

**BOŞLUKLU PERDELERİN MODELLENMESİ**

**Mehmet Reşat DEMİR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEMMUZ 2008**

**ANKARA**

Mehmet Reşat DEMİR tarafından hazırlanan BOŞLUKLU PERDELERİN MODELLENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Meral BEGİMGİL .....  
Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Hüsnü CAN .....  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Meral BEGİMGİL .....  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr. Mehmet Emin TUNA .....  
Mimarlık Anabilim Dalı, G.Ü.

Tarih: 08 / 07 / 2008

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN .....  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yaptığımı bildiririm.

Mehmet Reşat DEMİR

**BOŞLUKLU PERDELERİN MODELLENMESİ****(Yüksek Lisans Tezi)****Mehmet Reşat DEMİR****GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ****Temmuz 2008****ÖZET**

Mimari veya başka amaçlarla betonarme perdelerde boşluk açılması genel bir uygulamadır. Boşluklu perde duvarların dayanım ve rijitlik bakımından olumlu özelliklere sahip olmasının yanı sıra boşluksuz perde duvarlara göre daha sünek davrandığı bilinmektedir.

Bu çalışmada, boşlukların perde üzerindeki etkileri ve boşluklu perdelerin yapısal davranışları üzerinde durulmuştur. Bu amaçla, boşluklu perdelerin elastik analizini yapabilmek için uygulanabilecek hesap yöntemleri sunulmuştur. SAP2000 bilgisayar programı yardımıyla, boşluklu perdelerin efektif rijitliğine ve seçilen noktalardaki gerilmelerin değişimine bakılmıştır. Analizler aynı karakteristiklerde fakat farklı boşluk oranları ve kat sayısına sahip perdeler kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar çizelgeler ve grafikler yardımıyla sunulmuştur.

**Bilim Kodu : 911.1.144**  
**Anahtar Kelimeler : Perde, boşluklu perde, modellenme, sonlu elemanlar**  
**Sayfa Adedi : 70**  
**Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Meral BEGİMGİL**

**MODELLING OF SHEAR WALLS WITH OPENINGS****(M.Sc. Thesis)****Mehmet Reşat DEMİR****GAZI UNIVERSITY****INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY****July 2008****ABSTRACT**

Openings due to architectural or any other reason in R/C shear walls are a common phenomenon. Besides having a good rigidity and strength performance, they are known to behave more ductile than shear wall without openings.

In this study, effects of openings on shear walls and structural behavior of shear walls with openings are considered. In line with this purpose, the calculation method elastic analysis of shear walls with openings are presented. Effective rigidity and stress variations of shear wall with openings on selected points are observed by means of a computer program SAP2000. The investigations have been conducted on the shear walls with similar characteristics, but having different opening ratios and different number of the stories. The results obtained have been illustrated by means of tables and diagrams.

**Science Code** : 911.1.144  
**Key Words** : Shear wall, shear wall with opening, modelling, FEM  
**Page Number** : 70  
**Adviser** : Asst. Prof. Dr. Meral BEGİMĞİL

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Yrd. Doç. Dr. Meral BEĞİMGİL' e, ayrıca tecrübelerinden faydalandığım iş arkadaşım İnş. Yük. Müh. Cahit YALDUZ' a ve vermiş olduğu destekle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli arkadaşım Araőtırma Görevlisi Mahmut Cem YILMAZ' a teőekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ .....	1
2. YATAY YÜKLER ALTINDA YAPI DAVRANIŞININ İNCELENMESİ.....	3
2.1. Giriş.....	3
2.2. Çerçevesel .....	4
2.3. Perdeler .....	5
2.4. Boşluklu Perdeler .....	6
2.4.1. Boşluklu perde tipleri.....	9
2.4.2. Boşluklu perde duvarların eğilme ve kayma rijitliği.....	10
2.4.3. Boşluklu perde kolonlarında oluşan kesme kuvveti.....	13
3. BOŞLUKLU PERDE MODELLENMELERİ.....	14
3.1. Sürekli Bağlantı Metodu .....	15
3.2. Eşdeğer Çerçeve Metodu .....	17
3.3. Sonlu Elemanlar Metodu İle Modelleme .....	22
4. UYGULAMALAR VE ANALİZ SONUÇLARI .....	25
4.1. Seçilen Model Boyutları ve Malzeme Özellikleri.....	25

**Sayfa**

4.2. Seçilen Kat Yükleri ve Katlara Etkiyen Deprem Kuvvetleri .....	25
4.3. Model Tipleri .....	26
4.4. Kullanılan Çözüm Ağı, Yükleme ve Mesnet Şartları .....	29
4.5. Analiz Sonuçları.....	30
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	57
KAYNAKLAR .....	60
EKLER.....	62
EK-1 Dört katlı dolu perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki gerilmelerin karşılaştırılması .....	63
EK-2 Bazı analiz modellerinden elde edilen deplasmanların ve kesit tesirlerinin karşılaştırılması.....	66
EK-3 Katlara etkiyen deprem yükleri .....	69
ÖZGEÇMİŞ .....	70

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Bir katlı boşluklu perdede boşluk oranına göre $I_e/I_o$ değişimi .....	30
Çizelge 4.2. İki katlı boşluklu perdede boşluk oranına göre $I_e/I_o$ değişimi .....	30
Çizelge 4.3. Dört katlı boşluklu perdede boşluk oranına göre $I_e/I_o$ değişimi .....	31
Çizelge 4.4. Sekiz katlı boşluklu perdede boşluk oranına göre $I_e/I_o$ değişimi.....	31
Çizelge 4.5. Oniki katlı boşluklu perdede boşluk oranına göre $I_e/I_o$ değişimi .....	31
Çizelge 4.6. Onaltı katlı boşluklu perdede boşluk oranına göre $I_e/I_o$ değişimi .....	32
Çizelge 4.7. Yirmi katlı boşluklu perdede boşluk oranına göre $I_e/I_o$ değişimi.....	32
Çizelge 4.8. Dört katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki düşey normal gerilmeler.....	37
Çizelge 4.9. Sekiz katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki düşey normal gerilmeler.....	38
Çizelge 4.10. Oniki katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki düşey normal gerilmeler.....	39
Çizelge 4.11. Onaltı katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki düşey normal gerilmeler.....	40
Çizelge 4.12. Yirmi katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki düşey normal gerilmeler.....	41
Çizelge 4.13. Dört katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki kayma gerilmeleri.....	47
Çizelge 4.14. Sekiz katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki kayma gerilmeleri.....	48
Çizelge 4.15. Oniki katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki kayma gerilmeleri.....	49
Çizelge 4.16. Onaltı katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki kayma gerilmeleri.....	50

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 4.17. Yirmi katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki kayma gerilmeleri.....	51

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Çerçeve kayma tipi şekil değiştirme .....	4
Şekil 2.2. Dolu perdelerde eğilme tipi şekil değiştirme .....	6
Şekil 2.3. Boşluklu perdeler .....	7
Şekil 2.4. Perdede boşluk türleri .....	7
Şekil 2.5. Bağ kirişinin rijitliğine göre perde kesitindeki gerilme dağılımı.....	8
Şekil 2.6. Boşluklu perdelerde şekil değiştirme .....	9
Şekil 2.7. Dolu ve boşluklu perdenin tepe noktasında oluşan deplasmanlar .....	12
Şekil 2.8. Bir, iki ve üç boşluklu perdelerde oluşan perde eksenel kuvvetleri .....	13
Şekil 3.1. $\sigma$ - $\epsilon$ ilişkisi.....	14
Şekil 3.2. Sürekli bağlantı yöntemi .....	16
Şekil 3.3. Eşdeğer çerçeve metodu .....	18
Şekil 3.4. Bağ kirişine ait modeller .....	18
Şekil 3.5. Perdenin yatay yük altında şekil değiştirmesinde model düzlem kesitler .....	19
Şekil 3.6. Boşluklu perde bağ kirişinin yatay yükler altındaki şekil değiştirmesi.....	20
Şekil 3.7. Boşluklu perde bağ kirişini eşdeğer prizmatik kirişe dönüştüren uyarlama katsayısının ( $w/l$ ) e göre değişimi .....	22
Şekil 3.8. Boşluklu perdede sonlu elemanlar ağı .....	24
Şekil 4.1. 1 katlı, 2 katlı, 4 katlı, 8 katlı, 12 katlı, 16 katlı ve 20 katlı boşluklu perdeler .....	26
Şekil 4.2. Perdede oluşturulan pencere tipi boşluk (Tip 1).....	27
Şekil 4.3. Perdede oluşturulan kapı tipi boşluk (Tip 2).....	28

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.4. Boşluklu perdede oluşturulan 30x30 luk sonlu elemanlar ağı.....	29
Şekil 4.5. Kat seviyesindeki yükün düğüm noktalarına dağıtılması .....	29
Şekil 4.6. Kat adedine ve boşluk oranına göre $I_e/I_o$ değişimi (Pencere tipi boşluklu perdede).....	33
Şekil 4.7. Kat adedine ve boşluk oranına göre $I_e/I_o$ değişimi (Kapı tipi boşluklu perdede).....	34
Şekil 4.8. Seçilen [1-2] doğrultusunun ve sonlu elemanlar ağının gösterimi .....	35
Şekil 4.9. Gerilme dağılımları örneği (4 katlı dolu perde).....	36
Şekil 4.10. Gerilme dağılımları örneği (4 katlı, $b/B=2/12$ , pencere tipi boşluklu perde).....	36
Şekil 4.11. Dört katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki düşey normal gerilmeler .....	42
Şekil 4.12. Sekiz katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki düşey normal gerilmeler .....	43
Şekil 4.13. Oniki katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki düşey normal gerilmeler .....	44
Şekil 4.14. Onaltı katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki düşey normal gerilmeler .....	45
Şekil 4.15. Yirmi katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki düşey normal gerilmeler .....	46
Şekil 4.16. Dört katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki kayma gerilmeleri.....	52
Şekil 4.17. Sekiz katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki kayma gerilmeleri.....	53
Şekil 4.18. Oniki katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki kayma gerilmeleri.....	54
Şekil 4.19. Onaltı katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki kayma gerilmeleri.....	55

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.20. Yirmi katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki kayma gerilmeleri.....	56

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>a</b>	Perdede açılan boşluk alanı
<b>A</b>	Boşluksuz perdenin yüzey alanı
<b>A<sub>o</sub></b>	Etkin yer ivmesi katsayısı
<b>b</b>	Perde aksında seçilen boşluk genişliği
<b>B</b>	Perde genişliği
<b>C</b>	Deprem yükü katsayısı
<b>d</b>	Boşluk yüksekliği
<b>E</b>	Elastisite modülü
<b>GA</b>	Kayma rijitliği
<b>h</b>	Kat yüksekliği
<b>H</b>	Perde yüksekliği
<b>I</b>	Bina önem katsayısı
<b>I'</b>	Kiriş eşdeğer eylemsizlik momenti
<b>I<sub>b</sub></b>	Bağ kirişinin atalet momenti
<b>I<sub>c</sub></b>	Perde kolonun atalet momenti
<b>I<sub>e</sub></b>	Boşluklu perde efektif atalet momenti
<b>I<sub>o</sub></b>	Boşluksuz perde atalet momenti
<b>k</b>	Redör
<b>K</b>	Eğilme rijitliği
<b>K<sub>i</sub></b>	Boşluk kenarındaki i'inci perde eğilme rijitliği
<b>l</b>	Eleman boyu
<b>M</b>	Moment
<b>n</b>	Boşluklu perdenin içindeki perde-kolon sayısı
<b>N</b>	Perde eksenel kuvveti

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>P</b>	Eşdeğer boşluk çevresi alanı
<b>R</b>	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
<b>S</b>	Statik moment
<b>S(T)</b>	Spektrum katsayısı
<b>T</b>	Perde kolonların aldığı kesme kuvveti
<b>W</b>	Kat ağırlığı
<b>t</b>	Perde kalınlığı
<b>w</b>	Perdede perde aksına kadarki kiriş uzantısı
<b>V</b>	Deprem yükü
<b><math>\gamma</math></b>	Kayma rijitliği azaltma katsayısı
<b><math>\varepsilon</math></b>	Birim şekil değiştirme
<b><math>\theta</math></b>	Eleman kesitinde oluşan yatay dönme açısı
<b><math>\delta_o</math></b>	Boşluksuz perdede oluşan deplasman
<b><math>\delta_e</math></b>	Boşluklu perdede oluşan deplasman
<b><math>\sigma</math></b>	Normal gerilme
<b><math>\tau</math></b>	Kayma gerilmesi
<b><math>\nu</math></b>	Poisson oranı

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>BP</b>	Boşluklu Perde
<b>DP</b>	Dolu Perde (Boşluksuz Perde)
<b>FEM</b>	Sonlu Elemanlar Metodu
<b>KK</b>	Küçültme Katsayısı
<b>UK</b>	Uyarlama Katsayısı

## 1.GİRİŞ

Bu çalışmada boşluklu perdelerin yatay yükler altında göstermiş oldukları davranışları incelenmiş, hesap yöntemleri sunulmuş, yapılan uygulamalar ile de boşluk oranı ve kat sayısının değişimine bağlı olarak boşluklu perdenin yanal ötelenme davranışının, efektif rijitliğinin ve seçilen noktalardaki gerilmelerin değişimine SAP2000 yapısal analiz programı yardımıyla bakılmıştır.

Bu çalışma beş bölümden oluşmuştur.

Birinci bölümde çalışmanın kapsamı hakkında bilgi verilmiştir.

İkinci bölümde taşıyıcı elemanların yapısal davranışı ve birbirleri ile olan etkileşimi tartışılmış; perde, çerçeve ve boşluklu perde davranışı incelenmiştir.

Betonarme perdeler, yatay yükler altında göstermiş oldukları olumlu katkılarından dolayı günümüzde sıklıkla kullanılan yapı elemanlarından. Yapının sistem rijitliğine katkıda bulunan bu elemanlar, dolu gövdeli veya boşluklu olarak teşkil edilirler.

Boşluklu perdeler, perdede mimari nedenlerle açılan kapı, pencere, vb boşlukların açılmasıyla veya perdelerin bağ kirişleri ile birbirlerine bağlanması ile oluşturulur. Dolu gövdeli perdeler bir tür eğilme kirişi davranışı sergilerken boşluklu perdelerde bu davranış; eğilme ve kayma tipi şekil değiştirmesi arasında oluşur. Boşluklu perdeler dolu perdelerin olumlu özelliklerini gösterirken boşluklar sayesinde de dolu perdeler göre daha sünek bir davranış sergilerler.

Üçüncü bölümde, boşluklu perdelerin modellenme yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. 1960'lı yıllardan itibaren boşluklu perdelerin elastik analizi üzerine önce analitik yöntemler sonraki zamanlarda da sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak araştırmalar yapılmıştır.

Boşluklu perde duvarların çözümlene teknikleriyle ilgili üç yaklaşım vardır;

Birinci yaklaşım, bağ kirişlerinin sürekli bir tabaka ile modellenmesi esasına dayanan sürekli ortam modellenmesidir. Bu yöntem, çeşitli varsayımlarla elde edilen diferansiyel denklemlerin çözümünü içermekte ve yaklaşık sonuçlar vermektedir [1,2].

İkinci yaklaşım, perde duvarların çerçeve elemanı gibi modellendiği eşdeğer çerçeve benzeşimi modellenmeleridir. Bu metot uygulamadaki basitliği nedeniyle pratikte yaygın olarak kullanılmaktadır. Perdelerin bir tür geniş kolon olarak idealize edildiği geniş kolon yönteminde bağlantı kirişleri çerçeve kirişleri gibi perde elemanlara bağlanmaktadır [3]. Stafford Smith ve Girgis tarafından çerçeve benzeşimine dayanan modeller geliştirilmiştir [4]. Çerçeve benzeşimlerinde bazı hallerde çerçeve elemanı duvarın davranışını tam olarak yansıtamamaktadır.

Üçüncü yaklaşım, Sonlu Elemanlar Metoduna dayanan hesap yöntemleridir. Sonlu Elemanlar Metodunun uygulanması ile boşluklu perde duvarlarının daha gerçekçi çözümlerini yapmak mümkündür. Ancak bu yöntemde de eleman tipinin seçimi, bilgisayar kapasitesi ve modellenmede zorluklar ile karşılaşmaktadır [5]. Macleod perde elemanda düzlem sonlu elemanlar ağı oluşturmuş ve kiriş elemanları duvar elemanlarına bağlamıştır [6]. Chan ve Cheung da çalışmalarında perde elemanları dikdörtgen sonlu elemanlarla modellemişlerdir [7].

Dördüncü bölüm kapsamında uygulamalar ve analiz sonuçları SAP 2000 yapısal analiz programı yardımıyla oluşturulmuştur. Yatay yükler etkisindeki oluşturulan boşluklu perde modellerine ait analiz sonuçları çizelgeler ve grafikler yardımıyla sunulmuştur.

Beşinci bölüm kapsamında sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

## 2. YATAY YÜKLER ALTINDA YAPI DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

### 2.1. Giriş

Yatay yükler altında yapı sisteminde üç boyutta da hareketlenmeler oluşacaktır. Özel durumlar dışında yapı sistemindeki düşey doğrultudaki hareketler ihmal edilirler. Nitekim düşey yük taşıma kapasitesi emniyet faktörleriyle yeterli olabilecektir.

Deprem etkisinde yapıda meydana gelen yanıl ötelenmelerle oluşan hareketler yapı sisteminde ivmeler oluşturur ve bu da kütleyle bağılı olarak kuvvetler oluşturacaktır.

Taşıyıcı sistem üzerinde oluşan deprem etkilerinin şiddeti yapının kütleline, doğal periyoduna (kütleline ve ötelenme rijitliğinin bir fonksiyonu olarak), yer ivmesine ve zemin ile olan etkileşimine bağılıdır.

Deprem etkisiyle oluşan bu kuvvetlerin etkisiyle yapıda meydana gelen hareketlenmeler, yapıda iş yapma potansiyeli olarak tanımlanabilir [8].

Yapının enerji tüketimi değışik şekillerde oluşmaktadır. Bunlar;

- Taşıyıcı sistemin ötelenmesi,
- Çatlakların oluşumu,
- Plastik mafsalların oluşumu,
- Bölme duvarların çatlaması, ezilmesi,
- Moleküller arası sürtünmelerden oluşan ısı şeklinde sıralanabilir.

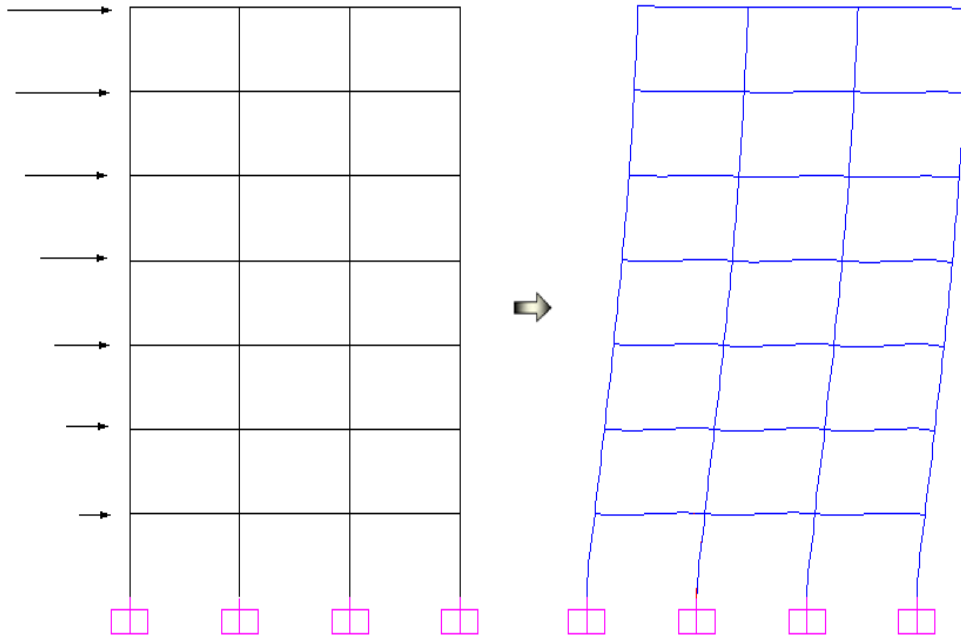
Bu sıralanan olaylar deprem enerjisini dengeleyecek şekilde oluşurken yıkılma veya çökme gibi insan hayatını tehlikeye sokan durumlar oluşmamalıdır.

Yatay yükler altında yapı davranışlarının sınıflandırılması hesapları basitleştirmek için yapılmaktadır. Bu bölüm kapsamında taşıyıcı sistemlerin ötelenme davranışları hakkında durulmuştur.

## 2.2. Çerçeveseler

Çerçeveseler yatay yüklere karşı dayanımı düğüm noktalarındaki elemanların rijitlikleri ile sağlayan taşıyıcı sistemlerdir [9].

Çerçeveselerin şekil değiştirmesinde kayma modu hakimdir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Çerçeve kayma tipi şekil değiştirme

Çerçevesel yapılarda döşeme, kiriş ve kolonların birleştikleri kat düzeylerinde rijitlik çok büyümekte, kat hizasında çerçeve rijitliği kolonların toplam rijitliğine eşit olmaktadır. Çerçeveselerde katların yatay yer değiştirmelerini kolon ve kirişlerin eğilmesi ile kolonların aksenal şekil değişimleri oluşturur.

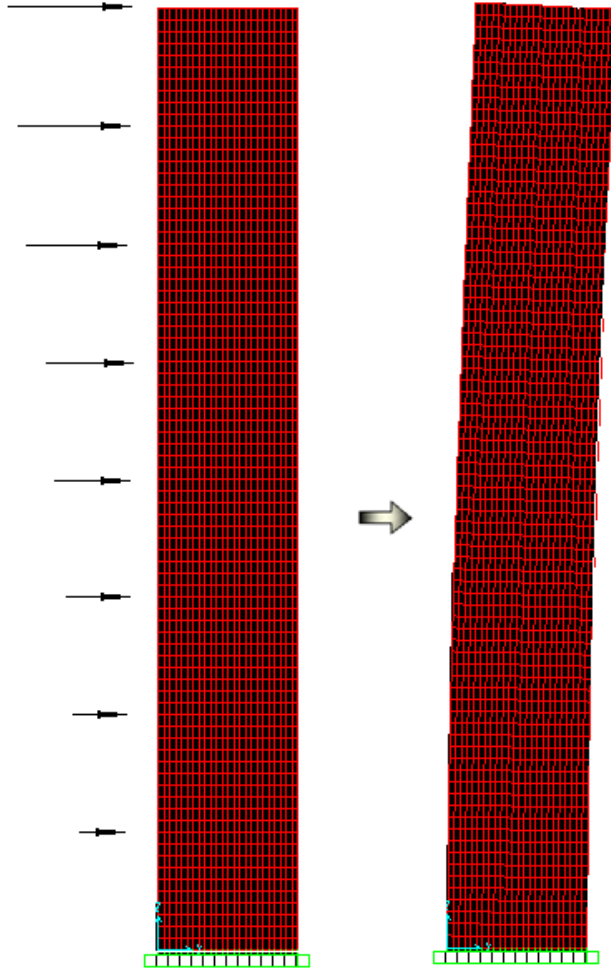
Çerçevesel sistemde Şekil 2.1'de şekil değiştirme biçiminden anlaşılacağı üzere görece yatay kat ötelenmeleri aşağıdan yukarıya doğru azalmaktadır.

