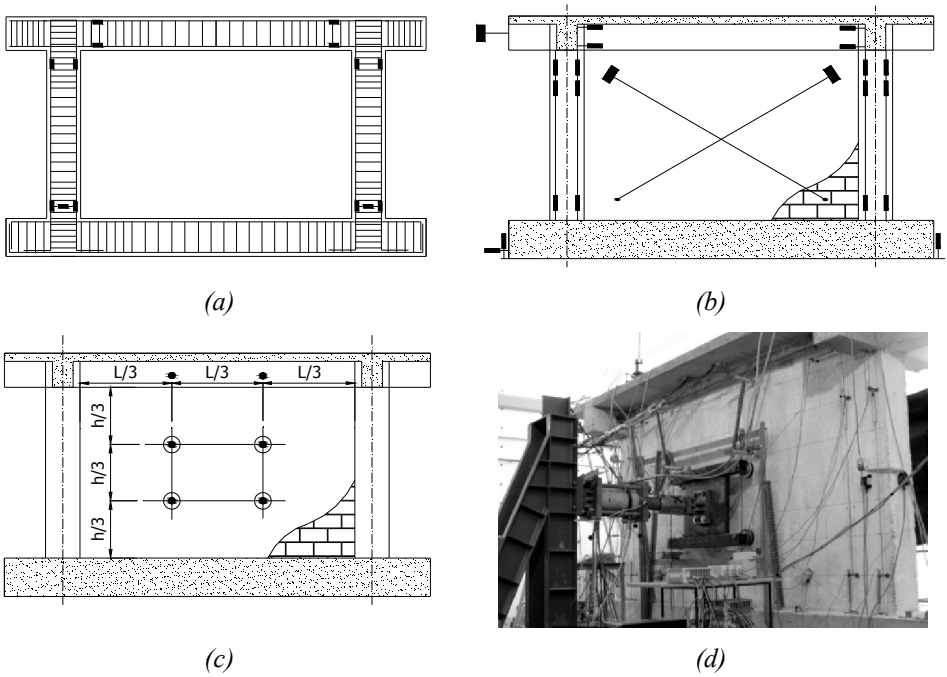
Şekil 7. Yatay yükleme çevrimleri ve düzlemdışı yükleme noktaları.

Numunelere bir taraftan düzlemiçi tepe ötelenmeleri uygulanırken diğer taraftan *hedef ötelenmelerin son çevriminde numune çekme doğrultusunda şekil değiştirmiş haldeyken* duvar üzerine tepe yükünün belli bir oranında düzlemdışı doğrultuda yük uygulanmıştır. Bu yük düzeyi, düzlemiçi doğrultuda ilgili numunenin duvar elemanı tarafından karşılanan tepe yükünün (dolgulu ve dolgusuz numunelerin tepe yükleri arasındaki fark) %30'u olarak seçilmiştir. Tali doğrultuda (düzlemdışı doğrultu), asal doğrultunun (düzlemiçi doğrultu) %30'u mertebesinde uygulanan yükleme, deprem yönetmeliklerinde de yer alan bir mühendislik kabulüne dayanmaktadır [17, 18, 29]. Depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkeleri çerçevesinde, bir yapının analizi sırasında, yapıya asal doğrultuda hesaplanan deprem yükü uygulanırken, aynı anda bu yükün %30'u tali doğrultuda (dik yönde) uygulanarak iç kuvvetler hesap edilmektedir. Deneyler sırasında uygulanan düzlemdışı yüklemenin mertebesi bu ilkeye dayanmaktadır. Bu yaklaşım sonucunda, artan düzeydeki her bir

düzlemiçi hasara karşılık gelen birer düzlemdışı alt sınır dayanım değeri ve düzlemdışı rijitlik azalımı ilişkisinin elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla Şekil 7'de görülen durak noktalarında dolgu duvara düzlemdışı yükler uygulanmıştır.

2.3. Ölçer Yerleşimi

Numune davranışlarının gözlenmesi amacıyla toplam 46 adet ölçer kullanılmıştır. Düzlemiçi yükler, aktivatör içerisine gömülü bir adet yükölçer ile izlenmiştir.



Şekil 8. (a) Gerinim ölçer, (b) düzlemiçi testler ve (c) düzlemdışı testler için deplasman ölçer yerleşimi, (d) sensör yerleşimi genel görünümü.

Testlerde sırasında Şekil 8.a ve Şekil 8.b'de yerleşimi verilen; çerçeve elemanların kritik kesitlerindeki donatıların deformasyonu için 16 adet gerinim ölçer, numune temelinin hareketleri, çerçeve elemanların teorik plastik mafsal bölgeleri ve dolgu duvarın global deformasyonları için 19 adet deplasman ölçer ve 3 adet ipli ölçer kullanılmıştır. Ayrıca uygulanan düzlemdışı yükler hidrolik kol üzerindeki yük ölçer ile alınmış, numune temeline sabitlenen referans çelik çerçeve üzerindeki Şekil 8.c'de görülen toplam 6 adet deplasman ölçer ile de dolgu duvar ve kiriş hizasında gerçekleşen düzlemdışı doğrultudaki göreli ötelenmeler izlenmiştir. Şekil 8.d'de görülen referans çelik çerçeve, numune temeline sabitlenerek temelin olası hareketleri ölçümler sırasında dışarıda bırakılmıştır.

3. MALZEME TEST SONUÇLARI

Dolgu duvar donatıları (Z şekilli galvaniz kaplı bağlantı çubukları [25]) ve betonarme çerçeve donatılarının çekme testlerine ait sonuçlar Çizelge 1'de sunulmuştur. Çizelgede, her bir donatı türü için test edilen üçer adet numunenin ortalama değerleri verilmektedir.

Çizelge 1. Betonarme çerçeve ve dolgu duvar donatısına ait çekme testi sonuçları.

Numune Türü	Akma Gerilmesi f_y [MPa]	Çekme Gerilmesi f_u [MPa]	Kopma Anındaki Birim Uzama, ε_{su} [%]
Φ4	455	550	4.0
Φ8	590	678	20.0
Φ14	473	574	23.6

Betonarme çerçevelerde 25 MPa silindir basınç dayanımı hedeflenmiştir. Numuneler temel ve üstyapı olarak iki aşamada dökülmüştür. Her dökümde 6 adet 15 cm'lik küp numune alınmış, 3 adet küp numunenin 28 günlük standart basınç dayanımı bulunmuş, çerçeveler ile aynı kür koşullarında bırakılan diğer 3 adet numunenin de çerçeve testlerinin yapıldığı gün tek eksenli yükleme altında basınç dayanımları elde edilmiştir. Deney günü test edilen küp numunelerin ortalama basınç dayanımları silindir basınç dayanımına, f_c' çevrilerek her bir çerçeve numunesi için Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Beton örneklerinin silindir basınç dayanımları ve dolgu duvar harçlarının küp basınç dayanımları.

