

## Binalarda Döşeme Boşluklarının Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkisi

Turgut ÖZTÜRK\*

### ÖZ

Binalarda mimari ve mekanik nedenlerle değişik şekil ve boyutlarda döşeme boşlukları bulunmaktadır. Türk Deprem Yönetmeliği (TDY Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik, 2007) ve diğer deprem yönetmeliklerinde boşlukların boyutları ile ilgili sınırlamalar ve yaptırımlar yer almaktadır. Türk deprem Yönetmeliği'nde, kat brüt alanının 1/3'ünden büyük döşeme boşluklarından kaçınılması, aksi halde döşeme süreksizliklerinden dolayı planda A2 türü düzensizlik oluşacağı ve döşemelerin rijit diyafram olarak çalışmadığının esas alınması gerektiği belirtilmektedir. Ayrıca, deprem kuvvetlerinin düşey taşıyıcı elemanlara güvenle aktarabildiğinin gösterilmesi istenmektedir. Bu çalışmada, belirli oranlarda döşeme boşluğu bulunduran betonarme binaların deprem yükleri altındaki davranışları araştırılmakta, TDY2007 ile birlikte çeşitli ülkelerin deprem yönetmelikleri incelenmekte, yapı düzensizlikleri ve döşeme süreksizlikleri ile ilgili getirdiği şartlara değinilmektedir. Seçilen bina modellerinde boşlukların değişik yer ve oranları için, kat adedinin, kiriş sürekliliğinin, deprem bölgesinin, zemin cinsinin ve rijit diyafram çalışmasının taşıyıcı sisteme etkisi dikkate alınarak yapılan incelemelere ait sonuçlar grafikler halinde verilmektedir. Ayrıca döşeme boşluklarının oranı ve yerleşiminin taşıyıcı sisteme etkisi de incelenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Betonarme bina, döşeme boşluğu, yapısal düzensizlik, deprem yönetmeliği

### ABSTRACT

#### Effect of Openings in Building Slabs on the Structural System Behavior

Openings having various shape and dimensions exist in the slabs of buildings due to architectural and mechanical considerations. There are various requirements and restrictions in the seismic codes related to dimensions of the openings, including the Turkish Seismic Code (TSC Requirements for buildings to be built in seismic zones, 2007).

The Turkish Seismic Code requires that slab openings in floors larger than 1/3 of the floor gross area should be avoided. Otherwise, irregularity type A2 occurs and the slab should be considered as a non-rigid diaphragm. Furthermore, it is required that proper transfer of

---

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 05.03.2009 günü ulaşmıştır.
- 31 Mart 2013 gününe kadar tartışmaya açıktır.

\* İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - tozturk@ins.itu.edu.tr

seismic loads to vertical structural elements should be assessed. In this study, behavior of the reinforced concrete buildings with a certain ratio of openings in the slabs are examined; requirements of the seismic codes of various countries related to this irregularity including TSC 2007, are given comparatively, the definition of irregularities and discontinuities in slabs are presented and the corresponding parameters are given in detail. The results of the numerical analysis related to slab opening irregularity and the effects of the numbers of floors, beam continuity, seismic zone, soil type and rigid and non-rigid diaphragm behavior on the results and on the behavior of the structural system are presented in figures. Furthermore the effects of the location and ratio of the slab openings on the structural system are also investigated.

**Keywords:** Reinforced concrete building, slab opening, structural irregularity, seismic code

## 1. GİRİŞ

Depreme dayanıklı yapı tasarımı, ülkemizde ve dünyada üzerinde yoğun olarak çalışılan bir konudur. Günümüzde insanlar yaşadıkları mekânların estetik, ekonomik ve çok fonksiyonlu olmasını istemektedir. Bunun sonucu olarak da simetrik olmayan, geometrisi düzensiz, depreme karşı yeteri kadar rijit olmayan yapı tipleri ortaya çıkmaktadır. Mimari tasarımda yapılan hatalar, yanlış geometri seçimleri, estetik ve görünüş kaygıları nedeniyle yapılan yanlış düzenlemeler, yapıyı deprem karşısında önemli ölçüde riske sokmaktadır. Deprem hasarlarının nedenleri bazen doğrudan doğruya mimari tasarım ile bağlantılı olmaktadır. Mimari tasarımda olabildiğince özgür davranmak, güvenli bir taşıyıcı sistem düzenlemesini güçleştirmektedir. Deprem etkileri de eklendiği zaman taşıyıcı sistem davranışında çok önemli problemlerle karşılaşmaktadır. Taşıyıcı sistem seçiminde hata yapıldığında, yapı depremlerde beklenen olumlu davranışı göstermeyecektir. Bu nedenle taşıyıcı sistem tasarımının tekniğine uygun yapılması gerekmektedir, [1, 2]. Depreme karşı davranışındaki olumsuzluklar nedeniyle tasarımından ve yapımından kaçınılması gereken binalar düzensiz binalar olarak tanımlanır. Binalarda düzensizlikler planda ve düşey doğrultuda olmak üzere iki ana başlık altında incelenmektedir. Depreme dayanıklı taşıyıcı sistem seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar ve düzensiz binalara ait koşullar [3]'de verilmektedir.

Binalarda aydınlık, merdiven ve asansör kovası nedeniyle boşluklar her zaman olmaktadır. TDY2007'de, kat brüt alanının 1/3'ünden büyük döşeme boşluklarından kaçınılması öngörülmüştür. Aksi takdirde döşeme süreksizliğinden dolayı planda A2-I türü düzensizlik oluşacağı ve döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalışmadığının esas alınması gerektiği ifade edilmektedir. Bu tür düzensizlik içeren binalarda birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde deprem kuvvetlerini düşey taşıyıcı elemanları arasında güvenle aktarabildiğinin hesapla doğrulanması istenmektedir, [3]. Diğer ülke yönetmeliklerinde de benzer hususlar öngörülmüştür [4-8]. Mevcut çalışmalar genelde yapının düşey süreksizlikleri üzerinde yoğunlaşmaktadır. Plandaki düzensizliklerin ele alındığı çalışmalarda ise belli bir boşluk oranının kolon iç kuvvetlerine etkisi incelenmiştir [9-12].

Bu çalışmada, yapı düzensizlikleri ve döşeme süreksizliklerine yer verilmiş, A2-I türü düzensizlik içeren çerçeve tipi yapılarda boşlukların taşıyıcı sistem davranışı üzerindeki etkilerini incelemek üzere oluşturulan modellerde, boşlukların değişik yer ve oranları için

incelemeler yapılmış, kat adedinin, boşluklardaki giriş sürekliliğinin, zemin cinsinin ve deprem bölgesinin değişmesi dikkate alınmıştır. Döşemelerin diyafram çalışması kontrol edilerek, döşeme boşluklarının taşıyıcı sistem davranışına yaptığı etkiler incelenmiş ve TDY'nin belirlediği sınır değerlerin güvenilirliği irdelenmiştir.

## 2. DEĞİŞİK DEPREM YÖNETMELİKLERİNİN İNCELENMESİ

Değişik ülke yönetmelikleri incelenmiş ve aşağıdaki hususlar belirlenmiştir.

### 2.1. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (TDY 2007)

Binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)  $V_t$ , (1) ile hesaplanır. Burada;  $A(T_1)$  spektral ivme katsayısı,  $R_a(T_1)$  deprem yükü azaltma katsayısı,  $A_0$  etkin yer ivmesi katsayısı,  $W$  bina ağırlığı,  $I$  bina önem katsayısı,  $n$  hareketli yük katılım katsayısı,  $g_i$ ,  $q_i$   $i$ 'inci katın toplam sabit ve hareketli yükleri,  $R$  taşıyıcı sistem davranış katsayısı,  $T_A$  ve  $T_B$  spektrum karakteristik periyotlarıdır [3]. Yapı sünekliğini ifade eden  $R$  değeri, yerinde dökme betonarme yapılar için 6 ile 8 arasında olup, çerçeve yapılarda  $R=8$  dir. Süneklik düzeyi yüksek yapılar oluşturmak için yönetmelikteki kurallara uyulmalıdır.  $A_0$ , 0.4 (1. derece deprem bölgesi) ile 0.1,  $S$  değeri 0.7-2.5,  $I$  ise 1-1.5 arasındadır.  $T_A$  ve  $T_B$  ise, yerel zemin sınıflarına bağlı olarak  $Z_1$  (0.1-0.3 sn),  $Z_2$  (0.15-0.4 sn),  $Z_3$  (0.15-0.6 sn),  $Z_4$  (0.2-0.9 sn) dir. Binanın birinci doğal titreşim periyodu (4) ile hesaplanır. Azaltılmış görel kat ötelemesi  $\Delta_i$ , etkin görel kat ötelemesi  $\delta_i$  ve bunun kat içindeki en büyük değeri  $(\delta_i)_{maks}$  olmak üzere (5) koşulu sağlanmalıdır.

$$V_t = W.C = W.A(T)/R_a(T) \leq 0.10A_0.I.W, C=A(T)/R_a(T), A(T) = A_0.I.S(T) \quad (1)$$

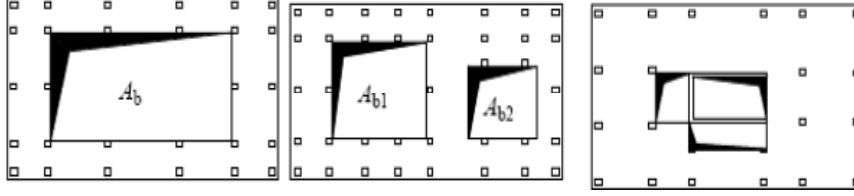
$$W = \sum w_i = \sum g_i + nq_i, R_a(T) = 1.5 + (R-1.5)T/T_A \quad (0 \leq T \leq T_A), R_a(T) = R \quad (T > T_A) \quad (2)$$

$$S(T) = 1 + 1.5T/T_A \quad (0 \leq T \leq T_A), S(T) = 2.5 \quad (T_A < T \leq T_B), S(T) = 2.5(T_B/T)^{0.8} \quad (T > T_B) \quad (3)$$

$$T_1 = 2\pi \left[ \sum m_i d_{fi}^2 / \sum F_{fi} d_{fi} \right]^{1/2}, m_i = w_i/g, F_{fi} = w_i H_i / \sum m_j H_j, N > 13 \text{ için } T_1 \leq 0.1N \quad (4)$$

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1}, \delta_i = R \Delta_i, (\delta_i)_{maks} / h_i \leq 0.02 \quad (5)$$

Planda düzensizlik durumları; A1-Burulma düzensizliği, A2-Döşeme süreksizlikleri ve A3-Planda çıkıntılar bulunması, düşey doğrultuda düzensizlik durumları ise; B1-Komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat), B2-Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) ve B3-Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği olarak belirtilmiştir. A2-Döşeme süreksizlikleri, bir kattaki döşemede (Şekil 1); I-Merdiven ve asansör boşlukları dahil,  $A_b = A_{b1} + A_{b2}$  şeklindeki boşluk alanları toplamının  $A$  kat brüt alanının  $1/3$ 'ünden fazla olması durumu, II-Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu, III-Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu şeklinde ifade edilmiştir.



