

Burulma Düzensizliğinin Betonarme Yapı Davranışına Etkileri

Hakan ERDEM^{*1}

¹Niğde Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Niğde

Geliş tarihi: 10.02.2016

Kabul tarihi: 17.03.2016

Özet

Yapıların taşıyıcı sistemlerinin depreme dayanıklı taşıyıcı sistem seçimi ilkelerine uygun seçilmemesi yapının davranışını olumsuz etkiler. Yapıların kütle ve rijitlik merkezlerinin çakıştırılmaması da burulma düzensizliğine sebep olur. Bu durumda olan yapıların bazı parametreleri, burulma düzensizliğinin etkilerini görmek için incelenecektir. Hesaplamalarda kolon boyutları değiştirilerek farklı eksantirisiteye ve rijitliklere sahip taşıyıcı sistemler oluşturulmuş ve İdeCAD programı kullanılarak yapılar modellenmiş ve analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar yapısal düzensizlikler, yapı ağırlığı, birinci periyotlar ve taban kesme kuvvetleri için karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Betonarme yapı, Deprem, Burulma düzensizliği, Yapısal davranış

Effects of Torsional Irregularity on Reinforced Concrete Behaviour

Abstract

If skeletal system is not selected according to the principles of earthquake resistant skeletal system selection, it negatively affects the behavior of the structure. Torsional irregularity occurs when the mass and stiffness center of the structure isn't same. Some parameters of the structure, which in the case will be examined to see the effects of torsional irregularity. In the calculations, skeletal systems having different eccentricity and rigidity by changing column dimensions were selected, modeled and analyzed using IdeCAD program. Structural irregularities, structure weight, first period and base shear forces are compared for the results obtained.

Keywords: Reinforced concrete structure, Earthquake, Torsional irregularity, Structural behaviour

* Yazışmaların yapılacağı yazar: Hakan ERDEM, Niğde Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Niğde, herdem@nigde.edu.tr

1. GİRİŞ

Betonarme yapıların taşıyıcı sistemleri estetik, emniyet ve ekonomiyi gözeterek biçimde tasarlanır. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'te (DBYBHY) bahsedilen depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkeleri de taşıyıcı sistem seçiminde dikkate alınır [1]. Doğru taşıyıcı sistem seçimi yapılmaması ya da yapılamaması durumunda yapının davranışı olumsuz etkilenir. DBYBHY'de planda ve düşey doğrultuda düzensizlikler kontrol edilerek yapının davranışı düzeltilmeye çalışılır. Ancak, bazı yapıların mimari projelerinin uygun olmaması ya da taşıyıcı sistem seçim ilkelerine yeterince sahip olmayan tasarımcı hataları nedeniyle doğru bir taşıyıcı sistem seçimi yapılamayabilir. Özellikle kütle ve rijitlik merkezinin çakıştırılmamış olması durumunda yapıda burulma düzensizliği oluşur. Bu tür yapıların depremde diğer yapılara göre daha fazla hasar gördükleri gözlenmiştir.

Burulma düzensizliği ve bu düzensizliğin yapı ve davranışı üzerine bazı çalışmalar yapılmıştır. Boğa [2] çok katlı yapılarda burulma düzensizliğinin etkilerini incelemiştir. Özmen [3-7] çok katlı yapılarda burulma düzensizliklerini, rijitlik dağılımının burulma düzensizliğine etkilerini ve deprem yönetmeliklerindeki burulma düzensizliği koşullarını incelemiştir. Livaoğlu [8] yapıların deprem hesabında burulma düzensizliğini ve kullanılan hesap yöntemlerinin etkinliğini, Uçar ve Merter [9] taşıyıcı sistemlerde perde yerleşiminin binaların depremdeki davranışına etkisini, Doğan ve Er [10] hareketli yük dağılımının burulma düzensizliğine etkisini incelemiştir. Sandıkçı [11] ise yumuşak kat düzensizliği ile burulma düzensizliği arasındaki ilişkiyi araştırmıştır.

Bu çalışmada taşıyıcı sistemi oluşturan düşey taşıyıcı eleman kolonların simetrik yerleştirilmemesi ve yapının kütle merkezi ile çakışmaması durumunda olan betonarme yapılarda burulma düzensizliğinin yapı davranışına etkileri incelenecektir. Kütle ve rijitlik merkezinin çakışmamasının sonucu olarak bir eksantrisite oluşacak ve buda yapıda burulmanın oluşmasına

neden olacaktır. Önce kütle ve rijitlik merkezi çakışan bir yapı alınmış, daha sonra seçilen bir kolon boyutları değiştirilerek farklı durumlar oluşturulmuş ve İdeCAD paket programı ile farklı taşıyıcı sisteme sahip aynı yapının analizi yapılmıştır. Elde edilen düzensizlikler, yapı ağırlıkları, birinci periyotlar, spektrum katsayıları, taban kesme kuvvetleri karşılaştırılmıştır.

