

**BETONARME ÇERÇEVELERİN BOŞLUKLU BETONARME
DOLGU DUVARLAR İLE GÜÇLENDİRİLMESİ**

Özgür ANIL

125825

**DOKTORA TEZİ
(İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ)**

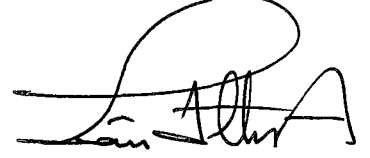
**TE. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMENTASYON MERKEZİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EKİM 2002
ANKARA**

125825

Özgür ANIL tarafından hazırlanan BETONARME ÇERÇEVELERİN BOŞLUKLU BETONARME DOLGU DUVARLAR İLE GÜÇLENDİRİLMESİ adlı bu tezin doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

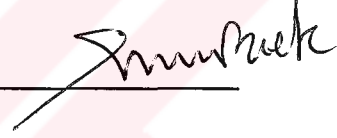


Prof. Dr. Sinan ALTIN

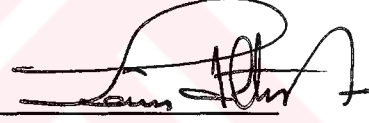
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Güney ÖZCEBE



Üye : Prof. Dr. Sinan ALTIN



Üye : Prof. Dr. Hüsnü CAN



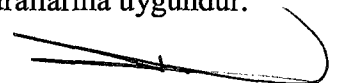
Üye : Doç. Dr. Namık Kemal ÖZTORUN



Üye : Doç. Dr. Tekin GÜLTOP



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



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. AMAÇ ve KAPSAM.....	4
2.1. Amaç.....	4
2.2. Kapsam.....	6
3. GEÇMİŞTE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	8
4. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	26
4.1. Genel.....	26
4.2. Deney Elemanları.....	26
4.3. Malzeme Dayanımları.....	55
4.3.1. Donatı.....	55
4.3.2. Beton.....	55
4.3.3. Filiz donatılarının kenetlenmesi için kullanılan epoksi (Sikadur 42).....	57
4.4. Deney Düzeni.....	59
4.4.1. Yükleme düzeni.....	59
4.4.2. Ölçüm düzeni.....	63
4.5. Ölçümlerin Değerlendirilmesi.....	70
4.5.1. Kat yanal deplasmanı hesabı.....	70
4.5.2. Kesme deplasmanlarının hesaplanması.....	71
4.5.3. Moment-eğrilik ilişkisinin hesaplanması.....	71
5. DENEYLER.....	73
5.1. 1 Nolu Elemanın (Specimen-1) Deneyi.....	74
5.2. 2 Nolu Elemanın (Specimen-1) Deneyi.....	82
5.3. 3 Nolu Elemanın (Specimen-1) Deneyi.....	91
5.4. 4 Nolu Elemanın (Specimen-1) Deneyi.....	100
5.5. 5 Nolu Elemanın (Specimen-1) Deneyi.....	110
5.6. 6 Nolu Elemanın (Specimen-1) Deneyi.....	120
5.7. 7 Nolu Elemanın (Specimen-1) Deneyi.....	131
5.8. 8 Nolu Elemanın (Specimen-1) Deneyi.....	142
5.9. 9 Nolu Elemanın (Specimen-1) Deneyi.....	153

6.	DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	163
6.1.	Dayanım ve Davranış.....	163
6.2.	Süneklik	176
6.3.	Rijitlik	178
6.4.	Enerji Tüketim Kapasiteleri.....	182
6.5.	Analitik Çalışmalar	191
6.5.1.	Dayanım.....	191
6.5.1.1.	İlk eğilme çatlağı yükünün hesaplanması	191
6.5.1.2.	Panelde ilk kesme çatlağı yükü.....	192
6.5.2.	Yük taşıma kapasitesi	196
6.5.2.1.	Vallenas, Bertero ve Popov'un yaklaşımı [53]	196
6.5.2.2.	Barda'nın yaklaşımı [5,6]	199
6.5.2.3.	Benjamin ve Williams'ın yaklaşımı [13,14].....	200
6.5.2.4.	Smith ve Carter'ın yaklaşımı [15-19]	200
6.6.	Yönetmelik Kapasite Tasarım Denklemleri ile Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması	204
6.6.1.	ACI 318-95 Yönetmeliği	204
6.6.2.	AIJ Yönetmeliği.....	206
6.6.3	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY).....	208
7.	SONUÇ ve ÖNERİLER	214
7.1.	Sonuçlar	215
7.2.	Öneriler	218
	KAYNAKLAR	219
	EK-A	224
	EK-B	242
	ÖZGEÇMİŞ	245

BETONARME ÇERÇEVELERİN BOŞLUKLU BETONARME DOLGU DUVARLARI İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

(Doktora Tezi)

Özgür ANIL

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ekim 2002

ÖZET

Betonarme çerçevelerden oluşan yapıların yerinde dökme betonarme dolgularla güçlendirilmesi pratikte sıkça kullanılan bir yöntemdir. Ancak bazı zorunlu durumlarda betonarme dolgu duvarı çerçeve iç alanını tamamen doldurmamaktadır. Bu nedenle betonarme dolgulu çerçevelerin dolgu duvarlarında çeşitli büyüklükte ve düzenlemede boşluklar bırakılmaktadır. Çalışmanın amacı boşluklu betonarme dolgu duvarlı çerçevelerin davranışlarının deprem yükleri altında incelemesidir. Bu amaçla modellenen 9 adet tek açıklıklı, tek katlı betonarme dolgulu çerçeve deprem etkilerini benzeştiren tersinen tekrarlanan yükler altında test edilmiştir. Betonarme dolgulu çerçevelerde boşluk alanı büyüklüğü ve yeri incelenen ana değişkenlerdir. Deney sonuçları, boşluk alanı büyüklüğü ve yerindeki değişimin betonarme dolgulu çerçevelerin rijitlik, dayanım, süneklik ve enerji tüketimi üzerindeki etkilerini ortaya koyacak şekilde değerlendirilmiştir. Deneysel gözlemler ışığı altında farklı analitik yöntemlerin uygulanabilirliği incelenmiştir. Analitik çalışmada deney elemanlarının dayanımları yönetmeliklerin ve araştırmacıların önerdiği ampirik denklemler kullanılarak hesaplanmıştır. Analitik sonuçlar deneysel gözlemlerle karşılaştırılmıştır. Güçlendirme amacıyla kullanılan boşluklu betonarme dolgu duvarlı çerçevelerin tasarımı ve detaylandırılması için öneriler oluşturulmuştur.

Bilim Kodu :624 03 01

**Anahtar Kelimeler :Dolgulu Çerçeve, Boşluklu Betonarme Dolgu Duvarı,
Güçlendirme, Tersinen Yükler**

Sayfa Adedi :245

Tez Yöneticisi :Prof. Dr. Sinan ALTIN

**STRENGTHENING OF REINFORCED CONCRETE FRAMES BY
REINFORCED CONCRETE INFILL WITH OPENINGS**

(Ph. D. Thesis)

Özgür ANIL

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

October 2002

ABSTRACT

In practice structures, which consist of reinforced concrete frames, are frequently strengthened with cast in place reinforced concrete infill. But in some compulsory cases, interior areas of the frames are not filled completely by infills. Therefore openings with different sizes and arrangements are left in reinforced infilled frame's infill. The purpose of this study was to investigate the behaviour of these types of reinforced infilled frames under earthquake loading. For this purpose, nine one bay, one story reinforced infilled frames were tested under reversed cyclic lateral loads that simulate earthquake loading. Size and place of the openings in infills were the main investigated variables. The effect of the size and place of the openings in infills on rigidity, strength, ductility and energy dissipation capacity of reinforced infilled frames were evaluated by using test results. By evaluating the test results, different analytical approaches were investigated. The strength's of specimens were calculated by using regulations and empirical equations that were suggested by researchers. Analytical results were compared with experimental results. Suggestions were constituted for design of reinforced concrete infilled frames with openings that were used for the purpose of strengthening.

Science Code :624 03 01

**Key Words :Infilled Frames, Reinforced Concrete Infill with Openings,
Strengthening, Cyclic Load**

Page Number :245

Adviser :Prof. Dr. Sinan ALTIN

TEŞEKKÜR

Deneylerin gerçekleştirilmesindeki yol gösteren yardımları, tezimin hazırlanmasındaki emeği ve değerli katkılarından dolayı kıymetli hocam ve tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Sinan ALTIN'a teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin yürütme komitesinde üye olma lütfunda bulunan, öğrencisi olmaktan daima onur duyduğum muhterem hocam Sayın Doç. Dr. Namık Kemal ÖZTORUN'a teşekkür ederim.

Tezimin yürütme komitesi üyesi değerli hocam Sayın Doç. Dr. Tekin GÜLTOP'a ve manevi desteklerini esirgemeyen Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde görev yapan öğretim üyesi değerli hocalarıma ve araştırma görevlisi arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Deneyler sırasında yardımlarını esirgemeyen kıymetli hocam Sayın Öğretim Görevlisi Sabahattin AYKAÇ'a, laboratuvar çalışmalarında ve deneyler esnasında bütün içtenlikleriyle yardım eden değerli araştırma görevlisi arkadaşlarım Sayın M. Emin KARA, Sayın İ. Ufuk ÇAĞDAŞ'a ve laboratuvar sorumlusu Sayın Uzman Faruk OGÜN'e yürekten teşekkür ederim.

Tüm laboratuvar çalışmalarında, deneylerimde, tezimin hazırlanmasında yardım eden, engin sevgilerini, güçlü desteklerini daima hissettiğim sevgili aileme gayret ve emeklerinden dolayı sonsuz teşekkür ederim.

Özgür ANIL

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Deney programı	29
Çizelge 4.2. Deney elemanlarının donatı dayanımları.....	42
Çizelge 4.3. 1 m ³ beton için karışım oranları	56
Çizelge 4.4. Deney elemanlarının beton basınç dayanımları	56
Çizelge 6.1. Deney sonuçlarının özeti	164
Çizelge 6.2. Dolgu duvarının deney elemanı dayanımına etkisi	166
Çizelge 6.3. Deney elemanlarının deplasman süneklilik oranları.....	177
Çizelge 6.4. Deney elemanlarının rijitlik değerleri (kN/mm).....	179
Çizelge 6.5. Dolgu duvarının deney elemanları rijitliklerine olan etkisi.	180
Çizelge 6.6. Deney elemanlarının enerji tüketim kapasiteleri.....	183
Çizelge 6.7. Deney elemanlarının çatlama dayanımları (kN).....	195
Çizelge 6.8. Deney elemanlarının hesaplanan yük taşıma kapasiteleri (kN).....	203
Çizelge 6.9. Yönetmelik denklemleri ile hesaplanan yük taşıma kapasitelerinin deney sonuçları ile karşılaştırılması.....	213
Çizelge A.1. Çekme deneyi sonuçları (φ4 mm)	227
Çizelge A.2. Çekme deneyi sonuçları (φ4 mm)	228
Çizelge A.3. Çekme deneyi sonuçları (φ4 mm)	229
Çizelge A.4. Çekme deneyi sonuçları (φ6 mm)	230
Çizelge A.5. Çekme deneyi sonuçları (φ6 mm)	231
Çizelge A.6. Çekme deneyi sonuçları (φ6 mm)	232
Çizelge A.7. Çekme deneyi sonuçları (φ8 mm)	233
Çizelge A.8. Çekme deneyi sonuçları (φ8 mm)	234

Çizelge A.9. Çekme deneyi sonuçları ($\phi 8$ mm)	235
Çizelge A.10. Çekme deneyi sonuçları ($\phi 10$ mm)	236
Çizelge A.11. Çekme deneyi sonuçları ($\phi 10$ mm)	237
Çizelge A.12. Çekme deneyi sonuçları ($\phi 10$ mm)	238
Çizelge A.13. Çekme deneyi sonuçları ($\phi 16$ mm)	239
Çizelge A.14. Çekme deneyi sonuçları ($\phi 16$ mm)	240
Çizelge A.15. Çekme deneyi sonuçları ($\phi 16$ mm)	241



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil		Sayfa
Şekil 4.1.	Deney Elemanı-1'in donatı detayı.....	31
Şekil 4.2.	Deney Elemanı-2'nin donatı detayı.....	32
Şekil 4.3.	Deney Elemanı-3'ün donatı detayı.....	33
Şekil 4.4.	Deney Elemanı-4'ün donatı detayı.....	34
Şekil 4.5.	Deney Elemanı-5'in donatı detayı.....	35
Şekil 4.6.	Deney Elemanı-6'nın donatı detayı.....	36
Şekil 4.7.	Deney Elemanı-7'nin donatı detayı.....	37
Şekil 4.8.	Deney Elemanı-8'in donatı detayı.....	38
Şekil 4.9.	Deney Elemanı-9'un donatı detayı.....	39
Şekil 4.10.	Kalıp içine yerleştirilmiş çerçeve donatısı	40
Şekil 4.11.	Beton dökümü tamamlanmış çerçeve.....	41
Şekil 4.12.	Deney Elemanı-2 beton dökümü öncesinde	42
Şekil 4.13.	Deney Elemanı-4'ün filiz donatıları	43
Şekil 4.14.	Deney Elemanı-3 için filiz donatısı yerleşim detayı	44
Şekil 4.15.	Deney Elemanı-4 için filiz donatısı yerleşim detayı	45
Şekil 4.16.	Deney Elemanı-5 için filiz donatısı yerleşim detayı	46
Şekil 4.17.	Deney Elemanı-6 için filiz donatısı yerleşim detayı	47
Şekil 4.18.	Deney Elemanı-7 için filiz donatısı yerleşim detayı	48
Şekil 4.19.	Deney Elemanı-8 için filiz donatısı yerleşim detayı	49
Şekil 4.20.	Deney Elemanı-9 için filiz donatısı yerleşim detayı	50
Şekil 4.21.	Deney elemanı dolgu duvarı donatıları	51

Şekil 4.22.	Dolgu duvarı beton dökümü tamamlanmış deney elemanları.....	54
Şekil 4.23.	Beton silindir deneyi.....	57
Şekil 4.24.	Deney ve yükleme düzeneği.....	61
Şekil 4.25.	Yük hücresi serbest cisim diyagramı.....	62
Şekil 4.26.	Deney Elemanı-1'in ölçüm düzeni.....	64
Şekil 4.27.	Deney Elemanı-2 ve 3'ün ölçüm düzeni	65
Şekil 4.28.	Deney Elemanı-4, 5, 6'nın ölçüm düzeni.....	66
Şekil 4.29.	Deney Elemanı-7'nin ölçüm düzeni.....	67
Şekil 4.30.	Deney Elemanı-8'in ölçüm düzeni.....	68
Şekil 4.31.	Deney Elemanı-9'un ölçüm düzeni.....	69
Şekil 4.32.	Eğrilik hesaplanması için kullanılan yaklaşım	72
Şekil 5.1.	Deney Elemanı-1'in yük ve deplasman çevrim grafikleri...	75
Şekil 5.2.	Deney Elemanı-1'in yük-deplasman grafiği	78
Şekil 5.3.	Yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-1)	79
Şekil 5.4.	Kolon moment-eğrilik grafikleri (Deney Elemanı-1).....	80
Şekil 5.5.	Deney Elemanı-1'in test sırasında fotoğrafları.....	81
Şekil 5.6.	Deney Elemanı-2'nin yük ve deplasman çevrim grafikleri.	83
Şekil 5.7.	Deney Elemanı-2'nin yük- deplasman grafiği	87
Şekil 5.8.	Çerçevenin yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-2)	88
Şekil 5.9.	Dolgu duvarın yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-2)	89
Şekil 5.10.	Deney Elemanı-2'nin test sırasında fotoğrafları.....	90
Şekil 5.11.	Deney Elemanı-3'ün yük ve deplasman çevrim grafikleri..	92

Şekil 5.12.	Deney Elemanı-3'ün yük-deplasman grafiği.....	96
Şekil 5.13.	Çerçevenin yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-3)	97
Şekil 5.14.	Dolgu duvarının yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-3)	98
Şekil 5.15.	Deney Elemanı-3'ün test sırasında fotoğrafları.....	99
Şekil 5.16.	Deney Elemanı-4'ün yük ve deplasman çevrim grafikleri..	101
Şekil 5.17.	Deney Elemanı-4'ün yük-deplasman grafiği.....	105
Şekil 5.18.	Çerçevenin yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-4)	106
Şekil 5.19.	Dolgu duvarının yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-4)	107
Şekil 5.20.	Kolon moment eğrilik grafiği (Deney Elemanı-4)	108
Şekil. 5.21.	Deney Elemanı-4'ün test sırasında fotoğrafları.....	109
Şekil 5.22.	Deney Elemanı-5'in yük ve deplasman çevrim grafikleri...	111
Şekil 5.23.	Deney Elemanı-5'in yük-deplasman grafiği	115
Şekil 5.24.	Çerçevenin yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-5)	116
Şekil 5.25.	Dolgu duvarının yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-5)	117
Şekil 5.26.	Kolon moment-eğrilik grafiği (Deney Elemanı-5).....	118
Şekil 5.27.	Deney Elemanı-5'in test sırasında fotoğrafları.....	119
Şekil 5.28.	Deney Elemanı-6'nın yük ve deplasman çevrim grafikleri.	121
Şekil 5.29.	Deney Elemanı-6'nın yük- deplasman grafiği	126
Şekil 5.30.	Çerçevenin yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-6)	127
Şekil 5.31.	Dolgu duvarının yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-6)	128

Şekil 5.32.	Kolon moment-eğrilik grafiği (Deney Elemanı-6).....	129
Şekil 5.33.	Deney Elemanı-6'nın test sırasında fotoğrafları.....	130
Şekil 5.34.	Deney Elemanı-7'nin yük ve deplasman çevrim grafikleri.	132
Şekil 5.35.	Deney Elemanı-7'nin yük-deplasman grafiği	137
Şekil 5.36.	Çerçevenin yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-7)	138
Şekil 5.37	Sağ kanat dolgu duvarı yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-7)	139
Şekil 5.38	Sol kanat dolgu duvarı yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-7)	140
Şekil 5.39.	Deney Elemanı-7'nin test sırasında fotoğrafları.....	141
Şekil 5.40.	Deney Elemanı-8'in yük ve deplasman çevrim grafikleri...	143
Şekil 5.41.	Deney Elemanı-8'in yük-deplasman grafiği	148
Şekil 5.42.	Çerçevenin yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-8)	149
Şekil 5.43.	Dolgu duvarının yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-8)	150
Şekil 5.44.	Kolon moment-eğrilik grafikleri (Deney Elemanı-8).....	151
Şekil 5.45.	Deney Elemanı-8'in test sırasında fotoğrafları.....	152
Şekil 5.46.	Deney Elemanı-9'un yük ve deplasman çevrim grafikleri..	154
Şekil 5.47.	Deney Elemanı-9'un yük-deplasman grafiği.....	158
Şekil 5.48.	Çerçevenin yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-9)	159
Şekil 5.49	Sağ kanat dolgu duvarı yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-9)	160
Şekil 5.50	Sol kanat dolgu duvarı yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-9)	161
Şekil 5.51.	Deney Elemanı-9'un test sırasında fotoğrafları.....	162

Şekil 6.1.	1, 2, 3, 4, 5 ve 6 nolu deney elemanlarının zarf eğrileri (boşluk alanı değişimi)	168
Şekil 6.2.	1, 2, 3, 6, ve 7 nolu deney elemanlarının zarf eğrileri (boşluk yeri değişimi).....	171
Şekil 6.3.	1, 2, 3, 5 ve 8 nolu deney elemanlarının zarf eğrileri (dolgu duvar bağlantısı).....	173
Şekil 6.4.	1, 2, 3 ve 9 nolu deney elemanlarının zarf eğrileri (boşluk büyüklüğü ve yerinin değişimi).....	175
Şekil 6.5.	1, 2, 3, 4, 5 ve 6 nolu deney elemanlarının enerji tüketimi grafikleri.....	187
Şekil 6.6.	1, 2, 3, 6 ve 7 nolu deney elemanlarının enerji tüketimi grafikleri.....	188
Şekil 6.7.	1, 2, 3, 5 ve 8 nolu deney elemanlarının enerji tüketimi grafikleri.....	189
Şekil 6.8.	1, 2, 3 ve 9 nolu deney elemanlarının enerji tüketimi grafikleri.....	190
Şekil A.1.	Çekme deneyinde kullanılan deney düzeneği	226
Şekil B.1.	Kesme deplasmanı geometrisi	242

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
A	Kesit alanı
A_{ch}	Perde brüt en kesit alanı
A_{cv}	Perde kesit alanı
A_s	Kolon kesme donatısı alanı
A_{sh}	Dolgu duvarı yatay donatı alanı
A_{st}	Kolon boyuna donatı alanı
a	D12 ve D11 deplasman ölçümleri arasındaki mesafe
b	Ölçüm aralığı
b_w	Dolgu kalınlığı
c	Ölçüm yüksekliği
$D0, D1..D13$	Deplasman ölçümleri
d_e	Çerçeve kolonlarının eksenleri arasındaki uzaklık
$E_{çerçeve}$	Çerçeve deney elemanı birikimli enerji tüketimi
$E_{birdöküm}$	Birdöküm deney elemanı birikimli enerji tüketimi
E_{dolgu}	Dolgu duvarlı deney elemanlarının birikimli enerji tüketimi
f_c	Beton basınç dayanımı
f_{ctd}	Perde betonu çekme dayanımı
f_{ctf}	Betonun eğilmede çekme dayanımı
f_{sy}	Donatı akma dayanımı
f_{su}	Donatı kopma dayanımı
H	Deney elemanı yüksekliği
h	Dolgu duvar yüksekliği
I	Kesit atalet momenti
L	Temel üstünden giriş eksenine olan uzaklık
l_w	Dolgu duvar genişliği
l_1	Dikdörtgenin 1. diyagonal uzunluğu
l_2	Dikdörtgenin 2. diyagonal uzunluğu
P_1	Deformasyondan sonra dikdörtgenin 1. diyagonal uzunluğu
P_2	Deformasyondan sonra dikdörtgenin 2. diyagonal uzunluğu
N	Eksenel kuvvet
R_{dolgu}	Dolgu duvarlı deney elemanlarının rijitlik değerleri
$R_{çerçeve}$	Çerçeve deney elemanı rijitlik değerleri
s	Etriye aralığı
V_{fer}	Eğilme çatlağı yükü
V_{kolon}	Kolon tarafından taşınan kesme kuvveti
V_{etriye}	Kolon kesme donatısı tarafından taşınan kesme kuvveti
V_U	Maksimum kesme kuvveti
$V_{U_{çerçeve}}$	Çerçeve deney elemanı maksimum kesme kuvveti
$V_{U_{birdöküm}}$	Birdöküm deney elemanı maksimum kesme kuvveti

$V_{U_{dolgu}}$	Dolgu duvarlı deney elemanları maksimum kesme kuvveti
V_w	Betonarme dolgu duvar tarafından taşınan kesme kuvveti
v_c	$108+0.015x f_c$ (Dolgu duvar için verilen maksimum yatay kesme dayanımı (birimi=psi))
w	Dikdörtgenin genişliği
y	Kesit tarafsız ekseninin dış beton lifine olan uzaklığı
α	Kesitin dönme açısı
δ_{sh}	Kesme deplasmanı
δ_{kat}	Düzeltilmiş kat deplasmanı
δ_y	Akma noktası deplasmanı
δ_θ	Rijit dönme
δ_1	1. diyagonal doğrultuda deplasman
δ_2	2. diyagonal doğrultuda deplasman
δ_{85}	Maksimum yükün %85'ine düştüğü noktanın deplasman değeri
ϵ_1	1. diyagonal doğrultuda birim şekil değiştirme
ϵ_2	2. diyagonal doğrultuda birim şekil değiştirme
ϕ	Donatı çapı
γ_{xy}	Kesme açısı
λ	0.083 (MPa), 1 (psi)
θ	Dikdörtgende köşegenin yatay eksenle yaptığı açı
ρ	Donatı oranı
ρ_{kolon}	Kolon donatı oranı
ρ_v	Düşey panel donatı oranı
ρ_h	Yatay panel donatı oranı
τ_c	Beton tarafından taşınan ortalama kesme gerilmesi
τ_s	Dolgu duvarı donatısı tarafından taşınan kesme gerilmesi
τ_u	Dolgu duvarı tarafından taşınan toplam kesme gerilmesi

Kısaltmalar Açıklama

ABYYHY	Afet Bölgerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
ACI	Amerikan Beton Birliği (American Concrete Institute)
AIJ	Japon Mimarlar Enstitüsü (Architecture Institute of Japan)
LVDT	Elektronik deplasman ölçer (Lineer variable differential transformer)

1. GİRİŞ

Ülkemiz nüfusunun hemen hepsi deprem bölgesinde yaşamaktadır. Ancak bu bölgelerdeki mevcut yapı stoğunun büyük bir kısmı yeterli deprem güvenliğine sahip değildir. Yaşanan depremlerin sonuçları bu saptamanın doğru olduğunu açıkça göstermektedir. Bu bölgelerdeki yapılar ya çok önemli hasar almışlar ya da tamamen göçmüşlerdir. Çünkü yapılar yönetmelik gereklerini sağlamamaktadır. Bu tür yapılarda yönetmelik gereklerini yerine getirmek için yapıyı tamamen yıkıp yeniden yapmak mümkündür. Ancak yapıları yeniden inşaa etmek her zaman olanaklı ve ekonomik değildir. Bu nedenle varolan yapıların depreme karşı güçlendirilmesi veya onarılması bir çok durumda yeterli çözüm olarak görülmektedir. Güçlendirilen veya onarılan yapılarda temel hedef, yapının yönetmelik koşullarını sağlayacak yeterli deprem güvenliği seviyesine getirilmesidir.

Güçlendirme, yapı veya yapı elemanları kapasitelerinin artırılarak istenilen düzeye çıkartılması, onarım ise hasar görmüş yapı veya yapı elemanlarının kapasitelerinin yeterli düzeye getirilmesi olarak tanımlanabilir. Bu işlemler sorunlu yapının durumuna göre yapı sisteminde güçlendirme/onarım olarak yapılabilirdiği gibi yapıda mevcut elemanlar için tek tek de uygulanabilir. Ancak yapılarda yalnız eleman düzeyinde bir güçlendirme/onarım için;

- a) onarılacak/güçlendirilecek eleman sayısının sınırlı olması,
- b) elemanların yeterli sünekliğe sahip olmaları,
- c) katlar arası göreceli deplasmanların sınırlanmış olması
şartlarının sağlanması gereklidir.

Yapıda rijitlik sorunu varsa ya da güçlendirilecek eleman sayısı çok fazla ise yapıya betonarme perdeler ekleyerek güçlendirme ve yanal rijitliğini artırma pratik bir çözümdür. Ancak yapıya bağımsız betonarme perdelerin eklenmesi mimari ve üretim yönünden önemli sorunlar yaratabilir. Bu durumda varolan çerçevelerin içine perde işlevini görecek betonarme dolgu duvarlar ekleyerek, bu çerçeveleri uç elemanlı betonarme dolgulu çerçeveler haline getirmek daha pratiktir.

Araştırmalar çerçevelerden oluşan yapı taşıyıcı sistemine sonradan ilave edilen betonarme dolgu duvarların, deprem davranışı yönünden başarılı sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. Önüretimli paneller bu tür güçlendirmede kullanıldığı gibi yerinde dökme betonarme dolgu duvarlar da yaygın olarak kullanılmaktadır. Betonarme dolgu duvarları ile taşıyıcı sistemlerin güçlendirilmesi ve yapının deprem davranışının istenilen seviyelere çıkartılması amacıyla yapılan uygulamalar, ülkemizde 1992 Erzincan depremi ile artmıştır.

Betonarme dolgu duvarları ile güçlendirilen çerçevelerin süneklik, rijitlik, enerji tüketimi, göçme şekli, dolgu ile çerçeve arasındaki bağlantı biçimi bir çok araştırmacı tarafından deneysel ve analitik olarak incelenmiştir. Yeterli deprem güvenliği olmayan yapılarda sistem güçlendirmesi amacıyla oluşturulan betonarme dolgulu çerçevelerin dolgu duvarlarında mimari zorunluluklar nedeniyle kapı ve pencere boşlukları bırakılmaktadır. Betonarme perdeye benzeştirilerek tasarlanan ve oluşturulan betonarme dolgulu çerçevelerde bu tür boşlukların nasıl bir davranış sergileyeceği bilinmemektedir. Betonarme dolgu duvarlarda bırakılan boşluğun alanı ve yerindeki değişimin, deprem davranışı üzerindeki etkilerini inceleyen bir araştırmaya literatürde rastlanmamıştır. Bu nedenle boşluklu betonarme dolgu duvarları ile güçlendirilmiş çerçevelerin deprem davranışının araştırılması bilime ve literatüre önemli katkı sağlayacağı düşünülerek çalışma konusu olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu araştırma uygulayıcı tasarımcılara da önemli fikirler verebilecektir. Çalışmada betonarme dolgu duvarın çerçeve iç alanını tamamen doldurmadığı deney elemanları **“boşluklu betonarme dolgu duvarlı çerçeveler”** olarak isimlendirilmiştir.

Betonarme perdeler günümüzde yapılarda yaygın olarak kullanılan bir yapı elemanıdır. Ancak bu yapı elemanları çok farklı geometrik boyutlara, kesit özelliklerine, donatı detaylarına sahiptir ve plak türünden yapı elemanları oldukları için analizleri son derece karışıktır. Betonarme perdelerin kolon ve kirişlerden oluşan çerçeveler ile etkileşimli bir şekilde 3 boyutlu olarak statik ve dinamik analizinin yapılması da karmaşık bir işlemdir. Yapılarda güçlendirme veya onarım amacıyla kullanılan betonarme dolgu duvarların, yapının çerçeve sistemi ile birleştirilmesi

probleme ayrıca ek belirsizlikler katmaktadır. Araştırmacılar betonarme dolgulu çerçevelerin deneysel ve analitik davranışlarını çeşitli değişkenler altında incelemişlerdir [1-10]. Araştırmaların sonucunda betonarme dolgu duvarlı çerçeveler rijitlik, süneklik, enerji tüketimi, dayanım bakımından başarılı sonuçlar vermiştir.

Betonarme dolgu duvarlı çerçevelerin yapılarda sistem iyileştirmesi amacıyla kullanımı hem pratik hem de ekonomik bir çözümdür. Betonarme dolgu duvarlı çerçevelerin davranışlarını etkileyen önemli faktörlerden biri çerçeve ile betonarme dolgu arasındaki bağlantıdır. Çerçeve elemanlarının eğilme ve kesme dayanımları, elemanların beton dayanımı ve çerçeve elemanlarının birleşim detayı, betonarme dolgulu çerçevelerin davranışına etki eden diğer faktörlerdir. Betonarme dolgu duvarlı çerçevelerin davranışını etkileyen bu değişkenler araştırmacılar tarafından incelenmiştir [7-19]. Tüm çalışmaların hepsinde betonarme dolgu duvarları çerçevelerin iç alanını tamamen doldurmaktadır. Dolgu duvarında boşluk bulunan dolgulu çerçevelerle ilgili çalışmalar yok sayılacak kadar azdır. Literatürde konuyla ilgili araştırmalarda sadece çelik çerçevelerin içerisine yerleştirilen önüretimli paneller ile oluşturulan dolgulu çerçeveler ve önüretimli panel betonarme perdelerde pencere boşluğunun yer alması durumunda yapılmış çok kısıtlı çalışmalar bulunmaktadır [20-25]. Ancak literatürde, yerinde dökme betonarme dolgu duvarlarda boşluk bulunması durumuyla ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle yapılarda güçlendirme amacıyla çok yaygın olarak kullanılan boşluklu betonarme dolgu duvarların deprem davranışı, betonarme dolgu duvarlarda bırakılan boşluk alanı büyüklüğü ve yerinin dolgunun deprem davranışı üzerindeki etkileri çalışma konusu olarak belirlenmiştir.

Analitik çalışma olarak, araştırmacılar tarafından önerilen ampirik denklemler ve yönetmelikler tarafından betonarme perde tasarımı için verilmiş denklemler kullanılarak elde edilen değerler deney sonuçları ile karşılaştırmalı bir şekilde incelenmiştir.

2. AMAÇ ve KAPSAM

2.1. Amaç

Taşıyıcı sistemi betonarme çerçevelerden oluşan yapıların deprem davranışını iyileştirmek için kullanılan en yaygın yöntem uygun olan yapı çerçevelerinin iç alanlarına betonarme dolgu duvarları yerleştirilerek güçlendirilmesidir. Yeterli deprem güvenliği bulunmayan yapıları güçlendirmek için kullanılan bu yöntemde asıl hedef yapının çerçevelerine etkiyen deprem kuvvetini azaltmaktır. Bunun için çerçeve içine rijitliği ve eğilme kapasitesi çok yüksek betonarme dolgu duvarların eklenmesi pratik bir çözümdür. Ülkemizde yapıların güçlendirilmesi ve onarımı için betonarme dolgulu çerçeveler yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak mimari zorunluluklar nedeniyle bazı yapılarda çerçeve iç alanını tamamen dolduran betonarme dolgu duvarların yapılması mümkün olmamakta, betonarme dolgu duvarında kapı ve pencere boşluklarının bırakılması gerekmektedir. Böylece betonarme dolgu duvarında boşluk bulunan dolgulu çerçevelerin tasarımı ve üretimi zorunlu hale gelmektedir. Literatürde bu tür dolgulu çerçevelerin deprem davranışıyla ilgili araştırmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle betonarme dolgu duvarında boşluk bulunan dolgulu çerçevelerin deprem davranışının deneysel olarak incelenmesi araştırmaya konu olarak alınmıştır.

Bu çalışmada betonarme dolgu duvarda bırakılan boşluk alanı büyüklüğü ve yerinin, boşluklu betonarme dolgu duvarlı çerçevenin dayanım, süneklik, rijitlik ve enerji tüketimi üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada 9 adet bir açıklıklı ve bir katlı olarak modellenen betonarme dolgu duvarlı çerçeveler, deprem yüklerini benzeştiren tersinir ve tekrarlanır yükler altında test edilerek elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Çalışmada incelenen değişkenler, betonarme dolgudaki boşluk alanı ve yerinin değişimidir. Tüm deney elemanlarında çerçeve ile betonarme dolgu arasındaki bağlantı biçimi aynıdır. Epoxy kullanılarak çerçeveye kenetlenen filiz donatıları çerçeve ile betonarme dolgu duvarı arasındaki bağlantıyı sağlamıştır.

Çerçeve ve birdöküm betonarme perde kontrol deney elemanları olarak üretilmiştir. Boşluk alanı büyüklüğün incelenmesi amacıyla çerçeve iç alanının %25'i, %50'si, %75'i kanat dolgu duvarlı ve boşluksuz dolgu duvarı ile güçlendirilmiş deney elemanları üretilmiştir. Çalışmada betonarme dolgu duvardaki boşluk yerinin betonarme dolgulu çerçevenin deprem davranışına etkisinin incelenmesi için üç adet deney elemanı üretilmiştir. Bu elemanlarda dolgu duvarı betonarme çerçevenin kolonlarına veya kirişlerine bağlıdır. Boşluk alanı büyüklüğü ve yeri değişim gösteren betonarme dolgu duvarlar ile güçlendirilmiş deney elemanları iki adet kontrol elemanı ile karşılaştırılmıştır. Analitik çalışmada, araştırmacılar tarafından önerilen ampirik denklemler ve yönetmeliklerin tasarım denklemleri kullanılarak deney elemanları dayanımları hesaplanmıştır.



2.2. Kapsam

Deneysel çalışmada, boşluklu betonarme dolgu duvarla güçlendirilen dolgulu çerçevelerin deprem davranışının incelenmesi amaçlanmıştır. Betonarme dolgu duvardaki boşluk alanı büyüklüğü ve yerinin dolgulu çerçevenin deprem davranışı üzerindeki etkilerinin incelenmesi için 1/3 geometrik ölçekle tasarlanan, bir katlı, bir açıklıklı birbirine özdeş 9 adet çerçeve üretilmiştir. Bu çerçeveler boşluk alanı büyüklüğü ve yeri değişim gösteren betonarme dolgu duvarları ile güçlendirilmiştir. Çalışmada betonarme dolgu duvarında bulunan boşluğun alanı ve yerinin değişimi incelenen iki temel değişkendir. Deney programında yer alan deney elemanları aşağıda sunulmuştur.

- Karşılaştırma amacıyla üretilen kontrol elemanları
 - Çerçeve deney elemanı
 - Birdöküm betonarme perde deney elemanı
- Betonarme dolgudaki boşluk alanı büyüklüğünün dolgulu çerçevenin deprem davranışa etkisinin araştırılması amacıyla üretilen deney elemanları;
 - Boşluksuz yerinde dökme dolgu duvarlı deney elemanı
 - Çerçeve iç alanının %25'i kanat dolgu duvarlı deney elemanı
 - Çerçeve iç alanının %50'si kanat dolgu duvarlı deney elemanı
 - Çerçeve iç alanının %75'i kanat dolgu duvarlı deney elemanı
- Betonarme dolgudaki boşluk yerinin dolgulu çerçevenin deprem davranışına etkisinin araştırılması için üretilen deney elemanları;
 - Herbiri çerçeve iç alanının %37.5'i büyüklüğünde iki adet kanat duvarlı deney elemanı.
 - Çerçevenin ortasında ve sadece kirişlere bağlı, çerçeve iç alanının %50'si büyüklüğünde dolgu duvarlı deney elemanı.
 - Çerçevenin ortasında çerçeve iç alanının %14 büyüklüğünde boşluğu olan dolgu duvarlı deney elemanı.

Yukarıda tanımlanan deney elemanlarından elde edilen sonuçlar ışığında boşluklu betonarme dolgulu çerçevelerin dayanım, süneklik, rijitlik ve enerji tüketimi incelenmiştir. Çalışmanın iki temel değişkeni olan betonarme dolgu duvardaki boşluk alanı büyüklüğü ve yerinin betonarme dolgulu çerçevenin deprem davranışı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Birdöküm ve çerçeve deney elemanları ile boşluklu betonarme dolgulu çerçeveler karşılaştırılarak davranış farklılıkları incelenmiştir.

Ayrıca deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar, araştırmacılar tarafından önerilen ampirik denklemler ve yönetmeliklerde yeralan tasarım denklemleri ile karşılaştırılmıştır. Betonarme dolgu duvarlarda yer alan boşluğun alanı ve yeri ile ilgili önerilerde bulunulmuştur.



3. GEÇMİŞTE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Betonarme dolgu duvarları ile güçlendirilen çerçevelerin deprem davranışı konusunda literatürde yer alan çalışmalar deneysel ve analitik olarak iki ana başlıkta toplanabilir.

İlk yapılan deneysel çalışmalarda dolgulu çerçeveler tekdüze yatay yükler altında test edilmiştir. Daha sonraki çalışmalarda numuneler deprem yüklerini benzeştiren tersinir tekrarlanır yüklemler altında test edilmişlerdir. Bu öncü çalışmalarda genel amaç betonarme dolgulu çerçevelerin davranışlarını belirlemek olmuştur. Daha sonra yürütülen çalışmalarda betonarme dolgunun davranışını etkileyen değişkenler incelenmeye başlanmıştır. Bu değişkenler ana başlıklar olarak; kolon eğilme kapasitesi, kolon ve kirişlerin kesme kapasiteleri, beton dayanımındaki değişim, dolgu ile çerçeve arasındaki bağlantı yöntemi, dolgu duvarının genişlik/yüksekliği arasındaki değişim ve dolgu duvarı donatı detaylandırmasıdır. Yapılan bu deneysel çalışmalarda çok farklı geometrik ölçekte deney elemanları seçilmiştir. Çalışmalarda kullanılan deney elemanları genel olarak bir katlı bir açıklıklı ve iki katlı bir açıklıklı elemanlardır [1-19].

Analitik çalışmalarda genelde sonlu eleman yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemden elde edilen sonuçlar, deney sonuçları ile irdelenmiş, ampirik denklemler ile karşılaştırılmıştır. Çalışmalarda lineer ve non-lineer sonlu eleman programları kullanılmıştır. Bu analiz yönteminde karşılaşılan en büyük zorluklar, betonarme dolgu ile çerçeve sistemini birbirine bağlayan ara elemanları modellemek ve artan yükler altında yine bu ara yüzde oluşan sürtünme kuvveti, ayrılma ve kayma gibi etkileri analize katmaktır. Ayrıca bu etkilere ek olarak betonarme dolguların artan yükler altında çatlamaları ve ayrılmalarının analiz içerisinde yer alması, gerçek davranışın analitik modele yansıtılması bakımından önemlidir. Araştırmacılar mümkün olduğunca bu özelliklere dikkat ederek çeşitli analitik modeller oluşturmuş ve deney sonuçları ile bu modelleri test etmişlerdir [26-32].

Yukarıda genel olarak özetlenen çalışmalar tam dolu betonarme dolgulu çerçeveler ile ilgili çalışmalardır. Önüretim betonarme duvarlarda yeralan tek bir boşluğunun davranışa olan etkisini inceleyen az sayıda araştırmaya literatürde rastlanmıştır. Yerinde dökme betonarme dolgulu çerçevelerin dolgularında boşluğun bulunması, boşluk alanın ve boşluk yerindeki değişimin davranışa etkisi ile ilgili bir çalışmaya yurtiçi ve yurtdışı literatürde rastlanmamıştır [20-25].

Betonarme dolgulu çerçevelerle ilgili çalışmaların literatür özeti kronolojik sıra içerisinde sunulmuştur. Yapılan çalışmalar kısaca özetlenecek, incelenen değişkenler ve sonuçlarından kısaca bahsedilecektir. Betonarme dolgulu olmayan kil veya gaz betonu gibi malzemelerden yapılmış tuğla dolgulu çerçeveler hakkında ise sadece daha geniş araştırma yapmak isteyenler için kaynak listesinde bu araştırmaların bulunabileceği kaynaklar verilmiştir [14, 15, 16, 17, 18, 19, 33, 34].

Benjamin ve Williams'ın çalışması [13,14]

Benjamin ve Williams 1950 yılında bir açıklıklı ve bir katlı betonarme dolgulu 45 adet çerçeve deney elemanı test etmişlerdir. Deney elemanlarının geometrik ölçeği 1/8-3/8 arasında değişim göstermektedir. Çalışmalarında dolgu duvarın geometrisi, dolgunun donatı oranı ve yönü, kolonların eğilme donatısındaki değişimi gibi değişkenlerin davranışa olan etkilerini incelemişlerdir. Deney elemanları tekdüze yükleme altında test edilmiştir. Test edilen deney elemanlarında önemli değişkenlerden biri olan duvar genişliğinin, duvar yüksekliğine oranı 1'den 3'e kadar değişim göstermektedir. Bu oranı yüksek olan deney elemanları daha fazla dayanım göstermişlerdir. Tüm elemanların maksimum yük değerinde duvar tabanında ortalama kesme gerilmesi yaklaşık olarak aynı elde edilmiştir. Farklı donatı detaylarına sahip olan duvarlar farklı yük-deplasman ilişkileri sergilemişlerdir. En iyi davranışı ortogonal donatı yerleşimi sergilemiştir. Duvar donatı oranı yüksek olan deney elemanları az olanlara göre daha sünek bir davranış sergilemiştir. Ayrıca donatı oranındaki artış deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasitesini de artırmıştır. Kolon boyuna donatısındaki değişim dolgunun yük taşıma kapasitesini çok etkilemiş ancak kesit değişimi çok fazla etkili olmamıştır. Bu deneysel çalışma

programında çerçeve sistemi ile bağlanmış ve bağlanmamış tuğla dolgular da incelenmiştir.

Smith'in çalışmaları [15-19]

Smith, çerçeve ve dolgu panel arasındaki yük paylaşımı ve yükün taşınma mekanizması konusunda önemli sonuçlara varan ilk araştırmacıdır. Smith, çerçeve ve dolgu arasındaki yük taşıma mekanizmasının yükün geliş yönüne göre diagonal bir basınç çubuğu ile modellenebileceğini ortaya koymuştur. Dolgunun türüne ve dolgu ile çerçeve arasındaki bağlantı detayına bağlı olarak bu diagonal çubuğun kesit özelliklerinin ve çerçeve ile dolgu arasındaki ayrılma bölgesinin değişimi hakkında sonuçlar elde etmiştir. Smith yaptığı deney sonuçları ile diagonal basınç çubuğunun yüksekliğinin $L_d/4$ - $L_d/11$ arasında değiştiğini %16'lık gibi bir hata payı ile bulmuştur. L_d çerçevenin diagonal mesafesidir. Smith, çerçevenin köşelerinde dolgu ile ayrılmayan bölgelerin çok önemli olduğuna ve çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini çok büyük oranda etkilediği bulgusunu da elde etmiştir. Bu bölgenin uzunluk değerini kullanarak Smith, çerçeve ve dolgudan oluşan sistemin sünekliği konusunda çeşitli sonuçlara varmış ve bunu denklem haline getirmiştir. Yapılan deneyler sonucunda çerçeve ve dolgudan oluşan bir sistemin optimum yük taşıma kapasitesinin yaklaşık olarak maksimum yük kapasitesinin yarısı olduğu bulgusu elde edilmiştir.

Mallick ve Severn'in çalışması [25,26,35,36]

Çalışmada çerçeve ve dolgu birbirinden ayrı iki elastik parça olarak, sonlu eleman yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Bu iki parça birbirleri ile sadece basınç ve kesme kuvveti aktarabilen bağlantı elemanları ile bağlanmıştır. Çerçeve elemanlarının sadece eğilme etkisi altında deformasyon yaptığı ve panelin dikdörtgen sonlu eleman parçalarından oluştuğu varsayımı yapılmıştır. Deney sonuçları ile karşılaştırılan modelden iyi sonuçlar elde edilmiştir. Daha sonra aynı araştırmacılar bir başka analitik çalışmada çerçeve ve panelin dinamik karakteristikleri konusunda

çalışma yapmış ve bu çalışma sonuçlarını deneysel ve teorik metodlar ile karşılaştırmışlardır.

Karamnski'nin çalışması [1]

Bu analitik çalışmada çerçeve ve dolgu elastik olarak modellenmiştir. Analizde sonlu eleman yöntemi kullanılmış ve çerçeve elemanlarının eksenel deformasyonları analize dahil edilmiştir. Çerçeve sistemin temel kirişine ankastre bağlandığı kabulü yapılmıştır.

Ersoy ve Uzsoy'un çalışması [1]

Araştırmacılar farklı özelliklere sahip olan 1 açıklıklı 1 katlı 9 adet deney elemanı test etmişlerdir. Bu deneylerden elde ettikleri sonuçları 1971 yılında yayınladıkları bir rapor ile ortaya koymuşlardır. Deneysel çalışmada tüm deney elemanları tekdüze yüklemeler altında test edilmiştir. Deneylerde değişken olarak dolgu kalınlığı, dolgu ve çerçeve arasındaki bağlantı detayı, yatay yükteki değişim, kiriş ve kolon rijitliklerinin oranındaki değişim gözönünde bulundurulmuştur. Deneylerin ışığında, dolgunun çerçeve yatay yük taşıma kapasitesini %70 artırdığı ve göçmedeki yatay deplasmanı ise %15 azalttığı sonucunu ortaya koymuşlardır. Dolgunun boş çerçevenin elastik yanal rijitliğini %500 artırdığı elde edilen diğer bir bulgudur. Ayrıca çerçeve ve dolgu arasındaki birleşimin yatay dayanım ve sünekliği çok fazla etkilemediği sonucuna ulaşılmıştır. Araştırmacılar deney sonuçlarını kullanarak çerçeve ve dolgulu sistemlerin elastik bölgede davranışı konusunda bir yargıya varabilmek amacıyla Smith'in yaklaşımından yararlanarak bir denklem geliştirmişlerdir.

Smolina'nın çalışması [27]

Çalışmada kuvvet yöntemini kullanarak çerçeve ve dolgulu sistemlerin bir arada davranışını modellemek amacıyla bir analitik yaklaşımda bulunulmuştur.

Wasti ve Gülkan'ın çalışması [28]

Araştırmacılar bu çalışmada parçasal olarak yerleştirilen bir dolgu ile bir portal çerçevesinin yanal rijitliğinde meydana gelen artışı belirlemek için analitik bir yaklaşımda bulunmuş ve bir eşitlik elde etmişlerdir. Bu analitik eşitlik sadece elastik sınırlar içerisinde deney sonuçları ile test edilmiş ve başarılı olduğu görülmüştür.

Higashi ve Kokusho'nun çalışması [5]

Araştırmacılar güçlendirme yöntemlerini incelemek amacıyla 1/3 geometrik ölçekli deney elemanları üzerinde çalışma yapmışlardır. Birinci yöntem olarak önceden imal edilmiş boş bir betonarme çerçeve içerisine dolgu yerleştirmişler ve çerçeve ile dolgu arasındaki bağlantıyı sağlamak için kesme kilidi kullanmışlardır. Bu sistemde göçme, kesme kilitlerindeki kırılmadan sonra kolonun kesmeden göçmesi ile meydana gelmiştir. İkinci yöntemde ise önüretimli dört dar panel, boş bir betonarme çerçevenin içerisine yerleştirilmiştir. Bu sistemin yanal dayanımı birdöküm üretilmiş betonarme perdenin dörte biri değerine ulaşabilmiştir. Üçüncü deney elemanında sadece kolonlara birleşik tek kanat duvarlı önüretimli panel kullanılmıştır. Bu deney elemanındaki güçlendirme yöntemi yanal yük taşıma kapasitesine çok az bir katkıda bulunarak başarısız olmuştur. Dördüncü yöntem olarak boş çerçeve, iç tarafından kolon ve kirişlere ve birbirlerine iyi bir şekilde sabitlenmiş çelik elemanlar ile çevrilmiştir. Bu yöntemde başarılı sonuç elde edilerek çerçevenin sünekliği ve yanal dayanımının arttığı görülmüştür. Dayanımın birdöküm elemana göre 10 kat arttığı sonucuna varılmıştır.

Klingner ve Bertero'nun çalışmaları [3,4]

Araştırmacılar gerçek bir yapıdan alınan 1/3 geometrik ölçekli deney elemanları üzerinde deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışmada üç katlı ve bir açıklıklı deney elemanları kullanılmıştır. Çalışmada çerçeve elemanları için iki farklı dolgu malzemesi değişken olarak incelenmiştir. Birinci malzeme kil tuğlalar ikincisi ise betonarme dolgudur. Betonarme dolgu duvar çerçevelere eşit aralıklı filiz donatıları

ile bağlanmış ve dolguda yatay ve düşey yönde eşit aralıkla donatılar yerleştirilmiştir. Deney elemanları tersinir tektarlanır yükler altında test edilmiştir ve kolon elemanlarına eksenel yük uygulanmıştır. Deney elemanları yüklemenin ilk aşamalarında birdöküm üretilmiş yüksek kiriş gibi davranış sergilemişlerdir. Artan yük aşamalarında çerçeve ile dolgu arasında köşe bölgeler haricinde ayrılmalar oluşmuştur. Ayrılmanın meydana gelmediği köşeler arasında diagonal bir basınç çubuğunun olduğu gözlenmiştir. Bu aşamadan sonra deney elemanları köşegen doğrultusunda çerçeveye mafsallar ile bağlı bir çubuğa sahip çerçeve gibi davranış sergilemişlerdir. Diagonal doğrultudaki basınç çubuğunda oluşan beton ezilmeleri ile deney elemanlarında çok büyük bir yük kaybı olduğu gözlenmiştir. Ayrıca dolgunun çerçeve sistemin göçme anındaki yanal deplasmanını sınırlandırarak önemli ölçüde azalttığı görülmüştür. Dolgunun sistemin yanal dayanımını boş çerçevelere göre 4.5 kat arttırdığı görülmüştür. Dolgunun elemanların göreceli kat deplasmanını sınırladığı ve enerji tüketim kapasitesini de önemli ölçüde arttırdığı elde edilen sonuçlar arasındadır. Araştırmacılar bu deney sonuçlarını kullanarak, Holmes'in eşdeğer basınç çubuğu konusundaki araştırmasından da yararlanarak matematik model oluşturmuşlar ve bir bilgisayar yazılımı geliştirmişlerdir.

Lawrance'nin çalışması [5,6]

Araştırmacı boş betonarme çerçeve sistemleri güçlendirmek amacıyla üç farklı yöntem üzerinde çalışmıştır. Deney programında 1/2 geometrik ölçekli, bir açıklıklı, bir katlı deney elemanları kullanılmıştır. Deney programında yer alan tüm deney elemanları tersinir tektarlanır yükler altında test edilmiştir. Programda yer alan kontrol elemanı boş bir çerçeve olarak diğer 4 eleman ise çeşitli teknikler ile güçlendirilmek üzere üretilmiştir. İkinci eleman ise yine karşılaştırma amacı ile birdöküm olarak üretilen perde duvardır. Daha sonra üretilen 3 adet deney elemanında yapılacak dolgu, çerçeve elemanları ile ara bağlantı elemanları kullanılarak birleştirilmiştir. Güçlendirme yapmak amacıyla ilk olarak üretilen elemenda dolgu tek parça, diğer elemenda ise altı parçadan oluşmuştur ve bu parçalar birbirlerine, alt ve üst kirişe sabitlenmiştir. Tüm deney elemanları ve dolgularda boyutlar, donatılar aynıdır. Birdöküm olarak üretilen deney elemanı diğer elemanlara

göre daha büyük yanal dayanım göstermiştir. Bu elemanda gevrek bir kırılma biçimi gözlenmiş, eleman göçme anında akmada ölçülenin 1.5 katı yanal deplasman sergilemiştir. Bir parçadan oluşan panel ile üretilen dolgulu çerçeve, eğilme ve kesme davranışını birarada sergilemiştir. Birdöküm eleman dayanımının ancak 3/4'üne ulaşabilmiştir. Fakat iki kat daha fazla sünek bir davranış sergilemiştir. Birden fazla panelin birleştirilmesi ile oluşan eleman, birbiri ile bağlı yüksek kirişler gibi bir davranış sergilemiştir. Bu eleman birdöküm elemanın dayanım değerinin ancak 1/2'sine ulaşabilmiştir. Elemanda akma deplasmanının üç katı değerinde toplam kesme deplasmanı gözlenmiştir. Araştırmacı son olarak elemanların dinamik davranışı için bir analitik yaklaşımda bulunmuştur.

Yüzüğüllü'nün çalışması [37,38]

Araştırmacı betonarme boş çerçeveleri güçlendirmek amacıyla önüretimli paneller kullanmıştır. Panelleri birbirleri ile bağlamak için çeşitli bağlantı detayı tipleri araştırmıştır.

Liauw'nun çalışması [30,39,40]

Araştırmacı depremi benzeştiren dinamik bir yükleme ile bir seri deney elemanı üzerinde deneysel bir çalışma yapmıştır. Deneysel çalışmasında bir açıklıklı dört katlı çelik çerçeve ve betonarme dolgulu deney elemanları kullanmıştır. Bu çalışmada değişken olarak boşluk alanı etkisi, çerçeve ve dolgu arasındaki bağlantı detayı ve çerçevenin yükseklik/genişlik oranının etkileri incelenmiştir. Bağlantı elemanı olan ve olmayan boşluksuz dolgular diagonal basınç çubuğundaki ezilme sonucunda göçmüşlerdir. Boşluk olan bağlantısız dolgularda, dolgunun üstündeki hatıl kirişinde oluşan eğilme kırılması ile göçme olurken, bağlantılı olan dolgularda ise yine hatıl kirişinde oluşan kesme kırılması ile göçme meydana gelmiştir. Çerçeve ve dolgu arasındaki bağlantı elemanlarının, boşluklu ve boşluksuz deney elemanlarında rijitlik ve dayanımı arttırdığı gözlenmiştir. Ayrıca boşluğun sistemdeki rijitlik ve dayanımı düşürdüğü sonucu elde edilmiştir.

Hayashi, Niwa ve Fukuhara'nın çalışmaları [41]

Araştırmacılar daha önceden inşaa edilmiş betonarme yapıların güçlendirilmesine yönelik çalışmalar yapmış ve iki güçlendirme yöntemi incelemişlerdir. Yöntemlerden birincisi boş çerçevelerin yerinde üretim betonarme dolgular ile güçlendirilmesi, ikincisi ise kolonların hasır donatı sarılarak mantolanmasıdır. Deneysel çalışmada 6 adet 1/3 geometrik ölçekli, bir açıklıklı, bir katlı deney elemanları test edilmiştir. Deney elemanlarında dört farklı çerçeve ve dolgu birleşim detayı denenmiştir. Bağlantı detayları sırası ile beton kesme kilitleri, sadece yukarıdaki kirişe sabitlenen çelik parçalar, tüm iç kenarlara sabitlenen çelik bağlantı elemanları, tüm iç kenarlara bağlanan çelik levhalar ve çerçevenin iç yüzeylerinin pürüzlendirilmesidir. Deney elemanlarını tersinir tekrarlanır yüklemeler altında test etmişlerdir. Birdöküm deney elemanı tüm dolgu üzerine yayılmış kesme çatlakları ile göçmüştür. Kesme kilitli elemanda, üst kirişe bağlantı amacıyla kullanılan kesme kilitlerinin kırılması sonucunda, çerçevenin kolonlarının uç kısmında oluşan kesme çatlakları ile eleman kesmeden göçmüştür. Çelik filiz donatılı elemanda ise üst kirişe bağlantı oluşturan çelik filizlerin kesilmesi ile göçme gelişmiştir. Güçlendirilen çerçeve elemanlarında yük taşıma kapasitesi, boş çerçeveye göre 3.5-5.0 kat daha fazla ve birdöküm elemanın kapasitesinin 0.55-0.72'si olarak elde edilmiştir. Araştırmacılar güçlendirme metodu olarak bu yöntemin çok iyi sonuçlar verdiği kanısına varmışlardır.

Yoichi ve Toneo'nun çalışması [20]

Araştırmacılar çalışmalarında 13 adet 1/3 geometrik ölçekli, bir açıklıklı ve bir katlı çeşitli dolgular ile güçlendirilen betonarme çerçeve deney elemanı test etmişlerdir. Çalışmalarında boş çerçeveli betonarme yapıları güçlendirmeyi amaçlamışlardır. Bu amaca yönelik olarak yapıların dayanımını, sünekliğini ve enerji tüketim kapasitesini arttırabilmek için çerçeve sistemlere çeşitli dolgular ile güçlendirme yapmışlardır. Güçlendirme için kullanılan dolgu türleri; yerinde üretim tam dolu dolgu, önüretimli panellerin bir boşluk kalacak şekilde çerçeveye yerleştirilmesi, tam dolu önüretimli dolgu duvar, çelik gergi çubuklarının çerçeveye eklenmesi,

betonarme çerçeveye çelik çerçeve yerleştirme ve betonarme çerçeve içerisine çelik kafes kiriş yerleştirilmesidir. Tüm deney elemanları tersinir tekrarlanır yükleme altında test edilmiştir. Güçlendirilen deney elemanları çerçeve sistem ve birdöküm perde duvar arasında bir davranış sergilemiştir. Boşluklu ve boşluksuz önüretimli panelin ve yerinde dökme betonarme perdenin dayanımı boş çerçeve sisteme göre 3-4 kat daha fazla olmuştur. Çelik gergi ve çerçeve ile güçlendirilen elemanlar önüretimli deney elemanı kadar sünek bir davranış sergilemiştir. Tüm deney elemanlarının rijitlik ve dayanımı elastik olmayan analitik çerçeve modellemesi ile hesaplanmış ve sonuçları deney sonuçlarıyla karşılaştırılarak iyi bir uyum gösterdiği görülmüştür.

Broken ve Bertero'nun çalışması [7]

Araştırmacılar betonarme çerçeve ve dolgu sistemlerin dinamik davranışını incelemek amacıyla 18 adet deney elemanını tersinir tekrarlanır yükler altında test etmişlerdir. Deney elemanları gerçek 11 katlı ve 3 açıklıklı bir yapı çerçevesinin bir bölümü gözönüne alınarak, 1/3 geometrik ölçekli olarak, Bertero ve Klingner'in deney elemanlarına özdeş olacak şekilde seçilmişlerdir. Çalışmada değişken olarak birbirinden farklı dört tip dolgu malzemesi seçilmiştir. Bunlar sırası ile kil ve beton tuğlalar, dışına hasır donatı yerleştirilmiş tuğlalar ve hafif beton paneller olarak sıralanabilir. Elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

- Donatı olsun veya olmasın dolgu, boş çerçeve sistemlerin yanal rijitlik ve dayanımını önemli ölçüde artırmaktadır.
- Yanal rijitlik ve dayanım yük geçmişi ile yakından ilgilidir. Tekdüze yüklemeler altında panel donatısının detaylandırması ve yerleşim düzeni davranışı fazla etkilememiştir. Fakat tekrarlanır yüklemede donatı detaylandırması, yerleşimi ve panel ile çerçeve arasındaki bağlantı şekli davranış üzerinde büyük etkiler yapmaktadır.

- Tüm deney elemanlarında hasar birinci katta yoğunlaşmıştır.
- Başlangıç yanal rijitliği olarak birdöküm perde duvar boş çerçeveye göre 4.8-5.8 kat daha iyidir.
- Panel eklenmesi boş çerçevenin dinamik davranışını önemli bir şekilde değiştirmiştir.
- Panel eklenmesi, boş çerçeve sistemlere göre yanal deplasman yapmayı önemli ölçülerde azaltmıştır.

Kaldjian'ın çalışması [29]

Bu çalışmada araştırmacı çerçeve ve dolgunun analitik olarak modellenmesi için sonlu eleman yöntemini kullanmıştır. Analiz sonuçları deneysel sonuçlarla uyumludur. Çerçeve ve dolgu, üçgen elemanlarla ayrı ayrı modellenmiş ve aradaki bağlantı elemanları olarak yaylar kullanılmıştır.

Yüzügüllü ve Kaldjian'ın çalışması [29]

Araştırmacılar, birbirlerine bir kirişle bağlı, simetri ekseninde bir kolona sabitlenmiş, iki adet kanat şeklinde panel duvarlı 10 adet deney elemanı test etmişlerdir. Deney elemanları 1/2 geometrik ölçeğe sahiptir. Sonuç olarak birdöküm duvara göre panel duvarların daha fazla deplasman yaptığı ve enerji tükettiği ve çelik bağlantı parçalarının bu konuda önemli rol oynadığı kanısına varılmıştır. Ayrıca çalışma sonuçları sonlu eleman yaklaşımı ile oluşturulan bir model ile karşılaştırılmıştır.

Liauww ve Kwan'ın çalışması [30]

Çalışmada araştırmacılar dolgulu betonarme çerçevelerin plastik analizi için bir analitik model geliştirmişlerdir. Geliştirilen yöntem deney sonuçları ile karşılaştırılarak test edilmiştir.

Achyutha ve diğerlerinin çalışması [31]

Bu çalışma tuğla dolgulu çerçevelerin analizi için sonlu eleman yöntemi kullanılarak yapılan bir araştırmayı içermektedir. Ayrıca çalışma bir adet kapı veya pencere boşluğu olan veya tam dolu çerçevelerin analizini de kapsamaktadır. Boşluğun üstünde yer alan hatıl modele dahil edilmiştir. Sonlu eleman modelinde çerçeve ve dolgu arasındaki ayrılma, kayma ve sürtünme kaybı dikkate alınmıştır. Araştırmada dolguda yer alan bir adet boşluğunun büyüklük olarak değişimi ve boşluk etrafına yerleştirilen rijit çubukların yerleşim şeklindeki değişimin, sistemin yanal rijitlik ve dolgu içindeki gerilme dağılımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Model ve deneysel sonuçlar karşılaştırılarak modelin doğruluğu kontrol edilmiştir.

Altın, Ersoy ve Tankut'un çalışması [8-10]

Araştırmacılar 14 adet iki katlı ve bir açıklıklı, 1/3 geometrik ölçeğe sahip deney elemanları üzerinde deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmada betonarme çerçevelerin betonarme dolgu duvarlar ile güçlendirilmesi sonucunda ortaya çıkan davranış ve dayanım değişikliğini incelemişlerdir. Deney elemanları önceden hasar almamış boş çerçevelere sonradan eklenen betonarme dolgu duvarlar ile güçlendirilmiştir. Deneysel çalışmada incelenen değişkenler; betonarme dolguda donatı yerleşim biçimi, betonarme dolgu ile çerçeve sistemi arasındaki yük aktaran donatıların detaylandırılması, kolon eğilme kapasitesi, kolondaki eksenel yük miktarındaki değişim ve çerçevenin beton basınç dayanımıdır. Tüm deney elemanları tersinir tekrarlanır yüklemeler altında test edilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

- Çerçeve ve betonarme dolgu duvarı arasındaki yük aktaran donatı detayının, dayanım ve süneklik düzeyi üzerindeki etkisinin önemli olduğu sonucuna varılmıştır.
- Kolon eğilme kapasitesinin ve eksenel yükün artması, davranışın iyi yönde gelişmesini ve deney elemanının dayanımının artmasını sağlamıştır.
- Betonarme dolgu duvarı ile güçlendirilen deney elemanlarında davranışı en çok etkileyen faktörün çerçeve ile betonarme dolgu arasındaki yük aktarma mekanizmasında da en önemli rolü üstlenen, dolguyu çerçeve sisteme sabitleyen donatı detaylandırması olduğu genel kanısına varılmıştır.

Saatçioğlu'nun çalışması [42]

Çalışmada betonarme kısa perdelerin deprem yükü altında davranışı deneysel olarak araştırılmıştır. Büyük ölçekli perde elemanlar tersinir tekrarlanır yükler altında denenmiştir. Asal çekme kırılmalarının duvar donatısı ile önlendiği elemanlarda, perde tabanı boyunca kesme kayması gözlemlenmiştir. Kesme kaymasının kısa duvarlarda kritik olduğu ve bu tür davranışın perde sünekliğini azalttığı deneylerle gösterilmiştir. Aynı çalışmada kaymayı önleyici özel donatı türü geliştirilmiştir. Bu donatı kritik kesite, dik kısa çubuklardan oluşmaktadır. Çubuklar kritik kesit boyunca oluşan eğilme çatlağını bağlayıcı nitelikte olup, bu bölgedeki çatlak konumunu değiştirerek kritik yüzeyde beton kesme dişleri oluşturmaktadır. Bu tür donatının kullanıldığı deney elemanlarında kaymanın tamamen ortadan kalktığı gözlenmiştir.

