



**TAŞIYICI SİSTEMİNDE ÇEKME DÜZENSİZLİĞİ  
OLAN BETONARME BİNALARIN BURULMA  
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**Nurbanu DEMİRBAŞ**

**Yüksek Lisans Tezi  
Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği  
Danışman: Dr. Öğr. Üye. Hümeysra ŞAHİN**

**HAZİRAN 2019**

T.C.  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TAŞIYICI SİSTEMİNDE ÇEKME DÜZENSİZLİĞİ OLAN BETONARME  
BİNALARIN BURULMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Nurbanu DEMİRBAŞ

171115105

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13.05.2019

Tezin Savunulduğu Tarih: 18.06.2019

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: Yapı

Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Hümeysra ŞAHİN

Prof.Dr.Zülfü Çınar ULUCAN

Dr.Öğr.Üyesi Ahmet BENLİ

HAZİRAN-2019

## ÖNSÖZ

Bu çalışma süresince tez çalışmamın konu belirleme, planlama ve oluşturulma safhalarında ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin görüş ve tecrübelerinden yararlandığım ve kendisiyle çalışmaktan onur duyduğum sayın danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Hümeysra ŞAHİN'e ve değerli hocalarıma, hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen her anımda yanımda olan sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

**Nurbanu DEMİRBAŞ**

**ELAZIĞ-2019**

## İÇİNDEKİLER

**Sayfa No:**

|                                                                                                  |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>ÖNSÖZ .....</b>                                                                               | <b>II</b>  |
| <b>İÇİNDEKİLER .....</b>                                                                         | <b>III</b> |
| <b>ÖZET .....</b>                                                                                | <b>V</b>   |
| <b>SUMMARY .....</b>                                                                             | <b>VI</b>  |
| <b>ŞEKİLLER LİSTESİ .....</b>                                                                    | <b>VII</b> |
| <b>TABLolar LİSTESİ .....</b>                                                                    | <b>X</b>   |
| <b>KISALTMALAR .....</b>                                                                         | <b>XI</b>  |
| <b>SEMBOLLER .....</b>                                                                           | <b>XII</b> |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>                                                                            | <b>1</b>   |
| <b>2. BETONARME BİNALARDA ÇEKME DÜZENSİZLİĞİ.....</b>                                            | <b>5</b>   |
| 2.1. Deprem Yönetmeliklerinde Çekme Düzensizliği Tasarım Koşulları.....                          | 8          |
| 2.1.1. Eurocode 8: Earthquake Resistant Design of Structures .....                               | 8          |
| 2.1.2. FEMA 369: Federal Emergency Management Agency.....                                        | 10         |
| 2.1.3. ASCE 7: American Society of Civil Engineers .....                                         | 11         |
| 2.1.4. IS 1893:2002 Indian Standard Criteria for Earthquake Resistant Desing of Structures ..... | 11         |
| <b>3. LİTERATÜR ÇALIŞMASI .....</b>                                                              | <b>13</b>  |
| 3.1. Çekme Düzensizliği ile İlgili Literatür Araştırması .....                                   | 13         |
| 3.2. Burulma Düzensizliği ile ilgili literatür araştırması .....                                 | 24         |
| 3.2.1. Burulma düzensizliğine etki eden faktörler .....                                          | 27         |
| <b>4. SAYISAL İNCELEMELER .....</b>                                                              | <b>30</b>  |
| 4.1. Analizlerde kullanılan hesap modellerinin genel özellikleri .....                           | 30         |
| 4.2. İki boyutlu analizlerden elde edilen verilerin grafiksel ortamda incelenmesi..              | 36         |

|                                                                                          |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.2.1. Doğal Titreşim Periyodunun Değişimi .....                                         | 37        |
| 4.2.2. Son Kat Deplasmanları .....                                                       | 38        |
| 4.2.3. Görelî Kat Ötelenme Değerlerinin Değişimi .....                                   | 39        |
| 4.2.4. Modal kütle katılım faktörünün değişimi .....                                     | 46        |
| 4.2.5. Çekme düzensizliği bulunan bina modelleri üzerinde kesme kuvveti<br>değişimi..... | 50        |
| 4.2.6. Çekmeli bina modelleri üzerinde moment değişimi .....                             | 54        |
| 4.3. Üç boyutlu analizlerden elde edilen verilerin grafiksel ortamda incelenmesi         | 57        |
| 4.3.1. Doğal titreşim periyodunun değişimi .....                                         | 59        |
| 4.3.2. Modal kütle katılım faktörlerinin değişimi .....                                  | 60        |
| 4.3.3. Görelî kat ötelenme değerlerinin değişimi.....                                    | 62        |
| 4.3.4. Çekmeli bina modelleri üzerinde kesme kuvveti değişimi .....                      | 63        |
| 4.3.5. Çekmeli bina modelleri üzerinde moment değişimi .....                             | 65        |
| 4.3.6. Çekmeli bina modelleri üzerinde burulma düzensizliğinin değişimi .....            | 67        |
| <b>5. SONUÇ ve ÖNERİLER .....</b>                                                        | <b>71</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                                   | <b>76</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                                                    | <b>80</b> |

## ÖZET

Çekme düzensizliği olan betonarme binalarla, gerek yapısal zorunluluklar gerekse mimari isteklerin ön plana çıkması ile özellikle son yıllarda uygulamada sıklıkla karşılaşmaktayız. Bu binalarda; plan boyutları, bina yüksekliğince aniden değişmekte ve bu durum geometrik düşey düzensizliğe neden olmaktadır. Deprem yönetmeliklerinde düşey geometrik düzensizlik başlığı altında açıklanan çekme, belirli bir kattan itibaren plan boyutlarının belirli bir oranda azaltılması şeklinde tanımlanabilir. Bu azalma nedeniyle sistem üzerinde kütle ve rijitlik parametrelerinin düşey doğrultudaki dağılımlarında düzensizlik oluşmakta ve çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde ani azalmalar meydana gelmektedir. Bu nedenle çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde sistem üzerinde düşey doğrultu boyunca yük aktarımı oldukça karmaşık bir hal almakta ve taşıyıcı sistem elemanlarının iç kuvvetlerinde ani artışlar gözlenmektedir. Ayrıca, bu tip binalarda kütle ve rijitlik bakımından sistemin düşey düzlem üzerinde düzensiz olması ve çekmenin bina üzerinde asimetrik oluşturulması nedeniyle düşey eksen etrafında kat dönmeleri oluşabilmekte, sistem üzerinde burulma ile karşılaşmaktadır.

Bu tez çalışmasında öncelikle çekme oranı ve çekmenin yapıldığı kat seviyesinin binaların deprem davranışı üzerindeki etkisi çekme düzensizliği bulunan 2D modeller üzerinde SAP2000 yapı analiz programında incelenmiş olup, daha sonra bu tip sistemlerde burulmanın etkisini ortaya koymak amacıyla 3D modeller üzerinden mod birleştirme yöntemine göre analizler yürütülmüştür. Bu çalışmanın sonucunda çekme düzensizliği bulunan binalarda, çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde görelî kat ötelenme değerlerinde, kolon iç kuvvetlerinde ( moment ve kesme kuvveti değişimi ) rijitlikteki ani azalmaya bağlı olarak ani artışlar gözlenmektedir. Çekme oranının artmasıyla ve çekmenin oluşturulduğu katın bina orta yüksekliğine yakın veya alt katlarda olması hallerinde bu artışlar daha belirgin hale gelmektedir. Ayrıca çekmenin bina üzerinde asimetrik oluşumuna bağlı olarak sistem üzerinde çekme düzensizliğine ek olarak burulma düzensizliği de oluşmaktadır. Çekmenin bina üzerinde özellikle alt katlarda yapılması halinde burulma düzensizliği katsayısında artışlar olmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Betonarme bina, Burulma, Çekme düzensizliği

## SUMMARY

### **Investigation of Torsional Behavior of Reinforced Concrete Buildings with Set-back Irregularity in the Structural System**

Especially in recent years, we have been encountering with concrete buildings with setback irregularities, with the necessity of structural requirements and architectural demands. In these buildings; The dimensions of the plan suddenly change with the height of the building, causing geometric vertical irregularity. Setback described in the earthquake regulations under the heading of vertical geometric irregularity, can be defined as the reduction of plan dimensions by a certain level from a certain floor. Due to this decrease, the distribution of mass and stiffness parameters in the vertical direction occurs irregularly and sudden decreases occur at the floor level where the setback. For this reason, the load transfer along the vertical direction on the system at the level where the setback is formed becomes quite complicated and sudden increases in the internal forces of the carrier system elements are observed. In addition, due to the irregularity of the system on the vertical plane in terms of mass and stiffness and the asymmetric formation of the setback on the building, fold rotations may occur around the vertical axis and torsion is encountered on the system.

In this thesis, firstly the effect of tensile ratio and the level of the level on which the setback is made on the earthquake behavior of the buildings was examined in 2D models with set-back irregularities in SAP2000 structure analysis program, and then the analysis were carried out according to the response spektrum analysis over 3D models in order to reveal the effect of torsion in such systems. As a result of this study, in buildings with setback irregularity, sudden increases in interstorey drift values, internal forces of columns (moment and shear force changes) because of sudden decrease in stiffness are observed. These increases become more pronounced when the ratio increases and when the floor where the setback is formed is close to the middle height of the building or in the lower floors. In addition, torsional irregularity occurs in addition to set-back irregularity on the system due to the asymmetric formation of the setback on the building. Torsional irregularity coefficients increase if setback is done on the building, especially on the lower floors.

**Key words:** Reinforced concrete building , Torsion, Set-back Irregularity

## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa No:

|                                                                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1. Elazığ’da yaygın olarak kullanılan çekmeli bina örnekleri .....                                                                              | 6  |
| Şekil 2.2. Ülkemizde yaygın olarak kullanılan çekmeli bina örnekleri.....                                                                               | 7  |
| Şekil 2.3. Eurocode 8’e göre simetrik basamaklı binalarda düzensizlik kriteri.....                                                                      | 9  |
| Şekil 2.4. Eurocode 8’e göre çekmenin belirli bir kattan itibaren aniden yapılması<br>durumunda düzensizlik kriteri .....                               | 9  |
| Şekil 2.5. Eurocode 8’e göre çekmenin asimetrik basamaklı binalarda düzensizlik<br>kriteri.....                                                         | 9  |
| Şekil 2.6. FEMA’ ya göre düşey geometrik düzensizlik kriterleri .....                                                                                   | 11 |
| Şekil 2.7. Hindistan deprem yönetmeliğine göre düşey geometrik düzensizlik kriterleri<br>.....                                                          | 12 |
| Şekil 3.1. Karavasilis vd. tarafından önerilen düzensizlik kriteri tanımında kullanılan<br>bina geometrisi.....                                         | 14 |
| Şekil 3.2. Doğal titreşim periyodunun değişiminin incelendiği çekmeli bina modelleri<br>.....                                                           | 16 |
| Şekil 3.3. Şekil 3.2 ile verilen modellere ait doğal titreşim periyodundaki değişim. ....                                                               | 16 |
| Şekil 3.4. Çekme düzensizliği bulunan modellerde yükseklik boyunca görelî ötelenme<br>oranlarının dağılımı.....                                         | 17 |
| Şekil 3.5. Çekme düzensizliği bulunan modellerde kat kesme kuvvetinin yükseklik<br>boyunca dağılımı.....                                                | 18 |
| Şekil 3.6. Sarkar vd. tarafından yapılan çalışmada kullanılan bina modelleri.....                                                                       | 19 |
| Şekil 3.7. 8 katlı modeller üzerinde modal katkı faktörünün değişimi.....                                                                               | 19 |
| Şekil 3.8. Çekmeli ve düzenli bina modelleri üzerinde elastik ve elastik olmayan<br>deformasyon taleplerinin yükseklik boyunca dağılımı. ....           | 20 |
| Şekil 3.8.’in Devamı Çekmeli ve düzenli bina modelleri üzerinde elastik ve elastik<br>olmayan deformasyon taleplerinin yükseklik boyunca dağılımı ..... | 21 |
| Şekil 3.9. Yükseklik boyunca hasarların dağılımına çekme oranı ve çekme kat<br>seviyesinin etkisi .....                                                 | 21 |
| Şekil 3.10. Statik itme ve zaman tanım alanında analiz yöntemlerine göre görelî kat<br>ötelenme oranlarındaki değişim.....                              | 22 |
| Şekil 3.11. Uyumlu yük dağılımına göre yanal yüklerin sisteme yüklenmesi .....                                                                          | 23 |



|                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.12. Simetrik olmayan çekmeli binalarda uyumlu yük dağılımına göre yanal yüklerin sisteme yüklenmesi.....                                             | 24 |
| Şekil 3.13. 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde burulma düzensizliği tanımı                                                                              | 26 |
| Şekil 3.14. ASCE deprem yönetmeliğinde burulma düzensizliği tanımı. ....                                                                                     | 27 |
| Şekil 4.1. Tipik çekmeli bina modelleri.....                                                                                                                 | 31 |
| Şekil 4.2. Çekme bulunmayan (düzenli ) bina modellerine ait kat planı.....                                                                                   | 31 |
| Şekil 4.3. K8TAS1 hesap modeli için sabit ve hareketli yüklerin kirişlere aktarılması .                                                                      | 36 |
| Şekil 4.4. Çekmeli binalarda, $R_A$ , $R_H$ ve kat sayısına göre doğal titreşim periyodunun değişimi.....                                                    | 38 |
| Şekil 4.5. Çekmeli binalarda, $R_A$ , $R_H$ ve kat sayısına göre son kat deplasman değişimi                                                                  | 39 |
| Şekil. 4.6. 4 katlı modeller üzerinde görel kat ötelenme değerinin değişimi (a) $R_A=80\%$ (b) $R_A=40\%$ değeri için .....                                  | 40 |
| Şekil 4.7. 8 Katlı çekmeli modeller üzerinde görel kat ötelenme değerinin değişimi (a) $R_A=80\%$ (b) $R_A=40\%$ değeri için .....                           | 41 |
| Şekil 4.8. 12 Katlı modeller üzerinde görel kat ötelenme değerinin değişimi (a) $R_A=80\%$ (b) $R_A=40\%$ değeri için .....                                  | 42 |
| Şekil 4.9. 16 Katlı modeller üzerinde görel kat ötelenme değerinin değişimi (a) $R_A=80\%$ (b) $R_A=40\%$ değeri için .....                                  | 43 |
| Şekil 4.10. Çekme bulunmayan (referans) bina modelleri üzerinde görel kat ötelenme değerlerindeki değişime kat sayısının etkisi .....                        | 44 |
| Şekil 4.11. $R_A=80\%$ ve $R_H=25\%$ değerlerine sahip çekmeli bina modelleri üzerinde görel kat ötelenme değerlerindeki değişime kat sayısının etkisi ..... | 45 |
| Şekil 4.12. $R_A=80\%$ ve $R_H=50\%$ değerlerine sahip çekmeli bina modelleri üzerinde görel kat ötelenme değerlerindeki değişime kat sayısının etkisi ..... | 45 |
| Şekil 4.13. $R_A=80\%$ ve $R_H=75\%$ değerlerine sahip çekmeli bina modelleri üzerinde görel kat ötelenme değerlerindeki değişime kat sayısının etkisi. .... | 46 |
| Şekil 4.14. 4 Katlı modeller üzerinde modal kütle katılım faktörü değişimi (a) $R_A=80\%$ (b) $R_A=40\%$ değeri için.....                                    | 47 |
| Şekil 4.15. 8 Katlı modeller üzerinde modal kütle katılım faktörü değişimi (a) $R_A=80\%$ (b) $R_A=40\%$ değeri için.....                                    | 48 |
| Şekil 4.16. 12 Katlı modeller üzerinde modal kütle katılım faktörü değişimi (a) $R_A=80\%$ ve (b) $R_A=40\%$ değeri için.....                                | 49 |

|                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.17. 16 Katlı modeller üzerinde modal kütle katılım faktörü değişimi (a) $R_A=\%80$ (b) $R_A=\%40$ değeri için .....                    | 50 |
| Şekil 4.18. 4 katlı modeller üzerinde kolonlarda meydana gelen kesme kuvveti değişimi (a) $\%80$ çekme oranı (b) $\%40$ çekme oranı için ..... | 51 |
| Şekil 4.19. 8 katlı modeller üzerinde kolonlarda meydana gelen kesme kuvveti değişimi (a) $\%80$ çekme oranı (b) $\%40$ çekme oranı için ..... | 52 |
| Şekil 4.20. 12 katlı modeller üzerinde kolonlarda meydana gelen kesme kuvveti değişimi (a) $\%80$ çekme oranı (b) $\%40$ çekme oranı için..... | 53 |
| Şekil 4.21. 16 katlı modeller üzerinde kolonlarda meydana gelen kesme kuvveti değişimi (a) $\%80$ çekme oranı (b) $\%40$ çekme oranı için..... | 53 |
| Şekil 4.22. 4 katlı modeller üzerinde kolonlarda meydana gelen moment değişimi (a) $\%80$ çekme oranı (b) $\%40$ çekme oranı için.....         | 54 |
| Şekil 4.23. 8 katlı modeller üzerinde kolonlarda meydana gelen moment değişimi (a) $\%80$ çekme oranı (b) $\%40$ çekme oranı için.....         | 55 |
| Şekil 4.24. 12 katlı modeller üzerinde kolonlarda meydana gelen moment değişimi (a) $\%80$ çekme oranı (b) $\%40$ çekme oranı için.....        | 56 |
| Şekil 4.25. 16 katlı modeller üzerinde kolonlarda meydana gelen moment değişimi (a) $\%80$ çekme oranı (b) $\%40$ çekme oranı için.....        | 56 |
| Şekil 4.26. Çekmeli binalarda, asimetrik çekme durumunun doğal titreşim periyoduna etkisi.....                                                 | 60 |
| Şekil 4.27. X doğrultusundaki görelî kat ötelenme değerlerinin değişimi (a) Simetrik (b) Asimetrik çekmeli binalar için .....                  | 62 |
| Şekil 4.28. Y doğrultusundaki görelî kat ötelenme değerlerinin değişimi (a) Simetrik (b) Asimetrik çekmeli binalar için .....                  | 63 |
| Şekil 4.29. X doğrultusunda kolonlarda meydana gelen kesme kuvveti değişimi (a) Simetrik (b) Asimetrik çekmeli binalar için .....              | 64 |
| Şekil 4.30. Y doğrultusunda kolonlarda meydana gelen kesme kuvveti değişimi (a) Simetrik (b) Asimetrik çekmeli binalar için .....              | 65 |
| Şekil 4.31. X doğrultusunda kolonlarda meydana gelen moment değişimi (a) Simetrik (b) Asimetrik çekmeli binalar için .....                     | 66 |
| Şekil 4.32. Y doğrultusunda kolonlarda meydana gelen moment değişimi (a) Simetrik (b) Asimetrik çekmeli binalar için .....                     | 67 |

## TABLÖLAR LİSTESİ

### **Sayfa No:**

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 3.1. Deprem yönetmeliklerindeki burulma düzensizliği tanımlamaları .....                                | 25 |
| Tablo 3.1. Devamı .....                                                                                       | 26 |
| Tablo 4.1. Çekme düzensizliği bulunan 4 katlı hesap modelleri .....                                           | 32 |
| Tablo 4.2. Çekme düzensizliği bulunan 8 katlı hesap modelleri .....                                           | 33 |
| Tablo 4.3. Çekme düzensizliği bulunan 12 katlı hesap modelleri .....                                          | 33 |
| Tablo 4.4. Çekme düzensizliği bulunan 16 katlı hesap modelleri .....                                          | 34 |
| Tablo 4.5. Taşıyıcı sistem boyutları.....                                                                     | 35 |
| Tablo 4.6. Yapısal modellerin analizinde kullanılan genel veriler .....                                       | 35 |
| Tablo 4.7. Simetrik ve asimetrik çekmeli bina modellerin tanımları .....                                      | 58 |
| Tablo 4.8. Çekme düzensizliği bulunan binaların ilk üç moduna ait periyotları.....                            | 59 |
| Tablo 4.9. 3D modeller üzerinde modal kütle katılım faktörünün değişimi.....                                  | 61 |
| Tablo 4.10. 8 katlı düzenli bina modeline ait x-y doğrultularındaki burulma<br>düzensizliği katsayıları ..... | 68 |
| Tablo 4.11. K8TBS1 bina modelinin x-y doğrultusundaki burulma düzensizliği<br>katsayıları.....                | 68 |
| Tablo 4.12. K8TBAS1 bina modelinin x-y doğrultusundaki burulma düzensizliği<br>katsayıları.....               | 69 |
| Tablo 4.13. K8TBAS2 bina modelinin x-y doğrultusundaki burulma düzensizliği<br>katsayıları.....               | 70 |
| Tablo 4.14. K8TBAS3 bina modelinin x-y doğrultusundaki burulma düzensizliği<br>katsayıları.....               | 70 |

## KISALTMALAR

**FEMA** : Federal Emergency Management Agency

**ASCE** : American Society of Civil Engineers

**TBDY** :Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

**KM** : Kütle Merkezi

**RM** : Rijitlik Merkezi



## SEMBOLLER

|                                   |                                                       |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------|
| <b>e</b>                          | : Kütle merkezi ve rijitlik merkezi arasındaki mesafe |
| <b><math>\eta_{bi}</math></b>     | : Burulma düzensizlik katsayısı                       |
| <b><math>D_i</math></b>           | : Burulma düzensizlik katsayısı büyütme çarpanı       |
| <b><math>A_X</math></b>           | : Burulma düzensizlik katsayısı büyütme faktörü       |
| <b><math>\Delta_{imax}</math></b> | : i. katın maksimum görelî ötelenmesi                 |
| <b><math>\Delta_{imin}</math></b> | : i. katın minimum görelî ötelenmesi                  |
| <b><math>\Delta_{iort}</math></b> | : i. katın ortalama görelî ötelenmesi                 |
| <b><math>R_A</math></b>           | : Çekme oranı                                         |
| <b><math>R_H</math></b>           | : Çekme kat seviye oranı                              |
| <b>A</b>                          | : Kule plan boyutu                                    |
| <b>L</b>                          | : Taban plan boyutu                                   |
| <b>h</b>                          | : Taban yüksekliği                                    |
| <b>H</b>                          | : Binanın toplam yüksekliği                           |

## 1. GİRİŞ

Deprem etkisi altındaki betonarme binaların tasarımında; hesap modeli, analiz ve tasarım yöntemlerindeki bir takım belirsizlikler ve varsayımlar nedeniyle, deprem yönetmelikleri betonarme binaların taşıyıcı sisteminin sade ve basit olması gerektiğini vurgulamaktadır. Ancak, çevremizde mevcut yapı stoku incelendiğinde betonarme binaların tasarımında sade ve basitlikten oldukça uzaklaşıldığı, hatta yönetmeliklerin düzensiz olarak nitelendirdiği binaların yaygınlaştığı görülmektedir. Bunun nedeni tasarım aşamasında, binanın deprem karşısındaki davranışından ziyade binanın kullanım amaçlarının göz önüne alınmasıdır. Şöyle ki, çevremizde var olan betonarme binaların zemin ve/veya birinci katları ticari amaçla kullanılırken, üst katları ise konut olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle ticari verimliliği arttırmak amacıyla alt katların üst katlara göre daha büyük plan alanına sahip olması kullanıcılar tarafından istenmekte olup; bu durum son yıllarda çekmeli binaların inşasını yaygınlaştırmaktadır. Özellikle çok katlı binaların inşa edildiği yerleşim bölgelerinde, alt katların daha fazla hava ve gün ışığından faydalanmalarını sağlamak amacıyla çekmeli bina tipi ihtiyacı doğmuştur.

Çekme, belirli bir kattan itibaren yukarıya doğru kat plan alanının belirli bir oranda azalması şeklinde tanımlanırken, düşey doğrultuda bina geometrisinin değişimine ve dolayısıyla bina üzerinde düşey geometrik düzensizlik oluşumuna neden olmaktadır. Bu tip binalar basitçe, çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinin üst ve alt kısmı olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Üst kısım (*küçük kat plan alanına sahip*) kule olarak adlandırılırken; alt kısım (*büyük kat plan alanına sahip*) taban olarak adlandırılmaktadır. Çekme bulunan betonarme binalarda, çekme bina üzerinde tek taraflı veya iki taraflı olarak simetrik veya asimetrik bir şekilde yapılabilir. Hatta çekme, düşey doğrultu üzerinde belirli bir kattan itibaren ani olarak veya kademeli olarak da yapılabilir. Çevremizde, belirli bir kattan itibaren ani olarak oluşturulan çekmeli binalar yaygın bir şekilde kullanılırken, kademeli olarak oluşturan çekmeli binalara da rastlanılmaktadır. Yapısal olarak çekme düzensizliği bulunan binalarda, düşeyde kat plan alanındaki ani azalmalar sistem üzerinde kütle, rijitlik ve dayanımda düzensizliklere neden olmaktadır [1]. Bu parametrelerdeki değişim aynı zamanda sistem üzerindeki yük dağılımında karmaşıklığa hatta; düşey taşıyıcı

elemanların iç kuvvetlerinde (*moment, kesme kuvveti*) ve görelî kat ötelenmelerinin bina yüksekliğince dağılımlarında ani bir artışa sebep olmaktadır [2,3]. Bu nedenle dünya deprem yönetmeliklerinde bu tip binalar düşey geometrik düzensizlik başlığı altında açıklanmakta ve düzensizlik kriterleri binanın geometrik boyutlarına bağılı olarak verilmektedir. Ayrıca bu düzensizlik tipi deprem hesap yönteminin seçiminde de etkili bir parametre olarak dikkate alınmaktadır. Ancak Türkiye’de günümüze kadar yayınlanan deprem yönetmeliklerinde, çekme düzensizliği ile ilgili tasarımı etkileyecek açık kurallar ve sınırlar bulunmamaktadır. Bu durum, bu tasarım uygulamasının geçmiş dönemlerde Türkiye’de çok yaygın olarak kullanılmamasından kaynaklanmaktadır. Ancak kentsel dönüşüm ile birlikte, şehir merkezlerinde sınırlı imar alanlarında, kâr marjı ve satış kabiliyeti yüksek bina ihtiyacı, çekmeli binaların inşasını yaygınlaştırmıştır. Bu binalar incelendiğinde ise, çekmelerin çoğunlukla ani ve asimetrik olarak oluşturulduğu ve düşey taşıyıcıların tasarımında çekmeden kaynaklanan olumsuzlukların genellikle dikkate alınmadığı gözlenmiştir. Özellikle betonarme binalar üzerinde çekmenin asimetrik oluşturulması halinde, kütle ve rijitlik bakımından sistemin düşey düzlem üzerinde düzensiz olmasının yanında, kule merkez kütesinin/rijitliğinin, taban merkez kütesine/rijitliğine göre eksantrik konumda bulunması nedeniyle düşey eksen etrafında kat dönmeleri oluşabilmekte, sistem üzerinde burulma ile karşılaşmaktadır. Sistem üzerinde burulma nedeniyle ilave yük etkileri oluşmaktadır. Bu yük etkileri ise bina dış kısmında 45<sup>0</sup> lik eğik burulma çatlakları ve taşıyıcı elemanlarda kesme kırılması gibi hasarların oluşumuna neden olmaktadır. Burulma ile ilgili bugüne kadar yapılan araştırmaların birçoğunda kütle ve rijitlik niceliklerinin planda düzensiz dağılımlarından kaynaklanan burulma sorunları üzerinde durulmuş olup, bu niceliklerin düşeyde düzensiz dağılımlarının incelendiği çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Günümüzde kullanımı giderek yaygınlaşan çekmeli binalarda, düşey doğrultudaki çekmeler nedeniyle oluşan burulma etkilerinin incelenmesi bu bakımdan önem arz etmektedir. Bu tez çalışmasıyla bu konuda yapılan sınırlı sayıdaki çalışmalara katkı sağlaması amaçlanmaktadır.

Bu nedenle bu tez çalışmasında, betonarme binalarda çekme düzensizliğinin; çekme oranı, çekmenin yapıldığı kat seviyesi, çekmenin bina üzerinde oluşturulma şekli (*asimetrik çekmeli binalar, simetrik çekmeli binalar*) ve kat sayısının binanın dinamik özellikleri (*periyot, son kat deplasmanları, görelî ötelenme oranı, modal katkı, kesme*

*kuvvet dağılımı, moment dağılımı*) üzerindeki etkisi incelenmektedir. Öncelikle çekme düzensizliği bulunan binalar üzerinde çekme oranı, çekmenin uygulandığı kat seviyesi ve kat sayısı parametrelerinin etkisini incelemek amacıyla, 4, 8, 12 ve 16 katlı modeller üzerinde çekme oranının 2 farklı değeri ve çekmenin oluşturulduğu 3 farklı kat seviyesi için 24 adet çekmeli binanın iki boyutlu (2D) modelleri oluşturulmuştur. SAP2000 [4] yapı analiz programı kullanılarak, mod birleştirme yöntemine göre bu modellerin analizleri gerçekleştirilmiş ve çekme düzensizliği bulunmayan (referans bina modelleri) modeller ile karşılaştırmalı olarak deprem davranışları grafiksel ortamda sunulmuştur. Bu tez çalışmasının amacını vurgulayan, sayısal çalışmanın ikinci bölümünde ise; çekme düzensizliği bulunan betonarme binalarda burulma davranışının incelenmesi amacıyla, düzlem modeller içerisinde seçilen 8 katlı, %80 çekme oranına sahip simetrik çekmeli bina modellerine ek olarak asimetrik çekmeli bina modelleri üç boyutlu (3D) oluşturularak, analizler yapılmıştır. Asimetrik çekmeli bina modellerinin kule ve taban kısmın kendi içerisinde simetrik olması nedeniyle kulenin taban kısma göre eksantrik konumundan dolayı düşey doğrultuda oluşan burulma etkisi incelenmektedir.

Bu tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır.

Çalışmanın birinci bölümünde, çekme düzensizliği bulunan binalar hakkında genel bilgi verilerek, tezin amacı ve kullanılan yöntem kısaca açıklanmaktadır.

İkinci bölümde, çekme düzensizliği bulunan betonarme binalar açıklanarak, bu tip binaların kullanımının mimari açıdan sağladığı avantajlı durumlar anlatılmaktadır. Ayrıca çekmeli binalar, Elazığ'dan ve ülkemizden verilen örnek bina fotoğraflarıyla desteklenerek çekmenin oluşturulma şekli hakkında bilgi verilmektedir. Bu tip binaların mimari bakımdan sağladıkları avantajlı durumun yanında, çekmenin deprem davranışı bakımından oluşturduğu dezavantajlı durumlarda bu bölüm içerisinde verilmektedir. Çekme bulunan binalarda var olan yapısal düzensizlikleri açıklamak adına deprem yönetmeliklerince öngörülen düzensizlik kriterleri de yine bu bölümde verilmektedir.

Üçüncü bölümde, literatürde çekme düzensizliği bulunan binalar üzerinde çekmenin oluşturulma şekli ( *ani, kademeli, simetrik, asimetrik* ) , çekme oranı ve çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinin binanın deprem davranışına etkisinin incelendiği çalışmalar kısaca verilmektedir. Ayrıca, çekmenin bina üzerinde asimetrik



oluşturulması nedeniyle sistem üzerinde oluşan burulma etkilerini açıklayabilmek için burulma ile ilgili literatürde bulunan çalışmalar da bu bölümde kısaca özetlenmektedir.

Dördüncü bölümde, tez kapsamında incelenen binalara ait yapısal özellikler ve analizlerden elde edilen sonuçlara ait grafikler deprem davranış parametrelerine (*doğal titreşim periyotu, son kat deplasmanı, görelı kat ötelenmeleri, modal kütle katılım faktörü, kolonlarda meydana gelen moment ve kesme kuvveti değişimi* ) bağlı olarak verilmiş ve değerlendirilmiştir.

Beşinci bölümde ise, 2D ve 3D analizlerden elde edilen veriler ışığında sonuç ve öneriler sıralanmış ve tez sonuçlandırılmıştır.



