

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

**DOLGU DUVARLI ÇERÇEVE SİSTEMLERDE ANKRAJ ÇUBUKLARININ
ETKİSİ ÜZERİNE BİR DENEYSEL ÇALIŞMA**

Atila KUMBASAROĞLU

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ERZURUM
2010

Her hakkı saklıdır

Yrd. Doç. Dr. Ahmet BUDAK danışmanlığında Atila KUMBASAROĞLU tarafından hazırlanan bu çalışma 17/06/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Metin HÜSEM

İmza : 

Üye : Prof. Dr. Sadri ŞEN

İmza : 

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ahmet BUDAK

İmza : 

Üye : Yrd. Doç. Dr. Habib UYSAL

İmza : 

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet Hamit ÖZYAZICIOĞLU

İmza : 

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ömer AKBULUT
Enstitü Müdürü

ÖZET

Doktora Tezi

DOLGU DUVARLI ÇERÇEVE SİSTEMLERDE ANKRAJ ÇUBUKLARININ ETKİSİ ÜZERİNE BİR DENEYSEL ÇALIŞMA

Atila KUMBASAROĞLU

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ahmet BUDAK

Boş çerçeve sistemlere dolgu duvar ilavesi ve donatılı dolgu duvar şeklindeki anlayış ile oluşturulan güçlendirme konusu son yıllarda araştırmacıların ilgisini giderek daha çok çekmektedir. Güçlendirme tekniğinin başarısı, dolgu duvarların mevcut çerçeveye olan birleşiminin yeterli olabilmesi ile ölçülmektedir. Bu güçlendirme tekniğinde dolgu duvarıyla çerçevenin birleşimi, yaygın olarak ankraj çubukları ile sağlanmaktadır.

Bu çalışmada; çerçeve ve dolgu duvar arasında bağlantıyı sağlayan ankraj çubuklarının dolgu duvarlı çerçeve sistemlerine katkısının araştırılması amacıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır. Çalışmada ana parametre, birleşimi sağlayan ankraj çubuklarının dolgu duvarlı çerçeve sistemlerine olan etkisidir. Bunun için deney programı ve deney düzeneği geliştirilmiştir. Deneysel çalışmada, ¼ ölçekte tek katlı tek açıklıklı dolgu duvarlı çerçeve sistemi ele alınmıştır. Dolgu duvarlı çerçeve sisteminde, dolgu duvar malzemesi yerinde dökme betondan oluşurken, çerçeve ise çelik profil ve betonarme çerçeve olarak seçilmiştir. Dolgu duvarlar ile çerçeve arasındaki bağlantı çelik ankraj çubukları ile sağlanmıştır.

Deney programı hasar-kontrollü bir şekilde yürütülmüş olup, yükleme programı tanımlanan bir hasar derecesine kadar artımlı olarak gerçekleştirilmiş ve tanımlanan hasar derecesi sağlandığında deneye son verilmiştir. Tanımlanan hasar derecesi bu çalışma için çatlama yükü olarak kabul edilmiştir.

Yapılan çalışmada, sisteme yerleştirilen ankraj çubuklarının genelde dolgu duvarlı çerçeve sistemlerde enerji yutma kapasitesi ve başlangıç rijitliğini artırdığı tespit edilmiştir.

Ankraj çubuksuz sistemlerde yüklemenin yapıldığı köşelerde köşe kırılması/dolgu ezilmesi davranışı, serbest köşelerde ise dolgu ayrılması davranışı tespit edilmiştir. Ankraj çubuklu sistemlerde ise bu davranışın yerini çekme çatlakları almıştır. Bu gözlemden ankraj çubuklarının sistem davranışını azımsanmayacak derecede iyileştirdiği sonucu varılmıştır.

2010, 181 sayfa

Anahtar Kelimeler: Dolgu duvar, ankraj çubukları, enerji yutma kapasitesi, başlangıç rijitliği, çatlama yükü, kayma gerilmesi

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

AN EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECTS OF ANCHOR RODS ON INFILL WALLED FRAME SYSTEMS

Atila KUMBASAROĞLU

Department of Civil Engineering
Graduate School of Natural Sciences
Atatürk University

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ahmet BUDAK

The issue of reinforcement through infill wall addition to hollow frame systems and reinforced infill walls has in recent years increasingly attracted the attention of researchers. The success of reinforcement technique is assessed by the sufficiency of the connectivity between the infill walls and the existing frame. In this reinforcement technique, the connectivity between the infill wall and the frame is commonly maintained by anchor rods.

For this study, experiments were held in order to explore the contribution of anchor rods, which sustain the connectivity between the frame and the infill wall, to the infill walled frame systems. The main parameter of this study is the effect of the anchor rods that sustain the connectivity on the infill walls frame systems. An experiment program and testing apparatus have been developed for this purpose. In the experimental study, $\frac{1}{4}$ scaled, single-floor, single-span infill walled frame system has been the focus of study. In the infill walled frame system, while the infill wall material is made of cast-in-place concrete, the frame chosen is steel profile and reinforced concrete frame. Connection between the infill walls and the frame is maintained by steel anchor rods.

The experiment program has been carried out as a damage-controlled one; the loading program has been conducted as increasing to a pre-specified damage rate; and when the pre-specified damage rate was reached, the experiment was finalized. The pre-specified damage rate is accepted as the crack load in this study.

The study puts forward that the anchor rods that are placed in the system generally increase the capacity of energy absorption and preliminary rigidity in the infill walled frame systems.

In the systems without anchor rods, cants/filling crash was observed in the corners on which loading was applied and filling dispersion was observed in the free corners. In the systems with anchor rods, these results were replaced by tension cracks. Depending on this observation, this study concludes that anchor rods considerably improve the system behaviors.

2010, 181 pages

Keywords: Infill wall, anchor rods, capacity of energy absorption, preliminary rigidity, crack load, shear stress.

TEŞEKKÜR

Doktora tezi olarak sunduğum bu araştırmanın her aşamasında yardımlarını hiç bir zaman esirgemeyen danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet BUDAK ve Sayın Dr. Oğuz Akın DÜZGÜN'e, tez izleme komitesinde yer alan ve önemli katkılar sağlayan Sayın Prof. Dr. Sadri ŞEN ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Habib UYSAL'a ve tez savunma jürisi Sayın Prof. Dr. Metin HÜSEM ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet Hamit ÖZYAZICIOĞLU'na teşekkür ederim.

Tez çalışmamın laboratuarda yapılan deneysel kısmında bir ekip olarak yardımlarını gördüğüm Sayın Yrd. Doç. Dr. Osman Ünsal BAYRAK, Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet Ferhat BİNGÖL, Sayın Dr. Oğuz Akın DÜZGÜN, Sayın Arş. Gör. Arif Emre SAĞSÖZ, Sayın Arş. Gör. Fatih Mehmet ÖZKAL, Sayın Arş. Gör. Mehmet Burhan KARAKOÇ ve Sayın Arş. Gör. Süleyman Nazif ORHAN'a teşekkür ederim.

Ayrıca deneysel çalışmalarım sırasında değerli vaktini ayırarak yardımcı olan Sayın Doç. Dr. Şemsettin TEMİZ'e ve SENSOR Teknolojileri San.ve Tic.Ltd.Şti.'nden Sayın Yurday AKGÜL ve Sayın Emre TOLAY'a teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmanın her aşamasında maddi ve manevi desteğini esirgemeyen eşim Hediye KUMBASAROĞLU ile Ümit KUMBASAROĞLU olmak üzere tüm aileme çok teşekkür ederim.Yine çalışma sırasında vakit ayıramadığım kızım Özge Meral'e de şükranlarımı sunarım.

Atila KUMBASAROĞLU

Mayıs 2010

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	3
1.2. Konuyla İlgili Genel Bilgiler.....	6
1.2.1. Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin davranışı	6
1.2.2. Dolgu duvarların dayanımı.....	12
1.2.3. Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin yük taşıma kapasitesi veya dayanımı...	14
1.2.4. Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin yatay rijitliği.....	16
1.2.5. Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin sünekliği.....	19
1.2.6. Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin enerji yutma özellikleri.....	21
1.2.7. Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin hasar biçimleri.....	23
1.2.8. Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin güçlendirilmesi.....	27
2. KAYNAK ÖZETLERİ	32
3. MATERYAL ve YÖNTEM	52
3.1. Materyal.....	54
3.1.1. Deney programı.....	54
3.1.2. Deney düzeneğinin oluşturulması.....	56
3.1.3. Deney programında kullanılan cihazlar.....	60
3.2. Yöntem.....	60
3.2.1. Yer değiştirme esaslı değerlendirme.....	60
3.2.2. Dayanım esaslı değerlendirme.....	61
3.2.3. Deneysel çalışmada yapılan kabuller.....	63

4. ARAŞTIRMA BULGULARI	67
4.1. Deney Numuneleri Üzerinde Gerçekleştirilen Çalışmalar	69
4.1.1. Ankraj çubukları kullanılmadan yapılan deneyler	69
4.1.1.a. Boş çerçeve deneyi.....	69
4.1.1.b. Birinci deneysel çalışma.....	73
4.1.1.c. İkinci deneysel çalışma.....	79
4.1.1.d. Üçüncü deneysel çalışma.....	85
4.1.1.e. Dördüncü deneysel çalışma.....	91
4.1.1.f. Beşinci deneysel çalışma.....	98
4.1.1.g. Altıncı deneysel çalışma.....	103
4.1.2. Ankraj çubukları kullanılarak yapılan deneyler.....	110
4.1.2.a. Ankraj çubuğuna ait çekme deneyi.....	110
4.1.2.b. Yedinci deneysel çalışma.....	112
4.1.2.c. Sekizinci deneysel çalışma.....	120
4.1.2.d. Dokuzuncu deneysel çalışma.....	129
4.1.2.e. Onuncu deneysel çalışma.....	138
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	174
5.1. Sonuçlar.....	175
5.2. Öneriler.....	176
KAYNAKLAR	178
ÖZGEÇMİŞ	182

SİMGELER DİZİNİ

A_c	Ankrajların toplam en kesit alanı (mm ²)
A_w	Duvar/çerçeve ara yüzeyindeki dolgu duvarların alanı (mm ²)
d	Sistem diyagonal uzunluğu (mm)
E_l	Dolgu panelinin elastisite modülü (MPa)
E_m	Dolgu duvar için elastisite modülü (MPa)
$E E_s$	Çerçeve malzemesinin elastisite modülü (MPa)
f'_{me}	Bir dolgu prizmasının beklenen basınç dayanımı (MPa)
f'_{me90}	Yatay doğrultuda dolgunun beklenen dayanımı (MPa)
h'	Dolgu yüksekliği (mm)
$(H)h$	Dolgu paneli yüksekliği (mm)
H'	Net duvar yüksekliği (mm)
$(I_c)I$	Kolon atalet momenti (m ⁴)
L	Dolgu paneli açıklığı (mm)
L'	Duvar açıklığı (mm)
N	Dolgu duvarındaki aksenal yük (N)
t	Dolgu duvar kalınlığı (mm)
V_{kayma}	Dolgu duvarın kayma kapasitesi (MPa)
V_{mi}	Dolgu duvarı tarafından taşınan kesmenin ilk katkısı (MPa)
V_{mf}	Dolgu duvarı tarafından taşınan kesmenin son katkısı (MPa)
W_{eff}	Efektif duvar genişliği (mm)
ν	Dolgu duvar ve çerçeve için Poisson oranı
γ	Dolgu duvar ve çerçeve için yoğunluk (kg/mm ³)
w	Basınç çubuğu genişliği (mm)
Δ	Ara kat kayması (deplasman) (mm)
Δu	Toplam yer değiştirme (mm)
Δy	Elastik sınırdaki yer değiştirme (mm)
Δ_{cr}	Yanal deplasman (mm)
α	Dolgu duvar ile çerçeve arasındaki teorik temas uzunluğu (mm)
$\beta(l/h)$	Dolgu duvarın uzunluk/genişlik oranı
σ_y	Kolondaki ortalama normal gerilme

τ_o	Derzlerin kohezif (yapışma) kapasitesi
μ	Süneklik
μ_f	Yatak derzi boyunca kaymada sürtünme katsayısı
θ	Dolgu diyagonalinin yatayla yaptığı açı
ϕ	Dolgu paneli kayma açısı
δ	Üsteki kirişin yer değiştirmesi (mm)
δ_i	Küçük deplasman (mm)
ϕ	Yatak derzi boyunca dolguya ait kaymada sürtünme açısı
ε	Düşey yöndeki birim kısalma
λ	Taşıma kapasitesi
$\lambda_n \cdot h$	Çerçevenin dolgu duvarına oranla rijitliği

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	Yatay yük etkisi altında dolgu duvarda oluşan basınç bölgesi ve dolgu duvarları temsil eden eşdeğer sanal çapraz çubuk (Kaltakçı vd 2003)	7
Şekil 1.2	Köşegen doğrultuda gerilme sonucunda oluşan orta şiddetteki çatlak (Karslıoğlu 2005)	11
Şekil 1.3	Köşe sıkıştırması sonucu oluşan ağır hasar (Karslıoğlu 2005)	12
Şekil 1.4	Beton blok ve çimento harcı ile örülen dolgu duvar için kırılma dayanımı - β oranı eğrileri (Peynirci 2007).....	14
Şekil 1.5	Dolgu duvarlı çerçevenin yatay yükler altındaki davranışa etkisi (Bayülke 2001)	15
Şekil 1.6	Tekrarlı ve yön değiştiren yüklemenin değişimi (Peynirci 2007).....	16
Şekil 1.7	Dolgu duvarlı çerçevenin yatay yük altında, dolgudan ayrılma noktaları ve sanal basınç çubuğunun oluşumu (Peynirci 2007)	17
Şekil 1.8	Dolgu duvarlı ve basit çerçevede çevrimsel yükler sonucunda rijitliğin değişimi (Govindan et al. 1986).....	19
Şekil 1.9	Yük-Yer değiştirme bağıntısı (Peynirci 2007).....	20
Şekil 1.10	Tekrarlı ve yön değiştiren yükleme etkisindeki sünekliklerin karşılaştırılması (Peynirci 2007).....	21
Şekil 1.11	Yük çevrimleri sırasında söndürülen enerji miktarı (Kızıloğlu 2006)...	22
Şekil 1.12	Tekrarlı ve yön değiştiren yükleme etkisinde yutulmuş toplam enerji miktarının karşılaştırılması (Peynirci 2007).....	22
Şekil 1.13	Çerçeve içindeki dolgu duvar hasar biçimleri (Bayülke 2003)	23
Şekil 1.14	Çerçeve içindeki dolgu duvar hasar biçimleri (Bayülke 2003)	24
Şekil 1.15	Dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yük altındaki davranışı (Peynirci 2007).....	25
Şekil 1.16	Dolgu duvarların çapraz basınç çubuklarla modellenmesi (Kızıloğlu 2006)	25
Şekil 1.17	Dolgu duvar hasarları (Kızıloğlu 2006)	26
Şekil 1.18	Çapraz gerilme sonucu oluşan orta şiddetteki çatlak (Peynirci 2007)...	26
Şekil 1.19	Farklı tekniklerle güçlendirilen çerçeve sistemlerin rölatif kesme kapasitesi (Phan <i>et al.</i> 1993).....	28
Şekil 1.20	Deneysel çalışmalarda kullanılan prototip dolgu duvarlı çerçeve sisteminin tanımlanması (Phan <i>et al.</i> 1993).....	30
Şekil 2.1	Dolgu duvarlı çerçeve sistemi (Karaduman 1998).....	33
Şekil 2.2	Diyagonal olarak yüklenmiş duvarların etkin genişliği (Karaduman 1998).....	34
Şekil 2.3	Dolgu duvar örneği (Tarakcı 2006).....	42
Şekil 2.4	Deneysel sonucu duvarın kırılma biçimi (Tarakcı 2006).....	43
Şekil 3.1	Dolgu duvarlı çelik çerçeve sisteme yerleştirilen ankraj çubukları	54
Şekil 3.2	Çelik çerçeve sistemde ankraj çubuklarının yerleşim detayı	55
Şekil 3.3	Dolgu duvarlı betonarme çerçeve sisteme yerleştirilen ankraj çubukları	55

Şekil 3.4	Betonarme çerçevesel sistemde ankraj çubuklarının yerleşim detayı	56
Şekil 3.5	Deneyel platformun planı	57
Şekil 3.6	Deneyel platforma ait A-A kesiti	57
Şekil 3.7	Deneyel platforma ait B-B kesiti	58
Şekil 3.8	Hazırlanan deney düzeneği	58
Şekil 3.9	Deney düzeneği ve deneyel kurulum	59
Şekil 3.10	Dolgu duvarlı çerçeve sisteminin deney düzeneği içerisindeki görünümü	64
Şekil 3.11	Ankraj çubuklarının yerleşimi için öngörülen boşlukların görünümü ..	64
Şekil 3.12	Sistem tabanına yerleştirilen mesnetlerin görünümü	65
Şekil 4.1	Boş çelik çerçeve sistemi	70
Şekil 4.2	Boş çelik çerçeve deneyi	70
Şekil 4.3	Boş çerçeve deneyinden elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi	71
Şekil 4.4	Boş çerçeve deneyine ait enerji yutma kapasitesi-yer değiştirme eğrisi	72
Şekil 4.5	Boş çerçeve deneyine ait yük-yer değiştirme eğrisi için başlangıç rijitliği	72
Şekil 4.6	Birinci deney numunesi	74
Şekil 4.7	Birinci deneyel çalışma	74
Şekil 4.8	Birinci deneyel çalışmadan elde edilen hasar seviyesi	76
Şekil 4.9	Birinci deneyel çalışmaya ait hasar seviyesi.....	76
Şekil 4.10	Birinci deneyel çalışmadan elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi.....	77
Şekil 4.11	Birinci deneyel çalışmaya ait enerji yutma kapasitesi-yer değiştirme eğrisi	78
Şekil 4.12	Birinci deneyel çalışmaya ait yük-yer değiştirme eğrisi için başlangıç rijitliği	78
Şekil 4.13	İkinci deney numunesi	80
Şekil 4.14	İkinci deneyel çalışma	80
Şekil 4.15	İkinci deneyel çalışmadan elde edilen hasar seviyesi.....	82
Şekil 4.16	İkinci deneyel çalışmaya ait hasar seviyesi.....	82
Şekil 4.17	İkinci deneyel çalışmadan elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi.....	83
Şekil 4.18	İkinci deneyel çalışmaya ait enerji yutma kapasitesi-yer değiştirme eğrisi	84
Şekil 4.19	İkinci deneyel çalışmaya ait yük-yer değiştirme eğrisi için başlangıç rijitliği	84
Şekil 4.20	Üçüncü deney numunesi	86
Şekil 4.21	Üçüncü deneyel çalışma.....	86
Şekil 4.22	Üçüncü deneyel çalışmadan elde edilen hasar seviyesi.....	88
Şekil 4.23	Üçüncü deneyel çalışmaya ait hasar seviyesi.....	88
Şekil 4.24	Üçüncü deneyel çalışmadan elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi....	89
Şekil 4.25	Üçüncü deneyel çalışmaya ait enerji yutma kapasitesi-yer değiştirme eğrisi.....	90