Şekil 1 - Binalarda Döşeme Süreksizlikleri (A2-I, A2-I ve A2-II)

A1 burulma düzensizliği, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin, o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemesine oranını ifade eden burulma düzensizliği katsayısının  $\eta_{bi} = (\Delta_i)_{maks} / (\Delta_i)_{ort} > 1.2$  olması durumudur. Burada  $(\Delta_i)_{ort} = (1/2)[(\Delta_i)_{maks} / (\Delta_i)_{min}]$  dir. Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultudaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumu, A3 planda çıkıntılar bulunması düzensizliği türüne girmektedir.

## 2.2. Diğer Ülke Yönetmeliklerinde Düzensiz Yapılar İle İlgili Koşullar

**International Building Code (IBC 2006)** : Amerikan Bina Yönetmeliği'ne göre her türlü yapı, [4, 5]'de belirtilen deprem yüklerini güvenle taşıyacak şekilde tasarlanmalıdır. Planda düzensizlikler tanımlanmıştır. Burulma düzensizliği; herhangi bir kattaki maksimum görelî kat ötelemesi değerinin, o kattaki ortalama görelî kat ötelemesine oranının 1.2'den büyük olduğu durumdur. Bu tür düzensizliğe sahip yapılarda aşağıdaki şartlar sağlanmalıdır;

- Yapılar mutlaka üç boyutlu modellenip, her kata en az üç serbestlik derecesi verilerek analizleri yapılmalıdır.
- Yatay yük taşıyıcı elemanların kat diyaframlarına bağlantı noktalarındaki kesit tesirleri %25 oranında arttırılarak betonarme hesabı yapılmalıdır.
- %5'lik dışmerkezlikten oluşan burulma momenti değeri  $A_x = [d_{maks} / (1.2d_{ort})]^2$  katsayısı ile büyütülerek betonarme hesabı yapılmalıdır. Burada;  $d_{maks}$  göz önüne alınan kattaki maksimum yer değiştirme,  $d_{ort}$  aynı kattaki ortalama yer değiştirme değeridir.
- Binanın herhangi bir katındaki maksimum görelî kat ötelemesi değeri o kat yüksekliğinin %2 sini geçmemelidir.

Planda girinti ve çıkıntı düzensizliği; planda her iki doğrultudaki girinti veya çıkıntılar ilgili dış boyutun %25 ini geçmemelidir. Bu düzensizlik durumunda, yatay yük taşıyıcı elemanların kat diyaframlarına bağlantı noktalarındaki kesit tesir kuvvetleri %25 oranında arttırılarak betonarme hesabı yapılmalıdır. Diyafram süreksizliği; döşeme boşluklarının toplam döşeme alanının %50'sinden fazla olduğu yada bir kattaki diyafram rijitliğinin diğer komşu kata göre %50 den fazla değiştiği düzensizlik durumudur. Bu durumda da yine taşıyıcı elemanların diyaframa bağlantı noktalarındaki kesit tesir kuvvetleri %25 oranında arttırılmalıdır. Paralel olmayan sistem düzensizliği; yatay yük taşıyıcı elemanların birbirine paralel veya ana eksenlere göre birbirine simetrik olmadığı düzensizlik durumudur. Bu

durumda, yapılar mutlaka üç boyutlu modellenip, her kata en az üç serbestlik derecesi verilerek analizleri yapılmalıdır.

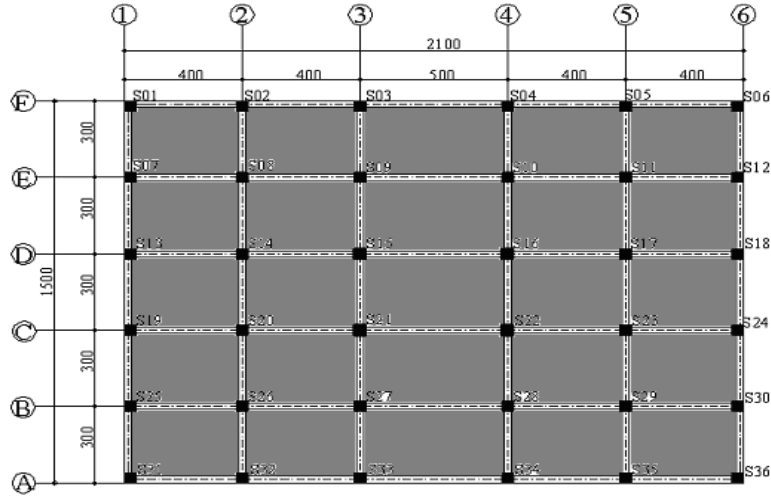
**Eurocode 8 (EC8-2004):** Yapıların güvenle taşınması istenen deprem yükleri [6]'da tanımlanmıştır. Taşıyıcı sistemin plandaki ve düşeydeki durumu incelenerek yapısal düzensizlik haline karar verilebilir. Plandaki düzensizlikler aşağıdaki şekilde belirtilmiştir. Taşıyıcı sistem düzensizliğinde, taşıyıcı sistem planında, kütle ve rijitlik dağılımının yaklaşık simetrik olduğunun kabul edilebileceği iki dik eksen takımı mevcut değildir. Planda girinti ve çıkıntı düzensizliği; bina planda toplu bir durumda olmayıp, H, I gibi şekillere sahiptir. Planda her iki doğrultudaki girinti ve çıkıntılar, ilgili dış boyutun %25'ini geçmektedir. Döşeme süreksizliği düzensizliği; döşemenin düzlem içi rijitliği yeterince büyük olmayıp, kat kesme kuvvetinin kolon ve perdelerle dağılımında, döşemenin düzlem içi şekil değiştirmelerinin etkisi ihmal edilemeyecek düzeydedir. Burulma düzensizliği; %5'lik dışmerkezlikle etkiyen deprem kuvveti etkisinde her katta en büyük rölatif kat yer değiştirmesinin, ortalama kat yer değiştirmesine oranı 1.20 den büyüktür.

**Diğer Yönetmelikler:** Diğer deprem yönetmeliklerinde taşıyıcı sistem düzensizliklerinden kaçınılması önemle vurgulanmaktadır. Düşeyde ve planda düzensiz olan yapılar için bazı ülkelerin yönetmeliklerinde verilen koşullar aşağıdaki gibi özetlenmiştir [7, 8].

- Yapının planda mümkün olduğunca basit bir şekli olmalıdır uyarısı Avusturya, Almanya, İran ve İngiltere,
- Deprem bölgelerinde yer alacak yapıların simetrik olması, kütle ve rijitlik dağılımının üniform olması ile ilgili sınırlamalar Arnavutluk, Bulgaristan, Çin ve Yeni Zelanda,
- Karmaşık ve düzensiz şekilli yapılarda, farklı yükseklikli bölümler içeren yapılarda dilatasyon uygulaması ve farklı özellikli bölümlerin birbirinden ayrılması ile ilgili sınırlamalar Arnavutluk, Bulgaristan, Çin, almanya, Makedonya, Meksika ve Peru,
- Plandaki şekli uzun olan yapılarda dilatasyon uygulaması ile ilgili koşullar Arnavutluk ve Almanya,
- Yapının planda düzensiz binalar sınıfına dahil edilmesi için bina kat planlarının çıkıntı yapan kısımlarının, binanın o katının aynı doğrultudaki toplam plan boyutunun %25 inden daha büyük olması şartı Arnavutluk, Cezayir, Endonezya ve İran, %20 sinden daha büyük olması şartı Meksika,
- Planda düzensizlik gösteren yapıların tasarımında dilatasyon yapılması Arnavutluk, dinamik hesap yapılması gerektiği Cezayir, Çin, El Salvador, Etiyopya, Endonezya, İran, Meksika, Yeni Zelanda ve İngiltere,
- Eşdeğer deprem yükü yöntemlerinde, her kata etkiyen deprem kuvvetinin o kattaki düşey taşıyıcı elemanlara rijitlikleriyle orantılı olarak dağıtıldığı kabulü Bulgaristan, Çin, Kolombiya, El Salvador, Endonezya, Makedonya, Meksika, Yeni Zelanda, Nikaragua, Peru, Romanya ve Venezuela yönetmeliklerinde yer almaktadır.

### 3. MODEL BİNALAR ÜZERİNDE YAPILAN İNCELEMELER

Döşeme süreksizliğinin taşıyıcı sistem davranışına etkisini görebilmek için boşluk oranı, boşluk yeri ve kiriş süreksizliği değiştirilerek Tablo 1 de belirtilen farklı yapı modelleri oluşturulmuştur. Seçilen yapı modelleri [3]'de belirtilen A2-I türü düzensizlik içermektedir. Ana taşıyıcı sistem değiştirilmemiştir (Şekil 2). Kullanım amacı konut olan yapıların hesabında; 1. derece deprem bölgesi, süneklik düzeyi yüksek yapı sistemi alınmış, malzeme C25-S420 olarak seçilmiştir. Tüm katlarda; kat yüksekliği 3m, kiriş boyutları 25/50cm, kolon kesitleri S1-S36 için 40/40cm, S15, S16, S21 ve S22 için 45/45cm, döşeme kalınlığı 12cm dir. Hareketli yükler çatı katında  $1\text{kN/m}^2$ , diğer katlarda  $2\text{kN/m}^2$  olarak alınmıştır. Tüm çevre kirişlerde duvar yükü  $6\text{kN/m}$  dir [7].



Şekil 2 - Taşıyıcı Sistem Planı

Deprem hesabı eşdeğer deprem yükü yöntemine göre yapılmıştır. Yönetmeliğin belirlediği 1/3 oranından büyük döşeme boşluğu bulunduran yapılarda döşemelerin yatay düzlemdeki şekil değiştirmelerinin dikkate alınmasını sağlayacak yeterlikte bağımsız statik yer değiştirme bileşeni hesapta alınmıştır. Ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi için, her katta çeşitli noktalarda dağılmış bulunan tekil kütlelere etkiyen deprem yüklerinin her biri, depreme dik doğrultudaki kat boyutunun +%5 ve -%5 'i kadar kaydırılmıştır [13, 14].