## 2. BETONARME BİNALARDA ÇEKME DÜZENSİZLİĞİ

Çekme, belirli bir kattan itibaren yukarıya doğru kat plan alanının belirli bir oranda azalması şeklinde tanımlanmaktadır [2]. Çekmeli binalar basitçe, çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinin üst kısmı ve alt kısmı olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Üst kısım (*küçük kat plan alanına sahip*) kule olarak adlandırılırken; alt kısım (*büyük kat plan alanına sahip*) taban olarak adlandırılmaktadır. Günümüzde zemin ve/veya birinci katların ticari amaçla, üst katların ise konut olarak kullanıldığı binalarda, alt katlarda üst katlara oranla daha büyük plan alanına ihtiyaç duyulması, çekmeli binaların inşasını yaygınlaştırmaktadır. Ayrıca yüksek binaların inşa edildiği yerleşim bölgelerinde, alt katların daha fazla hava ve gün ışığından faydalanmaları ve enerji tasarrufu sağlamak amacıyla, çekmeli binalara ihtiyaç giderek artmaktadır.

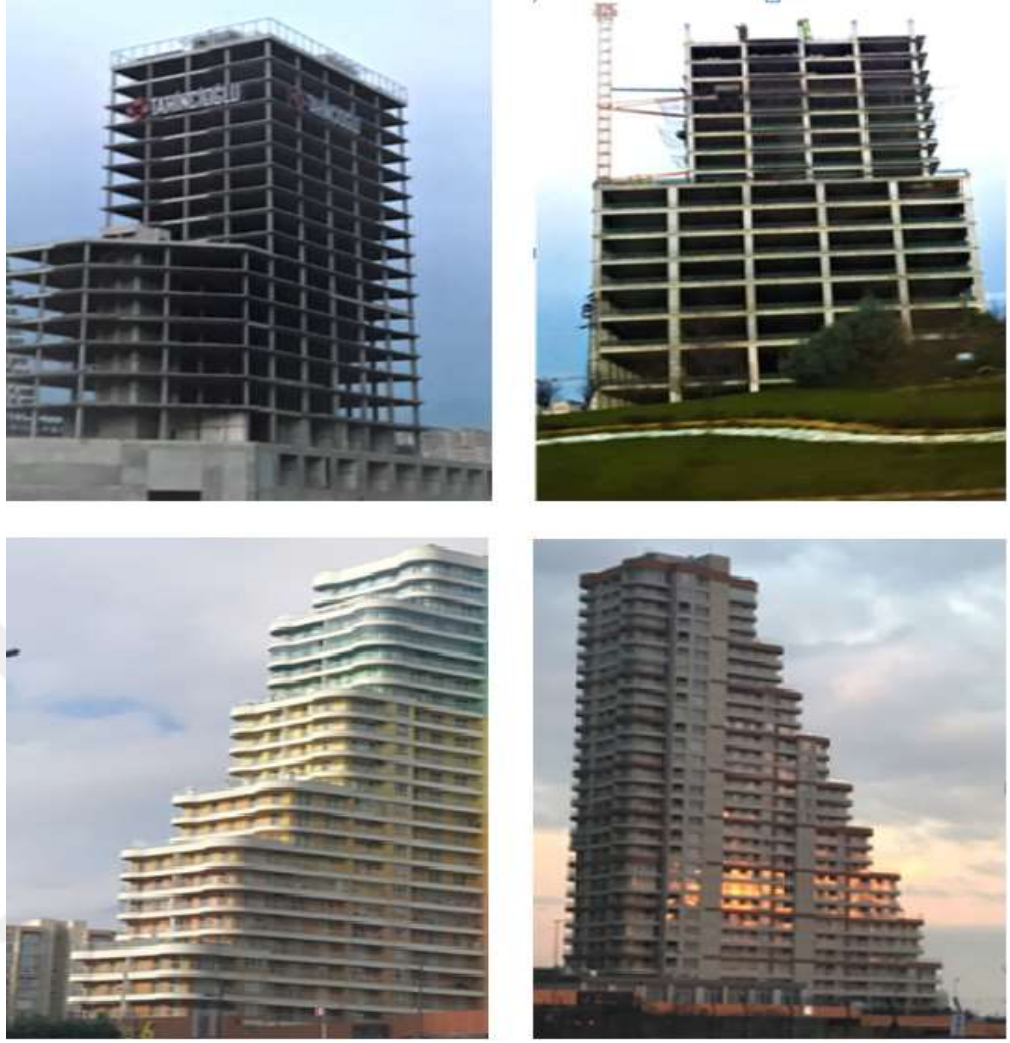
Çekme bulunan betonarme binalarda, çekme bina üzerinde tek taraflı veya iki taraflı olarak simetrik veya asimetrik bir şekilde yapılabilir. Hatta çekme, düşey doğrultu üzerinde belirli bir kattan itibaren ani olarak veya kademeli olarak da yapılabilir. Kısaca, çekmeli binalar, çekmenin oluşturulma şekline ve düşey eksen etrafındaki simetri durumuna bağlı olarak 2 başlık altında incelenebilir.

- 1) Çekmenin oluşturulma şekline göre;
  - a) Çekmenin belirli bir kattan itibaren aniden yapıldığı binalar
  - b) Çekmenin kademeli olarak yapıldığı binalar (*basamaklı binalar*)
- 2) Düşey eksen etrafındaki simetriye göre;
  - a) Simetrik çekmeli binalar
  - b) Asimetrik çekmeli binalar

Çekmenin belirli bir kattan itibaren aniden oluşturulduğu binalar yabancı literatürde, 'Set-back' olarak adlandırılırken [2]; çekmenin kademeli olarak oluşturulduğu, basamaklı binalar ise 'Stepped building' olarak adlandırılmaktadır [5]. Elazığ'da çekme bulunan betonarme binalar incelendiğinde, özellikle çekmenin belirli bir kattan itibaren aniden yapıldığı bina tipleriyle karşılaşmaktayken, ülke genelinde basamaklı bina tiplerine de rastlanılmaktadır. Elazığ'da ve ülkemizde kullanımı yaygın olan çekmeli binalara ait örnekler, Şekil 2.1'de ve Şekil 2.2' de verilmektedir. Aynı zamanda bu bina örnekleri, düşey eksen etrafındaki simetri durumuna bağlı olarak asimetrik çekmeli bina sınıfı içerisinde de incelenebilmektedir.



Şekil 2.1. Elazığ'da yaygın olarak kullanılan çekmeli bina örnekleri



**Şekil 2.2.** Ülkemizde yaygın olarak kullanılan çekmeli bina örnekleri

Çekmeli binalar mimari bakımdan ve fonksiyonellik bakımından büyük avantaj sağlasa da; çekme nedeniyle bu tip binaların deprem karşısındaki davranışları oldukça karmaşık bir hal almaktadır. Çekmeli binalarda, kullanım amacına uygun olarak plan boyutlarının bina yüksekliğiyle aniden değişmesinden dolayı kütle, rijitlik ve dayanımda ani azalmalar meydana gelebilmektedir [6]. Bu parametrelerdeki değişim aynı zamanda sistem üzerindeki yük dağılımında karmaşıklığa hatta düşey taşıyıcı elemanların iç kuvvetlerinde (moment, kesme kuvveti) ve göreceli kat ötelenmelerinin bina yüksekliği boyunca dağılımlarında ani bir artışa sebep olmaktadır [2]. Çekme bulunan binalarda, çekmenin belirli bir kattan itibaren ani olarak oluşturulması nedeniyle çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde kütle ve rijitlikte meydana gelen ani azalmalar, gerilme yığılmalarının bu seviyede toplanmasına neden olmaktadır. Buna karşı, basamaklı binalarda çekmenin bina yüksekliğince kademeli olarak

oluşturulmasıyla, gerilme yığılmalarının tek seviyede toplanmasının önüne geçilebilmektedir [7]. Yani çekme bulunan binaların, çekmenin oluşturulma şekli (*ani veya kademeli olarak*) deprem karşısındaki davranışı üzerinde etkili olmaktadır. Ayrıca çekmeli binalarda düşey eksen etrafındaki simetri durumu da binanın deprem davranışı üzerinde etkili bir başka parametre olmakta ve binanın burulma davranışı bakımından ayrıca önem arz etmektedir [6,8].

Betonarme binalarda yükseklik boyunca kütle, rijitlik ve dayanım niceliklerinin düzensiz dağılımına sebep olan çekme, deprem yönetmeliklerinde yapısal bir düzensizlik olarak ele alınmakta [2] ve düşey geometrik düzensizlik başlığı altında açıklanmaktadır. Deprem yönetmeliklerinde, düzensizlik kriterleri binanın geometrik boyutlarına bağlı olarak verilmekte ve bu düzensizlik tipi deprem hesap yönteminin seçiminde de etkili bir parametre olarak dikkate alınmaktadır. Eurocode 8 [9], FEMA 369 [10], ASCE-7 [11] ve IS 1893:2002 [12] gibi birçok dünya deprem yönetmeliği içerisinde çekme düzensizliği bulunan binalara ait düzensizlik koşullarına yer verilmekteyken, Türkiye’de günümüze kadar yayınlanan deprem yönetmeliklerinde çekmeli binalara ait düzensizlik koşulları hâlâ bulunmamaktadır. Bunun nedeni olarak, çekmeli binaların geçmişte ülkemizde yaygın bir şekilde kullanılmaması düşünülebilir. Aşağıda dünya deprem yönetmeliklerine göre çekme düzensizliği sınır değerleri ve hesap esasları kısaca özetlenmektedir.

## **2.1. Deprem Yönetmeliklerinde Çekme Düzensizliği Tasarım Koşulları**

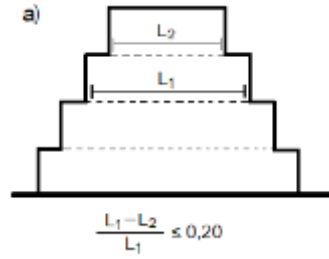
### **2.1.1. Eurocode 8: Earthquake Resistant Design of Structures**

Eurocode 8’de [9] bina üzerinde çekmenin oluşturulma şekline bağlı olarak (*kademeli veya aniden*) ve/veya çekmenin meydana geldiği kat seviyesine bağlı olarak 4 farklı durum göz önünde tutularak, çekmeli binalar çekme oranı bakımından sınırlandırılmıştır.

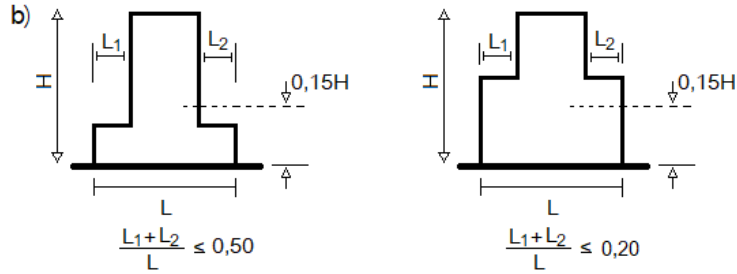
- a) Çekmenin simetrik yapıldığı basamaklı binalar için, çekme doğrultusuna paralel plan boyutundaki değişim bir üst veya alt kata göre %20’den büyük olmamalıdır (Şekil 2.3) .
- b) Çekmenin bina yüksekliğince aniden yapılması durumunda; çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinin bina toplam yüksekliğinin %15’inden alt seviyede

bulunması halinde, çekme oranı çekme doğrultusuna paralel plan boyutunun %50'sinden büyük olmamalı, yine aynı şekilde çekme seviyesi bina toplam yüksekliğinin %15'inden üst seviyede bulunması durumunda ise çekme oranı %20'den büyük olmamalıdır (Şekil 2.4.).

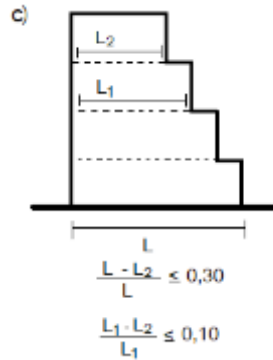
- c) Çekmenin asimetrik yapıldığı basamaklı binalar için; çekmenin oluşturulduğu ardışık katlar arasında, çekme doğrultusuna paralel plan boyutundaki değişim %10'dan büyük olmamalıdır. Ayrıca her bir çekme katın taban kısmına göre, çekme doğrultusuna paralel plan boyutundaki değişimi %30'dan büyük olmamalıdır (Şekil 2.5.).



Şekil 2.3. Eurocode 8'e göre simetrik basamaklı binalarda düzensizlik kriteri [9].



Şekil 2.4. Eurocode 8'e göre çekmenin belirli bir kattan itibaren aniden yapılması durumunda düzensizlik kriteri [9].



Şekil 2.5. Eurocode 8'e göre çekmenin asimetrik basamaklı binalarda düzensizlik kriteri [9].

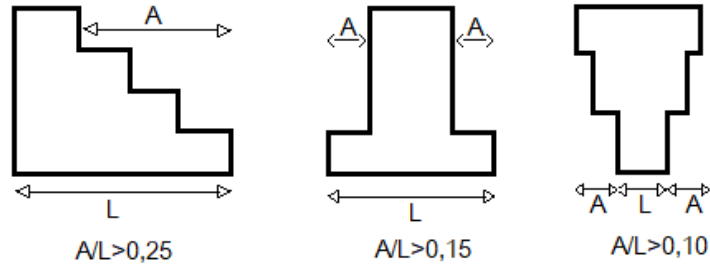
Bu kriterleri sağlayan yapı sistemleri Eurocode 8'e [9] göre düşey doğrultuda düzenli yapılar olarak tanımlanmıştır ve deprem hesabının yönetmelikte açıklanan statik bir hesap ile yapılabileceği, aksi durumda ise dinamik çözüme ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir.

Ayrıca, bu yönetmeliğe göre yapısal düzensizliklerin bina üzerinde bulunması, hesap yönteminin yanı sıra hesap modelinin seçiminde de etkili olmaktadır. Şöyle ki; Eurocode 8' de plan üzerinde düzenli ancak düşey doğrultuda düzensiz betonarme binaların hesap modeli iki boyutlu (2D) olarak oluşturulabilirken; hem planda hem de düşeyde düzensiz betonarme binaların hesap modelinin üç boyutlu (3D) olarak oluşturulması gerekliliği belirtilmiştir. Bu nedenle bu çalışmanın sayısal inceleme bölümünde, analizler 2D ve 3D oluşturulan hesap modelleri üzerinden yürütülmüştür.

### **2.1.2. FEMA 369: Federal Emergency Management Agency**

FEMA 369'a göre [10]; çekmeli binalar düşey geometrik düzensizlik başlığı altında incelenmekte olup düzensizlik durumu, düşey eksen etrafında bina geometrisinin simetrik olmaması şeklinde tanımlanmaktadır. Yani, FEMA 369 düzensizlik kriterini öncelikle düşey eksen etrafındaki simetri durumuna bağlı olarak açıklamaktadır. Ancak bina geometrisi düşey eksen etrafında simetrik olsa bile, düşeyde bir veya birkaç katta yatay doğrultudaki plan boyutunun azalması şeklinde yapılan çekmeler sistem üzerinde düşey düzensizlik oluşturabilmektedir. Bu şekilde yapılan çekmeler sistem üzerinde düzensizliğe sebebiyet vermemek için; yatay doğrultudaki en büyük plan boyutunun, en küçük plan boyutuna oranı %130 değeri ile sınırlandırılmıştır. Şekil 2.6' da verilen FEMA 369'a ait düzensizlik kriterlerine göre, düşey eksen üzerinde üst katlara doğru yatay doğrultudaki plan boyutunun azalması geometrik düzensizlik oluşumuna neden olurken; üst katlara doğru plan boyutundaki artışlar da geometrik düzensizlik olarak kabul edilmektedir. Hatta bu durum sistem üzerinde ters piramit etkisi terimiyle açıklanmaktadır.





Şekil 2.6. FEMA'ya göre düşey geometrik düzensizlik kriterleri [10].

### 2.1.3. ASCE 7: American Society of Civil Engineers

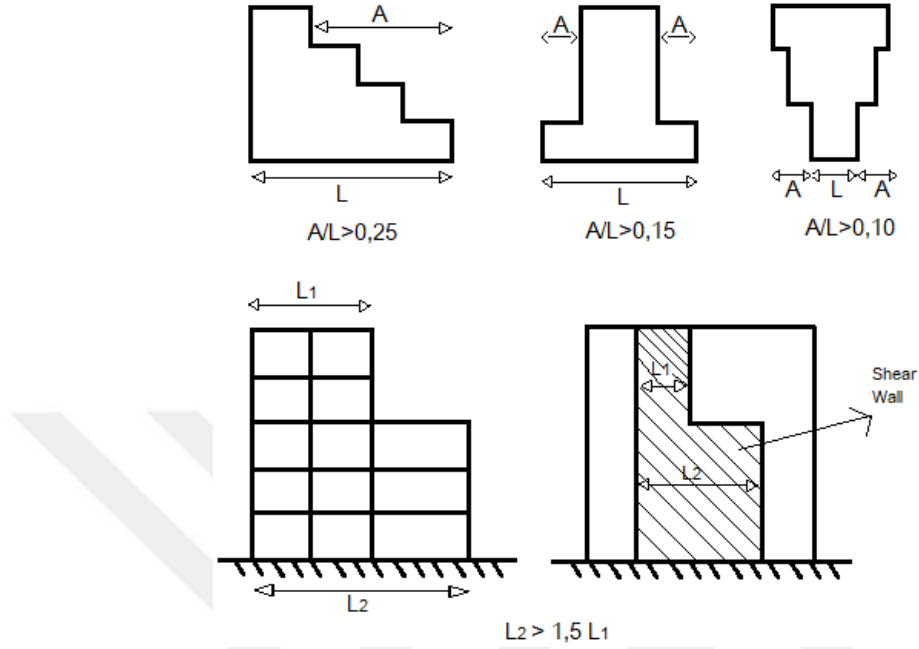
ASCE'e göre [11]; çekmeli binalar, diğer deprem yönetmeliklerine benzer olarak, düşey düzensizlikler başlığı altında düşey geometrik düzensizlik olarak açıklanmakta olup, taşıyıcı sisteminde herhangi bir katın yatay doğrultudaki plan boyutunun ona komşu diğer katların yatay boyutuna oranı %130'dan fazla ise düzensizlik olarak ele alınmaktadır. Ayrıca düşey düzensizliklerin sistem üzerinde var oluşu hesap yönteminin belirlenmesinde etkili olmaktadır. Bu yönetmeliğe göre, düşey geometrik düzensizliğe sahip binaların hesap yönteminde Eurocode 8' e benzer bir şekilde statik analize izin verilmeyip, dinamik analiz yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir.

### 2.1.4. IS 1893:2002 Indian Standard Criteria for Earthquake Resistant Desing of Structures

IS 1893:2002'de [12] de diğer deprem yönetmeliklerinde olduğu gibi çekmeli binalara ait sınırlamalar, düşey düzensizlikler başlığı altında düşey geometrik düzensizlik olarak açıklanmaktadır. Bu deprem yönetmeliğine göre düşey geometrik düzensizlik kriterleri Şekil 2.7' de verilmiş olup, diğer deprem yönetmeliklerinden farklı olarak, düzensizlik kriterinde taşıyıcı sistem (çerçeve sistem, perde-çerçeve sistem) göz önünde bulundurulmaktadır. Taşıyıcı sisteminde herhangi bir katın yatay doğrultudaki plan boyutunun ona komşu diğer katların yatay boyutuna oranı %150'den fazla ise düzensizlik olarak ele alınmaktadır. Ayrıca simetrik olmayan basamaklı binalar için düzensizlik kriteri %25 ile sınırlandırılmışken; çekmenin belirli bir katta aniden ve simetrik oluşturulduğu binalarda çekme oranı %15 ile sınırlandırılmıştır. Bu deprem yönetmeliğinde de FEMA 369'da [10] sunulan düzensizlik kriterlerine benzer olarak,



üst katlara doğru plan boyutundaki artışlar geometrik düzensizlik olarak kabul edilmektedir.



Şekil 2.7. Hindistan deprem yönetmeliğine göre düşey geometrik düzensizlik kriterleri [12].

Özetle, betonarme binalar üzerinde çekme uygulaması, deprem yönetmeliklerinde düşey geometrik düzensizlik adı altında açıklanmış ve düzensizlik kriterleri binanın geometrik boyutlarına bağlı olarak verilmiştir. Deprem yönetmeliklerinde düzensizlik kriterleri, çekmenin bina üzerinde oluşturulma şekli (*çekmenin belirli bir kattan itibaren ani veya kademeli olarak oluşumu*) ve düşey eksen etrafındaki simetri durumu göz önüne alınarak tanımlanmıştır. Ayrıca, deprem yönetmeliklerinde binalar üzerinde var olan yapısal düzensizlikler, deprem hesap yönteminin ve/veya hesap modelinin seçiminde de etkili olmuştur. Şöyle ki; ASCE' e göre [11] çekme düzensizliğinin bina üzerinde bulunması hesap yönteminin seçiminde etkiliyken, Eurocode 8'e göre [9] hem hesap yöntemi hem de hesap modelinin seçiminde etkili olmaktadır. Deprem yönetmeliklerine paralel olarak literatürde, çekme düzensizliği bulunan betonarme binalarda çekme oranı, çekmenin oluşturulduğu kat seviyesi ve düşey eksen etrafındaki simetri durumunun binanın dinamik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmektedir.

### 3. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Çekmeli binalarda düşey doğrultu boyunca plan boyutlarındaki ani azalmadan dolayı çekme, deprem yönetmeliklerinde yapısal bir düzensizlik olarak incelenmekte ve çekme oranı ( *taban ve kulenin plan boyutları arasındaki farkın taban plan boyutuna oranı* ) bakımından sınırlandırılmaktadır. Literatürde, deprem yönetmeliklerinde çekmeli binalara ait düzensizlik tanımları yerine kullanılabilecek, binanın dinamik davranışlarına bağlı düzensizlik tanımları üzerine çalışmalar yapılmış ve hâlâ bu konudaki çalışmalar devam etmektedir.

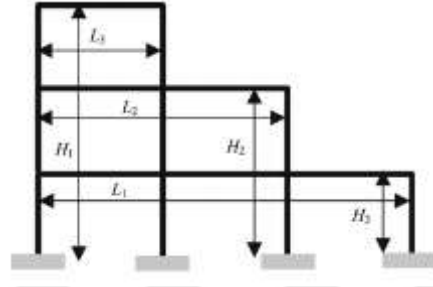
Ayrıca literatür çalışmalarında, çekme düzensizliği bulunan binalarda deprem sırasında, çekme oranı, çekmenin uygulandığı kat seviyesi ve düşey eksen etrafındaki simetri durumunun, binanın deprem davranışına etkisi çok yönlü incelenmektedir. Bugüne kadar yapılan birçok çalışmada, bu parametrelerin binaların dinamik davranışı (*doğal titreşim periyodu, mod şekli, modal katkı, kat deplasmanları, göreceli kat ötelenme oranı, kat kesme kuvveti, deformasyon talepleri, süneklik oranı vb.* ) üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Çekme düzensizliği bulunan binalar üzerine literatürde, çok sayıda teorik çalışma [1, 2, 5-8, 13-24] bulunmasına rağmen deneysel çalışmaların [25,26] sayısı oldukça sınırlıdır. Çekme düzensizliğinin, betonarme binaların yanında çelik binalar üzerinde de incelendiği çalışmalar [7,8] literatürde mevcuttur. Çalışmanın bu bölümünde öncelikle çekme düzensizliği ile ilgili literatür çalışmaları verilmektedir. Çekme düzensizliği bulunan binaların deprem karşısındaki burulma davranışının da incelendiği bu tez çalışmasında, burulma etkisinin anlaşılabilir olmasını sağlamak amacıyla burulma düzensizliği ile ilgili literatür çalışmalarına bu bölümün son kısmında yer verilmektedir.

#### 3.1. Çekme Düzensizliği ile İlgili Literatür Araştırması

Deprem yönetmeliklerinde çekmeli binalara ait düzensizlik kriteri binanın geometrik boyutlarına bağlı olarak verilmektedir. Literatürde ise deprem yönetmeliklerinde verilen düzensizlik kriterlerine alternatif olarak farklı yaklaşımlar önerilmektedir [7,13,14].

Karavasilis vd.'e [7] göre çekmeli binalarda düzensizlik kriteri, Şekil 3,1'de verilen bina üzerinden geometrik boyutlara bağlı 2 değişkenle ( $\phi_s$ ,  $\phi_b$ ) ifade edilmektedir.

Denklem 3.1 ile verilen  $\phi_s$  değişkeni, bina üzerinde yatay doğrultudaki çekme oranını ifade ederken; denklem 3.2 ile verilen  $\phi_b$  değişkeni ise düşey doğrultuda çekmenin oluşturulduğu kat seviyesini ifade etmektedir.  $\phi_s$  ve  $\phi_b$  değişkenlerinin 1'den büyük olması durumu düzensizlik olarak kabul edilmektedir. Ayrıca bu denklemlerde,  $\eta_s$  simgesi sistemin kat sayısını tanımlarken;  $\eta_b$  simgesi çerçevenin açıklık sayısını belirtmektedir.



Şekil 3.1. Karavasilis vd. tarafından önerilen düzensizlik kriteri tanımında kullanılan bina geometrisi [7].

$$\phi_s = \frac{1}{n_s - 1} \sum_{i=1}^{n_s-1} \frac{L_i}{L_{i+1}} \quad (3.1)$$

$$\phi_b = \frac{1}{n_b - 1} \sum_{i=1}^{n_b-1} \frac{H_i}{H_{i+1}} \quad (3.2)$$

Karavasilis vd. [7] tarafından önerilen düzensizlik kriterinin 2 değişkene bağlı olması ve bina yüksekliğince kütle ve rijitlik düzensizliklerinin dikkate alınmaması sakıncalı bir durum oluşturmaktadır. Çekme düzensizliği bulunan binalarda, düşey doğrultuda kütle ve rijitliğin düzensiz dağılımı nedeniyle literatürde yapılan başka çalışmalarda, düzensizlik kriterinin binanın dinamik özelliklerine bağlı olarak verilmesi önerilmiştir [13,14]. Şöyle ki; Sarkar vd.'nin [13] basamaklı binalar üzerine yaptıkları çalışmada, düzenli binalar üzerinde 1. modun baskın olup ve düzensizliğin artmasıyla 1. mod etkisinin azalarak, yüksek modların etkin hale gelmesi nedeniyle 1. mod'a ait modal katkı faktörüne bağlı olarak denklem 3.3 ile belirtilen düzensizlik kriteri önerilmiştir.

$$\eta = \frac{r_1}{r_{ref}} \quad (3.3)$$

Denklem 3.3 ile verilen düzensizlik kriteri tanımında;  $\Gamma_1$  ,düzensiz binanın 1. moduna ait modal katkı faktörünü belirtirken;  $\Gamma_{ref}$  ,çekme bulunmayan (referans) binanın 1. moduna ait modal katkı faktörünü belirtmektedir.

Yine benzer şekilde, Varadharajan vd.'nin [14] yaptıkları çalışmada düzensizlik kriteri binanın dinamik özelliklerine bağlı olarak önerilmiştir. Deprem kuvveti etkisindeki binanın en önemli dinamik özelliklerinin doğal titreşim frekansı ve kütle katılım faktörü olması nedeniyle, bu parametrelerden herhangi birine bağlı olarak düzensizlik indeksi önerilebilmektedir. Ancak bu çalışmada kütle katılım faktörü üzerinde doğal titreşim frekansının baskın olmasından dolayı, düzensizlik kriteri denklem 3.4'te belirtildiği gibi doğal titreşim frekansına bağlı olarak verilmektedir.

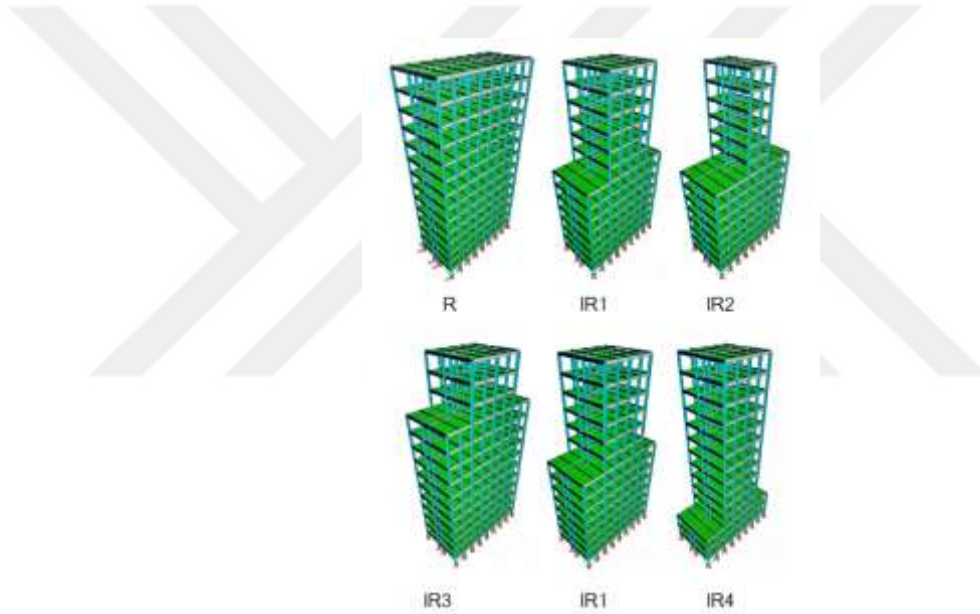
$$\lambda_r = \sum_{i=1}^k \frac{\omega_{ir}}{\omega_r} \quad (3.4)$$

Denklem 3.4 ile verilen düzensizlik kriteri tanımında;  $\omega_{ir}$  , düzensiz binanın doğal titreşim frekansını ifade ederken;  $\omega_r$  , çekme bulunmayan (referans) binanın doğal titreşim frekansını ifade etmektedir.

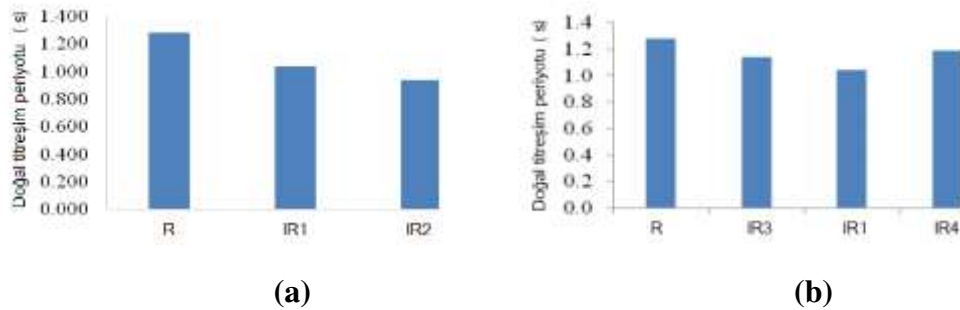
Çekme düzensizliği bulunan betonarme binalarda, yapısal düzensizlik kaynaklı ana problemlerden bir diğeri ise, yer hareketi nedeniyle çekmenin oluşturulduğu kat seviyesi civarında gerilme yığılmalarının oluşmasıdır [15]. Bu nedenle deprem yönetmelikleri bu tip binaları çekme oranı açısından sınırlandırmaktadır. Buna paralel olarak literatür çalışmalarında, bu tip binalarda özellikle çekme oranının ve çekmenin uygulandığı kat seviyesinin etkisi incelenmiş ve bu parametrelerin binaların dinamik davranışı (*periyot, mod şekli, modal katkı, kat deplasmanları, görelî kat ötelenme oranı, kat kesme kuvveti, süneklik oranı vb.* ) üzerinde önemli etkiye sahip olduğu belirtilmiştir [7,14-23].

Literatür çalışmalarında, dinamik davranış parametrelerinden biri olan doğal titreşim periyodu üzerinde, çekme oranı ve uygulandığı kat seviyesinin önemli etkiye sahip olduğu görülmektedir [16-18]. Örneğin, Şekil 3.2' de verilen çekmeli bina modelleri üzerinde doğal titreşim periyodundaki değişim incelendiğinde, çekme oranındaki artışla periyodun azaldığı görülmektedir (Şekil 3.3) [16]. Bu azalma kütledeki azalımdan kaynaklanmakta ve özellikle çekmenin meydana geldiği kat seviyesinin, bina orta yüksekliğine yakın olması halinde belirgin olarak görülmektedir (Şekil 3.3-a) [17].