Sittipunt ve Wood'un çalışması [43]

Çalışmada yüksekliği genişliğine göre büyük olan betonarme perdelerin tersinir tekrarlanır yüklemeler altındaki davranışına gövde donatısının etkisi incelenmiştir. Dört adet deney elemanı üzerinde deneysel bir araştırma yapılmıştır. Bu deney

elemanlarından ikisi yaygın olarak kullanılan ortogonal donatı, diğer ikisi ise diagonal donatı yerleştirilen elemanlardır. İki tip donatı detaylandırma tekniği karşılaştırıldığı zaman yatay yük taşıma kapasitesi yönünden önemli farklılık gözlenmemiştir. Diagonal donatı detayına sahip elemanlar diğerlerine göre daha az kesme çatlağı genişliği ve daha fazla enerji tüketim kapasitesi sergilemişlerdir.

Kato ve diğerlerinin çalışması [21]

Bu çalışmada genel olarak bir adet boşluk içeren önüretimli dolgu duvarların tasarımında taşıma gücü yönteminin uygulanması ve boşluk etrafındaki donatı detaylandırmasının davranışa olan etkisi analitik bir yaklaşımla incelenmiştir. Çalışmada araştırılan boşluklu perdeler önüretimli olarak üretilen elemanlardır ve sadece dolgu ortasında yer alan pencere veya kapı boşluğu şeklindeki bir boşluğun yanal dayanım ve rijitlik üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada dolguda yer alan boşluğun etrafına yerleştirilecek donatı detayları hakkında da bir araştırma yapılmıştır. Araştırmada sadece taşıma gücü yaklaşımı kullanılarak yukarıda ifade edilen tip duvarlar için bir analiz yönteminden bahsedilmiş ve çok sınırlı sayıda bu konuda yapılmış deney sonuçları ile yöntem kontrol edilmiştir.

Sittipunt ve Wood'un çalışması [32]

Bu araştırma gövde donatısının, betonarme tam dolu ve bir adet pencere boşluklu perdelerin tersinir tekrarlanır yükler altındaki davranışına etkisini inceleyen analitik bir çalışmadır. Betonarme perdeler, alçak ve orta yükseklikte yapıların depreme dayanımını artırmak ve davranışını iyileştirmek için kullanılan bir elemandır. Yapıların deprem davranışı perdelerin davranışı ile çok yakından ilgilidir. Perdelerin yatay yükler altında kesme kırılması şeklinde göçmesi, depremler ve bazı laboratuvar deneyleri sonucunda görülmüştür. Perdelerin yatık ve az enerji tüketen yük-deplasman grafikleri sergilemesi ve rijitlik kayıplarının tersinir tekrarlanır yükler altında çok olması istenmeyen bir davranış biçimidir. Gövde ezilmesi sonucunda oluşan ani ve gevrek kırılmalar da istenmeyen bir göçme biçimidir. Bu analitik çalışmada betonarme perdelerin tersinir tekrarlanır yükler altındaki davranışının

incelenmesi ve perdelerin önemli yapısal parametrelerinin kontrol edilmesi için 1970 yılında Portlant Çimento Birliği tarafından yapılan 13 adet perde duvar deney sonuçları kullanılmıştır. Ayrıca geliştirilen model kullanılarak perdelerin tersinir tekrarlanır yükler altındaki davranışını incelemek ve kesme kırılması göçme modunu ortadan kaldıracak gövde donatı detaylandırmaları araştırmak amacıyla ek analizler yapılmıştır. Analitik çalışmada sonlu elemanlar yönteminden yararlanılmıştır. Modelde beton için non-lineer bir malzeme modeli ve çelik için ise pekleşmeyi içeren bir malzeme modeli kullanılmıştır. Sonlu eleman analiz sonuçları, bir adet boşluk içeren ve tam dolu perdeler için yapılan deneysel araştırma sonuçları ile karşılaştırılarak model kontrol edilmiştir. Aynı model kullanılarak çeşitli gövde donatısı tipleri için analizler yapılmıştır.

Kato ve diğerlerinin çalışması [22]

Bu çalışmada birdöküm olarak üretilmiş betonarme perdelerde boşluk alanı büyüklüğü ve yerinin, perde yatay deplasman kapasitesi ve dayanımı üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak üretilen 6 adet deney elemanı test edilmiştir. 4 adet deney elemanında perde ortasında yer alan pencere boşluğu ve boşluk alanı büyüklüğünün değişimi incelenmiştir. Diğer 2 elemanda ise merkezde olan ve olmayan kapı boşluğu üzerinde inceleme yapılmıştır. İncelenen diğer bir parametre ise kanat duvarlarında boşluk çevresine yerleştirilen donatı miktarının değişimidir. Deney sonuçlarında boşluklu perde tarafından taşınan kesme kuvvetinin sadece basınç etkisinde kalan kanat kısmı tarafından taşınmasına karşın, eğilme dayanımı ve deplasman kapasitesinin boşluksuz perdelerle göre çok fazla değişim göstermediği bulgularına ulaşılmıştır. Ancak eğer boşluk orta kısımda yer alıyor ve etki eden kesme kuvveti iki tarafta yer alan kanat duvarları tarafından taşınıyor ise eğilme dayanımı ve yatay deplasman kapasitesinde boşluk nedeniyle bir düzeltme yapılması gerekliliği sonucu elde edilmiştir.

Türk'ün çalışması [44]

Bu çalışmada bir açıklıklı, iki katlı 1/3 geometrik ölçekli 9 adet deney elemanı test edilmiştir. Çalışmada hasar görmüş çerçeve sistemlere sonradan eklenen yerinde dökme betonarme dolgu duvarların etkileri incelemiştir. Tüm deney elemanları tersinir tekrarlanır yükleme altında test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca özetlenecektir.

- Betonarme dolgunun davranışını etkileyen en önemli parametre, çerçeve sistem ile dolgu arasındaki yük aktarma mekanizmasında en önemli role sahip olan, dolguyu çerçeve sisteme sabitleyen donatı detaydır. Bu birleşimin başarısı ise tamamen işçilikteki gösterilen özene bağlıdır.
- Çerçeve kolonlarında katlar seviyesinde yapılan yetersiz uzunluktaki bindirme ekleri dolgulu deney elemanının dayanım ve sünekliğini son derece azaltmıştır.
- Boş çerçevedeki hasar miktarının değişimi betonarme dolgu duvarın davranışını çok değiştirmedeği gözlemlenmiştir.
- Betonarme dolgu duvarların yatay dayanımının boş çerçevelere göre 8-13 kat daha fazla olduğu ve başlangıç süneklik değerinin de 19-24 kat daha fazla olduğu gözlenmiştir.

Taylor ve diğerlerinin çalışması [24]

Bu çalışma alt kısmında bir adet boşluğu olan, yüksekliği genişliğine göre çok büyük betonarme perdelerle ilgili deneysel ve analitik bir araştırmadır. Araştırmanın birinci amacı, düşey sınır donatılarının deplasmana bağlı bir metodla seçiminin incelenmesi ve yatay donatıların kafes kiriş analojisi metodu ile seçiminin araştırılmasıdır. 1/4 ölçekli iki adet deney elemanı sabit eksenel yük altında tersinir tekrarlanır yükleme ile test edilmiştir. Deneysel sonuçlar, yukarıda önerilen analitik yöntemler

kullanılarak donatılandırılan deney elemanlarının iyi bir davranış ve süneklik sergilediğini göstermiştir.

Buonopane ve White'nin çalışması [33]

Çalışmada 1/2 lekli, iki açıklıklı ve iki katlı tuğla dolgulu betonarme ereve deney elemanı üzerinde, dinamik yükleme altında test yapılarak bu sistemin deprem davranışı üzerinde bir araştırma yapılmıştır. İkinci kat tuğla dolgularında pencere boşluğu yer almaktadır. Çalışmada deney sonuçları kullanılarak sistemin yanal rijitlik ve deplasman kapasitesini tahmin etmek için farklı diagonal çubuk biçimleri analitik olarak incelenmiş ve sonuçlara en uygun olanı araştırılmıştır. Ayrıca kesme dayanımının tahmini için bir model oluşturulmaya çalışılmış ve model deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Sonuvar'ın çalışması [45,46]

Çalışmada onarım görmüş boş çerçeveye betonarme dolgu duvarların etkisinin incelenmesi amacıyla bir açıklıklı, iki katlı, 1/3 geometrik ölçeğe sahip 5 adet deney elemanı test edilmiştir. Ağır hasar görmüş boş ereve deney elemanları, yerinde döküm betonarme dolgu duvarlar ile onarıldıktan sonra tersinir tekrarlanır yükleme altında test edilmiştir. Boş çerçevelerde gerçek yapılarda var olan yetersiz sargı donatısı, kötü beton dayanımı, güçlü kiriş zayıf kolon bağlantısı, yetersiz boyuna donatı bindirme boyu gibi tüm istenmeyen özelliklerin olmasına çalışılmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

- Betonarme dolgu duvarı, ağır hasar görmüş çerçevenin dayanım ve sünekliğini önemli ölçüde artırmıştır.
- Betonarme dolgu duvara ek olarak çerçevede yetersiz bindirme boyu sonucunda kolonlarda oluşan hasar için uygulanan elik mantolama uygulamasının iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

- Çerçevenin beton basınç dayanımının, yerinde dökme betonarme dolgunun çerçeveye sabitlenmesi için eklenen donatıların başarısını önemli ölçüde etkilediği sonucuna varılmıştır.
- Betonarme dolgu duvarın hasar görmüş çerçeveye eklendikten sonra yatay kat ötelenmesi değerlerini sınırladığı gözlenmiştir.

Canbay'ın çalışması [47]

Çalışmada betonarme dolgu duvarı ile onarılmış olan boş çerçeveler üç açıklıklı, iki katlı, 1/3 geometrik ölçeğe sahip bir deney elemanı üzerinde incelenmiştir. Gerçek yapılarda uygulanan onarım işlemi sonucunda, yapıyı oluşturan diğer çerçeve elemanları ile betonarme dolgu duvarı ile onarılmış olan çerçeve arasındaki etkileşimin ve yük paylaşımının gerçeğe daha uygun bir şekilde incelenmesi amaçlanmıştır. Bu paylaşımın takip edilebilmesi için dolgu duvarının eklenmediği açıklıkların kolonları altına yatay deprem yükü uygulanması sonucunda gelen kesit tesiri değerlerinin izlenebilmesi için özel bir ölçüm aracı geliştirilmiş ve çeşitli deneyler ile kalibre edilmiştir. Aşağıda çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar kısaca özetlenecektir.

- Üretilen ve kalibre edilen özel amaçlı ölçme aracı uygulanan yatay yükün çerçeve kolonları ve çerçeveye sonradan eklenen betonarme dolgu duvarı arasındaki paylaşımı konusunda önemli veriler sağlamıştır.
- Yapılan ölçümler sonucunda, henüz kolon boyuna donatıları akmamış çerçevenin betonarme dolgu duvarı ile onarıldıktan sonra uygulanan yatay yükün yaklaşık %90'nını taşıdığı bulgusuna ulaşılmıştır.
- Betonarme dolgu duvarı eklenmesi sonucunda sistemin başlangıç rijitliğinin çerçeveye göre 15 kat daha fazla olduğu görülmüştür.

- Betonarme dolgu duvarı eklenmiş sistemin yatay yük taşıma kapasitesi boş çerçeveye göre 4 kat artmıştır.
- Analitik olarak yapılan hesaplamalarda, hasar görmemiş çerçeve kolonlarının moment-eğrilik ilişkisinin büyük bir doğrulukla yapılabildiği ancak hasar görmüş çerçeve kolonlarında analitik yaklaşımların iyi sonuç vermediği görülmüştür.
- 40φ filiz boyuna sahip iç kolonlarda aderans ve sıyrılma problemleri olduğu gözlenmiştir.
- Deney sonuçları ve analitik analizler arasındaki yaklaşımları etkileyen en önemli değişkenlerin, donatı aderans boyu ve sıyrılma problemleri olduğu sonuçlarına varılmıştır.

Chai ve Hutchinson'un çalışması [23]

Bu çalışmada bir katlı, bir ve iki açıklıklı, çeşitli büyüklüklerde kapı ve pencere boşluğuna sahip önüretimli paneller tersinir tekrarlanır yüklemeler altında test edilmiştir. Çalışmada panellerde yer alan boşluk alanı büyüklüğünün davranışa olan etkileri araştırılmıştır. Bir katlı, bir açıklıklı modelde tüm panel alanının %36'sını büyüklüğünde pencere ve kapı boşluğu, iki açıklıklı modelde ise %31'i büyüklüğünde pencere ve kapı boşluğu düzenlemesi yapılmıştır. Çalışma halen devam etmektedir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Genel

Taşıyıcı sistemi betonarme çerçevelerden oluşan yapılarda sistem güçlendirilmesi için genelde betonarme dolgu duvarları kullanılmaktadır. Betonarme dolgu duvarlarında mimari zorunluluklar nedeniyle boşluklar bırakılmaktadır. Boşluklu betonarme dolgu duvarları ile güçlendirilen çerçevelerin dolgu duvarlarında bırakılan boşluk alanı büyüklüğü ve yerinin dolgulu çerçevenin deprem davranışı üzerindeki etkisi çalışmada incelenmiştir. Deney elemanlarının belirlenmesinde Yapı Mekaniği Laboratuvarının teknik koşulları sınırlayıcı etken olmuştur. Deney elemanları 1/3 geometrik ölçekte, bir katlı ve bir açıklıklı çerçeve elemanı olarak seçilmiştir. Deneyler laboratuvarında bulunan rijit deney platformu üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deney elemanları platforma temel kirişinden sıkı bir biçimde bağlanmıştır. Temel kirişi rijit ve deney elemanı için ankastre mesnet şartlarını olabildiğince sağlayabilecek şekilde tasarlanmıştır. Yüklemeler deney platformunda kurulan bir yükleme düzeneği kullanılarak yapılmıştır. Deney elemanları deprem yüklerini benzeştiren tersinir ve tekrarlanır yanal yükler altında test edilmiştir. Laboratuvar koşulları nedeniyle elemanlara eksenel yük verilememiştir.

Deney elemanının tasarımında uygulamada çok karşılaşılan bazı kusurlu yapım özelliklerinin yer almasına dikkat edilmiştir. Deney elemanlarında kolonlar yükleme doğrultusunda eğilme kapasiteleri düşük olan yönde yerleştirilmiştir. Böylece pratikte çok karşılaşılan zayıf kolon-güçlü kiriş birleşimi çerçeveye yansıtılmıştır.

4.2. Deney Elemanları

Deney programı için toplam 9 adet deney elemanı üretilmiştir. Tüm deney elemanlarının çerçeveleri hem geometri hem de donatı bakımından birbirlerine özdeştir.

Deneysel Değişkenler;

Deney programı, boşluklu betonarme dolgu duvarları ile güçlendirilen çerçevelerin yatay yükler altında davranışlarının araştırılması amacıyla düzenlenmiştir.

Deneyisel çalışmada iki temel değişken gözönünde bulundurulmuştur.

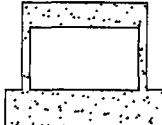
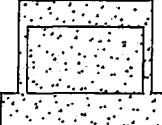
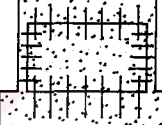
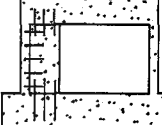
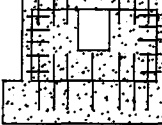
- 1) Çerçeve iç alanındaki boşluk alanı büyüklüğü;
- 2) Çerçeve iç alanında bırakılan boşluğun yeri;

Deney programında test edilen elemanlar Çizelge 4.1’de topluca sunulmuştur. Deney programının ilk iki deney elemanı kontrol amaçlı olarak tasarlanan elemanlardır. 1 nolu deney elemanı boş çerçeve elemanıdır. 2 nolu deney elemanı tam dolu birdöküm betonarme dolgu duvarlı elemandır. Araştırma programının güçlendirilmiş deney elemanlarının davranışları bu iki elemanla göreceli olarak karşılaştırılmıştır. Deney programının diğer elemanları çerçeve iç alanında boşluk alanı ve yeri değişen betonarme dolgu duvarı ile güçlendirilmiş deney elemanlarıdır. 3 nolu deney elemanı yerinde dökme tam dolu betonarme dolgu duvarı ile güçlendirilmiş elemandır. Dolgu duvarı çerçeveye sabitlenen filiz donatıları ile bağlanmıştır. Güçlendirilen 4, 5 ve 6 nolu deney elemanları betonarme dolgu duvarları çerçevenin sol kolonuna birleştirilerek üretilmiş kanat duvarlarıdır. 4 nolu deney elemanında kanat duvarı çerçeve iç alanının %25’i, 5 nolu deney elemanında %50’si, 6 nolu deney elemanında %75’i büyüklüğündedir. Kanat duvarları bu elemanlarda çerçevenin hem kolonuna hem de kirişlerine sabitlenen filiz donatıları ile bağlanmıştır. 7 nolu deney elemanında betonarme dolgu duvarı çerçeve iç alanına iki kanat duvarı olarak yerleştirilmiştir. Kanat duvarları çerçeve iç alanının %75’i büyüklüğünde olup, çerçevenin her iki kolonuna ve kirişlerine sabitlenen filiz donatıları ile bağlanmıştır. 8 nolu deney elemanında betonarme dolgu duvarı çerçeve iç alanına simetrik bir biçimde yerleştirilmiştir. Bu elemanda betonarme dolgu duvarı çerçeve iç alanının %50’si büyüklüğünde olup, çerçevenin sadece kirişlerine sabitlenen filiz donatıları ile bağlanmıştır. Güçlendirilen 9 nolu deney elemanında betonarme dolgu duvarı çerçeve iç alanının %86’sına eşittir. Dolgu duvarında bırakılan 325x435 mm boyutlarındaki boşluk elemanın ortasında ve kirişin altındadır.

Güçlendirilen deney elemanlarının hepsinde betonarme dolgu duvarının serbest kenarına uç elemanı yerleştirilmiştir. Uç elemanı tasarlanırken Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te yeralan tasarım ilkeleri kullanılmıştır [48]. Yönetmelik, perde genişliğinin yüksekliğine oranı 2'den büyük olan perdelerde uç elemanı üretimini zorunlu hale getirmiştir. Uç elemanı genişliği ile ilgili olarak yönetmelikte perde genişliğinin %10'u veya perde kalınlığından büyük olması şartları verilmiştir. Bu iki şarttan en büyük uç elemanı genişlik değerini veren kullanılmıştır. Panel uç elemanı boyuna donatısı olarak 4 adet $\phi 6$ S220 inşaat demiri, kesme donatısı olarak 50 mm aralıklı $\phi 4$ S220 inşaat demiri kullanılmıştır. Uç elemanının genişliği 130 mm, kalınlığı ise betonarme dolgu duvarı kalınlığında 50 mm olarak belirlenmiştir. Dolgu duvarı yatay donatıları "U" şeklinde üretilip uç elemanını sargılamak şeklide bağlanmıştır.

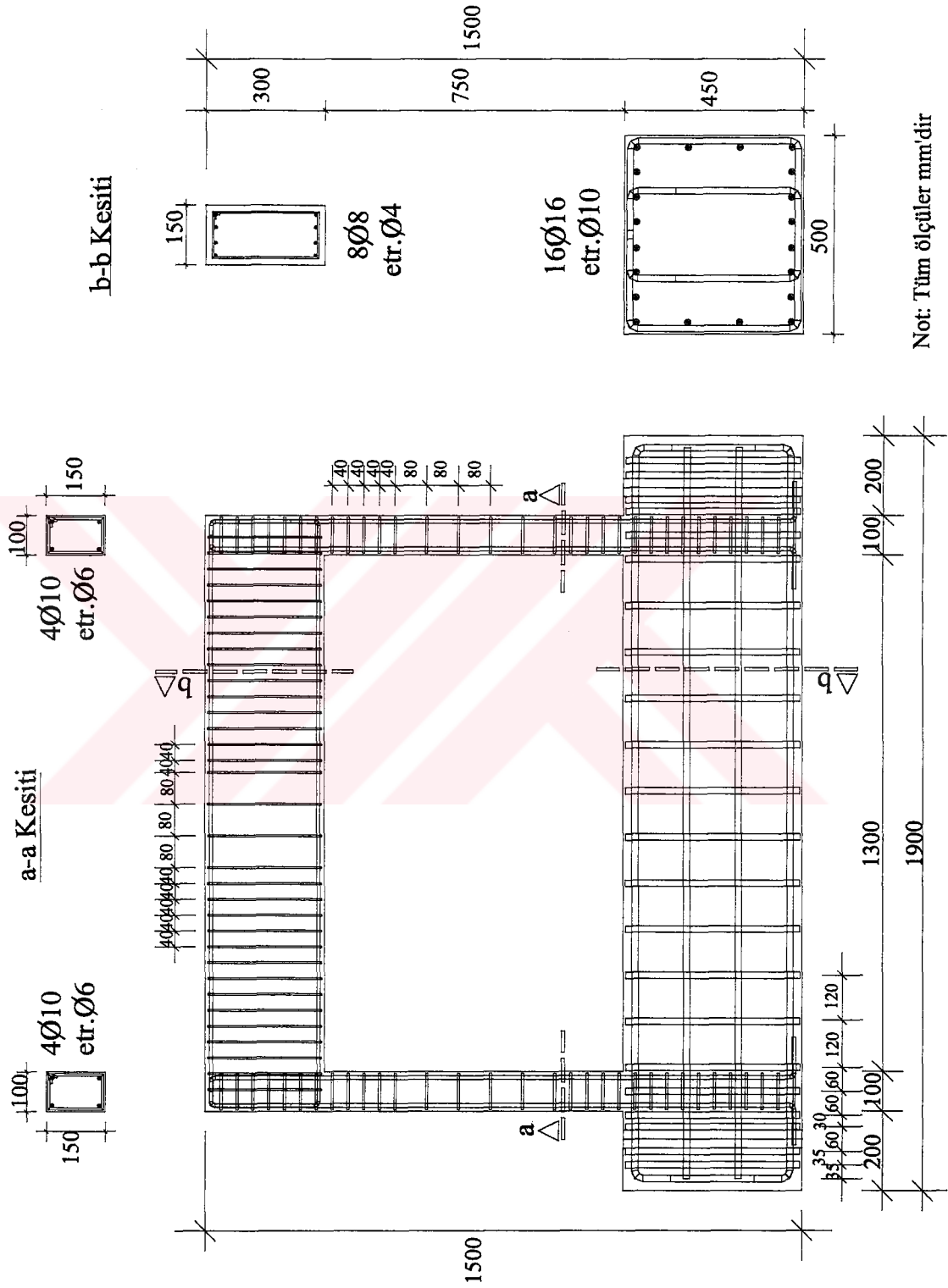
Düşey doğrultuda çerçeveye sabitlenen filiz donatılarının kesit alanı dolgu duvarı düşey donatısı toplam alanından fazladır. Aynı şekilde yatay doğrultudaki filiz donatılarının kesit alanı birdöküm dolgu duvarlı deney elemanının yatay donatı alanından fazladır. Filiz donatısının çapı belirlenirken donatı aralığı ve betonarme dolgu duvarı kalınlığı gözönünde bulundurularak $\phi 10$ mm çapında S420 inşaat demiri kullanılmıştır. Çerçeve elemanlarına filiz donatısı gömülme boyları belirlenirken elemanın geometrik boyutları ve yönetmelik kurallarına uyulmuştur. Gömülme boyu olarak genellikle 15ϕ - 20ϕ ve filiz donatısı kenetlenme boyu olarak ise 30ϕ - 40ϕ yaygın olarak kullanılmaktadır. Gömülme ve kenetlenme boylarının belirlenmesinde deney elemanının geometrik boyutları sınırlayıcı olmuştur. Çerçeve kolonları genişliği 100 mm olduğu için kolonlarda gömülme boyu 8ϕ (80 mm) alınmıştır. Gömülme boyu temel kirişinde 20ϕ (200 mm), çerçeve kirişinde ise 15ϕ (150 mm) yapılmıştır. Kenetlenme boylarında dolgu alanının boyutları gözönünde bulundurulmuştur. Kolonlarda ve çerçeve kirişinde 25ϕ (250 mm), temel kirişinde ise 30ϕ (300 mm) kenetlenme boyu bırakılmıştır. Filiz donatılarının bulunduğu kesitlerde çerçeveye $\phi 12$ mm çapında delikler açılmıştır.

Çizelge 4.1. Deney programı

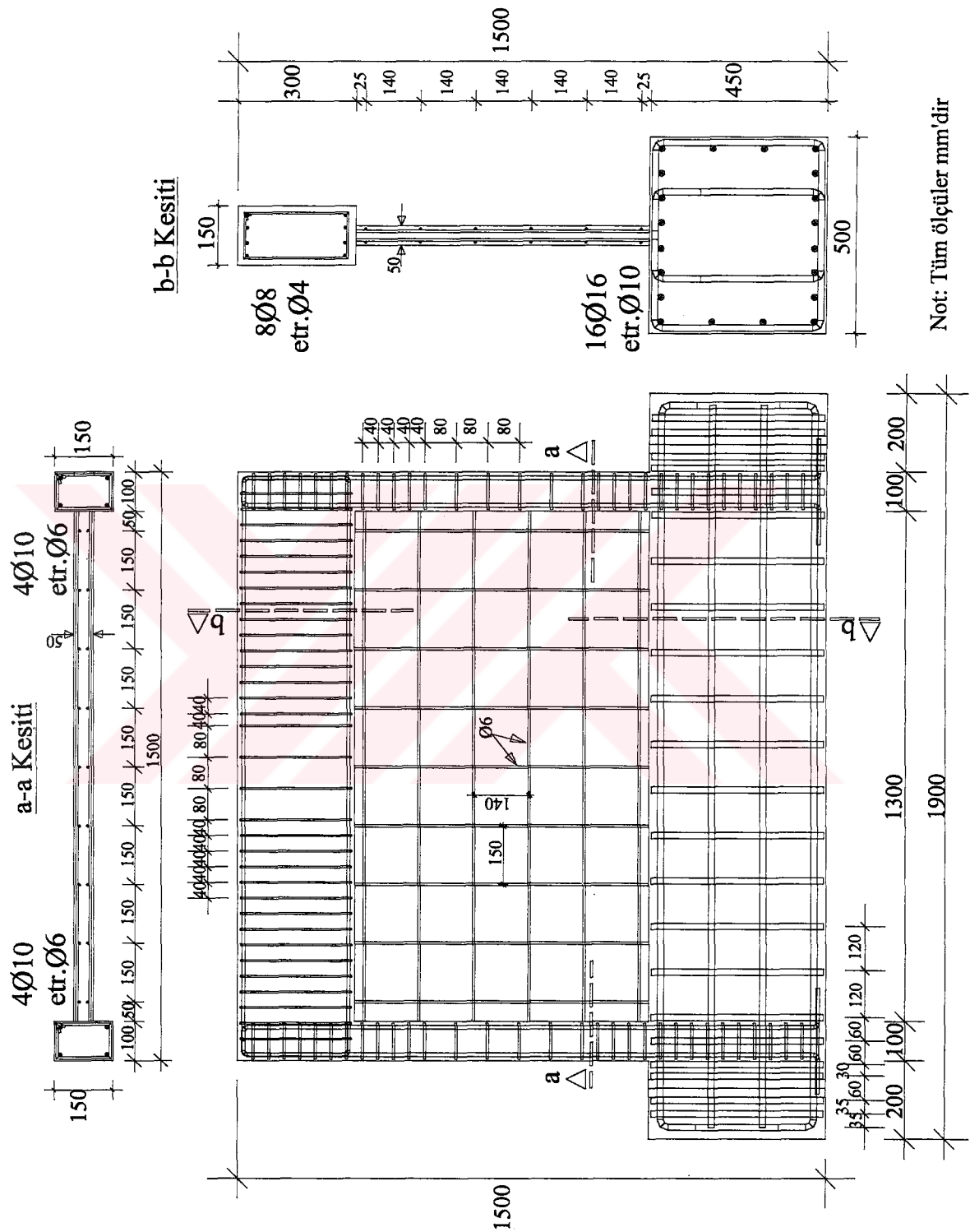
Deney Elemanı No	İşlem Türü	Dolgu duvarı alanı	Dolgu Duvarı Düzeni
		Çerçeve İç Alanı	
1 (Specimen-1)	Kontrol	0	
2 (Specimen-2)	Birdöküm (Kontrol)	1	
3 (Specimen-3)	Güçlendirme	1	
4 (Specimen-4)	Güçlendirme	0.25	
5 (Specimen-5)	Güçlendirme	0.50	
6 (Specimen-6)	Güçlendirme	0.75	
7 (Specimen-7)	Güçlendirme	0.75	
8 (Specimen-8)	Güçlendirme	0.50	
9 (Specimen-9)	Güçlendirme	0.86	

Deney elemanlarında donatı olarak etriye hariç nervürlü S420 inşaat demiri kullanılmıştır. Etriye donatısı olarak da S220 inşaat demiri kullanılmıştır. Deney elemanlarının çerçevesinde; kolon boyuna donatısı olarak $\phi 10$ mm çapında ($\rho=0.021$) S420 inşaat demiri, kolon etriyesi olarak $\phi 6$ mm çapında ($\rho=0.007$) S220 inşaat demiri kullanılmıştır. Kiriş boyuna donatısı olarak $\phi 8$ mm çapında ($\rho=0.004$) S420, kiriş etriyesi olarak $\phi 4$ mm çapında ($\rho=0.002$) S220 inşaat demiri kullanılmıştır. Deney elemanlarının temel kirişinde boyuna donatı olarak $\phi 16$ mm çapında S420, etriye donatısı olarak $\phi 10$ mm çapında nervürlü inşaat demiri kullanılmıştır. Üretim sırasında tüm elemanlarda çerçevelerin donatı kafesleri hazırlanmış ve beton dökümüne kadar hazır bekletilmiştir. Çerçeve olarak üretilen deney elemanlarında dolgu duvarı donatısı olarak $\phi 6$ mm çapında S220 inşaat demiri kullanılmıştır. Dolgu duvarı yatay donatı oranı ($\rho_h=0.009$) tüm deney elemanlarında aynıdır. Deney elemanları dolgu duvarları düşey donatı oranları farklıdır. Birdöküm ve boşluksuz dolgu duvarı ile güçlendirilen deney elemanlarında düşey donatı oranı $\rho_v=0.008$ 'dir. Boşluklu dolgu duvarı ile güçlendirilmiş deney elemanlarında düşey donatı oranı 0.008 ile 0.009 arasında değişmektedir. Boşluklu betonarme dolgu duvarlarında, duvar içerisinde yer alan uç elemanında boyuna donatı olarak $\phi 6$ mm çapında S220 inşaat demiri, ve uç elemanının etriyesi olarak $\phi 4$ mm çapında S220 inşaat demiri kullanılmıştır. Betonarme dolgu duvarları ile güçlendirilen deney elemanlarında çerçeve ile dolgu duvarı arasındaki bağlantı, çerçeveye sabitlenen filiz donatıları ile gerçekleştirilmiştir. Filiz donatısı olarak $\phi 10$ mm çapında nervürlü S420 inşaat demiri kullanılmıştır.

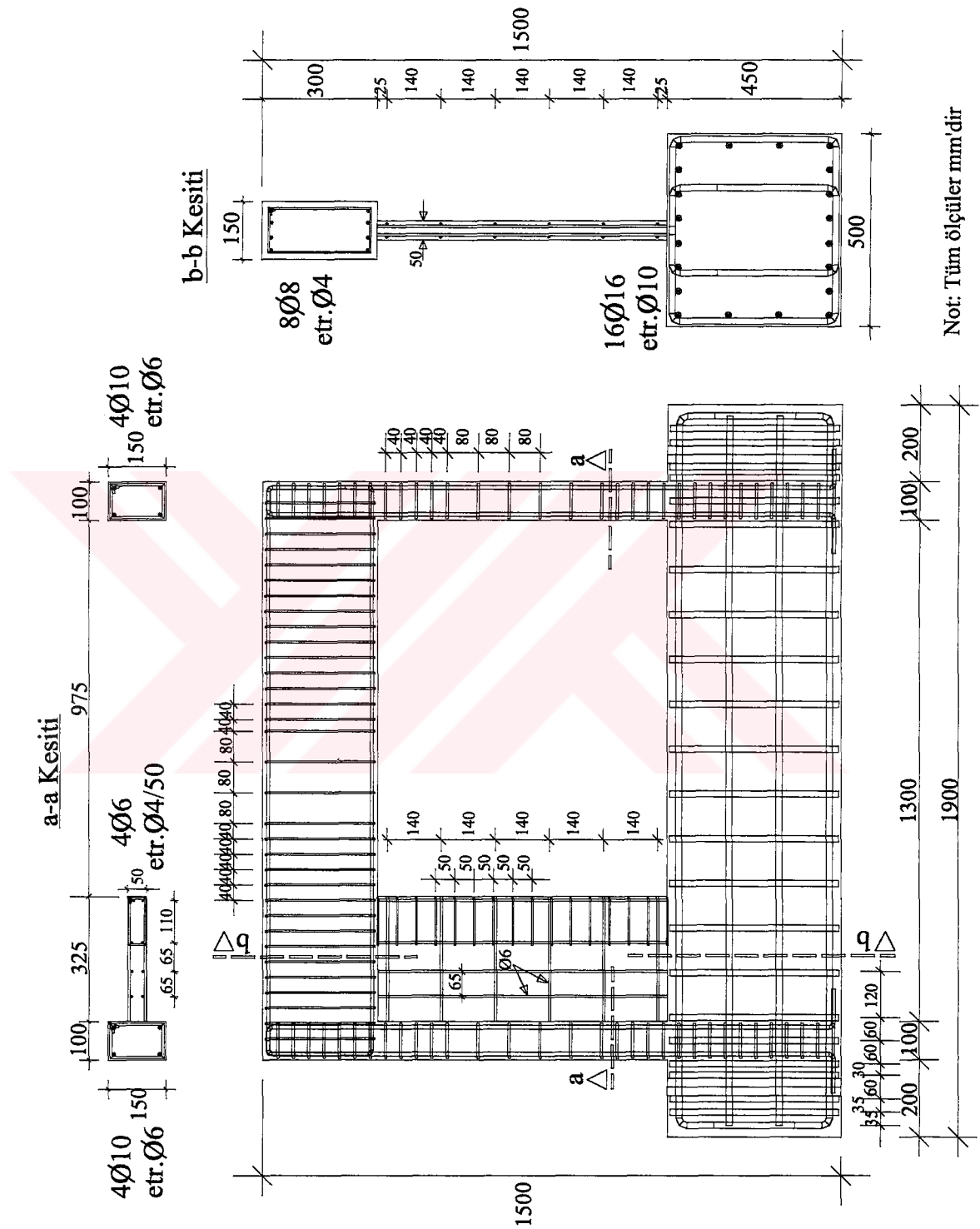
Boşluklu betonarme dolgu duvarlı deney elemanlarında dolgu duvarına yerleştirilen panel düşey donatılarının sayısı dolgu duvarı genişliği ile değişim göstermiştir. Panellerde düşey donatılar, tam dolu birdöküm dolgu duvarının eşdeğeri kesitindeki düşey donatı sayısına eşittir. Deney elemanlarının panelinde yatay donatılar aynıdır. Tüm deney elemanlarının yatay donatı oranları birdöküm deney elemanı ile özdeştir. Deney programında yer alan deney elemanlarının geometrisi ve donatı detayları Şekil 4.1'den başlayıp – Şekil 4.9'a kadar verilmiştir.



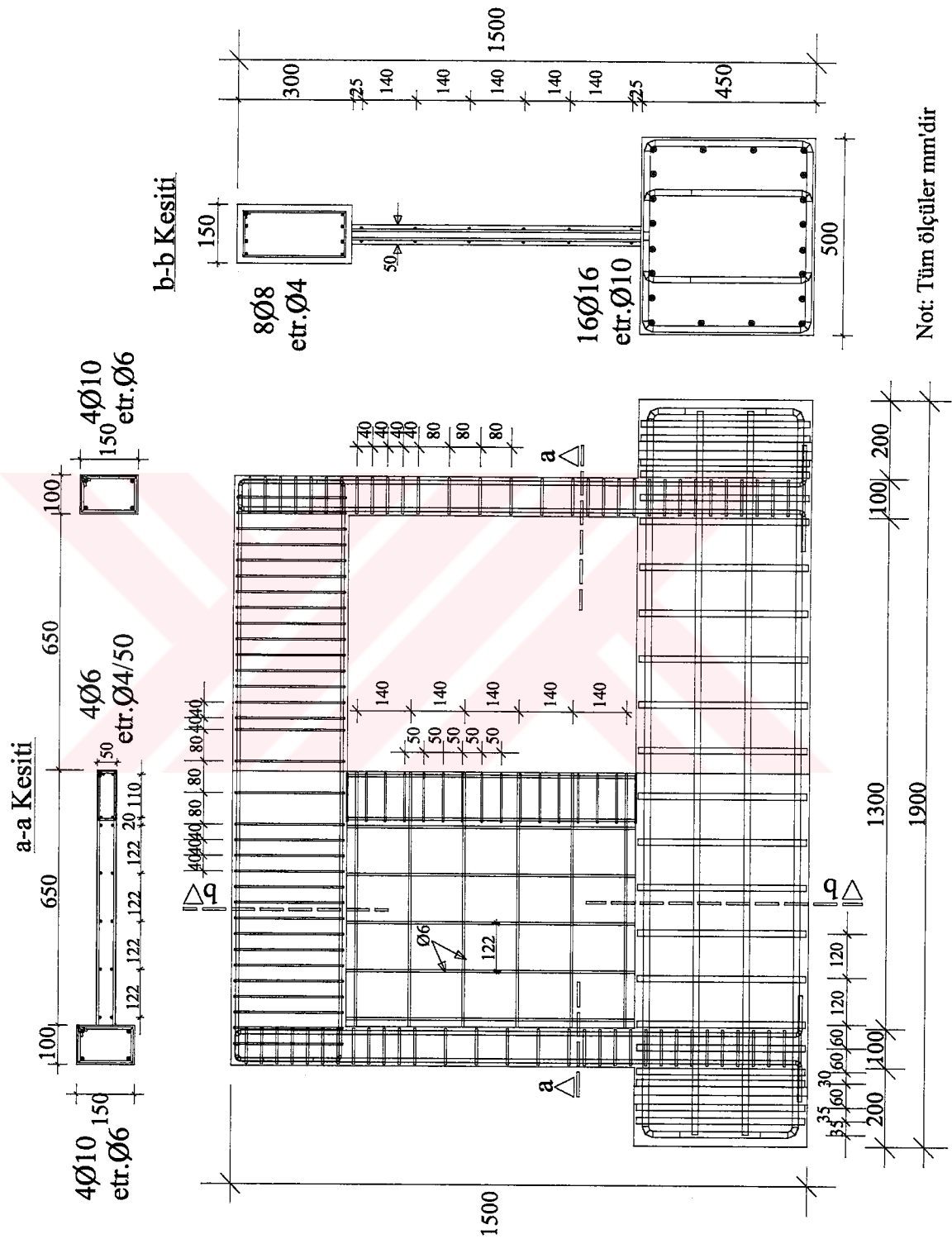
Şekil 4.1. Deney Elemanı-1'in donatı detayı



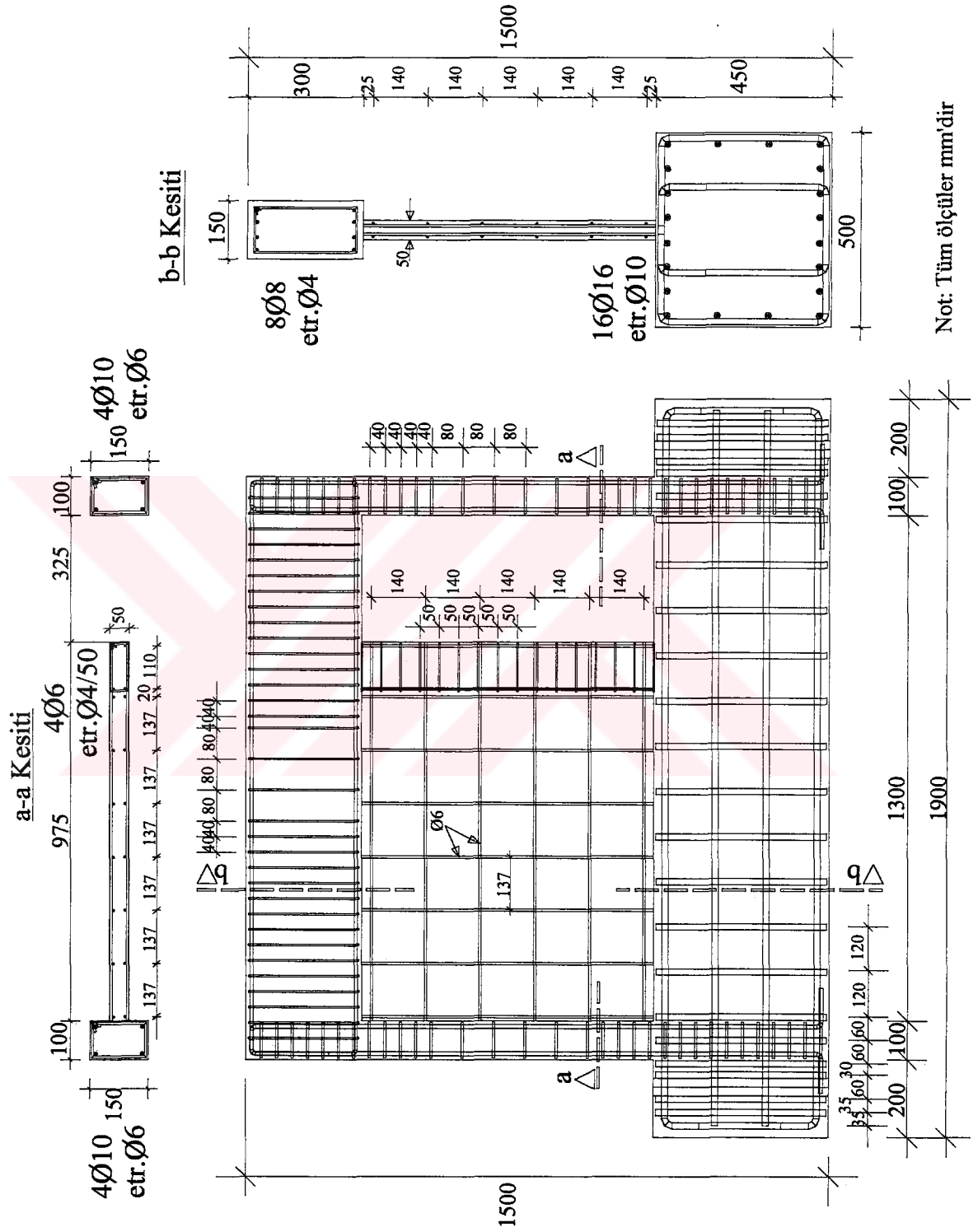
Not: Tüm ölçüler mm'dir



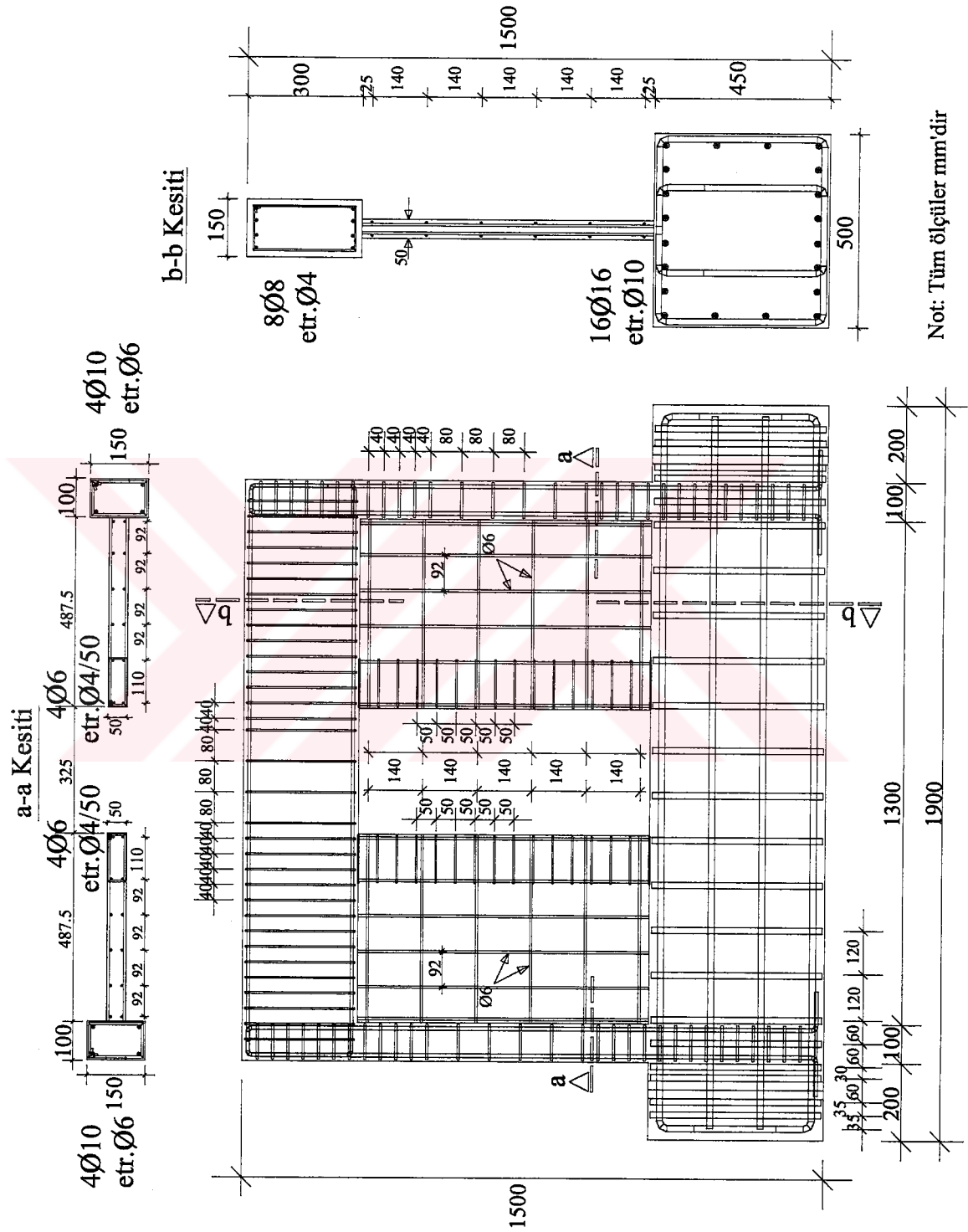
Not: Tüm ölçüler mm'dir



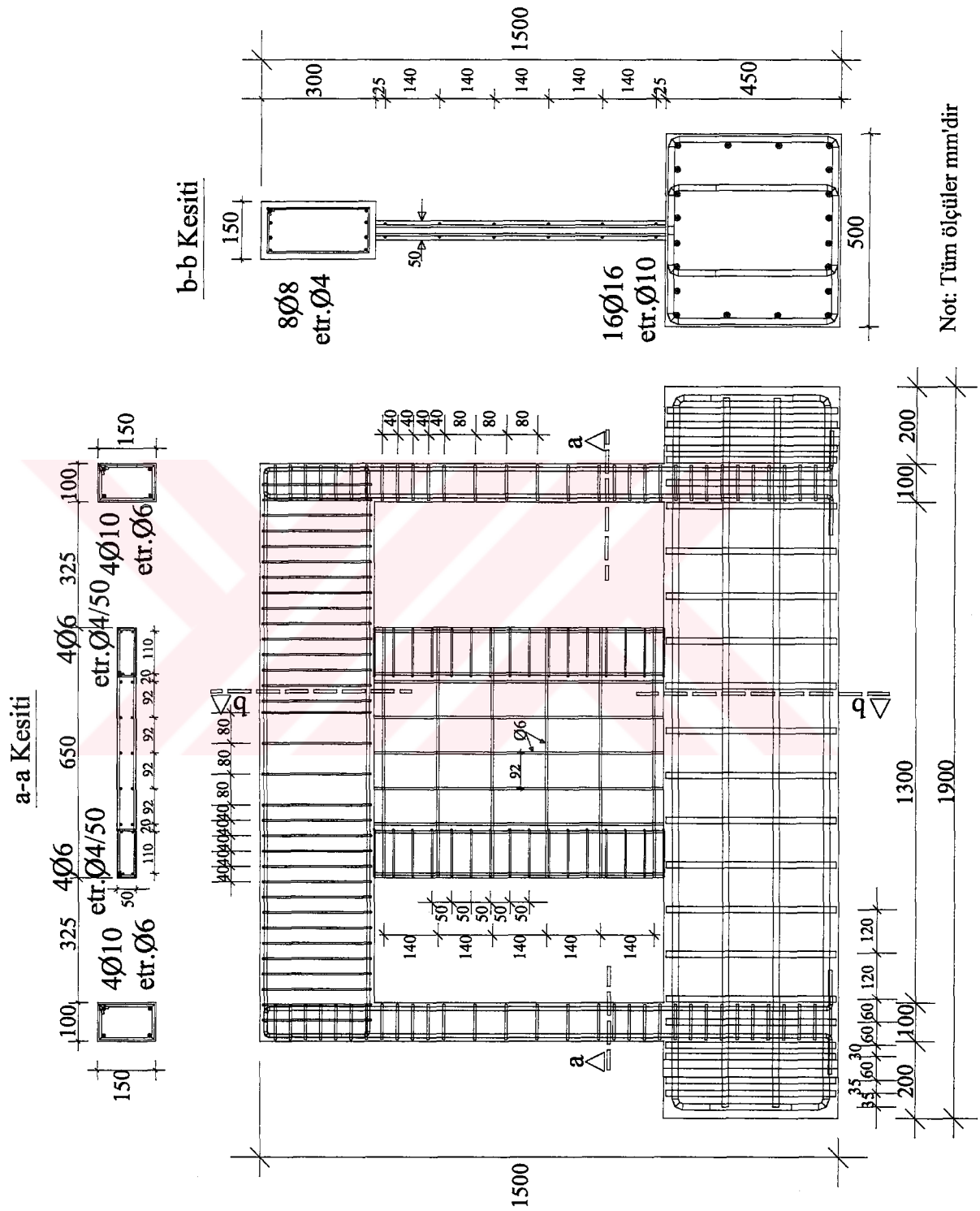
Şekil 4.5. Deney Elemanı-5'in donatı detayı



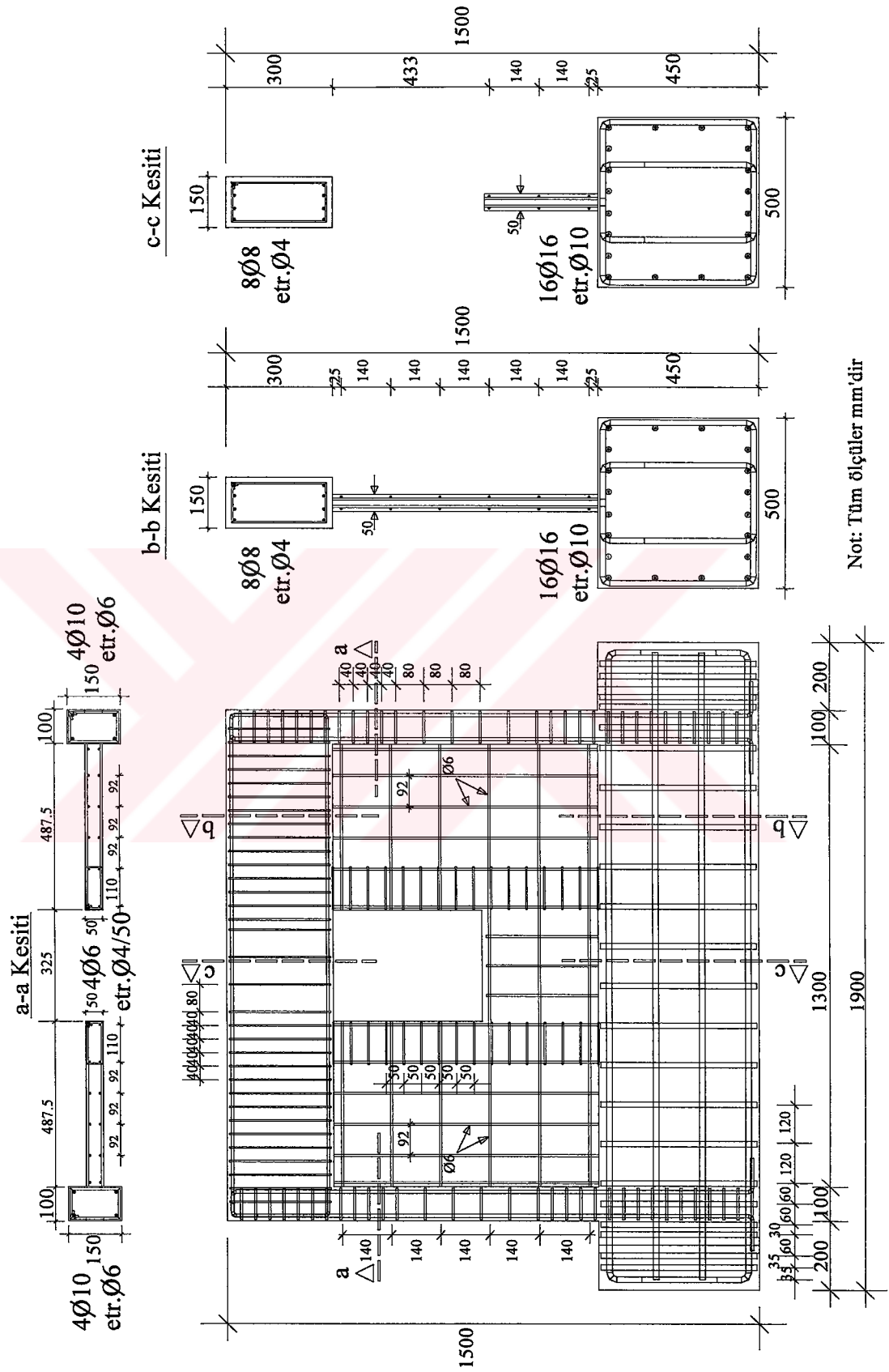
Şekil 4.6. Deney Elemanı-6'nın donatı detayı



Not: Tüm ölçüler mm'dir



Not: Tüm ölçüler mm'dir



Şekil 4.9. Deney Elemanı-9'un donatı detayı

Deney Elemanlarının Üretilmesi;

Deney elemanlarının üretilmesine donatıların hazırlanmasıyla başlanmıştır. Elemanların donatı kafesleri oluşturulurken temel kirişi, kolon ve kirişlerin donatıları önce ayrı ayrı hazırlanmıştır. Hazırlanan donatılar birleştirilip bağ telleri ile sıkıca bağlandıktan sonra kalıp içerisine yerleştirilmiştir. Birdöküm deney elemanında panel donatısı hazırlanan çerçeve donatısının içine yerleştirilmiştir. Diğer elemanlarda dolgu duvarı sonradan çerçeveye bağlanacağı için boş çerçevenin donatılarının hazırlanması yeterli olmuştur. Pas paylarına özen gösterilerek kalıp içerisine yerleştirilen donatılar birbirleriyle bağlanmıştır. Laboratuvar da beton dökümüne hazır bir çerçevenin donatı kafesi Şekil 4.10'da görülmektedir.



Şekil 4.10. Kalıp içine yerleştirilmiş çerçeve donatısı

Deney elemanlarının beton dökümünde çelik kalıp kullanılmıştır. Çelik kalıp 3 mm kalınlığında sacdan üretilmiştir. 40x40 mm kutu profilden imal edilen çelik kuşaklar kaynaklanarak kalıp yüzeyleri rijit hale getirilmiştir. Hazırlanan donatı kafesleri çelik

kalıba yerleştirilmeden önce elik kalıp dikkatlice yağlanmıştır. Elemanların donatı kafesleri pas paylarına ezen gösterilerek kalıp içerisine yerleştirilmiştir. Donatı kafesi kalıba yerleştirildikten sonra deney elemanının rijit döşemeye bağlanacağı noktalarda iki elik boru temel kirişinin içerisine yerleştirilip elik kalıba sabitlenmiştir. Böylece eleman beton dökümüne hazır hale getirilmiştir. Deney elemanları yatay pozisyonda dökülmüştür. Beton dökümünde Yapı Mekanığı Laboratuvarında bulunan 250 dm^3 kapasiteli betoniyer kullanılmıştır. Her beton dökümünden önce kullanılacak agregalar laboratuvarda kurutularak hazırlanmıştır. Beton dökümü için kullanılan karışımda 1 m^3 beton için gerekli olan malzemeler bölüm 4.3.2’de sunulacaktır. Her deney elemanı silindir numuneleri ile birlikte 7 karışım yapılarak betonu dökülmüştür. Beton döküm işlemi sırasında her karışım için gerekli olan agrega ve imento betoniyer içerisine döküldükten sonra hesaplanan miktar kadar su malzemeler üzerine eklenmiştir. Tüm malzemeler betoniyere konulduktan sonra en az 4 dakika karıştırma işlemine devam edilmiştir (şekil 4.11). Betonun kalıp içerisine yerleşiminde vibratör kullanılmıştır.



şekil 4.11. Beton dökümü tamamlanmış ereve

Beton dökümü tamamlanan deney elemanları laboratuvar ortamında korunmuşlardır. Beton dökümünden bir gün sonra kalıp yan yüzeyleri açılmış ve deney elemanı ıslak çuvallara sarılarak beton kürüne başlanmıştır. Dolgu duvarları için işlemlere elemanın kürü tamamlandıktan sonra geçilmiştir. Birdöküm olarak üretilecek deney elemanına, dolgu duvarı için ahşaptan bir kalıp yapılmıştır. Daha sonra betonarme dolgu duvarı donatısı boş çerçeve donatı kafesi içerisine yerleştirilerek beton dökümü dolgu duvarı ile beraber yapılmıştır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Deney Elemanı-2 beton dökümü öncesinde

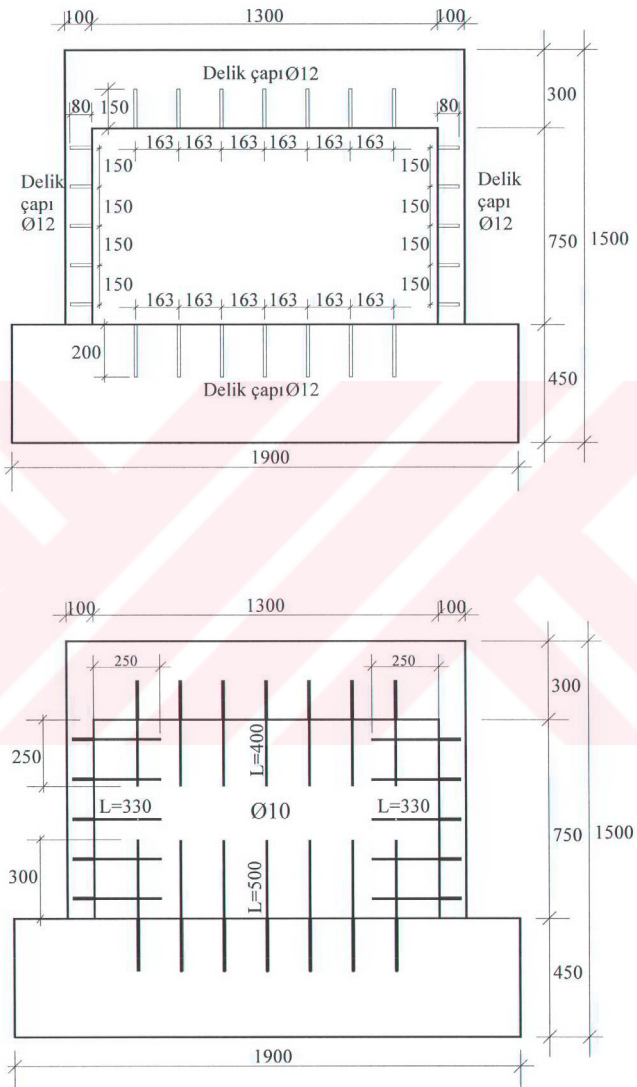
Güçlendirilecek tüm deney elemanlarında önce boş çerçevenin betonu dökülmüştür. Boş çerçeve olarak betonu dökülen deney elemanlarının laboratuvarda 28 gün süreyle kürü yapılmıştır. Bu süre sonunda filiz donatılarının bulunduğu kesitlerde çerçeveye delikler açılmıştır. Delikler basınçlı hava ile iyice temizlendikten sonra Sikadur 42 epoksi harcı ile doldurulmuştur. Filiz donatısı olarak kullanılan $\phi 10$ mm çapında nervürlü çubuklar da epoksi ile iyice bulandıktan sonra açılan deliklere yerleştirilmiştir (Şekil 4.13). Bu işlemden sonra epoksinin prizini alması için

bir hafta süreyle beklenmiştir. Filiz donatıları tamamlanmış olan elemanlarda dolgu duvarı için gerekli kalıp ve donatılar hazırlanarak, dolgu duvarlarının beton dökümü ve 28 gün süreyle kürü yapılmıştır. Betonarme dolgu duvarının betonunun dökümünden önce çerçeve ile yeni dökülecek panel betonunun iyi kaynaşabilmesi için çerçevenin beton yüzeyi pürüzlendirilmiş ve beton dökümü öncesi nemlendirilmiştir.

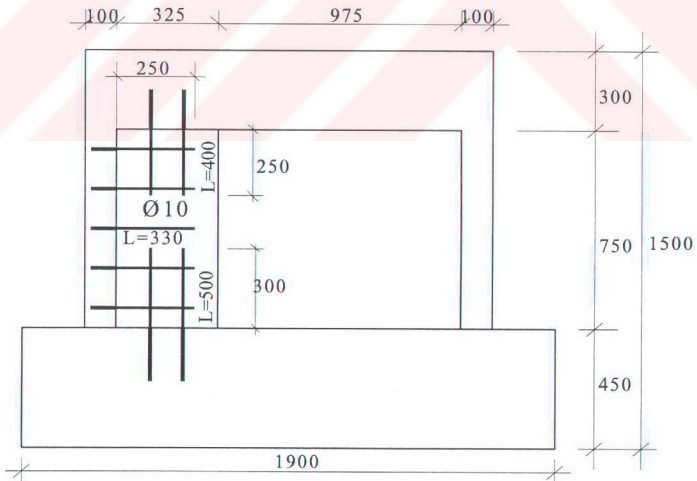
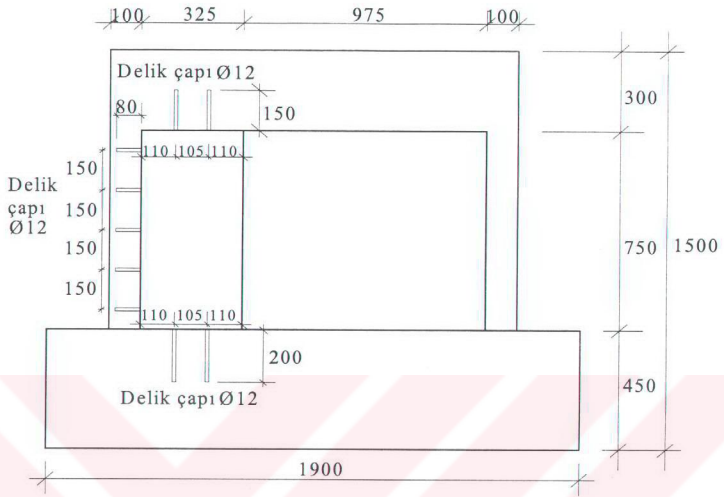


Şekil 4.13. Deney Elemanı-4'ün filiz donatıları

Çerçeve ile dolgu duvarı arasındaki bağlantıyı sağlayan filiz donatılarının yerleri, gömülme ve bindirme boyları detaylı bir biçimde Şekil 4.14'den Şekil 4.20'ye kadar sunulmuştur. Deney elemanlarına ait dolgu duvar donatılarının laboratuvar ortamından görüşleri ve betonarme dolgu duvarının serbest kenarında üretilen gizli uç elemanı Şekil 4.21'de verilen fotoğraflardan görülmektedir. Dolgu duvarı beton dökülen deney elemanları 28 gün boyunca kür altında bekletilmiştir. Dolgu duvarları betonları dökülürken dayanımlarının belirlenebilmesi amacıyla silindir numuneleri alınmış ve dolgu duvarları ile aynı ortamda kürde bırakılmıştır. Kür işleminin tamamlanmasından sonra deney elemanları test edilmeye hazır hale gelmiştir. Dolgu duvarı beton döküm işlemi tamamlanmış deney elemanlarının laboratuvar ortamında görüşlerinden birkaç örnek Şekil 4.22'de sunulmuştur.

