Depreme Maruz Yığma Duvarların Düzlem Dışı Dayanım Deneyleri

Recep KANIT, Mürsel ERDAL
Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, 06500 Teknikokullar, Ankara
ve Ergin ATIMTAY
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06531, ODTÜ, Ankara

ÖZ: Türkiye'nin geleneksel yapı tipi yığma binalardır. Yığma binalarda, betonarme yapılar kadar deprem tehdidi altındadır. Buna rağmen, yığma duvarların deprem dayanımı çok iyi anlaşılmış ve bilinen bir konu değildir. Deprem güvenli yapılar yapabilmek için, Türk Afet Yönetmeliği dahil, araştırma çabaları çok büyük ölçüde betonarme ve çelik yapılar üzerindedir. Oysa, Türkiye'nin geleneksel yapı tipi yığma binalardır. Yığma binaların deprem davranışı kısaca tanıtılacaktır. Depreme maruz yığma binada, betonarme binalarda karşılaşılmayan bir kırılma türü oluşmaktadır. Yük taşıyıcı yığma duvarın düzlem dışı kırılması, yığma binanın deprem dayanımında zayıf halkayı oluşturmaktadır.

Yığma duvarın düzlem dışı kırılmasını anlamak, tasarım ipuçları ve kuralları çıkarabilmek ve mevcut binaların güçlendirilmesini kolaylaştırmak için yığma duvar deneyleri planlanmış ve yapılmıştır. Yığma duvar deneyleri 1/1 ölçekli prototip duvarlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yığma duvarlar dolu harman tuğlaları ve uygulamada kullanılan harç karışımları kullanılarak imal edilmiştir. Düzlem dışı zorlamalar, duvarın orta bölgesine dört noktadan tekil, ancak tersinir, yükün uygulaması ile oluşturulmuştur.

Düzlem dışı tersinir yüklerle zorlanan yığma duvar, betonarme plak döşemelerde oluşan çekme çizgilerine benzer kırılma deseni oluşturarak kırılmıştır. Ancak, betonarme döşemenin aksine, kırılma sünek değil gevrek olarak gerçekleşmiştir. Oysa, Türk Afet Yönetmeliği, yığma duvarda belli bir sünekliğin oluşmasını öngörmekte ve Davranış Katsayısı olarak R=2.5'in kullanılmasını istemektedir. Düzlem dışı yükleme ve kırılma deneyinden çıkan sonuç, R=2.5 büyüklüğünde bir katsayının kullanılmasını desteklememektedir. Düzlem dışı yüklenen duvarda kırılma yapısının dışına doğru, kenar mesnetlerde çekme gerilmeleri oluşturacak şekilde olmuştur. Çekmeye çalışan mesnetlerde, aşağıdan yukarıya doğru mesnetlere paralel çekme çatlakları oluşmuştur. Mesnetlerin serbestçe dönmesine izin veren çekme çatlaklarının oluşmasından sonra duvar düzleminin üstünde "kırılma çizgileri" oluşmuştur.

Düzlem dışı yüklenen duvarın dayanımı büyük ölçüde, mesnet çizgilerine paralel düşey çekme çatlaklarının oluşmasına bağlı olduğu gözlenmiştir. Bu gözlemden hareketle, ikinci bir deney planlanmış ve mesnetleri L-geometriye sahip derzler arasına yerleştirilmiş levhalarla takviye edilmesinin ne ölçüde etkili olacağı araştırılmıştır. Köşelere s=50 cm aralıklarla yerleştirilen L-plakalar yığma duvarın kırılma modunu değiştirmiştir. Duvar üstünde "kırılma çizgileri" oluşmamış ve kırılma, bina dışına doğru değil, bina içine doğru kırılmıştır. Kırılma, hem de daha sünek olmuştur. Köşelere yerleştirilen L-geometrili takviye plakalarının kullanılması durumunda, Türk Afet Yönetmeliği'nin öngördüğü R=2.5 katsayısının gerektirdiği süneklik sağlanmıştır. Deneylerden elde edilen histeresis eğrileri verilecek ve tartışmalar yapılacaktır.

Anahtar Kelimeler: *Yığma yapı, düzlem dışı yük, deprem ivmeleri*

1 GİRİŞ

Türkiye'de olduğu kadar Orta Doğu'da ve Doğu'da yer alan ülkelerde, tuğla, kerpiç ve taş yığma binalar geleneksel yapı tipini oluşturmaktadır.

