

## Düzlem Dışı Yüklenen Yığma Yapıların Deneysel Davranışı

Recep KANIT  
Mürsel ERDAL  
Nihat Sinan IŞIK  
Ömer CAN  
Mustafa Kemal YENER  
Gökalp SERİMER  
Latif Onur UĞUR

*Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü,  
Ankara 06500, Türkiye*

Ergin ATIMTAY  
*Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,  
Ankara 06531, Türkiye*

**ÖZET:** Yığma yapıların sismik davranışı özetlenmiştir. Deprem kaynaklı maksimum yer hareketi yığma yapıyı sismik enerjiyle yükler. Bu enerji yapıda yanal deplasmana yol açar. Bu dinamik ötelemenin sonucu olarak zemin kattan çatı katına kadar ivmeler oluşur. Zemin ivmesi çatı katına ulaşınca kadar büyür. Bu şekilde, çatı katında oluşan maksimum büyümüş ivme, yığma duvarı hem düzlem içi hem de düzlem dışı yükler. Göçme mekanizmasına duvarların düzlem dışı dayanımının hakim olduğu varsayılmıştır. Düzlem dışı tersinir yüklerle yüklenen yığma duvarların deneysel sonuçları sunulmuş ve açıklanmıştır. Tersinir yükün yönüne bağlı olarak duvarın davranışı değişmektedir. Erken göçmenin duvarın çevre mesnetlerini çekme gerilmesine maruz bırakan yükleme altında olduğu gözlenmiştir. Duvardaki ilk çatlaklar kırılma yükünün % 61'inde oluşmuştur. Çekme çatlakları oluşuktan sonra duvarın rijitliği yaklaşık % 51 oranında azalmıştır. Duvarın göçmesi, köşe mesnetlerin tepeden düşey olarak ayrışmasıyla oluşmuştur. Duvarın kendisi de çift yönlü betonarme döşemede akma çizgileri gibi çatlaklar oluşturur. Maksimum göçme yüküne ( $F_u = 65$  kN) erişildikten sonra yük  $F = 55$  kN'a, yani maksimum yükün % 84.6'sına düşmüştür. Duvar bu yükü iki yük çevrimi daha taşımaya devam etmiştir. Yükün değeri maksimum yükün % 85'ine düştüğü anda sünekliğin bittiği varsayılırsa, deplasman sünekliği 3.33 olarak hesaplanır. Türkiye Deprem Yönetmeliği'ne göre yük azaltma katsayısı  $R_a = 2.5$  olarak verilmiştir. Sonuçta, test edilen yığma duvarın yönetmelikte verilen süneklik şartını sağladığı gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yığma yapı, Düzlem dışı yük, Deprem ivmeleri

**ABSTRACT:** The seismic behaviour of masonry buildings is summarized. The maximum ground motion due to earthquake loads the masonry building with seismic energy. This energy causes to sway displacement in the building. As a result of this dynamic sway, accelerations occur from ground level to the roof level. The ground acceleration is magnified as it travels to the roof level. Thus, maximum magnified

acceleration occurs at the roof level, which loads the masonry wall in plane as well as out of plane. It is postulated that the out of plane strength of the walls controls the failure. The experimental results of a masonry wall loaded out of plane reversing loads are presented and interpreted. Dependent on the direction of the reversing load the behaviour of the wall changes. Earlier failure comes under the loading which puts the peripheral supports of the wall under tension. The first cracking in the wall occurs at 61 % of the ultimate load. After tension cracking occurs, the stiffness of the wall is reduced by about 51 %. Failure of the wall occurs by splitting of the corner supports, vertically from top. The wall itself develops cracks, similar to yield lines of a two-way reinforced concrete frames. After the maximum failure load is reached at  $F_u = 65$  kN, the load drops down to  $F = 55$  kN, which means 2 drop to 84.6 %. The wall continued to carry this reduced load during two more load reversals. Assuming that ductility ends at maximum load drop to 85 %, displacement ductility is calculated to be 3.33. According to the Turkish Earthquake Load, the load reduction factor  $R_a$  is given 2.5. Therefore, the tested masonry wall seems to satisfy the ductility requirement as required by the code.

