

## Çerçevesel Binalarda Bodrum Kat İstinat Duvarlarının Burulma Düzensizliğine Etkisi

Kurtuluş SOYLUK\*  
İsmail Yasin YAVUZ\*\*

### ÖZ

Ülkemizde eğimli arazilerde yapılan binaların zeminle temas eden kısımlarında, zemin itkisini karşılamak amacıyla istinat duvarları kullanılmaktadır. Binaya birleşik olan istinat duvarları, bir kaç kat boyunca ve tüm bina cephesini de kapsayacak şekilde inşa edilmektedir. Bu istinat duvarları binalarda, planda ve düşey doğrultuda olmak üzere oldukça önemli düzensizliklere yol açabilmektedir. Bu çalışmada parametrik bir çalışma yöntemi uygulanarak çerçeve sistemli binalarda istinat duvarlarının burulma düzensizliğine etkisi incelenmektedir. Çalışma sonucunda istinat duvarlı binalarda burulma düzensizliklerinin önemli mertebelere varabilmesine rağmen, boyutlandırma açısından herhangi bir zorlukla karşılaşmayacağı ortaya konmaktadır. Çalışmada ayrıca metraj karşılaştırmaları yapılarak çeşitli öneriler sunulmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Çerçevesel bina, bodrum kat istinat duvarı, burulma düzensizliği

### ABSTRACT

#### Effect of Basement Retaining Walls to Torsional Irregularity in Frame Type Buildings

In our country retaining walls are located at the outside of the structure where it contacts to the soil to counteract the effects of the soil pressure. These retaining walls are usually constructed at one side of the structure and over the height of a couple of stories. Therefore, these retaining walls cause intensive irregularities in the structural systems in plane and in the vertical direction. In this study, a parametric study is carried out to investigate the effect of the retaining walls to the torsional irregularity in frame type buildings. At the end of the study, it is observed that although the torsional irregularities taking place in the buildings with basement retaining walls are at important levels, problems related to the design will not be encountered. Economical comparisons are also performed at the end and recommendations are given.

**Keywords:** Frame type building, Basement retaining wall, Torsional irregularity

---

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 25.06.2008 günü ulaşmıştır.
- 30 Haziran 2009 gününe kadar tartışmaya açıktır.

\* Gazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara - ksoyluk@gazi.edu.tr

\*\* Yüksek Proje Ltd. Şti., Ankara - iyy012@gmail.com

## 1. GİRİŞ

Ülkemizin dağlık ve eğimli bir coğrafyaya sahip olması nedeniyle binalar, eğimi %35'lere varan oldukça engebeli arazilerde inşa edilmektedir. Eğimli arazilerde yapılaşma sonucu binanın bir kısmı toprakla temas etmekte, diğer kısmı ise açıkta, normal cephe görünümünde kalmaktadır. Bu nedenle binanın toprakla temas edecek kısmında, zemin itkisini karşılamak amacıyla kolonlar arasına betonarme perdeler yerleştirilmektedir. Böylece binanın bir cephesi tamamen istinat duvarı vazifesi görmektedir. Eğimi çok az, hatta düz arazilerde inşa edilen binalarda dahi bu tür düzenlemelerin yapıldığı gözlenmektedir. Uygulamada, bu perdeler için genellikle herhangi bir tasarım yapılmayıp, yönetmelikte perdeler için verilen minimum donatı oranları ve aralıkları ile detaylandırılma yapılmaktadır. İstinat duvarının bina matematik modelinde dikkate alınmadığı durumlarla dahi karşılaşmaktadır. Tasarımlarda, deprem anında binanın davranışına etki edebilecek tüm etkenlerin dikkate alınması eğilimi giderek artarken, beton ve donatıdan oluşan ve binanın en rijit bölgesini oluşturan bodrum kat istinat duvarlarının irdelenmesi gereği çok açıktır. Uygulamada yapılan hesap ve tasarımlarda çoğu kez bu durum dikkate alınmamakta, ya da çok bilinçsizce çözümler üretilmektedir. Bu tür binalara uygulamada çok rastlanmasına ve bu durumun da bilim çevreleri tarafından bilinmesine rağmen, bu konudaki çalışmaların yeterli düzeyde olmadığı gözlenmiştir. Burulma düzensizliği konusunda oldukça fazla çalışma yapılmasına rağmen, çok katlı binalarda bir kenarın tamamen perde olmasını dikkate alan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bal ve diğ. (2007) Türkiye'deki binaların karakteristikleri ile ilgili olarak hazırlamış oldukları raporda, binaların yapısal, geometrik ve malzeme özelliklerini incelemiş, istatistiksel veriler ışığında değerlendirmede bulunmuşlardır. Raporun bina düzensizlikleri bölümünde, "Yönetmeliklerde Yer Almayan Düzensizlikler" başlığı altında, bodrum kat betonarme çevre duvarlarının bir tarafta eksikliğinden kaynaklanan düzensizliğe, herhangi bir analitik sonuca dayanmadan, işaret etmişlerdir [1]. Atımtay (2001) eğimli arazilerdeki binalarda değişik düzeylerde yerleştirilen kolon temellerinin kısa kolon oluşumuna yol açacağını belirtmiştir. Bu tür binaların uygulanmasının çok sakıncalı olacağına dikkat çekmiş, oluşabilecek sorunları açıklamıştır [2]. Paulay (1998) sünek sistemlerde betonarme duvarların çevre kenarlar üzerindeki konumlarına göre burulma tiplerinden bahsetmiştir. Perdeli binalarda, perdenin plandaki konumuna göre oluşan burulma mekanizmalarını açıklamış ve ötelemelere bağlı olarak oluşan iç kuvvet değişimlerini karşılaştırmıştır [3]. Duan ve Chandler (1997) burulmalı binaların deprem tasarımında kullanılmak üzere, optimum dışmerkezlik hesabı için bir yaklaşım önermişlerdir. Çalışmada çeşitli süneklik oranlarına ve özel periyot değerlerine bağlı olarak hazırlanan diyagramlar verilmiştir [4]. Chandler ve Duan (1996) ve Chandler ve Duan (1997) tek katlı burulmalı bir bina üzerinde, binaların tasarımını etkileyen çeşitli faktörleri incelemişler ve Eurocode 8, UBC ve Kanada yönetmeliklerine göre elde edilen sonuçları karşılaştırmışlardır [5-6]. Moghadam ve Tso (1996) çok katlı burulmalı binalar için geliştirdikleri basit hesap yöntemini, dinamik hesap yöntemi ile karşılaştırmışlardır [7]. Özmen (2001) çalışmasında geometri ve rijitlik bakımından düzenli binalarda bile burulma düzensizliği olabileceğini ortaya koymuş ve "gizli burulma düzensizliği" adını verdiği yeni bir tür düzensizlikten bahsetmiştir. Çalışmada ek dışmerkezliklerin hesabında rölatif ve mutlak değerleri kullanmanın sonuçlara etkisinin ihmal edilebilecek seviyede olduğu belirtilmiştir. Ayrıca artırılmış dışmerkezliklere göre yatay yük analizinin sonuçlarını daha kısa yoldan elde edilebilmesi için yeni bir ekstrapolasyon formülü önermiştir. Bunun

