

T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOLGULU ÇERÇEVELERİN  
DEPREM DAVRANIŞI

Mustafa SIVRI

135811

DANIŞMAN  
Yrd. Doç. Dr. Fuat DEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
135811  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

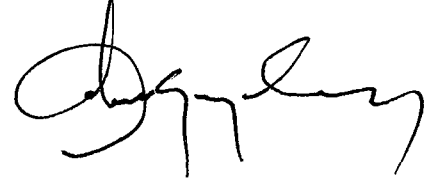
ISPARTA 2003

135811


Fen Bilimleri Müdürlüğü'ne

Bu çalışma jürimiz tarafından İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI' nda  
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Adnan KUYUCULAR



Üye : Yrd. Doç. Dr. Fuat DEMİR  
(Danışman)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa TÜRKMEN



**ONAY**

Bu tez 26/09/2003 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri  
üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

23/09/2003



**Prof. Dr. Remzi KARAGÜZEL**

**Enstitü Müdürü**

**İÇİNDEKİLER**

|   | Sayfa |
|---|-------|
| İÇİNDEKİLER.....  | i     |
| ÖZET.....   | iii   |
| ABSTRACT.....   | iv    |
| ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....  | v     |
| SİMGELER DİZİNİ.....  | vi    |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....  | viii  |
| ÇİZELGELER DİZİNİ.....  | xi    |
| 1. GİRİŞ.....   | 1     |
| 1.1. Dolgu Duvarları ve Çerçeve Yapılar.....  | 1     |
| 1.2. Dolgu Duvarlarının Yapı Deprem Davranışına Etkileri ve Göçme<br>Biçimleri..... | 1     |
| 1.3. Dolgu Duvarı Özelliklerinin Yapı Davranışına Etkileri.....                     | 2     |
| 1.4. Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Modellenmesi.....                                   | 3     |
| 2. KAYNAK BİLGİSİ.....  | 6     |
| 3. MATERYAL VE METOD.....   | 9     |
| 3.1. Materyal.....  | 9     |
| 3.1.1. Çalışmada Esas Alınan Modeller ve Özellikleri.....                           | 9     |
| 3.1.2 Örnek 1.....  | 9     |
| 3.1.2.1 Tek Katlı-Tek Açıklıklı Dolgu Duvarlı Düzlem Çerçeve Modeli.....            | 9     |
| 3.1.2.2 İki Katlı-Tek Açıklıklı Dolgu Duvarlı Düzlem Çerçeve Modeli.....            | 10    |
| 3.1.3 Örnek 2.....  | 12    |
| 3.1.4 Örnek 3.....  | 14    |
| 3.1.5 Örnek 4.....  | 19    |
| 3.2 Metod.....  | 24    |
| 3.2.1 Yapı Sistemlerinin Çözümünde Kullanılan Sonlu Elemanlar<br>Yöntemi.....       | 24    |
| 3.2.1.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi Genel Bağlılıları.....                              | 24    |
| 3.2.1.2 Sonlu Elemanlar Yöntemi Esas Bağlılıları.....                               | 25    |
| 3.2.2 Doğrusal Olmayan İtme (Pushover) Analizi.....                                 | 29    |

|   |    |
|---|----|
| 3.2.2.1 Yapı Elamanlarının Plastik Davranış Özelliklerinin (Hinge)<br>Tanımlanması..... | 32 |
| 3.2.3 Tanım Zaman Alanı Analizi (Time History).....                                     | 34 |
| 4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....   | 37 |
| 4.1 Örnek 1 .....   | 37 |
| 4.1.1 Dolgu Duvarlı Tek Katlı-Tek Açıklıklı Düzlem Çerçeve.....                         | 38 |
| 4.1.2 Dolgu Duvarlı İki Katlı-Tek Açıklıklı Düzlem Çerçeve.....                         | 38 |
| 4.2 Örnek 2.....  | 40 |
| 4.3 Örnek 3.....  | 44 |
| 4.4 Örnek 4.....  | 47 |
| 4.5 Örnek 5.....  | 62 |
| 5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....   | 71 |
| 6. KAYNAKLAR.....   | 73 |
| 7. ÖZGEÇMİŞ.....  | 75 |

## ÖZET

Yıkıcı depremler deprem kuşağındaki coğrafi alanlarla sınırlıdır. Fakat nüfusu yoğun bölgelerde meydana gelen büyük ölçekli zararlar ve ölümlerin sayısı bütün dünyayı etkilemektedir.

Depremler, ölümler ve yapılarda meydana getirdiği büyük hasarlar sebebiyle deprem bölgesinde ekonomik, sosyal, psikolojik ve bazen de politik olarak büyük zarar vermektedir. Bundan dolayı yapıların deprem davranışlarının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Dolgu duvarları, yapı davranışını ve performansını doğrudan etkilemeyen, ikinci derece yapı elemanı olarak kabul edilir ve çözümlemede karşılaşılan karmaşıklıktan dolayı mevcut şartnamelerin çoğunda yer almazlar.

Bu çalışmada, taşıyıcı olmayan dolgu duvarların betonarme yapıların deprem davranışına olan etkileri konu edilmiştir. Bu amaçla dolgu duvarların performanslarının belirlenmesi için değişik dolgu duvar yerleşimleri ile betonarme yapılar incelenmiştir. Dolgu duvarın modellenmesi için diagonal eleman kullanılmıştır.

Bazı yapı mimarileri seçilerek, dolgu duvarların taşıyıcı eleman olarak kabul edildiği ve kabul edilmediği durumlar için farklı duvar yerleşimleriyle yapılar incelenmiştir. Doğrusal olmayan çözümler yapılmış ve her iki durumda yapının periyot, yatay yer değiştirme, yapı performansı, göçme şekli gibi özelliklerin nasıl değiştiği incelenmiştir. Deprem kayıtlarına göre yapıların hesaplanan taban kesme kuvvetleri ve maksimum yer değiştirmelerin değişimi araştırılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELER:** Dolgulu Çerçeveler, Pushover, Time History, Duvar

## ABSTRACT

Destructive earthquakes are confined to certain geographical areas, the seismic zones, the large-scale damage that they cause in densely populated areas and the number of deaths are such that they have an impact the whole world.

Earthquakes, because of the deaths the large damage to buildings that they cause several economic, social, psychological and even political effects in the areas on countries where they take place. For that reason, investigating the structure's earthquake response is very important.

The infill masonry is seldom included in several codes, because masonry panels are generally considered as structural elements of secondary importance, which introduce some unwanted analytical complexities without having pronounced effect on the structural performance.

In this study, effects of nonstructural masonry infills on the earthquake response of reinforced concrete structures are investigated by considering reinforced concrete structures with different configuration of masonry infills to examine the effects or irregular infill masonry structure performance. The diagonal strut is adopted for masonry infill.

By selecting some structures architectures, for the situations in which infilled frames are supposed as carrier member or not, with different infill frame designs, structures are examined. With non-linear analysis for both two positions; period, lateral displacement, structure performance, collapse style behaviours are examined. According to earthquake records, how to change base shears and maximum displacements are investigated with time history analysis.

**KEY WORDS:** Infill Frames, Pushover, Time History, Masonry

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilimdalı bünyesinde gerçekleştirilen bu çalışma da, değişik dolgu duvar yerleşimleri için yapıların deprem davranışları incelenmiştir. Doğrusal olmayan yapı analizi ve dinamik analizle yapı davranışları ve dolgu duvarlarının yapı davranışında oluşturdukları olumlu ve olumsuz katkıları araştırılmıştır.

Yüksek Lisans çalışması süresince, ilgi ve yardımlarıyla beni destekleyen danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Fuat DEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam esnasında yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım İnş. Müh. Hüseyin BİLGİN'e teşekkür ediyorum.

Aileme gösterdikleri maddi ve manevi desteklerinden dolayı teşekkür eder, şükranlarımı sunarım.

## SİMGELER (KISALTMALAR) DİZİNİ

|                           |  |
|---------------------------|--|
| $I$                       | Atalet momenti   |
| $L$                       | Uzunluk  |
| $E$                       | Elastisite modülü  |
| $\underline{F}_A$         | Atalet kuvvetlerini gösteren vektör                                      |
| $\underline{F}_V$         | Viskoz kuvvetleri gösteren vektör  |
| $\underline{F}_E$         | Elastik kuvvetleri gösteren vektör                                       |
| $\underline{P}$           | Dış kuvvetleri gösteren vektör   |
| $\underline{M}$           | Kütle matrisi  |
| $\underline{C}$           | Sönüm matrisi  |
| $\underline{K}$           | Rijitlik matrisi   |
| $\underline{u}$           | Düğüm noktası yer değiştirme vektörü                                     |
| $[H]$                     | Tranformasyon matrisi  |
| $\Delta$                  | Eleman düğüm noktalarındaki yer değiştirme vektörü                       |
| $\underline{\varepsilon}$ | Eleman şekil değiştirme vektörünü  |
| $\gamma_{xy}$             | Kayma gerilmesi şekil değiştirmesi                                       |
| $[B]$                     | Şekil değiştirme vektörünü düğüm noktası deplasmanlarına bağlayan matris |
| $\sigma$                  | Eleman gerilme vektörü   |
| $[E]$                     | Eleman elastisite matrisi  |
| $U$                       | Eleman şekil değiştirme enerjisi (Potansiyel enerjisi)                   |
| $V$                       | Eleman hacmi   |
| $p(x)$                    | Yük fonksiyonu   |
| $p_x, p_y$                | Dış kuvvetler  |
| $k_{ij}$                  | Rijitlik katsayısı   |
| $\delta_i$                | Yer değiştirme   |
| $c_i$                     | Sabit katsayı  |
| $W_E$                     | Dış kuvvetlerin yaptığı iş   |
| $W_I$                     | İç kuvvetlerin yaptığı iş  |
| $M(x)$                    | Kirişin "x" kesitindeki eğilme momenti                                   |



|                      |   |
|----------------------|---|
| $d\theta$            | Kesitteki görelî açısal değişim                       |
| $y(x,t)$             | Şekil değiştirme fonksiyonu                           |
| $\{\Delta u\}$       | Yanal yer değiştirmelerin artış vektörü               |
| $C_{corr}$           | Düzeltilme katsayısı                                  |
| $\{\Delta F_{err}\}$ | Yapıdaki dengelenmemiş kuvvetlerin vektörü            |
| $\mu_c$              | Poisson oranı   |
| $t$                  | Dolgu duvar kalınlığı                                 |
| $f_{cd}$             | Betonun tasarım basınç dayanımı                       |
| $f_{ct}$             | Betonun karakteristik basınç dayanımı                 |
| $E_c$                | Betonun elastisite modülü                             |
| $f_d$                | Dolgu duvar malzemesinin basınç dayanımı              |
| $E_d$                | Dolgu duvar malzemesinin elastisite modülü            |
| $w_{ef}$             | Eşdeğer basınç çubuğu genişliği                       |
| $I_c$                | Kolonun atalet momenti                                |
| $H$                  | Kat yüksekliği  |
| $H_d$                | Dolgu panelin yüksekliği                              |
| $\theta$             | Diagonelin yatayla yaptığı açı                        |
| $\lambda_h$          | $w_{ef}$ hesabı için malzeme ve geometri etki faktörü |
| $p_{mz}$             | Modal katılım faktörü                                 |
| $\zeta$              | Sönüm oranı   |

**ŞEKİLLER DİZİNİ**

|  | <b>Sayfa</b> |
|--|--------------|
| Şekil 1.1. Dolgu duvarlı çerçeve.....  | 3            |
| Şekil 1.2. Dolgu duvarın çerçeve yatay ötelenmesinde basınç çubuğu gibi davranışı.....                 | 4            |
| Şekil 1.3 Dolgu duvarlı çerçevelerin basınç çubukları ile modellenmesi.....                            | 4            |
| Şekil 3.1 Tek katlı-tek açıklıklı dolgu duvarlı çerçeve ölçüleri.....                                  | 10           |
| Şekil 3.2 Tek Katlı-tek açıklıklı dolgu duvarlı çerçevenin eşdeğer basınç çubuğu ile modellenmesi..... | 10           |
| Şekil 3.3 İki katlı-tek açıklıklı dolgu duvarlı çerçevenin ölçüleri ve malzeme özellikleri.....        | 11           |
| Şekil 3.4 İki katlı düzlem çerçeve modeli ve kat yanal kuvvetleri.....                                 | 11           |
| Şekil 3.5 Düzlem Çerçeve Tipi 1- dolgu duvar konumları ve özellikleri.....                             | 13           |
| Şekil 3.6 Düzlem Çerçeve Tipi 2 – dolgu duvar konumları ve özellikleri.....                            | 14           |
| Şekil 3.7 Bodrum ve zemin kat mimari planı.....  | 15           |
| Şekil 3.8 Bodrum kat kalıp planı.....  | 16           |
| Şekil 3.9 Normal kat mimari planı.....   | 17           |
| Şekil 3.10 Normal kat ve zemin kat kalıp planı.....  | 18           |
| Şekil 3.11 Örnek 4 betonarme bina plan ve kesiti.....  | 20           |
| Şekil 3.12 1. Tip Dolgu duvarsız çerçeve.....  | 22           |
| Şekil 3.13 2. Tip Dolgu duvar yerleşimi.....   | 23           |
| Şekil 3.14 3. Tip Dolgu duvar yerleşimi.....   | 23           |
| Şekil 3.15 4. Tip Dolgu duvar yerleşimi.....   | 23           |
| Şekil 3.16 5. Tip Dolgu duvar yerleşimi.....   | 23           |
| Şekil 3.17 Yapı elemanı için yük-yer değiştirme ilişkisi.....  | 30           |
| Şekil 3.18 Pushover analizde kullanılan statik yaklaşım.....   | 30           |
| Şekil 3.19 Betonarme elemanın moment-dönme ilişkisi.....   | 32           |
| Şekil 3.20 Diagonal elemanın aksenal kuvvet-şekil değiştirme ilişkisi.....                             | 33           |
| Şekil 3.21 Erzincan depremi ivme kaydı.....  | 35           |
| Şekil 3.22 Düzce depremi ivme kaydı.....   | 35           |
| Şekil 3.23 Kocaeli depremi ivme kaydı.....   | 36           |
| Şekil 4.1 Tek katlı çerçeve Yanal yük-Yer değiştirme ilişkisi.....                                     | 37           |

|   |    |
|---|----|
| Şekil 4.2 Tek katlı dolgu duvarlı çerçevenin mafsallaşma mekanizması.....                       | 38 |
| Şekil 4.3 İki katlı-tek açıklıklı düzlem çerçeve de Yük faktörü-Yer<br>değiştirme ilişkisi..... | 39 |
| Şekil 4.4 İki katlı çerçevenin mafsallaşma mekanizması.....                                     | 39 |
| Şekil 4.5 1. Tip düzlem çerçevelerin kat yanal ötelemeleri ( $E_d/E_c = 1/16$ )....             | 42 |
| Şekil 4.6 2. Tip düzlem çerçevelerin kat yanal ötelemeleri ( $E_d/E_c = 1/16$ )....             | 43 |
| Şekil 4.7 X Yönü kat yer değiştirmeleri.....  | 45 |
| Şekil 4.8 1. Tip dolgu duvarsız yapı pushover eğrisi.....                                       | 48 |
| Şekil 4.9 1. Tip dolgu duvarsız çerçeve 1 ve 4 aksları mafsallaşma<br>mekanizması.....          | 48 |
| Şekil 4.10 2. Tip dolgu duvar yerleşimi için pushover eğrisi.....                               | 49 |
| Şekil 4.11 2. Tip dolgu duvar yerleşimi için 1 ve 4 aksları<br>mafsallaşma mekanizması.....     | 49 |
| Şekil 4.12 3. Tip dolgu duvar yerleşimi için pushover eğrisi.....                               | 50 |
| Şekil 4.13 3. Tip dolgu duvar yerleşimi için 1 ve 4 aksları mafsallaşma<br>mekanizması.....     | 50 |
| Şekil 4.14 4. Tip dolgu duvar yerleşimi için pushover eğrisi.....                               | 51 |
| Şekil 4.15 4. Tip dolgu duvar yerleşimi için 1 aksı mafsallaşma<br>mekanizması.....             | 51 |
| Şekil 4.16 4. Tip dolgu duvar yerleşimi için 4 aksı mafsallaşma<br>mekanizması.....             | 51 |
| Şekil 4.17 5. Tip dolgu duvar yerleşimi için pushover eğrisi.....                               | 52 |
| Şekil 4.18 5. Tip dolgu duvar yerleşimi için 1 aksı mafsallaşma<br>mekanizması.....             | 52 |
| Şekil 4.19 5. Tip dolgu duvar yerleşimi için 4 aksı mafsallaşma<br>mekanizması.....             | 52 |
| Şekil 4.20 Dolgu yerleşim tipleri için pushover eğrileri.....                                   | 53 |
| Şekil 4.21 Erzincan depremi davranış spektrumu.....   | 53 |
| Şekil 4.22 Düzce depremi davranış spektrumu.....  | 54 |
| Şekil 4.23 Kocaeli depremi davranış spektrumu.....  | 54 |
| Şekil 4.24 1. Tip dolgu duvarsız çerçevenin Erzincan depremi taban<br>kes:ne kuvveti.....       | 55 |

|   |    |
|---|----|
| Şekil 4.25 1. Tip dolgu duvarsız çerçevenin Düzce depremi taban kesme kuvveti.....                                      | 55 |
| Şekil 4.26 1. Tip dolgu duvarsız çerçevenin Kocaeli depremi taban kesme kuvveti.....                                    | 56 |
| Şekil 4.27 2. Tip çerçevenin Erzincan depremi taban kesme kuvveti.....  | 56 |
| Şekil 4.28 2. Tip çerçevenin Düzce depremi taban kesme kuvveti.....   | 57 |
| Şekil 4.29 2. Tip çerçevenin Kocaeli depremi taban kesme kuvveti.....   | 57 |
| Şekil 4.30 3. Tip çerçevenin Erzincan depremi taban kesme kuvveti.....  | 58 |
| Şekil 4.31 3. Tip çerçevenin Düzce depremi taban kesme kuvveti.....   | 58 |
| Şekil 4.32 3. Tip çerçevenin Kocaeli depremi taban kesme kuvveti.....   | 59 |
| Şekil 4.33 4. Tip çerçevenin Erzincan depremi taban kesme kuvveti.....  | 59 |
| Şekil 4.34 4. Tip çerçevenin Düzce depremi taban kesme kuvveti.....   | 60 |
| Şekil 4.35 4. Tip çerçevenin Kocaeli depremi taban kesme kuvveti.....   | 60 |
| Şekil 4.36 5. Tip çerçevenin Erzincan depremi taban kesme kuvveti.....  | 61 |
| Şekil 4.37 5. Tip çerçevenin Düzce depremi taban kesme kuvveti.....   | 61 |
| Şekil 4.38 5. Tip çerçevenin Kocaeli depremi taban kesme kuvveti.....   | 62 |
| Şekil 4.39 Yapı geometrik özellikleri (m).....  | 64 |
| Şekil 4.40 Düzce depremi maksimum yer değiştirmeleri a) temel çerçeve b)dolgulu çerçeve c) yumuşak katlı çerçeve.....   | 65 |
| Şekil 4.41 Erzincan depremi maksimum yer değiştirmeler a) temel çerçeve b)dolgulu çerçeve c) yumuşak katlı çerçeve..... | 65 |
| Şekil 4.42 Düzce depremi taban kesme kuvvetleri a) temel çerçeve b)dolgulu çerçeve c) yumuşak katlı çerçeve.....        | 66 |
| Şekil 4.43 Erzincan depremi taban kesme kuvvetleri a) temel çerçeve b)dolgulu çerçeve c) yumuşak katlı çerçeve.....     | 66 |
| Şekil 4.44 Düzce depremi için max. kat yer değiştirmeleri.....  | 67 |
| Şekil 4.45 Temel çerçeve pushover eğrisi.....   | 67 |
| Şekil 4.46 Dolgulu çerçeve pushover eğrisi.....   | 68 |
| Şekil 4.47 Yumuşak katlı çerçeve pushover eğrisi.....   | 67 |
| Şekil 4.48 Temel çerçeve göçme mekanizması.....   | 69 |
| Şekil 4.49 Dolgulu çerçeve göçme mekanizması.....   | 69 |
| Şekil 4.50 Yumuşak katlı çerçeve göçme mekanizması.....   | 70 |

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

|   | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| Çizelge 3.1 Örnek 4 yapısının kolon kesitleri.....  | 19           |
| Çizelge 3.2 Kat ağırlıkları ve kat deprem kuvvetleri.....   | 21           |
| Çizelge 3.3 1. ve 4. Aksı eşdeğer basınç çubuğu genişlikleri ( $W_{ef}$ ).....  | 22           |
| Çizelge 4.1 Düzlem çerçeve Tipi 1 için 1. mod periyotları.....  | 40           |
| Çizelge 4.2 1.Tip düzlem çerçevelerin kat yanal ötelemeleri.....  | 41           |
| Çizelge 4.3 Düzlem çerçeve tipi 2 için 1. mod periyotları.....  | 42           |
| Çizelge 4.4 2.Tip düzlem çerçevelerin kat yanal ötelemeleri.....  | 43           |
| Çizelge 4.5 Konut yapısının kat ağırlıkları ve x yönü kat deprem kuvvetleri.....  | 44           |
| Çizelge 4.6 Konut yapısının dolgu duvarların hesaba katıldığı ve<br>katılmadığı durumlar için 1. mod periyot değerleri..... | 44           |
| Çizelge 4.7 B6 Kolonun kolon uç momentleri (kN.m).....  | 46           |
| Çizelge 4.8 B5 Kolonun kolon uç momentleri (kN.m).....  | 46           |
| Çizelge 4.9 Maksimum kat yer değiştirmeleri.....  | 47           |
| Çizelge 4.10 Deprem kayıtları için maksimum yer değiştirmeler.....  | 62           |
| Çizelge 4.11 Pushover değerleri ve deprem kaydı taban kesme kuvvetleri (kN)   | 62           |
| Çizelge 4.12 Yapı tipleri için 1. mod periyot değerleri.....  | 65           |
| Çizelge 4.13 Düzce ve Erzincan depremi sonuçları.....   | 66           |

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Dolgu Duvarları ve Çerçeve Yapılar

Dolgu duvarları, binalara fonksiyon kazandırmak için mekanları bölmek yada birbirinden ayırmak amacıyla yapılarda iskelet taşıyıcı sistem içindeki boşlukların değişik yapı malzemelerinin doldurulması ile oluşturulan elemanlardır.

Betonarme çerçeveli sistemler, en çok kullanılan yapı sistemleri olmasına rağmen dolgu duvarlar yapının analizinde taşıyıcı eleman olarak değil çoğu zaman yük olarak alınırlar. Bunun nedeni ise; (1) Dolgu duvarların yapı rijitliğine katkısını dikkate alan hesap modelleri oluşturmanın karmaşıklığı; (2) Dolgu duvarların katkısını dikkate alan hesap metodlarının proje tasarımı aşamasında olmamasıdır.

Bu güne kadar araştırmacılar tarafından yapılan bazı çalışmalar incelenmiş, dolgu duvarların yapının rijitliğine etkileri ve yapının deprem yükleri altındaki davranışları açıklanmıştır.

## 1.2 Dolgu Duvarlarının Yapı Deprem Davranışına Etkileri ve Göçme Biçimleri

Çok katlı yapılarda duvarlar taşıyıcı elemanlar olarak düşünülmediği için sadece iç ve dış mekanları ayırır hafif elemanlar olarak seçilir.

Dolgu duvarların hafifletilmesinin temel nedeni, yapı ölü yükünü azaltmaktır. Böylelikle yapı inşasındaki kolaylık ve ekonomi dışında yapının deprem kuvvetlerini azaltmaktır. Çünkü, yapı periyoduna en çok etki eden faktörlerden biride kütedir. Kütle artışı ile yapının doğal titreşim periyodu artacaktır.

Duvarlar yapıda kütle olarak alınmalarının yanında ikinci derece yapı elemanı olarak kabul edilmeleri ve yatay yükler altındaki davranışa katkılarının ihmal edilmesi, bazı zamanlarda yapının beklenmedik davranışlar göstermesine neden olur. Öyle ki, bireysel yapı elemanlarının çökmesi ya da bütün binanın çökmesi gibi zararlara

neden olabilir. Bununla birlikte, duvarlar, çerçeve yapıların deprem davranışına genellikle olumlu etkilemektedir. Deprem görmüş bölgelerdeki yapılar incelendiğinde, dolgu duvarlarının yüksek binaların çökmesini engellediği görülmüştür. Diğer taraftan, ticari veya diğer amaçlarla dolgu duvarsız inşa edilen zemin katlar yumuşak kat (soft story) oluşması ile aşırı zarar görmüştür.

Deprem gören yapılarda hasarlar sıva çatlakları ile başlar. İlk sıva çatlakları sıva kalınlığının az olduğu bölgelerde başlar. Daha sonra, kiriş-duvar ve kolon-duvar birleşim derzlerinde yine sıva çatlakları oluşur. Yapıda bu tür sıva çatlakları var ise, betonarme taşıyıcı elemanlarda (kolon ve kirişler) hasar bulunmamaktadır. Şiddetli depremlerde, dolgu duvarın tuğla yada daha zayıf mukavemetli boşluklu briket olmasına da bağlı olarak, dolgu duvarı hasarı başlamaktadır. Duvar düzlemine karşıdan bakıldığında, daha çok örgü harç derzlerini izleyen kırıklı X biçiminde derin çatlaklar görülür. Dolgu duvarları hasarlarının daha ileri aşamalarında ise, duvarlar taşıyıcı elemanlardan ayrılır ve tuğla veya briket parçaları kopup düşmeye başlar. Genellikle dolgu duvarların iyice parçalanıp iri parçalar halinde dökülmeye başlaması ile, özellikle kolon-kiriş birleşimlerine yakın bölgelerde kolonlarda ve kirişlerde mafsallaşmalar görülür.

### **1.3 Dolgu Duvarı Özelliklerinin Yapı Davranışına Etkileri**

Dolgu duvarlı çerçevelerin kuvvetli yer hareketine (depreme) karşı davranışı temel olarak (1) duvar malzemesinin mekanik özelliklerine, duvarın kalınlığına, kullanılan dolgu harcına, (2) dolgu duvarın çerçeveye ne şekilde bağlandığına, duvarda bulunabilecek boşluklara (pencere ve kapı), (3) dolgu duvarın yapı üzerine yerleştirilme biçimine bağlıdır.

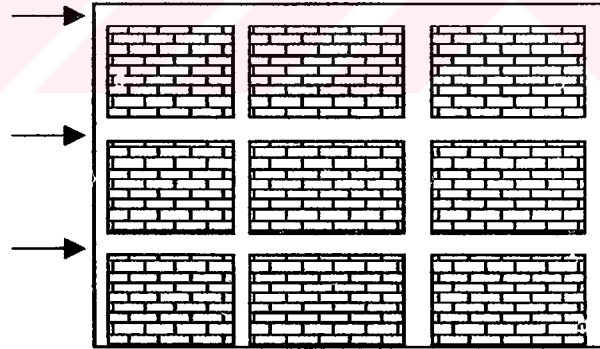
Yapılan birçok deney sonucu, dolgu duvarların çerçeveye olan etkilerindeki en önemli değişikliklerden birisinde duvarlarda bulunan boşluklar olduğunu göstermiştir. Duvarlarda yer alan kapı ve pencere boşlukları ile bunları çevreleyen kasalar, duvar davranışını doğrudan etkiler. Boşluklu duvarlar, boşluksuz duvarlara göre daha sünek ve daha az rijittir.

Çerçeve yapıdaki dolgu duvarların mimarideki yerleştiriliş biçimi, yapı davranışını olumlu veya olumsuz olarak etkileyen en önemli nedenlerden biridir. Dolgu duvarın yapıdaki yerleşiminden dolayı, yapı beklenenden çok daha farklı davranabilir. Dolgu duvarları yapı rijitliğini artırarak çerçeve elemanların üzerine gelen deprem kuvvetlerini azaltır. Diğer taraftan yerleştirilme biçimine bağlı olarak kısa kolon davranışı, yumuşak kat davranışı ve yapıda burulma gibi olumsuz etkileri de olabilmektedir.

#### 1.4 Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Modellenmesi

Dolgu duvarlı çerçevelerin modellenmesi için ortaya konulmuş ve uygulama alanı bulmuş, güvenilir ve kolay bir yöntem henüz tam olarak ortaya konulmuş sayılamaz. Bu konuda ortaya atılmış bir takım öneriler ve kriterler olmasına karşın deneysel çalışmalar fazla miktarda mevcuttur.

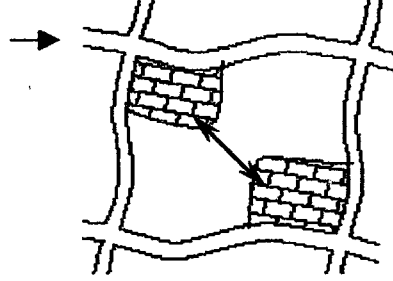
Tipik bir dolgu duvarlı çerçeve Şekil 1.1'deki gibi düşünülebilir.