Tablo 1 - Yapı ve Model Adlandırmaları

Yapı Modeli	Boşluk Oranı	Kat Adedi	Döşeme Boşluğu
Y1	0.219	6	Simetrik
Y1.1	0.219	10	Simetrik
Y2	0.333	6	Simetrik
Y2.1	0.333	10	Simetrik
Y3	0.371	6	Simetrik
Y3.1	0.371	10	Simetrik
Y4	0.219	6	Simetrik Değil
Y4.1	0.219	10	Simetrik Değil
Y5	0.371	6	Simetrik Değil
Y5.1	0.371	10	Simetrik Değil
Y6	0.371	6	Simetrik
Y6.1	0.371	10	Simetrik
Y7	0.371	6	Simetrik Değil
Y7.1	0.371	10	Simetrik Değil

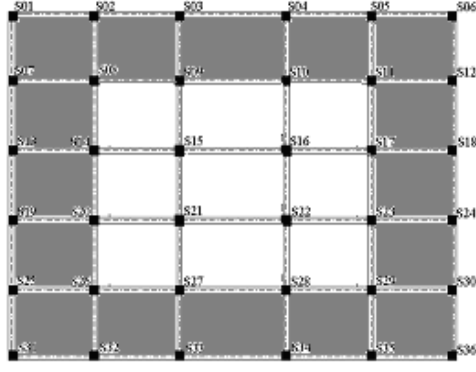
### 3.1. Simetrik Yerleştirilmiş Döşeme Süreksizliğinin Üst Yapıya Etkisi

İncelenen bina türlerinden bazılarının kat planları ve boşlukları Şekil 3-4 de verilmiştir. İncelemelerde 6 ve 10 katlı binalar ele alınmış, bina ağırlıkları, birinci doğal titreşim periyotları, eşdeğer deprem kuvvetleri, maksimum kat yerdeğiştirmeleri ve ötelemeleri, burulma düzensizlik katsayıları, rijitlik düzensizlikleri hesaplanmıştır [7, 13]. SAP2000 bilgisayar programı kullanılarak hesaplanan değerlere ait diyagramlar aşağıdaki şekillerde (Şekil 5-11) verilmiştir. Ayrıca, ikinci mertebeye etkileri karşılaştırılmış (Şekil 12) ve rijit diyafram kontrolü yapılmıştır. İkinci mertebeye hesap, SAP 2000'de P- $\Delta$  seçeneği kullanılarak yapılmış ve [3]'de paragraf 2.10.2 de (2.20) ifadesi ile verilen ikinci mertebeye gösterge değeri  $\theta_2$  kontrol edilmiştir. [4]'de Bölüm 1602'ye göre; maksimum diyafram yatay yer değiştirmesi, ortalama düşey taşıyıcı yatay yer değiştirmesinin iki katından az ise diyafram, rijit diyafram olarak tanımlanabilmektedir. Bu kontrollerin yapılmasında, genel kabul gören başka bilgisayar programlarından da yararlanılmıştır.

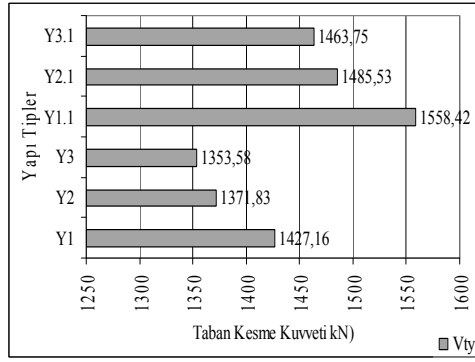
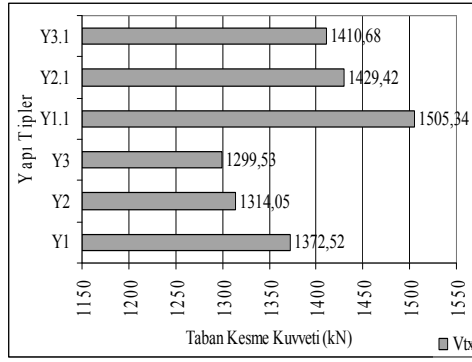
*Binalarda Döşeme Boşluklarının Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkisi*



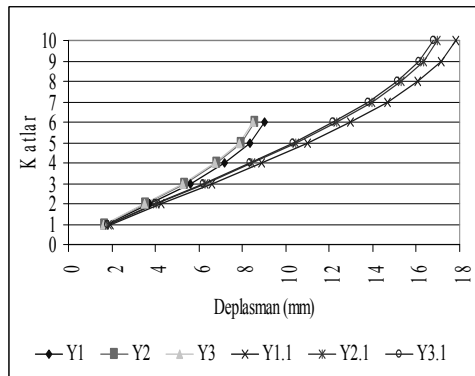
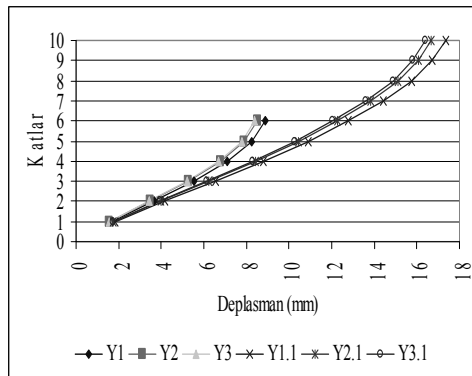
Şekil 3 - Y1-Y1.1 Binası Kat Planı



Şekil 4 - Y2-Y2.1 Binası Kat Planı

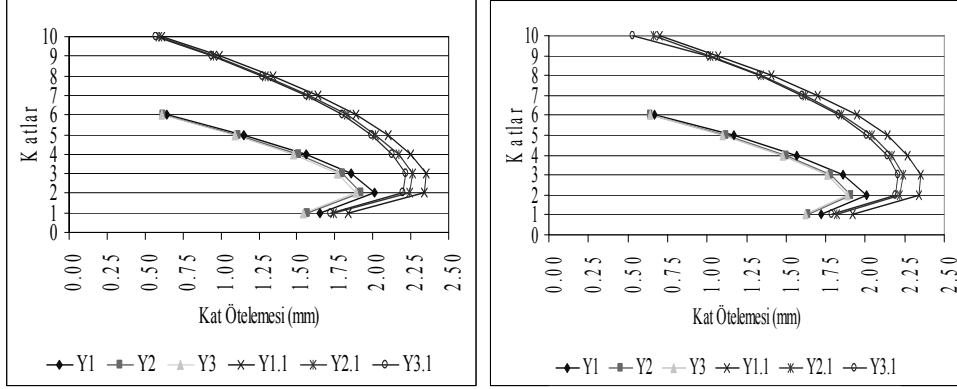


Şekil 5 - x ve y Doğrultusunda Taban Kesme Kuvveti Değişimi

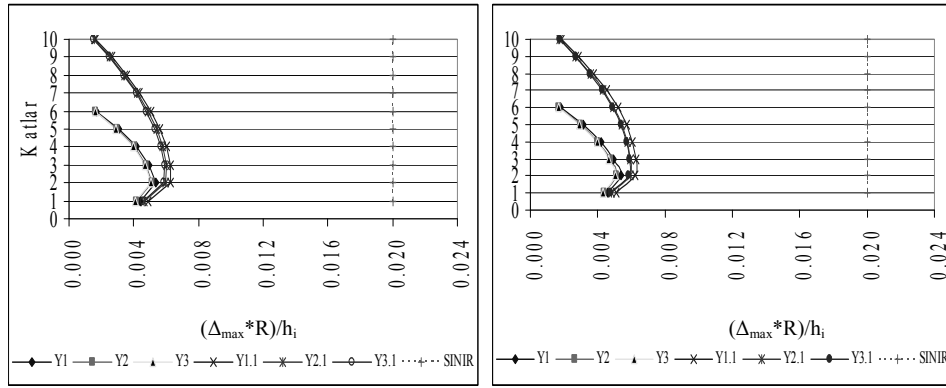


Şekil 6 - x ve y Doğrultusunda Maksimum Yerdeğiştirme Değişimi

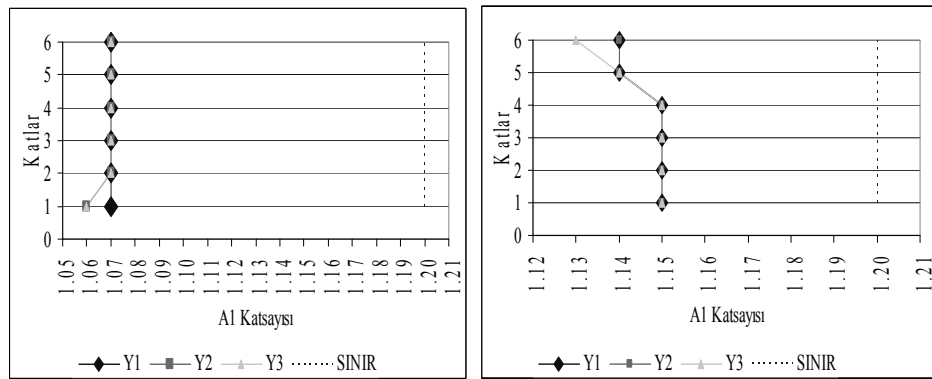




Şekil 7 - x ve y Doğrultusunda Maksimum Azaltılmış Görelî Kat Ötelemeleri Değişimi

