

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**MEVCUT BETONARME YAPILARDA KISA KOLON DAVRANIŞLARININ
İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Serhat DEMİR

**HAZİRAN 2013
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**MEVCUT BETONARME YAPILARDA KISA KOLON DAVRANIŞLARININ
İYİLEŞTİRİLMESİ**

İnş. Müh. Serhat DEMİR

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15.05.2013
Tezin Savunma Tarihi : 13.06.2013**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Metin HÜSEM

Trabzon 2013

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Serhat DEMİR tarafından hazırlanan

MEVCUT BETONARME YAPILARDA KISA KOLON DAVRANIŞLARININ
İYİLEŞTİRİLMESİ

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 21/ 05 / 2013 gün ve 1506 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Metin HÜSEM

Üye : Prof. Dr. Sinan ALTIN

Üye : Doç. Dr. Selim PUL

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

“Mevcut Betonarme Yapılarda Kısa Kolon Davranışlarının İyileştirilmesi” başlıklı bu çalışma, 111M792 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında gerçekleştirilen çalışmalardan yararlanılarak yapılmıştır. Bu çalışmanın başlangıcından sonuna kadar vakit gözetmeksizin beni yönlendiren, en iyi ve en doğruyu yapmak adına uğraş veren, beni bu yönde yetiştiren, tezimin bütün aşamalarında bilgi ve tecrübesinden faydalandığım danışman hocam Sayın Prof. Dr. Metin HÜSEM'e şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarım boyunca bilgi ve tavsiyelerini paylaşan ve aynı zamanda jüri üyeliğini üstlenen hocalarım Sayın Prof. Dr. Sinan Altın ve Sayın Doç. Dr. Selim PUL'a ayrı ayrı teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım boyunca, yardımlarını gördüğüm İnş. Müh. Abdullah BOSTANCI ve İnş. Müh. Murat TOMBAYOĞLU'na teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Öğrenim hayatımda çok önemli bir yeri olan hocam Sayın Reşat KILIÇKAYA'ya emekleri için teşekkür eder, kendisine minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Bana olan inançlarını kaybetmeksizin maddi ve manevi desteklerini esirgmeden topluma faydalı bir birey olmam için uğraş veren, fedakarlıklarını asla unutmayacağım annem Döndü DEMİR ve babam İbrahim DEMİR'e, hayatımın her aşamasında bana yol gösteren dayım Kemal SEVİNÇ'e tüm kalbimle teşekkür ederim.

Serhat DEMİR
Trabzon, 2013

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Mevcut Betonarme Yapılarda Kısa Kolon Davranışlarının İyileştirilmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Metin HÜSEM‘in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

15/05/2013

Serhat DEMİR

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XVII
SİMGELER DİZİNİ.....	XVIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı İlkeleri ve Taşıyıcı Sistemler.....	2
1.2.1. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı İlkeleri	2
1.2.2. Betonarme Yapılarda Uygulanan Taşıyıcı Sistemler.....	8
1.2.2.1. Çerçeve Sistemler	9
1.2.2.2. Perdeli Sistemler.....	11
1.2.2.3. Perde + Çerçeve (Karma) Sistemler	12
1.2.2.4. Tüp Sistemler.....	14
1.2.2.5. Çekirdek Sistemler	14
1.3. Taşıyıcı Sistem Seçiminde Yapılan Bazı Hatalar	15
1.3.1. Planda Düzensizlik Durumları.....	15
1.3.1.1. Burulma Düzensizliği (A1 Türü Düzensizlik).....	15
1.3.1.2. Döşeme Süreksizlikleri (A2 Türü Düzensizlik)	18
1.3.1.3. Planda Çıkıntılar Bulunması (A3 Türü Düzensizlik)	19
1.3.2. Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları	21
1.3.2.1. Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği Durumu (Zayıf Kat) (B1 Türü Düzensizlik)	21
1.3.2.2. Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği Durumu (Yumuşak Kat) (B1 Türü Düzensizlik)	23

1.3.2.3.	Taşıyıcı Sistem Düşey Elemanlarının Süreksizliği (B3 Türü Düzensizlik)	24
1.4.	Kısa Kolon Oluşumu	27
1.4.1.	Kısa Kolon Davranışı	27
1.4.2.	Aynı Kattaki Farklı Uzunluktaki Kolonlar	30
1.4.3.	Bant Pencereleer ile Oluşan Kısa Kolonlar	32
1.5.	Konu ile İlgili Daha Önce Yapılan Çalışmalar	36
1.6.	Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	41
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	43
2.1.	Deneyisel Çalışmalar	43
2.1.1.	Deney Elemanları ve Özellikleri	43
2.1.1.1.	DE-1 Numaralı Deney Elemanı	48
2.1.1.2.	DE-2 Numaralı Deney Elemanı	48
2.1.1.3.	DE-3 Numaralı Deney Elemanı	49
2.1.1.4.	DE-4 Numaralı Deney Elemanı	51
2.1.1.5.	DE-5 Numaralı Deney Elemanı	51
2.1.2.	Deneylerde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri	52
2.1.2.1.	Agrega Özellikleri	52
2.1.2.2.	Çimento Su ve Katkı Maddelerinin Özellikleri	53
2.1.2.3.	Donatı Özellikleri	54
2.1.2.4.	Deney Elemanlarında Kullanılacak Beton Karışımının Belirlenmesi	56
2.1.3.	Deney Elemanlarının Üretimi ve Deney Düzeneği	58
2.1.3.1.	Deney Elemanlarının Üretimi	58
2.1.3.2.	Kanat Dolgu Duvarların Üretimi	62
2.1.3.3.	Deney Elemanlarında Kullanılan Betonların Özellikleri	65
2.1.4.	Deney Düzeneği	67
2.1.4.1.	Ölçüm Sistemi ve Kullanılan Aletler	71
2.1.4.2.	Deney Elemanlarına Uygulanan Yatay Yük	75
2.1.5.	Ölçümlerin Değerlendirilmesi	75
2.1.5.1.	Yük Yerdeğiştirme Grafiklerinin Elde Edilmesi	75
2.1.5.2.	Dayanım Zarfı Grafiklerinin Elde Edilmesi	76
2.1.5.3.	Rijitliklerin Hesabı	76
2.1.5.4.	Enerji Tüketme Kapasitelerinin Hesabı	77
2.2.	Analitik Çalışmalar	78

2.2.1.	Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Doğrusal Olmayan Analiz.....	78
2.2.1.2.	Eleman Tipleri ve Malzeme Özellikleri	78
2.2.1.3.	Modelleme	84
2.2.1.4.	Sonlu Elemanlara Ayırma	88
2.2.1.5.	Analiz	89
3.	BULGULAR VE İRDELEMELER	90
3.1.	DE-1 Numaralı Deney Elemanı	90
3.2.	DE-2 Numaralı Deney Elemanı	95
3.3.	DE-3 Numaralı Deney Elemanı	99
3.4.	DE-4 Numaralı Deney Elemanı	104
3.5.	DE-5 Numaralı Deney Elemanı	110
3.6.	Sonlu Elemanlar Analizi ile Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması	117
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	136
5.	KAYNAKLAR.....	138
	ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans

ÖZET

MEVCUT BETONARME YAPILARDA KISA KOLON DAVRANIŞLARININ
İYİLEŞTİRİLMESİ

Serhat DEMİR

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Metin HÜSEM
2013, 142 Sayfa

Ülkemizdeki yapıların önemli bir bölümünde, bodrum katı dış duvarlarında havalandırma ve ışık ihtiyacını gidermek amacıyla, projede tasarlanmamış olsa dahi, uygulamada bant pencere boşlukları bırakılmaktadır. Bu bant pencereler kolonların serbest yüksekliğini kısıtlamakta ve yatay deprem kuvvetleri etkisinde “kısa kolon” davranışına neden olmaktadır. Yaşanan depremlerde bodrum kat betonarme perdelerinde kısa kolon oluşumu nedeniyle tamamen göçmüş veya kullanılamayacak duruma gelmiş çok sayıda yapı gözlenmiştir. Günümüzde mevcut birçok yapının da benzer karakteristik özellikler gösterdiği, dolayısıyla gelecekte oluşabilecek depremlerde bu yapıların göçme riski taşıdığı bilinmektedir.

Bu çalışmada, bodrum katı betonarme perde duvarlarında yüksekliğin 1/4' ü kadar bırakılan bant pencere ve havalandırma boşluklarının oluşturduğu kısa kolon etkisini azaltacak pencere boyutunun araştırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, betonarme perdedeki pencere boşluğu, açıklığın 0.25 katı ve 0.375 katı betonarme kanat dolgu duvarlar kullanılarak güçlendirilmiş ve böylece kısa kolon etkisinin en az olduğu pencere boyutu deneysel olarak araştırılmıştır. Bant tipi pencereler nedeniyle oluşan kısa kolon etkisini iyileştirmek amacıyla, betonarme kanat duvarlar yerine çelik profillerle kanat duvarlar yapılarak, bilgisayar ortamında analitik olarak davranışları araştırılmış, betonarme kanat dolgu duvar ilaveli deney elemanından elde edilen deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Yapılan çalışmalardan elde edilen bulguların irdelenmesinden, bant pencere boşluklarının betonarme kanat dolgu duvarlarla güçlendirilmesinin, kısa kolon davranışını önemli oranda iyileştirdiği, çelik profillerle yapılan kanat duvarların ise betonarme kanat dolgu duvarları kadar etkili olabileceğini, ancak çelik profillerle yapılan güçlendirmede, açıklığın 0.25 katından daha büyük kanat duvarın çok etkili olmadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kısa kolon, Bant pencere, Betonarme perde, ANSYS.

Master Thesis

SUMMARY

STRENGTHENING THE SHORT COLUMN BEHAVIORS OF EXISTING REINFORCED
CONCRETE STRUCTURES

Serhat DEMIR

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Metin HÜSEM
2013, 142 Pages

In the important percentage of the RC framed buildings in our country, band windows are commonly used for the purpose of ventilation and lighting, in spite of they are not considered at design stage. These applications restrict the lengths of the columns and leads to short column behavior under the horizontal seismic forces. Because of the short column effect, considerable amount of buildings have been collapsed or seriously damaged after the important earthquakes have been occurred. Currently, it is well known that, there are a lot of buildings which have similar characteristic properties, and have collapsing risk, in case an earthquake may happen in the future.

In this study, it has been aimed that the investigation of windows' dimension which decreases short column effect caused by basement floor band windows with the height of 1/4 of shear walls' height. For this purpose, band window space at the shear walls are strengthened with RC brick elements, which are 0.25 and 0.375 times of the span, thus, the dimensions of the band window which the short column effect is minimum was experimentally investigated. To strengthen the short column effect caused by the band windows, test models were modeled using steel profiles instead of RC brick elements to investigate their behaviors analytically, and experimental and analytical results were compared.

The evaluation findings from experimental and analytical studies showed the strengthening of band window spaces using RC brick elements decreased the short column effect. Besides, the strengthening of that using steel profiles were effective as well. However, when more than 0.25 times of span, strengthening with steel profiles wasn't so effective.

Key Words: Short Column, Band Window, Shear Wall, ANSYS.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Türkiye deprem haritası	2
Şekil 2.	İstem sunum ilişkileri	4
Şekil 3.	Performans düzeyleri ve performans bölgeleri.....	5
Şekil 4.	Çerçevelerde görelî kat ötelenmesi.....	7
Şekil 5.	Betonarme yapılarda plastik mafsal.....	8
Şekil 6.	Betonarme yapıların yüksekliklerine göre tercih edilen taşıyıcı sistemler	9
Şekil 7.	Çerçeve sistemlerin davranışı	10
Şekil 8.	Kolonların kirişlerden güçlü olması koşulu.....	11
Şekil 9.	Eğilme davranışı gösteren düzlem perde	12
Şekil 10.	Perde-çerçeve etkileşimi	13
Şekil 11.	Farklı Taşıyıcı sistemlerin tepe deplasmanlarının karşılaştırılması.....	13
Şekil 12.	Çeşitli tûp sistem planı örnekleri	14
Şekil 13.	Çekirdek sistemlere örnekler	14
Şekil 14.	Burulma düzensizliğı durumu.....	16
Şekil 15.	1976 Guatemala depreminde burulma hasarı görmüş bir otel binası	17
Şekil 16.	17 ağustos depreminde burulma nedeni ile ağır hasar almış bir yapı.....	18
Şekil 17.	Döşeme süreksizliğı durumu	19
Şekil 18.	Planda çıkıntılarının bulunması durumu.....	20
Şekil 19.	L tipi plana sahip bir yapıda A3 düzensizliğı nedeni ile oluşan hasarlar	20
Şekil 20.	Deprem derzi olmayan bir yapıda A3 düzensizliğı nedeni ile oluşan hasarlar.....	21
Şekil 21.	Çerçeve sistemlerde dolgu duvar süreksizliklerinden ötürü meydana gelen zayıf kat oluşumu	22
Şekil 22.	Zemin katta görülen yumuşak kat oluşumu.....	23

Şekil 23.	Binaların giriş katlarında meydana gelen büyük yatay yer değiştirmeler neticesinde oluşan yumuşak kat hasarları.....	24
Şekil 24.	Taşıyıcı düşey sistem elemanlarındaki süreksizlikler.....	25
Şekil 25.	Alt kattaki kolonun üzerine oturmuş bir perde	25
Şekil 26.	Kullanım alanı açmak için kesilen kolonlar	26
Şekil 27.	Üst katlara çıktıkça artan kolon boyutları.....	26
Şekil 28.	Boyu yarıya indirilmiş bir kolona etkiyen kesme kuvveti.....	28
Şekil 29.	Kısa kolonlar için enine donatı düzenlemesi	30
Şekil 30.	a) Eğimli arazi nedeni ile kısa kolon oluşumu, b) Asma kat, c) Ara sahanlık	31
Şekil 31.	Asma kat nedeni ile oluşan kısa kolon hasarları.....	31
Şekil 32.	Merdiven ara sahanlığında oluşan kısa kolon hasarları	32
Şekil 33.	a) Bodrum katta betonarme perde duvar üzerine bırakılan bant pencere , b) Sanayi binalarında tuğla duvar üzerine bırakılan bant pencere nedeni ile kısa kolon oluşumu	33
Şekil 34.	Parapet duvarlar nedeni ile oluşan kısa kolon hasarı.....	34
Şekil 35.	Bodrum kat dış perde duvarında bırakılan bant pencere nedeni ile oluşan kısa kolon hasarları	34
Şekil 36.	Bant pencere nedeni ile oluşan kısa kolon kırılmaları.....	35
Şekil 37.	Ankara, İstanbul, Konya ve Eskişehir’ deki kısa kolon bulunan binalar.....	35
Şekil 38.	Deney modelinin genel görünümü.....	44
Şekil 39.	Temel sisteminin plan, boykesit ve enkesit detayları	45
Şekil 40.	Temel sisteminden bir görünüm	46
Şekil 41.	Deney elemanlarının boykesit ve enkesit detayları	47
Şekil 42.	DE-1 numaralı deney elemanı ve donatısı	48
Şekil 43.	DE-2 numaralı deney elemanı ve donatısı.....	49
Şekil 44.	DE-3 numaralı deney elemanı ve donatısı.....	50
Şekil 45.	İlave kanat duvar donatı detayı.....	50
Şekil 46.	DE-4 numaralı deney elemanı ve donatısı.....	51

Şekil 47.	DE-5 numaralı deney elemanı ve donatısı.....	52
Şekil 48.	600 kN kapasiteli universal deney aleti	54
Şekil 49.	8 mm çapında düz donatının gerilme-birim şekildeğiştirme diyagramı	55
Şekil 50.	8 mm çapında nervürlü donatının gerilme-birim şekildeğiştirme diyagramı .	55
Şekil 51.	14 mm çapında nervürlü donatının gerilme-birim şekildeğiştirme diyagramı	56
Şekil 52.	Basınç deneylerinde kullanılan 2500 kN kapasiteli deney aleti	57
Şekil 53.	Deney elemanlarının temel sistemi, kolon-perde duvar donatıları ve ankraj delikleri	58
Şekil 54.	Deney elemanı temel sistemi betonunun dökümü	59
Şekil 55.	Kolon kiriş ve perde duvar kalıplarının yapılması	59
Şekil 56.	Kiriş donatıları ve kiriş içinde bırakılan kanalların görünüşleri	60
Şekil 57.	Üretilen deney elemanlarından bazı görünüşler	61
Şekil 58.	Ankraj çubuklarının yerleştirilmesi	63
Şekil 59.	Deney elemanlarında ilave kanat duvar uç elemanları ve donatısı.....	64
Şekil 60.	Kanat duvarlarına beton dökümünün şematik gösterimi	64
Şekil 61.	Kanat duvar ilave edilmiş bazı deney elemanları	65
Şekil 62.	Standart silindir numuneler üzerinde yapılan basınç deneyi	66
Şekil 63.	Üretilen betonların gerilme-birim şekildeğiştirme eğrileri.....	66
Şekil 64.	Yükleme sistemi	68
Şekil 65.	Sistemin yatay doğrultudaki hareketine izin veren rulmanlar	69
Şekil 66.	Kiriş içinde açılmış 30 mm çapındaki 4 adet kanal	70
Şekil 67.	Deneye hazır hale getirilmiş bir deney elemanı	70
Şekil 68.	Hidrolik silindir (Actuator).....	71
Şekil 69.	Hidrolik silindirin ucuna yerleştirilen yük hücresi (Loadcell).....	72
Şekil 70.	Deneylerde kullanılan LPDT' ler ve tıraşlanmış donatı yüzeyine yapıştırılmış bir şekildeğiştirme ölçeri (Strain gauge)	73
Şekil 71.	Deney düzeneği ve ölçüm sistemi	73

Şekil 72.	16 kanallı CODA Ai8b veri toplama cihazı.....	74
Şekil 73.	İki yönlü giderek artan yerdeğiştirme çevrimleri	75
Şekil 74.	Deney elemanlarının rijitlik değerlerinin belirlenmesi.....	76
Şekil 75.	Toplam tüketilen enerji değerlerinin elde edilmesi	77
Şekil 76.	a) SOLID65 elemanı geometrisi, b) LINK180 çubuk elemanı geometrisi.....	79
Şekil 77.	Hognestad modeline göre betonun σ - ϵ grafiği.....	80
Şekil 78.	Sonlu eleman modellerinde kullanılan betonun σ - ϵ grafiği.....	80
Şekil 79.	Donatılar ve çelik profiller için bilineer kinematik pekleşmeli plastisite modeli.	82
Şekil 80.	Kiriş ve perdede yayılı, kolonda ise ayrık donatı modellemesi.....	84
Şekil 81.	Kolon kiriş birleşim bölgelerindeki ağırlıkların modellenmesi.....	85
Şekil 82.	U100 profilinden yapılan çerçeve ve U50 profilinden yapılan diyagonaller ile oluşturulmuş çelik güçlendirme elemanı	86
Şekil 83.	AN-2 numaralı modelin önden görünümü.....	87
Şekil 84.	AN-3 numaralı modelin önden görünümü.....	87
Şekil 85.	AN-4 numaralı modelin önden görünümü.....	88
Şekil 86.	Newton-Raphson yöntemi ile doğrusal olmayan analiz adımları.....	89
Şekil 87.	DE-1 numaralı deney elemanın iki yönlü çevrimsel yükleme deneyi.....	91
Şekil 88.	İlk olarak kolon kiriş birleşim bölgesinde meydana gelen eğilme çatlakları .	91
Şekil 89.	Kolon boyunca çatlak yayılımı	92
Şekil 90.	Kolon-kiriş ve kolon-temel birleşim bölgelerinde oluşan mafsallaşmalar	92
Şekil 91.	DE-1 numaralı deney elemanına ait yük-yerdeğiştirme eğrileri.....	93
Şekil 92.	DE-1 numaralı deney elemanına ait dayanım zarfı grafiği.....	93
Şekil 93.	DE-1 numaralı deney elemanının ait rijitlik-ötelenme oranı grafiği	94
Şekil 94.	DE-1 numaralı deney elemanının toplam tüketilen enerji-ötelenme oranı grafiği	94
Şekil 95.	Diyagonal doğrultuda oluşan ilk çatlaklar	95
Şekil 96.	Yükleme boyunca kolonlarda oluşan diyagonal çatlaklar	96

Şekil 97.	Kolonlarda oluşan nihai hasarlar	96
Şekil 98.	DE-2 numaralı deney elemanına ait yük-yerdeğiştirme eğrileri.....	97
Şekil 99.	DE-2 numaralı deney elemanına ait dayanım zarfı grafiği.....	97
Şekil 100.	DE-2 numaralı deney elemanının rijitlik-ötelenme oranı grafiği.....	98
Şekil 101.	DE-2 numaralı deney elemanının toplam tüketilen enerji grafiği.....	98
Şekil 102.	0.25H bant pencere ve 0.25L kanat dolgu duvar ilaveli DE-3 numaralı deney elemanı	99
Şekil 103.	Perde ile kanat duvar birleşiminde meydana gelen ilk çatlak.....	100
Şekil 104.	240 kN yük seviyesinde kolonun perdeyle birleşen yüzünde yoğunlaşan kesme çatlakları ile kiriş, perde ve kanat duvarda meydana gelen hasarlar .	100
Şekil 105.	Maksimum yükün % 85' ine gelindiğinde (göçme anı) kolonda meydana gelen hasarlar.....	101
Şekil 106.	Nihai durumda mevcut perdede meydana gelen hasarlar	101
Şekil 107.	Kolon ön yüzünde meydana gelen eğilme çatlakları	102
Şekil 108.	DE-3 numaralı deney elemanına ait yük-yerdeğiştirme eğrileri.....	102
Şekil 109.	DE-3 numaralı deney elemanına ait dayanım zarfı grafiği.....	103
Şekil 110.	DE-3 numaralı deney elemanının rijitlik-ötelenme oranı grafiği	103
Şekil 111.	DE-3 numaralı deney elemanının toplam tükettiği enerji-ötelenme oranı grafiği	104
Şekil 112.	Bant pencere genişliği 0.25 ve her iki tarafta kanat dolgu duvar genişliği 0.375L olan DE-4 numaralı deney elemanı.....	105
Şekil 113.	Kanat dolgu duvarın kiriş ve perdeden (alt ve üstten) ayrılması	105
Şekil 114.	Mevcut perde duvarda oluşan çatlaklar	106
Şekil 115.	Kolon kiriş ve perdede yoğunlaşan çatlaklar	107
Şekil 116.	Test sonrasındaki hasar durumu.....	107
Şekil 117.	DE-4 numaralı deney elemanına ait yük-şekildeğiştirme eğrileri.....	108
Şekil 118.	DE-4 numaralı deney elemanına ait dayanım zarfı grafiği	108
Şekil 119.	DE-4 numaralı deney elemanının rijitlik ötelenme oranı grafiği.....	109
Şekil 120.	DE-4 numaralı deney elemanına ait toplam tükettiği enerji grafiği.....	109

Şekil 121.	Açıklığın tamamı betonarme perde kullanılarak üretilen DE-5 numaralı deney elemanı	110
Şekil 122.	Betonarme perdede nihai durumdaki hasarlar.....	111
Şekil 123.	DE-5 numaralı deney elemanına ait yük-yerdeğiştirme eğrileri	112
Şekil 124.	DE-5 numaralı deney elemanına ait dayanım zarfı grafiği	112
Şekil 125.	DE-5 numaralı deney elemanının rijitlik-ötelenme oranı grafiği	113
Şekil 126.	DE-5 numaralı deney elemanına ait toplam tüketilen enerji grafiği.....	113
Şekil 127.	Deney elemanlarına ait dayanım zarfı eğrilerinin karşılaştırılması	115
Şekil 128.	Deney elemanlarına ait enerji tüketme kapasitelerinin karşılaştırılması	116
Şekil 129.	Kolon donatılarındaki çevrimsel yük –birim şekildeğiştirme diyagramları	117
Şekil 130.	AN-2 ve DE-2 elemanlarına ait yatay yük- yerdeğiştirme eğrileri.....	118
Şekil 131.	AN-3 ve DE-3 elemanlarına ait yatay yük- yerdeğiştirme eğrileri.....	118
Şekil 132.	AN-4 ve DE-4 elemanlarına ait yatay yük- yerdeğiştirme eğrileri.....	119
Şekil 133.	AN-2 numaralı elemanın analiz sonundaki x yönü yerdeğiştirmeleri	120
Şekil 134.	AN-3 numaralı elemanın analiz sonundaki x yönü yerdeğiştirmeleri	121
Şekil 135.	AN-4 numaralı elemanın analiz sonundaki x yönü yerdeğiştirmeleri	121
Şekil 136.	Meydana gelen asal gerilme vektörleri.....	122
Şekil 137.	AN-2 elemanında 0.7 mm' lik deplasmanda meydana gelen asal gerilme vektörleri.....	123
Şekil 138.	AN-3 elemanında 0.6 mm' lik deplasmanda meydana gelen asal gerilme vektörleri.....	124
Şekil 139.	AN-4 elemanında 0.5 mm' lik deplasmanda meydana gelen asal gerilme vektörleri.....	125
Şekil 140.	AN-2 elemanında analiz sonunda meydana gelen asal gerilme vektörleri...	126
Şekil 141.	AN-3 elemanında analiz sonunda meydana gelen asal gerilme vektörleri...	127
Şekil 142.	AN-4 elemanında analiz sonunda meydana gelen asal gerilme vektörleri...	128
Şekil 143.	AN-2 elemanında 0.7 mm deplasmanında meydana gelen çatlaklar.....	130
Şekil 144.	AN-3 elemanında 0.6 mm deplasmanda meydana gelen çatlaklar.....	131
Şekil 145.	AN-4 elemanında 0.5 mm deplasmanda meydana gelen çatlaklar.....	132

Şekil 146.	AN-2 elemanında nihai durumdaki çatlaklar.....	133
Şekil 147.	AN-3 elemanında nihai durumdaki çatlaklar.....	134
Şekil 148.	AN-4 elemanında nihai durumdaki çatlaklar.....	135

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.	Binalar için öngörülen minimum performans hedefleri.....	5
Tablo 2.	Deney elemanları	44
Tablo 3.	Beton üretiminde kullanılan agregaların fiziksel özellikleri.....	53
Tablo 4.	Agreganın granülometrik bileşimi	53
Tablo 5.	Beton üretiminde kullanılan çimentoların bazı özellikleri.....	54
Tablo 6.	Deney elemanlarının üretiminde kullanılan donatıların mekanik özellikleri	56
Tablo 7.	Betonların karışım oranları (1 m ³)	57
Tablo 8.	Üretilen betonların basınç dayanımları ve elastisite modülleri.....	67
Tablo 9.	Modellerde kullanılan eleman tipleri ve malzeme özellikleri.....	83
Tablo 10.	Test sonuçları	114

SİMGELER DİZİNİ

A_b	: Boşluk alanları toplamı
A_g	: Kolon göbek alanı
A_w	: Kolon enkesiti etkin gövde alanı
A_{wf}	: Kesme sürtünmesi donatısı alanı
BKIN	: Bilineer kinematik pekleşmeli plastisite
CK	: Can güvenliği performan düzeyi
d_i	: Binanın i. katındaki herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yatay yer değiştirme
E	: Elastisite modülü
E_c	: Betonun elastisite modülü
F	: Birim yanal deplasman için gerekli kuvvet
f_c	: Tek eksenli basınç dayanımı
f_{cb}	: İki eksenli basınç dayanımı
f_{cd}	: Beton hesap dayanımı
f_{ck}	: Betonun karakteristik basınç dayanımı
f_d	: Tasarım dayanımı
f_e	: Depremin binadan elastik dayanım talebi
f_t	: Tek eksenli çekme dayanımı
f_y	: Binanın gerçek dayanım sunumu
f_1	: Hidrostatik gerilme durumuna eklenecek olan iki eksenli basınç durumu için basınç dayanımı
f_2	: Hidrostatik gerilme durumuna eklenecek olan tek eksenli basınç durumu için basınç dayanımı
GÖ	: Göçme öncesi performans düzeyi
h	: Bant pencere yüksekliği
H	: Çerçeve yüksekliği
h_i	: i. katın yüksekliği
HK	: Hemen kullanım performans düzeyi
I	: Atalet momenti
k	: Rijitlik
L	: Bant pencere genişliği

L	: Çerçeve genişliği
l_n	: Kısa kolonun boyu
LPDT	: Doğrusal potansiyometrik cetvel
M	: Kolona etkiyen moment
M_a	: Kısa kolonun üst ucundaki kapasite momenti
$M_{\bar{u}}$: Kısa kolonun alt ucundaki kapasite momenti
M_y	: Plastik mafsalda moment
MISO	: Multilineer izotropik pekleşmeli plastisite
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
u	: Birim yanal deplasman
V	: Kolona etkiyen kesme kuvveti
V_e	: Enine donatı hesabında esas alınacak kesme kuvveti
V_r	: Kolon kesitinin kesme dayanımı
α_s	: Boyut oranı
β_c	: Kapalı çatlaklar için kayma transfer katsayısı
β_t	: Açık çatlaklar için kayma transfer katsayısı
δ	: Kat yerdeğiştirme
δ_i	: Binanın i. katındaki kolon veya perdeler için etkin görelî kat ötelenmesi
ε	: Birim şekildeğiştirme
ε_c	: Betondaki birim şekildeğiştirme
ε_{co}	: Betonda en büyük gerilme altındaki birim şekildeğiştirme
ε_{cu}	: Nihai durumda betondaki birim şekildeğiştirme
η_{bi}	: Burulma düzensizliği katsayısı
η_{ci}	: Dayanım Düzensizliği Katsayısı
η_{ki}	: Rijitlik Düzensizliği Katsayısı
σ_c	: Betondaki basınç gerilmesi
σ_h^a	: Ortamdaki hidrostatik gerilme durumu
\emptyset	: Donatı çapı
Δ_i	: Ardışık iki kat arasındaki yatay yer değiştirme farkını ifade eden azaltılmış görelî kat ötelenmesi
$(\Delta_i)_{max}$: Binanın i. katındaki maksimum görelî kat ötelenmesi
$(\Delta_i)_{min}$: Binanın i. katındaki ortalama görelî kat ötelenmesi
$(\Delta_i)_{ort}$: Binanın i.katındaki ortalama görelî kat ötelenmesi

- $\sum A_e$: Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusunda etkili kesme alanı
- $\sum A_g$: Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamı
- $\sum A_k$: Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel kargir dolgu duvar alanlarının toplamını
- $\sum A_w$: Herhangi bir katta, kolon enkesiti etkin gövde alanları A_w 'ların toplamı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İnşaat mühendisliği için en önemli doğal afetlerden birisi olan depremler, yapılarda ağır hasarlara neden olabileceği gibi tamamen göçmelerine de neden olabilmektedir. Dolayısıyla da, depreme dayanıklı yapı tasarımı için yapıların davranışlarının iyi bilinmesi son derece önemlidir.

Yapılardaki atalet kuvvetinin kavranması ile birlikte yönetmeliklere dahil edilmeye başlanılan deprem etkisi, zamanla inşaat mühendislerinin, sismoloji ve deprem konularındaki ilerlemeleri ile, yönetmeliklerdeki son halini almıştır. Deprem yönetmelikleri, gelişen teknoloji ve yaşanan depremlerden elde edilen tecrübeler ışığında, güncel uygulamalar ile birleştirildiğinde, bugün depreme dayanıklı yapı yapma imkanının yanı sıra deprem esnasında ve sonrasında da kullanılabilir yapı tasarımına imkan vermektedir. Bunun yanı sıra güncel yönetmeliklere göre incelenen, mevcut yapıların büyük kısmı yetersiz kalmakta ve bu yapıların güçlendirilmesi kaçınılmaz olmaktadır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkelerini esas alan yönetmeliklere göre, az ve orta şiddetli depremlerde onarılabılır hasarların oluşabileceği, yüksek şiddetli depremlerde ise ciddi hasarların oluşabileceği kabul edilmektedir. Ancak her üç durum içinde esas olan can kaybı olmayacak şekilde tasarım yapılmasıdır. Ülkemiz, dünyanın önemli deprem kuşaklarından birinin üzerinde yer almaktadır. Dolayısıyla da bugüne kadar farklı büyüklüklerde bir çok deprem olmuştur, olmaya da devam edecektir. Ülkemizde bulunan yapı stokunun büyük bir çoğunluğunun depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkesine göre yapılmadığı, bugüne kadar meydana gelen depremlerin sonucunda, görülmüştür. Meydana gelen bu depremlerden gözlenen yapı hasarlarının en az % 90' ının mimari ve taşıyıcı sistem seçiminden, donatı detayı hatalarından, kötü malzeme ve denetimsizliklerden kaynaklandığı bilinmektedir. Ülkemizde meydana gelen 1992 yılında Erzincan, 1995 yılında Dinar, 1998 yılında Ceyhan, 1999 yılında Kocaeli, 2003 yılında Bingöl ve 2011 yılında Van depremleri sonucunda binlerce kişi hayatını kaybetmiş, yaralanmış veya sakat kalmıştır. Bunların dışında büyük ekonomik ve sosyal kayıplar meydana gelmiştir. Bu depremlerin büyüklüklerine bakıldığında birçoğunun yönetmeliklere göre çok büyük

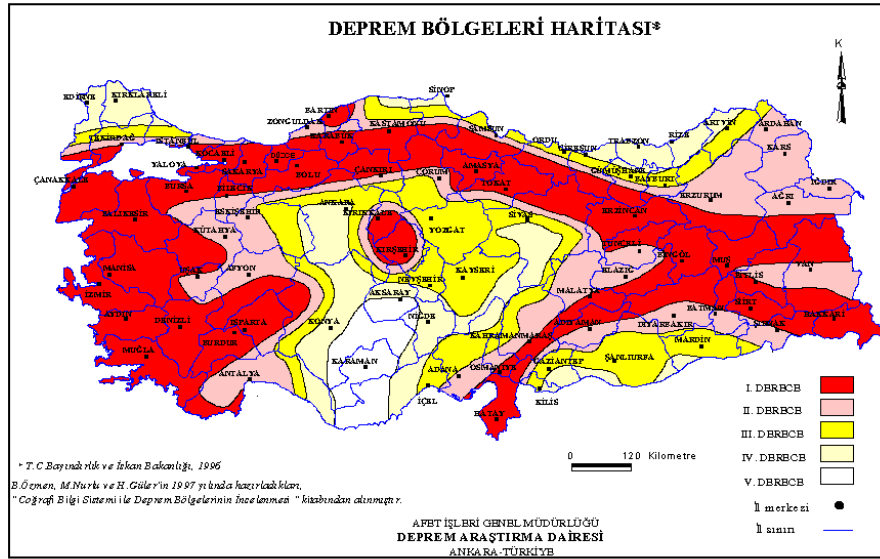
hasara neden olacak depremler olmadığı anlaşılmaktadır. Ancak her depremde büyük hasarlara neden olan hataların bugün az da olsa yapılmaya devam ettiği de görülmektedir.

Çalışmanın bu bölümünde, depreme dayanıklı yapı tasarım ilkesi ve taşıyıcı sistemler, taşıyıcı sistem seçiminde yapılan bazı hatalar, düzensizlik durumları, kısa kolon oluşumu hakkında genel bilgiler, konu ile ilgili literatür araştırması ve çalışmanın amaç ve kapsamı verilmiştir.

1.2. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı İlkeleri ve Taşıyıcı Sistemler

1.2.1. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı İlkeleri

Deprem olabilme riskine göre 5 farklı bölgeye ayrılan ülkemizin % 60-70 gibi büyük bir bölümü 1. ve 2. derece deprem bölgesindedir (Şekil 1).



Şekil 1. Türkiye deprem haritası [1].

Bu bölgelerde meydana gelebilecek depremlerin ne zaman ve ne şiddette olacağı kesin olarak bilinmemekle birlikte 2007 yılında yürürlüğe giren “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik (DBYBHY)”, 50 yılda meydana gelme olasılığı % 50, % 10 ve % 2 olan 3 farklı deprem düzeyi tanımlanmıştır [2]. Bunlar;

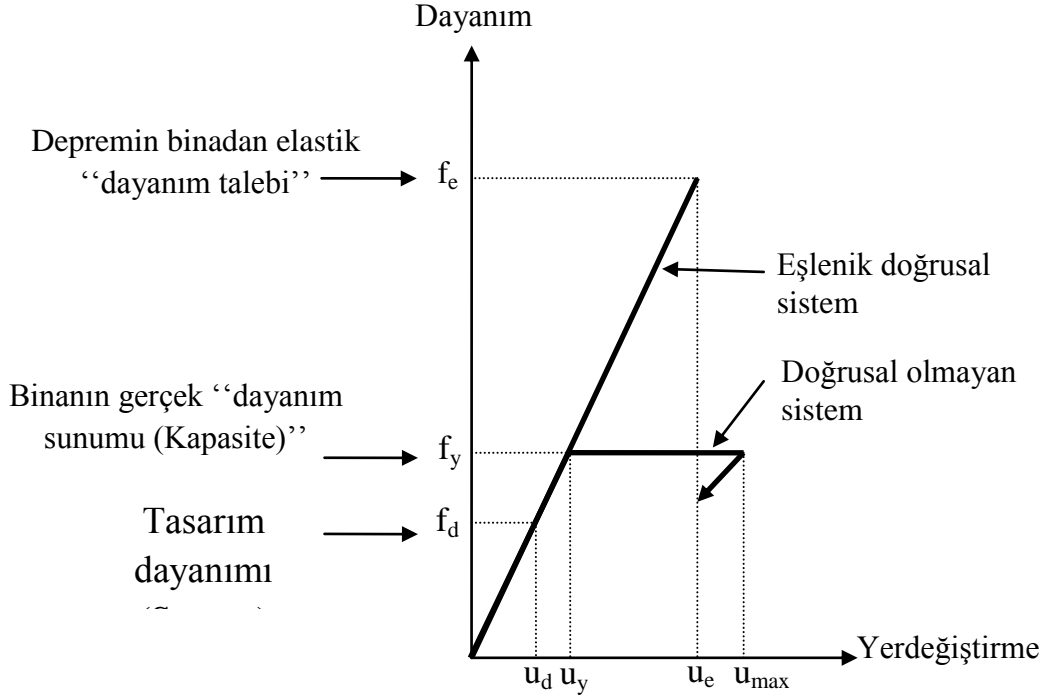
D1 Deprem Düzeyi: Sık meydana gelebilen ancak düşük şiddetli olan bu depremlerin binaların ömürleri boyunca meydana gelme olasılığı fazladır. Bu düzeydeki depremlerin 50 yılda olma olasılığı % 50, tekrar periyodu ise 72 yıldır.

D2 Deprem Düzeyi: Seyrek olarak meydana gelen ve şiddetli yer hareketine sebep olan bu depremlerin binaların servis ömürleri boyunca meydana gelme olasılıkları azdır. Bu depremlerin 50 yılda meydana gelme olasılığı % 10 ve tekrar periyodu 475 yıldır.

D3 Deprem Düzeyi: Binaların maruz kalabileceği en şiddetli depremdir. Ancak çok seyrek meydana gelen bu depremlerin 50 yılda meydana gelme olasılıkları % 2 ve tekrar periyodu 2475 yıldır.

DBYBHY-2007; yeni yapılacak binaların herhangi bir depreme maruz kalması durumunda madde 1.2.1.'de belirtilen performansı sağlamaları gerektiğini belirtmiştir. Bu maddeye göre “yeni yapılacak binaların depreme dayanıklı tasarımının ana ilkesi; hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can güvenliğinin sağlanması amacı ile kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlanması” istenmektedir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkesi, deprem esnasında yapılarda oluşabilecek hasarların sınırlandırılmasını istemiştir. Bu sınırlandırma yapının güvenlik şartını sağlaması şartıyla yapılabilmektedir. Deprem esnasında yapının elastik davranış göstermesi ile yapıda hiçbir hasarın meydana gelmemesi sağlanabilir. Ancak şiddetli depremler etkisinde yapıda elastik davranışı sağlamak ekonomik olmayacaktır. Ayrıca yapıların büyük kısmının servis ömrü boyunca 475 yılda bir olması beklenen şiddetli bir depreme maruz kalmayacağı da bir gerçektir. Bu nedenle madde 1.2.1.'de de belirtildiği gibi yeni yapılan binalarda insanların can güvenliğini sağlamak şartıyla depremlerde taşıyıcı sistemde belirli düzeyde hasara izin verilmektedir. Başka bir deyişle, Şekil 2'de de verildiği gibi, taşıyıcı sistem elemanları doğrusal olmayan davranış gösterecek şekilde tasarlanmalıdır [3].



Şekil 2. İstem sunum ilişkileri [3].

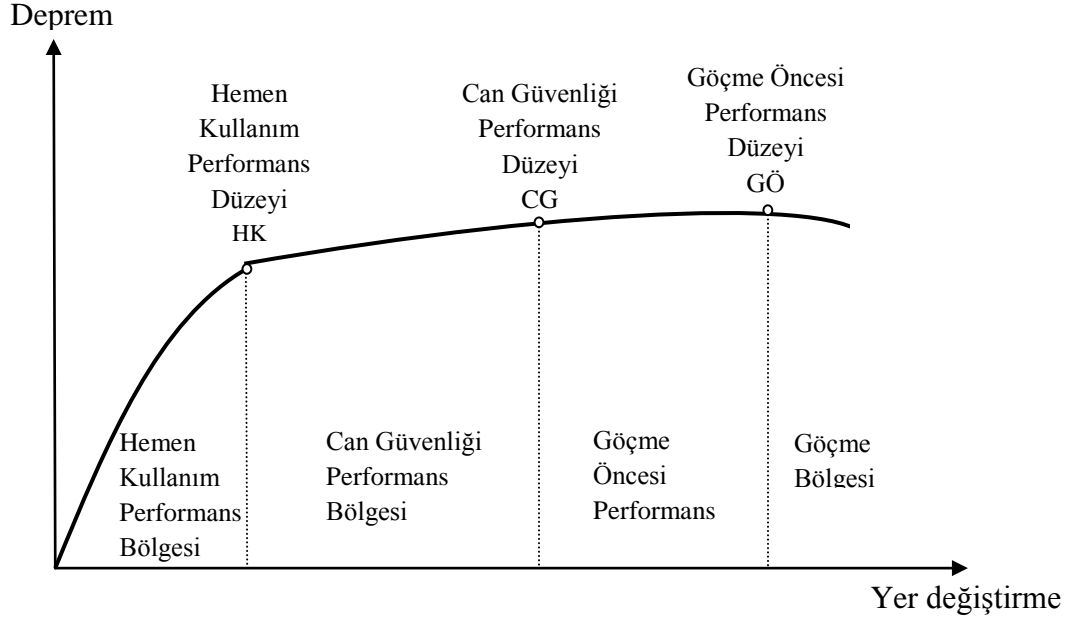
DBYBHY-2007, mevcut binaların ise depreme karşı dayanıklılığının ve güçlendirme gereksiminin belirlenebilmesi için mevcut veya güçlendirilen binalar için 3 ayrı performans düzeyi belirlemiştir. Bu performans düzeyleri aşağıda gösterilmektedir;

Hemen Kullanım Performans Düzeyi (HK): Bu performans düzeyini sağlayan binaların dikkate alınan depreme maruz kalması durumunda yapısal veya yapısal olmayan elemanlarındaki hasarlar çok sınırlı ve hemen onarılabilecek düzeyde kalır. Şekil 3’de de görüldüğü gibi, taşıyıcı sistem davranışı doğrusal bölgeden çok az uzaklaşmaktadır.

Can Güvenliği Performans Düzeyi (CG): Bu performans düzeyini sağlayan binaların dikkate alınan depreme maruz kalması durumunda yapısal veya yapısal olmayan elemanlarındaki hasarlar can güvenliğini riske atmayacak ölçüde sınırlı kalır ve genelde onarılabilecek düzeydedir. Şekil 3’de de görüldüğü gibi, taşıyıcı sistem davranışı doğrusal olmayan bölgede olsa da göçme bölgesinden uzaktır.

Göçme Öncesi Performans Düzeyi (GÖ): Bu performans düzeyindeki binaların dikkate alınan depreme maruz kalması durumunda yapısal ve yapısal olmayan elemanlarında ileri

seviyede hasar meydana gelebilir. Şekil 3' de de görüldüğü gibi taşıyıcı sistem davranışı göçme bölgesine yaklaşmış ancak bina hala göçmemiştir.



Şekil 3. Performans düzeyleri ve performans bölgeleri [2].

DBYBHY-2007 ayrıca binaların performansına göre değerlendirilmesi açısından farklı deprem düzeyleri altında ve binaların kullanım amacı ve/veya türüne göre farklı performans hedefleri belirlemiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Binalar için öngörülen minimum performans hedefleri [2].

Binanın Kullanım Amacı ve Türü	Deprem Aşılma Olasılığı		
	50 yılda % 50	50 yılda % 10	50 yılda % 2
Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar: Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, afet yönetim merkezleri, vb.	-	HK	CG
İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kışlalar, cezaevleri, müzeler, vb.	-	HK	CG
İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri	HK	CG	-
Tehlikeli Madde İçeren Binalar: Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar	-	HK	GÖ
Diğer Binalar: Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, endüstri yapıları, vb.)	-	CG	-

Binaların güvenilir ve ekonomik olarak depreme karşı dayanıklı tasarımı için deprem enerjisinin büyük kısmının taşıyıcı sistemin sünek davranışı ile tüketilmesi gerekmektedir. Bunun için taşıyıcı sistemin; yeterli rijitlik, yeterli süneklik ve yeterli dayanım şartlarını sağlaması gerekmektedir. Esasında rijit bir yapı sünek davranış, sünek bir yapı ise rijit davranış göstermemektedir. Yapıların kullanım amacı ve önemine göre, rijitlik veya süneklikten biri diğerinden daha önemli olabilir. Dolayısıyla yapı gerektiği kadar rijitliğe ve gerektiği kadar sünekliğe sahip olacak şekilde tasarlanmalıdır [4,5,6].

Yeterli rijitlik: Yatay yükler etkisinde yapılarda ikinci mertebe momentlerini mümkün oldukça küçük tutabilmek, yapısal ve yapısal olmayan hasarları en aza indirebilmek için yanal yerdeğiştirmelerin sınırlandırılması gerekmektedir. Yatay yük etkisindeki binalarda yapı rijitliğinin ölçütü, binanın en üst noktasındaki yatay yerdeğiştirme miktarı yerine, bir katın bir alt kata göre yapmış olduğu görelî yatay yerdeğiştirme miktarıdır [6]. Deprem yönetmeliği yatay yük etkisindeki binalarda meydana gelebilecek yer değiştirmeler ile ilgili bazı sınırlamalar getirmiştir. Bunlardan ilki herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yatay yer değiştirme farkını ifade eden azaltılmış görelî kat ötelenmesi Δ_i , d_i , binanın i . katındaki herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yatay yer değiştirmesini göstermek üzere;

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (1)$$

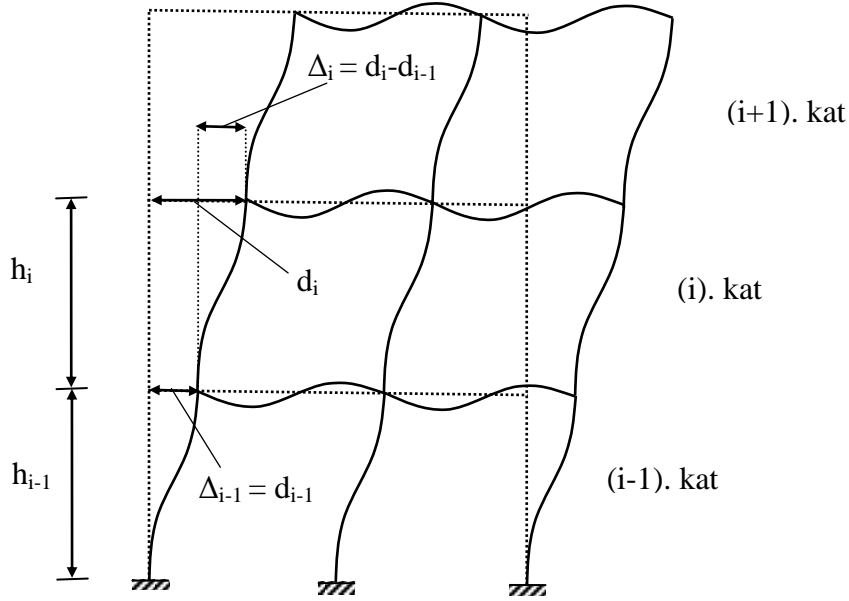
olarak hesaplanmaktadır (Şekil 4). Her bir deprem doğrultusu için, binanın i . katındaki kolon veya perdeler için etkin görelî kat öteleme katsayısı δ_i , R , taşıyıcı sistem davranış katsayısını göstermek üzere;

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

olarak belirlenmektedir. Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir i . katındaki kolon veya perdelerde, hesaplanan δ_i etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri $(\delta_i)_{\max}$, h_i , i . kat yüksekliğini göstermek üzere;

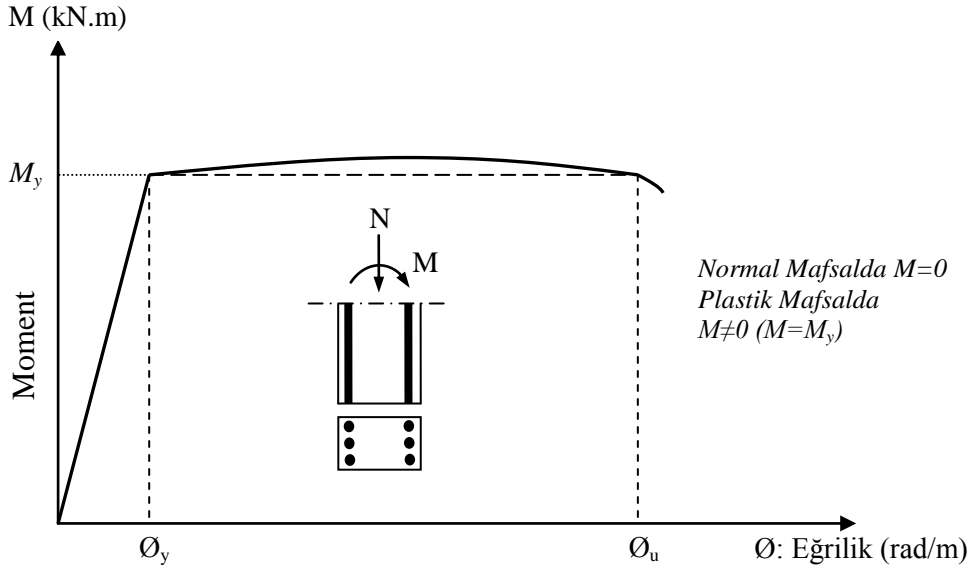
$$\frac{d_{i \max}}{h_i} \leq 0.02 \quad (3)$$

koşulunu sağlamalıdır. Yukarıda verilen koşulun binanın herhangi bir katında sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği artırılarak deprem hesabı tekrarlanmalıdır.



Şekil 4. Çerçevelerde görelî kat ötelenmesi.

Yeterli süneklik: Yeterli süneklikten kasıt, deprem enerjisinin bir kısmını plastik bölgede tüketmeyi amaçlayarak mümkün oldukça ekonomik ama yeterli güvenlikte bir yapı tasarlamaktır. Sünek bir yapıda enerjinin çoğu, yapı elemanlarında oluşacak plastik mafsallarda tüketilmektedir. Plastik mafsallarda kesitte yük artmadığı halde şekildeğişirmelerin devam etmesi olarak tanımlanabilir (Şekil 5) [5]. Büyük şekildeğişirme kapasitesi olan plastik mafsallarda oluşan şekildeğişirmeler nedeniyle, kesit göçme durumuna gelmeden enerjinin büyük bir kısmı tüketilmiş olur [7].



Şekil 5. Betonarme yapılarda plastik mafsalsal [6].

Yeterli dayanım: DBYBHY-2007, yapı elemanlarının kendilerine etkiyen yükler nedeniyle oluşan kesit etkilerini (M, N, V, P) tek başına karşılayabilecek dayanıma sahip olmalarını yeterli görmemektedir. Bu nedenle kapasite tasarımı ilkesini benimsemiştir. Kapasite tasarımı ilkesinde temel amaç, taşıyıcı sistem elemanlarının kesme kırılması ve aksel yük altında ezilme gibi gevrek kırılma göstermelerini engelleyerek taşıma kapasitelerine sünek davranış göstererek ulaşmalarını sağlamaktır. Bu ilkenin sağlanması için gerekli iki koşuldaki ilki kolonların kirişlerden daha güçlü olması sağlanarak enerjinin kirişlerin sünek davranışı ile tüketilmesi, ikincisi ise kesme dayanımı için kritik bölgeden eğilme dayanımına göre daha fazla uzaklaşılması koşuludur. Böylelikle gevrek kesme kırılmasından kaçınılmış olunmaktadır [4,6].

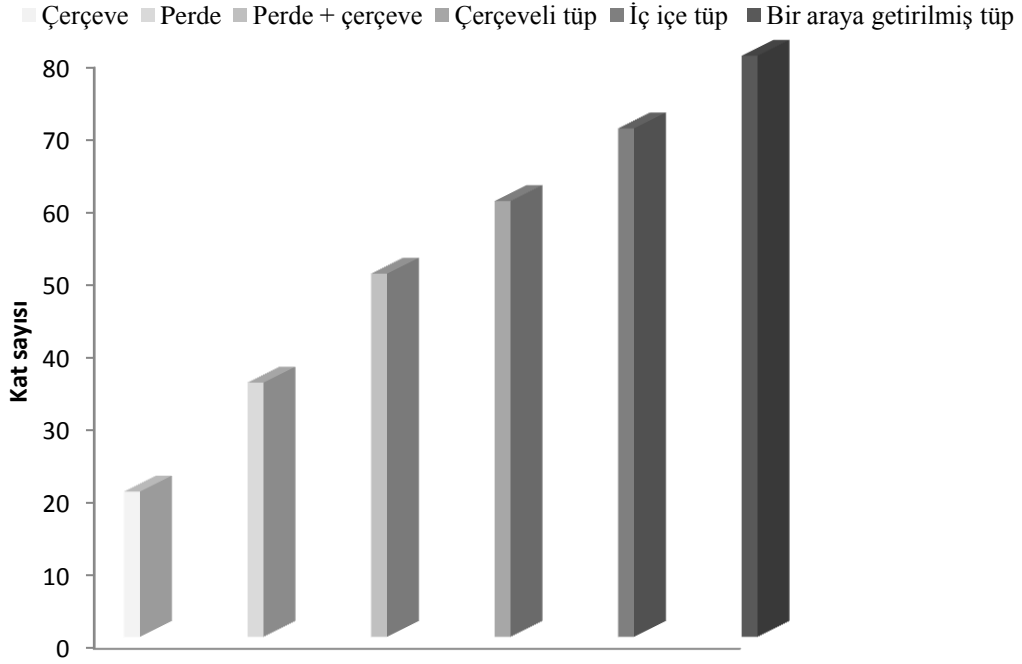
1.2.2. Betonarme Yapılarda Uygulanan Taşıyıcı Sistemler

Ülkemizin çok büyük bir kısmı deprem bölgesindedir. Bu bölgelerde yapılacak olan yapıların taşıyıcı sistem seçiminin doğru yapılması son derece önemlidir. Zira son yaşanan depremlerde de görüldüğü gibi yanlış taşıyıcı sistem tercihleri nedeniyle çok sayıda can ve mal kaybı meydana gelmiştir.

