

**SÜNEK OLMAYAN BETONARME ÇERÇEVELERİN BETONARME
PARÇASAL DOLGU DUVARLARIYLA GÜÇLENDİRİLMESİ**

Mehmet Emin KARA

**DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Ocak 2006
ANKARA**

Mehmet Emin KARA tarafından hazırlanan SÜNEK OLMAYAN BETONARME ÇERÇEVELERİN BETONARME PARÇASAL DOLGU DUVARLARIYLA GÜÇLENDİRİLMESİ adlı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

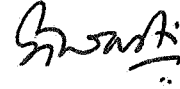


Prof. Dr. Sinan ALTIN

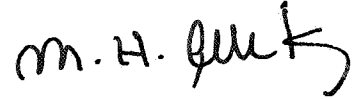
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Prof. Dr. S.Tanvir WASTİ



Üye : Prof. Dr. Haluk ÇELİK



Üye : Prof. Dr. M. Emin TUNA



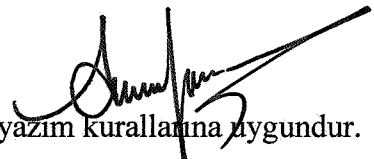
Üye : Prof. Dr. Tekin GÜLTOP



Üye : Prof. Dr. Sinan ALTIN



Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.



**SÜNEK OLMAYAN BETONARME ÇERÇEVELERİN BETONARME
PARÇASAL DOLGU DUVARLARIYLA GÜÇLENDİRİLMESİ**

(Doktora Tezi)

Mehmet Emin KARA

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2006

ÖZET

Ülkemizde orta yükseklikteki binaların depreme karşı güçlendirilmesinde betonarme dolgu duvarları yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada sünek olmayan betonarme çerçevelerin betonarme parçasal dolgu duvarlarıyla güçlendirilmesi araştırılmıştır. Dokuz adet deney elemanı tersinen tekrarlanan yatay yükler altında test edilmiştir. Parçasal dolgu duvar uzunluğunun, duvar yüksekliğine oranı, parçasal dolgu duvarın betonarme çerçeve içinde düzenleniş biçimleri ve dolgu duvarda kullanılan uç elemanının varlığı çalışmanın değişkenleridir. Çalışmada test edilen iki katlı tek açıklıklı betonarme çerçeve deney elemanları ülkemizdeki betonarme yapılarda karşılaşılan önemli yapım kusurlarını içerecek şekilde üretilmiştir. Test sonuçları parçasal dolgu duvarın, betonarme çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini, rijitliğini ve enerji tüketimini önemli oranlarda arttırdığını göstermiştir. Parçasal dolgu duvarın uzunluğunun, yüksekliğine oranının artması deney elemanının yatay yük taşıma kapasitesini ve rijitliğini artırmıştır. En başarılı sonuçlar parçasal dolgu duvarın çerçevenin kolon ve kirişlerine bağlı olarak üretilen deney elemanlarında elde edilmiştir. Parçasal dolgu duvarında kullanılan uç elemanının, deney elemanı yatay yük taşıma kapasitesi, rijitliği ve göçme mekanizması üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Betonarme çerçeve elemanlarının dayanım ve sünekliğinin yetersizliği parçasal dolgu duvarıyla güçlendirilen elemanların davranış ve göçme modu üzerinde etkili olmuştur.

Bilim Kodu :911

Anahtar Kelimeler :Betonarme çerçeve, güçlendirme, betonarme parçasal dolgu duvarı

Sayfa Adedi :202

Tez Yöneticisi :Prof. Dr. Sinan ALTIN

**STRENGTHENING OF NON-DUCTILE REINFORCED CONCRETE
FRAMES BY REINFORCED CONCRETE PARTIAL INFILLS**

(Ph. D. Thesis)

Mehmet Emin KARA

GAZI UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

January 2006

ABSTRACT

Strengthening of building with average heights against earthquakes by introducing R/C infills into the existing R/C concrete frames has been a widely used technique. In this study, the strengthening of non ductile concrete frames by introducing partial infills into existing frames has been investigated. Nine specimens were tested under reversed cyclic lateral loads. Parameters of the study are the infill length to height ratio, the arrangements of infills into frame openings, and the existence of edge member at the free and of infill. One bay, two story reinforced infilled frames were designed such that incorporated frequently found construction faults in our country. Test results showed that partial infills significantly improved the lateral load carrying capacity, stiffness and energy dissipation capacity of the bare frame. The more infill length to height ratio of partial infill was utilized, the more lateral load capacity, stiffness was observed. The most successful results were obtained when the partial infill wall was connected to both columns and beams of the frame. In addition, the existence of edge members, also affected the specimen's lateral load carrying capacity, stiffness and energy dissipation capacity. Strength and stiffness deficiency of bare frames were affected the behavior and failure of strengthened partial infilled frames.

Science Code :911

**Key Words :Bare Frame, Strengthening, Reinforced Concrete Infill with
Openings**

Page Number :202

Adviser :Prof. Dr. Sinan ALTIN

TEŞEKKÜR

Beni kendisine asistan olarak kabul eden ve tez çalışması yapmaya layık gören değerli hocam Prof.Dr. Sinan ALTIN'a doktora çalışmamın her aşamasında verdiği desteğinden dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımın her aşamasında yanımda olan Yrd.Doç.Dr. Özgür ANIL, Arş.Gör. Mustafa KAYA, Arş.Gör.İ.Ufuk ÇAĞDAŞ ve Uzman Faruk OGÜN'e teşekkür ederim.

Desteklerini her zaman hissettiğim sevgili eşim ve çocuklarıma çalışmalarım süresince göstermiş oldukları sabırdan dolayı sonsuz teşekkür ederim.

Bu çalışma 06/2003-10 nolu proje olarak Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Müdürlüğü tarafından desteklenmiştir. Maddi katkılarından dolayı Gazi Üniversitesi'ne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ÇİZEGELERİN LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	ix
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. DENEY ELEMANLARI ve DENEY TEKNİĞİ.....	14
2.1. Genel.....	14
2.2. Deney Elemanları.....	14
2.3. Malzemeler.....	41
2.4. Deney Elemanlarının Üretilmesi.....	44
2.5. Deney Düzeni.....	54
2.5.1. Yükleme düzeni.....	54
2.5.2. Ölçüm aletleri ve ölçüm düzeni.....	58
2.5.3. Ölçümlerin değerlendirilmesi.....	62
3. DENEYLER.....	65
3.1. Deney Elemanı-1.....	66
3.2. Deney Elemanı-2.....	73
3.3. Deney Elemanı-3.....	81

	Sayfa
3.4. Deney Elemanı-4.....	89
3.5. Deney Elemanı-5.....	97
3.6. Deney Elemanı-6.....	105
3.7. Deney Elemanı-7.....	113
3.8. Deney Elemanı-8.....	121
3.9. Deney Elemanı-9.....	129
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	138
4.1. Dayanım ve Davranış.....	138
4.2. Süneklik.....	151
4.3. Rijitlik.....	154
4.4. Enerji Tüketimi.....	156
5. ANALİTİK ÇALIŞMA.....	163
5.1. Dayanım.....	163
5.2. Yatay Yük Taşıma Kapasitesi.....	168
5.3. İtme Analizi.....	173
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	185
6.1. Sonuçlar.....	186
6.2. Öneriler.....	191
KAYNAKLAR.....	192
EKLER.....	198
EK-1. Kesme Deplasmanının Hesaplanması.....	199
ÖZGEÇMİŞ.....	202

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge		Sayfa
Çizelge 2.1.	Deney programı ve deneysel değişkenler.....	16
Çizelge 2.2.	Deney elemanlarında dolgu duvarı donatıları.....	19
Çizelge 2.3.	Deney elemanlarının filiz donatıları.....	20
Çizelge 2.4.	Donatı dayanımları.....	41
Çizelge 2.5.	Çerçeve betonu karışım oranı (1 m ³ beton için).....	42
Çizelge 2.6.	Dolgu duvarı betonu karışım oranı (1 m ³ beton için).....	42
Çizelge 2.7.	Deney elemanlarının beton basınç dayanımları.....	43
Çizelge 4.1.	Deney sonuçlarının özeti.....	139
Çizelge 4.2.	Dolgu duvarının deney elemanının dayanımına etkisi.....	140
Çizelge 4.3.	Deney elemanlarının deplasman süneklik oranları.....	152
Çizelge 4.4.	Deney elemanlarının rijitlik değerleri.....	154
Çizelge 4.5.	Deney elemanlarının birikimli enerji tüketimleri.....	157
Çizelge 5.1.	Deney elemanlarının ilk eğilme çatağı yükü.....	164
Çizelge 5.2.	Dolgu duvarında ilk kesme çatlağı yükü.....	166
Çizelge 5.3.	Dolgu duvarı maksimum kayma gerilmeleri.....	168
Çizelge 5.4.	Hesaplanan yatay yük taşıma kapasiteleri.....	173
Çizelge 5.5.	Deney sonuçlarının itme analizi sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	174

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Çerçevenin kolon ve giriş kesitleri.....	18
Şekil 2.2. Deney Elemanı-1'in donatı detayı.....	25
Şekil 2.3. Deney Elemanı-2'nin donatı detayı.....	26
Şekil 2.4. Deney Elemanı-3'ün donatı detayı.....	27
Şekil 2.5. Deney Elemanı-3'ün filiz donatısı detayı.....	28
Şekil 2.6. Deney Elemanı-4'ün donatı detayı.....	29
Şekil 2.7. Deney Elemanı-4'ün filiz donatısı detayı.....	30
Şekil 2.8. Deney Elemanı-5'in donatı detayı.....	31
Şekil 2.9. Deney Elemanı-5'in filiz donatısı detayı	32
Şekil 2.10. Deney Elemanı-6'nın donatı detayı.....	33
Şekil 2.11. Deney Elemanı-6'nın filiz donatısı detayı	34
Şekil 2.12. Deney Elemanı-7'nin donatı detayı.....	35
Şekil 2.13. Deney Elemanı-7'nin filiz donatısı detayı	36
Şekil 2.14. Deney Elemanı-8'in donatı detayı.....	37
Şekil 2.15. Deney Elemanı-8'in filiz donatısı detayı.....	38
Şekil 2.16. Deney Elemanı-9'un donatı detayı.....	39
Şekil 2.17. Deney Elemanı-9'un filiz donatısı detayı.....	40
Şekil 2.18. Deney elemanı kalıptan kaldırma düzeneği.....	47
Şekil 2.19. Deney ve yükleme düzeni.....	57
Şekil 2.20. Deney elemanlarında ölçüm aletleri yerleşimi.....	59
Şekil 2.21. Eğrilik ölçümlerinin hesaplamasında kullanılan geometri.....	64
Şekil 3.1. Yük-çevrim grafiği, Deney Elemanı-1.....	66

Şekil	Sayfa
Şekil 3.2. Yük-deplasman grafikleri, Deney Elemanı-1.....	69
Şekil 3.3. Kat kesme kuvveti-ötelenme oranı grafikleri, Deney Elemanı-1.....	70
Şekil 3.4. Taban kesme kuvveti-eğrilik grafikleri, Deney Elemanı-1.....	71
Şekil 3.5. Yük-çevrim grafiği, Deney Elemanı-2.....	73
Şekil 3.6. Yük-deplasman grafikleri, Deney Elemanı-2.....	77
Şekil 3.7. Kat kesme kuvveti-ötelenme oranı grafikleri, Deney Elemanı-2.....	78
Şekil 3.8. Yük-kesme deplasmanı grafikleri, Deney Elemanı-2.....	79
Şekil 3.9. Yük-çevrim grafiği, Deney Elemanı-3.....	81
Şekil 3.10. Yük-deplasman grafikleri, Deney Elemanı-3.....	85
Şekil 3.11. Kat kesme kuvveti-ötelenme oranı grafikleri, Deney Elemanı-3.....	86
Şekil 3.12. Yük-kesme deplasmanı grafikleri, Deney Elemanı-3.....	87
Şekil 3.13. Yük-çevrim grafiği, Deney Elemanı-4.....	89
Şekil 3.14. Yük-deplasman grafikleri, Deney Elemanı-4.....	92
Şekil 3.15. Kat kesme kuvveti-ötelenme oranı grafikleri, Deney Elemanı-4.....	93
Şekil 3.16. Yük-kesme deplasmanı grafikleri, Deney Elemanı-4.....	94
Şekil 3.17. Taban kesme kuvveti -eğrilik grafiği, Deney Elemanı-4.....	95
Şekil 3.18. Yük-çevrim grafiği, Deney Elemanı-5.....	97
Şekil 3.19. Yük-deplasman grafikleri, Deney Elemanı-5.....	100
Şekil 3.20. Kat kesme kuvveti-ötelenme oranı grafikleri, Deney Elemanı-5.....	101
Şekil 3.21. Yük-kesme deplasmanı grafikleri, Deney Elemanı-5.....	102
Şekil 3.22. Taban kesme kuvveti-eğrilik grafiği, Deney Elemanı-5.....	103
Şekil 3.23. Yük-çevrim grafiği, Deney Elemanı-6.....	105
Şekil 3.24. Yük-deplasman grafikleri, Deney Elemanı-6.....	108

Şekil	Sayfa
Şekil 3.25. Kat kesme kuvveti-ötelenme oranı grafikleri, Deney Elemanı-6.....	109
Şekil 3.26. Yük-kesme deplasmanı grafikleri, Deney Elemanı-6.....	110
Şekil 3.27. Taban kesme kuvveti-eğrilik grafiği, Deney Elemanı-6.....	111
Şekil 3.28. Yük-çevrim grafiği, Deney Elemanı-7.....	113
Şekil 3.29. Yük-deplasman grafikleri, Deney Elemanı-7.....	116
Şekil 3.30. Kat kesme kuvveti-ötelenme oranı grafikleri, Deney Elemanı-7.....	117
Şekil 3.31. Yük-kesme deplasmanı grafikleri, Deney Elemanı-7.....	118
Şekil 3.32. Taban kesme kuvveti-eğrilik grafiği, Deney Elemanı-7.....	119
Şekil 3.33. Yük-çevrim grafiği, Deney Elemanı-8.....	121
Şekil 3.34. Yük-deplasman grafiği, Deney Elemanı-8.....	124
Şekil 3.35. Kat kesme kuvveti-ötelenme oranı grafikleri, Deney Elemanı-8.....	125
Şekil 3.36. İkinci kat yük-kesme deplasmanı grafikleri, Deney Elemanı-8.....	126
Şekil 3.37. Birinci kat yük-kesme deplasmanı grafikleri, Deney Elemanı-8.....	127
Şekil 3.38. Yük-çevrim grafiği, Deney Elemanı-9.....	129
Şekil 3.39. Yük-deplasman grafikleri, Deney Elemanı-9.....	133
Şekil 3.40. Kat kesme kuvveti-ötelenme oranı grafikleri, Deney Elemanı-9.....	134
Şekil 3.41. Yük-kesme deplasmanı grafikleri, Deney Elemanı-9.....	135
Şekil 3.42. Taban kesme kuvveti-eğrilik grafikleri, Deney Elemanı-9.....	136
Şekil 4.1. Deney Elemanı-1,2,3,4,5 ve 6'nın ikinci kat zarf eğrileri (l/h oranındaki değişim).....	141
Şekil 4.2. Deney Elemanı-1,2,3,4,5 ve 6'nın birinci kat zarf eğrileri (l/h oranındaki değişim).....	142
Şekil 4.3. Deney Elemanı-1,2,5,6,8 ve 9'un ikinci kat zarf eğrileri (dolgu duvarı düzenlemesindeki değişim).....	146

Şekil	Sayfa
Şekil 4.4. Deney Elemanı-1,2,5,6,8 ve 9'un birinci kat zarf eğrileri (dolgu duvarı düzenlemesindeki değişim).....	147
Şekil 4.5. Deney Elemanı-1,2,6 ve 7'nin ikinci kat zarf eğrileri (dolgu duvarında uç elemanının varlığı)	149
Şekil 4.6. Deney Elemanı-1,2,6 ve 7'nin birinci kat zarf eğrileri (dolgu duvarında uç elemanının varlığı).....	150
Şekil 4.7. Deney Elemanı-1,2,3,4,5 ve 6'nın birikimli enerji tüketim grafikleri.....	158
Şekil 4.8. Deney Elemanı-1,2,5,6,8 ve 9'un birikimli enerji tüketim grafikleri.....	160
Şekil 4.9. Deney Elemanı-1,2,6 ve 7'nin birikimli enerji tüketim grafikleri.....	161
Şekil 5.1. Dolgu duvarı kayma gerilmesinde kullanılan kesme kuvveti.....	167
Şekil 5.2. Deney Elemanı-1'in zarf eğrileri.....	176
Şekil 5.3. Deney Elemanı-2'nin zarf eğrileri.....	177
Şekil 5.4. Deney Elemanı-3'ün zarf eğrileri.....	178
Şekil 5.5. Deney Elemanı-4'ün zarf eğrileri.....	179
Şekil 5.6. Deney Elemanı-5'in zarf eğrileri.....	180
Şekil 5.7. Deney Elemanı-6'nın zarf eğrileri.....	181
Şekil 5.8. Deney Elemanı-7'nin zarf eğrileri.....	182
Şekil 5.9. Deney Elemanı-8'in zarf eğrileri.....	183
Şekil 5.10. Deney Elemanı-9'un zarf eğrileri.....	184

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Kalıbın laboratuvar ortamında görünüşü.....	44
Resim 2.2. Kalıp içine yerleştirilmiş çerçeve donatısı.....	45
Resim 2.3. Bir döküm dolgu duvarlı deney elemanında donatı hazırlanışı.....	46
Resim 2.4. Deney Elemanı-2'nin beton dökümü.....	46
Resim 2.5. Deney elemanının kalıptan kaldırılışı.....	48
Resim 2.6. Filiz donatıları.....	49
Resim 2.7. Dolgu duvarı donatıları.....	50
Resim 2.8. Deney elemanının test için hazırlanışı.....	54
Resim 2.9. Deney düzeneğinin laboratuvardan genel görünüşü.....	54
Resim 2.10. Yükleme düzeni.....	56
Resim 3.1. Kolon ve düğümde kesme çatlakları, Deney Elemanı-1.....	68
Resim 3.2. Deney Elemanı-1'in test sırasındaki fotoğrafları.....	72
Resim 3.3. Göçmede birinci kat dolgu duvarı, Deney Elemanı-2.....	76
Resim 3.4. Deney Elemanı-2'nin test sırasındaki fotoğrafları.....	80
Resim 3.5. Göçmeden sonra birinci kat kolon uçları, Deney Elemanı-3.....	84
Resim 3.6. Deney Elemanı-3'ün test sırasındaki fotoğrafları.....	88
Resim 3.7. Göçmeden sonra birinci kat dolgu duvarı ve kolonu, Deney Elemanı-4.....	91
Resim 3.8. Deney Elemanı-4'ün test sırasındaki fotoğrafları.....	96
Resim 3.9. Deney Elemanı-5'in test sırasındaki fotoğrafları.....	104
Resim 3.10. Göçmeden sonra birinci katın kolonları, Deney Elemanı-6.....	107
Resim 3.11. Deney Elemanı-6'nın test sırasındaki fotoğrafları.....	112

Resim	Sayfa
Resim 3.12. Göçmeden sonra birinci katın dolgu duvarı, Deney Elemanı-7.....	115
Resim 3.13. Deney Elemanı-7'nin test sırasındaki fotoğrafları.....	120
Resim 3.14. Kirişlerde kesme kırılması, Deney Elemanı-8.....	123
Resim 3.15. Deney Elemanı-8'in test sırasındaki fotoğrafları.....	128
Resim 3.16. Göçmeden sonra kiriş ve kolonlar, Deney Elemanı-9.....	132
Resim 3.17. Deney Elemanı-9'un test sırasındaki fotoğrafları.....	137

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler Açıklama

a	LVDT'ler arasındaki ölçüm uzaklığı
A	Kesit alanı
A_s	Etriye donatısı alanı
A_{ch}	Dolgu duvarın enkesit alanı
A_{st}	Kolon boyuna donatı alanı
b	Eğrilik mesafesi
b_c	Kolon genişliği
b_w	Dolgu duvar kalınlığı
C	Basınç bölgesindeki kolonun dayanımı
d	Dolgu duvar etkili uzunluğu
d_c	Kolon kesitinin faydalı yüksekliği
d_e	Çerçeve kolonlarının eksenleri arasındaki uzaklık
f_c	Beton basınç dayanımı
f_{ctd}	Beton çekme dayanımı
f_{ctf}	Betonun eğilmeye çekme dayanımı
f_{su}	Donatı kopma dayanımı
f_{sy}	Donatı akma dayanımı
H	Uygulanan yatay kuvvetlerin bileşkesinin temel kirişine olan uzaklığı
h	Dolgu duvarı yüksekliği
h₁	Birinci kat yüksekliği
h₂	Deney elemanı yüksekliği
I	Kesit atalet momenti
k	Eğrilik
K	Rijitlik

Simgeler Açıklama

I	Dolgu duvar uzunluğu
I_1	Eğrilik ölçüm aralığı
L_n	Eşdeğer dolgu duvarın uzunluğu
N	Eksenel kuvvet
P	Dolgu duvarın dayanımı
s	Etriye donatısı aralığı
V_c	Kolon betonunun taşıdığı kesme kuvveti
V_r	Hesaplanan yatay yük taşıma kapasitesi
V_u	Deney elemanının yatay yük taşıma kapasitesi
V_{etr}	Etriye donatısının taşıdığı kesme kuvveti
V_{fcr}	İlk eğilme çatlaklığı yükü
V_{kolon}	Kolonun taşıdığı kesme kuvveti
V_{sh}	İlk kesme çatlaklığı yükü
y	Kesit tarafsız ekseninin dış life olan uzaklığı
ρ_h	Dolgu duvarında yatay donatı oranı
ρ_v	Dolgu duvarında düşey donatı oranı
$\rho_{kiriş}$	Kiriş boyuna donatısı oranı
ρ_{kolon}	Kolon boyuna donatısı oranı
Δ_1, Δ_2	Birinci ve ikinci katın yatay deplasmanı
$\Delta_{\theta 1}, \Delta_{\theta 2}$	Temel kirişinde oluşan dönmeden hesaplanan kat deplasmanı
Δ_i, Δ_{i+1}	Kolon yan yüzlerinden ölçülen düşey deplasmanlar
δ_{sh}	Kesme deplasmanı
θ	Kolon kesitinin dönme açısı
τ	Dolgu duvarın kayma gerilmesi
τ_c	Dolgu duvarı betonu tarafından taşınan kesme gerilmesi
τ_s	Dolgu duvarı donatısı tarafından taşınan kesme gerilmesi
τ_u	Dolgu duvarı tarafından taşınan toplam kesme gerilmesi
γ_{xy}	Kayma birim şekil değiştirmesi

Kısaltmalar	Açıklama
LVDT	Lineer variable differential transformer
ODTÜ	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
ABYYHY	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik
TS 500	Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları
ATC	Applied Technology Council
UBC	Uniform Building Code
ACI	American Concrete Institute
Eş.	Eşitlik

1. GİRİŞ

Türkiye dünyada yıkıcı depremlerin olduğu bir coğrafya üzerindedir. Son otuz yılda oluşan depremlerde yeterli deprem güvenliği olmayan çok sayıda betonarme bina ağır hasar almış veya göçmüştür. Depremi yaşadığı bölgelerde büyük can kaybı olmuştur. Ülkemizde 1999 yılında meydana gelen Marmara ve Düzce depremlerinde büyük ekonomik kayıpların yanı sıra, yaklaşık 15000 kişi ölmüş, 30000 kişi yaralanmış veya sakat kalmıştır. Deprem bölgesinde ortaya çıkan ekonomik ve sosyal kayıplar ülkenin tamamını uzun yıllar etkilemiştir. Türkiye'deki mevcut betonarme yapıların önemli bir bölümü, 1999 yılında meydana gelen depremlerde göçen veya ağır hasar alan betonarme yapılarda karşılaşılan kusurları içermektedir. Gelecekte oluşacak depremlerde bu yapılarda göçme veya ağır hasar alma potansiyeline sahiptir. Bu nedenle mevcut betonarme yapıların elden geçirilerek deprem güvenliğinin artırılması gereklidir.

Ülkemizde betonarme yapılarla ilgili 1997 yılında yürürlüğe giren "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik" dünyadaki çağdaş şartnameler gibi yapıların yeterli dayanım, rijitlik ve süneklik şartlarını sağlamasını öngörmektedir. Ancak taşıyıcı sistemi betonarme çerçevelerden oluşan yapıların önemli bir bölümü çeşitli nedenlerden dolayı mevcut yönetmeliğin öngördüğü yeterli dayanım, rijitlik ve süneklik şartlarını sağlamamaktadır.

Betonarme yapıların depreme karşı güvenliği tasarım ve yapım aşamalarındaki titiz çalışmaya bağlıdır. Yapı taşıyıcı sisteminde kısa kolonların bulunması, katlar arasında büyük rijitlik farklarının, kat planlarında düzensizliklerin olması ve taşıyıcı çerçevelerin zayıf kolon-güçlü kiriş türü birleşimlerden oluşması, kolon ve kiriş elemanlarında yeterli sargı donatısı olmaması ve kolon kiriş birleşim bölgelerinde hiç sargı donatısı olmaması, malzeme dayanımlarının düşüklüğü, yapı-zemin etkileşiminin göz ardı edilmesi betonarme yapılarda karşılaşılan genel kusurlardır.

Deprem güvenliği olmayan betonarme yapıların güçlendirilmesi ve deprem güvenliğinin artırılması için bir çok teknik geliştirilmiştir. Güçlendirme uygulaması

eleman düzeyinde yapılabileceği gibi sistem düzeyinde de yapılabilir. Ülkemizdeki betonarme yapıların genellikle tasarım ve yapım aşamalarından kaynaklanan kusurlar sonucunda deprem yüklerine karşı yanal dayanımları, süneklik ve yanal rijitlikleri yeterli değildir. Bu nedenle deprem kuvvetlerine karşı sadece eleman düzeyinde iyileştirme yetersiz kalmakta, taşıyıcı sistem düzeyinde iyileştirme gerekmektedir. Yapıyı oluşturan çerçevelerin içine yanal rijitliği çok büyük olan yerinde dökme betonarme dolgu duvarların ilave edilmesi ile yapının deprem güvenliğinin artırılması uygulamada yaygın olarak kullanılan başarılı bir tekniktir. Ülkemizde betonarme dolgu çerçevelerle ilgili araştırmalar 1970 yılında başlamış günümüzde de devam etmektedir. Araştırmalarla geliştirilen yöntemler özellikle 1992 Erzincan depreminden sonra bir çok binanın onarım ve güçlendirme uygulamasında kullanılmıştır.

Betonarme dolgu duvarlarla ilgili araştırmaların çoğunda dolgu duvarı çerçevenin içini tamamen doldurmaktadır. Ancak güçlendirme uygulamalarında binanın mimari zorunlulukları nedeniyle, dolgu duvarları çerçeve içinde parçasal olarak kullanılmaktadır. Yapının fonksiyonelliğini korumak amacıyla bazen dolgu duvarında kapı ve pencere boşlukları bırakılmakta, ayrıca uzun açıklıklı çerçevelerde dolgu duvarları parçasal olarak kullanılmaktadır. Tam dolu dolgu duvarıyla güçlendirilmiş veya onarılmış çerçevelerin deprem yükleri etkisinde davranışı üzerine literatürde çok sayıda araştırma olmasına rağmen parçasal dolgu duvarıyla güçlendirmiş çerçevelerin davranışı tam olarak bilinmemektedir.

Bu araştırmanın amacı betonarme yapıların depreme karşı güçlendirilmesinde Türkiye'deki uygulamalarda sıkça kullanılan çerçeve içini doldurmayan parçasal betonarme dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin yatay yükler altında dayanım ve davranışının belirlenmesidir. Tez çalışmasında ülkemizdeki betonarme yapıların çoğunda gözlemlenen bazı yapım ve tasarım kusurları olan betonarme çerçeve, deney elemanı olarak kullanılmıştır. Bu tür sünek olmayan betonarme çerçevelerin parçasal dolgu duvarlarıyla güçlendirilmesi durumunda, parçasal dolgu duvarın betonarme çerçevenin davranışına, dayanımına, sünekliğine, rijitliğine ve enerji tüketimine etkileri incelenmiştir. Çalışmada parçasal dolgu duvarın uzunluğunun, duvar

yüksekliğine (l/h) oranındaki değişimin, aynı l/h oranındaki dolgu duvarların çerçeve içinde düzenleniş biçimlerinin ve dolgu duvarda uç elemanı varlığının dolgulu çerçevelerin davranışına etkileri incelenmiştir. 9 adet 1/3 geometrik ölçekli, iki katlı tek açıklıklı deney elemanı üretilmiş, deprem yüklerini benzeştiren tersinen tekrarlanan yatay yükleme altında test edilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar davranış, dayanım, süneklik, rijitlik ve enerji tüketimi bakımından yorumlanmış ve karşılaştırılmıştır. Deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasiteleri araştırmacıların ve yönetmeliğin önerdiği eşitlikler kullanılarak hesaplanmış ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Ayrıca IDARC-2D bilgisayar programının dördüncü sürümü kullanılarak deney elemanlarının yatay yükleme altında itme analizleri yapılmış ve davranışları analitik olarak elde edilmiştir.

Betonarme dolgulu çerçevelerle ilgili yapılan öncü akademik araştırmalarda betonarme dolgu duvarlı çerçevelerin davranışı belirlenmeye çalışılmış, daha sonra çeşitli değişkenlerin betonarme dolgu duvarıyla güçlendirilmiş/onarılmış çerçevelerin davranışlarına etkileri çalışılmıştır. Araştırmalarda deney elemanı olarak çeşitli geometrik ölçekte; tek katlı-tek açıklıklı, iki katlı-tek açıklıklı ve iki katlı-üç açıklıklı çerçeve deney elemanları kullanılmıştır. Betonarme çerçeveler çeşitli süneklik düzeylerinde tasarlanmışlardır. Betonarme çerçevelerde kullanılan değişkenler; çerçeveyi oluşturan elemanların eğilme momenti kapasitesi, kesme kuvveti kapasitesi, çerçevenin kolon boyuna donatılarında bindirmeli ek olması, çerçeve betonunun basınç dayanımı, çerçevenin kolonlarına uygulanan aksel yük düzeyidir. Araştırmalarda betonarme dolgu duvarıyla onarım/güçlendirme uygulamalarında kullanılan değişkenler; betonarme dolgu duvarıyla çerçeve arasındaki bağlantı şekilleri, dolgu duvarının uzunluğunun yüksekliğine oranındaki değişim, dolgu duvarın donatı düzenlemesi ve çerçevelerde boyuna donatılarda bindirmeli ekin olduğu bölümlerde kullanılan çeşitli tekniklerdir. Literatürde bulunan araştırmaların çoğunda dolgu duvarı çerçeve içinde boşluksuz olarak düzenlenmiştir. Ancak literatürde parçasal dolgu duvarla güçlendirilmiş betonarme çerçevelerle ilgili az sayıda araştırma bulunmaktadır. Betonarme dolgulu çerçevelerle ilgili yapılmış analitik araştırmalarda sonlu elemanlar yöntemi veya bilgisayar programı

kullanılarak analitik modeller geliştirilmiştir. Analitik çözümlerden elde edilen sonuçlar, deneylerde ve ampirik denklemlerle bulunan sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Kaynak araştırmasında betonarme dolgu duvarlarıyla ilgili elde edilen çalışmalar kronolojik sıra içinde özetlenmiştir.

Benjamin ve Williams, 1950 yılında tek açıklıklı ve tek katlı betonarme dolgulu 45 adet çerçeve deney elemanını tekdüze yatay yükleme altında test etmişlerdir (1,2). Deney elemanlarının geometrik ölçeği 1/8-3/8 arasında değişim göstermektedir. Dolgu duvarın geometrisi, dolgu duvarın donatı oranı ve donatının yönü, çerçeve kolonlarının eğilme donatısının oranı deneysel çalışmanın değişkenleridir. Test edilen deney elemanlarında önemli değişkenlerden biri dolgu duvarın uzunluğunun, yüksekliğine oranıdır. Genel olarak dolgu duvarın uzunluğunun, yüksekliğine oranı büyük olan deney elemanları daha fazla dayanım göstermişlerdir. Dolgu duvarında farklı donatı düzenlemesine sahip deney elemanları için farklı dayanımlar elde edilmiştir. En iyi davranış dolgu duvarında donatının ortogonal düzenlendiği deney elemanında elde edilmiştir. Dolgu duvarı donatı oranının artması elemanların süneklik düzeyini ve dayanımlarını artırmıştır. Kolon boyuna donatı oranındaki değişim deney elemanının dayanımını çok etkilemiş ancak kolon kesitindeki değişim dayanım üzerinde fazla etkili olmamıştır.

Smith ve Carter, çerçeve ve dolgu duvarı arasındaki yatay yük taşıma mekanizmasının belirlenmesi konusunda önemli sonuçlar elde etmişlerdir (3). Yatay yükün taşınmasında dolgu duvarın diyagonal bir basınç çubuğu ile modellenebileceğini belirlenmiştir. Araştırmacılar dolgunun türüne ve dolgu ile çerçeve arasındaki bağlantı detayına bağlı olarak duvardaki diyagonal basınç çubuğunun kesit özelliklerinin ve çerçeve ile dolgu arasındaki ayrılma bölgesinin değişimi hakkında sonuçlar elde etmişlerdir. Yapılan deney sonuçları ile diyagonal basınç çubuğunun genişliğinin $L_d/4$ - $L_d/11$ arasında değiştiğini % 16'lık gibi bir hata payı ile bulunmuştur. L_d çerçevenin diyagonal mesafesidir. Araştırmacılar, çerçevenin köşelerinde dolgu ile ayrılmayan bölgelerin çok önemli olduğuna ve çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini çok büyük oranda etkilediği bulgusunu da

elde etmişlerdir. Bu bölgenin uzunluk değerini kullanılarak, çerçeve ve dolgudan oluşan sistemin sünekliği konusunda çeşitli sonuçlara varılmış ve denklem haline getirmiştir. Yapılan deneyler sonucunda çerçeve ve dolgudan oluşan bir sistemin optimum yatay yük taşıma kapasitesinin yaklaşık olarak maksimum dayanımın yarısı olduğu elde edilmiştir.

Ersoy ve Uzsoy, farklı özellikleri olan tek açıklıklı tek katlı 9 adet deney elemanı test etmişlerdir (6). Bu deneylerden elde ettikleri sonuçları 1971 yılında TÜBİTAK raporuyla yayımlamışlardır. Deneysel çalışmada tüm deney elemanları tekdüze yüklemeler altında test edilmiştir. Dolgu duvarın kalınlığı, dolgu duvarla ve çerçeve arasındaki bağlantı detayı, kiriş ve kolon rijitliklerinin oranındaki değişim çalışmanın değişkenleridir. Deneylerin ışığında, dolgunun çerçeve yatay yük taşıma kapasitesini % 70 artırdığı ve göçmedeki yatay deplasmanı ise %15 azalttığı, başlangıç rijitliğini % 500 artırdığı elde edilen bulgulardır. Ayrıca çerçeve ve dolgu arasındaki birleşimin yatay dayanım ve sünekliği çok fazla etkilemediği sonucuna ulaşılmıştır. Araştırmacılar deney sonuçlarını kullanarak çerçeve ve dolgu sistemlerin elastik bölgede davranışı konusunda bir yargıya varabilmek amacıyla Smith'in yaklaşımından yararlanarak bir denklem geliştirmişlerdir.

Klingner ve Bertero, 1/3 geometrik ölçekli ve üç katlı ve tek açıklıklı deney elemanları kullanmışlardır (9,10). Çalışmada çerçeve içinde iki farklı dolgu malzemesi kullanılmıştır. Birinci malzeme kil tuğlalar ikincisi ise betonarme dolgudur. Betonarme dolgu duvar çerçevelere eşit aralıklı filiz donatıları ile bağlanmıştır. Dolgu duvarı yatay ve düşey donatı oranı eşittir. Deney elemanları tersinir tekrarlanır yatay yükleme altında test edilmiştir. Kolon elemanlarına aksenal yük uygulanmıştır. Deney elemanları yüklemenin ilk aşamalarında birdöküm üretilmiş yüksek kiriş gibi davranış sergilemişlerdir. Artan yük aşamalarında dolgu duvarın köşeleri arasında diyagonal bir basınç çubuğunun oluştuğu gözlenmiştir. Bu aşamadan sonra deney elemanları köşegen doğrultusunda kolon kiriş birleşim bölgelerinden mafsallar ile bağlı bir çubuğa sahip çerçeve gibi davranış sergilemişlerdir. Diyagonal doğrultudaki basınç çubuğunda betonun ezilmesi ile deney elemanlarında çok büyük dayanım kaybı olduğu gözlenmiştir. Ayrıca dolgu

duvarın çerçeve sistemin göçme anındaki yatay ötelenmesini azalttığı ve dayanımın çerçevelere göre ortalama 4,5 kat arttırdığı görülmüştür. Araştırmacılar deney sonuçlarını kullanarak, Holmes'in eşdeğer basınç çubuğu konusundaki araştırmasından da yararlanarak matematik model oluşturmuşlar ve bir bilgisayar yazılımı geliştirmişlerdir.

Higashi ve diğerleri tek katlı tek açıklıklı 13 adet deney elemanı kullanmışlardır (15). Deney elemanlarını çeşitli tekniklerle güçlendirmiş ve yatay yükleme altında test etmişlerdir. Çerçeve elemanlarını yerinde dökme dolgu duvarı, çerçeve içini dolduran ön üretimli paneller, çerçeve içinde boşluğun bırakıldığı ön üretimli paneller kullanarak güçlendirmişlerdir. Ayrıca çerçeve elemanını diyagonal doğrultuda çelik çubuklar, çelik çerçeve ve çelik kafes kullanarak güçlendirmişlerdir. Güçlendirilen bütün deney elemanları birdöküm dolgu duvarlı ve çerçeve deney elemanı arasında dayanım göstermişlerdir. Birdöküm dolgu duvarlı deney elemanı ile, yerinde dökme dolgu duvarıyla güçlendirilmiş deney elemanı benzer davranış sergilemişlerdir. Araştırmacılar betonarme çerçeve için analitik bir model geliştirmişlerdir. Ön üretimli veya yerinde dökme dolgu duvarını çerçeve içinde diyagonal doğrultuda iki ucundan mafsallarla mesnetlenmiş çubuk elemanlar olarak modellemişlerdir. Çapraz çubukların geometrisinin bir çok değişkene bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

Higashi ve diğerleri betonarme çerçeveleri yerinde dökme dolgu duvarı, çerçeve içini dolduran ön üretimli paneller ve yerinde dökme parçasal dolgu duvarıyla güçlendirmişlerdir (16). Araştırmada 4 adet üç katlı tek açıklıklı, üç katlı ve iki açıklıklı deney elemanı kullanılmıştır. Deneyler sonucunda yerinde dökme tam dolu dolgu duvarıyla güçlendirilmiş deney elemanı birdöküm dolgu duvarlı deney elemanı ile benzer davranış sergilemiştir. Tam dolu dolgu duvarlı deney elemanlarından tek açıklıklı olanlar eğilme momenti etkisiyle, iki açıklıklı olanlar ise kesme kuvveti etkisiyle göçmüşlerdir. Parçasal dolgu duvarlı deney elemanları tam dolu dolgu duvarlı ve birdöküm dolgu duvarlı deney elemanlarına göre büyük yatay deplasmanlar yaparak göçmüştür. Araştırmacılar deney elemanları için analitik bir model geliştirmişlerdir. Dolgu duvarını çerçeve içinde diyagonal doğrultuda bir

eleman olarak modellemişlerdir. Elde edilen analitik sonuçlar monotonik yükleme etkisindeki deney elemanları için başarılı sonuçlar vermiştir.

*Liau*w, deneylerinde depremi benzeştiren dinamik yükleme kullanmıştır (18,19). Çalışmada tek açıklıklı, dört katlı çelik çerçeve ve betonarme dolgulu deney elemanları kullanılmıştır. Çerçevenin yüksekliğinin genişliğine oranı, dolguda boşluk oranı ve dolgu ile çerçeve arasındaki bağlantı detayı araştırmada kullanılan değişkenlerdir. Çerçeveyle dolgu arasındaki bağlantı elemanlarının, boşluklu ve boşluksuz deney elemanlarında rijitlik ve dayanımı etkilediği gözlenmiştir. Ayrıca boşluğun sistemdeki rijitlik ve dayanımı olumsuz şekilde etkilediği belirlenmiştir.

*Liau*w ve *Kwan* parçasal dolgu duvarıyla güçlendirilmiş betonarme çerçevelerin dayanımının hesaplanmasında sonlu eleman yöntemini kullanarak bir model geliştirmişlerdir (20). Araştırmacılar tam dolu dolgu duvarlı elemanlarının dayanımının dolgu duvarıyla çerçevenin dayanımına bağlı olduğunu, parçasal dolgu duvarlı elemanların dayanımının dolgu duvarın dayanımına bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

Hayashi ve diğerleri betonarme yapıların güçlendirilmesine yönelik çalışmalar yapmış ve iki çeşit güçlendirme yöntemi incelemişlerdir (22). Yöntemler; çerçevelerin betonarme dolgu duvarlarla güçlendirilmesi ve kolonların hasır donatı sarılarak mantolanmasıdır. Araştırmada 6 adet 1/3 geometrik ölçekli, tek açıklıklı, tek katlı deney elemanları tersinen tekrarlanan yatay yükleme altında test edilmiştir. Deney elemanlarında çerçeve ile dolgu duvarı arasında çeşitli birleşim detayları denenmiştir. Bağlantı detayları sırası ile beton kesme kilitleri, sadece kirişe sabitlenen çelik parçalar, tüm iç kenarlara sabitlenen çelik bağlantı elemanları, tüm iç kenarlara bağlanan çelik levhalar ve çerçeve elemanlarının iç yüzeylerinin pürüzlendirilmesidir. Deneyler sonucunda güçlendirilen deney elemanlarının dayanımları birdöküm deney elemanına göre %45 ile %28 arasında değişen oranlarda azalmıştır. Kullanılan dolgu duvarlar deney elemanlarının dayanımı olumlu etkilemiştir. Kolonların mantolanması deney elemanlarının sünekliğini artırmıştır.

Yoichi ve Toneo' nun çalışmasında 13 adet 1/3 geometrik ölçekli, tek açıklıklı, tek katlı betonarme çerçeve elemanı içine çeşitli dolgular ilave edilerek güçlendirilmiş, tersinen tekrarlanan yatay yükleme altında test edilmiştir (23). Araştırmada çerçeve içinde kullanılan dolgular; yerinde üretimli tam dolu dolgu duvarı, çerçeve içinde bir boşluk kalacak şekilde yerleştirilmiş ön üretimli paneller ve çelik kafestir. Ayrıca betonarme çerçeve çelik gergi çubuklarıyla güçlendirilmiştir. Güçlendirilen deney elemanları çerçeve ile birdöküm deney elemanı arasında bir davranış sergilemiştir. Çelik gergi ve kafesle güçlendirilmiş elemanlar ön üretimli deney elemanı kadar sünek bir davranış sergilemiştir. Tüm deney elemanlarının rijitlik ve dayanımları elastik olmayan analitik çerçeve modellemesi kullanılarak hesaplanmış ve deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Brokken ve Bertero, 18 adet 1/3 geometrik ölçekli çerçeve elemanını çeşitli dolgularla güçlendirmişler ve tersinen tekrarlanan yatay yükleme altında test etmişlerdir (24). Deney elemanları gerçek 11 katlı ve 3 açıklıklı bir yapı çerçevesinin bir bölümü göz önüne alınarak, Bertero ve Klingner'in kullandığı deney elemanlarına özdeş olacak şekilde seçilmişlerdir. Çalışmada değişken olarak çerçeve gözünde kullanılan dört tip dolgu malzemesi seçilmiştir. Bunlar sırasıyla kil ve beton tuğlalar, dışına hasır donatı yerleştirilmiş tuğlalar ve hafif beton panellerdir.

Kaldjian ve Yüzügüllü, 1/2 geometrik ölçekli, bir kolona simetri ekseninde bağlanan iki kirişten oluşan deney elemanı tasarlamışlardır (26). 10 adet deney elemanında kirişlerle kolon arasında kalan bölüme bir döküm dolgu duvarı ve sonradan dolgu duvarı ilave edilmesi incelenmiştir. Ayrıca dolgu duvarıyla kolon ve kiriş elemanları arasında çelik bağlantı parçaları kullanılmıştır. Araştırmada birdöküm dolgu duvara göre panel duvarların daha fazla deplasman yaptığı ve enerji tükettiği belirlenmiş, çelik bağlantı parçalarının yatay deplasman ve enerji tüketimini önemli oranda değiştirdiği belirlenmiştir. Ayrıca sonlu eleman yaklaşımıyla analitik model geliştirilmiş, elde edilen sonuçlar çalışma sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Achyutha ve diğerleri, çalışmalarında tuğla dolgulu çerçevelerin sonlu eleman yöntemi kullanılarak analizini yapmışlardır (27). Ayrıca dolguda, bir adet kapı veya

pencere boşluğu olması durumlarının da analizleri yapılmıştır. Sonlu eleman modelinde çerçeve ve dolgu arasındaki ayrılma, kayma ve sürtünme kaybı dikkate alınmıştır. Araştırmada dolguda yer alan bir adet boşluğunun büyüklüğünün ve boşluk etrafına yerleştirilen rijit çubukların yerleşim şeklinin, yanal rijitlik ve dolgu içindeki gerilme dağılımı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Altın ve diğerlerinin çalışmasında 1/3 geometrik ölçekte, iki katlı tek açıklıklı betonarme çerçeve elemanları betonarme dolgu duvarla güçlendirilmiş, tersinen tekrarlanan yatay yükleme altında test edilmiştir (30-32). Deneysel çalışmada incelenen değişkenler; betonarme dolgu duvarın donatı düzeni, betonarme dolgu duvar ile çerçeve arasında bağlantıyı sağlayan donatıların detaylandırılması, çerçeve kolonlarının boyuna donatı oranı, kolondaki eksenel yük miktarındaki değişim ve çerçevenin beton basınç dayanımıdır. Çalışmadan çerçeve ile dolgu arasında yük aktaran donatıların davranış ve dayanımı önemli oranda etkilediği, kolon eğilme kapasitesinin ve eksenel yük düzeyinin davranış ve dayanımı olumlu etkilediği sonuçlarına varılmıştır. Ayrıca dolgu duvarların çerçeve elemanının dayanım ve rijitliğini artırdığı sonuçları elde edilmiştir.

Saatçioğlu, betonarme kısa perdelerin tersinen tekrarlanan yatay yükleme altındaki davranışı deneysel olarak araştırmıştır (33). Asal çekme kırılmalarının duvar donatısı ile önlendiği elemanlarda, göçme perdenin tabandan kesilip kayması ile gerçekleşmiştir. Deney elemanın temel üzerinden kesilip kayarak göçmesinin kısa duvarlarda kritik olduğu ve süneklik düzeyini olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Araştırmada temel kirişi üzerinden kesilip kayarak göçmenin engellenmesi amacıyla kritik kesite dik, kısa çubuklardan oluşan özel bir donatı türü geliştirilmiştir. Geliştirilen donatının kullanıldığı deney elemanlarında temel kirişi üzerinden kesilip kayarak göçmenin engellendiği gözlenmiştir.

Sittipunt ve Wood, boşluksuz ve bir adet pencere boşluklu perdelerin tersinir tekrarlanır yükler altındaki davranışı analitik olarak incelenmişlerdir (35). Analitik çalışma 1970 yılında Portland Çimento Birliği tarafından yapılmış 13 adet perde

duvarın deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Ayrıca betonarme perdelerde karşılaşılan rijitlik, süneklik ve enerji tüketimi büyüklükleri bakımında istenmeyen gövdede kesme kırılması göçme modunu ortadan kaldıracak şekilde gövde donatısı geliştirmek amacıyla ek analizler yapılmıştır. Analitik çalışmada sonlu elemanlar yönteminden yararlanılmıştır. Modelde beton için lineer olmayan malzeme modeli ve çelik için pekleşmeyi içeren malzeme modeli kullanılmıştır. Sonlu eleman analiz modeli, bir adet boşluk içeren ve tam dolu perdeler için yapılan deneysel araştırma sonuçları ile karşılaştırılarak kontrol edilmiş, aynı model kullanılarak çeşitli gövde donatısı tipleri için analizler yapılmıştır.

Kato ve diğerleri araştırmalarında üzerinde bir adet boşluk olan ön üretimli dolgu duvarların tasarımında taşıma gücü yönteminin uygulanması ve boşluk etrafındaki donatı düzenlemesinin davranışa olan etkisi analitik bir çalışmayla incelenmişlerdir (36). Çalışmada dolgu ortasında yer alan pencere veya kapı boşluğunun yanal dayanım ve yanal rijitlik üzerindeki etkileri incelenmiştir. Dolguda yer alan boşluğun etrafına yerleştirilecek donatı detayları hakkında da bir araştırma yapılmış, sadece taşıma gücü yaklaşımı kullanılarak bu tür duvarlar için bir analiz yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntem deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Kato ve diğerleri'nin araştırmasında birdöküm olarak üretilmiş betonarme perdelerde bulunan boşluk alanı büyüklüğü ve yerinin davranış ve yanal dayanım üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır (37). Bu amaca yönelik olarak üretilen 6 adet deney elemanı test edilmiştir. Dört adet deney elemanında perde ortasında yer alan pencere boşluğu ve boşluk alanı büyüklüğü, diğer iki elemanda ise merkezde olan ve olmayan kapı boşluğu üzerinde inceleme yapılmıştır. İncelenen diğer değişken duvarların boşluk tarafındaki kenarına yerleştirilen donatı miktarının değişimidir. Deney sonuçlarında boşluklu perde tarafından taşınan kesme kuvvetinin sadece basınç etkisinde kalan bölümü tarafından taşındığı, elemanların eğilme dayanımı ve deplasman kapasitesinin boşluksuz perdelerle göre çok fazla değişim göstermediği belirlenmiştir.

Türk'ün, araştırmasında 1/3 geometrik ölçekli iki katlı tek açıklıklı 9 adet deney elemanı tersinen tekrarlanan yatay yükleme altında test edilmiştir (42). Çalışmada hasar görmüş betonarme çerçeve elemanlara sonradan eklenen yerinde dökme betonarme dolgu duvarların davranış ve dayanım üzerine etkileri incelenmiştir. Araştırmada; dolgu duvarla çerçeveyi bağlayan donatı düzenlemesinin dayanımda büyük oranda etkili olduğu, kolon donatılarında bindirmeli ekin olmasının elemanın dayanımı olumsuz etkilediği ve onarılacak çerçevenin hasar düzeyinin dayanımı önemli düzeyde etkilemediği sonuçları elde edilmiştir. Dolgu duvarıyla güçlendirilmiş deney elemanları çerçeve elemanının 8-13 katı daha fazla dayanım göstermişlerdir.

Taylor ve diğerleri alt kısmında bir adet boşluğu olan, yüksekliği genişliğine göre çok büyük betonarme perdeler üzerine deneysel ve analitik bir araştırma yapmışlardır (44). Analitik araştırmada düşey donatıların deplasmana bağlı bir yöntemle seçilmesi ve yatay donatıların da kafes kiriş analogisi yöntemi kullanılarak belirlenmesi tekniği incelenmiştir. 1/4 geometrik ölçekli 2 adet deney elemanı sabit eksenel yük altında tersinen tekrarlanan yatay yükleme ile test edilmiştir. Deneysel sonuçlar, donatıları önerilen analitik yöntemlerle belirlenen deney elemanlarının davranış ve süneklik düzeyi olarak başarılı olduğu belirlenmiştir.

Sittipunt ve Wood, çalışmada yüksekliği uzunluğuna göre büyük olan betonarme perdelerde kullanılan gövde donatısının tersinen tekrarlanan yatay yükleme altında davranışa etkisini incelemişlerdir (45). Dört adet deney elemanı üretilmiş perde donatısı iki elemanda ortogonal düzende, diğer iki elemanda ise diyagonal doğrultuda düzenlenmiştir. Elemanlar arasında dayanım olarak önemli farklılık gözlenmemiştir. Gövde donatısının diyagonal olarak düzenlendiği deney elemanlarında kesme çatlağı genişliği daha sınırlı kalmış ve elemanlar daha fazla enerji tüketmişlerdir.

Buonopane ve White'in çalışmasında 1/2 ölçekli, iki açıklıklı ve iki katlı tuğla dolgulu betonarme çerçeveler dinamik yükleme altında test edilerek, sistemin deprem davranışı üzerinde bir araştırma yapılmıştır (46). İkinci kat tuğla

dolgularında pencere boşluğu yer almaktadır. Çalışmada deney sonuçları kullanılarak sistemin yanal rijitlik ve deplasman kapasitesini tahmin etmek için farklı diyagonal basınç çubuğu biçimleri analitik olarak incelenmiş ve deneysel sonuçlara en uygun diyagonal basınç çubuğu modeli araştırılmıştır. Ayrıca deney elemanlarının dayanımının tahmini için analitik model geliştirilmiştir. Geliştirilen model kullanılarak elde edilen sonuçlar deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Sonuvar, çalışmasında hasarlı betonarme çerçeve elemanlarının çeşitli yöntemlerle onarılması amaçlamıştır (47,51). İki katlı tek açıklıklı, 1/3 geometrik ölçekli 5 adet deney elemanı tersinen tekrarlanan yatay yükleme altında test edilmiştir. Hasar görmüş çerçeve deney elemanları, yerinde dökme betonarme dolgu duvarlar ile onarıldıktan sonra tekrar test edilmiştir. Dolgu duvarıyla onarılan çerçeveler gerçek yapılarda var olan elemanlarında yetersiz sargı donatılı, boyuna donatıda yetersiz bindirmeli ekli ve düşük beton dayanımlı olacak şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca çerçeve elemanları güçlü kiriş zayıf kolon birleşimi olacak şekilde boyutlandırılmıştır. Araştırmada bir deney elemanının kolonlarının boyuna donatısında bindirmeli eki olan bölgelerinde çelik mantolama yapılmıştır. Çerçeve içine oluşturulan dolgu duvarın iki kenarında uç elemanı oluşturulmuş ve U şeklinde etriyelerle sargılanmıştır. Araştırmada; hasarlı çerçevelerin betonarme dolgu duvarlar ile davranış ve dayanımlarının önemli oranda iyileştirildiği, çerçevenin beton basınç dayanımının dolgu duvarıyla çerçeve arasındaki bağlantıyı etkilediği ve kolon donatılarında bindirmeli ekin olduğu bölgelerde uygulanan çelik mantoların başarılı olduğu ve katlar arasında yatay ötelenmeleri önemli oranda azaldığı sonuçları elde edilmiştir.

Canbay, 1/3 geometrik ölçekli iki katlı üç açıklıklı, temel kirişi üzerinde içte kalan iki kolonun boyuna donatılarında bindirmeli eki olan betonarme çerçeve kullanmıştır (48,50). Betonarme çerçeveye ilk önce hasar verilmiş, daha sonra betonarme dolgu duvarı ile onarılmış ve tekrar tersinen tekrarlanan yatay yükleme altında test edilmiştir. Gerçek yapılarda uygulanan dolgu duvarıyla onarım işlemi sonucunda, yapıyı oluşturan diğer çerçeve elemanları ile betonarme dolgu duvarın ilave edildiği çerçeve arasındaki yatay yük paylaşımının özel bir ölçüm düzeneğiyle incelenmesi

amaçlanmıştır. Araştırma sonucunda çerçeve kolonlarının boyuna donatılarının akmasından önce uygulanan yatay yükün %90'ının dolgu duvarlı tarafından taşındığı, kolon boyuna donatılarında kullanılan 40φ boyundaki bindirmeli ekin yetersiz olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır.

Anıl'ın çalışmasında tek katlı tek açıklıklı, elemanlarında yeterli etriye donatısı olan, zayıf kolon göçlü giriş türünde birleşimi olan çerçeve elemanı boşluklu betonarme dolgu duvarlarıyla güçlendirilmiştir (49). 9 adet deney elemanı tersinen tekrarlanan yatay yükleme altında test edilmiştir. Parçasal dolgu duvarının çerçeve kolonuna birleşmeyen kenarına uç elemanı oluşturulmuştur. Çalışmada; dolgu duvarında bırakılan boşluk alanının büyüklüğü ve dolgu duvarında bırakılan boşluğun yeri değişkenleri incelenmiştir. Deney sonuçlarında, boşluk alanı büyüklüğü ve yerindeki değişimin betonarme dolgu duvarlı çerçevelerin rijitlik, dayanım, süneklik ve enerji tüketimi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

2. DENEY ELEMANLARI ve DENEY TEKNİĞİ

2.1. Genel

Deprem güvenliği olmayan betonarme çerçeve türü yapıların betonarme dolgu duvarlarıyla güçlendirilmesi başarılı bir tekniktir. Betonarme çerçevelerin betonarme dolgu duvarlarıyla güçlendirilmesi ile ilgili deneysel çalışmalar, Türkiye’de 1970’li yıllarda başlamıştır. Konu günümüzde de güncelliğini korumakta, yeni güçlendirme teknikleri geliştirilmesi için araştırmalar devam etmektedir. Yapılmış çalışmalarda genelde tek katlı tek açıklıklı ve iki katlı tek açıklıklı betonarme çerçeveler betonarme dolgu duvarlarıyla güçlendirilip/onarılıp yatay yükler altında test edilmiştir. Betonarme dolgu duvarlarıyla güçlendirme yönteminin etkinliği ve dolgu duvarın, betonarme çerçevenin davranış ve dayanımı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Betonarme dolgu duvarlarıyla güçlendirilen betonarme çerçevelerin davranışlarının bir çok değişkene bağlı olması nedeniyle, bu güçlendirme tekniği üzerine daha fazla araştırmaya ve bilgi birikimine gereksinim duyulmaktadır.

Ülkemizde konuyla ilgili yapılan çalışmaların çoğunda mevcut betonarme yapılarda karşılaşılan bazı kusurlar çerçeve elemanının tasarımına yansıtılmıştır. Araştırmaların çoğunda dolgu duvarları çerçeve içini tamamen doldurmaktadır. Ancak uygulamada sıkça kullanılan parçasal dolgu duvar yada boşluklu dolgu duvarla güçlendirilen betonarme çerçevelerle ilgili, bir kaç çalışma dışında deneysel bir çalışmaya rastlanmamaktadır (49).

Deney programında kullanılacak betonarme çerçevelerin tasarımında çalışmanın ülkemizdeki bilgi birikimine katkı sağlaması ve elde edilecek bulguların önceki benzer araştırmalarla karşılaştırılabilmesi amaçlanmıştır. Deneysel çalışmada Altın ve Sonuvar’ın çalışmalarında kullanılan deney elemanı ile aynı geometrik boyutlarda, iki katlı tek açıklıklı betonarme çerçeve kullanılmıştır (31,47). Türkiye’de taşıyıcı sistemi betonarme çerçevelerden oluşan yapılarda gözlemlenen bazı kusurlar çerçeve deney elemanının tasarımında gözönünde bulundurulmuştur. Betonarme çerçeve zayıf kolon-güçlü giriş birleşimli, yetersiz kesme dayanımına

sahip kolon ve kirişlerden oluşturulmuştur. Kolon ve kiriş etriyelerinin kancaları 90° üretilmiştir. Ülkemizdeki mevcut betonarme yapıların çoğunda kullanılan betonun basınç dayanımı projede öngörülen dayanımdan düşüktür. Bu nedenle deney çerçevesinde kullanılan betonun basınç dayanımı pratikte karşılaşılan düşük beton dayanımını temsil edecek şekilde seçilmiştir. Deney elemanları tersinen tekrarlanan yatay yükleme altında test edilmiştir. Yükler deney elemanlarına her iki katta kirişler seviyesinden uygulanmıştır. İkinci kattan uygulanan kuvvetin (P_2), birinci kattan uygulanan kuvvete (P_1) oranı $P_2/P_1=2$ 'dir.

2.2. Deney Elemanları

Çalışmada kullanılan betonarme çerçeve iki katlı, tek açıklıklıdır. Tüm deney elemanlarında betonarme çerçevenin geometrik boyutları ve donatı düzenlemesi aynıdır. Çerçeve açıklık 1400 mm, kat yüksekliği 825 mm'dir. Kirişlerin kesiti 150x150 mm, kolonların kesiti 100x150 mm'dir. Betonarme çerçeve 450x500 mm boyutlarında bir temel kirişine mesnetlenmiştir.

Deney programı içinde 9 adet deney elemanı üretilmiş ve test edilmiştir. Deney elemanları ve deneysel çalışmada gözönünde bulundurulan değişkenler Çizelge 2.1'de verilmiştir. Deney programında betonarme çerçeve ve bir döküm dolgu duvarlı deney elemanları kontrol amaçlı üretilmiş referans elemanlarıdır. Diğer 7 deney elemanı çeşitli düzenlemelerde betonarme dolgu duvarlarıyla güçlendirilmiş elemanlardır. Deney programı parçasal betonarme dolgu duvarıyla güçlendirilmiş sünek olmayan betonarme çerçevelerin tersinen tekrarlanan yatay yükler altında davranışlarının araştırılması amacıyla düzenlenmiştir. Deneysel çalışmada üç temel değişken gözönünde bulundurulmuştur.

- 1) Betonarme dolgu duvarın uzunluğunun (l), yüksekliğine (h) oranı; (l/h)
- 2) Parçasal betonarme dolgu duvarının çerçeve yerleşim düzeni
- 3) Dolgu duvarında uç elemanının varlığı

Üç temel değişkenin deney elemanlarının davranış, dayanım, rijitlik, süneklik ve enerji tüketimine etkileri incelenmiştir.

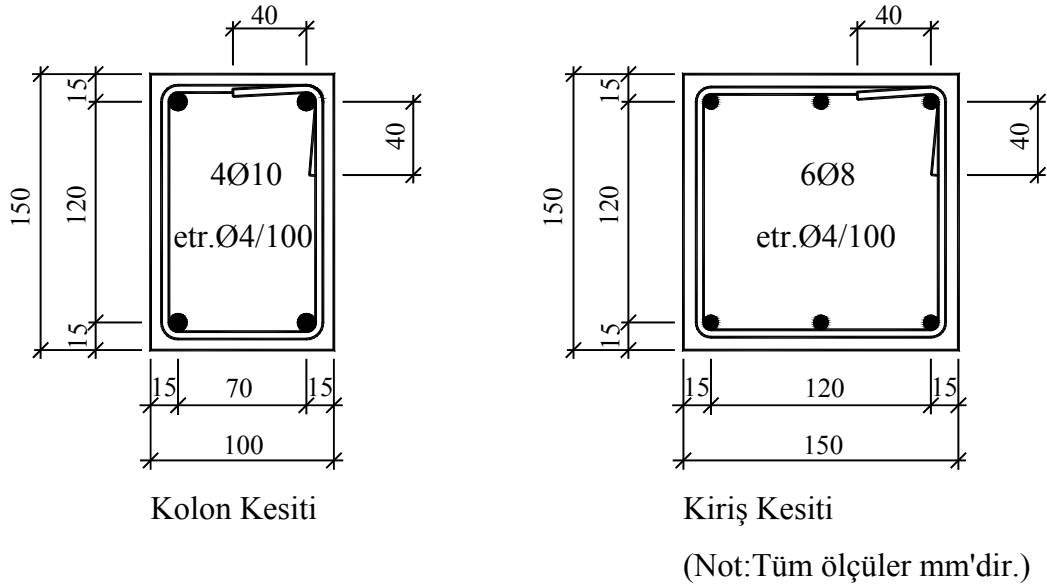
Çizelge 2.1. Deney programı ve deneysel değişkenler

Deney Elemanı No		Dolgu Duvarı				
		Kalınlık b_w (mm)	Uzunluk l (mm)	Yükseklik h (mm)	l/h	Uç Elemanı (mm)
1	Çerçeve	----	----	----	----	----
2	Bir döküm	50	1300	750	1,73	Yok
3	Güçlendirme	50	1300	750	1,73	Yok
4	Güçlendirme	50	325	750	0,43	130x50
5	Güçlendirme	50	650	750	0,87	130x50
6	Güçlendirme	50	975	750	1,3	130x50
7	Güçlendirme	50	975	750	1,3	Yok
8	Güçlendirme	50	2-487,5	750	1,3	130x50
9	Güçlendirme	50	650	750	0,87	130x50

Kullanılan çerçeve deney elemanı, Türkiye’de taşıyıcı sistemi betonarme çerçevelerden oluşan yapılarda sıkça karşılaşılan bazı yapım kusurlarını içerecek şekilde tasarlanmıştır. Çerçevede kullanılan betonun basınç dayanımının $f_c=12$ MPa, dolgu duvarıyla güçlendirilen deney elemanlarının dolgu duvarlarında kullanılan betonun basınç dayanımının $f_c=25$ MPa olması hedeflenmiştir. Bir döküm dolgu duvarlı olan deney elemanının çerçeve ve dolgu duvarı betonu birlikte dökülmüş ve $f_c=25$ MPa beton basınç dayanımı hedeflenerek üretilmiştir.

Çalışmada kullanılan betonarme çerçevenin süneklilik düzeyinin düşük olması amaçlanmıştır. $\phi 4$ mm çapında düz donatıdan üretilmiş etriyeler çerçevenin kolon ve kirişlerinde 100 mm aralıkla kullanılmıştır. Kolon etriyeleri kolon kiriş birleşim bölgelerinde devam ettirilmemiştir. Etriyeler Şekil 2.1’de görüldüğü gibi kolon ve kirişlerde kancaları 90° olacak şekilde açık olarak üretilmiştir.

Betonarme çerçevenin kolonlarında boyuna donatı olarak 4 adet $\phi 10$ mm çapında nervürlü donatı kullanılmıştır. Kolonlarda boyuna donatı oranı $\rho_{kolon}=0,021$ ’dir. Boyuna donatılar kolon boyunca sürekli formda yerleştirilmiştir. Boyuna donatılar ikinci katta (15ϕ) 150 mm olan kiriş yüksekliğinde kenetlenme boyu ile sonlandırılmıştır. Çerçevenin kirişlerinde boyuna donatı olarak kiriş kesitinin altında ve üstünde üçer adet olacak şekilde düzenlenmiş toplam 6 adet $\phi 8$ mm çapında nervürlü donatı kullanılmıştır. Kirişlerde boyuna donatı oranı $\rho_{kiriş}=0,0134$ ’dür. Kiriş donatılarının kolon içinde devam eden kenetlenme boyunun yetersiz olması düşünülmüştür. Bu nedenle kiriş boyuna donatıları 100 mm genişliğindeki çerçeve kolonları içinde (15ϕ) 120 mm uzunluğunda bırakılmıştır. Betonarme çerçeve rijit bir temele mesnetlenmiştir. Yüksekliği 450 mm, genişliği 500 mm olan temel kirişinde boyuna donatı olarak 16 adet $\phi 16$ mm çapında nervürlü donatı kullanılmış, $\phi 10$ mm çapında nervürlü donatıdan üretilmiş etriyeler 100 mm aralıklı ve bir kesitte iki adet olacak şekilde kullanılmıştır.



Şekil 2.1 Çerçevenin kolon ve kiriş kesitleri

Deney elemanlarının dolgu duvarlarında yatay ve düşey donatı olarak $\phi 6$ mm çapında düz donatı kullanılmıştır. Donatılar duvarın iki yüzünde simetrik olarak düzenlenmiştir. Bir döküm dolgu duvarlı Deney Elemanı-2'nin dolgu duvarında kullanılan yatay ve düşey donatıların oranlarının aynı olması amaçlanmıştır. Deney Elemanı-2'nin dolgu duvarında yatay donatı oranı $\rho_h=0,009$, düşey donatı oranı $\rho_v=0,008$ 'dir. Parçasal dolgu duvarıyla güçlendirilen deney elemanlarında dolgu duvarı donatılarının referans elemanı olan Deney Elemanı 2'nin dolgu duvarı donatısıyla aynı olması amaçlanmıştır. Ancak parçasal dolgu duvarların uzunluklarının birbirinden farklı olması nedeniyle düşey donatı oranları $\rho_v=0,009$ ile $0,007$ arasında değişmiştir. Yatay donatı oranları bütün elemanların dolgu duvarlarında aynıdır. Parçasal dolgu duvarıyla güçlendirilmiş elemanlarda dolgu duvarın kolonla bitişik olmayan serbest kenarlarında, dolgu duvarının içinde kalan bir uç elemanı oluşturulmuştur. Uç elemanı Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik ve deney elemanının geometrisi göz önünde bulundurularak boyutlandırılmıştır (52). Uç elemanı genişliği 130 mm, kalınlığı 50 mm'dir. Uç elemanında boyuna donatı olarak 4 adet $\phi 6$ mm çapında düz donatı kullanılmıştır. $\phi 4$ mm çapında düz donatıdan hazırlanmış kapalı etriyeler 50 mm aralıkla uç elemanını sargılamıştır. Parçasal dolgu duvarında oluşturulan uç elemanının davranış ve

dayanıma etkilerinin incelenmesi amacıyla dolgu duvarında uç elemanı bulunmayan Deneysel Eleman-7 üretilmiştir. Dolgu duvarının düşey donatı oranı belirlenirken uç elemanında bulunan boyuna donatılar gözönüne alınmamıştır. Deneysel elemanlarının dolgu duvarı donatıları ve donatı oranları Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Deneysel elemanlarında dolgu duvarı donatıları

Deneysel Eleman No	Yatay Donatı	ρ_h	Düşey Donatı	ρ_v
1 Çerçeve	----	----	----	----
2 Bir döküm	2-6 ϕ 6/140	0,009	2-9 ϕ 6/140	0,008
3 Güçlendirme	2-6 ϕ 6/140	0,009	2-9 ϕ 6/140	0,008
4 Güçlendirme	2-6 ϕ 6/140	0,009	2-2 ϕ 6/65	0,007
5 Güçlendirme	2-6 ϕ 6/140	0,009	2-5 ϕ 6/122	0,009
6 Güçlendirme	2-6 ϕ 6/140	0,009	2-7 ϕ 6/140	0,008
7 Güçlendirme	2-6 ϕ 6/140	0,009	2-7 ϕ 6/159	0,008
8 Güçlendirme	2-6 ϕ 6/140	0,009	2-4 ϕ 6/112	0,009
9 Güçlendirme	2-6 ϕ 6/140	0,009	2-5 ϕ 6/92	0,009

Güçlendirilen bütün deneysel elemanlarında dolgu duvarları ile çerçeve arasındaki bağlantı filiz donatıları kullanılarak sağlanmıştır. Filiz donatıları deneysel elemanın kolon, kiriş ve temelinde matkapla açılan 12 mm çapındaki deliklere epoksi enjekte edildikten sonra yerleştirilmiştir. Yatay filiz donatılarının oranı dolgu duvarın yatay donatı oranına, düşey filiz donatılarının oranı da dolgu duvarın düşey donatı oranına yaklaşık eşit olacak şekilde düzenlenmiştir. Filiz donatısı olarak tüm deneysel elemanlarında ϕ 10 mm çapında nervürlü donatı kullanılmıştır. Filiz donatılarının gömülme boyları kolonlarda 80 mm (8 ϕ), kirişlerde 130 mm (13 ϕ) ve temelde 200 mm (20 ϕ)’dir. Birinci kat kirişinde kullanılan filiz donatıları kiriş üstünden altına kadar boydan boya açılan deliklere sabitlenmiştir. Filiz donatılarının kenetlenme

boyu kolon ve kirişlerde 200 mm (20 ϕ), temel kirişinde 300 mm (30 ϕ)'dir. Deney elemanlarında kullanılan filiz donatıları Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Deney elemanlarının filiz donatıları

Deney Elemanı No	Yatay Donatı (Kolonlara Sabitlenen)	ρ_h	Düşey Donatı (Kirişlere Sabitlenen)	ρ_v
1 Çerçeve	----	----	----	----
2 Bir döküm	----	----	----	----
3 Güçlendirme	5 ϕ 10	0,01	7 ϕ 10	0,009
4 Güçlendirme	5 ϕ 10	0,01	2 ϕ 10	0,01
5 Güçlendirme	5 ϕ 10	0,01	4 ϕ 10	0,01
6 Güçlendirme	5 ϕ 10	0,01	5 ϕ 10	0,008
7 Güçlendirme	5 ϕ 10	0,01	5 ϕ 10	0,008
8 Güçlendirme	5 ϕ 10	0,01	2-3 ϕ 10	0,01
9 Güçlendirme	5 ϕ 10	0,01	4 ϕ 10	0,01

Deney Elemanı-1:

Deney Elemanı-1 kontrol amacıyla üretilmiş betonarme çerçeve referans elemanıdır. Deney Elemanı-1'in geometrik boyutları ve donatı detayı Şekil 2.2'de verilmiştir. Bütün deney elemanlarında kullanılan betonarme çerçevenin geometrik özellikleri ve donatı düzenlemesi Deney Elemanı-1'le aynıdır. Çerçevenin kolon ve kirişlerinde boyuna donatı oranları sırasıyla $\rho_{kolon}=0,021$, $\rho_{kiriş}=0,0134$ 'dür. Kolon ve kiriş elemanlarında etriyeler $\phi 4$ mm çapında düz donatıdan üretilmiştir. Etriye aralılığı 100 mm'dir.

Deney Elemanı-2:

Bir döküm dolgu duvarlı deney elemanı kontrol amaçlı üretilmiş diğer referans elemanıdır. Çerçeve ve dolgu duvarı donatıları birlikte üretilmiş ve betonları birlikte

dökülmüştür. Çerçeve açıklığını tamamen dolduran dolgu duvarının uzunluğu $l=1300$ mm, yüksekliği $h=750$ mm ve kalınlığı $b_w=50$ mm'dir. l/h oranı 1,73'dür. Deney elemanın geometrik boyutları ve donatı detayı Şekil 2.3'de verilmiştir. Dolgu duvarının yatay ve düşey donatısı ortogonal olarak düzenlenmiştir. Yatay ve düşey donatı dolgu duvarının her iki yüzüne $\phi 6/140$ mm aralıkla yerleştirilmiştir. Yatay donatı oranı $\rho_h=0,009$, düşey donatı oranı $\rho_v=0,008$ 'dir. Dolgu duvarının yatay ve düşey donatısı sürekli formda düzenlenmiştir.