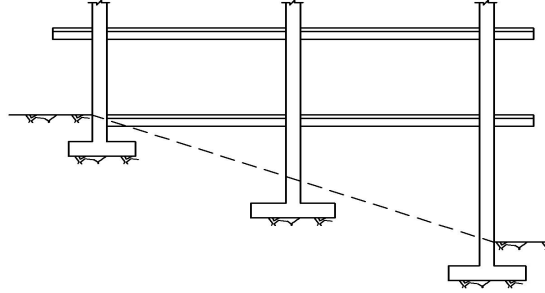
yanında çalışma sonucunda yönetmelikte verilen  $\eta_{max} > 2.00$  koşulunun, uygulamada erişilme imkânı olmayan bir koşul olduğu belirtilmiştir [8]. Özmen (2001) burulma düzensizliği ile ilgili araştırmalar yaparken bazı perdeli binalarda  $\eta_{max} > 2.00$  koşulunun aşılabildiğini gözlemlemiştir [9]. Bu tespit, perdeli binalarda burulma düzensizliğinin daha önce incelenmesine rağmen yeniden bazı araştırmaların yapılması gerektiğini doğurmuştur. Çalışma sonunda kat sayısı azaldıkça burulma düzensizliği katsayılarının arttığı gözlenmiştir. Maksimum  $\eta_{bi}$  değerleri, perdelerin kütle merkezinde yerleştirilmemesi koşuluyla, kütle merkezine olabildiğince yakın olmaları durumunda olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda  $\eta_{bi}$  değerlerinin 4.00 değerini dahi aştığı görülmüştür. ABYYHY’de aşırı burulma yapan binalar için öngörülen dinamik hesap uygulamasının bir yaptırım niteliğinde olmadığı anlaşılmıştır. Aynı şekilde UBC’de öngörülen uygulama biçiminin de uygun olmadığı saptanmıştır. Sonuç olarak aşırı burulma yapan binalar için ABYYHY’de öngörülen dinamik hesaplamanın yerine, üst sınırın tümüyle kaldırılmasının daha uygun olacağı önerilmiştir. Çakıroğlu (1995) rijit bodrumlu binaların deprem hesabında modların süperpozisyonu yöntemi uygulanırken katkılarının daha büyük oldukları düşünülerek ilk bir kaç modla yetinilmesinin, rijit kısmın atalet kuvvetlerinin dikkate alınmamasına sebebiyet vereceğini belirtmiştir [10]. En büyük periyodu esas alan yönetmelik yönteminde ise bodrum katına ait atalet kuvvetlerinin binanın üst kısmına aktarılmış olduğuna dikkat çekmiştir. Çalışmada bu tür binalar için geliştirilmiş olan modların süperpozisyonu ve yönetmelik yöntemleri sunulmuştur. Tanrıverdi (2002) yönetmelikte bodrum katlı binalarda iç kuvvet hesabı için verilen yaklaşımı incelemiştir [11]. Yapılan çalışmada üst katların kütleleri ile bodrum katların kütlelerinin aynı ve farklı olması durumu ele alınarak, bodrum katta perdesiz aksta yer alan kolonların uç momentlerinin değişimleri incelenmiştir. Gubana ve Fedrigo (2003) yeraltı kutu tipi, yani bodrumlu binalardaki perde duvarların hem düşey hem de yatay kuvvetler altında yüksek bir kiriş gibi çalıştığına işaret etmiştir [12]. Bu panellerin yatay kuvvetler nedeni ile meydana gelen etkilerin zemine aktarılmasında çok önemli rol oynadığını, bu yapısal elemanların sismik tasarımlarının yapılmasını, salt düşey yükler altında boyutlandırılmaması gerektiğine dikkat çekmiştir. Coduto (2005) bodrum katlarına gelen zemin itkilerinin hesabında gerçek tasarım hesaplamalarının, bina bodrumunun karşı duvar üzerine etkileyen aktif basınç, bodrum tabanı boyunca sürtünme, temellerdeki yanıl direnç ve diğer faktörlerin de göz önüne alınması nedeniyle oldukça karmaşık olduğunu belirtmiştir [13]. Bodrum duvarların pasif dirence göre boyutlandırılabilmesi için oldukça büyük yer değiştirme yapması gerektiğini ve bu dirençten yatay yük taşımada yararlanılabileceğini açıklamıştır. Giuriani ve Gubana (2007) binalarda çevre bodrum perdelerinin yatay kuvvetler nedeni ile deprem perde tabanında meydana gelen momentleri önemli derecede azalttığını belirtmişlerdir [14]. Çevre perdelerin sistemde yatay doğrultuda altta ve üstte rijitliği çok yüksek iki yay gibi çalışıp temeldeki dönmeyi büyük oranda düşürdüğüne dikkat çekmiş, bu elemanların çeşitli yönetmeliklere göre tasarım örneklerini yapmışlardır.

## 2. İSTİNAT DUVARLI BİNALAR

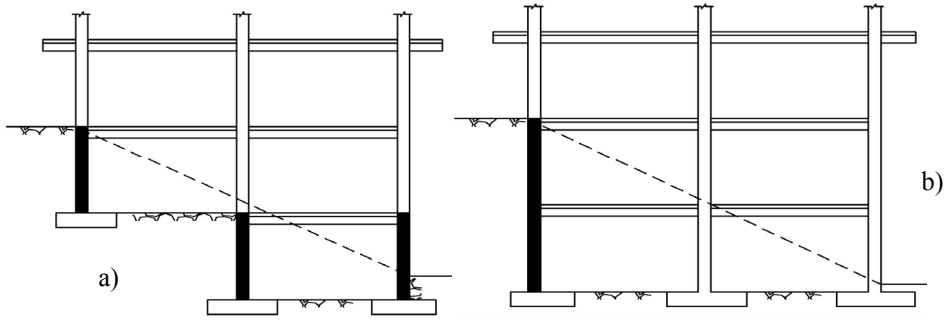
Yamaçlara oturan binalar genellikle iki şekilde inşa edilmektedir. Birinci yapım şeklinde binanın kolonlarının alt kotları zemin eğimi ile değişmektedir. Şekil 1’de görüldüğü gibi en alt kattaki kolonların boylarında bina boyunca değişkenlik vardır. İkinci yapım şeklinde ise tüm kolonlar en alt kattaki kolonun seviyesine kadar indirilmektedir. Bina içine toprak

### Çerçevesiz Binalarda Bodrum Kat İstinat Duvarlarının Burulma Düzensizliğine Etkisi

gelmemesi ve bu kısmı da kullanmak için kolonlar arasına, zemin tarafında Şekil 2'deki gibi istinat duvarları konmaktadır.



Şekil 1. Yamaca oturan bodrum kat kolonları kademeli bir binanın şematik kesiti



Şekil 2. a) Yamaca oturan kademeli istinat duvarlı bir binanın şematik kesiti  
b) Yamaca oturan iki kat boyunca istinat duvarlı bir binanın şematik kesiti

Bu şekildeki binalar yerine göre bir, iki hatta üç bodruma kadar istinat duvarlı yapılmakta, diğer kısım ise normal bina cephesi görünümünde kalmaktadır. Bu binalarda ilk bir kaç kat, istinat duvarı vazifesi görmektedir. Üst kattan alt kata inen kolonlar arasına yönetmelik gereği olan minimum kalınlıklı perde duvarlar konulmaktadır. Bu bina elemanları çoğunlukla herhangi bir tasarım işlemine tabi tutulmamaktadır. Yönetmeliklerde perdeler için verilen minimum donatı oranları ile detaylandırılmaktadır.

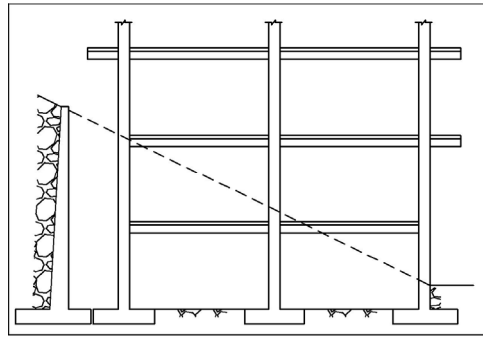
Şekil 2a'daki bina istinat duvarı, binanın taşıyıcı sistemi ile birlikte dökülmüştür. Bina perde doğrultusunda aşırı rijit olduğu için perdenin güçlü olduğu doğrultudaki eksende aşırı burulma oluşacaktır. Bunun yanında, binada bodrum planları alt kattan üst kata doğru artmakta ve katların kademeli olması nedeniyle düşeyde de düzensizlik söz konusu olmaktadır. Bütün bu düzensizliklere ilave olarak, zemin itkisi statik ve dinamik olmak üzere yatay yönde binaya ilave yük olarak etkiyecektir. Bu şekildeki binalara uygulamada

çokça karşılaşılmakta ve topal temelli binalar olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2b'deki binada bodrum katta bulunan istinat duvarı, boydan boya ve tüm katları içine alacak şekilde yekpare inşa edilmiştir. Bu sistemde de istinat duvarı taşıyıcı sisteme monolitik bağlıdır. Çoğu durumda istinat duvarının plandaki boyu bina cephe boyundan da uzun olmaktadır (Resim 1). Bodrum kat planlarında, boydan boya betonarme perde bir tarafa yerleşik olduğundan perdenin güçlü yönündeki ekseninde yine aşırı derecede burulma oluşacaktır. Bunun yanında, toprak itkisi statik ve dinamik olmak üzere yatay şekilde binaya etkiyecektir.



Resim 1. Bina cephesinden daha uzun istinat duvarlı bina örneği

Şekil 3'teki gibi istinat duvarının binadan yeterli mesafede dilatasyonla ayrıldığı yapım şekli en ideal çözümdür. Bu durumda, binada herhangi bir düzensizlik söz konusu olmayıp, bina düz bir araziye oturuyormuş gibi tasarlanır. Uygulamada az da olsa bazı duyarlı tasarımcı mühendislerin böyle bir çözüm yöntemini uygulamış oldukları saptanmıştır.