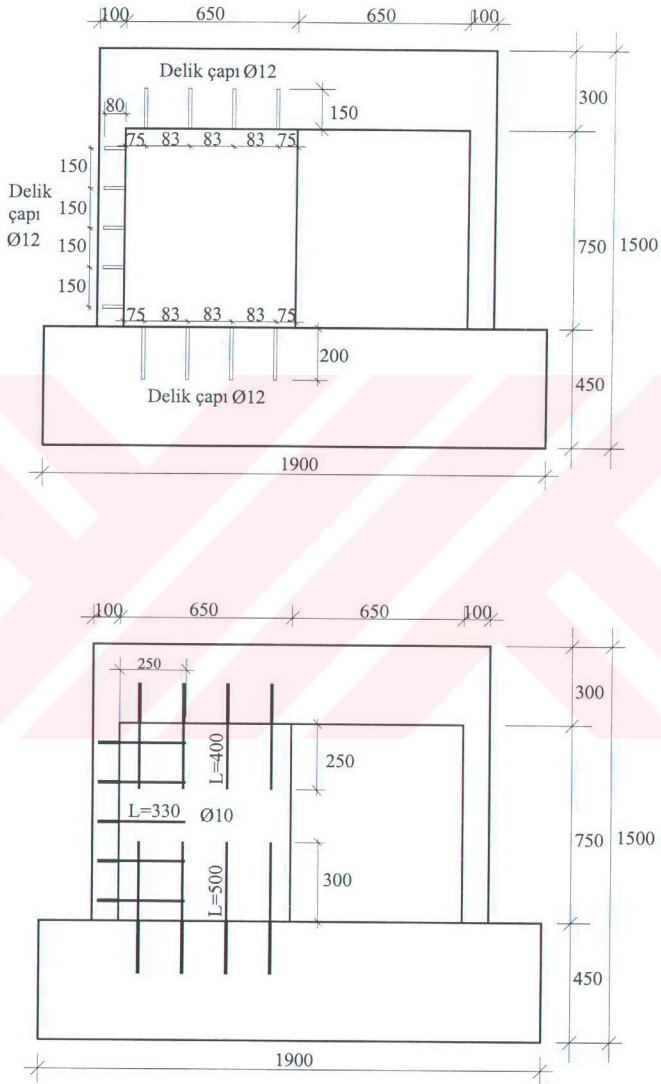


Şekil 4.14. Deney Elemanı-3 için filiz donatısı yerleşim detayı



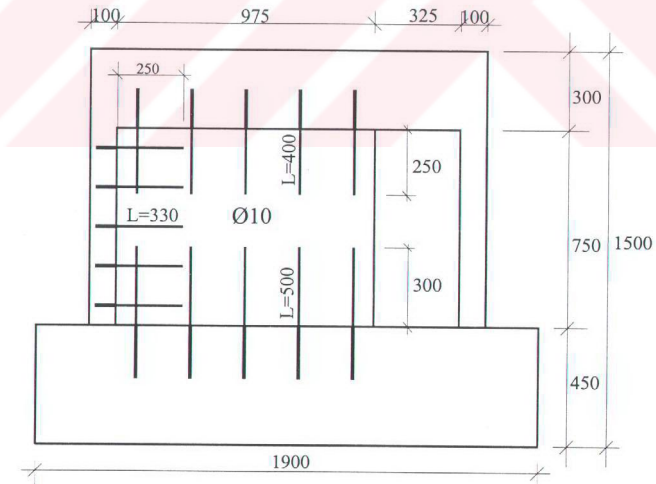
Not: Tüm ölçüler mm'dir

Şekil 4.15. Deney Elemanı-4 için filiz donatısı yerleşim detayı



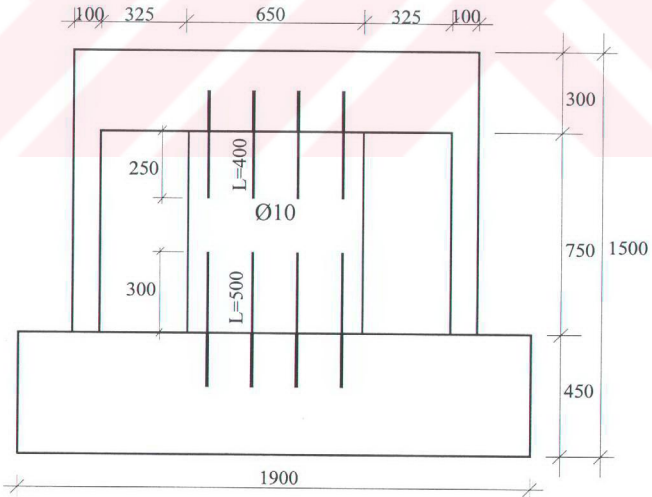
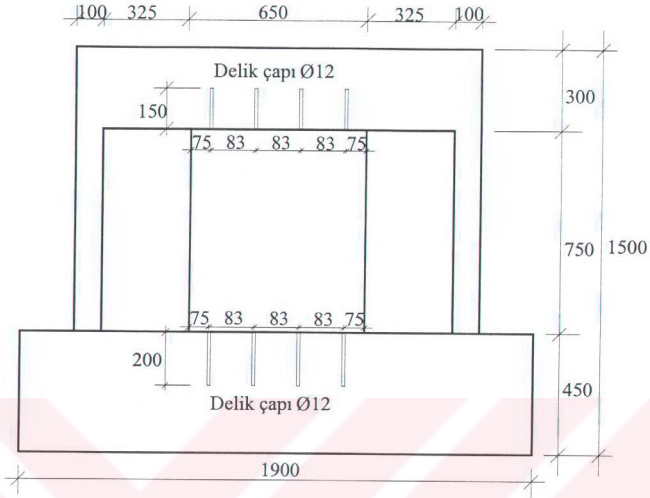
Not: Tüm ölçüler mm'dir

Şekil 4.16. Deney Elemanı-5 için filiz donatısı yerleşim detayı



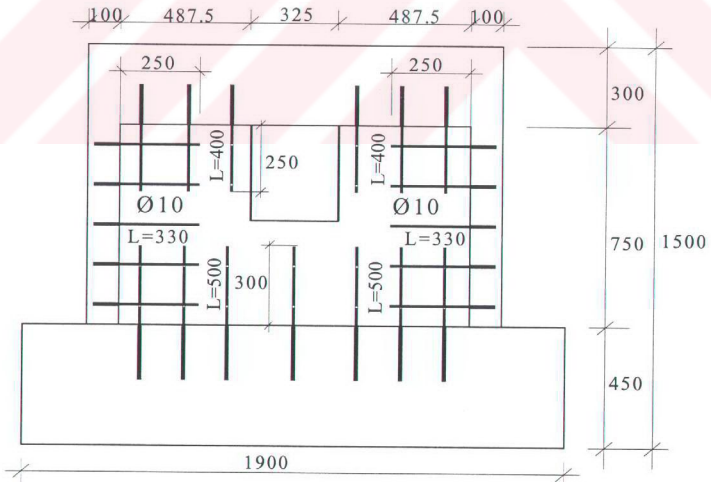
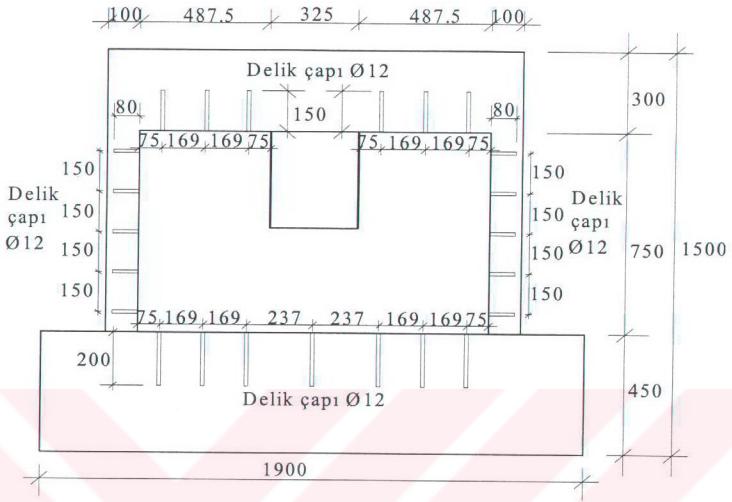
Not: Tüm ölçüler mm'dir

Şekil 4.17. Deney Elemanı-6 için filiz donatısı yerleşim detayı



Not: Tüm ölçüler mm'dir

Şekil 4.19. Dency Elemanı-8 için filiz donatısı yerleşim detayı



Not: Tüm ölçüler mm'dir

Şekil 4.20. Deney Elemanı-9 için filiz donatısı yerleşim detayı



a) Deney Elemanı-3



b) Deney Elemanı -4

Şekil 4.21. Deney elemanı dolgu duvarı donatıları



a) Deney Elemanı-5



b) Deney Elemanı-6

Şekil 4.21. Deney elemanı dolgu duvarı donatıları (devamı)



a) Deney Elemanı-7



b) Deney Elemanı-9

Şekil 4.21. Deney elemanı dolgu duvarı donatıları (devamı)



a) Deney Elemanı-5



b) Deney Elemanı-9

Şekil 4.22. Dolgu duvarı beton dökümü tamamlanmış deney elemanları

4.3. Malzeme Dayanımları

4.3.1. Donatı

Deney elemanlarında kullanılan donatının özelliklerinde farklılıklar olmaması amacıyla deney elemanları için gerekli tüm donatı bir seferde alınmıştır. Her çaptaki donatıdan 3'er adet numune alınarak çekme deneyi uygulanmıştır. Çekme deneyleri sonucunda her gruptaki numuneler arasındaki sapmaların çok az olduğu görülmüştür. Çekme deneylerinden elde edilen gerilme-deplasman grafikleri EK-A'da verilmiştir. Çekme deneylerinde DARTEC marka bilgisayar kontrollü çekme deneyi düzeneği kullanılmıştır. Deneyler yapılırken yükleme hızının tüm deneylerde özdeş olmasına dikkat edilmiştir. Donatıların ortalama akma ve kopma dayanımları Çizelge 4.2'de topluca sunulmuştur.

Çizelge 4.2. Donatı dayanımları

Donatı Çapı ϕ (mm)	Donatı Sınıfı	Akma Dayanımı f_{sy} (MPa)	Kopma Dayanımı f_{su} (MPa)
4	S220	326	708
6	S220	427	489
8	S420	592	964
10	S420	475	689
16	S420	425	683

4.3.2. Beton

Deney elemanlarında istenilen beton basınç dayanımını elde etmek için kullanılan karışımda su/çimento oranı 0.55 olarak hesaplanmıştır. Beton dökümünde agrega olarak dere malzemesi (tuvenan) kullanılmıştır. Beton karışımında kaba agrega (çakıl) olarak 7-15 mm dane boyutunda tuvenan malzemesi, ince kum olarak 0-7 mm dane boyutunda malzeme kullanılmıştır. Bu iki grup agrega için elek analizi yapılmış ve karışım oranları %63 oranında çakıl, %36 oranında kum olarak belirlenmiştir. Betonda standart KPÇ-35 Portland Çimentosu kullanılmıştır. Beton dökümünde

karışım oranlarına göre 1 m³ beton için gerekli malzemeler Çizelge 4.3'de sunulmuştur.

Çizelge 4.3. 1 m³ beton için karışım oranları

	Ağırlık (kg)	Ağırlıça oranı (%)
Çimento	350	15.2
Çakıl (7-15 mm)	1107	48.1
Kum (0-7 mm)	650	28.3
Su	193	8.4
Toplam	2300	100.0

Deney elemanlarının beton dökümü sırasında, her karışımdan en az üç adet olmak üzere standart silindir numunesi alınmıştır. Bu numuneler üretilen deney elemanları ile aynı şartlar altında korunmuştur. Deney elemanlarına ve silindir numunelere beton dökümünden itibaren 28 gün süresince kür uygulanmıştır. Silindir numuneleri Yapı Mekanik Laboratuvarında bulunan universal beton pres kullanılarak test edilmiştir (Şekil 4.23). Beton silindir numuneleri deney elemanları ile aynı günde test edilmiştir. Standart silindir numuneleri üzerinde yapılan basınç deneyleri sonucunda elde edilen ortalama beton basınç dayanımı değerleri tüm deney elemanları için Çizelge 4.4'de sunulmuştur.

Çizelge 4.4. Deney elemanlarının beton basınç dayanımları

Deney Eleman No	Beton Basınç Dayanımı f _c (MPa)	
	Çerçeve	Dolgu Duvarı
1	21.8	----
2	25.3	25.3
3	24.2	20.7
4	22.5	20.1
5	24.3	22.5
6	20.0	22.0
7	20.1	22.8
8	23.9	25.3
9	22.9	22.1



Şekil 4.23. Beton silindir deneyi

4.3.3. Filiz donatılarının kenetlenmesi için kullanılan epoksi (Sikadur 42)

Çerçeve içine sonradan eklenen betonarme dolgu duvarın çerçeve elemanları ile bağlantısı, bu iki elemanın ortak davranış sergilenmesi açısından önemlidir. Deney elemanlarında çerçeve ile dolgu duvar arasındaki bağlantı, çerçeve elemanlarına epoxy ile sabitlenen filiz donatılarının dolgu duvarı içerisine uzatılmasıyla sağlanmıştır. Sikadur 42 isimli epoksi filiz donatılarının çerçeveye kenetlenmesi için kullanılmıştır.

Sikadur 42 epoksi harcı köprü mesnetleri, makina temelleri, vida ve civataların tespiti, vinç rayı montajı, donatı ve beton içindeki çatlakların doldurulması ve ankraj işleri gibi son derece geniş bir alanda kullanılan bir malzemedir. Seçilen bu ürün solventsiz 3 bileşenden meydana gelen, özel gradasyona sahip bir agrega ve epoksi reçinelerinin bir araya gelmesinden oluşan, karıştırıldıktan sonra akıcı hale gelen,

yüksek mukavemetli ve rötresiz bir yapıştırıcıdır. Bu bileşenler üretici firma tarafından kataloğunda önerilen oranlarda karıştırılarak meydana getirilen akıcı harç filizlerin kenetlenmesi işlemi için kullanılmıştır. Üretici firma tarafından kataloğunda belirlenmiş oranlarda A, B ve C bileşenlerinden sırası ile ağırlıkça 2:1:12 oranlarında konularak harç oluşturulmuştur. A ve B epoksi reçinesi ve sertleştirici bileşenleri ilk olarak 1 dakika süre ile düşük devirli bir karıştırıcıyla karıştırıldıktan sonra C bileşeni olan agrega ilave edilmiş ve karıştırma işlemine 3 dakika daha devam edilmiştir. Hazırlanan bu güçlü yapıştırıcı deliklerin içerisine basınçla doldurulmuştur. Delikler doldurulduktan sonra filiz donatıları deliklere sokulup çıkarılmış, epoksi harcı ile yüzeylerinin bulanması incelenerek deliğin tamamen doldurulup doldurulmadığı kontrol edilmiştir. Daha sonra tüm deliklere filiz donatıları çakılarak yerleştirilmiştir. Bu işlemden sonra epoksi harcının dayanımını kazanabilmesi için deney elemanları laboratuvar ortamında 1 hafta bekletilmiştir.

Deney elemanı filiz donatılarının hazırlanması için; İlk olarak çerçeve elemanlarına matkapla $\phi 12$ mm çapında delikler açılmıştır. Deney elemanlarının hepsinde filiz donatısı olarak $\phi 10$ mm çapında nervürlü donatı kullanılmıştır. Filiz donatısı çapının belirlenmesinde dolgu duvarı donatısının kesit alanı, uygun filiz donatısı aralığı ve gömülme derinliği gözönünde bulundurulmuştur. Açılan delikler basınçlı hava ile tozdan temizlenmiştir. Dolgu duvarı betonu ile çerçeve betonu arasında iyi bir bağ oluşması için dolgunun yapılacağı çerçeve kısmında beton yüzeyi hilti ile pürüzlendirilmiş ve beton dökümünden kısa bir süre önce nemlendirilmiştir. Pürüzlendirme işlemi sonrasında açılmış bulunan deliklere filiz donatılarının yerleştirilmesi işlemine geçilmiştir.

4.4. Deney Düzeni

4.4.1. Yükleme düzeni

Deneyler Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarı'nda yer alan rijit platformda gerçekleştirilmiştir. Bu platform 400 mm kalınlığında rijit bir döşeme ve duvardan oluşmaktadır. Platformda 800 mm aralıklı delikler bulunmaktadır. Deney elemanlarının test edilebilmesi için oluşturulan deney ve yükleme düzeni Şekil 4.24'de sunulmuştur. Deney elemanı, temel kirişine gömülen $\phi 45$ mm çapında iki çelik borudan geçirilen $\phi 42$ mm çapında yüksek dayanımlı çelik çubuklarla rijit platforma sıkıca bağlanarak mesnetlenmiştir.

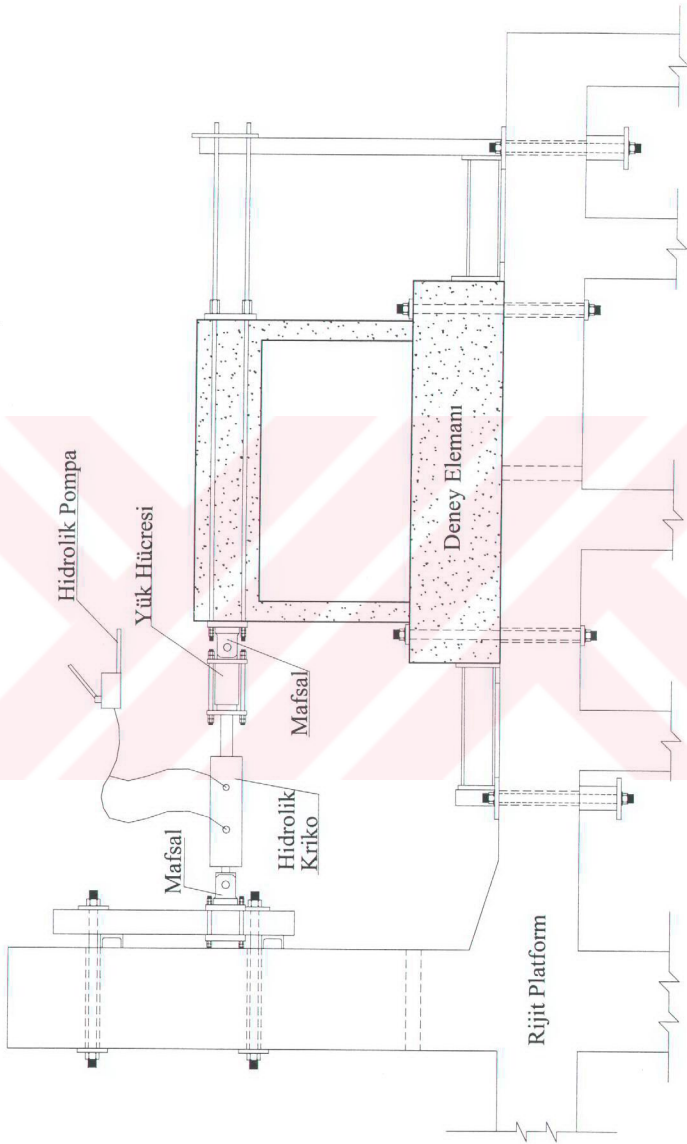
Depremi benzeştiren tersinir ve tekrarlanan yüklemeyi uygulabilmek için rijit platformun duvarı ile deney elemanı arasında bir yükleme kolonu oluşturulmuştur. Yükleme kolonu $\phi 42$ mm çapında yüksek dayanımlı çelik çubuklarla rijit duvarda bulunan deliklere mesnetlenmiştir. Yükleme kolonu bir ucundan rijit duvara diğer ucundan deney elemanına, yükleme düzlemi içerisinde çalışan iki mafsallık ile bağlanmıştır. Bu iki mafsallık arasına 1000 kN basınç, 500 kN çekme kapasiteli iki yönlü bir hidrolik krik ve yükü ölçmek için 400 kN basınç kapasitesine sahip bir yük hücresi yerleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan hidrolik krik özel olarak bu proje için üretilmiş, 300 mm'lik genişliğe sahip olarak tasarlanmıştır. Krikonun genişliği deney öncesinde elemanların çekme ve basınç yönünde eşit olarak paylaştırılmıştır.

Yük ölçümünün gerçekleştirilebilmesi amacıyla yük hücresinin çekme ve basınç kuvveti altında hep basınçta kalacağı bir düzenek geliştirilmiştir. Bu düzende yük hücresi küçük bir kapalı çerçeve içerisine yerleştirilerek yükleme kolonuna bağlanmıştır. Şekil 4.25'de oluşturulan düzeneğin detayları, basınç ve çekme kuvveti etkisi altında serbest cisim diyagramları sunulmuştur.

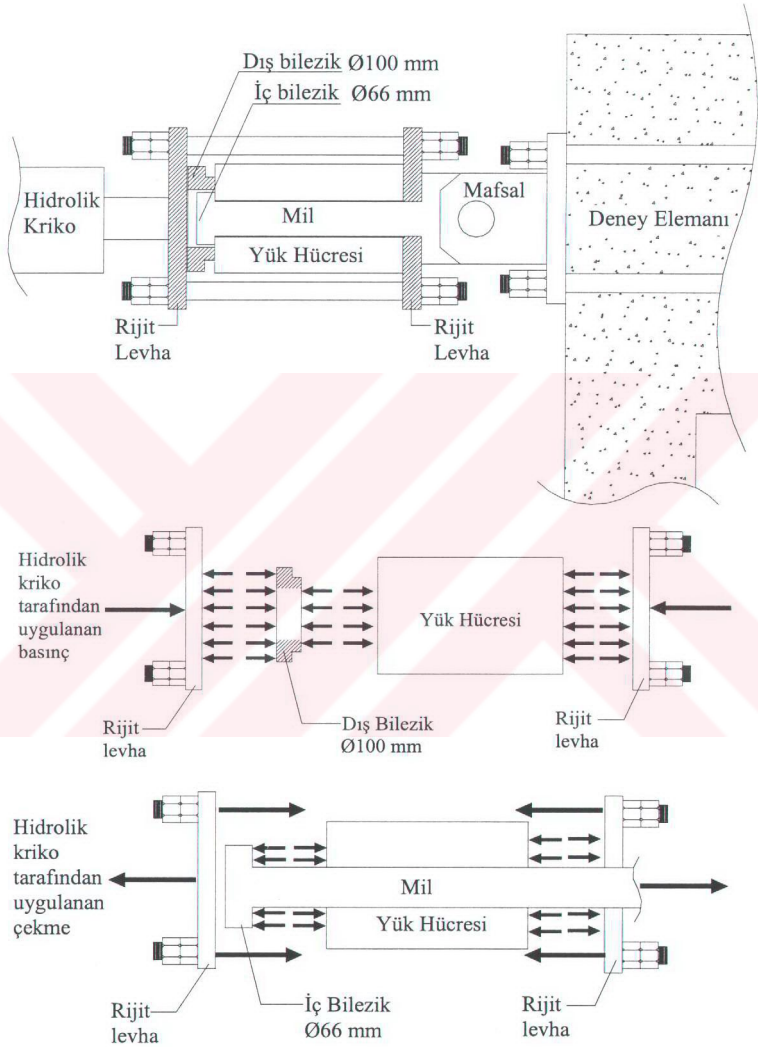
Yük hücresinin hem basınç hem de çekme kuvveti etkisi altında, basınç altında kalabilmesi için yük hücresi ortasından geçen milin ucuna yerleştirilen iki adet çelik

bilezikten yararlanılmıştır. $\phi 100$ mm ϕ ındaki dış $\phi 67$ mm ϕ ında bir delik açılmış ve iki bilezik iç içe yerleştirilmiştir. Dış $\phi 67$ mm ϕ ındaki bilezik 32 mm kalınlığındadır. Mekanizmada yer alan küçük $\phi 67$ mm ϕ ındaki bilezik yük hücresinin ortasındaki delikten geçen milin ucuna sabitlenmiştir. Bu bilezik 30 mm kalınlığında ve 66 mm ϕ ındadır. Çelik bilezikler arasında 2 mm kalınlık farkı vardır. Bu fark mekanizmanın çalışmasında önemli bir rol oynamaktadır. Ucunda sabitlenmiş olarak küçük $\phi 67$ mm ϕ ındaki bileziğin bulunduğu mil 280 mm uzunluğunda ve 36 mm ϕ ındadır. Bu mil yük hücresinin ortasındaki 38 mm ϕ ındaki delikten geçerek deney elemanına bağlanan mafsallın ortasındaki parçaya vidalanmaktadır. Vidanın dış dibi $\phi 27$ mm ve uzunluğu 45 mm'dir. Bu bileziklerden küçük $\phi 67$ mm ϕ alı ve kalınlığı az olanı yük hücresinin ortasından geçen milin ucuna sabitlenmiştir. İki bileziğin birbirine sürtünmesini ihmal edilecek bir seviyeye getirebilmek için büyük dış bilezik ortasına açılan delik içte yer alan küçük bileziğin ϕ ından 1 mm daha fazla delinmiş ve bu yüzey iyice yağlanmıştır. Yukarıda tariflenen parçalar küçük bir kapalı çerçeve içerisine yerleştirilmiştir. Sol taraftaki çelik levha 35 mm kalınlığında, sağ tarafta yer alan levha ise 30 mm kalınlığında olup ortasında çelik milin geçeceği 37 mm ϕ ında bir delik mevcuttur. Kapalı çerçeveyi oluşturacak sağ ve sol levhaları birbirine bağlayan çelik çubuklar 25 mm ϕ ında yüksek dayanımlı çelikten üretilmiştir. Yük hücresi, hidrolik krik o ile uygulanan basınç yüklemesinde dışta yer alan çelik bilezik ile çerçeveyi oluşturan levhalardan sağ tarafta olanı arasında basınç kuvveti etkisinde kalmaktadır. Çekme kuvveti altında ise yük hücresi bu kez içte yer alan küçük çelik bilezik ile sağ tarafta olan çerçeve levhası arasında basınç kuvveti altında kalmaktadır. Böylece hidrolik krikonun hem ileri hem de geri yüklemelerinde yük hücresi hep basınç kuvveti altındadır.

Deneylere yük kontrollü olarak başlanıp elemanın taşıdığı maksimum yükten sonra deneye deplasman kontrollü devam edilmiştir. Yükleme, hidrolik pompa aracılığı ile mümkün olduğu kadar düzenli ve deney sırasında oluşan çatlak gelişimini gözleyecek bir hızda yapılmıştır.



Şekil 4.24. Deney ve yükleme düzeneği



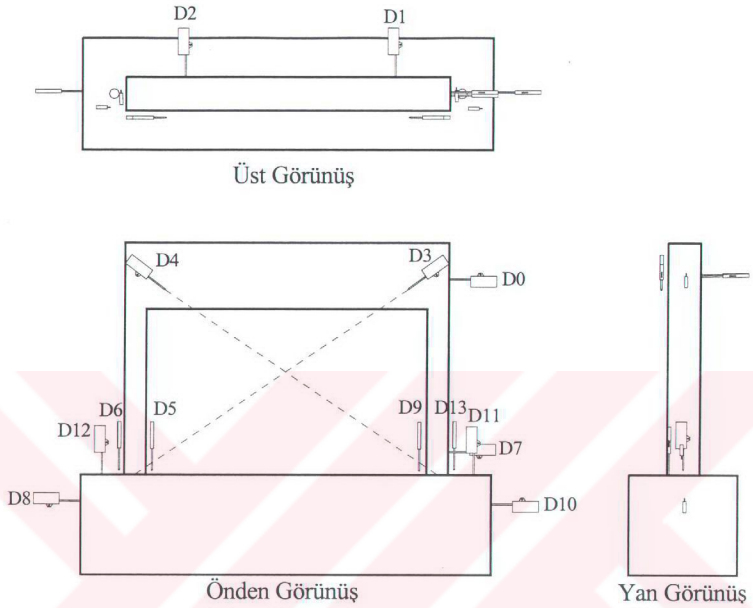
Şekil 4.25. Yük hücresi serbest cisim diyagramı

4.4.2. Ölçüm düzeni

Deplasman ölçümleri için elektronik deplasman ölçüm aletleri (LVDT : Lineer Variable Differential Transformer) kullanılmıştır. Bu ölçüm aletleri 0.0001 mm'ye kadar olan deplasman değişimlerini elektronik olarak ölçebilmekte ve ölçümler bir data toplayıcı aracılığı ile bilgisayara aktarılmaktadır. Bilgisayarda deney sırasında deplasman ölçümlerini düzenli olarak takip ederek alınan okumaları bilgisayarın sabit hafızasına yazabilen ve ayrıca istenilen deplasman ölçümünün yüke karşı grafiğini çizerek deneyin takibini kolaylaştıran bir yazılım mevcuttur. Deney elemanlarında 14 adet LVDT kullanılarak deplasman ölçümleri alınmıştır. Deneyler kat deplasmanının yüke karşı grafiği takip edilerek gerçekleştirilmiştir.

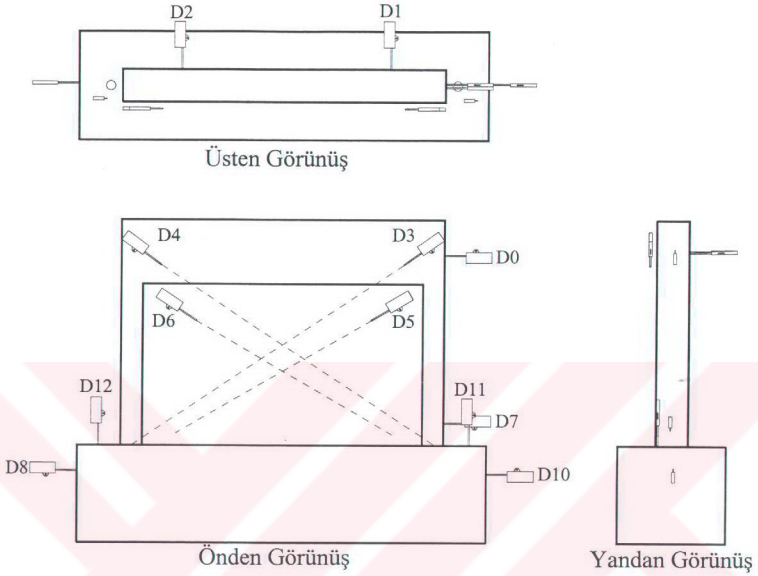
Deney elemanlarından kat deplasmanı, rijit kütle hareketleri, kesme deplasmanı ve eğrilik ölçümleri alınmıştır. Ayrıca deney elemanının düzlem dışı deplasmanının kontrolü amacıyla çerçeve kirişi arka yüzeyinde ve yükleme düzlemine dik iki deplasman ölçülmüştür.

Deney elemanlarında dolgu duvarı düzenlemesinin farklılık göstermesi ölçüm aletlerinin düzenlemesinin elemanlar arasında farklı olmasına neden olmuştur. Dolgu duvarlarından alınan diyagonal doğrultulardaki ölçümler köşelerden 100 mm içten ölçülmüştür. Eğrilik ölçümleri kolon alt düğüm noktasından alınmıştır. Deney elemanları için ölçüm aletleri yerleşim düzeni Şekil 4.26'dan Şekil 4.31'e kadar sunulmuştur.



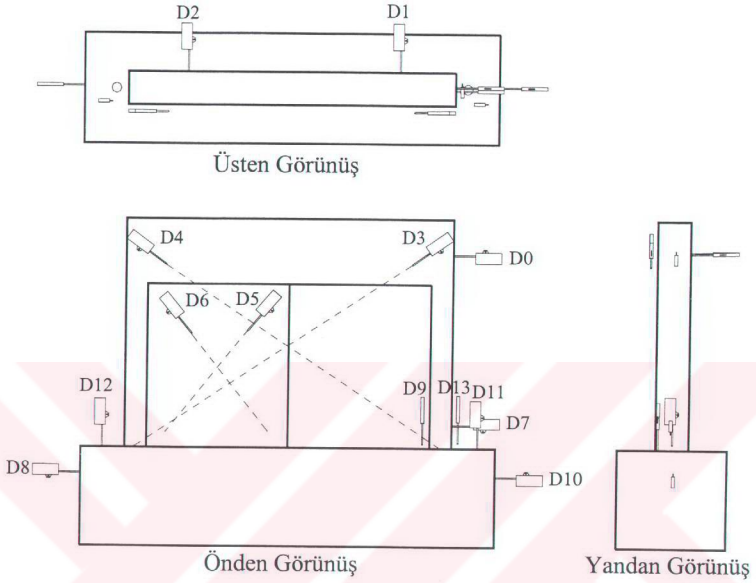
- D0 : Kat yatay deplasmanı
- D1 ve D2 : Deney elemanının düzlem dışı hareketinin ölçümü
- D3 ve D4 : Çerçeve kesme deplasmanı ölçümü
- D5 ve D6 : Eğrilik ölçümü
- D7 : Kolon dibi deplasmanı ölçümü
- D8 ve D10 : Temel kirişi deplasman ölçümü
- D11 ve D12 : Temel kirişi rijit dönme ölçümü
- D9 ve D13 : Eğrilik ölçümü

Şekil 4.26. Deney Elemanı-1'in ölçüm düzeni



- D0 : Kat yatay deplasmanı
- D1 ve D2 : Deney elemanının düzlem dışı hareketinin ölçümü
- D3 ve D4 : Çerçeve kesme deplasmanı ölçümü
- D5 ve D6 : Dolgu duvarı kesme deplasmanının ölçülmesi
- D7 : Kolon dibi deplasmanı ölçümü
- D8 ve D10 : Temel kirişi deplasman ölçümü
- D11 ve D12 : Temel kirişi rijit dönme ölçümü

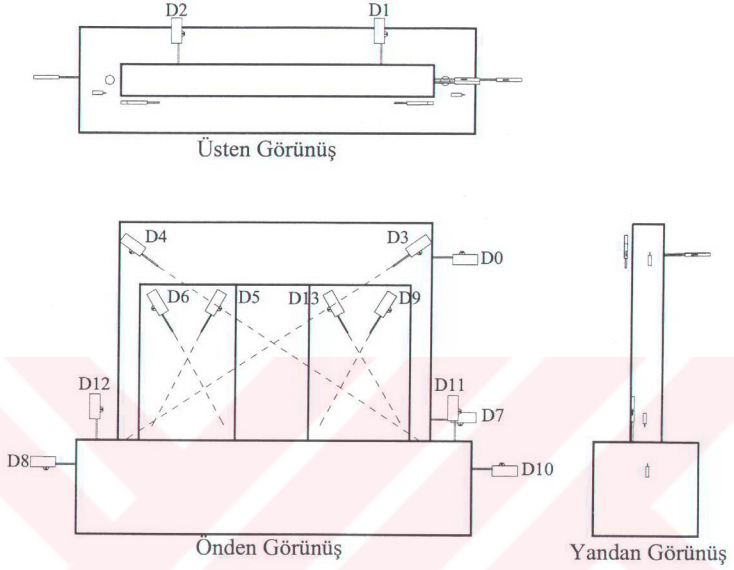
Şekil 4.27. Deney Elemanı-2 ve 3'ün ölçüm düzeni



- D0 : Kat yatay deplasmanı
- D1 ve D2 : Deney elemanının düzlem dışı hareketinin ölçümü
- D3 ve D4 : Çerçeve kesme deplasmanı ölçümü
- D5 ve D6 : Dolgu duvarı kesme deplasmanının ölçülmesi
- D7 : Kolon dibi deplasmanı ölçümü
- D8 ve D10 : Temel kirişi rijit ötelenme ölçümü
- D11 ve D12 : Temel kirişi rijit dönme ölçümü
- D9 ve D13 : Eğrilik ölçümü

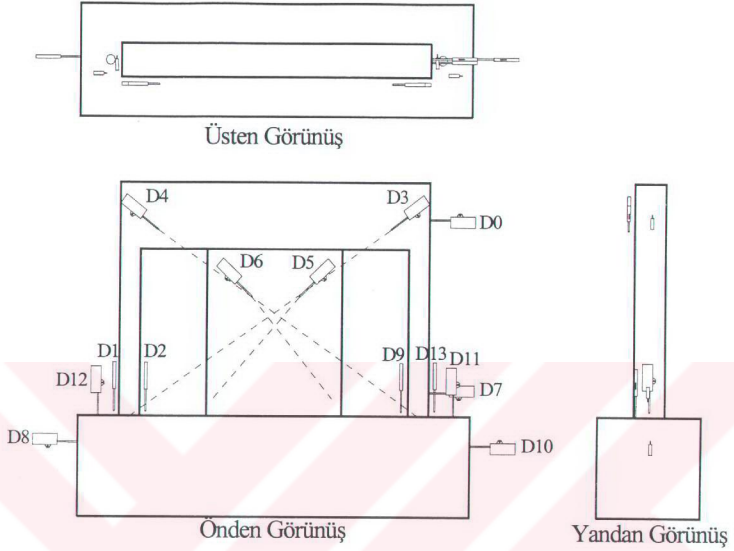
(Not: Örnek olarak Deney Elemanı-5 verilmiştir.)

Şekil 4.28. Deney Elemanı-4, 5, 6'nın ölçüm düzeni



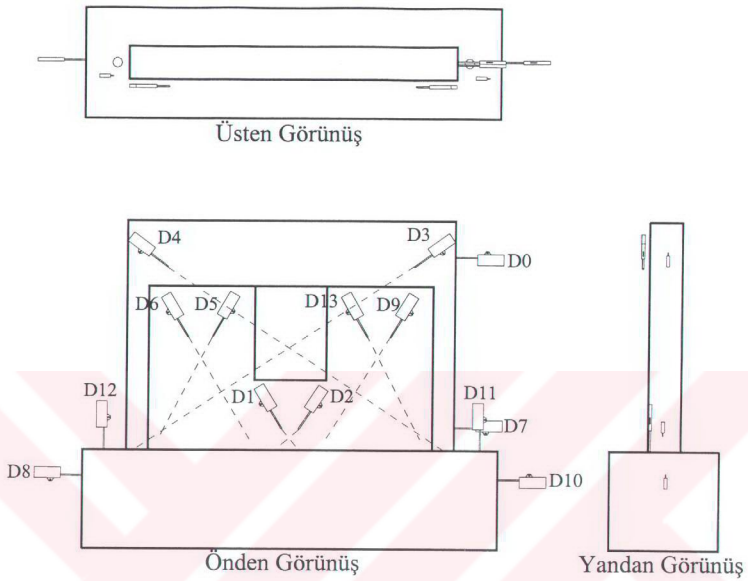
- D0 : Kat yatay deplasmanı
- D1 ve D2 : Deney elemanının düzlem dışı hareketinin ölçümü
- D3 ve D4 : Çerçeve kesme deplasmanı ölçümü
- D5,D6,D9,D13 : Dolgu duvarları kesme deplasmanının ölçülmesi
- D7 : Kolon dibi deplasmanı ölçümü
- D8 ve D10 : Temel kirişi deplasman ölçümü
- D11 ve D12 : Temel kirişi rijit dönme ölçümü

Şekil 4.29. Deney Elemanı-7'nin ölçüm düzeni



- D0 : Kat yatay deplasmanı
- D1,D2,D9,D13 : Eğrilik ölçümleri
- D3 ve D4 : Çerçeve kesme deplasmanı ölçümü
- D5 ve D6 : Dolgu duvarı kesme deplasmanının ölçülmesi
- D7 : Kolon dibi deplasmanı ölçümü
- D8 ve D10 : Temel kirişi rijit ötelenme ölçümü
- D11 ve D12 : Temel kirişi rijit dönme ölçümü

Şekil 4.30. Deney Elemanı-8'in ölçüm düzeni



- | | |
|--------------------|--|
| D0 | : Kat yatay deplasmanı |
| D3 ve D4 | : Çerçeve kesme deplasmanı ölçümü |
| D1,D2,D5,D6,D9,D13 | : Dolgu duvarı kesme deplasmanının ölçülmesi |
| D7 | : Kolon dibi deplasmanı ölçümü |
| D8 ve D10 | : Temel kirişi deplasmanı ölçümü |
| D11 ve D12 | : Temel kirişi rijit dönme ölçümü |

Şekil 4.31. Deney Elemanı-9'un ölçüm düzeni

4.5. Ölçümlerin Değerlendirilmesi

4.5.1. Kat yanal deplasmanı hesabı

Deney elemanlarının net kat deplasmanının hesaplanabilmesi için elemanın rijit ötelenme ve rijit dönme deplasmanları temel kirişinden ölçülmüştür. Ölçülen D8, D10, D11 ve D12 deplasmanları kullanılarak D0 kat deplasmanı ölçümü düzeltilmiştir. Deney elemanının düzlem dış hareketi çerçeve kirişi arka yüzünden D1 ve D2 deplasman ölçümleri alınarak izlemiştir. Fakat tüm deneylerde düzlem dışında deplasmanın gerçekleşmediği görülmüştür.

Deney elemanlarının kat deplasmanı hesaplamalarında kullanılan eşitlikler Denklem 4.1, 4.2’de sunulmuştur. Deney sırasında ölçülen düzeltilmemiş D0 deplasman ölçümü daha sonra bilgisayar ortamında D8, D10, D11 ve D12 deplasman ölçümleri ile düzeltilmiştir. Deney elemanında meydana gelen rijit dönmenin hesaplanması için denklem 4.1 kullanılmıştır. Deney elemanı temel kirişinin deplasmanı ise D8 ve D10 deplasman ölçümleri kullanılarak hesaplanmıştır. Denklem 4.2 ile düzeltilmiş kat deplasmanı değeri elde edilmiştir. Kullanılan denklemlerde uç tarafı içeri doğru hareket eden LVDT’lerden pozitif (+) ölçüm alındığı, uç tarafı dışarı doğru hareket edenlerden ise negatif (-) ölçüm alındığı işaret kabulü yapılmıştır.

$$\delta_{\theta} = \frac{D12 - D11}{a} \times L \dots\dots\dots (4.1)$$

$$\delta_{kat} = D0 - D10 - \delta_{\theta} \dots\dots\dots (4.2)$$

D10,D8 :Temel kirişinin ekseni doğrultusundaki deplasmanı

D11,D12 :Temel kirişinin rijit dönme deplasman ölçümleri

δ_{θ} :Rijit dönme

a :D12 ve D11 deplasman ölçümleri arasındaki mesafe

L :Temel üstünden kiriş eksenine olan uzaklık

δ_{kat} : Düzeltilmiş toplam kat deplasmanı

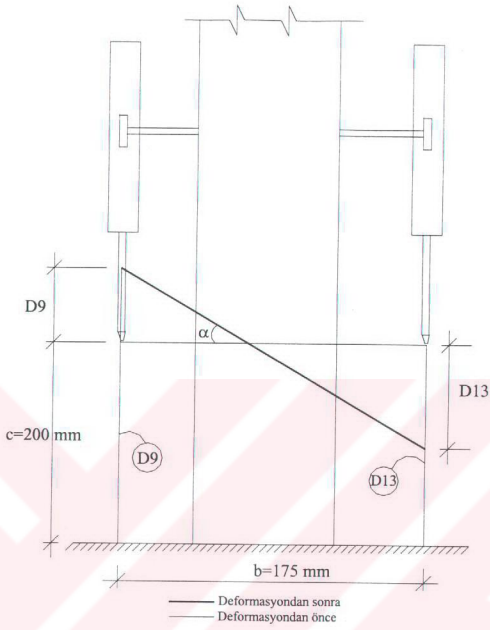
Deneylerin anlatılacağı ve yorumlanacağı tüm yük-deplasman grafikleri düzeltilmiş kat deplasmanı kullanılarak çizilmiştir.

4.5.2. Kesme deplasmanlarının hesaplanması

Deney elemanlarının kesme deplasmanları, hem çerçeveden hem de betonarme dolgu duvarlarından ayrı ayrı ölçülmüştür. Örnek olarak; 5 nolu deney elemanı çerçevesinden D3 ve D4 ölçümleri, dolgu duvarından D5 ve D6 ölçümleri diyagonal doğrultularda alınarak kesme deplasmanları hesaplanmıştır. Her deney elemanında diyagonal doğrultularda alınan deplasman ölçümleri kullanılarak hem çerçeve hem de dolgu duvarı için kesme deplasmanı grafikleri çizilmiştir. Diyagonal doğrultuda alınan ölçümlerden kesme deplasmanının hesaplanmasında kullanılan yöntem ve denklemler EK-B’de sunulmuştur.

4.5.3. Moment eğrilik ilişkisinin hesaplanması

1, 4, 5, 6 ve 8 nolu deney elemanları kolonlarından eğrilik ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümler kullanılarak çerçeve kolonlarına ait moment eğrilik grafikleri çizilmiştir. Bilindiği gibi eğrilik, birim boy başına düşen radyan olarak rölatif dönme açısıdır. Ölçüm alınan iki kesitin arasındaki dönme açısı radyan olarak bulunduktan sonra iki kesit arasındaki uzunluğa oranlanarak eğrilik hesaplanmıştır. Eğrilik ölçümü alınacak bölgenin yerine ve uzunluğuna karar vermek oldukça önemlidir. Ölçümün alındığı yerden ve ölçüm uzunluğundan eğrilik ölçümlerinin çok fazla etkilendiği bilinen bir gerçektir. Ayrıca deney elemanları kolonlarından alınan eğrilik ölçümlerinin donatılarda olabilecek kaymalardan ve ölçüm bölgesi içerisinde yer alan eğik kesme çatlaklarından etkilendiği de unutulmamalıdır. Ölçülen eğrilik değerleri eleman üzerindeki çatlak dağılımı hakkında ve elemanlar arası karşılaştırmada sadece fikir verebilir. Ölçümler kullanılarak eğrilik ilişkisinin hesaplanmasında yararlanılan geometri Şekil 4.32’de ve kullanılan basit eşitlikler denklem 4.4 ve 4.5’de sunulmuştur.



Şekil 4.32. Eğrilik hesaplanması için kullanılan yaklaşım

$$\alpha = \frac{D13 - D9}{b} \dots\dots\dots (4.4)$$

$$k = \frac{\alpha}{c} \dots\dots\dots (4.5)$$

α : Kesitin dönme açısı

D13,D9 : Kolonun her iki yüzünden alınan deplasman ölçümleri

b : Ölçüm aralığı

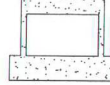
c : Ölçüm yüksekliği

5. DENEYLER

Bu bölümde deney programında yer alan elemanların deneyleri anlatılmıştır. Deney elemanlarının gözlenen davranışı ve deneyler sırasında dikkati çeken ayrıntılar ileri ve geri yükleme adımlarında çevrim numaraları verilerek bu bölümde sunulmuştur. Deneyin yapılması sırasında sadece önemli gözlemlerin yapıldığı çevrimler deneyin anlatımı içerisinde sunulmuştur. Her deneyin anlatıldığı bölümde o deneyle ilgili yük geçmişi ve deplasman geçmişi grafikleri, kat yatay deplasmanının yüke karşı çizildiği yük-deplasman grafiği verilecektir. Deney elemanlarından alınan kesme ölçümleri kullanılarak çizilen yük-kesme deplasmanı grafikleri sunulacaktır. Kesme deplasmanının hesaplanması için diyagonal doğrultularda alınan bu ölçümlerin ölçüm bölgesinde oluşan eğilme çatlaklarından, aderans kaybı sonucunda oluşan kaymalardan, betonarme dolgu duvarı ve çerçeve arasındaki filiz donatılarında oluşabilecek sıyrılmalardan etkilenebileceği unutulmamalıdır. 1, 4, 5, 6 ve 8'nolu deney elemanlarında çerçevenin serbest kolonundan alınan eğrilik ölçümleri kullanılarak çizilen moment-eğrilik grafikleri, ilgili deneylerin anlatımı sırasında sunulacaktır. Her deney anlatılırken o eleman ile ilgili önemli çatlakların geliştiği çevrimlerden başlayıp göçmeye kadar önemli yük adımlarından alınmış fotoğraflar deneyin anlatımı sırasında sunulacaktır. Deneylerin anlatımında ileri yükleme sırasında uygulanan yükten pozitif yükleme, geri yüklemeden ise negatif yükleme olarak bahsedilecektir. Deney elemanlarının birbirinden farklı dayanım değerlerine sahip olmaları yükleme çevrimlerinin özdeş olmasını önlemiştir. Ancak tüm deney elemanlarında yükleme için aynı temel ilke uygulanmıştır. İlk çevrimlerde lineer-elastik bölge içerisinde kalacak yük adımlarının uygulanmasına dikkat edilmiştir. Deney elemanının maksimum yük taşıma düzeyine kadar yaklaşık aynı oransal artımlarla ve aynı sayıda çevrim yapılmasına dikkat edilmiştir. Elemanların taşıyabildikleri maksimum yükten sonraki çevrimlerde deneye deplasman kontrollü devam edilmiştir. Tüm deney elemanlarında maksimum kapasiteye ulaşıldığında ölçülen yatay deplasmanın yaklaşık %30'u oranında deplasman artışları ile deney sürdürülmüştür. Elemanların taşıyabildikleri yük boş çerçevenin kapasitesi değerine düştüğü zaman yükleme durdurulmuş ve deneye son verilmiştir. Betonarme dolgu duvarı içerisinde yer alan gizli kolon için panel uç elemanı ismi kullanılacaktır.

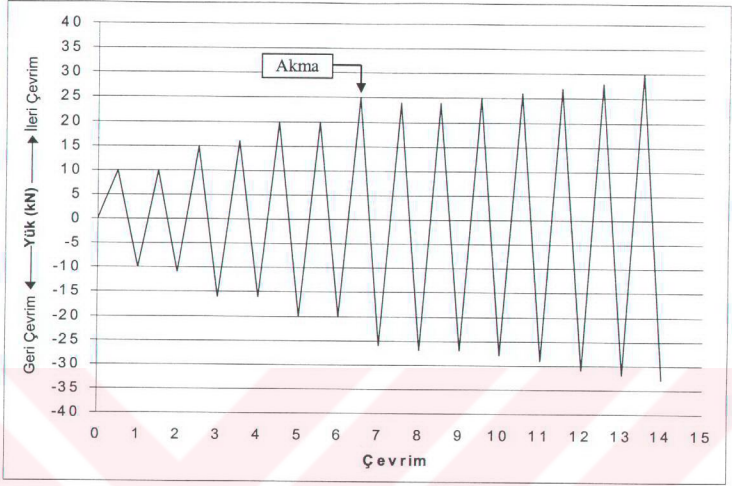
5.1. 1 Nolu Elemanın (Specimen-1) Deneyi

Deney elemanının tanımı	:	Boş çerçeve
Deney tarihi	:	09/12/2001
Boşluk alanı/Çerçeve iç alanı	:	1
Dolgu duvarı düzenlemesi	:	

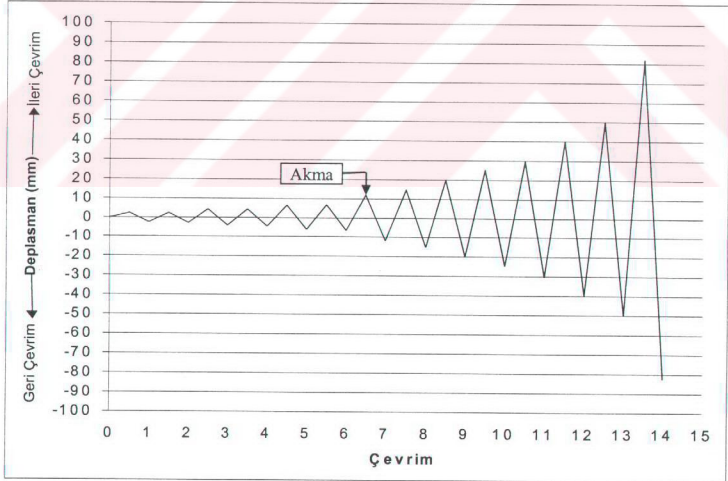


1 nolu deney elemanı güçlendirilmiş deney elemanları ile karşılaştırılmak amacıyla üretilmiş kontrol elemanıdır. Deney sırasında elemana uygulanan yük çevrimi Şekil 5.1’de verilmiştir. Elemana 14 tam çevrim uygulanmıştır. Deney elemanında ilk eğilme çatlağı 10 kN, ilk kesme çatlağı ise 15 kN yük seviyesinde meydana gelmiştir. Yedinci çevrimin ileri yüklemesinde ve 25 kN yük düzeyinde eleman ilk akmaya ulaşmıştır. Akmada ölçülen kat deplasmanı 12 mm’dir. Bu yük düzeyinde sol ve sağ çerçeve kolonlarında oluşan eğilme ve kesme çatlaklarının sayısında önemli artışlar gözlenmiştir. Çerçeve kolonlarının üst ve alt düğümlerinde yoğunlaşan çatlaklar genişlemiştir. Bu noktada kolon donatıları akmıştır. Deney elemanında gözlenen akmadan sonra deplasman kontrollü yüklemeler yapılmıştır.

Göçme Mekanizması: Deney sırasında kolonların üst ve alt uçları hasar almıştır. Bu bölgelerdeki donatının akması ve betonun ezilerek dökülmesi sonucunda kolonların alt ve üst uçlarında plastik mafsallaşma meydana gelmiş ve çerçeve elemanı bir kolon mekanizması türünde davranış sergilemiştir. Ölçüm aletlerinin kapasitelerinin aşılması nedeniyle eleman yük kaybetmeye başlamadan deneye son verilmiştir.



a) Yük çevrim grafiği



b) Deplasman çevrim grafiği

Şekil 5.1. Deney Elemanı-1'in yük ve deplasman çevrim grafikleri

Deney elemanın düzeltilmiş yük-deplasman grafiği Şekil 5.2’de verilmiştir. Elemandan alınan ölçümler kullanılarak hesaplanan yük-kesme deplasmanı grafiği Şekil 5.3 sunulmuştur. Çerçeve kesme deplasmanının ölçülmesi için kullanılan deplasman ölçerlerde bir sorun yaşanmamış ve deney sonuna kadar ölçüm alınabilmiştir. Deney elemanı çerçeve kolonlarından alınan eğrilik ölçümleri kullanılarak elde edilen moment-eğrilik grafikleri Şekil 5.4’de sunulmuştur. Deney sırasında önemli çatlak oluşumlarının meydana geldiği çevrimlerden göçmeye ulaşılan kadar alınmış fotoğraflar Şekil 5.5’de yer almaktadır. Aşağıda önemli gelişme ve çatlak oluşumlarının izlendiği çevrimler kısaca özetlenerek sunulacaktır.

1. çevrim:

Bu çevrimde çıkılan maksimum yük 10 kN’dur. Bu çevrimin ileri yüklemesinde çerçevenin sol kolon orta bölgesinde ve aynı kolonun temel kirişi ile birleştiği bölgede kılcal düzeyde ilk eğilme çatlakları gözlenmiştir. Aynı çevrimin geri yükleme adımımda çerçeve sağ kolonunda temel kirişinden yaklaşık 150 mm yukarıda ilk eğilme çatlağı meydana gelmiştir.

3. çevrim:

3. çevrimde 15 kN yük seviyesine çıkılmıştır. Bu çevrimin ileri yükleme adımımda çerçevenin sol kolon-kiriş birleşim bölgesinde kolon eksenine dik eğilme çatlağı gelişimi gözlenmiştir. Kılcal düzeyde eğilme çatlağı sayısında artış olmuştur. Sağ kolonun temel kirişi ile birleştiği kesitte kılcal düzeyde eğilme çatlakları meydana gelmiştir. Aynı çevrimin geri yükleme adımımda çerçevenin sağ kolonun alt ucunda 45° eğimli kesme çatlağı gözlenmiştir.

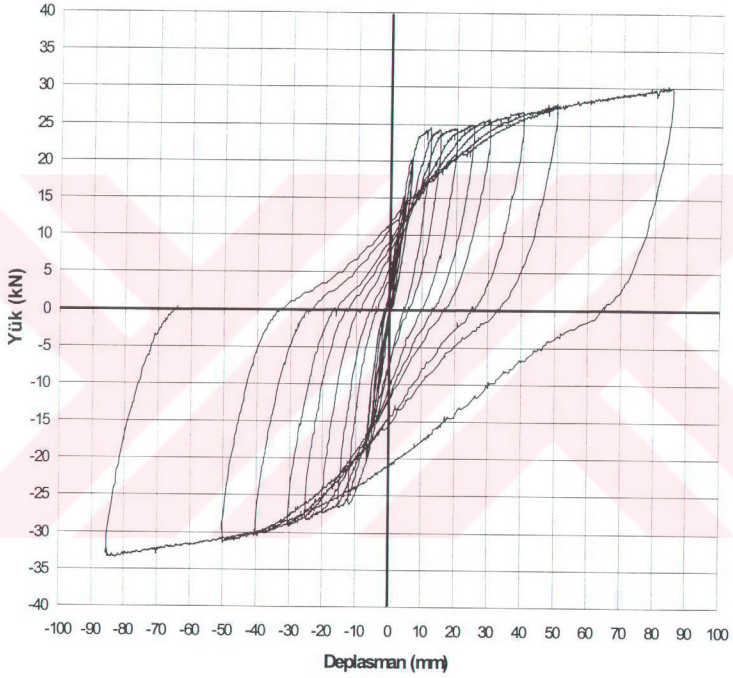
5. çevrim:

Bu çevrimde maksimum yük 20 kN’dur. 5. çevrimin ileri yükleme adımımda sol kolonda oluşan eğilme çatlakları kolon kesitinde ilerleme göstermiştir. Sağ kolonun çerçeve kirişi ile birleştiği düğümdeki kılcal eğilme çatlağı sayısında artış gözlenmiştir. Sağ kolonda temel kirişinin 150 mm yukarısında ve kolonun üst ucunda kılcal düzeyde 45° eğimli kesme çatlakları meydana gelmiştir.

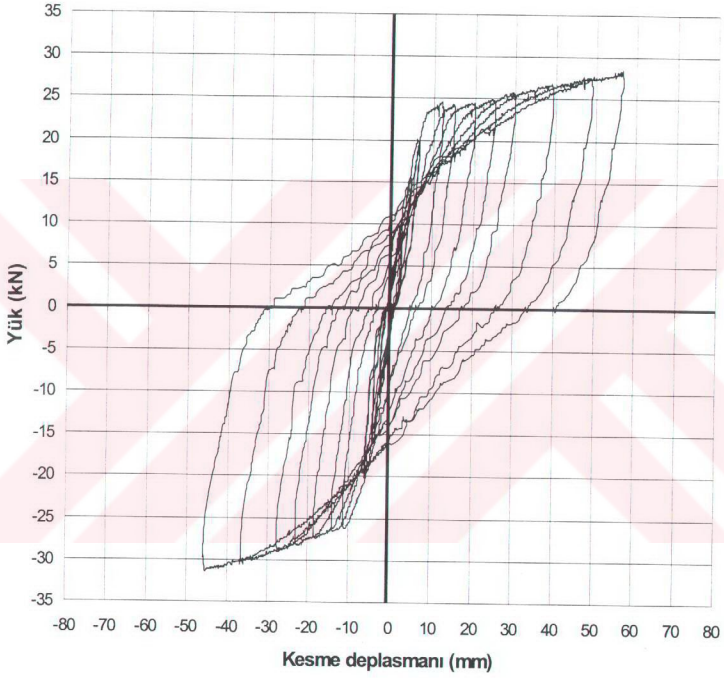
7. çevrim:

25 kN yük seviyesine çıkılması planlanan bu çevrimde çatlak genişlikleri ve sayısında ani artış gözlenmiştir. Bu çevrimin ileri yükleme adımımda sol kolonun temel kirişi ile birleştiği kesitte çatlağın genişleyerek 0.2 mm değerine ulaştığı görülmüştür. Aynı ayrılma sağ kolonun çerçeve kirişi ile birleştiği üst kesitinde de oluşmuştur. Bu noktada deney elemanının kolon donatılarında akma meydana gelmiştir. Aynı çevrimin geri yükleme adımımda bu kez sol kolon üstü ve sağ kolon alt ucunda çerçeve kirişi kesiti boyunca ayrılma çatlakları oluşmuş ve 0.8 mm genişliğe ulaşmıştır. Deney elemanı 25 kN yük düzeyinde 12 mm deplasman yaparak taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Deneye bu çevrimden sonra deplasman kontrollü devam edilmiştir.

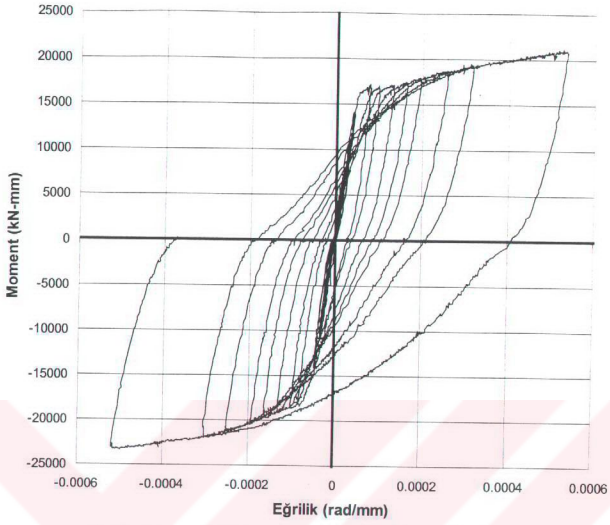
Bundan sonraki çevrimlerde elemanda çok farklı bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir. Kolonların uç noktalarında beton ezilmiş ve kolon uç bölgeleri plastik mafsallaşmıştır. Böylece deney elemanı kolon mekanizması şeklinde göçmüştür. 7. çevrimden sonra yapılan çevrimlerde izlenen olaylar kısaca özetlenecek olursa; 8. çevrimde kolon uç bölgelerindeki ayrılma çatlak genişlikleri 1 mm değerine ulaşmıştır. 9. çevrimde çatlak genişlikleri kolon üst uç bölgesinde 3 mm, alt uç bölgesinde ise 4 mm değerine kadar ilerleme göstermiştir. 25 mm deplasman değerine çıkılan 10. çevrimde sağ kolonun kabuk betonunda kabarma ve dökülmeler gözlenmiştir. 11. çevrimde kolon alt ve üst uçlarında çatlak genişliği 5 mm değerine ulaşmıştır. 40 mm deplasman değerine çıkılan 12. çevrimde sağ kolonun alt ucundaki beton ezilmiştir. 85 mm deplasman değerinde yüklemeye son verilerek deney bitirilmiştir. Deney elemanı kolon boyuna donatılarında meydana gelen akmadan sonra uygulanan çevrimlerde taşıdığı yükte düşüş yaşanmamış ve yük değeri akma noktasında ulaşılan değer altına düşmemiştir. Ancak elemanda ulaşılan deplasmanın çok büyümesi ve kat ötelenme oranının çok büyük değerler alması sonucunda deneye son verilmiştir. Bu noktada kat deplasmanı 85 mm olarak ölçülmüştür.



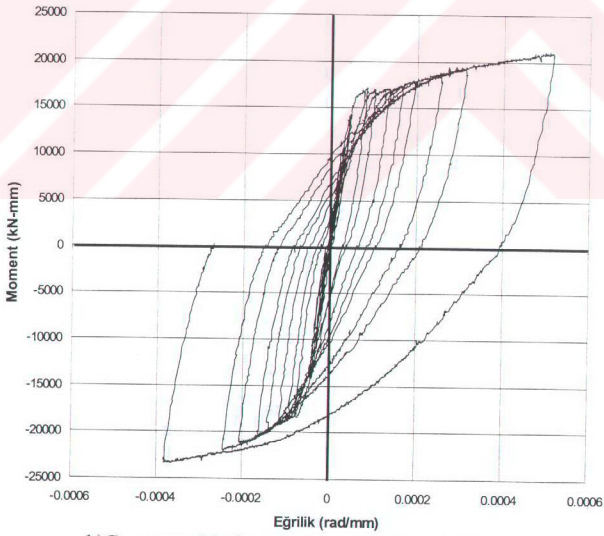
Şekil 5.2. Deney Elemanı-1'in yük-deplasman grafiği



Şekil 5.3. Yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-1)

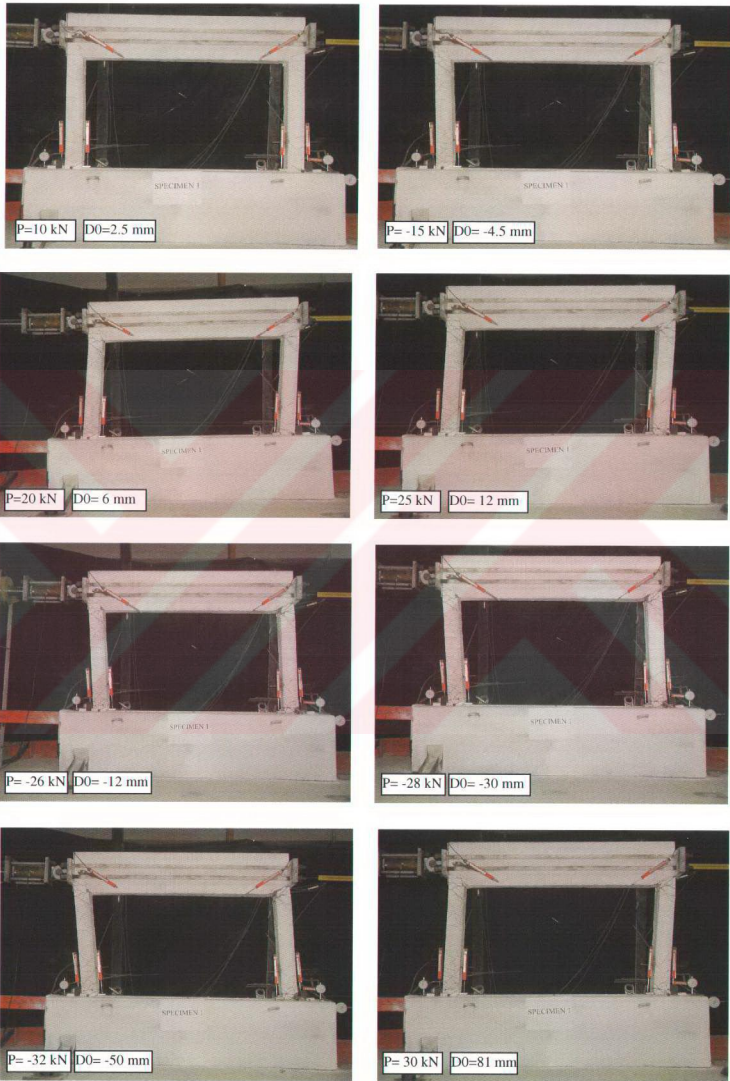


a) Çerçeve sol kolonu moment-eğrilik grafiği



b) Çerçeve sağ kolonu moment-eğrilik grafiği

Şekil 5.4. Kolon moment-eğrilik grafikleri (Deney Elemanı-1)



Şekil 5.5. Deney Elemanı-1'in test sırasında fotoğrafları

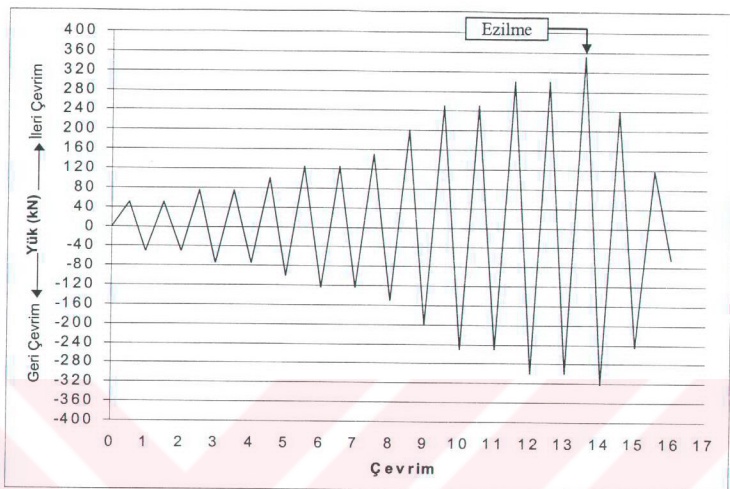
5.2. 2 Nolu Elemanın (Specimen-2) Deneyi

Deney elemanı tanımı	:	Birdöküm (betonarme perde)
Deney tarihi	:	18/01/2002
Boşluk alanı/Çerçeve İç alanı	:	0
Dolgu duvar düzenlemesi	:	

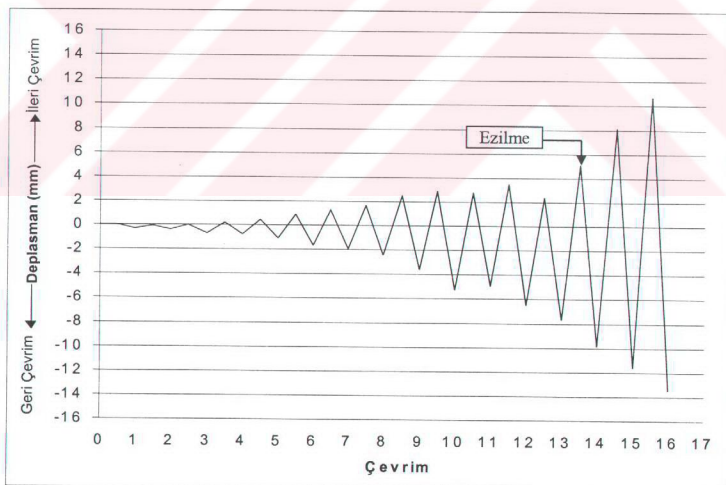


2 nolu deney elemanı, çeşitli düzenlemelerde dolgu duvarlarla güçlendirilmiş deney elemanları ile karşılaştırılmak amacıyla üretilmiş kontrol elemanıdır. Deney sırasında elemana uygulanan yük-çevrimi Şekil 5.6'da verilmiştir. Elemana 16 tam çevrim uygulanmıştır. Deney elemanında ilk eğilme çatlağı yaklaşık 50 kN, ilk kesme çatlağı ise dolgu duvarında ve 75 kN yük seviyesinde meydana gelmiştir. 14. çevrimin ileri yüklemesinde, 350 kN yük düzeyinde eleman dolgu duvarında basınç diyagonalindeki ezilme sonucunda taşıma gücüne ulaşmıştır. Ezilmenin olduğu çevrimde ölçülen yanal deplasman 5 mm'dir. Deney elemanın taşıma gücüne ulaştığı çevrimlerde dolgu duvarında oluşan kesme çatlaklarının sayısı artmış ve önemli oranlarda genişlemişlerdir. Deney elemanı dolgu duvarının her iki diyagonalı doğrultusunda basınç çubuklarında meydana gelen ezilme sonucunda göçmüştür. Bu aşamada çatlakların büyük bir kısmı betonarme dolgu duvarında ve diyagonal doğrultulardaki ezilme bölgelerinde yoğunlaşmıştır. Çerçeve kolonları ve kirişinde meydana gelen hasar dolgu duvarda gelişen hasara göre çok daha azdır. Deney elemanı dolgu duvarında gözlenen diyagonal doğrultudaki beton basınç ezilmesinden sonra deplasman kontrollü yüklemeler yapılmıştır.