Deney Elemanı-3:

Betonarme çerçeve elemanı, çerçeve açıklığını tamamen dolduran dolgu duvarıyla güçlendirilmiştir. Dolgu duvarının yüksekliği $h=750$ mm, uzunluğu $l=1300$ mm ve kalınlığı $b_w=50$ mm'dir. l/h oranı 1,73'dür. Dolgu duvarının donatıları Deney Elemanı-2'nin dolgu duvarı donatısı ile aynıdır. Yatay ve düşey donatı dolgu duvarının her iki yüzüne $\phi 6/140$ mm aralıkla yerleştirilmiştir. Yatay donatı oranı $\rho_h=0,009$, düşey donatı oranı $\rho_v=0,008$ 'dir. Deney elemanının geometrik özellikleri ve donatı detayı Şekil 2.4'de verilmiştir.

Filiz donatısı olarak deney elemanının kolonlarına 5 adet $\phi 10$ mm çapında nervürlü donatı, kirişlerine ve temel kirişine 7 adet $\phi 10$ mm çapında nervürlü donatı epoksi ile sabitlenmiştir. Deney Elemanı-3'ün filiz donatısı detayı Şekil 2.5'de verilmiştir.

Deney Elemanı-4:

Deney elemanı yüksekliği $h=750$ mm, uzunluğu $l=325$ mm, kalınlığı $b_w=50$ mm ve l/h oranı 0,43 olan dolgu duvarıyla güçlendirilmiştir. Sol kolona bitişik olan dolgu duvarının serbest kenarında duvar içinde kalan uç elemanı bulunmaktadır. Dolgu duvarında yatay donatı dolgu duvarının her iki yüzüne $\phi 6/140$ mm aralıkla yerleştirilmiştir. Yatay donatı oranı $\rho_h=0,009$ 'dur. Düşey donatı ise dolgu duvarının her iki yüzüne $\phi 6/65$ mm aralıkla yerleştirilmiştir. Düşey donatı oranı ise $\rho_v=0,007$ 'dir. Deney elemanının geometrik özellikleri ve donatı detayı Şekil 2.6'da verilmiştir.

Deney elemanında filiz donatısı olarak sol kolona 5 adet $\phi 10$ mm ϕ apında nervürlü donatı, temele ve kirişlere 2 adet $\phi 10$ mm ϕ apında nervürlü donatı epoksi ile sabitlenmiştir. Deney Elemanı-4'ün filiz donatısı detayı Şekil 2.7'de verilmiştir.

Deney Elemanı-5:

Deney elemanı yüksekliği $h=750$ mm, uzunluğu $l=650$ mm, kalınlığı $b_w=50$ mm ve l/h oranı 0,87 olan dolgu duvarıyla güçlendirilmiştir. Sol kolona bitişik olan dolgu duvarın serbest kenarında duvar içinde kalan uç elemanı bulunmaktadır. Dolgu duvarında yatay donatı dolgu duvarının her iki yüzüne $\phi 6/140$ mm aralıkla yerleştirilmiştir. Yatay donatı oranı $\rho_h=0,009$ 'dur. Düşey donatı ise dolgu duvarının her iki yüzüne $\phi 6/122$ mm aralıkla yerleştirilmiştir. Düşey donatı oranı ise $\rho_v=0,009$ 'dur. Deney elemanının geometrik özellikleri ve donatı detayı Şekil 2.8'de verilmiştir.

Deney elemanında filiz donatısı olarak sol kolona 5 adet $\phi 10$ mm ϕ apında nervürlü donatı, temele ve kirişlere 4 adet $\phi 10$ mm ϕ apında nervürlü donatı epoksi ile sabitlenmiştir. Deney Elemanı-5'in filiz donatısı detayı Şekil 2.9'da verilmiştir.

Deney Elemanı-6:

Deney elemanı yüksekliği $h=750$ mm, uzunluğu $l=975$ mm, kalınlığı $b_w=50$ mm ve l/h oranı 1,3 olan dolgu duvarıyla güçlendirilmiştir. Sol kolona bitişik olan dolgu duvarın serbest kenarında duvar içinde kalan uç elemanı bulunmaktadır. Dolgu duvarında yatay donatı dolgu duvarının her iki yüzüne $\phi 6/140$ mm aralıkla yerleştirilmiştir. Yatay donatı oranı $\rho_h=0,009$ 'dur. Düşey donatı ise dolgu duvarının her iki yüzüne $\phi 6/137$ mm aralıkla yerleştirilmiştir. Düşey donatı oranı ise $\rho_v=0,008$ 'dir. Deney elemanının geometrik özellikleri ve donatı detayı Şekil 2.10'da verilmiştir.

Deney elemanında filiz donatısı olarak sol kolona 5 adet $\phi 10$ mm ϕ çapında nervürlü donatı, temele ve kirişlere 5 adet $\phi 10$ mm ϕ çapında nervürlü donatı epoksi ile sabitlenmiştir. Deney Elemanı-6'nın filiz donatısı detayı Şekil 2.11'de verilmiştir.

Deney Elemanı-7:

Deney elemanı yüksekliği $h=750$ mm, uzunluğu $l=975$ mm, kalınlığı $b_w=50$ mm ve l/h oranı 1,3 olan dolgu duvarıyla güçlendirilmiştir. Deney Elemanı-6 ile aynı geometride üretilmiş ve sol kolona bitişik olan dolgu duvarın serbest kenarında uç elemanı bulunmamaktadır. Dolgu duvarında kullanılan yatay ve düşey donatıların alanları Deney Elemanı-6 ile aynıdır. Yatay donatı dolgu duvarının her iki yüzüne $\phi 6/140$ mm aralıkla yerleştirilmiştir. Yatay donatı oranı $\rho_h=0,009$ 'dur. Düşey donatı ise dolgu duvarının her iki yüzüne $\phi 6/159$ mm aralıkla yerleştirilmiştir. Düşey donatı oranı ise $\rho_v=0,008$ 'dir. Deney elemanının geometrik özellikleri ve donatı detayı Şekil 2.12'de verilmiştir.

Deney elemanında filiz donatısı düzenlemesi Deney Elemanı-6 ile aynıdır. Filiz donatısı olarak sol kolona 5 adet $\phi 10$ mm ϕ çapında nervürlü donatı, temele ve kirişlere 5 adet $\phi 10$ mm ϕ çapında nervürlü donatı epoksi ile sabitlenmiştir. Deney Elemanı-7'nin filiz donatısı detayı Şekil 2.13'de verilmiştir.

Deney Elemanı-8:

Deney elemanı çerçeve içinde simetrik olarak yerleştirilmiş yüksekliği $h=750$ mm, uzunluğu $l=487,5$ mm ve kalınlığı $b_w=50$ mm olan iki adet dolgu duvarıyla güçlendirilmiştir. İki dolgu duvarının çerçeve içindeki l/h oranı 1,3'dür. Dolgu duvarlarının çerçeve içinde kapladığı alan Deney Elemanı-6'da kullanılan dolgu duvarlarıyla aynıdır. Dolgu duvarlarının çerçeve kolonlarına bitişik olmayan kenarlarına duvar içinde kalan uç elemanı yapılmıştır. Yatay donatı her bir dolgu duvarının iki yüzüne $\phi 6/140$ mm aralıkla yerleştirilmiştir. Yatay donatı oranı $\rho_h=0,009$ 'dur. Düşey donatı ise dolgu duvarlarının her iki yüzüne $\phi 6/112$ mm

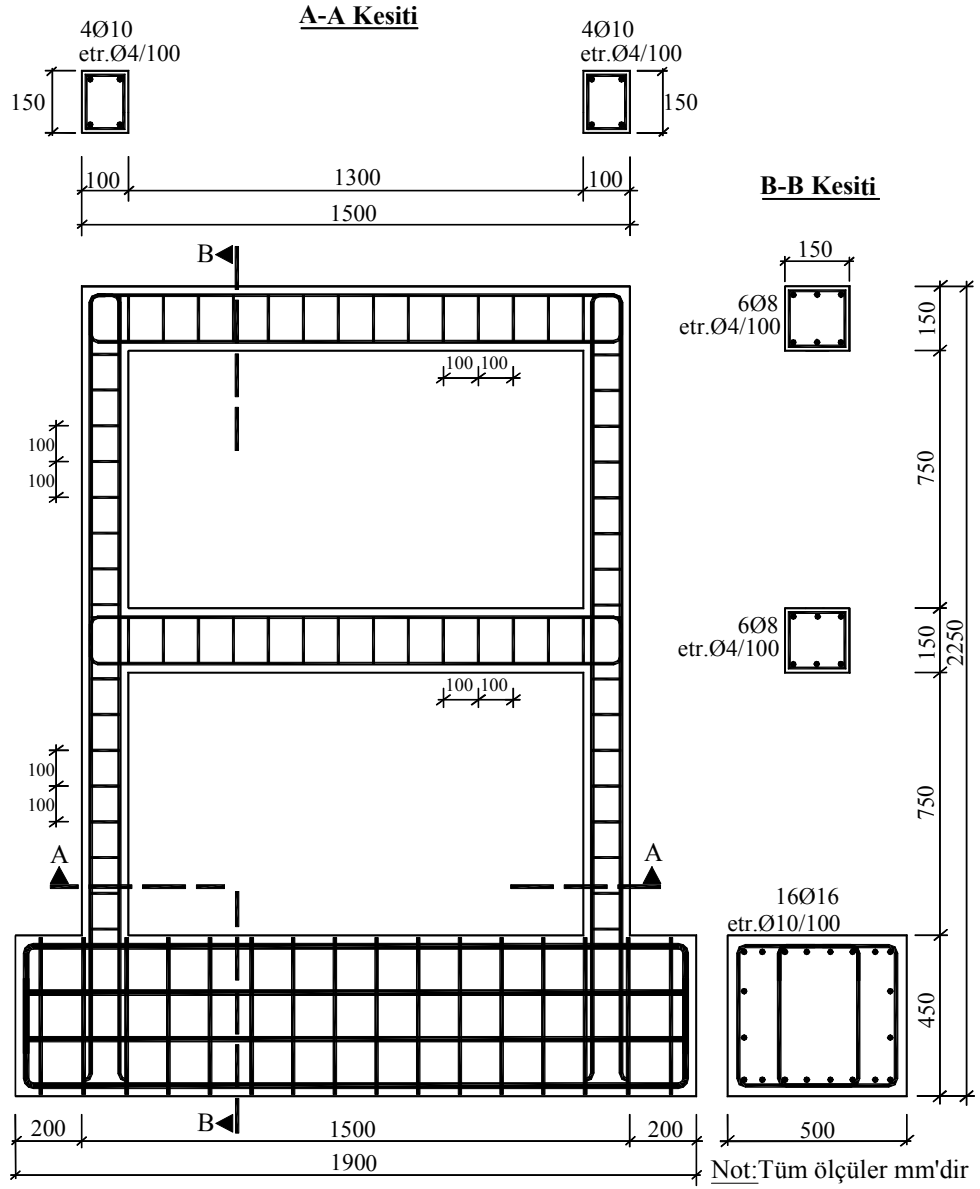
aralıkla yerleştirilmiştir. Düşey donatı oranı ise $\rho_v=0,009$ 'dur. Deney elemanının geometrik özellikleri ve donatı detayı Şekil 2.14'de verilmiştir.

Deney elemanında filiz donatısı olarak kolona 5 adet $\phi 10$ mm çapında nervürlü donatı, her bir dolgu duvarı için temele ve kirişlere 3'er adet $\phi 10$ mm çapında nervürlü donatı epoksi ile sabitlenmiştir. Deney Elemanı-8'in filiz donatısı detayı Şekil 2.15'de verilmiştir.

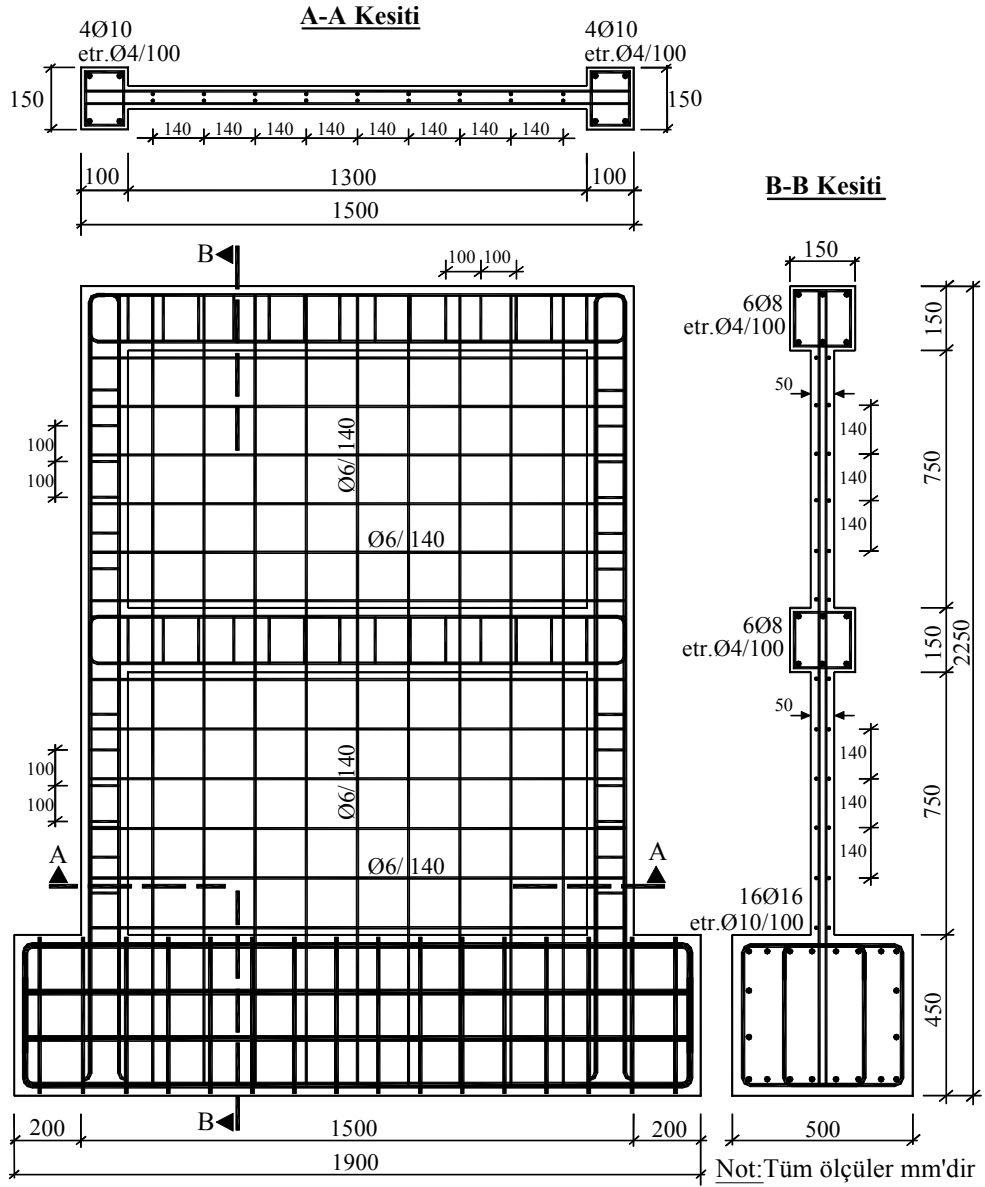
Deney Elemanı-9:

Deney elemanı çerçeve içine simetrik olarak yerleştirilmiş yüksekliği $h=750$ mm, uzunluğu $l=650$ mm, kalınlığı $b_w=50$ mm ve l/h oranı 0,87 olan dolgu duvarıyla güçlendirilmiştir. Çerçeve içinde iki tarafında simetrik boşluk bırakılan dolgu duvarı sadece kirişlere bağlanmıştır. Dolgu duvarının çerçeve içinde kapladığı alan Deney Elemanı-5'de kullanılan dolgu duvarıyla aynıdır. Dolgu duvarının serbest olan iki kenarlarında da duvar içinde kalan uç elemanı bulunmaktadır. Yatay donatı dolgu duvarının her iki yüzüne $\phi 6/140$ mm aralıkla yerleştirilmiştir. Yatay donatı oranı $\rho_h=0,009$ 'dur. Düşey donatı ise dolgu duvarının her iki yüzüne $\phi 6/92$ mm aralıkla yerleştirilmiştir. Düşey donatı oranı ise $\rho_v=0,009$ 'dur. Deney elemanının geometrik özellikleri ve donatı detayı Şekil 2.16'da verilmiştir.

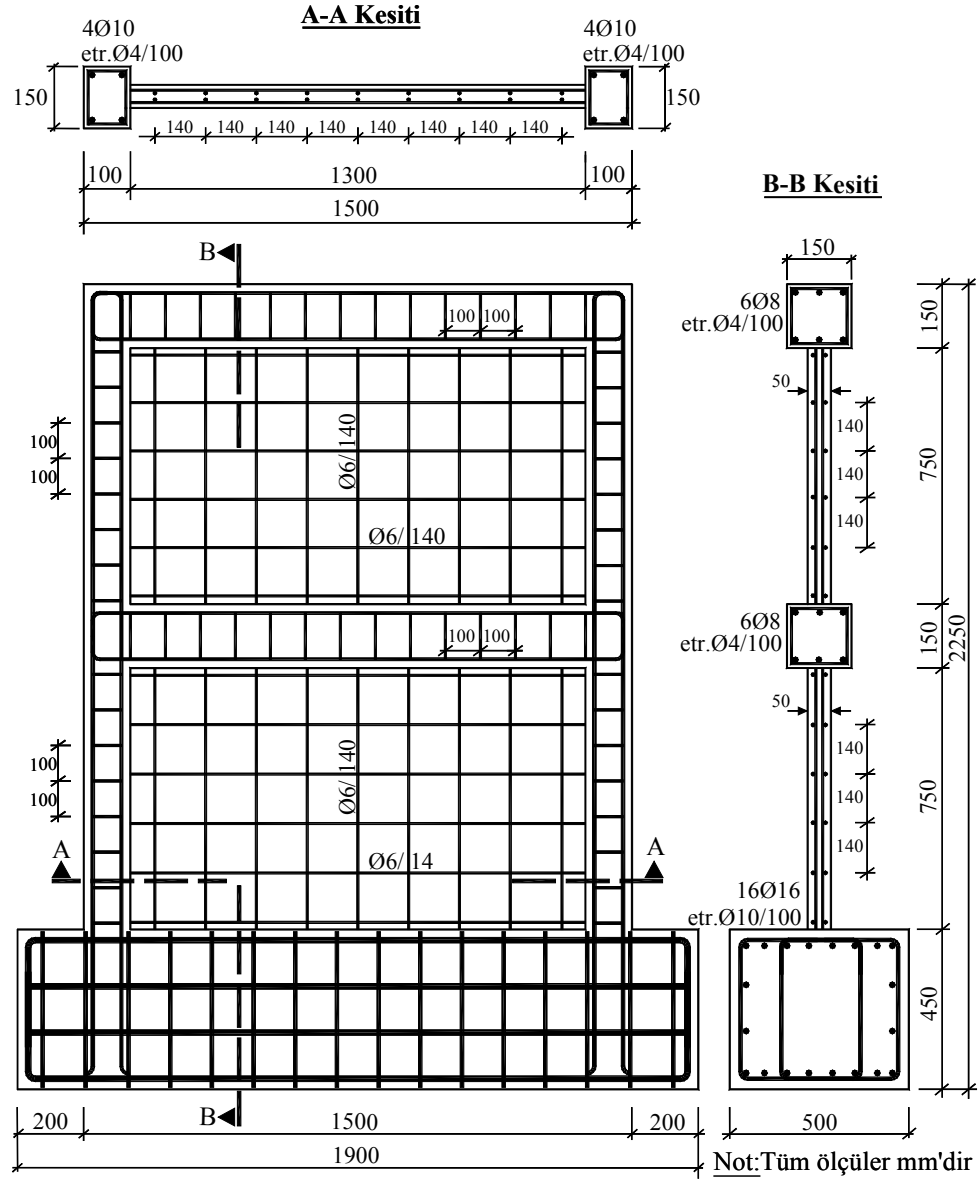
Deney elemanında dolgu duvarının kolonlarla bağlantısı yoktur. Bu nedenle filiz donatısı olarak temele ve kirişlere 4 adet $\phi 10$ mm çapında nervürlü donatı epoksi ile sabitlenmiştir. Deney Elemanı-9'un filiz donatısı detayı Şekil 2.17'de verilmiştir.



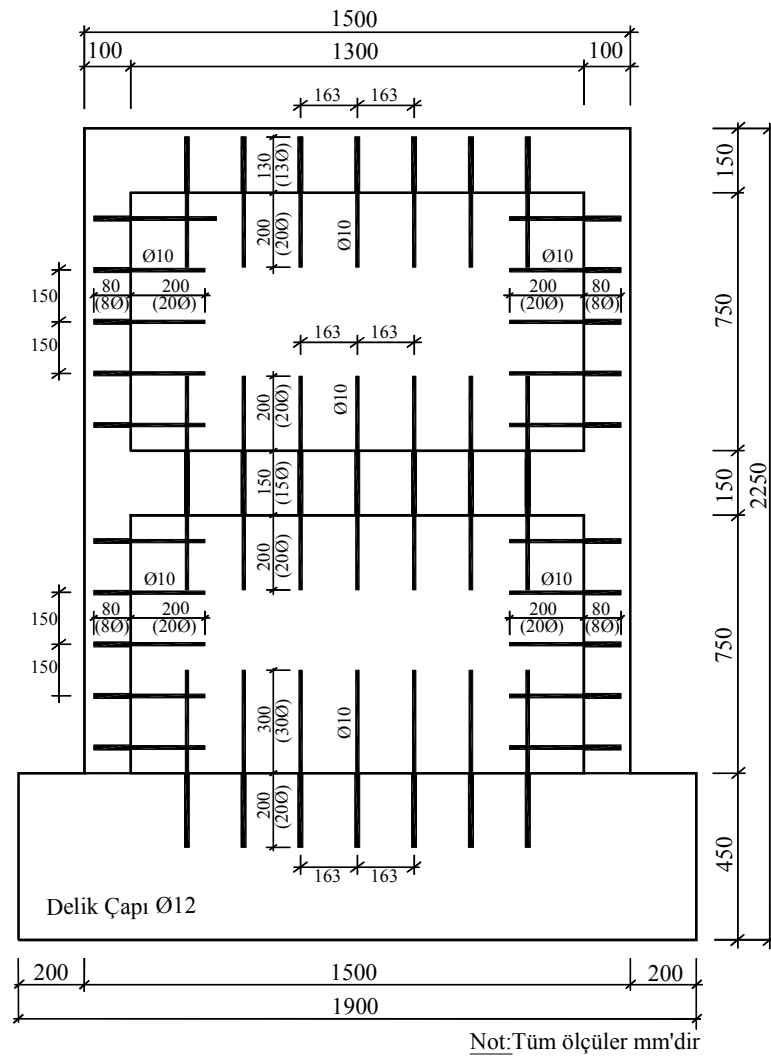
Şekil 2.2. Deney Elemanı-1'in donatı detayı



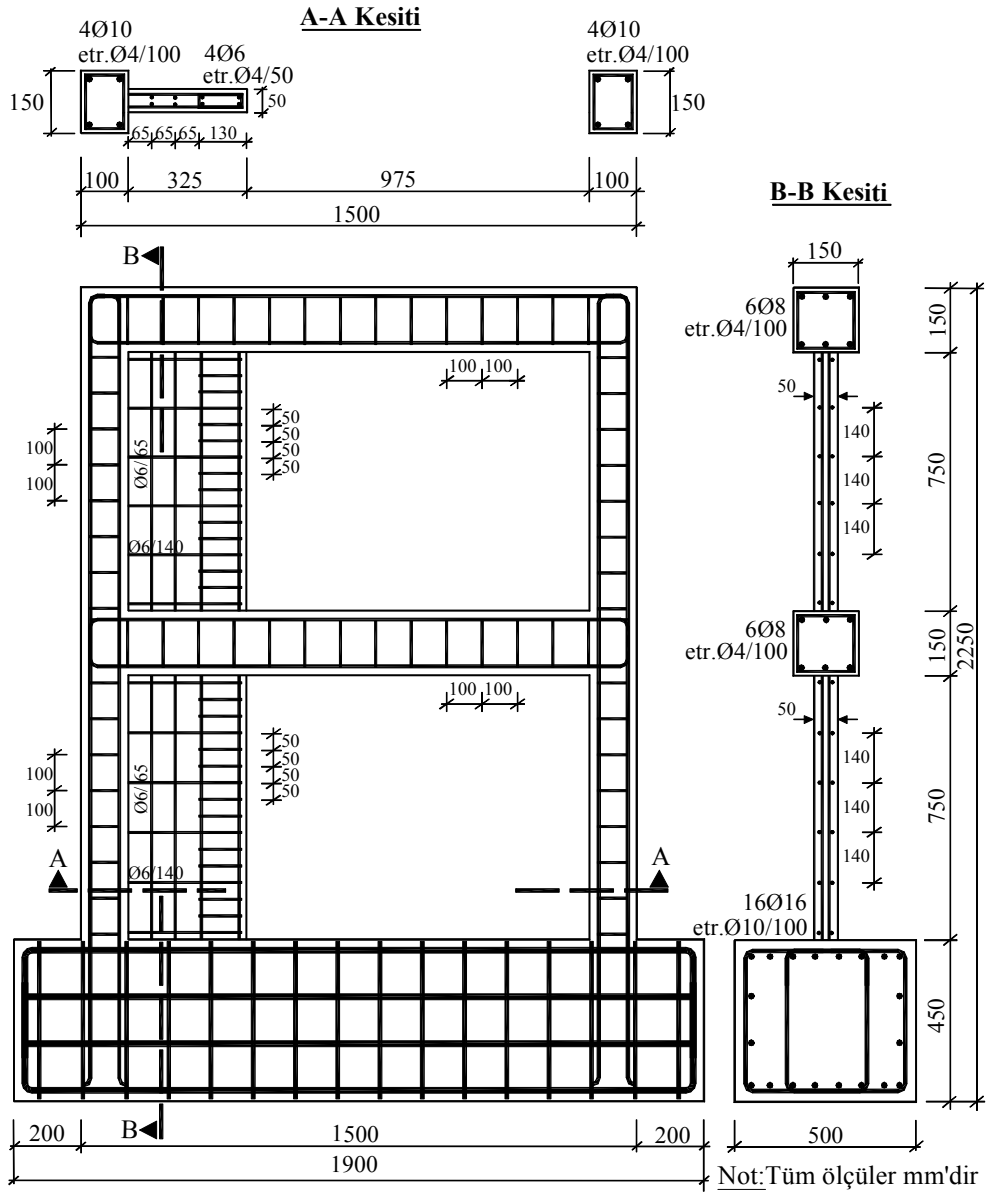
Şekil 2.3. Deney Elemanı-2'nin donatı detayı



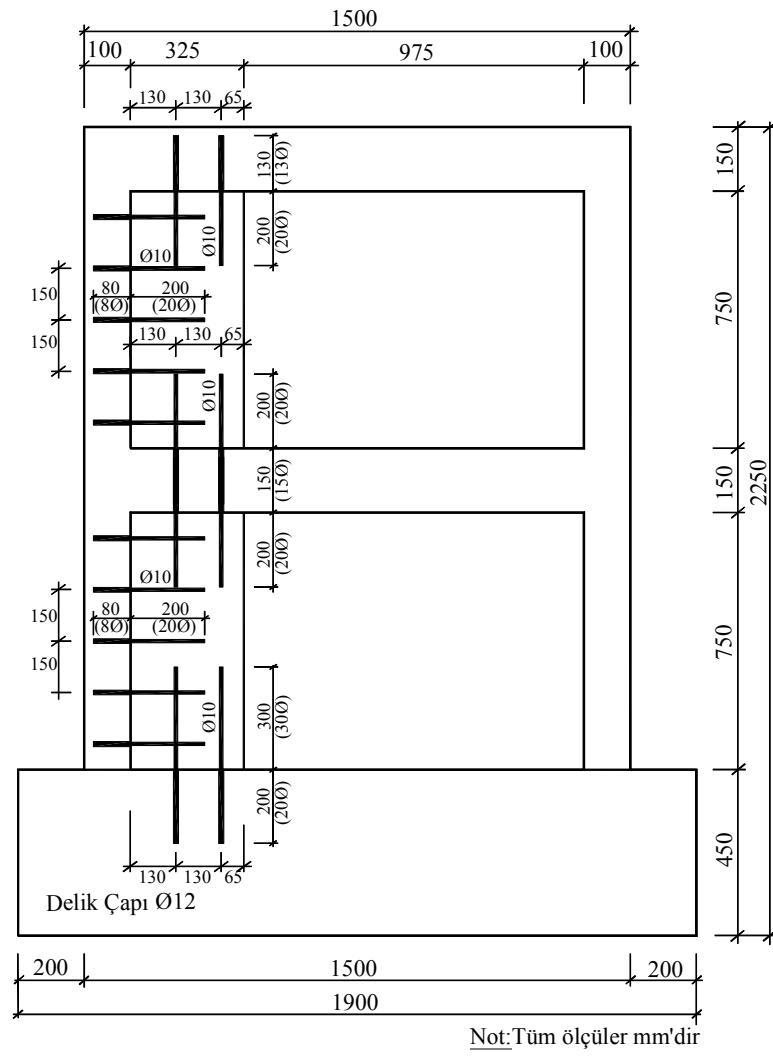
Şekil 2.4. Deney Elemanı-3'ün donatı detayı



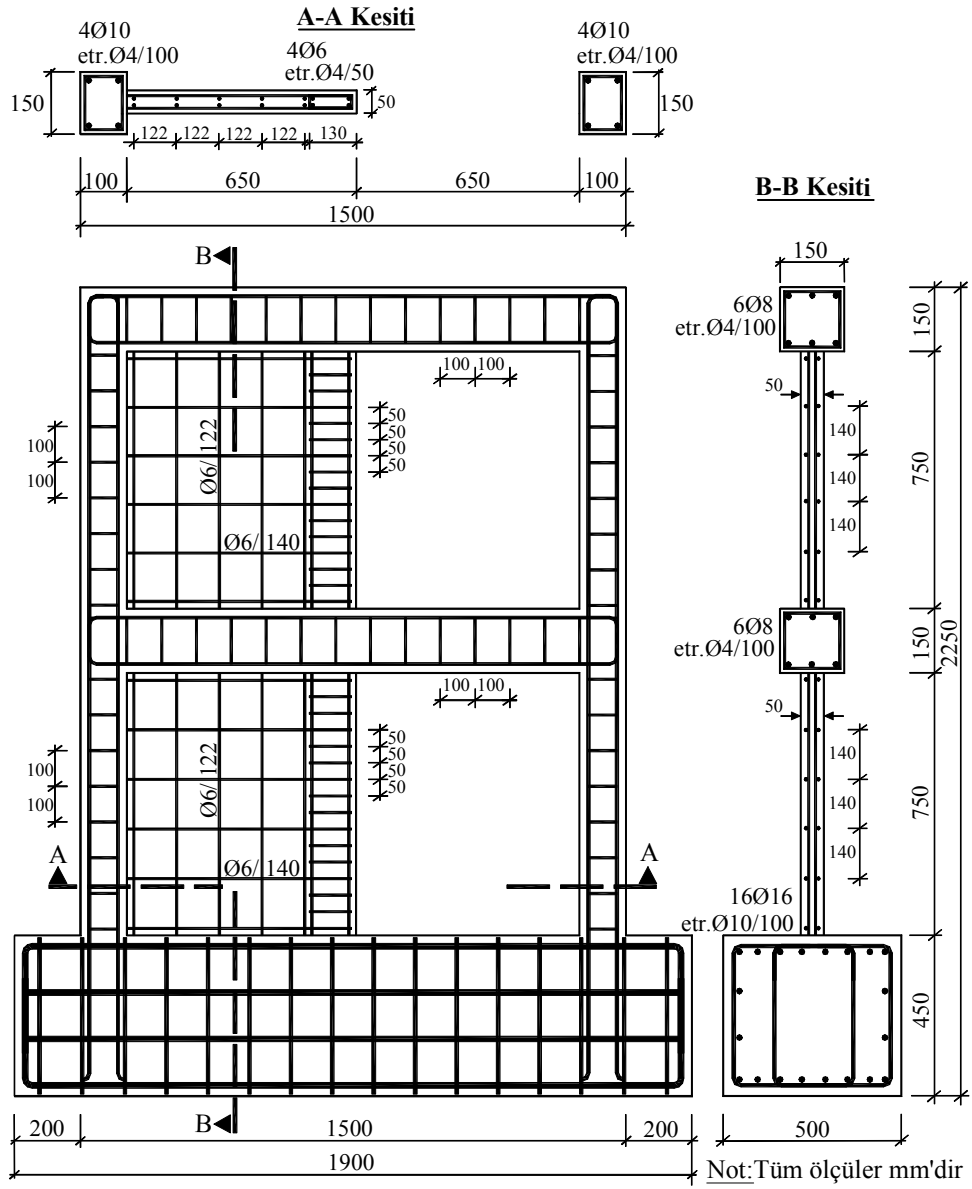
Şekil 2.5. Deney Elemanı-3'ün filiz donatısı detayı



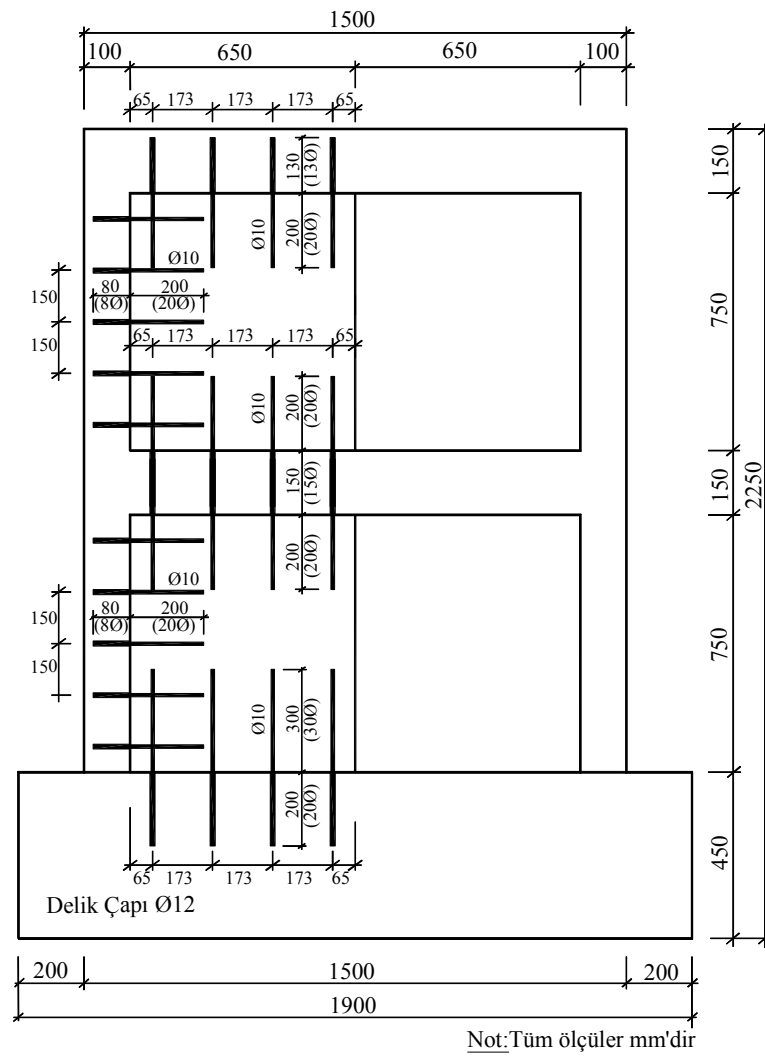
Şekil 2.6. Deney Elemanı-4'ün donatı detayı



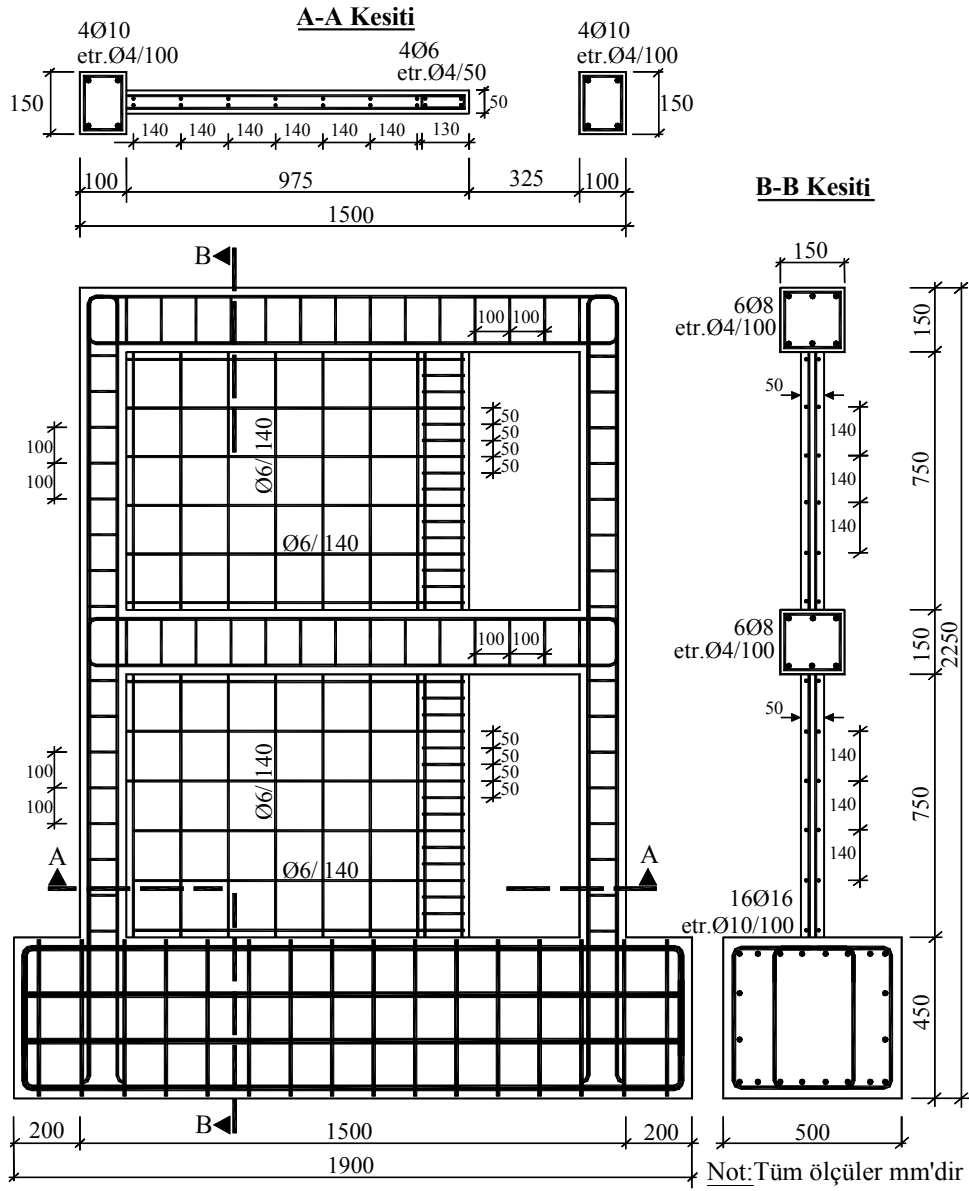
Şekil 2.7. Deney Elemanı-4'ün filiz donatısı detayı



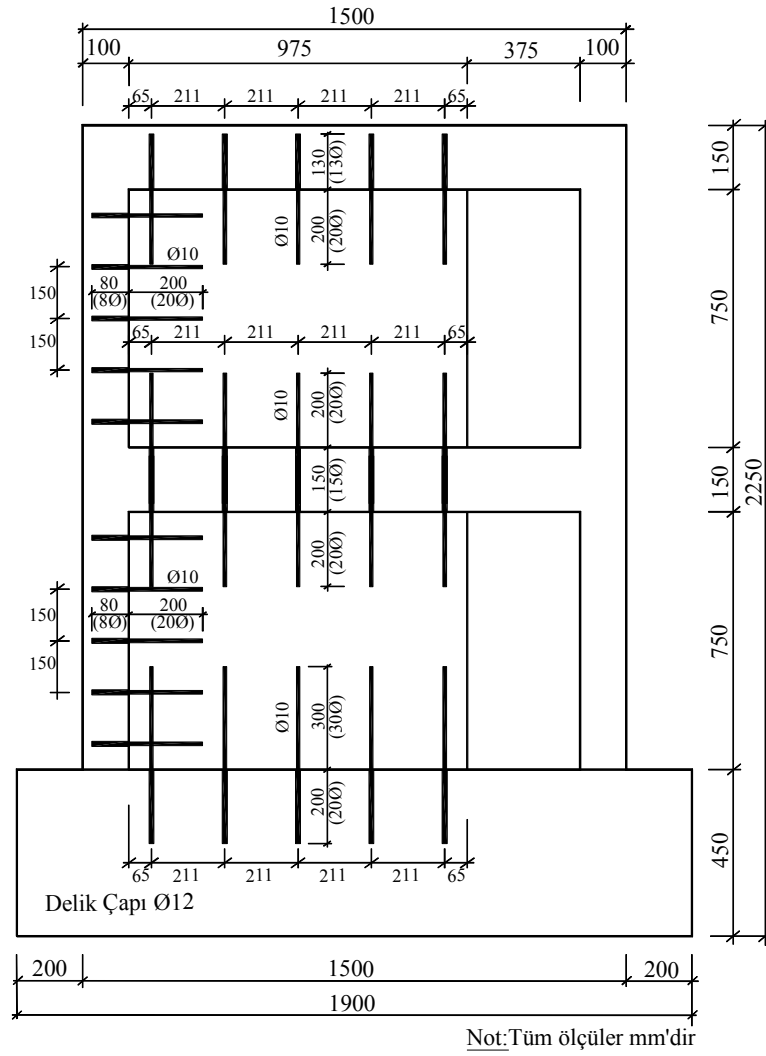
Şekil 2.8. Deney Elemanı-5'in donatı detayı



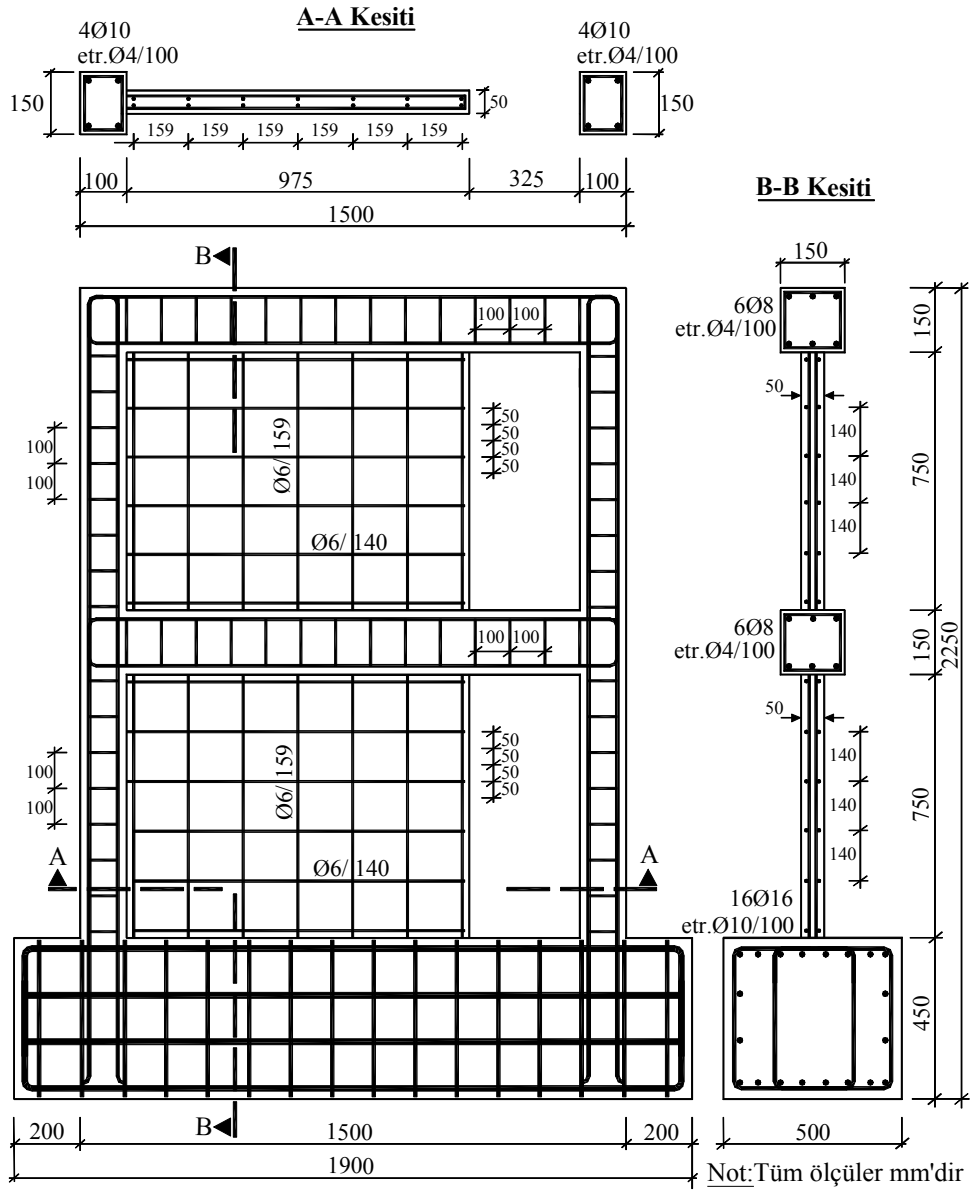
Şekil 2.9. Deney Elemanı-5'in filiz donatısı detayı



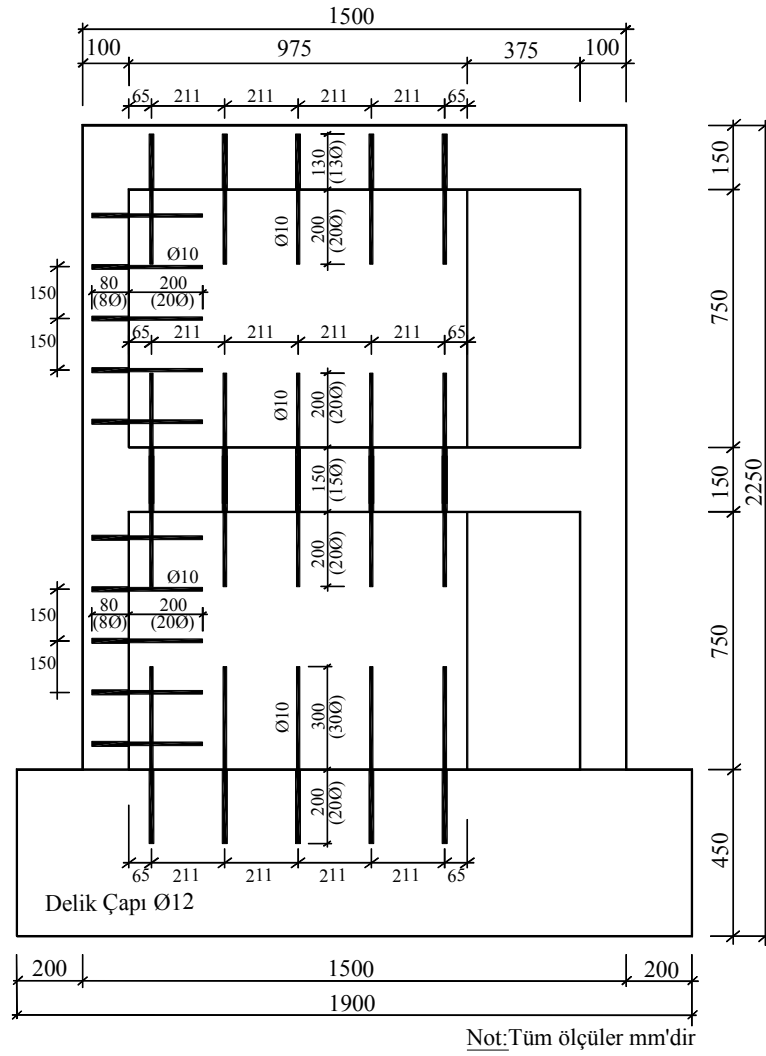
Şekil 2.10. Deney Elemanı-6'nın donatı detayı



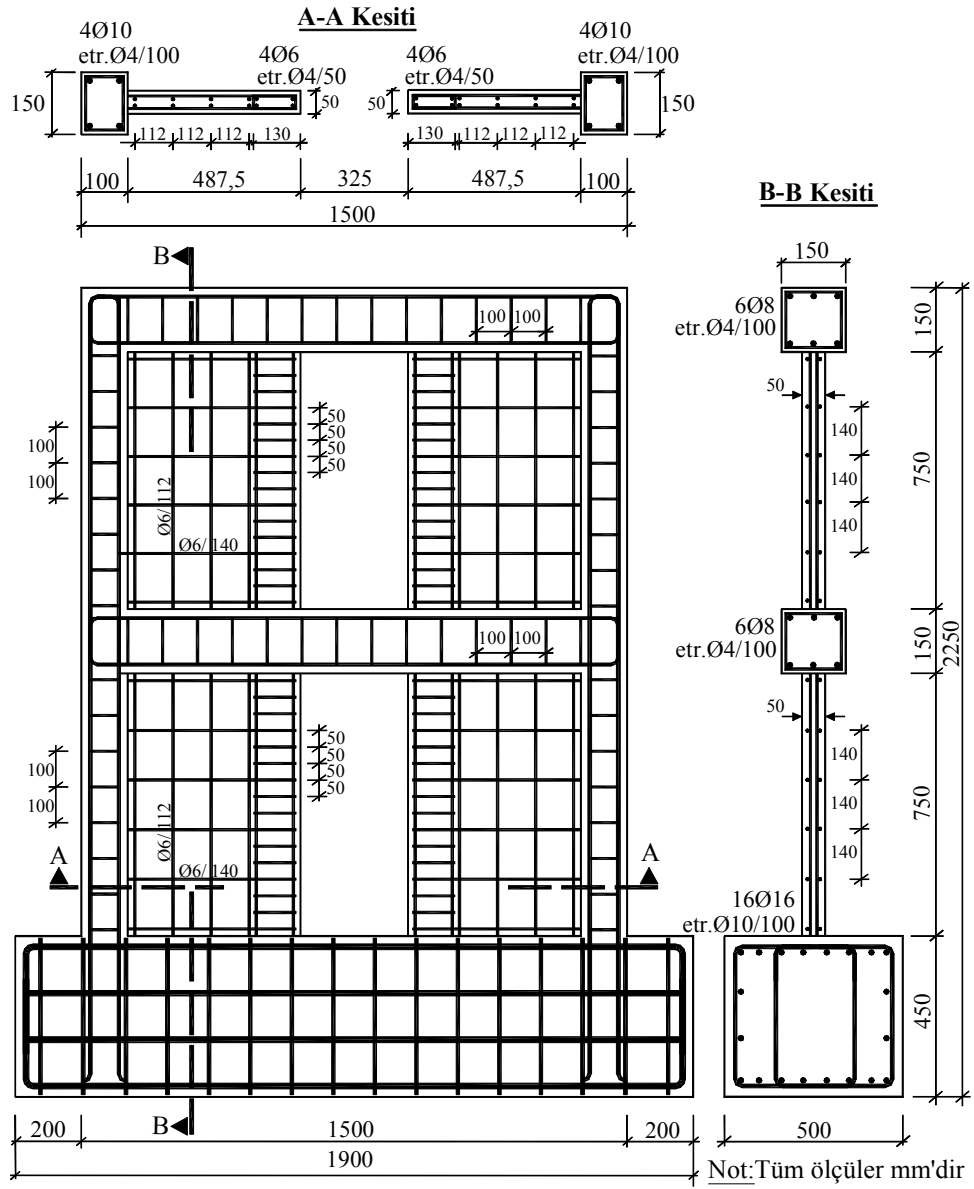
Şekil 2.11. Denei Elemanı-6'nın filiz donatısı detayı



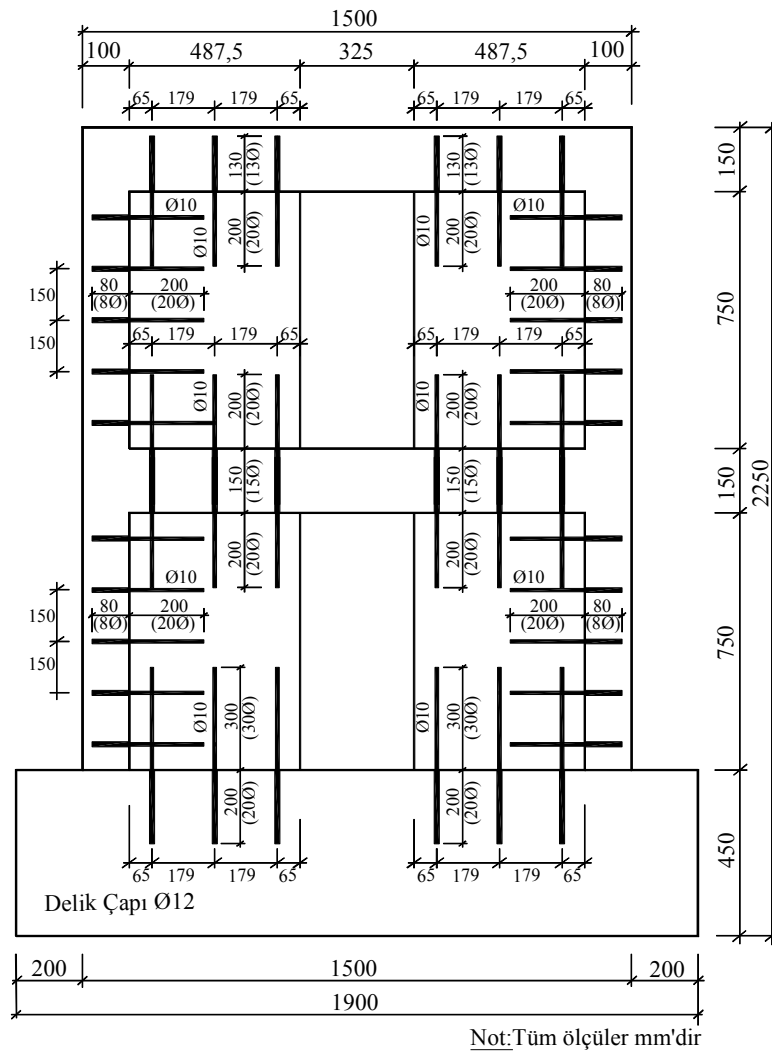
Şekil 2.12. Deney Elemanı-7'nin donatı detayı



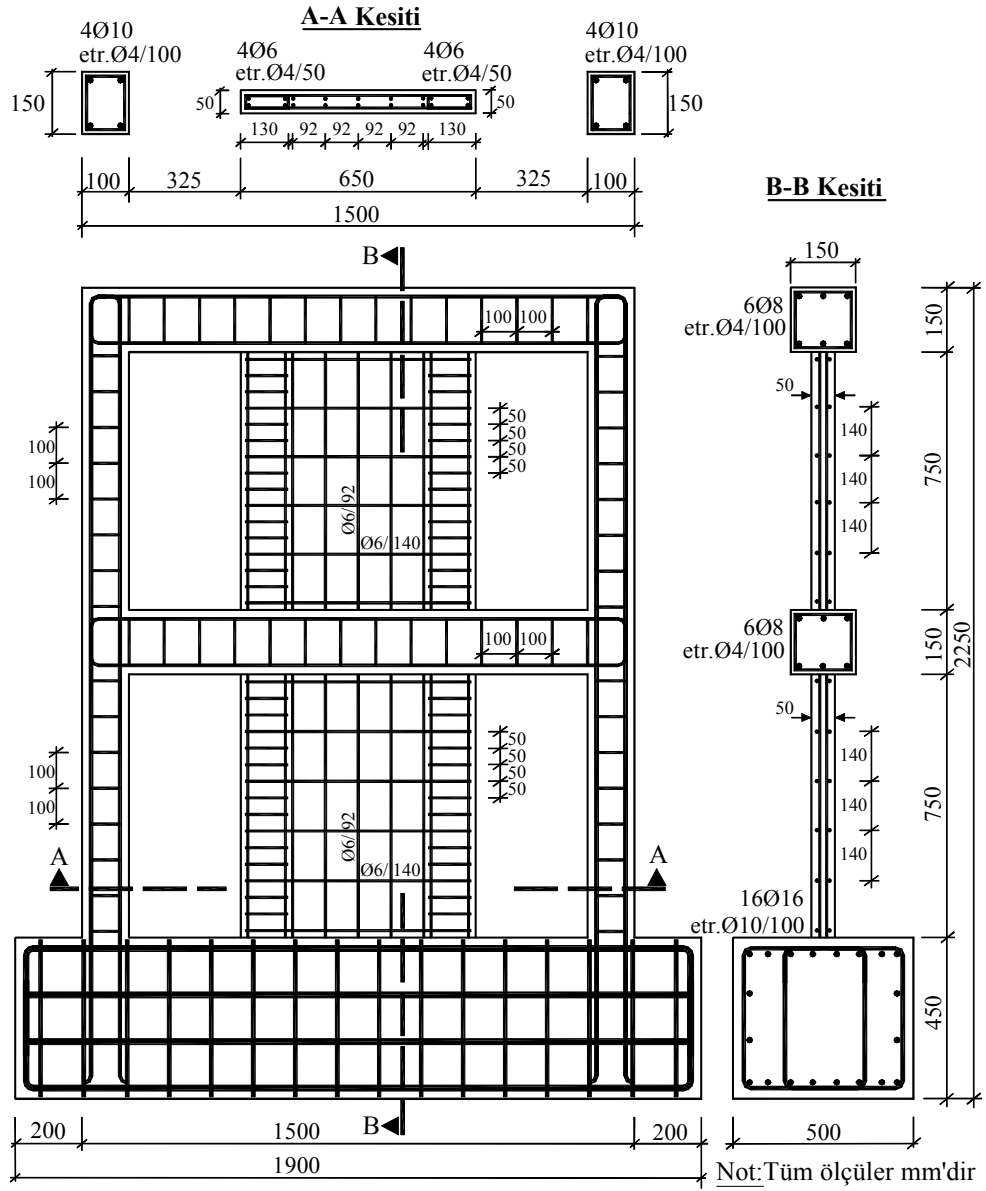
Şekil 2.13. Deneş Elemanı-7'nin filiz donatısı detayı



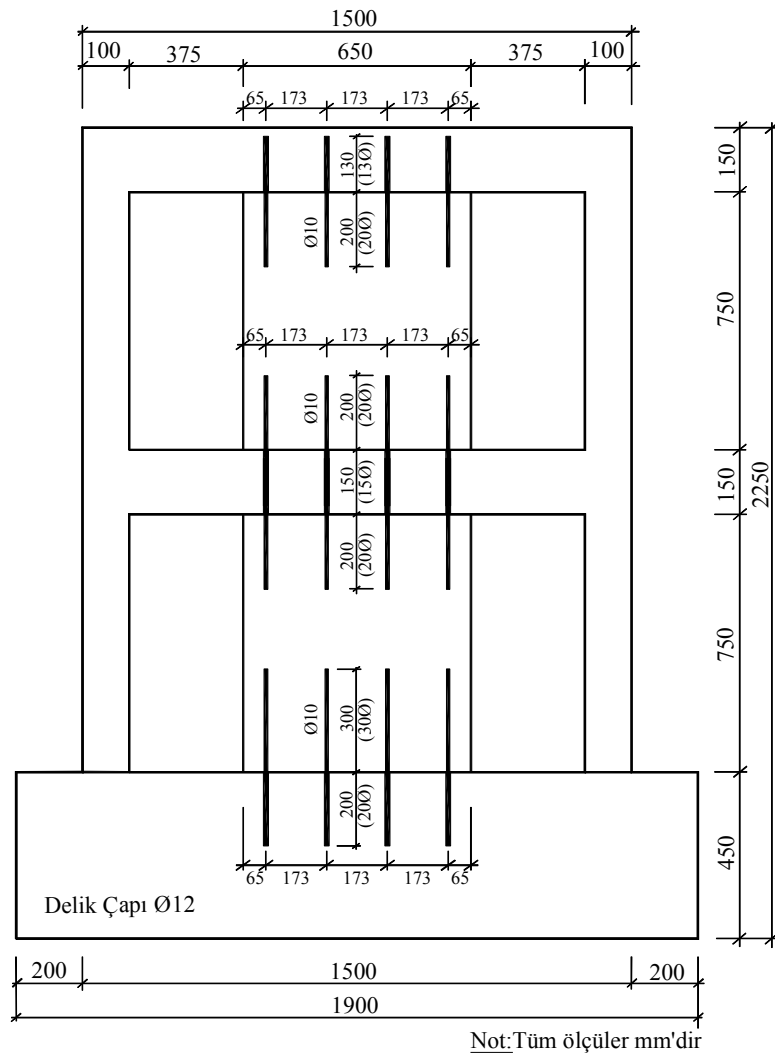
Şekil 2.14. Deney Elemanı-8'in donatı detayı



Şekil 2.15. Deney Elemanı-8'in filiz donatısı detayı



Şekil 2.16. Deney Elemanı-9'un donatı detayı



Şekil 2.17. Deneş Elemanı-9'un filiz donatısı detayı

2.3. Malzemeler

Donatı

Test sonuçlarının sağlıklı değerlendirilebilmesi için kullanılan aynı tür donatıların, bütün deney elemanlarında aynı dayanım ve özellikte olması gereklidir. Bu nedenle deney elemanlarında kullanılan donatılar bir seferde ve aynı üretimden alınmıştır. Mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla her çaptaki donatıdan üçer adet numune alınarak çekme deneyleri yapılmıştır. Çekme deneyleri Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde bulunan DARTEC marka bilgisayar kontrollü çekme deneyi düzeneğinde yapılmıştır. Deneyler sonucunda her gruptaki donatıların mekanik özellikleri arasında sapmaların çok az olduğu görülmüştür. Çizelge 2.4’de deney elemanlarında kullanılan donatıların ortalama akma ve kopma dayanımları verilmiştir.

Çizelge 2.4. Donatı dayanımları

Donatı Çapı ϕ (mm)	Donatı Sınıfı	Akma Dayanımı f_{sy} (MPa)	Kopma Dayanımı f_{su} (MPa)
4	S220 (Düz)	272	408
6	S220 (Düz)	395	649
8	S420 (Nervürlü)	453	690
10	S420 (Nervürlü)	506	759
16	S420 (Nervürlü)	425	683

Beton

Deney elemanlarının betonları Gazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Mekaniği Laboratuvarı’nda hazırlanarak dökülmüştür. Beton karışımlarında agrega olarak 0-7 mm ve 7-15 mm dane çaplarında iki grup dere malzemesi kullanılmıştır. Beton üretiminde KPÇ 32,5 portland çimentosu kullanılmıştır. Çerçeve deney elemanının ve betonarme dolgu duvarıyla güçlendirilen çerçevelerin betonları 12

MPa beton basınç dayanımı elde edilmek üzere üretilmiştir. Bir döküm dolgu duvarlı deney elemanının ve güçlendirilen çerçevelerin dolgu duvarlarının betonları 25 MPa beton basınç dayanımı elde edilecek şekilde üretilmiştir. Bu nedenle deney elemanlarının betonlarında iki farklı karışım kullanılmıştır.

12 MPa ve 25 MPa beton basınç dayanımı elde etmek amacıyla kullanılan karışım oranları 1 m³ beton için Çizelge 2.5 ve Çizelge 2.6'da verilmiştir. Betonda kullanılan agrega için elek analizi yapılmıştır. 12 MPa beton basınç dayanımı elde etmek için, kullanılan agregaların karışım oranları 0-7 mm dane çapındaki malzeme için % 50, 7-15 mm dane çapındaki malzeme için % 50 olarak hesaplanmıştır. 1 m³ beton üretiminde 270 kg çimento kullanılmıştır. Su/çimento oranı 0,75'dir. 25 MPa beton basınç dayanımı elde etmek için, kullanılan agregaların karışım oranları 0-7 mm dane çapındaki malzeme için % 37, 7-15 mm dane çapındaki malzeme için % 63 olarak hesaplanmıştır. 1 m³ beton üretiminde 350 kg çimento kullanılmıştır. Su/çimento oranı 0,50'dir.

Çizelge 2.5. Çerçeve betonu karışım oranı (1 m³ beton için)

Malzeme	Ağırlık (kg)	Ağırlıkça Oran (%)
Çimento	270	12,0
Çakıl(7-15 mm)	885	39,5
Kum (0-7 mm)	885	39,5
Su	202	9,0
Toplam	2242	100

Çizelge 2.6. Dolgu duvarı betonu karışım oranı (1 m³ beton için)

Malzeme	Ağırlık (kg)	Ağırlıkça Oran (%)
Çimento	350	15,3
Çakıl(7-15 mm)	1107	48,5
Kum (0-7 mm)	650	28,5
Su	175	7,7
Toplam	2282	100

Deney elemanlarının betonunun dökümü sırasında 150 mm çapında, 300 mm yüksekliğinde standart silindir numuneler alınmıştır. Her deney elemanının çerçeve betonundan dokuz, dolgu duvarı betonundan beş adet silindir numune alınmıştır. Alınan numunelere deney elemanı ile aynı şartlarda 28 gün kür uygulanmıştır. Silindir numunelerin pürüzlü yüzeylerine kükürt başlığı yapıldıktan sonra İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Mekaniği Laboratuvarında test edilmiştir. Deney elemanlarının ortalama beton basınç dayanımları Çizelge 2.7’de verilmiştir.

Çizelge 2.7. Deney elemanlarının beton basınç dayanımları

Deney Elemanı No	Beton Basınç Dayanımı, f_c (MPa)	
	Çerçeve	Dolgu Duvarı
1	12,2	-----
2	27,4	27,4
3	13,4	26,0
4	12,0	25,7
5	14,0	26,2
6	12,4	27,0
7	14,0	25,0
8	13,6	27,7
9	14,5	26,8

Epoksi

Güçlendirilen betonarme çerçevelerde dolgu duvarı ile çerçeve arasındaki bağlantı Bölüm 2.2’de detayları verilen, çerçeveye sabitlenen filiz donatılarıyla sağlanmıştır. Filiz donatılarının çerçeve elemanlarına sabitlenmesi için Sikadur 42 epoksi harcı kullanılmıştır. Üç bileşenden oluşan Sikadur 42 yüksek mukavemetli rötresiz bir yapıştırıcıdır. Karışımında; agrega olan kuvars kumu, yapıştırıcı madde olan epoksi reçinesi ve piriz süresini düzenleyen sertleştirici bulunmaktadır. Epoksi harcının hazırlanmasında bileşenler üretici firmanın önerdiği oranlarda kullanılmıştır. 2 birim epoksi ve 12 birim kuvars kumu dakikada 100 devirli bir karıştırıcıyla bir dakika süreyle karıştırılmış, daha sonra 1 birim sertleştirici ilave edilmiştir. Elde edilen karışım dakikada 100 devirli karıştırıcıyla üç dakika daha karıştırılarak kullanıma

hazır hale getirilmiştir. Filiz donatılarının sabitlenmesi işleminin sonunda epoksinin priz alması için deney elemanı bir hafta süreyle bekletilmiştir.

2.4. Deney Elemanlarının Üretilmesi

Deney elemanlarında beton yatay olarak dökülmüştür. Deney elemanlarının çerçeve betonunun dökümünde laboratuvar ortamında görünüşü Resim 2.1’de verilmiş olan çelik kalıp kullanılmıştır. Dolgu duvarı betonunun dökümü için çerçeve gözüne ahşap kalıp yapılmıştır. Çelik kalıp 3 mm kalınlığında çelik levhalar ve kutu profiller kullanılarak laboratuvarda üretilmiştir. Çerçeve ve temel kirişi kalıpları ayrı ayrı hazırlandıktan sonra birleştirilmiştir. Önce kolon ve kiriş boyutlarında kesilen levhalar kaynakla birleştirilmiş ve çerçeve boyutlarında kalıp tabanı üretilmiştir. Kalıbın çerçeve tabanı dışında bütün parçaları sökülebilen çelik levhalardan üretilmiştir. Bu çelik levhaların bulonlarla birleştirilmesi ile kalıp formu tamamlanmıştır. Çelik kalıbın bütün yüzeyleri kalıp dışından yatay ve düşey kuşaklar şeklinde 30x30x3 mm boyutlarında çelik profillerin kaynakla birleştirilerek güçlendirilmiştir.



Resim 2.1. Kalıbın laboratuvar ortamında görünüşü

Deney elemanlarının donatıları yapı mekaniği laboratuvarında hazırlanmıştır. Önce çerçeve elemanlarının boyuna donatıları ve etriyeleri araştırmada öngörülen boyutlarda hazırlanmıştır. Hazırlanan donatılar baē telleri ile birbirine baēlanarak çerçevenin donatı kafesi oluşturulmuştur. Çerçeve donatısı, temel kirişinin donatı kafesine baē telleri ile baēlanarak birleştirilmiştir. Donatı kalıba yerleştirilmeden önce kalıp yaēlanmış, donatı kafesi kalıp içine vinç yardımı ile yerleştirilmiştir. Bu işlem sırasında donatının yaēlanmış yüzeyle temas etmemesine dikkat edilmiştir. Resim 2.2’de beton dökümüne hazırlanmış çerçeve donatısı görölmektedir. Bir döküm dolgu duvarlı olan Deney Elemanı-2’de çerçeve ve dolgu duvarı betonu birlikte döküleceēi için dolgu duvarı donatıları çerçevenin içine sürekli formda yerleştirilip baēlanmıştır. Birdöküm dolgu duvarlı Deney Elemanı-2’de donatının hazırlanışı Resim 2.3’de verilen fotoērafta görölmektedir. Güçlendirilen deney elemanlarının dolgu duvarı çerçeve gözüne sonradan ilave edileceēi için önce çerçeveleri üretilmiştir.



Resim 2.2. Kalıp içine yerleştirilmiş çerçeve donatısı



Resim 2.3. Bir döküm dolgu duvarlı deney elemanında donatı hazırlanışı

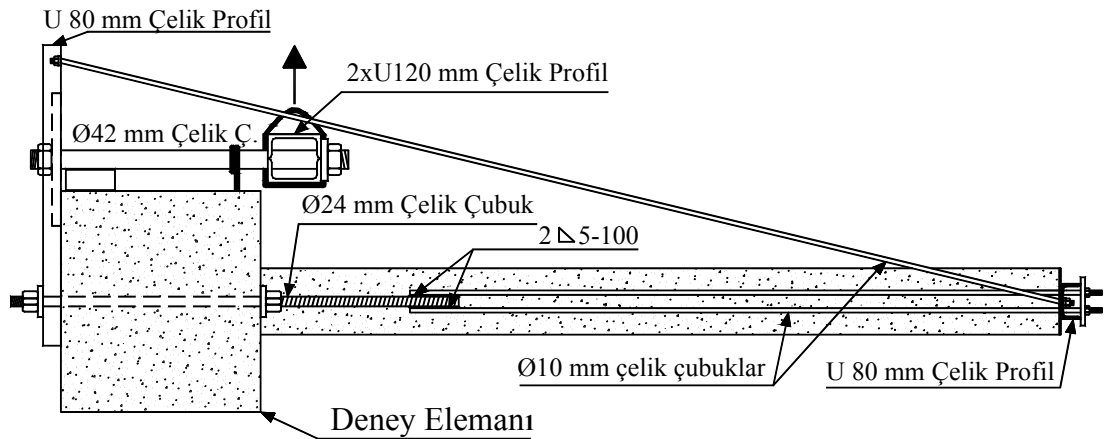
Beton dökümünde 250 dm^3 kapasiteli betonyer kullanılmıştır. Beton dökümünde kullanılacak agregalar önce kurutulmuştur. Deney elemanının betonu toplam 7 karışım yapılarak üretilmiştir. Hazırlanan beton kalıba vibratör kullanılarak yerleştirilmiştir. Resim 2.4’de bir döküm dolgu duvarlı deney elemanının beton dökümü sırasındaki fotoğrafı verilmiştir.



Resim 2.4. Deney Elemanı-2'nin beton dökümü

Beton dökümü tamamlanan deney elemanı ve silindir numuneleri laboratuvar ortamında korunmuş, beton dökümünden bir gün sonra kalıbın yan yüzeyleri açılmıştır. Deney elemanı ve silindir numuneler ıslak çuvallara sarılmış, üzerleri naylonla örtülerek 28 gün küre bırakılmıştır. Kürü tamamlanmış deney elemanı yapılacak güçlendirme işlemi için çelik kalıp üzerinden alınarak laboratuvarında uygun bir yere taşınmıştır. Deney elemanının çelik kalıptan kaldırılması için detayları Şekil 2.18’de verilen özel bir düzenek kullanılmıştır. Bu düzenek, eleman ağırlığının çerçeve düzlemine dik doğrultuda oluşturacağı etkilerin azaltılması ve çerçevede oluşabilecek çatlakların önlenmesi amacıyla geliştirilmiştir.

Deney elemanının temel kirişinde bulunan $\phi 45$ mm çapındaki deliklerden $\phi 24$ mm çapında üzerine dış açılmış yüksek dayanımlı çelik çubuklar geçirilmiş ve bulonlarla sabitlenmiştir. Deney elemanının iki tarafında ikişer tane $\phi 10$ mm çapındaki düz donatı temel kirişine sabitlenen $\phi 24$ mm çapında çelik çubuklara kaynakla birleştirilmiştir. Düz donatıların ikinci kat kirişine uzanan uçlarına dış adımı 0,75 mm olan vida dişi açılmıştır. İkinci kat kirişinin üzerindeki U80 mm boyutlarındaki çelik profile $\phi 10$ mm çapında düz donatılar somunlarla sıkılarak sabitlenmiştir. Böylece çerçeve temel kirişi ile ikinci katta bulunan çelik profil arasında düzlemi doğrultusunda sıkıştırılmıştır.



