

Dolgu Duvarlı Çerçevelerde Sıvanın Deprem Davranışına Katkısı

Halit COZA^{1*}

Öz

Depreme dayanıklı yapı yönetmeliklerince sağlanması istenen koşulların amacı yapılarda olması istenen en düşük düzeyde güvenlik sağlanmasıdır. Daha iyi deprem davranışı ve daha yüksek güvenlik için yönetmelik koşullarının daha üstünde koşulların gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Son yıllarda, ülkemizde inşa edilen betonarme yapıların, projelendirilmesi, uygulanması ve kullanılması esnasında yapılan birtakım hatalar veya verilen yanlış kararlar, yapılara taşıyıcı eleman ve malzeme açısından yapılması gereken bir takım müdahale ve değişiklikleri gerektirmektedir. Bu makalede, uygulamada çok karşılaşılan betonarme yapıların özelliklerini yansıtan üç adet, 1/3 ölçekli, tek açıklıklı, tek katlı çerçeveler üzerinde, bu tür sistemlerin yatay yük taşıma kapasiteleri ve diğer davranış özelliklerini karşılaştırmak amacıyla bir dizi deneysel çalışmalar tasarlanmıştır. Deneylemlerin sonuçlarına göre belirli bir çevrim ve yatay yer değiştirmeden sonra dolgu duvar ile çerçeveler birbirinden ayrılmaya başlamışlardır. Dolgu duvarlı tek yüzü sıvalı ve çift yüzü sıvalı deney numunelerinin yatay yük taşıma kapasiteleri, boş çerçeveye göre artmıştır. Çift yüz sıva uygulaması, tek yüzü sıva uygulaması ile karşılaştırıldığında, çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesi, enerji sönmülme kapasitesi ve rijitlik değerleri artarak, çerçeveye, çok fazla olmamakla birlikte, olumlu katkı sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Deprem Davranış, Dolgu Duvarlı, Güçlendirme, Sıva

The Contribution of Plaster in Earthquake Behavior of Frames with Infill Walls

Abstract

The purpose of the conditions required to be met by earthquake resistant building regulations is to provide the minimum level of safety desired in buildings. For better earthquake behavior and higher safety, conditions above the regulations should be implemented. Some mistakes or incorrect decisions made during the design, construction, and usage of reinforced concrete structures developed in our country in recent years have necessitated several interventions and revisions in terms of structural components and materials. In this article, a series of experimental tests were designed on three 1/3 scale, single span, single layer, single span frames to assess the lateral load bearing capacity and other behavioral features of reinforced concrete buildings often found in application. According to the results of the experiments, after a certain cycle and horizontal displacement, the infill wall and frames started to separate from each other. The horizontal load carrying capacities in the single-sided plastered and double-sided plastered with infill

¹ Pamukkale Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Denizli, Türkiye

* İlgili yazar/Corresponding author: hcoza@pau.edu.tr

walls test specimens increased compared to the empty frame. Compared to single face plaster application, double face plaster application contributed positively to the frame by increasing the horizontal load carrying capacity, energy absorption capacity and stiffness values of the frame, although not significantly.

Keywords: Earthquake Behavior, Infill Walls, Plaster, Reinforcement

1. Giriş

Ülkemizin tamamına yakın bölümünün dünyanın aktif deprem bölgelerinde yer aldığı bilinmesine rağmen yapılaşmadaki yetersizlikler ve hatalar depremlerde büyük hasarlara yol açmakta ve çok sayıda can ve mal kayıplarına sebep olmaktadır. Türkiye’de çok büyük depremler olmuştur ve olacaktır; bu durumda depreme karşı önlem alınması ve yapı hasarlarının önlenmesi zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Betonarme yapı elemanlarının, tasarım ve uygulama hataları, zamana bağlı zayıflamalar, kullanım amacının değiştirilmesi ve yeni yönetmeliklere göre yetersiz kalması gibi nedenlerle onarım ve/veya güçlendirilmesi gerekebilmektedir (Coşkun vd., 2023, s. 127). Yapısal olarak yetersiz olan bina sayısının fazlalığı, yapım yöntemlerinin farklılığı, halen kullanımda olmaları ve ülkenin ekonomik durumu da göz önüne alınarak, her yapı için uygun olabilecek farklı onarım/güçlendirme yöntemlerinin belirlenmesine yönelik araştırmalar devam etmektedir (Çetinkaya vd., 2003, s. 291; Kalkan vd., 2013; Baran vd., 2014, s. 23). Son depremler sonrası yapılan araştırmalarda Türkiye’deki betonarme yapıların önemli bir kısmının onarım ve güçlendirilmesinin gerektiği görülmektedir. Bu konu ile ilgili en büyük sorun, depreme karşı güçlendirilmesi gereken çok sayıda bina bulunması ve bunların boşaltılarak güçlendirilmesinin pratik bir çözüm olmamasıdır. Bu sorunun çözümü için güçlendirme aşamasında binanın kullanımını engellemeyecek, başka bir deyişle binanın boşaltılmasını gerektirmeyecek yöntemler geliştirmek gerekmektedir (Ersoy, 2007, s. 207-216). Yakın gelecekte ülkemizde gerçekleşeceği tahmin edilen büyük depremler etkisinde kalacak mevcut yapı stoku alınırca, büyük kısmının bölme duvarlı çerçeve sistemlerden oluştuğu gözlenmektedir. Bu yüzden bölme duvarlı çerçeve sistemlerin depremler karşısındaki davranışlarının çok daha iyi anlaşılmasına ihtiyaç duyulması kaçınılmazdır. Dolgu duvarların yatay rijitlik ve dayanım yanında enerji tüketimi ve yapısal sönüm üzerindeki etkilerini kavramak amacıyla deneysel ve analitik birçok çalışma yapılmış ve halen de devam etmektedir. Son yıllarda, özellikle ülkemizde inşa edilen betonarme yapıların, projelendirilmesi, uygulanması ve kullanılması esnasında yapılan birtakım hatalar veya verilen yanlış kararlar, yapıya taşıyıcı eleman ve malzeme açısından yapılması gereken bir takım müdahale ve değişiklikleri gerektirmektedir. Betonarme taşıyıcı sistemde yapılan bu tür değişiklik ve eklemeler, yeri ve amacına göre onarım, güçlendirme, iyileştirme adları ile tanımlanarak uygulanmaktadır. Taşıyıcı sisteme müdahale işleminin, sınırlı bir hasarın giderilmesi için yapılmasına veya depremde hasar görüp taşıma gücü azalmış elemanlara deprem öncesi taşıma gücü değerlerini yeniden kazandırma işlemine “onarım” denir. Onarım, güçlendirme ve yenileme iç içe girebilen işlemlerdir (Özgen, 1990, s. 50-54). Hasar olsun veya olmasın, taşıyıcı sistemin tümünün ya da belli elemanlarının taşıma gücünü artırmak veya ekonomik ömrü boyunca muhtemel bir depremde hasar gören yapının, aynı boyutta depremlerin birçok kez yinelenmesi beklentisi karşısında aynı hasarın tekrarlanmaması için eski durumundan daha güçlü duruma getirilmesi için yapılan

müdahale işlemlerine genel olarak “güçlendirme” denir. Yapıların güçlendirilmesinde her geçen gün yeni teknikler geliştirilmekte ve kullanılmaya başlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında konunun genel olarak araştırılmasından ve deneysel çalışmalardan elde edilen sayısal ve gözleme dayalı verilerin yorumlanmasına bağlı olarak, sıvalı ve sıvasız dolgu duvarlı çerçeve modellerinin performansları ve yatay yük altındaki davranışları, enerji yutma kapasiteleri ve rijitlik değişimleri, oluşan hasar dağılımları, genel göçme mekanizmasının yorumlanması, başarılı bir uygulama için bazı prensiplerin deneysel olarak ortaya konulması, yöntemin sonuçlara bağlı olarak yorumlanması hedeflenmiştir.

1. Gereç ve Yöntem

1.1. Gereç

1.1.1. Beton

Çalışma kapsamında tüm numunelerde nervürlü donatı ve C25 betonarme betonu kullanılmıştır.

1.1.2. Donatı Çeliği

Numunelerde kullanılan çelik donatıların gerilme-şekil değiştirme özellikleri, donatı kopma dayanımı değerinin belirlenebilmesi için, standartlara uygun donatı çekme deneyi yapılmıştır.

1.1.3. Harç ve Sıva Malzemesi

Numunelerde kullanılan sıva ve harç malzemenin karışım oranları aynıdır. Uygulanan sıva kalınlığı tüm numunelerde yaklaşık 12 mm, tuğlalar arası harç kalınlığı ise yaklaşık 5mm'dir. Sıva ve harç basınç dayanımlarını ölçmek için laboratuvarında basınç deneyleri uygulanmıştır. Deneyler sonrası duvar harcı ve sıva malzeme basınç dayanım değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Duvar harcı basınç dayanımları.

Duvar Harcı	Küp numune basınç dayanımı (Mpa)	Sıva	Küp numune basınç dayanımı (Mpa)
Numune 1	3.48 Mpa	Numune 1	2.28 Mpa
Numune 2	3.44 Mpa	Numune 2	2.52 Mpa
Numune 3	2.72 Mpa	Numune 3	2.32 Mpa

1.1.4. Delikli Tuğla Duvar

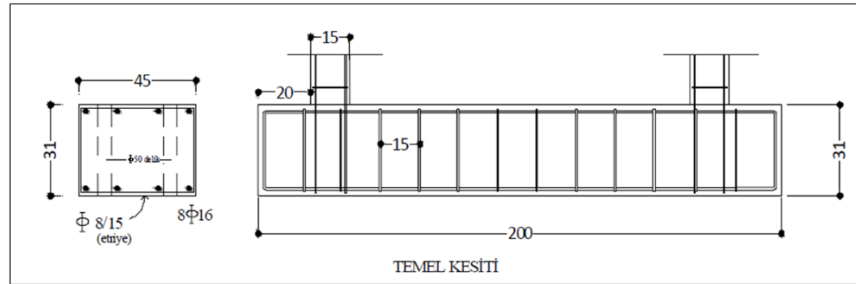
Deneylerde kullanılacak küçültülmüş ölçekli tuğla duvarın basınç ve kayma dayanımlarını bulmak amacıyla bir seri basit deneyler uygulanmıştır. Deneyler sonucunda ortaya çıkan tuğla duvar basınç ve kayma dayanımları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Tuğla duvar basınç ve kayma dayanımları

Tuğla duvar	Tuğla basınç dayanımı (Mpa)	Tuğla kayma dayanımı (Mpa)
Numune 1	1.11 Mpa	0.43
Numune 2	1.71 Mpa	0.46
Numune 3	1.27 Mpa	0.44

1.2. Deney Numunelerinin Özellikleri

Çerçeve boyutları aynı olmak suretiyle aynı beton kalitesi ve donatı planına sahip 3 adet tek katlı tek açıklıklı çerçeveler üretilmiştir. Tüm numunelerde nervürlü donatı ve C25 betonarme betonu kullanılmıştır. Numuneler, çerçeve boyutları 160x100cm olarak üretilmişler, kolon- kiriş boyutları 120x150mm'dir. Kolonlarda ve kirişlerde 4 Φ 10 boyuna donatı, enine donatı olarak da kolonlarda Φ 6/15, kirişlerde Φ 6/10 nervürlü donatı kullanılmıştır. Numunelerin temel boyutları 450x2000x310 mm olup, boyuna donatı olarak 8 Φ 16 ve enine donatı olarak da Φ 8/15 nervürlü donatı kullanılmıştır. Yatay yükün numunenin kolon-kiriş birleşim bölgesinin tam orta noktasından verilebilmesi için temel yüksekliği 310 mm olarak tasarlanmıştır. Temel donatı çizimleri Şekil 1'de gösterilmektedir.



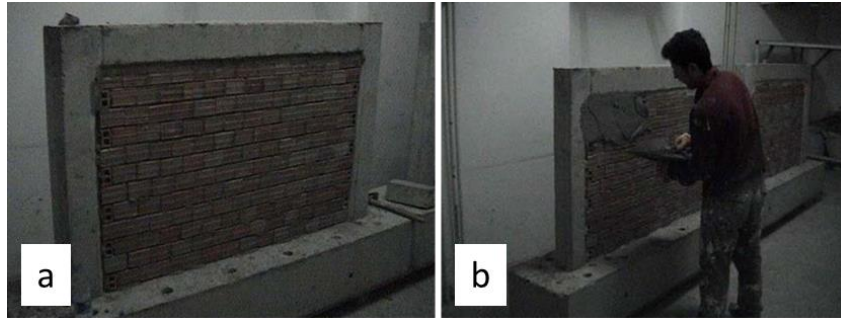
Şekil 1: Numune temel detay çizimleri.

Nervürlü donatı ve C25 betonarme betonu kullanılmıştır. Numune 2, numune 1 ile aynı geometriye ve özelliklere sahip olup ek olarak tuğla duvar örülmüş ve numunenin tek yüzü sıvanmıştır. Tuğla tipi olarak 1/3 ölçekli delikli tuğla kullanılmış, tuğla boyutları 65x95x95 mm, tuğla delikleri yatay konumda olacak şekilde yerleştirilmiştir. Boşluklu tuğlaların birbirine ve çerçeve sisteme bağlanması harç ile sağlanmıştır. Numune 3, fiziksel olarak diğer numunelerle aynı özelliklere sahip olmakla birlikte, çerçeve içine dolgu duvar örülüp, duvarın her iki yüzü de sıvanmıştır.