Göçme Mekanizması: Eleman, betonarme dolgu duvarında her iki yönde diyagonal basınç çubuğunda betonun ezilmesi ve elemanın temel kirişi üzerinde kaymasıyla göçmeye ulaşmıştır.



a) Yük çevrim grafiği



b) Deplasman çevrim grafiği

Şekil 5.6. Deney Elemanı-2'nin yük ve deplasman çevrim grafikleri

Deney elemanının düzeltilmiş yük deplasman grafiği Şekil 5.7’de verilmiştir. Elemandan alınan ölçümler kullanılarak hesaplanan yük-kesme deplasmanı grafiği çerçeve ve dolgu duvarı için Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da sunulmuştur. Çerçeve ve dolgu duvarının kesme grafiklerinin çizilmesinde kullanılan deplasman ölçerlerden dolgu duvarı için kullanılanları son üç çevrimde dolgu duvarının hasarı sonucu devre dışı kalmıştır. Dış çerçeve kesme deplasmanının ölçümünde kullanılan deplasman ölçerlerde bir sorunla karşılaşmamış ve deney bitimine kadar ölçüm alınabilmektedir. Deney sırasında önemli çatlak oluşumlarının meydana geldiği çevrimlerden göçmeye ulaşılan kadar alınmış fotoğraflar Şekil 5.10’da yer almaktadır. Aşağıda deney sırasında uygulanan yük çevrimlerinden davranış ve dayanım yönünden önemli olanları özetlenecektir.

2. çevrim:

50 kN yük düzeyine çıkılan çevrimin ileri yüklemesinde 43 kN, geri yükleme adımıda ise -44 kN yük seviyesinde sağ ve sol çerçeve kolonlarının temel kirişine yakın uçlarında ilk eğilme çatlakları gelişmiştir.

3. çevrim:

75 kN yük düzeyine çıkılan çevrimin ileri yükleme kısmında betonarme dolgu duvarında temel kirişi üstünden başlayıp çerçeve sol kolonuna doğru uzanan ilk kesme çatlağı gözlenmiştir. Bu çevrimin ileri yüklemesinde panelde oluşan kesme çatlakları aynı şekilde geri yükleme adımıda da oluşmuştur. Temel kirişinin hemen üstünden başlayarak gelişen kesme çatlakları sağ kolona doğru ilerlemiştir.

6. çevrim:

125 kN yük seviyesinde panelin kesme çatlağı sayısında büyük artış gözlenmiştir. Bu çevrimin geri yüklemesinde temel kirişi ve dolgu duvarının birleşme yüzeyinde eğik çatlakların sayısındaki artış dikkat çekmiştir.

7. çevrim:

125 kN yük düzeyinde tekrarlanan bu çevrimin geri yüklemesinde betonarme dolguda meydana gelen eğik çatlakların gelişerek çerçevenin sağ kolonu üzerinde devam ettiği gözlenmiştir.

9. çevrim:

200 kN yük düzeyine çıkılan bu çevrimde panel üzerinde oluşan kesme çatlaklarının 0.3-0.4 mm genişliğe ulaştıkları ölçülmüştür.

10. çevrim:

250 kN yük seviyesine çıkılan çevrimde panelde oluşan kesme çatlağı genişliği 0.5 mm düzeyine kadar gelişmiştir. İleri yükleme sırasında çerçevenin kiriş-kolon birleşim bölgesinde eğik bir çatlak meydana gelmiştir. Geri yükleme sırasında ise kiriş-kolon birleşimi bölgesinde meydana gelen eğik çatlak panel üzerinde devam etmiştir. Temel kirişi ile betonarme dolgu duvarı arasındaki arayüzde kesme çatlağı sayısında artış gözlenmiştir. Bu çevrimde son olarak çerçeve sağ kolonunda temel kirişinden yaklaşık 400 mm yukarıda ilk kesme çatlağı oluşmuştur.

12. çevrim:

300 kN seviyesine çıkılan çevrimde, sağ kolonun temel kirişi ile birleştiği bölgede kesme çatlağı sayısında artış gözlenmiştir. Paneldeki kesme çatlağı genişliği 1.0 mm değerine ulaşmıştır.

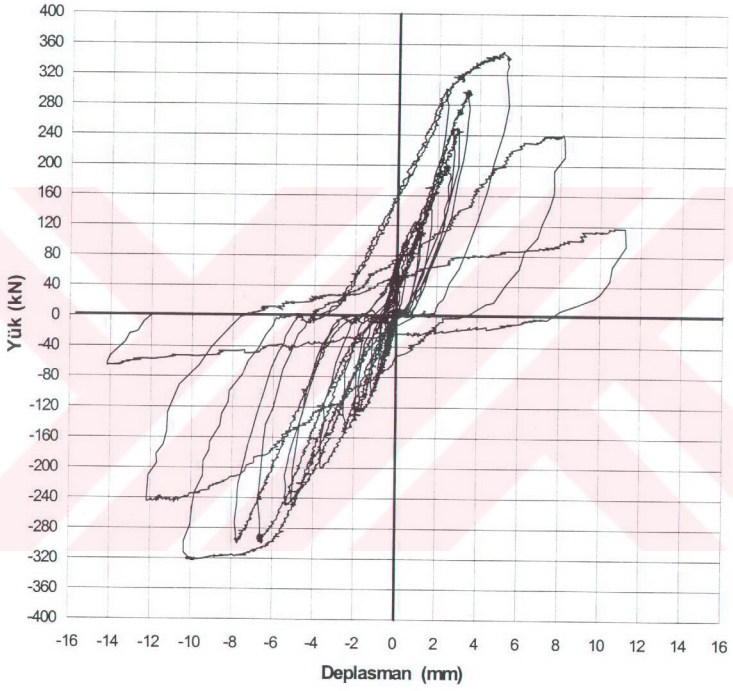
14. çevrim:

Bu çevrimin geri yükleme adımı deney elemanının dolgu duvarı üzerinde oluşan basınç çubuklarında beton basınç dayanımı aşılmıştır. Dolgu duvarı ezilmiş ve deney elemanının yük taşıma kapasitesinde önemli bir düşüş gözlenmiştir. Çevrimin ileri yüklemesinde betonarme dolgu duvarındaki kesme çatlakları 1.5 mm genişliğe ulaşmıştır. Çevrimin ileri yüklemesinde 350 kN yük düzeyine ulaşılmış ve yük boşaltılmıştır. Aynı çevrimin geri yüklemesinde sağ kolonun temel kirişi ile birleştiği uç kısmında meydana gelen eğilme çatlakları tüm kolonu sarmıştır. -325 kN yük seviyesine ulaşılan geri yükleme sırasında dolgu duvarı betonunda ezilme

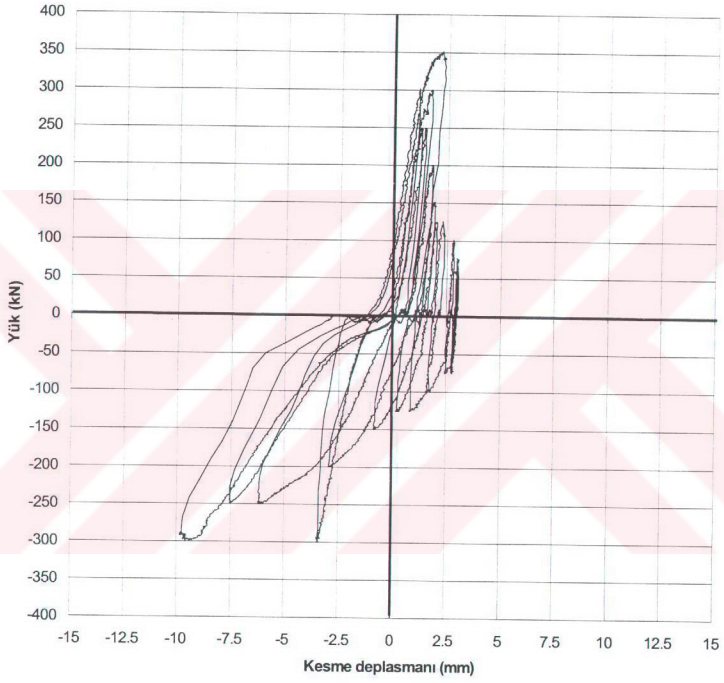
gözlenmiştir. Deney elemanı bu yük seviyesinde, betonarme dolgu duvarında alt uçtan başlayıp sağ üst köşeye doğru giden diyagonal üzerinde oluşan ezilme ile göçmeye ulaşmıştır.

15. çevrim:

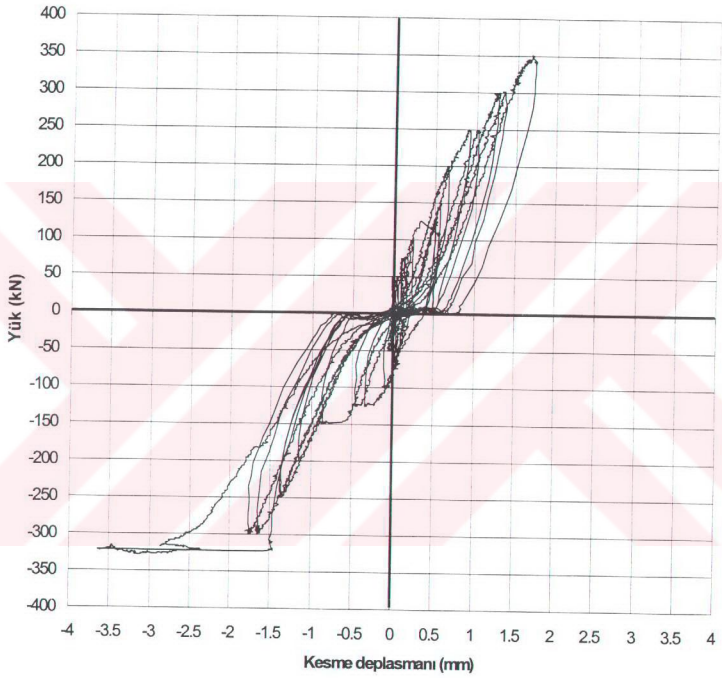
14. çevrimde meydana gelen diyagonal doğrultudaki beton ezilmesi bu çevrimde sağ alt köşeden başlayan diyagonal üzerinde gerçekleşmiştir. Betondaki ezilme sonucunda ortaya çıkan dolgu duvarı donatılarında burkulma olduğu gözlenmiştir. 11 mm deplasman yapılana kadar ileri yüklemeye devam edilmiş ve deney elemanının betonarme dolgu duvarı diyagonalı üzerindeki beton ezilmiştir. Deney elemanı bu çevrim tamamlandığında dolgu duvarında her iki yöndeki diyagonal basınç çubuklarında beton ezilmiştir. Daha sonra deneye deplasman kontrollü devam edilmiştir. Çevrimin geri yüklemesinde sol alt uçta panel betonu aniden ezilerek yük -120 kN seviyesine düşmüş ve yüklemeye son verilmiştir. Ezilmeden sonra deney elemanının yük taşıma kapasitesinde çok büyük bir düşüş olduğu gözlenmiştir. Bir çevrim daha yapılarak deney 16 çevrim sonucunda tamamlanmıştır. Eleman 16. çevrimde temel üst kirişi üzerinde kayma hareketi sergilemiş ve çok büyük taşıma gücü kaybı meydana gelmiştir.



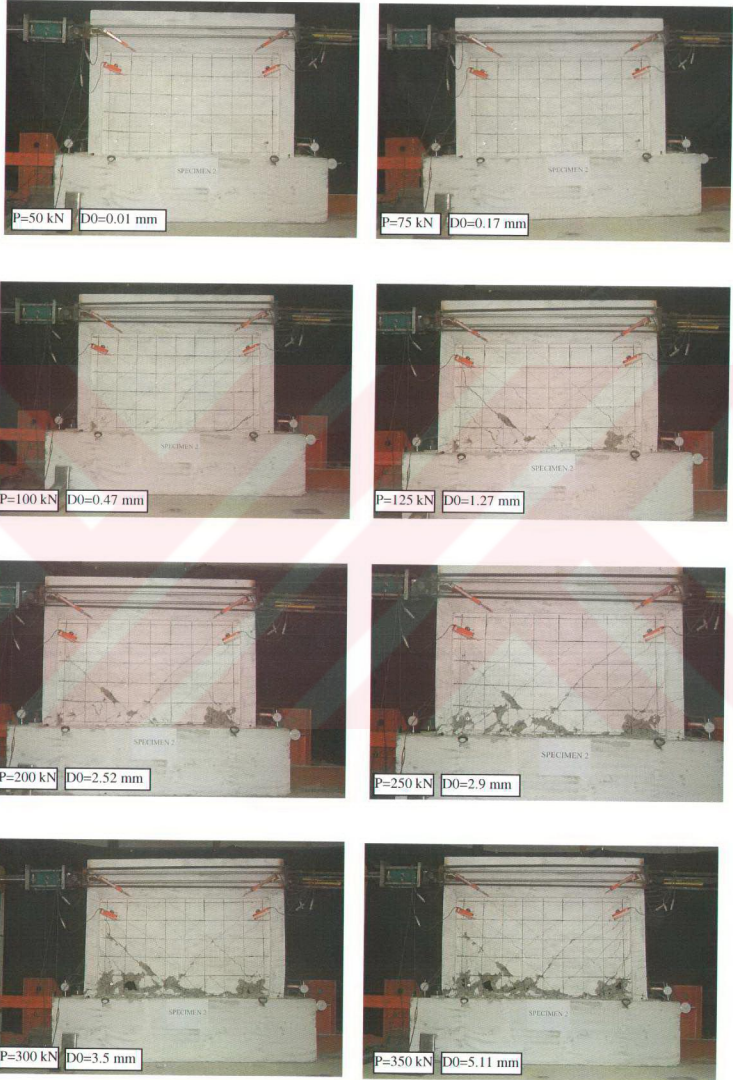
Şekil 5.7. Deney Elemanı-2'nin yük- deplasman grafiği



Şekil 5.8. Çerçevenin yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-2)



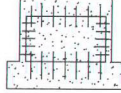
Şekil 5.9. Dolgu duvarın yük- kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-2)



Şekil 5.10. Deney Elemanı 2'nin test sırasında fotoğrafları

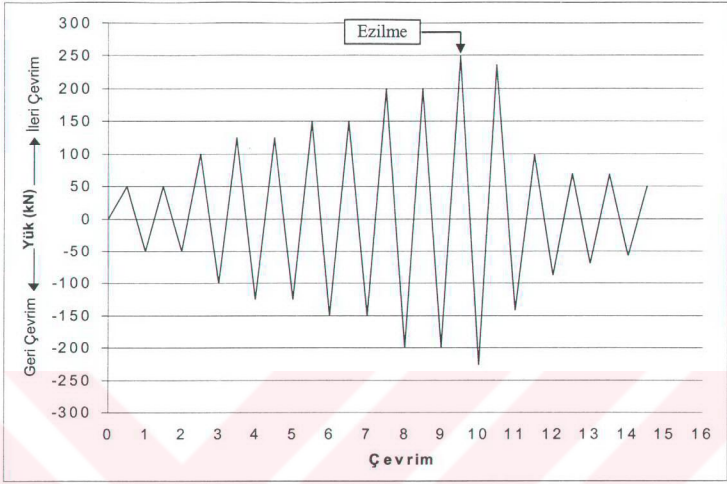
5.3. 3 Nolu Elemanın (Specimen-3) Deneyi

Deney elemanı tanımı : Tam dolu betonarme dolgu duvarlı, güçlendirilmiş
 Deney tarihi : 26/01/2002
 Boşluk alanı/Çerçeve iç alanı : 0
 Dolgu duvarı düzenlemesi :

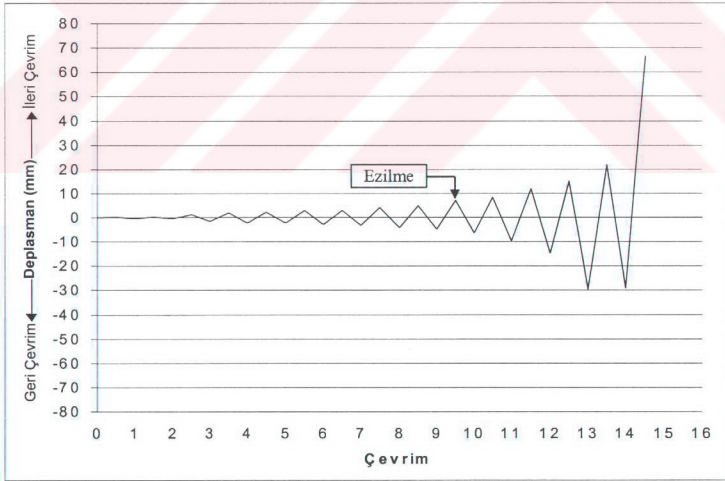


3 nolu deney elemanı çerçeve iç alanının tümü dolgu duvarla güçlendirilmiş elemandır. Deney sırasında elemana uygulanan yük çevrimi grafiği Şekil 5.11'de verilmiştir. Elemana 15 tam çevrim uygulanmıştır. Deney elemanında ilk eğilme çatlağı 50 kN, ilk kesme çatlağı ise dolgu duvarında ve 100 kN yük seviyesinde meydana gelmiştir. 10. çevrimin ileri yüklemesinde, 248 kN yük düzeyinde eleman basınç diyagonalinde oluşan beton ezilmesi sonucu taşıma gücüne ulaşmıştır. Ezilmenin olduğu çevrimde ölçülen maksimum yanal deplasman 7 mm'dir. Deney elemanının taşıma gücüne ulaştığı 10. çevrimde betonarme dolgu duvarında oluşan kesme çatlaklarının sayısında önemli bir artış oluşmuştur. Deney elemanı iki diyagonal üzerindeki basınç çubuklarında meydana gelen ezilme sonucu göçmüştür. Çatlakların büyük bir kısmı betonarme dolgu duvarında ve diyagonal doğrultudaki ezilme bölgelerinde meydana gelmiştir. Çerçeve kolonları ve kirişinde görülen hasar betonarme dolgu duvara göre çok daha azdır. Deney elemanı dolgu duvarında gözlenen diyagonal doğrultudaki beton basınç ezilmesinden sonra deplasman kontrollü yüklemeler yapılmıştır.

Göçme Mekanizması: Deney elemanı dolgu duvarının diyagonal doğrultudaki basınç çubuklarında betonun ezilmesi ve temel kirişinin yaklaşık 300 mm üstünden kesilerek kayması sonucunda göçmeye ulaşmıştır.



a) Yük çevrim grafiği



b) Deplasman çevrim grafiği

Şekil 5.11.Deney Elemanı-3'ün yük ve deplasman çevrim grafikleri

Deney elemanının düzeltilmiş yük deplasman grafiği Şekil 5.12’de verilmiştir. Elemandan alınan ölçümler kullanılarak hesaplanan yük-kesme deplasmanı grafikleri çerçeve ve dolgu duvarı için Şekil 5.13 ve Şekil 5.14’de sunulmuştur. Çerçeve ve dolgu duvarının kesme deplasmanının ölçülmesi için kullanılan deplasman ölçerler son çevrimde devre dışı kalmıştır. Deney sırasında önemli çatlak oluşumlarının meydana geldiği çevrimlerden göçmeye ulaşılan kadar alınmış fotoğraflar Şekil 5.15’de yer almaktadır. Aşağıda davranış ve dayanım açısından önemli değişimlerin meydana geldiği çevrimler anlatılacaktır.

3. çevrim:

100 kN yük seviyesine çıkılan bu çevrimin ileri yüklemesinde çerçevenin sol kolon-kiriş birleşim bölgesinin 150 mm altında ilk kesme çatlağı oluşmuştur. Sol kolonda, kolon dibinden 150 mm yukarıdaki eğilme çatlağı gelişmiştir. Aynı çevrimin geri yüklemesinde çerçevenin sağ kolonunun orta bölgesinde kesme çatlağı oluşmuştur. Betonarme dolgu duvarda sağ üst köşeden sol alt köşeye doğru kesme çatlakları meydana gelmiştir. Bu yükleme adımı çerçevenin sağ kolon-kiriş birleşiminde yaklaşık 45° açılı bir çatlak oluştuğu görülmüştür.

4. çevrim:

Bu çevrimde 125 kN yük düzeyine çıkılmıştır. Çevrimin ileri yükleme adımı sol kolon-kiriş birleşiminde yaklaşık 45° açılı bir çatlak oluşmuştur. Paneldeki kesme çatlağı sayısında artış gözlenmiştir. Kolondaki eğilme çatlakları kolon alt ucundan 400 mm yukarı kısımlara kadar yayılma göstermiştir. Aynı çevrimin geri yüklemesinde panelde sağ tarafta oluşan çatlaklar tüm panel boyunca hem kolonu hem de kirişi kesecek şekilde ilerlemiştir. Bu çevrimde paneldeki kesme çatlağı genişliği 0.4 mm olarak ölçülmüştür.

5. çevrim:

125 kN yük seviyesinde tekrarlanan çevrimin ileri yüklemesinde panelde kesme çatlakları yoğunlaştığı ve genişlikleri arttığı için kesme çimdigi etkisi yük-deplasman grafiğinden görülebilir duruma gelmiştir. Başta düşük bir rijitlikle hareket eden

grafik, kesme çatlakları kapandıktan sonra tekrar rijitlik kazanarak eğim değiştirmiştir.

6. çevrim:

150 kN yük seviyesine çıkılan çevrimin ileri yüklemesinde sol kolon-kiriş birleşimine yakın bir bölgede kesme çatlağı gelişimi görülmüştür. Çerçeve kolonlarındaki eğilme çatlakları kolon yüksekliği boyunca yayılma eğilimi göstermiştir. Çevrimin ileri yüklemesinde panel kesme çatlağı genişliği 0.6 mm'ye ulaşmıştır. Çevriminin geri yükleme adımında panelde oluşan kesme çatlaklarının kolona kadar devam ettikleri gözlenmiştir.

9. çevrim:

200 kN yük düzeyinde tekrarlanan çevrimin ileri yüklemesinde dolgu duvarının kabuk betonunda kabarma belirtileri gözlenmiştir. Bu anda paneldeki kesme çatlağı genişliği 1 mm değerine ulaşmıştır. Dolgu duvarda kesme çatlağı, çerçeve kirişine kadar ulaşarak yaklaşık 150 mm'lik uzunluk boyunca panel ile çerçeve kirişi arayüzünde devam etmiştir.

10 çevrim:

Çevriminin ileri yüklemesinde 250 kN yük düzeyine ulaşılmıştır. Geri yükleme adımında -225 kN yük seviyesinde dolgu duvarının sağ üst köşesinden başlayan diyagonal basınç çubuğunda betonun ezilmesi ile deney elemanı taşıma gücüne ulaşmıştır.

11. çevrim:

Eleman başlangıçta yük alamamış ve temel kirişi üzerinde kayma hareketi sergilemiştir. Daha sonra deney elemanı yük taşımaya başlamış ve rijitlikteki değişim deney esnasında grafikten gözlenmiştir. Deney elemanı 10. çevrimin ileri yükleme adımında çıktığı 248 kN yük seviyesine ulaşamamıştır. 11. çevrimin ileri yüklemesinde 230 kN yük seviyesinde dolgu duvarının sol üst köşesinden başlayarak diyagonal basınç çubuğunda beton ezilmiştir. İki diyagonalin kesiştiği noktada duvar betonu tamamen ezilmiş ve dökülmüştür. Elemanda bu noktaya kadar tüm hasar

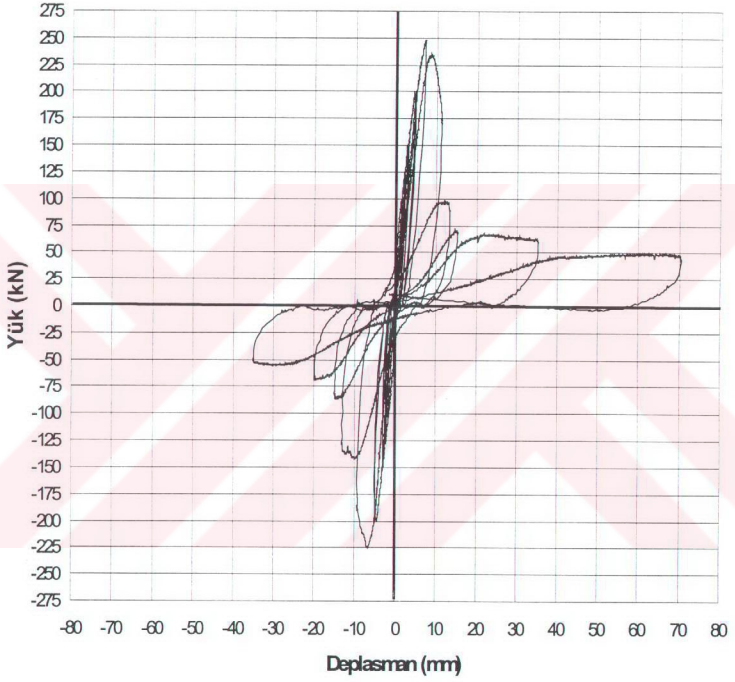
betonarme dolgu duvarında yoğunlaşmıştır. Dolgu duvarı çerçeveye bağlayan filiz donatılarında bir sıyrılma gözlenmemiştir. Dolgu duvarı ve çerçevenin arayüzündeki çatlaklar kılcal düzeyde kalmıştır.

12. çevrim:

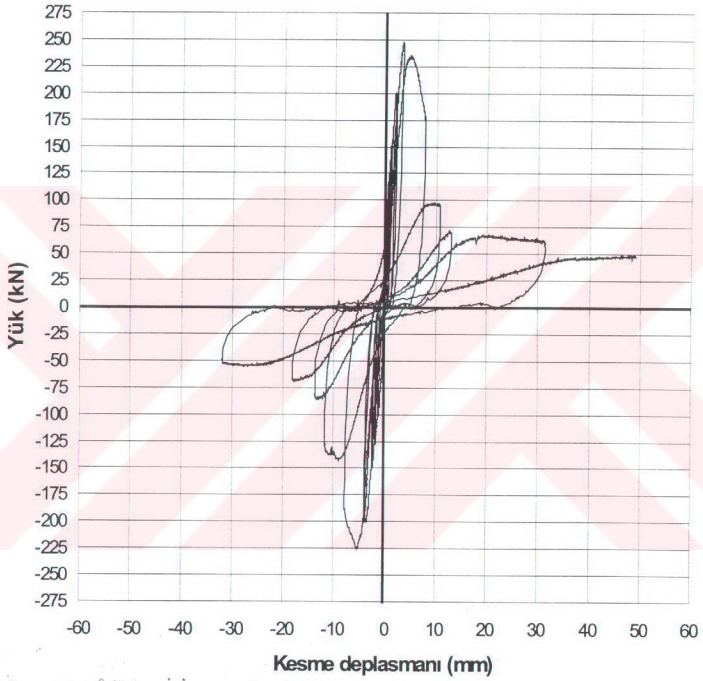
Bu çevrimde elemanın temel kirişinden yaklaşık 300 mm yukarıda, filiz donatılarının bitim noktasına yakın bir hat boyunca kayma hareketi yapmaya başladığı gözlenmiştir.

14. çevrim:

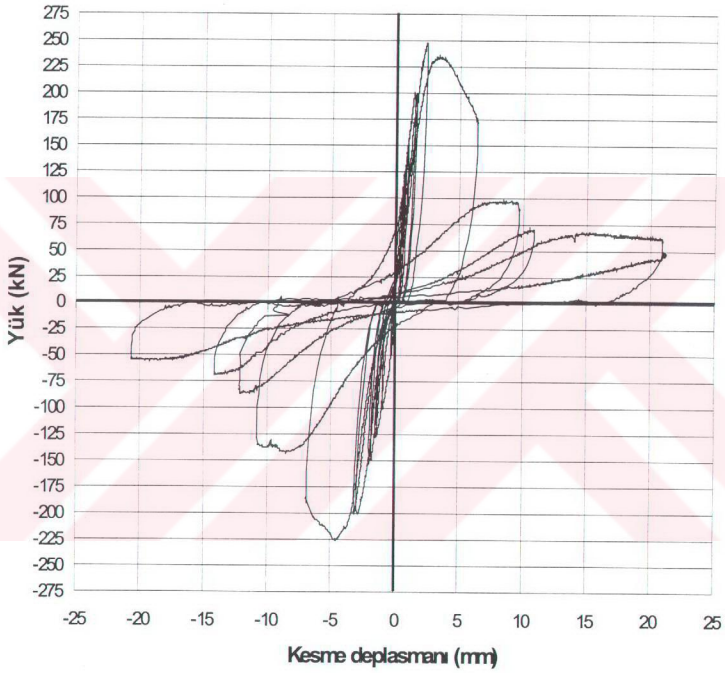
Dolgu duvardaki kesme çatlaklarının sağ ve sol kolonların dibine kadar ilerleyerek, kolonlarda da devam ettiği gözlenmiştir. Kolonlardaki kabuk betonları tamamen dökülmüş ve kolon boyuna donatıları görülür hale gelmiştir. Deney bir çevrim daha yapılarak toplam 15 çevrim sonucunda tamamlanmıştır.



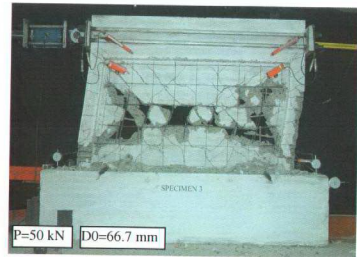
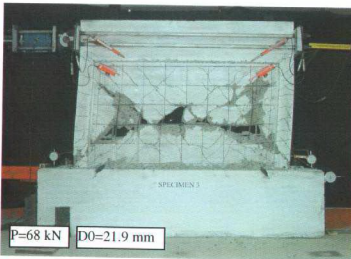
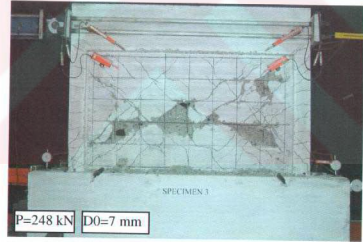
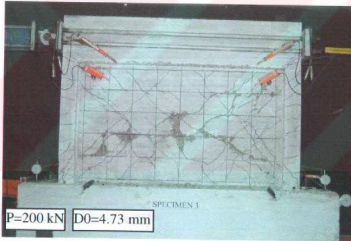
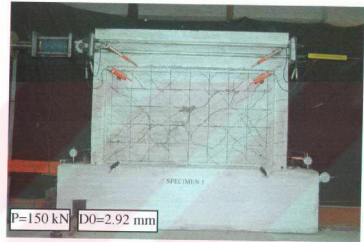
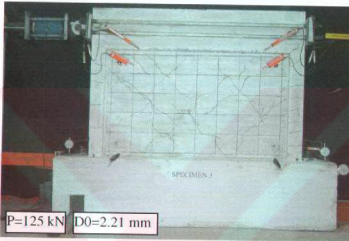
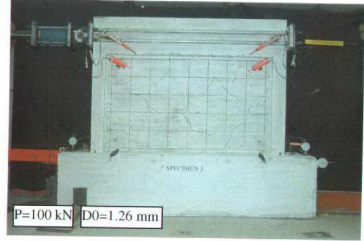
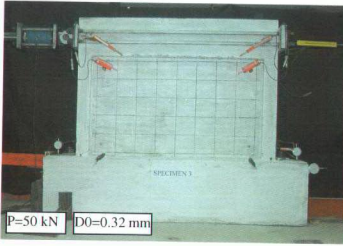
Şekil 5.12. Deney Elemanı-3'ün yük-deplasman grafiği



Şekil 5.13. Çerçevenin yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-3)



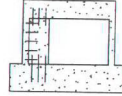
Şekil 5.14. Dolgu duvarının yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-3)



Şekil 5.15. Deney Elemanı 3'ün test sırasında fotoğrafları

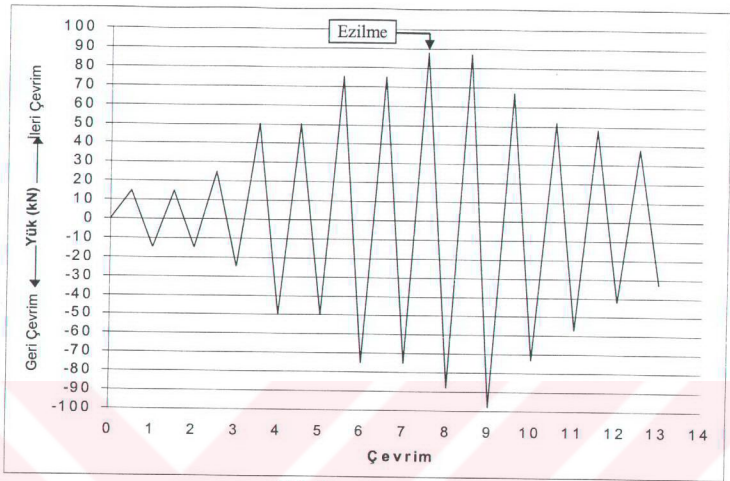
5.4. 4 Nolu Elemanın (Specimen-4) Deneyi

Deney elemanı tanımı	:	Bir kanat duvarlı, güçlendirilmiş
Deney tarihi	:	30/01/2002
Boşluk alanı/Çerçeve iç alanı	:	0.75
Dolgu duvarı düzenlemesi	:	

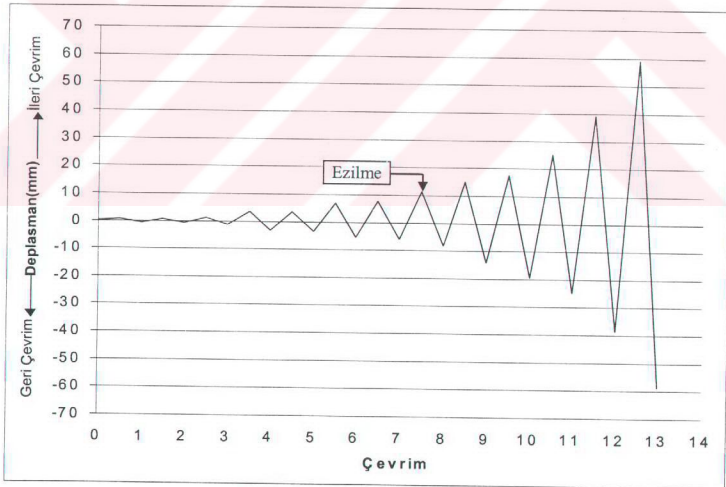


4 nolu deney elemanı çerçeve iç alanının %25'ini dolduracak şekilde (325 mm genişliğinde) betonarme kanat dolgu duvarı ile güçlendirilmiş elemandır. Dolgu duvarında bırakılan boşluk alanı büyüklüğündeki değişimin elemanın deprem davranışına etkisinin incelenmesi amacıyla üretilmiştir. Deney sırasında elemana uygulanan yük çevrimi grafiği Şekil 5.16'da verilmiştir. Elemana 13 tam çevrim uygulanmıştır. Deney elemanında ilk eğilme çatlağı 15 kN, panelde ilk kesme çatlağı ise 50 kN yük seviyesinde meydana gelmiştir. 8. çevrimin ileri yüklemesinde, 88 kN yük düzeyinde eleman, basınç diyagonalinde betonun ezilmesi sonucu taşıma gücüne ulaşmıştır. Ezilmenin olduğu çevrimde ölçülen maksimum yanal deplasman 11 mm'dir Deney elemanı dolgu duvarı iki diyagonalı üzerinde basınç çubuklarında meydana gelen ezilme sonucu göçmüştür. Bu aşamada çatlakların büyük bir kısmı betonarme dolgu duvarında ve diyagonal doğrultulardaki ezilme bölgelerinde yoğunlaşmıştır. Deney elemanı maksimum yük seviyesine ulaştığı 8. çevrimden sonra çatlaklar çerçeve kolonları ve panel uç elemanı üzerinde yoğunlaşmıştır. Deney elemanı dolgu duvarında gözlenen diyagonal doğrultudaki beton basınç ezilmesinden sonra deplasman kontrollü yüklemeler yapılmıştır.

Göçme Mekanizması: Deney elemanında göçme, betonarme dolgu duvarında diyagonal doğrultuda oluşan ezilme ile meydana gelmiştir. Betonarme kanat dolgu duvarı ile kolon birlikte eğilme davranışı sergilemiştir. Temel kirişinin hemen üstünde dolgu duvarı betonu ezilmiştir.



a) Yük çevrim grafiği



b) Deplasman çevrim grafiği

Şekil 5.16 Deney Elemanı-4'ün yük ve deplasman çevrim grafikleri

Deney elemanının düzeltilmiş yük deplasman grafiği Şekil 5.17’de verilmiştir. Elemandan alınan ölçümler kullanılarak hesaplanan yük-kesme deplasmanı grafikleri çerçeve ve dolgu duvarı için Şekil 5.18 ve Şekil 5.19’da sunulmuştur. Çerçeve ve dolgu duvarının kesme grafiklerinin çizilmesinde kullanılan deplasman ölçerlerden dolgu duvarında olanları son çevrimde dolgu duvarının hasarı sonucu devre dışı kalmıştır. Dış çerçeve kesme deplasmanının ölçümünde kullanılan deplasman ölçerlerde bir sorunla karşılaşılmanış ve deney bitimine kadar ölçüm alınabilmektedir. Deney elemanının betonarme dolgu duvarı ile bağlantısı olmayan serbest kolonundan alınmış eğrilik ölçümleri kullanılarak çizilen moment-eğrilik ilişkisi grafiği Şekil 5.20’de verilmiştir. Deney sırasında önemli çatlak oluşumlarının meydana geldiği çevrimlerden göçmeye ulaşılan kadar alınmış fotoğraflar Şekil 5.21’de yer almaktadır. Aşağıda deney sırasında önemli gelişmelerin olduğu çevrimler açıklanarak özetlenmiştir.

1. çevrim:

Bu çevrimde 15 kN yük seviyesine çıkılmıştır. İleri yükleme adımıda sol kolon dibinden 200 mm yukarıda ilk eğilme çatlağı gözlenmiştir.

3. çevrim:

25 kN yükleme seviyesine çıkılan çevrimin geri yüklemesinde sağ kolon-kiriş birleşiminde 45° eğimli bir çatlak gelişmiştir.

4. çevrim:

50 kN yükleme seviyesine çıkılan çevrimin ileri yükleme adımıda dolgu duvarda kılcal düzeyde ilk kesme çatlağı oluşmuştur. Çevrimin geri yüklemesinde dolgu duvarda yeni kesme çatlakları gelişmiştir. Bu çevrimde panel sağ alt köşesinde temel kirişinden ayrılma meydana gelmiştir. Ayrılma genişliği 0.3 mm olarak belirlenmiştir.

5. çevrim:

50 kN yükleme seviyesinde tekrarlanan çevrimin ileri yüklemesinde panelin sağ üst ucundan çerçeve kirişi ile yaklaşık 0.3 mm genişliğinde ayrılma çatlağı gözlenmiştir.

Çevriminin geri yükleme adımında çerçevenin sağ kolon-kiriş birleşiminde kesme çatlağı meydana gelmiştir. Dolgu duvarda oluşan kesme çatlakları duvarın uç bölgesine doğru ilerleme kaydetmiştir.

6. çevrim:

75 kN yük düzeyine çıkılan çevrimin ileri yükleme adımında çerçevenin sol kolonunda, ilk kesme çatlağı görülmüştür. Dolgu duvardaki kesme çatlakları çerçeve kolonuna kadar gelişerek kolon ile panel arasında ilerleme göstermiştir. Bu çevrimde çerçeve kirişine bağlanan filiz donatılarının üst seviyesinden başlayan ve kiriş eksenine paralel gelişen bir çatlak gözlenmiştir. Geri yükleme adımında panelin sağ alt ucunda ayrılma başlamış ve paneldeki kesme çatlakları 0.3 mm genişliğe ulaşmıştır. Çerçevenin sağ kolonu ile temel kirişi arasındaki çatlak 1.0 mm'ye kadar genişlemiştir.

8. çevrim:

Bu çevrimde 100 kN yük seviyesine çıkılması hedeflenmiştir. Ancak bu yük düzeyine ulaşılmadan 88 kN yük seviyesinde elemanın dolgu duvarında beton ezilmiştir. Çevrimde panelin sağ üst köşesinde 120 mm boyunda, 3 mm genişliğinde bir ayrılma, panel sağ alt ucunda ise ezilme görülmüştür. 88 kN yük seviyesinde panel beton kabuğunda kabarma gözlenmiş ve yükleme durdurulmuştur. Çevrimin geri yükleme adımında panel ile temel kirişi arasında ayrılma iyice gelişmiştir. Panelde kesme çatlağı genişliği 0.5 mm'ye ulaşmıştır.

9. çevrim:

Deneye bu çevrimden başlayarak deplasman kontrollü devam edilmiştir. Panelin sol kolon alt ucunda beton ezilmeye başlamıştır. Beton basınç çubuğunda çatlak genişliği 0.5 mm' ye ulaşmıştır. Panel ile kiriş arasındaki ayrılma 4 mm genişliğe kadar çıkmıştır. Panelde gelişen kesme çatlakları sol kolon üzerinde devam etmiştir. Geri yüklemede sol kolon alt ucunda eğilme ve kesme çatlaklarında artış gözlenmiştir. Panelin sağ alt ucundaki ayrılma 4 mm genişliğe ulaşmış ve panelde beton basınç çubuğu doğrultusunda ezilme belirtileri görülmüştür. -96 kN yük

seviyesine ve 15 mm yanıl deplasman değeriine ulaşılan 9. çevrimin geri yüklemle adımında beton basınç çubuğunda ezilme gözlenmiş ve yüklemeye son verilmiştir.

10. çevrim:

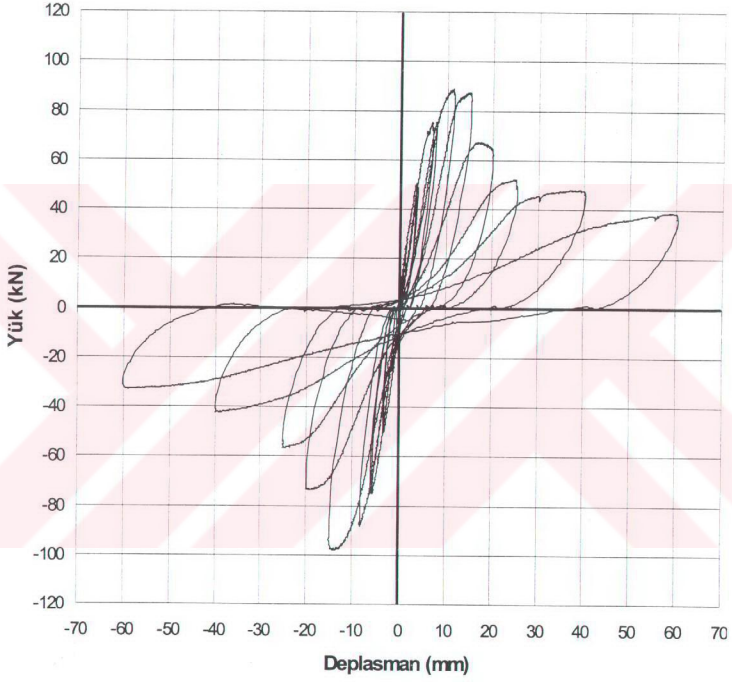
Eleman ileri yüklemlede 70 kN, geri yüklemlede ise -65 kN yük taşıyabilmiştir. Sağ kolonda daha yoğun olmak üzere her iki kolonda kesme çatlaklarının sayısında artış gözlenmiştir. Paneldeki kabuk betonu dökülmüş ve panel donatıları görülür hale gelmiştir. Sol kolonda 0.5 mm genişliğinde kesme çatlakları ve alt ucunda ezilme belirtileri görülmüştür.

11. çevrim:

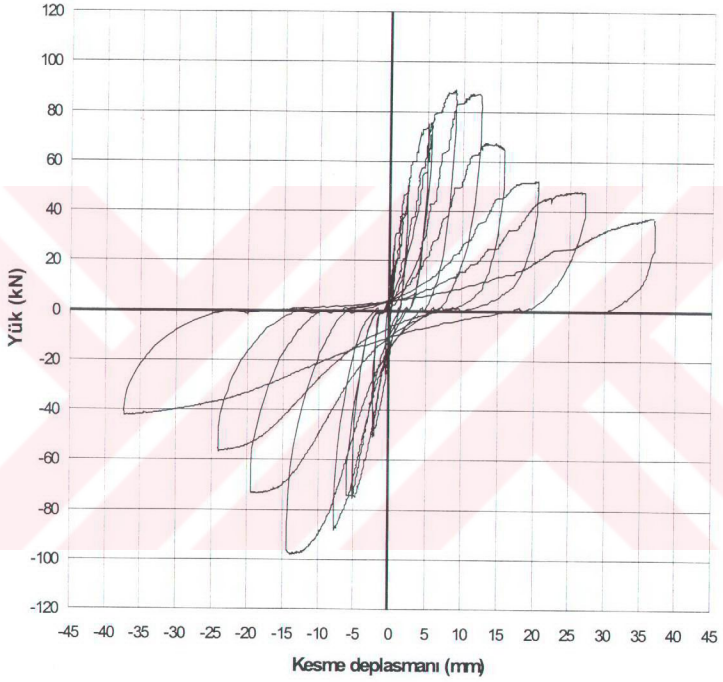
Çevriminin ileri yüklemle adımında betonarme dolgudaki uç elemanında, temel üst yüzünden 200 mm yukarıda, genişliği 3 mm'ye ulaşan eğilme çatlaklı gözlenmiştir. Sağ kolon ile temel kirişi ara kesitinde çatlak genişliği 2,5 mm'ye ulaşmıştır. Maksimum 52 kN yük seviyesine çıkılabilmektedir. Çevrimin geri yüklemle adımında sol kolonun temel kirişi ile birleştiği uç noktada beton ezilmiştir. Geri yüklemlede deney elemanı -55 kN yük taşıyabilmiştir.

12. çevrim:

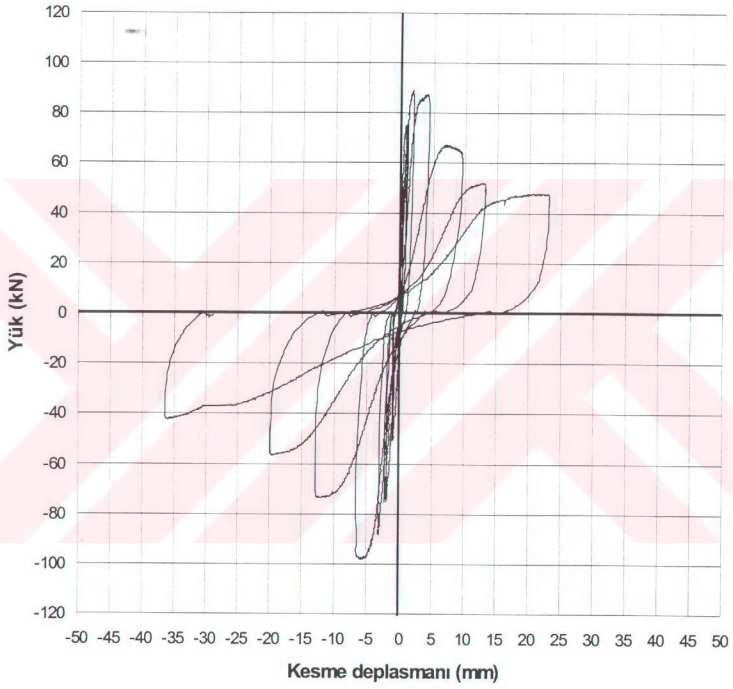
Çevrimin ileri yüklemle adımında sağ kolon alt ucundaki plastik mafsallaşma daha belirgin hale gelmiştir. Panelin üst tarafında panel ile kiriş arasındaki ayrılma ilerlemiştir. Bu çevrimde 47 kN yük seviyesine kadar çıkılabilmektedir. Çevrimin geri yüklemesinde panel içindeki uç elemanın alt kısmında plastik mafsallaşma oluşumu gözlenmiştir. Uç elemanın etriye ve boyuna donatıları görülür hale gelmiştir. Panelin kesme çatlaklı kolonda da ilerlemiş ve deney elemanı kesme kırılması şeklinde göçmüştür. Çevrimin geri yüklemle adımında deney elemanı -42 kN yük taşıyabilmiştir. Deney bir çevrim daha yapılarak toplam 13 çevrim sonunda tamamlanmıştır.



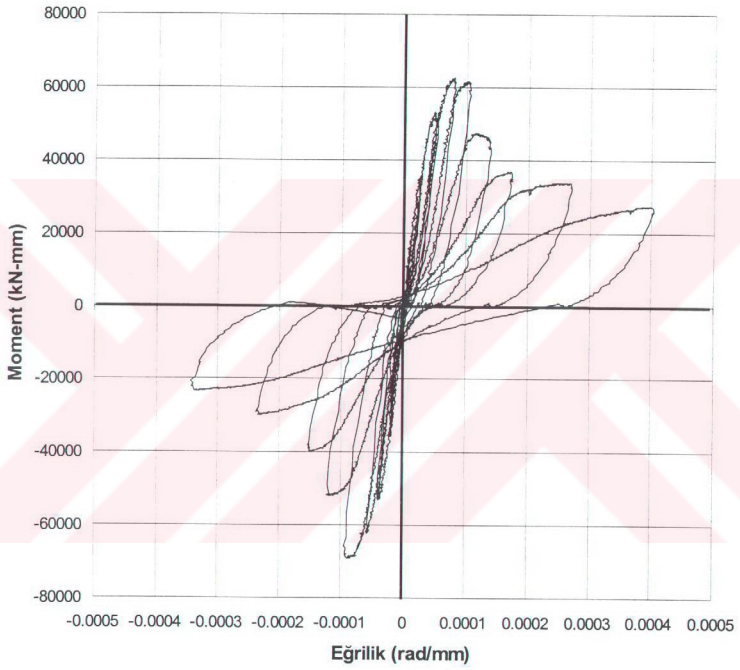
Şekil 5.17 Deney Elemanı-4'ün yük-deplasman grafiği



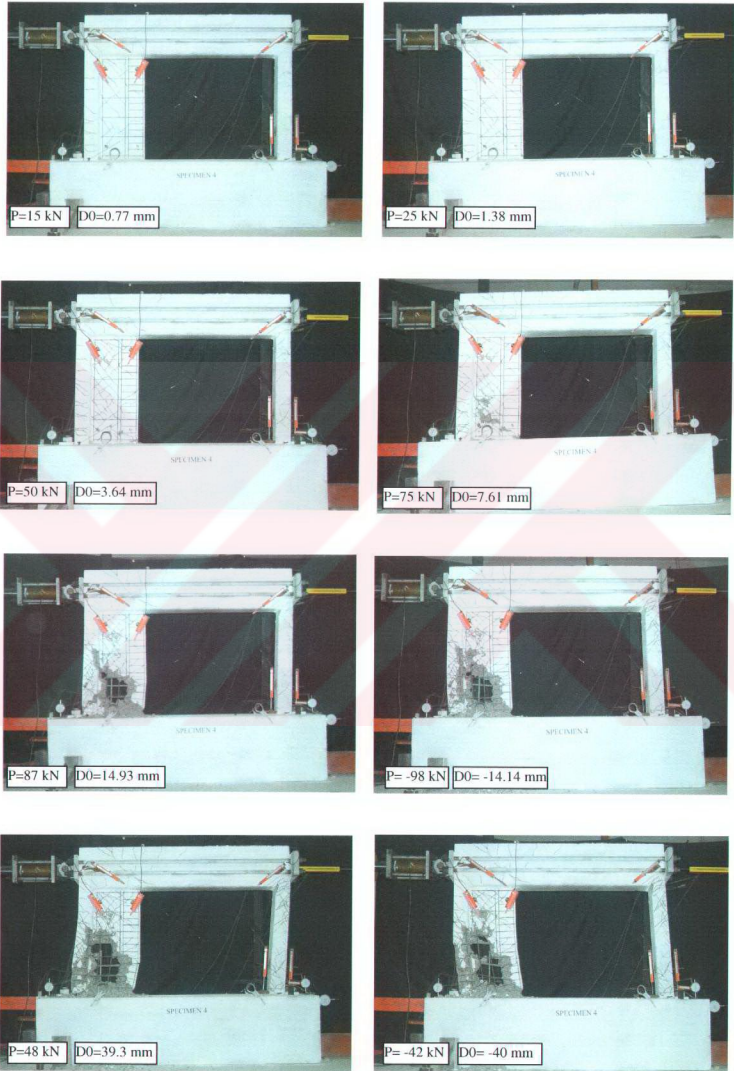
Şekil 5.18. Çerçevenin yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-4)



Şekil 5.19. Dolgu duvarının yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-4)



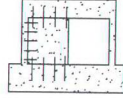
Şekil 5.20. Kolon moment eğrilik grafiği (Deney Elemanı-4)



Şekil 5.21. Deney Elemanı 4'ün test sırasında fotoğrafları

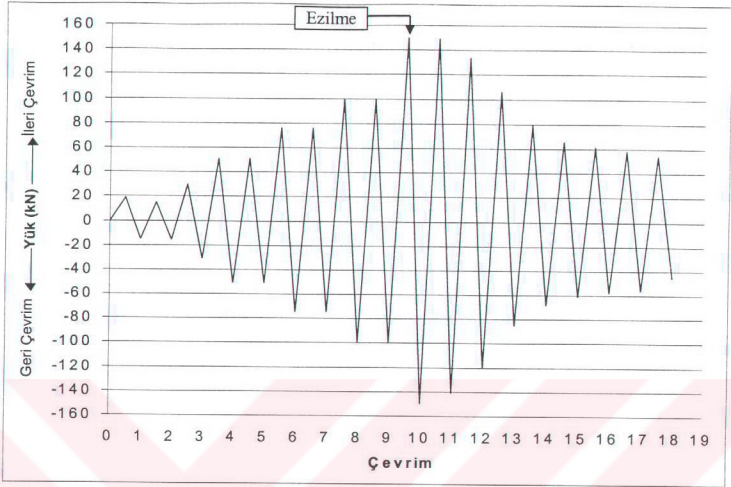
5.5. 5 Nolu Elemanın (Specimen-5) Deneyi

Deney elemanı tanımı	:	Bir kanat duvarlı, güçlendirilmiş
Deney tarihi	:	02/02/2002
Boşluk alanı/İç çerçeve alanı	:	0.50
Dolgu duvarı düzenlemesi	:	

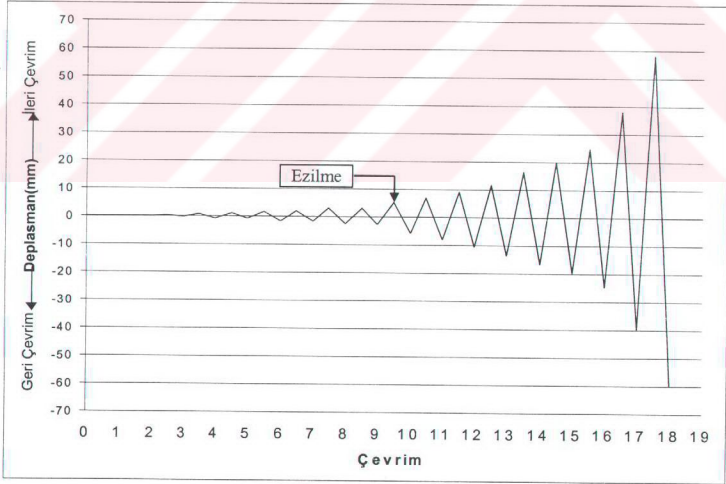


5 nolu eleman çerçeve iç alanının %50'sini dolduracak şekilde (650 mm genişliğinde) betonarme kanat dolgu duvarı ile güçlendirilmiş deney elemanıdır. Betonarme dolgu duvarında bırakılan boşluk alanı büyüklüğündeki değişimin elemanın deprem davranışına etkisinin incelenmesi amacıyla üretilmiştir. Deney sırasında elemana uygulanan yük çevrimi grafiği Şekil 5.22'de verilmiştir. Elemana 18 tam çevrim uygulanmıştır. Deney elemanında ilk eğilme çatlağı 30 kN, panelde ilk kesme çatlağı ise 50 kN yük seviyesinde meydana gelmiştir. 10. çevrimin ileri yüklemesinde, 150 kN yük düzeyinde eleman basınç diyagonalinde oluşan beton ezilmesi sonucu taşıma gücüne ulaşmıştır. Ezilmenin olduğu çevrimde ölçülen maksimum yanal deplasman 5 mm'dir. 10. çevrimin sonuna kadar çatlakların büyük bir kısmı betonarme dolgu duvarında ve diyagonal doğrultulardaki ezilme bölgelerinde yoğunlaşmıştır. Çerçeve kolonları ve kirişinde meydana gelen hasar, betonarme dolgu duvardakine göre çok daha azdır. Deney elemanı dolgu duvarında gözlenen diyagonal doğrultudaki beton basınç ezilmesinden sonra deplasman kontrollü yüklemeler yapılmıştır.

Göçme Mekanizması: Deney elemanında göçme, betonarme dolgu duvarında diyagonal doğrultuda basınç çubuklarında ezilme ile meydana gelmiştir. Panel betonundaki dökülmenin ardından panel uç elemanı iki ucu mafsallı çubuk davranışı sergilemiştir.



a) Yük çevrim grafiği



b) Deplasman çevrim grafiği

Şekil 5.22. Deney Elemanı-5'in yük ve deplasman çevrim grafikleri

Deney elemanının düzeltilmiş yük deplasman grafiği Şekil 5.23'de verilmiştir. Elemandan alınan ölçümler kullanılarak hesaplanan yük-kesme deplasmanı grafikleri çerçeve ve dolgu duvarı için Şekil 5.24 ve Şekil 5.25'de sunulmuştur. Çerçeve ve dolgu duvarının kesme deplasmanının ölçülmesinde kullanılan deplasman ölçerlerde bir sorun yaşanmamış ve deney sonuna kadar ölçüm alınabilmektedir. Deney elemanının betonarme dolgu duvarı ile bağlantısı olmayan serbest kolonundan alınmış eğrilik ölçümleri kullanılarak çizilen moment-eğrilik ilişkisi grafiği Şekil 5.26'da verilmiştir. Deney sırasında önemli çatlak oluşumlarının meydana geldiği çevrimlerden, göçmeye ulaşılana kadar alınmış fotoğraflar Şekil 5.27'de yer almaktadır. Aşağıda deney sırasında önemli gelişmelerin olduğu çevrimler açıklanarak özetlenmiştir.

4. çevrim:

50 kN yük seviyesine çıkılan çevrimin ileri yüklemesinde panelde ilk kesme çatlağı oluşmuştur. Çevrimin ileri yükleme adımıda çerçevenin sol kolonundaki eğilme çatlakları gelişme göstermiştir. Geri yüklemede betonarme dolguda diğer diyagonal doğrultuda ilk kesme çatlakları gözlenmiştir. Çerçevenin sol kolonunda temel kirişi üst yüzünden 350 mm yukarıda eğilme çatlakları görülmüştür. Çerçevenin sağ kolon-kiriş birleşiminde 45° açılı çatlaklar gelişmiştir.

5. çevrim:

50 kN yük seviyesinde tekrarlanan çevrimin ileri yükleme adımıda dolgu duvarında bir önceki çevrimde oluşan kesme çatlaklarından bir kısmı kolona kadar ilerlemiştir. Geri yüklemede sağ kolonda kılcal düzeyde kesme çatlağı gözlenmiştir.

6. çevrim:

75 kN yük seviyesine çıkılan çevrimin ileri yüklemesinde panelde gelişen kesme çatlakları temel kirişine kadar ilerlemiştir. Geri yüklemede panelin sağ alt köşesinde, panel ile temel kirişi ara yüzünde çatlak meydana gelmiştir.

7. çevrim:

75 kN yük seviyesinde tekrarlanan çevrimin ileri yüklemesinde paneldeki kesme çatlağı genişliği 0.25 mm değerine ulaşmıştır. Bu çevrimin geri yükleme adımında panel sağ alt köşesi temel kirişinden ayrılmaya başlamıştır.

8. çevrim:

100 kN yük seviyesine çıkılan çevrimin ileri yüklemesinde paneldeki kesme çatlağı genişliği 0.5 mm değerine ulaşmıştır. Sol kolon-kiriş birleşiminde kesme çatlakları gelişmiştir. Paneldeki kesme çatlakları kolona kadar ilerlemiştir.

10. çevrim:

150 kN yük düzeyine çıkılan çevrimin ileri yüklemesinde paneldeki kesme çatlaklarının genişliği 0.8 mm değerine ulaşmıştır. Panelin serbest kenarında temel kirişine paralel çatlakların gelişmesi dikkati çekmiştir. Bu çevrimde Panelin sağ alt ucunda temel kirişinden 1.0 mm genişliğinde ayrılma oluşmuştur.

11. çevrim:

150 kN yük düzeyinde tekrarlanan çevrimin ileri yükleme adımında panel sağ alt köşesinde ezilme gözlenmiştir. İleri yüklemenin 146 kN yük seviyesinde panel betonu basınç diyagonalı ezilmiştir. Aynı çevrimin geri yüklemesinde, -137 kN yük düzeyinde panelin diğer yöndeki diyagonalinde beton ezilmiştir. Deneye bu çevrimden sonra deplasman kontrollü devam edilmiştir.

12. çevrim:

Çevriminin ileri yükleme adımında 11 mm deplasman yapılmış ve deney elemanı 133 kN yük taşıyabilmiştir. Deney elemanının yük taşıma kapasitesinde düşüş başlamış ve yük 127 kN değerine düşmüştür. Çevrimin geri yüklemesinde deney elemanı ancak -118 kN yük taşıyabilmiştir.

13. çevrim:

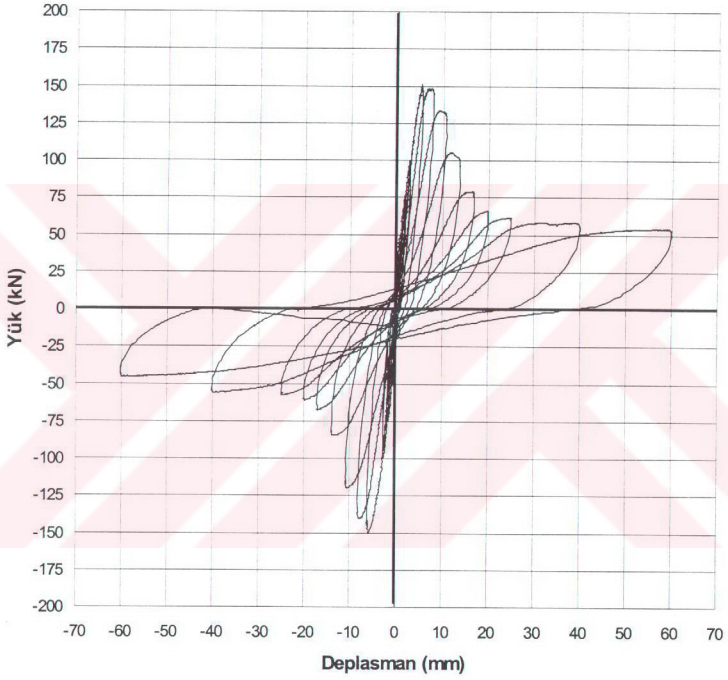
14 mm deplasman değerine ulaşılan çevrimin ileri yüklemesinde panelde kabuk betonu dökülmüş ve panel donatıları görülür hale gelmiştir. Panelin alt ucunda

ezilme oluşmuştur. Deney elemanı ileri yüklemeye 104 kN, geri yüklemeye ise -84 kN yük taşıyabilmiştir.