Şekil 1.1 Dolgu duvarlı çerçeve

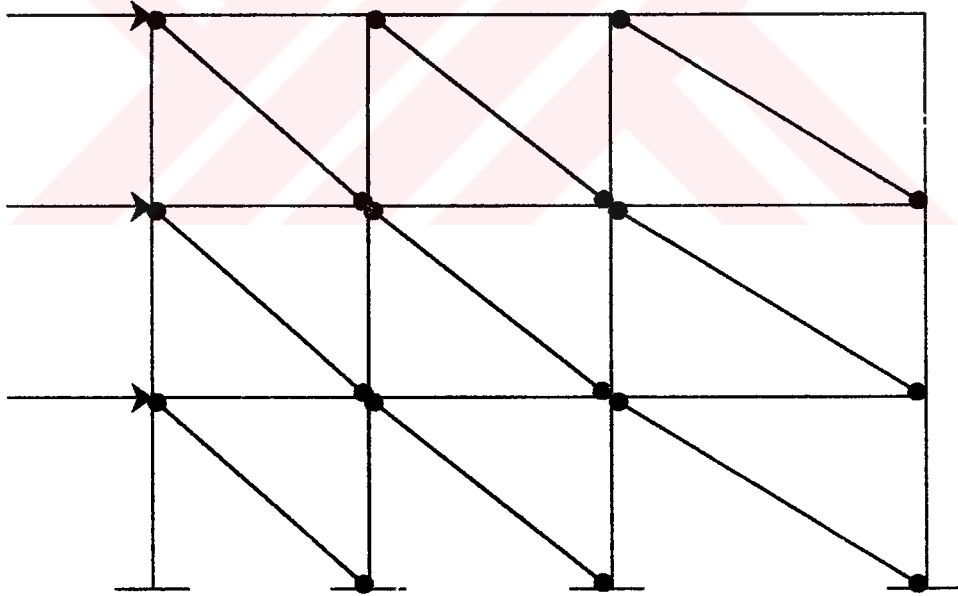


Çerçevenin dolgu duvarlı her bir gözü, yatay yükler altında, Şekil 1.2'deki gibi yer değiştirme yapma eğilimindedir. Dolgu duvarları, çerçevelerin, yatay ötelenmelerine bir basınç çubuğu gibi karşı koymaktadırlar.



Şekil 1.2 Dolgu duvarın çerçeve yatay ötelenmesinde basınç çubuğu gibi davranışı

Şekil 1.2'den de görüldüğü gibi, yatay yükün yönüne bağlı olarak, dolgu duvarları Şekil 1.3'de gösterildiği gibi modellenebilir.



Şekil 1.3 Dolgu duvarlı çerçevelerin basınç çubukları ile modellenmesi

Dolgu duvarlı çerçevelerin hesabı konusunda, eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımı basit ve kullanışlı bir yaklaşımdır. Çalışmalar, dolgu duvarı temsil edecek eşdeğer diagonal basınç çubuğunun (inclined strut) kesitinin ne alınması gerektiğinin tespitine çalışır.



## 2. KAYNAK BİLGİSİ

### **Dolgu Duvarlı Çerçeve Yapıların Modellenme Metotları ve Yanal Davranışı Üzerine Bazı Çalışmalar**

Dolgu duvarlı çerçevelerin yapı davranışı üzerindeki etkileri ve modellenmesi birçok araştırmacı tarafından konu edilmiş ve özellikle yapının yanal davranışına etkileri incelenmiştir.

Harpal Singh, Paul ve Sastry [1998] statik yükler ve deprem etkisine maruz dolgu panelli çerçeve yapıların davranışını doğrusal olmayan sonlu elemanlar metodu ile modellemişlerdir. Yükler altında, çerçeve ve dolgu yüzeyleri arasındaki harç, kayma gerilmesi etkisiyle çatlamakta ve ezilmektedir. Ayrıca, dolgu da çatlayabilir ve/veya ezilebilir ki bu, dolgunun yapısal davranışlarını değiştirir ve dolgunun etkisiz hale gelmesini sebep olabilir. Böylece temel çerçeve tüm yükü taşıy hale gelerek sisteminin yetersizliğine yol açabileceğini belirtmektedirler. Çalışmaların da tek katlı ve iki katlı düzlem çerçeve ele alarak yanal yüklerin artışı ile yapıda oluşan yanal yer değiştirmelerin değişimini ve elemanlardaki hasar biçimlerini incelemişlerdir. İncelenen modelin yük dağılım davranışını, çerçeveden dolgunun ayrılmasını, eşdeğer köşegen genişliğini, mod ve yük değişimini dikkate alacak şekilde oluşturulmasının gerektiğini vurgulanmıştır. Algoritma da, çatlayan dolgudaki ve çubuk elemanlardaki plastik mafsallaşma sırasını verebilmelidir. Ayrıca, inelastik dinamik analiz için tasarlanan model, dolgulu çerçeve sistemin yer hareketi etkisindeki davranışını çok iyi verebilmelidir. Plastik mafsallar ve çatlaklar yüklerin geri dönmesiyle ve azalmasıyla ortadan kalkar, bununla birlikte söz konusu noktalardaki gerilmeler sınır değerinin altında kalır fakat plastik gerilmeler hala mevcuttur. İnelastik davranış değerleri elastik davranışın çok farklı formlarında olabilir. Bu nedenle de, elastik analizin uygun olmadığını ve dolgu duvarlı çerçevelerin modellenmesinde doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin daha uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Negro ve Colombo [1997], çerçeve yapıların global sismik harekette yapısal olmayan duvar dolgularının yapı davranışına olan etkilerini yapay yer hareketi ile test ederek incelemişlerdir. Farklı dolgu paneli yerleşimleri ile Eurocode 8'e göre dizayn edilmiş dört katlı çerçeve yapı üzerinde deneyler yapılmıştır. Sonuçlar, panellerin çerçeve yapı üzerindeki düzensiz dağılımının çerçeve elemanlara büyük zararlar verdiğini ortaya çıkarmıştır. Ayrıca, dolguların yerleşiminin düzenli olmasının çerçevenin düzensiz davranışını da önleyebilmektedir.

Ayrıntılı bir modelleme yaparak bu tür yapıların davranışını önceden belirleme imkanının olup-olmadığını da araştırmışlardır. Deneylemler ve sayısal hesaplamaların sonuçları karşılaştırıldığında, düzensiz dolgulu çerçevelerin davranışının, basitleştirilmiş global model ile güvenilir bir hesap yapılabileceğini göstermişlerdir. Eleman davranışının tanımlanmasında bazı doğru kriterlerin alınmasıyla bu tip yapıları temsil etmek daha da basitleşmektedir.

Demir F ve Sivri M. [2002] çalışmalarında birinci dereceden taşıyıcı olmayan dolgu duvarların değişik şekillerde yerleştirildiği betonarme binanın yanal davranışındaki etkileri incelemişlerdir. Bu amaçla Erzincan ve Düzce deprem kayıtlarını kullanarak yapının taban kesme kuvveti ve maksimum yer değiştirmelerini incelemişlerdir. Dolgu duvarlar, yapı rijitliğini artırdıkları ve yapı periyodu azaldığı için yapıya gelen deprem kuvvetlerinde meydana gelen değişiklikleri incelemişlerdir.

Orbay A. [2001] yanal deprem yükü etkisindeki dolgulu çerçevelerde yaptığı incelemelerde duvarları eşdeğer köşegenel basınç çubuğu kavramı ile modellemiştir. Diagonal genişliğinin, çerçeve köşegen uzunluğunun  $1/8$ ' i ile  $1/4$ 'ü arasında değişim gösterdiğini ve etkili genişliğin köşegen boyunun  $1/5$ 'i kadar alınabileceği belirtilmiştir. Dolgulu kat sayısı, açıklık sayısı, dolgu duvarı düzeni ve rijitliği gibi değişkenleri ele alarak incelemeler yapmıştır. Binada duvarlardan dolayı taşıyıcı sistemin davranışında, dolgusuz çerçeve kabulündeki davranışa göre ortaya çıkan farklılıkları incelemiştir. Boş çerçeve varsayımına göre dolgu duvarlı çerçevelerde rijitlik dağılımı önemli ölçüde etkilendiğinden, sisteme etkileyen kuvvetlerin taşıyıcı elemanlara aktarımında ve dolayısıyla eleman kesitlerinde oluşan büyüklüklerde önemli farklar gözlemiştir. Bu farklılığın, dolgu duvarının her zaman güvenli olmadığını; doğru ve düzenli bir biçimde oluşturulmadıklarında sakıncalı olabilecek zayıf kat, yumuşak kat, dış merkezlik vb. gibi olumsuzluklara da yol açıp genel yapı dayanımını da etkileyebileceğini göstermiştir.

Hong Hao, Guo-Wei Ma, Yong Lu [2001], çalışmalarında yeraltındaki patlama ve göçmelerden dolayı oluşan yer hareketinde betonarme çerçevelerin hasar biçimlerinde dolgu duvarların etkisini incelemişlerdir. İki katlı betonarme çerçeve, temel çerçeve ve farklı dolgu duvar yerleşimleri ile incelenmiştir. Duvarların başlangıç hasarları, zarf eğrileri ve ortotropik elastik özellikleri hacim eleman ile temsil edilmiştir. Çerçevadaki donatının plastik akmasını ve beton hasarını göstermek için kırılma ve plastik özellikler tanımlamışlardır. Bu çalışmada ortaya çıkan sayısal değerler göstermiştir ki: (1) çerçeve davranışında duvar dolguların etkileri

duvarların fiziksel özelliklerine bağlı olduğu kadar duvarların geometrik yapısına da bağlıdır. Dolgu duvarlar, betonarme çerçevenin stabilitesini ve bütünlüğünü artırır. Bunun yanında, dolgu duvarlar çerçeve yapının davranışını etkilediği gibi hasar biçimini de değiştirmektedir. Dolgu duvarlı çerçevelerde bu gibi etkileri göz ardı etmek güvenilir sonuçlar ortaya çıkaracaktır. (2) Yapıların güvenliği için olası yer titreşiminde betonarme unsurların göz önünde bulundurulması ile birlikte dolgu duvarların da dikkate alınması daha uygun olacaktır. (3) Yer altındaki patlamalardan dolayı oluşan yer hareketinin yüksek frekanslıları dolayı yapılar global yapı modundaki temel davranışları göstermezler. Sonuç olarak, yüksek frekanslı yer hareketinde kat yer değiştirmeleri çok küçük olduğundan deprem mühendisliğinde yaygın olarak deprem hasar değerlendirilmesinde kullanılan kat yer değiştirme metodlarının uygun olmayacağını belirtmişlerdir.

Dedier Combescure ve Pierre Pegon [1999] periyodik yükleme altında tek katlı tek açıklıklı çerçeveyi LNEC (Lisbon)'da test etmiş ve modellemişlerdir. Çerçevenin sismik performansını iki aşamalı model kullanarak incelemişlerdir. Lokal seviyede, her eleman kendi bileşen şartlarına ve geometrik sonlu eleman özelliklerine sahiptir. Asıl önemlisi beton ve duvardaki çatlama ile kırılmanın devamlı hasar ve plastisite teorilerini kullanarak tasarlanmasıdır. Lokal modeldeki hesaplamaların değeri kapsamlı değildir ve dinamik çalışmaya izin vermez. Global model ise sayısal kurallara temellendirilerek oluşturulduğunda yapının sismik yüklemdeki davranışını verebilmektedir. Uygulanabilir bu model ile dört katlı betonarme yapının ELSA (European Laboratory for Structural Assessment) laboratuvarında yapılan periyodik yükleme deney sonuçlarını karşılaştırmışlardır.

Düzgün M. [1988] dolgudan dolayı çerçeve sistemlerdeki rijitlik artışının hesaplanabilmesi için, Sonlu elemanlar yöntemine dayalı bir analitik model geliştirmiştir. Düzlemi içinde değişik yüklemeler altında dolgulu çerçeve sistemin rijitliklerini bu analitik modele dayalı olarak belirleyen ve düğüm noktalarındaki deplasmanları ile iç kuvvetleri de hesaplayabilen BASIC programlama diliyle yazılmış bir program geliştirmiştir.

### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1 Materyal

##### 3.1.1 Çalışmada Esas Alınan Modeller ve Özellikleri

Çalışmada kullanılan yapıların geometrik ve fiziksel özellikleri aşağıdaki gibi sınıflandırılarak verilmiştir. Modellerde analizler SAP 2000 (Three Dimensionel Static and Dynamic Finite Element Analysis and Design of Structure) bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır.

##### 3.1.2 Örnek 1

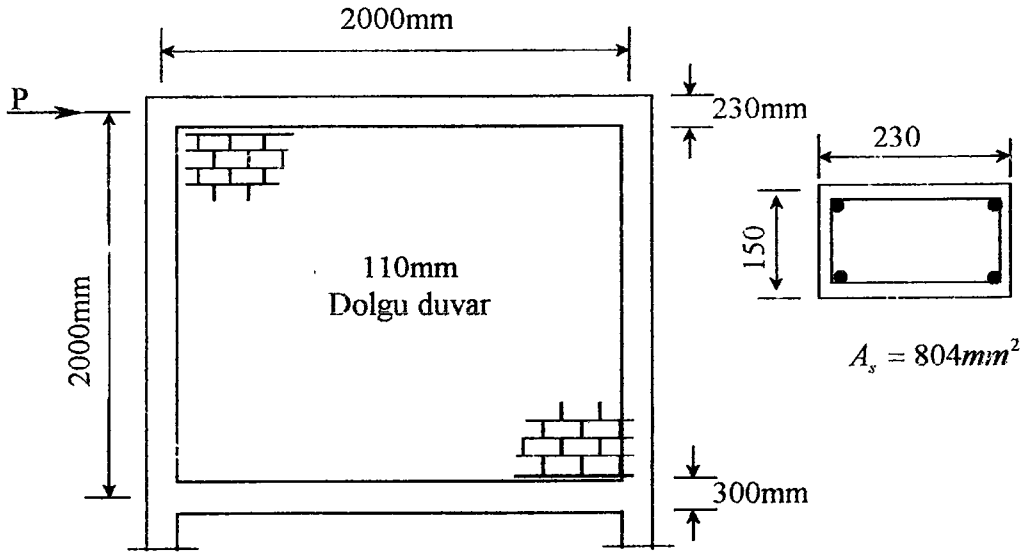
###### 3.1.2.1 Tek Katlı-Tek Açıklıklı Dolgu Duvarlı Düzlem Çerçeve Modeli

Tek katlı-tek açıklıklı dolgu duvarlı düzlem çerçeve Choubey tarafından deneysel olarak incelenmiştir. Dolgu duvarlı çerçevenin ölçüleri, malzeme özellikleri ve diğer detayları Şekil 3.1’de gösterilmektedir.

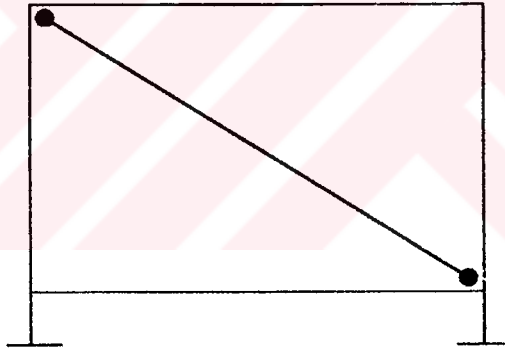
Çerçeve yapıda duvarlar eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımına göre Şekil 3.2’de gösterildiği gibi modellenerek, efektif genişlik diagonel uzunluğunun %20’si kadar alınmış ve diagonel uçlarına mafsallar yerleştirilerek sadece basınca çalışması sağlamıştır. Kesit zorlanmalarının maksimum olacağı çubuk uç noktalarına plastik mafsallar yerleştirilmiş ve çatlamalardan dolayı yük kaybı göz önüne alınarak rijitlik yarıya azaltılmıştır.

#### Fiziksel Özellikler

| <u>Çubuk Elemanlar</u>                  | <u>Dolgu Elemanı</u>                 |
|---|--------------------------------------|
| $E_c = 10,0 \text{ kN} / \text{mm}^2$   | $E_d = 0,7 \text{ kN} / \text{mm}^2$ |
| $\mu = 0,2$                             | $f_d = 4,5 \text{ N} / \text{mm}^2$  |
| $f_{ck} = 40,0 \text{ N} / \text{mm}^2$ | $\mu = 0,2$                          |



Şekil 3.1 Tek katlı-tek açıklıklı dolgu duvarlı çerçeve ölçüleri

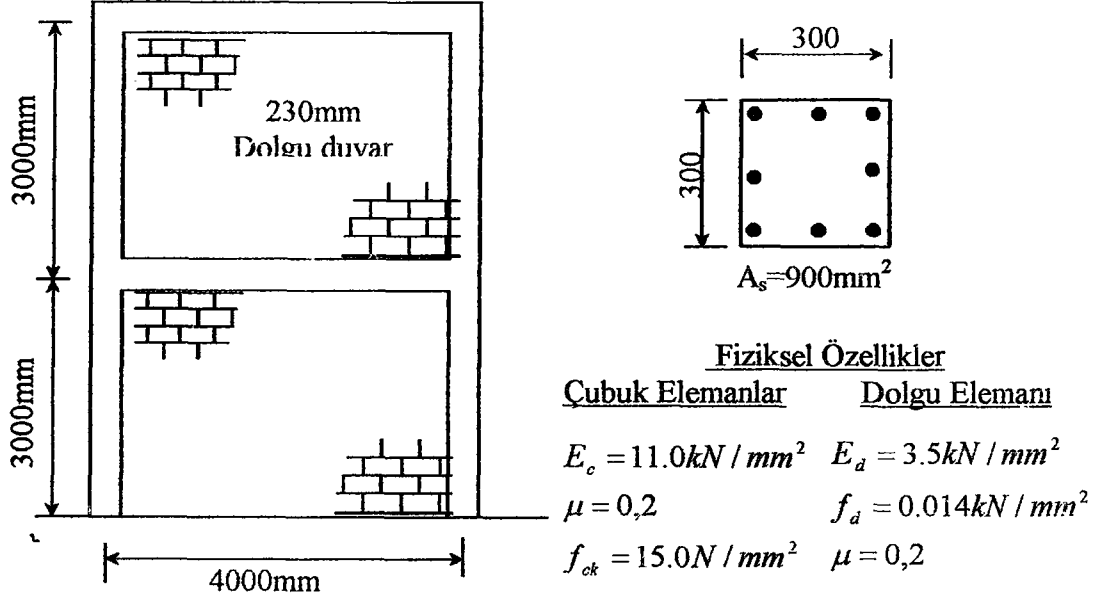


Şekil 3.2 Tek Katlı-tek açıklıklı dolgu duvarlı çerçevenin eşdeğer basınç çubuğu ile modellenmesi

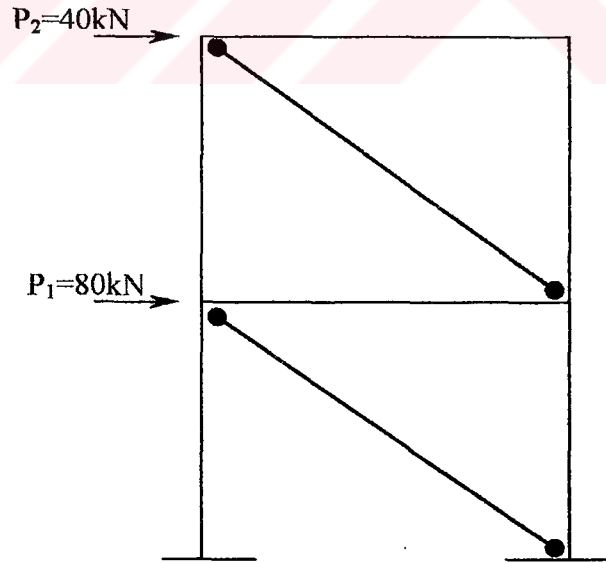
### 3.1.2.2 İki Katlı-Tek Açıklıklı Dolgu Duvarlı Düzlem Çerçeve Modeli

Choubey'in incelediği iki katlı-tek açıklıklı çerçevenin geometrik ve fiziksel özellikleri Şekil 3.3'de verilmiştir. İki katlı çerçeve tek katlı-tek açıklıklı çerçeve modelindeki kabullere göre modellenmiştir.

İki katlı yapının doğrusal olmayan itme analizi için kullanılan kat yanal kuvvetleri ve diagonal yerleşimleri Şekil 3.4'deki gibi verilmiştir.



Şekil 3.3 İki katlı-tek açıklıklı dolgu duvarlı çerçevenin ölçüleri ve malzeme özellikleri



Şekil 3.4 İki katlı düzlem çerçeve modeli ve kat yanal kuvvetleri



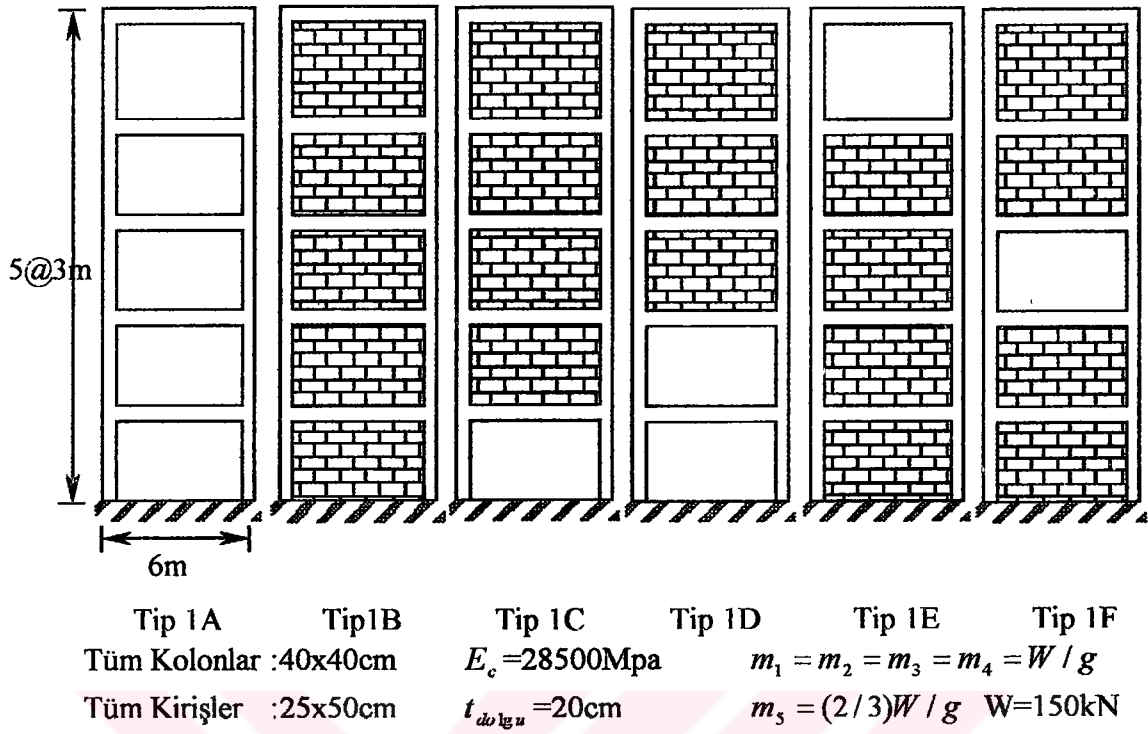
### 3.1.3 Örnek 2

Deprem yükü altında dolgulu çerçevelerin davranış ve tepkilerini irdelemek için aşağıda belirtilen iki ana durum ele alınmıştır:

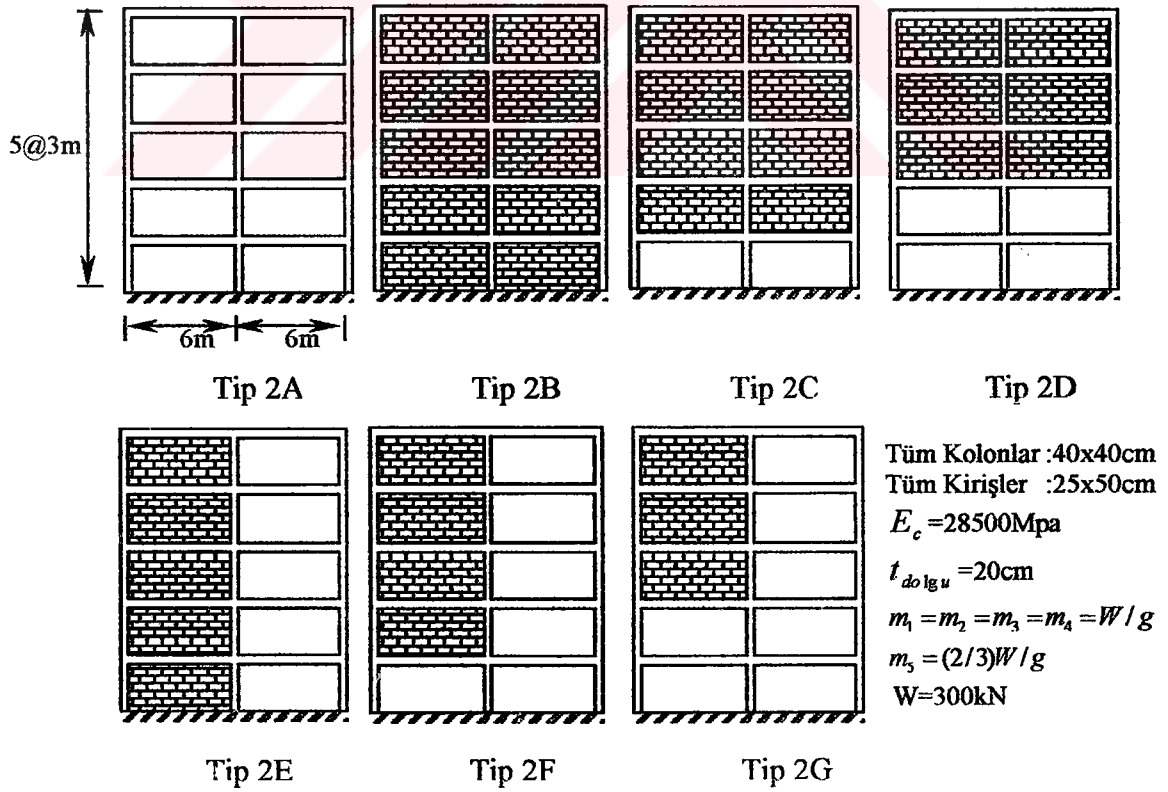
- 1) Tek Açıklıklı Çerçeve: Katlarda farklı dolgu düzeninin ve dolgu kalitesinin etkisi
- 2) İki Açıklıklı Çerçeve: Gözlerinde ve katlarında farklı dolgu düzeni ile dolgu kalitesinin etkisi

Durumlar için değişik olan veriler ilgili diyagram üzerinde gösterilmiştir. Öte yandan, ele alınan her iki durum için ortak olan veriler ise aşağıdaki gibi belirtilmiştir:

Binalar Orbay [2001] çalışmasında kabul ettiği gibi, 1. derece deprem bölgesinde Z3 yerel zemin sınıfı üzerinde oldukları öngörülerek bina önem katsayısı da 1.0 olarak alınmıştır. Yapıya etkiyen yanal elastik deprem kuvvetlerinin yapı yüksekliğince dağılımı, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik’de tanımlanan ilkelere bağlı kalınarak, Mod Birleştirme Yönteminin kullanılmasıyla belirlenmiştir. Kat döşemelerinin rijit diyafram oluşturdukları kabul edilmiş ve hesaplarda kayma yer değiştirmeleri dikkate alınmıştır. Betonarme çerçeve elemanlarının elastisite modülü  $E_c = 28500MPa$ ’dır. Dolgu duvarın kalınlığı  $t = 200mm$  sabit değerde ve dolgunun elastisite modülü  $E_d$  ise çerçeve elemanlarının elastisite modülünün 1/16, 1/4 ve 1/1’i oranlarında öngörülerek uygulanmıştır. Eşdeğer köşegenel basınç çubuğu genişliği çerçeve köşegen uzunluğunun %20 si kadar alınmıştır ve uçlarına mafsallık yerleştirilerek sadece basınca çalışması sağlanmıştır. Betonun poisson oranı ise  $\mu_c = 0.20$  olarak alınmıştır.