2.YAPISAL DÜZENSİZLİKLER

2.1. Düzensiz Binalar

Depreme karşı davranışlarındaki olumsuzluklar nedeni ile tasarımından ve yapımından kaçınılması gereken düzensiz binaların tanımlanması ile ilgili olarak, planda ve düşey doğrultuda düzensizlik meydana getiren durumlar ve bunlarla ilgili koşullar DBYBHY'de verilmiştir.

2.2. Planda Düzensizlikler

Plandaki düzensizlikler, A1-Burulma Düzensizliği, A2-Döşeme Süreksizlikleri ve A3-Planda Çıkıntılar Bulunması durumlarıdır.

2.2.1. Burulma Düzensizliği

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin ($\Delta_{i_{max}}$), o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ($\Delta_{i_{ort}}$) ifade eden burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} 'nin 1,2'den büyük olması durumudur. Görelî kat ötelemelerinin hesabında, \pm %5 ek dışmerkezlik etkileri de göz önüne alınarak, Eşitlik 1'e göre yapılır.

$$\eta_{bi} = \frac{\Delta_{i_{max}}}{\Delta_{i_{ort}}} > 1,2 \quad (1)$$

2.2.2. Döşeme Süreksizlikleri

Herhangi bir kattaki döşemede, merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının (A_b) kat brüt alanının (A) 1/3'ünden fazla olması,

deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması, döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumudur.

$$\frac{A_b}{A} > \frac{1}{3} \quad (2)$$

2.2.3. Planda Çıkıntılar Bulunması

Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların ($a_{çıkıntı}$) birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının (L) %20'sinden daha büyük olması durumudur.

$$a_{çıkıntı} > 0,2L \quad (3)$$

2.3. Düşey Doğrultuda Düzensizlikler

Düşey doğrultudaki düzensizlikler, B1-Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat), B2-Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat) ve B3-Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği olarak tanımlanmıştır.

2.3.1. Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği

Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanının ($\sum A_g$)_i, bir üst kattaki etkili kesme alanına ($\sum A_g$)_{i+1}, oranı olarak tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı η_{ci} 'nin 0,80'den küçük olması durumudur.

$$\eta_{ci} = \frac{(\sum A_e)_i}{(\sum A_e)_{i+1}} < 0,80 \quad (4)$$

$$\sum A_e = \sum A_w + \sum A_g + 0,15 \sum A_k$$

2.3.2. Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat)

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi

biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesinin kat yüksekliğine oranının (Δ_i / h_i)_{ort} bir üst (Δ_{i+1} / h_{i+1})_{ort} veya bir alt kattaki (Δ_{i-1} / h_{i-1})_{ort} ortalama görelî kat ötelemesinin kat yüksekliğine oranına bölünmesi ile tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı η_{ki} 'nin 2 den fazla olması durumudur. Görelî kat ötelemelerinin hesabı, \pm %5 ek dışmerkezlilik etkileri de gözönüne alınarak yapılır.

$$\eta_{ki} = \frac{\left(\frac{\Delta_i}{h_i}\right)_{ort}}{\left(\frac{\Delta_{i+1}}{h_{i+1}}\right)_{ort}} > 2 \quad (5)$$

$$\eta_{ki} = \frac{\left(\frac{\Delta_i}{h_i}\right)_{ort}}{\left(\frac{\Delta_{i-1}}{h_{i-1}}\right)_{ort}} > 2$$

