

Hareketli Yük ve Dolgu Duvar Dağılımının Burulma Düzensizliğine Etkisi

Orhan DOĞAN ve Şule BAKIRCI ER

Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 71450 Türkiye
Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 71450 Türkiye
Tel: +90 (318) 357 4242 / 1237; Fax: +90 (318) 357-2459, odogan67@hotmail.com, sule_bakirci71@hotmail.com

Özet —Son yıllarda, büyük bir deprem sonrasında binalar incelendiğinde, genel olarak yıkılmaların kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki aşırı eksantrisiteden kaynaklandığı gözlemlenmiştir. Burulma düzensizliği olarak bilinen bu düzensizlik taşıyıcı elemanlardaki ikinci mertebe moment etkilerinin artmasına neden olmaktadır. Bu düzensizliğe her ne kadar kolon ve perde tasarımının neden olduğu bilinse de, kat içerisindeki düzgün olmayan ancak düzgün yayılı kabul edilen hareketli yük ve dolgu duvarın neden olduğu düşünülmektedir. Değişik amaçlarla (örneğin; dükkan veya dairelerin genişletilmesi) proje tadilatlarına gidilmesi, bu bağlamda dolgu duvarların kaldırılması veya ilave edilmesi ve binaların ilk tasarım amacı dışında kullanılması kat ötelenmeleri ve burulma düzensizliğini etkilemektedir. Bu çalışmada 5 katlı, 12x32 m ebatlarında, plan geometrisi ve kolon tasarımı düzgün, fakat kat içerisinde hareketli yük dağılımı ve dolgu duvarları simetrik ve asimetrik olan yapı modelleri kullanılmıştır. Eşdeğer Deprem Yüğü analizi sonucunda bazı modellerde burulma düzensizliği katsayısının limit değeri aştığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler—Görelî kat ötelenmesi, burulma düzensizliği, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, yayılı yük, hareketli yük, dolgu duvarlar, binada dışmerkezlilik.

Abstract — In recent years, after an earthquake with a high magnitude it is observed that collapse of buildings is generally caused by the extreme eccentricity between the mass and rigidity centers. This irregularity, also known as torsional irregularity, results in an increase of second order moment effects at bearing members. Despite the fact that the design of column and shearwall is responsible for such irregularities, it is believed that nonuniform live load and infill walls distributions, which are assumed uniform, cause torsional irregularity. Removal or addition of infill walls during project modifications for different aims (e.g. extension of shops and flats), and/or use of buildings for different purposes against original design purposes affect relative lateral displacement and torsional irregularities. In this study, a five story building of 12x32 m with regular plan geometry and column design was modeled using symmetrical and non symmetrical live load distributions and infill walls. The Equivalent Earthquake Load analysis

indicated that in some models the limit value of the coefficient of torsional irregularity was exceeded.

Keywords: Relative lateral displacement, torsional irregularity, Equivalent Earthquake Load Method, distributed load, live load, infill walls, eccentricity in building.

I. GİRİŞ

Kat kütle merkezi ile rijitlik merkezinin çakışmaması yapılarında burulmaya sebep olmaktadır. Kütle merkezi (KM) o katın ağırlık merkezi olup, deprem kuvvetlerinin yapıda her katın kütle merkezine etki ettiği varsayılır. Rijitlik Merkezi (RM) ise deprem kuvveti etkisi altında düşey taşıyıcılarda x-x ve y-y eksenleri doğrultusunda oluşan kesme kuvveti bileşenlerinin kesişim noktasıdır. Kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki mesafe, kat eksantrisitesidir [1].

Proje dışına çıkılarak duvar eklenmesi veya kaldırılması ve hareketli yükün kat içerisinde düzgün yayılı olmaması durumları da binanın eksantrisitesine sebep olmakta, dolayısı ile de yapıya ilave burulma momenti meydana getirmektedir.

Burulma momentinin etkisi ile kat içerisinde farklı görelî ötelenmeler oluşmaktadır. Deprem yönetmeliğine göre, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelenmesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelenmeye oranına burulma düzensizliği katsayısı (γ_{bi}) denilmektedir. Bu oran için sınır değeri 1.2'dir.