Numune	Çerçeve Betonu Basınç Dayanımı, f_c' [MPa]		Dolgu Duvar Harcı Basınç Dayanımı, f_{cm} [MPa]	
	Temel kirişi	Üstyapı	Örgü	Sıva
BaF	23.9	25.8	-	-
SWF	24.8	26.8	4.4	3.6
SWZF	28.0	25.5	4.5	3.1

Örgü harcı ve sıva harcı için sırasıyla 1:1:6 ve 1:2:6 hacimsel karışım oranlarında Portland çimentosu, sönmüş kireç ve 0-3 mm kum kullanılmıştır (N tipi çimento-kireç harcı [25]). Her bir duvar numunesinin örgü ve sıva harcı için 3'er adet 5 cm ayırtlı küp numuneler alınmış, suda kür edilen tüm numunelerin 28 günlük küp basınç dayanımları ortalaması Çizelge 2'de verilmiştir.

Ayrıca, deneysel çalışma kapsamında kullanılan tuğlaların tek eksenli basınç dayanımları elde edilmiştir. Her tuğla tipi için üçer örnek, duvarlar örülürken diğer duvar birimleri ile

temasta olan iki yüzeyi temel alınarak alçı malzeme ile başlıklanmış ve test edilmiştir. Ortalama brüt basınç dayanımları Çizelge 3'de verilmektedir.

Çizelge 3. Duvar birimlerinin brüt basınç dayanımları.

Tuğla Türü ve Boyutları	**Yükleme Doğrultusu**	**Yük Uygulanan Yüzeyi**	**Basınç Dayanımı, f_m' [MPa]**	
			Ortalama	**Standart Sapma**
8.5 Tuğla	Deliklere paralel	85 x 190	9.1	1.4
(190 x 190 x 85 mm^3)	Deliklere dik	85 x 190	2.4	0.6
13.5 Tuğla	Deliklere paralel	135 x 190	14.4	0.4
(190 x 190 x 135 mm^3)	Deliklere dik	135 x 190	3.3	0.3

4. DÜZLEMİÇİ TEST SONUÇLARI

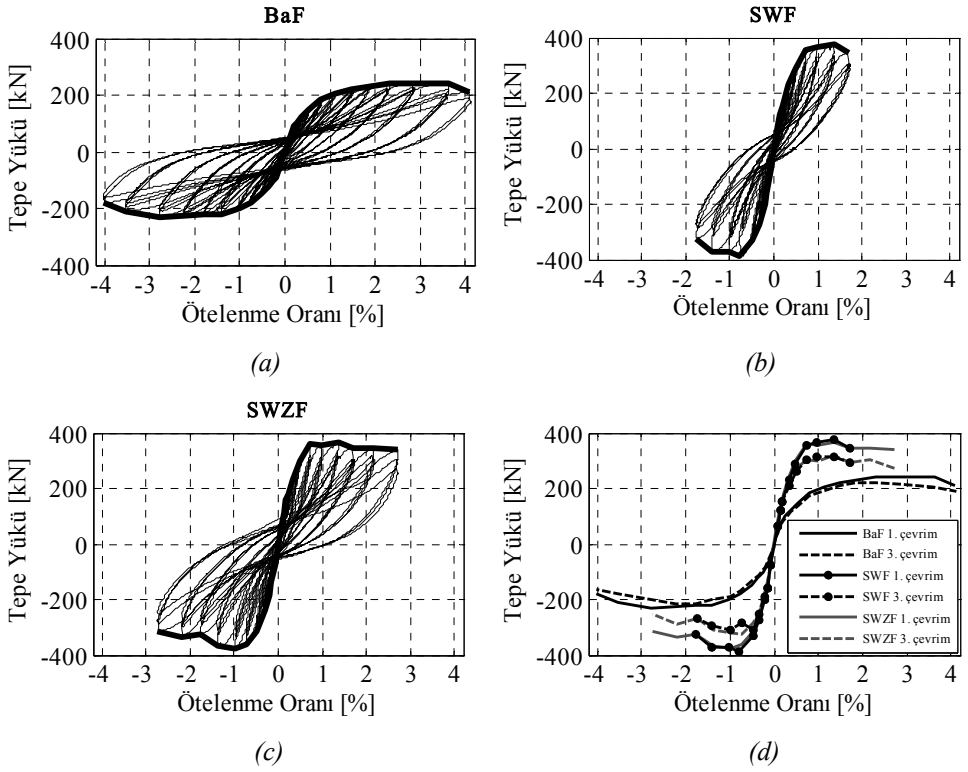
Test numunelerinin genel davranışı ve hasar mekanizmaları, tepe yükü-ötelenme ilişkileri ve çatlak dağılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. BaF numunesi, ileri ötelenme adımlarındaki davranışının elde edilmesi için %4.0, SWF numunesi 8,5 cm kalınlığındaki duvar kanadının düzlemdışı hareketliliğindeki artış dolayısıyla %1.75 ve SWZF numunesi tepe yükünde %20 oranındaki azalmaya bağlı olarak %2.75 ötelenme oranına kadar test edilmiştir.

Şekil 9.a-c, her üç numunenin yük-ötelenme histeretik eğrilerini ve 1. çevrim dayanım zarflarını, Şekil 9.d ise 1. çevrim ve 3. çevrim dayanım zarflarını karşılaştırmalı olarak göstermektedir. Bu eğriler incelenecek olursa aşağıdaki sonuçlara ulaşılabilir;

- Dolgulu çerçevelerin başlangıç rijitliği, tahmin edilebileceği gibi Z bağlantıların görünen bir katkısı olmadan, boş çerçeveye göre ciddi oranda yüksektir,
- Dolgu duvarlar, dolgusuz çerçevenin ulaştığı tepe yüklerini yaklaşık %50 oranında artırmıştır. %1.75 ötelenmeye kadar her iki dolgu türü çok benzer düzlemiçi dayanım zarfı sergilemiş, Z bağlantılar bu ötelenmeden sonra da dolgu duvarın stabilitesini korumasına yardımcı olmuştur,
- Her iki dolgulu çerçeve de %0.5 ötelenmeden itibaren aynı ötelemenin tekrarlayan çevrimlerinde önemli dayanım azalmaları sergilemiştir,
- 3. çevrim zarfları göz önüne alındığında ve %2.75 gibi göçmeye yakın ileri ötelenme düzeyinde SWZF numunesinin düzlemiçi tepkisi boş çerçevenin tepkisine dönüşmüş, dolgu duvarın etkinliği ihmal edilecek düzeye inmiştir.