1.3. Numunelerin Üretimi

Farklılık oluşmaması için her deney elmanı için ayrı kalıp hazırlanarak tüm deney elemanları aynı zamanda dökülmüştür. Enine donatı imalatında her bir kesit tipi için metraj yapılmış ve yaklaşık etriye uzunlukları hesaplandıktan sonra donatılar hazırlanmıştır. Numune boyutlarının belirlenmesi ve donatıların hazırlanmasının ardından kalıp sistemi

tasarlanmıştır. Numuneler için plywood kalıplar, numuneler aynı anda üretilecek şekilde birbirine monte edilmiş, numunelerin taşınmasında kolaylık sağlaması için kalıp içinde delikler oluşturulmuştur. Üretimi tamamlanan temel donatıları, hazırlanan temel kalıplarına yerleştirilmiş, temel betonu her numune için aynı anda dökülmüştür. Daha sonra donatıları hazırlanmış kolon-kirişlerin kalıpları üretilmiş, donatıları yerleştirildikten sonra kolon-kiriş beton döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Tüm numunelerin beton dökümü aynı gün içinde yaklaşık 7-8 C° hava sıcaklığında yapılmıştır. 14 günün sonunda kalıplar sökülüştür. Üretimi tamamlanan betonarme boş çerçeveler, tuğla duvar örülme, sıva uygulama numunelerin güçlendirme işlemleri laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Tuğla tipi olarak, ölçüğü küçültülmüş delikli tuğla kullanılmış olup, tuğla boyutları 65x95x95 mm, tuğla delikleri yatay konumda olacak şekilde yerleştirilmiştir. Duvar, kum-çimento-kireç ve su karışımından oluşan ince sıva ile sıvanmıştır (Şekil 2). Harç-sıva malzemesi karışım oranları aşağıdaki Tablo 3'te verilmiştir.



Şekil 2: a) Dolgu duvarlı çerçeve. b) Sıva uygulaması.

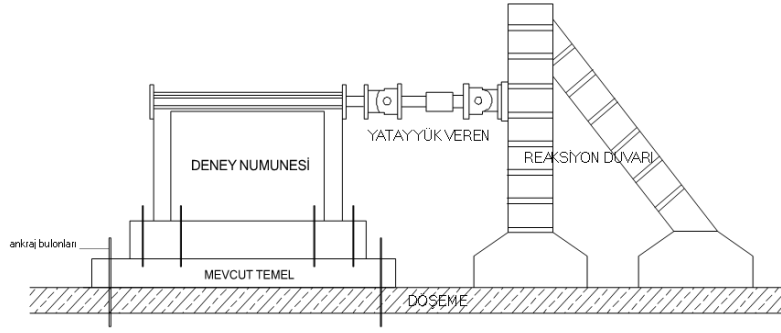
Tablo 3: Harç ve sıva malzeme karışım oranları.

Malzeme	0-3 mm kum	Kireç	Çimento	Su
Ağırlık oran (%)	61	10,5	10,5	18

Deneyler sırasında muhtemel çatlak oluşumlarının daha rahat izlenebilmesi için her numunenin sıva uygulaması sonrası beyaz renkli plastik boya ile boyanması işlemi gerçekleştirilmiştir. Üretimi tamamlanmış numuneler temele monte edilerek deney düzeneğine yerleştirilmiş ve deneye hazır duruma getirilmiştir.

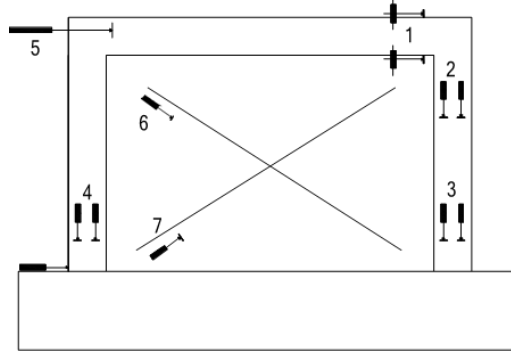
1.4. Deney Düzeneği

Deney düzeneği (Şekil 3), yerdeğiştirme kontrollü yük aktivatörü, yük aktivatörünün bağlandığı kapasiteli çelik reaksiyon duvarı, yükleme çerçevesi, yatay yükün numuneye aktarılması için kullanılan ara parça elemanları, rijit döşeme ve çeşitli kapasitelerdeki yerdeğiştirme ölçer cihazlarından oluşmaktadır. Tüm bu ölçümler 60 kanallı veri toplama sistemine sürekli aktarılmakta, kontrol odasındaki bilgisayarlar aracılığı ile otomatik yükleme ve ölçüm cihazlarının ürettiği analog bilgiyi fiziksel büyüklüğe çevirerek veri toplama işlemi yapılmaktadır.



Şekil 3: Deney Düzeneği.

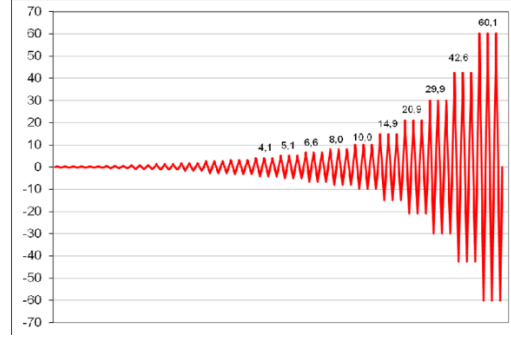
Her çevrim 3 itme, 3 çekme adımı olacak şekilde tekrarlı yükler altında tekrarlanmıştır. Her çevrimden sonra numunenin davranışı, her çevrimde oluşan çatlaklar gözlenmiştir. Tüm deneylerde, numunelerin maksimum taşıma gücüne ulaşması ve plastik deformasyonların oluşması sağlanmış, her numunede göçme oluşuncaya kadar deneyler devam etmiştir. Deney sırasında numunedeki yerdeğiştirmeleri, uygulanan yatay yükü, eğrilik durumlarını ölçebilmek için şekildeğiştirme ölçer ve yük ölçerler yerleştirilmiştir. Hasarın en fazla oluşmasının beklendiği potansiyel plastik mafsallara da şekildeğiştirme ölçerleri yerleştirilmiş, böylelikle tekrarlı tersinir yatay yük etkisi altında plastik mafsalların davranışının incelenmesi için moment-eğrilik ilişkileri elde edilebilmiştir. Çalışmada elde edilmesi istenen amaca yönelik yerdeğiştirme ölçerler farklı noktalara uygulanmıştır. Deneysel çalışmada, deney numunelerinin davranışları sabit ötelenme oranına göre değerlendirilmiştir. Her numune için çevrim numaraları, sabit ötelenme değerleri ile belirlenmiş, ötelenme değeri, numunenin yatayda yaptığı yerdeğiştirme değerinin yatay yükün uygulandığı noktanın temele olan uzaklığına oranı olarak hesaplanmıştır. Dolgu duvarların kayma deformasyonunu ölçmek için de Numune 1 (boş çerçeve) haricinde her numunede duvarın tek yüzüne şekildeğiştirme ölçerleri çapraz olarak yerleştirilmiştir. Bunun dışında numunenin düzlem dışı hareketi ve olası temel hareketleri de şekildeğiştirme ölçerleri yerleştirilerek gözlemlenmiştir. Numunelerde kullanılan yerdeğiştirme ölçerleri ve mesnetlenme yerleri şematik olarak Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4: Şekildeğiştirme ölçerlerinin şematik görünümü.

İtme ve çekmede oluşan çatlakların karışmaması için farklı renkler kullanılmıştır. İtme sırasında oluşan çatlaklar mavi renk, çekme sırasında oluşan çatlaklar kırmızı renkli olarak işaretlenmiştir. Deney prosedürünün belirlenmesinde daha önce yapılmış deneyler ve ACI'da (ACI, 2008, s. 323) belirtilen şartlar dikkate alınmıştır. Buna göre, ilk çevrim lineer elastik sınırlar içinde olacak, birbirini tekrar eden iki çevrim arası oran 1.25-1.5 arası

olacak ve her itme-çekme çevrimi 3'er kez uygulanacak şekilde deneyleri gerçekleştirilmiştir. Tüm deneyler yerdeğiştirme kontrollü yapılmıştır. Tüm deney numunelerine uygulanan yükleme protokolü Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5: Yükleme protokolü.

1.5. Analitik Çalışma

Bu çalışmanın kapsamında basit bir model geliştirerek analitik çözümden elde edilen sonuçları deney sonuçları ile karşılaştırmaktır.

1.5.1. Doğrusal Olmayan Statik Yöntem ile Yapı Performansının Belirlenmesi

Doğrusal olmayan yapısal analiz, yapıların deprem davranışlarının belirlenmesinde kullanılan ve yapının elastik ötesi davranışını belirlemede kullanılan analiz yöntemidir. Bu çalışma kapsamında yapıların deprem davranışlarının belirlenmesinde ve analitik çalışmada doğrusal olmayan statik itme analizi kullanılmıştır.

1.5.2. Plastik Mafsal Teorisi

Çalışmada, malzemenin doğrusal olmayan davranışını dikkate almak üzere plastik mafsal teorisi kullanılmıştır. Buna göre, plastik şekildeğiştirmelerin plastik kesit adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde sistemin doğrusal elastik davranış gösterdiği kabulü yapılmıştır (Korkmaz ve Uçar 2006, s. 65-76). Deneyleri tamamlanan numunelerin bilgisayar yardımı ile çözümlenmesi yapılmıştır. SAP 2000 bilgisayar programı ile betonarme çerçevelere doğrusal olmayan yük artımı yöntemi uygulanmıştır. Doğrusal olmayan yük artımı için DBYBHY 2007 (URL-1, 2007, s. 121) yönetmelik esasları dikkate alınmıştır. Bu çalışma kapsamında yatay yükler için hedeflenen yerdeğiştirme değerine kadar yük parametresini artırarak yerdeğiştirme kontrollü analiz yapılmıştır.

1.5.3. Eşdeğer Basınç Çubuğu Modeli

Çerçeve ve dolgunun diyagonal uçlarda temas halinde olduğu ve yatay yük etkisinde yapının tüm serbest düğüm noktalarında aynı yerdeğiştirmeyi yapacağı kabul edilmiştir (Sayın ve Kaplan, 2005, s. 474- 480). Eşdeğer basınç çubuğu, yükün etki ettiği köşeler arasında tek çubuk olarak modellenmiştir. Dolgu duvar modeli için P plastik mafsallı duvarın orta noktasına yerleştirilmiştir. Plastik mafsallı uzunluğu çubuğun köşegen uzunluğudur. Önerilen yarı-deneysel model en-boy oranına duyarlı bir modeldir. Çubuk uçları mafsallı olarak tanımlanmıştır. Dolgu duvar davranışının, eşdeğer sanal basınç çubuğu olarak tanımlanabilmesi için DBYBHY 2007’de birçok parametre kullanılmıştır. a_{duvar} eşdeğer sanal çubuk genişliği (mm), h_k kolon boyu (mm), h_d duvar boyu (mm), r_d dolgu duvar köşegen uzunluğu (mm), t_{duvar} duvar kalınlığı, I_k kolon atalet momenti, E_{duvar} duvar elastisite modülü, Θ eşdeğer basınç çubuğunun yatayla yaptığı açıdır. DBYBHY 2007’de tanımlanan eşdeğer basınç çubuğu denklemleri 1 ve 2’de verilmiştir (URL-1, 2007, s. 155).

$$a_{duvar} = 0.175 (\lambda_{duvar} h_k)^{-0.4} r_d \quad (1)$$

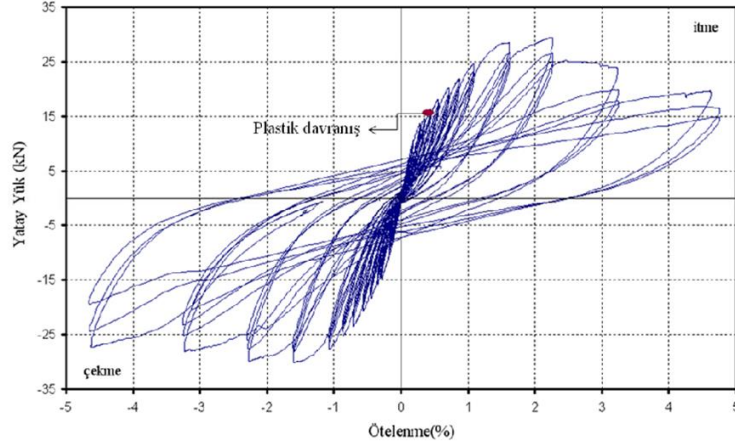
$$\lambda_{duvar} = \left[\frac{E_{duvar} t_{duvar} \sin 2\Theta}{4 E_c I_k h_{duvar}} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (2)$$

2. Sonuçlar

2.1. Deney Sonuçları

2.1.1. Boş Çerçeve Deneyi - Numune 1

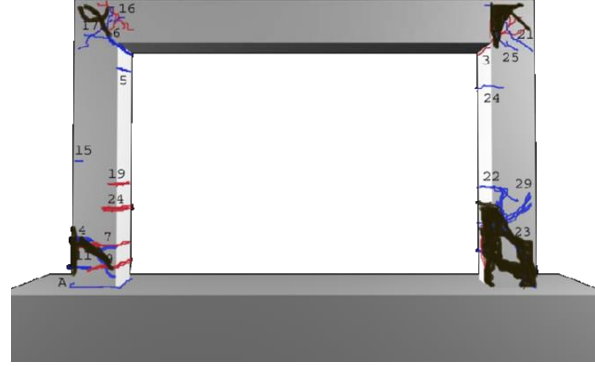
Yerdeğiştirme kontrollü gerçekleştirilen deney, her çevrim üç itme-üç çekme olacak şekilde uygulanmıştır. Deney boyunca gözlemlenen çatlaklar sırasıyla numaralandırılmış, çatlak yerleri işaretlenmiştir. Boş çerçeve numunesine 17 çevrim uygulanmıştır. Bu çevrimler sonucunda numuneye uygulanan en büyük yatay kuvvet itmede 15. çevrimde, tepe yerdeğiştirme $\delta=21.7$ mm’ye (öteleme oranı=%2.263) gidilirken 29.4 kN, çekmede ise 14. çevrimde tepe yerdeğiştirme $\delta=15.1$ mm’ye (öteleme oranı=%1.611) gidilirken 30.0 kN olarak okunmuştur. Bu numunede dolgu duvar olmadığı için hasarlar genellikle kolon mesnet bölgeleri ve kolon-kiriş birleşim bölgelerinde meydana gelmiştir. Deneyin 1. çevrimi, ilk hedef tepe yerdeğiştirmesi olan $\delta=0.43$ mm’de (öteleme oranı=%0.024), itmede maksimum yük 1.7 kN, çekmede ise 2.6 kN olarak hesaplanmıştır. Numunede gözlenen ilk çatlaklar 6. çevrimde tepe yerdeğiştirmesi $\delta=1.95$ mm (öteleme oranı=%0.184) iken, sol kolon dış yüzey alt ve üst bölgede eğilme çatlakları olarak gözlenmiştir. Bu çevrimde hesaplanan maksimum yükler itmede 10.7 kN, çekmede ise 10.9 kN’dur. 7. ve 8. çevrimlerde çerçevede çatlaklar oluşmaya devam etmiş, mevcut çatlak boylarında uzamalar meydana gelmiştir. Çatlaklar genellikle kolonların iç ve dış yüzeylerinde gözlenmiştir. Hedeflenen tepe yerdeğiştirme $\delta=4.41$ mm (öteleme oranı %0.443) olduğu 9. çevrimde itmede maksimum yük 16.2 kN, çekmede ise 18.4 kN olarak gerçekleşmiş, deney sonrası elde edilen yatay yük – yerdeğiştirme eğrilerinden görüldüğü üzere bu çevrim sonrasında numune elastik sınırlar içerisinde çıkıp plastik davranış göstermeye başlamıştır. Şekil 6’da boş çerçeve numunesi yatay yük – ötelenme grafiği verilmiş, çerçevenin elastik davranıştan elastoplastik davranışa geçtiği ötelenme oranı (%0.443) işaretlenmiştir.