Şekil 2.18. Deney elemanı kalıptan kaldırma düzeneği

Temel kirişinde bulunan $\phi 24$ mm çapındaki çelik çubuklara 600 mm boyunda iki adet U80 mm çelik profil sabitlenmiştir. Çelik profillerden ikinci kat kirişindeki U80 mm çelik profile iki ucuna dış açılmış $\phi 10$ mm çapında düz donatı bulonlarla sabitlenmiştir. Deney elemanı temel kirişinde beton dökümü sırasında bırakılan kancalardan tutularak kalıptan kaldırılmıştır. Kaldırma işleminin tek bir noktadan yapılabilmesi için iki adet U120 mm boyutlarındaki çelik profilden üretilmiş kutu profil kullanılmıştır. Kutu profilden temel kirişindeki kancalardan geçirilmiş $\phi 42$ mm çapındaki çelik çubuklar geçirilmiştir. Deney elemanı kutu profilin ortasından kaldırılmıştır. Deney elemanının kalıptan kaldırılış fotoğrafı Resim 2.5'de verilmiştir. Çelik kalıbın üzerinden kaldırılan deney elemanı laboratuvarında uygun bir yere taşınmış, dik konuma getirilene kadar çerçeve kolonlarına paralel olan $\phi 10$ mm çapındaki düz donatılar gevşetilmemiştir.



Resim 2.5. Deney elemanının kalıptan kaldırılışı

Güçlendirilecek deney elemanlarında dolgu duvarları çerçeveye filiz donatılarıyla bağlanmıştır. $\phi 10$ mm çapında filiz donatıları için, çerçevede 12 mm çapında delikler matkap kullanılarak açılmıştır. Önce delikler basınçlı hava ile iyice temizlenmiş, hazırlanan epoksi harcı deliklere özel bir enjektör yardımıyla dikkatle doldurulmuştur. Filiz donatıları da epoksiye bulanarak deliklere çakılmıştır (Resim 2.6). Filiz donatılarının sabitlenmesi tamamlanan deney elemanı epoksinin prizini alması için bir hafta süreyle bekletilmiştir.

Çerçevede dolgu duvarı ile temas edecek yüzeyler pürüzlendirilmiş ve basınçlı hava ile temizlenmiştir. Epoksinin prizini almasından sonra dolgu duvarının donatısı hazırlanmıştır. Donatı hazırlanırken pas payına özen gösterilmiş, iki yüzdeki ortogonal donatılar çirozlarla bağlanmıştır. Dolgu duvarı betonunun dökümü için çerçeve gözlerinin içine ahşap kalıp yerleştirilmiştir. Güçlendirilen deney elemanlarının hazırlanan dolgu duvarı donatılarının beton dökümü öncesinde fotoğrafları Resim 2.7’de verilmiştir. Çerçevenin dolgu duvarı ile temas eden yüzeyleri nemlendirildikten sonra dolgu duvarı betonu dökülmüş, beton vibratörle kalıba yerleştirilmiştir. Her deney elemanında dolgu duvarı betonundan 5 adet silindir numune alınmış ve deney elemanı ile aynı kür şartlarında tutulmuştur. Dolgu duvarı betonu ve silindir numuneler ıslak çuvallara sarılmış üzerleri naylonla örtülerek 28 gün kür uygulanmıştır.



Resim 2.6. Filiz donatıları



a) Deney Elemanı-3



b) Deney Elemanı-4

Resim 2.7. Dolgu duvarı donatıları



c) Deney Elemanı-5



d) Deney Elemanı-6

Resim 2.7. Dolgu duvarı donatıları (devamı)



e) Deney Elemanı-7



f) Deney Elemanı-8

Resim 2.7. Dolgu duvarı donatıları (devamı)



g) Deney Elemanı-9

Resim 2.7. Dolgu duvarı donatıları (devamı)

Dolgu duvarı betonunun kuru tamamlandıktan sonra yatay pozisyonda bulunan deney elemanı kaldırılarak test platformuna taşınmıştır. Deney elemanı Bölüm 2.5’de detayları verilen çelik kafesin yan parçalarının elemana sabitlenmesinden sonra dik pozisyona getirilmiştir. Çelik kafesin yan parçaları deney elemanın temelinde $\phi 24$ mm çapında iki ucuna dış açılmış çelik çubuklarla bağlanmıştır. Deney elemanı vinçle çelik kafesten tutularak dik pozisyona getirilmiştir (Resim 2.8).



Resim 2.8. Deney elemanının test için hazırlanışı

2.5. Deney Düzeni

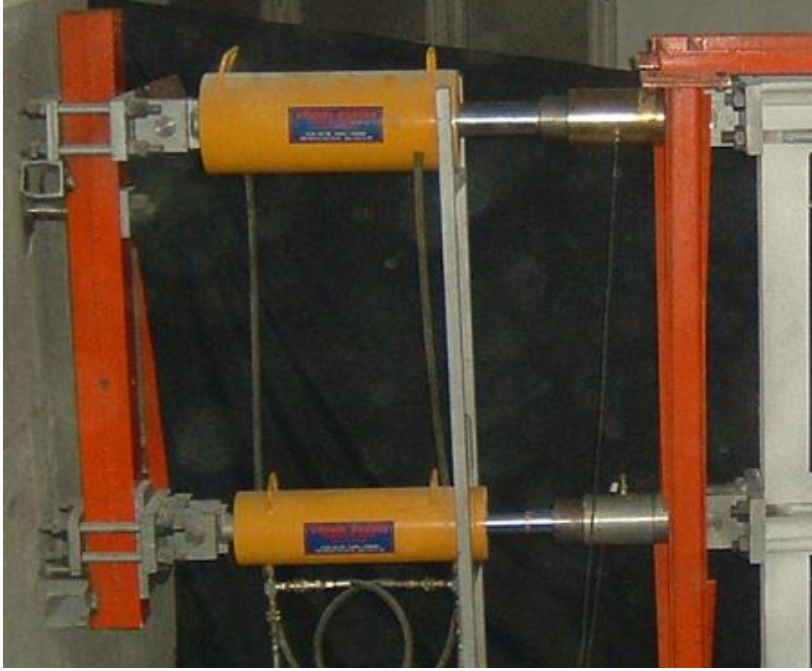
2.5.1. Yükleme düzeni

Deneyler Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarında bulunan deney platformunda gerçekleştirilmiştir. Platform 400 mm kalınlığında rijit döşeme ve yükleme duvarından oluşmaktadır. Platform üzerinde 800 mm aralıklı $\phi 45$ mm çapında delikler bulunmaktadır. Deney elemanı bu deliklerden geçen iki ucuna dış açılmış $\phi 42$ mm çapında yüksek dayanımlı çelik çubuklarla temel kirişinden deney platformuna bağlanmıştır. Yükleme birbirine seri olarak bağlanmış, bir hidrolik pompa tarafından kontrol edilen iki adet hidrolik krika kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylere maksimum yük seviyesine kadar yük kontrollü, maksimum yükten sonra deplasman kontrollü olarak devam edilmiştir. Yükleme el kumandalı hidrolik pompa aracılığı ile düzenli ve oluşacak çatlak gelişimini gözleyebilecek bir hızda gerçekleştirilmiştir. Kullanılan deney düzeneğinin laboratuvar ortamından görünüşü Resim 2.9’da verilmiştir.



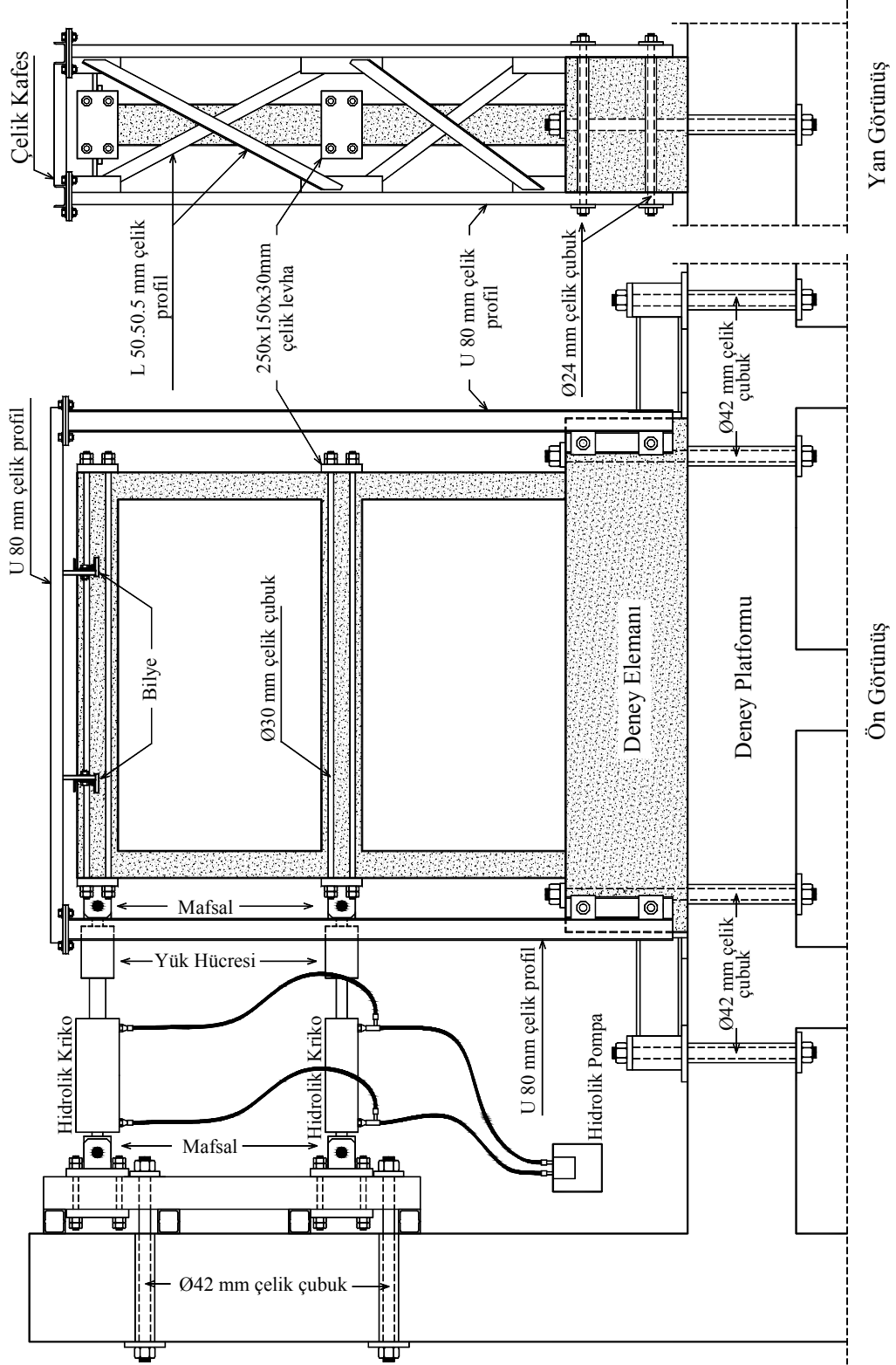
Resim 2.9. Deney düzeneğinin laboratuvarından genel görünüşü

Deney elemanları deprem yüklerini benzeştiren tersinen tekrarlanan yükler altında test edilmiştir. Yatay yükler, her yük düzeyinde taban kesme kuvvetinin $1/3$ 'ü birinci katta, $2/3$ 'ü ikinci katta kat kirişleri seviyesinden deney elemanına uygulanmıştır. Bir hidrolik pompadan kontrol edilen, birbirlerine seri olarak bağlanmış iki adet hidrolik kriko bu çalışma için özel olarak ürettirilmiştir. 2 adet U120 mm profilden oluşturulan bir kutu profil $\phi 42$ mm çapında çelik çubuklarla deney platformunun rijit duvarına bağlanmıştır. Uçlarına yük hücresi bağlanan hidrolik krikolar kat kirişleri seviyesinde kutu profile çelik mafsallarla bağlanmıştır. İkinci katta 400 kN basınç-200 kN çekme, birinci katta 300 kN basınç-150 kN çekme kapasiteli yük hücresi kullanılmıştır. Yük hücreleri kat kirişlerine sabitlenen mafsallara bağlanarak Resim 2.10'da görünüşü verilen yükleme düzeneği oluşturulmuştur. Yük hücrelerinin bağlandığı mafsallar kirişleri boydan boya geçen $\phi 30$ mm çapında iki ucuna dış açılmış 4 adet çelik çubuk yardımıyla elemanı tutmuştur. Deneylerde kullanılan deney ve yükleme düzeninin detayları Şekil 2.19'da verilmiştir.



Resim 2.10. Yükleme düzeni

Test sırasında deney elemanının düzlem dışı deformasyonlarının engellemesi amacıyla üç parçadan oluşan bir çelik kafes üretilmiştir. Deney elemanları bu çelik kafesin içerisine yerleştirilerek test edilmiştir. Kafesin yan parçaları iki adet U80 mm profilin arasına diyagonal doğrultuda 4 adet 50x50x5 mm boyutlarında L profilin kaynakla birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Üst parçası ise iki adet U80 mm profilin arasına dört noktadan 500 mm boyunda 4 adet U80 mm profilin kaynakla birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Üst parça yan parçalara dört köşesinden bulonlarla birleştirilerek çelik kafes meydana getirilmiştir. Yan parçalarla üst parçanın birleşim yerlerine 180x180 mm boyutlarında 10 mm kalınlığında alın levhaları kaynaklanmıştır. Her birleşimde 4 adet $\phi 12$ mm çapında bulon kullanılmıştır. Çelik kafes, deney elemanına temel kirişinden 4 adet $\phi 24$ mm çapında iki ucuna dış açılmış yüksek dayanımlı çelik çubukların bulonlarla sıkılmasıyla bağlanmıştır. Kafesin üst parçasına dört adet bilye yerleştirilmiştir. Bilyeler deney elemanını ikinci kat kirişinden sadece yükleme düzleminde hareket edebilecek şekilde tutmuştur. Test başlamadan önce bilyeler deney elemanın ikinci kat kirişine temas edecek şekilde sabitlenmiştir. Bütün deney elemanlarının testlerinde ikinci kat kirişinin arka yüzünden alınan ölçümlerden düzlem dışı deplasman gelişmediği belirlenmiştir.

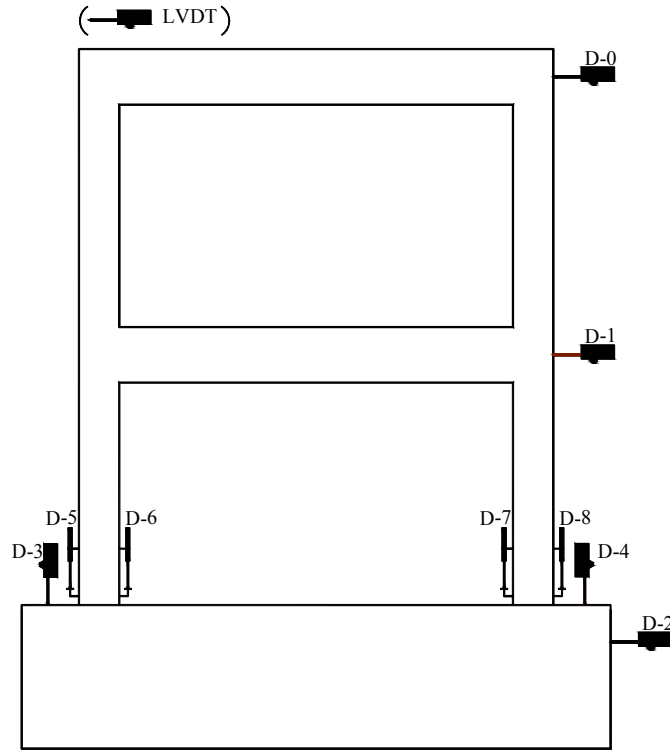


Şekil 2.19. Deneş ve yükleme düzeni

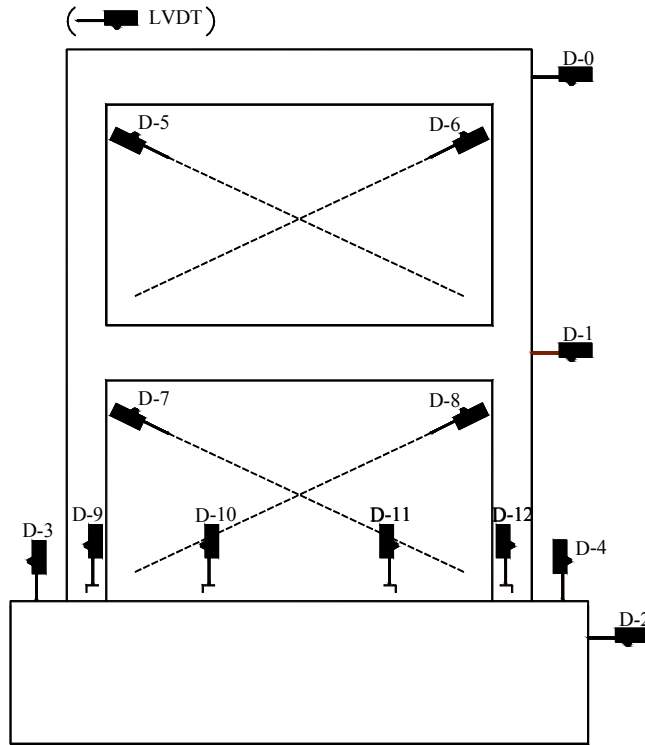
2.5.2. Ölçüm aletleri ve ölçüm düzeni

Deneyleerde deplasmanlar elektronik deplasman ölçüm aletleri (LVDT, Lineer variable differential transformer) kullanılarak ölçülmüştür. Alınan ölçümler data toplayıcı aracılığı ile bilgisayara aktarılıp, bilgisayarda kullanılan yazılımla kaydedilmiştir. Deney elemanlarının kat yatay deplasmanları birinci ve ikinci kat girişlerine yerleştirilen 2 adet LVDT kullanılarak ölçülmüştür. Deney elemanlarının dolgu duvarlarından diyagonal doğrultuda yerleştirilen LVDT'ler yardımıyla kesme deformasyonları ölçülmüştür. Dolgu duvarının köşelerinde gerilme yığılımı nedeniyle diyagonal doğrultudaki LVDT'ler köşelerden 100 mm içeri yerleştirilmiştir. Deney elemanlarının dolgu duvarına bitişik olmayan birinci kat kolonlarının alt ucundan eğrilik ölçümü alınmıştır. Eğrilik ölçümü temel girişinin 30 mm üzerinden kolonun 130 mm yüksekliğindeki bölümünden alınmıştır.

Deney elemanlarının dolgu duvarından da eğrilik ölçümü alınmıştır. Dolgu duvarının eğrilik ölçümlerinin alınması için kullanılan LVDT'lerin sayısı dolgu duvarı genişliğinin ve düzenlemesinin elemanlarda farklı olması nedeniyle bütün deney elemanlarında aynı değildir. Dolgu duvarı eğrilik ölçümleri de temel girişinin 30 mm üzerinden başlayan 130 mm yüksekliğindeki bir bantta ölçülmüştür. Deney elemanlarının dolgu duvarı eğrilikleri için alınan ölçümlerden sağlıklı veriler elde edilememiştir. Bu nedenle dolgu duvarı eğrilik ölçümlerine çalışmada yer verilmemiştir. Deney elemanlarında deplasman ölçüm aletlerinin yerleşim düzenleri Şekil 2.20'de verilmiştir.

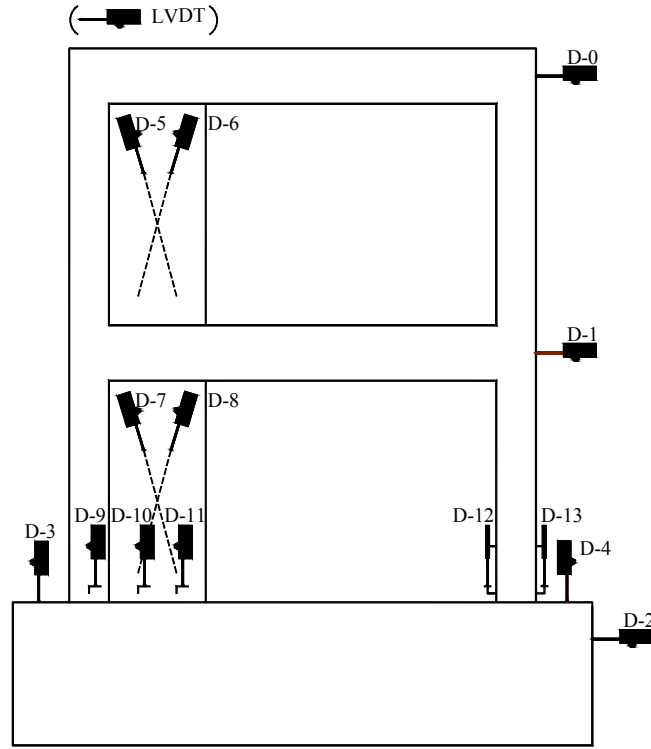


a) Deney Elemanı-1

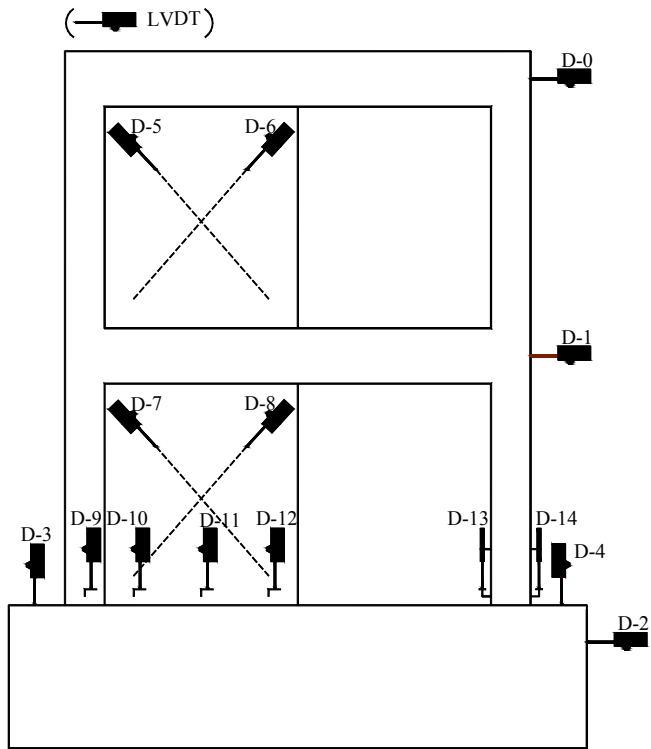


b) Deney Elemanı-2, Deney Elemanı-3

Şekil 2.20. Deney elemanlarında ölçüm aletleri yerleşimi

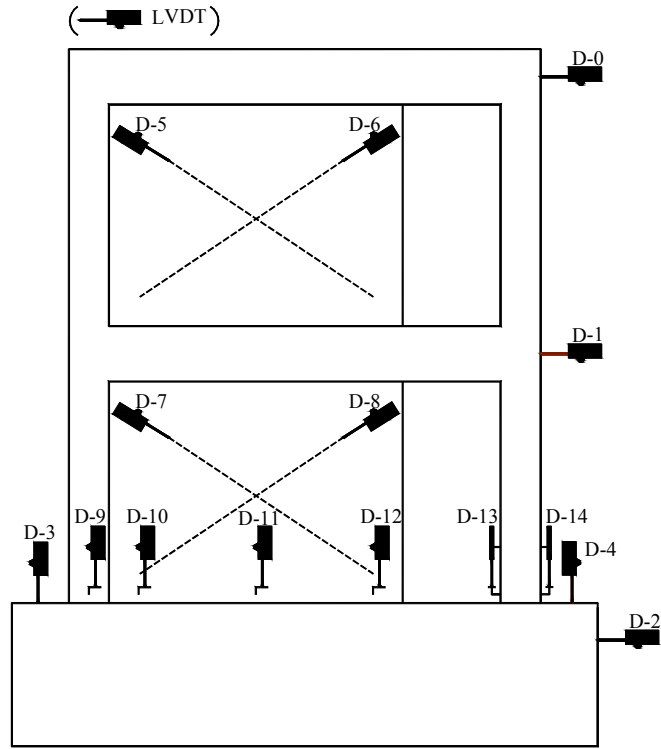


c) Deney Elemanı-4

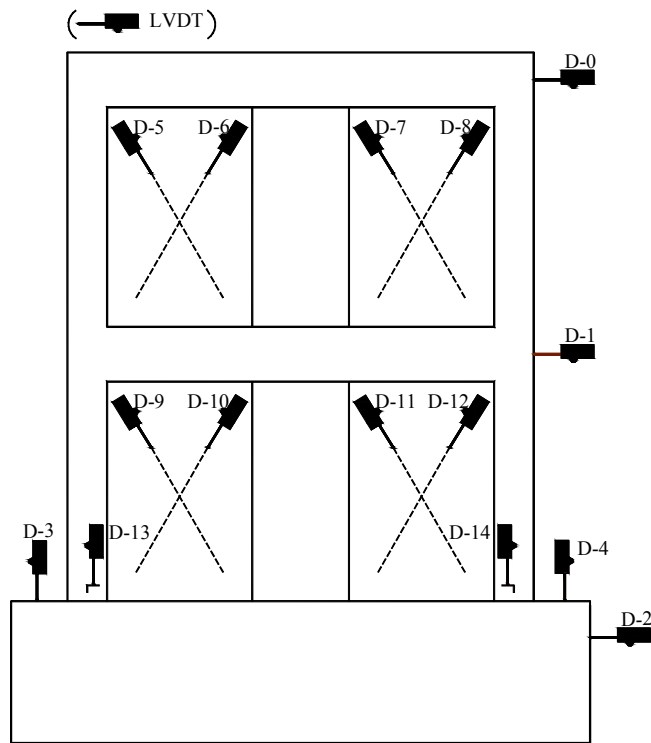


d) Deney Elemanı-5

Şekil 2.20. Deney elemanlarında ölçüm aletleri yerleşimi (devamı)

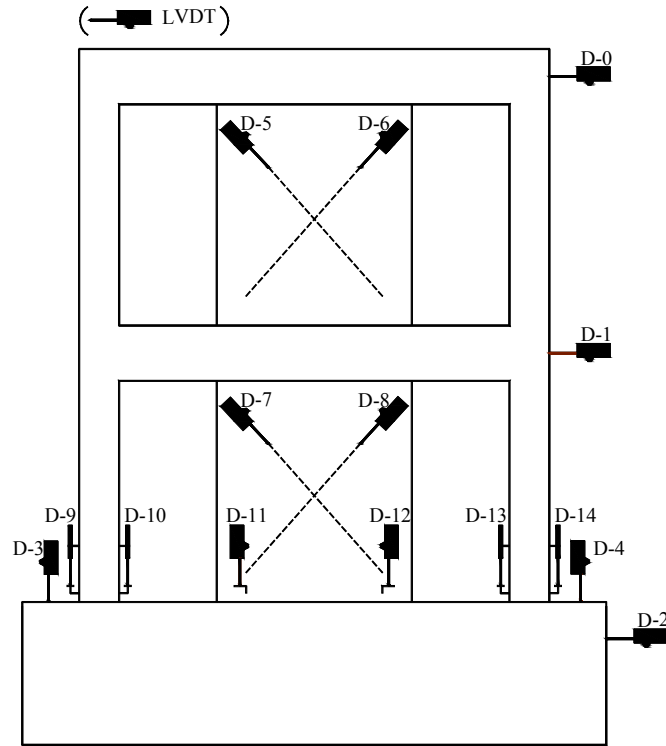


e) Denev Elemanı-6, Denev Elemanı-7



f) Denev Elemanı-8

Şekil 2.20. Denev elemanlarında ölçüm aletleri yerleşimi (devamı)



g) Deney Elemanı-9

Şekil 2.20. Deney elemanlarında ölçüm aletleri yerleşimi (devamı)

2.5.3. Ölçümlerin değerlendirilmesi

Kat yatay deplasmanlarının hesabı

Deney elemanlarının birinci ve ikinci kat seviyelerinde D-0 ve D-1 numaralı LVDT'lerle kat yatay deplasmanları ölçülmüştür. Deney elemanının rijit kütle deplasmanları D-2, D-3 ve D-4 numaralı LVDT'lerle ölçülmüştür. Eş. 2.1 ve Eş. 2.2 kullanılarak birinci ve ikinci katın yatay deplasmanları hesaplanmıştır.

$$\Delta_{\theta_1} = \frac{(D3 - D4)}{a} \times h_1, \quad \Delta_{\theta_2} = \frac{(D3 - D4)}{a} \times h_2 \quad [2.1]$$

$$\Delta_1 = D1 - D2 - \Delta_{\theta_1}, \quad \Delta_2 = D0 - D2 - \Delta_{\theta_2} \quad [2.2]$$

Eşitliklerde;

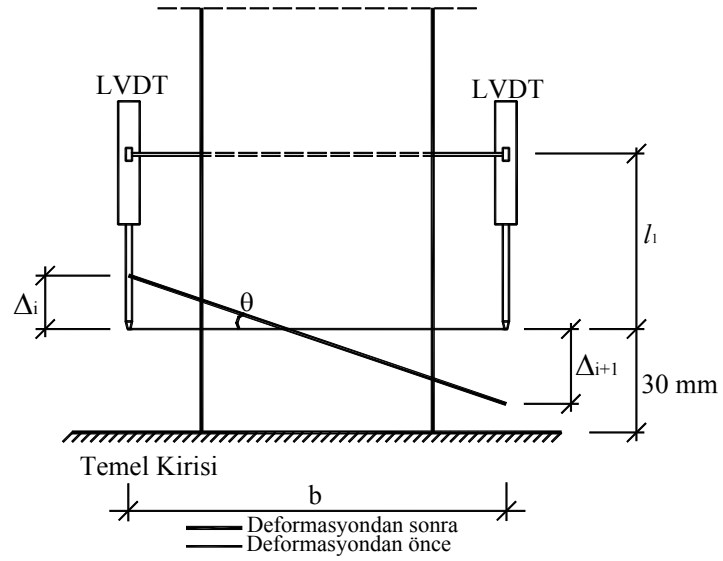
D3, D4	:Temel kirişi uçlarının düşey deplasmanları, mm
D2	:Temel kirişinin ölçülen yatay deplasmanı, mm
Δ_{01}, Δ_{02}	:Temel kirişinde oluşan dönmeden hesaplanan kat deplasmanları, mm
D0, D1	:Ölçülen birinci ve ikinci kat deplasmanları, mm
Δ_1, Δ_2	:Birinci ve ikinci kat yatay deplasmanları, mm
a	:D3 ve D4 numaralı LVDT'ler arasındaki uzaklık, mm
$h_1,$:Temel kirişiyle birinci kat kirişi eksenleri arasındaki uzunluk, 825 mm
h_2	: Temel kirişiyle ikinci kat kirişi eksenleri arasındaki uzunluk, 1725 mm

Kesme deplasmanlarının hesaplanması

Deney elemanlarının dolgu duvarından diyagonal doğrultuda iki adet LVDT kullanılarak ortalama kesme deformasyonu ölçümleri alınmıştır. Test sırasında dolgu duvarının köşelerinde gelişebilecek lokal ezilmelerin etkilerinin önlenmesi amacıyla diyagonal doğrultudaki LVDT'ler köşelerden 100 mm içeriye yerleştirilmiştir. Ortalama kesme deformasyonlarının hesaplanmasında kullanılan geometri ve denklemler EK-1'de verilmiştir.

Kolonda eğriliğin hesaplanması:

Deney elemanlarının dolgu duvarına bitişik olmayan birinci kat kolonlarının alt ucundan eğrilik ölçümleri alınmıştır. Eğrilik kolonun alt ucunda temelin 30 mm üzerinden başlayan yaklaşık 130 mm yüksekliğindeki bir bölümde ölçülmüştür. Kolon eğriliklerinin hesaplanmasında kullanılan geometri Şekil 2.21'de, kullanılan denklemler Eş. 2.3 ve Eş. 2.4'de verilmiştir. Sünek olmayan kolonlardan alınan eğrilik ölçümlerinin, ölçüm bölgesinde meydana gelen kesme çatlaklarını da içerdiği unutulmamalıdır.



Şekil 2.21. Eğrilik ölçümlerinin hesaplamasında kullanılan geometri

$$\theta = \frac{\Delta_{i+1} - \Delta_i}{b} \quad [2.3]$$

$$k = \frac{\theta}{l_1} \quad [2.4]$$

Eşitliklerde;

θ : Kolon kesitinin dönme açısı, radyan

Δ_i, Δ_{i+1} : Kolon yan yüzlerinden ölçülen deplasmanlar, mm

b : Eğrilik mesafesi, mm

k : Eğrilik

l_1 : Eğrilik ölçüm aralığı ($l_1 = 130$ mm)

3. DENEYLER

Bu bölümde deney elemanlarının testleri önemli gözlemlerin yapıldığı yük çevrimleriyle anlatılmıştır. Çevrimlerin anlatımlarında kullanılan yük elemana uygulanan taban kesme kuvvetidir. Deney elemanlarının farklı dayanımlarda olması elemanlar için özdeş bir yükleme programının uygulanmasına imkan vermemiştir. Ancak bütün deney elemanları aynı ilke göz önünde bulundurularak test edilmiştir. İlk çevrimler deney elemanlarının elastik sınır içerisinde kaldığı yük adımlarıdır. Daha sonraki çevrimlerde yükler tüm deney elemanları için yaklaşık aynı oranlarda artırılmıştır. Genelde maksimum yük düzeyine kadar her tam çevrim iki defa tekrarlanmıştır. Maksimum yük düzeyinden sonra deneylere ikinci katın deplasmanı yaklaşık 5 mm artırılarak deplasman kontrollü olarak devam edilmiştir. Deney elemanlarının testlerine, çerçeve deney elemanı dışında yaklaşık 50 mm ikinci kat yatay deplasmanında son verilmiştir. Deney elemanlarının yük geçmişleri yük-çevrim grafikleri olarak deneylerin anlatıldığı bölümlerde verilmiştir.

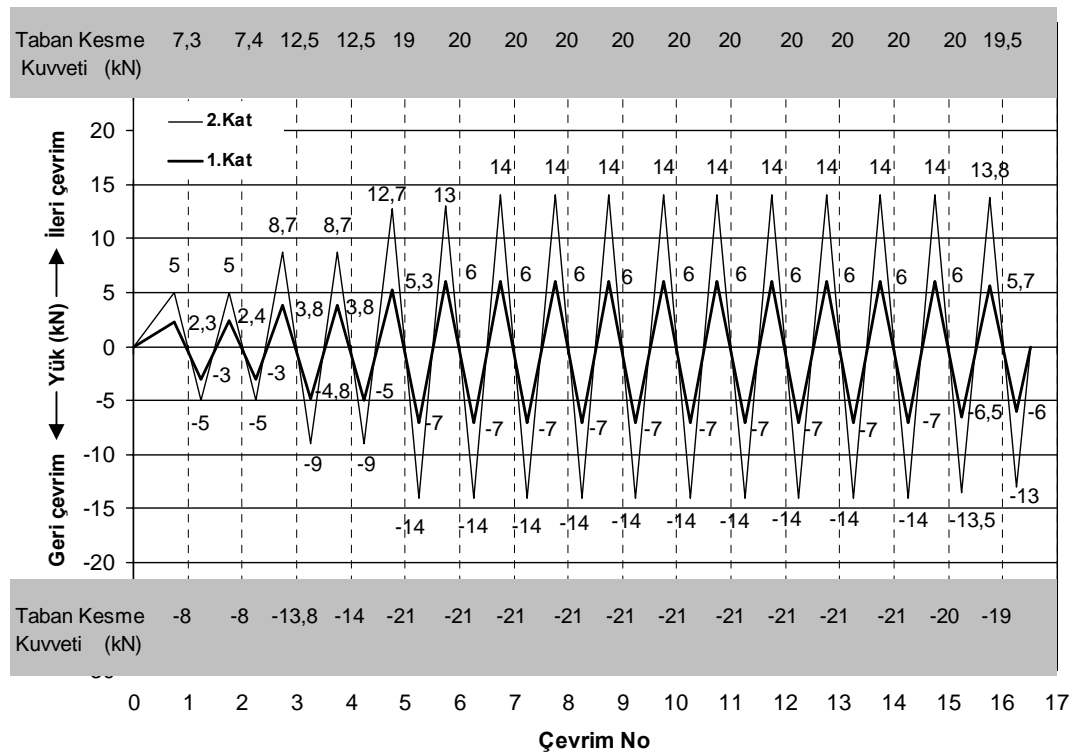
Deney elemanlarının taban kesme kuvvetine karşılık ölçülen kat yatay deplasmanları yük-deplasman grafikleri, kat kesme kuvvetine karşılık hesaplanan kat yatay ötelenme oranı, kat kesme kuvveti-ötelenme oranı grafikleri olarak verilmiştir. Deney elemanlarının ikinci katında hesaplanan yatay ötelenmeler temel kirişi üzerinde gerçekleşen rijit kütle dönmelerini içermektedir. Dolgu duvarı olan elemanların dolgu duvarından diyagonal doğrultularda alınan ölçümlerden ortalama kesme deplasmanları elde edilmiştir. Dolgu duvarı kesme deplasmanları kat kesme kuvveti-kesme deplasmanı grafiklerinde verilmiştir. Ayrıca deney elemanlarında dolgu duvarına bağlı olmayan kolonlardan eğrilik ölçülmüştür. Ancak dolgu duvarıyla çerçeve kolonları arasında yük paylaşımının belirlenememesi nedeniyle eğrilikler taban kesme kuvveti-eğrilik grafikleri olarak verilmiştir. Deney elemanlarının testlerinde göçmeye kadar önemli görülen yük adımları için deney fotoğrafları her deneyin sonunda sunulmuştur.

3.1. Deneysel Elemanı-1

Deneysel elemanı tanımı : Betonarme çerçeve (Referans elemanı)

Deneysel tarihi : 19/04/2003

Deneysel elemanı Şekil 3.1’de verilen yük geçmişi altında test edilmiştir. Deneysel elemanına 16 tam yük çevrimi uygulanmıştır. Deneysel elemanın taban kesme kuvveti-deplasman grafikleri Şekil 3.2’de, kat kesme kuvveti-ötelenme oranı grafikleri Şekil 3.3’de ve birinci kat kolonlarının taban kesme kuvveti-eğrilik grafikleri Şekil 3.4’de verilmiştir. Deneysel süresinde elemanda çatlak gelişiminin izlendiği fotoğraflar Resim 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Yük-çevrim grafiği, Deneysel Elemanı-1

Deney sırasında önemli gözlemlerin yapıldığı yük çevrimleri aşağıda özetlenmiştir.

2. *çevrim*: Çevrimin ileri yüklemesinde 7,5 kN yük düzeyinde birinci ve ikinci kat kolon kiriş birleşim bölgelerinde eğik çatlaklar oluşmuştur. Çevrimin geri yüklemesinde 7,5 kN yük düzeyinde birinci kat kirişinin uçlarında eğilme çatlakları gelişmiştir.

3. *çevrim*: Çevrimin ileri yüklemesinde 12,5 kN yük düzeyinde birinci kat sol kolonda ilk eğilme çatlağı oluşmuş, bu yük düzeyinde elemanın birinci katında 6 mm, ikinci katında 11 mm yatay deplasman ölçülmüştür. Çevrimin geri yüklemesinde 12,5 kN yük düzeyinde birinci kat sağ kolonda eğilme çatlağı gelişmiştir. 13,8 kN yük düzeyinde çerçevenin kat yatay deplasmanları birinci katta 6,4 mm, ikinci katta 12,07 mm olarak ölçülmüştür.

4. *çevrim*: Çevrimin geri yüklemesinde 14 kN yük düzeyinde kolon kiriş birleşim bölgelerinde eğik çatlak genişliği 0,8 mm olarak ölçülmüştür. Bu yük düzeyinde deney elemanında ölçülen birinci kat yatay deplasmanı 6,5 mm, ikinci kat yatay deplasmanı 12,5 mm'dir.

5. *çevrim*: Çevrimin ileri yüklemesinde 14,6 kN yük düzeyinde birinci kat kolonlarının alt uçlarında kesme çatlakları gelişmiştir. Bu yük düzeyinde kat yatay deplasmanları birinci katta 8,26 mm, ikinci katta 15,78 mm olarak ölçülmüştür. Kat deplasmanlarına karşılık gelen yatay ötelenme oranları birinci katta %1, ikinci katta %0,84'dür. 17,5 kN yük düzeyinde birinci kat sol kolonu temel kirişinden 1 mm genişliğinde çatlakla ayrılmış ve deney elemanının rijitliği önemli oranda azalmıştır. 19 kN yük düzeyinde 13,1 mm birinci kat, 26,1 mm ikinci kat yatay deplasman değerinde çevrime son verilmiştir. Bu yük düzeyinde yatay ötelenme oranları birinci katta %1,59, ikinci katta %1,44'dür. 19 kN yük düzeyinde birinci kat sol kolonda ölçülen eğrilik 0,05 rad/m, birinci kat sağ kolonda ölçülen eğrilik 0,07 rad/m'dir. Çevrimin geri yüklemesinde 19 kN yük düzeyinde birinci kat sağ kolon temel kirişinden 1 mm genişliğinde eğilme çatlağıyla ayrılmıştır. 20 kN yük düzeyinde kat yatay deplasmanları birinci katta 13 mm, ikinci katta 27 mm ölçülmüştür. Yatay ötelenme oranları birinci ve ikinci katta %1,6'dır. bu yük düzeyinde birinci kat sol

kolonda ölçülen eğrilik 0,06 rad/m, sağ kolonunda ölçülen eğrilik 0,04 rad/m'dir. Bu çevrimden sonra deneye deplasman kontrollü devam edilmiştir.

6. *çevrim*: Çevrimin ileri yüklemesinde deney elemanı 20 kN taban kesme kuvveti taşımıştır. Birinci kat kolonlarının temel kirişine birleştiği kesitte ayrılma çatlakları genişliği 1,5 mm'ye ulaşmıştır. İkinci kat sol kolon kiriş birleşim bölgesinde eğik çatlak genişliği 1 mm olarak ölçülmüştür. Çevrimin geri yüklemesinde deney elemanı 32 mm ikinci kat yatay deplasmanı değerinde 21 kN taban kesme kuvveti taşımıştır.

7- 8. *çevrim*: Yedi ve sekizinci çevrimlerde kolon kiriş birleşim bölgelerinde ağır hasarın oluştuğu ve birinci kat kolonlarının alt uçlarında kesme çatlaklarının sayısının arttığı gözlenmiştir (Resim 3.1). Sekizinci çevrimin geri yüklemesinde birinci kat sol kolonda kabuk betonu temel kirişi üzerinde ezilmiştir.

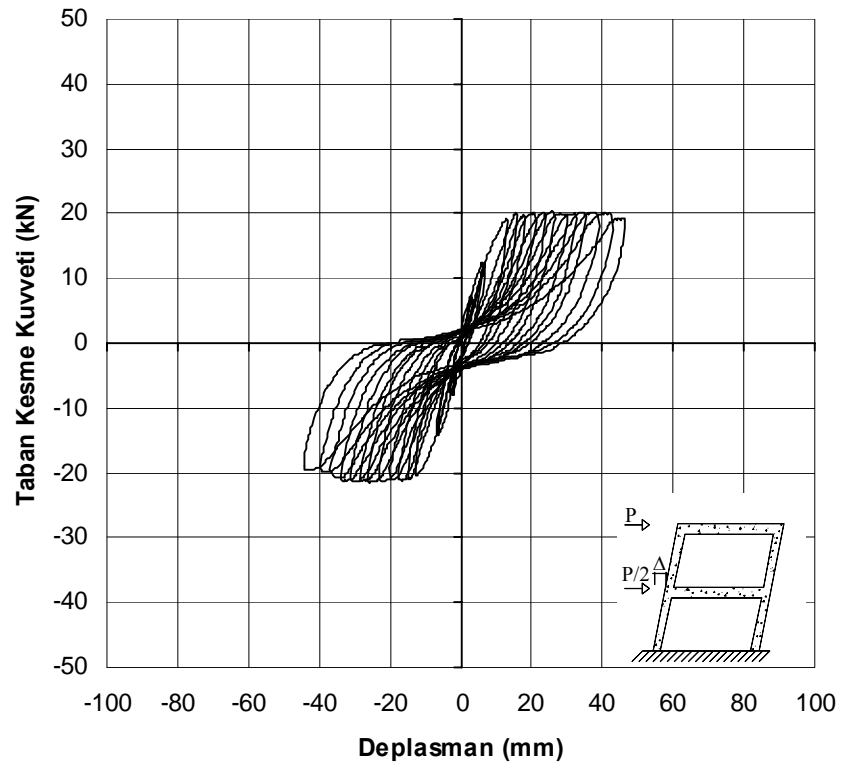
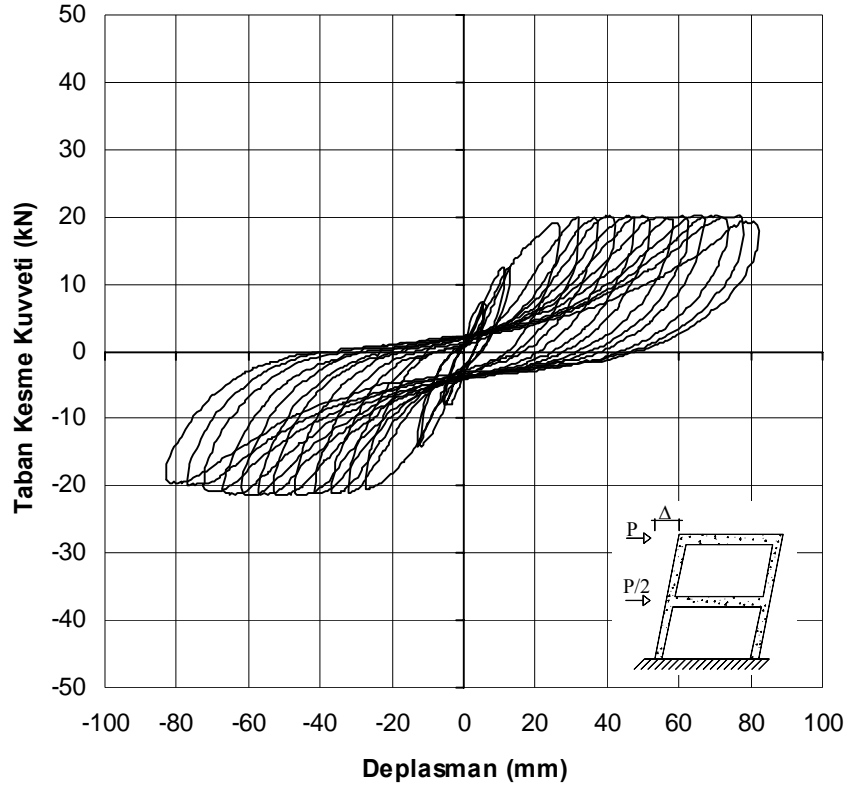


a) Birinci kat sağ kolon

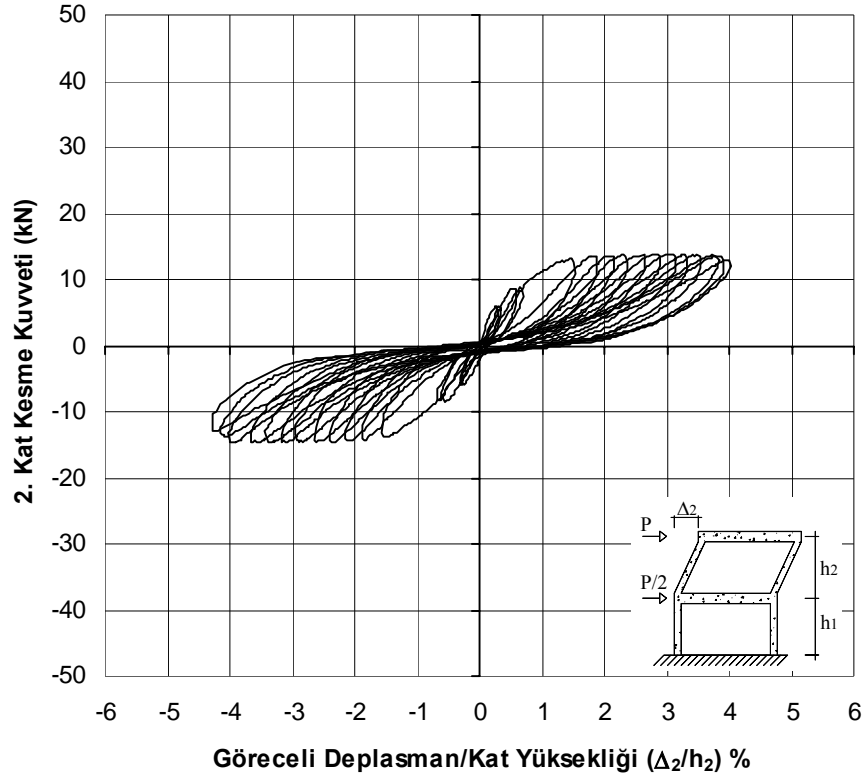


b) Birinci kat kolon kiriş birleşimi

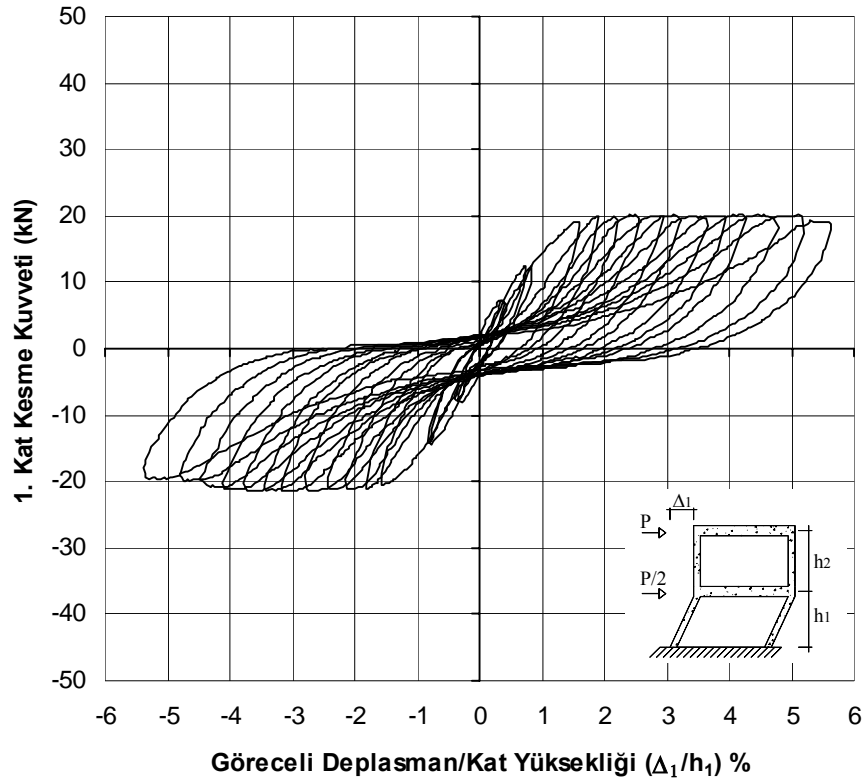
Resim 3.1. Kolon ve düğümde kesme çatlakları, Deney Elemanı-1



Şekil 3.2. Yük-deplasman grafikleri, Deney Elemanı-1

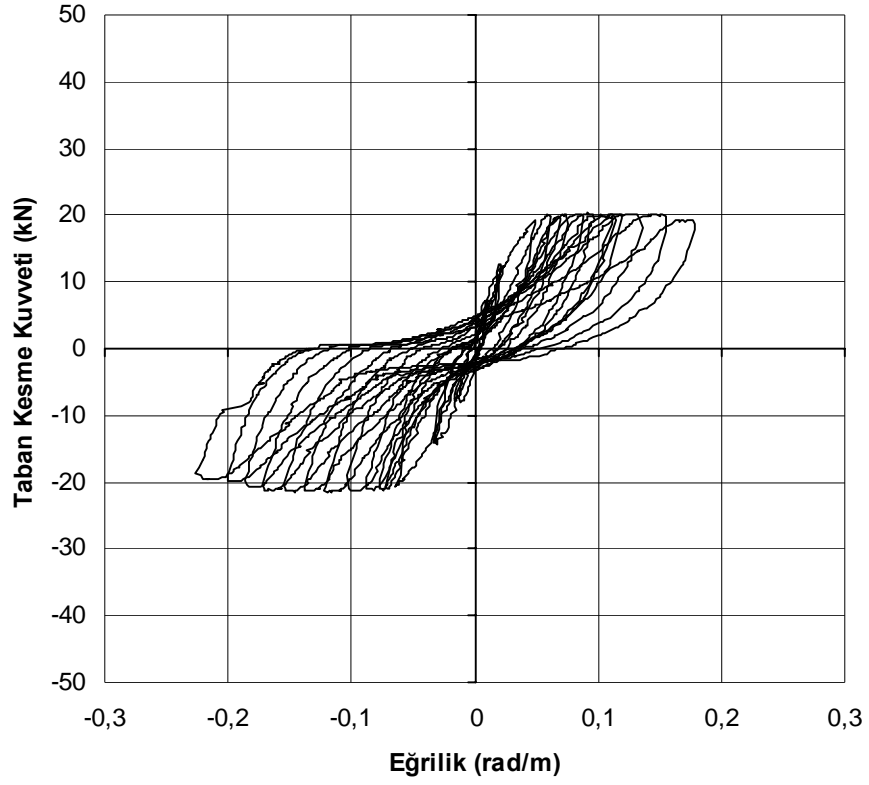


a) İkinci kat

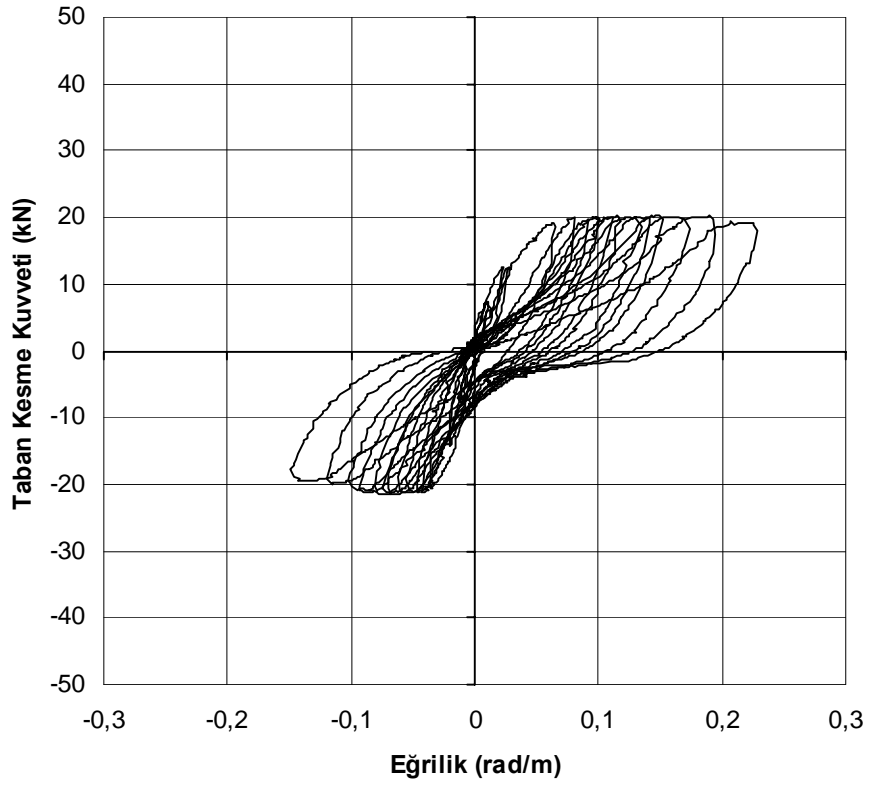


b) Birinci kat

Şekil 3.3. Kat kesme kuvveti-ötelenme oranı grafikleri, Deney Elemanı-1

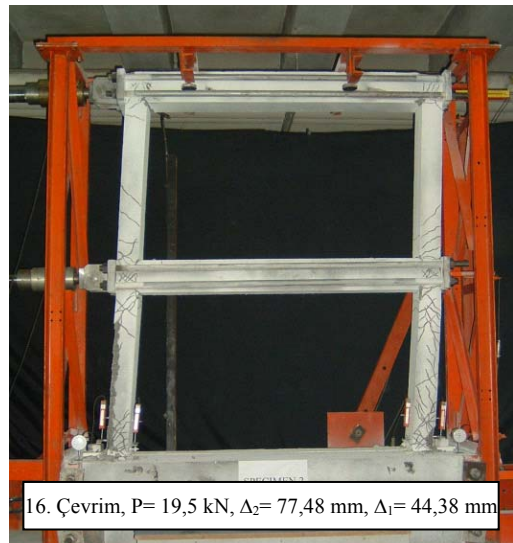
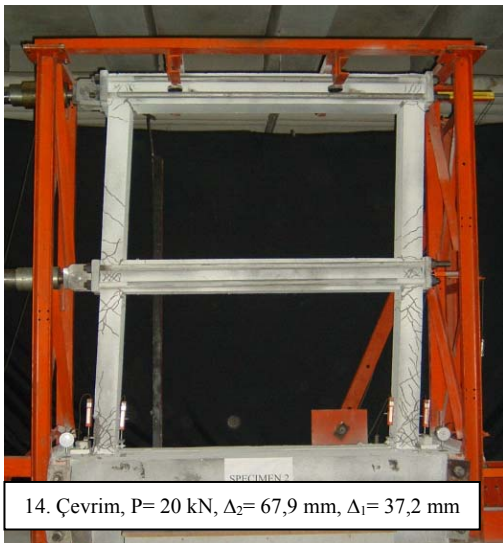
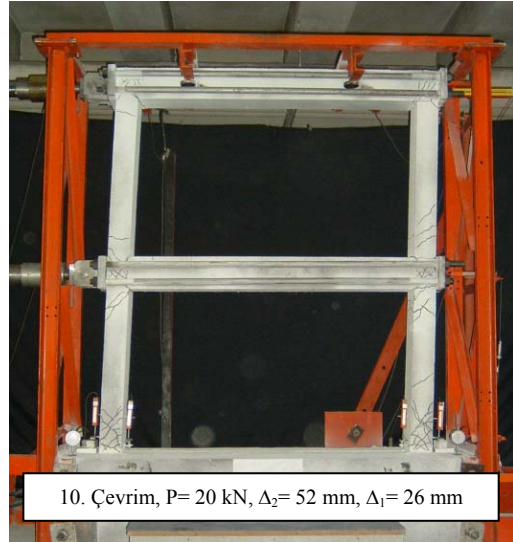
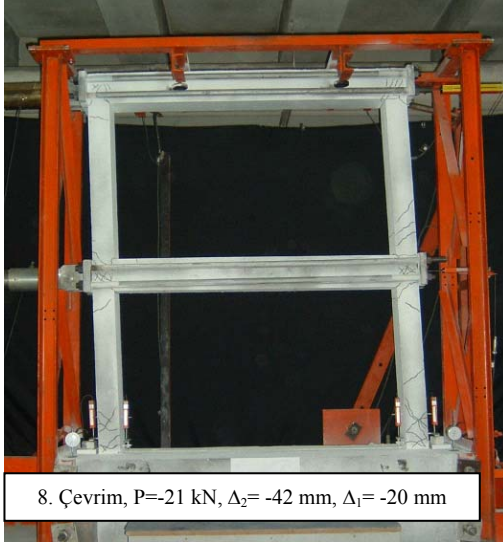
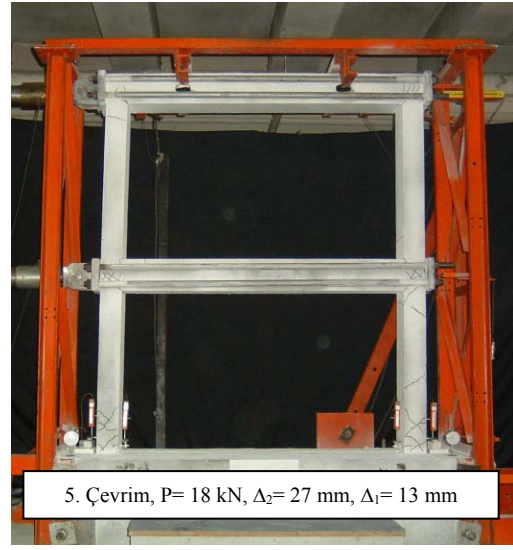
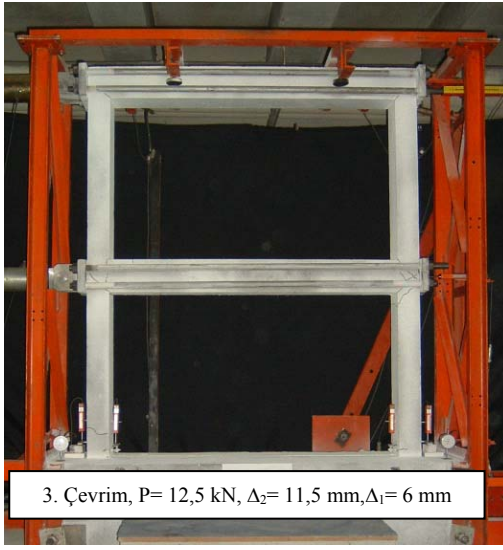


a) Birinci kat sol kolon



b) Birinci kat sağ kolon

Şekil 3.4. Taban kesme kuvveti-eğrilik grafikleri, Deney Elemanı-1



Resim 3.2. Deney Elemanı-1'in test sırasındaki fotoğrafları

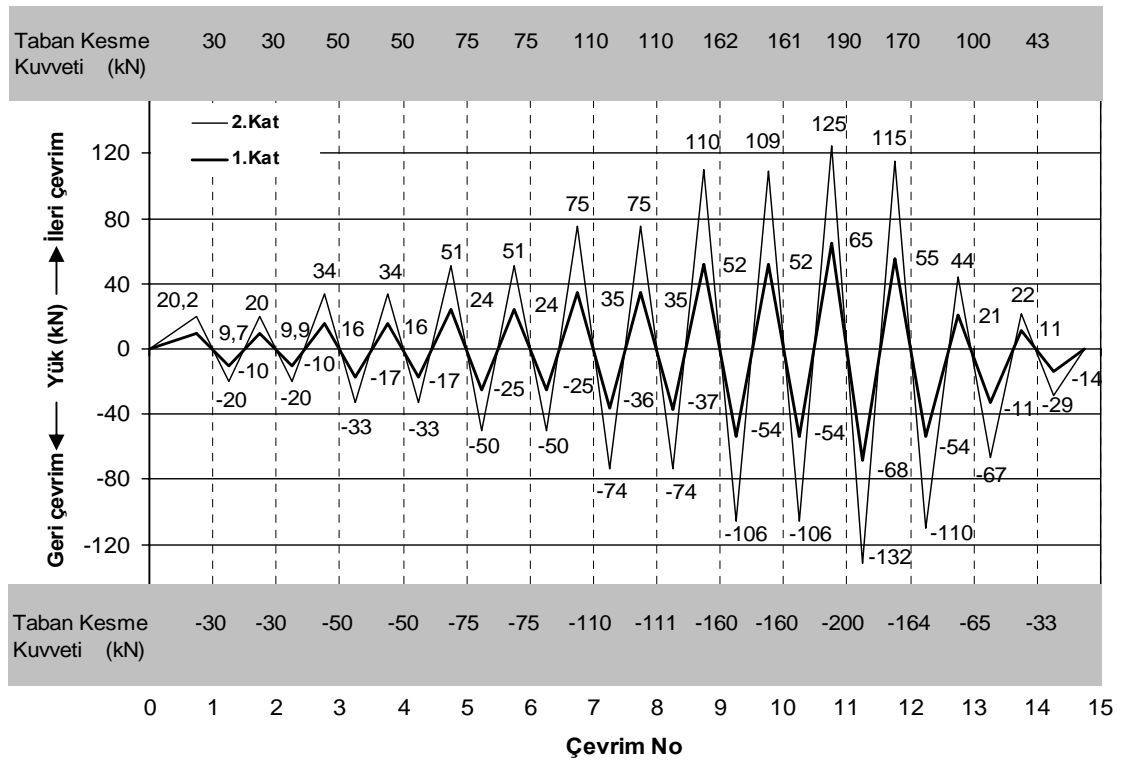
3.2. Deney Elemanı-2

Deney elemanı tanımı : Bir döküm dolgu duvarlı (Referans elemanı)

Deney tarihi : 15/03/2003

Dolgu duvarı l/h oranı : 1,73 (l=1300 mm, h=750 mm)

Deney elemanı Şekil 3.5’de verilen yük geçmişi altında test edilmiştir. Deney elemanına 14 tam yük çevrimi uygulanmıştır. Deney elemanının taban kesme kuvveti-deplasman grafikleri Şekil 3.6’da, kat kesme kuvveti-ötelenme oranı grafikleri Şekil 3.7’de, kat kesme kuvveti-kesme deplasmanı grafikleri Şekil 3.8’de verilmiştir. Deney süresince elemanda çatlak gelişimlerinin izlendiği fotoğraflar Resim 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3.5. Yük-çevrim grafiği, Deney Elemanı-2

Deney sırasında önemli gözlemlerin yapıldığı yük çevrimleri aşağıda özetlenmiştir.

3-4. çevrim: Üçüncü çevrimin ileri yüklemesinde 50 kN yük düzeyinde birinci kat sol kolonda ilk eğilme çatlakları gelişmiştir. Çevrimin geri yükleme adımında 50 kN yük düzeyinde birinci kat sağ kolonun alt ucunda eğilme çatlakları gözlenmiştir. Dördüncü çevrimin geri yüklemesinde 50 kN yük düzeyinde birinci kat dolgu duvarında ilk kesme çatlakları gelişmiştir.

5. çevrim: Deney elemanına uygulanan taban kesme kuvveti 75 kN'dur. Çevrimin ileri yüklemesinde 70 kN yük düzeyinde birinci kat sağ kolonda kesme çatlakları gelişmiştir. Çevrimin geri yüklemesinde 75 kN yük düzeyinde birinci kat kolon giriş birleşim bölgesinde eğik çatlak gelişimi gözlenmiştir. Birinci kat dolgu duvarındaki kesme çatlakları çerçevenin elemanlarına ulaşmıştır.

7. çevrim: Çevrimin ileri yüklemesinde 110 kN yük düzeyinde birinci kat sol kolon giriş birleşim bölgesinde eğik çatlak oluşmuştur. İkinci kat kolonlarının alt uçlarında eğilme çatlakları gelişmiştir. Bu yük düzeyinde ölçülen yatay deplasmanlar birinci katta 1,2 mm, ikinci katta 1,4 mm'dir.

9. çevrim: Çevrimin ileri yüklemesinde 135 kN yük düzeyinde ikinci kat dolgu duvarında ilk kesme çatlakları gözlenmiştir. Bu yük düzeyinde birinci kat yatay deplasmanı 1,5 mm, ikinci kat yatay deplasmanı 1,7 mm ölçülmüştür. İleri yüklemde 160 kN yük düzeyinde ikinci kat dolgu duvarında oluşan kesme çatlakları dolgu duvarı diyagonal doğrultuda boydan boya geçecek şekilde gelişmiştir. Çevrimin geri yüklemesinde 140 kN yük düzeyinde ikinci kat sağ kolonda eğilme çatlakları, ikinci kat dolgu duvarında kesme çatlakları gelişim göstermiştir. Bu yük düzeyinde kat yatay deplasmanları birinci katta 2,86 mm, ikinci katta 4,26 mm ölçülmüştür.

10. çevrim: Çevrimin ileri yüklemesinde 160 kN yük düzeyinde birinci kat dolgu duvarında eğik çatlak genişliği 0,5 mm olarak ölçülmüştür. Onuncu çevrimde birinci

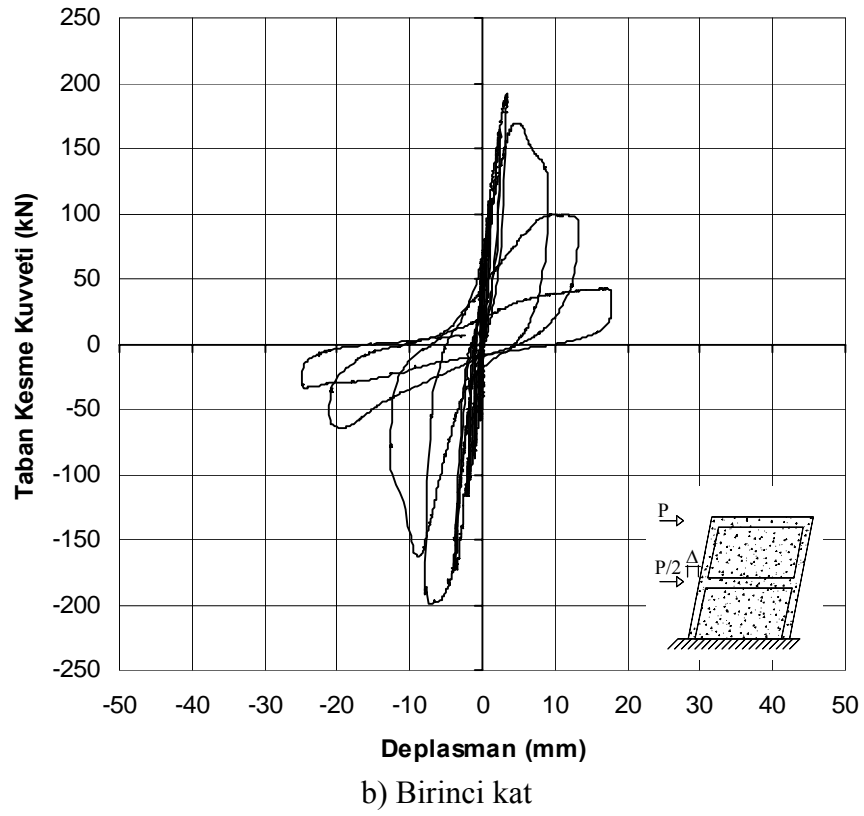
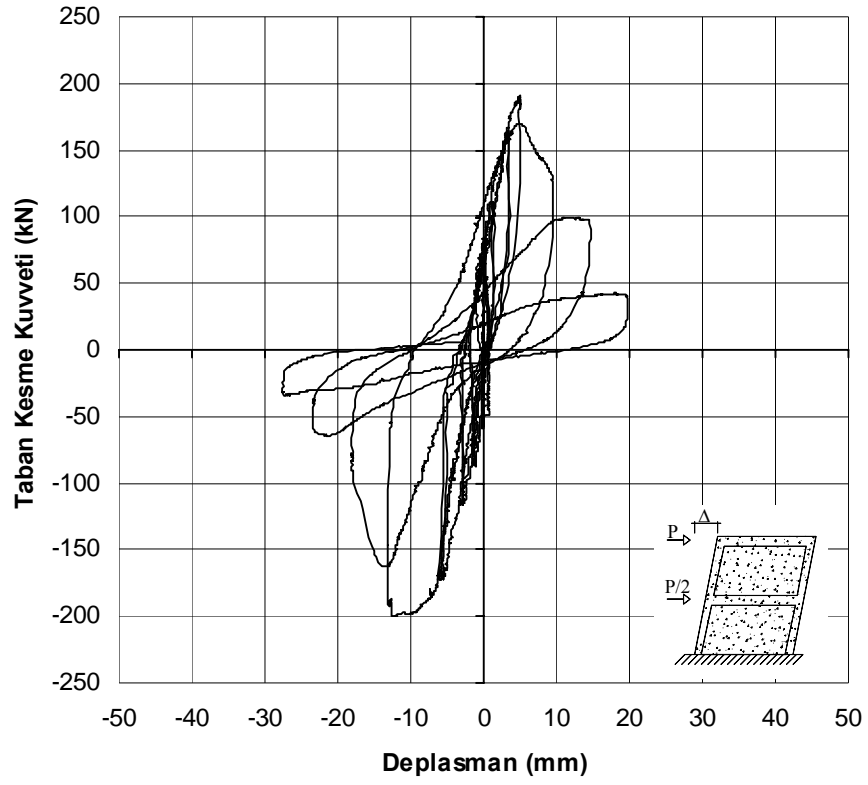
kat kolonları temel kirişinden ayrılmıştır. Birinci kat dolgu duvarında çok sayıda kesme çatlağı oluşmuştur.

11. çevrim: Çevrimin ileri yüklemesinde 190 kN yük düzeyinde birinci kat sol kolon temel kirişinden ayrılmıştır. Bu yük düzeyinde 3,14 mm birinci kat, 4,68 mm ikinci kat yatay deplasmanı ölçülmüştür. Birinci kat dolgu duvarın kesme deplasmanı birinci kat yatay deplasmanının %50'sidir. Deney elemanının rijitliğinde önemli oranda azalma olmuş, birinci kat sol kolonda boyuna donatılar temel kirişi üzerindeki bölgede akmıştır. Akma anında yatay ötelenme oranları birinci katta % 0,38, ikinci katta % 0,17'dir. Çevrimin geri yüklemesinde 190 kN düzeyinde deney elemanının rijitliği azalmış, birinci kat sağ kolon temel kirişinden 1 mm genişliğinde çatlakla ayrılmıştır. 200 kN yük düzeyinde birinci kat sağ kolonda boyuna donatılar akmıştır. Ölçülen kat yatay deplasmanları birinci katta 5,59 mm, ikinci katta 8,88 mm'dir. Birinci kat dolgu duvarında kesme deplasmanı birinci kat yatay deplasmanının %21' düzeyindedir. Bu yük düzeyinde birinci katın yatay ötelenme oranı % 0,68, ikinci katın yatay ötelenme oranı % 0,37'dir. Yüklemeye devam edilmesi ile deney elemanı bir miktar yük kaybetmiş ve birinci katın yatay ötelenme oranı 184 kN yük düzeyinde % 1 olarak gerçekleşmiştir. Deney elemanının kolonlarından alınan eğrilik ölçümlerinde kolon boyuna donatılarının akma gerilmesine ulaştığı görülmektedir. Bu çevrimden sonra deneye deplasman kontrolü olarak devam edilmiş, her çevrimde ikinci katın yatay deplasmanı yaklaşık 5 mm artırılmıştır.