Hizmet ömrü boyunca kendi ağırlığı etkisinde kalacak olan yapılar bazen de yatay yüklere karşı koymak zorunda kalabilir. Bu nedenle taşıyıcı sistem seçiminin yalnız düşey

yüklere göre yapılması istenmemektedir. Yapıya etkiyecek olan yatay yükler, yapının bulunduğu bölgenin depremselliği, yapının yüksekliği ve ağırlığı arttıkça artmaktadır. Belirli bir yükseklikten sonra ise malzeme dayanımlarının ötesinde yapının yatay yer değiştirmeleri de artacağı için taşıyıcı sistemin yatay rijitliği önem kazanmakta ve yatay yer değiştirmelerin sınırlandırılması gerekmektedir. Bunların yanı sıra betonarme yapıların taşıyıcı sistemi yapının kullanım amacı ve inşa edileceği zeminin türüne bağlı olarak da değişiklik gösterebilmektedir. Yapıları oluşturan taşıyıcı sistemler, çerçeve sistemler, perdeli sistemler, perde + çerçeve (Karma) sistemler, tüp sistemler ve çekirdek sistemler olmak üzere 5 grupta incelenebilmektedir.

Bugün ülkemizde ve dünyada gerek ihtiyaç gerekse estetik olarak çok yüksek binalar yapılmaktadır. Bu binaların yüksekliklerine göre tercih edilmesi gereken taşıyıcı sistemler Şekil 6' da gösterilmiştir.

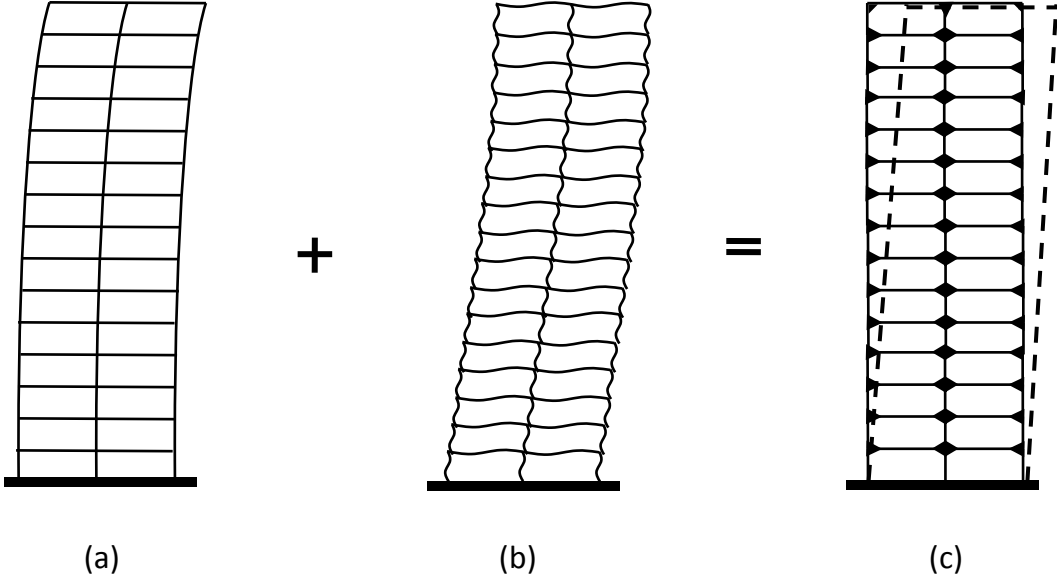


Şekil 6. Betonarme yapıların yüksekliklerine göre tercih edilen taşıyıcı sistemler [8].

1.2.2.1. Çerçeve Sistemler

Birbirine rijit olarak bağlanmış yatayda kiriş ve/veya döşeme, düşeyde ise kolonların bir döküm olarak inşa edilmesi ile oluşan çerçeveler, yatay yüklere karşı dayanımını düğüm noktalarındaki elemanların rijitlikleri ile sağlayan taşıyıcı sistemlerdir [9]. Kayma

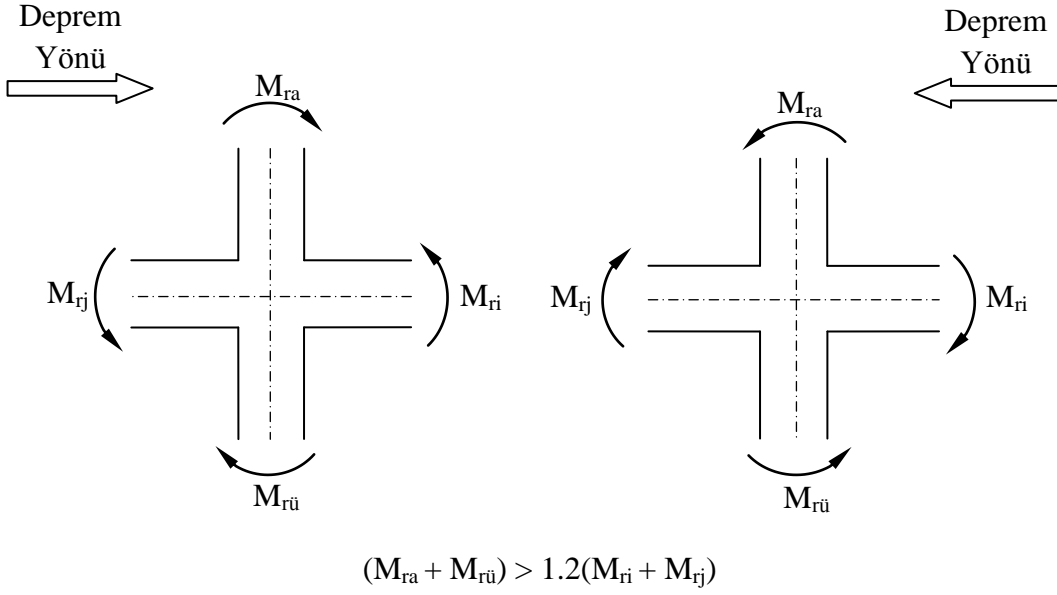
şekildeğiştirmelerinin hakim olduğu bu sistemlerin plastik enerji tüketme kapasiteleri yüksek olup sünek davranış sergilerler. Yatay yük altındaki çerçeve sistemler; konsol eğilmesiyle ve çubuk elemanların eğilmesiyle meydana gelen iki tip yer değiştirme yapmaktadırlar (Şekil 7).



Şekil 7. Çerçeve sistemlerin davranışı a) Konsol eğilmesi, b) Kiriş ve kolonların eğilmesi, c) Çerçeve çalışması [10].

Yatay yük etkisindeki bir çerçevenin toplam şekildeğiştirmesi, konsol eğilmesinden oluşan şekildeğiştirmeler ile, kesme ya da çerçeve ötelenmesi olarak bilinen, kiriş ve kolonların eğilmesinden oluşan şekildeğiştirmelerin süperpozisyonu ile elde edilmektedir [10]. En büyük yatay yerdeğiştirme, en üst katta oluşurken en büyük zorlanmalar en alt katta oluşmaktadır.

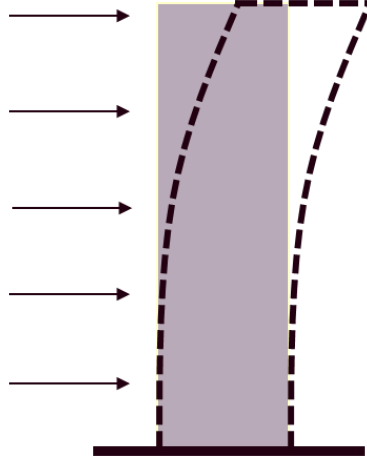
Deprem yüklerine göre tasarımı yapılan betonarme çerçevesiz sistemlerde kolonların kirişlerden daha güçlü olması gerekmektedir. Bu “kuvvetli kolon zayıf kiriş” teorisi olarak bilinmektedir [11]. DBYBHY-2007’ de kolonların kirişlerden güçlü olması koşulu, “Sadece çerçevelerden veya perde ve çerçevelerin birleşiminden oluşan taşıyıcı sistemlerde, her bir kolon - kiriş düğüm noktasına birleşen kolonların taşıma gücü momentlerinin toplamı, o düğüm noktasına birleşen kirişlerin kolon yüzündeki kesitlerindeki taşıma gücü momentleri toplamından en az %20 daha büyük olması” olarak tanımlanmaktadır (Şekil 8).



Şekil 8. Kolonların kirişlerden güçlü olması koşulu [2].

1.2.2.2. Perdeli Sistemler

Taşıyıcı sistem seçiminde yapı yüksekliği ile birlikte artan yatay yer değiştirmeler etkin rol oynamaktadır. Çerçeve sistemli yapılar belirli bir yükseklikten sonra artan yer değiştirmeler ve ikinci mertebe etkileri ile birlikte yatay yüklerin taşınmasında yetersiz kalmaktadırlar. Artan yanal yükleri karşılamak ve artan ötelenmeleri sınırlamak için kolon enkesitlerini artırmak yerine perde duvarlar kullanmak daha ekonomik olmaktadır. Bu durumda yapı taşıyıcı sistemleri birbirine paralel ve çeşitli doğrultularda yatay yüklere karşı rijitlik sağlayan ve düşey yük taşıyan perde duvarlardan oluşturulmaktadır [9]. Yapıların rijitlik ve dayanımlarını artırmak ve yanal ötelenmelerini sınırlandırmak için kullanılan perdeler konsol şeklinde çalışan elemanlardır ve davranışlarına eğilme hakimdir (Şekil 9). Perde duvarlar büyük yatay yükler karşısında elastik davranış sergilemektedirler. Ancak elastik sınırlar aşılsa perde duvarlarda ani kırılmalar oluşabilmektedir [12].

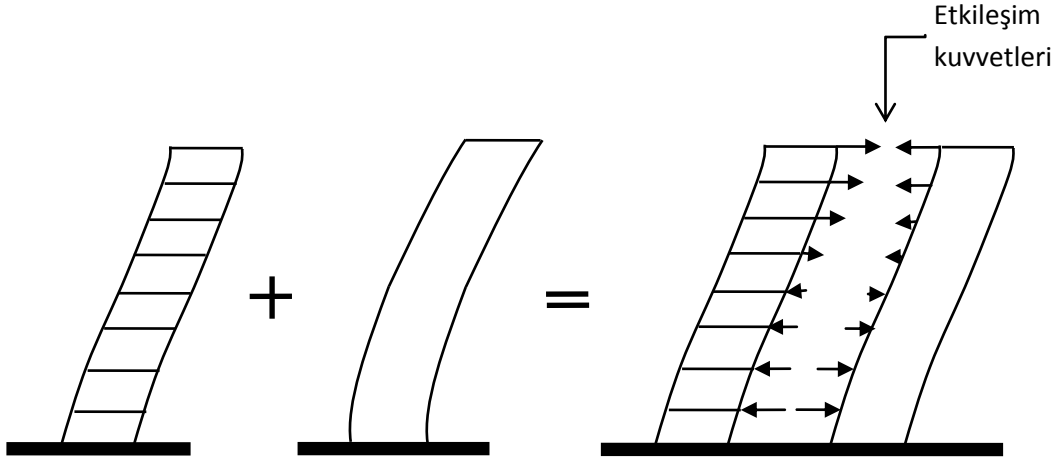


Şekil 9. Eğilme davranışı gösteren düzlem perde.

1.2.2.3. Perde + Çerçeve (Karma) Sistemler

Özellikle deprem bölgelerindeki çok katlı yapılarda perde duvar ve çerçeve sistemlerin birlikte kullanılması ile perdelerin büyük rijitliklerinden oluşan yetersiz süneklikleri, yapıya çerçevelerin eklenmesi ile giderilmekte, yalnız çerçevelerin kullanılmasıyla ise yatay yüklerin neden olduğu yanal ötelenmeler sisteme perde duvarların eklenmesi ile büyük ölçüde giderilmektedir.

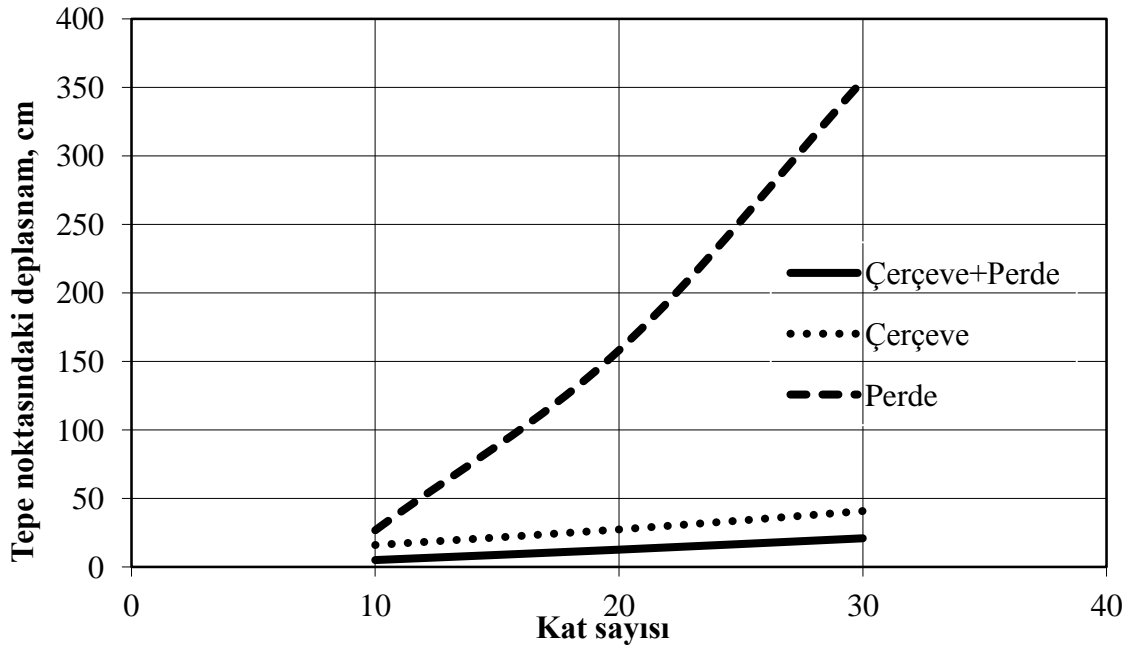
Çerçevelerdeki yüksek süneklik, deprem etkilerinin azalmasını sağlasa da bazı durumlarda tek başlarına bu sistemler yetersiz kalabilmektedirler. Perde sistemler ise, tek başlarına kullanıldıklarında konsol giriş gibi davranarak en büyük ötelenme en üst katta olmakta ve rijitlikleri deprem etkisinin artmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla yüksek yapılarda artan deprem etkileri ekonomik olarak perde ve çerçeve sistemlerin birlikte kullanılması ile karşılanabilmektedir. Böylece perdeler yatay yüklere karşı direnç sağlarken çerçeveler sisteme süneklik kazandırarak deprem etkilerini azaltmaktadır. Perdeli çerçeve sistemin şekildeğiştirmeleri birbirlerine karşılıklı etkilerinin süperpozisyonu ile elde edilmektedir (Şekil 10).



Şekil 10. Perde-çerçeve etkileşimi [10]

Kayma şekildeğiştirmesinin etkin olduğu çerçeve sistemlerde en büyük kesme kuvveti alt katlarda oluşurken, eğilme şekildeğiştirmelerinin etkin olduğu perde duvarlarda en büyük eğilme ötelenmesi binanın tepesinde oluşmaktadır. Perdeli çerçeve sistemlerin alt katlarında oluşan kesme etkilerini perdeler karşılarken, binanın üst kısımlarındaki perde eğilmesini çerçeveler engellemektedir.

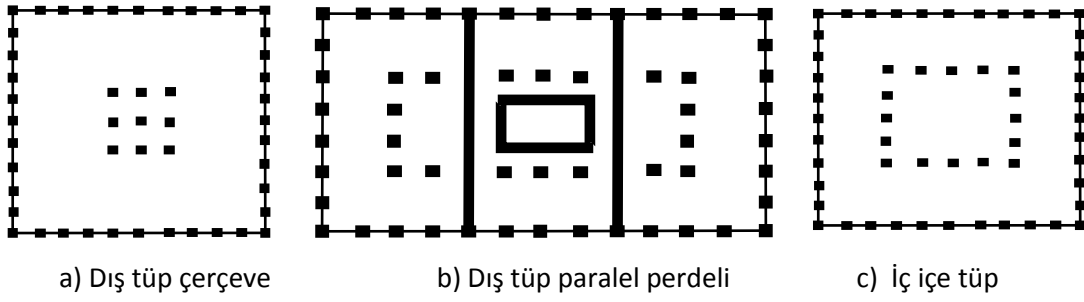
Yapılarda kat adedinin artması ile çerçeve, perde ve perdeli çerçeve sistemlerin davranışlarındaki farklılıklar Şekil 11’de gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi perdeli çerçeve sistemler yatay yerdeğiştirmesi en etkili şekilde sınırlandırılan sistemdir.



Şekil 11. Farklı Taşıyıcı sistemlerin tepe deplasmanlarının karşılaştırılması [14].

1.2.2.4. Tüp Sistemler

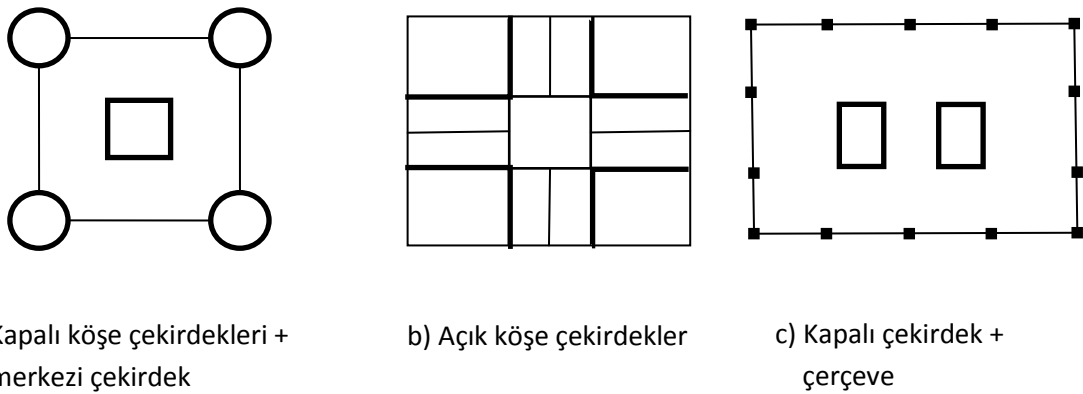
Perdeli çerçeve sistemler ile yeterli yatay rijitliğin sağlanamadığı yüksek yapılarda kullanılabilen tüp sistemler, yatay yük taşıyıcı elemanları boşluklu dikdörtgen halka tüp olarak düşünülebilen sistemlerdir. Tüp sistemler, yapının dış yüzeyine 1-3 m aralıklarla yerleştirilen kolonların kat seviyelerinde rijit kirişlere bağlanmasıyla oluşturulmaktadır. Yatay yük taşıma kapasiteleri ve rijitlikleri yüksek sünek sistemlerdir. Bina dış yüzeyinde oluşturulan dış tüp ile birlikte birden fazla sayıda iç tüp bulunabilmektedir (Şekil 12)[6].



Şekil 12. Çeşitli tüp sistem planı örnekleri [14].

1.2.2.5. Çekirdek Sistemler

Büyük ve geniş alanlara ihtiyaç duyulan yüksek yapılarda, merdiven, asansör vb. bölgelerde yapının yanal rijitliğini artıracak biçimde betonarme perdelerle çekirdek sistem oluşturulmaktadır. Bu sistemlerin etkili olabilmesi için çekirdeklerin sistemin planına simetrik olacak şekilde yerleştirilmesi gerekir. Aksi durumda yapıda burulma meydana gelebilmektedir (Şekil 13).



Şekil 13. Çekirdek sistemlere örnekler [14].

1.3. Taşıyıcı Sistem Seçiminde Yapılan Bazı Hatalar

Etkin deprem kuşağında bulunan ülkemizde bugüne kadar meydana gelen depremler nedeniyle birçok bina yıkılmış yada ağır hasara uğramıştır. Bu yapıların yıkılma nedenleri incelendiğinde, tasarım ve projelendirme aşamasında yapılan hatalar ile yapım aşamasında meydana gelen hataların başta geldiği görülmüştür. Yapıların yıkılmasının ve/veya ağır hasar almasının nedenleri başında taşıyıcı sistemin uygun seçilmemesi nedeniyle; yapıda düzensizlikler oluşmakta, dolayısıyla da yapı beklenilenden daha fazla hasara uğramaktadır. Yapım aşamasında ise, malzeme dayanımı yetersizliği, projede öngörülen elemanların boyut ve konumlarının projesine uymaması gibi hatalar nedeniyle yapılar yıkılmakta veya ağır hasara uğramaktadır.

Betonarme yapıların projelendirilmesinde taşıyıcı sistem seçimi ile ilgili düzensizlik durumları DBYBHY-2007’de verilmiştir. Buna göre söz konusu düzensizlikler ve bu düzensizlikler bulunması halinde yapıda oluşabilecek hasarlar aşağıda özetlenmektedir.

1.3.1. Planda Düzensizlik Durumları

1.3.1.1. Burulma Düzensizliği (A1 Türü Düzensizlik)

DBYBHY-2007, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını burulma düzensizliği katsayısı olarak tanımlamıştır. Bu katsayının 1.2’den büyük olması durumunda yapılarda burulma düzensizliği oluşmaktadır (Şekil 14). Yapılarda burulma düzensizliği kütle merkezleri ile rijitlik merkezlerinin çakışmaması durumunda meydana gelmektedir. Deprem kuvvetleri yapıların kat kütle merkezlerine etkimektedir. Kütle ve rijitlik merkezlerinin çakışmaması durumunda yapı, kütle merkezine etkiyen deprem yükü nedeni ile rijitlik merkezi etrafında dönmek istemekte ve yapıda burulma oluşmaktadır. Burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} , $(\Delta_i)_{max}$ binanın i. katındaki maksimum görelî kat ötelenmesini, $(\Delta_i)_{min}$ binanın i. katındaki ortalama görelî kat ötelenmesini ve $(\Delta_i)_{ort}$ binanın i.katındaki ortalama görelî kat ötelenmesini göstermek üzere;

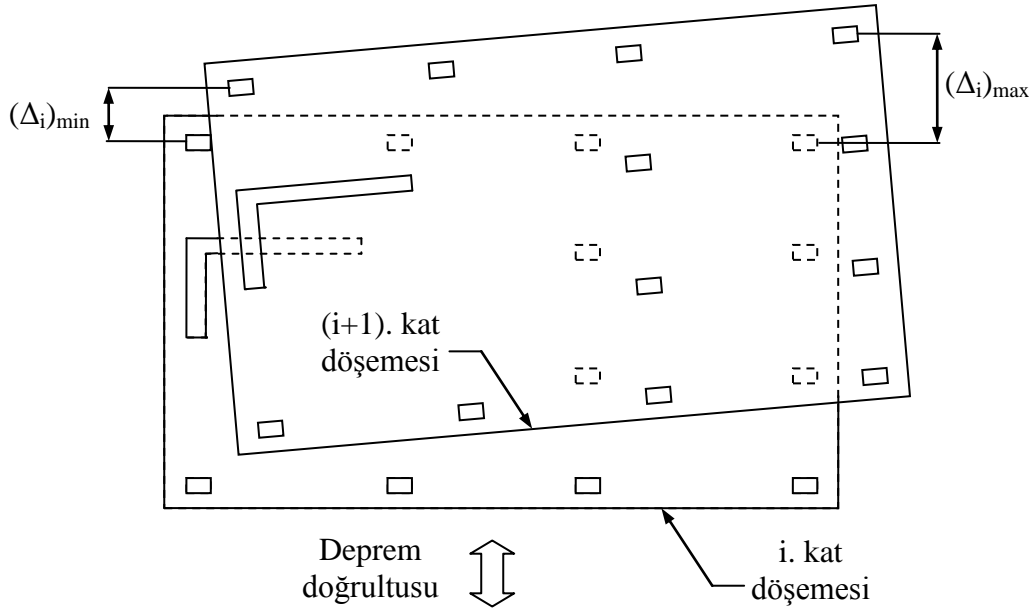
$$\eta_{bi} = \frac{\Delta_i \max}{\Delta_i \text{ ort}} > 1.2 \quad (4)$$

$$\Delta_i \max = (d_i) \max - (d_{i-1}) \max \quad (5)$$

$$\Delta_i \min = (d_i) \min - (d_{i-1}) \min \quad (6)$$

$$\Delta_i \text{ ort} = \frac{[\Delta_i \max + \Delta_i \min]}{2} \quad (7)$$

bağıntılılarıyla hesaplanmaktadır.



Şekil 14. Burulma düzensizliği durumu.

Rijitlik bakımından simetrik olmayan binalar deprem esnasında burulma etkisine maruz kalmakta ve daha az rijit olan bölgelerdeki kolonlar aşırı derecede zorlanarak ağır hasara uğramaktadırlar. Bu duruma bir örnek, 1976 Guatemala depreminde yaşanmıştır (Şekil 15). Dikdörtgen şeklinde bir plana sahip 6 katlı bir otel binasında asansör ve merdiven perdeleri binanın bir tarafında toplandığı için, rijit bir bölge oluşmuş, dolayısıyla da binanın diğer tarafında çok fazla rölatif kat ötelenmeleri meydana gelmiştir ve bina ağır

hasar almıştır [15]. Burulma nedeniyle ağır hasar gören bir başka bina ise Şekil 16'da verilmiştir.



Şekil 15. 1976 Guatemala depreminde burulma hasarı görmüş bir otel binası.



Şekil 16. 17 ağustos depreminde burulma nedeni ile ağır hasar görmüş bir yapı.

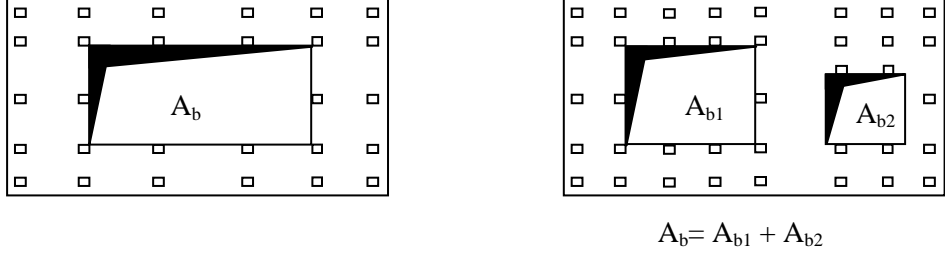
1.3.1.2. Döşeme Süreksizlikleri (A2 Türü Düzensizlik)

Rijit diyafram modeline göre sonsuz rijit oldukları kabul edilen döşemeler, yapılara kat seviyesinde etkiyen deprem kuvvetlerini düşey taşıyıcı elemanlara rijitlikleri oranında dağıtırlar. Planda döşemelerde boşlukların olması deprem kuvvetlerinin düşey taşıyıcı elemanlara aktarımını zorlaştırmakta ve gerilme yığılmalarına sebep olmaktadır. DBYBHY-2007'ye göre, bir yapıda herhangi bir kattaki döşemede;

- I- Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması,
- II- Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması,
- III- Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması,

gibi düzensizliklerin olması durumunda A2 döşeme süreksizliği var demektir (Şekil 17). Deprem yönetmeliği, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde döşeme

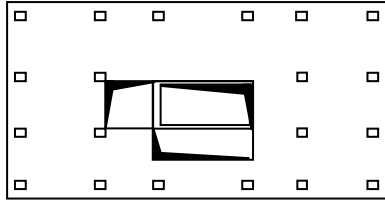
süreksizliklerinin bulunduğu binalarda, kat döşemelerinin kendi düzlemleri içerisinde deprem kuvvetlerini güvenli bir şekilde düşey taşıyıcı elemanlara aktarabildiğinin gösterilmesini zorunlu tutmaktadır.



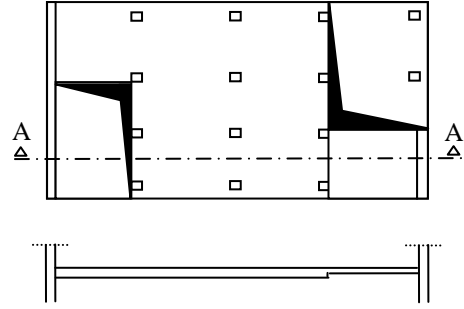
A2 türü düzensizlikler durumu – I

$$A_b/A > 3$$

A_b : Boşluk alanları toplamı



A2 türü düzensizlik durumu- II



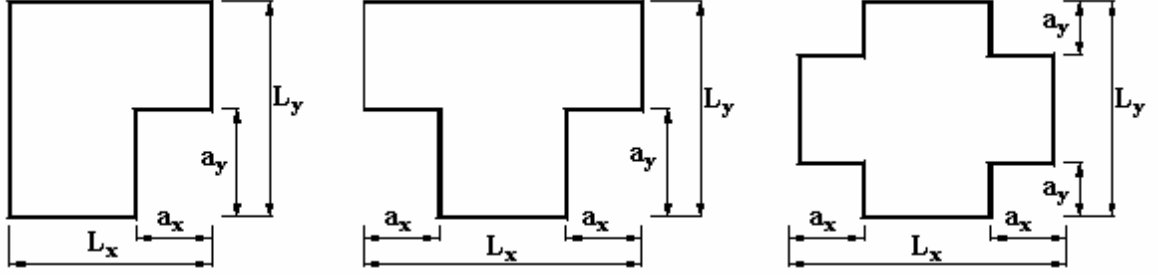
A2 türü düzensizlik durumu- II ve III

Şekil 17. Döşeme süreksizliği durumu.

1.3.1.3. Planda Çıkıntılar Bulunması (A3 Türü Düzensizlik)

DBYBHY-2007, bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultudaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumunda, sistemde A3 türü düzensizlik bulunduğunu belirtmiştir (Şekil 18). L,T,H gibi farklı geometrilere sahip yapılarıdaki girinti ve çıkıntılar deprem esnasında binanın bütününden ayrı hareket etmeye çalışmakta ve yapıda burulmaya neden olmaktadır. Bu durumda girinti ve çıkıntılarının olduğu köşelerde ağır hasarlar meydana gelmektedir (Şekil 19 ve Şekil 20). Bu nedenle planlar mümkün

olduğunca düzgün geometriler halinde yapılmalı, girinti ve çıkıntılardan kaçınılmalıdır. Simetriyi bozan farklı geometriye sahip yapılar ise deprem derzleri ile bölünerek A3 türü düzensizlikler ortadan kaldırılmalıdır.



A3 türü düzensizlik durumu:

$$a_x > 0.2L_x \text{ ve aynı zamanda } a_y > 0.2L_y$$

Şekil 18. Planda çıkıntıların bulunması durumu.



Şekil 19. L tipi plana sahip bir yapıda A3 düzensizliği nedeni ile oluşan hasarlar.



Şekil 20. Deprem derzi olmayan bir yapıda A3 düzensizliği nedeni ile oluşan hasarlar [16].

1.3.2. Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları

1.3.2.1. Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği Durumu (Zayıf Kat) (B1 Türü Düzensizlik)

DBYBHY-2007'ye göre, betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanının, bir üst kattaki etkili kesme alanına oranı olan Dayanım Düzensizliği Katsayısı (η_{ci})'nin 0.80'den küçük olması durumunda binada zayıf kat oluşur. Bu düzensizlik durumu deprem yönetmeliğinde;

$$\eta_{ci} = \frac{\sum A_{e_i}}{\sum A_{e_{i+1}}} < 0.80 \quad (8)$$

bağıntısı ile verilmektedir. Herhangi bir kattaki etkili kesme alanının ifadesi ise; $\sum A_e$, herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusunda etkili kesme alanını, $\sum A_w$, herhangi bir katta, kolon enkesiti etkin gövde alanları A_w ' ların toplamını, $\sum A_g$, herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamının, $\sum A_k$, herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel kargir dolgu duvar alanlarının (kapı ve pencere boşlukları hariç) toplamını göstermek üzere;

$$\sum A_e = \sum A_w + \sum A_g + 0.15 \sum A_k \quad (9)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

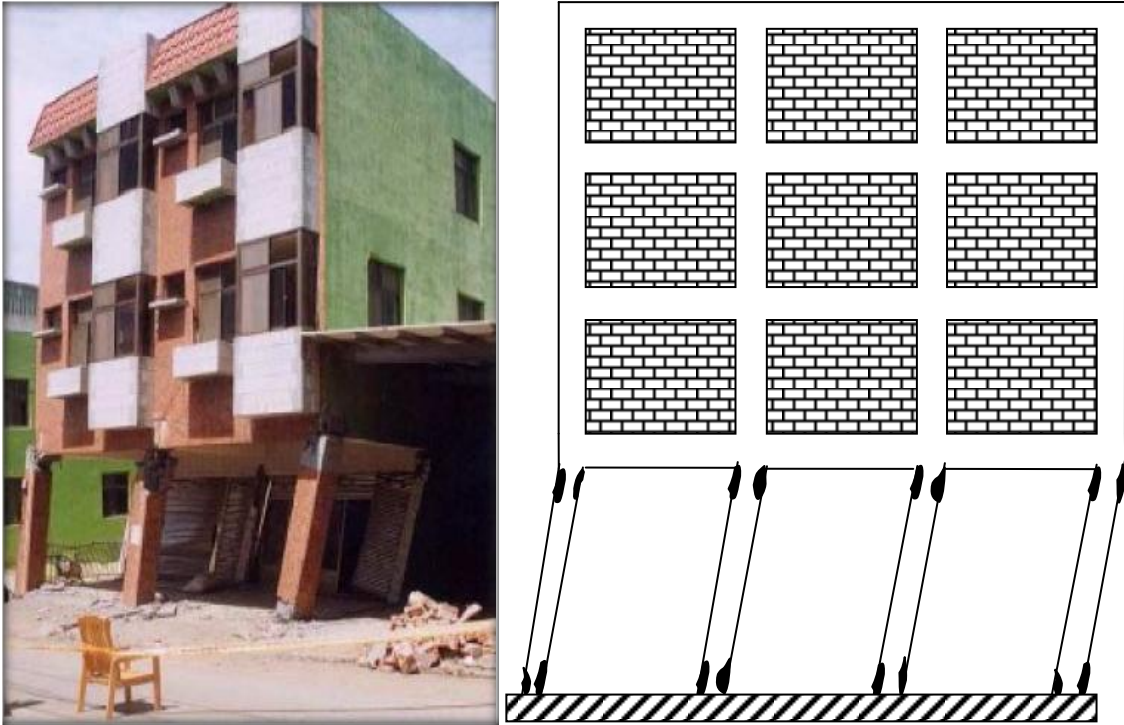
Ülkemizde yaşanan depremlerde zayıf kat oluşumu nedeniyle birçok bina yıkılmış veya ağır hasar almıştır. Genelde birbirini takip eden katlar arasındaki düşey taşıyıcı elemanların enkesit alanları toplamında bir fark görülmemektedir. Ancak çerçeve sistemlerde dolgu duvarların yapımındaki süreksizlikler katlar arasında dayanım farklılıklarını ortaya çıkarmaktadır. Bu süreksizliklerin bulunduğu katlarda etkili kesme alanı diğer katlara göre daha az olmaktadır. Dolayısı ile bu katlar yatay yüklere karşı diğer katlara göre zayıf kalmakta ve deprem esnasında hasarlar bu katlarda yoğunlaşarak binalar göçmekte ya da ağır hasar almaktadırlar (Şekil 21).



Şekil 21. Çerçeve sistemlerde dolgu duvar süreksizliklerinden ötürü meydana gelen zayıf kat oluşumu [17].

1.3.2.2. Komşu Katlar Arası Rijitlik Dzensizliği Durumu (Yumuşak Kat) (B2 Türü Dzensizlik)

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i ' inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan Rijitlik Dzensizliği Katsayısı η_{ki} ' nin 2.0'den fazla olması durumunda yumuşak kat dzensizliği ortaya çıkmaktadır. Katlar arası rijitlik farkından dolayı meydana gelen yumuşak kat dzensizliği, dolgu duvarların katlar arasındaki süreksizliği, düşey taşıyıcı elemanların enkesitlerinin kattan kata fark etmesi yada bazı katların diğer katlara göre daha yüksek yapılması nedeni ile kolonların narinleşmesinden ötürü meydana gelmektedir. Bu dzensizliklerin bulunduğu katların rijitlikleri diğer katlara göre daha düşük olmaktadır. Bu nedenle zayıf kalan bu katlarda görelî kat ötelemeleri daha fazla olmakta ve hasarlar meydana gelmektedir (Şekil 22 ve Şekil 23).



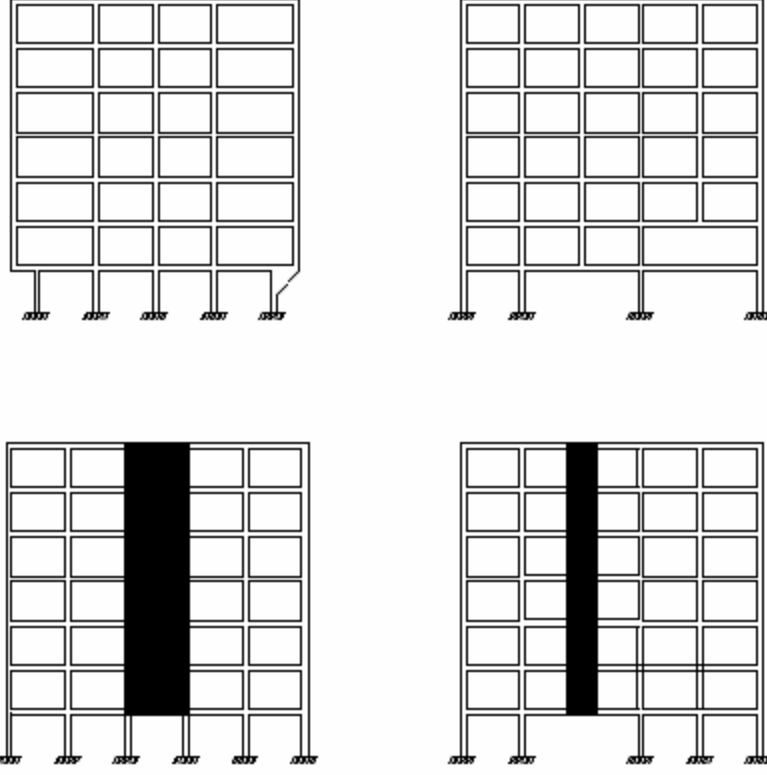
Şekil 22. Zemin katta görülen yumuşak kat oluşumu [17].



Şekil 23. Binaların giriş katlarında yumuşak kat hasarları [17].

1.3.2.3. Taşıyıcı Sistem Düşey Elemanlarının Süreksizliği (B3 Türü Düzensizlik)

Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumunda taşıyıcı düşey sistem elemanlarında süreksizlikler meydana gelmektedir (Şekil 24). Bu düzensizliklerin görüldüğü bazı örnekler Şekil 25, Şekil 26 ve Şekil 27’ de verilmiştir.



Şekil 24. Taşıyıcı düşey sistem elemanlarındaki süreksizlikler.



Şekil 25. Alt kattaki kolonun üzerine oturmuş bir perde [17].



Şekil 26. Kullanım alanı açmak için kesilen kolonlar.



Şekil 27. Üst katlara çıktıkça artan kolon boyutları [17].

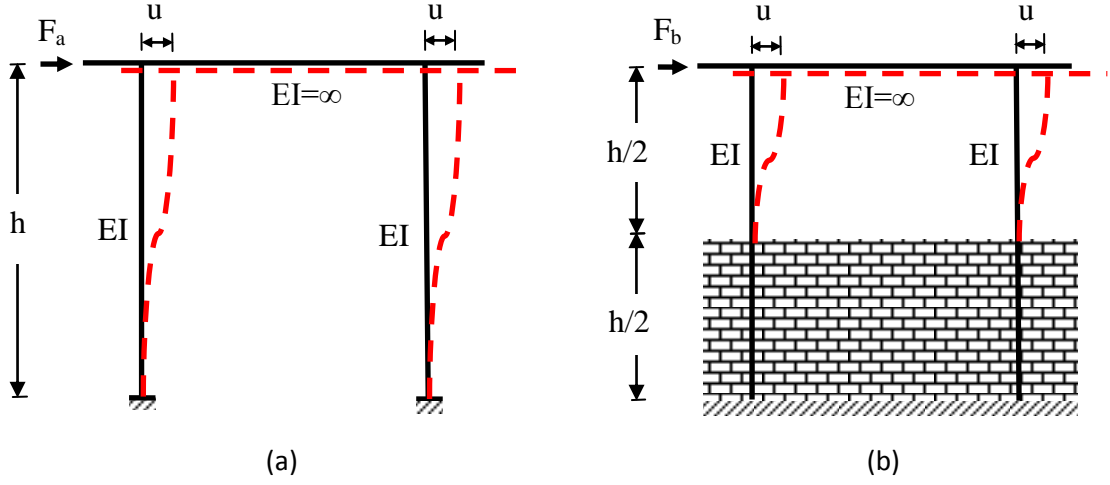
1.4. Kısa Kolon Oluşumu

Ülkemizdeki mevcut yapıların çok büyük bir kısmını az ve orta yükseklikte çok katlı betonarme binalar oluşturmaktadır. Bazı durumlardan ötürü, bu binaların projelendirme veya yapımı aşamasında, bilinçli veya bilinçsizce, kısa kolonlar oluşturulmaktadır. Projelendirme aşamasında dikkate alınan kısa kolonlar yönetmeliklere uygun yapıldığı sürece güvenli olmaktadır. Ancak yapım aşamasında oluşturulan kısa kolonlar yapı güvenliğini ciddi şekilde tehdit etmektedirler. Her iki aşamada da kısa kolonlar; bant pencereler yaparak bina içindeki ışık ihtiyacını karşılayabilmek, bina içinde ilave kullanım alanları yaratmak, merdiven bölgelerinde ara sahanlık oluşturabilmek ve temel zeminindeki kot farklılıkları nedeniyle oluşturulmaktadır.

1.4.1. Kısa Kolon Davranışı

Kısa kolon davranışı, kolonun kesme kırılması ile ani ve gevrek bir şekilde göçmesi olayıdır. Bu olay çevrimsel yük etkisindeki kısa kolonlarda diyagonal basınç ve çekme gerilmelerinin meydana getirdiği X şeklindeki geniş çatlakların meydana gelmesi ile gerçekleşir [18,19,20]. Deprem esnasında yapıların güvenliği için kısa kolonların tehlikeli olabileceğine ilk defa 1968 yılında Yamada [21] dikkat çekmiştir. Daha sonra gerçekleşen Tokachi-Okı (1968), Northridge (1994), Kobe (1995) ve Taiwan (1999) depremleri Yamada'nın bu iddiasını doğrulamıştır. Ülkemizde de bugüne kadar yaşanan depremlerde kısa kolon oluşumu nedeniyle bir çok bina yıkılmış veya ağır hasar almıştır.

Tasarım aşamasında dikkate alınmayıp yapım aşamasında etkili boyu kısaltılan kolonların rijitliği aşırı derecede artmaktadır. Yatay deprem yükleri kolonlara rijitlikleri oranında etkidiğinden, tasarımda dikkate alınmadığı halde uygulamadaki hatalar nedeni ile rijitlikleri artan kolonlar büyük kesme kuvvetlerinin etkisinde kalmaktadırlar. Etkili boyu kısaltılmış kolonların artan rijitlikleri bu kolonların kısa kolon davranışı sergilemesine neden olmaktadır. Şekil 28'den de görüldüğü gibi, kolonları boyları kısaltıkça, yatay deprem kuvvetlerinden ötürü etkiyecek kesme kuvveti de boylarının üçüncü kuvveti ile ters orantılı olarak artmaktadır.



Şekil 28. Boyu yarıya indirilmiş kolonlara etkiyen kesme kuvveti.

Şekil 28' de kolonların etkili boylarının kısaltılması nedeni ile, kolonlara gelen kesme kuvvetindeki değişim; k kolonun yatay ötelenme rijitliğini, E kolonun elastisite modülünü, I kolonun atalet momentini, h kolon etkili boyunu, u birim yatay yerdeğiştirmeyi, F_a ve F_b ise (a) ve (b) durumlarında birim yatay yerdeğiştirme için gerekli kuvveti göstermek üzere;

$$k = \frac{12EI}{h^3} \quad \text{ve} \quad F = ku \quad (10)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Bu denklemde, (a) ve (b) durumları için gerekli ifadeler yerlerine yazıldığında;

$$(a) \text{ durumu için:} \quad k = \frac{12EI}{h^3} \rightarrow F_a = \frac{12EI}{h^3} u \quad (11)$$

$$(b) \text{ durumu için:} \quad k = \frac{12EI}{\left(\frac{h}{2}\right)^3} \rightarrow F_b = \frac{96EI}{h^3} u \quad (12)$$

F_b kuvvetinin F_a kuvvetinden 8 kat daha fazla olacağı görülmektedir.

Boyut oranı (α_s) 2.5'den küçük olan kolonlar kısa kolon olarak tanımlanmaktadır [21,22,23]. Bu oran, M ve V sırası ile ilgili kolona etkiyen moment ve kesme kuvveti, h ise kolonun kesme kuvveti yönündeki enkesit uzunluğunu göstermek üzere;

$$\alpha_s = \frac{M}{Vh} \quad (13)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. İki ucu sabitlenmiş kolonlara etkiyen moment ise, L kolon etkili boyunu göstermek üzere;

$$M = \frac{V}{2}L \quad (14)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Bu durumda boyut oranı:

$$\alpha_s = \frac{L}{2h} \quad (15)$$

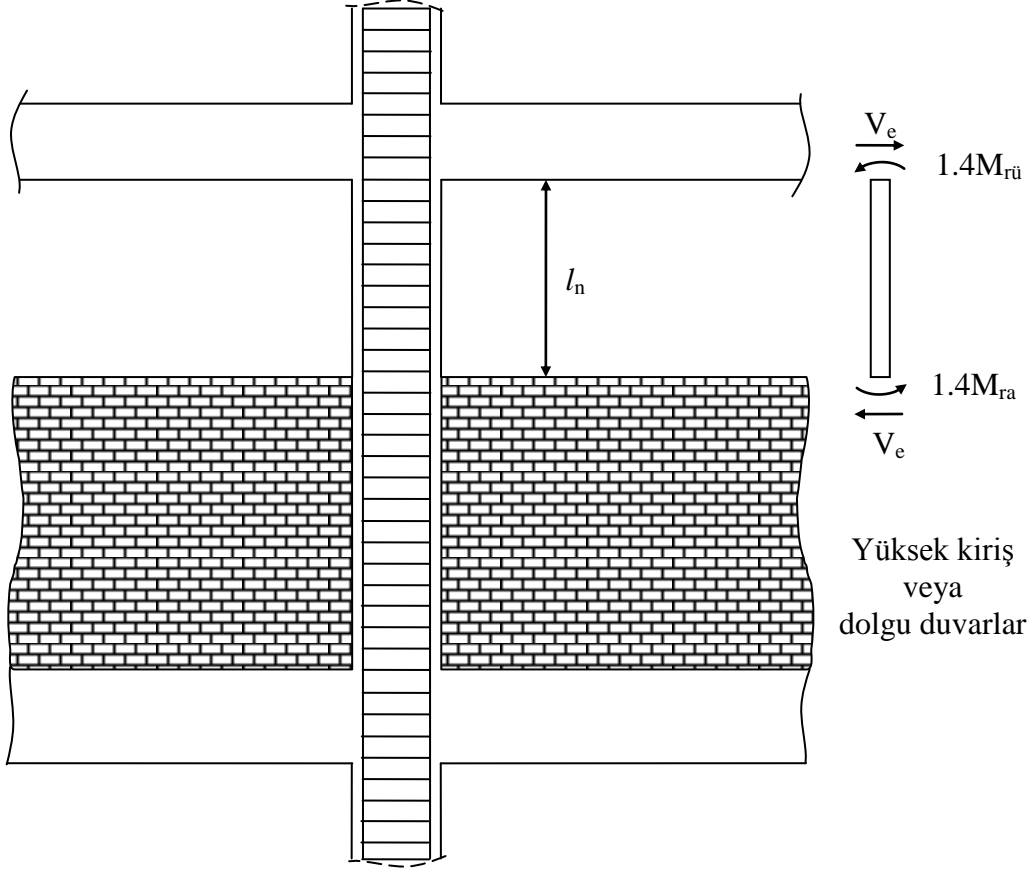
şeklini almaktadır [24].

DBYBHY-2007'ye göre, taşıyıcı sistem nedeni ile veya kolonlar arasındaki dolgu duvarlarda bırakılan boşluklar neden ile kısa kolon oluşumunun engellenemediği durumlarda enine donatı hesabında esas alınacak kesme kuvveti (V_e) ;

$$V_e = \frac{M_e + M_{ii}}{l_n} \leq \begin{cases} V_r \\ 0.22A_w f_{cd} \end{cases} \quad (16)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Bu bağıntıda M_a ve M_{ii} kısa kolonun alt ve üst uçlarındaki kapasite momentlerini ($M_a \cong 1.4M_{ra}$ ve $M_{ii} \cong 1.4M_{rii}$), l_n kısa kolonun boyunu, V_r kolon kesitinin kesme dayanımını, A_w kolon enkesiti etkin gövde alanını ve f_{cd} beton hesap dayanımını göstermektedir. Ayrıca yönetmelik kısa kolon boyunca, kolonların sarılma

bölgeleri için tanımlanan minimum enine donatı ve yerleştirme koşullarının uygulanmasını ve dolgu duvarlar arasında kalarak kısa kolon durumuna dönüşen kolonlarda, enine donatıların tüm kat yüksekliğince devam ettirilmesini öngörmektedir (Şekil 29).



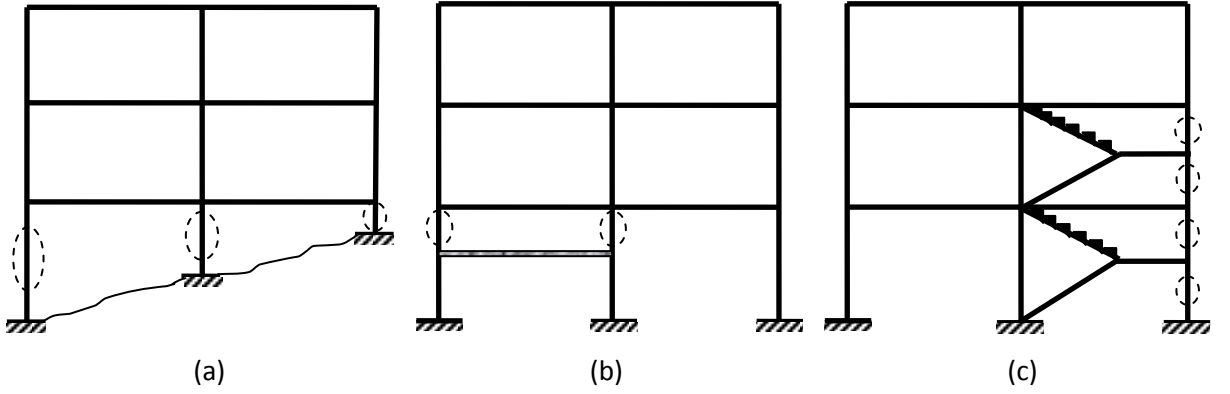
Şekil 29. Kısa kolonlar için enine donatı düzenlemesi [2].

Kısa kolonlar; aynı kattaki diğer kolonlara göre daha kısa üretilen kolonlar ve kolondan kolona uzayan dolgu duvarlarda bırakılan bant pencereler nedeni ile kat yüksekliği boyunca serbest yüksekliği kısıtlanmış kolonlar olmak üzere iki kısımda incelenebilirler.

1.4.2. Aynı Kattaki Farklı Uzunluktaki Kolonlar

Yapılarda aynı katta farklı uzunlukta imal edilen kolonlar kısa kolon davranışına neden olmaktadır. Geçmiş depremlerde aynı kattaki kolonlardan kısa olanların uzun olanlara göre daha fazla hasar gördüğü bilinmektedir [25]. Bu uygulama üç şekilde

meydana gelmektedir. Eğimli arazilerde inşa edilen yapılarda en alt kattaki kolonların arazinin eğimi nedeni ile farklı boylarda imal edilmesi kısa kolon davranışına sebep olabilir (Şekil 30a.). Diğer bir uygulama ise asma kat imalatından kaynaklanmaktadır. Asma kat imalatı, o bölgedeki etkili kolon boyunu kısaltmaktadır (Şekil 30b). Bir diğer kısa kolon imalatı ise merdiven bölgesinde olmaktadır. Bu bölgelerde merdiven ara sahanlığının mesnetlendiği kirişler bağlandıkları kolonların etkili boyunu kısaltmakta ve oluşan kısa kolonlar nedeni ile bu bölgelerde ağır hasarlar oluşabilmektedir (Şekil 30c). Bu bölümde incelenen kolonlar genelde projelendirme aşamasında oluşturulur. Ancak yönetmeliklere uygun projelendirilmediği yada imal edilmediği durumlarda ağır hasarlar oluşabilmektedir (Şekil 31 ve Şekil 32).



Şekil 30. a) Eğimli arazi nedeni ile kısa kolon oluşumu, b) Asma kat, c) Ara sahanlık.



Şekil 31. Asma kat nedeni ile oluşan kısa kolon hasarları [26].

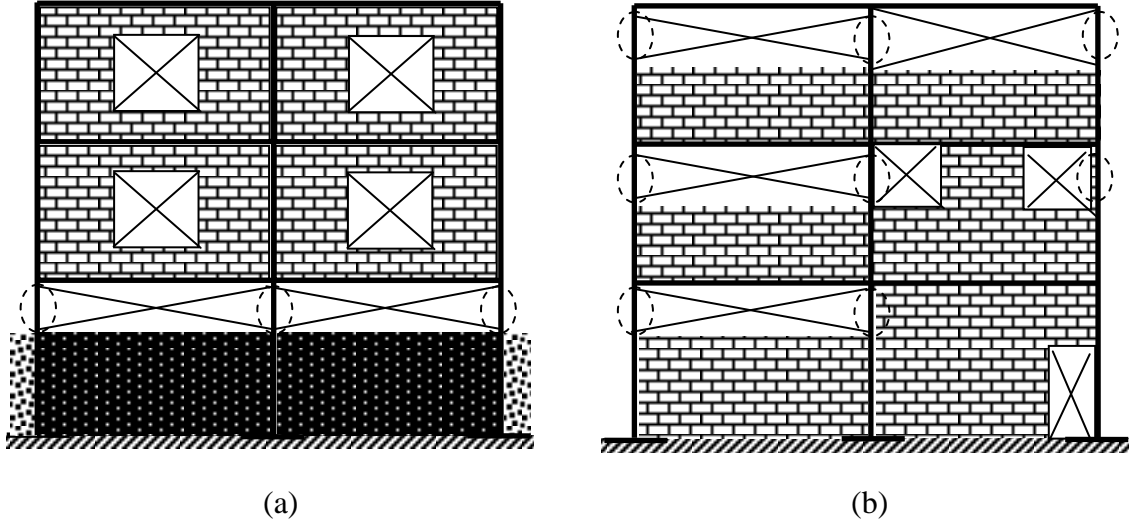


Şekil 32. Merdiven ara sahanlığında oluşan kısa kolon hasarları [27].

1.4.3 Bant Pencereleer ile Oluşan Kısa Kolonlar

Binaların bodrum katlarında; bu katlarda oluşan büyük kesme kuvvetlerini karşılamak, yapının yanal rijitliği artırarak ötelenmeleri sınırlandırmak ve yanal toprak basıncını karşılamak amacı ile kolondan kolona dolgu duvarlar imal edilmektedir. Bu

katlardaki ışık ve havalandırma ihtiyacını karşılamak için, projede olmasa dahi, dolgu duvarlar üzerinde bant pencerelere boşlukları bırakılmaktadır. Sanayi ve okul binaları gibi binalarda ise zemin ve normal katlarda da bant pencere uygulamaları yapılmaktadır (Şekil 33). Bu tür uygulamalar bu bölgelerdeki kolonların etkili boyunu kısaltmakta ve yatay deprem kuvvetleri etkisinde kısa kolon davranışı sergilemelerine sebep olmaktadır. Bant pencere altında, pencere iç dolgusu; gazbeton, delikli tuğla, briket ve panelden inşa edildiği gibi betonarme perde duvar şeklinde de imal edilmektedir. Bant pencere uygulaması nedeni ile oluşan bazı hasarlar Şekil 34, Şekil 35 ve Şekil 36’da verilmektedir.