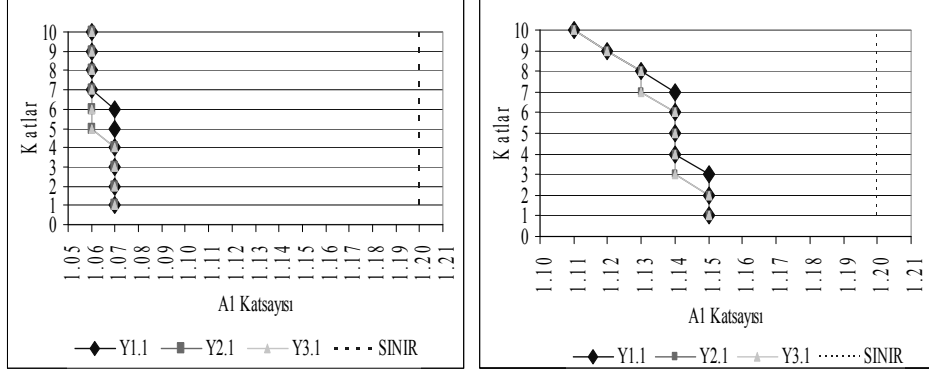


Şekil 8 - x ve y Doğrultusunda Etkin Görelî Kat Ötelemeleri Değişimi

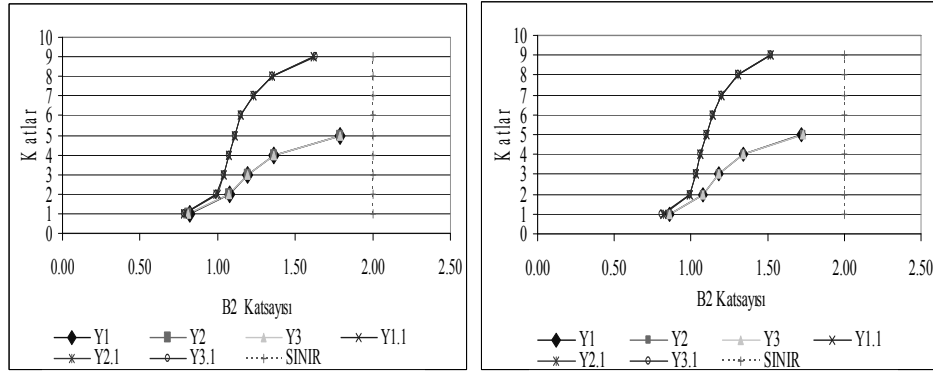


Şekil 9 - x ve y Doğrultusu, 6 Katlı Yapıların A1 Burulma Düzensizliği Katsayısı Değişimi

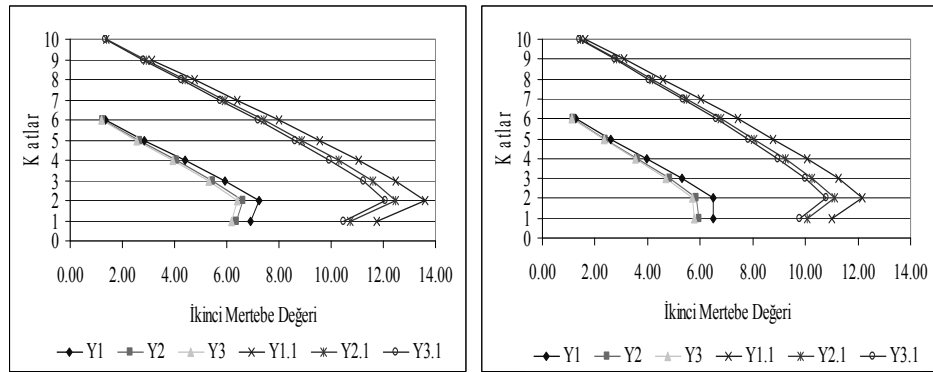
Binalarda Döşeme Boşluklarının Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkisi



Şekil 10 - x ve y Doğrultusu 10 Katlı Yapının A1 Burulma Düzensizliği Katsayısı Değişimi



Şekil 11 - x ve y Doğrultusunda B2 Rijitlik Düzensizliği Katsayısının Değişimi

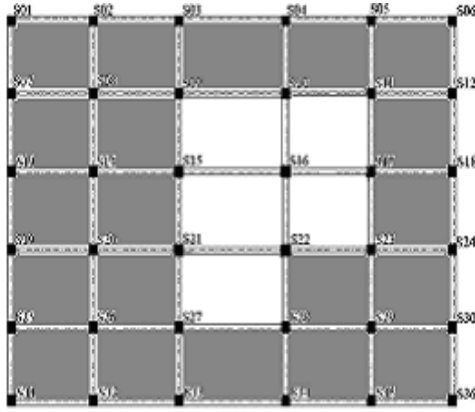


Şekil 12 - x ve y Doğrultusunda  $\theta_i (10^3)$  Katsayısının Değişimi (İkinci Mertebe Etkisi)

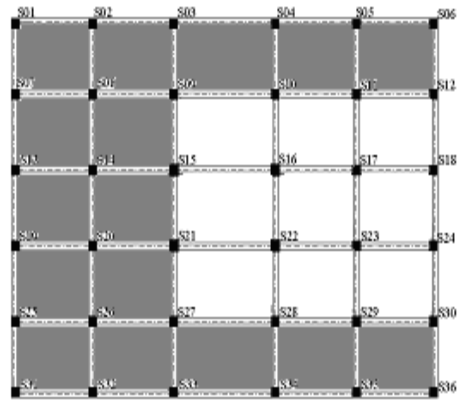
Yapılan sonlu elemanlar spektrum analizi sonucu, yapıların düzenli bir yapı olması, döşeme süreksizliğinin simetrik olarak yerleştirilmesi ve süreksizliğin bulunduğu yerde kirişlerin devam ettirilmesinin sonucu olarak, yönetmeliğin belirlediği orandan büyük döşeme boşluğuna sahip yapılar dahil olmak üzere incelenen 7 modelde, döşemeler rijit diyafram davranışı göstermiştir. Aks doğrultularının birleşim yerlerindeki açılar 90 derece değerlerini korumuşlar, döşemenin plan geometrisi şekil değiştirmemiştir [7]. %37.1 oranında döşeme boşluğu bulduran yapılarda kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde deprem kuvvetlerini düşey taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle aktarabildiğini doğrulamak için yapılacak olan hesaplarda dikkate alınacak deprem yükü, o kata etkiyen deprem yükünün kat döşeme plağı kütleleri arasında paylaşılmasıyla hesaplanır.

### 3.2. Simetrik Yerleştirilmemiş Döşeme Süreksizliğinin Üst Yapıya Etkisi

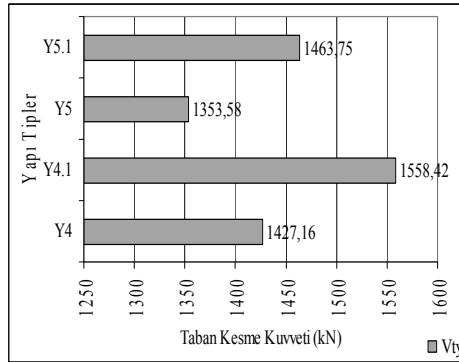
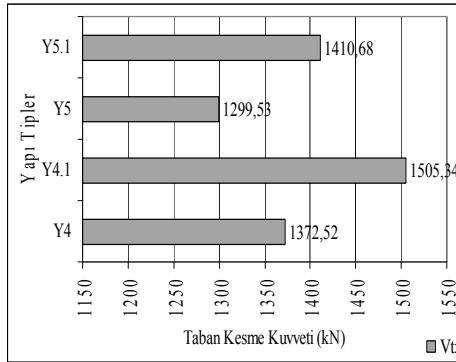
Döşeme boşlukları simetrik olmayan bina kat planları Şekil 13 ve Şekil 14 de verilmiştir. Bu tip binalar için benzer hesaplamalar yapıp Şekil 15-21 de verilen diyagramlar elde edilmiştir [7].



Şekil 13 - Y4- Y4.1 Binası Kat Planı

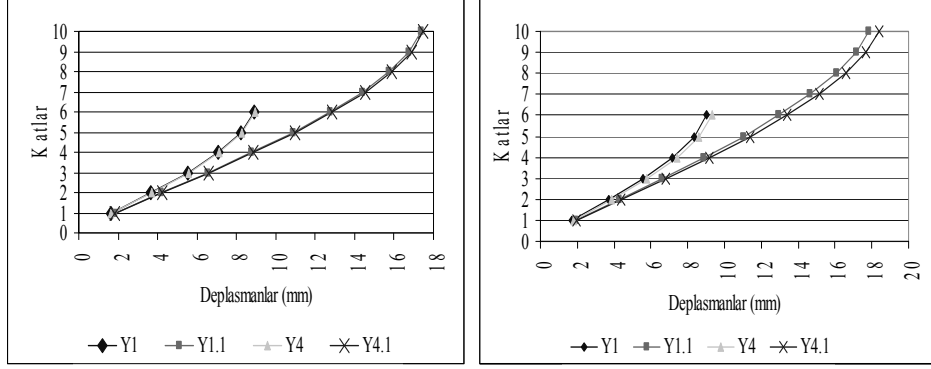


Şekil 14 - Y5-Y5.1 Binası Kat Planı

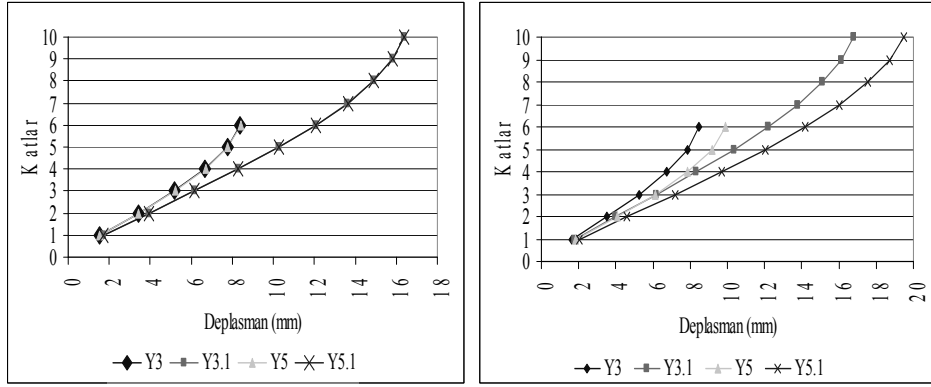


Şekil 15 - x ve y Doğrultusu Taban Kesme Kuvveti Değişimi

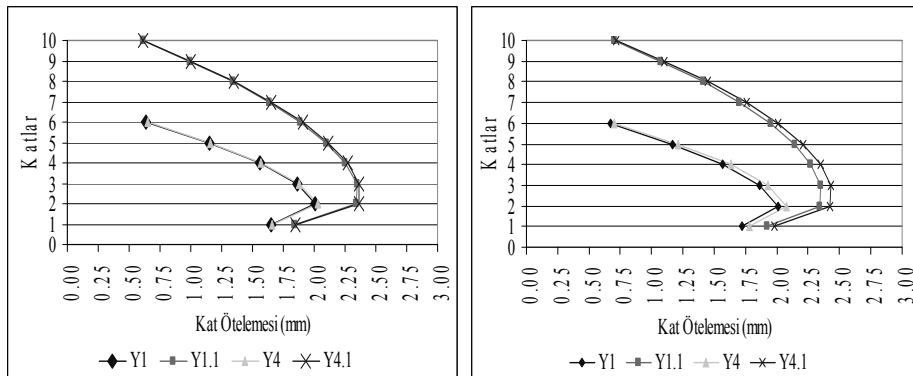
*Binalarda Döşeme Boşluklarının Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkisi*