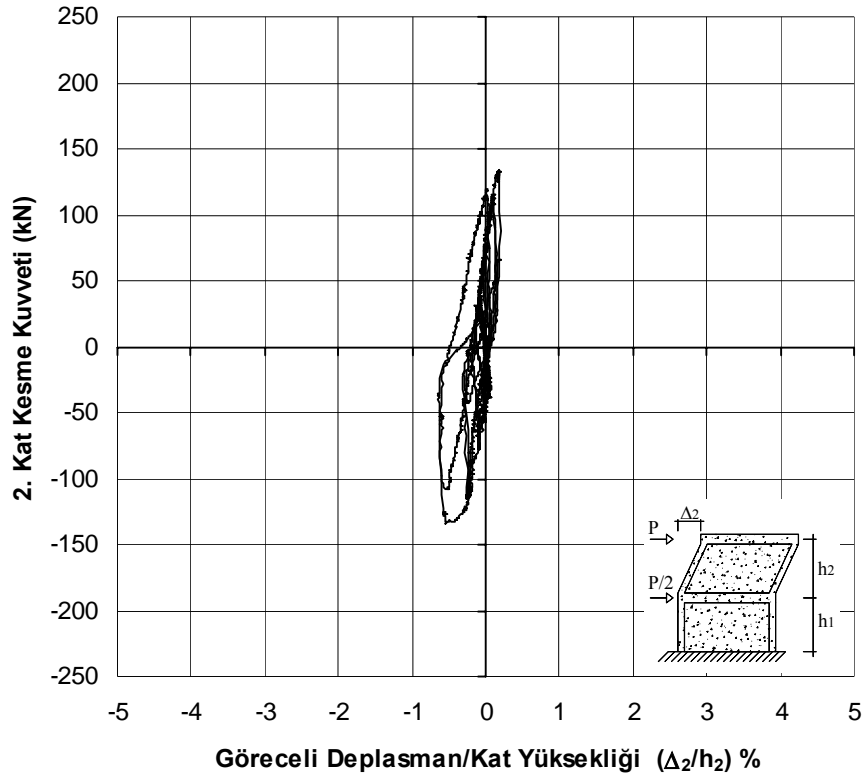
12-13-14. çevrim: On ikinci çevrimin ileri yüklemesinde 170 kN yük düzeyinde deney elemanı temel kirişi üzerinden kesilmiş ve yük 130 kN düzeyine gerilemiştir. Bu yük düzeyinde birinci katın yatay ötelenme oranı %1'i geçmiştir. Çevrimin geri yüklemesinde 165 kN yük düzeyinde deney elemanı temel kirişi üzerinden kesilip kaymaya başlamış ve yük 105 kN düzeyine gerilemiştir. Bu yük düzeyinde kat yatay deplasmanları birinci katta 12,03 mm, ikinci katta 17,39 mm ölçülmüştür. Deney elemanına iki tam yük çevrimi daha uygulanmıştır. On dördüncü çevrimde 35 kN yük düzeyinde deney elemanından alınan fotoğraf Resim 3.3'de verilmiştir.



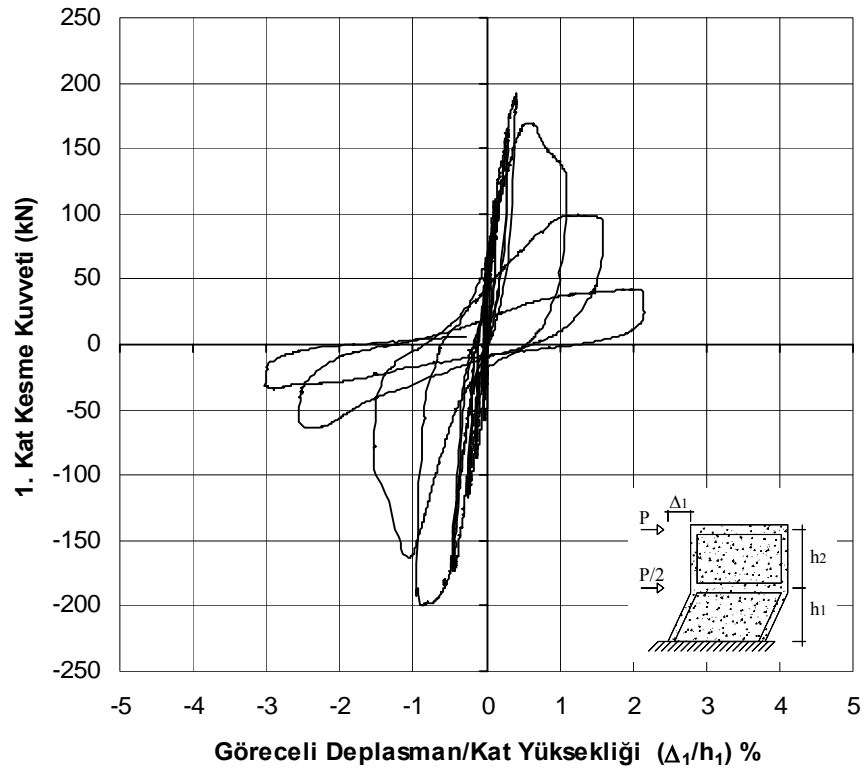
Resim 3.3. Göçmede birinci kat dolgu duvarı, Deney Elemanı-2



Şekil 3.6. Yük-deplasman grafikleri, Deney Elemanı-2

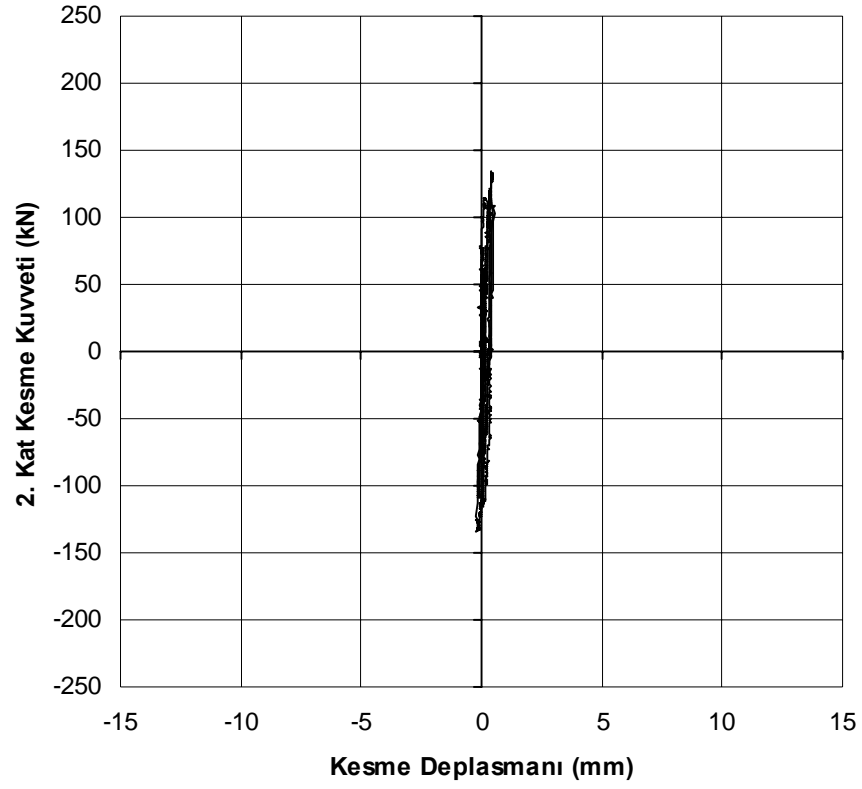


a) İkinci kat

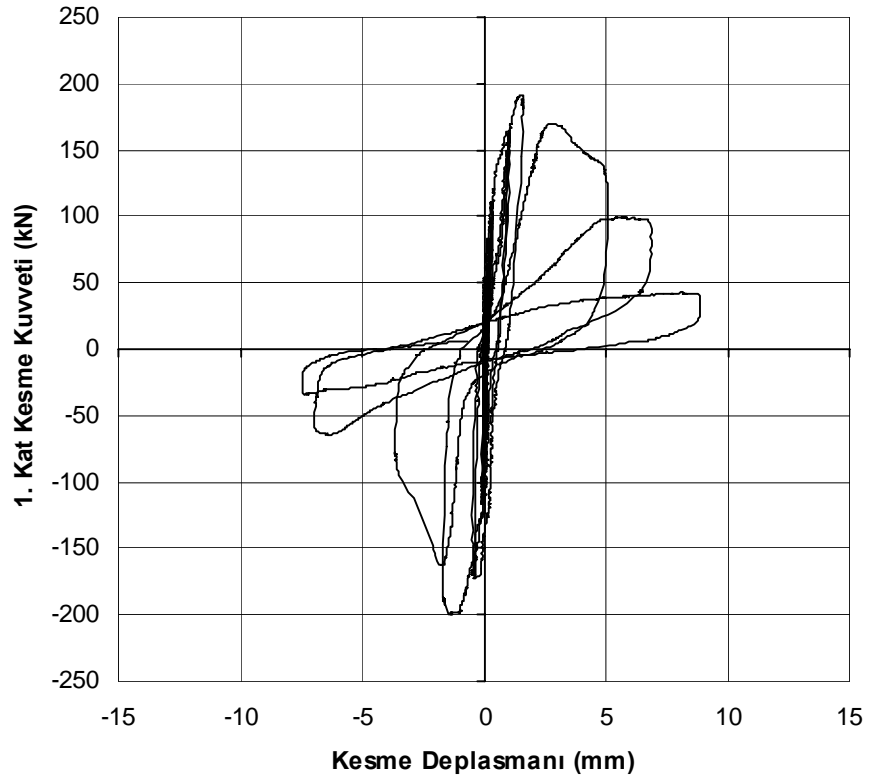


b) Birinci kat

Şekil 3.7. Kat kesme kuvveti-ötelenme oranı grafikleri, Deney Elemanı-2

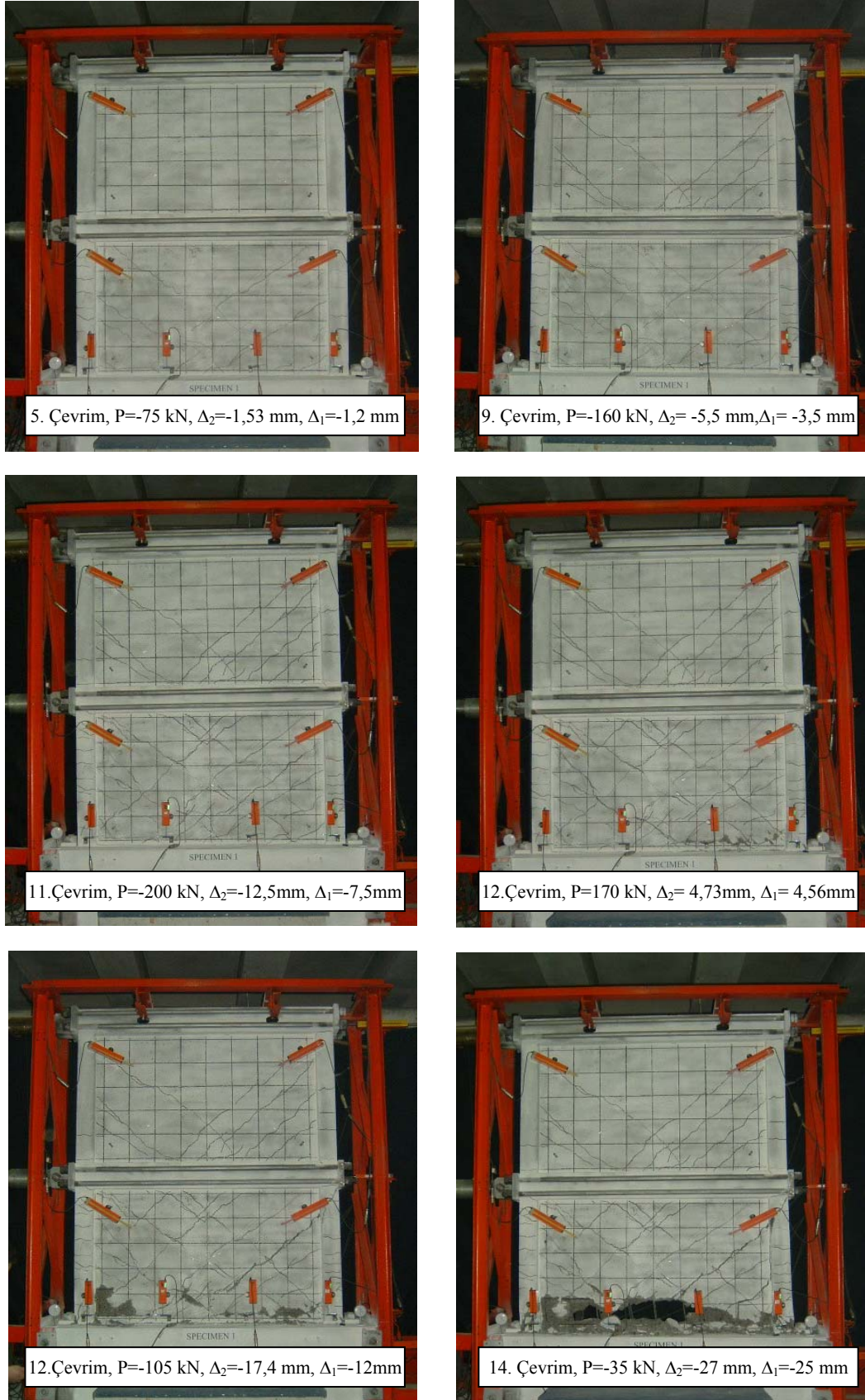


a) İkinci kat



b) Birinci kat

Şekil 3.8. Yük-kesme deplasmanı grafikleri, Deney Elemanı-2



Resim 3.4. Deney Elemanı-2'nin test sırasındaki fotoğrafları

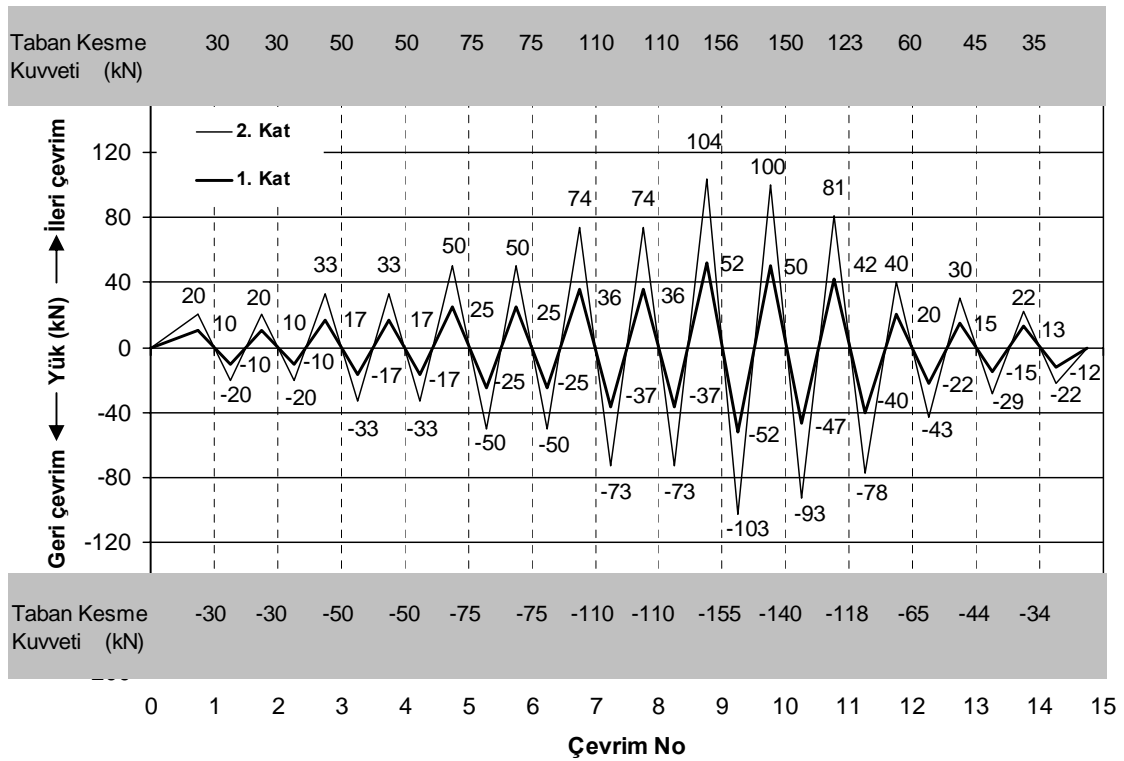
3.3. Deney Elemanı-3

Deney elemanı tanımı : Tam dolu betonarme dolgu duvarla güçlendirilmiş

Deney tarihi : 28/04/2003

Dolgu duvarı l/h oranı : 1,73 (l=1300 mm, h=750 mm)

Deney elemanı Şekil 3.9'da verilen yük geçmişi altında test edilmiştir. Deney elemanına 14 tam yük çevrimi uygulanmıştır. Deney elemanının taban kesme kuvveti-deplasman grafikleri Şekil 3.10'da, kat kesme kuvveti-ötelenme oranı grafikleri Şekil 3.11'de verilmiştir. Kat kesme kuvveti-kesme deplasmanı grafikleri Şekil 3.12'de verilmiştir. Deney süresinde çatlak gelişiminin görüldüğü fotoğraflar Resim 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.9. Yük-çevrim grafiği, Deney Elemanı-3

Deney sırasında önemli gözlemlerin yapıldığı yük çevrimleri aşağıda özetlenmiştir.

3 çevrim: Çevrimin geri yüklemesinde 50 kN yük düzeyinde birinci kat dolgu duvarında, temel kirişinin 30 cm üzerinde kılcal düzeyde yatay bir çatlak, birinci kat sağ kolonda ilk eğilme çatlağı gelişmiştir.

5. çevrim: Çevrimin ileri yüklemesinde 75 kN yük düzeyinde birinci kat sol kolonda çok sayıda eğilme çatlağı ve birinci kat sol kolon kiriş birleşim bölgesinde eğik çatlak gelişmiştir. Bu yük düzeyinde birinci kat dolgu duvarında ilk kesme çatlağı oluşmuştur. 75 kN yük düzeyinde katların yatay deplasmanları birinci katta 0,98 mm, ikinci katta 2,0 mm ölçülmüştür.

7. çevrim: Çevrimin ileri yüklemesinde 75 kN yük düzeyinde birinci kat dolgu duvarında eğik çatlakların sayısı artmış, çatlaklar çerçeve elemanlarına ulaşmıştır. 110 kN yük düzeyinde ikinci kat sol kolonun alt ucunda eğilme çatlağı, ikinci kat dolgu duvarında eğik çatlak gelişmiştir. Bu yük düzeyinde kat yatay deplasmanları birinci katta 2,07 mm, ikinci katta 3,80 mm ölçülmüştür.

9. çevrim: Çevrimin ileri yüklemesinde 130 kN yük düzeyinde ikinci kat dolgu duvarlarında oluşan eğik çatlaklar çerçeve elemanlarına ulaşmıştır. Bu yük düzeyinde birinci kat dolgu duvarında ölçülen eğik çatlak genişliği 1 mm'dir. 140 kN yük düzeyinde birinci kat sol kolonunun üst ucunda ilk kesme çatlağı oluşmuştur. Bu yükte ölçülen birinci kat yatay deplasmanı 3,2 mm, ikinci kat yatay deplasmanı 6,1 mm'dir. 156 kN yük düzeyinde birinci kat dolgu duvarında eğik çatlak genişliği 1,5 mm ölçülmüştür. Dolgu duvarında betonun ezilmesi ile deney elemanı taşıma gücüne ulaşmıştır. Bu yük düzeyinde katların yatay deplasmanları birinci katta 4,08 mm, ikinci katta 7,2 mm'dir. Yatay ötelenme oranları birinci katta % 0,5, ikinci katta % 0,35'dir. Deney elemanının birinci kat dolgu duvarı kesme deplasmanı birinci kat yatay deplasmanının %59'udur. Çevrimin geri yüklemesinde 155 kN yük düzeyinde birinci kat dolgu duvarı betonu diyagonal basınç çubuğu üzerinde ezilmiştir. 155 kN yük düzeyinde kat yatay deplasmanları birinci katta 5,42 mm, ikinci katta 9,1 mm'dir. Yatay ötelenme oranları birinci katta % 0,66, ikinci katta % 0,41'dir. Bu yük

düzeyinde birinci kat dolgu duvarın kesme deplasmanı birinci kat yatay deplasmanının %48'i düzeyinde gerçekleşmiştir. Dokuzuncu çevrimde birinci kat kolonlarının uçlarında kesme çatlakları gelişmiştir. Bu çevrimden sonra deneye deplasman kontrollü olarak devam edilmiş, her çevrimde ikinci katın yatay deplasmanı yaklaşık 5 mm artırılmıştır.

10. çevrim: Çevrimin ileri yüklemesinde 150 kN yük düzeyinde birinci kat dolgu duvarında eğik çatlak genişliği 2,5 mm'ye ulaşmış, beton diyagonal basınç çubuğunda ezilmiştir. Bu yük düzeyinde kat yatay deplasmanları birinci katta 8,15 mm, ikinci katta 13,9 mm'dir. Yatay ötelenme oranları ise birinci katta % 1, ikinci katta % 0,64'dür. Çevrimin geri yüklemesinde 140 kN yük düzeyinde birinci kat dolgu duvarında eğik çatlak genişliği artmış ve basınç çubuğu üzerinde beton ezilmiştir. Bu yük düzeyinde ölçülen kat yatay deplasmanları birinci katta 8,21 mm, ikinci katta 12,28 mm'dir. Kat yatay deplasmanlarına karşılık gelen yatay ötelenme oranları ise birinci katta % 1, ikinci katta % 0,45'dir.

11. çevrim: Çevrimin ileri yüklemesinde 123 kN yük düzeyinde dolgu duvarı temel kirişinin yaklaşık 300 mm üzerinden kesilerek kaymıştır. Deney elemanını taşıdığı yük 97 kN düzeyine düşmüştür. Bu yük düzeyinde birinci kat sağ kolonu temel kirişi üzerinde kesmeden kırılmıştır. Çevrimin geri yüklemesinde 118 kN yük düzeyinde birinci kat sol kolon temel kirişi üzerinde kesilmiştir. Katların yatay deplasmanları birinci katta 10,97 mm, ikinci katta 15,08 mm ölçülmüştür. Birinci kat sol kolonunun kesmeden kırılması ile deney elemanı yük kaybetmiş, 19,2 mm ikinci kat yatay deplasmanında 75 kN taşıyabilmiştir.

12-14. çevrim: On birinci çevrimden sonra elemanın taşıdığı taban kesme kuvveti önemli oranda azalmıştır. Dolgu duvarında donatılar burkulmuştur. On dördüncü çevrimde deney elemanının birinci katından alınan fotoğraflar Resim 3.5'de verilmiştir. 36 mm ikinci kat, 33 mm birinci kat yatay deplasman değerine çıkılan on dördüncü çevrimin ileri yüklemesinde taşınan taban kesme kuvveti 30 kN olarak ölçülmüştür.

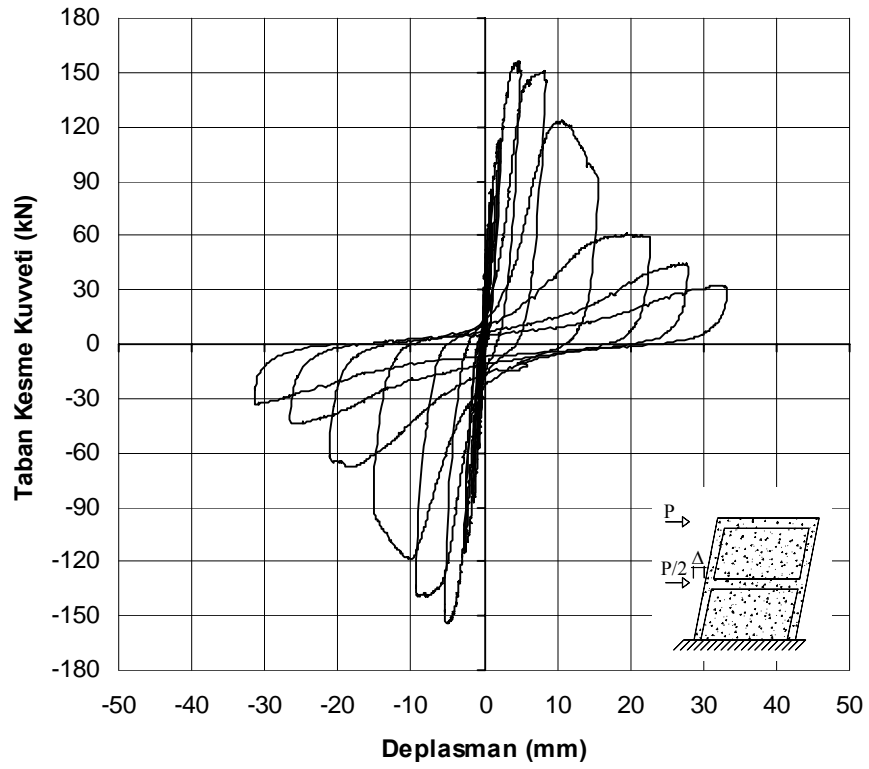
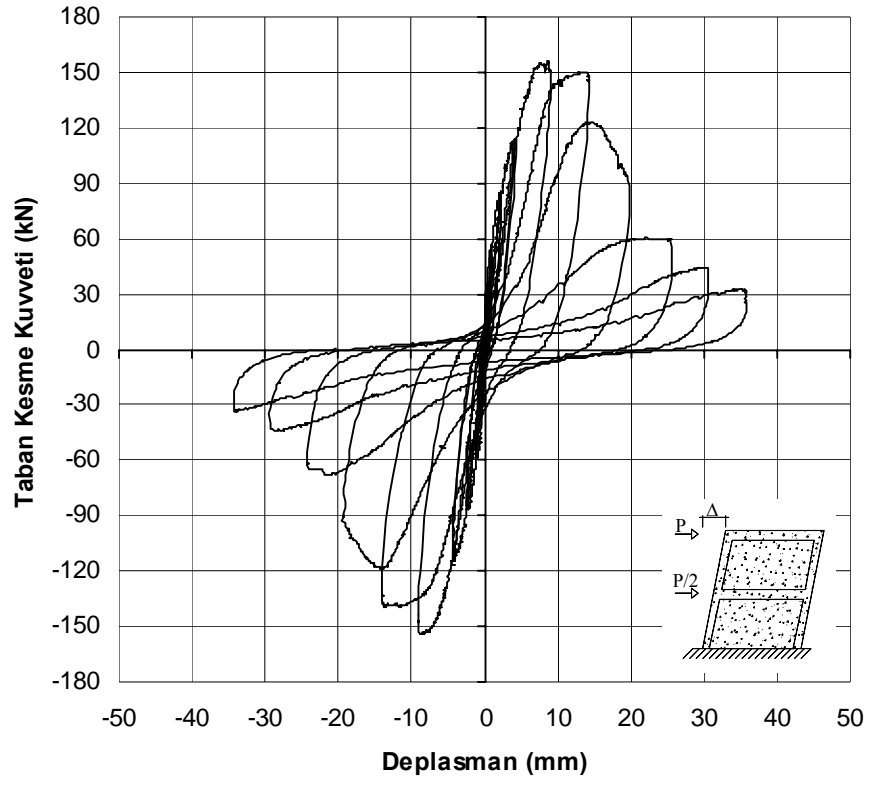


a) Birinci kat sol kolon

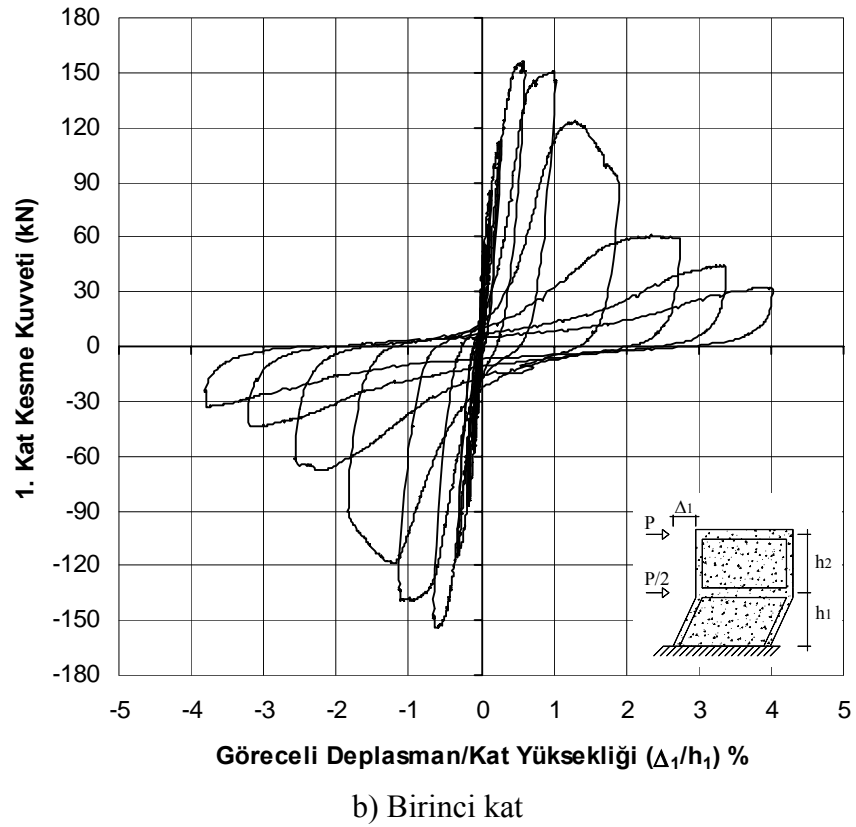
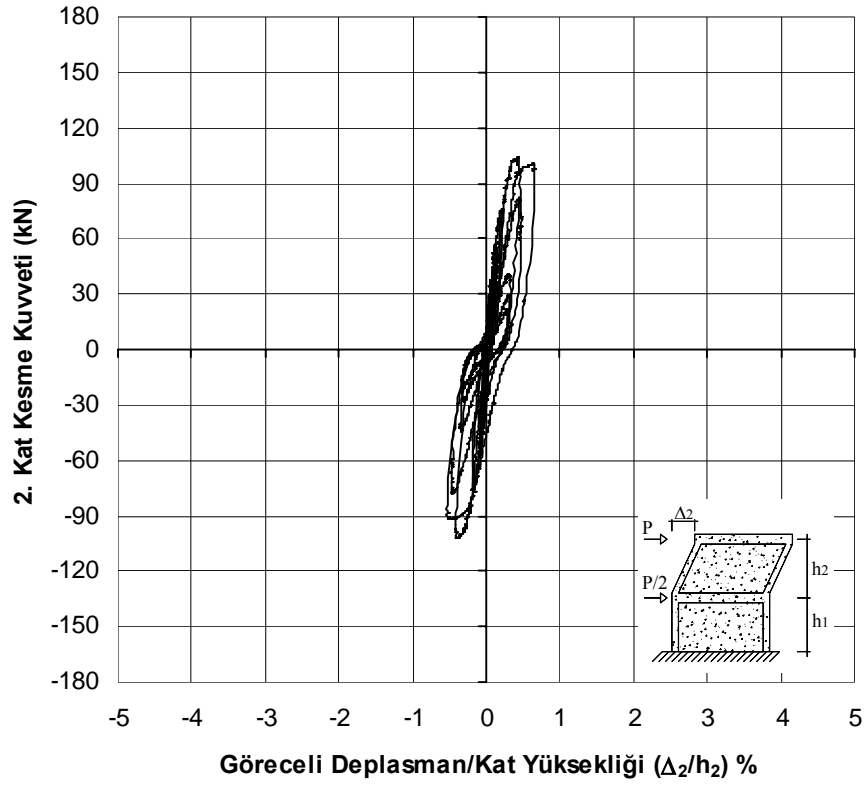


b) Birinci kat sağ kolon

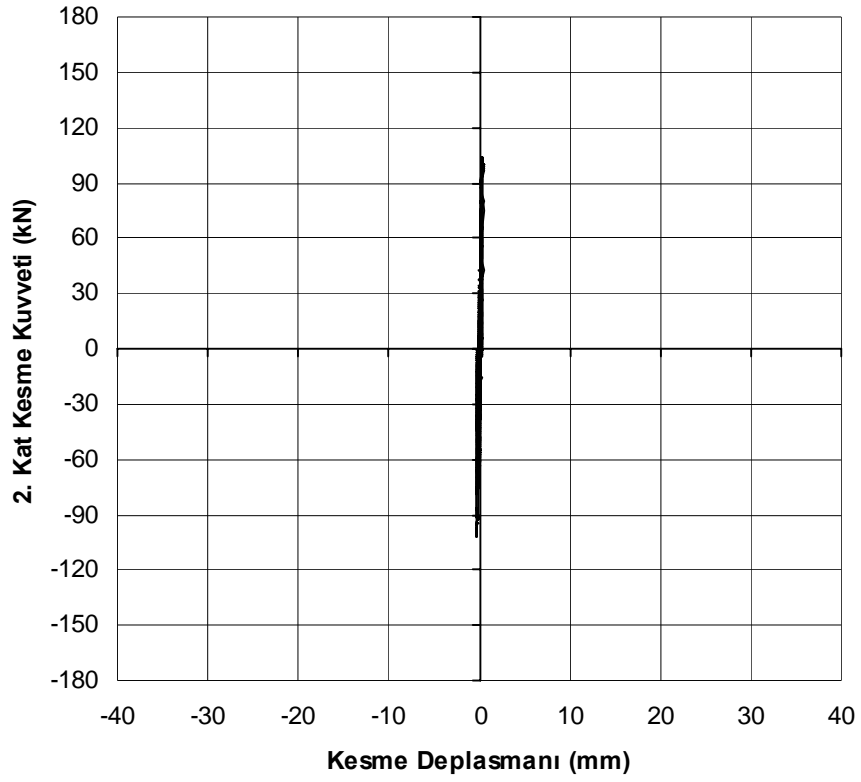
Resim 3.5. Göçmeden sonra birinci kat kolon uçları, Deney Elemanı-3



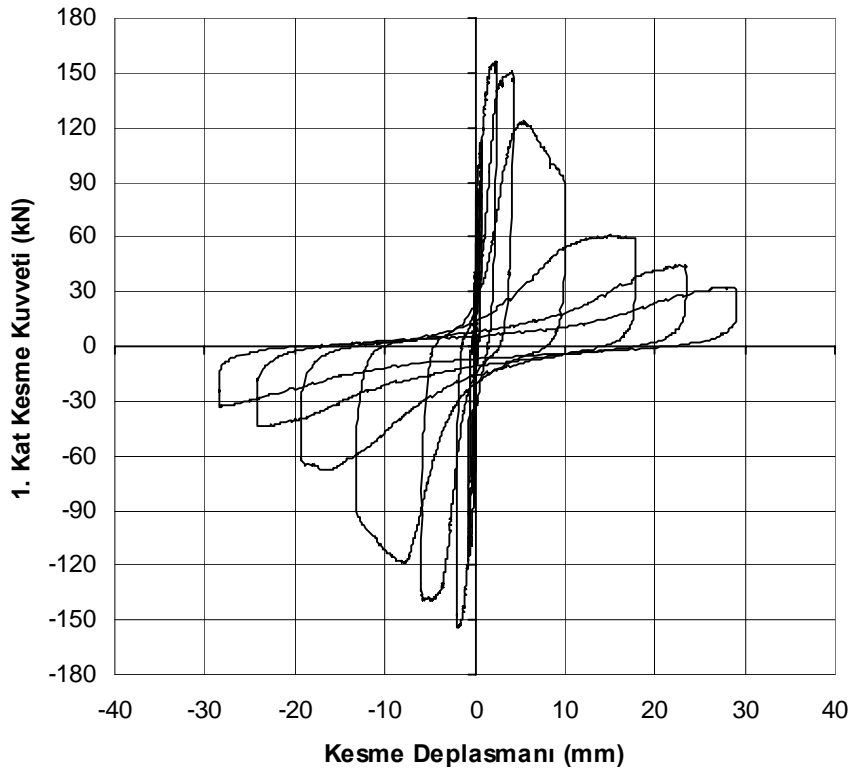
Şekil 3.10. Yük-deplasman grafikleri, Deney Elemanı-3



Şekil 3.11. Kat kesme kuvveti-ötelenme oranı grafikleri, Deney Elemanı-3

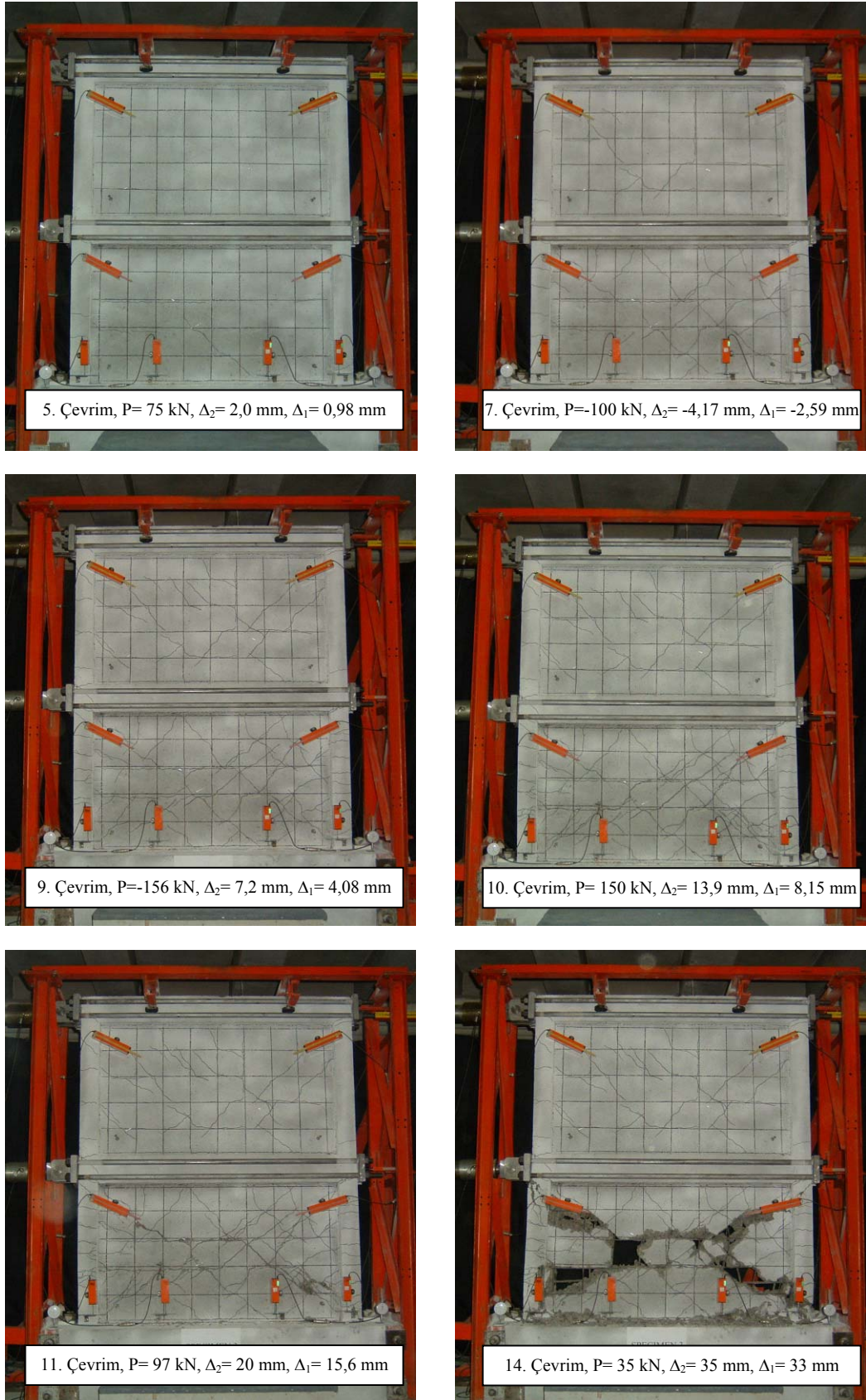


a) İkinci kat



b) Birinci kat

Şekil 3.12. Yük-kesme deplasmanı grafikleri, Deney Elemanı-3



Resim 3.6. Deney Elemanı-3'ün test sırasındaki fotoğrafları

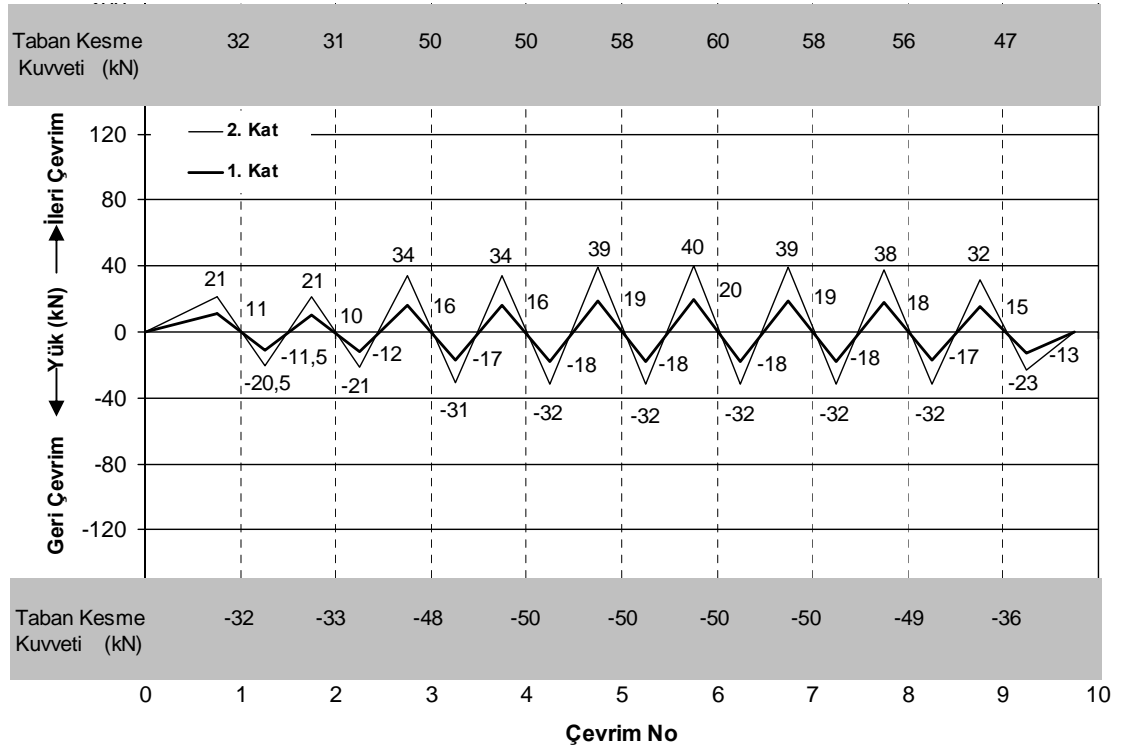
3.4. Deney Elemanı-4

Deney elemanı tanımı : Parçasal dolgu duvarla, güçlendirilmiş

Deney tarihi : 10/06/2003

Dolgu duvarı l/h oranı: 0,43 (l=325 mm, h=750 mm)

Deney elemanı Şekil 3.13'de verilen yük geçmişi altında test edilmiştir. Deney elemanına 9 tam yük çevrimi uygulanmıştır. Deney elemanının taban kesme kuvveti-deplasman grafikleri Şekil 3.14'de, kat kesme kuvveti-ötelenme oranı grafikleri Şekil 3.15'de, kat kesme kuvveti-kesme deplasmanı grafikleri Şekil 3.16'da verilmiştir. Deney elemanının dolgu duvarına bitişik olmayan kolonunun taban kesme kuvveti-eğrilik grafiği Şekil 3.17'de verilmiştir. Alınan eğrilik ölçümü yedinci çevrimin ileri yüklemesinde devre dışı kalmıştır. Deney süresince elemanda çatlak gelişiminin izlendiği fotoğraflar Resim 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.13. Yük-çevrim grafiği, Deney Elemanı-4

Deney sırasında önemli gözlemlerin yapıldığı yük çevrimleri aşağıda özetlenmiştir.

1. çevrim: Çevrimin ileri yüklemesinde 15 kN yük düzeyinde birinci kat sol kolonda ilk eğilme çatlağı gelişmiştir. 22 kN yük düzeyinde birinci kat kirişinin dolgu duvarına birleşen bölgesinde kiriş kesitinin altında eğilme çatlağı oluşmuştur. 25 kN yük düzeyinde birinci kat dolgu duvarında ilk eğik çatlak gelişmiştir. 25 kN yük düzeyinde deney elemanının kat yatay deplasmanları birinci katta 2,6 mm, ikinci katta 5,3 mm ölçülmüştür. 32 kN yük düzeyinde birinci katın kolon kiriş birleşiminde kılcal düzeyde eğik çatlaklar gözlenmiştir. Çevrimin geri yüklemesinde 32 kN yük düzeyinde birinci kat dolgu duvarının yaklaşık ortasından başlayıp temel kirişine doğru 45 derece eğimle devam eden eğik çatlak gelişmiştir.

2. çevrim: Çevrimin geri yüklemesinde 24 kN yük düzeyinde birinci kat dolgu duvarı temel kirişinden ayrılmıştır. 30 kN yük düzeyinde ikinci kat sağ kolonda eğilme çatlağı oluşmuştur.

3. çevrim: Bu çevrimde 50 kN taban kesme kuvveti uygulanmıştır. Çevrimin ileri yüklemesinde 36 kN yük düzeyinde birinci kat sol kolonda eğilme çatlakları eğikleşerek kesme çatlağı şeklinde gelişim göstermişlerdir. 50 kN yük düzeyinde ikinci kat dolgu duvarında ilk eğik çatlak gelişmiştir. Bu yük düzeyinde kat yatay deplasmanları birinci katta 5,8 mm, ikinci katta 11,4 mm ölçülmüştür. Çevrimin geri yüklemesinde 46 kN yük düzeyinde deney elemanın rijitliği azalmış, birinci katın dolgu duvarında eğik çatlak genişliği 1 mm'ye ulaşmıştır. Bu yük düzeyinde deney elemanın birinci kat yatay deplasmanı 8,25 mm, yatay ötelenme oranı ise % 1'dir. 48 kN yük düzeyinde birinci kat dolgu duvarın sol alt köşesinde diyagonal doğrultuda beton ezilmiştir. Birinci kat dolgu duvarın ölçülen kesme deplasmanı birinci kat yatay deplasmanının %23'ü düzeyindedir. Birinci katın sol kolonunda temel kirişinin üzerinde kesme çatlağı gelişim göstermiştir. Birinci kat sağ kolonun eğriliği 0,028 rad/m'dir. 48 kN yük düzeyinde kat yatay deplasmanları birinci katta 9,1 mm, ikinci katta 19,9 mm ölçülmüştür. Kat yatay ötelenme oranları birinci katta % 1,1, ikinci katta % 1,2'dir.

5. *çevrim*: Çevrimin ileri yüklemesinde 53 kN yük düzeyinde kat yatay deplasmanları birinci katta 8,22 mm, ikinci katta 15,36 mm ölçülmüştür. Katların yatay ötelenme oranları ise birinci katta %1, ikinci katta %0,8'dir. 58 kN taban kesme kuvveti değerinde deney elemanının rijitliği büyük oranda azalmış, yüklemeye son verilmiştir. Bu yük düzeyinde birinci kat dolgu duvarının kesme deplasmanı, birinci kat yatay deplasmanın %24'üdür. Birinci kat sağ kolonun eğirliği ise 0,022 rad/m'dir. 58 kN yük düzeyinde birinci kat yatay deplasmanı 10 mm, ikinci katın yatay deplasmanı 20 mm'dir. Çevrimin geri yüklemesinde 50 kN yük seviyesinde birinci kat dolgu duvarında eğik çatlak genişliği 2 mm'ye ulaşmıştır.

7-8-9. *çevrim*: Yedinci çevrimin ileri yüklemesinde 59 kN taban kesme kuvveti değerinde birinci kat sağ kolonun alt ucunda kesme çatlağı genişliği 1,5 mm ölçülmüştür. Sekizinci çevrimin ileri yüklemesinde 55 kN yük seviyesine çıkıldığında birinci kat dolgu duvarı betonu diyagonal doğrultuda ezilmiştir. Bu yük düzeyinde ölçülen kat yatay deplasmanları birinci katta 21 mm, ikinci katta 35 mm'dir. Deney elemanının birinci kat kolonları kesmeden kırılmıştır. Dokuzuncu çevrimde deney elemanının birinci katından alınan fotoğraflar Resim 3.7'de verilmiştir. Bu çevrimde elemanın taşıdığı yük 36 kN düzeyine gerilemiştir.

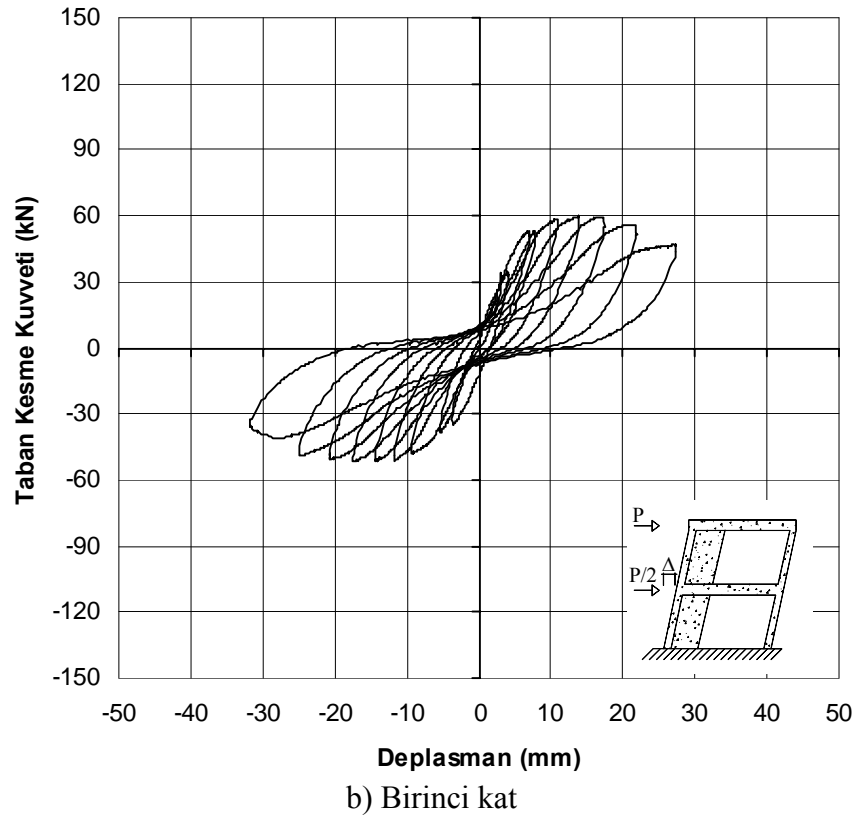
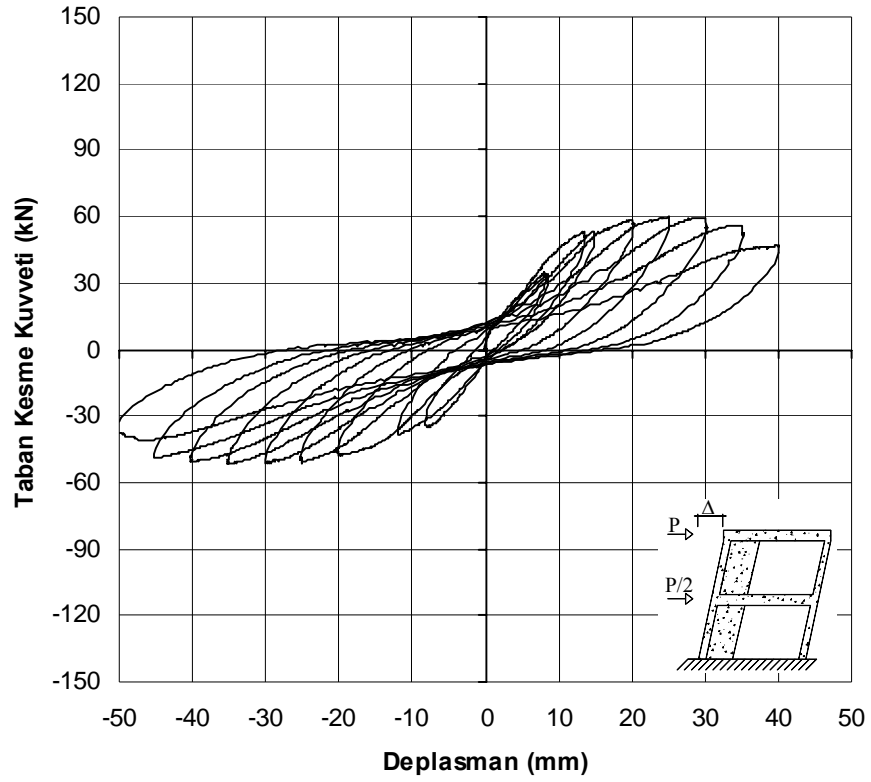


a) Birinci kat dolgu duvarı

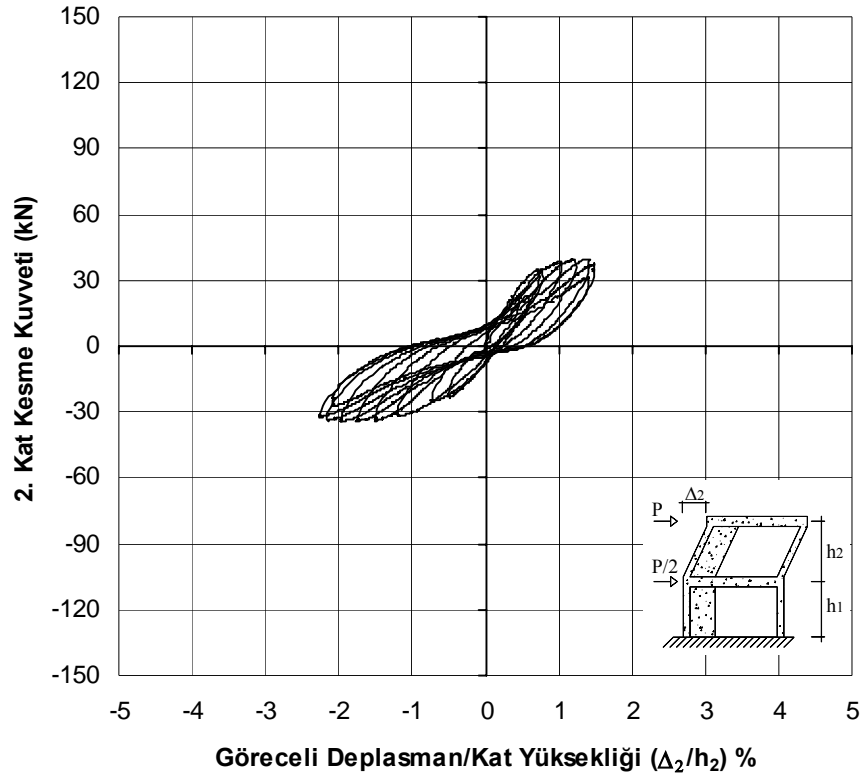


b) Birinci kat sağ kolonu

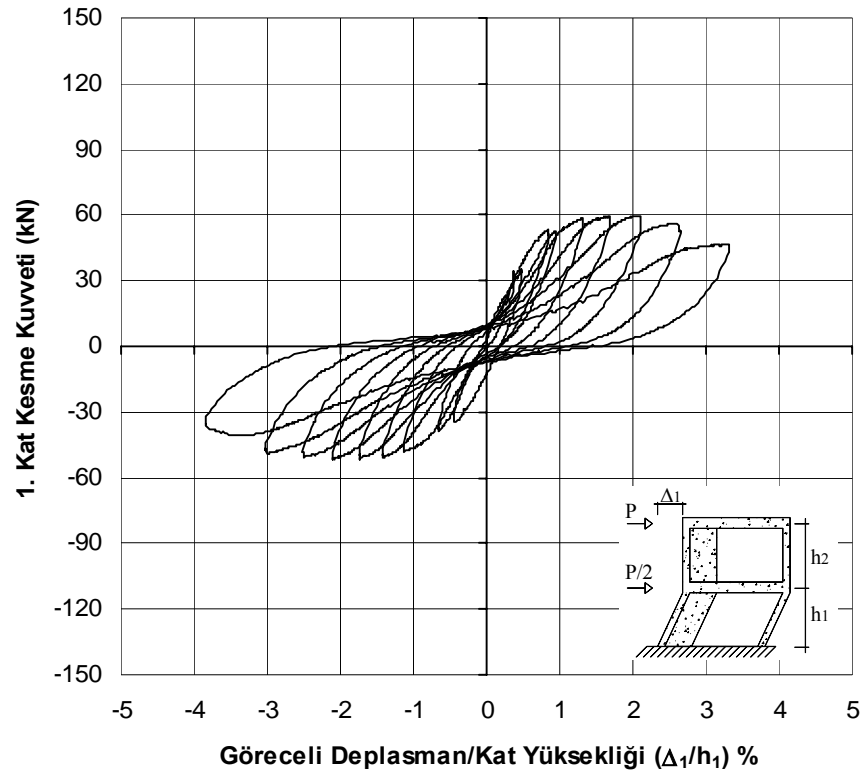
Resim 3.7. Göçmeden sonra birinci kat dolgu duvarı ve kolonu, Deney Elemanı-4



Şekil 3.14. Yük-deplasman grafikleri, Deney Elemanı-4

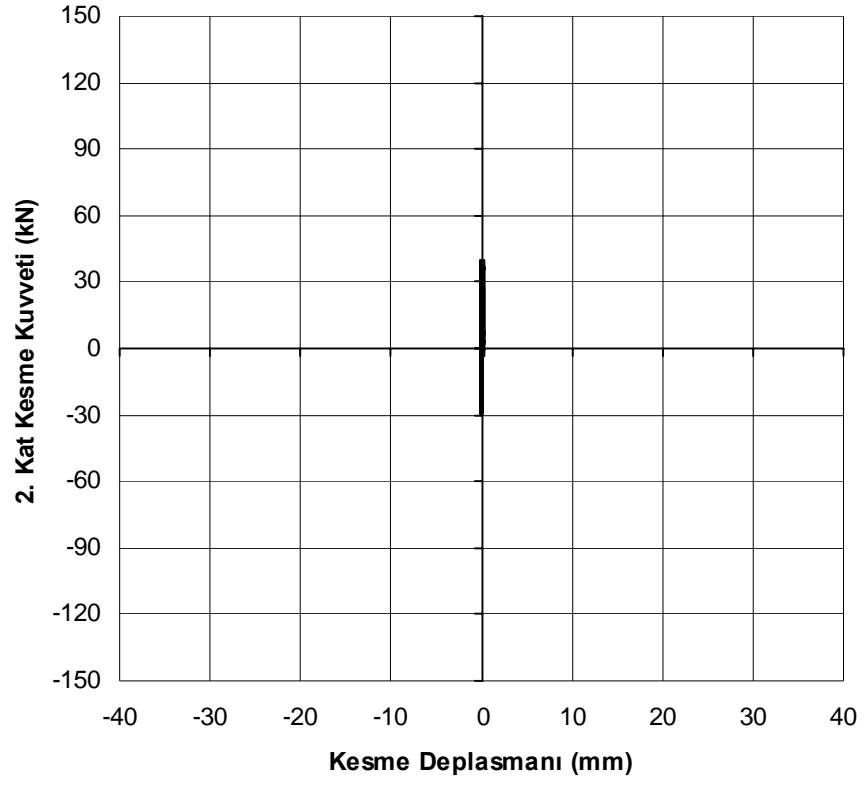


a) İkinci kat

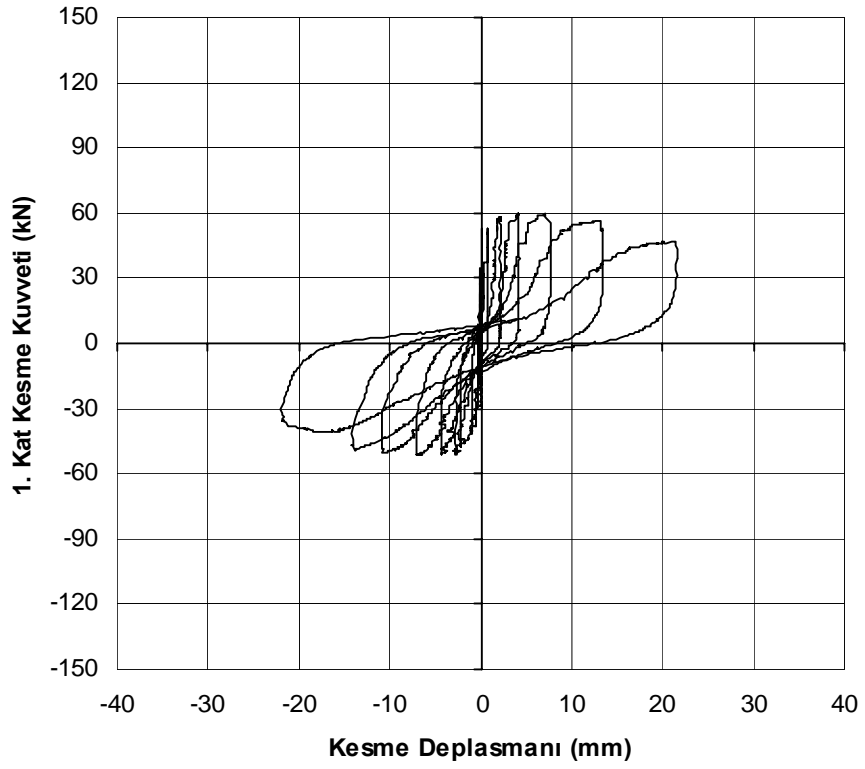


b) Birinci kat

Şekil 3.15. Kat kesme kuvveti-ötelenme oranı grafikleri, Deneysel Elemanı-4

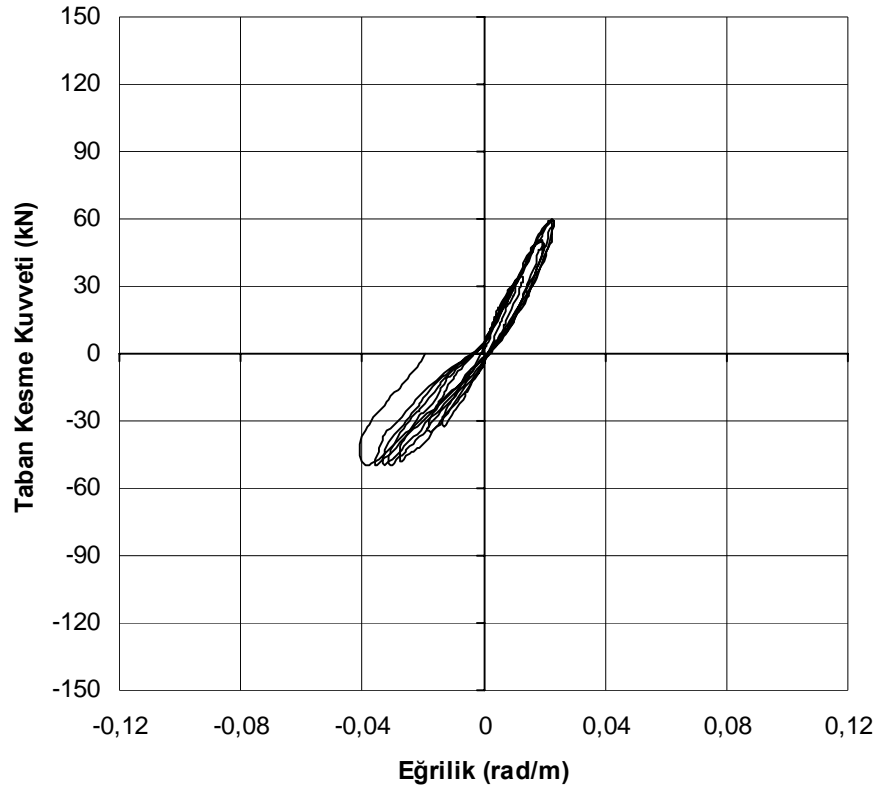


a) İkinci kat

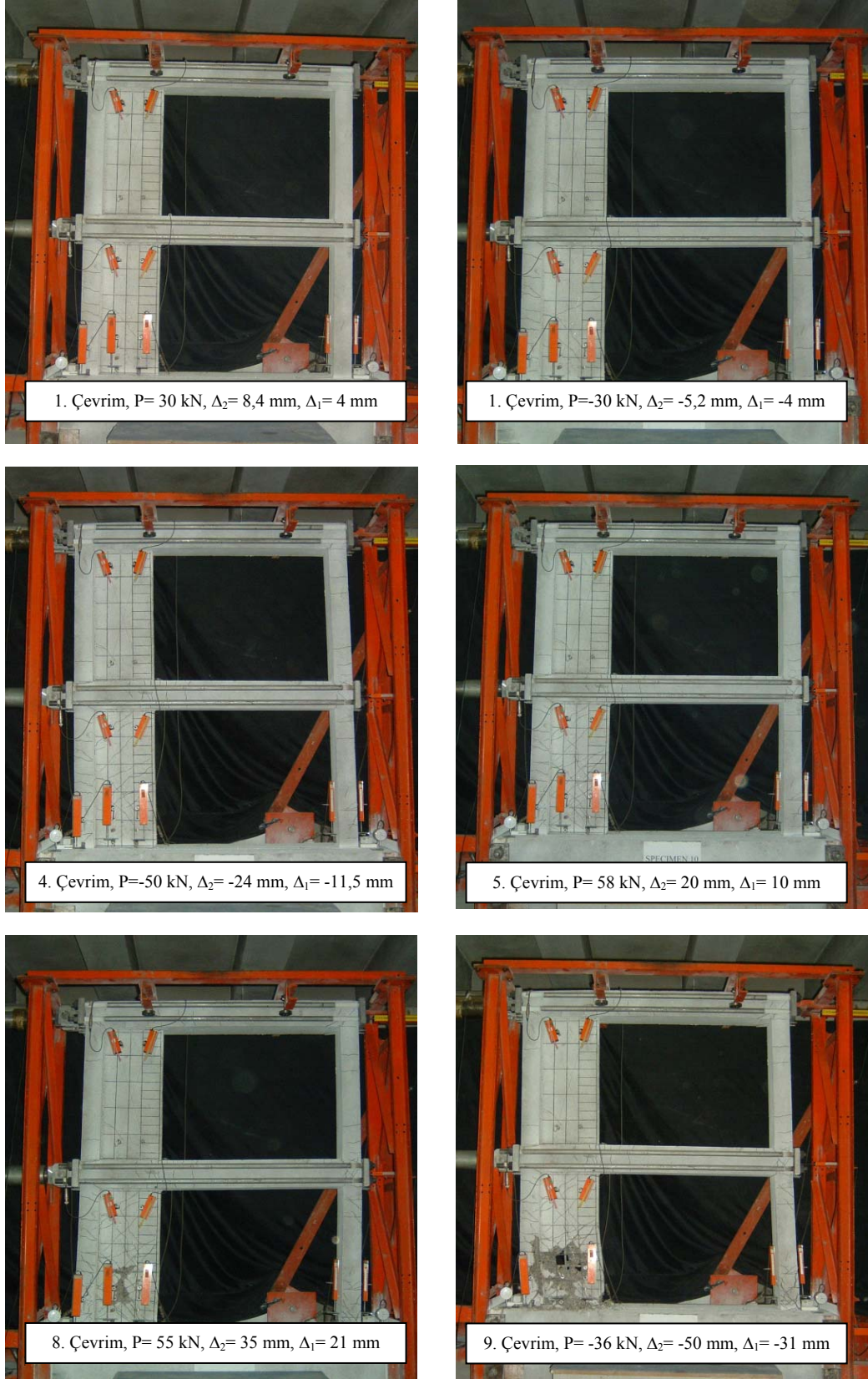


b) Birinci kat

Şekil 3.16. Yük-kesme deplasmanı grafikleri, Deney Elemanı-4



Şekil 3.17. Taban kesme kuvveti-eğrilik grafiği, Deneş Elemanı-4



Resim 3.8. Deney Elemanı-4'ün test sırasındaki fotoğrafları

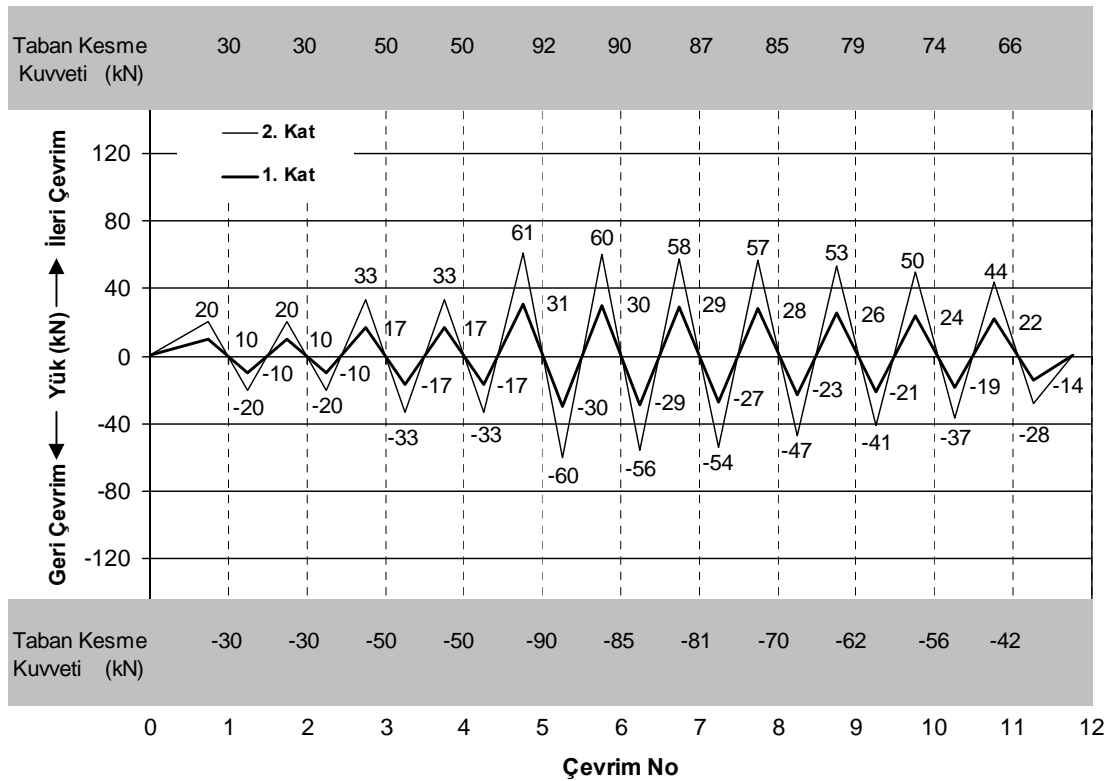
3.5. Deney Elemanı-5

Deney elemanı tanımı : Parçasal dolgu duvarla güçlendirilmiş

Deney tarihi : 10/05/2003

Dolgu duvarı l/h oranı: 0,87 (l=650 mm, h=750 mm)

Deney elemanı Şekil 3.18’de verilen yük geçmişi altında test edilmiştir. Deney elemanına 11 tam yük çevrimi uygulanmıştır. Deney elemanının taban kesme kuvveti-deplasman grafikleri Şekil 3.19’da, kat kesme kuvveti-ötelenme oranı grafikleri Şekil 3.20’de, kat kesme kuvveti-kesme deplasmanı grafikleri Şekil 3.21’de verilmiştir. Birinci kat dolgu duvarından alınan kesme deplasmanı ölçümleri onuncu çevrimde devre dışı kalmıştır. Deney elemanında dolgu duvarına bitişik olmayan kolonun taban kesme kuvveti-eğrilik grafiği Şekil 3.22’de verilmiştir. Eğrilik ölçümleri yedinci çevrimde devre dışı kalmıştır. Deney süresince elemanda çatlak gelişiminin izlendiği fotoğraflar Resim 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.18. Yük-çevrim grafiği, Deney Elemanı-5

Deney sırasında önemli gözlemlerin yapıldığı yük çevrimleri aşağıda özetlenmiştir.

1. çevrim: Çevrimin ileri yüklemesinde 30 kN yük düzeyinde birinci kat sol kolonda ilk eğilme çatlak oluşmuştur.