Depremler, betonarme ve çelik yapılar kadar, yığma binaların da çökmesine ve can kaybına sebep olmaktadır. Buradan hareketle, yığma binaların deprem davranışını anlamak ve güvenli yığma binalar yapmak son derece önem kazanmaktadır.

Olağan mühendislik faaliyetleri, betonarme ve çelik yapılar üzerinde yapılmaktadır. Betonarme ve çelik yapıların deprem davranışını bilen mühendis, yığma binaların deprem davranışı üzerinde çok az yorum yapabilir durumda kalmaktadır.

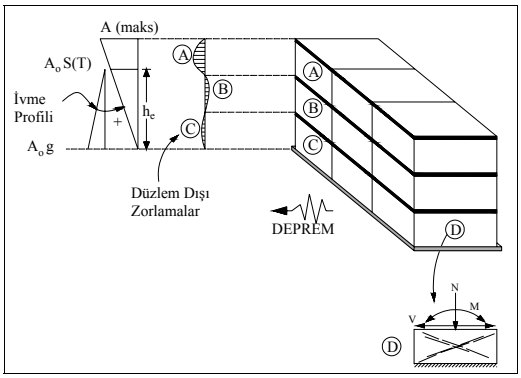
1.1 *Yığma Binaların Deprem Davranışı*

Depreme maruz yığma bina, taşıyıcı duvarların kırılması ile çökmektedir.

- Acaba, deprem yığma duvarlarda nasıl zorlamalar oluşturmaktadır?
- Yığma binaların kırılma modu nasıl olmaktadır?
- İlk kırılma nerede ve nasıl başlamaktadır?
- Yığma duvarın kırılma özellikleri nasıldır?
- Yığma bina nasıl daha deprem güvenli hale getirilebilir?

Depreme maruz yığma binanın duvarlarında iki tip zorlama oluşur (Şekil 1).

- Düzlem içi zorlamalar
- Düzlem dışı zorlamalar



Şekil 1. Yığma binalarda düzlem dışı (A, B, C) ve düzlem içi (D) zorlamalarının oluşması

Depreme maruz yığma bina 1. modun gerektirdiği yönde ötelenir. Bu ötelemenin ikinci zaman türevi olarak, temelden çatıya bir "ivme profili" oluşur (Şekil 1). Afet yönetmelikleri bu ivme profilinin doğrusal olduğunu kabul ederler. Ancak, temel kotunda ivmenin sıfır değil "A_og" olduğu da dikkate alınmalıdır [3].

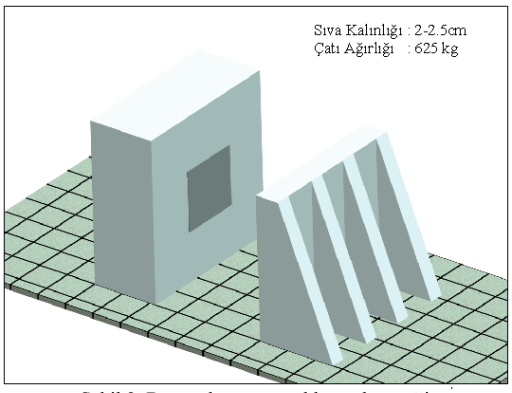
Şekil 1'de A, B ve C duvarlarının düzlem dışı zorlanması gösterilmiştir. En büyük düzlem dışı zorlamalara, çatı katı düzeyindeki A-duvarı maruzdur. Öyle ise, yığma duvarın düzlem dışı kırılması da çatı katı düzeyindeki A-duvarında başlayacaktır.

Acaba, A-duvarının düzlem dışı kırılması nasıl olacaktır? Yığma binaların stabilitesini arttıran duvar eksenel yükü, çatı katı düzeyinde minimumdur.

2 DENEYSEL ÇALIŞMA

Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü Deprem Araştırma Laboratuvarı'nda yapılan deneylerde, bir yığma duvarın düzlem dışı kırılması ve olası güçlendirme yöntemlerinin etkinliği araştırılmıştır. Deney modelinin geometrik özellikleri ve yükleme düzeneği Şekil 2'de verilmiştir.