Şekil 33. a) Bodrum katta betonarme perde duvar üzerine bırakılan bant pencere , b) Sanayi binalarında tuğla duvar üzerine bırakılan bant pencere nedeni ile kısa kolon oluşumu.



Şekil 34. Parapet duvarlar nedeni ile oluşan kısa kolon hasarı [17].

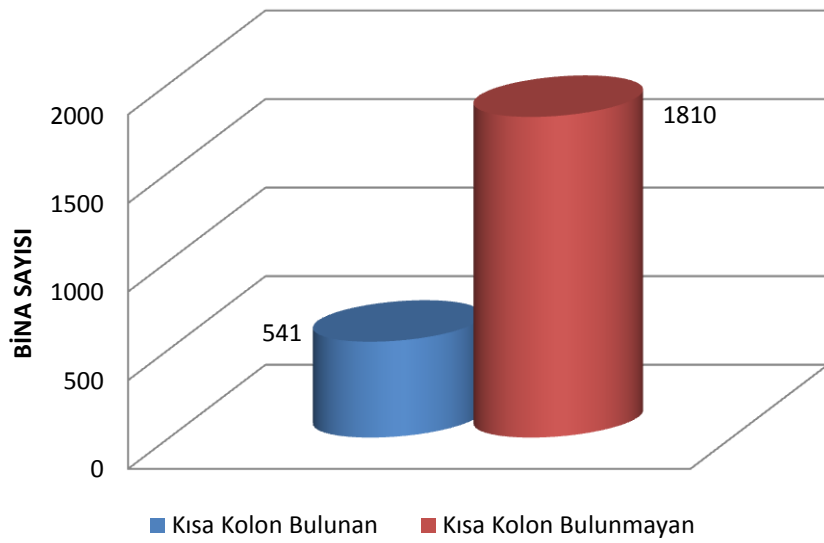


Şekil 35. Bodrum kat dış perde duvarında oluşan kısa kolon hasarları [17].



Şekil 36. Bant pencere nedeniyle oluşan kısa kolon hasarları.1999 İzmit depremi [25].

Ülkemizde hali hazırda kullanılan yapıların büyük bir kısmında kısa kolonlar mevcuttur. Ankara, İstanbul, Konya ve Eskişehir’de 2350 adet mevcut yapıda yapılan incelemelerde her şehirdeki yapıların yaklaşık olarak %23’ ünde kısa kolonların mevcut olduğu tespit edilmiştir (Şekil 37). Sanayi yapılarında binalardakilerden daha fazla kısa kolon tespit edilmiştir. Binalardaki kısa kolonların ise % 96’sı bodrum katlardaki bant pencerelerden oluşmaktadır [25].



Şekil 37. Ankara, İstanbul, Konya ve Eskişehir’deki kısa kolon bulunan binaların sayısı [25].

1.5. Konu ile İlgili Daha Önce Yapılan Çalışmalar

Moretti ve Tassios [24]; ürettikleri 8 adet kısa kolonu eksenel yük altında çevrimsel yüklemeye maruz bırakmış ve kesme oranı, boyuna donatı oranı, enine donatı oranı, eksenel yük oranı ve boyuna çapraz donatı oranının kısa kolonların davranışına etkisini incelemiştir. Sonuç olarak kesme oranındaki artışın kolonun nispeten daha sünek davranış göstermesine, eksenel yükteki artışın diyagonal bölgedeki çekme etkisini azaltması ile ilk diyagonal çatlak oluştuuran kesme kuvvetinin ve maksimum kesme kuvvetinin arttığını, boyuna donatıdaki artışın maksimum kesme kuvvetini ve rijitlik azalımındaki direnci artırdığını, diyagonal doğrultuda konulan donatıların ise kesme davranışının hakimiyetini azaltarak esneklik kazandırdığını ancak rijitliği azalttığını, etriye aralığının azaltılması ile daha fazla enerji tüketildiğini ve boyuna donatı ile birlikte diyagonal doğrultuda çapraz donatı kullanılan numunelerin yalnız boyuna donatı kullanılan numunelere göre %300 daha fazla enerji tükettiğini belirlemiştir.

Galal ve arkadaşları [28]; Sargı malzemesinin, sargı miktarının ve saplamanın kullanımının etkisini incelemiş ve kolon alt ve üst uçlarında plastik mafsallı oluşturmaya çalışmışlardır. Farklı etriye oranları ile ürettikleri 7 adet kare kesitli betonarme kısa kolonu karbon lif, elyaf lif malzemeleri ve ankrajlarla güçlendirmişlerdir. Deney sonuçlarına göre; ankrajların, kolonun kesme kuvvetini, enerji yutma kapasitesini ve sargı malzemesinin şekil değiştirme kapasitesini artırdığını, lifli malzeme kullanılan kolonlarda enine donatı miktarının etriyelerin şekil değiştirmesine etkisi olmadığını ancak lifli malzemenin şekil değiştirmesini etkilediğini, ankrajlı karbon lifle güçlendirilen kolonların saplamalı elyaf lifle güçlendirilen kolonlara göre daha fazla enerji tükettiğini belirlemiştir. Sonuç olarak kullandığı yöntemler içinde en etkili güçlendirme yönteminin ankrajlı karbon lif kullanmak olduğunu ve kolon alt ve üst uçlarında ilave sargı yapılmasının gerekli olduğunu belirlemiştir.

Saatçioğlu ve arkadaşları [29]; ürettikleri kesmede kritik dairesel ve kare kolonların etrafına Retro-Belt ismini verdikleri 300 MPa öngermeli donatı demetlerini tekil çemberler olarak sarıp güçlendirmişlerdir. Güçlendirilmeyen kolon kendi boyunun yaklaşık %1'i kadar yer değiştirme yaptıktan sonra eğilme kapasitesine ulaşmadan gevrek kırılma gösterirken Retro-Belt ile güçlendirilen kolonların şekil değiştirme kapasiteleri büyük ölçüde artmış ve sünek davranış göstermiştir. Yanal öngerme kesmeden

kaynaklanan eğik çatlakların oluşmasını geciktirmiş ve daha sonraki şekildeğiştirmelerde ek kesme donatısı görevi görerek kesme kırılmasını önlemiştir.

Woodward ve Jirsa [30]; eksenel yük altındaki kısa kolonlarda enine ve boyuna donatı miktarının kolonların davranışına etkisini araştırmışlardır. Yazarlar yaptıkları çalışmada, eksenel yük miktarını artması ile başlangıç rijitliği ve maksimum kesme yükünün arttığını ancak maksimum yükten sonra zarf eğrisinde ani düşüşlerin olduğunu, enine donatının artışı ile maksimum yükün arttığını ve zarf eğrisinin daha kararlı davranış gösterdiğini, kısa kolonlarda kesme kapasitesinin çatlayana kadar betonun kesme dayanımına, çatladıktan sonra ise çatlak boyunca agrega kenetlenmesine bağlı olduğunu ve dolayısı ile enine donatı miktarının çatlak kontrolü sağlayacağını ve agreganın etkinliğini artıracığını, boyuna donatı miktarının atmasının maksimum yükü artırdığını ancak maksimum yükten sonra daha gevrek davranışa sebep olduğunu belirlemiştir.

Asteris [31]; yaptığı sayısal çalışmada kendi geliştirdiği sonlu elemanlar programı ile yanal yük etkisi altında tuğla duvar örülü betonarme çerçevelerde pencere boyutunun ve yerinin çerçeve davranışına etkisini araştırmış, pencere boşluğunun çerçevenin basınç bloğuna yaklaşmasının ve boşluk oranındaki artışın çerçevenin rijitliğini azalttığını belirlemiştir. Çok katlı yapılarda ise tuğla duvarın yapının rijitliğini artırıp yanal deplasmanı azalttığını ve tuğla duvarın kesme kuvvetine büyük ölçüde dayanım gösterdiğini ancak yapıda yumuşak kat olması durumunda bu kattaki çerçevelerin normalden daha fazla kesme kuvvetine maruz kalacağını belirlemiştir.

Zhou ve Liu [32]; ürettikleri kısa kolonlar çelik kalıplar ile dıştan güçlendirerek sabit eksenel yük ve çevrimsel yüklemeler altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Güçlendirme yapılmayan dairesel ve kare kesitli kısa kolonlarda kesme kırılması oluşurken maksimum yükten sonra ani dayanım kayıpları olmuştur. Çelik kalıpla güçlendirilen dairesel kesitli kısa kolonlarda çelik kalıpların çok iyi sargılama özelliği göstermesi nedeniyle kesme kırılmasının engellenmesiyle diyagonal çatlaklar oluşmamış, diğer bir deyişle sünek kırılma meydana gelmiştir. Kolonlar, maksimum yükten sonra plastik bölgede kararlı davranış sergilemiştir. Çelik kalıpla güçlendirilen kare kesitli kolonlarda ise diyagonal çatlaklar oluşmuş ve yüksek eksenel yük altında kesme kırılması görülmüştür. Sonuç olarak aynı eksenel yük altındaki çelik kalıplı kare kesitli kolonların yanal yük taşıma kapasitesi daha büyük çıksa da dairesel kolonların plastik deformasyon kapasitesinin daha büyük olduğunu, dairesel kolonların kesmeye karşı daha etkili olduğunu belirlemiştir. Genel olarak çelik kalıp ile güçlendirilen kısa kolonların daha fazla eğilme dayanımı ve

süneklik gösterdiğini ayrıca daha kararlı histerisis eğrileri oluşturup daha fazla enerji tükettiklerini belirtmiştir.

Maruyama ve Jirsa [33]; çift yönlü tersinir yüklemenin kolonların davranışlarına etkilerini incelemiş sonuçta hareket doğrultusuna dik doğrultuda yapılan ilk yüklemenin kolonun nihai kesme kuvvetini fazla değiştirmedığı, ancak maksimum yükteki deplasmanını etkilediğini belirlemişlerdir.

Ramirez ve Jirsa [34]; sabit basınç ve sabit çekme kuvvetinin kısa kolon davranışına etkilerini incelemiş, sonuç olarak sabit eksenel basınç kuvvetinin kesme kırılmasını hızlandırdığını, sabit eksenel çekme kuvvetinin ise kesme kırılmasını azalttığını ancak kesme kapasitesini ve rijitliği azalttığını belirlemişlerdir.

Özdoğdu [35]; yaptığı çalışmada deprem etkisi altındaki binaların dinamik analizini gerçekleştirerek, dolgu duvarların etkisini incelemiştir. Sonuç olarak bant pencere yapımının zorunlu olmadıkça yapılmaması gerektiğini, zorunluluk durumunda ise kolon çevresinin kanat duvarlarla takviye edilmesi gerektiğini dile getirmiştir.

Jirsa [36]; betonarme çerçevelerin güçlendirilmesi çalışmalarında epoksi esaslı harç kullanılarak ekilmiş filizlerin ve civataların davranışlarını incelemiştir. Yazar, dolgulu çerçeveler üzerinde yaptığı deneylerde dolgu ve çerçeve arasında filiz kullanımının etkili güvenilir ve pratik bir yöntem olduğunu ancak deliklerdeki tozların temizlenmesi gerektiğinden bahsetmiştir.

Gülkan ve Wasti [37]; tek açıklık ve tek katlı bir çerçeve gözü ele alarak yaptıkları çalışmalarında; tuğla dolgu duvar yüksekliğinin, çerçeve yüksekliğinin üçte birini aştığında, çerçeve davranışının etkilenmeye başladığını göstermişlerdir. Ayrıca, kolon kesme kuvveti değerinin, sadece çerçevenin göz önüne alındığı hesaplarda verilen değere göre 4-5 misli arttığını ifade etmişlerdir

Çağatay [38]; sabit genişlik ve yükseklikteki bir çerçevenin içindeki bant pencere yüksekliğinin kat yüksekliğine oranı sırasıyla; %17, 33, 50, 67, 83, 100 için tuğla dolgu duvar yüksekliğini değiştirerek, kesme kuvvet oranlarındaki değişimi incelemiş ve en büyük kesme kuvvet değerlerinin %17 boşluğa sahip olan yapıda meydana geldiğini belirtmiştir. Ayrıca, açıklık sayısı arttıkça kesme kuvveti oranı da artmaktadır.

Bikçe [39]; bodrum katı betonarme dolgu duvarlı yapılarda kısa kolona etki eden parametreleri incelemiştir. Bu çalışmada elde ettikleri önemli sonuçlardan biri; bant pencere genişliği, çerçeve iç genişliğinin %60'dan daha küçük olması halinde, kısa

kolondaki kesme kuvvetinin neredeyse tamamı, çerçeve içindeki betonarme dolgu duvarı tarafından karşılanarak boşluklu perde gibi davranmaktadır.

Anıl ve Altın [40]; geometrik ölçeği 1/3 olan 9 adet tek katlı tek açıklıklı çerçeve üzerinde tersinir tekrarlanır yatay yük altında boşluklu betonarme dolgu duvarlı çerçevelerin davranışlarının incelemiştir. Çalışmadaki ana değişkenler, betonarme dolgu çerçevelerde boşluk alanının büyüklüğü ve boşluğun bulunduğu yerdir. Çalışma sonucunda, betonarme dolgu duvarda pencere boşluğu biçiminde bırakılan boşlukların çerçevede kısa kolon davranışının gelişimine neden olduğu bildirilmektedir. Boşluksuz dolgu duvar ile güçlendirilen deney elemanının, çerçeve iç alanının %14'ü büyüklüğünde pencere boşluğu bırakılan deney elemanına göre %28 daha fazla dayanım sağladığı belirtilmiştir. Bu bulguya ek olarak, pencere boşluğu bırakılan deney elemanına göre iki kat daha fazla boşluğa sahip olmasına rağmen kanat duvarlı elemanı, pencere boşluğu bulunan deney elemanına göre %11 daha fazla dayanım sağladığı bildirilmektedir. Araştırmacılar, dolgu duvar içerisinde bırakılan pencere boşluğunun dayanım, rijitlik ve enerji tüketim kapasitesinde önemli bir düşüş meydana getirdiğini belirtmişlerdir.

Kara ve Altın [41]; geometrik ölçeği 1/3 olan iki katlı tek açıklıklı deney elemanında çerçeve içini doldurmayan kısmi betonarme dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin yatay yükler altında dayanım ve davranışının belirlenmesi amacıyla deneysel bir çalışma yapmıştır. Çalışmada kısmi dolgu duvar uzunluğunun, duvar yüksekliğine oranı ve kısmi dolgu duvarın betonarme çerçeve içinde düzenleniş biçimleri çalışmanın değişkenleridir. Çalışma sonucunda, benzer l/h oranında kısmi dolgu duvarının çerçeve içinde farklı düzenlendiği deney elemanlarında yaklaşık olarak aynı dayanım elde edilmiştir. Araştırmacılar, dolgu duvarın l/h oranının artmasıyla deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasitesi, rijitlik ve enerji tüketim kapasitesinin arttığını belirtmiştir.

Işık [42]; yaptığı analitik çalışmada, 4.0m yüksekliğindeki bir zemin katta bulunan dolgu duvarların yüksekliklerinin sıfırdan, bant pencere oluşumuna kadar kademeli olarak artırılmasının bu duvarların etrafındaki kolonlarda oluşturduğu etkiler incelenmiş sonuç olarak duvar yüksekliğinin artmasıyla birlikte kesme kuvveti de önemli oranda arttığı görülmüştür. Dolayısıyla da kısa kolon etkisinden korunmak için bant pencere tasarımından kesinlikle kaçınılmalıdır.

Jirsa ve arkadaşları [43]; enkesiti 300x300 mm ve uzunluğu 910 mm olan 18 adet kısa kolon üzerinde yaptığı çalışmalarda yük geçmişinin betonarme kısa kolonlardaki kesme davranışına etkisini araştırmıştır. Tüm numunelerde boyutlar ve donatı oranları

aynıdır. Kolonlar tek ve çift doğrultuda tersinir tekrarlanır yatay yük etkisine maruz bırakılmıştır. Deneyler sabit aksenal basınç, sabit aksenal çekme ve değişken aksenal basınç ve aksenal çekme yüklerinin bileşeni gibi üç farklı aksenal yükleme durumu için gerçekleştirilmiştir. Sonuçta yük geçmişinin dayanım ve rijitliği azalttığı görülmüştür.

Kobayashi ve arkadaşları [44]; çift ve tek doğrultuda tersinir tekrarlanır yatay yük etkisindeki betonarme kolonların nihai kesme dayanımını incelemişlerdir. Bütün deney elemanlarında en kesit 150x150 mm ve boyut oranı 2.0 alınmıştır. Sonuçta nihai kesme dayanımları çift doğrultuda yapılan yüklemelerde tek doğrultuda yapılan yüklemelere göre daha az bulunmuştur.

Wong ve arkadaşları [45]; boyut oranı 2.0 olan ve enine spiral donatı oranı 0.4-2.5 % arasında değişen 16 adet 400 mm çapında dairesel kolonun kesme direncini farklı deplasman kontrollü yüklemeler ve aksenal basınç yükleri altında incelemiştir. Bütün kolonlarda boyuna donatı oranı $\rho=0.002$ alınmıştır. Aksenal yük olarak 0, $0.19f_cA_g$, $0.39f_cA_g$ olmak üzere üç farklı yük uygulanmıştır. Burada A_g kolon göbek alanı f_c ise beton basınç dayanımını temsil etmektedir. Tek ve çift doğrultuda yapılan tersinir tekrarlanır yüklemeler neticesinde aksenal yük uygulanmayan durumda veya düşük aksenal yük seviyelerinde kısa kolonlarda elastik kesme şekildeğiştirmelerini belirginleşmiştir. Çift doğrultudaki yüklemelerde tek doğrultudaki yüklemelere nazaran rijitlik ve dayanımda ciddi düşüşler meydana gelmiştir. Ancak çift yönlü yüklemelerde başlangıç kesme dayanımında ve süneklikte ciddi bir değişim gözlenmemiştir. Nihai deplasman ise çift doğrultuda yapılan yüklemelerde daha az çıkmıştır. Aksenal basınç yükü kesme dayanımını artırmış ancak sünekliği azaltmıştır. Aşırı aksenal yüke maruz kısa kolonlarda dayanım kaybı ani ve gevrek olmuştur.

Lynn ve arkadaşları [46]; 1970 öncesinin donatı detayına göre ürettiği gerçekçi boyutlardaki 8 adet kolonu sabit aksenal yük ve tersinir tekrarlanır yanal deplasmana maruz bırakmıştır. Kolon enkesitleri 456x456 mm ve uzunluğu 2940 mm' dir. Beton basınç dayanımları 26-33 MPa arasında değişmektedir. Aksenal yük olarak ise $0.12f_cA_g$ ve $0.35f_cA_g$ uygulamıştır. Sonuç olarak, hesaplanan kesme dayanımından önce eğilme dayanımına ulaşan kolonların nispeten daha sünek davrandığını, eğilme dayanımına ulaşamayanları ise gevrek kırıldığını belirtmiştir. Kolonlardaki göçmenin davranışa kesmenin hakim olduğu durumda kolonun yanal yük taşıma direncini kaybettiği anda yada hemen sonrasında gerçekleştiğini belirtmiştir.

Jaradat ve arkadaşları [47]; mevcut eski yapıların sismik güçlendirmesini yapabilmek amacı ile ürettiği 8 adet küçük ölçekli dairesel kolonun eğilme ve kesme performansını incelemiştir. Bütün kolonların çapları 250 mm alınmış olup boyut oranı 2-3.5 arasında değişmektedir. Beton basınç dayanımları 26 ve 29 MPa'dır. Bütün numuneler sabit eksenel yük altında tersinir tekrarlanır yanal yüke maruz bırakılmıştır. Sonuç olarak boyuna donatı miktarının artmasının kolondaki kesme gereksinimini artırdığı için kısa kolonlarda kesme göçmesine neden olduğunu belirtmiştir. Kesme oranındaki azalmanın kolonun kesme ihtiyacını artırdığını belirtmiştir. kesme oranının artmasıyla daha fazla enerji tüketilebilmiştir. Kolon uçlarındaki donatı bindirme boyundaki artışın kolon dayanımını artırdığını belirtmiştir.

Bett ve arkadaşları [48]; enkesiti 304x304 mm ve yüksekliği 912 mm olan 3 adet kısa kolonu sabit eksenel yük ve tersinir tekrarlanır yatay yük altında deneye tabi tutmuştur. Bütün kolonlarda boyut oranı 1.5 alınmıştır. Kolonlardan ikisi püskürtme beton ile güçlendirilmiş üçüncüsü ise göçme olduktan sonra onarılarak güçlendirilmiştir. Güçlendirme yapılan kolonlardan ilkinde yalnızca püskürtme beton ikincisine ise boyuna donatılar yerleştirilmiş ve ankraj çubukları ile bunları kolona bağladıktan sonra püskürtme beton uygulamıştır. Herhangi bir güçlendirme yapılmayan kolon çevrimsel yüklemeler altında zayıf davranış göstermiş ve %0.5 ötelenme oranı yapabilmiştir. Püskürtme beton ile güçlendirilen kolonlar ise çok daha iyi davranış göstermişlerdir. Püskürtme beton içine ilave yerleştirilen donatılar ile güçlendirilen kolonun rijitlik ve dayanımında bir değişiklik gözlenmezken, daha kararlı davrandığı görülmüştür.

Rodriguez ve Park [49]; onarım ve güçlendirme yaptıkları betonarme kolonların deprem davranışlarını incelemiştir. 1970 yılından önce inşa edilen yapılardaki kolonları temsilen ürettikleri kolonları beton ile kaplamış ve boyuna ve enine donatı ilave etmişlerdir. Kolon enkesiti 350x350 mm' dir. Beton kaplaması 100 mm kalınlıktadır. Ayrıca 8 veya 12 adet boyuna donatı ve kare veya sekizgen enine donatıdan içermektedir. Deneysel olarak deprem yüklerine maruz bırakılan kolonlardan güçlendirme yapılanlar, yapılmayanlara göre üç kat daha fazla rijitlik ve dayanım sergilemişlerdir. Ayrıca çok iyi süneklik ve enerji tüketme kapasitesi göstermişlerdir. Ancak bu yöntem yoğun iş gücü ve zaman gerektirmektedir.

Takiguchi ve Abdullah [50]; kesmede yetersiz 6 adet kolonu 6 katlı dairesel veya kare ferro-çimeto ile güçlendirmişlerdir. Kolon enkesitleri 120x120 mm uzunluğu ise 600 mm' dir. Numuneler sabit eksenel basınç yükü ve tersinir tekrarlanır yanal yüke maruz

bırakılmıştır. Sonuç olarak güçlendirilen kolonlar oldukça kararlı ve sünek davranış göstermişlerdir.

1.6. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Betonarme yapıların çok yaygın olduğu ülkemizde, bu yapıların büyük bir bölümünde, bodrum kat dış duvarlarında havalandırma ve ışık ihtiyacını gidermek amacıyla, projede bodrum kat perdeleri boşluksuz olarak tasarlanmış olsalar dahi, uygulamada bant pencere boşlukları bırakılmaktadır. Perdelerde bırakılan bu bant pencereler, kolonların serbest yüksekliğini kısıtlamakta ve yatay deprem kuvvetleri etkisinde kısa kolon davranışına neden olmaktadır.

Bu nedenle, bu çalışmada, bodrum katı betonarme perde duvarlarında yüksekliğin 1/4' ü kadar bırakılan bant pencere ve havalandırma boşluklarının oluşturduğu kısa kolon etkisini azaltacak pencere boyutunun araştırılması hedeflenmektedir. Bu amaçla, betonarme perdedeki pencere boşluğu, açıklığın 0.25 katı ve 0.375 katı betonarme kanat dolgu duvarlar kullanılarak güçlendirilmiş ve böylece kısa kolon etkisinin en az olduğu pencere boyutu deneysel olarak araştırılmıştır. Bu amaçla gerçekleştirilecek deneysel çalışmalar kapsamında betonarme kanat duvarlarla güçlendirilen 1/2 ölçekli 5 adet deney elemanı üretilmiş ve bu deney elemanları sabit aksenal yük ve depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay yük altında deneye tabi tutulmuştur. Bununla birlikte, bant tipi pencereler nedeniyle oluşan kısa kolon etkisini iyileştirmek amacıyla, betonarme kanat duvarlar yerine çelik profillerle güçlendirme yapılarak, bilgisayar ortamında analitik olarak davranışları araştırılmıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

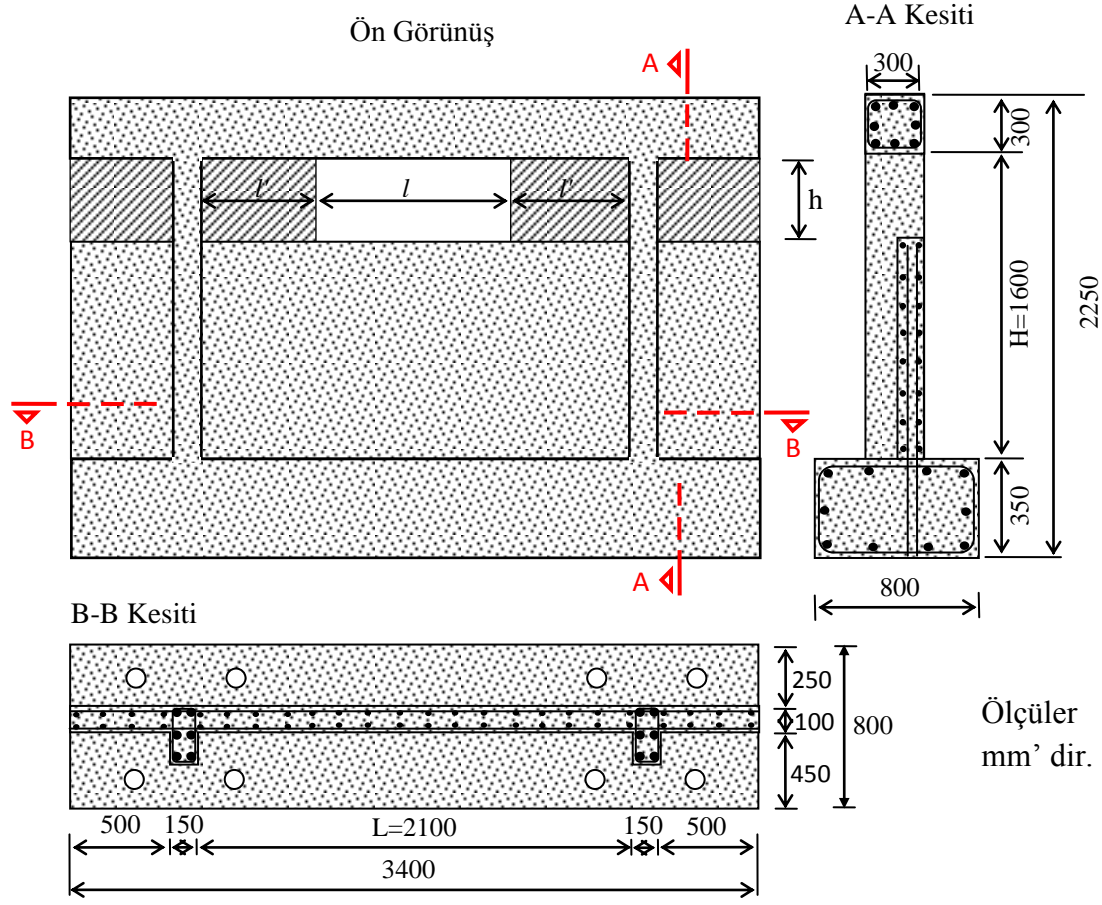
2.1. Deneysel Çalışmalar

Mevcut betonarme yapılarda kısa kolon davranışlarının iyileştirilmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmanın bu bölümünde deney elemanları ve özellikleri, deneylerde kullanılan malzemelerin özellikleri, deney elemanlarının üretimi, deney düzeneği, ölçüm aletleri ve yükleme sistemi ile deney elemanları üzerinde gerçekleştirilen deneyler verilmiştir.

2.1.1. Deney Elemanları ve Özellikleri

Bu çalışma kapsamında, yapıların bodrum kat dış duvarlarında yer alan ve çerçeve iç dolgusu betonarme perdelerle oluşturulmuş bant pencere uygulamaları dikkate alınmıştır. Yanal toprak basıncının olmadığı kabul edilmiş, bütün deney elemanları sabit aksenal yük altında, tersinir tekrarlanır yatay yüke maruz bırakılmış ve yalnızca bir boyuttaki değişim incelenmiştir. Bütün deney elemanlarının boyutları ve donatı planı aynıdır. Deney elemanlarının boyutları ve donatıları ülkemizdeki mevcut binaların özellikleri dikkate alınarak belirlenmiş ve laboratuvar imkanları dahilinde 1/2 ölçekli olarak üretilmiştir. Bu çalışmada bant pencere yüksekliği, serbest yüksekliğin 0.25 katı (0.25H) olacak şekilde sabit seçilmiş, bant pencere genişliğinin kısa kolon davranışına etkisi araştırılmıştır (Şekil 38).

Deney elemanlarının malzeme özellikleri olarak; beton için dayanımın C12-C15 (12-15MPa) arasında olması hedeflenmiştir. Deney elemanlarında üretilen donatı çeliği, kolon enine donatılarında BÇIa (S220), diğer donatılar ise BÇIIIa (S420) seçilmiştir. Bütün deney elemanlarının temel sistemi, kolon boyut ve donatısı, betonarme perde enkesit boyutu ve donatısı aynı alınmıştır. Rijit temel sistemi ankastre mesnet şartlarını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Deney elemanlarında kullanılan temel sisteminin, plan, boykesit ve enkesit detayı Şekil 39'da verilmiştir. Şekil 40'da ise temel sisteminden bir görünüm verilmiştir.



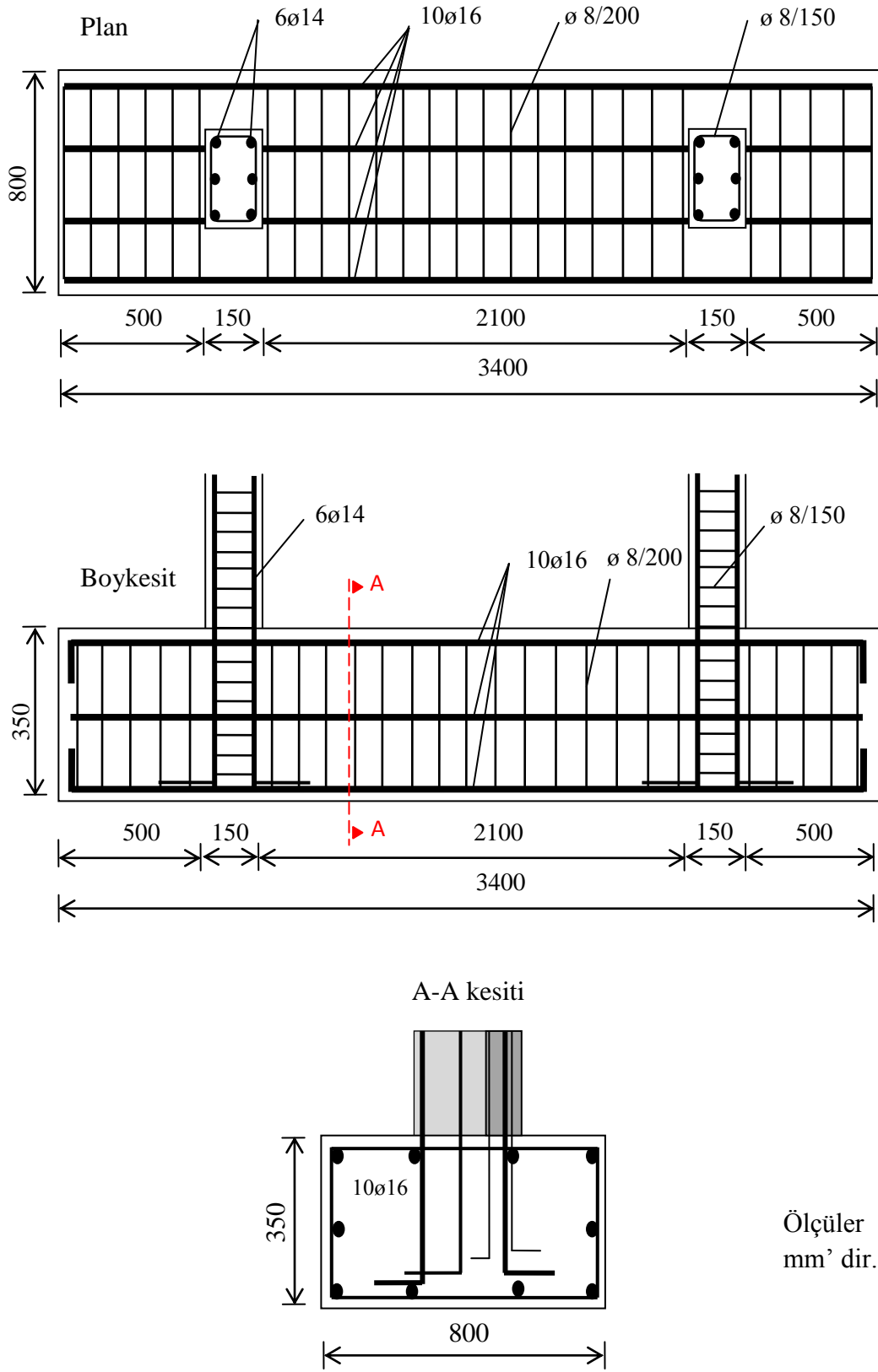
Şekil 38. Deney modelinin genel görünümü.

Şekil 38’de görülen sistemde; L , çerçeve genişliğini, l , bant pencere genişliğini, l' , kanat duvar uzunluğunu, H , çerçeve yüksekliğini, h , bant pencere yüksekliğini göstermek üzere, seçilen model üzerinde yapılacak deneylere ait bilgiler Tablo 2’te verilmiştir.

Tablo 2. Deney Elemanları.

Deney Elemanı No	Perdede Boşluk		Perde Donatısı Oranı $\rho_h = \rho_v$	Kanat Duvar Uzunluğu (l')	Bant Pencere Boşluğu	
	Yükseklik (h)	Uzunluk (l)			Yükseklik (h)	Uzunluk (l)
DE-1	H	$l = L$	-	Yok	-	-
DE-2	0.25H		0.025	Yok	0.25H	L
DE-3			0.025	2 x 0.25 L		0.50 L
DE-4			0.025	2 x 0.375 L		0.25L
DE-5	0	$l = 0$	0.025	Yok	0	0

L= Çerçeve genişliği, H=Çerçeve yüksekliği, h=Bant pencere yüksekliği,
l= Bant pencere genişliği, l'= Kanat duvar uzunluğu,

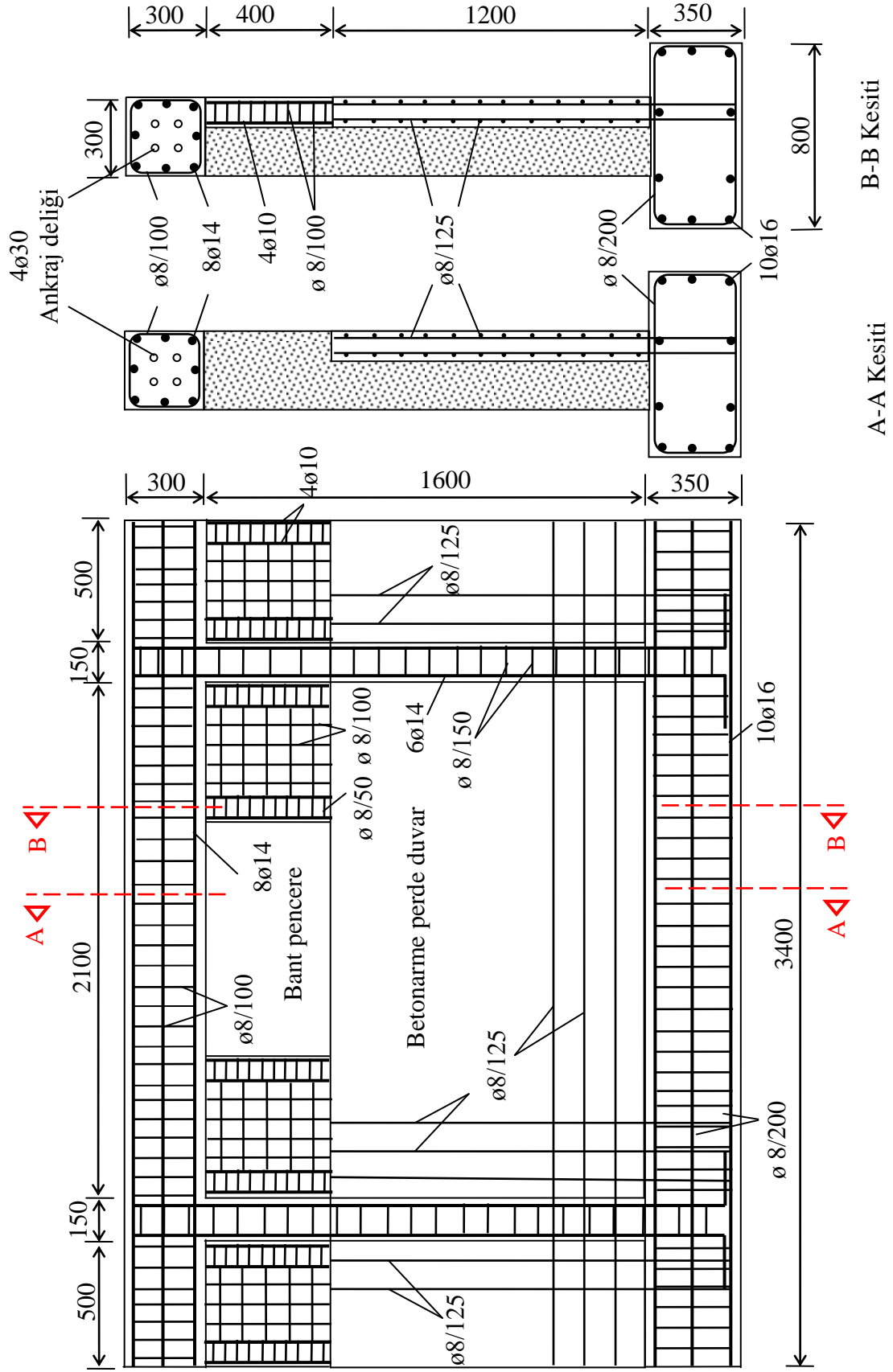


Şekil 39. Temel sisteminin plan, boykesit ve enkesit detayları.



Şekil 40. Temel sisteminden bir görünüm.

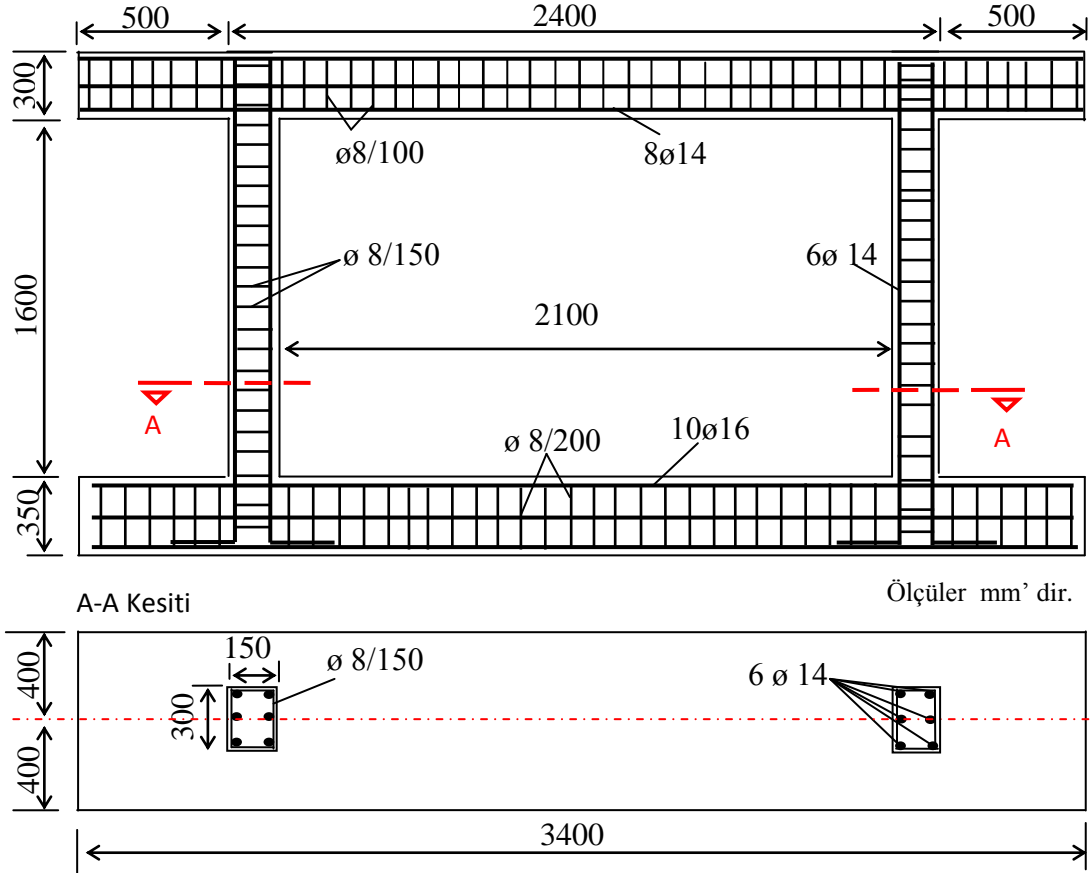
Deney elemanlarının temellerinde boyuna donatı olarak, 10 adet 16 mm çapında, enine donatı olarak ise 200 mm aralıklı 8 mm çapında nervürlü donatı kullanılmıştır. Kolon donatısı olarak, gerçek yapıda (300 mm x 600 mm en kesitte) minimum donatı oranını sağlayacak şekilde (1800 mm²), 1/2 ölçeğine indirgenerek 900 mm²'lik alanı sağlayacak boyuna donatı (6Ø14) kullanılmıştır. Kolonlarda enine donatı olarak 8 mm çapında düz donatı 150 mm aralıklı yerleştirilmiştir. Betonarme perdelerin enine ve boyuna donatılarında da 8 mm çapında nervürlü donatı 125 mm aralıklı yerleştirilmiştir (Şekil 41). Çalışma kapsamında deney elemanları kiriş seviyesinde tersinir tekrarlı yatay yük etkisinde test edileceğinden, sistemin uygulanacak yükü daha rijit bir şekilde aktarabilmesi için kirişlerde 8 adet 14 mm çapında boyuna donatı ve 8 mm çapında 100 mm ara ile enine donatı kullanılmıştır (Şekil 41).



Şekil 41. Deneç elemanlarının boykesit ve enkesit donatı detayları.

2.1.1.1. DE-1 Numaralı Deney Elemanı

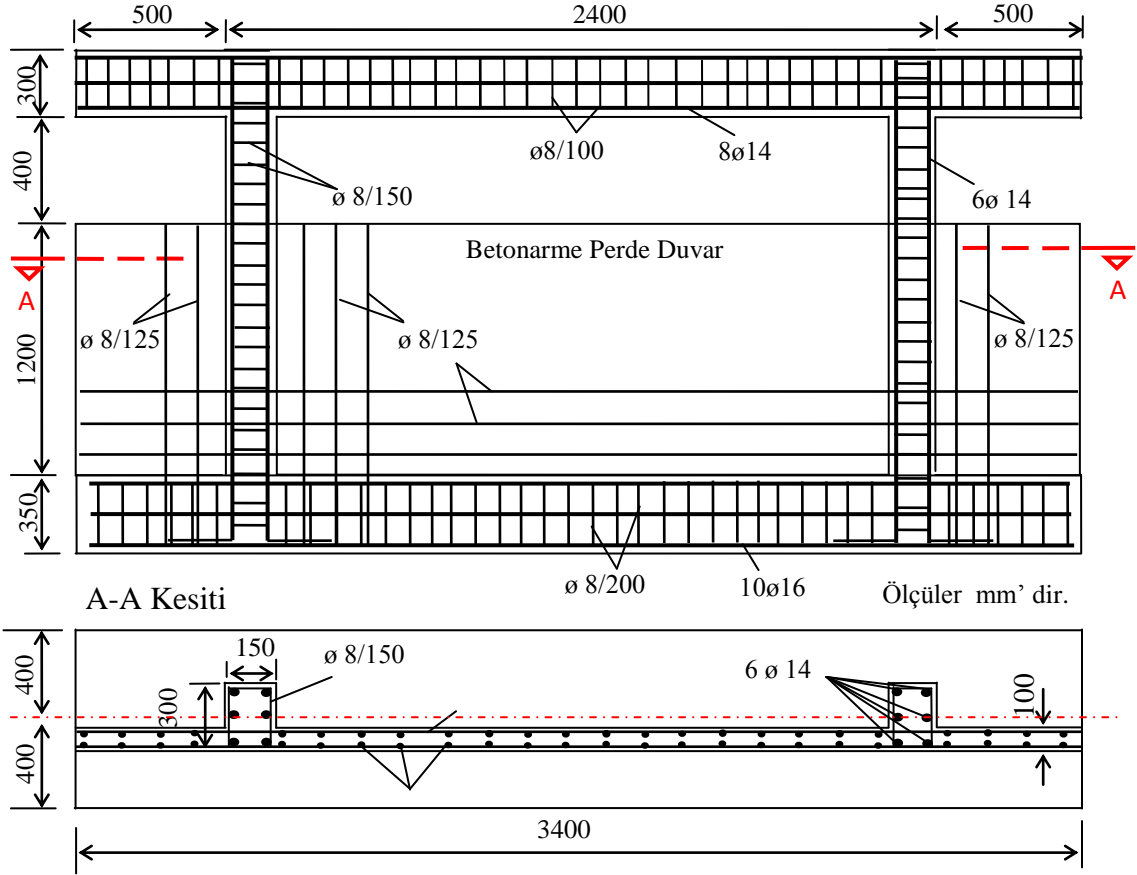
Bu deney elemanı Tablo 2'den de görüldüğü gibi, çerçeve elemanıdır. Bu eleman, araştırmaya ait sınır koşullarından birini oluşturması nedeniyle test edilmiştir. Bu elemanın boyut ve donatısı Şekil 42'de verilmiştir.



Şekil 42. DE-1 numaralı deney elemanı ve donatısı.

2.1.1.2. DE-2 Numaralı Deney Elemanı

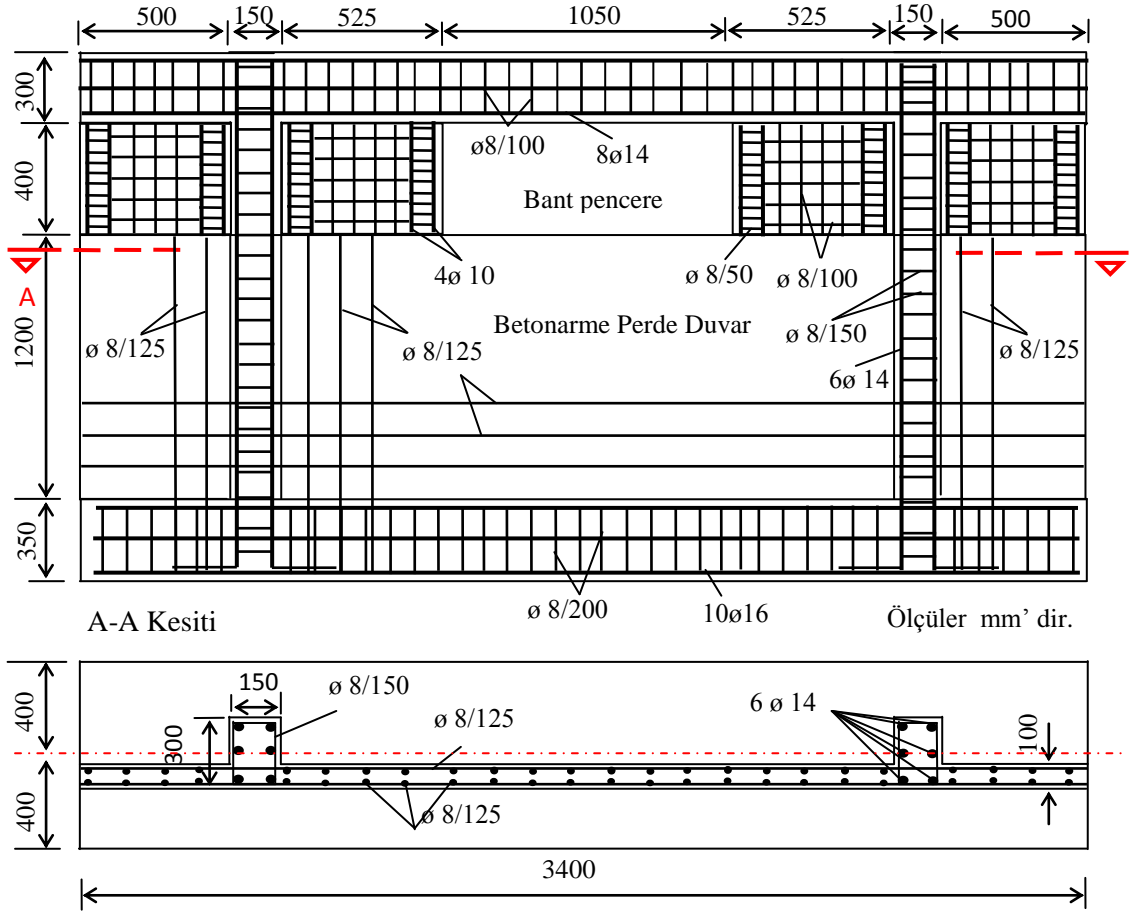
Bu deney elemanında, H yüksekliğinin 0.25 katı kadar bant pencere boşluğu bırakılacak şekilde betonarme perde yapılmıştır. Bant pencere uzunluğu L açıklığına eşit alınmıştır. Bu deney elemanından üç adet üretilmiştir. Bunlardan birinin kanat duvar ilave edilmeden bant pencereli olarak, diğerlerinin ise sırasıyla açıklığın 0.25 ve 0.375 katı olacak şekilde simetrik kanat duvar ilave edilerek üretilmiştir. Bu elemanın boyut ve donatısı Şekil 43'de verilmiştir.



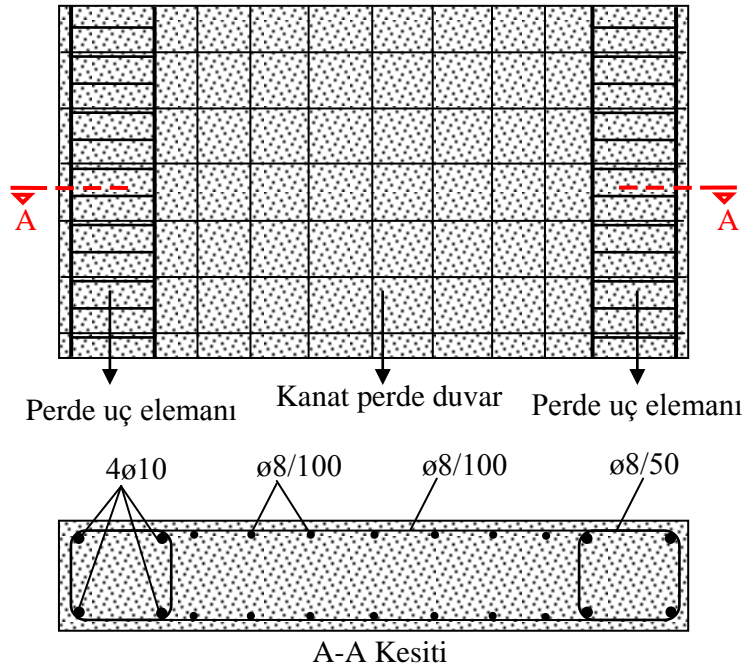
Şekil 43. DE-2 numaralı deney elemanı ve donatısı.

2.1.1.3. DE-3 Numaralı Deney Elemanı

Bu deney elemanı, yüksekliğin 1/4' ü kadar (0.25H) bant pencere bırakılarak üretilen DE-2 numaralı deney elemanlarının birisine, kolonların her iki tarafında açıklığın 0.25 katı ($l'=0.25L$) kadar kanat duvar ilave edilerek oluşturulmuştur (Şekil 44). Kanat duvar olarak ilave edilecek perde uçlarında 100x150 mm enkesit boyutlarında uç elemanları yapılmıştır. Bu elemanlarda, düşey donatı olarak, toplam donatı alanının perde brüt enkesit alanına oranı 0.001'den az olmayacak şekilde (4ø10) düşey donatı yerleştirilmiştir. Uç elemanlarında 8 mm çapında 50 mm aralıklı enine donatı kullanılmıştır. Kanat duvarlarda 100 mm aralıklı enine ve boyuna donatı yerleştirilmiştir (Şekil 45).



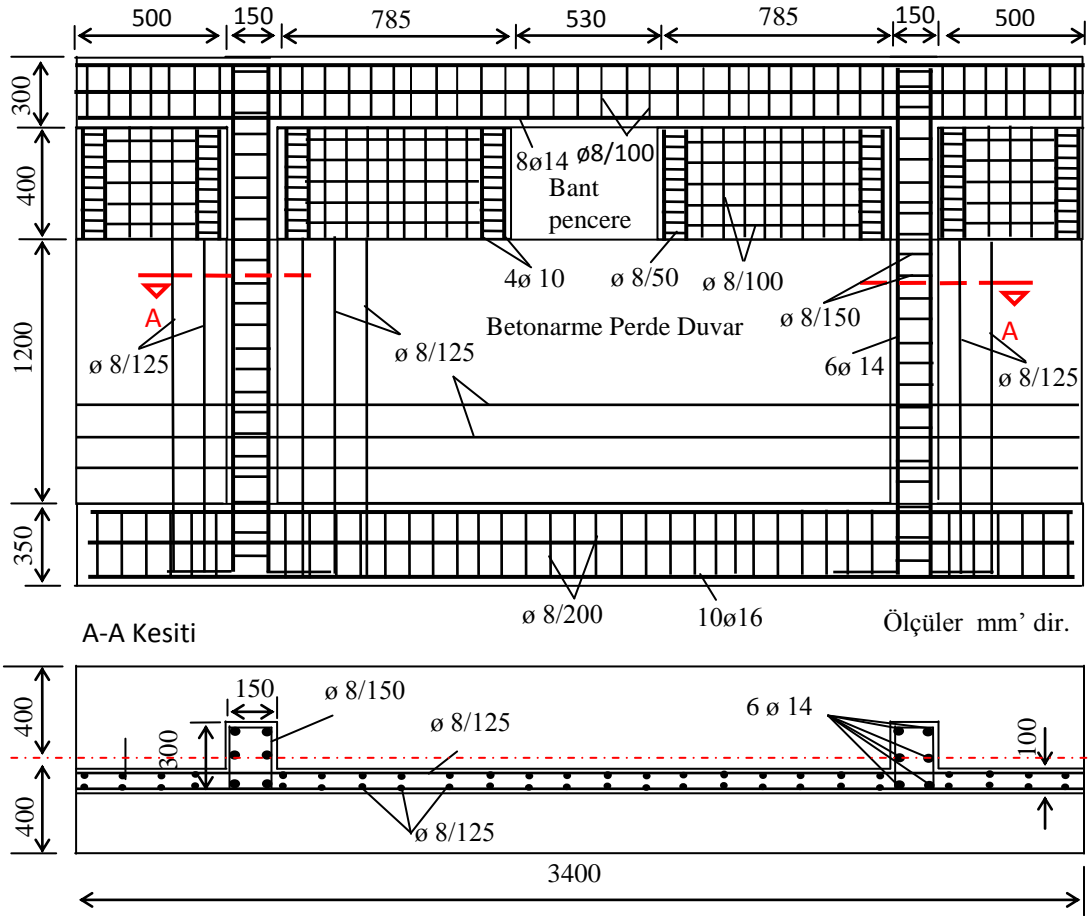
Şekil 44. DE-3 numaralı deney elemanı ve donatısı.