Doğal titreşim periyodu üzerinde çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinin etkisi incelendiğinde ise özellikle çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinin bina orta yüksekliğinden alt seviyede bulunması halinde (*çekme oranının sabit olma durumunda*) diğer çekmeli modellere göre periyodun arttığı görülmektedir (Şekil 3.3-b). Periyottaki bu artış ise rijitlikteki azalmadan kaynaklanmaktadır [16]. Bu duruma benzer olarak literatürde var olan bir başka çalışmada, çekme bulunan rijit çerçevelerin, daha az rijit olanlardan daha uzun doğal titreşim periyoduna sahip olduğu görülmüş ve bu durum çekme nedeniyle bina üzerinde kütlelerin rijitliğe göre daha büyük oranda azaltılmasına bağlanmıştır [18].



**Şekil 3.2.** Doğal titreşim periyodunun değişiminin incelendiği çekmeli bina modelleri [16].

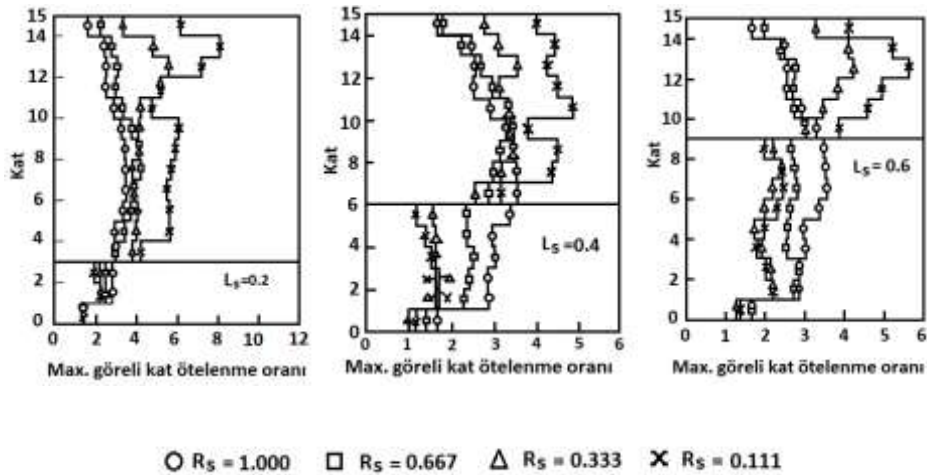


**Şekil 3.3.** Şekil 3.2 ile verilen modellere ait doğal titreşim periyodundaki değişim [16].

Literatür çalışmalarından elde edilen bir başka bulguda, kat plan alanının düşey doğrultuda belirli bir kattan itibaren aniden azaltılması nedeniyle çekme düzensizliği

bulunan betonarme binalar üzerinde, bina yüksekliğince 3 tip düzensizlik (*kütle, rijitlik ve dayanım* ) etkili olmaktadır. Bu düzensizliklerin binanın deprem davranışı üzerindeki etkisi incelendiğinde, kütle düzensizliğinin diğer düzensizliklere göre etkisinin en az olduğu ve dayanım düzensizliğinin ise diğer düzensizliklere göre etkisinin en fazla olduğu görülmektedir [1,19].

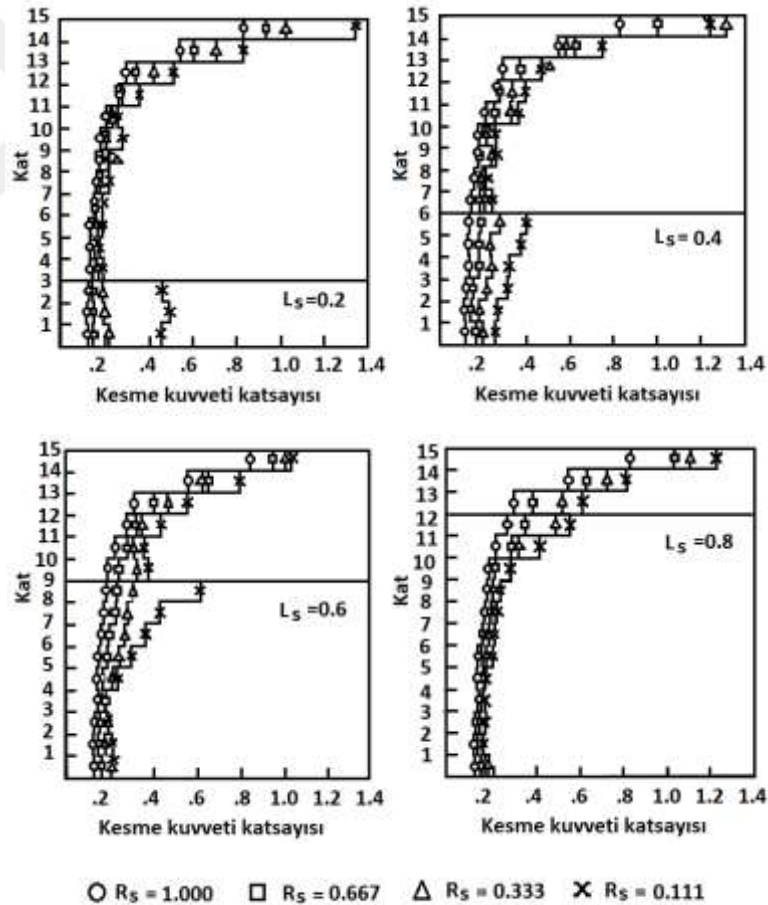
Çekme düzensizliği bulunan binalarda, çekme etkisiyle düşey doğrultuda kütle ve rijitlikte ani değişimler ve dolayısıyla sistem üzerinde, hem kütle hem de rijitlik düzensizlikleri etkili olmaktadır. Çekmeli binalar üzerinde etkili olan kütle ve rijitlik düzensizlikleri, görelî kat ötelenme değerlerinin bina yüksekliğince dağılımlarında da etkin rol üstlenmektedir. Bu tip binalar üzerine yapılan literatür çalışmalarında [3,15-17,20], çekme düzensizliği bulunan binalarda, düzenli binalara kıyasla kule kısmı için daha büyük görelî kat ötelenme değerleriyle karşılaşılmakta, bunun tersine taban kısım için düzenli binalara göre daha küçük görelî ötelenme değerleriyle karşılaşılmaktadır. Özellikle çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde görelî kat ötelenme değerlerinde ani artışlar gözlenmektedir. Şekil 3.4 ile verilen grafiklerde de bu durum açıkça görülmektedir. Çekmeli binalarda çekme oranındaki artışla ve çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinin, bina orta yüksekliğinin altında bulunması halinde bu artışlar büyümektedir [3,15-17,20].



Şekil 3.4. Çekme düzensizliği bulunan modellerde yükseklik boyunca görelî ötelenme oranlarının dağılımı [17].

NOT:  $R_s$  oranı; kule plan boyutunun, taban plan boyutuna oranı

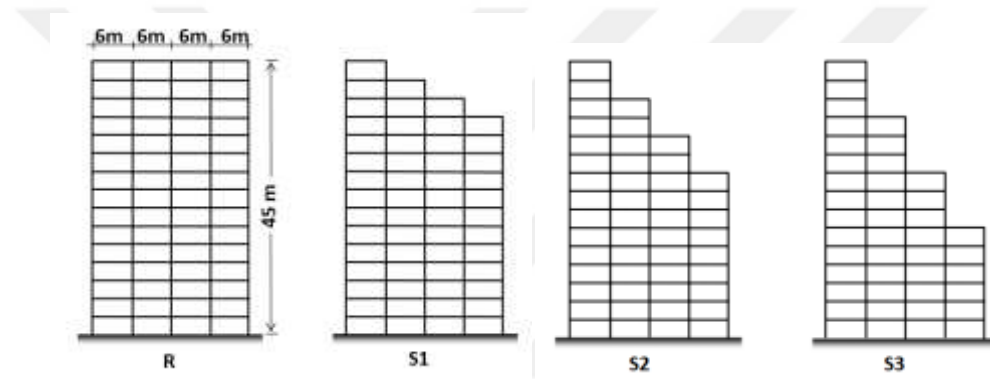
Literatürde, çekme düzensizliği bulunan betonarme binalar üzerinde kat kesme kuvvetinin değişimi, çekme oranı ve çekmenin oluşturulduğu kat seviyesi bakımından incelenmiştir [3,17]. Düzenli binalarda bina yüksekliğince üst katlara doğru kat kesme kuvveti artmakta olup, üst kat için bu artış daha belirgin olmaktadır. Çekmeli binalarda ise çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinden bağımsız olarak, düzenli binalara kıyasla kat kesme kuvveti daha fazla olup, hatta çekme oranındaki artışa paralel olarak daha belirgin hale gelmektedir (Şekil 3.5). Çekmeli binalar üzerinde rijitliğin bina yüksekliğince düzensiz dağılımı, çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde iç kuvvetlerde (*kat kesme kuvveti, moment*) ani artışlara neden olmaktadır [3,17]. Çekme oranındaki artışla, kule ve taban arasındaki geçiş bölgesinde (*çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde*) bu ani artışlar büyümektedir. Ayrıca bu ani artış durumu, yabancı literatürde ‘notch effect’ terimiyle açıklanmaktadır [17].



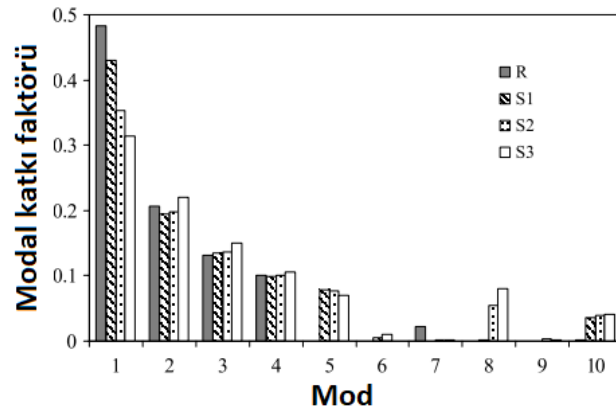
Şekil 3.5. Çekme düzensizliği bulunan modellerde kat kesme kuvvetinin yükseklik boyunca dağılımı [17].

Literatürde, binaların dinamik davranışları (*modal katkı faktörü*) üzerinde çekme etkisi irdelenmiştir. Çekme düzensizliği bulunan ve bulunmayan (*düzenli*) binaların

dinamik özellikleri incelendiğinde; düzenli binalarda, taban kesme kuvvetine ilk modların katkısı yüksek modların katkısından daha fazladır. Çekme düzensizliği bulunan binalarda ise yüksek modların katkısı daha fazla olup, hatta çekme oranındaki artışla ve çekme kat seviyesinin bina orta yüksekliğinin altında bulunması halinde yüksek modların katkısı artmaktadır. Yani düzensizliğin artması ile yüksek modların katkısı da artmaktadır [13,15]. Çekmeli binalarda özellikle üst katlarda kat kesme kuvvetinde meydana gelen artışlar da bir bakıma kule davranışı üzerinde yüksek modların önemli etkisini göstermektedir [17]. Sarkar vd. [13] tarafından yapılan çalışmada Şekil 3.6'da belirtilen modeller üzerinde bu etkiler açıkça görülmektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.6. Sarkar vd. tarafından yapılan çalışmada kullanılan bina modelleri [13].

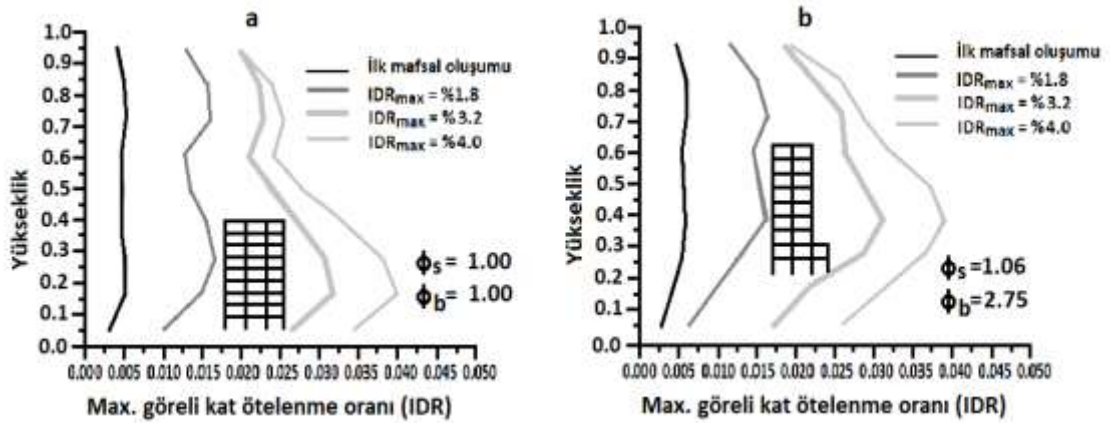


Şekil 3.7. 8 katlı modeller üzerinde modal katkı faktörünün değişimi [13].

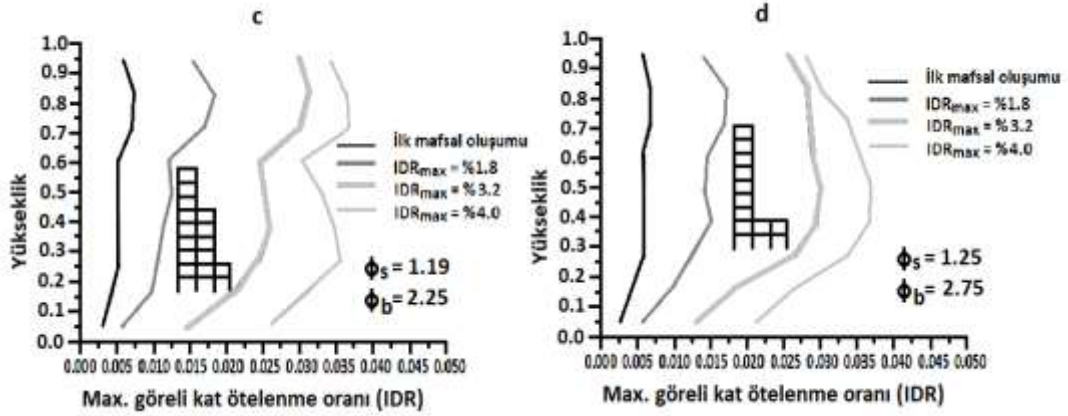
Deprem yönetmeliklerince, yapısal düzensizliklerden biri olarak kabul edilen çekme düzensizliği, binaların deprem karşısındaki performansını önemli ölçüde düşürmektedir. Deprem davranışı bakımından sakıncalı olarak görülen bu tip binalarda, güçlü



depremler sonrası yapısal hasarlar meydana gelmektedir [21,22]. Misal, 1978 Selanik depremi sırasında hasar gören binalar incelendiğinde; yaklaşık %16' sının düzenli binalar (*çekme düzensizliğinin olmadığı binalar*) olduğu, % 30' unun ise çekmeli binalar olduğu saptanmıştır [23]. Literatürde Karavasili vd. [7] yaptıkları çalışmada, bu tip binalar çerçeve model olarak ele alınmış ve deformasyon talepleri incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda; çekmeli binanın geometrik şeklinden bağımsız olarak, tüm modellerde elastik deformasyon taleplerinin yükseklik boyunca eşit dağılım sergilediği görülmektedir (Şekil 3.8). Ancak elastik olmayan deformasyon taleplerinin yükseklik boyunca dağılımında, çekmeli binanın geometrisi önemli rol oynamaktadır. Şöyle ki; düzenli binalarda (*çekme düzensizliği bulunmayan*), elastik olmayan deformasyon talepleri için hasarlar alt katlarda yoğunlaşmaktadır (Şekil 3.8-a). Çekmenin belirli bir katta aniden yapıldığı, yani kule benzeri yapılarda ise çekmenin oluşturulduğu kat seviyesi civarında, binanın orta yüksekliğine yakın bölgede hasarların yoğunlaştığı ve taban kısmından kule kısmına doğru gidildikçe hasarların arttığı görülmektedir (Şekil 3.8-b ve Şekil 3.8-d). Bu elastik olmayan deformasyon talepleri basamaklı binalar üzerinde incelendiğinde ise hasarların, çekmenin oluşturulduğu kat seviyelerinde olduğu görülmektedir (Şekil 3.8-c).

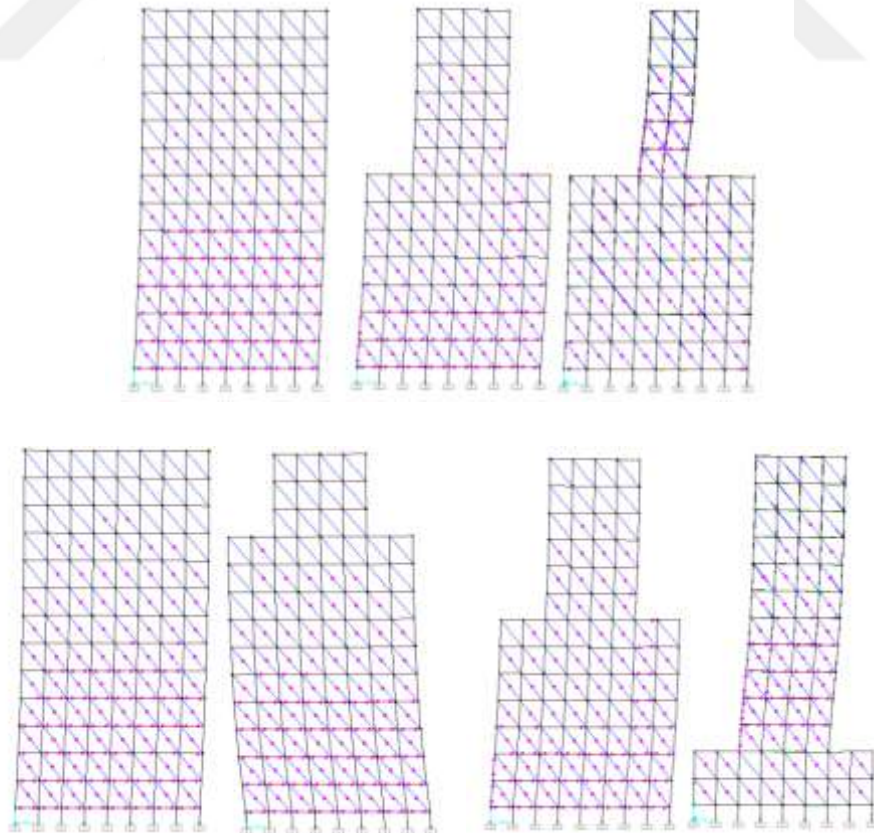


**Şekil 3.8.** Çekmeli ve düzenli bina modelleri üzerinde elastik ve elastik olmayan deformasyon taleplerinin yükseklik boyunca dağılımı [7].



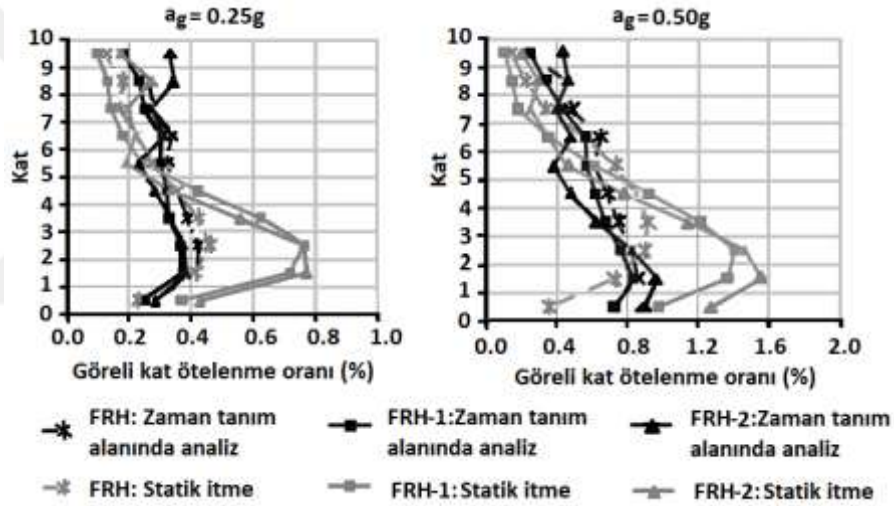
Şekil 3.8.'in Devamı Çekmeli ve düzenli bina modelleri üzerinde elastik ve elastik olmayan deformasyon taleplerinin yükseklik boyunca dağılımı [7].

Ayrıca literatürde bulunan çalışmalarda, çekme oranının artması halinde ve yine çekmenin bina orta yüksekliğinin altında bir seviyede oluşturulma durumlarında hasarların çekme kat seviyesinde daha belirgin bir hal aldığı gözlenmekte olup, hasarların bina yüksekliğince dağılımları Şekil 3.9' da verilmektedir [7,14,16].



Şekil 3.9. Yükseklik boyunca hasarların dağılımına çekme oranı ve çekme kat seviyesinin etkisi [16].

Çekme düzensizliği bulunan binaların deprem sırasında düşük performans sergilemesi nedeniyle statik itme gibi performansa dayalı analiz türü bu tip binaların dinamik davranışını açıklama bakımından temel bir yöntem olarak kullanılabilir [24]. Ancak, Athanassiadou' a [18] göre düzensiz binalarda statik itme ve zaman tanım alanında analizlerden elde edilen görel kat ötelenme oranında büyük fark bulunmaktadır. Şöyle ki; çekme düzensizliği bulunan binalarda statik itme analizi dinamik analize göre yapının taban kısmında görel ötelenme değerlerini yaklaşık %100 oranında fazla değerlendirirken, yapının kule kısmında bu değerleri yaklaşık % 50 oranında daha az değerlendirmektedir (Şekil 3.10) . Bu durum statik itme analiz yönteminin, düzensiz binalarda düzensizliğin artmasıyla, yapısal davranış üzerinde önemli olan yüksek mod etkilerini yansıtmaması ile ilişkilendirilebilmektedir [18].

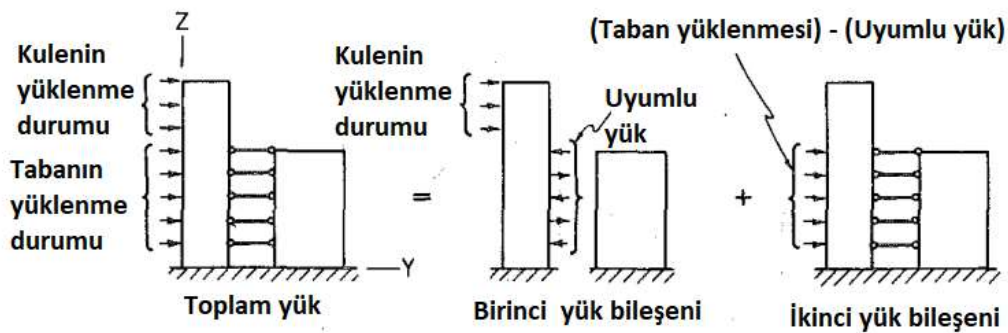


**Şekil 3.10.** Statik itme ve zaman tanım alanında analiz yöntemlerine göre görel kat ötelenme oranlarındaki değişim [18].

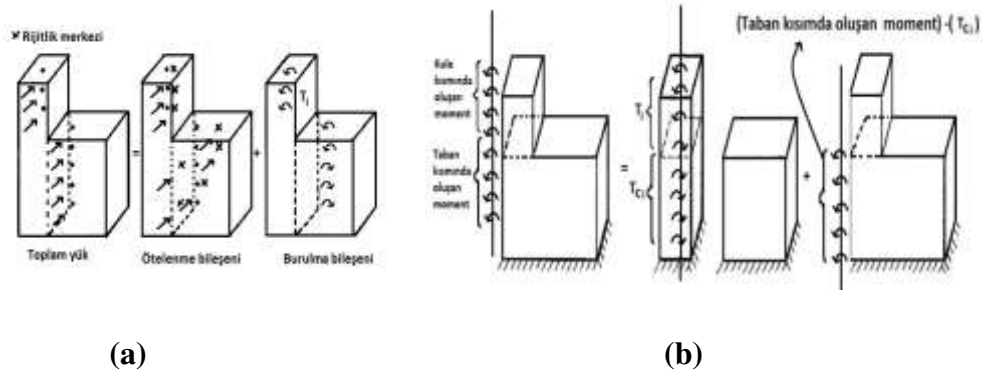
Deprem yönetmeliklerinde de bu duruma paralel olarak, çekme düzensizliği bulunan sistemlerin deprem hesabında, sistem üzerinde yüksek modların etkisini ortaya koymak amacıyla statik analiz yöntemlerinin kullanımına müsaade edilmemekte, dinamik analiz yöntemlerinin kullanımı zorunlu kılınmaktadır [9,11]. Çekme düzensizliği bulunan binaların deprem hesabında hesap yöntemi seçimindeki önemin yanı sıra binanın tasarım aşamasında deprem gibi yatay yük etkisi oluşturan yüklemelerin yükseklik boyunca dağılımının en uygun biçimde belirlenmesi de oldukça önemlidir. Ancak çekme düzensizliği bulunan sistemlerde bina yüksekliğince rijitliğin ani olarak değişmesi nedeniyle, çekmenin uygulandığı kat seviyesi civarında yük dağılımı oldukça

karmaşık bir hal almaktadır. Bu karmaşıklık simetrik olmayan çekmeli binalarda, özellikle kütle ve rijitliğin düşey doğrultuda düzensiz dağılımı nedeniyle oluşan burulma etkisinden kaynaklanmaktadır [5,6].

Literatürde çekme nedeniyle yanal yük dağılımındaki karmaşıklığın çözümlenmesinde Şekil 3.11’de açıklanan uyumlu yük dağılımı önerilmektedir [5]. Önerilen bu yük dağılımına göre, yükler iki bileşen halinde sisteme etki ettirilmektedir. Yanal yüklerin sadece kule kısmına etki ettirilmesi ve buna karşı taban kısmında oluşan bir dizi uyumlu yük etkisi birinci bileşeni oluşturmaktayken, yanal yüklerin sadece taban kısmına etki ettirilmesi durumu ikinci bileşeni oluşturmaktadır (Şekil 3.11). Ancak bu yük dağılım şekli simetrik çekmeli binalar için geçerli olmakla birlikte, simetrik olmayan binalar için sistem üzerinde oluşan burulma etkisi de yanal yük dağılımında etkin olmaktadır. Şöyle ki; simetrik olmayan çekmeli binalarda eksantirisite ve yanal yüke bağlı olarak oluşan burulma ve burulma etkisi nedeniyle taşıyıcı sistem elemanları üzerinde oluşan ek yüklerin belirlenmesi ayrıca önem arz etmektedir. Asimetrik çekmeli binalarda oluşan burulma etkisi, ötelenme ve burulma olmak üzere iki bileşen halinde sisteme etki ettirilmelidir (Şekil 3.12-a). Ötelenme bileşeninin yanal yük dağılımı simetrik binalarda olduğu gibi iki bileşen şeklinde sisteme uygulanabilirken (Şekil 3.11), burulma bileşeninin yanal yük dağılımında, sistem üzerinde oluşan burulma momentini belirlemek için öncelikle rijitlik merkezleri bulunmalı, daha sonra iki bileşen şeklinde sisteme etki ettirilmelidir (Şekil 3.12-b) [5].



Şekil 3.11. Uyumlu yük dağılımına göre yanal yüklerin sisteme yüklenmesi [5].



**Şekil 3.12.** Simetrik olmayan çekmeli binalarda uyumlu yük dağılımına göre yanal yüklerin sisteme yüklenmesi [5].

Çekme düzensizliği ile ilgili literatür çalışmalarında çekme düzensizliği bulunan binaların sahip olduğu yapısal düzensizliklerin, binaların deprem karşısındaki performansları üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Bu tip binalarda deprem sırasında karşılaşılan en büyük problemlerden biri düşey doğrultudaki çekme etkisi nedeniyle kütle, rijitlik ve dayanım niceliklerinin düzensiz dağılımına bağlı olarak dinamik gerilmelerin oluşmasıdır. Bir diğer problem ise, betonarme binalar üzerinde dinamik gerilmelere ek olarak çekmenin simetrik olmayan bir şekilde oluşturulması durumunda sistem üzerinde düşey doğrultuda oluşan burulma etkisidir.

Literatürde genellikle plan üzerindeki düzensizliklerden kaynaklanan burulma davranışı üzerinde çalışılmış olup, plan üzerinde kütle ve rijitlik düzensizlikleri nedeniyle yapıda oluşan burulma üzerinde durulmaktadır. Ancak simetrik olmayan çekmeli binalarda düşey doğrultu üzerinde kütle ve rijitlik dağılımındaki düzensizlikten kaynaklanan burulma etkisini inceleyen çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Bu nedenle düşey doğrultuda yapılan çekmeler nedeniyle oluşan burulma etkisinin incelenmesi ayrıca önem arz etmektedir.

### 3.2. Burulma Düzensizliği ile ilgili literatür araştırması

Binalarda kütle merkezi (KM) ile rijitlik merkezinin (RM) çakışmaması sonucu, kütle merkezinden etkiyen deprem kuvvetine karşılık yapının rijitlik merkezinden yanıt vermesiyle sistemde burulma meydana gelir. Kütle merkezi ve rijitlik merkezi arasındaki mesafenin artmasıyla (*kuvvet kolu yaklaşımıyla*), bina rijit kısım etrafında bükülmeye maruz kalır ve büyük burulma momentleri oluşur. Burulma

momentlerindeki artış binalarda, ilave yük etkilerine neden olur ve bu yük etkileri bina dış kısmında  $45^0$  lik eğik burulma çatlakları, taşıyıcı elemanlarda kesme kırılması gibi hasarlar oluşturabilir. Hatta bina çökebilir [27]. Bu tip hasarların önüne geçebilmek amacıyla deprem yönetmeliklerinde bu konu burulma düzensizliği adı altında sınırlandırılmıştır. Tablo 3.1’de geçmişten günümüze kadar yayınlan Türk Deprem Yönetmeliklerinin (TDY) burulma düzensizliği ile ilgili tasarım koşulları özetlenmiştir. Ayrıca Tablo 3.1’de, TDY’deki tasarım koşullarını karşılaştırabilmesi için ASCE burulma düzensizliği ile ilgili tasarım koşulları da verilmiştir.

