

## PAPER DETAILS

TITLE: Effects of the Assumption about Rigid Floor Diaphragm on the Shear Along the Shear Walls

AUTHORS: Rasim TEMÜR,Namik ÖZTORUN

PAGES: 72-81

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/191652>



# RİJİT DÖŞEME VARSAYIMININ PERDE DUVARLARDA OLUŞAN KESME KUVVETLERİNE ETKİSİ

## EFFECTS OF THE ASSUMPTION ABOUT RIGID FLOOR DIAPHRAGM ON THE SHEAR ALONG THE SHEAR WALLS

Rasim TEMÜR<sup>1\*</sup>, Namık Kemal ÖZTORUN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

temur@istanbul.edu.tr, kemal@istanbul.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 09.07.2013, Kabul Tarihi/Accepted: 15.11.2013

\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2014.47450

Araştırma Makalesi/Research Article

### Öz

Bu çalışmanın amacı; rijit döşeme varsayımının bina türü yapı sistemlerindeki perde duvarlarda oluşan kesme kuvvetleri üzerine etkilerini araştırmaktır. Bilgisayarların gelişmesine kadar kullanılan el hesaplarında sadece sınırlı sayıda denklemle analiz yapılabilmekteydi. Bu sebeple işlem hacmini küçültmek için bazı basitleştirme yöntemleri geliştirilmiştir. Bina türü yapıların analizinde döşemelerin düzlemlerinde sonsuz rijit modellenmesi bu varsayımlardan biridir. Buna göre her kat döşemesi ağırlık merkezinde, kendi düzleminde iki öteleme ve düzlemine dik bir açılal yer değiştirme olmak üzere toplam üç serbestlik derecesi ile tanımlanmaktadır. Bu çalışmada döşemeler rijit diyafram ve elastik diyafram olarak modellenmiş ve doğrusal elastik analiz yapılmıştır. Analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Bu sonuçlara göre rijit döşeme varsayımı sonucu, esnek döşeme modeline oranla inşaat maliyeti daha yüksek ancak yapısal güvenliği daha düşük yapıların tasarlanması söz konusu olabilmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Döşeme rijitliği, Rijit döşeme, Perde duvar

### Abstract

The purpose of this study is to establish the effects of rigid floor assumption on shear forces that occurs on shear walls of building type structural systems. Before the advent of computers only limited number of equations could be solved manually. Thus, simplification methods have been developed to reduce the total processes. In the structural analysis of buildings, rigid floor assumption is one of these methods. At the mass center of each rigid floor, there is a master node having three degrees of freedom to represent the two in-plane translations and one out of plane rotation. In this study, the linear elastic design analysis is carried out modeling floors as rigid diaphragm and flexible diaphragm. Results of the analysis are presented comparatively. According to these results, as a consequence of rigid floor assumption, it can be an issue to get designed such buildings those construction costs are higher but structural safety is lower in comparison with flexible floor model.

**Keywords:** Floor flexibility, Rigid floor, Shear walls

## 1 Giriş

Bina türü yapı sistemlerinin sonlu elemanlar yöntemi ile analizindeki işlem hacmi; sistemin serbestlik derecesi, eleman sayısı ve eleman türüne bağlıdır. Yöntemin en büyük işlem hacmine sahip adımı sistem rijitlik matrisinin tersinin hesaplanmasıdır. Sistem rijitlik matrisi eleman sayısının, sistemdeki toplam serbestlik sayısının karesine eşit olması sebebiyle, işlem hacmini en çok etkileyen parametre, sistem serbestlik derecesi olmaktadır. Bu sebeple işlem hacmini azaltmak amacıyla yapısal sistemin serbestlik derecesini azaltan bazı basitleştirme yöntemleri geliştirilmiş ve yaygınlaşmıştır. Perdelerin çubuk elemanlarla modellenmesi, uzay çerçeve sistemlerin bir veya birden fazla düzlem çerçeve sistemi olarak modellenmesi, döşemelerin rijit diyafram kabulü ve temellerin ankastre olarak mesnetlenmesi bunlardan bazılarıdır [1].

Yapısal sistemlerin serbestlik derecelerinin azaltılması için döşemelerin düzlemlerinde sonsuz rijit modellenmesi yaygın olarak kullanılan bir varsayımdır. Buna göre her kat döşemesi iki yatay öteleme ve düşey eksen etrafında açılal yer değiştirme olmak üzere toplam üç serbestlik derecesi ile tanımlanır [2]-[4]. Bu sayede kat döşemesi, her düğüm noktasında altı serbestlik bulunan çok sayıda plak elemanı yerine, toplamda üç serbestliğe sahip tek parçaya indirgenerek analiz edilir. Döşemelerdeki serbestlik sayısını büyük oranda azaltan bu varsayım, analizdeki işlem hacmini küçültüp buna bağlı olarak

analiz süresini kısaltmakla birlikte döşemelerin düzleminde oluşan şekil değiştirmeleri ve bunun yapısal sisteme olan etkilerini ihmal etmektedir.

Mevcut çalışmada, yaygın olarak kullanılan, döşemelerin sonsuz rijit modellenmesi varsayımının düşey taşıyıcı elemanları perdelerden oluşan bina türü yapı sistemlerinin analizleri sonucu perde duvarlarda oluşan kesme kuvvetleri üzerine etkileri incelenmiştir.

## 2 Rijit Döşeme Varsayımı

Çok katlı betonarme yapıların analizinde kat döşemeleri ile ilgili üç farklı varsayım kullanılır:

- Döşemeler kendi düzlemleri içinde sonsuz rijittir,
- Döşemeler kendi düzlemleri dışında eğilme açısından sonsuz rijittir,
- Döşemeler kendi düzlemleri dışında eğilme açısından sonsuz esnektir [1].

MacLeod tarafından yapılan öneriye göre; döşemeler, düzleminde sonsuz rijit kabul edilerek, düzlem içi gerilmeler ve düzleme paralel şekil değiştirmeler ihmal edilir. Dolayısıyla her kattaki düşey taşıyıcı elemanların yatay düzlemdeki göreceli yer değiştirmeler göz ardı edilir [2].

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik uyarınca rijit döşeme varsayımı kullanılması durumunda her katta iki yatay yer değiştirme ile düşey eksen etrafındaki açılal

serbestlik dereceleri göz önüne alıp, kat serbestlik dereceleri de her katın kütle merkezinde tanımlanmaktadır [5].

Muto düzleminde sonsuz rijit varsayımı yapılan döşemelerin diğer serbestliklerinin modellenmesi için döşeme yerine, eşdeğer kesme ve eğilme rijitlikleri olan kirişlerin kullanılmasını önermiştir [6].

Karadoğan kısa kenarın bulunduğu dış akslarda perde, diğer akslarda kolon kullanılan dikdörtgen planlı örnek bir bina üzerinde döşeme rijitliğini incelemiştir. Buna göre rijit diyafram kabulünün, çok katlı yapıların alt katlarındaki orta akslar üzerinde bulunan ve üst katlarındaki dış akslarda bulunan düşey taşıyıcı elemanlarla, üst katlardaki döşemeler için güvenli tarafta kalan bir yaklaşım olmadığını söylemiştir [7].