Şekil 3. İstinat duvarı temelden dilatasyonla ayrılmış bir binanın şematik kesiti

### 3. BURULMA DÜZENSİZLİĞİ

Deprem yönetmeliğinde, herhangi bir i. kat için burulma düzensizliği katsayısı  $\eta_{bi}$ 'nin 1.20 değerinden büyük olması durumunda binada burulma düzensizliğinin bulunduğu belirtilmektedir [15]. Burulma düzensizlik katsayısı

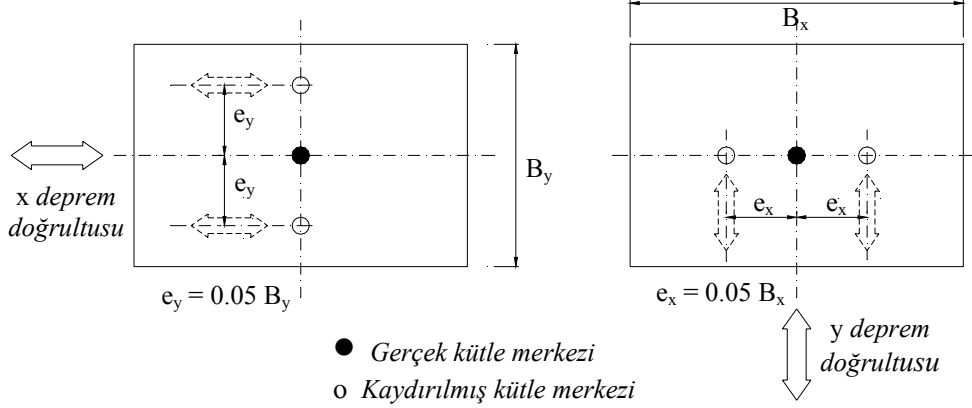
$$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{\max} / (\Delta_i)_{\text{ort}} \quad (1)$$

olarak hesaplanmaktadır. Burada  $(\Delta_i)_{\max}$  ve  $(\Delta_i)_{\text{ort}}$  sırası ile i. kattaki maksimum ve ortalama görelî kat ötelemelerini göstermektedir. Görelî kat ötelemelerinin hesabında rijit diyafram kabulü yapılarak iki yön için de,  $\pm\% 5$  ek dışmerkezlik etkilerinin göz önüne alınıp, her iki yüklemekten en elverişsiz değerlerin kullanılması gerekmektedir (Şekil 4). Herhangi bir katta  $\eta_{bi} > 1.20$  olması durumunda, bu kata uygulanan dışmerkezlikler, her iki deprem doğrultusu için

$$D_i = \left( \frac{\eta_{bi}}{1.2} \right)^2 \quad (2)$$

katsayısı ile çarpılarak büyütülmekte ve boyutlandırmada bu yeni dışmerkezliklere göre yapılan analiz sonuçları kullanılmaktadır.

Tamamen simetrik bir yapıda, teorik olarak burulma oluşmayabilir. Ancak, malzeme özelliklerinde doğal değişimler, yapı elemanlarının kesit boyutlarının hesaplanandan farklı imal edilmesi, depremin oluşturduğu yer hareketinin burulma oluşturan bileşeni gibi nedenlerle yapıda burulma oluşabilir. Bu nedenle, teorik olarak burulmanın olmadığı yapılarda dahi minimum dışmerkezlik uygulanmaktadır.  $\eta_{bi} > 2.00$  olması durumunda ise eşdeğer deprem yükü yöntemi yerine taşıyıcı sistemin davranışının belirlenmesinde daha etkili bir yöntem olduğu düşünülen "Dinamik Hesap" (mod birleştirme yöntemi ya da zaman tanım alanında hesap yöntemleri) uygulanması öngörülmektedir.



Şekil 4. Deprem kuvvetlerinin kaydırılmış kütle merkezlerine uygulanması [15]

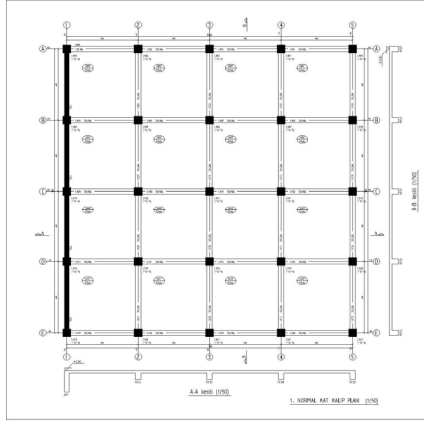
#### 4. NÜMERİK ÇÖZÜMLER

Bu çalışmada uygulamada oldukça yaygın olarak inşa edilen çerçeve sistemli binalar incelenmektedir. Binaların düşey yük analizlerinde TS 498'de verilen değerler kullanılırken, dikkate alınan çok sayıdaki bina sistemi deprem yönetmeliği hükümlerine göre analiz edilmektedir. Yapı elemanlarının hesap ve tasarımlarında ise TS 500'deki hükümlere uyulmaktadır. Gereken tüm yönetmelik kontrolleri ülkemizde tasarımcı inşaat mühendislerin yaygın olarak kullandığı Sta4CAD [16] yazılımıyla yapılmış ve kesit artırımının gerekli olmadığı saptanmıştır. Binaların deprem analizleri ise deprem yönetmeliğinde tanımlanan eşdeğer deprem yükü yöntemiyle Etabs [17] yapısal analiz programı kullanılarak yapılmıştır. Deprem analizleri yapılan binalarda, tüm döşemelerde sabit yük  $g = 3.0 \text{ kN/m}^2$  ve hareketli yük  $q = 5.0 \text{ kN/m}^2$  olarak alınmıştır. Binaların kat kütle merkezlerinin plandaki geometrik merkezlerinde oldukları kabul edilmiştir. Binalarda kolon kiriş birleşimlerinde rijitlik azaltması yapılmamış, birleşimlerin rijit ankastre olduğu varsayılmıştır. Döşemelerin rijit diyafraim olarak çalıştığı öngörülmüş ve kat yükseklikleri tüm katlarda 3.0 m olarak alınmıştır. Çalışmanın parametrik bir çalışma olabilmesi ve kesit değişimlerinin sonuca etki etmemesi için tüm binaların eleman boyutları birbirleriyle aynı alınmıştır. Döşeme kalınlıkları 15 cm, kirişler 30x50 cm, kolonlar ise 45x45 cm boyutunda seçilmiştir. Binalar, süneklik düzeyi yüksek sistem olduğundan, kolon boyutları nispeten büyük seçilmek zorunda kalmıştır. İstinat duvarı kalınlığı ise 25 cm olarak alınmıştır. Binaların tamamı x eksenleri boyunca simetrik seçilmiştir. Bu nedenle tüm binaların deprem davranışları sadece y doğrultusundaki deprem yüklemeleri için incelenmiştir. y doğrultusunda burulma düzensizliğini inceleyebilmek için en sol kenar aks boyunca tamamen istinat duvarları konmuş, üst kattan gelen kolonlar bu perde içinde de devam ettirilmiştir. Binalara ait ortak özellikler Tablo1'de verilmektedir. Bunun yanında x ve y doğrultularında 4'er açıklıktan oluşan tüm binalar için geçerli olan istinat perdeli kat ve normal kat kalıp planları Şekil 5'te verilmektedir.

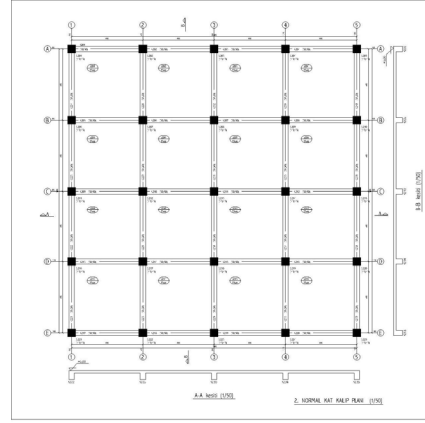
## Çerçevesiz Binalarda Bodrum Kat İstinat Duvarlarının Burulma Düzensizliğine Etkisi

Tablo 1. İncelenen binalara ait ortak özellikler

Deprem Bölgesi	1. Derece Deprem Bölgesi
Bina Önem Katsayısı, $I$	1.0
Yerel Zemin Sınıfı	Z4
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, $R$	8
Hareketli Yük Katılım Katsayısı, $n$	0.3
Malzeme	C30 S420



a)



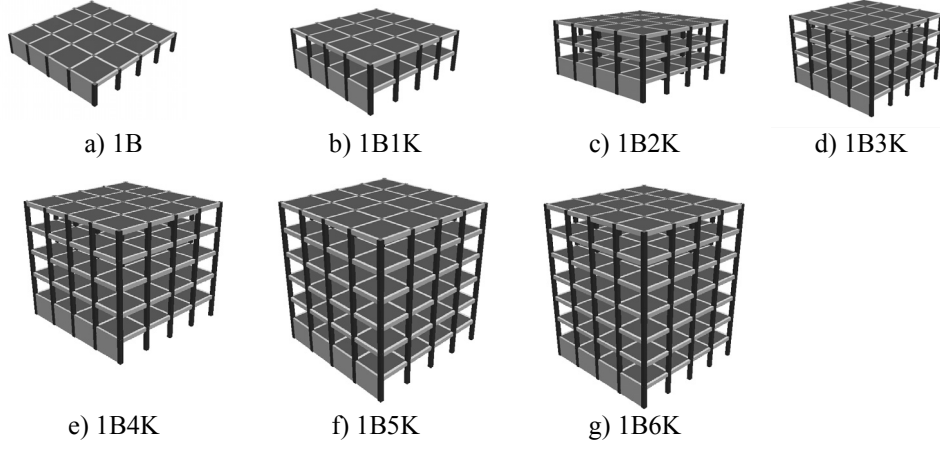
b)