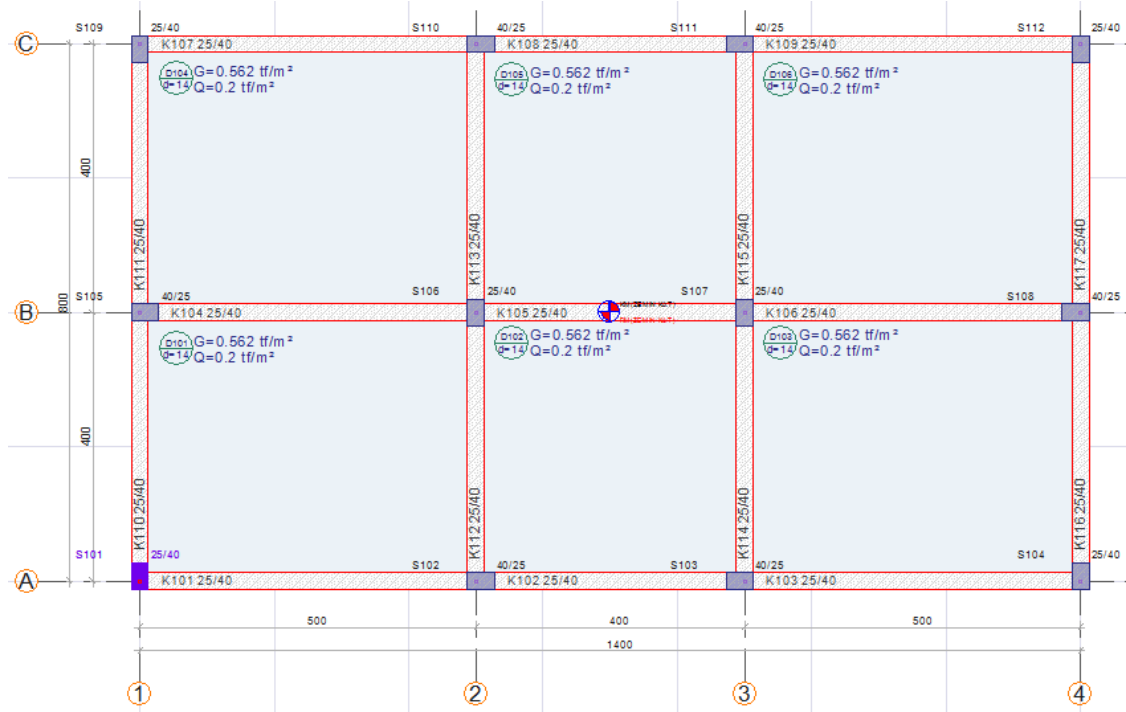
2.3.3. Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği

Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumudur.

3. SAYISAL UYGULAMA

Bu çalışmada, yönetmeliklerdeki burulma düzensizliğinin yapıların davranışı üzerinde etkileri yapının x ve y doğrultularında birinci periyotları, taban kesme kuvvetleri ve yapı ağırlıkları üzerinden incelenmiştir. Bu incelemede yatayda 3 ve düşey doğrultuda 4 akslı 8 m \times 14 m boyutunda simetrik bir yapı seçilmiştir (Şekil 1). Yapı bodrum, zemin ve 4 normal kattan oluşmaktadır. Kat yükseklikleri 3'er metredir. Malzeme olarak C25 ve S420 seçilmiştir. Yapı olarak 2. deprem bölgesinde konut, taşıyıcı sistem olarak ise süneklik düzeyi yüksek çerçeve ve duvar yükü olarak ta 18 cm kalınlığında gaz beton (sıva dahil 3,261 kN/m) seçilmiştir. Son katta ise duvar yükü alınmamıştır. Yer altı zemin sınıfı Z2 alınmıştır.

Burulma Düzensizliğinin Betonarme Yapı Davranışına Etkileri



Şekil 1. Yapının kalıp planı ve üç boyutlu gösterimi

Z2 için $T_a=0,15$ ve $T_b=0,40$ 'dır. Yapıların analizinde İdeCAD programı kullanılmıştır. İlkönce 25 cm x 40 cm boyutlarında kolonlardan oluşan simetrik yerleştirilmiş ve her iki doğrultuda atalet momentleri toplamı aynı olan bir taşıyıcı sistem seçilmiş, analiz edilmiş ve bu durum düzenli durum olarak adlandırılmıştır.

Daha sonra farklı burulma oluşma durumlarını gösterebilmek için A1 akslarının birleşim noktasındaki S1 kolonunun boyutları sırasıyla 25 cm x 60 cm, 25 cm x 80 cm, 25 cm x 100 cm, 25 cm x 120 cm, 25 cm x 140 cm, 25 cm x 160 cm ve 25 cm x 180 cm değiştirilerek analizler tekrarlanmıştır (Çizelge 1, 2).