Nakashima dış aksları perde, iç aksları kolonlardan oluşan bir model üzerinde yaptığı çalışmada, rijit diyafram varsayımının orta aksta bulunan kolonlarda %23 daha düşük kesme kuvveti oluşturduğunu belirtmiştir [8].

Çıtıptıoğlu ve Boz döşemelerin düzlemleri içinde sonsuz rijit kabul edilmesinin bir çok yapı türü için geçerli olmakla birlikte, yüksek kule tipi yapıların etrafındaki az katlı kısımları bulunan yapılar, bazı perdeli yapılar, büyük yatay kuvvete maruz rijit düşey elemanlı yapılar ve planda ince uzun olan yapılarda geçerli olmayabileceğini söylemişlerdir [1].

Saffarini ve Qudaimat sekiz farklı kat kalıp planına sahip betonarme binayı farklı kat sayıları ile modelleyip incelemişlerdir. 37 model üzerinde yaptıkları analizlerde, rijit diyafram kabulünün düşey taşıyıcı elemanları çerçeve olan sistemlerde kabul edilebilir sonuçlar verdiğini ancak perde duvarlı sistemlerde hatalara sebep olabileceğini belirtmektedirler [9].

Ju ve Lin tarafından yapılan çalışmada, döşemelerin düzlemindeki rijitliklerinin kolonların eksen dışı rijitliklerine oranının çok büyük olmasından ötürü, düşey taşıyıcı elemanları çerçevelerden oluşan, perde içermeyen sistemlerde rijit döşeme varsayımının kabul edilebilir sonuçlar verdiği ifade edilmiştir. Aynı şekilde döşemelerin düzlemindeki rijitliklerinin perdelerin düzlem dışı rijitliğine oranının çok küçük olması sebebiyle döşemelerin düzlemindeki şekil değiştirmelerin ihmal edilmesinin uygun olmadığı belirtilmiştir [4].

Çelik ve Öztoran rijit diyafram varsayımında döşemelerin eksenel gerilmeleri ihmal edildiğinden donatı tasarımının yalnızca eğilmeye karşı yapıldığını, gerçekte yapının geometrisine bağlı olarak döşemelerin eksenel gerilmelere maruz kaldığını ve gerilme değerlerinin 4 N/mm<sup>2</sup> çekme değerine ulaşabildiğini vurgulamışlardır. Eğilmeye karşı konulan yatay donatıların ise bu çekme gerilmeleri karşısında yetersiz kaldığını belirtmişlerdir [10].

Barron ve Hueste düşey taşıyıcı sistemi perde ve kolonlardan oluşan, dikdörtgen planlı ve kat döşemeleri kenar oranı 1/2 ve 1/3 olan iki farklı modeli, 3'er ve 5'er katlı modelleyerek döşeme rijitliklerinin etkilerini incelemişlerdir. Buna göre analizlerin neredeyse tamamında, rijit diyafram kullanılan döşeme modellerinin, esnek diyaframa göre daha düşük kat ötelemesine sebep olduğu görülmüştür. Söz konusu analizlerin sonucunda, rijit diyafram kabulünün, çerçevelere gelen taban kesme kuvveti dağılımına ve binanın periyoduna kayda değer bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir [11].

### 3 Sayısal Örnekler

Düzleminde sonsuz rijit döşeme varsayımının yatay yükler altındaki binaların doğrusal elastik analizleri üzerindeki etkisi, düşey taşıyıcı sistemi perde duvarlardan oluşan biri kare, diğeri dikdörtgen planlı olmak üzere iki farklı kat planı kullanılan [12], [13] bina modelleri üzerinde incelenmiştir (Şekil 1, Şekil 3). Döşeme rijitliğinin perdelerde oluşan kesme kuvvetlerini etkisini vurgulamak adına basit modeller yerine, düşey taşıyıcı elemanlarının tamamı perde duvarlardan oluşan ve yalnızca döşemelere ve temele bağlanan perdelerin yanı sıra birbirine saplanan perdelerin de yer aldığı kat planları tercih edilmiştir.

Varsayımın, kat adedi ve bina yüksekliğine bağlı etkilerinin görülebilmesi amacıyla kat planları 10, 20 ve 30 kat olmak üzere üç farklı kat adediyle modellenmiştir (Şekil 2, Şekil 4). Çalışma yapısal davranışa yönelik olduğundan modellerde uygulanacak yatay yüklerin şiddeti önemli olmamakla birlikte hesap kolaylığı bakımından birinci moda göre eşdeğer statik deprem yükü yöntemiyle [5] hesaplanan kuvvetler kullanılmıştır. Yatay yükler modellere +x ve +y yönlerinde, %5 ek dış merkezlikle birlikte etkilmiştir. Kat planları, iki farklı zemin yatak katsayısı ( $k$ ) kullanılarak Winkler zemin modeli ile modellenip analiz edilmiştir (Tablo 1). Analizlerde TUNAL yazılımı kullanılmış ve doğrusal elastik analiz yapılmıştır [14],[15]. Perdeleri ve döşemeleri tanımlamak için kullanılan plak elemanları Öztoran tarafından geliştirilen ve her düğüm noktasında altı serbestlik içeren bir dikdörtgen sonlu eleman ile modellenmiştir [16].

Modellerde kullanılan perdeler 0.25 m, döşemeler ise 0.14 m kalınlığındadır. Kat yükseklikleri bütün katlar boyunca eşit olup 2.8 m'dir.

İki farklı kat planı, üç farklı kat sayısı, iki farklı zemin rijitliği ve iki farklı döşeme rijitliğinin kullanıldığı mevcut çalışmada toplam 24 modele ait analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Kat döşemelerinin düzlemlerinde sonsuz rijit olarak modellenmesi durumunda, döşemelerin gerçek rijitlik değerlerinin tanımlandığı modellere göre farklı sistem rijitlik matrisi oluşur. Aynı yükleme durumu altında, farklı rijitlik değerlerine sahip modellerin kesit tesiri dağılımının da farklı olması beklenmektedir.

Mevcut çalışma kapsamında, düzleminde sonsuz rijit döşeme varsayımının perde duvarlarda oluşan kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerini belirleyebilmek amacıyla perde duvarlarda oluşan en büyük kesme kuvveti değerleri kullanılarak karşılaştırmalar yapılmıştır.