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

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

Deprem yönetmeliğinde her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir i'inci katındaki kolon veya perdelerde denklem (2) ile hesaplanan δ_i etkin görelî kat ötelenmelerinin kat içindeki en büyük değeri $(\delta_i)_{\max}$, denklem (3)'te verilen koşulu sağlaması gerektiği belirtilmiştir [2].

$$\delta_i = R \Delta_i \quad (2)$$

$$(\delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.02 \quad (3)$$

Şartname gereği, kat deplasmanları (d_i) ve görece kat ötelenmeleri (Δ_i), yatay deprem kuvvetinin \pm %5 eksantrisite ile yapıya etki ettirilmesiyle belirlenir [3]. Ancak burada kat deplasmanları ve kat ötelenmeleri belirlenirken farklı olarak, yatay deprem kuvveti, her yapının kendi kütle merkezine etki ettirilmiştir.

Burulma düzensizliğinin araştırıldığı pek çok çalışma mevcuttur. [5-22]. Ayrıca dolgu duvarlarla ilgili çalışmalar da bulunmaktadır [23-27]. Genellikle dolgu duvarların yapıya etkisi ağırlık olarak dikkate alınmaktadır. Bu çalışmada dolgu duvarların yatay rijitliğe katkısı ihmal edilmiş, sadece tek doğrultuda eşdeğer deprem yükü analizi yapılmıştır. Ancak dolgu duvarların ve hareketli yükün düşey yükler olarak eksantrisiteye etkisi ve burulma düzensizliğinde meydana getireceği değişiklikler incelenmiştir.

Kat içerisinde burulma düzensizliğine sebep olacak ekstremum dolgu duvar ve hareketli yüklere ilişkin yüklenme durumları tablo I'de sunulmuştur.

II. AMAÇ VE KAPSAM

Bu çalışmada, konut türü yapıların bazı bölümlerinde dolgu duvarların kaldırılması veya yapının amacının dışında işyeri veya depo olarak kullanılarak daha ağır hareketli yüklere maruz bırakılması düşünülmüştür. Kat içerisindeki bölümlerin hareketli yüklerinin dolu ve boş olmasına bağlı olarak, ekstremum yüklenmesinin burulma düzensizliğinde oluşturduğu değişimleri belirlemek, çalışmanın amacıdır. İncelenen modellerin I. derece deprem bölgesinde ve en kötü zeminde (Z4) oldukları kabul edilmiştir. Analizlerde SAP2000 programından yararlanılmıştır [3, 28] Modellerde bina planda simetrik olmasına karşın kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki fark burulma düzensizliğine sebep olmuştur.

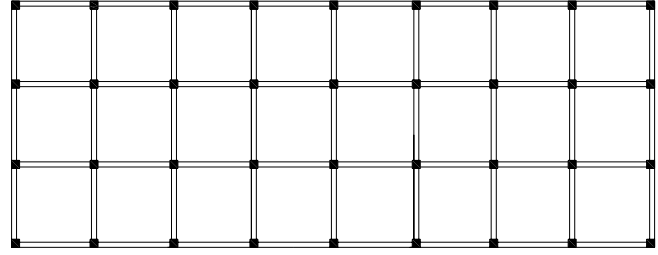
III. ANALİZLER

Aynı plan geometrisine sahip 7 farklı yüklenme durumu için incelemeler yapılmıştır. Analizlere ait özet bilgi tablo I'de verilmiştir. Tablo I'de verilen ifadeler;

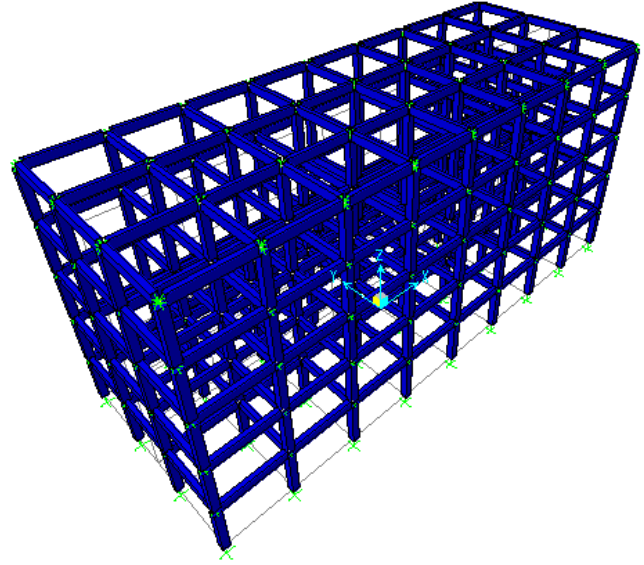
A: Yapının sol yarısı için kullanılmıştır.

B: Yapının sağ yarısı için kullanılmıştır.