Şekil 4.26	Üçüncü deneysel çalışmaya ait yük-yer değiştirme eğrisi için başlangıç rijitliği	90
Şekil 4.27	Dördüncü deney numunesi	92
Şekil 4.28	Dördüncü deneysel çalışma.....	92
Şekil 4.29	Dördüncü deneysel çalışmadan elde edilen hasar seviyesi.....	94
Şekil 4.30	Dördüncü deneysel çalışmaya ait hasar seviyesi.....	94
Şekil 4.31	Dördüncü deneysel çalışmadan elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi..	95
Şekil 4.32	Dördüncü deneysel çalışmaya ait enerji yutma kapasitesi-yer değiştirme eğrisi.....	96
Şekil 4.33	Dördüncü deneysel çalışmaya ait yük-yer değiştirme eğrisi için başlangıç rijitliği	96
Şekil 4.34	Beşinci deney numunesi.....	98
Şekil 4.35	Beşinci deneysel çalışma.....	99
Şekil 4.36	Beşinci deneysel çalışmadan elde edilen hasar seviyesi.....	100
Şekil 4.37	Beşinci deneysel çalışmaya ait hasar seviyesi.....	100
Şekil 4.38	Beşinci deneysel çalışmadan elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi.....	101
Şekil 4.39	Beşinci deneysel çalışmaya ait enerji yutma kapasitesi-yer değiştirme eğrisi.	102
Şekil 4.40	Beşinci deneysel çalışmaya ait yük-yer değiştirme eğrisi için başlangıç rijitliği.....	102
Şekil 4.41	Altıncı deney numunesi.....	104
Şekil 4.42	Altıncı deneysel çalışma.....	104
Şekil 4.43	Altıncı deneysel çalışmadan elde edilen hasar seviyesi.....	106
Şekil 4.44	Altıncı deneysel çalışmaya ait hasar seviyesi.....	106
Şekil 4.45	Altıncı deneysel çalışmadan elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi.....	107
Şekil 4.46	Altıncı deneysel çalışmaya ait enerji yutma kapasitesi-yer değiştirme eğrisi	108
Şekil 4.47	Altıncı deneysel çalışmaya ait yük-yer değiştirme eğrisi için başlangıç rijitliği	108
Şekil 4.48	Ankraj çubuğunun çekme deneyinden elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi.....	111
Şekil 4.49	Ankraj çubuğunun çekme deneyinden elde edilen gerilme-şekil değiştirme eğrisi.....	111
Şekil 4.50	Yedinci deney numunesi.....	112
Şekil 4.51	Yedinci deneysel çalışma.....	113
Şekil 4.52	Yedinci deneysel çalışmadan elde edilen hasar seviyesi.....	114
Şekil 4.53	Yedinci deneysel çalışmaya ait hasar seviyesi.....	114
Şekil 4.54	Yedinci deneysel çalışmadan elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi.....	115
Şekil 4.55	Yedinci deneysel çalışmaya ait enerji yutma kapasitesi-yer değiştirme eğrisi.....	116
Şekil 4.56	Yedinci deneysel çalışmaya ait yük-yer değiştirme eğrisi için başlangıç rijitliği	116
Şekil 4.57	Yedinci deneyde ankraj çubuklarına yapıştırılan birim şekil değiştirme ölçerler	118

Şekil 4.58	Yedinci deneyde ankraj çubuklarından geçen düzlem gerilmeler	119
Şekil 4.59	Yedinci deneyde ankraj çubuklarından dolgu duvarına iletilen normal yükler	119
Şekil 4.60	Sekizinci deney numunesi.....	121
Şekil 4.61	Sekizinci deneysel çalışma.....	121
Şekil 4.62	Sekizinci deneysel çalışmadan elde edilen hasar seviyesi.....	123
Şekil 4.63	Sekizinci deneysel çalışmaya ait hasar seviyesi.....	123
Şekil 4.64	Sekizinci deneysel çalışmadan elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi.....	124
Şekil 4.65	Sekizinci deneysel çalışmaya ait enerji yutma kapasitesi-yer değiştirme eğrisi	125
Şekil 4.66	Sekizinci deneysel çalışmaya ait yük-yer değiştirme eğrisi için başlangıç rijitliği	125
Şekil 4.67	Sekizinci deneyde ankraj çubuklarına yapıştırılan birim şekil değiştirme ölçerler	127
Şekil 4.68	Sekizinci deneyde ankraj çubuklarından geçen düzlem gerilmeler	128
Şekil 4.69	Sekizinci deneyde ankraj çubuklarından dolgu duvarına iletilen normal yükler.....	128
Şekil 4.70	Dokuzuncu deney numunesi.....	130
Şekil 4.71	Dokuzuncu deneysel çalışma.....	130
Şekil 4.72	Dokuzuncu deneysel çalışmadan elde edilen hasar seviyesi.....	132
Şekil 4.73	Dokuzuncu deneysel çalışmaya ait hasar seviyesi.....	132
Şekil 4.74	Dokuzuncu deneysel çalışmadan elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi.....	133
Şekil 4.75	Dokuzuncu deneysel çalışmaya ait enerji yutma kapasitesi-yer değiştirme eğrisi	134
Şekil 4.76	Dokuzuncu deneysel çalışmaya ait yük-yer değiştirme eğrisi için başlangıç rijitliği	134
Şekil 4.77	Dokuzuncu deneyde ankraj çubuklarına yapıştırılan birim şekil değiştirme ölçerler	136
Şekil 4.78	Dokuzuncu deneyde ankraj çubuklarından geçen düzlem gerilmeler ..	137
Şekil 4.79	Dokuzuncu deneyde ankraj çubuklarından dolgu duvarına iletilen normal yükler	137
Şekil 4.80	Onuncu deney numunesi.....	139
Şekil 4.81	Onuncu deneysel çalışma.....	139
Şekil 4.82	Onuncu deneysel çalışmadan elde edilen hasar seviyesi.....	141
Şekil 4.83	Onuncu deneysel çalışmaya ait hasar seviyesi.....	141
Şekil 4.84	Onuncu deneysel çalışmadan elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi.....	142
Şekil 4.85	Onuncu deneysel çalışmaya ait enerji yutma kapasitesi-yer değiştirme eğrisi	143
Şekil 4.86	Onuncu deneysel çalışmaya ait yük-yer değiştirme eğrisi için başlangıç rijitliği	143

Şekil 4.87	Onuncu deneyde ankraj çubuklarına yapıştırılan birim şekil değiştirme ölçerler	145
Şekil 4.88	Onuncu deneyde ankraj çubuklarından geçen düzlem gerilmeler	146
Şekil 4.89	Onuncu deneyde ankraj çubuklarından dolgu duvarına iletilen normal yükler.....	146
Şekil 4.90a	Enerji yutma kapasitesi açısından çelik çerçevesel sistemlerde deneysel çalışmaların özeti	150
Şekil 4.90b	Enerji yutma kapasitesi açısından çelik çerçevesel sistemlerde deneysel çalışmaların özeti	151
Şekil 4.91a	Enerji yutma kapasitesi açısından betonarme çerçevesel sistemlerde deneysel çalışmaların özeti	152
Şekil 4.91b	Enerji yutma kapasitesi açısından betonarme çerçevesel sistemlerde deneysel çalışmaların özeti	153
Şekil 4.92a	Başlangıç rijitliği açısından çelik çerçevesel sistemlerde deneysel çalışmaların özeti	154
Şekil 4.92b	Başlangıç rijitliği açısından çelik çerçevesel sistemlerde deneysel çalışmaların özeti	155
Şekil 4.93a	Başlangıç rijitliği açısından betonarme çerçevesel sistemlerde deneysel çalışmaların özeti	156
Şekil 4.93b	Başlangıç rijitliği açısından betonarme çerçevesel sistemlerde deneysel çalışmaların özeti	157
Şekil 4.94a	Ortalama kayma gerilmesi açısından çelik çerçevesel sistemlerde deneysel çalışmaların özeti	158
Şekil 4.94b	Ortalama kayma gerilmesi açısından çelik çerçevesel sistemlerde deneysel çalışmaların özeti	159
Şekil 4.95a	Ortalama kayma gerilmesi açısından betonarme çerçevesel sistemlerde deneysel çalışmaların özeti	160
Şekil 4.95b	Ortalama kayma gerilmesi açısından betonarme çerçevesel sistemlerde deneysel çalışmaların özeti	161
Şekil 4.96a	Ankraj çubukları düzlem gerilmeleri açısından deneysel çalışmaların özeti	162
Şekil 4.96b	Ankraj çubukları düzlem gerilmeleri açısından deneysel çalışmaların özeti	163
Şekil 4.96c	Ankraj çubukları düzlem gerilmeleri açısından deneysel çalışmaların özeti	164
Şekil 4.96d	Ankraj çubukları düzlem gerilmeleri açısından deneysel çalışmaların özeti	165
Şekil 4.97a	Ankraj çubukları normal yükleri açısından deneysel çalışmaların özeti	166
Şekil 4.97b	Ankraj çubukları normal yükleri açısından deneysel çalışmaların özeti	167
Şekil 4.97c	Ankraj çubukları normal yükleri açısından deneysel çalışmaların özeti	168
Şekil 4.97d	Ankraj çubukları normal yükleri açısından deneysel çalışmaların özeti	169
Şekil 4.98a	Ankraj çubukları ortalama düzlem gerilmeleri açısından deneysel çalışmaların özeti	170

Şekil 4.98b	Ankraj çubukları ortalama düzlem gerilmeleri açısından deneysel çalışmaların özeti	171
Şekil 4.99a	Ortalama ankraj çubukları normal yükleri açısından deneysel çalışmaların özeti.....	172
Şekil 4.99b	Ortalama ankraj çubukları normal yükleri açısından deneysel çalışmaların özeti.....	173

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1	Duvar deneylerinden hesaplanmış nominal kesme dayanımları.....	13
Çizelge 4.1	Boş çerçeve deneyine ait deney numunesinin özellikleri.....	71
Çizelge 4.2	Boş çerçeve deneyine ait yer değiştirme esaslı değerlendirme.....	73
Çizelge 4.3	Birinci deneysel çalışmaya ait deney numunesinin özellikleri	75
Çizelge 4.4	Birinci deneysel çalışmaya ait yer değiştirme esaslı değerlendirme...	79
Çizelge 4.5	Birinci deneysel çalışmaya ait gerilme esaslı değerlendirme.....	79
Çizelge 4.6	İkinci deneysel çalışmaya ait deney numunesinin özellikleri.....	81
Çizelge 4.7	İkinci deneysel çalışmaya ait yer değiştirme esaslı değerlendirme.....	85
Çizelge 4.8	İkinci deneysel çalışmaya ait gerilme esaslı değerlendirme.....	85
Çizelge 4.9	Üçüncü deneysel çalışmaya ait deney numunesinin özellikleri.....	87
Çizelge 4.10	Üçüncü deneysel çalışmaya ait yer değiştirme esaslı değerlendirme.	91
Çizelge 4.11	Üçüncü deneysel çalışmaya ait gerilme esaslı değerlendirme.....	91
Çizelge 4.12	Dördüncü deneysel çalışmaya ait deney numunesinin özellikleri.....	93
Çizelge 4.13	Dördüncü deneysel çalışmaya ait yer değiştirme esaslı değerlendirme.....	97
Çizelge 4.14	Dördüncü deneysel çalışmaya ait gerilme esaslı değerlendirme.....	97
Çizelge 4.15	Beşinci deneysel çalışmaya ait deney numunesinin özellikleri.....	99
Çizelge 4.16	Beşinci deneysel çalışmaya ait yer değiştirme esaslı değerlendirme..	103
Çizelge 4.17	Beşinci deneysel çalışmaya ait gerilme esaslı değerlendirme.....	103
Çizelge 4.18	Altıncı deneysel çalışmaya ait deney numunesinin özellikleri.....	105
Çizelge 4.19	Altıncı deneysel çalışmaya ait yer değiştirme esaslı değerlendirme...	109
Çizelge 4.20	Altıncı deneysel çalışmaya ait gerilme esaslı değerlendirme.....	109
Çizelge 4.21	Yedinci deneysel çalışmaya ait deney numunesinin özellikleri.....	113
Çizelge 4.22	Yedinci deneysel çalışmaya ait yer değiştirme esaslı değerlendirme.	117
Çizelge 4.23	Yedinci deneysel çalışmaya ait gerilme esaslı değerlendirme.....	117
Çizelge 4.24	Yedinci deneyde ankraj çubuklarından geçen düzlem gerilmeler ve dolgu duvarına iletilen normal yükler.....	120
Çizelge 4.25	Sekizinci deneysel çalışmaya ait deney numunesinin özellikleri.....	122
Çizelge 4.26	Sekizinci deneysel çalışmaya ait yer değiştirme esaslı değerlendirme.....	126
Çizelge 4.27	Sekizinci deneysel çalışmaya ait gerilme esaslı değerlendirme.....	126
Çizelge 4.28	Sekizinci deneyde ankraj çubuklarından geçen düzlem gerilmeler ve dolgu duvarına iletilen normal yükler.....	129
Çizelge 4.29	Dokuzuncu deneysel çalışmaya ait deney numunesinin özellikleri...	131
Çizelge 4.30	Dokuzuncu deneysel çalışmaya ait yer değiştirme esaslı değerlendirme.....	135
Çizelge 4.31	Dokuzuncu deneysel çalışmaya ait gerilme esaslı değerlendirme.....	135

Çizelge 4.32	Dokuzuncu deneyde ankraj çubuklarından geçen düzlem gerilmeler ve dolgu duvarına iletilen normal yükler	138
Çizelge 4.33	Onuncu deneysel çalışmaya ait deney numunesinin özellikleri.....	140
Çizelge 4.34	Onuncu deneysel çalışmaya ait yer değiştirme esaslı değerlendirme.	144
Çizelge 4.35	Onuncu deneysel çalışmaya ait gerilme esaslı değerlendirme.....	144
Çizelge 4.36	Onuncu deneyde ankraj çubuklarından geçen düzlem gerilmeler ve dolgu duvarına iletilen normal yükler.....	147

1. GİRİŞ

Yapıda farklı mekânları birbirinden ayıran ve yapının dış ortamlardan ayrılmasını sağlayan dolgu duvarlar, bu özellikleri ile vazgeçilmezdirler. Ayrıca ağırlıkları ve davranışları ile yapıyı önemli ölçüde etkilerler. Ülkemizde ise henüz dolgu duvarlı çerçeve hesaplarının yapısal çözümlemesinde dolgu duvarlar dikkate alınmamaktadır (Budak 1997). Bunun nedeni ise, dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin hesabı için davranışı yeterince modelleyen pratik bir hesap yönteminin henüz geliştirilmemiş olmasıdır.

Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerde yüklerin artışına bağlı olarak, çerçeve ve dolgu duvar arasında bazı kısımlarda ayrılma ve dolgu duvar içinde çatlaklar oluşmaktadır. Ayrılma ve çatlaklar değişen yüklerle dolgu duvar ile çerçeve arasında ve çatlak yüzeylerinde temas halinde olduğundan, dolgu duvar ile çerçeve ara yüzeyinde ve çatlak yüzeyindeki bölgelerde sürtünme kuvvetlerini doğurmaktadır. Oluşan sürtünme kuvvetleri yanında, dolgu duvar malzemesinin içsel sönümü yapının dayanım ve rijitliği ile enerji yutma kapasitesini artırmaktadır (Budak 1997).

Yapısal taşıyıcı elemanların içinde bulunan ve genellikle bölme duvar veya dış kaplama olarak gereksinimi karşılayan dolgu duvarlar, kâgir bloklardan ve harçtan oluşmaktadır. Kâgir bloklar tuğla, taş, kalsiyum silikat, kil veya beton olabilmektedir.

Dolgu duvarlar genellikle rüzgâr, deprem, makineler gibi titreşim etkilerinin sebep olduğu hareketli yüklere karşı koymada işe yarayabilen çelik veya diğer donatılar olmaksızın yapısal çerçevenin içinde inşa edilen duvarlardır. Yapısal zayıflık, aşırı-yüklenme, dinamik titreşimler, oturmalar ile düzlem-içi ve düzlem-dışı deformasyonlar, dolgu duvarların zarar görmesine neden olabilir. Depremler veya yüksek rüzgâr basınçlarının sebep olduğu düzlem-dışı yüklere maruz kaldıklarında dayanıksızdırlar.

Ülkemizde önemli deprem bölgelerindeki binaların birçoğu orta şiddetteki bir deprem karşısında bile hasara uğrayabilecek durumdadır. Çünkü dolgu duvarlı çerçeve

elemanlarının büyük bir çoğunluğunun süneklik sorunlarının yanında, yeterli yatay rijitliğe sahip olmadıkları geçmiş depremlerde hasar görmüş yapılarda gözlenmiştir. Bu tür yapıların depreme karşı rehabilite edilmesi amacıyla, taşıyıcı çerçevelerin arasında donatılı dolgu duvar uygulaması etkin olarak kullanılmaktadır. Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin çeşitli yükler altındaki davranışı ve dolgu duvarların sismik olarak güçlendirilmesi konusu son yıllarda araştırmacıların ilgisini giderek daha çok çekmektedir.

Çerçeve sistemlerde dolgu duvarların etkisi yapı yatay rijitliğini artırıcı yönde olmasına karşın, binadaki rastgele dolgu duvar inşasıyla yapı rijitlik merkezinin, kütle merkezinden uzağa düşmesi sonucu yapıda burulmalara ve yapının bazı bölümlerinde kısa kolon davranışı gibi olumsuz etkileri de söz konusu olmaktadır. Bu durumda, boş çerçeve sistemi ile dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin ve güçlendirilmiş (donatılı) dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin dinamik özelliklerinin birbirlerinden çok farklı olacağı söylenebilir.

Yine yapıların çerçeve sistemlerinde, güçlendirilmiş dolgu duvarlar ile yapının düzlemsel çekme ve düzlemsel eğilme kapasitelerinin önemli derecede artırıldığı ancak bu işlemle yapının aşırı rijit davranış göstermemesi için de yapıda belli sayıda çerçevelerde uygulanması gerektiği unutulmamalıdır.

Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin sağlıklı modellenmesi ancak bu davranış biçimlerinin hesaba katılmasıyla mümkün olabilir.