Döşemelerin düzlemlerinde sonsuz rijit kabul edilmesi sonucunda perde duvarlarda oluşan kesme kuvvetlerinin, döşeme rijitliği tanımlanan modellerde oluşan kesme kuvvetlerine oranı ( $B$ );

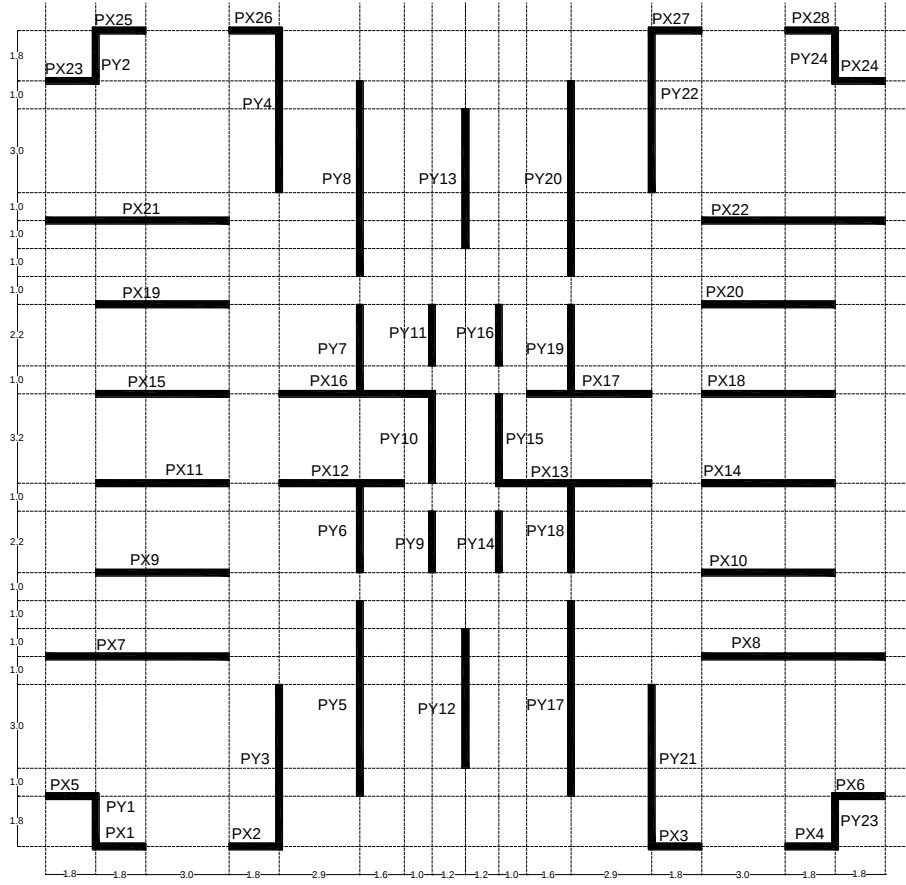
$V_E$ : Döşeme rijitliklerinin tanımlanması halinde oluşan kesme kuvveti,

$V_R$ : Döşemelerin düzlemlerinde sonsuz rijit modellenmesi durumunda oluşan kesme kuvveti,

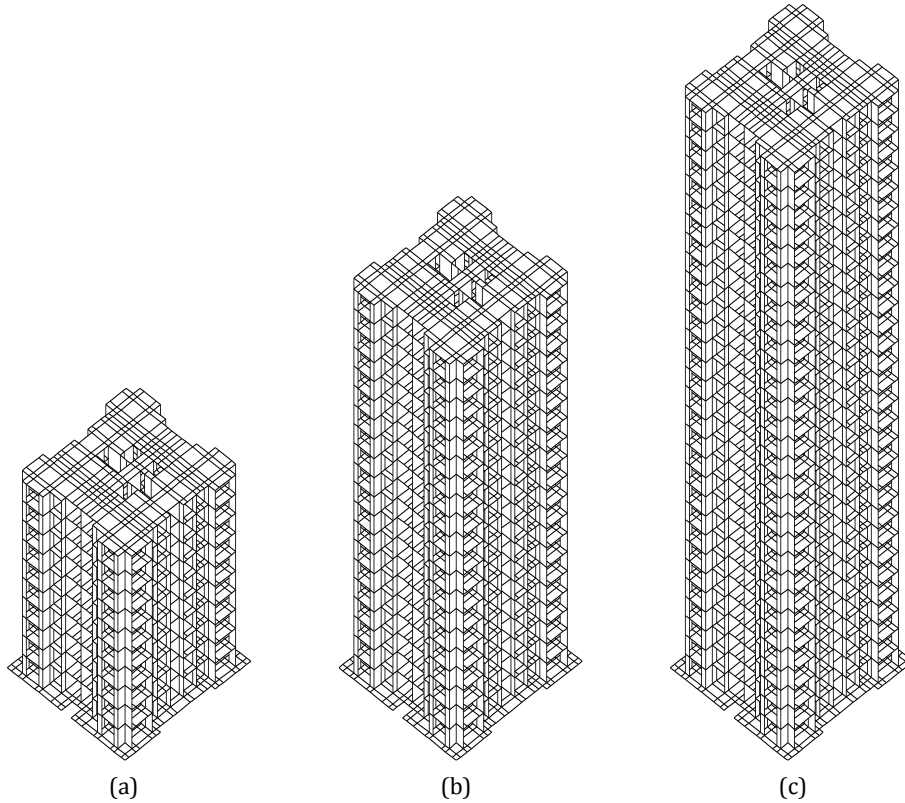
olmak kaydıyla;

$$B = \frac{(V_R - V_E)}{V_E} \quad (1)$$

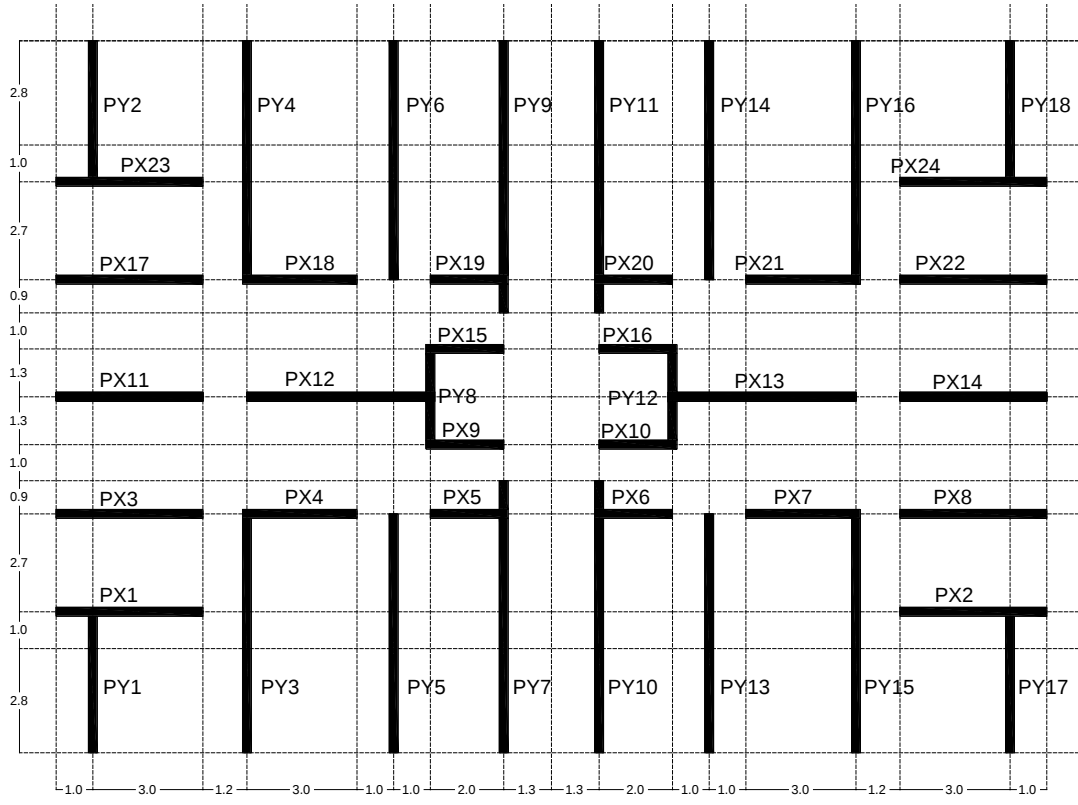
bağıntısı kullanılarak, en büyük kesme kuvveti değerleriyle hesaplanmıştır.