Şekil 6: Numune 1 - Yatay yük - ötelenme eğrisi

Devam eden çevrimlerde kolonlarda görülen eğilme çatlakları öncelikle kolon alt bölgelerinde, ileri çevrimlerde ise kolon üst bölgelerinde yoğunlaşmıştır. 10. çevrimde, sol kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşan 14 numaralı kesme çatlağı, sol kolon iç yüzeydeki 3 numaralı eğilme çatlağı ile birleşerek genişlemiştir. Bundan sonraki çevrimlerde mevcut çatlaklar uzamış, çatlak genişliklerinde artma gözlenmiştir. Çatlaklar kolon orta bölgelerinde de oluşmaya başlamıştır. Hedef tepe yerdeğiştirme $\delta=8.45$ mm olarak belirlenen (öteleme oranı: %0.868) 12. çevrimde, mevcut eğilme çatlaklarının genişlemesine ilave olarak sol kolon arka yüz birleşim bölgesi ve sol kolon alt bölgede kolonda kesme çatlaklarının olduğu gözlenmiştir. Bu çevrimde hesaplanan maksimum yükler itmede 21.8 kN, çekmede ise 25.2 kN'dur. %1.611 öteleme oranı, $\delta=15.5$ mm tepe yerdeğiştirme hedeflenen 14. çevrimde itmede 28.6 kN, çekmede ise deney boyunca ulaşılan en büyük yatay yük olan 30 kN değerine, bir sonraki çevrimde, 21.7 mm tepe yerdeğiştirmesi, %2.263 öteleme oranında itme sırasında 29.4 kN'luk maksimum yatay yük değerine ulaşılmıştır. Bir sonraki çevrim, %2.263 öteleme oranı $\delta=21.7$ mm tepe yerdeğiştirmesi olan 15. çevrimde tekrarlı itme-çekmeler sonucu sol kolon arka yüzde betonda kopmalar olmuştur. Sağ kolon arka yüz mesnet bölgesindeki itme sırasında oluşan 22 ve 23 numaralı çatlaklar çatallanarak uzamış ve birleşmişlerdir. Sağ kolon alt bölgesinde temelden yaklaşık 32 cm yükseklikte, itme sırasında 29 numaralı kesme çatlağı oluşmuştur. Bu çevrimde itmede maksimum yük 29.4 kN, çekmede ise 29.8 kN olarak gerçekleşmiştir. 15. çevrim sonrası devam eden çevrimlerde, itme ve çekme sırasında hesaplanan yatay yük değerlerinde azalma olduğu gözlenmiştir. Numunenin maksimum yük değerleri itmede 29.4 kN, çekmede ise 30kN olarak kaydedilmiştir. Mevcut çatlaklar çatallanarak uzamaya ve genişlemeye devam etmiş, kolon mesnet bölgelerindeki kesme çatlakları sayısı artmıştır. Bu çevrimde, betonda blok halde dökülme ve donatıda burkulma sonucu numune dayanımını büyük ölçüde kaybetmiştir. Öteleme oranı %3.229, tepe yerdeğiştirme $\delta=30.88$ mm olan 16. çevrimde hesaplanan yükler itme sırasında 24 kN, çekmede ise 27.7 kN'a düşmüştür. Tekrarlı itme ve çekmeler sonucunda kolon kiriş birleşim bölgelerinde çatlak sayısı artmış, çatlak derinlikleri oldukça genişlemiş, sol kolon arka yüzde betonda kopmalar gözlenmiştir. Her iki kolonda da kolon donatılarındaki

burkulmalar ve kesme kırılmaları rahatlıkla gözlenebilmektedir. 17. çevrim, maksimum tepe yerdeğiştirmesinin 43.8 mm olarak ölçüldüğü, son çevrimdir. Bu çevrimde hesaplanan yükler itmede 19.6 kN, çekmede 27.3 kN olup sonrasında deneye son verilmiştir. Şekil 7’de deney sonrası numunedeki hasar durumu gösterilmiştir.



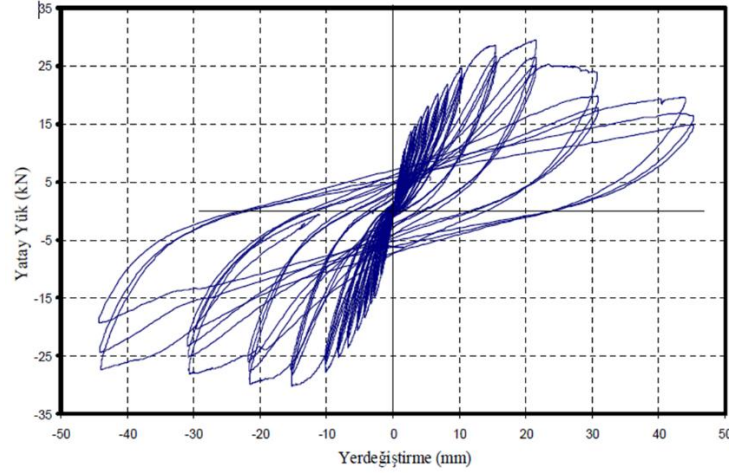
Şekil 7: 17. çevrim sonrası numunedeki hasar durumu

Boş çerçevenin göçme şekli kolon mesnet bölgelerindeki kesme çatlakları nedeniyle gerçekleşmiştir. İlk olarak kolonlarda başlayan eğilme çatlaklarını, kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki kesme çatlakları izlemiş, numunenin maksimum yüklerle ulaştığı yerdeğiştirme sonrasında gözlenen kolon alt bölgesindeki kesme çatlakları donatının akma konumuna ulaşmasına neden olmuş ve numune göçmüştür. Numune 1’e uygulanan ötelenme oranları ve oluşan maksimum yükler Tablo 4’te gösterilmiştir.

Tablo 4: Numune 1 Maksimum yük – yerdeğiştirme tablosu.

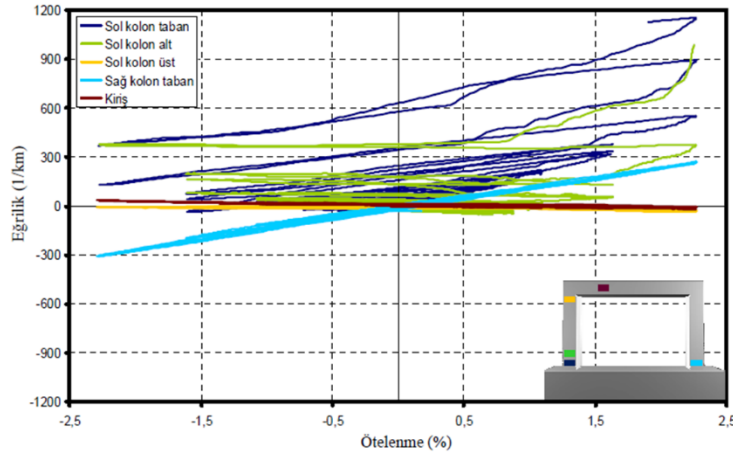
Çevrim	Numune 1		İTME		ÇEKME	
	Kat ötelenmesi (%)	Yerdeğiştirme (Δ) (mm)	Maksimum Yük (kN)	Yerdeğiştirme (Δ) (mm)	Maksimum Yük (kN)	
1	0.024	0.43	1.7	0.03	-2.6	
2	0.041	0.69	3.4	0.09	-3.0	
3	0.062	0.89	3.5	0.29	-4.1	
4	0.095	1.1	5.5	0.7	-6.9	
5	0.132	1.45	7.8	1.05	-8.4	
6	0.184	1.95	10.7	1.55	-10.9	
7	0.292	2.97	13.7	2.57	-14.7	
8	0.348	3.51	14.6	3.11	-16.1	
9	0.443	4.41	16.2	4.01	-18.4	
10	0.554	5.46	18.0	5.06	-20.5	
11	0.719	7.03	20.3	6.63	-23.4	
12	0.868	8.45	21.8	8.05	-25.2	
13	1.078	10.44	24.6	10.04	-27.7	
14	1.611	15.5	28.6	15.1	-30.0	
15	2.263	21.7	29.4	21.3	-29.8	
16	3.229	30.88	24.0	30.48	-27.7	
17	4.6	43.8	19.6	43.6	-27.3	

Boş çerçeve numunesinin davranışının daha kolay izlenebilmesi ve diğer numunelerle karşılaştırılması için deney sırasındaki yatay yük-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 8’de verilmiştir.



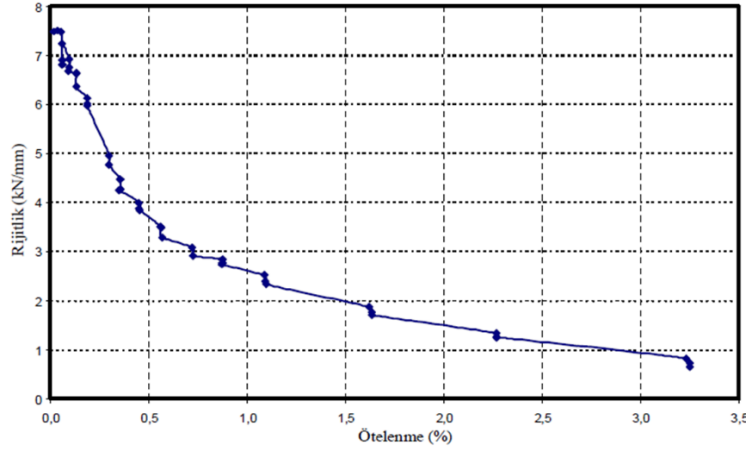
Şekil 8: Numune 1 yatay yük – yerdeğiştirme eğrisi

Elastik ötesi şekildeğiştirme yapabilme yeteneği olarak tanımlanan süneklik kapasiteleri bakımından numunelerin karşılaştırılması ve numune içinde hasar dağılımının daha detaylı anlaşılabilmesi için moment-eğrilik ilişkileri elde edilmiştir. Moment-eğrilik ilişkileri elde edilirken, eğrilik değerleri kolon alt ve üst bölgelerine yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerlerden yararlanılarak hesaplanmıştır. Şekil 9’da eğrilik-ötelenme grafiği verilmiştir.



Şekil 9: Numune 1- Eğrilik-ötelenme eğrisi.

Deney elemanlarının rijitlik değerleri yük-yerdeğiştirme eğrilerinden hesaplanmıştır. Hesaplanan rijitlik-ötelenme eğrisi şekil 10’da verilmiştir.

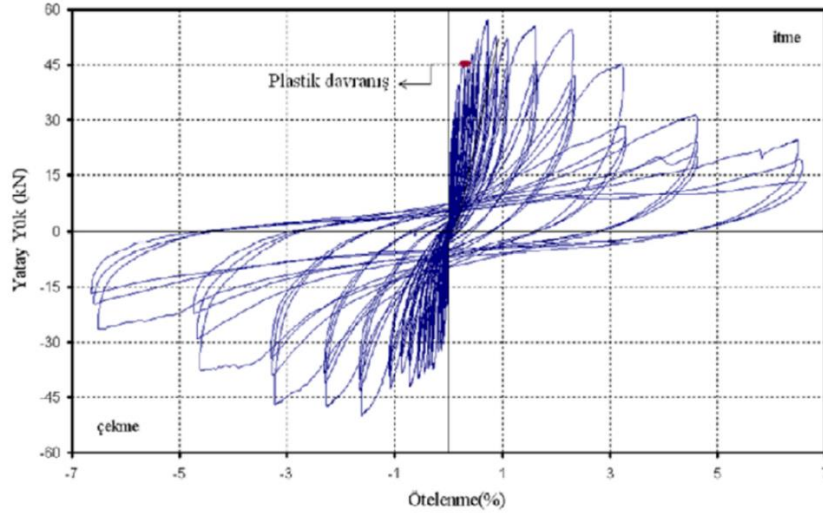


Şekil 10: Numune 1 – Rijitlik-öteleme eğrisi.