### 2.3. Perdeler

Çerçevesel sistemlerde yapı yüksekliği arttıkça yatay yük taşıma kapasitesi azalmakta; deplasmanları belirli bir sınırdan tutabilmek ve yeterli dayanım sağlamak için yatay yük taşıyıcı yapı elemanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Yapı sistemlerinde sistem rijitliğini arttırmak için sisteme boşluklu veya boşluksuz perdeler belli bir simetriyle yerleştirilmekte; perde-çerçeve veya tamamen perdelerden oluşan sistemler oluşturulmaktadır.

Perdeler bilindiği üzere plandaki boyutlarından birinin diğerine oranı en az 7 (yedi) olan yapı elemanlarıdır. Narin olmaları nedeniyle yanal stabilite sorunu ortaya çıkabileceği düşünülse de kat döşemeleri rijitleştirici olarak etkir ve yeterli yanal dayanım meydana gelir.

Dolu gövdeli perdelerin rijitlikleri, dış etkilerden oluşan gerilme ve şekil değiştirmeler belirlenirken eğilme teorisi kullanılır. Dolu perdelerin şekil değiştirmesinde eğilme tipi şekil değiştirme gözlenir (Şekil 2.2).

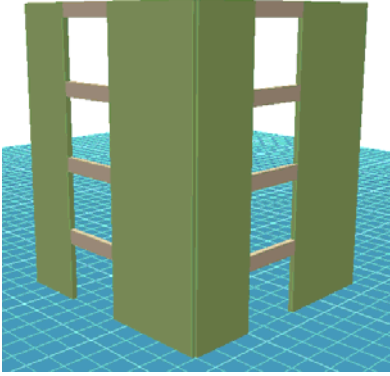


Şekil 2.2. Dolu perdelerde eğilme tipi şekil değiştirme

#### 2.4. Boşluklu Perdeler

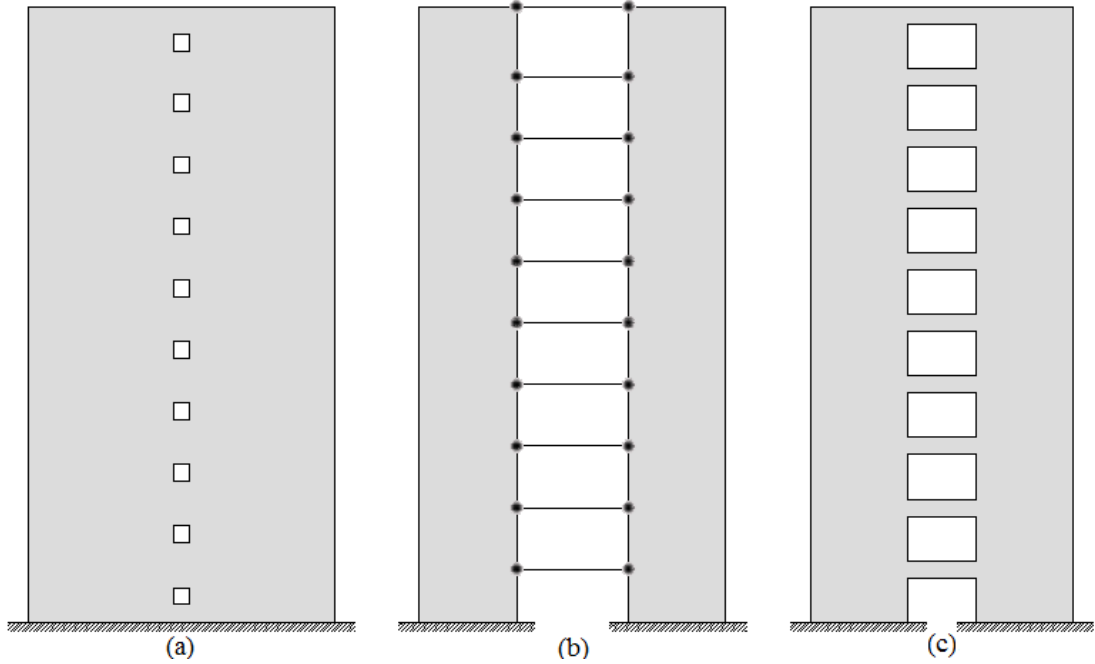
Boşluklu perdeler, dolu perdelerde mimari (kapı, pencere, vb.) veya tesisat amaçlı boşlukların açılmasıyla veya perde duvarların bağ kirişleri ile bağlanması sonucu oluşan yapı elemanlarıdır (Şekil 2.3).

Dolu perdelerde boşlukların açılması ile perde sistemi bir tür kolon ve kirişlerden oluşan çerçeve sistemine benzer. Boşluk ile perde elemanlarda oluşan rijit perde kolonlar kirişlerin çift eğrilikli şekil değiştirmesini sağlar [3]. Bağlantı kirişlerinde oluşabilecek plastik şekil değiştirmeler, boşluksuz sisteme göre sistemde sünekliği arttırmaktadır.



Şekil 2.3. Boşluklu perdeler

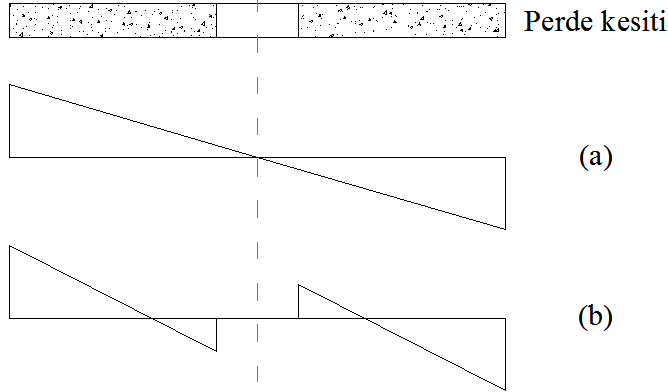
Boşluklu perdede boşluğun türüne göre üç değişik hal gözlenir [5]. Perdedeki boşlukların çok küçük olduğu ve bunların perdenin monolitik durumunu etkilemeyeceği varsayılabilen durumlarda, perde duvar boşluksuz konsol kiriş olarak kabul edilip çözümlenebilir (Şekil 2.4). Burada sistem tamamen izostatik olup devrilme momenti perde kesitinde aksenal gerilmelere dönüşür ve ayrıca bir aksenal kuvvet oluşmaz. Kesme kuvveti de perde kesitinde kayma gerilmeleri oluşturur.



Şekil 2.4. Perdede boşluk türleri

- a. İhmal edilebilen boşluklar
- b. Uçtan mafsallı veya eğilme rijitliği çok az olan bağ kirişleri
- c. (a) ve (b) halleri dışındaki durum

İkinci bir hal ise Şekil 2.4’de gösterildiği gibi bağ kirişlerinin uçlarında mafsallı olması veya bağ kirişlerinin eğilme rijitliğinin ihmal edilebilmesidir. Bu durumda, bağ kirişleri kesme kuvveti ve moment almayacağından sistem uygun yatay deplasman yapan iki ayrı konsol olarak çözümlenebilir. Yatay kuvvetler bağ kirişleri tarafından bir konsoldan diğerine aktarılır. Perdelerde aksenal kuvvet oluşmaz, her perdede birinci durumdakine benzer şekilde eğilme momenti ve kesme kuvveti oluşur. Birinci ve ikinci durumlar dışında bağ kirişlerinde moment ve kesme kuvveti oluşur. Bağ kirişlerinin simetrik deformasyon yaptığı ve moment sıfır noktasının açıklık ortasında olduğu kabul edilirse, içten hiperstatiklik derecesi bağ kirişi sayısına eşit olur. Bu halin en önemli özelliği, sistemdeki devrilme momentinin bir kısmının bağ kirişlerinde oluşan kesme kuvvetleri yoluyla perdelerden gelen aksenal kuvvetlere dönüşmesidir. Devrilme momentinin aksenal kuvvetler nedeniyle azalarak perdelerden aktarılması tasarım açısından çok yararlı görülmektedir. Ancak bağ kirişi kesme kuvvetlerinin kiriş kesitinin taşıma gücünü geçmesi halinde tasarım zorlukları ortaya çıkmaktadır [5]. Şekil 2.5’de bağ kirişinin rijitliğine göre perde kesitindeki gerilme dağılımı görülmektedir.



Şekil 2.5. Bağ kirişinin rijitliğine göre perde kesitindeki gerilme dağılımı  
a. Rijit bağ kirişinde oluşan normal gerilme dağılımı  
b. Esnek bağ kirişinde oluşan normal gerilme dağılımı

Boşluklu perdelerdeki boşluk miktarı yatay yükler altındaki davranışı etkileyecektir. Boşlukların perdede büyük olması davranışı kayma kirişi davranışına benzetirken boşlukların perdede küçük olması davranışı eğilme tipi davranışa benzetecektir.



$$(GA)' = (GA)\gamma \quad (2.1)$$

$$\gamma = 1 - 1,25P \quad (2.2)$$

$$P < 0,4$$

$$P = \sqrt{\frac{a}{A}} \quad (2.3)$$

Bu tür perdelerde yani boşluk oranının küçük olması durumunda perde elemanlar bir tür konsol kiriş gibi çözümlenebilir ancak boşluklu kısmın eğilme rijitliği göz önünde tutulmalıdır.

#### Büyük boşluklu perdeler

$P > 0,5$  olması durumunda boşluklu perdeler çerçeve sisteme benzeşirler ve hem kayma hem de eğilme kirişi davranışı sergilerler. Bunun sebebi bağ kirişlerinin şekil değiştirmeleridir. Bağ kirişlerinin rijitliğinin küçük olduğu durumlarda kiriş perdeye bağlandığı noktalarda mafsallaşacağından iki perdeyi birleştiren pandül ayak gibi davranır. Buna karşılık kiriş rijitliğinin büyük olduğu durumlarda kiriş moment aktaracağından kiriş sistemle birlikte çalışacaktır.

#### **2.4.2. Boşluklu perde duvarların eğilme ve kayma rijitliği**

Boşluklu perdelerin eğilme rijitliği, boşlukların yanlarında kalan perde kolonların eğilme rijitlikleri toplamına eşit olacaktır [3].

$$K = \sum_{i=1}^n (K_i) \quad (2.4)$$

Boşluklu perdelerin kayma rijitliği ise çerçevelerde uygulanan (GA) ifadesinden hesaplanabilir. Ancak kolonların eğilme rijitliği kirişlerinkine göre çok büyük olduğu için (GA) ifadesi kullanılırken [3],

$$\frac{I_c}{l_c} \rightarrow \infty \quad (2.5)$$

alınmalıdır.

$$GA = \frac{12EI_c}{l_c^2} \frac{1.0}{\left[ 1 + \frac{2EI_c}{l_c \left( \frac{EI_{b1}}{l_1} + \frac{EI_{b2}}{l_2} \right)} \right]} \quad (2.6)$$

$$GA = \frac{12EI_c/l_c}{l_c} \frac{\left( \frac{EI_{b1}}{l_1} + \frac{EI_{b2}}{l_2} \right)}{\left( \frac{EI_{b1}}{l_1} + \frac{EI_{b2}}{l_2} \right) + \frac{2EI_c}{l_c}} \quad (2.7)$$

$$GA = \frac{12 \left( \frac{EI_{b1}}{l_1} + \frac{EI_{b2}}{l_2} \right)}{l_c} \frac{\left( \frac{EI_c}{l_c} \right)}{\left( \frac{EI_{b1}}{l_1} + \frac{EI_{b2}}{l_2} \right) + \frac{2EI_c}{l_c}} \quad (2.8)$$

“Eş. 2.5” varsayımı kullanılırsa boşluklu perde için kullanılacak (GA) ifadesi;

$$GA = \frac{6 \left( \frac{EI_{b1}}{l_1} + \frac{EI_{b2}}{l_2} \right)}{l_c} \quad (2.9)$$

olarak bulunur.

Yukarıdaki denklemde ( $I_b$ ) için derin kiriş özelliklerini yansıtan uyarlanmış bir atalet momentinin kullanılması zorunludur [3].

Boşluklu perdede efektif rijitliğin dolu perde rijitliğine oranı

Dolu perdelerin yatay yük etkisi altında eğilme kirişi davranışı sergileyeceğinden bahsedilmişti. Perdenin bu davranışı ile oluşan tepe noktasındaki deplasman  $\delta_o$  ve boşluklu perdenin tepe noktasındaki deplasmanı  $\delta_e$  olmak üzere (Şekil 2.7), boşluklu perdenin efektif atalet momenti;

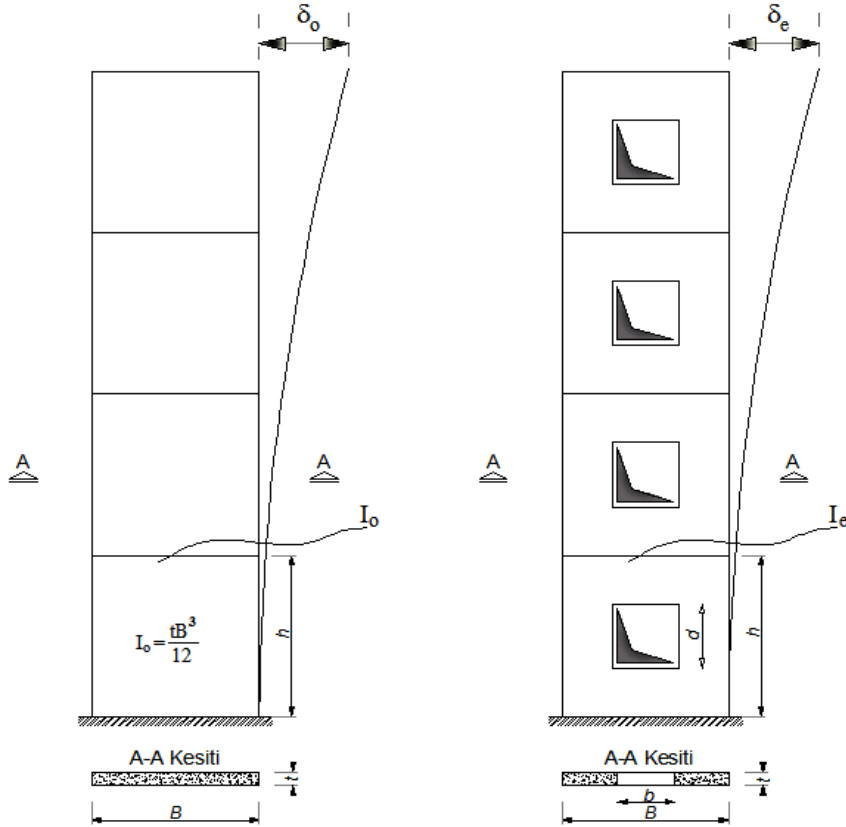
$$I_e = \frac{\delta_o I_o}{\delta_e} \quad (2.10)$$

ve,

Efektif rijitliğin boşluksuz dolu perde rijitliğine oranı;

$$\frac{I_e}{I_o} \quad (2.11)$$

olacaktır [12].



Şekil 2.7. Dolu ve boşluklu perdenin tepe noktasında oluşan deplasmanlar

### 2.4.3. Boşluklu perde kolonlarında oluşan kesme kuvveti

Perde kolonlarının aldığı kesme kuvveti  $T(x)$  bulunurken yalnız eğilme momenti etkisini değerlendirmek yeterli değildir [3].

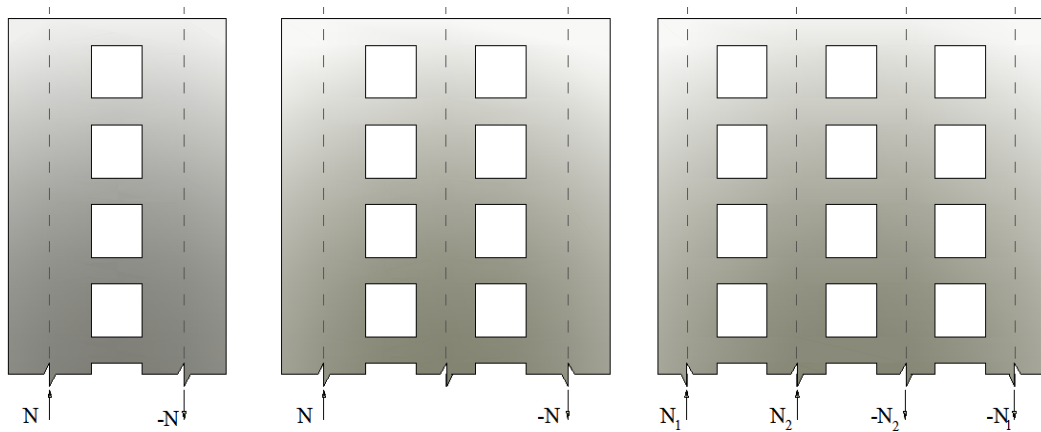
$$dM(x)/dx = T_{(perde)} \quad (2.12)$$

Boşluklu perde bir çerçeve davranışı da gösterdiği için çerçeve etkisinden gelen kesme kuvvetinin de bir bölümünü alacaktır.

$$T_{(perde)} = (GA_{(perde)} / GA_{(toplamlar)}). T_{(perdeli çerçeve)} \quad (2.13)$$

$$T_{TOPLAM} = T_{(moment altındaki perde)} + T_{(çerçevenin bir kolonu olarak çalışan perde)} + T_{(Eşdeğer çerçeve)} \quad (2.14)$$

Perde kolonlarındaki aksenal kuvvetler bulunurken, perde momenti en dış perde kolonları arasındaki uzaklığa bölünür. Bu işlem, tek boşluklu ve simetrik iki boşluklu perdeler için doğrudur (Şekil 2.8). Ancak boşluk sayısı üçe çıkınca ara perde kolonlarında da aksenal kuvvetler ortaya çıkar. Ancak  $(N_2)$  kuvvetleri  $(N_1)$  kuvvetlerine göre küçük kalırlar ve ihmal edilebilirler. Böylece bütün aksenal kuvvetler en dış perde kolonlarına yüklenmiş olur. Yapılan kabul emniyetli taraftadır. Eğer istenirse moment denge denkleminde  $(N_2)$  kuvvetleri de katılarak hesap yapılabilir.



Şekil 2.8. Bir, iki ve üç boşluklu perdelerde oluşan perde aksenal kuvvetleri

### 3. BOŞLUKLU PERDE MODELLENMELERİ

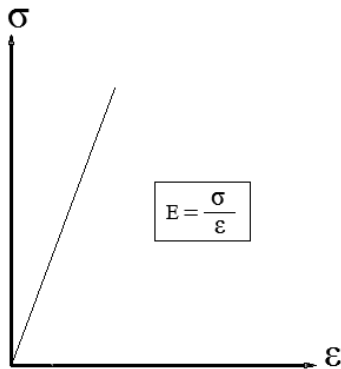
Boşluklu perde ve çerçeveli perdeli karma sistemlerin çözümlenmesinde 1960'lı yıllardan günümüze dek çeşitli metotlar üzerinde çalışılmıştır. Bu metotlar, genel olarak sürekli ortam modellenmeleri, çerçeve benzeşimi modellenmeleri ve bilgisayar teknolojisinin sunduğu modellenme teknikleridir.

Yapı elemanlarına etkiyen dış yükler etkisi altında oluşan deformasyonları ve gerilmeleri bulmak için bir matematik modeli oluşturmak gerekir. Matematik modelin oluşturulması için yapının geometrisinin, sınır şartlarının, yükler altında sergileyeceği davranışın incelenmesi gerekmektedir.

Yapılan modellenmelerde bazen yapının davranışı modellenme tekniğinde basitleştirilebilir. Ancak bu basitleştirmede yapının gerçek davranışından uzaklaşmamalıdır. Günümüz bilgi düzeyinde yapıların gerçek davranışını en doğru biçimde yansıtan hesaplama yöntemleri mevcut olmamakla birlikte yapılan varsayımlarla, modellenmelerle gerçeğe en yakın sonuç elde edilebilir. Yapılan varsayımların başlıcaları aşağıdaki gibidir.

1-Malzeme lineer elastiktir.

Statik hesaplar lineer yöntemlerle yapılır. Yapıyı oluşturan malzemenin gerilme-deformasyon ilişkisi doğrusal ve elastiktir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1.  $\sigma$ - $\epsilon$  ilişkisi

## 2- Elemanların etkinliđi;

Döşeme, kiriş, kolon, perde duvar gibi taşıyıcı elemanlar etkin olarak modellenmeye katılır. Bölme duvarlar ölü ve hareketli yükler taşıyıcı yapı elemanlarına yük katsayıları ile etkitilir.

## 3- Döşemeler düzlemlerinde sonsuz rijittir;

Döşemelerin kendi düzlemlerinde rijit bir diyafram olması kabulüne dayanmaktadır. Bu kabul ile aynı düzlemde birbirlerine bağlanan elemanlar aynı deformasyonu yapacaktır. Yapının yatay serbestlik dereceleri azaltılmış olur.

## 4- Bazı elemanların rijitlikleri ihmal edilebilir;

Perdelerin küçük atalet momentlerinin; kolon, kiriş ve döşemelerde oluşan burulma rijitliklerinin ihmal edilmesi örnek olarak gösterilebilir.

### **3.1. Sürekli Bağlantı Metodu**

Sürekli bağlantı metodu olarak tanımlanan analiz tekniği, kiriş veya kat döşemelerinin oluşturduğu bağlantı sisteminin eşdeğer sürekli bir tabaka ile tanımlanması esasına dayanır (Şekil 3.2). Bağ kirişlerindeki hiperstatik bilinmeyenler eşdeğer tabakadaki kesme kuvvetini tanımlayan bir fonksiyona indirgenir. Eşdeğer tabakadaki deformasyonların uygunluk şartından bilinmeyen fonksiyona ait diferansiyel denklem elde edilir. Sınır şartları kullanılarak diferansiyel denklem çözülür ve sisteme ait bilinmeyenler hesaplanır [5].