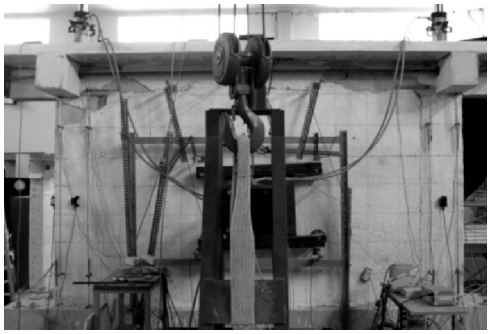
BaF numunesi %4.0 ötelenme sonunda çerçeve elemanların büyük plastik deformasyonları ve kalıcı şekil değiştirmeleri sonucu önemli düzeyde hasara uğramıştır. Numunenin kolon-kiriş birleşim panelinde kesme hasarı gözlenmemiştir. İlk eğilme çatlağı %0.20 tepe ötelenmesi oranında kiriş eleman uçlarında görülmüştür. İlerleyen ötelenme adımlarında bu

eğilme çatlakları kesit boyunca birleşmiş, %0.35 ötelenme oranında kirişin uç kesitlerindeki boyuna donatıda gerçekleşen ilk akma, Şekil 8.a'da konumları şematik olarak verilen gerinim ölçerler ile tespit edilmiştir. %1.4 ötelenmede kolon diplerinde kabuk betonu ezilme birim deformasyonuna ulaşmış, %1.75 ötelenmede belirgin bir hal almıştır. Kolon diplerindeki kesitlerde %2.75 tepe ötelenme oranında kabuk betonu dökülmüş, %3.5 ötelenmede boyuna donatılarda burkulma başlamış ve %4.0 ötelenmede belirgin hale gelmiştir.

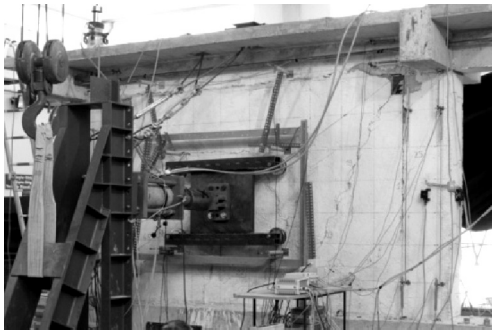


Şekil 9. Numunelerin tepe yükü-ötelenme histeretik ve zarf eğrileri.

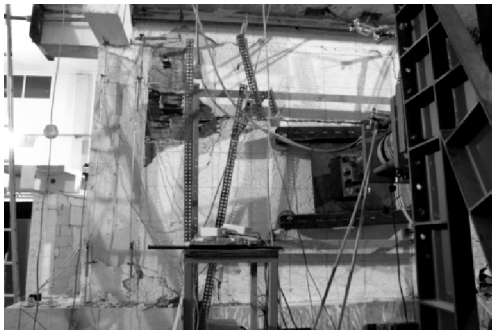
Şekil 10'da hasar görüntüleri verilen SWF numunesinde gözlenen ilk hasar %0.35 ötelenme oranında kolon-duvar ve kiriş-duvar ara yüzeylerindeki ayrışmalardır. %0.69 ötelenme oranında kolon elemanda ilk eğilme çatlakları gözlenmiş ve boyuna donatısında ilk akma %0.72 ötelenmede ölçülmüştür. Numunenin duvar elemanında %1.0 ötelenme düzeyinden itibaren düzlemdışı hareketlenme gözlenmiştir. Tersinir tekrarlı tepe ötelenmeleri sırasında bir kolon ile duvar arasında büyük açılmalar gerçekleşirken, diğer kolon her iki duvar kanadını ayırmaya çalışacak şekilde duvar içerisine gömülmektedir (yarma etkisi). Ayrıca tersinir düzlemiçi ötelenmeler sırasında duvar-çerçeve arayüzündeki örgü harcı ezilmekte ve dolgu duvarın mesnet özellikleri değişmektedir.



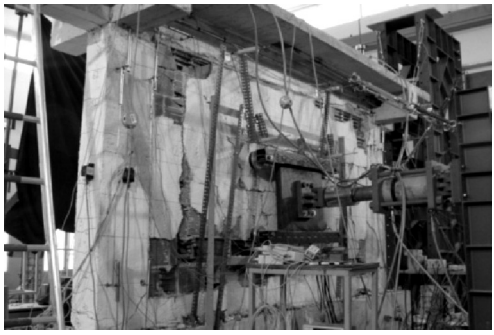
%0.75 - iç kanadın diyagonal çekme ile karışık kesme kayması hasarı.



%1.0 - iç kanadın diyagonal çekme ile karışık kesme kayması hasarı.



%1.40 - kesme kayması gerçekleşen iç duvarda, duvar bloklarının köşesinde ezilme

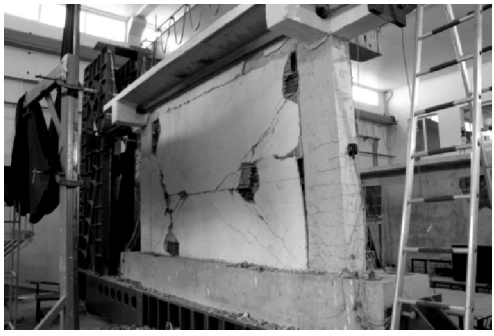


%1.40 - iç duvarda köşe ezilmeleri, iki yönlü yükleme ile yumuşayan orta bölge.



%1.75 - dış duvarın düzlemdışı doğrultuda stabilite kaybı.

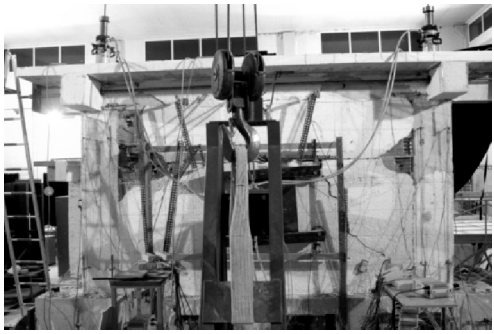
(a)



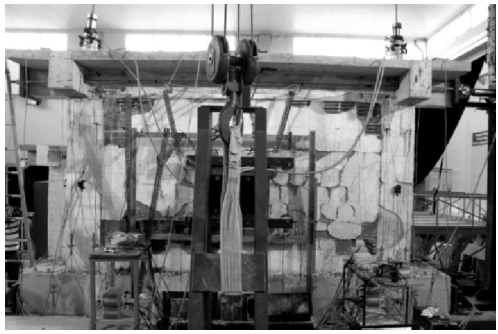
%2.75 - dış duvarın diyagonal kemerlenme ve kesme kayması ile karışık hasar modu.

(b)

Şekil 10. (a) SWF ve b) SWFZ numunelerinin dolgu duvar hasarları.



%1.75 - iç kanadın diyagonal kemerlenme ve kesme kayması ile karışık göçme modu.



%2.75 - diyagonal kemerlenme ve duvar orta bölgesine yayılı kesme kayması.

(a) *(b)*

Şekil 10. (a) SWF ve b) SWFZ numunelerinin dolgu duvar hasarları, devam.

Çizelge 4. Hasar durumlarına karşılık gelen tepe ötelenme oranları (θ) ve tepe yükü (P).