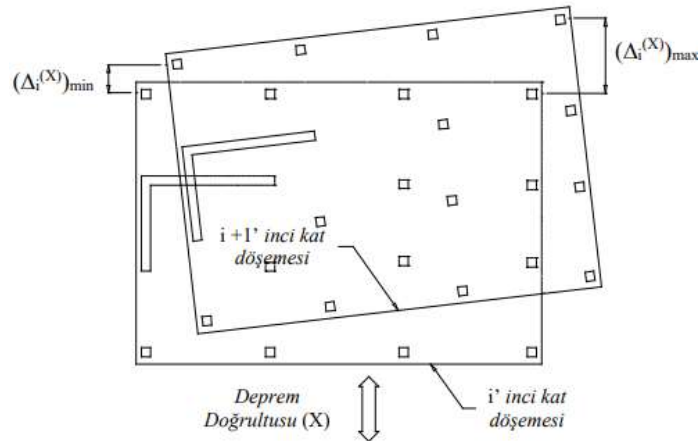
**Tablo 3.1.** Deprem yönetmeliklerindeki burulma düzensizliği tanımlamaları

| BURULMA DÜZENSİZLİĞİ |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TDY                  | TANIM                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | YAPTIRIMLAR                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 1968                 | Planda herhangi bir katın kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki ( $e_i$ ) eksantrikliği o kattaki bina boyunun %5 inden büyük olduğu hallerde kesme kuvvetlerinde burulmadan meydana gelen artışların gözönüne alınması zorunludur. Burulma hesabı statik olarak yapılabilir[28].                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 1975                 | Binalar, her iki doğrultuda herhangi bir katın kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasında hesapla bulunan eksantrikliğe, yatay yük doğrultusuna dik doğrultudaki en büyük bina boyutunun %5’i eklenerek bulunacak burulma momentine göre irdelenecektir[29].                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 1997,<br>2007        | Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelenmesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî öteleme oranını ifade eden burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi}$ ’ nin 1.2’ den büyük olması durumudur.<br>$(\Delta i)_{ort} = \frac{1}{2}[(\Delta i)_{max} + (\Delta i)_{min}]$<br>$\eta_{bi} = (\Delta i)_{max} / (\Delta i)_{ort} > 1.2$<br>Görelî kat ötelenmelerinin hesabı, $\pm\%5$ ek dışmerkezlik etkileri de göz önüne alınarak, yapılacaktır (Döşemelerin kendi içerisinde rijit diyafram olarak çalışmaları durumunda ) [30,31]. | $1.2 < \eta_{bi} < 2.0$ iken kata uygulanan $\pm\%5$ ek dışmerkezlik, her iki deprem doğrultusu için $D_i$ katsayısı ile çarpılarak büyütülecektir.<br>$D_i = \left(\frac{\eta_{bi}}{1.2}\right)^2$ $\eta_{bi} > 2$ ise eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılamaz.<br>Dinamik analiz yapılmalıdır. |

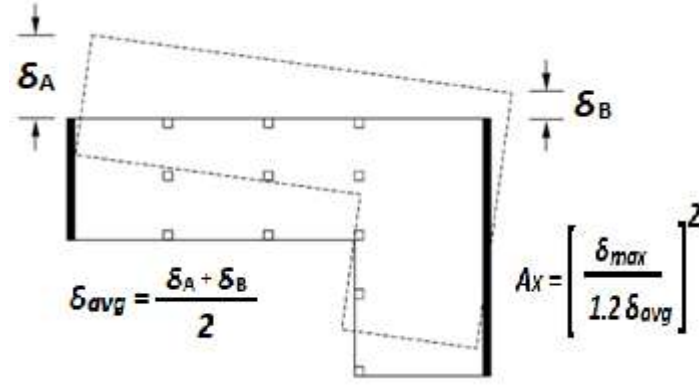


**Tablo 3.1.** Devamı

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2018 | <p>Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelenmesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden burulma düzensizliğı katsayısı <math>\eta_{bi}</math> 'nin 1.2' den büyük olması durumudur (Şekil 3.13) [32].</p> $(\Delta i)^{(x)}_{ort} = \frac{1}{2}[(\Delta i)^{(x)}_{max} + (\Delta i)^{(x)}_{min}]$ $\eta_{bi} = (\Delta i)^{(x)}_{max} / (\Delta i)^{(x)}_{ort} > 1.2$ <p>Görelî kat ötelenmelerinin hesabı, <math>\pm\%5</math> ek dışmerkezlilik etkileri de göz önüne alınarak, yapılacaktır.(Döşemelerin kendi içerisinde rijit diyafram olarak çalışmaları durumunda )</p> | <p>1.2 &lt; <math>\eta_{bi}</math> &lt; 2.0 iken kata uygulanan <math>\pm\%5</math> ek dışmerkezlilik, her iki deprem doğrultusu için <math>D_i</math> katsayısı ile çarpılarak büyütülecektir.</p> $D_i = \left(\frac{\eta_{bi}}{1.2}\right)^2$ <p><math>\eta_{bi} &gt; 2</math> ise eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılamaz. Dinamik analiz yapılmalıdır.</p> |
| Asce | <p>1)Burulma düzensizliğı: Yapının bir ucunda kütle merkezinin <math>\%5</math> dış merkezlik sonucu oluşan içsel burulma dahil olmak üzere hesaplanan maksimum kat ötelenmesinin, yapının iki ucundaki kat ötelenmesinin ortalamasının 1.2 katından daha fazla olduğu durum olarak tanımlanmaktadır (Şekil 3.14) [11].</p> <p>2)Aşırı burulma düzensizliğı: Burulma düzensizliğıne benzer olup hesaplanan maksimum kat ötelenmesinin, yapının iki ucundaki kat ötelenmesinin ortalamasının 1.4 katından daha fazla olduğu durum olarak tanımlanmaktadır.</p> <p>(Döşemelerin kendi içerisinde rijit veya yarı rijit diyafram olarak çalışmaları durumunda)</p>                  | <p>Burulma düzensizliğı büyütme çarpanı ;</p> <p><math>\eta_t &lt; 1,2</math> ise <math>A_X = 1</math></p> <p><math>1,2 &lt; \eta_t &lt; 2</math> ise</p> $A_X = \left(\frac{\delta_{max}}{1.2\delta_{avg}}\right)^2$ <p><math>\eta_t &gt; 2</math> ise <math>A_X = 3</math></p>                                                                                 |



**Şekil 3.13.** 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde burulma düzensizliğı tanımı [32].



Şekil 3.14. ASCE deprem yönetmeliğinde burulma düzensizliği tanımı [11].

### 3.2.1. Burulma düzensizliğine etki eden faktörler

Burulma yapılarda farklı sebeplerden dolayı karşımıza çıkmaktadır. Plandaki düzensizlikler başta olmak üzere düşey düzensizliklerden de kaynaklanabilmektedir. Karmaşık plan geometrisi, döşeme boşlukları, düşey taşıyıcıların yerleşimi, bina yüksekliği boyunca yapılan çıkmalar veya çekmeler vb. tasarımlar, kütle merkezi ve rijitlik merkezi arasında dışmerkezliği artırarak, burulma düzensizliğine neden olabilir. Burulma düzensizliğine neden olabilecek etkenler aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

Estetik kaygılar nedeniyle plan olarak basit ve simetrik olan kare, dikdörtgen ve daire şeklindeki binalardan ziyade karmaşık geometriye sahip binalar uygulamada daha çok karşımıza çıkmakta ve daha çok beğeni toplamaktadır. Ancak deprem açısından bakıldığında, kare ve daire gibi simetrik binalar daha uygun olmaktadır. Karmaşık geometriye sahip olan binalarda, kütle merkezi ve rijitlik merkezinin çakışmaması sonucu burulma düzensizliğiyle karşılaşmaktadır [33].

Bina üzerinde burulma oluşturan bir başka etken ise döşeme süreksizlikleridir. Binanın kullanım amacına göre döşeme üzerinde farklı şekillerde ve oranlarda süreksizlikler oluşturulabilmektedir. Bu tip süreksizlikler döşemenin rijit diyafram olarak çalışmasına engel teşkil edebilir. Döşeme süreksizlikleri, plan üzerinde konum açısından ve boşluk oranı açısından farklı etkiler yaratabilir. Döşeme süreksizliklerine sahip binalarda boşluk oranı arttıkça, burulma düzensizliği katsayıları artmaktadır. Ancak oluşturulan süreksizliğin oranı kadar konumu da önemlidir. Şöyle ki plan üzerinde simetrik yerleştirilen süreksizliğin boşluk oranının, asimetrik yerleştirilen süreksizliğin boşluk oranından büyük olması durumunda; simetrik yerleştirilen süreksizliklerde burulma düzensizliği katsayıları daha küçük çıkmaktadır [34]. Ayrıca



döşeme süreksizliklerinde kirişlerin var olup olmaması da burulma düzensizliğini etkileyen bir kriterdir. Özellikle plan üzerinde asimetrik konumda bulunan döşeme süreksizliğinin kirişlerinin sistemden çıkarılması durumunda, daha büyük burulma düzensizliği katsayılarıyla karşılaşılmaktadır [34].

Burulmaya etki eden faktörlerden bir diğeri plan üzerinde rijitlik dağılımıdır. Deprem anında deprem kuvvetinin çoğu binadaki perde duvarlar tarafından karşılanmaktadır. Binanın deprem davranışını büyük ölçüde sınırlayan perde duvarların plan üzerinde konumlandırılma şekli, rijitlik merkezinin konumunu belirlemektedir. Perde duvarların yerleştirilme şekline bağlı olarak rijitlik dağılımının binada burulma düzensizliği oluşturabileceği göz önüne alınmalıdır. Genellikle perde duvarlar binada asansör veya merdiven boşlukları çevrelerine bırakılmaktadır. Asansör veya merdiven çevresinde toplanan perde duvarlar binada simetrik bir konumda değilse, KM ve RM' nin birbirinden uzaklaşmasına neden olup sistemde burulmaya yol açmaktadır [33]. Ayrıca burulma açısından plan geometrisi her ne kadar basit ve simetrik olsa da taşıyıcı sistemi simetrik olmayan binalarda olumsuz durumlarla karşılaşılmaktadır. Özmen vd. [35] tarafından yapılan bir dizi çalışmada, burulma düzensizliğini etkileyen başlıca faktörlerin plan geometrisi ve rijitlik dağılımı olduğu görülmüştür.

Yukarıda anlatılanlar plan geometrisi ve rijitlik dağılımı bakımından simetrik binaların burulma yönünden daha iyi sonuçlar vermesi olarak özetlenebilir. Ancak hem plan hem de rijitlik dağılımı simetrik olan yapılarda da burulma düzensizliğiyle karşılaşılabilir. Örneğin; rijitlik ve plan geometrisi bakımından simetrik olan çerçeve sistem için dış akslarda kullanılan kolon ve kirişlerin rijitliklerinin iç akslarda bulunanlara göre düşük olması nedeniyle burulma düzensizliğiyle karşılaşılabilir [36]. Yine düşey taşıyıcı sistemi perde ve kolonlardan oluşan ancak perdelerin plan üzerinde orta bölgede toplanmasıyla oluşturulan binalarda deprem kuvveti karşısında kenar kısımlar zayıf bir davranış sergileyip, daha güçlü (rijit) olan orta bölge etrafında dönmeye maruz kalmakta ve sistem üzerinde burulma düzensizliği oluşmaktadır [36].

Burulma plandaki düzensizliklerin yanı sıra düşey düzensizliklerden de kaynaklanabilmektedir [8]. Binaların plan da her ne kadar düzenli olması deprem karşısındaki davranışı için önem arz ediyorsa, binanın düşey doğrultu boyunca düzenli olup olmaması da binanın deprem karşısındaki davranışını önemli oranda etkilemektedir

[8]. Basit ve sade yapılardan ziyade kullanım amaçları doğrultusunda daha farklı binalar oluşturmak amacıyla, binanın düşey doğrultusunda yapılmış olan geri çekmeler ve çıkmlar deprem anında davranışı karmaşık hale getirmektedir. Özellikle düşeyde yapılan çekmelerin asimetrik yapılması sonucunda deprem etkileri nedeniyle yapıda ekstra burulmalar oluşmaktadır. Bu tip binalarda özellikle burulma düzensizliği katsayısının alt katlarda 1,2 sınır değerinin üzerine çıktığı, bazı katlarda ise 1,2 sınır değerinde kaldığı görülmektedir [8].



#### 4. SAYISAL İNCELEMELER

Çalışmanın bu bölümünde, çekmeli betonarme binalarda; çekme oranı, çekmenin uygulandığı kat seviyesi, kat sayısı ve düşey eksen etrafındaki simetri durumuna bağlı olarak binaların deprem karşısındaki davranışı incelenmiştir. Analizler, SAP 2000 [4] yapı analiz programı kullanılarak, mod birleştirme yöntemine göre gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler grafikler ve tablolar halinde sunulmuştur. Bu bölüm içerisinde, sayısal çalışmalar birbirini tamamlayıcı nitelikte olan iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, çekme düzensizliği bulunan binalar üzerinde çekme oranı, çekme kat seviye oranı ve kat sayısı parametrelerinin binanın deprem davranışı üzerindeki etkisi düzlem (2D) çerçeve modeller üzerinde incelenmektedir. İkinci bölümde ise çekme düzensizliği bulunan binalarda düşey eksen etrafındaki simetri durumuna bağlı burulma davranışı uzay (3D) modeller üzerinde incelenmektedir.

##### 4.1. Analizlerde kullanılan hesap modellerinin genel özellikleri

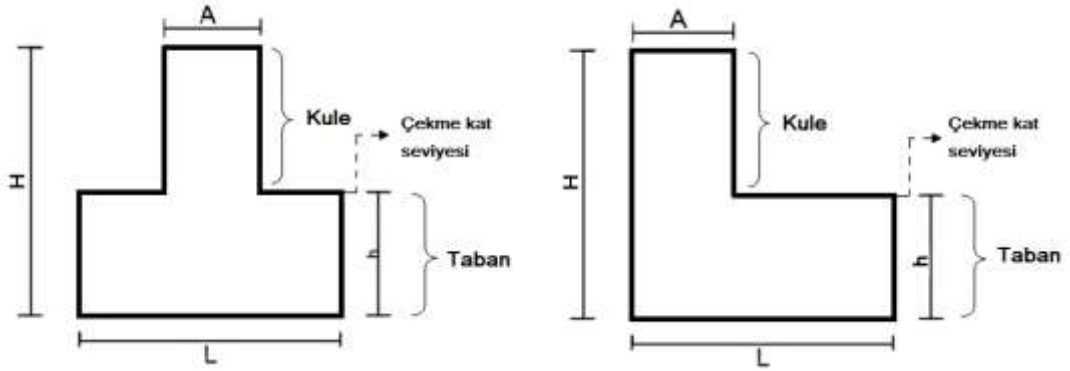
Çekmeli betonarme binaların deprem davranışının incelendiği bu tez çalışmasında, öncelikle kat sayısının değişimini inceleyebilmek için 4, 8, 12 ve 16 katlı çekme bulunmayan (*düzenli*) bina modelleri üretilmiştir. Daha sonra, çekme bulunmayan (*düzenli*) bina modelleri üzerinden çekme oranının 2 farklı değeri ve çekmenin oluşturulduğu 3 farklı kat seviyesi için alt modeller oluşturulmuştur.

Çekme oranı ( $R_A$ ), taban ve kule plan boyutları arasındaki farkın, taban plan boyutuna oranı (denklem 4.1); çekme kat seviyesi oranı ( $R_H$ ), taban yüksekliğinin bina toplam yüksekliğine oranı (denklem 4.2) şeklinde tanımlanmaktadır.

$$R_A = \frac{L-A}{L} \quad (4.1)$$

$$R_H = \frac{h}{H} \quad (4.2)$$

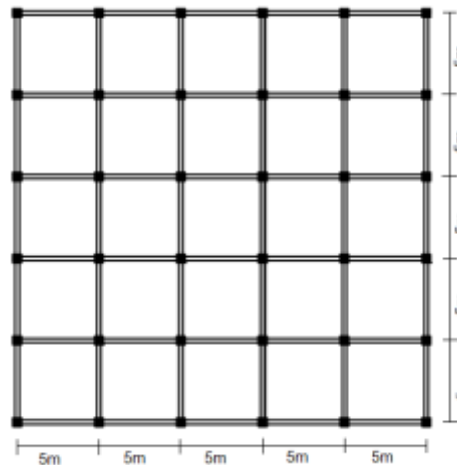
Yapısal modeller üzerinde çekme oranı ( $R_A$ ) ve çekme kat seviyesi oranı ( $R_H$ ) tanımlarında kullanılan plan boyutları Şekil 4.1’de tipik çekmeli bina modelleri üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Tipik çekmeli bina modelleri

Çekme bulunmayan (*düzenli*) bina modelleri üzerinden farklı  $R_A$  ve  $R_H$  değerlerine göre çekmeli bina modelleri üretilmiştir. Düzenli bina modeline ait kat planı Şekil 4.2’de verilmiştir. Bu plan modeli çekme kat seviyesine kadar sabit olup; çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinden itibaren belirli oranlarda azaltılarak çekmeli bina modelleri üretilmiştir. Yapısal analizlerin ilk kısmında, simetrik çekmeli binalarda çekme oranı ve çekme kat seviye oranı parametrelerinin değişimini incelemek amacıyla, plan üzerinden herhangi bir iç aks seçilerek düzlem (2D) çerçeve modeller üzerinde çalışılmıştır. Çekme oranının binanın deprem davranışına etkisi incelenirken; modeller üzerinde %80 ve %40 oranında çekme oluşturulmuştur. Çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinin binanın deprem davranışı üzerindeki etkisi ise %25, %50 ve %75 çekme kat seviye oranına sahip modeller üzerinde incelenmiştir.

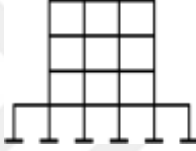
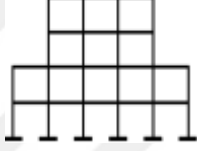
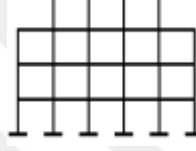
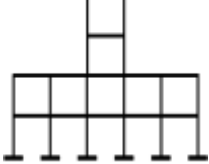
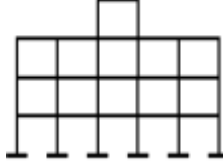
Sayısal analizlerin ikinci kısmında ise; simetrik olmayan çekmeli binaların burulma davranışını incelemek amacıyla uzay (3D) modeller üzerinde çalışılmıştır.



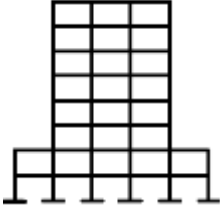
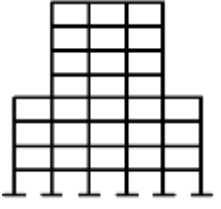
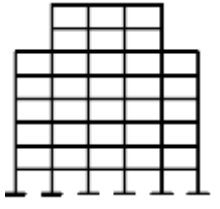
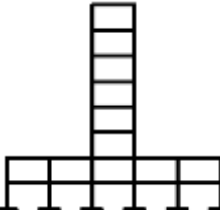
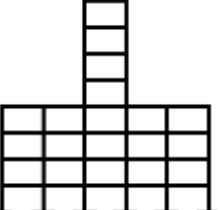
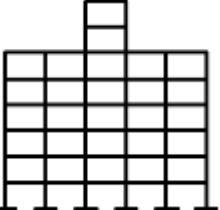
Şekil 4.2. Çekme bulunmayan (düzenli) bina modellerine ait kat planı

Analizlerde kullanılan hesap modellerine farklı kod adları tanımlanmış olup, kod adlarının belirlenmesinde binanın kat sayısı, çekme oranı, düşey eksen etrafındaki simetri durumu ve çekmenin yapıldığı kat seviyesi parametreleri dikkate alınmıştır. Örneğin; Kod adı K4TAS1 olan model için, K4; binanın 4 katlı olduğunu TA;  $R_A$  değerinin % 40, S ; Bina geometrisinin düşey eksen etrafında simetrik olduğunu ve 1 ;  $R_H$  değerinin %25 değerine eşit olduğunu göstermektedir. Analizlerde kullanılan hesap modellerinin kod adlarının, kolay anlaşılabilmesi için Tablo 4.1.-4.4.'te modeller görselle desteklenerek verilmiştir.

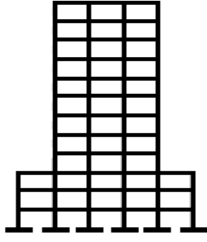
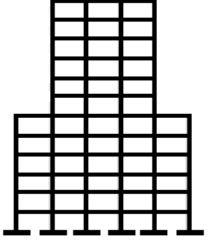
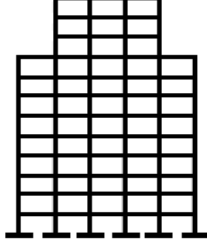
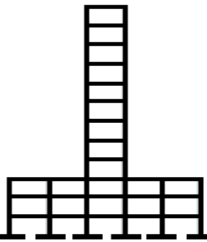
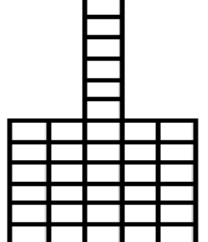
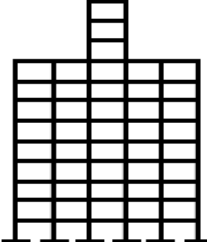
**Tablo 4.1.** Çekme düzensizliği bulunan 4 katlı hesap modelleri

| 4 katlı modeller      |      | Çekme Kat Seviye Oranı( $R_H$ )                                                     |                                                                                     |                                                                                       |
|-----------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                       |      | 0,25                                                                                | 0,50                                                                                | 0,75                                                                                  |
| Çekme oranı ( $R_A$ ) | 0,40 | K4TAS1                                                                              | K4TAS2                                                                              | K4TAS3                                                                                |
|                       |      |   |   |   |
|                       | 0,80 | K4TBS1                                                                              | K4TBS2                                                                              | K4TBS3                                                                                |
|                       |      |  |  |  |

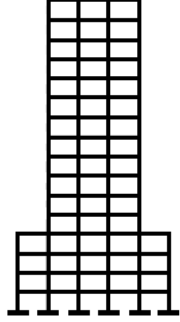
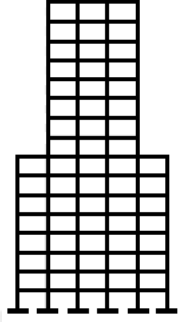
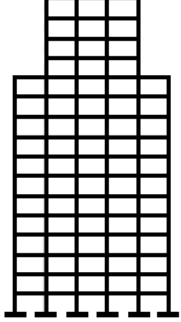
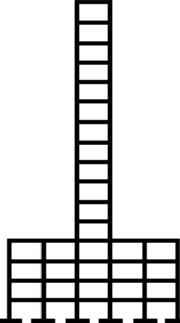
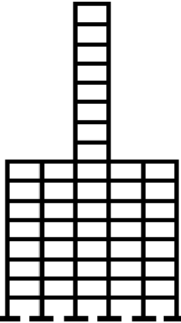
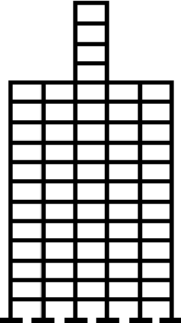
**Tablo 4.2.** Çekme düzensizliği bulunan 8 katlı hesap modelleri

| 8 katlı modeller      |      | Çekme Kat Seviye Oranı( $R_H$ )                                                   |                                                                                   |                                                                                     |
|-----------------------|------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                       |      | 0,25                                                                              | 0,50                                                                              | 0,75                                                                                |
| Çekme oranı ( $R_A$ ) | 0,40 | K8TAS1                                                                            | K8TAS2                                                                            | K8TAS3                                                                              |
|                       |      |  |  |  |
|                       | 0,80 | K8TBS1                                                                            | K8TBS2                                                                            | K8TBS3                                                                              |
|                       |      |  |  |  |

**Tablo 4.3.** Çekme düzensizliği bulunan 12 katlı hesap modelleri

| 12 katlı modeller     |      | Çekme Kat Seviye Oranı( $R_H$ )                                                     |                                                                                     |                                                                                       |
|-----------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                       |      | 0,25                                                                                | 0,50                                                                                | 0,75                                                                                  |
| Çekme oranı ( $R_A$ ) | 0,40 | K12TAS1                                                                             | K12TAS2                                                                             | K12TAS3                                                                               |
|                       |      |  |  |  |
|                       | 0,80 | K12TBS1                                                                             | K12TBS2                                                                             | K12TBS3                                                                               |
|                       |      |  |  |  |

**Tablo 4.4.** Çekme düzensizliği bulunan 16 katlı hesap modelleri

| 16 katlı modeller     |      | Çekme Kat Seviye Oranı( $R_H$ )                                                    |                                                                                    |                                                                                      |
|-----------------------|------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|                       |      | 0,25                                                                               | 0,50                                                                               | 0,75                                                                                 |
| Çekme oranı ( $R_A$ ) | 0,40 | K16TAS1                                                                            | K16TAS2                                                                            | K16TAS3                                                                              |
|                       |      |   |   |   |
|                       | 0,80 | K16TBS1                                                                            | K16TBS2                                                                            | K16TBS3                                                                              |
|                       |      |  |  |  |

Yukarıda tablolarla gösterilen hesap modellerine ait taşıyıcı sistem boyutları Tablo 4.5’ te verilmiş olup, planda rijitlik düzensizliğinden kaynaklanan ek burulmaya sebebiyet vermemek için sistem bütününde kare kolonlar kullanılmış ve kolonlar yükseklik boyunca 4 katta bir azaltılarak devam ettirilmiştir. Hesap modellerinin analizinde kullanılan veriler ise Tablo 4.6’ da verilmiştir.

**Tablo 4.5.** Taşıyıcı sistem boyutları

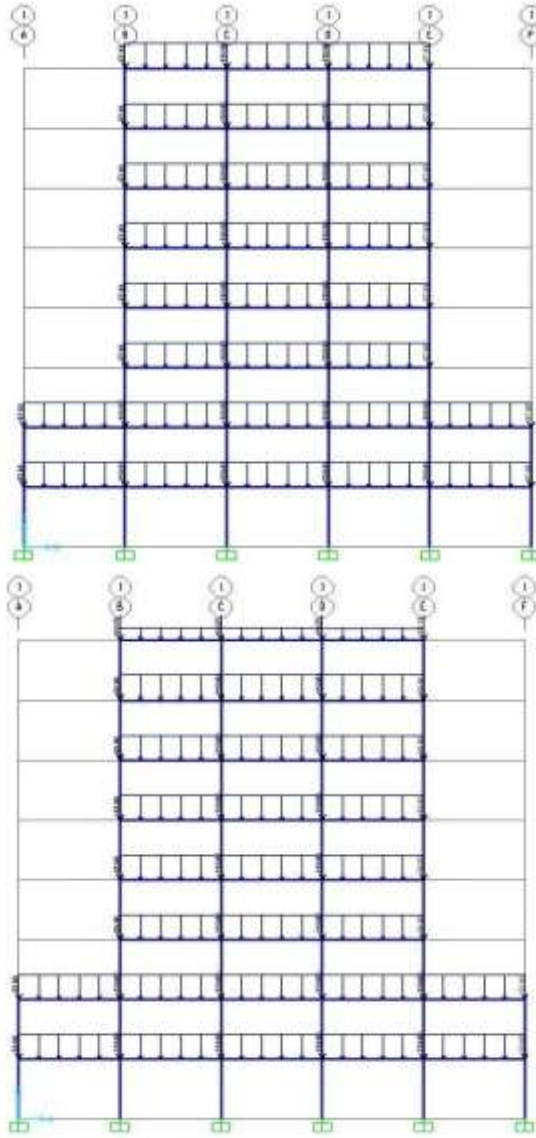
| Bina Kat Sayısı | Kolonlar     |             |              |               | Kirişler |
|-----------------|--------------|-------------|--------------|---------------|----------|
|                 | 1- 4. Katlar | 5-8. Katlar | 9-12. Katlar | 13-16. Katlar |          |
| 4               | 50x50        | -           | -            | -             | 25x50    |
| 8               | 70x70        | 50x50       | -            | -             | 25x50    |
| 12              | 85x85        | 70x70       | 50x50        | -             | 25x50    |
| 16              | 95x95        | 85x85       | 70x70        | 50x50         | 25x50    |

**Tablo 4.6.** Yapısal modellerin analizinde kullanılan genel veriler

|                                    |                              |
|------------------------------------|------------------------------|
| Kat yüksekliği                     | 3,2 m                        |
| Deprem bölgesi                     | 1.bölge                      |
| Etkin yer ivmesi ( $A_0$ )         | 0,40                         |
| Bina önem katsayısı (I)            | 1                            |
| Zemin sınıfı                       | Z3                           |
| Spektrum karakteristik periyotları | $T_A= 0,15$ sn $T_B=0,60$ sn |
| Taşıyıcı sistem davranış katsayısı | 8 (çerçeve sistem)           |
| Süneklik düzeyi                    | Yüksek                       |
| Malzeme sınıfı                     | C25/S420                     |
| Döşeme kalınlığı                   | 0,18 m                       |
| Dış duvar birim ağırlığı           | 3,7 kN/m <sup>2</sup>        |
| İç duvar birim ağırlığı            | 2,7 kN/m <sup>2</sup>        |
| Kaplama+ Sıva ağırlığı             | 1,5 kN/m <sup>2</sup>        |
| Hareketli yükler (Normal katlar)   | 5 kN/m <sup>2</sup>          |
| Hareketli yükler (Son kat )        | 3,5 kN/m <sup>2</sup>        |

Yapısal modellemede sistemler çerçeve sistem olup; her katın kendi düzlemi içerisinde rijit olduğu kabulüyle her kata rijit diyafram tanımı yapılmış, döşeme tanımlanmamıştır. Hesap modellerinde, döşemelerden kirişlere aktarılan yükler kare plan geometrisi nedeniyle üçgen dağılıma sahip olup, yükler elle hesaplanarak SAP2000 ortamında kirişlere düzgün yayılı yük olarak girilmiştir. Bu şekilde hesaplanan yüklerin kiriş üzerindeki dağılımı, K8TAS1 modeli için Şekil 4.3'te sabit ve hareketli yük dağılımı gösterilmiştir.





Şekil 4.3. K8TAS1 hesap modeli için sabit ve hareketli yüklerin kirişlere aktarılması

#### 4.2. İki boyutlu analizlerden elde edilen verilerin grafiksel ortamda incelenmesi

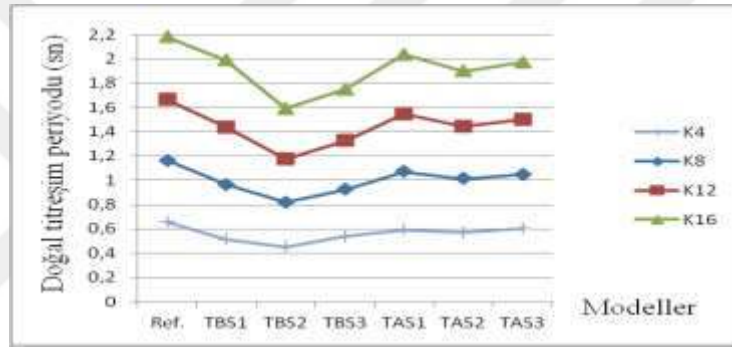
Çekme düzensizliği bulunan binalar üzerinde çekme oranı, çekme kat seviye oranı ve kat sayısı parametrelerinin binanın deprem davranışı üzerindeki etkisi düzlem (2D) çerçeve modeller üzerinde incelenerek tablo ve grafiklerle açıklanmıştır. Modeller üzerinde çekme düzensizliği etkisi deprem davranış parametrelerine (*doğal titreşim periyodu, son kat deplasmanları, görelî kat ötelenmeleri, modal kütle katkıları, kolonlarda meydana gelen kesme kuvvet ve moment değişimi* ) bağli olarak çok yönlü incelenmektedir.

#### 4.2.1. Doğal Titreşim Periyodunun Değişimi

Çekme düzensizliği bulunan binalar üzerinde, plan boyutlarının ani değişimi nedeniyle düşey doğrultuda kütle ve rijitlik düzensizlikleriyle karşılaşılmaktadır [1]. Kütle ve rijitlik düzensizlikleri, bu binaların deprem davranışı üzerinde etkili olup, aynı zamanda bu parametreler binaya gelen deprem kuvveti üzerinde etkili olan doğal titreşim periyodu üzerinde de önemli etkiye sahiptir. Kütlenin azalması; binanın doğal titreşim periyodunu azaltırken, rijitliğin azalması; doğal titreşim periyodunun artmasına neden olmaktadır [13]. Bu nedenle, çekme düzensizliği bulunan binalar üzerinde doğal titreşim periyodunun, çekme oranına ve çekmenin oluşturulduğu kat seviyesine bağlı olarak değişimi incelenmektedir.

Doğal titreşim periyodunun çekme düzensizliği bulunan modeller üzerindeki değişimi, çekme bulunamayan (referans) bina modelleriyle (K4, K8, K12 ve K16) karşılaştırmalı olarak Şekil 4.4' te verilmiştir. Şekil 4.4 ile verilen grafiğin yorumlanması sonucunda; çekme düzensizliği bulunan bina modelleriyle, referans bina modellerinin doğal titreşim periyotları kıyaslandığında; referans bina modellerinin doğal titreşim periyodunun, çekme düzensizliği bulunan tüm bina modellerine göre (TBS1, TBS2, TBS3, TAS1, TAS2, TAS3) daha fazla olduğu görülmektedir. Bu kısımda kullanılan hesap modellerinin kodlanmasında örneğin, TBS1 kodu; %80 oranındaki çekmenin binanın orta kat seviyesinin altında yapıldığı durumu ifade ederken; TAS2 ise, %40 oranındaki çekmenin binanın orta kat seviyesinde yapılması durumunu ifade etmektedir. Referans bina modellerinin doğal titreşim periyodunun, çekme düzensizliği bulunan modellere göre fazla olması, kütlenin referans bina modellerinde, daha fazla olmasıyla ilişkilendirilebilir. %80 çekme oranına sahip modeller üzerinde çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinin etkisi incelendiğinde; çekmenin orta kat seviyesinin altında yapılması halinde (TBS1) doğal titreşim periyodu en fazlayken, çekmenin orta kat seviyesinde yapılması halinde (TBS2) ise en küçük değeri almaktadır. Çekmenin orta kat seviyesinin altında yapılması halinde, diğer modellere göre kütlesinin daha az olmasına karşı doğal titreşim periyodunun en büyük değeri alması, rijitliğin, kütleyle göre daha fazla oranda azalmasıyla ilişkilendirilmektedir. Bu duruma benzer durumla literatür çalışmalarında da karşılaşılmıştır [16,18].