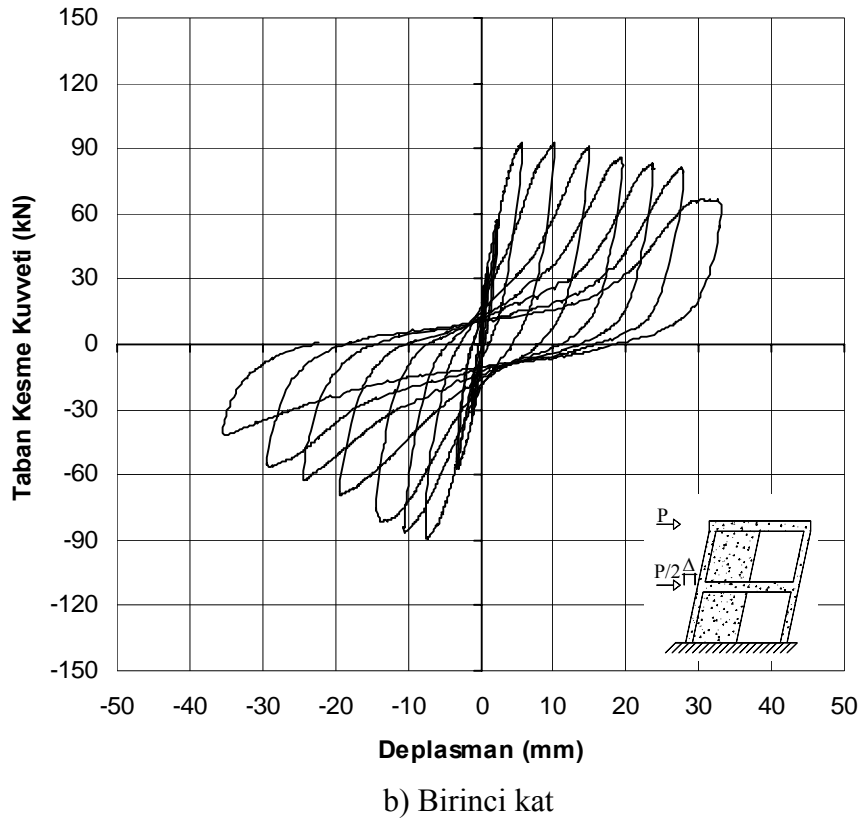
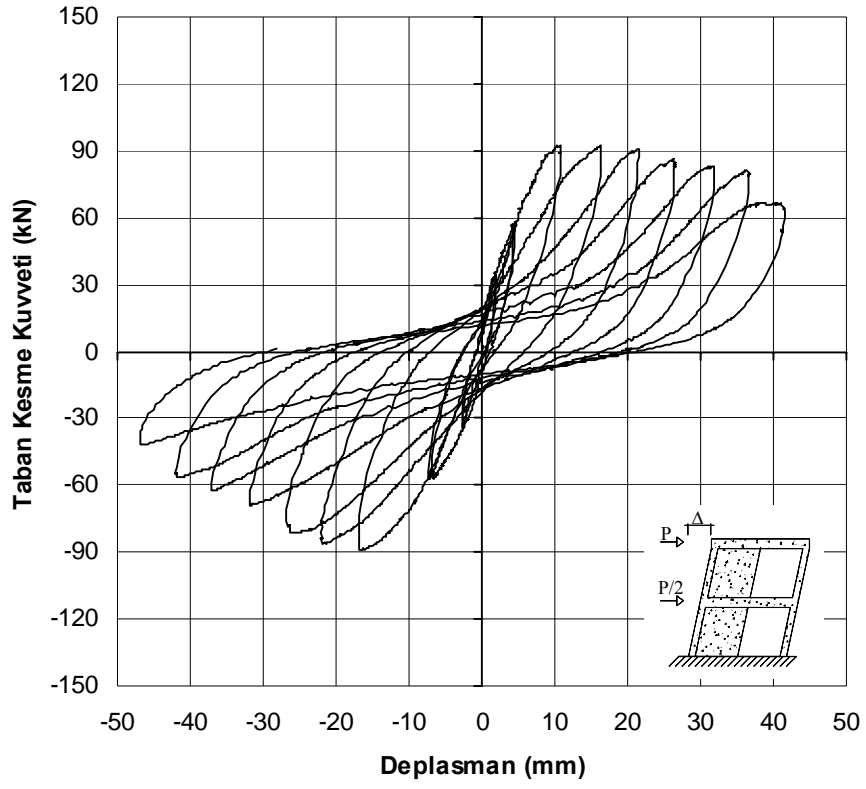
3. çevrim: Çevrimin ileri yüklemesinde 44 kN yük düzeyinde birinci kat kolon kiriş birleşim bölgelerinde eğik çatlak gelişimi gözlenmiş, birinci kat dolgu duvarında ilk eğik çatlak oluşmuştur. Bu yük düzeyinde katların yatay deplasmanları birinci katta 1,5 mm, ikinci katta 2,9 mm ölçülmüştür. 50 kN yük düzeyinde birinci kat kirişinde dolgu duvara birleştiği bölgede çok sayıda eğilme çatlak gelişmiştir. Çevrimin geri yüklemesinde 40 kN yük düzeyinde birinci kat dolgu duvarında eğik çatlak gelişimi gözlenmiştir. Bu yük düzeyinde ölçülen kat deplasmanları birinci katta 1,6 mm, ikinci katta 3,5 mm'dir. 50 kN yük düzeyinde ikinci kat sol kolon kiriş birleşim bölgesinde eğik çatlak oluşmuştur.

5. çevrim: Çevrimin ileri yüklemesinde 75 kN yük düzeyinde birinci kat sol kolon temel kirişinden kılcal düzeyde ayrılmıştır. 85 kN yük düzeyinde ikinci kat dolgu duvarında ilk eğik çatlak gelişmiştir. Bu yük düzeyinde birinci katın yatay deplasmanı 4,5 mm, ikinci katın yatay deplasmanı 8,5 mm ölçülmüştür. 92 kN yük düzeyinde deney elemanının rijitliği azalmıştır. Birinci kat sol kolon, birinci kat dolgu duvarıyla birlikte temel kirişinden ayrılmıştır. Birinci kat sol kolonunun boyuna donatısı akmıştır. Akmada birinci katın yatay deplasmanı 5,74 mm, ikinci katın yatay deplasmanı 10,51 mm ölçülmüştür. Yatay ötelenmeleri oranları birinci katta % 0,7, ikinci katta % 0,53'dür. Deney elemanın dolgu duvarının hesaplanan kesme deplasmanı birinci kat yatay deplasmanının %29'u düzeyindedir. Birinci kat sağ kolonun eğriliği ise 0,03 rad/m hesaplanmıştır. Bu yük düzeyinde birinci kat kirişinde dolgu duvarına birleşen bölgede kesme çatlak oluşmuştur. Çevrimin geri yüklemesinde 77 kN yük düzeyinde birinci kat dolgu duvarı temel kirişinden ayrılmıştır. 90 kN yük düzeyinde yüklemeye son verilmiştir. Bu yük düzeyinde katların yatay deplasmanları birinci katta 7,25 mm, ikinci katta 15,2 mm ölçülmüştür. Yatay ötelenme oranları ise birinci ve ikinci katta % 0,88'dir. Bu yük düzeyinde birinci katın dolgu duvarında kesme deplasmanı, birinci kat yatay deplasmanının

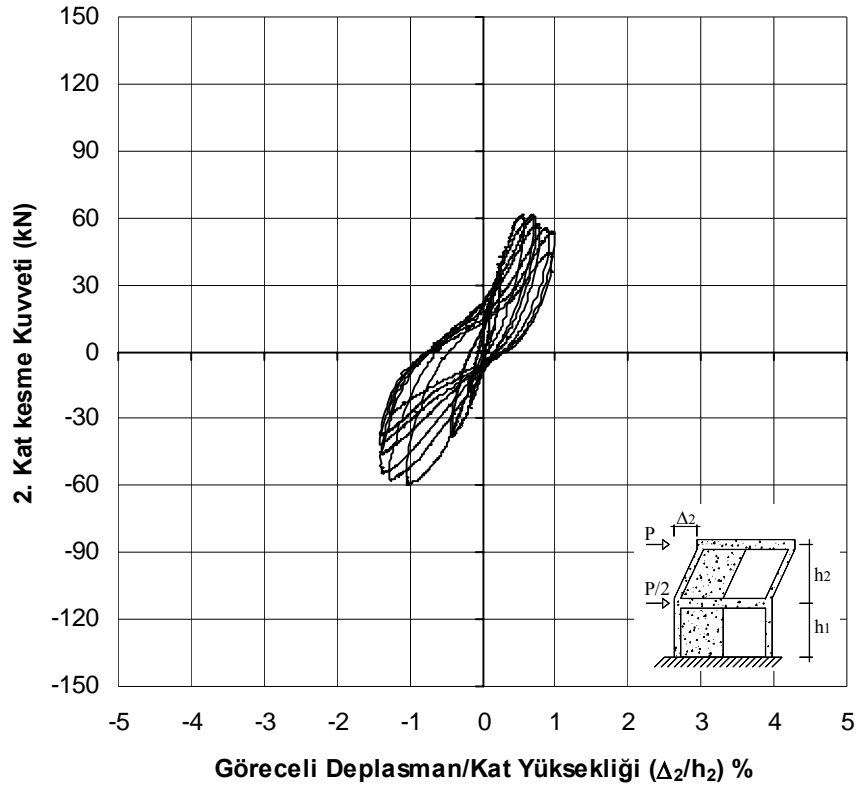
%3'ü düzeyinde gerçekleşmiştir. Birinci kat sağ kolonun eğriliği ise 0,06 rad/m'dir. Bu çevrimden sonra deneye deplasman kontrollü olarak devam edilmiştir. Her çevrimde ikinci katın yatay deplasmanı yaklaşık 5 mm artırılmıştır.

6. *çevrim*: Çevrimin ileri yüklemesinde 84 kN yük düzeyinde kat deplasmanları birinci katta 8,27 mm, ikinci katta 13,21 mm ölçülmüştür. Kat yatay ötelenme oranları ise birinci katta % 1, ikinci katta % 0,55'dir. Çevrimin geri yüklemesinde 78 kN yük düzeyinde katların yatay deplasmanları birinci katta 8,23 mm, ikinci katta 17,13 mm ölçülmüştür. Yatay ötelenme oranları ise birinci ve ikinci katta % 1'dir.

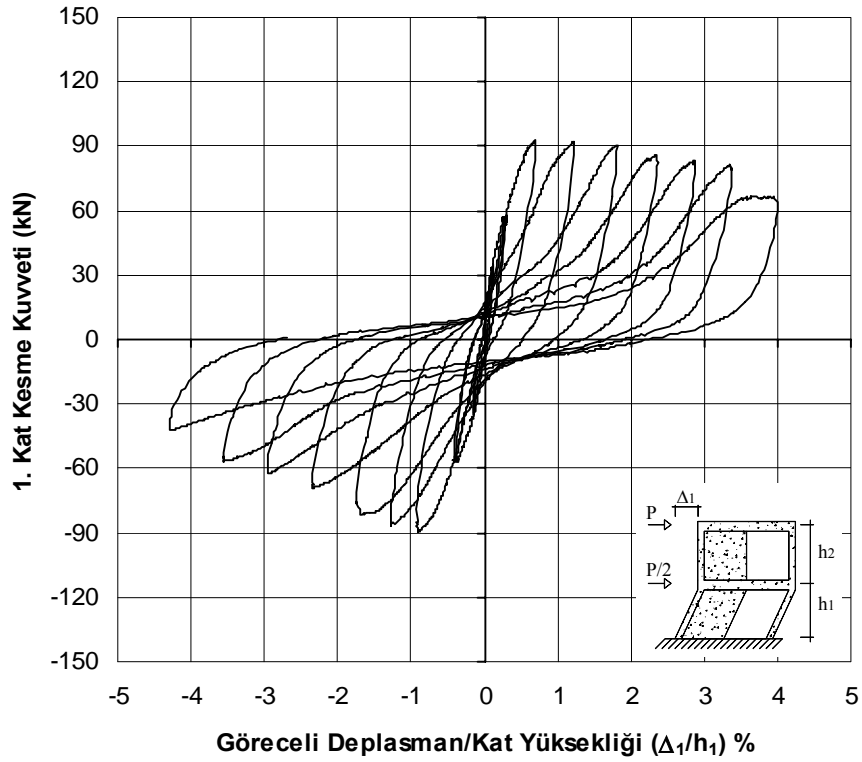
7-10. *çevrim*: Yedinci çevrimin geri yüklemesinde 81 kN yük düzeyinde dolgu duvarı temel kirişi üzerinden kesilmiştir. Bu yük düzeyinde katların yatay deplasmanları birinci katta 14,4 mm, ikinci katta 26,8 mm ölçülmüştür. Onuncu çevrimin ileri yüklemesinde birinci kat dolgu duvarın temel kirişine birleşen filiz donatısı kopmuştur.



Şekil 3.19. Yük-deplasman grafikleri, Deney Elemanı-5

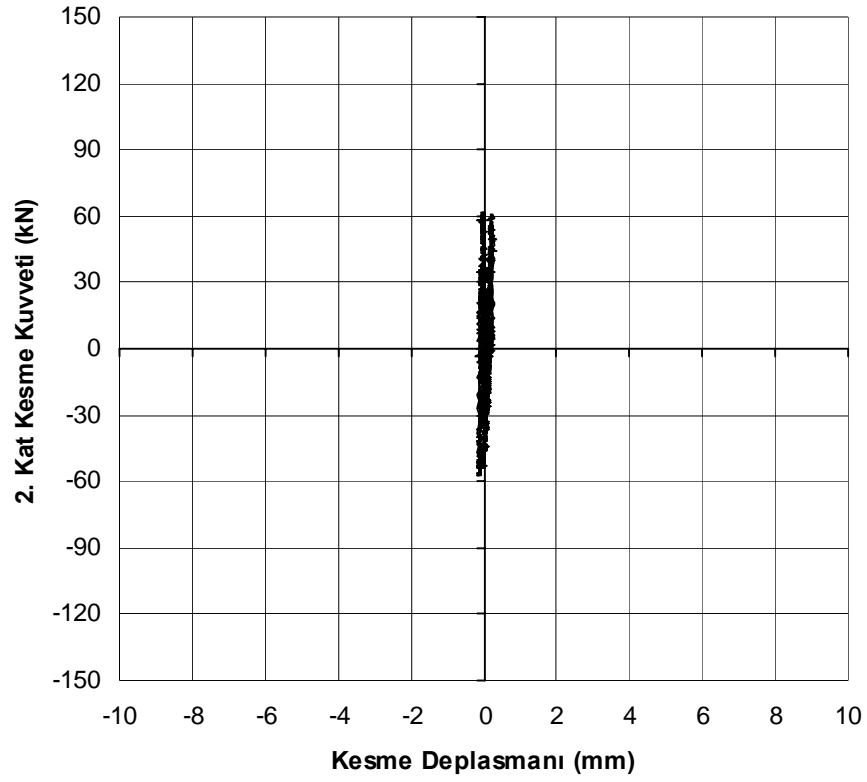


a) İkinci kat

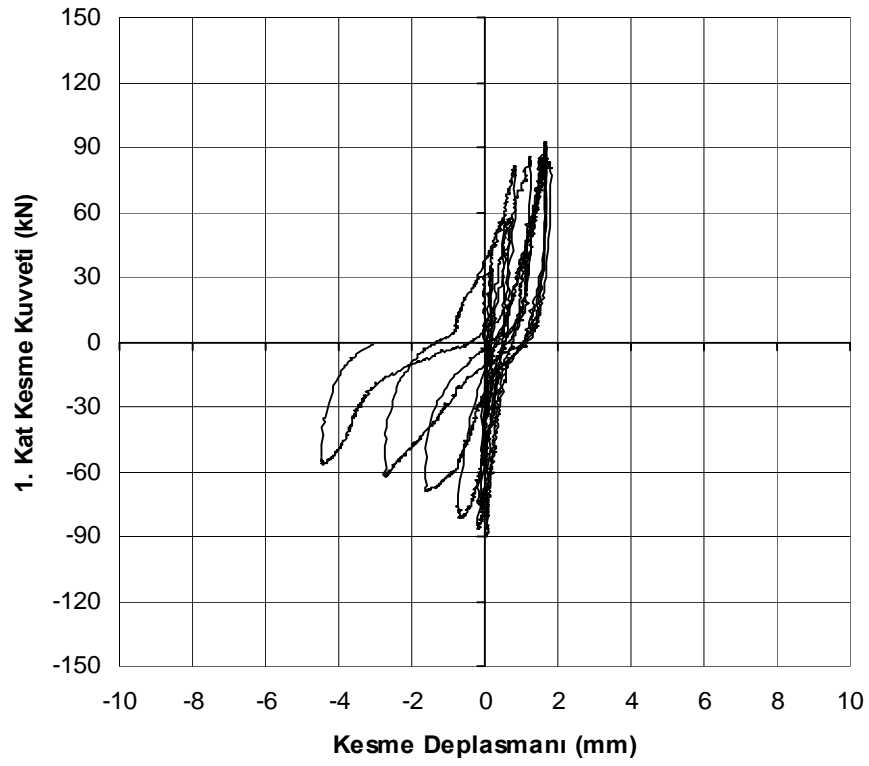


b) Birinci kat

Şekil 3.20. Kat kesme kuvveti-ötelenme oranı grafikleri, Deneysel Eleman-5

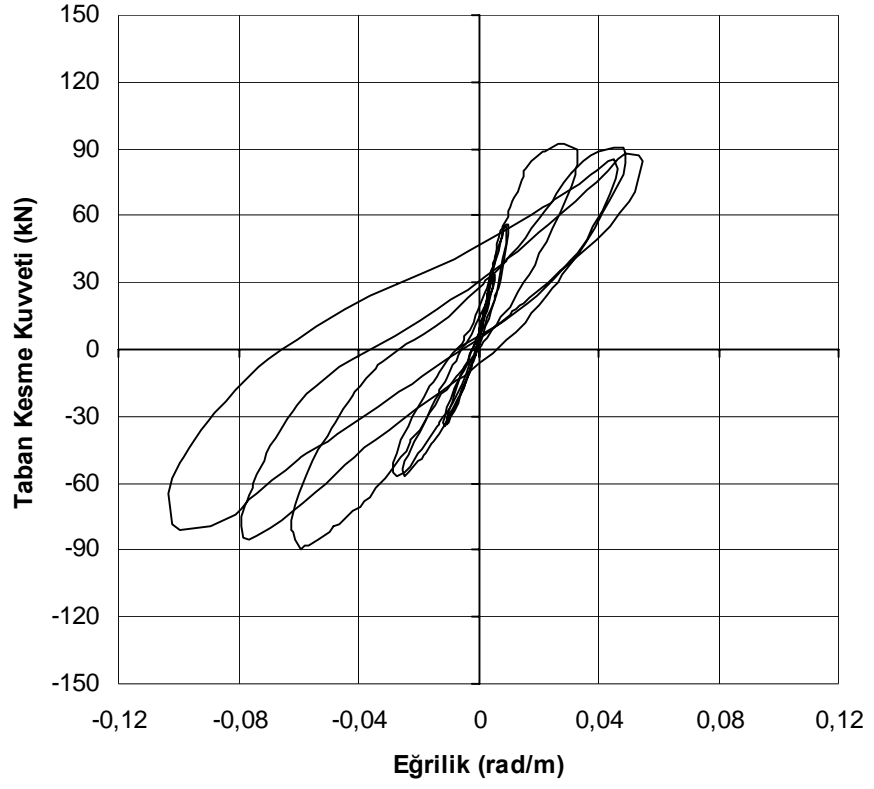


a) İkinci kat

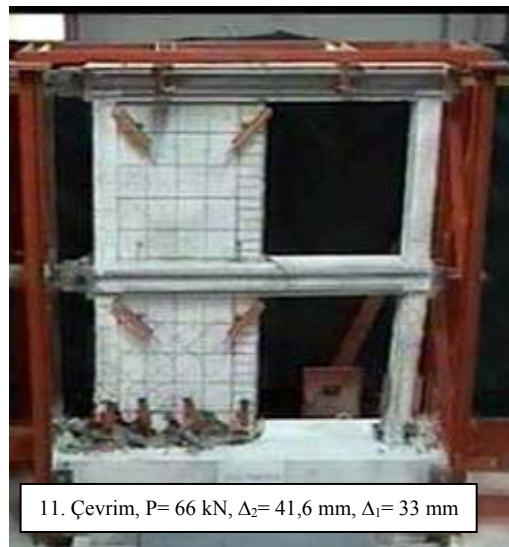
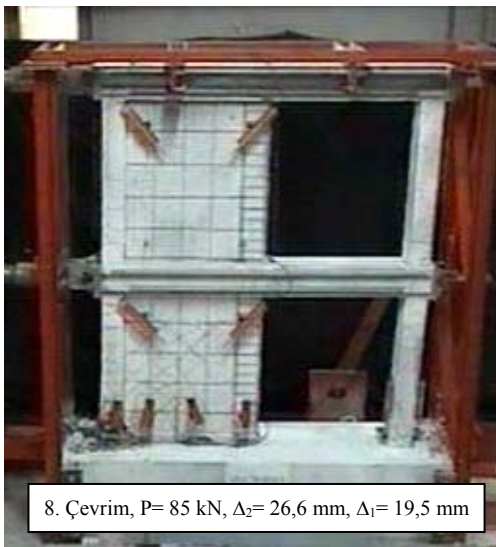
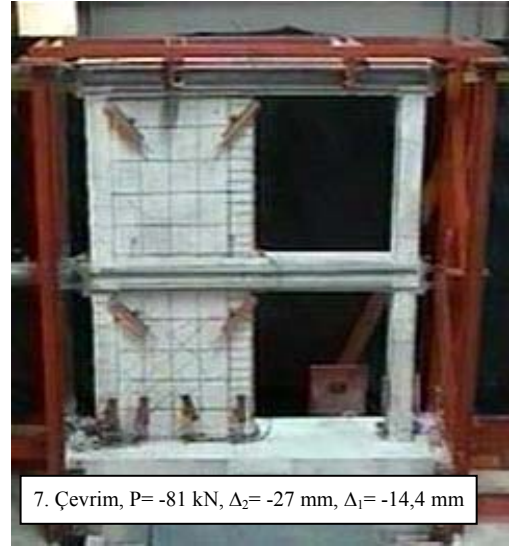
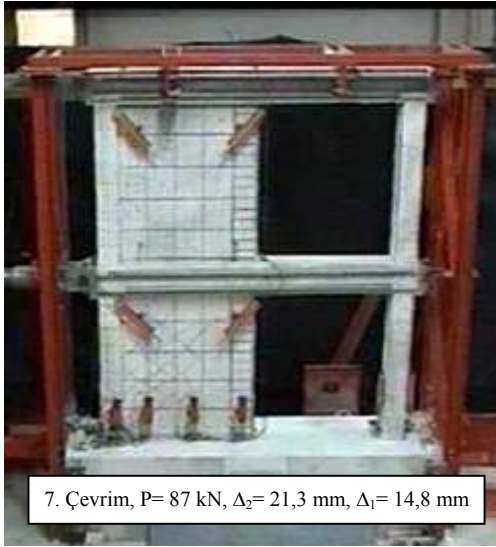
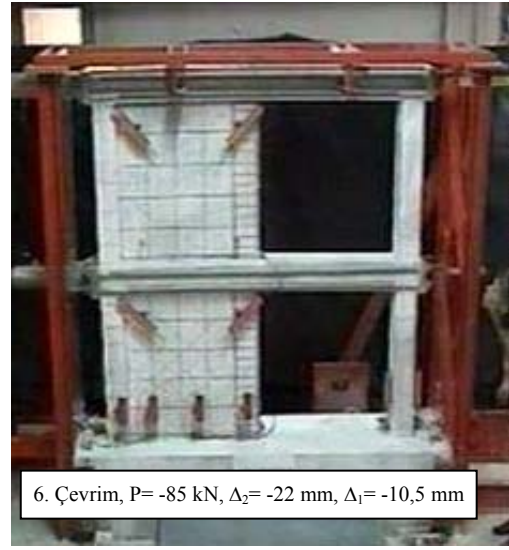
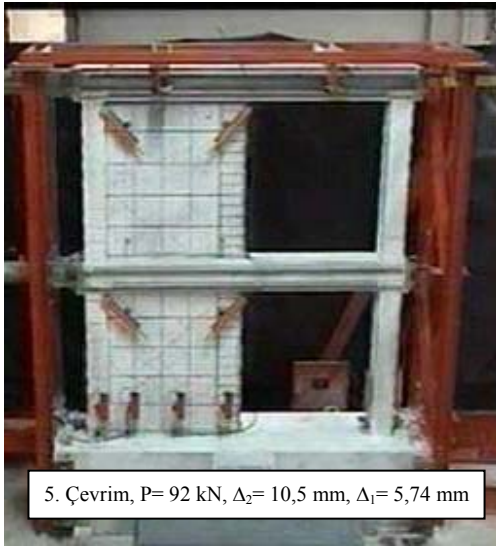


b) Birinci kat

Şekil 3.21. Yük-kesme deplasmanı grafikleri, Deneysel Elemanı-5



Şekil 3.22. Taban kesme kuvveti-eğrilik grafiği, Deney Elemanı-5



Resim 3.9. Deney Elemanı-5'in test sırasındaki fotoğrafları

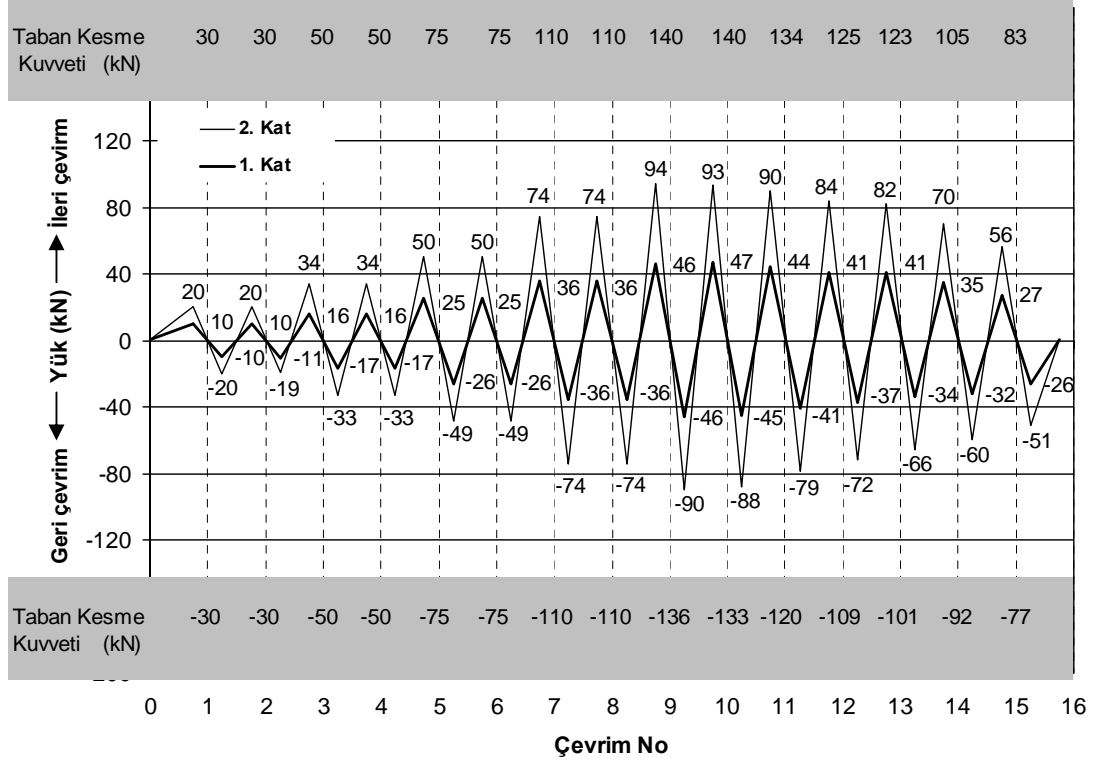
3.6. Deney Elemanı-6

Deney elemanı tanımı : Parçasal dolgu duvarla güçlendirilmiş

Deney tarihi : 17/05/2003

Dolgu duvarı l/h oranı: 1,3 (l=975 mm, h=750 mm)

Deney elemanı Şekil 3.23'de verilen yük geçmişi altında test edilmiştir. Deney elemanına 15 tam yük çevrimi uygulanmıştır. Deney elemanının taban kesme kuvveti-deplasman grafikleri Şekil 3.24'de, kat kesme kuvveti-ötelenme oranı grafikleri Şekil 3.25'de, kat kesme kuvveti-kesme deplasmanı grafikleri Şekil 3.26'da verilmiştir. Deney elemanının dolgu duvarına bitişik olmayan kolonunun taban kesme kuvveti-eğrilik grafiği Şekil 3.27'de verilmiştir. Eğrilik ölçümleri on ikinci çevrimde devre dışı kalmıştır. Deney süresince çatlak gelişiminin izlendiği fotoğraflar Resim 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.23. Yük-çevrim grafiği, Deney Elemanı-6

Deney sırasında önemli gözlemlerin yapıldığı yük çevrimleri aşağıda özetlenmiştir.

3. *çevrim*: Çevrimin ileri yüklemesinde 50 kN yük düzeyinde birinci kat sol kolonda ilk eğilme çatlak gelişmiştir.

5. *çevrim*: Çevrimin ileri yüklemesinde 70 kN yük düzeyinde birinci kat dolgu duvarında ilk eğik çatlak gelişimi gözlenmiştir. Bu yük düzeyinde kat yatay deplasmanları birinci katta 1,3 mm, ikinci katta 2,56 mm ölçülmüştür. 75 kN yük düzeyinde birinci kat sol kolon kiriş birleşim bölgesinde eğik çatlak gelişmiştir. Bu yük düzeyinde birinci kat kirişinde dolgu duvarına birleşen bölgede eğilme çatlak oluşmuştur. Çevrimin geri yüklemesinde 75 kN yük düzeyinde birinci kat dolgu duvarında eğik çatlak gelişmiştir. Birinci ve ikinci kat dolgu duvarlarının sağ alt uçları kirişten ayrılmıştır.

7. *çevrim*: Çevrimin ileri yüklemesinde 92 kN yük düzeyinde birinci kat dolgu duvarında oluşan kesme çatlakları çerçeve elemanlarına ulaşmıştır. Çevrimde 110 kN yük düzeyine çıkıldığında birinci kat sol kolonun alt ucunda kesme çatlak gelişmiştir. Bu yük düzeyinde kat yatay deplasmanların birinci katta 2,57 mm, ikinci katta 4,85 mm ölçülmüştür. Çevrimin geri yüklemesinde 110 kN yük düzeyinde birinci kat sağ kolonun üst ucunda kesme çatlak gelişmiştir. Bu yük düzeyinde ölçülen kat yatay deplasmanları birinci katta 2,96 mm, ikinci katta 5,1 mm'dir.

9. *çevrim*: Çevrimin ileri yüklemesinde 110 kN taban kesme kuvveti düzeyinde ikinci kat dolgu duvarında eğik çatlak oluşmuş ve ikinci kat sol kolonda eğilme çatlak gelişmiştir. İkinci katın kirişinde dolgu duvarına birleşen bölgede eğilme çatlak oluşmuştur. 130 kN yük düzeyinde birinci kat sol kolonda kesme çatlak genişliği 1 mm ölçülmüştür. Birinci kat dolgu duvarı temel kirişinden ayrılmıştır. 140 kN yük düzeyinde deney elemanının rijitliği azalmıştır. Bu düzeyde yüklemeye son verilmiştir. 140 kN yük düzeyinde kat yatay deplasmanları birinci katta 5,67 mm, ikinci katta 10,04 mm'dir. Birinci kat dolgu duvarının kesme deplasmanı, birinci kat yatay deplasmanının %26'sı düzeyindedir. Kat yatay ötelenme oranları ise birinci katta % 0,69, ikinci katta % 0,49'dur. Birinci kat sağ kolonun eğriliği 0,026

rad/m'dir. Çevrimin geri yüklemesinde 125 kN yük düzeyinde birinci katın dolgu duvarında eğik çatlak genişliği 0,6 mm ölçülmüştür. Deney elemanı 136 kN taban kesme kuvveti taşımıştır. Bu yük düzeyinde ölçülen birinci katın yatay deplasmanı 5,57 mm, ikinci katın yatay deplasmanı 9,24 mm'dir. Birinci kat dolgu duvarın kesme deplasmanı, birinci kat yatay deplasmanının %15'idir. 0,81 mm'dir. Yatay ötelenme oranları ise birinci katta % 0,68 ikinci katta % 0,41'dir. Birinci kat sağ kolonun eğriliği 0,052 rad/m'dir. Deneye her çevrimde ikinci katın deplasmanı yaklaşık 5 mm artırılarak deplasman kontrollü olarak devam edilmiştir. Dokuzuncu çevrimde birinci kat sol kolon alt ucunda, sağ kolon ise üst ucunda kesmeden kırılmıştır.

10-11. çevrim: Onuncu çevrimin ileri yüklemesinde 120 kN yük düzeyinde kat yatay deplasmanları birinci katta 8,33 mm, ikinci katta 13,23 mm'dir. Yatay ötelenme oranları ise birinci katta %1, ikinci katta %0,5'dir. Onuncu çevrimin geri yüklemesinde 115 kN yük düzeyinde kat yatay deplasmanları birinci katta 8,3 mm, ikinci katta 11,8 mm ölçülmüştür. Yatay ötelenme oranları birinci katta % 1, ikinci katta % 0,39'dur. 120 kN yük düzeyine birinci kat kirişinde dolgu duvarına birleşen bölgede kesme çatlak gelişmiştir. On birinci çevriminde deney elemanı temel kirişinin üzerinden kaymıştır. On beşinci çevrimde deney elemanının birinci katından alınan fotoğraflar Resim 3.10'da verilmiştir.

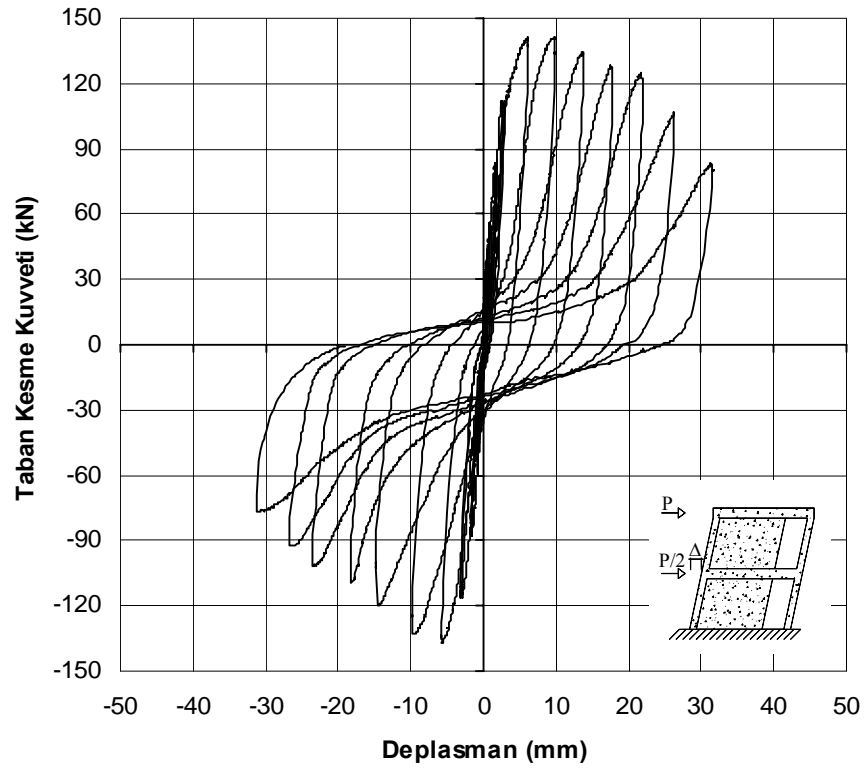
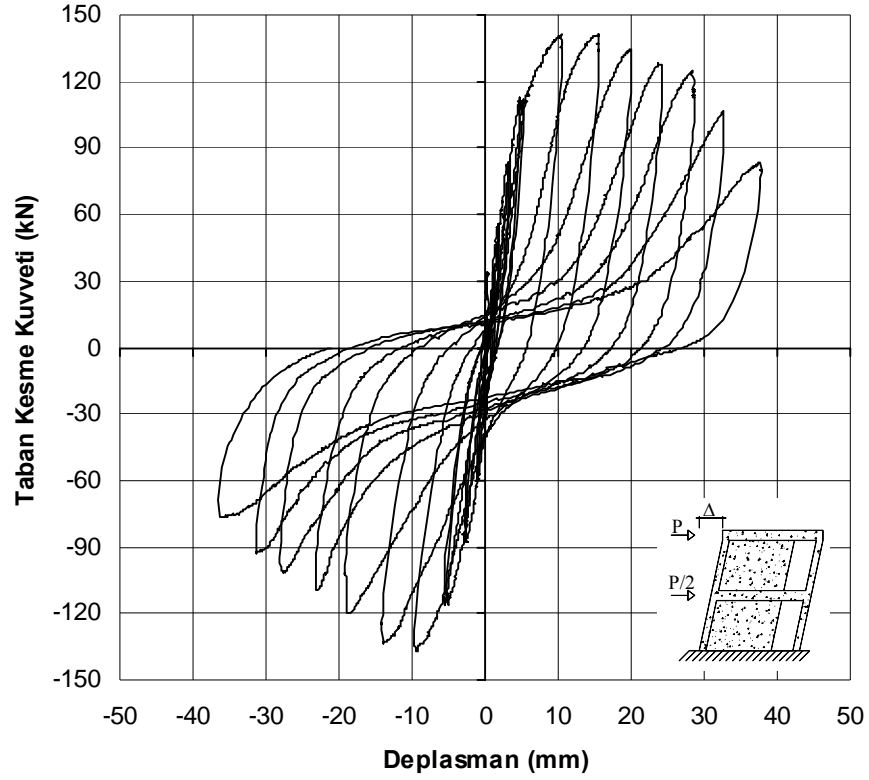


a) Birinci kat sol kolon

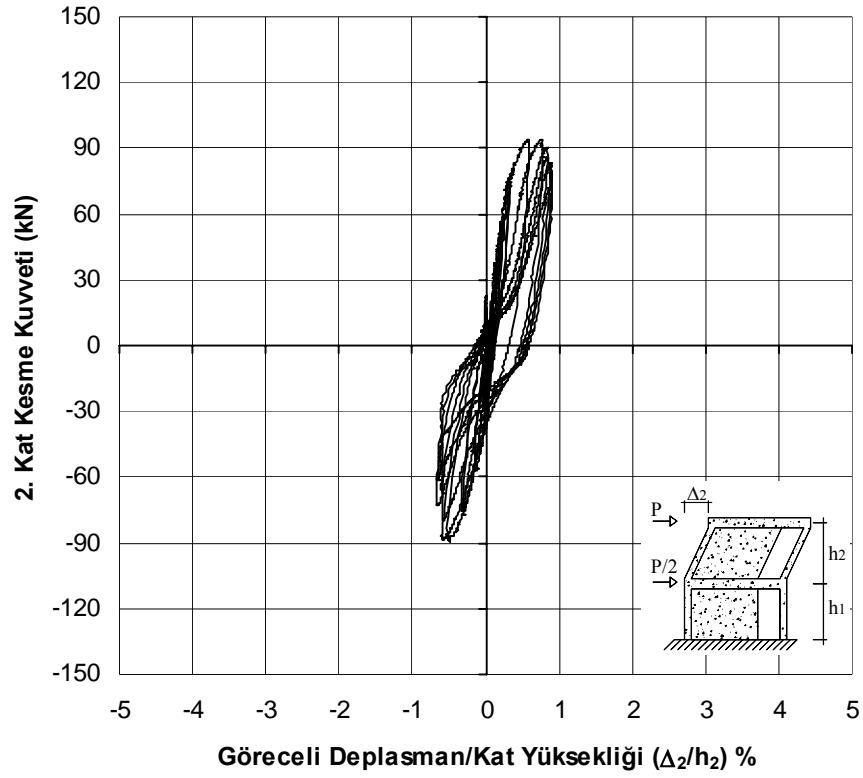


b) Birinci kat sağ kolon

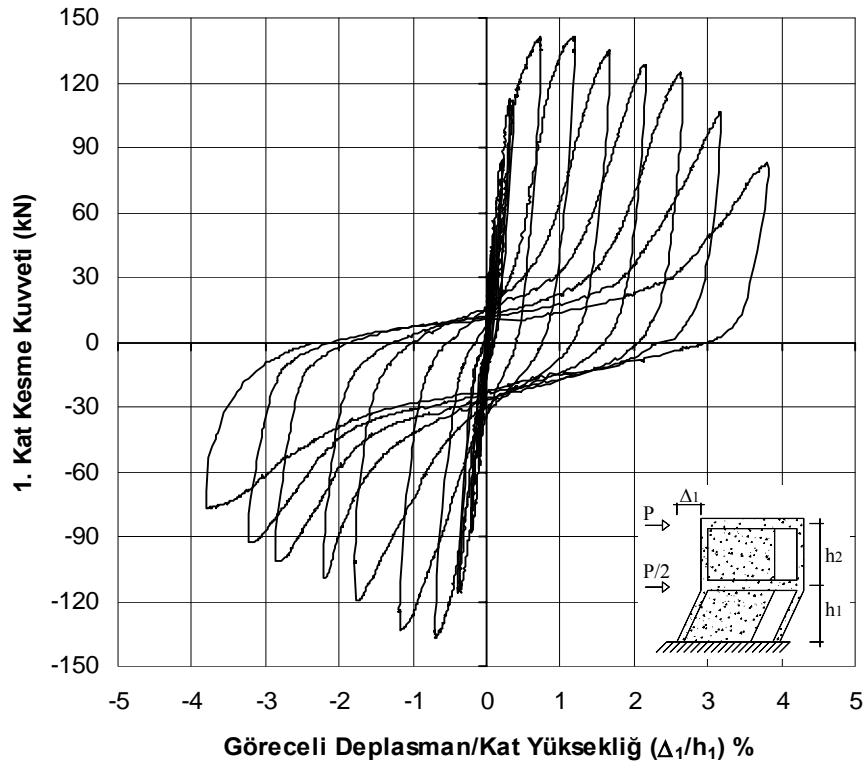
Resim 3.10. Göçmeden sonra birinci katın kolonları, Deney Elemanı-6



Şekil 3.24. Yük-deplasman grafikleri, Deney Elemanı-6

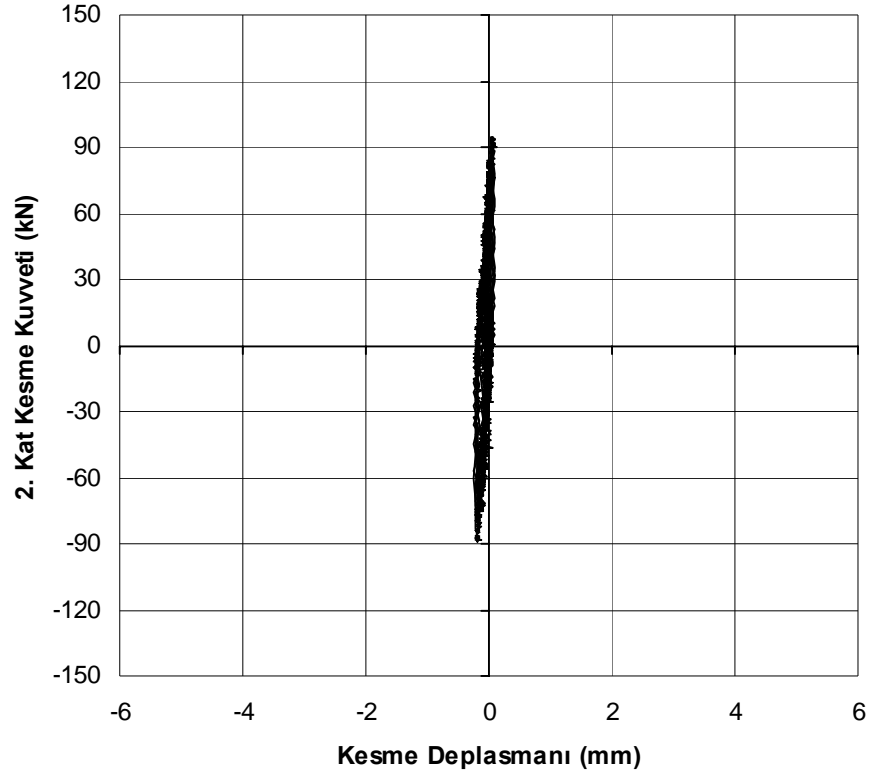


a) İkinci kat

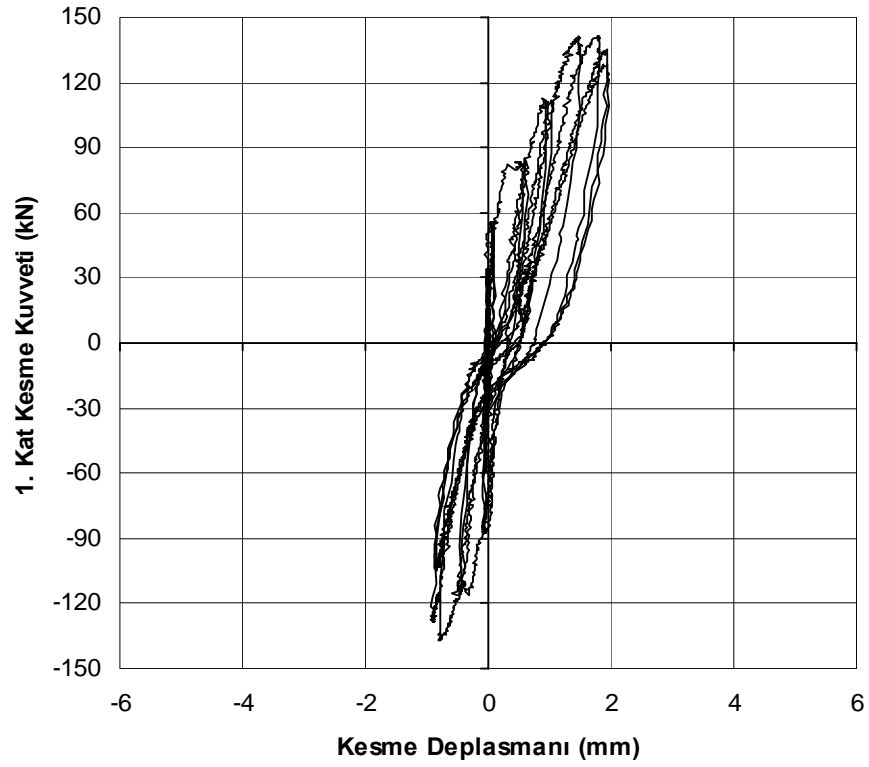


b) Birinci kat

Şekil 3.25. Kat kesme kuvveti-ötelenme oranı grafikleri, Deneysel Elemanı-6

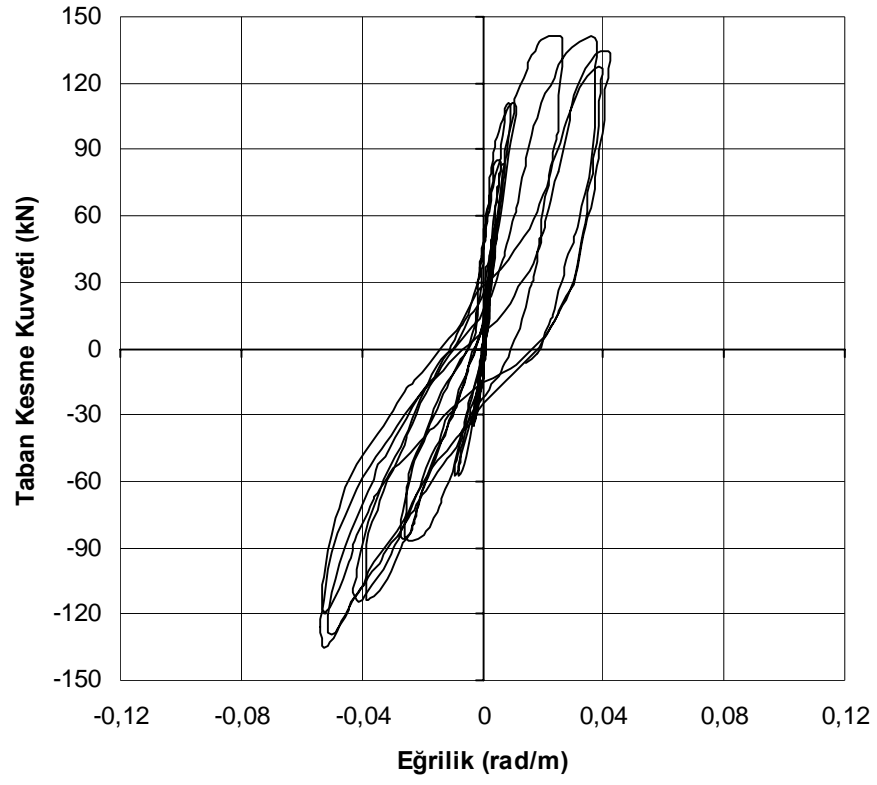


a) İkinci kat

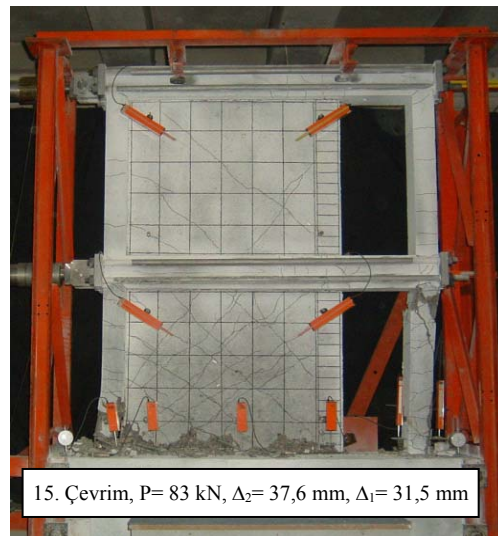
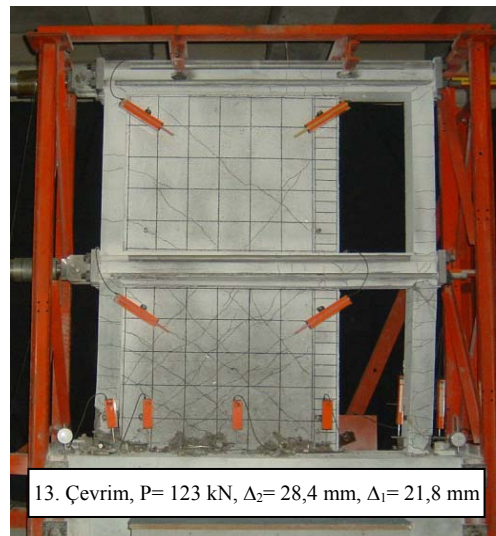
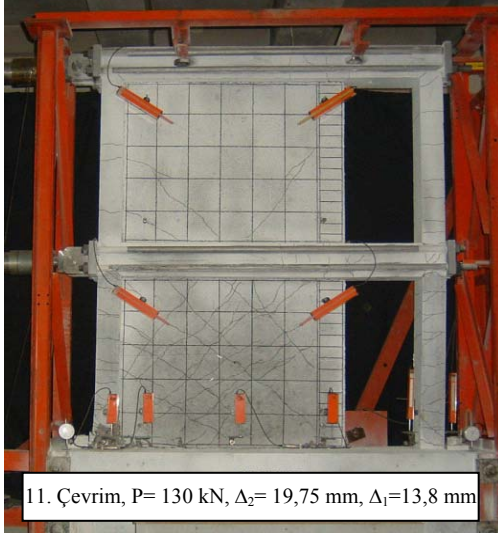
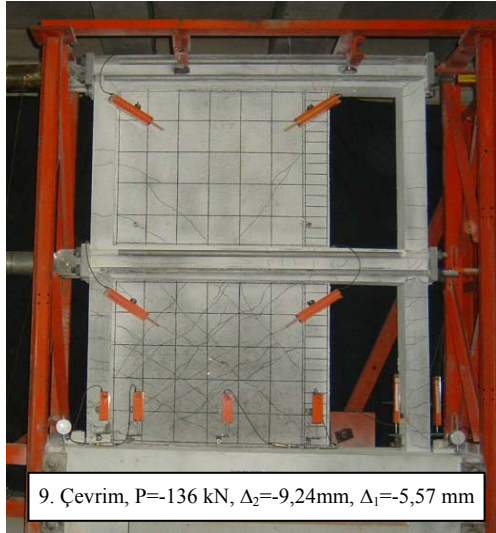
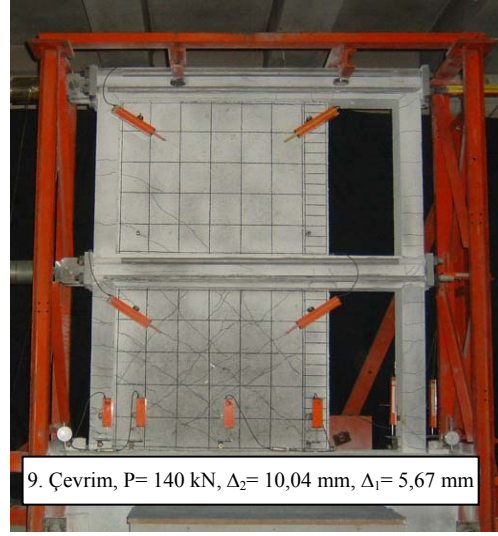
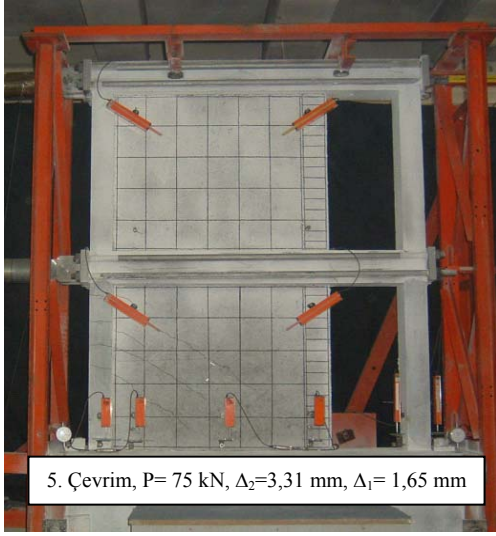


b) Birinci kat

Şekil 3.26. Yük-kesme deplasmanı grafikleri, Deney Elemanı-6



Şekil 3.27. Taban kesme kuvveti-eğrilik grafiği, Deney Elemanı-6



Resim 3.11. DeneY Elemanı-6'nın test sırasındaki fotoğrafları

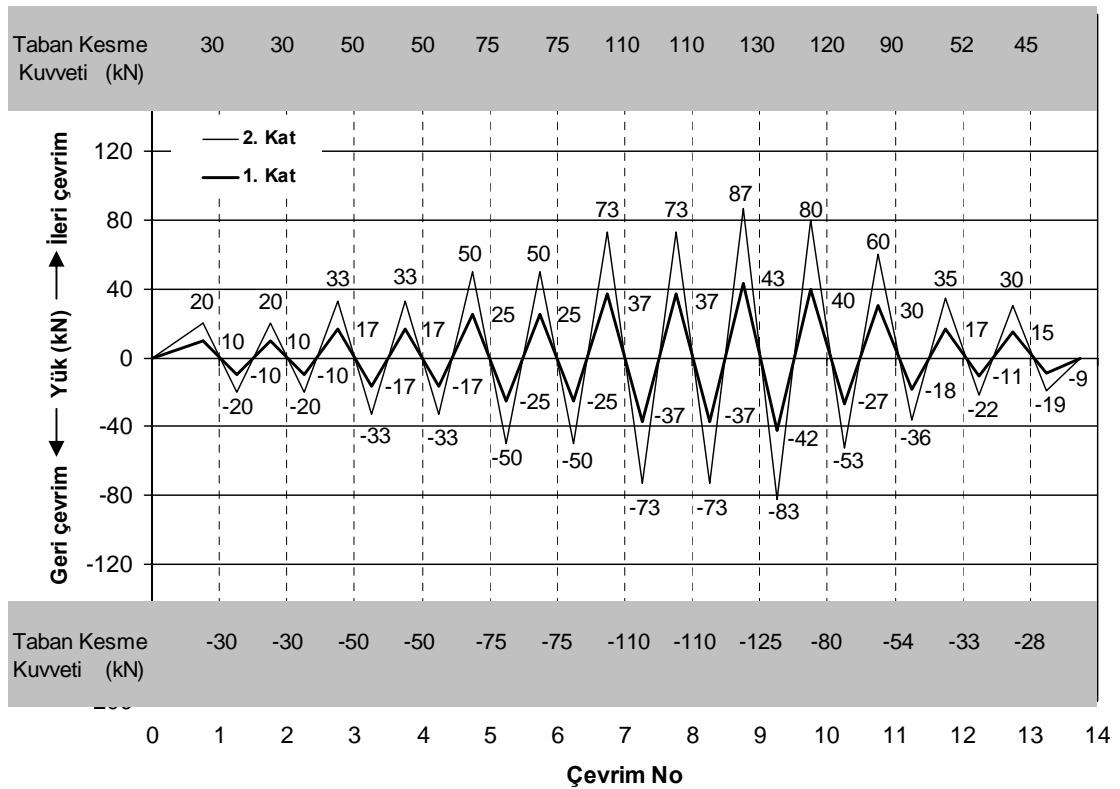
3.7. Deney Elemanı-7

Deney elemanı tanımı : Uç elemanı olmayan, parçasal dolgu duvarıyla güçlendirilmiş

Deney tarihi : 28/05/2003

Dolgu duvarı l/h oranı: 1,3 (l=975 mm, h=750 mm)

Deney elemanı Şekil 3.28’de verilen yük geçmişi altında test edilmiştir. Deney elemanına 13 tam yük çevrimi uygulanmıştır. Deney elemanının taban kesme kuvveti-deplasman grafikleri Şekil 3.29’da, kat kesme kuvveti-ötelenme oranı grafikleri Şekil 3.30’da verilmiştir. Deney elemanının kat kesme kuvveti-kesme deplasmanı grafikleri Şekil 3.31’de, dolgu duvarına bağlı olmayan kolonunun tan kesme kuvveti-eğrilik grafiği Şekil 3.32’de verilmiştir. Eğrilik ölçümü on ikinci çevrimde devre dışı kalmıştır. Deney süresince çatlak gelişiminin izlendiği fotoğraflar Resim 3.13’de verilmiştir.



Şekil 3.28. Yük-çevrim grafiği, Deney Elemanı-7

Deney sırasında önemli gözlemlerin yapıldığı yük çevrimleri aşağıda özetlenmiştir.

3. *çevrim*: Çevrimin ileri yüklemesinde 50 kN yük düzeyinde birinci kat sol kolonda ilk eğilme çatlağı ve birinci kat dolgu duvarında ilk eğik çatlak gelişimi gözlenmiştir. Birinci katın sol kolon kiriş birleşim bölgesinde eğik çatlak oluşmuştur. Bu yük düzeyinde ölçülen kat yatay deplasmanları birinci katta 1,11 mm, ikinci katta 1,87 mm'dir. Çevrimin geri yüklemesinde 50 kN yük düzeyinde birinci kat dolgu duvarında temel girişinin 300 mm üzerinde yatay bir çatlak oluşmuştur.

5. *çevrim*: Çevrimin ileri yüklemesinde 75 kN yük düzeyinde birinci kat dolgu duvarında eğik çatlaklar çerçevenin elemanlarına ulaşmıştır. Çevrimin geri yüklemesinde 75 kN yük düzeyinde ikinci kat sol kolon kiriş birleşim bölgesinde eğik çatlak oluşmuştur.

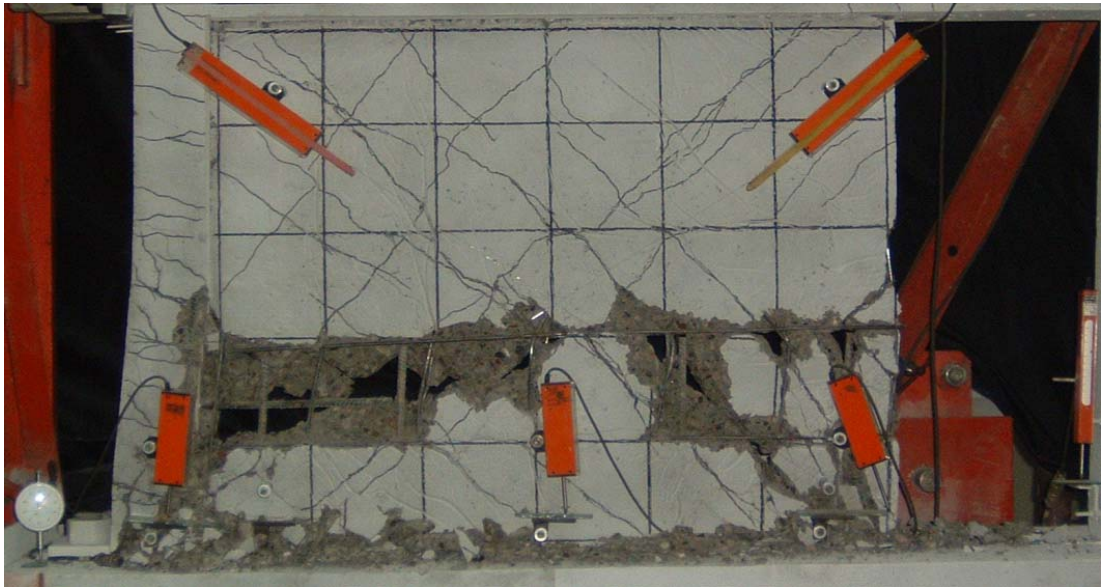
7. *çevrim*: Çevrimin ileri yüklemesinde 110 kN yük düzeyinde ikinci kat sol kolonda eğilme çatlağı gelişmiş, ikinci kat dolgu duvarında kılcal düzeyde çok sayıda eğik çatlak oluşmuştur. Birinci kat girişinin dolgu duvarına birleşen bölgesinde eğilme çatlakları gelişmiştir. Çevrimin geri yüklemesinde 110 kN yük düzeyinde ikinci katın sağ kolonunda eğilme çatlakları oluşmuştur. Birinci ve ikinci kat dolgu duvarları kılcal düzeyde girişlerden ayrılmıştır.

9. *çevrim*: Çevrimin ileri yüklemesinde 125 kN yük düzeyinde birinci kat dolgu duvarında eğik çatlak genişliği 1 mm ölçülmüştür. 130 kN yük düzeyinde deney elemanın rijitliği azalmıştır. Birinci kat dolgu duvarında beton sağ alt köşede diyagonal doğrultuda ezilmiştir. Bu yük düzeyinde ölçülen kat yatay deplasmanları birinci katta 6,76 mm, ikinci katta 11,18 mm'dir. Birinci kat dolgu duvarında kesme deplasmanı 2,36 mm ölçülmüştür. Kesme deplasmanı birinci kat yatay deplasmanının %35'idir. Kat yatay ötelenme oranları birinci katta % 0,82, ikinci katta % 0,49'dur. Bu yük düzeyinde birinci kat sağ kolonun eğriliği 0,019 rad/m ölçülmüştür. Çevrimin geri yüklemesinde 110 kN yük düzeyinde birinci kat sol kolonun alt ucunda kesme çatlağı oluşmuştur. 125 kN yük düzeyinde birinci kat dolgu duvarı betonu sol alt köşede ezilmiştir. Bu yük düzeyinde birinci katın yatay

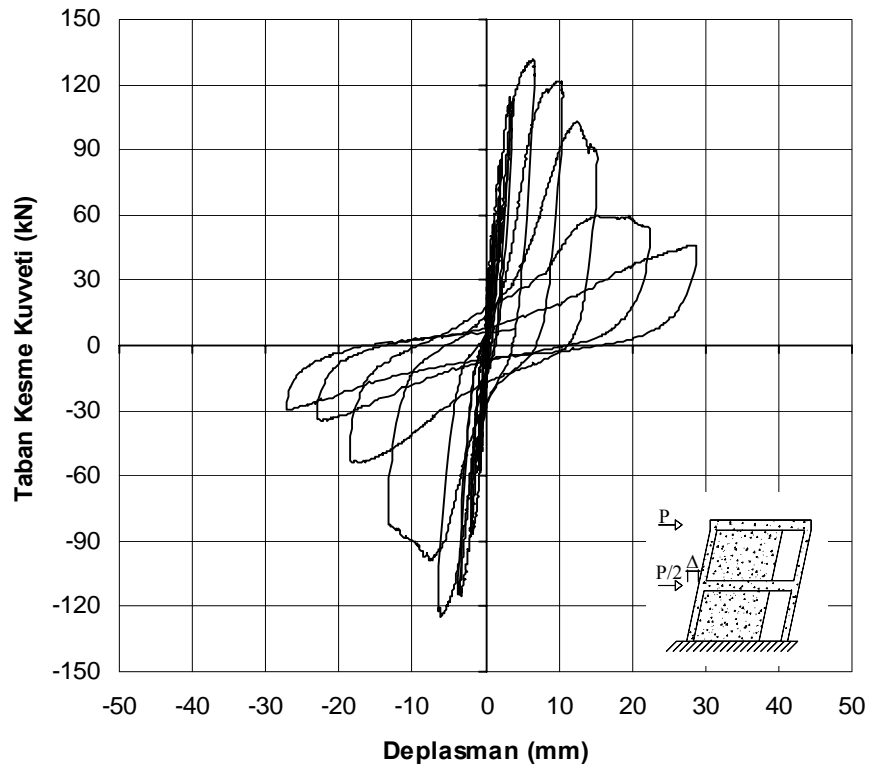
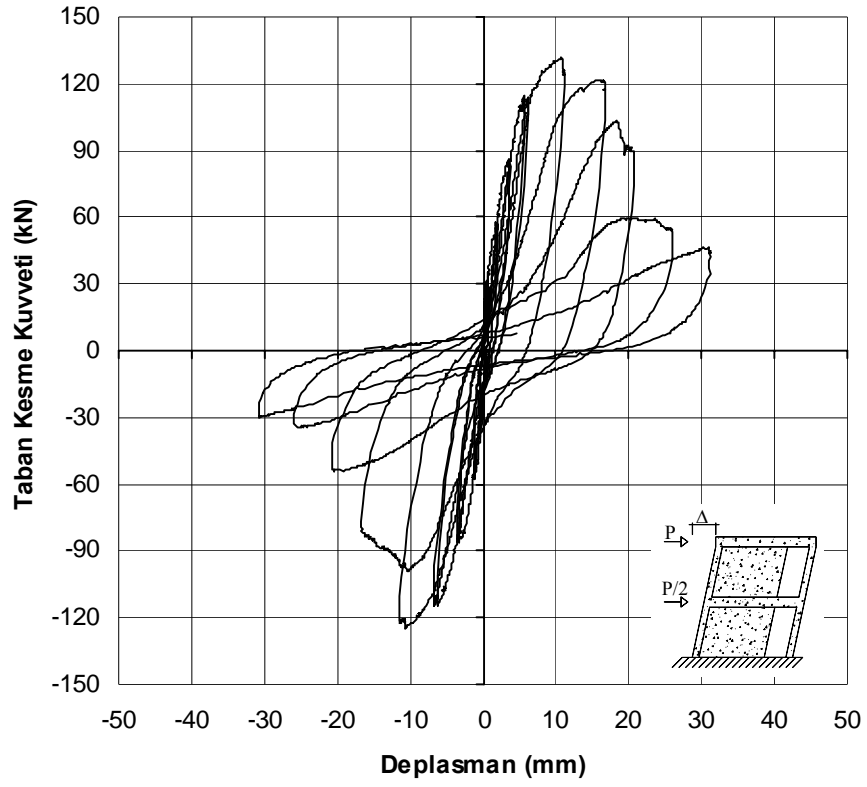
deplasmanı 6,56 mm, ikinci katın yatay deplasmanı 11,4 mm ölçülmüştür. Birinci kat dolgu duvarının kesme deplasmanı birinci kat yatay deplasmanının %30'u kadardır. Kat yatay ötelenme oranları birinci katta % 0,8, ikinci katta % 0,54'dür. Bu yük düzeyinde birinci kat sağ kolonun eğriliği 0,041 rad/m'dir.

10. çevrim: Deneye her çevrimde ikinci katın yatay deplasmanı yaklaşık 5 mm artırılarak deplasman kontrollü olarak devam edilmiştir. Çevrimin ileri yüklemesinde 117 kN yük düzeyinde birinci kat kirişinde dolgu duvarına birleşen bölgede kesme çatlağı oluşmuştur. 117 kN taban kesme kuvveti değerinde katların yatay deplasmanları birinci katta 8,21 mm, ikinci katta 13,18 mm ölçülmüştür. Kat yatay ötelenme oranları birinci katta % 1, ikinci katta % 0,56'dır. Çevrimin geri yüklemesinde 96 kN taban kesme kuvveti değerinde birinci kat dolgu duvarı birinci kat sol kolonuyla birlikte temel kirişinin 300 mm üzerinden kesilmiş ve deney elemanı yük kaybetmiştir. Bu yük düzeyinde yatay deplasmanlar birinci katta 7,94 mm, ikinci katta 10,07 mm ölçülmüştür.

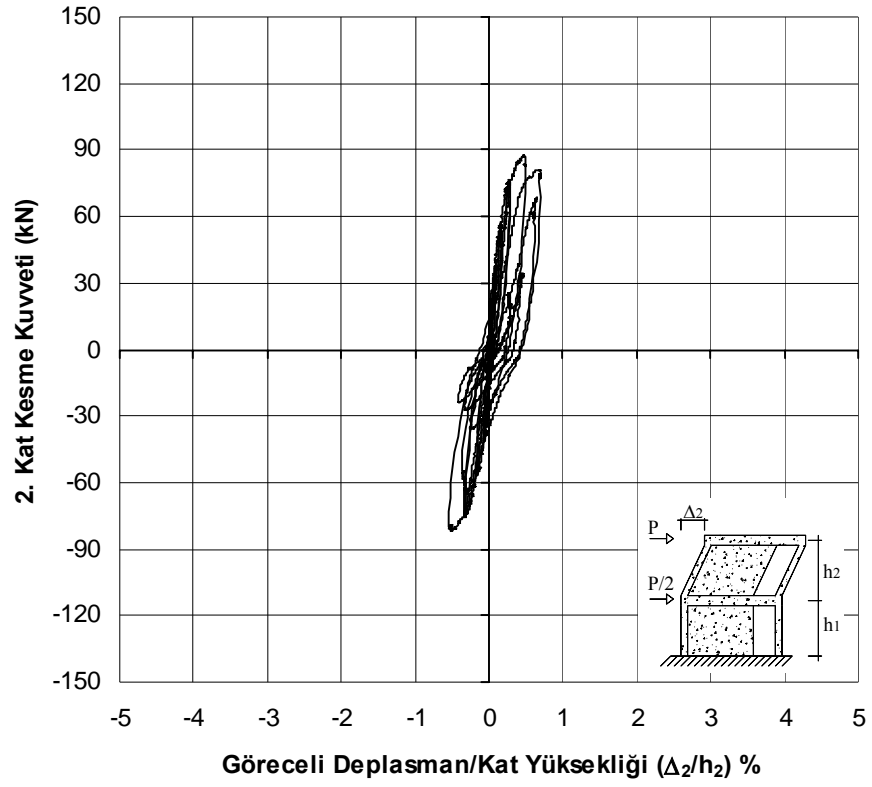
13. çevrim: Bu çevrimin ileri yüklemesinde deney elemanının taşıdığı yük 45 kN düzeyine gerilemiştir. Bu yük düzeyinde birinci kat dolgu duvarının fotoğrafı Resim 3.12'de verilmiştir.