Şekil 3.5 Düzlem Çerçeve Tipi 1- dolgu duvar konumları ve özellikleri



Şekil 3.6 Düzlem Çerçeve Tipi 2 – dolgu duvar konumları ve özellikleri

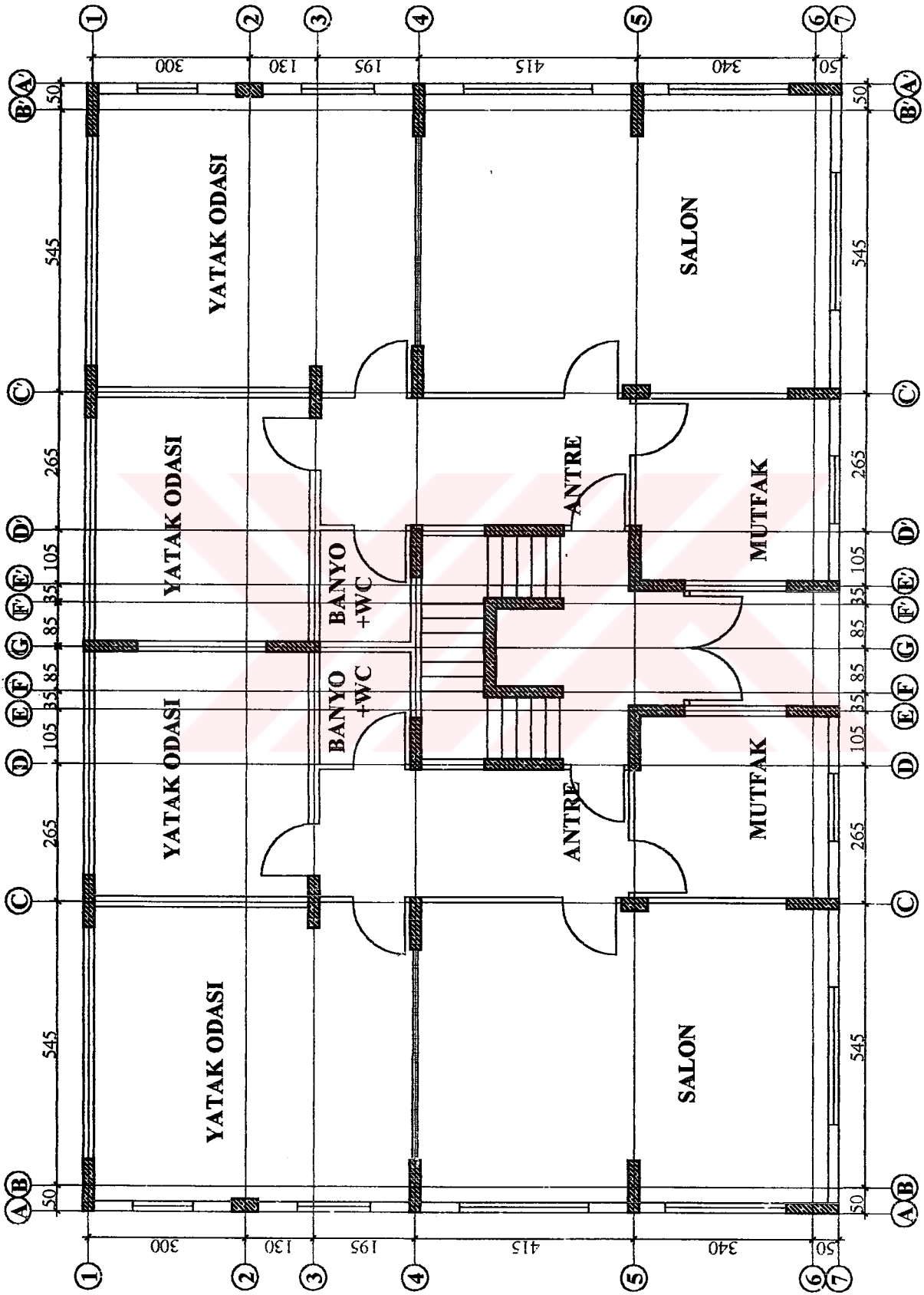
Hesaplarda dikkate alınan 2. grup çerçevelere ait dolgu düzenlemeleri Şekil 3.6'de gösterilmiştir. Bu grupta, 1. tip çerçevelere uyum sağlamak amacıyla, çerçeveler iki açıklıklı yapılırken kat ağırlıkları da buna paralel olarak iki kat artırılmıştır.

### 3.1.4 Örnek 3

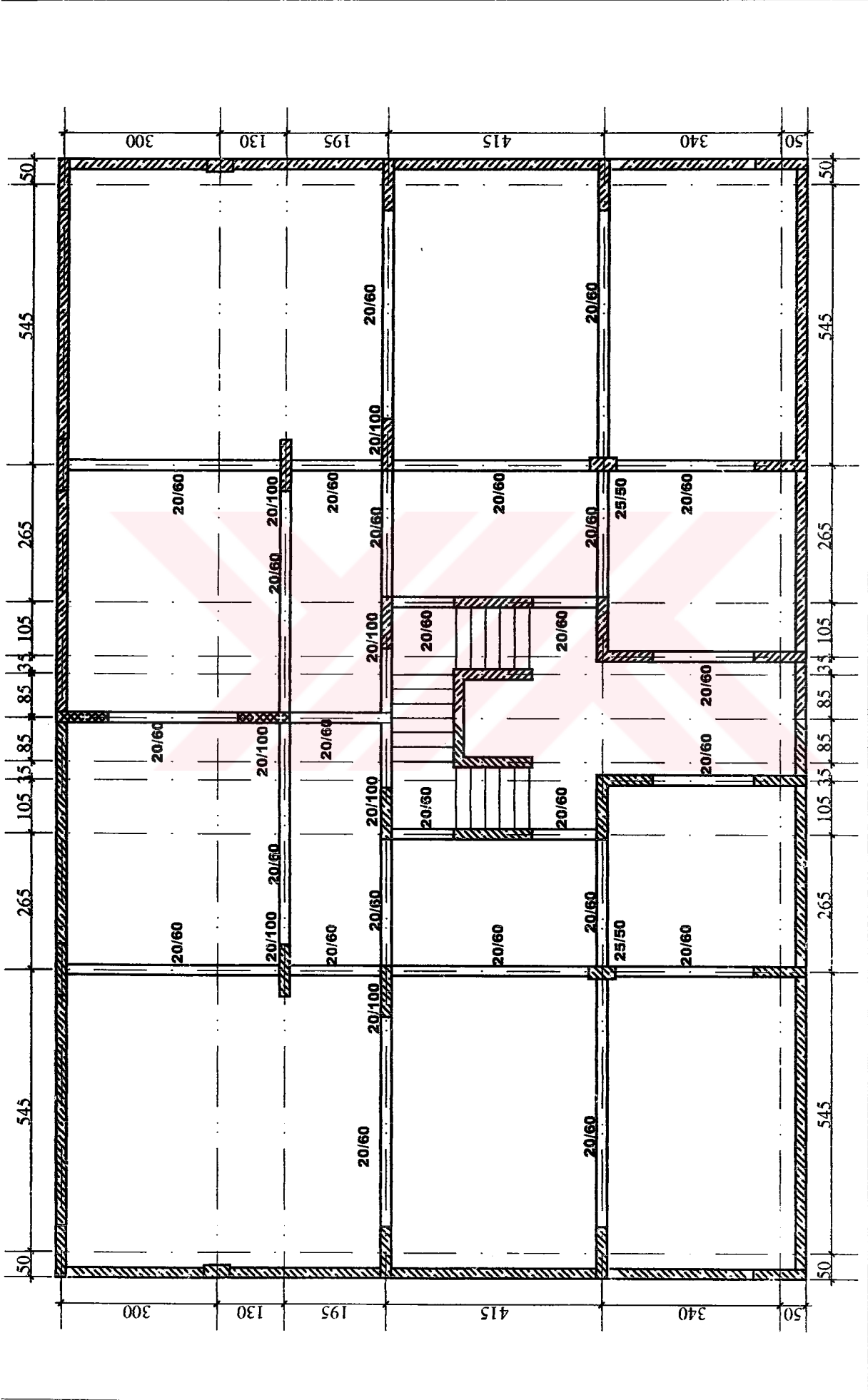
Bu örnek, dolgu duvarlarının üç boyutlu yapının davranışını nasıl etkilediği ve taşıyıcı sistemdeki kesit zorlarının ne derece değiştiği incelemek amacıyla seçilmiştir. Bu amaçla daha önce Erkaya [1996] tarafından modellenen 6 katlı konut yapısı seçilerek iki şekilde modellenmiştir. Birinci modelde dolgu duvarlar sadece ağırlık olarak alınmıştır. İkinci modelde ise dolgu duvarlar eşdeğer basınç çubukları kullanılarak yapı modeline eklenmiştir.

Yapı, bodrum kat, zemin kat ve dört normal kat olmak üzere toplam altı katlıdır. Mimarisi gereği yapı simetrik değildir ve bu nedenle yapının bir tarafında pencere boşluğu bulunmayan dış duvarlar mevcuttur. Bodrum kat dört tarafından betonarme perdelerle çevrilidir. Döşeme çeşidi nervürlü asmolen döşeme olduğundan dolayı kirişlerin bir bölümü mimari gereği yassı kiriş olarak seçilmiştir. Mimari kat planları ve kalıp planları Şekil 3.7, 3.8, 3.9 ve 3.10'da verilmiştir.

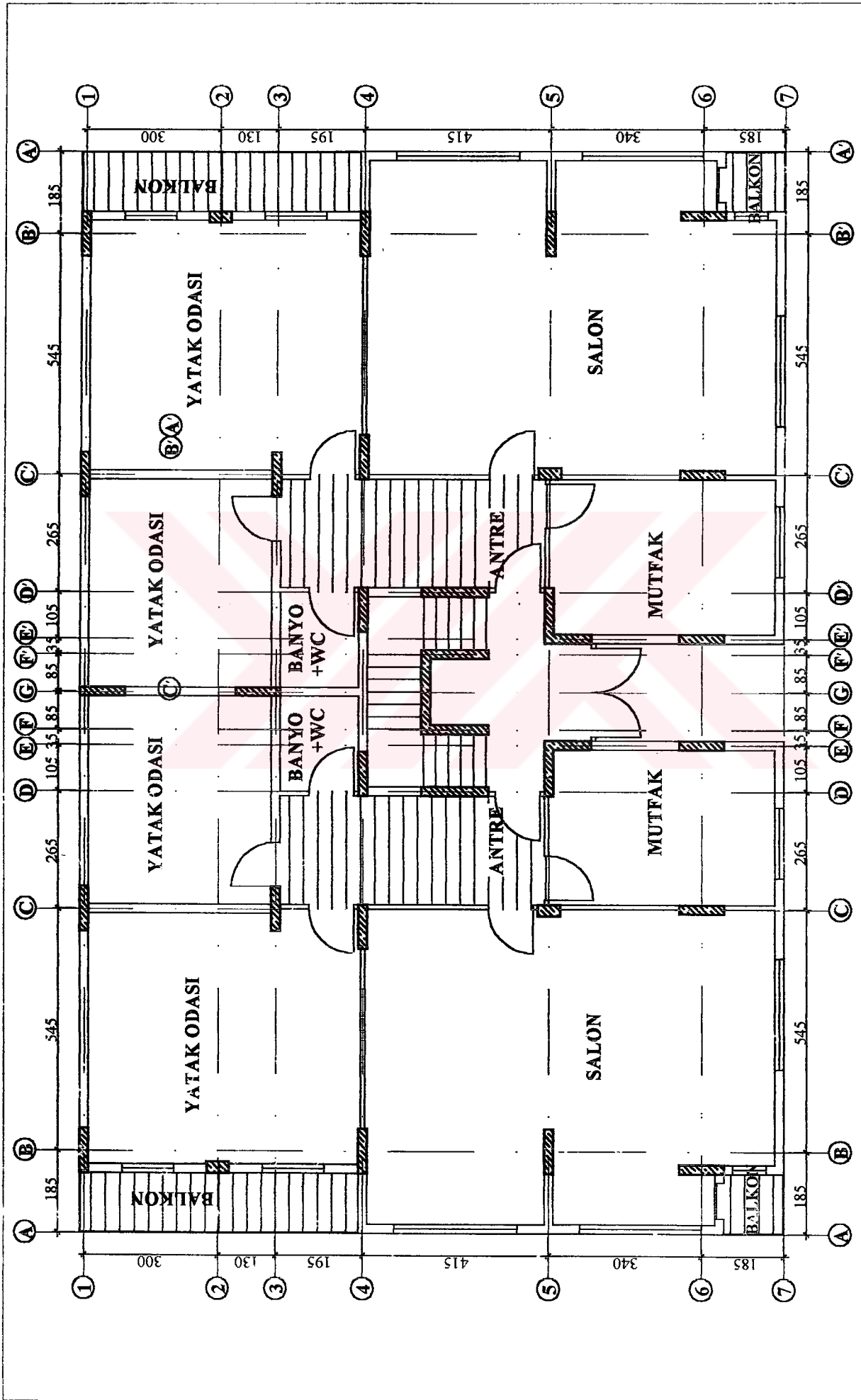
Her iki modelde C20 beton kalitesi için elastisite modülü  $E_c=2.85.10^7$  kN/m<sup>2</sup>, poisson oranı  $\mu=0,2$  malzeme özellikleri alınmıştır. İkinci modelde dolgu duvarların yerine kullanılan eşdeğer basınç çubukları için elastisite modülü  $E_d=0.6.10^7$  kN/m<sup>2</sup> ve poisson oranı  $\mu=0,24$  alınmıştır.



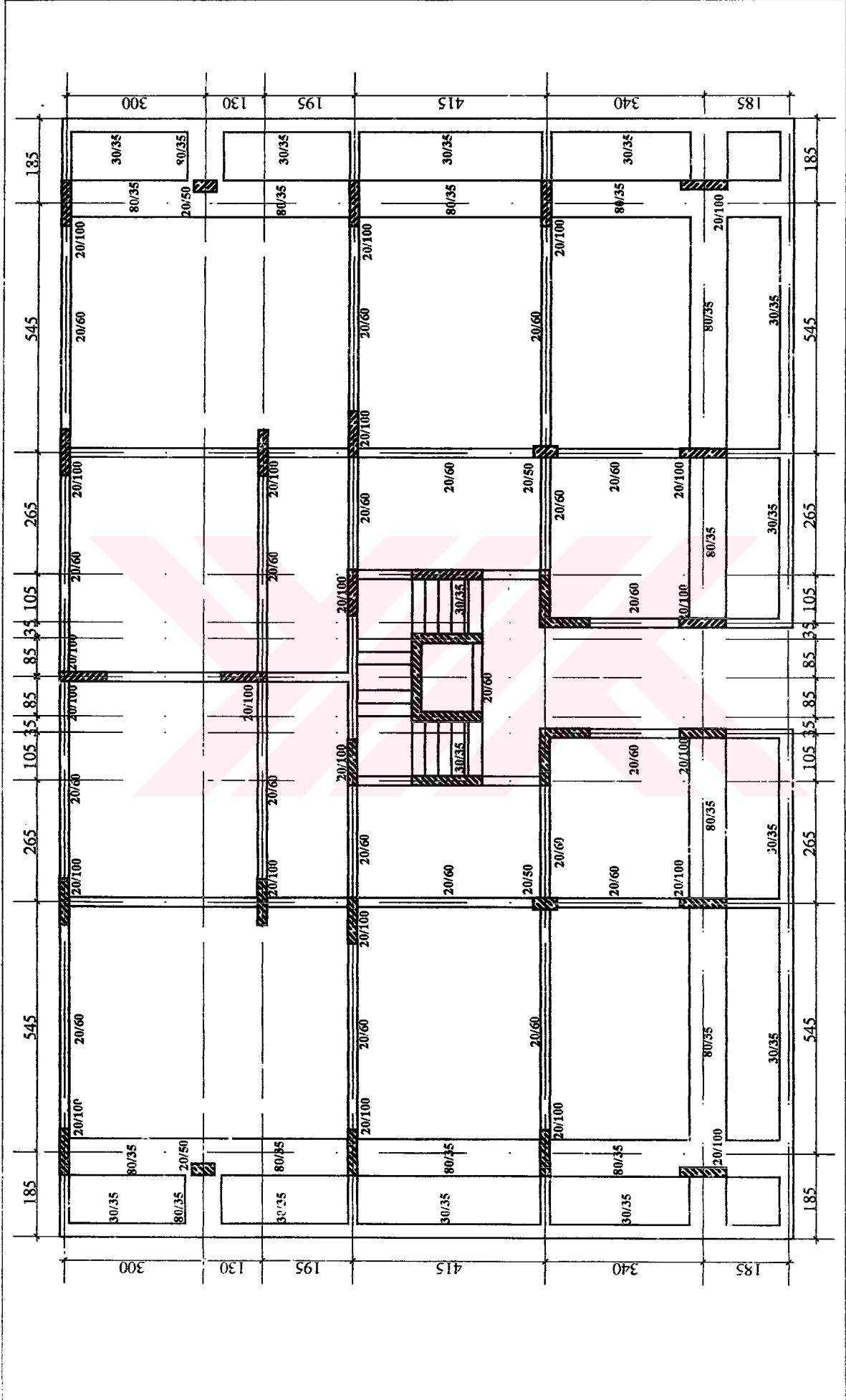
Şekil 3.7 Bodrum ve zemin kat mimari planı



Şekil 3.8 Bodrum kat kalıp planı



Şekil 3.9 Normal kat mimari planı



Şekil 3.10 Normal kat ve zemin kat kalıp planı

Seçilen binanın mimarisine göre duvar açıklıkları yaklaşık olarak 4.0 m civarındadır. 20 cm ve 10 cm kalınlığındaki dolgu duvarları temsil eden diagonal çubukların genişlikleri ise Erkaya [1996]'nın da modelinde aldığı gibi Yüksel, İlki, Karadoğan ve Koyama [1995]'nin çalışmaları sonucu önerdiği üzere kat yüksekliğinin yarısı olarak alınmıştır.

Duvarlarda bulunan boşlukların boyutu ve yeri dikkate alınarak, küçük boşluklu dolgu duvarlar (kapı boşluğu gibi) yarı rijitlikte temsil edilmiş, büyük boşluklu (pencereler gibi) duvarlar ise yok sayılmıştır.

### 3.1.5 Örnek 4

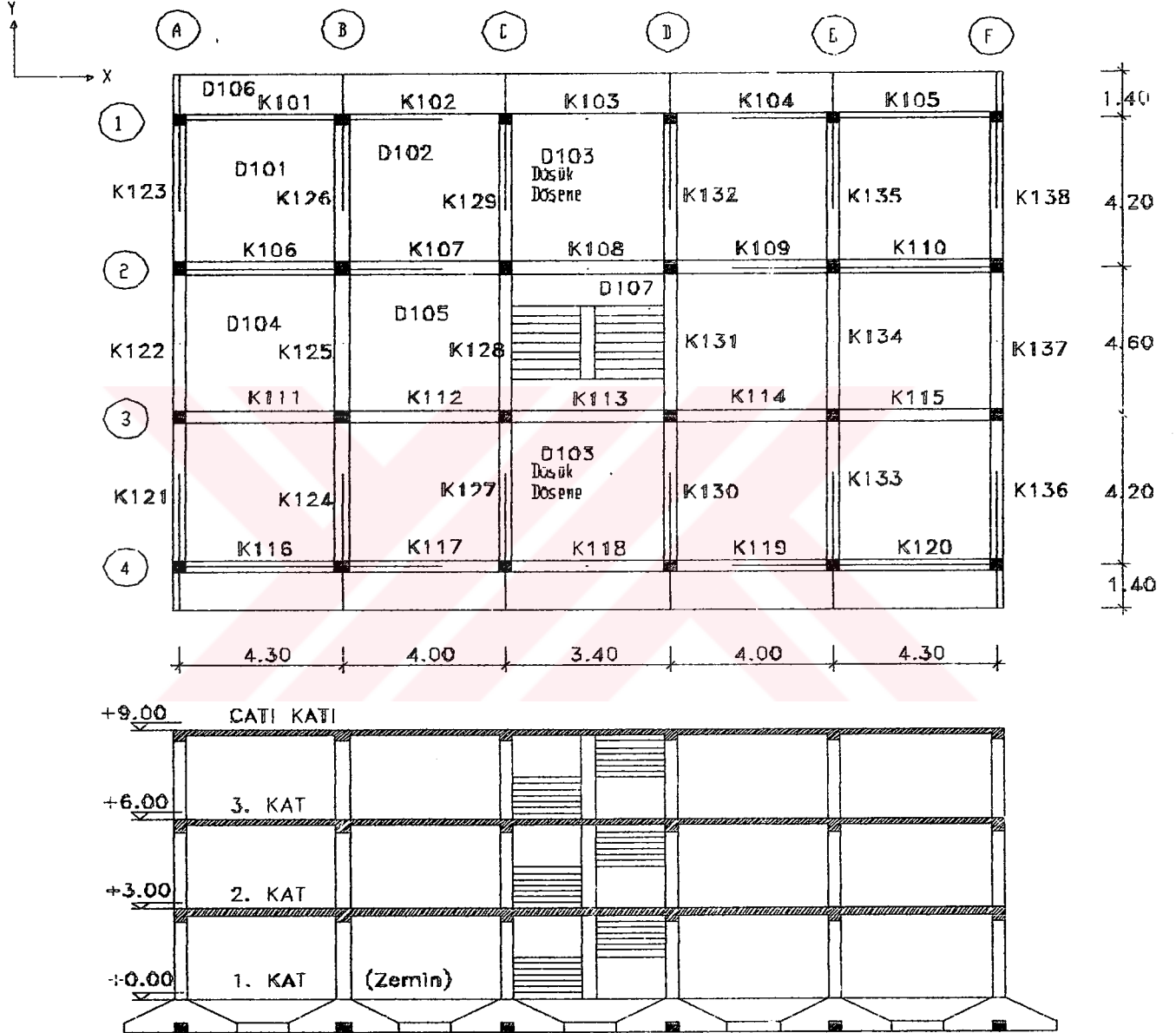
Celep [2001] tarafından statik çözümü yapılan bina plan ve kesiti Şekil 3.11'de verilmiştir. Kullanılan malzeme BS20 ( $f_{cd}=13.3$  MPa) ve BÇİ ( $f_{yd}=191$  MPa) olarak öngörülmuş ve betonun elastisite modülü  $E_c=28500$ MPa alınmıştır. Dolgu duvarları için Yüksel, İlki, Koyoma ve Karadoğan'ın önerdikleri malzeme özellikleri ise  $f_d=1.5$  MPa ve  $E_d=5000$ MPa olarak alınmıştır. Diğer yapısal bilgiler ise aşağıda ki Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Örnek 4 yapısının kolon kesitleri

| Kat | Kolon:               | Kesit (m <sup>2</sup> ) |
|-----|----------------------|-------------------------|
| 3   | A2, B2, E2, F2       | 0.30x0.25               |
|     | A3, B3, E3, F3       | 0.30x0.25               |
|     | Diğer bütün kolonlar | 0.25x0.30               |
| 2   | A2, B2, E2, F2       | 0.30x0.25               |
|     | A3, B3, E3, F3       | 0.30x0.25               |
|     | Diğer bütün kolonlar | 0.25x0.30               |
| 1   | A1, A4, F1, F4       | 0.25x0.30               |
|     | A2, A3, F2, F3       | 0.30x0.25               |
|     | B1, B4, E1, E4       | 0.30x0.35               |
|     | B2, B3, E2, E3       | 0.35x0.35               |
|     | C1, C4, D1, D4       | 0.25x0.35               |
|     | C2, C3, D2, D3       | 0.25x0.40               |
|     |                      |                         |



Bütün kirişler 0.20 m / 0.60 m olarak seçilmiştir. Beton örtüsü kolonlarda 0.03 m ve kirişlerde 0.04 m olarak öngörülmüştür. Katlar arası merdiven sahanlık kirişinin etkisi, K108 kirişinin kesiti artırılarak göz önüne alınmıştır.



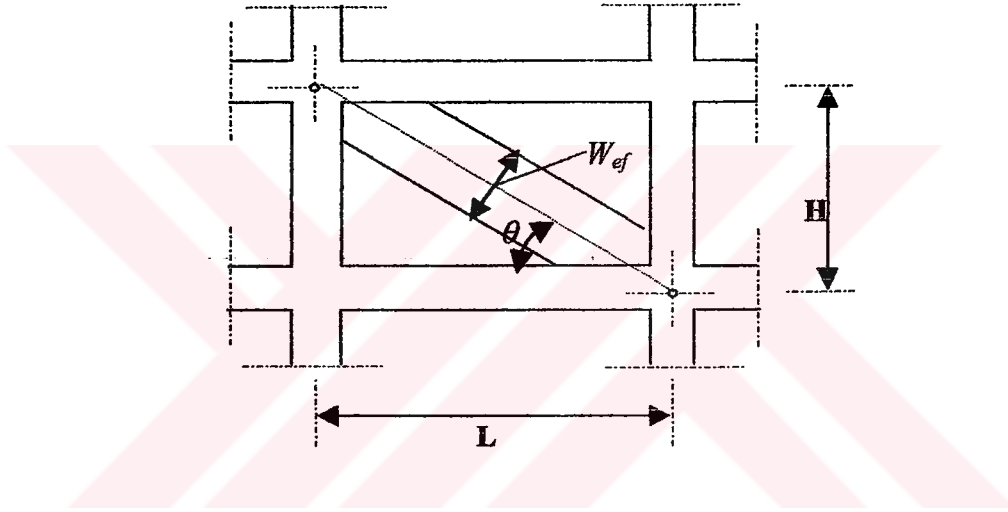
Şekil 3.11 Örnek 4 betonarme bina plan ve kesiti

Binanın katlardaki hareketli yükleri, ölü yükleri, kat ağırlıkları ile 2. derece deprem bölgesi için Türk Deprem Yönetmeliği 1998'e göre katlara gelen deprem kuvvetleri aşağıdaki Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Kat ağırlıkları ve kat deprem kuvvetleri

| Kat | $G_1$ (kN) | $Q_1$ (kN) | $W_1$ (kN) | $F_1$ (kN) |
|-----|------------|------------|------------|------------|
| 2   | 1701       | 316        | 1797       | 236        |
| 1   | 3273       | 740        | 3595       | 307        |
| Z   | 3301       | 740        | 3523       | 154        |

Yapının modellenmesinde daha öncede bahsedildiği gibi, dolgu duvarlar Hao, Ma ve Lu (2002) tarafından önerilen ve genişliği  $W_{ef}$  olan eşdeğer basınç çubuğu ile modellenmiştir. Eşdeğer diogonal genişliği;



$$W_{ef} = 0.175 (\lambda_h H)^{-0.4} \sqrt{H^2 + L^2} \quad (3.1)$$

Burada;

$$\lambda_h = \sqrt[4]{\frac{E_d t \sin 2\theta}{4 E_c I_c H_d}} \quad (3.2)$$

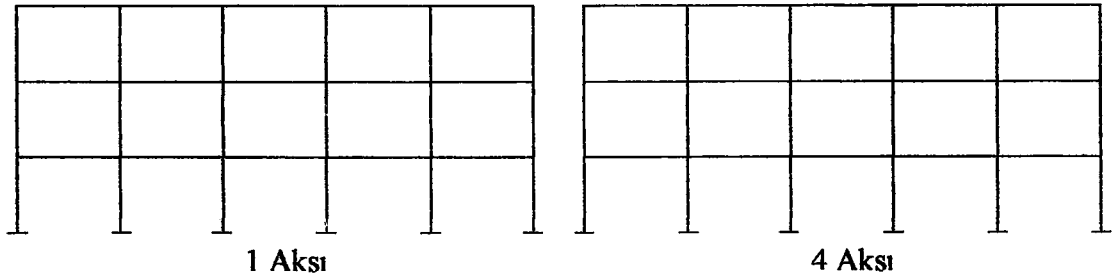
$H$  ve  $L$  çerçevenin yüksekliği ve genişliği,  $E_c$  ve  $E_d$  kolonun ve dolgu panelin elastisite modülü,  $t$  dolgu panelin kalınlığı,  $\theta$  tanımlanan diogonal çubuğun yatayla yaptığı açı,  $I_c$  kolonun atalet momenti ve  $H_d$  dolgu panelin yüksekliğini göstermektedir.

Dolgu duvarları temsil eden eşdeğer basınç çubuklarının kalınlıkları dolgu duvar kalınlığına ( $t=19\text{cm}$ ) eşittir. Yapıda her katın yüksekliği  $H=3\text{m}$  ve dolgu panellerin yüksekliği  $H_d=2,4\text{m}$ 'dir. X yönü deprem yüklemesi için 1 ve 4 akslarındaki eşdeğer basınç çubuklarının genişlikleri hesaplanarak Çizelge 3.3'de verilmiştir.

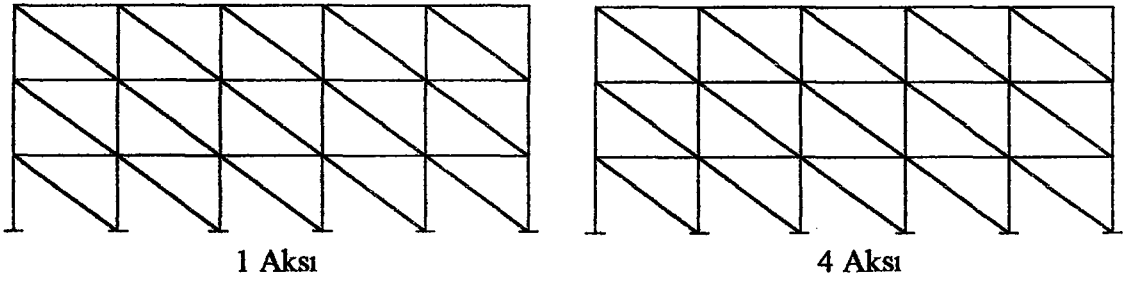
Çizelge 3.3 1. ve 4. Aksı eşdeğer basınç çubuğu genişlikleri ( $W_{ef}$ )

| Kat          | Dolgu duvar | L(m) | $I_c (10^{-6}\text{m}^4)$ | $\theta^\circ$ | $\lambda_n$ | $W_{ef}(\text{m})$ |
|--------------|-------------|------|---------------------------|----------------|-------------|--------------------|
| Zemin Kat    | A-B Arası   | 4,3  | 563                       | 29,16          | 1,50        | 0,50               |
|              | B-C Arası   | 4,0  | 1070                      | 30,96          | 1,3         | 0,51               |
|              | C-D Arası   | 3,4  | 893                       | 35,22          | 1,38        | 0,45               |
|              | D-E Arası   | 4,0  | 893                       | 30,96          | 1,36        | 0,50               |
|              | E-F Arası   | 4,3  | 1070                      | 29,16          | 1,29        | 0,53               |
| 1. ve 2. Kat | A-B Arası   | 4,3  | 563                       | 29,16          | 1,51        | 0,50               |
|              | B-C Arası   | 4,0  | 563                       | 30,96          | 1,53        | 0,48               |
|              | C-D Arası   | 3,4  | 563                       | 35,22          | 1,55        | 0,43               |
|              | D-E Arası   | 4,0  | 563                       | 30,96          | 1,53        | 0,48               |
|              | E-F Arası   | 4,3  | 563                       | 29,16          | 1,51        | 0,50               |

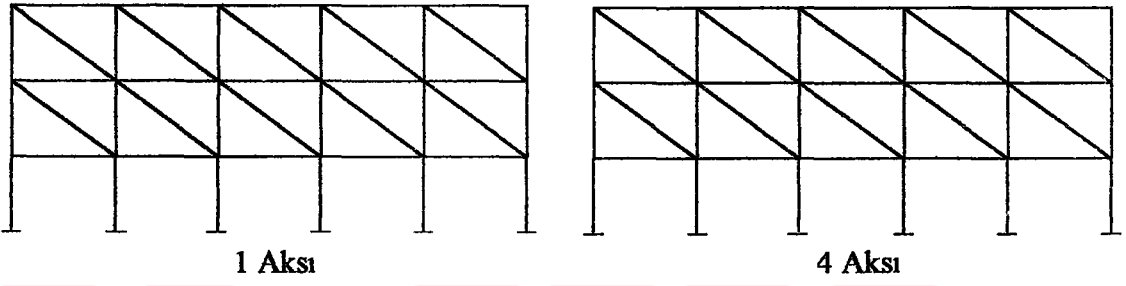
Yapının analizinde dolgu duvarların yerleşiminin sistemin davranışına olan etkisini incelemek amacıyla sistem Şekil 3.12, 3.13, 3.14, 3.15 ve 3.16'da görüldüğü gibi beş farklı tipte modellenmiştir.