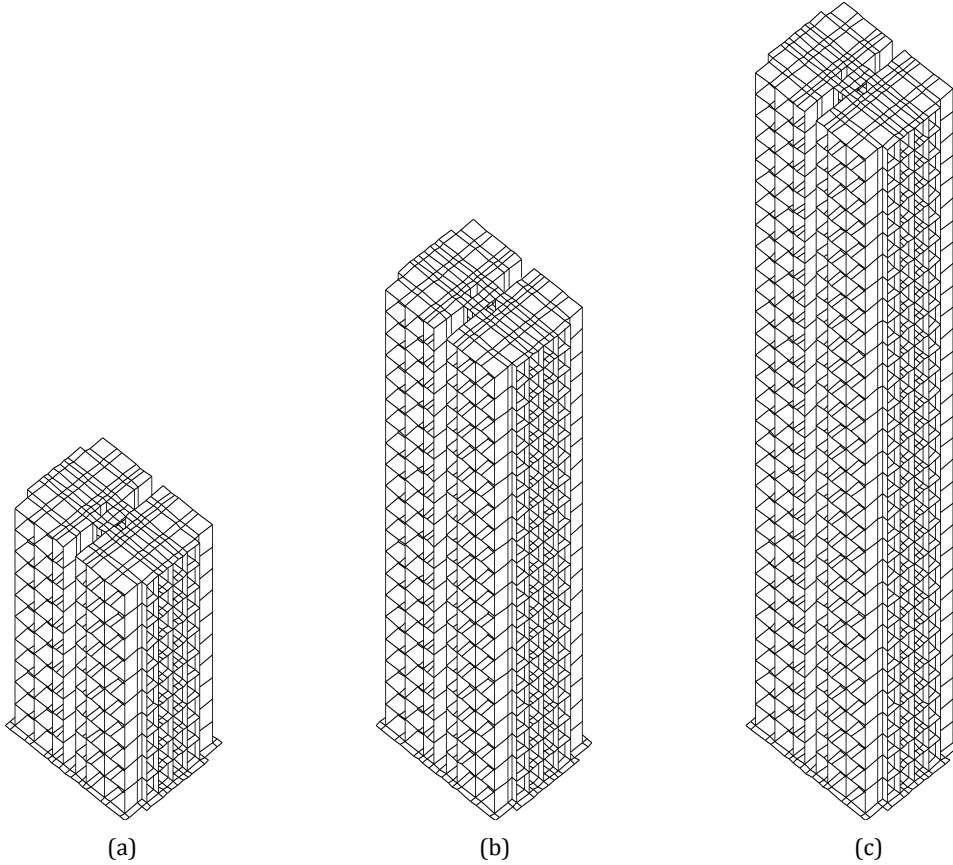
Şekil 1: 1 numaralı kat planı [12].



Şekil 2: 1 numaralı kat planının farklı kat sayıları ile modellenmesi. (a): 10 katlı model, (b): 20 katlı model, (c): 30 katlı model.



Şekil 3: 2 numaralı kat planı [13].



Şekil 4: 2 numaralı kat planının farklı kat sayıları ile modellenmesi. (a): 10 katlı model, (b): 20 katlı model, (c): 30 katlı model.

Tablo 1: Rijit döşeme varsayımının 1 numaralı kat planındaki perdelerde oluşan kesme kuvvetlerine etkisi.

| Perde Adı | 10 Kat       |              | 20 Kat       |              | 30 Kat       |              |
|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|           | $B_1$        | $B_2$        | $B_1$        | $B_2$        | $B_1$        | $B_2$        |
| PX1       | 0.36         | 0.33         | 0.47         | 0.42         | 0.45         | 0.39         |
| PX2       | 0.38         | 0.35         | 0.43         | 0.41         | 0.42         | 0.40         |
| PX3       | 0.48         | 0.52         | 0.53         | 0.60         | 0.54         | 0.61         |
| PX4       | 0.58         | 0.56         | 0.81         | 0.77         | 0.90         | 0.89         |
| PX5       | -0.02        | 0.06         | -0.25        | 0.16         | <b>-0.33</b> | -0.08        |
| PX6       | 0.05         | 0.43         | 0.56         | 0.62         | 1.78         | 0.79         |
| PX7       | 0.10         | 0.10         | 0.47         | 0.26         | 0.27         | 0.22         |
| PX8       | 0.02         | 0.04         | 0.01         | 0.05         | 0.05         | 0.03         |
| PX9       | 0.64         | 0.21         | 0.87         | 0.99         | 0.90         | 0.97         |
| PX10      | 0.23         | 0.09         | 0.23         | 0.07         | 0.18         | 0.18         |
| PX11      | 0.06         | 0.08         | 0.95         | 1.02         | 0.91         | 0.97         |
| PX12      | 0.08         | -0.04        | 0.05         | -0.10        | 0.04         | -0.08        |
| PX13      | 0.16         | 0.14         | 0.20         | 0.20         | 0.23         | 0.23         |
| PX14      | 0.16         | 0.20         | 0.08         | 0.21         | 0.04         | 0.15         |
| PX15      | 0.06         | 0.07         | 0.28         | 0.54         | 0.84         | 1.00         |
| PX16      | 0.04         | -0.06        | 0.06         | -0.05        | 0.07         | -0.02        |
| PX17      | 0.26         | 0.26         | 0.30         | 0.33         | 0.34         | 0.37         |
| PX18      | 0.02         | 0.21         | 0.03         | 0.24         | 0.01         | 0.19         |
| PX19      | 0.30         | 0.28         | 1.31         | <b>1.45</b>  | 1.30         | <b>1.27</b>  |
| PX20      | 0.12         | 0.17         | 0.10         | 0.16         | 0.13         | 0.11         |
| PX21      | 0.08         | 0.10         | 0.26         | 0.09         | 0.33         | 0.35         |
| PX22      | 0.03         | 0.01         | -0.01        | 0.04         | 0.06         | 0.05         |
| PX23      | 0.06         | -0.04        | 0.11         | 0.17         | 0.21         | 0.31         |
| PX24      | <b>0.85</b>  | <b>0.71</b>  | <b>1.59</b>  | 0.93         | <b>1.88</b>  | 0.95         |
| PX25      | 0.26         | 0.32         | 0.28         | 0.31         | 0.23         | 0.21         |
| PX26      | 0.35         | 0.37         | 0.39         | 0.39         | 0.40         | 0.38         |
| PX27      | 0.47         | 0.47         | 0.54         | 0.57         | 0.57         | 0.61         |
| PX28      | 0.62         | 0.58         | 0.82         | 0.78         | 0.98         | 0.92         |
| PY1       | -0.41        | -0.21        | -0.21        | -0.15        | -0.19        | -0.20        |
| PY2       | -0.24        | -0.05        | -0.29        | <b>-0.33</b> | -0.11        | -0.25        |
| PY3       | 0.10         | 0.11         | 0.12         | 0.07         | 0.18         | 0.09         |
| PY4       | 0.16         | 0.12         | 0.16         | 0.13         | 0.08         | 0.08         |
| PY5       | 0.02         | 0.02         | 0.00         | 0.01         | 0.00         | 0.01         |
| PY6       | 0.06         | 0.02         | 0.05         | -0.02        | 0.01         | -0.05        |
| PY7       | 0.18         | 0.16         | 0.27         | 0.26         | 0.38         | 0.36         |
| PY8       | 0.01         | 0.01         | 0.00         | 0.07         | 0.02         | 0.10         |
| PY9       | 0.29         | 0.28         | 0.29         | 0.25         | 0.01         | 0.02         |
| PY10      | 0.24         | 0.25         | 0.23         | 0.24         | 0.22         | 0.23         |
| PY11      | 0.40         | 0.44         | 0.41         | 0.49         | 0.49         | 0.57         |
| PY12      | 0.23         | 0.22         | 0.32         | 0.45         | 0.41         | 0.50         |
| PY13      | 0.09         | 0.02         | 0.12         | 0.13         | 0.17         | 0.21         |
| PY14      | 0.37         | 0.37         | 0.32         | 0.31         | 0.22         | 0.22         |
| PY15      | 0.30         | 0.31         | 0.32         | 0.33         | 0.30         | 0.35         |
| PY16      | 0.36         | 0.39         | 0.34         | 0.41         | 0.37         | 0.44         |
| PY17      | 0.03         | 0.03         | 0.00         | 0.01         | 0.01         | 0.01         |
| PY18      | 0.09         | 0.03         | 0.10         | 0.02         | 0.09         | 0.01         |
| PY19      | 0.17         | 0.14         | 0.24         | 0.23         | 0.35         | 0.33         |
| PY20      | 0.02         | 0.01         | 0.00         | 0.03         | 0.04         | 0.11         |
| PY21      | 0.09         | 0.10         | 0.09         | 0.11         | 0.15         | 0.13         |
| PY22      | 0.14         | 0.09         | 0.16         | 0.12         | 0.09         | 0.07         |
| PY23      | -0.43        | <b>-0.25</b> | <b>-0.32</b> | -0.28        | -0.03        | <b>-0.36</b> |
| PY24      | <b>-0.45</b> | -0.23        | -0.24        | -0.27        | -0.05        | -0.14        |