Şekil 4.4 ile verilen grafiğe göre, TAS1 modelinden TAS3 ve TAS2 modellerine doğru sırayla periyodun azaldığı görülmektedir. Ayrıca çekme oranındaki ve kat sayısındaki artışla bu azalmalar daha belirgin hale gelmektedir. Bu grafiğin yorumundan çıkarılan bir başka bulguda; çekmenin aynı kat seviyesinde oluşturulduğu modeller üzerinde çekme oranı etkisi incelendiğinde; 16 katlı modeller için TBS1 modellerinin periyodu TAS1 modellerine göre %3 oranında, TBS2'nin TAS2'ye göre %19 ve TBS3'ün TAS3'e göre %13 oranında daha küçüktür. Yani çekme oranının artmasıyla sistemin kütlesi azalmakta ve dolayısıyla periyodu azalmaktadır. Özetle doğal titreşim periyodu üzerinde çekme oranı ve çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinin etkili parametreler olduğu söylenebilir.

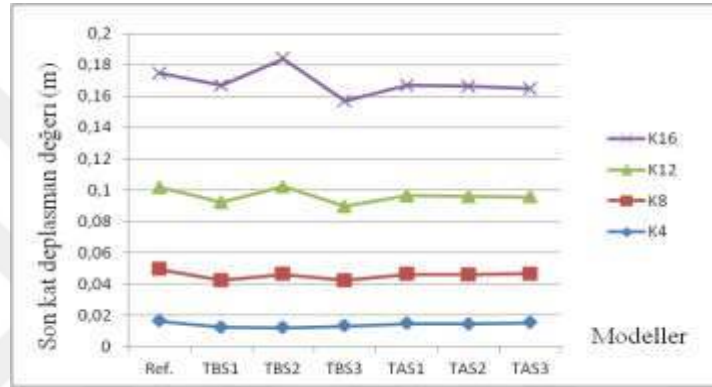


Şekil 4.4. Çekmeli binalarda,  $R_A$ ,  $R_H$  ve kat sayısına göre doğal titreşim periyodunun değişimi

#### 4.2.2. Son Kat Deplasmanları

Analizlerden elde edilen son kat deplasman değerleri Şekil 4.5'te çekme düzensizliği bulunan binalar ve referans binalar için karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Öncelikle bina kat sayısı arttıkça tüm modeller için bu değer artmaktadır. Şekil 4.5 ile verilen grafikte; 4 katlı ve 8 katlı modeller üzerinde çekme oranı ve çekme kat seviye oranı parametrelerinin, son kat deplasmanları üzerinde pek fazla etkiye sahip olmadığı görülmüştür. Ancak 12 ve 16 katlı modeller incelendiğinde çekme oranının ( $R_A$ ) %40'a eşit olduğu TAS1, TAS2, TAS3 modelleri arasında bir fark olmayıp; çekme oranının ( $R_A$ ) oranının %80'e eşit olduğu modeller arasında TBS3 modellerinden TBS1 ve TBS2 modellerine doğru gidildikçe son kat deplasman değerinde artış gözlenmektedir. Bu artış kat sayısı arttıkça daha belirgin hale gelmektedir. Son kat deplasman değeri çekme oranı ve kat sayısının en fazla olduğu ve çekmenin binanın orta yüksekliğinde yapılması halinde (K16TBS2 modeli) max değere ulaşmaktadır. Çekme düzensizliği bulunan

binaların son kat deplasmanları Özellikle, 12 ve 16 katlı orta kat seviyesinde çekme bulunan modeller (K12TBS2, K16TBS2) hariç çekme düzensizliği bulunan modellerin son kat deplasmanları çekme bulunmayan (referans) bina modellerine göre daha küçük çıkmaktadır. Bu durum bina modellerinde doğal titreşim periyodunun referans bina modellerine göre daha küçük olması ve gelen deprem kuvvetinin az olmasıyla ilişkilendirilebilir. Ancak, çekmenin orta kat seviyesinde yapıldığı modellerin referans sistemlere göre doğal titreşim periyodunun daha az olmasına karşı daha büyük deplasman yapma durumu sistem üzerinde yüksek modların etkili olduğunu göstermektedir.

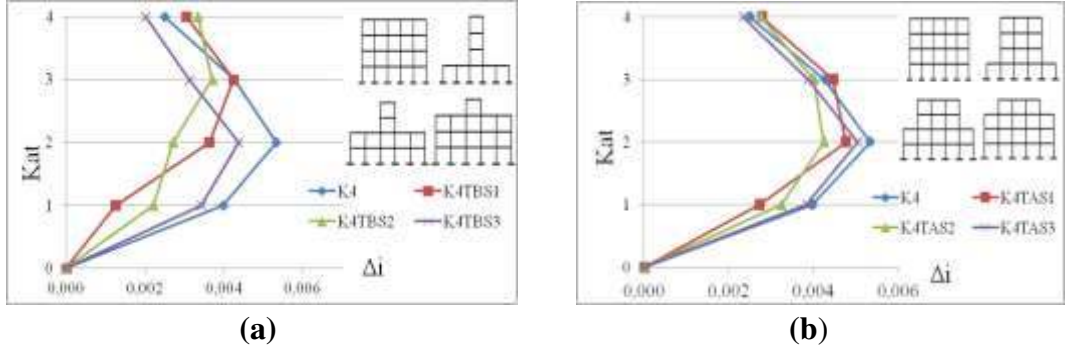


Şekil 4.5. Çekmeli binalarda,  $R_A$ ,  $R_H$  ve kat sayısına göre son kat deplasman değişimi

#### 4.2.3. Görelî Kat Ötelenme Değerlerinin Değişimi

Çekme düzensizliği bulunan binalarda, çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde kütle ve rijitlikteki ani değişim nedeniyle bu kat seviyesinde görelî kat ötelenme değerinde ani bir artış söz konusudur. Literatürde, çekme oranına ve çekmenin oluşturulduğu kat seviyesine bağlı olarak çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde görelî kat ötelenmelerinde ani artışlar olduğu yapılan birçok çalışmada görülmektedir [15-17,20]. Bu durumla ilişkili olarak sayısal çalışmanın bu kısmında, 4, 8, 12 ve 16 katlı modeller üzerinde görelî kat ötelenme değerlerinin değişimi incelenmiş, grafiklerle sunulmuştur.

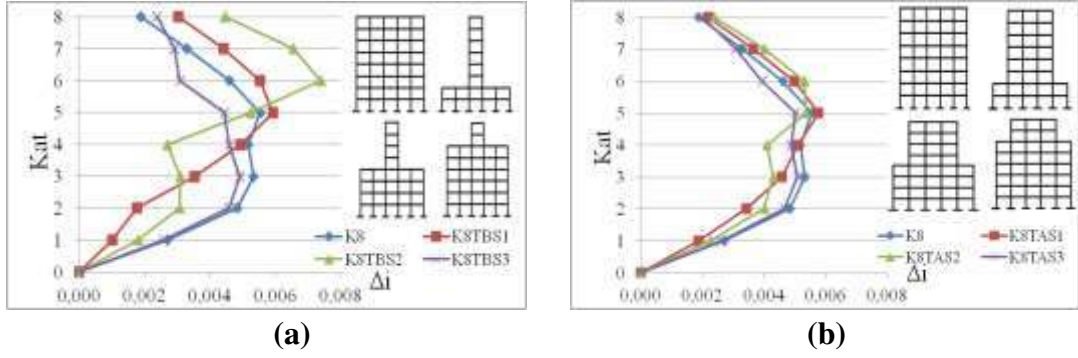
4 katlı modeller üzerinde, çekme oranının ve çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinin görelî kat ötelenme oranları üzerindeki etkileri Şekil 4.6 (a) ve Şekil 4.6 (b) ile verilen grafiklerden görülebilmektedir.



**Şekil. 4.6.** 4 katlı modeller üzerinde görel kat ötelenme değerinin değişimi (a)  $R_A=\%80$  (b)  $R_A=\%40$  değeri için

Şekil 4.6 (a) ile verilen grafikten yola çıkılarak, 4 katlı modeller üzerinde çekme bulunmayan (referans) bina modelinin görel kat ötelenme değeri orta kat seviyesine kadar artarken, orta kat seviyesinden itibaren azalmaktadır. Buna karşı %80 çekme oranına sahip çekmeli binalar üzerinde çekme katın oluşturulduğu kat seviyesine ( $R_H$  oranı) bağlı olarak çekme kat seviyesinde görel kat ötelenme değerlerinde, ani artışlar olmaktadır. Bu değer çekmenin orta kat yüksekliğinin altında oluşturulması halinde (K4TBS1 modelinde) 3 kat artmaktayken çekmenin orta kat seviyesinde oluşturulması durumunda (K4TBS2 modelinde) çekme kat seviyesinde bu artışın %50 oranında olduğu görülmektedir. 4 katlı modeller içerisinde çekmenin orta kat seviyesinin üstünde oluşturulması halinde ise (K4TBS3 modelinde), çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde ani bir artış görülmemekte ve referans bina modeline benzer bir davranış sergilemektedir. Şekil 4.6 (b) ile verilen grafikten yola çıkılarak, çekme oranının %40 olması halinde, çekme bulunmayan (referans) bina modeli ile çekme düzensizliği bulunan bina modelleri arasında belirgin bir fark gözlenmezken, yine çekme kat seviyesinde artışlar gözlenmektedir. Bu artışlar, K4TAS1 modelinde yaklaşık %66 oranında; K4TAS2 modelinde ise yaklaşık %33 oranında artmaktadır.

8 katlı modeller üzerinde, çekme oranının ve çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinin görel kat ötelenme oranları üzerindeki etkileri Şekil 4.7 (a) ve (b)'de verilmiştir.



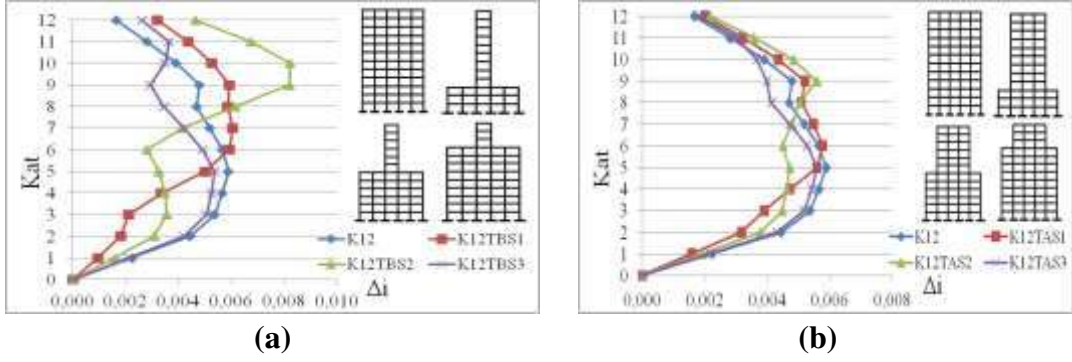
**Şekil 4.7.** 8 Katlı çekmeli modeller üzerinde görel kat ötelenme değerinin değişimi (a)  $R_A=\%80$  (b)  $R_A=\%40$  değeri için

Şekil 4.7 (a) ile verilen grafikte 8 katlı modeller üzerinde; çekme oranının  $\%80$  olması halinde çekme kat seviye oranının ( $R_H$ ) etkisi verilmektedir. 4 katlı çekme bulunmayan (referans) bina modeline benzer şekilde 8 katlı referans bina modelinin, görel kat ötelenme değeri orta kat seviyesine kadar artmaktayken orta kat seviyesinden sonra azalarak devam etmektedir. Çekme düzensizliği bulunan bina modellerinde çekme kat seviyesine kadar referans bina modeline göre daha düşük görel kat ötelenmeleriyle karşılaşılırken, çekme kat seviyesi yakınlarında ani bir artış gözlenmektedir. Bu ani artış özellikle çekmenin orta kat seviyesinde yapılması halinde (K8TBS2 modelinde) 4-6. katlar arasında yaklaşık  $\%130$  oranında artmaktayken, K8TBS1 modelinde 2-5. katlar arasında yaklaşık  $\%200$  oranında bir artış görülmektedir. K8TBS1 ve K8TBS2 modellerinde bu artışlar belirgin bir şekilde değişmekteyken, çekmenin orta kat seviyesinin üstünde oluşturulması durumunda (K8TBS3 modeli) referans bina modeline oldukça yakın bir davranış sergilemektedir.

Şekil 4.7 (b) ile verilen grafikten yola çıkılarak, çekme oranının  $\%40$  olması halinde, referans (K8) ve çekme düzensizliği bulunan bina modelleri (K8TAS1, K8TAS2, K8TAS3) arasında belirgin bir fark gözlenmezken, çekmenin orta kat seviyesinde yapıldığı, K8TAS2 modelinde çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde görel ötelenme değerinde  $\%25$  civarında ani bir artış gözlenmektedir.

12 katlı modeller üzerinde, çekme oranının ve çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinin görel kat ötelenme oranları üzerindeki etkileri Şekil 4.8’de verilmiştir.

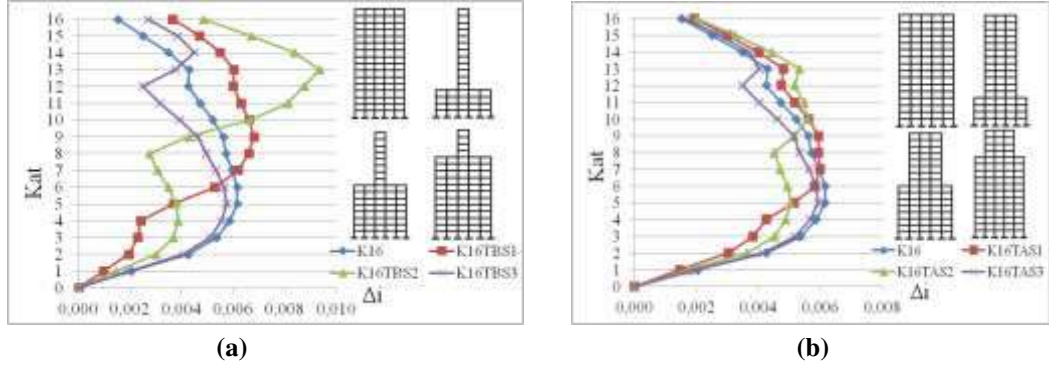




**Şekil 4.8.** 12 Katlı modeller üzerinde görel kat ötelenme değerinin değişimi (a)  $R_A=\%80$  (b)  $R_A=\%40$  değeri için

Şekil 4.8 (a) ile verilen grafiğe göre, %80 çekme oranına sahip modeller üzerinde çekme kat seviyesinin etkisi incelenirse; çekmeli bina modellerinde çekme kat seviyesine kadar referans bina modeline göre daha düşük görel kat ötelenme değerleriyle karşılaşmaktadır. Bununla birlikte çekme düzensizliği bulunan bina modellerinde, çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde 4 ve 8 katlı modellere benzer şekilde görel kat ötelenme değerinde ani artış gözlenmektedir. Şöyle ki; çekme kat seviyesinden itibaren görel kat ötelenmeleri, çekmenin orta kat seviyesinin altında yapılması halinde (K12TBS1 modelinde) %200 oranında artarken, çekmenin orta kat seviyesinde oluşturulması durumunda (K12TBS2 modelinde) yaklaşık %150 oranında artmaktadır. K12TBS3 modelinde ise bu artış %33 civarındadır. Ani artışın K12TBS1 modelinde en fazla olmasına rağmen K12TBS2 modelinde görel kat ötelenme değerleri tüm modellerden daha büyük değerler almaktadır. Şekil 4.8 (b) ile verilen grafiğe göre 12 katlı modeller üzerinde çekme oranının %40 olması halinde, çekme kat seviye oranının görel kat ötelenme değerleri üzerindeki etkisi, %80 çekme oranına göre oldukça düşük olmakta ve tüm çekmeli bina modelleri düzenli binaya benzer bir davranış sergilemektedir. Kat sayısı arttıkça çekme düzensizliği bulunan binalarda, referans bina modellerine göre daha fazla görel kat ötelenme değerleriyle karşılaşmaktadır. Özellikle çekme oranı düşük olsa dahi çekme düzensizliği bulunan binaların kule kısmında görel kat ötelenmeleri, referans bina modellerine göre daha fazla olmaktadır.

16 katlı modeller üzerinde, çekme oranının ve çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinin görel kat ötelenme oranları üzerindeki etkileri Şekil 4.9 ile verilen grafiklerden görülebilmektedir.



**Şekil 4.9.** 16 Katlı modeller üzerinde görel kat ötelenme değerinin değişimi (a)  $R_A=\%80$  (b)  $R_A=\%40$  değeri için

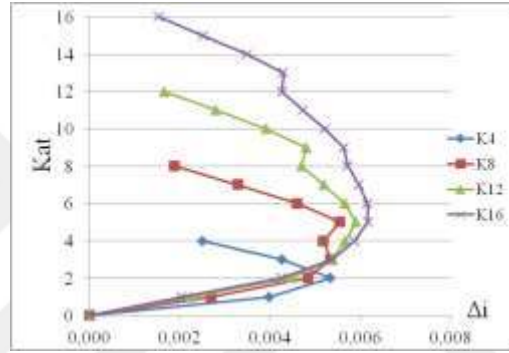
Şekil 4.9 (a) ile verilen grafiğe göre; çekme düzensizliği bulunan modellerde, çekmenin oluşturulduğu kat seviyesine kadar referans bina modeline (K16) benzer davranış sergilemekle birlikte daha küçük değerlerle karşılaşılmaktayken; modellerin kule kısmında referans bina modeline göre daha büyük değerlerle karşılaşılmaktadır. Özellikle çekmenin orta kat seviyesinde yapılması halinde ( $R_H$  değeri  $\%50$ ), kule kısmında görel ötelenme değerleri max. 0,009 değerine ulaşırken, çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde ani artışlar gözlenmektedir. 16 katlı modellerde çekme oranının  $\%80$  olması halinde çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinin, görel kat ötelenme değerlerine etkisi 4, 8 ve 12 katlı modellere göre daha fazladır. Çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde, çekmenin orta kat seviyesinin altında yapılması halinde (K16TBS1 modelinde) yaklaşık  $\%250$  oranında, orta kat seviyesinde oluşturulması halinde (K16TBS2 modellerinde)  $\%200$  oranında, orta kat seviyesinin üstünde oluşturulması halinde ise (K16TBS3 modelinde)  $\%100$  oranında artış gözlenmektedir. Şekil 4.9 (b) ile verilen grafiğe göre ise çekme oranının  $\%40$  olması halinde yine 4, 8 ve 12 katlı modellerde olduğu gibi bina modelleri arasında belirgin bir fark gözlenmezken çekme kat seviyesinde K16TAS1 modelinde  $\%50$ , K16TAS2 modelinde  $\%20$  ve K16TAS3 modelinde  $\%33$  civarında bir artış olduğu gözlenmektedir.

Özetle bu kısımda, literatür çalışmalarına benzer olarak [10-12,15] çekme düzensizliği bulunan modeller ile referans bina modellerinin görel kat ötelenme değerleri kıyaslandığında, referans modellere göre çekmeli binaların taban kısmında daha küçük görel kat ötelenmeleriyle karşılaşılmamasına rağmen, kule kısmında daha büyük değerlerle karşılaşılmaktadır.

Çalışmanın bu bölümünde ayrıca referans bina modelleri ve  $\%80$  çekme oranına sahip çekmeli modeller üzerinde kat sayısındaki değişimin, görel kat ötelenmelerine

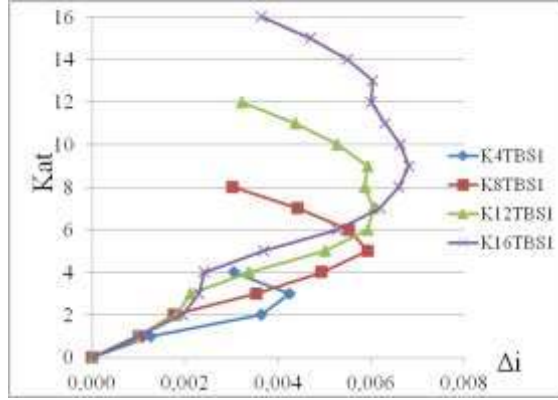


etkisi incelenmekte olup; çekme oranı ve çekme kat seviye oranının aynı olduğu 4, 8, 12 ve 16 katlı modellerin görelî kat ötelenme değerlerindeki değişim grafiksel ortamda verilmiştir. Referans bina modelleri üzerinde kat sayısının görelî kat ötelenmelerine etkisi Şekil 4.10 ile verilirken; çekmenin binanın orta kat yüksekliğinin altında yapıldığı modeller Şekil 4.11’de, çekmenin orta kat seviyesinde yapıldığı modeller ve orta kat seviyesinin üstünde yapıldığı modeller ise sırasıyla Şekil 4.12 ve Şekil 4.13’de verilmektedir. Kat sayısının değişiminin görelî ötelenme değerleri üzerindeki etkisi incelendiğinde ise; Şekil 4.10’da çekme bulunmayan (referans) binalarda kat sayısı arttıkça benzer kat seviyelerinde görelî kat ötelenme değerlerinin arttığı görülmektedir.



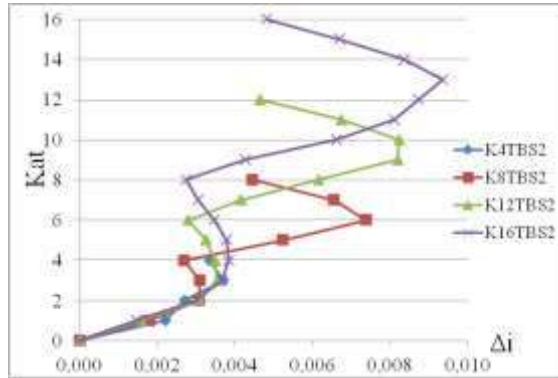
**Şekil 4.10.** Çekme bulunmayan (referans) bina modelleri üzerinde görelî kat ötelenme değerlerindeki değişime kat sayısının etkisi

Şekil 4.11 ile verilen grafikte çekmeli binalarda; çekme oranının ( $R_A$ ) %80 ve çekme kat seviye oranının ( $R_H$ ) %25 olması halinde modellerin yükseklik boyunca görelî ötelenme değerleri benzer dağılıma sahiptir. Çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde 4 katlı modellerde %300 oranında, 8 ve 12 katlı modellerde %200 oranında, 16 katlı modellerde ise yaklaşık olarak %250 oranında artış olduğu gözlenmektedir. Çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde, en fazla artış 4 katlı modellerde gözlenirken en küçük görelî kat ötelenme değerleriyle de 4 katlı modellerde karşılaşılmaktadır. Buna karşı bu tip çekmeli bina modellerinin özellikle 16 katlı olması halinde hem artış oranı hem de görelî kat ötelenme değerleri diğer sistemlere göre daha fazladır.



**Şekil 4.11.**  $R_A = \%80$  ve  $R_H = \%25$  değerlerine sahip çekmeli bina modelleri üzerinde görel kat ötelenme değerlerindeki değişime kat sayısının etkisi

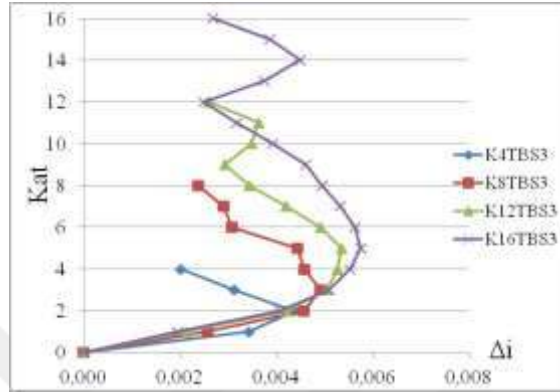
Şekil 4.12 ile sunulan grafikte çekmeli binalarda; çekme oranının %80 ve çekme kat seviye oranının ise %50 olması durumunda, 4, 8, 12 ve 16 katlı modellerin yükseklik boyunca görel kat ötelenmeleri benzer dağılım sergilemektedir. Ancak çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde meydana gelen ani artış oranları kat sayısına bağlı olarak değişmektedir. Çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde 4 katlı modellerde %33 oranında, 8 katlılarda yaklaşık %133, 12 katlı modellerde %100 ve 16 katlı modellerde ise %200 oranında artış olduğu gözlenmektedir.



**Şekil 4.12.**  $R_A = \%80$  ve  $R_H = \%50$  değerlerine sahip çekmeli bina modelleri üzerinde görel kat ötelenme değerlerindeki değişime kat sayısının etkisi

Şekil 4.13. ile sunulan grafikte ise çekmeli binalarda  $R_A$  değerinin %80 ve  $R_H$  değerinin %75 olması durumunda modellerin yükseklik boyunca görel ötelenme dağılımı yine benzer dağılıma sahiptir. Bu modeller üzerinde, çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde görel kat ötelenme değerindeki artışlar incelendiğinde ise; 4 katlı ve 8 katlı modellerde artış gözlenmezken, 12 katlı modellerde %33 oranında, 16 katlı

modellerde ise %100 oranında artış olduğu gözlenmektedir. Çekme düzensizliği bulunan binalar üzerinde kat sayısı arttıkça, çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde görelî kat ötelenmelerinde gözlenen ani artışlar artmaktadır. Bu artışlar özellikle çekmenin binanın orta kat seviyesinin altında oluşturulması halinde daha belirgin bir hal almaktadır.



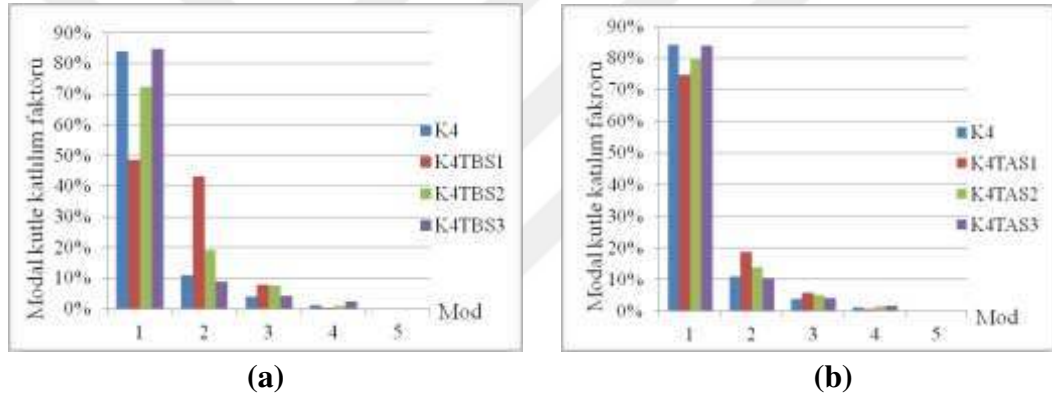
**Şekil 4.13.**  $R_A = \%80$  ve  $R_H = \%75$  değerlerine sahip çekmeli bina modelleri üzerinde görelî kat ötelenme değerlerindeki değişime kat sayısının etkisi.

Ayrıca, çekme düzensizliği bulunan bina modelleri üzerinde görelî kat ötelenme değerleri verilen grafikler üzerinden incelendiğinde, tüm modellerde görelî kat ötelenmelerinin TBDY 2018'e [32] göre verilen 0.02 sınır değerinin altında kaldığı görülmektedir.

#### 4.2.4. Modal kütle katılım faktörünün değişimi

Yapısal özellikleri nedeniyle çekme düzensizliğine sahip betonarme binalar, deprem sırasında hasar riski taşımaktadır [23]. Bu nedenle bu tip binaların tasarımında, dinamik davranışları göz önüne alınmalıdır. Sayısal çalışmanın bu kısmında dinamik davranış parametrelerinden biri olan modal kütle katılım faktörünün, çekme bulunan ve bulunmayan (referans) bina modelleri üzerindeki değişimi irdelenmektedir. Bu nedenle, sayısal çalışmanın bu kısmında, 4, 8, 12 ve 16 katlı modeller üzerinde modal kütle katılım faktörünün değişimi incelenmiş, grafiklerle sunulmuştur. Şekil 4.14 (a) ile verilen grafiğe göre, 4 katlı referans bina modelinde (K4) 1. modun kütle katılım faktörü %84 civarındayken K4TBS3-K4TBS2-K4TBS1 modellerinde sırasıyla bu oran %84-%72-%48 değerleri almaktadır. Yani çekme oranının %80 olduğu modeller arasında çekme kat seviye oranı modal kütle üzerinde etkin rol almakta hatta  $R_H$

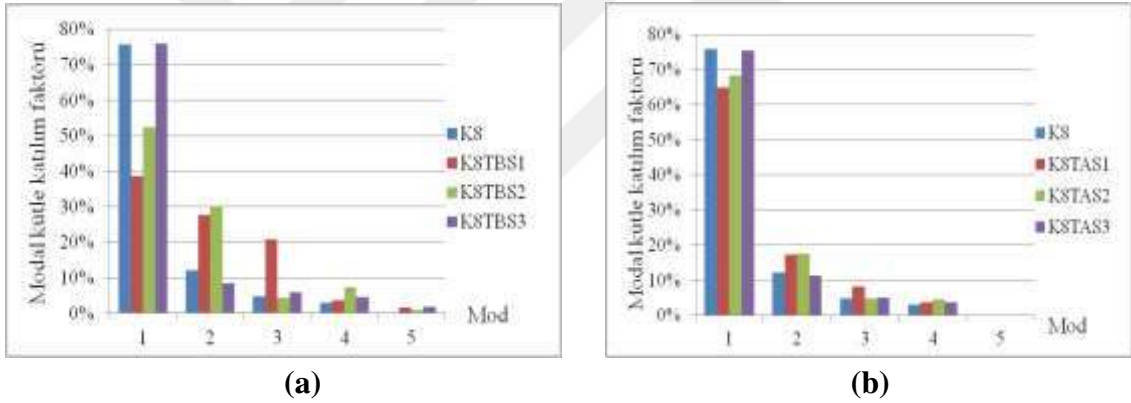
değerinin azalması halinde (çekmenin alt katlarda oluşturulması halinde) 1. modun kütle katılım faktörü de azalmaktadır. Deprem yönetmeliklerinde çekme düzensizliği bulunan binalar üzerinde eşdeğer deprem yükü yöntemi gibi statik analiz yöntemlerinin kullanımının uygun olmamasına bu durum sebep gösterilebilir. Şekil 4.14 (a)'daki grafikten de görülebileceği gibi K4TBS1 modelinde 1. modun kütle katılım faktörü %48 iken 2. modun kütle katılım faktörü %43, 3. mod ise %8 civarındadır. Yani bu model üzerinde referans bina modeline göre, 1. mod katkısı azalmaktayken 2. ve 3. modların katkısı artmaktadır. K4TBS2 modelinde ise; modal kütle katılım faktörünün modlar arasındaki değişimi 1. mod %72, 2. mod %20 ve 3. mod %7 civarındadır. Çekmenin orta kat seviyesinin üstünde oluşturulması halinde (K4TBS3 modeli) referans bina modeline benzer davranış göstermektedir.



**Şekil 4.14.** 4 Katlı modeller üzerinde modal kütle katılım faktörü değişimi (a)  $R_A$ =%80 (b)  $R_A$ =%40 değeri için

Şekil 4.14 (b) ile verilen grafiğe göre referans bina modelinde (K4) 1. modun kütle katılım faktörü %84 civarındayken K4TAS3-K4TAS2-K4TAS1 modellerinde sırasıyla bu oran %84-%80-%70 değerlerini almaktadır. Yani çekme oranının %40 olduğu modeller arasında  $R_H$  değerinin azalması halinde 1. modun kütle katılım faktörü de azalmaktadır. Ancak bu azalım çekme oranının %80 olduğu modellerde olduğu kadar fazla değildir. Şekil 4.14 (b)'deki grafikten de görülebileceği gibi K4TAS1 modelinde 1. mod kütle katılım faktörü %75 iken 2. modun kütle katılım faktörü %19, 3. mod ise %6 civarındadır. K4TAS2 modelinde ise; modal kütle katılım faktörünün modlar arasındaki değişimi 1. mod %80, 2. mod %14 ve 3. mod %5 civarındadır. K4TAS3 modeli ise referans bina modeline benzerdir.