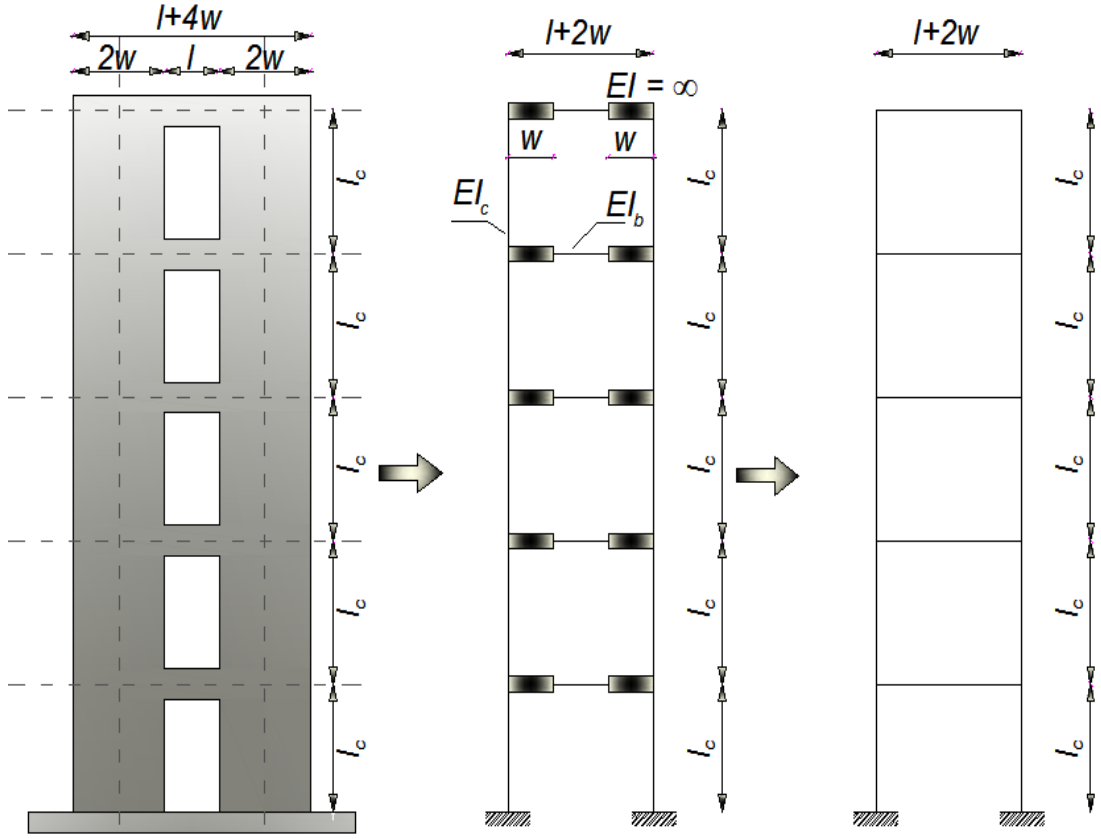


3. Genel olarak perde duvarlarda seçilen düzlem kesit deformasyondan sonra düzlem kalmaz. Özellikle enli perdelerde düzlem kesitin düzlem kalması kabulü perde duvar gerilmeleri açısından çözümün yaklaşık olması sonucunu ortaya çıkarmaktadır.
4. Kayma deformasyonlarının önem kazandığı derin bağ kirişlerinde bu deformasyonların etkisi kirişlerin atalet momentleri azaltılarak çözüme katılabilir.
5. Moment sıfır noktalarının bağ kirişlerinin ortasında olduğu kabulü atalet momentleri birbirinden çok farklı olmayan duvar elemanları için geçerli bir varsayımdır.

### **3.2. Eşdeğer Çerçeve Metodu**

Kirişler ve kolonlardan oluşan çerçeve sistemler için geliştirilmiş analiz metotlarını, boşluklu perde duvarlarının analizi içinde kullanmak mümkündür. Boşluklu duvarların çözümlenmesi için önerilen eşdeğer çerçeve metodunun çerçeve sistemler için kullanılan metottan temel farkı perde genişliklerinin ihmal edilmeyecek boyutlarda olması ve bu nedenle hesaba katılmasıdır.

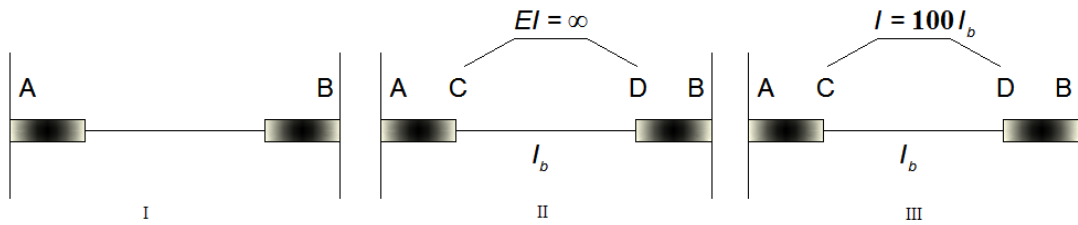
Bağ kirişlerinin perde kenarı ile perde ekseni arasında kalan kısımlarının sonsuz rijit kabul edilmesi, eşdeğer çerçeve metodunun temel varsayımdır. Boşluklu perde eşdeğer bir çerçeveye indirgenebilir. Şekil 3.3'te kolon aksları arasında kalan kiriş uzantısı, eğilme rijitliği sonsuz rijit olan elemanlar ile modellenmiştir [3].



Şekil 3.3. Eşdeğer çerçeve metodu

Bağ kirişlerinin sonsuz rijit kısımları eşdeğer çerçeve metodunda üç değişik yöntemle hesaba katılabilir [5].

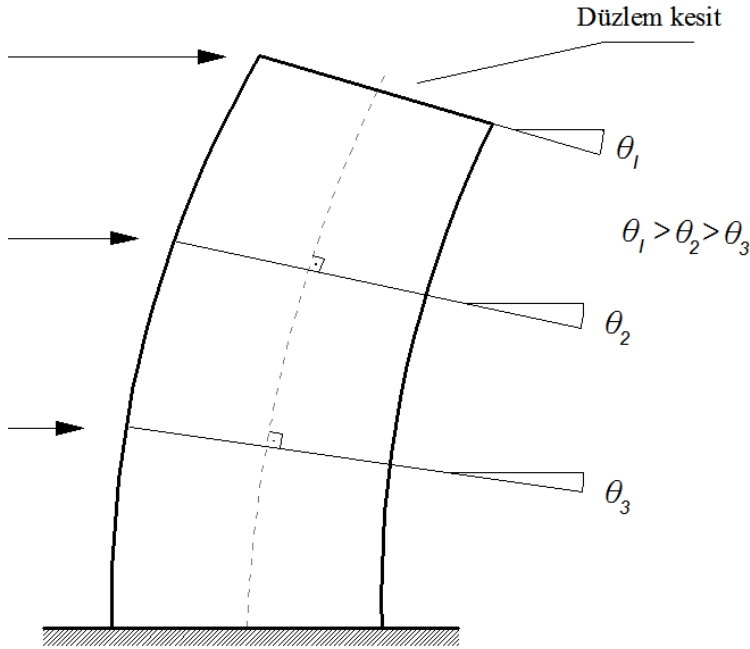
Bağ kirişlerinin uçlarında sonsuz rijit kısımlar bulunan özel kiriş sonlu elemanlarıyla tanımlanabilme olanağı varsa fazladan düğüm noktası kullanılmadan ve nümerik problemlerle karşılaşmadan analiz modeli hazırlanabilir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Bağ kirişine ait modeller

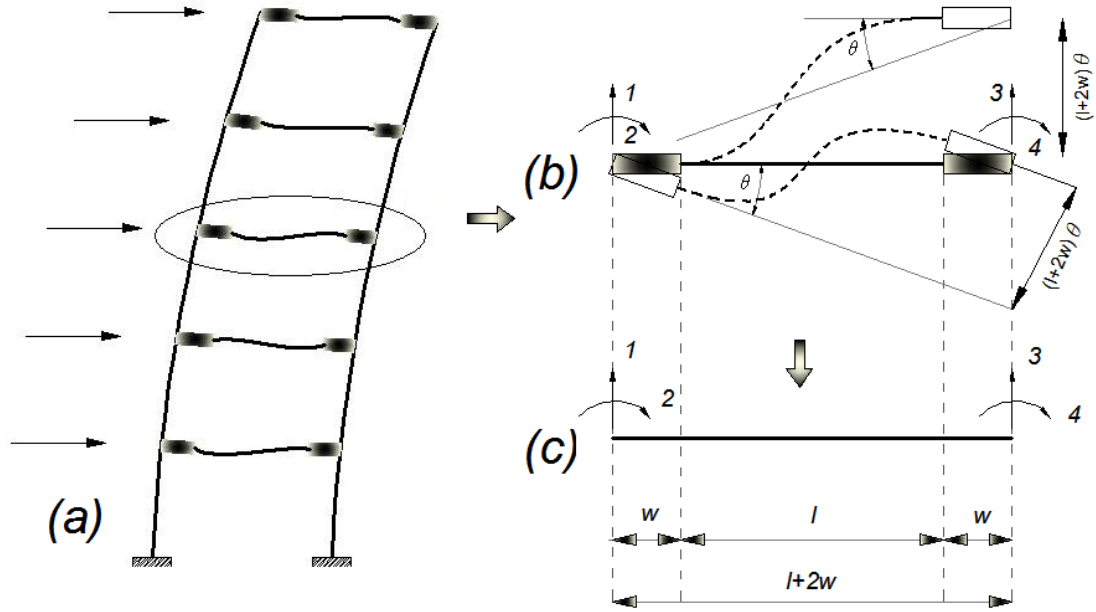
İkinci yöntem ise sonsuz rijitlikteki sonlu elemanların modellenmede kullanılmasıdır. Bu yöntemde her bir bağ kirişi için fazladan iki düğüm noktası gerekmektedir. Üçüncü ve en yaygın yöntem modellenmede klasik çubuk elemanlarının kullanılmasıdır. Sonsuz rijit kısımların kesit özelliklerini normal bir bağ kirişinin kesit özelliklerinin yaklaşık yüz katı kadar vermek yeterli görülmektedir. Ancak bu modelde hem her kiriş için fazladan iki düğüm noktasının tanımlanması hem de rijitlik farkının nümerik problemlere yol açmayacak şekilde ayarlanması gerekmektedir.

Matematik model olarak perde kesitinde geometrik merkeze dik olacak şekilde alınan her kesit içinde düzlem kesitler düzlem kalmaktadır (Şekil 3.5). Daha öncede bahsedildiği gibi perde duvarlarda düzlem kesitin deformatsiyondan sonra genel olarak düzlem kalmayacağı unutulmamalı, duvar kesitinde elde edilecek gerilmelerin yaklaşık olacağı göz önünde tutulmalıdır.



Şekil 3.5. Perdenin yatay yük altında şekil değiştirmesinde model düzlem kesitler

Uçları sonsuz olan rijit bir bağ kirişinin yatay yükler altında şekil değiştirmesi Şekil 3.6' da gösterilmiştir [3].



Şekil 3.6. Boşluklu perde bağ kirişinin yatay yükler altındaki şekil değişimi

Kirişte oluşan aksel boy değişimleri ihmal edilirse kirişin bağlandığı iki perde aynı ötelenmeyi gösterecektir. Bu durumda herhangi bir bağ kirişi düzleminde oluşan dönmeler eşit olacaktır. Şekil 3.6.b den anlaşılacağı gibi, eğer perdeler eşit bölmeler oluşturulursa kirişin şekil değiştirme eğrisi kiriş uçlarının göreceli olarak ve düşey doğrultuda  $(l+2w)\theta$  kadar yer değiştirmesi ile oluşan şekil değiştirme özdeş olacaktır. Bu durumda Şekil 3.6.b ve Şekil 3.6.c de gösterilen eşdeğer kiriş özelliklerini bulmak için kiriş uçlarının göreceli düşey yer değiştirmelerinin yansıtan uyarlama katsayısını bulmak yeterlidir [3].

Şekil 3.6.b de gösterilen kirişte (1) doğrultusunda birim yer değiştirme oluşturabilmek için uygulanması gereken kuvvet ( $k_{11}$ ) olur [2,3].

$$k_{11} = \frac{12EI}{l^3} \quad (3.1)$$

Benzer şekilde Şekil 3.6.c deki eşdeğer kirişte (1) doğrultusunda birim yer değiştirme oluşturabilmek için gereken kuvvet de ( $k_{11}$ ) olmalıdır.

$$k_{11} = \frac{12EI'}{(l + 2w)^3} \quad (3.2)$$

İki denklem birbirine eşitlenirse eşdeğer kirişin eylemsizlik momenti bulunur [3].

$$\frac{12EI'}{(l + 2w)^3} = \frac{12EI}{l^3} \rightarrow I' = \frac{(l + 2w)^3}{l^3} (I) \quad (3.3)$$

Şekil 3.6.b deki kirişe (1) doğrultusunda birim deformasyon verilirse (2) aksı etrafında oluşan eğilme momenti ( $k_{21}$ ) olmalıdır.

$$k_{21} = \frac{6EI'}{l^2} + \frac{12EIw}{l^3} \quad (3.4)$$

Benzer şekilde Şekil 2.c deki eşdeğer kirişte ortaya çıkan eğilme momenti ( $k_{21}$ ) olmalıdır.

$$k_{21} = \frac{6EI'}{(l + 2w)^2} \quad (3.5)$$

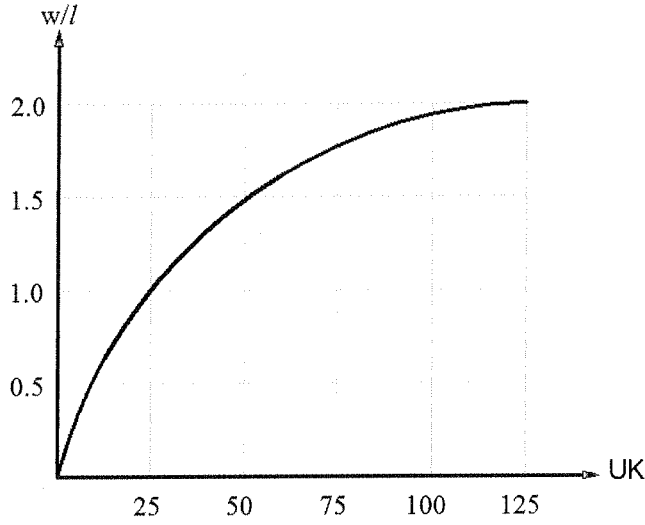
( $k_{21}$ ) denklemlerinin eşitliğinden ,eşdeğer kirişin eylemsizlik momenti bulunur.

$$I' = \frac{(l + 2w)^3}{l^3} (I) \quad (3.6)$$

Eş. 3.3 ve Eş. 3.6 denklemlerinin karşılaştırılmasından görüleceği gibi uyarlama katsayısı eşit çıkmaktadır.

$$UK = \frac{(l + 2w)^3}{l^3} = \left(1 + \frac{2w}{l}\right)^3 \quad (3.7)$$

Denklemden verilen (UK) uyarlama katsayısının değerleri, ( $w/l$ )'nin bir fonksiyonu olarak Şekil 3.7'de gösterilmiştir [3].



Şekil 3.7. Boşluklu perde bağ kirişini eşdeğer prizmatik kirişe dönüştüren uyarlama katsayısının ( $w/l$ ) e göre değişimi [3]

Bağ kirişinin perdeye saplandığı noktadan perde aksına kadar olan bölümün sonsuz rijit olması, perde akslarını birleştiren kirişin rijitliğini çok büyük oranda arttırmaktadır. Bağ kirişinde açıklık  $l+2w$  dir. Oysa gerçekte kiriş kalınlığı yalnız  $l$ 'dir. Bu durumda analiz sonucu bulunan eşdeğer kiriş ucundaki momentler gerçek kirişin uçlarındaki momentleri verebilmesi için mesnetlerde moment düzeltilmesine benzer bir işlemle azaltılmalıdır [3]. Küçültme katsayısı (KK) olmak üzere;

$$KK = \frac{1.0}{\left[1 + \frac{2w}{l}\right]} \quad (3.8)$$

olacaktır.

### 3.3. Sonlu Elemanlar Metodu ile Modellenme

Bir sayısal çözümleme metodu olan Sonlu Elemanlar Metodu ilk olarak Matematikçi Courant'ın 1943'te burulma problemi çalışmasında görülmektedir. "Sonlu Elemanlar Metodu" adı 1960 yılında Kaliforniya Üniversitesinden Prof. Ray Clough tarafından literatüre katılmıştır [10]. Daha sonraki yıllarda bu metot çeşitli mühendislik alanlarında kullanılmaya başlamıştır. Bugün yaygın bir şekilde kullanılan bu metot ile karmaşık geometriye ve sınır şartlarına sahip problemler çözülebilmektedir.

Bu metodun gerçekçi sonuçlar vermesi kullanılacak modelin yapısal davranışa uygun hazırlanması ve metodun genel kurallarına uyulması ile mümkündür. Sonlu elemanlar metodu matematiksel modeli sayısal olarak çözümlemede yaklaşık bir çözümleme metodudur.

Sonlu elemanlar metodu şu adımlarla gerçekleşir.

1- Fonksiyonun tanım aralığında belirli sayıda nokta ve bu noktalarda fonksiyonun değerleri belirlenir. Bu adım fonksiyon tanım aralığının sonlu elemanlara ayrılması olarak bilinmektedir. Oluşturulan noktalar sonlu elemanı birbirine bağlar. Bu noktalar genel olarak düğüm noktası, kısaca düğüm olarak adlandırılır.

2- Fonksiyonun tanım aralığı iki veya üç boyutlu elemanlara ayrılır.

3- Fonksiyonun sonlu elemanlar sınırları içerisinde değerleri, eleman düğümlerindeki fonksiyon cinsinden, interpolasyon fonksiyonu türetilerek yaklaşık olarak elde edilir.

Boşluklu betonarme perde duvarlarının sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapılan elastik analizinde göz önünde tutulması gereken hususlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır.

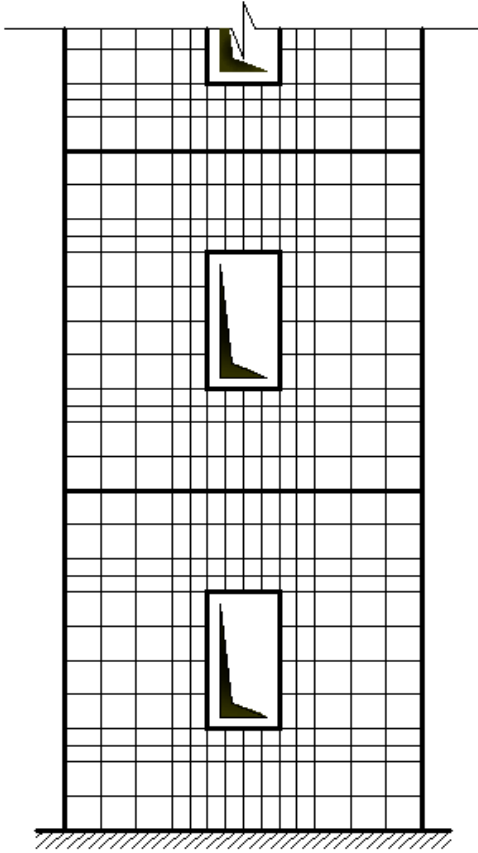
1- Perde duvar ve bağ kirişleri için birbirleriyle uyumlu sonlu eleman tiplerinin seçilmesi gereklidir. Genel olarak iki boyutlu dört veya daha fazla düğüm noktalı sonlu elemanlar hem perde duvar hem de bağ kirişleri için kullanılabilir. Buna ilaveten bağ kirişlerini klasik veya değiştirilmiş kiriş elemanları ile modellenmek de mümkündür. Bağ kirişlerinin tek boyutlu iki düğüm noktalı, duvar elemanlarının iki boyutlu dört veya daha fazla düğüm noktalı elemanlarla tanımlandığı durumlarda iki farklı eleman arasında uyum problemi ortaya çıkmaktadır.

2- Modellenmede kullanılacak sonlu eleman eğilme durumunu temsil edebilmeli yani eğilme durumunda yapının deforme olmuş şeklini alabilmelidir. Genellikle düşük

mertebeden elemanlarda görülen bu problem, modelin olduğundan daha rijit davranmasına yol açmaktadır.

3- Gerilme yoğunlaşmalarının olduğu bağ kirişleri ve onların perde duvarlara bağlandıkları bölgelerde model daha fazla sayıda eleman kullanılarak hassaslaştırılmalıdır (Şekil 3.8).

4. Gerilme yoğunlaşmalarının olduğu yerlerde çok sayıda ve küçük elemanlar kullanılarak yapılan model komşu duvar elemanları için kenar oranı problemi yaratabilir. Duvar elemanlarını da çok sayıda ve küçük elemanlarla modellenmek her zaman mümkün olmamakta özellikle bilgisayar kapasitesi, analiz programı hafıza problemi gibi sorunlarla karşılaşmaktadır [5].



Şekil 3.8. Boşluklu perdede sonlu elemanlar ağı

## 4-UYGULAMALAR VE ANALİZ SONUÇLARI

Bu bölümde Sap2000 yapısal analiz programı yardımıyla oluşturulan modellere ait bazı analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

Sap2000 programı yapı sistemlerinin modellenmesi ve analizi için kullanılan genel amaçlı bir program olup günümüzde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Bu bölüm kapsamında perde elemanda açılan boşluk oranının değişimi ile kat sayısındaki değişime bağlı olarak perdenin efektif rijitliğindeki değişim ve seçilen gerilme konsantrasyonundaki noktaların değerleri karşılaştırılmıştır. Bunun için 119 adet model; kat sayısı, boşluk oranı ve boşluk tipine göre oluşturulmuştur.

### 4.1. Seçilen Model Boyutları ve Malzeme Özellikleri

Seçilen perde duvar planda 3,6 m ve 0,20 m boyutlarındadır (P 360/20 ).

Kat yüksekliği tüm katlar için  $h = 3,00$  m seçilmiştir.

Modeller 1 kat ile 20 kat arasında oluşturulmuştur (Şekil 4.1).

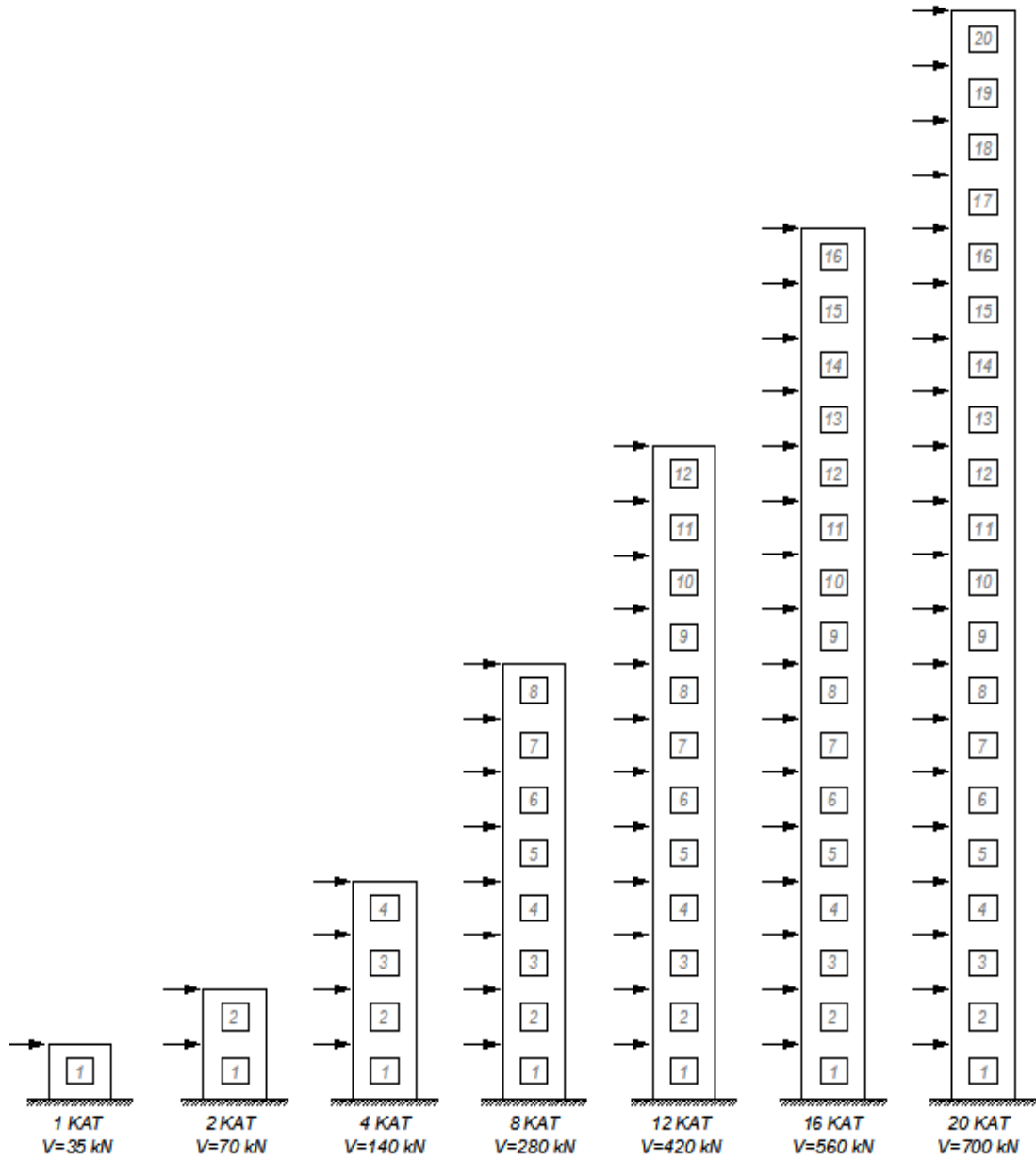
$E = 2,8 \times 10^7$  kN/m<sup>2</sup> seçilmiştir.

$\nu = 0,18$  seçilmiştir.

### 4.2. Seçilen Kat Yükleri ve Katlara Etkiyen Deprem Kuvvetleri

$W = 350$  kN (tüm katlarda) seçilmiştir.

Deprem yükleri hesabında  $A_0 I S(T) / R = 0,10$  alınmıştır ve bu kabul  $C=0,10$  olarak kat deprem yükleri hesabında kullanılmıştır (Ek-3).



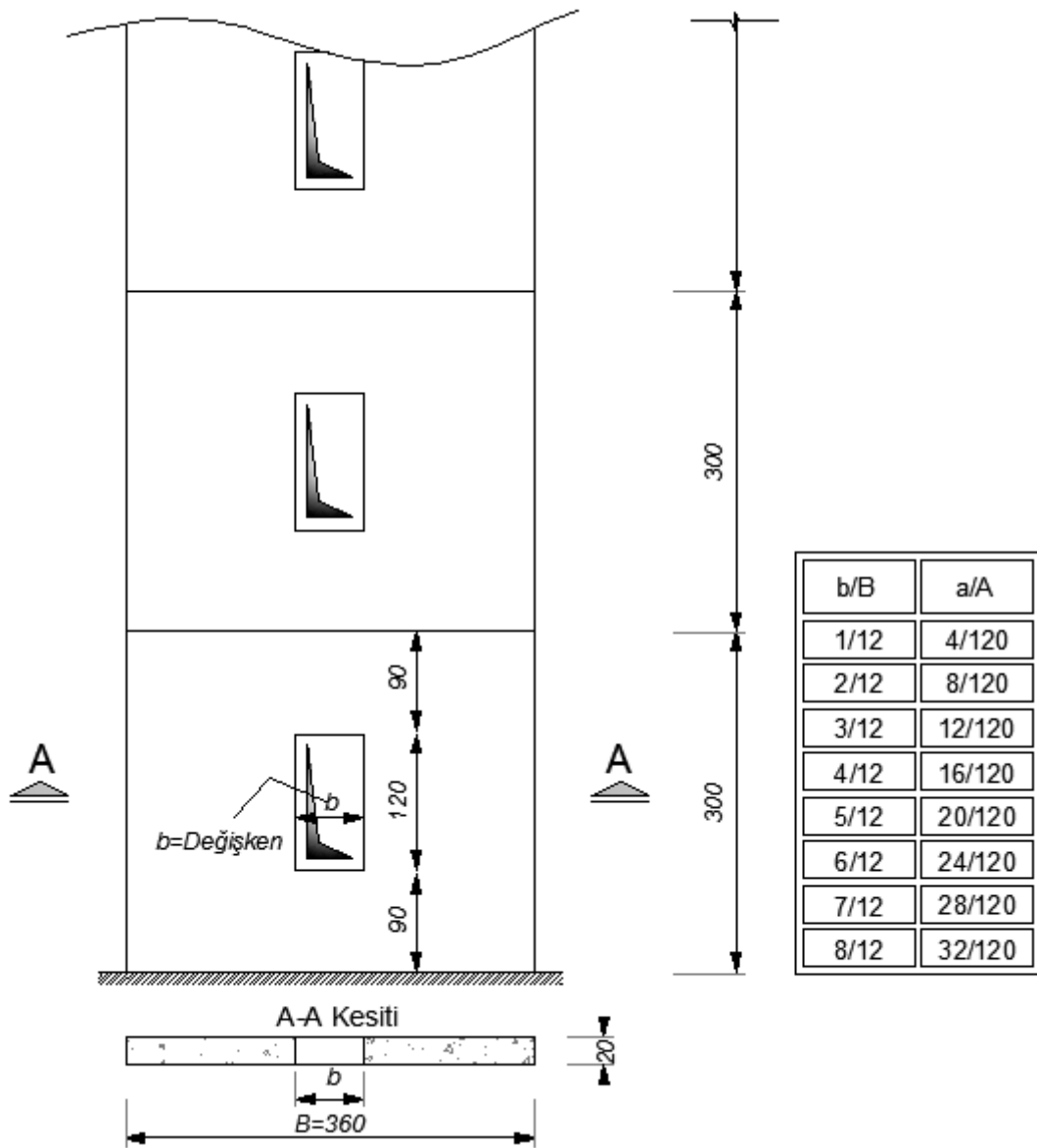
Şekil 4.1. 1 katlı, 2 katlı, 4 katlı, 8 katlı, 12 katlı, 16 katlı ve 20 katlı boşluklu perdeler

### 4.3. Model Tipleri

Seçilen perde modeli, perdede açılan boşluk tipine göre pencere tipi boşluk ile teşkil edilen boşluklu perde duvar ve kapı tipi boşluk ile teşkil edilen boşluklu perde duvar olmak üzere iki tipte araştırılmıştır.

Perdede pencere tipi boşluk ile teşkil edilen perde duvar (Tip 1)

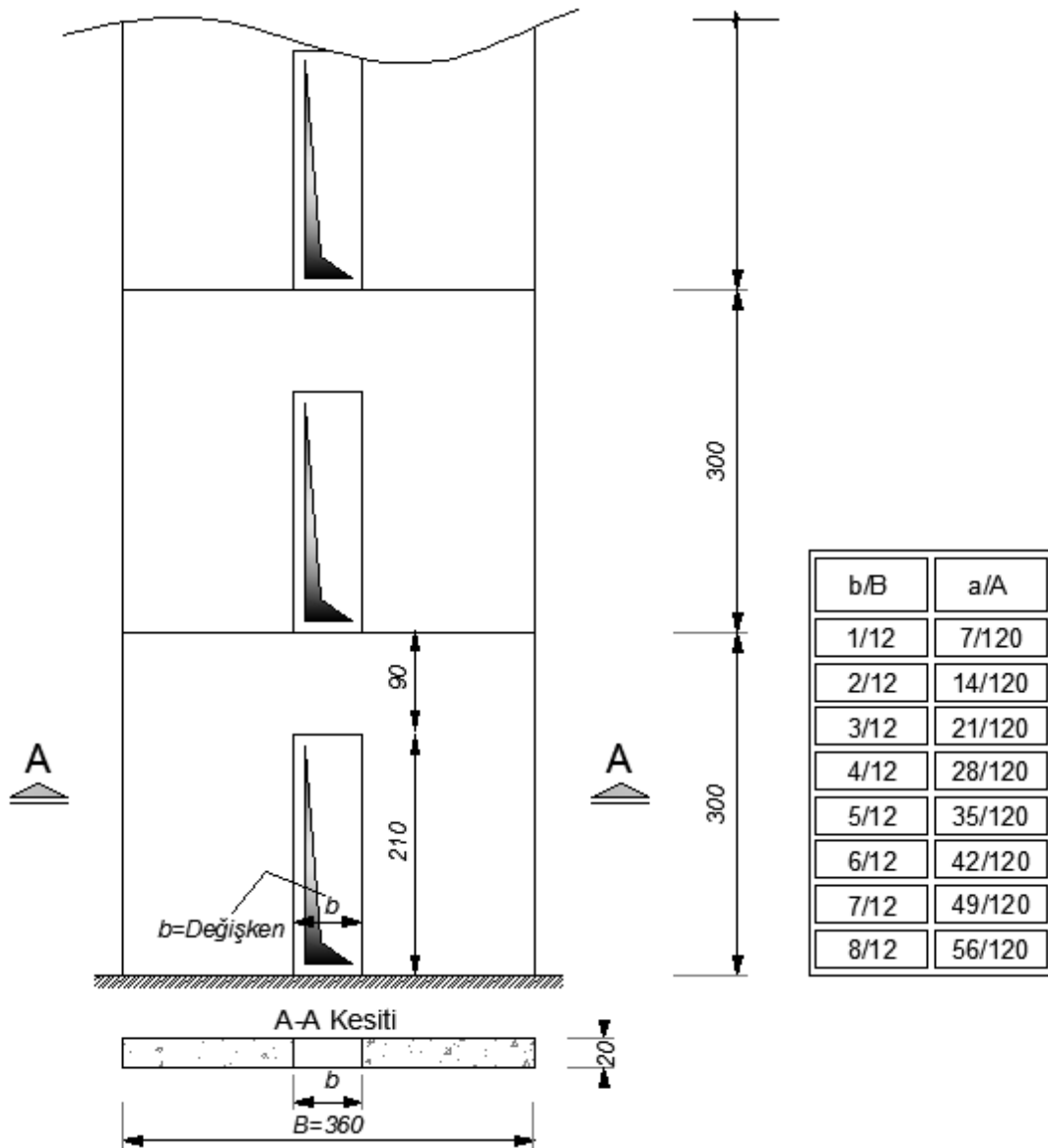
Perdede açılan pencere tipi boşluklar perde aksındaki “b” genişliğindeki boşluğun değişimi ile oluşturulmuştur. “b” genişliği 0,3 m ile 2,4 m aralığında değiştirilerek oluşturulan boşluklu perdede “b” genişliğinin perde genişliği “B” ye oranı olan “b/B” değeri 1/12 ile 8/12 aralığında değişirken boşluk alanı “a” nın perde alanı “A” ya oranı olan “a/A” değeri 4/120 ile 32/120 aralığında değişmektedir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Perdede oluşturulan pencere tipi boşluk (Tip 1)

### Perdede kapı tipi boşluk ile teşkil edilen perde duvar

Perdede açılan kapı tipi boşluklar perde aksındaki “b” genişliğindeki boşluğun değişimi ile oluşturulmuştur. “b” genişliği 0,3 m ile 2,4 m aralığında değiştirilerek oluşturulan boşluklu perdede “b” genişliğinin perde genişliği “B” ye oranı olan “b/B” değeri 1/12 ile 8/12 aralığında değişirken boşluk alanı “a” nın perde alanı “A” ya oranı olan “a/A” değeri 7/120 ile 56/120 aralığında değişmektedir (Şekil 4.3).

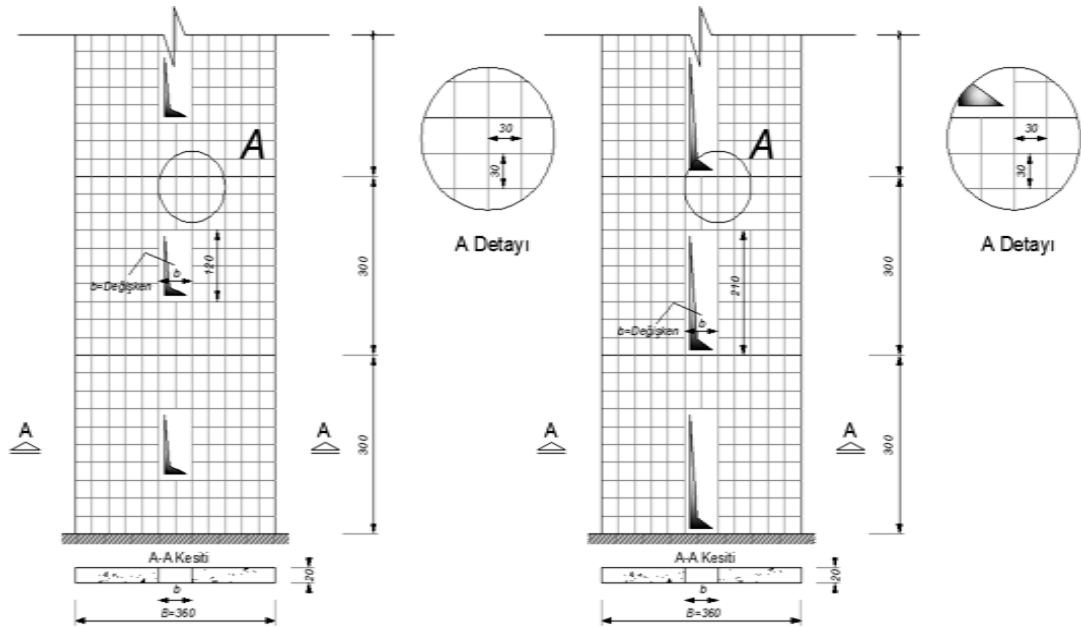


Şekil 4.3. Perdede oluşturulan kapı tipi boşluk (Tip 2)

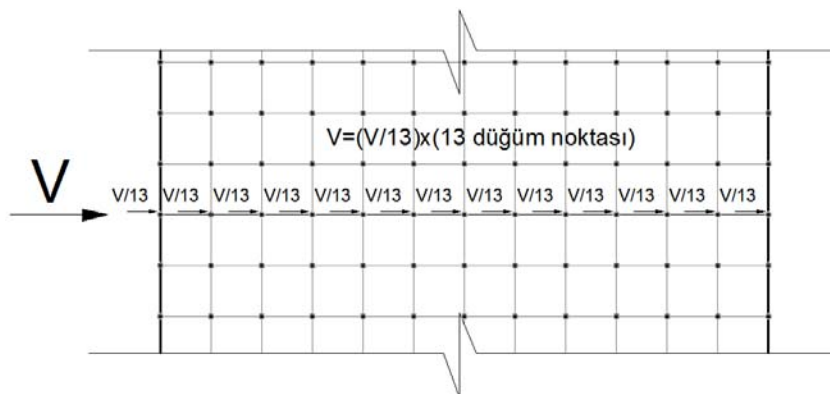
#### 4.4. Kullanılan Çözüm Ağı, Yükleme ve Mesnet Şartları

Oluşturulan modeller perde ve perdede oluşturulan boşluk oranları dikkate alınarak 30x30 boyutunda sonlu eleman ağına bölünmüş ve tabandaki düğüm noktalarında ankastre mesnet seçilmiştir (Şekil 4.4).

Katlara etkiyen yanal yüklemeler kat hizasında kayma gerilmesinin tüm kata etkimesi için düğüm noktalarına dağıtılmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.4. Boşluklu perdede oluşturulan 30x30 luk sonlu elemanlar ağı



Şekil 4.5. Kat seviyesindeki yükün düğüm noktalarına dağıtılması

#### 4.5. Analiz Sonuçları

##### $(I_e/I_o)$ 'nin boşluk oranına göre değişimi

Bu kısımda boşluklu perde efektif rijitliğinin dolu perde rijitliğine oranı olan  $(I_e/I_o)$  oranının boşluk oranına göre değişimi irdelenmiştir.

Çizelge 4.1. Bir katlı boşluklu perdede boşluk oranına göre  $I_e/I_o$  değişimi

PENCERE TİPİ BOŞLUKLU PERDE (TIP 1)	b/B	$I_o$	$I_e$	$I_e/I_o$	KAPI TİPİ BOŞLUKLU PERDE (TIP 2)	b/B	$I_o$	$I_e$	$I_e/I_o$
	0/12	0,778	0,778	0,778		1,000	0/12	0,778	0,778
1/12	0,778	0,648	0,648	0,834	1/12	0,778	0,563	0,563	0,724
2/12	0,778	0,558	0,558	0,718	2/12	0,778	0,482	0,482	0,620
3/12	0,778	0,494	0,494	0,635	3/12	0,778	0,402	0,402	0,517
4/12	0,778	0,411	0,411	0,528	4/12	0,778	0,330	0,330	0,424
5/12	0,778	0,348	0,348	0,448	5/12	0,778	0,257	0,257	0,331
6/12	0,778	0,279	0,279	0,359	6/12	0,778	0,199	0,199	0,256
7/12	0,778	0,219	0,219	0,281	7/12	0,778	0,138	0,138	0,177
8/12	0,778	0,162	0,162	0,209	8/12	0,778	0,093	0,093	0,119

Çizelge 4.2. İki katlı boşluklu perdede boşluk oranına göre  $I_e/I_o$  değişimi

PENCERE TİPİ BOŞLUKLU PERDE (TIP 1)	b/B	$I_o$	$I_e$	$I_e/I_o$	KAPI TİPİ BOŞLUKLU PERDE (TIP 2)	b/B	$I_o$	$I_e$	$I_e/I_o$
	0/12	0,778	0,778	0,778		1,000	0/12	0,778	0,778
1/12	0,778	0,719	0,719	0,924	1/12	0,778	0,642	0,642	0,825
2/12	0,778	0,670	0,670	0,862	2/12	0,778	0,560	0,560	0,720
3/12	0,778	0,624	0,624	0,802	3/12	0,778	0,488	0,488	0,628
4/12	0,778	0,561	0,561	0,722	4/12	0,778	0,403	0,403	0,518
5/12	0,778	0,500	0,500	0,643	5/12	0,778	0,333	0,333	0,428
6/12	0,778	0,430	0,430	0,553	6/12	0,778	0,261	0,261	0,335
7/12	0,778	0,354	0,354	0,456	7/12	0,778	0,196	0,196	0,252
8/12	0,778	0,276	0,276	0,355	8/12	0,778	0,137	0,137	0,177

Çizelge 4.3. Dört katlı boşluklu perdede boşluk oranına göre  $I_e/I_o$  değişimi

PENCERE TİPİ BOŞLUKLU PERDE (TIP 1)	b/B	$I_o$	$I_e$	$I_e/I_o$	KAPI TİPİ BOŞLUKLU PERDE (TIP 2)	b/B	$I_o$	$I_e$	$I_e/I_o$
	0/12	0,778	0,778	0,778		1,000	0/12	0,778	0,778
1/12	0,778	0,755	0,722	0,971	1/12	0,778	0,722	0,929	
2/12	0,778	0,728	0,678	0,937	2/12	0,778	0,678	0,872	
3/12	0,778	0,716	0,630	0,921	3/12	0,778	0,630	0,810	
4/12	0,778	0,680	0,567	0,874	4/12	0,778	0,567	0,729	
5/12	0,778	0,637	0,497	0,820	5/12	0,778	0,497	0,640	
6/12	0,778	0,583	0,425	0,749	6/12	0,778	0,425	0,546	
7/12	0,778	0,510	0,340	0,656	7/12	0,778	0,340	0,437	
8/12	0,778	0,434	0,261	0,558	8/12	0,778	0,261	0,336	

Çizelge 4.4. Sekiz katlı boşluklu perdede boşluk oranına göre  $I_e/I_o$  değişimi

PENCERE TİPİ BOŞLUKLU PERDE (TIP 1)	b/B	$I_o$	$I_e$	$I_e/I_o$	KAPI TİPİ BOŞLUKLU PERDE (TIP 2)	b/B	$I_o$	$I_e$	$I_e/I_o$
	0/12	0,778	0,778	0,778		1,000	0/12	0,778	0,778
1/12	0,778	0,771	0,759	0,992	1/12	0,778	0,759	0,976	
2/12	0,778	0,765	0,743	0,984	2/12	0,778	0,743	0,955	
3/12	0,778	0,753	0,717	0,968	3/12	0,778	0,717	0,922	
4/12	0,778	0,737	0,682	0,948	4/12	0,778	0,682	0,877	
5/12	0,778	0,703	0,632	0,903	5/12	0,778	0,632	0,813	
6/12	0,778	0,668	0,578	0,859	6/12	0,778	0,578	0,743	
7/12	0,778	0,599	0,494	0,770	7/12	0,778	0,494	0,635	
8/12	0,778	0,538	0,420	0,691	8/12	0,778	0,420	0,540	

Çizelge 4.5. Oniki katlı boşluklu perdede boşluk oranına göre  $I_e/I_o$  değişimi

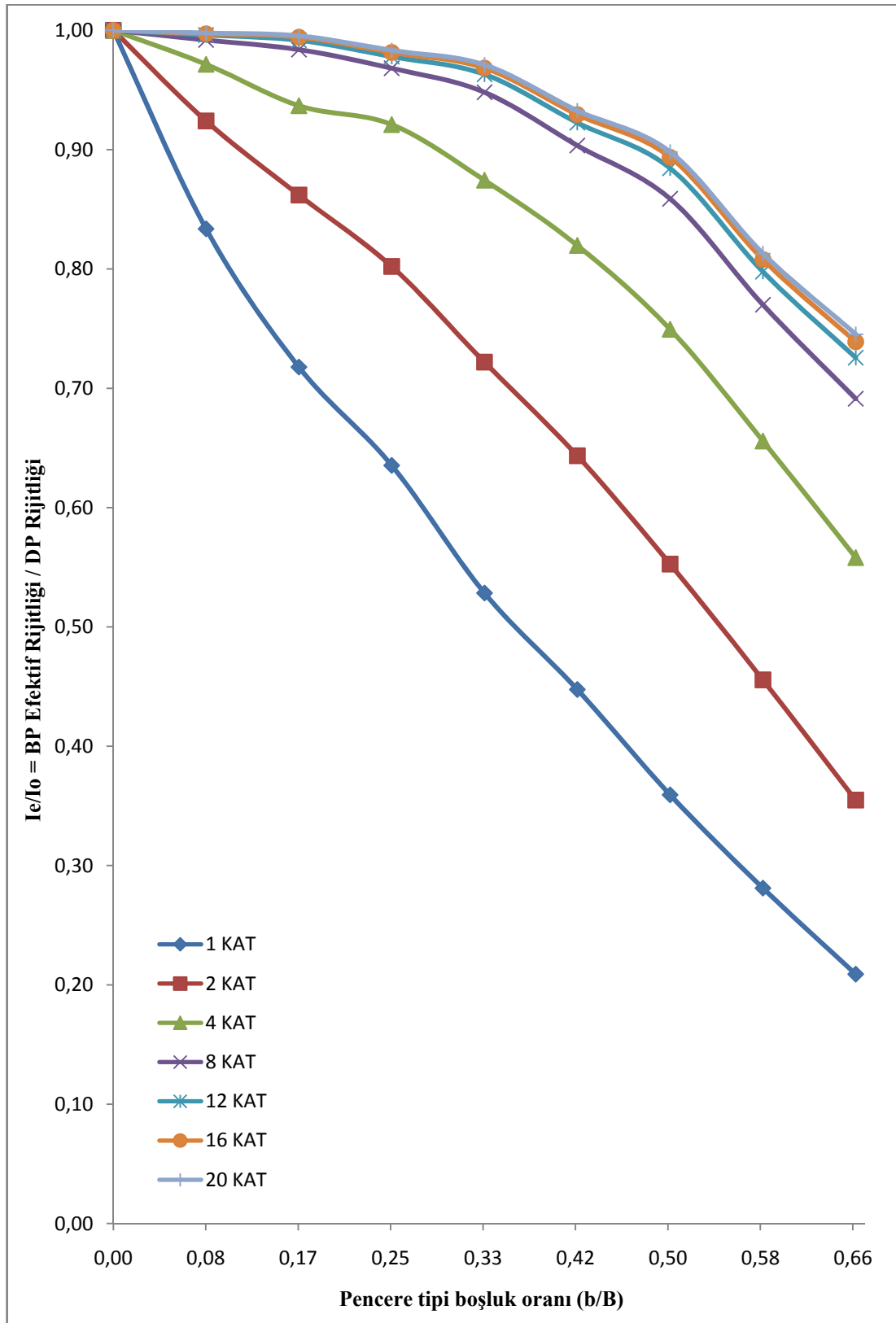
PENCERE TİPİ BOŞLUKLU PERDE (TIP 1)	b/B	$I_o$	$I_e$	$I_e/I_o$	KAPI TİPİ BOŞLUKLU PERDE (TIP 2)	b/B	$I_o$	$I_e$	$I_e/I_o$
	0/12	0,778	0,778	0,778		1,000	0/12	0,778	0,778
1/12	0,778	0,775	0,769	0,996	1/12	0,778	0,769	0,988	
2/12	0,778	0,771	0,760	0,992	2/12	0,778	0,760	0,977	
3/12	0,778	0,760	0,740	0,978	3/12	0,778	0,740	0,952	
4/12	0,778	0,749	0,718	0,963	4/12	0,778	0,718	0,923	
5/12	0,778	0,717	0,674	0,923	5/12	0,778	0,674	0,866	
6/12	0,778	0,688	0,631	0,884	6/12	0,778	0,631	0,812	
7/12	0,778	0,620	0,550	0,798	7/12	0,778	0,550	0,708	
8/12	0,778	0,564	0,484	0,726	8/12	0,778	0,484	0,622	

Çizelge 4.6. Onaltı katlı boşluklu perdede boşluk oranına göre  $I_e/I_o$  değişimi

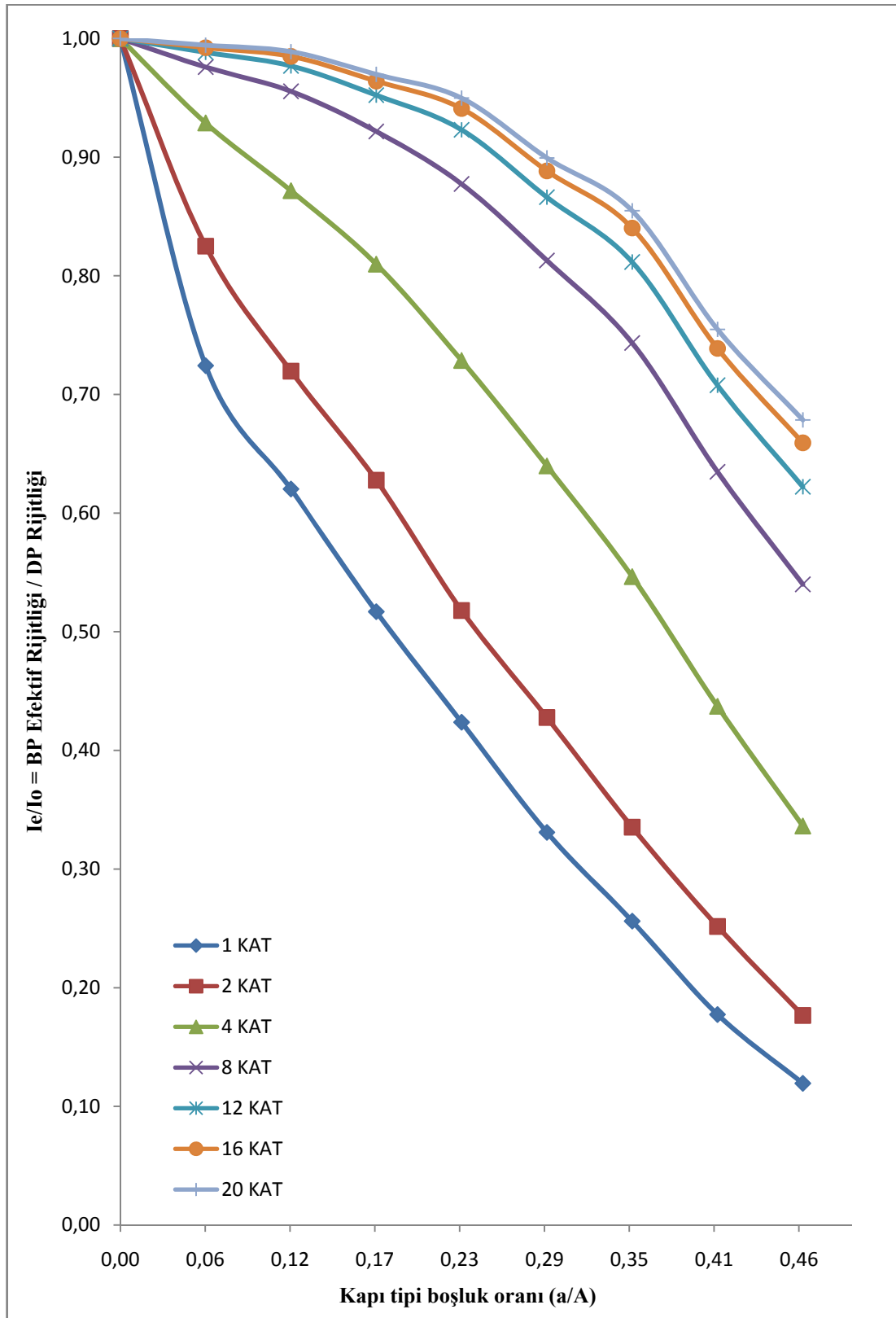
PENCERE TİPİ BOŞLUKLU PERDE (TİP 1)	b/B	$I_o$	$I_e$	$I_e/I_o$	KAPI TİPİ BOŞLUKLU PERDE (TİP 2)	b/B	$I_o$	$I_e$	$I_e/I_o$
	0/12	0,778	0,778	1,000		0/12	0,778	0,778	1,000
	1/12	0,778	0,775	0,997		1/12	0,778	0,772	0,992
	2/12	0,778	0,773	0,994		2/12	0,778	0,766	0,985
	3/12	0,778	0,763	0,981		3/12	0,778	0,750	0,964
	4/12	0,778	0,753	0,968		4/12	0,778	0,732	0,941
	5/12	0,778	0,723	0,929		5/12	0,778	0,691	0,888
	6/12	0,778	0,695	0,894		6/12	0,778	0,653	0,840
	7/12	0,778	0,628	0,808		7/12	0,778	0,575	0,739
	8/12	0,778	0,575	0,739		8/12	0,778	0,513	0,659

Çizelge 4.7. Yirmi katlı boşluklu perdede boşluk oranına göre  $I_e/I_o$  değişimi

PENCERE TİPİ BOŞLUKLU PERDE (TİP 1)	b/B	$I_o$	$I_e$	$I_e/I_o$	KAPI TİPİ BOŞLUKLU PERDE (TİP 2)	b/B	$I_o$	$I_e$	$I_e/I_o$
	0/12	0,778	0,778	1,000		0/12	0,778	0,778	1,000
	1/12	0,778	0,776	0,998		1/12	0,778	0,773	0,994
	2/12	0,778	0,774	0,995		2/12	0,778	0,769	0,989
	3/12	0,778	0,765	0,983		3/12	0,778	0,754	0,970
	4/12	0,778	0,755	0,971		4/12	0,778	0,739	0,950
	5/12	0,778	0,725	0,933		5/12	0,778	0,699	0,899
	6/12	0,778	0,698	0,898		6/12	0,778	0,665	0,855
	7/12	0,778	0,632	0,813		7/12	0,778	0,587	0,755
	8/12	0,778	0,580	0,745		8/12	0,778	0,528	0,679



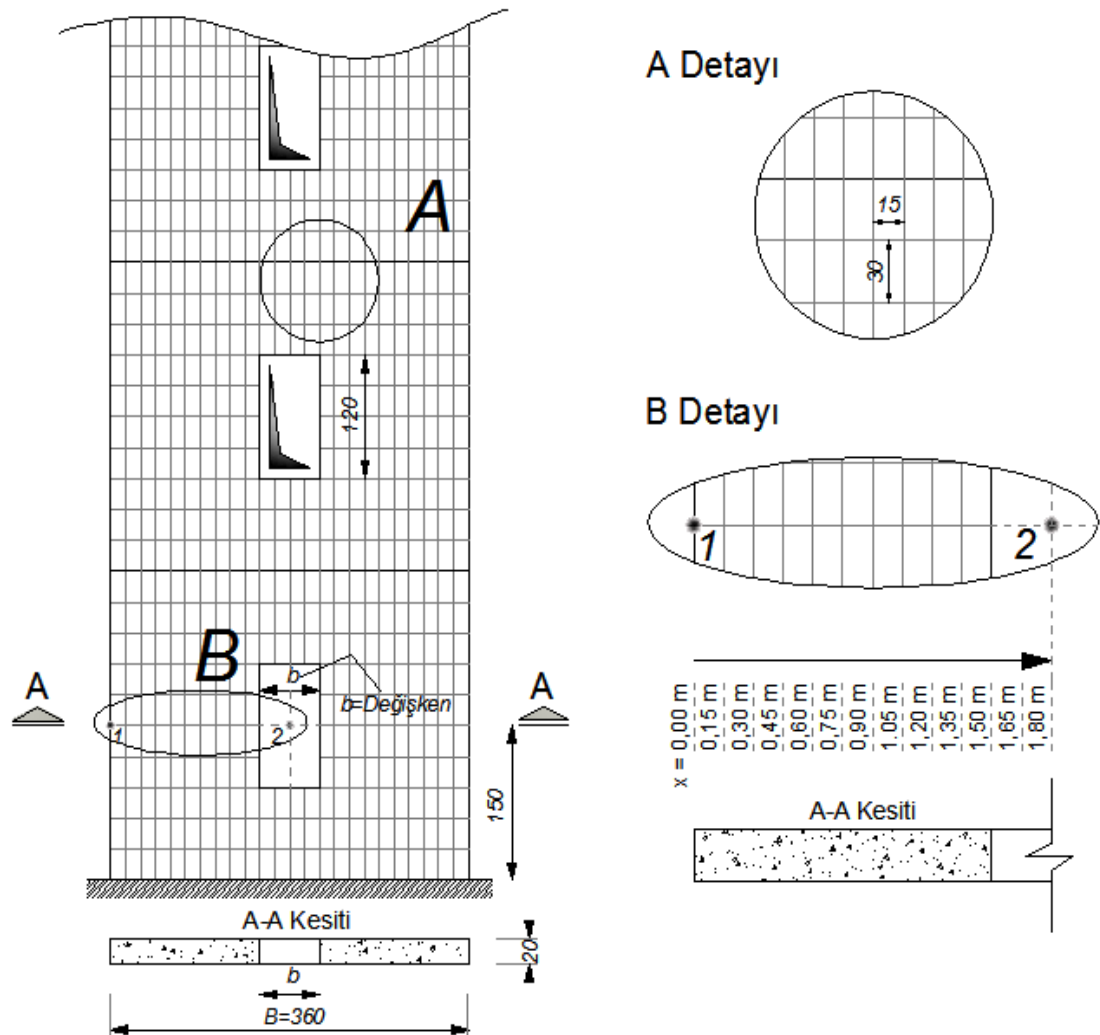
Şekil 4.6. Kat adedine ve boşluk oranına göre  $I_e/I_o$  değişimi  
(Pencere tipi boşluklu perdede)



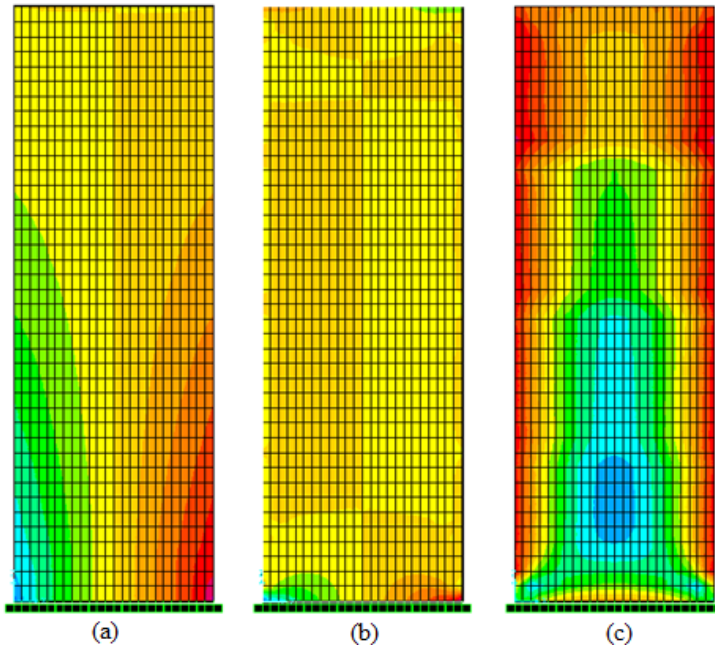
Şekil 4.7. Kat adedine ve boşluk oranına göre  $I_e/I_o$  değişimi  
(Kapı tipi boşluklu perdede)

Perde yüzeyinde seçilen [1-2] doğrultusundaki normal ve kayma gerilmelerinin boşluk oranları ve kat adetlerine göre değişimi

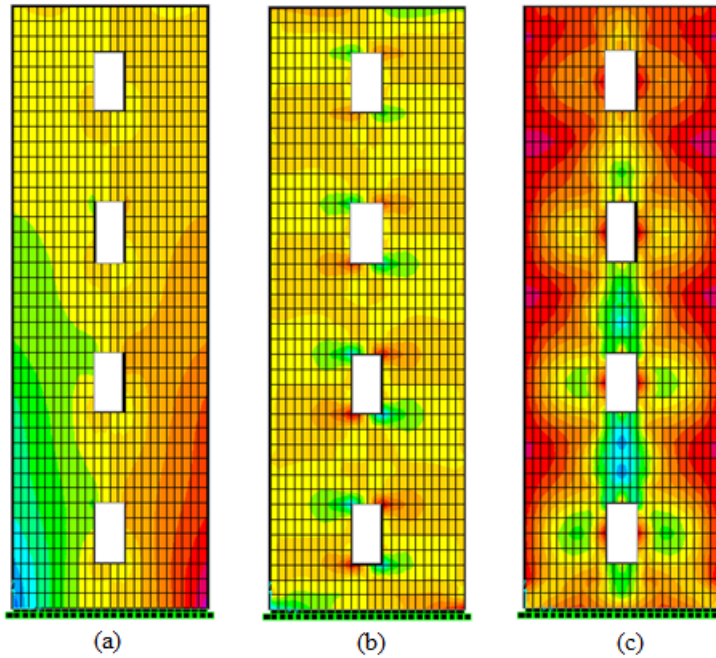
Bu kısımda Şekil 4.8’de gösterilen [1-2] doğrultusundaki normal ve kayma gerilmelerinin boşluk oranları ve kat adetlerine göre değişimi 4-8-12-16 ve 20 katlı pencere tipi boşluk ile teşkil edilen boşluklu perdelerde irdelenmiştir. Burada gerilmelerin değişimini daha iyi görebilmek için Sap 2000 programında “shell” elemanlar ile 15x30 boyutundaki sonlu elemanlar ağı oluşturulmuştur.



Şekil 4.8. Seçilen [1-2] doğrultusunun ve sonlu elemanlar ağının gösterimi



Şekil 4.9. Gerilme dağılımları örneği (4 katlı dolu perde)  
 a. Düşey normal gerilme  
 b. Yatay normal gerilme  
 c. Kayma gerilmesi



Şekil 4.10. Gerilme dağılımları örneği (4 katlı,  $b/B=2/12$ , pencere tipi boşluklu perde)  
 a. Düşey normal gerilme  
 b. Yatay normal gerilme  
 c. Kayma gerilmesi

Çizelge 4.8. Dört katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki düşey normal gerilmeler

x (m)	b/B oranı				
	0/12	2/12	4/12	6/12	8/12
0,00	2421,27	2440,96	2482,19	2602,64	2968,74
0,15	2219,50	2238,03	2285,79	2438,23	2939,87
0,30	2024,33	2039,02	2088,52	2265,17	2897,84
0,45	1825,00	1834,49	1884,02	2087,21	2918,67
0,60	1625,31	1628,65	1680,91	1928,51	2754,69
0,75	1423,90	1422,05	1481,88	1816,46	
0,90	1221,26	1216,46	1296,05	1563,98	
1,05	1016,94	1011,98	1131,58		
1,20	812,95	813,06	875,97		
1,35	609,30	621,21			
1,50	405,89	393,47			
1,65	202,86				
1,80	0,00				

Çizelge 4.9. Sekiz katlı boşluklu perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki düşey normal gerilmeler

x (m)	b/B oranı				
	0/12	2/12	4/12	6/12	8/12
0,00	9998,32	10037,03	10153,71	10602,57	12112,52
0,15	9163,34	9204,78	9365,82	9976,74	12079,46
0,30	8557,59	8393,98	8577,84	9311,95	11980,38
0,45	7540,10	7566,32	7766,94	8635,72	12160,27
0,60	6718,72	6735,48	6963,47	8042,84	11563,86
0,75	5891,79	5900,33	6179,36	7664,46	
0,90	5057,55	5067,95	5450,65	6710,13	
1,05	4217,44	4235,32	4824,66		
1,20	3375,06	3423,15	3853,23		
1,35	2532,57	2642,01			
1,50	1687,76	1717,51			
1,65	843,87				
1,80	0,00				

Çizelge 4.10. Oniki katlı boşluklu perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki düşey normal gerilmeler

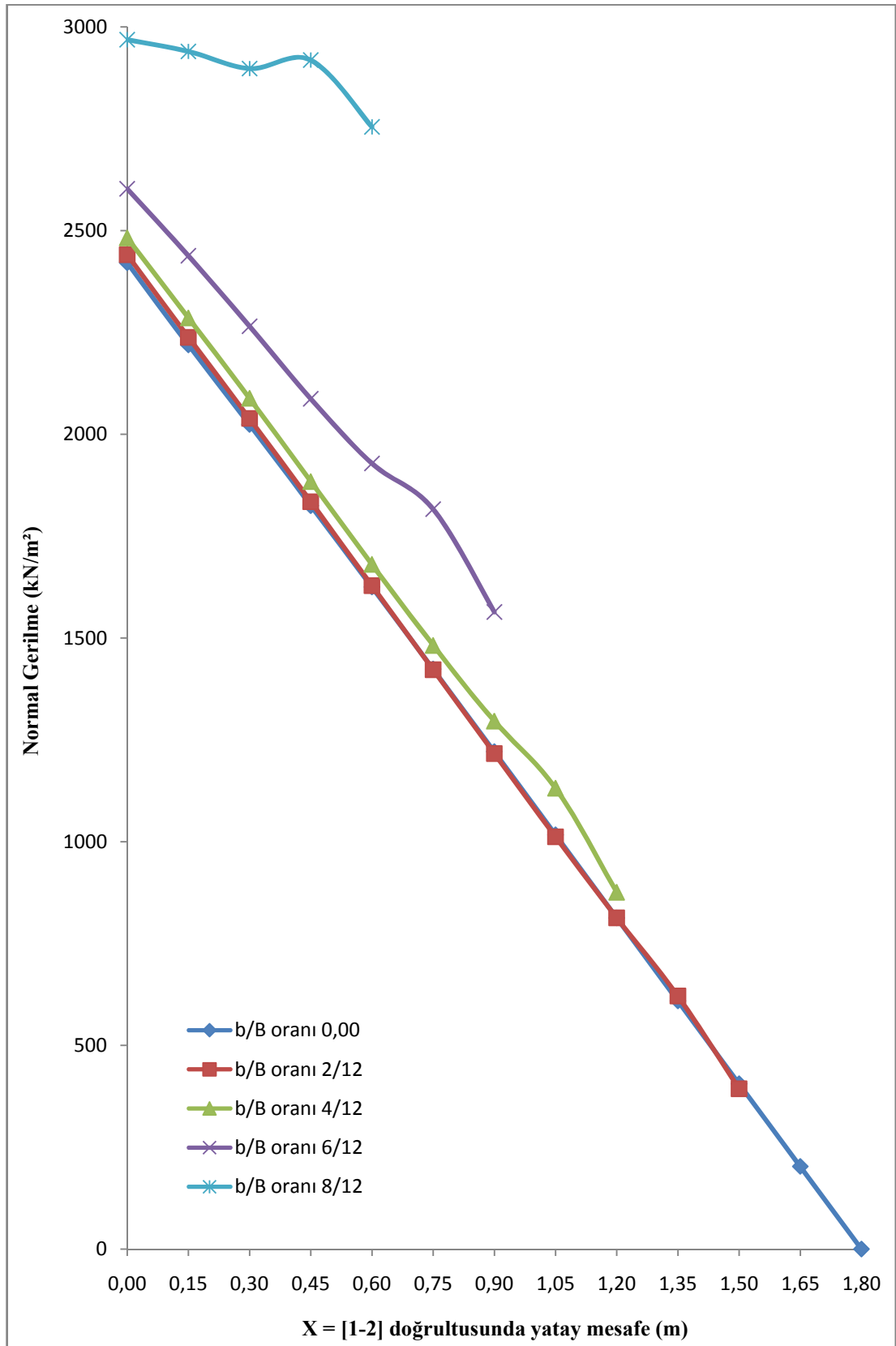
x (m)	b/B oranı				
	0/12	2/12	4/12	6/12	8/12
0,00	22732,35	22788,07	23012,40	23996,03	27428,15
0,15	20832,44	20899,95	21238,40	22613,33	27418,04
0,30	19000,44	19064,60	19466,84	21139,49	27248,81
0,45	17147,92	17195,63	17645,58	19640,74	27729,78
0,60	15280,78	15321,06	15848,58	18346,00	26433,54
0,75	13404,26	13436,54	14094,69	17550,10	
0,90	11511,47	11552,13	12464,66	15495,87	
1,05	9602,17	9672,10	11093,83		
1,20	7686,99	7832,73	8941,46		
1,35	5773,19	6073,72			
1,50	3846,03	4007,75			
1,65	1923,26				
1,80	0,00				

Çizelge 4.11. Onaltı katlı boşluklu perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki düşey normal gerilmeler

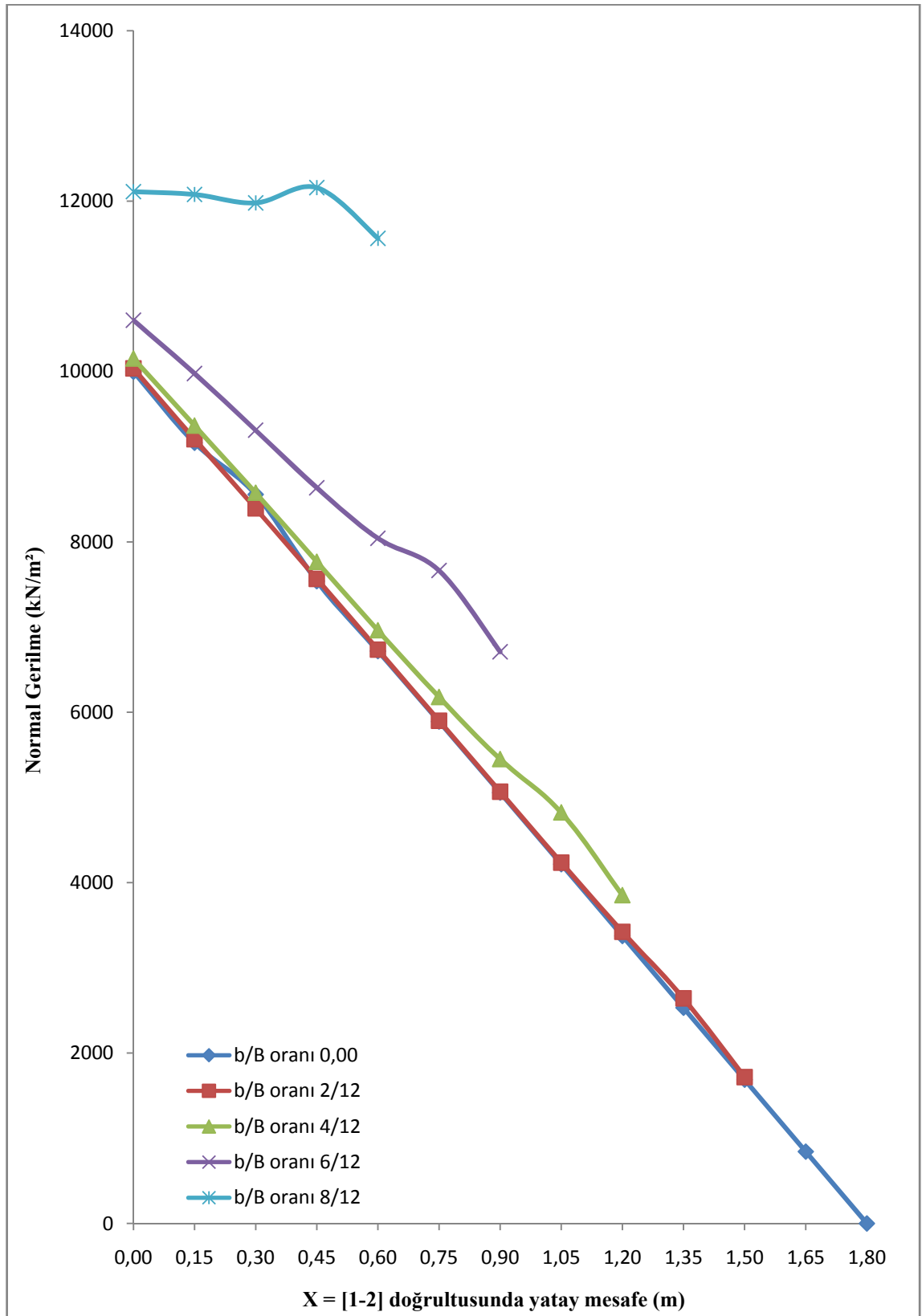
x (m)	b/B oranı				
	0/12	2/12	4/12	6/12	8/12
0,00	40620,80	40691,65	41056,05	42780,88	48913,08
0,15	37224,46	37321,35	37901,45	40345,84	48952,77
0,30	33950,75	34048,88	34753,56	37745,62	48700,08
0,45	30639,52	30730,91	31521,25	35110,38	49627,00
0,60	27309,79	27383,67	28334,45	32835,68	47360,22
0,75	23959,80	24028,56	25226,09	31470,81	
0,90	20574,90	20670,83	22332,59	27779,01	
1,05	17170,04	17321,06	19911,40		
1,20	13747,85	14040,69	16138,58		
1,35	10329,41	10905,62			
1,50	6880,24	7253,14			
1,65	3440,79				
1,80	0,00				

Çizelge 4.12. Yirmi katlı boşluklu perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki düşey normal gerilmeler

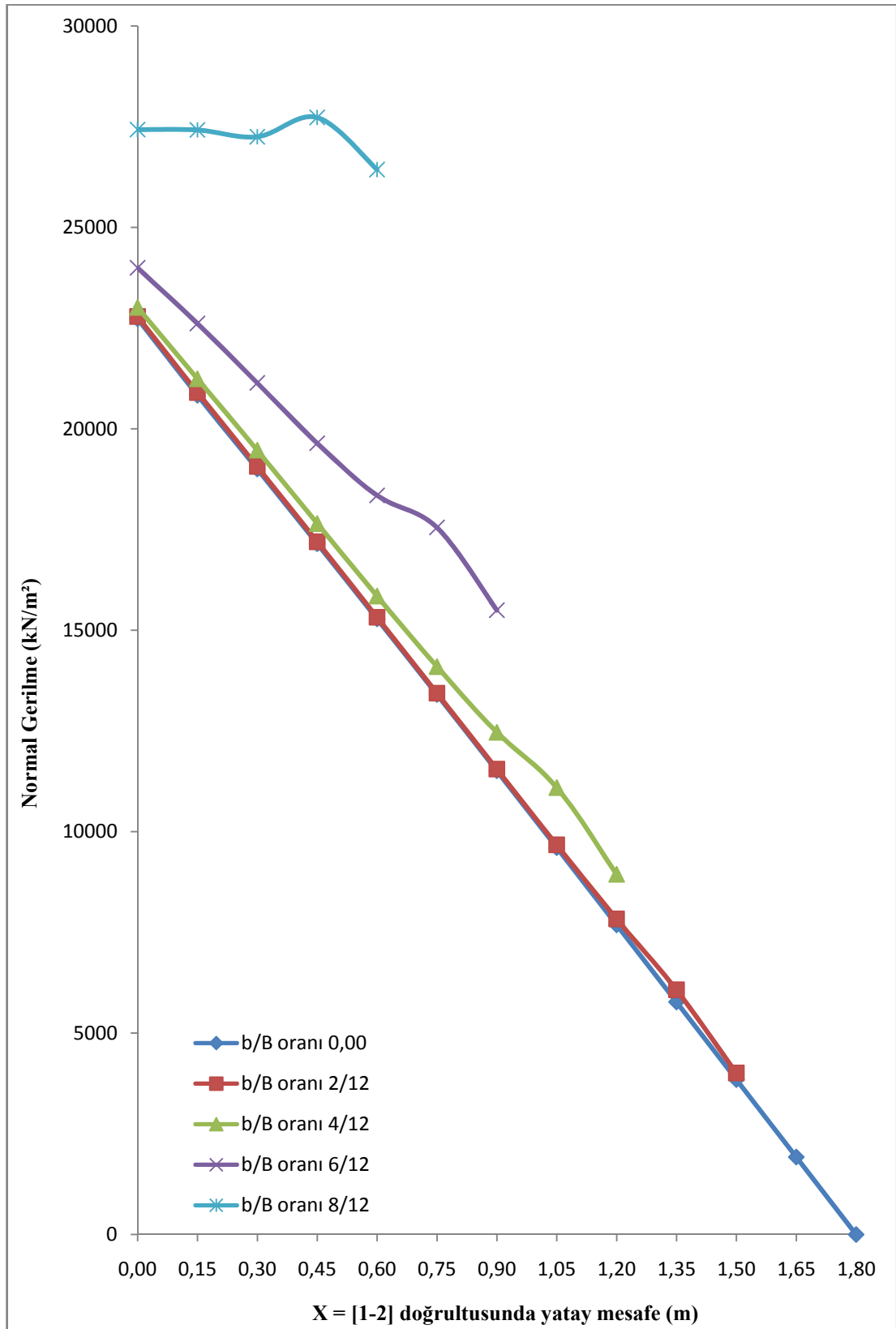
x (m)	b/B oranı				
	0/12	2/12	4/12	6/12	8/12
0,00	63667,12	63751,27	64288,23	66960,89	76571,56
0,15	58342,57	58472,16	59358,26	63177,75	76687,85
0,30	53211,43	53349,73	54441,00	59133,59	76338,32
0,45	48015,16	48145,12	49404,89	55042,21	77799,31
0,60	42808,07	42925,66	44423,47	51514,60	74347,80
0,75	37560,46	37678,46	39575,69	49429,12	
0,90	32257,72	32425,69	35065,07	43700,65	
1,05	26922,49	27183,62	31304,73		
1,20	21558,79	22048,18	25445,76		
1,35	16187,74	17139,86			
1,50	10790,96	11454,14			
1,65	5396,76				
1,80	0,00				



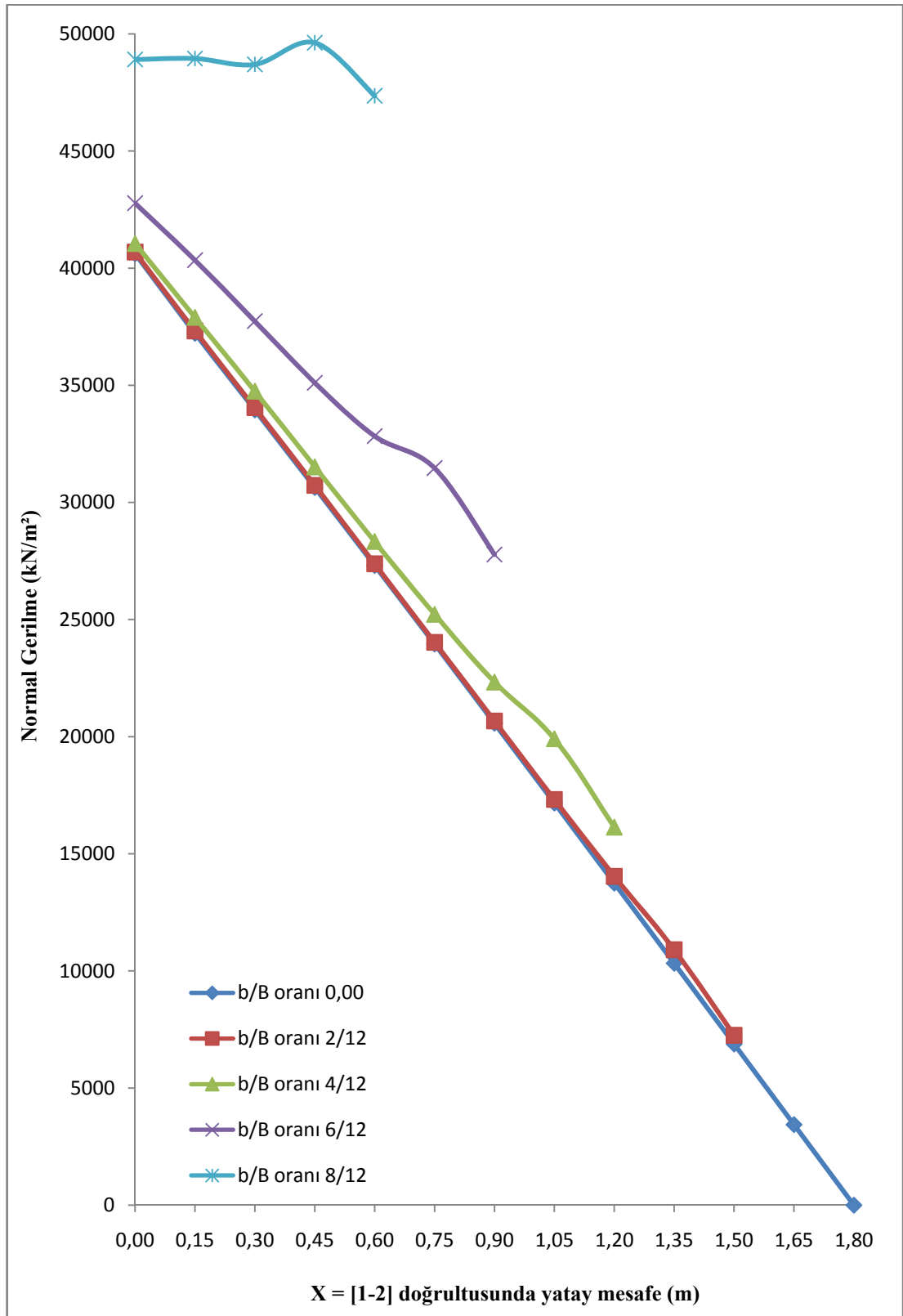
Şekil 4.11. Dört katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki düşey normal gerilmeler



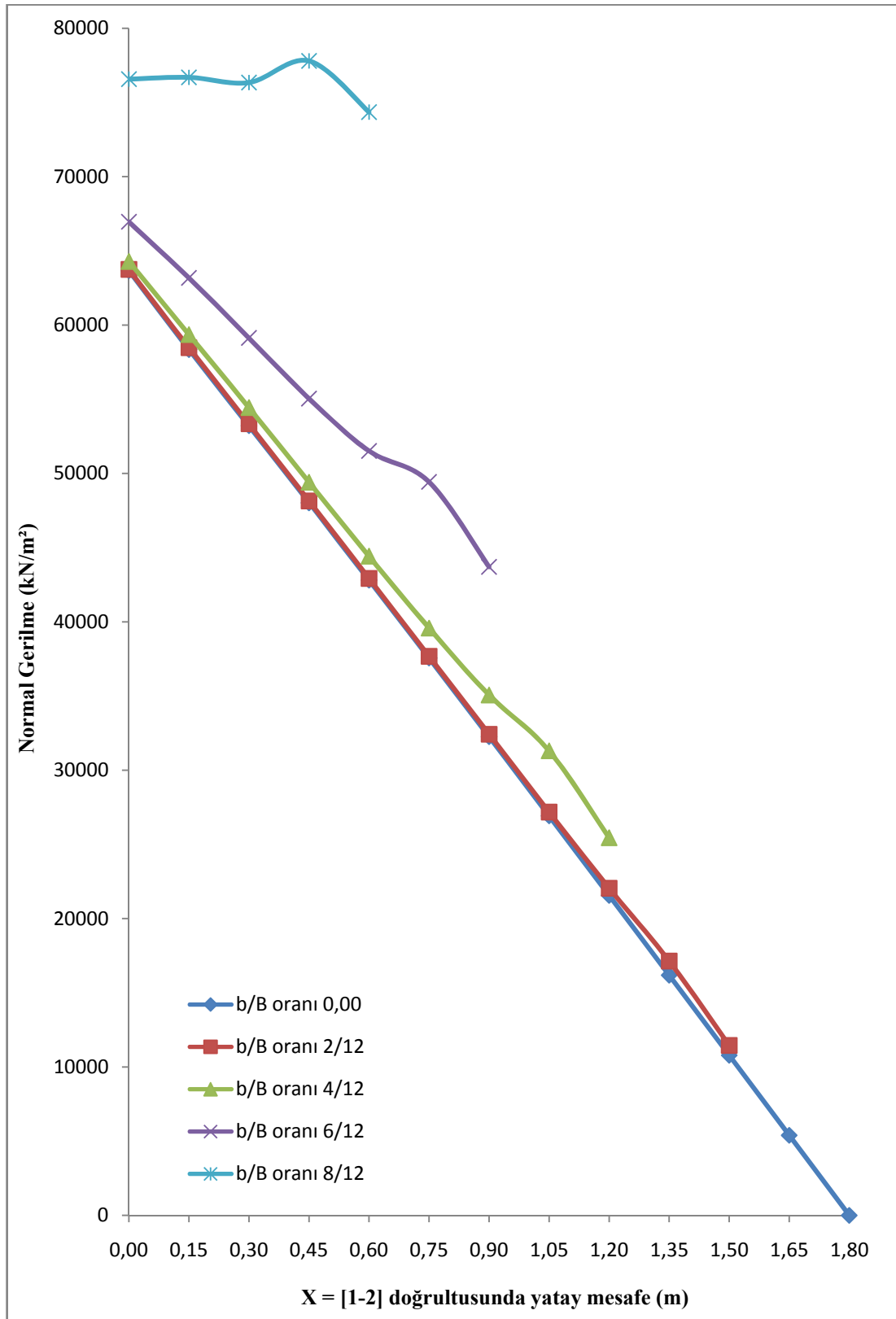
Şekil 4.12. Sekiz katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki düşey normal gerilmeler



Şekil 4.13. Oniki katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki düşey normal gerilmeler



Şekil 4.14. Onaltı katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki düşey normal gerilmeler



Şekil 4.15. Yirmi katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki düşey normal gerilmeler

Çizelge 4.13. Dört katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki kayma gerilmeleri

x (m)	b/B oranı				
	0/12	2/12	4/12	6/12	8/12
0,00	16,75	38,26	67,99	132,32	310,00
0,15	41,32	92,96	162,32	306,96	662,98
0,30	86,89	180,29	301,36	532,66	958,49
0,45	126,53	243,81	386,33	614,71	532,41
0,60	161,56	296,32	441,60	562,29	30,70
0,75	193,62	337,69	455,96	260,19	
0,90	220,60	361,67	391,33	-28,16	
1,05	243,08	362,25	171,00		
1,20	260,70	308,19	-27,90		
1,35	273,81	136,90			
1,50	283,00	-14,27			
1,65	288,32				
1,80	290,11				

Çizelge 4.14. Sekiz katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki kayma gerilmeleri

x (m)	b/B oranı				
	0/12	2/12	4/12	6/12	8/12
0,00	32,02	75,96	136,68	266,91	622,44
0,15	73,11	178,55	320,09	612,70	1325,27
0,30	159,80	350,46	597,37	1065,02	1916,47
0,45	240,20	479,96	771,21	1229,87	1063,53
0,60	311,02	586,15	882,10	1124,94	59,92
0,75	380,22	674,52	915,36	519,67	
0,90	439,71	728,23	789,35	-57,43	
1,05	489,65	733,80	345,74		
1,20	529,21	627,92	-56,03		
1,35	558,71	282,43			
1,50	579,39	-27,08			
1,65	591,31				
1,80	595,34				

Çizelge 4.15. Oniki katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki kayma gerilmeleri

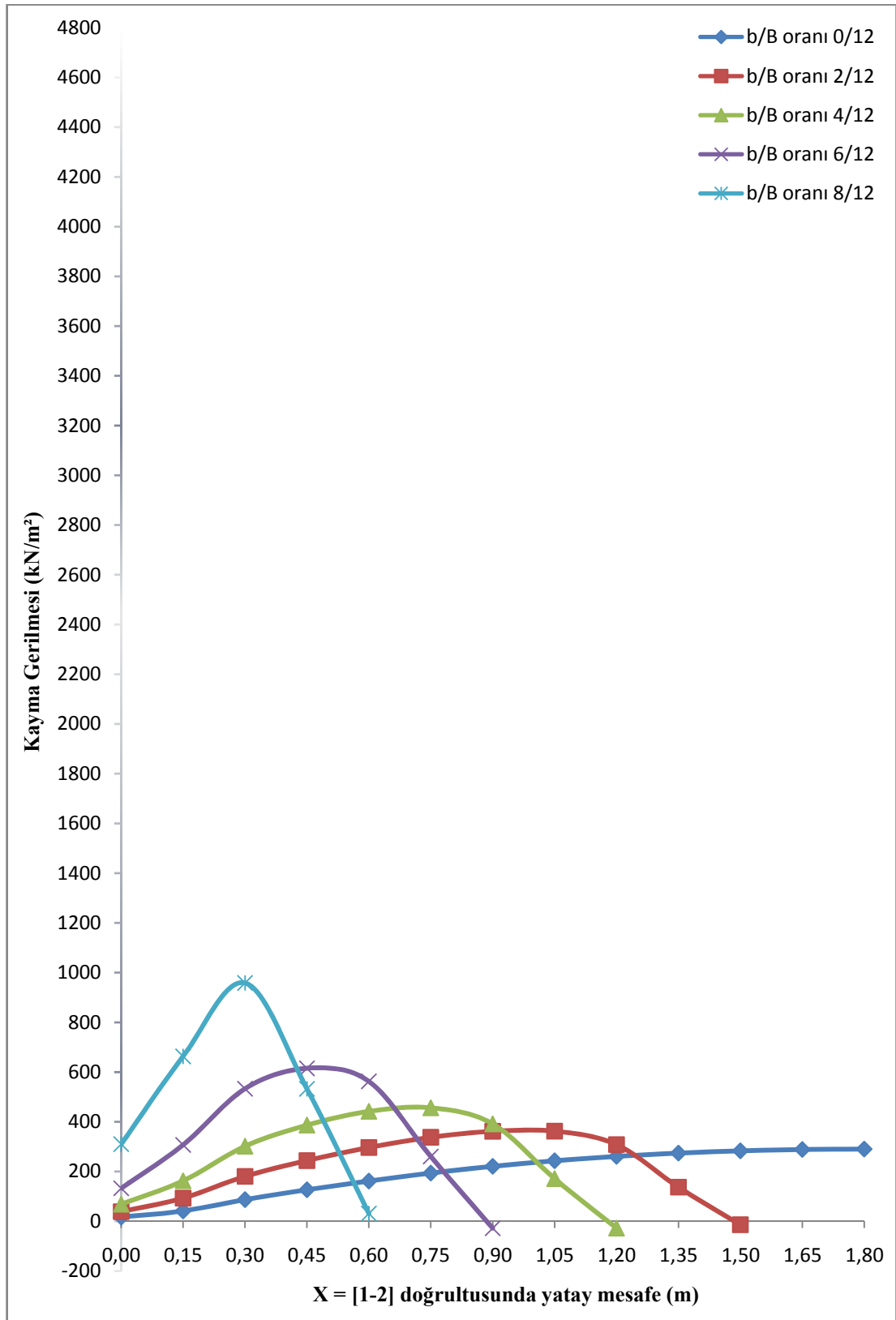
x (m)	b/B oranı				
	0/12	2/12	4/12	6/12	8/12
0,00	45,87	113,15	206,02	403,67	937,46
0,15	95,39	256,74	472,98	916,69	1986,50
0,30	218,86	510,62	887,73	1596,59	2873,97
0,45	340,91	707,80	1152,57	1849,15	1601,19
0,60	448,64	869,69	1321,28	1688,19	87,74
0,75	560,06	1010,49	1377,93	779,29	
0,90	657,13	1095,32	1193,35	-92,56	
1,05	739,79	1114,15	525,03		
1,20	805,49	958,78	-83,29		
1,35	854,26	433,20			
1,50	888,81	-37,82			
1,65	908,55				
1,80	915,25				

Çizelge 4.16. Onaltı katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki kayma gerilmeleri

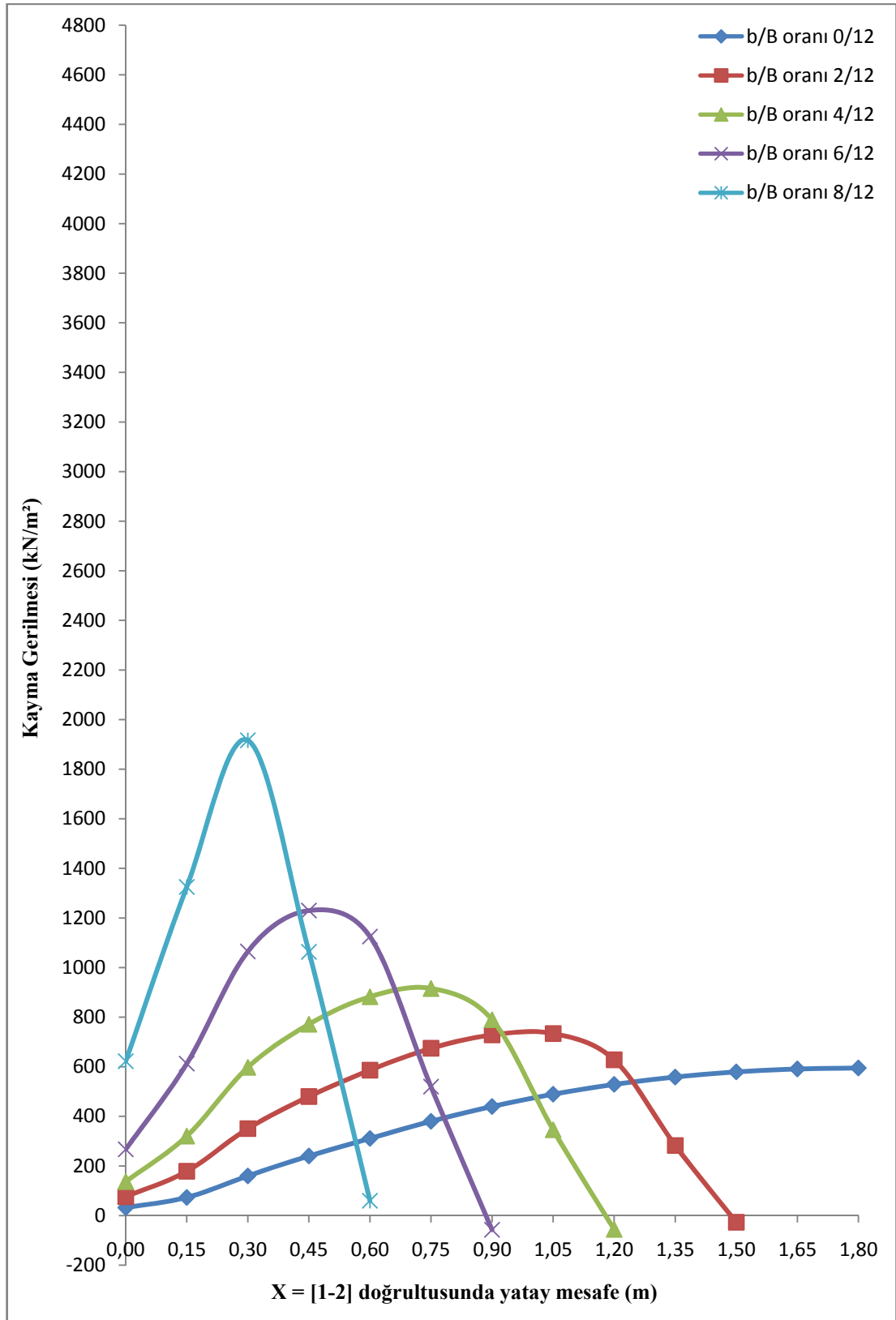
x (m)	b/B oranı				
	0/12	2/12	4/12	6/12	8/12
0,00	58,32	149,82	276,02	542,62	1255,03
0,15	108,14	327,52	621,03	1218,97	2646,73
0,30	264,07	660,76	1172,47	2127,45	3830,99
0,45	429,48	928,15	1531,89	2468,29	2131,85
0,60	574,43	1146,91	1759,16	2252,03	114,14
0,75	733,13	1345,60	1843,68	1038,96	
0,90	873,18	1475,11	1602,26	-127,08	
1,05	993,49	1503,36	708,76		
1,20	1089,52	1300,83	-109,81		
1,35	1161,19	58964			
1,50	1211,32	-46,54			
1,65	1240,07				
1,80	1249,91				

Çizelge 4.17. Yirmi katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki kayma gerilmeleri

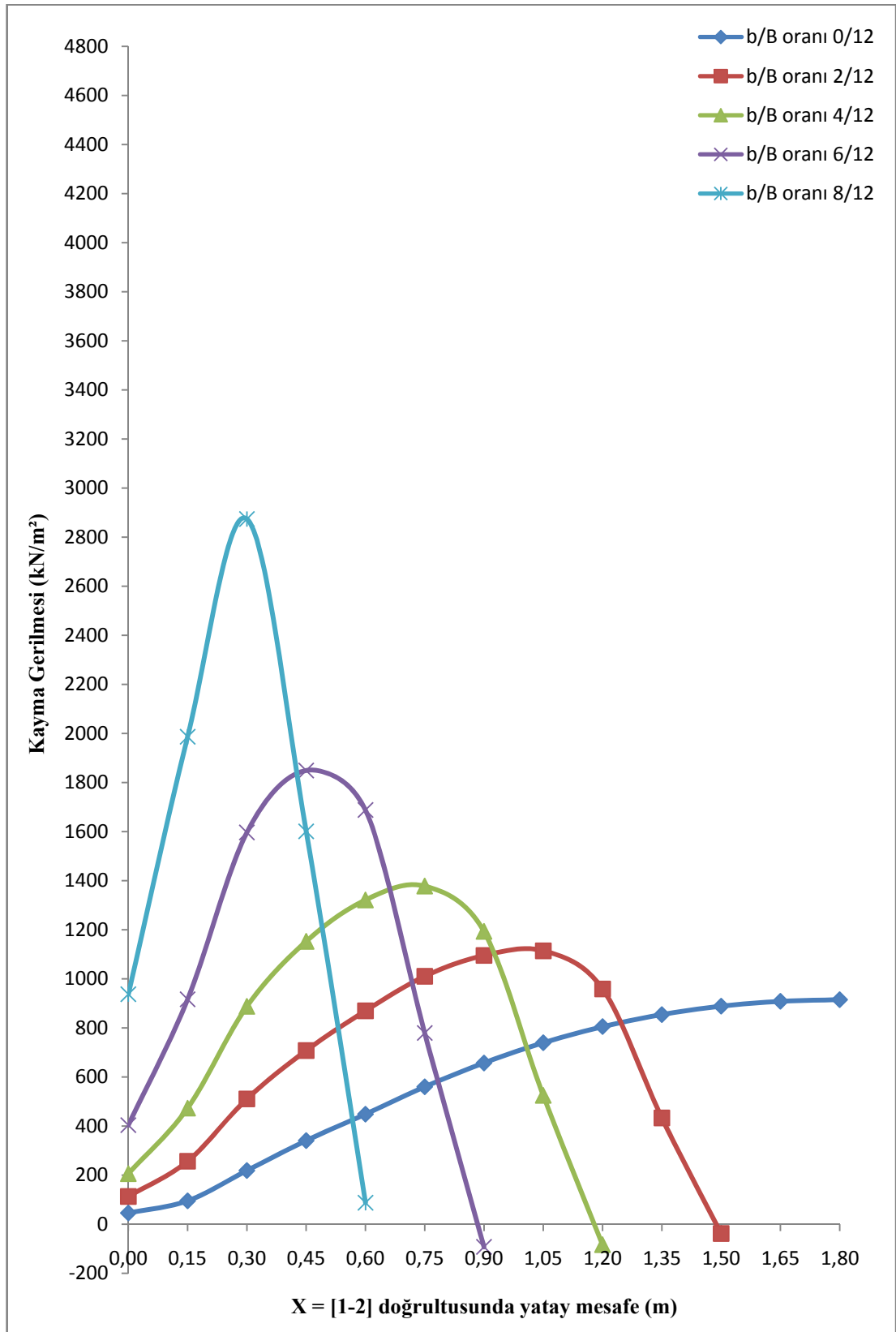
x (m)	b/B oranı				
	0/12	2/12	4/12	6/12	8/12
0,00	69,34	185,96	346,66	683,74	1575,15
0,15	111,37	390,90	764,23	1519,57	3305,96
0,30	295,40	800,88	1451,59	2657,60	4787,53
0,45	504,49	1140,59	1908,88	3088,75	2672,45
0,60	688,35	1417,81	2195,75	2816,44	139,13
0,75	899,42	1679,85	2312,64	1298,63	
0,90	1087,59	1855,10	2068,59	-163,33	
1,05	1250,75	1901,44	896,93		
1,20	1381,33	1654,07	-135,62		
1,35	1478,50	761,15			
1,50	1546,91	-53,27			
1,65	1585,89				
1,80	1599,28				



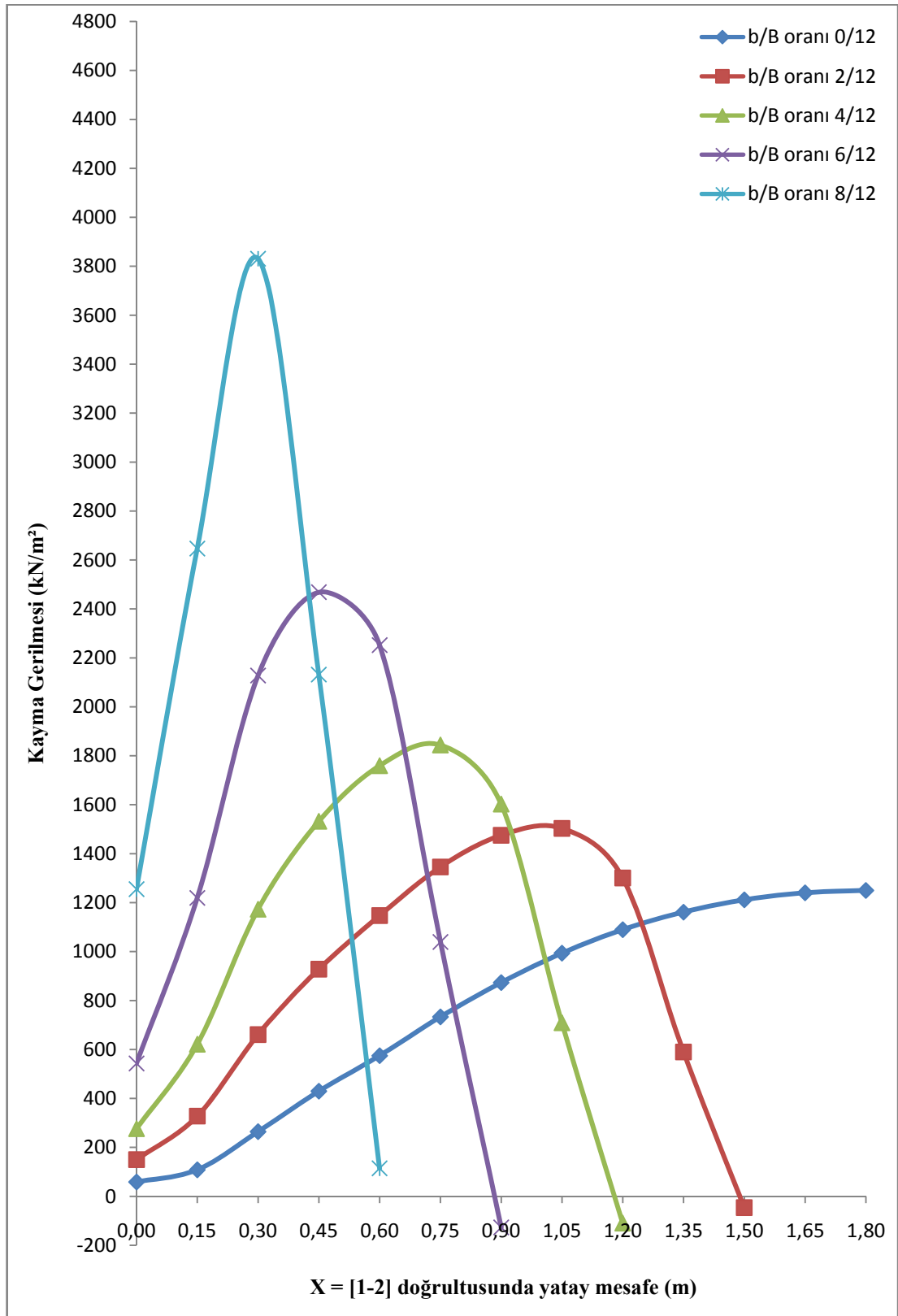
Şekil 4.16. Dört katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki kayma gerilmeleri



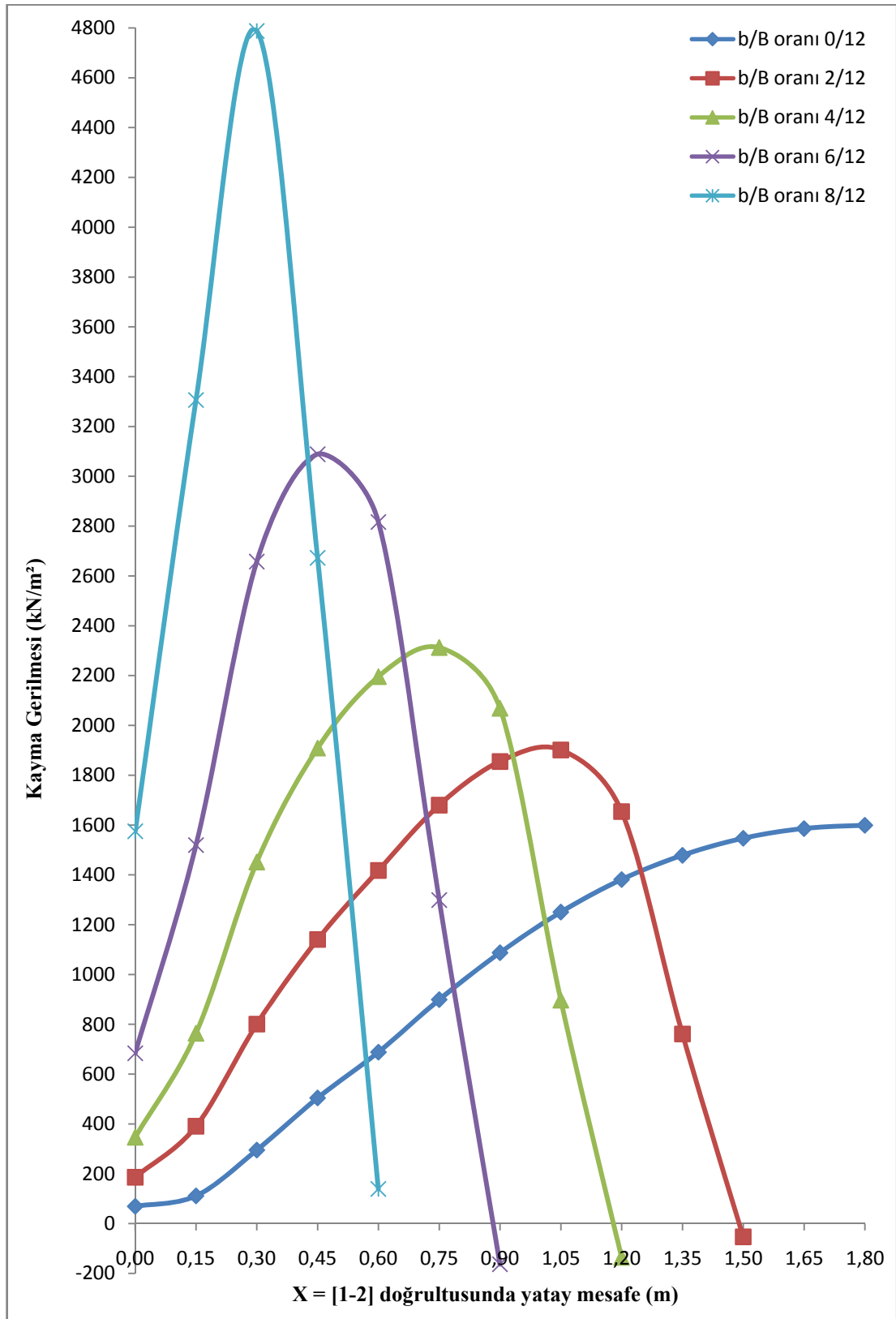
Şekil 4.17. Sekiz katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki kayma gerilmeleri



Şekil 4.18. Oniki katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki kayma gerilmeleri



Şekil 4.19. Onaltı katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki kayma gerilmeleri



Şekil 4.20. Yirmi katlı perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki kayma gerilmeleri

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Perdeler yatay yükler altında göstermiş oldukları olumlu katkılarından dolayı günümüzde sıklıkla kullanılan yapı elemanları haline gelmiştir. Yapının sistem rijitliğine katkıda bulunan bu elemanlar dolu gövdeli veya boşluklu olarak teşkil edilirler.

Bu çalışma kapsamında SAP2000 yapısal analiz programı yardımıyla bilgisayar ortamında oluşturulan boşluklu perde modellerine ait sonuçlar dördüncü bölüm kapsamında çizelgeler ve grafikler yardımıyla sunulmuştur.

Yapılan çalışmada boşluk oranının ve kat adedinin değişimine bağlı olarak boşluklu perdenin yanal ötelenme davranışı, efektif rijitliğinin değişimi ve seçilen noktadaki gerilmelerin boşluk oranı ile kat sayısına bağlı olarak değişimi izlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, seçilen modeller ve yapılan kabuller çerçevesinde geçerlidir.

Boşluklu perdelerdeki boşluk miktarı yatay yükler altındaki davranışı etkilemektedir. Yatay yükler altında dolu gövdeli perdeler bir tür eğilme kirişi davranışı sergilerken boşluklu perdelerde bu davranış; eğilme ve kayma tipi şekil değiştirmesi arasında oluşmaktadır.

Yapılan analizlerde boşluklu perde efektif rijitliğinin boşluk oranı arttıkça azaldığı, aynı boşluk oranına sahip perdelerde ise kat sayısı ile efektif rijitliğinin arttığı gözlenmiştir. Seçilen kat sayılarına göre pencere tipi boşluklu perdelerde sekiz kat ve üzeri örneklerde; kapı tipi boşluklu perdelerde ise oniki kat ve üzeri örneklerde efektif rijitlik değerinin değişiminin azalmakta olduğu gözlenmiştir. Genel olarak bu azalış miktarının boşluk oranı “b/B” değerinin 4/12 ye karşılık gelen boşluk oranlarına kadar daha sınırlı bir düzeyde gerçekleştiği görülmüştür.

Yapılan modellerde perdede boşluk ile teşkil edilen boşluklu perdede yatay yük etkisi altında bir tür basınca ve çekmeye çalışan iki çubuk eleman oluştuğu

gözlenmiştir. Bu davranış biçiminden boşluklu perdenin bir tür çubuklardan oluşan çerçeve modeli ile oluşturulabileceği sonucu çıkmaktadır. Bu modellenmede düğüm noktası sayısının azlığı işlem süresini kısaltacağından basit bir uygulama olarak kullanılabilir. Ancak bu modellenme tekniğine göre oluşturulacak boşluklu perdede bağ kirişlerinin perde içerisinde kalan rijit bölgelerinin tanımlanması gereklidir.

Dördüncü bölümde yapılan uygulamalar düzlem sonlu elemanlarla oluşturulmuştur. Seçilen gerilme doğrultusunda elde edilen gerilme sonuçlarına bakıldığında normal gerilmelerin boşluk oranının artması ile perdenin uç noktalarında yani perdenin başlık bölgelerinde arttığı ve bu artışın boşluksuz perdenin seçilen doğrultuda ki normal gerilme dağılımına paralel olduğu gözlenmiştir. Uygulama örneklerinin sonuçlarına bakıldığında perdede oluşturulan pencere tipi boşluk oranı olan  $b/B$  değerinin  $4/12$  değerine kadar karşılık gelen uygulamalarında gerilme konsantrasyonunda düşey normal gerilmelerin değişiminin az olduğu; bu oranı geçen boşluk oranlarında gerilmelerin hızlı bir şekilde arttığı gözlenmiştir.

Kayma gerilmelerinin gerilme dağılımına bakıldığında ise dolu perdelerde kayma gerilmesinin perde orta ekseninde normal olarak maksimum değere ulaştığı ancak boşluk teşkili ile birlikte bu gerilme dağılımının seçilen gerilme doğrultusunda farklılaştığı (boşluk ile perde başlık bölgeleri arasında kayma gerilmesi değerlerinin artarak azaldığı) ve kat adedinin artmasıyla gerilmelerin arttığı gözlenmiştir.

Genel olarak boşlukların köşelerinde büyük gerilme yığılmaları oluşmaktadır. Bu da boşluk kenarlarında özel donatı uygulamalarına dikkat edilmesi gerektiği sonucunu çıkarmaktadır.

Boşluklu perdelerde deplasmanlar boşluk oranının ve kat adedinin artmasıyla birlikte artmaktadır.

Boşluklu perde modellenmeleri yapılırken boşluklu perdenin boşluk miktarına bakılarak davranışı hakkında bir ön fikir ile matematik model oluşturulmalıdır.

Perdede açılan boşluk bir dezavantaj gibi gözükse de dolu perdenin olumlu özelliklerini yansıtacak şekilde oluşturulan boşluklu perde ile sünekliğin arttırılmış olması ve yapı ekonomisine katkıda bulunulması noktasında avantajlı duruma geçilebilir. Bununla ifade edilmek istenen bazen zorunlu haller dışında da büyük kesitli perdelerde boşluk açılabilmesinin avantajlarının araştırılmasıdır.

Perdede açılan boşluk, yapılan uygulama kapsamında perde ekseninde açılmıştır ve sonuçlara bakıldığında belli oranları geçen boşluklarla birlikte gerilmelerdeki artış eğilimi artmakta, boşluklu perde efektif rijitliğinde daha hızlı bir düşüş gözlenmektedir. Yaklaşık olarak bu oran pencere tipi boşluklu perdede  $b/B=4/12$  oranına karşılık gelmektedir. Bu boşluk perde eksenindeki boşluk durumu için yapılan kabuller çerçevesinde ve ele alınan modeller için geçerlidir.