Çizelge 1. x doğrultusu A1 burulma düzensizlikleri

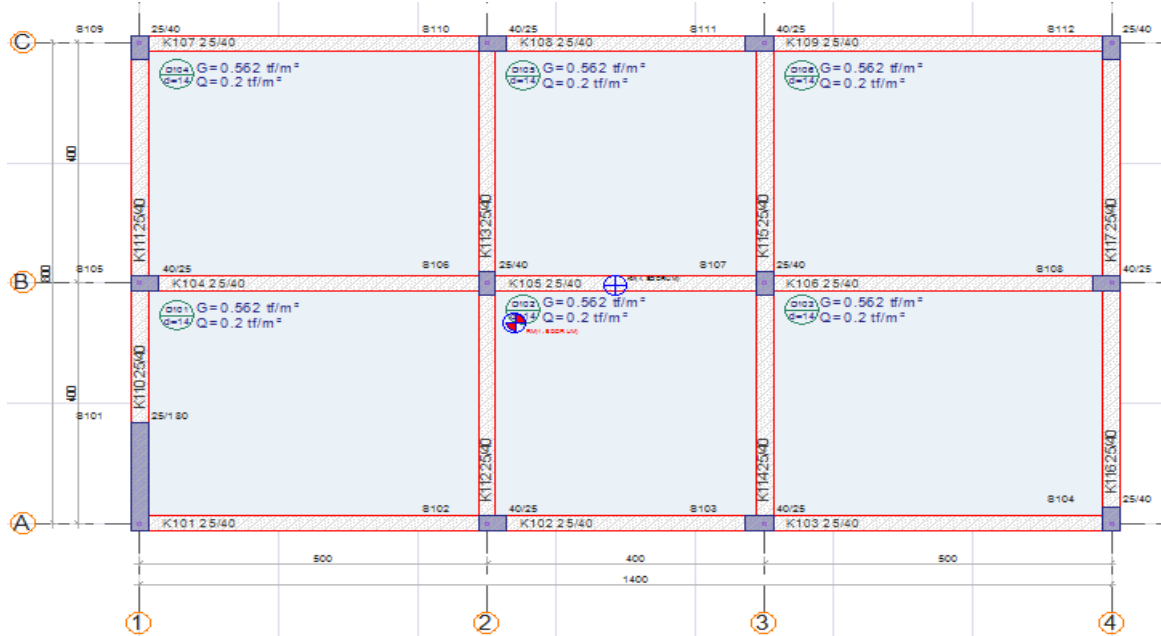
KAT	DÜZENLİ DURUM		25*60		25*80		25*100		25*120		25*140		25*160		25*180	
	(+) %5	(-) %5	(+) %5	(-) %5	(+) %5	(-) %5	(+) %5	(-) %5	(+) %5	(-) %5	(+) %5	(-) %5	(+) %5	(-) %5	(+) %5	(-) %5
4.	1,04	1,04	1,05	1,04	1,04	1,03	1,04	1,03	1,04	1,03	1,05	1,03	1,05	1,02	1,05	1,02
3.	1,04	1,04	1,05	1,04	1,04	1,02	1,04	1,02	1,04	1,02	1,04	1,02	1,04	1,02	1,04	1,02
2.	1,04	1,04	1,05	1,04	1,04	1,02	1,04	1,02	1,04	1,02	1,04	1,02	1,04	1,02	1,04	1,02
1.	1,04	1,04	1,05	1,04	1,04	1,02	1,04	1,02	1,04	1,02	1,04	1,02	1,04	1,01	1,04	1,01
Z	1,04	1,04	1,05	1,04	1,04	1,02	1,04	1,02	1,04	1,02	1,03	1,01	1,03	1,01	1,03	1,01
B	1,04	1,04	1,04	1,03	1,03	1,01	1,03	1,01	1,03	1,01	1,03	1,01	1,04	1	1,04	1