Şekil 45. İlave kanat duvar donatı detayı.

2.1.1.4. DE-4 Numaralı Deney Elamanı

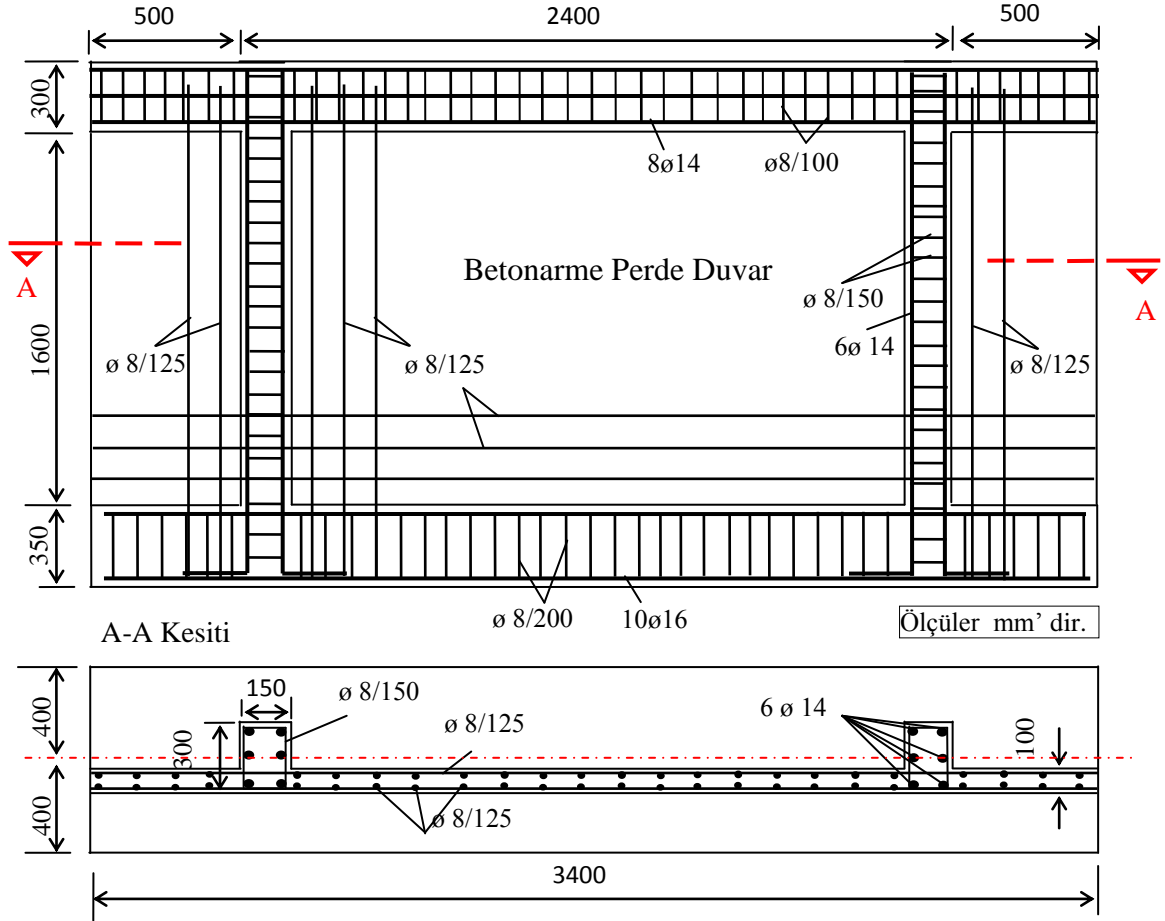
Bu deney elemanı, yüksekliğin $1/4'$ ü kadar ($0.25H$) bant pencere bırakılarak üretilen DE-2 numaralı deney elemanlarının birisine, kolonların her iki tarafında açıklığın 0.375 katı ($l'=0.375L$) kanat duvar ilave edilerek oluşturulmuştur (Şekil 46). Kanat duvar donatısı DE-3 numaralı deney elemanında olduğu gibi seçilmiştir (bkz. Şekil 45).



Şekil 46. DE-4 numaralı deney elemanı ve donatısı.

2.1.1.5. DE-5 Numaralı Deney Elemanı

Bu deney elemanında, çerçevelerde bant pencere bırakılmadan, tamamen perde duvarla inşa edilen yapıların davranışının incelenmesi amacıyla, tüm açıklık betonarme perde ile kapatılmıştır. Bu eleman, araştırmaya ait sınır koşullarından birini oluşturmaktadır (Şekil 47).



Şekil 47. DE-5 numaralı deney elemanını ve donatısı.

2.1.2 Deneylerde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

2.1.2.1 Agrega Özellikleri

Deney elemanlarının üretiminde, hazır beton kullanılması düşünüldüğünden, hedeflenen dayanımda beton için, hazır beton tesisinde kullanılan agregalardan örnek alınmış ve bu agregaların özellikleri belirlenmiştir. Hazır beton tesisinden alınan agrega, maksimum boyutu 12 mm olan kalker agregasıdır. Bu agregalar üzerinde gerçekleştirilen fiziksel özellik deneylerinden elde edilen sonuçlar Tablo 3' de verilmiştir. Çalışma kapsamında üretilen betonların tümünde aynı tür agrega ile aynı granülometrik bileşim kullanılmıştır (Tablo 4). Deney elemanlarında, kısa kolon davranışının iyileştirilmesi amacıyla ilave edilen kanat duvarların üretiminde de aynı tür agrega kullanılmıştır.

Tablo 3. Betonların üretiminde kullanılan agregaların fiziksel özellikleri.

Agrega tane boyutu	Özgül kütle (kg/m ³)		Su emme (%)
	Kuru	Doygun	
İri (4 mm-12 mm)	2643	2655	0.45
İnce(0-4 mm)	2632	2647	0.57

Tablo 4. Agreganın granülometrik bileşimi.

Granülometrik sınıflar (mm)	Toplam kütle (%)
0-2	30
2-4	17
4-8	30
8-12	23

2.1.2.2. Çimento, Su ve Katkı Maddelerinin Özellikleri

Deney elemanlarının çerçeve ve perde kısımlarında kullanılan düşük dayanımlı betonların üretiminde CEM II 32.5 R çimentosu, kanat duvarlarda ise CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentoların özellikleri Tablo 5’de verilmiştir. Betonların üretiminde ve küründe, laboratuarda mevcut içme suyu özeliğinde olan su kullanılmıştır. Betonların hiç birinde mineral katkı maddesi (uçucu kül, mikro silis vb.) kullanılmamıştır. Kimyasal katkı maddesi ise çerçeve ve perde duvarların üretiminde kullanılmamış ancak kanat duvar betonlarında, donatı aralarına betonun daha iyi girmesi ve mevcut betonla yeni beton arasında boşluk kalmaması amacıyla, süper akışkanlaştırıcı (YKS Rheobuild 1000) katkı maddesi kullanılmıştır.

2.1.2.3. Donatı Özellikleri

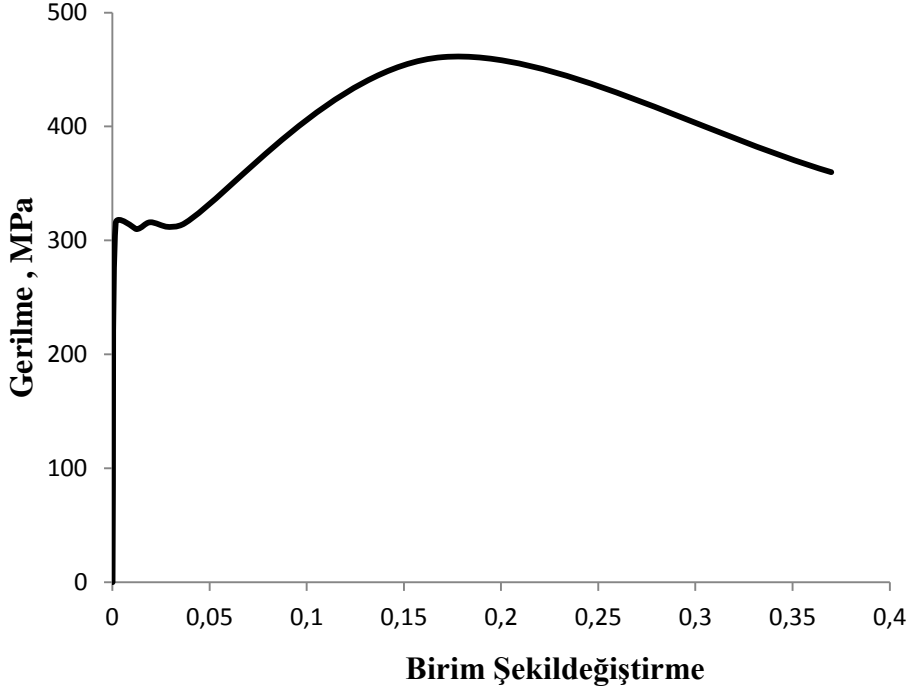
Bu çalışma kapsamında üretilen deney elemanlarında, (kolon-kiriş, perde duvar ve kanat duvarlarda) kullanılan donatılar üzerinde, 600 kN kapasiteli universal deney aleti ile merkezi çekme deneyi yapılmıştır (Şekil 48). Deneylerden elde edilen gerilme-birim şekildeğiştirme diyagramları Şekil 49, Şekil 50 ve Şekil 51’ de, mekanik özellikler ise Tablo 6’ da verilmiştir.

Tablo 5. Beton üretiminde kullanılan çimentoların özellikleri.

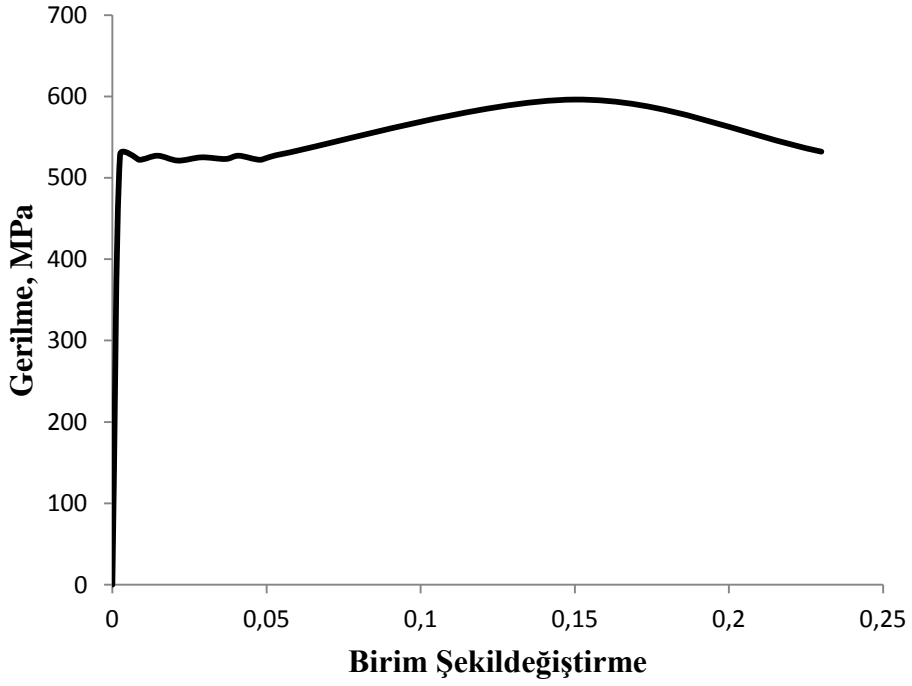
Cem II 32.5 R			Cem I 42.5 R		
Fiziksel özellikler			Fiziksel özellikler		
Özgül kütle (g/cm^3)		3.05	Özgül kütle (g/cm^3)		3.15
Blaine özgül yüzey (cm^2/g)		3465	Blaine özgül yüzey (cm^2/g)		3675
200 μ elek üstünde kalan (%)		0.00	200 μ elek üstünde kalan (%)		0.00
90 μ elek üstünde kalan (%)		2.00	90 μ elek üstünde kalan (%)		1.05
Priz süresi (saat) (vicat indisi)	Başlangıç	2:50	Priz süresi (saat) (vicat indisi)	Başlangıç	2:25
	Bitiş	4:25		Bitiş	4:15
Toplam hacim genişlemesi (mm)		0.8	Toplam hacim genişlemesi (mm)		0.9
Mekanik özellikler			Mekanik özellikler		
7 gün	Eğilme dayanımı (MPa)	3.7	7 gün	Eğilme dayanımı (MPa)	6.9
	Basınç dayanımı (MPa)	29.9		Basınç dayanımı (MPa)	45.8
28 gün	Eğilme dayanımı (MPa)	6.7	28 gün	Eğilme dayanımı (MPa)	8.7
	Basınç dayanımı (MPa)	37.0		Basınç dayanımı (MPa)	52.5



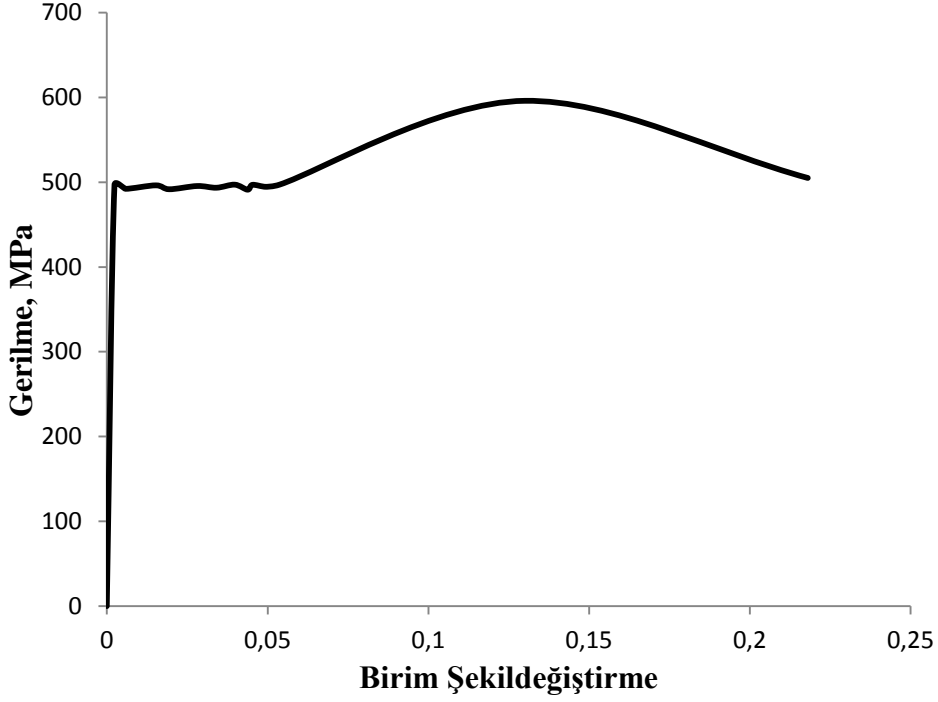
Şekil 48. 600 kN kapasiteli universal deney aleti.



Şekil 49. 8 mm çapında düz donatının gerilme-birim şekildeğiştirme diyagramı.



Şekil 50. 8 mm çapında nervürlü donatının gerilme-birim şekildeğiştirme diyagramı.



Şekil 51. 14 mm çapında nervürlü donatının gerilme-birim şekildeğiştirme diyagramı.

Tablo 6. Deney elemanlarının üretiminde kullanılan donatıların mekanik özellikleri.

Çap	Akma dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Akma birim uzaması (%)	Kopma birim uzaması (%)	Elastisite modülü (MPa)
8 mm düz	315	461	16	37	196875
8 mm nervürlü	528	644	25	23	211200
14 mm nervürlü	497	596	24	24	207083

2.1.2.4. Deney Elemanlarında Kullanılacak Beton Karışımlarının Belirlenmesi

Bu çalışma kapsamında, mevcut binalardaki beton kalitesi dikkate alınarak deney elemanlarının düşük dayanımlı betonlarla üretilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, hedeflenen basınç dayanımında beton (15 MPa) üretebilmek amacıyla deneme üretimleri yapılmıştır. Bant pencere boşluklarını güçlendirmek amacıyla yapılacak olan kanat dolgu duvarları için hedeflenen basınç dayanımı ise 25 MPa'dır. Hedeflenen basınç dayanımlarını sağlayan karışım oranları Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Betonların karışım oranları (1 m³).

Betonlar	Çimento tipi	Çimento miktarı (kg)	S/Ç Oranı	Agrega (kg)	Su (kg)	Katkı Maddesi (kg)
Çerçeve+perde duvar	Cem II 32.5 R	300	0.68	1796	204	-
Kanat duvarlar	Cem I 42.5 R	350	0.60	1746	210	4.2

Tablo 6' da verilen karışım oranları kullanılarak üretilen deneme betonlarından , 6' şar adet standart silindir numuneler alınarak 28 gün boyunca, standart küre bırakılmıştır. Bu süre sonunda sudan çıkartılan numuneler üzerinde basınç deneyi gerçekleştirilmiştir. Karışım oranlarının belirlenmesi için üretilen standart silindir numuneler üzerinde yapılan deneylerde, 2500 kN kapasiteli, bilgisayar kontrollü, sabit hızla yükleme yapabilen bir deney aleti kullanılmıştır (Şekil 52). Deneme karışımlarında elde edilen basınç dayanımlarının ortalaması 15.8 MPa olarak, kanat duvar üretiminde kullanılacak betonun ortalama dayanımı ise 28.2 MPa olarak elde edilmiştir. Tablo 7' de verilen karışım oranları kullanılarak üretilen betonların basınç dayanımlarının hedeflenen dayanımlara uyduğu, hazır betonlar yapılması durumunda %10'luk bir dayanım kaybı olabileceği, bununda hedeflenen dayanımı sağlayabileceği düşünülerek, belirlenen karışım oranlarında beton, hazır beton tesislerinde ürettirilmiştir. Kanat duvarlarda kullanılacak beton ise laboratuarda üretilmiştir.



Şekil 52. Basınç deneylerinde kullanılan 2500 kN kapasiteli deney aleti.

2.1.3. Deney Elemanlarının Üretimi ve Deney Düzeneği

2.1.3.1. Deney Elemanlarının Üretimi

Bu çalışma kapsamında hazırlanan deney elemanlarının üretiminde maksimum agrega boyutu 12 mm olan, özellikleri ve granülometrik bileşimi bilinen (bkz. Tablo 3 ve Tablo 4) kalker agregası kullanılmıştır. Deney elemanlarının çerçeve ve perde duvarlarında C12-C15 arasında dayanım sınıfı beton hedeflenerek, belirlenen karışım oranlarındaki (bkz. Tablo 7) betonlar hazır beton tesisinden temin edilmiştir. Deney elemanlarının üretiminde, öncelikle temel sisteminin betonları dökülmüştür. Bunun için hazırlanan temel donatıları kalıbına yerleştirilmiş ve temel sisteminin rijit döşemeye bağlanabilmesi için 60 mm çapında her bir tarafta 4 adet olmak üzere toplam 8 adet çelik boru ile ankraj delikleri bırakılmıştır (Şekil 53). Deney elemanlarının donatıları laboratuarda hazırlanmış ve mevcut binalardaki kusurlar göz önünde bulundurularak enine donatılar 90° kancalı yapılmıştır. Daha sonra, kolon ve betonarme perde donatıları planlarına uygun olarak temel sistemine yerleştirilmiş ve temel sisteminin betonu dökülmüştür (Şekil 54). Temel betonunun dökümünden bir gün sonra, kolon, perde ve kirişlerin kalıpları yapıp, donatıları hazırlanmıştır (Şekil 55).



Şekil 53. Deney elemanlarının temel sistemi, kolon- perde duvar donatıları ve ankraj delikleri.



Şekil 54. Deney elemanı temel sistemi betonunun dökümü.



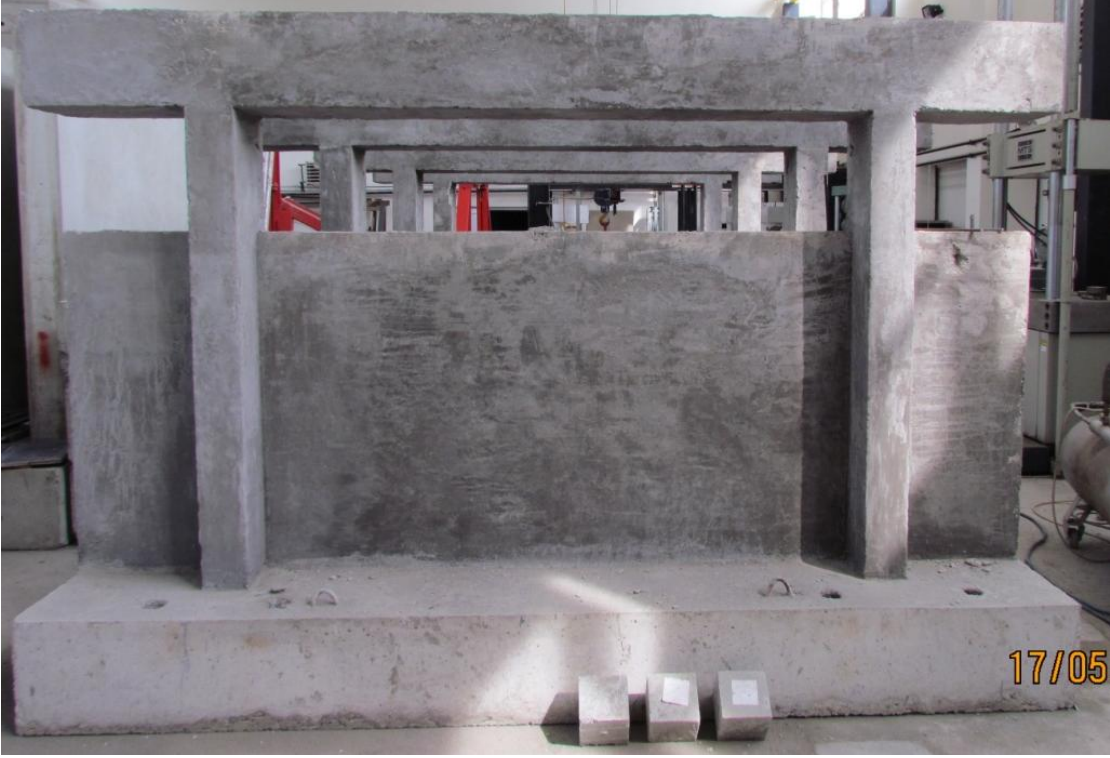
Şekil 55. Kolon, kiriş ve perde duvar kalıplarının yapılması.

Deney elemanlarının kolon, kiriş ve perde duvar kalıplarının yapılmasından sonra, yatay yükü kolonlara aktarabilmek için 300 mm x 300 mm enkesitinde hazırlanan kalıplara kiriş donatıları yerleştirilmiştir. Kiriş donatısı içinde kalacak şekilde, deney elemanlarına tersinir tekrarlı yatay yük aktaracak, 26 mm çaplı St52 çeliğinden hazırlanmış çubukların yerleştirilmesi için, 30 mm çapında 4 adet plastik kanal bırakılmıştır (Şekil 56).



Şekil 56. Kiriş donatıları ve kiriş içinde bırakılan kanalların görünüşleri.

Daha sonra kolon, kiriş ve perde duvar kalıpları hazırlanan deney elemanlarının betonları dökülürken bir yandan da 25 mm çaplı vibratör ile sıkıştırma işlemleri yapılmıştır. Betonların prizini almasının ardından kalıplar sökülmüş ve deney elemanlarına en az 20 gün boyunca ıslak çuvallarla kür uygulaması yapılmıştır. Üretilen deney elemanlarından bazı görünüşler Şekil 57' de verilmiştir.



Şekil 57. Üretilen deney elemanlarından bazı görünüşler.

Deney elemanlarının üretimi sırasında hazır beton tesisinden temin edilen betonların dayanımının belirlenmesi için her bir seriden 6' şar adet standart silindir numune alınmıştır. Bu numuneler deney elemanlarının yanına konularak aynı koşullarda kür edilmiştir.

2.1.3.2. Kanat Dolgu Duvarların Üretimi

Bu çalışma kapsamında, farklı boyutlardaki bant pencere boşluklarının kısa kolon davranışına etkilerine inceleyebilmek amacıyla yukarıda anlatıldığı gibi üretilen deney elemanlarından, bant pencere yüksekliği $0.25H$ olan DE-3 ve DE-4 numaralı deney elemanlarına sırasıyla açıklığın 0.25 katı ve 0.375 katı genişliğinde kanat duvarlar eklenmiştir. Deney elemanlarına kanat duvar eklenmeden önce, mevcut deney elemanının perde, giriş ve kolonlarına, 150 mm aralıklı 10 mm çapında nervürlü ankraj çubukları eklenmiştir. Bu amaçla kolon, giriş ve perdeler üzerinde belirlenen noktalarda donatı çapının 10 katı uzunluğunda (100 mm) 14 mm çapında ankraj delikleri açılmıştır. Delikler içerisinde kalan toz ve beton parçaları basınçlı hava yardımıyla temizlenerek, ankraj çubukları epoksi ile yerleştirilmiştir. Bu çubukların yerleştirilmesi esnasında dışarıda kalan serbest boylarının donatı çapının 20 katı uzunluğunda (200 mm) olmasına dikkat edilmiştir (Şekil 58).

Kısa kolon davranışın iyileştirilmesi amacıyla, betonarme perde kanat duvarlarla yapılan güçlendirme işleminde ankraj çubukları, mevcut eleman ile ilave betonarme perde arasındaki ara yüzeyde kayma gerilmesini karşılayacak şekilde seçilmiştir. Ankraj çubuklarının tasarımında TS 500’de belirtilen sürtünme kesmesi esas alınmıştır. TS 500’e göre, iki ayrı malzemenin birleştiği düzlemlerde veya ayrı ayrı zamanlarda dökülmüş iki beton yüzeyin birleştiği düzlemlerde kesme hesabı ve donatı detaylandırması:

$$V_r > V_d \quad (17)$$

koşulunu sağlayacak şekilde yapılmalıdır. Burada; V_r :

$$V_r = A_{wf} f_{yd} \mu \quad (18)$$

bağıntısıyla belirlenmiştir. Bu bağıntıda, A_{wf} : kesme sürtünmesi donatısı alanı, μ : sürtünme katsayısını (yüzey pürüzlendirilmiş ise $\mu=1.0$, pürüzlendirilmemiş ise $\mu=0.60$) göstermektedir. TS 500’ e göre sürtünme kesmesi (V_d):

$$V_d \leq 0.20 f_{cd} A_c \quad (19)$$

sınırını geçemez. Buna göre, deney elemanlarına maksimum 250 kN ‘ luk tekrarlı yük uygulandığında, her bir kolona gelen kesme kuvveti 125 kN olmaktadır. Mevcut kiriş ve perdeye, uygulanan yatay yüke göre dik konumda yerleştirilen sürtünme kesmesi donatılarının (ankraj çubuklarının) alanı $A_{wf} = 628.32 \text{ mm}^2$, olduğundan (18) bağıntısına göre ara yüzeydeki kesme dayanımı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$V_r = 628.32 \times 420 \times 1.0 = 253 \text{ kN} > V_d = 125 \text{ kN} \quad (20)$$



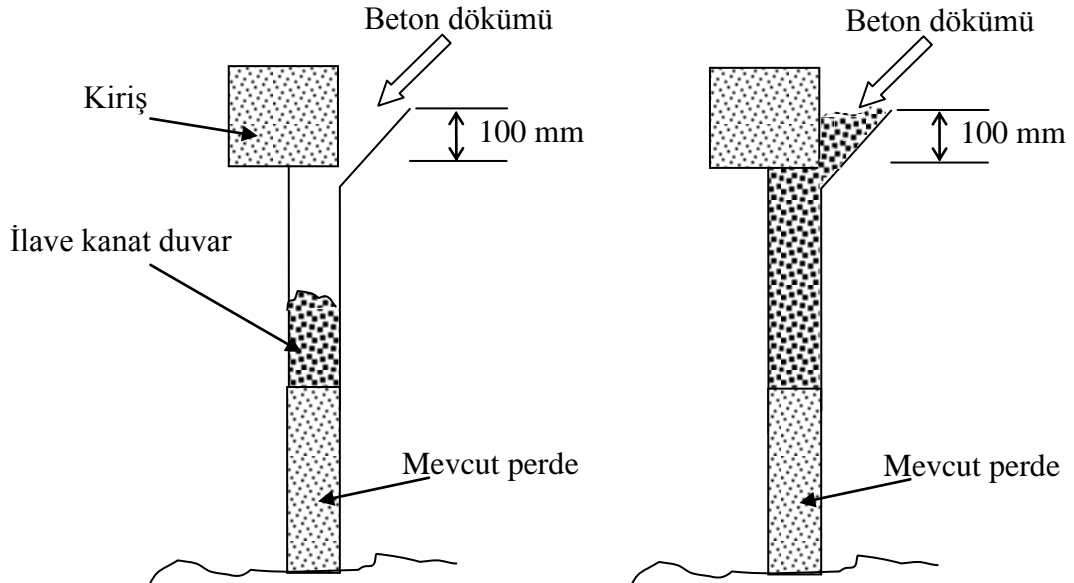
Şekil 58. Ankraj çubuklarının yerleştirilmesi.

DE-3 ve DE-4 numaralı deney elemanlarına ankraj çubukları yerleştirildikten sonra, kanat duvar olarak ilave edilecek perde uçlarında meydana gelebilecek zorlanmalar dikkate alınarak, 100x150 mm boyutlarında, perde uç elemanları yapılmıştır. Kanat duvarlara yatay ve düşey doğrultuda 100 mm aralıklı 8 mm’ lik perde donatısı yerleştirilmiştir. Ankraj çubuklarının yerleştirilmesi ve uç elemanlarının yapımından sonra, ilave kanat duvarlara, dayanım sınıfı en az C25 olacak şekilde hazırlanan beton dökülmüştür. İlave kanat duvarlara ait bir görünüm Şekil 59’ da verilmiştir.



Şekil 59. Deney elemanlarında ilave kanat duvar uç elemanları ve donatısı.

Ankraj çubukları yerleştirildikten sonra, ilave kanat duvar uç elemanları ve perde donatısı yerleştirilmiş, sonra beton dökümü için kalıplar yapılmıştır. Kalıplar, betonun kolayca dökülmesi ve kiriş altında boşluk kalmaması için, kiriş alt seviyesinden itibaren, Şekil 60’da şematik olarak görüldüğü gibi, 100 mm yüksek yapılmıştır.



Şekil 60. Kanat duvarlarına beton dökümünün şematik gösterimi.

Kanat duvarlara beton dökümü kiriş alt seviyesinden 100 mm yukarda yapıldığı için, kirişin yan tarafında meydana gelen fazlalık kısım dökümden 1 gün sonra kiriş yüzeyinden kırılarak temizlenmiştir. Böylece kanat duvarlara dökülen taze beton ile kiriş alt yüzünde boşluk oluşmasına engel olunmaya çalışılmıştır. Kanat duvarlara dökülen beton, daha önce karışım oranları verildiği gibi laboratuarda hazırlanmıştır. Beton dökümü sırasında, her üretimden 6 adet standart silindir beton numuneler alınmıştır. Kanat duvarla güçlendirilen deney elemanlarından görünümüler Şekil 61' de verilmiştir.



Şekil 61. Kanat duvar ilave edilmiş bazı deney elemanları.

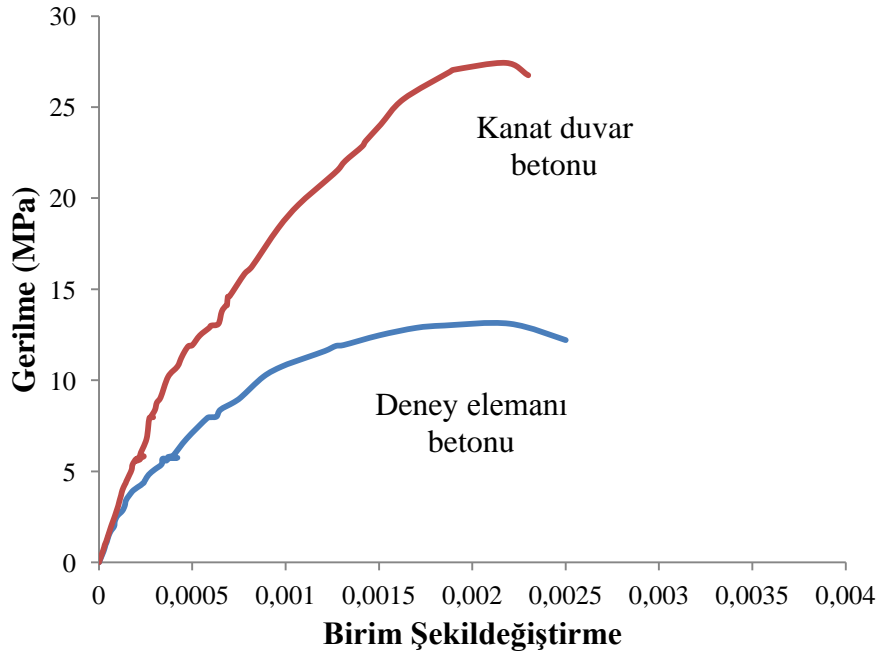
2.1.3.3. Deney Elemanlarında Kullanılan Betonların Özellikleri

Deney elemanlarının üretimi sırasında alınan standart silindir numuneler üzerinde 2500 kN kapasiteli deney aleti ile basınç deneyi yapılmıştır (bkz. Şekil 52). Bununla birlikte deney elemanında kullanılan betonun birim şekildeğiştirmesinin belirlenmesi için,

her bir seriden bir adet numuneye 4 adet aktif boyu 30 mm olan birim şekildeğiştirme ölçeri yerleştirilmiştir (Şekil 62). Numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen ortalama gerilme-birim şekildeğiştirme eğrisi Şekil 63’de, ortalama basınç dayanımları ile bu gerilme-birim şekildeğiştirme eğrisinden elde edilen başlangıç elastisite modülleri ise Tablo 8’de verilmiştir.



Şekil 62. Standart silindir numuneler üzerinde yapılan basınç deneyi.



Şekil 63. Üretilen betonların gerilme-birim şekildeğiştirme eğrileri.

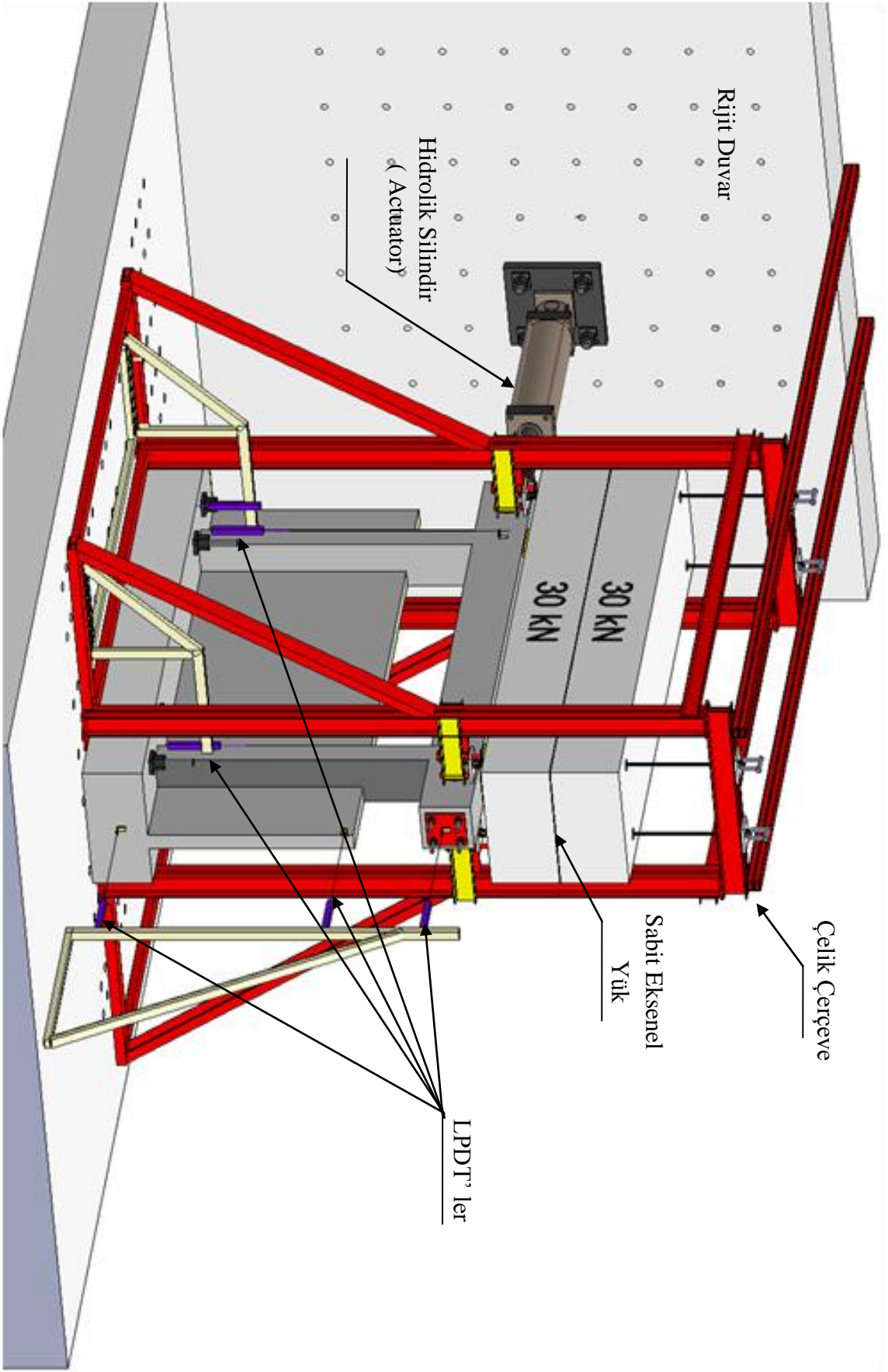
Tablo 8. Üretilen betonların basınç dayanımları ve elastisite modülleri.

Numune no	Basınç dayanımı (MPa)		Ortalama basınç dayanımı (MPa)		Elastisite modülü (E_c)	
	Deney elemanı	Kanat duvar	Deney elemanı	Kanat duvar	Deney elemanı	Kanat duvar
1	13.7	28.4	13.16	27.43	26500	30100
2	13.0	27.1				
3	13.2	27.8				
4	13.6	27.7				
5	12.4	28.1				
6	13.2	27.1				
7	13.7	27.0				
8	13.3	27.8				
9	13.1	27.3				
10	12.4	26.6				
11	12.9	27.6				
12	13.4	26.7				

Tablo 8’den görüldüğü gibi, deney elemanlarının üretiminde kullanılan betonun ortalama basınç dayanımı 13,16 MPa olarak elde edilmiştir. Söz konusu betonun ortalama basınç dayanımı laboratuvar ortamında deneme üretimlerinde 15.8 MPa olarak elde edilmiştir. Betonun aynı karışım oranlarında hazır beton santralinde ürettirilip, kalıplara dökülmesi sırasında %10’luk bir dayanım kaybının olabileceği düşünülmesine rağmen, bu kayıp %17 düzeyinde olmuştur.

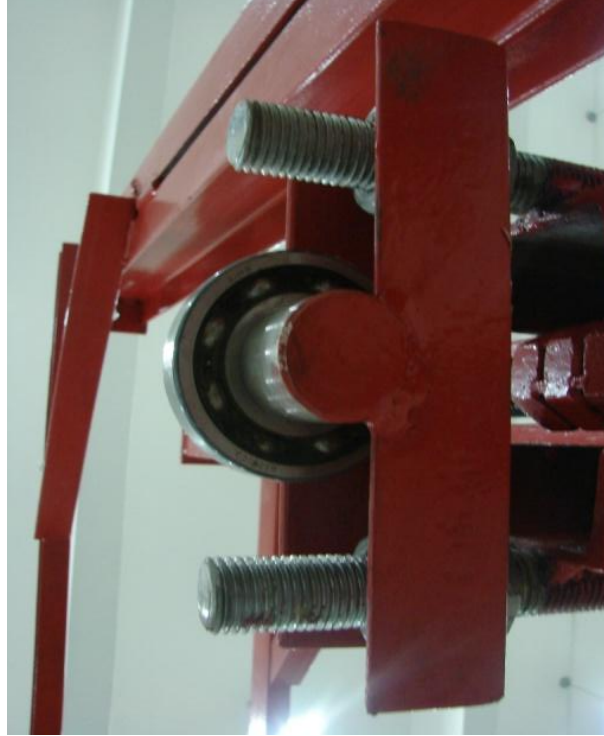
2.1.4. Deney Düzenegi

Bütün deney elemanları Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği laboratuvarında üretilmiş ve deneyler 600 mm kalınlığındaki rijit yükleme duvarında gerçekleştirilmiştir. Bütün deney elemanlarına sabit aksenal düşey yük ve tersinir tekrarlanır yatay yük uygulanmıştır. Deneye tabi tutulan betonarme çerçeveler rijit duvarın döşemesine yüksek mukavemetli 8 adet 50 mm çaplı çelik çubuk ile bağlanarak ankastre mesnet şartlarının sağlanmasına özen gösterilmiştir. Deney elemanlarına uygulanacak olan aksenal düşey yükün kolonların üzerine emniyetli bir şekilde uygulayabilmesi ve deney elemanının uygulanacak yatay yük altında düzlem dışı hareket etmesine engel olabilmek amacıyla laboratuvarda yapılan yardımcı çelik çerçeve de rijit duvarın döşemesine bağlanmıştır (Şekil 64).



Şekil 64. Yükleme sistemi.

Deney elemanlarına, laboratuvar imkanları dahilinde, her bir kolona 30 kN etkiyecek şekilde 60 kN' luk düşey yük uygulanmıştır. Bunun için kolonların üzerine yerleştirilen, kolon enkesitinde ve 30 mm kalınlığında çelik plakalara, daha önce üretilen ve her birinin ağırlığı 30 kN olan 2 adet beton blok serbest oturacak şekilde yerleştirilmiştir. Bu bloklar içinde bırakılan boşluklardan, deney sonrasında deney elemanının göçmesi durumunda herhangi bir devrilme tehlikesinin önlenmesi, çelik halatla üstten çelik çerçeveye, yatay hareketi kısıtlamayacak şekilde bağlanmıştır. Çelik çerçeveye kiriş seviyesinde yerleştirilen rulmanlar sayesinde deney elemanlarının yatay yük doğrultusunda serbestçe hareket etmesine imkan verilmiş yalnızca düzlem dışı hareketi engellenmiştir (Şekil 65). Deney elemanlarına tersinir tekrarlanır yatay yük uygulayabilmek için, deney elemanlarının üretimleri sırasında kiriş içinde bırakılan 30 mm çaplı dört adet kanaldan, St52 çeliği ile hazırlanmış, dört adet 26 mm çaplı, çelik çubuklar geçirilerek kirişin her iki başından çelik plakalara bağlanmıştır (Şekil 66). Kirişin bir ucunda ise bu plaka rijit duvara kiriş seviyesinde bağlı bulunan ve deney elemanına bilgisayar kontrollü olarak yatay yük veren sisteme (Actuator) bağlanmıştır. Ayrıca ölçüm aletlerinin bağlanabilmesi için çelik profillerle düzenek oluşturulmuştur. Deneye hazır hale getirilen bir deney elemanı Şekil 67'de görülmektedir.



Şekil 65. Sistemin yatay doğrultudaki hareketine izin veren rulmanlar.



Şekil 66. Kiriş içinde açılmış 30 mm çapındaki 4 adet kanal.



Şekil 67. Deneye hazır hale getirilmiş bir deney elemanı.

2.1.4.1. Ölçüm Sistemi ve Kullanılan Aletler

Deneyleerde yatay yük, yerdeğiştirme ve birim Şekildeğiştirme ölçümleri yapılmıştır. Deneyle elemanlarına uygulanan yatay yüklemeye; besleme hortumları vasıtasıyla yüksek başarımly güç ünitesine bağlı bir hidrolik silindir ile yapılmıştır (Şekil 68). 200 mm açılma kapasitesi olan hidrolik silindir tersinir (itme-çekme) olarak yüklemeye yapabilmektedir. Hidrolik silindir her iki ucundan da mafsallı olarak teŐkil edildiği için deneyle elemanının olası düşey hareketi sırasında yüklemenin farklı gerilmelere yol açması engellenmektedir. Yatay yük ölçümleri deneyle elemanı ile rijit duvar arasında bulunan hidrolik silindirin ucuna bağlanan ve yükü elektronik olarak ölçebilen yük hücresi (Loadcell) ile yapılmıştır (Şekil 69). 500 kN basınç-çekme kapasiteli yük hücresi deneylelerden önce kalibre edilmiş ve doğruluğu kesin olarak kontrol edilmiştir.



Şekil 68. Hidrolik silindir (Actuator).



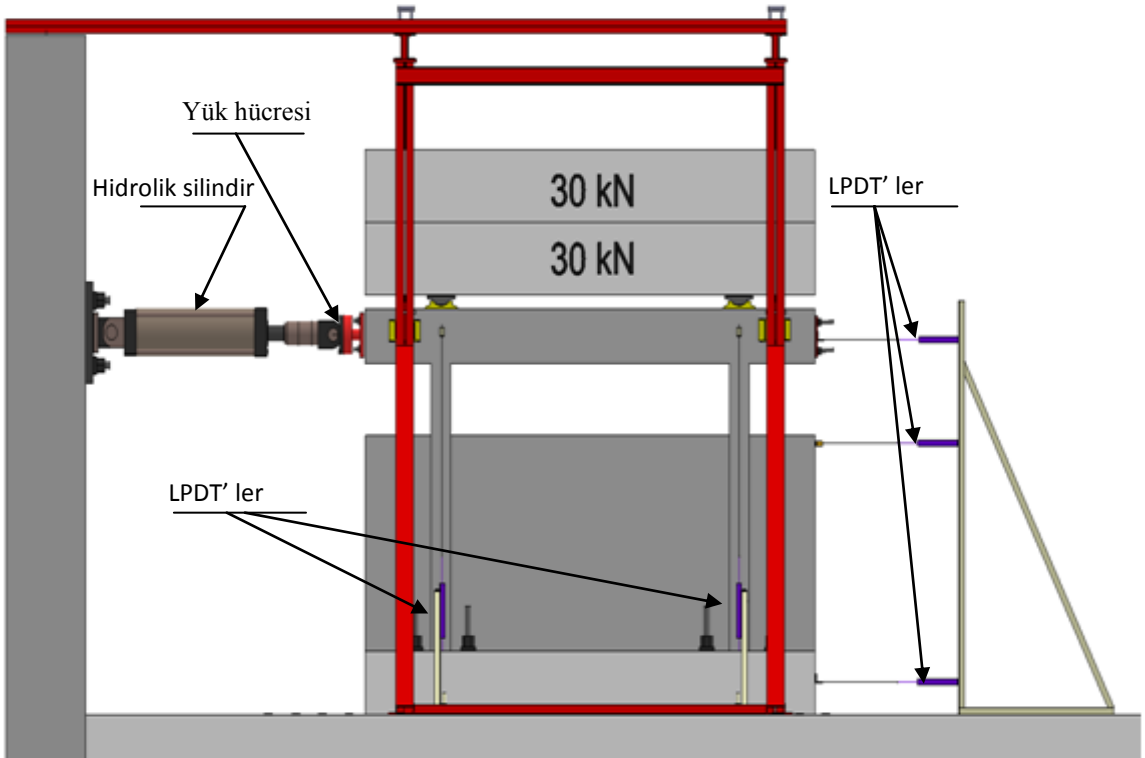
Şekil 69. Hidrolik silindirin ucuna yerleştirilen yük hücresi (Loadcell).

Deney elemanlarının istenilen noktalarındaki yerdeğişirmeler LPDT' ler (doğrusal potansiyometrik cetveller) yardımı ile elektronik olarak ölçülmüş ve bilgisayara aktarılmıştır. Deneylerde 50, 200, 300 mm' lik potansiyometrik cetveller kullanılmıştır (Şekil 70). Deney elemanlarında yerdeğişirmelerin ölçüldüğü noktalar Şekil 71'de gösterilmiştir.

Deneyler esnasında kolon donatılarındaki birim şekildeğişirmeyi belirlemek amacıyla her bir kolonun dış donatılarından birisine, betonarme perde seviyesinde, aktif boyu 10 mm olan birim şekildeğişirme ölçeri (Strain gauge) yapıştırılmıştır. Birim şekildeğişirme ölçerlerinin yapıştırılabilmesi için donatı yüzeyindeki nervür tıraşlanarak düz bir yüzey elde edilmiştir. Ölçümlerin sağlıklı olabilmesi için yapıştırılacak yüzeyi iyice temizlenmiş ve yapıştırma işlemi özenle yapılmıştır (Şekil 70). Yapıştırıldıktan sonra kalibrasyonu yapılan şekildeğişirme ölçerleri ± 0.0075 aralığındaki şekildeğişirmeleri ölçebilmektedir.

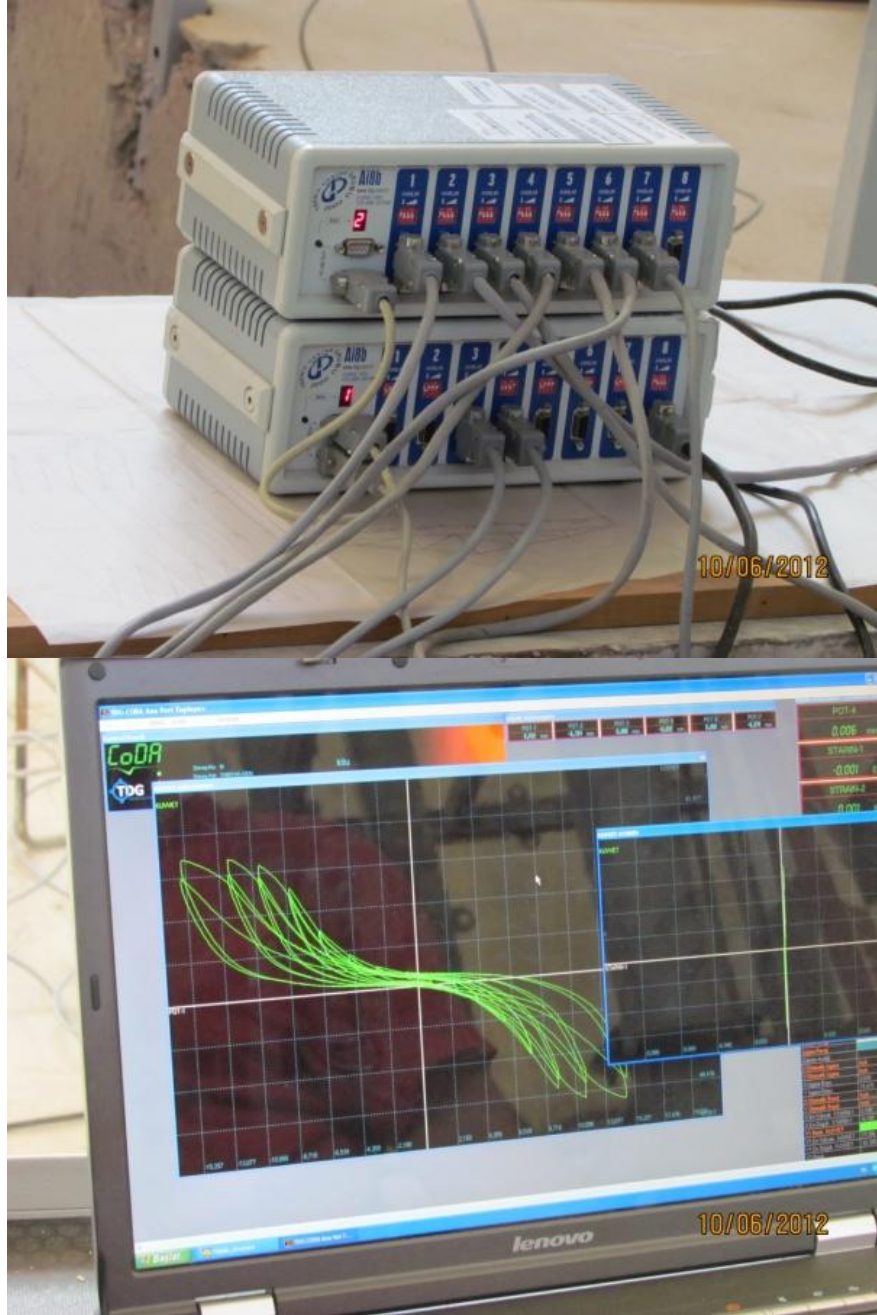


Şekil 70. Deneylerde kullanılan LPDT' ler ve donatı yüzeyine yapıştırılmış şekildeğiştirme ölçeri (Strain gauge).



Şekil 71. Deney düzeneği ve ölçüm sistemi.

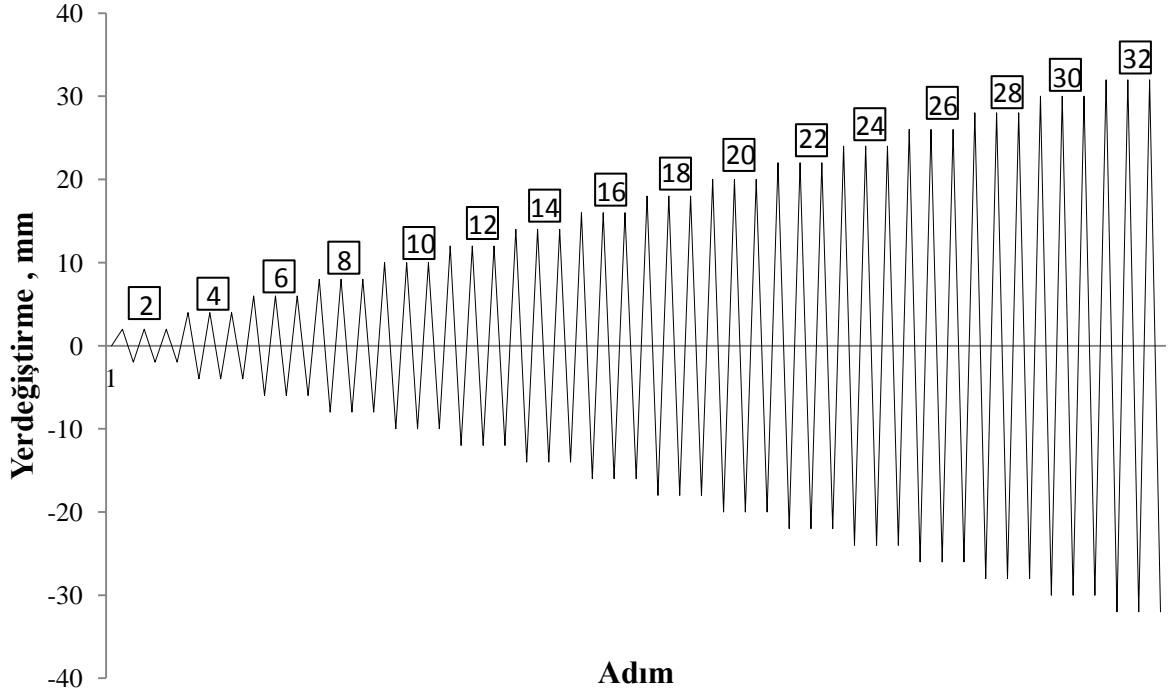
Deney boyunca elde edilen okumalar saniyede 16 veri kaydetme özelliğine sahip 16 kanallı CODA Ai8b veri toplama cihazı (Data Logger) vasıtası ile kayıt altına alınmıştır (Şekil 72).



Şekil 72. 16 kanallı CODA Ai8b veri toplama cihazı.