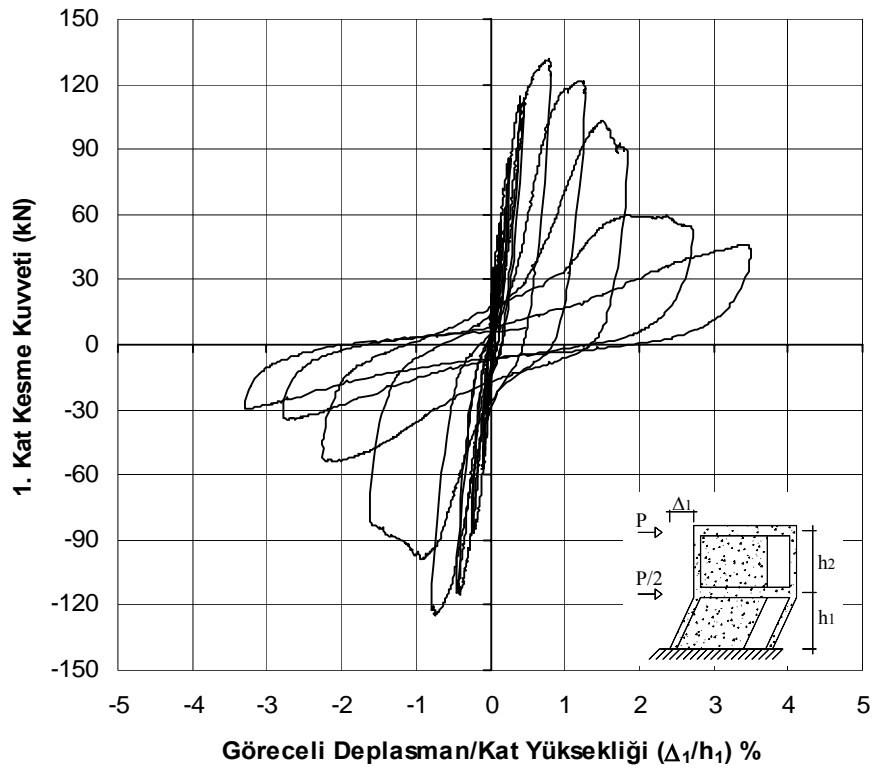
Resim 3.12. Göçmeden sonra birinci katın dolgu duvarı, Deney Elemanı-7



Şekil 3.29. Yük-deplasman grafikleri, Deney Elemanı-7

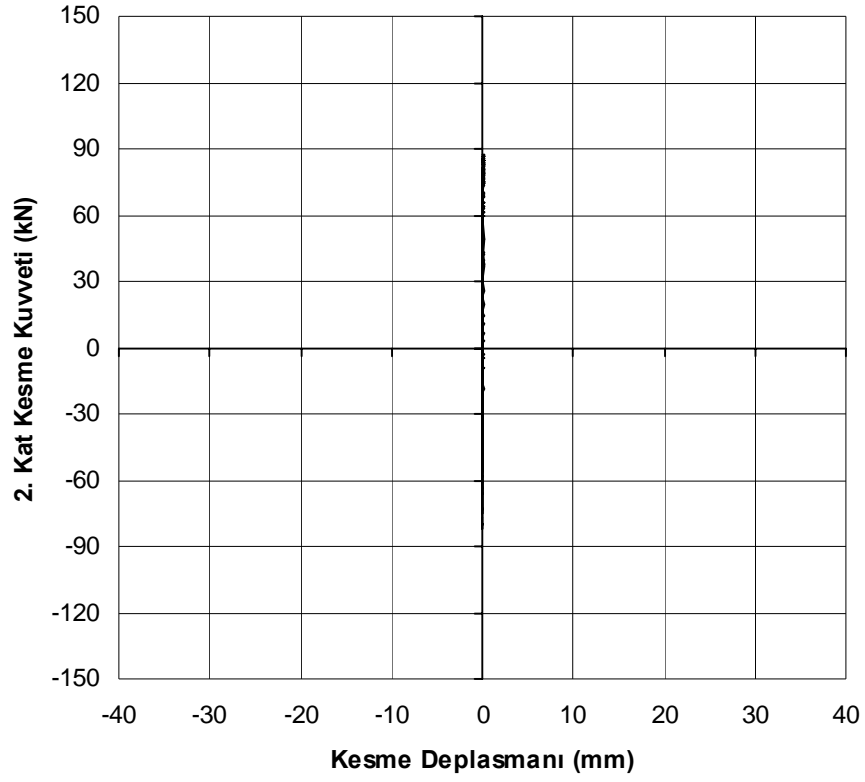


a) İkinci kat

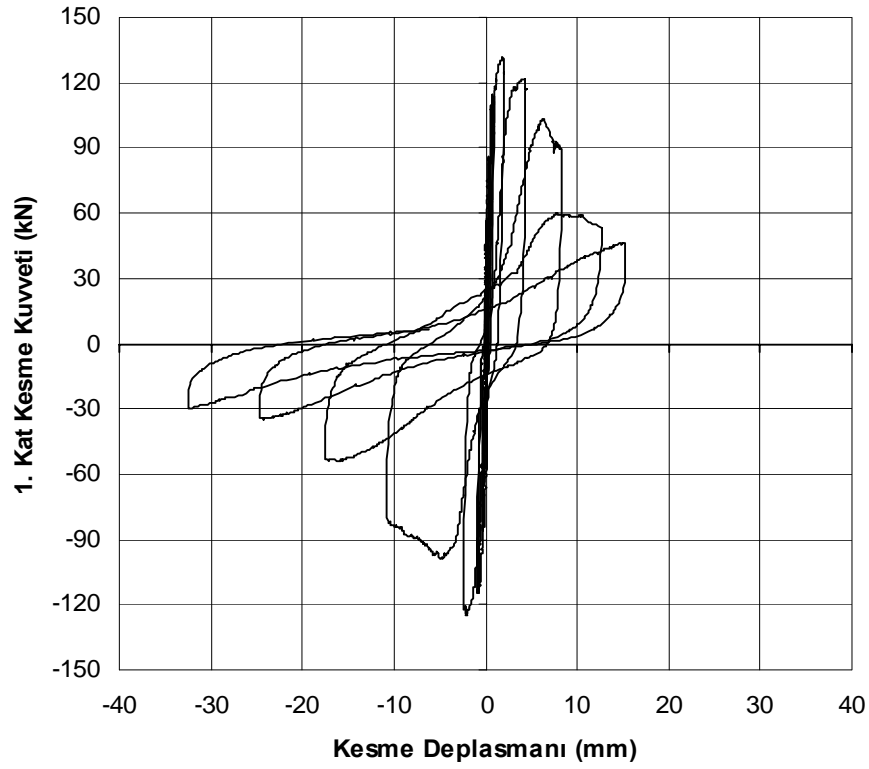


b) Birinci kat

Şekil 3.30. Kat kesme kuvveti-ötelenme oranı grafikleri, Deneysel Eleman-7

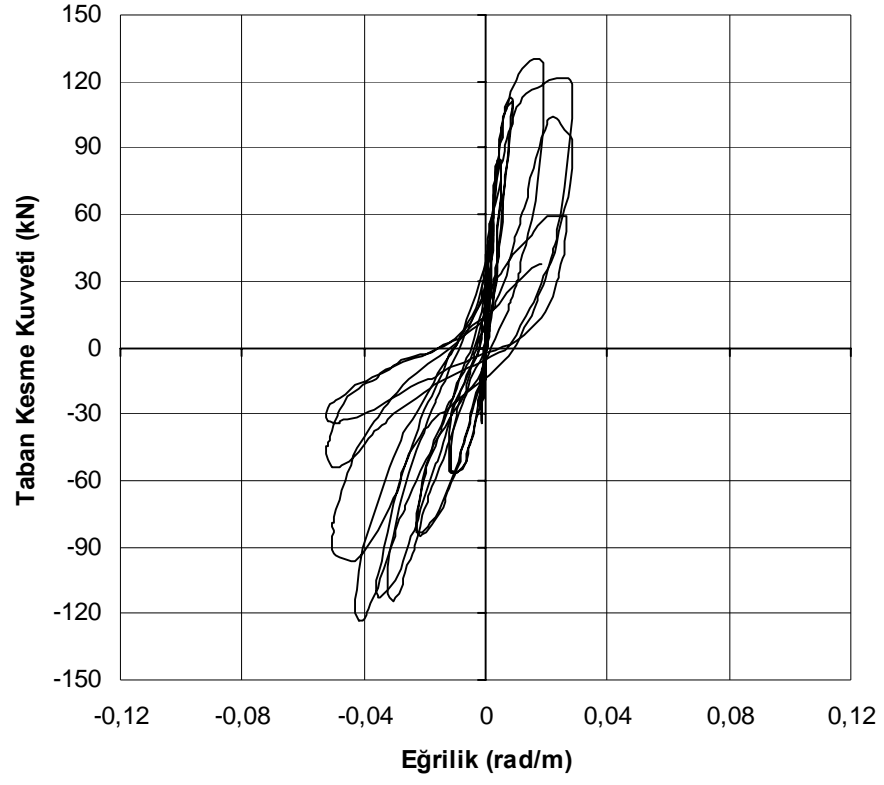


a) İkinci kat

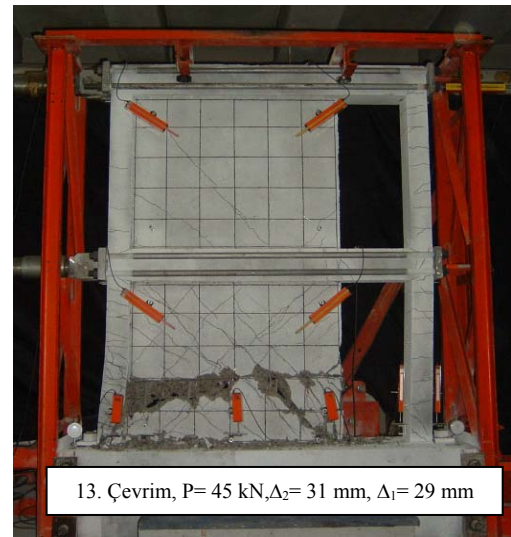
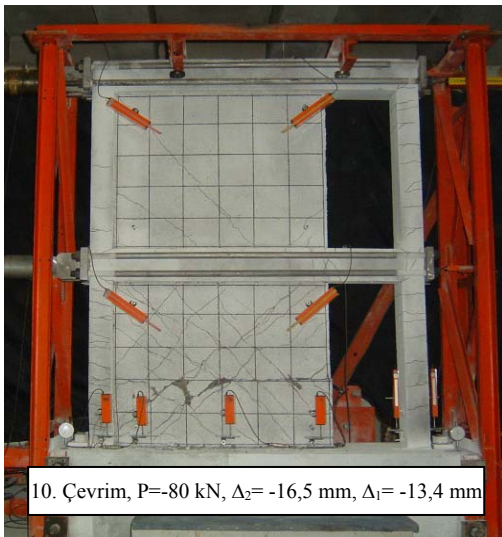
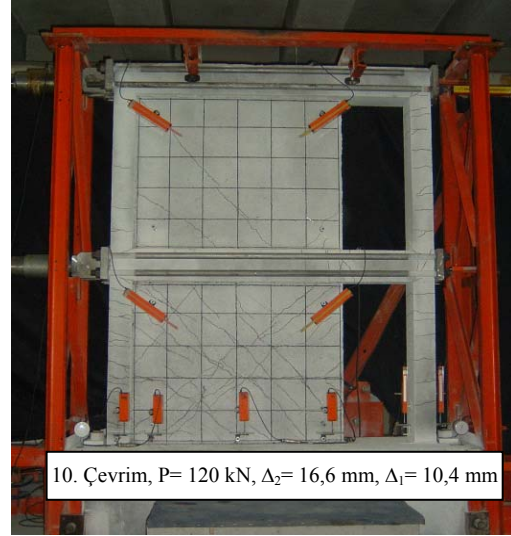
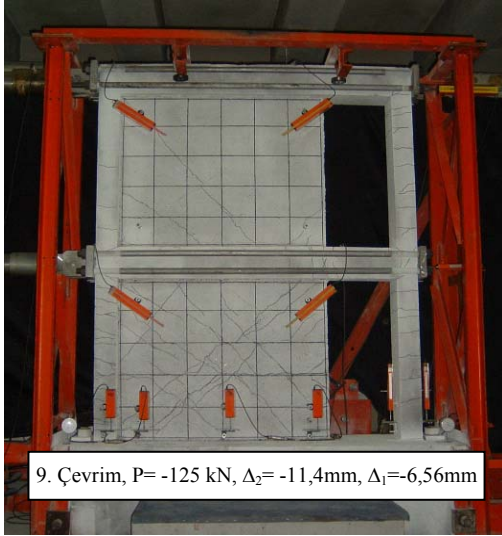
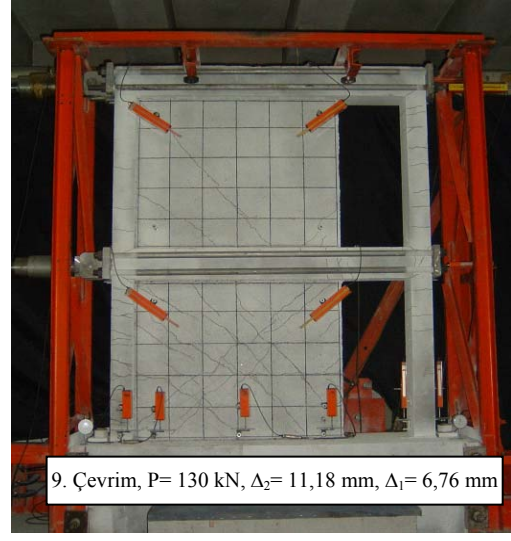
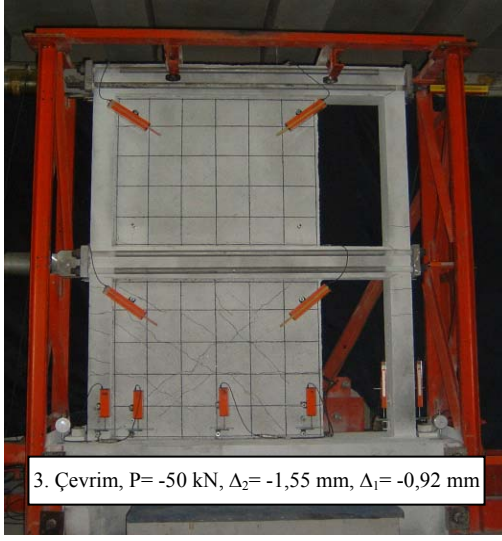


b) Birinci kat

Şekil 3.31. Yük-kesme deplasmanı grafikleri, Deney Elemanı-7



Şekil 3.32. Taban kesme kuvveti-eğrilik grafiği, Deney Elemanı-7



Resim 3.13. DeneY Elemanı-7'nin test sırasındaki fotoğrafları

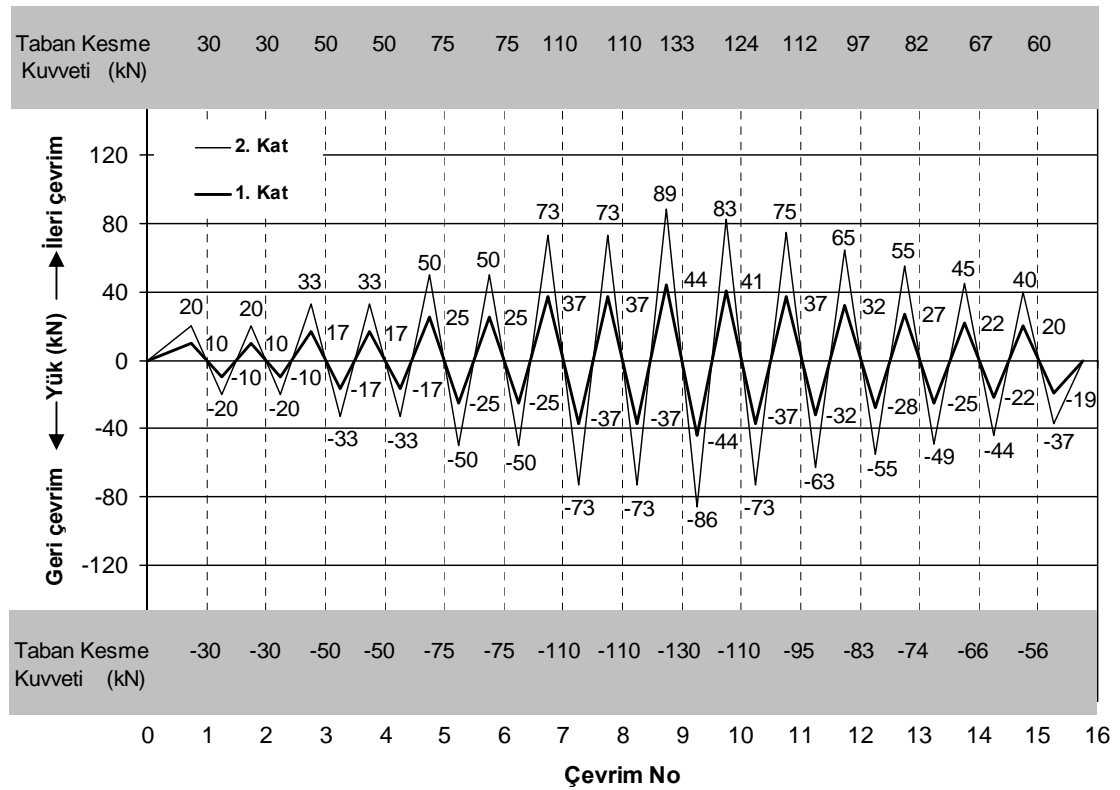
3.8. Deney Elemanı-8

Deney elemanı tanımı : Simetrik iki adet parçasal dolgu duvarla güçlendirilmiş

Deney tarihi : 21/05/2003

Dolgu duvarı l/h oranı : 1,3 (l=2x487.5, h=750 mm)

Deney elemanı Şekil 3.33'de verilen yük geçmişi altında test edilmiştir. Elemene 15 tam yük çevrimi uygulanmıştır. Deney elemanının taban kesme kuvveti-deplasman grafikleri Şekil 3.34'de, kat kesme kuvveti-ötelenme oranı grafikleri Şekil 3.35'de verilmiştir. Kat kesme kuvveti-kesme deplasmanı grafikleri Şekil 3.36'da ve Şekil 3.37'de verilmiştir. Deney süresince çatlak gelişiminin izlendiği fotoğraflar Resim 3.15'de verilmiştir.



Şekil 3.33. Yük-çevrim grafiği, Deney Elemanı-8

Deney sırasında önemli gözlemlerin yapıldığı yük çevrimleri aşağıda özetlenmiştir.

3. *çevrim*: Çevrimin ileri yüklemesinde 45 kN yük düzeyinde birinci kat sol kolonda ilk eğilme çatlağı oluşmuştur. 50 kN yük düzeyinde birinci ve ikinci kat kirişlerinde dolgu duvarına birleşen uçlarında eğilme çatlakları gelişmiştir. İleri yüklemenin sonunda 50 kN taban kesme kuvveti değerinde kat yatay deplasmanları birinci katta 1,46 mm, ikinci katta 2,87 mm olarak ölçülmüştür. Çevrimin geri yüklemesinde 46 kN yük düzeyinde birinci kat sağ kolonda eğilme çatlakları gelişmiştir.

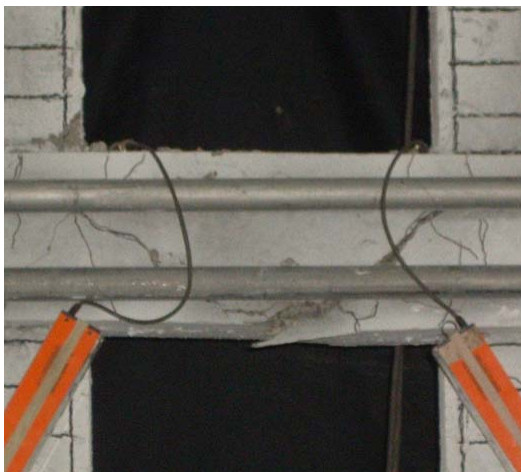
5. *çevrim*: Çevrimin ileri yüklemesinde 64 kN yük düzeyinde birinci kat sol dolgu duvarında ilk eğik çatlak oluşmuştur. Bu yük düzeyinde ölçülen kat yatay deplasmanları birinci katta 1,7 mm, ikinci katta 3,4 mm'dir. 75 kN yük düzeyinde birinci kat sol dolgu duvarında eğik çatlakların sayısında artış gözlenmiştir. Çevrimin geri yüklemesinde 75 kN yük düzeyinde birinci ve ikinci kat sol dolgu duvarları kirişlerden ayrılmıştır. Bu yük düzeyinde birinci kat kirişinde sağ dolgu duvara birleşen bölgede kesme çatlağı oluşmuştur. 75 kN yük düzeyinde ölçülen birinci katın yatay deplasmanı 2,2 mm , ikinci katın yatay deplasmanı 4,6 mm' dir.

7. *çevrim*: Çevrimin ileri yüklemesinde 110 kN yük düzeyinde ikinci kat dolgu duvarlarında eğik çatlak oluşmuştur. İkinci kat kirişinin dolgu duvarla birleşen sağ ucunda kesme çatlağı gelişim göstermiştir. Bu yük düzeyinde ölçülen birinci kat yatay deplasmanı 4,3 mm, ikinci kat yatay deplasmanı 8,7 mm'dir. Çevrimin geri yüklemesinde 110 kN taban kesme kuvveti uygulanmıştır. Birinci ve ikinci kat sağ kolon kiriş birleşim bölgelerinde kılcal düzeyde eğik çatlak gelişmiştir.

9. *çevrim*: Çevrimin ileri yüklemesinde 120 kN yük düzeyinde birinci katın dolgu duvarlarında önceden oluşan eğik çatlaklar genişlerken ikinci kat dolgu duvarlarında kılcal düzeydeki eğik çatlakların sayısında artış gözlenmiştir. 120 kN yük düzeyinde ikinci kat kirişi, dolgu duvarla birleşen sol ucunda kesmeden kırılmıştır. Bu yük düzeyinde ölçülen kat yatay deplasmanları birinci katta 5,2 mm, ikinci katta 10,3 mm'dir. 133 kN yük düzeyinde deney elemanın rijitliği önemli oranda azalmıştır. Bu yük düzeyinde kat yatay deplasmanları birinci katta 7,54 mm, ikinci katta 15 mm

ölçülmüştür. Yatay ötelenme oranları ise birinci katta % 0,9, ikinci katta % 0,8'dir. Çevrimin ileri yüklemesinde birinci kat sol dolgu duvarda 2,83 mm, sağ dolgu duvarda 1,37 mm kesme deplasmanı ölçülmüştür. Çevrimin geri yüklemesinde 110 kN yük düzeyinde birinci kat kirişi sağ dolgu duvara birleşen bölgesinde çok sayıda kesme çatlaklarının oluşması ile göçmüştür. 130 kN yük düzeyinde ölçülen kat yatay deplasmanları birinci katta 7,05 mm, ikinci kata 14 mm'dir. Kat yatay ötelenme oranları birinci katta % 0,86, ikinci katta % 0,77'dir. Bu yük düzeyinde kesme deplasmanları birinci kat sol dolgu duvarda 1,33 mm, sağ dolgu duvarda 1,17 mm'dir. Dokuzuncu çevrimde dolgu duvarlarda ölçülen kesme deplasmanı birinci kat yatay deplasmanının ortalama %46'sıdır. Bu çevrimden sonra deneye ikinci katın deplasmanı yaklaşık 5 mm artırılarak deplasman kontrollü devam edilmiştir.

10. çevrim: Birinci ve ikinci kat kirişlerinin dolgu duvarına birleşen bölgelerinde kesmeden kırılmasıyla, deney elemanı aksenal yük aktaran çubuklarla birleştirilmiş iki betonarme perde duvarı gibi davranış göstermeye başlamıştır. Onuncu çevrimin ileri yüklemesinde 115 kN yük düzeyinde birinci kat sağ dolgu duvarda diyagonal doğrultuda beton ezilmiştir. Bu yük düzeyinde kat yatay deplasmanları birinci katta 8,23 mm, ikinci katta 16,07 mm ölçülmüştür. Yatay ötelenme oranları birinci katta % 1, ikinci katta % 0,87'dir. Onuncu çevrimin sonunda deney elemanının kirişlerinden alınan fotoğraflar Resim 3.14'de verilmiştir. Deney elemanına üç yük çevrimi daha uygulanmıştır. Onbeşinci çevrimde yatay yük 60 kN düzeyine gerilemiştir.

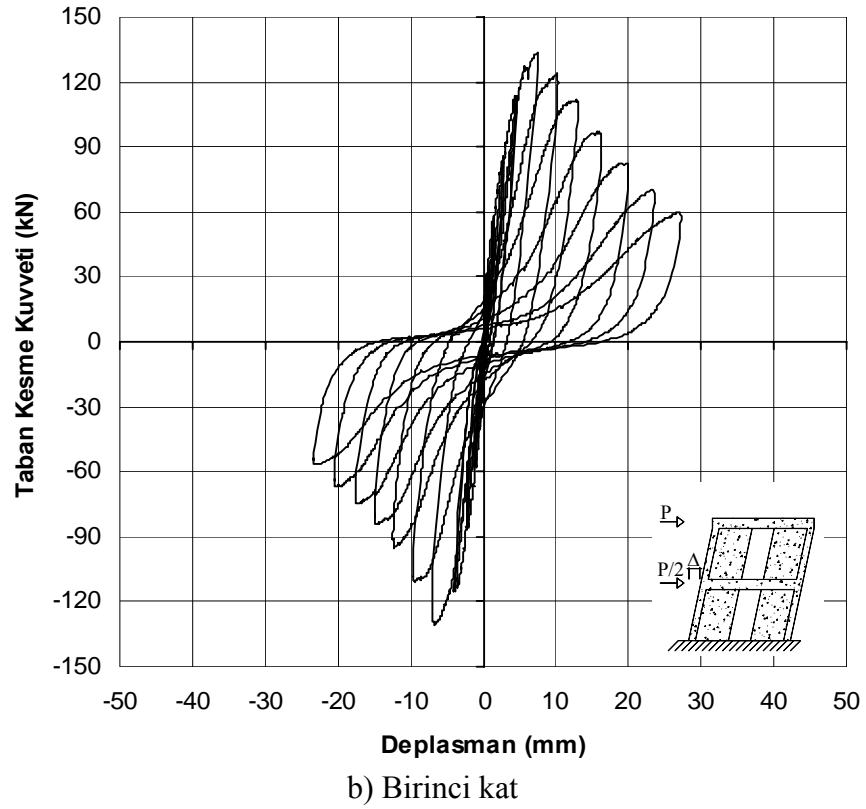
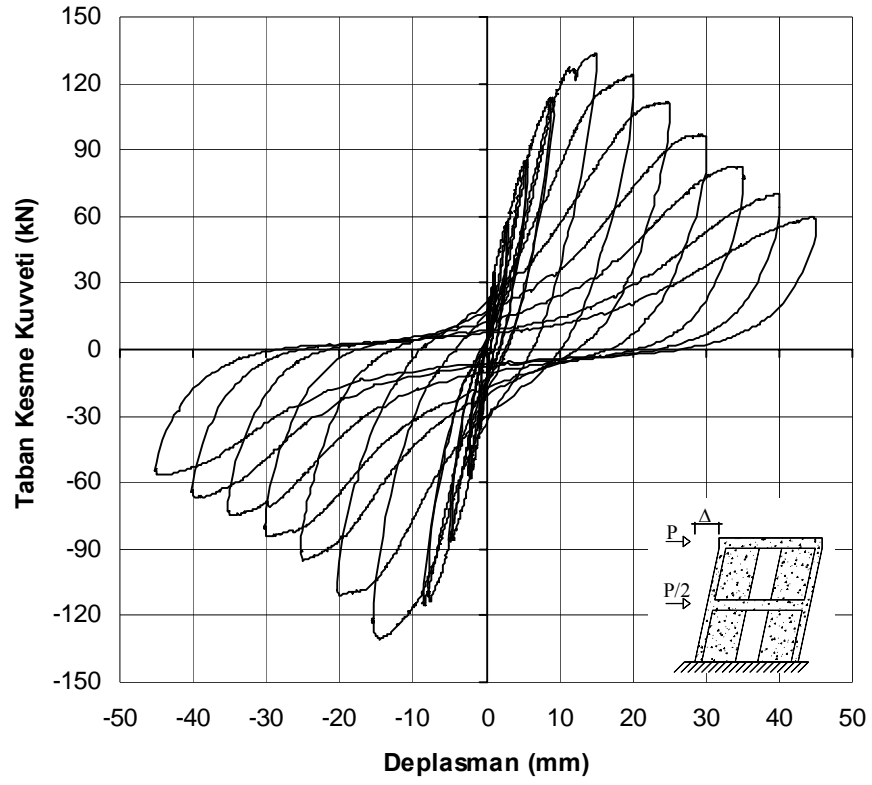


a) Birinci kat kirişi

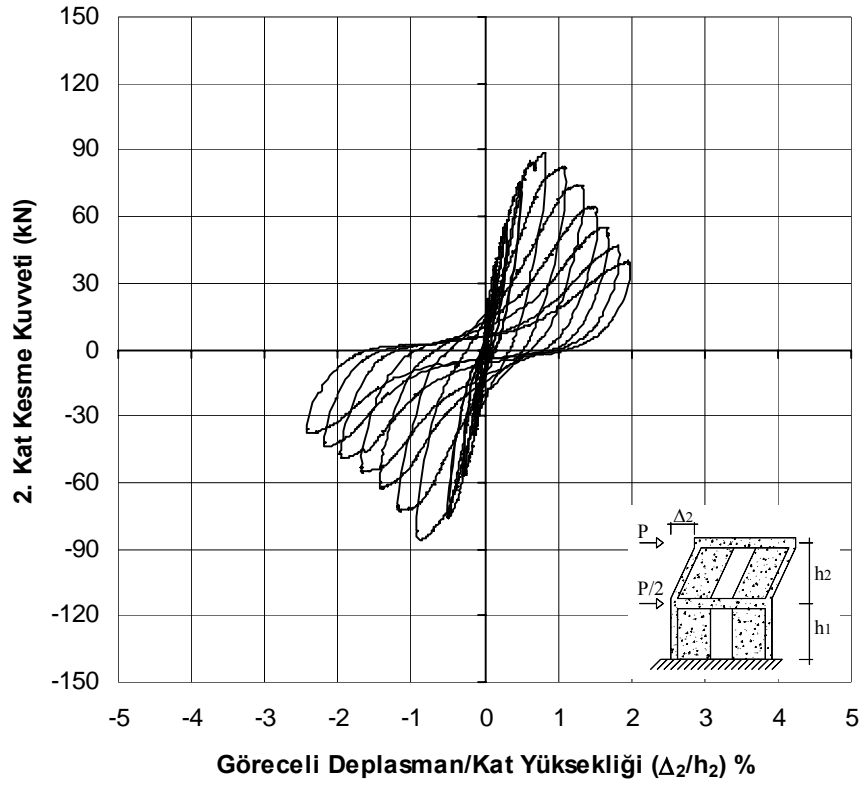


b) İkinci kat kirişi

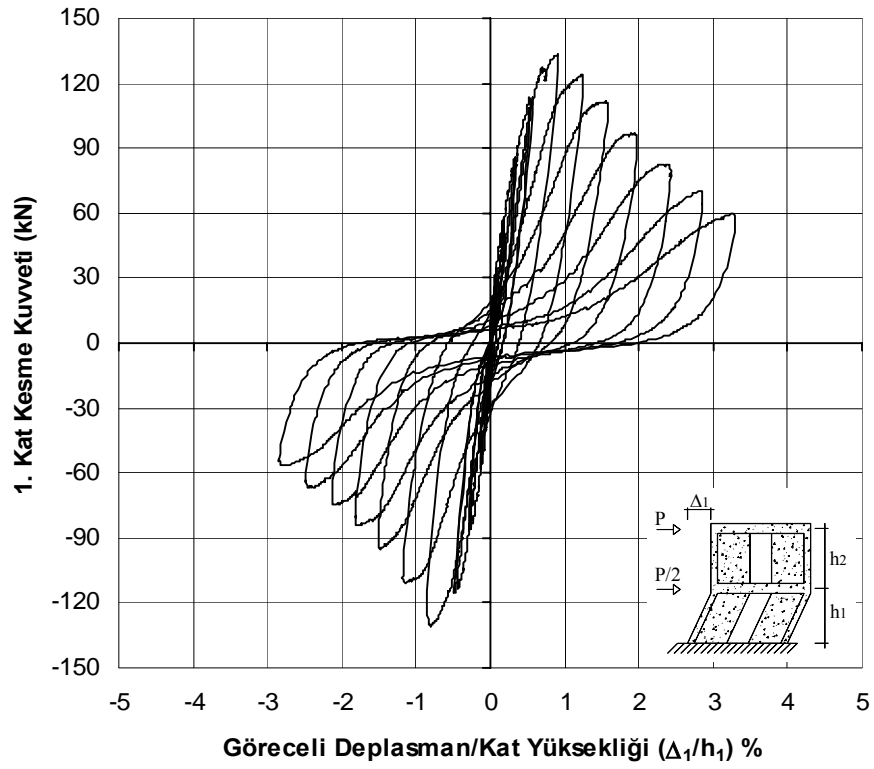
Resim 3.14. Kirişlerde kesme kırılması, Deney Elemanı-8



Şekil 3.34. Yük-deplasman grafiği, Deney Elemanı-8

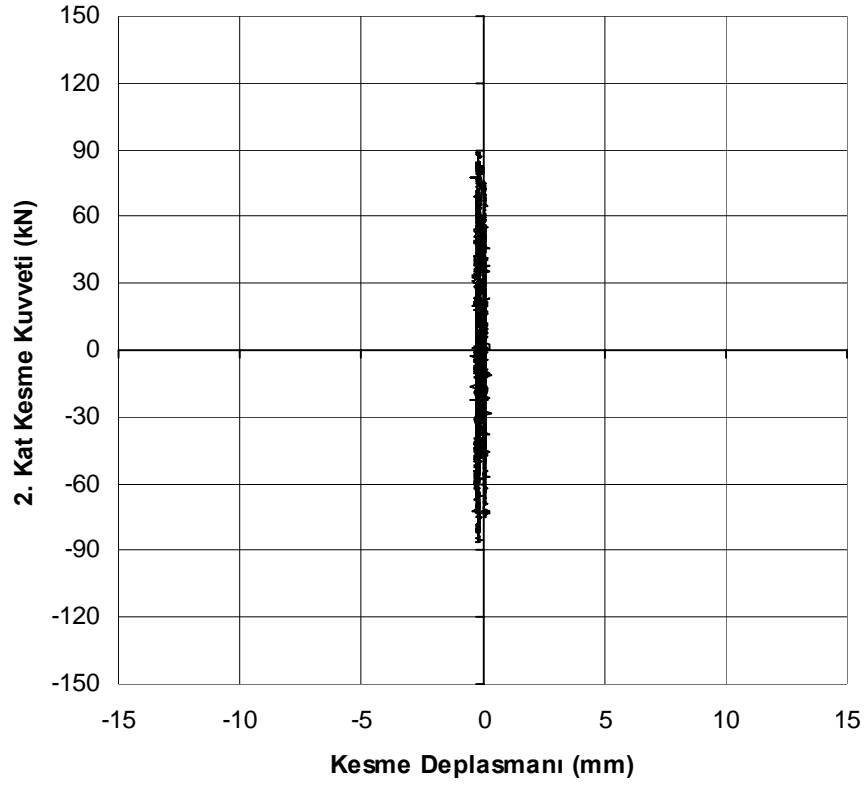


a) İkinci kat

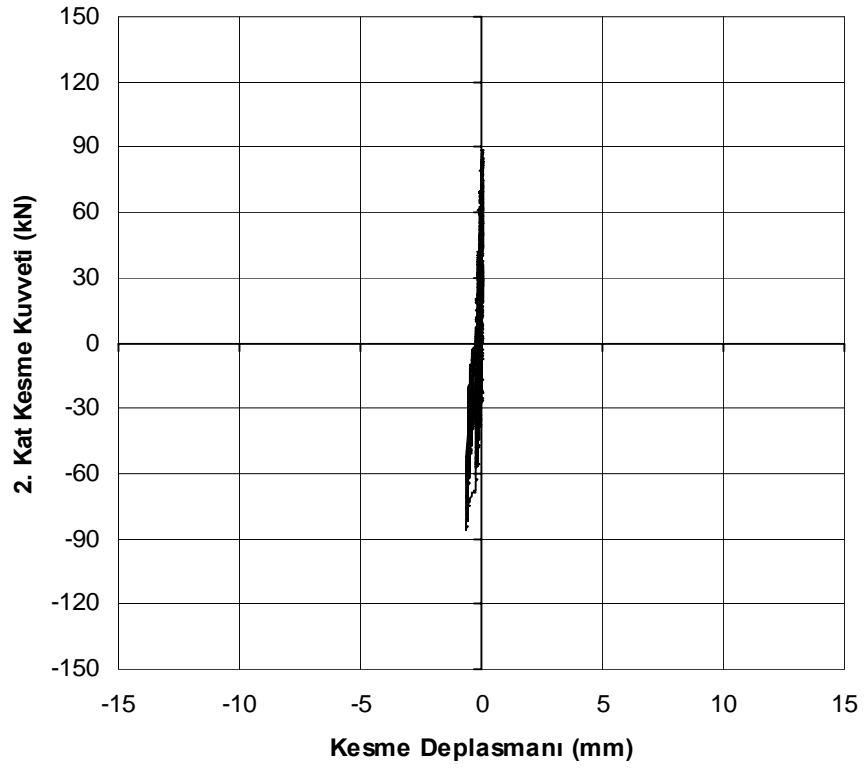


b) Birinci kat

Şekil 3.35. Kat kesme kuvveti-ötelenme oranı grafikleri, Deneysel Eleman-8

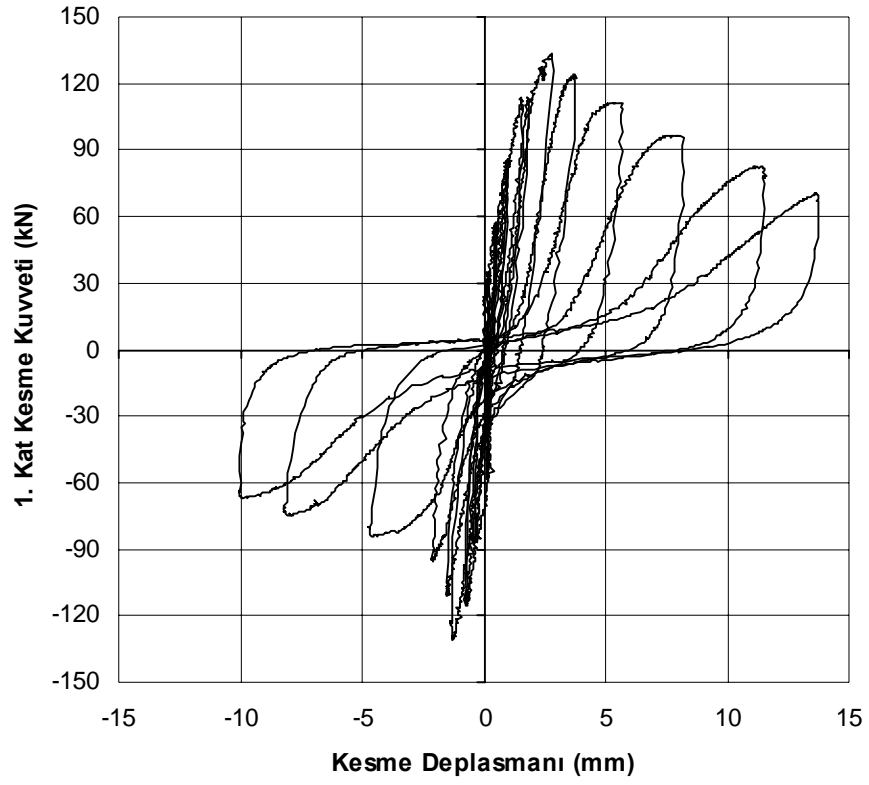


a) İkinci katın sol dolgu duvarı

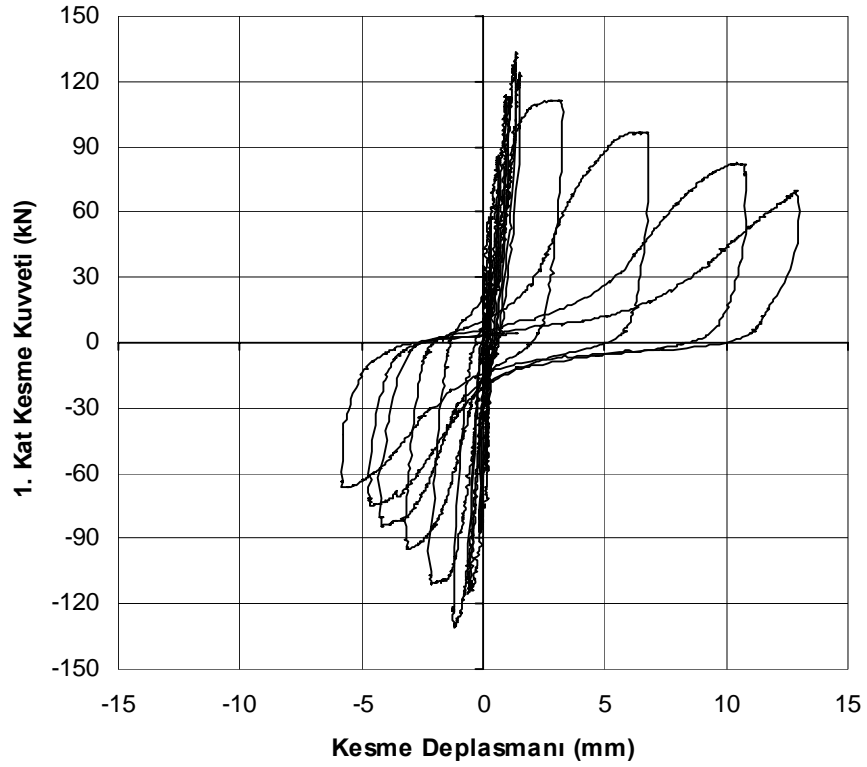


b) İkinci katın sağ dolgu duvarı

Şekil 3.36. İkinci kat yük-kesme deplasmanı grafikleri, Deney Elemanı-8



a) Birinci katın sol dolgu duvarı



b) Birinci katın sağ dolgu duvarı

Şekil 3.37. Birinci kat yük-kesme deplasmanı grafikleri, Deney Elemanı-8



Resim 3.15. DeneY Elemanı-8'in test sırasındaki fotoğrafları

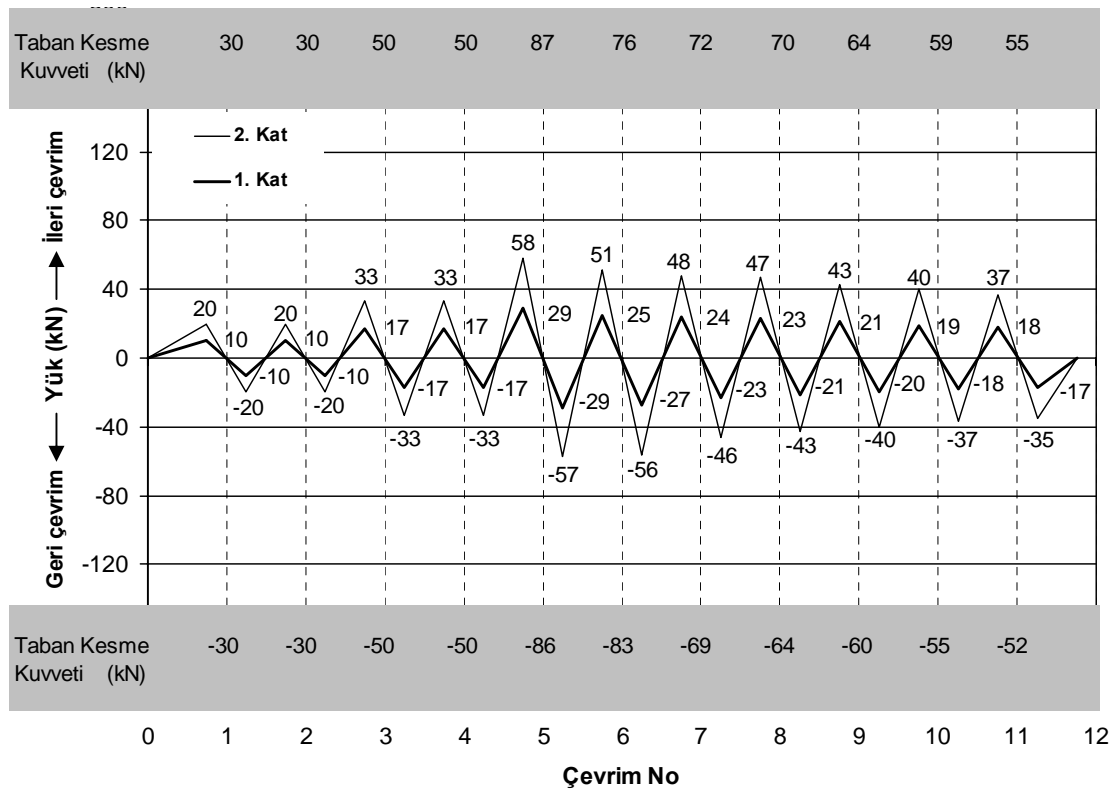
3.9. Deney Elemanı-9

Deney elemanı tanımı : Kirişlere bağlanan dolgu duvarla güçlendirilmiş

Deney tarihi : 03/06/2003

Dolgu duvarı l/h oranı: 0,87 (l=650 mm, h=750 mm)

Deney elemanı Şekil 3.38'de verilen yük geçmişi altında test edilmiştir. Deney elemanına 11 tam yük çevrimi uygulanmıştır. Deney elemanının taban kesme kuvveti-deplasman grafikleri Şekil 3.39'da, kat kesme kuvveti-ötelenme oranı grafikleri Şekil 3.40'da, kat kesme kuvveti-kesme deplasmanı grafikleri Şekil 3.41'de verilmiştir. Deney elemanının birinci kat kolonlarının taban kesme kuvveti-eğrilik grafikleri Şekil 3.42'de verilmiştir. Birinci katın sol kolonundan alınan eğrilik ölçümleri sekizinci çevrimde, sağ kolonundan alınan eğrilik ölçümleri on birinci çevrimde devre dışı kalmıştır. Deney süresince çatlak gelişiminin görüldüğü fotoğraflar Resim 3.17'de verilmiştir.



Şekil 3.38. Yük-çevrim grafiği, Deney Elemanı-9

Deney sırasında önemli gözlemlerin yapıldığı yük çevrimleri aşağıda özetlenmiştir.

1. çevrim: Çevrimin ileri yüklemesinde 30 kN yük düzeyinde birinci kat sol kolonda ilk eğilme çatlakları oluşmuş, birinci kat kirişinde dolgu duvarına birleşen bölgelerde eğilme çatlakları gelişim göstermiştir. Bu yük düzeyinde birinci kat yatay deplasmanı 1,36 mm, ikinci kat yatay deplasmanı 2,66 mm ölçülmüştür.

3. çevrim: Çevrimin ileri yüklemesinde 30 kN yük düzeyinde ikinci kat sol kolonun alt ucunda eğilme çatlakları oluşmuştur. 45 kN yük düzeyinde birinci kat kirişinde dolgu duvarına birleşen sol ucunda kesme çatlakları oluşmuştur. 50 kN yük düzeyinde birinci kat dolgu duvarında eğik çatlak gelişim göstermiştir. Bu yük düzeyinde ölçülen kat yatay deplasmanları birinci katta 3,86 mm, ikinci katta 6,8 mm'dir. İleri yükleme adımının sonunda birinci ve ikinci kat sol taraftaki kolon kiriş birleşim bölgelerinde eğik çatlak oluşmuş, birinci kat dolgu duvarı temel kirişinden kılcal düzeyde ayrılmıştır.

5. çevrim: Çevrimin ileri yüklemesinde 83 kN yük düzeyinde birinci kat kirişi dolgu duvara birleşen sol ucunda kesmeden kırılmıştır. Deney elemanının rijitliği büyük oranda azalmıştır. 87 kN yük düzeyinde birinci kat yatay deplasmanı 8,37 mm, ikinci kat yatay deplasmanı 14,2 mm olarak ölçülmüştür. Kat yatay ötelenme oranları birinci katta % 1, ikinci katta % 0,65'dir. Birinci kat dolgu duvarı temel kirişinden 1 mm genişliğinde çatlakla ayrılmıştır. Bu yük düzeyinde ikinci katın kirişinde dolgu duvarına ile birleşen bölgelerde eğilme çatlakları oluşmuştur. Birinci kat sol kolonun eğriliği 0,028 rad/m, sağ kolonun eğriliği 0,014 rad/m'dir. Çevrimin geri yüklemesinde 75 kN yük düzeyinde birinci kat kirişinde kesme çatlakları gelişmiştir. 86 kN yük düzeyinde birinci kat kirişinin dolgu duvarına birleşen sağ ucunda kesme çatlakları genişliği 2 mm'ye ulaşmış, kiriş bu kesmeden kırılmıştır. Bu yük düzeyinde yüklemeye son verilmiş, kat yatay deplasmanları birinci katta 9,52 mm, ikinci katta 15,76 mm ölçülmüştür. Yatay ötelenme oranları birinci katta % 1,16, ikinci katta % 0,69'dur. Çevrimin geri yükleme adımında eğrilikler birinci kat sol kolonda 0,035 rad/m, sağ kolonda 0,029 rad/m ölçülmüştü.

Beşinci çevrimde birinci kat dolgu duvarının kesme deplasmanları çok küçüktür. Kesme deplasmanları ileri yükleme adımında 0,88 mm, geri yükleme adımında 0,34 mm ölçülmüştür. Kesme deplasmanı birinci kat yatay deplasmanının ortalama %8'i düzeyinde gerçekleşmiştir. Bu çevrimden sonra deneye ikinci katın yatay deplasmanı yaklaşık 5 mm artırılarak deplasman kontrollü olarak devam edilmiştir.

6. çevrim: Çevrimin geri yüklemesinde 76 kN yük düzeyinde birinci kat sağ kolonun alt ucunda kesme çatlakları gelişmiştir. İkinci kat kirişinin dolgu duvarına birleşen sağ ucunda kesme çatlakları oluşmuştur. 83 kN taban kesme kuvveti değerinde katların yatay deplasmanları birinci katta 13,8 mm, ikinci katta 22,1 mm ölçülmüştür. Altıncı çevrimin sonunda deney elemanın kirişleri kesmeden kırılmıştır.

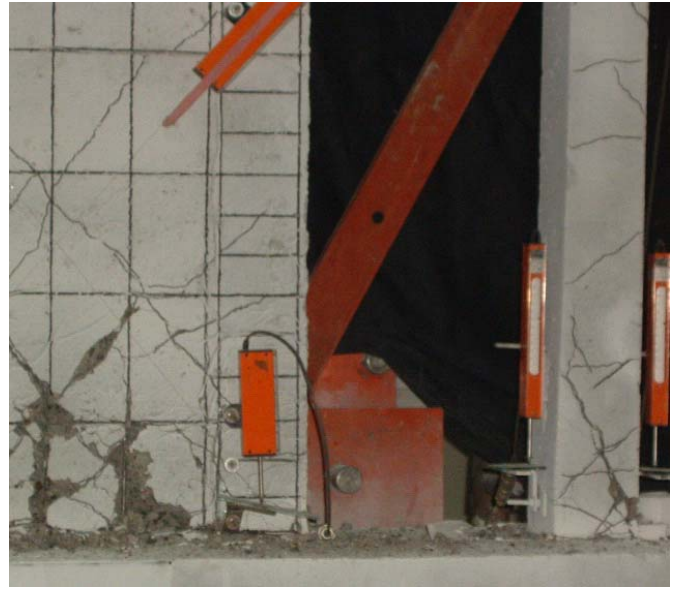
9. çevrim: Dokuzuncu çevrimin geri yüklemesinde 60 kN yük düzeyinde dolgu duvarının betonu temel kirişi üzerinde ezilmiştir. Deney elemanına iki tam yük çevrimi daha uygulanmıştır. Onbirinci çevrimin ileri yüklemesinde yük 55 kN düzeyine gerilemiştir. Onbirinci çevrimde deney elemanından alınan fotoğraflar Resim 3.16'da verilmiştir.



a) İkinci kat kirişi, sağ taraf



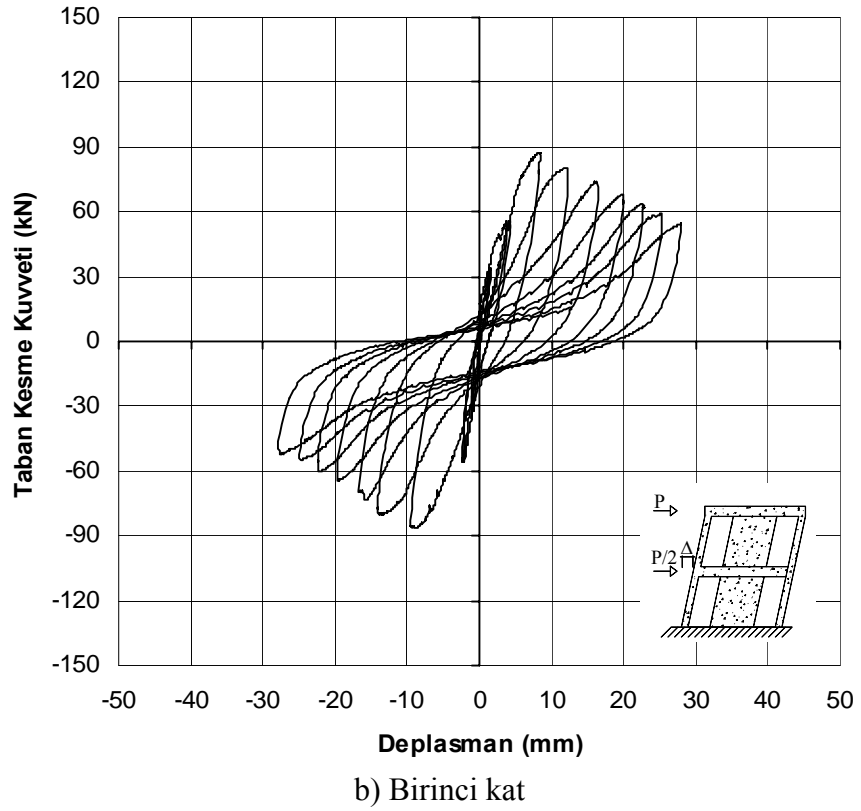
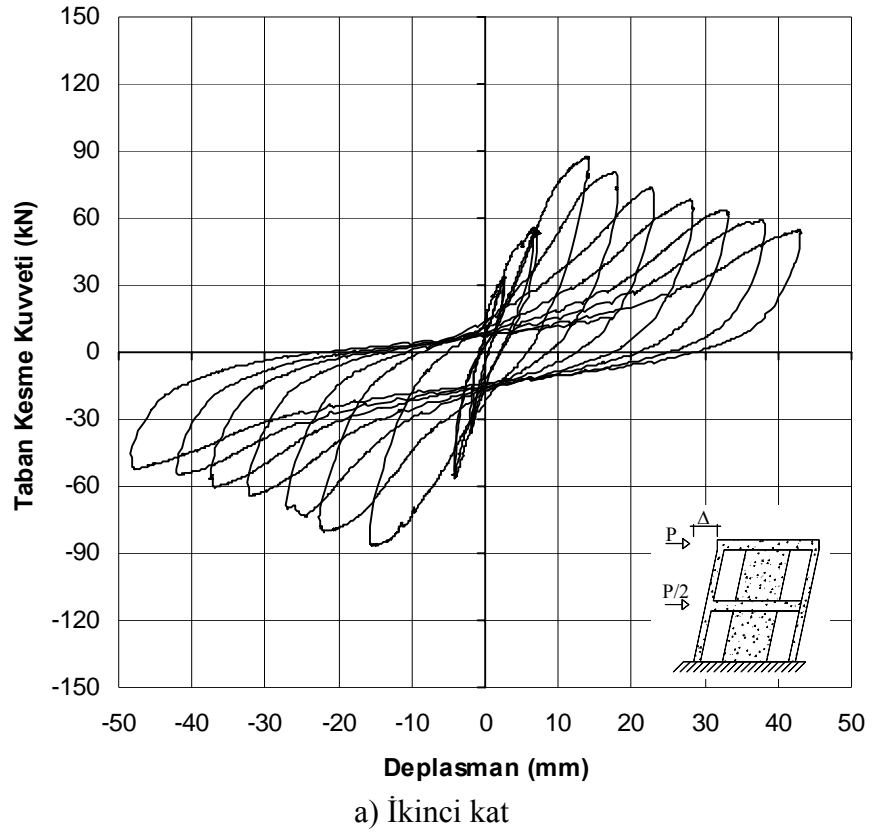
b) Birinci kat kirişi, sağ taraf



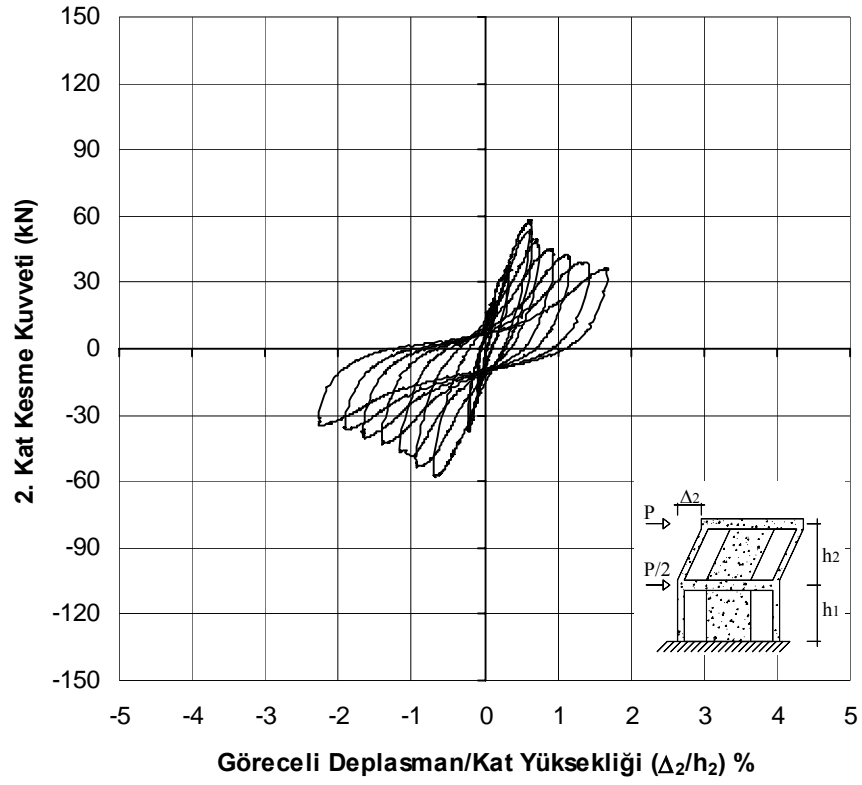
c) Birinci kat kiriş sol taraf

d) Birinci kat sağ kolon ve dolgu duvarı

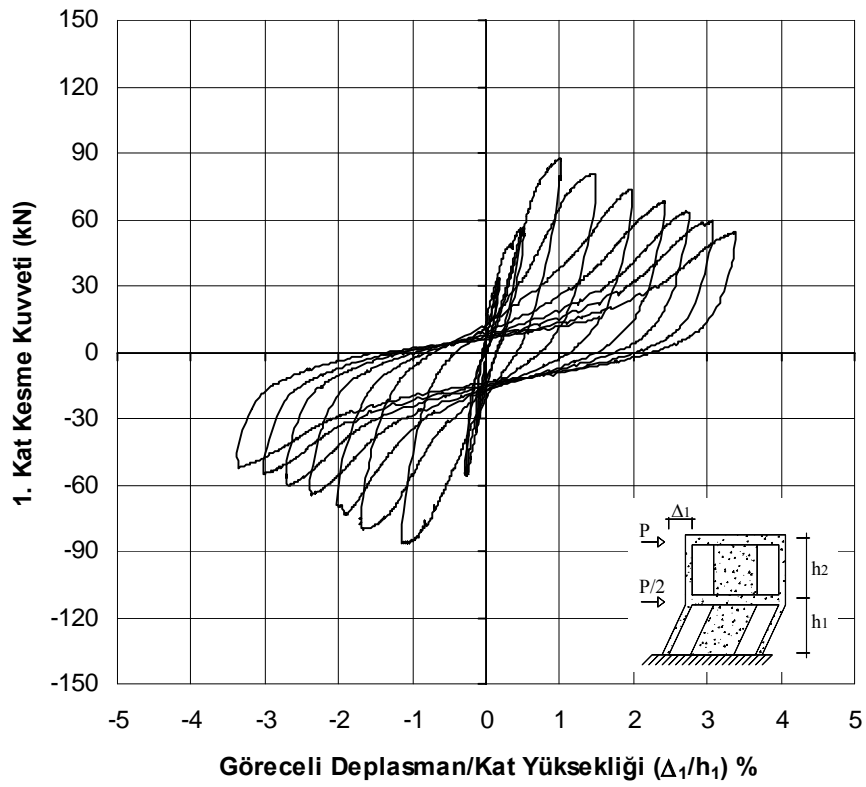
Resim 3.16. Göçmeden sonra kiriş ve kolonlar, Deney Elemanı-9



Şekil 3.39. Yük-deplasman grafikleri, Deney Elemanı-9

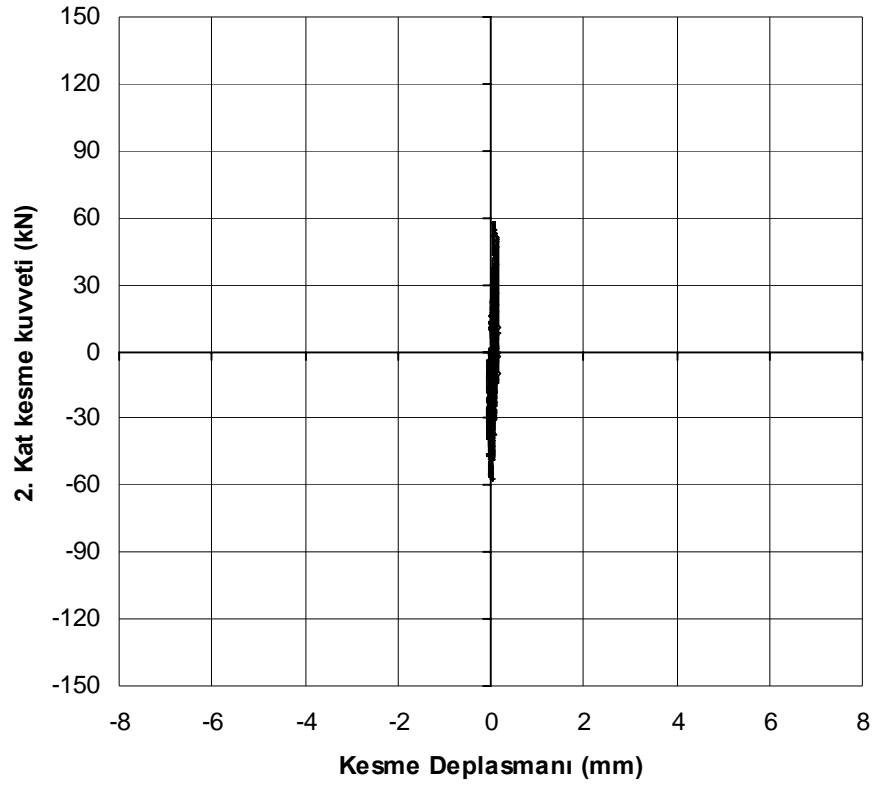


a) İkinci kat

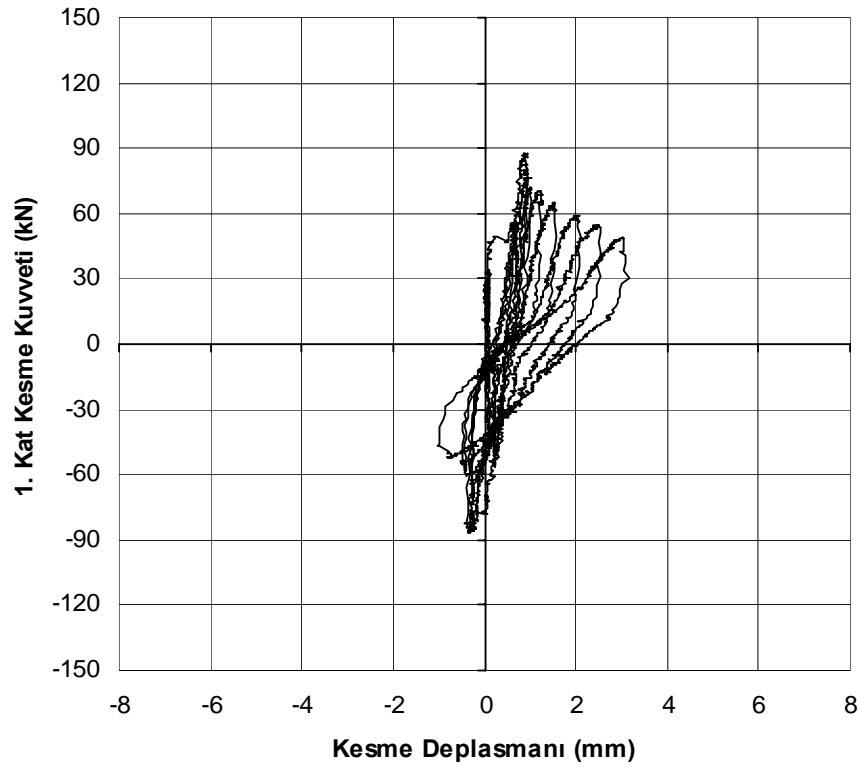


b) Birinci kat

Şekil 3.40. Kat kesme kuvveti-ötelenme oranı grafikleri, Deney Elemanı-9

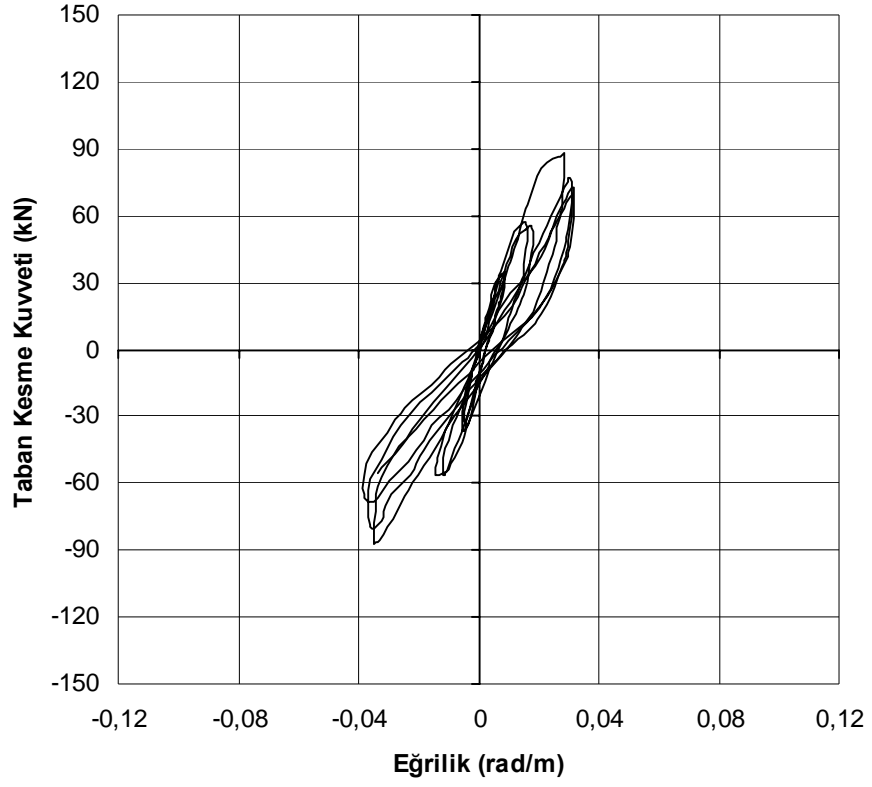


a) İkinci kat

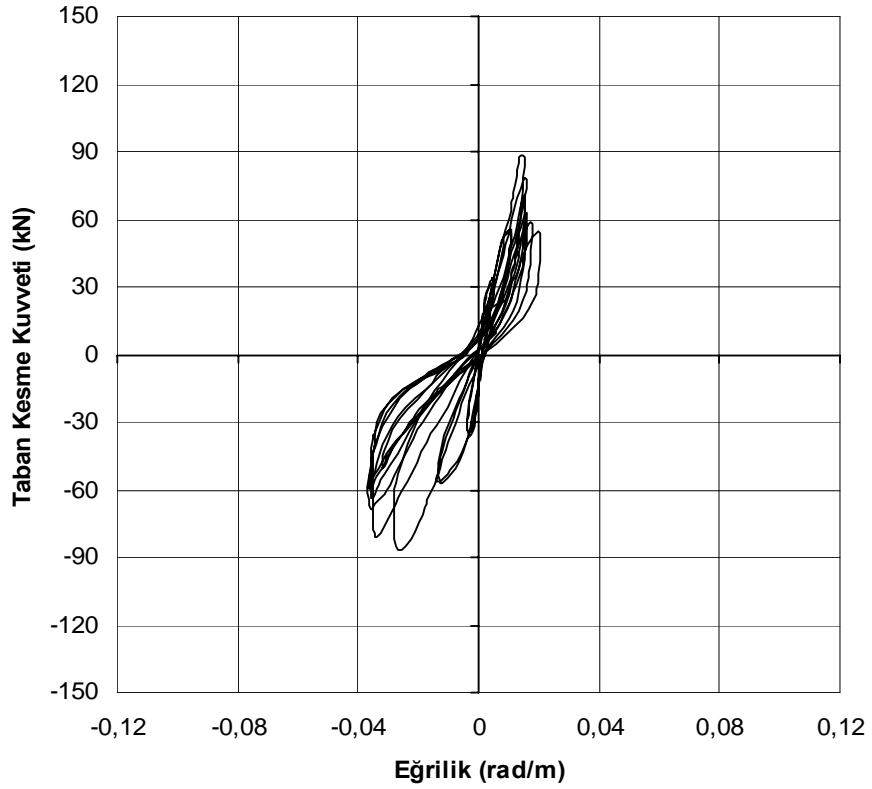


b) Birinci kat

Şekil 3.41. Yük-kesme deplasmanı grafikleri, Deney Elemanı-9

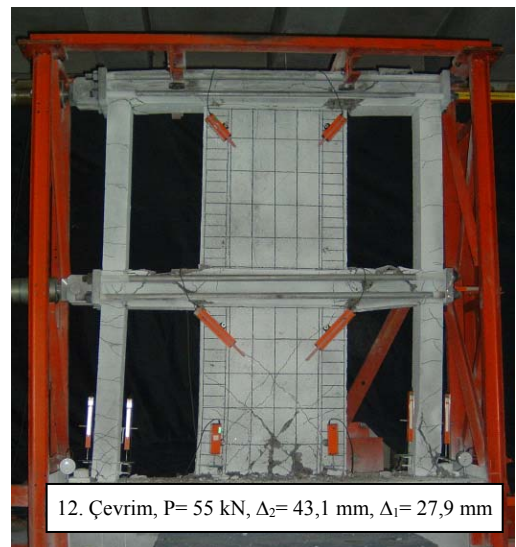
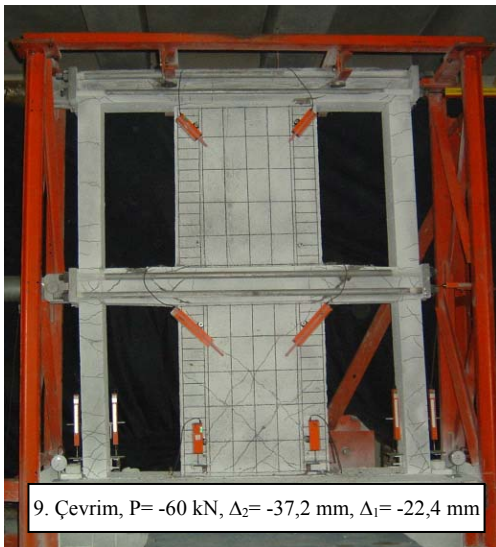
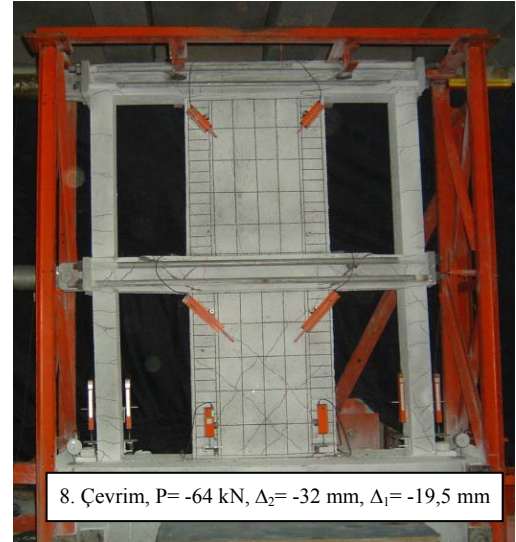
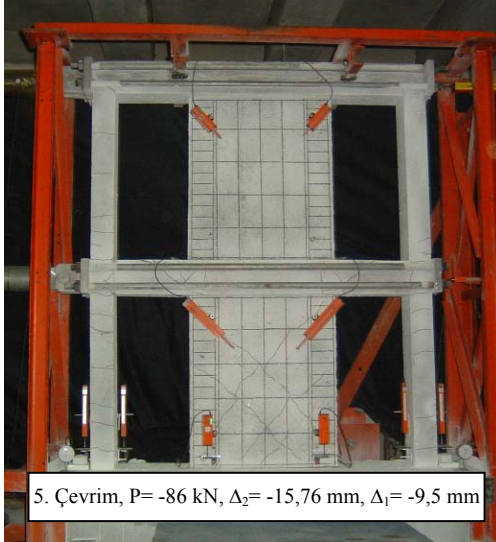
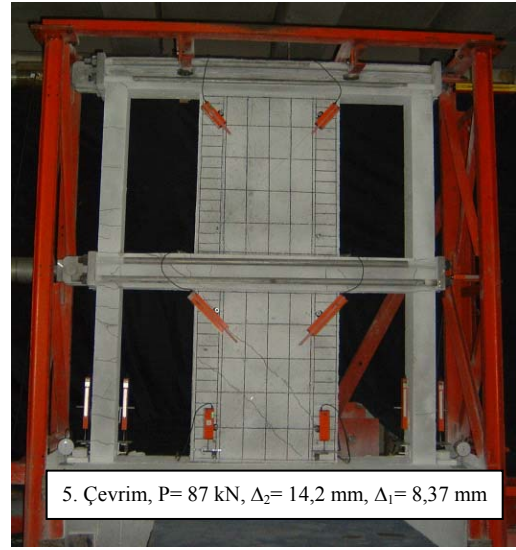
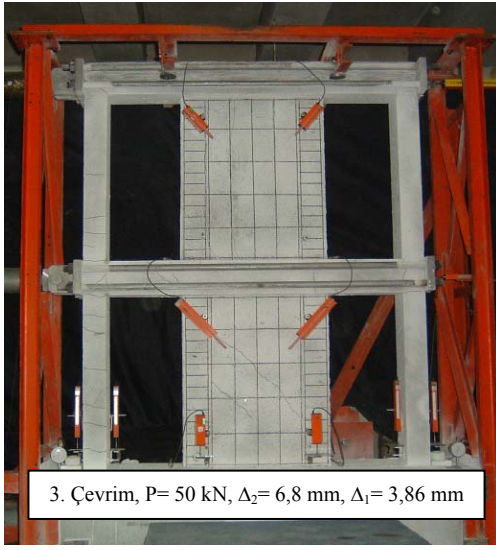


a) Birinci kat sol kolon



b) Birinci kat sağ kolon

Şekil 3.42. Taban kesme kuvveti-eğrilik grafikleri, Deney Elemanı-9



Resim 3.17. DeneY Elemanı-9'un test sırasındaki fotoğrafları

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde deney sonuçları; dayanım ve davranış, süneklik, rijitlik ve enerji tüketimi başlıkları altında değerlendirilmiştir. Test sonuçları, parçasal dolgu duvarın l/h oranındaki değişimin incelendiği deney elemanları, parçasal dolgu duvarın çerçeve açıklığında farklı şekillerde düzenlendiği deney elemanları ve parçasal dolgu duvarda uç elemanın varlığının incelendiği deney elemanları gruplandırılarak, irdelenmiştir.

4.1. Dayanım ve Davranış

Deney elemanlarının yatay yüklerin etkisi altındaki davranış ve dayanımlarının değerlendirilmesinde zarf eğrileri kullanılmıştır. Zarf eğrileri her yarım yük çevriminde deney elemanlarına uygulanan maksimum yük değerlerinin birleştirilmesiyle elde edilmiştir. Değerlendirmelerde iki farklı zarf eğrisi oluşturulmuştur. Taban kesme kuvveti-ikinci kat deplasmanı grafikleri kullanılarak deney elemanlarının davranışları yorumlanmış, süneklik ve rijitlikleri hesaplanmıştır. Taban kesme kuvveti-birinci kat ötelenme oranı grafiklerine göçmenin gelişiminde birinci katın yatay ötelenme oranının belirleyici olması nedeniyle yer verilmiştir. Deney elemanlarının maksimum yük düzeyinde kat yatay ötelenme oranları karşılaştırılmıştır.

Deney elemanlarına uygulanan deplasman kontrollü çevrimlerde dayanımdaki azalma oranları ve deney elemanlarının göçme şekilleri de karşılaştırılmıştır. Deney programı içinde gerçekleştirilen 9 deneyin sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Dolgu duvarıyla güçlendirilmiş deney elemanlarının dayanımlarının, çerçeve ve birdöküm dolgu duvarlı deney elemanlarının dayanımlarına oranları Çizelge 4.2’de verilmiştir. Çizelge 4.1’den anlaşılacağı gibi dolgu duvarıyla güçlendirilmiş deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasiteleri referans elemanları arasında dağılım göstermiştir.