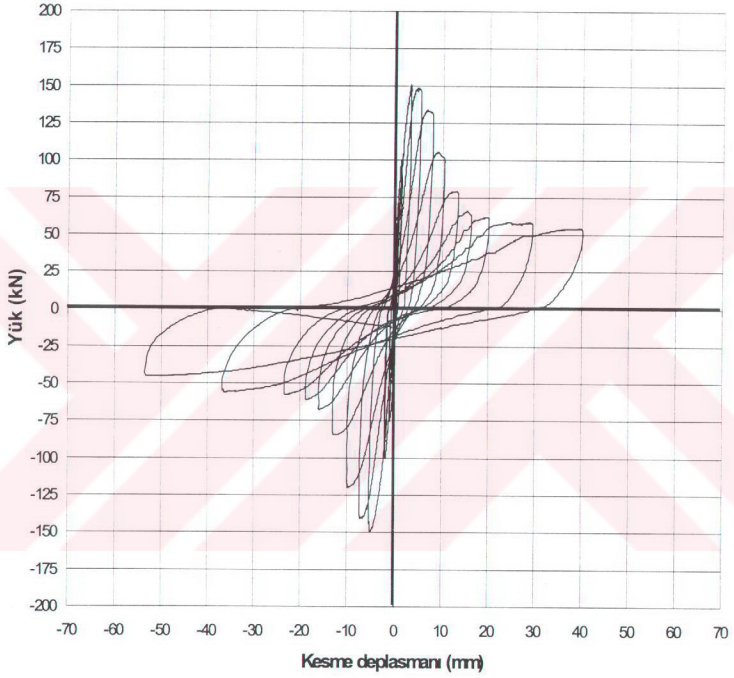
14. çevrim:

Panel betonundaki dökülmelerin yoğunlaştığı çevrimde panel uç elemanı iki ucundan mafsallı çubuk davranışı sergilemeye başlamıştır. 17 mm deplasman yapılan bu çevrimin ileri yükleme adımı, çerçevenin sağ kolunu üst ucunda kesme çatlakları meydana gelmiştir. Çevrimin geri yüklemesinde deney elemanı -67 kN yük taşıyabilmiş ve kolonla panel arasında ayrılma gözlenmiştir.

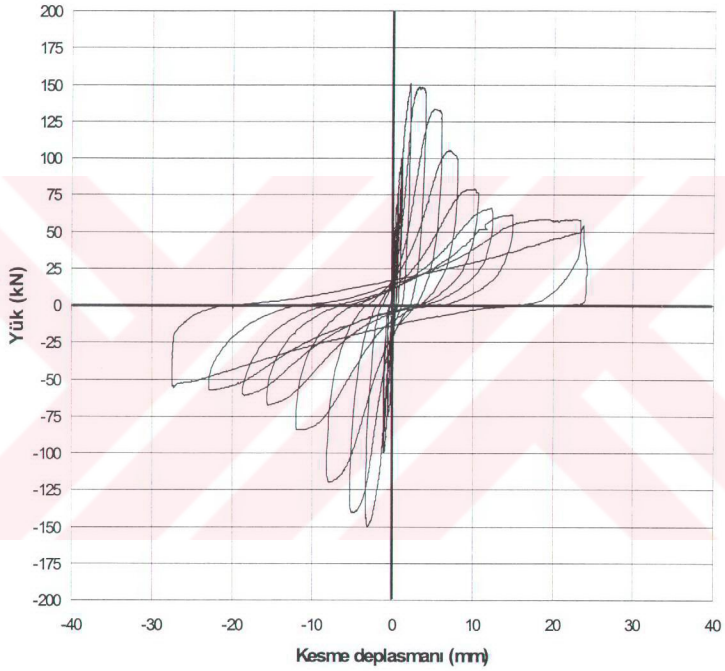
14. çevrimden sonra 4 çevrim daha yapılarak deney tamamlanmıştır. Bu çevrimlerde deney elemanı yük taşıma kapasitesinin büyük bir kısmını kaybetmiştir. Deney elemanının göçme şekli ve çatlak oluşumu incelendiğinde, panelin uç elemanı olan dış kenarında çerçeve kirişi eksenine paralel eğilme çatlakları belirgin olarak meydana gelmiştir. Ayrıca betonarme dolgu duvarında iki ana yük aktarma ve taşıma mekanizması olan basınç diyagonallerinde oluşan beton ezilmesi sonucunda deney elemanının yük taşıma kapasitesinde önemli bir düşüş görülmüştür. Deney elemanında göçme, diyagonallerde betonun ezilmesi sonucu meydana gelmiştir. Panel uç elemanının yük taşıma kapasitesine önemli katkıları olmuş ve deneyin ilerleyen adımlarında iki ucu mafsallı bir eğilme elemanı gibi yük taşımıştır. Ulaşılan büyük yanal deplasman değerinin etkisiyle çerçeve kolonu kabuk betonlarında dökülmeler olmuş ve kolon boyuna donatıları görülür hale gelmiştir.



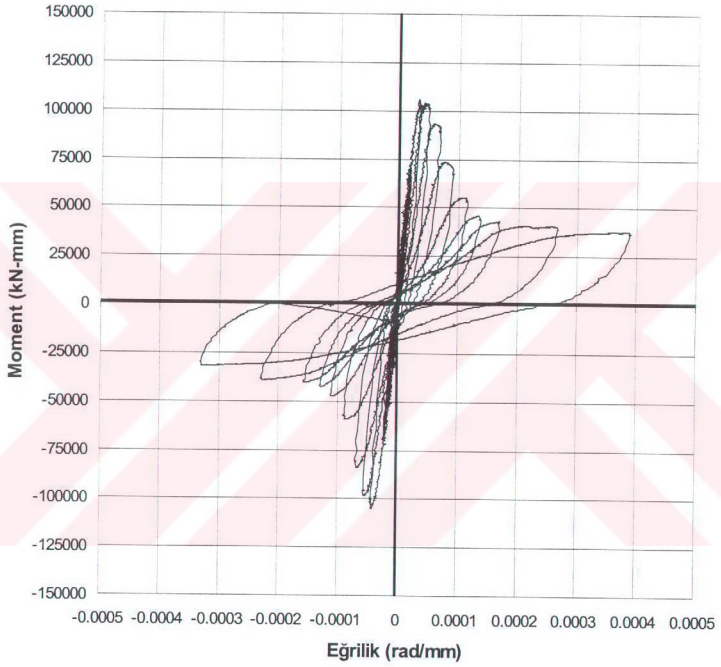
Şekil 5.23. Deney Elemanı-5'in yük-deplasman grafiği



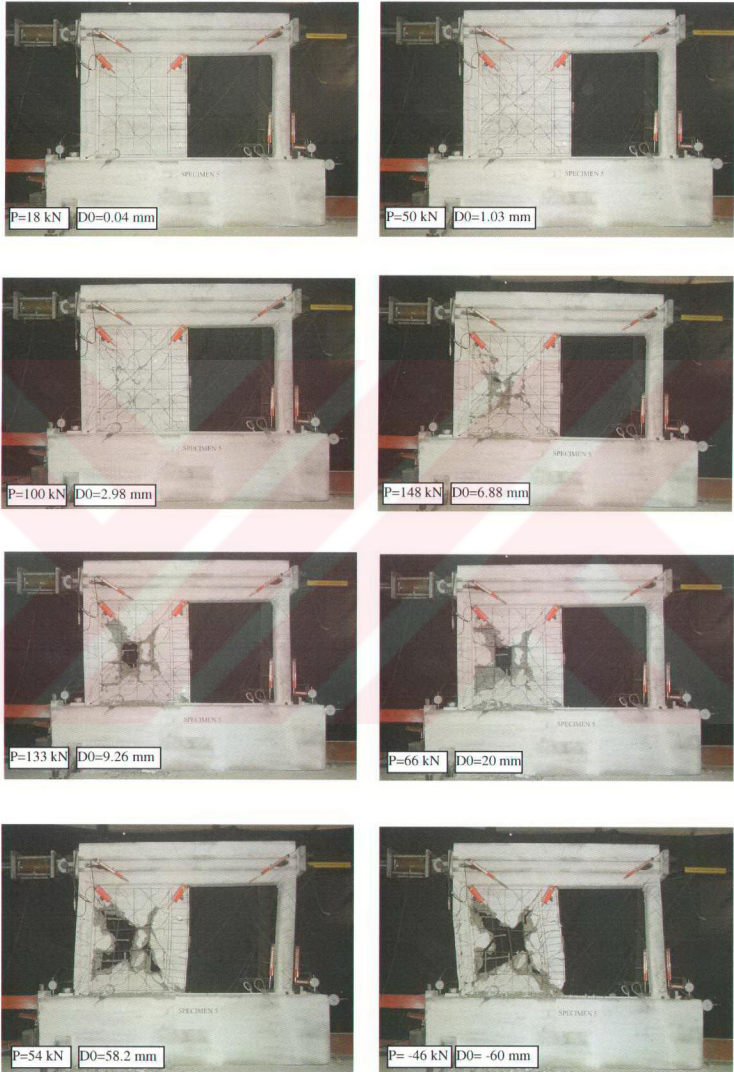
Şekil 5.24. Çerçevenin yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-5)



Şekil 5.25. Dolgu Duvarının yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-5)



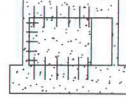
Şekil 5.26. Kolon moment-eğrilik grafiği (Deney Elemanı-5)



Şekil 5.27. Deney Elemanı 5'in test sırasında fotoğrafları

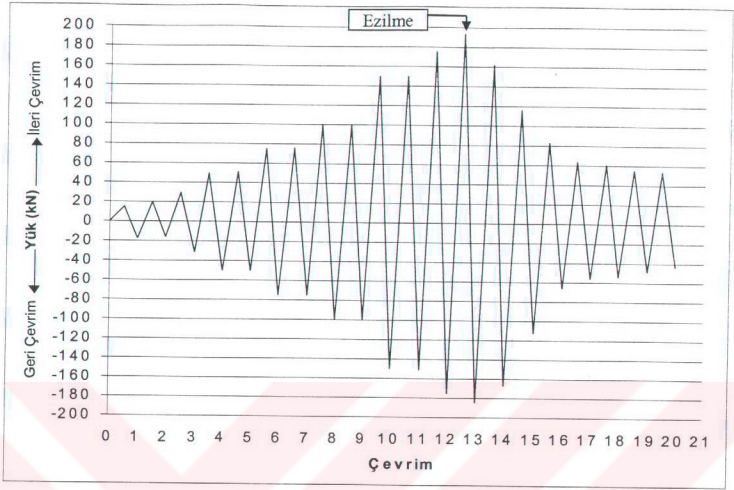
5.6. 6 Nolu Elemanın (Specimen-6) Deneyi

Deney elemanı tanımı	:	Bir kanat duvarlı, güçlendirilmiş
Deney tarihi	:	02/02/2002
Boşluk alanı/Çerçeve iç alanı	:	0.25
Dolgu duvarı düzenlemesi	:	

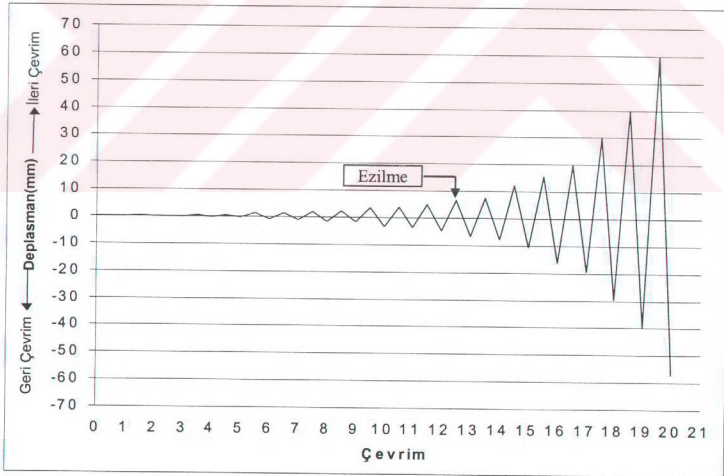


6 nolu deney elemanı çerçeve iç alanının %75'ini dolduracak şekilde (975 mm genişliğinde) betonarme kanat dolgu duvarı ile güçlendirilmiş elemandır. Betonarme dolgu duvarında bırakılan boşluk alanı büyüklüğündeki değişimin elemanın deprem davranışına etkisinin incelenmesi amacıyla üretilmiştir. Deney sırasında elemana uygulanan yük çevrimi grafiği Şekil 5.28'de verilmiştir. Elemana 20 tam çevrim uygulanmıştır. Deney elemanında ilk eğilme çatlağı 30 kN, panelde ilk kesme çatlağı ise 50 kN yük seviyesinde meydana gelmiştir. 13. çevrimin ileri yüklemesinde, 193 kN yük düzeyinde eleman basınç diyagonalinde oluşan beton ezilmesi sonucu taşıma gücüne ulaşmıştır. Ezilmenin olduğu çevrimde ölçülen maksimum yanal deplasman 7 mm'dir. Dolgu duvarında ezilmenin olduğu 13. çevrime kadar çatlakların büyük bir kısmı betonarme dolgu duvarında ve diyagonal doğrultulardaki ezilme bölgelerinde yoğunlaşmıştır. Çerçeve kolonları ve kirişinde meydana gelen çatlaklar, betonarme dolgu duvardakine göre çok daha azdır. 13. çevrimden sonra deney elemanının yük taşıma kapasitesinde büyük bir düşüş görülmüştür. Deney elemanı dolgu duvarında gözlenen diyagonal doğrultudaki beton basınç ezilmesinden sonra deplasman kontrollü yüklemeler yapılmıştır.

Göçme Mekanizması: Deney elemanı betonarme dolgu duvarında iki ana basınç diyagonalinde betonun ezilmesi sonucu göçmeye ulaşmıştır. Dolgu duvarda betonun dökülmesiyle panel uç elemanı iki ucu mafsallı çubuk gibi davranış sergilemiştir.



a)Yük çevrim grafiği



b) Deplasman çevrim grafiği

Şekil 5.28.Deney Elemanı-6'nın yük ve deplasman çevrim grafikleri

Deney elemanının düzeltilmiş yük deplasman grafiği Şekil 5.29'da verilmiştir. Elemandan alınan ölçümler kullanılarak hesaplanan yük-kesme deplasmanı grafikleri çerçeve ve dolgu duvarı için Şekil 5.30 ve Şekil 5.31'de sunulmuştur. Çerçeve ve dolgu duvarının kesme grafiklerinin çizilmesinde kullanılan deplasman ölçerlerden dolgu duvarı için olanları son çevrimde dolgu duvarının hasarı sonucu devre dışı kalmış, çerçeve için kullanılanları ise son dört çevrimde ölçüm alamamıştır. Deney elemanının betonarme dolgu duvarı ile bağlantısı olmayan serbest kolonundan alınmış eğrilik ölçümleri kullanılarak çizilen moment-eğrilik ilişkisi grafiği Şekil 5.32'de verilmiştir. Deney sırasında önemli çatlak oluşumlarının meydana geldiği çevrimlerden göçmeye ulaşılana kadar alınmış fotoğraflar Şekil 5.33'de yer almaktadır. Deney sırasında önemli gelişme ve çatlak oluşumlarının meydana geldiği çevrimler aşağıda sırası ile özetlenmiştir.

4. çevrim:

50 kN yük seviyesine çıkılan çevrimin ileri yükleme adımı panelde ilk kesme çatlağı meydana gelmiştir. Ayrıca sol kolondaki eğilme çatlaklarında artış görülmüştür. Çevrimin geri yüklemesinde panelde diğer diyagonal doğrultuda temel kirişinden başlayarak oluşan ilk kılcal kesme çatlağı gözlenmiştir.

5. çevrim:

50 kN yük düzeyinde tekrarlanan çevrimin ileri yüklemesinde panelin solundan başlayarak panel orta noktasına doğru ilerleyen kılcal eğilme çatlağı sayısında artış gözlenmiştir. Sol kolonda kılcal düzeyde eğilme çatlağı meydana gelmiştir.

6. çevrim:

75 kN yük seviyesine çıkılan çevrimin ileri yükleme adımı kolonda yeni eğilme çatlakları gelişme göstermiştir. Paneldeki kesme çatlaklarının sayısında artış görülmüş ve çatlaklar temel kirişine kadar ilerlemiştir. Aynı çevrimin geri yüklemesinde paneldeki kesme çatlakları çerçeve kirişine kadar ulaşmıştır.

7. çevrim:

75 kN yük düzeyinde tekrarlanan çevrimin geri yükleme adımında panelin sağ alt köşesinde temel kirişinden ayrılma oluşmuştur. Bu yükleme çevrimine kadar panelde oluşan kesme çatlakları panel uç elemanının bulunduğu bölgeye girişim yapamamıştır.

8. çevrim:

100 kN yük seviyesine çıkılan çevrimin ileri yüklemesinde panelde oluşan kesme çatlaklarının genişliği 0.3 mm'ye ulaşmıştır. Panelin sağ üst ucunda panel kirişten ayrılmaya başlamıştır. Aynı çevrimin geri yükleme adımında panel sağ alt köşesinde 0.2 mm genişlikte eğilme çatlakları meydana gelmiştir. Bu yük seviyesinde paneldeki kesme çatlakları panel uç bölgesine ilerlemiştir.

9. çevrim:

100 kN yük düzeyinde tekrarlanan çevrimin ileri yüklemesinde paneldeki kesme çatlağı genişliği 0.5 mm'ye ulaşmıştır. Çevrimin geri yükleme adımında panel sağ alt ucundaki çatlak belirgin hale gelmiştir.

10. çevrim:

150 kN yük seviyesine çıkılan çevrimin ileri yükleme adımında panelin sol üst köşesinde, kolon-kiriş birleşiminde eğik çatlak gözlenmiştir. Bu çevrimde paneldeki kesme çatlağı genişliği 0.6 mm'ye ulaşmıştır. Çevrimin geri yüklemesinde paneldeki kesme çatlağı genişliği 1.0 mm olarak ölçülmüştür. Panel sağ üst köşesinden başlayan eğik bir çatlak temel kirişine kadar ilerlemiştir.

11. çevrim:

150 kN yük seviyesinde tekrarlanan çevrimin ileri yükleme adımında panelde yeni eğik çatlaklar oluşmuştur. Çevrimin geri yüklemesinde panel sağ alt köşesinden 250 mm yukarıda, 100 mm yatay eğilme çatlağı ilerleyerek kesme çatlağı şeklinde gelişmiştir. Paneldeki kesme çatlakları ilerleme göstererek temel kirişine ulaşmıştır.

12. çevrim:

175 kN yük seviyesine çıkılan çevrimin ileri yüklemesinde panelin sağ alt köşesinden 400 mm yukarıda, 150 mm boyunda eğilme çatlağı oluşmuştur. Kolon ortasında meydana gelen kesme çatlakları ilerleyerek kolon yüzüne, paneldeki kesme çatlakları ilerleyerek temel kirişine ulaşmıştır. Paneldeki kesme çatlağı genişliği 2.5 mm değerine erişmiştir. Aynı çevrimin geri yükleme adımımda sağ kolon alt ucundan 400 mm yukarıda kesme çatlağı ve 300 mm yukarıda kesme ve eğilme çatlakları meydana gelmiştir. Çerçeve kirişinin üst yüzünde panelin bittiği noktadan başlayarak sol kolona doğru ilerleyen kılcal eğilme çatlakları oluşmuştur. Panel betonunda kabarma belirtileri gözlenmiş ve panel sağ üst köşesinde ezilme meydana gelmiştir.

13. çevrim:

200 kN değerine ulaşılması planlanan çevrimde, deney elemanı ileri yüklemesinde 192 kN, geri yükleme adımımda ise -182 kN değerinde, iki ana basınç diyagonalinde betonun ezilmesi sonucu göçmüştür. Bu çevrimden sonra deneye deplasman kontrollü devam edilmiştir. İleri yüklemde panelin çerçeve kirişi ile birleştiği sağ üst köşesinden başlayan eğik çatlaklar panel ortasına doğru ilerlemiş ve sayılarında artış gözlenmiştir. Kesme çatlağı genişliği 3.5 mm değerine erişmiş ve tüm kesme çatlakları ilerleyerek temel kirişine ulaşmıştır. İleri yükleme adımımda panel ilk olarak sağ alt köşeden ezilmeye başlamış, 7.7 mm deplasman ve 192 kN yük değerinde ileri yüklemeye son verilmiştir. Aynı çevrimin geri yüklemesinde deney elemanı aynı deplasman değerine -182 kN yük taşıyarak ulaşmış ve sol köşeden başlayan basınç diyagonalinde ezilme sonucunda yüklemeye son verilmiştir.

14. çevrim:

10.7 mm deplasman değerine çıkılan çevrimin ileri yüklemesinde deney elemanı 162 kN yük taşıyabilmiştir. Sol kolondaki kesme çatlaklarının sayısında artış gözlenmiş ve kabuk betonunda ezilme belirtileri oluşmuştur. Panelin sağ alt ucundan başlayıp sol üst ucuna doğru giden basınç diyagonalindeki ezilme ve hasar çok belirgin hale gelmiştir. Çevrimin geri yüklemesinde diyagonaldeki çatlak genişliği 4 mm'ye kadar çıkmıştır.

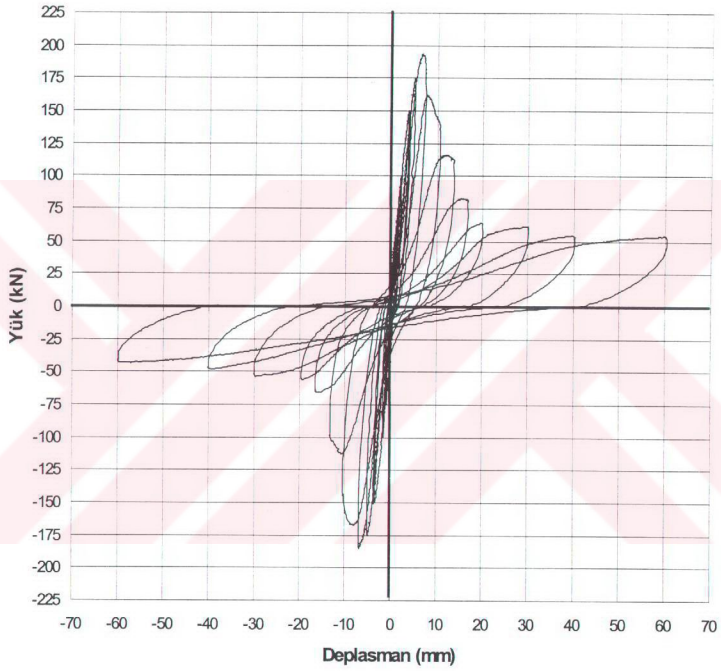
15. çevrim:

13.7 mm deplasman değerine çıkılan çevrimde deney elemanının yük taşıma kapasitesinde düşüş gözlenmiştir. Deney elemanı ileri yükleme adımında 110 kN, geri yüklemede ise -112 kN yük taşıyabilmiştir. Panel betonundaki dökülmelerini yoğunlaştığı çevrimde panel uç elemanı iki ucu mafsallı çubuk davranışı sergilemeye başlamıştır.

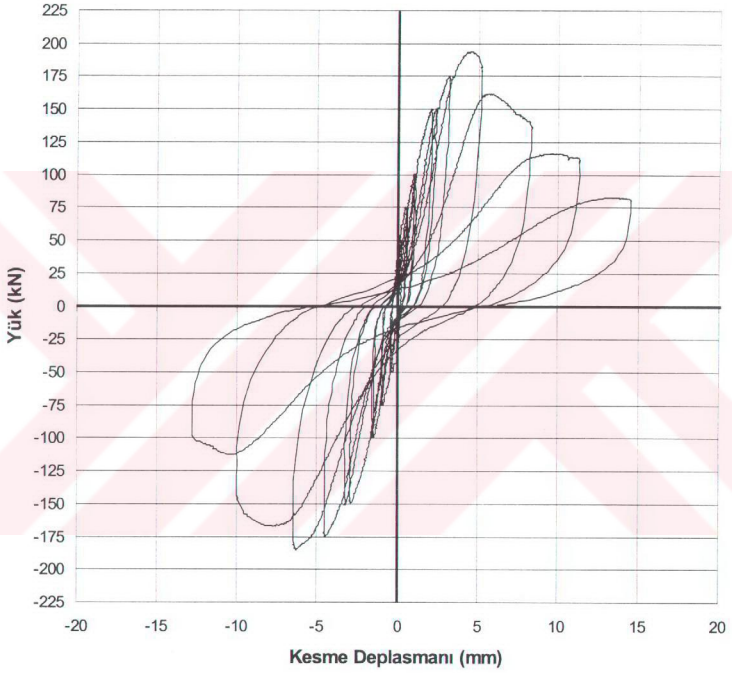
16. çevrim:

16.7 mm deplasman değerine çıkılan çevrimde, panelde iki diyagonal basınç çubuğunun kesiştiği noktada, dolgu betonundaki ezilme sonucunda panelde delik oluşmuştur. Deney elemanı ileri yüklemede 82 kN, geri yüklemede ise -65 kN yük taşıyabilmiştir.

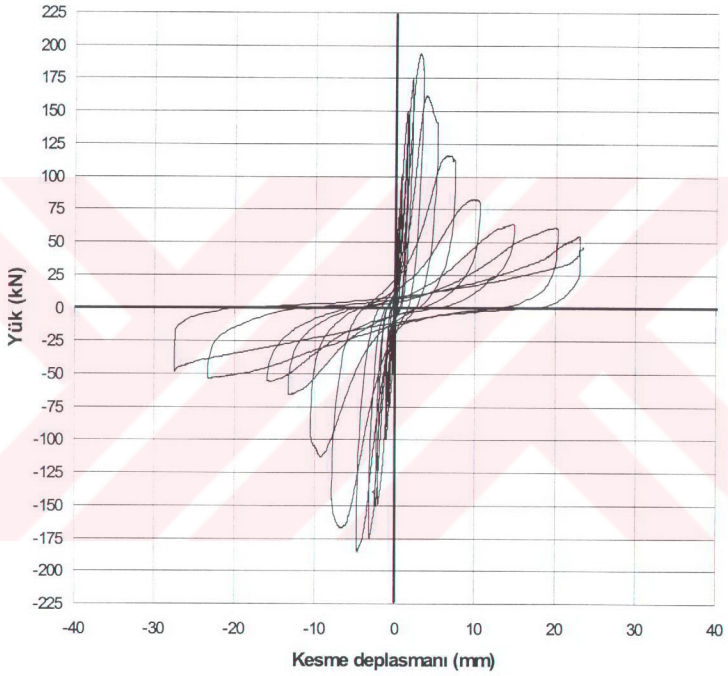
Deney 16 çevrimden sonra 4 çevrim daha yapılarak tamamlanmıştır. Deney elemanı betonarme dolgu duvarında iki diyagonal doğrultuda meydana gelen beton ezilmesiyle hasar aldıktan sonra, panel uç elemanı iki uç noktasından mafsallı bir eğilme elemanı haline gelmiştir. Daha sonra diyagonal basınç ezilmesi sonucu oluşan ana kesme çatlakları çerçeve kolonu uçlarına kadar ilerlemiştir. İlerleyen kesme çatlakları sonucunda çerçeve kolonu iki ucunda plastik mafsal oluşmuş ve deneye son verilmiştir.



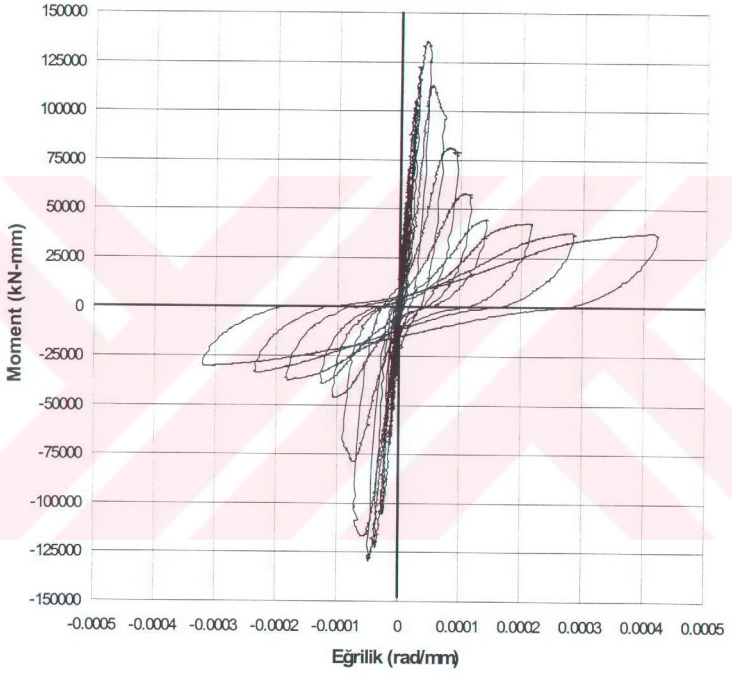
Şekil 5.29. Deney Elemanı-6'nın yük- deplasman grafiği



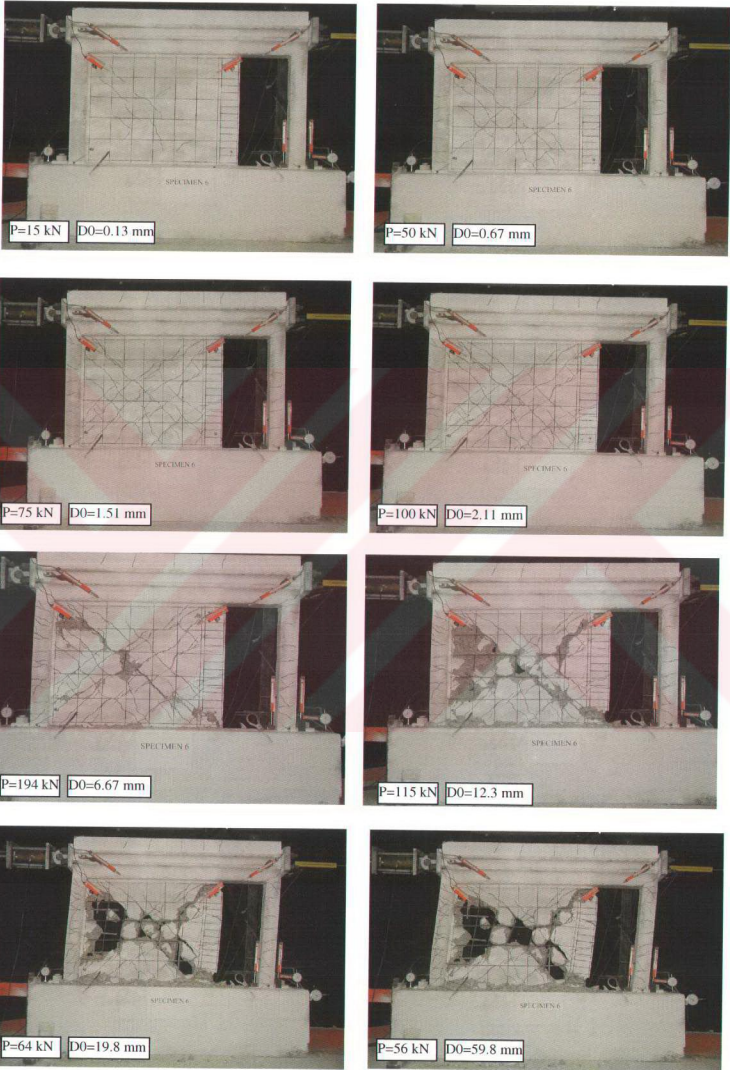
Şekil 5.30. Çerçevenin yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-6)



Şekil 5.31. Dolgu duvarının yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-6)



Şekil 5.32. Kolon moment-eğrilik grafiği (Deney Elemanı-6)



Şekil 5.33. Deney Elemanı 6'nın test sırasında fotoğrafları

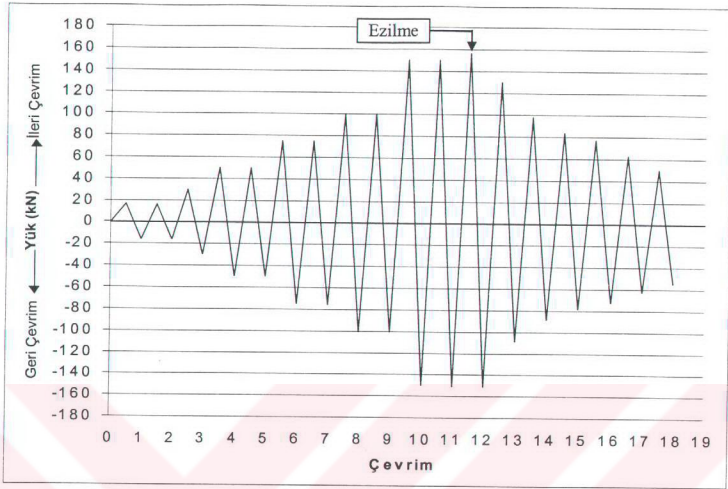
5.7. 7 Nolu Elemanın (Specimen-7) Deneyi

Deney elemanı tanımı	:	İki kanat duvarlı, güçlendirilmiş
Deney tarihi	:	09/02/2002
Boşluk alanı/İç çerçeve alanı	:	0.25
Dolgu duvar düzenlemesi	:	

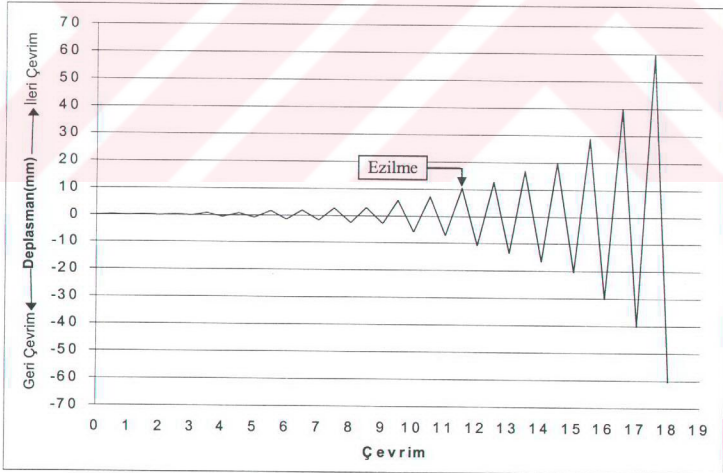


7 nolu deney elemanı çerçeve iç alanının %25'i büyüklüğünde boşluğa sahip, 490 mm genişliğinde iki kanat dolgu duvarlı elemandır. Bu deney elemanı dolgu duvardaki boşluk yerinin, elemanın deprem davranışı üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla üretilmiştir. Deney sırasında elemana uygulanan yük çevrimi grafiği Şekil 5.34'de verilmiştir. Elemana 18 tam çevrim uygulanmıştır. Deney elemanında ilk eğilme çatlağı 30 kN, panelde ilk kesme çatlağı ise 50 kN yük seviyesinde meydana gelmiştir. 12. çevrimin ileri yüklemesinde, 155 kN yük düzeyinde eleman, basınç diyagonalinde oluşan beton ezilmesi sonucu taşıma gücüne ulaşmıştır. Ezilmenin olduğu çevrimde ölçülen maksimum yanıl deplasman 10 mm'dir. Deney elemanının taşıma gücüne ulaştığı 12. çevrimde betonarme dolgu duvarında oluşan kesme çatlaklarının sayısında önemli bir artış olmuştur. Gözlenen ezilmeden sonra deney elemanına deplasman kontrollü yüklemeler yapılmıştır.

Göçme Mekanizması : Deney elemanı sol ve sağ taraftaki panellerin aynı doğrultudaki basınç diyagonallerinde betonun ezilmesi ile göçmüştür. Kanat duvarlarında bulunan uç elemanları panel betonunun ezilmesinin ardından iki ucu mafsallı çubuk davranışı sergilemiştir.



a) Yük çevrim grafiği



b) Deplasman çevrim grafiği

Şekil 5.34. Deney Elemanı-7'nin yük ve deplasman çevrim grafikleri

Deney elemanının düzeltilmiş yük deplasman grafiği Şekil 5.35’de verilmiştir. Elemandan alınan ölçümler kullanılarak hesaplanan yük-kesme deplasmanı grafikleri çerçeve ve dolgu duvarları için Şekil 5.36, 5.37, ve 5.38’de sunulmuştur. Deney elemanı sağ panel kesme deplasmanı ölçümü için kullanılan deplasman ölçerler son iki çevrimde devre dışı kalmıştır. Sol panel ve çerçeve kesme deplasmanı ölçümlerinde bir sorunla karşılaşılmemiştir. Deney sırasında önemli çatlak oluşumlarının meydana geldiği çevrimlerden geçmeye ulaşılan kadar alınan fotoğraflar Şekil 5.39’da yer almaktadır. Aşağıda deney sırasında önemli gelişmelerin olduğu çevrimler özetlenecektir.

3. çevrim:

30 kN yük seviyesine çıkılan çevrimin geri yüklemesinde sağ kolonun dibinde ilk eğilme çatlağı gözlenmiştir.

4. çevrim:

50 kN yük seviyesine çıkılan çevrimin ileri yükleme adımında sol panelde ilk kesme çatlağı oluşmuştur. Sol kolonda kılcal düzeyde eğilme çatlakları meydana gelmiştir. Sol kolon-kiriş birleşim düğümünde ilk çatlak gelişimi gözlenmiştir. Aynı çevrimin geri yükleme adımında sağ kolon-kiriş birleşim düğümünde 45° eğimli ilk çatlak oluşmuştur.

5. çevrim:

50 kN yük seviyesinde tekrarlanan çevrimin ileri yüklemesinde sol kolon giriş birleşiminden başlayarak sol panelde kılcal düzeyde eğik çatlak gözlenmiştir.

6. çevrim:

75 kN yük düzeyine çıkılan çevrimin ileri yükleme adımında sağ panel alt ucunda kılcal ayrılma çatlağı görülmüştür. Sol paneldeki kesme çatlakları kolona kadar ilerlemiştir. Sol panel sağ üst ucunda kılcal ayrılma çatlağı oluşmuştur. Deney sırasında ilk olarak bu çevrimde 0.1 mm genişliğinde 3 kesme çatlağı sol panel uç elemanına girişim yapmıştır. Çevrimin geri yüklemesinde sağ panelde 45° eğimli çatlaklar oluşmuştur. Sol paneldeki çatlaklar uç elemanından başlayarak panelin orta

kısımına doğru ilerleme göstermiştir. Sağ kolondaki eğilme çatlağı sayısında artış gözlenmiştir.

7. çevrim:

75 kN yük seviyesinde tekrarlanan çevrimin ileri yüklemesinde sol paneldeki kesme çatlakları ilerleyerek temel kirişine ulaşmıştır. Aynı çevrimin geri yükleme adımında sağ paneldeki kesme çatlakları gelişme göstererek kolona kadar ilerlemiştir. Sağ panelin sağ alt ucundan 600 mm yukarıda 45° eğimle başlayan çatlak, panel uç elemanına kadar gelişmiştir.

8. çevrim:

100 kN yük düzeyine çıkılan bu çevrimde sol kolon-kiriş birleşim düğümündeki eğik çatlaklarda ilerleme gözlenmiştir. Sol paneldeki kesme çatlağı genişliği 0.2 mm, sağ panelde ise 0.1 mm değerine ulaşmıştır. Çevrimin geri yükleme adımında sağ panelin sol üst köşesinde eğilme çatlağı görülmüştür. Sağ panelin orta kısmından başlayan 45° eğimli çatlaklar çerçeve kirişine kadar ilerleme göstermiştir.

9. çevrim:

100 kN yük düzeyinde tekrarlanan çevrimin ileri yüklemesinde sağ panel sol alt kenarından başlayan kesme çatlağı oluşumları gözlenmiştir.

10. çevrim:

150 kN yük düzeyine çıkılan çevrimin ileri yükleme adımında sol panel kesme çatlağı aralığı 0.4 mm değerine ulaşmıştır. Sol panelin uç elemanından başlayan eğilme çatlağı uç bölgeden çıkıp panel orta kısmına doğru ilerleme gösterip, eğim değişikliği yaparak kesme çatlağı şeklinde ilerlemiştir. Çatlak sayısında çok fazla artış gözlenmiş ve sol panelde başlayan çatlaklar sol kolona kadar ilerleyip kolonda devam etmiştir. Eğilme çatlakları sol kolonu tamamen sargılamıştır. Sağ kolonun üst ucunda, kirişle birleştiği arayüzde, kesit boyunca ayrılma gözlenmiştir. Düğüm noktasından başlayıp panellerde ilerleyen çok sayıda çatlak oluşmuştur. Çevrimin geri yükleme adımında sol ve sağ paneldeki kesme çatlağı genişliği 0.5 mm değerine ulaşmıştır. Sol panel uç elemanı orta kısmında eğilme çatlağı oluşumu gözlenmiştir.

Sağ ve sol paneldeki kesme çatlağı genişliği 1.0 mm'ye çıkmıştır. Sağ paneldeki kesme çatlakları ilerleme göstererek sağ kolonda devam etmiştir.

11. çevrim:

150 kN düzeyinde tekrarlanan çevrimin ileri yüklemesinde sol panelde ezilme belirtisi gözlenmiştir. Artan yük ile sol paneldeki ezilme belirginleşmiş, hem ileri hem de geri yükleme adımında sol panel iki diyagonalı doğrultusunda basınç çubuğunda beton ezilmesi görülmüştür

12. çevrim:

Sol panelde 153 kN yük düzeyinde diyagonal doğrultusunda basınç ezilmesi meydana gelmiştir. Sol panelde meydana gelen ana çatlak üzerinde beton kabuğunda dökülmeler oluşmuştur. Sol panel uç bölgesindeki eğilme çatlağı 3 mm genişliğe ulaşmıştır. Sol panel 153 kN yük seviyesinde, 10.7 mm deplasman yapmış ve ileri yükleme yönündeki diyagonalinde basınç ezilmesi meydana gelmiştir. Sol panelde çevrimin geri yükleme adımında ileri yönde basınç ezilmesi olduğu için deney elemanı bir süre yük taşıyamamış daha sonra yeniden yük taşımaya başlamıştır.

13. çevrim:

Bir önceki çevrimde sol panelde görülen diyagonal doğrultudaki beton basınç ezilmesi bu çevrimde sağ panelde meydana gelmiştir. Çevrimin ileri yükleme adımında sağ kolonun uç noktasında çok sayıda kesme çatlağı oluşmuştur. Sol ve sağ panel uç bölgelerindeki eğilme çatlağı gelişme göstererek 0.5 mm genişliğe ulaşmıştır. Deney elemanının yük taşıma kapasitesi 123 kN değerine düşmüş ve 13.7 mm deplasman değerine ulaşıldığı zaman yüklemeye son verilmiştir. Çevrimin geri yükleme adımında her iki panelde beton basınç çubuğu ezilmesi belirgin şekilde ortaya çıkmıştır. Geri yüklemede 13.7 mm deplasman değerine -108 kN yük seviyesinde ulaşılmış ve yüklemeye son verilmiştir.

14. çevrim:

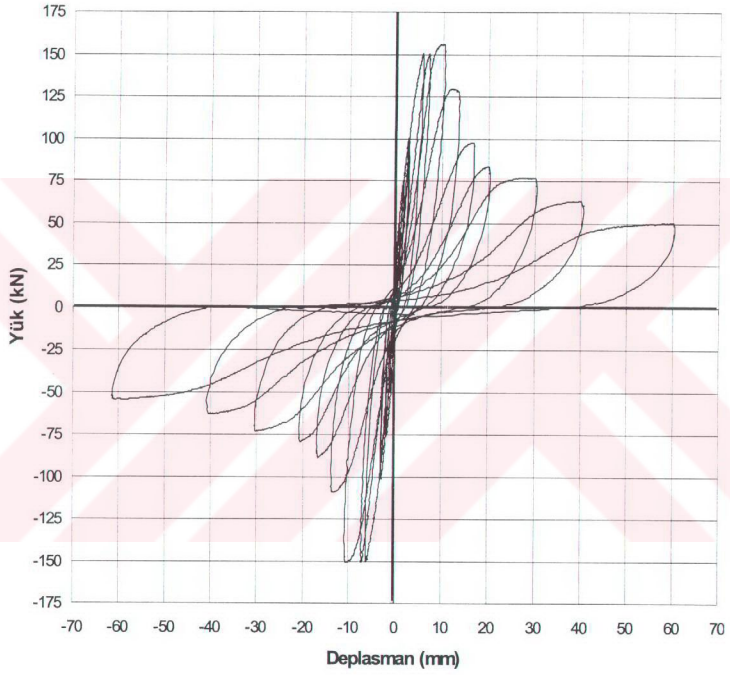
16.7 mm deplasman yapılan çevrimin ileri yükleme adımında deney elemanının yük taşıma kapasitesi 97 kN değerine düşmüş ve panel betonundaki dökülmeler sonucu

panel donatıları görülür hale gelmiştir. Çevrimin geri yüklemesinde her iki panelde basınç çubuklarında kabuk betonu dökülmesi belirgin hale gelmiştir. Sol kolon ortasında yoğunlaşan kesme çatlakları 0.3 mm genişliğe ulaşmıştır. Geri yüklemede deney elemanı -86 kN yük taşıyabilmiştir.

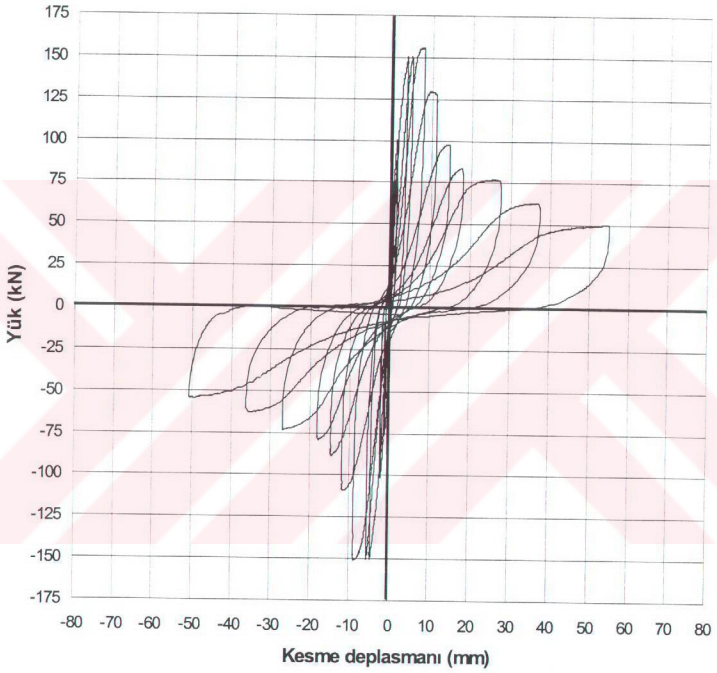
15. çevrim:

Bu çevrimde sol ve sağ paneller yük taşıma özelliklerini büyük ölçüde kaybetmiştir. Deney elemanı panellerdeki uç elemanları ile birlikte dört kolonlu, üç açıklıklı çerçeve davranışı sergilemeye başlamıştır. Deney elemanı ileri yükleme adımında 83 kN, geri yükleme adımında ise -77 kN yük taşıyabilmiştir. Geri yükleme sırasında sol kolon orta bölgesinde ve sağ kolonda kabuk betonunda kabarma belirtileri gözlenmiştir. Çevrimde panel kanat duvarlarında boşluk tarafındaki serbest kenarda bulunan uç elemanlarının uçlarında mafsallaşma belirtileri gözlenmiş ve uç elemanları çubuk davranışı sergilemişlerdir.

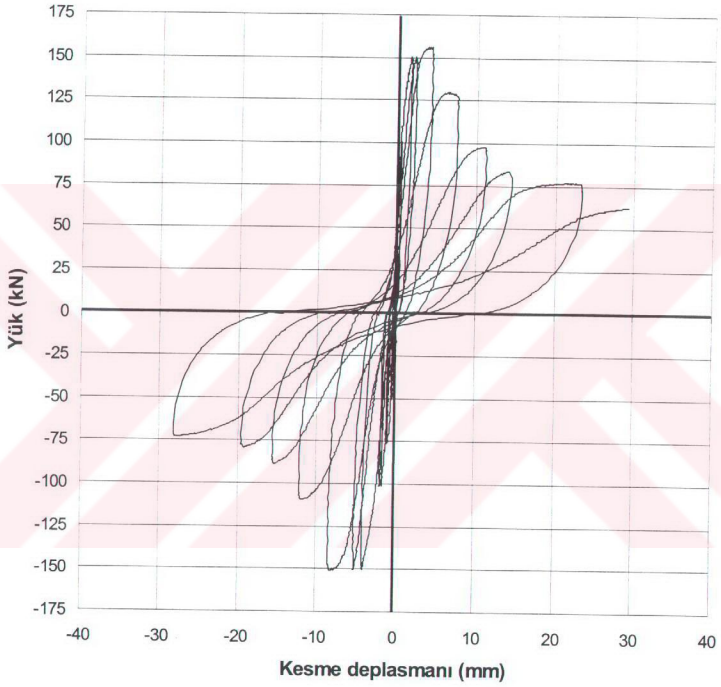
Deney elemanına bu çevrimden sonra 3 adet çevrim daha uygulanmış ve 18 çevrim tamamlanarak deneye son verilmiştir. 14. çevrimden sonra deney elemanı panellerinin taşıma güçlerine ulaşarak yük taşıma kapasitelerini kaybettikleri ve deney elemanının 3 açıklıklı bir çerçeve sitemine dönüşerek yük taşıdığı belirtilmişti. Bu sebeple 15. çevrimden sonra uygulanan son üç çevrimde tüm çatlaklar, panel uç elemanları ve dış çerçeve sisteminde yoğunlaşmış ve kesit tesirleri bu elemanlar üzerine dağılmıştır. Deney elemanı çerçeve kolonları kabuk betonlarında dökülme olmuş, kolonlar temel ve çerçeve kirişi ile birleştiği uç noktalarından mafsallaşma belirtileri göstermiştir. Aynı şekilde panel uç elemanları da kirişler ile birleşim noktalarından mafsallaşma belirtileri göstermiş ve bu elemanlar bir eğilme elemanı gibi davranış sergilemişlerdir.



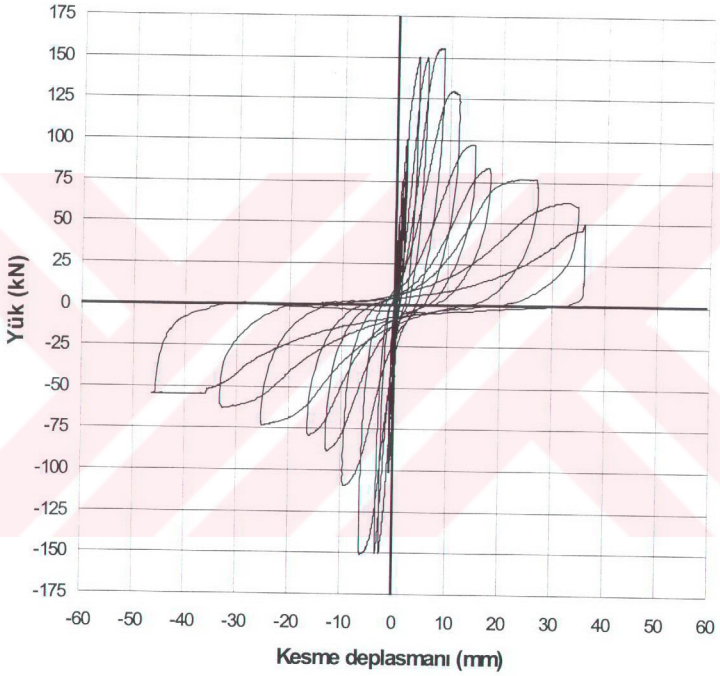
Şekil 5.35. Deney Elemanı-7'nin yük-deplasman grafiği



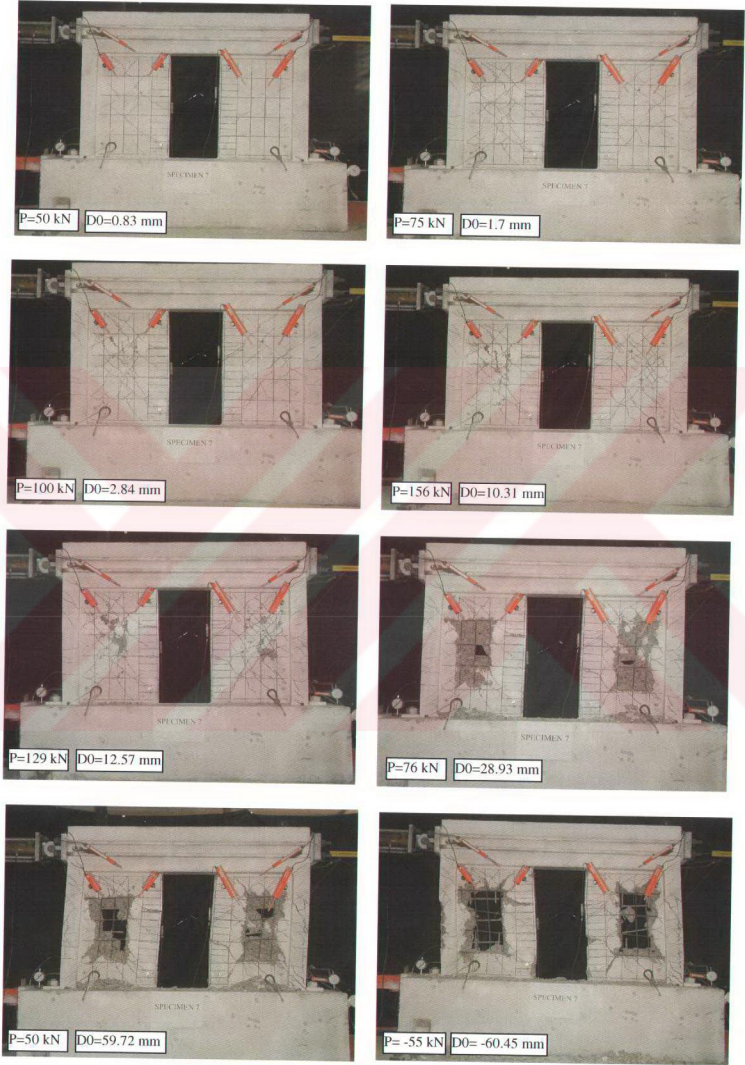
Şekil 5.36. Çerçevenin yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-7)



Şekil 5.37. Sağ kanat dolgu duvarı yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-7)



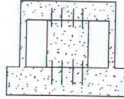
Şekil 5.38. Sol kanat dolgu duvarı yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-7)



Şekil 5.39. Deney Elemanı 7'nin test sırasında fotoğrafları

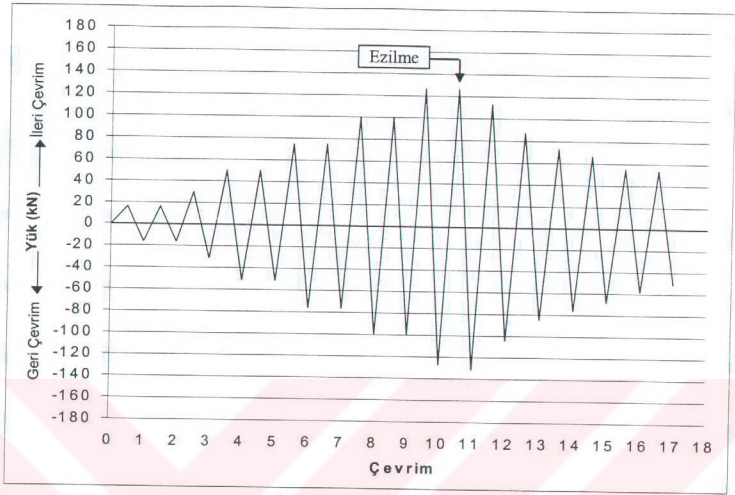
5.8. 8 Nolu Elemanın (Specimen-8) Deneyi

Deney elemanı tanımı	: Kirişlere bağlanan dolgu duvarla güçlendirilmiş
Deney tarihi	: 12/02/2002
Boşluk alanı/İç çerçeve alanı	: 0.50
Dolgu duvar düzenlemesi	:

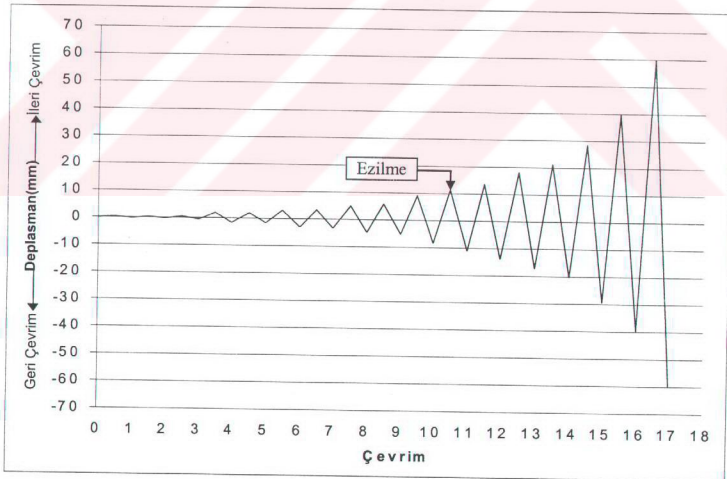


8 nolu deney elemanı çerçeve iç alanının %50'si büyüklüğünde boşluğa sahip, 650 mm genişliğinde dolgu duvarı elemanın ortasında kirişlere bağlı olan elemandır. Deney elemanı dolgu duvarının çerçeve kolonları ile bağlantısı bulunmamaktadır. Deney elemanındaki boşluk simetrik şekilde dolgunun iki tarafında yer almaktadır. Deney sırasında elemana uygulanan yük çevrimi grafiği Şekil 5.40'da verilmiştir. Elemana 17 tam çevrim uygulanmıştır. Deney elemanında ilk eğilme çatlağı 30 kN, panelde ilk kesme çatlağı ise 50 kN yük seviyesinde meydana gelmiştir. 11. çevrimin ileri yüklemesinde, 126 kN yük düzeyinde eleman basınç diyagonalinde oluşan beton ezilmesi sonucu taşıma gücüne ulaşmıştır. Ezilmenin olduğu çevrimde ölçülen maksimum yanal deplasman 11 mm'dir. Deney elemanının dolgu duvarında maksimum yük seviyesine çıkılan 11. çevrimde kesme çatlaklarının sayısında önemli bir artış olmuştur. Deney elemanı iki diyagonal üzerindeki basınç çubuklarında meydana gelen ezilme sonucu göçmüştür. Deney elemanı dolgu duvarında gözlenen diyagonal doğrultudaki beton ezilmesinden sonra deplasman kontrollü yüklemeler yapılmıştır.

Göçme Mekanizması: Deney elemanı iki diyagonal doğrultudaki basınç çubuklarında panel betonunun ezilmesi sonucunda göçmeye ulaşmıştır. Genel davranış içerisinde üst çerçeve kirişi ve alt temel kirişi ile panel arasında kayma hareketi gözlenmemiştir.



a) Yük çevrim grafiği



b) Deplasman çevrim grafiği

Şekil 5.40. Deney Elemanı-8'in yük ve deplasman çevrim grafikleri

Panelde, uygulanan yatay yük etkisiyle eğilme davranışı gözlenmiş ve bu etki ile panelin uç elemanlarında çok önemli eğilme çatlakları meydana gelmiştir. Panel, uç elemanları ile beraber derin bir eğilme kirişi gibi davranış sergilemiştir. Sağ ve sol çerçeve kolonlarının uç noktalarında ezilme ve mafsallaşma gözlenmiştir. Çerçeve kolonlarının kiriş ile birleştiği düğümlerde 45° eğimli çatlaklar gelişmiş ve ayrılmalar meydana gelmiştir. Panel ile temel kirişi ve çerçeve kirişi arasında ayrılma çatlakları gözlenmemiştir.

Deney elemanının düzeltilmiş yük deplasman grafiği Şekil 5.41’de verilmiştir. Elemandan alınan ölçümler kullanılarak hesaplanan yük-kesme deplasmanı grafikleri çerçeve ve dolgu duvarı için Şekil 5.42 ve 5.43’de sunulmuştur. Çerçeve ve dolgu duvarının kesme grafiklerinin çizilmesinde, deplasman ölçerlerden çerçeve için kullanılanları son dört çevrimde devre dışı kalmış, dolgu duvarı deplasman ölçerlerinde bir sorun yaşanmamıştır. Deney elemanının betonarme dolgu duvarı ile bağlantısı olmayan serbest kolonundan alınmış eğrilik ölçümleri kullanılarak çizilen moment-eğrilik ilişkisi grafiği Şekil 5.44’de verilmiştir. Deney sırasında önemli çatlak oluşumlarının meydana geldiği çevrimlerden göçmeye ulaşılan kadar alınmış fotoğraflar Şekil 5.45’de yer almaktadır. Deney sırasında önemli gelişme ve çatlak oluşumlarının meydana geldiği çevrimler aşağıda sırası ile özetlenmiştir.

3. çevrim:

30 kN yük seviyesine çıkılan çevrimin geri yüklemesinde sağ kolonun orta kısmında kılcal düzeyde ilk eğilme çatlakları gözlenmiştir.

4. çevrim:

50 kN yük seviyesine çıkılan çevrimin ileri yükleme adımı panelde kılcal düzeyde çok sayıda kesme çatlakları gelişmiştir. Oluşan çatlaklar panelin çerçeve kirişi ile birleştiği arayüzünden başlayıp tüm panel boyunca ilerleme göstermiştir. Ancak çatlaklar panel uç bölgelerine girişim yapamamıştır. Sol kolonda eğilme çatlaklarının sayısında artış gözlenmiştir. Aynı çevrimin geri yüklemesinde diğer yönde olduğu gibi çapraz kesme çatlakları meydana gelmiş ve sayısında artış görülmüştür.

5. çevrim:

50 kN yük seviyesinde tekrarlanan çevrimin ileri yükleme adımında panel uç elemanında ilk eğilme çatlağı meydana gelmiştir. Panelde oluşan kesme çatlakları ilerleme göstererek panel uç bölgesine girişim yapmıştır. Bu yük düzeyinde panelde kılcal kesme çatlakları ve kolonlarda kılcal eğilme çatlaklarının sayısında artış meydana gelmiştir. Çevrimin geri yüklemesinde sağ kolonun dibindeki eğilme çatlağı tüm kolonu sargılamıştır.

6. çevrim:

75 kN yük düzeyine çıkılan çevrimin ileri yükleme adımında sol kolon-kiriş birleşim düğümünde kılcal düzeyde kesme çatlağı oluşmuştur. Çevrimin geri yüklemesinde panelin sağ alt ucunun, temel kirişinden kılcal düzeyde ayrıldığı gözlenmiştir. Paneldeki kesme çatlağı sayısında artış meydana gelmiştir. Sağ kolon-kiriş birleşim düğümünde kesme çatlağı oluşmuştur.

7. çevrim:

75 kN yük düzeyinde tekrarlanan çevrimin ileri yükleme adımında sağ kolondaki eğilme çatlaklarında gelişme olmuş ve kolonu sargılamıştır. Çevrimin geri yüklemesinde panelin uç bölgesindeki eğilme çatlaklarında artış gözlenmiştir. Panelin sağ alt ucunda temel kirişinden ayrılma meydana gelmiştir.

8. çevrim:

100 kN yük düzeyine çıkılan çevrimin ileri yükleme adımında panelde kesme çatlağı genişliği 0.4 mm değerine ulaşmıştır. Panelin sağ alt ucunda kabuk betonunda ezilme gözlenmiştir. Panel sağ üst köşesinde, üst çerçeve kirişi ile kılcal düzeyde ayrılma görülmüştür. Çevrimin geri yüklemesinde panel sağ alt ucunda eğilme çatlaklarının sayısında artış olmuştur. Sağ ve sol kolonun temel kirişi ile birleştiği alt düğüm noktasında eğilme çatlaklarında artış meydana gelmiştir.

9. çevrim:

100 kN yük düzeyinde tekrarlanan çevrimin ileri yükleme adımında panel sağ alt köşesinde kabuk betonunda ezilme meydana gelmiştir. Paneldeki kesme çatlağı

genişliği 1.0 mm değerine ulaşmıştır. evrimin geri yüklemesinde panel sağ alt ucundan başlayan kesme çatlağı sayısında artış gözlenmiş ve çatlaklar panel ortasına doğru ilerleme kaydetmiştir. Panelin sol st ucundaki kabuk betonunda ezilme görülmüştür. Bu yükleme adımına kadar çatlaklar ve hasar betonarme dolgu duvarında yoğunlaşmıştır. Kolonlarda önemli çatlak gelişimi olmamıştır.

10. evrim:

125 kN yük düzeyine çıkılması planlanan çevrimin ileri yükleme adımında panel sol alt ucunda 200 mm boyunda ayrılma çatlağı meydana gelmiştir. Panelde oluşmuş kesme çatlağı genişliği 1.0 mm değerini geçmiştir. Panelin sol st köşesinden başlayan basınç diyagonalinde beton ezilmesi belirtileri olmuştur. Bu yükleme adımında deney elemanı 9.3 mm deplasman değerinde 124 kN yük taşıyabilmiş ve basınç diyagonalinde ezilme gözlendiği için yüklemeye son verilmiştir. evrimin geri yüklemesinde panel orta bölgesinde betonda ezilme görülmemiştir. Panelin sağ st uçtan başlayan basınç diyagonalini –124 kN yük seviyesinde ezilerek göçmeye ulaşmıştır. Deney bu çevrimden sonra deplasman kontrollü devam edilmiştir.