2.1.2. Dolgu Duvarlı Tek Yüzü Sıvalı Çerçeve Deneyi - Numune 2

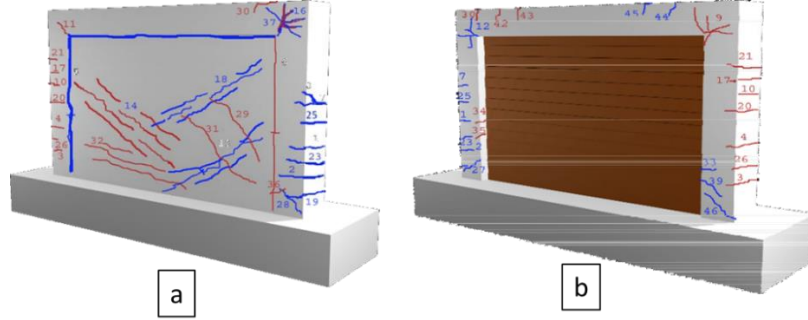
Bu numuneye, ilk 3 çevrim yük kontrollü, sonraki çevrimler yerdeğiştirme kontrollü olmak üzere 18 çevrim uygulanmıştır. İlk üç çevrimde yatay yük kontrollü deney yapılmasının nedeni istenilen hedef yerdeğiştirmelere deney düzeneğinin hassasiyeti nedeniyle gidilememe riski bulunmasındandır. Bu çevrimler sonucunda numuneye uygulanan en büyük yatay kuvvet itmede 11. çevrimde, tepe yerdeğiştirme $\delta=6.85$ mm'ye (öteleme %0.719) gidilirken 57.2 kN, çekmede ise 14. çevrimde tepe yerdeğiştirme $\delta=15.3$ mm'ye (öteleme %1.611) gidilirken 49.8 kN olarak okunmuştur. Bu numunede dolgu duvar uygulaması olduğu için hasarlar öncelikle dolgu duvarlarda çapraz diyagonal çatlaklar olarak ortaya çıkmış, daha sonra kolon mafsallık bölgelerinde eğilme ve kesme çatlakları olarak gözlenmiştir. Deneyin ilk üç çevriminde uygulanacak yatay yükler sırasıyla 20, 25, 30 kN olarak belirlenmiştir. 4. çevrimde hedeflenen yerdeğiştirmeye ulaşılmış ve deneye yerdeğiştirme kontrollü devam edilmiştir. Numunede gözlenen ilk çatlaklar 5. çevrimde tepe yerdeğiştirmesi $\delta=1.30$ mm (öteleme oranı=%0.132) iken, sağ ve sol kolon dış yüzey alt bölgede eğilme çatlakları olarak gözlenmiştir. Çatlakların ölçülen genişliği 0.1 mm'den küçüktür. Bununla birlikte betonarme çerçeve ile dolgu duvar birleşim bölgesinde sıva çatlakları gözlenmiştir. 5 ve 6 numaralı sıva çatlakları devam eden tekrarlı yükler altında birleşerek uzamışlardır. Bu çevrimde hesaplanan maksimum yükler itmede 35 kN, çekmede ise 32 kN'dur. Hedeflenen tepe yerdeğiştirme $\delta=1.8$ mm (öteleme oranı %0.184) olduğu 6. çevrimde itmede maksimum yük 39.2 kN, çekmede ise 32.8 kN olarak gerçekleşmiş, çatlaklar oluşmaya devam etmiş, mevcut çatlak boylarında uzamalar meydana gelmiştir. Çatlaklar genellikle kolonların iç ve dış yüzeylerinde gözlenmiş, bununla birlikte dolgu duvarda 13 ve 14 numaralı çapraz diyagonal kesme çatlakları oluşmuştur. Ayrıca arka yüz kolon-kiriş birleşim bölgelerinde ~ 5'er cm uzunluğunda, 0.2 mm derinliğinde kesme çatlakları gözlemlenmiştir. Bu çevrimde numunede çatlama sesleri net bir şekilde duyulmuştur. Bir sonraki çevrim, %0.292 öteleme oranı $\delta=2.75$ mm tepe yerdeğiştirmesi olan 7. çevrimde, çatlaklar uzamaya ve çatlak derinlikleri genişlemeye devam etmiş, buna ilaveten tuğlalarda da çatlaklar gözlenmeye başlamıştır. Çerçeve ile dolgu duvar arası çatlaklar daha belirginleşerek tüm birleşim bölgesine yayılmıştır. Bu çevrimde hesaplanan maksimum yükler itmede 45 kN, çekmede ise 37.2 kN'dur. Deney

sonrası elde edilen yatay yük – yerdeğiştirme eğrilerinden görüldüğü üzere bu çevrim sonrasında numune elastik sınırlar içerisinde çıkıp plastik davranış göstermeye başlamıştır. Şekil 11’de dolgu duvarlı, tek yüzü sıvalı deney numunesinin yatay yük – ötelenme eğrisi verilmiş, çerçevenin elastik davranıştan plastik davranışa geçtiği ötelenme oranı (%0.292) işaretlenmiştir.



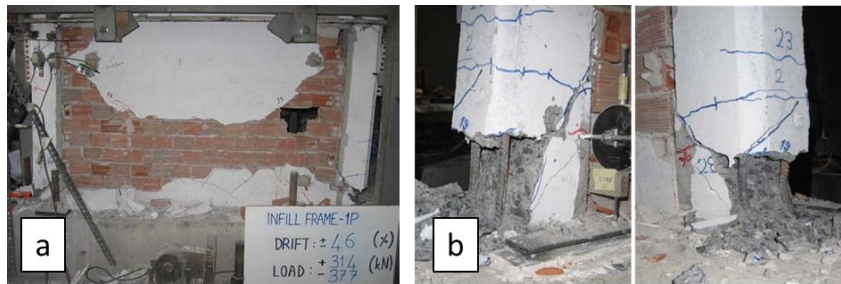
Şekil 11: Numune 2 - yatay yük - ötelenme eğrisi.

Devam eden 8. 9. ve 10. çevrimlerde her iki kolonda görülen eğilme çatlakları öncelikle kolon alt bölgelerinden, kolon üst bölgelerine doğru artarak yoğunlaşmıştır. Dolgu duvarda gözlenen kesme çatlaklarında artış ve uzamalar devam etmiştir. Kolon-kiriş birleşim bölgesindeki çatlaklarda çatallanmalar artmıştır. Betonarme çerçeve ile tuğla duvar arasında numunenin arka yüzünde belirgin ayrışmalar gözlenmiştir. Hedef tepe yerdeğiştirme $\delta=6.85$ mm olarak belirlenen (öteleme oranı: %0.719) 11. çevrimde, mevcut eğilme çatlakları genişlemiş, çatlak derinlikleri artmış (yaklaşık 0.5 mm), duvardaki kesme çatlakları genişlediği için sıvada parçalar halinde dökülmeler başlamıştır. Bu çevrimde itmede deney boyunca gözlenen en büyük yatay yük olan 57.2 kN, çekmede ise 42 kN'a ulaşılmıştır. %0.868 öteleme oranı, $\delta=8.3$ mm tepe yerdeğiştirmesi hedeflenen 12. çevrimde itmede 52 kN, çekmede ise 38.4 kN değerine, bir sonraki çevrimde, 10.3 mm tepe yerdeğiştirmesi, %1.078 öteleme oranında itme sırasında 51.9 kN, çekmede ise 42.3 kN değerine ulaşılmıştır. Bu iki çevrimde kolon mafsal bölgelerinde ilave kesme çatlakları oluşmuş, mevcut çatlaklar çatallanarak uzamış, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde çatlak sayısı artmıştır. Sağ kolon ön ve arka yüzde kolon mafsal bölgesinde 27 ve 28 numaralı kesme çatlakları oluşmuştur. Ön yüzde duvarda kesme çatlakları ve buna bağlı sıva dökülmeleri artarak devam etmiştir. 13. çevrim sonrası, numunede oluşan çatlak durumu Şekil 12'de şematik olarak gösterilmiştir. Bir sonraki çevrim, %1.611 öteleme oranı $\delta=15.3$ mm tepe yerdeğiştirmesi olan 14. çevrimde çekmede maksimum yük olan 49.8 kN seviyesine ulaşılmıştır. Bu çevrimde özellikle sıvasız olan arka yüzde duvar-çerçeve arası ayrışmalar çok daha belirginleşmiş, kirişte itme sırasında 42 ve 43, çekmede ise 44-45-46 numaralı eğilme çatlakları oluşmuştur.



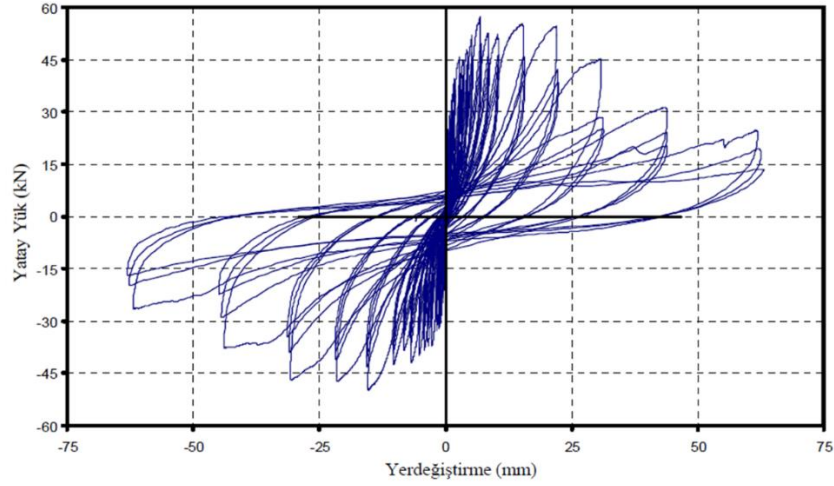
Şekil 12: a) Numune 2 - 6. çevrim sonrası hasar durumu. b) Numune 2 - 14. çevrim sonrası numune arka yüz hasar durumu.

15. çevrim ve sonrası devam eden çevrimlerde, itme ve çekme sırasında hesaplanan yatay yük değerlerinde azalma olduğu gözlenmiştir. Kolon mafsalları ve kolon-kiriş birleşim bölgelerinde kesme çatlakları oluşmaya ve mevcut çatlaklar derinleşerek uzamaya devam etmişlerdir. Sağ kolon arka yüzünde kolon-kirişin duvarla birleştiği köşede tuğlada ezilme gerçekleşmiştir. 15. çevrimde hedeflenen ötelenme oranı %2.263 iken ölçülen maksimum yükler itmede 53.1 kN, çekmede ise 47.3 kN olmuştur. Bu çevrim sırasında duvardaki kesme dayanımını ölçen sistem sıva kopmaları sonucu zarar görmüştür. Bununla birlikte sağ kolon arka yüzündeki 27 numaralı kesme çatlağı derinliği artmış (~ 1.5 mm), çatallanarak temele kadar uzamıştır. Öteleme oranı %3.229, tepe yerdeğiştirme $\delta=30.7$ mm olan 16. çevrimde hesaplanan yükler itme sırasında 45.3 kN, çekmede ise 46.8 kN'a düşmüştür. Tekrarlı itmeler sonucunda sağ kolon arka yüzünde kolon alt bölgede betonda kopmalar gerçekleşmiştir. Buna ilaveten sağ kolon-kiriş birleşim bölgesinde çatlaklarda çatallanmalar sonucu paspayı dökülmeleri ve tuğlalarda iri parçalar halinde dökülmeleri gözlenmiştir. Tekrarlı yüklerin uygulandığı 16. çevrim boyunca sağ kolon mafsalları bölgesindeki mevcut 28-39 ve 40 numaralı kesme çatlakları oldukça genişlemiş, temele kadar uzamış ve betonda paspayı dökülmeleri gerçekleşmiştir. Maksimum tepe yerdeğiştirmesinin 43.6 mm olarak ölçüldüğü, çerçevenin göçme konumunda kabul edildiği 17. çevrimde maksimum yükler itmede 31.4 kN, çekmede ise 37.7 kN olarak ölçülmüştür. Bu çevrim boyunca numunedeki büyük parçalar halinde tuğla kopmaları, kolon alt bölgelerinde betonda kopmalar oluşmuş, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde ise sadece paspayı dökülmeleri gözlenmiştir (bkz. Şekil 13a). Tekrarlı yükler altında devam eden çevrimde betonda paspayı dökülmeleri sonrası kolon alt bölgelerinde donatı burkulmaları açık bir şekilde görülebilmektedir (bkz. Şekil 13b).



Şekil 13: a) Numune 2 - 17. çevrim sonrası numune hasar durumu. b) Numune 2 – Kolon alt bölgesinde donatı burkulmaları

Çerçevenin göçme konumuna ulaşmasından sonraki deneyin son çevrimi olan 18. çevrimde hedeflenen $\delta=61.7$ mm'ye ulaşıldığında ölçülen maksimum yükler itmede 24.7 kN, çekmede ise 26.5 kN olup, deneye son verilmiştir. Dolgu duvarlı ve tek yüzü sıvalı deney çerçevesinin göçme şekli kolon mesnet bölgelerindeki donatıların burkulup kesme kırılması ve basınç etkisiyle göçme konumuna gelmeleri sonucu gerçekleşmiştir. İlk olarak kolonlarda başlayan eğilme çatlaklarını, dolgu duvarlarda oluşan diyagonal kesme çatlakları izlemiş, kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki kesme çatlakları ve numunenin maksimum yüklere ulaştığı yerdeğiştirme sonrasında gözlenen kolon alt bölgelerinde oluşan kesme çatlakları donatının akma konumuna ulaşmasına neden olmuş ve numune göçmüştür. Dolgu duvarlı ve tek yüzü sıvalı çerçeve numunesinin davranışının yatay yük-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 14'te verilmiştir.