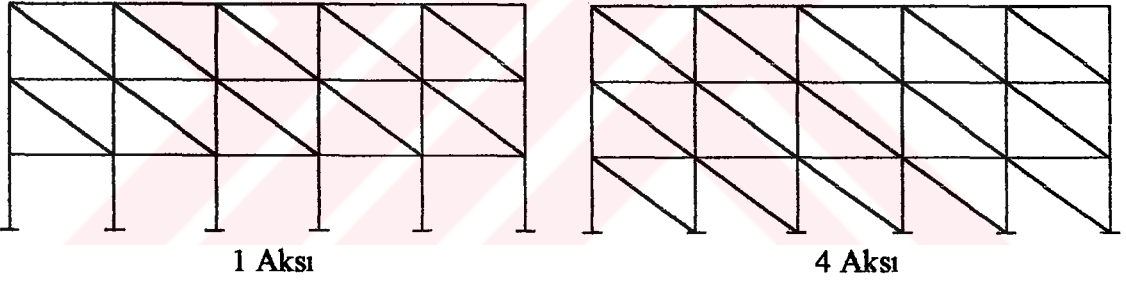
Şekil 3.12 1. Tip Dolgu duvarsız çerçeve



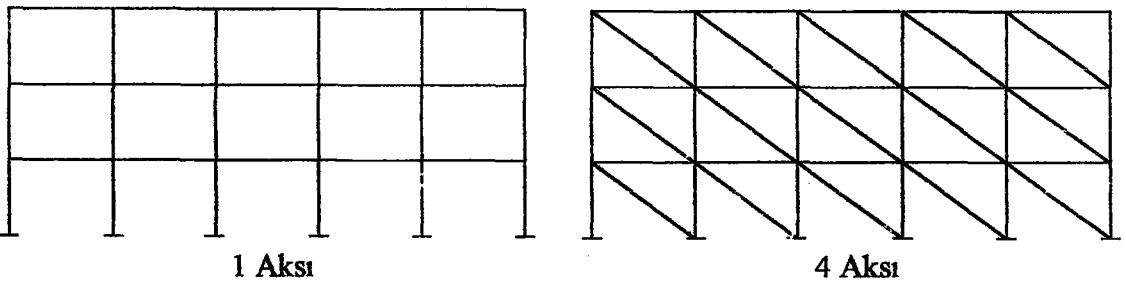
Şekil 3.13 2. Tip Dolgu duvar yerleşimi



Şekil 3.14 3. Tip Dolgu duvar yerleşimi



Şekil 3.15 4. Tip Dolgu duvar yerleşimi



Şekil 3.16 5. Tip Dolgu duvar yerleşimi

## 3.2 Metod

### 3.2.1 Yapı Sistemlerinin Çözümünde Kullanılan Sonlu Elemanlar Yöntemi

#### 3.2.1.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi Genel Bağlılıkları

Sonlu elemanlar yöntemiyle hesaplanan yapı sistemleri, sonlu sayıda, sonlu uzunlukta düğüm noktalarında temas halinde bulunan yapı elemanlarının bir birleşimi olarak dikkate alınır.

Böylece her bir sonlu eleman parçasının davranış denklemlerinin çözülmesi sonucunda tüm taşıyıcı sistemin davranışı belirlenmiş olur. Sonlu elemanlar yönteminde çözümün kesin yakınlığı sistemin veya ortamın bölündüğü eleman sayısına bağlıdır.

Yöntemin uygulanmasında genellikle aşağıdaki sıra takip edilir;

a) Yapı sistemi ve sürekli ortam, fiktif çizgiler ve yüzeylerle belirli sayıda sonlu elemanlara ayrılırlar. Elemanların birbirine bağlandığı köşe noktalarına düğüm noktaları adı verilir.

b) Elemanların, sınırlar üzerinde bulunan belirli sayıda düğüm noktasına temas halinde olduğu varsayılır. Her düğüm noktasında, elemanların davranışına uygun olarak tarif edilen düğüm noktası yer değiştirmeleri problemin esas bilinmeyen parametrelerini oluşturur.

c) Her sonlu elemanın kendi içindeki yer değiştirme durumunu tanımlamak için düğüm noktası deplasmanları ve koordinatlarına bağlı polinom tipinde fonksiyonlar seçilir. Bu amaçla seçilecek polinomun terim sayısının düğüm noktaları yer değiştirme bileşenleri sayısına (eleman toplam serbestlik derecesi sayısına) eşit olması gerekmektedir. Buradan görülüyor ki bir sonlu elemanda düğüm noktası

deplasman bileşeni sayısı ne kadar yüksekse deplasmanlar için seçilecek fonksiyonun derecesi de o kadar yüksek yani çözümdeki kesme hataları o kadar küçük olacaktır

d) Eleman içindeki şekil değiştirme durumu düğüm noktaları yer değiştirmeleri cinsinden tanımlanan seçilmiş yer değiştirme fonksiyonu malzemenin elastik özellikleri ile birlikte eleman sınırlarında her noktadaki gerilme durumunu tanımlar.

e) Düğüm noktalarına yoğunlaştırılan dış yükler ile düğüm noktaları deplasmanları arasındaki ilişkiyi kuran eleman rijitlik matrisi elde edilir.

f) Elemanların her birinin rijitlik matrisi elde edildikten sonra bu matrisler birleştirilerek sistemin toplam rijitlik matrisi elde edilir.

g) Toplam rijitlik matrisi yardımıyla sistemi esas davranış denklemleri kullanarak düğüm noktalarının deplasmanları hesaplanır ve deplasmanların türevleri alınmak suretiyle de esas sistemin şekil değiştirme ve gerilme bileşenleri elde edilir. (HUBER, 1975) (DÜZGÜN, 1988)

### 3.2.1.2 Sonlu Elemanlar Yöntemi Esas Bağlıları

Sonlu elemanlar yönteminde sürekli ortam, belirli boyutlarda sonlu tekil elemanlardan oluşan bir sistemle değiştirilmektedir. Ortaya çıkan ayrık sistemin incelenmesi, yapı mekaniği yöntemlerinin herhangi birinin kullanılmasıyla her zaman mümkün olmaktadır.

Taşıyıcı sistemin tümü veya bir elemanı için genel davranışı gösteren doğrusal esas denklem;

$$\underline{F}_A + \underline{F}_V + \underline{F}_E = \underline{P} \quad (3.3)$$

şeklinde yazılır.

Burada,  $\underline{F}_A$  atalet kuvvetini,  $\underline{F}_V$  viskoz kuvvetini,  $\underline{F}_E$  elastik kuvvetleri ve  $\underline{P}$  dış kuvvetleri gösteren vektörlerdir.

(3.3) denklemindeki kuvvetler,  $\underline{M}$  kütle,  $\underline{C}$  sönüm,  $\underline{K}$  rijitlik matrisleri ve  $\underline{u}$  düğüm noktası yer değiştirme vektörlerine bağlı olarak;

$$\underline{M}\ddot{\underline{u}} + \underline{C}\dot{\underline{u}} + \underline{K}\underline{u} = \underline{P} \quad (3.4)$$

şeklinde ifade edilebilir.

$\ddot{\underline{u}}$  ve  $\dot{\underline{u}}$  vektörleri,  $\underline{u}$  deplasman vektörünün t zamanına bağlı birinci ve ikinci türevleri göstermektedir.

(3.4) denkleminde zamana bağlı dinamik büyüklüklerden,  $(\underline{M}\ddot{\underline{u}})$  atalet ve  $(\underline{C}\dot{\underline{u}})$  viskoz kuvvetleri kaldırarak olursak;

$$\underline{K}\underline{u} = \underline{P} \quad (3.5)$$

Denklemini elde edilir. (3.5) bağıntısı sistemin yada elemanın genel statik davranış denkleminin ifadesidir.

Aynı zamanda eleman rijitlik denklemini adı verilen (3.5) denklemini, incelemede kullanılan Deplasman (Rijitlik) Matris Yönteminin genel bir ifadesidir.

(3.5) denkleminin çözümü,  $\underline{K}$  rijitlik matrisinin bilinmesiyle ve deplasman yönteminin kullanılmasıyla kolaylıkla mümkün olur.

İncelemede kullanılan deplasman yöntemi, sistemin tümü veya bir elemanı için, düğüm noktalarının bilinmeyen yer değiştirmelerini, bilinen düğüm noktası kuvvetleri ve rijitlik matrisine bağlı olarak hesaplanmasını sağlar.

Diğer önemli bir adım ise, elemanların ve buna bağlı olarak tüm sistemin rijitlik matrisinin kurulmasıdır. Sonlu elemanlar yöntemiyle, bir elemanın veya sistemin elde edilmesi için analizde ;

$$\{u\}=[H] \{\Delta\} \quad (3.6)$$

bağıntısı ile girilir. Burada,

u: Elemanın davranışını belirleyen deplasman vektörü,

H: Eleman deplasmanlarını düğüm noktaları deplasmanları cinsinden tanımlayan ve seçilen şekil fonksiyonunun oluşturduğu transformasyon matrisini,

$\Delta$ : Eleman düğüm noktalarındaki yerdeğiştirme vektörünün (düğüm noktalarındaki  $\Delta_{ix}, \Delta_{iy}, \Theta_i$ ) serbestlik derecelerini ifade etmektedir.

Yer değiştirme-şekil değiştirme arasındaki uygunluk şartından faydalanarak;

$$\{\varepsilon\}=[B]\{\Delta\} \quad (3.7)$$

denklemini yazılır. Bu denklemde;

$\varepsilon$ : Eleman şekil değiştirme vektörünü,

B: Şekil değiştirme vektörünü düğüm noktası deplasmanlarına bağlayan matrisi gösterir. B matrisi H transformasyon matrisinin gerekli kısmi türevleri alınarak elde edilir.

Örnek olarak düzlem gerilme problemlerinde, deplasman ile şekildeğiştirme arasındaki bağıntılar;

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \partial u_x / \partial x \\ \varepsilon_y &= \partial u_y / \partial y \\ \gamma_{xy} &= \partial u_x / \partial y + \partial u_y / \partial x \end{aligned} \quad (3.8)$$

ifadeleri ile elde edilir.

Homojen, izotrop, doğrusal elastik malzemeler için gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi (Bünye Denklemleri) Hook kanunundan faydalanılarak;



$$\{\sigma\}=[E]\{\varepsilon\} \quad (3.9)$$

şeklinde yazılır. Burada;

$\sigma$ : Eleman gerilme vektörü

E: Eleman elastisite matrisini gösterir.

Eleman için elastik şekil değiştirme enerjisi,

$$U=\frac{1}{2} * \{\varepsilon\}^T \{\sigma\} dV \quad (3.10)$$

şeklinde yazılır. Burada;

U: Eleman şekil değiştirme enerjisi (Potansiyel enerjisi)

V: Eleman hacmini gösterir.

(3.8), (3.9) ve (3.10) denklemlerinden,

$$U=\frac{1}{2} * \int [\Delta]^T [B]^T [E][B][\Delta] dV \quad (3.11)$$

elde edilir.

(11) denklemlerinin düzenlenmesiyle,

$$U=(\int [B]^T [E][B] dV) (\frac{1}{2} [\Delta]^T [\Delta]) \quad (3.12)$$

elde edilir.

(3.12) denkleminin  $\{\Delta\}$  yer değiştirmesine göre türevi,

$$\partial U / \partial \Delta = (\int [B]^T [E][B] dV) \{\Delta\} \quad (3.13)$$

elde edilir.

Castigliano teoremine göre,  $\partial U / \partial \Delta$  ifadesi, eleman düğüm noktalarındaki uç kuvvetlerinin ( $p_x, p_y$  kuvvetleri ve m momenti) karşılığıdır.

Kuvvet vektörü,

$$\{P\} = \partial U / \partial \Delta \quad (3.14)$$

ve rijitlik matrisi,

$$[K] = \int [B]^T [E] [B] dV \quad (3.15)$$

olmak üzere (3.13) denklemi,

$$\{P\} = [K] \{ \Delta \} \quad (3.16)$$

şeklinde yazılır.

Her bir eleman için elde edilen  $\underline{K}$  rijitlik matrisleri ve  $\underline{P}$  uç kuvvetleri, tüm sistemin statik davranışını ifade eden (3.5) denklemindeki rijitlik matrisine ve  $\underline{P}$  dış kuvvet vektörüne yerleştirilerek düğüm noktalarında oluşan yer değiştirme bileşenleri elde edilir. (TIMOSHENKO & GOODIER, 1970)(DÜZGÜN, 1988)

### 3.2.2 Doğrusal Olmayan İtme (Pushover) Analizi

Bina türü yapılar genellikle elastik analiz sonuçları kullanılarak dizayn edilir. Depremler söz konusu olduğunda, yapılar doğrusal olmayan davranış tehlikesiyle karşı karşıya kalabilir ve doğrusal olmayan yapı analizleri kullanılarak yapının gerçek davranışının hesaplanmasına gerek duyulur.

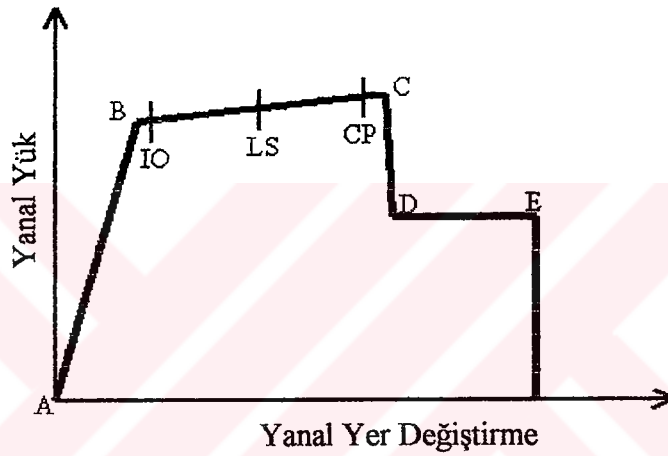
Doğrusal olmayan itme analizi veya Pushover analiz, FEMA 273 (Federal Emergency Management Agency 273) şartnamesinde, dinamik yer hareketi yüklemesine maruz kalmış yapı davranışının doğrusal olmayan statik yaklaşımı olarak tanımlanmıştır.

FEMA 356 ve FEMA 273'te bir yapı elemanı için tipik yük-yer değiştirme eğrisi Şekil 3.17'de verilmiştir. Tanımlanan performans seviyeleri:

**IO** (Immediate Occupancy- Hemen kullanım) performans seviyesi; taşıyıcı elemanlar dayanımını büyük ölçüde korumaktadır.

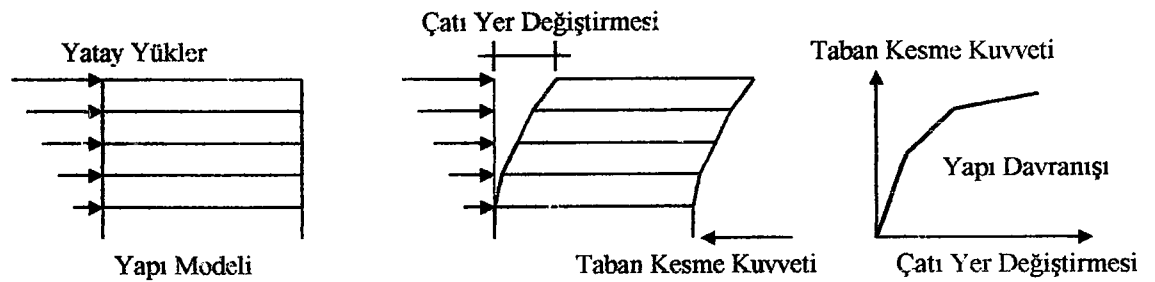
**LS** (Life Safety- Can güvenliği) performans seviyesi; yapı elemanı hasar görmüştür fakat yapıda tamamen veya kısmen göçme yaratmaz.

**CP** (Collapse Prevention- Göçmenin önlenmesi) performans seviyesi; yapı elemanı kısmen veya tamamen göçme sınırındadır.



Şekil 3.17 Yapı elemanı için yük-yer değiştirme ilişkisi

Yaklaşımında, doğrusal olmayan davranış özellikleri tanımlanan elemanların bulunduğu modellerde yatay yükler yapıya dik olarak dağıtılır. Uygulanan bu yükler Şekil 3.18'de taban kesmesi-çatı yer değiştirmesi grafiğinde görüldüğü gibi yapının pik davranışına kadar kademeli olarak artırılır ve yapı performansı belirlenir..



Şekil 3.18 Pushover analizde kullanılan statik yaklaşım

Doğrusal olmayan pushover analiz, karmaşık, zaman alan dinamik analiz yapmadan yapının sismik davranışını veya kapasitesini hesaplamanın basit ve etkin bir yoludur. Ayrıca, elemanların zayıflıklarının belirlenmesini sağlar ve yapının yanal dayanıklılığı ile global rijitlik hakkında da bilgi verir.

Pushover analizin amacı, elastik durumdan limit duruma yapının kuvvet-çatı yer değiştirme ilişkisini elde etmektir. Buna ulaşmak için göçme mekanizmasının belirlenmesi gereklidir.

Pushover analizde taban kesme kuvveti-çatı yer değiştirme grafiği yapının göçmesine kadar veya belirlenen çatı yer değiştirmesine kadar hesaplanarak elde edilir. Analizde dört aşama görülür:

- Birinci aşama elastik durumdur.
- İkinci aşama ise elastik davranış ile plastik davranış arasındaki geçişin uyumudur. Karmaşık yapılarda elemanların büyük çoğunluğunun plastik bölgeye geçmesiyle yapı plastik davranış gösterecektir.
- Bir mekanizmanın oluşumu pushover eğrisinin üçüncü aşamasındadır. Bu rijitliğin belirgin şekilde düşüşüyle gösterilir.
- Dördüncü aşama ise yapının göçmesini veya en büyük kat ötelemesini gösterir

Pushover analizinde yapı göçene kadar artan yanal kuvvet dağılımı uygulanır. Matematiksel olarak, aşağıdaki denklemle açıklanabilir:

$$[K]\{\Delta u\} = \{\Delta F\} + C_{corr}\{\Delta F_{err}\} \quad (3.17)$$

Burada  $[K]$  başlangıç rijitlik matrisi,  $\{\Delta u\}$  yanal yer değiştirmelerin artış vektörüdür,  $C_{corr}$  genellikle birim olarak alınan düzeltme katsayısıdır ve  $\{\Delta F_{err}\}$  yapıdaki dengelenmemiş kuvvetlerin vektörüdür.

Pushover analizi gerçekleştirmenin iki yolu vardır, kuvvet kontrolü veya yer değiştirme kontrolüdür. Kuvvet kontrolünde, yanal kuvvet dağılımındaki artıştan dolayı yer değiştirmelerin artışı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\{\Delta u\} = [K]^{-1} (\{\Delta F\} + C_{corr} \{\Delta F_{err}\}) \quad (3.18)$$

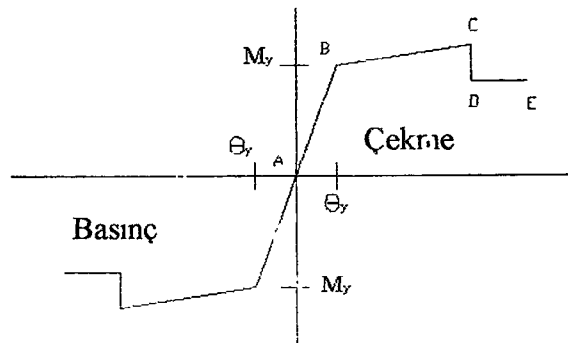
Yer değiştirme kontrolünde ise yanal yük paterni seçilir ve seçilen bu yük paterni yer değiştirme artırımını sağlayacak şekilde değişir. Yapıya uygulanan yanal yük paterni hedef yer değiştirmeye kadar artırılır. Yapının hedef yer değiştirmeye kadar taşıyabildiği yanal yük miktarı ve yapı performansı belirlenir.

Analizde yük veya yer değiştirmenin her artımı için elemanlarda maksimum iç kuvvetlerin oluşacağı kontrol noktalarında eleman plastik davranış özellikleri verilen noktalarda iç kuvvetler kontrol edilir. Bu kontrol noktalarında iç kuvvetler doğrusal davranış sınırının üzerine çıktığında elemanların rijitlikleri tekrar hesaplanarak analize devam edilir. Analiz, elemanların ve dolayısıyla sistemin göçmesine kadar devam eder. Göçme yüküne kadar yapının doğrusal ve doğrusal olmayan davranışa ait yanal kuvvet değerleri ile yer değiştirmeler belirlenir.

### 3.2.2.1 Yapı Elemanlarının Plastik Davranış Özelliklerinin (Hinge)

#### Tanımlanması

Betonarme elemanların moment-dönme ilişkisi, kirişler için  $M_y$  ve kolonlar için P-M-M olarak SAP2000 bilgisayar programı ile aşağıdaki gibi belirlenir.

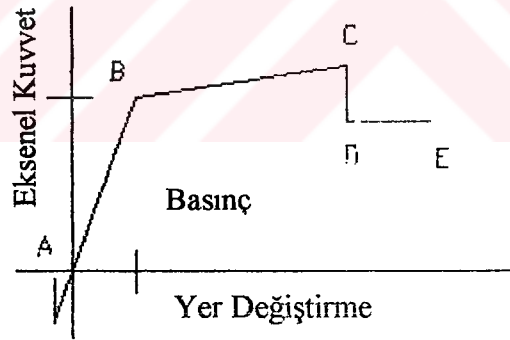


Şekil 3.19 Betonarme elemanın moment-dönme ilişkisi

Burada;

- B ve C noktaları arasındaki eğim çeliğin toplam gerilmesinin %10'udur.
- C, D ve E noktaları ATC-40 (Applied Technology Council), Çizelge 9.6'dan alınmaktadır.
- $M_y$  momenti, kiriş elemanlar için donatı koşuluna ACI 318-95 (American Concrete Institute 318-95)'e göre belirlenir. Donatı verilmemişse minimum donatı miktarı ile kiriş elemanın moment taşıma kapasitesi belirlenir.
- P-M-M eğrisi, kolon elemanlar için ACI 318-95 (American Concrete Institute 318-95)'de tanımlanan karşılıklı etki diyagramıyla hesaplanmaktadır.  $M_y$  ve  $M_x$  momentleri ile P eksenel kuvvet değerleri etki diyagramından hesaplanan maksimum taşıma kapasiteleridir. Donatı tanımlanmadığında ise bu değerler minimum donatı ile hesaplanır.

Duvarları temsil eden diagonal elemanlar için eksenel kuvvet-yer değiştirme ilişkisi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.



Şekil 3.20 Diagonal elemanın eksenel kuvvet-şekil değiştirme ilişkisi

Burada;

- B noktasında, elemanın taşıyabileceği eksenel kuvvet, elemanın kesiti ve malzemenin basınç dayanımına göre hesaplanarak belirlenir. Yer değiştirme ise elastisite modülü ve eksenel kuvvete bağlı olarak hesaplanır.
- C noktasında, eksenel kuvvet B'dekinin 1.25 katı ve şekil değiştirme de 6 katıdır.

- D noktasında aksenal kuvvet B'dekinin 0.2 katına eşittir.
- E noktasında şekil değiştirme B'dekinin 8 katıdır.

Hesaplanan aksenal kuvvet-yer değiştirme değerleri pushover analiz için programda gerekli yerlerde tanımlanır.

Analizde, her elemanın kesit tesirlerinin maksimum olacağı noktalar kontrol noktaları olarak belirlenir. Pushover analiz için tanımlanan eleman plastik davranış özellikleri bu kontrol noktalarına atanır. Analizde bu noktalardaki iç kuvvetler ve plastik davranış özellikleri kontrol edilerek elemanların ve sistemin doğrusal olmayan davranışı belirlenir.

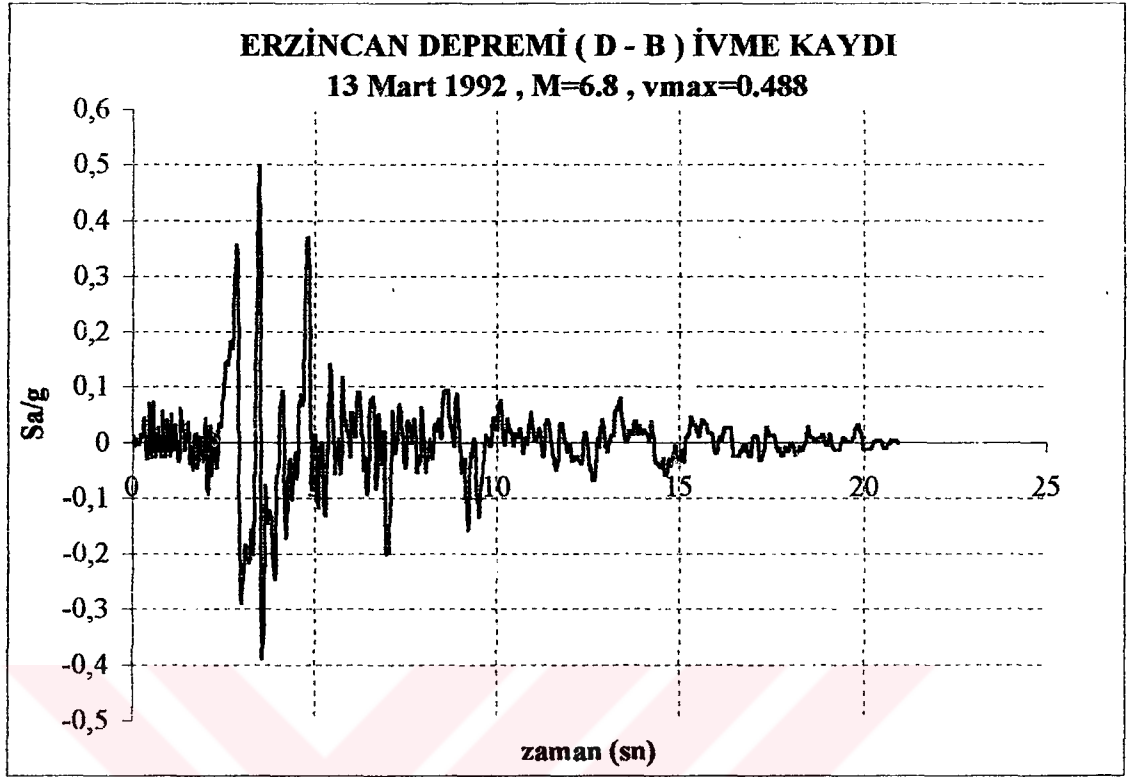
Bu çalışmada kontrol noktaları yanal yükleme için elemanlarda maksimum kesit tesirlerinin oluşacağı eleman uç noktaları olarak seçilmiştir.