2.1.4.2. Deney Elemanlarına Uygulanan Yatay Yük

Tersinir tekrarlanır yatay yük uygulanması için yukarıda anlatıldığı gibi hazırlanan deney elemanları üzerinde, önceden tanımlanan bir yükleme senaryosu bilgisayar yardımıyla uygulanmıştır. Rijit duvar ve deney elemanı arasında bulunan hidrolik silindirin hareketi bilgisayarla kontrol edilmiştir. Deplasman kontrollü olarak yapılan deneylerde yatay yük, iki yönlü giderek artan yerdeğiştirme çevrimleri şeklinde verilmiştir (Şekil 73). Her bir çevrim 3 kez uygulanmıştır. Hasar durumunun sağlıklı bir şekilde takip edilebilmesi ve çatlakların detaylı olarak gözlemlenebilmesi için yüklemeler belirli bir zaman dilimine yayılmıştır.



Şekil 73. İki yönlü giderek artan yerdeğiştirme çevrimleri.

2.1.5. Ölçümlerin Değerlendirilmesi

2.1.5.1. Yük-Yerdeğiştirme Grafiklerinin Elde Edilmesi

Yükleme senaryosuna göre yapılan deneylerde, her bir deney elemanı için, kiriş uçlarındaki yatay yerdeğiştirmelere karşılık gelen yatay yük değerleri ölçüm sisteminde

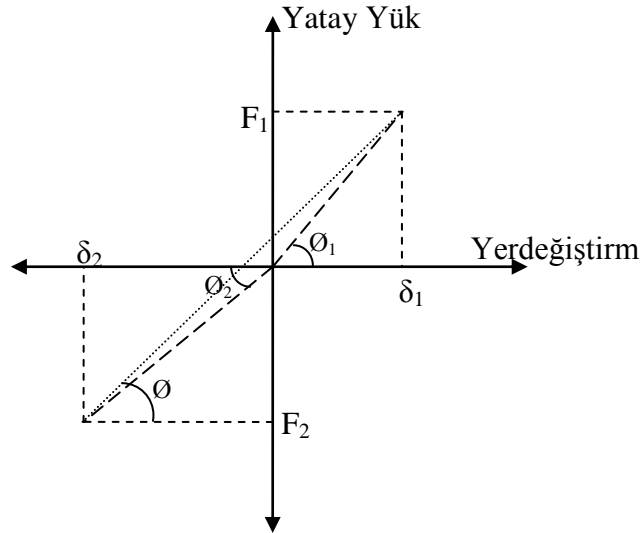
kullanılan aletler vasıtası ile ölçülmüş ve kayıt altına alınmıştır. Yük-yerdeğiştirme grafiği, yük y ekseninde ve yerdeğiştirme x ekseninde gösterilmek üzere elde edilen veriler ile çizilmiştir.

2.1.5.2. Dayanım Zarfı Grafiklerinin Elde Edilmesi

Yük-yerdeğiştirme grafiği üzerindeki her çevrim için, en büyük yük değeri ve bu değere karşılık gelen yerdeğiştirme miktarı dayanım zarfı üzerinde bir koordinat olmak üzere, ileri ve geri çevrimlerden elde edilen koordinatların birleştirilmesi ile dayanım zarfı eğrileri elde edilmiştir.

2.1.5.3. Rijitliklerin Hesabı

Tersinir tekrarlanır yatay yükleme altında, deney elemanlarının rijitliklerinde ilerleyen her çevrimde bir azalma meydana gelmektedir. Deney elemanlarının rijitlik değerleri, her çevrim için yük-yerdeğiştirme grafiğinin eğimi bulunarak elde edilmiştir (Şekil 74).



Şekil 74. Deney elemanlarının rijitlik değerlerinin belirlenmesi [51].

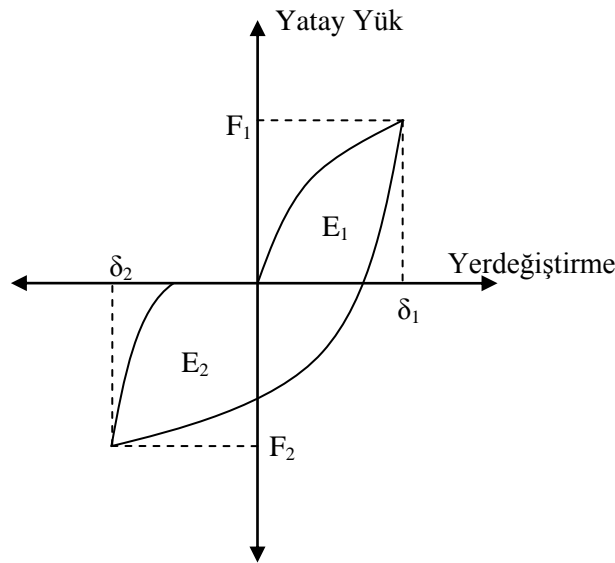
Her çevrimde yük-yerdeğiştirme eğrisinde okunan yük değerleri F_1 ve F_2 ile yerdeğiştirme değerleri δ_1 ve δ_2 olarak belirlenirse, o çevrim için rijitlik değerleri:

$$Rijitlik = \tan(\phi) = \frac{(F_1 - F_2)}{(\delta_1 - \delta_2)} \quad (21)$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır. Deney elemanları için elde edilen rijitlik değerlerinin birbirleri ile kıyaslanabilmesi için bulunan rijitlik değerlerinin, kat ötelenme oranı ile değişiminin grafiksel olarak çizilmesi ile rijitlik azalımı grafikleri elde edilmiştir.

2.1.5.4. Enerji Tüketme Kapasitelerinin Hesabı

Yük altındaki yapılar, üzerlerine etkiyen yüklerin oluşturduğu enerjinin bir kısmını şekildeğiştirmeler yaparak tüketmektedirler. Tüketilen bu enerji özellikle deprem gibi dinamik yükleme durumları için oldukça önemlidir. Deney elemanlarının tüketebileceği enerji plastik şekildeğiştirme kapasitelerine bağlıdır. Deney elemanlarının her çevrimde tükettikleri enerji değerleri toplanarak, toplam tüketilen enerji grafikleri çizilmiştir. Bu amaçla ileri ve geri çevrimlerden elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme eğrisinin altında kalan alanlar toplanarak, toplam tüketilen enerji değerleri hesaplanmıştır. Bundan sonra her çevrim için tüketilen enerji değerleri artımsal olarak toplanarak toplam tüketilen enerji değeri hesaplanmıştır (Şekil 75). Deney elemanları için elde edilen enerji tüketme grafiklerini birbirleri ile karşılaştırabilmek için toplam tüketilen enerji değerlerinin kat ötelenme oranı ile değişimi grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 75. Toplam tüketilen enerji değerlerinin elde edilmesi [52].

2.2. Analitik Çalışmalar

Son yıllarda bilgisayar teknolojisinin hızla gelişmesiyle birlikte, yapılan deneysel çalışmaların sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmesi yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bir deney elemanının fiziksel özelliklerinin matematiksel olarak doğru modellenebilmesi; malzeme modelinin doğruluğuna, sınır şartlarının doğruluğuna ve deneysel tecrübelerine dayanmaktadır. Deney esnasında yapılan gözlemler, sonlu elemanlar metoduyla yapılacak analizlerde meydana gelebilecek hataların önüne geçilmesine yardımcı olacağı gibi, analiz sonucunda modelde meydana gelen hasarların gerçeğe yakınlığının irdelenmesinde büyük öneme sahiptir. Bu nedenle deneysel gözlemler matematiksel modellenin önemli bir bölümünü oluşturur.

Çalışmanın bu bölümünde betonarme kanat dolgu duvarlar yerine çelik profillerden oluşturulan kanat duvarlar ile güçlendirilen kısa kolonların sonlu elemanlar yöntemi ile doğrusal olmayan analizleri yapılmış ve sonuçlar betonarme kanat duvarlar ile güçlendirilen deneylerin sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

2.2.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Doğrusal Olmayan Analiz

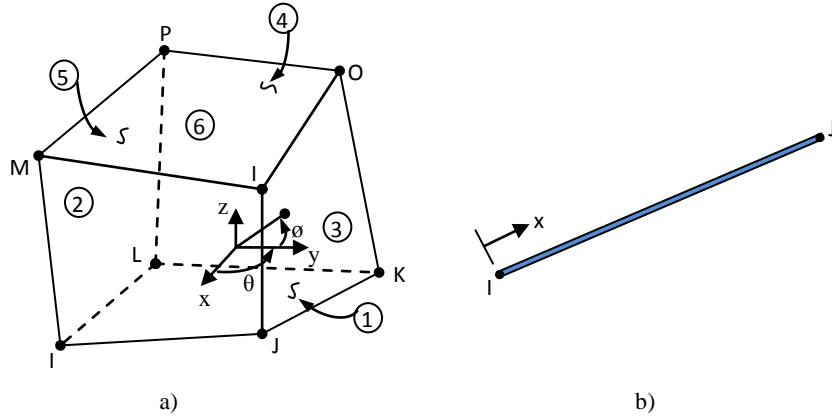
Deney elemanlarının modellenmesi ve analizinde ANSYS sonlu elemanlar programı kullanılmıştır [53]. Geçmişte betonarme yapıların ANSYS ile modellenmesiyle ilgili birçok çalışma yapılmıştır [54-61]. Bu çalışmalar incelendiğinde analiz sonuçlarının deneysel sonuçlarla uyumlu olması ve ANSYS'nin betondaki çatlama ve ezilmeyi de modelleyebilmesi nedeniyle bu program seçilmiştir.

2.2.1.2. Eleman Tipleri ve Malzeme Özellikleri

Analizlerde kullanılan elemanların özellikleri dört grupta incelenebilir. Bunlar: eleman tipleri (Element Type), eleman sabitleri (Real Constant), malzeme modelleri (Material Model) ve anahtar seçenekleridir (Key Options). Modellemelerde kullanılan eleman tipleri SOLID65, SOLID45, LINK180, MASS21, CONTA174 ve TARGE170' dir.

Donatılı veya donatısız 3 boyutlu betonarme elemanların modellenmesinde 8 düğüm noktalı SOLID65 elemanı kullanılmıştır (Şekil 76a). Bu eleman özel olarak beton gibi

tanecikli malzemelerin modellenmesinde kullanılmakta olup çekme etkisi altında çatlama, basınç etkisi altında ezilme, plastik deformasyon ve sünme gibi özellikler göstermektedir. SOLID65’de eleman sabitleri (Real Constant) özelliği kullanılarak kolayca donatı modellenebilir. Bunun için eleman sabitleri olarak donatının malzeme özelliği, hacimsel oranı ve doğrultusu belirlenmelidir. Bu şekilde betonun içinde olduğu varsayılan donatı modeline yayılı (Smearred) donatı denilmektedir. Diğer bir donatı modelleme yöntemi ise ayrı (Discrete) donatı modellemesidir. Bu yöntemde donatılar SOLID65 elemanının içine çizgi (Line) çizilerek gerçekçi olarak modellenir. Ayrı donatı modellemesinde LINK180 elemanı kullanılır ve eleman sabiti olarak donatı alanı girilmektedir (Şekil 76b).

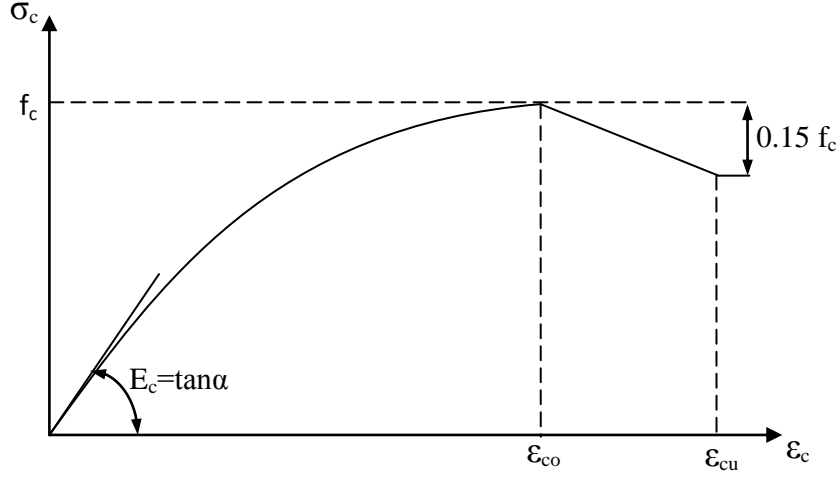


Şekil 76. a) SOLID65 elemanı geometrisi, b) LINK180 çubuk elemanı geometrisi.

Modellemede sargı donatısı kullanıldığı için betonun gerilme-şekildeğiştirme eğrisi Hognestad sargısız beton modeline göre oluşturulmuştur [4]. Hognestad metoduna göre betonun tipik σ - ϵ grafiği Şekil 77’ de gösterilmiştir. Modelde, eğrinin tepe noktasına kadar olan parabolün denklemi (22) bağıntısı ile belirtilmiştir. Eğrinin tepe noktasında maksimum gerilme düzeyine karşılık gelen deformasyon değeri ise (23) bağıntısı kullanılarak belirlenebileceği gibi 0,002 olarak da alınabilmektedir.

$$f_t = 0.35\sqrt{f_c} \quad (22)$$

$$\epsilon_{co} = \frac{2f_c}{E_c} \quad (23)$$

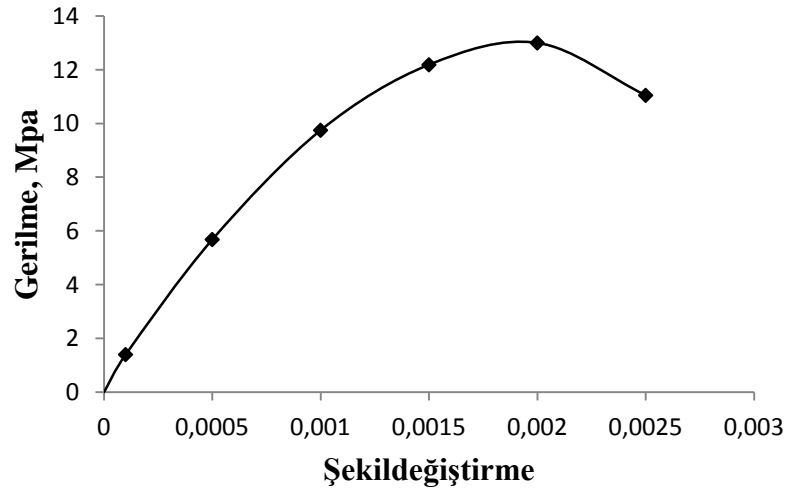


Şekil 77. Hognestad modeline göre betonun σ - ϵ grafiği.

Betonun elastisite modülü E_c , Hognestad tarafından önerilen ve (25) bağıntısı ile verilen formüle göre hesaplanmıştır. Sonlu eleman modellerinde kullanılan betonun gerilme şekil değiştirme diyagramı Şekil 78’ de verilmiştir.

$$E_c = \tan \alpha = 12680 + 460 f_c \text{ (MPa)} \quad (25)$$

Betonun gerilme şekil değiştirme diyagramı ANSYS’ de bulunan ve Von Mises akma kriterlerini esas alan multilinear isotropik pekleşmeli plastisite (MISO) modeli kullanılarak oluşturulmuştur.



Şekil 78. Sonlu eleman modellerinde kullanılan betonun σ - ϵ grafiği.

ANSYS' de beton için kullanılan doğrusal olmayan malzeme modeli olarak beton modeli (Concrete Model) önerilmektedir. Bu model gevrek malzemelerdeki göçmeyi modelleyebilmek için kullanılır ve Willam Warnke göçme kriterlerini esas almaktadır [62]. Göçme yüzeyi: tek eksenli çekme dayanımı f_t , tek eksenli basınç dayanımı f_c , iki eksenli basınç dayanımı f_{cb} , ortamdaki hidrostatik gerilme durumu σ_h^a , hidrostatik gerilme durumuna eklenecek olan iki eksenli basınç durumu için basınç dayanımı f_1 , hidrostatik gerilme durumuna eklenecek olan tek eksenli basınç durumu için basınç dayanımı f_2 olarak tanımlanan farklı gerilme değeriyle belirlenmektedir. Göçme yüzeyinin en az iki sabitle belirlenmesi de mümkündür. Analizlerde göçme yüzeyi yalnızca f_t ve f_c değerlerinin girilmesi ile belirlenmiştir. Bu değerler betona çekme gerilmesi altında çatlama basınç gerilmesi altında ezilme özelliğini kazandırmaktadır. Böylelikle betonda meydana gelecek asal gerilmeler f_t değerini aştığında çatlama meydana gelecektir. Ancak basınç altında ezilme özelliğinin aktif olması durumunda analizlerde yakınsama hataları olmaktadır [54,55]. Bu nedenle tek eksenli basınç dayanımı yerine (-1) değeri yazılarak bu özelliğin program tarafından dikkate alınmaması sağlanmıştır. Betonun tek eksenli çekme dayanımı TS500'e göre (26) bağıntısından elde edilmiştir [64].

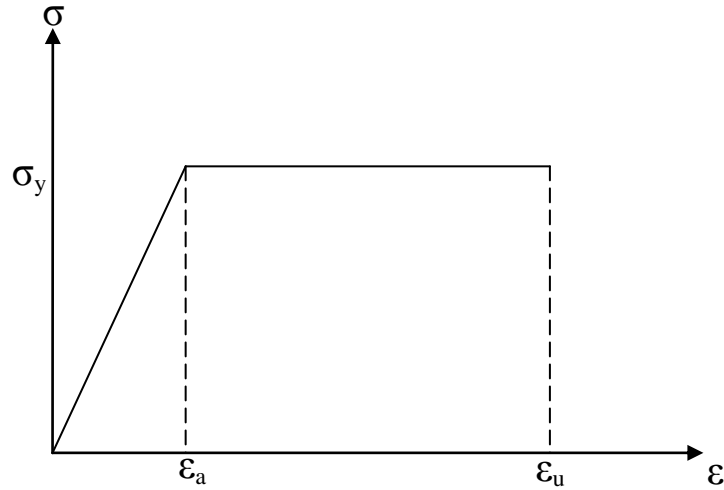
$$f_t = 0.35\sqrt{f_c} \quad (26)$$

ANSYS beton modeli için iki önemli parametre daha kullanılmaktadır. Bu parametreler açık çatlaklar için kayma transferi katsayısı β_t ve kapalı çatlaklar için kayma transfer katsayısı β_c ' dir. Bu katsayılar 0 ile 1 arasında değişmektedir. Açık çatlaklar için 0 çatlağın düzgün olduğunu ve kayma transferi olmadığını, 1 ise çatlağın kayma transferini tamamen aktardığını ifade etmektedir. Bu değerlerin belirlenmesinde deneysel gözlemler etkili olmuştur. Deneyler esnasında büyük kesme çatlakları meydana gelmesi nedeni ile açık çatlaklar için kesme transferi katsayısı 0.2 alınmış kapalı çatlaklar için ise 0.6 kabul edilmiştir.

SOLID65 elemanı için bazı anahtar seçenekleri (KeyOptions) kullanılmaktadır. Bunlardan en önemlisi Keyoptions (7) seçeneğidir. Bu seçeneğin aktif hale getirilmesi ile betonda çatlamanın meydana gelmesinden sonra çatlak oluşan elemanların ilgili düğüm noktalarında gerilmeler sıfıra düşürülmekte ve böylelikle çekme yükü taşıyamamaları

sağlanmaktadır. Böylelikle deneysel sonuçlara daha uygun sonuçlar elde edilebileceği gibi yakınsama hataları da azaltılabilmektedir.

Donatıların gerilme şekildeğiştirme diyagramı ANSYS’de bulunan ve Von Mises akma kriterlerini esas alan bilineer kinematik pekleşmeli plastisite modeli (BKIN) kullanılarak oluşturulmuştur ve akmadan sonraki dayanım artımı ihmal edilmiştir (Şekil 79). Deneylede S420 ve S220 çeliği sınıfına ait donatılar kullanıldığı için iki farklı malzeme özelliği tanımlanmıştır. Çelik profillerin gerilme şekil değiştirme diyagramları da donatılarda olduğu gibi bilineer elastik pekleşmeli plastisite modeli (BKIN) ile oluşturulmuştur. Modellerde kullanılan eleman tipleri ve malzeme özellikleri Tablo 9’ da verilmiştir.



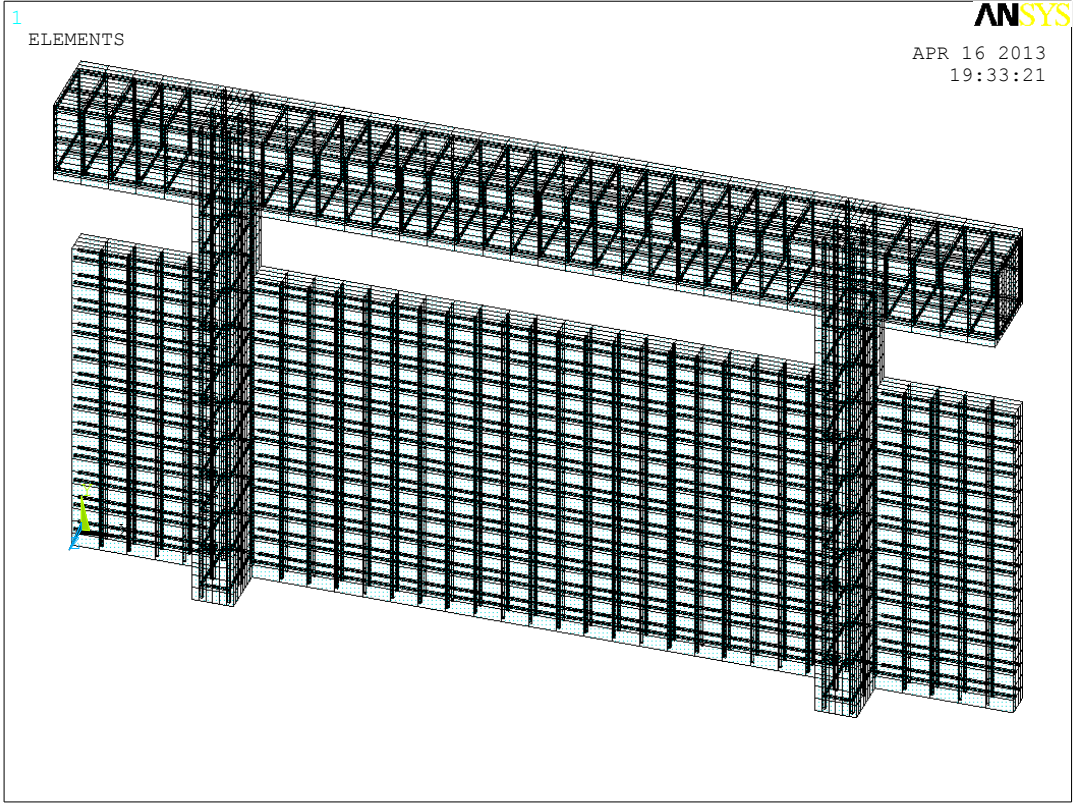
Şekil 79. Donatılar ve çelik profiller için bilineer kinematik pekleşmeli plastisite modeli.

Tablo 9. Modellerde kullanılan eleman tipleri ve malzeme özellikleri.

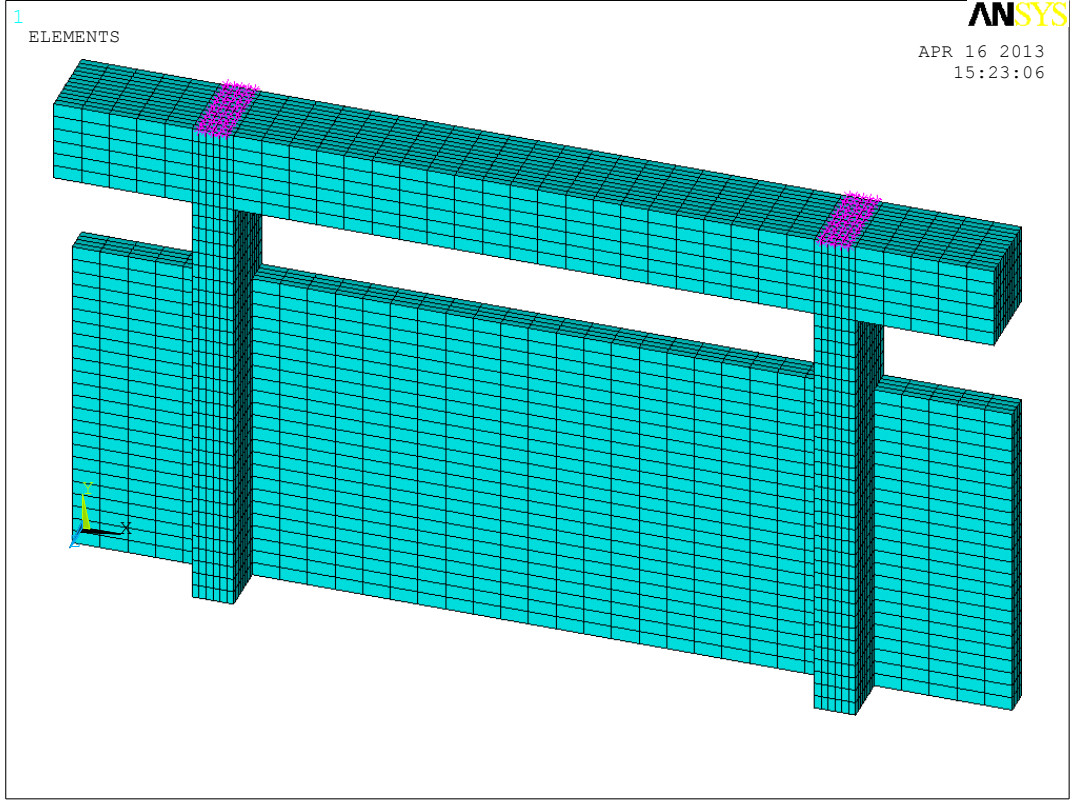
Malzeme No	Eleman Tipi	Malzeme Özellikleri			
1	SOLID6 5	Lineer Isotropik			
		Elastisite Modülü, E_c , (MPa)	18660		
		Poisson Oranı, ν	0.3		
		Multilinear Isotropik Pekleşmeli			
			Gerilme (MPa)	Birim Şekildeğiştirme	
		1. Nokta	0.0001	1.866	
		2. Nokta	0.0005	5.6832	
		3. Nokta	0.001	9.75	
		4. Nokta	0.0015	12.1875	
		5. Nokta	0.002	13	
		Beton Modeli			
		Açık çatlaklarda kesme transferi katsayısı	0.2		
		Kapalı çatlaklarda kesme transferi katsayısı	0.5		
		Tek Eksenli Çekme Dayanımı, (MPa)	1.26		
Tek Eksenli Basınç Dayanımı, (MPa)	-1				
2	LINK18 0	Lineer Isotropik			
		Elastisite Modülü, E_c , (MPa)	200000		
		Poisson Oranı, ν	0.3		
		Bilineer Kinematik Pekleşmeli			
		Akma Dayanımı, (MPa)	420		
		Tanjant Modülü, (MPa)	0		
3	LINK18 0	Lineer Isotropik			
		Elastisite Modülü, E_c , (MPa)	200000		
		Poisson Oranı, ν	0.3		
		Bilineer Kinematik Pekleşmeli			
		Akma Dayanımı, (MPa)	220		
		Tanjant Modülü, (MPa)	0		
4	SOLID4 5	Lineer Isotropik			
		Elastisite Modülü, E_c , (MPa)	200000		
		Poisson Oranı, ν	0.3		
		Bilineer Kinematik Pekleşmeli			
		Akma dayanımı, (MPa)	310		
		Tanjant Modülü, (MPa)	0		

2.2.1.3. Modelleme

Modellemede kolon kiriş ve perde duvarlar SOLID65 elemanı kullanılarak 3 boyutlu olarak modellenmiştir. Donatı modellemesinde LINK180 elemanı kullanılarak donatılar ayrı olarak modellenmiştir (Şekil 80). Modellerdeki donatı planı Bölüm 2’ de anlatılan plan ile aynıdır. Deney elemanlarına kolon kiriş birleşim bölgelerinde etkiyen aksel sabit yükler modellere MASS21 elemanı kullanılarak uygulanmıştır (Şekil 81).

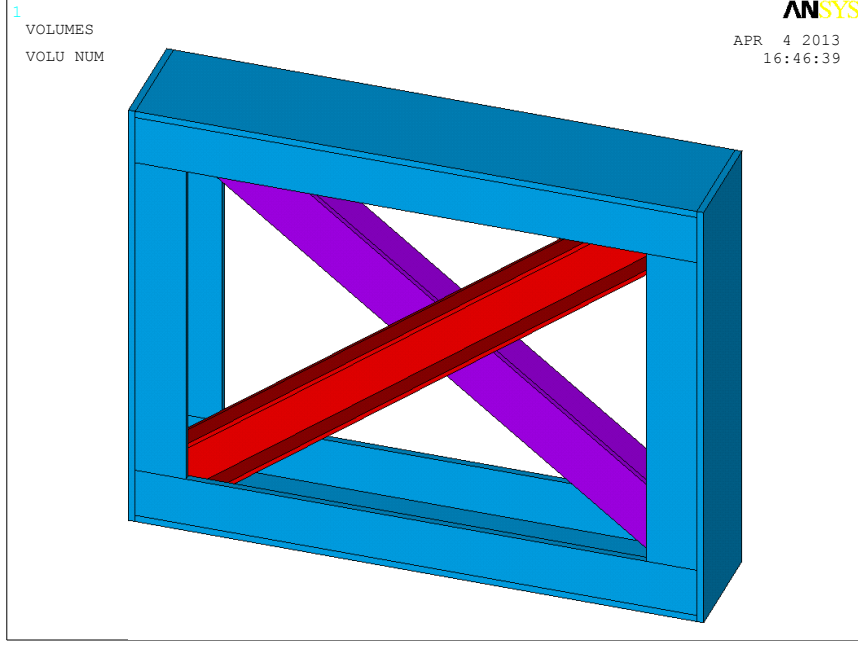


Şekil 80. Kiriş ve perdede yayılı, kolonda ise ayrı donatı modellemesi.



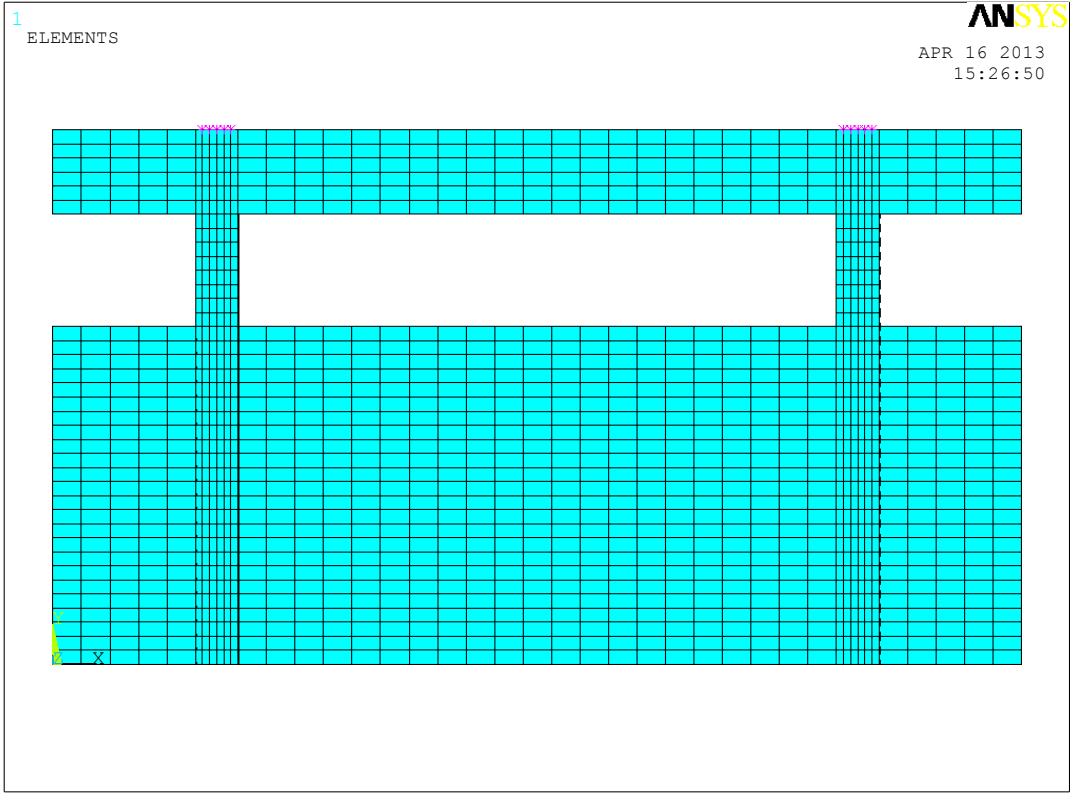
Şekil 81. Kolon kiriş birleşim bölgelerindeki ağırlıkların modellenmesi.

Betonarme kanat dolgu duvarlar yerine çelik profillerle güçlendirmesi yapılacak olan modellerde, çelik profillerin modellenmesinde SOLID45 elemanı kullanılmıştır. Dış çerçeve olarak U100 profili, diyagonal eleman olarak ise U50 profili kullanılmıştır (Şekil 82). Bölüm 2’ de bahsedildiği gibi betonarme kanat dolgu duvarlar ile güçlendirilen kısa kolonlarda kanat duvar ile mevcut sistem arasındaki bağlantı ankraj çubukları ile sağlanmıştır. Gerçekte de çelik profiller ile mevcut sistem arasındaki aderans bu şekilde sağlanmalıdır. Ancak modellemede kolon ve kiriş içine yerleştirilecek olan ankraj çubukları yakınsama hatalarına sebep olabilir. Bu nedenle ankraj çubuklarının sağlaması gereken aderans beton ile çelik profil ara yüzeyinde tanımlanmıştır. Beton ile çelik profil arasındaki aderansı ve ayrılmayı modellemek için CONTA174 ve TARGE170 kontak çifti kullanılmıştır. Bu elemanlar beton ile çelik profil arasındaki ara yüzey elemanları olup sıyrılmaya özelliğine de sahiptirler.

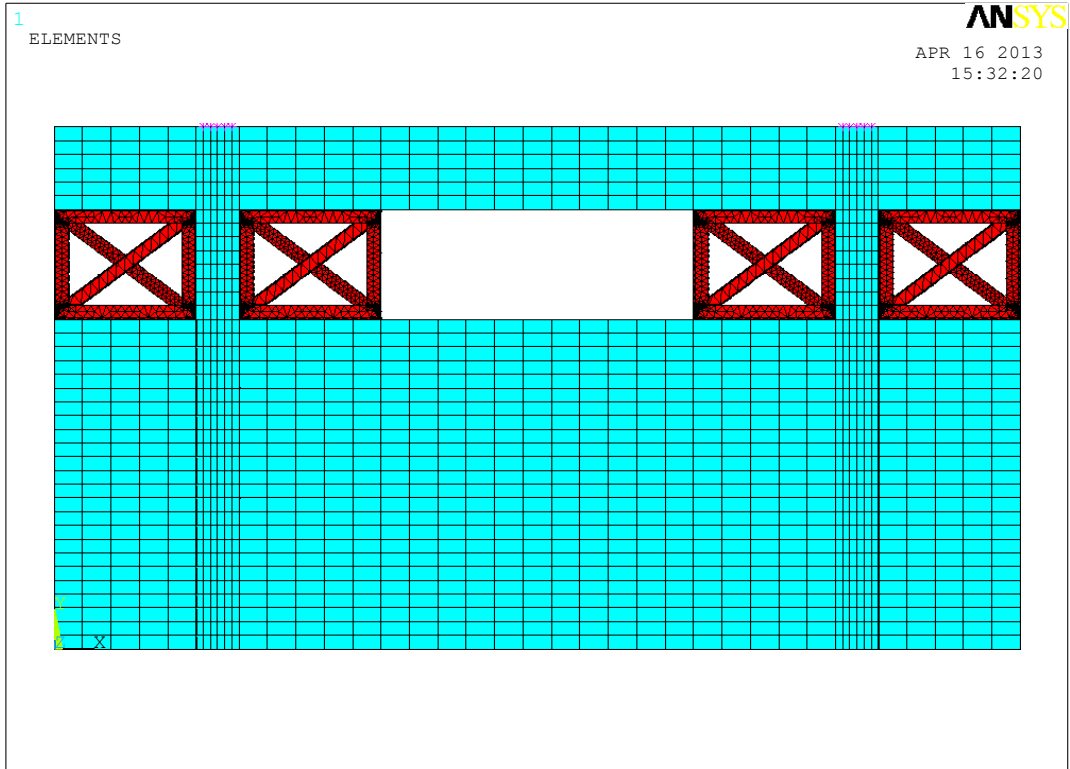


Şekil 82. U100 profilinden yapılan çerçeve ve U50 profilinden yapılan diyagonaller ile oluşturulmuş çelik güçlendirme elemanı.

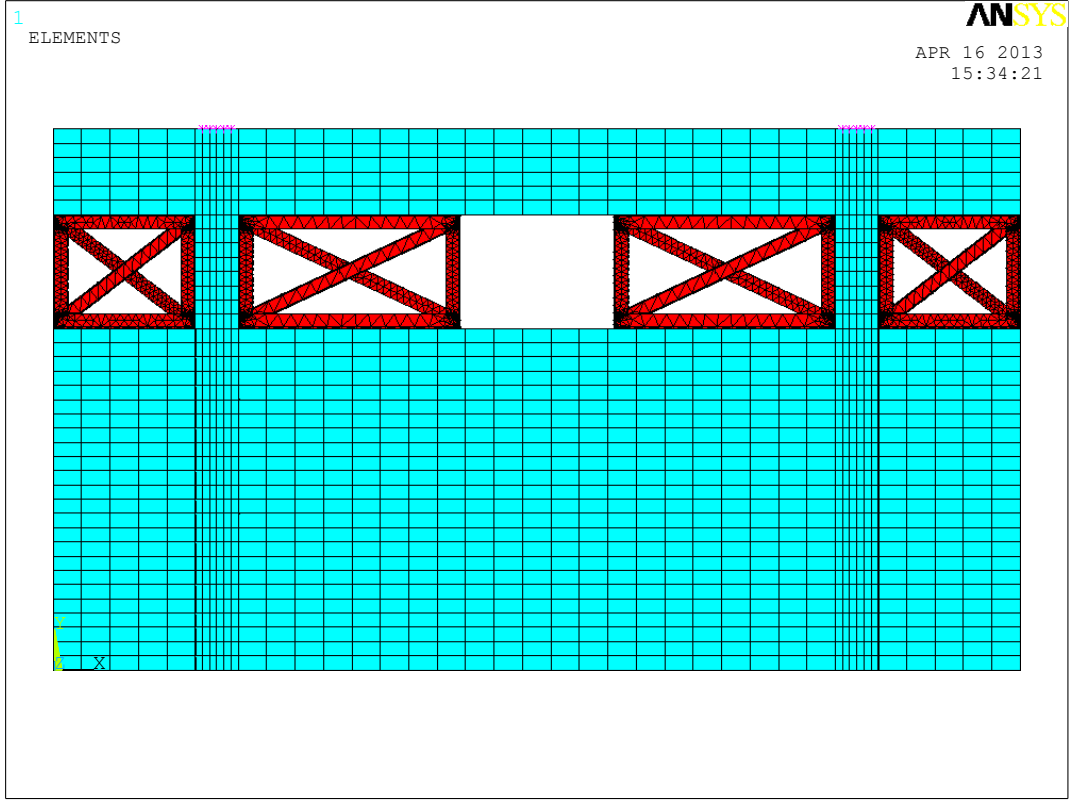
Sonuç olarak ANSYS ile üç tip üç boyutlu betonarme model yapılmıştır. Bu modellerden ilki laboratuvar ortamında deneyi yapılan DE-2 deney elemanıdır. Bu deney elemanının modellenmesindeki amaç sonlu eleman modelinin doğruluğunu ve deneysel sonuçlara olan yakınlığını kontrol etmektir. Bu model ile yapılan kontrollerin ardından çelik profillerle güçlendirilecek olan modeller oluşturulmuştur. Modellerin genel görünümü Şekil 83, Şekil 84 ve Şekil 85’ da verilmiştir.



Şekil 83. AN-2 numaralı modelin ön görünümü.



Şekil 84. AN-3 numaralı modelin ön görünümü.



Şekil 85. AN-4 numaralı modelin ön görünümü.

Burada AN-2 numaralı model DE-2 numaralı deney elemanını temsil etmektedir. Modelin geometrik özellikleri ve donatı planı Bölüm 2’ de açıklandığı gibi deney elemanı ile aynıdır. AN-3 ve AN-4 numaralı modeller ise sırasıyla DE-3 ve DE-4 numaralı deney elemanlarının betonarme kanat duvarlar yerine çelik profiller ile güçlendirilmiş halini temsil etmektedir.

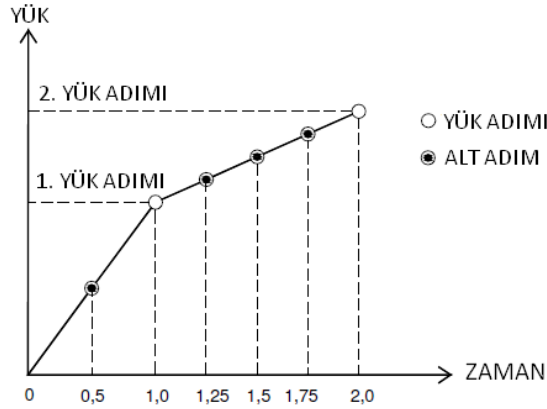
2.2.1.4. Sonlu Elemanlara Ayırma

ANSYS ile betonarme modellemede modelin betonarme davranış gösterebilmesi beton ve donatı elemanlarının sonlu elemanlara doğru ayrılabilmesi (Mesh) ile mümkündür. Sonlu elemanlara ayrılmış olan beton elemanların düğüm noktaları ile donatı elemanlarının düğüm noktaları aynı koordinatlarda olması gerekmektedir. Aynı noktada bulunan ve biri betona diğeri ise donatıya ait olan düğüm noktaları birleştirilerek bu noktada tek bir düğüm noktası elde edilir. Böylelikle beton ve donatının birlikte çalışması yani betonarme davranış sağlanmış olur. Modellerde kolonlar 25x50x25 mm’ lik (x,y,z),

kiriş ve perdeler ise 100x50x25 mm'lik sonlu elemanlara ayrılmışlardır. Boyuna donatılar 50 mm etriyeler ise 25 mm'lik sonlu elemanlara ayrılmışlardır (Şekil 83, Şekil 84 ve Şekil 85). Betonarme elemanlarda düzgün ayırma (Mapped Mesh) çelik profillerde ise otomatik ayırma (Free Mesh) yapılmıştır.

2.2.1.5. Analiz

Modeller üzerinde deplasman kontrollü statik analizler gerçekleştirilmiştir. ANSYS doğrusal olmayan analizde Newton-Raphson yöntemini kullanmaktadır. Yük alt adımlara bölünerek toplam yüke ulaşılan kadar analiz yapılır (Şekil 86). Otomatik zaman artımı özelliği kullanılarak yük adımları artımı ANSYS tarafından otomatik olarak kontrol edilebilir. Böylelikle olası yakınsama hataları giderilir.



Şekil 86. Newton-Raphson yöntemi ile doğrusal olmayan analiz adımları.

ANSYS' de tersinir tekrarlanır yükler altında analizler de yapılabilmektedir. Ancak program betonarme yapıların tersinir tekrarlanır yükler altında analizinde henüz göçme olmadan yakınsama hataları vermektedir [61,63]. Bu nedenle, bu çalışmada en büyük yüke kadar yalnızca itme analizi yapılmıştır.

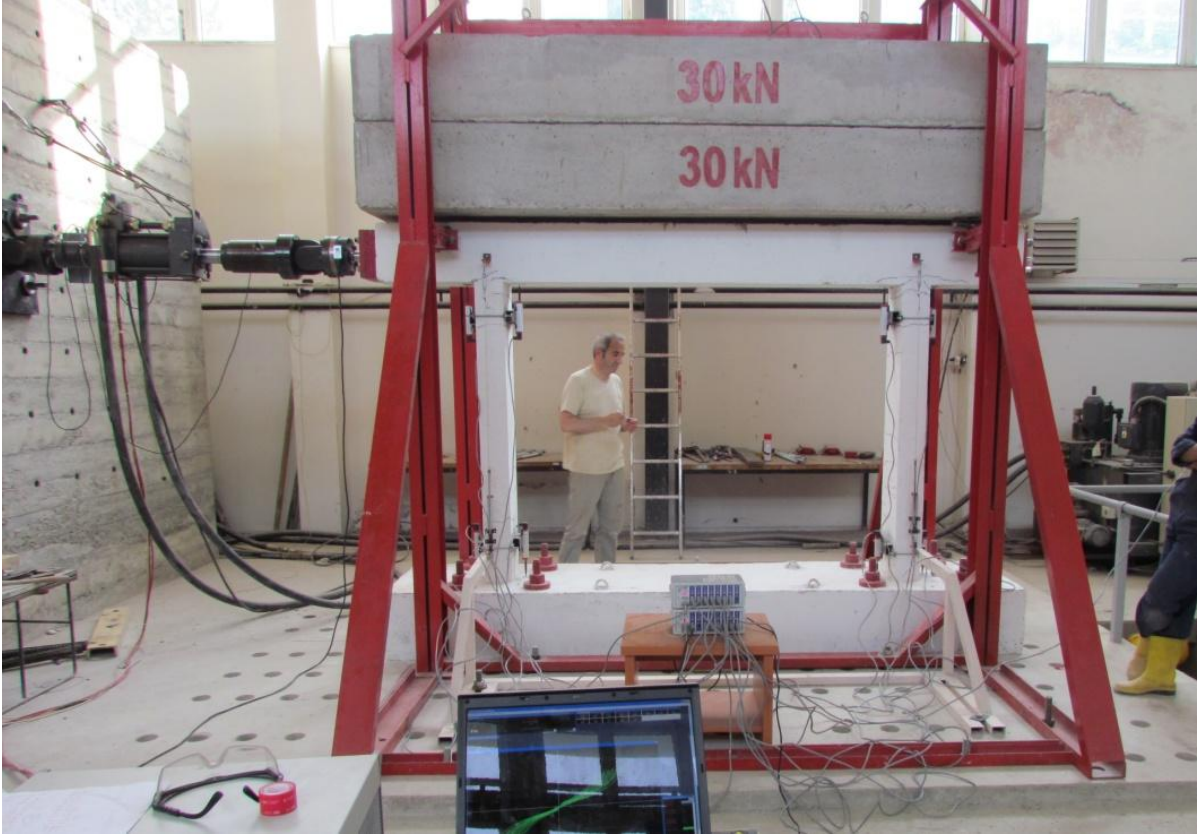
3. BULGULAR VE İRDELEMELER

Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında, 1/2 ölçekli olarak üretilen 5 farklı deney elemanı, depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay yük altında test edilmiştir. Deney elemanlarının fiziksel özellikleri Bölüm 2’ de verilmiştir. Mevcut betonarme yapılarda kısa kolon davranışlarının iyileştirilmesi amacıyla yapılan bu çalışmada, elde edilen bulgular doğrultusunda deney elemanlarının yük-yerdeğiştirme ilişkileri, dayanım zarfı eğrileri, rijitlik azalımı ve enerji tüketme kapasitelerine ait grafikleri elde edilmiş ve bu grafikler üzerinden irdelemeler yapılmıştır. Ayrıca analitik çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlar ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır

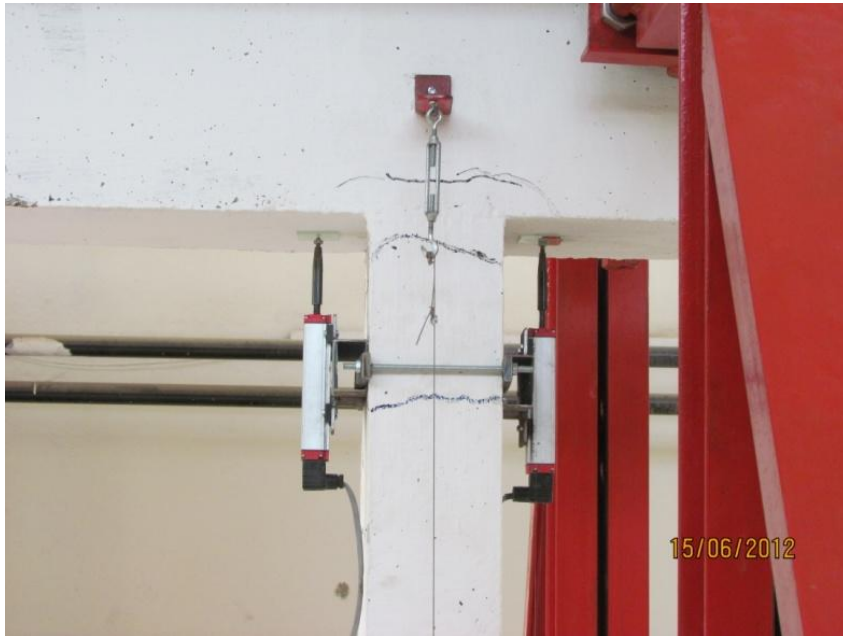
3.1. DE-1 Numaralı Deney Elemanı

Bu deney elemanı daha önce de belirtildiği gibi, çerçeve elemanıdır. Sabit aksenal yük altında tersinir tekrarlanır yatay yüke maruz bırakılan bu deney elemanı, araştırmaya ait sınır koşullarından birini oluşturması nedeniyle yalnızca çerçeve olarak denenmiştir. Deneyden bir görünüm Şekil 87’ de verilmiştir.

Bu deney elemanında ilk çatlaklar yaklaşık 10 kN yük seviyesinde ve 6 mm’ lik yatay yerdeğiştirmeden sonra, kolon kiriş birleşim bölgesinde meydana gelmiştir (Şekil 88). Kolonlarda çatlaklar kiriş ve temele yakın bölgelerde oluşurken kolon orta bölgesinde çatlama meydana gelmemiştir (Şekil 89). Yerdeğiştirmelerin artmasıyla birlikte kolon yüksekliği boyunca kılcal düzeyde eğilme çatlakları oluşmaya başlamış ve bunu takiben kolon-kiriş ve kolon-temel birleşim bölgelerinde çatlaklar yoğunlaşarak kesit mafsallaşmıştır (Şekil 90). Bu aşamadan sonra deney sonlandırılmıştır.



Şekil 87. DE-1 numaralı deney elemanın iki yönlü çevrimsel yükleme deneyi.



Şekil 88. İlk olarak kolon kiriş birleşim bölgesinde meydana gelen eğilme çatlakları.

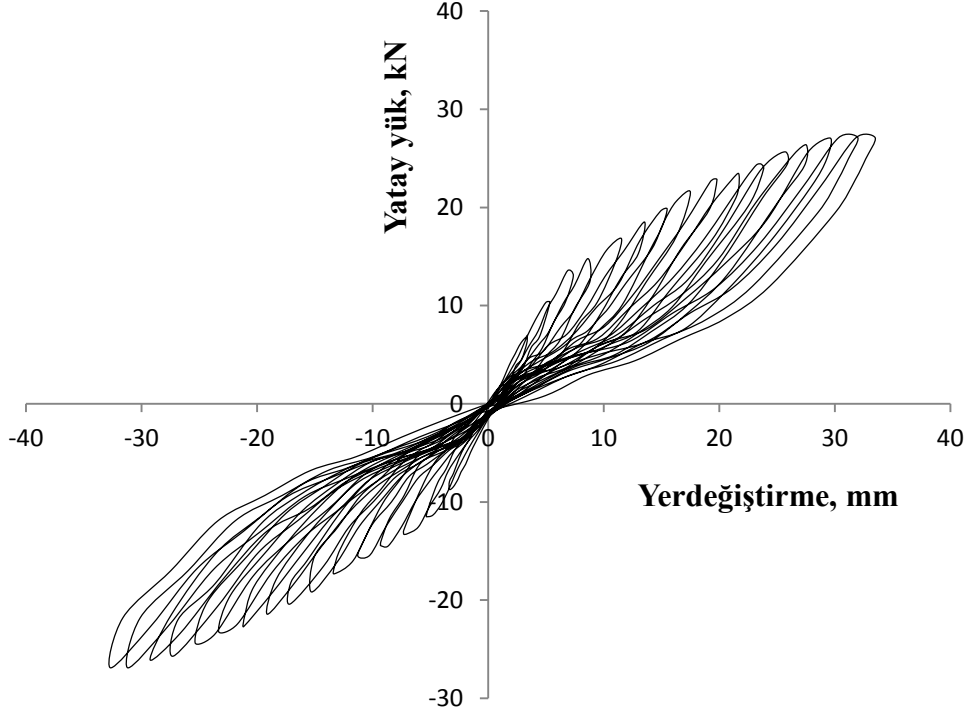


Şekil 89. Kolon boyunca çatlak yayılımı.

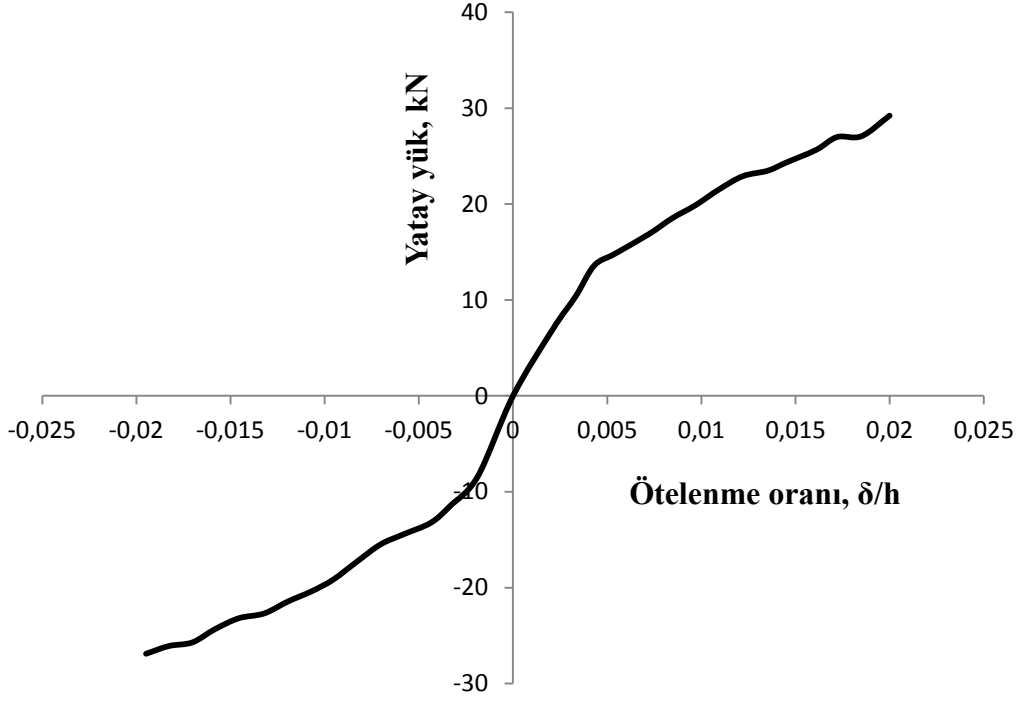


Şekil 90. Kolon-kiriş ve kolon-temel birleşim bölgelerinde oluşan mafsallaşmalar.