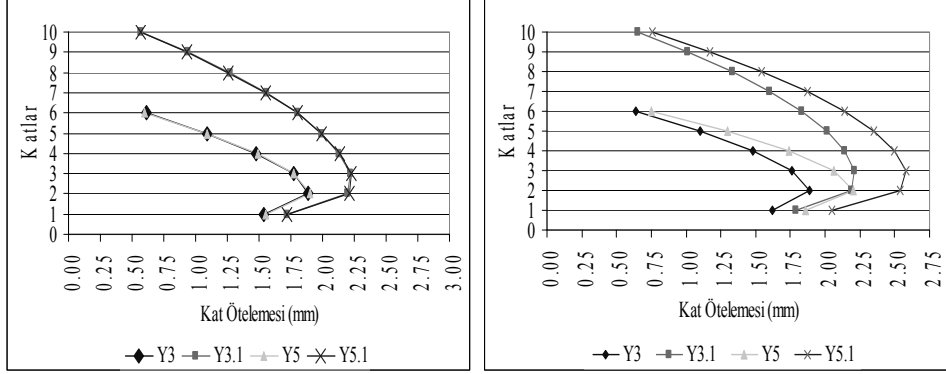
*Şekil 16 - x ve y Doğrultusu Maksimum Yerdeğiştirme Değişimi*



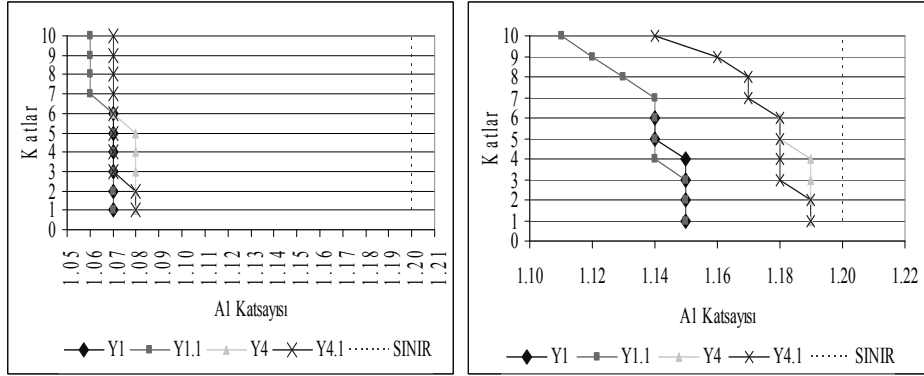
*Şekil 17 - x ve y Doğrultusu Maksimum Yerdeğiştirme Değişimi*



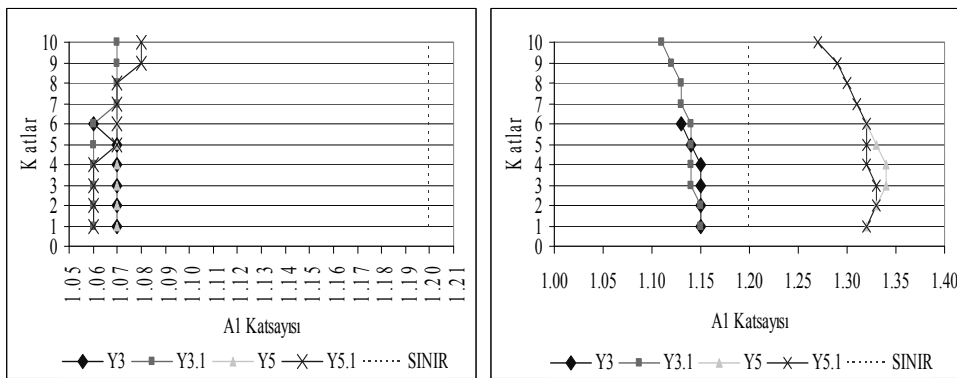
*Şekil 18 - x ve y Doğrultusu Maksimum Kat Ötelemesi Değişimi*



Şekil 19 - x ve y Doğrultusu Maksimum Kat Ötelemesi Değişimi



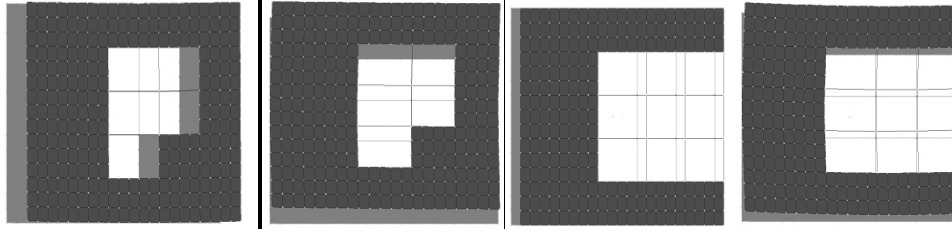
Şekil 20 - x ve y Doğrultusu A1 Burulma Düzensizliği Katsayısı Değişimi



Şekil 21 - x ve y Doğrultusu A1 Burulma Düzensizliği Katsayısı Değişimi

### Binalarda Döşeme Boşluklarının Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkisi

Yapılan sonlu elemanlar spektrum analizi sonucu, yapıların düzenli bir yapı olmasına rağmen döşeme süreksizliğinin simetrik yerleştirilmemesinin sonucu olarak, yönetmeliğin belirlediği orandan küçük veya büyük döşeme boşluğuna sahip yapılarda döşemeler rijit diyafram hareketi yapmışlardır. Aks doğrultularının birleşim yerlerindeki açılar 90 derece değerlerini korumamışlar, döşemenin plan geometrisi şekil değiştirmiştir (Şekil 22).

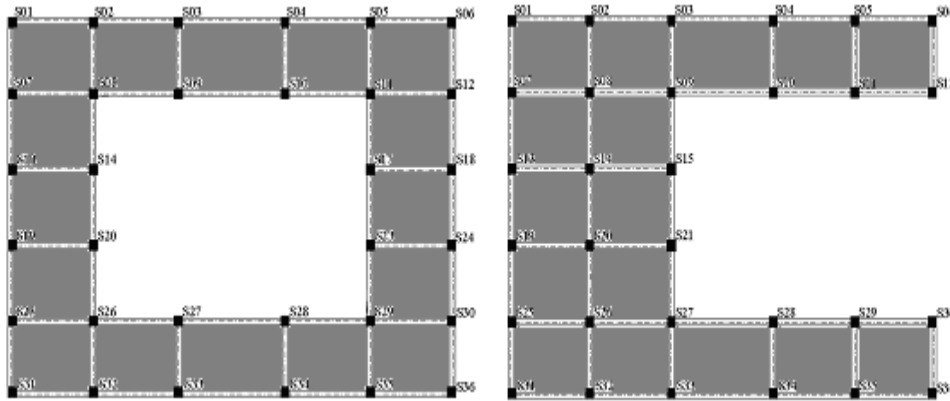


Yapı Y4 x Yönü      Yapı Y4 y Yönü      Yapı Y5 x Yönü      Yapı Y5 y Yönü

Şekil 22 - Yapı Tiplerinin Deprem Yüklemesi İçin Sonlu Eleman Modelleri

### 3.3. Büyük Döşeme Boşluklarının Yapı Davranışına Etkisi

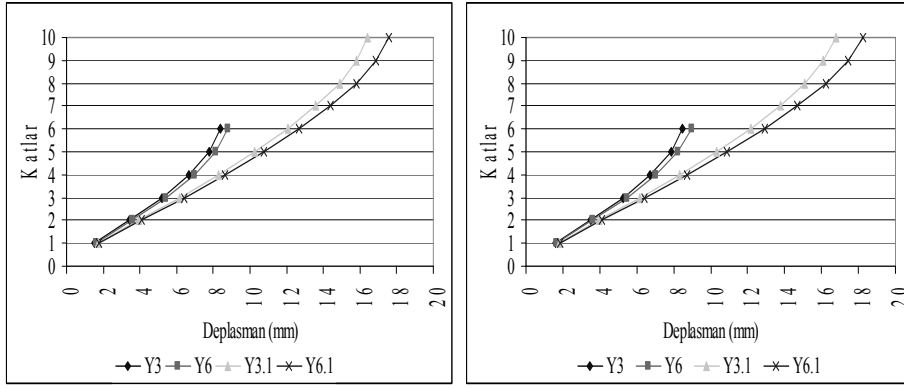
Yönetmelikte, döşeme boşluk oranının 1/3 den büyük olması durumunda düzensizlik oluşturacağı ve döşemelerin rijit diyafram olarak çalışmayacağı üzerinde durulmuştur. Ancak döşeme boşluklarının plandaki yeri ile ilgili bir bilgi bulunmamaktadır. Bu bölümde incelenen yapılarda, döşeme süreksizliğinin simetrik olmadığı durumlarda, 1/3 sınırının altında boşluk bulunduran yapılarda döşemelerin rijit kütle hareketi yapmadığı gözlenmiştir. Döşemenin zorlanmasına neden olan etken boşluk oranından çok, boşluğun planda bulunduğu yerdir. Şekil 23 ve Şekil 24 de iki farklı plan verilmektedir.



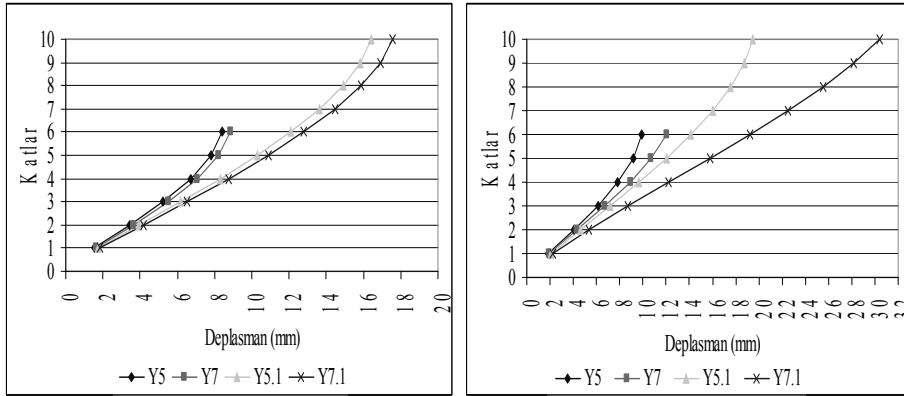
Şekil 23 - Y6 Binası Kat Planı

Şekil 24 - Y7 Binası Kat Planı

Bu tür plana sahip yapılarda, boşluk oranı arttıkça daha fazla antisimetrik durum oluşmakta ve burulma katsayıları artmaktadır. Özellikle yanal yerdeğiştirmeler büyük artış göstermektedir. Bu nedenle, döşeme süreksizliğinin planda simetrik olmadığı yapılarda, boşluk oranı taşıyıcı sistem davranışını önemli ölçüde etkilemektedir (Şekil 25-29). Döşeme süreksizlikleri her katta farklı yerlerde oluşturulursa A1 burulma düzensizliği katsayısında azalma görülmektedir. Buna bağlı olarak yanal yerdeğiştirmeler de azalmaktadır [7].