Çizelge 2. y doğrultusu A1 burulma düzensizlikleri

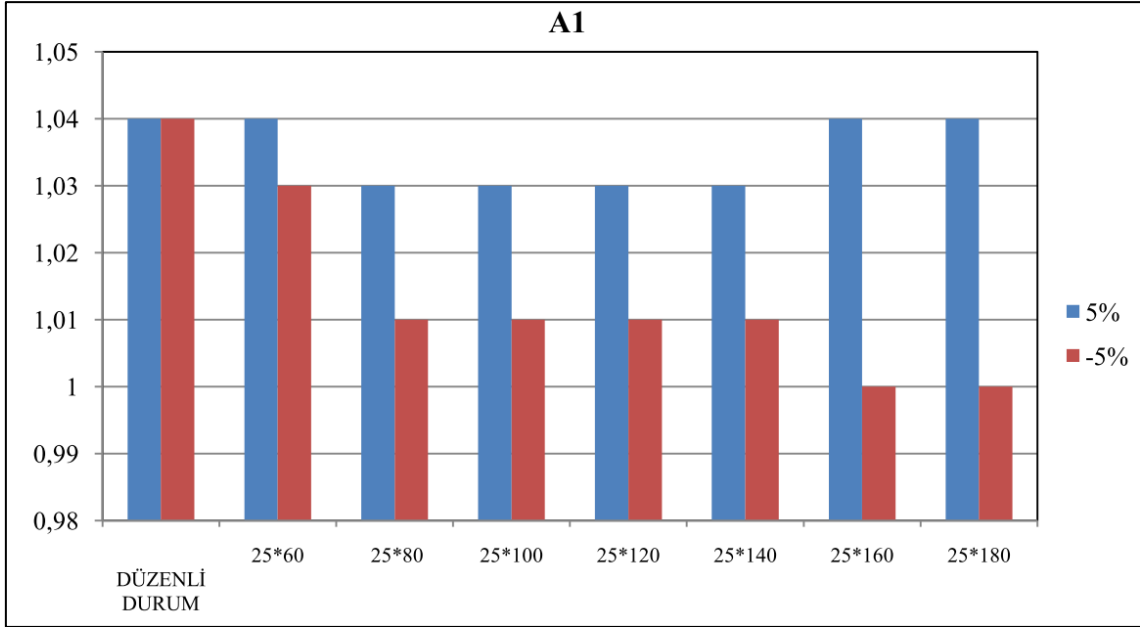
KAT	DÜZENLİ DURUM		25*60		25*80		25*100		25*120		25*140		25*160		25*180	
	(+) %5	(-) %5	(+) %5	(-) %5	(+) %5	(-) %5	(+) %5	(-) %5	(+) %5	(-) %5	(+) %5	(-) %5	(+) %5	(-) %5	(+) %5	(-) %5
4.	1,11	1,11	1,1	1,12	1,12	1,1	1,15	1,08	1,17	1,06	1,18	1,04	1,18	1,05	1,17	1,06
3.	1,12	1,12	1,08	1,16	1,06	1,18	1,04	1,19	1,02	1,21	1	1,23	1,03	1,25	1,06	1,28
2.	1,12	1,12	1,08	1,16	1,05	1,19	1,02	1,21	1,01	1,21	1,06	1,28	1,11	1,33	1,16	1,37
1.	1,13	1,13	1,09	1,16	1,06	1,19	1,01	1,22	1,04	1,27	1,1	1,33	1,17	1,38	1,24	1,44
Z	1,13	1,13	1,09	1,16	1,03	1,21	1,05	1,28	1,13	1,35	1,22	1,43	1,3	1,49	1,38	1,56
B	1,13	1,13	1,02	1,26	1,17	1,39	1,3	1,49	1,41	1,58	1,5	1,65	1,58	1,71	1,64	1,76

Çizelge 1 ve 2'de aynı yapıya ait sekiz farklı taşıyıcı sistem için kütle merkezlerine (+%5) ve (-%5) eksantrisine eklenmesi durumlarına ait her kat için elde edilen x ve y doğrultularına ait burulma düzensizlikleri verilmiştir. Kolon boyutunun y doğrultusunda büyütülmesi ve bunun sonucu olarak

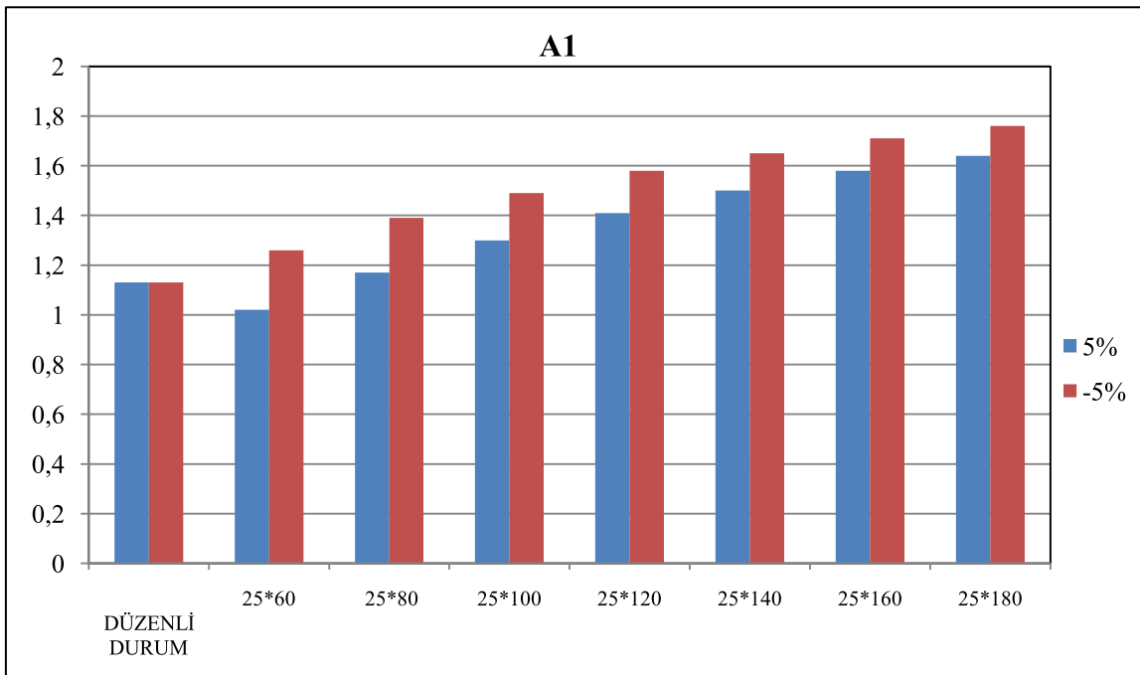
eksantrisitenin oluşmasıyla öncelikle en alt katlardan başlamak üzere burulma düzensizliklerinin olduğu gözlenmiştir. Şekil 2'de sekizinci durum olan A1 kolonunun 25*180 seçilmesi için bodrum katta eksantrisitenin kalıp planındaki gösterimi verilmiştir.