### 3.2.3 Tanım Zaman Alanı Analizi (Time History)

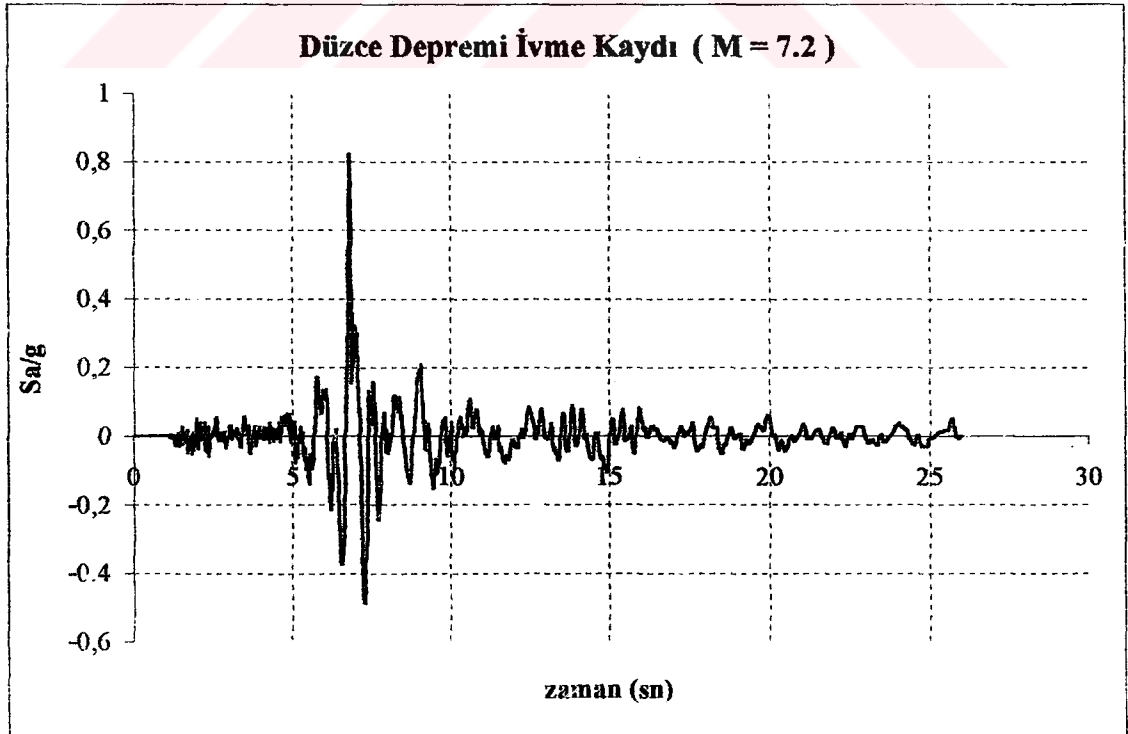
Bilgisayarların hızında son zamanlarda meydana gelen artış , zaman tanım alanı analizini kısa bir zaman bölümünde çok sayıda çalıştırmayı pratikleştirmiştir. Dahası, her bir elemanın tasarım davranış spektrumu yönteminin gerektirdiği maksimum uç değerleri kullanarak yapılmadığından, artık tasarım kontrolleri zamanın bir fonksiyonu olarak yapılabilmekte ve daha iyi sonuçlar elde edilmektedir.

Zaman tanım alanı analizi (Time History), verilen bir deprem ivme kaydı için yapının elastik sismik davranışı zamana bağlı olarak belirleyen analiz yöntemidir. İvme kaydı için davranış spektrumu , yapı taban kesme kuvveti ve maksimum yer değiştirmeler analize hesaplanabilmektedir.

Bu çalışmada kullanılan Erzincan ,Düzce ve Kocaeli deprem ivme kayıtları Şekil 3.21, 3.22 ve 3.23'de verilmiştir. Deprem ivme kayıtları için yapının taban kesme kuvveti, çatı yer değiştirmesi ve davranış spektrumu hesabı için Sap2000 bilgisayar programı kullanılmış ve sönüm oranı ( $\zeta$ ) 0,05 olarak alınmıştır.

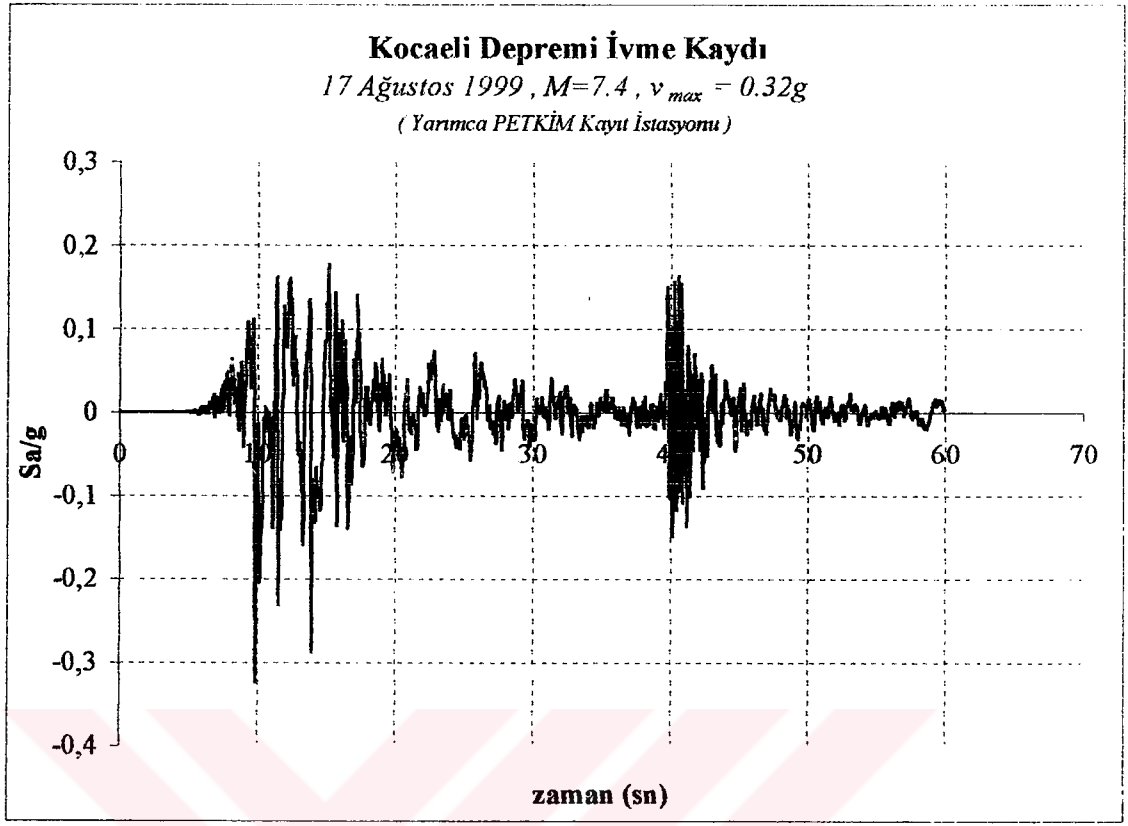


Şekil 3.21 Erzincan depremi ivme kaydı



Şekil 3.22 Düzce depremi ivme kaydı





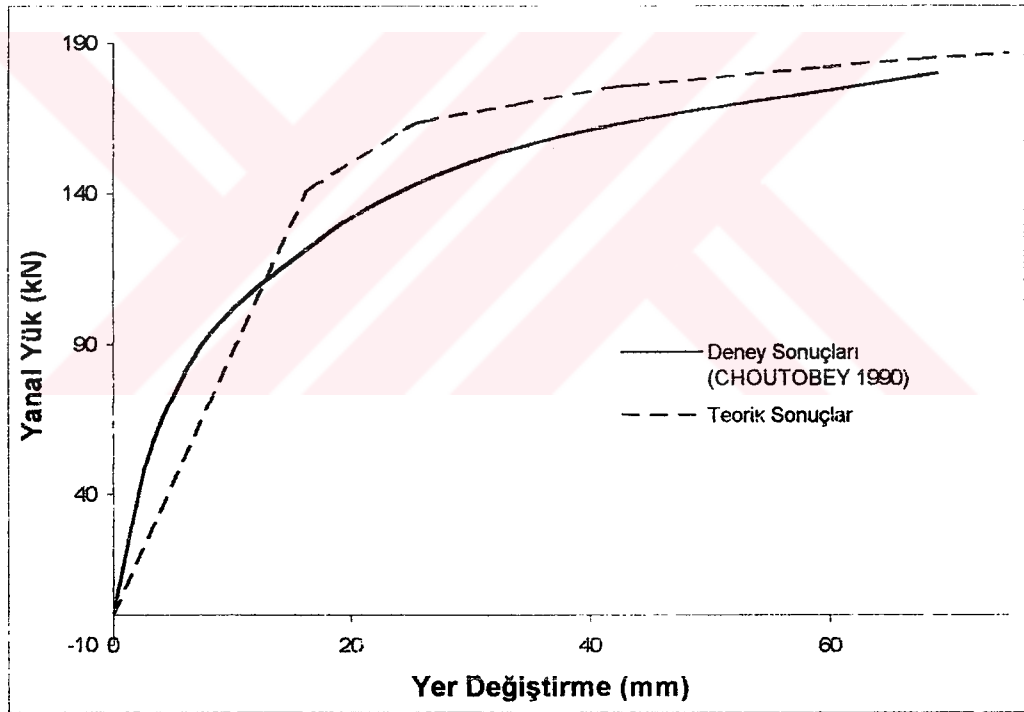
Şekil 3.23 Kocaeli depremi ivme kaydı

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

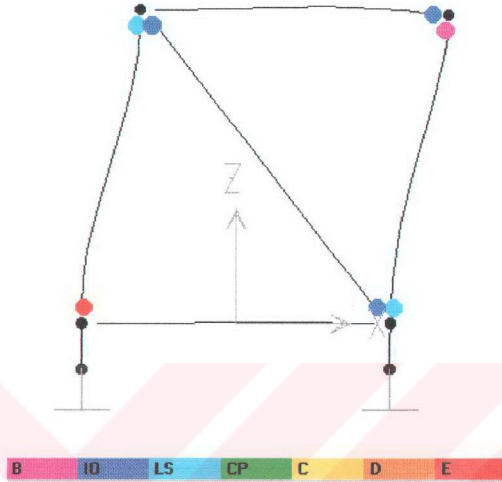
### 4.1 Örnek 1

#### 4.1.1 Dolgu Duvarlı Tek Katlı-Tek Açıklıklı Düzlem Çerçeve

Tek katlı tek açıklıklı çerçevenin pushover analizinde çerçevenin taşıyabileceği maksimum yanal yük (182 kN), Choubey'in deney verilerine (175 kN) yakınlık göstermektedir. Çerçevenin Yanal yük-Yer değiştirme ilişkisi Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Analizde bulunan mafsallaşma bölgeleri ve elemanlarda meydana gelen göçme sırası aşağıda Şekil 4.2'de verilmiştir



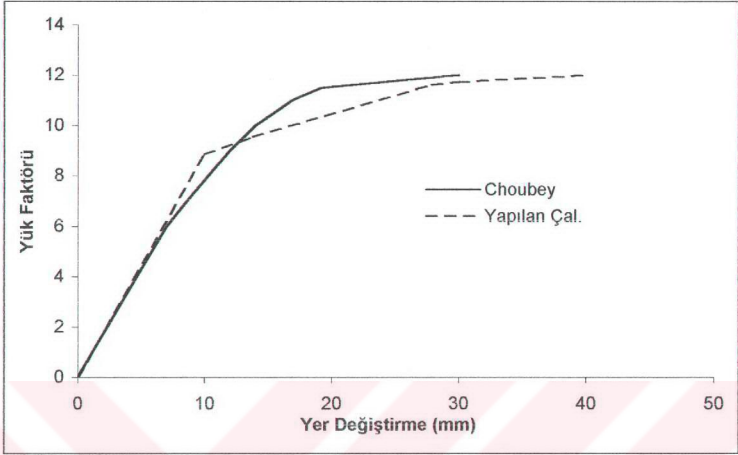
Şekil 4.1 Tek katlı çerçeve Yanal yük-Yer değiştirme ilişkisi



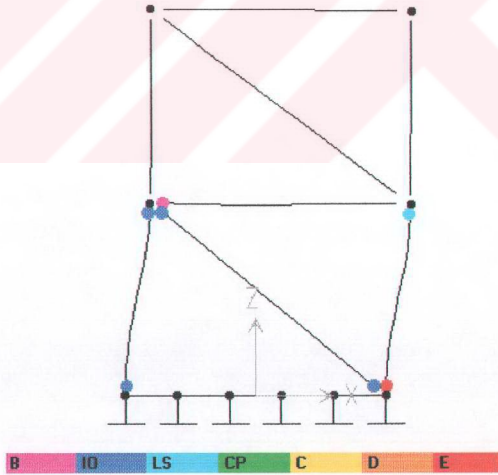
Şekil 4.2 Tek katlı dolgu duvarlı çerçevenin mafsallaşma mekanizması

#### 4.1.2 Dolgu Duvarlı İki Katlı-Tek Açıklıklı Düzlem Çerçeve

İki katlı-tek açıklıklı düzlem çerçeveye gelen yanal kuvvetler 12 yük seviyesine bölünmüştür. Choubey'in deneyinde yük seviyesi 8.8'e kadar yükseltildiğinde alt kat diagonal basınç çubuğunun orta ve uç noktalarında mafsallaşmalar (çatlama) başlamaktadır. Yükün artırılmasıyla çubuktaki çatlaklar büyüyerek yayılmaktadır. Yük faktörü 11.5 olduğunda alt kat kolonlarında da plastik mafsallaşmalar oluşmakta ve yük artışıyla bu mafsallaşmalar artmaktadır. Pushover analiziyle çerçevenin Yük Faktörü-Yer Değiştirme İlişkisi Şekil 4.3'de ve mafsallaşma mekanizması Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.3 İki katlı-tek açıklıklı düzlem çerçeve de  
Yük faktörü-Yer değiştirme ilişkisi



Şekil 4.4 İki katlı çerçevenin mafsallaşma mekanizması

## 4.2 Örnek 2

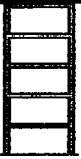


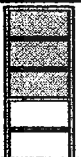

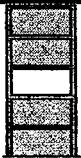
Deprem yükü altındaki tipik betonarme düzlem çerçevelerde, dolgu duvarların davranış ve deprem yüklerinin karşılanması üzerindeki etki ve katkıları Orbay [2001] tarafından incelenmiştir. Tipik kat sayısı bazında değişik dolgu düzenlemesi ve dolgu rijitliği ile açıklık ve göz sayısı gibi değişkenleri ele alarak çözümlenmiştir. Bu şekilde, gerek dolgu düzeninin gerekse dolgu niteliğinin etkilerini ırdemeye çalışmıştır.

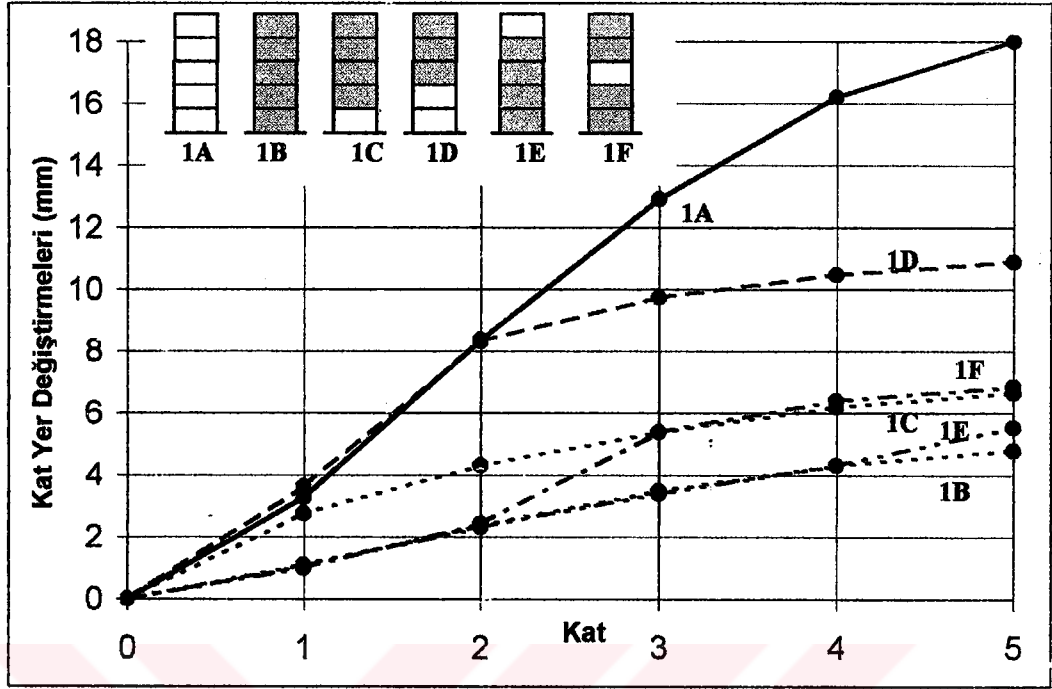
Çok katlı düzlem çerçeve modellerinde 1. Tip çerçevelerin hesaplanan doğal titreşim periyot değerlerinin dökümü Çizelge 4.1'de verilmiştir. Görüldüğü üzere, dolgu duvarlarının doğal periyotlar üzerindeki etkisi oldukça belirgindir. Tüm gözlerin dolgu duvarlarla dolu olduğu durumda (Tip 1B) en düşük nitelikli dolgu da bile doğal periyot hemen hemen yarı yarıya azalmaktadır. Dolgu düzeni ve dolgu niteliğine bağlı olarak periyotlar boş çerçeve kabulüne göre önemli farklılıklar göstermektedir. Çizelge 4.2'de ele alınan tüm dolgu düzenlemeleri ve dolgu nitelikleri için kat yanal ötelemelerinin dökümü verilmiştir. Dolgusuz (boş) ve en düşük nitelikli dolgu seçeneğinde, elde edilen yer değiştirmeler Şekil 4.5'de bir kez de grafik olarak alınmıştır. Sistemde varolan dolgunun hesaplarda göz önünde bulundurulması ile tepe noktası deplasmanında her gözün dolu olması durumu için 3.5 katlık bir fark ortaya çıkmaktadır ki, dolgu niteliği arttıkça bu farkta artmaktadır. Bu durum, dolgunun sistem rijitliğine olan katkısını belirgin olarak ortaya koymaktadır. Öte yandan, dolgunun varlığının dikkate alınmasının görelî kat ötelemeleri üzerinde de olumlu etkisi gözlenmektedir.

Çizelge 4.1 Düzlem çerçeve Tipi 1 için 1. mod periyotları

| 1. Mod Titreşim Periyotları |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Tip                         | 1A   | 1B   |      |      | 1C   |      |      | 1D   |      |      | 1E   |      |      | 1F   |      |      |
| $E_d/E_c$                   | Boş  | 1/16 | 1/4  | 1/1  | 1/16 | 1/4  | 1/1  | 1/16 | 1/4  | 1/1  | 1/16 | 1/4  | 1/1  | 1/16 | 1/4  | 1/1  |
| Orbay                       | .652 | .336 | .207 | .141 | .403 | .325 | .297 | .522 | .488 | .476 | .345 | .223 | .173 | .406 | .311 | .273 |
| 1. Mod                      | .653 | .325 | .201 | .139 | .396 | .323 | .297 | .519 | .487 | .476 | .334 | .219 | .172 | .398 | .308 | .273 |

Çizelge 4.2 1.Tip düzlem çerçevelerin kat yanal ötelemeleri

| Tip   | $E_d/E_c$ | Kat Yanal Ötelemeleri (mm) |              |                 |              |                 |              |                 |              |                 |              |
|---|-----------|----------------------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|
|   |           | 1. kat                     |              | 2. kat          |              | 3. kat          |              | 4. kat          |              | 5. kat          |              |
|   |           | Orbay<br>[2001]            | Yap.<br>Çal. | Orbay<br>[2001] | Yap.<br>Çal. | Orbay<br>[2001] | Yap.<br>Çal. | Orbay<br>[2001] | Yap.<br>Çal. | Orbay<br>[2001] | Yap.<br>Çal. |
| <br>1A   | Boş       | 3.40                       | 3.27         | 8.53            | 8.35         | 13.02           | 12.90        | 16.22           | 16.19        | 17.98           | 18.00        |
| <br>1B   | 1/16      | 1.19                       | 1.09         | 2.55            | 2.37         | 3.70            | 3.48         | 4.54            | 4.30         | 5.03            | 4.78         |
|   | 1/4       | 0.44                       | 0.38         | 0.93            | 0.83         | 1.38            | 1.26         | 1.75            | 1.63         | 2.03            | 1.89         |
|   | 1/1       | 0.17                       | 0.12         | 0.39            | 0.31         | 0.63            | 0.52         | 0.86            | 0.73         | 1.08            | 0.92         |
| <br>1C  | 1/16      | 2.67                       | 2.76         | 4.23            | 4.30         | 5.32            | 5.39         | 6.12            | 6.19         | 6.58            | 6.64         |
|   | 1/4       | 2.44                       | 2.66         | 3.00            | 3.23         | 3.40            | 3.64         | 3.73            | 3.99         | 3.96            | 4.24         |
|   | 1/1       | 2.36                       | 2.60         | 2.58            | 2.84         | 2.78            | 3.05         | 2.97            | 3.26         | 3.14            | 3.45         |
| <br>1D | 1/16      | 3.50                       | 3.63         | 7.92            | 8.30         | 9.34            | 9.73         | 10.10           | 10.49        | 10.54           | 10.90        |
|   | 1/4       | 3.48                       | 3.66         | 7.61            | 8.09         | 8.15            | 8.64         | 8.46            | 8.96         | 8.70            | 9.21         |
|   | 1/1       | 3.47                       | 3.66         | 7.47            | 8.00         | 7.71            | 8.26         | 7.90            | 8.47         | 8.07            | 8.66         |
| <br>1E | 1/16      | 1.17                       | 1.05         | 2.52            | 2.31         | 3.67            | 3.39         | 4.61            | 4.30         | 5.84            | 5.54         |
|   | 1/4       | 0.43                       | 0.34         | 0.91            | 0.75         | 1.35            | 1.14         | 1.78            | 1.52         | 2.99            | 2.71         |
|   | 1/1       | 0.15                       | 0.10         | 0.37            | 0.24         | 0.61            | 0.41         | 0.86            | 0.59         | 2.05            | 1.70         |
| <br>1F | 1/16      | 1.89                       | 1.00         | 2.78            | 2.43         | 5.69            | 5.38         | 6.73            | 6.40         | 7.19            | 6.85         |
|   | 1/4       | 0.45                       | 0.32         | 1.01            | 0.80         | 3.30            | 3.23         | 3.72            | 3.65         | 3.95            | 3.88         |
|   | 1/1       | 0.18                       | 0.11         | 0.44            | 0.30         | 0.71            | 2.51         | 2.90            | 2.72         | 3.10            | 2.89         |



Şekil 4.5 1. Tip düzlem çerçevelerin kat yanal ötelemeleri ( $E_d/E_c = 1/16$ )

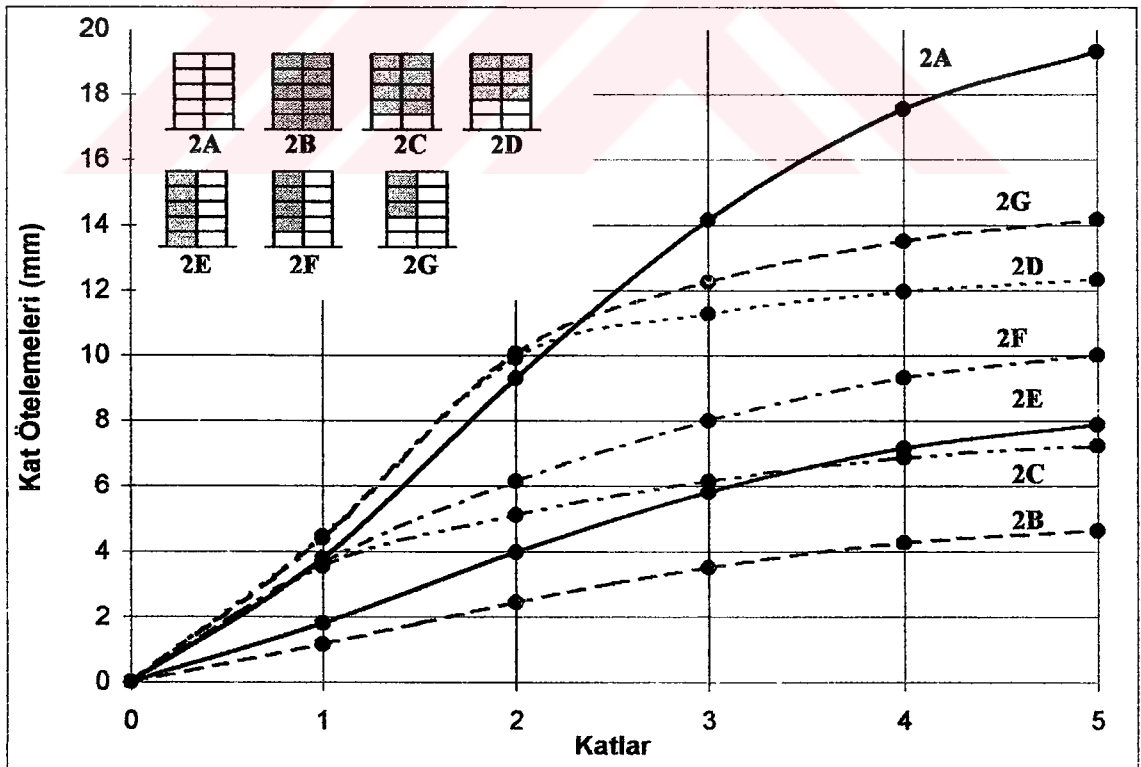
Hesaplarda dikkate alınan 2. tip düzlem çerçevelere ait hesaplanan doğal titreşim periyot değerlerinin dökümü Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Düzlem çerçeve tipi 2 için 1. mod periyotları

| 1. Mod Titreşim Periyotları |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tip                         | 2A    | 2B    |       | 2C    |       | 2D    |       | 2E    |       | 2F    |       | 2G    |       |
| $E_d/E_c$                   | Boş   | 1/16  | 1/4   | 1/16  | 1/4   | 1/16  | 1/4   | 1/16  | 1/4   | 1/16  | 1/4   | 1/16  | 1/4   |
| [Orbay]                     | 0.696 | 0.334 | 0.194 | 0.423 | 0.351 | 0.559 | 0.529 | 0.431 | 0.278 | 0.488 | 0.391 | 0.589 | 0.545 |
| 1. Mod                      | 0.696 | 0.322 | 0.188 | 0.416 | 0.348 | 0.556 | 0.527 | 0.419 | 0.271 | 0.480 | 0.387 | 0.585 | 0.543 |

Çizelge 4.4 2. Tip düzlem çerçevesin kat yanal ötelemeleri

| Ti<br>P | $E_d/E_c$ | Kat Yanal Ötelemeleri (mm) |       |        |       |        |       |        |       |        |       |
|---------|-----------|----------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
|         |           | 1. kat                     |       | 2. kat |       | 3. kat |       | 4. kat |       | 5. kat |       |
|         |           | Orbay                      | Y. Ç. | Orbay  | Y. Ç. | Orbay  | Y. Ç. | Orbay  | Y. Ç. | Orbay  | Y. Ç. |
| 2A      | Boş       | 3.92                       | 3.77  | 9.50   | 9.30  | 14.26  | 14.14 | 17.57  | 17.55 | 19,31  | 19.32 |
| 2B      | 1/16      | 1.25                       | 1.16  | 2.60   | 2.44  | 3.69   | 3.50  | 4.46   | 4.26  | 4.86   | 4.64  |
|         | 1/4       | 0.44                       | 0.39  | 0.88   | 0.79  | 1.25   | 1.16  | 1.54   | 1.44  | 1.72   | 1.62  |
| 2C      | 1/16      | 3.31                       | 3.54  | 4.86   | 5.10  | 5.89   | 6.14  | 6.61   | 6.87  | 6.97   | 7.24  |
|         | 1/4       | 3.10                       | 3.42  | 3.61   | 3.94  | 3.94   | 4.28  | 4.19   | 4.54  | 4.33   | 4.70  |
| 2D      | 1/16      | 4.24                       | 4.46  | 9.37   | 9.92  | 10.71  | 11.28 | 11.40  | 11.96 | 11.75  | 12.32 |
|         | 1/4       | 4.24                       | 4.49  | 9.07   | 9.74  | 9.53   | 10.21 | 9.76   | 10.45 | 9.92   | 10.61 |
| 2E      | 1/16      | 1.92                       | 1.81  | 4.18   | 3.98  | 6.05   | 5.82  | 7.38   | 7.16  | 8.11   | 7.89  |
|         | 1/4       | 0.80                       | 0.72  | 1.69   | 1.55  | 2.49   | 2.33  | 3.14   | 2.98  | 3.58   | 3.42  |
| 2F      | 1/16      | 3.50                       | 3.64  | 6.00   | 6.15  | 7.82   | 8.00  | 9.11   | 9.31  | 9.80   | 10.02 |
|         | 1/4       | 3.19                       | 3.45  | 4.19   | 4.49  | 4.92   | 5.24  | 5.50   | 5.86  | 5.90   | 6.27  |
| 2G      | 1/16      | 4.25                       | 4.41  | 9.59   | 10.05 | 11.77  | 12.26 | 13.00  | 13.51 | 13.66  | 14.17 |
|         | 1/4       | 4.24                       | 4.47  | 9.23   | 9.82  | 10.13  | 10.75 | 10.66  | 11.29 | 11.02  | 11.67 |

Şekil 4.6 2. Tip düzlem çerçevesin kat yanal ötelemeleri ( $E_d/E_c = 1/16$ )



### 4.3. Örnek 3

Altı katlı konut yapısına etkiyen deprem kuvvetleri “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (1997)” esas alınarak Erkaya tarafından hesaplanmıştır. Kat ağırlıkları ve katlara gelen deprem kuvvetleri Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5 Konut yapısının kat ağırlıkları ve x yönü kat deprem kuvvetleri

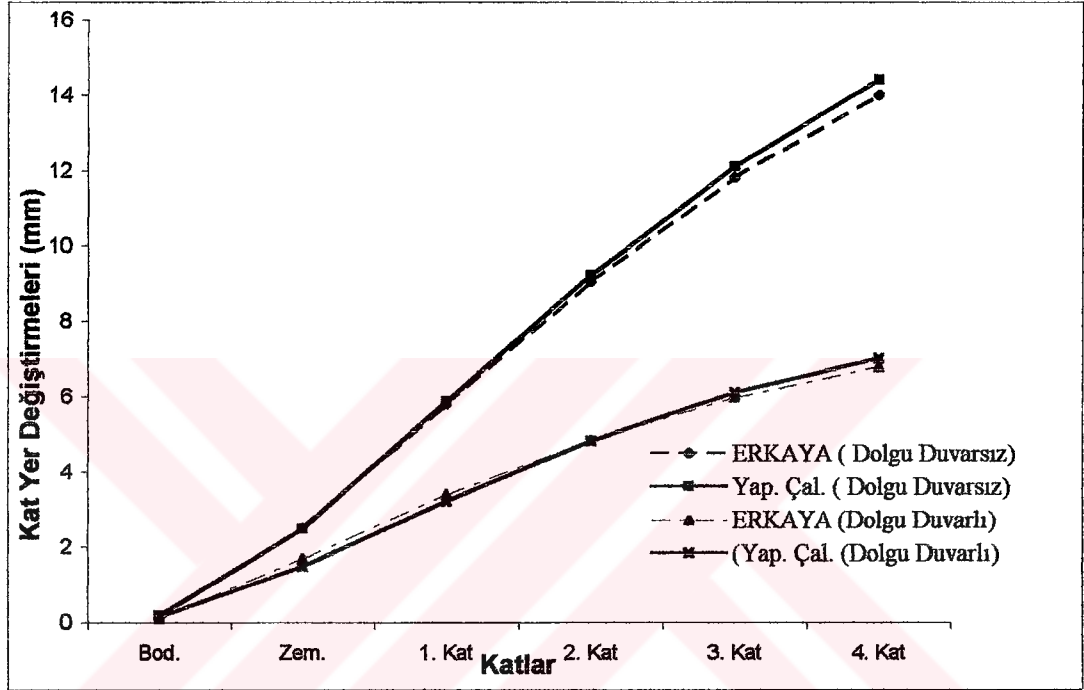
| Kat Ağırlıkları ve Deprem Kuvvetleri (kN) |       |       |       |       |
|---|-------|-------|-------|-------|
|   | $G_i$ | $Q_i$ | $W_i$ | $F_i$ |
| 4. Kat                                    | 3340  | 278   | 3423  | 582   |
| 3. Kat                                    | 4076  | 1301  | 4467  | 633   |
| 2. Kat                                    | 4076  | 1301  | 4467  | 508   |
| 1. Kat                                    | 4076  | 1301  | 4467  | 383   |
| Zemin Kat                                 | 3974  | 1301  | 4365  | 252   |
| Bod. Kat                                  | 3147  | 980   | 3441  | 102   |

Yapıların çözümlenmelerden elde edilen sonuçlar, yapının doğal periyodunun, kat deplasmanlarının ve kesit kuvvetlerinin, dolgu duvarların hesaba katılmasıyla büyük ölçüde değiştiğini göstermiştir. Dolgu duvarların hesaba katıldığı ve katılmadığı çözümler için doğal periyotlar karşılaştırıldığında dolgu duvarların hesaba katılmasıyla yapının doğal periyodu %30 daha az olmaktadır.