Şekil 5. a) İstinat perdeli kat kalıp planı b) Normal kat kalıp planı

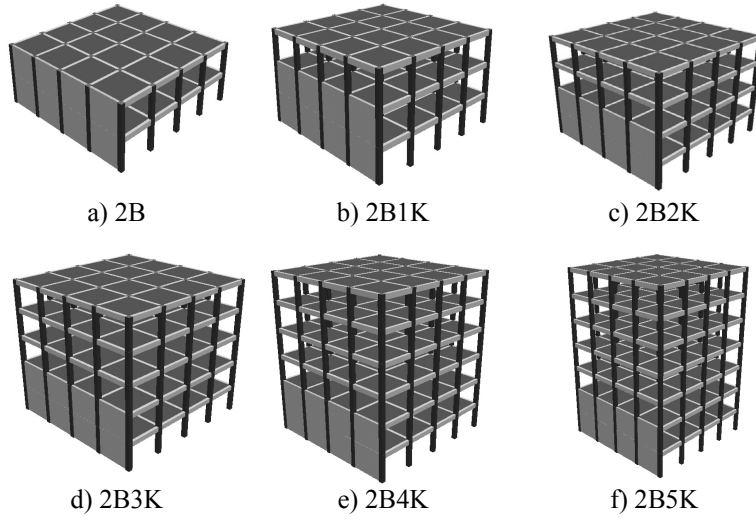
### 4.1. İstinat Duvarı Olan Çerçevesiz Sistemli Binalarda Burulma Düzensizliğinin Kat Sayısına Göre Değişimi

Dikkate alınan çerçevesiz bina sistemlerinde istinat duvarının burulma düzensizliğine etkisini inceleyebilmek için öncelikle plan şekli sabit tutulup kat sayıları artırılmıştır. Bu amaçla 1 katlı binadan 7 katlı binaya kadar bina sistemleri incelenmiştir. Seçilen tüm binalar, planda dörtgen biçiminde olup 4.0 x 4.0 m'lik bölümlerden oluşmakta ve her iki yönde dört açıklık geçilmektedir. Kat alanı tüm katlarda aynı olmak üzere 256 m<sup>2</sup>'dir. İncelenen binaların yalnızca 1. ve 2. katlarına istinat duvarları yerleştirilmiştir. Bu binaların görünüşleri Şekil 6-7'de verilmektedir.



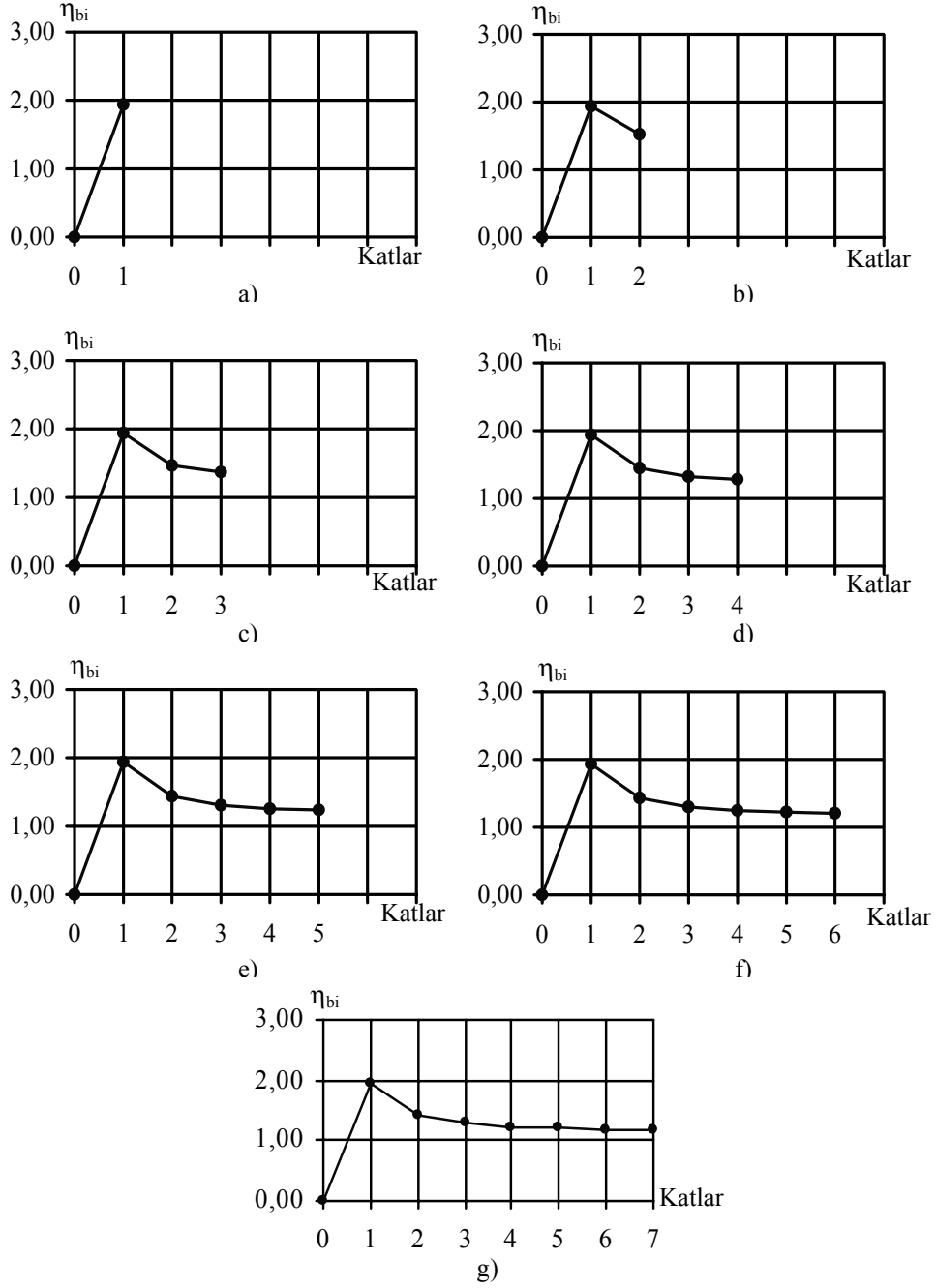


Şekil 6. Bir kat boyunca istinat duvarlı binalara ait görünüm

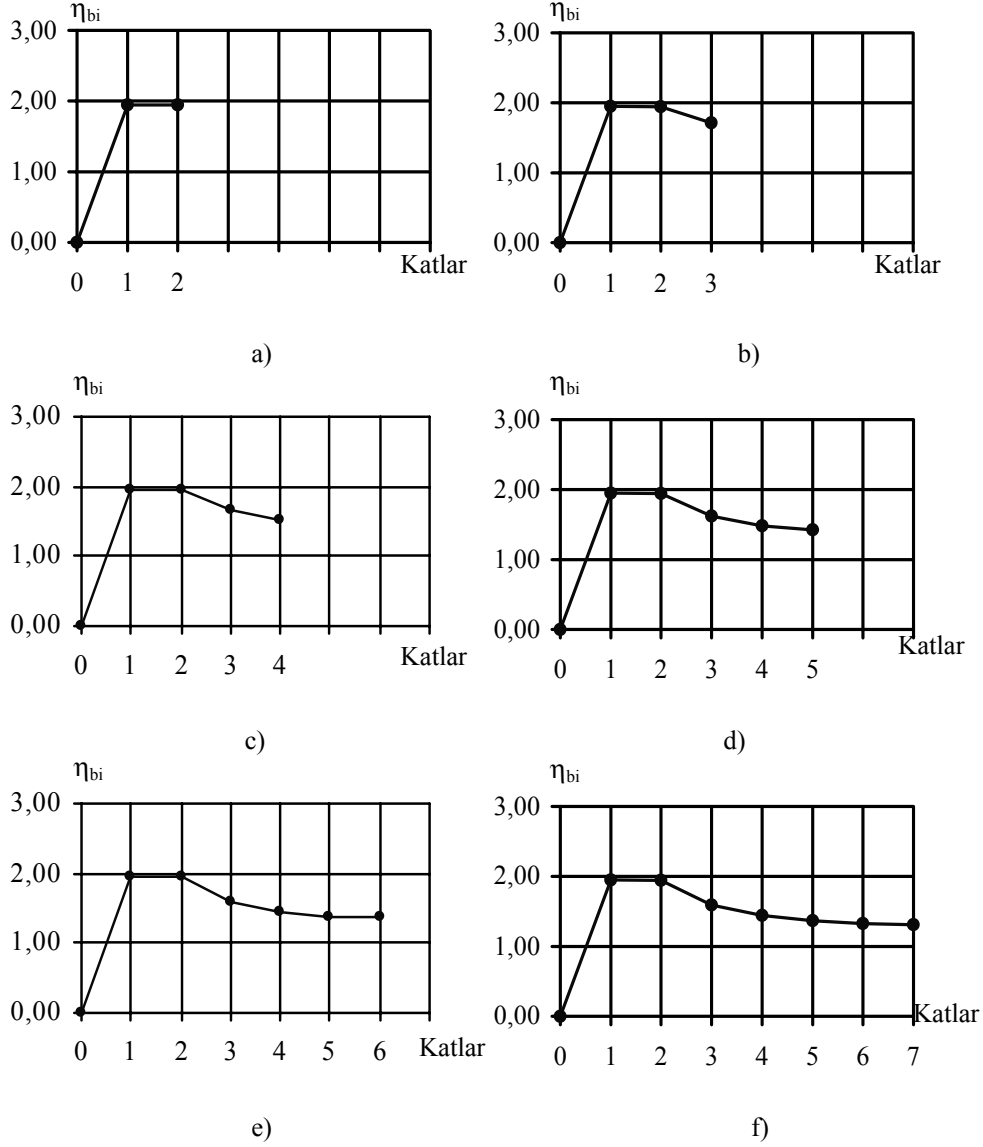


Şekil 7. İki kat boyunca istinat duvarlı binalara ait görünüm

Çerçeve Binalarda Bodrum Kat İstinat Duvarlarının Burulma Düzensizliğine Etkisi



Şekil 8. Bir kat boyunca istinat duvarlı binalardaki burulma düzensizliği değişimleri  
a) 1B, b) 1B1K, c) 1B2K, d) 1B3K, e) 1B4K, f) 1B5K, g) 1B6K