Uç değerler koyu harflerle işaretlenmiştir.

Pozitif işaretli değerler rijit döşeme varsayımı sonucu daha büyük, negatif işaretli değerler ise daha küçük kesme kuvvetleri oluştuğunu ifade etmektedir. Denklem 1 kullanılarak yapılan hesaplar sonucunda elde edilen değerler Tablo 1 ve Tablo 2'de sunulmuştur. Tablolarda yer alan  $B_1$  sütunu  $k = 24000 \text{ kN/m}^3$ ,

$B_2$  sütunu ise,  $k = 100000 \text{ kN/m}^3$  olan zemin koşulları altında elde edilen değerleri ifade etmektedir.

1 numaralı kat planı ile oluşturulan modellerin perde duvarlarında, döşemelerin düzlemlerinde sonsuz rijit olduğu varsayımı sonucu,  $k = 24000 \text{ kN/m}^3$  olan zemin koşulunda

%188'e varan oranlarda daha büyük (Şekil 5) ve %45'e varan oranlarda daha küçük (Şekil 6) kesme kuvvetleri oluşabilmektedir. Zemin yatak katsayısı değerinin  $k = 100000 \text{ kN/m}^3$  olduğu durumda ise %145'e varan oranlarda daha büyük (Şekil 7) ve %36'ya varan oranlarda daha küçük kesme kuvvetleri elde edilmiştir (Şekil 8).

2 numaralı kat planı ile oluşturulan modellerin perde duvarlarında, döşemelerin düzlemlerinde sonsuz rijit olduğu varsayımı sonucu,  $k = 24000 \text{ kN/m}^3$  olan zemin koşulunda %104'e varan oranlarda daha büyük (Şekil 9) ve %12'ye varan oranlarda daha küçük (Şekil 10) kesme kuvvetleri oluşabilmektedir. Zemin yatak katsayısı değerinin  $k = 100000 \text{ kN/m}^3$  olduğu durumda ise bazı perdelerde %110'a varan oranlarda daha büyük kesme kuvvetleri (Şekil 9) oluşurken, bazı perdelerde %3'e varan oranlarda daha küçük kesme kuvvetleri oluşmaktadır. Döşemelerin sonsuz rijit

modellenmesi sonucu 10 katlı modellerin perde duvarlarında %38, 20 katlı modellerde %94 ve 30 katlı modellerde ise %110 oranında daha büyük kesme kuvvetleri elde edilmektedir. Kat planı simetrik olmasına rağmen, yükleme durumunda kullanılan %5 ek dış merkezlik sebebiyle, simetrik elemanlardaki etkiler farklı olabilmektedir.

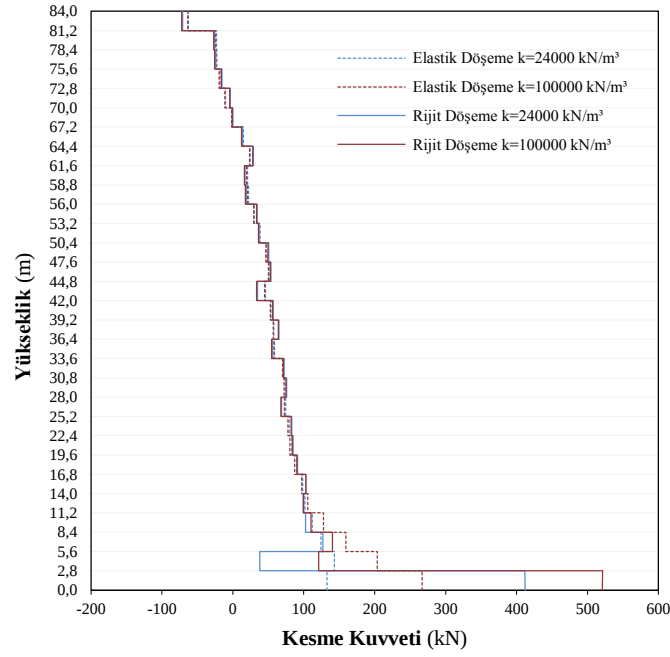
#### 4 Tartışma ve Sonuç

Döşeme rijitliklerinin tanımlandığı modellerde eğilme rijitlikleri birbirinden farklı olan düşey taşıyıcı elemanlar, döşeme düzlemindeki şekil değiştirmeler sebebiyle farklı yatay ötelemelere sahip olabilmektedirler. Bina kat döşemelerinin düzlemlerinde sonsuz rijit kabul edildiği modellerde ise döşemeler düzlemleri içinde şekil değiştiremediğinden binadaki bütün düşey taşıyıcı elemanların her kat seviyesindeki yatay yer değiştirmeleri eşit olmaktadır.