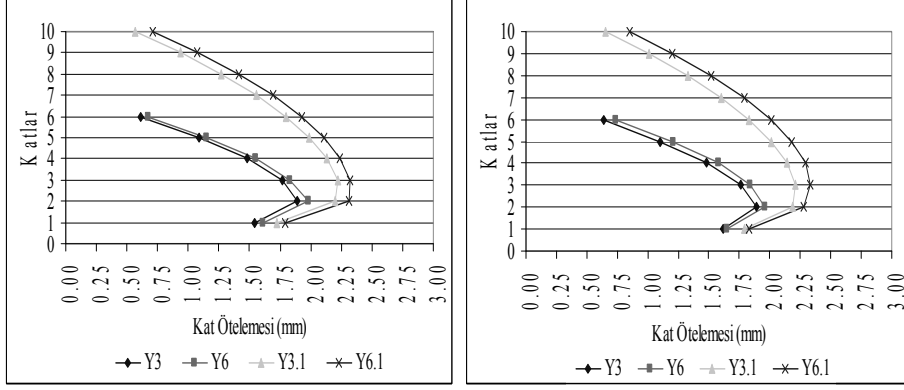


Şekil 25 - x ve y Doğrultusu Maksimum Yerdeğiştirme Değişimi

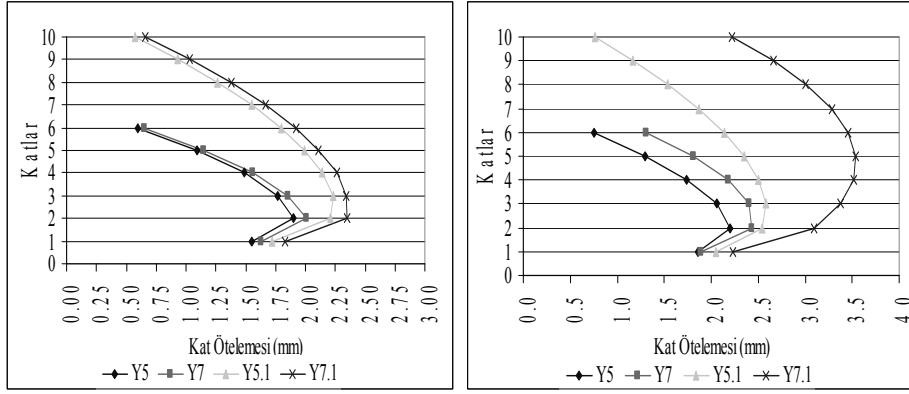


Şekil 26 - x ve y Doğrultusu Maksimum Yerdeğiştirme Değişimi

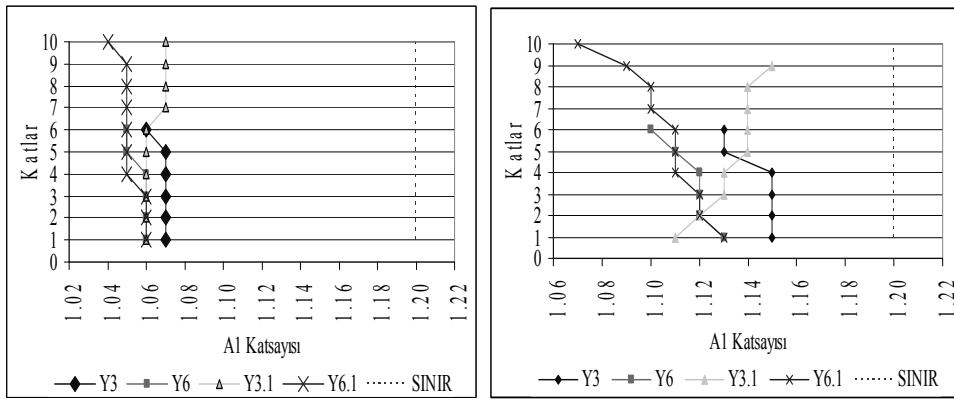
Binalarda Döşeme Boşluklarının Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkisi



Şekil 27 - x ve y Doğrultusu Maksimum Kat Ötelemesi Değişimi



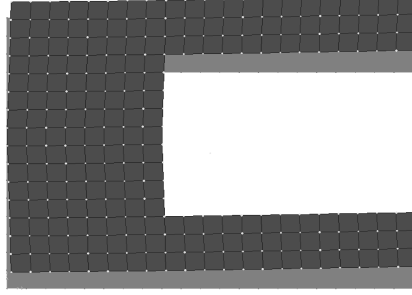
Şekil 28 - x ve y Doğrultusu Maksimum Kat Ötelemesi Değişimi



Şekil 29 - x ve y Doğrultusu A1 Katsayısı Değişimi Değişimi



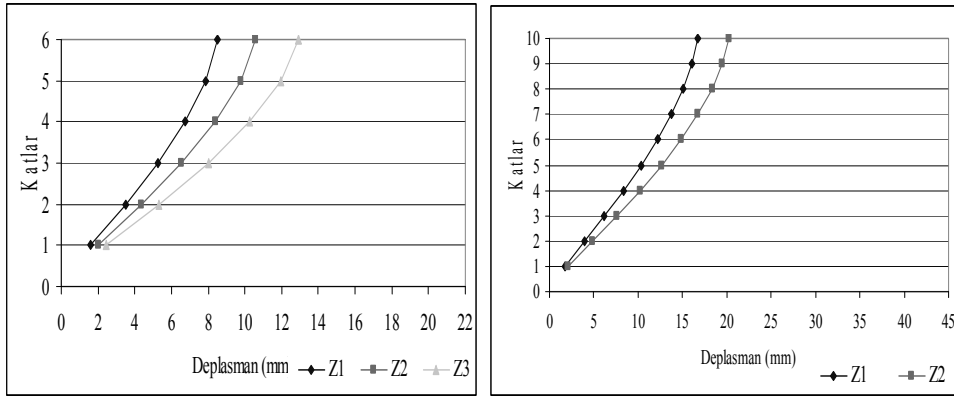
Yapılan sonlu elemanlar spektrum analizi sonucu, seçilen yapı sistemleri için, döşemelerdeki süreksizlik simetrik olmadığı için döşemeler rijit kütle hareketi yapmamışlardır. Aks doğrultularının birleşim yerlerindeki açılar 90 derece değerlerini korumamışlar, döşemenin plan geometrisi şekil değiştirmiştir (Şekil 30).



Şekil 30 - Yapı Y7 Sonlu Eleman Modeli

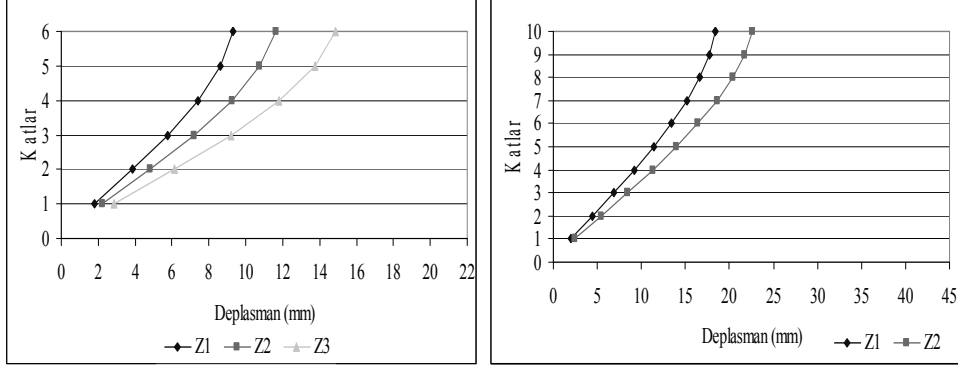
### 3.4. Zemin Türünün Yapı Davranışına Etkisi

Sistemin deprem davranışı, 6 katlı yapılarda üç ayrı yerel zemin sınıfı (Z1, Z2, Z3) için, 10 katlı yapılarda ise iki ayrı yerel zemin sınıfı (Z1, Z2) için incelenmiştir. Yerel zemin sınıfının yapıların taşıyıcı sistem davranışına etkileri incelenirken, taşıyıcı sistemin daha zayıf olduğu y doğrultusu için deprem hesabı göz önünde bulundurulmuştur. Bu incelemeler sonucunda değişik tür yapılar için maksimum yanal yerdeğiştirme değerlerinin değişimi Şekil 31-34 de verilmiştir [7].