Şekil 9. İki kat boyunca istinat duvarlı binalardaki burulma düzensizliği değişimleri  
a) 2B, b) 2B1K, c) 2B2K, d) 2B3K, e) 2B4K, f) 2B5K

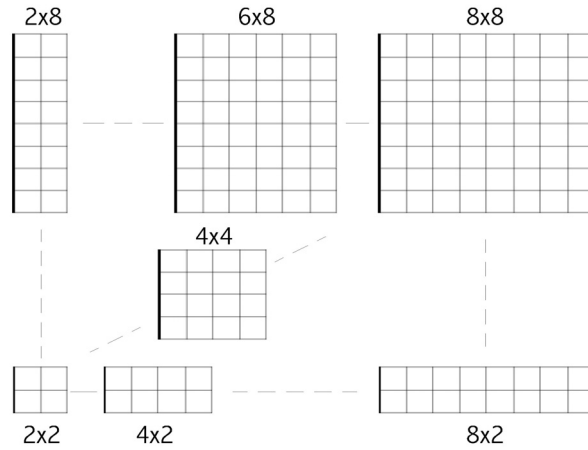
Dikkate alınan bina sistemi tanımlanırken, istinat duvarlı kat sayısı ve geriye kalan kat sayısı kullanılmaktadır. 1B4K bina sistemi; 1 bodrumlu ve 4 normal katlı olmak üzere toplam 5 katlı bir binayı tanımlamaktadır. Dikkate alınan istinat duvarlı çerçeve sistemlerin deprem etkisi için yapılan analizlerinden elde edilen burulma düzensizliği değerleri Şekil 8-9'da verilmektedir. Çerçeve sistemli istinat duvarlı binalarda, istinat duvarlı katlar esas

#### Çerçeve Binalarda Bodrum Kat İstinat Duvarlarının Burulma Düzensizliğine Etkisi

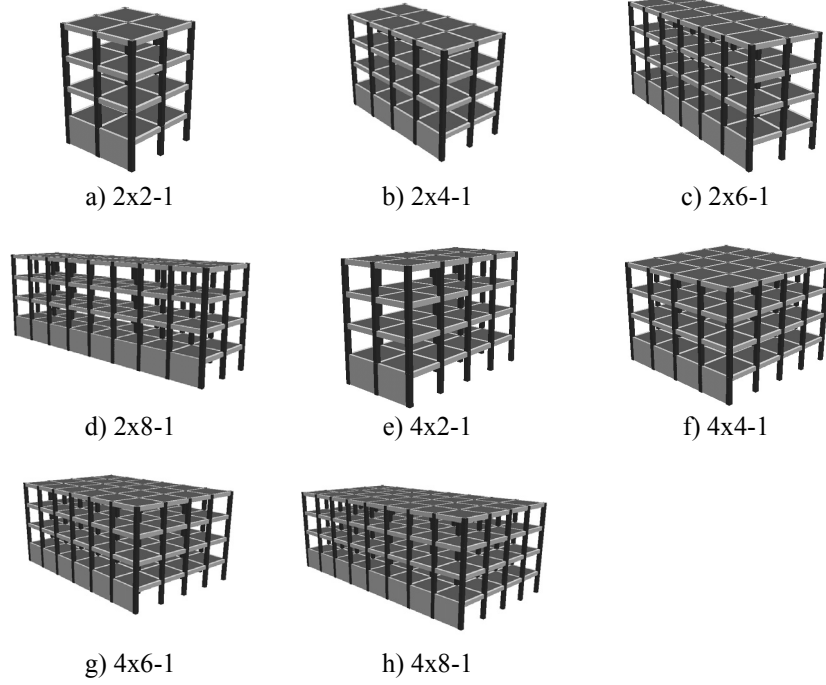
alındığında, burulma düzensizliği üst sınırı olarak kabul edilen 2.00 değeri aşılmamaktadır. İstinat duvarlı katlarda 2.00 değeri aşılmaya dahi oluşan burulma düzensizlik değerleri 2.00 değerine oldukça yakındır. Bu bakımdan, yapı elemanlarının boyutlandırılmaları açısından herhangi bir zorlukla karşılaşılmamaktadır. Yüksek oranda burulma düzensizliği içeren bu sistemlerde minimum şartlar yeterli olmaktadır. Üst katlar tamamen simetrik olmasına rağmen, alt katların rijitliklerinin çok farklı olması nedeniyle üst katlarda da burulma düzensizliği ortaya çıkmıştır. Oluşan burulma düzensizlik değerleri üst katlara doğru giderek azalmakta, bazı sistemlerde 1.20 değerinin altına dahi düşmektedir.

#### 4.2. İstinat Duvarı Olan Çerçeve Sistemli Binalarda Burulma Düzensizliğinin Açıklık Sayısına Göre Değişimi

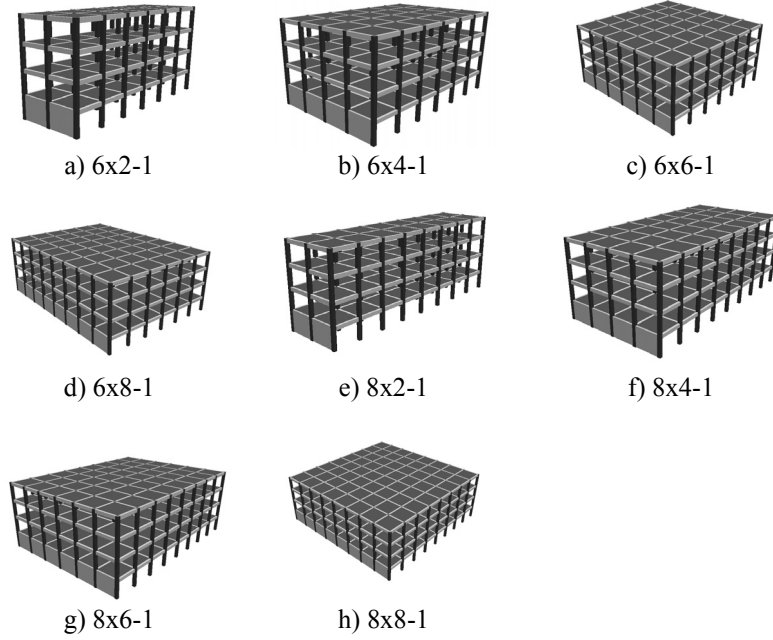
Burulma düzensizliğinin kat sayısına bağlı olarak incelendiği önceki bölümde burulma düzensizlik değerleri, sınır değer olarak kabul edilen 2.00 değerini aşmadığı için istinat duvarlı binalarda plan boyutunun burulma düzensizliğine etkisinin incelenmesi düşünülmüştür. İstinat duvarının plandaki yeri sabit tutulmuş, istinat duvar boyutu ise bina boyu ile aynı alınmıştır. Bina boyutu ise 2 açıklıktan başlayıp ikişer atlayarak 8 açıklığa kadar artırılmıştır. Bina açıklıkları her iki yönde de şaşırtmalı olarak yapılmıştır. Önceki bölümde olduğu gibi bu bölümde de bir ve iki katında istinat duvarı olan binalar ele alınmıştır. Bu binalara ait tüm özellikler de önceki bölümdeki binaların özellikleri ile aynı seçilmiştir. 4 katlı olacak şekilde seçilen bina örnekleri, yine aynı yapısal analiz yazılımları kullanılarak deprem etkisi için analiz edilmişlerdir. Bina sistemleri tanımlanırken, sırası ile x ve y yönü açıklıkları kullanılmıştır. Örnek olarak, 2x8-1 binası, x doğrultusunda 2 açıklığı, y doğrultusunda 8 açıklığı olan ve 1 katında istinat duvarı olan binayı ifade etmektedir. Bu bölümde toplam 32 adet bina incelenmiştir. Bu binaların şematik istinat duvarlı kat planları Şekil 10'da, binaların görünüşleri ise Şekil 11-14'te verilmektedir. Binaların analiz edilmesiyle elde edilen burulma düzensizliği değerleri ise Şekil 15-16'da sunulmaktadır.