Dolgulu çerçeve sistem hesabındaki karmaşıklık ve güçlük, genelde, dolgu duvarlarının yapıların yatay yükler altındaki davranışına etkileri, hesaplarda ihmal edile gelmiştir. Bu ihmal emniyet lehine olabileceği gibi, bazen büyük yanılgılara da neden olabilir. Ne var ki, halen, yapısal sistemlerin davranışını dolgu duvarların ne şekilde etkilediği ve ne ölçüde olumlu ve olumsuz katkıları olduğu açık bir şekilde ortaya konulabilmiş ve güvenilir hesap modelleri oluşturulabilmiş değildir (Karaduman 1998).

Yapılarda bulunması kaçınılmaz olan dolgu duvarların yapı rijitliğini, güçlendirilmiş dolgu duvarların ise düzlem-içi çekme ve düzlem-dışı eğilme kapasitelerini artırıcı etkilerinin araştırılması, yapı tasarımı, yapı güvenliği ve yapı ekonomikliği açısından önemlidir. Dolgu duvar davranışının modellenenebilmesi durumunda, yapıların yatay rijitliğine olan olumlu katkıları göz önüne alınabilecek ve daha güvenli yapıların inşası sağlanacaktır.

Yapılarda, dolgu duvarlı çerçeve sistemlerinin deprem gibi yanal olarak etkiyen yükler karşısında stabilitesini koruyabilmesi ve çerçeve sistemiyle bir bütün olarak davranabilmesi için birleşiminin tam anlamıyla sağlanması gerekmektedir. Bu iki farklı elemanın birbirlerinden ayrılmadan, birlikte davranabilmesi durumunda, davranış daha basit hale geleceğinden, uygulamada kabul görece, pratik ve güvenilir bir modelleme geliştirilebilir.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada, dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin deprem davranışlarının anlaşılması amacıyla, çerçeve ve dolgu duvar arasında bağlantıyı sağlayan ankraj çubuklarının dolgu duvarlı çerçeve sistemlerine katkısının araştırılması doğrultusunda deneysel çalışmalar yapılmıştır. Çalışmada ana parametre, birleşimi sağlayan ankraj çubuklarının dolgu duvarlı çerçeve sistemlerine olan etkisidir. Bunun için deney programı ve deney düzeneği geliştirilmiştir. Deneysel çalışmada, ¼ ölçekte tek katlı tek açıklıklı dolgu duvarlı çerçeve sistemi ele alınmıştır. Dolgu duvarlı çerçeve sisteminde, dolgu duvar malzemesi yerinde dökme betondan oluşurken, çerçeve ise çelik profil ve betonarme çerçeve olarak seçilmiştir. Dolgu duvarlar ile çerçeve arasındaki bağlantı çelik ankraj çubukları ile sağlanmıştır.

Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerde, ankraj çubukları etkisinin etkin bir şekilde elde edilebilmesi için geliştirilen deney programı ve deney düzeneğine bağlı olarak laboratuarda deneyler yapılmıştır.

Geliştirilen deney programı ve deney düzeneği kapsamında deney numunesi ¼ ölçekte tek katlı tek açıklıklı olarak üretilmiştir. Dolgu duvar malzemesi yerinde dökme beton, çerçeve betonarme ve çelik profil ve ankraj çubukları çelik malzeme olarak seçilmiştir. Beton dolgu duvarı tüm deneylerde 7 (yedi) gün süreyle kür edilmiş, ¼ ölçekteki deney numunesi betonun en büyük agrega boyutu 7 mm seçilmiştir. Ankraj çubukları için Ø4 mm'lik bir çapın kullanılmıştır. Dolgu duvarlı çerçeve modeli, deney düzeneğinde kendi ağırlığında tutulmuş ve köşegeninden yüklenmiştir. Yükleme her model için aynı olmak koşuluyla, dolgu duvarının çatlama yüküne erişmesine kadar modelin üst kısmından artımlı olarak yapılmıştır. Deneylerde sürtünmeden kaynaklanan etkilerin azaltılması için sistem tabanına silindir mesnetler yerleştirilmiştir.

Deney programı hasar-kontrollü bir şekilde yürütülmüş olup, yükleme programı tanımlanan bir hasar derecesine kadar artımlı olarak gerçekleştirilmiş ve tanımlanan hasar derecesi sağlandığında deneye son verilmiştir. Tanımlanan hasar derecesi bu çalışma için çatlama yükü olarak kabul edilmiştir. Çatlama yüküne kadar oluşması beklenen davranış başlangıç çatlama veya ara yüzey çatlağı, çekme veya çapraz çatlaklar, mesnetlerde dolgu ezilmesi ve köşe kırılması/ezilmesi ve serbest mesnetlerde dolgu ayrılmasıdır.

Dolgu duvarlı çerçevelerde başlangıç çatlama (ilk çatlama) genellikle çekme köşegeni uç bölgelerinin çerçeve duvar derzlerinde (ara yüzey) meydana geldiği gözlenmiştir. Ancak, bu bölgelerde oluşan çatlakların dolgulu çerçeve rijitliğini hemen hemen hiç değiştirmediği, yük-yer değiştirme eğrisinin duvarda gövde çatlakları (çekme veya çapraz çatlaklar) ve/veya basınç köşegeni ucunda kesme veya ezilme çatlakları görülünceye kadar sürdüğü görülmüştür (Karaduman 2004).

Literatür çalışmalarında genelde sistemin tamamen kırılmasına kadar göçme yükü, bu yükün yaklaşık yarısı kadarı da çatlama yükü olarak, belirlenen bir hasar derecesine kadar tanımlanmıştır. Ancak bu hasar derecesi yük-yer değiştirme eğrisinin doğrusal kısmını oluşturmakta ve serbest mesnetlerdeki dolgu ayrılmasını kapsamamaktadır. Bu çalışmada kabul edilen çatlama yükü, başlangıç çatlama veya ara yüzey çatlağının

oluşumuyla sınırlı tutulmamış, dolgu duvar yüzeyinde çekme veya çapraz çatlaklar, mesnetlerde dolgu ezilmesi ve köşe kırılması/ezilmesi ve serbest mesnetlerde dolgu ayrılması oluşuncaya kadar devam ettirilmiştir. Çatlama yüküne kadar sisteme yük aktarımı sağlanabilmiş, ancak çatlama yüküne kadar oluşan hasar seviyesinden sonra ise yük sabit iken yer değiştirmeler devam ettiğinden ve sistemin davranışı plastik bölgeye geçtiğinden, ankraj çubukları katkısının daha anlaşılır yorumlanabilmesi için deneye son verilmiştir.

Bu çalışmanın deney programında, ¼ ölçekli tek katlı tek açıklıklı dolgu duvarlı çerçeve sistemi çapraz köşegeninden yüklenerek, hasar-kontrollü bir şekilde yürütülmüştür. Yükleme programı çatlama yüküne kadar artımlı olarak gerçekleştirilmiş ve çatlama yükü sağlandığında deneye son verilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda her bir numunenin davranış (yük-yer değiştirme) eğrisi elde edilmiş ve bu eğrilerden yararlanılarak enerji yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği hesaplanmıştır. Elde edilen yük-yer değiştirme eğrisinde, başlangıç rijitliği çelik çerçeveli sistemler için 1,50 mm ve betonarme çerçeveli sistemler için de 0,75 mm'lik bir yer değiştirme miktarında hesaplandığından, enerji yutma kapasitesi de bu yer değiştirme miktarına göre hesaplanmış ve değerlendirilmiştir. Ayrıca, enerji yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği çatlama yüküne karşılık gelen yer değiştirme miktarında da hesaplanmış ve değerlendirilmiştir. Bu deneysel çalışmada, beton dolgu duvara ait malzeme sabitleri kullanılarak, çatlama yüküne kadar oluşan hasar seviyesinde, düzlem şekil değiştirme hali kabulüyle, dolgu duvarda oluşan ortalama kayma gerilmeleri hesaplanarak dayanım esaslı değerlendirme yapılmıştır. Çalışmada ayrıca, ankraj çubukları kullanılarak yapılan deneylerde, dolgu duvar ile çerçeve arasındaki birleşimi sağlayan ankraj çubuklarına birim şekil değiştirme ölçerler yapıştırılmış ve ankraj çubuklarından geçen düzlem gerilmeler ile ankraj çubukları vasıtasıyla dolgu duvarına iletilen normal yükler hesaplanarak dayanım esaslı değerlendirme yapılmıştır. Ön görülen yüklemde eğilmeye çalışan çerçeve ile kaymaya çalışan dolgu duvarının birlikte davranıp davranmadığı tespit edilmiştir.

1.2. Konuyla İlgili Genel Bilgiler

Dolgu duvarlar üzerine birçok araştırmalar yapılmış ve dolgu duvarların yatay yükler altındaki davranışları incelenmiştir. Dolgu duvarların dayanımı, yük taşıma kapasitesi, rijitliği, süneklik davranışı ve enerji yutma özellikleri incelenmiştir. Bu araştırmalar yapılırken biri dolgu duvarsız basit çerçeve diğeri ise dolgu duvarlı betonarme çerçeve olarak iki çerçeve sistemi kullanılmış ve deneyler yapılmıştır. Yük taşıma kapasitesi, rijitlik, süneklik ve enerji yutma özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan deneylerde çerçevelere tekrarlı ve yön değiştiren yükler uygulanmıştır (Peynirci 2007).

Devam eden bölümlerde çalışma ile ilgili olması itibariyle, dolgu duvarlı çerçeve sistemler hakkında gerekli bilgiler verilmiştir.

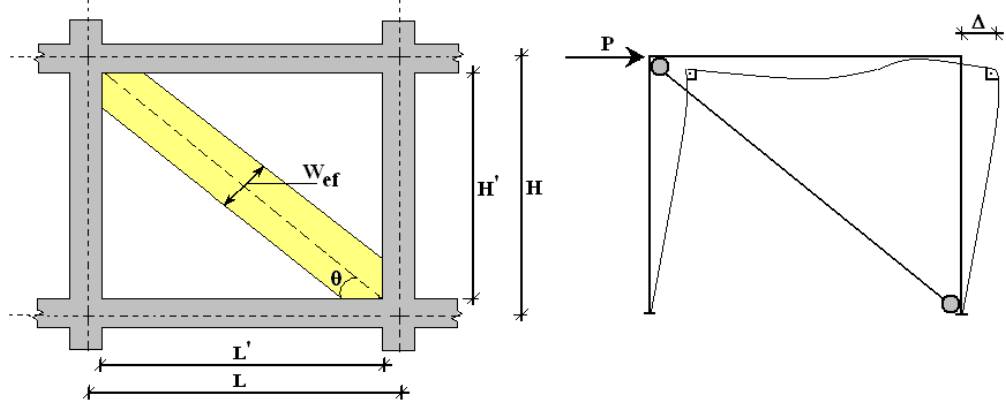
1.2.1. Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin davranışı

Betonarme binalarda yatay yükler söz konusu olduğunda, dolgu duvarlı çerçeve sisteminin davranışı, birçok parametreye bağlı olarak, kompleks bir mekanizmaya dönüşmektedir. Yatay yüklemelerden dolayı sistemde birbirlerine bağlı olarak oluşan karmaşık davranış, birkaç türden oluşabilmektedir. Bunun için belirlenecek olan bir kırılma moduna göre sistemden beklenen davranışlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1-Eğilme: Bu davranış yatay yükün etkimesi sırasında sisteminin yer değiştirme göstererek kemerlenmeyle birlikte eğilme kapasitesini ifade etmektedir. Eğilme gösterebilen bir sistemin yük taşıma kapasitesinin dolayısıyla yanal rijitliğinin yeterli olacağı söylenebilir. Eğilme davranışı için kırılma modu, eğilme modu olarak tariflenmektedir.

Yatay yük seviyesinin küçük değerleri için betonarme çerçeve ve dolgu duvar birlikte hareket etmektedir. Sistemdeki yatay yer değiştirmeler arttıka çerçeve, eğilme modunda hareket etmekte ve dolgu duvarlar buna engel olmaya çalışmaktadır. Yükün

artırılmasıyla, dolgu duvar kolon-kiriş birleşim bölgelerinde açılmalar oluşmakta ve dolgu duvar üzerinde çapraz basınç çubuğu oluşmaktadır. Şekil 1.1’de yatay yük etkisi altında dolgu duvarda oluşan basınç bölgesi gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Yatay yük etkisi altında dolgu duvarda oluşan basınç bölgesi ve dolgu duvarları temsil eden eşdeğer sanal çapraz çubuk (Kaltakçı vd 2003)

Dolgu duvarı temsil eden eşdeğer sanal çapraz çubuğun mekanik ve geometrik özelliklerinin belirlenmesi son derece önemlidir (Kaltakçı vd 2003).

$$d = \sqrt{H^2 + L^2} \quad (1.1)$$

$$W_{ef} = 0.175 \cdot (\lambda \cdot H)^{-0.4} \cdot \sqrt{H^2 + L^2} \quad (1.2)$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{E_m \cdot t \cdot \sin 2\theta}{4 \cdot E_s \cdot I_c \cdot h}} \quad (1.3)$$

Burada; d, çapraz uzunluk, t, dolgu duvar kalınlığı, W_{ef} , eşdeğer basınç çubuğunun etkili genişliği, E_m , Elastisite Modülü (dolgu duvar için), E_s , Elastisite Modülü (çerçeve için), λ , taşıma kapasitesi, H' , net duvar yüksekliği, H, dolgu duvar yüksekliği, L' , net duvar açıklığı, L, dolgu açıklığı, θ , dolgu duvar basınç çubuğunun yatayla yaptığı açı, I_c , kolonların atalet momentleridir.

2-Kesme: Bu davranış eğilme moduna bağlı olarak eğilmede kesme ve kaymada kesme davranışları olarak tanımlanmaktadır. Genellikle düzlem yüklerle kaymada kesme davranışı, düzlem olmayan yüklerle de eğilmede kesme davranışı söz konusudur.

Kaymada kesme davranışı: Dolgu duvarının başlangıçtaki kayma-kesme kapasitesini değerlendirmek için Mohr-Coulomb kırılma kriteri kullanılabilir. Bu kriter aşağıdaki bağıntı ile ifade edilmektedir (Karlıoğlu 2005):

$$V_{kayma} = (\tau_o + \sigma_y \cdot \tan\phi) \cdot L \cdot t = \mu \cdot N \quad (1.4)$$

Burada τ_o , dolgu duvar yatak derzlerine ait kohezif (yapışma) kapasitesi olup, aşağıdaki gibi ifade edilmektedir;

$$\tau_o = \frac{f'_{me90}}{20} \quad (1.5)$$

(1.4) ifadesinde ϕ , bir yatak derzi boyunca dolguya ait kaymada sürtünme açısı olup, $\mu = \tan\phi$ bağıntısı söz konusudur. Burada μ , yatak derzi boyunca kaymada sürtünme katsayısıdır. Aynı bağıntıda σ_y , kolondaki ortalama normal gerilme ve L ile t ise sırasıyla dolgu duvar açıklığı ve kalınlığını ifade etmektedir. (1.5) ifadesinde f'_{me90} , yatay doğrultuda dolgunun beklenen dayanımıdır.

Periyodik yükleme sonucu dolgu duvarın birbirini tutma dayanımı kaybolduğu halde, dolgu duvarı yatak derzindeki kesme kırılması boyunca kaymaya direnç yeteneğine sahiptir. Sonuç olarak Mohr-Coulomb kırılma kriteri aşağıdaki değere kadar azalmaktadır:

$$V_{kayma} = (\sigma_y \cdot \tan\phi) \cdot L \cdot t = \mu \cdot N \quad (1.6)$$

Burada N , dolgu panelindeki düşey yüküdür. Katlar arası yer değiştirmeler küçük ise $V_{kayma} \approx 0$ 'dır. Çünkü σ_y sadece panelin kendi ağırlığından kaynaklanmaktadır. Ancak, görelî kat ötelemesi büyük olduğunda panel boyu kısılacığından, sınır kolonları düşey bir yükün etkisinde kalır. Paneldeki düşey birim kısalma (ε) aşağıdaki bağıntıyla ifade edilmektedir:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{h} = \varphi \frac{\Delta}{h} = \varphi^2 \quad (1.7)$$

Burada δ , dolgu paneli kayma açısının (φ) bir sonucu olarak üstteki kirişin aşağı doğru olan hareketini, h , kat yüksekliğini (dolgu paneli yüksekliği), Δ , ara kattaki kayma miktarını (yer değiştirme) ve φ , dolgu paneli kayma açısıdır. Dolgu duvardaki eksenel yük ise aşağıdaki bağıntıyla hesaplanabilir:

$$N = \varepsilon \cdot L \cdot t \cdot E_m \quad (1.8)$$

(1.6), (1.7) ve (1.8)'deki denklemlerin sonucunda dolgu duvarın kaymada-kesme kapasitesi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir:

$$V_{kayma} = \mu \cdot L \cdot t \cdot E_m \cdot \varphi^2 \quad (1.9)$$

Eğilmede Kesme Davranışı: Dolgu duvarı tarafından taşınan kesmenin ilk ve son katkısı aşağıdaki ifadeyle tanımlanmaktadır:

$$V_{mi} = A_{vh} \cdot 2\sqrt{f_{me}} \quad (1.10)$$

$$V_{mf} = 0,3V_{mi} \quad (1.11)$$

Burada V_{mi} , birinci tekrarlı yüklemde tüketilen başlangıçtaki mevcut kesme kapasitesi, V_{mf} , tekrarlı yüklem sonundaki kesme kapasitesi, A_{vh} , dolgu panelin yataydaki kesme alanı, f_{me} , bir dolgu prizmasının beklenen basınç dayanımını ifade etmektedir. Boşluksuz bir dolgu duvarında kesme alanı için aşağıdaki bağıntı geçerlidir;

$$A_{vh} = L.t \quad (1.12)$$

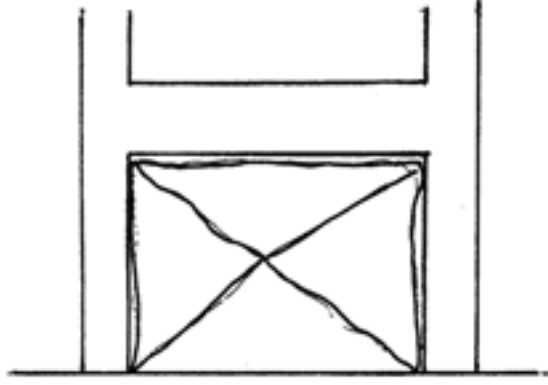
Bu bağıntılardaki değerler dolgu duvarın periyodik yüklem direncine üst ve alt sınırlar koymaktadır (Karşlıoğlu 2005).