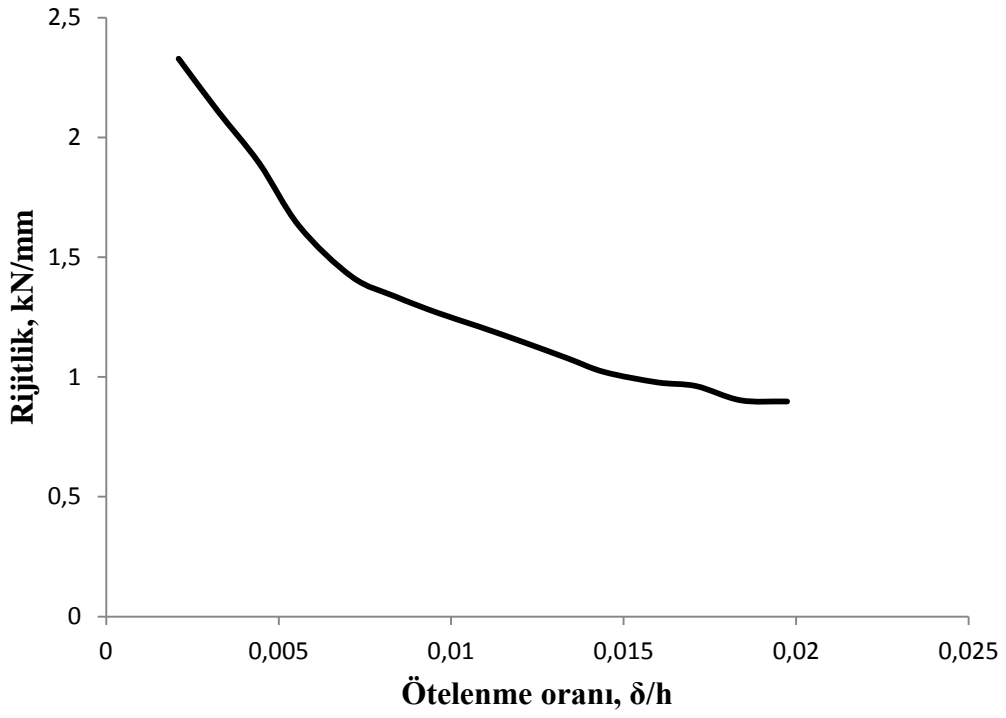
Deneylerden elde edilen yük-yerdeğiştirme eğrileri ise Şekil 91' de , dayanım zarfı grafiği Şekil 92' de, rijitlik-ötelenme oranı grafiği Şekil 93' de ve toplam tüketilen enerji-ötelenme oranı grafiği Şekil 94' de verilmiştir.



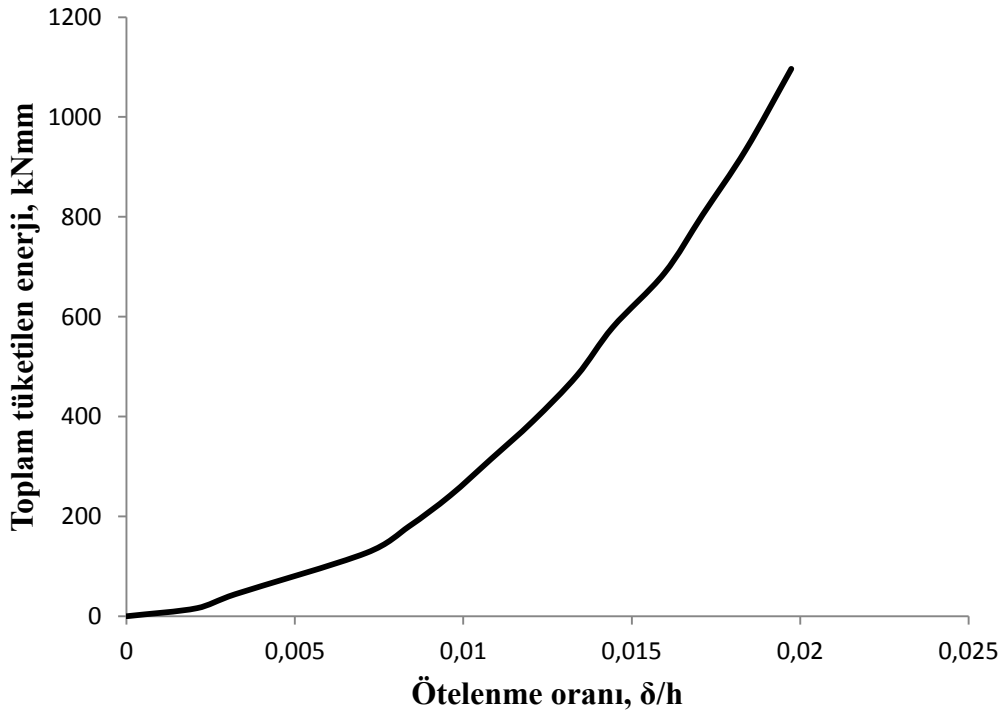
Şekil 91. DE-1 numaralı deney elemanına ait yük-yerdeğiştirme eğrileri.



Şekil 92. DE-1 numaralı deney elemanına ait dayanım zarfı grafiği.



Şekil 93. DE-1 numaralı deney elemanının rijitlik- ötelenme oranı grafiği.

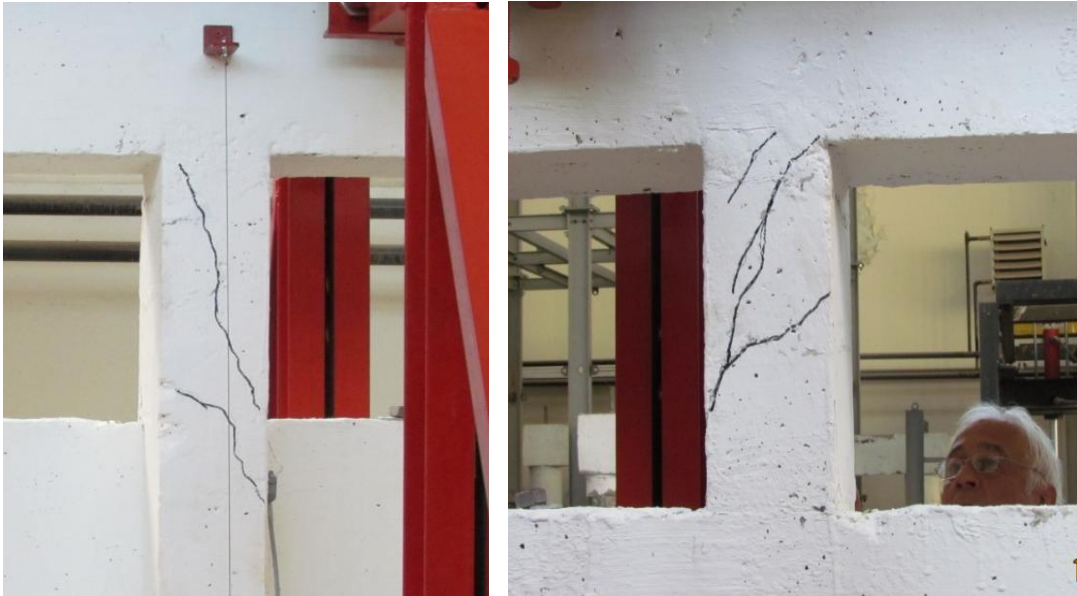


Şekil 94. DE-1 numaralı deney elemanının toplam tüketilen enerji- ötelenme oranı grafiği.

Şekil 91 ve Şekil 92’de, tersinir tekrarlanır yatay yük altında, çerçevenin üst ucunda 6.89 mm’ lik yerdeğiştirme (13.57 kN’ luk yük düzeyinde) sonucunda çatlakların oluştuğu, bu seviyeden sonra çatlakların kolon boyunca yayıldığı ve 31.83 mm’ lik yerdeğiştirmede ise (27.11 kN’ luk yük düzeyinde) plastik mafsallık oluştuğu, bu seviyeden sonra yükte küçük artmalar olsa bile yerdeğiştirmelerin hızla arttığı görülmektedir.

3.2. DE-2 Numaralı Deney Elemanı

Bu deney elemanında, yüksekliğin 0.25 katı bant pencere bırakılacak şekilde betonarme perde yapılmıştır. Bant pencere uzunluğu L açıklığına eşit alınmıştır (bkz. Şekil 47). Bant pencere yüksekliği 0.25H olan bu deney elemanı deney düzeneğine yerleştirildikten sonra, sabit aksenal yük altında tersinir tekrarlanır yatay yüke maruz bırakılmıştır. Deney elemanında oluşan ilk çatlaklar 19 kN’luk yük düzeyinde kolon serbest boyunda diyagonal doğrultuda (kesme çatlakları) oluşmuştur. (Şekil 95). İlerleyen çevrimlerde her iki doğrultuda yerdeğiştirmelerin artmasıyla birlikte kolonlarda X şeklinde diyagonal çatlaklar artmıştır (Şekil 96). Yükleme boyunca bu çatlakların açıklıkları ve sayıları artarak kolon taşıma gücünü kaybetmiştir (Şekil 97). Bu deney elemanı, 10.34 mm’lik yerdeğiştirmede 62.61 kN’luk yatay yük taşımış ve taşıma gücünü keme kırılmasıyla kaybetmiştir.



Şekil 95. Diyagonal doğrultuda oluşan ilk çatlaklar.

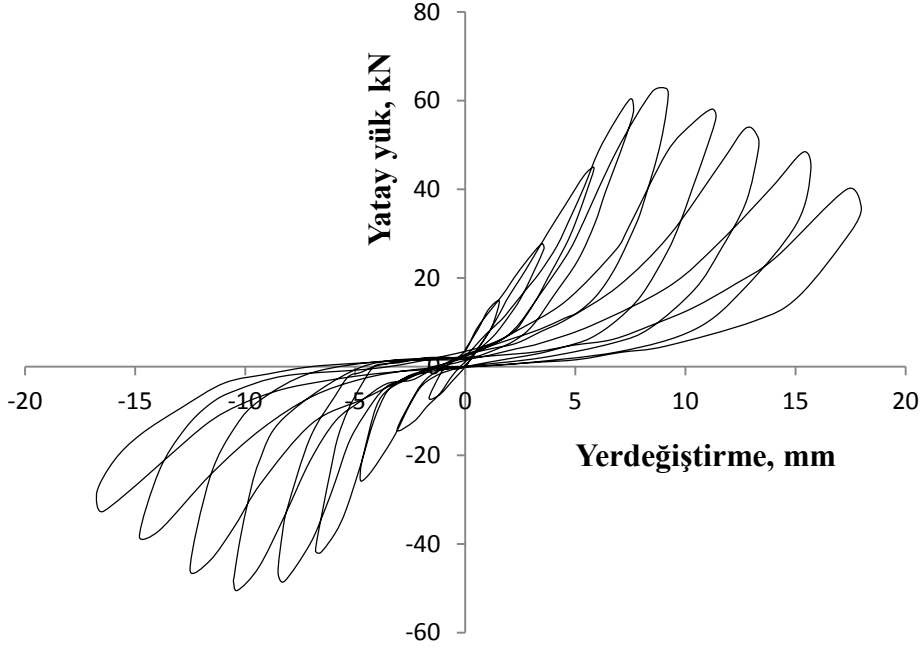


Şekil 96. Yükleme boyunca kolonlarda oluşan diyagonal çatlaklar.

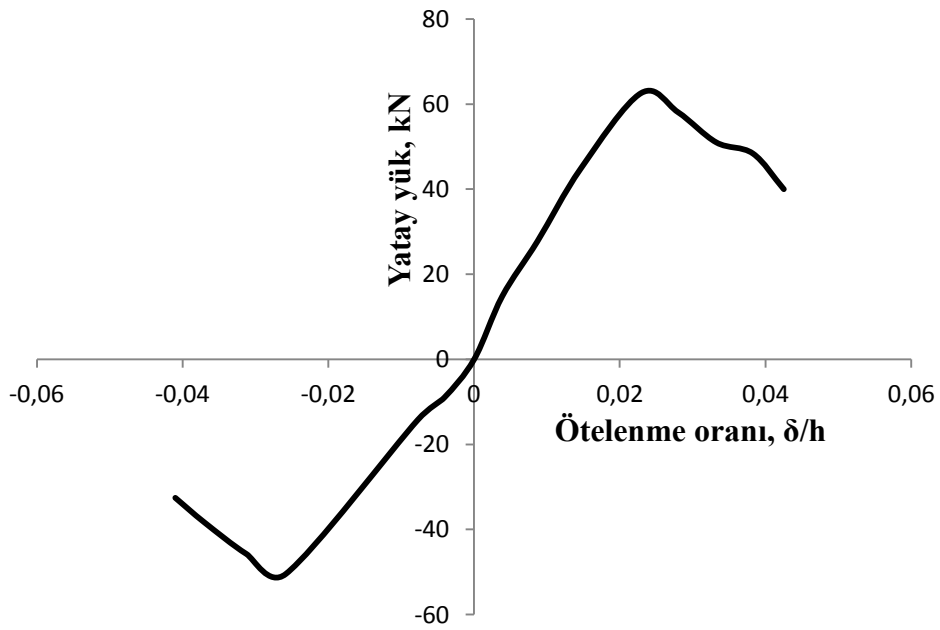


Şekil 97. Kolonlarda oluşan nihai hasarlar.

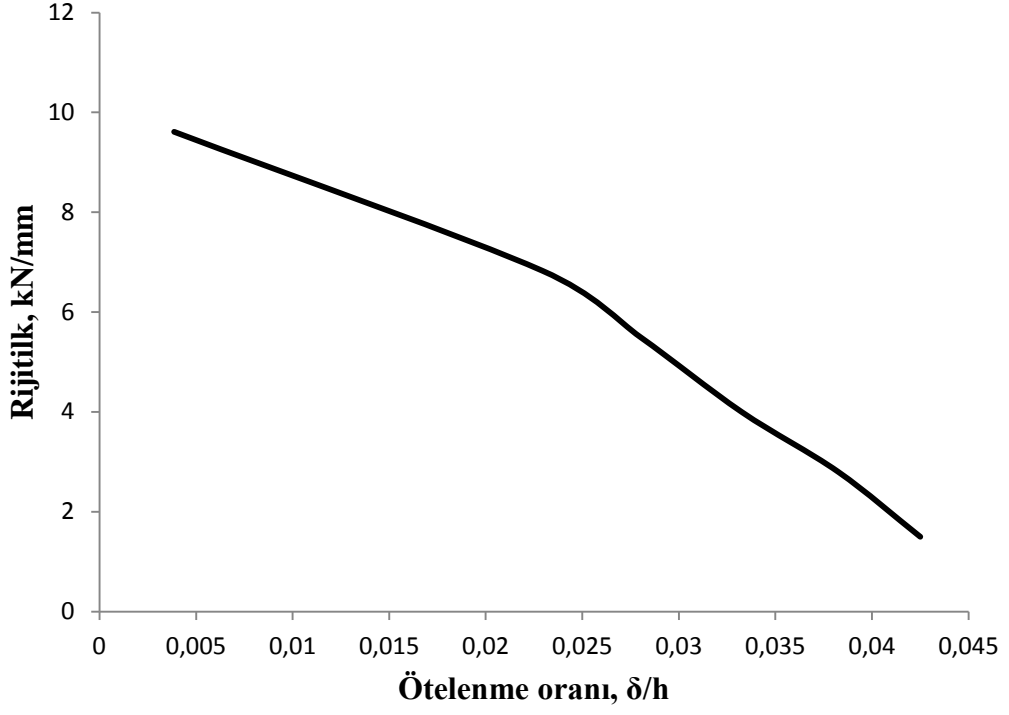
Bu deney elemanında, betonarme perdede ve kirişte herhangi bir hasar gözlenmemiştir. Bant pencere bırakılmasıyla oluşan kısa kolon davranışı nedeniyle kolon taşıma gücünü kaybetmiştir. Deney elemanına ait iki yönlü çevrimsel yük-yerdeğiştirme eğrileri Şekil 98’ de, dayanım zarfı grafiği Şekil 99’ da, rijitlik-ötelenme oranı grafiği Şekil 100’ de ve toplam tüketilen enerji-ötelenme oranı grafiği Şekil 101’ de verilmiştir.



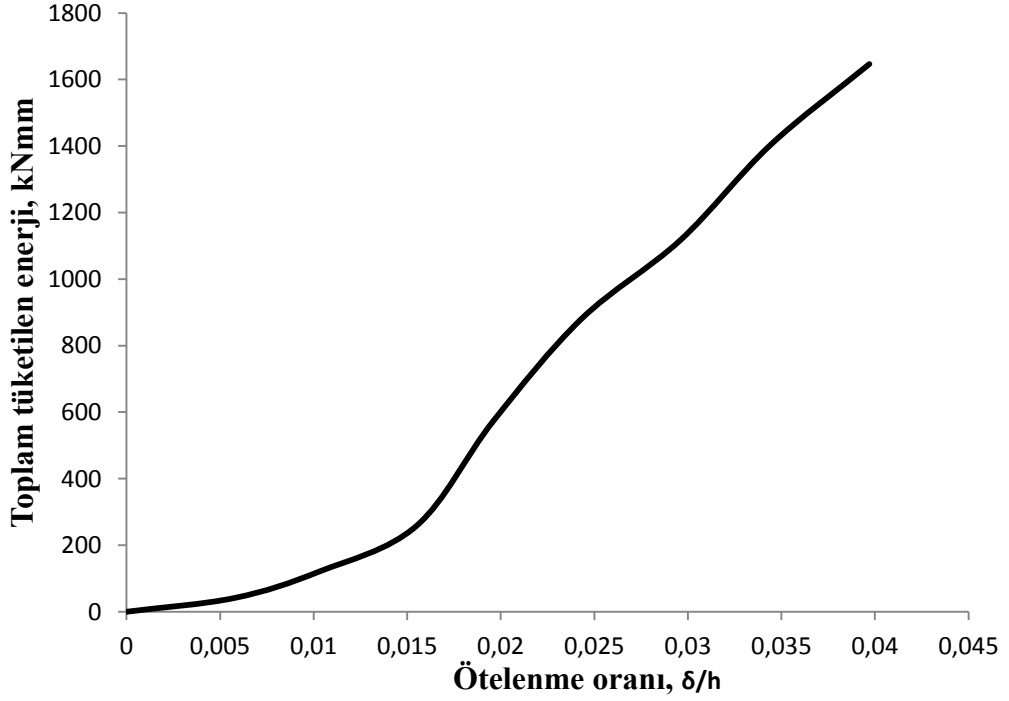
Şekil 98. DE-2 numaralı deney elemanına ait yük-yerdeğiştirme eğrileri.



Şekil 99. DE-2 numaralı deney elemanına ait dayanım zarfı grafiği.



Şekil 100. DE-2 numaralı deney elemanının rijitlik-ötelenme oranı grafiği.



Şekil 101. DE-2 numaralı deney elemanının toplam tüketilen enerji-ötelenme oranı grafiği.

3.3. DE-3 Numaralı Deney Elemanı

Bu deney elemanı, yüksekliğin $1/4'$ ü kadar ($0.25H$) bant pencere bırakılarak üretilen DE-2 numaralı deney elemanlarının birisine, kolonların her iki tarafında açıklığı 0.25 katı ($l'=0.25L$) kanat dolgu duvar ilave edilerek oluşturulmuştur (bkz. Şekil 48). Bu deney elemanı sabit aksenal yük altında tersinir tekrarlanır yatay yüke maruz bırakılmış ve uygulanan yük, yerdeğiştirme ve hasar durumları kayıt altına alınmıştır (Şekil 102).



Şekil 102. $0.25H$ bant pencere ve $0.25L$ kanat dolgu duvarlı DE-3 numaralı deney elemanı

Deneylerde ilk çatlaklar, $120 \text{ kN}'$ luk yük düzeyinde, kanat dolgu duvar ile çerçeve arasında gözlenmiştir. Kanat dolgu duvarın uç kısmı ile perdenin birleştiği yerden 45 derece eğimle eski perdede çatlak oluşmaya başlamıştır (Şekil 103). Daha sonra kanat-

perde birleşiminden itibaren mevcut perdede ve kolonda kesme çatlakları daha da belirginleşmiştir. Yaklaşık 240 kN' luk yük düzeyinde kanat duvar-kiriş arasında açılma oluşmuş ve kirişte diyagonal çatlaklar meydana gelmiştir (Şekil 104). Bu aşamada kolonda belirgin kesme çatlakları oluşmuş ve bu çatlaklar kolonun perde ile birleşen yüzünde yoğunlaşmıştır (Şekil 105). Ankrajların, kanat dolgu duvarların kolondan ayrılmasına engel olduğu görülmüştür. Yüklemeye devam edildiğinde mevcut perdede, 11 mm'lik yerdeğiştirmede, ankraj yerlerinde büyük açılmalar oluşmuştur. Kanat dolgu duvarlarda ancak bu aşamadan sonra kılcal düzeyde çatlaklar meydana gelmiştir. Deney elemanının test sonrasındaki durumu Şekil 106' da gösterilmiştir.



Şekil 103. Perde ile kanat duvar birleşiminde meydana gelen ilk çatlak.



Şekil 104. 240 kN yük seviyesinde kolonun perdeyle birleşen yüzünde yoğunlaşan kesme çatlakları ile kiriş, perde ve kanat duvarda meydana gelen hasarlar.



Şekil 105. Maksimum yükün % 85' ine gelindiğinde (göçme anı) kolonda meydana gelen hasarlar.



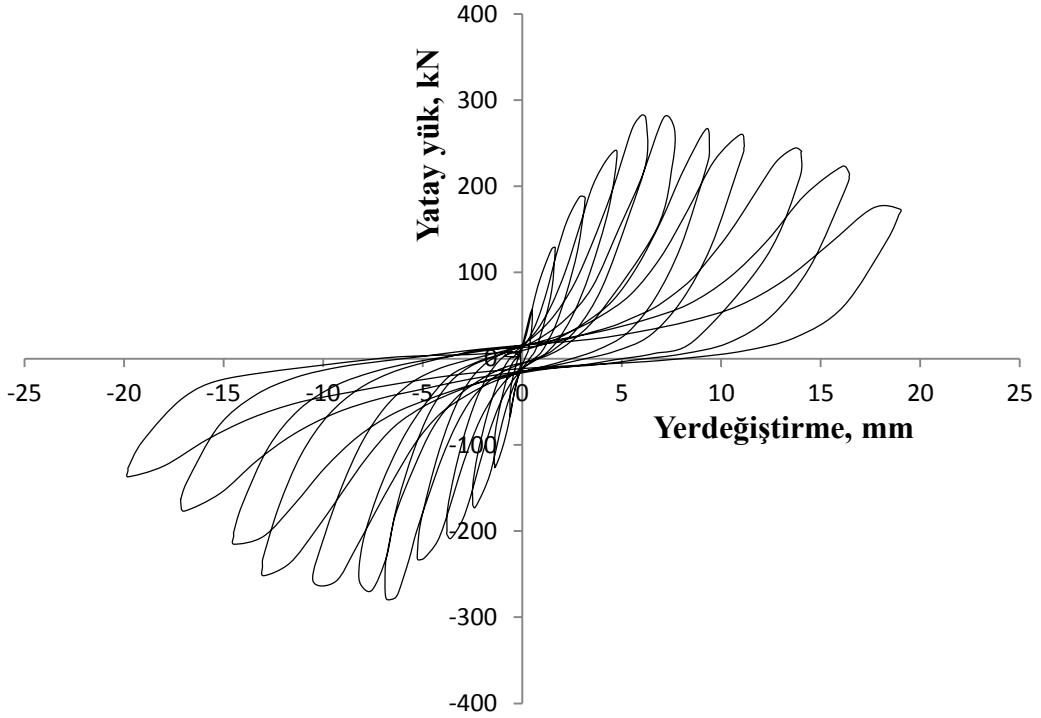
Şekil 106. Nihai durumda mevcut perdede meydana gelen hasarlar.

Bu deney elemanına ilave edilen kanat duvarlar, yükleme çevrimlerinin başlarında, bir miktar da olsa kolonun kesme davranışından uzaklaşmasını sağlayarak kolon ön yüzünde eğilme çatlakları oluşmasını sağlamış, ancak nihai durumda (280 kN' luk yük düzeyinden sonra) kanat duvarların perde üzerinde kaymaya başlamasının ardından kolonlarda kesme davranışı giderek hakim olmaya başlamıştır (Şekil 107). DE-2 numaralı deney elemanının aksine bu deney elemanına ilave edilen kanat duvarlar sayesinde hasarlar

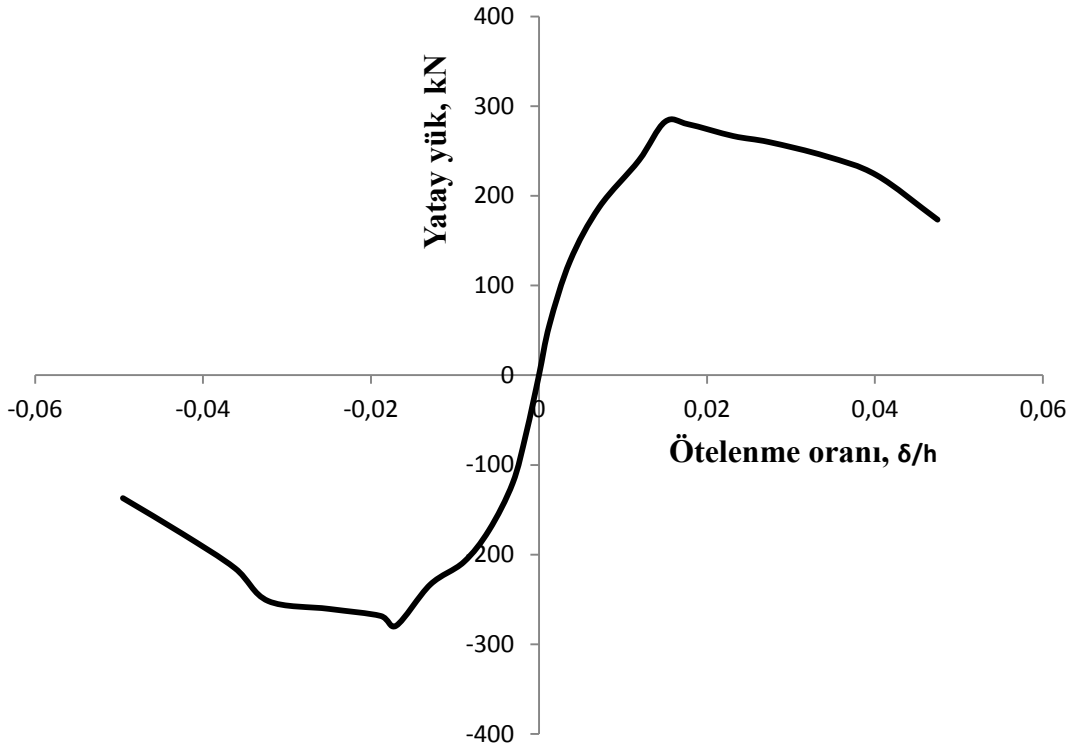
yalnızca kolonda değil, perde ve kirişlere de yayılarak daha fazla enerji tüketilmiştir. Bu deney elemanına ait yük-yerdeğiştirme eğrileri Şekil 108’ de, dayanım zarfı grafiği Şekil 109’ da, rijitlik-ötelenme oranı grafiği Şekil 110’ da ve toplam tüketilen enerji-ötelenme oranı grafiği Şekil 111’ de verilmiştir.



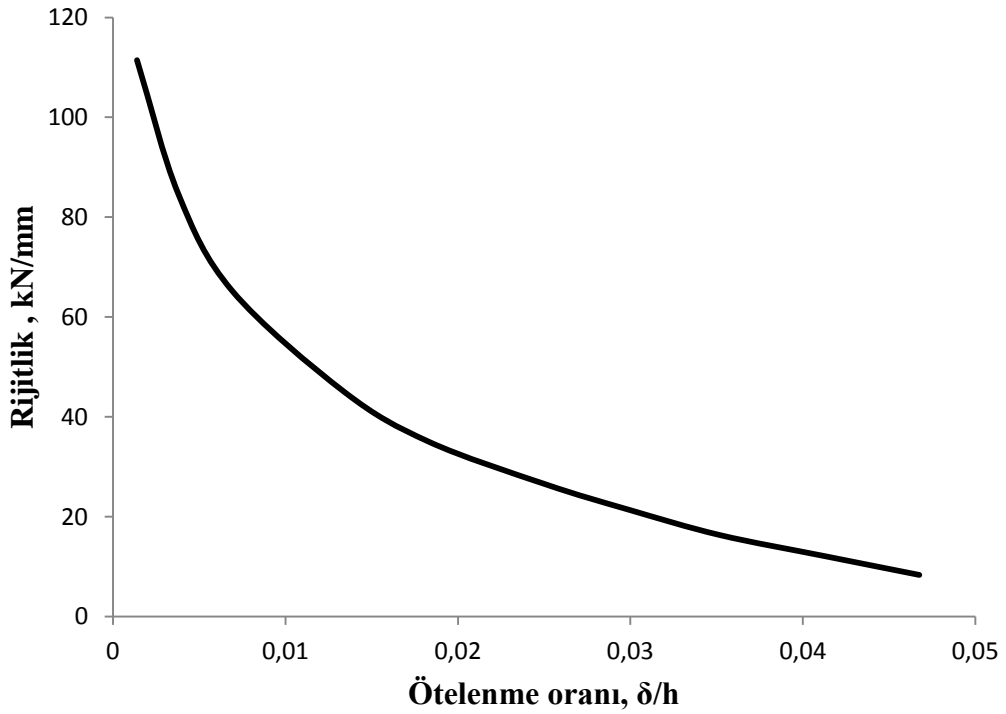
Şekil 107. Kolon ön yüzünde meydana gelen eğilme çatlakları.



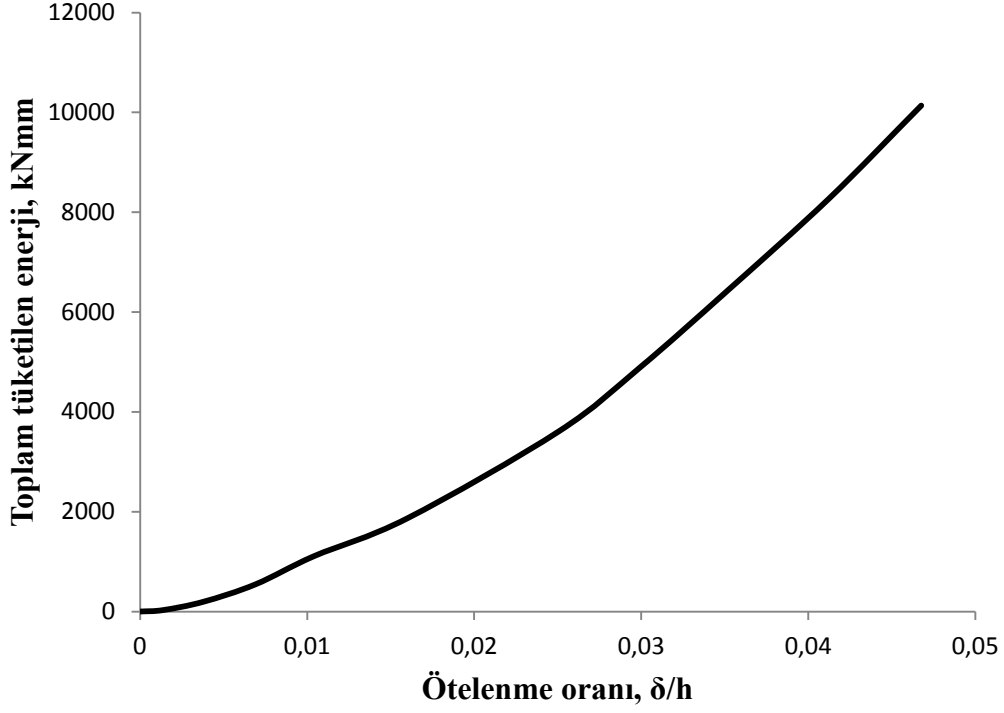
Şekil 108. DE-3 numaralı deney elemanına ait yük-yerdeğiştirme eğrileri.



Şekil 109. DE-3 numaralı deney elemanına ait dayanım zarfı grafiği.



Şekil 110. DE-3 numaralı deney elemanının rijitlik-ötelenme oranı grafiği.



Şekil 111. DE-3 numaralı deney elemanının toplam tüketilen enerji-ötelenme oranı grafiği.

Bu şekillerden, yüksekliğin 0.25 katı bant pencere bırakılan ve kolonların her iki yanına açıklığın 0.25 katı kanat dolgu duvar yapılan elemanın (DE-3), 190 kN'luk yük düzeyine kadar daha rijit davranış gösterdiği, bu yük düzeyinden sonra ise rijitliğin önemli oranda (%37 oranında) azaldığı görülmektedir.

3.4. DE-4 Numaralı Deney Elemanı

Bu deney elemanı, yüksekliğin $\frac{1}{4}$ ' ü kadar (0.25H) bant pencere bırakılarak üretilen DE-2 numaralı deney elemanlarının birisine, kolonların her iki tarafında açıklığın 0.375 katı ($l'=0.375L$) kanat duvar ilave edilerek oluşturulmuştur (bkz. Şekil 49). Bu deney elemanı sabit eksenel yük altında tersinir tekrarlanır yatay yüke maruz bırakılmış ve uygulanan yük, yerdeğiştirme ve hasar durumları kayıt altına alınmıştır (Şekil 112). Deney elemanına tersinir tekrarlı yatay yük uygulanmaya başladığında 190 kN'luk yük düzeyine kadar herhangi bir hasar oluşmamıştır. Bu yük düzeyinde kiriş ile kanat dolgu duvar arasında ayrılma başlamıştır. Bunu takiben perde duvar ile kanat duvar arasında da ayrılma gözlenmiştir (Şekil 113). Deney elemanında meydana gelen ilk çatlaklar mevcut perde üzerinde oluşmaya başlamıştır (Şekil 114).



Şekil 112. Bant pencere genişliği 0.25 ve her iki tarafta kanat dolgu duvar genişliği 0.375L olan DE-4 numaralı deney elemanı.



Şekil 113. Kanat dolgu duvarın kiriş ve perdeden (alt ve üstten) ayrılması.

Kanat duvarlar, perde ile birleştiği bölgelerde çatlakların meydana gelmesine rağmen, ankrajlar sayesinde konumunu korumuştur. İlerleyen çevrimlerde yer değiştirmelerin artması ile mevcut perde duvarda eğik (her iki yönde de 45 derece) çatlakların oluştuğu gözlemlenmiştir (Şekil 114). Bu aşamada kanat dolgu duvarlarda hasar gözlenmemiştir. Kolon-kanat dolgu duvar arasında bir ayrılma oluşmamıştır.



Şekil 114. Mevcut perde duvarda oluşan çatlaklar.

Yük düzeyi 250 kN' a ulaştığında kanat duvarların perde üzerinde kaymaya başlaması ile kolonlarda ani kesme çatlakları oluşmuştur. Kanat dolgu duvarlarda herhangi bir hasar gözlenmezken kolonda ve perde duvarda çatlakların sayısı artmış ve çatlak genişlikleri büyümüştür (Şekil 115). Deney elemanı 316.56 kN' luk yük düzeyinden sonraki çevrimlerde yük azalmaya başlamış ve daha sonra da deney sonlandırılmıştır. Test sonrasında deney elemanında meydana gelen hasarlar Şekil 116' da gösterilmiştir.

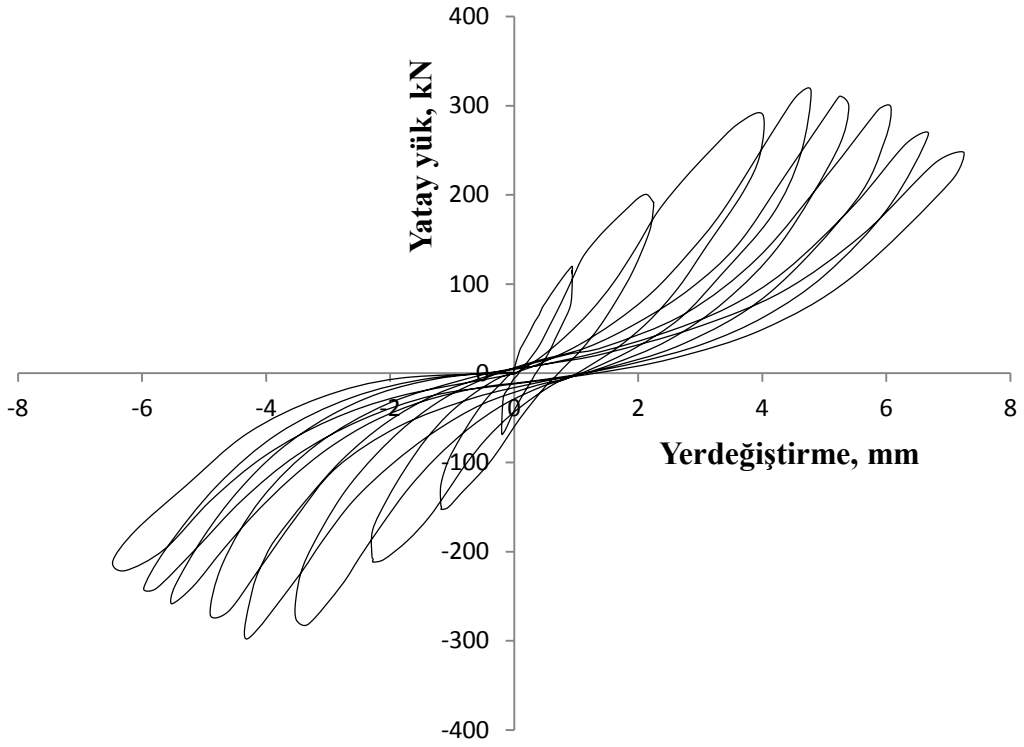
Bu deney elemanına ait iki yönlü çevrimsel yük-yerdeğiştirme eğrileri Şekil 117' de, dayanım zarfı grafiği Şekil 118' de, rijitlik-ötelenme oranı grafiği Şekil 119' da ve toplam tüketilen enerji-ötelenme oranı grafiği Şekil 120' de verilmiştir.



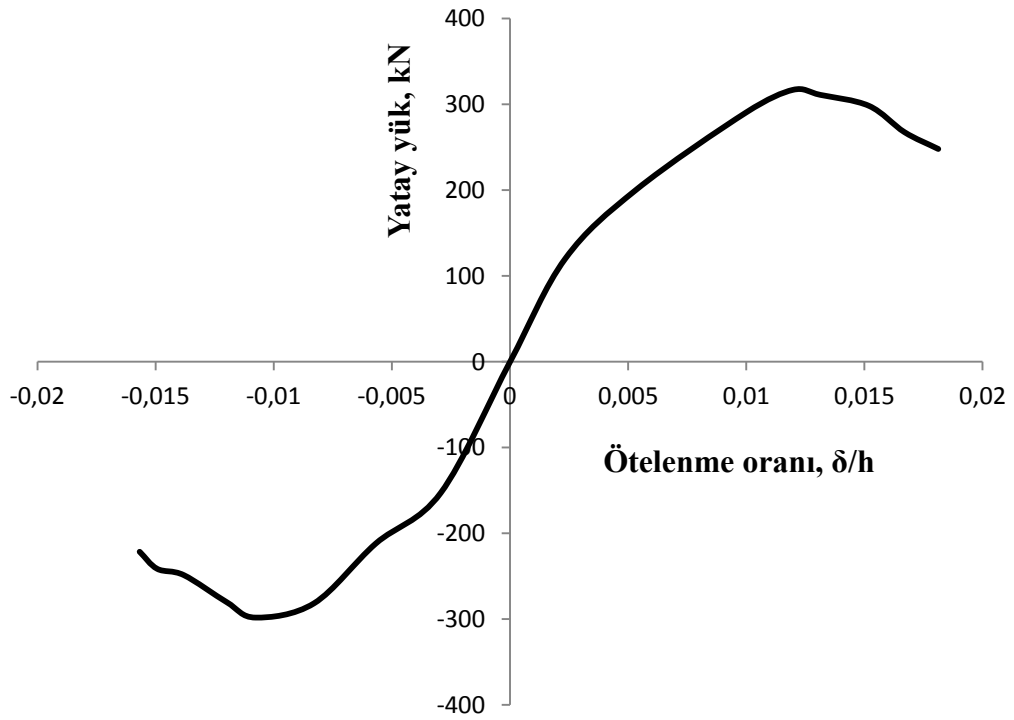
Şekil 115. Kolon kiriş ve perdede yoğunlaşan çatlaklar.



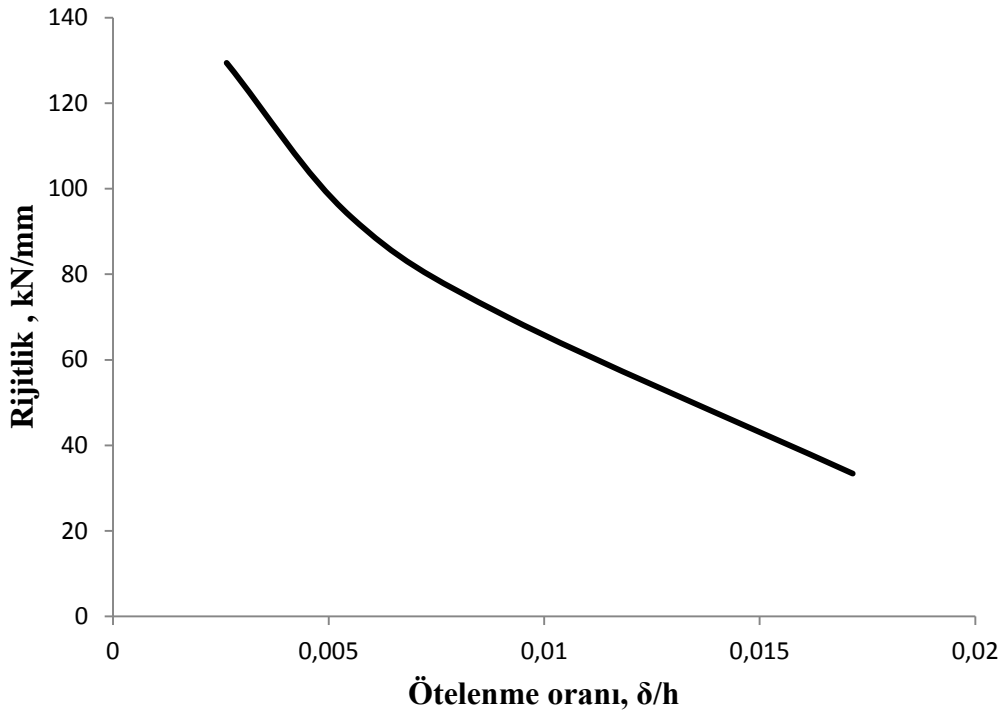
Şekil 116. Test sonrasındaki hasar durumu.



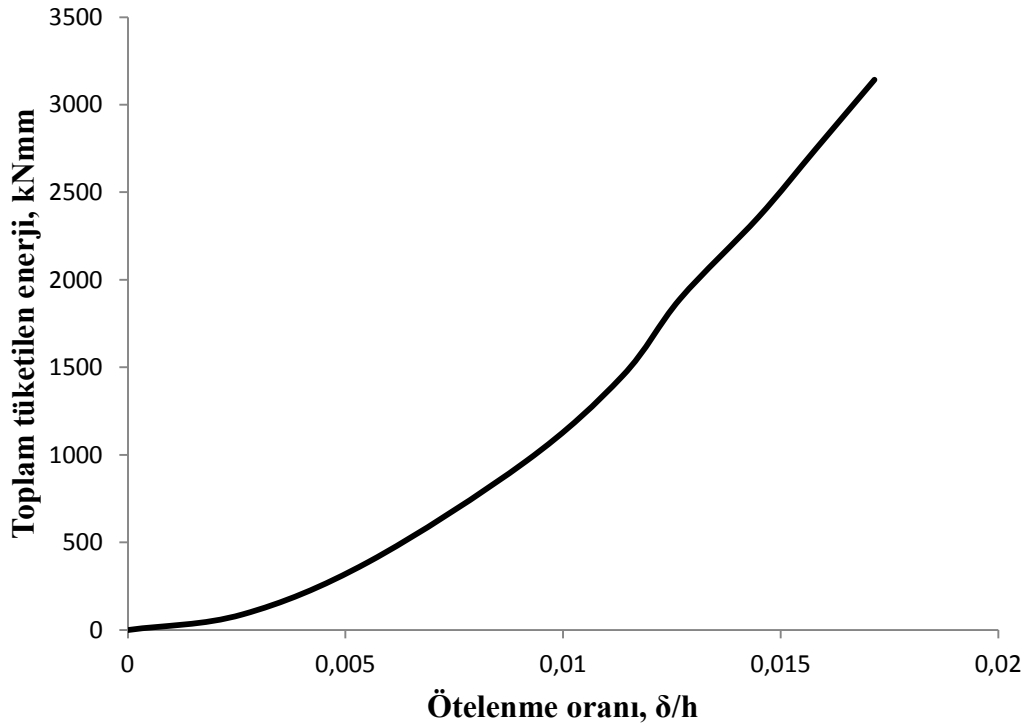
Şekil 117. DE-4 numaralı deney elemanına ait yük-şekildeğiştirme eğrileri.



Şekil 118. DE-4 numaralı deney elemanına ait dayanım zarfı grafiği.



Şekil 119. DE-4 numaralı deney elemanının rijitlik-ötelenme oranı grafiği.



Şekil 120. DE-4 numaralı deney elemanının toplam tükettiği enerji-ötelenme oranı grafiği.

Bu şekillerden, açıklığın 0.375 katı kanat dolgu duvar yapılan elemanda (DE-4), eğilme davranışının hakim olduğu, 316.56 kN' luk yük düzeyinde nihai dayanıma ulaştığı görülmektedir.

3.5. DE-5 Numaralı Deney Elemanı

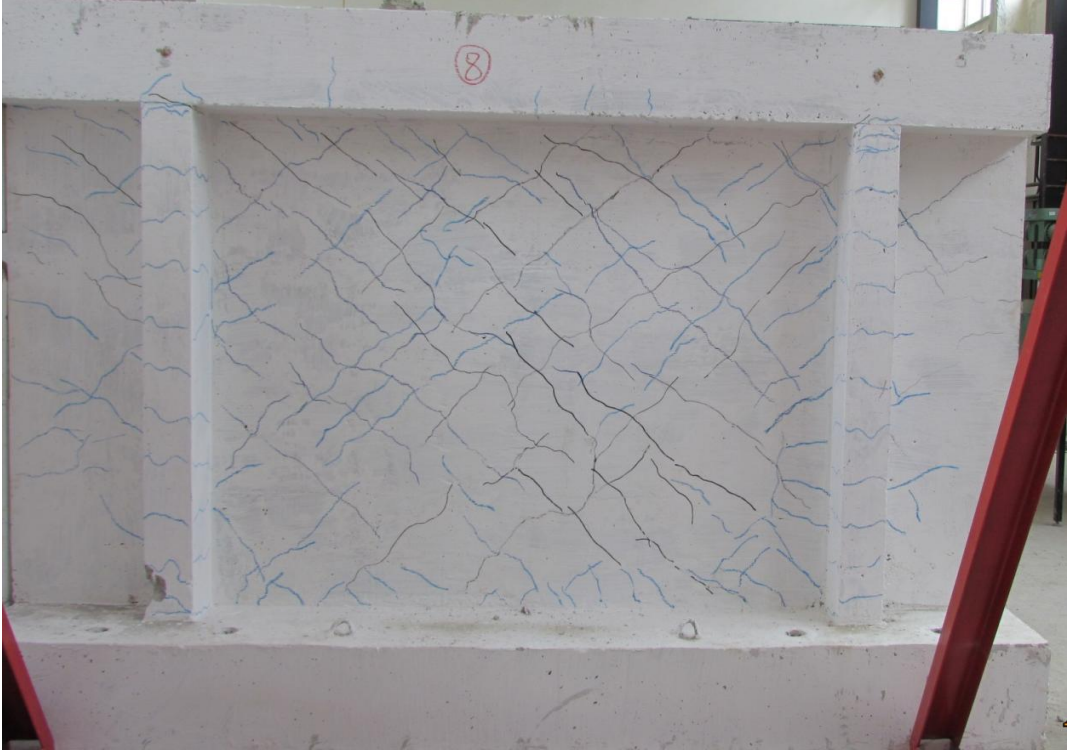
Bu deney elemanında, çerçevelerde bant pencere bırakılmadan, tüm açıklık betonarme perde olacak şekilde üretilmiştir. (bkz. Şekil 50). Sabit aksenal yük altında tersinir tekrarlanır yatay yüke maruz bırakılan bu deney elemanı, araştırmaya ait sınır koşullarından birini oluşturmaktadır. Bu elemanda ait deneye hazırlanmış bir görünümü Şekil 121' de verilmiştir.



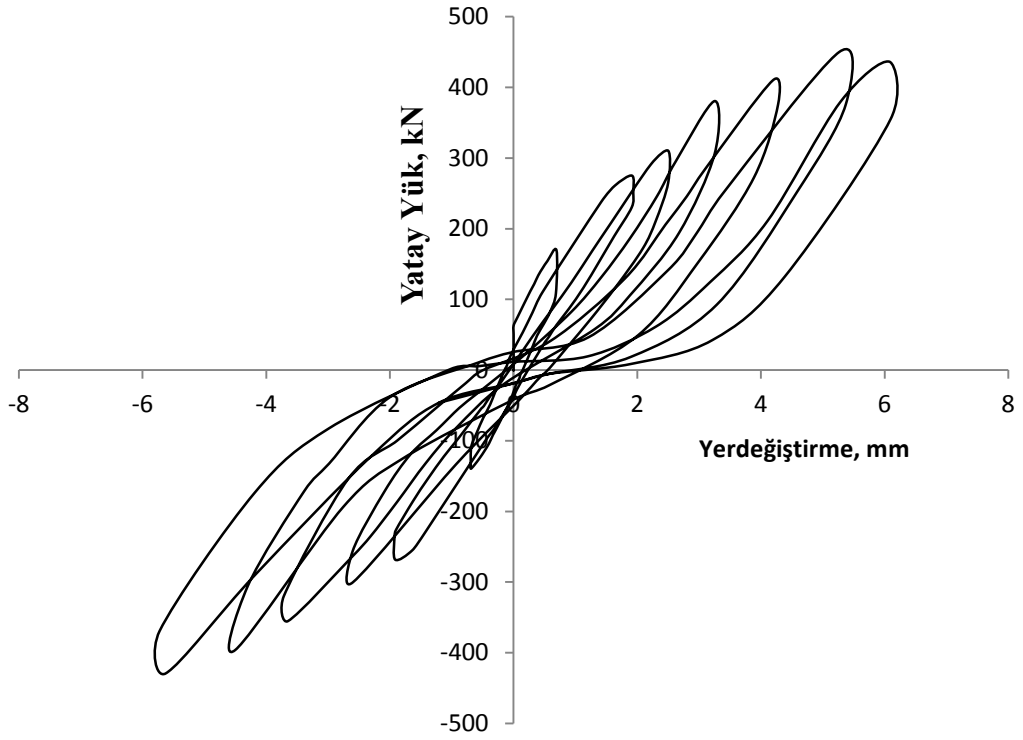
Şekil 121. Açıklığın tamamı betonarme perde kullanılarak üretilen DE-5 numaralı deney elemanı.

Bu deney elemanı üzerinde yapılan, iki yönlü çevrimsel yükleme boyunca, çerçeve+perde sistemin oldukça rijit davranış sergilediği görülmüştür. Deney elemanında 2. çevrimde 260 kN' luk yük düzeyine ulaşıldığında, betonarme perdede, diyagonal

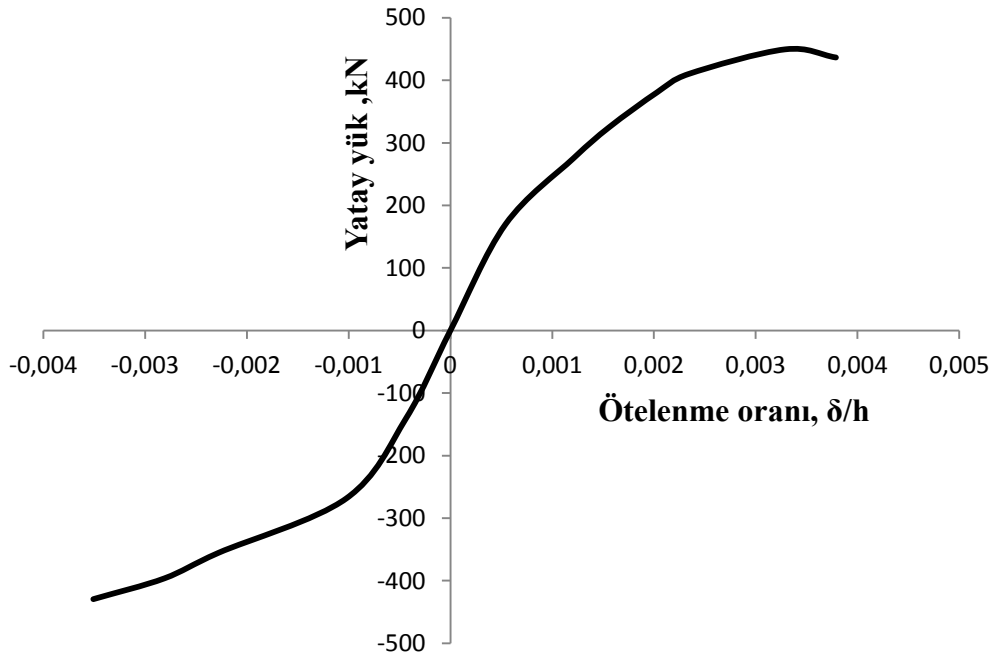
doğrultuda, kılcal düzeyde diyagonal çatlaklar oluşmaya başlamıştır. 3. çevrimde, yük düzeyi 310 kN' a ulaştığında perde duvardaki kılcal çatlaklar diyagonal doğrultuda yayılmış ve 4. çevrimde yük düzeyi 380 kN' a ulaştığında, perde yüzeyinde her iki doğrultuda da diyagonal bir bant içinde yoğunlaşan kılcal çatlaklar gelişmiştir. Nihai aşamada, 449 kN' luk yük düzeyine ulaşıldığında, kolon kiriş birleşim bölgesinde ve kolon yüksekliği boyunca, çatlaklar oluşmuştur. Perdede çatlaklar diyagonal doğrultuda, bir bant içinde yoğun olacak şekilde, tüm perde yüzeyine yayılmıştır. Kiriş perde birleşim bölgesinde ve kirişte çatlaklar oluşmuştur (Şekil 122). Deney elamanında son çevrimde elde edilen yerdeğiştirme 6 mm olarak kaydedilmiş olup, bu deneye ait yük-yerdeğiştirme diyagramı Şekil 123' de, dayanım zarfı grafiği Şekil 124' da, rijitlik-ötelenme oranı grafiği Şekil 125' de ve toplam tüketilen enerji-ötelenme oranı grafiği Şekil 126' de verilmiştir.



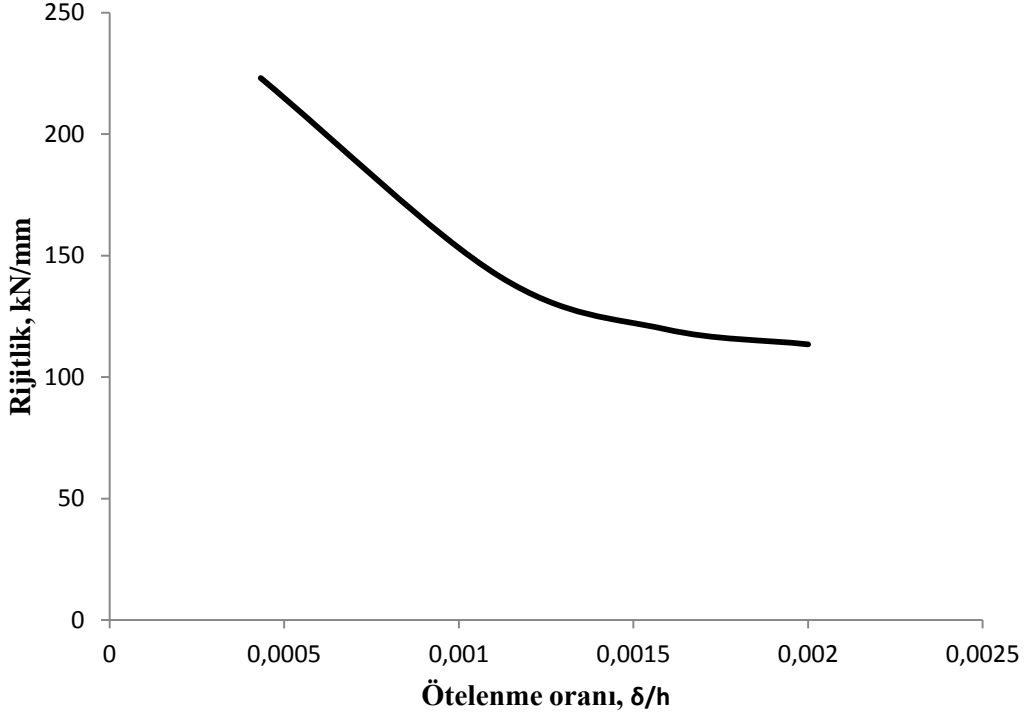
Şekil 122. Betonarme perdede nihai durumdaki hasarlar.