Şekil 2. Bodrum kat kalıp planında kütle ve rijitlik merkezi gösterimi



Şekil 3. Bodrum katta x doğrultusunda burulma düzensizliği



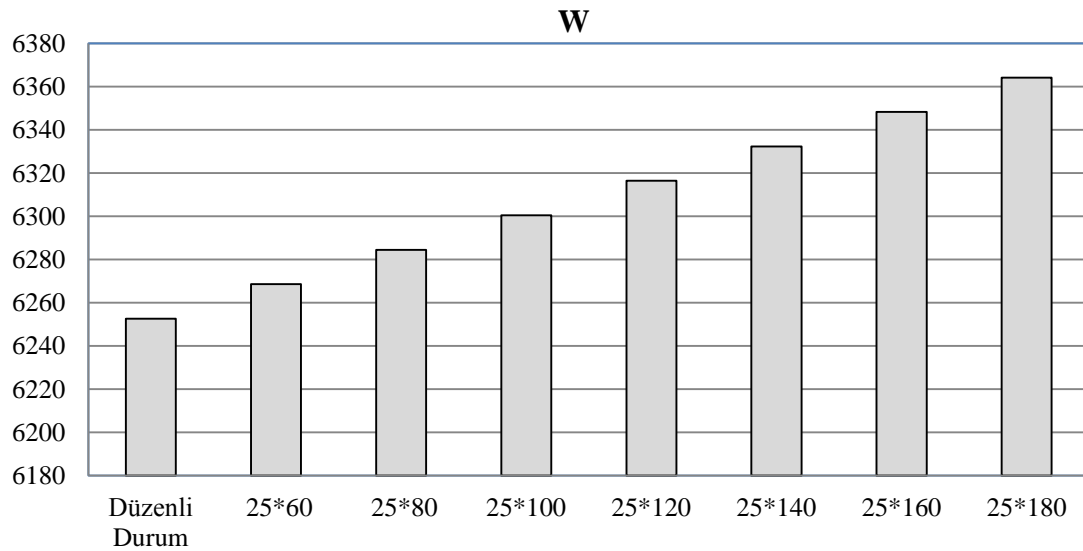
Şekil 4. Bodrum katta y doğrultusunda burulma düzensizliği

Şekil 3’de bodrum katlar için x doğrultusunda deprem yüklemesi durumu için burulma düzensizlikleri verilmiş ve grafikten (-%5) için burulma düzensizliğinin azaldığı görülmektedir. Diğer durum için ise burulma düzensizliğinin değişimi az olmuştur. Şekil 4’de ise bodrum katlar için y doğrultusunda deprem yüklemesi durumu için burulma düzensizlikleri verilmiş ve grafikten hem (+%5) hem de (-%5) için burulma düzensizliklerinin arttığı görülmüştür.

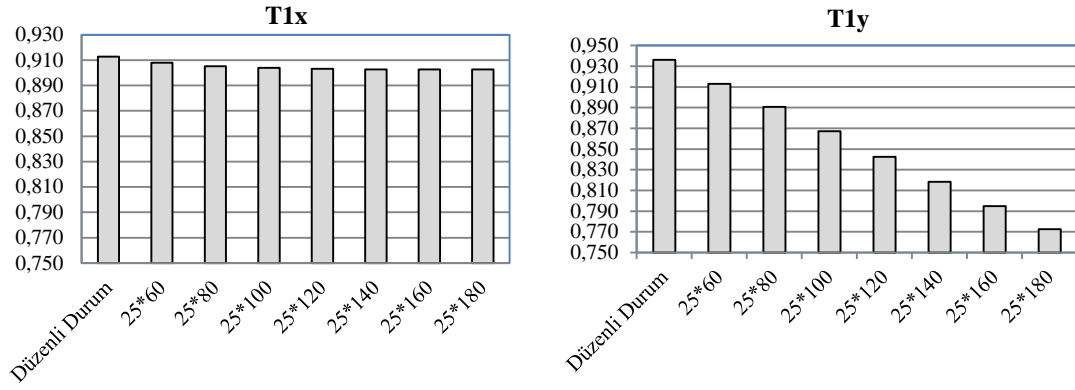
Bu grafikten (-%5) için artışın biraz daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. İncelenen yapının kalıp planında boşluklar, döşeme kalınlığı değişimleri olmadığından A2 döşeme süreksizlikleri düzensizliği yoktur. Ayrıca yine kalıp planında çıkıntılar olmadığından A3 planda çıkıntı bulunması düzensizliği de bulunmamaktadır. Yapı ağırlığı W kolon büyüklüklerinin büyümesine bağlı olarak da artmaktadır (Şekil 5).