Şekil 10. İncelenen binaların şematik istinat duvarlı kat planları

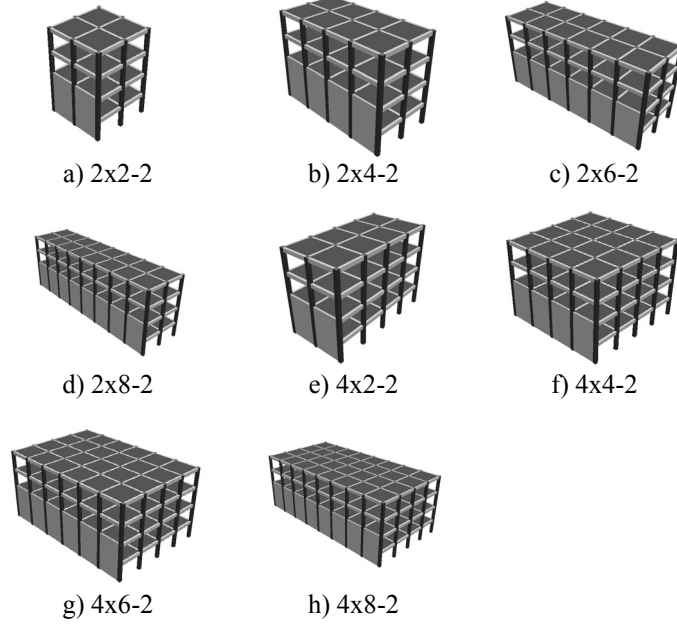


Şekil 11. Bir kat boyunca istinat duvarlı binalara ait görünüşler

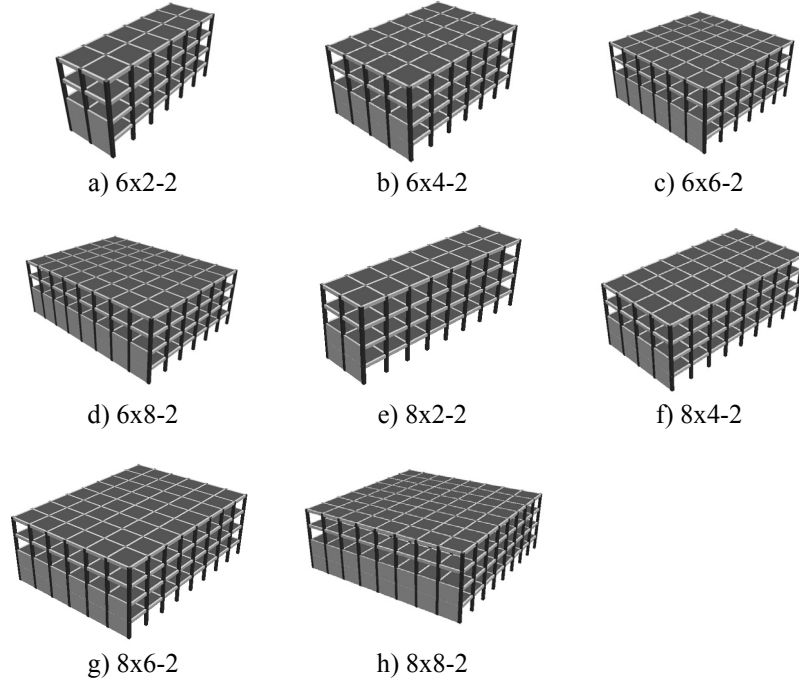


Şekil 12. Bir kat boyunca istinat duvarlı binalara ait görünüşler

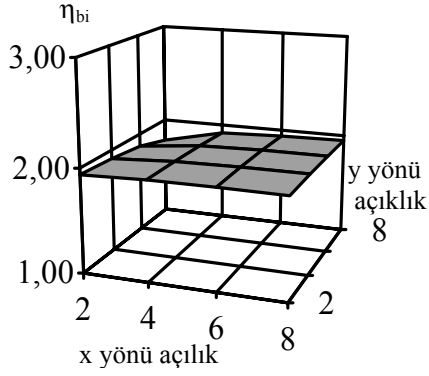
*Çerçeve Binalarda Bodrum Kat İstinat Duvarlarının Burulma Düzensizliğine Etkisi*



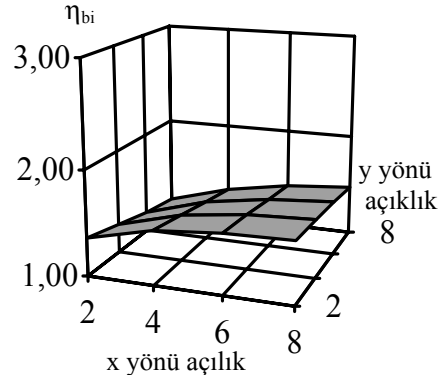
*Şekil 13. İki kat boyunca istinat duvarlı binalara ait görüşler*



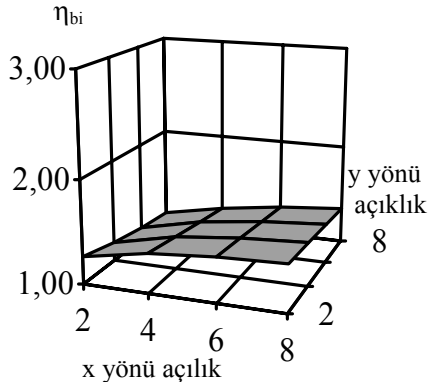
*Şekil 14. İki kat boyunca istinat duvarlı binalara ait görüşler*



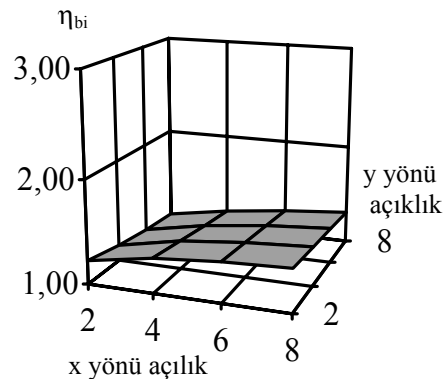
a)



b)



b)



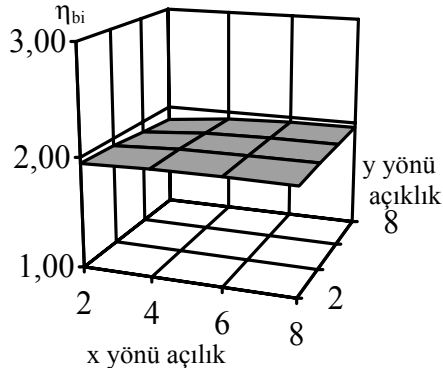
d)

Şekil 15. Bir kat boyunca istinat duvarlı binalarda burulma düzensizliği değişimleri  
a) birinci kat b) ikinci kat c) üçüncü kat d) dördüncü kat

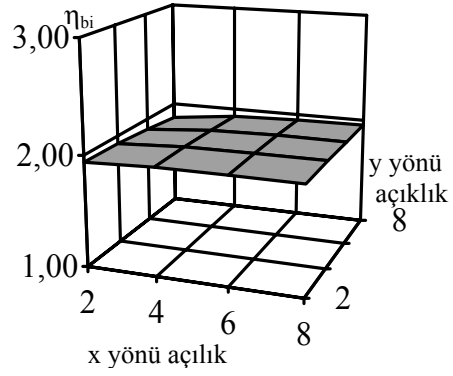
Şekiller incelendiğinde çerçeve sistemli istinat perdeli binalarda, burulma düzensizliği üst sınırı kabul edilen 2.00 değerinin aşılması, tanımından dolayı mümkün görülmemektedir. Burulma düzensizliği tanımında daha önce de belirtildiği gibi maksimum öteleme ve ortalama öteleme değerleri kullanılmaktadır. Dikkate alınan sistemlerde ortalama öteleme değeri, minimum öteleme değerinin oldukça küçük olması nedeniyle, maksimum ötelemenin yarısından biraz daha fazla olmaktadır. Buradan da maksimum öteleme değerinin, ortalama ötelemeye oranından elde edilen burulma düzensizlik katsayısı  $\eta_{bi}$ , 2.00 değerine ulaşamamakla beraber, bu değere oldukça yaklaşmaktadır. Binanın istinat perdeli bölümü, deprem anında çok az bir öteleme yaparken (minimum öteleme), binanın diğer tarafının öteleme değeri (maksimum öteleme) hangi değeri alırsa alsın burulma düzensizliği

### Çerçeve Binalarda Bodrum Kat İstinat Duvarlarının Burulma Düzensizliğine Etkisi

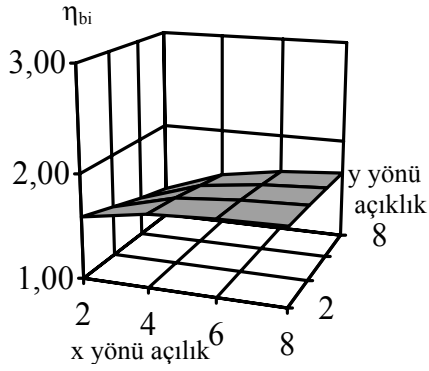
tanımından dolayı düzensizlik katsayısı 2.00 değerine çok yakın olacaktır. Binalarda burulma düzensizliği üst sınırı olarak kabul edilen 2.00 değerinin aşılabilmesi, ancak minimum ötelemenin ters yönlü (negatif işaretli) olması ile mümkün olabilecektir. Bunun yanında, burulma düzensizliğinin kat sayısına bağlı olarak değişiminden elde edilen sonuçlarda gözlemlendiği gibi, alt katların rijitliklerinin çok farklı olması nedeniyle üst katlarda da burulma düzensizliği ortaya çıkmıştır. Oluşan burulma düzensizlik değerleri üst katlara doğru giderek azalmaktadır.



