

# Hareketli Yük Dağılımının Burulma Düzensizliğine Etkisinin İncelenmesi

Orhan DOĞAN ve Şule BAKIRCI ER

Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 71451 Türkiye  
Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 71451 Türkiye  
Tel: +90 (318) 357 4242 / 1237; Fax: +90 (318) 357-2459, odogan67@hotmail.com, sule\_bakirci71@hotmail.com

**Özet** — 1999 Marmara Depremi'nden sonra yapılan incelemelerde, binaların yapım amacının dışında, bazılarında proje tadilatlarına gidilmesi ve kat içerisindeki sabit ve hareketli yük dağılımının üniform (düzgün yayılı) olmaması nedeniyle, ağırlık merkezinin değiştiği ve ikinci mertbe burulma momentinin arttığı gözlenmiştir. Bu çalışma ile TS498 ve TS500 şartnamelerine uygun olarak düzgün yayılı kabul edilen hareketli yükün, plan geometrisi düzgün fakat hareketli yük dağılımı düzgün olmayan üç farklı model 'Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi' kullanılarak SAP2000 programı yardımıyla analiz edilmiştir. Çalışma bulgularına göre %5 eksantrisite dikkate alındığında bu modellerin bazı yüklemelerde burulma düzensizliği katsayısının 1.2 değerinin üzerine çıkarak burulma düzensizliği oluşturduğu gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler**—Burulma düzensizliği, eşdeğer deprem yükü yöntemi, yayılı yük, hareketli yük, binada dışmerkezlik.

**Abstract** — Because of project modifications and/or use of buildings for different purposes than those specified by the designer and also nonuniformities of live load distribution within a floor level, after the Marmara Earthquake in 1999, it is observed that the gravity center of most buildings had been changed and this caused an increase in second order torsional moments. In this study, the effect of nonuniformity of live load distributions in comparison to the TS498 and TS500 Codes on torsional irregularities was investigated with three different models using Equivalent Earthquake Load Method under SAP2000. The study results indicate that the ratio of torsional irregularity for most loading conditions with 5% eccentricity was found higher than 1.2 which is specified as the critical value in the prescribed codes.

**Keywords:** Torsional irregularity, Equivalent Earthquake Load Method, live load, building eccentricity.

## I. GİRİŞ

Tasarım düzensizliği olan binaların, depreme esnasında davranışlarındaki olumsuzluklar nedeni ile, yapımından kaçınılmalıdır [1]. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelikte (2007) yapılarındaki düzensizlikler, planda ve düşey doğrultuda düzensizlikler olarak gruplandırılmaktadır [2]. Bu düzensizliklerden planda burulma düzensizliği çağdaş deprem yönetmeliklerinde de en çok göz önüne alınan düzensizlik türüdür [3]. Yapılarda burulma, kat

kütle merkezi ile rijitlik merkezinin çakışmamasından oluşmaktadır. Kütle merkezi belirlenirken kat döşemesi, kirişler, kolonlar, bölme duvarlar, diğer sabit ağırlıklar ve düzgün yayılı kabul edilen hareketli yük ve diğer yükler dikkate alınır. Bu yüklerin x ve y eksenleri kullanılarak ağırlık merkezi hesaplanır. Bu merkez kütle merkezidir. Deprem kuvvetlerinin  $F_{ix}$  ve  $F_{iy}$ , bu merkezden geçen birbirine dik iki eksen doğrultusunda etkidikleri varsayılır. Rijitlik Merkezi ise (RM) deprem kuvveti etkisi altında düşey taşıyıcılarda x-x ve y-y eksenleri doğrultusunda oluşan kesme kuvveti bileşenlerinin kesişim noktası olarak adlandırılır. Kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki mesafe, kat eksantritesidir [1].

Yönetmelikteki binada burulma, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görel kat ötelenmesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görel kat ötelenmeye oranını ile belirlenir. Bu oranın ( $\eta_{bi}$ ) 1.2'den büyük olması durumunda Burulma Düzensizliği var kabul edilir [2].

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

Burada  $(\Delta_i)_{\max}$  i. kattaki en büyük görel kat ötelenmesi,  $(\Delta_i)_{\text{ort}}$  i. kattaki ortalama görel kat ötelenmesidir.

Burada kat deplasmanları ( $d_i$ ) ve görel kat ötelenmeleri ( $\Delta_i$ ), yatay deprem kuvvetinin  $\pm$  %5 eksantrisite ile yapıya etki ettirilmesiyle belirlenir [4].