3-Yapışmanın Azalması: Dolgu duvar ile çerçeve arasındaki yapışmanın azalması ile ortaya çıkan davranış olup, çoğu zaman yapının kararsız davranışına sebebiyet vererek, yapının erken kırılmasına neden olurlar. Bu davranışın da düzlem-içi eğilme ve düzlem-dışı kesme davranışından büyük ölçüde etkilendiği ve bu davranışları da etkilediği aşikârdır. Bu davranış aynı zamanda güçlendirme yapılan sistemlerde çerçeveye tutturulan ankraj çubukları ile beton arasında da söz konusu olabilmektedir.

4-Mesnetlerde Dolgu Ezilmesi ve Köşe Ezilmesi/Kırılması: Yükleme sistematığında önce çerçeve yüklenir ve sonra bu yükün büyük bir bölümü dolgu duvarlara aktarılır. Yeterli yanal rijitliğe sahip olmayan sistemlerde sonuç olarak eğilme, kesme, yapışma, çatlama gibi kapasitelerin aşılması sonucu olabilecek bir davranıştır. Yatay yükler söz konusu olduğunda, bu davranışın gerçekleşmesi ile sistemin tüm dayanımı yarı yarıya azalabilmektedir.

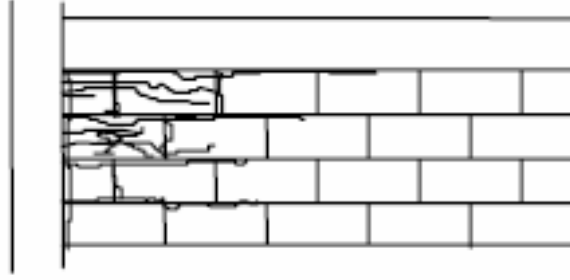
Dolgu duvarlı bir çerçeve sisteminin düzlemindeki yanal yüklem altında dolgu duvarın köşegenleri doğrultusunda yüksek basınç gerilmeleri oluşmaktadır. Gerilme-birim yer değiştirmeler, sistemde dolgu panel malzemesinin çatlama birim yer değiştirmesini aştığı zaman çapraz çatlamlar oluşmaktadır. Bu çatlaklar dolgu duvarın merkezinde başlamakta ve basınç köşegenlerine paralel bir şekilde ilerlemektedir (Şekil 1.2). Katlar arasındaki yer değiştirmeler arttıkça, çapraz çatlaklar karşılıklı iki köşeye uzanana kadar

yayılma eğilimi göstermektedir. Bu çatlama biçimi, yüksek yanal yüklemeye maruz birçok dolgu panelde gerçekleşen bir olaydır ve bazen yatay derz kayması ile birlikte gerçekleşmektedir. Çapraz çatlama davranışı genellikle, yeni bir sanal basınç çubuğu davranış şeklinin oluşumuna işaret etmektedir (Karslıoğlu 2005).



Şekil 1.2. Köşegen doğrultuda gerilme sonucunda oluşan orta şiddetteki çatlak (Karslıoğlu 2005)

Yanal yüklemeye altında dolgu duvarlı çerçeve sistemlerde köşe sıkıştırma şekillerinden bazılarının olması kaçınılmazdır. Bu olay, sıkıştırma çapraz doğrultuların her iki köşesindeki yüksek gerilme yığılmaları yüzünden oluşmaktadır. Güçlü/rijit kolonlar ve kirişler için köşe ezilmesi kısmen küçük bir bölge üzerinde olurken, daha zayıf çerçeveler için, özellikle beton çerçeveler, köşe kırılması daha yaygındır ve hasar, beton çerçeveye kadar erişebilmektedir. Katlar arası yer değiştirme artarken, köşedeki duvar parçalarının tamamen bozulmasına kadar uzanan belirli köşe ezilmeleri oluşmaktadır. Bu olay gerçekleştiğinde ezilme, kolon ve/veya kirişin orta noktalarına doğru yayılmaktadır. Bu durumu temsilen Şekil 1.3’de köşe sıkıştırması sonucu oluşan ağır hasar görülmektedir (Karslıoğlu 2005).



Şekil 1.3. Köşe sıkıştırması sonucu oluşan ağır hasar (Karşlıoğlu 2005)

Çalışmalar göstermiştir ki yatay olarak etkiyen yükün büyük bir bölümünü dolgu duvarlar karşılamaktadır. Bu durumda dolgu duvarlı çerçeve sisteminde, yatay yüklerin karşılanması açısından çerçeve ile dolgu duvarın birlikte davranışı çok önemlidir.

1.2.2. Dolgu duvarların dayanımı

Dolgu duvarların önemli dayanım özelliği duvardaki bloğun dayanımı ile duvarın bir bütün olarak dayanımıdır. Çünkü duvardaki tuğla ile beton bloğun dayanımı ile tuğla, harç ve işçilikten oluşan duvarın dayanımı farklıdır. Duvarın kendi düzlemi içinde yatay derzlerine dik ve paralel etkiyen yükler altında dayanımları önemlidir. Derzlere dik yönde gelen yüklere dayanım duvarın “basınç” dayanımı, yatay yönde gelen yüklere dayanım “kesme” dayanımıdır. Deprem yükleri açısından duvarın kesme dayanımı önemlidir (Bayülke 2003).

Dolgu duvarın perde duvar olarak nitelenmesi kesme kuvveti taşımasının beklendiğini gösterir. Bu dayanım duvarın basınç dayanımına bağlı olarak verilebilir. Duvarın basınç dayanımı ise duvardaki blok, harç dayanımı ve derzlere konulan harç kalınlığı ve yatay ve düşey derzlere harç konulmasına bağlıdır (Bayülke 2003).

Genellikle duvarın basınç dayanımı tuğla ya da blok basınç dayanımının %25-50’si kadardır. Temel ilke yüksek dayanımlı tuğla ile yüksek dayanımlı harç kullanmaktır. Yüksek dayanımlı harç ile düşük dayanımlı tuğla kullanmanın duvar dayanımına katkısı

sınırlıdır. Deprem açısından tuğla ya da beton blok duvarın kesme dayanımı ve tuğlalar arasındaki yatay derzlere gelen kuvvetler altındaki kesme dayanımı önemlidir. Çünkü kırılma biçimleri duvardaki yatay derzlere paralel düzlem içinde etkiyen kuvvet altında kesme kırılmasıdır (Bayülke 2003).

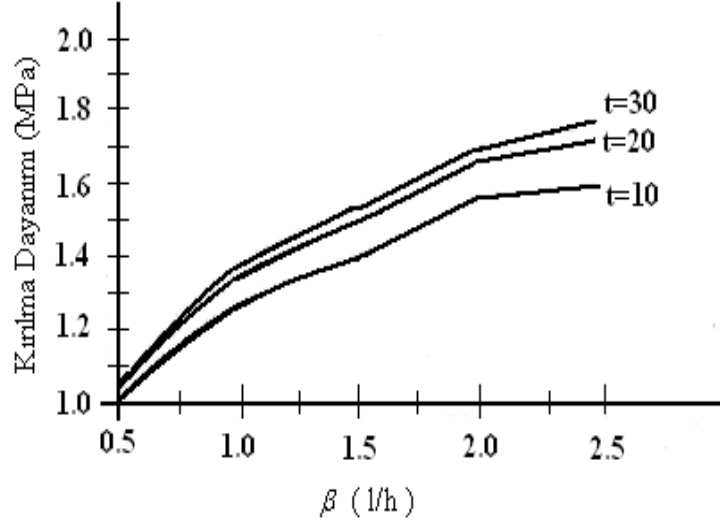
Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi'ndeki sarsma tablasında değişik özellikte malzemedan yapılmış deney yapılarının duvarlarında ölçülmüş en büyük "nominal" kesme gerilmeleri Çizelge 1.1'de verilmektedir (Bayülke vd 2003).

Çizelge 1.1. Duvar deneylerinden hesaplanmış nominal kesme dayanımları

Malzeme Cinsi	Duvar Nominal Kesme Dayanımı kg/cm²	Duvar Nominal Kesme Dayanımı/Harç Çekme Dayanımı Oranı
Düşey delikli tuğla delik oranı %50	1,11	0,182
Düşey delikli tuğla delik oranı %60	0,74	0,067
Düşey delikli tuğla delik oranı %50	1,36	0,314
Düşey delikli tuğla delik oranı %35	2,82	0,094
Harçla dolu geçmeli boşluklu briket	2,41	0,595
Ponzalı Bimsbeton blok	1,78	0,198
Gaz beton blok 1 (2 katlı)	1,24	0,065
Gaz beton blok 2 (tek katlı)	2,13	0,112
Boş geçmeli boşluklu briket (harçsız)	1,21	-
Şekillendirilmiş gaz beton blok (harçsız)	0,68	-

Türkiye'de kullanılan dolgu duvarların mekanik özellikleri baz alınarak, betonarme binalardaki dolgu duvarlar için standart eğriler geliştirilmiştir. Türkiye'de çimento harcı ile örülmüş beton bloğa ait dolgu duvar tipinin kırılma dayanımı β (l/h) oranı cinsinden Şekil 1.4'de verilmiştir. Burada "t" dolgu duvarın kalınlığıdır. Şekil 1.4 incelendiğinde, dolgu duvar kalınlığı arttıkça kırılma dayanımının arttığı görülmektedir. Ayrıca β (l/h) oranı arttıkça kırılma dayanımı da artmaktadır. Dolgu duvarın kırılma dayanımı harcın tipine bağlıdır. Çimento harçlı dolgu duvarın kırılma dayanımı kireç harçlı dolgu duvarın kırılma dayanımından yaklaşık %50 oranında daha fazladır. Dolgu duvarın

kırılma dayanımı kullanılan dolgu duvar tipine bağılı olarak değişir. Gaz beton ile örölmüş dolgu duvarın kırılma dayanımı delikli tuğla ile örölmüş duvarın yaklaşık iki katıdır (Çıtıptıoğlu vd 1997).

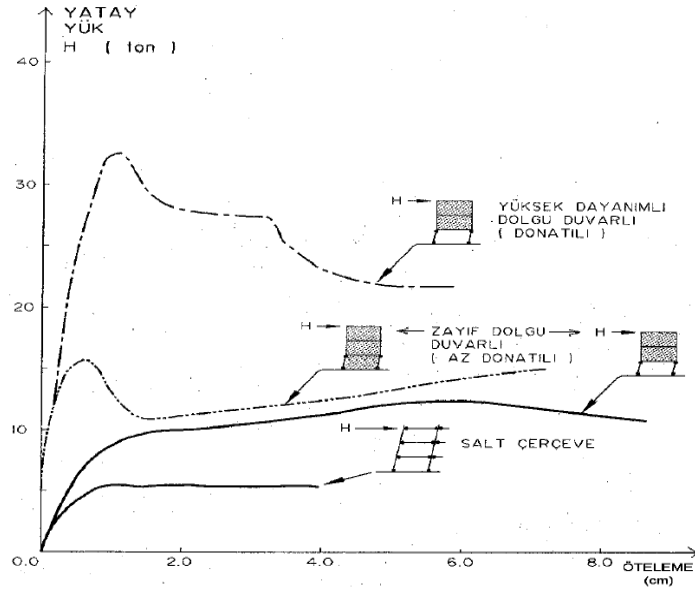


Şekil 1.4. Beton blok ve çimento harcı ile örölen dolgu duvar için kırılma dayanımı-β oranı eğrileri (Peynirci 2007)

1.2.3. Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin yük taşıma kapasitesi veya dayanımı

Bina hesaplarında tuğla, beton, briket vb. malzemeden yapılan bölme duvarlarının yük almadıkları kabul edilir. Ancak bu duvarların, yüklerin belirli bir sınıra ulaşmasına kadar önemli rijitlikleri ve yatay kuvvet taşıma kapasiteleri vardır.

Hem çerçeveyi hem de duvarı örten sıvalar duvar ve kolonun özellikle hafif depremlerde ve şiddetli bir depremin başlangıcında birlikte hareket edip ötelendikleri için yapıların depremin başlangıcında büyük rijitlikleri bulunmaktadır (Şekil 1.5) (Kızıloğlu 2006).

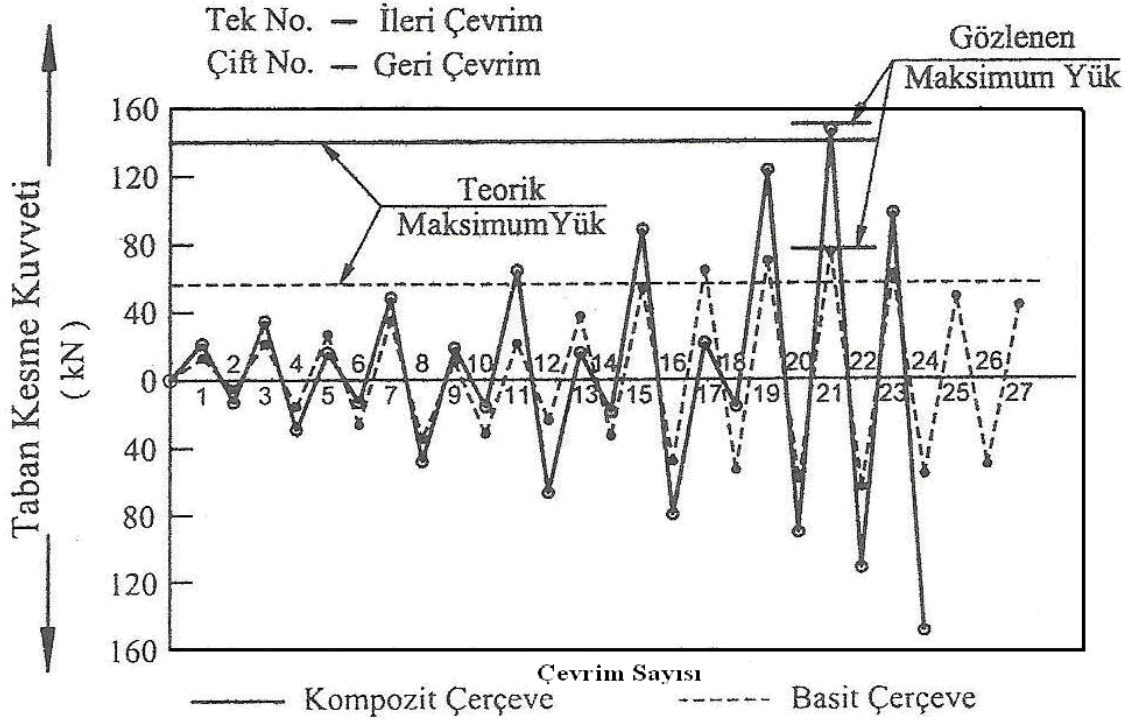


Şekil 1.5. Dolgu duvarlı çerçevenin yatay yükler altındaki davranışa etkisi (Bayülke 2001)

Betonarme çerçevenin içinde yer alan tuğla dolgu duvarlar yapının ötelenmelerini tıpkı perde duvarlar gibi kısıtlamaktadır. Ancak bu durum şiddetli bir depremin başlangıcında ya da hafif şiddetli depremlerde geçerlidir. Hasar görmeden önce perde duvar davranışı gösterebilen bölme duvarları, tıpkı betonarme perde duvarlar gibi yapı planında simetrik konumlarda yerleştirilmemişlerse ya da yapının bazı bölümlerinde yoğunlaşmış iseler yapıda burulma etkileri oluştururlar (Bayülke 2001).

Dolgulu çerçevelerin rijitlik, yük taşıma kapasitesi ve sünekliğinin belirlenmesi amacı ile yapılan araştırmalarda, seçilen örnek yapılara deprem yüklerini temsil etmek üzere tekrarlı ve yön değiştiren yükler uygulanmış ve basit çerçevelerle kıyaslaması yapılmıştır (Akkuzu 2007).

Dolgu duvarlı çerçevelerin yük taşıma kapasitelerinin belirlenmesine ilişkin Govindan *et al.* (1986) tarafından, tek açıklıklı 7 katlı numuneler üzerinde yapılan deneylerde, Şekil 1.6'da de görüleceği üzere, dolgu duvarlı çerçevelerin basit çerçeveye oranla iki kat daha fazla yük taşıma kapasitelerine sahip oldukları görülmüştür.



Şekil 1.6. Tekrarlı ve yön değiştiren yüklemenin değişimi (Peynirci 2007)

Negro *et al.* (1996) dolgu duvarlı ve duvarsız betonarme yapıların davranışını, yaptıkları 1/1 ölçekli deneylerde incelemiştir. Deney numunesi olarak, planda her iki doğrultuda iki açıklığı olan dört katlı betonarme yapı hazırlamışlardır. Deneylerde ayrıca en alt katta (zemin katında) duvarların olmaması ile oluşturulan yumuşak katlı betonarme yapının davranışı da incelenmiştir. Deneyler sonucunda, dolgu duvarlı yapının yatay yük taşıma kapasitesinin, duvarsız betonarme yapıya oranla 1,5 kat daha fazla olduğu, yumuşak katlı betonarme yapı ile duvarsız betonarme yapının yatay yük taşıma kapasitelerinin birbirine çok yakın olduğu gözlenmiştir.