Çizelge 4.6 Konut yapısının dolgu duvarların hesaba katıldığı ve katılmadığı durumlar için 1. mod periyot değerleri

| Yapının 1. Mod Periyot Değeri (sn) |        |                 |
|------------------------------------|--------|-----------------|
|                                    | Erkaya | Yapılan Çalışma |
| Dolgu duvarsız çözüm               | 0,52   | 0,57            |
| Dolgu duvarlı çözüm                | 0,37   | 0,39            |

Yapının katlara göre yer değiştirmeleri de dolgu duvarlarının hesaba katılmasıyla büyük oranda düşüş göstermiştir. X yönü yer değiştirme değerleri Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7 X Yönü kat yer değiştirmeleri

Örnekte güldüğü gibi dolgu duvarlar sistemin rijitliğini artırdıkları için, yapının doğal periyodu azalmaktadır ve kat yer değiştirmelerinin azalması da beklenen bir durumdur. Fakat, yapının taşıyıcı elemanlarının kuvvet dağılımları için böyle kesin yargılara varmak doğru bir yaklaşım sayılmaz. Dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız çözümler incelendiğinde kuvvet dağılımlarının bazen azaldığı, bazen de arttığı görülmektedir. Bu artma ve azalmalar dikkat çekici boyutlarda olabilmektedir.

Kolon kuvvetleri için, seçilen örnekte en çok dikkat çekici değişikliklerin meydana geldiği zemin ve 1. kattaki köşe kolonlar incelenmiş ve kuvvet dağılımları çizelge halinde verilmiştir.

Örnek olarak Çizelge 4.7’de gösterilen B6 kolonun x yönü deprem yüklemesi için zemin kat alt uçundaki  $M_x$  momenti dikkat çekici şekilde artış göstermektedir. Kesit kuvvetlerindeki bu tür çarpıcı artışlar az miktardaki artışlara oranla daha az görülür. Yine aynı kolonun y yönü deprem yüklemesi için zemin kat kolonu alt ucundaki  $M_x$  momenti büyük oranda azalmıştır.

Çizelge 4.7 B6 Kolonun kolon uç momentleri (kN.m)

|                     |       | Zemin Kat |        |          |        | 1. Kat   |        |          |        |
|---------------------|-------|-----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
|                     |       | 1. Çözüm  |        | 2. Çözüm |        | 1. Çözüm |        | 2. Çözüm |        |
| Yük Durumu          | Nokta | $M_y$     | $M_x$  | $M_y$    | $M_x$  | $M_y$    | $M_x$  | $M_y$    | $M_x$  |
| X yönü<br>Dep. Yük. | Üst   | -15,08    | 13,15  | -12,85   | 7,91   | -19,79   | 9,76   | -16,31   | 32,83  |
|                     | Alt   | 22,43     | -42,82 | 17,88    | -115,5 | 20,58    | -2,58  | 16,56    | -42,94 |
| Y Yönü<br>Dep. Yük. | Üst   | -0,60     | -6,79  | -0,99    | -8,03  | -0,86    | -29,29 | -1,41    | -20,51 |
|                     | Alt   | 1,62      | 134,98 | 1,56     | 79,43  | 0,93     | 48,95  | 1,30     | 28,03  |

Çizelge 4.8 B5 Kolonun kolon uç momentleri (kN.m)

|                     |       | Zemin Kat |        |          |       | 1. Kat   |        |          |        |
|---------------------|-------|-----------|--------|----------|-------|----------|--------|----------|--------|
|                     |       | 1. Çözüm  |        | 2. Çözüm |       | 1. Çözüm |        | 2. Çözüm |        |
| Yük Durumu          | Nokta | $M_y$     | $M_x$  | $M_y$    | $M_x$ | $M_y$    | $M_x$  | $M_y$    | $M_x$  |
| X yönü<br>Dep. Yük. | Üst   | -5,00     | 2,57   | -14,81   | 8,00  | -47,2    | 2,08   | -13,12   | 10,98  |
|                     | Alt   | 254,6     | -3,06  | 83,45    | -9,67 | 79,06    | -2,18  | 5,56     | -11,55 |
| Y Yönü<br>Dep. Yük. | Üst   | 0,41      | -11,47 | 4,34     | -7,58 | 6,63     | -16,18 | 4,43     | -9,97  |
|                     | Alt   | -27,58    | 12,86  | -15,03   | 8,54  | -8,51    | 16,69  | -1,63    | 10,35  |

#### 4.4 Örnek 4

Betonarme yapının analizinde dolgu duvarların hesaba katılmasıyla sistem rijitliğindeki artış nedeniyle 1. periyot değerleri düşmekte ve dolgu duvarlarının yerleşiminin değişikliği ile de periyotlar farklı değerler almaktadır. Hesaplanan 1. mod periyot değerleri aşağıda verilmiştir.

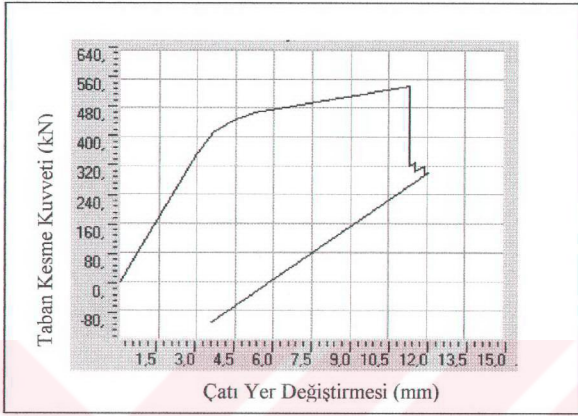
|                     | Tip             | 1. Tip | 2. Tip | 3. Tip | 4. Tip | 5. Tip |
|---------------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1.Mod Periyodu (sn) | Yapılan Çalışma | 0,5184 | 0,2941 | 0,4368 | 0,3709 | 0,4221 |
|                     | Celep           | 0,5000 |        |        |        |        |

Dolgu duvarların analizde yer almasıyla yer değiştirmeler büyük oranda azalmaktadır. Dolgu duvarların 3., 4. ve 5. Tip modellerdeki düzensiz yerleşiminden dolayı Y yönündeki yer değiştirmeler ise önemli ölçüde artmaktadır. X yönü deprem yüklemesine göre katlardaki maksimum yer değiştirmeler Çizelge 4.9'da verilmiştir.

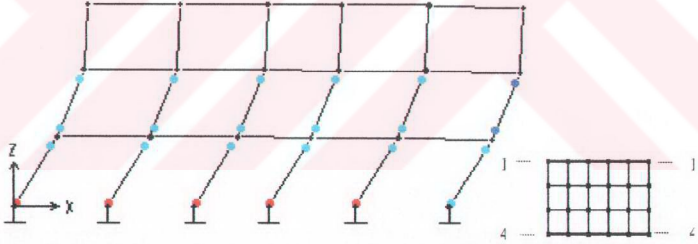
Çizelge 4.9 Maksimum kat yer değiştirmeleri

| Tip | 2. Kat      |             | 1. Kat      |             | Zemin Kat   |             |
|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|     | X Yönü (mm) | Y Yönü (mm) | X Yönü (mm) | Y Yönü (mm) | X Yönü (mm) | Y Yönü (mm) |
| 1   | 5,93        | -0,01       | 4,86        | 0,00        | 2,52        | 0,00        |
| 2   | 1,84        | 0,00        | 1,51        | 0,00        | 0,81        | 0,00        |
| 3   | 3,49        | 0,00        | 3,17        | 0,00        | 2,44        | 0,00        |
| 4   | 3,21        | -1,01       | 2,88        | -0,99       | 2,16        | -0,96       |
| 5   | 5,16        | -2,40       | 4,23        | -1,95       | 2,23        | -1,02       |

Diagonal basınç çubuklarının sisteme eklenmesiyle yapının rijitliği, dolayısıyla taşıma kapasitesi artmaktadır. Yapının doğrusal olmayan statik analizi sonucu bulunan pushover eğrileri, mafsallaşma mekanizmaları ile zaman tanım aralığı (Time History) analiziyle davranış spektrumları, taban kesme kuvvetleri ve çatı yer değiştirmeleri aşağıda verilmiştir.

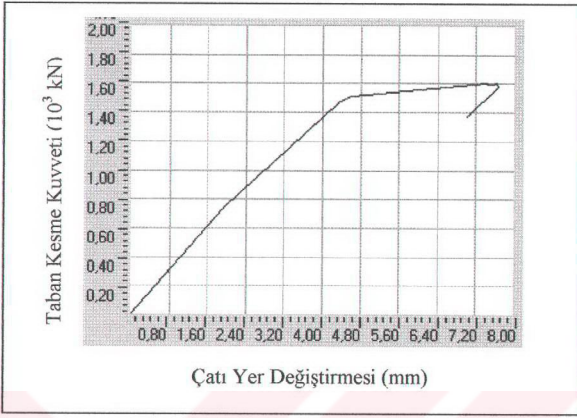


Şekil 4.8 1. Tip dolgu duvarsız yapı pushover eğrisi

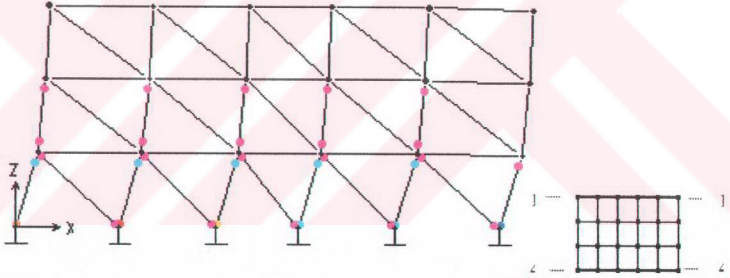


**B** **ID** **LS** **CP** **C** **D** **E**

Şekil 4.9 1. Tip dolgu duvarsız çerçeve 1 ve 4 aksları mafsallaşma mekanizması

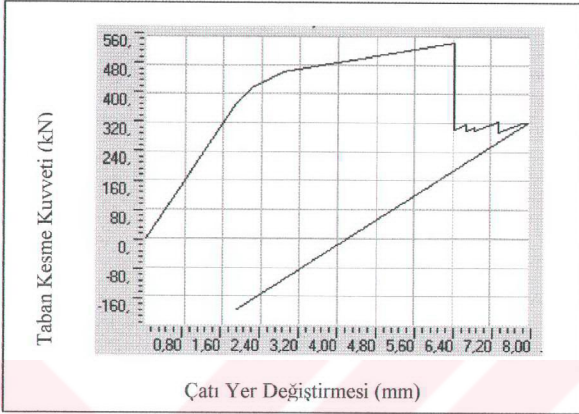


Şekil 4.10 2. Tip dolgu duvar yerleşimi için pushover eğrisi

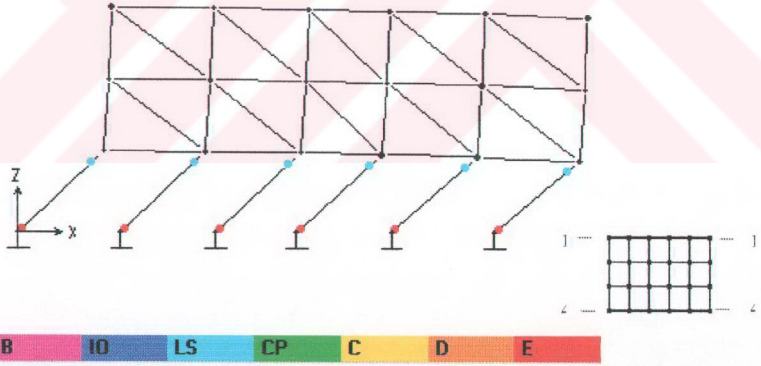


**B** **ID** **LS** **CP** **C** **D** **E**

Şekil 4.11 2. Tip dolgu duvar yerleşimi için 1 ve 4 aksları mafsallaşma mekanizması

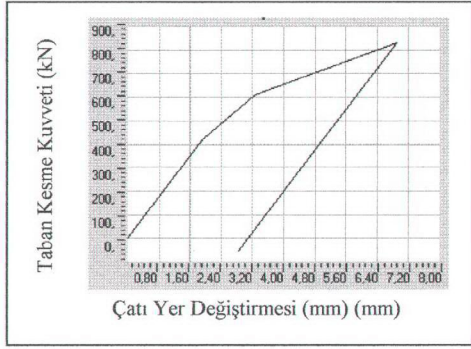


Şekil 4.12.3. Tip dolgu duvar yerleşimi için pushover eğrisi

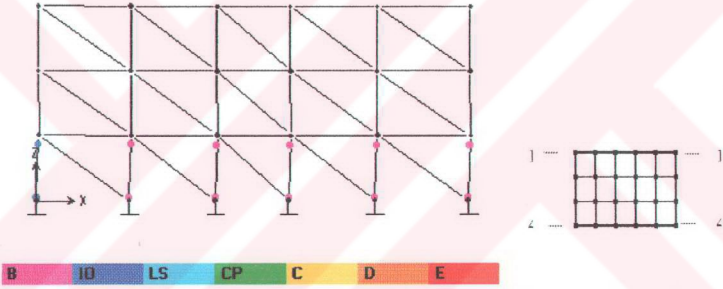


Şekil 4.13.3. Tip dolgu duvar yerleşimi için 1 ve 4 aksları mafsallaşma mekanizması

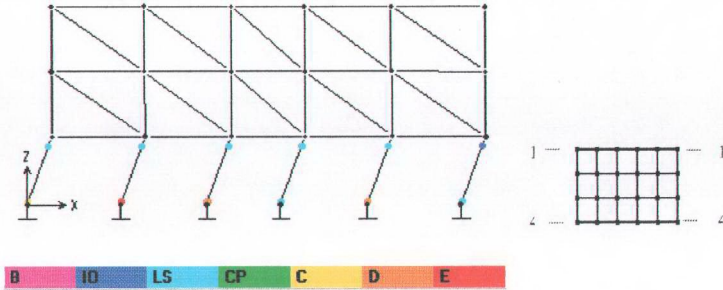




Şekil 4.14 4. Tip dolgu duvar yerleşimi için pushover eğrisi

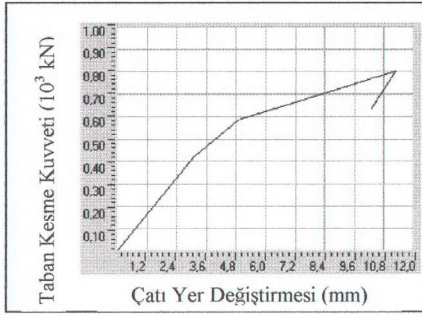


Şekil 4.15 4. Tip dolgu duvar yerleşimi için 1 aksı mafsallaşma mekanizması

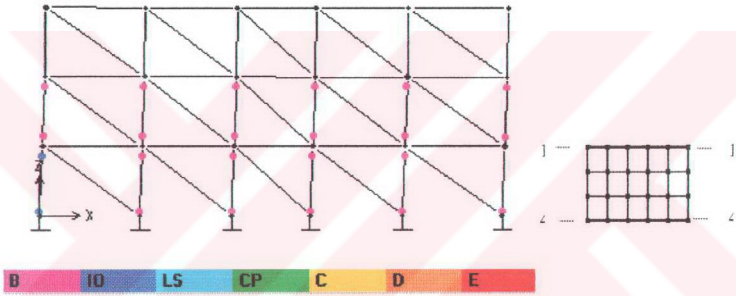


Şekil 4.16 4. Tip dolgu duvar yerleşimi için 4 aksı mafsallaşma mekanizması

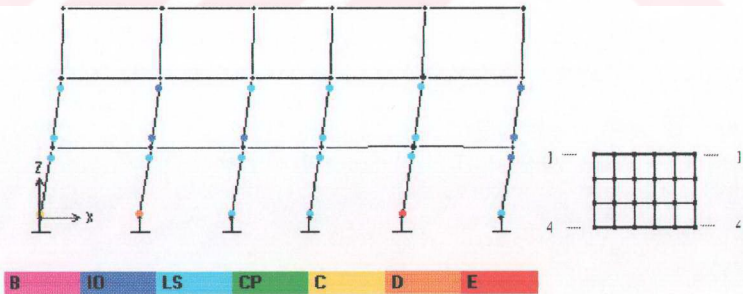




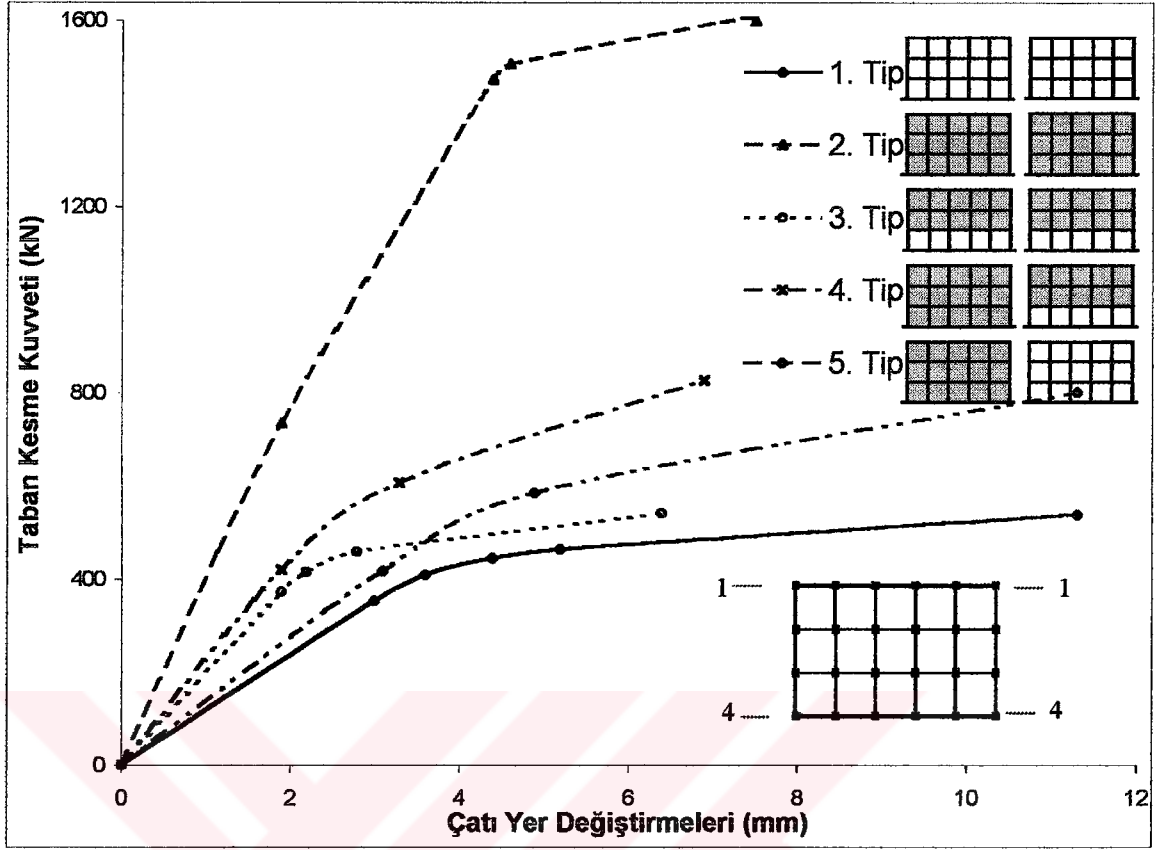
Şekil 4.17 5. Tip dolgu duvar yerleşimi için pushover eğrisi



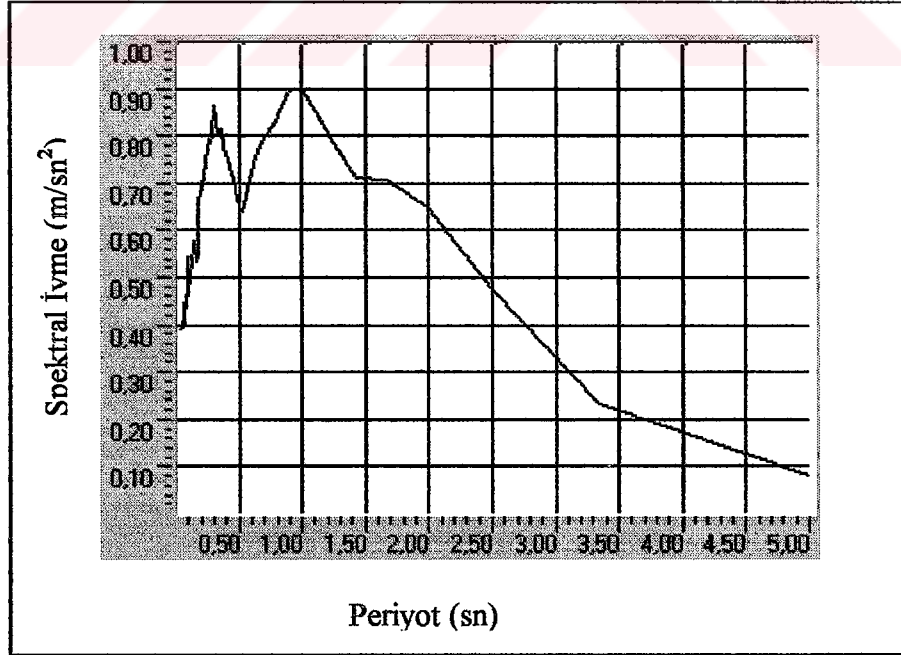
Şekil 4.18 5. Tip dolgu duvar yerleşimi için 1 aksı mafsallaşma mekanizması



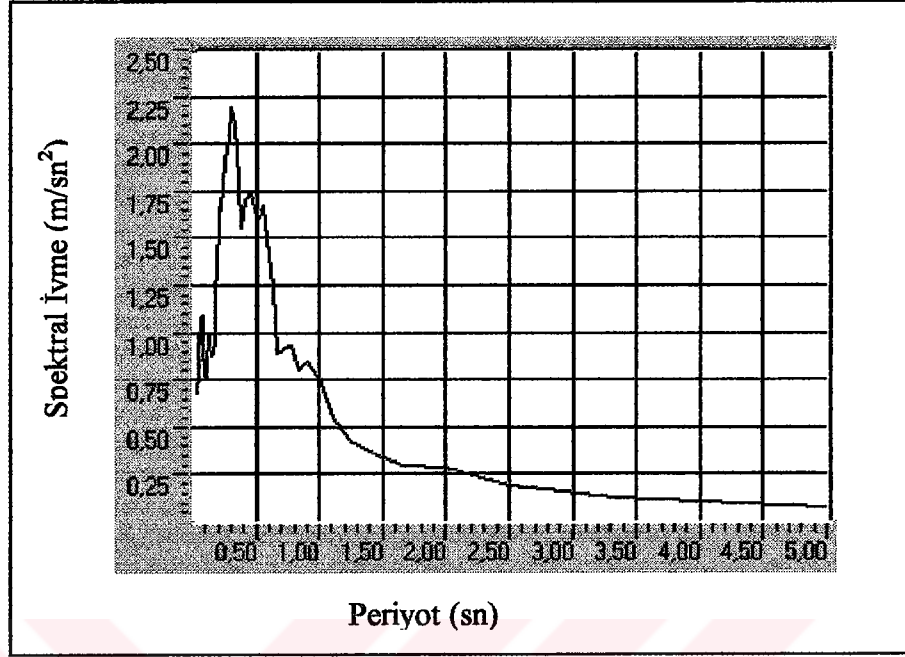
Şekil 4.19 5. Tip dolgu duvar yerleşimi için 4 aksı mafsallaşma mekanizması



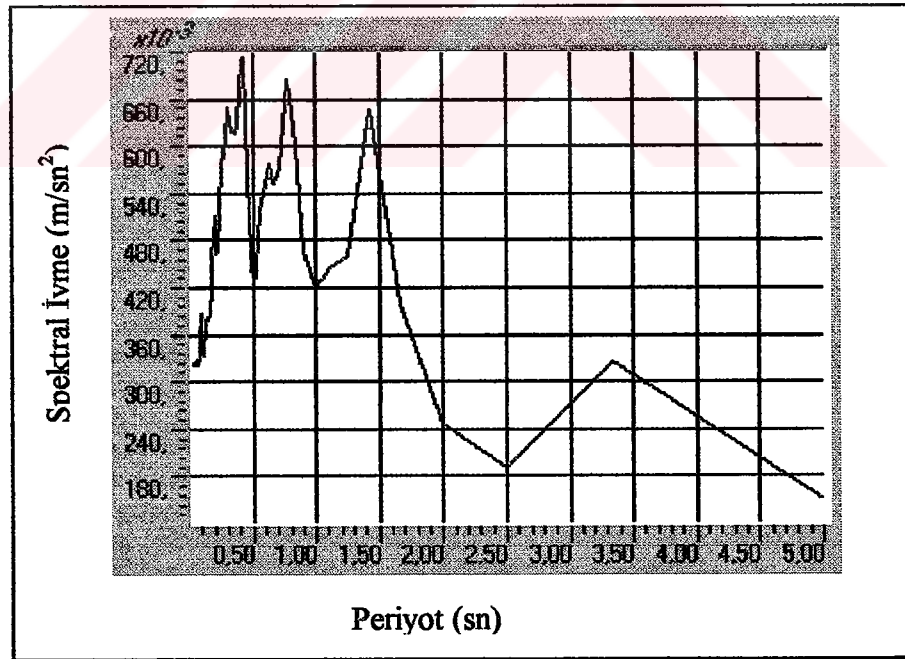
Şekil 4.20 Dolgu yerleşim tipleri için pushover eğrileri