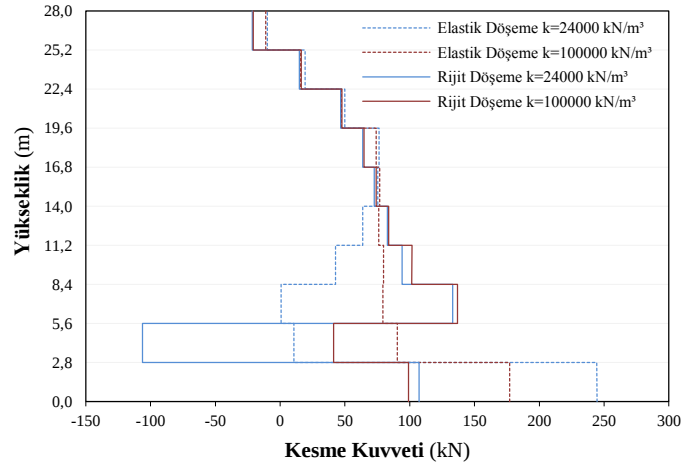
Tablo 2: Rijit döşeme varsayımının 2 numaralı kat planındaki perdelerde oluşan kesme kuvvetlerine etkisi.

| Perde Adı | 10 Kat       |              | 20 Kat       |              | 30 Kat       |              |
|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|           | $B_1$        | $B_2$        | $B_1$        | $B_2$        | $B_1$        | $B_2$        |
| PX1       | 0.10         | 0.11         | <b>0.94</b>  | <b>0.89</b>  | 0.92         | 0.99         |
| PX2       | 0.10         | 0.10         | 0.08         | 0.09         | 0.10         | 0.11         |
| PX3       | <b>0.38</b>  | 0.17         | 0.69         | 0.74         | 0.71         | 0.75         |
| PX4       | -0.01        | <b>-0.03</b> | 0.01         | <b>-0.03</b> | 0.00         | 0.00         |
| PX5       | 0.18         | 0.16         | 0.21         | 0.19         | 0.22         | 0.20         |
| PX6       | 0.20         | 0.18         | 0.22         | 0.22         | 0.24         | 0.24         |
| PX7       | -0.02        | 0.09         | -0.03        | 0.03         | 0.05         | 0.10         |
| PX8       | 0.23         | 0.08         | 0.23         | 0.07         | 0.19         | 0.08         |
| PX9       | 0.24         | 0.19         | 0.28         | 0.24         | 0.30         | 0.27         |
| PX10      | 0.26         | 0.22         | 0.31         | 0.30         | 0.34         | 0.34         |
| PX11      | 0.17         | 0.15         | 0.24         | 0.28         | <b>1.04</b>  | <b>1.10</b>  |
| PX12      | -0.01        | 0.01         | 0.00         | 0.01         | 0.01         | 0.02         |
| PX13      | 0.00         | -0.01        | -0.02        | -0.01        | -0.02        | <b>-0.01</b> |
| PX14      | -0.01        | 0.01         | <b>-0.05</b> | 0.02         | <b>-0.12</b> | 0.02         |
| PX15      | 0.23         | 0.19         | 0.28         | 0.24         | 0.30         | 0.27         |
| PX16      | 0.26         | 0.22         | 0.31         | 0.30         | 0.34         | 0.34         |
| PX17      | 0.38         | 0.17         | 0.69         | 0.74         | 0.71         | 0.75         |
| PX18      | -0.01        | <b>-0.03</b> | 0.01         | <b>-0.03</b> | 0.00         | 0.00         |
| PX19      | 0.18         | 0.16         | 0.21         | 0.19         | 0.22         | 0.20         |
| PX20      | 0.20         | 0.18         | 0.22         | 0.22         | 0.24         | 0.24         |
| PX21      | <b>-0.02</b> | 0.09         | -0.03        | 0.03         | 0.05         | 0.10         |
| PX22      | 0.23         | 0.08         | 0.23         | 0.07         | 0.19         | 0.08         |
| PX23      | 0.11         | 0.10         | <b>0.94</b>  | <b>0.89</b>  | 0.92         | 0.99         |
| PX24      | 0.10         | 0.10         | 0.08         | 0.09         | 0.10         | 0.11         |
| PY1       | 0.12         | 0.11         | 0.19         | 0.62         | 0.89         | 0.90         |
| PY2       | 0.20         | 0.21         | 0.33         | 0.33         | 0.39         | 0.39         |
| PY3       | 0.07         | 0.08         | 0.05         | 0.04         | 0.00         | 0.00         |
| PY4       | 0.12         | 0.14         | 0.21         | 0.22         | 0.26         | 0.26         |
| PY5       | 0.03         | 0.05         | 0.51         | 0.55         | 0.53         | 0.54         |
| PY6       | 0.14         | <b>0.25</b>  | 0.29         | 0.31         | 0.30         | 0.32         |
| PY7       | 0.03         | 0.04         | 0.33         | 0.51         | 0.78         | 0.76         |
| PY8       | 0.16         | 0.14         | 0.18         | 0.16         | 0.17         | 0.17         |
| PY9       | <b>-0.02</b> | 0.09         | <b>-0.05</b> | 0.10         | 0.04         | 0.11         |
| PY10      | 0.03         | 0.04         | 0.33         | 0.51         | 0.78         | 0.76         |
| PY11      | <b>-0.02</b> | 0.09         | <b>-0.05</b> | 0.10         | 0.04         | 0.11         |
| PY12      | 0.16         | 0.14         | 0.18         | 0.16         | 0.17         | 0.17         |
| PY13      | 0.03         | 0.05         | 0.51         | 0.55         | 0.53         | 0.54         |
| PY14      | 0.14         | <b>0.25</b>  | 0.29         | 0.31         | 0.30         | 0.32         |
| PY15      | 0.08         | 0.08         | 0.05         | 0.04         | 0.00         | 0.00         |
| PY16      | 0.12         | 0.14         | 0.21         | 0.22         | 0.26         | 0.26         |
| PY17      | 0.13         | 0.12         | 0.20         | 0.62         | 0.89         | 0.90         |
| PY18      | 0.20         | 0.21         | 0.33         | 0.33         | 0.39         | 0.39         |

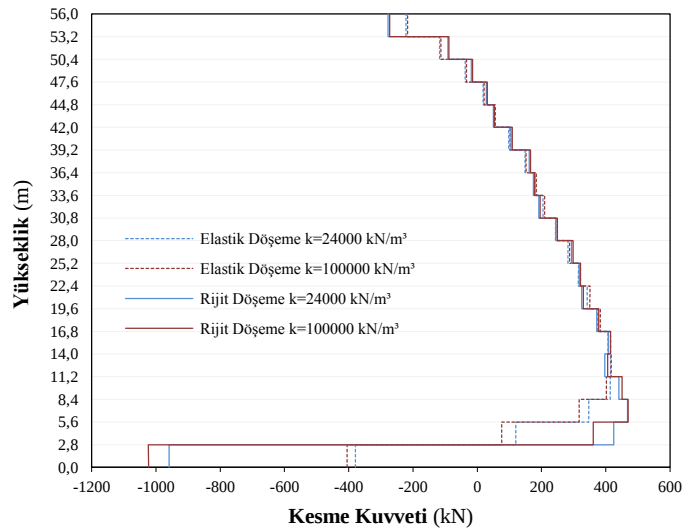
Uç değerler koyu harflerle işaretlenmiştir.