Şekil 14: Numune 2 yatay yük – yerdeğiştirme eğrisi.

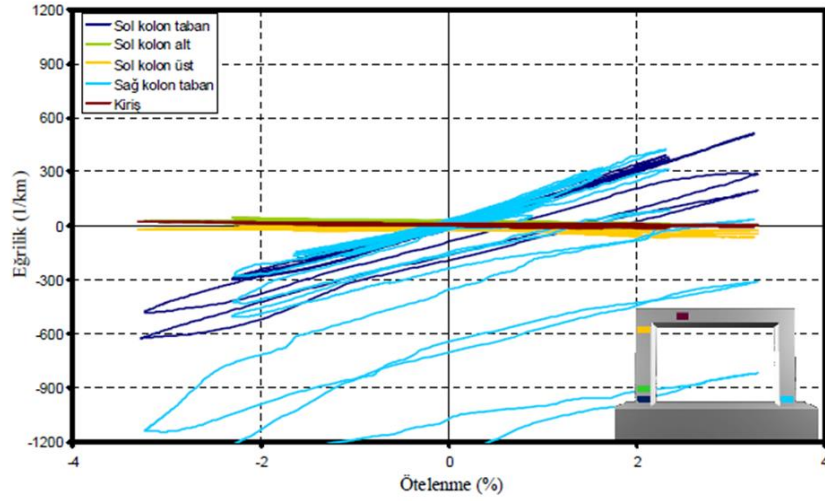
Numune 2'ye uygulanan ötelenme oranları ve oluşan maksimum yükler Tablo 5'te görülmektedir.

Tablo 5: Numune 2 Maksimum yük- yerdeğiştirme tablosu.

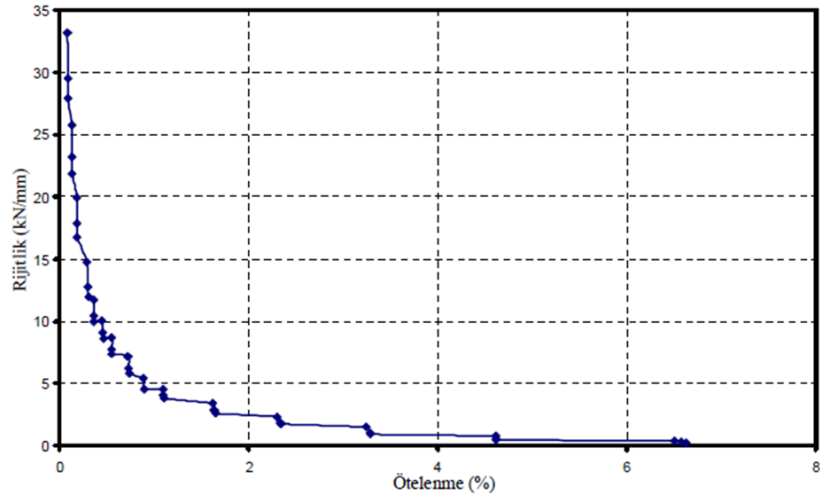
Numune 2		İTME		ÇEKME	
Çevrim	Kat ötelenmesi (%)	Yerdeğiştirme (Δ) (mm)	Maksimum Yük (kN)	Yerdeğiştirme (Δ) (mm)	Maksimum Yük (kN)
1	Yük kontrollü	-	20.2	-	-19.5
2	Yük kontrollü	-	24.0	-	-24.5
3	Yük kontrollü	-	29.4	-	-30.3
4	0.095	1.0	28.0	1.0	-28.0
5	0.132	1.3	35.0	1.3	-32.0
6	0.184	1.76	39.2	1.8	-32.8
7	0.292	2.75	45.0	2.76	-37.2
8	0.348	3.4	44.3	3.4	-36.8
9	0.443	4.3	47.8	4.2	-38.5

10	0.554	5.27	52.0	5.28	-40.0
11	0.719	6.85	57.2	6.88	-42.0
12	0.868	8.36	52.0	8.23	-38.4
13	1.078	10.39	51.9	10.22	-42.3
14	1.611	15.3	55.4	15.3	-49.8
15	2.263	21.93	53.1	21.5	-47.3
16	3.229	30.7	45.3	30.7	-46.8
17	4.6	43.6	31.4	43.8	-37.7
18	6.5	61.7	24.7	61.7	-26.5

Şekil 15 ve 16'da eğrilik-ötelenme eğrisi ve yatay yük-yerdeğiştirme eğrilerinden hesaplanan rijitlik-ötelenme eğrisi verilmiştir.



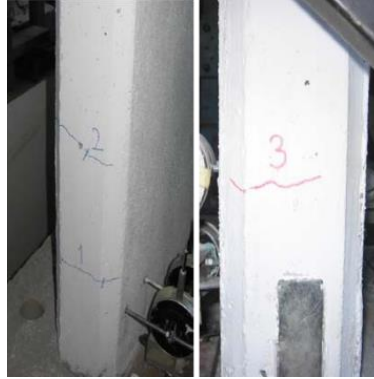
Şekil 15: Numune 2 - Eğrilik-ötelenme eğrisi.



Şekil 16: Numune 2 - Rijitlik-ötelenme eğrisi

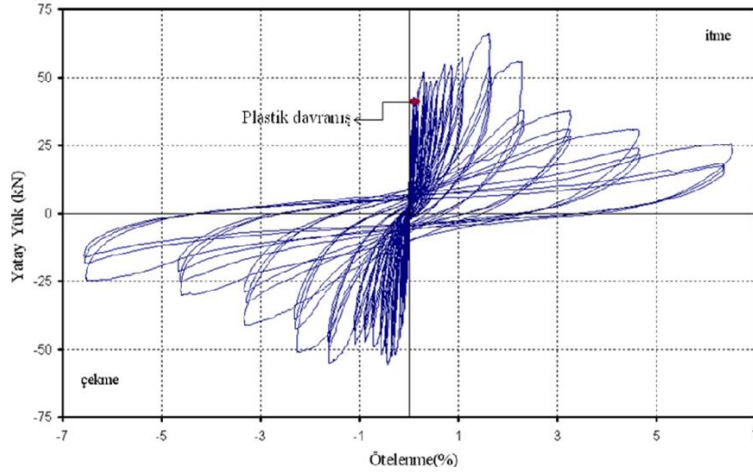
2.1.3. Dolgu Duvarlı Çift Yüzü Sıvalı Çerçeve Deneyi – Numune3

Çalışma kapsamında üçüncü deney dolgu duvarlı çift yüzü sıvalı çerçevede gerçekleştirilmiştir. Bu numuneye de ilk 3 çevrim yük kontrollü sonraki çevrimler yerdeğiştirme kontrollü olmak üzere 18 çevrim uygulanmıştır. Bu çevrimler sonucunda tüm deney boyunca numuneye uygulanan en büyük yatay kuvvet itmede 14. çevrimde, tepe yerdeğiştirme $\delta=15$ mm'ye (öteleme % 1.611) gidilirken 66 kN, çekmede ise aynı çevrimde tepe yerdeğiştirme $\delta=15.6$ mm'ye (öteleme % 1.611) gidilirken 55.8 kN olarak okunmuştur. Numunede gözlenen ilk çatlaklar 4. çevrimde maksimum yükler itme sırasında 42.5 kN, çekmede ise 35.2 kN, öteleme oranı % 0.095 iken, sağ ve sol kolon dış yüzey alt bölgede 1, 2 ve 3 numaralı eğilme çatlakları olarak gözlenmiştir (bkz. Şekil 17). Çatlakların ölçülen genişliği 0.1 mm'den küçüktür. Bununla birlikte betonarme çerçeve ile dolgu duvar birleşim bölgesinde her iki yüzde de duvar-çerçeve arası çizgi şeklinde açılma gözlenmiştir. Duvardaki sıva çatlakları derinleşerek (~ 0.4 mm) daha belirgin hale gelmişlerdir.



Şekil 17: Numune 3 – Deney sırasında gözlenen ilk eğilme çatlakları.

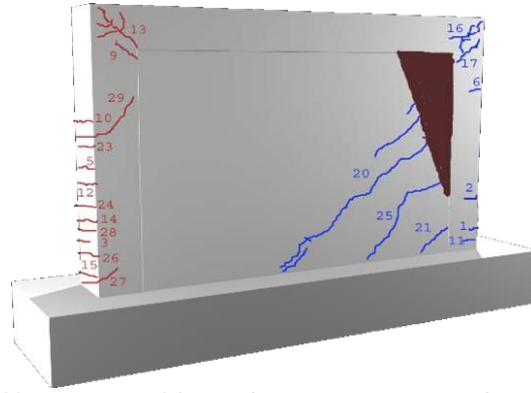
Bir sonraki çevrim olan 5. çevrimde deney sonrası elde edilen yatay yük– yerdeğiştirme eğrilerinden görüldüğü üzere numune elastik sınırlar içerisinde çıkıp plastik davranış göstermeye başlamıştır. Şekil 18'de dolgu duvarlı, çift yüzü sıvalı deney numunesinin yatay yük–öteleme grafiği verilmiş, çerçevenin elastik davranıştan plastik davranışa geçtiği öteleme oranı (%0.132) işaretlenmiştir.



Şekil 18: Numune 3 - Yatay yük-öteleme eğrisi.

5. çevrim boyunca hesaplanan maksimum yükler %0.132 öteleme oranı, tepe yerdeğiştirme $\delta=0.95$ mm'ye gidilirken itme sırasında 42.8 kN, çekmede ise $\delta=1.55$ mm iken 41.3 kN olarak hesaplanmıştır. Bu çevrim boyunca tekrarlı itme ve çekmeler sonucu mevcut eğilme çatlaklarında ~5'er cm uzamalar kaydedilmiş ve sıva kabarmaları numunenin her iki yüzünde de daha belirgin hale gelmiştir. Bir sonraki 6. çevrimde %0.184 öteleme oranı, $\delta=1.45$ mm'ye gidilirken, her iki kolon dış yüzeylerinde eğilme çatlakları oluşmaya devam etmiş, mevcut çatlak boylarında uzama ve çatlak derinliklerinde artmalar gözlenmiştir. Hedeflenen tepe yerdeğiştirmesinin $\delta=2.5$ mm (öteleme %0.292) olduğu 7. çevrim (itmede maksimum yük 51.8 kN, çekmede 52 kN) ve hedef tepe yerdeğiştirme $\delta=3.5$ mm, öteleme oranı %0.348 olan 8. çevrimlerde (itmede maksimum yük 48.1 kN, çekmede 52.7 kN) genellikle kolon alt bölgelerine yakın eğilme çatlakları (6-7-8 numaralı çatlaklar) oluşmaya devam etmiş, mevcut çatlak boylarında (~5-10 cm) uzamalar meydana gelmiştir. 7. ve 8. çevrimler sırasında çatlaklar genellikle kolonların iç ve dış yüzeylerinde gözlenmiş, bununla birlikte dolgu duvar-betonarme çerçeve arası birleşim bölgelerinde çatlaklar çizgi halinde uzamıştır. Devam eden 9. ve 10. çevrimlerde her iki kolonda görülen eğilme çatlakları öncelikle kolon alt bölgelerinden, kolon üst bölgelerine doğru artarak yoğunlaşmıştır. Eğilme çatlaklarına ilave olarak sol kolon-kiriş birleşim bölgesi ön yüzünde çekme sırasında 9 ve 13, itme sırasında ise 16 ve 17 numaralı kesme çatlakları gözlenmiştir. Bununla birlikte sıva çatlaklarında kabarmalar ve sıvada dökülmeler başlamıştır. Duvar sıvasında parçalar halinde kopmalar sebebiyle duvar kesme çatlakları ölçen şekildeğiştirme ölçerler zarar görmüştür. 10. Çevrim sonrası ulaşılan maksimum yatay yük değerleri itme sırasında 49.1 kN, çekmede ise 52.1 kN olarak ölçülmüştür. Bir sonraki çevrim, %0.719 öteleme oranı $\delta=6.75$ mm hedef tepe yerdeğiştirmesi olan 11. çevrimde (maksimum yükler itmede 54.8 kN, çekmede 49.1 kN) dolgu duvarda yaklaşık ~0.2 mm genişliğinde 20 ve 21 numaralı kesme çatlakları oluşmuş, mevcut çatlaklarda uzamalar ve derinleşmeler devam etmiştir. 12. çevrim, %0.868 öteleme oranında, maksimum yükler itmede 54.3 kN, çekmede ise 46.9 kN olarak ölçülmüştür. Bu çevrimde mevcut eğilme çatlaklarının derinlikleri genişlemiş, ek olarak sol kolon orta bölgede 23 ve 24 numaralı eğilme çatlakları oluşmuş, duvardaki 20 numaralı kesme çatlakları temele doğru uzamıştır. Sağ kolon-kiriş birleşim bölgesindeki 16 ve 17 numaralı kesme çatlaklarında çatallanarak uzama (~8 cm) kaydedilmiştir. Hedef tepe yerdeğiştirme $\delta=10$ mm olarak

belirlenen (öteleme oranı: %1.078) 13. çevrimde, mevcut eğilme çatlaklarında uzamalar kaydedilmiş (~2-8cm), duvardaki kesme çatlakları genişlediği için özellikle duvar köşelerinde sıvada büyük parçalar halinde dökülmeler başlamıştır. Tuğla duvar ile betonarme çerçevede ayrışmalar da gözlenmiştir. Bu çevrimde itmede 56.8 kN, çekmede ise 47.8 kN'luk yüke ulaşılmıştır. %1.611 öteleme oranı $\delta=15.0$ mm tepe yerdeğiştirmesi olan 14. çevrimde, duvardaki kesme çatlaklarında artma ve uzamalar devam etmiştir. Sol kolon alt bölgede 26,27, 28 numaralı eğilme çatlakları ve yine aynı kolon ön yüzünde temelden yüksekliği ~77cm olan 29 numaralı kesme çatlağı oluşmuş, ön yüz duvar köşelerinde sıva düşmeleri büyük parçalar halinde devam etmiştir (bkz. Şekil 19). Bu çevrimde numunede çatlak sesleri net bir şekilde duyulmuştur.