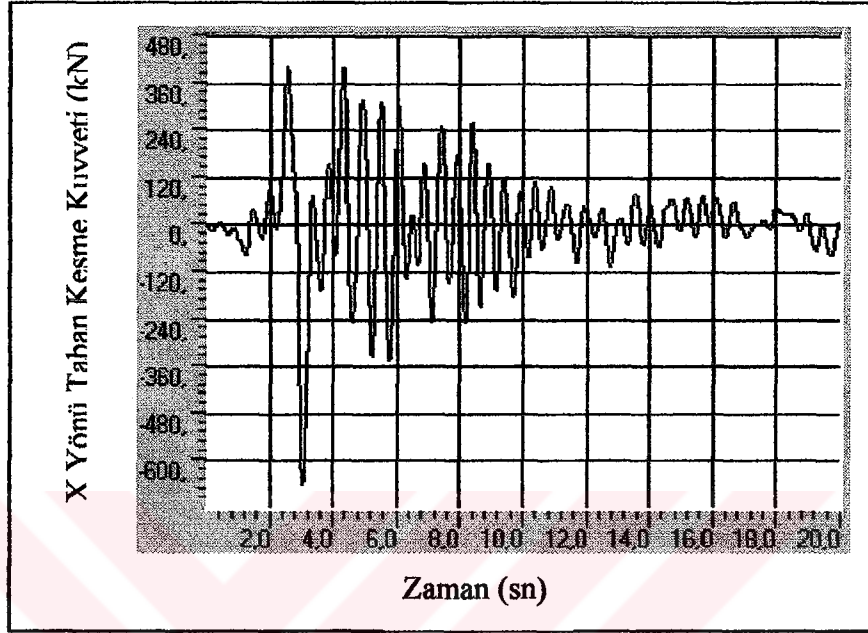
Şekil 4.21 Erzincan depremi davranış spektrumu



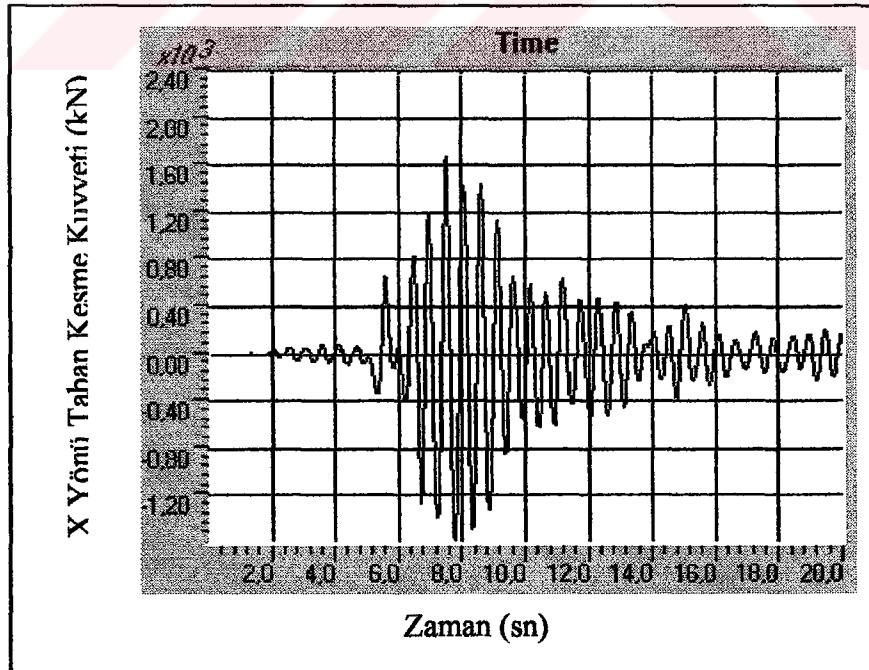
Şekil 4.22 Düzce depremi davranış spektrumu



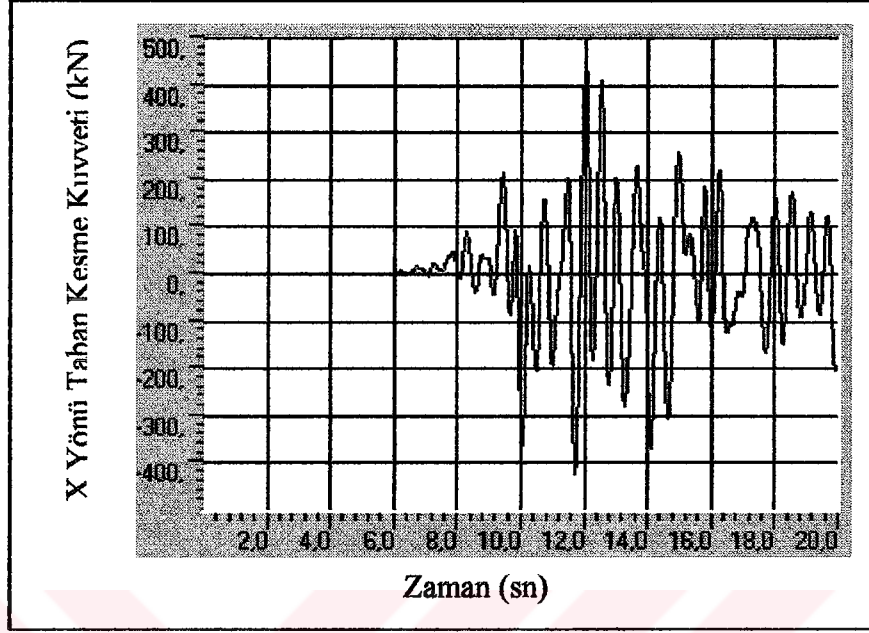
Şekil 4.23 Kocaeli depremi davranış spektrumu



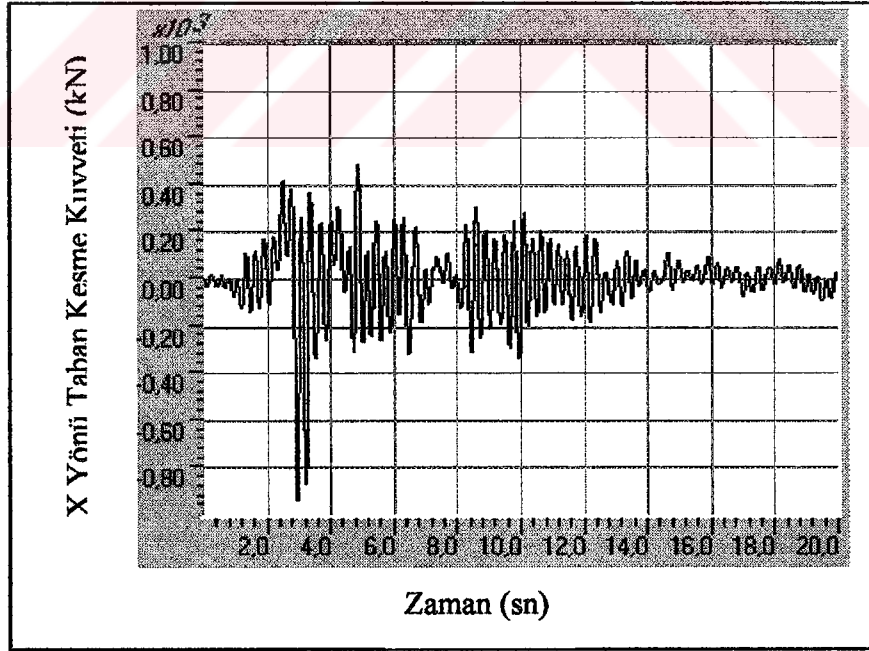
Şekil 4.24 1. Tip dolgu duvarsız çerçevenin Erzincan depremi taban kesme kuvveti



Şekil 4.25 1. Tip dolgu duvarsız çerçevenin Düzce depremi taban kesme kuvveti

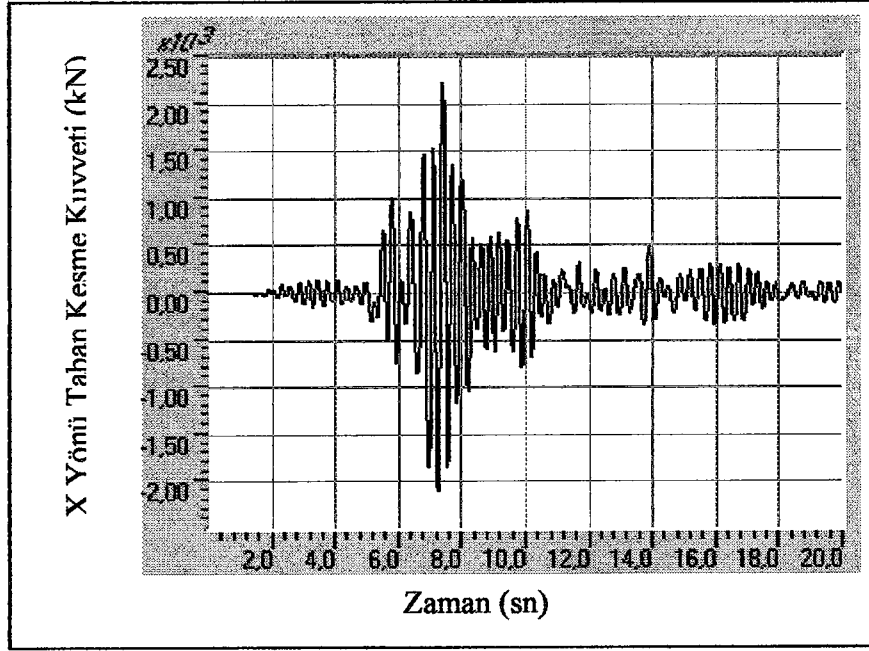


Şekil 4.26 1. Tip dolgu duvarsız çerçevenin Kocaeli depremi taban kesme kuvveti

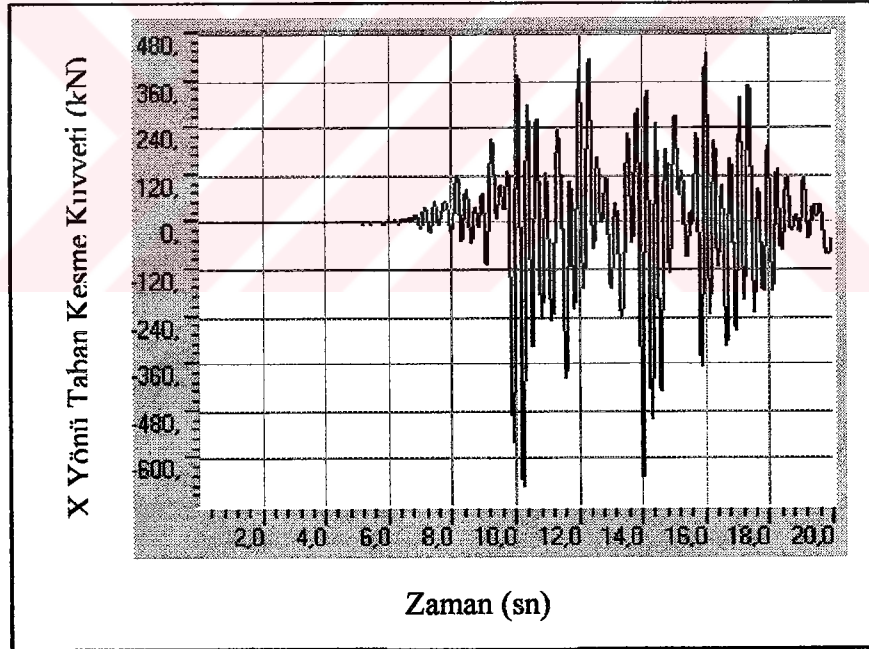


Şekil 4.27 2. Tip çerçevenin Erzincan depremi taban kesme kuvveti

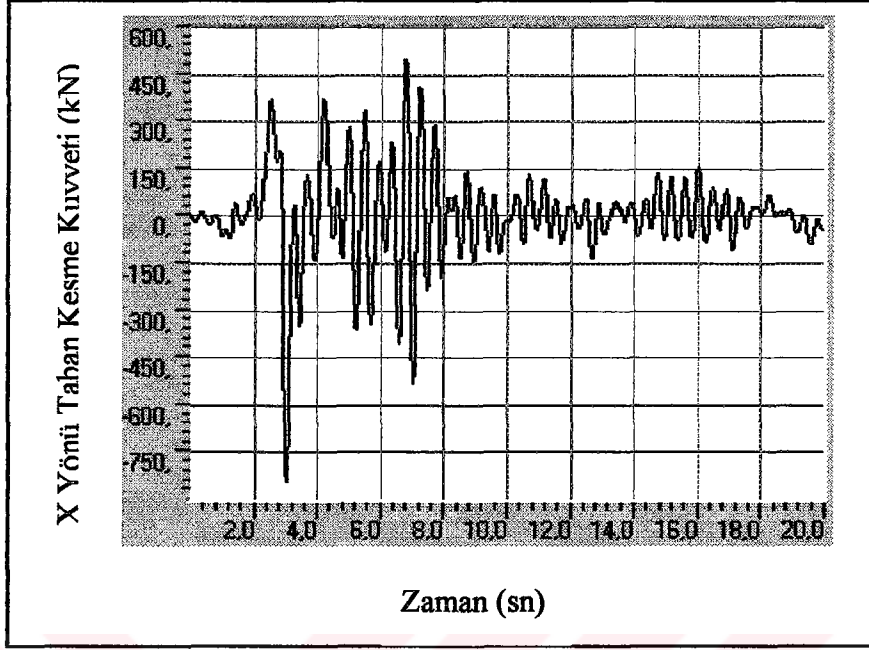




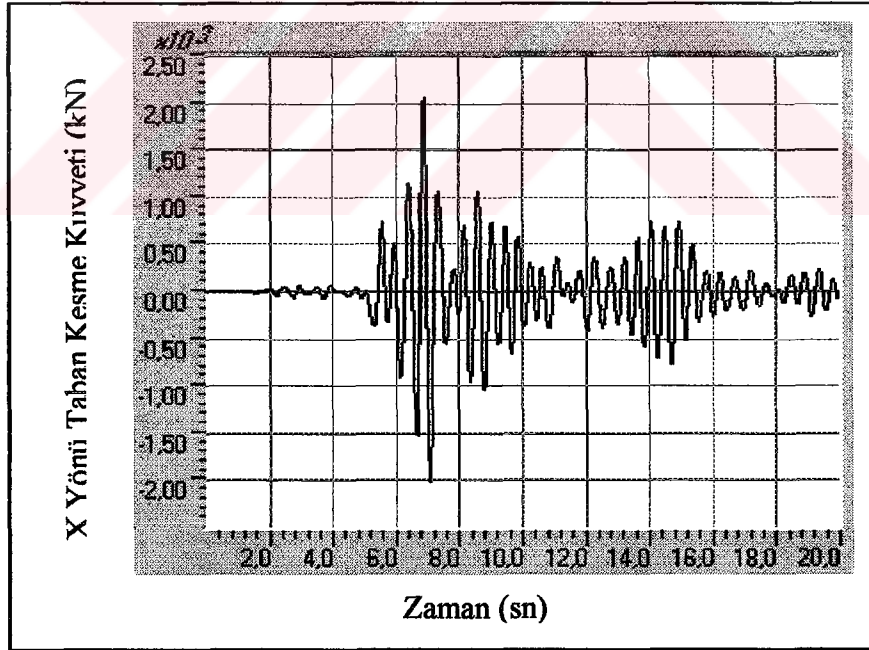
Şekil 4.28 2. Tip çerçevenin Düzce depremi taban kesme kuvveti



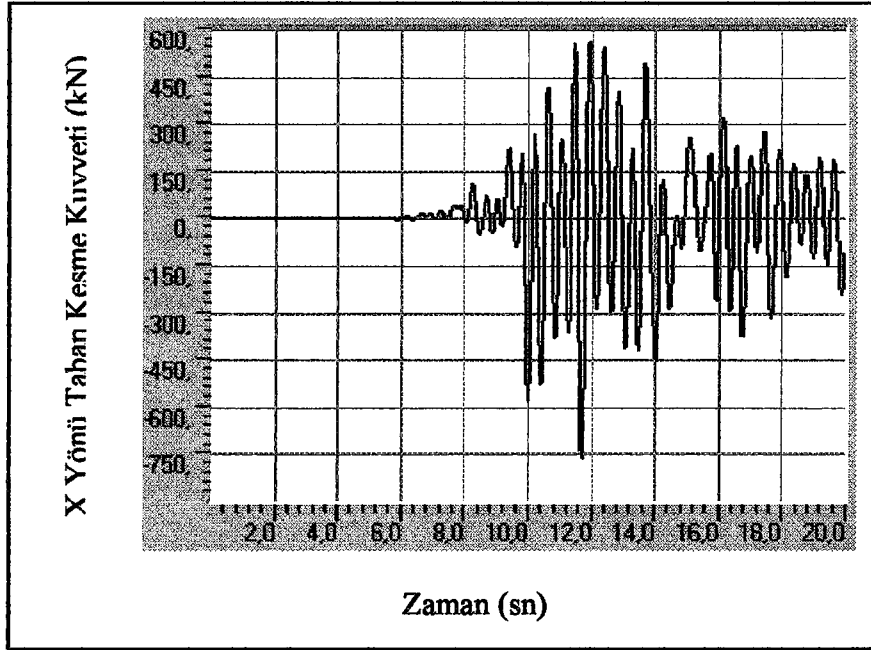
Şekil 4.29 2. Tip çerçevenin Kocaeli depremi taban kesme kuvveti



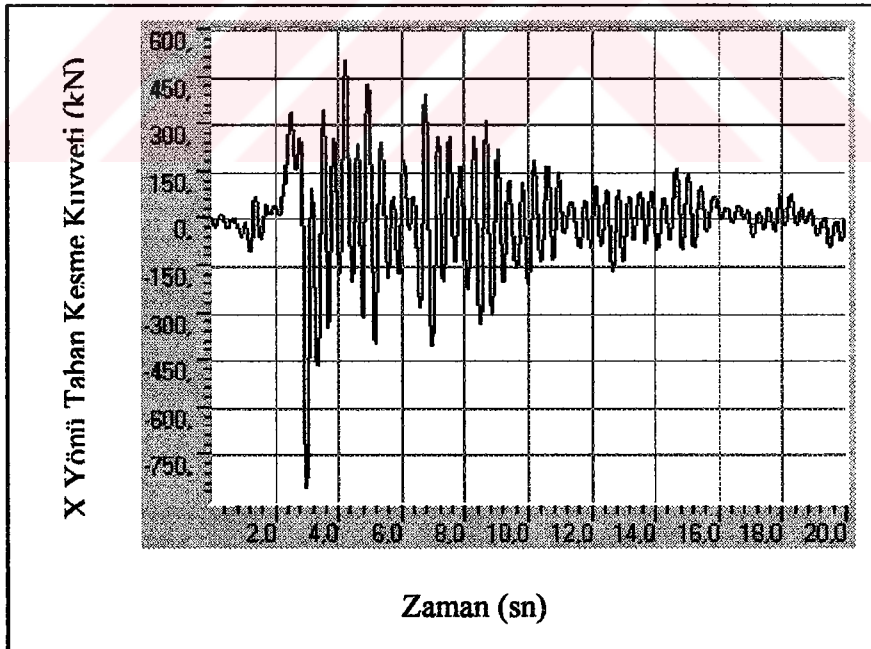
Şekil 4.30 3. Tip çerçevenin Erzincan depremi taban kesme kuvveti



Şekil 4.31 3. Tip çerçevenin Düzce depremi taban kesme kuvveti

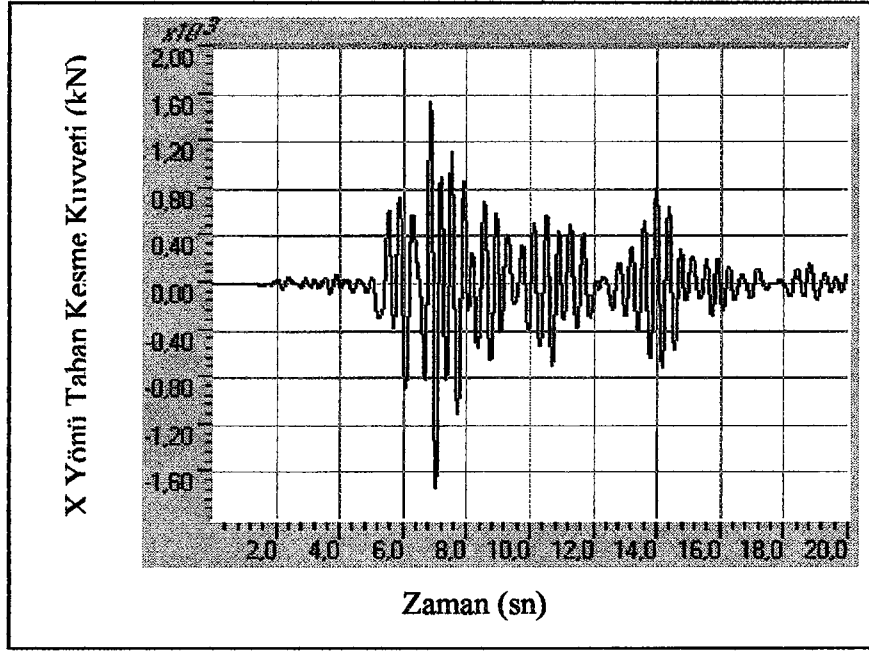


Şekil 4.32 3. Tip çerçevenin Kocaeli depremi taban kesme kuvveti

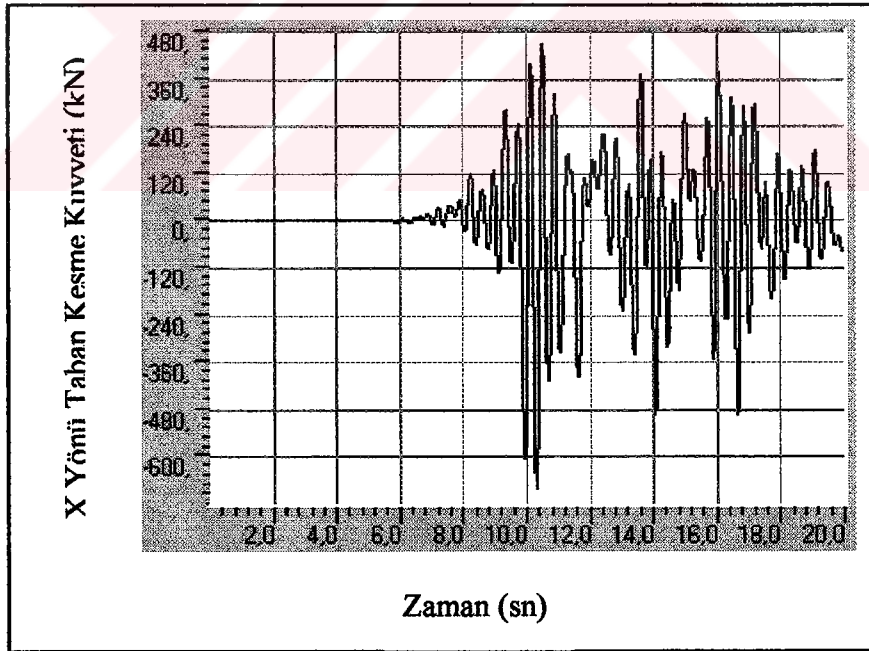


Şekil 4.33 4. Tip çerçevenin Erzincan depremi taban kesme kuvveti

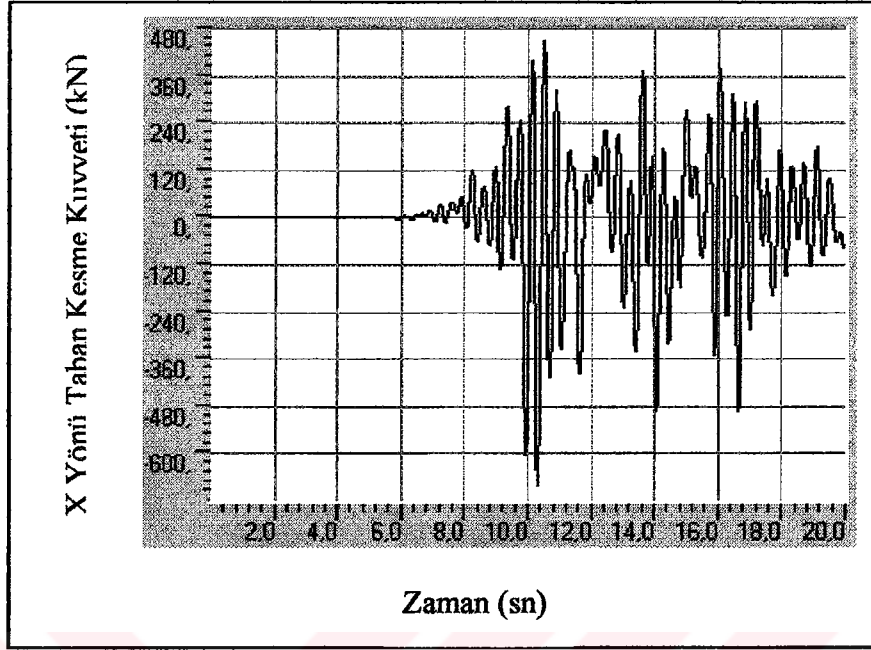




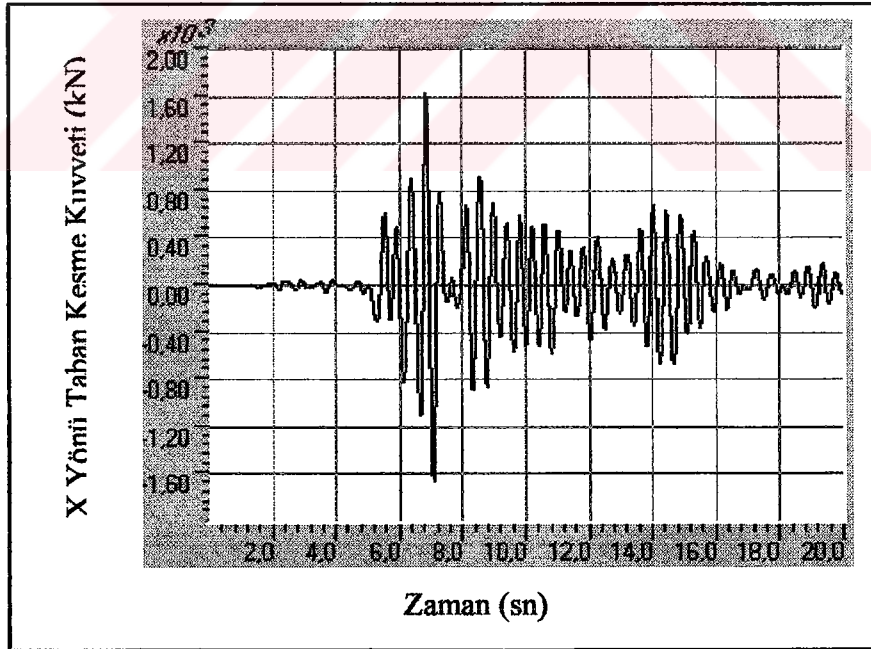
Şekil 4.34 4. Tip çerçevenin Düzce depremi taban kesme kuvveti



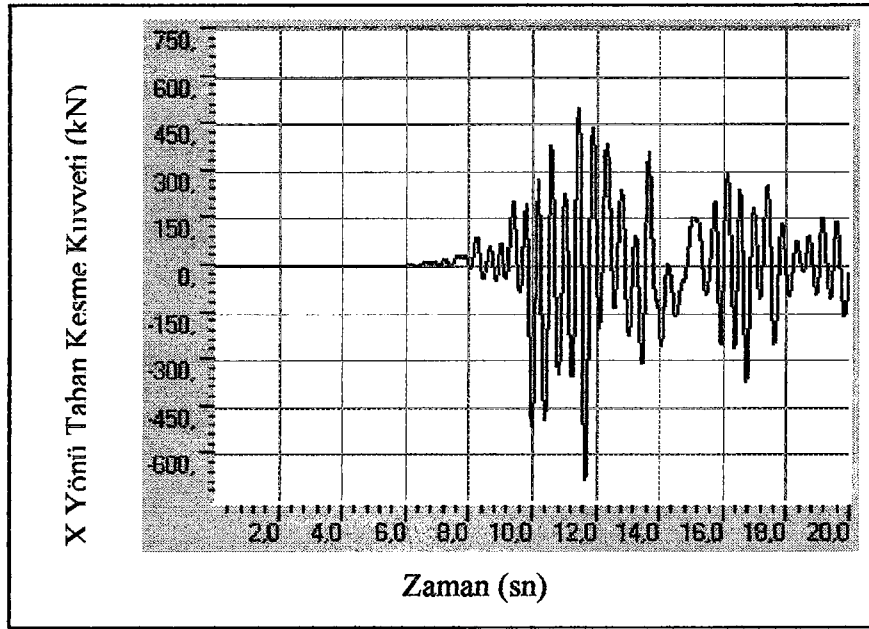
Şekil 4.35 4. Tip çerçevenin Kocaeli depremi taban kesme kuvveti



Şekil 4.36 5. Tip çerçevenin Erzincan depremi taban kesme kuvveti



Şekil 4.37 5. Tip çerçevenin Düzce depremi taban kesme kuvveti



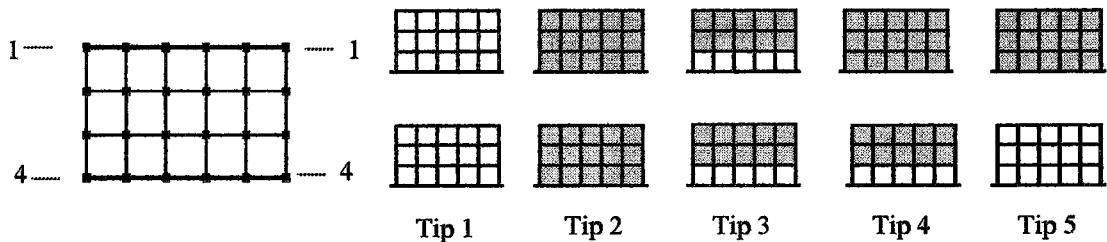
Şekil 4.38 5. Tip çerçevenin Kocaeli depremi taban kesme kuvveti

Çizelge 4.10 Deprem kayıtları için maksimum yer değiştirmeler

|  |        | Deprem Kaydı |       |         |
|--|--------|--------------|-------|---------|
|  |        | Erzincan     | Düzce | Kocaeli |
| X Yönü<br>Maksimum<br>Yer<br>Değişimleri<br>(mm) | 1. Tip | 5,51         | 13,2  | 3,7     |
|  | 2. Tip | 2,40         | 5,71  | 1,73    |
|  | 3. Tip | 4,00         | 9,81  | 2,67    |
|  | 4. Tip | 4,23         | 8,62  | 3,38    |
|  | 5. Tip | 5,97         | 13,95 | 5,69    |

Çizelge 4.11 Pushover değerleri ve deprem kaydı taban kesme kuvvetleri (kN)

|        | Pushover Değerleri (kN)  |            | Deprem Kaydı Taban Kesmesi (kN) |       |         |
|--------|--------------------------|------------|---------------------------------|-------|---------|
|        | Doğrusal davranış sınırı | Göçme yükü | Erzincan                        | Düzce | Kocaeli |
| 1. Tip | 353                      | 539        | 660                             | 1665  | 442     |
| 2. Tip | 735                      | 1607       | 930                             | 2215  | 671     |
| 3. Tip | 373                      | 541        | 840                             | 2058  | 759     |
| 4. Tip | 421                      | 828        | 852                             | 1737  | 680     |
| 5. Tip | 418                      | 801        | 714                             | 1668  | 681     |



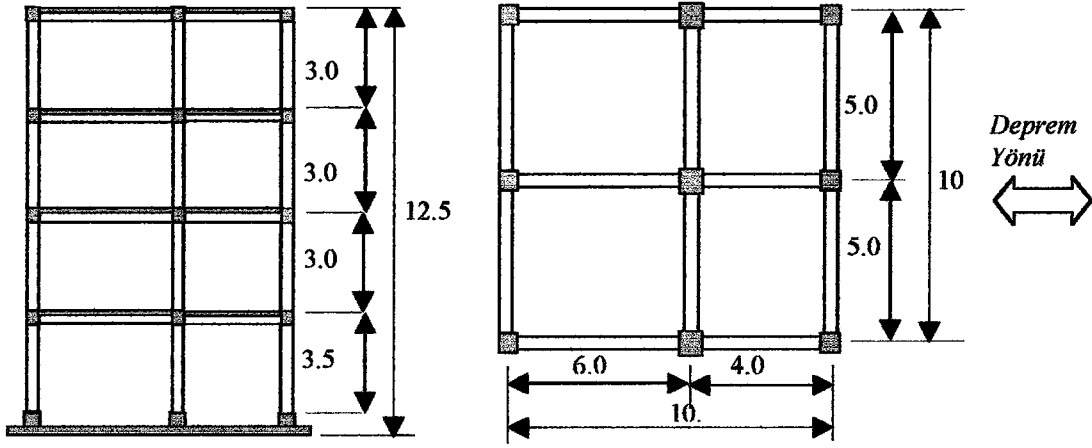
Örnek 4 üzerinde yapılan çalışmalarda, dolgu duvarlı yapılarda meydana gelen yer değiştirmeler dolgu duvarsız yapıya gelen yer değiştirmelerden genellikle daha az olmaktadır. Dolgu duvarların düzgün yerleştirilmediği durumlarda ise Çizelge 4.10'da görülebileceği gibi kat yer değiştirmeleri daha fazla olabilmektedir. Yumuşak katlı yapıda (Tip 3) yumuşak katın kat yer değiştirmesinin arttığı gibi, duvarların planda düzensiz yerleşiminden dolayı (Tip 4-5) burulma etkilerinin artmasıyla özellikle köşe elemanlarda yer değiştirmelerde artabilmektedir.