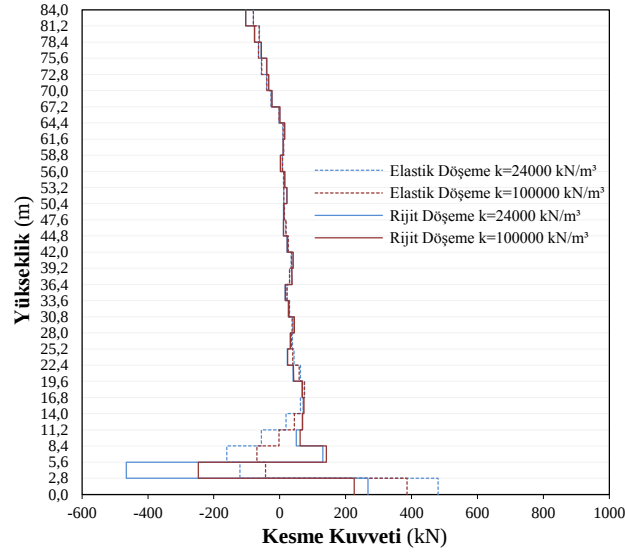
Şekil 5: 1 numaralı kat planının 30 katlı modellerindeki PX24 perdesinin kesme kuvveti grafiği.



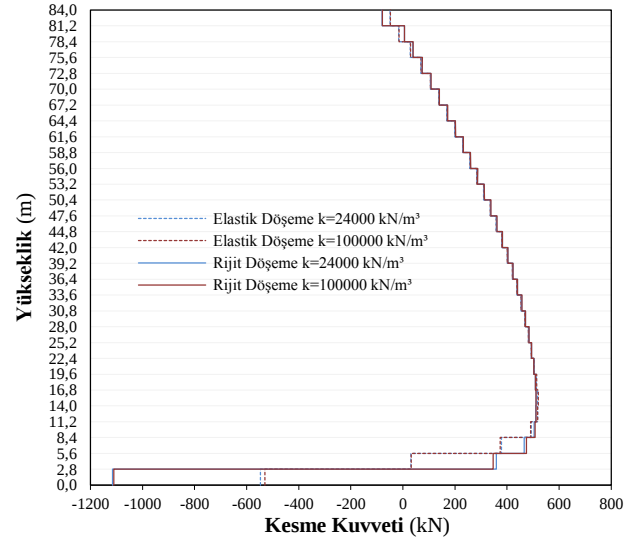
Şekil 6: 1 numaralı kat planının 10 katlı modellerindeki PY24 perdesinin kesme kuvveti grafiği.



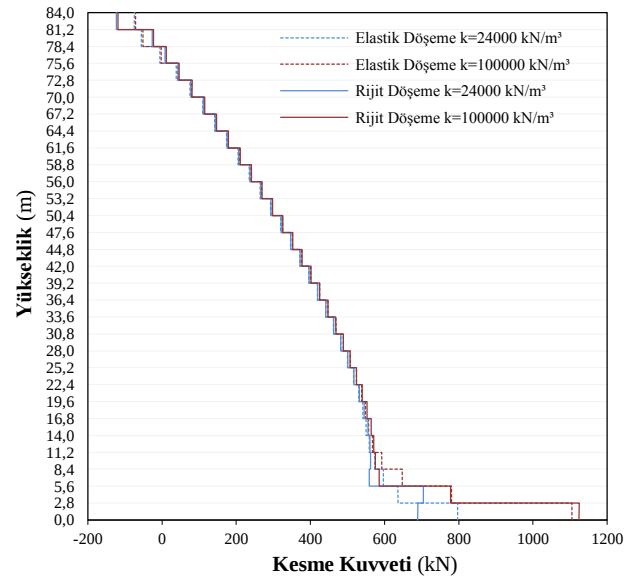
Şekil 7: 1 numaralı kat planının 20 katlı modellerindeki PX19 perdesinin kesme kuvveti grafiği.



Şekil 8: 1 numaralı kat planının 30 katlı modellerindeki PY23 perdesinin kesme kuvveti grafiği.



Şekil 9: 2 numaralı kat planının 30 katlı modellerindeki PX11 perdesinin kesme kuvveti grafiği.



Şekil 10: 2 numaralı kat planının 30 katlı modellerindeki PX14 perdesinin kesme kuvveti grafiği.

Mevcut çalışma kapsamında doğrusal elastik analizlerle incelenen modellerin bazı perdelerinde rijit döşeme varsayımı sonucu %188'e varan oranlarda daha büyük kesme kuvvetleri oluşurken, bazı perdelerinde ise %45'e varan oranlarda daha küçük kesme kuvvetleri oluşmaktadır. Bu etkinin sebebi; eğilme rijitliği, döşemelerin düzlem içi rijitliğine oranla yüksek olduğu halde perde duvarların eşit yatay ötelemeye zorlanması ve döşemelerin düzlem içi gerilmelerinin ihmal edilmesidir. Çalışma kapsamında incelenen modellerde rijit döşeme varsayımının en etkili olduğu katlar, kat planının dolayısı ile düşey elemanlardaki eğilme rijitliğinin değiştiği katlar olduğu söylenebilir. Rijitlik değişimi ise örneğin radye temelden normal bodrum kat döşeme plağına, zeminle etkileşimli bir borum kattan giriş kata geçişte kat yüksekliği fazla olabilen giriş kattan normal katlara geçişte, kat döşeme plağının bir alt kata göre değiştiği geçişlerde, dolayısı ile en üst katta, asma kat olan geçiş bölgelerinde söz konusudur. Özetle düşey eleman rijitliklerinin ve kat plağı geometrisinin değiştiği kısımlar olarak tanımlanabilir. Çalışma kapsamında incelenen modellerde rijit döşeme varsayımının en etkili olduğu katlar, perde duvarlarda en büyük kesme kuvvetlerinin olduğu 1. ve 2. katlardır.

Rijit ve esnek döşeme modelleri ile yapılan analizlerin sonuçları ve karşılaştırmaları incelendiğinde, rijit döşeme varsayımı sonucu, perdelerin genelinde daha büyük kesme kuvvetleri elde edilmesine rağmen, bazı perdelerde yapısal güvenliği etkileyebilecek oranlarda daha küçük kesme kuvvetlerinin de elde edildiği görülmüştür. Çalışmada kullanılan modellerde dış akslara yakın bulunan ve birbirine saplanan perdeler ile aynı doğrultu eksen üzerinde bulunup birbirine yakın olan perdelerde daha düşük kesme kuvvetleri elde edilmekle birlikte çok sayıda parametre ile etkileşen sonuçlar için bazı basit kurallar getirmek yeterli olmayabilir. Taşıyıcı sistem tasarımının, yapısal analizler sonucunda elde edilen kesit tesirleri kullanılarak ve eleman bazında yapıldığı düşünüldüğünde, bir eleman için hesaplanan kesit tesirlerinin, gerçek tesirlerden küçük olması elemanın yetersiz dayanımla tasarlanmasına sebep olmakta ve yapı genelinin yapısal güvenliğini olumsuz etkilemektedir.

Perde ve perde-çerçevelerden oluşan yapısal sistemlerin düşey elemanlarının eğilme rijitliklerindeki fark, döşemelerde düzlemsel gerilmelere ve şekil değiştirmelere neden olmaktadır. Eğilme rijitliği diğerlerine kıyasla büyük olan düşey elemanlar konsol (eğilme) davranışı göstermekte, eğilme rijitliği küçük olanlar ise kayma davranışı göstermektedir. Bireysel olarak farklı davranışlar ve şekil değiştirmeler gösteren bu elemanların yer değiştirmeleri kiriş ve döşeme gibi yatay elemanların mevcudiyeti ile döşeme düzleminde büyük ölçüde eşit yer değiştirmelere zorlanmaktadır. Bu durumda kiriş, döşeme plağı ve hatta merdivenlerde rijit döşeme varsayımına kıyasla oldukça farklı düzlemsel gerilme dağılımı ve yer değiştirmeler oluşabilmektedir. Söz konusu etkiler rijit döşeme varsayımında görülememekte ve bu etkilere karşı herhangi bir ilave detay düşünülmemektedir. Bu etki bazı yapısal sistemlerde (özellikle tamamen yatay olmayan kiriş döşeme) gibi elemanlarda asla göz ardı edilmemesi gereken davranışlara neden olmaktadır. Yaygın olarak tasarlanan yapısal sistemlerde dahi bu etki küçümsenemeyecek sonuçlar oluşturabilmektedir. Örneğin rijit döşeme varsayımı ile yapılan analizlerde, kirişlerde aksel yükler görülememi için tasarımda ilave bir detay düşünülmemektedir. Bu tür analizler

emniyetsiz bir tasarımla sonuçlanabilmektedir. Yapısal elemanlarda doğru olmayan kesit tesiri dağılımları sonucunda yapılan tasarımın da daha ekonomik olduğu söylenemez. Rijit döşeme varsayımında düşey elemanların davranışı bir başka nedenle de etkilenmektedir. Bu neden karmaşık en kesit geometrilerine sahip perde duvarların gerçek kesit özelliklerinin (kayma merkezi, asal eksenler ve benzeri) doğru tanımlanamamasıdır.

İki farklı zemin türü ile yapılan analiz sonuçları incelendiğinde, zemin rijitliğinin rijit döşeme varsayımı sonucu oluşan etkiler üzerinde belirleyici olmadığı görülmüştür. Üç farklı kat sayısı ile yapılan analizler sonucunda ise genel bir kural olmamakla birlikte kat sayısı arttıkça rijit döşeme varsayımı sonucu oluşan etkilerin de artma eğiliminde olduğu ve bu eğilimin kat sayısı ile doğru orantılı olmadığı söylenebilir.

Rijit döşeme varsayımı sonucu kesme kuvvetlerinde oluşan farklar yapısal güvenliği olumsuz etkileyebilecek düzeylere ulaşabilmektedir. Bu sebeple eğilme rijitliği yüksek düşey taşıyıcı elemanlar bulunduran sistemlerde, rijit döşeme varsayımı bir modelleme alışkanlığı olarak değil, binanın yapısal davranışı göz önünde bulundurularak kullanılmalıdır.

Gerçek davranışa oranla daha yüksek dayanımla tasarlanan elemanların inşaat maliyetlerine olan etkisinin incelenmesi ise ayrı bir araştırma konusudur.

## 5 TEŞEKKÜR

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliği'nin 10211 numaralı projesi ile desteklenmiştir. Yazarlar, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkürlerini sunar.

## 6 KAYNAKLAR

- [1] Çıtıptıoğlu E, Boz CT. "Çok Katlı Betonarme Yapıların Yatay Yük Analizi için Modellenmesi". *Türkiye İnşaat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi*, Ankara, Türkiye, 16-20 Kasım 1987.
- [2] Macleod IA. *Shear Wall-Frame Interaction: A Design Aid. Engineering Bulletin*. 3<sup>rd</sup> ed. California, USA, Portland Cement Association, 1970.
- [3] Wilson EL, Dovey HH. "Three Dimensional Analysis of Building Systems-TABS". University of California, College of Engineering, Earthquake Engineering Research Center, California, Berkeley, USA, 1972.
- [4] Ju SH, Lin MC. "Comparison of Building Analyses Assuming Rigid or Flexible Floors". *Journal of Structural Engineering*, 125(1), 25-31, 1999.
- [5] Bayındırlık ve İskân Bakanlığı. "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik". Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 2007.
- [6] Muto K. *A Seismic Design Analysis of Buildings*. Tokyo, Japan, Maruzen Co. Ltd., 1974.
- [7] Karadoğan HF. "Earthquake Analysis of 3D Structures with Flexible Floors". *7<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering*, İstanbul, Turkey, 8-12 September 1980.
- [8] Nakashima M, Huang T, Lu LW. "Effect of Diaphragm Flexibility on Seismic Response of Building Structures". *8<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering*, San Francisco, California, USA, 21-28 July 1984.
- [9] Saffarini HS, Qudaimat MM. "In-Plane Floor Deformations in RC Structures". *Journal of Structural Engineering*, 118(11), 3089-102, 1992.

- [10] Çelik T, Öztörün NK. "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik ile İlgili Tartışma". *Türkiye İnşaat Mühendisliği XV. Teknik Kongresi*, Ankara, Türkiye, 24-26 Kasım 1999.
- [11] Barron JM, Hueste MBD. "Diaphragm Effects in Rectangular Reinforced Concrete Buildings". *ACI Structural Journal*, 101(5), 615-624, 2004.
- [12] Bulgu NN. Tünel Kalıpla İnşa Edilen Binaların Deprem Yükleri Etkisindeki Davranışının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [13] Sucu Ö. Tünel Kalıplarla İnşa Edilen Tamamen Perdeli Betonarme Yapıların Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye, 2006.
- [14] Öztörün NK, Citipitioglu E, Akkas N. "Three Dimensional Finite Element Analysis of Shear Wall Buildings". *Computers and Structures*, 68(1-3), 41-55, 1998.
- [15] Öztörün NK. "Perde Duvarlı Yüksek Yapıların Bilgisayarla Analizi için Üç Boyutlu Bir Yöntem". *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 12(2), 167-181, 1997.
- [16] Öztörün NK. "A Rectangular Finite Element Formulation". *Finite Elements in Analysis and Design*, 42(12), 1031-1052, 2006.