Çizelge 3. B2 düzensizlikleri (+%5 ve -%5 için her katta maksimum değerler)

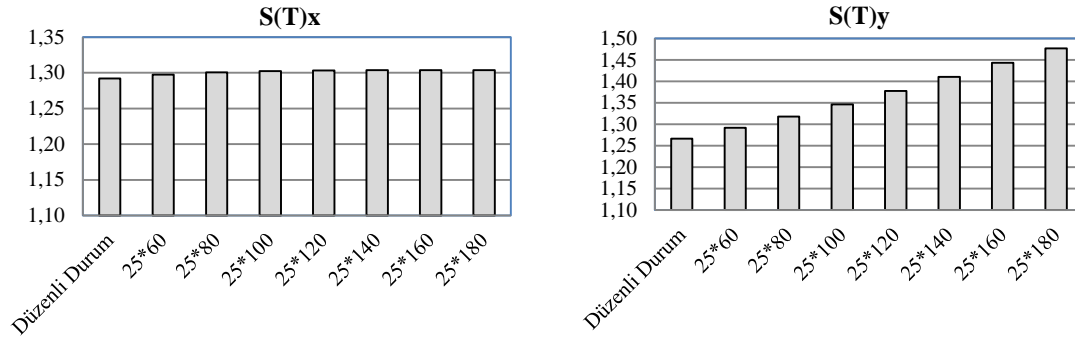
Katlar	Düzenli Durum	25*60	25*80	25*100	25*120	25*140	25*160	25*180
4.	0,57	0,58	0,6	0,63	0,65	0,67	0,69	0,7
3.	1,88	1,88	1,88	1,88	1,87	1,87	1,87	1,86
2.	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39
1.	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23
Z	1,21	1,21	1,21	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22
B	-	-	-	-	-	-	-	-



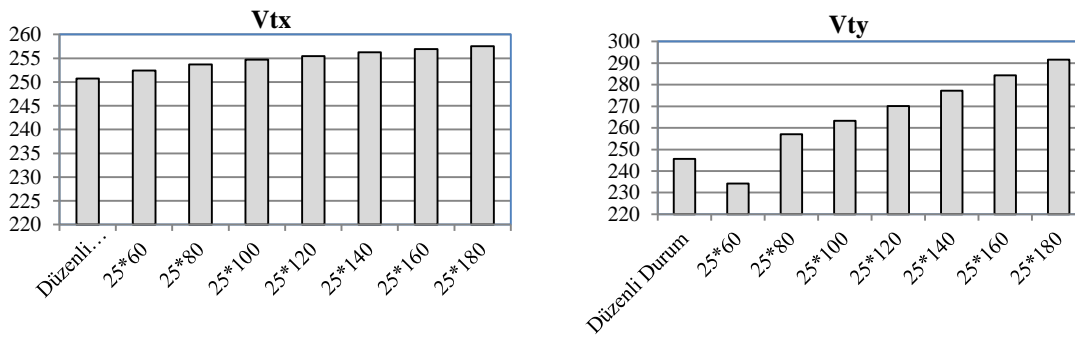
Şekil 5. Hareketli yükler dahil toplam yapı ağırlığı (kN)



Şekil 6. x ve y doğrultularında birinci doğal titreşim periyotları (sn)



Şekil 7. x ve y doğrultularında spektrum katsayıları



Şekil 8. x ve y doğrultularında toplam eşdeğer deprem kuvvetleri (kN)

Hesaplarda, T_{1x} ve T_{1y} değerleri $T_b=0,40$ dan büyük hesaplanmıştır (Şekil 6). Bu durumda spektrum katsayısı hesabında $S(T)=2,5(T_b/T)^{0,8}$ kullanılması gerekir. T_{1x} deki azalmadaki değişim az olduğundan $S(T)_x$ daha az artmakta, T_{1y} deki azalma ise belirgin fazla olduğundan $S(T)_y$ daha fazla artmaktadır (Şekil 7). Yapı ağırlığı ve spektrum katsayısı taban kesme kuvvetini artırır. Yapı ağırlığı x ve y doğrultularında aynı alınacağından taban kesme kuvvetini spektrum katsayısı belirler. X doğrultusu için spektrum katsayısındaki değişim az artış olacağından V_{1x} 'in değeri birinci ve sekizinci durum arasında az değişir (Şekil 8). Y doğrultusunda ise spektrum katsayısı birinci ve sekizinci durum arasında belirgin olarak arttığından buna bağlı olarak V_{1y} 'de belirgin bir artış yaşanmıştır (Şekil 8).