İncelenen yapının taşıyıcı sistemi kolon ve kirişlerden oluşmaktadır. Y yönünde 3 aks, X yönünde 8 aks bulunmaktadır. Her iki yöndeki aks aralıkları 4m'dir. Tüm kolonlar 400x400 mm, tüm kirişler 500x250 mm boyutlarındadır. Yapının plan geometrisi şekil I'de, 3 boyutlu görünüşü ise şekil 2'de verilmiştir. Tüm analizlerde yapılar 5'er katlı olarak incelenmiştir. Kat ağırlıkları tablo II ve III'te verilmiştir. Çatı katı ağırlığı değeri her model için normal kat ağırlığı değeri kabul edilmiştir.



Şekil 1. Yapının plan geometrisi



Şekil 2. Yapının 3 Boyutlu görünüşü

TABLO I
ANALİZLER VE ANALİZLERDE KULLANILAN VERİLER

Analizler	A			B		
	n	Q(t/m2)	Dolgu duvar	n	Q(t/m2)	Dolgu duvar
ref	0.3	0.2	Var	0.3	0.2	Var
1	0.3	0.2	Var			Var
2	0.8	0.5	Var	0.3	0.2	Var
3	0.8	0.5	Var			Var
4	0.3	0.2	Var			Yok
5	0.8	0.5	Var	0.3	0.2	Yok
6	0.8	0.5	Var			Yok

TABLO II
KAT AĞIRLIKLARI
(TÜM AKSLARINDA DOLGU DUVARLARI OLAN MODELLER İÇİN)

KATLAR	Analiz Adları			
	Ref (ton)	1 (ton)	2 (ton)	3 (ton)
1	433.64	422.12	498.92	487.40
2	433.64	422.12	498.92	487.40
3	433.64	422.12	498.92	487.40
4	433.64	422.12	498.92	487.40
5	433.64	422.12	498.92	487.40
ΣW_i	2168.2	2110.6	2494.6	2437.00

TABLE III
KAT AĞIRLIKLARI
(DOLGU DUVARLARI YAPININ SAĞ YARISINDA KALDIRILAN
MODELLER İÇİN)

KATLAR	Analiz Adları		
	4 (ton)	5 (ton)	6 (ton)
1	341.12	417.92	406.40
2	341.12	417.92	406.40
3	341.12	417.92	406.40
4	341.12	417.92	406.40
5	341.12	417.92	406.40
ΣW_i	1705.6	2089.6	2032.00

TABLE IV
DIŞMERKEZLİKLER

Analizler	Dışmerkezlikler(%)
ref	0
1	0.682
2	3.271
3	3.939
4	6.781
5	8.750
6	9.707

Tüm analizlerde kat döşemeleri için rijit diyafram kabulü yapılmıştır. Rijit diyafram kabulünde döşemelerin düzlemi içinde sonsuz rijit olduğu yani şekil değiştirmedeği kabul edilmiştir. Dügüm noktaları, iki yatay eksen doğrultusunda ötelenmeye ve düşey eksen doğrultusunda dönmeye serbest bırakılmıştır. Kirişlerin, rijit diyafram içinde kaldığı için ekstenel deformasyon yapmadığı kabul edilerek, kütle merkezi döşeme diyaframında tanımlanmıştır. [3]. Ayrıca binanın en üst katına etkiyen, ve diğer katlara dağıtılması gereken ek eşdeğer deprem yükü de etki ettirilmiştir.

TABLE V
KATLARA GELEN DEPREM KUVVETLERİ
(DOLGU DUVARLARI TÜM AKSLARDA OLAN MODELLER İÇİN)

KATLAR	Ref. (ton)	1 (ton)	2 (ton)	3 (ton)
5	94.407	91.899	108.619	106.111
4	70.647	68.770	81.282	79.406
3	52.985	51.578	60.962	59.554
2	35.324	34.385	40.641	39.703
1	17.662	17.193	20.321	19.851
ΣF_i	271.025	263.825	311.825	304.625

TABLE VI
KATLARA GELEN DEPREM KUVVETLERİ
(DOLGU DUVARLARI YAPININ SAĞ YARISINDA KALDIRILAN MODELLER İÇİN)

KATLAR	4 (ton)	5 (ton)	6 (ton)
5	74.265	90.985	88.477
4	55.574	68.086	66.209
3	41.681	51.065	49.657
2	27.787	34.043	33.105
1	13.894	17.022	16.552
ΣF_i	213.200	261.200	254.000