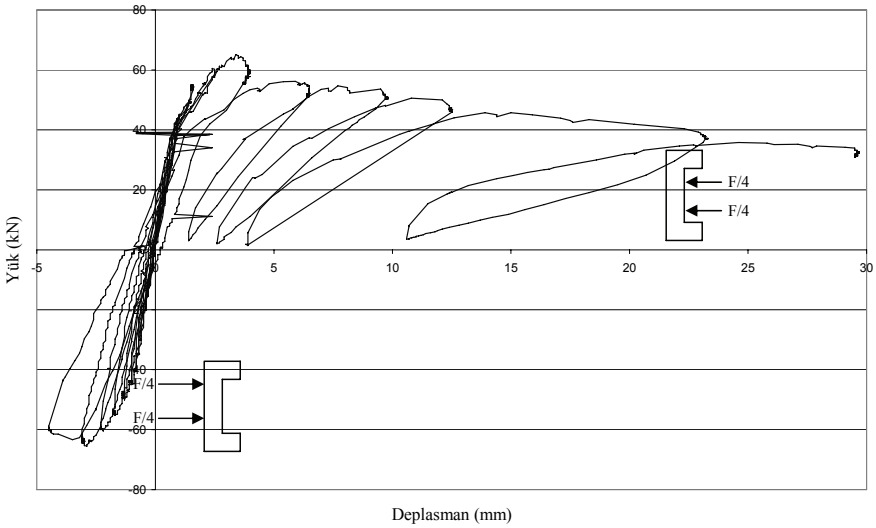
Deney duvarlarının yapımında TS 771-1 standardına [1] uygun 190x190x50 mm boyutlarına sahip kil bazlı dolu harman tuğlası kullanılmıştır. Kullanılan tuğlanın TS 772-1 standardına [2] göre dayanımları aşağıda verilmiştir.
Tuğlanın basınç dayanımı : 23.17 MPa
Tuğlanın eğilme dayanımı : 2.61 MPa
Deney duvarı bir tuğla kalınlığında olup, her iki yüzüne 20 mm kaba sıva ve 10mm ince sıva uygulanmıştır.



Şekil 2. Deney duvarı ve yükleme düzeneği

2.1 *Deney 1*

Deney 1 olarak Şekil 2'de gösterilen yalın yığma duvar tersinir yük altında denenmiştir. Adım adım artan tersinir düzlem dışı yükler altında oluşan yük-deplasman çevirim eğrileri Şekil 3'te gösterilmiştir. Kırılma durumunda, duvar yüzeyinde oluşan çatlaklar Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Düzlem dışı yüklenen duvarın yük-deplasman çevirim eğrileri



Şekil 4. Deney 1: kırılma konumunda çatlak haritası

2.1.1 *Gözlemler ve Yorumlar: Deney 1*

1. Tuğla duvar, düzlem dışı yüklemelerin doğrultusuna bağlı olarak, değişik davranış göstermektedir.
2. Mesnetlerde basınç oluşturan yükleme durumunda, düzlem dışı yüklenen duvarın dayanımı yüksek olmuştur.
3. Mesnetlerde çekme oluşturan yükleme durumunda, düzlem dışı yüklenen duvarda kırılma oluşmuştur.
4. İlk çatlama 40 kN yük altında oluşmuştur. Kırılma ise, 65 kN yük altında oluşmuştur. Çatlama oluşumu, kırılma yükünün 40 / 65 = 0.61 (% 61) büyüklüğünde gözlenmiştir.
5. İlk çatlak oluştuktan sonra, duvarın rijitliği yaklaşık %50 azalmıştır. Ancak, kırılma oluşmamıştır!
6. Duvarın kırılması, mesnetlerin çekmeye çalıştığı yükleme durumunda, mesnet çizgisine paralel düşey doğrultuda çatlakların oluşmasıyla başlamış, ancak döşemenin kırılma deseni oluşturmasıyla sonuçlanmıştır.
7. Kırılma yüküne ulaşıldıktan sonra (Fu = 65 kN), yük F = 55 kN'a düşmüştür. Yük düşüşü = 55 / 65 = 0.846'dır.
8. Duvar, F=55kN yükü, iki yük çevrimi daha taşımaya devam etmiştir. Ancak, taşınan yükün büyüklüğü devamlı olarak ve süratle düşmüştür.
9. Düzlem dışı yüklenen duvarın histeresis davranışı bir "kesme kırılması"na benzemektedir. Kırılma gevrek oluşmuş ve sismik enerji tüketimi çok az olmuştur. Maksimum yük Fu=65kN'a ulaştıktan sonra, yük süratle azalmış ve kırılma deseni tamamlanmıştır.
10. Düzlem dışı yüklenen duvarda Afet Yönetmeliği'nin [4] öngördüğü R=2.5 Davranış Azaltma Katsayısı'nı haklı çıkaracak bir süneklik oluşmamıştır. Acaba, Afet Yönetmeliği düzlem içi yüklenen yığma duvarlar için mi R=2.5 katsayısını öngörmüştür?