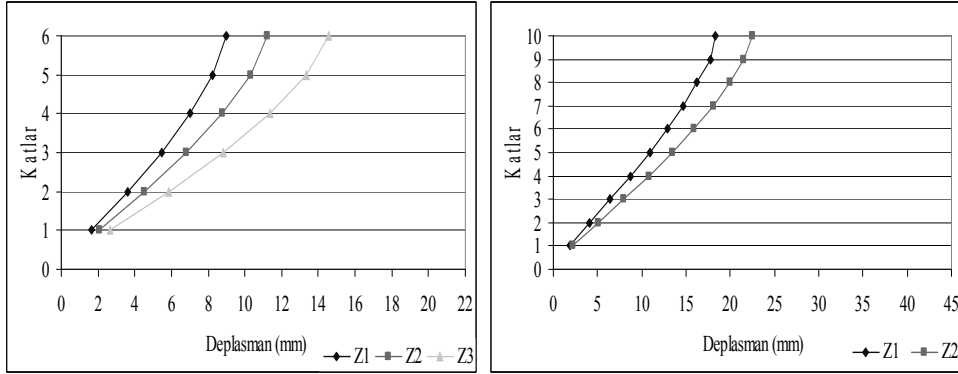


Şekil 31 - Y3 ve Y3.1 Türü Binalarda Maksimum Yanal Yerdeğiştirme Değişimi

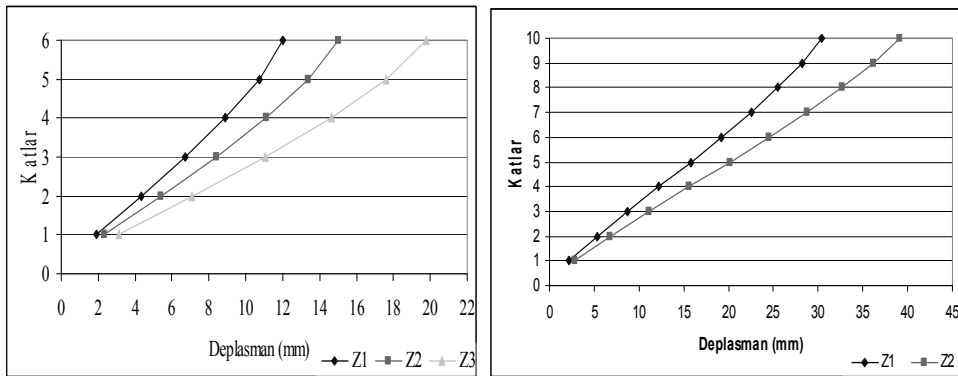
*Binalarda Döşeme Boşluklarının Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkisi*



*Şekil 32 - Y4 ve Y4.1 Türü Binalarda Maksimum Yanal Yerdeğiştirme Değişimi*



*Şekil 33 - Y5 ve Y5.1 Türü Binalarda Maksimum Yanal Yerdeğiştirme Değişimi*



*Şekil 34 - Y6 ve Y6.1 Türü Binalarda Maksimum Yanal Yerdeğiştirme Değişimi*

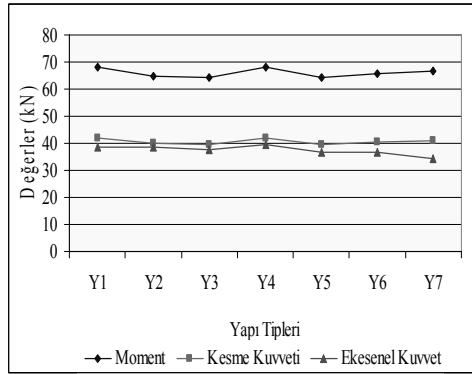
Yukarıda verilen diyagramlar incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar belirlenmiştir:

- Aynı deprem bölgesinde olmasına rağmen, yapının bulunduğu zemin türünün taşıyıcı sistem davranışı üzerinde önemli etkileri olduğu görülmektedir. Yerel zemin sınıfının değişmesi, kat yanal yerdeğiştirmelerinde ve döşemelerin düzlem içi gerilme değerlerinde büyük artışlara neden olmuştur.
- Zayıf zemin üzerindeki yüksek binalarda deprem büyük bir ivme ile hissedilir. Özellikle taşıyıcı sistemi düzensiz yapılarda zayıf zemin şartları kötü sonuçlar doğurmakta ve döşemelerin zorlanması kaçınılmaz olmaktadır.
- Yapının oturduğu yerel zemin sınıfının önemi büyüktür. Yerel zemin sınıfı döşemelerin zorlanmasına neden olabilecek önemli etkenlerden biridir.

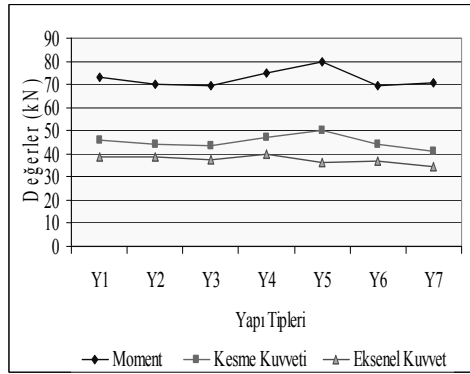
### 3.5. Değerlendirme

Döşeme boşluklarının taşıyıcı sistem davranışına etkileri değerlendirilerek aşağıdaki hususlar belirlenmiştir:

- Modeller için yapılan analiz sonuçları göz önüne alınarak en çok zorlanan kolon ve kirişlerin iç kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Y doğrultusunda, kolonlarda kesme kuvveti ve eğilme moment değerleri en yüksek çıkan yapı modeli Y5, kirişlerde ise Y7 dir. İç kuvvetlerin değişimleri Şekil 35-42 de verilmiştir.

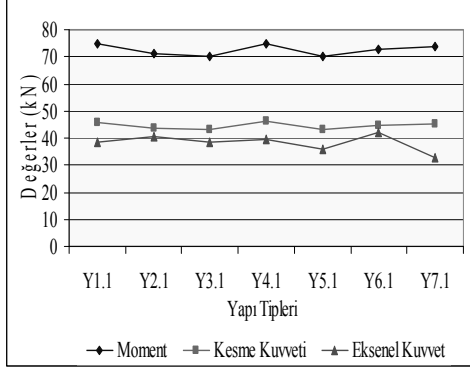


Şekil 35 - x Doğrultusu S2 Kolonu

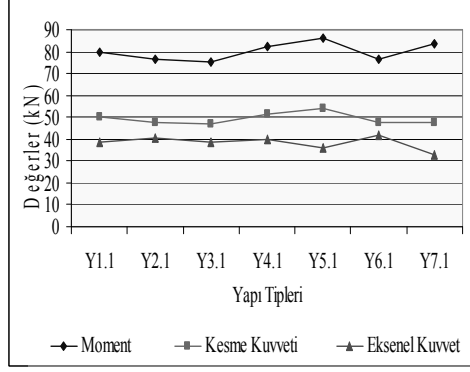


Şekil 36 - y Doğrultusu S12 Kolonu

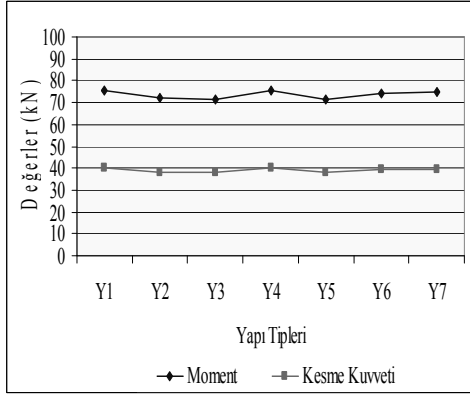
Binalarda Döşeme Boşluklarının Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkisi



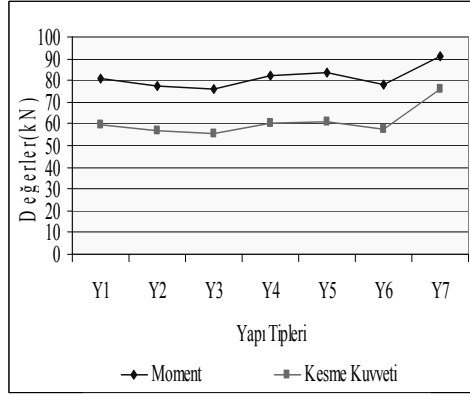
Şekil 37 - x Doğrultusu S2 Kolonu



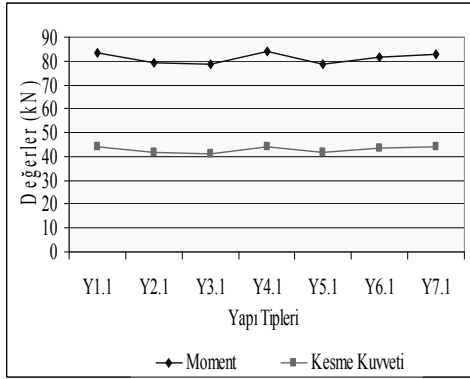
Şekil 38 - y Doğrultusu S12 Kolonu



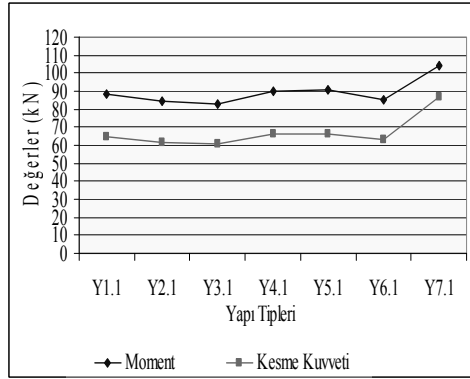
Şekil 39 - x Doğrultusu K6 Kirişi



Şekil 40 - y Doğrultusu K51 Kirişi

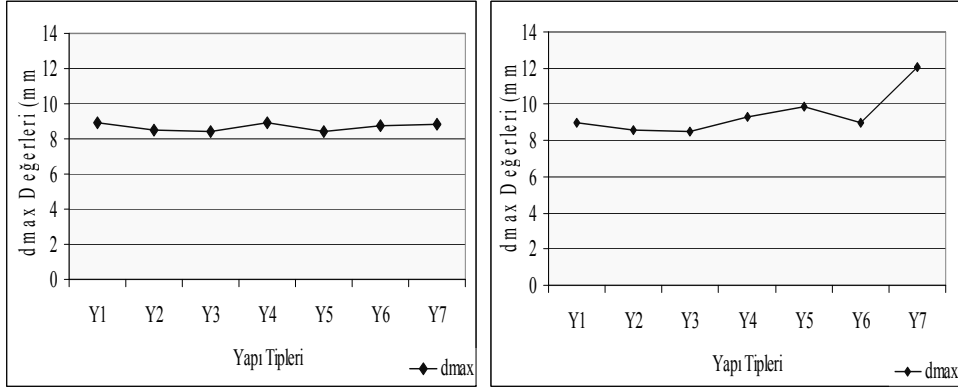


Şekil 41 - x Doğrultusu K6 Kirişi

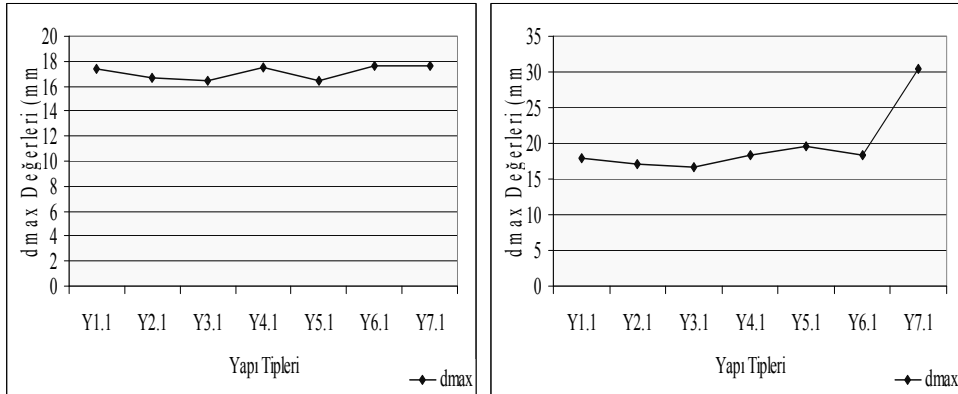


Şekil 42 - y Doğrultusu K51 Kirişi

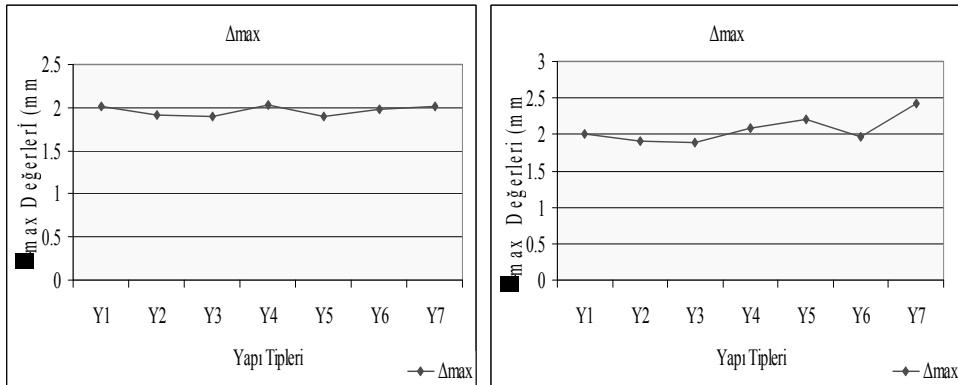
- Yapılarda maksimum yanal yerdeğiştirmeler ve maksimum kat öteleme değerleri karşılaştırıldığında en yüksek değerler Y7 ve ondan sonra Y5 modellerinde çıkmıştır. Bu değişimler Şekil 43-46 de verilmektedir.



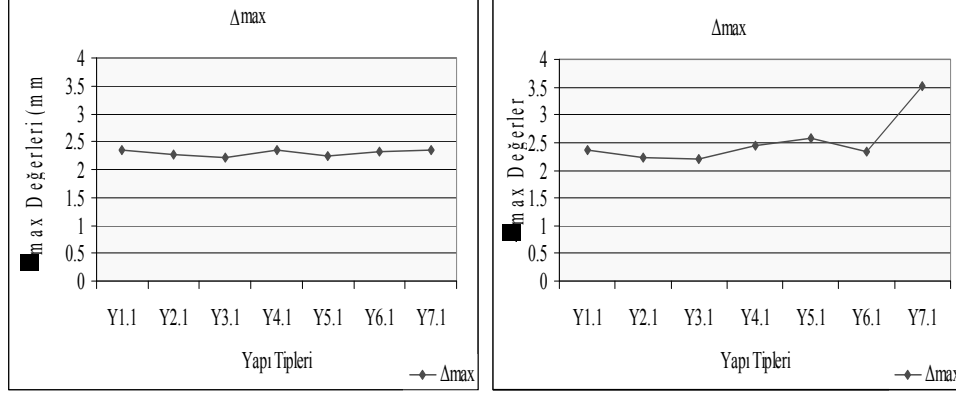
Şekil 43 - x ve y Doğrultusunda Maksimum Yerdeğiştirme Değişimi



Şekil 44 - x ve y Doğrultusunda Maksimum Yerdeğiştirme Değişimi



Şekil 45 - x ve y Doğrultusu Maksimum Kat Ötelemesi Değişimi



Şekil 46 - x ve y Doğrultusu Maksimum Kat Ötelemesi Değişimi

#### 4. SONUÇLAR

Belirli oranlarda döşeme boşluğu bulunduran betonarme binaların deprem yükleri altındaki davranışının incelendiği bu çalışmada, ülkelerin deprem yönetmeliklerindeki yapı düzensizlikleri ve döşeme süreksizlikleri ile ilgili şartlar belirtilmiş, çerçeve sisteme sahip seçilen binalarda boşlukların değişik yer ve oranları için incelemeler yapılmış, kat adedinin, kiriş sürekliliğinin, deprem bölgesinin ve zemin cinsinin taşıyıcı sistem davranışına etkisi dikkate alınmış, döşemenin diyafram çalışması irdelenmiş, incelemelere ait grafikler sunulmuş ve incelenen binalar için aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Döşemenin rijit diyafram davranışı göstermesi bakımından, boşluk oranının yönetmelikteki sınır değeri geçmesinin yanında simetrik olup olmaması da önem kazanmaktadır.
- Sınır değerden büyük simetrik boşluklu yapılarda rijit diyafram davranışı gözlenirken, sınır değerden küçük simetrik olmayan boşluk durumunda bu davranışın oluşmadığı belirlenmiştir.
- Deprem yönetmeliğinde belirtilen 1/3 sınırı, boşluğun simetrik yerleştirildiği yapılar için güvenli bir oran olmaktadır.
- Kat adedinin artması, deprem bölgesinin büyük ve zemin cinsinin kötü olması, döşeme boşluklarının taşıyıcı sistemin davranışına olan olumsuz etkisini artırmaktadır.
- En büyük burulma etkileri döşeme boşluklarının simetrik olmadığı ve bu bölgelerde kirişlerin sürekliliğinin sağlanmadığı binalarda meydana gelmekte ve yanal yerdeğiştirmeler artmaktadır.
- Simetrik olmayan döşeme süreksizliklerinin her katta farklı yerlerde oluşturulması, burulma etkilerinin azaltılması bakımından önem kazanmaktadır.
- Döşeme boşluğunun bulunduğu bölgede kat kirişlerinin oluşturulması ve bunların rijitliklerinin artırılması yapı davranışı bakımından olumlu etki yapmaktadır.
- Çerçevesel binalarda incelenen bu durumun, perdeli ve perde-çerçevesel sistemler için de incelenmesi uygun olacaktır.

**Semboller**

$A(T)$	Spektral ivme katsayısı
$A_0$	Etkin yer ivmesi katsayısı
$d_i$	Binanın $i$ 'inci katında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yerdeğiştirme
$d_{fi}$	Binanın $i$ 'inci katında $F_{fi}$ fiktif yüklerine göre hesaplanan yerdeğiştirme
$F_{fi}$	Birinci doğal titreşim periyodunun hesabında $i$ 'inci kata gelen fiktif yük
$G$	Yerçekimi ivmesi ( $9.81 \text{ m/s}^2$ )
$g_i$	Binanın $i$ 'inci katındaki toplam sabit yük
$H_i$	Binanın $i$ 'inci katının temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliği
$h_i$	Binanın $i$ 'inci katının kat yüksekliği
$I$	Bina önem katsayısı
$m_i$	Binanın $i$ 'inci katının kütlesi ( $m_i = w_i / g$ )
$N$	Binanın temel üstünden itibaren toplam kat sayısı
$N$	Hareketli yük katılım katsayısı
$q_i$	Binanın $i$ 'inci katındaki toplam hareketli yük
$R$	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$R_a(T_1)$	Deprem yükü azaltma katsayısı
$S(T)$	Spektrum katsayısı
$T$	Bina doğal titreşim periyodu (s)
$T_1$	Binanın birinci doğal titreşim periyodu (s)
$T_A, T_B$	Spektrum karakteristik periyotları (s)
$V_t$	Binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)
$W$	Binanın, hareketli yük katılım katsayısı ile hesaplanan toplam ağırlığı
$w_i$	Binanın $i$ 'inci katının, hareketli yük katılım katsayısı ile hesaplanan ağırlığı
$Z$	Yerel zemin sınıfı
$\Delta_i$	Binanın $i$ 'inci katındaki azaltılmış görelî kat ötelemesi
$\delta_i$	Binanın $i$ 'inci katındaki etkin görelî kat ötelemesi
$(\delta_i)_{maks}$	Binanın $i$ 'inci katındaki maksimum etkin görelî kat ötelemesi
$\eta_{bi}$	$i$ 'inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı
$\theta_i$	$i$ 'inci katta tanımlanan ikinci mertebe gösterge değeri

**Kaynaklar**

- [1] Chopra, A. K., Dynamics of Structures, Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey, 2007.
- [2] Celep, Z., Kumbasar, N., Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul, 2004.
- [3] TDY, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, 2007.
- [4] IBC, International Building Code, International Code Council, United States of America, 2006.
- [5] ASCE, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, United States of America, 2006.
- [6] Committee European de Normalisation, European Standard EN 1998-1: 2004, Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance, Part 1, General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, CEN, Brussels, Belgium, 2004.
- [7] Arslan, S., Betonarme Binalarda Döşeme Boşluklarının Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
- [8] Ayrancı, M. M., Döşeme Süreksizliği Olan B/A Yapı Sistemlerinin Farklı Bilgisayar Modelleri İle Analizi ve Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004.
- [9] Özmen, G., Pala, S., Yalçın, K., Investigation of Set-Back Irregularity in Earthquake-Resistant Design of Multi-Story Structures, European Association of Earthquake Engineering Task Group 8, Asymmetric and Irregular Structures, İstanbul, 1999.
- [10] Ghersi, A., Rossi, P. P., Seismic Responce of Mono and Bi-Eccentric In-Plane Irregular Systems, European Association of Earthquake Engineering Task Group 8, Asymmetric and Irregular Structures, İstanbul, 1999.
- [11] Tezcan, S. S., Alhan, C., Irregular Structures Under Seismic Loading, European Association of Earthquake Engineering Task Group 8, Asymmetric and Irregular Structures, İstanbul, 1999.
- [12] Senel, S. M., Kaplan, H., Atımtay, E., Assessment of Lateral Diaphragm Irregularities, European Association of Earthquake Engineering Task Group 8, Asymmetric and Irregular Structures, İstanbul, 1999.
- [13] Özmen, G., Türkiye Deprem Yönetmeliğine Göre Tasarım Uygulamaları, Türkiye Deprem Vakfı, İstanbul, 1999.
- [14] Atımtay, E., Açıklamalar ve Örneklerle Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik, Cilt 1, 2, Bizim Büro, Ankara, 2000.