11. evrim:

12.3 mm deplasman değerine çıkılan çevrimin ileri yükleme adımında sol kolon-kiriş birleşiminde çatlak sayısında artış gözlenmiştir. Sol kolon orta noktasındaki eğilme çatlakları, kesme çatlağı şekline dnşmştir. Deney elemanı 12.3 mm deplasman değerinde 125 kN yük taşımıştır. evrimin geri yüklemesinde sağ kolon-kiriş birleşim bölgesindeki kesme çatlakları gelişmiş ve sağ kolondaki eğilme çatlakları kılcal düzeyde tüm kolona dağılım göstermiştir. Panel diyagonalindeki ezilme belirginleşmiş ve panelin sağ st ile sol alt ucundaki beton ezilmiştir. Deney elemanı geri yüklemede –128 kN yük taşıyabilmiştir.

12. evrim:

15.3 mm deplasman değerine çıkılan çevrimin ileri yükleme adımında panel diyagonalindeki ezilme belirgin hale gelmiştir. Deney elemanının 113 kN yük seviyesinde diyagonal doğrultuda basınç çubuğunda ezilmenin yoğunlaşması sonucu yük taşıma kapasitesi 107 kN değerine kadar dşmştir. Panelin sol tarafındaki

eğilme çatlakları temel kirişinin üst yüzeyinde yoğunlaşma göstermiştir. Panel betonu ezilmiş ve beton dökülmeye başlamıştır. Çevrimin geri yüklemesinde 14.3 mm deplasman değerine ulaşılmıştır. Bu yük seviyesine kadar panelde kayma belirtisi gözlenmemiştir. Panel uç bölgelerindeki çatlaklar ağırlıklı olarak eğilme çatlağı şeklinde gerçekleşmiştir. Deney elemanı geri yükleme adımı -102 kN yük taşımıştır.

13. çevrim:

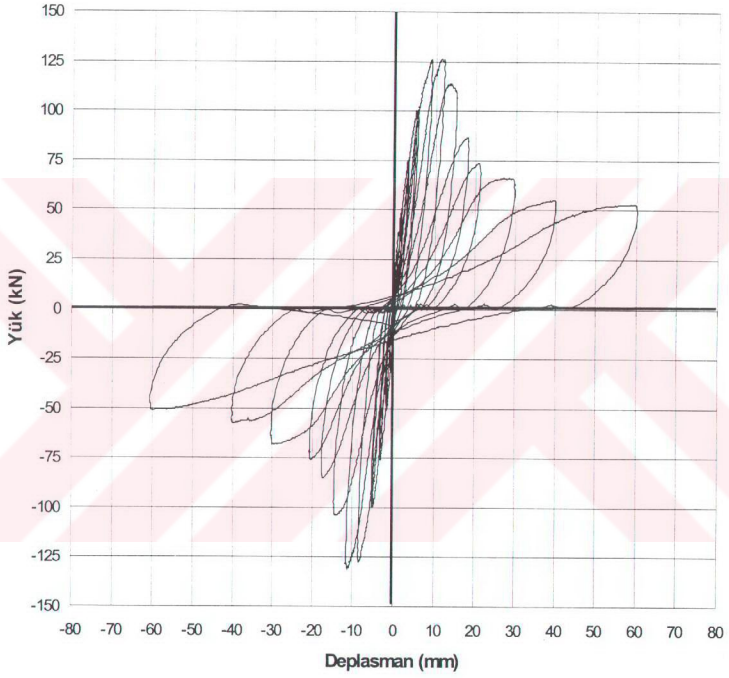
Bu çevrimde deney elemanının ileri yükleme yönündeki kapasitesi 86 kN değerine düşmüştür. Sağ kolonun alt ve üst ucundaki kesme çatlakları artış göstermiştir. Çevrimin geri yüklemesinde 17.3 mm deplasman değerine çıkmıştır. Sol kolonun alt ve üst ucundaki kesme çatlakları yoğunlaşmıştır. Deney elemanının geri yükleme yönündeki kapasitesi -82 kN değerine kadar düşmüştür.

14. çevrim:

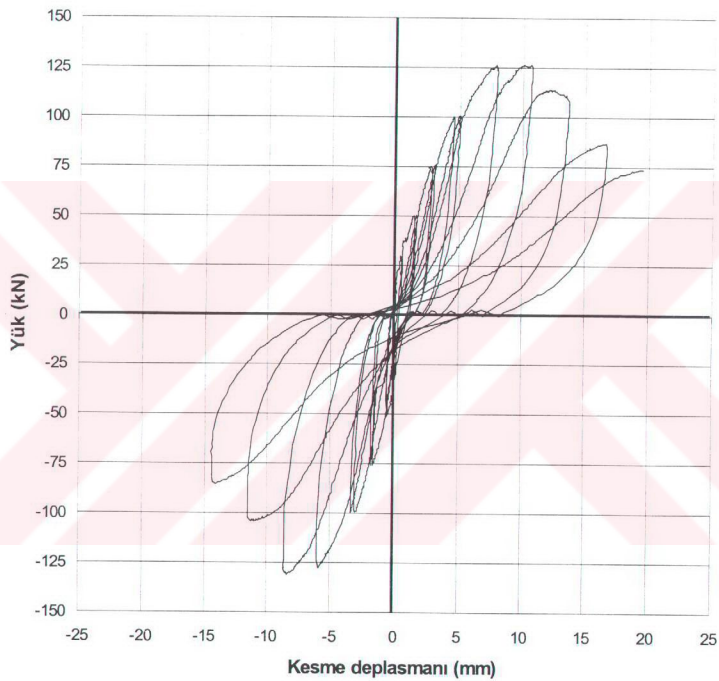
Deney elemanının taşıdığı yük 77 kN değerine gerilemiştir. Sol kolonun temel üst yüzeyi ile arasındaki ayrılma çatlağı 5 mm genişliğe ulaşmıştır. Çevrimin geri yüklemesinde 20.3 mm deplasman yapılmıştır.

14. çevrim tamamlandıktan sonra, 3 çevrim daha yapılarak deneye son verilmiştir. Yapılan son dört çevrimde panel taşıma gücüne ulaştığı için tüm kesit zorları, panel uç elemanları ve çerçeve kolonları arasında paylaşılmış ve bu elemanlarda meydana gelen çatlaklarda artış görülmüştür.

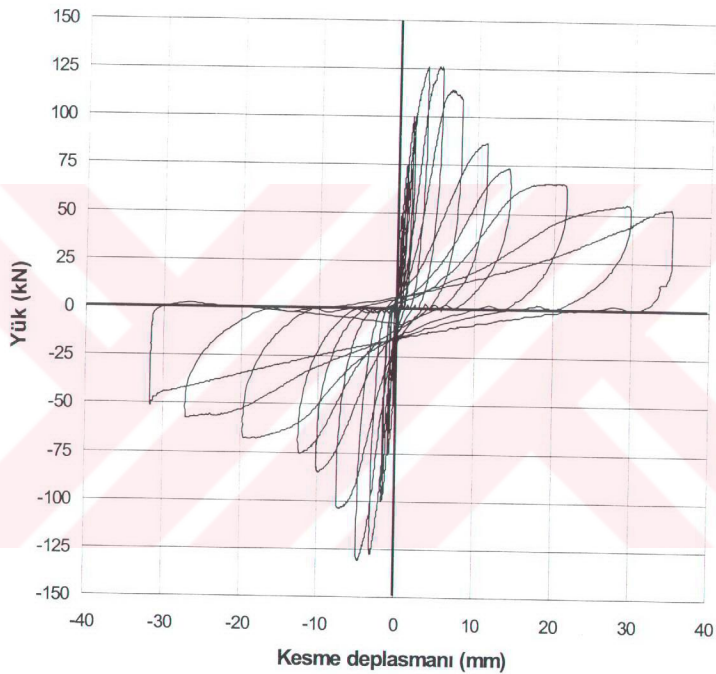
8 nolu deney elemanı betonarme dolgu duvarı iki diyagonal basınç çubuğunda meydana gelen beton ezilmesi sonucunda göçmeye ulaşmıştır. Daha sonra çerçeve kolonları ve panel uç elemanlarının artan yatay yükleme sonucunda hasar görmesiyle deneye son verilmiştir.



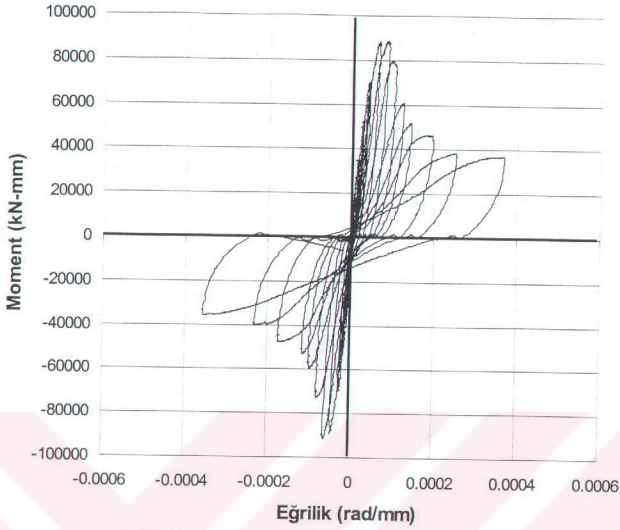
Şekil 5.41. Deney Elemanı-8'in yük-deplasman grafiği



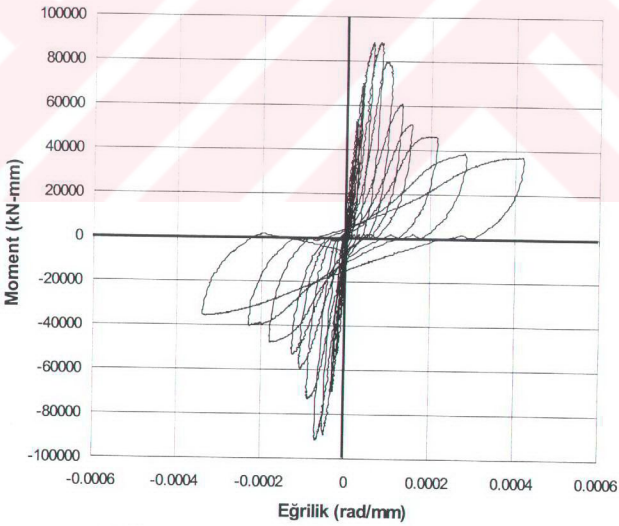
Şekil 5.42 Çerçevenin yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-8)



Şekil 5.43. Dolgu duvarının yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-8)



a) Çerçeve sol kolonu moment-eğrilik grafiği



b) Çerçeve sağ kolonu moment-eğrilik grafiği

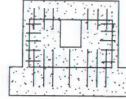
Şekil 5.44. Kolon moment-eğrilik grafikleri (Deney Elemanı-8)



Şekil 5.45. Deney Elemanı 8'in test sırasında fotoğrafları

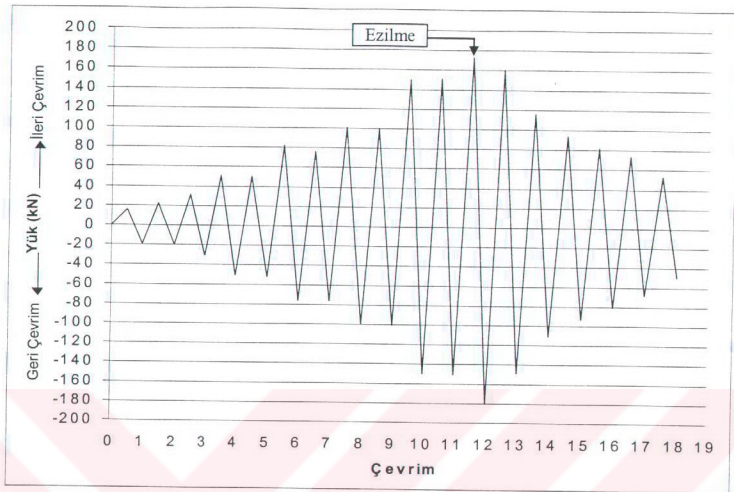
5.9. 9 Nolu Elemanın (Specimen-9) Deneyi

Deney elemanı tanımı	:	Boşluklu dolgu duvarla güçlendirilmiş
Deney tarihi	:	16/03/2002
Boşluk alanı/Çerçeve iç alanı	:	0.14
Dolgu duvarı düzenlemesi	:	

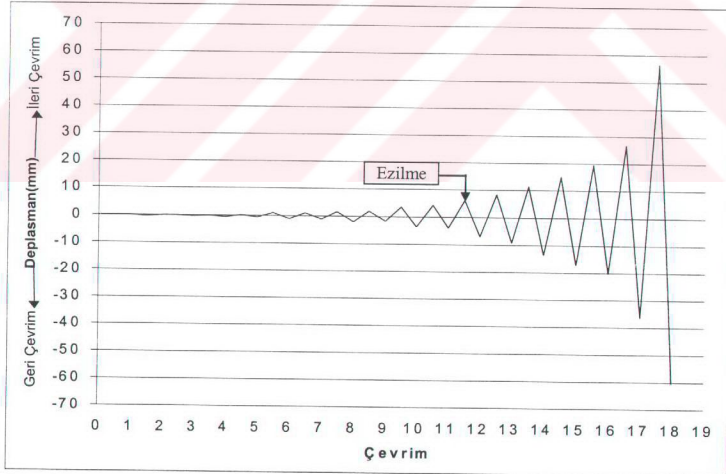


9 nolu deney elemanı dolgu duvarında çerçeve iç alanının %14'ü büyüklüğünde (325x435 mm) boşluk bırakılan elemandır. Dolgu duvardaki boşluk alanı büyüklüğü ve yerinin elemanın deprem davranışı üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla üretilmiştir. Boşluğun her iki yanında, çerçeve kolonu yüksekliğinde gizli uç elemanı bulunmaktadır. Deney sırasında elemana uygulanan yük çevrimi grafiği Şekil 5.46'da verilmiştir. Elemana 18 tam çevrim uygulanmıştır. Deney elemanında ilk eğilme çatlağı 45 kN, panelde ilk kesme çatlağı ise 75 kN yük seviyesinde meydana gelmiştir. Eleman 12. çevrimin ileri yüklemesinde, 173 kN yük düzeyinde basınç diyagonalinde oluşan beton ezilmesi sonucu taşıma gücüne ulaşmıştır. Ezilmenin olduğu çevrimde ölçülen maksimum yanal deplasman 7 mm'dir. Bu aşamada çatlakların büyük bir kısmı betonarme dolgu duvarında ve diyagonal doğrultulardaki ezilme bölgelerinde yoğunlaşmıştır. Bu noktadan sonra deplasman kontrollü yüklemeler yapılmıştır.

Göçme Mekanizması: Deney elemanı betonarme dolgu duvarının boşluk ile çerçeve kolonu arasında kalan her iki kanat dolgu duvarında, diyagonal basınç çubuklarında betonun ezilmesi sonucu göçmüştür. Boşluğun altında bulunan dolgu duvarı rijitliğini korumuştur. Deney elemanı boşluğunun alt kısmı ile çerçeve kirişi arasında kısa kolonlu çerçeve davranışı sergileyerek göçmüştür. Deney elemanı boşluk altındaki dolgu duvar kısmında ölçülen kesme deplasmanı grafiği, dolgu duvarının bu kısmında grafik çizimine uygun olan bir kesme deplasmanı ölçülmediği için grafikler arasında sunulmamıştır.



a) Yük çevrim grafiği



b) Deplasman çevrim grafiği

Şekil 5.46. Deney Elemanı-9'un yük ve deplasman çevrim grafikleri

Deney elemanının düzeltilmiş yük deplasman grafiği Şekil 5.47'de verilmiştir. Elemandan alınan ölçümler kullanılarak hesaplanan yük-kesme deplasmanı grafikleri çerçeve ve dolgu duvarları için Şekil 5.48, 5.49, 5.50 ve 5.51'de sunulmuştur. Çerçeve ve dolgu duvarında kesme deplasmanının ölçülmesi için kullanılan deplasman ölçerlerde bir sorun yaşanmamış ve deney sonuna kadar ölçüm alınabilmiştir. Deney sırasında önemli çatlak oluşumlarının meydana geldiği çevrimlerden göçmeye ulaşılan kadar alınmış fotoğraflar Şekil 5.52'de yer almaktadır. Deneyde önemli gelişmelerin ve çatlak oluşumlarının meydana geldiği çevrimler aşağıda sunulmuştur.

2. çevrim:

15 kN yük düzeyine çıkılan çevrimin geri yüklemesinde pencere boşluğu alt kenarından başlayıp temel kirişine doğru ilerleyen düşey çatlaklar gözlenmiştir.

6. çevrim:

75 kN yük seviyesine çıkılan çevrimin ileri yükleme adımı panel sol üst köşesinde eğik çatlak meydana gelmiştir. Panel sol kenarında çeşitli düzeylerde 45° eğimli çatlaklar oluşmuştur. Pencere boşluğu sağ alt köşesinde eğik çatlak gözlenmiştir. Çevrimin geri yüklemesinde sağ kanat panelinde, üst kısma yakın 45° eğimli çatlaklar meydana gelmiştir. Pencere sol alt köşesinde 45° eğimli çatlak görülmüştür.

10. çevrim:

150 kN yük seviyesine çıkılan çevrimin ileri yükleme adımı pencere altındaki panel kısmında kesme çatlakları oluşmuştur. Sol kolonun alt ucundan 400-500 mm yukarıda eğik çatlaklar gözlenmiştir. Çevrimin geri yüklemesinde sağ kolon üzerinde 100 mm aralıklarla eğilme çatlakları oluşmuş ve dağılım göstermiştir. Sağ kolon-kiriş birleşiminde üst köşede 45° eğimli çatlak meydana gelmiştir. Bu çevrimde pencere boşluğu köşelerinde yaklaşık 1.0 mm genişliğinde ayrılma gözlenmiştir.

12. çevrim:

Çevrimin ileri yükleme adımında 173 kN yük seviyesinde, sol kanat panelinde, basınç diyagonalinde ezilme belirtileri görülmüş ve yüklemeye son verilmiştir. Yükleme sırasında pencere sol alt köşesindeki çatlak genişliği 1.5 mm değerine ulaşmıştır. Sol panelin basınç çubuğu 173 kN yük seviyesinde ezildiği anda 7 mm deplasman yapılmıştır. Çevrimin geri yüklemesinde sol ve sağ kanat panellerinin basınç diyagonallerinde ezilme gözlenmiştir. Deney elemanı 7 mm deplasman yapmış ve -175 kN yük taşıma kapasitesi sergilemiştir. Eleman maksimum taşıma gücüne ulaştığı için bu çevrimden sonra deneye deplasman kontrollü devam edilmiştir.

13. çevrim:

10 mm deplasman değerine çıkılan çevrimin ileri yükleme adımında deney elemanı 155 kN yük taşıyabilmiştir. Sol kanat panelinin orta kısmında kabuk betonunda kabarma ve dökülmeler meydana gelmiştir. Çevrimin geri yüklemesinde kanat panellerinin betonlarında meydana gelen dökülmelerde artış gözlenmiş ve panel donatıları görülür hale gelmiştir. Sağ ve sol çerçeve kolonunda kesme çatlaklarında artış olmuştur. Sol panelde olduğu gibi sağ panelin orta kısmında beton kabuğundaki kabarma ve dökülmelerde artış gözlenmiştir. Sağ ve sol kanat panellerinde hasar artmış ve bu elemanlar taşıma kapasitelerine ulaştıkları için yük pencere boşluğu kenarlarında yer alan iki adet uç elemanına aktarılmıştır. Bu elemanların deneyin ilerleyen aşamalarında kısa kolon davranışı sergileyeceği düşünülmüştür.

14. çevrim:

13 mm deplasman değerine ulaşılan çevrimin ileri yükleme adımında deney elemanı 115 kN yük taşıyabilmiştir. Panelin pencere boşluğu altında kalan kısmı bu yükleme aşamasına kadar önemli bir hasar almamıştır. Pencere boşluğu sağ üst köşesinde beton ezilmesi gözlenmiştir. Sağ ve sol kolondaki eğilme çatlakları gelişme göstererek kolonları sargılamıştır. Bu yüklemede deney elemanı -110 kN yük seviyesine ulaşabilmiştir. Pencere boşluğu sağ kenarındaki uç elemanının orta kısmında olan eğilme çatlağında ayrılma ve genişleme gözlenmiştir.

15. çevrim:

16 mm deplasman değerine çıkılan çevrimin ileri yükleme adımında sağ kolonda pencere boşluğu hizasında çok sayıda kesme çatlağı gözlenmiştir. Pencere boşluğunun sol ve sağ kenarlarındaki uç elemanlarında kısa kolon davranışı belirgin hale gelmiştir. Deney elemanı bu yüklemede 94 kN yük seviyesine çıkabilmiştir. Aynı çevrimin geri yüklemesinde deney elemanı -92 kN yük taşıyabilmiştir.

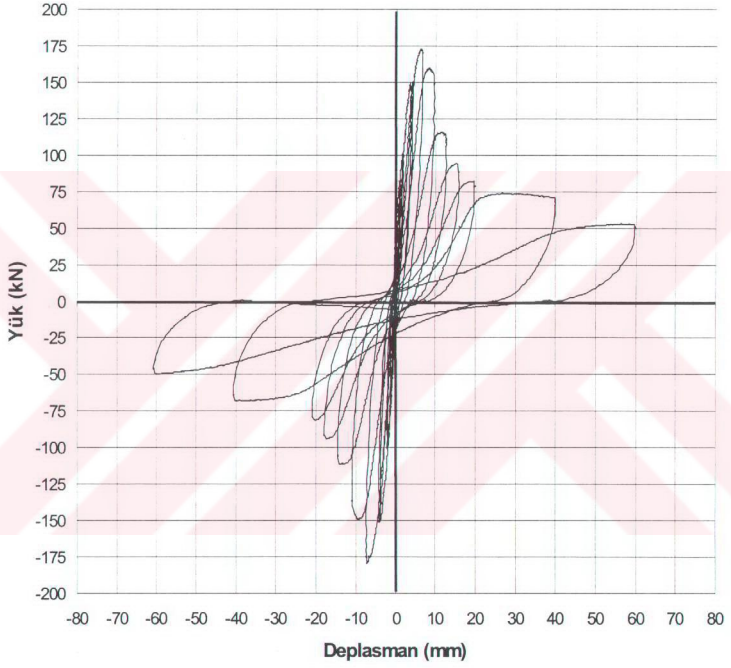
16. çevrim:

20 mm deplasman değerine çıkılan çevrimin ileri yükleme adımında deney elemanı 81 kN yük taşıyabilmiştir. Sağ ve sol kanat panellerinde beton ezilmesi sonucu oluşan ana diyagonal çatlakları panelin pencere boşluğu altındaki kısmına doğru ilerleme göstermiştir. Çevrimin geri yüklemesinde deney elemanı simetrik bir davranış göstererek -81 kN yük taşıyabilmiştir.

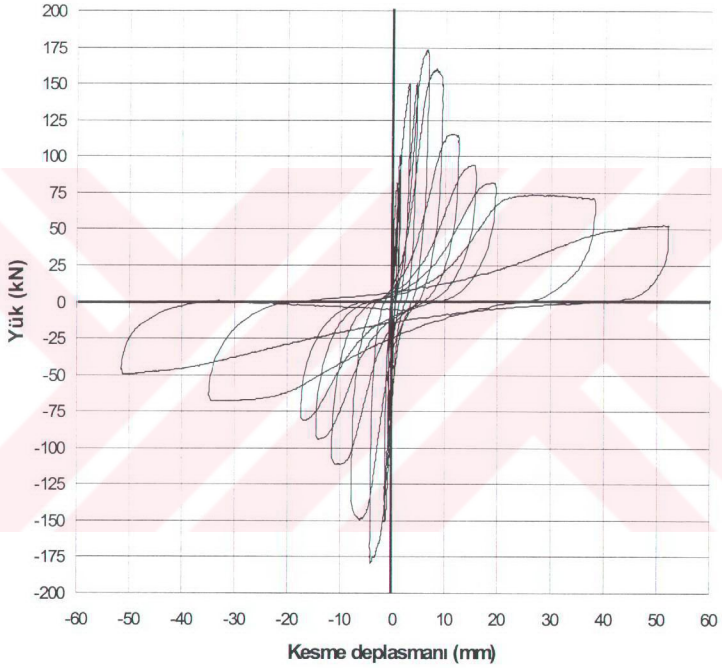
17. çevrim:

40 mm deplasman değerine çıkılan çevrimin ileri yükleme adımında deney elemanı 73 kN yük seviyesine ulaşabilmiştir. Sağ kanat paneli ile panelin pencere boşluğu altında kalan kısmının birleştiği yüzeyin alt ucunda panel betonunda ezilme gözlenmiş ve yük 69 kN seviyesine kadar düşmüştür. Çevrimin geri yüklemesinde deney elemanı -68 kN yük seviyesine çıkabilmiştir.

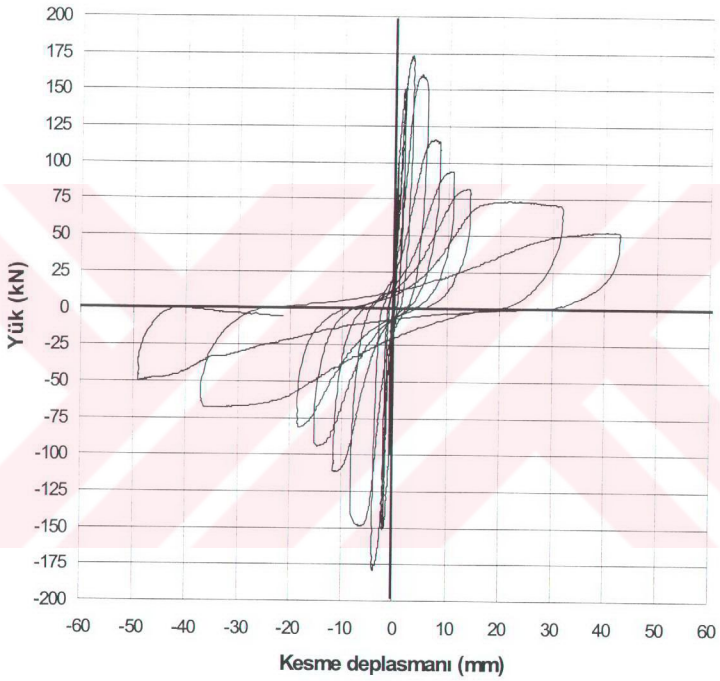
17. çevriminden sonra 1 çevrim daha yapılarak deney tamamlanmıştır. Deneyin son iki çevrimi olan 17. ve 18. çevrimlerde sol ve sağ kanat panelleri taşıma güçlerine ulaşmış ve yük taşıyamaz duruma gelmiştir. Bu nedenle pencere boşluğu altındaki panel kısmı, kanat panelleri uç elemanları ve çerçeve kolonları kesit zorlarını paylaşmıştır. Sonuç olarak 18. çevrimde sol ve sağ kolonların kabuk betonları dökülmüştür. Ayrıca kanat panelleri uç elemanları alt ve üst noktalarından mafsallı bir pandül ayak halini almış ve eğilme elemanı şeklinde yük taşımışlardır. İki uç elemanı da kısa kolon davranışı sergilemiş, pencere boşluğu seviyesinde bulunan kısımlarında önemli çatlaklar meydana gelmiştir.



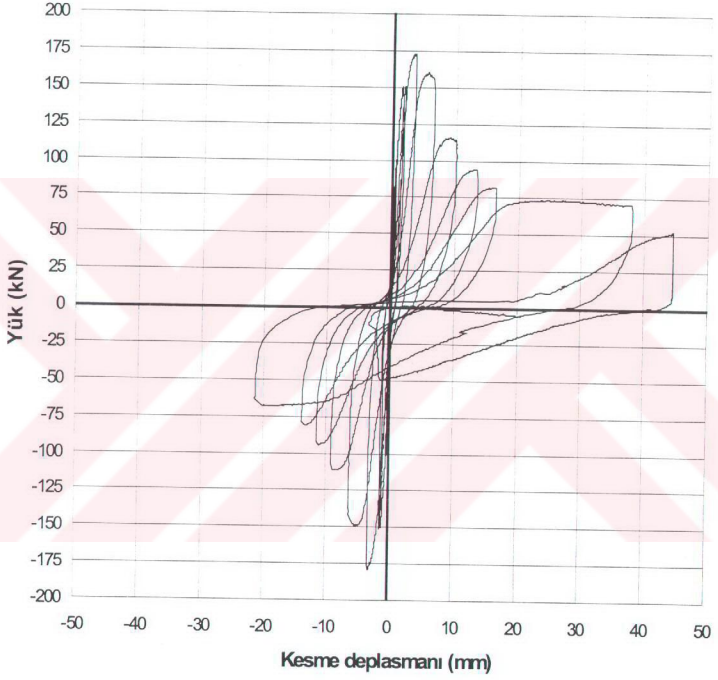
Şekil 5.47. Deney Elemanı-9'un yük-deplasman grafiği



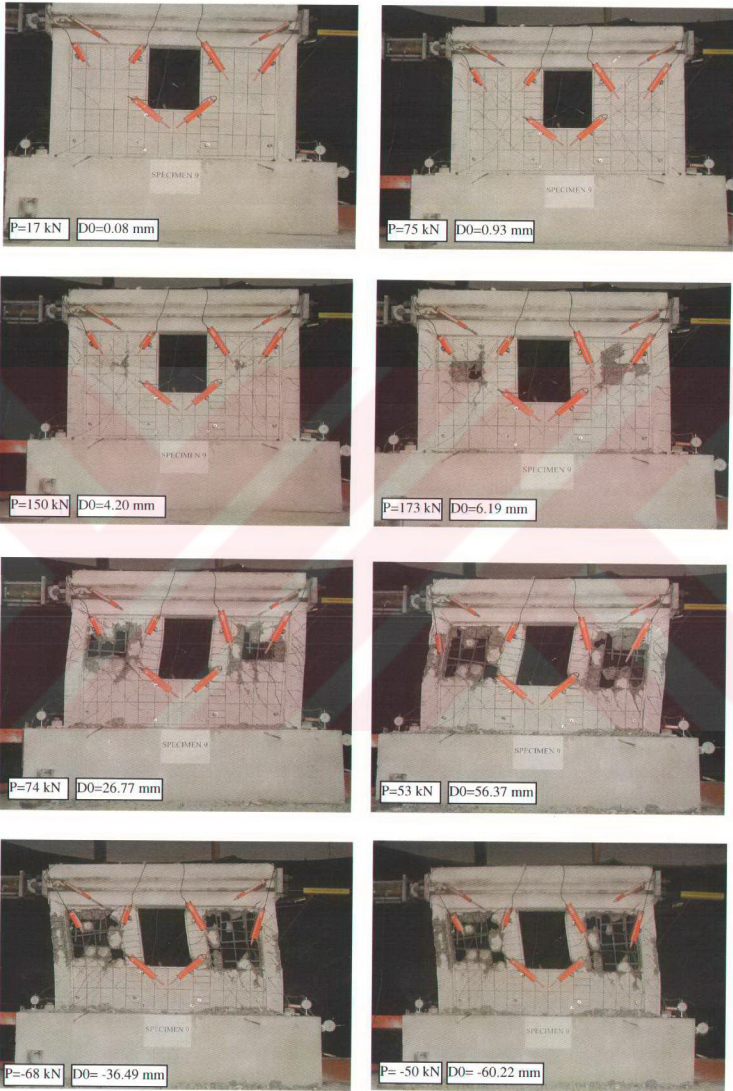
Şekil 5.48. Çerçevenin yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-9)



Şekil 5.49. Sağ kanat dolgu duvarı yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-9)



Şekil 5.50. Sol kanat dolgu duvarı yük-kesme deplasmanı grafiği (Deney Elemanı-9)



Şekil 5.51. Deney Elemanı 9'un test sırasında fotoğrafları

6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde test sonuçları değerlendirilmiştir. Deney elemanlarının sergiledikleri davranış; dayanım, rijitlik, süneklik ve enerji tüketimi ana başlıkları altında incelenmiştir. Deney elemanları karşılaştırılarak betonarme dolgu duvardaki boşluk alanı büyüklüğü ve çerçeve iç alanında dolgu duvarı düzeninin eleman davranışı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deney elemanlarının test sonuçları özetlenerek Çizelge 6.1’de sunulmuştur.

6.1. Dayanım ve Davranış

Deney elemanlarının dayanımları ve sergiledikleri genel davranış zarf eğrileri incelenerek yorumlanmıştır. Zarf eğrileri deney elemanlarının yük-deplasman grafiklerinden yararlanılarak çizilmiştir. Zarf eğrileri yük-deplasman grafiğinde her çevrimin maksimum yük değerindeki noktaların birleştirilmesiyle elde edilmiştir. Deneylere büyük deplasman değerlerine kadar devam edilmiş, ancak yorumlamada deney elemanlarının yük taşıma kapasitelerinin %30’una indikten sonraki kısımları zarf eğrilerinde gözönünde bulundurulmamıştır. Deney elemanları dayanımları arasında karşılaştırma yapılırken beton basınç dayanımları birbirine çok yakın olduğu için bir düzeltme yapılmamıştır.

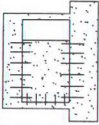
Zarf eğrilerinin sol üst köşesinde yer alan küçük grafikte elemanların test sonuna kadar devam ettirilen yük-deplasman grafiklerinin zarf eğrileri verilmektedir. Sol üst köşede verilen zarf eğrileri incelendiğinde deneylerin büyük deplasman değerlerine kadar sürdürüldüğü görülmektedir. Deneylerde elemanların yük taşıma kapasitelerinde büyük düşüşler meydana gelmiş ve elemanların taşıyabildiği yük çerçevenin kapasitesine yaklaşmıştır. Güçlendirilen dolgulu çerçevelerde davranış bu noktadan sonra çerçeve davranışına dönüşmüştür. Güçlendirilmiş elemanlarda dolgu duvarın dayanıma etkisi birdöküm ve çerçeve deney elemanları ile karşılaştırılarak Çizelge 6.2’de sunulmuştur. Boşluklu betonarme dolgu duvarları ile güçlendirilmiş deney elemanlarının birdöküm deney elemanına göre dayanım kaybı, çerçeve deney elemanına göre dayanım artışı oransal değerlerle çizelgede görülmektedir.

Çizelge 6.1. Deney sonuçlarının özeti

Deney Elemmanı No	Dolgu Duvarı Düzeni	İlk Eğilme Çatlağı Yükü (kN)	Panelde İlk Kesme Çatlağı Yükü (kN)	Maksimum Yük (kN)		Maksimum Yükle Deplasman (mm)		Panel Ortalama Kayma Gerilmesi (MPa)*	Kat Ötelenme Oranı ($\delta/H \times 10^{-3}$)	
				İleri Çevrim	Geri Çevrim	İleri Çevrim	Geri Çevrim		Maksimum Yükte	0.85 Maksimum Yükte
1		10	-----	24	-26	12.0	-11.8	-----	13.4	33.5
2		50	75	351	-323	5.1	-9.9	$1.16\sqrt{f_{ck}}$	5.7	7.9
3		50	100	248	-226	7.0	-6.6	$0.91\sqrt{f_{ck}}$	7.8	11.3
4		15	50	88	-98	11.4	-14.1	$1.16\sqrt{f_{ck}}$	12.7	21.3
5		30	50	150	-150	5.4	-5.9	$1.06\sqrt{f_{ck}}$	5.9	14.5

* $V/(0.80 \times L_w \times b_w)$, $V = V_{max}$, $b_w =$ Panel kalınlığı (50 mm), $L_w =$ Panel genişliği

Çizelge 6.1.1. Deney sonuçlarının özeti (devamı)

Deney Elemmanı No	Dolgu Duvarı Düzeni	İlk Eğilme Çatlağı Yükü (kN)	Panelde İlk Kesme Çatlağı Yükü (kN)	Maksimum Yük (kN)		Maksimum Yükte Deplasman (mm)		Panel Ortalama Kayma Gerilmesi (MPa)*	Kat Ötelenme Oranı ($\delta/H \times 10^{-3}$)	
				İleri Çevrim	Geri Çevrim	İleri Çevrim	Geri Çevrim		Maksimum Yükte	0.85 Maksimum Yükte
6		30	50	194	-185	6.7	-6.7	$0.96\sqrt{f_{ck}}$	7.4	13.1
7		30	50	156	-151	10.3	-10.6	$0.69\sqrt{f_{ck}}$	11.5	16.8
8		30	50	126	-128	11.5	-8.4	$0.97\sqrt{f_{ck}}$	12.8	18.5
9		45	75	173	-180	6.2	-7.2	$0.61\sqrt{f_{ck}}$	6.9	13.7

* $V/(0.80 \times L_w \times b_w)$, $V = V_{max}$, b_w = Panel kalınlığı (50 mm), L_w = Panel genişliği

Çizelge 6.2. Dolgu duvarının deney elemanı dayanımına etkisi

Deney Elemanı No	V_U (kN)	$\frac{V_{u_{dolgu}}}{V_{u_{birdöküm}}}$	Dayanımda Azalış (%)	$\frac{V_{u_{dolgu}}}{V_{u_{çerçeve}}}$	Dayanımda Artış (%)
1	30	-----	-----	-----	-----
2	351	1.00	0.0	11.64	1063.6
3	248	0.71	29.4	8.22	721.9
4	88	0.25	74.8	2.94	193.5
5	150	0.43	57.2	4.98	398.3
6	194	0.55	44.8	6.42	542.5
7	156	0.44	55.6	5.17	416.9
8	126	0.36	64.0	4.19	319.1
9	173	0.49	50.7	5.74	473.7

Birdöküm deney elemanı çerçeve elemanından 12 kat daha fazla dayanım sergilemiştir. Boşluksuz dolgu duvarı ile güçlendirilmiş 3 nolu deney elemanı 2 nolu birdöküm deney elemanından %30 daha az dayanım göstermiştir. Birdöküm deney elemanı kanat dolgu duvarı ile güçlendirilmiş 4, 5 ve 6 nolu deney elemanlarından sırası ile 4, 2.3 ve 1.8 kat daha fazla dayanım sergilemiştir. Çerçeve iç alanının %75'i kanat dolgu duvarlı 6 nolu deney elemanı, 3 nolu deney elemanından %22 düşük dayanım sergilemiştir. Dolgu duvarda bırakılan boşluk alanı büyüklüğünün dayanım üzerindeki önemli etkisi 9 nolu deney elemanının birdöküm deney elemanından %51 daha az dayanım sergilemesinden açıkça görülmektedir. 9 nolu deney elemanının simetri ekseninde yeralan, çerçeve iç alanının %14'ü büyüklüğündeki boşluk, önemli bir dayanım kaybına neden olmuştur. Ayrıca çizelgeden, deney elemanlarına bağlanan dolgu duvarın çerçeve elemanına göre dayanımda meydana getirdiği artış görülmektedir. 4 nolu deney elemanında çerçeve iç alanının %25'i büyüklüğünde kanat dolgu duvarı çerçeveye göre dayanımı 3 kat artırmıştır. Çerçeveye bağlanan kanat dolgu duvarı büyüdükçe, çerçeve elemanına göre dayanım artmıştır. Çerçeve iç alanının %50'si kanat dolgu duvarlı 5 nolu ve %75'i kanat

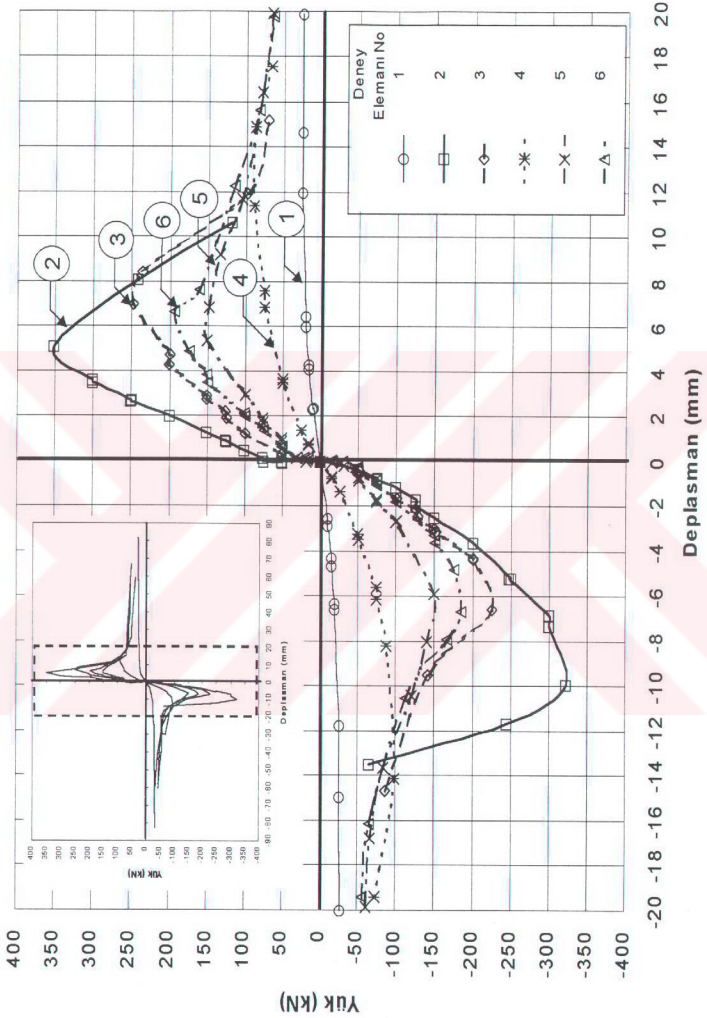
dolgu duvarlı 6 nolu deney elemanları çerçeve elemanına göre sırası ile 5 ve 6.5 kat daha fazla dayanım sergilemiştir.

Şekil 6.1’de 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 nolu deney elemanlarının zarf eğrileri verilmiştir. Bu grafiklerden dolgu duvarında boşluk büyüklüğü değişiminin deney elemanlarının davranış ve dayanımı üzerindeki etkileri yorumlanmıştır. 1 nolu çerçeve deney elemanı 30 kN, 2 nolu birdöküm deney elemanı 351 kN yük taşıyabilmiştir. Birdöküm deney elemanı, çerçeveden 12 kat daha fazla yük taşımıştır. Grafikte verilen zarf eğrileri incelendiğinde üst sınırı birdöküm deney elemanının, alt sınırı ise çerçeve deney elemanının oluşturduğu görülmektedir. Boşluksuz dolgu duvarı ile güçlendirilmiş 3 nolu deney elemanı ve kanat dolgu duvarları ile güçlendirilen 4, 5, ve 6 nolu deney elemanları bu iki deney elemanı arasında davranış sergilemiştir.

3 nolu deney elemanı 248 kN yük taşımıştır. 3 nolu deney elemanı çerçeveye göre 8 kat daha fazla, birdöküm deney elemanından ise %30 daha az yük taşımıştır. 4 nolu deney elemanı çerçeve iç alanının %25’ini dolduran kanat duvarlı deney elemanıdır. Bu eleman 88 kN yük taşıyarak çerçeve deney elemanından 3 kat daha fazla, tam dolu birdöküm deney elemanından 4 kat daha az dayanım sergilemiştir.

5 nolu deney elemanı çerçeve iç alanının %50’sini, 6 nolu deney elemanı ise %75’ini dolduran kanat duvarlı deney elemanlarıdır. 5 ve 6 nolu deney elemanlarının taşıyabildiği maksimum yükler sırası ile 150 kN ve 194 kN’dur. 5 nolu deney elemanı çerçeveye göre 5 kat, 6 nolu deney elemanı ise 6.5 kat fazla dayanım sergilemiştir. 5 nolu kanat dolgu duvarlı deney elemanı, tam dolu birdöküm deney elemanından 2.5 kat, 6 nolu kanat dolgu duvarlı deney elemanı ise birdöküm deney elemanından 2 kat daha az dayanım göstermiştir. Kanat dolgu duvarının dayanımı etkileyerek çerçevenin yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde artırdığı görülmüştür.

Betonarme dolgu duvarda bırakılan boşluğun çerçeve iç alanına göre alanı küçüldükçe elemanın dayanımı artmıştır. Çerçeve iç alanın %75’i dolu 6 nolu deney elemanı çerçeveye göre 6.5 kat daha fazla yük taşıyarak boşluksuz dolgu duvarı ile güçlendirilmiş 3 nolu deney elemanına oldukça yakın bir dayanım sergilemiştir.



Şekil 6.1. 1,2,3,4,5 ve 6 nolu deney elemanlarının zarf eğrileri (boşluk alanı değişimi)

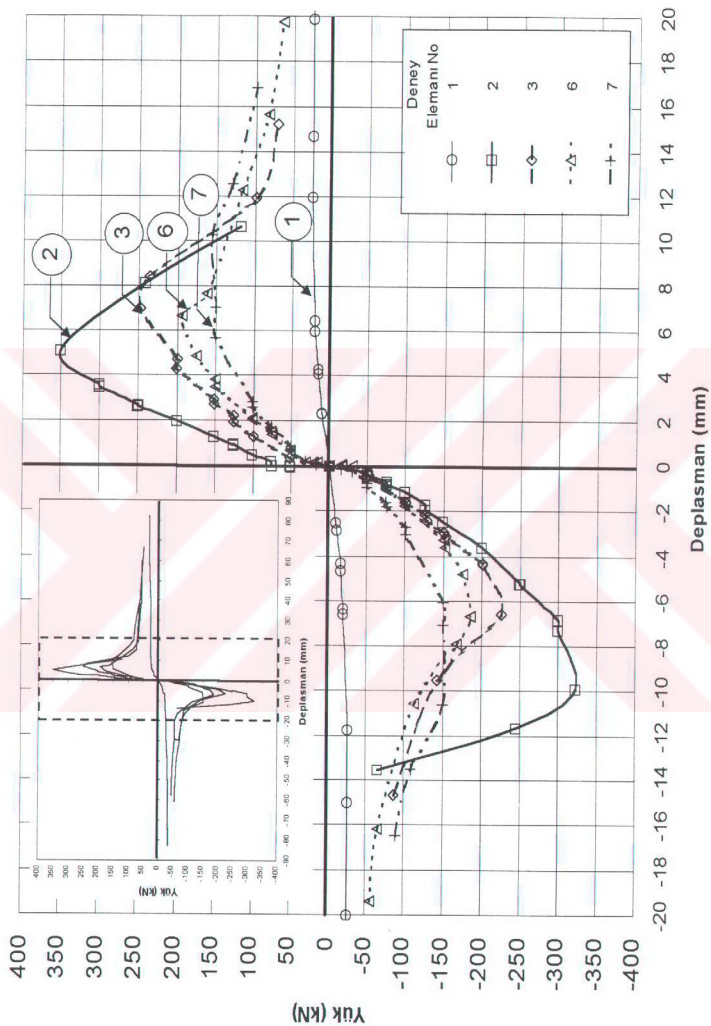
Deney elemanlarının ileri ve geri yüklemede sergilemiş oldukları davranışlar benzerdir. Deney elemanlarının geri yükleme dayanım değerleri ileri yükleme ile oldukça yakındır. Geri yüklemede birdöküm deney elemanı 323 kN yük taşıyarak en büyük dayanımı, çerçeve deney elemanı ise 33 kN yük taşıyarak en düşük dayanımı sergilemiştir. 3, 4, 5 ve 6 nolu deney elemanları bu iki deney elemanının arasında davranış göstermiştir.

Çerçeve akma noktasında 12 mm deplasman yapmıştır. Tam dolu birdöküm deney elemanı dolgu duvarında ezilmenin meydana geldiği maksimum yük altında 5 mm deplasman yapmıştır. 3 nolu boşluksuz dolgu duvarı ile güçlendirilmiş eleman maksimum yük altında 7 mm deplasman yapmıştır. Elde edilen bu sonuçlar boşluksuz dolgu duvarı ile güçlendirilmiş çerçevenin birdöküm elemene çok yakın davranış sergilediğini göstermektedir. 4, 5, ve 6 nolu kanat dolgu duvarları ile güçlendirilen deney elemanları çerçeve elemanına göre çok daha küçük deplasman değerlerinde maksimum yük kapasitelerine ulaşmışlardır. Çerçeve iç alanının %75'i büyüklüğünde boşluğa sahip 4 nolu deney elemanı, çerçeve elemanından yaklaşık %10 daha az deplasman yapmıştır. Çerçeve iç alanının %50'si kanat dolgu duvarlı 5 nolu deney elemanı, çerçevenin yarısı büyüklüğünde (5.5 mm) deplasman değerinde maksimum yüke ulaşmıştır. Çerçeve iç alanının %75'i kanat dolgu duvarlı 6 nolu deney elemanı ise maksimum yük değerinde 6 mm deplasman yaparak çerçevenin yarısı kadar deplasman yapmıştır. Betonarme dolgu duvarda boşluk alanı küçüldükçe elemanın maksimum yükte yaptığı deplasman değerleri azalmıştır. Deney elemanlarında ileri yüklemede maksimum yük seviyesindeki deplasman değerlerinde görülen davranış geri yükleme için de benzerdir. Çerçeve deney elemanı geri yüklemede akma noktasına 12 mm deplasman yaparak ulaşmıştır. Geri yüklemede birdöküm deney elemanı maksimum yük değerine, ileri yüklemeğe göre daha fazla (9 mm) deplasman yaparak ulaşmıştır. 3 nolu boşluksuz dolgu duvarı ile güçlendirilmiş deney elemanı geri yüklemede 7 mm deplasman yaparak ileri yükleme ile aynı deplasman değerinde maksimum yük seviyesine çıkmıştır. 5 ve 6 nolu deney elemanları ise yaklaşık 6 mm deplasman değerinde, maksimum yük değerlerine ulaşmışlardır.

Şekil 6.2’de 1, 2, 3, 6 ve 7 nolu deney elemanlarının zarf eğrileri verilmiştir. Bu grafikten betonarme dolgu duvarda bırakılan boşluk yerinin elemanların dayanım ve davranışları üzerindeki etkileri yorumlanmıştır. 6 nolu deney elemanında çerçeve iç alanının %25’i büyüklüğündeki boşluk, çerçevenin sağ kolonu tarafında yer almaktadır. 7 nolu deney elemanında aynı büyüklükteki boşluk elemanın simetri ekseninde yer almaktadır. 6 nolu deney elemanı 975 mm genişliğinde kanat dolgu duvarına sahipken, 7 nolu deney elemanı ise 490 mm genişlikleri olan iki kanat dolgu duvarına sahiptir.

6 ve 7 nolu deney elemanının betonarme dolgu duvar alanı aynıdır. 6 nolu deney elemanı 194 kN yük taşımış, 7 nolu deney elemanı ise ancak 156 kN yük seviyesine çıkabilmiştir. 6 nolu deney elemanı 7 nolu deney elemanına göre %20 daha fazla yük taşımıştır. Sınırlı sayıdaki deneylerden elde edilen sonuçlar, betonarme dolgu duvardaki boşluk yerinin ve dolgu duvar düzenlemesinin elemanların dayanımı üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu göstermiştir. 975 mm genişliğinde kanat dolgu duvarlı 6 nolu deney elemanının dolgu duvarı kesit alanı 7 nolu deney elemanının kanat dolgu duvarlarının kesit alanından daha büyüktür. Bu nedenle 6 nolu deney elemanı, 7 nolu deney elemanından daha büyük dayanım sergilemiştir. 6 ve 7 nolu deney elemanlarının geri yükleme dayanımları ileri yükleme ile benzerdir. Geri yüklemede 6 nolu deney elemanı 7 nolu deney elemanından %19 daha büyük dayanım sergilemiştir.

6 nolu deney elemanı maksimum yük değerine yaklaşık 7 mm deplasman yaparak ulaşırken 7 nolu deney elemanı 10 mm deplasman yaparak ulaşmıştır. 6 nolu deney elemanı dolgu duvar düzenlemesinin deplasmanları sınırlamak açısından 7 nolu deney elemanına göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Deney elemanları arasında ileri yüklemede deplasmanların sınırlanmasında görülen davranış, geri yükleme için benzerdir. Geri yüklemede 6 nolu deney elemanı maksimum yük değerine 7 mm deplasman yaparak ulaşmış, 7 nolu deney elemanı ise 11 mm deplasman yapmıştır.

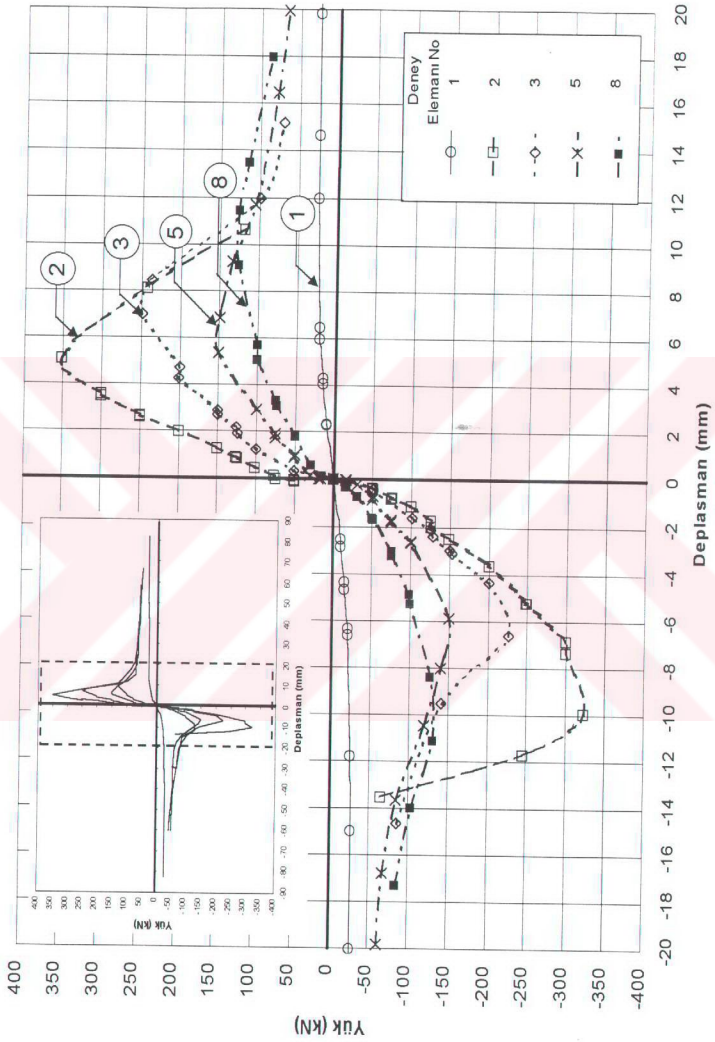


Şekil 6.2. 1,2,3,6 ve 7 nolu deney elemanlarının zarf eğrileri (boşluk yeri değişimi)

Şekil 6.3’de verilen zarf eğrileri, betonarme dolgu duvardaki boşluk yeri ile dolgu duvarının çerçeveyle bağlantısının dayanım ve davranış üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır. 5 nolu deney elemanında 650 mm genişliğindeki dolgu duvarı sol taraftaki çerçeve kolonuna bağlı kanat duvarı şeklinde üretilmiştir. Çerçeve iç alanının %50’si büyüklüğündeki boşluk elemanda sağ tarafta yer almaktadır. 8 nolu deney elemanında aynı büyüklükteki dolgu duvarı elemanın ortasına yerleştirilmiştir. Dolgu duvarı sadece kirişlerle bağlanmış olup çerçeve kolonları ile bağlantısı yoktur. Bu elemanda çerçeve iç alanının %50’si büyüklüğündeki boşluk, dolgu duvarının her iki tarafında simetrik olarak yer almaktadır. 5 nolu deney elemanı 150 kN, 8 nolu deney elemanı ise 126 kN yük taşımıştır. Her iki deney elemanı da aynı büyüklükte dolgu duvara sahip olmasına rağmen çerçeve kolonuna bağlanan kanat duvarlı 5 nolu deney elemanı, 8 nolu deney elemanına göre %16 daha fazla yük taşımıştır. Görülen bu fark betonarme dolgu duvar düzeni ve dolgu duvarının çerçeve ile bağlantısının dayanım üzerindeki etkisini göstermektedir.

5 ve 8 nolu deney elemanlarının ileri yüklemelerde sergiledikleri dayanım, geri yükleme için benzerdir. Geri yüklemelerde 5 nolu deney elemanı 150 kN, 8 nolu deney elemanı ise 128 kN yük taşımıştır. 5 nolu deney elemanı 8 nolu elemandan %15 daha büyük dayanım sergilemiştir.

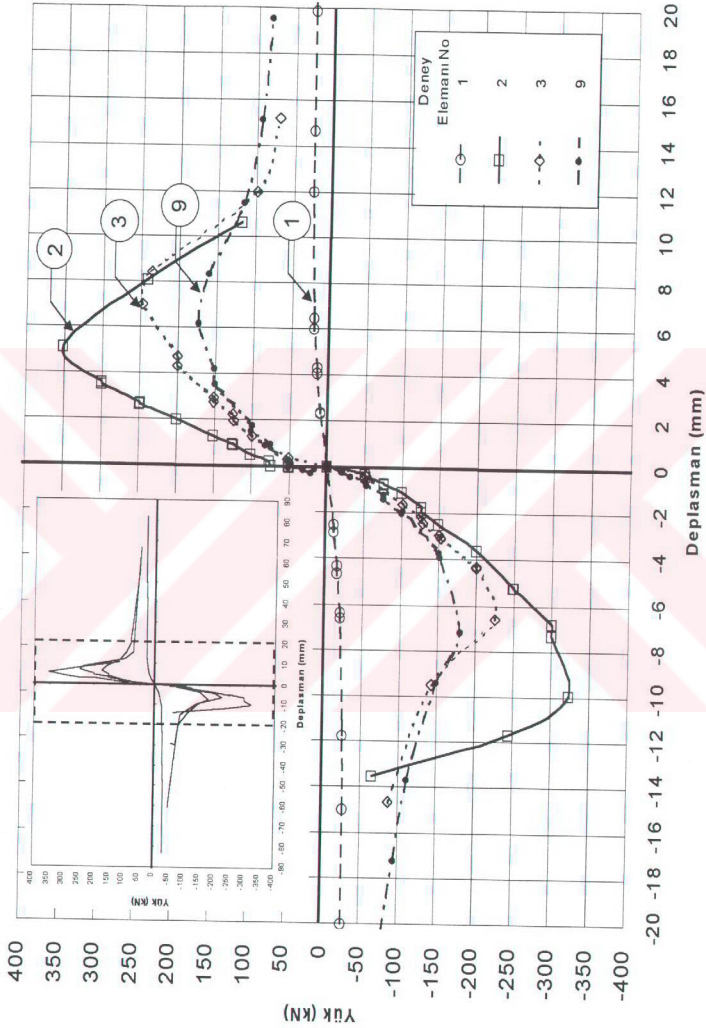
İleri yüklemelerde maksimum yük seviyesinde 5 nolu deney elemanı 5 mm, 8 nolu eleman ise 11 mm deplasman yapmıştır. Kanat dolgu duvarlı 5 nolu deney elemanı, dolgu duvarı yalnızca kirişlere bağlanan 8 nolu deney elemanına göre deplasmanları daha iyi sınırlamıştır. Benzer davranış geri yükleme için de görülmüştür.



Şekil 6.3. 1,2,3,5 ve 8 nolu deney elemanlarının zarf eğrileri (dolgu duvar bağlantısı)

Şekil 6.4'de 1, 2, 3 ve 9 nolu deney elemanlarının zarf eğrileri verilmiştir. Zarf eğrilerinden boşluk alanı büyüklüğü ve yerinin dayanım ve davranış üzerindeki etkileri görülmektedir. 9 nolu deney elemanı dolgu duvarında en küçük boşluklu deney elemanıdır. Deney elemanında bulunan 325x435 mm boyutlarındaki boşluk, elemanın ortasında kirişin altında yer almaktadır. 9 nolu deney elemanı 173 kN yük taşımış ve bu yük seviyesinde 6 mm deplasman yapmıştır. 9 nolu eleman 3 nolu deney elemanına göre %30 daha az yük taşımıştır. 9 nolu deney elemanının dolgu duvarındaki boşluk çerçeve iç alanının sadece %14'ü büyüklüğünde olmasına rağmen dayanımı olumsuz etkilemiş ve %30 gibi önemli bir yük kaybına neden olmuştur. 9 nolu deney elemanı aynı büyüklükte iki kanat duvarına sahip 7 nolu deney elemanına göre %10 daha fazla yük taşımıştır. Kanat duvarlı 6 nolu deney elemanı 9 nolu deney elemanına göre %11 daha fazla yük taşımıştır. 6 nolu deney elemanındaki boşluk, çerçeve iç alanının %25'i büyüklüğünde ve 9 nolu deney elemanında bulunan boşluğun yaklaşık 2 katı olmasına rağmen 6 nolu deney elemanı 9 nolu deney elemanına göre daha fazla yük taşımıştır. Bu davranış betonarme dolgu duvarında bırakılan boşluk alanı büyüklüğü kadar yerinin de dayanım üzerinde önemli etkisinin olduğunu göstermektedir. Birbirinden boşluklar ile ayrılan betonarme dolgu duvarların birlikte davranış sergileyerek dayanımı fazla artıramadığı düşünülmektedir.

9 nolu deney elemanı geri yüklemede 180 kN yük taşıyarak ileri yükleme dayanımına çok yakın davranış sergilemiştir. İleri yüklemede 3 ve 9 nolu deney elemanları maksimum yük seviyesine 7 mm deplasman yaparak ulaşmıştır. Geri yüklemede de benzer bir davranış elde edilmiştir.



Şekil 6.4. 1, 2, 3 ve 9 nolu deney elemanlarının zarf eğrileri (boşluk büyüklüğü ve yerinin değişimi)

6.2. Süneklik

Deney programının betonarme dolgu duvarları ile güçlendirilmiş deney elemanları gevrek bir davranış göstermişlerdir. Betonarme dolgu duvarlı tüm deney elemanları dolguda diyagonal doğrultularda meydana gelen basınç ezilmesi sonucu göçmüşlerdir. Deney elemanlarının taşıma gücüne ulaştığı bu noktadan sonra yük değerinde ani ve büyük bir düşüş meydana gelmiştir. Bu şekilde göçen deney elemanlarının deplasman süneklik oranlarının hesaplanması sadece bir fikir vermesi için yapılmıştır.

Deney programı içinde sadece çerçeve elemanında sünek bir davranış elde edilmiştir. Çerçeve elemanı kolon uçlarında oluşan plastik mafsallarla bir kolon mekanizması şeklinde göçmüştür. Kolonlarda boyuna donatılarda meydana gelen akma deney elemanı için akma noktası olarak kabul edilmiştir. Çerçeve elemanı kolon donatıları aktıktan sonra yük taşımaya devam etmiştir. Yük değeri akmanın olduğu değer in altına düşmeden deney elemanı 85 mm gibi bir deplasman değerine ulaşmıştır. Kullanılan deplasman ölçerin kapasitesine ulaşıldığından bu noktada deneye son verilme zorunda kalınmıştır. Deney elemanının sergilediği bu davranış 5. bölümde verilmiş olan yük-deplasman grafiğinden görülmektedir. Çerçeve deney elemanı için yapılan deplasman süneklik oranı hesaplamasında göçme noktası deplasmanı olarak deneyin durdurulduğu noktanın deplasman değeri kabul edilmiştir.

Betonarme dolgu duvarlı deney elemanlarının maksimum yük seviyesindeki deplasmanı, akma deplasmanı kabul edilmiştir. Deney elemanlarının göçme noktası olarak maksimum yükün %85'ine düştüğü nokta kabul edilmiştir. Süneklik öngörülen dayanımda önemli bir kayıp olmaksızın deformasyon yapabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Deplasman süneklik oranı, dayanımda önemli bir kayıp olmaksızın oluşan en büyük deplasmanın akma anındaki deplasmana oranıdır.

Deplasman süneklik oranlarının hesaplanmasında yük-deplasman grafikleri kullanılmıştır. Elemanın göçme noktası için deplasman değeri (δ_{85}) elemana ait zarf eğrisinden belirlenmiştir. δ_{85} göçme noktası deplasman değerinin δ_y akma noktası

deplasman değerine oranlanması ile, o elemana ait deplasman süneklik değeri hesaplanmıştır. Deplasman süneklik oranları her deney elemanının ileri ve geri çevrimleri için ayrı ayrı hesaplanmış ve Çizelge 6.3'de sunulmuştur. İleri çevrimler için o çevrimlere ait maksimum yükteki deplasman, geri çevrimler için geri çevrimlere ait maksimum yükteki deplasman değerleri kullanılmıştır.

Çizelge 6.3. Deney elemanlarının deplasman süneklik oranları

Deney Elemanı No	İleri Çevrim			Geri Çevrim		
	δ_y (mm)	δ_{85} (mm)	δ_{85}/δ_y	δ_y (mm)	δ_{85} (mm)	δ_{85}/δ_y
1	12.0	81.8	6.8	-11.8	-82.5	7.0
2	5.1	7.1	1.4	-6.5	-13.3	2.1
3	7.0	11.6	1.7	-6.6	-12.4	1.9
4	11.4	21.8	1.9	-14.1	-21.8	1.5
5	5.4	16.4	3.1	-5.9	-15.1	2.6
6	6.7	15.2	2.3	-6.7	-15.6	2.3
7	10.3	17.3	1.7	-10.6	-16.6	1.6
8	11.5	18.2	1.6	-11.1	-17.3	1.6
9	6.2	16.0	2.6	-7.2	-16.5	2.3

Deney serisi içinde en büyük süneklik oranına çerçeve elemanının sahip olduğu görülmektedir. Güçlendirilen deney elemanları çerçeveye göre oldukça düşük süneklik sergilemişlerdir. Betonarme dolgu duvarlı deney elemanları, göçme noktasına daha az deplasman yaparak ulaşmışlardır. Bu nedenle sergiledikleri deplasman süneklik oranları daha küçük olmuştur. Çerçeve iç alanının %50'si kanat dolgu duvarlı 5 nolu deney elemanı, çerçeve iç alanını %75'i kanat dolgu duvarlı olan 6 nolu deney elemanından daha sünek bir davranış sergilemiştir. Ancak çerçeve iç alanının %25'i büyüklüğünde kanat dolgu duvarlı 4 nolu deney elemanı, 5 nolu deney elemanına göre daha az süneklik göstermiştir. 4 nolu deney elemanı dolgu duvarı çok küçük olduğu için deplasmanları iyi sınırlayamamış ve deney elemanı maksimum yük değerine çok fazla deplasman yaparak ulaştığından süneklik oranı küçülmüştür.