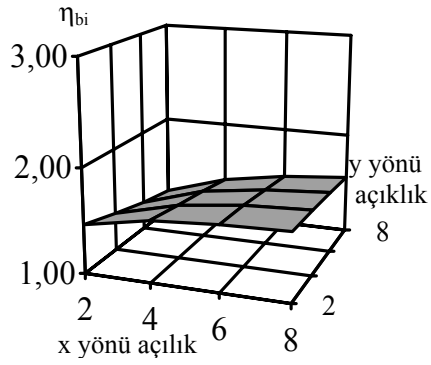
a)



b)



b)



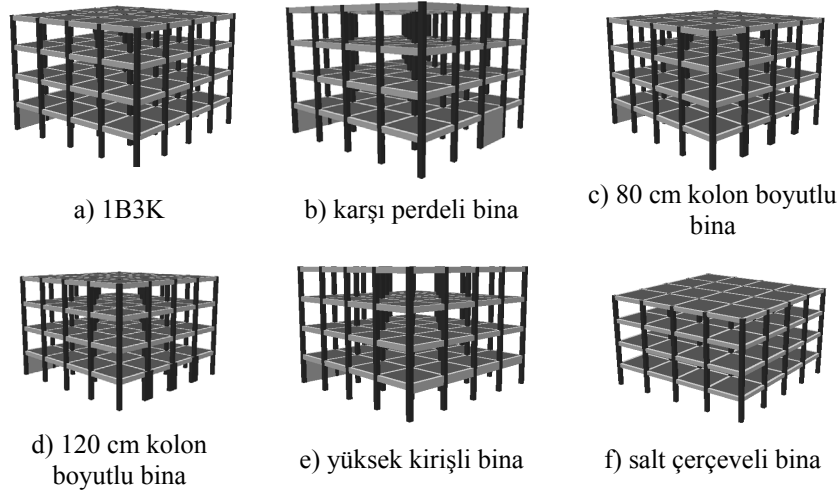
d)

Şekil 16. İki kat boyunca istinat duvarlı binalarda burulma düzensizliği değişimleri  
a) birinci kat b) ikinci kat c) üçüncü kat d) dördüncü kat



#### 4.3. İstinat Duvarı Olan Çerçeve Sistemli Binalarda Burulma Düzensizliğini Azaltma Çabaları ve Metraj Karşılaştırmaları

Burulma düzensizliğinin kat sayısına ve açıklık sayısına göre değişiminin irdelenmesiyle elde edilen sonuçlardan, istinat duvarı olan çerçeve sistemli binalarda burulma düzensizliğinin üst sınırı olarak kabul edilen 2.00 değerinin aşılmasa dahi, bu değere oldukça yakın burulma düzensizlik değerleri elde edilmiştir. Bu durumda, boyutlandırma açısından sorun teşkil etmemesine rağmen binanın kenar elemanlarında oldukça büyük kesit tesirleri ortaya çıkmaktadır. Ayrıca perdeli çerçevesiz binalarda da bazı durumlarda burulma düzensizlikleri çok büyük değerlere ulaşabilmektedir [9]. Yönetmelik koşulları açısından herhangi bir sorun teşkil etmese dahi tasarımcı mühendisler yüksek dereceden burulma etkilerine maruz bina sistemi tasarımından kaçınabilirler. Bu noktadan hareketle oluşan burulma etkilerinin nasıl azaltılabileceği üzerinde durulmuş olup, mimari kullanımı çok fazla etkilemeyecek alternatif çözümler araştırılmıştır. Bu amaçla daha önce de çalışılan 1B3K binası ele alınarak, mümkün olan çözümler ile metraj ve yönetmelik koşulları karşılaştırılmıştır. Ele alınan bina sisteminde ilk önce istinat duvarının karşı tarafına, en sağ aksa, bir kat boyunca bir açıklığın arasına perde yerleştirilmiştir (karşı perdeli bina). Daha sonra yine aynı aksdaki orta kolonların y yönü boyutu 80 cm ve 120 cm'ye çıkartılarak, 2 adet bina sistemi daha çözümlenmiştir (80 cm kolon boyutlu bina ve 120 cm kolon boyutlu bina). Diğer bir düzenleme ile binanın en sağ aksındaki kenar kirişlerinin yükseklikleri 80 cm'ye çıkartılarak yüksek kirişli bina sistemi elde edilmiştir. Referans oluşturması ve istinat duvarı binadan ayrı yapılmış binayı temsil etmesi için çerçevesiz bir bina da analiz edilmiştir (salt çerçevesiz bina). Deprem analizleri yapılan binaların görünüşleri Şekil 17'de verilmektedir. Böylece oluşturulan sistemlerin deprem analizleri, yine aynı yapısal analiz programları kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 17. Analizleri yapılan binaların görünüşleri

Dikkate alınan bina sistemlerinin deprem analizlerinden elde edilen burulma düzensizliği değerleri birinci kat için Tablo 2'de verilmektedir.

*Çerçeveleli Binalarda Bodrum Kat İstinat Duvarlarının Burulma Düzensizliğine Etkisi*

*Tablo 2. Birinci kattaki ötelemeler (mm) ve buna bağlı değerler*

BİNA	$(\Delta)_{\max}$	$(\Delta)_{\min}$	$(\Delta)_{\text{ort}}$	$\eta_{bi}$	$D_i$	$e_x$
1B3K	1.57325	0.05055	0.81190	1.93774	2.60752	0.13038
Yüksek kirişli bina	1.39715	0.05041	0.72378	1.93035	2.58768	0.12938
80 cm kolon boyutlu bina	1.03538	0.05021	0.54280	1.90750	2.52677	0.12634
120 cm kolon boyutlu bina	0.63316	0.04985	0.34151	1.85403	2.38710	0.11935
Karşı perdeli bina	0.24056	0.04950	0.14503	1.65869	1.91060	0.09553
Salt çerçeveleli bina	1.38755	1.13556	1.26156	1.09987	0.84008	0.04200

Tablo incelendiğinde kolonları 80 cm'ye kadar büyütmenin ve kiriş yüksekliklerini artırmanın burulma düzensizliğini azaltmada fazla etkili olmayacağı anlaşılmaktadır. Kolonlar 120 cm değerine çıkartıldığında ise burulma düzensizliğinde bir miktar azalma gözlenmektedir. Bunun yanında, burulma düzensizliğini etkin bir biçimde azaltmak ancak karşı perde uygulaması ile mümkün olmuştur. Ancak, istinat duvarının karşısına perde konması ile ötelemelerin önemli oranda küçülmesine rağmen, burulma düzensizliği için öteleme oranları kullanıldığından burulma düzensizliği 1.20 değerini aşmıştır. En düşük burulma düzensizliği değeri ise beklenildiği gibi salt çerçeveleli binada oluşmuştur. Salt çerçeveleli binanın, istinat duvarı binadan ayrı imal edilmiş binayı temsil ettiği düşünülürse, söz konusu düzenlemenin burulma etkilerini en aza indirmede en uygun çözüm olacağı öngörülebilir.

Burulma düzensizliğini azaltmak için dikkate alınan bu çözümlerinin bina maliyetini ne derecede etkileyeceğini incelemek için beton ve donatı metrajları Sta4CAD [16] yazılımıyla yapılmış ve elde edilen değerler Tablo 3'te karşılaştırılmıştır. Salt çerçeveleli binaya, ayrık istinat duvarının metrajları da dahil edilmiştir.

*Tablo 3. Binaların beton ve donatı metrajları*

Bina	1. kat		Tüm Bina	
	Beton	Donatı	Beton	Donatı
1B3K	77.9 m <sup>3</sup>	7.3 ton	285.9 m <sup>3</sup>	26.8 ton
Yüksek kirişli bina	79.2 m <sup>3</sup>	7.5 ton	287.1 m <sup>3</sup>	27.1 ton
80 cm kolon boyutlu bina	79.2 m <sup>3</sup>	7.4 ton	287.2 m <sup>3</sup>	26.9 ton
120 cm kolon boyutlu bina	80.6 m <sup>3</sup>	7.6 ton	288.6 m <sup>3</sup>	27.1 ton
Karşı perdeli bina	80.1 m <sup>3</sup>	7.5 ton	288.1 m <sup>3</sup>	27.2 ton
Salt çerçeveleli bina	84.1 m <sup>3</sup>	7.9 ton	292.1 m <sup>3</sup>	27.3 ton

Hesaplanan metraj değerleri incelendiğinde çözümler arasındaki farkların çok az olduğu görülmektedir. İstinat duvarını binadan bağımsız hale getirmenin, binanın kullanımı sırasında da herhangi bir soruna yol açmayacağı düşünülmektedir. Özel bir detayla bu sorun çözümlenebilir. Ancak, bu detaylandırma yapılırken istinat duvarı ile bina birbirinden yeter derecede ayırık mesafede konumlandırılmalıdır. Hesaplamaları ayrıntılı olarak yapılmasa dahi, perde çerçeve sistemli binalarda da aynı sonuçların elde edileceği düşünülmektedir. Binalarda ayırık istinat duvarı yapılmasının maliyeti, bina toplam maliyeti yanında çok küçük mertebelerde olacaktır. Özellikle bir tek katında istinat duvarı bulunan binalarda bu husus dikkate alınmalıdır. Deprem hesabındaki belirsizlikler göz önüne alınacak olursa, binayı bu kadar düzensiz hale getirmenin hiç bir anlamı yoktur. Tasarımcı inşaat mühendislerinin bu konuyu önemle dikkate almaları, depreme dayanıklı bina tasarımı açısından oldukça önemlidir.