Numune	***BaF***	***SWF***	***SWZF***
		θ (%) (P (kN))	
Duvar-çerçeve arasında ilk ayrılma	-	0.35 (270.8)	0.25 (194.8)
Duvarda ilk eğik çatlak	-	0.50 (320.8)	0.50 (307.0)
Duvarda ilk diyagonal çekme çatlağı	-	0.75 (356.1)	0.75 (349.2)
Dolgu duvar üst bloğunda kayma	-	0.75 (284.0)	1.0 (364.0)
Duvarda ilk düzlemdışı hareketlenme	-	1.00 (361.0)	-
Kayan blokların köşelerinde ezilme	-	1.40 (366.0)	-
Duvarda ilk köşe ezilmesi	-	-	1.40 (355.1)
Duvarda ilk kısmi dökülme	-	1.75 (333.5)	1.75 (337.4)
Kolon ortasında ilk çekme çatlağı	-	0.35 (270.8)	0.35 (260.6)
Kirişte ilk eğilme çatlağı	0.20 (85.4)	0.75 (356.1)	0.75 (347.3)
Kolonda ilk eğilme çatlağı	0.20 (85.4)	0.69 (287.3)	0.70 (313.9)
Çerçeve elemanlarında ilk akma	0.35 (117.3)	0.72 (350.8)	0.73 (328.6)
Kolon diplerinde ezilme	1.40 (214.8)	-	2.20 (337.4)
Kolon diplerinde beton dökülmesi	2.75 (233.5)	-	-
Gözlenen en büyük tepe yükü	2.75 (233.5)	1.40 (366.2)	1.00 (364.0)
Ulaşılan en büyük ötelenme oranı	4.00 (182.5)	1.75 (333.5)	2.75 (343.4)

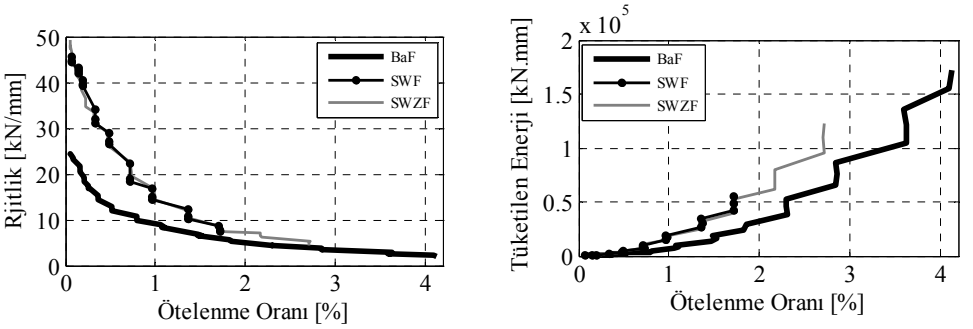
SW duvarın ince dış kanadı, %1.0, %1.4 ve %1.75 ötelenme oranlarında panel kalınlığının (sıvalı olarak 10 cm) sırasıyla %30, %40 ve %60'ı mertebelerinde düzlemdışı hareket

gerçekleştirmiş ve son ötelenme düzeyindeki stabilite kaybı sebebiyle teste son verilmiştir. Test sonunda ayrıca dört tuğla büyüklüğündeki duvar parçaları dağılarak dökülmüştür.

Şekil 10'da hasar görüntüleri verilen SWZF numunesinde ise Z bağlantıların dolgu duvar bütünlüğünü korumadaki yararlı etkileri görülmüştür. Z bağlantılar her iki duvar kanadını başarılı şekilde bir arada tutarak hem global hem de lokal hasar modlarının önüne geçmiştir. Düzlemiçi yük etkileri altında diyagonal çekme ve kesme kayması, düzlemdışı yüklemede ise kemerlenmenin diyagonal üzerinde gelişmesi dolgu duvarlarda karışık bir hasar modu oluşturmuştur. Çizelge 4'de, tüm numuneler için gözlenen dolgu duvar ve çerçeve hasarı özetlenmiş ve ayrıca numunelerde ulaşılan en büyük tepe yükleri verilmiştir.

5. DÜZLEMİÇİ TEST SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Düzlemiçi testler sırasında elde edilen veriler kullanılarak her bir numunenin 3. çevrimler için karşılaştırmalı rijitlik azalımı ve enerji tüketimi ilişkileri elde edilmiştir. Ayrıca konut türü binaların deprem performansının değerlendirilmesi için kullanılan limit durumlar göz önüne alınarak bazı sonuçlara ulaşılmıştır. Şekil 11.a, numunelerin *tepeden tepeye rijitlik* değerlerini, ötelenme oranının bir fonksiyonu olarak göstermektedir. Her iki dolgulu çerçevenin rijitlik eğrisi çok benzerdir. Görüldüğü gibi dolgunun varlığı, dolgusuz çerçevenin başlangıç ötelenme rijitliğini yaklaşık iki katına çıkarmış, bununla birlikte dolgulu çerçeveler, dolgusuz çerçeveye göre daha hızlı bir rijitlik azalması göstermiştir. Dolgu duvarın çerçeve rijitliğine katkısı yaklaşık %1.75 düzeyinde ihmal edilebilir düzeylere inmektedir. Deneysel olarak elde edilen en büyük tepe yükleri (Çizelge 4) ve başlangıç rijitlikleri, Bölüm 2.1'de verilen sayısal model sonuçlarıyla uyumludur. Şekil 11.b, numunelerin tepe yükü-tepe ötelenmesi eğrilerinin içerisinde kalan alan kullanılarak hesaplanmış *kümülatif enerji tüketimi* eğrilerini göstermektedir. Dolgu duvarlar boş çerçevenin enerji tüketimini özellikle düşük genlikli ötelenme bölgesinde arttırmış ve bu artış her iki dolgu duvar için benzer düzeylerde gerçekleşmiştir. Duvarlar, boş çerçevenin kümülatif enerji tüketimini %1.75 ötelenme düzeyinde yaklaşık iki katına çıkarmıştır.



(a) *(b)*

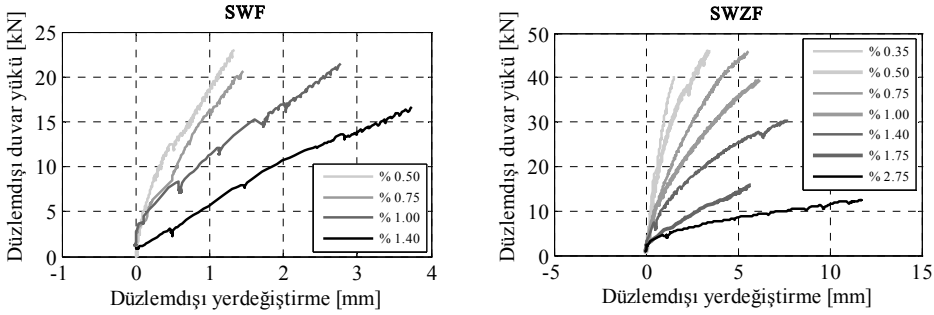
Şekil 11. (a) Düzlemiçi rijitlik azalması ve (b) kümülatif enerji tüketimi eğrileri.