Şekil 19: Numune 3 – 14. çevrim sonrası numune hasar durumu.

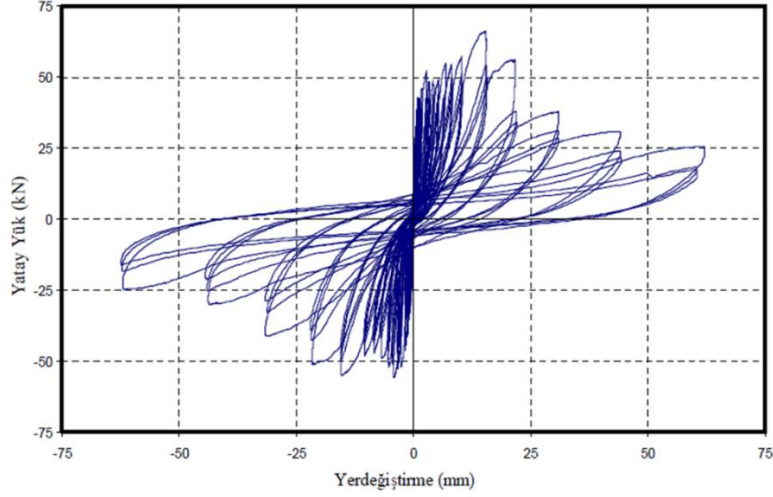
14. çevrimde (öteleme oranı % 1.611) tüm deney boyunca itme ve çekmede ulaşılan en büyük maksimum yük 66 kN/55.8 kN değerlerine ulaşılmıştır. Bu çevrimden sonraki çevrimlerde maksimum yükte hızlı düşüşler gerçekleşmiştir. Öteleme oranı %2.263, tepe yerdeğiştirme $\delta=21.2$ mm olan 15. çevrimde hesaplanan yükler itme sırasında 55.9 kN, çekmede ise 51.2 kN'a düşmüştür. Tekrarlı itmeler sonucunda dolgu duvar sağ köşedeki tuğlalarda diyagonal şekilde kopmalar gerçekleşmiştir. Buna ilaveten, sağ kolonda temelden yaklaşık 45 cm yükseklikte 31 numaralı kesme çatlağı, sol kolon ön yüzündeki 29 numaralı çatlak boyunca ve itme sırasında 6 numaralı kesme çatlağında çatallanarak uzamalar kaydedilmiştir. Tekrar eden itme ve çekmeler sırasında yine 15. çevrimde, sağ kolon arka yüz alt bölgede 32 numaralı kesme çatlağı oluşmuş mevcut çatlak boylarında uzamalar gözlenmiştir. Aynı çevrimin tekrarlı itme ve çekmeleri sırasında bu kez sağ ve sol kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki 13 ve 19 numaralı kesme çatlaklarında kirişe doğru (~20-30cm) paralel olarak uzamalar kaydedilmiştir. %3.229 öteleme oranı, $\delta=30.3$ mm tepe yerdeğiştirme hedeflenen 16. çevrimde itmede maksimum yük 36.9 kN, çekmede ise 41.7 kN olarak hesaplanmıştır. Duvar köşelerinde, büyük parçalar halinde tuğla düşmeleri devam etmiştir. Dolgu duvarda 45°'lik kesme kırılması açık bir şekilde gözlenebilmektedir. Kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki çatlaklarda çatallanma artmıştır. Bu çevrim sırasında tuğlaların düşmesi sonucu numunedeki yerdeğiştirme ölçerler büyük oranda zarar görmüştür. Sağ kolon arka yüz alt bölgedeki 32 numaralı kesme çatlağı temele doğru derinleşerek uzamıştır. Her iki kolon ön ve arka yüz alt bölgede kesme kırılmaları açık bir şekilde görülmektedir. Maksimum tepe yerdeğiştirmesinin 43.4 mm olarak ölçüldüğü,

çerçevenin göçme konumunda kabul edildiği 17. çevrimde maksimum yükler itmede 31 kN, çekmede ise 30 kN olarak ölçülmüştür. Sol kolon dış yüz 27 numaralı kesme çatlak derinliği artmış (~1.5 mm) kolon ön yüzünde temele kadar uzamıştır. 32 numaralı kesme çatlakındaki genişleme sonucu kolon alt bölgesinde beton kopmaları başlamıştır. Aynı çevrim boyunca sağ ve sol kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki 13 ve 19 numaralı kiriş paralel devam eden çatlakların çatlak uzunluğu ~75-80 cm'e çıkmıştır. Çerçevenin göçme konumuna ulaşmasından sonraki deneyin son çevrimi olan 18. çevrimde hedeflenen $\delta=61.5$ mm'ye ulaşıldığında ölçülen maksimum yükler itmede 25.3 kN, çekmede ise 24.6 kN olup, deneye son verilmiştir. Bu çevrimde tuğla duvar ile betonarme çerçeve tamamen ayrılmıştır. Şekil 20'de deney sonrası numunenin son durumu görülmektedir.



Şekil 20: Deneyler sonrası numune 3 hasar durumu.

Tekrarlı yükler altında devam eden çevrimde betonda paspayı dökülmeleri sonrası kolon alt bölgelerinde donatı burkulmaları ve kolon üst bölgedeki kesme kırılmaları açık bir şekilde görülmüştür. Dolgu duvarlı ve çift yüzü sıvalı deney çerçevesinin göçme şekli de bir önceki dolgu duvarlı tek yüzü sıvalı deney çerçevesi gibi kolon mesnet bölgelerindeki donatıların burkulup kesme kırılması ve basınç etkisiyle göçme konumuna gelmeleri sonucu gerçekleşmiştir. İlk olarak kolonlarda başlayan eğilme çatlaklarını, dolgu duvarlarda oluşan diyagonal kesme çatlakları izlemiş, kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki kesme çatlakları ve numunenin maksimum yüklere ulaştığı yerdeğiştirme sonrasında gözlenen kolon alt bölgelerinde oluşan kesme çatlakları donatının akma konumuna ulaşmasına neden olmuş ve numune göçmüştür. Dolgu duvarlı ve çift yüzü sıvalı çerçeve numunesinin davranışının yatay yük-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 21'de verilmiştir.



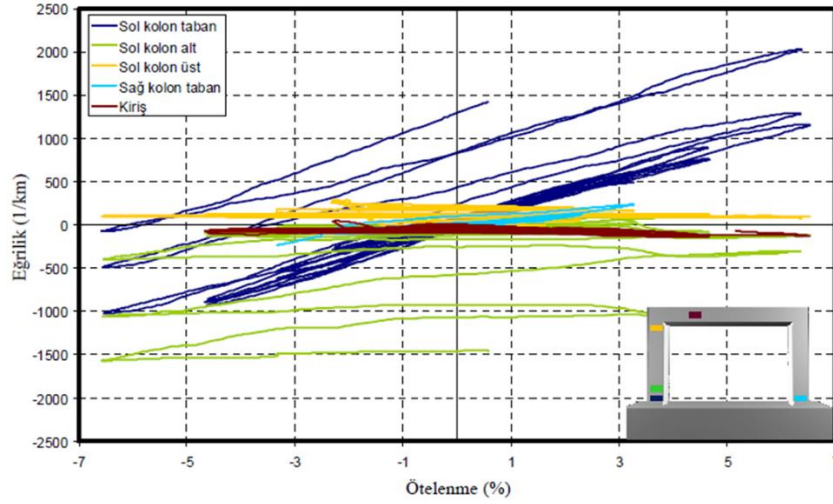
Şekil 21: Numune 3 yatay yük – yerdeğiştirme grafiği.

Numune 3'e uygulanan ötelenme oranları ve oluşan maksimum yükler Tablo 6'da görülmektedir.

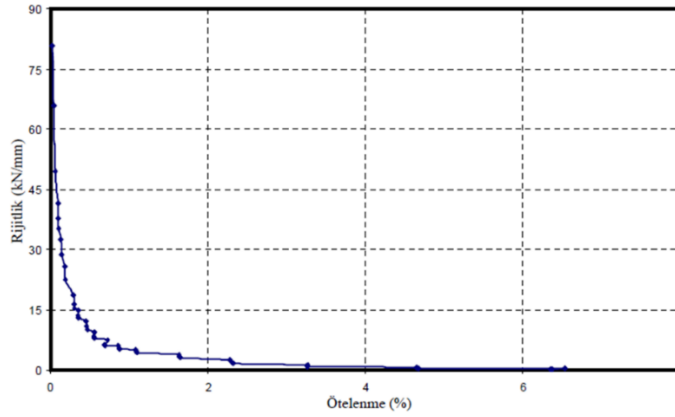
Tablo 6: Numune 3'e uygulanan ötelenme oranları ve oluşan maksimum yükler

Numune 3		İTME		ÇEKME	
Çevrim	Kat ötelenmesi (%)	Yerdeğiştirme (Δ) (mm)	Maksimum Yük (kN)	Yerdeğiştirme (Δ) (mm)	Maksimum Yük (kN)
1	0.024	0.18	23.9	0.28	-24.0
2	0.041	0.21	30.4	0.57	-25.3
3	0.062	0.37	34.4	0.81	-30.5
4	0.095	0.68	42.5	1.12	-35.2
5	0.132	0.95	42.8	1.55	-41.3
6	0.184	1.45	45.9	2.05	-46.2
7	0.292	2.47	51.8	3.03	-52.0
8	0.348	3.01	48.1	3.61	-52.7
9	0.443	3.91	48.2	4.51	-55.0
10	0.554	4.96	49.1	5.56	-52.1
11	0.719	6.53	54.8	7.13	-49.1
12	0.868	7.95	54.3	8.55	-46.9
13	1.078	9.94	56.8	10.54	-47.8
14	1.611	15.0	66.0	15.6	-55.8
15	2.263	21.2	55.9	21.8	-51.2
16	3.229	30.3	36.9	30.3	-41.7
17	4.6	43.4	31.0	44.0	-30.0
18	6.5	61.45	25.3	62.05	-24.6

Şekil 22 ve 23'te eğrilik-ötelenme eğrisi ve yatay yük-yerdeğiştirme eğrilerinden hesaplanan rijitlik-ötelenme eğrisi verilmiştir.



Şekil 22: Numune 3 - Eğrilik-ötelenme eğrisi.



Şekil 23: Numune 3 - Rijitlik-ötelenme eğrisi.

2.2. Modelleme Sonuçları

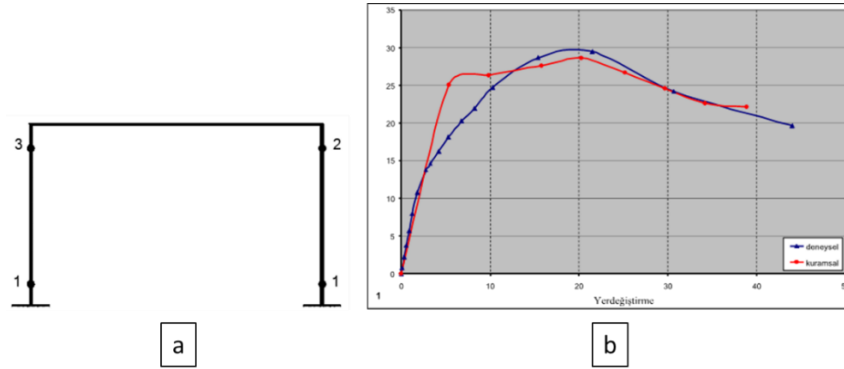
Deneysel olarak incelenmiş betonarme çerçeveler ele alınarak söz konusu betonarme çerçevelerin kuramsal olarak doğrusal olmayan davranışları incelenmiş ve yatay yük-yerdeğiştirme ilişkilerinin elde edilebilmesi amacıyla doğrusal olmayan yük artımı çözümlenmesi gerçekleştirilmiştir. Kuramsal olarak elde edilen bu yatay yük-yerdeğiştirme bağıntıları deneyler sonucunda elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme bağıntıları ile karşılaştırılmıştır. Her numunenin analitik çalışmada elde edilen maksimum yatay yük değerleri, kat yatay yerdeğiştirmeleri, sistemde oluşan plastik kesitlerin dağılımları ve her plastik kesitin olduğu yük değerleri, başlangıç rijitlik ve maksimum yükte ölçülen rijitlik değerleri, enerji sönmüleme miktarları hesaplanmış, deneylerde hesaplanan değerler ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

2.2.1. Numune 1 – Boş Çerçeve

1 numaralı boş çerçeve numunesinin kuramsal analizinde kolonlardaki kesme kırılmaları göçmede etkili olmuş, ilk plastik mafsallar her iki kolonun alt bölgesinde oluşmuştur. Artan yatay yük parametresi altında çerçevede meydana gelebilecek plastik mafsallar (bkz. Şekil 24a)'da görüldüğü gibi sisteme atanmış, çözümlene sonucunda, sistemde mafsalların ortaya çıktığı bölgeler ve oluşma sıraları Tablo 7 ve Şekil 23'te gösterilmiştir. Boş çerçeve numunesi için yapılan doğrusal olmayan elastik ötesi statik itme analizleri sonuçları ile deneysel çalışmalardan elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme zarf eğrileri karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir (bkz. Şekil 24b).

Tablo 7: Plastik mafsalların oluştuğu yatay yük ve yerdeğiştirme değerleri.

Mafsal No	Mafsalın oluştuğu yük (kN)	Tepe Yerdeğiştirme (mm)
1	13.3	2.82
2	24.7	10.3
3	29.4	21.54



Şekil 24: a) Numune 1-Plastik mafsalların oluşma sırası ve konumları. b) Numune 1-Yatay yük-yerdeğiştirme ilişkilerinin karşılaştırılması.