TABLE VII
ANALİZLERE GÖRE KATLARDAKİ BURULMA DÜZENSİZLİĞİ
KATSAYILARI (η_{bi} DEĞERLERİ)

KAT	Analiz adları						
	Ref.	1	2	3	4	5	6
1	1	1.027	1.132	1.159	1.273	1.352	1.391
2	1	1.027	1.132	1.159	1.273	1.352	1.391
3	1	1.027	1.132	1.159	1.273	1.352	1.391
4	1	1.027	1.132	1.159	1.273	1.352	1.391
5	1	1.027	1.132	1.159	1.273	1.352	1.391

TABLE VIII
ANALİZLERE GÖRE KATLARDAKİ EN BÜYÜK GÖRELİ KAT
ÖTELENMELERİ ORANLARI (δ_{max}/h_i değerleri)
(DOLGU DUVARLARI TÜM AKSLARDA OLAN MODELLER İÇİN)

KAT	Analiz adları (δ_{max}/h_i)			
	Ref.	1	2	3
1	3.2×10^{-5}	0.009	0.011	0.011
2	3.03×10^{-5}	0.008	0.011	0.011
3	2.6×10^{-5}	0.007	0.009	0.009
4	1.95×10^{-5}	0.005	0.007	0.007
5	1.08×10^{-5}	0.003	0.004	0.004

TABLE IX
ANALİZLERE GÖRE KATLARDAKİ EN BÜYÜK GÖRELİ KAT
ÖTELENMELERİ ORANLARI (δ_{max}/h_i değerleri)
(DOLGU DUVARLARI YAPININ SAĞ YARISINDA KALDIRILAN
MODELLER İÇİN)

KAT	Analiz adları (δ_{max}/h_i)		
	4	5	6
1	0.009	0.011	0.011
2	0.008	0.011	0.011
3	0.007	0.009	0.009
4	0.005	0.007	0.007
5	0.003	0.004	0.004

TABLE X
KATLARDAKİ EN BÜYÜK KAT ÖTELENMELERİ

Analizler	(d_i) _{max}
ref	4.46×10^{-5}
1	0.012192
2	0.015873
3	0.015875
4	0.012207
5	0.015886
6	0.015888

IV. ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Tüm modellerdeki burulma düzensizliği katsayılarının katlara göre değerleri Tablo VII' de verilmiştir. Çalışmada her katın kendi dışmerkezliği esas alınmıştır. Bunların dışında \pm %5 dışmerkezlik kullanılmamıştır.

Burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} nin 1 ile 1.39 arasında değişim gösterdiği gözlenmiştir. Deprem yönetmeliğinde η_{bi} 'nin sınır değeri 1.2 'dir.

V. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada yapıların bir kısmında kaldırılan dolgu duvarların ve yapının bir kısmında bulunan hareketli yükün (kat düzleminde üniform dağılmayan hareketli yükün) burulma düzensizliği üzerinde meydana getirdiği değişimler incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar bu modeller ve buradaki yüklemeler altında olup tüm yapılar için genellenmemelidir. Yapının her katına ait burulma düzensizliği katsayısının $1.2 < \gamma_{bi} < 2$ olması durumunda bu katta uygulanan $\pm \%5$ ek dışmerkezliğin $D_i = (\gamma_{bi}/1.2)^2$ katsayısı ile büyütülmesi gerekmektedir [2]. Bu çalışmadaki analizlerde amaç yapının kesit tesirlerini belirlemek olmadığından D_i katsayısı ile dışmerkezlik artırma işlemine gidilmemiştir.

Denklem 3'teki koşulun binanın herhangi bir katında sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistem rijitliğinin artırılarak deprem hesabının tekrarlanması gerekmektedir [2].

Bu analizler sonucu;