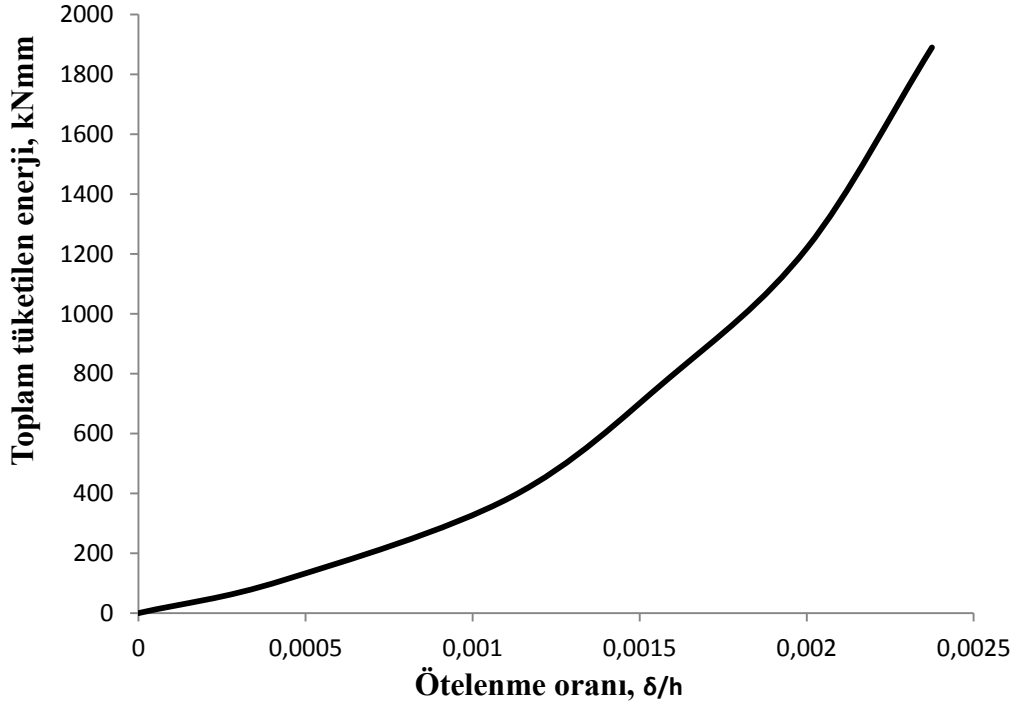
Şekil 123. DE-5 numaralı deney elemanına ait yük-yerdeğiştirme eğrileri.



Şekil 124. DE-5 numaralı deney elemanına ait dayanım zarfı grafiği.



Şekil 125. DE-5 numaralı deney elemanının rijitlik-ötelenme oranı grafiği.



Şekil 126. DE-5 numaralı deney elemanının toplam tüketilen enerji-ötelenme oranı grafiği.

Mevcut betonarme yapılarda kısa kolon davranışlarının iyileştirilmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında deneye tabi tutulan elemanların itme ve çekmede

maksimum yatay yük değerleri, bu yüklere karşılık gelen yer değiştirmeler ve ötelenme oranları Tablo 10' da verilmiştir.

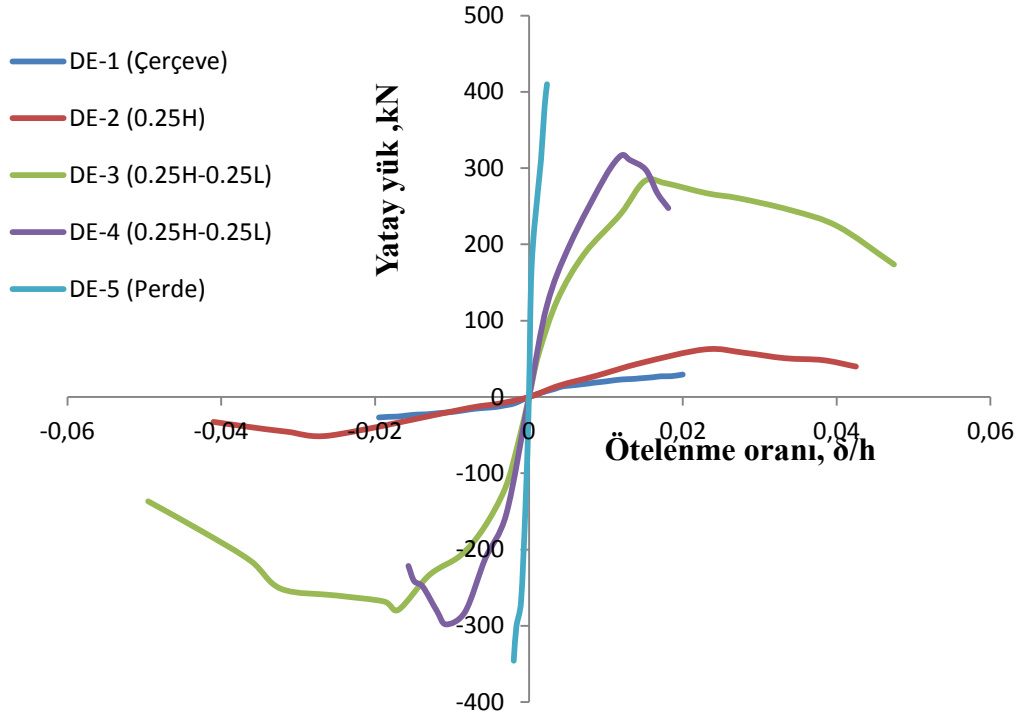
Tablo 10. Test sonuçları.

Deney elemanı No.	Tanım	Yükleme Durumu	Yatay Yük (kN)	Yatay Deplasman (mm)	Ötelenme Oranı, (%)
DE-1	Çerçeve	İtme	27.15	33.50	2.09
		Çekme	26.90	32.68	2.04
DE-2	L açıklığında bant pencereleli eleman	İtme	62.61	9.17	2.29
		Çekme	50.43	10.34	2.59
DE-3	0.25L kanat dolgu duvarlı eleman	İtme	282.66	6.00	1.50
		Çekme	279.23	6.80	1.70
DE-4	0.375L kanat dolgu duvarlı eleman	İtme	316.56	4.79	1.20
		Çekme	298.03	4.31	1.08
DE-5	Perde	İtme	449.931	5.265	0.33
		Çekme	429.233	5.627	0.35

Tablodan da görüldüğü gibi, DE-1 elemanı maksimum 27.15 kN' luk bir yatay yük taşıırken, L açıklığı boyunca, yüksekliğin 0.25 katı (0.25H) bant pencere bırakılan DE-2 numaralı deney elemanı DE-1 numaralı deney elemanına göre % 130 oranında daha fazla yatay yük taşımıştır. Maksimum yüke karşılık gelen yerdeğiştirme ise yaklaşık % 72 oranında azalmıştır. Yüksekliğin 0.25 katı bant pencere bırakılan ve bu bant pencerelere, kolonlardan itibaren açıklığın 0.25 katı kadar betonarme kanat dolgu duvar yapılan deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasitesi, L açıklığı boyunca kanat dolgu duvar yapılmayan (DE-2 numaralı deney elemanı) elemana göre % 350 oranında artmış, yerdeğiştirme ise % 34 oranında azalmıştır. Yüksekliğin 0.25 katı bant pencere bırakılan ve kolonlardan itibaren açıklığın 0.375 katı betonarme kanat dolgu duvar yapılan deney elemanının yatay yük taşıma kapasitesi, L açıklığı boyunca kanat dolgu duvar yapılmayan elemana (DE-2 numaralı deney elemanı) göre yaklaşık % 400 oranında artarken, yerdeğiştirme %54 oranında azalmıştır. Kolonlardan itibaren L açıklığının 0.25 katı betonarme kanat dolgu duvar yapılan elemana (DE-3 numaralı deney elemanı) göre ise, yatay yük taşıma kapasitesi % 12 oranında artmış, yerdeğiştirme ise %30 oranında azalmıştır. Yapılan çalışmalarda, tüm açıklığı betonarme perde olarak yapılmış elemana (DE-5 numaralı deney elemanı), diğer elemanlara uygulandığı gibi, yatay yük uygulanmış

ve deney elemanı oldukça rijit bir davranış göstermiştir. Bu yüklemde itmede 449.93 kN 'luk yatay yük taşıma kapasitesine ulaşılmıştır. Bu yük değerine karşılık gelen yerdeğiştirme ise 5.627 mm olarak elde edilmiştir.

Yapılan deneyler neticesinde elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme/serbest yükseklik oranı (ötelenme oranı) eğrilerinin tepe noktaları birleştirilerek çizilen dayanım zarfı eğrileri, deney elemanlarının numaralarına göre Şekil 127' de verilmiştir.

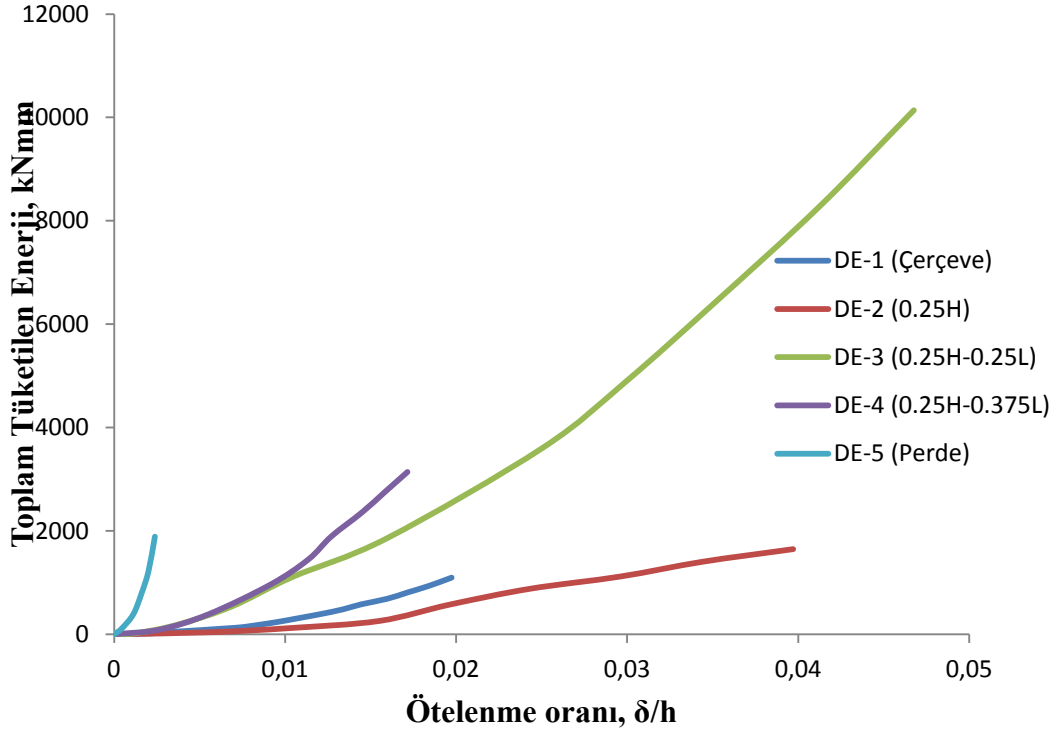


Şekil 127. Deney elemanlarına ait dayanım zarfı eğrilerinin karşılaştırılması.

Bu şekillerden de görüldüğü gibi, DE-1 numaralı deney elemanın serbest boyu kısaltılarak üretilen ve kısa kolon davranışı gösteren DE-2 numaralı deney elemanı, çerçeve elemana göre (DE-1 numaralı deney elemanı) % 130 oranında daha fazla yük taşımış ancak deney elemanında kesme davranışının hakim olması nedeni ile gevrek kırılma göstermiştir. DE-2 numaralı deney elemanına farklı uzunluklarda kanat duvarların ilave edilmesi ile elde edilen DE-3 ve DE-4 numaralı deney elemanları DE-2 numaralı deney elemanına göre sırasıyla % 350 ve % 400 oranında daha fazla yük taşımış aynı zamanda daha fazla ötelenme yapabilmişlerdir. Kanat duvar ilavesi yapılan deney elemanları kendi aralarında incelendiğinde DE-4 numaralı deney elemanı DE-3 numaralı deney elemanına göre % 12

oranında daha fazla yatay yük taşımasına rağmen daha az yatay ötelenme yapmıştır. DE-5 numaralı deney elemanı ise beklendiği gibi rijit davranış sergilemiştir.

Yapılan deneyler neticesinde, deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri Şekil 128’ de verilmiştir. DE-1 ve DE-2 numaralı deney elemanları karşılaştırıldığında, DE-2 numaralı deney elemanının başlangıçtan itibaren enerji tüketme kapasitesinin düşük olduğu görülmektedir. Bu sonuç serbest boyu kısaltılan elemanların gevrek davranış sergileyerek daha az enerji tükettiklerini göstermektedir. DE-2 numaralı deney elemanına kanat duvar ilavesi yapılmasıyla elde edilen DE-3 ve DE-4 numaralı deney elemanlarına bakıldığında, enerji tüketme kapasitelerinin ciddi oranda arttığı görülmektedir. DE-2 numaralı deney elemanının aksine, DE-3 ve DE-4 numaralı deney elemanlarındaki ilave kanat duvarlar, sistemde meydana gelen hasarları perde ve kirişe de yaydığı için daha fazla enerji tüketilebilmiştir.

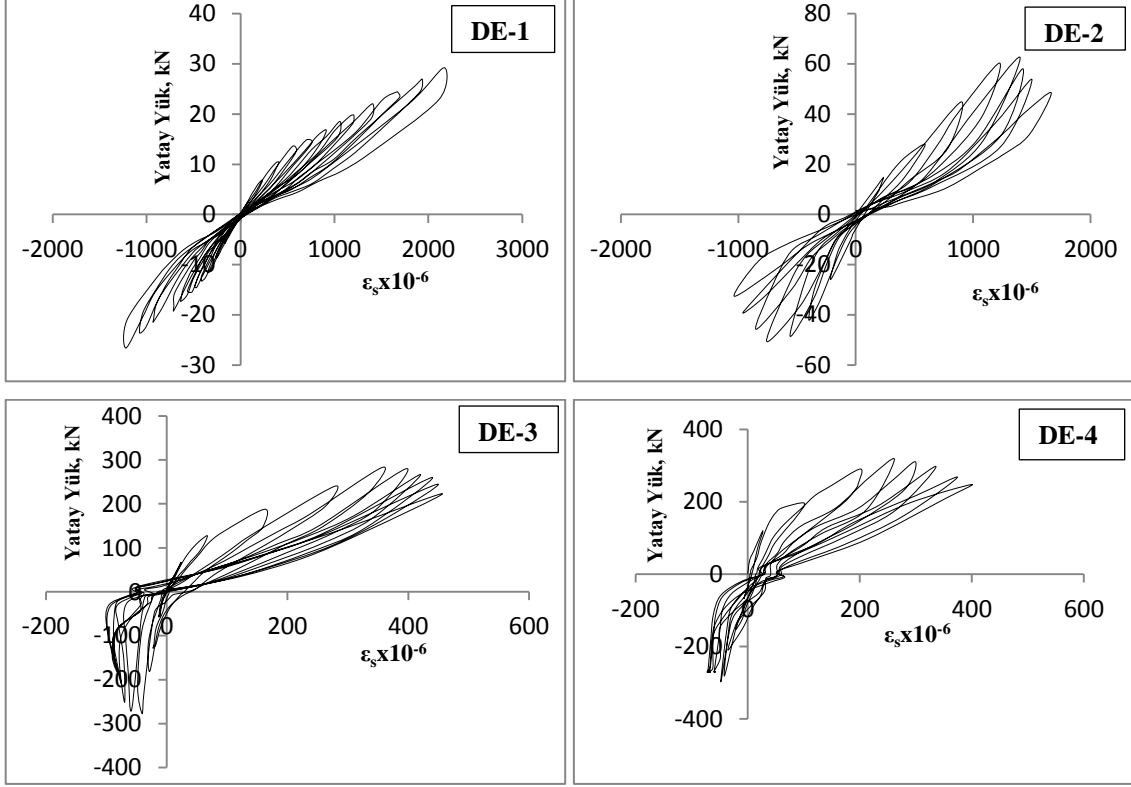


Şekil 128. Deney elemanlarına ait enerji tüketme kapasitelerinin karşılaştırılması.

Bu çalışma kapsamında yürütülen deneylerde, kolonların boyuna donatılarına aktif boyu 10 mm olan birim şekildeğiştirme ölçerleri yerleştirilmiş ve deney boyunca, donatıdaki birim şekildeğiştirme değerleri ölçülmüştür. Birim şekildeğiştirme ölçerleri serbest kolon yüksekliğinin alt kısmına yerleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen yük birim

şekil değiştirme eğrileri Şekil 129’ da verilmiştir.

Kolon boyuna donatılarının ($\phi 14$), merkezi çekme deneyi ile belirlenen akma birim uzama değeri 0.0024 olarak elde edilmiştir (bkz. Tablo 6). Şekil 129’ dan da görüldüğü gibi, hiçbir deney elemanının kolonlarındaki donatılar, akma birim şekil değiştirme değerine ulaşamamıştır.



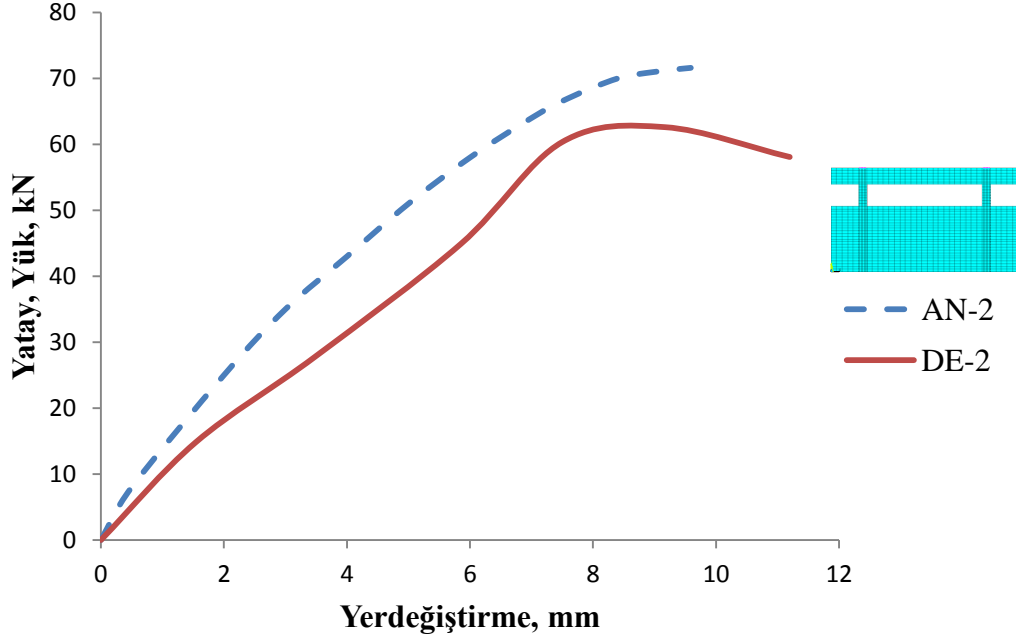
Şekil 129. Kolon donatılarındaki çevrimsel yük-birim şekil değiştirme diyagramları.

3.6. Sonlu Elemanlar Analizi ile Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması

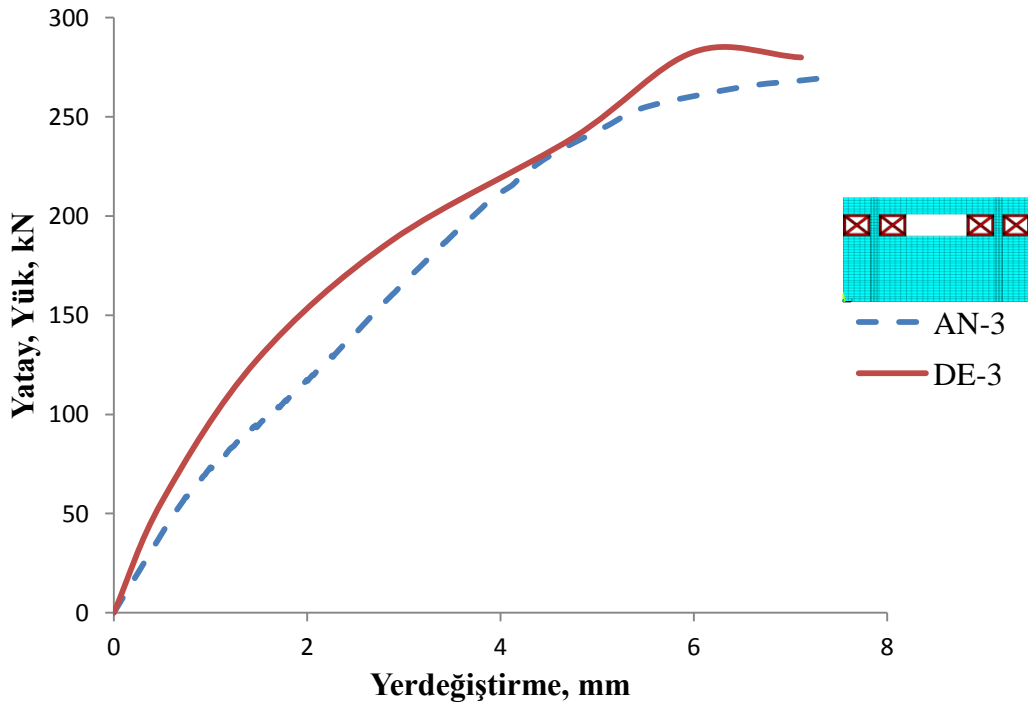
Kısa kolon davranışının iyileştirilmesi amacıyla betonarme kanat duvarlar ile güçlendirme yapılmış ve betonarme kanat duvarın kısa kolon davranışını önemli oranda iyileştirdiği görülmüştür. Bu çalışma kapsamında betonarme kanat duvar yerine, çelik profillerle oluşturulan kanat duvar kullanılması halinde kısa kolon davranışının hangi yönde etkiyeceğinin araştırılması için bu elemanlar üzerinde analitik çalışmalar yapılmıştır. Aşağıda bu çalışmalardan elde edilen bulgular ve irdelemeler verilmektedir.

Herhangi bir güçlendirme yapılmadan deneysel olarak incelenen DE-2 elemanı ile analitik olarak incelenen AN-2 elemanının sonuçları Şekil 130’da, açıklığın 0.25 katı

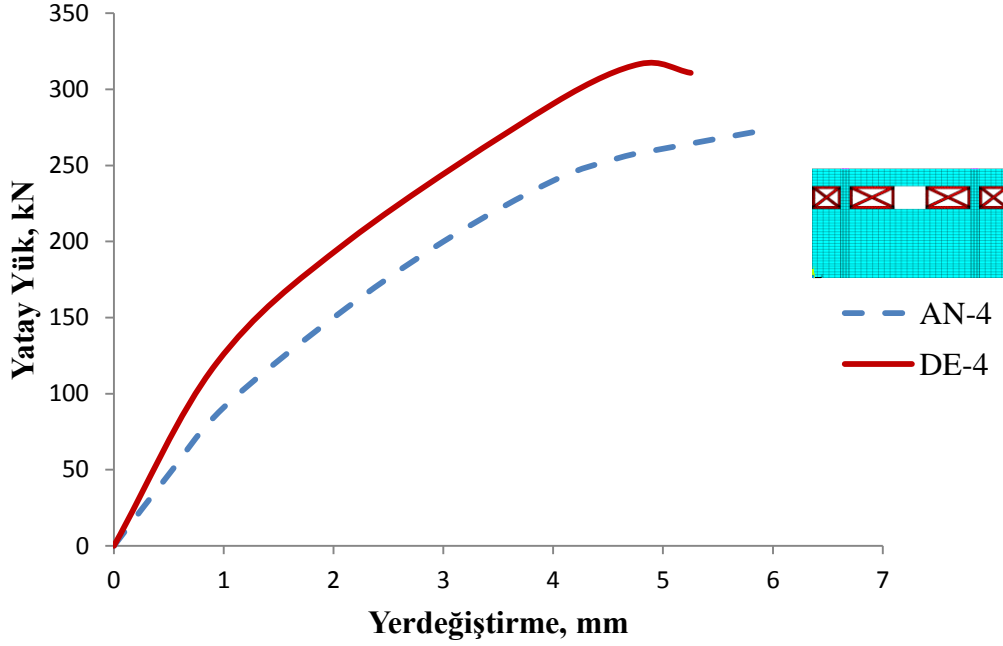
genişliğinde betonarme kanat duvarlar ile güçlendirilen DE-3 elemanı ile çelik profillerle güçlendirilen AN-3 elemanın sonuçları Şekil 131’de ve açıklığın 0.375 katı genişliğinde betonarme kanat duvarlar ile güçlendirilen DE-4 elemanı ile çelik profillerle güçlendirilen AN-4 elemanın sonuçları Şekil 132’ de verilmiştir.



Şekil 130. AN-2 ve DE-2 elemanlarına ait yatay yük- yerdeğiştirme eğrileri.



Şekil 131. AN-3 ve DE-3 elemanlarına ait yatay yük- yerdeğiştirme eğrileri.

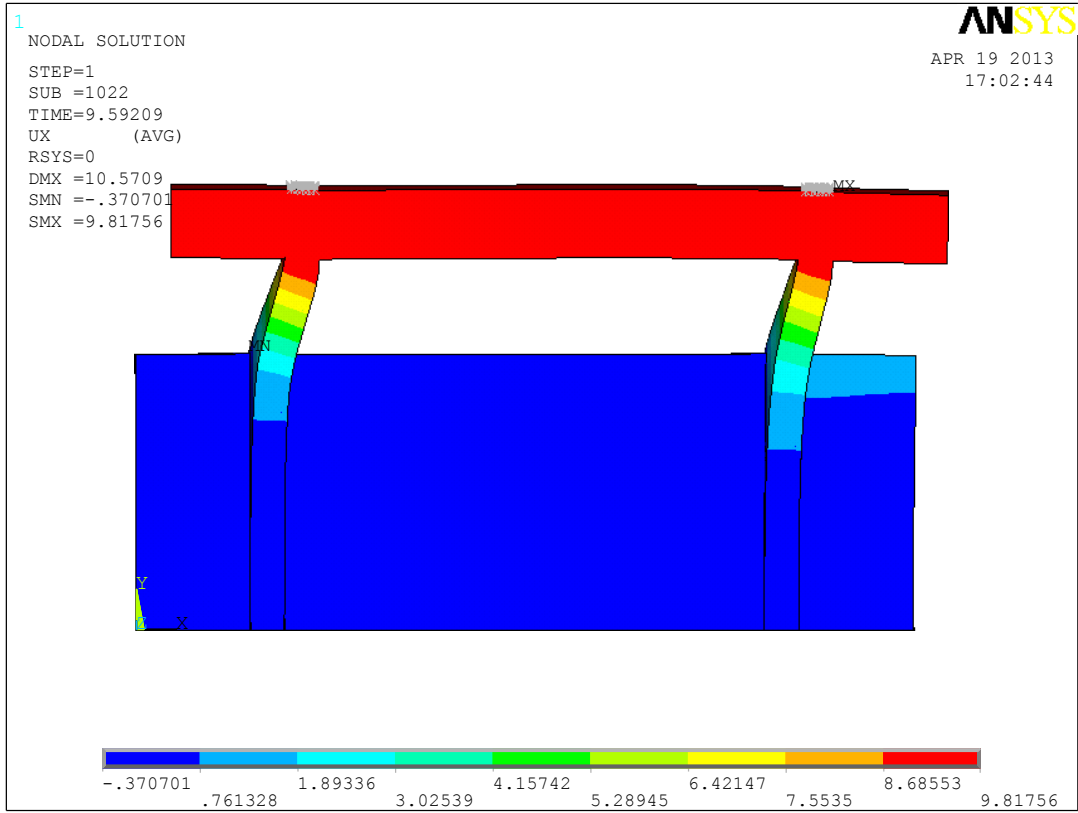


Şekil 132. AN-4 ve DE-4 elemanlarına ait yatay yük- yerdeğiştirme eğrileri.

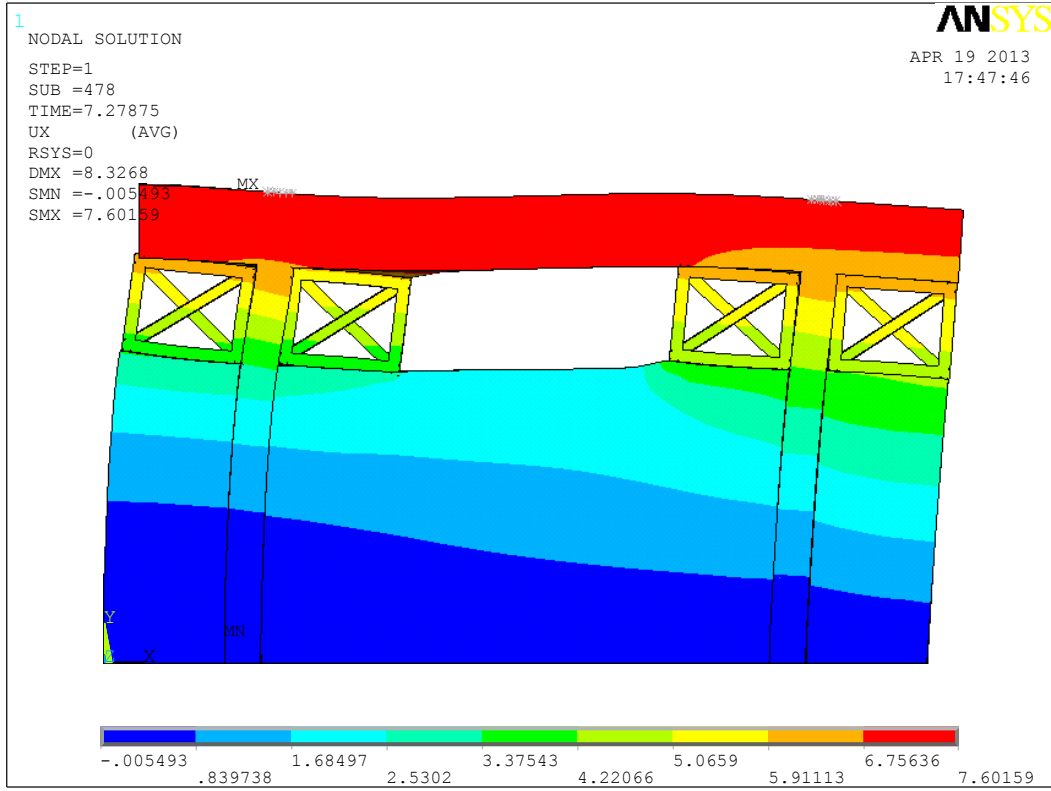
Şekil 130' da tersinir tekrarlanır yatay yükleme altında deneyleri yapılan DE-2 deney elemanının sonuçları ile, bu deney elemanının sonlu elemanlar modeli olan AN-2' nin sonuçları karşılaştırılmıştır. DE-2 elemanında en büyük yük, 9.17 mm' lik yatay yerdeğiştirmede, 62.61 kN olurken AN-2 elemanında 9.59 mm' lik yatay yerdeğiştirmede 71.61 kN olarak elde edilmiştir. Aradaki fark yük değerleri için % 14.37 oranında daha fazla olurken aynı noktadaki yerdeğiştirmede % 4.58 oranında daha fazla olmuştur. Sonlu elemanlar modelinde yalnızca itme analizi yapıldığı düşünüldüğünde sonuçların yeterli yakınlıkta olduğuna karar verilmiş ve aynı sonlu elemanlar modeline çelik güçlendirme elemanları ilave edilerek AN-3 ve AN-4 numaralı elemanların analizleri yapılmıştır.

DE-3 ve AN-3 elemanlarının sonuçları Şekil 131' de karşılaştırılmıştır. DE-3 elemanında en büyük yük 6 mm' lik yatay yerdeğiştirmede 282.66 kN olurken AN-3 elemanında 7.28 mm' lik yatay yerdeğiştirmede 269.2 kN bulunmuştur. Aradaki fark yük değerleri için % 4.76 oranında daha az olmasına rağmen aynı noktadaki yerdeğiştirmede % 21.33 oranında daha fazla olmuştur. Şekil 132' de DE-4 ve AN-4 elemanlarının sonuçları karşılaştırılmıştır. DE-4 elemanında en büyük yük 4.79 mm' lik yatay yerdeğiştirmede 316.56 kN olurken, AN-4 elemanında 5.86 mm' lik yatay yerdeğiştirmede 272,47 kN bulunmuştur. Aradaki fark yük değerleri için % 13.92 oranında

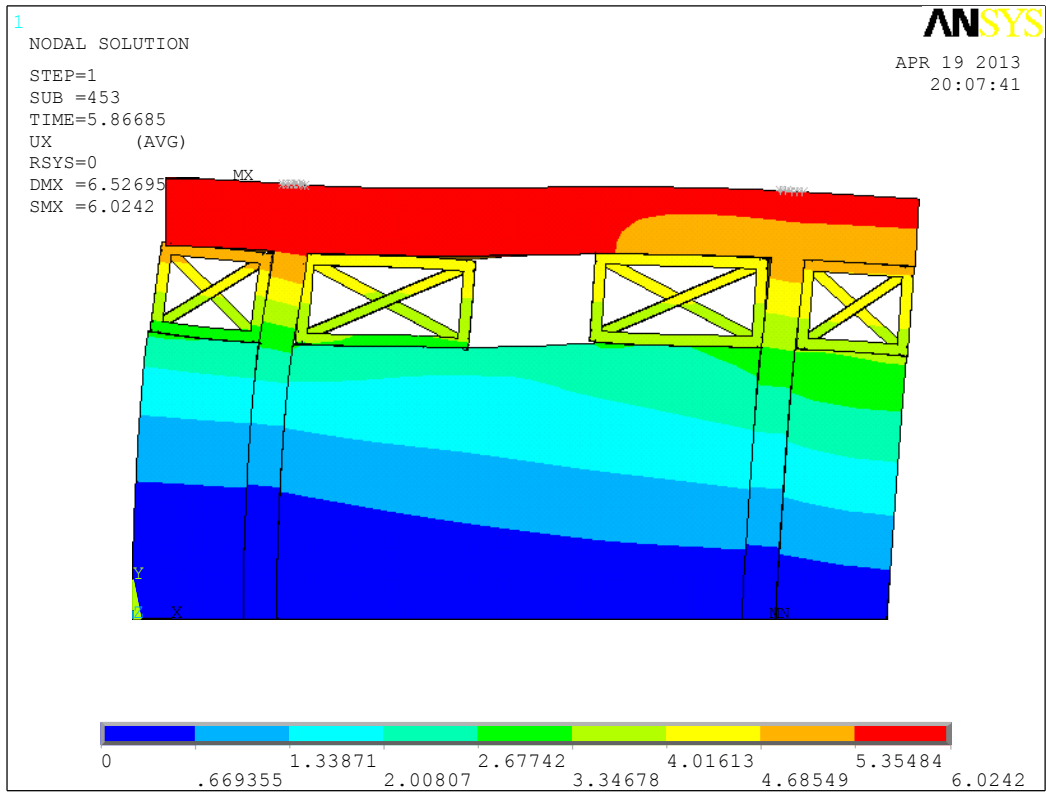
daha az olurken aynı noktadaki yerdeğiştirmede % 22.33 oranında daha fazla olmuştur. Yapılan analizlerde yalnızca itme analizi yapıldığı, bu nedenle, tersinir tekrarları yüklem altında deneysel çalışmaların yapılması durumunda sonuçların daha düşük çıkabileceği göz ardı edilmemelidir. AN-2, AN-3 ve AN-4 numaralı elemanlarının analiz sonunda elde edilen x yönü yerdeğiştirmeleri Şekil 133, Şekil 134 ve Şekil 135’ de gösterilmiştir. Şekil 134 ve 135’e bakıldığında çelik profiller ile betonarme elemanlar arasında ayrılmaların ve betonda ezilmelerin meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 133. AN-2 numaralı elemanın analiz sonundaki x yönü yerdeğiştirmeleri.

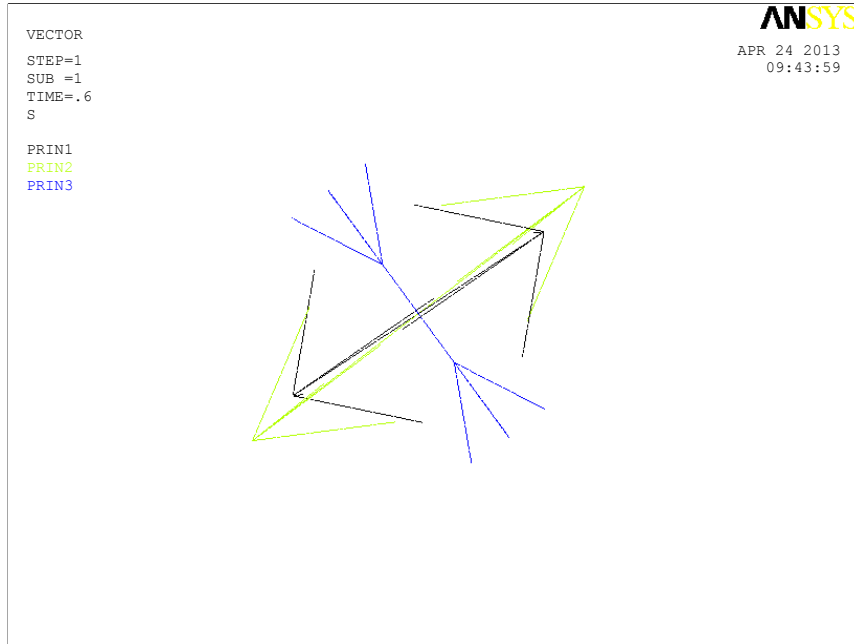


Şekil 134. AN-3 numaralı elemanın analiz sonundaki x yönü yerdeğıştirmeleri.

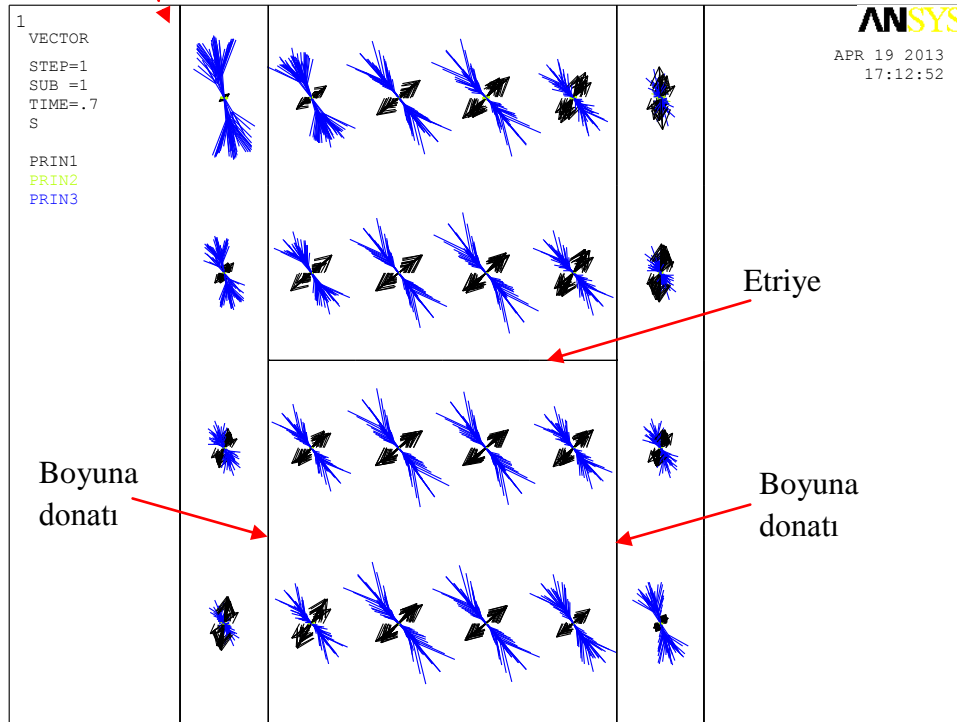
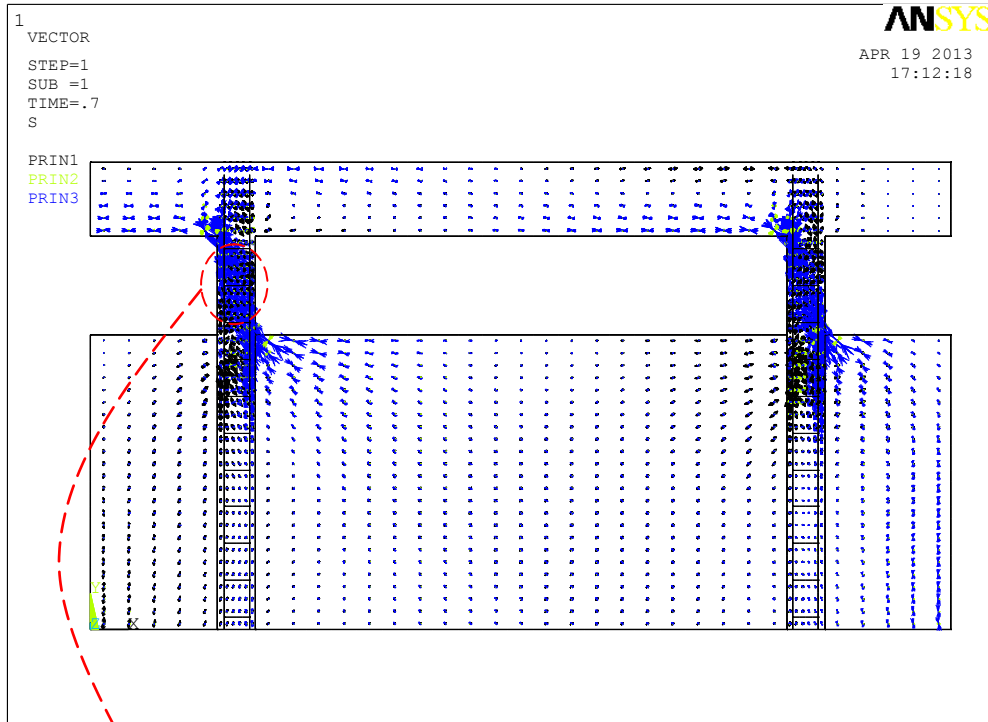


Şekil 135. AN-4 numaralı elemanın analiz sonundaki x yönü yerdeğıştirmeleri.

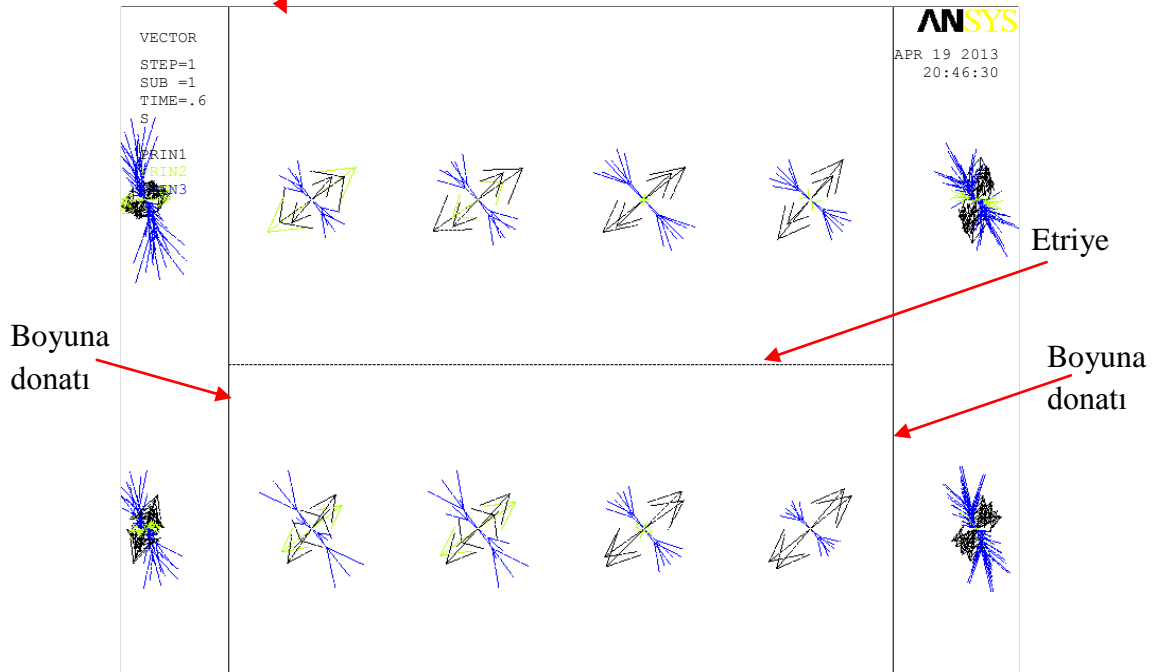
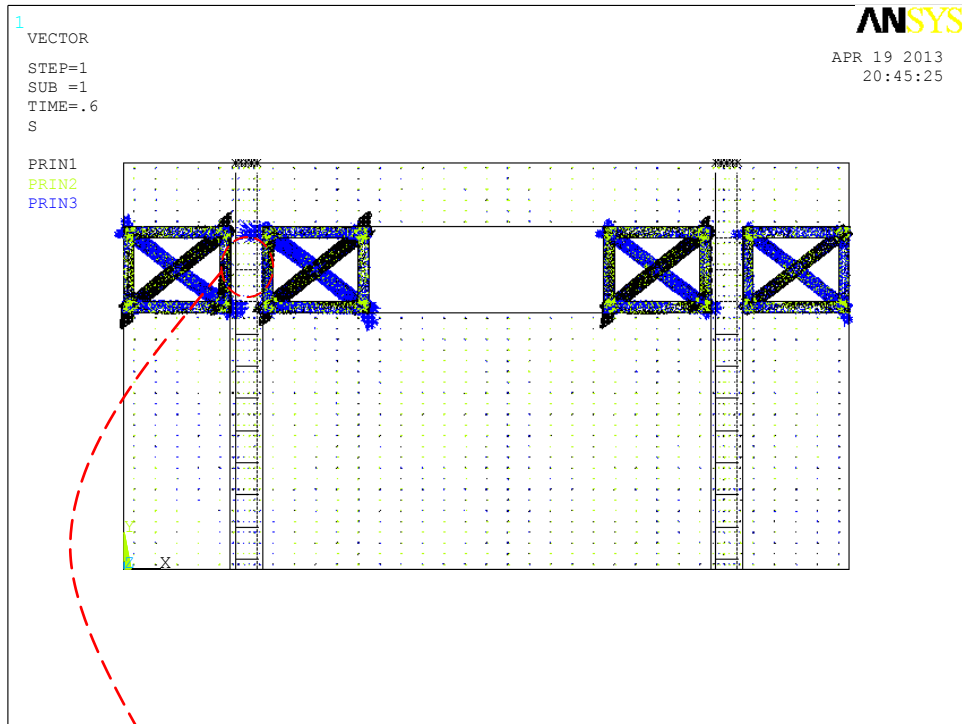
Yapılan itme analizleri neticesinde kısa kolonlarda oluşan asal gerilmeler vektörel olarak, 1. asal gerilmeler siyah renkte, 2. asal gerilmeler yeşil renkte ve 3. asal gerilmeler mavi renkte olmak üzere Şekil 136’ da gösterilmiştir. Vektörlerin büyüklükleri gerilmelerin büyüklükleri ile doğru orantılıdır. Şekil 136’ da bakıldığında asal gerilmelerin diyagonal doğrultularda meydana geldikleri görünürken 1.ve 2. asal gerilmeler çekme, 3. asal gerilmeler ise basınç gerilmeleri olarak meydana gelmişlerdir. Şekil 137, Şekil 138 ve Şekil 139’ da sırasıyla AN-2, AN-3 ve AN-4 elemanlarında 1 mm’ lik deplasmana kadar meydana gelen asal gerilmeler gösterilmiştir. Şekil 140, Şekil 141 ve Şekil 142’ d2 ise sırasıyla AN-2, AN-3 ve AN-4 elemanlarındaki asal gerilmelerin analiz sonundaki durumu gösterilmiştir.



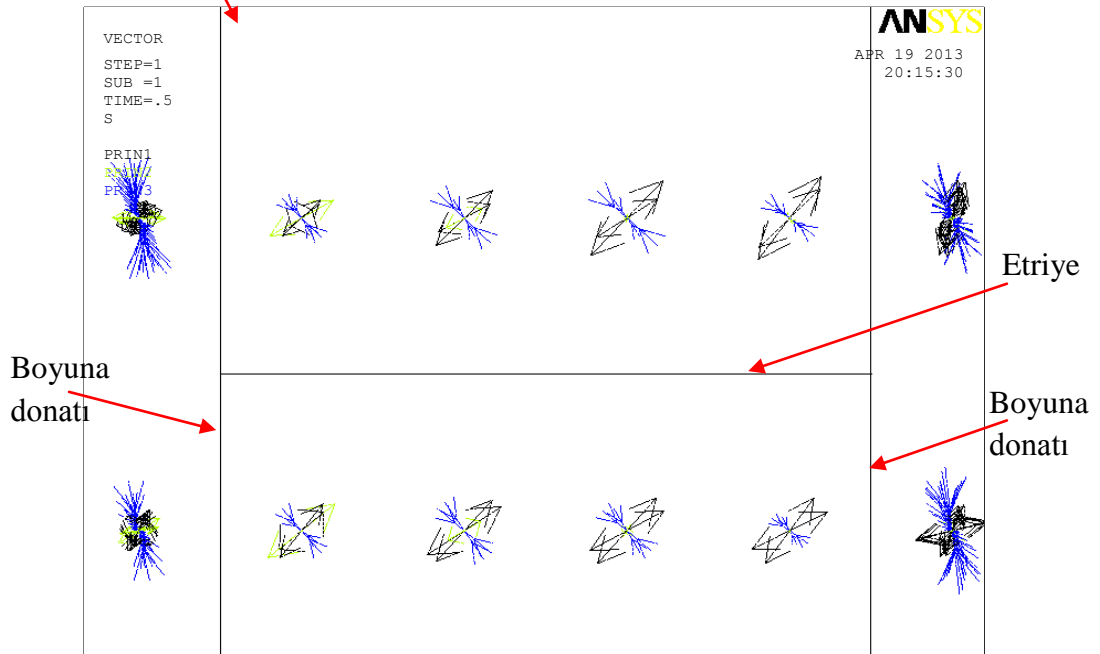
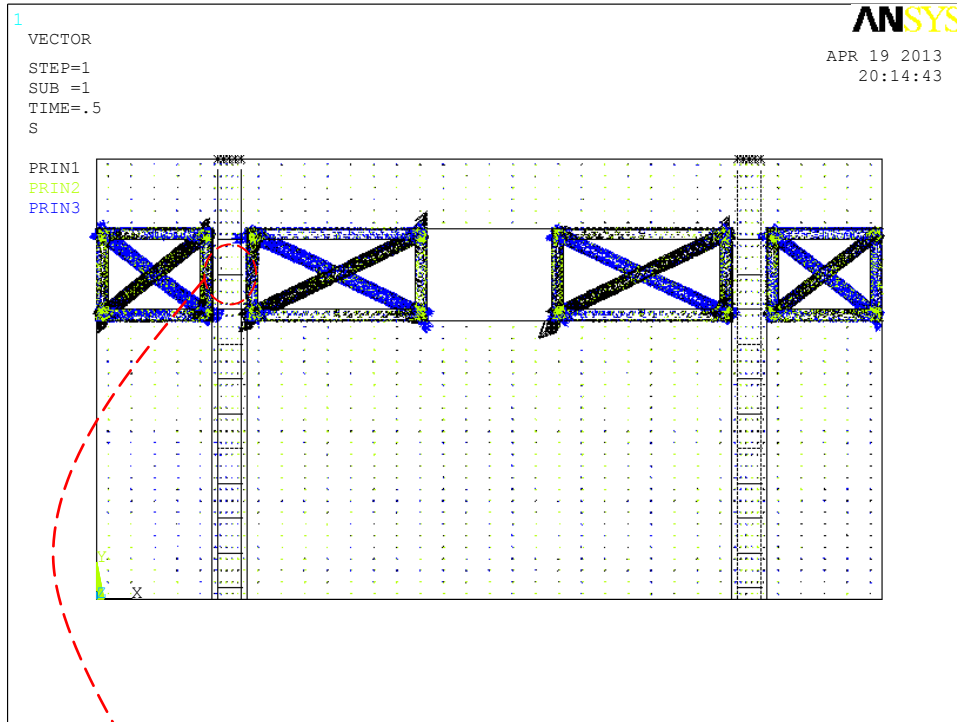
Şekil 136. Meydana gelen asal gerilme vektörleri.