## **5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER**

Bu çalışmada parametrik bir çalışma yöntemi izlenerek, uygulamada oldukça yaygın olarak inşa edilen istinat duvarlı çerçeve sistemli binalarda istinat duvarlarının burulma düzensizliğine etkisi incelenmektedir. Bu binalar tüm deprem bölgelerinde yaygın olarak yapılmalarına rağmen oluşan düzensizliklere genellikle hiç dikkat edilmemektedir. Bu noktadan hareketle, literatürde yeterince incelenmediği düşünülen istinat duvarlı çerçeveli sistemler bu çalışmada burulma açısından değerlendirilmektedir.

Burulma düzensizliğinin kat sayısına ve açıklık sayısına bağlı olarak incelendiği çerçeve sistemli istinat duvarlı binalarda, istinat duvarlı katlar esas alındığında, burulma düzensizliği üst sınırı olarak kabul edilen 2.00 değeri aşılmamaktadır. İstinat duvarlı katlarda 2.00 değeri aşılmaya dahi oluşan burulma düzensizlik değerleri 2.00 değerine oldukça yakın çıkmaktadır. Bu bakımdan, yapı elemanlarının boyutlandırılmaları açısından herhangi bir zorlukla karşılaşılmamaktadır. Yüksek oranda burulma düzensizliği içeren bu sistemlerde minimum şartlar yeterli olmaktadır. Üst katlar tamamen simetrik olmasına rağmen, alt katların rijitliklerinin çok farklı olması nedeniyle üst katlarda da burulma düzensizliği ortaya çıkmaktadır. Bunun yanında, oluşan burulma düzensizlik değerleri üst katlara doğru giderek azalmaktadır. Bu bakımdan, yönetmelik koşullarının burulma düzensizliği açısından zorlayıcı olmadığı söylenebilir.

Burulma düzensizliğini azaltmak için dikkate alınan alternatif bina sistemleri incelendiğinde, kolonları 80 cm'ye kadar büyütmenin ve giriş yüksekliklerini artırmanın burulma düzensizliğini azaltmada fazla etkili olmayacağı anlaşılmıştır. Kolonlar 120 cm değerine çıkartıldığında ise burulma düzensizliğinde bir miktar azalma gözlenmektedir. Bunun yanında, burulma düzensizliğini etkin bir biçimde azaltmak ancak karşı perde uygulaması ile mümkün olmuştur. Ancak, istinat duvarının karşısına perde konması ile ötelemelerin önemli oranda küçülmesine rağmen, burulma düzensizliği 1.20 değerini yine de aşmıştır. En düşük burulma düzensizliği değeri ise beklenildiği gibi salt çerçeveli binada oluşmuştur. Salt çerçeveli binanın, istinat duvarı binadan ayrı imal edilmiş binayı temsil ettiği düşünülürse, söz konusu düzenlemenin burulma etkilerini en aza indirmede en uygun çözüm olacağı açıktır.

Burulma düzensizliğini azaltmak için yapılan alternatif binaların metraj hesaplarından görüleceği gibi, farklı çözümler arasındaki metraj farkları oldukça küçük mertebededir.

### *Çerçeveleli Binalarda Bodrum Kat İstinat Duvarlarının Burulma Düzensizliğine Etkisi*

İstinat duvarını binadan bağımsız hale getirmenin binanın kullanımı sırasında da herhangi bir soruna yol açmayacağı düşünülmektedir. Binalarda ayırık istinat duvarı yapılmasının maliyeti, bina toplam maliyeti yanında çok küçük mertebelerde olacaktır. Deprem davranışındaki belirsizlikler ve metrajların birbirine yakınlığı göz önüne alınırsa, istinat duvarını binadan bağımsız hale getirmek en uygun yol olarak gözükmektedir. İki veya daha fazla katında istinat duvarı olan binalarda, basit bir hafifletme konsolu ile istinat duvarındaki momentleri, dolayısıyla da maliyeti düşürmek mümkündür. İstinat duvarının binadan ayrılmadığı durumlarda, çalışmada açıklanan etkiler bina tasarımında muhakkak dikkate alınmalıdır.

Ülkemizde istinat duvarlı binaların sayısı çok fazla olmasına rağmen, bu konuda yapılan incelemelerin çok yetersiz kaldığı söylenebilir. Bu bakımdan, teorik çalışmalar kadar, uygulamaya yönelik çalışmalara da ağırlık verilmelidir. Unutulmamalıdır ki depremlerde can ve mal kayıplarına sebebiyet veren en önemli unsurlardan biri uygulamada yapılan yanlışlardır.

#### **Semboller**

$D_i$	: Dışmerkezliğe uygulanan büyütme katsayısı
1B3K binası	: 1 bodrumlu ve 3 normal katlı olmak üzere toplam 4 katlı bina
2x8-1 binası	: x doğrultusunda 2 açıklığı, y doğrultusunda 8 açıklığı olan ve 1 katında istinat duvarı olan bina
$(\Delta_i)_{max}$	: Binanın i. katındaki maksimum görelî kat ötelemesi
$(\Delta_i)_{ort}$	: Binanın i. katındaki ortalama görelî kat ötelemesi
$\eta_{bi}$	: i. katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı

#### **Teşekkür**

Çalışma yazarlarından İsmail Yasin YAVUZ, daha önce tanışmadığı halde çok değerli zamanını ayırıp, istemiş olduğu her bilgiyi en kısa zamanda ulaştıran, zahmet edip kitaplarının fotokopilerini dahi gönderen Prof. Dr. Günay ÖZMEN' e sonsuz teşekkür eder.

#### **Kaynaklar**

- [1] Bal, I.E., Crowley, H., Pinho, R., Gulay, G., Structural Characteristics of Turkish RC Building Stock in Northern Marmara Region for Loss Assessment Applications, IUSS Press, Pavia, İtalya, 72-73, 2007.
- [2] Atımtay, E., Çerçeveleli ve Perdeli Betonarme Sistemlerin Tasarımı Temel Kavramlar ve Hesap Yöntemleri, METU Pres, Ankara, 2, 480-481, 2001.
- [3] Paulay, T., Torsional Mechanisms in Ductile Building Systems, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 27, 1101-1121, 1998.

- [4] Duan, N, X., Chandler, M, A., An Optimised Procedure for Seismic Design of Torsionally Unbalanced Structures, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 26, 25-28, 1997.
- [5] Chandler, A. M., Duan, X, N., Assessment of Some Factors Affecting the Performance of Asymmetric Code-Designed Buildings, *Proc. of European Workshop on the Behavior of Asymmetric and Set-Back Structures*, Capri, 112-118 1996.
- [6] Chandler, A. M., Duan, X, N., Performance of Asymmetric Code-Designed Buildings for Serviceability and Ultimate Limit States, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 26, 42-48, 1997.
- [7] Moghadam, A. S., Tso, W. K., Seismic Response of Regular Asymmetrical RC Ductile Frame Buildings, *Proc. of European Workshop on the Behavior of Asymmetric and Set-Back Structures*, Capri, 32-39, 1996.
- [8] Özmen, G., Çok Katlı Yapılarda Burulma Düzensizliği, Türkiye Deprem Vakfı, Teknik Rapor No: TDV/TR 036-61, İstanbul, 2001.
- [9] Özmen, G., Aşırı Burulma Yapan Çok Katlı Yapılar, Türkiye Deprem Vakfı, Teknik Rapor No: TDV/TR 039-68, İstanbul, 2001.
- [10] Çakıroğlu, A., Rijit Bodrumlu Yapıların Deprem Hesabı Üzerine, 3. Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 105-121, 1995.
- [11] Tanrıverdi, S., Bodrumlu Yapılarda Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine Göre Bodrum Kat Perdesiz Akslardaki Kolon İç Kuvvetlerinin Değişimi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2002.
- [12] Gubana A., Fedrigo, D., Elasto Plastic Analysis of Box Basement Structures at the Basis of Shear Walls, Dept. Civil Engineering Press , Univ. of Brescia, Italy, 1-11, 2003.
- [13] Coduto, P. D., Temel Tasarımı, Çev: Mollamahmutoğlu, M., Kayabalı, K., Gazi Kitapevi, Ankara, 2005.
- [14] Giuriani, E., Gubana, A., Underground Box Structure as a Foundation for Shear Walls in Seismic Resistant Buildings, *Journal of Structural Engineering*, 133, 559-566, 2007.
- [15] DBYBHY, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, İMO Ankara Şubesi, Ankara, 1-193, 2007.
- [16] Sta4CAD, Structural Analysis for Computer Aided Design, Sta Müh. Müş. Ltd. Şti., İstanbul, 2007.
- [17] Etabs User's Manual, Extended 3D Analysis of Building Systems, Computers and Structures Inc., Berkeley, California, 2005.