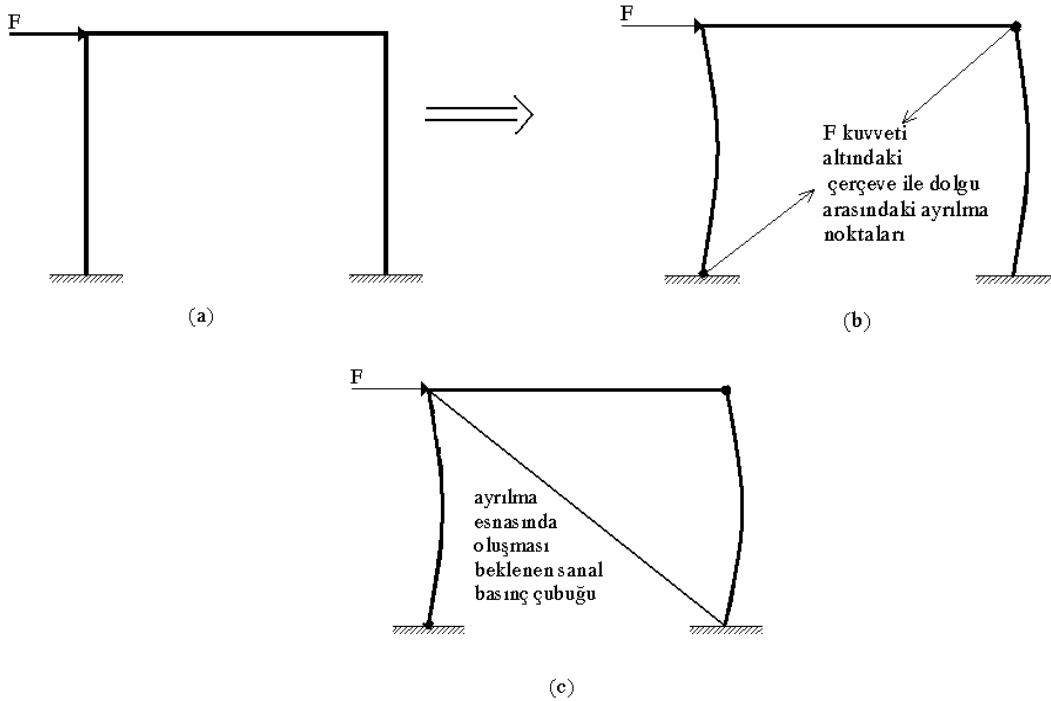
1.2.4. Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin yatay rijitliği

Dolgu duvarlı bir çerçevenin yatay rijitliği, tepe noktasının birim yer değiştirme yapması için gereken kuvvet olarak tanımlanabilir (Akkuzu 2007). Rijitliğin araştırılmasında en kapsamlı çalışmayı FEMA (Federal Emergency Management Agency) yapmıştır. Dolgu duvarların bina yapısal sistemi içindeki davranışını etkileyen

birçok faktör vardır. Dolgu duvar dayanımı ve rijitliğinin dolgu duvar boyutlarına, fiziksel özelliklerine ve yük uygulanan taraftaki kolona olan temas uzunluğuna bağlı olduğu gösterilmiştir (Stafford 1966). Temas uzunluğu ile dolgu duvar ve çerçevenin rölatif rijitliğine bağlı olup aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Peynirci 2007).

$$\alpha/h = [\pi/(2.\lambda.h)] \quad (1.13)$$

Burada α , dolgu duvar ile çerçeve arasındaki teorik temas uzunluğu, h , dolgu yüksekliği $\lambda.h$, çerçevenin dolgu duvarına oranla rijitliğidir. Şekil 1.7 (a)'daki gibi dolgu duvarla doldurulmuş ve bir çerçeveye yatay yönde F kuvvetinin uygulanmasıyla bu yük altında çerçevenin dolgu panelden, dolgu panelin ön alt ve arka üst köşelerden Şekil 1.7 (b)'deki gibi ayrılma eğilimi gösterdiği deneysel sonuçlardan gözlemlenmiştir (Peynirci 2007).



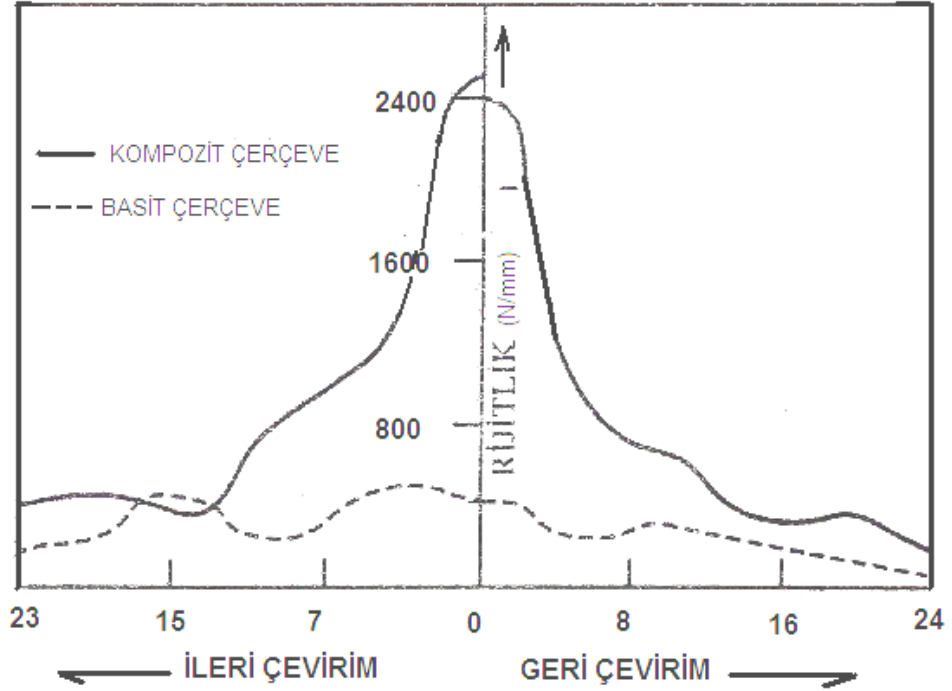
Şekil 1.7. Dolgu duvarlı çerçevenin yatay yük altında, dolgudan ayrılma noktaları ve sanal basınç çubuğunun oluşumu (Peynirci 2007)

Ayrılma esnasında oluşması beklenen diğer iki köşede, dolgu ve çerçeve arasında gelişen ve basınç temasından kaynaklanan gerilmelerin olduğu Şekil 1.7 (c)'de görülmektedir. Bu davranış sonucunda dolgunun çerçevedeki rijitliğe katkısı, Şekil 1.7 (c)'de görüldüğü gibi eşdeğer sanal basınç çubuğu olarak tanımlanmıştır.

Govinden *et al.* (1986) tarafından yapılan araştırmanın deneysel çalışmalarında dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin dayanım ve yük taşıma kapasitelerinin yanı sıra, sistemde dolgu duvarların yatay rijitliğe, sünekliğe ve enerji yutma kapasitesine de katkıları belirlenmiştir.

Yapılan çalışmada yatay rijitlik, çerçevenin en üst katının birim yer değiştirmesi için gerekli kuvvet olarak kabul edilmiştir. Şekilde 1.8'den de görüleceği üzere yüklemenin başlangıç safhalarında, dolgu duvarlı çerçeve sisteminin, basit çerçeveye göre yaklaşık 5 kat daha rijit olduğu görülmektedir. Deneysel çalışmada çevrimsel yükleme sonucunda, dolgu duvardaki çatlakların artması ile rijitlikte de belirgin bir azalma görülmektedir. Denede belirlenen servis yükü basit çerçevede 36 kN iken, dolgu duvarlı çerçevede 73 kN' dur. Diğer taraftan dolgu duvarlı çerçevenin göçme yükü 146 kN'dur. (Kızıloğlu 2006).

36 kN'luk işletme yükünde dolgu duvarlı çerçevenin rijitliği, basit çerçeve rijitliğinin 2,67 katı kadardır. 73 kN'luk işletme yükündeki dolgu duvarlı çerçevelerin rijitliği 36 kN'luk işletme yükü altındaki basit çerçevenin rijitliği kadar olmaktadır. Bu durumda, dolgu duvarlı çerçevelerin, basit çerçeveli sistemlerin işletme yükünden daha fazla işletme yükü taşıyabilecekleri ve rijitlik azalması olmaksızın bu yükü taşıyabildikleri görülmüştür (Kızıloğlu 2006).



Şekil 1.8. Dolgu duvarlı ve basit çerçevede çevrimsel yükler sonucunda rijitliğin değişimi (Govindan *et al.* 1986)

Negro *et al.* (1996) tarafından yapılan deneysel çalışmada iki doğrultuda iki açıklıklı 4 katlı çerçeveler, basit ve dolgu duvarlar olarak test edilmişlerdir. Çalışmalarında dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yükler altında basit çerçeveye nazaran daha rijit oldukları, bununla birlikte yatay yükler altında en büyük yer değiştirmenin, dolgu duvarlı çerçevelerin basit çerçeveye nazaran 2,6 kat daha az yer değiştirme yaptıkları belirlenmiştir.

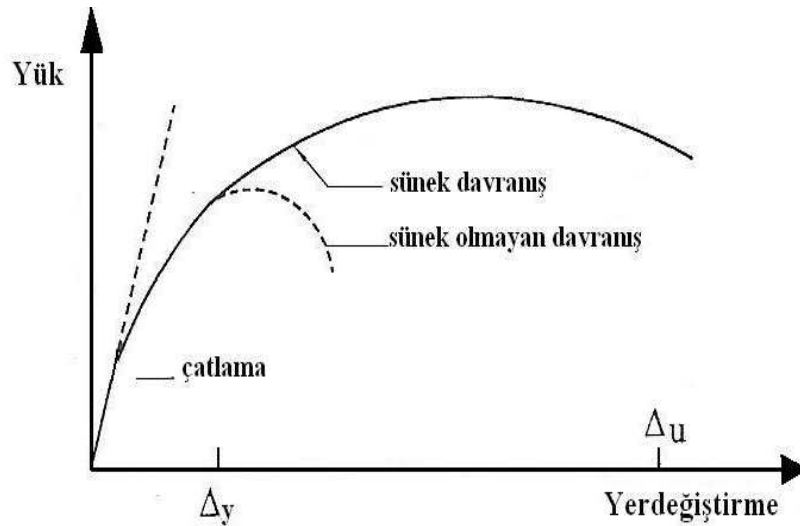
1.2.5. Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin sünekliği

Bir taşıyıcı sistemin veya bir yapı elemanının çeşitli dış etkiler ve yüklerle zorlanması sonucunda ortaya çıkan enerjinin büyük bir bölümü, sistemin veya yapı elemanının mukavemetinde önemli ölçüde kayıplarıyla, kararsız denge hali olmaksızın büyük şekil değiştirmesiyle ve elastik olmayan davranışıyla enerji yutma yeteneğine süneklik denir. Bir başka ifadeyle süneklik, taşıyıcı sistemin veya elemanlarının veya kullanılan malzemenin doğrusal olmayan davranışta da dayanımının önemli bir kısmını sürdürme

özelliğidir (Peynirci 2007). Süneklik kavramı aynı zamanda büyük şekil değiştirme ve yer değiştirme yapabilme, tekrarlı yüklemelerde enerji yutabilme özelliğini de kapsamaktadır (Kızıloğlu 2006).

Şekil 1.9’da sünek olan ve sünek olmayan davranışa ait yük-yer değiştirme eğrisi yer almaktadır. Sünek davranışta, sistemde meydana gelen veya sistemi zorlayan enerjinin bir kısmı doğrusal olmayan davranış ile yutulurken, büyük şekil değiştirmeler yeniden dağılıma imkân vererek taşıma kapasiteleri, mevcut olan diğer elemanların daha fazla yük almasını sağlamaktadır. Şekilde de verildiği gibi matematiksel olarak süneklik (μ), ulaşılabilir toplam yer değiştirmenin (Δ_u), elastik sınırdaki yer değiştirmeye oranı (Δ_y) olarak tarif edilmektedir (Şekil 1.9) (Kızıloğlu 2006).

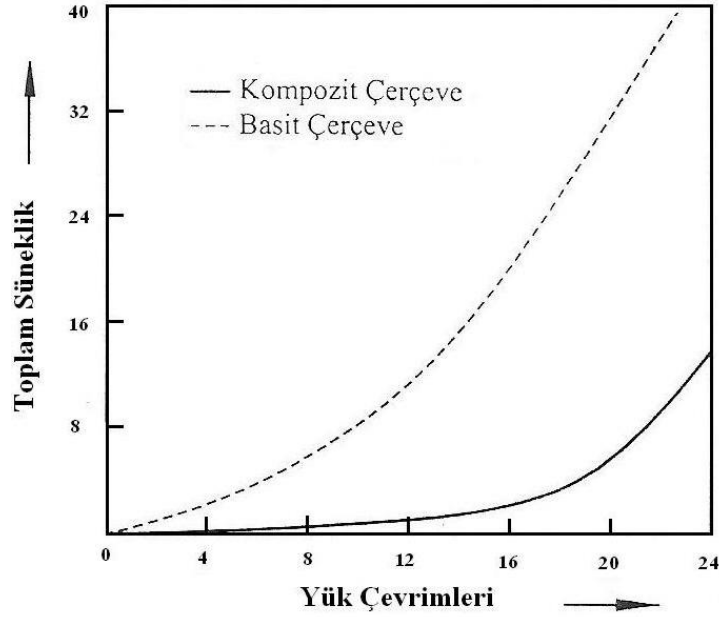
$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (1.14)$$



Şekil 1.9. Yük-yer değiştirme bağıntısı (Peynirci 2007)

Dolgu duvarlı çerçeve ile basit çerçeve sistemlerinin süneklikleri karşılaştırıldığında, basit çerçevenin daha sünek davranış sergileyebileceği rahatlıkla söylenebilir (Yalçın 1999).

Şekil 1.10'da basit çerçeve ile dolgu duvarlı çerçeve sistemin süneklikleri karşılaştırılmış ve basit çerçeve sistemin sünekliğinin, dolgu duvarlı çerçeve sistemine göre 3,29 kat daha büyük olduğu tespit edilmiştir (Govindan *et al.* 1986).



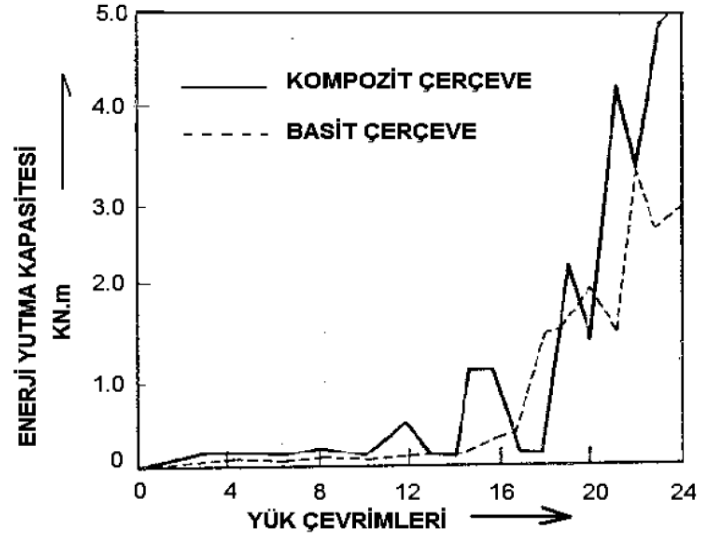
Şekil 1.10. Tekrarlı ve yön değiştiren yükleme etkisindeki sünekliklerin karşılaştırılması (Peynirci 2007)

1.2.6. Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin enerji yutma özellikleri

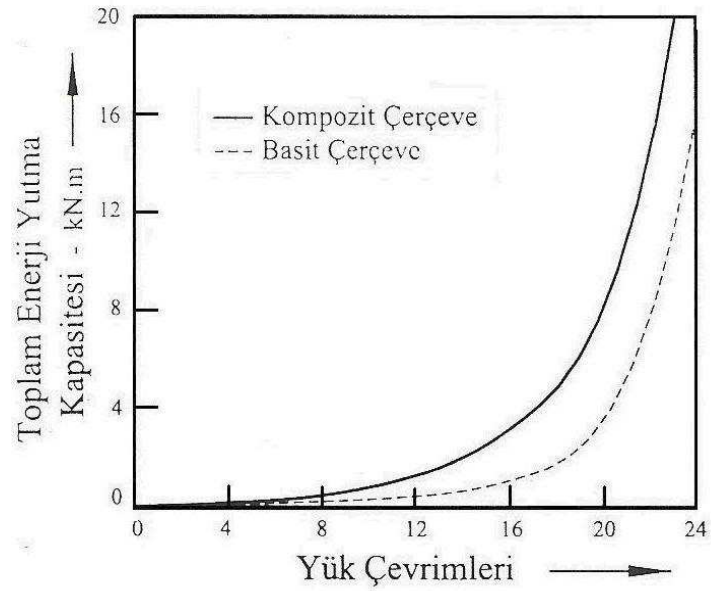
Bir sistemin enerji tüketme kapasitesi, sisteme uygulanan yükleme ile oluşan yük-yer değiştirme eğrisinin altında kalan alanın hesaplanması olarak tanımlanabilir (Kızıloğlu 2006). Dolgu duvarlı çerçevenin dayanımı, çıplak çerçevenin dayanımından daha büyük olduğundan enerji yutma kapasitesi de daha yüksektir.

Farklı iki çerçeve sisteminin enerji yutma kapasitelerinin belirlenmesi amacıyla yapılan deney sonucunda elde edilen karşılaştırma Şekil 1.11'de, toplam enerji yutma özelliğinin karşılaştırılması ise Şekil 1.12'de verilmiştir. İncelemeler sonucunda, dolgu duvarlı çerçeve sistemi ile basit çerçeve sisteminin enerji yutma kapasiteleri arasındaki

farkın büyük olmasıyla, dolgu duvarın sistemde ne kadar önemli olduğu vurgulanmıştır (Negro *et al.* 1996).



Şekil 1.11. Yük çevrimleri sırasında söndürülen enerji miktarı (Kızıloğlu 2006)

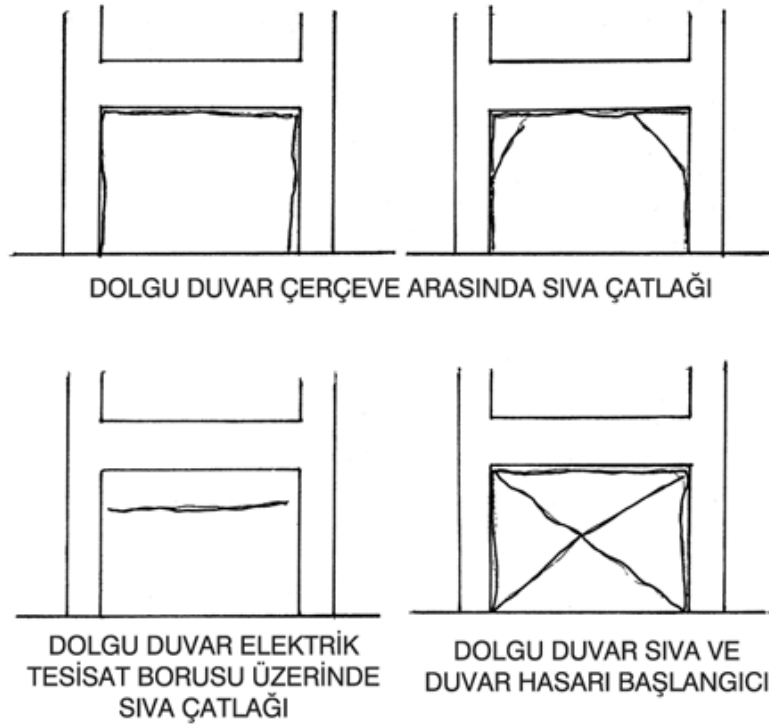


Şekil 1.12. Tekrarlı ve yön değiştiren yükleme etkisinde yutulan toplam enerji miktarının karşılaştırılması (Peynirci 2007)

1.2.7. Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin hasar biçimleri

Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerde çerçeve içindeki duvarlar genellikle çerçeve tarafından korunurlar. Aynı zamanda çerçevenin hareketini de kısıtlayıp yatay yük taşırlar. Bu tür duvarların hasar aşamaları, çatlak biçimleri, Şekil 1.13 ve Şekil 1.14’de verilmektedir (Bayülke 2003).