Zaman tanım alanı çözümlerinde yumuşak katlı yapıya gelen taban kesme kuvvetleri dolgu duvarsız yapıya gelen taban kesme kuvvetinden daha fazla olduğu görülmektedir. Çizelge 4.11'den de görüleceği gibi güçlü kiriş-zayıf kolon yapısından dolayı yumuşak katlı yapının taşıma kapasitesi dolgu duvarsız yapı ile aynı kalmaktadır. Dolayısıyla yumuşak kattaki kat yer değiştirmeleri taban kesme kuvvetine bağlı olarak arttığı halde taşıma kapasitesi aynı kalmakta ve yapı güvenirliliğini olumsuz etkilememektedir.

Yapılan çözümlerinde dolgu duvarlarının yerleştirilme biçimlerine bağlı olarak taban kesme kuvvetleri ve yapı göçme yükleri değişmektedir. Dolgu duvarsız yapının taşıma kapasitesi 539 kN iken dolgu duvarlı yapının taşıma kapasitesi 1607 kN'dur. Buna karşın dolgu duvarsız yapının Erzincan depremi taban kesme kuvveti 660 kN, dolgu duvarlı yapı taban kesme kuvveti 930 kN olmaktadır. Dolgu duvarlarından dolayı yapıların taşıma kapasitelerinde meydana gelen artış oranı, taban kesme kuvvetin de meydana gelen artış oranından genellikle daha fazla olmaktadır. Bundan dolayı dolgu duvarlarının düzgün yerleştirilmesi yapıları daha güvenli hale getirmektedir.

#### 4.5 Örnek 5

Negro ve Colombo tarafından deneysel olarak incelenen yapıyı Demir ve Sivri [2002] modelleyerek sayısal çözüm için kullanmıştır. Dört katlı betonarme çerçevenin geometrik özellikleri Şekil 4.39'da verilmiştir.



Şekil 4.39 Yapı geometrik özellikleri (m)

Yapı 10x10m genişliğinde ve 12,5m yüksekliğindedir. Yapı ölü ve hareketli yükleri  $2 \text{ kN/m}^2$ 'dir. Eurocode8'e göre beton C25 ve yapı çeliği B500 olarak seçilmiştir. Dolgu duvar ( $t=190\text{mm}$ ) malzemesinin elastisite modülü  $E_d=250\text{MPa}$  ve basınç dayanımı  $f_d=0,5\text{MPa}$  olarak alınmıştır.

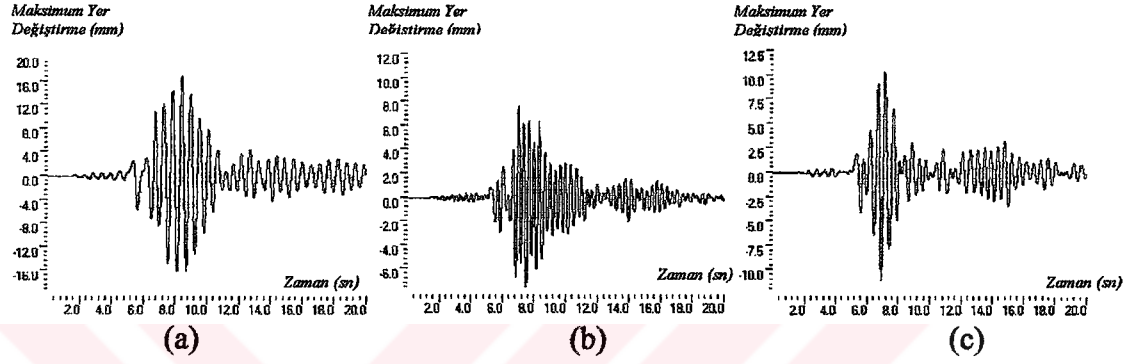
Dolgu duvarlarının efektif genişlikleri daha önce bahsedildiği gibi Hao, Ma ve Lu [2002] tarafından önerilen analitik yöntemle hesaplanarak 6m açıklık için 760mm ve 4m açıklık için 560mm olarak hesaplanmıştır. Çatlamlar göz önüne alınarak duvar rijitlikleri yarıya azaltılmıştır.

Dolgu duvarların yük olarak alındığı temel çerçeve, kenar akslara düzgün olarak yerleştirilen dolgulu çerçeve ile kenar aksların zemin katı dışında diğer katlara düzgün olarak yerleştirildiği yumuşak katlı çerçeve olarak üç farklı modelleme yapılmıştır.

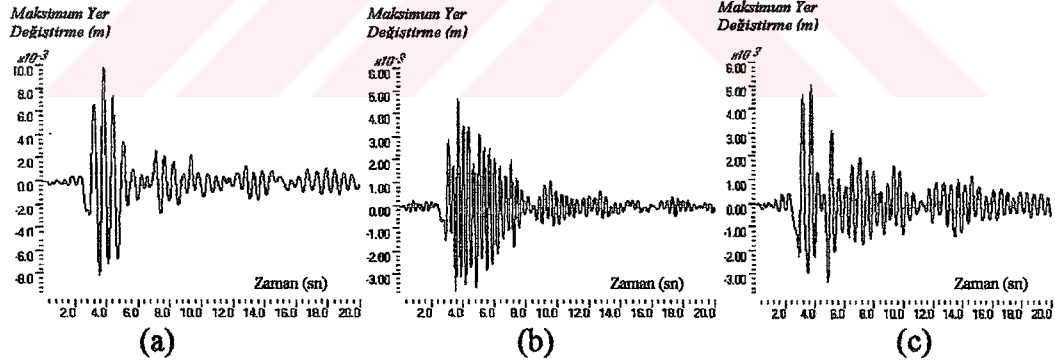
Yapı modelleri için 1. mod periyot değerleri Çizelge 4.12'de verilmiştir. Düzce ve Erzincan depremi ivme kayıtları için maksimum yer değiştirme ile taban kesme kuvveti grafikleri aşağıdır.

Çizelge 4.12 Yapı tipleri için 1. mod periyot değerleri

| Yapı               | Deney sonuçları<br>(Negro, Colombo 1997)<br>Periyot (sn) | Yapılan Çalışma<br>Periyot (sn) |
|--------------------|--|---------------------------------|
| Temel Çerçeve      | 0.5618   | 0.5596                          |
| Dolgulu Çerçeve    | 0.3030   | 0.3329                          |
| Yumuşak Katlı Çer. | 0.6024   | 0.4614                          |

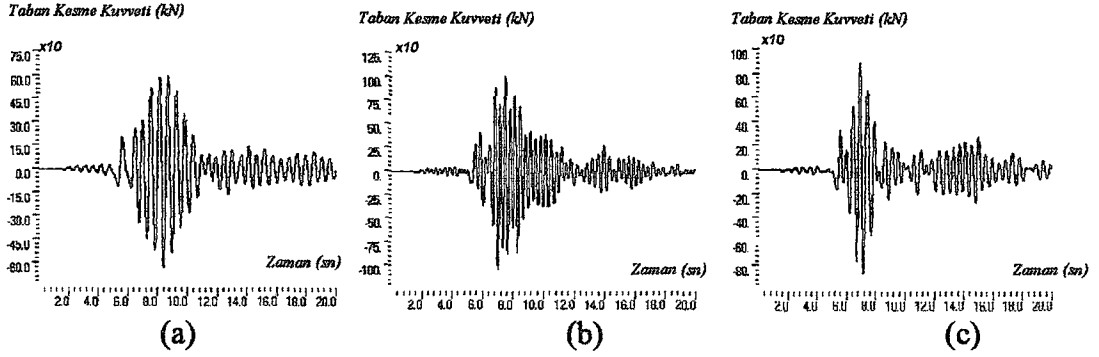


Şekil 4.40 Düzce depremi maksimum yer değiştirmeleri a) temel çerçeve  
b) dolgulu çerçeve c) yumuşak katlı çerçeve

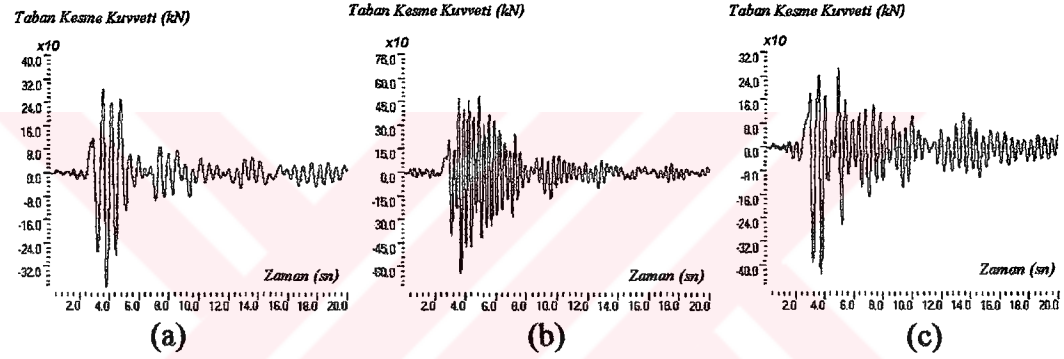


Şekil 4.41 Erzincan depremi maksimum yer değiştirmeler a) temel çerçeve  
b) dolgulu çerçeve c) yumuşak katlı çerçeve





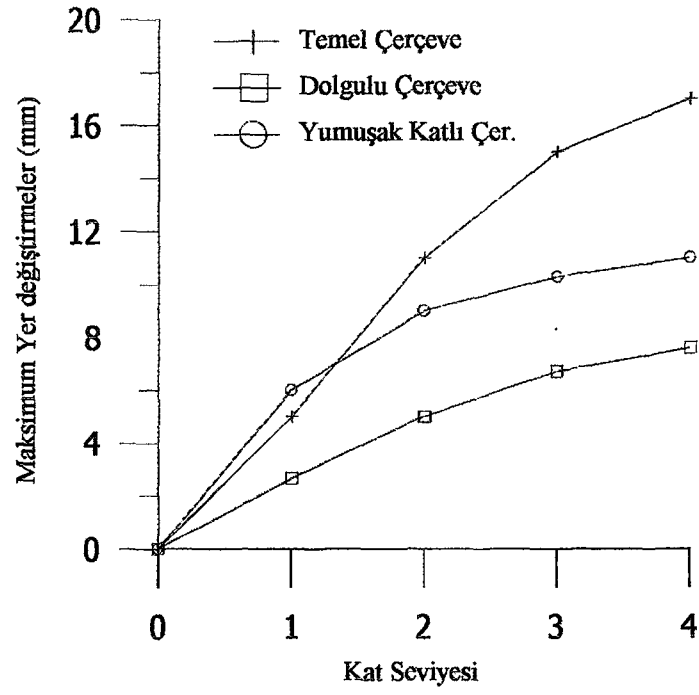
Şekil 4.42 Düzce depremi taban kesme kuvvetleri a) temel çerçeve  
b) dolgulu çerçeve c) yumuşak katlı çerçeve



Şekil 4.43 Erzincan depremi taban kesme kuvvetleri a) temel çerçeve  
b) dolgulu çerçeve c) yumuşak katlı çerçeve

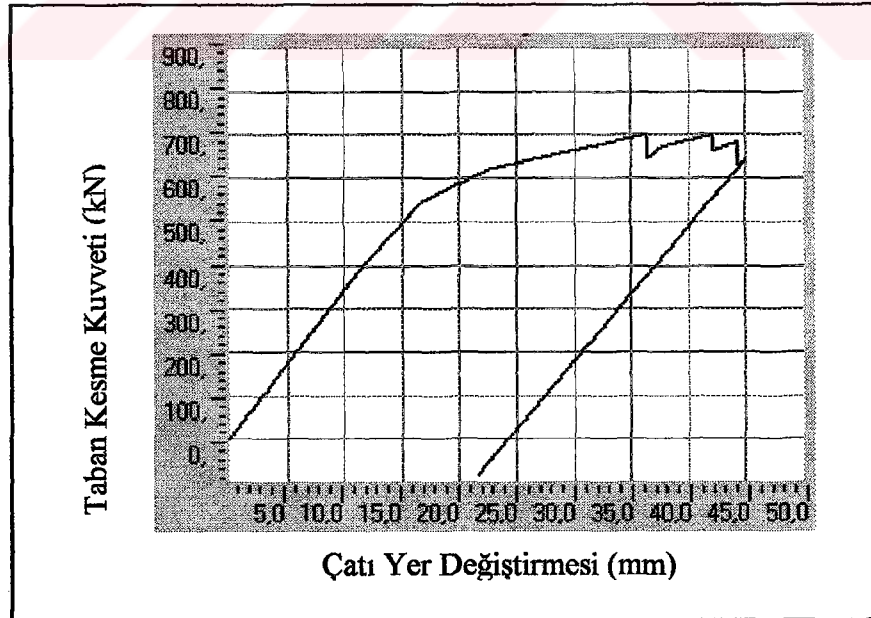
Çizelge 4.13 Düzce ve Erzincan depremi sonuçları

| Yapı               | Düzce                           |                                  | Erzincan                        |                                  |
|--------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
|                    | Max. Yer<br>değişimleri<br>(mm) | Max. Taban<br>kesme kuv.<br>(kN) | Max. Yer<br>değişimleri<br>(mm) | Max. Taban<br>kesme kuv.<br>(kN) |
| Temel Çerçeve      | 16.8                            | 627                              | 9.9                             | 384                              |
| Dolgulu Çerçeve    | 7.6                             | 1030                             | 4.7                             | 638                              |
| Yumuşak Katlı Çer. | 11.0                            | 892                              | 5.1                             | 425                              |



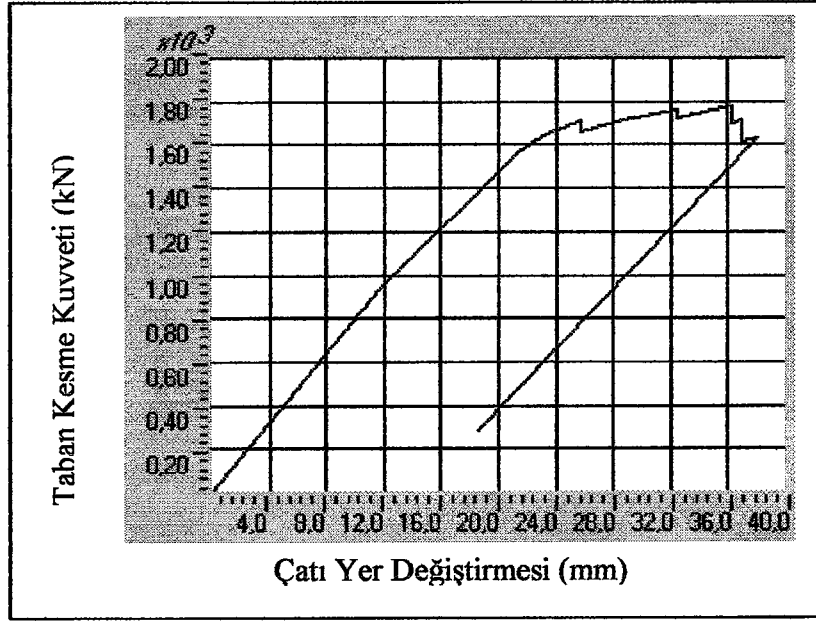
Şekil 4.44 Düzce depremi için maksimum kat yer değiştirmeleri

Yapıların "x" yönünde ters üçgen şeklinde etkiyen deprem yüklemesi için pushover eğrileri ve göçme mekanizmaları aşağıda verilmiştir.

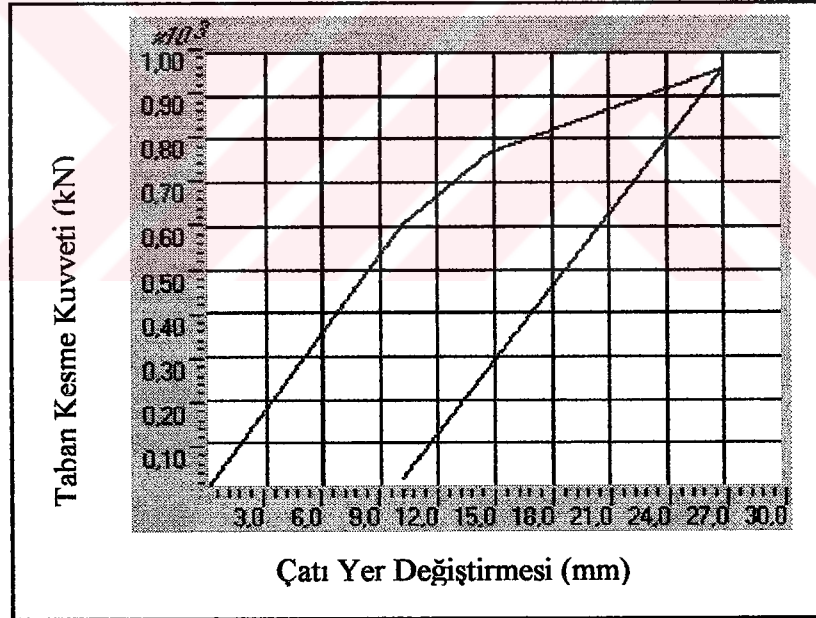


Şekil 4.45 Temel çerçeve pushover eğrisi

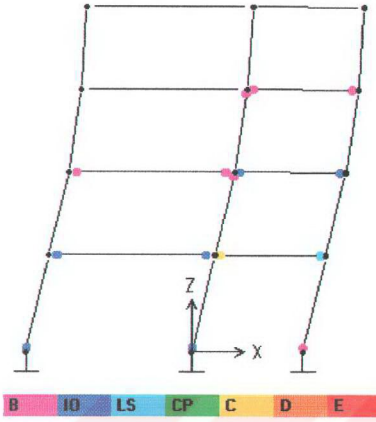




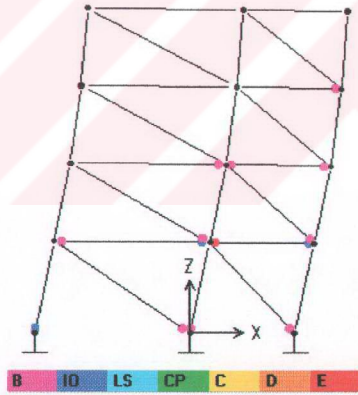
Şekil 4.46 Dolgulu çerçeve pushover eğrisi



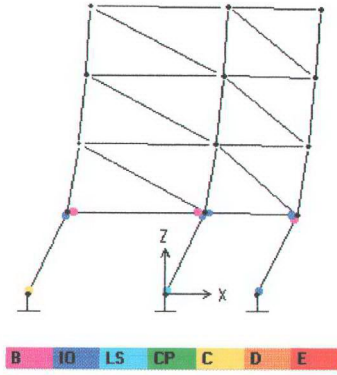
Şekil 4.47 Yumuşak katlı çerçeve pushover eğrisi



Şekil 4.48 Temel çerçeve göçme mekanizması



Şekil 4.49 Dolgulu çerçeve göçme mekanizması



Şekil 4.50 Yumuşak katlı çerçeve göçme mekanizması

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Dolgu duvarları modellemek için eşdeğer basınç çubuğu genişliği mertebesinin ne olması gerektiği çeşitli araştırmacılar tarafından konu edilmiştir. Bu değer bazı araştırmacılar tarafından diagonal boyunun veya kat yüksekliğinin belirli bir oranı olarak alınması tavsiye edilmiştir. Diğer bazı araştırmacılar ise malzemeye, kolon ve duvar geometrisine bağlı olarak genişlik değeri vermiştir.

Bu çalışmada, dolgu duvarlar gerek yük olarak, gerekse değişik yerleşim biçimleri için taşıyıcı eleman olarak alınmış ve yapı davranışı incelenmiştir. Yapılan çözümler dolgu duvarların çerçeve yapıların deprem davranışını büyük ölçüde değiştirdiğini ortaya koymuştur.

Dolgu duvarlar yapı rijitliğini artırdığı için yapı periyodu ve yanal yer değiştirmeler de rijitliğe bağlı olarak azalmaktadır. Yer değiştirmelerin azalmasıyla kesit tesirlerinin azalması gibi olumlu katkılarının olmasına karşın düzensiz yerleştirilme biçimlerine bağlı olarak yumuşak kat oluşması ve burulma etkilerinin artması gibi olumsuz etkileri de mevcuttur.

Duvarların düzgün yerleştirildiği dolgulu çerçevelerde yapı periyodu yaklaşık %50 azalmaktadır. Yapı rijitliğindeki bu artış sebebiyle yapının taşıma kapasitesi de büyük ölçüde artmaktadır. Dolgu duvarlarının da deprem kuvveti taşımasından dolayı kolon ve kirişlerin kesit tesirleri de oldukça azalmaktadır.

Özellikle zemin katında yumuşak kat bulunan yapılarda, üst katlarda bulunan dolgu duvarlardan dolayı yapı rijitliğindeki artışa bağlı olarak yapı periyodu da azalmaktadır. Yapılan incelemelerde, zaman tanım alanı çözümlerinde yumuşak katlı yapıya gelen taban kesme kuvvetlerinin dolgu duvarsız çerçeveye gelen taban kesme kuvvetinden daha fazla olduğu görülmektedir. Dolayısıyla yumuşak kattaki kat yer değiştirmesi de dolgusuz çerçevedeki kat yer değiştirmesinden daha büyük olacaktır.

Güçlü kiriş-zayıf kolon veya güçlü kolon-zayıf kiriş yapısına bağlı olarak yumuşak katlı yapının taşıma kapasitesi de değişmektedir. Yapılan çalışmadaki örneklerde güçlü kiriş-zayıf kolon bulunan yumuşak katlı çerçevenin taşıma kapasitesi dolgusuz çerçevenin taşıma kapasitesiyle aynı kalırken güçlü kolon-zayıf kiriş bulunan yumuşak katlı yapının taşıma kapasitesi dolgusuz çerçeveden daha fazla olmaktadır.

Yapı davranışını etkileyen en önemli faktörlerden biri de duvarların planda düzensiz yerleşiminden dolayı yapı rijitlik dağılımında meydana gelen düzensizliktir. Bu düzensizlikten dolayı yapıdaki burulma etkileri artmaktadır. Burulmadan dolayı özellikle köşe kolonlardaki kesit tesirleri beklenenden daha fazla olabilmektedir.

Sonuç olarak; dolgu duvarların yapının dinamik özelliklerini değiştirdiği, yerleştirilme biçimlerine bağlı olarak yapı elemanlarının beklenenden daha büyük atalet kuvvetleri çekmesine neden olabileceği söylenebilir. Bu nedenle dolgu duvarların etkilerini ihmal eden çözüm yöntemleri, bazı elemanların daha güvensiz boyutlandırılmış olması sonucunu doğurabilir.

## 6. KAYNAKLAR

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1997. İstanbul

Berg, G.V., 1989. Elements of Structurel Dynamics, Princeton-Hsall, Englewood Cliffs, N.J.

Boduroğlu, H., Özdemir, P., Ülker, R., Gedikli, A., Michiyo Sugai, Zahirdar, P. Microtremor Measurements of Strengthened Masonry Building Damaged During 1995 Dinar Eartquake, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Celeb, Z., Kumbasar, N., 2001. Betonarme Yapılar, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Choubey, U.B., 1990. Behaviour of Infilled Frames Under Cyclic Loads, Delhi

Dedier Combescure, Pierre Pegon, 1999. Application of Local-to-global Approach to The Study of Infilled Frame Structure Under Seismic Loading, vol 196, pp 17-40

Demir, F., Sivri, M., 2002. Eartquake Response of Masonry Infilled Frames, ECAS 2002, Ankara

Düzgün, M., 1988. Dolgu Duvarlı Düzlemsel Çerçvelerin Farklı Yüklemeler Altındaki Davranışının Analizi İçin Yaklaşık Bir Hesap Yöntemi, D.E.Ü., Doktora Tezi, İzmir

Enrico Spacone. Nonlinear Pushover Analysis of Rainforced Concrete Structures, Colorado Üniversitesi, Boulder, Colorado

Erkaya, A., 1996. Betonarme Çerçve Yapılarda Dolgu Duvarlarının Deprem Davranışına Etkileri, İ.T.Ü., Yüksek Lisans Tezi, İstanbul

Harpal Singh, D.K. Paul, V.V. Sastry, 1998. Inelastic Dynamic Response of Concrete Infilled Frames, vol 69(1998) 685-693

Hong Hao, Guo-Wei Ma, Yong Lu, 2001. Damage Assesments of Mosonry Infilled RC Frames Subjected to Blasting Ground Excitations

Huber, K.N., 1975. The Finite Element Metod For Engineers, New York

Humor, J.L., 1990. Dynamics of Structures, Princeton-Hsall, Englewood Cliffs,N.J.

M.K. Sahota, J.R. Riddington, 1999. Experimental İnvestigation Into Using Lead to Reduce Vertical Load Transfer in Infilled Frames, vol 23, pp 94-101

Negro, P., Colombo, A.,1998. Irregularities Induced by Nonstructurel Mosonry Panels in Framed Buildings, vol 19. pp 576-585

Orbay, A., 2001. Dolgulu Çerçevelerin Dayanım ve Davranışı Bir Yaklaşık Hesaplama Yöntemi Eldeleri, XII. Ulusal Mekanik Kongresi, Konya

Thibaut Lefort, 2000. Advnced Pushover Analiysis of RC Multi-Storey Buildings, London

Timoshenko, S., Goodier, J.N., 1970. Theory of Elasticity, New York

Yüksel, E., İlki, A., Koyoma, S., Karadoğan, F., 1995. Micro Tremor Measurements and Possible Earthquake Response of Existing Structures,III National Conference on Earthquake Engineering, İstanbul

## 7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mustafa SİVRİ  
Doğum Yeri : Isparta  
Doğum Yılı : 1978  
Medeni Hali : Bekar

### Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise : 1992-1996 Isparta Gürkan Lisesi  
Lisans : 1996-2000 Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik  
Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü  
Yabancı Dili : İngilizce

### İş Deneyimi: