

**T.C.  
BAYBURT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**PERDE DUVARLARDA BIRAKILAN PENCERE BOŞLUKLARINDAKİ  
BOYUT ETKİLERİNİN SAP2000 OAPI İLE İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Bilal TAYFUR**

**Mayıs - 2018**

**BAYBURT**



**PERDE DUVARLARDA BIRAKILAN PENCERE BOŞLUKLARINDAKİ  
BOYUT ETKİLERİNİN SAP2000 OAPI İLE İNCELENMESİ**

**Bilal TAYFUR**

**Yüksek Lisans Tezi  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ömer CAN**

**T.C.**  
**BAYBURT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**PERDE DUVARLARDA BIRAKILAN PENCERE BOŞLUKLARINDAKİ**  
**BOYUT ETKİLERİNİN SAP2000 OAPI İLE İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Bilal TAYFUR**

**2018**  
**BAYBURT**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ ONAY SAYFASI

### Perde Duvarlarda Bırakılan Pencere Boşluklarındaki Boyut Etkilerinin SAP2000 OAPI ile İncelenmesi

Dr. Öğr. Üyesi Ömer CAN danışmanlığında, Bilal TAYFUR tarafından hazırlanan bu tez çalışması 10/05/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Musa ARTAR

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Türkay KOTAN

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ömer CAN

İmza :

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.

Prof. Dr. Metin Uçurum

Enstitü Müdür V.

Not: Bu tezde kullanılan ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu ve bu çalışmada şahsıma ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



Bilal TAYFUR

# ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

## PERDE DUVARLARDA BIRAKILAN PENCERE BOŞLUKLARINDAKİ BOYUT ETKİLERİNİN SAP2000 OAPI İLE İNCELENMESİ

Bilal TAYFUR

Bayburt Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ömer CAN

Perde duvarlar yapıların deprem altındaki davranışı açısından büyük önem taşımaktadır. Depremi yapı üzerindeki yansıması olan yanal yüklemeleri büyük ölçüde karşılayan perde duvarlar, yapının daha rijit bir davranış gösterebilmesini sağlamaktadır. Ancak mimari gereksinimler veya kontrolsüz mimari değişiklikler sebebiyle perde duvarlarda boşluklar açılabilir. Bu boşlukların boyutları perde duvarın davranışını tümünden etkilemektedir. Yapıya rijitlik kazandırması beklenen perde duvarlar, üzerlerindeki boşluklar nedeniyle tam aksi bir davranış göstererek kısa kolon oluşumuna sebep olabilmekte ve yapıda ani göçmelerin önünü açabilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, perde duvarlara ve üzerlerinde bırakılan boşluklara ait parametrelerin, perde duvar davranışı üzerindeki değişimlerini araştırmaktır. Bu amaç doğrultusunda davranış değişimi üzerindeki etkileri incelemek üzere bir takım parametreler belirlenmiştir. Her bir parametre için yeterli sayıda ve aralıkta değer seçilmiştir. Bu parametrelere bağlı olarak 29 farklı çerçeve modeli hazırlanmıştır. Bu modellerin detaylı biçimde incelenebilmesi için bir C# yazılımı geliştirilmiş ve genel model bu yazılıma kodlanmıştır. Geliştirilen bu yazılım sayesinde istenen modeller SAP2000'e OAPI aracılığıyla aktarılarak analiz edilmiştir. Her bir çerçeve için boşluk genişliği olabilecek minimum boyut ile maksimum boyut arasında 1 cm artırımlarla analiz edilmiştir. Bu analizlere bağlı olarak her bir çerçeve için kısa kolon oluşması olası bölgelerdeki davranış değişimi kesme kuvveti, ötelenme ve moment değerleri esas alınarak incelenmiştir. Bu kapsamda toplamda 5200 analiz gerçekleştirilmiştir.

**2018, 76 sayfa**

**Anahtar kelimeler :** Perde Duvarlar, SAP2000 OAPI, Kısa Kolon

## **ABSTRACT**

MS Thesis

### **INVESTIGATION OF THE SIZE EFFECTS OF THE OPENINGS LEFT ON THE SHEAR WALLS WITH THE SAP2000 OAPI**

Bilal TAYFUR

Bayburt University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering

Supervisor : Lecturer PhD. Ömer CAN

Shear walls are of great importance in terms of their behaviour under earthquakes. The shear walls, which greatly compensate the lateral loads of the earthquakes on the structure, allow the structure to exhibit a more rigid behaviour. However, due to architectural requirements or uncontrolled architectural changes, the openings can be created in shear walls. The dimensions of these gaps can affect the behaviour of the curtain wall entirely. Shear walls, which are expected to give rigidity to the structure, are behaving in exactly the opposite due to the openings on them and can cause short column formation and can lead up to sudden failures in the structure.

The purpose of this study is to investigate the changes in the parameters of the shear walls and the openings left on them, on the curtain wall behaviour. For this purpose, a number of parameters have been defined to examine the effects on behavioural change. Sufficient number and range of values have been selected for each parameter. Depending on these parameters, 29 different frame models have been determined. In order to examine these models in detail, a C # software was developed and the draft model is coded. Models created by the software were transferred to SAP2000 and analysed through OAPI. For each frame, the opening width was analysed by 1 cm increments between the possible minimum size and the maximum size. Based on these analyses, the behavioural change in the possible regions where short columns are formed for each frame has been examined based on shear forces, displacements and moment values. In this context, a total of 5200 analyses has been performed.

**2018 , 76 pages**

**Keywords :** Shear Walls, SAP2000 OAPI, Short Column

## TEŞEKKÜR

Perde Duvarlarda Bırakılan Pencere Boşluklarındaki Boyut Etkilerinin SAP2000 OAPI ile İncelenmesi başlıklı bu çalışma Bayburt Üniversitesi'nin sağladığı imkânlar sayesinde gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmanın başlangıcından bu yana verdiği önemli destek, katkı ve tavsiyeleriyle yanımda olan tez danışmanım sayın Dr. Öğr. Üyesi Ömer CAN'a teşekkürü borç bilirim.

Hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen Bayburt Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nün değerli hocalarına ayrıca teşekkür ederim.

Son olarak, yalnız bugün değil, daima yanımda olmuş, olan ve olacağını bildiğim kıymetli aileme ve sevgili eşime ömürlük minnetimi üç satırla da olsa ifade etmek isterim.

Bilal Tayfur  
Mayıs / 2018



## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>iii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>x</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ</b> .....	<b>5</b>
2.1 Perde ve Dolgu Duvarların Yanal Yükleme Davranışlarının İncelenmesi ...	5
2.2 Perde ve Dolgu Duvarlarda Boşluk Etkisi .....	11
2.3 Perde Duvarlı Çerçevelerde Kısa Kolon Etkisi ve Kesme Davranışı.....	19
2.4 SAP2000 OAPI .....	21
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>23</b>
3.1 Kombinasyon Parametreleri .....	23
3.1.1 Çerçeve temiz yüksekliği .....	24
3.1.2 Çerçeve temiz açıklığı .....	24
3.1.3 Perde duvar kalınlığı .....	25
3.1.4 Boşluk / Çerçeve yüksekliği oranı.....	25
3.1.5 Beton elastisite modülü .....	25
3.1.6 Çerçeve kolonlarına ait kuvvet yönündeki atalet momenti .....	25
3.1.7 Çerçeveye etkiyen yanıl yük.....	26
3.2 Analiz Tipi.....	26
3.3 SAP2000 OAPI Yazılımı .....	26
3.3.1 Döngü adım aralığı .....	28
3.3.2 Mesh (Parça boyutu) seçimi .....	28
3.3.3 Analiz model tasarımı .....	28
3.3.4 Yazılım akışı.....	31
3.4 Kombinasyonlar .....	33
3.5 Analiz Çıktıları .....	37
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI</b> .....	<b>41</b>
4.1 Çerçeve Temiz Yüksekliğinin Çerçeve Davranışına Etkisi .....	41
4.1.1 Genel grafikler.....	43

4.2	Çerçeve Temiz Açıklığının Çerçeve Davranışına Etkisi.....	45
4.2.1	Genel grafikler.....	47
4.3	Perde Duvar Kalınlığının Çerçeve Davranışına Etkisi.....	49
4.3.1	Genel grafikler.....	51
4.4	Boşluk / Çerçeve Yüksekliği Oranının Çerçeve Davranışına Etkisi .....	52
4.4.1	Genel grafikler.....	54
4.5	Beton Elastisite Modülünün Çerçeve Davranışına Etkisi .....	55
4.5.1	Genel grafikler.....	57
4.6	Çerçeve Kolonlarına Ait Kuvvet Yönündeki Atalet Momentinin Çerçeve Davranışına etkisi.....	58
4.6.1	Genel grafikler.....	60
4.7	Çerçeveye Etkiyen Yanal Yükün Çerçeve Davranışına Etkisi.....	61
4.7.1	Genel grafikler.....	63
4.8	Genel Değerlendirmeler .....	64
<b>5.</b>	<b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>67</b>
	<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>71</b>
	<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

$l_k$	Kısa kolon boyu
$M_{\bar{u}}$	Kısa kolonun üst kısmındaki moment
$M_a$	Kısa kolonun alt kısmındaki moment
$V$	Kesme kuvveti
$w$	Eşdeğer sanal basınç çubuğu efektif genişliği
$\Theta$	Eşdeğer sanal basınç çubuğunun yatayla yaptığı açı
$t$	Duvar kalınlığı
$E_m$	Duvar elastisite modülü
$E_s$	Çerçeve elastisite modülü
$h_{net}$	Net duvar yüksekliği
$L_{net}$	Net açıklık
$I_c$	Kolon eylemsizlik momenti

### Kısaltmalar

OAPI	Open Application Programming Interface
API	Application Programming Interface
DBYBHY	Deprem Bölgesinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
MSJC	Masonry Standards Joint Committee
ESBÇ	Eşdeğer Sanal Basınç Çubuğu
ASCE	American Society of Civil Engineers

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 : Kısa kolon davranışı .....	2
Şekil 1.2 : Sanal Eşdeğer Basınç Çubuğu Modeli .....	3
Şekil 2.1 : Süper Elemanlar Yöntemi (Kim ve Lee, 2003).....	6
Şekil 2.2 : Donatı yerleştirilen dolgu duvar modeli (Bolhassani vd., 2016).....	10
Şekil 2.3 : Yekrangnia ve Mohammadi'nin ESBÇ Yöntemi .....	11
Şekil 2.4 : Boşluklu Perdelerde Basınç Gerilmesi Akışı (H. Wu ve Li, 1996).....	13
Şekil 2.5 : Bağımsız Perde Duvar Davranışı (Torki Harcheganiu vd., 2012) .....	16
Şekil 2.6 : Düzenli ve çapraz boşluk yerleşim planları (Marius, 2014).....	19
Şekil 3.1 : Bant tipi boşluklu perde duvar modeli .....	23
Şekil 3.2 : Birleşim noktalarına ait matematiksel ifadelerin değişkenleri .....	29
Şekil 3.3 : Döngü içerisindeki çerçeve modelinin değişimi .....	31
Şekil 3.4 : Yazılım akış şeması .....	32
Şekil 3.5 : Analiz sonuçları kaydedilen nokta ve çubuklar.....	37
Şekil 3.6 : Örnek davranış grafiği .....	39
Şekil 4.1 : Kombinasyon 2, R, 3, 4 ve 5'e ait Kolon-2 kesme kuvveti değişim grafiği .....	43
Şekil 4.2 : Kombinasyon 2, R, 3, 4 ve 5'e ait N1 noktası yanal ötelenme değişim grafiği .....	44
Şekil 4.3 : Kombinasyon 2, R, 3, 4 ve 5'e ait ötelenme oranları.....	45
Şekil 4.4 : Kombinasyon 6, 7, 8, R, 9 ve 10'a ait Kolon-2 kesme kuvveti değişim grafiği .....	47

<b>Şekil 4.5</b> : Kombinasyon 6, 7, 8, R, 9 ve 10'a ait N1 noktası yanal ötelenme değişim grafiği .....	48
<b>Şekil 4.6</b> : Kombinasyon 6, 7, 8, R, 9 ve 10'a ait ötelenme oranları .....	49
<b>Şekil 4.7</b> : Kombinasyon 11, 12, R, 13 ve 14'e ait Kolon-2 kesme kuvveti değişim grafiği .....	51
<b>Şekil 4.8</b> : Kombinasyon 11, 12, R, 13 ve 14'e ait N1 noktası yanal ötelenme değişim grafiği .....	51
<b>Şekil 4.9</b> : Kombinasyon 11, 12, R, 13 ve 14'e ait ötelenme oranları .....	52
<b>Şekil 4.10</b> : Kombinasyon 15, R, 16, 17 ve 18'e ait Kolon-2 kesme kuvveti değişim grafiği .....	54
<b>Şekil 4.11</b> : Kombinasyon 15, R, 16, 17 ve 18'e ait N1 noktası yanal ötelenme değişim grafiği .....	54
<b>Şekil 4.12</b> : Kombinasyon 15, R, 16, 17 ve 18'e ait ötelenme oranları .....	55
<b>Şekil 4.13</b> : Kombinasyon 19, 20, R, 21 ve 22'ye ait N1 noktası yanal ötelenme değişim grafiği .....	57
<b>Şekil 4.14</b> : Kombinasyon 19, 20, R, 21 ve 22'ye ait ötelenme oranları .....	58
<b>Şekil 4.15</b> : Kombinasyon R, 23, 24, 25 ve 26'ya ait Kolon-2 kesme kuvveti değişim grafiği .....	60
<b>Şekil 4.16</b> : Kombinasyon R, 23, 24, 25 ve 26'ya ait N1 noktası yanal ötelenme değişim grafiği .....	60
<b>Şekil 4.17</b> : Kombinasyon R, 23, 24, 25 ve 26'ya ait ötelenme oranları.....	61
<b>Şekil 4.18</b> : Kombinasyon 27, R, 28 ve 29'a ait Kolon-2 kesme kuvveti değişim grafiği .....	63
<b>Şekil 4.19</b> : Kombinasyon 27, R, 28 ve 29'a ait N1 noktası yanal ötelenme değişim grafiği .....	63

**Şekil 4.20** : Kombinasyon 27, R, 28 ve 29'a ait ötelenme oranları..... 64

**Şekil 4.21** - Örnek çerçeve gerilim dağılımı..... 66



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 : Birleşim noktalarına ait koordinat bağlantıları.....	30
Çizelge 3.2 : Çerçeve temiz yüksekliği parametresine bağlı kombinasyonlar .....	33
Çizelge 3.3 : Çerçeve temiz açıklığı parametresine bağlı kombinasyonlar .....	34
Çizelge 3.4 : Perde duvar kalınlığı parametresine bağlı kombinasyonlar .....	34
Çizelge 3.5 : Boşluk / Çerçeve yüksekliği oranı parametresine bağlı kombinasyonlar .....	35
Çizelge 3.6 : Beton elastisite modülü parametresine bağlı kombinasyonlar .....	35
Çizelge 3.7 : Çerçeve kolonlarına ait kuvvet yönündeki atalet momenti parametresine bağlı kombinasyonlar .....	36
Çizelge 3.8 : Çerçeveye etkiyen yanal yük parametresine bağlı kombinasyonlar.....	36
Çizelge 4.1 : Kolon-2'ye ait kanat duvar boyuna bağlı kesme kuvveti ve moment değeri değişim grafikleri .....	42
Çizelge 4.2 : Kolon-2'ye ait kesme kuvveti ve moment değeri değişim grafikleri ...	46
Çizelge 4.3 : Kolon-2'ye ait kesme kuvveti ve moment değeri değişim grafikleri ...	50
Çizelge 4.4 : Kolon-2'ye ait kesme kuvveti ve moment değeri değişim grafikleri ...	53
Çizelge 4.5 : Kolon-2'ye ait kesme kuvveti ve moment değeri değişim grafikleri....	56
Çizelge 4.6 : Kolon-2'ye ait kesme kuvveti ve moment değeri değişim grafikleri....	59
Çizelge 4.7 : Kolon-2'ye ait kesme kuvveti ve moment değeri değişim grafikleri....	62
Çizelge 4.8 : a/d, davranış koridoru ve ötelenme oranı genel tablosu .....	65

## 1. GİRİŞ

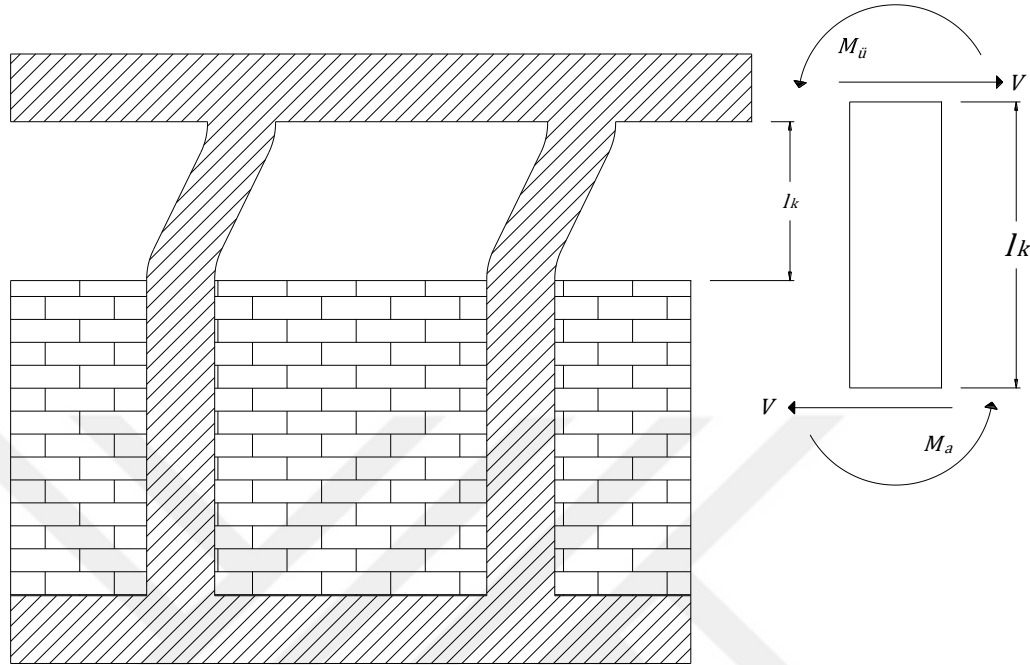
Dünyada ve ülkemizde geride bıraktığımız yıllar itibariyle önemli sayıda deprem yaşanmıştır. Bu depremlerde çok sayıda insan hayatını yitirmiş, çok daha fazlası da yakınlarını kaybetmiştir. Bu bağlamda 2007 yılında yayımlanan “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik”, uzun kenarının kısa kenarına oranı en az 7 olan düşey taşıyıcı elemanları “Perde Duvar” olarak tanımlamaktadır (TDY, 2007). Bu yönetmeliğe göre; başta bir takım ölçütleri sağlayan yüksek katlı binalar olmak üzere birçok binada perde duvar kullanımı zorunludur. Zira perde duvarların yapıdaki en önemli görevi, sağladığı yüksek rijitlik sayesinde deprem ve rüzgâr yükleri altında yapısal ötelenmeleri çok büyük oranda azaltmaktır. Bu özelliği itibariyle perde duvarlar bir takım çalışmalarda “Deprem Perdesi” adıyla da anılmaktadır (Yön ve Şahin, 2009).

Perde duvarlar bir deprem elemanı olmaları itibariyle, yapının depreme maruz kaldığı süre zarfında yapı güvenliğini sağlayabilecek seviyede güvenilir tasarlanmalıdır. Bu noktada göz önüne alınması gereken en temel husus, perde duvarların deprem anında hangi iç kuvvetlere maruz kaldığıdır. Bu iç kuvvetler moment, kesme kuvveti ve düşey yükler olarak sıralanabilir. Perde duvar tasarımının deprem etkisi altındaki davranışının bir neticesi olarak ise, en istenmeyen durum, eğilmeden önce kesme kırılmalarının oluşmaya başlamasıdır. Perde duvarlarda oluşacak kesme kırılmaları kendilerini eğik asal çekme çatlağı olarak gösterir. Bu kırılma tipinin gevrek oluşu ve az miktarda enerji tüketmesi de yapının tümünde taşıma kapasitesinin hızlı bir biçimde azalmasına ve nihai olarak yapının göçmesine sebep olur (Atımtay, 2000).

Perde duvarlar bir yapı elemanı olması itibariyle çoğunlukla çerçeve sistem içerisinde kolonlarla önemli bir etkileşim içerisinde. Her ikisi de geometri ve davranış biçimi ile bir diğerini etkilemektedir. Bu durumun en bilinen biçimlenmelerinden birisi de, kolon yüksekliği boyunca devam etmeyen perde duvarın sebep olduğu kısa kolon oluşumu olarak gösterilmektedir. Çerçeve içerisinde yer alan perde duvar, kolonu



yanal düzlemde her iki taraftan da eğilme yapamaz hale getirmekte ve kolonun açıkta kalan kısmını kesme kırılması yapmaya zorlamaktadır (Çağatay, 2007).



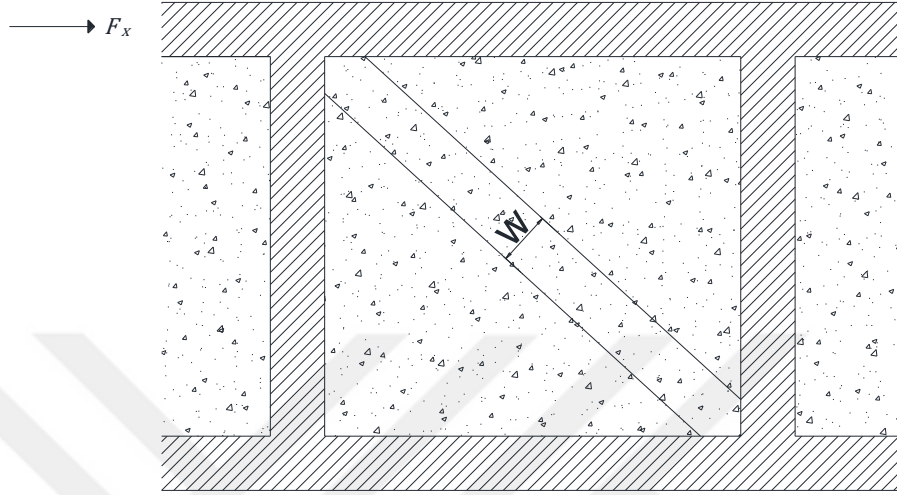
**Şekil 1.1** : Kısa kolon davranışı

Kolon yüksekliğince devam etmeyen perde duvarların kısa kolon oluşumuna sebep olmasına benzer bir şekilde perde duvarlar üzerinde açılan pencere boşlukları da aynı yapısal davranış ile kısa kolon oluşumuna neden olabilmektedir. Serbest boyu kısıtlanan bu kolonlar, perde duvardaki pencere açıklığı sebebiyle zayıflayan kesitlerin de kesme kırılması yapmasına sebep olabilmektedir (Hüsem vd., 2013).

Perde duvar üzerinde oluşan kesme etkisinin eğik asal çekme gerilmesi oluşturması sebebiyle perde duvar üzerinde yer alan boşluklar daha da büyük bir tehlike arz etmektedir. Bu noktada değerlendirilmesi gereken en önemli konu perde duvar üzerindeki boşlukların boyutu ve konumudur. Perde duvar üzerinde yer alan boşlukların boyutu ve konumu tek başına bir parametre olarak görülemez. Perde duvarın geometrisi, mekanik ve malzeme özellikleri de boşlukların oluşturacağı yapı davranış değişimini etkileyen faktörlerdendir (Suresh ve S, 2015).

Yanal yüklemeler altında perde duvarlarda oluşan gerilmelerin davranışı ve dağılımıyla kısa kolon oluşumu arasında önemli bir ilişki söz konusudur. Perdenin, çerçeveden gelen kuvvetleri birbirine çapraz köşeler arasında aktardığı

varsayılmaktadır (Smith, 1967). Sanal eşdeğer basınç çubuğu olarak adlandırılan bu kuvvet aktarım hattının kalınlığı denklem 1, 2 ve 3’de verildiği gibi bulunmaktadır (Hendry, 1990).



**Şekil 1.2 : Sanal Eşdeğer Basınç Çubuğu Modeli**

$$w = 0.175 * (\lambda * h_{net})^{-0.4} * (h_{net}^2 + L_{net}^2)^{1/2} \quad (1)$$

$$\lambda = \left( \frac{E_m * t * \sin 2\theta}{4 * E_s * I_c * h_{net}} \right) / 4 \quad (2)$$

$$\theta = \tan^{-1}(h_{net}/L_{net}) \quad (3)$$

Sanal eşdeğer basınç çubuğu modelinde dikkat çeken önemli noktalardan birisi de basınç çubuğu genişliğinin gelen yükten bağımsız olmasıdır. Daha sonra detaylı olarak bahsedilecek olsa da, tez kapsamında gerçekleştirilen analizlerin de benzer sonuçlar verdiği görülmektedir. ESBC’ye göre basınç çubuğu genişliği temel olarak çerçevenin rijitliğine, çerçeve yüksekliğine, çerçeve genişliğine bağlıdır.

Tamamı dolu perde duvarlarda sanal eşdeğer basınç çubuğu yöntemi pratik oluşu ve doğruya çok yakın sonuçlar vermesi sebebiyle günümüzde de kullanılmaktadır. Fakat yapılan deneysel ve analitik çalışmalar göstermektedir ki, boşluklu duvarlarda gerilmelerin aktarılması farklı şekillerde gerçekleşebilmektedir (Asteris, 2003). Boşluklu perde duvarların davranışına etki eden parametrelerin incelenmesi bu çalışmanın da temelini oluşturmaktadır.

Matematiksel olarak sonlu elemanlar metodu üzerine inşa edilmiş olan SAP2000 yazılımını günümüzde yapısal analiz alanında etkin biçimde kullanılmaktadır. Yazılımı geliştiren “Computers and Structures” firması, kullanıcı tarafından daha uyarlanabilir şekilde çalışmasını sağlamak amacıyla SAP2000 yazılımını için bir API (Application Programming Interface ‘Uygulama Programlama Arayüzü’) çıkışı da sağlamıştır. Firmanın OAPI adını verdiği bu çıkış sayesinde modellemeden analize kadar tüm aşamalar başka bir yazılım tarafından yürütülebilmekte ve bu sayede amaca yönelik bir takım analiz sonuçları alınabilmektedir. SAP2000 OAPI çıkışı kullanılarak kodlanacak programlar; VBA, Basic, C#, Fortran, C++ ve Python yazılım dilleri ile programlanabilmekle birlikte MATLAB gibi hesaplama temelli dördüncü nesil programlama dilleri ile de yazılabilmektedir (Artar ve Daloğlu, 2016).

SAP2000 yazılımını geliştiren Computers and Structures firması, OAPI için tanımlanmış tüm fonksiyonları ayrı bir doküman olarak kullanıcıların erişimine sunmuştur (Computers & Structures, 2015).

Perde duvarlardaki boşluklar üzerine yapılan birçok çalışma bulunmasına karşın, bu tip çerçevelerin davranışını etkileyen parametrelerin çokluğu ve parametrelerin kendi arasındaki etkileşimleri sebebiyle hala karanlıkta kalan bir takım bilgiler bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacı perde duvarlarda bir takım gereksinimler sonucu açılan merkezi boşlukların, perde duvarda sebep olduğu olası dayanım kayıplarının oranını ve olası kısa kolon davranışı hakkında öngörülebilir bulunabilmesini sağlamaktır. Bu bağlamda perde duvarlı çerçeve davranışını etkileyen parametreler belirlenmiş ve çok sayıda analize tabi tutulmuştur. Analizler sonucunda boşluk büyüklüğünün artışına bağlı olarak ortaya çıkan kayıplar ve bu kayıpların sebep olduğu davranışsal değişiklikler incelenmiştir.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

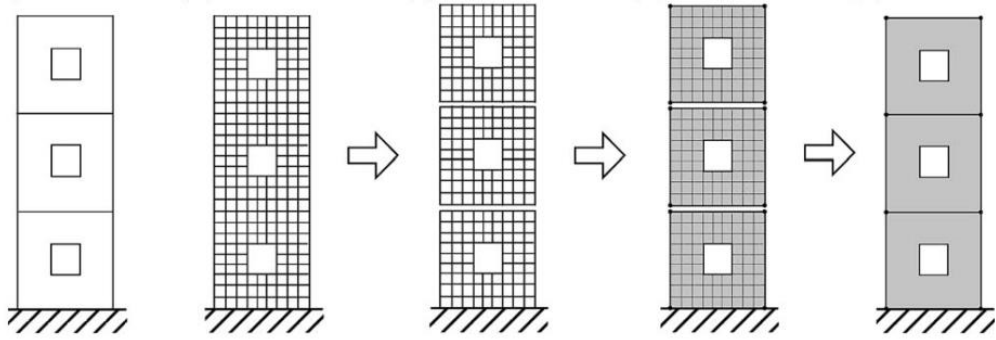
### 2.1 Perde ve Dolgu Duvarların Yanal Yükleme Davranışlarının İncelenmesi

Smith, yaptığı çalışmada çok katlı dolu çerçevelerin yanal yükleme altındaki davranışlarını incelemiştir. Çalışma kapsamında yeni bir yaklaşık hesaplama yöntemi geliştirilmiş ve bu yöntemle elde edilen sonuçlar yapılan deneysel çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmalar kapsamında kiriş kesitleri, kolon kesitleri, çerçeve yüksekliği, çerçeve genişliği ve malzeme özellikleri gibi parametrelerin etkileri göz önünde bulundurulmuştur. Deneysel çalışmalarda kullanılan çerçeve elemanları rijit bir şekilde bağlanmış, duvar çerçeve bağlantıları ise serbest hareket edecek şekilde tasarlanmıştır. Deneysel sonuçlar neticesinde kiriş kesitlerinin perde duvarın yanal yükleme altındaki davranışını önemli sayılacak şekilde etkilemediği tespit edilmiş, geriye kalan parametreleri içeren bir formülle sanal eşdeğer basınç çubuğu yöntemi ortaya konmuştur. Bu çalışma sonraki yıllarda yapılan birçok çalışma için de temel teşkil etme özelliği taşımaktadır (Smith, 1967).

Aas-Jakobsen ve Grenacher, farklı geometrilere sahip ince betonarme çerçevelerin analizi üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu kapsamda öngörülemeyecek geometriye ve zamana bağlı yüklemeye karşı çerçevelerin taşıyabileceği azami yük kapasitesini ortaya koyan bir sayısal yöntem geliştirilmiştir. Çalışmanın özgün noktalarından birisi de ötelenmelerden kaynaklanacak ilave gerilmelerin ve zaman bağlı yüklemeler ile doğrusal olmayan malzeme etkisinin de hesap yöntemi içine dâhil edilmiş olmasıdır. İkinci mertebe etkilerin de göz önüne alındığı hesap yönteminden elde edilen değerler ile kıyaslanan test sonuçlarının özellikle sürekli yüke maruz kalan çerçevelerle son derece yakın sonuçlar verdiği görülmüştür (Aas-Jakobsen ve Grenacher, 1974).

Kim ve Lee, boşluklu perde duvarların sonlu elemanlarla modellenmesi için “Süper Elemanlar” adını verdikleri bir yöntem geliştirmişlerdir. Yöntemin amacı katı elemanların doğru biçimde modellenmesi için gereken küçük parçalara ayırma işleminin analiz aşamasında çok fazla vakit almasının önüne geçebilmektir. Bu hedef

doğrultusunda geliştirilen süper elemanlar modeli yapının kat gibi birimlerini temel birer süper eleman olarak modelleyerek köşe noktalarından kuvvet ve gerilme aktarımını sağlamayı hedeflemektedir (Kim ve Lee, 2003).



**Şekil 2.1** : Süper Elemanlar Yöntemi (Kim ve Lee, 2003)

Yön ve Şahin, yaptıkları çalışmada DBYBHY-2007'ye göre her bir zemin tipinde 7 ve 9 katlı betonarme yapılar tasarlayarak bu yapıların ötelenmelerini engelleyecek gerekli perde duvar oranını tespit etmişlerdir. Bu analizler, farklı zemin tiplerine inşa edilecek yapılarda gerekli perde duvar oranının 8 kata kadar değişebildiğini göstermiştir (Yön ve Şahin, 2009).

Beklen ve Çağatay, SAP2000 programında boş çerçevelerin ve tamamen dolu dolgu duvarların performanslarını irdelemiştir. Dolgu malzemesi olarak tuğla kullanılan çerçeveler aynı zamanda eşdeğer sanal basınç çubuğu olarak da ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlara göre boş çerçeveye kıyasla dolgu duvarlı çerçevelerin yüzde 65 ila yüzde 76 arasında daha az ötelenme yaptığı görülmüştür. Fakat bu değerlerin sonlu elemanlar yöntemine göre yüzde 90'ın üzerine çıktığı görülmüştür. Tuğla gibi çerçeveden ayrılma ve bütün halinde kayma gerilmesi tam olarak belirlenemeyen dolgu duvarlarda birinci tip sonlu elemanlar modellerinin kullanılmasının doğru olmadığı görülmüştür (Beklen ve Çağatay, 2009).

Perde duvarlarla ilgili hesapların birçok yönetmelikte bulunmasına karşın, perde duvarların buldukları çerçeveye mesnetlenmesine ilişkin hesaplamalar henüz yönetmelikler açısından yaygın hale gelmemiştir. Guan ve arkadaşları, bu eksikliği gidermek amacıyla doğrusal olmayan katmanlı sonlu elemanlar yöntemini kullanmıştır. Ayrıca daha önce yapılan çalışmalarda genellikle boşluk genişliği veya

boşluk yüksekliği ele alınırken, bu çalışmada bu iki değişim birleşik etki olarak oluşturulan formüllere dâhil edilmiştir (Guan vd., 2010).

Gupta, çalışmasında yapay sinir ağları yöntemini kullanmıştır. Oluşturulan yapay sinir ağını eğitmek için ANSYS adlı programda çok sayıda boşluklu ve boşluksuz perde duvar tasarımı oluşturan Gupta, çalışmanın sonraki aşamasında kontrol için daha önce modellenen değerlerden farklı geometri ve yüklemeye sahip modeller oluşturmuştur. Yapay sinir ağı, kontrol grubundan elde edilen verilere göre en fazla yüzde 14'lük hata payı çıkaran sonuçlar elde etmiştir (Gupta, 2011).

Esas olarak yapılardaki dolgu duvarların çoğunlukla yapı dayanımına etkisinin olmadığı varsayılmaktadır. Ancak belli durumlarda bu malzemeler de yapı modellemesinde hesaba katılabilmektedir. Dolgu duvarları meydana getiren malzemelerin arasındaki temas yüzeylerinin mekanik olarak ayrıca modellendiği analitik modellere mikro-model adı verilmektedir. Söz konusu dolgu duvar modelleri için ise literatürde çok sayıda yaklaşım bulunmaktadır. Analitik modellerin birçoğu deneysel çalışmalardan elde edilen verilere dayanıyor olsa da, deneysel çalışmalardaki parametrelerin bugün bile tam anlamıyla irdelenememiş olması analitik modelleri de bir gözü kapalı halde tutmaktadır (Asteris vd., 2013).

Baloević ve arkadaşları, dolgu duvarları saran çerçevelerin dolgu duvar davranışına olan etkilerini incelemişlerdir. İncelenen çerçeveler; tamamen boş, tamamen dolu, kısmi dolu olarak seçilmiştir. İncelenen bir diğer parametre ise dolgu duvar rijitliğinin etkisi olmuştur. Çalışma, güçlü çerçevenin ortaya çıkan deplasman açısından tüm kıyaslarda bir avantaj sağladığını göstermiştir. Baloević ve arkadaşları sismik tehlikeye sahip bölgelerde yapılacak binalarda hem güçlü çerçeve hem de güçlü dolgu malzemesi kullanılmasını tavsiye etmişlerdir (Baloević vd., 2013).

Doğan, yaptığı çalışmada Van Depremi'nde göçen ve hasar gören yapıları yakından incelemiştir. Deprem esnasında göçen bir takım binalardaki incelemeler göstermiştir ki, boşluklu farklı malzemeler kullanılmış dolgu duvarla inşa edilmiş binalarda önemli hasarlar oluşmasına rağmen yapı tamamen göçmeyerek can kayıplarını önemli ölçüde önlemiştir (Dogan, 2013).

Chandurkar ve Pajgade, perde duvar yerleşiminin; depreme maruz kalan 10 katlı bir yapının ötelenmesine nasıl bir etki yaptığını analitik olarak incelemiştir. Analiz sonuçlarına göre yapıdaki perde duvar oranı kadar perde duvarların yerleşimi ve iki farklı eksendeki perde duvarların birbirleriyle olan etkileşiminin de büyük önem taşıdığını ortaya koymuştur (Chandurkar ve Pajgade, 2013).

Rokhgar, tez çalışmasında matematiksel modellerin hesaplamalara girmeksizin, bütün bir yapı içerisindeki farklı perde duvar düzenlerini ETABS adlı bilgisayar programında modelleyerek analiz etmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen verilere göre; yapının dış çevresine yerleştirilen perde duvarlar, çekirdekte yer alan perde duvarlara kıyasla daha az ötelenmeye sebep olmasına karşın çok daha fazla çekme kuvvetine maruz kaldığından kesme kuvveti açısından rijitlik kaybına sebep olmaktadır. Analizler sonucunda görülen bir diğer sonuç ise; mekanik, elektrik vb. projelerin devamlılığını sağlamak için perde duvar üzerinde açılacak yüzde 10'a kadarki boşluklar yapı rijitliğini kayda değer ölçüde etkilememektedir (Rokhgar, 2014).

Perde duvarların yapı içindeki konumu birçok çalışmanın konusu olmuş ve doğru yerleşim yöntemi büyük ölçüde açıklığa kavuşmuştur. Fakat oturma alanı açısından düzensizlikle ihtiva eden yapılarda kullanılacak perde duvarların etkisi yeterince irdelenmemiştir. Chittiprolu ve Kumar, ETABS adlı yazılımda bir takım analizler yaparak deprem altındaki düzensiz oturma alanına sahip bir yapının davranışı incelemişlerdir. Çalışma göstermiştir ki düzensiz oturma alanına sahip yapılarda kullanılan perde duvarların yapının ağırlık merkezine yakın noktalarda yer almaları daha etkili sonuçlar ortaya koymaktadır (Chittiprolu ve Kumar, 2014).

Dolgu duvar malzemelerinin bir bütün olarak analiz edilmesi için çok sayıda yaklaşım bulunmaktadır. Caliô ve Pantô, makro eleman adını verdikleri bir yöntemle bu tip çerçevelerin doğruya yakın analizini gerçekleştirmeye çalışmışlardır. Bu yöntem örneğin bir yığma duvarın her bir malzemesini tek tek oluşturmaya ve bu malzemeler arasına yaylar tanımlanmasına dayanmaktadır. Farklı malzemeler için farklı tanımlamalar yapılmasını esas alan bu yöntem malzemelerin kendi arasındaki etkileşimi daha doğru biçimde sunabilmektedir (Caliô ve Pantô, 2014).

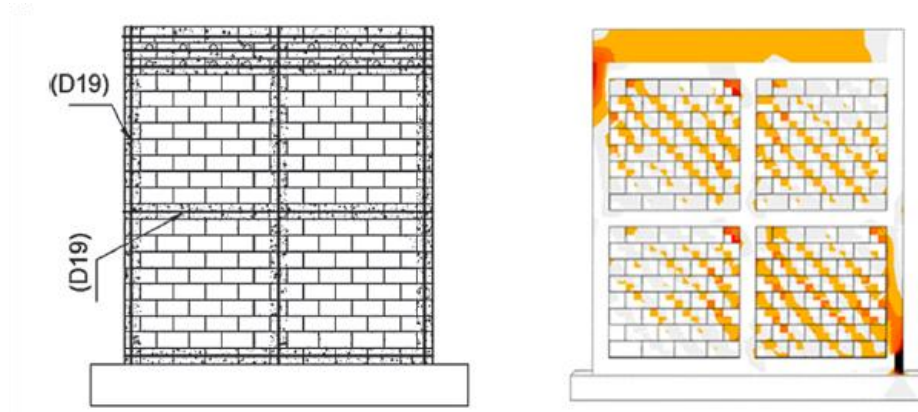
Lu ve arkadaşları, perde duvarların analizi için çok katmanlı kabuk elemanı adı verilen bir yöntemi yüksek katlı yapılarda analitik olarak incelemiştir. Analizler OpenSees adı verilen açık kaynak kodlu yapı analiz yazılımında gerçekleştirilmiştir. Analizler, aynı amaçla ticari olarak kullanılan bir başka sonlu elemanlar yazılımı olan MSC.Marc ile kıyaslanmıştır. Ölü yük, modal, pushover ve dinamik analizlere tabi tutulan modellerden elde edilen sonuçlar her iki yazılımda son derece tutarlı ve yakın değerler vermiştir (Lu vd., 2015).

Pillai ve arkadaşları, perde duvarlara bağlanan döşemelerin perde duvar üzerindeki etkilerini inceleyen bir çalışma yapmıştır. Çalışmada parametre olarak, bağlantının geometrik değişkenleri, perde duvar ve döşeme kalınlıkları seçilmiştir. Sonlu eleman analizleri ise ANSYS adlı program üzerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler, bağlantı noktalarının kırılma davranışını önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Ayrıca perde duvarın kalınlığı da oluşan momentlerin taşınabilmesinde önemli bir ölçüt olarak görünmektedir. (Pillai vd., 2015)

Chen ve Liu, yağma duvar malzemelerinin arayüzey boşluklarının duvarın düzlem dışı davranışı üzerindeki etkilerini hem deneysel olarak hem de analitik olarak ANSYS adlı programda incelemiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, MSJC 2013'ün önerdiği güvenlik katsayılarına göre değerlendirilmiş ve yönetmelikte verilen katsayıların fazla temkinli olduğunu belirtilmiştir (Chen ve Liu, 2016).

Deprem altındaki dolgu duvarların hâkim göçme modu genellikle kesme kaynaklı olmaktadır. Bolhassani ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, dolgu duvar malzemesinin iç kısmına yatay ve dikey donatılar yerleştirerek dolgu duvar üzerindeki basınç hattını daha geniş bir alana yaymayı hedeflemiştir. Dolgu malzemesinin alt ve üst kirişlere sapan donatılar kat boyunca devam ettirilmiştir. Deney çerçevesi olarak ayrıca pencere boşluğu bırakılan modeller de hazırlanmıştır. Çalışma, donatı yerleştirilen çerçevenin donatı olan noktalarda kısmi kolon gibi davranarak, çerçeve içerisinde küçük çerçeveler oluştuğunu göstermiştir. Bu sayede gelen kesme kuvveti daha küçük parçalara dağılarak gerilme düzgün biçimde çerçeve içinde dağılmıştır. Bu sayede kolon-kiriş birleşim noktalarında dolgu duvarda oluşan ezilmeler de büyük ölçüde ortadan kalkmıştır (Bolhassani vd., 2016).

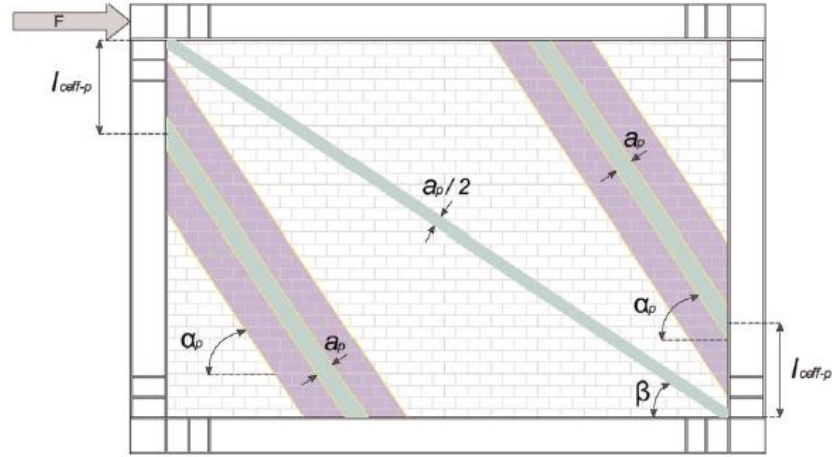




**Şekil 2.2** : Donatı yerleştirilen dolgu duvar modeli (Bolhassani vd., 2016)

Geçmişteki çalışmalar, boş çerçeveler ile dolgu duvarlı çerçevelerin davranışı arasında kayda değer bir fark olduğunu ortaya koymuştur. Dolgu duvarlı çerçevelerin analizinde en yaygın olarak kullanılan analitik yöntem, eşdeğer sanal basınç çubuğu yöntemi olarak görünmektedir. Bu model ortaya konduğundan bu yana, farklı şartlar altındaki dolgu duvar davranışları da yine incelenmiş konular arasındadır. Ancak deneysel çalışmalar göstermektedir ki, birçok parametre bu analitik yöntemin öngörüsünü bulandırabilmektedir. Mohyeddin ve arkadaşları, hangi çerçeve tipleri için hangi analitik yöntemin kullanılmasının daha doğru olduğunu araştırmıştır. Bu bağlamda belli parametrelere bağlı olarak bir yöntem geliştirmiştir. Yöntem, sonlu eleman modeliyle analiz edilen çerçeveden alınan bir takım verileri temel alarak, doğru eşdeğer sanal basınç çubuğu çözüm kırılımlarını belirlemektedir (Mohyeddin vd., 2017).

Yekrangnia ve Mohammadi, dolgu duvarlı çelik çerçeveler için genelleştirilmiş bir eşdeğer sanal basınç çubuğu yöntemi sunmuştur. Yöntemin temeli, çelik çerçevede yükleme sonucu oluşan eğilmelerin dolgu duvara aktarılmasına dayanmaktadır. Önerilen yöntemin, ASCE'de verilen metodlara göre daha iyi sonuçlar verdiği deneysel çalışmalarla doğrulanmıştır. Bununla birlikte, çalışmanın yalnızca dolu çerçevelerin davranışı için geçerli olduğu, boşluklu dolgu duvarlarda kullanılmasının doğru olmayacağı da belirtilmiştir (Yekrangnia ve Mohammadi, 2017).



Şekil 2.3 : Yekrangnia ve Mohammadi'nin ESBC Yöntemi

$$a_p = 0.001a_M(6\theta + 7.5\alpha_p) \quad (4)$$

$$L_{ceff-p} = 0.006h(\theta + \alpha_p - 10\lambda_1h) \quad (5)$$

$$\alpha \cong \tan^{-1} 1/\mu \quad (6)$$

$$\alpha_p = \alpha - \lambda_1h \quad (7)$$

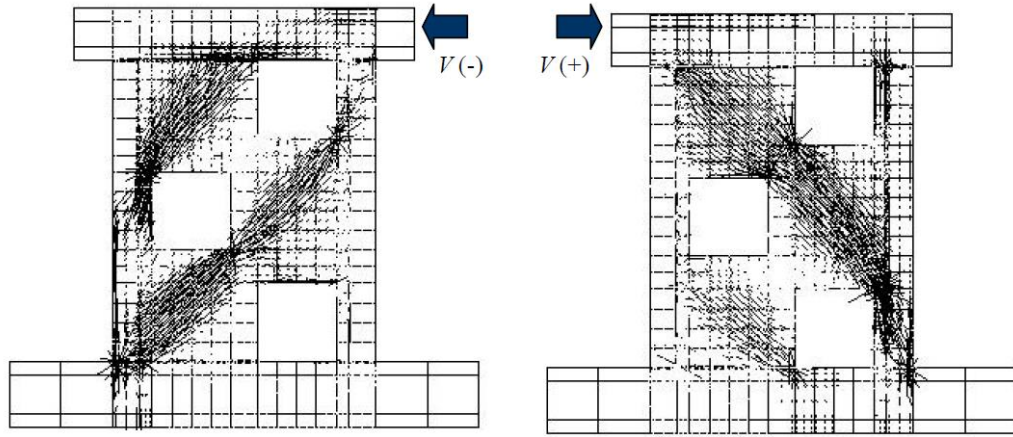
## 2.2 Perde ve Dolgu Duvarlarda Boşluk Etkisi

Perdelerdeki boşlukların etkisini araştıran Liauw, yaptığı çalışma kapsamında boşluklu ve boşluksuz duvarların yanal yükleme altındaki davranışlarını oluşturduğu sayısal yöntemle kıyaslamıştır. Perdelerdeki boşlukların perde duvarın tam ortasında yer aldığı 16 model üzerinde deneysel çalışma gerçekleştirilmiş ve farklı büyüklükteki açıklıkların yanal ötelenmesi ölçülmüştür. Yapılan 16 deneyden ilk 8'inde dolgu malzemesi olarak kauçuk kullanılırken kalan 8 modelde sert jelatin malzeme kullanılmıştır. Kauçuk kullanılan modellerde boşluk büyüklüğünün yanal deformasyona bir etkisinin olmadığı hem sayısal hem de deneysel modellerde görülmüştür. Sert jelatin malzeme kullanılan sayısal modelden elde edilen sonuçların yüzde elliden daha büyük boşluklu perde duvarlardaki deneysel sonuçlarla yakın

değerler verdiği görülürken yüzde elliden daha büyük boşluklu perde duvarlarda değerlerin birbirinden uzaklaştığı görülmüştür (Liauw, 1972).

Lin ve Kuo'nun yaptığı çalışma sonlu elemanlar metoduyla tasarlanan ve analiz edilen boşluklu perde duvarların deneysel çalışmalarla ne ölçüde örtüştüğünü gözlemlemeyi amaçlamıştır. Çalışma kapsamında 12 farklı tipteki tamamen dolu ve farklı geometride boşluklu test numunesinin yanal yükleme altındaki davranışının sonlu elemanlar metoduyla elde edilen verilere benzer sonuçlandığı görülmüştür. Çalışmada neticesinde elde edilen bir diğer önemli veri ise eşdeğer sanal basınç çubuğu üzerine denk gelen boşlukların çevresinde gerilme yoğunlaşmalarının hem deneysel hem de analizler sonunda gözlenmesidir. Lin ve Kuo bu gözlem sonucuna bağlı olarak, boşluk çevrelerindeki enine donatıların daha büyük önem taşıdığını belirtmiştir (Lin, C Y. Kuo, 1988).

Wu ve Li, yaptıkları çalışmada daha önce deneysel olarak incelenen bazı boşluklu perde duvarların sonlu eleman modellerini farklı donatı düzenlerinde ve farklı rijit diyafram seçimleriyle bilgisayar üzerinde analiz etmiştir. Elde edilen veriler göstermektedir ki; donatı miktarındaki küçük artışlar bile perde duvarın dayanım gücünü önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Fakat dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise donatı miktarındaki değişimlerin, sistemin göçme modunu da kolayca değiştirebilmesidir. Bu sebeple kolonların donatı tasarımı kirişteki donatı tasarımıyla uyumlu bir şekilde yapılmalıdır. Wu ve Li yaptıkları çalışmada perde üzerinde bulunan boşlukları düzensiz bir şekilde konumlandırmıştır. Ve bu düzensiz boşluk yerleşimi neticesinde perdenin kuvvet aktarım kabiliyetini “Basınç Gerilmesi Akışı” olarak tanımlamışlardır (H. Wu ve Li, 1996).



**Şekil 2.4** : Boşluklu Perdelerde Basınç Gerilmesi Akışı (H. Wu ve Li, 1996)

Perde duvarların davranışıyla yapı yüksekliği arasındaki ilişki hakkında yapılmış çalışmalar perde duvarların yapı davranışına olan etkisinin anlaşılması noktasında büyük önem taşımaktadır. Khatami ve arkadaşları yaptıkları çalışmada çok katlı bir yapıyı; dolu perde duvarla, merkezde boşluklu perde duvarla ve simetrik konumlanmamış boşluklu perde duvarla modelleyerek iki farklı deprem kaydına bağlı olarak simüle ederek incelemiştir. Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki, perde üzerindeki boşlukların oranı ve konumu yapıdaki yanal ötelenmeyi az miktarda etkilemesine rağmen özellikle simetrik olmayan boşluklu perde duvardaki boşlukların yapının kesmeye karşı gösterdiği direnci yüksek miktarda azaltmaktadır (Khatami vd., 1998).

Tuğla duvarla doldurulmuş çerçevelerin davranışları beton perde duvarla doldurulmuş çerçevelere büyük benzerlik göstermektedir. Asteris, çalışmasında boşlukların duvarlar üzerindeki etkisini değişkenler bazında incelemiştir. Sonlu elemanlar metodunu temel alan çalışmada, farklı boşluk konumları ve oranlarının davranışa olan etkisi incelenmiş ve eşdeğer sanal basınç çubuğu üzerine denk gelen boşlukların davranışı daha görünür biçimde etkilediği gözlemlenmiştir. Çalışmadaki önemli bulgulardan biri boşluk oranı ve rijitlik kaybı arasında doğrusal bir etkileşim olmadığını görülmüştür. Bir diğer önemli sonuç ise boşlukların rijitlik katsayısını etkilemiyor olmasıdır (Asteris, 2003).

Anıl ve Altın, boşluk oranını temel parametre olarak kabul eden deneysel çalışmalarında, 1/3 ölçekli tek katlı ve tek açıklıklı 9 betonarme çerçeve hazırlayarak

bu çerçeveleri çevrimsel yanal yüklemeye tabi tutmuştur. Çalışmadaki önemli bulgulardan birisi, perde duvarlar üzerinde bırakılan boşluğun oranından ziyade konumlanmasının daha büyük önem taşıdığıdır, zira aynı dolgu duvar miktarına sahip olmasına rağmen iki farklı test numunesinden simetrik şekilde her iki kolona eşit miktarda dağılmış olanı yüzde 20 daha fazla dayanım göstermiştir (Anil ve Altin, 2007).

Asteris, geliştirdiği hesaplama yazılımı sayesinde boşluklu veya boşluksuz bir perde duvarın analizi için gerekli en uygun parça büyüklüğünü tayin etmeye yarayan bir yöntem önermiştir. İteratif olarak boyutsal denemeler yapan program, sanal basınç çubuğuyla bağlantılı çerçeve köşelerindeki kuvvet aktarımı arasındaki değerleri kıyaslayarak doğru parça büyüklüğünü tespit etmektedir (Asteris, 2008).

Warashina ve arkadaşları, betonarme perde duvarlardaki dışmerkezli boşlukların etkisini gözlemlmek için boşluk boyutu ve konumunu temel parametre kabul eden deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında statik yüklemeye maruz bırakılan çerçevelerin kesme mukavemeti ve ötelenmeleri kayıt altına alınmış; ikinci aşamasında ise boşluklu perde duvarların analiz edilmesini sağlayan bir sonlu elemanlar modeli geliştirilmiştir. Deneysel çalışmalarla kıyaslanan bu sayısal modelin boşluk oranının 0.46'nın altındaki perde duvarlarda uygulanabileceği ortaya konmuştur (Warashina vd., 2008).

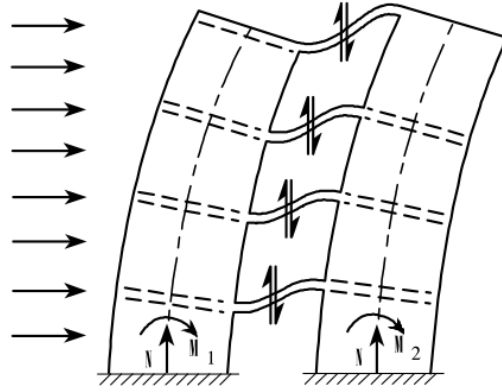
Sakurai ve arkadaşları ise üzerinde birden fazla boşluk bulunan perde duvarların davranışlarını incelemiştir. Çalışmada aynı tip çerçeve ve aynı oranda boşluk kullanılmasına karşın, boşluk konumu ve biçimlenmesi farklı tutularak sonuçlar kıyaslanmıştır. Çalışma neticesinde görülmüştür ki, boşluk oranı sabit kalmasına rağmen boşlukların perde duvar üzerindeki yerleşimi davranışı önemli biçimde etkilemektedir (Sakurai vd., 2008).

Perde duvarlar üzerinde açılan boşluklar genellikle mimari gereksinimleri karşılamayı amaçlamaktadır. Abd-El-Rahim ve Farghaly, bu amaç doğrultusunda 5 farklı yapı modelini hem yapısal dayanım ihtiyaçlarını hem de mimari gereksinimleri sağlayacak şekilde SAP2000 programı üzerinde tasarlamıştır (Abd-El-Rahim ve Farghaly, 2010).

Dolgu duvarların yapı davranışına olumlu ve olumsuz etkileri uzun süredir tartışılan konular arasındadır. Ve birçok yönetmelikte dolgu duvarların taşıyıcı özelliğe sahip olmadığı kabulü hâkimdir. Bikçe ve arkadaşları, gerçek bir yapı üzerinde yaptıkları çalışmada binanın dolu duvarsız halini ve dolgu duvarların inşa edilmesinden sonraki halini dinamik teste tabi tutmuştur. Dinamik testlerin yapılması için yapının belli noktalarına 100 Hz kayıt yapan ivmeölçerler yerleştirilmiştir. Yapının dolgu duvarlar inşa edilmeden önceki hali ve dolgu duvarların inşa edildikten sonraki hali zorlanmış titreşimlere tabi tutularak yapıda meydana getirdiği titreşimler kayıt altına alınmıştır. Son aşamada ise elde edilen ivme kayıtlarından yapının doğal titreşim periyotları hesaplanmıştır. Sonuçlara göre yapının dolgu duvarlı hali, önceki hale kıyasla yüzde 25-35 arası iyileşme göstermiştir (Bikçe vd., 2011).

Masood ve arkadaşları, bazı yönetmeliklerin perde duvarlarda uygulanmasına izin verilmeyen taban boşluklarını incelemiştir. Dayanımına olan etkisini kıstas alarak, kabul edilebilir boşluk tiplerini tespit etmeye çalışmışlardır. Bu doğrultuda yapıyı ANSYS adlı programda modelleyerek; yüzde 60'a kadarki boşlukların mukavemeti önemli ölçüde etkilemediğini ancak yüzde 60'ın üzerindeki boşlukların rijitliği önemli ölçüde düşürdüğünü öne sürerek yüzde 50'nin altındaki boşlukların müsaade edilebilir boşluklar olduğunu belirtmişlerdir (Masood vd., 2012).

Torki Harcheganiu ve arkadaşları, yapı boyunca uzanan iki perde duvarın arasındaki bağlantıyı sağlayan kirişlerdeki eğilmeleri analitik yöntemlerle incelemiştir. 384 model üzerinde yapılan analizlere göre bu eğilme davranışını etkileyen en önemli faktörler kat yüksekliği ve perde duvarlar arasındaki mesafedir. Bu hesaplamaların yapılmasında kullanılan "α Değeri Yöntemi" yaklaşık olarak 8 katlı binalara kadar etkili olarak kullanılabilir. Daha yüksek katlı binalarda bu yöntemin doğru değerlerden uzak sonuçlar verdiği tespit edilmiştir (Torki Harcheganiu vd., 2012).



**Şekil 2.5** : Bağımsız Perde Duvar Davranışı (Torki Harcheganiu vd., 2012)

Taleb ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada 1 adet boşluklu ve 3 adet dışmerkezli boşluklu; 4/10 ölçekli deneysel modeller hazırlamıştır. Çevrimli yüke tabi tutulan numunelerin kırılma davranışları incelenmiştir. Çalışmada gözlemlenen en önemli sonuçlardan birisi simetrik olmayan boşlukların farklı yönde gelen yanıl kuvvetlerde farklı kırılma göstermesi olmuştur. Numunelerin kırılma davranışında dikkat çeken bir diğer nokta ise, daha küçük boşluk oranına sahip numunelerde kısa kolon davranışı oluşmasından dolayı diğer numunelere kıyasla daha erken ve ani göçme davranışı göstermiştir (Taleb vd., 2012).

Boşluksuz perde duvarların davranışı günümüzde büyük ölçüde bilinir hale gelmiştir. Fakat boşluklu perde duvarların davranışlarında hala bir takım noktalar gölgede kalmıştır. Gopalarathnam ve Kumar, perde duvarların deprem altındaki sönümleme davranışını anlamak amacıyla bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışma kapsamında boşluklu perde duvarları doğrusal olmayan sonlu elemanlar metoduyla tasarlanmış ve El Centro depreminde elde edilen ivme kayıtlarındaki titreşime tabi tutulmuştur. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre orta ve büyük açıklıklı perde duvarlarda göçme modunu belirleyen temel kıstas eğilmeler olmaktadır (Gopalarathnam ve Kumar, 2013) .

Yanal yüklere maruz kalan perde duvarlı betonarme çerçevelerde bırakılan bant tipi boşluklar -belli şartlar oluştuğu takdirde- kısa kolon oluşumuna sebep olabilmektedir. Bu boşluklar kimi zaman projelendirme hatasından kaynaklanmakta kimi zaman ise yapının işletmeye girmesinden sonra bilinçsizlik sebebiyle oluşturulmaktadır. Her iki durumda da bu tip yapısal kusurların güçlendirilmesi elzem görülmektedir. Hüsem ve

arkadaşları, yaptıkları deneysel çalışmada 8 farklı çerçeve sistemi hazırlayarak bant tipi boşluk bulunan perde duvarların açıkta kalan kolonlarını kanat duvarlarla güçlendirerek çevrimsel yüke tabi tutmuşlardır. Kanat güçlendirmesi yapılan modellerde kısa kolon göçmesi görülmesi için gereken kuvvetin güçlendirme yapılmayan modele kıyasla yaklaşık 4.5 kat arttığı görülmüştür (Hüsem vd., 2013).

Musmar, perde duvarların daha doğru modellenmesini ve davranışlarının irdelenmesini sağlamak amacıyla ANSYS programında Solid65 olarak tanımlanan ve beton davranışını son derece gerçekçi biçimde yansıtan malzeme tanımlamasını kullanmıştır. Bu kapsamda 5 farklı yapı modeli kullanan Musmar, en büyük boşlukları bıraktığı modelde, boşluklar arasında kalan perde duvar parçalarının perde duvar özelliğini kaybettiğini, bağ kiriş gibi davrandığını ve bu sebeple perde duvarın yekpare hareket etmeyip iki farklı perde duvar gibi davranış sergilediğini gözlemlemiştir (Musmar, 2013).

2009-2011 yılları arasında dünya çapında kaydedilen yüksek şiddetli depremler (2009 İtalya Depremi, 2010 Şili Depremi, 2011 Yeni Zelanda Depremi, 2011, Japonya Depremi ve 2011 Van Depremi) göçme davranışları hakkında önemli fikirler edinilmesine sebep olmuştur. Bu deneyimler yapısal duvarların göçme modlarının boyut, açıklık, planlama gibi birçok kısıta bağlı olduğunu göz önüne sermiştir. Yaşanan yıkımlar, tamamen doğru tasarlanmış bir perde duvarın dahi yapının başka bir noktasında yapılan tasarım hatalarından etkilenebildiğini göstermiştir. Fakat perde duvarlar özelindeki incelemeler, simetrik olmayan veya eksantrik açılan boşlukların perde duvar davranışını olumlu veya olumsuz yönde daha öngörülemez hale getirmektedir. Marius'un yaptığı incelemeler ve analitik çalışmalar, yapının tabanından başlayıp en yüksek noktaya kadar devam eden perde duvarlarda açılan nizami boşluklara kıyasla, her katta bir alttakine ve üsttekine göre çaprazda kalan boşluk düzeninin daha rijit bir davranış sergilediğini ortaya koymaktadır (Marius, 2013).

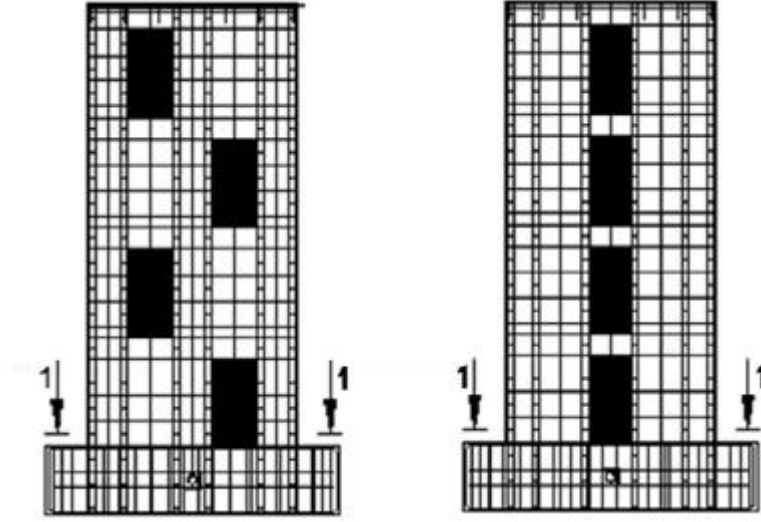
Yapı boyunca yükselen perde duvarların zeminle temas ettiği kısımlarda bir takım mimari gereksinimler sebebiyle boşluk açılması gerekebilmektedir. Dolayısıyla yapının bu bölgelerinde açılacak boşlukların güvenliği tehdit etmeyecek şekilde tasarlanması hayati önem taşımaktadır. Hegde ve Itti, bu bağlamda yaptıkları



çalışmada, boşluğun konumunu ve oranını iki temel parametre kabul eden bir analiz serisi gerçekleştirmiştir. ANSYS üzerinde yapılan analizlerde boşlukların simetrik olması veya eksantrik yerleşimi konum parametresini oluşturmuştur. Analizlere simetrik boşlukların eksantrik boşluklara göre daha fazla yük taşıma kapasitesine sahip olduğu ve boşluk oranının yüzde 50'nin üzerine çıktığında yük taşıma kapasitesinde ani bir düşüş yaşandığı gözlemlenmiştir (Hegde ve Itti, 2014).

Perde duvarlar yapılarda yanal yüklere direnen en temel eleman olarak kabul görmektedir. Fakat bununla birlikte çoğu kez yapının fonksiyonelliğini sağlamak amacıyla perde duvarların boşluklu inşası söz konusu olmaktadır. Bu sebeple perde duvarların elastik ve plastik davranışlarının bilinmesi son derece önemli bir gerekliliktir. Muthukumar ve Kumar, yaptıkları çalışmada boşlukların oranının ve boşluk konumunun önemini irdemiştir. Modelleri mukayese etmek için sonlu elemanlar metodu kullanılmış ve çok sayıda küçük açıklığın, az sayıda büyük açıklığa kıyasla daha iyi bir performans sergilediği görülmüştür (Muthukumar ve Kumar, 2014).

Marius, 2013 yılında yayınladığı makalede (Marius, 2013) bazı depremlerde gözlemlendiği çapraz konumlandırılmış perde duvar boşluklarının performansını deneysel ortamda analiz ederek irdelemek istemiştir. Çalışmada yatay olarak simetrik ve düzenli şekilde yerleştirilmiş boşluk düzeniyle, birbirine çapraz olarak konumlandırılmış perde duvar boşluklarının göçme modlarını incelemiştir. Çalışma kapsamında Şekil 2.4'te verilen iki farklı perde duvar planı çevrimsel yüke tabi tutulmuştur. Düzenli boşluk yerleşim planına sahip perde duvardaki bağ kiriş davranışına zorlanan bağlantı kolları kısa süre içerisinde rijitliğini kaybederek iki perde duvarın birbirinden bağımsız hareket etmesine sebep olmuştur. Çapraz boşluk yerleşim düzenine sahip perde duvar ise diğerine kıyasla 1.5 kat daha fazla yük aldıktan sonra bir boşluktan diğerine uzanan çatlaklar meydana getirerek göçmüştür (Marius, 2014).



**Şekil 2.6 :** Düzenli ve çapraz boşluk yerleşim planları (Marius, 2014)

Yüksek katlı yapılardaki en temel yapısal tehlike yanal yüklerin etkisi olarak görülmektedir. Yanal yükler söz konusu olduğunda ise perde duvarların önemi bir kat daha artmaktadır. Sharma ve Amin, 30 katlı bir yapıyı ETABS adlı programda tasarlamış; yapıda kullanılan perde duvarları ise tamamen dolu, 2x2.1 m düzenli boşluklu, 2x2.8 m düzenli boşluklu, 3x2.1 m düzenli boşluklu ve 3x2.8 m düzenli boşluklu olarak modellemişlerdir. Çalışma sonuçları, yüksek katlı bir yapıda modeller arasındaki ötelenme farklarının orta katlarda arttığını göstermiştir. Tamamen dolu perde duvar diğer modellere göre yüzde 23'e kadar daha az ötelenme yapmış, boşluklu modellerin kendi arasında ise önemli bir fark göstermediği göze çarpmıştır (Sharma ve Amin, 2015).

### **2.3 Perde Duvarlı Çerçevelerde Kısa Kolon Etkisi ve Kesme Davranışı**

Woodward ve Jirsa, yaptıkları deneysel çalışmada enine ve boyuna donatıların, üzerinde bant tipi pencere bulunan perde duvarda oluşan kısa kolon davranışını nasıl etkilediklerini incelemiştir. Çalışmadaki önemli bulgulardan birisi enine donatıların kesme çatlaklarını önemli ölçüde kontrol altına almış olmasıdır. Çalışmada elde edilen önemli bir diğer veri ise, aksenal yükün kısa kolon davranışına olan etkisidir. Yanal kuvvet sonucu kısa kolon etkisi oluşan kolonlarda aksenal yükün olumlu etkileri olduğu görülmüş, fakat maksimum yanal yük taşıma kapasitesine ulaşıldıktan sonra

eksenel yükün çerçevenin rijitliğine olumsuz yönde etki ettiği gözlemlenmiştir (Woodward ve Jirsa, 1984).

Mevcut kolon tasarım metotlarının çok fazla tecrübe veya deneme yanılma gerektirdiğini belirten Hartley, verimli kolon tasarımı amacıyla açısız eğrilik metodunu sunmuştur. Yüklere bağlı olarak kolon boyutlarının öngörülmesini sağlayan metot etkileşim yüzeyi hesabının gerektirdiği iteratif yaklaşıma karşı geliştirilmiştir (Hartley, 1985).

Harumi ve arkadaşları, kısa kolonların kesme göçmesi mekanizmalarını incelemek için derinliği ile açıklığı arasında 1.5 oranını sağlayan 31 adet test numunesinin yanal yükleme altındaki davranışını incelemiştir. Çalışma kapsamında deneye tabi tutulan sistemler ayrıca sonlu eleman metoduyla modellenmiş ve elde edilen sonuçlar deneysel verilerle kıyaslanmış ve her elde edilen yük-ötelenme grafiklerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda kısa kolon göçmesinin çevrimli yükleme altındaki davranışı her bir çevrim için ayrıca incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmelere göre, ötelenme ile kolon yüksekliği arasındaki oranın 1/100'ün üzerine çıkması halinde plastik mafsallı oluşumunun gözlemlendiği fakat sık etriye kullanılan numunelerde bu oluşumun daha geç fazlarda olduğu ortaya konmuştur (Harumi vd., 1990).

Işık, yaptığı çalışmada kısa kolon oluşumunun farklı kat yükseklikleri ve kat sayısından nasıl etkilendiğini irdelemiştir. Geleneksel tasarım modellerinde göz ardı edilen dolgu duvarların yapı davranışı önemli ölçüde etkilediğini belirtmiştir. Perde duvarların yapının yanal yükler altında yaptığı ötelenmeleri azaltırken kesme kuvvetini de kayda değer biçimde yükselttiğini gözlemlemiştir (Işık, 2006).

Kolon yüksekliği boyunca devam etmeyen dolgu duvarlar, yapılarda kısa kolon etkisi gözlemlenmesinin en temel sebepleri arasında görülmektedir. Çağatay, yaptığı çalışmada farklı açıklık durumlarında ve farklı yüksekliklerdeki dolgu duvarların kısa kolon oluşumuna etkilerini incelemiştir. İncelenen parametrelerden boşluk oranının azalmasının kesme kuvvetinin artmasına sebep olduğu; ikinci parametre olan açıklık sayısının artmasının ise kesme kuvveti oranını ciddi miktarda yukarı çektiği görülmüştür (Çağatay, 2007).

Geçmiş yıllardaki çalışmalarda, kesitlerin hâkim davranışının tespit edilmesi için kullanılan pratik yöntemlerden birisi de “a/d oranı” olarak tanımlanmıştır. “a/d oranı”nda yer alan d, kesitin faydalı derinliğini ifade ederken; a ise gelen noktasal yük ile mesnet arasındaki mesafeyi ifade etmektedir. Özellikle kirişlerde kullanılan bu yöntemle göre, a/d’nin 7’den büyük olması halinde kesit eğilme kapasitesine ulaşabilecektir. a/d’nin 7’den küçük ve 3’ten büyük olması halinde ise kiriş eksenine dik eğilme çatlakları oluşacak, yük arttıkça kesme açıklığında oluşan eğilme çatlakları tarafsız eksene doğru uzamaya başlayacaktır. a/d’nin 3 ile 1.5 arasında yer alması halinde ise kesitin eğilme davranışı engellenecektir (Ersoy ve Özcebe, 2007).

Yapılarda birtakım mimari gereksinimler sebebiyle perde duvarlar üzerinde bant tipi pencere açılabilir. Ancak bu bant tipi pencerelerin varlığı kimi zaman kısa kolon oluşumuna doğrudan sebep olmaktadır. Bikçe, yaptığı çalışmada bant tipi pencerelerin oluşturduğu kısa kolon etkisini parametrik olarak incelemiştir. Çalışma sonucunda görüşmüştür ki; bant tipi pencerelerin, kolonlar arası temiz açıklığın yüzde 60’ından daha büyük olmaması ve kat yüksekliğinin yüzde 35’inden büyük olması gerekmektedir (Bikce, 2011).

Günümüzde yapıların maruz kalması en olası afetlerden birisi de yangındır. Betonarme yapılar için anlık göçmelere sebep olacak yangın seviyeleri çok yüksek olsa da, yangına maruz kalan yapı elemanları dayanım güçlerini kaybedebilmekte ve olası bir depremde öngörülenden daha az güvenilir bir performans sergileyebilmektedir. Bikhiet ve arkadaşları, yangına maruz kalmış kısa kolonların dayanım kayıplarını inceledikleri bir çalışma yapmıştır. Çalışma sonuçları yangına maruz kalmış bir kısa kolonun, yangına maruz kalmamış kısa kolona kıyasla yüzde 20 ila 40 arası daha düşük bir dayanım gücüne sahip olduğunu göstermiştir. Yangına maruz kalan kolonlar daha gevrek bir yapıya sahip olmuş ve 1.5 kattan daha az bir yükleme altında çatlaklar ortaya çıkarmıştır (Bikhiet vd., 2014).

#### **2.4 SAP2000 OAPI**

Wu ve arkadaşları, uzun açıklıklı çerçevelerin rüzgar yüklerine karşı güvenli hale getirilmeleri için bir optimizasyon çalışması yapmıştır. Optimizasyon işlemi için yapının bir takım özelliklerini itere edildiği çalışmada analizler SAP2000 üzerinde

yapılmıştır. İterasyon işlemi için Matlab ile SAP2000 OAPI arasında bir bağlantı kurulmuş ve analiz sonuçları Matlab üzerinde değerlendirilmiştir. Çalışmanın neticesinde yapısal ağırlık başlangıç değerlerine göre yüzde 26-28 oranında azaltılabilmektedir (J. R. Wu vd., 2012).

SAP2000 adlı programa günümüzde güvenli yapı analizi için sıkça başvurulmaktadır. Ancak bu program kendi içerisinde optimizasyon araçlarına sahip değildir. Bununla birlikte SAP2000 ile birlikte sunulan OAPI adlı uygulama geliştirme arayüzü, bir takım yazılım dilleri aracılığıyla isteğe uygun optimizasyon yöntemlerinin kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Hussein, yaptığı çalışmada genetik algoritmaları kullanan bir optimizasyon yöntemi ile uzay çerçeve tasarımının en uygun planını oluşturmaya çalışmıştır. OAPI kullanılmayan optimizasyon çalışmalarıyla bulduğu sonuçları kıyaslayan Hussein, hem dayanım açısından hem de kullanılan malzeme miktarları açısından OAPI sayesinde elde edilen sonuçların daha verimli olduğunu belirtmiştir (Hussein, 2013).

Sezgisel yöntemlerden birisi olan harmoni arama algoritmasının, yapısal optimizasyonda kullanılması hala yeni sayılabilecek bir konudur. Artar, bu algoritmayı kullanarak, uzay çerçevelerin DBYBHY'ye göre güvenli bir şekilde en az ağırlıkla modellenebilmesini hedeflemiştir. Ayrıca çalışmanın bir amacı da bu yöntemin geçerliliğini de test etmektir. Matlab'ta kodlanan program SAP2000 OAPI üzerinde yapıyı modellemekte ve her iterasyonda algoritma sayesinde sezgisel iyileştirmeler yapılarak optimum sonucu aramaktadır. Çalışma sonunda ulaşılan değerler, bu yöntemin uzay çerçevelerin optimizasyonunda kullanılabileceğini göstermiştir (Artar, 2016).

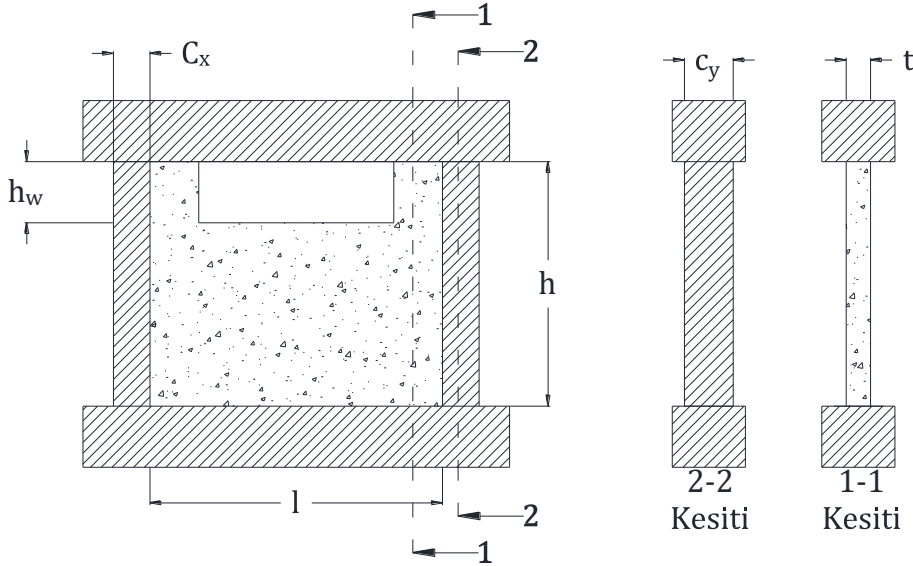
Artar ve Daloğlu, yarı-rijit bağlantı elemanlarının uzay çerçevelerin optimum tasarımına etkisini belirlemek için bir çalışma yapmıştır. Çalışmada kullanılacak yapısal model, Matlab üzerinden kodlanarak SAP2000 OAPI sayesinde sonlu elemanlar modeline dönüştürülmüştür. Çalışmada yapılan iterasyonlar, doğrusallık içermeyip; genetik algoritma ve harmoni arama yöntemlerinden faydalanmaktadır. Bu sayede analizler daha kısa sürede optimum değere ulaşabilmektedir. Çalışma sonuçları, harmoni arama yönteminin, genetik algoritmaya kıyasla daha iyi netice verdiğini göstermiştir (Artar ve Daloğlu, 2016).

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmadaki temel amaç, perde duvarlarda bırakılan bant tipi boşluklardaki boyut değişiminin çerçeve davranışına olan etkilerini incelemek ve gerekli hallerde bırakılacak boşlukların sebep olduğu dayanım kayıplarını doğru biçimde öngörebilmektir. Yapılardaki bu tip boşlukların sebep olduğu en tehlikeli göçme tipi kısa kolon etkisinden kaynaklı kesme göçmesi olarak görünmektedir. Bu sebeple, yapılan analizlerden elde edilen veriler bu bağlamda değerlendirilecektir.

#### 3.1 Kombinasyon Parametreleri

Geçmiş yıllarda yapılan çalışmalar, perde duvar davranışına etki eden birçok parametrenin varlığını göstermiştir. Çalışma içerisinde yapılacak analizler, bu deneyimlerden elde edilen parametreleri kapsayacak şekilde seçilmiştir. Bu parametrelere ek olarak, etkisinin sorgulamasında fayda görülen bir takım parametreler de analizlere dâhil edilmiştir.



Şekil 3.1 : Bant tipi boşluklu perde duvar modeli

Çalışma kapsamında seçilen parametreler şu şekilde sıralanabilir;

- Çerçeve temiz yüksekliği ( $h$ )
- Çerçeve temiz açıklığı ( $l$ )
- Perde duvar kalınlığı ( $t$ )
- Boşluk / Çerçeve yüksekliği oranı ( $w_r = h_w/h$ )
- Çerçeveye etkiyen yanal yük ( $F_x$ )
- Beton elastisite modülü ( $E_c$ )
- Çerçeve kolonlarına ait kuvvet yönündeki atalet momenti ( $I_c = C_x^3 C_y / 12$ )

Her bir parametre için alt ve üst değerler seçilmiş, seçilen değerlerden bir tanesi standart kombinasyon parametresi olarak alınmış ve diğer kombinasyonlarda kullanılmıştır. Alt ve üst kirişler ise daha önce yapılan çalışmalar esas alınarak rijit diyafram olarak kabul edilmiştir. Tüm kombinasyonlara ait detaylı tablolar ilerleyen bölümlerde verilecektir.

### 3.1.1 Çerçeve temiz yüksekliği

Çerçeve yüksekliğinin belirlenmesinde alışlagelmiş genel yapı kat yüksekliği esas alınmıştır. Ancak yüksekliğinin etkisini irdeleyebilmek amacıyla esas alınan değer in üstünde ve altındaki bazı değerler de kombinasyonlara dâhil edilmiştir. Yükseklik değişkenleri;

$$h_1 = 250 \text{ cm}, h_n = 275 \text{ cm}, h_2 = 300 \text{ cm}, h_3 = 325 \text{ cm}, h_4 = 350 \text{ cm}$$

şeklinde sıralanabilir.

### 3.1.2 Çerçeve temiz açıklığı

Çerçeve temiz açıklığı için geniş bir aralık seçilmiştir. Zira eşdeğer sanal basınç çubuğu yönteminin belli varyasyonları temiz açıklığından önemli ölçüde etkilenebilmektedir. Seçilen açıklık değişkenleri;

$$l_1 = 150 \text{ cm}, l_2 = 200 \text{ cm}, l_3 = 250 \text{ cm}, l_n = 300 \text{ cm}, l_4 = 350 \text{ cm},$$

$l_5 = 400 \text{ cm}$  şeklinde sıralanabilir.

### 3.1.3 Perde duvar kalınlığı

Analizlerde kullanılacak perde duvar kalınlıkları da literatürdeki uç değerlere sahip çalışmaları da kapsayacak bir şekilde seçilmiştir. Perde duvar kalınlığı değişkenleri;

$$t_1 = 50 \text{ mm}, t_2 = 100 \text{ mm}, t_n = 150 \text{ mm}, t_3 = 200 \text{ mm}, t_4 = 250 \text{ mm}$$

şeklinde seçilmiştir

### 3.1.4 Boşluk / Çerçeve yüksekliği oranı

Yapılan çalışmalarda perde yüksekliği genellikle çerçeve yüksekliğine bağlı bir parametre olarak incelenmiş ve bu ikisi arasındaki oran değerlendirmelerde esas teşkil etmiştir. Yapılan analizlerde de, incelenen çalışmalar esas alınarak perde yüksekliği için alt ve üst yükseklik oranları belirlenmiştir. Boşluk / Çerçeve yüksekliği oranı değişkenleri;

$$w_{r1} = \%25, w_{rn} = \%35, w_{r2} = \%45, w_{r3} = \%55, w_{r4} = \%65$$

şeklinde seçilmiştir.

### 3.1.5 Beton elastisite modülü

Eşdeğer sanal basınç çubuğu yönteminde görüldüğü üzere, çerçevede oluşan gerilme dağılımını etkileyen malzeme özelliği betonun dayanımı değil elastisite modülüdür. Gerçekleştirilen analizlerde, elastisite modülü değişkenleri;

$$E_{c1} = 20.000 \text{ MPa}, E_{c2} = 22.500 \text{ MPa}, E_{c3} = 25.000 \text{ MPa},$$

$$E_{c4} = 27.500 \text{ MPa}, E_{cn} = 30.000 \text{ MPa}$$

olarak seçilmiştir.

### 3.1.6 Çerçeve kolonlarına ait kuvvet yönündeki atalet momenti

Perde duvarlardaki bant tipi boşluklar sebebiyle oluşan kısa kolon etkisinin önemli parametrelerinden birisi de, gelen yanal kuvvet yönündeki kolonun atalet momentidir. Bu bağlamda çerçevede kullanılan kolonların boyutları ve atalet momentleri;



$$I_{cn} = 67.500 \text{ cm}^4 (C_x = 30 \text{ cm}, C_y = 30 \text{ cm})$$

$$I_{c1} = 160.000 \text{ cm}^4 (C_x = 30 \text{ cm}, C_y = 40 \text{ cm})$$

$$I_{c2} = 312.500 \text{ cm}^4 (C_x = 30 \text{ cm}, C_y = 50 \text{ cm})$$

$$I_{c3} = 90.000 \text{ cm}^4 (C_x = 40 \text{ cm}, C_y = 30 \text{ cm})$$

$$I_{c4} = 112.500 \text{ cm}^4 (C_x = 50 \text{ cm}, C_y = 30 \text{ cm})$$

olarak seçilmiştir.

### 3.1.7 Çerçeveye etkiyen yanal yük

Denklem 1,2 ve 3'ün incelenmesi halinde, dolgu çerçevelerdeki gerilme dağılımının oransal açıdan incelendiğinde kuvvetten bağımsız olduğu görünmektedir. Ancak yine de bu çalışma kapsamında kuvvet etkisinin perde duvar davranışına olan etkilerini incelemek üzere farklı yüklemeler analizlere dâhil edilmiştir. Bu yüklemeler;

$$F_{x1} = 60 \text{ kN}, F_{xn} = 100 \text{ kN}, F_{x2} = 140 \text{ kN}, F_{x3} = 180 \text{ kN}$$

şeklinde sıralanabilir.

## 3.2 Analiz Tipi

Bu tez çalışmasının amacı perde duvarlardaki bant tipi pencere boşluklarının çerçeve üzerindeki davranışını incelemek ve bu değişimin oluşturduğu iç kuvvet değişimlerini daha ayrıntılı bir biçimde ortaya koymaktır. Bu sebeple çerçevelerin göçme modları çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır. Zira, boyut değişiminin çerçevenin göçme davranışı üzerindeki etkilerini bu denli büyük bir analiz grubunda incelemek de olası görülmemiştir. Tüm bu değerlendirmeler neticesinde SAP2000 OAPI üzerinde yapılacak analizler lineer elastik sınırlar içerisinde tutulmuştur.

## 3.3 SAP2000 OAPI Yazılımı

SAP2000 OAPI, bir yazılım dili aracılığıyla program üzerindeki tüm analitik metotların imkanların kullanılmasına ve istenen sonlu elemanlar modelinin

oluşturulmasına imkan sağlamaktadır. OAPI'nin kullanılma amacı ve en büyük avantajı ise, elle modellenmesi ve analiz edilmesi yıllar sürececek çalışmaların, kodlanacak yazılımdaki döngüler sayesinde kolayca itere edilmesini mümkün kılmasıdır. Bu tez çalışmasında belirlenen her bir kombinasyon, maksimum pencere açıklığından başlayarak belirlenen modeli analiz etmektedir. Döngü içerisinde tamamlanan ilk analizden sonra, model tamamen silinerek, pencere açıklığı 1 cm küçültülerek model tekrar oluşturulmakta ve analiz edilmektedir. Bu döngü pencere boşluğu tamamen yok olana kadar devam etmekte ve bu sayede pencere boşluğunun önceden belirlenen noktalardaki deformasyonu ve iç kuvvetleri nasıl etkilediği gözlemlenebilmektedir.

SAP2000 OAPI, birçok modern yazılım dilini desteklemektedir. Günümüzde yazılım dilleri, sözdizimi kuralları açısından önemli benzerlikler içeriyor olsa da, yazılımların kullanılma amacı ve kapsamı göz önüne alındığında her bir uygulama için doğru yazılım dilinin seçilmesi büyük önem taşımaktadır.

SAP2000 OAPI ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde sıkça kullanılan dilin Matlab olduğu görülmektedir. Ancak Matlab'ın dolaylı bir yazılım dili olması, derlenme aşamasından sonra her ortamda çalışmasının mümkün olmaması bir takım dezavantajlar getirmektedir. Bu dezavantajlar göz önüne alınarak, oluşturulacak yazılımın C# diliyle kodlanmasına karar verilmiştir.

C# günümüzde en yaygın işletim sistemleri dâhil birçok yazılımın kodlanmasında kullanılan nesne tabanlı bir yazılım dilidir. C#'ın sağladığı avantajlar arasında çok platformlu oluşu, kaynak kod kütüphanesinin son derece gelişmiş olması, bilgisayar performansını iyi yönetmesi gibi bir takım maddeler sayılabilir. Zira modellenecek çerçevelerin parça özellikleri dikkate alındığında bilgisayar performansının iyi yönetilmesi ve eşanlı işleme kabiliyeti önemli bir seçim kriteri olarak ortaya çıkmaktadır. Oluşturulacak programdan performans anlamındaki beklenti, SAP2000'de yapılacak sonlu eleman modelleme ve analizlerini yavaşlatmadan döngüleri oluşturabilmesidir. Kodlanacak programın dili olarak C#'ın seçilmesindeki önemli bir diğer avantaj ise, analizler sonucunda elde edilen verilerin, diğer dillere nazaran daha kolay bir şekilde Excel'e aktarılabilmesidir.

### 3.3.1 Döngü adım aralığı

Kombinasyon analizlerine başlanmadan önce, döngünün doğru adım sayısını belirlemek amacıyla bazı deneme analizleri yapılmıştır. Analizi yapılacak noktalardaki kuvvetlerin fonksiyonlarının lineer veya parabolik olmadığı tespit edilmiştir. Bu sebeple davranış grafiklerinin en anlamlı veri sıklığını sağlaması için 1 cm'lik adım aralığında karar kılınmıştır.

### 3.3.2 Mesh (Parça boyutu) seçimi

SAP2000'de ve sonlu elemanlar yöntemini kullanan tüm programlarda katı modellerin oluşturulmasında ve analiz edilmesindeki doğruluk oranını etkileyen en önemli faktörlerden birisi de doğru parça boyutu seçimidir. Küçük parça boyutları analizlerin doğruluğunu artırırken, ortaya çıkan çözüm matrisinin büyümesine ve çözüm süresinin uzamasına sebep olmaktadır. Büyük parça boyutları ise çözümlerin gerçeklikten uzaklaşmasına sebep olmaktadır.

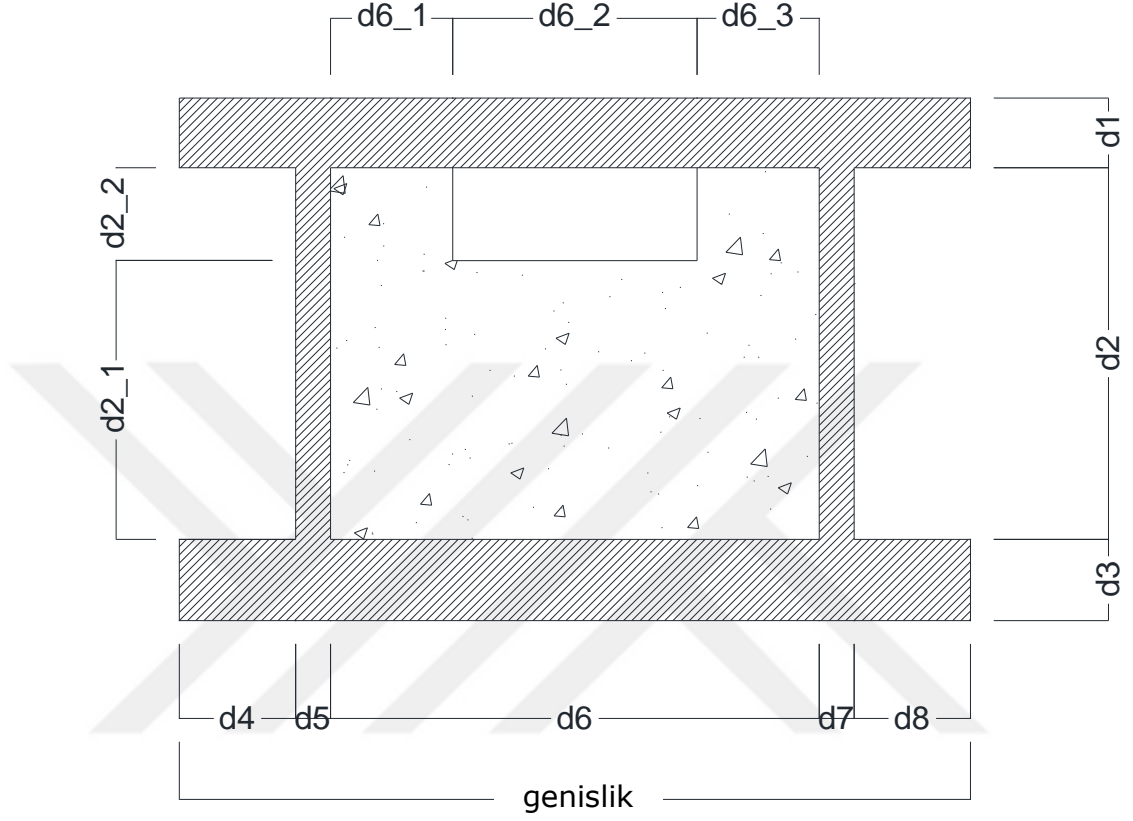
Parça boyutunun seçiminde büyükten küçüğe denemeler yapılmıştır. Davranış grafikleri incelendiğinde 10x10 cm'den büyük parça boyutlarında grafiği ortaya çıkaran noktalar arasında düzensiz atlamalar olduğu görülmüştür. Ancak 10x10 cm'lik parça boyutunda ise döngü adımının 10'a bölünmediği noktalarda gerilmelerin doğru şekilde aktarılmadığı gözlemlenmiş ve her 10 adımda bir grafikte ufak atlamalar tespit edilmiştir. Bu sebeple döngü adım aralığı referans alınarak 1x1 cm'lik parça boyutu seçilmiş, her bir düğüm noktasında doğru gerilme dağılımı sağlandığı tespit edilmiştir.

Parça boyutu olarak 1 cm<sup>2</sup>'in seçilmesi her bir kombinasyonun analiz süresini uzatmış olsa da, davranış grafiklerinden de görüleceği üzere son derece tutarlı bir eğri ortaya çıkmıştır.

### 3.3.3 Analiz model tasarımı

Analizi yapılan her bir çerçevenin elle çizilmesi SAP2000 OAPI ile mümkün olamamaktadır. Bu sebeple oluşturulacak modelin ve yüklemenin tüm aşamalarının doğru bir şekilde kodlanması ve döngü içerisindeki değişen şartlardan etkilenmeyen bir model tasarımının meydana çıkarılması gerekmektedir.

Bu zorunluluk sebebiyle çerçeve modelini meydana getirecek koordinatların tamamı birbirine bağlı birer bağıntıyla hazırlanmıştır. Yapı modelindeki birleşim noktalarına ait matematiksel ifadelerin değişkenleri Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.2** : Birleşim noktalarına ait matematiksel ifadelerin değişkenleri

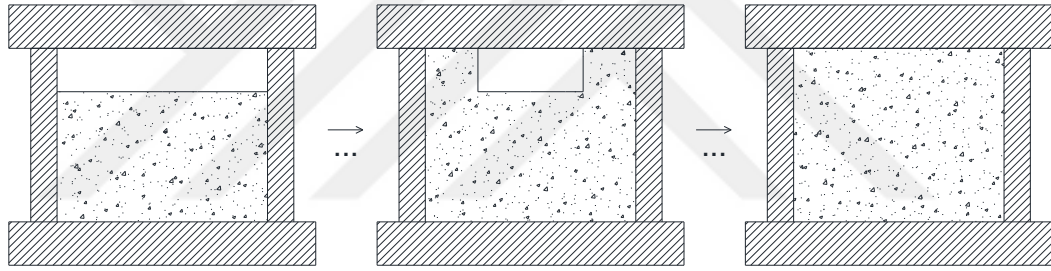
Çerçeve modelindeki birleşim noktalarına ait koordinat bağıntıları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Birleşim noktalarına ait koordinat bağıntıları

	Koordinat-1	Koordinat-2	Koordinat-3	Koordinat-4
Temel	$(0), (0), (d3/2)$	$(\text{genislik}), (0), (d3/2)$		
Kolon-1	$(d4+d5/2), (0), (d3/2)$	$(d4+d5/2), (0), (d3+d2_1)$		
Kolon-2 (Kısa Kolon)	$(d4+d5/2), (0), (d3+d2_1)$	$(d4+d5/2), (0), (d3+d2+d1/2)$		
Kolon-3	$(d4+d5+d6+d7/2), (0), (d3/2)$	$(d4+d5+d6+d7/2), (0), (d3+d2_1)$		
Kolon-4 (Kısa Kolon)	$(d4+d5+d6+d7/2), (0), (d3+d2_1)$	$(d4+d5+d6+d7/2), (0), (d3+d2+d1/2)$		
Kiriş	$(0), (0), (d3+d2+d1/2)$	$(\text{genislik}), (0), (d3+d2+d1/2)$		
Duvar-1	$(d4+d5/2), (0), (d3+d2_1)$	$(d4+d5/2), (0), (d3/2)$	$(d4+d5+d6+d7/2), (0), (d3/2)$	$(d4+d5+d6+d7/2), (0), (d3+d2_1)$
Duvar-2	$(d4+d5/2), (0), (d3+d2+d1/2)$	$(d4+d5/2), (0), (d3+d2_1)$	$(d4+d5+d6_1), (0), (d3+d2_1)$	$(d4+d5+d6_1), (0), (d3+d2+d1/2)$
Duvar-3	$(d4+d5+d6_1+d6_2), (0), (d3+d2+d1/2)$	$(d4+d5+d6_1+d6_2), (0), (d3+d2_1)$	$(d4+d5+d6+d7/2), (0), (d3+d2_1)$	$(d4+d5+d6+d7/2), (0), (d3+d2+d1/2)$

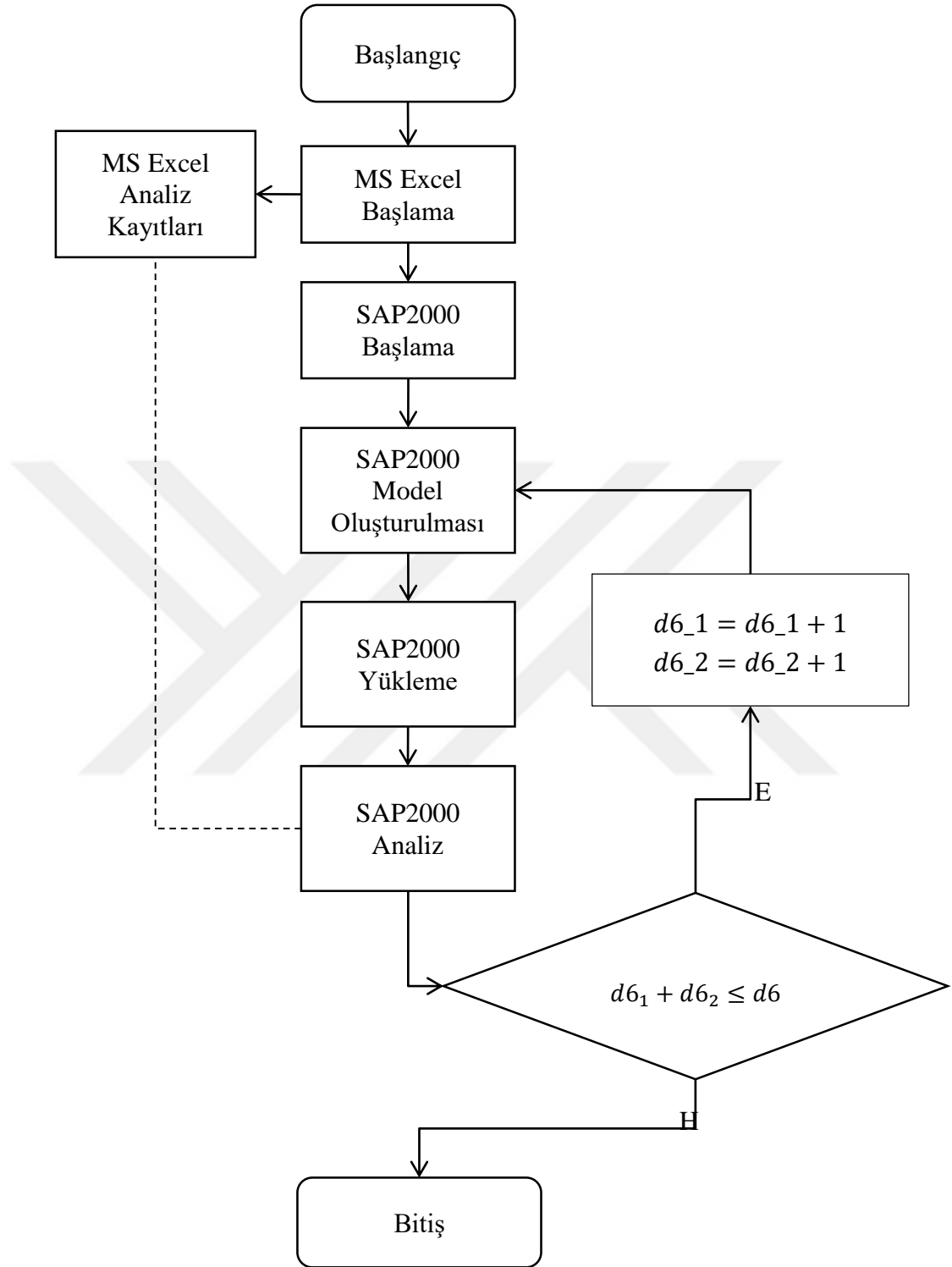
### 3.3.4 Yazılım akışı

Yazılım başladıktan sonra ilk olarak, MS Excel'in API'sine bağlanarak boş bir Excel tablosu oluşturmaktadır. Sonraki adımda SAP2000 programı başlatılarak, OAPI üzerinden malzeme ve kesit tanımlamaları yapılmaktadır. Sonrasında tanımlanan kesitlere ve bağıntılara bağlı olarak analiz modeli oluşturulmaktadır. Gerekli yüklemeler ve belirlenen parça boyutundaki parçalama işlemi yapıldıktan sonra analiz aşamasına geçilmektedir. Analizlerin tamamlanmasında sonra elde edilen sonuçlar Excel tablosuna işlenerek, döngünün bir sonraki adımına geçilmektedir. Döngünün her bir adımında bant tipi pencere boyutu 1 cm küçültülmektedir. Pencere boyutu "0" değerine ulaştığında dolu çerçevenin de analizi yapılarak döngü sonlandırılmaktadır. Bu işlemlerin tamamı her bir kombinasyon için ayrı ayrı yapılmaktadır.



**Şekil 3.3** : Döngü içerisindeki çerçeve modelinin değişimi

Döngü içindeki her bir analiz aşaması sonlandığında; kolon-2 ve kolon-4'e ait en büyük ve en küçük aksenal kuvvet, en büyük ve en küçük kesme kuvveti, en büyük ve en küçük moment değeri tüm eksenler için kayıt edilmektedir. Ayrıca "(genislik), (d3+d2+d1/2)" koordinatına sahip birleşim noktasındaki yanal ötelenme, düşey ötelenme ve eğilme değerleri de her bir eksen için kayıt altına alınmaktadır. Yazılım akış şeması, Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.4 : Yazılım akış şeması

### 3.4 Kombinasyonlar

Çalışma kapsamında incelenen parametreler daha önce belirtildiği gibi; çerçeve temiz yüksekliği, çerçeve temiz açıklığı, perde duvar kalınlığı, boşluk / çerçeve yüksekliği oranı, çerçeveye etkiyen yanal yük, beton elastisite modülü ve çerçeve kolonlarına ait kuvvet yönündeki atalet momenti olarak belirtilmiştir. Bu parametrelerin her birinde bir adet standart parametre seçilerek genel referans kombinasyon oluşturulmuştur. Bu kombinasyon, listede “Kombinasyon R” olarak adlandırılmıştır. Bundan sonraki kombinasyonların her birisinde bir parametre değiştirilmiş ve analizler bu parametre değişimine bağlı olarak tekrar gerçekleştirilmiştir. Çerçeveye etkiyen yanal yük parametresine bağlı kombinasyonlar bu bölümün sonunda verilmiştir.

Gerçekleştirilen kombinasyonlardan, çerçeve temiz yüksekliği parametresine bağlı olanlarının tümü Çizelge 3.2’de verilmiştir.

**Çizelge 3.2** : Çerçeve temiz yüksekliği parametresine bağlı kombinasyonlar

	Kombinasyon 02	Kombinasyon R	Kombinasyon 03	Kombinasyon 04	Kombinasyon 05
<b>h (cm)</b>	<b>250</b>	<b>275</b>	<b>300</b>	<b>325</b>	<b>350</b>
l (cm)	300	300	300	300	300
t (mm)	150	150	150	150	150
$w_r$	%35	%35	%35	%35	%35
$F_x$ (kN)	100	100	100	100	100
$E_c$ (MPa)	30000	30000	30000	30000	30000
$I_c$ (cm <sup>4</sup> )	67500	67500	67500	67500	67500



Gerçekleştirilen kombinasyonlardan, çerçeve temiz açıklığı parametresine bağlı olanlarının tümü Çizelge 3.3'te verilmiştir.

**Çizelge 3.3** : Çerçeve temiz açıklığı parametresine bağlı kombinasyonlar

	Kombinasyon 06	Kombinasyon 07	Kombinasyon 08	Kombinasyon R	Kombinasyon 09	Kombinasyon 10
h (cm)	275	275	275	275	275	275
<b>l (cm)</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>250</b>	<b>300</b>	<b>350</b>	<b>400</b>
t (mm)	150	150	150	150	150	150
w <sub>r</sub>	%35	%35	%35	%35	%35	%35
F <sub>x</sub> (kN)	100	100	100	100	100	100
E <sub>c</sub> (MPa)	30000	30000	30000	30000	30000	30000
I <sub>c</sub> (cm <sup>4</sup> )	67500	67500	67500	67500	67500	67500

Gerçekleştirilen kombinasyonlardan, perde duvar kalınlığı parametresine bağlı olanlarının tümü Çizelge 3.4'te verilmiştir.

**Çizelge 3.4** : Perde duvar kalınlığı parametresine bağlı kombinasyonlar

	Kombinasyon 11	Kombinasyon 12	Kombinasyon R	Kombinasyon 13	Kombinasyon 14
h (cm)	275	275	275	275	275
l (cm)	300	300	300	300	300
<b>t (mm)</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>250</b>
w <sub>r</sub>	%35	%35	%35	%35	%35
F <sub>x</sub> (kN)	100	100	100	100	100
E <sub>c</sub> (MPa)	30000	30000	30000	30000	30000
I <sub>c</sub> (cm <sup>4</sup> )	67500	67500	67500	67500	67500

Gerçekleştirilen kombinasyonlardan, boşluk / çerçeve yüksekliği oranı parametresine bağlı olanlarının tümü Çizelge 3.5'te verilmiştir.

**Çizelge 3.5 :** Boşluk / Çerçeve yüksekliği oranı parametresine bağlı kombinasyonlar

	Kombinasyon 15	Kombinasyon R	Kombinasyon 16	Kombinasyon 17	Kombinasyon 18
h (cm)	275	275	275	275	275
l (cm)	300	300	300	300	300
t (mm)	150	150	150	150	150
$w_r$	<b>%25</b>	<b>%35</b>	<b>%45</b>	<b>%55</b>	<b>%65</b>
$F_x$ (kN)	100	100	100	100	100
$E_c$ (MPa)	30000	30000	30000	30000	30000
$I_c$ (cm <sup>4</sup> )	67500	67500	67500	67500	67500

Gerçekleştirilen kombinasyonlardan, beton elastisite modülü parametresine bağlı olanlarının tümü Çizelge 3.6'te verilmiştir.

**Çizelge 3.6 :** Beton elastisite modülü parametresine bağlı kombinasyonlar

	Kombinasyon 19	Kombinasyon 20	Kombinasyon 21	Kombinasyon 22	Kombinasyon R
h (cm)	275	275	275	275	275
l (cm)	300	300	300	300	300
t (mm)	150	150	150	150	150
$w_r$	%35	%35	%35	%35	%35
$F_x$ (kN)	100	100	100	100	100
<b><math>E_c</math> (MPa)</b>	<b>20000</b>	<b>22500</b>	<b>25000</b>	<b>27500</b>	<b>30000</b>
$I_c$ (cm <sup>4</sup> )	67500	67500	67500	67500	67500

Gerçekleştirilen kombinasyonlardan, çerçeve kolonlarına ait kuvvet yönündeki atalet momenti parametresine bağlı olanlarının tümü Çizelge 3.7’te verilmiştir.

**Çizelge 3.7** : Çerçeve kolonlarına ait kuvvet yönündeki atalet momenti parametresine bağlı kombinasyonlar

	Kombinasyon R	Kombinasyon 23	Kombinasyon 24	Kombinasyon 25	Kombinasyon 26
h (cm)	275	275	275	275	275
l (cm)	300	300	300	300	300
t (mm)	150	150	150	150	150
$w_r$	%35	%35	%35	%35	%35
$F_x$ (kN)	100	100	100	100	100
$E_c$ (MPa)	30000	30000	30000	30000	30000
<b><math>I_c</math> (cm<sup>4</sup>)</b>	<b>67500</b>	<b>90000</b>	<b>112500</b>	<b>160000</b>	<b>312500</b>

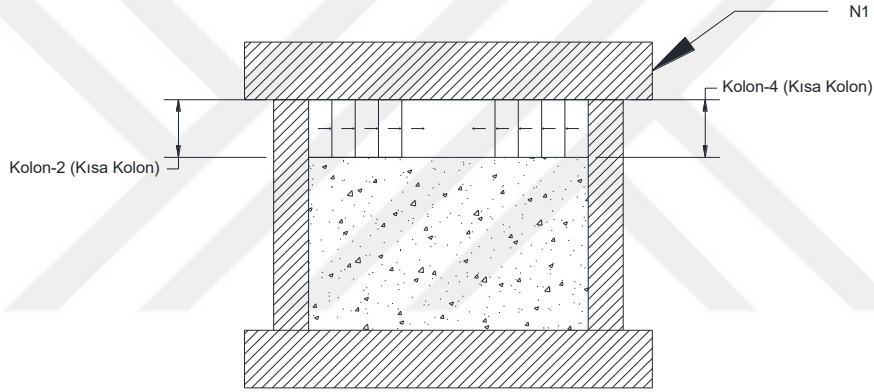
Gerçekleştirilen kombinasyonlardan, çerçeveye etkileyen yanal yük parametresine bağlı olanlarının tümü Çizelge 3.8’te verilmiştir.

**Çizelge 3.8** : Çerçeveye etkileyen yanal yük parametresine bağlı kombinasyonlar

	Kombinasyon 27	Kombinasyon R	Kombinasyon 28	Kombinasyon 29
h (cm)	275	275	275	275
l (cm)	300	300	300	300
t (mm)	150	150	150	150
$w_r$	%35	%35	%35	%35
<b><math>F_x</math> (kN)</b>	<b>60</b>	<b>100</b>	<b>140</b>	<b>180</b>
$E_c$ (MPa)	30000	30000	30000	30000
$I_c$ (cm <sup>4</sup> )	67500	67500	67500	67500

### 3.5 Analiz Çıktıları

Hazırlanan C# yazılımı, döngü içinde SAP2000 OAPI üzerinden gerçekleştirdiği her analizden sonra analiz sonuçlarını bir Excel tablosuna aktarmaktadır. Çerçevedeki tüm çubukların analiz sonuçlarını kaydetmek, hem sistemi ağırlaştırmakta hem de verilerin işlenmesini ve yorumlanmasını zorlaştırmaktadır. Ötelenme değeri kaydedilen birleşim noktası Şekil 3.5'te değişken koordinatıyla birlikte verilmiştir. [(genislik),( $d1+d2+d3/2$ )] koordinatıyla belirtilen bu nokta ilerleyen kısımlarda "N1" noktası olarak ifade edilecektir. Bunun yanı sıra kısa kolonda oluşan kesme kuvvetleri ve diğer iç kuvvetlerin değişimini incelemek amacıyla çerçevenin solunda ve sağında yer alan kısa kolonlardan elde edilen analiz sonuçları da kaydedilmiştir.



**Şekil 3.5** : Analiz sonuçları kaydedilen nokta ve çubuklar

Bu bağlamda [(genislik),( $d1+d2+d3/2$ )] koordinatına ait N1 noktasının;

- X eksenindeki ötelenmesi,
- Y eksenindeki ötelenmesi,
- Z eksenindeki ötelenmesi,
- X eksenini etrafındaki dönmesi,
- Y eksenini etrafındaki dönmesi,
- Z eksenini etrafındaki dönmesi kayıt altına alınmıştır.

Çubuk elemanlardan Kolon-2 ve Kolon-4'a ait,

- En büyük eksenel kuvvet,
- En küçük eksenel kuvvet,

- Düzleme paralel en büyük kesme kuvveti,
- Düzleme paralel en küçük kesme kuvveti,
- Düzleme dik en büyük kesme kuvveti,
- Düzleme dik en küçük kesme kuvveti,
- En büyük burulma değeri,
- En küçük burulma değeri,
- Çubuk yerel 2 eksenli etrafındaki en büyük moment değeri,
- Çubuk yerel 2 eksenli etrafındaki en küçük moment değeri,
- Çubuk yerel 3 eksenli etrafındaki en büyük moment değeri,
- Çubuk yerel 3 eksenli etrafındaki en küçük moment değeri kayıt altına alınmıştır.

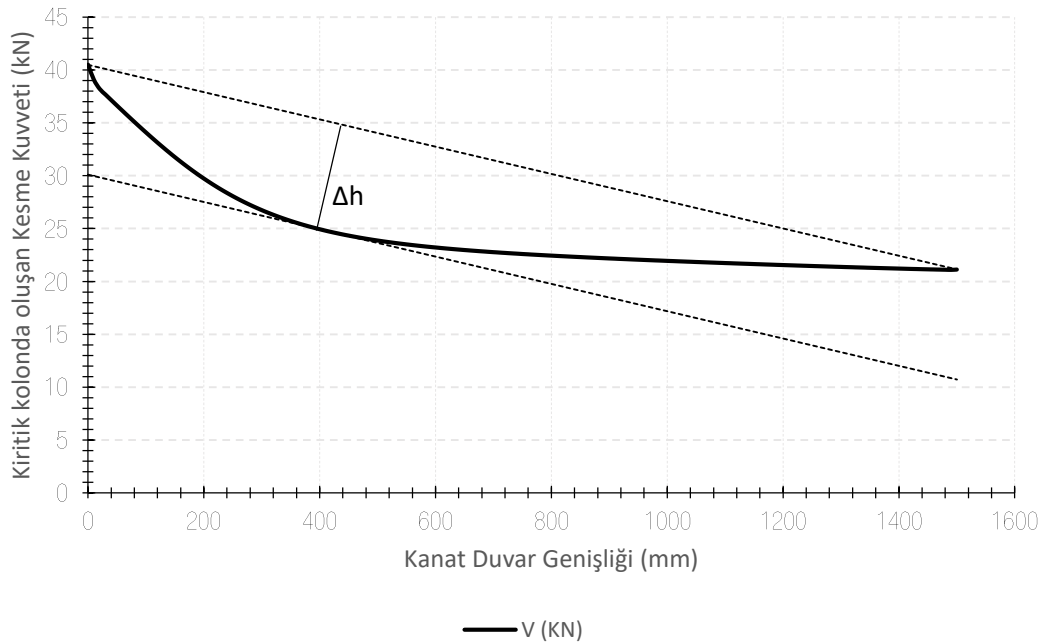
Çalışma kapsamında toplamda 5200 analiz gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında incelenen her bir kombinasyon kendi içinde davranış farklılıkları göstermiştir. Bu farklılıklar temel olarak doğrusal davranıştan uzaklık olarak ortaya çıkmaktadır. Bunun yanı sıra maksimum ve minimum kesme kuvvetlerindeki, moment davranış eğrilerindeki farklılıklar ve yer değiştirme değişimleri de değerlendirme ölçütleri arasındadır.

Çalışma kapsamında elde edilen her bir grafiğin kendi içinde yorumlanması gereksiniminin bulunduğu gibi, grafiklerin birbiriyle kıyaslanması da gerekmektedir. Bu bağlamda en sık kullanılan yöntem, malzeme ve kesit dayanımlarını dikkate alarak referans doğruların kullanılmasıdır. Fakat bu yöntemin kullanılabilmesi için davranış eğrisi ile çerçeveye etkiyen kuvvet arasında bir bağıntı kurulması gerekmektedir. Ancak gerek literatürdeki çalışmalar gerekse bu çalışma kapsamında yapılan analizler göstermektedir ki, lineer kısımda; çerçevede oluşan iç kuvvetler doğrusal artmakta fakat kuvvetin çerçeve davranış karakteristiği üzerinde herhangi bir değişime sebep olmadığı görülmektedir. Bu sebeple farklı bir matematiksel gösterim ihtiyacı doğmuştur.

Elde edilen grafikler, kanat duvar boyutunun büyümesiyle birlikte hem yer değiştirmelerde hem de kısa kolonlarda oluşan kesme kuvvetlerinde azalma olduğunu göstermiştir. Ancak bu değişim belli bir süre yüksek eğimle azalırken, dönüm

noktasını barındıran belirsiz bir bölgeden sonra azalma eğimi düşmektedir. Fakat bu dönüm noktası her kombinasyonda farklılık göstermektedir. Ayrıca davranış eğrisinin doğrusal olmama durumu da her kombinasyon için kendine özel bir biçimde ortaya çıkmaktadır. Tüm bu sebepler doğrultusunda, elde edilen davranış eğrileri, Şekil 3.6'da gösterilen değerlendirme yöntemi ile ele alınacaktır. Bu yöntemde, davranış eğrisinin başlangıç ve bitiş noktası arasında bir doğru tanımlanmıştır. Daha sonra ilkiyle birlikte davranış eğrisinin tamamını kapsayacak ikinci bir doğru ilkine paralel olarak en uzak temas noktasına teğet geçecek şekilde konumlandırılmıştır. Bu iki doğru arasında kalan kısım ‐Davranış Koridoru‐ olarak adlandırılmış, bu koridorun genişliği ise ‐Davranış Koridoru Genişliği ( $\Delta h$ )‐ olarak ifade edilmiştir. Davranış koridoru adıyla ifade edilen kavram, kombinasyonların davranış eğrilerini kıyaslamak için kullanılacak bir yöntem olup, herhangi bir optimum nokta bulunmasını sağlamamaktadır.



Şekil 3.6 : Örnek davranış grafiği

Davranış koridoru genişliğinin artması çerçeve davranışının doğrusallıktan uzaklaştığını göstermektedir. Davranış eğrisinin türevi incelendiğinde başlangıçta daha yüksek bir eğim söz konusuysen belli bir süre sonra davranışın eğimi giderek azalmaya başlamaktadır.

Çerçevenin en güçlü davranışını tam dolu duvar halindeyken gösterdiği tüm kombinasyonlardaki kesme ve ötelenme değerlerinden açıkça görülmektedir. Tam dolu çerçevenin maksimum performans gösterdiği, hiç kanat duvar kullanılmayan çerçevenin de minimum performansı gösterdiği göz önüne alınarak; %90, %80 ve %70 performansa karşılık gelen kanat duvar büyüklükleri de ayrıca belirlenecektir.

Bunun yanı sıra parametrelerin değerlendirilmesi için ötelenme oranı değerlerinden faydalanılmıştır. Bunun amacı, serbest kolon boylarının yükleme altındaki ötelenme kapasitelerini daha kıyaslanabilir biçimde irdeleyebilmek ve olası kısa kolon davranışlarının ortaya çıkma ihtimalini daha doğru biçimde değerlendirebilmektir.

Kirişlerin hâkim göçme modlarını tespit etmek amacıyla “a/d oranı” verilen sınıflandırma yöntemi kullanılmaktadır (Ersoy ve Özcebe, 2007). Aynı yöntem bu çalışma kapsamında kolonların hâkim davranışını sınıflandırmak ve elde edilen sonuçları kıyaslamak amacıyla kullanılmıştır. Bu yöntem yalnızca kesit geometrisini ve yükleme konumu ile mesnet arasındaki mesafeyi temel alarak sınıflandırma yapmaktadır. Bu çalışmada mesnet ile yükleme noktası arasındaki mesafe olarak serbest kolon boyu (a); faydalı derinlik olarak ise kolonun yükün geldiği yöndeki uzunluğu (d) esas alınacaktır. Çalışmada özellikle kesit geometrisi ve serbest kolon boyunu içeren parametrelerin değerlendirilmesinde a/d oranı önemli bir kıstas olarak görülmektedir.

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çalışma kapsamında toplamda 29 kombinasyon analiz sürecine tabi tutulmuştur. Bu kombinasyonlardan her biri belli bir parametrenin etkilerini daha iyi gözlemleyebilmeyi amaçlamaktadır.

Çalışma kapsamında yapılan analizler ve geçmiş yıllardaki çalışmalar göstermektedir ki bu tip bir yüklemdeki kritik kesme değerleri, öncelikli olarak yükleme yapılan kolonda oluşmaktadır. Bu sebeple öncelikle her bir parametreye ait kombinasyonların kritik kesitlerindeki moment ve kesme kuvveti değişimleri toplu olarak sunulacak, ardından yanal ötelenme değerleri ve ötelenme oranları incelenecektir.

##### 4.1 Çerçeve Temiz Yüksekliğinin Çerçeve Davranışına Etkisi

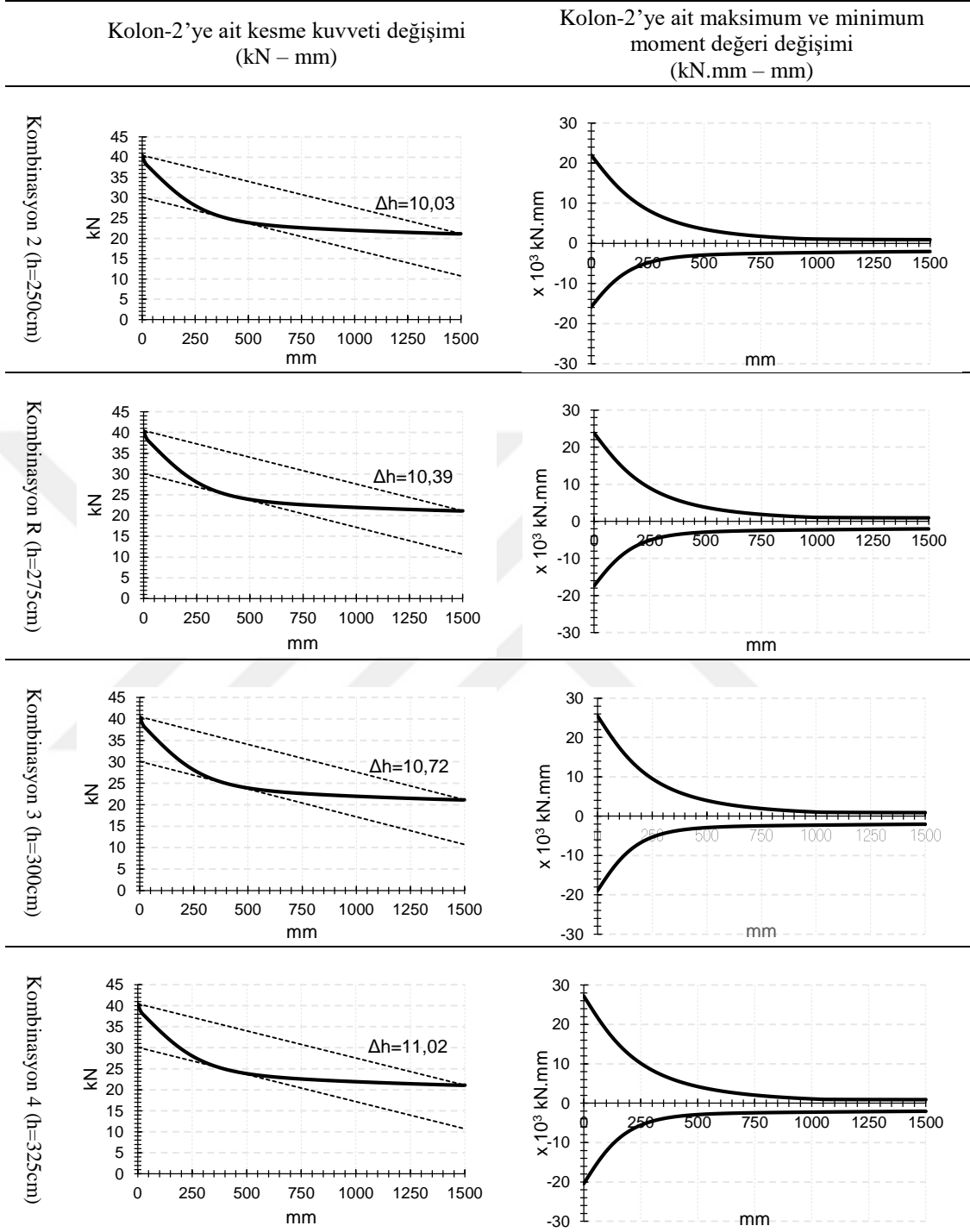
Çalışma kapsamında incelenen ilk parametre olan çerçeve temiz yüksekliği için referans kombinasyonuna ait yükseklik de dâhil olmak üzere 5 farklı yükseklik (250cm, 275 cm, 300 cm, 325 cm ve 350 cm) seçilmiştir. Boşluk / Çerçeve yüksekliği oranının sabit kalması sebebiyle, her bir kombinasyondaki serbest kolon boyu da aynı oranda artmaktadır.

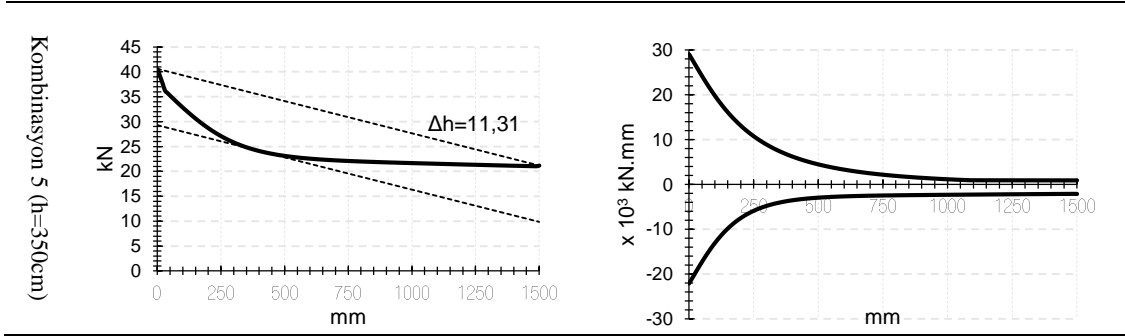
Boşluk / Çerçeve oranının değerine bağlı olarak serbest kolon boyları Kombinasyon 2 için 87.5 cm, Kombinasyon R için 96.25 cm, Kombinasyon 3 için 105 cm, Kombinasyon 4 için 113,75 cm ve son olarak Kombinasyon 5 için 122.5 cm'dir.

Çizelge 4.1'de görüldüğü üzere kritik kolondaki davranış koridoru genişliği yükseklik artışına bağlı olarak artmaktadır. Aynı şekilde yüksekliğe bağlı olarak, hem mutlak değer bakımından negatif yönlü moment değerlerinde hem de pozitif yönlü moment değerlerinde artış gözlenmiştir.



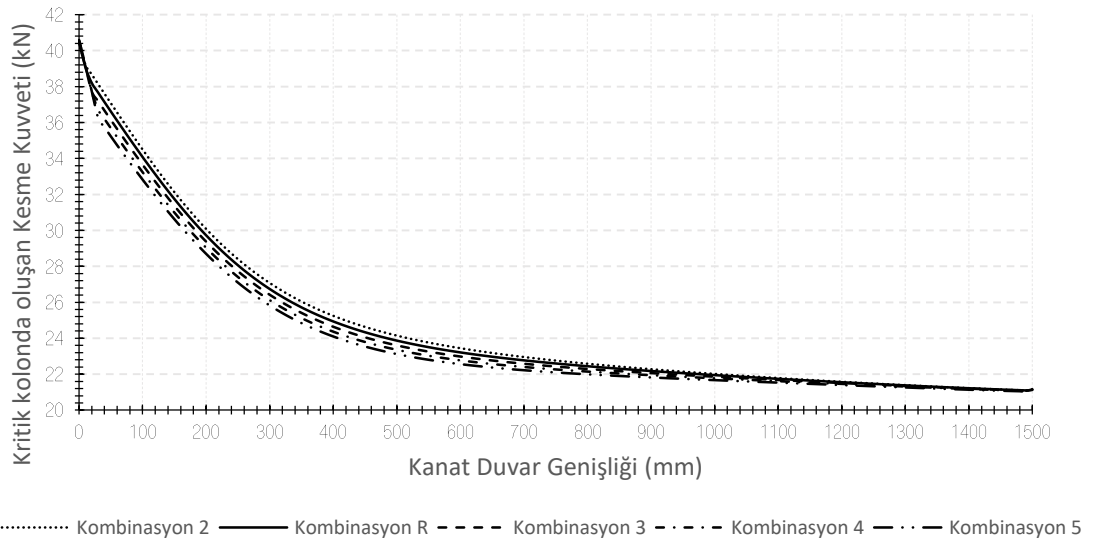
**Çizelge 4.1 : Kolon-2'ye ait kanat duvar boyuna bağlı kesme kuvveti ve moment değeri değişim grafikleri**



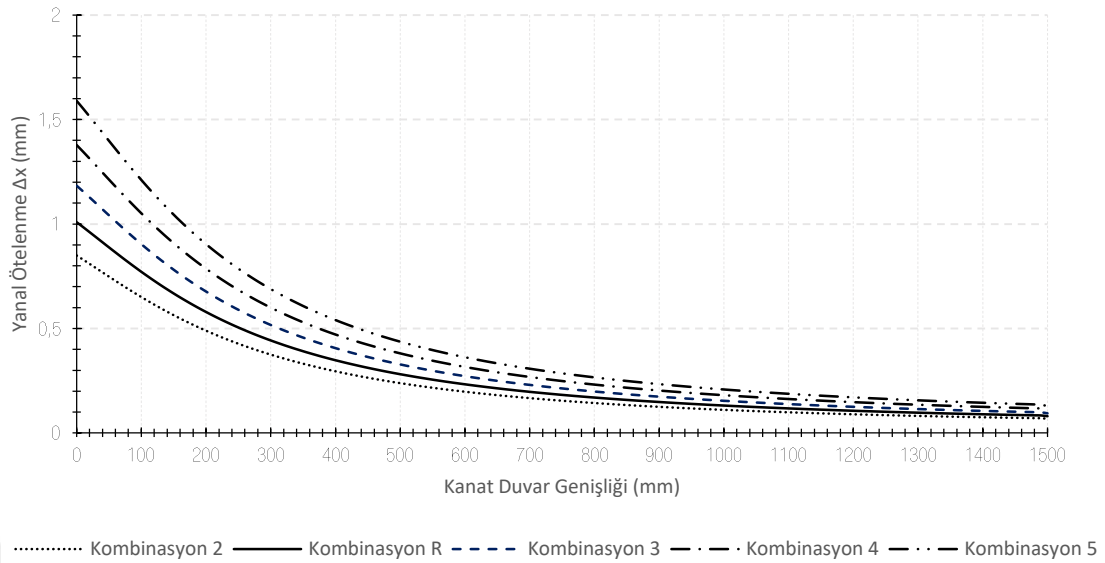


#### 4.1.1 Genel grafikler

Daha önce belirtildiği üzere, çerçeve temiz yüksekliğinin çerçeve davranışına etkisini irdelemek için 5 farklı çerçeve yüksekliği seçilmiştir. Bu yükseklik değerlerinin belirtildiği kombinasyon parametreleri Çizelge 3.2’de detaylı biçimde verilmiştir.

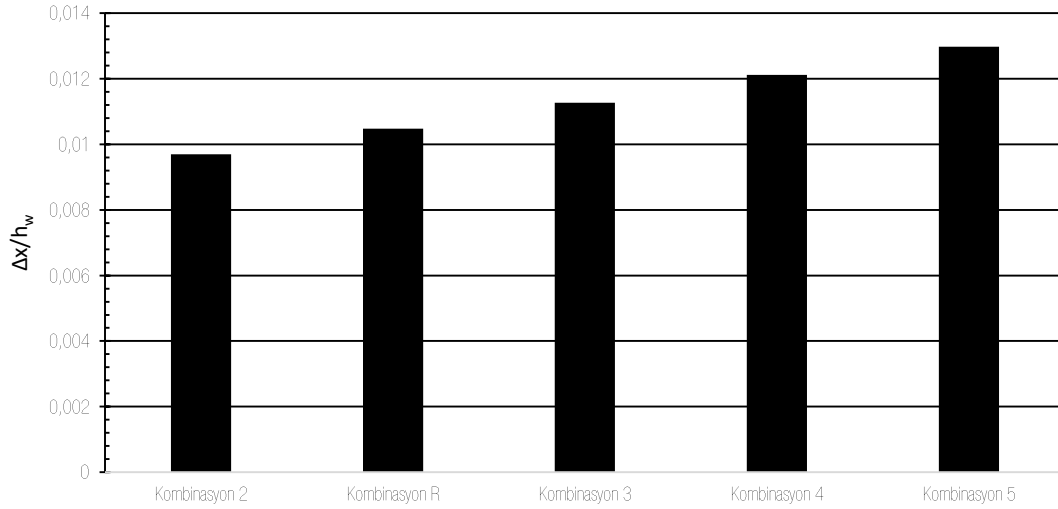


Şekil 4.1 : Kombinasyon 2, R, 3, 4 ve 5'e ait Kolon-2 kesme kuvveti değişim grafiği



**Şekil 4.2 :** Kombinasyon 2, R, 3, 4 ve 5'e ait N1 noktası yanıl ötelenme değışim grafiği

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de görüldüğü üzere kat yüksekliğinin artması davranış koridorunu çok az miktarda da olsa büyötmektedir. Kesme kuvveti grafiklerinde ise maksimum ve minimum noktalar incelendiğinde önemli bir farklılığın olmadığı göze çarpmaktadır. Ancak her bir kombinasyona ait yanıl ötelenme davranışı gözle görünür biçimde farklılık göstermektedir. Daha yüksek kat yüksekliğine, dolayısıyla daha büyük pencere boşluğuna sahip olan çerçevelerin yanıl ötelenmesi doğrusal olmayan bir biçimde artış göstermiştir. Bu kıyaslamanın doğru şekilde yapılabilmesi için tam boşluklu çerçevelere ait yanıl ötelenme değerleri temel alınarak, birim yer değiştirmeyle kolon boyları arasındaki oran Şekil 4.3'de verilmiştir. Görüldüğü üzere tüm kolonlara gelen kesme kuvvetleri yaklaşık olarak aynı iken hareketi serbest kalan kolon boyunun kısıtlanması çerçevenin yanıl ötelenme kapasitesini doğrusal olmayan oranda azaltmaktadır. Bu sebeple gelen kuvvetin çerçeveyi kesme kırılmasına zorlaması daha muhtemel hale gelmektedir.



**Şekil 4.3** : Kombinasyon 2, R, 3, 4 ve 5'e ait ötelenme oranları

#### 4.2 Çerçeve Temiz Açıklığının Çerçeve Davranışına Etkisi

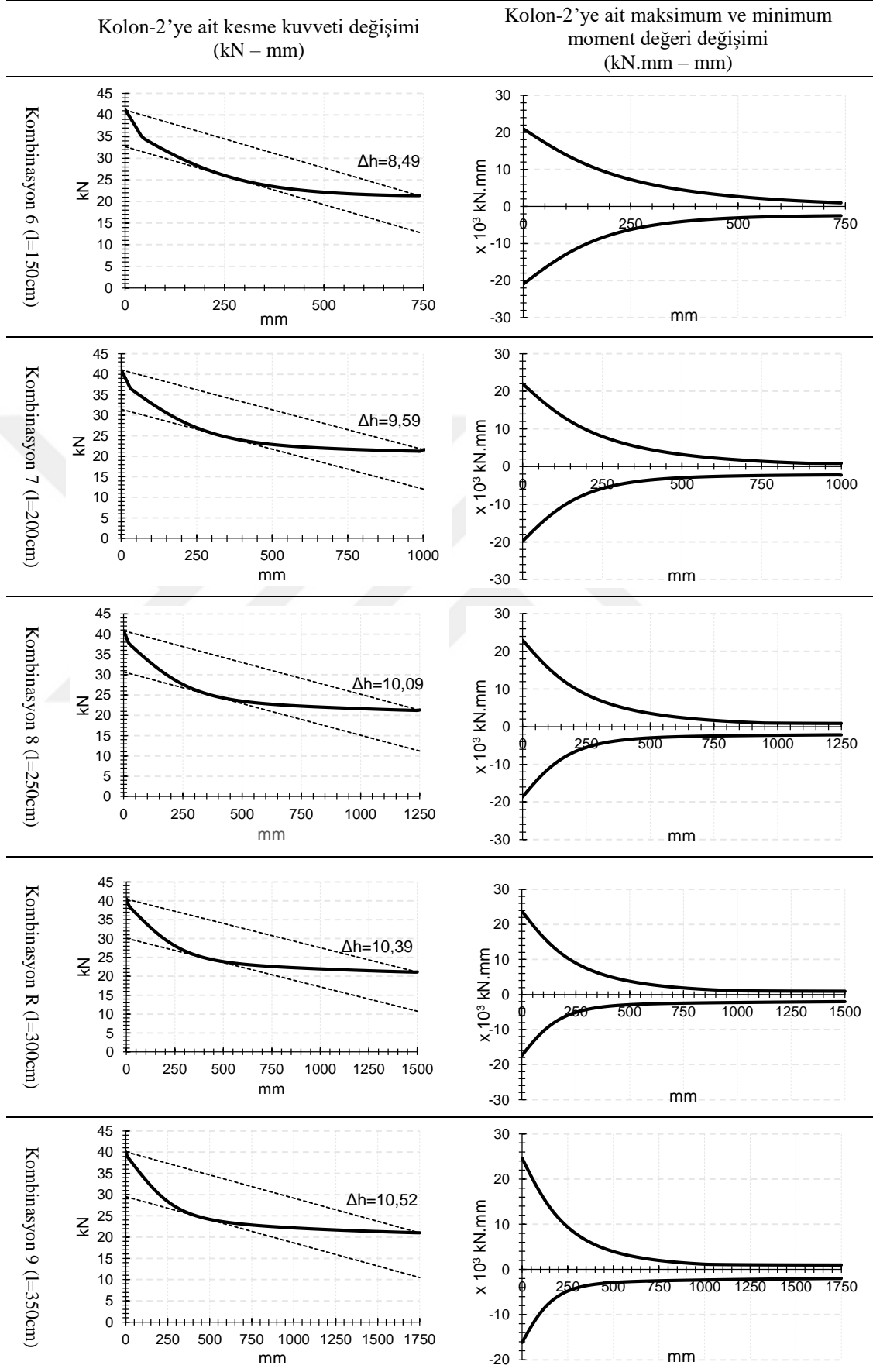
Çalışma kapsamında incelenen ikinci parametre olan çerçeve temiz açıklığı için referans kombinasyonuna ait genişlik de dâhil olmak üzere 6 farklı genişlik (150 cm, 200 cm, 250 cm, 300 cm, 350 cm ve 400 cm) seçilmiştir.

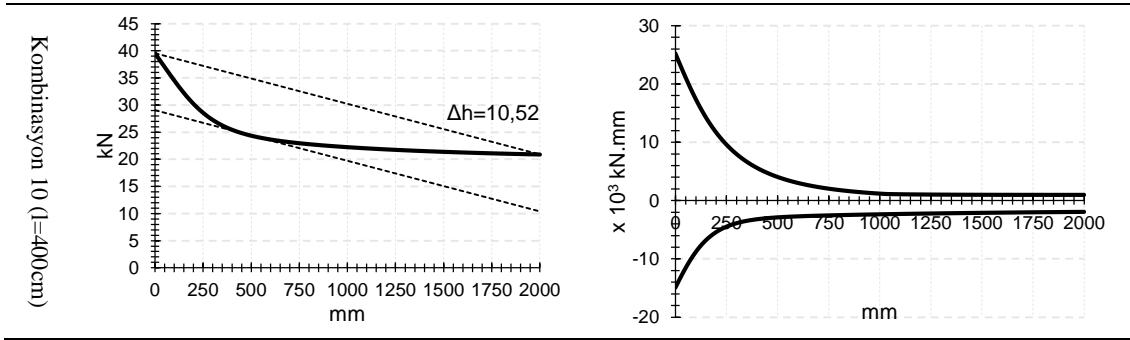
Bu parametre kapsamında analiz edilen çerçevelerin tümünde serbest kolon boyu sabit olarak kalmaktadır.

Çizelge 4.2'de verilen grafikler, duvar genişliğinin 350 cm'e kadar gösterdiği artışta davranış koridoru genişliğinin de arttığını göstermektedir. Ancak Kombinasyon 9 ve Kombinasyon 10'a ait davranış koridoru genişlikleri arasında ciddi bir fark bulunmamaktadır.

Aynı durum moment değerleri için farklılık göstermektedir. Pozitif moment değerleri duvar genişliğine bağlı olarak artmakta, negatif moment değerleri ise mutlak değer bakımından azalmaktadır.

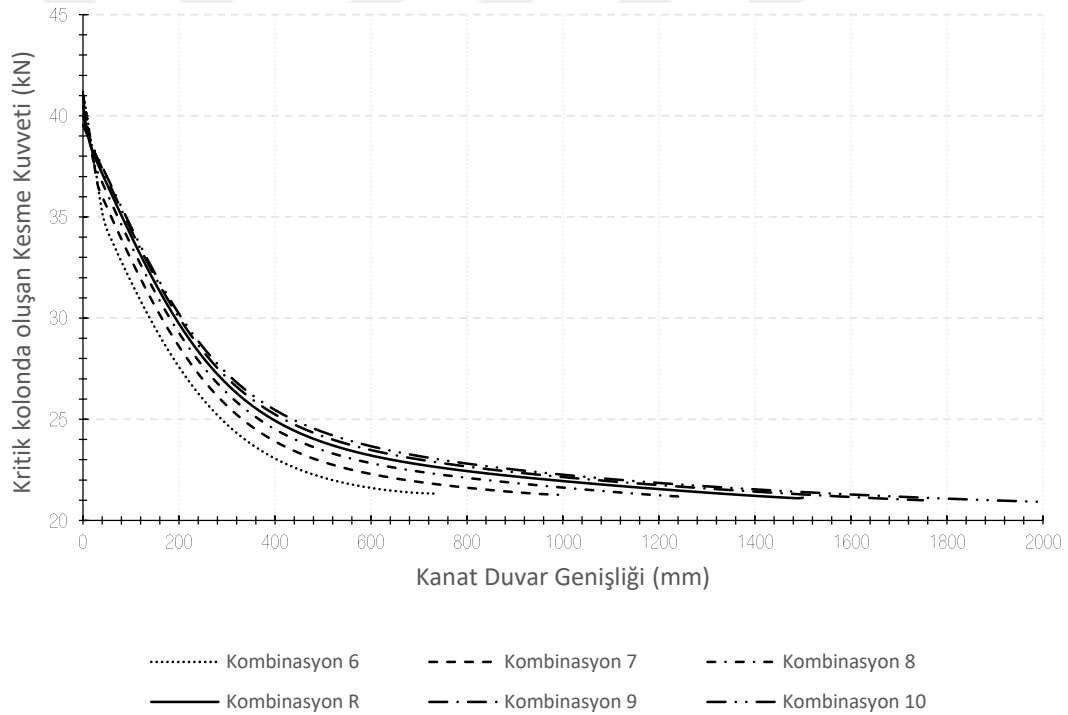
**Çizelge 4.2 : Kolon-2'ye ait kesme kuvveti ve moment değeri değişim grafikleri**



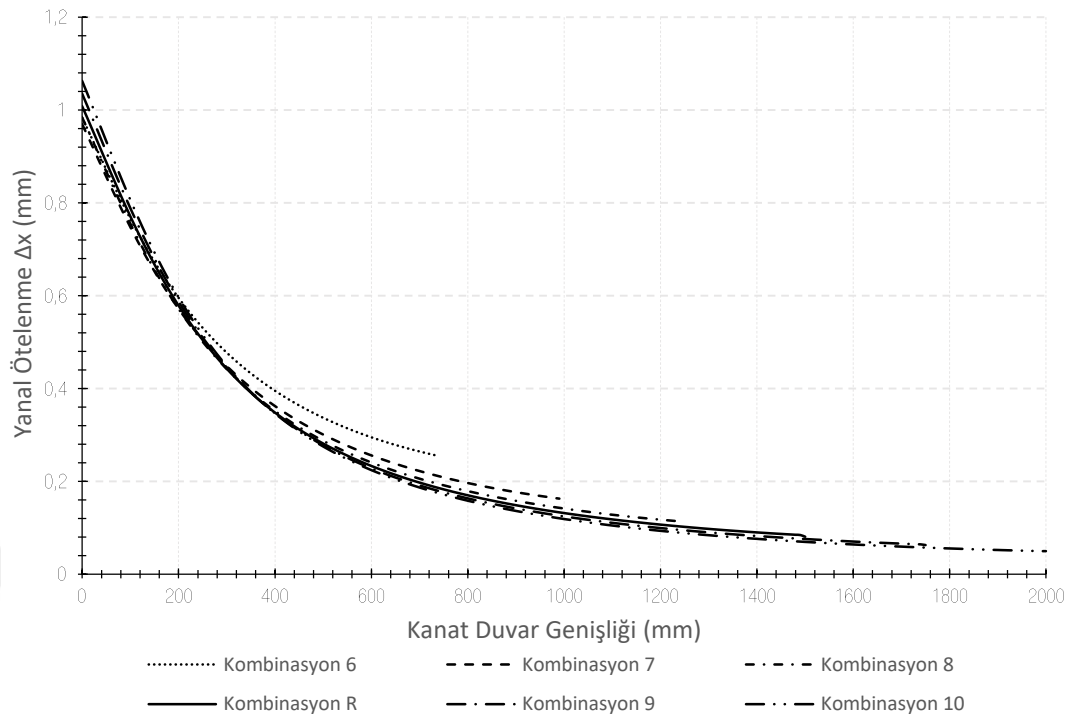


#### 4.2.1 Genel grafikler

Çerçeve temiz açıklığının çerçeve davranışına etkisini irdelemek için 6 farklı çerçeve temiz açıklığı seçilmiştir. Bu açıklık değerlerinin belirtildiği kombinasyon parametreleri Çizelge 3.3'de detaylı biçimde verilmiştir.

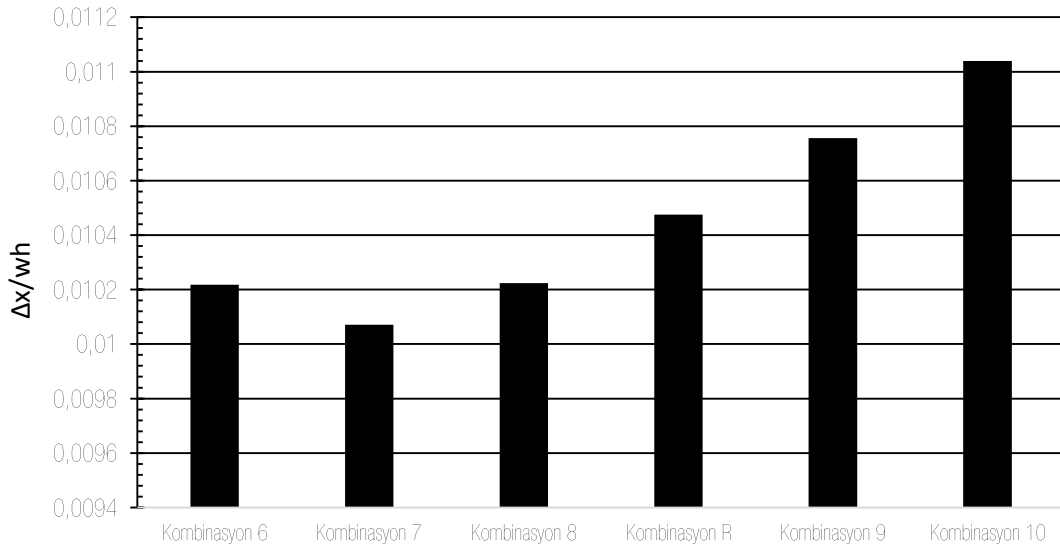


Şekil 4.4 : Kombinasyon 6, 7, 8, R, 9 ve 10'a ait Kolon-2 kesme kuvveti değişim grafiği



**Şekil 4.5 :** Kombinasyon 6, 7, 8, R, 9 ve 10'a ait N1 noktası yanal ötelenme değişim grafiği

Şekil 4.5'de görüldüğü üzere yanal ötelenme oranları arasında önemli bir farklılık görülmektedir. Ancak Şekil 4.6'da ise Kombinasyon 7'ye ait ötelenme oranı değerinin Kombinasyon 6'ya ait değerden düşük olduğu fakat sonraki kombinasyonlarda bu değerlerin arttığı görülmektedir. Bu parametre kapsamında ele alınan kombinasyonlar arasında en sünek davranışı kombinasyon 10 gösterirken, en rijit davranışı ise kombinasyon 7 göstermektedir.



**Şekil 4.6 :** Kombinasyon 6, 7, 8, R, 9 ve 10'a ait ötelenme oranları

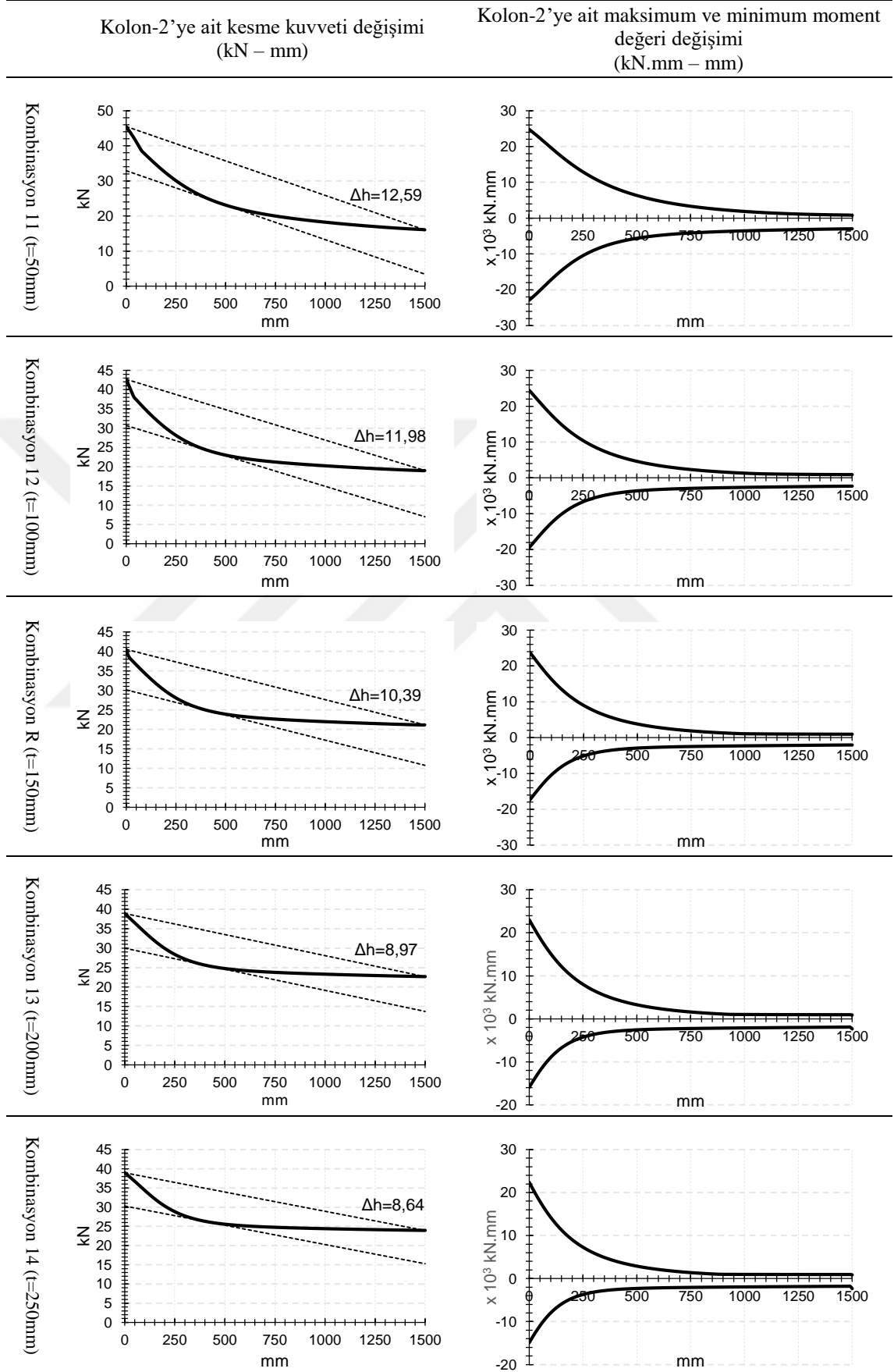
### 4.3 Perde Duvar Kalınlığının Çerçeve Davranışına Etkisi

Çalışma kapsamında incelenen üçüncü parametre olan perde duvar kalınlığı için referans kombinasyonuna ait kalınlık da dâhil olmak üzere 5 farklı kalınlık (50 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm ve 250 mm) seçilmiştir.

Bu parametre kapsamında analiz edilen çerçevelerin tümünde serbest kolon boyu sabit olarak kalmaktadır.

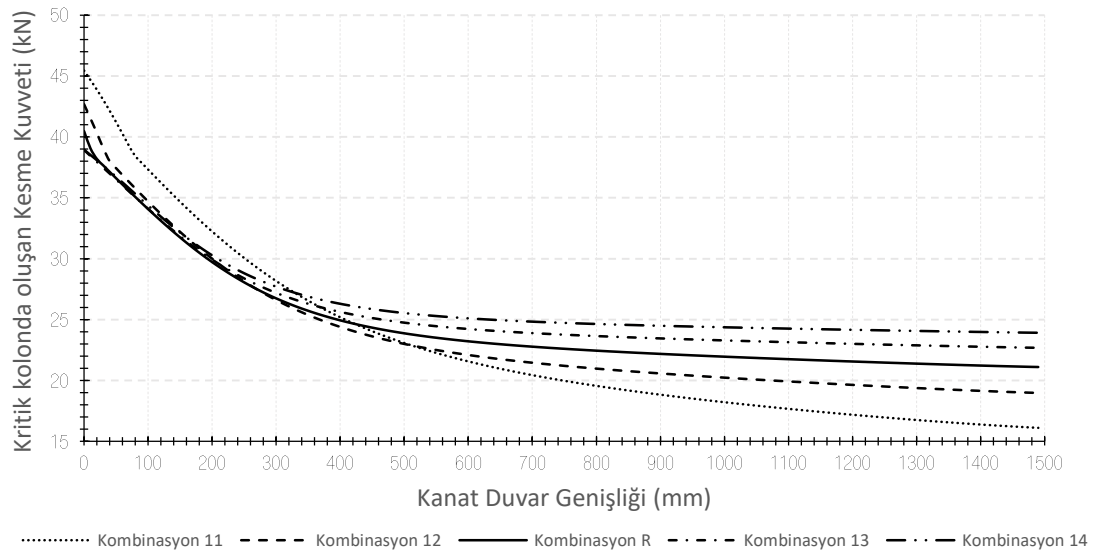


**Çizelge 4.3 : Kolon-2'ye ait kesme kuvveti ve moment değeri değişim grafikleri**

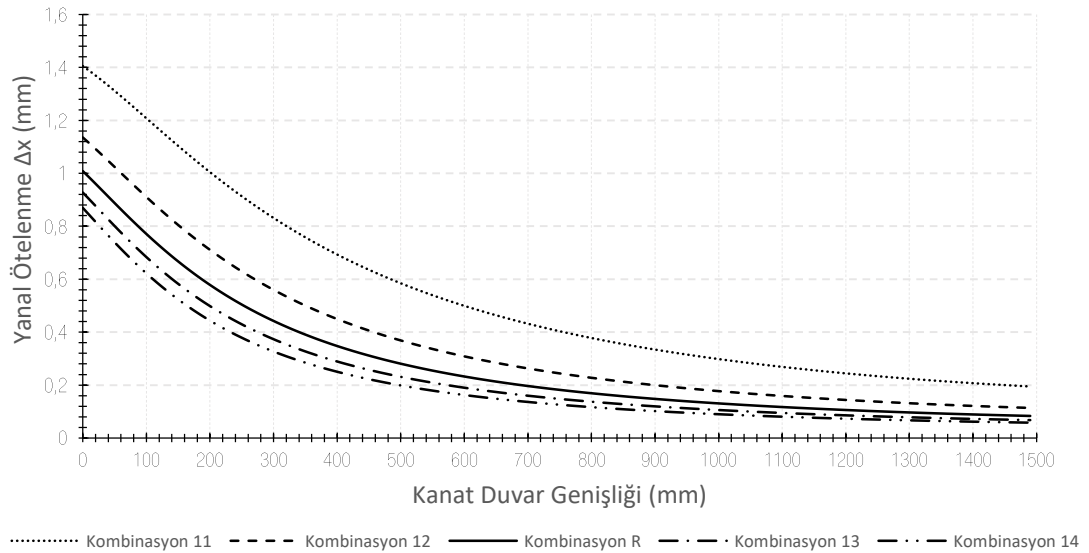


Çizelge 4.3'te yer alan grafikler, davranış koridoru genişliğinin duvar kalınlığına bağlı olarak azaldığını göstermektedir. 200 mm'lik duvar kalınlığına kadar kayda değer bir artış gözlenirken, bu değerden sonra artış miktarı kayda değer miktarda azalmaktadır. Moment grafiklerinde ise davranış değişimi duvar kalınlığının artmasına bağlı olarak doğrusallıktan uzaklaşmaktadır.

### 4.3.1 Genel grafikler

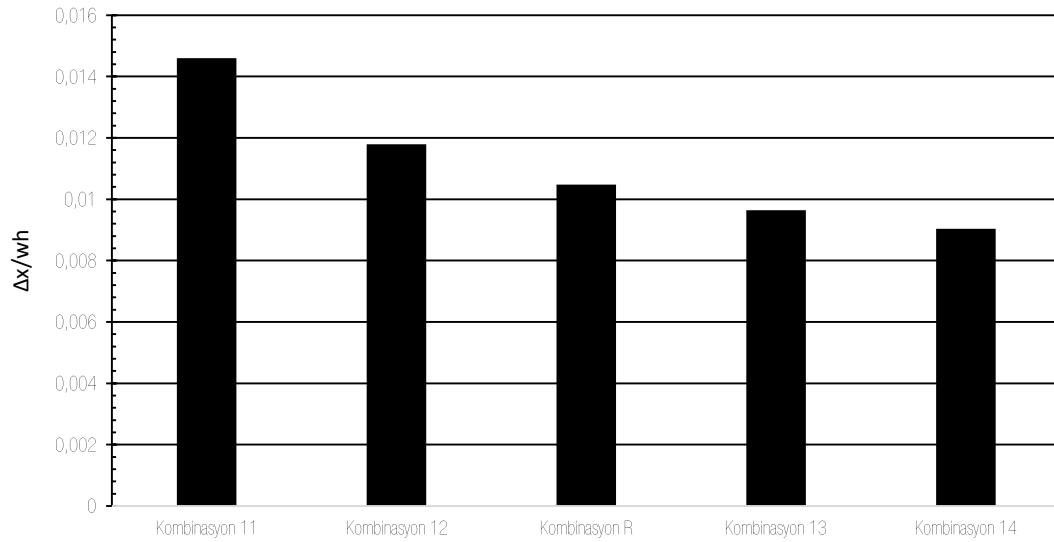


**Şekil 4.7 :** Kombinasyon 11, 12, R, 13 ve 14'e ait Kolon-2 kesme kuvveti değişim grafiği



**Şekil 4.8 :** Kombinasyon 11, 12, R, 13 ve 14'e ait N1 noktası yanal ötelenme değişim grafiği

Şekil 4.7’de görüldüğü üzere daha düşük perde duvar kalınlığına sahip kombinasyonlara ait kolonlarda boş çerçeve halindeyken daha fazla kesme kuvveti ortaya çıkmakta, ancak kanat duvar boyunun artmasıyla birlikte maruz kaldıkları kesme kuvveti değerleri azalmaktadır. 50 mm’lik perde duvarda oluşan yer değiştirme değerleri ile 100 mm’lik perde duvarda oluşan yer değiştirme değerleri arasındaki fark, 100 mm’lik duvar ile 150 mm’lik duvar arasındaki farktan çok daha fazla olduğu Şekil 4.8’de görünmektedir. Bu fark, perde duvar kalınlığı arttıkça azalma eğilimi göstermektedir. Şekil 4.9’da görüldüğü üzere perde duvar kalınlığının artmasına bağlı olarak süneklik de her kombinasyonda azalmaktadır.



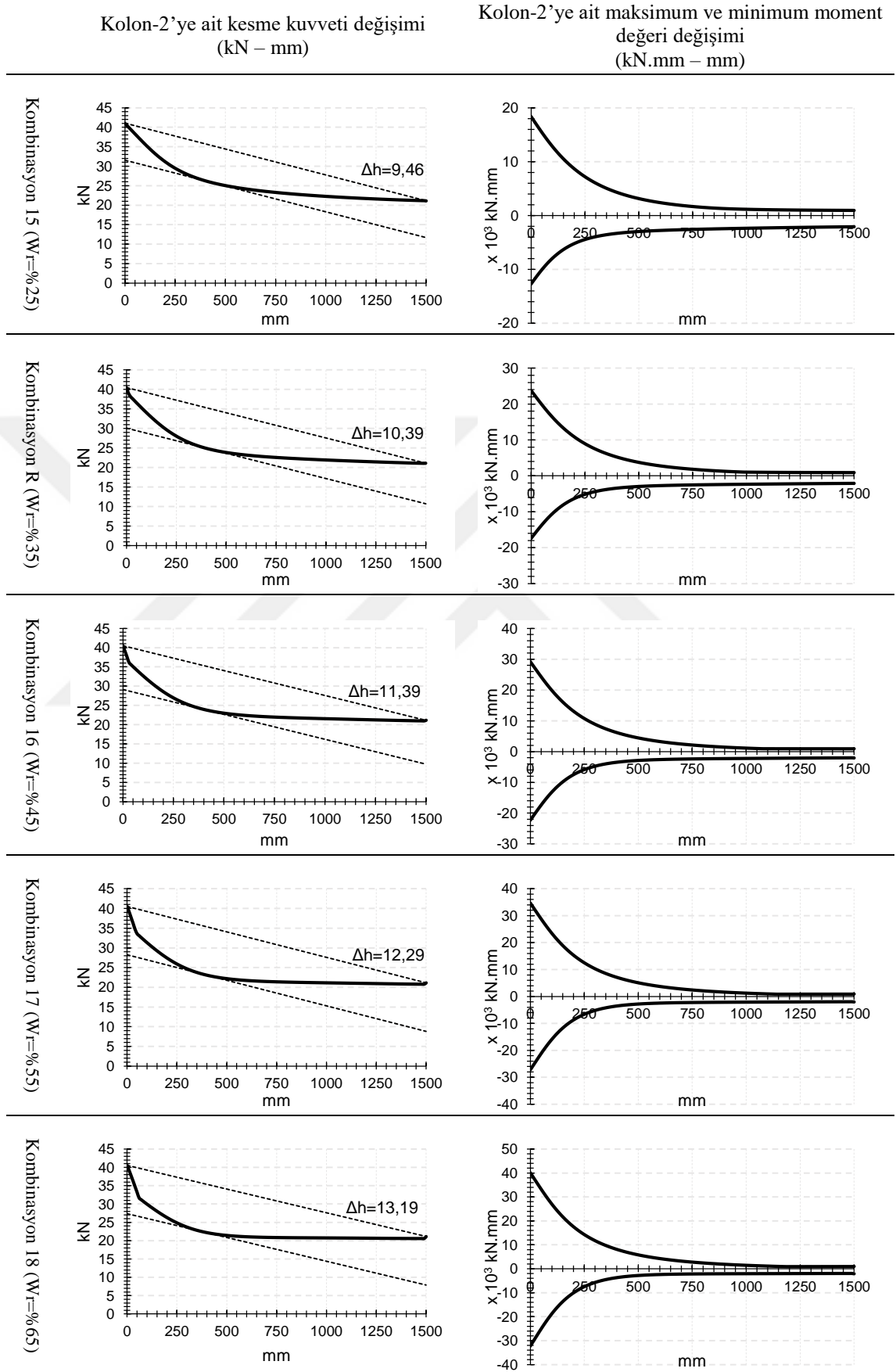
Şekil 4.9 : Kombinasyon 11, 12, R, 13 ve 14'e ait ötelenme oranları

#### 4.4 Boşluk / Çerçeve Yüksekliği Oranının Çerçeve Davranışına Etkisi

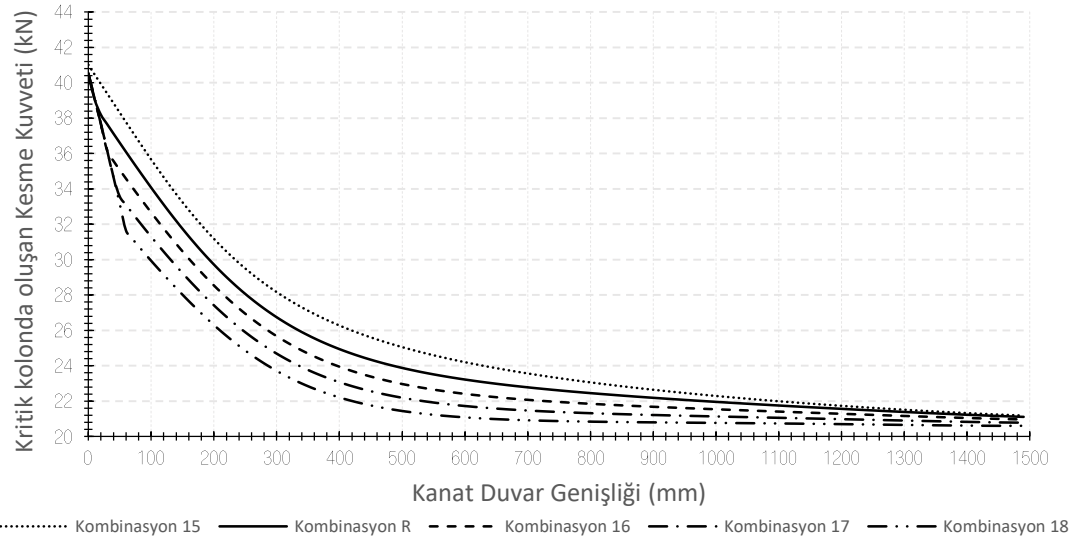
Çalışma kapsamında incelenen dördüncü parametre olan boşluk / çerçeve yüksekliği oranı için referans kombinasyonuna ait oran da dâhil olmak üzere 5 farklı oran (%25, %35, %45, %55 ve %65) seçilmiştir.

Bu parametre kapsamında analiz edilen çerçevelerde kolon boyu sabit kalırken, serbest kolon boyları oranlara bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Serbest kolon boyları Kombinasyon 15 için 68.75 cm, Kombinasyon R için 96.25, Kombinasyon 16 için 123.75, Kombinasyon 17 için 151.25 ve Kombinasyon 18 için 178.75’dir.

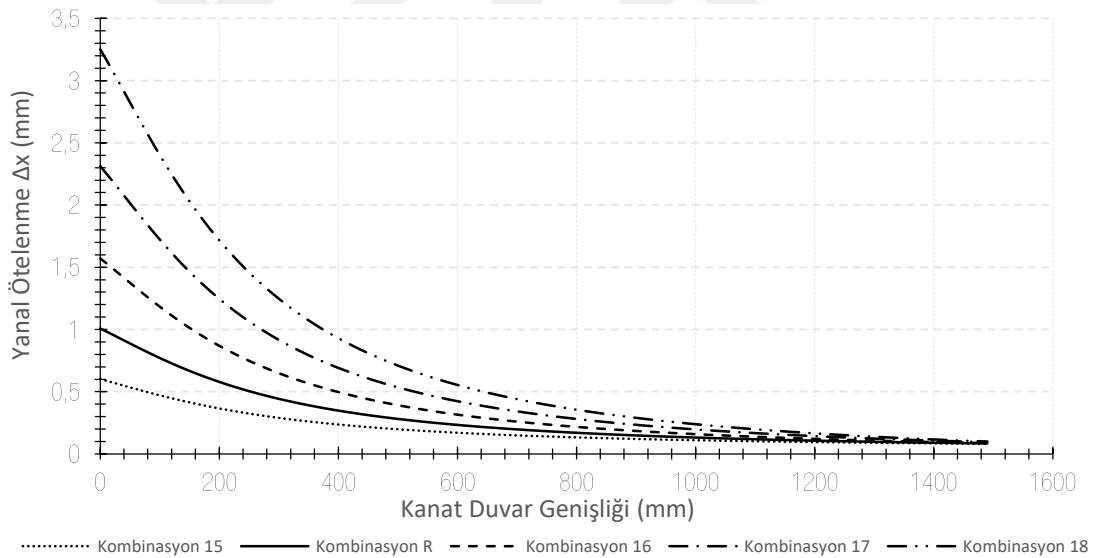
**Çizelge 4.4 : Kolon-2'ye ait kesme kuvveti ve moment değeri değişim grafikleri**



#### 4.4.1 Genel grafikler



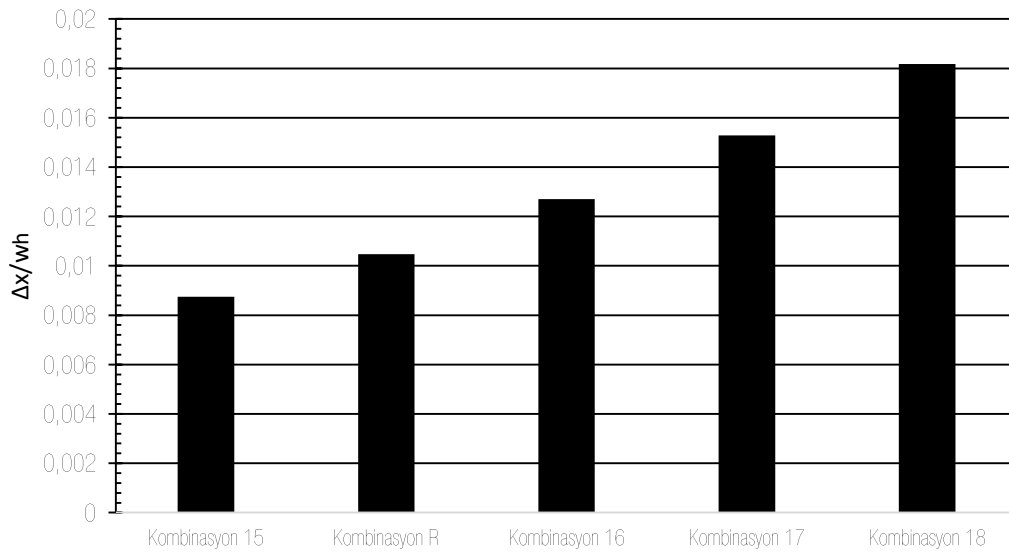
**Şekil 4.10 :** Kombinasyon 15, R, 16, 17 ve 18'e ait Kolon-2 kesme kuvveti değişim grafiği



**Şekil 4.11 :** Kombinasyon 15, R, 16, 17 ve 18'e ait N1 noktası yanal ötelenme değişim grafiği

Boşluk / Çerçeve yüksekliği oranına bağlı olarak kombinasyonlara ait kolonlarda oluşan maksimum kesme kuvvetinin değişimi Şekil 4.10'da verilmiştir. Tüm kombinasyonların boş çerçeve ve tam dolu hallerindeki kesme kuvvetleri birbirine çok yakın değerler vermekle birlikte, kanat duvar miktarına bağlı olarak oluşan davranış değişikliği göstermektedir. En yüksek serbest kolon boyuna sahip olan kombinasyon 18'de davranış koridoru genişliği en yüksek değere ulaşırken, en kısa serbest kolon boyuna sahip

kombinasyon 15'te ise en davranış koridoru genişliği en düşük değere ulaşmaktadır. Yatay ötelenmeler ele alındığında durum bir takım farklılıklar göstermektedir. Boş çerçeve halleri ele alındığında kombinasyon 18'in yatay ötelenmesi kombinasyon 15'in 5 katından daha yüksek bir değere ulaşmaktadır. Şekil 4.11'de görüldüğü üzere tam dolu çerçeve durumuna ulaşan çerçevelerin tümündeki yanal ötelenme değeri beklendiği üzere birbirine eşit olmaktadır. Bu parametre kapsamında incelenen kombinasyonlar arasında en sünek davranışı kombinasyon 18'e ait çerçevenin, en rijit davranışı ise kombinasyon 15'in yaptığı Şekil 4.12'deki ötelenme oranı değerlerine ait grafikte görünmektedir.



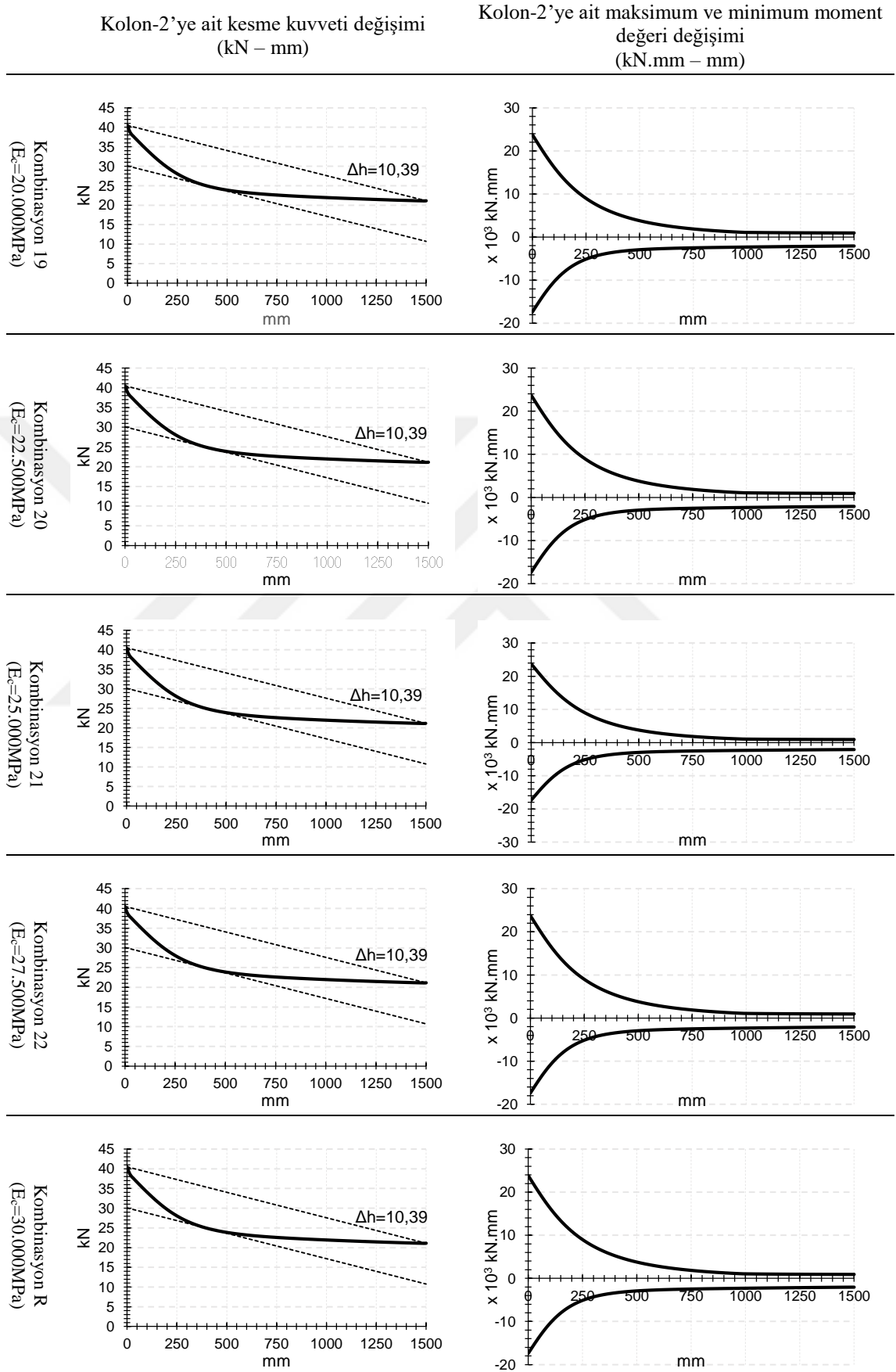
**Şekil 4.12 :** Kombinasyon 15, R, 16, 17 ve 18'e ait ötelenme oranları

#### 4.5 Beton Elastisite Modülünün Çerçeve Davranışına Etkisi

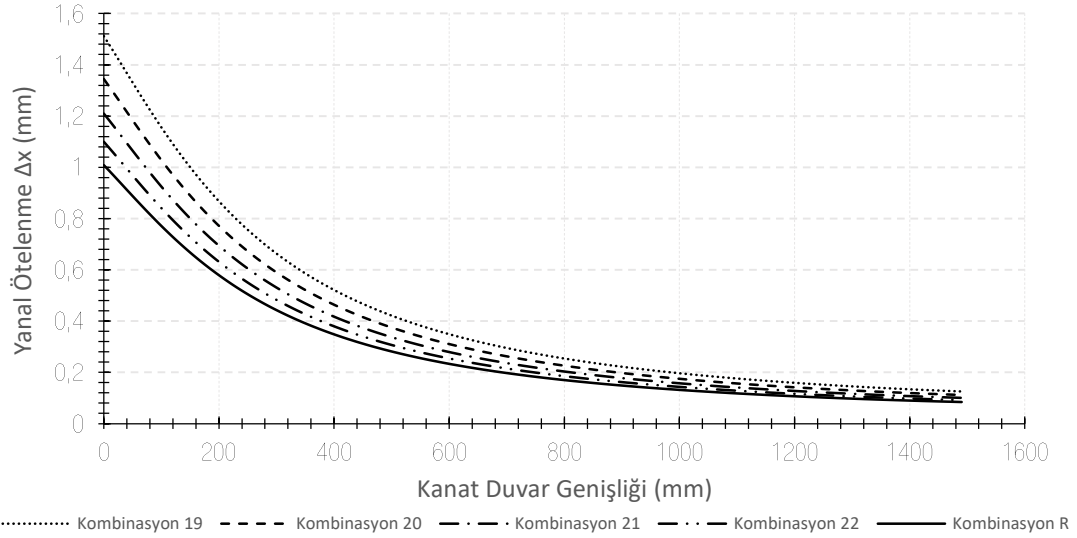
Çalışma kapsamında incelenen beşinci parametre olan beton elastisite modülü için referans kombinasyonuna ait değer de dâhil olmak üzere 5 farklı değer (20.000 MPa, 22.500 MPa, 25.000 MPa, 27.500 MPa ve 30.000 MPa) seçilmiştir.

Bu parametre kapsamında analiz edilen çerçevelerin tümünde serbest kolon boyu sabit olarak kalmaktadır. Çizelge 4.5'te görüldüğü üzere kolon-2'de oluşan kesme kuvveti ve moment değeri değişimi tüm kombinasyonlarda aynı davranış grafiğini vermektedir.

**Çizelge 4.5 : Kolon-2'ye ait kesme kuvveti ve moment değeri değişim grafikleri**



#### 4.5.1 Genel grafikler

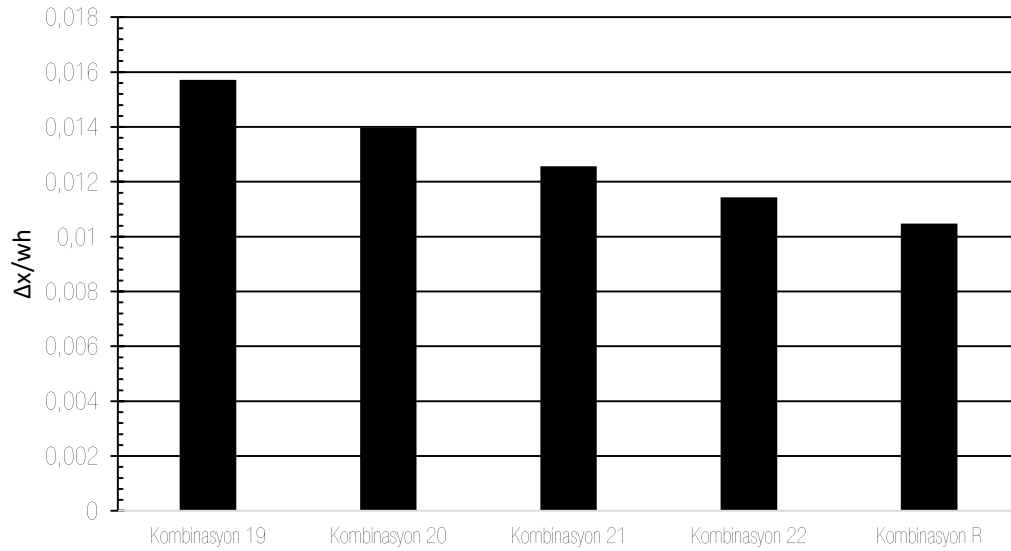


**Şekil 4.13 :** Kombinasyon 19, 20, R, 21 ve 22'ye ait N1 noktası yanıl ötelenme değışim grafiği

Şekil 4.13'teki yanıl ötelenme değerleri incelendiğinde beklendiği üzere yanıl ötelenme değerlerinin elastisite modülüne bağlı olarak doğrusal değıştiği görülmektedir. Örneğin, 25.000 MPa elastisite modülüne sahip kombinasyon 21'in boş çerçeve halindeki yer değıştirme değerini 30.000 MPa elastisite modülüne sahip referans kombinasyonunun tam olarak 1,2 katıdır.

Buna bağlı olarak ötelenme oranları da benzer doğrusallığı ortaya koymaktadır. Şekil 4.14 incelendiğinde azalan elastisite modülü oranı kadar ötelenme oranının arttığı görülmektedir. Bu bağıntının hem ötelenme değerinde hem ötelenme oranı değerlerinde varlığını korumasının sebebi serbest kolon boyunun bu parametrede sabit kalmasıdır. Netice olarak düşük elastisite modülüne sahip çerçevelerin daha sünek davranış yaptığı görülmektedir. Fakat betonarme bir çerçevede bu elastisite modülü değerlerinin karşılık bulması için beton dayanımından taviz verilmesi gerekmektedir.





**Şekil 4.14** : Kombinasyon 19, 20, R, 21 ve 22'ye ait ötelenme oranları

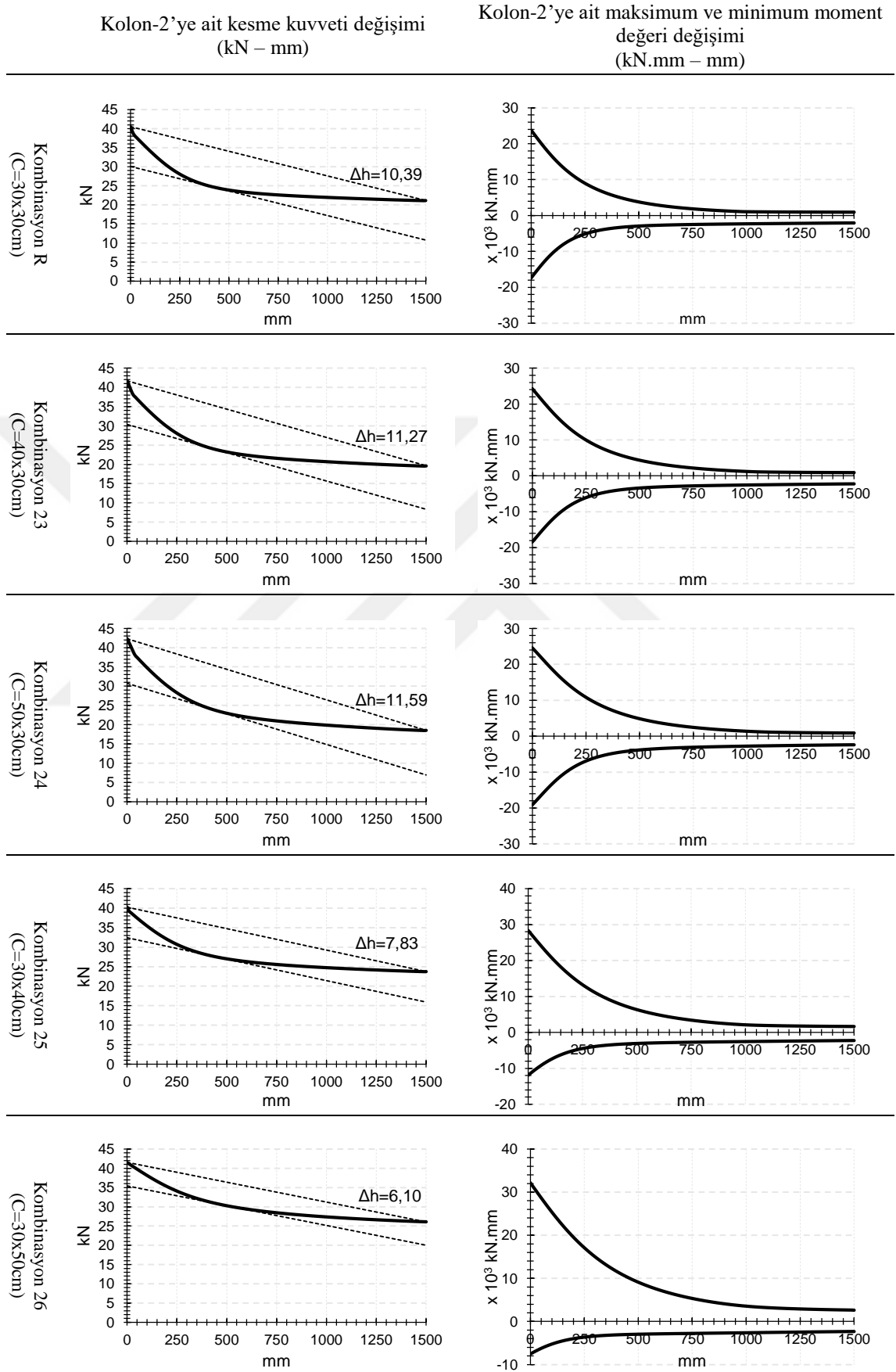
#### 4.6 Çerçeve Kolonlarına Ait Kuvvet Yönündeki Atalet Momentinin Çerçeve Davranışına etkisi

Çalışma kapsamında incelenen altıncı parametre olan çerçeve kolonlarına ait kuvvet yönündeki atalet momenti için referans kombinasyonuna ait atalet momenti de dâhil olmak üzere 5 farklı atalet momenti ( $67.500 \text{ cm}^4$ ,  $90.000 \text{ cm}^4$ ,  $112.500 \text{ cm}^4$ ,  $160.000 \text{ cm}^4$  ve  $312.500 \text{ cm}^4$ ) seçilmiştir. Bu atalet değerlerini sağlayan kolonlar aynı sırayla; 30x30, 40x30, 50x30, 30x40, 30x50 boyutlarına sahiptir.

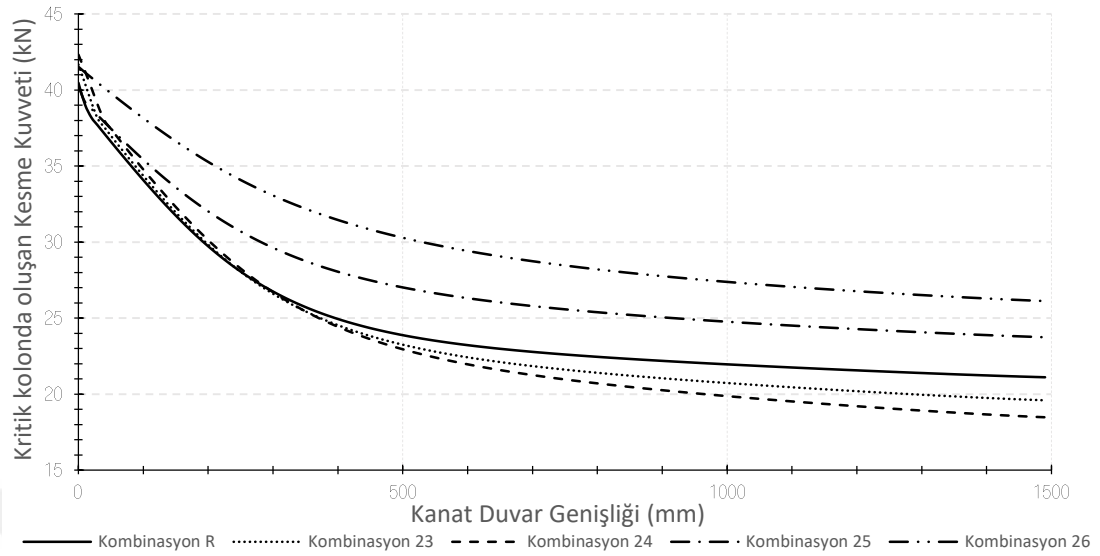
Bu parametre kapsamında incelenen çerçevelerin tümünde serbest kolon boyu sabit kalmaktadır. Bununla birlikte kolon geometrisindeki değişimler, muhtemel kısa kolon oluşumlarını doğrudan ilgilendirmektedir.

Çizelge 4.6'teki kesme kuvveti değişim grafikleri incelendiğinde kuvvet yönüne dik olarak büyüyen iki kolon boyunda davranış koridorunun büyüdüğü, ancak kuvvet yönündeki uzunluğu büyüyen kolonlarda davranış koridorunun daraldığı görülmektedir. Ayrıca kolonlara ait atalet momentinin büyümesine bağlı olarak kolonda oluşan maksimum moment değeri artarken, minimum moment değeri ise mutlak değerce küçülmüştür.

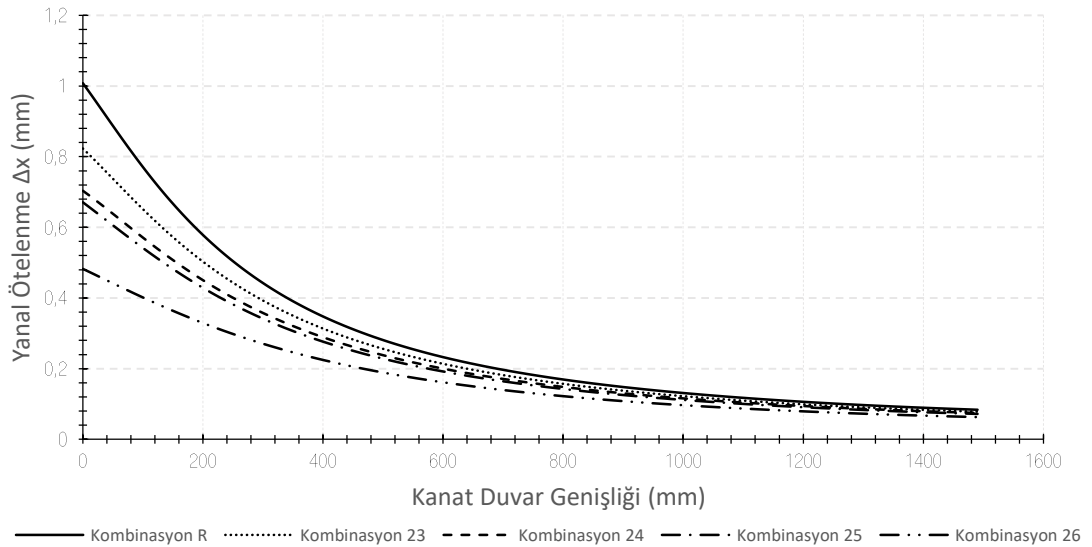
**Çizelge 4.6 : Kolon-2'ye ait kesme kuvveti ve moment değeri değişim grafikleri**



#### 4.6.1 Genel grafikler



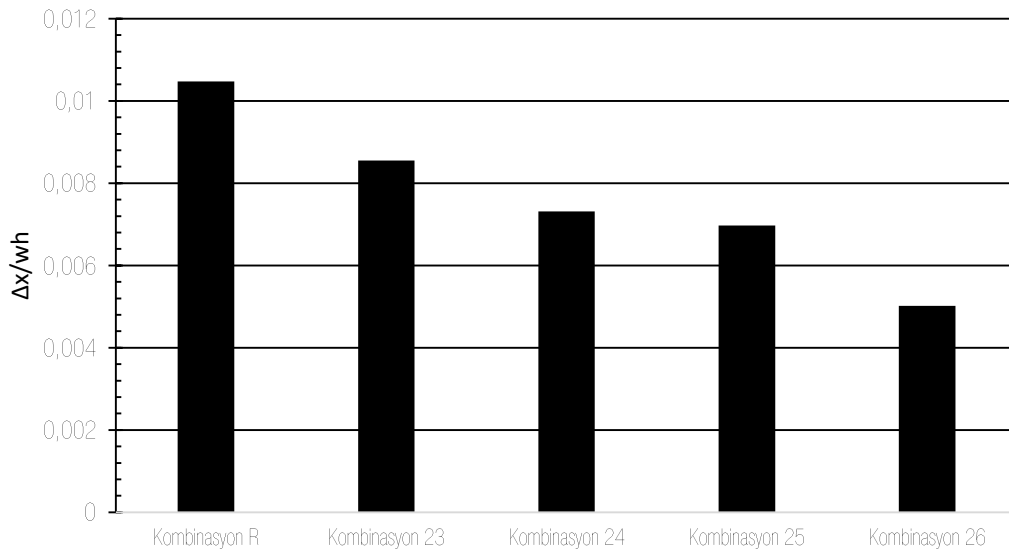
Şekil 4.15 : Kombinasyon R, 23, 24, 25 ve 26'ya ait Kolon-2 kesme kuvveti değişim grafiği



Şekil 4.16 : Kombinasyon R, 23, 24, 25 ve 26'ya ait N1 noktası yanal ötelenme değişim grafiği

Şekil 4.15'teki kesme kuvveti değişimleri incelendiğinde, kanat duvar miktarına bağlı olarak değişen maksimum ve minimum kesme kuvvetleri arasındaki farkın en az kuvvet yönünde 50 cm uzunluğa sahip kolon barındıran çerçevede olduğu görülmektedir. Buna karşın bu kesme kuvveti farkının en fazla olduğu çerçeve ise kuvvete dik yöndeki kolon boyunun 50 cm olan çerçeveye ait olduğu görülmektedir. En düşük kolon atalet momentine sahip referans kombinasyonuna ait çerçeveye ait kolonda oluşan kesme

kuvveti ise tam dolu çerçeve durumunda diğer kombinasyonların arasında bir değerle grafikte yer almıştır. Şekil 4.16'taki yanal ötelenme değerleri incelendiğinde yanal ötelenme miktarının kesme kuvveti değerlerinin aksine, atalet momentine doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir. En fazla ötelenmeyi en düşük kolona atalet momentine sahip referans kombinasyonu ortaya koyarken, en düşük yer değiştirmeyi ise kuvvet yönünde en yüksek atalet momentine sahip kombinasyon 26 göstermiştir. Ötelenme oranlarının verildiği Şekil 4.17 incelendiğinde en sünek davranışı referans kombinasyonu, en rijit davranışı ise kombinasyon 26 sergilemektedir. Ancak bununla birlikte atalet momenti ile ötelenme oranı arasında tam doğrusal bir bağıntının bulunmadığı da yine aynı grafikte yer alan kombinasyon 24 ve 25 ait ötelenme oranı değerlerinden görülebilmektedir.



Şekil 4.17 : Kombinasyon R, 23, 24, 25 ve 26'ya ait ötelenme oranları

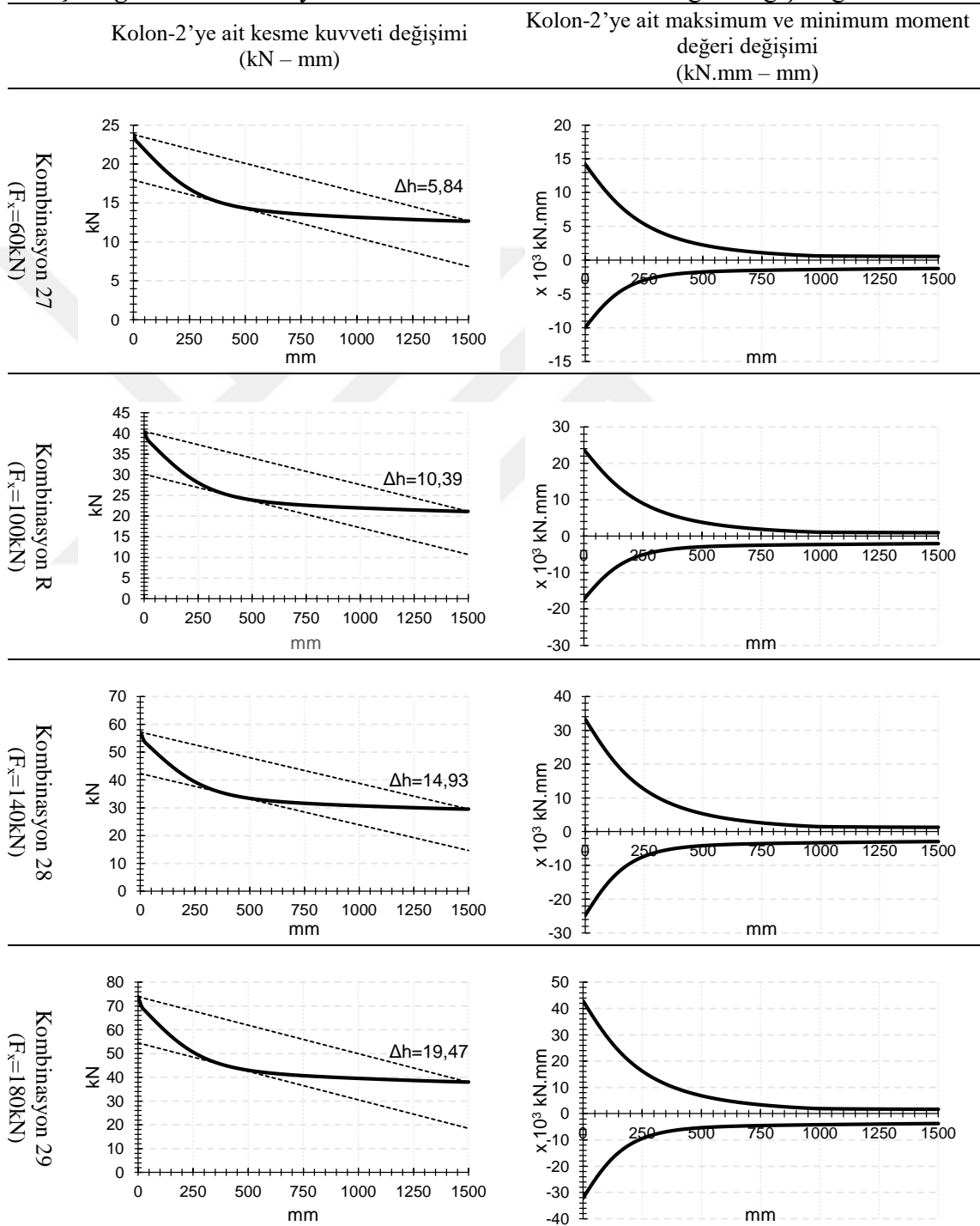
#### 4.7 Çerçeveye Etkiyen Yanal Yükün Çerçeve Davranışına Etkisi

Çalışma kapsamında incelenen son parametre olan çerçeveye etkiyen yanal yük için referans kombinasyonuna ait yük de dâhil olmak üzere 4 farklı yük (60 kN, 100 kN, 140 kN ve 180 kN) seçilmiştir.

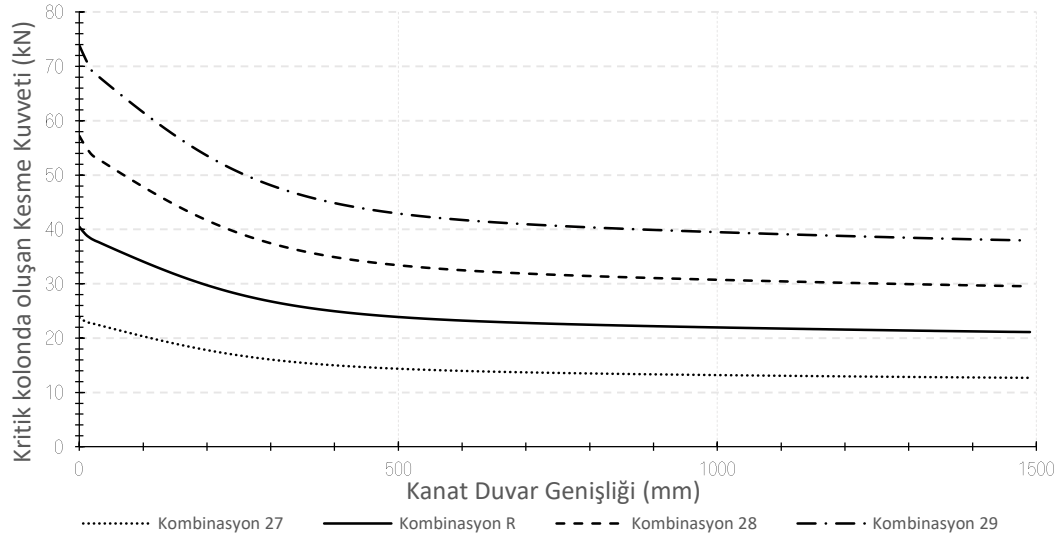
Eşdeğer sanal basınç çubuğu yöntemine göre elastik sınırlar içerisinde kaldığı takdirde, kuvvetin çerçeve davranışını etkilemediği görülmektedir. Fakat yine de çalışma kapsamında kuvvet etkisi incelenmiştir.

Çizelge 4.7’de yer alan grafiklere göre uygulanan kuvvet ile kolonlarda ortaya çıkan kesme kuvveti ve moment değerleri arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Bu doğrusal ilişki davranış koridoru genişliğini de aynı şekilde etkilemektedir.

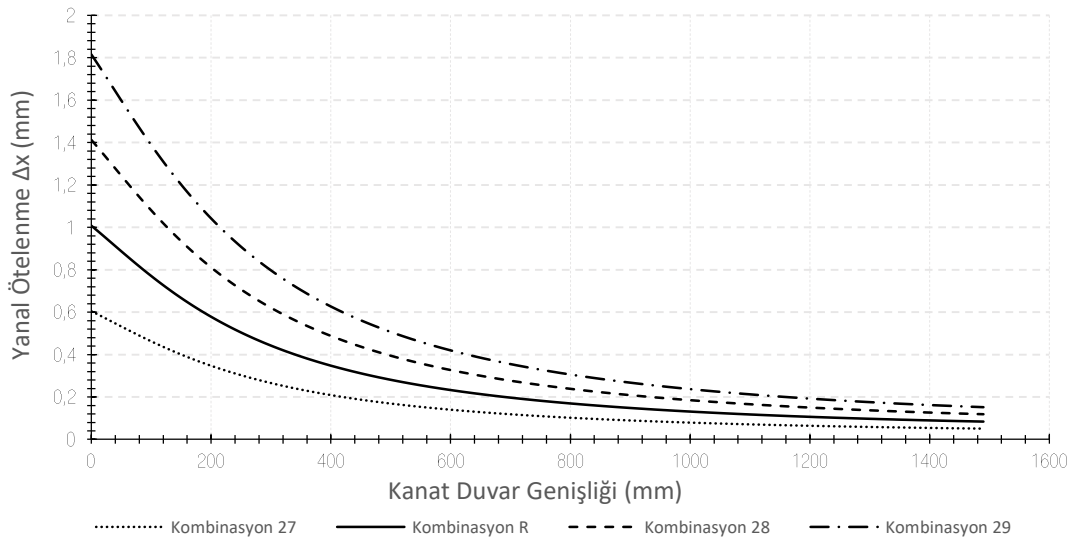
**Çizelge 4.7 : Kolon-2'ye ait kesme kuvveti ve moment değeri değişim grafikleri**



#### 4.7.1 Genel grafikler

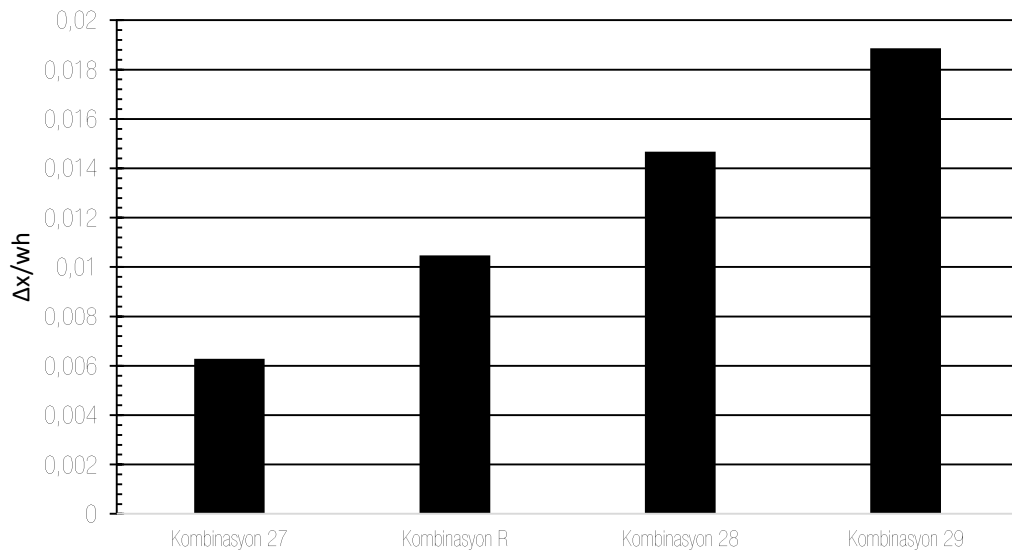


Şekil 4.18 : Kombinasyon 27, R, 28 ve 29'a ait Kolon-2 kesme kuvveti değişim grafiği



Şekil 4.19 : Kombinasyon 27, R, 28 ve 29'a ait N1 noktası yanal ötelenme değişim grafiği

Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de elde edilen verilerin tümü uygulanan kuvvetle doğru orantılı olarak ötelenme değerlerinin ve kesme kuvvetlerinin değiştiğini göstermektedir. Ancak kuvvetin eğri davranışı üzerinde bir etkisi olmadığı yalnızca doğrusal bir bağıntıyla ortaya çıkan kesme kuvvetini, moment değerlerini ve yanal ötelenmesini değiştirdiği görülmektedir.



**Şekil 4.20** : Kombinasyon 27, R, 28 ve 29'a ait ötelenme oranları

#### 4.8 Genel Değerlendirmeler

Çalışmada analizi yapılan tüm kombinasyonlara ait a/d oranları, davranış koridoru genişlikleri ( $\Delta h$ ) ve ötelenme oranları ( $d_r$ ) Çizelge 4.8'de verilmiştir. Bu verilere ek olarak kesitin kanat duvarsız hali %0 dayanım verimine, tam dolu çerçeve hali %100 dayanım verimine sahip olduğu kabulü esas alınarak %85'lik dayanıma denk gelen kanat duvar boyu ve bu duvar boyunun çerçeve temiz genişliğine oranı da yine aynı çizelge içerisinde verilmiştir.

Bu genel kıyaslamaya göre a/d oranı esas alınarak kesme göçmesi açısından en kritik kesite sahip çerçeve kombinasyon 26 olarak görünmektedir. Aynı durum davranış koridoru genişliği açısından incelendiğinde de en kritik kesit yine kombinasyon 26 olarak ortaya çıkmaktadır. Aynı şekilde kombinasyon 18 ise hem davranış koridoru genişliği hem de a/d oranı bakımından kritik olmaktan en uzak çerçeveye sahip kombinasyon olarak görünmektedir. Yanal yük parametresinin davranış koridorunu kuvvet oranınca büyüttüğü görüldüğünden bahsi geçen kıyaslamaya bu parametreye ait kombinasyonlar dâhil edilmemiştir.

Bununla birlikte a/d oranının yalnızca kesit geometrisi ve serbest kolon boyu ile ilişkili olmasından ötürü; çerçeve temiz açıklığı, perde duvar kalınlığı ve beton elastisite modülü

parametrelerine ait kombinasyonlarda a/d oranı sabit kalırken davranış koridoru genişliği beklendiği üzere değişkenlik göstermiştir.

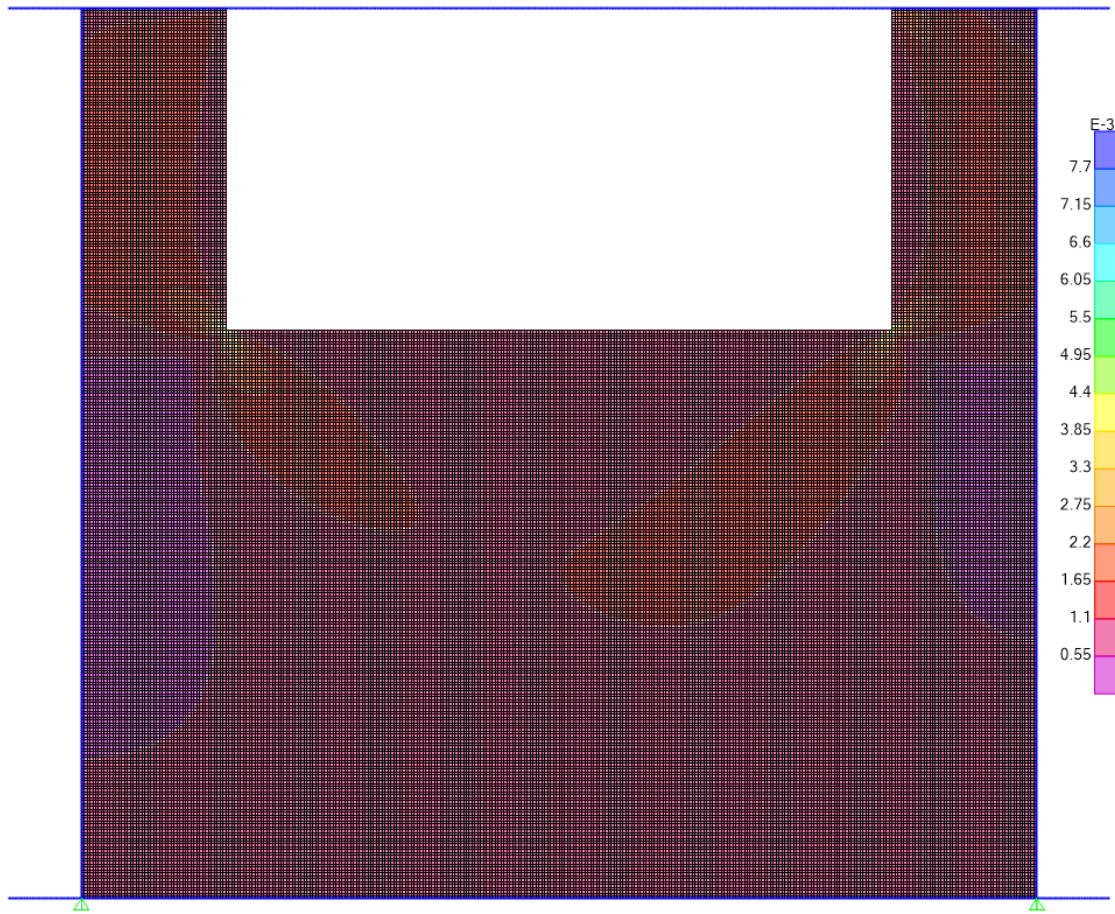
Analizi yapılan çerçevelerin önemli bir kısmının  $3 < a/d < 7$  aralığında kalmakla birlikte alt sınıra yakın bir değer aldığı görülmektedir. Ancak 3 kombinasyona ait çerçevenin a/d oranı 3'ten küçük değer almıştır.

İncelenen kombinasyonlar arasında en kritik görünen kombinasyon 26'nın %85'lik dayanım sağladığı kanat duvar genişliği çerçeve genişliğinin yaklaşık %50'si olarak ortaya çıkmıştır.

**Çizelge 4.8 : a/d, davranış koridoru ve ötelenme oranı genel tablosu**

	$w_h$	H (cm)	$C_x$ (mm)	L (mm)	a/d	$\Delta h$	$d_r$	85%'lik dayanıma denk gelen kanat duvar boyu (mm)	85%'lik dayanıma denk gelen kanat duvar boyu oranı
Kombinasyon R	0,35	275	300	3000	3,6	10,4	0,0105	490,0	32,7%
Kombinasyon 2	0,35	250	300	3000	3,2	10,0	0,0097	520,0	34,7%
Kombinasyon 3	0,35	300	300	3000	3,9	10,7	0,0113	460,0	30,7%
Kombinasyon 4	0,35	325	300	3000	4,2	11,0	0,0121	430,0	28,7%
Kombinasyon 5	0,35	350	300	3000	4,5	11,3	0,0129	410,0	27,3%
Kombinasyon 6	0,35	275	300	1500	3,6	8,5	0,0102	330,0	44,0%
Kombinasyon 7	0,35	275	300	2000	3,6	9,6	0,0101	380,0	38,0%
Kombinasyon 8	0,35	275	300	2500	3,6	10,1	0,0102	440,0	35,2%
Kombinasyon 9	0,35	275	300	3500	3,6	10,5	0,0108	540,0	30,9%
Kombinasyon 10	0,35	275	300	4000	3,6	10,5	0,0110	600,0	30,0%
Kombinasyon 11	0,35	275	300	3000	3,6	12,6	0,0146	700,0	46,7%
Kombinasyon 12	0,35	275	300	3000	3,6	12,0	0,0118	550,0	36,7%
Kombinasyon 13	0,35	275	300	3000	3,6	9,0	0,0096	460,0	30,7%
Kombinasyon 14	0,35	275	300	3000	3,6	8,6	0,0090	420,0	28,0%
Kombinasyon 15	0,25	275	300	3000	2,5	9,5	0,0087	620,0	41,3%
Kombinasyon 16	0,45	275	300	3000	4,6	11,4	0,0127	410,0	27,3%
Kombinasyon 17	0,55	275	300	3000	5,6	12,3	0,0153	360,0	24,0%
<b>Kombinasyon 18</b>	<b>0,65</b>	<b>275</b>	<b>300</b>	<b>3000</b>	<b>6,6</b>	<b>13,2</b>	<b>0,0182</b>	<b>310,0</b>	<b>20,7%</b>
Kombinasyon 19	0,35	275	300	3000	3,6	10,4	0,0157	490,0	32,7%
Kombinasyon 20	0,35	275	300	3000	3,6	10,4	0,0140	490,0	32,7%
Kombinasyon 21	0,35	275	300	3000	3,6	10,4	0,0126	490,0	32,7%
Kombinasyon 22	0,35	275	300	3000	3,6	10,4	0,0114	490,0	32,7%
Kombinasyon 23	0,35	275	300	3000	3,6	11,3	0,0085	540,0	36,0%
Kombinasyon 24	0,35	275	300	3000	3,6	11,6	0,0073	590,0	39,3%
Kombinasyon 25	0,35	275	400	3000	2,6	7,8	0,0070	620,0	41,3%
<b>Kombinasyon 26</b>	<b>0,35</b>	<b>275</b>	<b>500</b>	<b>3000</b>	<b>2,0</b>	<b>6,1</b>	<b>0,0050</b>	<b>760,0</b>	<b>50,7%</b>
Kombinasyon 27	0,35	275	300	3000	3,6	5,8	0,0063	510,0	34,0%
Kombinasyon 28	0,35	275	300	3000	3,6	14,9	0,0147	480,0	32,0%
Kombinasyon 29	0,35	275	300	3000	3,6	19,5	0,0189	480,0	32,0%





**Şekil 4.21** - Örnek çerçeve gerilim dağılımı

Şekil 4.21’de referans kombinasyonun analizi esnasındaki adımlardan birine ait kısmi dolu çerçeve halindeki basınç gerilmesi dağılımı verilmiştir. ESBC yöntemine göre bir köşeden diğer çapraz köşeye aktarılması gereken gerilmeler boşluk sebebiyle bir bakıma akıllı davranış göstererek kanat duvarlardan aldıkları gerilmeleri çerçevenin orta kısmına aktarmaktadır. Görünen gerilme dağılıma göre çerçevedeki en kritik bölgenin pencere boşluklarının köşe kısımları olduğu görünmektedir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Boşluklu perde duvarlardaki boşluk etkilerinin çerçeve davranışını nasıl etkilediğini incelemek amacıyla, SAP2000 OAPI temelli bir C# yazılımı geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında incelenmek üzere literatür esas alınarak bir takım parametreler belirlenmiştir. Yazılım, bu parametreler için çerçeve geometrisini sürekli olarak değiştirmiş ve bu değişime bağlı olarak kritik görülen kesit zorlarını kaydetmiştir. Yapılan analizler neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- Boşluk / Çerçeve yüksekliği oranı sabit tutularak, çerçeve temiz yüksekliğinin artırılmasının davranış koridoru genişliğini arttırdığı görülmüştür. a/d oranı değerleri ile birlikte bu durum ele alındığında, beklendiği üzere serbest kolon boyunun uzaması olası bir kısa kolon etkisi ihtimalini azaltmaktadır.
- Çerçeve temiz yüksekliği parametresine ait kombinasyonların moment değişim grafikleri incelendiğinde, serbest kolon boyu ile moment değerleri arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmüştür.
- Kombinasyonların tümünde yük sabit kaldığı sürece kolonlarda oluşan kesme kuvvetinin boş çerçeve durumunda yaklaşık benzer değerleri verdiği görülmüştür. Fakat kanat duvar boyunun artmasıyla davranış eğrileri farklılaşmaktadır.
- Çerçeve temiz yüksekliği parametresi kapsamında incelenen çerçevelerde yakın kesme kuvveti değerleri altında, serbest kolon boyu daha uzun çerçevelerin yanal ötelenme kapasitesinin doğrusal olmayan biçimde arttığı görülmüştür.
- Çerçeve temiz açıklığı parametresi altında analizleri yapılan çerçevelerde temiz açıklığın büyümesine bağlı olarak davranış koridoru genişliğinin daha büyük değerlere ulaştığı görülmüş, ancak kombinasyon 9'dan (l=350cm) sonra bu genişleme durmuştur.
- Ötelenme oranı değerleri açısından çerçeve temiz açıklığı parametresine bağlı çerçeveler arasındaki farkı görece küçük değerler teşkil etmektedir. 150 cm

genişliğe sahip kombinasyon 6'nın ötelenme oranı 200 cm genişliğe sahip kombinasyon 7'nin ötelenme oranından yüksek değer almıştır. Ancak kombinasyon 7'den sonraki çerçevelerde ötelenme oranı değeri düzenli olarak artış göstermiştir. Bu bakımdan davranış koridoru genişliği değerlendirmeleri bu parametre için tek başına yeterli bir yöntem olarak görünmemektedir.

- Perde duvar kalınlığı parametresi altında incelenen kombinasyonlar; perde duvar kalınlığının artışına bağlı olarak davranış koridoru genişliğinin daraldığını ve ötelenme oranı değerlerinin düzenli olarak azaldığını göstermiştir. Ancak yine de 150 mm perde duvar kalınlığına sahip referans kombinasyonundan sonraki 200 mm perde duvar kalınlığına sahip kombinasyon 13'te ve 250 mm perde duvar kalınlığına sahip kombinasyon 14'te azalma eğilimi önemli ölçüde düşmüştür.
- Aynı parametre altında incelenen çerçevelerde dikkat çeken bir diğer önemli nokta, perde kalınlığının daha az olduğu çerçevelere ait kesme kuvveti değişim grafiklerinin maksimum ve minimum noktaları arasındaki makasın daha fazla olduğudur. Perde duvar kalınlığı düştükçe maksimum ve minimum değerler arasındaki makas da azalmaktadır.
- Bu bağlamda perde duvar kalınlığının yaklaşık 200 mm değerine ulaşmasından sonra çerçeve rijitliği önemli bir değişim göstermemiştir.
- Boşluk / Çerçeve yüksekliği oranı parametresi kapsamında analizleri yapılan çerçevelerde serbest kolon boyunun kısa kolon oluşumuna etkisi açıkça görülmüştür. Serbest kolon boyu arttıkça hem a/d oranları, hem davranış koridoru genişlikleri hem de ötelenme oranı değerlerinde artış görülmüştür.
- 178.75 cm serbest kolon boyuna sahip kombinasyon 18'a ait yanal ötelenme değerinin, 68.75 cm serbest kolon boyuna sahip kombinasyon 15'e ait yanal ötelenme değerinden 5 kat daha fazla olduğu görülmüştür. Dolayısıyla serbest kolon boyu ile süneklik arasında doğrusal olmayan bir artış olduğu tespit edilmiştir.
- Beton elastisite modülü parametresi içerisinde analizleri yapılan kombinasyonlar; beton elastisite modülündeki değişimlerin, ötelenmeleri tam doğrusal şekilde ters orantılı olarak değiştirdiğini, oluşan kesit zorlarını ise herhangi bir şekilde değiştirmediklerini göstermiştir. Ancak bu sonucun yalnızca elastik sınırlar içerisinde geçerli kaldığını belirtmek gerekmektedir.

- Çerçeve kolonlarına ait kuvvet yönündeki atalet momenti parametresinde yapılan analizlerde, kuvvet yönüne dik olarak kolon boyutlarının büyümesi halinde ötelenme oranlarının azaldığı, davranış koridoru genişliklerinin ise arttığı görülmüştür. Ancak kuvvete dik yönde geometrisi genişleyen kolonların tuttıkları moment değerlerinin arttığı görülmüştür.
- Kuvvetle aynı yönde geometrisi büyütülen kolonlarda ise hem davranış koridoru genişliklerinde hem de ötelenme oranlarında düşüş görülmüştür. Bu çerçevelerin pozitif yönlü maksimum momentleri artış göstermiş, negatif yönlü maksimum moment değerleri ise mutlak değerce küçülmüştür.
- Çerçeveye etkiyen yanal yük parametresinde elde edilen sonuçların ESBC yöntemini desteklediği görülmektedir. Elastik sınırlar içerisinde, kuvvetin artması tüm kesir zorlarını ve yanal ötelenmeleri aynı oranda büyütmede, ancak çerçeve davranış eğrilerinin eğilimini değiştirmemektedir.
- ESBC yönteminde öngörülen basınç aktarım hatlarının, duvarın boşluklu olması durumunda basınç hatlarını mevcut geometriye göre değiştirdikleri görülmüştür. Bu akıllı davranış olumlu gibi görünse de boşluk köşelerinde yüksek gerilmelerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır.
- İncelenen tüm kombinasyonlar içerisinde en fazla kesme hakim davranış göstermesi beklenen çerçeve hem a/d oranı, hem davranış koridoru genişliği hem de ötelenme oranı açısından kuvvetle aynı yönde en uzun geometriye sahip kolona sahip çerçeve olan kombinasyon 26 olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durum incelenen çerçeve tipleri için kolon kesitlerindeki rijitliğin en az serbest kolon boyu kadar önemli bir kriter olduğunu göstermektedir. Bu değerlendirmeye kuvvet parametresine ait kombinasyonlar dâhil edilmemiştir.
- İncelenen kombinasyonlar arasında tüm değerlendirme kriterleri açısından kesme hakim davranıştan en uzak olarak görünen çerçeve ise kombinasyon 18'e ait çerçeve olarak ortaya çıkmaktadır. Bu durum serbest kolon boyunun, kısa kolon etkisi üzerindeki en önemli kriterlerden birisi olduğunu doğrulamaktadır.

Bu çalışmanın amacı doğrultusunda analizlerin tümü elastik sınırlar içerisinde gerçekleştirilmiştir. Ancak aynı parametrelerin doğrusal olmayan sınırlarının ve göçme modlarının ortaya konulması perde duvarlarda bırakılan boşluklar dolayısıyla

ortaya çıkan kısa kolon davranışının tam olarak anlaşılması açısından tamamlayıcı özellik taşımaktadır.

Çerçeveye etkiyen kuvvete dik yönde büyütülen kolonlardaki davranış koridorunun büyümesi farklı açılardan ele alınabilir. Böyle bir araştırma davranış koridoru genişlikleri ile çerçeve davranışı arasındaki ilişkiyi daha iyi anlamak açısından faydalı olacağı düşünülmektedir.

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen analizlerin ve sonuçlarının deneysel olarak da irdelenmesinin bu tip çerçevelerin davranışları hakkında literatüre önemli kazanımlar sağlayabileceği düşünülmektedir.

Çerçeve ve perde duvarın yanal yük altında etkileşim halinde olduğu yapı sistemlerindeki boşluklu perde duvarların genel yapı davranışı üzerindeki etkilerinin incelenmesinin de faydalı olacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Aas-Jakobsen, K., ve Grenacher, M. (1974). *Analysis of Slender Reinforced Concrete Frames*. **Bridge and Structural Engineering**, 34/1, 1–17.
- Abd-El-Rahim, H. H. A., ve Farghaly, A. A. (2010). *Influence of Requisite Architectural Openings on Shear Walls Efficiency*. **Journal of Engineering Sciences, Assiut University**, 38/2, 421–435.
- Anil, Ö. ̇, ve Altin, S. (2007). *An experimental study on reinforced concrete partially infilled frames*. **Engineering Structures**, 29/3, 449–460.
- Artar, M. (2016). *Optimum design of steel space frames under earthquake effect using harmony search*. **Structural Engineering and Mechanics**, 58/3, 597–612.
- Artar, M., ve Daloglu, A. T. (2016). *Optimum weight design of steel space frames with semi-rigid connections using harmony search and genetic algorithms*. **Neural Computing and Applications**.
- Asteris, P. G. (2003). *Lateral Stiffness of Brick Masonry Infilled Plane Frames*. **Journal of Structural Engineering**, 129/8, 1071–1079.
- Asteris, P. G. (2008). *Finite element micro-modeling of infilled frames*. **Electronic Journal of Structural Engineering**, 8/8, 1–11.
- Asteris, P. G., Cotsovos, D. M., Chrysostomou, C. Z., Mohebkah, A., ve Al-Chaar, G. K. (2013). *Mathematical micromodeling of infilled frames: State of the art*. **Engineering Structures**, 56.
- Atımtay, E. (2000). **Çerçevesel ve Perdeli Betonarme Sistemlerin Tasarımı**. Ankara: Bizim Büro Basımevi Yayın Dağıtım San. Tic. Ltd. Şti.
- Baloević, G., Radnić, J., ve Harapin, A. (2013). *Numerical dynamic tests of masonry-*

*infilled RC frames. Engineering Structures, 50.*

Beklen, C., ve Çağatay, İ. H. (2009). *Çerçevelerde Dolgu Duvar Modellerinin İncelenmesi. Ç.Ü.Müh.Mim.Fak.Dergisi, 24/1-2, 77-90.*

Bikce, M. (2011). *How to reduce short column effects in buildings with reinforced concrete infill walls on basement floors. Structural Engineering and Mechanics, 38/2, 249-259.*

Bikçe, M., Geneş, M. C., ve Zubaroglu, S. K. A. (2011). *Betonarme bir yapıda duvarsız ve duvarlı hallerin dinamik testleri. 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı (ss. 1-8).*

Bikhiet, M. M., El-Shafey, N. F., ve El-Hashimy, H. M. (2014). *Behavior of reinforced concrete short columns exposed to fire. Alexandria Engineering Journal, 53/3, 643-653.*

Bolhassani, M., Hamid, A. A., Johnson, C., ve Schultz, A. E. (2016). *Shear strength expression for partially grouted masonry walls. Engineering Structures, 127, 475-494.*

Caliô, I., ve Pantô, B. (2014). *A macro-element modelling approach of Infilled Frame Structures. Computers and Structures, 143, 91-107.*

Chandurkar, P. P., ve Pajgade, P. S. (2013). *Seismic Analysis of RCC Building with and Without Shear Wall, 3/June, 1805-1810.*

Chen, X., ve Liu, Y. (2016). *Finite Element Study of the Effect of Interfacial Gaps on the in-Plane Behaviour of Masonry Infills Bounded by Steel Frames. Structures, 10, 1-12.*

Chittiprolu, R., ve Kumar, R. P. (2014). *Significance of Shear Wall in Highrise Irregular Buildings. International Journal of Education and Applied Research, 4/2, 35-37.*

Computers & Structures. (2015). *CSi API Documentation.*

Çağatay, İ. H. (2007). *Binalarda Kısa Kolona Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi.*

## 6. Ulusal Deprem Muhendisliği Konferansı. İstanbul.

Dogan, M. (2013). *Failure of structural (RC, masonry, bridge) to Van earthquake. Engineering Failure Analysis*, 35, 489–498.

Ersoy, U., ve Özcebe, G. (2007). **Betonarme** (2. Baskı). İstanbul: Evrim.

Gopalarathnam, M., ve Kumar, M. (2013). *Nonlinear finite element dynamic analysis of squat shear wall with openings. International Journal of Advanced Structural Engineering*, 5/1, 27.

Guan, H., Cooper, C., ve Lee, D.-J. (2010). *Ultimate strength analysis of normal and high strength concrete wall panels with varying opening configurations. Engineering Structures*, 32/5, 1341–1355.

Gupta, A. K. (2011). **Study on reinforced concrete frame with solid infill brick masonry using artificial neural network.** TRIBHUVAN UNIVERSITY.

Hartley, G. A. (1985). *Radial Contour Methods of Biaxial Short Column Design. Journal of the American Concrete Institute*, 82/5, 693–700.

Harumi, Y., Yasuo, T., Masayuki, N., ve Younggon, R. (1990). *Study on shear failure mechanisms of reinforced concrete short columns. Engineering Fracture Mechanics*, 35/1–3, 277–289.

Hegde, P., ve Itti, S. V. (2014). *Effect of Base Opening in Reinforced Concrete Shear Wall. Civil and Environmental Research*, 6/8, 72–82.

Hendry, A. W. (1990). **Structural Masonry.** London: MACMILLAN Education.

Hussein, G. (2013). *Genetic Algorithm Optimization of Space Frame*, /May, 23–25.

Hüsem, M., Altin, S., Pul, S., Bikçe, M., ve Emsen, E. (2013). *Betonarme Perdelerde Bırakılan Bant Tipi Boşluklar Nedeniyle Depremde Oluşan Kısa Kolon Etkisinin İyileştirilmesi*, TÜBİTAK.

Işık, G. (2006). **Betonarme binaların zemin katında oluşabilen kısa kolon ve yumuşak kat davranışının incelenmesi.** Karadeniz Teknik Üniversitesi.



- Khatami, S. M., Mortezaei, A., ve Barros, R. C. (1998). *Comparing Effects of Openings in Concrete Shear Walls under Near-Fault Ground Motions*.
- Kim, H. S., ve Lee, D. G. (2003). *Analysis of shear wall with openings using super elements*. **Engineering Structures**, 25/8, 981–991.
- Liau, T. C. (1972). *An approximate method of analysis for infilled frames with or without opening*. **Building Science**, 7/4, 233–238.
- Lin, C Y. Kuo, C. L. (1988). *Behavior of shear wall with Opening*. **Ninth World Conference on Earthquake Engineering** (ss. 535–540).
- Lu, X., Xie, L., Guan, H., Huang, Y., ve Lu, X. (2015). *A shear wall element for nonlinear seismic analysis of super-tall buildings using OpenSees*. **Finite Elements in Analysis and Design**, 98, 14–25.
- Marius, M. (2013). *Seismic behaviour of reinforced concrete shear walls with regular and staggered openings after the strong earthquakes between 2009 and 2011*. **Engineering Failure Analysis**, 34, 537–565.
- Marius, M. (2014). *Failure analysis of RC shear walls with staggered openings under seismic loads*. **Engineering Failure Analysis**, 41, 48–64.
- Masood, M., Ishtiaque, A., ve Assas, M. (2012). *Behavior of shear wall with Opening*. **Jordan Journal of Civil Engineering**, 6/2, 255–266.
- Mohyeddin, A., Dorji, S., Gad, E. F., ve Goldsworthy, H. M. (2017). *Inherent limitations and alternative to conventional equivalent strut models for masonry infill-frames*. **Engineering Structures**, 141, 666–675.
- Musmar, M. A. (2013). *Analysis of Shear Wall with Openings Using Solid65 Element Mazon*. **Jordan Journal of Civil Engineering**, 7/2, 164–173.
- Muthukumar, G., ve Kumar, M. (2014). *Influence of Opening Locations on the Structural Response of Shear Wall*, 2014.
- Pillai, G. S., Krishnan Prabhakaran, J., ve Rajkumar, V. (2015). *Parametric Study of Exterior Shear Wall–Floor Slab Connections*. **Journal of Performance of**

**Constructed Facilities**, 29/6, 4014156.

Rokhgar, N. (2014). **Comprehensive Study on Parameters Affecting Stiffness of Shear wall-Frame Buildings under Lateral Loads**. The State University of New Jersey.

Sakurai, M., Kuramoto, H., Matsui, T., ve Akita, T. (2008). *Seismic Performance of Rc Shear Walls With Multi-Openings*, 0–7.

Sharma, R., ve Amin, J. A. (2015). *Effects of opening in shear walls of 30- storey building*, 2, 44–55.

Smith, B. S. (1967). *Methods for predicting the lateral stiffness and strength of multi-storey infilled frames*. **Building Science**, 2/3, 247–257.

Suresh, M. R., ve S, A. S. Y. (2015). *The optimum location of shear wall in high rise R.C. bulidings under lateral loading*. **International Journal of Research in Engineering and Technology**, 4/6, 184–190.

Taleb, R., Bechtoula, H., Sakashita, M., Bourahla, N., ve Kono, S. (2012). *Investigation of the shear behaviour of multi-story Reinforced Concrete walls with eccentric openings*. **Computers and Concrete**, 10/4, 361–377.

TDY. *TDY* (2007). Turkey.

Torki Harcheganiu, M. E., Talaei Taba, B., ve Farahbod, F. (2012). *Effect of opening dimensions on the relative flexural operation of coupled shear walls*. **Asian Journal of Civil Engineering**, 13/3, 417–427.

Warashina, M., Kono, S., Sakashita, M., ve Tanaka, H. (2008). *Shear Behavior Of Multi-Story Rc Structural Walls With Eccentric Openings*. **14th World Conference on Earthquake Engineering (14WCEE)**.

Woodward, K. A., ve Jirsa, J. O. (1984). *Influence of Reinforcement on RC Short Column Lateral Resistance*. **Journal of Structural Engineering**, 110/1, 90–104.

Wu, H., ve Li, B. (1996). *Parametric study of reinforced concrete walls with irregular openings*. **2003 Pacific Conference on Earthquake Engineering**.

Wu, J. R., Dong, C. C., Xu, A., ve Fu, J. Y. (2012). *Structural optimization of long span portal-rigid frames under wind action*. **The Seventh International Colloquium on Bluff Body Aerodynamics and Applications (BBAA7)**. Shanghai.

Yekrangnia, M., ve Mohammadi, M. (2017). *A new strut model for solid masonry infills in steel frames*. **Engineering Structures**, 135, 222–235.

Yön, B., ve Şahin, H. (2009). *Çok katlı betonarme binalarda zemin sınıfına göre deprem perdesi oranının tespiti*. **Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 57–73.



## **ÖZGEÇMİŞ**

Bilal Tayfur, 1991 yılında Ankara’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Sivas, Kilis ve Rize’de, lise öğrenimini 2009 yılında Haydarpaşa Anadolu Lisesi’nden mezun olarak tamamladı.

2009 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde başladığı lisans öğrenimini 2015 yılında tamamladı. 2016 yılında Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda yüksek lisans eğitime başladı. Halen Bayburt Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.