Modal kütle katılım faktörünün değişimi 8 katlı modeller üzerinde de incelenmiş ve elde edilen veriler Şekil 4.15 (a) ve Şekil 4.15 (b) ile grafiksel ortamda verilmektedir. Şekil 4.15 (a)'da verilen grafik incelendiğinde; çekme oranının %80 olması halinde modal kütle katılım faktöründeki değişimi 4 katlı modellere benzer bir davranış sergilerken, sistem üzerinde  $R_H$  değerindeki azalmayla (*çekmenin alt kat seviyelerinde oluşturulması halinde*) 1. modun kütle katılım faktörü azalmaktadır. K8TBS1 modelinde modal kütleyle 1.modun %38, 2.modun %28 ve 3.modun katkısı %21 civarındadır. K8TBS1 modeli üzerinde de yine 1.mod katkısı referans bina modeline göre azalırken 2. mod ve 3. modun etkili olduğu görülmektedir. Ayrıca 4 ve 8 katlı modeller üzerinde modal kütle katılımları kıyaslandığında, çekmenin orta kat seviyesinin altında yapılması halinde 8 katlı modellerde 3. mod etkisi belirgin şekilde artarken, çekmenin orta kat seviyesinde yapılması halinde ise 2. modun etkili olduğu görülmektedir.



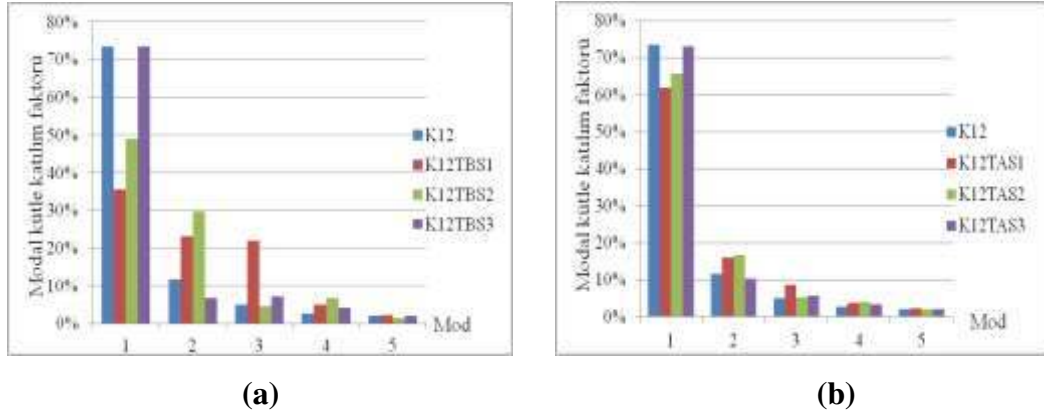
Şekil 4.15. 8 Katlı modeller üzerinde modal kütle katılım faktörü değişimi (a)  $R_A$ =%80 (b)  $R_A$ =%40 değeri için

Şekil 4.15 (b)'de gösterilen grafikte, çekme oranının %40 olması halinde modal kütle katılım faktörünün çekme kat seviye oranına bağlı değişimi verilmiştir. Bu grafikte de  $R_H$  değerinin azalmasıyla 1.mod etkisinin azaldığı görülmektedir. Ancak bu azalım %80 çekme oranına sahip modellerde olduğu kadar belirgin değildir.

12 katlı modellerde çekme oranının %80 ve %40 olması hallerinde çekme kat seviyesinin modal kütle katılımına etkisi Şekil 4.16 (a) ve Şekil 4.16 (b) ile verilmiştir. Bu grafiklerden çekmenin binanın orta kat seviyesinin altında (K12TAS1 ve K12TBS1

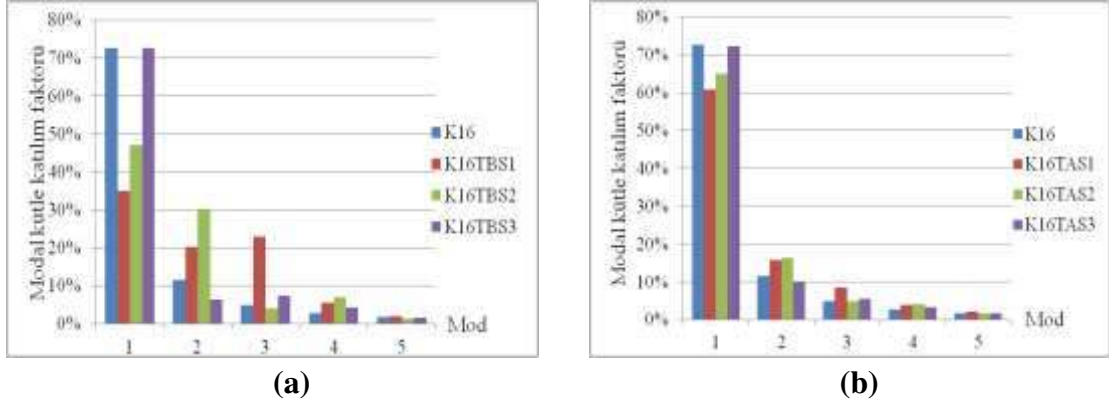
modelleri arasında) ve çekmenin orta kat seviyesinde oluşturulduğu modeller (K12TAS2 ve K12TBS2) üzerinde çekme oranının ( $R_A$ ) artması ile 1. mod kütle katılım faktörünün giderek azaldığı, 2. ve 3. modların katkısının arttığı görülmektedir. Özellikle, çekmenin orta kat seviyesinde oluşturulduğu model (K12TBS2) üzerinde, 2. modun etkili olduğu görülmektedir. Ancak, çekmenin orta kat seviyesinin üstünde yapılması durumunda, çekme oranı (K12TAS3 ve K12TBS3 modelleri arasında), modal kütle katılımı üzerinde etkili olmamaktadır.

Çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinin modal kütle katılım faktörü üzerindeki etkisi ise Şekil 4.16 (a)'da verilen grafik üzerinden incelendiğinde; 1. Mod katkısının K12TBS3, K12TBS2 ve K12TBS1 modellerinde sırasıyla %72, %48 ve %35 değerlerini aldığı görülmektedir. Yani çekmenin alt katlara doğru yapılması halinde (*çekme kat kat seviye oranının azalması hali*) 1. modun katkısının giderek azaldığı ve sistem üzerinde özellikle 2. ve 3. modların katkısının arttığı çıkarımı yapılabilir. Şekil 4.16 (b)'deki grafiğe göre ise çekmenin %40 oranında yapıldığı modeller üzerinde de yine çekmenin alt katlara doğru yapılması halinde 1. modun katkısı giderek azalmaktadır. Ancak bu azalma %80 çekme oranına sahip modellere göre daha düşük oranlarda olmaktadır.



**Şekil 4.16.** 12 Katlı modeller üzerinde modal kütle katılım faktörü değişimi (a)  $R_A=80\%$  ve (b)  $R_A=40\%$  değeri için

Şekil 4.17 (a) ve (b) ile sunulan grafiklerde de 16 katlı modeller üzerinde modal kütle katılım faktöründeki değişim 4, 8 ve 12 katlı modellere benzerdir. Çekme oranının ( $R_A$ ) artması ve çekme kat seviye oranının ( $R_H$ ) azalması halinde 1.mod kütle katılım faktörünün giderek azaldığı ve yüksek modların sistem üzerinde etkili olduğu görülmektedir.



**Şekil 4.17.** 16 Katlı modeller üzerinde modal kütle katılım faktörü değişimi (a)  $R_A = \%80$  (b)  $R_A = \%40$  değeri için

#### 4.2.5. Çekme düzensizliği bulunan bina modelleri üzerinde kesme kuvveti değişimi

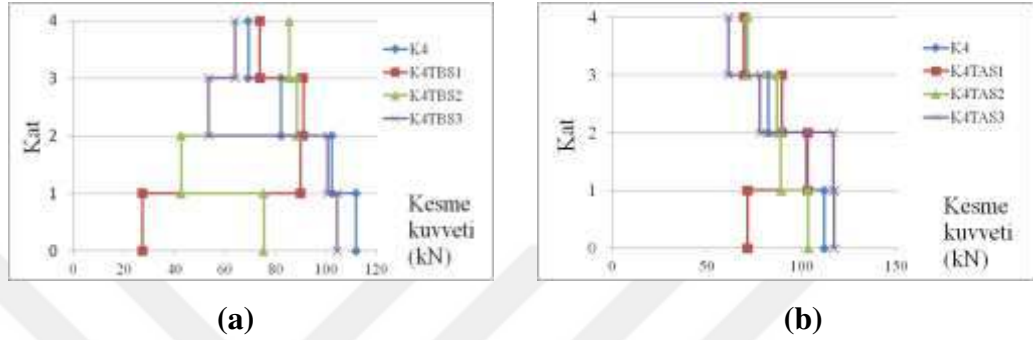
Çekme düzensizliği bulunan betonarme binalarda, çekme nedeniyle kütle ve rijitlikte ani değişim olmakta, düşey doğrultuda kütle ve rijitlik düzensizlikleriyle karşılaşılmaktadır. Kütle ve rijitlikteki ani değişimler nedeniyle, çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde taşıyıcı elemanların iç kuvvetlerinde (*kesme kuvveti, moment*) ani artışlar meydana gelmektedir.

Sayısal çalışmanın bu bölümünde, çekme bulunmayan (*referans*) bina modelleri ve çekme düzensizliğine sahip bina modelleri üzerinde kolonlarda meydana gelen kesme kuvveti değişimleri incelenmiştir. 4 katlı modellere ait kesme kuvveti değişimi Şekil 4.18 (a) ve Şekil 4.18 (b)'de verilmektedir. Şekil 4.18 (a) ve Şekil 4.18 (b)'de 4 katlı modeller içerisinde çekme bulunmayan (referans) bina modellerinde kesme kuvveti üst katlara doğru giderek azalmaktadır. Ancak çekme düzensizliği bulunan binalarda bu azalma çekme kat seviyesine kadar devam etmekte, çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde ise ani artışlar gözlenmektedir. Şekil 4.18 (a)'ya göre çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde, çekmenin orta kat seviyesinin altında yapılması halinde (K4TBS1 modeli) kesme kuvvet değeri yaklaşık %230 oranında artmaktadır. Orta kat seviyesinde oluşturulan çekme nedeniyle (K4TBS2 modeli) %110, orta kat seviyesinin üstünde oluşturulan çekme nedeniyle ise (K4TBS3 modeli) %19 oranında artmaktadır. Özellikle bu grafik üzerinde K4TBS1 VE K4TBS2 modelleri referans bina modeliyle (K4) kıyaslandığında, çekme düzensizliği bulunan binaların taban kısmında referans



bina modeline göre daha düşük, kule kısmında ise daha büyük kesme kuvveti olduğu görülmektedir.

Şekil 4.18 (b)'ye göre çekme oranının %40 olması halinde; K4TAS1 modelinde %45 oranında bir artış olurken, K4TAS2 VE K4TAS3 modellerinde herhangi bir artış olmayıp düzenli bina modeline benzer davranış göstermektedir.



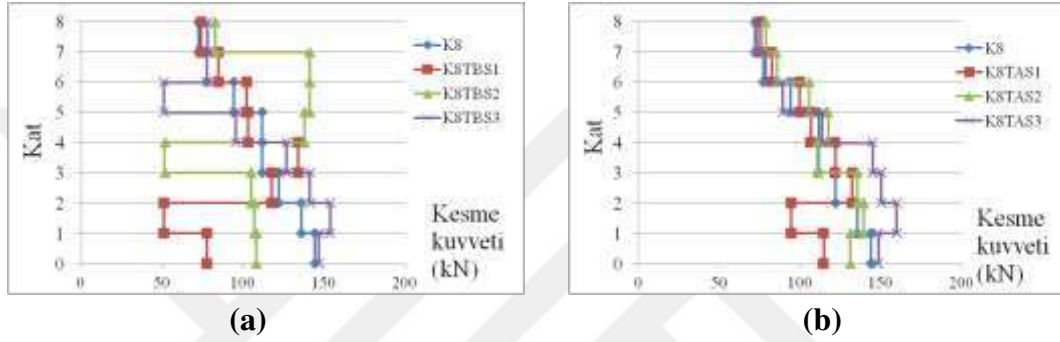
**Şekil 4.18.** 4 katlı modeller üzerinde kolonlarda meydana gelen kesme kuvveti değişimi (a) %80 çekme oranı (b) %40 çekme oranı için

8 katlı modellere ait kesme kuvveti değişimi Şekil 4.19 (a) ve Şekil 4.19 (b) ile verilmektedir. Şekil 4.19 (a) ve Şekil 4.19 (b)'ye göre 8 katlı modeller içerisinde referans bina modelinde (K8) kesme kuvveti üst katlara doğru azalmaktadır. Ancak bina üzerinde yapılan çekmeler nedeniyle 4 katlı modellere benzer bir şekilde, çekmenin oluşturulduğu kat seviyelerinde ani artışlar meydana gelmektedir. Çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde, rijitlikte ani değişimin meydana geldiği geçiş bölgesi, çekmenin orta kat seviyesinin altında yapılması halinde (K8TBS1 modeli) yaklaşık olarak %140 oranında, orta kat seviyesinde yapılması halinde (K8TBS2 modeli) %170 oranında artmaktadır. Çekmenin orta kat seviyesinin üstünde oluşturulduğu bina modelinde (K8TBS3) ise %50 oranında artış gözlenmektedir. Buna karşı çekme oranının azaldığı modellerde bu artış oranı da azalmaktadır. %40 çekme oranına sahip bina modelleri üzerinde kolonlarda meydana gelen kesme kuvveti değişimi Şekil 4.19 (b)'de verilmiştir. Bu grafiğe göre; K8TAS1 modelinde yaklaşık %40, K8TAS2 modelinde %6 civarında bir artış olurken; K8TAS3 modelinde artış gözlenmemektedir. Çekme düzensizliği bulunan binalar üzerinde çekme oranının artmasıyla çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde meydana gelen ani artışlar daha belirgin hale gelirken; 8 katlı modeller içerisinde özellikle %80 çekme oranına sahip olan ve bu çekmenin orta



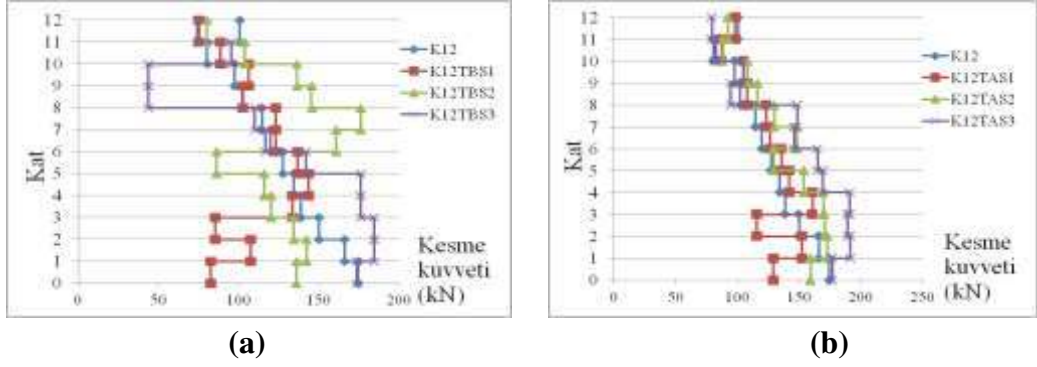
kat seviyesinde yapıldığı model üzerinde bu ani artış yüzdesinin en fazla olduğu görülmektedir.

4 katlı modellere benzer bir şekilde 8 katlı modellerde de çekmenin orta kat seviyesinin altında veya çekmenin orta kat seviyesinde yapılması halinde, referans bina modeline göre, taban kısmında daha düşük kesme kuvvetleriyle karşılaşılmaktadır. Çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde çekme nedeniyle kesme kuvvetinde ani artışlar olmakta ve kule kısmında referans bina modeline göre daha büyük kesme kuvvetleri oluşmaktadır. Literatürde, bu durum çekme etkisi terimiyle açıklanmaktadır [12].



**Şekil 4.19.** 8 katlı modeller üzerinde kolonlarda meydana gelen kesme kuvveti değişimi (a) %80 çekme oranı (b) %40 çekme oranı için

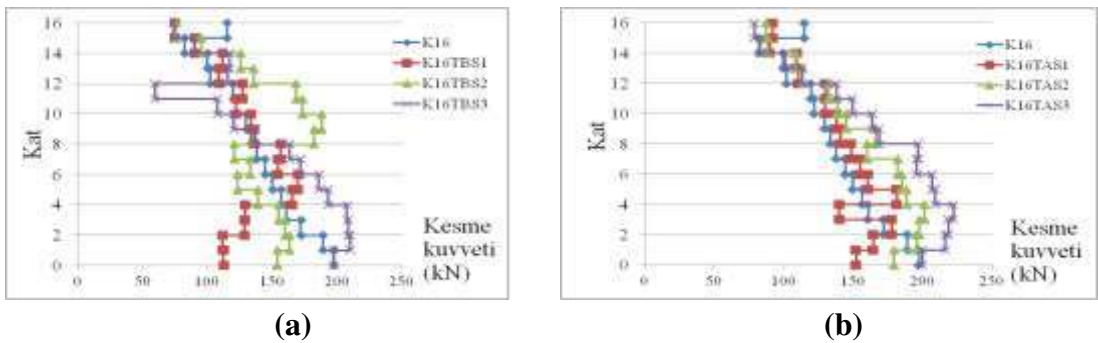
12 katlı modellere ait kesme kuvveti değişimi Şekil 4.20 (a) ve Şekil 4.20 (b)'de verilmiştir. Bu grafiklerden yola çıkılarak referans bina modelinde (K12) kesme kuvveti değişiminin bina yüksekliğince üst katlara doğru azaldığı görülmektedir. Bina üzerinde çekme oranının %40 olması halinde çekmeli binalar, referans bina davranışına benzer olup çekme kat seviyelerinde K12TAS1 modelinde %40; K12TAS2 modelinde %15; K12TAS3 modelinde ise yaklaşık olarak %11 oranında kesme kuvvetinde ani artışlar olmaktadır. Buna karşı çekme oranının %80 olması halinde çekme kat seviyelerinde kolonlarda meydana gelen kesme kuvvetinde, K12TBS1 modelinde yaklaşık olarak %120; K12TBS2 modelinde %88 oranında; K12TBS3 modelinde ise yaklaşık olarak %56 oranında bir artış olduğu gözlenmektedir. Ayrıca bu grafikte çekme oranının %80 olması halinde K12TBS1 ve K12TBS2 modellerinde çekme kat seviyesine kadar referans bina modeline göre daha küçük kesme kuvveti değeriyle karşılaşılmaktayken, kule kısmında referans binaya göre daha büyük değerlerle karşılaşılmaktadır. Bu nedenle çekme kat seviyesinde ani artışlar gözlenmektedir.



**Şekil 4.20.** 12 katlı modeller üzerinde kolonlarda meydana gelen kesme kuvveti değişimi (a) %80 çekme oranı (b) %40 çekme oranı için

4, 8 ve 12 katlı modellerde olduğu gibi 16 katlı modellere ait kesme kuvveti değişimi Şekil 4.21 (a) ve Şekil 4.21 (b)'de verilmiştir. Bu grafiklerde de önceki modellere benzer olarak çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde kesme kuvvetinde ani artışlar gözlenmektedir. Şekil 4.21 (a)'deki grafiğe göre bu ani artışlar; çekmenin bina üzerinde orta kat seviyesinin altında yapılması halinde (K8TBS1) %28 civarındayken, çekmenin orta kat seviyesinde yapılması halinde (K8TBS2) % 52 oranında bir artış söz konusudur. Çekmenin orta kat seviyesinin üstünde yapılması halinde ise % 95 oranında ani bir artış olduğu gözlenmektedir. Çekme oranının azalmasıyla bina davranışı referans bina modelinin davranışına benzemekte ve kesme kuvvetinde meydana gelen ani artış yüzdesi de azalmaktadır. Örneğin, K16TAS2 modelinde %4 civarında artış gözlenirken; K16TAS3 modelinde ani bir artış olmamaktadır.

Kat sayısının artmasıyla birlikte, çekmenin orta kat seviyesinin üstünde yapıldığı modellerde, referans bina modeline göre taban kısmında daha büyük kesme kuvvetleri oluşmaktadır.

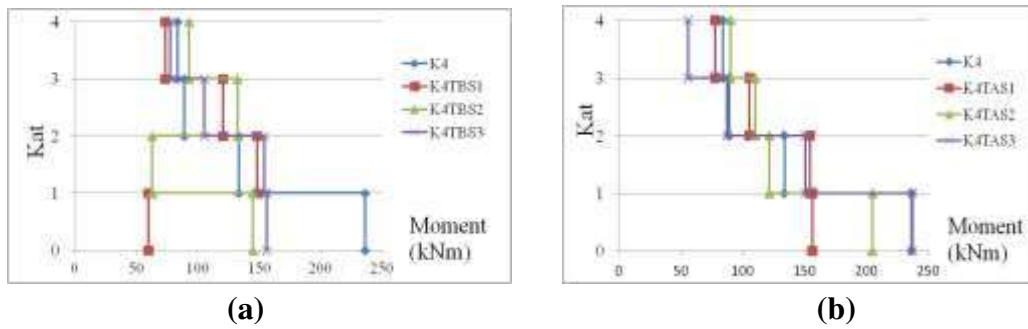


**Şekil 4.21.** 16 katlı modeller üzerinde kolonlarda meydana gelen kesme kuvveti değişimi (a) %80 çekme oranı (b) %40 çekme oranı için

#### 4.2.6. Çekmeli bina modelleri üzerinde moment değişimi

Çekme düzensizliği bulunan betonarme binaların taşıyıcı elemanlarında meydana gelen kesme kuvvetinin yanında moment değişimi de 4, 8, 12 ve 16 katlı modeller üzerinde incelenmektedir.

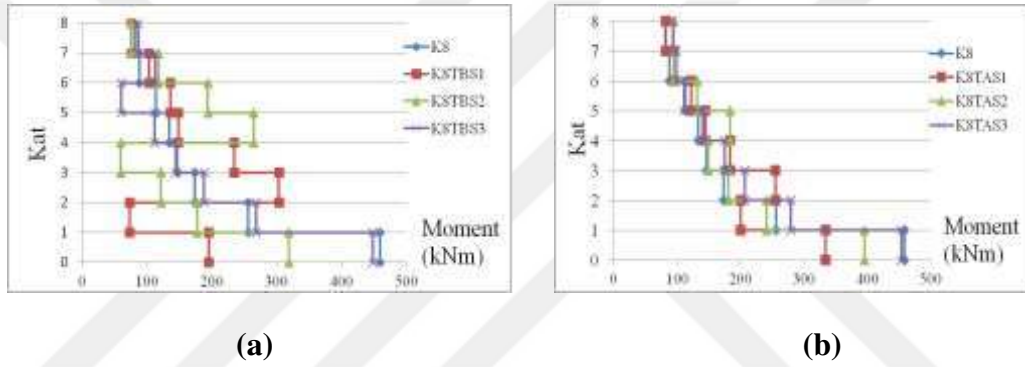
4 katlı modeller üzerinde kolonlarda meydana gelen moment değişimleri Şekil 4.22 (a) ve Şekil 4.22 (b) ile sunulan grafiklerle verilmektedir. Yukarıda sunulan kesme kuvveti değişim grafikleriyle benzer grafiğe sahip olan moment değişim grafikleri için çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde, moment değerlerinde de yine ani artışlar gözlenmektedir. Bu ani artışlar çekme oranının %80 olması durumunda %40 olma durumuna göre daha belirgin hale gelmektedir. Örneğin; orta kat seviyesinde %80 çekme oranına sahip model (K4TBS2) üzerinde, çekme kat seviyesinde moment değeri yaklaşık olarak %115 oranında kat artmaktayken, orta kat seviyesinde %40 çekme oranına sahip model (K4TAS2) üzerinde herhangi bir artış olmamaktadır. Ancak çekme oranının %80 olması durumunda çekme kat seviye oranının etkisi incelenirse,  $R_H$  değerinin azalması halinde (çekmenin alt katlara doğru yapılması durumunda), çekme kat seviyesindeki ani artış yüzdesi artmaktadır. Şöyle ki; K4TBS3, K4TBS2 ve K4TBS1 modellerinde sırasıyla çekme kat seviyesinde meydana gelen moment değerleri yaklaşık olarak %11, %115 ve %150 oranında artmaktadır.



Şekil 4.22. 4 katlı modeller üzerinde kolonlarda meydana gelen moment değişimi (a) %80 çekme oranı (b) %40 çekme oranı için

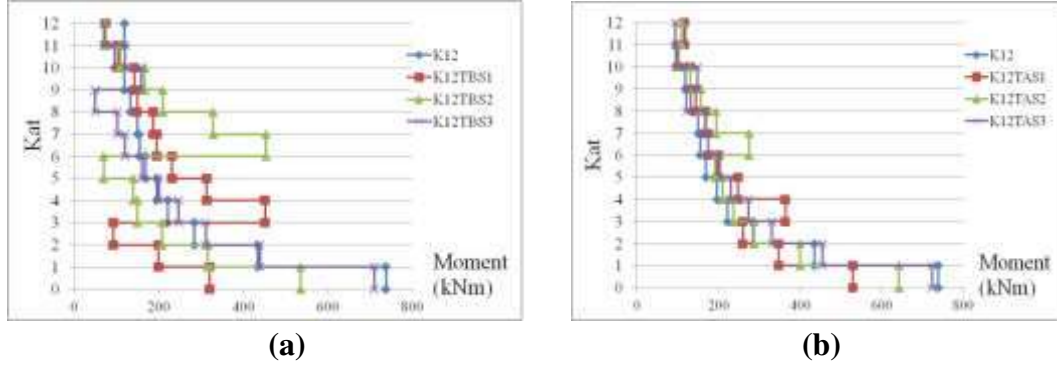
Şekil 4.23 (a) ve Şekil 4.23 (b) ile verilen grafiklerde 8 katlı modeller üzerinde kolonlarda meydana gelen moment değişimi verilmektedir. 4 katlı modellerde olduğu gibi bu modellerde de çekmenin oluşturulduğu kat seviyelerinde moment değerlerinde

ani artışlar gözlenmektedir. Bu artış %80 çekme oranına sahip ve bu çekmenin orta kat seviyesinde oluşturulduğu model (K8TBS2 modeli) üzerinde en fazla olup, çekme oranının azalmasıyla azalmaktadır. Çekme oranının %40 olması halinde kolonlarda meydana gelen moment değişimi çekme bulunmayan (referans) bina modeline yakın olup çekme kat seviyelerinde K8TAS1 modelinde yaklaşık %28, K8TAS2 modelinde %24 civarındayken; K8TAS3 modelinde artış gözlenmemektedir. Ayrıca, çekmenin binanın orta kat seviyesinde veya orta kat seviyesinin altında oluşturulduğu modellerde, referans bina modeline göre taban kısmında daha düşük moment değerleri oluşurken; kule kısmında referans bina modeline oranla daha büyük moment değerleri oluşmaktadır.



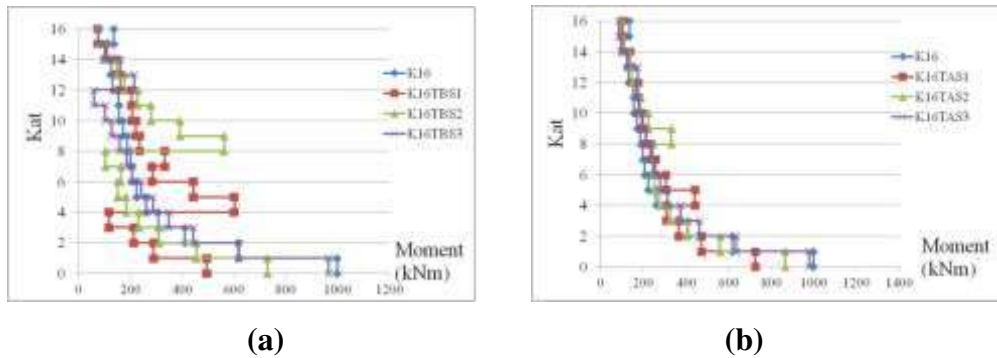
**Şekil 4.23.** 8 katlı modeller üzerinde kolonlarda meydana gelen moment değişimi (a) %80 çekme oranı (b) %40 çekme oranı için

12 katlı modeller üzerinde kolonlarda meydana gelen moment değişimleri Şekil 4.24 (a) ve Şekil 4.24 (b) ile sunulan grafiklerde verilmektedir. Bu grafiklere göre çekme düzensizliği bulunan modeller üzerinde kolonlarda meydana gelen moment değişimleri, Şekil 4.23 (a) ve Şekil 4.23 (b) ile verilen 8 katlı modellerle benzer davranış sergilemekte ve çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde ani artışlar meydana gelmektedir. 4 ve 8 katlı modellere göre kat sayısının artması nedeniyle 12 katlı modellerde ani artış yüzdeleri de artmaktadır. Şekil 4.24 (a)'ya göre; çekmenin orta kat seviyesinin altında yapılması halinde (K12TBS1 modelinde) çekme kat seviyesindeki kolonlarda oluşan moment değeri yaklaşık %390 oranında artarken, K12TBS2 modelinde yaklaşık %360 ve K12TBS3 modelinde yaklaşık %90 oranında artmaktadır.



**Şekil 4.24.** 12 katlı modeller üzerinde kolonlarda meydana gelen moment değişimi (a) %80 çekme oranı (b) %40 çekme oranı için

16 katlı modeller üzerinde kolonlarda meydana gelen moment değişimleri Şekil 4.25 (a) ve Şekil 4.25 (b) ile sunulan grafiklerde verilmektedir. Yine 16 katlı modellerde de çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde moment değerlerinde ani artışlar meydana gelmektedir. Çekme oranı ve çekme kat seviye oranı bu artışlar üzerinde etkili olup; özellikle orta kat seviyesinde yapılan çekme nedeniyle (K16TBS2 modelinde) çekmenin yapıldığı kat seviyesinde moment değeri yaklaşık olarak %560 oranında artmaktadır. K16TAS2 modelinde ise bu artış yaklaşık %44 oranında olmaktadır. Bu nedenle çekme oranının moment değişimi üzerinde önemli etkiye sahip olduğu söylenebilir. Özellikle, kat sayısı arttıkça çekmenin orta kat seviyesinde oluşturulduğu modeller üzerinde moment artışı belirgin bir hal almaktadır. Şöyle ki; K4TBS2 modelinde %115 oranında; K8TBS2 modelinde %350 oranında; K12TBS2 modelinde %360 oranında ve K16TBS2 modelinde %560 oranında artış gözlenmektedir.



**Şekil 4.25.** 16 katlı modeller üzerinde kolonlarda meydana gelen moment değişimi (a) %80 çekme oranı (b) %40 çekme oranı için

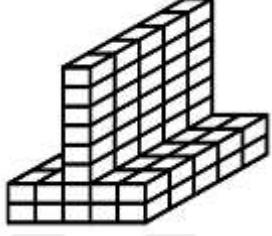
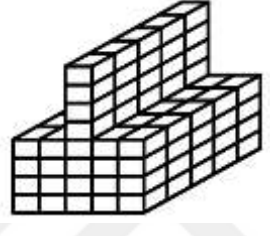
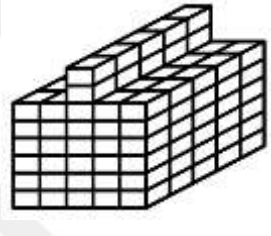
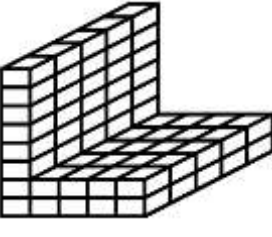
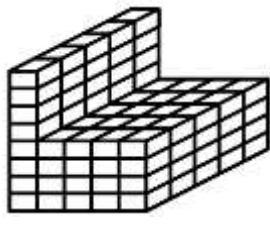
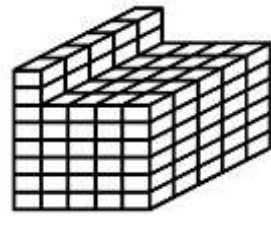
#### 4.3. Üç boyutlu analizlerden elde edilen verilerin grafiksel ortamda incelenmesi

Çekme düzensizliği bulunan binalarda, çekme oranı ve çekmenin oluşturulduğu kat seviyesine bağlı olarak deprem sırasında karşılaşılan başlıca problemlerden biri bina yüksekliğince oluşan kütle ve rijitlik düzensizlikleridir. Çekme düzensizliği bulunan binalarda ayrıca, deprem sırasında çekmenin oluşturulma şekline bağlı (*asimetrik çekmeli binalar* ) olarak oluşan bir diğer problem ise burulma etkisi olup, asimetrik çekmeli binalar üzerinde çekme düzensizliğiyle birlikte burulma düzensizliğiyle de karşılaşılabilmektedir.

Sayısal çalışmanın bu bölümünde, çekme düzensizliği bulunan betonarme binalarda asimetrik çekme durumunun deprem davranışına etkisi irdelenmektedir. Bu amaçla, simetrik ve asimetrik çekmeli bina modelleri üzerine analizler gerçekleştirilmiştir. Asimetrik çekmeli binalar üzerinde X doğrultusunda yapılan çekme nedeniyle sistem düşeyde X doğrultusunda simetrik iken, Y doğrultusunda asimetriktir. Asimetri nedeniyle Y doğrultusundaki deprem kuvvetine karşı sistem üzerinde burulma beklenmektedir. Bu nedenle sistem üzerindeki burulma etkisini inceleyebilmek için, bu kısımda üç boyutlu modeller (3D) üzerinden analizler yürütülmüştür. Analizlerde kullanılan 3D modellere ait bina geometrileri Tablo 4.7’de verilmektedir. Model tanımlarında, düzlem modellere benzer şekilde kod isimleri kullanılmaktadır. Örneğin; Kod adı K8TBAS1 olan model için, K8; binanın 8 katlı olduğunu, TB;  $R_A$  değerinin %80, AS; bina geometrisinin düşey eksen etrafında asimetrik olduğunu ve 1;  $R_H$  değerinin %25 değerine eşit olduğunu göstermektedir. Bu sistemler üzerinde asimetrik çekme etkisi, deprem davranış parametrelerine (*periyot, modal kütle katılım faktörü, görelî kat ötelenmeleri, taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan iç kuvvetler, burulma düzensizliği*) bağlı olarak incelenmektedir. Bu bölümde yapı pratiğinde en çok 8 katlı binalarla karşılaşılmaması nedeniyle 4, 12 ve 16 katlı modeller elenerek 8 katlı modeller üzerine analizler gerçekleştirilmiştir. Düzlem modellere benzer şekilde 3D analizlerde SAP 2000 yapı analiz programı kullanılmıştır. Ayrıca, sayısal çalışmanın birinci bölümünde, düzlem modellerden elde edilen verilerde %40 çekme oranına sahip çekmeli bina modelleri ile referans bina modellerinin deprem sırasında benzer davranış sergilemesi nedeniyle çalışmanın bu kısmında %80 çekme oranı dikkate alınmıştır.

Literatür çalışmalarında, genellikle plan üzerindeki düzensizler nedeniyle oluşan burulma etkileri üzerine çalışılmış olup, düşey eksen etrafındaki simetri durumuna bağlı (asimetrik çekme durumu) oluşabilecek burulma üzerine yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu nedenle, bu çalışmada düşey doğrultuda yapılan çekmeler nedeniyle sistem üzerinde oluşan burulma etkisi incelenmektedir.

**Tablo 4.7.** Simetrik ve asimetrik çekmeli bina modellerin tanımları

| $R_A$<br>=%80                          |           | Çekme Kat Seviye Oranı( $R_H$ )                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|----------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                                        |           | 0,25                                                                                | 0,50                                                                                 | 0,75                                                                                  |
| Düşey eksen etrafındaki simetri durumu | Simetrik  | K8TBS1                                                                              | K8TBS2                                                                               | K8TBS3                                                                                |
|                                        |           |   |   |   |
|                                        | Asimetrik | K8TBAS1                                                                             | K8TBAS2                                                                              | K8TBAS3                                                                               |
|                                        |           |  |  |  |

Tablo 4.7’ de verilen hesap modellerinin deprem karşısındaki davranışı, dinamik davranış parametrelerine (*doğal titreşim periyodu, modal kütle katılım faktörleri, göreceli kat ötelenme değerleri, burulma düzensizlikleri ve taşıyıcı elemanların iç kuvvetlerinde yükseklik boyunca meydana gelen değişimler, burulma düzensizliği*) bağlı olarak incelenmiş olup, aşağıda tablo ve grafiklerle sunulmuştur.



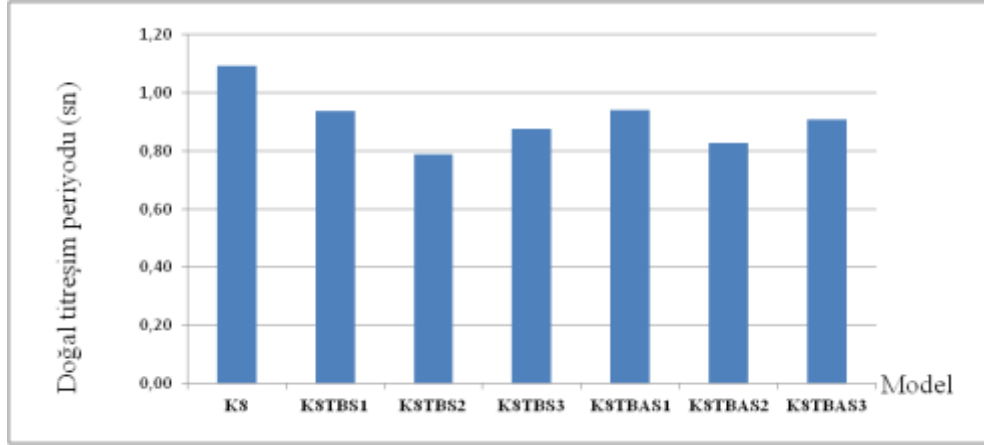
#### 4.3.1. Doğal titreşim periyodunun değişimi

Çekme düzensizliği bulunan 3D modeller üzerinde, asimetrik çekme durumunun periyot değişimine etkisi, çekme bulunmayan(referans) bina modeli ile karşılaştırmalı olarak Tablo 4.8’de verilmektedir. Ayrıca bu modellere ait doğal titreşim periyodundaki değişim grafiksel ortamda Şekil 4.26’da verilmektedir. Öncelikle referans bina modeline (K8) göre çekmeli bina modellerinin (K8TBS1, K8TBS2, K8TBS3, K8TBAS1, K8TBAS2, K8TBAS3) daha küçük doğal titreşim periyoduna sahip olduğu Şekil 4.26’da görülmektedir. Şekil 4.26 ile verilen grafikte, asimetrik çekme durumunun doğal titreşim periyoduna etkisi, çekme oranı ve çekmenin oluşturulduğu kat seviyesi aynı olan simetrik ve asimetrik çekmeli bina modelleri üzerinden karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Orta kat seviyesinden daha düşük bir seviyede oluşturulan simetrik (K8TBS1) ve asimetrik çekmeli (K8TBAS1) bina modelleri arasında doğal titreşim periyodunun değiştiği görülmüştür. Benzer durumla çekmenin orta kat seviyesinde (K8TBS2-K8TBAS2) ve orta kat seviyesinden üst seviyede (K8TBS3-K8TBAS3) oluşturulan modellerde karşılaşılmıştır. Simetrik ve asimetrik çekmeli bina modelleri arasında doğal titreşim periyodu, 2. mod ve 3. mod periyotlarında değişim söz konusudur. Tablo 4.8’de 1. mod, 2. mod ve 3. moda ait periyot değerleri incelendiğinde, çekme düzensizliği bulunan binalarda, düşey eksen etrafındaki simetri durumunun periyot üzerinde değişikliğe sebep olduğu görülmektedir. Bu nedenle, aşağıda çekmeli bina modelleri üzerinde modal kütle katılım faktörü değişimi her iki doğrultuda (X ve Y) ilk beş mod için incelenmiştir.

**Tablo 4.8.** Çekme düzensizliği bulunan binaların ilk üç moduna ait periyotları

| Model   | Periyot(sn) |       |       |
|---------|-------------|-------|-------|
|         | Mod 1       | Mod 2 | Mod 3 |
| K8      | 1,092       | 1,092 | 0,974 |
| K8TBS1  | 0,936       | 0,785 | 0,784 |
| K8TBAS1 | 0,941       | 0,856 | 0,760 |
| K8TBS2  | 0,789       | 0,733 | 0,644 |
| K8TBAS2 | 0,826       | 0,794 | 0,613 |
| K8TBS3  | 0,876       | 0,874 | 0,754 |
| K8TBAS3 | 0,908       | 0,877 | 0,770 |





Şekil 4.26. Çekmeli binalarda, asimetrik çekme durumunun doğal titreşim periyoduna etkisi

#### 4.3.2. Modal kütle katılım faktörlerinin değişimi

Sayısal çalışmanın ilk bölümünde düzlem modeller üzerinde modal kütle katılım faktörlerinin değişimi incelenmiş, sistem üzerinde ilk modların etkisinin çekme düzensizliği durumuna bağlı olarak (*çekme oranı, çekmenin oluşturulduğu kat seviyesi*) giderek azaldığı ve yüksek modların sistem üzerinde etki olduğu görülmüştür. 3D modeller üzerinde de yine modal kütle katılım faktörü değişimi simetrik ve asimetrik çekmeli binalarda incelenmiş ve elde edilen veriler Tablo 4.9'da verilmiştir. Modal kütle katılım faktörünün modeller üzerindeki değişiminin çalışmada anlaşılabilir olmasını sağlamak amacıyla, grafik yerine tablo kullanımı tercih edilmiştir. Tablo 4.9'a göre, çekme bulunmayan yani referans bina modeline (K8) göre çekme düzensizliği bulunan modellerde (K8TBS1, K8TBAS1, K8TBS2, K8TBAS2, K8TBS3, K8TBAS3) 1. mod katkısının azaldığı, 2. ve 3. mod başta olmak üzere yüksek modların katkısının arttığı gözlenmektedir. Asimetrik çekme durumunun modal kütle katılım faktörü üzerindeki etkisi incelendiğinde, orta kat seviyesinden alt seviyede oluşturulan simetrik çekmeli bina modelinde (K8TBS1) Y doğrultusunda 2. modun katkısı %44 iken, asimetrik çekmeli bina modelinde (K8TBAS1) 2. modun katkısı %33'e düşerken 3. modun katkısının %11'e çıktığı gözlenmektedir. Bu durum X doğrultusuna paralel olarak oluşturulan çekme nedeniyle Y doğrultusunda oluşan burulmadan kaynaklanmaktadır. Orta kat seviyesinde yapılan simetrik çekmeli bina modelinde (K8TBS2) Y doğrultusunda 2. mod etkili olup ve modal kütle katkısı %62'dir. Asimetrik çekmeli bina modelinde (K8TBAS2) ise 1. mod katkısı %39 olmakla birlikte

3. mod ve 4. mod sistem üzerinde etkili olmakta, mod katkıları sırasıyla %20 ve % 18 değerlerini almaktadır. Orta kat seviyesinde ve daha düşük seviyelerde yapılan simetrik çekmeli bina modellerinin referans bina modeline göre 1. mod katkısı azalmakta ve 2. mod ve 3. mod etkin hale gelmektedir. Orta kat seviyesinden üst seviyede yapılan simetrik çekmeli bina modelinde (K8TBS3) ise referans bina modeline (K8) benzer davranış sergilemektedir. Ancak orta kat seviyesinden üst seviyede yapılan asimetrik çekmeli bina modelinde (K8TBAS3) Y doğrultusunda simetrik çekmeli bina modeline (K8TBS3) göre ilk modların katkısı azalırken, yüksek modların katkısı artmaktadır. Özetle çekmenin asimetrik oluşturulması nedeniyle, simetrik çekmeli binalara göre birinci mod katkısının azaldığı, ikinci ve üçüncü mod katkılarının arttığı Tablo 4.9'da görülmektedir. Yani modal kütle katılım faktörü üzerinde, çekmenin oluşturulduğu kat seviyesi kadar çekmenin oluşturulma şeklinin (*simetrik, asimetrik*) de etkili olduğu çıkarımı yapılabilir.

**Tablo 4.9.** 3D modeller üzerinde modal kütle katılım faktörünün değişimi

| K8  |         |                             |     |
|-----|---------|-----------------------------|-----|
| Mod | Periyot | Modal kütle katılım faktörü |     |
|     |         | X                           | Y   |
| 1   | 1,0925  | 76%                         | 0%  |
| 2   | 1,0925  | 0%                          | 76% |
| 3   | 0,9744  | 0%                          | 0%  |
| 4   | 0,3694  | 3%                          | 9%  |
| 5   | 0,3694  | 9%                          | 3%  |

| K8TBS1 |         |                             |     |
|--------|---------|-----------------------------|-----|
| Mod    | Periyot | Modal kütle katılım faktörü |     |
|        |         | X                           | Y   |
| 1      | 0,9358  | 40%                         | 0%  |
| 2      | 0,7850  | 0%                          | 44% |
| 3      | 0,7843  | 0%                          | 0%  |
| 4      | 0,3261  | 27%                         | 0%  |
| 5      | 0,2919  | 0%                          | 29% |

| K8TBAS1 |         |                             |     |
|---------|---------|-----------------------------|-----|
| Mod     | Periyot | Modal kütle katılım faktörü |     |
|         |         | X                           | Y   |
| 1       | 0,9410  | 40%                         | 0%  |
| 2       | 0,8563  | 0%                          | 33% |
| 3       | 0,7601  | 0%                          | 11% |
| 4       | 0,3264  | 26%                         | 0%  |
| 5       | 0,3069  | 0%                          | 14% |

| K8TBS2 |         |                             |     |
|--------|---------|-----------------------------|-----|
| Mod    | Periyot | Modal kütle katılım faktörü |     |
|        |         | X                           | Y   |
| 1      | 0,7891  | 52%                         | 0%  |
| 2      | 0,7327  | 0%                          | 62% |
| 3      | 0,6435  | 0%                          | 0%  |
| 4      | 0,4333  | 31%                         | 0%  |
| 5      | 0,4057  | 0%                          | 0%  |

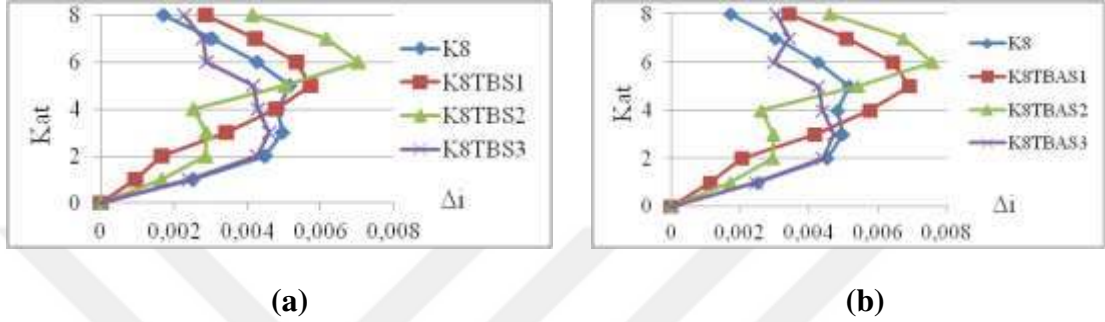
| K8TBAS2 |         |                             |     |
|---------|---------|-----------------------------|-----|
| Mod     | Periyot | Modal kütle katılım faktörü |     |
|         |         | X                           | Y   |
| 1       | 0,8256  | 0%                          | 39% |
| 2       | 0,7941  | 52%                         | 0%  |
| 3       | 0,6133  | 0%                          | 20% |
| 4       | 0,4383  | 0%                          | 18% |
| 5       | 0,4322  | 31%                         | 0%  |

| K8TBS3 |         |                             |     |
|--------|---------|-----------------------------|-----|
| Mod    | Periyot | Modal kütle katılım faktörü |     |
|        |         | X                           | Y   |
| 1      | 0,8757  | 76%                         | 0%  |
| 2      | 0,8738  | 0%                          | 76% |
| 3      | 0,7541  | 0%                          | 0%  |
| 4      | 0,3329  | 8%                          | 0%  |
| 5      | 0,3154  | 0%                          | 10% |

| K8TBAS3 |         |                             |     |
|---------|---------|-----------------------------|-----|
| Mod     | Periyot | Modal kütle katılım faktörü |     |
|         |         | X                           | Y   |
| 1       | 0,9076  | 0%                          | 58% |
| 2       | 0,8773  | 76%                         | 0%  |
| 3       | 0,7703  | 0%                          | 19% |
| 4       | 0,3374  | 8%                          | 0%  |
| 5       | 0,3244  | 0%                          | 7%  |

#### 4.3.3. Görelî kat ötelenme değêrlerinin değışimi

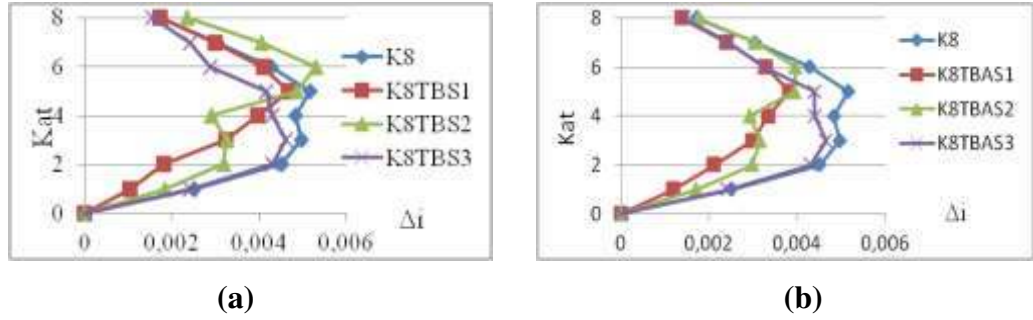
Çekmeli bina modelleri üzerinde, düşey eksen etrafındaki simetri durumu ve çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinin görelî kat ötelenme oranları üzerindeki etkileri X ve Y doğrultusu için incelenmiş, X doğrultusu için Şekil 4.27’de, Y doğrultusu için Şekil 4.28’de verilmektedir.



Şekil 4.27. X doğrultusundaki görelî kat ötelenme değêrlerinin değışimi (a) Simetrik (b) Asimetrik çekmeli binalar için

8 katlı sistemlerde, Şekil 4.27’de verilen grafiklere göre; çekmenin oluşturulduğu doğrultuda (*X doğrultusu*), görelî kat ötelenmeleri, asimetrik çekme durumuna bağılı olarak değışmektedir. Sistem üzerinde çekme nedeniyle özellikle çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde rijitlik ve kütle’nin ani değışimi nedeniyle görelî kat ötelenme değêrinde ani artışlar meydana gelmektedir. Bu ani artışlar üzerinde asimetrik çekme durumunun artırıcı bir etkiye sahip olduğu Şekil 4.27 (a) ve Şekil 4.27 (b)’de açıkça görölmektedir. Örneğ’in; çekmenin binanın orta kat seviyesinde oluşturulması halinde, simetrik çekmeli bina modelinde (K8TBS2) görelî kat ötelenmeleri yaklaşık olarak %100 oranında artarken; asimetrik çekmeli bina modelinde (K8TBAS2) yaklaşık % 110 oranında artış gözlenmektedir. Yine aynı şekilde çekmenin bina orta yüksekliğinden üst bir seviyede yapılması halinde, simetrik çekmeli bina modelinde (K8TBS3) çekme kat seviyesinde küçük bir artış gözlenirken; asimetrik çekmeli bina modelinde (K8TBAS3) bu artış %15 civarındadır. Ayrıca Şekil 4.27 ile verilen grafiklere göre, Şekil 4.27 (b)’de verilen asimetrik çekmeli bina modellerinde, Şekil 4.27 (a) ile verilen simetrik çekmeli binalara göre hem kule hem de taban kısmında daha büyük görelî kat ötelenme değêrleriyle karşılaşılmaktadır. Örneğ’in, orta kat seviyesinden alt seviyede yapılan simetrik çekmeli bina modelinde (K8TBS1) çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde, görelî kat ötelenme değêri 0,0017 m iken asimetrik

çekmeli bina modelinde (K8TBAS1) görelî kat ötelenme değeri 0,0021 m'ye yükselmiştir.



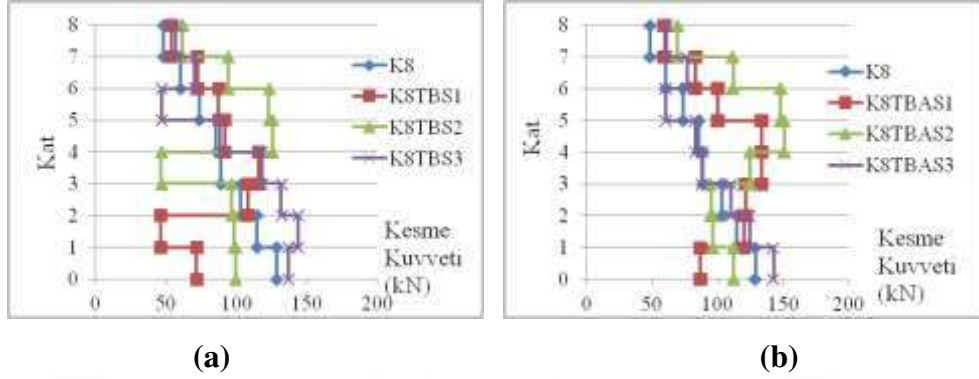
**Şekil 4.28.** Y doğrultusundaki görelî kat ötelenme değeri (a) Simetrik (b) Asimetrik çekmeli binalar için

Şekil 4.27 (a) ve Şekil 4.27 (b) ile verilen grafikler incelendiğinde asimetrik çekme nedeniyle X doğrultusundaki görelî kat ötelenme değeri artmaktadır. Bu modeller üzerinde çekmenin X doğrultusunda yapılması nedeniyle sistem Y doğrultusunda düşeydeki simetri durumu sağlanamamaktadır. Bu nedenle Y doğrultusunda etkiyen deprem kuvvetinin sistem üzerinde burulma oluşturmamasından dolayı bu sistemlerin Y doğrultusundaki deprem davranışları da bu bölümde irdelenmektedir. Şekil 4.28 (a) ve Şekil 4.28 (b) ile verilen grafikler incelendiğinde ise asimetrik çekme nedeniyle Y doğrultusunda görelî kat ötelenme değeri azalmaktadır. Bu durum asimetrik çekmeli binalarda kule merkez kütlelerinin/ rijitliğinin, taban merkez kütlelerine/rijitliğine göre eksantrik konumu nedeniyle sistem üzerinde oluşan burulma etkisinden kaynaklanmaktadır. Özellikle çekmenin asimetrik oluşturulması nedeniyle, çekmenin orta kat seviyesinde ve daha alt katlarda yapılması durumunda, referans sisteme göre Y doğrultusundaki görelî kat ötelenme değeri arasındaki fark X doğrultusuna göre daha belirgindir.

#### 4.3.4. Çekmeli bina modelleri üzerinde kesme kuvveti değişimi

Betonarme binalar üzerinde çekme nedeniyle bina yüksekliğince kütle ve rijitliğin düzensizlikleriyle karşılaşılmaktadır. Bu düzensizlikler, çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde taşıyıcı elemanların iç kuvvetlerinde (kesme kuvveti, moment) ani artışlara neden olmaktadır. Literatürdeki çalışmalarda [2,3,17] ,özellikle çekme oranındaki artışla bu ani artışların büyüdüğü açıkça görülmekte olup, bu çalışmada da literatüre paralel olarak kolonlarda meydana gelen iç kuvvet değişimi incelenmiştir. Çekmeli bina

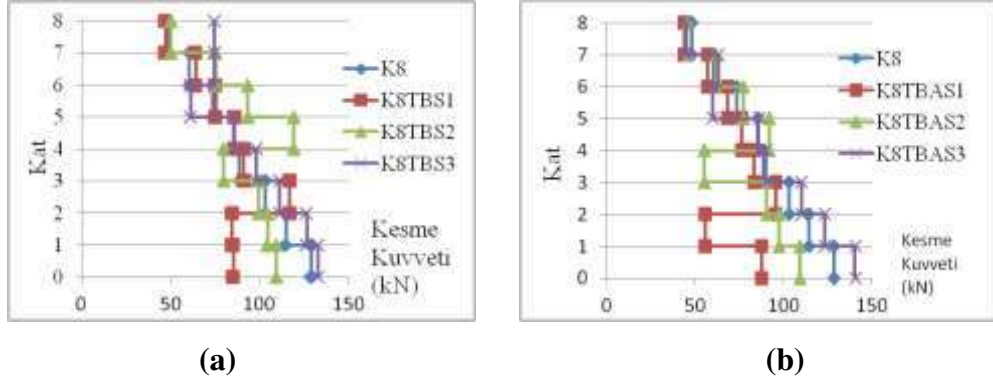
modelleri üzerinde, asimetrik çekme durumunun, X doğrultusunda kolonlarda meydana gelen kesme kuvveti değişimi üzerindeki etkileri Şekil 4.29 ile Y doğrultusundaki değişimi ise Şekil 4.30 ile verilmektedir.



**Şekil 4.29.** X doğrultusunda kolonlarda meydana gelen kesme kuvveti değişimi (a) Simetrik (b) Asimetrik çekmeli binalar için

Şekil 4.29 (a) ve (b)'ye göre; çekme bulunmayan bina modelinde (K8) kolonlarda meydana gelen kesme kuvveti değişimi bina yüksekliğince üst katlara doğru azalmaktadır. Şekil 4.29 (a)'da verilen simetrik çekmeli bina modellerinde, çekmenin orta kat seviyesinde veya daha alt seviyede bulunması halinde (K8TBS1, K8TBS2), taban kısmında referans bina modeline (K8) göre daha küçük kesme kuvvetleriyle karşılaşılırken; kule kısmında daha büyük kesme kuvvetleri oluşmaktadır. Bu nedenle çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde kesme kuvvetinde ani artışlar gözlenmektedir. Ayrıca Şekil 4.29 (b)'de verilen grafiğe göre asimetrik çekme durumunun kolonlara gelen kesme kuvveti üzerinde arttırıcı bir etkiye sahip olduğu gözlenmektedir. Şöyle ki, asimetrik çekmeli bina modellerinin taban ve kule kısmında simetrik çekmeli bina modellerine göre daha büyük kesme kuvvetleri oluşmaktadır. Örneğin; çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde kolonlarda oluşan kesme kuvvetleri incelendiğinde, çekmenin binanın orta kat seviyesinden alt seviyede yapılması halinde, simetrik çekmeli bina modelinde (K8TBS1) 46,3 kN'luk kesme kuvveti oluşurken, asimetrik çekmeli bina modelinde (K8TBAS1) bu değer 119,9 kN değerini almaktadır. Yani çekmenin asimetrik oluşturulması nedeniyle kolonda meydana gelen kesme kuvveti yaklaşık olarak %160 oranında artmaktadır. Bu artış çekmenin binanın orta kat seviyesinde oluşturulması halinde simetrik ve asimetrik çekmeli bina modelleri (K8TBS2-K8TBAS2) arasında yaklaşık %170 oranında artmaktadır. Çekmenin binanın orta kat seviyesinden üst seviyede yapılması halinde ise simetrik ve asimetrik çekmeli bina

modelleri arasında (K8TBS3-K8TBAS3) bu artış oranı diğer modellere göre daha düşük olup %27 civarında bir artış gözlenmektedir.



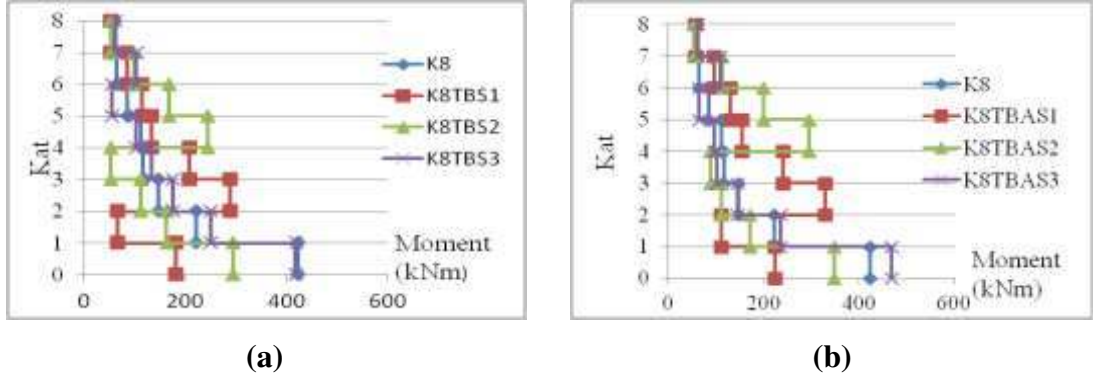
**Şekil 4.30.** Y doğrultusunda kolonlarda meydana gelen kesme kuvveti değişimi (a) Simetrik (b) Asimetrik çekmeli binalar için

Şekil 4.29 (a) ve Şekil 4.29 (b) ile verilen grafikler incelendiğinde asimetrik çekme nedeniyle X doğrultusunda kolonlarda meydana gelen kesme kuvveti artmaktadır. Ancak, Şekil 4.30 (a) ve Şekil 4.30 (b) ile verilen grafikler incelendiğinde ise asimetrik çekme nedeniyle Y doğrultusunda kolonlarda oluşan kesme kuvvetinde azalış gözlenmemektedir. Bu duruma asimetrik çekmeli binalarda sistem üzerinde oluşan burulma etkisi sebep olmaktadır.

#### 4.3.5. Çekmeli bina modelleri üzerinde moment değişimi

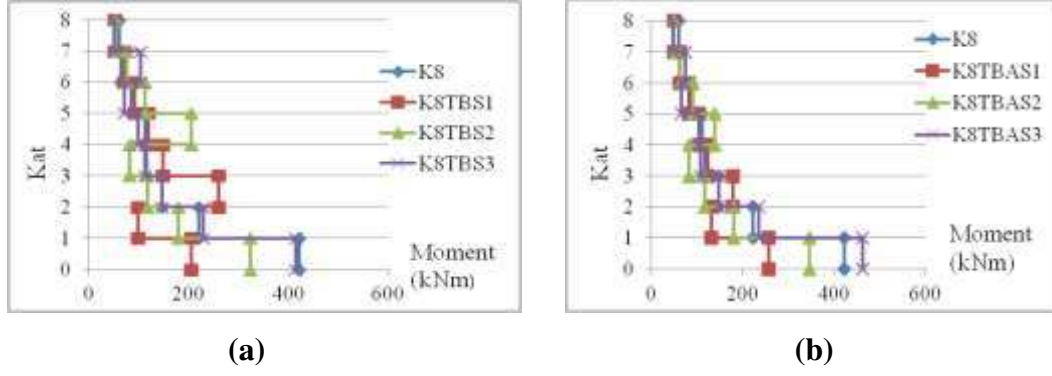
Çekme düzensizliği bulunan binalar üzerinde, çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde taşıyıcı sistem elemanlarının iç kuvvetlerinde ani artışlar meydana gelmektedir. Bu nedenle çalışmanın bu kısmında, çekmeli bina modelleri üzerinde asimetrik çekme durumunun kolonlarda meydana gelen moment değişimi binanın X ve Y doğrultusu için elde edilmiş, sonuçlar sırasıyla Şekil 4.31 ve Şekil 4.32’de verilmektedir.





**Şekil 4.31.** X doğrultusunda kolonlarda meydana gelen moment değişimi (a) Simetrik (b) Asimetrik çekmeli binalar için

Şekil 4.31 (a) ve (b)' ye göre bina yüksekliği boyunca kolonlarda meydana gelen moment değişimi Şekil 4.29 (a) ve (b) ile verilen kesme kuvveti değişimine benzer olup, yine üst katlara doğru azalmaktadır. Şekil 4.31 (a) ve (b)'ye göre, çekmenin oluşturulduğu doğrultuya paralel doğrultudaki (X doğrultusu) moment değişimleri incelendiğinde ise; çekmenin oluşturulduğu kat seviyelerinde, çekmenin oluşturulduğu kat seviyesine bağlı olarak moment değerinde ani artışlar meydana gelmektedir. Ayrıca, asimetrik çekme durumunun, kolonlarda meydana gelen moment değişimi üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Özellikle Şekil 4.31 (b)'de verilen asimetrik çekmeli bina modellerinin taban kısmında ve çekmenin oluşturulduğu kat seviyesi yakınlarında, Şekil 4.31 (a)'da verilen simetrik çekmeli binalara göre daha büyük moment değerleriyle karşılaşılmaktadır. Örneğin çekmenin binanın orta kat seviyesinin altında yapılması halinde, simetrik çekmeli bina modelinin (K8TBS1) çekmenin oluşturulduğu kat seviyesindeki moment değeri 66,66 kNm iken, bu değer asimetrik çekmeli bina modelinde (K8TBAS1) 112,12 kNm değerine yükselmektedir. Kısaca asimetrik çekme nedeniyle çekmenin oluşturulduğu kat seviyesindeki kolonlarda %69 oranında moment değerinde bir artış söz konusudur. Yine aynı şekilde bu artış, çekmenin bina orta kat seviyesinde oluşturulması halinde simetrik (K8TBS2) ve asimetrik çekmeli bina modelleri (K8TBAS2) arasında %69 civarındadır. Çekmenin binanın orta kat seviyesinden daha üst bir seviyede oluşturulması halinde ise simetrik ve asimetrik çekme modelleri arasında kesme kuvvetine benzer olarak artış oranı düşük olup, %15 civarındadır. Özetle çekmeli bina modelleri üzerinde asimetrik çekme durumunun moment değişimi üzerinde etkili olduğu açıkça görülürken, bu etki üzerinde çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinin de önemli olduğu görülmektedir.