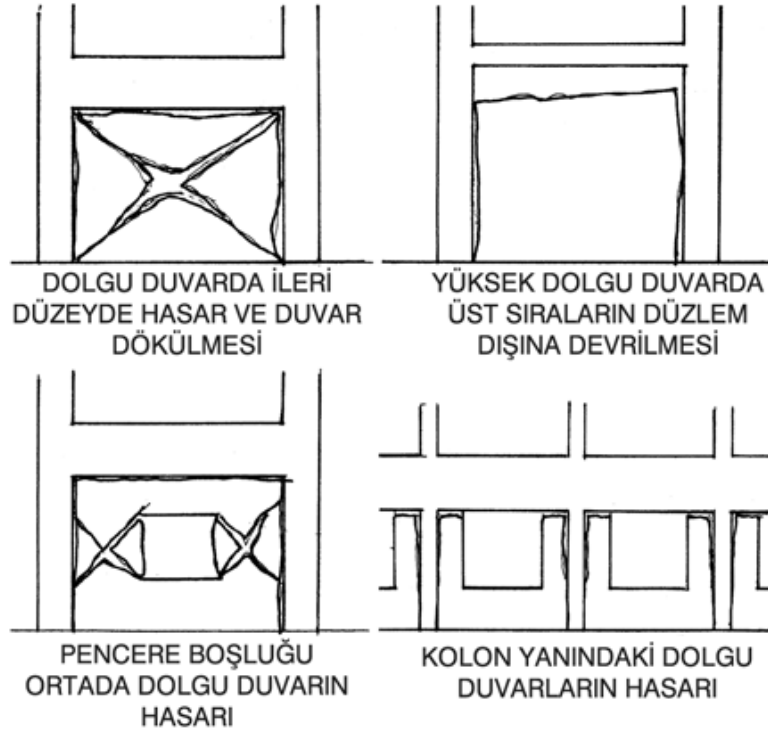
Önce dolgu duvar ile çerçeve arasında ayrışma ile başlayan hasar daha sonra daha yüksek deprem yatay yük seviyelerinde X-biçiminde kesme çatlakları ile ilerlemektedir (Şekil 1.13).



Şekil 1.13. Çerçeve içindeki dolgu duvar hasar biçimleri (Bayülke 2003)

Daha da yüksek yatay yük seviyelerinde X-çatlakları çok genişlemekte ve duvardan kırılmış ve çevresi tümü ile çatlamış tuğla ve duvar parçaları dökülmektedir (Şekil 1.14). Daha ileri hasar aşamalarında, betonarme çerçevede büyük ötelenmeler ve kolon

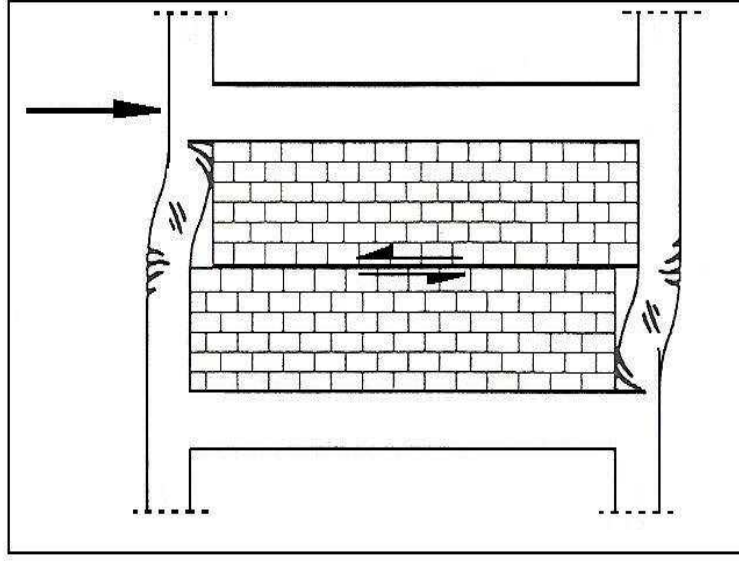
alt ve üst uçlarında mafsallaşma olduğu durumlarda ise dolgu duvar tümü ile dökülmektedir (Bayülke 2003).



Şekil 1.14. Çerçeve içindeki dolgu duvar hasar biçimleri (Bayülke 2003)

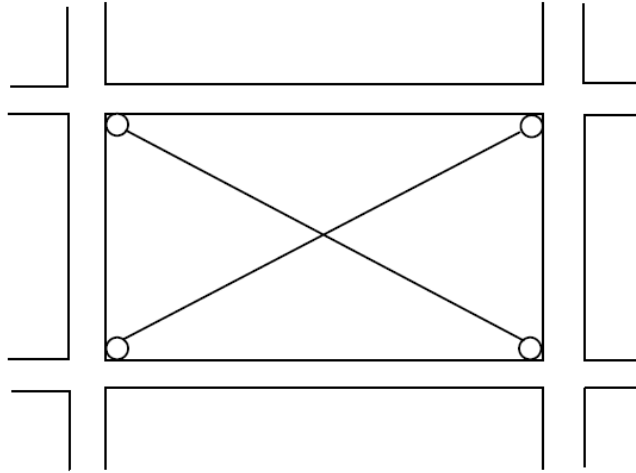
Betonarme yapı içinde yer alan dolgu duvarlar gerek yapı elemanlarının sehiminden ve gerekse düşey yük, deprem vb. yüklerden dolayı hasara uğrarlar. Duvarda kullanılan tuğlanın (malzemenin) cinsine, dolgu duvar kalınlığına, dolgu duvarda ve tuğlalar arasında kullanılan sıva ve harca, dolgu duvarların diğer taşıyıcı elemanlarla olan bağlantısına, duvarda yer alan kapı ve pencere gibi boşluklarına kadar birçok etki duvar hasarında etken olmaktadır (Kızıloğlu 2006).

Tekrarlı yükler altında dolgu duvarlı çerçeve sistemler yatay yükün veya yatay yer değiştirmenin küçük değerlerinde, dolgu duvarla çerçeve elemanları aynı anda hareket edecek ve perde davranışı göstereceklerdir (Şekil 1.15). Yer değiştirmenin artması ile birlikte sistemde çerçeve elemanları eğilme davranışı gösterirken, dolgu duvarlar da kayma davranışı göstereceklerdir (Kızıloğlu 2006).



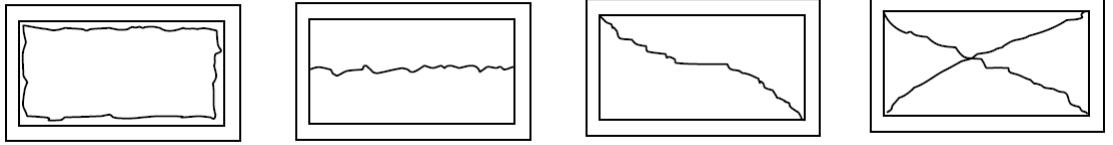
Şekil 1.15. Dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yük altındaki davranışı (Peynirci 2007)

Başlangıçta dolgu duvarlı çerçevenin davranışı çapraz çubuklu çerçevenin davranışıyla aynı olacaktır (Şekil 1.16) (Kızıloğlu 2006). Dolgu duvarlarda kayma davranışı sonucu kesme kırılmalarının meydana gelmesiyle dolgu duvarlı çerçevenin davranışı Şekil 1.15'deki (Peynirci 2007) gibi olacaktır (Pauley *et al* 1992).



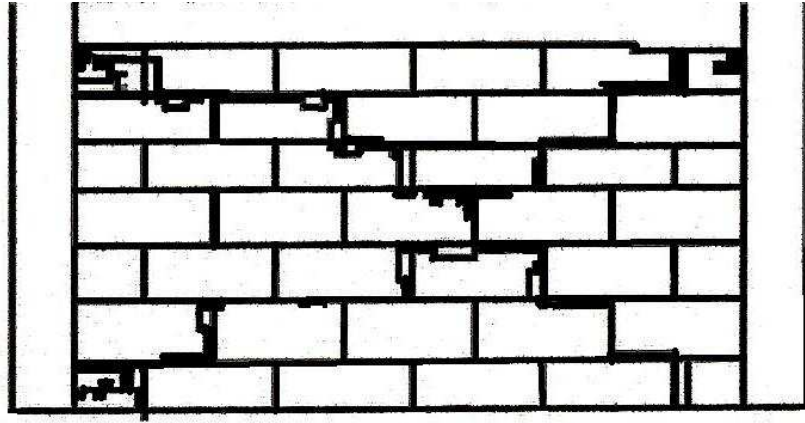
Şekil 1.16. Dolgu duvarların çapraz basınç çubuklarla modellenmesi (Kızıloğlu 2006)

Bunun yanı sıra yüksek dolgu duvarlarda eğilme kırılması, dolgu duvarların çerçeve elemanları ile bağlantı noktalarındaki hasarlar ve çapraz çatlaklar gibi hasarlar da (Şekil 1.17) meydana gelmektedir (Mehrabi *et al.* 1996).



Şekil 1.17. Dolgu duvar hasarları (Kızıloğlu 2006)

Sonuç olarak çekme gerilmelerinin artması ile kendiliğinden oluşan çekme çaprazlarının uçları olan köşelerde, çerçeve ve dolgu duvarları birbirinden ayrılacak, diğer köşegen doğrultusunda ise basınç gerilmeleri, duvar içinde sanal bir basınç çubuğu meydana getirecektir. Bu işlem tekrarlandıkça kalıcı şekil değiştirmeler yayılacak ve çatlakların sayısı ve genişliği artarak Şekil 1.18'deki gibi sistemde çekme çatlaklıkları oluşacaktır (Yalçın 1999).



Şekil 1.18. Çapraz gerilme sonucu oluşan orta şiddetteki çatlak (Peynirci 2007)

1.2.8. Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin güçlendirilmesi

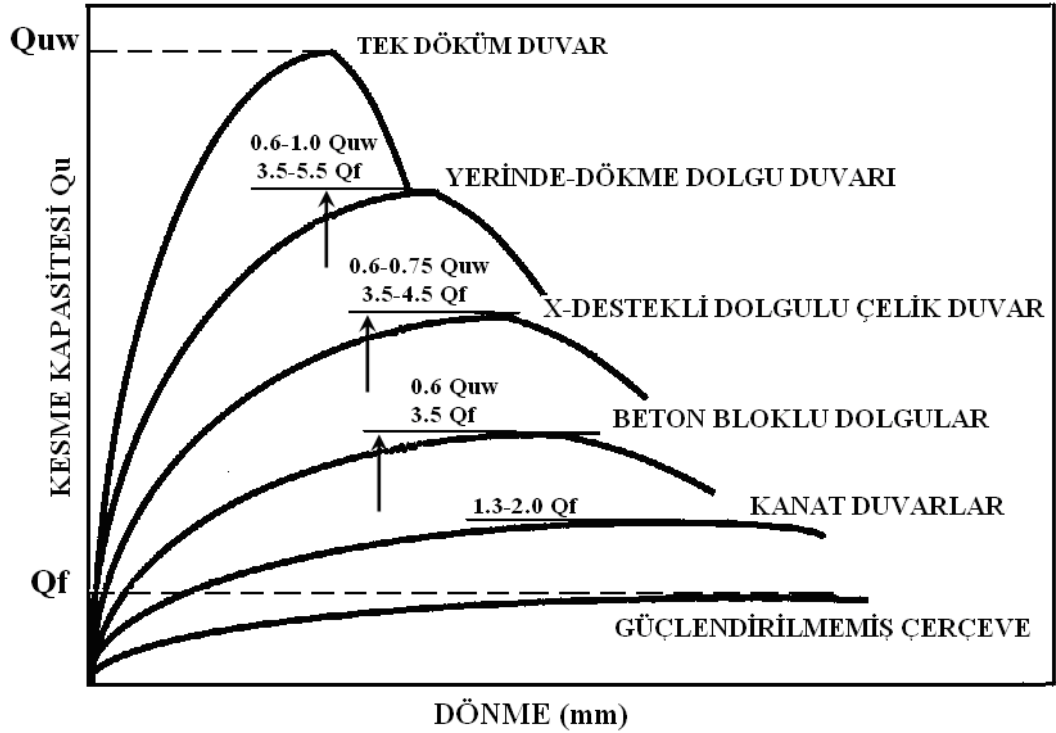
Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin güçlendirilmesi yanal dayanımın artırılması, sünekliğin iyileştirilmesi veya dayanım ve sünekliğin her ikisinin artırılması ile yapılmaktadır. Genellikle mevcut boş çerçeve sistemlerin, ilave edilen dolgu duvarlar ile dayanımı, donatılı dolgu duvarlar ile sünekliği artmaktadır (Cifuentes 1984).

Mevcut boş çerçeve sistemlere dolgu duvar ilavesi ve donatılı dolgu duvar şeklindeki anlayış ile oluşan güçlendirme tekniği konusu çok sayıda araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Tek döküm olarak elde edilen betonarme perde duvarların yerine, dolgu duvar eklenmesi ve donatılı dolgu duvarı ile birçok güçlendirme tekniği geliştirilmiş ve uygulamada kabul görmesi için modellenmiştir.

Geliştirilen güçlendirme tekniklerinin bazıları aşağıda sıralanmıştır:

- Çerçeve içine dolgu duvarı veya çapraz desteklerin ilave edilmesi,
- Çerçeve içine uniform yeni bir betonarme perdenin ilave edilmesi,
- Çerçeve dışına payandaların ilave edilmesi,
- Dolgu duvarlı çerçevede dolgu kalınlığının artırılması,
- Kolonlara kanat duvarların ilave edilmesi,
- Çerçeve elemanlarının (kolon ve/veya kiriş) mantolanması,
- Mevcut birleşim (kolon-kiriş) noktalarının çelik elemanlarla güçlendirilmesidir.

Güçlendirme tekniğinin başarısı, dolgu duvarların mevcut çerçeveye olan birleşiminin yeterli olabilmesi ile ölçülmektedir. Şekil 1.19’da, tek döküm olarak elde edilen duvarın kesme kapasitesine göre geliştirilen güçlendirme teknikleri karşılaştırılmaktadır. Şekilden görüleceği üzere tek döküm duvarın nihai kesme kapasitesi açısından en büyük kesme kapasitesi, yerinde dökme dolgu duvarla yapılan güçlendirme ile sağlanmıştır.



Q_{uw} : Tek Döküm Duvar Çerçeve Yapısının Nihai Kesme Dayanımı
 Q_f : Güçlendirilmemiş Çerçevenin Nihai Kesme Kapasitesi

Şekil 1.19. Farklı tekniklerle güçlendirilen çerçeve sistemlerin rölatif kesme kapasitesi (Phan *et al.* 1993)

Yerinde dökme donatılı dolgu duvarı ile yapılan güçlendirmede sistemin dayanım ve rijitliği önemli ölçüde artmaktadır. Bu güçlendirme tekniğinde dolgu duvarıyla çerçevenin birleşimi, yaygın olarak ankraj çubukları ile sağlanmaktadır.

Tek döküm duvarlar rijit dolgu duvarlı çerçeve sistemi olarak betonarme perde gibi davranırken, yerinde dökme dolgu duvarlar ise, daha düşük rijitliğe sahip dolgu duvarlı çerçeve sistemi olarak, çerçeve içerisinde bir basınç çubuğu fonksiyonu gören dolguya sahip, payandalı çerçeveler gibi davranırlar (Phan *et al.* 1993).

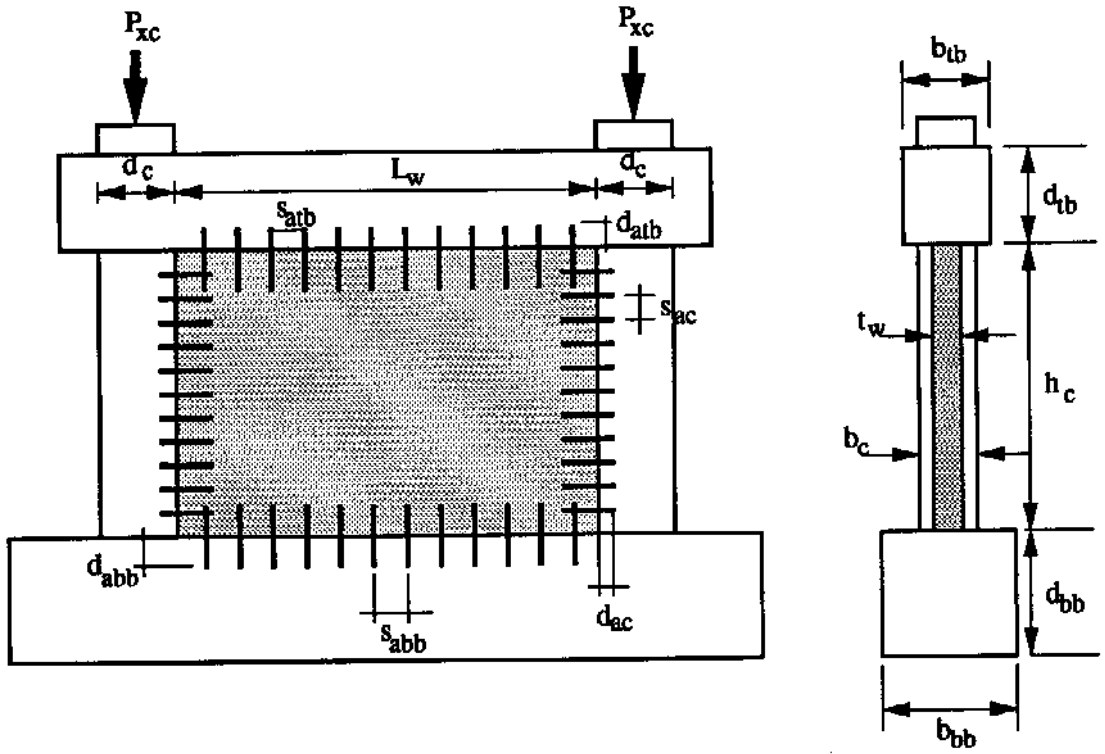
Dolayısıyla betonarme binalarda, dayanım veya sünekliğin ya da her ikisinin sağlanması açısından, mevcut çerçeve sistemlerdeki tüm açıklıkların tek döküm olarak tasarlanması ile yapıda oluşabilecek aşırı rijit durum, ihtiyacın en az %60'ını sağlayabilen daha düşük rijitliğe sahip yerinde dökme dolgu duvarları ile önlenabilmektedir. Ayrıca dolgu

duvarının, çerçeve içerisinde, çapraz bir basınç çubuğu gibi davranmasından dolayı, etkili olabilecek bir güçlendirme tasarısı gerçekleştirilmektedir.

Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin güçlendirilmesinde, sistemde tespit edilen iki temel araştırma konusu olarak kesme ve moment kapasitesinin hesaplara dâhil edilebilmesi için, birçok araştırmacı tarafından yürütülen deneysel çalışmalarda, üç ana parametre rijitlik, dayanım ve histeretik davranış ele alınmıştır. Bu parametreler de modelleme malzemeleri, geometrik özellikler ve dolgu duvar donatısı gibi etkenlerin bir fonksiyonu olarak, yük-deformasyon karakteristikleri, enerji yutma özellikleri ve nihai yük kapasitesi açısından değerlendirilmiştir (Aoyama 1986; Kahn 1976; Hayashi *et al.* 1980; Sugano *et al.* 1980; Higashi 1980; Corley *et al.* 1981; Ogata *et al.* 1984; Gaynor 1988; Shah 1989).

Bu değerlendirmelere bağlı olarak, betonarme çerçevelerin yerinde dökme dolgu duvarları ile güçlendirilmesi konusunda, Şekil 1.20’de görülen prototip bir model elde edilmiştir.

Çalışmalar sonucunda, güçlendirme amaçlı Şekil 1.20’de verilen prototip dolgu duvarlı çerçeve sistemi için, elde edilen üç temel parametre yük-deformasyon karakteristiği, nihai yük kapasitesi modu ve enerji yutma özelliği, güçlendirme tekniğinin geliştirilmesinde değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler ışığında, dolgu duvarları ile yapılan güçlendirmeler için bazı tasarım yönergeleri önerilmiş olup, bu öneriler aşağıda sıralanmıştır:



Şekil 1.20. Deneysel çalışmalarda kullanılan prototip dolgu duvarlı çerçeve sisteminin tanımlanması (Phan *et al.* 1993)

- Yerinde dökme dolgu duvarlarla elde edilen sistem için dolgu duvar kalınlığı, sınır kolonun 2/5 kalınlığından veya çerçevenin üst kiriş kalınlığından-hangisi daha küçükse-az, üst kiriş kalınlığından fazla olamaz. Bu gözlem, yapılan birçok deneysel çalışmalardan elde edilmiş olup, parametrik çalışmalarla da doğrulanmıştır (Phan *et al.* 1995).
- Deneysel gözlemlerden, birleşim ankrajlarının toplam en kesit alanının, duvar/çerçeve ara yüzeyindeki dolgu duvarların alanına olan oranı (A_c/A_w), dolgu duvar ile mevcut çerçeve arasındaki birleşimin yeterli bir şekilde sağlanması için %0,8'den daha az olamayacağı tespit edilmiştir. Ancak deneysel çalışmalarda bunun için %0,3 ve %0,81 olmak üzere iki farklı oran denenmiştir. Dolayısıyla burada %0,8 oranının daha emniyetli olduğuna inanılmaktadır. Yine yapılan parametrik çalışmalarda ise %0,45 oranında iken hem en büyük kat sürüklemesinin, hem de kesme dayanımının sabit olarak arttığı ve bu artışın %0,9 oranında iken önemsiz olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla birleşim ankrajlarının sayısı ve boyutları, emniyetli tarafta kalınarak,

önerilmekte ve daha önceki deneysel çalışmalardan gözlemlendiği gibi bu oranın (A_c/A_w), yaklaşık %0,8 olması gerektiği öne sürülmektedir (Phan *et al.* 1995).

- Çoğu deneysel çalışmalarda, eğilme donatısı oranı bir değişken olarak alınmamasına rağmen, yatay ve düşey doğrultulardaki donatı oranının %0,75 veya daha fazla kullanıldığı deneylerde başarılı bir dolgu duvar performansı gözlemlenmiştir (Phan *et al.* 1995).

Histeretik modeller kullanılarak yürütülen parametrik çalışmalarda dolgu duvar donatısının, tüm dolgu duvar/çerçeve sisteminin nihai performansı üzerinde bir etkisinin bulunmadığı tespit edilmiştir. Ancak burada eğilme donatısı etkisinin kestirilmesi açısından modellerin uygulanabilirliği kısıtlıdır. Bunun nedeni ise histeretik modellerin, dolgu duvar donatısının bir değişken olarak dikkate alınmayan deneylerden elde edilen sonuçlara dayanılarak geliştirilmiş olmasıdır. Bu sebeple, yerinde dökme dolgu duvar tekniği için düşey ve yatay doğrultulardaki dolgu duvar donatı oranları %0,75'den az olmayacak şekilde önerilmektedir. Ayrıca, 0,25~1,0 arası kesme donatısı oranının da (bu oranlar önceki deneysel çalışmalarda başarıyla kullanılmıştır.) dolgu duvarlardaki betonun rijitliği açısından sağlanmalıdır (Phan *et al.* 1995).

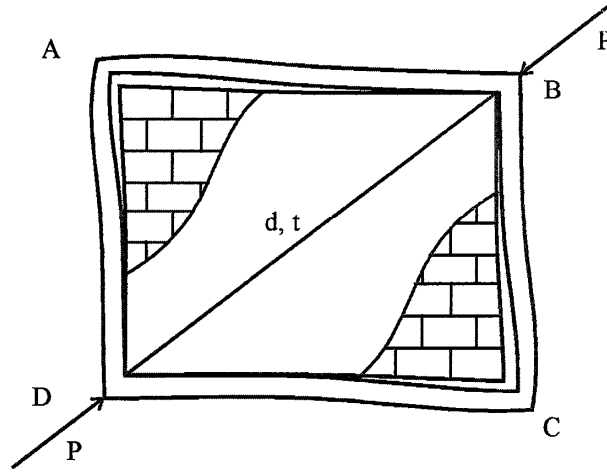
2. KAYNAK ÖZETLERİ

Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin modellenme metotları ile yanal davranışı, bir başka deyişle deprem davranışı birçok araştırmacı tarafından ele alınarak deneysel ve analitik olarak incelenmiştir. Bu konuda yapılan bazı araştırmalar aşağıda özetlenmiştir:

Benjamin *et al.* (1957) tarafından tek katlı düzlemsel betonarme dolgulu betonarme çerçeve sistemlerin yatay yükler altındaki kırılma davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan araştırmalardan dolgulu betonarme çerçeve sistemlerin, kırılmaya kadarki ve kırılmanın gerçekleştiği yüke kadar olan davranışının başlıca yükleme koşullarından, malzeme özelliklerinden, dolgu duvar kalınlığı ile donatısından ve çekme-basınç kolon enkesit alanlarından kaynaklandığı bulunmuştur.

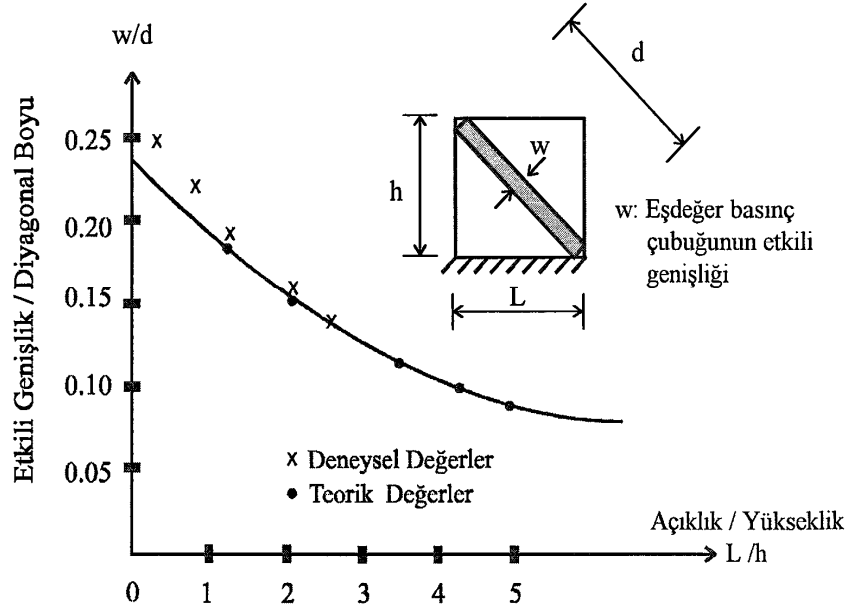
Benjamin *et al.* (1958) tarafından tek katlı ve tek açıklıklı betonarme dolgulu 45 adet çerçeve deney elemanı test edilmiştir. Deney elemanlarının geometrik ölçeği 1/8~3/8 arasında değişim göstermiştir. Çalışmalarında dolgu duvar geometrisi, dolgu duvarın donatı oranı ve yönü, kolonların eğilme donatısındaki değişimi gibi değişkenlerin, davranışa olan etkileri incelemiştir. Deney elemanları monotonik yükleme altında test edilmiştir. Test edilen deney elemanlarında önemli değişkenlerden biri olan duvar genişliğinin, duvar yüksekliğine olan oranı 1'den 3'e kadar değişim göstermiştir. Bu oranı yüksek olan deney elemanlarının daha fazla dayanım gösterdiği savunulmuştur. Tüm elemanların maksimum yük değerinde, duvar tabanında ortalama kesme gerilmesi yaklaşık olarak aynı elde edilmiştir. Farklı donatı detaylarına sahip olan duvarların farklı yük-deplasman ilişkilerini sergilediği belirtilmiştir. En iyi davranışın ortogonal donatı yerleşimi ile sergilendiği, duvar donatı oranı yüksek olan deney elemanlarının az olanlara göre daha sünek bir davranış gösterdiği savunulmuştur. Ayrıca donatı oranındaki artışın, deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasitesini de artırdığı belirtilmiştir. Bu çalışmada ayrıca, kolon boyuna donatısındaki değişimin, dolgunun yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde etkilemesine rağmen, kesit değişiminin fazla etkili olmadığı sonucuna da varılmıştır.

Holmes (1961) tarafından tek katlı betonarme ve tuğla dolgulu çelik çerçeve sistemleri üzerinde bazı analitik çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalardan, Şekil 2.1’de de görüleceği üzere, çelik çerçeve sistemine B düğüm noktasından etkiyen çaprazlama yük tesiri altında, maksimum yer değiştirmeye ulaşıldığı kırılma anında, dolgunun BD çapraz doğrultuda sıkıştığı ve diğer doğrultularda ise dolgu duvarının çerçeve sisteminden ayrıldığı sonucuna varılmıştır. Bu sonuçtan hareketle dolgu duvarının, basınç doğrultusuna yerleştirilmiş bir basınç çubuğu olduğu kabul edilmiştir. Bu basınç çubuğunun enkesit alanı ise dolgu duvarının “t” kalınlığı ile sistemin “d” çapraz uzunluğuna bağlı olarak, $t.d/3$ öngörülmüştür.



Şekil 2.1. Dolgu duvarlı çerçeve sistemi (Karaduman 1998)

Smith (1962) tarafından yapılan analitik çalışmalarda, dolgu duvarları sistemde bir “eşdeğer basınç çubuğu” olarak ele alınmış ve eşdeğer basınç çubuk genişliği teorik olarak elde edilmiştir. Teorik olarak elde edilen çalışmalar ayrıca model deneysel çalışmalarla da desteklenmiştir. Söz konusu araştırmacı tarafından önerilen ve dolgu duvar eşdeğer basınç çubuğunun tahmini için elde edilen grafik Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2. Diagonal olarak yüklenmiş duvarların etkin genişliği (Karaduman 1998)

Söz konusu araştırmacı tarafından yapılan deneysel ve analitik çalışmalar sonucunda, w basınç çubuğu genişliğinin, çerçeve sisteminin değişik “açıklık/yükseklik” oranlarına bağlı olarak uzunluğun 1/4 ile 1/11 arasında değiştiği sonucuna varılmıştır.

Mallick *et al.* (1967) tarafından dolgu duvarlı çerçeve sistemlerinin analizinde sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda dolgu panelleri, yatay yük etkisindeki dikdörtgen paneller olarak kabul edilmiştir. Bir başka deyişle, dolgu duvarlı çerçeve sistemlerini oluşturan dolgu panelleri kullanılan sonlu elemanlar yönteminde, düzlem şekil değiştiren elemanlar, çerçeve ise eğilme çubuğu elemanları olarak modellenmiştir. Teorik çalışmaların yanında yapılan deneylerle elde edilen sonuçların, kullanılan yöntem ile bulunan sonuçlarla uyumlu olduğu bildirilmiştir.

Smith *et al.* (1969) tarafından yapılan bir çalışmada, dolgu duvarlı çerçeve sisteminin, eşdeğer bir kafes sistem haline dönüştürülerek, bilinen statik yöntemlerle analizinin yapılabileceği bildirilmiştir. Eşdeğer kafes sistemde dolgu duvarı, yatay yüklerden dolayı oluşan basınç doğrultusunda bir eşdeğer basınç çubuğu olarak idealize edilmiştir.

Eşdeğer kafes sistemde çerçeve elemanları ise eğilme taşımayan çekme ve basınç çubukları olarak hesaba katılmıştır.

Söz konusu araştırmacılar tarafından yapılan bu çalışmada dolgu duvarlı çerçeve sisteminin eşdeğer kafes sistemi olarak idealize edilmesinin nedeni, dolgu duvarın çerçeveye yerleştirilmesiyle, daha önce yatay yükten dolayı çerçevede oluşan eğilme momentlerinde büyük bir oranda azalmanın tespit edilmesinden dolayıdır. Ayrıca çok katlı çerçevelerde kat sayısı arttıkça, aksenal yükün eğilme momentinden daha etkin hale gelmesi de bu yaklaşımı desteklemektedir.

Teorik çalışmalarda üzerinde önemle durulan konu, dolgu duvarlı çerçeve sisteminde yatay yük etkisindeki çerçevenin kendisine gelen yükü dolgu duvarına aktarırken, dolguyla çerçeve arasındaki birleşim yüzeyi boyunca ki bu birleşimlerde dolgu ile çerçeve arasında herhangi bir bağın olmadığı varsayılmaktadır, oluşan ayrılmalardır. Çerçeve ile dolgu duvarı arasında ayrılmalar olduğu halde sistemde yük aktarımı devam etmektedir.

Söz konusu araştırmacılar, çerçeve ile dolgu duvarı arasında yük aktarımının devam ettiği yüzey uzunluğunu temas uzunluğu olarak tanımlamışlardır. Bu araştırmacılara göre, bir dolgu panelinin rijitlik ve dayanımı, sadece o panelin malzemesine, kalınlık ve boyutlarına değil, aynı zamanda panelin yerleştirildiği çerçeveye olan temas uzunluğuna da bağlıdır. Teorik temas uzunluğu (α) için aşağıdaki eşitlik verilmektedir:

$$\frac{\alpha}{h} = \frac{\pi}{2\lambda_h h} \quad (2.1)$$

Bu eşitlikte verilen $\lambda_h \cdot h$ ifadesi, çerçevenin dolgu duvarına oranla rijitliğini belirten boyutsuz bir parametre olup, aşağıda verilen eşitlikten elde edilebilmektedir:

$$\lambda_h \cdot h = \left[\frac{E_1 \cdot t \cdot \sin 2\theta}{4E \cdot I \cdot h'} \right]^{1/4} \quad (2.2)$$

Bu eşitlikte; E_1 dolgu panelinin, E ise çerçevede kullanılan malzemenin elastisite modülü, t dolgu duvar kalınlığı, θ dolgu çaprazının yatayla yaptığı açı, h' dolgunun yüksekliği ve I ise kolonun atalet momentidir.

Stafford *et al.* (1969) tarafından dolgu duvarlı çerçeveler için ilk pratik hesap yaklaşımı önerilmiştir. Bu yaklaşımda dolgu duvarlı çerçevelerin yatay rijitliğini ve dayanımını bulmak için basınç çubuğu metodu kullanılmıştır. Bu anlamda yola çıkılarak oluşturulan çerçeve sistemlerin dolgu duvar ile modellenmesinde sanal basınç çubuklarının efektif genişliğini bulmak için bazı eğriler önerilmiştir.

Fiorata *et al.* (1970) tarafından çerçeve dolgu paneli sistemlerin davranışı için, farklı duvar malzemeleri ile yapılmış olan tek katlı tek açıklıklı, beş katlı tek açıklıklı ve iki katlı üç açıklıklı model çerçeve sistemleri deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmayı oluşturan ana parametreler çerçeve donatısının miktarı, kalitesi ve yerleşimi, kolonlara uygulanan düşey yükün büyüklüğü ve dolgu duvarda bulunan boşluklar olarak seçilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, çerçeve dolgu paneli sistemin davranışı için farklı bir yaklaşım sunulmuştur. Buna göre, yatay yük etkisindeki dolgu paneli sisteminin, dolgu duvarında kayma çatlakları oluşuncaya kadar bir konsol kiriş gibi davrandığı, çatlak oluştuğundan sonra ise sistemin çapraz doğrultuda güçlendirilmiş bir çerçeve gibi davrandığı savunulmaktadır. Yapılan çalışmalarda ayrıca dolgu duvarlı çerçeve sisteminin boş çerçeve sistemine göre daha fazla taşıma gücü ve rijitliğe sahip olduğu ancak, süneklikte ise aynı oranda bir azalmanın söz konusu olduğu bildirilmiştir.

Ersoy vd (1971) tarafından dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin davranış ve mukavemetleri deneysel ve analitik olarak incelenmiştir. Bunun için değişik yükler altında dokuz adet betonarme dolgu duvarlı çerçeve sistemler denenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda ele alınan parametreler çerçeve açıklığının çerçeve yüksekliğine olan oranı, dolgu kalınlığı, dolgu duvar ile çerçeve arasındaki aderansın varlığı veya yokluğu, çerçeveye etkileyen yatay yükün düşey yüke olan oranıdır.

Söz konusu araştırmacılar tarafından yapılan deneysel çalışmada yatay yük etkisindeki betonarme dolgu duvarlı ereve sistemlerin, yüklenmemiş köşelerde dolgu duvarı ile ereve arasında başlayan ayrılma çatlakları ve daha büyük yüklemelerde dolgu duvarında görülen çapraz çatlaklar gibi genel model davranışları ile dolgu duvarının ereve içerisinde bir basınç elemanı gibi çalıştığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara uyum sağlayan analiz metodu olarak ta, çapraz basınç çubuğu analogisi benimsenmiştir.