Yapılan analiz sonucunda çerçevenin maksimum yük değeri 28.5 kN olarak ortaya çıkmış iken, bu değer deneysel çalışmada 29.4 kN olarak hesaplanmıştır. Yatay yük-yerdeğiştirme zarf eğrileri üzerinden, analitik modelin maksimum yatay yük tepe noktasında hesaplanan rijitlik değeri 1.09 kN/mm, deneysel çalışmada da 1.24 kN/mm olarak hesaplanmış, değerler birbirine yakın çıkmıştır. Numune 1 için oluşturulan analitik modelin tepe yerdeğiştirmesi 40 mm'ye ulaştığında göçtüğü kabul edilirse, bu yerdeğiştirmeye kadar hesaplanan enerji sönümlenme değeri ile deneysel çalışmadan elde edilen enerji sönümlenme değerleri de 1176.24 kNmm ve 1258.16 kNmm ile birbirine yakın sonuçlar ortaya koymuştur. Boş çerçevede oluşan plastik mafsalların özellikleri Tablo 8'te verilmiştir.

Tablo 8: Numune 1-Plastik mafsalların özellikleri.

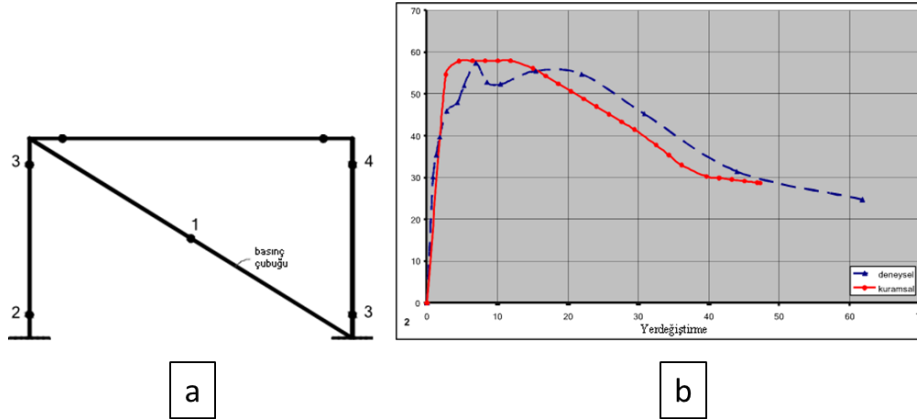
Mafsal Türü	A	B	C	D	E
Kolon-Kiriş (M3) (Moment-Eğrilik)	0.0/0.0	4.9/0.0	5.88/0.48	2.94/0.48	1.47/1.92

2.2.2. Numune 2 – Dolgu Duvarlı Tek Yüzü Sıvalı Çerçeve

Dolgu duvarlı tek yüzü sıvalı 2 numaralı numunenin kuramsal analizinde de kolonlardaki kesme kırılmaları göçmede etkili olmuştur. Boş çerçevede ilk plastik mafsallar kolonlarda gözlenirken, dolgu duvarlı çerçeve davranışında olması beklenildiği gibi ilk plastik mafsalları dolgu duvarlar üzerinde gözlenmiştir. Artan yatay yük parametresi altında çerçevede meydana gelebilecek plastik mafsalları Şekil 25a'da görüldüğü gibi sisteme atanmış, çözümleme sonucunda artan yatay yük etkisinde sistemde mafsalların ortaya çıktığı bölgeler ve oluşma sıraları Tablo 9'da gösterilmiştir. Dolgu duvarlı tek yüzü sıvalı numune için yapılan doğrusal olmayan elastik ötesi statik itme analizleri sonuçları ile deneysel çalışmalardan elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme zarf eğrileri karşılaştırmalı olarak Şekil 25b'de gösterilmektedir.

Tablo 9: Plastik mafsalların oluştuğu yatay yük ve yerdeğiştirme değerleri

Mafsalları No	Mafsalları oluştuğu yük (kN)	Tepe Yerdeğiştirme (mm)
1	54.6	2.7
2	57.3	15.8
3	41.1	31.2
4	37.3	32.5



Şekil 25: a) Numune 2-Plastik mafsalların oluşma sırası ve konumları. b) Numune 2-Yatay yük-yerdeğiştirme ilişkilerinin karşılaştırılması.

Yapılan analiz sonucunda çerçevenin maksimum yük değeri 57.9 kN olarak ortaya çıkmış iken, bu değer deneysel çalışmada 57.2 kN olarak hesaplanmıştır. Yatay yük-yerdeğiştirme zarf eğrileri üzerinden, analitik modelin maksimum yatay yük tepe noktasında hesaplanan rijitlik değeri 8.29 kN/mm, deneysel çalışmada da 8.17 kN/mm olarak hesaplanmış, değerler birbirine yakın çıkmıştır. Numune 2 için oluşturulan analitik modelin tepe yerdeğiştirmesi 46 mm'ye ulaştığında göçtüğü kabul edilirse, bu yerdeğiştirmeye kadar hesaplanan enerji sönümlenme değeri ile deneysel çalışmadan elde edilen enerji sönümlenme değerleri de 1949.39 kNmm ve 1929.11 kNmm ile birbirine yakın sonuçlar ortaya koymuştur. Dolgu duvarlı tek yüzü sıvalı çerçevede oluşan plastik mafsalları noktalarının özellikleri Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10: Numune 2-Plastik mafsallar özellikleri.

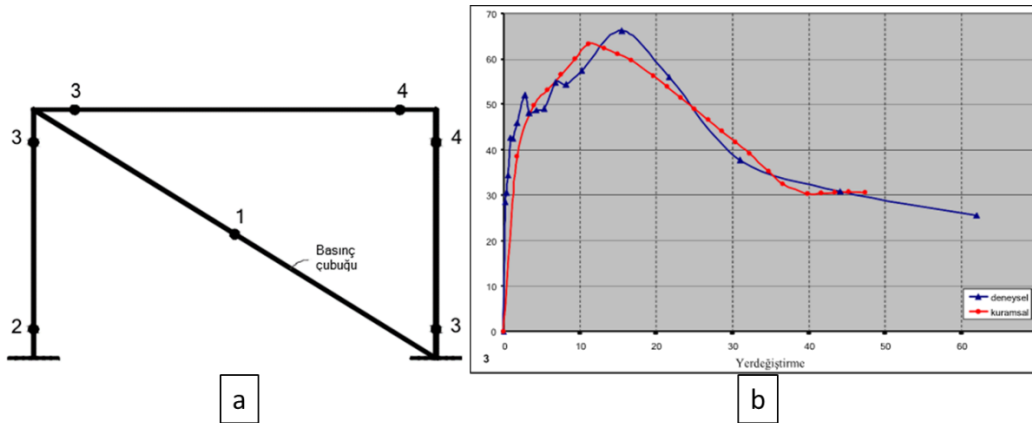
Mafsal Türü	A	B	C	D	E
Kolon-Kiriş (M3) (Moment-Eğrilik)	0.0/0.0	4.9/0.0	5.88/0.48	2.94/0.48	1.47/1.92
Eşdeğer çubuk (P) (Gerilme-Şekildeğiştirme)	0.0/0.0	1691.65/0.0	1618.1/0.01	367.75/0.03	367.75/0.04

2.2.3. Numune 3 – Dolgu Duvarlı Çift Yüzü Sıvalı Çerçeve

Dolgu duvarlı çift yüzü sıvalı 3 numaralı numunenin kuramsal analizinde de kolonlardaki kesme kırılmaları göçmede etkili olmuştur. Çerçeve ilk plastik mafsallar dolgu duvarlar üzerinde gözlenmiştir. Artan yatay yük parametresi altında çerçevede meydana gelebilecek plastik mafsallar Şekil 33a'da görüldüğü gibi sisteme atanmış, çözümlene sonucunda artan yatay yük etkisinde sistemde mafsalların ortaya çıktığı bölgeler ve oluşma sıraları Tablo 11 ve Şekil 26a'da gösterilmiştir. Dolgu duvarlı çift yüzü sıvalı numune için yapılan doğrusal olmayan elastik ötesi statik itme analizleri sonuçları ile deneysel çalışmalardan elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme zarf eğrileri karşılaştırmalı olarak Şekil 26b'de gösterilmektedir.

Tablo 11: Plastik mafsalların oluştuğu yatay yük ve yerdeğiştirme değerleri

Mafsal No	Mafsalın oluştuğu yük (kN)	Tepe Yerdeğiştirme (mm)
1	49.7	3.9
2	56.3	19.6
3	39.21	32.2
4	35.2	34.8



Şekil 26: a) Numune 3-Plastik mafsalların oluşma sırası ve konumları. b) Numune 3-Yatay yük-yerdeğiştirme ilişkilerinin karşılaştırılması.

Yapılan analiz sonucunda çerçevenin maksimum yük değeri 63.3 kN olarak ortaya çıkmış iken, bu değer deneysel çalışmada 66 kN olarak hesaplanmıştır. Numune 3'te deneysel çalışmada gözlenen ilk çatlaklar 42.5 kN'luk yatay yük etkisi altında ortaya çıkarken,

analitik çalışmada ilk çatlakların oluştuğu maksimum yük değeri 49.7 olarak hesaplanmıştır. Yatay yük-yerdeğiştirme zarf eğrileri üzerinden, analitik modelin maksimum yatay yük tepe noktasında hesaplanan rijitlik değeri 3.9 kN/mm, deneysel çalışmada da 4.3 kN/mm olarak hesaplanmış, değerler birbirine yakın çıkmıştır. Numune 3 için oluşturulan analitik modelin tepe yerdeğiştirmesi 46 mm'ye ulaştığında göçtüğü kabul edilirse, bu yerdeğiştirmeye kadar hesaplanan enerji sönmüleme değeri ile deneysel çalışmadan elde edilen enerji sönmüleme değerleri de 1911.16 kNmm ve 1962.77 kNmm ile birbirine yakın sonuçlar ortaya koymuştur. Dolgu duvarlı tek yüzü sıvalı çerçevede oluşan plastik mafsallıkların özellikleri Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12: Numune 3-Plastik mafsallıkların özellikleri.

Mafsallık Türü	A	B	C	D	E
Kolon-Kiriş (M3) (Moment-Eğrilik)	0.0/0.0	4.9/0.0	5.88/0.48	2.94/0.48	1.47/1.92
Eşdeğer çubuk (P) (Gerilme-Şekildeğiştirme)	0.0/0.0	1471.0/0.0	1765.2/0.01	294.2/0.03	294.2/0.04

3. Tartışma

Marjani, ve Ersoy (1997, s. 144), dolgu duvarlı çerçevelerin davranışı üzerinde analitik ve deneysel birtakım çalışmalar yapmıştır. 4 adet 1/3 ölçekli, iki katlı, tek açıklıklı tuğla dolgu duvarlı çerçeve ve 2 boş çerçeve tekrarlı tersinir yatay yüklere altında test edilmiştir. Sıva malzemenin varlığı, beton basınç dayanımları, deney değişkenleri olarak kabul edilmiştir. Deneyler sonucunda sıvalı dolgu duvarlı çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesi boş çerçeveye oranla yaklaşık 3 kat fazla olmuştur. Sivanın varlığı, sıvasız dolgu duvarlı çerçeveye göre çerçeve rijitliğini 1.8 kat artırmıştır. Beton kalitesindeki artış (%24), yatay yük taşıma kapasitesi ve çerçeve rijitliğini çok etkilememiştir (%5.1 artış). Ersoy ve Uzsoy (1971), 9 adet tek katlı, tek açıklıklı dolgu duvarlı betonarme çerçeve üzerinde monolitik artan yatay yükler etkisinde çalışmış, dolgu duvarların yatay yük taşıma kapasitesini 7 kat artırdığı ve yatay yerdeğiştirmeyi %65 azalttığı gözlemlenmiştir. Liauw ve Lee (1977, s. 641-656), 4 katlı, dolgu duvarlı çelik çerçevelerin monolitik artan yatay yük etkisindeki davranışını incelemiştir. Dolgu duvarlar ile çelik çerçevenin bağlantı şekli, çerçeve yüksekliği ve çerçeve açıklığı, deney değişkenleri olarak kabul edilmiştir. Gerçekleştirilen deneyler, analitik modellemesi yapılan çerçeve hesapları ile karşılaştırılmıştır. Çerçeve ile dolgu duvarları arasındaki bağlantı şeklinin oldukça önemli olduğu, bağlantı modelinin doğru uygulandığı numunelerde kesme çatlaklarının daha az görüldüğü gözlemlenmiştir. Altın (1990, s.34), betonarme dolgu duvarlarla güçlendirilen betonarme çerçevelerin davranışı üzerinde bir çalışma yapmıştır. 14 adet, 1/3 ölçekli, çift katlı, tek açıklıklı numuneler üzerinde çalışılmış, deney değişkenleri, dolgu duvarların örülme tipi, betonarme çerçeve ile bağlantı detayları, yatay yük ve kolonların güçlendirilme şekli olarak belirlenmiştir. Çalışmanın sonunda betonarme çerçeve ile doğru biçimde bağlantısı sağlanan dolgu duvarların, sistemin yatay yük taşıma kapasitesi ve rijitliğini önemli ölçüde artırdığı kaydedilmiştir. Bu çalışma kapsamında referans numunesi olarak kabul edilen "1. deney numunesi" "boş çerçevenin" göçme performansı değerlendirilmiş, her iki kolonda gözlenen eğilme çatlaklarını, kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki kesme çatlakları izlemiş, çerçevenin maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmasının ardından hızla oluşan