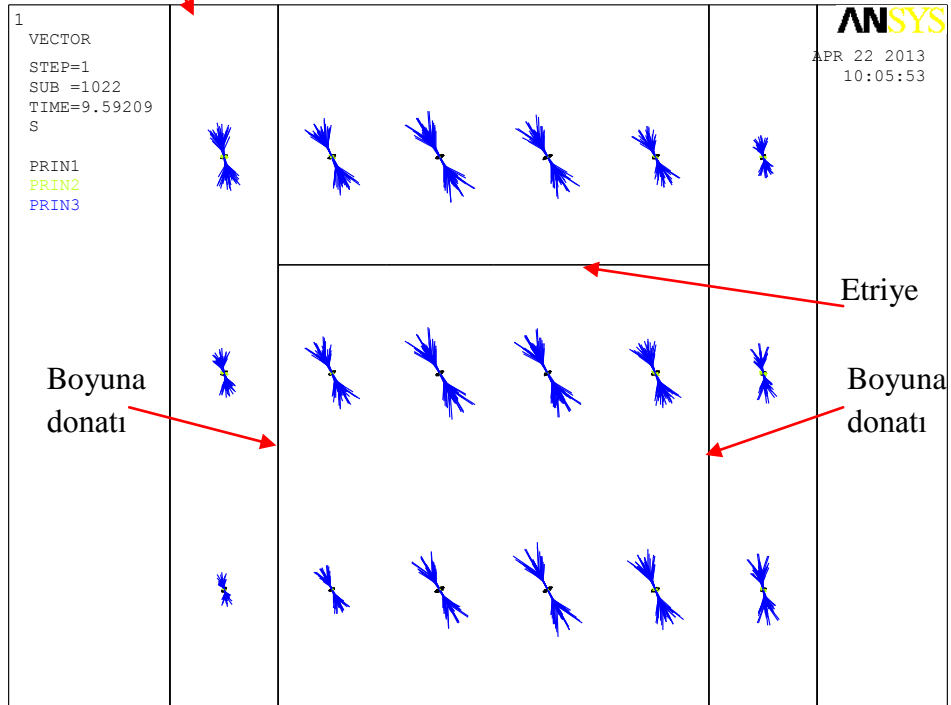
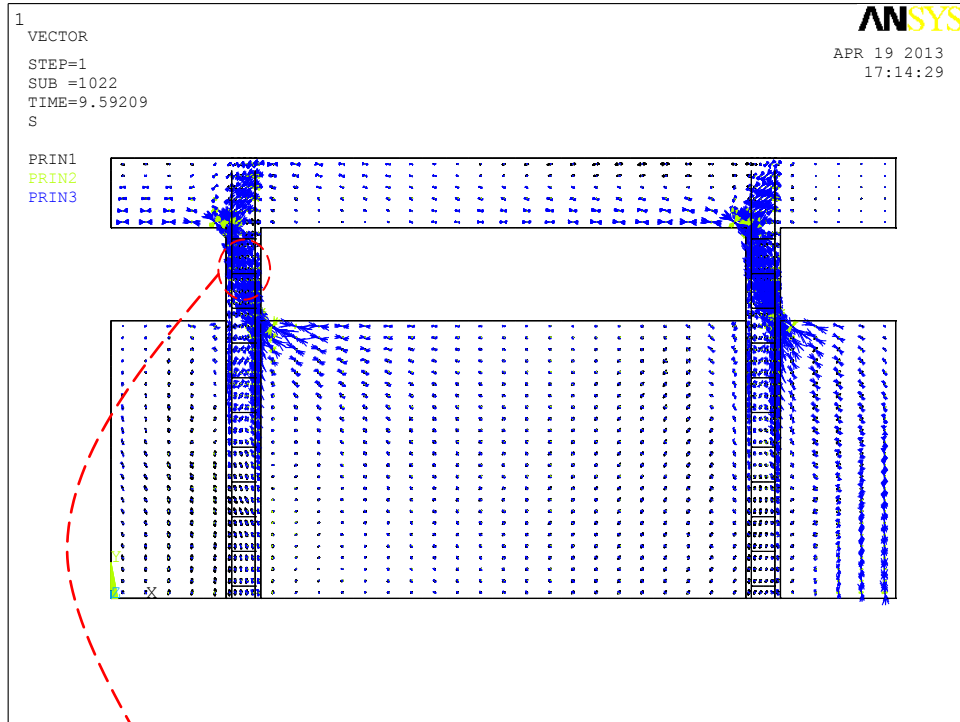
Şekil 137. AN-2 elemanında 0.7 mm'lik yatay yerdeğiştirmede meydana gelen asal gerilme vektörleri.



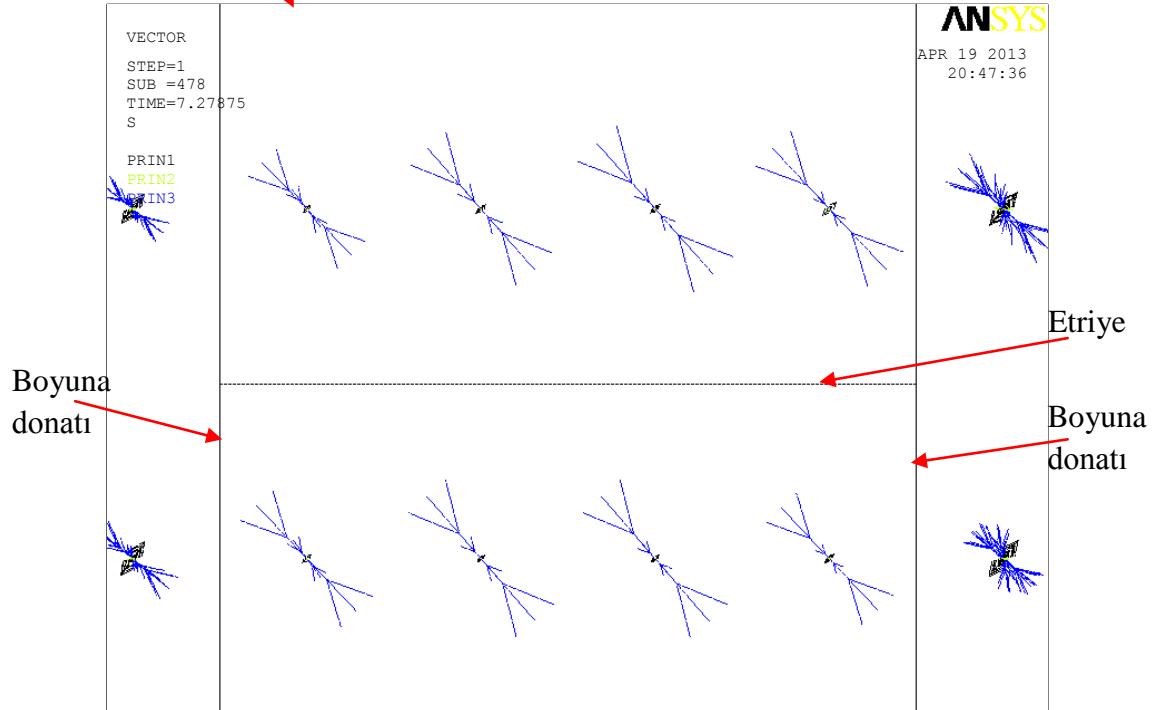
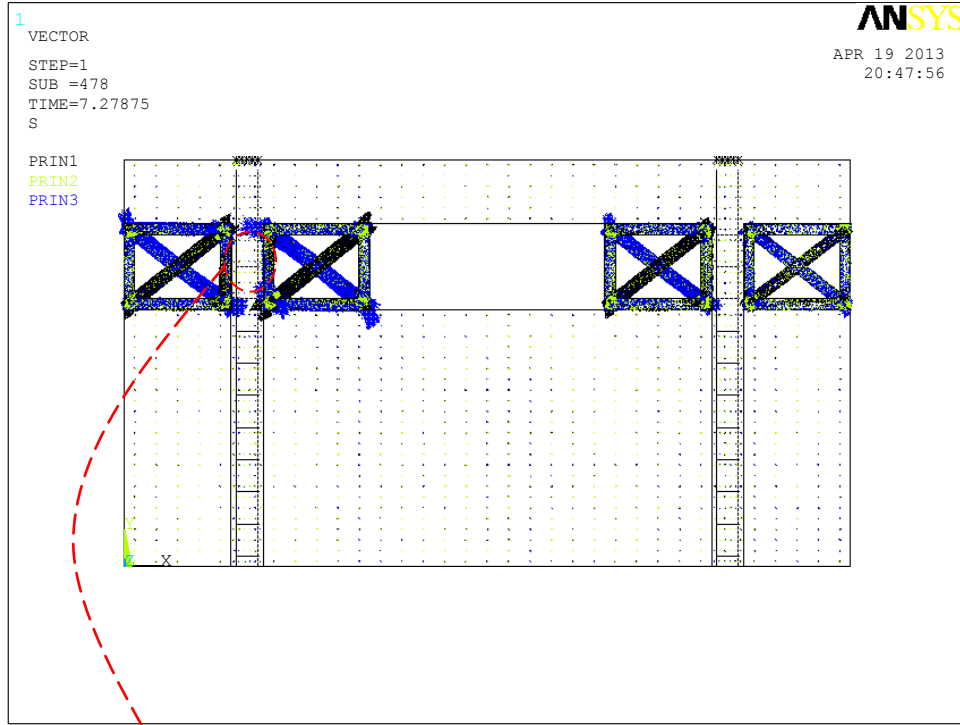
Şekil 138. AN-3 elemanında 0.6 mm'lik yatay yerdeğiştirmede meydana gelen asal gerilme vektörleri.



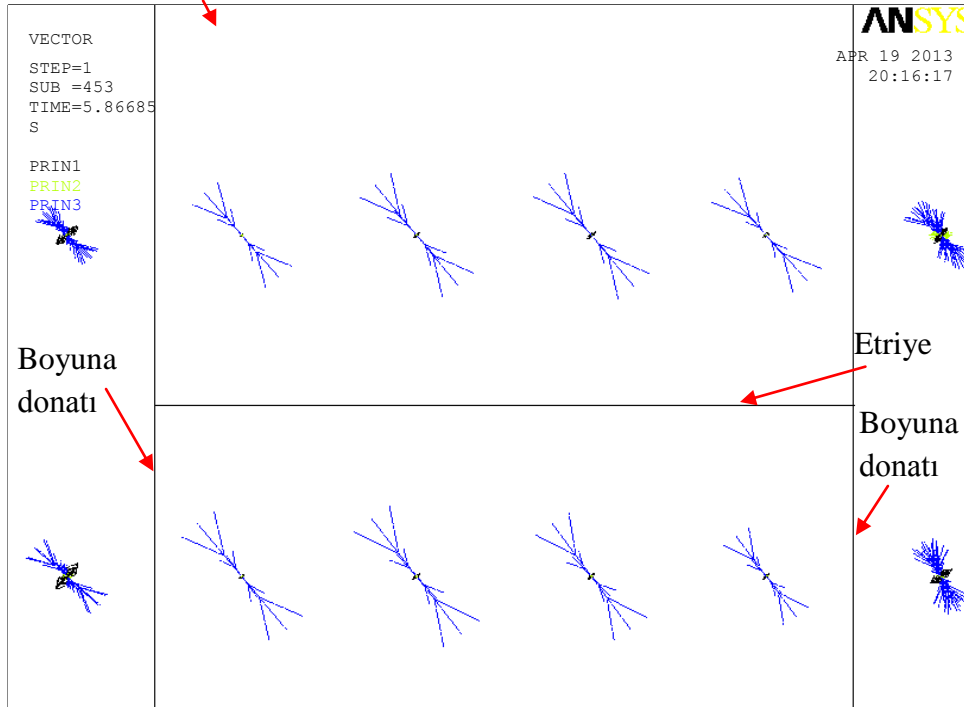
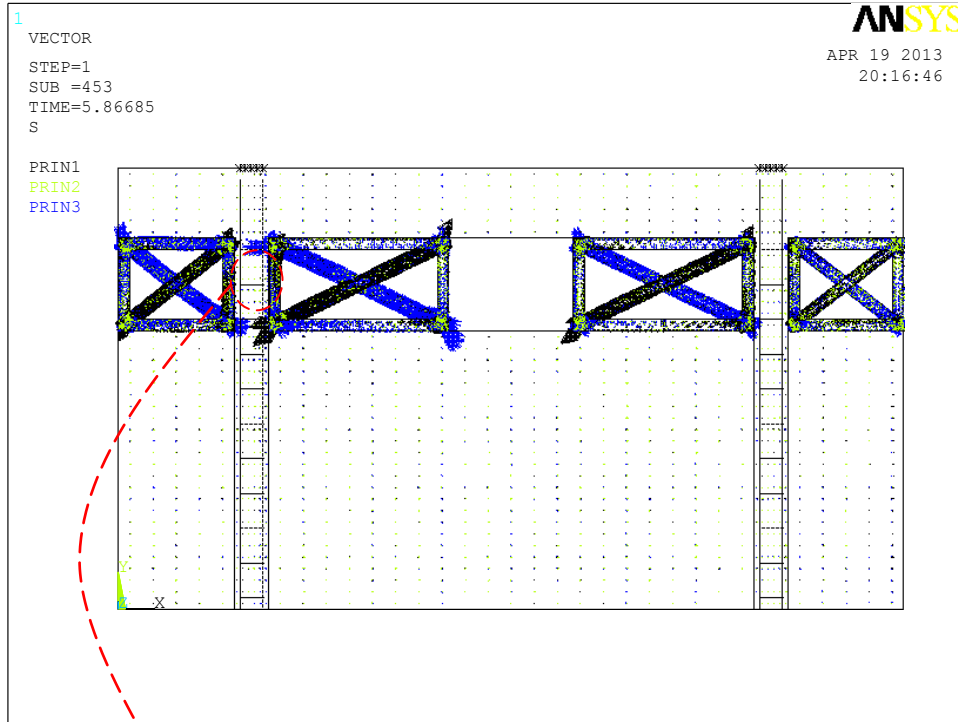
Şekil 139. AN-4 elemanında 0.5 mm'lik yatay yerdeğişirmede meydana gelen asal gerilme vektörleri.



Şekil 140. AN-2 elemanında analiz sonunda meydana gelen asal gerilme vektörleri.



Şekil 141. AN-3 elemanında analiz sonunda meydana gelen asal gerilme vektörleri.



Şekil 142. AN-4 elemanında analiz sonunda meydana gelen asal gerilme vektörleri.

Şekil 137 ve Şekil 140'a bakıldığında AN-2 elemanında meydana gelen asal gerilme vektörlerinin kısa kolon boyunca diyagonal doğrultularda yığıldığı görülmektedir. Şekil 140'da siyah renkte görülen ve çekme gerilmesi olarak meydana gelen 1. asal gerilme vektörlerinin büyüklüğü yatay yerdeğiştirmelerin artması ile birlikte betonun çekme dayanımına ulaşmış ve ardından çatlamlar meydana gelerek sıfıra düşmüştür. Şekil 140' da nihai durumda yalnızca basınç gerilmesi olan 3. Asal gerilmeler görülmektedir. Şekil 137 ve 140'a dikkatli bakıldığında AN-2 elemanında 2. asal gerilmelerin etkili olmadığı görülmektedir.

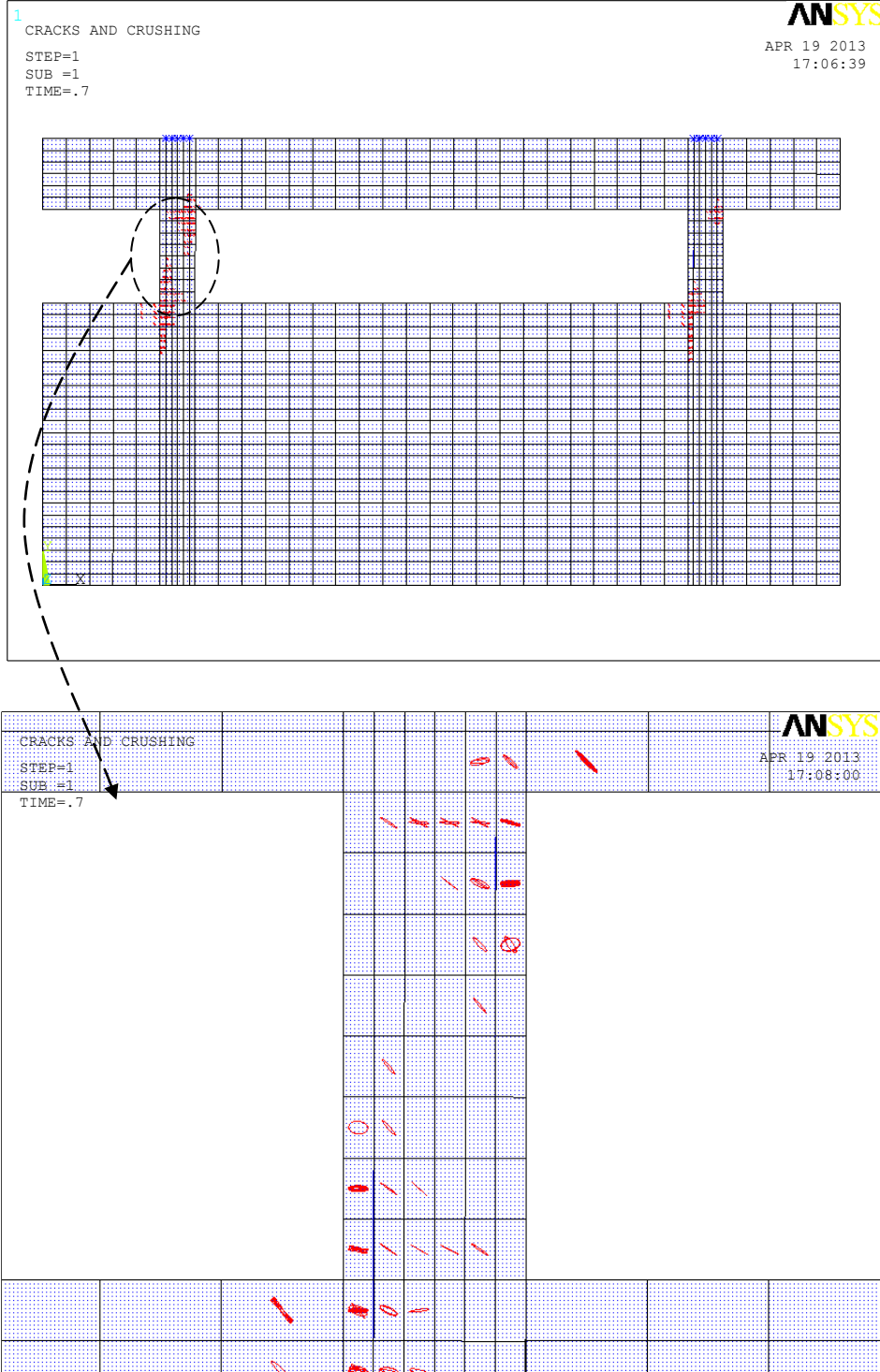
AN-3 ve AN-4 elemanlarında meydana gelen asal gerilmelere bakıldığında vektörler büyüklükleri ile doğru orantılı gösterildiği için çelik profillerde büyük asal gerilmelerin meydana geldiği görülmektedir. Kısa kolonlara yakından bakıldığında ise asal gerilme vektörleri görülmektedir. Çelik profiller ile güçlendirilen AN-3 ve AN-4 elemanlarında meydana gelen asal gerilmelere dikkat edilecek olursa, AN-2 elemanının aksine, 2. asal gerilme vektörleri meydana gelmiştir. (Şekil 138 ve Şekil 139) . İlerleyen yerdeğiştirmelerde 1. ve 2. asal gerilmeler betonun çekme dayanımına ulaşmış ve bu gerilmelerin betonun çekme dayanımını aşmasının ardından çatlamlar meydana gelerek bu bölgelerde çekme gerilmeleri sıfıra düşmüştür. Nihai durumdaki asal gerilmeler Şekil 141 ve 142' de gösterilmiştir.

Meydana gelen asal gerilmelerin artmasıyla birlikte analizin başlarında AN-2, AN-3 ve AN-4 elemanlarında meydana gelen çatlaklar sırasıyla Şekil 143, Şekil 144 ve Şekil 145' de gösterilirken nihai durumdaki çatlaklar sırasıyla Şekil 146, Şekil 147 ve Şekil 148' de gösterilmiştir. Her üç asal gerilmeden ötürü meydana gelen çatlamların görüntüsü oldukça karışık görüldüğü için, aşağıdaki şekillerde yalnızca göçmeye neden olan 1. asal gerilmelerin sebep olduğu çatlaklar gösterilmiştir.

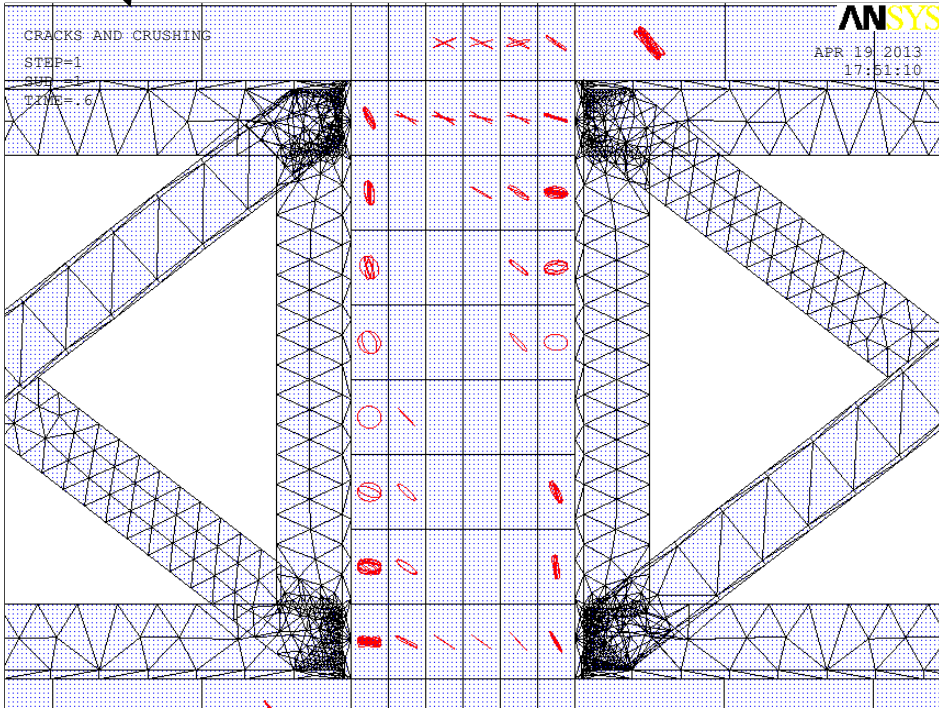
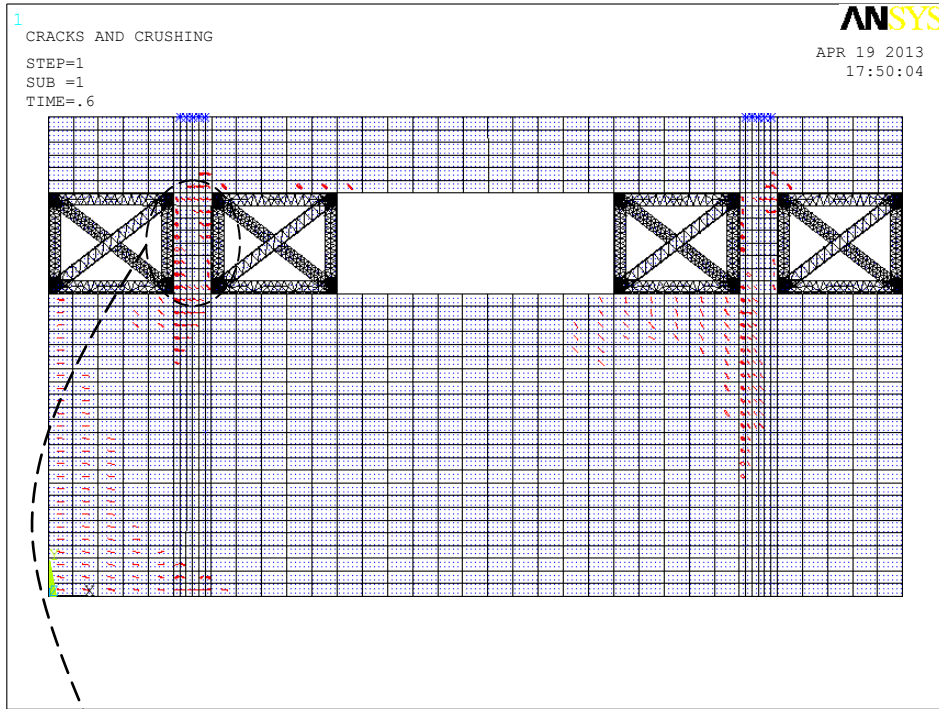
AN-2 elemanı için Şekil 143'e bakıldığında analizin hemen başlarında kısa kolonların sağ üst ve sol alt köşelerinde kılcal çatlakların yerleşmeye başladığı görülmektedir. Şekil 146' daki nihai durumda perde ve kirişte hasar görünmezken kısa kolonlar boyunca diyagonal çatlakların oluştuğu görülmektedir.

AN-3 ve AN-4 elemanları için sırasıyla Şekil 144 ve Şekil 145' e bakıldığında analizin hemen başlarında kısa kolonlarda oluşan kılcal çatlakların yanı sıra çelik profiller ile perde arasındaki bağlantı elemanları sayesinde perdede de çatlamların oluştuğu görülmektedir. Şekil 147 ve Şekil 148' deki nihai durumlarda ise çatlakların perde ve kirişlerin tamamına yayıldığı görülmektedir. Kısa kolonlar boyunca diyagonal çatlaklar

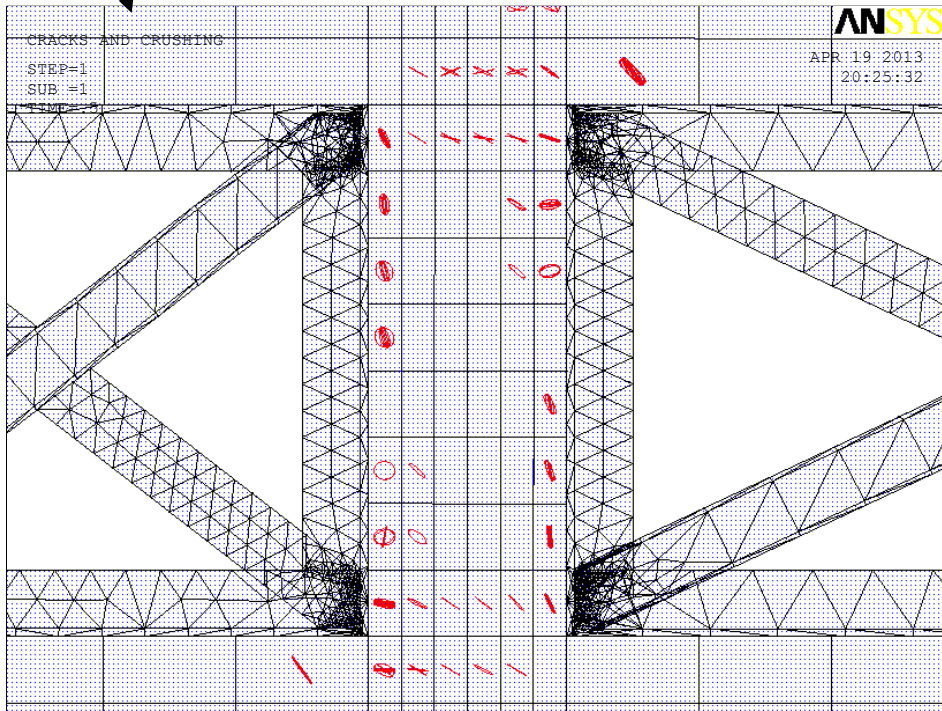
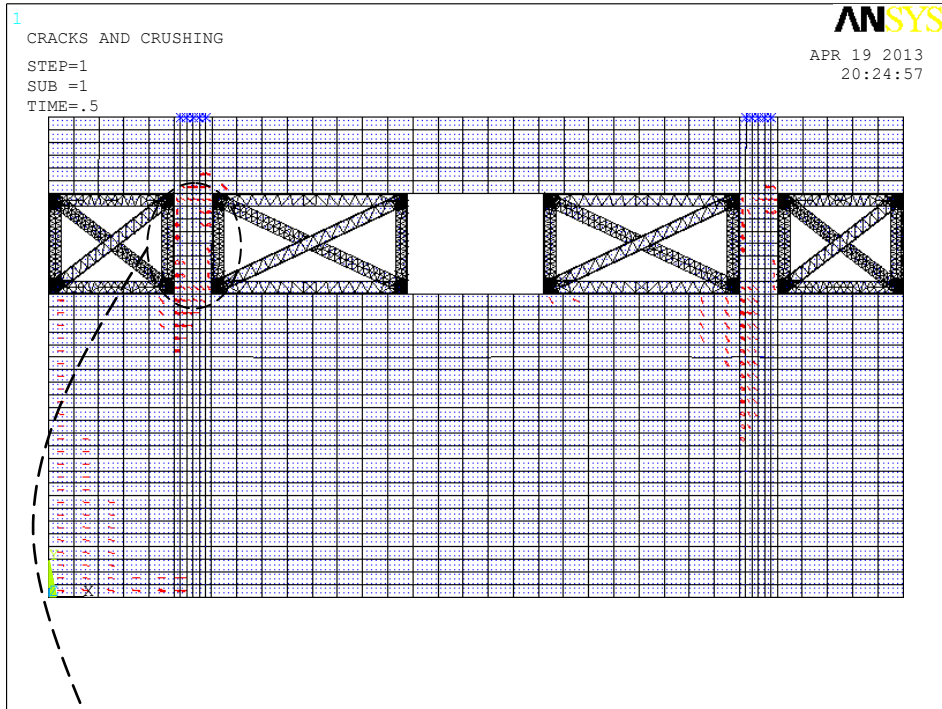
meydana gelirken kolonun perde içinde kalan alt kısımlarında ise eğilme çatlaklarının hakim olduğu görülmektedir.



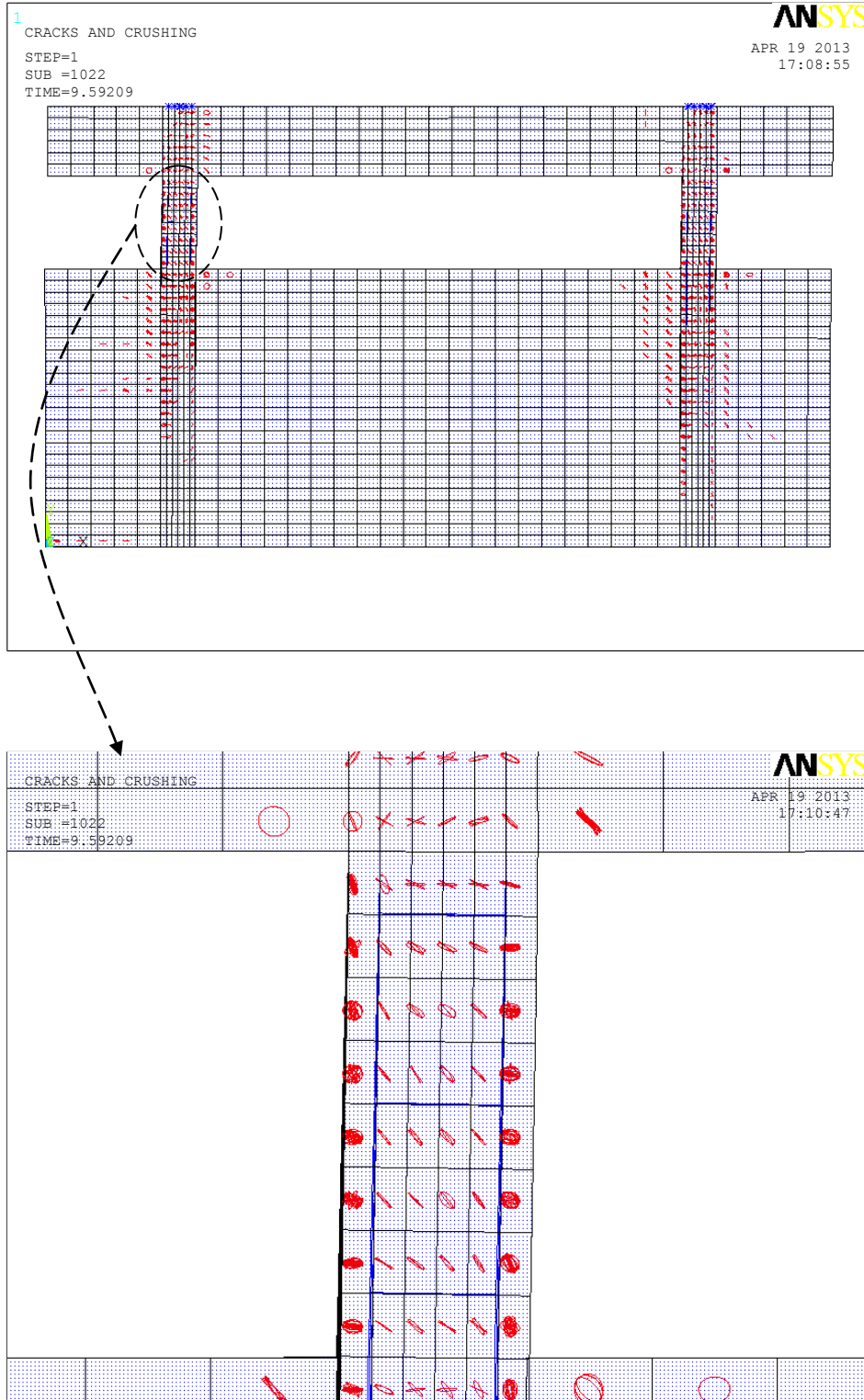
Şekil 143. AN-2 elemanında 0.7 mm yatay yerdeğiştirmede meydana gelen çatlaklar.



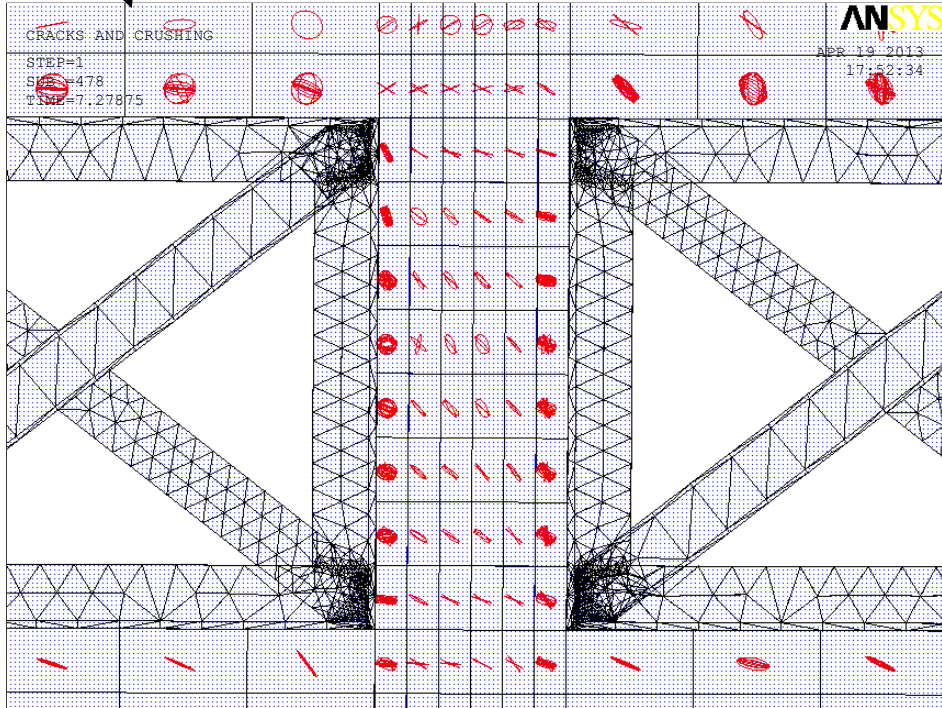
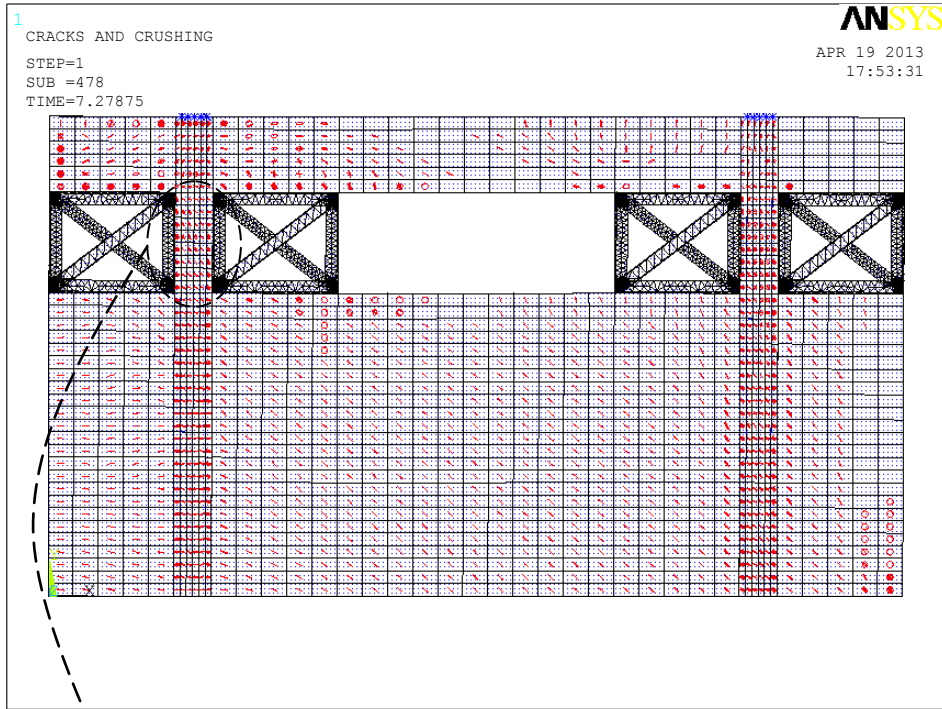
Şekil 144. AN-3 elemanında 0.6 mm yatay yerdeğiştirmede meydana gelen çatlaklar.



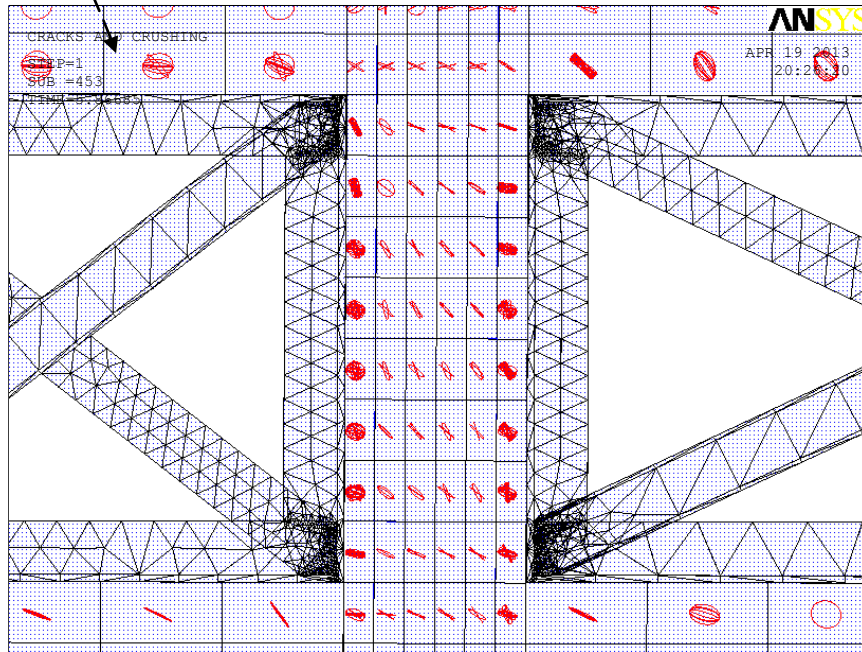
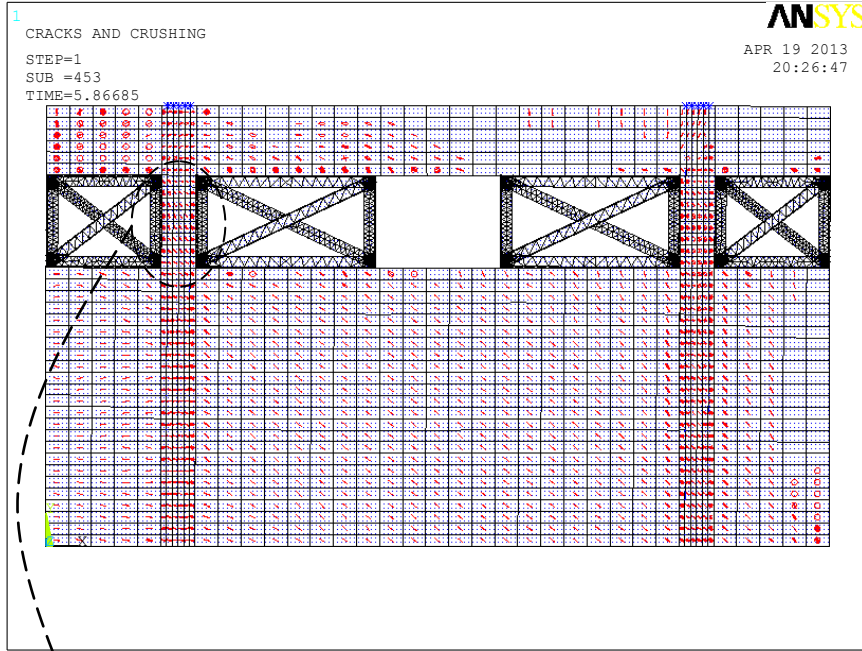
Şekil 145. AN-4 elemanında 0.5 mm yatay yerdeğiştirmede meydana gelen çatlaklar.



Şekil 146. AN-2 elemanında nihai durumdaki çatlaklar.



Şekil 147. AN-3 elemanında nihai durumdaki çatlaklar.



Şekil 148. AN-4 elemanında nihai durumdaki çatlaklar.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, binaların bodrum katlarındaki betonarme dolgu duvarlarda bırakılan bant pencereler nedeniyle oluşan kısa kolon davranışı deneysel ve analitik olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmalar kapsamında, 1/2 ölçekli, 5 adet deney elemanı üretilmiş, bunlardan bazıları açıklığın 0.25 ve 0.375 katı ilave betonarme kanat duvarlar ile güçlendirilerek bu duvarların davranışa etkileri araştırılmıştır. Analitik çalışmalar kapsamında ise betonarme kanat duvarlar yerine çelik profiller ile güçlendirilen elemanların doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır.

Bu çalışmadan çıkarılabilecek başlıca sonuç ve öneriler aşağıda özetlenmektedir:

1. Gerçekleştirilen deneylerden bant pencere yüksekliğinin 0.25'i olması durumunda açıklığın 0.25 katı kadar kanat dolgu duvar ilavesiyle yatay yük taşıma kapasitesi 4.5 kat, açıklığın 0.375 katı kanat dolgu duvar ilavesiyle de 5 kat artmıştır.
2. Yüksekliğin 0.25 katı bant pencere bırakılan ve bu bant pencerelere açıklığın 0.25 katı kadar kanat dolgu duvar yapılan deney elemanının maksimum yüke karşılık gelen yerdeğiştirmesi, L açıklığı boyunca kanat dolgu duvar yapılmayan elemanın yerdeğiştirmesine göre % 34 oranında azalmıştır. Yerdeğiştirmedeki bu azalma açıklığın 0.375 katı kanat dolgu duvar olan elemanlarda % 54 oranına ulaşmıştır. Bu da kanat dolgu duvar uzunluğunun artmasıyla yatay yük taşıma kapasitesinin arttığını ancak yerdeğiştirme kapasitesinin azaldığını göstermektedir.
3. Betonarme kanat dolgu duvar uzunluğunun açıklığın 0.25' i olması durumunda yatay yük taşıma kapasitesi ile açıklığın 0.375 katı kanat dolgu duvar yapılması durumundaki yatay yük taşıma kapasitesi arasında % 12 oranında bir artış olmuş, yerdeğiştirmeler arasında ise % 30' luk bir azalma olmuştur.
4. Bant pencere boşluğunun betonarme kanat dolgu duvarlar yerine çelik profillerle güçlendirilmesi durumunda mevcut perdede betonarme kanat dolgu duvarinkine benzer hasarlar olmuştur. Açıklığın 0.25 katı uzunluğunda çelik profillerle yapılan kanat dolgu duvarlarda da betonarme kanat dolgu

duvarlarınkine yakın yatay yük taşıma kapasitesine (% 4.76 oranında daha az) ulaşılmıştır. Açıklığın 0.375 katı uzunluğunda çelik profillerle yapılan kanat dolgu duvarların yatay yük taşıma kapasiteleri, aynı uzunlukta yapılan betonarme kanat dolgu duvarların taşıma kapasitelerine oranla % 13.92 daha az olmuştur.

5. Çelik profillerle yapılan kanat duvarların analitik olarak belirlenen yatay yük taşıma kapasiteleri deneysel çalışmalarla doğrulanmalıdır.
6. Farklı yükseklikte bırakılan bant pencerelerde betonarme dolgu ve çelik profillerle yapılan ilave kanat duvarların etkisi de deneysel ve teorik olarak araştırılabilir.

Bu çalışma bant pencere bırakılarak oluşturulan kısa kolon etkisini betonarme dolgu ve çelik profillerle yapılan ilave kanat duvarlarla iyileştirilebileceğini ve böylece aydınlık ve havalandırma ihtiyaçlarının da karşılanabileceğini göstermiş bulunmaktadır. Ancak elde edilen bu sonuçlar çalışmamıza konu olan deney elemanları için geçerlidir. Bu sonuçların genellenebilmesi için benzer çalışmaların farklı yükseklik ve enkesit boyutlarındaki deney elemanları üzerinde de yapılması gerekmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. www.deprem.gov.tr. 28 Ekim 2012.
2. DBYBHY 2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, II. Baskı, Ankara, 2007.
3. Aydınoğlu, M., Celep, Z., Özer, E. ve Sucuoğlu, H., Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik Açıklamalar ve Örnekler Kitabı, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 2012.
4. Ersoy, U., Özcebe, G. ve Tankut, T., Reinforced Concrete, Metu Press, Ankara, 2010.
5. Celep, Z. ve Kumbasar, N., Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Rehber Matbaacılık, İstanbul, 2000.
6. Doğançün, A., Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2008.
7. Karaesmen, E., Deprem ve Sonrası, Türkiye Müteahhitler Birliği, Ankara, 1996.
8. Atımtay, E., Çerçeveli ve Perdeli Betonarme Sistemlerin Tasarımı Temel Kavramlar ve Hesap Yöntemleri, Cilt 1-2, METU Press, Ankara, 2000.
9. Hasgür, Z. ve Gündüz, N., Betonarme Çokkatlı Yapılar, Beta Yayınevi, İstanbul, 1996.
10. Özgen, A. ve Sev, A., Çok Katlı Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistemler, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1999.
11. Beedle, L., S. ve Rice, D., B., Structural Systems for Tall Buildings, Council on Tall Buildings and Urban Habitat Comitte 3, McGraw-Hill, Inc, New York, 1995.
12. Çamlıbel, N., Depreme Dayanıklı Yapıların Tasarım İlkeleri, YTÜ Mimarlık Fakültesi Baskı İşliğı, İstanbul, 1994.
13. Anwar, N., Behavior, Modeling and Design of Shear Wall-Frame Systems, <http://slideserve.com/breck/behavior-modeling-and-design-of-shear-wall-frame-systems>. 19 Eylül 2012.
14. Atımtay, E., Çerçeveli ve Perdeli Betonarme Sistemlerin Tasarımı, Odtü Yayınları, Ankara, 2001.
15. N. Bayülke, Depremler ve Depreme Dayanıklı Betonarme Yapılar, Teknik Yayınevi, Ankara, 1989.

16. Özmen, G., Türkiye Mühendislik haberleri, 411, (2001) 37-40.
17. Topçu, A., Betonarme II Ders Notları,
http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/index_dosyalar/Dersler/Betonarme2/Sunular/Betonarme_2_3.pdf, 21 Ekim 2012.
18. Fiorato, A., E., Oesterle, R.,G. ve Corley, W., G., Behavior of Earthquake Resistant Structural Walls Before and After Repair, Journal of the American Concrete Institute, 80, 5 (1983) 403-413.
19. Lombart, J., Lau, D., T., Humar, J., L., Foo, S. ve Cheung, M., S., Seismic Strengthening and Repair of Reinforced Concrete Shear Walls, Proceedings of The 12. WCEE, New Zealand, 2000.
20. Khalil, A. ve Ghobarah, A., Behaviour of Rehabilitated Structural Walls, Journal of Earthquake Engineering, 9, 3 (2005) 371-391.
21. Yamada, M. ve Furui, S., Shear Resistance and Explosive Cleavage Failure of Reinforced Concrete Members Subjected to Axial Load. Final Report, 8th Int. Congress IABSE, 1968, 1091-102.
22. Wakabayashi, M. ve Minami, K., An Experimental Study on Hysteretic Characteristics of Reinforced Concrete Columns Failing in Shear, Proceedings of the 18th National Symposium on Bridge and Structural Engineering, 1972, 97-112.
23. Moretti, M. ve Tassios T., P., Seismic Behavior of RC Short Columns, Proceedings of the 11th European Conference on Earthquake Engineering, 1998, 640.
24. Moretti, M. ve Tassios T., P., Behavior of RC Short Columns Subjected to Cyclic Shear Displacement: Experimental Results, Engineering Structures, 29, 8 (2007) 2018-2029.
25. Dogan, M., Failure Analysis of Shear Columns to Seismic Events, Engineering Failure Analysis, 18, (2011) 682-693.
26. www.teknikerinsaat.com , 21 Ekim 2012
27. Arslan, M., H. ve Korkmaz, H., H.,What is to be Learned From Damage and Failure of Reinforced Concrete Structures During Recent Earthquakes in Turkey?, Engineering Failure Analysis, 14, 1 (2007) 1-22.
28. Galal, K., Arafa, A. ve Ghobarah, A. , Retrofit of RC Square Short Columns, Engineering Structures, 27, 5 (2005) 801-803.
29. Saatçioğlu, M., Chakrabarti, S., Selby, R. ve Mes, D., Improving Ductility and Shear Capacity of Reinforced Concrete Columns With the Retro-Belt™

- Retrofitting System, Proceedings of the Seventh U.S. National Conference on Earthquake Engineering, July 2002, Boston.
30. Woodward, K., A. ve Jirsa, J., O., Influence of Reinforcement on RC Short Column Lateral Resistance, Journal of Structural Engineering, 110 (1984) 90-104.
 31. Asteris, P., G., M.ASCE, Lateral Stiffness of Brick Masonry Infilled Plane Frames, Journal of Structural Engineering, 129, 8 (2003) 1071-1079.
 32. Zhou, X. ve Liu, J., Seismic Behavior and Shear Strength of Tubed RC Short Columns, Journal of Constructional Steel Research , 66, 3 (2010) 385-397.
 33. Maruyama, K. ve Jirsa, J., O., Shear Behavior of Reinforced Concrete Members Under Bidirectional Reversed Lateral Loading. CESRL Report No: 79-1, The University of Texas at Austin, 1979.
 34. Ramirez, H. ve Jirsa, J., O., Effect of Axial Load on Shear Behavior of Short RC columns Under Cyclic Lateral Deformations. PMFSEL Report No: 80-1, The University of Texas at Austin, 1980.
 35. Özdoğdu, O., Deprem Etkisi Altındaki Binaların Davranışına Dolgu Duvarların Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
 36. Jirsa, O., J., Behaviour of Epoksi-Grouted Dowels and Bolts used for Repair or Strengthening of Reinforced Concrete Structures. Proc of 9th WCEE, 1988, Tokyo, VII, 371-376.
 37. Gülkan, P. ve Wasti, T., Interaction Between Frame and Infill: A Non-linear Investigation, Turkish Civil Engineers XII. Book for bulletins of Technical Congresses, Ankara, 1993, 39-52.
 38. Çağatay, İ., H., Investigation of Parameters Affecting Short Column of Building, Sixth National Conference on Earthquake Engineering, İstanbul, 2007, 229-236
 39. Bıkçe, M., How to Reduce Short Column Effects in Buildings with Reinforced Concrete Infill Walls on Basement Floors”, Structural Engineering and Mechanics, 38, 2 (2011) 249-259.
 40. Anıl, Ö. ve Altın, S., An Experimental Study on Reinforced Concrete Partially Infilled Frames , Engineering Structures, 29 (2006) 449-460.
 41. Kara, M., E. ve Altın, S., Behavior of Reinforced Concrete Frames With Reinforced Concrete Partial Infills , ACI Structural Journal, 103, 5 (2006) 701-709.
 42. Işık, G., Betonarme Binaların Zemin Katında Oluşabilen Kısa Kolon ve Yumuşak Kat Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2006.

43. Jirsa, J., O., Maruyama, K. ve Ramirez, H., The Influence of Load History On The Shear Behavior Of Short RC Columns, Proceeding of the Seventh WCEE, 1980, İstanbul, 339-346.
44. Kobayashi, K., Kokusho, S., Takiguchi, K., Ishi, H., Munakata, M. ve Stao, K., Experimental Study on the Ultimate Shear Strength of Reinforced Concrete Column under Bi-directional Horizontal Forces, Report of The Research Laboratory of Engineering Materials, Tokyo Institute of Technology, 11, Nagatsuta, Yokohama 227, Japan, 1986.
45. Wong, Y., L., Paulay, T. ve Priestley, M., J., N., Response of Circular Reinforced Concrete Columns to Multi-Directional Seismic Attack, ACI Structural Journal, 90, 2 (1993)180-191.
46. Lynn, A., C., Moehle, J., P., Mahin, S., A. ve Holmes, W., T., Seismic Evaluation of Existing Reinforced Concrete Building Columns, Earthquake Spectra, 12, 4 (1996) 715-739.
47. Jaradet, O., A., McLean, D., L. ve Marsh, M., L., Performance of Existing Bridge Columns under Cyclic Loading---Part 1: Experimental Results and Observed Behavior, ACI Structural Journal, 95, 6 (1999) 695-704.
48. Bett, B., J., Klingner, R., E. ve Jirsa, J., O., Lateral Load Response of Strengthened and Repaired Reinforced Concrete Columns, ACI Structural Journal, 85, 5 (1988) 499-508.
49. Rodriguez, M. ve Parki R., Seismic Load Test on Reinforced Concrete Columns Strengthened by Jacketing, ACI Structural Journal, 91, 2 (1994) 150-159.
50. Takiguchi, K., Abdullah, Shear Strengthening of Reinforced Concrete Columns Using Ferrocement Jacket, ACI Structural Journal, 98, 5 (2001) 696-704.
51. Hwang, T., Scribner, C., F., R/C Members Cyclic Response During Various Loadings, ASCE Journal of Structural Engineering, 110, 2 (1984) 477-489.
52. Popov, E., P., Engineering Mechanics Of Solids, 2nd ed.,Prentice Hall, USA, 1999.
53. ANSYS R13.0. Swanson Analyses System, 2010.
54. Wolanski, A., J., Flexural Behaviour of Reinforced and Prestressed Concrete Beams Using Finite Element Analysis, Degree of Master of Science, Faculty of Graduate School, Marquette University, Wisconsin, 2004.
55. Kachlakev, D. ve Miller, T., Finite Element Modelling of Reinforced Concrete Structures Stregthened with FRP Laminates, Final Report, Oregon, SPR 316, 2001.
56. Barbosa, F. ve Riberio, O., Analysis of Reinforced Concrete Structures Using Ansys Nonlinear Concrete Model, Computational Mechanics, Barcelona, 1998.

57. Fanning, P., Nonlinear Models of Reinforced and Post-Tensioned Concrete Beams, Electronic Journal of Structural Engineering, 2 (2001) 111-119.
58. Chan, H., C., Cheung, Y., K. ve Huang, Y., P., Nonlinear Modelling of Reinforced Concrete Structures, Computers and Structures, 53,5 (1994) 1099-1107.
59. Sivri, M ., Betonarme Güçlendirme Perdelerinin Doğrusal Olmayan Davranışının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2011.
60. Büyükkaragöz, A., Deprem Etkisi Altındaki Betonarme Yapılarda Zayıf Kolon-Güçlü Kiriş Birleşimleri İçin Alternatif Bir Detay Önerisi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007.
61. Dede, F., T., Tersinir-Tekrarlanır Yükleme Altındaki Betonarme Çerçevelerin ANSYS ile Nonlinear Sonlu Eleman Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2006.
62. Willam, K., J. ve Warnke, E. P., Constitutive Model For The Triaxial Behaviour of Concrete”, IABSE, Report No.19, Bergamo, 1-30, 1974.
63. Miller, C., Hofmayer, C., Wang, Y., Chokshi, N., Murphy,A., ve Kitada, Y., Prediction of NUPEC’s Multi-Axis Loading Tests of Concrete Shear Walls, Conference Transactions, International Association For Structural Mechanics In Reactor Technology SMiRT 16, Washington DC, 2001.
64. TS500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, TSE, Ankara, 2000.

ÖZGEÇMİŞ

Serhat DEMİR, 1986 yılında Ankara'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Ankara'da tamamladı. 2004 yılında Hacettepe Üniversitesi Kimya Bölümünü kazandı. 2007 yılında bu bölümden ayrılarak aynı yıl Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girdi. Bu bölümden, her dönem Onur Belgesi almak suretiyle, 2011 yılında mezun oldu. Aynı yıl bazı firmalarda inşaat mühendisi olarak çalıştıktan sonra yine aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne Araştırma Görevlisi olarak atandı ve halen görevine devam etmektedir.