Binalar için deprem performansı genellikle *Hemen Kullanım* (LD1), *Kontrollü Hasar* (LD2) ve *Göçme Öncesi* (LD3) olarak tanımlanan üç limit durum göz önüne alınarak incelenir. LD1'in genel olarak yapının rijitliği, LD2'nin dayanım ve süneklik, LD3'ün ise sadece yapının sünekliğine bağlı olduğu kabul edilir. Erberik [32], Türkiye'deki *mevcut konut türü dolgulu betonarme çerçeve binaların* öznel yapısal karakteri ve global davranış parametrelerini dikkate alarak, artan deprem tehlike seviyeleri altında bu limit durumlara karşılık gelen tepe ötelenme oranlarını yaklaşık %0.2, %0.75 ve %1.4 olarak hesaplamıştır. LD1 limit durumu yumuşama indeksi ile, LD2 limit durumu ise en büyük tepe yükündeki azalma miktarı ve karşılık gelen ötelenme oranı ile değerlendirilmektedir. Çerçeve numuneler sünek olarak tasarlanmış, fakat LD1 ve LD2 için tanımlanan ötelenme oranları tepe yükünün büyük kısmının dolgu duvarlarca taşındığı ötelenme bölgesine düştüğünden, duvar davranışlarının bu limitlere göre değerlendirilmesi benimsenmiştir. Test edilen her iki dolgulu çerçeve için rijitlik azalması indeksi [32], LD1'e karşılık gelen %0.2 tepe ötelenme oranında %20 limitinin altında kalmıştır. Ayrıca SWZF için, en yüksek düzlemiçi dayanımda %20 azalmanın gerçekleştiği ötelenme oranının %75'i [32], LD2'ye karşılık gelen %0.75 ötelenmeden büyüktür. Bu durumda SW, *Hemen Kullanım*, SWZ duvar ise *Hemen Kullanım* ve *Can Güvenliği* performanslarına kadar içerisinde bulundukları çerçeveleri desteklemeye devam etmiştir. Bununla birlikte TDY-2007'nin [29] yeni tasarlanan binalar için tasarım depremi altında izin verdiği göreli kat ötelemesi oranı üst limitinde (%2.0), bu duvarların daha fazla zorlanacağı açıktır. SWZF numunesi için, en yüksek tepe yükünde %20 azalmaya karşılık gelen ötelenme oranının (%2.75) %75'i, yönetmelikçe öngörülen %2.0 ötelenme limitinin üzerinde olduğundan, SWZ duvar, yapısal sistemin *Can Güvenliği* performans seviyesi ile uyumlu görünmektedir. Çerçeve yapının performans değerlendirmesi gerinim esaslı yöntemler ile de yapılabilir [29].

6. DÜZLEMDIŞI TEST SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

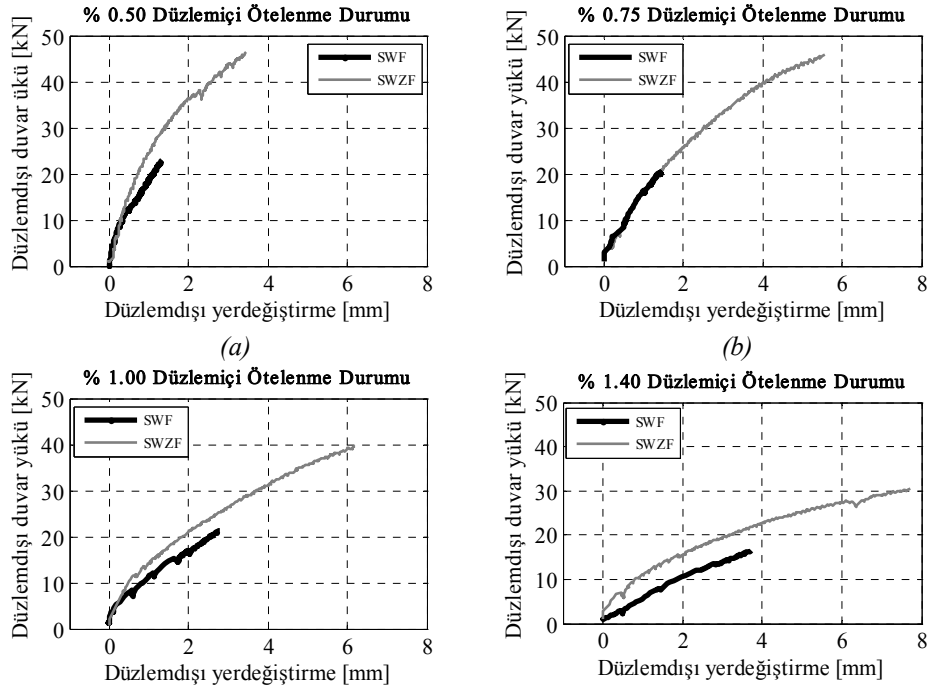
Numunelerin düzlemiçi doğrultuda aldığı ilk hasarlara bağlı olarak ilk düzlemdışı yüklemeler SWF ve SWZF numuneleri için %0.50 ve %0.35 tepe ötelenme oranlarında uygulanmıştır. Düzlemdışı testlere ait yük-duvar ortası ortalama yerdeğiştirme eğrileri Şekil 12'de verilmiştir. Grafiklerdeki her bir eğri farklı düzlemiçi tepe ötelenmesi değerlerinde gerçekleştirilen düzlemdışı testlerin yük-yerdeğiştirme eğrilerine karşılık gelmektedir. Grafiklerden izlenebileceği gibi, artan düzlemiçi ötelenme ve dolayısıyla kontrollü olarak artırılan hasar sebebiyle duvarlar düzlemdışı doğrultuda yumuşama eğilimi göstermektedir. Düzlemdışı yük düzeyi de eğrileri elastik ötesine taşımıştır. Grafiklerdeki eğriler en büyük düzlemdışı yüke kadar olan tepkiyi göstermektedir. Yükün kaldırılmasından sonra uygulanan yerdeğiştirme bir miktar elastik olarak geri dönmüştür. SWF numunesinde bulunan dolgu hem iki sıra duvardan oluşmakta hem de bu sıraları birbirine bağlayan herhangi bir bağlantı elemanı barındırmamaktadır. Bu sebeple atalet yükü olarak duvar üzerine etkiyecek düzlemdışı yük, itilen kanadın kütlesi ile orantılı olarak azaltılıp duvara uygulanmıştır. Bu sebeple çıkılan yük düzeyleri görece daha düşüktür.

Şekil 13'de her iki dolgunun aynı düzlemiçi ötelenme düzeylerindeki düzlemdışı tepkisine ait yük-yerdeğiştirme eğrileri verilmiştir. %0.50 - %0.75 ötelenme bölgesinde SW ve SWZ benzer davranış göstermiş ancak artan düzlemiçi ötelenmelerle birlikte, SWZ duvarın düzlemdışı rijitliği daha çok korunarak düzlemdışı stabilitesi olumlu yönde etkilenmiştir.