- Yapının bir kısmında kaldırılan dolgu duvarların kütle merkezini değiştirdiği için burulma düzensizliği katsayısında artışlara neden olduğu gözlenmiştir.
- Kat düzleminde düzgün yayılı olmayan hareketli yükün burulma düzensizliği katsayısını arttırdığı belirlenmiştir.
- Bazı modellerde dışmerkezliğin yönetmelikte verilen $\pm \%5$ değerini aştığı gözlenmiştir.
- Artan dışmerkezliğin kat ötelenmesini arttırdığı tesbit edilmiştir.
- Yapılan eşdeğer deprem yükü analizlerinde kat içerisinde düşey yüklerin 'extremum' yüklemelerinin dikkate alınmasının önemine dikkat çekilmek istenmiştir.
- Bu çalışmada dolgu duvarların burulma düzensizliğine etkisi ağırlık olarak dikkate alınmıştır. Bundan sonraki çalışmalarda dolgu duvarlar farklı şekillerde modellenerek yatay rijitliğe katkısı da göz önüne alınabilir. Elde edilen burulma düzensizliği ve kat ötelenmeleri değerleri bu çalışmanın sonuçları ile karşılaştırılabilir.
- Deprem yönetmeliğinde herhangi bir katta etkili kesme alanı hesaplanırken $0.15 \sum A_k$ ifadesi mevcuttur. Buradaki $\sum A_k$ ifadesi herhangi bir katta göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel kargir dolgu duvar alanlarının (kapı ve pencere boşlukları hariç) toplamı olarak tanımlanmaktadır. Bu ifade dolgu duvarların rijitliğe bir miktar katkısını göstermektedir. Bu çalışmada dolgu duvarlar mevcut yapısal analiz programlarında olduğu gibi ağırlık olarak dikkate alınmıştır.

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] İ. H. Çağatay, S. Güzeldağ. "Yeni Deprem Yönetmeliği (TDY-98) SAP2000N Uygulamaları", Birsen Yayınevi, 2002.
- [4] G. Özmen, "Çok Katlı Yapılarda Burulma Düzensizliği", Türkiye Deprem Vakfı, Teknik Rapor, TDV/TR 036-61, TDV/AP-112, s. 1, Ocak 2001.
- [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 14th 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 Ünv., Balıkesir, 2000.
- [11] R. Livaoglu, "Yapıların Deprem Hesabında Burulma Düzensizliğinin ve Hesap Yöntemlerinin Etkinliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Ünv, Trabzon, 2001.
- [12] H. M. Tanarlan, "Çok Katlı Yapılarda Burulma Düzensizliğinin Sürekli Burulma Çubuğu Analjisi ile İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Ünv., İzmir, 1999.
- [13] F. Aydınalev, "Çok Katlı Yapıların Yeni Deprem Yönetmeliği (TDY'98)'ne Göre Analizi ve Yapı Düzensizliklerinin İrdelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Ünv. Adana, 2000.
- [14] O. Çamurcu, "Yapılarda Burulma Düzensizliğinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Ünv., İstanbul, 2004.
- [15] Ö. Özşentürk, "Burulma Düzensizliği Bulunan Çok Katlı Yapıların Deprem Yönetmeliği Açısından İrdelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Ünv., İstanbul, 2005.
- [16] H. Z. Akıllı, "Deprem Etkisindeki Yapıların Davranışına Burulma Düzensizliğinin Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Ünv., Sakarya, 2005.
- [17] E. Akıllı, "Perdeli Çerçeve Sistemlerde Burulma Düzensizliği Oluşturan Durumların İncelenmesi", Yüksek lisans Tezi, Sakarya Ünv. Sakarya, 2006.
- [18] G. Özmen, "Çok Katlı Yapılarda Aşırı Burulma Düzensizliği", İMO Teknik Dergi, 2004, 3131-3144, Yazı 210.
- [19] K. Soyluk, İ. Y. Yavuz, "Çerçeve 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, IJRAS, 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, TUBİTAK, 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] Caner Beklen, "Binalarda dolgu duvarlar etkilerinin incelenmesi", Çukurova Ünv. FBE, Yüksek Lisans Tezi, 2009.
- [24] M. Metin Köse, Özge Karşoğlu, "Dolgu duvarların bina doğal modal periyot ve mod Şekline olan etkileri", Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16-20 Ekim 2007, 261-270, İstanbul.
- [25] Barış Sayın, Barış Yıldızlar, Seyit Ali Kaplan, "Betonarme Yapı Analizlerinde Dolgu Duvarların Modelleme Teknikleri". Türkiye İnşaat Mühendisliği XVII. Teknik Kongre ve Sergisi.
- [26] Muhammed Tekin, Erhan Alsancak, Murat Ay, "Betonarme çerçevelerde dolgu duvar etkisinin incelenmesi", C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi ISSN 1305-1385 C.B.U. Journal of Science 3.1 (2007) 95 104.
- [27] Özge Karşoğlu, "Çok Katlı Binalarda Bulunan Tuğla Dolgu Duvarlarına Yapı Davranışına Etkileri", K. Maraş Ünv. FBE, Yüksek Lisans Tezi, Eylül 2005.
- [28] G. Özmen, E. Orakdoğan, K. Darılmaz. "Örneklerle SAP2000, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2002.