Burulma düzensizliği ile ilgili olarak, plan geometrisi, rijitlik dağılımı, kat adedi, aks sayısı, zemin sınıfı dikkate alınarak çeşitli çalışmalar yapılmıştır. [5-22]. Ancak bazı durumlarda yapıların amacının dışında kullanılması söz konusu olabilmektedir. Örneğin yapının bazı bölümlerinin konut yerine depo olarak kullanılması durumunda kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki mesafeden dolayı, yapıda burulma düzensizliği olabilmektedir. Yapının plan geometrisi düzgün olsa dahi burulma düzensizliği katsayısı 1.2'yi aşabilmektedir.

Bu çalışmada, kat adedi ve aks sayısı farklı modeller üzerinde, kat içerisinde düzgün yayılı olmayan hareketli yükün burulma düzensizliğine etkisi incelenmiştir.

## II. AMAÇ VE KAPSAM

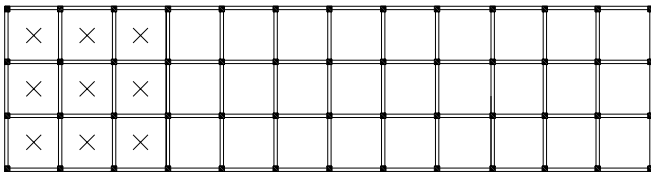
Bu çalışma, konut türü yapılarda hareketli yük dağılımının kat düzleminde düzgün yayılı olmamasına bağlı olarak burulma düzensizliği değişimini belirlemek için yapılmıştır. Bu amaçla I. deprem bölgesinde ve en kötü zeminde (Z4) bulunan, farklı modeller SAP2000 programı yardımıyla incelenmiştir. Bu modellerde yapıların bir bölümü amacının dışında depo olarak kullanılmıştır. Bu yapılarda planda simetri olmasına rağmen kütle merkezleri ile rijitlik merkezleri arasındaki farklardan dolayı burulma düzensizliği katsayılarında değişimler gözlenmiştir.

Çalışmada; kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki artan bu farkın burulma düzensizliğini hangi düzeyde etkileyeceği incelenmiştir.

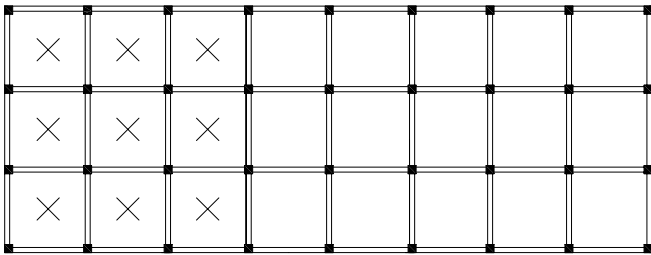
## III. ANALİZLER

Çalışmada; düzgün plan geometrisine sahip, fakat kat düzleminde bazı döşemelerin depo olarak yüklendiği 3 farklı model üzerinde analizler yapılmıştır. İncelenen yapı tiplerinin taşıyıcı sistemleri kolon ve kirişlerden oluşmaktadır. Bu modellerde y yönünde üçer aks bulunurken x yönünde model Ab'de 12, model Bb'de 8, model Cb'de 4 aks bulunmaktadır. Aks aralıkları tüm modellerde x ve y yönünde 4 m'dir. Tüm kolonlar 400x400 mm, tüm kirişler 500x250 mm boyutlarındadır. X ile işaretlenen döşemeler depo olarak kullanılan döşemelerdir. Çatı katları dışında tüm modellerin kat döşemelerinde depo olarak kullanılan kısımlar mevcuttur. Kat ağırlıkları hesaplanırken m<sup>2</sup> kat ağırlıkları depo olan kısımlar için 1.5 t/m<sup>2</sup>, kalan kısımlar için 1.2 t/m<sup>2</sup>, çatı katı için 1.15 t/m<sup>2</sup> alınmıştır.

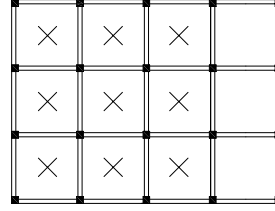
Tüm modeller 3, 5 ve 8 katlı incelenmiştir. Tüm analizler deprem kuvvetinin Y yönünden etki ettiği durum için ve ± %5 dışmerkezlilikler dikkate alınarak yapılmıştır. Bu modellere ait şekiller, şekil 1-3'te verilmiştir.