(a) *(b)*

Şekil 12. Dolgulu numunelerin belirli düzlemiçi tepe ötelenmesi değerlerinde gerçekleştirilen düzlemdışı testlerine ait yük-yerdeğiştirme eğrileri.



(a) *(b)*

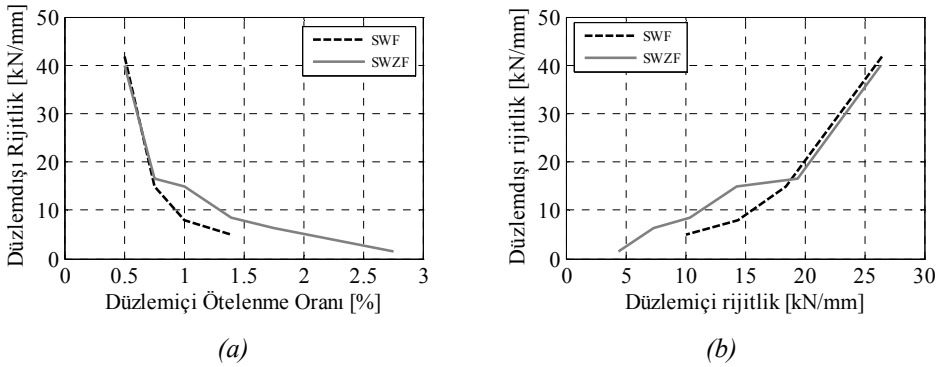
(c) *(d)*

Şekil 13. SWF ve SWZF numunelerinin belirli düzlemiçi ötelenme düzeylerindeki karşılaştırmalı düzlemdışı tepkisi.

SWF numunesinde %1.0 ötelenme ile birlikte düzlemdışı yüklemenin arka tarafında kalan duvar kanadı, kolonların yarma etkisi ve uygulanan düzlemdışı yüklemeler sebebiyle bir miktar düzlemi dışına taşmış ve %1.75 ötelenme düzeyinde stabilitesini büyük oranda yitirmiştir. Grafiklerde görülen yerdeğiştirme değerleri 15 cm kalınlığındaki duvar

üzerinden alınmıştır. Bu sebeple SW duvarda düzlemi dışına çıkan ince duvar kanadının global hareketi bu grafikte görülememektedir. SWZF numunesinde %2.75 tepe ötelenme oranında düzlemiçi doğrultuda ulaşılan %20 mertebesindeki tepe yükü düşmesi sebebiyle test sonlandırılmıştır. Buna bağlı olarak düzlemdışı testler son olarak bu ötelenme düzeyinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 14.a'da verilen ve düzlemiçi tepe ötelenme oranının bir fonksiyonu olarak düzlemdışı rijitlikteki azalmayı gösterir eğriler genel eğilimin izlenebilmesi için oluşturulmuştur. Duvarların artan hasarla birlikte düzlemdışı rijitliğindeki azalma, Z bağlantıların kullanımı sayesinde sınırlanmıştır. Benzer şekilde bu iyileşme Şekil 14.b'de verilen düzlemiçi rijitlik-düzlemdışı rijitlik eğrilerinde de görülmektedir. Bu eğriler aynı zamanda birleşik yük etkileri altındaki dolgu duvarın düzlemdışı rijitliğinin düzlemiçi rijitliğine göre daha hızlı azaldığını göstermektedir.

SWF ve SWZF numuneleri %0.75 ötelenme oranına kadar çok benzer düzlemdışı davranışlar göstermiş, kullanılan Z bağlantılar sayesinde SWZ duvarın düzlemdışı rijitliği diğerine göre, %1.0 ötelenme düzeyinde %86, %1.4 ötelenme düzeyinde ise %70 daha yüksek bir değere ulaşmıştır. Bu durum düzlemdışı rijitlik azalması eğrisinde olumlu bir davranıştır. Ayrıca SWZ duvar %2.75 düzlemiçi ötelenme oranına kadar bütünlüğünü koruyarak diğerine göre daha arzu edilen bir düzlemdışı davranış sergilemiştir.



Şekil 14. (a) Duvarların düzlemiçi ötelenme - düzlemdışı rijitlik azalması ilişkisi, (b) duvarların düzlemiçi-düzlemdışı rijitlik etkileşimi.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizde yaygın olarak kullanılan ve iki sıra (kanat) boşluklu tuğla ile oluşturulan sandviç duvarların, düzlemiçi ve düzlemdışı birleşik yükler altındaki davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Zira depremlerde hasar görerek düzlemi dışına devrilen dolgu duvarlar hem doğrudan can güvenliği hem de ani rijitlik değişimine sebep olduğundan yapısal sistem için sakıncalıdır. Deneyler, TUKSAD ile işbirliği halinde, 2011 Van depreminde karşılaşılan Sandviç duvar hasarlarının değerlendirilmesi ve hâlihazırda devam eden uygulamalar için hızlı bir iyileştirme önerisi geliştirmek üzere gerçekleştirilmiştir. Kanatları bağlantısız ve Z metal bağlantılı iki adet sandviç tuğla duvarlı betonarme çerçeve ve ayrıca bir adet dolgusuz referans çerçeve test edilmiştir. Testlerde, boyut etkisinden kaçınmak için

büyük geometrik ölçekli imal edilen tek katlı-tek açıklıklı betonarme çerçeveler kullanılmıştır. Tüm çerçevelerde kiriş kesitleri tablalı ve kolon-kiriş birleşimleri enine kirişler ile sargılıdır. Deneylerde gerçek boyutlu tuğlalar kullanılmıştır.

Çalışmanın ana hedefi, bahsi geçen iki farklı dolgu duvar türünün iki yönlü eşzamanlı yükler altındaki davranışının belirlenmesidir. Bu anlamda dolgu duvarların belirli düzlemiçi ötelenme değerlerinde sergiledikleri düzlemdışı rijitlik, uygulanan düzlemdışı yüklerin belirli bir alt dayanımı aşıp aşmadığı ve olası stabilite problemleri araştırılmıştır. Çalışmanın diğer hedefi, Türkiye'de yaygın olarak kullanılan sandviç dolgu duvar türü ile betonarme çerçeve arasındaki düzlemiçi etkileşimin gözlenmesidir. Numunelerde artan ötelenme boyunca gelişen hasar dağılımı, nihai hasar modları, duvarın düzlemiçi doğrultuda çerçeve ötelenme rijitliğine ve dayanıma katkıları araştırılmıştır. Deneysel gözlemler ve analiz edilen test verisi ışığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

7.1. Düzlemiçi Test Sonuçları

a. Her iki tip duvar da dolgusuz çerçevenin dayanım, rijitlik ve enerji tüketimini büyük oranda ve benzer düzeyde arttırmıştır. Bu katkı artan duvar hasarı ile birlikte yaklaşık %1.75 tepe ötelenme oranından itibaren ihmal edilebilir düzeye inmiştir. Dolgu duvarlar, dolgusuz çerçevenin başlangıç rijitliğini ve %1.75 ötelenme düzeyindeki kümülatif enerji tüketimini iki katına çıkarmış, en büyük dayanımı %50 artırmıştır.