4. SONUÇLAR

Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelikte, yapıların taşıyıcı sistemlerinin yüklemeler altında olumlu bir davranış gösterebilmesi için, planda ve düşey doğrultuda düzensizlikler oluşmayacak biçimde tasarlanması istenmektedir. Yönetmelik burulma düzensizliğinden mümkün olduğunca kaçınılması gerektiğini belirtmektedir. Bu çalışmada burulma düzensizliği olmayacak /oluşabilecek şekilde aynı yapı için sekiz farklı taşıyıcı sistem oluşturulmuş ve İdeCAD programı ile yapılar analiz edilmiştir. Öncelikle düzensizlikler, sonra ise yapı ağırlığı, birinci periyotlar, spektrum katsayıları ve deprem nedeniyle oluşacak taban kesme kuvvetleri ve bunların seçilen taşıyıcı sistem seçimine göre değişimleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlardan kütle ve rijitlik merkezlerinin çakıştırılmaması durumlarında burulma düzensizliklerinin oluşacağı, kolon boyutlarının büyütülmesi ile yapının kolon boyutlarının büyütüldüğü doğrultuda rijitliğinin arttığı, rijitliğin arttığı doğrultuda spektrum katsayısının büyüdüğü ve taban kesme kuvvetinin de bu doğrultuda arttığı gözlenmiştir. Komşu katlar arası rijitlik düzensizliğinin burulma düzensizliğinden çok etkilenmediği görülmüştür. A2, A3, B1 ve B3 düzensizlikleri taşıyıcı sistem seçiminden dolayı oluşmamıştır. Sonuç olarak elde edilen

sonuçlardan yapının kolonlarının yerleşimlerine göre yapıda burulmalar oluşacağı, yapının her iki doğrultuda rijitliklerine bağlı olarak yapının periyotlarının ve taban kesme kuvvetlerinin değişeceği gösterilmiştir. Taban kesme kuvvetine bağlı olarak ta taşıyıcı sistemi oluşturan elemanlarda kuvvetlerde bir artış gözleneceğinden, yapının analiz sonuçlarının olumlu etkilenmesi için burulma düzensizliği oluşmayacak taşıyıcı sistem seçimine özen gösterilmesi gerekmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007.Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Mart, Ankara.
2. Boğa, H., 2000. Çok Katlı Betonarme Yapılarda Burulma Düzensizliğinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tez Çalışması, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
3. Özmen, G., 2001. Çok Katlı Yapılarda Burulma Düzensizliği, Teknik Rapor No: TDV/TR 036-61, Türkiye Deprem Vakfı, İstanbul.
4. Özmen, G., 2001. Rijitlik Dağılımının Burulma Düzensizliğine Etkisi, Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, 411/1, 37-40.
5. Özmen, G., 2004. Çok Katlı Yapılarda Aşırı Burulma Düzensizliği, İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi, 3131-3144.
6. Özmen, G., 2011. Deprem Yönetmeliklerindeki Burulma Düzensizliği Koşullarının İrdelenmesi, Teknik Rapor No: TDV/TR 053-91, Türkiye Deprem Vakfı, İstanbul.
7. Özmen, G., 2012. Deprem Yönetmeliklerindeki Burulma Düzensizliği Koşulları, Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, 472/2, 52-64.
8. Livaoglu, R., 2001. Yapıların Deprem Hesabında Burulma Düzensizliğinin ve Hesap Yöntemlerinin Etkinliğinin İncelenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 145 sayfa.
9. Uçar, T., Merter, O., 2009. Planda Perde Yerleşiminin Betonarme Perde-Çerçevesel Binaların Deprem Davranışına Etkisi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik

Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11/2,
11-18.

- 10.** Doğan, O., Er, Ş.B., 2010. Hareketli Yük Dağılımının Burulma Düzensizliğine Etkisinin İncelenmesi, International Journal of Engineering Research and Development, 2/2.
- 11.** Sandıkçı, T., 2014. Bina Türü Betonarme Bir Yapıda Yumuşak Kat ve Burulma Düzensizliği İlişkisinin İncelenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 107 sayfa.