kolon alt bölgesindeki kesme çatlakları donatının akma konumuna ulaşmasına neden olmuş ve numune göçme konumuna gelmiştir. Bu numunenin göçmesinde kolon alt bölgelerindeki kesme çatlakları etkili olmuştur. Numunede çatlak sayısı oldukça fazladır. Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde fazla hasar oluşmamıştır. “Dolgu duvarlı ve tek yüzü sıvalı” 2 numaralı deney çerçevesinin göçme şekli kolon mesnet bölgelerindeki donatıların burkulup kesme kırılması ve basınç etkisiyle göçme konumuna gelmeleri sonucu gerçekleşmiştir. Bir önceki boş çerçevedeki gibi kolonlarda başlayan eğilme çatlaklarını, dolgu duvarlarda oluşan diyagonal kesme çatlakları izlemiş, kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki kesme çatlakları ve numunenin maksimum yüklere ulaştığı yerdeğiştirme sonrasında gözlenen kolon alt bölgelerinde oluşan kesme çatlakları donatının akma konumuna ulaşmasına neden olmuş ve numune göçmüştür. Bu numunede, özellikle kolon alt bölgelerinde gözlenen çatlak sayısı boş çerçeveye göre daha az olmuştur. Çerçevede gözlenen ilk çatlakların kaydedildiği yatay yük değerleri, boş çerçevenin göçme konumunda kabul edildiği maksimum yük değerlerinden daha büyüktür. Deney sonrası numunede tuğla dökülmeleri oldukça fazladır. 3. deney numunesi olan “dolgu duvarlı ve çift yüzü sıvalı çerçevenin” göçme şekli de bir önceki dolgu duvarlı tek yüzü sıvalı deney çerçevesi gibi kolon mesnet bölgelerindeki donatıların burkulup kesme kırılması ve basınç etkisiyle göçme konumuna gelmeleri sonucu gerçekleşmiştir. Bir önceki deney numunesi ile çatlak oluşumu ve göçme performansı açısından çok benzer davranışlar gözlenmiş, deneyler sonrası elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme eğrisine bakılacak olursa maksimum yatay yük, enerji sönümlenme ve başlangıç rijitliği gibi değerleri açısından daha iyi performans göstermiştir. Çift taraflı sıva uygulaması çok fazla olmamakla birlikte çerçevenin davranışına olumlu etki etmiştir. Bu numunedeki tuğla düşmeleri bir önceki numuneye göre daha fazladır. Bu da sıvanın numune üzerinden büyük parçalar halinde ayrılırken tuğla duvarı da beraberinde kopması olarak yorumlanmıştır. Deneyler sonrasında her numunenin maksimum yatay yük-ötelenme de elde edilmiştir. Bu değerler sonrası her numunenin hedef tepe yerdeğiştirmedeki maksimum yatay yükleri karşılaştırılabilmiştir. Referans numunesi olan boş çerçeve numunesi yaklaşık ~30 kN'luk bir maksimum yükte göçme konumuna ulaşırken, dolgu duvarlı çerçevelerde gözlenen ilk çatlaklar yaklaşık ~35 kN'luk değerde gözlenmiştir. Güçlendirilmemiş dolgu duvarlı tek yüzü sıvalı (Numune 2) ve çift yüzü sıvalı (Numune 3) deney numunelerin yatay yük taşıma kapasiteleri boş çerçeveye göre sırasıyla yaklaşık 1.9 ve 2.2 kat artmıştır. Bu numuneler kendi aralarında karşılaştırılacak olursa, çift taraflı sıvalı 3. deney numunesinin yatay yük taşıma kapasitesi tek yüzü sıvalı çerçeveye göre yaklaşık ~1.15 kat fazladır ki, bu da sıvanın numunenin yatay yük taşıma kapasitesinde çok fazla etkisi olmamakla birlikte olumlu katkı yaptığı şeklinde değerlendirilebilir. Bununla birlikte sıvanın etkisini kaybetmesi sonucu çift yüzü sıvalı numunede sıva malzemesi dökülürken beraberinde tuğla parçalarını da çerçeveden ayırmış ve maksimum yatay yüklere ulaşılan çevrimler sonrasında yatay yük taşıma kapasitesi tek yüzü sıvalı numunenin değerlerinin de altına inmiştir. Numunelerin yön değiştiren tekrarlı yatay yükler altında performansı incelenirken enerji yutma kapasiteleri de incelenmiştir. Tersinir tekrarlı yükler altında numunelerin enerji sönümlenme kapasiteleri yerdeğiştirme kontrollü çevrimlerin her birine ait tepe noktalarının altında kalan alan değerleri olarak ölçülmüştür. Tüm numunelerin tamamlanmış son çevrime kadar kümülatif enerji yutma kapasiteleri hesaplanmıştır. Tek yüz ve çift sıvalı

dolgu duvarlı çerçevelerin enerji yutma kapasiteleri referans boş çerçeveye göre oldukça fazladır. Bu numunelerin (2. ve 3. deney numuneleri) enerji yutma kapasiteleri kıyaslanacak olursa birbirine yakın değerler göstermekle beraber çift yüzü sıvalı çerçeve ilk çevrimlerde daha iyi bir performans göstermiş, ilerleyen çevrimlerde sıvanın etkisini kaybetmesiyle yaklaşık aynı değerlerde enerji sönümlenmişlerdir. Bununla birlikte dolgu duvarlı ve güçlendirme işleminin uygulanmadığı tek yüzü sıvalı ve çift yüzü sıvalı çerçevelerin enerji sönümlenme kapasiteleri boş çerçeveye göre sırasıyla ~1.4 ve ~1.6 kat daha fazladır. Deney elemanlarının rijitlik değerleri yatay yük-ötelenme eğrilerinden hesaplanmıştır. Tüm numuneler başlangıç ve akma yükü rijitliklerine göre değerlendirilmiş, dolgu duvarlı çerçevelerin başlangıç rijitliklerinin boş çerçeveye oranla çok büyük değerler gösterdiği görülmüştür. Rijitlik-ötelenme eğrilerinden de görüldüğü üzere 2 ve 3. deney çerçevelerinin rijitliği de başlangıç rijitliklerine göre boş çerçeveye oranla sırasıyla 8.1 ve 10.7 kat daha büyüktür. Dolgu duvarlı numunelerin başlangıç rijitlikleri boş çerçeveye oranla oldukça yüksek değerlerde iken, ilerleyen çevrimlerde rijitlikler düşmektedir. Son çevrimlere doğru tüm çerçeve sistemlerindeki rijitlik değerleri birbirine yaklaşmaktadır. Özen gösterilmesi gereken nokta dolgu duvarların doldurdukları betonarme çerçeve ile arada boşluk bırakmadan iyi bir şekilde bağlanması ve mümkün olduğunca ayrılmamasının sağlanmasıdır. Deneylerde görüldüğü üzere belirli bir çevrim ve yatay yerdeğiştirmeden sonra dolgu duvar ile çerçeveler birbirinden ayrılmaya başlamışlardır. Bu seviyeden sonra dolgu duvarın çerçeve rijitliği açısından etkisi giderek azalmıştır. Dolgu duvarlı tek yüzü sıvalı ve çift yüzü sıvalı deney numunelerin yatay yük taşıma kapasiteleri, boş çerçeveye göre yaklaşık ~2 kat artmış, çift yüz siva uygulaması, tek yüzü siva uygulaması ile karşılaştırılacak olursa, çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini 1.15, enerji sönümlenme kapasitesini 1.2 ve rijitlik değerlerini 1.3 kat artırarak, çerçeveye, çok fazla olmamakla birlikte, olumlu katkı sağlamıştır. Analitik çalışma sonucunda da dolgu duvarların yapının deprem etkisi altındaki kapasitesi, kat yatay yerdeğiştirmeleri, görelî kat ötelenmesi değerleri, sistemde oluşan plastik kesitlerin dağılımları ve her plastik kesitin oluştuğu yük değerleri üzerinde önemli etkisi olduğu görülmüştür. Bu etkinin ihmal edilmesi analizleri gerçek dışı bırakmakta ve yapısal analizde gerçek dışı sonuçlar elde edilmesine sebep olmaktadır. Modelleme aşamasında malzeme özelliklerini tanımlamak oldukça önemlidir. Modelleme çevrimsel tepkime dahil edilerek daha da iyileştirilebilir çünkü bu şekilde çerçeve duvar etkileşimi, mafsal davranışı da modelle birleştirilebilir. Etkili basınç çubuğu genişliği rijitlik değerinde oldukça etkilidir. Bununla birlikte genişlik değerinin değişmesi kapasite değerini değiştirmemiştir. Eşdeğer çubuk genişliğini hesaplamada DBYBHY 2007'deki bağıntılar kullanıldığında başlangıç rijitliği değerleri ve tepe yüke gelen rijitlik değerlerinde sonuçlar deney verilerine yakın çıkmaktadır. Deneyler sırasında dolgu duvarlı çerçevelerde bazı çevrimlerde gözlenen aynı hedef tepe yerdeğiştirmelere gidilirken itme ve çekmeler sırasında hesaplanan maksimum yatay yüklerdeki farklı değerlerin, dolgu duvarlı çerçevede tuğla ile betonarme çerçeve arasındaki ayrışmalardan kaynaklandığı şeklinde yorumlanmıştır.

4. Sonuç

Birbirine bitişik, iki cepheli bina sayısının fazla olduğunun gözlemlendiği ülkemizde, bitişik nizam, dolgu duvarlı çift taraflı sıva uygulamasının mümkün olmadığı betonarme yapılarda, tek yüz/çift yüz sıvanın etkisi ve dolgu duvarlı çerçeveye olan katkısı göstereceği performans araştırılmıştır. Bu çalışma kapsamında yapılan deneylerin sonuçlarına göre belirli işlem kriterlerine bağlı kalındığında söz konusu tek ve çift taraflı güçlendirme yönteminin her ikisinin de deney elemanlarının göçme davranışları, yatay yük taşıma gücü, enerji sönmüleme miktarı ve rijitlik değerleri bakımından olumlu sonuçlar sağladığı ortaya konmuştur. Deneylerden elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme eğrileri değerlendirildiğinde dolgu duvarlı çerçeveler yanal rijitlikleri, yatay yük taşıma kapasiteleri ve enerji sönmüleme değerleri boş çerçeveye göre önemli derecede artmaktadır. Deney sonuçlarından görüldüğü üzere boş çerçevede, deprem yükünün daha az değerinde plastik mafsallar meydana gelmekte ve ilk plastik kesitler kolonlarda oluşmaktadır. Dolgu duvarlı çerçevelerde ise ilk plastik kesitin olduğu andaki taban kesme kuvveti artmakla birlikte ilk plastik kesitler dolgu duvarlarda meydana geldikten sonra kolonlarda görülmektedir. Bununla birlikte de dolgu duvarlı çerçevelerde ilk plastik kesitler beklenildiği gibi yatay tepe yerdeğiştirmelerinin daha büyük değerlerinde meydana gelmektedir. Bu sonuçlara göre dolgu duvarların analiz sonuçlarını önemli oranda değiştirdiği görülmektedir. Numunelerin modellemedeki davranışları deney sonuçlarına yakın tepkiler vermiştir.

Kaynaklar

ACI Committee. (2008). Building code requirements for structural concrete (ACI 318-08) and commentary. American Concrete Institute.

Altın, S., (1990). Strengthening of Reinforced Concrete Frames with Reinforced Concrete Infills, Ph.D. Thesis, Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, February.

Baran, M., Aktaş, M. ve Aykaç, S. (2014). Sıvanmış tuğla dolgu duvarların şerit beton/betonarme panellerle güçlendirilmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29(1), 23-33.

Coşkun, M. E., Gürsoy, Ş. & Garip, Z. Ş. (2023). Betonarme bir okul binasında güçlendirme ilkelerinin 2007 ve 2019 Türk deprem yönetmeliklerine göre karşılaştırılması. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 13 (1), 127-144. DOI: 10.17714/gumusfenbil.1170731

Çetinkaya, N., Kaplan, H. & Şenel, Ş. M. (2004). BETONARME KİRİŞLERİN LİFLİ POLİMER (FRP) MALZEMELER KULLANILARAK ONARIM VE GÜÇLENDİRİLMESİ. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10 (3), 291-298 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/pajes/issue/20527/218629>

Ersoy, U., 2007, "Betonarme Yapıların Onarımı ve Güçlendirilmesi Uygulama ve Araştırmalar", Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, Türkiye, S. 207-216, 16-20 Ekim 2007.

Ersoy, U and S. Uzsoy, (1971). The Behavior and Strength of Infilled Frames, Report No. MAG 205 Tubitak, Ankara, Turkey.

Kalkan, İ., Aykaç, B., Baran, M., Babayani, R. ve Aykaç, S. (2013). Delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş dolgu duvarların deprem davranışı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 5. Çelik Yapılar Sempozyumu, 13-15 Kasım, İstanbul, Türkiye.

Korkmaz, A. & Uçar, T. (2006). Yumuşak Kat Düzensizliğinin Betonarme Binaların Deprem Davranışında Etkisi . Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi , 11 (2) , 65-76 Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/uumfd/issue/21683/233383>.

Liauw, T.C. and S.W. Lee, (1977). On the Behavior and the Analysis of Multi- Storey Infilled Frames Subjected to Lateral Loading. Proceedings of the Institute of Civil Engineers, Vol. 63, Part 2, 641-656, September.

Marjani, F., & Ersoy, U. (1997). Behavior of brick infilled reinforced concrete frames under reversed cyclic loading. A Doctor of Philosophy Thesis in Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, 142 – 150.

Özgen, K., (1990). Betonarme Yapılarda Taşıyıcı Sistem Hasarları, Onarım ve Güçlendirme. Yapı Dergisi, İstanbul, 116, 50-54.

Sayın, B., Kaplan, S.A., (2005). Deprem Etkisi Altındaki Betonarme Yapılarda Dolgu Duvarların Modellenme Teknikleri. İÜ İnşaat Fakültesi, 474- 480.

İnternet Kaynakları

URL-1 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007, Mart). Resmî Gazete (Sayı: 26454) (2023, 02, 08. Tarihinde Erişim Saati: 22:00). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/03/20070306-3.htm>