Şekil 1. Model Ab'ye ait kat planı, ve çatı katı dışında diğer katlarda depo olarak kullanılan döşemeler



Şekil 2. Model Bb'ye ait kat planı ve çatı katı dışında diğer katlarda depo olarak kullanılan döşemeler



Şekil 3. Model Cb'ye ait kat planı ve çatı katı dışında diğer katlarda depo olarak kullanılan döşemeler

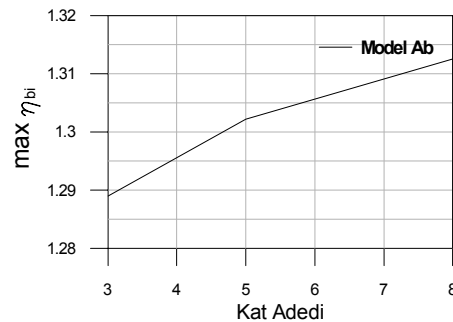
Tüm analizlerde kat döşemeleri için rijit diyafram kabulü yapılmıştır. Rijit diyafram kabulünde döşemelerin düzlemi içinde sonsuz rijit olduğu yani şekil değiştirmedeği kabul edilmektedir. Düğüm noktalarına ait deplasmanlar iki yatay eksen doğrultusunda ötelenme ve düşey eksen doğrultusunda dönme deplasmanlarıdır. Kirişler rijit diyafram içinde kaldığından bu elemanlarda eksenel deformasyon oluşmamaktadır. Döşeme diyaframları dış yükler altında rijit cisim hareketi yapacağından kat kütleleri, bu diyaframın kütle merkezinde tanımlanabilmektedir. Bilinmeyen sayısı büyük ölçüde azalacağından, çözüm kolaylaşmaktadır. Döşemelerin varlığının hesaba katılması sağlanmaktadır [4, 23]. Analizlerde Eşdeğer Deprem Yüğü yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen, ve diğer katlara dağıtılması gereken ek eşdeğer deprem yükü de dikkate alınmıştır. Binanın birinci doğal titreşim periyodu Rayleigh oranı ile belirlenmiştir. Rayleigh oranı ile T<sub>1</sub>'in hesabı denklem 2'de verilmiştir [2].

$$T_1 = 2\pi \left( \frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi}} \right)^{1/2} \quad (2)$$

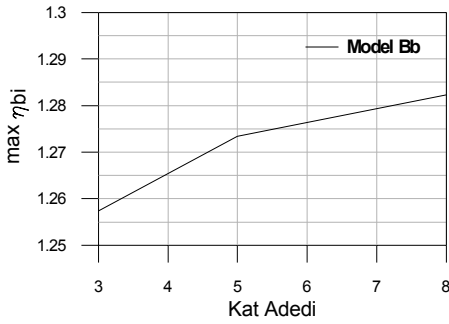
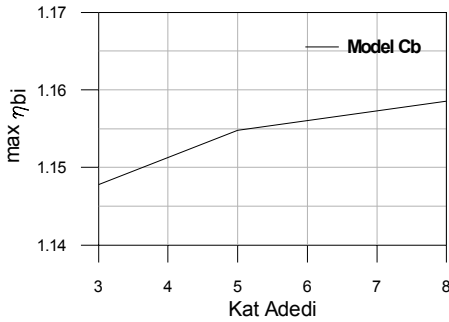
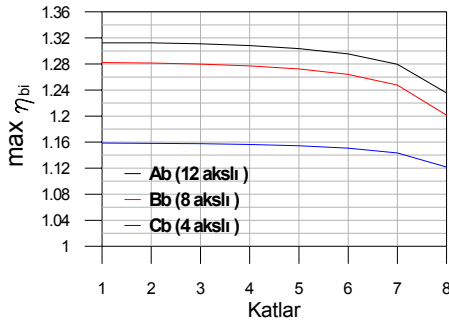
TABLO I  
MODEL Ab, Bb ve Cb'DE KATLARA GÖRE BURULMA DÜZENSİZLİĞİ  
KATSAYILARI

KAT	Ab (3)	Ab (5)	Ab (8)	Bb (3)	Bb (5)	Bb (8)	Cb (3)	Cb (5)	Cb (8)
1	1.289	1.302	1.312	1.257	1.273	1.282	1.148	1.155	1.159
2	1.278	1.300	1.312	1.247	1.271	1.282	1.143	1.154	1.158
3	1.236	1.293	1.311	1.201	1.264	1.280	1.122	1.151	1.158
4		1.279	1.308		1.249	1.277		1.144	1.156
5		1.236	1.304		1.201	1.272		1.122	1.154
6			1.296			1.264			1.151
7			1.280			1.248			1.143
8			1.236			1.201			1.122

Tablo 1'de parantez içindeki sayılar yapıların kat adetlerini göstermektedir.