Çizelge 4.1.1. Deneysel sonuçlarının özeti

Deneysel Elemanı No:	İleri Çevrim				Geri Çevrim				Göçme Mekanizması
	Maksimum yük, (V_u , kN)	Maksimum yükte 1. kat dep., (mm)	Maksimum yükte 2. kat dep., (mm)	Maksimum yükte 1. kat ötelenme oranı, (%)	Maksimum yük, (V_u , kN)	Maksimum yükte 1. kat dep., (mm)	Maksimum yükte 2. kat dep., (mm)	Maksimum yükte 1. kat ötelenme oranı, (%)	
1	20	15,6	33,3	1,89	21	14,4	31,4	1,75	Eğilme
2	190	3,1	4,7	0,38	200	5,6	8,9	0,68	Eğilme + Kesme
3	156	4,1	7,2	0,49	155	5,4	9,1	0,66	Kesme
4	60	13,4	24,2	1,62	50	11,5	24,0	1,39	Kesme
5	92	5,7	10,5	0,70	90	7,3	15,2	0,88	Eğilme + Kesme
6	140	5,7	10,0	0,69	136	5,6	9,2	0,68	Eğilme + Kesme
7	130	6,8	11,2	0,82	125	6,6	11,4	0,80	Kesme
8	133	7,5	15,0	0,91	130	7,1	14,0	0,85	Kesme
9	87	8,4	14,2	1,01	86	9,5	15,8	1,15	Kesme

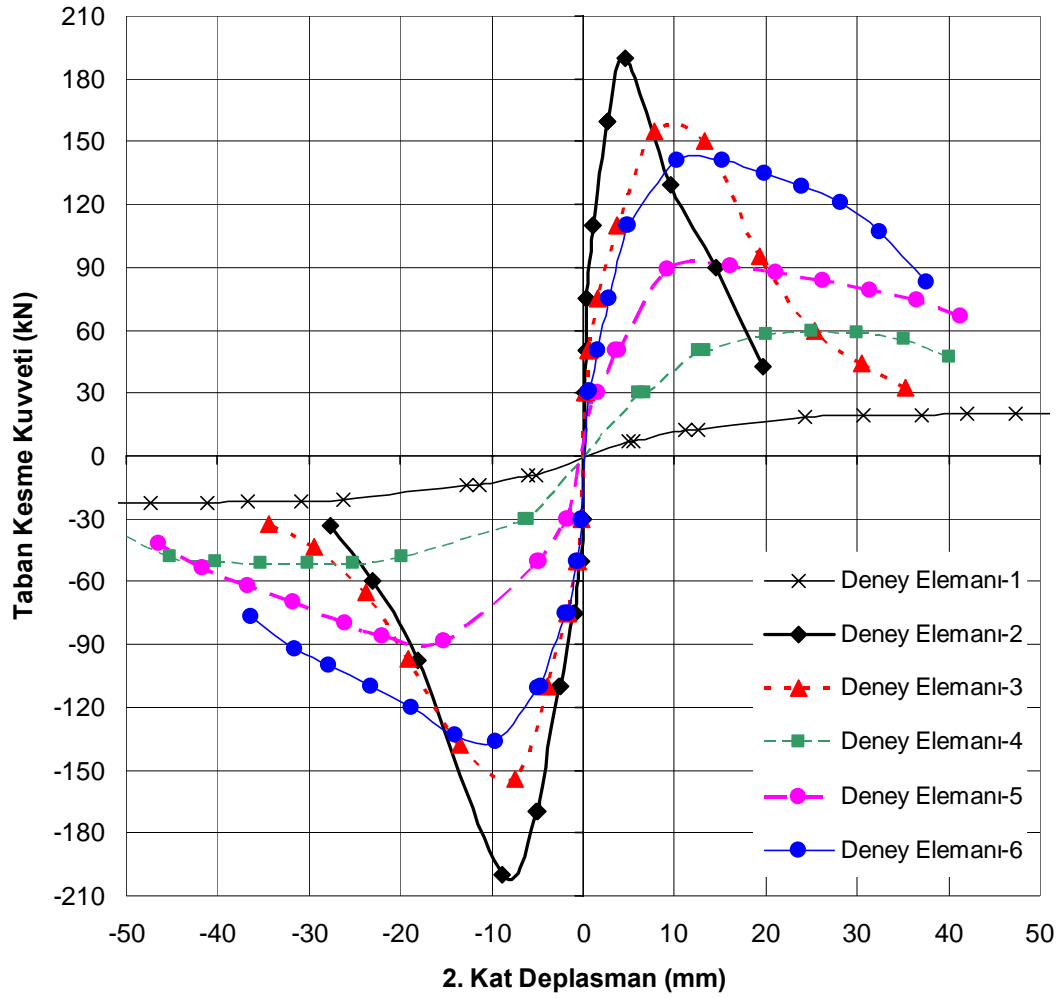
Çizelge 4.2. Dolgu duvarının deney elemanının dayanımına etkisi

Deney Elemanı No:	İleri Çevrim			Geri Çevrim		
	Maksimum yük (V_u , kN)	$\frac{V_{u,dolgu}}{V_{u,\text{çerçeve}}}$	$\frac{V_{u,dolgu}}{V_{u,birdöküm}}$	Maksimum yük (V_u , kN)	$\frac{V_{u,dolgu}}{V_{u,\text{çerçeve}}}$	$\frac{V_{u,dolgu}}{V_{u,birdöküm}}$
1	20	1,00	0,11	21	1,00	0,11
2	190	9,50	1,00	200	9,52	1,00
3	156	7,80	0,82	155	7,38	0,78
4	60	3,00	0,32	50	2,38	0,25
5	92	4,60	0,48	90	4,29	0,45
6	140	7,00	0,74	136	6,48	0,68
7	130	6,50	0,68	125	5,95	0,63
8	133	6,65	0,70	130	6,19	0,65
9	87	4,35	0,46	86	4,10	0,43

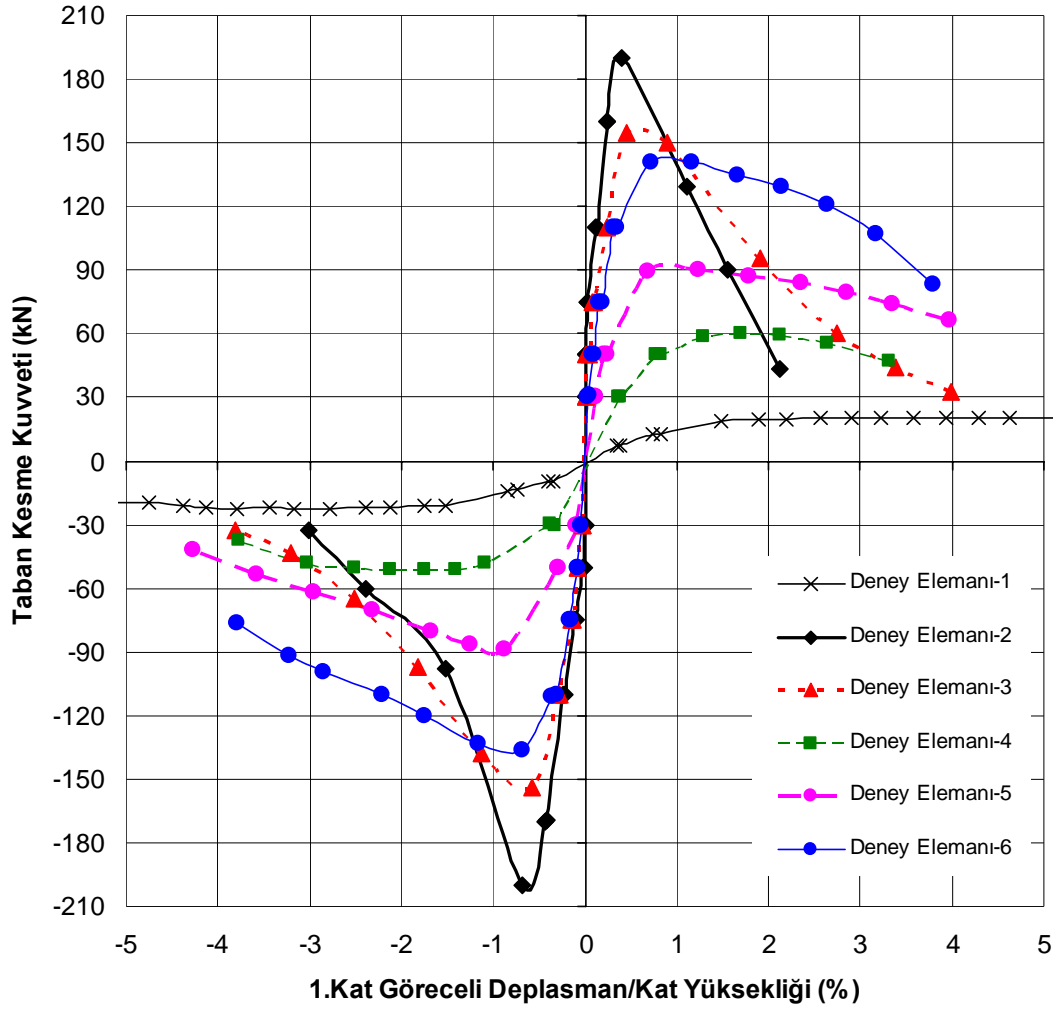
Parçasal dolgu duvarının l/h oranının davranış ve dayanım üzerine etkisinin incelendiği deney elemanlarının zarf eğrileri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de verilmiştir. Dayanımı en küçük olan çerçeve deney elemanı 20 kN yatay yük taşımıştır. Deney elemanının maksimum yük düzeyinde kat yatay deplasmanları diğer deney elemanlarından oldukça büyüktür. Maksimum yükte hesaplanan birinci kat ötelenme oranı %1,89’dur. Deney elemanına uygulanan deplasman kontrollü çevrimlerde dayanımda azalma gerçekleşmemiştir. Deney elemanında kolon kiriş birleşim bölgelerinde ağır hasar oluşumu ve kolonların uçlarında plastik mafsall gelişmesiyle göçme gerçekleşmiştir.

Birdöküm dolgu duvarlı Deney Elemanı-2, yatay yük taşıma kapasitesi en büyük deney elemanıdır. Deney elemanının maksimum yük düzeyinde birinci kat ötelenme oranı ise deney programı içindeki diğer elemanlar arasında en küçüktür. Dayanımı 190 kN olan deney elemanının, maksimum yükte birinci kat ötelenme oranı %0,38’dir. Deney elemanına maksimum yük düzeyinden sonra uygulanan deplasman kontrollü çevrimlerde yatay yük taşıma kapasitesi hızla azalmıştır. Birinci kat ötelenme oranının %1 değerinde yük taşıma kapasitesi %26 oranında azalmıştır.

Deney elemanı birinci kat kolonlarının ve dolgu duvarının temel kirişi üzerinden kesilmesiyle göçmüştür.



Şekil 4.1. Deney Elemanı-1,2,3,4,5 ve 6'nın ikinci kat zarf eğrileri (l/h oranındaki değişim)



Şekil 4.2. Deney Elemanı-1,2,3,4,5 ve 6'nın birinci kat zarf eğrileri (l/h oranındaki değişim)

l/h oranı 1,73 olan tam dolu dolgu duvarlı Deney Elemanı-3'ün davranış ve dayanımı bir döküm dolgu duvarlı olan Deney Elemanı-2'den farklıdır. Yatay yük taşıma kapasitesi 156 kN olan deney elemanın maksimum yükte birinci kat yatay ötelenme oranı %0,49'dur. Yatay yük taşıma kapasitesi çerçeve deney elemandan %780 daha fazla, bir döküm dolgu duvarlı deney elemanından %18 daha azdır. Maksimum yük düzeyinde birinci kat ötelenme oranı çerçeve elemanına göre %74 oranında daha az, bir döküm dolgu duvarlı deney elemanına göre ise %29 oranında daha fazladır. Birinci kat ötelenme oranının %1 değerinde elemanın taşıdığı yatay yük %3,8 azalmıştır. Dayanımdaki azalma Deney Elemanı-2'ye göre %22 oranında daha azdır. Deney elemanın göçme şekli de Deney Elemanı-2'den farklı gelişmiştir. Göçme

dolgu duvarı betonunun diyagonal basınç çubuğu üzerinde ezilmesi ve çerçevenin birinci kat kolonlarının kesmeden kırılmasıyla gelişmiştir. Deney elemanında maksimum yük düzeyinde ölçülen birinci kat kesme deplasmanı birinci kat yatay deplasmanının %48'i düzeyindedir.

Dolgu duvarı l/h oranı 0,43 olan Deney Elemanı-4'ün yatay yük taşıma kapasitesi, çerçeve deney elemanından %300 daha fazla, bir döküm dolgu duvarlı deney elemanından %68 daha azdır. Deney elemanının maksimum yük düzeyinde kat yatay deplasmanları deney programı içinde çerçeve elemanından sonra en büyük değerdedir. Maksimum yükte birinci kat ötelenme oranı %1,62'dir. Maksimum yük düzeyinde birinci kat ötelenme oranı çerçeve elemanına göre %14 daha az, bir döküm dolgu duvarlı deney elemanına göre %326 daha fazladır. Deney elemanı dolgu duvarı betonunun basınç diyagonalı üzerinde ezilmesi ve çerçevenin birinci kat kolonlarının kesmeden kırılmasıyla göçmüştür. Deney Elemanı-3'de kullanılan tam dolu dolgu duvarı yerine, çerçeve içinde %75 oranında boşluğu olan parçasal dolgu duvarı kullanılmasıyla yatay yük taşıma kapasitesi %60 azalmıştır.

Dolgu duvarı l/h oranı 0,87 olan Deney Elemanı-5, maksimum yük düzeyine eğilme momenti etkisiyle dolgu duvarın temel kirişinden ayrılmasıyla ulaşmıştır. 92 kN dayanımı olan deney elemanı çerçeve deney elemanından %460 daha fazla, bir döküm dolgu duvarlı deney elemanından %52 daha az dayanım sergilemiştir. Deney elemanının maksimum yükte birinci kat ötelenme oranı %0,70'dir. Maksimum yükte birinci kat ötelenme oranı çerçeve elemanına göre %63 azalmış, bir döküm dolgu duvarlı deney elemanına göre %84 artmıştır. Kat ötelenme oranının %1 değerinde deney elemanının taşıdığı yatay yük sadece 2 kN azalmıştır. Deney elemanı, dolgu duvarı betonunun ezilmesine kadar dayanımında önemli oranda azalma olmadan büyük deplasmanlar yapacak şekilde davranış sergilemiştir. Tam dolu dolgu duvarı yerine, Deney Elemanı-5'de çerçeve içinde %50 oranında boşluğu olan parçasal dolgu duvarı kullanılmasıyla yatay yük taşıma kapasitesi %41 azalmıştır.

Dolgu duvarı l/h oranı 1,3 olan Deney Elemanı-6'nın davranışı Deney Elemanı-5'in davranışına benzer gelişmiştir. Deney elemanı maksimum yük düzeyine, dolgu

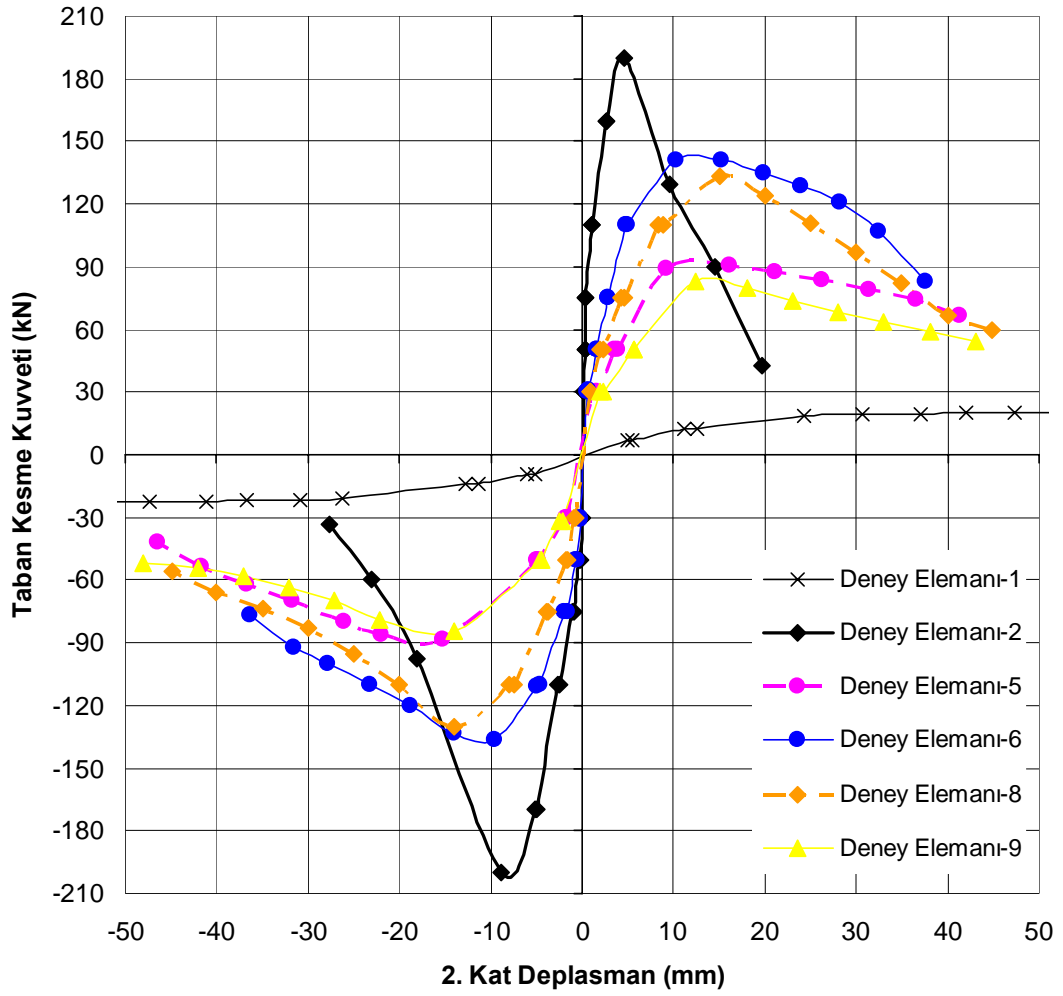
duvarın eğilme momenti etkisiyle temel kirişinden ayrılmasıyla ulaşmıştır. Deney elemanının yatay yük taşıma kapasitesi 140 kN'dur. Yatay yük taşıma kapasitesi çerçeve deney elemanından %700 daha fazla, bir döküm dolgu duvarlı deney elemanından %26 daha azdır. Maksimum yükte birinci kat ötelenme oranı %0,69'dur. Maksimum yükte birinci kat ötelenme oranı çerçeve elemanına göre %64 azalmış, bir döküm dolgu duvarlı deney elemanına göre %82 artmıştır. Birinci kat ötelenme oranının %1 değerinde deney elemanının dayanımında azalma olmamıştır. Deplasman kontrollü yük çevrimlerinin sonunda deney elemanı temel kirişi üzerinden kesilip kayarak göçmüştür. Tam dolu dolgu duvarı yerine çerçeve içinde %25 boşluklu parçasal dolgu duvarı kullanılmasıyla yatay yük taşıma kapasitesi %10 azalmıştır.

Parçasal dolgu duvarıyla güçlendirilmiş deney elemanlarında, dolgu duvarının l/h oranının büyümesiyle çerçeve içindeki dolgu duvarı alanı, dolayısıyla deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasiteleri artmıştır. Dolgu duvarın l/h oranının 0,43'den 0,87'ye çıkmasıyla dayanım %53 artmıştır. l/h oranının 0,87'den 1,3'e çıkmasıyla dayanım %52 artmıştır. Parçasal dolgu duvarında l/h oranının değişmesiyle deney elemanlarının göçme şekilleri de değişmiştir. Deney Elemanı-5 ve 6'nın testlerinde dolgu duvarlarında kesme çatlağı gelişimi kılcal düzeyde kalmıştır. Deney elemanları temel kirişinden eğilme momenti etkisiyle ayrılmışlardır. Ancak dolgu duvarı l/h oranı 0,43 olan Deney Elemanı-4'ün dolgu duvarı diyagonal doğrultuda betonun ezilmesiyle kırılmıştır. Deney Elemanı-5 ve 6'da, maksimum yük düzeyinden sonra dayanımdaki azalma oranı diğer deney elemanlarına göre azdır. Betonarme çerçevenin l/h oranı 0,43, 0,87 ve 1,3 olan parçasal dolgu duvarıyla güçlendirilmesi ile maksimum yük düzeyinde birinci kat ötelenme oranı betonarme çerçeve elemanına göre sırasıyla %14, %63 ve %64 oranlarında azalmıştır.

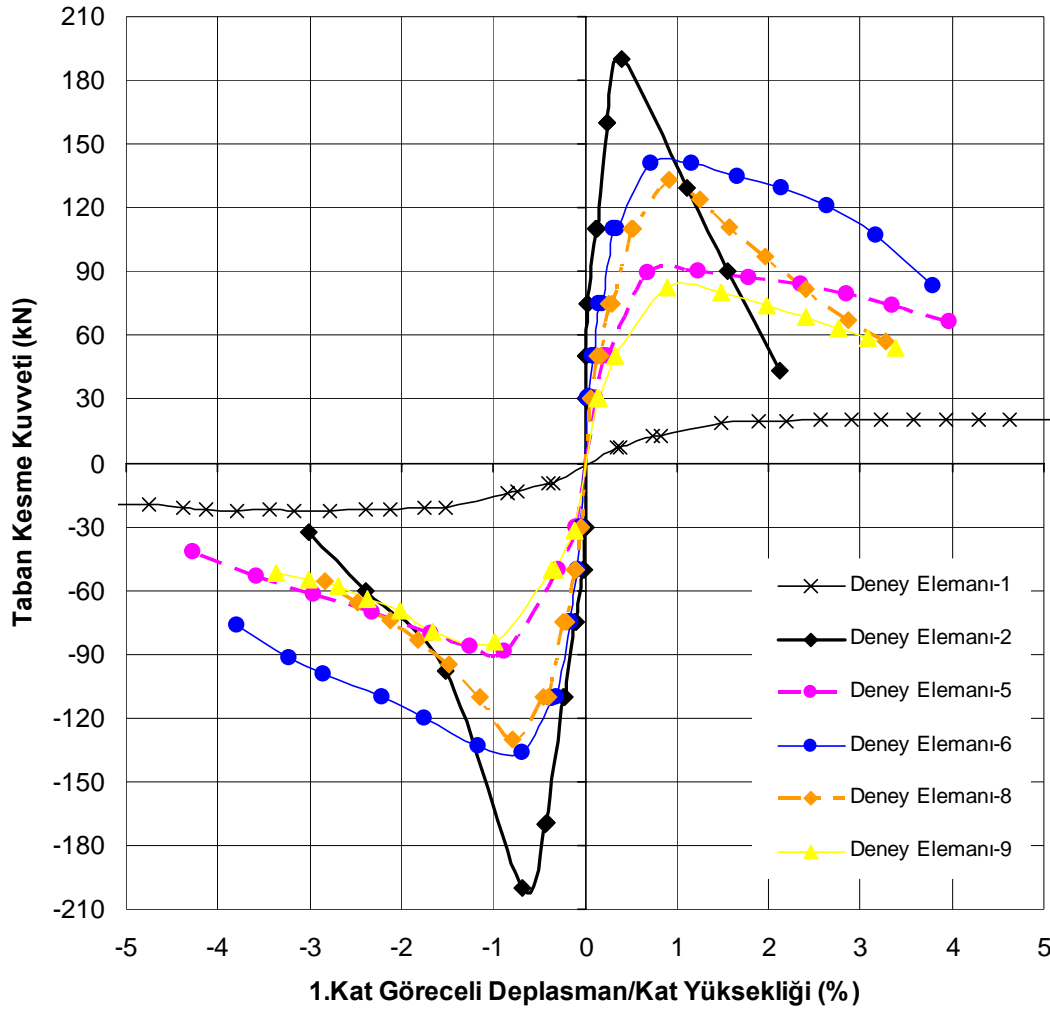
Çerçeve deney elemanının Deney Elemanı-3'de kullanılan tam dolu dolgu duvarı yerine parçasal dolgu duvarıyla güçlendirilmesi davranış ve dayanım bakımından farklılıklar ortaya çıkarmıştır. Deney Elemanı-3'de kullanılan tam dolu dolgu duvarı yerine çerçeve içinde %25 boşluklu parçasal dolgu duvarı kullanılmasıyla dayanım % 10, % 50 boşluklu parçasal dolgu duvarı kullanılmasıyla dayanım %41 azalmıştır.

Tam dolu dolgu duvarı yerine %75 boşluklu parçasal dolgu duvarı kullanılmasıyla dayanım %61 azalmıştır. Tam dolu dolgu duvarı yerine parçasal dolgu duvarı kullanılmasıyla maksimum yükte birinci kat ötelenme oranı Deney Elemanı-4 dışında, Deney Elemanı-5 ve 6'da ortalama %42 artmıştır.

Parçasal dolgu duvarın çerçeve açıklığında yerleşiminin davranış ve dayanıma etkisinin incelenmesi amacıyla iki adet deney elemanı üretilmiştir. Deney Elemanı-5 ve Deney Elemanı-6'da dolgu duvarları çerçevenin sol kolonuna ve kirişlerine bağlı ve tek parçalı olarak kullanılmıştır. Deney elemanı-9'da, Deney Elemanı-5'de kullanılan dolgu duvarıyla aynı boyutlarda olan dolgu duvarı iki tarafında simetrik boşluk olacak şekilde sadece çerçeve kirişlerine bağlanmıştır. Deney Elemanı-8'de, Deney Elemanı-6'da kullanılan dolgu duvarıyla toplamda aynı alanda olan iki parça dolgu duvarı, çerçeve açıklığında simetrik olarak düzenlenmiştir. Parçasal dolgu duvarın çerçeve açıklığında düzenlenmesinin incelendiği deney elemanlarının, çerçeve ve birdöküm dolgu duvarlı deney elemanlarıyla birlikte zarf eğrileri Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.3. Deney Elemanı-1,2,5,6,8 ve 9'un ikinci kat zarf eğrileri (dolgu duvarı düzenlemesindeki değişim).



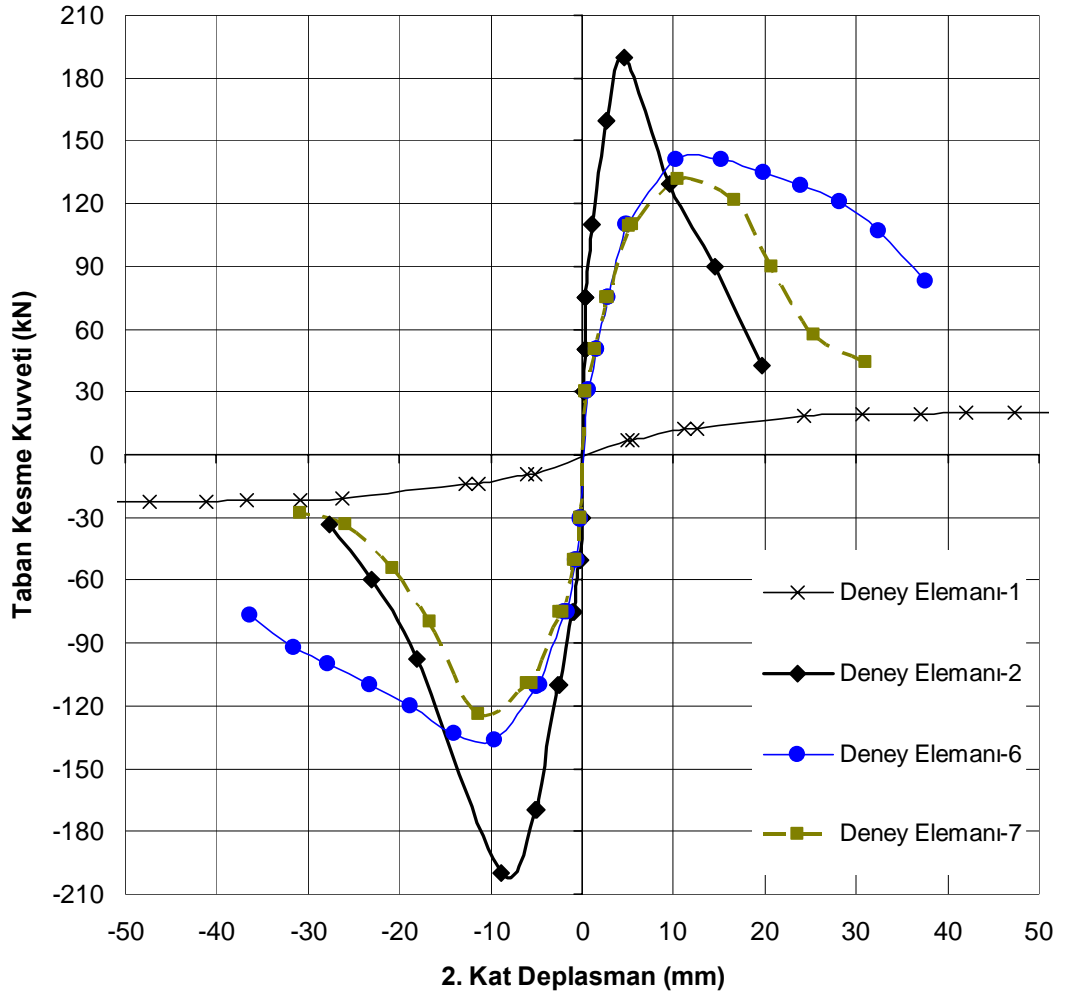
Şekil 4.4. Deney Elemanı-1,2,5,6,8 ve 9'un birinci kat zarf eğrileri (dolgu duvarı düzenlemesindeki değişim).

Parçasal dolgu duvarın çerçeve kirişlerine bağlandığı Deney Elemanı-9, 87 kN dayanım sergilemiştir. Deney elemanının, Deney Elemanı-5'den sadece % 5 daha az dayanım göstermesine rağmen maksimum yük düzeyinde birinci katın ötelenme oranı %43 oranında artmış ve %1 olarak gerçekleşmiştir. Deney Elemanı-5'in testinde çerçeve kirişlerinde kılcal düzeyde çatlaklar gelişmiştir. Ancak Deney Elemanı-9'un testinde maksimum yük düzeyinde çerçeve kirişleri kesmeden kırılmıştır. Çerçeve kolonlarına bitişik olmayan dolgu duvarının serbest kenarlarında iki adet uç elemanı kullanılmıştır. Deney elemanının maksimum yük düzeyinde birinci kat dolgu duvarının kesme deplasmanı birinci kat yatay deplasmanının %8'i düzeyindedir. Bu oran diğer deney elemanları arasında en küçük değerdir.

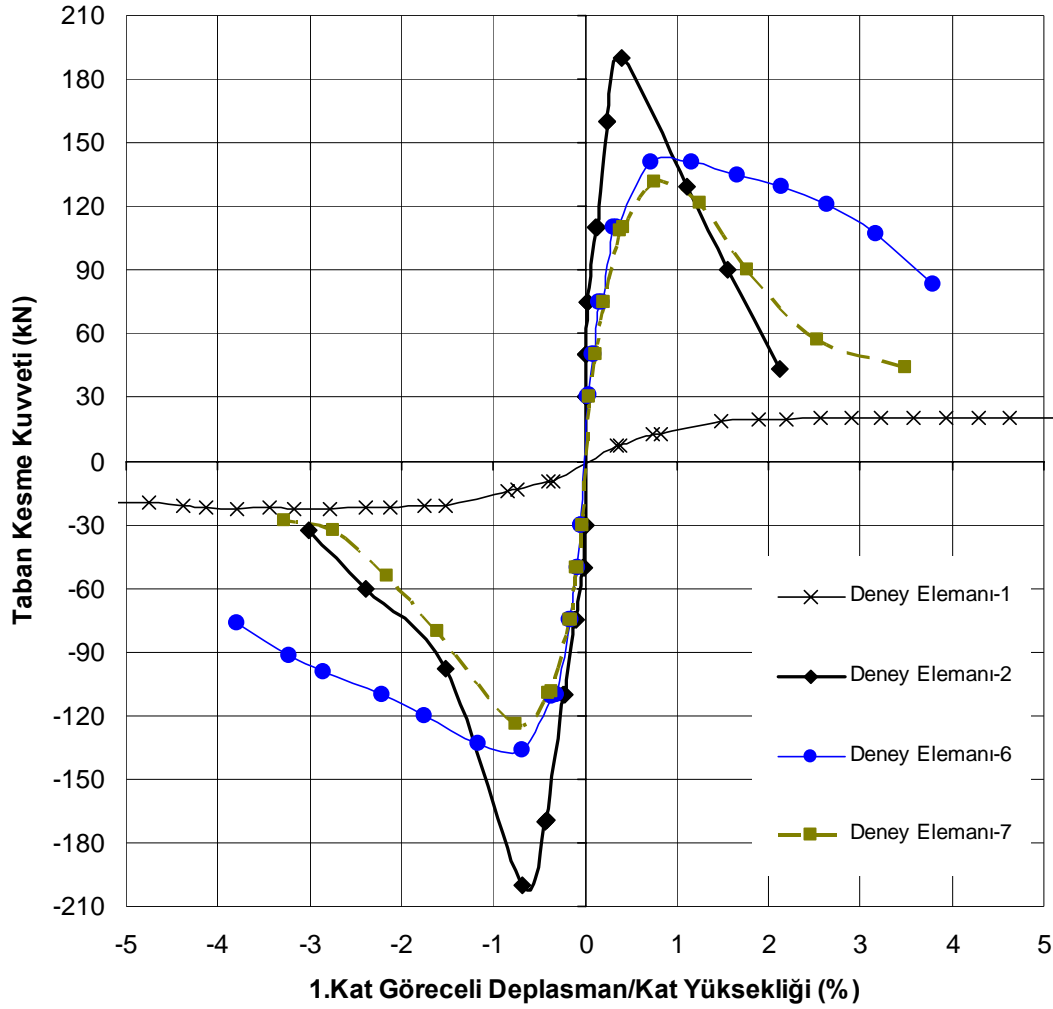
133 kN dayanımı olan Deney Elemanı-8, Deney Elemanı-6'dan %6 daha az dayanım sergilemiştir. Deney Elemanı-8'in maksimum yük düzeyinde birinci kat ötelenme oranı Deney Elemanı-6'ya göre %33 artmış ve %0,91 olarak gerçekleşmiştir. Deney Elemanı-6'nın testinde çerçeve kirişlerinde kılcal düzeyde çatlaklar gelişmiştir. Dolgu duvarında kesme çatlağı gelişimi de kılcal düzeydedir. Ancak Deney Elemanı-8'de ilk önce çerçeve kirişleri kesmeden kırılmıştır. Dolgu duvarı diyagonal doğrultuda betonun ezilmesi ile kırılmıştır. Maksimum yükten sonra birinci katın ötelenme oranı %1 düzeyine ulaştığında Deney Elemanı-6'da dayanımda azalma olmamıştır. Ancak Deney Elemanı-8'in birinci kat ötelenme oranı %1 değerinde dayanımı %7 oranında azalmıştır.

Çerçeve açıklığında parçasal dolgu duvarın sadece kirişlere bağlandığı veya iki parçalı olarak tasarlandığı deney elemanlarında çerçeve kirişleri kesme kuvveti etkisiyle kırılmıştır. Kirişlerin kırılan bölümleri sadece eksenel kuvvet aktarabilen elemanlar şeklinde davranmışlardır. Kirişlerde kesme kırılması nedeniyle deney elemanlarının dayanımlarında önemli oranda azalma olmamıştır. Ancak maksimum yükte birinci katın ötelenme oranı ortalama %40 artmıştır.

Deney programı içinde parçasal dolgu duvarlı deney elemanlarının çerçeve kolonuna birleşmeyen tarafında uç elemanı oluşturulmuştur. Uç elemanının varlığının davranış ve dayanım üzerine etkisinin incelenmesi amacıyla Deney Elemanı-6'da kullanılan dolgu duvarıyla aynı geometride uç elemansız dolgu duvarlı olarak Deney Elemanı-7 üretilmiştir. Deney elemanlarının zarf eğrileri, çerçeve ve birdöküm dolgu duvarlı deney elemanlarıyla birlikte Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.5. Deney Elemanı-1,2,6 ve 7'nin ikinci kat zarf eğrileri (dolgu duvarında uç elemanın varlığı).



Şekil 4.6. Deney Elemanı-1,2,6 ve 7'nin birinci kat zarf eğrileri (dolgu duvarında uç elemanın varlığı).

Deney Elemanı-7, Deney Elemanı-6'dan %7 daha az dayanım sergilemiş ve 130 kN yatay yük taşımıştır. Maksimum yük düzeyinde birinci kat ötelenme oranı %0,82'dir. Bu oran Deney Elemanı-6'ya göre %18 daha fazladır. Deney Elemanı-6'nın yatay yük taşıma kapasitesi birinci kat ötelenme oranı %1 değerinde azalmamıştır. Ancak Deney Elemanı-7'nin dayanımı birinci kat ötelenme oranı %1 değerinde %8 oranında azalmıştır. Deney elemanının göçme şekli de Deney Elemanı-6'dan farklı gelişmiştir. Deney Elemanı-6'nın dolgu duvarında eğik çatlak gelişimi kılcal düzeyde kalmış, uç elemanı bölgesinde yatay çatlak gelişmemiştir. Deney Elemanı-7'de dolgu duvarının serbest kenarında filiz donatılarının seviyesinde yatay bir çatlak oluşmuştur. Göçme birinci katın dolgu duvarı betonunun diyagonal basınç çubuğu

üzerinde ezilmesinden sonra dolgu duvarının filiz donatılarının seviyesinde oluşan yatay çatlak üzerinden kesilmesiyle gerçekleşmiştir. Birinci kat dolgu duvarında ölçülen kesme deplasmanı uç elemanı olmayan deney elemanında ortalama %57 artmıştır.

4.2. Süneklik

Deney elemanlarının deplasman süneklik oranları taban kesme kuvveti-ikinci kat yatay deplasman grafikleri kullanılarak hesaplanmıştır. Süneklik göçmede ölçülen deplasmanın, maksimum yük düzeyinde ölçülen deplasmana oranlanması ile elde edilmiştir. Betonarme deney elemanlarında birinci kat ötelenme oranının %1,5 değerinde onarılamayacak büyüklükte ağır hasarların oluşumuyla veya yatay yük taşıma kapasitelerinin %15 azalmasıyla göçmenin gerçekleştiği belirtilmiştir (53, 54). Bu nedenle eğer deney elemanının maksimum yük düzeyinden sonra dayanımı %15 azalmadan önce, katlar arasında ötelenme oranı %1,5 düzeyine ulaşmışsa göçmenin gerçekleştiği kabulü yapılmıştır. Ancak katlar arasında ötelenme oranı %1,5 düzeyine ulaşmadan deney elemanın dayanımında %15 oranında azalma olmuş ise, göçmenin maksimum yükün %85'ine düştüğü düzeyde gerçekleştiği kabul edilmiştir. Deney elemanlarının deplasman süneklik oranları Çizelge 4.3'de ileri ve geri yük çevrimleri için ayrı ayrı verilmiştir. Karşılaştırmalarda çizelgede verilmiş olan ileri ve geri çevrimler için hesaplanmış deplasman süneklik oranlarının aritmetik ortalaması kullanılmıştır.

Çizelge 4.3. Deney elemanlarının deplasman süneklik oranları

Deney Elemanı No:	İleri Çevrim			Geri Çevrim			(1+2)/2 Ortalama Deplasman Süneklik Oranı
	Maksimum Yükte 2. Kat Dep. (mm)	Göçmede 2. Kat Dep. (mm)	(1) Deplasman Süneklik Oranı	Maksimum Yükte 2. Kat Dep. (mm)	Göçmede 2. Kat Dep. (mm)	(2) Deplasman Süneklik Oranı	
1	26,60	26,60	1,00	27,00	27,00	1,00	1,00
2	4,68	4,74	1,01	8,88	13,40	1,51	1,26
3	7,20	14,53	2,02	9,10	15,08	1,66	1,84
4	20,00	20,00	1,00	19,90	30,10	1,51	1,26
5	10,51	21,50	2,05	15,20	27,00	1,78	1,91
6	10,04	20,00	1,99	9,24	19,11	2,07	2,03
7	11,18	16,70	1,49	11,40	11,40	1,00	1,25
8	14,99	20,05	1,34	14,00	19,93	1,42	1,38
9	14,20	18,02	1,27	15,76	22,25	1,41	1,34

Çerçeve deney elemanı maksimum yük düzeyinde büyük yatay deplasmanlar yapmıştır. Deney elemanının deplasman süneklik oranı 1'dir. Bir döküm dolgu duvarlı olan Deney Elemanı-2, maksimum yük düzeyinden sonra temel kirişi üzerinden kesilerek büyük oranda dayanımını kaybetmiştir. Deney elemanının deplasman süneklik oranı 1,26 olarak hesaplanmıştır. Tam dolu dolgu duvarıyla güçlendirilmiş Deney Elemanı-3 dolgu duvarı betonunun diyagonal doğrultuda ezilmesi ve çerçeve kolonlarının kesmeden kırılmasıyla ile göçmüştür. Deney elemanı çerçeve elemanından %84, bir döküm dolgu duvarlı deney elemanından %46 daha sünek davranmış sergilemiş ve deplasman süneklik oranı 1,84 olarak gerçekleşmiştir.

Dolgu duvarı l/h oranı 0,43 olan Deney Elemanı-4 çerçeve deney elemanına benzer şekilde maksimum yük düzeyine büyük yatay deplasmanlar yapmıştır. Deney elemanının deplasman süneklik oranı bir döküm dolgu duvarlı deney elemanı ile aynıdır. Deney elemanı çerçeve elemanından %26 daha sünek davranış sergilemiştir. Dolgu duvarı l/h oranı 0,87 olan Deney Elemanı-5 ve dolgu duvarı l/h oranı 1,3 olan Deney Elemanı-6 diğer elemanlara göre daha sünek davranış sergilemişlerdir. Her iki deney elemanın maksimum yük düzeyinden sonra dayanımlarındaki azalma oranı diğer deney elemanlarına göre daha azdır. Deplasman süneklik oranları Deney

Elemanı-5 için 1,91 Deneysel Elemanı-6 için 2,03 olarak gerçekleşmiştir. Dolgu duvarı l/h oranı 0,87 olan Deneysel Elemanı-5, Deneysel Elemanı-2'den %51, çerçeve deneysel elemanından %91 daha sünek davranmıştır. Dolgu duvarı l/h oranı 1,3 olan Deneysel Elemanı-6 ise, Deneysel Elemanı-2'den %61, çerçeve deneysel elemanından %103 daha sünek davranmıştır. Parçasal dolgu duvarın l/h oranının artmasıyla deneysel elemanlarında süneklik artmıştır. l/h oranı 1,3 olan dolgu duvarıyla güçlendirilmiş Deneysel Elemanı-6 deneysel programında en sünek davranışı sergilemiştir.

Deneysel Elemanı-5 ve Deneysel Elemanı-6'da kullanılan dolgu duvarlarının çerçeve açıklığında farklı şekillerde düzenlendiği Deneysel Elemanı-8 ve Deneysel Elemanı-9'da maksimum yük düzeyinde ölçülen yatay deplasmanlar büyüktür. Bu nedenle deplasman süneklik oranları da Deneysel Elemanı-5 ve 6'ya göre daha küçüktür. Çerçeve kirişlerine bağlı dolgu duvarlı olan Deneysel Elemanı-9, çerçevenin kolon ve kirişlerine bağlı dolgu duvarlı Deneysel Elemanı-5'den %30 daha az sünek davranmıştır. Deneysel elemanın deplasman süneklik oranı 1,34 olarak hesaplanmıştır. 975 mm genişliğinde dolgu duvarının iki parça olarak çerçeve açıklığında düzenlendiği Deneysel Elemanı-8 ise, tek parça dolgu duvarlı Deneysel Elemanı-6'dan %32 daha az sünek davranış sergilemiştir. Deneysel elemanın deplasman süneklik oranı 1,38 olarak hesaplanmıştır. Çerçeve kirişlerinde kesme kırılmasının gelişmesi deneysel elemanlarının dayanımında önemli oranda azalmaya neden olmamıştır. Ancak deneysel elemanlarının süneklik düzeyleri ortalama %30 azalmıştır.

Parçasal dolgu duvarında uç elemanı olmayan Deneysel Elemanı-7, aynı geometride uç elemanlı dolgu duvarı ile güçlendirilmiş, Deneysel Elemanı-6'dan ortalama % 38 daha az sünek davranış sergilemiştir. Deneysel elemanın deplasman süneklik oranı 1,25 olarak hesaplanmıştır. Deneysel Elemanı-7 güçlendirilen deneysel elemanları içinde birdöküm dolgu duvarlı deneysel elemanından daha az sünek davranan tek elemandır. Deneysel elemanında maksimum yük düzeyinde yatay deplasmanların büyük olması ve maksimum yük düzeyinden sonra yük kaybının yüksek olması sünekliği olumsuz etkilemiştir.

4.3. Rijitlik

Deney elemanlarının rijitlikleri taban kesme kuvveti-ikinci kat yatay deplasmanı grafikleri kullanılarak hesaplanmıştır. Rijitlik, belirlenen yük düzeyindeki noktanın grafiğin orijinine birleştirilmesi ile elde edilen doğrunun eğimidir. Rijitlikler başlangıç ve maksimum yük düzeyinde hesaplanmıştır. Başlangıç rijitliği deney elemanının testinde ilk eğilme çatlağının olduğu yük düzeyinde hesaplanmıştır. Maksimum yük düzeyindeki rijitlik deney elemanına uygulanan ileri ve geri yükleme adımları için hesaplanmıştır. Karşılaştırmalarda maksimum yük düzeyindeki rijitliklerin aritmetik ortalaması kullanılmıştır. Çizelge 4.4’de deney elemanlarının rijitlikleri ve dolgu duvarlı elemanların rijitliklerinin çerçeve deney elemanın rijitliklerine oranları da verilmiştir.

Çizelge 4.4. Deney elemanlarının rijitlik değerleri (K= kN/mm)

Deney Elemanı No:	Başlangıç	Maksimum Yük			Ortalama ($K_{Dolgu}/K_{Çerçeve}$) Oranı	
		İleri Çevrim	Geri Çevrim	Ortalama	Başlangıç	Maksimum Yük
1	1,12	0,60	0,67	0,64	-	-
2	217,39	40,60	22,52	31,56	194,10	49,31
3	145,35	21,67	17,03	19,35	129,78	30,23
4	6,81	2,48	2,09	2,28	6,08	3,57
5	16,30	8,75	5,92	7,34	14,56	11,46
6	31,65	13,94	14,72	14,33	28,25	22,39
7	26,74	11,63	10,96	11,30	23,87	17,65
8	23,08	8,87	9,29	9,08	20,60	14,19
9	11,28	6,13	5,46	5,79	10,07	9,05

Çerçeve deney elemanının rijitlikleri deney programındaki diğer elemanların rijitliklerine oranla çok küçüktür. Deney elemanının başlangıç rijitliği 1,12 kN/mm, maksimum yükteki rijitliği 0,64 kN/mm’dir. Bir döküm dolgu duvarlı deney elemanın rijitlikleri ise deney programındaki en büyük değerlerdedir. Deney Elemanı-2’nin başlangıç rijitliği 217,39 kN/mm, maksimum yükteki rijitliği 31,56 kN/mm’dir.

Tam dolu dolgu duvarlı Deney Elemanı-3'ün başlangıç rijitliği 145,35 kN/mm, maksimum yük düzeyindeki rijitliği ise 19,35 kN/mm'dir. Deney elemanının rijitlikleri çerçeve deney elemanına göre başlangıçta 129,8 kat, maksimum yük düzeyinde ise 30,2 kat daha büyüktür. Rijitlikler bir döküm dolgu duvarlı olan referans elemanına göre başlangıçta %33, maksimum yükteki düzeyinde ise %39 oranında daha azdır.

Sol kolona ve çerçeve kirişlerine bitişik üretilen parçasal dolgu duvarlarının l/h oranının büyümesi deney elemanlarının rijitliklerini artırmıştır. Dolgu duvarın l/h oranı 0,43 olan Deney Elemanı-4'ün başlangıç rijitliği 6,81 kN/mm, maksimum yük düzeyindeki rijitliği ise 2,28 kN/mm olarak elde edilmiştir. Deney elemanın, çerçeve deney elemanına göre başlangıç rijitliği 6,1 kat, maksimum yük düzeyindeki rijitliği 3,6 kat daha büyüktür. Deney elemanının birdöküm dolgu duvarlı elemana göre rijitlikleri başlangıçta %97, maksimum yükte %93 oranında daha azdır. Dolgu duvarın l/h oranı 0,87 olan Deney Elemanı-5'in rijitlikleri başlangıçta 16,30 kN/mm, maksimum yükte 7,34 kN/mm olarak elde edilmiştir. Elemanın çerçeve deney elemanına göre başlangıç rijitliği 14,6 kat, maksimum yük düzeyinde rijitliği ise 11,5 kat daha büyüktür. Deney elemanının birdöküm dolgu duvarlı elemana göre rijitlikleri başlangıçta %93, maksimum yükte %78 oranında daha azdır. Dolgu duvarın l/h oranı 1,3 olan Deney Elemanı-6'nın rijitlikleri başlangıçta 31,65 kN/mm, maksimum yük düzeyinde 14,33 kN/mm'dir. Elemanın rijitlikleri çerçeve deney elemanından başlangıçta 28,3 kat, maksimum yükte 22,4 kat daha büyüktür. Rijitlikler birdöküm dolgu duvarlı elemanına göre başlangıçta %85, maksimum yükte %55 oranında daha azdır.

Parçasal dolgu duvarın l/h oranının 0,43'den 0,87 çıkmasıyla başlangıç rijitliği 2,39 kat, maksimum yükteki rijitlik 3,22 kat artmıştır. Dolgu duvarın l/h oranının 0,87'den 1,3'e çıkmasıyla başlangıç rijitliği 1,94 kat, maksimum yükteki rijitlik ise 1,95 kat artmıştır. Dolgu duvarıyla güçlendirmede çerçeve içinde tam dolu dolgu duvarının alanının parçasal dolgu duvarı kullanılarak %25 oranında azalmasıyla Deney Elemanı-6'da dayanım %10 azaltılmıştı. Ancak başlangıç rijitliği %78, maksimum

yük düzeyindeki rijitlik %36 azalmıştır. Tam dolu dolgu duvarı yerine çerçeve iç alanında %25-50-75 oranlarında parçasal dolgu duvarı kullanılmasıyla, deney elemanlarının rijitlikleri dayanımlarına göre daha büyük oranlarda azalmıştır.

Deney Elemanı-5’de kullanılan dolgu duvarının çerçeve kirişlerine bağlandığı Deney Elemanı-9 için başlangıç rijitliği 11,28 kN/mm, maksimum yük düzeyindeki rijitlik 5,79 kN/mm olarak elde edilmiştir. Deney Elemanı-5’e göre başlangıç rijitliği %31, maksimum yük düzeyindeki rijitlik %21 azalmıştır. Deney Elemanı-6’nın dolgu duvarının çerçeve içinde iki parça olarak tasarlandığı Deney Elemanı-8’in rijitliği başlangıçta 23,08 kN/mm, maksimum yük düzeyinde 9,08 kN/mm’dir. Deney Elemanı-6’ya göre rijitlik başlangıçta %27, maksimum yük düzeyinde %37 azalmıştır. Deney Elemanı-8 ve 9’da çerçeve kirişleri kesmeden kırılmıştır. Parçasal dolgu duvarın tek parça ve çerçevenin kolon ve kirişlerine bağlı olarak üretildiği deney elemanlarına göre rijitlikler %37 düzeyine ulaşan oranlarda azalmıştır.

Dolgu duvarının serbest kenarında uç elemanı olmayan Deney Elemanı-7’nin rijitlikleri Deney Elemanı-6’nın rijitliklerine göre başlangıçta %16, maksimum yük düzeyinde %21 daha azdır. Deney Elemanı-7’nin başlangıç rijitliği 26,74 kN/mm, maksimum yük düzeyindeki rijitliği ise 11,30 kN/mm’dir. Dolgu duvarında uç elemanı olmayan deney elemanının, uç elemanlı dolgu duvarı olan deney elemanına göre dayanımının %7 oranında azalmasına rağmen, rijitlikleri daha büyük oranlarda azalmıştır.

4.4. Enerji Tüketimi

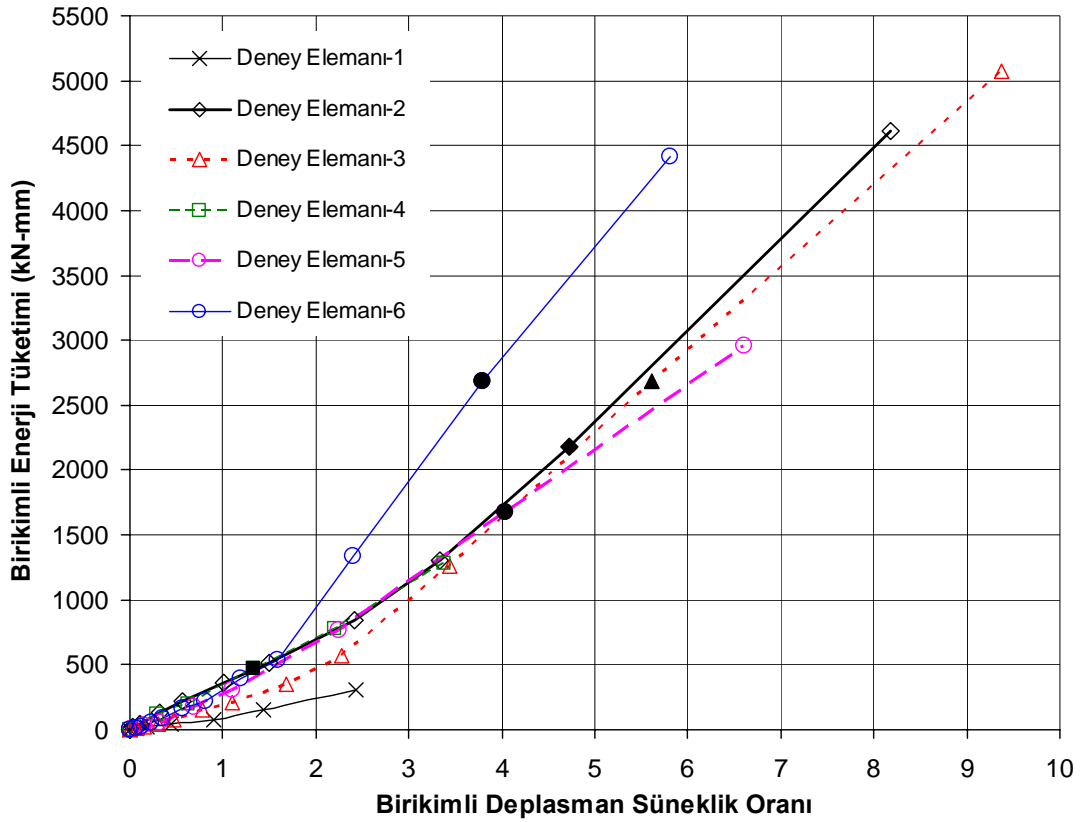
Enerji tüketimi deney elemanlarına uygulanan her yük çevrimi için yük-deplasman grafiklerinde oluşan kapalı alanın hesaplanmasıyla elde edilmiştir. Deney elemanlarının enerji tüketimleri her çevrimde tüketilen enerjinin birikimli olarak toplanmasıyla hesaplanmıştır. Enerji tüketimleri maksimum yük düzeyinde ve göçmede hesaplanmıştır. Deney elemanlarının enerji tüketimleri Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Deney elemanlarının birikimli enerji tüketimleri (kN-mm)

Deney Elemanı No:	Maksimum Yük Düzeyinde	Göçmede
1	304	304
2	2185	4610
3	1259	5076
4	476	1281
5	764	2954
6	1336	4419
7	1606	3198
8	1650	2832
9	1032	2037

Deney elemanlarının enerji tüketim düzeylerinin karşılaştırılmasında enerji tüketim grafikleri oluşturulmuştur. Grafiklerde düşey ekseninde birikimli enerji tüketimleri kullanılmıştır. Deney elemanlarına uygulanan yük çevrimlerinin özdeş olmaması nedeniyle yatay ekseninde birikimli deplasman süneklilik oranları kullanılmıştır. Her deney elemanının birinci kat ötelenme oranı %1 değerinde enerji tüketimleri grafiklerde çerçeve deney elemanı dışında sembolle işaretlenmiştir.

Parçasal dolgu duvarın l/h oranındaki değişimin incelendiği deney elemanlarının enerji tüketimleri çerçeve ve birdöküm dolgu duvarlı deney elemanlarıyla birlikte Şekil 4.7’de verilmiştir. Deney programı içinde en az enerji tüketen çerçeve deney elemanıdır. Birdöküm dolgu duvarlı Deney Elemanı-2 maksimum yük düzeyinde 2185 kN-mm ile en fazla enerji tüketen deney elemanıdır. Göçmede ise deney elemanı, maksimum yük düzeyinde tüketilen enerjiye oranla %210 daha fazla enerji tüketmiştir.



Şekil 4.7. Deney Elemanı-1,2,3,4,5 ve 6'nın biririmli enerji tüketim grafikleri

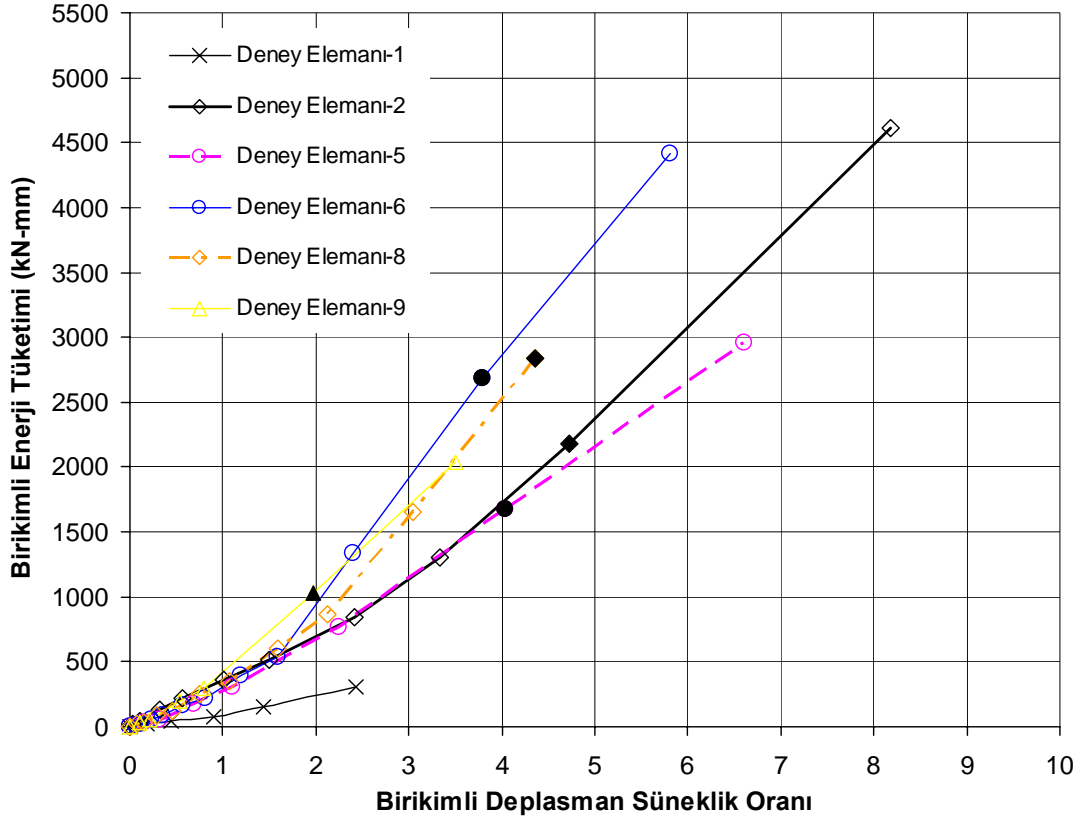
Deney Elemanı-3 maksimum yük düzeyinde 1259 kN-mm enerji tüketmiştir. Deney elemanı göçmede maksimum yük düzeyinde tüketilen enerjiye oranla %403 daha fazla enerji tüketmiştir. Göçmede tüketilen enerjideki artış oranı deney programındaki en yüksek değerdedir. Deney Elemanı-3 bir döküm dolgu duvarlı Deney Elemanı-2'ye göre daha sünek bir davranış sergilemiş, ancak daha düşük dayanım göstermiştir. Deney elemanı maksimum yük düzeyinde Deney Elemanı-2'ye göre %42 oranında daha az enerji tüketmesine rağmen, göçmede %10 oranında daha fazla enerji tüketmiştir. Deney elemanı, çerçeve deney elemanın maksimum yükte 4,1 katı, göçmede 16,7 katı enerji tüketmiştir.

Dolgu duvarın l/h oranı 0,43 olan Deney Elemanı-4, maksimum yük düzeyinde 476 kN-mm, göçmede maksimum yük düzeyinde tüketilen enerjiye oranla %269 daha fazla enerji tüketmiştir. Deney elemanı göçmede 1281 kN-mm enerji tüketmiştir. Deney elemanının tükettiği enerji çerçeve deney elemanının, maksimum yük

düzeyinde 1,57 katı, göçmede ise 4,21 katıdır. Deney elemanı bir döküm dolgu duvarlı deney elemanına göre maksimum yük düzeyinde %78, göçmede %72 oranında daha az enerji tüketmiştir. Dolgu duvarın l/h oranı 0,87 olan Deney Elemanı-5 maksimum yük düzeyinde 764 kN-mm, göçmede maksimum yük düzeyinde tüketilen enerjiye oranla %387 artışla 2954 kN-mm enerji tüketmiştir. Deney elemanı çerçeve deney elemanın maksimum yük düzeyinde 2,51 katı, göçmede 9,72 katı enerji tüketmiştir. Deney Elemanı-5, birdöküm dolgu duvarlı deney elemanına göre maksimum yük düzeyinde %65, göçmede %36 oranında daha az enerji tüketmiştir. Dolgu duvarın l/h oranı 1,3 olan Deney Elemanı-6 maksimum yük düzeyinde 1606 kN-mm, göçmede maksimum yük düzeyinde tüketilen enerjiye oranla %331 artışla 4419 kN-mm enerji tüketmiştir. Deney elemanının tükettiği enerji çerçeve deney elemanın tükettiği enerjinin maksimum yük düzeyinde 4,39 katı, göçmede ise 14,55 katıdır. Deney Elemanı-6'da çerçeve içindeki dolgu duvarı alanının Deney Elemanı-3'e göre %25 oranında azalmasına rağmen, tüketilen enerji maksimum yükte %6 daha fazladır. Göçmede tüketilen enerji sadece %13 oranında daha azdır.

Dolgu duvarı l/h oranı 1,3 olan Deney Elemanı-6'nın dayanımı, birdöküm dolgu duvarlı referans elemanından %26, tam dolu dolgu duvarlı Deney Elemanı-3'den %10 oranında daha az olmasına rağmen katlar arası yatay ötelenme oranının %1 olduğu düzeyde tükettiği enerji, iki deney elemanından daha fazladır. Parçasal dolgu duvarlı deney elemanlarında dolgu duvarın l/h oranının artmasıyla tüketilen enerji artmıştır. Dolgu duvarı l/h oranının 0,43'den 0,87 ye çıkmasıyla deney elemanının tükettiği enerji maksimum yük düzeyinde %61, göçmede %130 oranında artmıştır. l/h oranının 0,87'den 1,3'e çıkmasıyla tüketilen enerji maksimum yük düzeyinde %74, göçmede %50 artmıştır.

Parçasal dolgu duvarının çerçeve açıklığında farklı şekillerde düzenlendiği deney elemanlarının, çerçeve ve birdöküm dolgu duvarlı deney elemanı ile birlikte enerji tüketim grafikleri Şekil 4.8'de verilmiştir.



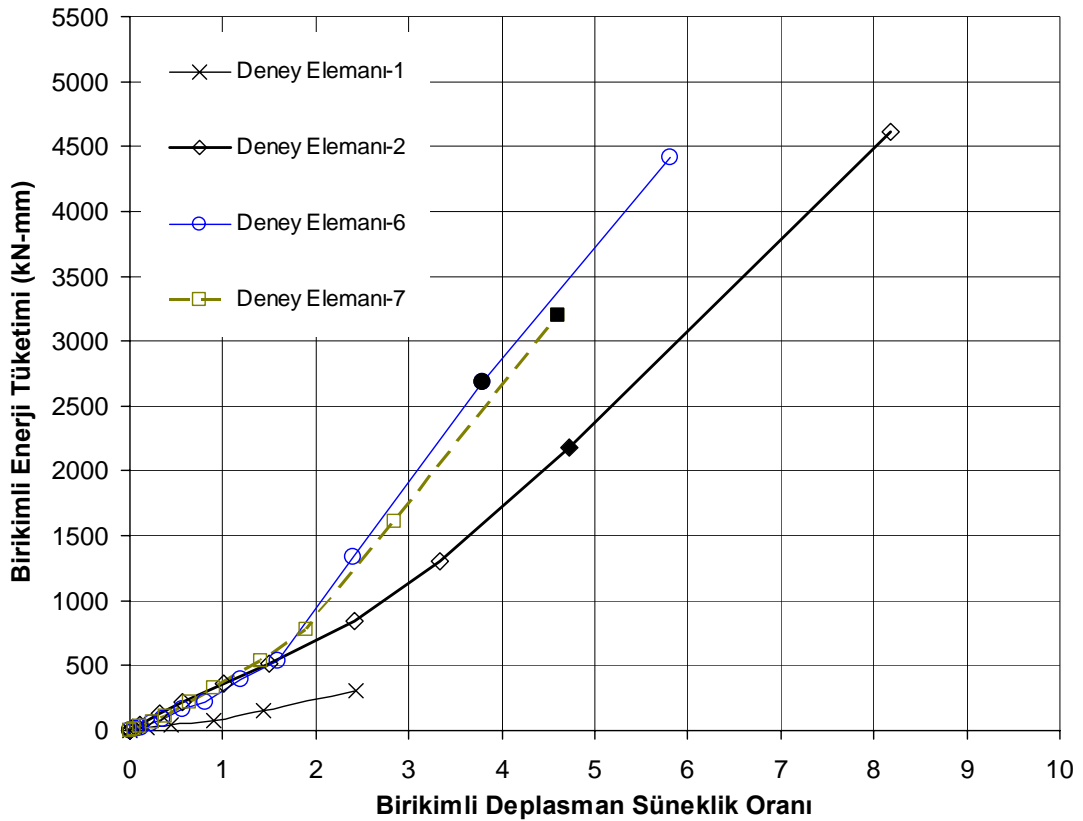
Şekil 4.8. Deney Elemanı-1,2,5,6,8 ve 9'un birikimli enerji tüketim grafikleri

Deney Elemanı-5’de kullanılan dolgu duvarının çerçeve kirişlerine bağlandığı Deney Elemanı-9’un testinin ilk çevrimlerinde çerçeve kirişlerinde kesme kırılması gelişmiştir. Bu nedenle maksimum yük düzeyinde deney elemanı 1032 kN-mm ile Deney Elemanı-5’den %35 oranında fazla enerji tüketmiştir. Ancak süneklik düzeyi düşük olan deney elemanı göçmede maksimum yük düzeyinde tüketilen enerjiye oranla %97 daha fazla enerji tüketmiştir. Deney elemanı göçmede 2037 kN-mm enerji tüketmiştir. Enerji tüketimindeki artış oranı güçlendirilen elemanlar içinde en düşük ikinci değerdir. Deney elemanı göçmede Deney Elemanı-5’e göre ise %31 oranında daha az enerji tüketmiştir. Deney Elemanı-6’da kullanılan dolgu duvarının, çerçeve açıklığında iki parçalı olarak tasarlandığı Deney Elemanı-8’de de testin ilk çevrimlerinde çerçeve kirişleri kesmeden kırılmıştır. Maksimum yük düzeyinde 1650 kN-mm enerji tüketen deney elemanı, Deney Elemanı-6’dan %23 oranında daha fazla enerji tüketmiştir. Göçmede deney elemanı maksimum yük düzeyinde tükettiği enerjiye oranla %72 daha fazla enerji tüketmiştir. %72 oranı dolgu duvarlı deney

elemanları içinde en düşük artış oranıdır. Deney elemanı göçmede Deney Elemanı-6'dan %36 oranında daha az enerji tüketmiştir.

Deney Elemanı-8 ve 9 maksimum yük düzeyine ulaştıklarında katlar arası göreceli deplasmanlar kirişlerde gelişen kesme kırılmaları nedeniyle çok büyümüştür. Bu nedenle deney elemanlarının maksimum yük düzeyinden sonra göçmeye kadar enerji tüketimindeki artış oranı diğer deney elemanlarına göre en düşük değerlerde gerçekleşmiştir.

Parçasal dolgu duvarında uç elemanı olmayan Deney Elemanı-7 ve aynı geometride uç elemanlı dolgu duvarı olan Deney Elemanı-6'nın enerji tüketim grafikleri çerçeve ve birdöküm dolgu duvarlı deney elemanlarıyla birlikte Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9. Deney Elemanı-1,2,6 ve 7'nin birikimli enerji tüketim grafikleri

Deney Elemanı-7’de maksimum yük düzeyinden önce dolgu duvarında Deney Elemanı-6’nın dolgu duvarına oranla çok fazla sayıda çatlak gelişimi gözlenmiştir. Maksimum yük düzeyinde deney elemanı Deney Elemanı-6’dan %20 oranında fazla enerji tüketmiştir. Deney elemanın göçmede tükettiği enerji maksimum yük düzeyine oranla %99 artmış, 3198 kN-mm olarak gerçekleşmiştir. Maksimum yük düzeyine göre göçmede tüketilen enerjideki artış oranı Deney Elemanı-6’ya göre %40 oranında azdır. Deney elemanının göçmede tükettiği enerji ise Deney Elemanı-6’dan %28 oranında daha azdır.

5. ANALİTİK ÇALIŞMA

Bu bölümde deney sonuçları, analitik hesaplamalarla elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Deney elemanlarında ilk eğilme çatlak ve dolgu duvarında ilk kesme çatlak yükleri hesaplanmıştır. Maksimum yatay yük taşıma kapasiteleri araştırmacıların önerdiği denklemler ve “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik” kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca IDARC-2D bilgisayar programının dördüncü sürümü kullanılarak deney elemanlarının bilgisayar modelleri oluşturulmuştur. Program kullanılarak oluşturulan modellere yük kontrollü itme analizi uygulanmıştır. İtme analizi sonucunda elde edilen zarf eğrileri deney elemanlarının zarf eğrileriyle karşılaştırılmıştır.

5.1. Dayanım

Dayanım hesaplarında mekaniğin temel ilkeleri ve yönetmeliklerde verilen eşitlikler kullanılmıştır.

İlk eğilme çatlak yükü

İlk eğilme çatlak yükü Eş.5.1 ve Eş.5.2’de verilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler, deneylerde gözlemlenen ilk eğilme çatlak yükü değerleriyle Çizelge 5.1’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

$$M_{cr} = \left(f_{ctf} - \frac{N}{A} \right) \cdot \frac{I}{y} \quad [5.1]$$

$$V_{fcr} = \frac{M_{cr}}{H} \quad [5.2]$$

Eşitliklerde:

f_{ctf} : Betonun eğilmeye çekme dayanımı, $0,7 \cdot \sqrt{f_c}$, MPa

I : Deney elemanının kesitinin atalet momenti, mm²

y : Kesit tarafsız ekseninin dış life olan uzaklığı, mm

H : Uygulanan kuvvetlerin bileşkesinin temel kirişine olan uzaklığı, 1425 mm

N : Aksenal kuvvet, $N=0$

A : Kesit alanı, mm^2

V_{fcr} : İlk eğilme çatlak yükü, N

Çizelge 5.1. Deney elemanlarında ilk eğilme çatlak yükü (kN)

Deney Elemanı No:	Hesaplanan	DeneySEL	$\frac{\text{Hesaplanan}}{\text{DeneySEL}}$
1	33,6	12,5	2,69
2	81,6	50	1,63
3	57,0	50	1,14
4	51,2	15	3,41
5	55,4	30	1,85
6	50,8	50	1,02
7	54,0	50	1,08
8	57,2	45	1,27
9	39,6	30	1,32

Dolgu duvarı çerçeve açıklığında simetrik olmayan Deney Elemanı-4,5,6 ve 7'de deney elemanının kesitinin ağırlık merkezi simetrik değildir. Bu nedenle deney elemanının kesitinin atalet momenti yükleme yönüne göre değişmektedir. Bu deney elemanlarında ileri yükleme adımı için ilk eğilme çatlak yükü hesaplanmıştır. Deney Elemanı-1,2,4 ve 5 için deneylerde yapılan gözlemlerle belirlenmiş olan ilk eğilme çatlak yükü değerleri oldukça farklı hesaplanmıştır. Eşitlikler kullanılarak ilk eğilme çatlak yükü Deney Elemanı-3'de %14, Deney Elemanı-6'da %2, Deney Elemanı-7'de %8 oranında büyüktür.

Dolgu duvarında ilk kesme çatlak yükü

Betonarme dolgu duvarın kesme dayanımıyla ilgili eşitlikler betonarme perdeleri kapsamaktadır. Önerilen eşitlikler dolgulu çerçeveler için iki yonteme göre kullanılmaktadır. Birinci yontem çerçeve kolonlarının dolgu duvarıyla aynı

kalınlıkta, aynı donatı düzenlemesinde ve aynı beton dayanımında, dolgu duvarın kalınlığını değiştirmeden, dolgu duvarın uzunluğuna kolon genişliğinin eklenmesidir. İkinci yöntem çerçeve kolonlarının ve dolgu duvarın alanlarını toplayıp, deney elemanının uzunluğunu değiştirmeden eşdeğer alanı sağlayacak şekilde perde kalınlığı belirlemektir. Dolgu duvarında ilk kesme çatlağı y¼k¼ hesaplamalarında kesit kalınlığı 50 mm alınmıştır. Perde uzunluğuna dolgu duvarına bağlı olan kolonun genişliği eklenmiştir. Dolgu duvarına bağlı olmayan çerçeve kolonlarının genişlikleri perde uzunluğuna eklenmemiştir.