Betonarme dolgu duvarındaki boşluk yeri farklı olan 6 ve 7 nolu deney elemanlarının süneklik oranları da farklıdır. Çerçeve iç alanının %75'i kanat duvarlı 6 nolu deney elemanı, aynı büyüklükte dolgu duvarı bulunan iki kanat duvarlı 7 nolu deney elemanına göre daha sünek bir davranış sergilemiştir. Betonarme dolgu duvardaki boşluğun büyüklüğü kadar yeri de deney elemanlarının süneklik oranlarını etkilemektedir. Çerçeve iç alanının %50'si büyüklüğünde kanat duvarlı 5 nolu deney elemanı, aynı büyüklükte, sadece kirişlere bağlı dolgu duvarlı 8 nolu deney elemanına göre daha sünek bir davranış sergilemiştir.

6.3. Rijitlik

Deney elemanlarının rijitlik değerleri deney sonucu elde edilen yük - deplasman grafikleri kullanılarak üç tipik noktada hesaplanmıştır. Bunlar ilk eğilme çatlağının oluştuğu nokta, maksimum yük noktası ve göçme noktası olarak kabul edilen maksimum yükün %85'e düştüğü noktalardır.

Rijitlik değerleri hesaplanırken bu noktaları orijinle birleştiren doğru çizilmiş ve o doğruların eğimi hesaplanmıştır. Elde edilen eğim değeri o noktanın rijitlik değeridir. Deney elemanlarının hesaplanan rijitlik değerleri Çizelge 6.4'de sunulmuştur. Başlangıç rijitlik değeri, deney elemanlarında gözlenen ilk eğilme çatlağının geliştiği yük düzeyini orijine birleştiren doğrunun eğimi kullanılarak hesaplanmıştır. Maksimum yükteki rijitlik, deney elemanlarının maksimum yük seviyesine ulaştıkları noktayı orijine bağlayan doğrunun eğimidir. Göçme rijitlik değerleri ise betonarme dolguda ezilmenin meydana gelmesinden sonra maksimum yükün %85'ine karşı gelen yük düzeyindeki noktayı orijine bağlayan doğrunun eğimi kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.4. Deney elemanlarının rijitlik değerleri (kN/mm)

Deney Elemanı No	İleri Çevrimde Rijitlikler					Geri Çevrimde Rijitlik				
	Başlangıç	Maksimum Yük	Göçme	Maksimum Yük Başlangıç	Göçme Maksimum Yük	Başlangıç	Maksimum Yük	Göçme	Maksimum Yük Başlangıç	Göçme Maksimum Yük
1	4.45	2.04	0.37	0.46	0.18	3.72	2.24	0.41	0.60	0.18
2	212.80	68.74	41.85	0.32	0.61	103.76	32.61	20.59	0.31	0.63
3	159.56	35.40	18.11	0.22	0.51	118.75	34.33	15.52	0.29	0.45
4	21.14	7.77	3.45	0.37	0.44	21.89	6.94	3.83	0.32	0.55
5	49.24	27.98	7.80	0.57	0.28	44.36	25.52	8.45	0.58	0.33
6	77.15	29.05	10.86	0.38	0.37	71.88	27.85	10.13	0.39	0.36
7	64.83	15.12	7.65	0.23	0.51	68.68	14.23	7.72	0.21	0.54
8	46.69	11.01	5.90	0.24	0.54	45.09	11.83	6.47	0.26	0.55
9	91.55	27.93	9.21	0.31	0.33	63.65	25.02	9.25	0.39	0.37

Rijitlik değerlerinin hesaplandığı üç noktada betonarme dolgu duvarla güçlendirilmiş dolgulu deney elemanları ile çerçeve deney elemanı arasındaki rijitlik farkı ileri ve geri çevrimler için ayrı ayrı Çizelge 6.5’de sunulmuştur.

Çizelge 6.5. Dolgu duvarının deney elemanları rijitliklerine olan etkisi

Deney Elemanı No	İleri Çevrim ($R_{dolgu} / R_{çerçeve}$)			Geri Çevrim ($R_{dolgu} / R_{çerçeve}$)		
	Başlangıç	Maksimum Yük	Göçme	Başlangıç	Maksimum Yük	Göçme
1	----	----	----	----	----	----
2	47.82	33.65	113.48	27.89	14.59	50.73
3	35.86	17.33	49.10	31.92	15.36	38.23
4	4.75	3.81	9.35	5.88	3.10	9.44
5	11.07	13.70	21.15	11.92	11.42	20.81
6	17.34	14.22	29.45	19.32	12.46	24.95
7	14.57	7.40	20.76	18.46	6.37	19.03
8	10.49	5.39	16.00	12.12	5.29	15.93
9	20.57	13.67	24.96	17.11	11.19	22.79

Çizelge incelendiğinde boşluklu betonarme dolgu duvarla güçlendirilmiş deney elemanlarının çerçeveye göre rijitlik değerlerindeki artış görülmektedir. Betonarme dolgu duvarında bırakılan boşluğun alanı küçüldükçe çerçeveye göre rijitlik değerlerindeki artış büyümüştür.

2 nolu birdöküm deney elemanı en büyük başlangıç rijitlik değerine sahip elemandır. Boşluksuz dolgu duvarı ile güçlendirilen 3 nolu deney elemanı birdöküm deney elemanından sonra en büyük başlangıç rijitliği değerine sahiptir. Birdöküm deney elemanı, çerçeveden yaklaşık 48 kat daha büyük başlangıç ve 113 kat daha büyük göçme rijitliğine sahiptir. Maksimum yükte ise 34 kat daha büyük bir rijitlik değeri sergilemiştir. Deney serisinde 2 nolu birdöküm deney elemanından sonra en büyük rijitlik değerlerini 3 nolu boşluksuz betonarme dolgu ile güçlendirilmiş deney elemanı sergilemiştir.

Kanat dolgu duvarları ile güçlendirilen 4, 5 ve 6 nolu deney elemanları 1 ve 3 nolu deney elemanları arasında bir davranış sergilemiştir. Boşluk alanı büyüklüğünün deney elemanları rijitlik değerleri üzerindeki etkisi 4, 5 ve 6 nolu deney elemanlarından elde edilen sonuçlardan görülebilir. Çerçeve iç alanının %75'i büyüklüğünde kanat dolgu duvarlı 6 nolu deney elemanı, çerçeve iç alanının %50'si büyüklüğünde kanat dolgu duvarlı 5 nolu deney elemanından daha rijit bir davranış sergilemiştir. 5 nolu deney elemanı ise çerçeve iç alanının %25'i büyüklüğünde kanat dolgu duvarlı 4 nolu deney elemanından daha rijit bir davranış göstermiştir. 4 nolu deney elemanı, 5 nolu elemanından %133 daha düşük başlangıç rijitliği, 5 nolu deney elemanı ise 6 nolu deney elemanından %57 daha düşük başlangıç rijitliği sergilemiştir. Betonarme dolgu duvardaki boşluk alanı küçüldükçe başlangıç, maksimum yük ve göçme noktaları için hesaplanmış rijitlik değerleri artmıştır. Çerçeve iç alanının %75'i dolu kanat dolgu duvarlı 6 nolu deney elemanı, boşluksuz dolgu duvarı ile güçlendirilmiş 3 nolu deney elemanından 2 kat daha düşük başlangıç rijitliğine sahiptir. 6 nolu deney elemanındaki çerçeve iç alanının %25'i büyüklüğündeki boşluk, rijitlikte önemli bir kayıp meydana getirmiştir. Çerçeve iç alanının %14'ü kadar boşluğu olan 9 nolu deney elemanı, 3 nolu deney elemanından 1.75 kat daha düşük başlangıç rijitliğine sahiptir. Çerçeve iç alanının %14'ü gibi küçük boyuttaki boşluk başlangıç rijitliğinde önemli bir kayıba neden olmuştur.

Betonarme dolgu duvarında bulunan boşluğun yerindeki değişimin rijitlik üzerindeki etkileri 6 ile 7 nolu ve 5 ile 8 nolu deney elemanları arasındaki karşılaştırmadan görülmektedir. Kanat duvarlı 6 nolu deney elemanı, aynı büyüklükte iki kanat duvarlı 7 nolu deney elemanından %16 daha büyük başlangıç rijitliği sergilemiştir. Kanat duvarlı 5 nolu deney elemanı, sadece kirişlere bağlanan dolgu duvarlı 8 nolu deney elemanına göre %5 daha büyük başlangıç rijitliği göstermiştir. Boşluksuz dolgu duvarı ile güçlendirilmiş 3 nolu deney elemanı 7 nolu deney elemanından 2.5 kat, 8 nolu deney elemanından ise 3.5 kat daha büyük başlangıç rijitlik değerine sahiptir.

6.4. Enerji Tüketim Kapasiteleri

Deney programında yer alan elemanların enerji tüketimleri yük - deplasman grafikleri kullanılarak hesaplanmıştır. Her çevrim için yük-deplasman grafiklerinin altındaki alan deney elemanları için hesaplanmıştır. Her deney elemanının tükettiği enerji deney sırasında uygulanan yükleme programı ile doğrudan ilişkilidir. Deney elemanları arasında sağlıklı bir karşılaştırma yapılabilmesi için deney elemanlarının yük geçmişleri aynı veya çok benzer olması gerekmektedir. Deney elemanlarında aynı yük geçmişleri kullanılamamıştır. Bu nedenle toplam enerji tüketimi gözönünde bulundurulmuş, bunun değerlendirmelerde sağlıklı olacağı düşünülmüştür.

Elemanların enerji tüketim değerleri hesaplanırken, maksimum yük değerinin %75'ine düştüğü yük düzeyine kadar olan çevrimler gözönüne alınmıştır. Algan ve Sözen [49] ile ATC Yönetmeliği [50] tarafından izin verilebilecek en büyük kat ötelenme oranının (kat deplasmanı / kat yüksekliği) 0.010 - 0.015 arasında değiştiği belirtilmiştir. Deney elemanlarının maksimum yük değerinin %75'ine düştüğü noktada hesaplanan kat ötelenme oranı değerlerinin 0.010 ile 0.015 arasında değişim gösterdiği görülmüştür. Bu nedenle tüm deney elemanlarında dengeyi bozabilecek sınır deplasman değerlerine kadar enerji tüketimi hesaplamaları yapılmıştır. Deney elemanlarının enerji tüketim grafikleri gruplanarak Şekil 6.5'den Şekil 6.8'e kadar verilmiştir. Grafiklerde elemanların birikimli süneklik oranlarına göre birikimli enerji tüketimi değişimi yer almaktadır.

Deney elemanlarının maksimum yük seviyesinde ve maksimum yük değerinin %75'ine düştüğü noktaya kadar tükettikleri enerjiler Çizelge 6.6'da sunulmuştur.

Çizelge 6.6. Deney elemanlarının enerji tüketim kapasiteleri

Deney Elemanı No	Birikimli Enerji Tüketimi (kN-mm)		Maksimum Yükün %75'inde Oranlar	
	Makimum Yükte	Maksimum Yükün %75'inde	$\frac{E_{birdöküm}}{E_{dolgu}}$	$\frac{E_{dolgu}}{E_{çerçeve}}$
1	524.6	1551.4	-----	-----
2	7423.1	10326.8	1.00	6.66
3	4220.7	8459.0	0.82	5.45
4	1486.1	3988.8	0.39	2.57
5	1414.8	5052.4	0.49	3.26
6	3016.3	6676.0	0.65	4.30
7	3679.3	6534.3	0.63	4.21
8	3111.5	5715.3	0.55	3.68
9	2233.7	5363.6	0.52	3.46

Deney elemanlarının maksimum yük ile yükün %75'ine düştüğü noktaya kadar enerji tüketim kapasitelerinde oldukça büyük artışlar meydana gelmiştir. Birdöküm deney elemanı hariç tüm deney elemanlarının enerji tüketimleri bu aralıkta çok büyük oranda artmıştır. Bu iki nokta arasındaki en büyük enerji artışı %196 ile çerçeve deney elemanında meydana gelmiştir. En düşük enerji artışı ise %39 ile birdöküm deney elemanında olmuştur. 3 nolu boşluksuz dolgu duvarı ile güçlendirilmiş deney elemanının tükettiği enerji iki nokta arasında %100 artış gösterirken boşluklu dolgu duvarla güçlendirilmiş deney elemanlarında enerji tüketiminde ortalama %141 artış meydana gelmiştir.

Çizelge 6.6'da maksimum yük değerinin %75'ine düştüğü noktada deney elemanlarının enerji tüketimleri karşılaştırılmıştır. Bu oransal değerlerden dolgu duvarın enerji tüketimi kapasitesine olan etkisi görülmektedir. Birdöküm deney elemanına göre güçlendirilen deney elemanlarının enerji tüketimindeki azalım oranları ve dolgu duvarlı deney elemanlarının çerçeveye göre enerji tüketimindeki artış oranları çizelgede yer almaktadır. Birdöküm deney elemanı boşluksuz dolgu duvarı ile güçlendirilmiş 3 nolu deney elemanından %22 daha fazla enerji

tüketmiştir. Birdöküm deney elemanı kanat dolgu duvarı ile güçlendirilmiş 4, 5 ve 6 nolu deney elemanlarından sırası ile %158, %104 ve %55 daha fazla enerji tüketim kapasitesine sahiptir. Betonarme dolgu duvarında yer alan boşluk alanı küçüldükte deney elemanlarının enerji tüketiminin arttığı görülmektedir. 6 nolu deney elemanı 3 nolu deney elemanından %27 daha az enerji tüketerek ona yakın bir kapasite sergilemiştir.

Deney elemanlarında betonarme dolgu duvarları büyüdükçe çerçeve elemanına göre enerji tüketim kapasitelerinde önemli oranlarda artışlar meydana gelmiştir. Birdöküm deney elemanı çerçeve deney elemanından 7 kat daha fazla enerji tüketmiştir. Boşluksuz dolgu duvarı ile güçlendirilen 3 nolu deney elemanı ise çerçeveden 5.5 kat daha fazla enerji tüketim kapasitesine sahiptir. Çerçeve iç alanının %25'i büyüklüğünde kanat dolgu duvarlı 4 nolu deney elemanının enerji tüketimi çerçeve deney elemanına göre 2.6 kat artmıştır. 5 ve 6 nolu deney elemanlarında ise bu artış sırası ile 3.3 ve 4.3 katı olarak meydana gelmiştir.

Enerji tüketim değerlerinin her çevrime ait yük-deplasman grafiğinin altında kalan alanın hesaplanması ile bulunduğu belirtilmişti. Birikimli enerji tüketim değeri her çevrimden elde edilen enerji tüketim değerlerinin üst üste toplanması ile hesaplanmıştır. Birikimli deplasman süneklilik oranı değeri her çevrimin maksimum yükdeki deplasman değerinin, elemana ait akma noktası olarak kabul edilen noktanın deplasman değerine oranlanması ile bulunan, deplasman süneklilik oranlarının toplanması ile hesaplanmıştır. Gevrek bir davranış gösteren dolgu duvarlı deney elemanlarında maksimum yükteki deplasman değerinin akma noktası deplasmanı olarak kabul edildiği unutulmamalıdır.

Deney elemanları arasında yapılan karşılaştırmalar enerji tüketimi kapasitesinin hesaplanmasında sınır olarak belirlenen maksimum yükün %75'ine düştüğü noktadaki değerler arasında yapılmıştır. Karşılaştırma değerlerinin hepsi bu nokta içindir. Şekil 6.5'de 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 nolu deney elemanlarına ait enerji tüketim grafikleri verilmiştir. Grafikte üst sınırdaki 2 nolu tam dolu birdöküm deney elemanı, alt sınırdaki 1 nolu çerçeve elemanı yer almaktadır. Betonarme dolgu duvarları ile

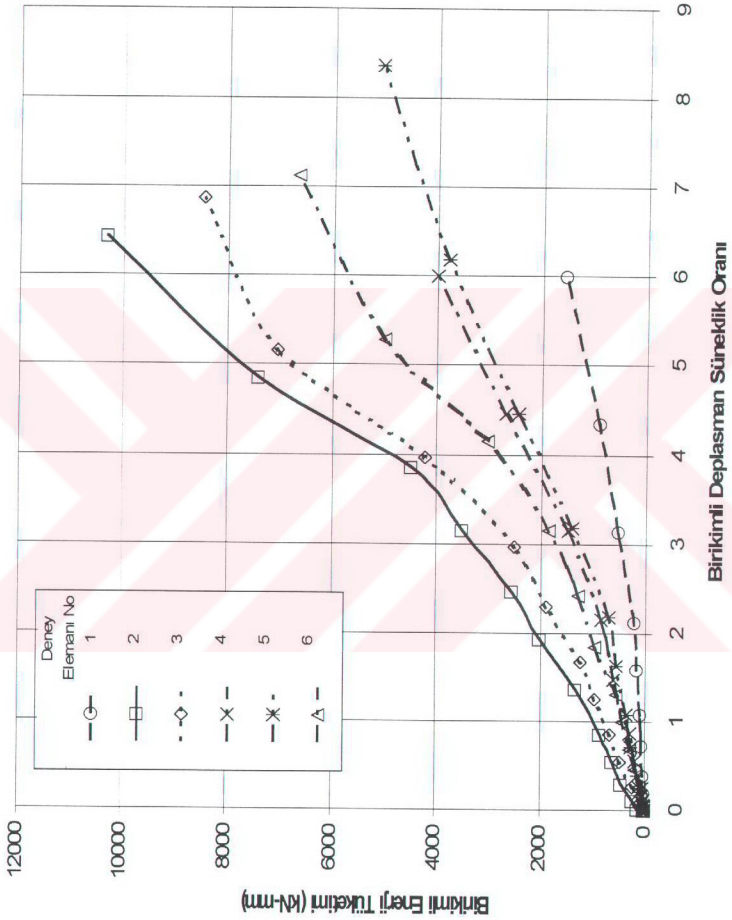
güçlendirilen 3, 4, 5 ve 6 nolu deney elemanları bu iki deney elemanı arasında bir davranış sergilemiştir. 3 nolu boşluksuz dolgu duvarı ile güçlendirilmiş deney elemanı 2 nolu birdöküm deney elemanından sonra en çok enerjiyi tüketen deney elemanıdır. 2 nolu deney elemanı 3 nolu deney elemanına göre %22 daha fazla enerji tüketmiştir. Çerçeve iç alanın %75'i, %50'si ve %25'i dolu olan 6, 5 ve 4 nolu deney elemanları 3 ve 1 nolu deney elemanları arasında bir davranış sergilemiştir. 6 nolu deney elemanı 5 nolu deney elemanından %32, 5 nolu deney elemanı ise 4 nolu deney elemanından %27 daha fazla enerji tüketmiştir. Betonarme dolgu duvarda yer alan boşluk alanı büyüklüğündeki değişimin deney elemanlarının enerji tüketimi üzerinde önemli etkisi olmuştur. Boşluk alanı büyüdükçe deney elemanının tükettiği enerji azalmıştır. 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 nolu deney elemanları başlangıçta uygulanan küçük yük adımlarında birbirlerine daha yakın bir davranış sergilemiş ve daha az enerji tüketmişlerdir. Betonarme dolgu duvarlı elemanlarda dolgu duvarlarında ezilmenin gelişmesinden sonra daha fazla enerji tüketilmiştir (Çizelge 6.6).

Şekil 6.6'da verilen 1, 2, 3, 6 ve 7 nolu deney elemanları enerji tüketim kapasitelerindeki değişim incelendiğinde 6 nolu deney elemanının 7 nolu deney elemanından %5 daha fazla enerji tükettiği görülmektedir. Aynı büyüklükte betonarme dolgu duvarlı deney elemanları yaklaşık olarak aynı miktarda enerji tüketmişlerdir. Şekil 6.7'de enerji tüketim değişimi verilen 5 ve 8 nolu deney elemanları da yaklaşık olarak aynı miktarda enerji tüketmişlerdir. 6 nolu deney elemanı 7 nolu deney elemanına, 5 nolu deney elemanı 8 nolu deney elemanı göre %5 daha fazla enerji tükettiği görülmüştür. Bu fark aynı büyüklükte dolgu duvara sahip olmalarına rağmen boşluk yerindeki değişimin, enerji tüketimini az da olsa etkilediği sonucunu ortaya koymuştur. Betonarme dolgu duvarında bırakılan boşluk yerindeki değişimin, boşluk alanındaki değişime göre enerji tüketimi üzerinde çok daha az etkili olduğu görülmüştür.

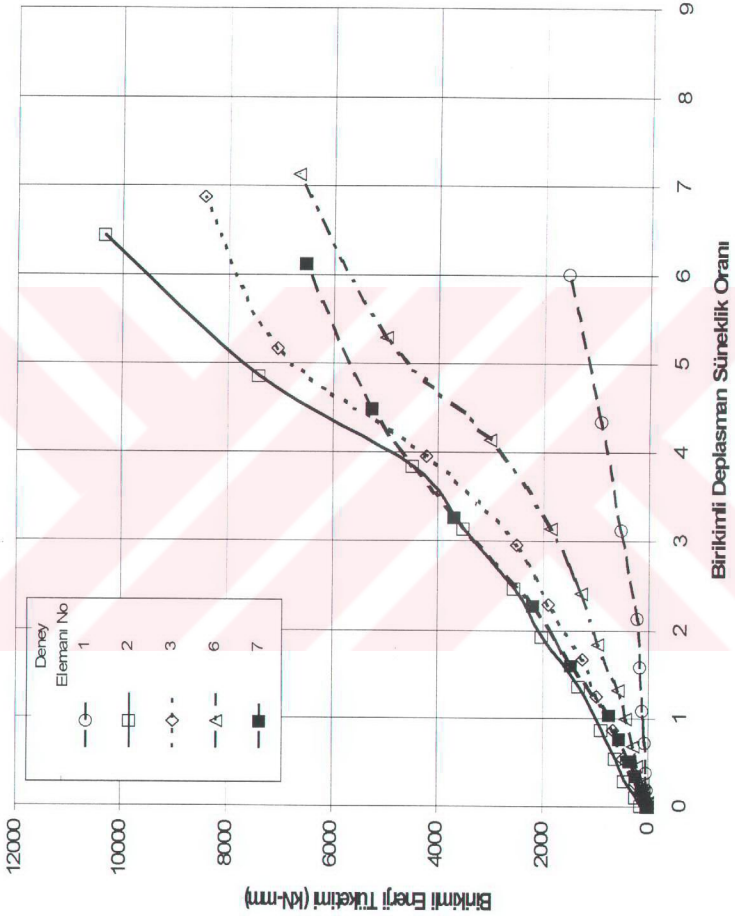
Şekil 6.8'de verilen 1, 2, 3 ve 9 nolu deney elemanlarının enerji tüketim grafikleri incelendiğinde boşluk alanı büyüklüğündeki değişimin deney elemanlarının enerji tüketim kapasitesini çok fazla etkilediği görülmektedir. 9 nolu deney elemanında

bulunan çerçeve iç alanının sadece %14'ü büyüklüğündeki boşluk, deney elemanının enerji tüketim kapasitesinin çok fazla azalmasına neden olmuştur. 9 nolu deney elemanı 3 nolu tam dolu güçlendirilmiş deney elemanına göre %37 daha az enerji tüketmiştir. 3 ve 9 nolu deney elemanları 10. çevrime kadar benzer enerji tüketimi ve davranış sergilemişlerdir. 3 nolu deney elemanı daha fazla yük taşıdığı ve daha geç taşıma gücüne ulaştığı için 9 nolu deney elemanından daha fazla enerji tüketmiştir.

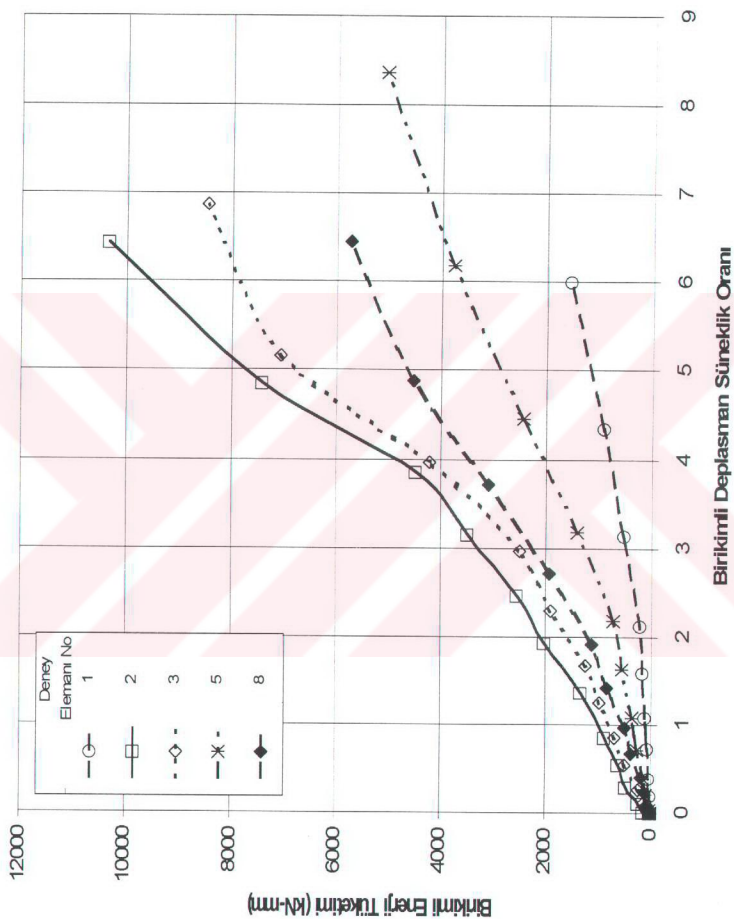
Deney elemanlarının maksimum yük seviyesinde birikimli deplasman sünelik oranı 3.00 ile 4.85 arasında değişim göstermektedir. Maksimum yük seviyesinde en büyük enerji 2 nolu deney elemanı, en düşük enerji ise 1 nolu deney elemanı tarafından tüketilmiştir. Güçlendirilmiş 3, 4, 5, ve 6 nolu deney elemanları bu iki eleman arasında davranış sergilemiştir. Maksimum yükte boşluk yeri değişim gösteren, aynı büyüklükte betonarme dolgu duvarlı 5 ile 8 ve 6 ile 7 nolu deney elemanları birbirlerine yakın enerji tüketmişlerdir.



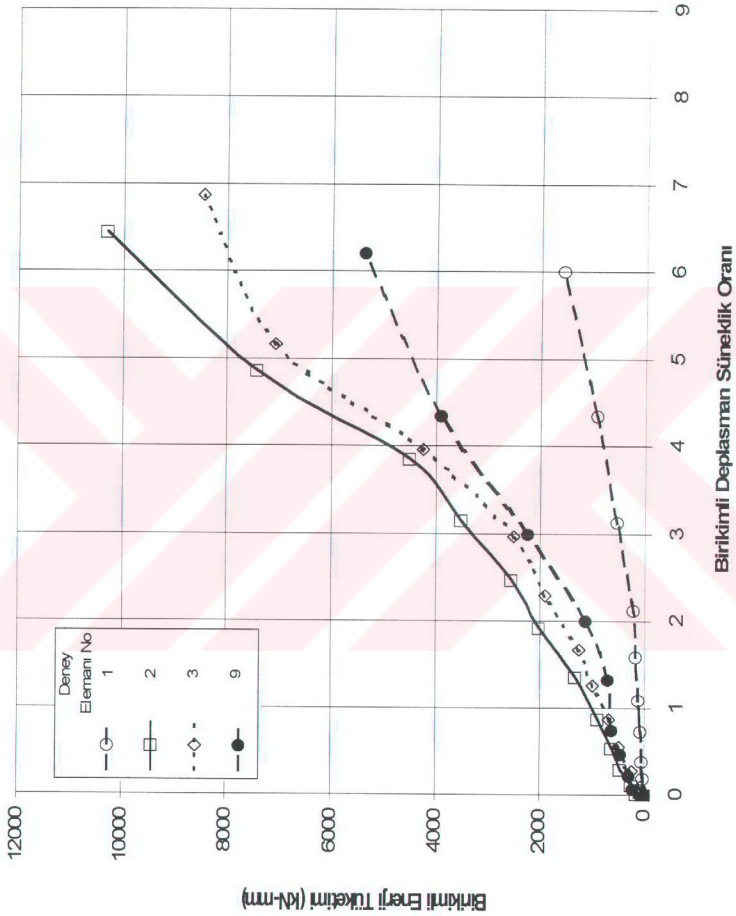
Şekil 6.5. 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 nolu deney elemanlarının enerji tüketimi grafikleri



Şekil 6.6. 1, 2, 3, 6 ve 7 nolu deney elemanlarının enerji tüketimi grafikleri



Şekil 6.7. 1, 2, 3, 5 ve 8 nolu deney elemanlarının enerji tüketimi grafikleri



Şekil 6.8. 1, 2, 3 ve 9 nolu deney elemanlarının enerji tüketimi grafikleri

6.5. Analitik Çalışmalar

Bu bölümde boşluklu betonarme dolgulu çerçeveler üzerinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen veriler, araştırmacılar tarafından önerilen ampirik denklem sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Araştırmacılar betonarme dolgu duvarlı çerçevelerin dayanım ve tasarımları için analitik yaklaşımlar geliştirmişlerdir. Ayrıca dayanım açısından önemli olan ilk eğilme çatlağı yükü, panelde oluşan ilk kesme çatlağı yükü ve yatay yük taşıma kapasitesi değerlerinin belirlenmesi için ampirik denklemler önermişlerdir. Çalışmanın bu kısmında araştırmacılar tarafından geliştirilen denklemlerin deneysel bulgular ile ne düzeyde uyumlu olduğunun incelenmesi amaçlanmıştır.

6.5.1. Dayanım

Bu kısımda ilk eğilme çatlağı ve dolguda oluşan ilk kesme çatlağı yükü değerleri araştırmacılar tarafından önerilen ampirik denklemler kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlerin deney sonuçları ile uyumu incelenmiştir.

6.5.1.1. İlk eğilme çatlağı yükünün hesaplanması

İlk eğilme çatlağının meydana geldiği yük mekaniğin temel ilkeleri kullanılarak hesaplanmıştır. Eğilme etkisinde basit gerilme ifadeleri kullanılarak deney elemanlarının ilk eğilme çatlağı yükleri hesaplanmıştır (Denklem 6.1 ve 6.2).

$$M_{cr} = \left(f_{ctf} - \frac{N}{A} \right) \cdot \frac{I}{y} \dots\dots\dots (6.1)$$

$$V_{fcr} = \frac{M_{cr}}{H} \dots\dots\dots (6.2)$$

f_{ctf} : Betonun eğilmede çekme dayanımı ($0.35 \cdot \sqrt{f_c}$ (MPa))

I : Kesit atalet momenti

y : Kesit tarafsız ekseninin dış beton lifine olan uzaklığı

H	: Deney elemanı yüksekliği
N	: Eksenel kuvvet
A	: Kesit alanı
V_{fcr}	: İlk eğilme çatlağı yükü

Denklem 6.1’de verilen eşitlik, eğilme ve eksenel kuvvet etkisi altındaki kirişler için gerilme değerlerinin hesaplanmasında kullanılan en genel denklemdir. Yapılan deneysel çalışmada deney elemanlarına eksenel kuvvet uygulanmadığı için denklem aşağıdaki şekilde basitleştirilmiştir.

$$M_{cr} = \frac{f_{cf} \cdot I}{y} \dots\dots\dots (6.3)$$

Hesaplanan ilk eğilme çatlağı yükü değerleri ve deney sırasında gözlemlenen değerler tüm deney elemanları için karşılaştırmalı biçimde Çizelge 6.7’de sunulmuştur. Denklemin tam dolu birdöküm dolgu duvarlı ve tam dolu dolgu duvarla güçlendirilmiş deney elemanları için iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Hesaplama sonucu elde edilen değerlerin tümü deney sırasında ölçülen değerlerden büyüktür. Hesaplanan ve ölçülen değerler arasında en büyük fark, çerçeve iç alanının %25’i kanat dolgu duvarlı 4 nolu deney elemanında %130 olarak meydana gelmiştir. 4 nolu deney elemanından sonra en büyük fark %83 ile iki kanat dolgu duvarlı 7 nolu deney elemanı ve %77 ile çerçeve elemanında görülmüştür. Diğer deney elemanlarında hesaplanan ve ölçülen değerler arasında ortalama %27 fark meydana gelmiştir. Boşluklu betonarme dolgu duvarlı deney elemanları için denklem başarılı sonuçlar vermemiştir.

6.5.1.2. Pande ilk kesme çatlağı yükü

Bu bölümde betonarme dolgu duvarda oluşan ilk kesme çatlağının meydana geldiği yük değeri deney elemanları için hesaplanacaktır. Araştırmacılar tarafından önerilen ampirik denkleme kaynak oluşturan çalışmalar betonarme perde ile ilgili çalışmalardır. Boşluklu betonarme dolgu duvarlı çerçevelerde bu denklemlerin nasıl

sonuç vereceği bilinmemektedir. Ancak karşılaştırma yapmak amacıyla tüm deney elemanları için hesaplamalar yapılmış ve Çizelge 6.7’de sunulmuştur. Cardenas ve diğerleri [51,52] tarafından önerilen eşitlikler, denklem 6.4 ve 6.5’de verilmiştir.

$$\tau_c = 0.876 \cdot \sqrt{f_c} + \frac{N}{4 \cdot l_w \cdot b_w} \dots\dots\dots (6.4)$$

$$V_{cr} = \tau_c \cdot b_w \cdot d \dots\dots\dots (6.5)$$

τ_c : Beton tarafından taşınan ortalama kesme gerilmesi

f_c : Beton basınç dayanımı

N : Deney elemanına uygulanan aksenal kuvvet

l_w : Dolgu duvarı genişliği

b_w : Dolgu duvarı kalınlığı

d : $0.8 \times l_w$

V_{cr} : İlk kesme çatlağı yükü

Betonarme dolgu duvarda meydana gelen ilk kesme çatlağı yükü değerlerinin hesaplanmasında iki yaklaşım yapılmıştır. a) Kenar çerçeve kolonları ile beraber “I” kesitli, b) “I” şeklindeki kesite eşdeğer alana sahip dikdörtgen kesitli olmak üzere iki yük değeri hesaplanmıştır. Tam dolu birdöküm ve güçlendirilmiş deney elemanları çerçeve kolonları ile birlikte “I” kesitlidir. Ancak boşluklu dolgu duvarları ile güçlendirilen deney elemanları boşluk nedeniyle “I” kesitli değildir. Kanat dolgu duvarlı 4, 5, ve 6 nolu deney elemanlarında hesaplama yapılırken sadece dolgu duvarın bağlantılı olduğu kolon, kesit alanına dahil edilmiştir. 7 ve 9 nolu deney elemanları için hesaplama yapılırken iki kanat dolgu duvarı ile bağlı oldukları kolonlar kesit alanına dahil edilmiştir. 8 nolu deney elemanı için kolonlar kesit alanına dahil edilmemiştir. Eşdeğer dikdörtgen kesit kabulünde, deney elemanının kesit alanına özdeş alana sahip dikdörtgen kesit hesaplanmıştır. Kesit genişliği elemanın genişliğine eşit olup, sadece kalınlığı bulunmuştur. Denklemden eşdeğer dikdörtgen kesit kalınlığı kullanılarak hesaplama yapılmıştır.

Yukarı özetlenen yöntem tüm deney elemanları için uygulanmış ve elde edilen sonuçlar deney sırasında ölçülen değerler ile karşılaştırılarak Çizelge 6.7’de sunulmuştur. Betonarme dolgu duvarda ilk kesme çatlağı yükü, elemanın “I” kesitli olarak kabul edilmesi durumunda, hesaplanan değerler ölçülen değerlerden genelde daha küçük elde edilmiştir. Eşdeğer dikdörtgen kesit kabulü ile yapılan hesaplamalarda ise hesaplanan değerlerin ölçülen değerlerden daha büyük sonuçlar verdiği görülmüştür. İki analiz yöntemi ile yapılan hesaplamaların ölçülen değerler ile arasında ortalama %16 fark meydana gelmiştir. Boşluk alanı küçüldükçe ampirik denklem daha iyi sonuçlar vermiştir. Boşluk alanı en büyük olan 4 nolu deney elemanı için “I” kesit kabulü ile yapılan hesaplamanın ölçülen değerle arasındaki fark %55, eşdeğer dikdörtgen kesit kabulü ile yapılan analizde ise %34’dür.

4 nolu deney elemanında sonra ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki en büyük fark 7 nolu deney elemanında görülmüştür. Deney programında yer alan diğer deney elemanlarının ampirik denklemle hesaplanan değerleri ile ölçülen değerleri birbirine oldukça yakındır.

Çizelge 6.7. Deney elemanlarının çatlama dayanımları (kN)

Deney Elemanı	İlk Eğilme Çatlaklı Yüğü (V_{cr})		Hesaplanan Ölçülen	Panelde İlk Kesme Çatlaklı Yüğü (V_{cr})				Hesaplanan / Ölçülen	
	Hesaplanan	Ölçülen		Hesaplanan		Ölçülen			
				(a)	(b)				
No									
1	17.7	10	1.71	-----	-----	-----	-----	-----	-----
2	62.3	50	1.24	83.6	105.8	75	1.11	1.41	
3	60.9	50	1.21	81.7	103.4	95	0.86	1.09	
4	34.6	15	2.30	22.3	32.8	50	0.45	0.66	
5	36.4	30	1.21	41.0	51.9	50	0.82	1.04	
6	38.7	30	1.29	53.2	63.1	50	1.06	1.26	
7	54.8	30	1.83	58.4	78.2	50	1.17	1.56	
8	40.0	30	1.31	46.1	67.7	50	0.92	1.35	
9	58.6	45	1.30	62.3	83.5	75	0.83	1.11	

(a) I kesitli

(b) Eşdeğer dikdörtgen kesitli

6.5.2. Yük taşıma kapasitesi

Bu bölümde araştırmacıların tam dolu betonarme dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yük taşıma kapasitelerini belirlemek amacıyla önerdikleri ampirik denklemler ve yöntemlerin, boşluklu betonarme dolgu duvarlı çerçevelerin deneysel verileri ile uyum gösterip göstermediğinin incelenmesi amaçlanmıştır. Aşağıda araştırmacılar tarafından önerilen yöntemler kısaca tanımlandıktan sonra deneysel çalışmada elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması yapılacaktır.

6.5.2.1. Vallenas, Bertero ve Popov'un yaklaşımı [53]

Araştırmacılar tam dolu betonarme dolgu duvarlı deney elemanlarının eğilme kapasitelerinin belirlenmesi için çalışmalar yapmış ve ampirik denklemler geliştirmiştir. Vallenas, Bertero ve Popov'un [51] geliştirmiş olduğu eşitlik bu amaca yöneliktir. Araştırmacılar tarafından geliştirilen eşitlik, denklem 6.6'de sunulmuştur.

$$M_{\max} = (A_{st} \cdot f_{sy} + \frac{N}{2}) \cdot d_e \dots\dots\dots (6.6)$$

- A_{st} :Çerçevenin tek kolonu boyuna donatısının alanı
 f_{sy} :Kolon boyuna donatısının akma dayanımı
 N :Eksenel kuvvet ($N/2$: tek kolona gelen eksenel kuvvet)
 d_e :Çerçeve kolonlarının eksenleri arasındaki uzaklık

Bu denklemde deney elemanının beton dayanımı ve dolgu duvar donatısı gibi taşıma gücünü etkileyecek bir çok faktör gözardı edilmiştir. Karmaşık hesaplamalar yapılmadan deney elemanının kapasitesi hakkında bir fikir vermesi amacıyla geliştirilen bir yaklaşımdır. Bu denklemde deney elemanının eğilme dayanımını etkileyen en önemli değişkenin çerçeve kolonlarının boyuna donatıları olduğu düşünülmüştür. Denklem 6.6'daki ampirik ifade kullanılarak hesaplanan değerler Çizelde 6.8'de sunulmuştur.

Hesaplanan sonuçlar incelendiğinde deney programında yer alan tüm deney elemanlarının kolon boyuna donatıları ve geometrik boyutları aynı olduğundan ve denklemde deney elemanı ile ilgili diğer tüm değişkenler gözardı edildiğinden değerlerin hepsinin aynı olduğu görülmektedir. Çerçeve iç alanının %25'i kanat dolgu duvarlı 4 nolu deney elemanında ampirik denklemle hesaplanan kapasite, deney sonucundan %162 daha büyüktür. 2 ve 3 nolu deney elemanları hariç boşluklu dolgu duvarı ile güçlendirilen deney elemanlarında ampirik denklemle hesaplanan değerlerin tümü deneysel kapasite değerlerinden büyüktür. Boşluklu betonarme dolgu duvarlı deney elemanları için ampirik denklemle hesaplanan kapasite değerleri, deney sonuçlarından ortalama %67 daha büyüktür. Elde edilen sonuçlar araştırmacılar tarafından önerilen bu ampirik denklemin boşluklu betonarme dolgu duvarı ile güçlendirilmiş deney elemanlarının kapasitesinin belirlenmesinde başarılı olmadığını göstermektedir.

Aynı araştırmacılar tarafından deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasitelerinin hesaplanmasına yönelik çalışmalar yapılmış ve ampirik bir denklem önerilmiştir. Önerilen denklemde deney elemanları tarafından taşınan kesme kuvvetinin dolgu duvarı betonu ve duvarın yatay donatıları tarafından taşındığı kabulü yapılmıştır. Beton tarafından taşınan kesme kuvvetinin dolgu duvarında çatlama olana kadar taşındığı kabul edilmiştir. Bu nedenle panelde oluşan ilk kesme çatlağı yük değeri, betonun taşıyabildiği kesme kuvveti olarak hesaplanmıştır. Bu değere betonarme dolgu duvarındaki yatay donatılar tarafından taşınan yük toplanarak deney elemanının kesme kuvveti taşıma kapasitesi hesaplanmıştır. Önerilen denklemde sadece betonarme dolgu duvarı dikkate alınarak hesaplama yapılmış ve kesme kuvveti taşıma kapasitesine çerçeve kolonlarının etkisi gözardı edilmiştir. Ayrıca çerçeve ve betonarme dolgu duvarı arasındaki filiz donatısı bağlantısının etkisi ve betonun tersinir tekrarların yüklenme altındaki davranış farklılığı ihmal edilmiştir.

Denklem 6.7, 6.8 ve 6.9'da betonarme dolgu duvarı tarafından taşınan kesme kuvvetinin hesaplanması için kullanılan eşitlikler sunulmuştur.

$$\tau_s = \rho_h \cdot f_{sy} \dots\dots\dots (6.7)$$

$$\tau_u = \tau_s + \tau_c \dots\dots\dots (6.8)$$

$$V_u = \tau_u \cdot b_w \cdot d \dots\dots\dots (6.9)$$

- 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
 ρ_h : Dolgu duvarı yatay donatı oranı ($\frac{A_{sh}}{h \cdot b_w}$)
 A_{sh} : Dolgu duvarı yatay donatı alanı
 h : Dolgu duvarı yüksekliği
 b_w : Dolgu duvarı kalınlığı
 f_{sy} : Dolgu duvar donatısı akma dayanımı
 d : $0.8 \times l_w$
 l_w : Dolgu duvarı genişliği

Yukarıda özetlenen denklem ile hesaplanan değerler Çizelge 6.8’de sunulmuştur. 2 ve 3 nolu deney elemanları hariç tüm dolgu duvarı ile güçlendirilmiş deney elemanlarının ampirik denklemle bulunan kapasiteleri deney sonuçlarından çok daha büyük hesaplanmıştır. Boşluklu betonarme dolgu duvarlı deney elemanlarının ampirik denklemle hesaplanan kapasiteleri, deney sonucunda elde edilen kesme kuvveti kapasitelerinden ortalama %99 daha büyük olduğu görülmüştür. Deney sonuçları ile ampirik denklem arasındaki en büyük fark 4 nolu deney elemanında %187 olarak meydana gelmiştir. Ampirik denklem kapasite değerini, 2 nolu tam dolu birdöküm deney elemanında %10 ve 3 nolu tam dolu güçlendirilmiş deney elemanında %26 daha az hesaplayarak deneysel sonuçlara oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Ancak boşluklu betonarme dolgu duvarı ile güçlendirilmiş deney elemanları kapasitelerinin belirlenmesinde başarısız olmuştur.

6.5.2.2. Barda'nın yaklaşımı [5,6]

Araştırmacı tarafından önerilen ampirik ifade, denklem 6.10'da sunulmuştur.

$$V_u = b_w \cdot d \cdot (2.23 \cdot \sqrt{f_c} + 0.067 \cdot \rho_v \cdot f_{sy}) \dots\dots\dots (6.10)$$

b_w : Dolgu duvarı kalınlığı (cm)

d : $0.8x l_w$ (cm)

ρ_v : Dolgu duvarı düşey donatı oranı

f_c : Beton basınç dayanımı (kg/cm^2)

f_{sy} : Dolgu duvarı düşey donatısının akma dayanımı (kg/cm^2)

Araştırmacı tarafından önerilen denklem kullanılarak hesaplanan değerler Çizelge 6.8'de sunulmuştur.

Sonuçlar incelendiğinde tam dolu betonarme dolgu duvarlar için önerilen bu eşitliğin boşluklu betonarme dolgu duvarları ile güçlendirilmiş deney elemanlarının kesme kuvveti kapasitesinin hesaplanmasında başarısız olduğu görülmüştür. Ancak diğer yöntemlere göre hesaplanan ve ölçülen kapasite değerleri arasındaki fark daha az olmuştur. Deney elemanları için ampirik denklem kullanılarak hesaplanan kapasiteler, deney sonuçlarından ortalama %30 daha büyüktür. Deney sonucunda elde edilen kapasite değerlerinin tümü ampirik denklem değerlerinden küçüktür. Boşluk alanı büyüdükçe denklemin verdiği hata büyümüştür. Çerçeve iç alanının %25'i dolgu duvarlı 4 nolu elemanın deney sonucu elde edilen kapasitesi, ampirik denklemle hesaplanan kapasite değerinden %51 daha küçüktür. Boşluklu betonarme dolgu duvarı ile güçlendirilmiş deney elemanlarının ampirik denklem ile hesaplanan kapasiteleri, deney sonuçlarından ortalama %28 daha büyük bulunmuştur.

6.5.2.3. Benjamin ve Williams'ın yaklaşımı [13,14]

Araştırmacılar tarafından tekdüze yükleme altında test edilen deney elemanları için önerilen ampirik eşitlik, denklem 6.11'de sunulmuştur.

$$V_u = \frac{0.1}{\frac{P}{C} + 0.1} \cdot C + 2.2 \cdot P \quad (6.11)$$

$C = A_{st} \cdot f_c \cdot (15 + 1.9 \cdot (\frac{d_e}{H})^2)$; Basınç etkisi altındaki çerçeve kolonu dayanımı

$P = f_{sy} \cdot \rho_v \cdot b_w \cdot d$; Betonarme dolgu duvarı dayanımı

A_{st} : Basınç etkisindeki çerçeve kolonu boyuna donatı alanı

d_e : Çerçeve kolonlarının eksenleri arasındaki uzaklık

H : Çerçeve yüksekliği

b_w : Betonarme dolgu duvarı kalınlığı

ρ_v : Panel düşey donatı oranı

Ampirik denklem kullanılarak elde edilen sonuçlar Çizelge 6.8'de verilmiştir. Yukarıda verilen ampirik denklem betonarme perdelerin tekdüze yükleme etkisinde yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilmiştir. Ampirik denklem kapasite değerleri, deney sonuçlarından ortalama %280 daha büyüktür. Ampirik denklem kullanılarak hesaplanan boşluklu betonarme dolgu duvarla güçlendirilmiş deney elemanlarının kapasiteleri, deney sonuçlarından ortalama %340 daha büyüktür. Araştırmada test edilen deney elemanlarının kesme kuvveti kapasitelerinin belirlenmesinde bu denklemin başarısız sonuçlar verdiği görülmüştür.

6.5.2.4. Smith ve Carter'ın yaklaşımı [15-19]

Smith ve Carter tarafından önerilen eşdeğer diyagonal basınç çubuğu metodu, tam dolu betonarme dolgu duvarlı çerçeveler ve betonarme perdeler için çok yaygın olarak kullanılan en geniş kabul görmüş yöntemlerden biridir. Bu yöntemde ana

tasarım ilkesi olarak betonarme dolgu duvarı, yanal rijitlik ve dayanımına özdeş olan bir diyagonal basınç çubuğu ile değiştirilmektedir. Dolgu duvarıyla değiştirilen diyagonal basınç çubuğunun çerçeve ile köşelerinden mafsallı bir birleşim ile bağlandığı kabul edilmektedir.

Sisteme etkiyen yatay yükleme sonucunda tam olarak birleştirilemeyen çerçeve ve dolgu duvarın, kolon ve kirişlerden ayrıldığı ve sadece uygulanan yükleme yönüne göre iki çapraz köşe noktasından birbiriyle bağlı bölgelerin kaldığı deneysel çalışmalar sırasında gözlenmiştir. Araştırmacılar fiziksel bu olay ışığında betonarme dolgu duvarın, bağlantının olduğu çapraz diyagonal boyunca, bağlantı bölgesi genişliğince uzanan eşdeğer basınç diyagonalı ile değiştirilebileceği yaklaşımını ortaya koymuşlardır.

Betonarme dolgu duvarlı çerçevelerde göçme, çerçeve kolonlarında olan eksenel çekme sonucu meydana gelebileceği gibi çerçeve veya kirişlerde görülen kesme kırılması şeklinde de olabilir. Eğer çerçeve kiriş ve kolonları yeterli dayanımda ise göçme dolgu duvarında meydana gelebilir. Dolgu duvarda meydana gelebilecek göçme, diyagonal basınç çubuğu doğrultusundaki çatlama veya köşe bölgelerdeki betonun basınç dayanımının aşılması sonucu gerçekleşebilir. Araştırmacılar yapmış oldukları deneysel çalışmalar ile diyagonal doğrultudaki rijitlik ve dayanımın sadece betonarme dolgunun geometrik boyutlarına bağlı olmadığı, çerçeve ile dolgunun bağlantı alanının büyüklüğünün de etkili olduğu sonucuna varmıştır.

Smith ve Carter tarafından önerilen yöntemin kabulleri ve sınırları aşağıda verilmiştir.

- Yöntemde dolgu duvarı oluşturan malzemenin homojen olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca çerçeve ile dolgu duvar arasındaki bağlantı elemanlarının etkisi ihmal edilmiştir.

- Deneyler sırasında yukarıda tariflenen iki farklı göçme şekli dışında bir göçme biçimi gözlenmiş ise bu yöntemin kullanılması yanlıştır. Yöntem sadece yukarıda belirtilen iki göçme biçimi için geçerlidir.
- Çerçeveyi oluşturan kiriş ve kolon elemanları dolgu duvardan önce göçmeye ulaşmış ise bu yöntem kullanılamaz. Dolgu duvarı ile çerçeve arasındaki bağlantı elemanları ve sürtünmeden dolayı taşınan kuvvetler ihmal edilmiştir.

Tam dolu dolgu duvarlar için geliştirilmiş olan bu yöntemin araştırmada incelenen boşluklu betonarme dolgu duvarlar için kullanılması uygun değildir. Yöntemde kapasiteyi etkileyen en önemli değişken dolgu duvarı genişlik/yükseklik oranıdır. Kapasite hesaplanmasında ve diyagonal çubuk genişliğinin belirlenmesinde dolgu duvarı genişlik/yükseklik oranının yöntemin sınırladığı tanım aralığında kalması gereklidir. Ancak deney programında 2 ve 3 nolu deney elemanları hariç diğer deney elemanları bu yöntem için geçerli olan dolgu duvar genişlik/yükseklik oranı aralığında yer almamaktadır.

Ayrıca yöntem geliştirilirken çerçeve elemanları ile dolgu duvar arasındaki rijitlik dağılımını içeren λ değişkeni ve ona bağlı olarak çerçeve ile dolgu duvar arasındaki gerilmenin aktarıldığı mesafeyi tanımlayan α değişkeninin hesaplanması için kurulan denge ve enerji denklemleri dolgu duvarın boşluklu olması durumunu kapsamamaktadır. Tam dolu dolgu duvarlar için geliştirilmiş denklemler, boşluklu dolgu duvarlı deney elemanlarının kesme kuvveti kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Ancak boşluklu betonarme dolgu duvarla güçlendirilmiş deney elemanlarının hesaplanan kapasite değerleri ile deneysel veriler uyum göstermemiş ve yöntem başarısız sonuçlar vermiştir. Bu nedenle yöntemin kullanılabildiği 2 ve 3 nolu deney elemanları için hesaplanan kapasite değerleri burada sunulmuş, boşluklu betonarme dolgu duvarla güçlendirilmiş deney elemanlarının hesaplanan kapasite değerleri verilmemiştir.

Çizelge 6.8. Dency elemanlarının hesaplanan yük taşıma kapasiteleri (kN)

Dency Elemanı No	Vallenas, Bertero Popov		Barda	Benjamin ve Williams	Smith ve Carter	Dencyesel	Hesaplanan /Dencyesel				
	1	2					1	2	3	4	5
1	----	----	----	----	----	30	----	----	----	----	----
2	232.1	315.4	196.1	600.7	393.6	351	0.66	0.90	0.56	1.71	1.12
3	232.1	313.5	178.5	572.9	322.0	248	0.94	1.26	0.72	2.31	1.30
4	232.1	254.1	43.7	519.0	----	88	2.62	2.87	0.49	5.86	----
5	232.1	272.8	93.4	633.9	----	150	1.54	1.81	0.62	4.22	----
6	232.1	285.0	138.1	597.1	----	194	1.20	1.47	0.71	3.08	----
7	232.1	290.2	141.7	669.9	----	156	1.49	1.86	0.91	4.29	----
8	232.1	277.9	98.7	649.8	----	126	1.84	2.20	0.78	5.14	----
9	232.1	294.1	139.6	666.3	----	173	1.34	1.70	0.81	3.85	----

6.6. Yönetmelik Kapasite Tasarım Denklemleri ile Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde betonarme perdeler için üç yönetmelik tarafından önerilen kapasite denklemlerinden hesaplanan değerlerin deneyler sonucunda elde edilen taşıma güçleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Deney sonuçları ACI 318-95 Amerikan Yönetmeliği, AIJ Japon Yönetmeliği ve ABYYHY Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (1998) ile karşılaştırılmıştır.

Yönetmeliklerde yer alan kapasite denklemleri betonarme perdeler için verilmiştir. Sistem onarım/güçlendirmesi amacıyla üretilen betonarme dolgulu çerçevelerin davranışları ve yapıya kazandırdığı özellikler betonarme perde elemanlarına benzerdir. Yerinde dökme dolgu duvarlı çerçeveler yapılarda betonarme perde eksikliğini gidermek için onarım ve güçlendirme amacıyla üretilirler. Çalışmanın bu kısmında betonarme perdeler için verilmiş olan tasarım denklemleri, yerinde dökme betonarme dolgu duvarların kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Bu denklemlerin boşluklu betonarme dolgu duvarlı çerçevelerin kapasitelerinin hesaplanmasında ne ölçüde başarılı olacağının belirlenmesi amaçlanmaktadır.

6.6.1 ACI 318-95 Yönetmeliği

ACI 318-95 yönetmeliği American Concrete Institute (Amerikan Beton Birliği) tarafından yapılmış ve 1995 yılında değişiklik görmüştür [54,55]. Yönetmelik tasarım denkleminde perdenin betonu ve kesmeye karşı yerleştirilmiş gövde donatıları tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin toplanması ile kesme kapasitesi hesaplanmıştır. Bu denklemde yerinde dökme betonarme dolgu duvarı çerçevesinin ve dolgu duvarında yer alan boşluk alanı büyüklüğü ile yerinin kesme kuvvetine olan etkisi yer almamaktadır. Bu nedenle deney elemanları ile karşılaştırma yapılırken çerçeve kolonlarının taşıdığı kesme kuvveti hesaplanmış ve betonarme dolgu duvarının taşıdığı kesme kuvveti ile toplanmıştır.

ACI 318-95 Yönetmeliği tarafından kolonların kesme kuvvetinin hesaplanması için verilen ifadeler, Denklem 6.12, 6.13 ve 6.14'de ve betonarme perdeler için verilen tasarım eşitliği ise Denklem 6.15'de sunulmuştur.

$$V_{cr} = 0.2 \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d \dots\dots\dots (6.12)$$

- f_c : Çerçeve kolonu beton basınç dayanımı (MPa)
 b_w : Çerçeve kolonu kesit genişliği
 d : Çerçeve kolonu yararlı yüksekliği
 V_{cr} : Çerçeve kolonu betonunun taşıdığı kesme kuvveti (N)

$$V_{etkiye} = \frac{A_s \cdot f_{sy} \cdot d}{s} \dots\dots\dots (6.13)$$

- A_s : Çerçeve kolonu kesme donatısı alanı
 f_{sy} : Kesme donatısı akma dayanımı (MPa)
 d : Çerçeve kolonu yararlı yüksekliği
 s : Çerçeve kolonu kesme donatısı aralığı
 V_{etkiye} : Çerçeve kolonu kesme donatısının taşıdığı kesme kuvveti (N)

$$V_{kolon} = V_{cr} + V_{etkiye} \dots\dots\dots (6.14)$$

Denklem 6.14 kullanılarak hesaplanan kolon kesme kuvveti kapasitesi 2 ile çarpılarak çerçevenin kesme kuvveti değeri hesaplanmıştır.

$$V_n = A_{cv} \cdot (2 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c} + \rho_n \cdot f_{sy}) \dots\dots\dots (6.15)$$

- λ : 0.083 (MPa), 1 (psi)
 A_{cv} : Perde kesit alanı
 f_c : Beton basınç dayanımı
 ρ_h : Dolgu duvarı yatay donatı oranı
 f_{sy} : Kesme donatısı akma dayanımı

Deney elemanları için denklem 6.15 kullanılarak hesaplanan dolgu duvarı kesme kapasiteleri ve denklem 6.14 ile hesaplanan çerçeve kesme kapasite değerleri toplanarak Çizelge 6.9'da sunulmuştur.

6.6.2. AIJ Yönetmeliği

AIJ (Architectural Institute of Japan Standart) Yönetmeliği betonarme dolgu duvarı ve çerçevesi için iki kapasite denklemi vermektedir. Yönetmelik kapasite eşitlikleri Denklem 6.16, 6.17, 6.18 ve 6.19'da verilmiştir. Yönetmelikte tasarım ilkesi olarak, denklem 6.16'da yer alan V_1 kesme kuvveti değerinin, denklem 6.19'da verilen V_2 kesme kuvveti değerinden küçük olması gerekmektedir. Denklem 6.16 ile hesaplanan kesme kuvveti değeri betonarme dolgu duvarda kesme çatlağı oluşması için gerekli yük değerini vermektedir. Betonarme dolguda çerçeveden önce kesme çatlağının oluşması ve denklem 6.16 ile hesaplanan V_1 değerinin, denklem 6.19 ile hesaplanan V_2 toplam kapasite değerinden küçük olması, kırılmanın sünek olması için yönetmelikte verilen kurallardır [56].

$$V_1 = v_c \cdot h \cdot l_w \dots\dots\dots (6.16)$$

v_c : $108+0.015x f_c$ (duvar için verilen maksimum yatay kesme dayanımı (birimi=psi))

f_c : Beton basınç dayanımı (birimi : psi $3000 \leq f_c' \leq 5000$)

h : Betonarme dolgu duvar kalınlığı (birimi :inç)

l_w : Betonarme dolgu duvar genişliği (birimi :inç)

Denklem 6.16 kullanılarak hesaplanan V_1 kesme kuvveti, dolgu duvarda meydana gelecek kırılma biçiminin belirlenmesi için kontrol amaçlı hesaplanmaktadır.

$$V_w = \rho_v \cdot f_{sy} \cdot b_w \cdot l_w \dots\dots\dots (6.17)$$

V_w : Betonarme dolgu duvar tarafından taşınan kesme kuvveti

- ρ_v : Dolgu duvar düşey donatı oranı
 f_{sy} : Dolgu duvar düşey donatısı akma dayanımı
 b_w : Dolgu duvar kalınlığı
 l_w : Dolgu duvar genişliği

Denklem 6.17 kullanılarak, betonu çatlamış dolgu duvarın düşey donatısı tarafından taşınan kesme kuvveti hesaplanmıştır. Yönetmelikte tasarım ilkesi olarak yatay yükleme altındaki dolgu duvarda sünek kırılma biçiminin meydana gelebilmesi için ilk olarak dolgu duvarı betonunun çatlaması daha sonra yükün dolgu duvarı donatıları tarafından taşındığı kabulü yapılmıştır. Bu nedenle dolgu duvarın kapasitesi hesaplanırken beton çatladığı ve taşıma gücünü kaybettiği için betonun taşıdığı kesme kuvveti, kapasite denklemi içerisinde yer almamaktadır. Dolgu duvar kesme kapasitesi sadece denklem 6.17’de verilen düşey dolgu duvar donatılarının taşıma gücü kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$V_{kolon} = \frac{7}{8} \cdot b \cdot d \cdot [1.5 \cdot v_c + 0.5 \cdot f_{sy} \cdot (\rho_{kolon} - 0.002)] \dots\dots\dots (6.18)$$

- b : Çerçeve kolonu genişliği (birimi :inç)
 d : Çerçeve kolonu yararlı yüksekliği (birimi :inç)
 v_c : Çerçeve betonu kesme dayanımı (birimi :psi)
 f_{sy} : Çerçeve kolonu boyuna donatısının akma dayanımı (birimi :psi)
 ρ_{kolon} : Çerçeve kolonu boyuna donatı oranı

Denklem 6.18 kullanılarak çerçevenin kolon kesme kapasitesi hesaplanmaktadır.

$$V_2 = V_w + \sum V_{kolon} \dots\dots\dots (6.19)$$

Denklem 6.19 kullanılarak, betonarme dolgu duvarı ve çerçeve kolonlarının kapasite değerleri toplanarak kesme kuvveti kapasitesi hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 6.9’da sunulmuştur.

6.6.3. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY)

Ülkemiz deprem yönetmeliği 1997 yılında tamamen yenilenmiştir. 1998 yılında bazı değişikliklere uğrayan yönetmeliğimiz halen yürürlüktedir [48]. Betonarme perdelerin kesme kapasitesinin hesaplanması için verilen tasarım denklemi ACI 318-95 Yönetmeliği ile çok benzerdir. Yönetmeliğimizde betonarme perdelerin kesme kapasitesinin hesaplanması için verilen denklemde, perde betonunun ve kesme donatılarının, perdenin kesme kapasitesini etkileyen değişkenler olduğu düşünülmüştür. Tasarım için verilen denklemde dolgu duvar çerçevesi, çerçeve ve dolgu duvarı arasındaki bağlantı elemanları, dolgu duvarında bulunan boşluk alanı büyüklüğü ve yerinin kesme kapasitesine olan etkisi gözardı edilmiştir.

Deney sonuçları ile yönetmelik kapasite denklemi sonuçlarının karşılaştırılması için çerçeve kolonu kapasitesi hesaplanmış ve 2 katı alınarak çerçevenin kesme kapasitesi belirlenmiştir. Daha sonra bu değer betonarme dolgu duvarı kapasite değerleri ile toplanmıştır.

Çerçeve kolonu kapasitesi için TS-500 Betonarme Yapıların Tasarım Yönetmeliği'nde verilen kesme kapasitesi ifadeleri, Denklem 6.20, 6.21 ve 6.22'de sunulmuştur. Betonarme perdelerin kesme kapasitesinin hesaplanması için ABYYHY'inde verilen eşitlik ise Denklem 6.23'de sunulmuştur.

$$V_{cr} = 0.65 \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d \quad (6.20)$$

f_{ctd} : Çerçeve kolonu betonu çekme dayanımı ($1.1 \cdot \sqrt{f_c}$ (kg/cm²))

b_w : Çerçeve kolonu kesit genişliği

d : Çerçeve kolonu yararlı yüksekliği

V_{cr} : Çerçeve kolonu betonunun taşıdığı kesme kuvveti (kg)

$$V_{enriye} = \frac{A_s \cdot f_{sy} \cdot d}{s} \quad (6.21)$$

- A_s : Çerçeve kolonu kesme donatısı alanı
 f_{sy} : Kesme donatısı akma dayanımı (kg/cm^2)
 d : Çerçeve kolonu yararlı yüksekliği
 s : Çerçeve kolonu kesme donatısı aralığı
 V_{etriye} : Çerçeve kolonu kesme donatısının taşıdığı kesme kuvveti (kg)

$$V_{\text{kolon}} = V_{\text{cr}} + V_{\text{etriye}} \dots \dots \dots (6.22)$$

Denklem 6.22 kullanılarak bulunan çerçeve kolonu kesme kapasitesi değerinin 2 katı alınarak çerçeve kesme kapasitesi hesaplanmıştır.

$$V_r = A_{ch} \cdot (0.65 \cdot f_{ctd} + \rho_h \cdot f_{sy}) \dots \dots \dots (6.23)$$

- A_{ch} : Perde brüt en kesit alanı
 f_{ctd} : Perde betonu çekme dayanımı
 ρ_h : Dolgu duvarı yatay donatı oranı
 f_{sy} : Perde yatay donatısı akma dayanımı

Deney elemanlarının kesme kapasitesileri betonarme dolgu duvarın ve çerçevenin kesme kapasitesi toplanarak hesaplanmış ve Çizelge 6.9'da sunulmuştur.