Şekil 4. Model Ab'de kat adedine göre en büyük η<sub>bi</sub> değerleri

Şekil 5. Model Bb'de kat adedine göre en büyük  $\eta_{bi}$  değerleriŞekil 6. Model Cb'de kat adedine göre en büyük  $\eta_{bi}$  değerleri

Şekil 7. İncelenen modellerde aks sayısına ve katlara göre burulma düzensizliği katsayısının değişimi

Bu modellerin tamamında dışmerkezlüklerin %5'in altında kalmış olmasına rağmen tüm analizlerde  $\pm$  %5 dışmerkezlükler esas alınmıştır. -%5 dışmerkezlükte daha büyük burulma düzensizlikleri elde edilmiştir. Grafikler -%5 dışmerkezlük durumları için çizilmiştir.

#### IV. ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Tüm modellerdeki burulma düzensizliği katsayılarının katlara göre değerleri Tablo I'de verilmiştir. Çalışmada deprem yönetmeliği gereği  $\pm$  %5 dışmerkezlük esas alınarak analizler yapılmış ve  $\eta_{bi}$  değerleri tablo ve grafikler halinde sunulmuştur.

Model Ab, Bb ve Cb 3, 5 ve 8'er katlı olarak incelenmiştir. Bu modellerin her biri için kat adedine bağlı olarak en büyük burulma düzensizlikleri ise şekil 4-6'da gösterilmiştir. Bu modellerde çatı katı hariç tüm diğer katlarda aynı döşemelerin depo olarak yüklendiği kabul edilmiştir.

- İncelenen modellerde x ekseninde en büyük boyutlara sahip 3, 5 ve 8 katlı Ab Modellerinde, Model Bb ve Model Cb'ye göre daha büyük burulma düzensizliği değerleri elde edilmiştir. En büyük burulma düzensizliği değeri Model Ab-8 katlı modelde  $\eta_{bi} = 1.31$  olarak belirlenmiştir.

- Depo olarak yüklenen döşemelerin çatı katı hariç, tüm katlarda aynı döşemeler olması durumunda en büyük burulma düzensizliği değerleri 1. katlarda belirlenmiştir. Bu yüklemeler altında katlara göre en büyük burulma düzensizliği değerleri alt katlardan üst katlara doğru azalmıştır.

- Şekil 7 incelendiğinde bu yükleme durumu ve bu modeller için aks sayısı arttıkça burulma düzensizliği değerinin arttığı, 1.16'dan 1.31'e çıktığı belirlenmiştir.

#### V. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada yapıların amacının dışında depo olarak kullanılmasının planda burulma düzensizliği üzerindeki etkilerini göstermek amacıyla farklı modeller üzerinde analizler yapılmıştır. Düzgün yayılı kabul edilen hareketli yükün, düzgün yayılı olmadığı durumlarda burulma düzensizliği katsayısındaki değişimlere dikkat çekilmek istenmiştir. Elde edilen sonuçlar bu modeller ve buradaki yüklemeler altında olup tüm yapılar için genellenmemelidir. Bunun için daha fazla yapı tipi ve yükleme durumu için analizler yapılması gerekmektedir. Yapının her katına ait burulma düzensizliği katsayısının  $1.2 < \eta_{bi} < 2$  olması durumunda bu katta uygulanan  $\pm$  %5 ek dışmerkezlüğün  $D_i = (\eta_{bi}/1.2)^2$  katsayısı ile büyütülmesi gerekmektedir [2]. Bu çalışmadaki analizlerde amaç yapının kesit tesirlerini belirlemek olmadığından  $D_i$  katsayısı ile dışmerkezlük artırma işlemine gidilmemiştir.

Bu analizler sonucu;

- Kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki mesafeyi artıran yüklemelerin burulma düzensizliği katsayısını artırdığı görülmüştür.

- İncelenen modellerde burulma düzensizliği katsayısının bu yükleme şekillerinde, yapı plan geometrisi ve rijitlik bakımından simetri olsa dahi 1.2'yi aşabileceği belirlenmiştir.

- İncelenen modeller ve yükleme durumları için çatı katı dışında diğer katlarda aynı döşemelerin depo olarak yüklenmesi durumunda, kat sayısı arttıkça yapıdaki en büyük burulma düzensizliği katsayısında artış olmuştur.