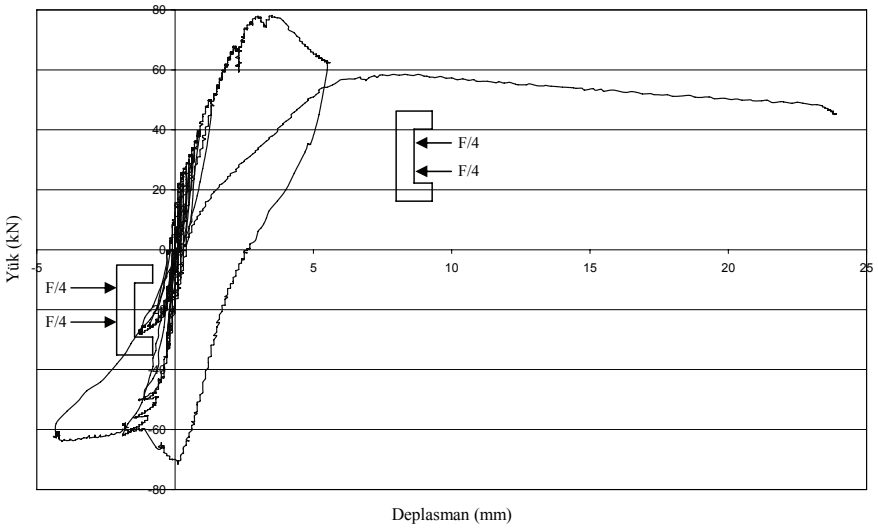
2.2 *Deney 2*

Deney 1'deki gözlemler doğrultusunda, zayıflık oluşturan yoğun ve geniş çatlakların oluştuğu yan köşe mesnetlerin güçlendirilmesi düşünülmüştür (Şekil 5).

Yan köşe mesnetler L-geometriye sahip çelik levhalarla ve 50cm aralıklarla güçlendirilmiştir. Artan tersinir yük altında oluşan çevirim eğrileri ve kırılma konumundaki çatlak haritası Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Yan köşe mesnetlerin güçlendirilmesi



Şekil 6. Deney 2: düzlem dışı yüklenen yük-deplasman çevirim eğrileri

2.2.1 *Gözlemler ve Yorumlar: Deney 2*

1. İlk çatlama 20 kN'da, kırılma ise mesnetlerin çekmeye çalıştığı yükleme durumunda Fu=80 kN'da oluşmuştur.
2. Kırılma yükü süratle azalarak 60kN'a düşmüştür.
3. Fu=80 kN'dan 60 kN'a düşüşte süneklik oluşmamıştır.
4. Fu=60kN'da büyük süneklik oluşmuştur. Köşelerde kullanılan takviye plakaları kullanılabilir taşıma yükünü arttırmamış, ancak deprem güvenli yapıda daha da gerekli olan sünekliği arttırmıştır.
5. Kırılma çatlakları oluştuktan sonra duvarın başlangıç rijitliği 2.7 kez azalmıştır. Rijitlik azalması, süneklik etkisi ile, sürekli olmuştur. Bu durumda, düzlem dışı yüklenen duvarın taşıma gücünü kaybetmeden zorlama ivmelerini azaltacağı kesindir. Düzlem dışı yüklenen duvarda L-plakalarının kullanılması kırılmanın oluşmasını engellemiştir.