İncelenen üç yönetmelikte hesaplanan kapasite değerlerinin tam dolu birdöküm deney elemanı hariç, diğer elemanların deneysel kapasite değerlerinden daha büyük olduğu görülmüştür. Üç yönetmeliğin kapasite denklemleri kullanılarak elde edilen sonuçları ve deneysel kapasite değerleri Çizelge 6.9'da sunulmuştur. Çizelge incelendiğinde özellikle çerçeve elemanının kesme kapasitesinin deney sonucu elde edilen taşıma gücü değerinden çok daha büyük olduğu görülmektedir. Bu beklenen bir sonuçtur. Deney elemanlarının çerçevelerinde kesme kapasitesi eğilme kapasitesinden daha büyük tasarlanmış ve çerçevenin sünek eğilme davranışı sergilemesi hedeflenmiştir. Çerçeve elemanının deneyi sünek eğilme göçmesi

şeklinde, kolon uçlarında meydana gelen plastik mafsallaşma ile kolon mekanizması şeklinde sonuçlanmıştır.

Tasarım aşamasında, çerçeve kolonları TS 500 Betonarme Elemanların Tasarım Yönetmeliği'ne göre eğilme kapasiteleri eşdeğer dikdörtgen beton basınç gerilmesi dağılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamada çerçeve beton basınç dayanımı ortalama 25 MPa, kolon boyuna donatıları akma dayanımı 480 MPa değerleri alınarak, çerçeve kolonlarının moment kapasitesi 1.125 kN-m bulunmuştur. Çerçeve kolonunun bu moment kapasitesine ulaşması için gerekli yatay kesme kuvveti 12.50 kN olarak hesaplanmıştır. Bu değerin 2 katı alınarak çerçevenin moment kapasitesine ulaşması için gerekli toplam kesme kuvveti değeri 25 kN olarak bulunmuştur. Elde edilen bu sonuç her üç yönetmelik tarafından önerilen denklemlerle hesaplanan kesme kuvveti kapasitesinden çok daha küçüktür. Bu nedenle tasarlanan çerçevenin yaklaşık 25 kN yük düzeyinde kolon uçlarında eğilme kapasitenin aşılması ve oluşan plastik mafsallar ile göçmeye ulaşacağı bilinmektedir. Çerçeve elemanının deneyinde ileri yüklemde 24 kN ve geri yüklemde 26 kN değerlerinde, çerçeve kolonlarının uçlarında akma gerçekleşmiştir. Çerçevenin tasarımı boşluklu betonarme dolgu duvarla güçlendirilmiş çerçevelerin kapasitesinin hesaplanması yönünden önemlidir. Çerçevenin kesme ve eğilme kapasiteleri hesaplanarak bu değerlerden küçük olanı boşluklu betonarme dolgu duvarlı çerçevenin kapasitesinin hesaplanmasında kullanılmalıdır.

Betonarme dolgu duvarın kesme kapasitesi ile çerçevenin kesme kapasitesinin toplanmasıyla hesaplanan eleman kapasite değerlerindeki hata yüzdesi büyümüştür. Deney elemanları çerçeveleri kesme kapasitesi eğilme kapasitesinden büyük olduğu için deneyler sonucunda elde edilen taşıma gücü değerleri ile hesaplama sonuçları arasındaki farkı artırmıştır. Çerçevenin kesme kapasitesi ile dolgu duvar kapasitelerinin toplanması ile elde edilen toplam kapasite değerlerinde en büyük fark çerçeve elemanında görülmüştür. Çerçevenin deney sonucu, yönetmelik kapasite denklemi ile hesaplanan değerlerden ortalama %360 daha küçüktür. Üç yönetmelik denklemi kullanılarak birdöküm deney elemanının kapasite değerleri başarılı bir şekilde hesaplanmıştır. Boşluksuz betonarme dolgu duvarı ile

güçlendirilmiş deney elemanında ise yönetmelik değerleri deney sonucundan ortalama %40 büyük olarak bulunmuştur. Boşluklu betonarme dolgu duvarı ile güçlendirilmiş 4 nolu elemanın deney sonucu değeri, hesaplama sonuçlarından ortalama %196 daha küçüktür. Betonarme dolgu duvarındaki boşluk alanı küçüldükçe yönetmelik hesaplama sonuçlarındaki hata yüzdesi azalmıştır. 5 nolu deney elemanı deney sonucu hesaplama sonuçlarından %98, 6 nolu deney elemanında ise %66 daha küçük olarak hesaplanmıştır. Dolgu duvarı düzenlemesi değişim gösteren 7 nolu elemanın deney sonucu, yönetmelik hesaplama sonuçlarından ortalama %112, 8 nolu deney elemanının %136 ve 9 nolu deney elemanının ise %98 daha küçük bulunmuştur. ABYYHY ve ACI 318-95 Yönetmelikleri birbirlerine çok yakın değerler vermiştir. AIJ Japon yönetmeliği sonuçları deney sonuçları ile en iyi uyumu göstermiştir. Çerçeve kesme kapasitesinin, yönetmelik dolgu duvarı kesme kapasiteleri toplanmasıyla elde edilen toplam kesme kapasitesi değerlerinin deney sonuçları ile uyumlu sonuçlar vermediği görülmüştür. Bu nedenle yönetmelik tasarım denklemleri kullanılarak hesaplanan betonarme dolgu duvar kesme kapasiteleri ile çerçeve kesme kapasitesi yerine eğilme kapasitesi toplanmıştır.

Yapılarda betonarme dolgu duvarlı çerçevelerin kapasiteleri hesaplanırken, dolgu duvarın bağlandığı çerçevenin kapasitesinin doğru olarak belirlenmesi ve dolgu duvarı kapasitesi ile toplanması, toplam kapasitenin daha gerçekçi hesaplanmasını sağlamaktadır. Bu şekilde hesaplanan deney elemanları kapasite değerleri deney sonuçları ile karşılaştırılması Çizelge 6.9'da verilmiştir.

Betonarme dolgu duvar kapasitelerinin, boş çerçeve deney elemanının kesme kapasitesi yerine, eğilme kapasitesi ile toplanması sonucunda bulunan deney elemanları toplam kesme kapasiteleri, deneylerden elde edilen taşıma gücü değerleri ile daha iyi uyum göstermiştir. Birdöküm ve boşluksuz betonarme dolgu duvarı ile güçlendirilen deney elemanları hariç diğer boşluklu betonarme dolgu duvarı ile güçlendirilmiş deney elemanları için ABYYHY ve ACI 318-95 Yönetmeliği kullanılarak hesaplanan kapasite değerleri deney sonuçlarından daha büyüktür. ABYYHY ve ACI 318-95 Yönetmeliği kullanılarak hesaplanan kapasite değerleri

AIJ Yönetmeliği'ne göre deney sonuçları ile daha az uyum göstermiştir. Ancak bu iki yönetmelikte çerçeve eğilme kapasitesi toplanarak hesaplanan kapasite değerleri hata yüzdelerinde düşüş görülmüştür. ABYYHY sonuçları ile deney sonuçları arasında ortalama %37, ACI 318-95 Yönetmelik sonuçları ile deney sonuçları arasında ise ortalama %31 fark meydana gelmiştir. Her iki yönetmelik denklemi kullanılarak hesaplanan kapasite değerleri ile deneysel değerler arasındaki en büyük fark %115 ile 4 nolu deney elemanında görülmüştür.

AIJ Japon Yönetmeliği ile hesaplanan kapasite değerleri ile deney sonuçları arasında %6 gibi diğer yönetmeliklere göre daha düşük bir fark görülmüştür. Çerçeve iç alanının %25'i kanat dolgu duvarlı 4 nolu deney elemanının AIJ Japon Yönetmeliği tasarım denklemi kullanılarak hesaplanan kapasite değeri deney sonucundan %11 daha küçüktür. Çerçeve iç alanının %50'si kanat dolgu duvarlı 5 nolu ve %75'i kanat dolgu duvarlı 6 nolu deney elemanlarının yönetmelik kapasite değerleri ile deney sonuçları birbiri ile aynıdır. Yönetmelik denklemi, boşluk alanı büyüklüğü değişim gösteren betonarme dolgu duvarların kapasite tasarımı için başarılı sonuçlar vermiştir.

AIJ Yönetmeliği'nde verilen tasarım denklemi betonarme dolgu duvarlardaki boşluk yerinin değişmesi durumunda kapasite değerlerinin hesaplanmasında aynı başarıyı gösterememiştir. Dolgu duvarı ortasında çerçeve iç alanının %25'i büyüklüğünde boşluğu olan iki kanat duvarlı 7 nolu deney elemanı yönetmelik kapasite değeri, deney sonucundan %43 daha büyüktür. Çerçeve iç alanının %50'si büyüklüğünde kirişlere bağlı dolgu duvarlı 8 nolu deney elemanı yönetmelik denklemi ile hesaplanan kapasite değeri, deney sonucundan %19 daha büyüktür. Dolgu duvarı ortasında çerçeve iç alanının %14'ü büyüklüğünde boşluklu 9 nolu deney elemanı yönetmelik kapasite değeri, deney sonucundan %29 daha büyüktür.

Çizelge 6.9. Yönetmelik denklemleri ile hesaplanan yük taşıma kapasitelerinin deney sonuçları ile karşılaştırılması

Deney Elemanı No	ABYYHY (kN) (1)	ACI 318-95 (kN) (2)	AIJ (kN) (3)	Deneyisel (kN)	Hesaplanan / Deneyisel		
					(1)	(2)	(3)
1	-----	-----	-----	30	-----	-----	-----
2	249.0	234.8	247.5	351	0.71	0.67	0.70
3	241.9	229.1	247.5	248	0.98	0.92	1.00
4	191.5	188.4	78.5	88	2.16	2.13	0.89
5	209.9	203.2	150.9	150	1.40	1.35	1.00
6	226.8	216.8	199.2	194	1.17	1.12	1.03
7	227.7	217.6	223.3	156	1.46	1.39	1.43
8	212.0	204.9	150.9	126	1.68	1.62	1.19
9	244.1	230.9	223.3	173	1.41	1.33	1.29

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yeterli deprem güvenliği bulunmayan betonarme çerçeve türü yapıların güçlendirilmesi karmaşık bir mühendislik problemidir. Günümüzde varolan birçok yapı çeşitli nedenlerden dolayı yeterli deprem güvenliğine sahip bulunmamaktadır. Uygulamada bu tür yapıların güçlendirilmesi amacıyla çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Tüm güçlendirme yöntemlerinde asıl hedef yapıda dayanım, süneklik ve rijitliğin gerekli düzeylere getirilmesidir. Yapıda rijitliğin çok düşük düzeylerde bulunması katlar arası rölatif deplasmanların büyük sorunlar oluşturmalarına neden olur. Bu tür yapılarda betonarme çerçevelerin iç alanlarına dolgu duvarları yerleştirilerek güçlendirme oldukça pratik ve ekonomik bir çözümlerdir. Ancak uygulamada çeşitli zorunluluklar (kapı, pencere boşlukları) nedeniyle betonarme dolgu duvarları çerçeve iç alanını tamamen doldurmamaktadır. Çerçevelerin dolgu duvarlarında çeşitli düzenlerde boşluklar bırakılmaktadır. Pratikte kullanılmasına rağmen boşluklu betonarme dolgulu çerçevelerin deprem davranışları ile ilgili araştırmaların literatürde çok sınırlı kaldığı dikkati çekmektedir. Yapılan çalışmada betonarme perde davranışına benzetilerek tasarlanan bu tür dolgulu çerçevelerin deprem davranışları deneysel olarak araştırılmıştır.

Gazi Üniversitesi Yapı Mekaniği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen deneysel çalışmada betonarme dolgu duvarlarında boşluk bulunan dolgulu çerçevelerde dayanım, rijitlik, süneklik, enerji tüketimi davranışları incelenmiştir. Betonarme dolgu duvardaki boşluk alanı büyüklüğü ve boşluğun çerçeve iç alanındaki yeri araştırmada incelenen temel değişkenlerdir.

Deneysel çalışmada 1/3 geometrik ölçekli, bir katlı ve bir açıklıklı 9 adet deney elemanı depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yükleme altında test edilmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar ampirik denklemlerle ve yönetmelik denklemleriyle hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır. Boşluklu betonarme dolgu duvarların kapasitelerinin belirlenmesinde birdöküm betonarme dolgu duvarlar için kullanılan kapasite denklemlerinden ne ölçüde yararlanılabileceği incelenmiştir.

7.1. Sonuçlar

Deneyssel çalışmada çerçeve iç alanında boşluk alanı ve yeri değişim gösteren betonarme dolgu duvarları ile güçlendirilmiş çerçevelerin dayanımı, rijitliği, sünekliği ve enerji tüketim kapasitesi incelenmiştir. Betonarme perdeler için önerilmiş ampirik denklemler ve yönetmelik kapasite denklemlerinin boşluklu betonarme dolgu duvarlı çerçeveler için geçerliliği incelenmiştir.

Sınırlı sayıdaki deney elemanlarından elde edilen sonuçların genelleştirilmesi sakıncalıdır. Ayrıca eleman düzeyinde elde edilen sonuçların tüm yapının davranışını belirlemek açısından yeterli olamayacağı da gözardı edilmemeli ve dolgu çerçevelerin davranışının işçilik kalitesinden çok etkilendiği de unutulmamalıdır. Aşağıda sunulan sonuçlar bu gerçeklerin ışığında değerlendirilmelidir.

- Deprem bölgelerinde varolan betonarme çerçeve türü yapıların betonarme dolgu duvarları ile güçlendirilmesi uygun bir yöntem olarak görünmektedir. Dolgu duvarı çerçevenin dayanım ve rijitliğini önemli oranlarda artırmaktadır.
- Boşluklu betonarme dolgu duvarı ile güçlendirilen deney elemanlarının dayanımlarında önemli artışlar görülmüştür. Kanat duvarlarla güçlendirilen deney elemanları çerçevenin dayanımından 3 - 6.5 kat daha büyük dayanım sergilemiştir. Betonarme çerçevelerin çerçeve iç alanını tamamen doldurmayan kanat dolgu duvarları ile güçlendirilmesi oldukça etkili bir yöntem gibi görünmektedir.
- Birdöküm deney elemanı, kanat dolgu duvarla güçlendirilen deney elemanlarından %81-%296 oranında daha büyük dayanıma sahiptir. Betonarme dolgu duvarında bırakılan boşluk alanı büyüklüğünün dolgu çerçevelerin dayanımı üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Boşluk alanı büyüdükçe elemanda dayanım önemli ölçülerde azalmaktadır.

- Çerçeve iç alanında betonarme dolgu duvarı düzeni dayanım üzerinde etkili olmaktadır. Betonarme dolgu duvarların kanat duvarı biçiminde çerçeve kolon ve kirişlerine bağlı olması betonarme dolgu çerçevenin davranışını iyileştirmekte, dayanımı artırmaktadır. Çerçeve gözü içerisinde dolgu duvarı alanları aynı olmasına rağmen, çerçeve iç alanının %75'i tek kanat duvarlı eleman iki kanat duvarlı elemandan %20 daha fazla dayanım sergilemiştir.
- Sadece kirişlere bağlanan betonarme dolgu duvarlar dayanım açısından olumsuz davranış sergilemiştir. Betonarme dolgu duvarı çerçeve kirişlerine bağlanan eleman aynı büyüklükte kanat duvarlı elemandan %16 daha düşük dayanım göstermiştir.
- Betonarme dolgu duvarda pencere boşluğu biçiminde bırakılan boşluklar çerçevede kısa kolon davranışının gelişimine neden olmaktadır. Boşluksuz dolgu duvarla güçlendirilen eleman çerçeve iç alanının %14'ü büyüklüğünde pencere boşluklu elemandan %30 daha fazla dayanım sergilemiştir. Çerçeve iç alanının %75'i kanat duvarlı elemanın dolgu duvarında yer alan boşluk iki kat büyük olmasına rağmen pencere boşluklu elemandan %11 daha fazla dayanım sergilemiştir.
- Seçilen geometrideki betonarme dolgu duvarlı deney elemanları sünek davranış sergilememiştir. Deney elemanları dolgu duvarlarında diyagonal doğrultularda gelişen beton ezilmesi sonucu yük taşıyamaz duruma gelmişlerdir.
- Betonarme dolgu duvarlı deney elemanları çerçeve elemanına göre çok büyük rijitliğe sahiptir. Betonarme dolgu duvardaki boşluk alanı göreceli kat deplasmanını etkileyen en önemli faktör olarak görünmektedir. Betonarme dolgu duvarında boşluk alanı küçüldükçe kat deplasmanı azalmış ve rijitlik artmıştır.

- Kanat dolgu duvarla güçlendirilen deney elemanlarında kat deplasmanı önemli oranlarda azalmış ve rijitlik artmıştır. Betonarme dolgu duvarlarının kanat dolgu duvarı olarak üretilmesi daha yüksek oranda rijitlik elde edilmesini sağlamıştır. Kanat dolgu duvarla güçlendirilen elemanlar çerçeveye göre 5-17 kat daha fazla başlangıç rijitliği sergilemiştir.
- Betonarme dolgu duvarlı elemanlar çerçeveye göre daha fazla enerji tüketmiştir. Birdöküm deney elemanı çerçeve elemanından 7 kat daha fazla enerji tüketmiştir. Birdöküm deney elemanı kanat dolgu duvarlı deney elemanlarından 1.5 – 2.6 kat daha fazla enerji tüketim kapasitesine sahiptir. Betonarme dolgu duvarda bırakılan boşluk alanı büyüdükçe dolgu çerçevenin enerji tüketim kapasitesi azalmıştır.
- Dolgu duvarı sık sargılı uç elemanın dolguda gelişen kesme çatlaklarını sınırlaması dikkati çekmiştir.
- Betonarme perdelerin yük taşıma kapasitesinin belirlenmesi için önerilen ampirik denklemler boşluklu betonarme dolgu duvarı ile güçlendirilmiş deney elemanları için başarılı sonuçlar vermemiştir.
- Betonarme perdeler için yönetmelikler tarafından verilen kapasite denklemlerinin boşluklu betonarme dolgu duvarlarda ne ölçüde geçerli olduğunun araştırılması için yönetmelikler kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Boşluk alanı büyüklüğü ve yeri değişim gösteren betonarme dolgu duvarları ile güçlendirilen çerçevelerin kapasitesinin belirlenmesinde yönetmelik denklemlerinin başarılı sonuçlar vermediği görülmüştür.

7.2. Öneriler

Yerinde dökme boşluklu betonarme dolgu duvarı ile güçlendirilen çerçevelerde boşluk alanı büyüklüğü ve yerinin dolgulu çerçevenin genel deprem davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu araştırmayı geliştirebilecek öneriler aşağıda sunulmuştur.

- Çerçeveyi oluşturan elemanların eğilme ve kesme kapasitelerinin, çerçeve ile dolgu arasındaki yeni bağlantı detaylarının boşluklu betonarme dolgularla güçlendirilmiş çerçevelerin davranışı üzerindeki etkileri incelenmelidir.
- Optimum dolgu duvarı kalınlığının elemanın davranışı üzerindeki etkileri araştırılmalıdır.
- Boşluklu betonarme dolgu duvarlar için yeni donatı düzenlemeleri üzerinde çalışılmalıdır.
- Kolon eksenel kuvvetinin boşluklu betonarme dolgu duvarlı çerçevelerin davranışına olan etkileri incelenmelidir.
- Deneysel çalışmalar daha büyük ölçekte, çok katlı ve çok açıklıklı deney elemanları üzerinde uygulanmalıdır.
- Hasarlı betonarme çerçevelerin boşluklu betonarme dolgu duvarlar ile onarılması durumunda kapasiteleri ve yeterliliği incelenmelidir.
- Deneysel veriler ışığında lineer olmayan malzeme modellemesi ve yükleme uygulayan sonlu eleman programları kullanılarak boşluklu betonarme dolgu duvarların kapasitelerinin belirlenmesine yönelik analitik modeller geliştirilmelidir.

KAYNAKLAR

1. Ersoy, U., Uzsoy, S., 1971, The Behaviour and Strength of Infilled Frames, **Report No. MAG-205, TBTA**K, Ankara, Turkey.
2. Ersoy, U., April 12-13, 1989, Rehabilitation of Frames by Infilling or Bracing, **A state of the Art Report, CEB-IMOIS-METU Seminar on Assessment and Redesign of Reinforced Concrete Structures**, Izmir, Turkey.
3. Klingner, R.E., and Bertero, V.V., 1976, Infilled Frames in Earthquake-Resistant Construction, **Report No. UCB/EERC-76/32, Earthquake Engineering Research Center, University of California**, Berkeley.
4. Klingner, R.E., and Bertero, V.V., June 1978, Earthquake Resistance of Infilled Frames, **ASCE, Journal of Structural Division**, Vol. 104, No. ST6, pp. 973-987.
5. Kahn, L.F., 1976, Reinforced Concrete Infilled Shear Walls for Aseismic Strengthening, **Ph.D. Thesis, University of Michigan**.
6. Kahn, L.F., and Hanson, R.D., Feb. 1979, Infilled Walls for Earthquake Strengthening, **ASCE, Journal of Structural Division**, Vol.105, No. ST2, pp. 283-296.
7. Broken, S.T., and Bertero, V.V., October 1981, Studies on Effects of Infills in Seismic Resistant Reinforced Concrete Construction, **Report No. UCB/EERC-81/12, Earthquake Engineering Research Center, University of California**, Berkeley.
8. Altın, S., February 1990, Strengthening of R/C Frames with R/C Infills, **A Doctor of Philosophy Thesis in Civil Engineering, Middle East Technical University**.
9. Altın, S., Ersoy, U., Tankut, T., June 1990, Seismic Strengthening of Reinforced Concrete Frames with Reinforced Concrete Infills, **Report No. METU/SML-90/01**, Ankara, Turkey.
10. Altın, S., Ersoy, U., Tankut, T., Aug. 1992, Hysteretic Response of Reinforced Concrete Infilled Frames, **ASCE, Journal of Structural Engineering**, Vol 118, No.8.
11. Axley, J.W., and Bertero, V.V., September 1979, Infill panels: Their Influence on Seismic Response of Buildings, **Report No. UCB/EERC-79/28, Earthquake Engineering Research Center, University of California**, Berkeley.

12. Axley, J.W., September 1980, Modelling the Stiffness Contrubition of Infilled Panels to Framed Structures by a Constraint Approach, **Proceedings of the 7th WCEE**, Vol.4, İstanbul, Turkey, pp. 249-251.
13. Benjamin, J. R., and Williams, H.A., May 1957, The Behaviour of One-Story Reinforced Concrete Shear Walls, **ASCE, Journal of Structural Division**, Vol. 83, No. ST3, paper 1254.
14. Benjamin, J. R., and Williams, H.A., July 1958, The Behaviour of One-Story Brick Shear Walls, **ASCE, Journal of Structural Division**, Vol. 84, No.ST4, paper 1723.
15. Smith, B.S., December 1962, Lateral Stiffness of Infilled Frames, **ASCE, Journal of Structural Division**, Vol. 88, ST6, pp. 183-199.
16. Smith, B.S., February 1966, Behaviour of Square Infilled Frames, **ASCE, Journal of Structural Division**, Vol. 92, ST1.
17. Smith, B.S., August 1968, Model Test Results of Vertical and Horizontal Loading of Infilled Frames, **ACI Journal**, pp. 618-624.
18. Smith, B.S., 1967, Methods for Predicting the Lateral Stiffness and Strength of Multi-Story Infilled Fames" **Building Science**, Vol. 2, pp. 247-257.
19. Smith, B.S., Carter, C., Sept. 1969, A Method of Analysis for Infilled Frames, **Proc. ICE**, Vol. 44, pp. 31-48.
20. Yoichi, H., Toneo, E., Masamichi, O., September 1980, Experimental Study on Strengthening Reinforced Concrete Structure by Adding Shear Wall", **Proceeding of the 7th WCEE**, Vol. 7, İstanbul, Turkey, pp.173-180.
21. Kato, D., Kabesayasawa, T., Otani, S., Aoyama, H., July-August 1995, Earthquake Resistant Design of Shear Walls with One Opening, **ACI Structural Journal**, Vol. 92, No. 4, pp. 495-500.
22. Kato, D., Noda, H., Sugishita, Y., September 1999, Strength and Deformation Capacity of Cantilever Structural Walls with Openings, **PEER Report 1999/10, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Maui, Hawaii**, pp. 311-322.
23. Chai, Y.H., Hutchinson, T.C., 2001, Reversed Cyclic Lateral Response of Lighthweight Concrete Precast Wall Panel Tests, **University of California, Davis, ZFA Structural Engineers**, Sacramento, California.
24. Taylor, C.P., Cote, P.A., Wallace, J.W., July-August 1998, Design of Selender Reinforced Concrete Walls with Openings, **ACI Structural Journal**, Vol. 95, No. 4, pp. 420-433.

25. Mallick, D.V., and Severn, R.T., June 1971, Effect of Openings on The Lateral Stiffness of Infilled Frames, **Proc. ICE**, Vol. 49, pp.193-209.
26. Mallick, D.V., and Severn, R.T., Sept.-Dec 1967, The Behaviour of Infilled Frames Under Static Loading, **Proc. ICE**, Vol.38, pp. 639-656.
27. Somalina, M., Dec. 1973, Analysis of Infilled Shear Walls, **Proc. Institution of Civil Engineers**, Vol. 55, No. 5, pp. 895-912.
28. Wasti, S.T., and Güllkan, P., Nov. 18-24, 1974, The Stiffness of an Infilled Portal Frame Under Horizontal Load, **Proc. Cento Symposium on Earthquake Engineering**, Ankara.
29. Kaldjian, M.J., and Yüzügüllü, O., 1984, Efficiency of Bolt Connected Reinforced Concrete Shear Panels to Repair and Strengthen Building Structures, **Presented in Jordan**.
30. Liauw, T.C., and Kwan, K.H., July 1985, Unified Plastic Analysis for Infilled Frames, **ASCE, Journal of Structural Division**, Vol. 111, No. 7, pp.1427-1448.
31. Achyutha, H., Jagadish, R., Rao, P.S., and Rahman, S.S., 1986, Finite Element Simulation of the Elastic Behaviour of Infilled Frames with Openings, **Computers and Structures**, Vol.23, No.5, pp.685-696.
32. Sitipunt, C., Wood, S.L., 1995, Improving the Cyclic Reponse of Selender Structural Walls by Changing the Orientation of the Web Reinforcement, **ACI Structural Journal**, Vol. 92, No. 6, pp. 745-767.
33. Buonopane, S.G., White, R.N., June 1999, Pseudodynamic Testing of Masonry Infilled Reinforced Concrete Frames, **ASCE, Journal of Structural Engineering**, Vol. 125, No. 6, pp. 578-589.
34. Marjani, F., September 1997, Behaviour of Brick Infilled Reinforced Concrete Frames Under Reversed Cyclic Loading, **A Doctor of Philosophy Thesis in Civil Engineering, Middle East Technical University**.
35. Mallick, D.V., and Severn, R.T., Jan-April 1968, Dynamic Characteristic of Infilled Frames, **Proc. ICE**, Vol. 39, pp. 261-287.
36. Mallick, D.V., and Severn, R.T., September 1980, Infilled Frame Construction in Seismic Regions", **Proceeding of the 7th WCEE**, Vol. 4, Istanbul, Turkey, pp.486-492.
37. Yüzügüllü, O., Nov. 1979, Repair of Reinforced Concrete Frames with Reinforced Concrete Precast Panels, **TUBİTAK, Report No. MAG-494**.

38. Yüzüğüllü, O., September 1980, Multiple Precast Reinforced Concrete Panels for Aseismic Strengthening of Reinforced Concrete Frames, **Proceeding of 7th WCEE**, Vol. 6, İstanbul, Turkey, pp. 263-270.
39. Liauw, T.C., April 1979, Test on Multistory Infilled Frames Subjected to Dynamic Lateral Loading, **ACI Journal**, pp. 551-563.
40. Liauw, T.C., September 1980, An Effective Structural System Againsts Earthquakes-Infilled Frames, **Proceeding of the 7th WCEE**, Vol. 4, İstanbul, Turkey, pp. 481-185.
41. Hayashi, T., Niwa, N., and Fukuhara, M., September 1980, The Strengthening Methods of the Existing Reinforced Concrete Buildings, **Proceeding of the 7th WCEE**, Vol. 4, İstanbul, Turkey, pp. 89-96.
42. Saatçioğlu, M., Nisan 1990, Betonarme Kısa Perdelerin Kayma Davranışı, **TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası, Teknik Dergi**, Cilt 1, Sayı 2, sf. 121-132
43. Sitipunt, C., Wood, S.L., September 1999, Improving the Cyclic Reponse of Selender Structural Walls by Changing the Orientation of the Web Reinforcement, **PEER Report 1999/10, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Maui, Hawaii**, pp. 323-332
44. Türk, M.A., 1998, Rehabilitation of Reinforced Concrete Infill Walls, **A Doctor of Philosophy Thesis in Civil Engineering, Boğaziçi University**.
45. Özcebe, G., Ersoy, U., Tankut, T., Ağustos 1998, Betonarme Dolgu ile Onarılmış Çerçeveselerin Deprem Davranışı, **TÜBİTAK, Proje No: İNTAG 537, Ankara**.
46. Sonuvar, M.O., June 2001, Hysteretic Response of Reinforced Concrete Frames Repaired by Means of Reinforced Concrete Infills, **A Doctor of Philosophy Thesis in Civil Engineering, Middle East Technical University**.
47. Canbay, E., December 2001, Contribution of R/C Infills to the Seismic Behaviour of Structural System, **A Doctor of Philosophy Thesis in Civil Engineering, Middle East Technical University**.
48. **Bayındırlık ve İskan Bakanlığı**, 1997, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Ankara.
49. Sözen, M.A., Nov. 1987, Toward a Behaviour Based Design of Reinforced Concrete Frames to Resist Earthquakes", **Proceeding of the 9th Technical Conference of Turkish Society of Civil Engineering**, Vol. 1, Ankara, Turkey, pp. 1-47.

50. Applied Technology Council (ATC), 3-6, June 1978, Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Building, **ATC Publication**.
51. Cardenas, A.E., Hanson, J.M., Corley, W.G., and Hognestad, E., March 1973, Design Provision for Shear Walls, **Code Background Paper, ACI Journal**, pp. 221-230.
52. Cardenas A.E., Russel, H.G., and Corley, W.G., 1980, Strength of Low-Rise Structural Walls, **Reinforced Concrete Structures Subjected to Wind and Earthquake Forces**, SP 63, ACI, pp. 221-241.
53. Vallenias, J.W., Bertero, V.V., and Popov, E.P., August 1979, Hysteretic Behaviour of Reinforced Concrete Structural Walls, **Report No. UCB/EERC-79/20, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley**.
54. **ACI, American Concrete Institute, Committee 318**, 1995, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-95) and Commentary (ACI 318-R-95), Michigan.
55. Wallace, J.W., January 1995, Seismic Design of RC Structural Walls, Part I: New Code Format, **ASCE, Journal of Structural Engineering**, Vol. 121, No. 1, pp. 75-87.
56. ASCE-ACI Task Committee 426 on Shear and Diagonal Tension of the Committee on Masonry and Reinforced Concrete of the Structural Division, June 1973, The Shear Strength of Reinforced Concrete Members, **Proceeding of ASCE**, Vol. 99, NO. ST6, pp. 1091-1187.



EKLER

EK-A**DONATILARIN GERİLME-EKSENEL DEPLASMAN
GRAFİKLERİ**

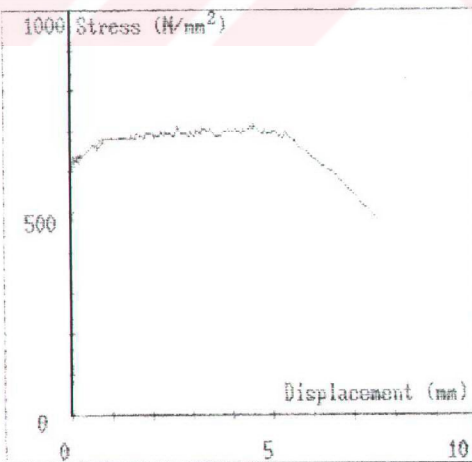
Bu kısımda deney elemanlarında kullanılan donatıların çekme deneylerinden elde edilen gerilme-deplasman grafikleri sunulacaktır. Çekme deneyleri Gazi Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Mekanik Laboratuvarında bulunan bilgisayar kontrollü DARTEC marka bir eksenel çekme aletinde gerçekleştirilmiştir (Şekil A.1). Deney elemanlarında kullanılan donatıların çekme deneyi sonucunda bilgisayardan elde edilen gerilme-deplasman grafikleri sunulmuştur. Deneyde kullanılan deney düzeneği bilgisayar kontrollü olduğu için tüm deneylerde yükün uygulanma hızı sabit tutulmuştur. Numunenin sünekliği, uzama miktarı, elastik modülü gibi veriler bilgisayardaki yazılım tarafından hesaplanmaktadır.

Çapları $\phi 4$, $\phi 6$, $\phi 8$, $\phi 10$ ve $\phi 16$ mm olan donatılardan alınan üçer adet numuneye uygulanan çekme deneyi sonucunda elde edilen bilgisayar çıktıları Çizelge A.1- A.15'de sunulmuştur. Bilgisayar tarafından verilen çizelgenin üst kısmında deney sırasında elde edilen boy değişimi, elastik modül ve gerilme değerleri gibi bilgiler ve alt kısmında ise deney sonucunda elde edilen gerilme-deplasman grafiği yer almaktadır.

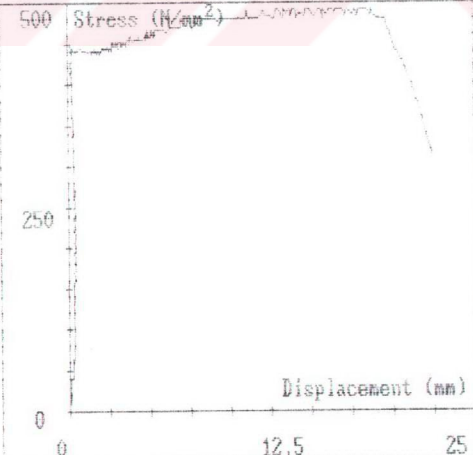


Şekil A.1. Çekme deneyinde kullanılan deney düzeneği

Çizelge A.1. Çekme deneyi sonuçları ($\phi 4$ mm)

DARTEC SOFTWARE				ISO 6892 : 1984			
FILE DATA							
File Name	INS			Test Number	4		
File ID.	File			Date	04/04/80		
Config. File	INS			Time	14:00		
SPECIMEN DATA							
Specimen code	1			Deney	4		
Diameter	4,000	mm		Source			
Area	12,60	mm ²		Operator			
Parallel length	84,0	mm		Batch number			
Initial G.L.	84,0	mm		Musteri			
Final G.L.	91,1	mm					
TEST RESULT							
Fm	9,0	kN	FAIL				
Rm	714	N/mm ²	FAIL				
ReH	331	N/mm ²	OK				
ReL	312	N/mm ²	OK	A 5,65	15	%	OK
Rp .1%	592	N/mm ²	OK				
Rp .2%	621	N/mm ²	OK				
Rp .3%	631	N/mm ²	OK	E	213,4	kN/mm ²	OK
Rt .1%	196	N/mm ²	FAIL				
Rt .2%	412	N/mm ²	OK				
Rt .3%	549	N/mm ²	OK				
Test complete : -Fracture detected							
Remarks : kırıldı							
							

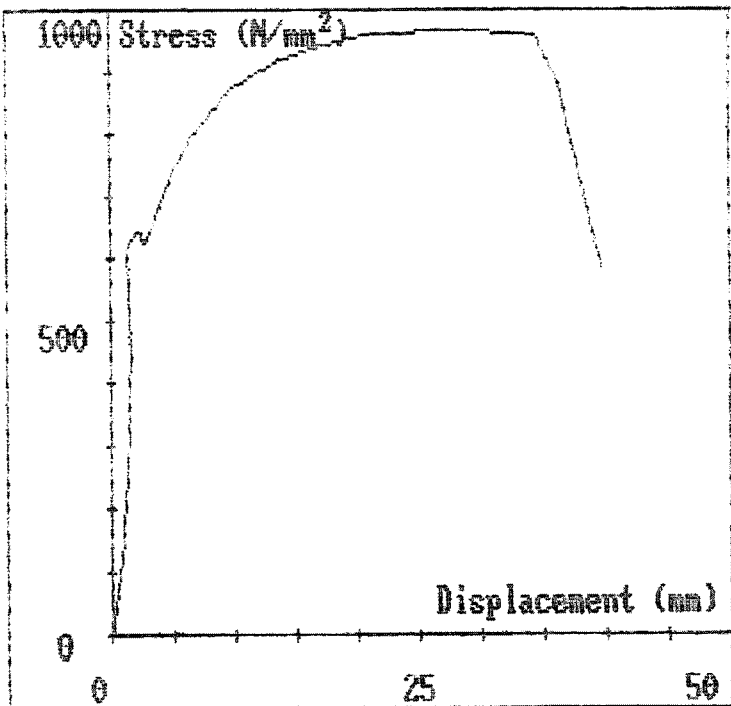
Çizelge A.4. Çekme deneyi sonuçları ($\phi 6$ mm)

DARTEC SOFTWARE			ISO 6892 : 1984		
FILE DATA					
File Name	INS		Test Number	1	
File ID.	File		Date	04/01/80	
Config. File	INS		Time	13:39	
SPECIMEN DATA					
Specimen code	1		Deney	1	
Diameter	6,000	mm	Source		
Area	28,30	mm ²	Operator		
Parallel length	165,0	mm	Batch number		
İnitial G.L.	165,0	mm	Musteri		
Final G.L.	187,0	mm			
TEST RESULT					
Fm	14,0	kN	FAIL		
Rm	493	N/mm ²	FAIL		
ReH	447	N/mm ²	OK		
ReL	438	N/mm ²	OK	A 5,65	26 % OK
Rp .1%	441	N/mm ²	OK		
Rp .2%	443	N/mm ²	OK		
Rp .3%	443	N/mm ²	OK	E	225,8 kN/mm ² OK
Rt .1%	222	N/mm ²	FAIL		
Rt .2%	433	N/mm ²	OK		
Rt .3%	440	N/mm ²	OK		
Test complete : -Fracture detected					
Remarks : kırıldı					
					

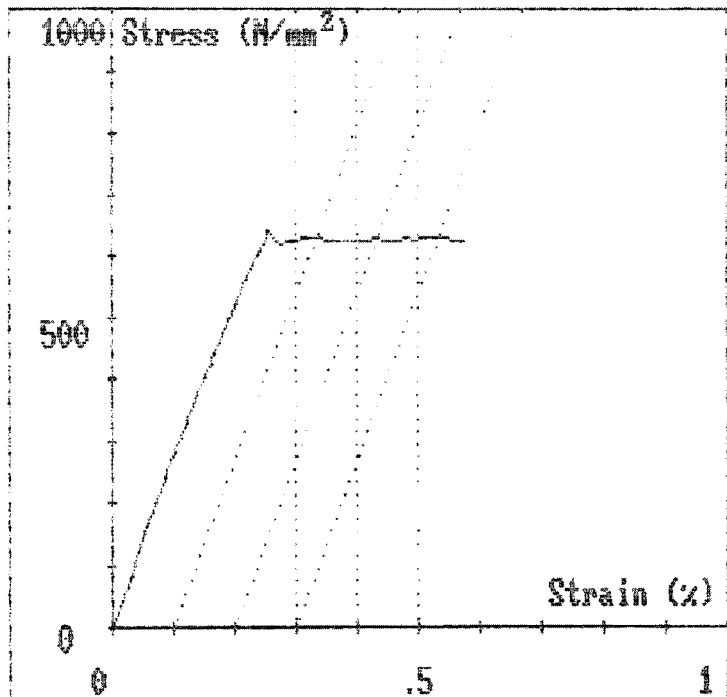
Stress (N/mm²)

Displacement (mm)

Çizelge A.7. Çekme deneyi sonuçları (ø8 mm)

DARTEC SOFTWARE				ISO 6892 : 1984	
FILE DATA					
File Name		Ozgur	Test Number		3
File ID.		O1	Date		04/01/80
Config. File		Ozgur	Time		08:47
SPECIMEN DATA					
Specimen code		St37	Deney		Celik
Diameter		8,000 mm	Source		Insaat bol
Area		50,30 mm ²	Operator		Uslan
Parallel length		980,0 mm	Batch number		3
İnitial G.L.		980,0 mm	Musteri		Insaat bol
Final G.L.		1016 mm			
TEST RESULT					
Fm	48,9	kN	Ae	0,0	%
Rm	972	N/mm ²			
ReH	645	N/mm ²			
ReL	618	N/mm ²	A	3,5	%
Rp .1%	629	N/mm ²	At	4,0	%
Rp .2%	627	N/mm ²			
Rp .3%	628	N/mm ²	E	269,3	kN/mm ²
Rt .1%	624	N/mm ²	OK		
Rt .2%	625	N/mm ²			
Rt .3%	626	N/mm ²			
Test complete : -Fracture detected					
Remarks :					
					

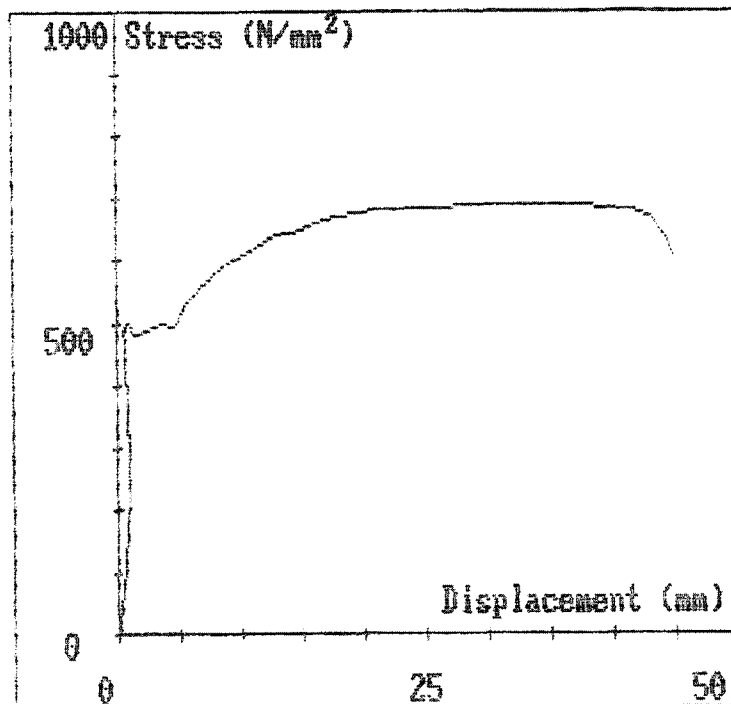
Çizelge A.8. Çekme deneyi sonuçları ($\phi 8$ mm)

DARTEC SOFTWARE				ISO 6892 : 1984			
FILE DATA							
File Name		Ozgur		Test Number		3	
File ID.		O1		Date		04/01/80	
Config. File		Ozgur		Time		08:47	
SPECIMEN DATA							
Specimen code		St37		Deney		Celik	
Diameter		8,000 mm		Source		Insaat bol	
Area		50,30 mm ²		Operator		Uslan	
Parallel length		980,0 mm		Batch number		4	
İnitial G.L.		980,0 mm		Musteri		Insaat bol	
Final G.L.		1002 mm					
TEST RESULT							
Fm		48,1 kN		Ae		0,0 %	
Rm		956 N/mm ²					
ReH		632 N/mm ²					
ReL		566 N/mm ²		A		2,0 %	
Rp .1%		610 N/mm ²		At		1,5 %	
Rp .2%		608 N/mm ²					
Rp .3%		603 N/mm ²		E		322,1 kN/mm ²	
Rt .1%		610 N/mm ²		OK			
Rt .2%		609 N/mm ²					
Rt .3%		608 N/mm ²					
Test complete : -Fracture detected							
Remarks :							
							

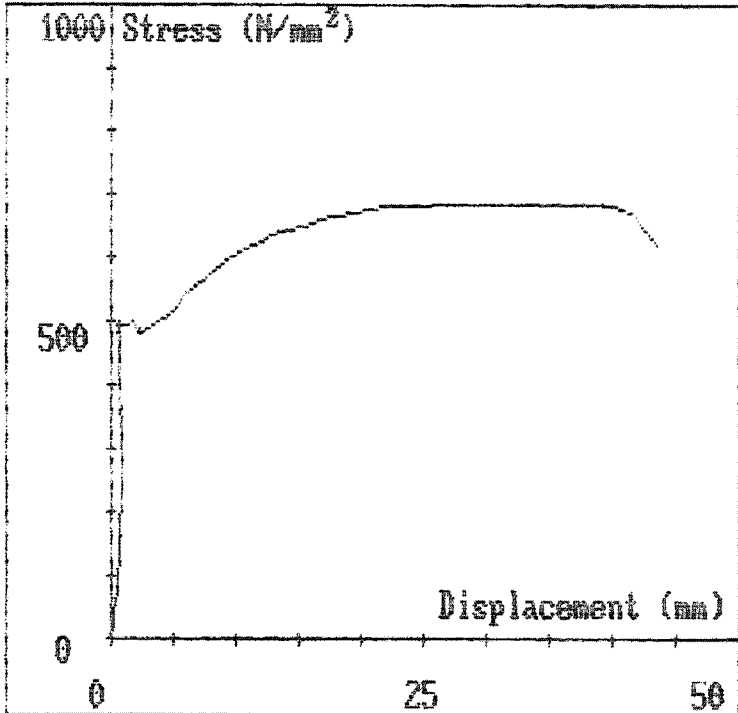
Çizelge A.9. Çekme deneyi sonuçları ($\phi 8$ mm)

DARTEC SOFTWARE				ISO 6892 : 1984	
FILE DATA					
File Name		Ozgur	Test Number		3
File ID.		O1	Date		04/01/80
Config. File		Ozgur	Time		08:47
SPECIMEN DATA					
Specimen code		St37	Deney		Celik
Diameter		8,000 mm	Source		Insaat bol
Area		50,30 mm ²	Operator		Uslan
Parallel length		980,0 mm	Batch number		5
İnitial G.L.		980,0 mm	Musteri		Insaat bol
Final G.L.		mm			
TEST RESULT					
Fm		kN	Ae		0,0 %
Rm		N/mm ²			
ReH		N/mm ²			
ReL		N/mm ²	A		3,5 %
Rp .1%		N/mm ²	At		4,0 %
Rp .2%		N/mm ²			
Rp .3%		N/mm ²	E		kN/mm ²
Rt .1%		N/mm ²	OK		
Rt .2%		N/mm ²			
Rt .3%		N/mm ²			
Test complete : -Fracture detected					
Remarks :					
1000 Stress (N/mm²) 500 0 0 10 20 Displacement (mm)					

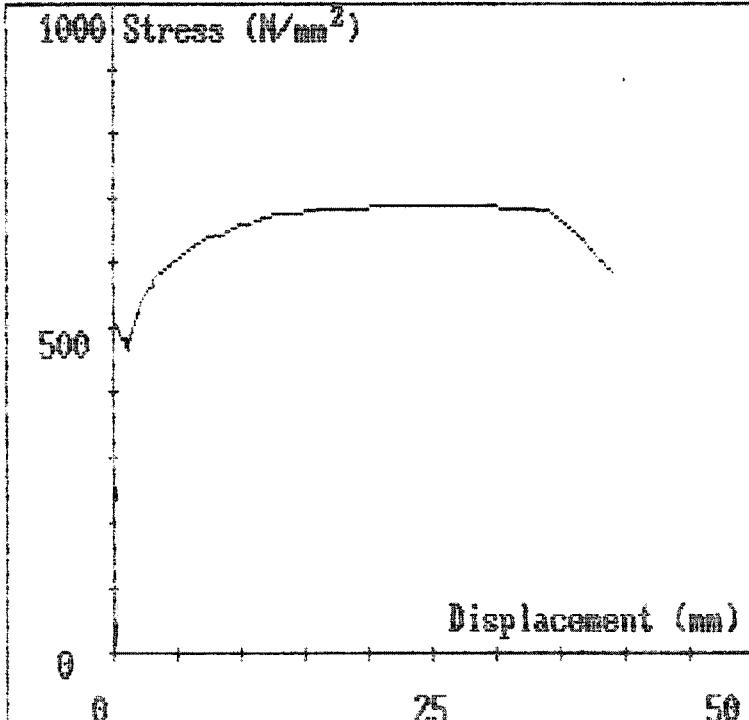
Rm	690	N/mm ²	OK	A At E	4,5 4,5 308,2	% % kN/mm ²
ReH	501	N/mm ²				
ReL	479	N/mm ²				
Rp .1%	500	N/mm ²				
Rp .2%	481	N/mm ²				
Rp .3%	481	N/mm ²				
Rt .1%	489	N/mm ²				
Rt .2%	479	N/mm ²				
Rt .3%	481	N/mm ²				
Test complete : -Fracture detected						
Remarks :						



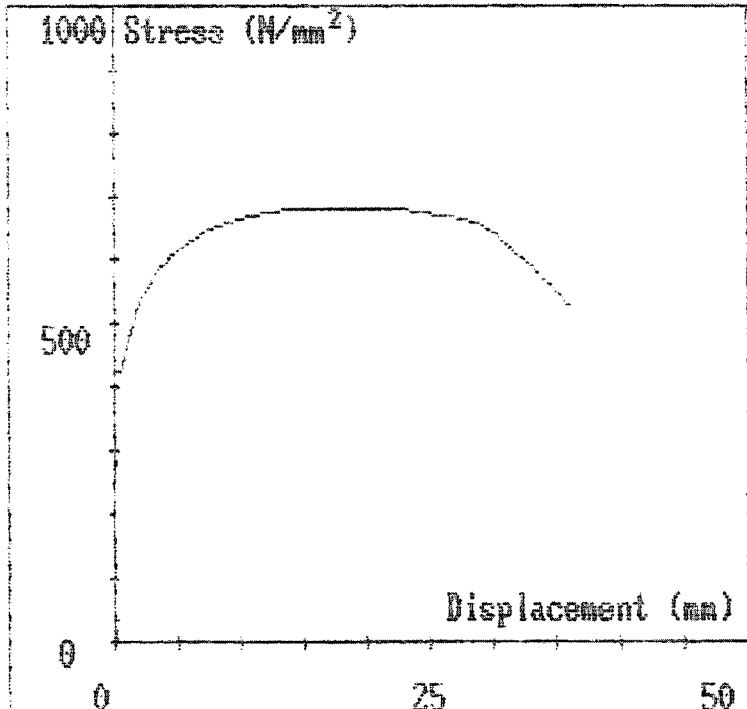
Çizelge A.11. Çekme deneyi sonuçları ($\phi 10$ mm)

DARTEC SOFTWARE				ISO 6892 : 1984	
FILE DATA					
File Name		Ozgur	Test Number		5
File ID.		O1	Date		04/01/80
Config. File		Ozgur	Time		08:58
SPECIMEN DATA					
Specimen code		St37	Deney		Celik
Diameter		9,700 mm	Source		Insaat bol
Area		73,90 mm ²	Operator		Uslan
Parallel length		980,0 mm	Batch number		5
İnitial G.L.		980,0 mm	Musteri		Insaat bol
Final G.L.		1021 mm			
TEST RESULT					
Fm	50,8	kN	Ae	0,0	%
Rm	687	N/mm ²			
ReH	499	N/mm ²			
ReL	479	N/mm ²	A	4,0	%
Rp .1%	480	N/mm ²	At	4,5	%
Rp .2%	481	N/mm ²			
Rp .3%	487	N/mm ²	E	249,3	kN/mm ²
Rt .1%	479	N/mm ²	OK		
Rt .2%	481	N/mm ²			
Rt .3%	488	N/mm ²			
Test complete : -Fracture detected					
Remarks :					
					

Çizelge A.12 Çekme deneyi sonuçları (φ10 mm)

DARTEC SOFTWARE				ISO 6892 : 1984			
FILE DATA							
File Name		Ozgur		Test Number		6	
File ID.		O1		Date		04/01/80	
Config. File		Ozgur		Time		09:01	
SPECIMEN DATA							
Specimen code		St37		Deney		Celik	
Diameter		9,700 mm		Source		Insaat bol	
Area		73,90 mm ²		Operator		Uslan	
Parallel length		980,0 mm		Batch number		5	
İnitial G.L.		980,0 mm		Musteri		Insaat bol	
Final G.L.		1017 mm					
TEST RESULT							
Fm		51,0 kN		Ae		0,0 %	
Rm		690 N/mm ²					
ReH		508 N/mm ²					
ReL		467 N/mm ²		A		3,5 %	
Rp .1%		479 N/mm ²		At		4,0 %	
Rp .2%		486 N/mm ²					
Rp .3%		482 N/mm ²		E		216,5 kN/mm ²	
Rt .1%		473 N/mm ²					
Rt .2%		482 N/mm ²					
Rt .3%		483 N/mm ²					
Test complete : -Fracture detected							
Remarks :							
1000 Stress (N/mm²)  0 500 1000 0 25 50 Displacement (mm)							

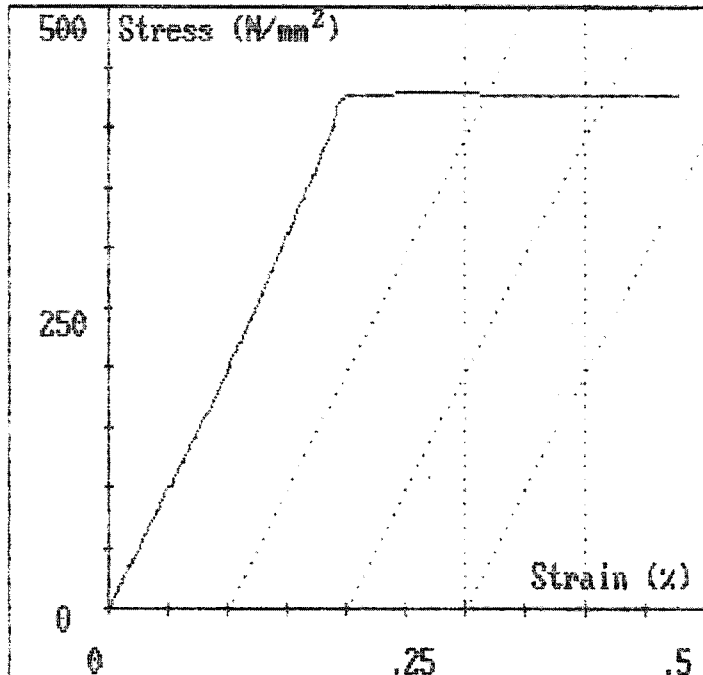
Çizelge A.13. Çekme deneyi sonuçları ($\phi 16$ mm)

DARTEC SOFTWARE				ISO 6892 : 1984			
FILE DATA							
File Name		Ozgur		Test Number		1	
File ID.		O1		Date		04/01/80	
Config. File		Ozgur		Time		08:07	
SPECIMEN DATA							
Specimen code		St37		Deney		Celik	
Diameter		16,50 mm		Source		Insaat bol	
Area		213,8 mm ²		Operator		Uslan	
Parallel length		980,0 mm		Batch number		1	
İnitial G.L.		980,0 mm		Musteri		Insaat bol	
Final G.L.		1013 mm					
TEST RESULT							
Fm		145,8 kN		Ae		0,0 %	
Rm		682 N/mm ²					
ReH		430 N/mm ²					
ReL		427 N/mm ²		A 5,65		9,0 %	
				At		3,5 %	
				E		205,3 kN/mm ²	
Rt .1%		706 N/mm ²					
Rt .2%		619 N/mm ²					
Rt .3%		641 N/mm ²					
Test complete : -Fracture detected							
Remarks :							
							

Çizelge A.14. Çekme deneyi sonuçları ($\phi 16$ mm)

DARTEC SOFTWARE				ISO 6892 : 1984			
FILE DATA							
File Name		Ozgur		Test Number		2	
File ID.		O1		Date		04/01/80	
Config. File		Ozgur		Time		08:18	
SPECIMEN DATA							
Specimen code		St37		Deney		Celik	
Diameter		16,50 mm		Source		Insaat bol	
Area		213,8 mm ²		Operator		Uslan	
Parallel length		980 mm		Batch number		2	
Initial G.L.		980 mm		Musteri		Insaat bol	
Final G.L.		1012 mm					
TEST RESULT							
Fm		146,2 kN		Ae		0,0 %	
Rm		684 N/mm ²					
Rp .1%		425 N/mm ²		A 5,65		9,0 %	
Rp .2%		426 N/mm ²		At		3,5 %	
Rp .3%		426 N/mm ²					
Rt .1%		425 N/mm ²		E		226,2 kN/mm ²	
Rt .2%		426 N/mm ²					
Rt .3%		426 N/mm ²					
Test complete : -Fracture detected							
Remarks :							

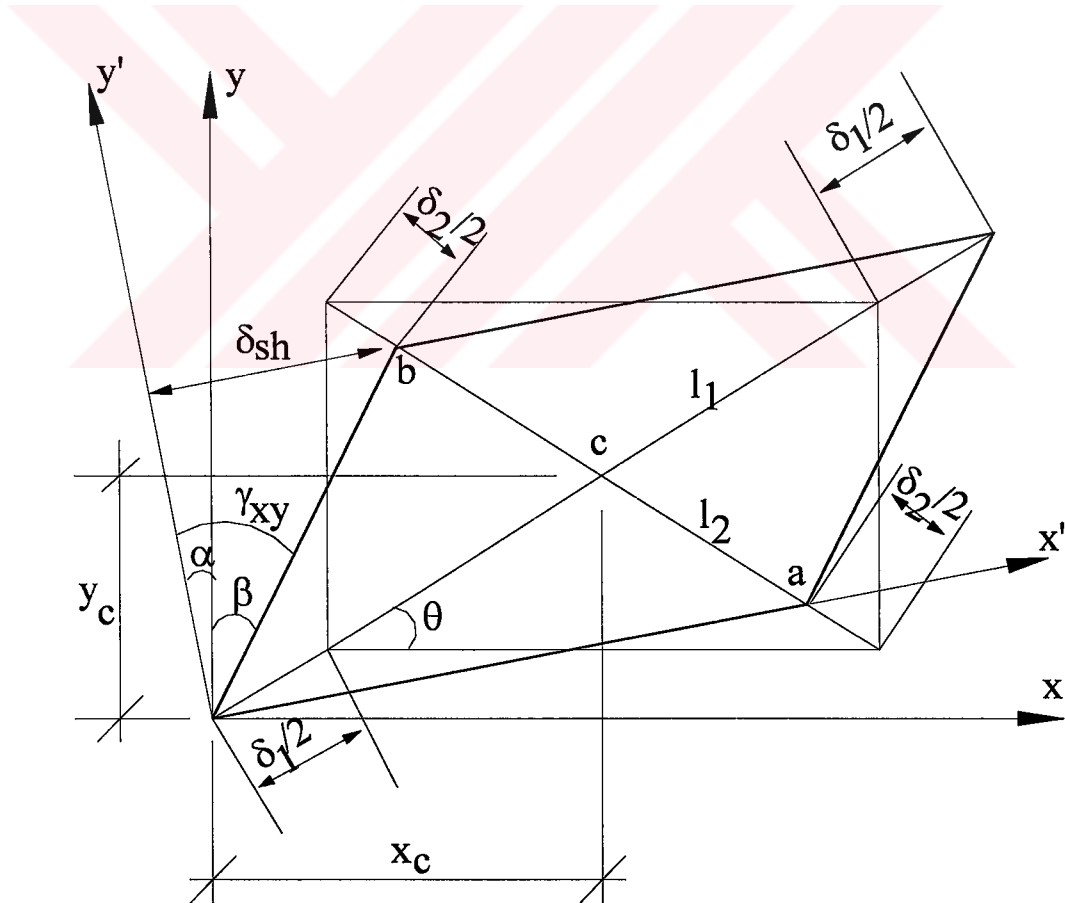
Çizelge A.15. Çekme deneyi sonuçları (φ16 mm)

DARTEC SOFTWARE				ISO 6892 : 1984			
FILE DATA							
File Name		Ozgur		Test Number		2	
File ID.		O1		Date		04/01/80	
Config. File		Ozgur		Time		08:18	
SPECIMEN DATA							
Specimen code		St37		Deney		Celik	
Diameter		16,50 mm		Source		Insaat bol	
Area		213,8 mm ²		Operator		Uslan	
Parallel length		980 mm		Batch number		3	
İnitial G.L.		980 mm		Musteri		Insaat bol	
Final G.L.		1012 mm					
TEST RESULT							
Fm		145,5 kN		Ae		0,0 %	
Rm		680 N/mm ²					
Rp .1%		429 N/mm ²		A 5,65		10,0 %	
Rp .2%		428 N/mm ²		At		4,0 %	
Rt .1%		429 N/mm ²		E		196,6 kN/mm ²	
Rt .2%		428 N/mm ²					
Rt .3%		726 N/mm ²					
Test complete : -Fracture detected							
Remarks :							
							

EK-B

KESME DEPLASMANININ HESAPLANMASI

Bu kısımda deney elemanı çerçevesinden ve betonarme dolgu duvarlarından diyagonal doğrultularda alınan ölçümler kullanılarak kesme deplasmanı hesaplanmasıyla ilgili bilgiler sunulacaktır. Kesme deplasmanları çerçeve ve dolgu duvarlarının diyagonalleri doğrultusunda yerleştirilen 2'şer adet LVDT'den alınan ölçümler kullanılarak hesaplanmıştır. Bu ölçümler kullanılarak yapılan hesaplamalar ve yararlanılan geometri Şekil B.1'de sunulmuştur.



Şekil B.1. Kesme deplasmanı geometrisi

Kesme deplasmanı aşağıda verilen denklemler ile hesaplanmıştır.

$$\theta = \arctan \frac{h}{w} \dots\dots\dots (B.1)$$

θ : Dikdörtgende köşegenin yatay eksenle yaptığı açı

h : Dikdörtgenin yüksekliği

w : Dikdörtgenin genişliği

$$l'_1 = l_1 + \delta_1 = l_1(1 + \varepsilon_1) \dots\dots\dots (B.2)$$

$$l'_2 = l_2 + \delta_2 = l_2(1 + \varepsilon_2) \dots\dots\dots (B.3)$$

l_1 : Dikdörtgenin 1. diyagonal uzunluğu

l_2 : Dikdörtgenin 2. diyagonal uzunluğu

l'_1 : Deformasyondan sonra dikdörtgenin 1. diyagonal uzunluğu

l'_2 : Deformasyondan sonra dikdörtgenin 2. diyagonal uzunluğu

ε_1 : 1. diyagonal doğrultuda birim şekil değiştirme

ε_2 : 2. diyagonal doğrultuda birim şekil değiştirme

δ_1 : 1. diyagonal doğrultuda deplasman

δ_2 : 2. diyagonal doğrultuda deplasman

$$x_c = \frac{l'_1}{2} \cos(\theta) \dots\dots\dots (B.4)$$

$$y_c = \frac{l'_1}{2} \sin(\theta) \dots\dots\dots (B.5)$$

$$x_a = x_c + \frac{l'_2}{2} \cos(\theta) = \left(\frac{l'_1 + l'_2}{2} \right) \cos(\theta) \dots\dots\dots (B.6)$$

$$y_a = y_c - \frac{l'_2}{2} \sin(\theta) = \left(\frac{l'_1 - l'_2}{2} \right) \sin(\theta) \dots\dots\dots (B.7)$$

$$x_b = x_c - \frac{l'_2}{2} \cos(\theta) = \left(\frac{l'_1 - l'_2}{2} \right) \cos(\theta) \dots\dots\dots (B.8)$$

$$y_b = y_c + \frac{l_2'}{2} \sin(\theta) = \left(\frac{l_1' + l_2'}{2} \right) \sin(\theta) \dots\dots\dots (B.9)$$

Kesme açısı, γ_{xy} , α ve β açılarının toplanması ile elde edilmektedir. Şekil B.1’de görülen α ve β açılarının trigonometrik bağıntılar kullanılarak elde edilen denklemleri aşağıda sunulmuştur (Denklem B.10 ve B.11).

$$\begin{aligned} \alpha &= \operatorname{acr} \tan \left(\frac{y_a}{x_a} \right) = \operatorname{acr} \tan \left(\frac{\left(\frac{l_1' - l_2'}{2} \right) \sin(\theta)}{\left(\frac{l_1' + l_2'}{2} \right) \cos(\theta)} \right) = \arctan \left(\frac{l_1' - l_2'}{l_1' + l_2'} \tan(\theta) \right) \\ &= \operatorname{acr} \tan \left(\frac{l_1' - l_2'}{l_1' + l_2'} \left(\frac{h}{w} \right) \right) = \operatorname{acr} \tan \left(\frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{2 + \varepsilon_1 + \varepsilon_2} \left(\frac{h}{w} \right) \right) \dots\dots\dots (B.10) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta &= \operatorname{acr} \tan \left(\frac{y_c}{x_c} \right) = \operatorname{acr} \tan \left(\frac{\left(\frac{l_1' - l_2'}{2} \right) \cos(\theta)}{\left(\frac{l_1' + l_2'}{2} \right) \sin(\theta)} \right) = \arctan \left(\frac{l_1' - l_2'}{l_1' + l_2'} \cot(\theta) \right) \\ &= \operatorname{acr} \tan \left(\frac{l_1' - l_2'}{l_1' + l_2'} \left(\frac{w}{h} \right) \right) = \operatorname{acr} \tan \left(\frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{2 + \varepsilon_1 + \varepsilon_2} \left(\frac{w}{h} \right) \right) \dots\dots\dots (B.11) \end{aligned}$$

$$\gamma_{xy} = \alpha + \beta \dots\dots\dots (B.12)$$

Kesme deplasmanı δ_{sh} , denklem B.13’de verilmiştir.

$$\delta_{sh} = \gamma_{xy} \cdot h \dots\dots\dots (B.13)$$

Diyagonal doğrultulardan alınan ölçümlerin çerçevede ve dolgu duvarda gelişen diğer çatlaklardan etkilendiği unutulmamalıdır.

ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında Ankara’da doğdu. 1986 yılında Bahçelievler Ulubatlı Hasan İlkokulunda ilk öğrenimini tamamladı. Orta ve Lise öğrenimini Bahçelievler Deneme Lisesi’nde 1992 yılında tamamladı. 1992 yılında girdiği Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden 1996 yılında bölüm ikincisi olarak mezun oldu. Aynı bölümde 1998 yılında Yüksek Lisans Eğitimini tamamladı. Halen aynı üniversitede İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