Dolgu duvarında ilk kesme çatlağı y¼k¼ Eş. 5.3 kullanılarak hesaplanmıştır (47,57). Elde edilen sonuçlar deneylerde gözlemlenen ilk kesme çatlağı y¼k¼ değerleriyle Çizelge 5.2’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

$$V_{sh} = 0,27 \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d + \frac{N \cdot d}{4 \cdot L_n} \quad [5.3]$$

Eşitliklerde:

V_{sh} : İlk kesme çatlağı y¼k¼, N

f_c : Beton basınç dayanımı, MPa

b_w : Dolgu duvar kalınlığı, 50 mm

N : Uygulanan aksenal y¼k¼, N=0

L_n : Eşdeğer dolgu duvar uzunluğu, mm

d : Dolgu duvarın etkili uzunluğu, mm, $0,8 \cdot L_n$

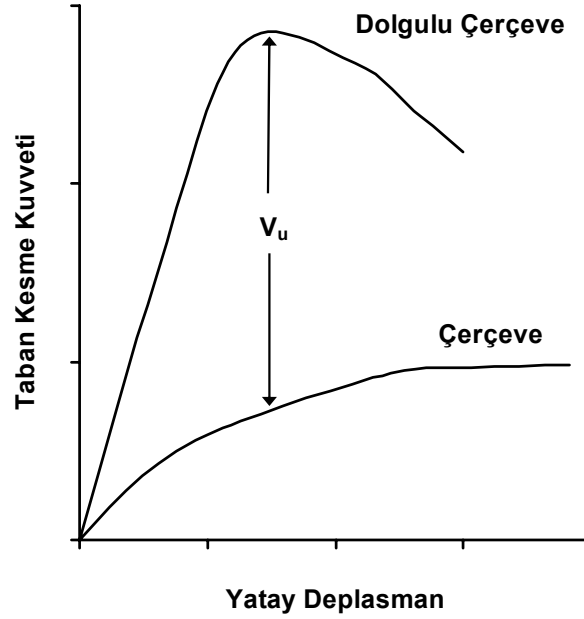
Çizelge 5.2. Dolgu duvarında ilk kesme çatlağı yükü (kN)

Deney Elemanı No:	Hesaplanan	Deneysel	$\frac{\text{Hesaplanan}}{\text{Deneysel}}$
1	----	----	----
2	85,0	50	1,70
3	83,0	75	1,11
4	23,3	25	0,93
5	41,5	44	0,94
6	54,7	70	0,78
7	52,6	50	1,05
8	66,8	64	1,04
9	36,34	50	0,73

Deney elemanlarında hesaplanan ilk kesme çatlağı yükü Deney Elemanı-2’de oldukça farklıdır. Deney Elemanı-6 ve 9’da ise %22 ve %27 oranlarında farklı hesaplanmıştır. Diğer deney elemanlarında ilk kesme çatlağı yükleri en fazla % 11 oranında farklı hesaplanmıştır. Deney Elemanı-3, 4, 7 ve 8’in göçmesinde dolgu duvarlarında kırılma diyagonal doğrultuda gerçekleşmiştir.

Dolgu duvarında maksimum kayma gerilmesi

Betonarme dolgu duvarların maksimum kayma gerilmesi genel olarak Eş. 5.4’e göre hesaplanmıştır. Dolgu duvarın kayma gerilmesinin belirlenmesinde kullanılan maksimum kesme kuvvetinden Şekil 5.1’de verildiği şekilde çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesi çıkarılmıştır.



Şekil 5.1. Dolgu duvarı kayma gerilmesinde kullanılan kesme kuvveti

$$\tau = \frac{V_u}{b_w \cdot d} \quad [5.4]$$

Denklemdede:

τ : Dolgu duvarın kayma gerilmesi, MPa

V_u : Maksimum kesme kuvveti, N

b_w : Dolgu duvar kalınlığı, mm

d : Dolgu duvarın etkili genişliği, 0,8.l

Eş.5.4 kullanılarak deney elemanına uygulanan kesme kuvvetinden dolayı temel kirişi üzerindeki yüzeyde oluşan kayma gerilmesi hakkında fikir edinilebilir. Dolgu duvarın kesme kuvveti taşıma kapasitesinin hesaplanmasında maksimum kayma gerilmesi Eş. 5.5 ile sınırlandırılmıştır (57). Dolgu duvarı hesaplanmış kayma gerilmeleri Çizelge 5.3'de verilmiştir.

$$\tau < 0,83 \cdot \sqrt{f_c} \quad [5.5]$$

Çizelge 5.3. Dolgu duvarı maksimum kayma gerilmeleri

Deney Elemanı No:	f_c (MPa)	τ (Deneysel) (MPa)	$\tau (0,83 \cdot \sqrt{f_c})$ (MPa)	$\frac{\text{Deneysel}}{\text{Hesaplanan}}$
1	----	----	----	----
2	27,4	3,52	4,34	0,81
3	26,0	2,87	4,23	0,68
4	25,7	3,15	4,21	0,75
5	26,2	3,08	4,25	0,72
6	27,0	3,28	4,31	0,76
7	25,0	3,03	4,15	0,73
8	27,7	3,08	4,37	0,70
9	26,8	2,85	4,30	0,66

Deney programı içinde kullanılan hiçbir deney elemanında maksimum yük düzeyine çıkılmasında temel kirişi üzerinden kesilme belirleyici olmamıştır. En büyük kayma gerilmesi birdöküm dolgu duvarlı deney elemanı için hesaplanmıştır. Çizelge 5.3'den anlaşılacağı gibi deney elemanlarında dolgu duvarı için hesaplanmış kayma gerilmesi değerleri, yönetmelikte verilen kayma gerilmesi değerlerinden oldukça küçüktür.

5.2. Yatay Yük Taşıma Kapasitesi

Bu bölümde betonarme dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yük taşıma kapasiteleri hesaplanmıştır. Kapasiteler araştırmacıların önerdiği ampirik eşitlikler ve Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik kullanılarak hesaplanmıştır. Deney elemanlarının hesaplanan yatay yük taşıma kapasiteleri Çizelge 5.4'de deneysel sonuçlarla karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Valleans, Bertero ve Popov (59)

Araştırmacılar betonarme perdelerin yatay yük taşıma kapasitelerinin hesaplanması amacıyla Eş.5.6-Eş.5.8'i önermişleridir. Betonarme perdeler için kullanılan eşitliklerde dolgu duvarı uzunluğuna, dolgu duvarına bağlı çerçeve kolonunun

genişliği eklenmiştir. Dolgu duvarına bağlı olmayan çeręeve kolonu hesaplamalara katılmamıştır.

$$\tau_s = \rho_h \cdot f_{sy} \quad [5.6]$$

$$\tau_u = \tau_s + \tau_c \quad [5.7]$$

$$V_r = \tau_u \cdot b_w \cdot d \quad [5.8]$$

Eşitliklerde

τ_s : Dolgu duvarı donatısı tarafından taşınan kesme gerilmesi, MPa

τ_c : Dolgu duvarı betonu tarafından taşınan kesme gerilmesi, MPa

τ_u : Dolgu duvarı tarafından taşınan toplam kesme gerilmesi, MPa

ρ_h : Dolgu duvarı yatay donatı oranı

f_{sy} : Dolgu duvarı donatısı akma dayanımı, MPa

d : Dolgu duvarının etkili uzunluğu, mm ($0,8.L_n$)

b_w : Dolgu duvarı kalınlığı, mm

V_r : Hesaplanan yatay yük taşıma kapasitesi, N

Eşitliklerde yük taşıma kapasitesinin dolgu duvarı beton basınç dayanımı ve dolgu duvarı yatay donatısına bağlı olduğu kabul yapılmış, dolgu duvarında ilk kesme çatlağının oluştuğu yük değerinde hesaplanan gerilme dolgu duvarı betonu tarafından taşınan kesme gerilmesi olarak kabul edilmiştir. Dolgu duvarı yatay donatısı tarafından taşınan kesme gerilmesi Eş.5.6 kullanılarak hesaplanmıştır. Eş.5.7 ve Eş.5.8 kullanılarak deney elemanının kesme kuvveti taşıma kapasitesi hesaplanmıştır.

Verilen eşitliklere göre hesaplanan yatay yük taşıma kapasitelerinin hepsi deneysel sonuçlardan büyüktür. Farklı genişliklerdeki dolgu duvarlarının yatay donatılarının özdeş olmasıyla kapasiteler sadece dolgu duvarında oluşan kayma gerilmesine bağlı olarak hesaplanmıştır. En başarılı sonuç bir döküm dolgu duvarlı deney elemanı olan Deney Elemanı-2'de %32 oranında büyüktür. Hesaplanan yatay yük taşıma kapasiteleri Deney Elemanı-3'de %85, Deney Elemanı-4'de %43, diğer deney elemanlarında ortalama %62 oranında büyüktür.

Barda (60)

Araştırmacı betonarme perdelerin yatay yük taşıma kapasitelerinin hesaplanmasında Eş.5.9'u önermiştir. Eşitlikte kullanılan dolgu duvarı uzunluğuna, dolgu duvarına bağlı çerçeve kolonunun genişliği eklenmiştir. Dolgu duvarına bağlı olmayan çerçeve kolonu hesaplamalara katılmamıştır.

$$V_r = (0,705 \cdot \sqrt{f_c} + 0,067 \cdot \rho_v \cdot f_{sy}) \cdot b_w \cdot d \quad [5.9]$$

Eşitlikte:

- b_w : Dolgu duvarı kalınlığı, 50 mm
- d : Dolgu duvarının etkili uzunluğu, mm, $0,8 \cdot L_n$
- ρ_v : Dolgu duvarı düşey donatı oranı
- f_c : Beton basınç dayanımı, MPa
- f_{sy} : Dolgu duvarı donatısı akma dayanımı, MPa
- V_r : Hesaplanan yatay yük taşıma kapasitesi, N

Araştırmacının önerdiği eşitlik kullanılarak deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasiteleri deneysel sonuçlardan %7 ile %46 arasında değişen oranlarda büyüktür. Deney Elemanı-3 ve Deney Elemanı-8 dışında diğer elemanlar için yatay yük taşıma kapasitesi en fazla %25 oranında daha büyük hesaplanmıştır. En başarılı sonuç Deney Elemanı-4'de deneysel sonuçtan %7 büyüktür. Dolgu duvarı uzunluğuna kolon genişliğinin eklenmediği Deney Elemanı-9'da yöntem kullanılarak yatay yük taşıma kapasitesi %16 oranında büyük hesaplanmıştır.

Benjamin ve Williams (1,2)

Araştırmacılar tekdüze yatay yükleme etkisindeki betonarme dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yük taşıma kapasitelerinin hesaplanmasında Eş.5.10'i önermişlerdir. Eşitlikteki C ve P katsayıları ise Eş.5.11 ve Eş.5.12 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$V_r = \frac{0,1}{\frac{P}{C} + 0,1} \cdot C + 2,2 \cdot P \quad [5.10]$$

$$C = A_{st} \cdot f_c \cdot (15 + 1,9 \cdot (\frac{d_e}{H})^2) \quad [5.11]$$

$$P = f_{sy} \cdot \rho_v \cdot b_w \cdot (0,8 \cdot l) \quad [5.12]$$

Eşitliklerde:

- C : Basınç bölgesindeki kolonun dayanımı, N
 P : Dolgu duvarın dayanımı, N
 A_{st} : Kolon boyuna donatı alanı, mm²
 l : Dolgu duvarı uzunluğu, mm
 b_w : Dolgu duvarı kalınlığı, mm
 d_e : Çerçeve kolonlarının eksenleri arasındaki uzaklık, mm
 H : Yatay kuvvetlerin bileşkesinin temel kirişine olan uzaklığı, mm
 ρ_v : Dolgu duvarı düşey donatı oranı
 f_c : Beton basınç dayanımı, MPa
 f_{sy} : Dolgu duvarı donatısı akma dayanımı, MPa
 V_r : Hesaplanan yatay yük taşıma kapasitesi, N

Yöntem kullanılarak hesaplanan yatay yük taşıma kapasiteleri deneysel sonuçlarda oldukça büyüktür. En başarılı sonuçlar deneysel sonuçlardan Deney Elemanı-2’de %87, Deney Elemanı-4’de %48 oranında büyüktür.

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik

Deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasiteleri 1998 yılında yürürlüğe giren ABYYHY, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik ve TS 500, Betonarme Yapıların Yönetmeliği’nde verilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır (52,55). Deney elemanlarında dolgu duvarının hesaplanan kapasitesine çerçeve kolonlarının kesme kuvveti taşıma kapasiteleri eklenmiştir. Çerçeve kolonlarının

kesme kuvveti taşıma kapasiteleri TS 500 Betonarme Yapıların Yönetmeliği'nde verilen Eş.5.13-5.15 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$V_c = 0,65 \cdot f_{ctd} \cdot b_c \cdot d_c \quad [5.13]$$

$$V_{etr} = \frac{A_s \cdot f_{sy} \cdot d_c}{s} \quad [5.14]$$

$$V_{kolon} = V_{ert} + V_c \quad [5.15]$$

Eşitliklerde:

f_{ctd} : Kolon betonunu çekme dayanımı, $0,35 \cdot \sqrt{f_c}$, MPa

b_c : Kesit genişliği, mm

d_c : Kesitin faydalı yüksekliği, mm

V_c : Kolon betonunun taşıdığı kesme kuvveti, N

A_s : Etriye donatısı alanı, mm²

f_{sy} : Etriye donatısı akma dayanımı, MPa

s : Etriye donatısı aralığı, mm

V_{etr} : Etriye donatısının taşıdığı kesme kuvveti, N

V_{kolon} : Kolon kesme kuvveti taşıma kapasitesi, N

Betonarme perde duvarın kesme kuvveti taşıma kapasitesi Eş.5.16'e göre hesaplanmıştır. Betonarme perde ve çerçeve kolonlarının kesme kuvveti değerlerinin toplanmasıyla deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasiteleri hesaplanmıştır.

$$V_r = A_{ch} \cdot (0,65 \cdot f_{ctd} + \rho_{sh} \cdot f_{sy}) \quad [5.16]$$

Eşitlikte:

A_{ch} : Dolgu duvarı en kesit alanı, mm²

f_{ctd} : Betonun çekme dayanımı, $0,35 \cdot \sqrt{f_c}$, MPa

ρ_{sh} : Dolgu duvarı yatay donatısının, dolgu duvarı enkesit alanına oranı

f_{sy} : Perde donatısı akma dayanımı, MPa

V_r : Hesaplanan yatay yük taşıma kapasitesi, N

Deney elemanlarının Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmeliğe göre hesaplanan yatay yük taşıma kapasiteleri Çizelge 5.4’de verilmiştir. Yönetmeliğe göre elde edilen en başarılı sonuç birdöküm dolgu duvarlı referans elemanında elde edilmiştir. Parçasal dolgu duvarıyla güçlendirilen deney elemanlarında yatay yük taşıma kapasitesi oldukça büyük hesaplanmıştır.

Çizelge 5.4. Hesaplanan yatay yük taşıma kapasiteleri (kN)

Deney Elemanı No:	Vallenas-Bertero-Popov	Barda	Benjamin-Williams	ABYYH Yönetmelik	Deneysel	Hesaplanan Deneysel			
	1	2	3	4		1	2	3	4
1	----	----	----	----	----	----	----	----	----
2	264	234	373	255	190	1,39	1,23	1,96	1,34
3	289	228	364	244	156	1,85	1,46	2,34	1,56
4	86	64	89	186	60	1,43	1,07	1,48	3,10
5	151	115	209	207	92	1,64	1,25	2,27	2,25
6	223	167	274	225	140	1,59	1,19	1,96	1,61
7	203	161	275	224	130	1,56	1,24	2,12	1,73
8	217	186	309	227	133	1,63	1,40	2,32	1,71
9	143	101	209	208	87	1,64	1,16	2,40	2,39

5.3. İtme Analizi

İtme analizi sismik davranışın tahmin edilmesinde oldukça başarılı bir analiz yöntemidir. Bu yöntemle deney elemanının genel davranışı ve maksimum yatay yük taşıma kapasitesi ve göçme şekli tahmin edilebilmektedir. Deney elemanlarının itme analizleri IDARC-2D programının dördüncü sürümü kullanılarak yapılmıştır (61). Çözümlenelerde kullanılan modelde dolgulu çerçeve birdöküm perde elemanlı olarak modellenmiştir. Program çözümünde düşey taşıyıcı elemanların yerleri, çerçeve kirişlerinin uçlarında oluşturdukları düğüm noktalarıyla belirlenmektedir. Bu nedenle dolgu duvarı düzenlemesindeki farklılıkların modellere yansıtılması amacıyla kirişler perde ortasında birleşecek şekilde parçalı olarak tasarlanmışlardır.

Analizde yükler kullanıcı tarafından girilmiş, deney elemanına deney düzeninde olduğu gibi iki kat seviyesinden eşdeğer deprem yükünü benzeştirecek şekilde birinci katta P, ikinci katta 2P olacak şekilde tatbik edilmiştir. Çözüm, oluşturulan model kullanıcının verdiği yatay ötelenme oranına ulaştığında önceden göçmemiş ise sonlandırılmaktadır. Program kolon ve kiriş elemanlarında ilk eğilme çatlak momenti, akmanın gerçekleştiği yükte eğrilik ve momenti ayrıca her eleman için maksimum moment ve maksimum eğriliği hesaplanmaktadır. Hesaplamalarda kiriş elemanlarında oluşan aksel deformasyonlar ihmal edilmektedir. Dolgu duvarında çatlama yükü ve maksimum kesme dayanımı deneysel verilere dayanan denklemlere göre hesaplanmaktadır. Hesaplamalarda aksel kuvvetlerden olan ikinci mertebeye etkiler ihmal edilmiştir. Çözümlemeler üç parametrelilik Park histeretik modeli kullanılarak yapılmıştır. Modelde kullanılan parametreler dayanım düşüş oranı rijitlik düşüş oranı ve boyuna donatılarda sıyrılma etkisinin gözlenebilmesidir. Modellemelerde histeretik model dayanımda düşüş olmadan, çatlak oluşmasıyla yüksek rijitlik kaybı olacak şekilde yapılmıştır. Yapılan çözümlemelerin sonuçları zarf eğrileri kullanılarak yorumlanmıştır. Zarf eğrileri çizilirken taban kesme kuvveti-ikinci katın yatay deplasmanı değerleri kullanılmıştır. Deney elemanlarının itme analizi sonucunda elde edilen yatay yük taşıma kapasiteleri ve başlangıç rijitlikleri Çizelge 5.5’de deneysel sonuçlarla karşılaştırmalı olarak özetlenmiştir.

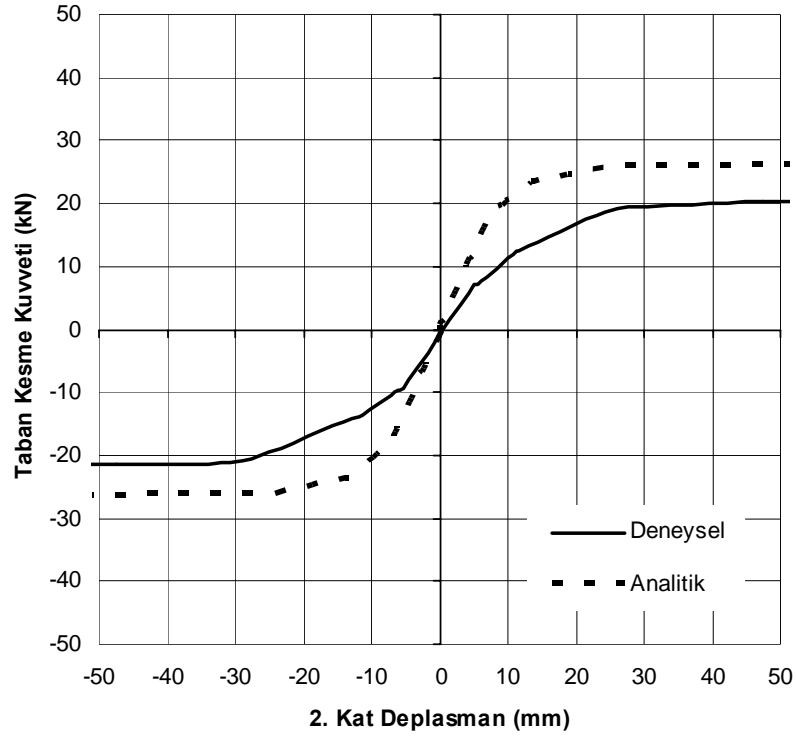
Çizelge 5.5. Deney sonuçlarının itme analizi sonuçlarıyla karşılaştırılması

Deney Elemanı No:	Maksimum Dayanım, kN			Başlangıç Rijitliği, kN/mm		
	Deneysel	Analitik	$\frac{\text{Deneysel}}{\text{Analitik}}$	Deneysel	Analitik	$\frac{\text{Deneysel}}{\text{Analitik}}$
1	20	26	0,77	1,12	2,48	0,45
2	190	165	1,15	217,39	178,50	1,22
3	156	165	0,95	145,00	178,00	0,81
4	60	55	1,09	6,81	7,45	0,91
5	92	99	0,93	16,30	22,50	0,72
6	140	132	1,06	31,65	37,50	0,84
7	130	129	1,01	26,74	37,25	0,72
8	133	121	1,10	23,08	30,45	0,76
9	87	92	0,95	11,28	22,01	0,51

Analitik çözümlenmede elde edilen sonuçlar dayanım ve başlangıç rijitliği olarak özetlenmiştir. İtme analizi sonuçlarında deney elemanın zarf eğrisinde rijitliğin büyük oranda kaybedildiği yük değeri deney elemanın hesaplanan yatay yük taşıma kapasitesi olarak kabul edilmiştir.

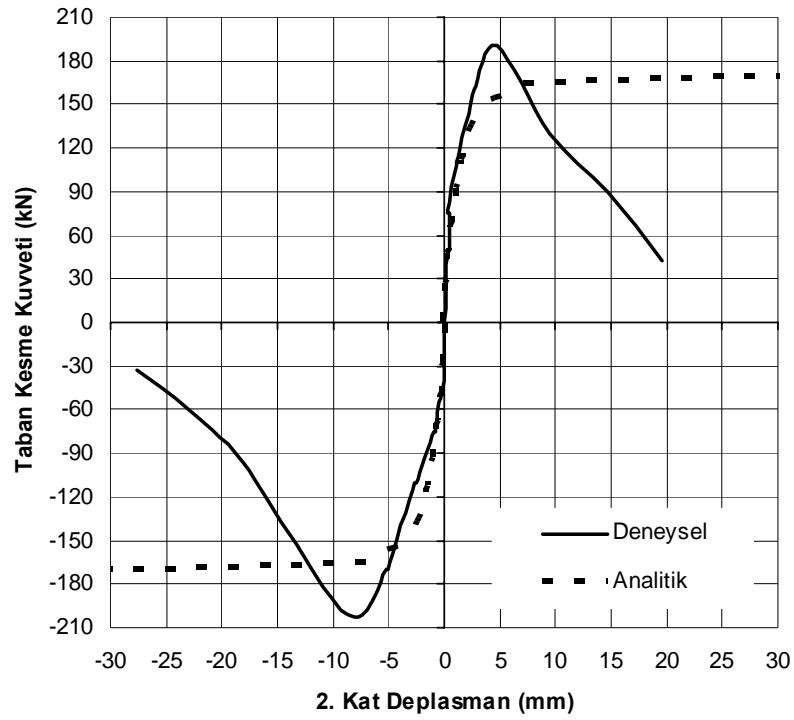
Zarf Eğrileri

Deney Elemanı-1: Çerçeve deney elemanının hesaplanan yatay yük taşıma kapasitesi, deney elemanının yatay yük taşıma kapasitesinden %23 büyüktür. Deney elemanın başlangıç rijitliği ise program kullanılarak %55 büyük hesaplanmıştır. Deney elemanının modelinde çerçeve kirişleri kolonlara tam olarak bağlanmıştır. Program yüklemenin ilerleyen adımlarında çerçeve kirişlerinde boyuna donatının aktığı sonucunu da vermiştir. Ancak deney elemanında kolon kiriş birleşimleri Bölüm 4’de anlatıldığı gibi yeterince moment aktaramayan birleşimlerdir. Bu nedenle itme analizi sonucunda yatay yük taşıma kapasitesi ve rijitlik, deney elemanın yatay yük taşıma kapasitesinden ve rijitliğinden büyük hesaplanmıştır. Deney elemanının zarf eğrisi, itme analizi sonucunda elde edilen zarf eğrisiyle birlikte Şekil 5.2’de verilmiştir.



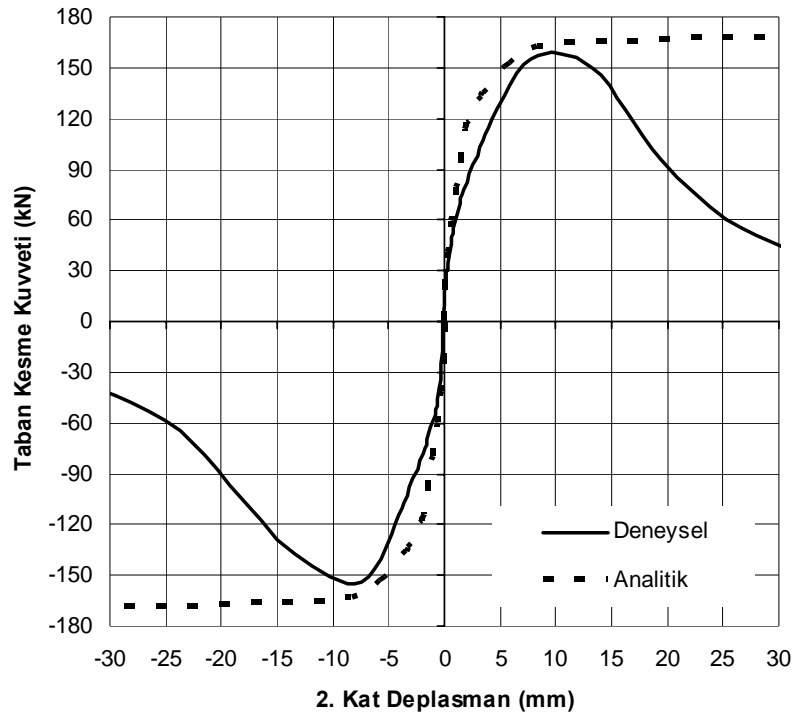
Şekil 5.2. Deney Elemanı-1'in zarf eğrileri

Deney Elemanı-2: Deney elemanının zarf eğrisi, itme analizi sonucunda elde edilen zarf eğrisiyle birlikte Şekil 5.3'de verilmiştir. 190 kN dayanımı olan deney elemanında, dolgulu çerçeve modeli kullanılarak yapılan çözümde, deney elemanının yatay yük taşıma kapasitesi %15, başlangıç rijitliği ise %18 oranında küçük hesaplanmıştır. 120 kN yük düzeyine kadar itme analizi sonucunda elde edilen zarf eğrisi deney elemanın zarf eğrisiyle uyum göstermiştir.



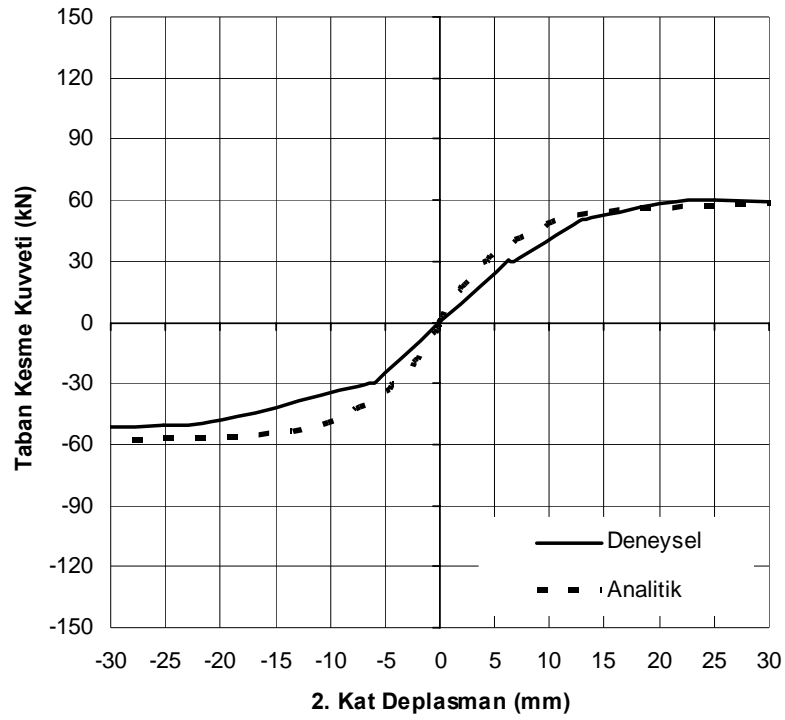
Şekil 5.3. Deney Elemanı-2'nin zarf eğrileri

Deney Elemanı-3: Deney elemanının bilgisayar programında modellenmesinde Deney Elemanı-2'den farkı beton dayanımlarıdır. Bu nedenle IDARC-2D çözümünün sonucunda Deney Elemanı-2'nin aynısı denilebilecek bir zarf eğrisi elde edilmiştir. Analitik çözümde çatlak oluşumuyla yüksek rijitlik kaybı olacak şekilde kabul yapılması başarılı olmuştur. Deney elemanının zarf eğrisi itme analizi sonucunda elde edilen zarf eğrisiyle birlikte Şekil 5.4'de verilmiştir. Deney elemanda itme analizi sonucunda 156 kN olan yatay yük taşıma kapasitesi %6, başlangıç rijitliği ise %23 oranında daha büyük hesaplanmıştır.



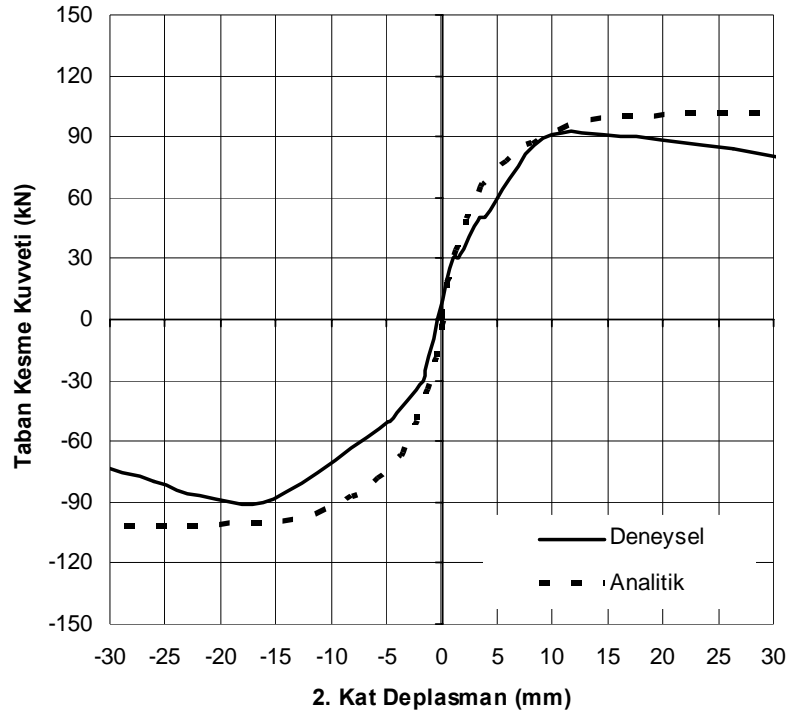
Şekil 5.4. Deney Elemanı-3'ün zarf eğrileri

Deney Elemanı-4: Deney elemanının zarf eğrisi itme analizi sonucunda elde edilen zarf eğrisiyle birlikte Şekil 5.5'de verilmiştir. Parçasal dolgu duvarlı Deney Elemanı-4'ün itme analizi yapılarak yatay yük taşıma kapasitesi %8 oranında küçük, başlangıç rijitliği ise %9 oranında daha büyük hesaplanmıştır. Analitik olarak elde edilen zarf eğrisi deney elemanının zarf eğrisine büyük benzerlik göstermiştir. Çatlak gelişimiyle oluşan rijitlik kaybı deney sonucuyla uyumludur.



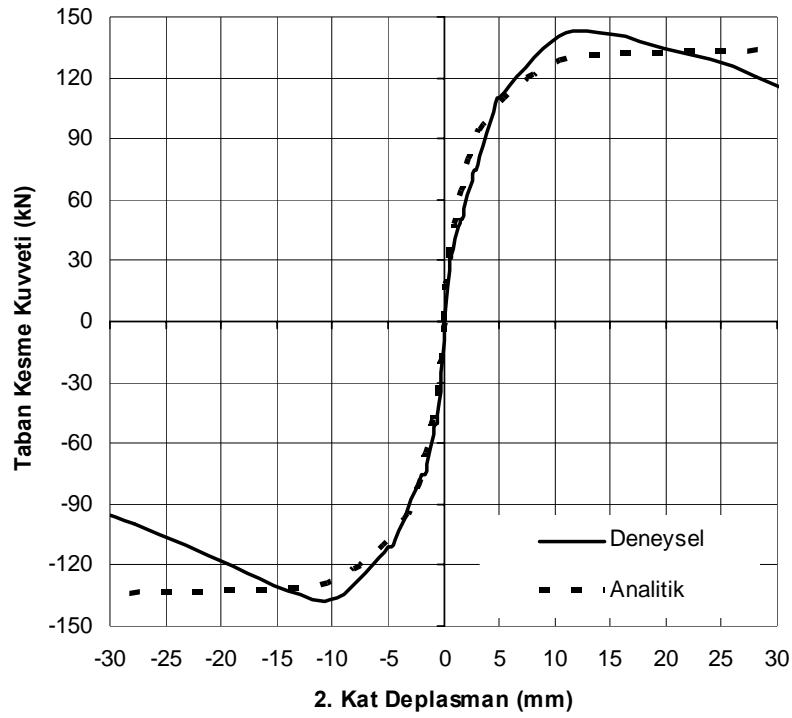
Şekil 5.5. Deney Elemanı-4'ün zarf eğrileri

Deney Elemanı-5: Deney elemanının zarf eğrisi itme analizi sonucunda elde edilen zarf eğrisiyle birlikte Şekil 5.6'da verilmiştir. Parçasal dolgu duvarlı Deney Elemanı-5'in itme analizi sonucunda yatay yük taşıma kapasitesi %8, başlangıç rijitliği ise %38 oranında daha büyük elde edilmiştir.



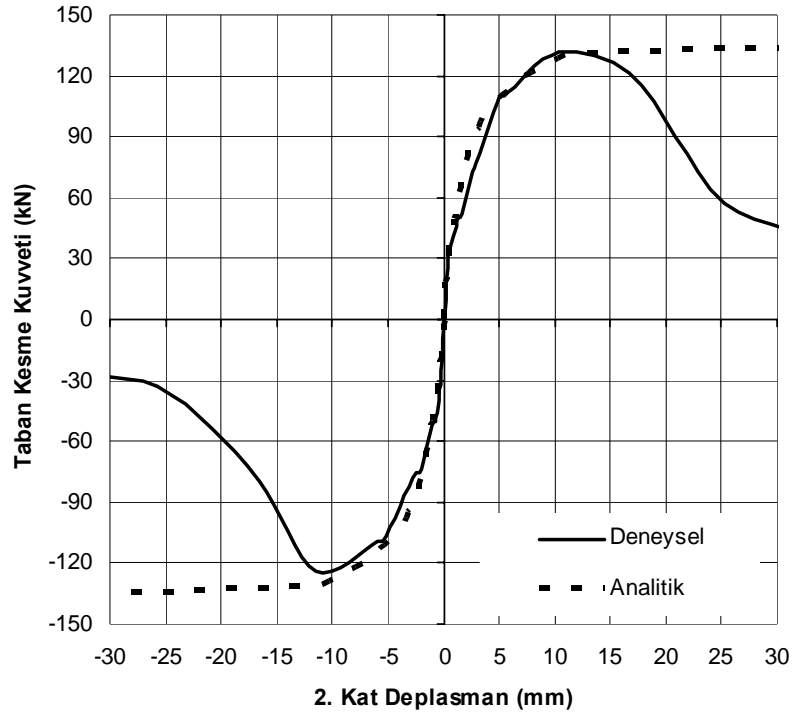
Şekil 5.6. Deney Elemanı-5'in zarf eğrileri

Deney Elemanı-6: Deney elemanının zarf eğrisi itme analizi sonucunda elde edilen zarf eğrisiyle birlikte Şekil 5.7'de verilmiştir. Zarf eğrileri incelendiğinde elde edilen analitik sonucun deney sonucuyla uyumlu olduğu görülmektedir. Program kullanılarak deney elemanının yatay yük taşıma kapasitesi %5 oranında daha küçük, başlangıç rijitliği ise %18 oranında daha büyük hesaplanmıştır.



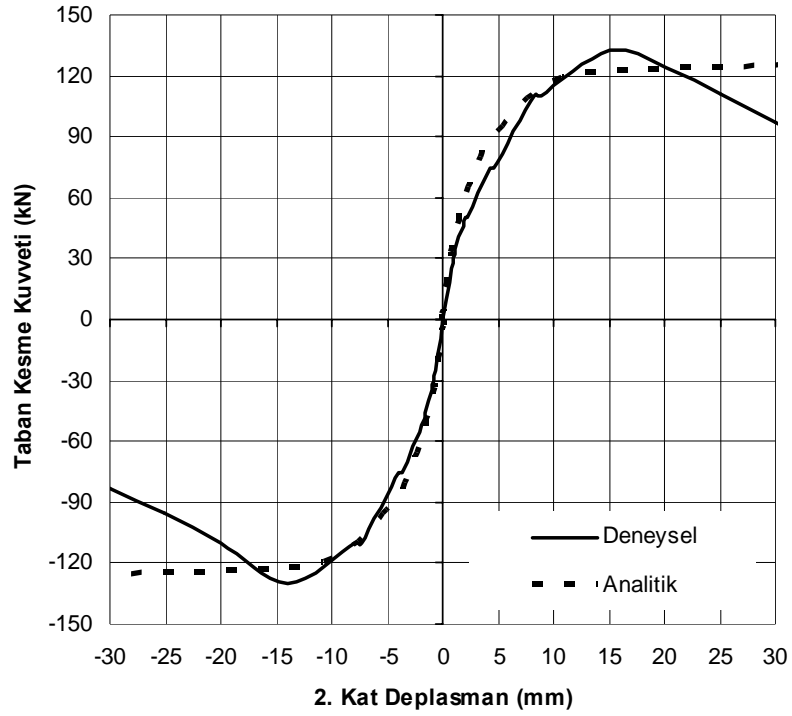
Şekil 5.7. Deney Elemanı-6'nın zarf eğrileri

Deney Elemanı-7: Uç elemansız dolgu duvarıyla güçlendirilmiş olan Deney Elemanı-7 için Deney Elemanı-6'da kullanılan model, sadece beton dayanımları değiştirilerek kullanılmıştır. Deney elemanının yatay yük taşıma kapasitesi %1 oranında daha küçük hesaplanmıştır. Deney elemanın zarf eğrisi, itme analizi sonucunda elde edilen zarf eğrisiyle birlikte Şekil 5.8'de verilmiştir. İtme analizi sonucu elde edilen zarf eğrisi, dayanım ve rijitlikteki azalma oranı olarak deney elemanının zarf eğrisiyle başarılı şekilde uyum göstermiştir. Deney elemanının başlangıç rijitliği %39 oranında büyük hesaplanmıştır.



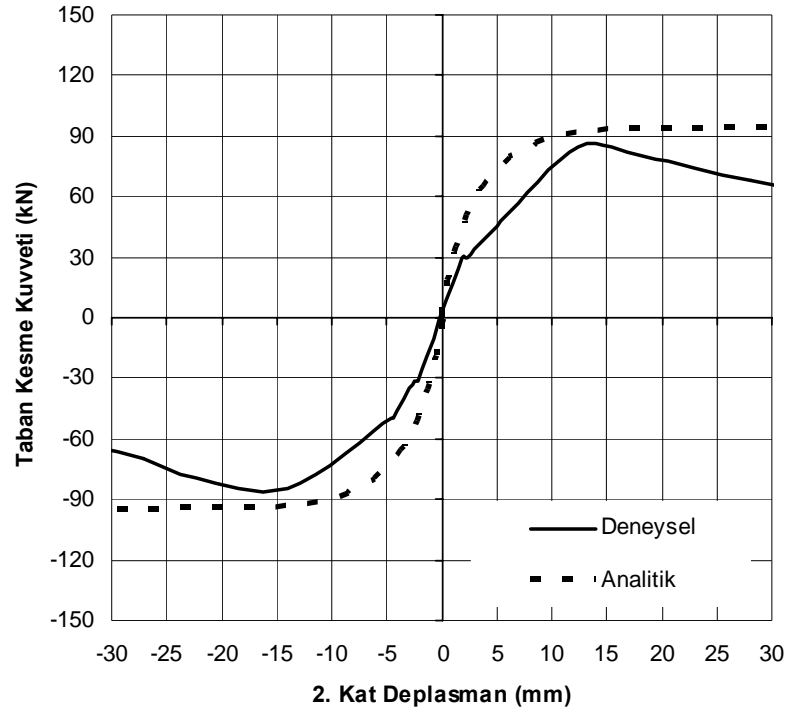
Şekil 5.8. Deney Elemanı-7'nin zarf eğrileri

Deney Elemanı-8: Deney Elemanı-6'da kullanılan dolgu duvarının çerçeve içinde iki parçalı olarak tasarlanmasıyla elde edilen deney elemanının zarf eğrisi, analitik çözümlerle elde edilen zarf eğrisiyle birlikte Şekil 5.9'da verilmiştir. Elde edilen zarf eğrisi yatay yük taşıma kapasitesi ve rijitlikte azalma oranı olarak deneysel sonuçla uyumludur. Deney elemanının yatay yük taşıma kapasitesi %9 oranında küçük hesaplanmıştır. Başlangıç rijitliği %32 oranında büyük hesaplanmıştır.



Şekil 5.9. Deney Elemanı-8'in zarf eğrileri

Deney Elemanı-9: Deney elemanın zarf eğrisi itme analizi sonucunda elde edilen zarf eğrisiyle birlikte Şekil 5.10'da verilmiştir. Parçasal dolgu duvarın çerçeve kirişlerine bağlandığı deney elemanının yatay yük taşıma kapasitesi %6 oranında büyük hesaplanmıştır. Deney elemanın zarf eğrisi analitik olarak elde edilen zarf eğrisinden oldukça farklıdır. Başlangıç rijitliği ise %95 oranında büyük hesaplanmıştır.



Şekil 4.10 Deney Elemanı-9'un zarf eğrileri

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ülkemizde taşıyıcı sistemi çerçevelerden oluşan yapıların büyük bölümü çeşitli nedenlerden dolayı depreme karşı güvenli değildir. Betonarme çerçeve türü yapıların tasarım ve yapım aşamalarında yapılan kusurlar nedeniyle, yapıların yanal dayanımları ve yanal rijitlikleri yeterli bulunmamaktadır. Katlar arasında yatay ötelenmeler büyüktür. Betonarme çerçeve türü yapıların güçlendirilerek deprem güvenliğinin istenen düzeye çıkarılmasında çerçeve içine betonarme dolgu duvarların eklenmesi ekonomik ve başarılı bir tekniktir. Betonarme yapıların betonarme dolgu duvarlarla güçlendirilmesinde yapının fonksiyonelliğinin korunması amacıyla dolgu duvarın parçasal olarak kullanılması uygulamada sıkça karşılaşılan bir durumdur.

Yapılan tez çalışmasında sünek olmayan betonarme çerçevelerin parçasal betonarme dolgu duvarlarıyla güçlendirilmesi araştırılmıştır. Araştırmada üç değişken kullanılmıştır. Bu değişkenler parçasal dolgu duvarın l/h oranı, aynı l/h oranında dolgu duvarın çerçeve içinde yerleşim düzeni ve parçasal dolgu duvarın serbest kenarında kullanılan uç elemanının varlığıdır.

Deneysel araştırmada 1/3 geometrik ölçekli iki katlı, tek açıklıklı betonarme çerçeve elemanı kullanılmıştır. Betonarme çerçeve ülkemizde mevcut betonarme yapılarda sıkça karşılaşılan kusurları temsil edecek şekilde tasarlanmıştır. 9 adet deney elemanı tersinen tekrarlanan yatay yükleme altında test edilmiştir. Betonarme çerçeve ve bir döküm dolgu duvarlı deney elemanları kontrol amaçlı üretilmiştir. Diğer deney elemanları parçasal betonarme dolgu duvarıyla güçlendirilmiştir. Deney sonuçları deneysel değişkenler göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Araştırmacıların önerdiği ve yönetmelik denklemleri kullanılarak deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasiteleri hesaplanmış ve deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Ayrıca deney elemanları modellenerek bilgisayar programı ile itme analizi yapılmıştır. İtme analizi sonucunda elde edilen zarf eğrileri, deney elemanlarının zarf eğrileriyle karşılaştırılmıştır.

6.1. Sonuçlar

Deneysel çalışmada dokuz deney elemanı test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- erevenin kolon ve kirişlerine bağlı parçasal dolgu duvarıyla güçlendirilmiş deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasiteleri ereve deney elemanına göre 3 ile 7 kat arasında değişen oranlarda artmıştır. Başlangıç rijitliği ereve deney elemanına göre 6 ile 28 kat arasında değişen oranlarda artmıştır. Parçasal dolgu duvarın l/h oranının artmasıyla deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasitesi artmıştır
- 4 numaralı deney elemanı ereve deney elemanına benzer şekilde büyük yatay deplasmanlarla maksimum yük düzeyine ulaşmıştır.
- 4 numaralı deney elemanında dolgu duvarı diyagonal doğrultuda betonun ezilmesiyle kırılmıştır. 5 ve 6 numaralı deney elemanlarının dolgu duvarlarında diyagonal doğrultuda çatlak gelişimi sınırlı düzeyde kalmıştır. Dolgu duvarı temel kirişinden ayrıldıktan sonra temel kirişi üzerinden kesilerek deney elemanları göçmüştür.
- 6 numaralı deney elemanı güçlendirilen deney elemanları arasında en sünek davranışı sergilemiştir. Deney elemanı ereve deney elemanın 15 katı enerji tüketmiştir.
- erevenin bir kolonuna ve kirişlerine bağlı parçasal dolgu duvarıyla güçlendirilen deney elemanlarının kolonlarında kesme kırılması gelişmiş ve deney elemanının yatay yük taşıma kapasitesini ve davranışını olumsuz etkilemiştir. erevenin kirişlerinde önemli sayılabilecek hasarlar oluşmamıştır.

- Betonarme çerçevenin tam dolu dolgu duvarı yerine uç elemanlı parçasal dolgu duvarıyla güçlendirilmesi davranış ve dayanımı etkilemiştir. Tam dolu dolgu duvarı yerine çerçeve içinde %25 oranında boşluklu parçasal dolgu duvarı kullanılmasıyla yatay yük taşıma kapasitesi %10, %50 oranında boşluklu parçasal dolgu duvarı kullanılmasıyla, yük taşıma kapasitesi %41, %75 oranında boşluklu parçasal dolgu duvarı kullanılmasıyla, yatay yük taşıma kapasitesi %61 oranında azalmıştır.
- Deney Elemanı-5’de kullanılan dolgu duvarın sadece çerçeve kirişlerine bağlandığı Deney Elemanı-9’un, Deney Elemanı-5’e göre yatay yük taşıma kapasitesi %5 oranında azalmıştır. Ancak maksimum yük düzeyinde kat yatay ötelenme oranı %44 artmıştır. Çerçeve kirişleri maksimum yük düzeyinde kesme kuvveti etkisiyle kırılmıştır.
- Deney Elemanı-9’un, Deney Elemanı-5’e göre başlangıç rijitliği %18, enerji tüketimi %31 azalmıştır.
- Parçasal dolgu duvarın çerçeve kirişlerine bağlandığı Deney Elemanı-9’un dolgu duvarında iki adet uç elemanı oluşturulmuştur. Deney elemanında dolgu duvarında ölçülen kesme deplasmanı birinci kat yatay deplasmanının %8’i düzeyinde kalmıştır. Bu oran diğer deney elemanlarında en az %16 düzeyinde gerçekleşmiştir. Parçasal dolgu duvarında iki adet uç elemanı kullanılmasıyla diyagonal kesme çatlağı gelişimi engellenmiştir.
- Parçasal dolgu duvarlı Deney Elemanı-8’in, Deney Elemanı-6’ya göre yatay yük taşıma kapasitesi %5 azalmıştır. Deney Elemanı-8’in maksimum yük düzeyinde kat yatay ötelenme oranı %32 artmıştır. Maksimum yük düzeyinde çerçeve kirişleri kesme kuvveti etkisiyle kırılmıştır.

- Deneş Elemanı-6'da kullanılan parçasal dolgu duvarın çerçeve içinde tek parça yerine, Deneş Elemanı-8'de iki parçalı kullanılmasıyla başlangıç rijitliği %37, enerji tüketimi %36 azalmıştır.
- Parçasal dolgu duvarın çerçeve içinde çerçeve kolonuna bitişik olmayacak şekilde sadece kirişlere bağlanması veya çerçeve içinde tek parçalı yerine iki parçalı olarak kullanılmasıyla deneş elemanlarının yatay yük taşıma kapasiteleri önemli oranda etkilenmemiştir. Ancak kirişlerde gelişen kesme kırılması nedeniyle maksimum yük düzeyinde kat yatay deplasmanları önemli oranlarda artmıştır.
- Deneş Elemanı-6'da kullanılan parçasal dolgu duvarın serbest kenarında kullanılan uç elemanının, Deneş Elemanı-7'nin dolgu duvarında olmaması davranış ve dayanımı etkilemiştir. Uç elemanın olmaması nedeniyle, dolgu duvarında uç elemanı kullanılan deneş elemanına göre dolgu duvarında ölçülen kesme deplasmanının, birinci kat yatay deplasmanına oranı %57 artmıştır. Uç elemanı olmayan dolgu duvarında kırılma diyagonal doğrultuda betonun ezilmesiyle gelişmiştir. Uç elemanının olmamasıyla yatay yük taşıma kapasitesi %7 oranında azalmış, maksimum yük düzeyinde kat yatay ötelenme oranı ise %19 oranında artmıştır.
- Dolgu duvarında uç elemanının olmamasıyla uç elemanlı dolgu duvarı olan deneş elemanına göre başlangıç rijitliği %18, süneklik %38, enerji tüketimi %28 oranında azalmıştır.
- Betonarme çerçeve deneş elemanı maksimum yük düzeyinde büyük yatay deplasmanlar yapmıştır. Deneş elemanın kolon kiriş birleşim bölgelerinde çatlaklar oluşmuş, kolon uçlarında plastik mafsallar gelişmiştir. Deneş elemanın başlangıç rijitliği ve enerji tüketim düzeyleri dolgu duvarlı deneş elemanlarına göre çok düşüktür.

- Birdöküm dolgu duvarlı deney elemanı çerçeve deney elemanından 9,5 kat daha büyük dayanım sergilemiştir. Maksimum yükte kat yatay ötelenme oranı çerçeve deney elemanına göre %80 daha küçüktür.
- Tam dolu dolgu duvarıyla güçlendirilmiş deney elemanı çerçeve deney elemanının 7,8 katı dayanım sergilemiştir. Deney elemanı birdöküm dolgu duvarlı referans elemanından %18 daha az dayanım sergilemiştir. Deney elemanın göçmesinde çerçeve kolonlarında kesme kırılması gelişmiştir.
- Deney elemanlarında hesaplanan ilk eğilme çatlağı yükleri, deney elemanlarının testlerinde gözlemlenen ilk eğilme çatlağı yüklerinden oldukça büyüktür. En başarılı ilk eğilme çatlağı yükü dolgu duvarı l/h oranı 1,3 olan Deney Elemanı-6 için %2 büyük hesaplanmıştır.
- Betonarme dolgu duvarında hesaplanan ilk kesme çatlağı yükü bir döküm dolgu duvarlı deney elemanında gözlemlenen ilk eğilme çatlağı yükü değerinden oldukça farklıdır. Dolgu duvarı diyagonal doğrultuda kırılan deney elemanlarının dolgu duvarında ilk kesme çatlağı yükleri en fazla %11 oranında farklı hesaplanmıştır.
- Maksimum yük düzeyinde deney elemanlarının dolgu duvarında hesaplanan ortalama kayma gerilmeleri, yönetmelikte verilmiş sınırdan oldukça küçüktür. Deney elemanlarının hiç birinde sadece temel kirişi üzerinden kesilerek kırılma şeklinde göçme modu gelişmemiştir.
- Betonarme boşluksuz dolgulu çerçevelerle ilgili araştırmacıların önerdiği eşitlikler kullanılarak deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasiteleri hesaplanmıştır. Elde edilen kapasiteler deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasitelerinden oldukça farklıdır. Yöntemler arasında Barda tarafından önerilen eşitlik kullanılarak hesaplanan kapasiteler en başarılı sonuçları vermiştir.

- Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik kullanılarak deney elemanların yatay yük taşıma kapasiteleri hesaplanmıştır. En başarılı sonuç bir döküm dolgu duvarlı deney elemanında elde edilmiştir. Parçasal dolgu duvarıyla güçlendirilen deney elemanları için hesaplanan yatay yük taşıma kapasiteleri deneysel sonuçlardan çok farklıdır.
- Bilgisayar programı kullanılarak yapılan itme analiz çözümlerinde betonarme dolgu duvarı, birdöküm betonarme perde elemanı olarak modellenmiştir. Yapılan analizler sonucunda en farklı yatay yük taşıma kapasitesi betonarme çerçeve ve birdöküm dolgu duvarlı deney elemanlarında hesaplanmıştır.
- Dolgu duvarıyla güçlendirilen deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasiteleri itme analizi yapılarak en fazla %10 oranında farklı hesaplanmıştır.
- Deney elemanlarının itme analizi yapılarak elde edilen başlangıç rijitlikleri bir döküm dolgu duvarlı deney elemanı dışındaki diğer deney elemanları için oldukça büyük hesaplanmıştır.

6.2. Öneriler

Betonarme çerçevelerin parçasal betonarme dolgu duvarlarıyla güçlendirilmesi konusunda yapılan araştırma sonucunda geliştirilen öneriler aşağıda sunulmuştur.

- Betonarme çerçevelerin parçasal dolgu duvarıyla güçlendirilmesinde, çerçeve kolonlarının boyuna donatısında bindirmeli ekin olması incelenmelidir.
- Betonarme çerçevelerin parçasal dolgu duvarıyla güçlendirilmesinde dolgu duvarın l/h oranındaki değişim, deney elemanının davranışını ve dolgu duvarın kırılma şeklini etkilemektedir. Tam dolu dolgu duvarıyla güçlendirmede kullanılan betonarme çerçevenin açıklığının yüksekliğine oranının değişimi incelenmelidir.
- Hasarlı betonarme çerçevelerin parçasal betonarme dolgu duvarıyla onarılması incelenmelidir.
- Parçasal betonarme dolgu duvarıyla güçlendirmede, betonarme çerçevenin kolonlarında çeşitli düzeylerde aksel yük olması durumu incelenmelidir.
- Güçlendirme uygulamalarında sıkça kullanılan parçasal dolgu duvarların kullanımında çerçeve içinde tek parça kullanılması, çerçevenin kolon ve kirişlerine bağlanması ve dolgu duvarın serbest kenarında uç elemanının kullanılması gerekmektedir.
- Dolgu duvarıyla güçlendirilen betonarme çerçevenin elemanlarında etriye donatısının yetersizliği yatay yük taşıma kapasitesini ve göçme şeklini etkilemektedir. Bu nedenle dolgu duvarıyla güçlendirmede, çerçeve elemanlarında erken oluşabilecek kesme kırılmasının eleman düzeyinde güçlendirme uygulamalarıyla engellenmesi önemlidir.

KAYNAKLAR

1. Benjamin, J. R., Williams, H. A., "The Behaviour of One-Story Reinforced Concrete Shear Walls", *ASCE, Journal of Structural Division*, 83 (ST3): 1254 (1957).
2. Benjamin, J. R., Williams, H. A., "The Behaviour of One-Story Brick Shear Walls", *ASCE, Journal of Structural Division*, 84 (ST4): 1723, (1958).
3. Smith, B. S., Carter, C., "A Method of Analysis for Infilled Frames", *Proc. ICE*, 44: 31-48, (1969).
4. Mallick, D.V., Severn, R.T., "The Behaviour of Infilled Frames Under Cyclic Loading", *Proc. ICE*, 38: 639-656, (1967).
5. Mallick, D. V., and Severn, R. T., "Effect of Openings on the Lateral Stiffness of Infilled Frames", *Proc. ICE*, 49, 193-209, (1971).
6. Ersoy, U., Uzsoy, S., 1971, "The Behaviour and Strength of Infilled Frames," *TUBITAK MAG-205 Report, Ankara, Turkey*, 95, (1971).
7. Somalina, M., "Analysis of Infilled Shear Walls", *Proc. Institution of Civil Engineers*, 55(5), 895-912, (1973).
8. Wasti, S.T., and Gülkan, P., "The Stiffness of Infilled Portal Frames Under Horizontal Load", *Proc. Cento Symposium on Earthquake Engineering*, Ankara, 216 (1974).
9. Klingner, R.E., and Bertero, V.V., "Infilled Frames in Earthquake-Resistant Construction", *Earthquake Engineering Research Center, University of California, Report No. UCB/EERC-76/32, Berkeley*, 26 (1976).
10. Klinger, R.E., and Bertero, V.V., "Earthquake Resistance of Infilled Frames", *ASCE, Journal of Structural Division*, 104 (ST6), 973-987 (1978).
11. Axley, J. W., and Bertero, V.V., "Infill panels: Their Influence on Seismic Responce of Buildings", *Earthquake Engineering Research Center, University of California, Report No. UCB/EERC-79/28, Berkeley*, 160 (1979).
12. Axley, J. W., "Modelling the Stiffness Contribution of Infilled Panels to Framed Structures by a Constraint Approach", *Proceedings of the 7th WCEE*, Istanbul, Turkey, Vol. 4, 249-251 (1980).
13. Yüzügüllü, O., "Repair of Reinforced Concrete Frames with Reinforced Precast Panels", *TUBITAK MAG-494 Report, Turkey*, 85-98 (1979).

14. Yüzügüllü, O., “Multiple Precast Reinforced Concrete Panels for Aseismic Strengthening of Reinforced Concrete Frames”, *Proceeding of 7th WCEE*, , İstanbul, Turkey, Vol. 6, 263-270 (1980).
15. Higashi, Y., Endo, T., Okhubo, M., Shimizu, Y., “Experimental Study on Strengthening Reinforced Concrete Structure by Adding Shear Wall”, *Proceeding of the 7th WCEE*, İstanbul, Turkey , Vol. 7, 173-180 (1980).
16. Higashi, Y., Endo, T., and Shimuzu, Y., “Effects on Behavior of Reinforced Concrete Frames by Adding Shear Walls,” *Proceedings of the Third Seminar on Repair and Retrofit of Structures*”, Ann Arbor, Mich., 219-227 (1982).
17. Higashi, Y., Endo, T., and Shimuzu, Y., “Experimental Studies on Retrofitting of Reinforced Concrete Building Frames”, *Proceedings of the Eight World Conference on Earthquake Engineering*, San Francisco Calif., V.1, 477-484 (1984).
18. Liauw, T.C., “Test on Multistory Infilled Frames Subjected to Dynamic Lateral Loading”, *ACI Structural Journal*, 40: 551-563, (1979).
19. Liauw, T.C., “An Effective Structural System Againsts Earthquake-Infilled Frames”, *Proceeding of 7th WCEE*, İstanbul, Turkey, Vol. 4, 481-485 (1980).
20. Liauw, T.C., and Kwan, K.H., “Unified Plastic Analysis for Infilled Frames”, *ASCE, Journal of the Structural Division*, 111 (7): 1427-1449 (1985).
21. Sugano, S., “Aseismic Strengthening of Existing Reinforced Concrete Buildings”, *Proceedings of the First Seminar on Repair and Retrofit of Structures*, US/Japan Cooperative Earthquake Engineering Research Program, 12-27 (1980).
22. Hayashi, T., Niwa, N., and Fukuhara, M., The Strengthening Methods of the Existing Reinforced Concrete Buildings, *Proceeding of the 7th WCEE*, İstanbul, Turkey , Vol. 4, pp. 89-96, (September 1980).
23. Yoichi, H., Toneo, E., Masamichi, O., “Experimental Study on Strengthening Reinforced Concrete Structure by Adding Shear Wall,” *Proceeding of 7th WCEE*, İstanbul, Turkey, Vol. 7, 173-180 (1980).
24. Brokken, S.T., and Bertero, V.V., “Studies on Effects of Infills in Seismic Resistant Reinforced Concrete Construction” *Earthquake Engineering Research Center, Report No. UCB/EERC-81/12, University of California, Berkeley*, 62-69 (1981).

25. Aoyama H., Kato, D., Katsumata, H., and Hosokawa, Y., "Strength and Behavior of Postcast Shear Walls for Strengthening of Existing R/C Buildings," *Proceeding of Eight World Conference on Earthquake Engineering*, San Francisco Calif., V.1, 485-492 (1984).
26. Kaldjian, M.J., and Yüzügüllü, O., "Efficiency of Bolt Connected Reinforced Concrete Shear Panels to Repair and Strengthen Building Structures, *Presented in Jordan*, 111 (1984).
27. Achyutha, H., Jagadish, R., Rao, P.S., and Rahman, S.S., "Finite Element Simulation of the Elastic Behaviour of Infilled Frames With Openings", *Computers and Structures*, 23 (5), 685-696 (1986).
28. Ersoy, U., "Rehabilitation of Frames by Infilling or Bracing, A State of the Art Report", *CEB-IMOIS-METU Seminar on Assessment and Redesign of Reinforced Concrete Structure*, Izmir, Turkey, 11-25 (1989).
29. Jirsa, J. O., and Kreger, M. E., "Recent Research on Repair and Strengthening of Reinforced Concrete Structures", *Seismic Engineering, C. A. Kircher and A. K. Chopra, eds., ASCE*, 679-688, (1989).
30. Altın, S., "Strengthening of R/C Frames with R/C Infills", A Doctor of Philosophy Thesis in Civil Engineering, *Middle East Technical University*, (1990).
31. Altın, S., Ersoy, U., Tankut, T., "Seismic Strengthening of Reinforced Concrete Frames with Reinforced Concrete Infills", *Middle East Technical University, Report No. METU/SML-90/01, Ankara, Turkey*, (1990).
32. Altın, S., Ersoy, U., Tankut, T., "Hysteretic Response of Reinforced Concrete Infilled Frames", *ASCE, Journal of Structural Engineering*, 118 (8), 2133-2150 (1992).
33. Saatçioğlu, M., "Betonarme Kısa Perdelerin Kayma Davranışı", *TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası, Teknik Dergi*, 1 (2), 121-132 (1990).
34. Valluvan, R., Kreger, M. E., and Jirsa, J. O., "Strengthening of Column Splices for Seismic Retrofit of Nonductile Reinforced Concrete Frames", *ACI Structural Journal*, 90 (4), 432-440 (1993).
35. Sitipunt, C., Wood, S.L., "Improving the Cyclic Response of Slender Structural Walls by Changing the Orientation of the Web Reinforcement", *ACI Structural Journal*, 92 (6), 745-767 (1995).
36. Kato, D., Kabesayasawa, T., Otani, S., Aoyama, H., "Earthquake Resistant Design of Shear Walls with One Opening", *ACI Structural Journal*, 92 (4), 495-500 (1995).

37. Kato, D., Noda, H., Sugishita, Y., “Strength and Deformation Capacity of Canilever Structural Walls with Openings”, *Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, PEER Report 1999/10*, Berkeley, Maui, Hawaii, 311-322 (1999).
38. Phan, L.T., and Lew, H.S., “Strengthening Methodology for Lightly Reinforced Concrete Frames”, *Proceeding of 11th WCEE*, İstanbul, Turkey, 1896 (1996).
39. Miller, J.T., and Reaveley, L. D., “Historic Hotel Utah Remodel and Seismic Upgrade”, Seismic Rehabilitation of Concrete Structures, *G.M. Sabnis, A. C. Shroff, and L.F. Khan, eds., American Concrete Institute, SP-160, Farmington Hills, Mich.*, 115-130 (1996).
40. Gregorian, Z. B., and Gregorian, G. B., “Seismic Upgrading of Hospital Building No. 6 and 7, VA Medical Center, Bedford, Mass.”, Seismic Rehabilitation of Concrete Structures, *G.M. Sabnis, A. C. Shroff, and L.F. Khan, eds., American Concrete Institute, , SP-160 Farmington Hills, Mich.*, 131-147 (1996).
41. Marjani, F., “Behaviour of Brick Infilled Reinforced Concrete Under Reversed Cyclic Loading”, A Doctor of Philosophy Thesisi in Civil Engineering, *Middle East Tecnical University*, (1997).
42. Türk, A.M., “Rehabiliton of Reinforced Concrete Infill Walls”, A Doctor of Philosophy Thesisi in Civil Engineering, *Boğaziçi University*, İstanbul, Turkey, 213 (1998).
43. Özcebe, G., Ersoy, U., Tankut, T., “Betonarme Dolgu İle Onarılmış Çerçvelerin Deprem Davranışı”, *Tübitak, Proje No. İNTAG 537, Ankara*, (1998).
44. Taylor, C. P., Cote, P. A., Wallence, J. W., “Design of Selender Reinforced Concrete Walls with Openings”, *ACI Structural Journal*, 95 (4): 420-433 (1998).
45. Sittipunt, C., Wood, S.L., “Improving the Cyclic Reponse of Selender Structural Walls by Changing the Orientation of the Web Reinforcement”, *Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, PEER Report 1999/10, Berkeley, Maui, Hawaii*, 323-332 (1999).
46. Buonopane, S.G., White, R.N., “Pseudodynamic Testing of Masonary Infilled Reinforced Concrete Frames”, *ASCE, Journal of Structural Engineering*, 125 (6): 578-589 (1999).
47. Sonuvar, M.O., “Hysteretic Response of Reinforced Concrete Frames Repaired by Means of Reinforced Concrete Infills”, A Doctor of Philosophy Thesisi in Civil Engineering, *Middle East Tecnical University*, (2001).

48. Canbay, E., "Contribution of R/C Infills to the Seismic Behaviour of Structural System", A Doctor of Philosophy Thesis in Civil Engineering, *Middle East Technical University*, (2001).
49. Anıl, Ö., "Betonarme Çerçevelerin Boşluklu Betonarme Dolgu Duvarlar ile Güçlendirilmesi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi*, Ankara, Türkiye, (2002).
50. Canbay, E., Ersoy, U., Özcebe, G., "Contribution of RC Infills to the Seismic Behavior of Structural System", *ACI Structural Journal*, 100 (5): 637-643 (2003).
51. Sonuvar, M.O., Özcebe, G., and Ersoy, U., "Rehabilitation of Reinforced Concrete Frames with Reinforced Concrete Infills", *ACI Structural Journal*, 120 (4): 494-500, (2004).
52. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara, (1997).
53. Sözen, M.A., Towards a Behaviour Based Design of Reinforced Concrete Frames to Resist Earthquake, *Proceeding of 9th Technical Conference of Turkish Society of Civil Engineering*, Ankara, Turkey, Vol.1, 1-47 (1987).
54. Applied Technology Council (ATC) 3-6, Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Building, *ATC Publication*, (1978).
55. TS 500, "Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2000).
56. Ersoy, U., "Betonarme, 1. cilt", *Evrım Basım-Yayın-Dağıtım*, İstanbul, 18-37, 377-393, (1987).
57. Uniform Building Code, Volume II, 5360 *Workman Mill Road*, Whittier California, USA, 2-128, (1997).
58. ACI, American Concrete Institute, Committee 318, Building Code Requirements For Structural Concrete (ACI 318-95) and Commentary (ACI 318R-95), *Michigan, Michigan*, USA, 131-170, (1995).
59. Vallenias, J.W., Bertero, V.V., and Popov, E.P., "Hysteretic Behaviour of Reinforced Concrete Structural Walls", *Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Report No: UCB/EERC-79/20*, 314-327 (1979).
60. Kahn, L.F., and Hanson, R.D., "Infilled Walls for Earthquake Strengthening", *ASCE, Journal of Structural Division*, 105 (ST2): 283-296 (1979).

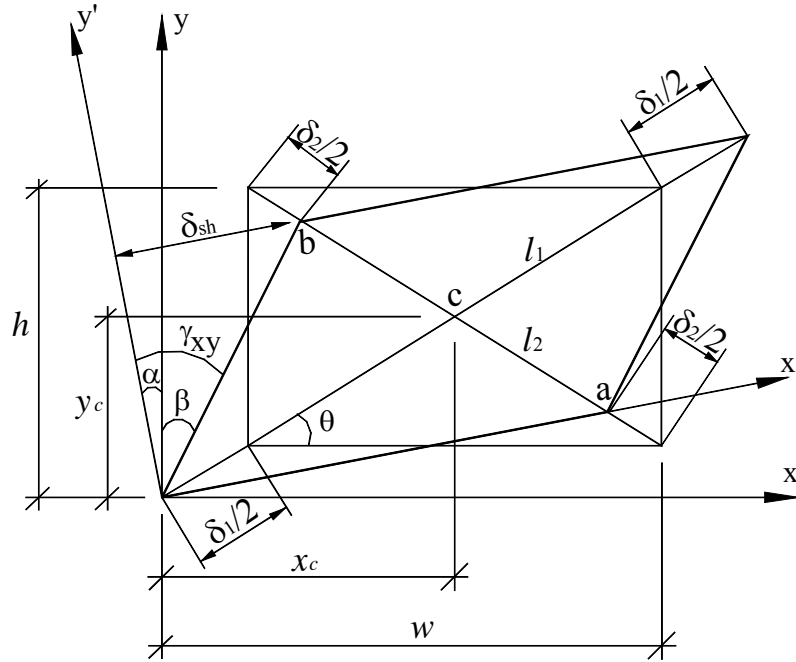
61. Valles, R.E., Reinhorn, A.M., Kunnath, S.K., Li, C., and Madan, A., "IDARC 2D Version 4.0 A Program for Inelastic Damage Analysis of Buildings", *National Center For Earthquake Engineering Research, State University of Newyork at Buffalo, Technical Report NCEERC-96-0010*, (1996).

EKLER

EK-I

Kesme Deplasmanının Hesaplanması

Deney elemanının dolgu duvarından diyagonal doğrultuda alınan ölçümler kullanılarak kesme deplasmanının hesaplanmasında kullanılan geometri Şekil 1'de verilmiştir. Dolgu duvarının kesme deplasmanı Eş.1-Eş.12 kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil Ek 1.1 Kesme deplasmanı hesaplamasında kullanılan geometri

$$\theta = \arctan\left(\frac{h}{w}\right) \quad [\text{Ek 1.1}]$$

Eşitlikte;

θ : Dikdörtgende köşegenin yatay eksenle yaptığı açı

h : Dikdörtgende düşey uzunluk

w : Dikdörtgede yatay uzunluk,

$$l'_1 = l_1 + \delta_1 = l_1(1 + \varepsilon_1) \quad [\text{Ek 1.2}]$$

$$l'_2 = l_2 + \delta_2 = l_2(1 + \varepsilon_2) \quad [\text{Ek 1.3}]$$

Eşitliklerde;

l_1, l_2 : Dikdörtgenin diyagonal uzunlukları

l'_1, l'_2 : Deformasyondan sonra dikdörtgenin diyagonal uzunlukları

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$: Diyagonal doğrultuda birim şekil değiştirmeler

δ_1, δ_2 : Diyagonal doğrultuda deplasmanlar

$$x_c = \frac{l'_1}{2} \cos(\theta), \quad y_c = \frac{l'_1}{2} \sin(\theta) \quad [\text{Ek 1.4}]$$

$$x_a = x_c + \frac{l'_2}{2} \cos(\theta) = \left(\frac{l'_1 + l'_2}{2} \right) \cos(\theta) \quad [\text{Ek 1.5}]$$

$$y_a = y_c - \frac{l'_2}{2} \sin(\theta) = \left(\frac{l'_1 - l'_2}{2} \right) \sin(\theta) \quad [\text{Ek 1.6}]$$

$$x_b = x_c - \frac{l'_2}{2} \cos(\theta) = \left(\frac{l'_1 - l'_2}{2} \right) \cos(\theta) \quad [\text{Ek 1.7}]$$

$$y_b = y_c + \frac{l'_2}{2} \sin(\theta) = \left(\frac{l'_1 + l'_2}{2} \right) \sin(\theta) \quad [\text{Ek 1.8}]$$

Kesme açısı, γ_{xy} , Şekil 'de görülen α ve β açılarının toplanması ile elde edilmektedir. α ve β açıları Eş.9 ve 10 kullanılarak elde edilmiştir.

$$\begin{aligned} \alpha &= \arctan\left(\frac{y_a}{x_a}\right) = \arctan\left(\frac{\left(\frac{l'_1 - l'_2}{2}\right) \sin(\theta)}{\left(\frac{l'_1 + l'_2}{2}\right) \cos(\theta)}\right) = \arctan\left(\frac{l'_1 - l'_2}{l'_1 + l'_2} \tan(\theta)\right) \\ &= \arctan\left(\frac{l'_1 - l'_2}{l'_1 + l'_2} \left(\frac{h}{w}\right)\right) = \arctan\left(\frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{2 + \varepsilon_1 + \varepsilon_2} \left(\frac{h}{w}\right)\right) \end{aligned} \quad [\text{Ek 1.9}]$$

$$\begin{aligned} \beta &= \arctan\left(\frac{y_c}{x_c}\right) = \arctan\left(\frac{\left(\frac{l'_1 - l'_2}{2}\right) \cos(\theta)}{\left(\frac{l'_1 + l'_2}{2}\right) \sin(\theta)}\right) = \arctan\left(\frac{l'_1 - l'_2}{l'_1 + l'_2} \cot(\theta)\right) \\ &= \arctan\left(\frac{l'_1 - l'_2}{l'_1 + l'_2} \left(\frac{w}{h}\right)\right) = \arctan\left(\frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{2 + \varepsilon_1 + \varepsilon_2} \left(\frac{w}{h}\right)\right) \end{aligned} \quad [\text{Ek 1.10}]$$

Kesme birim şekil değiştirmesi, γ_{xy} ve kesme deplasmanı, δ_{sh} Eş.11 ve 12 kullanılarak hesaplanır.

$$\gamma_{xy} = \alpha + \beta \quad [\text{Ek 1.11}]$$

$$\delta_{sh} = \gamma_{xy} \cdot h \quad [\text{Ek 1.12}]$$

ÖZGEÇMİŞ

1974 yılında Ankara'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Ankara'da tamamladı. 1997 yılında Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 1997 yılında Niğde Üniversitesi, Aksaray Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak göreve başladı. 2001 yılında Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisansını tamamladı. Aynı yıl Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'ne doktora eğitimi için görevlendirilmiştir.