b. Önceki araştırmalarda [32], Türkiye'deki *mevcut yapı stokunun* öznel yapısal karakteri ve global davranış parametreleri dikkate alınarak, artan deprem tehlike seviyeleri için bina türü yapıların kullanım limit durumlarına karşılık gelen tepe ötelenme oranları belirlenmiştir. Her iki numunenin bu ötelenme oranlarında gösterdiği global davranış incelendiğinde, SW *Hemen Kullanım*, SWZ ise *Hemen Kullanım* ve *Can Güvenliği* performanslarına kadar içerisinde bulundukları çerçeveleri desteklemeye devam etmiştir. Ayrıca SWZ duvar, TDY-2007'nin [29] *yeni tasarlanan binalar* için öngördüğü üst sınır olan %2.0 etkin göreli kat ötelemesi oranına kadar içerisinde bulunduğu çerçeveyi desteklediğinden, Z bağlantı içeren Sandviç duvarın yapısal sistemin *Can Güvenliği* performans seviyesi ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

7.2. Düzlemdışı Test Sonuçları

a. Deneysel gözlemler, iki yönlü yükleme altındaki dolgu duvarda, yalnız düzlemdışı etkileri dikkate alan klasik *kemerlenme davranışı* yaklaşımına uymayan bir hasar modu oluştuğunu göstermiştir. Dolgu duvarı göçmeye ulaştıran hasar, duvarı üst ve altından sınırlayan yatay elemanlara (kirişler) paralel bir hat üzerinde değil, duvarın diyagonali üzerinde gelişmiştir. Bu bulgu duvarların düzlemdışı dayanımlarının hesabına ilişkin kemerlenme davranışını esas alan teorilerde değişiklik gerektirebilir.

b. Testler sonucunda, giderek artan düzlemiçi yük etkileri altında, yeni tasarlanan binalar için Türk Deprem Yönetmeliği'nde öngörülen %2.0 etkin göreli kat ötelemesi oranının da üzerindeki ötelenmelere kadar, Z bağlantılı Sandviç duvar numunesinin düzlemdışı davranışının bağlantısız numuneye göre belirgin şekilde iyileştirilebileceği gösterilmiştir. Yeterli deneysel veri bulunmamasından dolayı ABD Yığma Yapılar

Yönetmeliği tarafından en fazla %25 boşluk içeren yığma tuğlalar için önerilebilen Z bağlantıların, aynı detay ve kullanım miktarı (0.25 m^2/Z bağlantı) ile yatay boşluklu taşıyıcı olmayan duvarlar için de uygun bir çözüm olabileceği görülmüştür.

c. SWF ve SWZF numunelerine düzlemiçi tepe ötelenmeleri boyunca belirli aralıklarla düzlemdışı yükler uygulanmıştır. Bu yükler, çıkılan en yüksek düzlemiçi duvar yükünün %30'u kadardır. SWZ duvar, uygulanan bu yükleri düzlemdışı devrilme görülmeksizin karşılamış, %2.75 düzlemiçi tepe ötelenmesine kadar düzlemdışı dayanımları açısından belirlenen alt limiti sağlamıştır. SW duvar ise düzlemiçi %1.0 tepe ötelenme oranında dış kanadının gösterdiği düzlemdışı hareket sebebiyle ancak bu ötelenme değerine kadar olan bölgede düzlemdışı doğrultuda güvenli olabileceğini düşündürmüştür.

Öneriler

i. Düşük düzlemdışı rijitliğe sahip narin duvarlar, yapının depremler sırasında salınmakta olan etkin kütlesini ve dolayısıyla yapıya etkiyen yükleri azaltabilmektedir [1, 7]. Sandviç dolgu duvarlar, diğer dolgulara göre narinliği yüksek iki duvar kanadından oluştuğu için bu faydayı arttırıcı etkileri olabilir. Bunun için ön koşul düzlemdışı göçme potansiyellerinin, örneğin Z metal bağlantıların etkisiyle engellenmesidir. Çalışmada sunulan düzlemiçi hasara bağlı düzlemdışı rijitlik azalması eğrileri kullanılarak, olası iyileşmenin mertebesi doğrusal olmayan yapısal modeller üzerinde incelenebilir.

ii. FEMA 356 ve EC8, narin duvarların düzlemdışı dayanımlarını kontrol etmekte, yapıların deprem performansını değerlendirirken dolgu duvar hasarları için de limitler belirtmekte ve Can Güvenliği performans düzeyi için dolgu duvarların düzlemdışı göçmesine engel olmaktadır. TDY-2007'de göreli kat ötelemesi oranı üst sınırı %2 olduğundan, duvarlar yıkıcı etkilere açıktır. Bu durumda ülkemizdeki deprem ve tasarım yönetmeliklerine benzer düzenlemelerin getirilmesi ve duvar minimum dayanımlarının belirlenmesi uygun olacaktır. Bu iyileştirme, hem sınırlı mühendislik hizmeti alan yeni yapıların toptan göçme riskini azaltabilecek hem de uygun hizmet alan yapıların yapısal olmayan elemanlarının deprem performansını iyileştirecektir.

Sınırlamalar

- Test sonuçları, testte kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerine, işçiliğe, duvarın mesnet koşullarına, betonarme çerçevenin boyutlarına ve duvarın boyutlarına bağlı bilgilerdir. Sonuçlar daha fazla numune ile ve deney değişkenleri parametrik olarak değiştirilecek şekilde yeni testlerle desteklenebilir. Fakat sunulan çalışmanın sonuçları, yeni bulgular elde edilinceye kadar uygulamacılar tarafından kullanılabilir niteliktedir.

- Türkiye'de çoğunlukla sandviç duvarların dış kanadı düzlemi dışına 3-4 cm çıkarılarak uygulanmaktadır. Çerçeve elemanlar üzerine uygulanan izolasyon tabakaları ile aynı düzeye ulaşmak için yapılan bu uygulama, dış kanadın kemerlenme etkisini azaltan sakıncalı bir etkiye sahiptir. Test numunelerinde, ince olan duvar kanadı düzlemdışı yüklemenin diğer tarafına alınarak bu etki çalışmaya dahil edilmiştir.

Semboller

A_g : Kolonun brüt enkesit alanı

f_c' : Çerçeve numunelerinin deney günündeki silindir beton basınç dayanımı

f_{cm} : Duvar harcının 28 günlük ortalama küp basınç dayanımı

f_m' : Tuğla basınç dayanımı

f_u : Donatının çekme gerilmesi

f_y : Donatı akma gerilmesi

h : Duvar yüksekliği

H : Kolon yüksekliği

L : Duvar genişliği

P : Çerçeve numunesine uygulanan tepe yükü

t : Duvar kalınlığı

δ : Çerçeve numunesinin kolon tepe noktasının yaptığı yatay yerdeğiştirme

ε_{su} : Donatının kopma anındaki birim uzaması

θ : Düzlemiçi doğrultuda tepe ötelenmesi oranı (δ/H)

Teşekkür

Testler, Turgutlu Tuğla ve Kiremit Sanayicileri Derneği'nin (TUKSAD) katkılarıyla 2012-631-25 numaralı KOSGEB projesi kapsamında yürütülmüştür. Deneysel çalışmalara katılan Dr.Sadık Can Girgin, İnş.Yük.Müh.Umut Yücel, İnş.Yük.Müh.Erkan Durmazgezer'e teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

[1] Fardis, M.N., Panagiotakos, T.B., Seismic Design and Response of Bare and Masonry infilled Reinforced Concrete Buildings. Part II: Infilled Structures, J. Earthq. Eng., 1(3), 475-503, 1997.

[2] Dolšek, M., Fajfar, P., Soft Storey Effects in Uniformly Infilled Reinforced Concrete Frames, J. Earthq. Eng., 5(1), 1-12, 2001.

[3] Sezen, H., Whittaker, A.S., Elwood, K.J., Mosalam, K.M., Performance of Reinforced Concrete Buildings During the August 17, 1999 Kocaeli, Turkey Earthquake, and Seismic Design and Construction Practice in Turkey. Eng. Struct., 25, 103–114, 2003.

[4] Günay M.S., Mosalam, K.M., Structural Engineering Reconnaissance of the April 6, 2009, Abruzzo, Italy, Earthquake, and Lessons Learned, Research, PEER 2010/105, University of California, 2010.

[5] METU-EERC, 23 Ekim 2011 Mw 7.2 Van Depremi Sismik ve Yapısal Hasara İlişkin Saha Gözlemleri, İnceleme, METU/EERC 2011-04, METU, Ankara, 2011.

[6] Hak, S., Morandi, P., Magenes, G., Sullivan, T.J., Damage Control for Clay Masonry Infills in the Design of RC Frame Structures, J. Earthq. Eng., 16(1), 1-35, 2012.

[7] Calvi, G.M., Bolognini, B., Seismic Response of Reinforced Concrete Frames Infilled with Weakly Reinforced Masonry Panels, J. Earthq. Eng., 5(2), 153-185, 2001.

[8] Bertero, V., Brokken, S., Infills in Seismic Resistant Building, J. Struct. Eng., ASCE, 109(6), 1337-1361, 1983.

[9] Mehrabi, A.B., Shing, P.B., Schuller; M.P., Noland, J.L., Experimental Evaluation of Masonry-Infilled RC Frames, J. Struct. Eng., ASCE, 122(3), 228–237, 1996.

[10] Preti, M. Bettini, N., Plizzari, G., Infill Walls with Sliding Joints to Limit Infill-Frame Seismic Interaction: Large-Scale Experimental Test, J. Earthq. Eng., 16(1), 125-141, 2012.

[11] Hashemi, A., Mosalam, K.M., Seismic Evaluation of Reinforced Concrete Buildings Including Effects of Masonry Infill Walls, Research, PEER 2007/100, University of California, 2007.

[12] Drysdale, R.G., Essawy, A.S., Out-of-Plane Bending of Concrete Block Walls, J. Struc. Div., ASCE, 114(ST1), 121-133, 1988.

[13] Dawe, J.L., Seah, C.K., Out-of-Plane Resistance of Concrete Masonry Infilled Panels, J of the Canadian Society of Civil Eng., 16(6), 854-864, 1989.

[14] McDowell, E.L., McKee, K.E., Sevin, E., Arching Action Theory of Masonry Walls, Proceedings of the ASCE, J. Struct. Div., 82(ST2), 915-1 to 915-18, 1956.

[15] Angel, R., Abrams, D., Shapiro, D., Uzarski, J., Webster, M., Behavior of Reinforced Concrete Frames with Masonry Infills, Research, SRSS-589, Civil Engineering Studies, University of Illinois, Urbana, Illinois, 1994.

[16] Flanagan, R.D., Bennett, R.M., Bidirectional Behavior of Structural Clay Tile Infilled Frames, J. Struct. Eng. ASCE, 125(3), 236-244, 1999.

[17] EN 1998-1:2004, Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance - Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, Comité Européen de Normalisation, Brussels, Belgium, 2004.

[18] FEMA-356, Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., 2000.

[19] Shapiro, D., Uzarski, J., Webster, M., Angel, R., Abrams, D., Estimating Out-of-Plane Strength of Cracked Masonry Infills, Research, SRSS-588, Civil Engineering Studies, University of Illinois, Urbana, Illinois, 1994.

[20] Henderson, R.C. Fricke, K.E. Jones, W.D. Beavers, J.E., Bennett, R.M., Summary of a Large- and Small-Scale Unreinforced Masonry Infill Test Program, J. Struct. Eng., ASCE, 129(12), 1667-1675, 2003.

[21] Najafgholipour, M.A., Maheri, M.R., Lourenço, P.B., Capacity Interaction in Brick Masonry under Simultaneous In-Plane and Out-of-Plane Loads, Constr. Build. Mater., 38, 619–626, 2013.

[22] Kadysiewski, S., Mosalam, K.M., Modeling of Unreinforced Masonry Infill Walls Considering In-Plane and Out-of-Plane Interaction, Research, PEER 2008/102, University of California, 2009.

[23] Milani G., 3D upper bound limit analysis of multi-leaf masonry walls, Int. J. Mech. Sci., 50(4), 817-36, 2010.

[24] Agnihotri, P. Singhal, V., Rai, D.C., Effect of In-Plane Damage on Out-of-Plane Strength of Unreinforced Masonry Walls, Eng. Struct., 57, 1-11, 2013.

[25] TMS-0402-11, Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures, Masonry Standards Joint Committee (MSJC), 2011.

[26] Misir, I.S., Ozcelik, O., Girgin, S.C., Kahraman, S., Experimental Work on Seismic Behavior of Various Types of Masonry Infilled RC Frames, Struct. Eng. Mech., 44(6), 763-774, 2012.

[27] Misir, I.S., Potential Use of Locked Brick Infill Walls to Decrease Soft-Storey Formation in Frame Buildings, J. Perform. Constr. Fac., ASCE, DOI: 10.1061/(ASCE) CF.1943-5509.0000633, 2014.

[28] SeismoSoft, SeismoStruct ver.6 Bilgisayar Yazılımı, Pavia, İtalya, 2014.

[29] TDY-2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 2007.

[30] TS EN 771-1, Kâgir Birimler, Özellikler- Bölüm 1: Kil Kâgir Birimler (Tuğlalar), TSE, Ankara, 2005.

[31] ACI 374.1-05, Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing and Commentary, ACI Committee 374, ACI, Farmington Hills, Detroit, Michigan, 2005

[32] Erberik, M.A., Importance of Degrading Behavior for Seismic Performance Evaluation of Simple Structural Systems, J. Earthq. Eng., 15(1), 32-49, 2011.