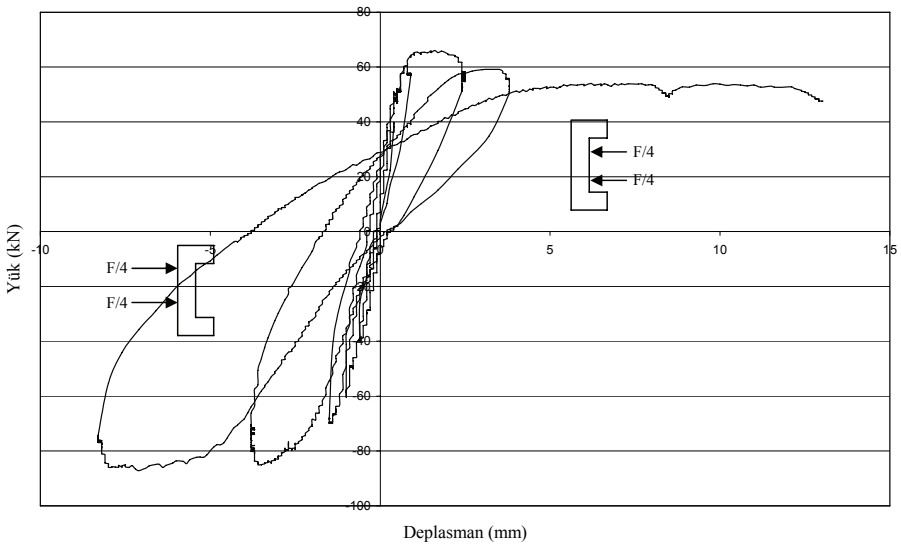
Şekil 7. Deney 2: kırılma konumunda oluşan çatlak haritası

2.3 *Deney 3*

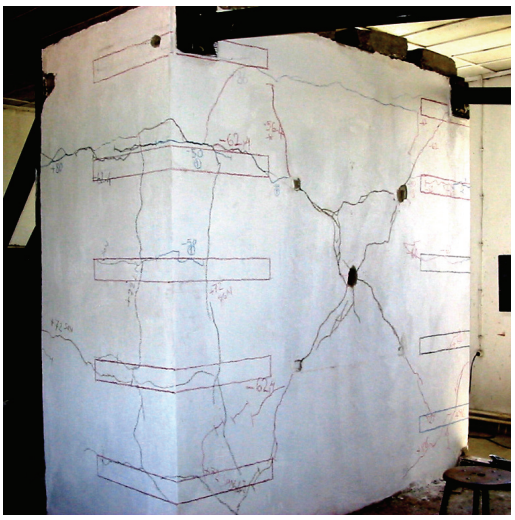
Mevcut bir yığma binanın çatı katı düzeyindeki duvarların düzlem dışı zorlamalara karşı nasıl güçlendirilebileceği araştırılmıştır. Deney 2'de başarılı olan L-geometrili levhaların duvar dışından uygulanması yoluna gidilmiştir (Şekil 8). Artan tersinir yük altında oluşan çevirim eğrileri ve kırılma konumundaki çatlak haritası Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilmiştir.

2.3.1 *Gözlemler ve Yorumlar: Deney 3*

1. Kırılma, mesnetlerin çekmeye çalıştığı yükleme durumunda Fu=65 kN'da başlamış, sünek sayılabilecek bir azalma ile 55 kN'da karar kılmıştır: F/Fu=0.85. F=65 kN'da büyük süneklik oluşmuştur.
2. İlk çatlama rijitliği ile sünekliğin başladığı rijitlik arasında, yaklaşık 5 kez azalma vardır. Rijitliği 5 kez azaltan duvar, titreşim periyodunu büyüterek üzerindeki ivme zorlamalarını rahatlıkla azaltacaktır. Oluşan süneklik, duvarın kırılarak yük taşıyamaz hale gelmesini engelleyecektir.