**Şekil 4.32.** Y doğrultusunda kolonlarda meydana gelen moment değişimi (a) Simetrik (b) Asimetrik çekmeli binalar için

Şekil 4.31 (a) ve Şekil 4.31 (b) ile verilen grafikler incelendiğinde asimetrik çekme nedeniyle X doğrultusunda kolonlarda meydana gelen moment değerinde artış gözlenmektedir. Ancak, Şekil 4.32 (a) ve Şekil 4.32 (b) ile verilen grafikler incelendiğinde ise asimetrik çekme nedeniyle Y doğrultusunda kolonlarda oluşan moment değerinde azalma gözlenmemektedir. Bu duruma asimetrik çekmeli binalarda sistem üzerinde oluşan burulma etkisi sebep olmaktadır.

#### 4.3.6. Çekmeli bina modelleri üzerinde burulma düzensizliğinin değişimi

Çekme düzensizliği bulunan betonarme binalarda, çekme nedeniyle taşıyıcı sistem elemanlarının iç kuvvetlerinde (*kesme kuvveti, moment*) ani artışlar gözlenmektedir. Asimetrik çekme durumunda ise, sistem üzerinde oluşan burulmadan kaynaklı iç kuvvetler büyümektedir. Bu nedenle çalışmanın bu kısmında asimetrik çekme durumunun, binanın burulma davranışı üzerindeki etkisi burulma düzensizliğine bağlı olarak incelenirken, simetrik ve asimetrik çekmeli bina modellerinin burulma düzensizliği katsayıları ( $\eta_{bi}$ ) tablolar aracılığıyla karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır.

Burulma düzensizlikleri arasında karşılaştırma yapılırken simetrik ve asimetrik çekmeli bina modellerinin yanında, çekme bulunmayan (referans) bina modeli üzerinde de burulma düzensizliği incelenmiştir. Referans bina modeline (K8) ait  $\eta_{bi}$  değerleri Tablo 4.10 ile verilirken; simetrik ve asimetrik çekmeli bina modellerine ait  $\eta_{bi}$  değerleri ise Tablo 4.11.-4.14' de verilmektedir.

Tablo 4.10' a göre her iki doğrultuda (X ve Y) referans bina modeline (K8) ait burulma düzensizliği katsayısının ( $\eta_{bi}$ ) katlara göre değişimi verilmiştir. Sistem üzerinde



çekme olmadığından ve sistemin hem planda hem de düşeyde her iki doğrultuda simetrik olması nedeniyle tüm katlarda  $\eta_{bi}$  değeri TBDY 2018' de [32] verilen 1,2 sınır değerinin altında kalmakta, sistem üzerinde burulma düzensizliği ile karşılaşmamaktadır.

**Tablo 4.10.** 8 katlı düzenli bina modeline ait x-y doğrultularındaki burulma düzensizliği katsayıları

| KAT | $\Delta_{min}$ | $\Delta_{max}$ | $\Delta_{ort}$ | $\eta_{bi}$ |
|-----|----------------|----------------|----------------|-------------|
| 8   | 0,00194        | 0,00194        | 0,00194        | 1           |
| 7   | 0,00330        | 0,00330        | 0,00330        | 1           |
| 6   | 0,00452        | 0,00452        | 0,00452        | 1           |
| 5   | 0,00530        | 0,00530        | 0,00530        | 1           |
| 4   | 0,00488        | 0,00488        | 0,00488        | 1           |
| 3   | 0,00498        | 0,00498        | 0,00498        | 1           |
| 2   | 0,00452        | 0,00452        | 0,00452        | 1           |
| 1   | 0,00251        | 0,00251        | 0,00251        | 1           |

Tablo 4.11'da %80 çekme oranına ve %25 çekme kat seviye oranına sahip K8TBS1 modeline ait burulma düzensizliği katsayısının katlara göre değişimi sunulmaktadır. Bu sistem üzerinde çekme düzensizliği bulunmasına rağmen, çekmenin simetrik olarak oluşturulması nedeniyle  $\eta_{bi}$  değeri 1,2 değerinden küçük olup sistem üzerinde her iki doğrultuda burulma düzensizliği oluşmamaktadır.

**Tablo 4.11.** K8TBS1 bina modelinin x-y doğrultusundaki burulma düzensizliği katsayıları

| KAT | X doğrultusu   |                |                |             | Y doğrultusu   |                |                |             |
|-----|----------------|----------------|----------------|-------------|----------------|----------------|----------------|-------------|
|     | $\Delta_{min}$ | $\Delta_{max}$ | $\Delta_{ort}$ | $\eta_{bi}$ | $\Delta_{min}$ | $\Delta_{max}$ | $\Delta_{ort}$ | $\eta_{bi}$ |
| 8   | 0,00338        | 0,00338        | 0,00338        | 1           | 0,00207        | 0,00207        | 0,00207        | 1           |
| 7   | 0,00485        | 0,00485        | 0,00485        | 1           | 0,00343        | 0,00343        | 0,00343        | 1           |
| 6   | 0,00603        | 0,00603        | 0,00603        | 1           | 0,00448        | 0,00448        | 0,00448        | 1           |
| 5   | 0,00603        | 0,00603        | 0,00603        | 1           | 0,00493        | 0,00493        | 0,00493        | 1           |
| 4   | 0,00494        | 0,00494        | 0,00494        | 1           | 0,00410        | 0,00410        | 0,00410        | 1           |
| 3   | 0,00358        | 0,00358        | 0,00358        | 1           | 0,00335        | 0,00335        | 0,00335        | 1           |
| 2   | 0,00167        | 0,00167        | 0,00167        | 1           | 0,00182        | 0,00182        | 0,00182        | 1           |
| 1   | 0,00094        | 0,00094        | 0,00094        | 1           | 0,00103        | 0,00103        | 0,00103        | 1           |

Tablo 4.12'de %80 çekme oranına ve %25 çekme kat seviye oranına sahip K8TBAS1 modeline ait burulma düzensizliği katsayısının katlara göre değişimi sunulmaktadır. Bu sistem üzerinde çekmenin y eksenine göre asimetrik

oluşturulmasından dolayı sistem üzerinde y doğrultusunda burulma düzensizliğiyle karşılaşmaktadır. Bu model üzerinde özellikle taban kısımda 1. katın  $\eta_{bi}$  değeri 1,36 iken çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde bu değer 1,42'ye çıkmaktadır. 1.42 değeri TBDY 2018' e göre burulma düzensizliği olarak görülürken [32]; ASCE deprem yönetmeliğine göre  $\eta_{bi}$ ' nin 1,4 değerinden büyük olmasından dolayı aşırı burulma düzensizliği olarak tanımlanmaktadır [11].

**Tablo 4.12.** K8TBAS1 bina modelinin x-y doğrultusundaki burulma düzensizliği katsayıları

| KAT | X doğrultusu   |                |                |             | Y doğrultusu   |                |                |             |
|-----|----------------|----------------|----------------|-------------|----------------|----------------|----------------|-------------|
|     | $\Delta_{min}$ | $\Delta_{max}$ | $\Delta_{ort}$ | $\eta_{bi}$ | $\Delta_{min}$ | $\Delta_{max}$ | $\Delta_{ort}$ | $\eta_{bi}$ |
| 8   | 0,00357        | 0,00409        | 0,00383        | 1,07        | 0,00168        | 0,00171        | 0,00169        | 1,01        |
| 7   | 0,00510        | 0,00586        | 0,00548        | 1,07        | 0,00278        | 0,00289        | 0,00283        | 1,02        |
| 6   | 0,00614        | 0,00705        | 0,00659        | 1,07        | 0,00362        | 0,00388        | 0,00375        | 1,03        |
| 5   | 0,00634        | 0,00729        | 0,00682        | 1,07        | 0,00404        | 0,00439        | 0,00421        | 1,04        |
| 4   | 0,00524        | 0,00601        | 0,00563        | 1,07        | 0,00347        | 0,00383        | 0,00365        | 1,05        |
| 3   | 0,00387        | 0,00444        | 0,00415        | 1,07        | 0,00306        | 0,00352        | 0,00329        | 1,07        |
| 2   | 0,00172        | 0,00204        | 0,00188        | 1,09        | 0,00105        | 0,00260        | 0,00183        | <b>1,42</b> |
| 1   | 0,00096        | 0,00114        | 0,00105        | 1,09        | 0,00067        | 0,00144        | 0,00105        | <b>1,36</b> |

Çekmenin yapıldığı kat seviyesinin burulma düzensizliği üzerindeki etkisini göstermek için çalışmada dikkate alınan bütün çekme seviyeleri için burulma düzensizliği katsayısının değişimi tablo halinde verilmiştir. K8TBAS2 modelinin burulma düzensizliği katsayılarının katlara göre değişimi Tablo 4.13'de verilmektedir. Yine çekmenin x doğrultusunda yapılması nedeniyle sistem üzerinde y doğrultusunda burulma düzensizliği ile karşılaşmaktadır. Şöyle ki; taban kısımda  $\eta_{bi}$  değeri 1,2' den 1,33'e artmaktadır. Özellikle çekmenin yapıldığı kat seviyesinde en büyük  $\eta_{bi}$  değeri ile karşılaşmakta olup; kule kısmında burulma düzensizliğiyle karşılaşmamaktadır.

**Tablo 4.13.** K8TBAS2 bina modelinin x-y doğrultusundaki burulma düzensizliği katsayıları

| KAT | X doğrultusu   |                |                |             | Y doğrultusu   |                |                |             |
|-----|----------------|----------------|----------------|-------------|----------------|----------------|----------------|-------------|
|     | $\Delta_{min}$ | $\Delta_{max}$ | $\Delta_{ort}$ | $\eta_{bi}$ | $\Delta_{min}$ | $\Delta_{max}$ | $\Delta_{ort}$ | $\eta_{bi}$ |
| 8   | 0,00500        | 0,00584        | 0,00542        | 1,08        | 0,00196        | 0,00207        | 0,00202        | 1,03        |
| 7   | 0,00739        | 0,00873        | 0,00806        | 1,08        | 0,00339        | 0,00351        | 0,00345        | 1,02        |
| 6   | 0,00866        | 0,01027        | 0,00947        | 1,09        | 0,00458        | 0,00458        | 0,00458        | 1,00        |
| 5   | 0,00654        | 0,00773        | 0,00714        | 1,08        | 0,00919        | 0,01014        | 0,00966        | 1,05        |
| 4   | 0,00266        | 0,00314        | 0,00290        | 1,08        | 0,00184        | 0,00362        | 0,00273        | <b>1,33</b> |
| 3   | 0,00297        | 0,00348        | 0,00323        | 1,08        | 0,00227        | 0,00382        | 0,00304        | <b>1,25</b> |
| 2   | 0,00293        | 0,00342        | 0,00318        | 1,08        | 0,00231        | 0,00357        | 0,00294        | <b>1,21</b> |
| 1   | 0,00171        | 0,00199        | 0,00185        | 1,08        | 0,00135        | 0,00202        | 0,00168        | <b>1,20</b> |

Tablo 4.14'te K8TBAS3 bina modeline ait burulma düzensizliği katsayısının katlara göre değişimi verilmektedir. Model üzerinde çekme X doğrultusunda yapılmış olup, Y doğrultusunda çekme bulunmamaktadır. Bu nedenle bu model üzerinde X yönünde burulma düzensizliği oluşmazken, Y doğrultusunda 4-6. katlarda  $\eta_{bi}$  değeri 1,2 değerinden büyük olup burulma düzensizliği oluşmaktadır.

**Tablo 4.14.** K8TBAS3 bina modelinin x-y doğrultusundaki burulma düzensizliği katsayıları

| KAT | X doğrultusu   |                |                |             | Y doğrultusu   |                |                |             |
|-----|----------------|----------------|----------------|-------------|----------------|----------------|----------------|-------------|
|     | $\Delta_{min}$ | $\Delta_{max}$ | $\Delta_{ort}$ | $\eta_{bi}$ | $\Delta_{min}$ | $\Delta_{max}$ | $\Delta_{ort}$ | $\eta_{bi}$ |
| 8   | 0,00360        | 0,00399        | 0,00379        | 1,05        | 0,00174        | 0,00190        | 0,00182        | 1,04        |
| 7   | 0,00410        | 0,00455        | 0,00433        | 1,05        | 0,00275        | 0,00311        | 0,00293        | 1,06        |
| 6   | 0,00308        | 0,00351        | 0,00330        | 1,07        | 0,00209        | 0,00397        | 0,00303        | <b>1,31</b> |
| 5   | 0,00432        | 0,00487        | 0,00460        | 1,06        | 0,00323        | 0,00517        | 0,00420        | <b>1,23</b> |
| 4   | 0,00441        | 0,00495        | 0,00468        | 1,06        | 0,00340        | 0,00505        | 0,00423        | <b>1,20</b> |
| 3   | 0,00471        | 0,00528        | 0,00500        | 1,06        | 0,00367        | 0,00531        | 0,00449        | 1,18        |
| 2   | 0,00438        | 0,00491        | 0,00465        | 1,06        | 0,00344        | 0,00489        | 0,00416        | 1,17        |
| 1   | 0,00246        | 0,00276        | 0,00261        | 1,06        | 0,00194        | 0,00274        | 0,00234        | 1,17        |

Özellikle asimetrik çekmenin alt katlarda yapılması durumunda burulma düzensizliğinin daha büyük değerler aldığı gözlenmiştir.

## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında betonarme binalar üzerinde çekme düzensizliğinin; çekme oranı, çekme kat seviye oranı, kat sayısı ve düşey eksen etrafındaki simetri durumu (simetrik, asimetrik) parametrelerine bağlı deprem karşısındaki davranışları incelenmiş olup, bu parametrelerin modeller üzerindeki etkileri periyot, son kat deplasmanları, modal kütle katılım faktörü, kolonlarda meydana gelen kesme kuvveti ve moment değeri üzerinden karşılaştırmalı olarak grafiklerde sunulmuştur. Ayrıca bu düzensizlik durumunun binaların burulma davranışı üzerindeki etkisi de incelenmiştir.

Deprem yönetmeliklerinde bu tip binalar düşey geometrik düzensizlik başlığı altında toplanmış olup, binanın geometrik boyutlarına bağlı olarak düzensizlik kriterleri verilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda, bu tip binalarda, çekme etkisiyle çekme kat seviyesi civarında kütle ve rijitlikte ani azalmalar nedeniyle, bu geçiş bölgesinde gerilme yığılmaları gibi sorunlarla karşılaşıldığı görülmüştür. Hatta geçmiş depremlerde bu tip binalarda çekme etkisi nedeniyle ciddi hasarlarla karşılaşmıştır.

Analizlerden elde edilen verilerle, çekme düzensizliğinin binaların dinamik özellikleri üzerindeki etkisi aşağıda sıralanmıştır.

1. Binaların en önemli dinamik davranış parametrelerinden biri olan periyot üzerinde, çekme oranı ve çekme kat seviye oranının değişimi incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda, düzenli bina modellerinin çekme düzensizliği bulunan modellere göre doğal titreşim periyodu daha büyük çıkmaktadır. Bu durum bina üzerinde çekme nedeniyle kütle azalmasından kaynaklanmaktadır. Bu duruma paralel olarak çekme düzensizliği bulunan binalar üzerinde çekme oranındaki artış nedeniyle de periyot azalmaktadır. Özellikle bu azalma çekmenin orta kat seviyesinde oluşturulması durumunda daha belirgin olmaktadır. Ancak çekme oranının sabit olması halinde, çekmenin alt katlara doğru oluşturulmasıyla periyot artmaktadır. Bu durum ise rijitliğin kütleyle oranla daha fazla azaltılmasından kaynaklanmaktadır. Çekme oranı ve çekmenin oluşturulduğu kat seviyesi, doğal titreşim periyodu üzerinde etkili parametrelerdir. Çekmenin oluşturulma şeklinin (simetrik, asimetrik) periyot üzerindeki etkisi incelendiğinde ise, asimetrik çekme durumundan kaynaklanan burulma nedeniyle 1.mod, 2.mod ve 3.mod

periyotlarında değişim gözlenmektedir. Ancak çalışmada çekmenin asimetrik olarak yapılması 8 katlı sistemler için dikkate alınmıştır. Asimetrik çekmenin doğal titreşim periyodu üzerindeki etkisinin yüksek katlı yapılar için ayrıntılı olarak incelenmesi gerektiğini kanaatindeyiz.

2. Analizlerden elde edilen bir başka bulgu ise; 4 ve 8 katlı bina modellerinde son kat deplasmanları üzerinde çekme oranı ve çekmenin oluşturulduğu kat seviyesi çekmeli binalar üzerinde herhangi bir etki oluşturmazken; 12 ve 16 katlı bina modelleri üzerinde bu parametrelerin etkili olduğu görülmektedir. Özellikle son kat deplasmanları üzerinde çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinin etkisi, çekme oranının artması sonucu ortaya çıkmaktadır.
3. Çekme düzensizliği bulunan betonarme binalarda rijitliğin yükseklik boyunca aniden değişimi nedeniyle çekme kat seviyesinde görelî kat ötelenmeleri değerlerinde ani artışlar meydana gelmektedir. Özellikle çekme oranındaki artışla çekme düzensizliği bulunan binaların, düzenli bina modellerine göre taban kısmında görelî kat ötelenmeleri azalmakta, kule kısmında ise büyümektedir. Bu nedenle kule ve taban arasındaki geçiş seviyesinde ani artışlar olmaktadır. Bu artışlar üzerinde çekme oranı ve çekmenin oluşturulduğu kat seviyesi etkili olmakta, çekme oranındaki artışla daha belirgin hal almaktadır. Hatta aynı çekme oranına sahip modeller üzerinde çekmenin orta kat seviyesinde veya daha alt katlarda yapılması halinde ani artışlar büyümektedir. Çekme düzensizliği bulunan binalarda çekme oranının azalması durumunda, görelî ötelenme değerleri, çekme kat seviyelerinde küçük oranlardaki ani artışlara rağmen, düzenli bina profiline oldukça benzerdir. Aynı zamanda görelî ötelenme değerleri üzerinde kat sayısı değişimi etkili olup, kat sayısının artmasıyla bu değerler ve ani artışlar büyümektedir. Ayrıca, görelî kat ötelenmeleri üzerinde çekme oranı ve çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinin yanında çekmenin oluşturulma şekli de etkili olup, özellikle çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde görelî kat ötelenmelerinde gözlenen ani artışlarda asimetrik çekme durumu arttırıcı bir etki oluşturmaktadır.
4. Bu çalışmada çekme düzensizliği bulunan binalar üzerinde modal kütle katılım faktörü değişimleri incelenmiş olup, bu tip binalarda düzenli binalara göre 1.mod

katkısının azaldığı ve yüksek modların etkili olduğu görülmüştür. Çekme düzensizliği bulunan binalarda, çekme oranı ve çekmenin oluşturulduğu kat seviyesi modal kütle katılım faktörü üzerinde etkilidir. Şöyle ki; çekme oranının artması durumunda ilk modların katkısı azalırken, yüksek modları katkısı artmaktadır. Ayrıca aynı çekme oranına sahip modeller üzerinde de çekmenin alt katlarda oluşturulması halinde ilk modun katkısı azalmaktadır. Bu duruma ek olarak, çekmenin orta kat seviyesinde yapılması halinde, 1. mod etkisinin azaldığı 2. mod katkısının arttığı görülmektedir. Çekme düzensizliği bulunan modeller üzerinde kat sayısının artmasıyla da ilk modların etkisi azalırken yüksek modların etkisi artmaktadır. Kısaca binalar üzerindeki düzensizlik arttıkça ilk modların etkisi azalmakta yüksek modlar etkin olmaya başlamaktadır. Son olarak çekmenin oluşturulma şekli (simetrik, asimetrik) modal kütle katılımı üzerinde etkili olup, simetrik çekmeli binalara göre; asimetrik çekmeli binaların 1.mod katkısı azalmakta ikinci ve üçüncü mod katkılarının arttığı görülmektedir. Asimetrik çekme nedeniyle oluşan burulma nedeniyle modal kütle katılım faktörleri değişmektedir. Kısaca, modal kütle katılım faktörü üzerinde, çekmenin oluşturulduğu kat seviyesi ve çekme oranı kadar çekmenin oluşturulma şeklinin (simetrik, asimetrik) de etkili olduğu görülmektedir. Deprem yönetmeliklerinde çekme düzensizliği bulunan binaların deprem hesabında statik çözüme izin verilmeyip, dinamik çözüm yapılması gerekliliği bu durumdan kaynaklanmaktadır.

5. Çekme düzensizliği bulunan binalarda taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan iç kuvvet (kesme kuvveti, moment) değişimi bu çalışmada incelenmiştir. Çekme bulunmayan (düzenli) binalarda kolonlarda oluşan kesme kuvvet ve moment değerleri üst katlara doğru giderek azalmaktadır. Ancak çekme düzensizliği bulunan modellerde düzenli binalara göre taban kısmında daha küçük değerlerle karşılaşılmaktayken, kule kısmında bu değerler düzenli binalara göre daha büyük çıkmaktadır. Bu çekme etkisi nedeniyle çekme kat seviyesinde ani artışlar meydana gelmektedir. Bu ani artışlar çekme oranının artmasıyla ve çekmenin özellikle orta kat seviyesinde oluşturulması durumunda daha belirgin hale gelmektedir. Ayrıca çekmenin oluşturulma şekli de taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan iç kuvvet değişimi üzerinde etkili olmaktadır. Asimetrik çekmeli binalarda,

hem kule hem de taban kısmında X doğrultusunda (çekmenin yapıldığı doğrultu) simetrik çekmeli binalara göre kesme kuvvet ve moment değerlerinde artış gözlenmektedir. Çekmenin orta kat seviyesinde oluşturulması halinde bu artış oranı en fazladır.

6. Sayısal çalışmanın ikinci bölümünde çekmeli binalar üzerinde düşey eksen etrafındaki simetri durumunun binanın deprem davranışı üzerindeki etkisi burulma düzensizliğine bağlı incelenmiştir. Çekmenin asimetric oluşturulduğu binalar üzerinde çekme düzensizliğine ek olarak burulma düzensizliğide oluşmaktadır. Çekme oranı ve çekmenin oluşturulduğu kat seviyesi aynı olan biri simetrik diğeri asimetric çekmeli bina sınıfına ait modellerin burulma düzensizliği katsayıları incelendiğinde, asimetric çekmeli binalarda çekme yönüne dik doğrultuda (Y doğrultusu) burulma düzensizliği katsayılarının taban kısmında 1,2 sınır değerini aştığı görülmüştür. Özellikle burulma düzensizliği katsayısı ( $\eta_{bi}$ ) çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde maksimum değere ulaşırken kule kısmında burulma düzensizliği ile karşılaşmamaktadır. Asimetric çekmeli binalarda çekmenin özellikle alt katlarda oluşturulması halinde çekmenin oluşturulduğu kat seviyesinde ve daha alt katlarda burulma düzensizliği katsayısının arttığı görülmüştür.

7. Betonarme binalar üzerinde çekme düzensizliğinde çekme oranının ve çekmenin yapıldığı kat seviyesinin binaların dinamik özellikleri üzerinde önemli etkiye sahip olduğu görülmüştür. Deprem yönetmeliklerinde de bu duruma paralel olarak düzensizlik koşulları binanın geometrik boyutlarına bağlı olarak verilmiştir. Ancak bu çalışmanın önemli sonuçlarında biri, bina modellerinin geometrik boyutları aynı olsa bile düşey eksen etrafındaki simetri durumu binaların deprem davranışını önemli ölçüde etkilemektedir. Örneğin; geometrik boyutları aynı olan K8TBS1 ve K8TBAS1 modellerinin, burulma düzensizliği katsayıları incelendiğinde bu fark açıkça görülmektedir.

Çekme düzensizliği bulunan binaların dinamik davranışları üzerinde çekme oranının, çekmenin yapıldığı kat seviyesinin ve çekmenin düşey eksen etrafında simetrik olup olmamasının önemli bir etkiye sahip olduğu çalışma sonucunda

belirlenmiştir. Çalışmada çekme düzensizliğinin burulma düzensizliği üzerindeki etkisi, elastik analiz yöntemi ile irdelenmiştir. Ancak çekmeli binaların elastik ötesi analiz yöntemi kullanılarak, deformasyon taleplerinin belirlenmesinin ve deformasyon talepleri dikkate alınarak çekmeli binaların tasarlanmasının uygun olacağı kanaatindeyiz. Çalışmanın devamı niteliğinde yapılacak çalışmalarda çekmeli binaların elastik ötesi analiz yöntemi kullanılarak incelenmesi hedeflenmektedir. Ayrıca çalışmada çekme düzensizliği ile buruma düzensizliği arasındaki etkileşim dikkate alınmıştır. Düşey doğrultuda, kütle ve rijitlik düzensizliğine neden olan çekmeli binaların özellikle yumuşak kat düzensizliği ile etkileşiminin de incelenmesi gerektiğini düşünmekteyiz.





## KAYNAKLAR

- [1] **AI-Ali**, 1998. Effects of Vertical Irregularities On Seismic Behavior Of Building Structures , Doktora Tezi
- [2] **Çelebi , E.**, 2012. Mevcut Binalarda Geri Çekme Düzensizliği , Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir
- [3] **Başaran,V., ve Hiçyılmaz, M.**, 2018. Geri Çekme Düzensizliğine Sahip Betonarme Düzlem Çerçevelerin Sismik Analizi. El-Cezerî Journal of Science and Engineering, Vol:5, No:2, (353-360)
- [4] <https://www.csiamerica.com/products/sap2000>. Structural analysis program.
- [5] **Cheung, W., ve Tso, K.**, 1987. Lateral load analysis for buildings with setback. Journal of Structural Engineering, Vol. 113, No.2
- [6] **Ghosh, R., Debbarma, R.**, 2016. Performance evaluation of setback buildings with open ground storey on plain and sloping ground under earthquake loadings and mitigation of failure. Int J Adv Struct Eng (2017) 9:97–11
- [7] **Karavasilis, T.L., Bazeos, N., ve Beskos, D.E.**, 2007. Seismic response of plane steel MRF with setbacks: Estimation of inelastic deformation demands, Journal of Constructional Steel Research 64 (2008) 644–654.
- [8] **Khafaf, B., Mirghaderi, R., Imanpour, A., and Kheshavarz, F.**, 2008. Behavior of Torsional Effects of Asymmetric Pyramid Shape High Rise Building in Seismic Zone. Journal of Structural Engineering (ASCE)
- [9] **Eurocode 8**. Design of structures for earthquake resistance, part-1: general rules, seismic actions and rules for buildings. Brussels: European Committee for Standardization (CEN); 2004
- [10] **FEMA 369**. NEHRP Recommended Provisions For Seismic Regulations For New Buildings and Other Structures. Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency. Washington, DC; 2001

- [11] **American Society of Civil Engineers, ASCE/SEI 7-10.** Minimum design loads for buildings and other structures. Reston, Virginia 20191-4400
- [12] **IS 1893** part 1. Indian standard criteria for earthquake resistant design of structures. New Delhi: Bureau of Indian Standards; 2002.
- [13] **Sarkar, P., Prasad, A.M. ve Menon, D.,** 2010. Vertical geometric irregularity in stepped building frames, *Engineering Structures* 32 (2010) 2175-2182.
- [14] **Varadharajan, S., Sehgal, V.K., ve Saini, B.,** 2013. Determination of inelastic seismic demands of RC moment resisting setback frames, *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 13 (2013) 370–393.
- [15] **Jhaveri, D.P.,** 1967. Earthquake forces in tall buildings with setbacks. Thesis Presented to the University of Michigan, at Ann Arbor, Mich., in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy.
- [16] **Saraswathy, B., Udaya, K. L., Rahul, Leslie.,** 2014. Effect of Vertical Irregularity on Performance of Reinforced Concrete Framed Buildings, *Proc. of the Second Intl. Conf. on Advances In Civil, Structural and Environmental Engineering – ACSEE.*
- [17] **J. L. Humar, J. L., ve Wright, E.W.,** 1997. Earthquake response of steel-framed multistorey buildings with set-backs, *Earthquake engineering and structural Dynamics*, Vol. 5, 15-39.
- [18] **Athanassiadou, C.J.,** 2007. Seismic performance of R/C plane frames irregular in elevation, *Engineering Structures* 30 (2008) 1250–1261.
- [19] **Chintanapakdee, C., ve Chopra, A.K.,** 2004. Seismic Response of Vertically Irregular Frames: Response History and Modal Pushover Analyses, *Journal of structural engineering* 2004.130:1177-1185.
- [20] **Faridmehr, I., ve Tahir, M.,** 2014. Seismic Assessment of RC Frames with Setbacks, *American Journal of Civil Engineering and Architecture*, 2014, Vol. 2, No. 3, 89-101.

- [21] **Habibi, A., ve Asadi, K.,** 2016. Development of Drift-Based Damage Index for Reinforced Concrete Moment Resisting Frames with Setback, International Journal of Civil Engineering, 10.1007/s40999-016-0085-3
- [22] **Habibi, A., Vahed, M. ve Asadi, K.,** 2018. Evaluation of Seismic performance of RC setback frames. Structural Engineering and Mechanics, Vol. 66, 609-619
- [23] **Penelis G.G., ve Kappos A.J.,** 1997. Earthquake-resistant Concrete Structures, London: E & FN SPON (Chapman & Hall).
- [24] **Raja, S.B., ve Preetha, V.,** 2017. Studies on Effect of Structural Irregularities on Seismic Performance of Reinforced Concrete Building, International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD), Vol.1, 765-769
- [25] **Wood, L. ,**1992. Seismic Response of R/C Frames with Irregular Profiles, Journal of Structural Engineering, Vol.118 ,No 2
- [26] **Moehle, P., ve Shahrooz,M.,**1990. Seismic Response and Design of Setback Buildings, Journal of Structural Engineering, Vol. 116,No.5
- [27] **Atımtay,E. ,**2009. Depremde Çökmeyen Bina Nedir? Nasıl Projelendirilir? , ODTÜ,İnşaat Müh. Bölümü , Ankara
- [28] **TDY, 1968.** Afet bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik, TC Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- [29] **TDY, 1975.** Afet bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik, TC Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- [30] **TDY, 1998.** Afet bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik, TC Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- [31] **TDY, 2007.** Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik, TC Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- [32] **TBDY, 2018.** Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, TC Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

[33] **Demir, A., ve Dönmez, D.**2008. Çok Katlı Yapılarda Burulma Düzensizliğine Etki Eden Faktörler, C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 4.1:p.31-36

[34] **Orak, M.S.**, 2012. Planda ve Düşey Doğrultudaki Düzensizliklerin Betonarme Perde- Çerçevesel Binaların Davranışına Etkisi , Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

[35] **Özmen, G., Konuralp, G. ve Girgin, Y.**,2014. Torsional irregularity in multi-story structures, Engineering Structures, 6:p.121-131

[36] **Özmen, G.**,2002. Simetrik Yapılarda Burulma Düzensizliği. İMO Teknik Dergi,2789-2801, Yazı 186



## ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi :26.11.1995  
Doğum Yeri : Elazığ  
Lise : 2009-2013 Mehmet Koloğlu Anadolu Lisesi  
Lisans :2013-2017 Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü  
Lisans bitirme derecesi :Fakülte birinciliği  
Yüksek Lisans :2017- Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Yapı Bilim Dalı  
Çalıştığı Kurum :2019- Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi  
İnşaat Müh. Yapı Anabilim Dalı, Araştırma  
Görevlisi