**Key Words:** Masonry Structure, Out of plane loading, Seismic accelerations

## Giriş

Türkiye'nin nüfusu, ekonomisi, kentsel, kırsal yerleşimleri ve genel olarak geleceği büyük deprem tehdidi altındadır. Deprem güvenli yapılar yapabilmek için araştırma çabaları, çok büyük ölçüde betonarme ve çelik yapılar üzerindedir. Batıdaki ülkeler için bu anlamlıdır, çünkü söz konusu ülkelerde olağan yapı tipi betonarme ve çeliktir.

Oysa, Türkiye'de olduğu kadar orta doğuda ve doğuda yer alan ülkelerde tuğla, kerpiç ve taş yığma duvarlar 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 bu tip yapıları deprem güvenli duruma getirmek son derece önem kazanmaktadır.

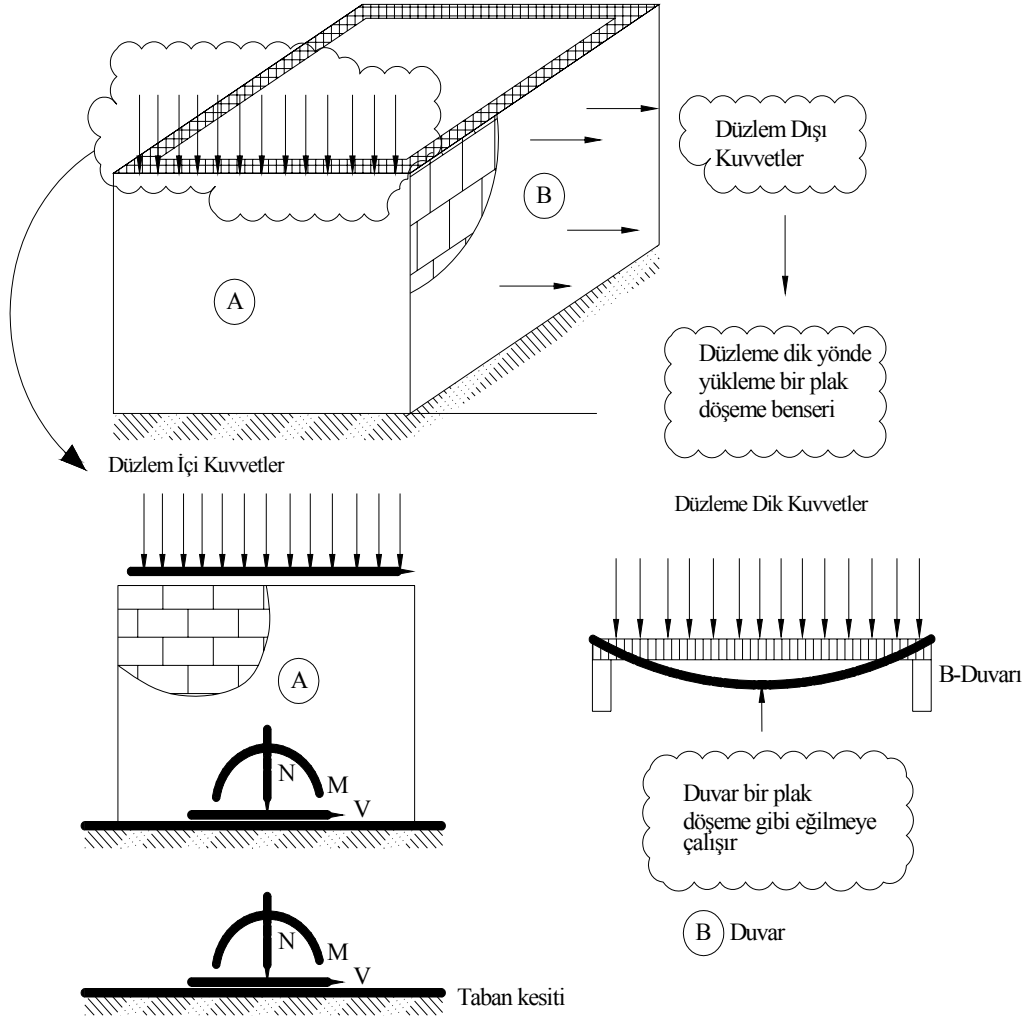
Olağan mühendis faaliyetleri, betonarme ve çelik yapılar üzerinde yoğunlaşmaktadır. Betonarme ve çelik yapıların deprem davranışını bilen mühendis, yığma binaların deprem davranışı üzerinde yorum yapamamakta ve şaşırmaktadır.

Depreme maruz yığma yapıda, duvarlar düzlem içi ve düzlem dışı olarak yüklenmektedir. Düzlem içi yüklenen duvarın deprem davranışı, doğal olarak, düzlem dışı davranandan farklı olmaktadır. Öyle ise, düzlem içi ve düzlem dışı yüklemelerin nasıl olduğunun bilinmesi önem kazanmaktadır.

Yığma duvarların “düzlem içi” ve “düzlem dışı” yüklenmesi Şekil 1’de gösterilmiştir.

- Gösterilen basit yapının temelinde deprem etkimektedir.
- Deprem etkisi ile tüm yapıda, deprem ivmeleri oluşmaktadır.
- Deprem ivmeleri, kütlesi olan her zerrecikte sismik kuvvetlerin oluşmasına yol açmaktadır.

Hakim sismik ivmenin yönüne bağlı olarak, (A) duvarı düzlem içi, (B) duvarı ise düzlem dışı yüklenmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Yığma Duvarın Düzlem Dışı ve Düzlem İçi Yüklenmesi

Düzlem dışı yüklenen (B) duvarında, sismik kuvvetler duvar düzlemine dik etkimektedir. Bunun sonucu olarak, (B) duvar bir plak döşeme gibi davranmaktadır. (B) duvarını düzlem dışı yükleyen sismik kuvvetler, her iki yönde, duvar kenarlarındaki mesnetlere dağılmaktadır.

(B) duvarına düzlem dışı etkiyen sismik kuvvetler, tersinir olarak, (B) duvarında ( $\pm$ ) sehimler oluşturmaktadır. Dikkat edilirse, sismik kuvvetlerin tersinme doğrultusuna bağlı olarak, (A) ve (B) duvarlarının ortak düşey köşe mesnetinde basınç ve çekme zorlamaları oluşturmaktadır.

Şekil 2'de gösterilen dört katlı yığma binanın temelinde x ve y yönlerinde deprem ivmesi etkimektedir:  $A_0(g)$ .

- $A_0 =$  Maksimum yer ivmesi katsayısı
- 1. Derece deprem bölgesi için
- $A_0 = 0.4$  (AY-97).
- $g =$  Yerçekimi ivmesi

Yapının doğal periyodu (T)'ye bağılı olarak, 1. salınım modunun x-yönünde olduğu düşünölsün. 1. salınım moduna tekaböl eden ötelenme profili, konsol kiriş ötelenmesine benzemektedir. Ötelenme profilinin ikin zaman türevi, yapı yüksekliğince oluşın ivme profilini verir.

$y(t)$  = Zamana bağılı ötelenme profili

$\frac{d^2(y)}{dt^2}$  = İvme profili

Yığma yapının temelindeki mevcut ivme  $A_0(g)$ 'dir. Yapı yüksekliğince  $A_0(g)$  taban ivmesi büyümeye başlar. Bu büyümenin ne olacağı, yapının doğal periyoduna bağılıdır. Ancak, ivme profilinin de ötelenme profilini izleyeceğı açıktır. Buradan hareketle, katlardaki ivmeler  $A_0(g)$ 'nin bir çarpanı olarak ifade edilebilir.

Temelde :  $A_0(g)$   
1. katta :  $k_1 \cdot A_0(g)$   
2. katta :  $k_2 \cdot A_0(g)$   
3. katta :  $k_3 \cdot A_0(g)$   
4. katta :  $k_4 \cdot A_0(g)$

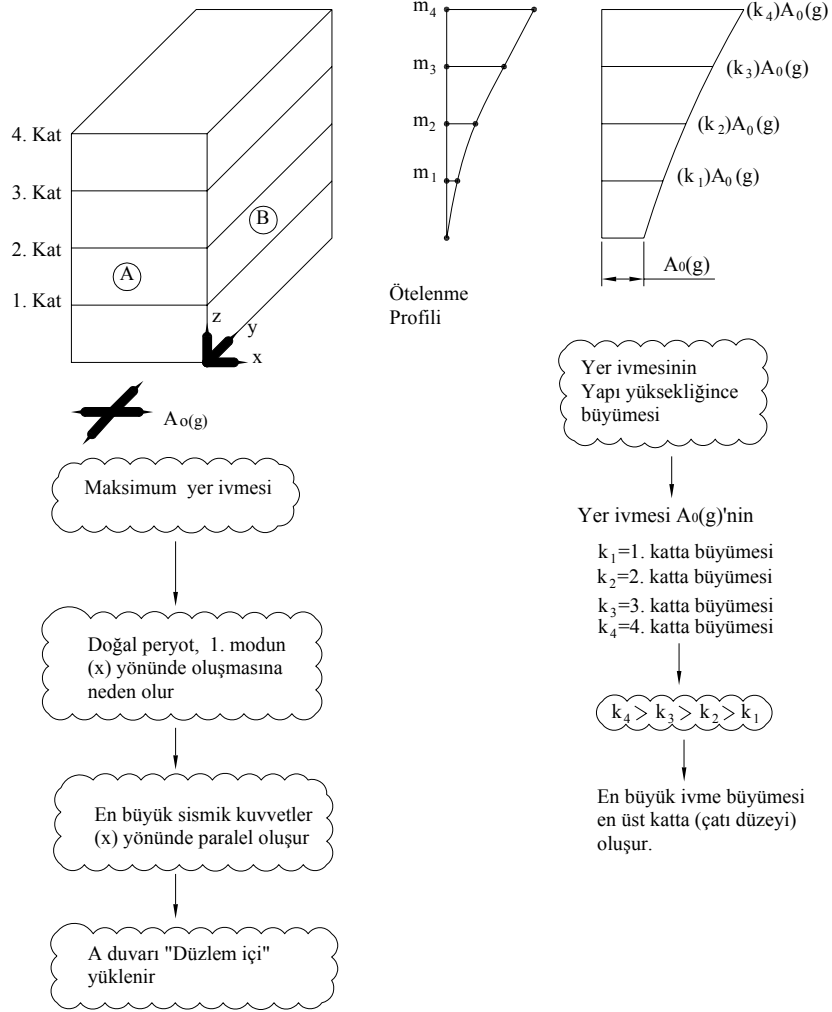
Temelden çatıya, maksimum yer ivmesi büyüdüğüne göre  $k_4 > k_3 > k_2 > k_1$  ilişkisi geçerlidir. Dikkat edilirse, en büyük ivme çatı düzeyinde oluşmaktadır. Öyle ise, düzlem içi ve düzlem dışı olarak (A) ve (B) duvarlarını zorlayan sismik kuvvetler çatı katı duvarlarında maksimum etkiyi oluşturmaktadır. X-yönünde oluşın 1. titreşim modu, ötelenme ve ivmeler nedeni ile, (A) duvarı düzlem içi, (B) duvarı ise düzlem dışı yüklenir. Maksimum ivmeler çatı düzeyinde oluşmaktadır. Öyle ise, maksimum sismik kuvvetler de çatı düzeyinde oluşacağından, duvar kırılmaları da çatı düzeyinde başlamalıdır. Çatı düzeyinde, duvara stabilite kazandıran aksenal yükün minimum olması da, duvarın yıkılmasını kolaylaştırmaktadır.

Burada, bir soru önem kazanmaktadır. Aynı geometrik ve malzeme özelliklerine sahip iki yığma duvarın, düzlem içi mi, yoksa düzlem dışı dayanımı mı büyüktür? Sorunun cevabı, deprem hasarlarına bakılarak kolaylıkla verilebilir. Yığma duvarlar veya dolgu duvarlar en üst katlarda ve düzlem dışı kırılmaktadır. Bu doğaldır, yığma duvarın düzlem içi kırılması, duvarın ezilme dayanımına yakından bağılıdır. Oysa, düzlem dışı kırılma, duvarın eğilmeye çalışması sonucunda oluşın çökme gerilmelerine bağılıdır.

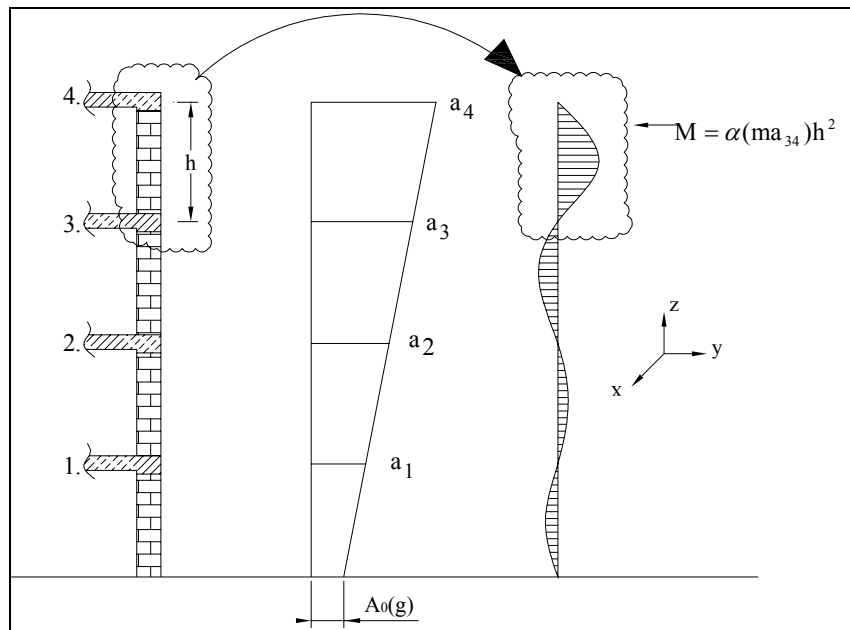
Yığma duvarın düzlem dışı dayanımının, düzle içi dayanımına göre daha küçük olduğu ve kırılmaların düzlem dışı olduğu, deprem hasarlarından açıkça görölmektedir.

Maksimum yer ivmesinin, yapı yüksekliğince büyümesi sonucu, en üst kattaki yığma duvar da, düzlem dışı yüklenir. Düzlem dışı yüklerin oluşturduğu eğilme momentleri, ivme dağılımına uygun şekilde, en üst katta maksimum olur ve alt kotlara gidildikçe azalır (Şekil 3).

(A) Duvarında Yer İvmesinin Büyümesi



Şekil 2. Yığma Yapıda Maksimum Yer İvmesinin Büyümesi



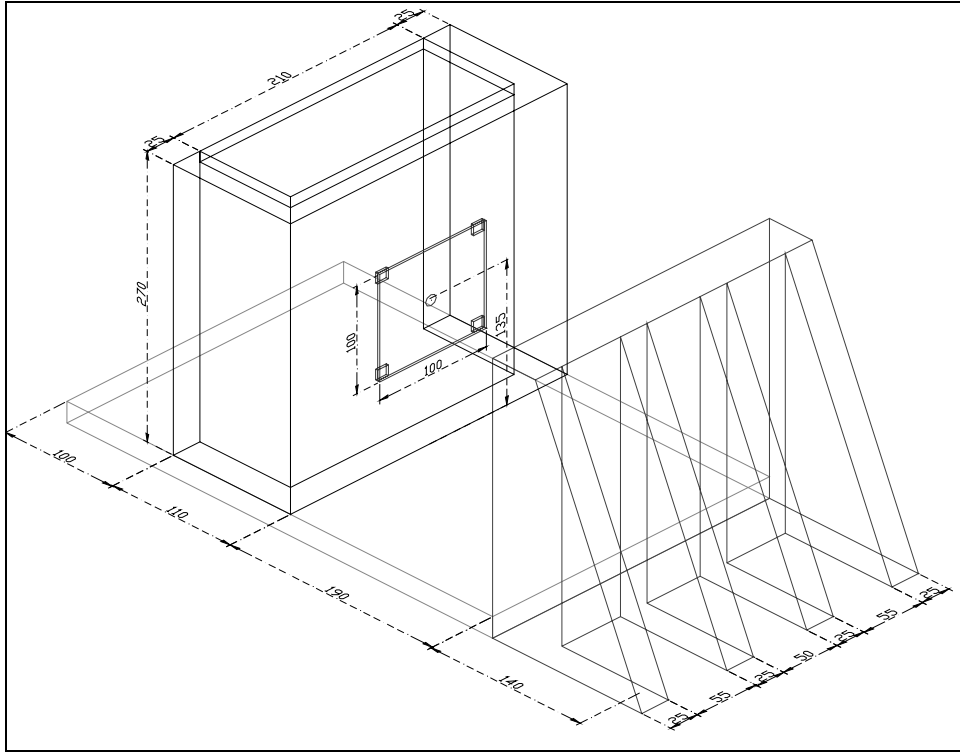
Şekil 3. Düzlem Dışı Yüklenen Duvarlarda Eğilme Momentlerinin Oluşumu

## Gözlemler

1. Yapının tümü düşünülerek oluşan doğal periyot ( $T$ ) olsun.
2.  $A_0(g)$  olan maksimum yer ivmesi, yapının doğal periyoduna bağlı olarak, yapı yüksekliğince büyür.
3. Büyüyen yer ivmesi, kat düzeylerinde ( $a_i$ ) kat ivmelerini oluştururlar.  $a_i > A_0(g)$
4. Katlar arasındaki yığma duvarın da, kendine ait bir doğal periyodu vardır:  $T_d$ .
5. Alt ve üst katlardan ( $a_i$ ) ve ( $a_{i+1}$ ) ivmelerine maruz yığma duvar,  $(T/T_d)$  oranına bağlı olarak, bu ivmeleri büyütür.
6. Alt kat, üst kat ve “düzlem dışı” ivmeler aynı yöndedir.
7. Düzlem dışı ivmenin oluşturduğu yayılı yük ve moment, duvarı bir kiriş (plak) gibi eğilmeye zorlar.

## Deneyel Çalışma

Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Deprem Araştırma Laboratuvarı'nda bir yığma duvarın düzlem dışı kırılması araştırılmıştır. Deneyel modelin geometrik özellikleri Şekil 5'te verilmiştir.



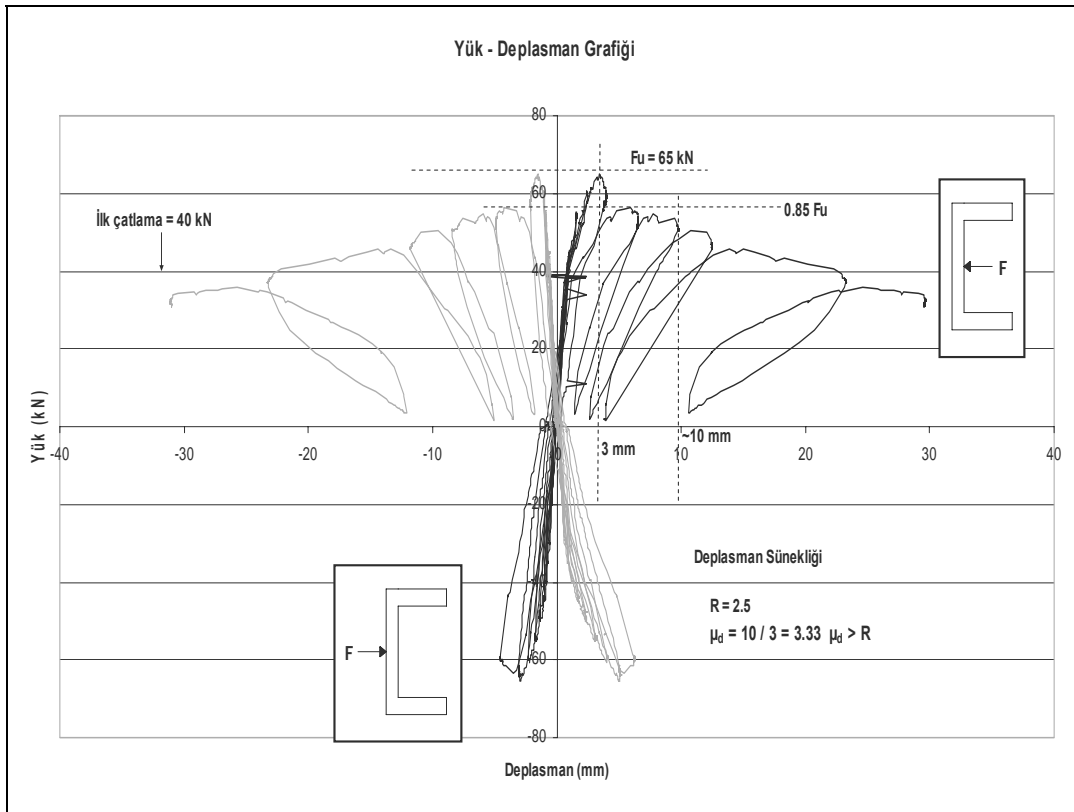
Şekil 5. Deney Duvarının Geometrik Özellikleri

Deney duvarı düzlem dışı ve tersinir yük altında kırılma oluşuncaya kadar denenmiştir. Şekil 6'da düzlem dışı yüklenen duvarın kırılma deseni gösterilmiştir. Tersinir yük altında kırılma, köşe mesnetlerini çekmeye maruz bırakan yükleme etkisi altında oluşmuştur.

Düzlem dışı yüklenen duvarın yük-deplasman çevirim eğrisi Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 6. Düzlem Dışı Yüklenen Duvarın Kırılma Deseni



Şekil 7. Düzlem Dışı Yüklenen Duvarın Yük-Deplasman Çevirim Eğrileri

## Deney Gözlemleri

1. Tuğla duvar, düzlem dışı ivmelerin 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 (65 kN) yük altında oluşmuştur. Çatlama, kırılma yükünün  $40/65 = 0.61$  (% 61) büyüklüğünde oluşmuştur.
5. İlk çatlak oluşuktan sonra, duvarın rijitliği ( $\sim$ % 50) azalmıştır. Ancak, kırılma oluşmamıştır!
6. Duvarın kırılması, mesnetlerin çekmeye çalıştığı yükleme durumunda, mesnetlerde düşey doğrultuda çatlakların oluşmasıyla başlamış ve döşemenin kırılma deseni oluşurmasıyla sonuçlanmıştır.
7. Kırılma yüküne ulaşıldıktan sonra ( $F_m = 65$  kN), yük ( $F = 55$  kN)'a düşmüştür. Yük düşüşü  $= 55/65 = 0.846$
8. Duvar,  $F = 55$  kN yükü, iki yük çevirimi daha taşımaya devam etmiştir.
9. Süneklik sınırı olarak, maksimum yükün ( $F_m$ ), % 85'e düşmesi kabulüne göre  
 $F_m \rightarrow \Delta_m = 3$  mm  
 $F_m \rightarrow \Delta_m = 10$  mm  
 $\mu_\Delta = 10/3 = 3.33$
10. Düzlem dışı yüklenen duvarda  $\mu_\Delta = 3.33$  büyüklüğünde süneklik oluşmuştur.
11. Daha sonraki yük çevirimlerinde, yük süratle azalarak kırılma tamamlanmıştır.
12. AY-97'ye göre AY-97 : 10.2.1 ...  $S(T_1) = 2.5$  ve  $R_a(T_1) = 2.5$  alınarak ... hesap yöntemi uygulanacaktır.

## Kaynaklar

1. Poulay, T., and Priestley, M.S.N., Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, John Wiley & Sons, Inc., 1992.
2. Sahlin, W., Structural Masonry, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1971.
3. Schneirder, R. R., and Dickey, W. L., Reinforced Masonry Design, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1980.
4. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1997.