Şekil 8. Deney 3: düzlem dışı yüklenen yük-deplasman çevirim eğrileri



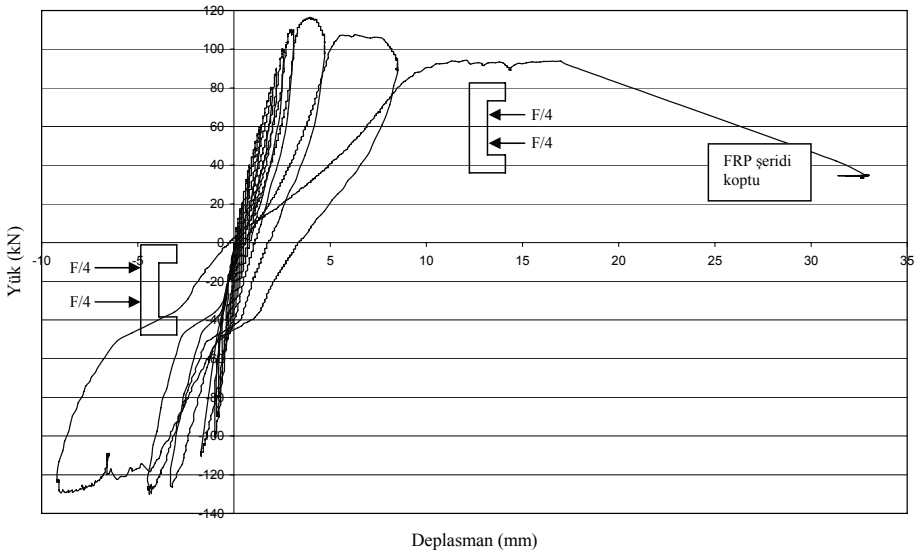
Şekil 9 Deney 3: kırılma konumunda oluşan çatlak haritası

2.4 *Deney 4*

Mevcut bir yığma binanın duvarları, düzlem dışı zorlamalara karşı lif takviyeli plastik (FRP) ile güçlendirilmiştir. 30cm genişliğinde FRP-şerit, yukarıdan aşağıya, duvarın tam ortasına yapıştırılmıştır. Duvarın dışına yapıştırılan FRP şeridi açıklığı üçe bölecek şekilde bulonlarla bağlanmıştır (Şekil 9). Artan tersinir yük altında oluşan çevirim eğrileri ve kırılma konumundaki çatlak haritası Şekil 10 ve Şekil 11'de gösterilmiştir.

2.4.1 *Gözlemler ve Yorumlar: Deney 4*

1. Kırılma yükü Fu=115 kN'a kadar duvar hemen hemen, elastik davranmıştır. Kırılma, yine mesnetlerin çekmeye çalıştığı yükleme durumunda oluşmuştur.
2. Kırılma çatlakları oluştuktan sonra büyük süneklik meydana gelmiştir.
3. Kırılma konumunda FRP ile güçlendirilen duvar, diğer duvar deneylerindeki kırılma yükünün iki misli yük taşımıştır.
4. FRP-şerit ile güçlendirilen yığma duvarda kırılma yükü iki kez artmış ve büyük süneklik elde edilmiştir.



Şekil 10. Deney 4: düzlem dışı yüklenen yük-deplasman çevirim eğrileri



Şekil 11. Deney 4: kırılma konumunda oluşan çatlak haritası

3 SONUÇLAR

1. Depreme maruz yığma binanın çatı düzeyi duvarları, düzlem dışı zorlamalar altında "gevrek" şekilde kırılır. Yığma binanın çökme modu, genellikle düzlem dışı duvar kırılmalarıyla başlamaktadır [5].
2. Türk Afet Yönetmeliği'nde yığma binalar için Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı'nın R=2.5 olarak alınabileceği belirtilmektedir. Yığma duvarın düzlem dışı kırılmasında oluşan gevrek davranış bunu doğrulamaktadır.
3. Duvar örülürken, duvar köşelerinde her 50cm aralıklarla kullanılacak L-geometrili levhalar yeterli sünekliği sağlamaktadır.
4. Düzlem dışı duvar kırılmasına karşı en etkin güçlendirme, tam duvar ortasına düşey olarak yapıştırılan FRP şerit ile sağlanmaktadır. FRP-şerit, hem kırılma yükünü iki kez arttırmakta, hem de kırılmaya büyük süneklik kazandırmaktadır.

4 TEŞEKKÜR

Bu çalışma BAP-08-11-DPT2004K120760 kodlu, DPT'nin maddi destek verdiği Yaygınlaştırılmış Ulusal ve Uluslararası Projeler kapsamında yapılmıştır.

5 KAYNAKLAR

[1] TS-771-1. 2005. Kâgir birimler - Özellikler - Bölüm 1: Kil kâgir birimler (Tuğlalar), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
[2] TS-772-1. 2002. Kagir Birimler - Deney Metotları - Bölüm 1: Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
[3] Paulay, T. & M.S.N. Priestley. 1992. Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, John Wiley & Sons, Inc. USA.
[4] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. 1997. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.
[5] Hendry, A.W. 1990. Structural Masonry. Macmillan Education, Ltd., Hong Kong.