- İncelenen modellerde aks sayısı arttıkça kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki uzaklık arttığından burulma düzensizliği katsayısında da artış gözlenmiştir.
- Bundan sonraki çalışmalarda rijitlikte etkili olan duvarların yapının bir kısmında kaldırılmasının burulma düzensizliğine etkileri incelenebilir.

## VI. KAYNAKLAR

- [1] A. Atımtay, "Açıklamalar ve Örneklerle Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (Betonarme Yapılar) Cilt 1, Ankara, 2000.
- [2] "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara Şubesi, 2. Baskı, Temmuz 2007.
- [3] G. Özmen, "Çok Katlı Yapılarda Burulma Düzensizliği", Türkiye Deprem Vakfı, Teknik Rapor, TDV/TR 036-61, TDV/AP-112, s. 1, Ocak 2001.
- [4] İ. H. Çağatay, S. Güzeldağ. "Yeni Deprem Yönetmeliği (TDY-98) SAP2000N Uygulamaları", Birsen Yayınevi, 2002.
- [5] G. Özmen. "Aşırı Burulma Yapan Çok Katlı Yapılar", Türkiye Deprem Vakfı, Teknik Rapor, TDV/TR 039-68, Temmuz 2001.
- [6] N. Özhendekçi, Z. Polat, "Torsional Irregularity of Buildings", The 14<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, 2008, Beijing, China.
- [7] Ş. Bakırcı, "Hareketli Yük Dağılımının Burulma Düzensizliğine Etkisinin SAP2000 ile Analizi", Temmuz 2003.
- [8] G. Özmen. "Plan Geometrisinin Burulma Düzensizliğine Etkisi", TMH Sayı 410\_2000/6, s. 37, 2000.
- [9] G. Özmen. "Rijitlik Dağılımının Burulma Düzensizliğine Etkisi", TMH Sayı 411\_2001/1, s. 37, 2001.
- [10] H. Boğa, "Çok Katlı Yapılarda Burulma Düzensizliğinin İrdelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Ün., Balıkesir, 2000.
- [11] R. Livaoglu, "Yapıların Deprem Hesabında Burulma Düzensizliğinin ve Hesap Yöntemlerinin Etkinliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Ün., Trabzon, 2001.
- [12] H. M. Tanarlan, "Çok Katlı Yapılarda Burulma Düzensizliğinin Sürekli Burulma Çubuğu Analjisi ile İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Ün., İzmir, 1999.
- [13] F. Aydınalev, "Çok Katlı Yapıların Yeni Deprem Yönetmeliği (TDY'98)'ne Göre Analizi ve Yapı Düzensizliklerinin İrdelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Ün. Adana, 2000.
- [14] O. Çamurcu, "Yapılarda Burulma Düzensizliğinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Ün., İstanbul, 2004.
- [15] Ö. Özşentürk, "Burulma Düzensizliği Bulunan Çok Katlı Yapıların Deprem Yönetmeliği Açısından İrdelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Ün., İstanbul, 2005.
- [16] H. Z. Akıllı, "Deprem Etkisindeki Yapıların Davranışına Burulma Düzensizliğinin Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Ün., Sakarya, 2005.
- [17] E. Akıllı, "Perdeli Çerçeveli Sistemlerde Burulma Düzensizliği Oluşturan Durumların İncelenmesi", Yüksek lisans Tezi, Sakarya Ün. Sakarya, 2006.
- [18] G. Özmen, "Çok Katlı Yapılarda Aşırı Burulma Düzensizliği", İMO Teknik Dergi, 2004, 3131-3144, Yazı 210.
- [19] K. Soyuluk, İ. Y. Yavuz, "Çerçeveli Binalarda bodrum Kat İstinat Duvarlarının Burulma düzensizliğine Etkisi", İMO Teknik Dergi, 2009, 4653-4673, Yazı 306.
- [20] A. Demir, D. D. Demir, R. T. Erdem, Muhiddin Bağcı, "Torsional Irregularity Effects of Local Site Classes in Multiple Storey Structures, IJRRAS, August 2010.
- [21] F. Gülay, G. Çalım, "A Comparative Study of Torsionally Unbalanced Multi-storey Structures under Seismic Loading, Turkish J. Eng. Env. Sci. 27, 11-19, TÜBİTAK, 2003.
- [22] M. Kreslin, M. Dolsak, P. Fajfer, "Seismic Analyses of an Irregular Existing RC Building, fifth European Workshop on the Seismic Behavior of Irregular and complex structures, 183-185, 2005.
- [23] G. Özmen, E. Orakdöğen, K. Darılmaz. "Örneklerle SAP2000, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2002.