Perdede boşluk açmak mimari, tesisat veya statik nedenlerle gerekecekse en uygun yer boşluğun perdenin orta ekseninde teşkili ile olacaktır. Nitekim boşluk ile birlikte perdelerin uçlarında bir tür çekmeye ve basınca çalışan çubuk elemanlar oluşacaktır. Bu elemanlar perdede başlık bölgeleri ile temsil edilirler ve başlık bölgelerinin tanımı ilgili deprem yönetmeliklerimizde vardır. Mümkün olduğunca perdede oluşturulacak boşlukların bu bölgelere denk getirilmemesi uygun olacaktır.

## KAYNAKLAR

1. Rosman,R. “Approximate Analysis of Shear Walls Subject to Lateral Loads”, *Journal of American Concrete Institute*, 61(6): 717-733 (1964)
2. Coull,A.,Choudhury,J.R., “Analysis of Coupled Shear Walls ”, *Journal of American Concrete Institute*, 64: 587-593 (1967)
3. Atımtay,E., “Çerçevesel ve perdeli betonarme sistemlerin tasarımı,Cilt 2”, *ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü*, Ankara, 761-776 (2001).
4. Stafford Simith,B., Girgis,A., “Simple Analogous Frames for Shear Wall Analysis”, *ASCE Journal of Structural Engineering*, 110,2655-2666 (1984)
5. Çıtıptıoğlu,E.,Yılmaz,Ç.,Doğan,E., “Delikli betonarme perde duvarların elastik analizi”, *Yapı Mekaniği Semineri 94*, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 175-187 (1994).
6. Macleod,I.A., “New Rectangular Finite Element for Shear Wall Analysis”, *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, Structural Division, 95(ST3), 399-409 (1969).
7. Chan,H.C. ,Cheung,Y.K., “Analysis of Shear Walls Using Higher Order Finite Elements”, *Building and Environment*, 14: 217-224 (1979)
8. Atımtay,E., “Çerçevesel ve Perdeli Betonarme Sistemlerin Tasarımı, Cilt 1”, *ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü*, Ankara, 207-211(2001).
9. Hasgür,Z.,Gündüz,N.,“Betonarme Yüksek Binalar”, *Beta A.Ş.*, İstanbul, 9-21, 86-88, (1996).
10. Alyavuz, B., “Boşluklu perde-çerçeve sistemlerin sonlu elemanlar metodu ile gerilme analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-8, 39-50, (2003).
11. Türker,İ.Y., “Perde-çerçeve sistemler ve boşluklu perdelerin yatay yükler için modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 42-50 (2003).
12. Kaya,Z.D., “Shear walls with openings”, Yüksek Lisans Tezi, *Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 12-34 (1996).
13. Karaesmen,E., Erkay,C., Boyacı,N., Özkan,G., Nayef,A., “Taşıyıcı perde duvar tasarımının çeşitli yönlerine irdemeli bir bakış”, *Çok Katlı Yapılar Sempozyumu*, T.M.M.O.B. İnş. Müh. Odası, İzmir, 263-282 (1989).

14. Çakıroğlu,A.,Özmen,G.,“Çerçeveler ve boşluklu perdelerden oluşan yapıların yatay yüklere göre hesabı”, *İTÜ Teknik Rapor*,No:16, İstanbul, 21-50 (1973).
15. Aydın,R., “Çerçeve-perde ve boşluklu perdelerden meydana gelen sistemlerin yatay yükler altında incelenmesi”, *Anadolu Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Yayın 9*, Eskişehir, 93-98 (1984).
16. SAP2000 Advanced 9.0.1, Structural Analysis Program, *Computers and Structures, Inc.*, (2004).

**EKLER**

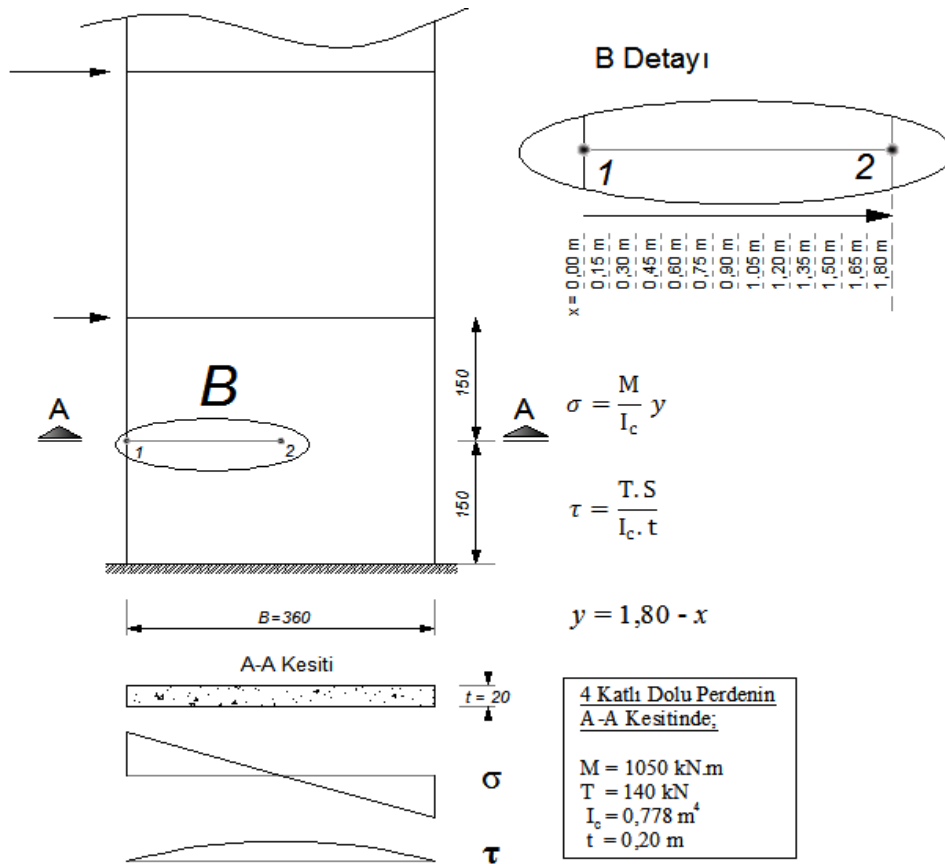
### EK-1 Dört katlı dolu perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki gerilmelerin karşılaştırılması

Dördüncü bölüm kapsamındaki uygulamalarda bulunan gerilmeler, Sonlu Elemanlar Yöntemiyle SAP2000 programında hesaplanmıştı. Bu kısımda 4 katlı dolu perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki gerilmeler ile kiriş teorisinde bulunan değerler karşılaştırılmıştır.

Kiriş teorisinde kesitte oluşan normal ve kayma gerilmesi değerleri;

$$\sigma = \frac{M}{I_c} y$$

$$\tau = \frac{T \cdot S}{I_c \cdot t} \quad \text{dir.}$$

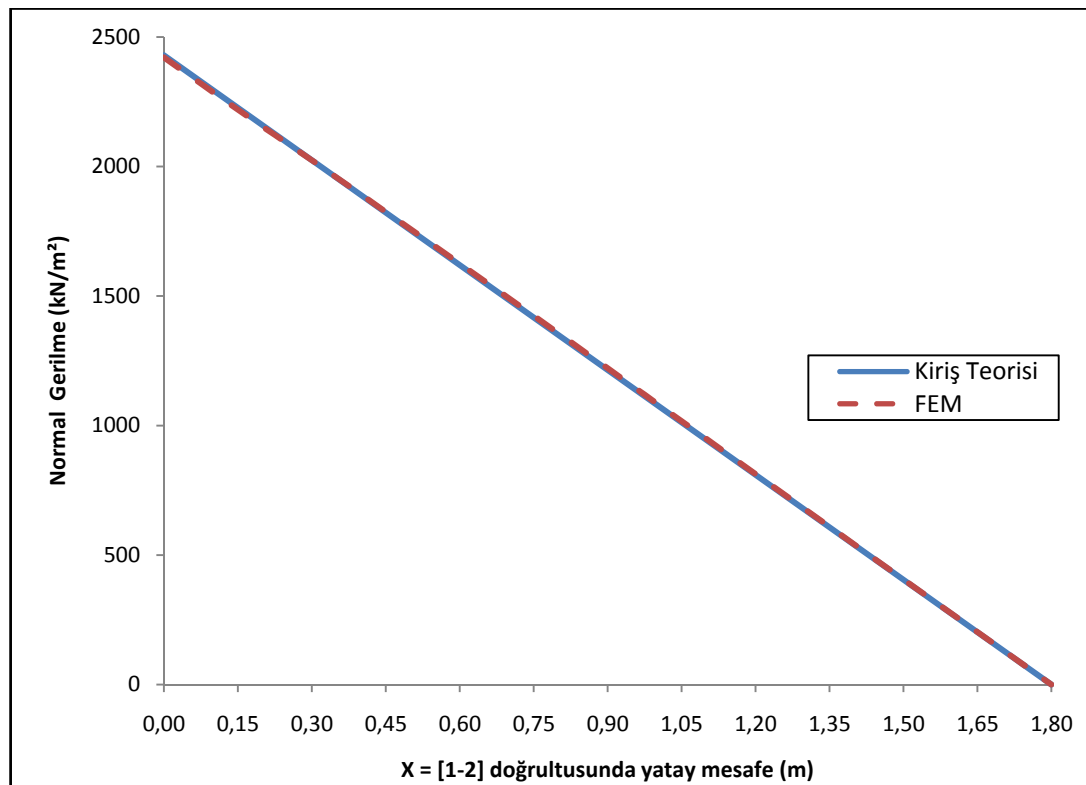


Şekil 1.1. Perdede seçilen [1-2] doğrultusu ve A-A kesitinde oluşan gerilmeler

EK-1 (Devam) Dört katlı dolu perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki gerilmelerin karşılaştırılması

Çizelge 1.1. Dört katlı dolu perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki normal gerilmeler

Kiriş Teorisi		FEM
x (m)	$\sigma$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma$ (kN/m <sup>2</sup> )
0,00	2429	2421
0,15	2227	2220
0,30	2024	2024
0,45	1822	1825
0,60	1620	1625
0,75	1417	1424
0,90	1215	1221
1,05	1012	1017
1,20	810	813
1,35	607	609
1,50	405	406
1,65	202	203
1,80	0	0

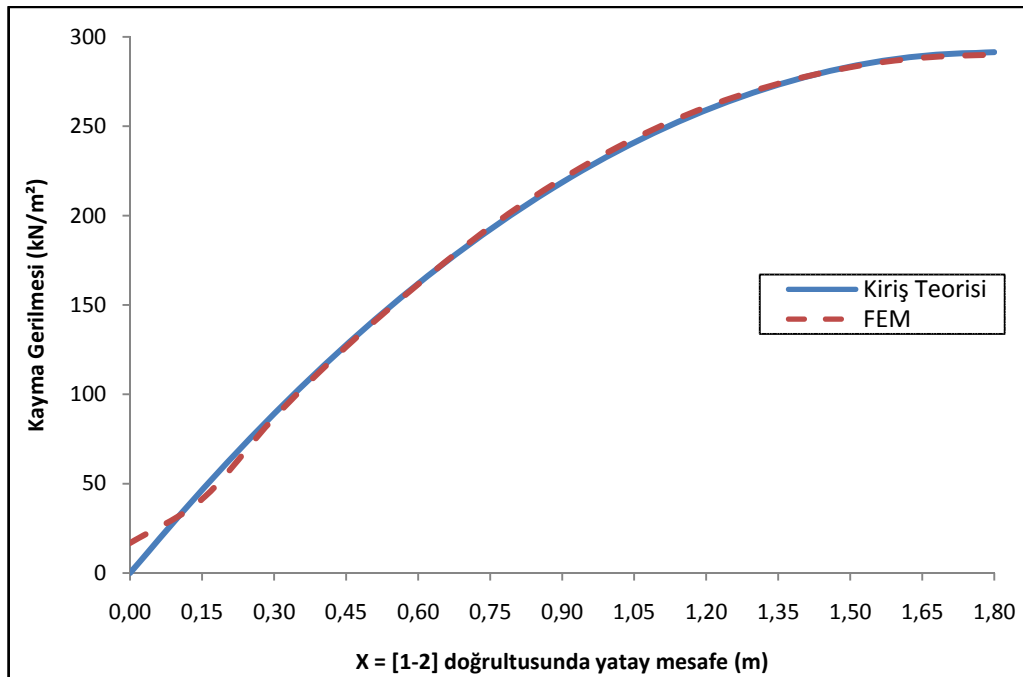


Şekil 1.2. Perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki normal gerilmeler

EK-1 (Devam) Dört katlı dolu perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki gerilmelerin karşılaştırılması

Çizelge 1.2. Dört katlı dolu perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki kayma gerilmeleri

Kiriş Teorisi			FEM
x (m)	S (m <sup>3</sup> )	$\sigma$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma$ (kN/m <sup>2</sup> )
0,00	0,000	0	17
0,15	0,052	47	41
0,30	0,099	89	87
0,45	0,142	128	127
0,60	0,180	162	162
0,75	0,214	192	194
0,90	0,243	219	221
1,05	0,268	241	243
1,20	0,288	259	261
1,35	0,304	273	274
1,50	0,315	283	283
1,65	0,322	289	288
1,80	0,324	292	290



Şekil 1.3. Perdede seçilen [1-2] doğrultusundaki kayma gerilmeleri

Sonuçlar birbirleri ile örtüşmektedir.

## EK-2 Bazı analiz modellerinden elde edilen deplasmanların ve kesit tesirlerinin karşılaştırılması

### Yapılan Kabuller

Seçilen perde çiftinde perde duvarlar planda 2,0 m ve 0,20 m boyutlarındadır (P 200/20 ).

Kat yüksekliği tüm katlar için  $h = 3,00$  m seçilmiştir.

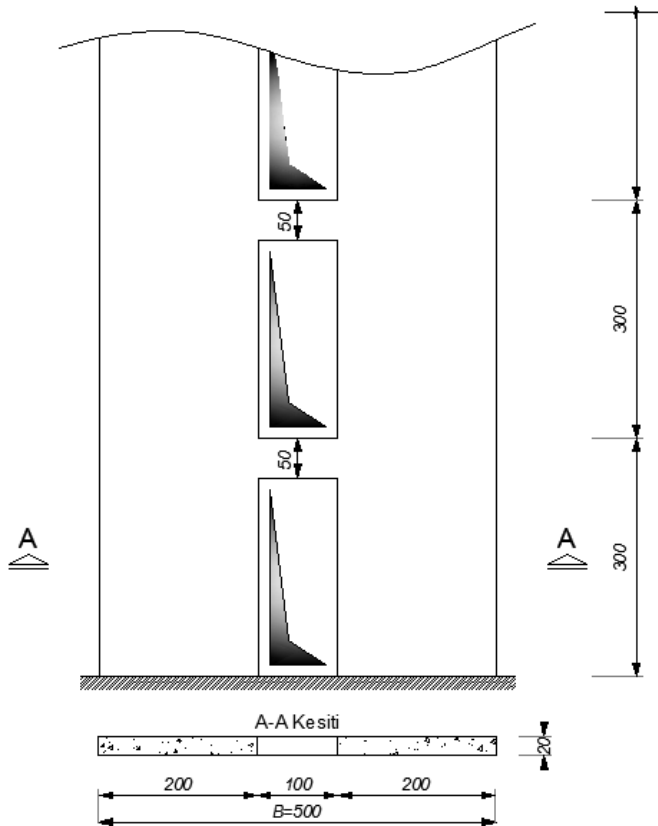
$E = 2,8 \times 10^7$  kN/m<sup>2</sup> seçilmiştir.

$\nu = 0,18$  seçilmiştir.

$W = 350$  kN (tüm katlarda) seçilmiştir.

Deprem yükleri hesabında  $A_0 I S(T) / R = 0,10$  alınmıştır ve bu kabul  $C=0,10$  olarak kat deprem yükleri hesabında kullanılmıştır (Ek 3).

Modeller 10 katlı olarak oluşturulmuştur (Şekil 2.1).

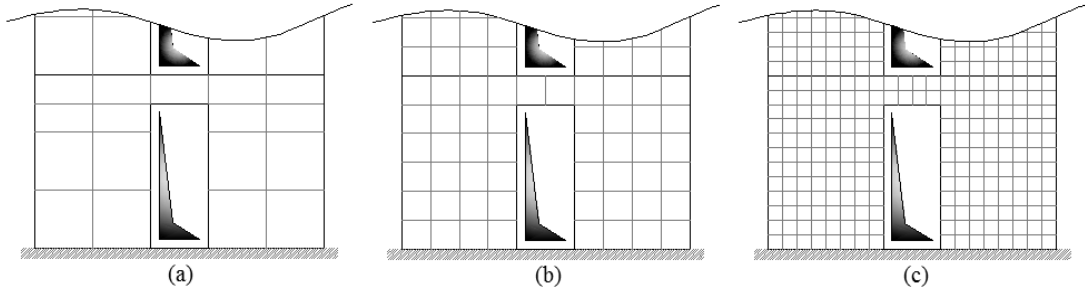


Şekil 2.1. Model boyutları

## EK-2 (Devam) Bazı analiz modellerinden elde edilen deplasmanların ve kesit tesirlerinin karşılaştırılması

### Seçilen analiz modelleri

- Model 1: 100x100 ve 100x50 lik sonlu elemanlar ağı ile (Şekil 2.2-a)
- Model 2: 50x50 lik sonlu elemanlar ağı ile (Şekil 2.2-b)
- Model 3: 25x25 lik sonlu elemanlar ağı ile (Şekil 2.2-c)
- Model 4: Eşdeğer kiriş yöntemiyle
- Model 5: Geniş kolon yöntemiyle oluşturulmuştur.



Şekil 2.2. Sonlu eleman ağları

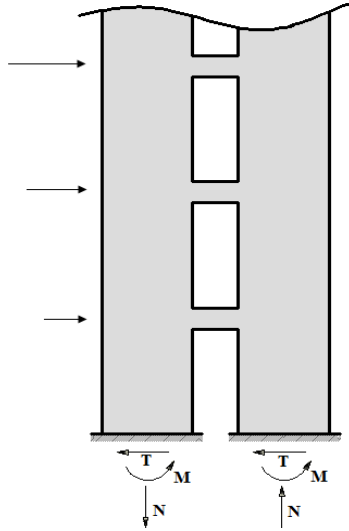
### Beş modele ait yanal deplasman değerleri

Çizelge 2.1. Modellere ait tepe noktasındaki deplasman değerleri

Kat No	Model 1 $\delta$ (m)	Model 2 $\delta$ (m)	Model 3 $\delta$ (m)	Model 4 $\delta$ (m)	Model 5 $\delta$ (m)
10	0,0356	0,0380	0,0402	0,0386	0,0378
9	0,0310	0,0333	0,0353	0,0339	0,0332
8	0,0264	0,0285	0,0304	0,0291	0,0284
7	0,0218	0,0237	0,0254	0,0243	0,0236
6	0,0173	0,0190	0,0204	0,0194	0,0189
5	0,0130	0,0144	0,0156	0,0148	0,0144
4	0,0091	0,0102	0,0111	0,0105	0,0101
3	0,0056	0,0064	0,0071	0,0066	0,0064
2	0,0028	0,0032	0,0037	0,0034	0,0032
1	0,0009	0,0010	0,0012	0,0010	0,0010

## EK-2 (Devam) Bazı analiz modellerinden elde edilen deplasmanların ve kesit tesirlerinin karşılaştırılması

### Tabanda oluşan kesit tesirleri



Şekil 2.3. Perde çiftinde tabanda oluşan kesit tesirleri

Çizelge 2.2. Perde çiftinde tabanda oluşan kesit tesir değerleri

	T (kN)	N (kN)	M (kNm)
<b>Model 1</b>	1.750,00	1.920,00	795,00
<b>Model 2</b>	1.750,00	1.856,00	890,00
<b>Model 3</b>	1.750,00	1.843,00	909,00
<b>Model 4</b>	1.750,00	1.839,00	916,00
<b>Model 5</b>	1.750,00	1.857,00	888,00

Elde edilen sonuçlara bakıldığında modeller arasında önemli bir fark gözükmemektedir. Sonlu Eleman ağı arttıkça sonuçlar basit çerçeve modelin verdiği sonuçlara yakınsamaktadır.

Çerçeve benzeşim yöntemlerinde düğüm noktası sayısının az oluşu işlem süresini kısaltmaktadır. Bu yöntemlerin çekirdek türü perde sistemlere uygulanması zordur. Çekirdek türü üç boyutlu perde sistemler düzlem sonlu elemanlarla bilgisayar ortamında kolaylıkla oluşturulabilir. Perdede boşluk kenarlarındaki gerilme yığılmaları bilgisayar ortamında bu yöntemle rahatlıkla gözlenebilir.

## EK-3 Katlara etkiyen deprem yükleri

Katlara Etkiyen Deprem Yükleri									
Kat No	Perde Yüksekliği (H)	V (kN)							
		1 Katlı	2 Katlı	4 Katlı	8 Katlı	10 Katlı*	12 Katlı	16 Katlı	20 Katlı
20	60,00	-	-	-	-	-	-	-	66,67
19	57,00	-	-	-	-	-	-	-	63,33
18	54,00	-	-	-	-	-	-	-	60,00
17	51,00	-	-	-	-	-	-	-	56,67
16	48,00	-	-	-	-	-	-	65,88	53,33
15	45,00	-	-	-	-	-	-	61,76	50,00
14	42,00	-	-	-	-	-	-	57,65	46,67
13	39,00	-	-	-	-	-	-	53,53	43,33
12	36,00	-	-	-	-	-	64,62	49,41	40,00
11	33,00	-	-	-	-	-	59,23	45,29	36,67
10	30,00	-	-	-	-	63,64	53,85	41,18	33,33
9	27,00	-	-	-	-	57,27	48,46	37,06	30,00
8	24,00	-	-	-	62,22	50,91	43,08	32,94	26,67
7	21,00	-	-	-	54,44	44,55	37,69	28,82	23,33
6	18,00	-	-	-	46,67	38,18	32,31	24,71	20,00
5	15,00	-	-	-	38,89	31,82	26,92	20,59	16,67
4	12,00	-	-	56,00	31,11	25,45	21,54	16,47	13,33
3	9,00	-	-	42,00	23,33	19,09	16,15	12,35	10,00
2	6,00	-	46,67	28,00	15,56	12,73	10,77	8,24	6,67
1	3,00	35,00	23,33	14,00	7,78	6,36	5,38	4,12	3,33

\* Ek 2' deki uygulamada katlara etkiyen yatay deprem yükleri

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : DEMİR, Mehmet Reşat  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 1982- Sivas  
Medeni hali : Bekar  
Telefon : -  
e-mail : [demirresat@gmail.com](mailto:demirresat@gmail.com)

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / İnşaat Müh. Böl.	2008
Lisans	Kırıkkale Üniversitesi / İnşaat Müh. Böl.	2004
Lise	Erzincan Nevzat Ayaz Fen Lisesi	1999

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2007-2008	EÜAŞ Genel Müdürlüğü	Kesin Hes. Müh.
2004-2007	Özel Sektör	Proje Müh. Kontrol Müh.

### Yabancı Dil

İngilizce