Klingner *et al.* (1976) tarafından yapılan deneysel ve analitik çalışmalarla, betonarme çerçevelerin sismik histeretik davranışında, dolgu panellerin etkisi incelenmiştir. Deneysel sonuçlarla, dolgu duvarlı çerçevelerin esas olarak iki tip yapısal bileşenin bir birleşeni şeklinde davrandığı gösterilmiştir. Bu iki tip yapısal bileşen ereve elemanın kendisi ile çerçeveyi rijitleştirerek deprem enerjisini çatlaklara dağıtan dolgu duvarları olarak tanımlanmaktadır. Analitik incelemede ise, dolgu paneli bir çift basınç çubuk elemanı olarak modellenmiştir.

Riddington *et al.* (1977) tarafından dolgu duvarlı çerçeveler üzerinde yapılan çalışmada, dolgu duvarlı ereve sistemlerin çözülebilmesi için sonlu elemanlar yöntemi geliştirilmiştir. Bunun için üç tip dolgu duvarlı çerçevede dolgu duvar ve ereve birleşim özellikleri, dolgu duvar uzunluk/yükseklik oranı, rölatif rijitlik parametresi ve kolon-kiriş birleşiminin rijitliği olmak üzere farklı parametreler incelenmiştir. Dolgu duvarlı çerçevelerin yatay ötelenmesini hesaplamak için kullanılan basınç çubuğu efektif genişliğinin çubuk uzunluğunun 1/10 oranına eşit alınmasının güvenilir olduğu önerilmiştir.

Axley *et al.* (1979) tarafından yapılan çalışmalarda ereve dolgu panel sistemlerin davranışı ile dolgu panellerin sistemdeki rijitliğe olan katkısı araştırılmıştır. Bu amaçla ereve boyutları ve malzeme özellikleri sabit tutularak, önce panel yüksekliği değişken kabul edilmiş, sonra panel yüksekliği de sabit tutulup panel kalınlığı değiştirilerek deneysel çalışmalar yürütölmüştür. Yapılan her iki inceleme sonucunda da elde edilen yanal rijitlik ve dönme rijitlik katkı analizlerinin iyi bir uyum gösterdiği belirtilmiştir.

Liauw (1979) tarafından depremi benzeştiren dinamik bir yükleme ile bir seri deney elemanı üzerinde deneysel bir çalışma yürütülmüştür. Deneysel çalışmada tek açıklıklı dört katlı çelik çerçeve ve betonarme dolgulu deney elemanları kullanılmıştır. Çalışmada değişken olarak boşluk alan etkisi, çerçeve ve dolgu arasındaki bağlantı detayı ve çerçevenin yükseklik/genişlik oranının etkileri incelenmiştir. Bağlantı elemanı olan veya olmayan boşluksuz dolguların diyagonal basınç çubuğundaki ezilme sonucu göçtüğü savunulmuştur. Çalışmada çerçeve ve dolgu arasındaki bağlantı elemanlarının, boşluklu ve boşluksuz deney elemanlarındaki rijitlik ve dayanımı arttırdığı gözlenmiştir.

Yoichi *et al.* (1980) tarafından 13 adet 1/3 geometrik ölçekli, tek açıklıklı, tek katlı betonarme çerçeve elemanı, içine çeşitli dolgular ilave edilerek güçlendirilmiş, tersinen tekrarlanan yatay yükleme altında test edilmiştir. Araştırmada çerçeve içinde kullanılan dolgular yerinde üretimli tam dolu dolgu duvarı, çerçeve içinde bir boşluk kalacak şekilde yerleştirilmiş ön üretimli paneller ve çelik kafestir. Ayrıca betonarme çerçeve çelik gergi çubuklarıyla güçlendirilmiştir. Güçlendirilen deney elemanları çerçeve ile monolitik deney elemanı arasında bir davranış sergilemiştir. Çelik gergi ve kafesle güçlendirilmiş elemanlar ön üretimli deney elemanı kadar sünek bir davranış sergilemiştir. Tüm deney elemanlarının rijitlik ve dayanımları elastik olmayan analitik çerçeve modellemesi kullanılarak hesaplanmış ve deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Yüzügüllü vd (1980) tarafından birbirlerine kirişlerle bağlı, simetri ekseninde bir kolona sabitlenmiş, iki adet kanat şeklinde panel duvarlı 10 adet deney elemanı test edilmiştir. Deney elemanları 1/2 geometrik ölçeğe sahiptir. Sonuç olarak monolitik 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.

Broken *et al.* (1981) tarafından, dolgu duvarlı betonarme çerçeve sistemlerin dinamik davranışını incelemek amacıyla, 18 adet deney elemanı tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Yapılan çalışmada 11 katlı ve 3 açıklıklı bir yapının bir bölümünü temsil etmek amacıyla, dolgu duvarlı çerçeve sistemleri 1/3 ölçekli olarak dökülmüştür.

Sistemdeki dolgu duvarları için dört farklı tipte dolgu malzemesi seçilmiştir. Seçilen dolgu malzemeleri kil, beton tuğlalar, dıştan hasır donatı yerleştirilmiş tuğlalar ve hafif beton panel duvarlarından ibarettir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar ise aşağıda kısaca özetlenmektedir:

- Donatılı olsun veya olmasın, dolgu duvarları çerçeve sistemlerin yanal rijitlik ve dayanımını önemli ölçüde etkilemektedir.
- Yanal rijitlik ve dayanım yük geçmişi ile yakından ilgilidir. Bundan dolayıdır ki monotonik yüklemeler altında, panel donatısının detaylandırılması ve yerleşimi sistemin davranışını fazla etkilememiştir. Ancak tersinir tekrarlanır yüklemeler altında bu durum değişiklik arz etmektedir. Donatının detaylandırılması, yerleşim düzeni ve panel ile çerçeve arasındaki bağlantı şekli, sistemin davranışını büyük ölçüde değiştirmektedir.
- Yapılan çalışmalarda, hasarın daha çok birinci katta yoğunlaştığı tespit edilmiştir.
- Başlangıç yanal rijitliği olarak, monolitik perde duvarının boş çerçeveye göre 4~5 kat daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir.
- Yine çerçeve sisteme panelin eklenmesiyle davranış büyük ölçüde değişmektedir.

Liauw *et al.* (1982) tarafından ankraj çubuklu ve ankraj çubuksuz çok-katlı dolgulu çerçevelerin analitik hesabı, kullanılan malzemelerin non-lineer özellikleri ile dolgu ve çerçeve arasındaki ara yüzey etkisinin dikkate alındığı bir sonlu eleman yaklaşımı kullanılarak analiz edilmiştir. Yaklaşımda ankraj çubuklarının bulunduğu yerlerde dolgu ve çerçeve ara yüzeyinin non-lineer kayma-kesme özellikleri hesaba katılmıştır. Buna karşılık ankraj çubuklarının bulunmadığı yerlerde ise ara yüzeyde ayrılma, kayma ve sürtünme etkileri dikkate alınmıştır. Araştırmada kırılmanın anlaşılması ve yük-yer değiştirme davranışının çalışılması amacıyla çatlama, dolguya ait non-lineer gerilme-şekil değiştirme davranışı ve ezilme ile çerçeveye ait akma karakteristiklerinin tümü hesaplara katılmıştır. Tipik model yapılar analiz edilmiş olup, çalışmada gösterilen non-lineer analizin çok yönlülüğü ve gerçekliği deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Achyutha *et al.* (1986) tarafından tuğla dolgulu çerçevelerin analizi için sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan bir araştırmayı içermektedir. Yapılan çalışma bir adet kapı

veya pencere boşluğu olan ve boşluksuz çerçeve sistemlerin analizini içermektedir. Boşluklu çerçeve sistemlerinde, boşluğun üstündeki hatıl araştırmada dikkate alınmıştır. Sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan modellemede, çerçeve ve dolgu arasındaki kayma, ayrılma ve sürtünme gibi parametreler de hesaplara katılmıştır. Araştırmada dolguda yer alan bir adet boşluğun büyüklük olarak değişimi ve boşluk etrafına yerleştirilen rijit çubukların yerleşim şeklindeki değişimin, sistemin yanal rijitlik ve dolgu içindeki gerilme dağılımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Tasarlanan model ile deneysel sonuçlar karşılaştırılarak modelin doğruluğu kontrol edilmiştir.

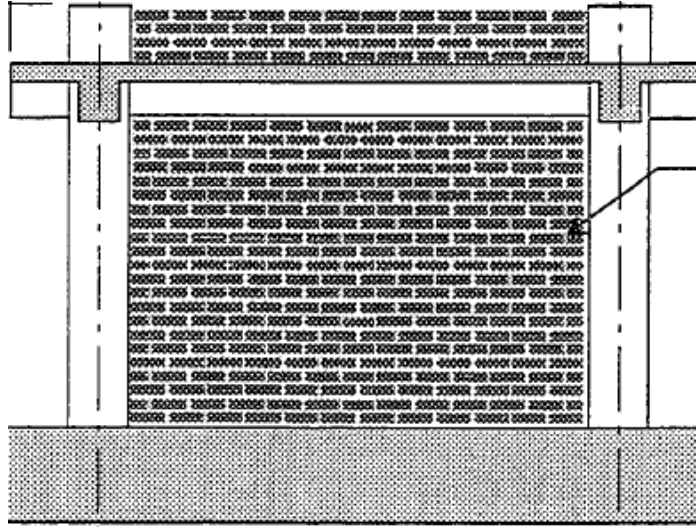
Düzgün (1988) tarafından yapılan çalışmalarda, dolgu duvardan dolayı çerçeve sistemlerindeki rijitlik artışının hesaplanabilmesi için, sonlu elemanlar yöntemine dayalı bir analitik model geliştirilmiştir. Düzlemi içerisinde değişik yüklemeler altında, dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin rijitliğini bu analitik modele dayalı olarak belirleyen ve düğüm noktalarındaki deplasmanları ile iç kuvvetleri de hesaplayabilen BASIC programlama diliyle yazılmış bir program geliştirilmiştir.

Liauw *et al.* (1988) tarafından çok açıklıklı dolgulu çerçevelerin non-linear davranışı tek açıklıklı dolgulu çerçevelerle birlikte araştırılmıştır. Monolitik ve monolitik olmayan dolgulu çerçevelerin her ikisi de çalışılmıştır. Araştırmada non-linear sonlu eleman metodu, kullanılan malzemelerin non-linear özellikleri, panelin çatlama durumu ile panel ve çerçeve ara yüzeyindeki ayrılma, sürtünme, kayma ve non-linear kesme-kayma karakteristikleri dikkate alınarak analizde uygulanmıştır. Yapılan çalışma başlangıç elastik sınırdan nihai kırılma sınırına kadarki tüm yükleme aşamalarını içermektedir. Modeller yük-yer değiştirme davranışı, nihai yükleme ile panel/çerçeve ara yüzeyindeki etkileşim gerilmeleri açısından teorik sonuçların doğrulanması amacıyla test edilmiştir. Teorik ve deneysel sonuçların ilişkisi genelde uygun elde edilmiştir. Yapılan çalışma ile gerilmelerin yeniden dağılımlarının tek açıklıklı dolgulu çerçevelerde olduğu gibi çok açıklıklı dolgulu çerçevelerde de çökme öncesinde gerçekleştiği ve çok açıklıklı dolgulu çerçevelerdeki etkileşim gerilmelerinin tek açıklıklı dolgulu çerçevelerdeki gerilmelerle oldukça uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

Altın vd (1990) tarafından 4 adet iki katlı ve tek açıklıklı, 1/3 geometrik ölçeğe sahip deney elemanları üzerinde deneysel bir çalışma yürütülmüştür. Çalışmada betonarme çerçevelerin betonarme dolgu duvarlar ile güçlendirilmesi sonucunda ortaya çıkan davranış ve dayanım değişikliği incelenmiştir. 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 arasında yük aktaran donatıların detaylandırılması, kolon eğilme kapasitesi, kolon 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:

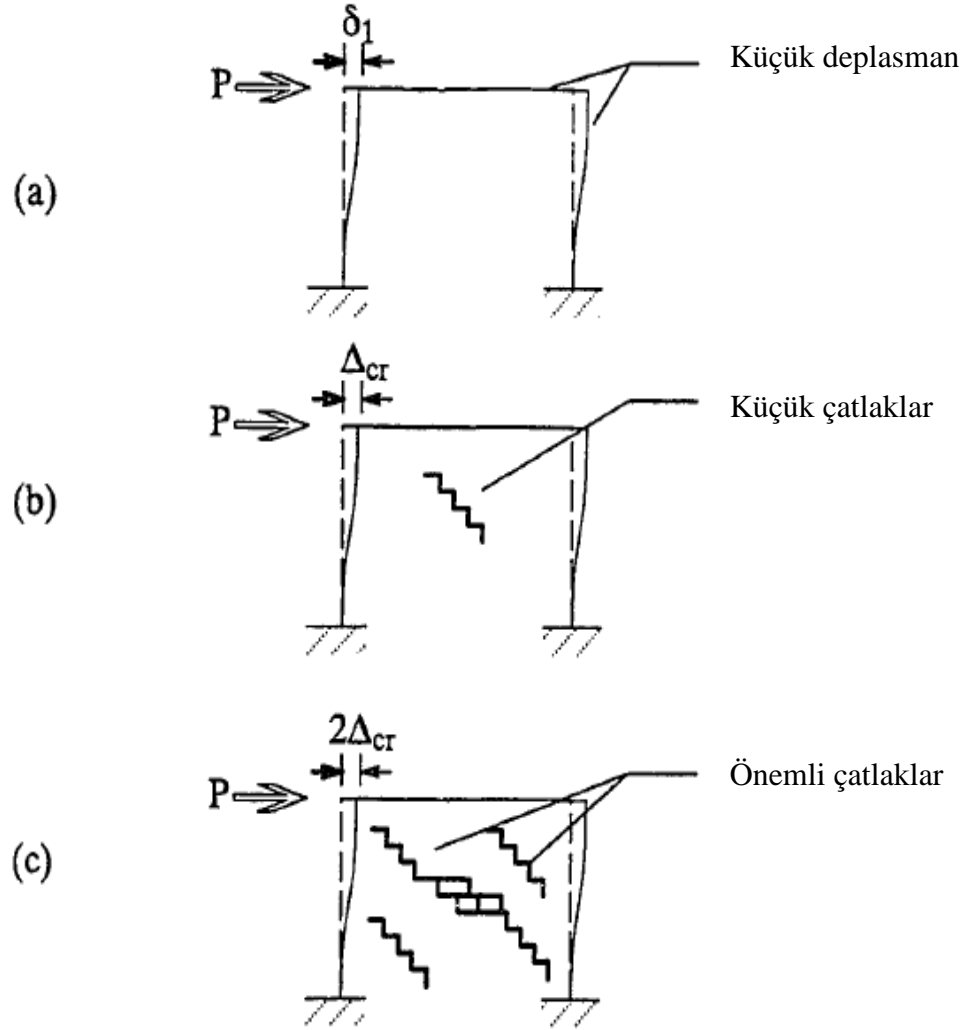
- Çerçeve ve betonarme dolgu duvarı arasında yük aktaran donatı detayının, dayanım ve süneklik düzeyinin sistem üzerindeki etkisinin önemli olduğu sonucuna varılmıştır.
- Kolon eğilme kapasitesinin ve eksenel yükün artması, davranışın iyi yönde gelişmesini ve deney elemanının dayanımının artmasını sağlamıştır.
- 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.

Richard (1994) tarafından yapılan bir çalışmada dolgu duvarlı çerçeve sistemleri modellenmiştir. Çalışmada dolgu duvarlarının sistem davranışı üzerindeki etkilerinin araştırılması için dolgu duvarların, taşıyıcı sistemle birlikte modellenmesi gerektiği savunulmuştur. Yapılan çalışmada, daha önce yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen formülasyon kullanılarak, dolgu duvarları çubuk elemanlar olarak ele alınmış ve sistem üzerindeki etkileri incelenmiştir. Söz konusu araştırmacı tarafından önerilen örnek bir dolgu duvarlı çerçeve sistemi Şekil 2.3'te (Tarakcı 2006) verilmektedir.



Şekil 2.3. Dolgu duvar örneği (Tarakcı 2006)

Araştırmacı tarafından ele alınan dolgu duvarlı çerçeve modelinin kırılma biçimi de Şekil 2.4'de (Tarakcı 2006) verilmiştir. Şekil 2.4'den de görüleceği üzere, model sistem "a" durumunda önemli bir hasara uğramamakta ve elastik bölgede kalmaktadır. "b" ve "c" durumunda ise model sistem plastik bölgeye geçmekte, $2\Delta_{cr}$ deplasmanı yaparak maksimum deplasmana ulaşmakta ve taşıma kapasitesini tamamen kaybetmektedir.



Şekil 2.4. Deneysel sonuçları duvarın kırılma biçimi (Tarakcı 2006)

Negro *et al.* (1996) tarafından çerçeve yapıların global sismik davranışı üzerine yapısal olmayan kargir dolguların etkisi tam-ölçekli dinamik deneyler, deney sonrası hesaplanan sonuçlara bağlı olarak araştırılmıştır. Deneyler farklı dolgu özelliklere sahip dört katlı çerçevesel bir yapıda yürütülmüştür. Sonuç olarak panellerin düzensiz dağılımı ile çerçevede oldukça büyük hasarların meydana gelebileceği savunulmaktadır. Üstelik dolguların düzenli dağılımında bile çerçevenin düzensiz davranabileceği vurgulanmaktadır. Böylece global modeller vasıtasıyla böyle yapıların davranışı keşfedilmektedir. Deneysel ve sayısal sonuçların karşılaştırılması ile bu tipteki yapıların

davranışlarının anlaşılması için global model ayarlamaları yapılarak bir dizi öneri sunulmuştur. Bu önerilerden bir kısmı aşağıda özetlenmektedir:

- Dinamik test sonuçlarından, yapısal olmayan kargir dolgu varlığının çerçeveli binaların global sismik davranışına uyarlanabileceği doğrulanmaktadır.
- Düzgün dolgulu bir yapıda, dayanım ve rijitliğin bazı ayarlamalarla artırılabilceği dikkate alındığında, dolguların düzensiz olarak dağılımı, düzenli dağılım şartlarına göre çerçevede oldukça büyük süneklik gereksinimine yol açmaktadır.
- Diğer taraftan ise düzgün dolgulu yapıdan elde edilmiş deneysel ve sayısal sonuçlar, dolguların düzenli dağılımında bile çerçevenin düzensiz davranabileceğini göstermiştir.
- Deneysel sonuçlar ile sayısal hesapların karşılaştırılmasından düzensiz dolgulu yapı davranışının, basitleştirilmiş global tip modeller vasıtasıyla gerçekçi bir şekilde elde edilebileceği sonucu çıkmıştır.
- Bu durumda kabul görmüş bazı kriterler bu eleman davranışının belirlenmesi için kullanılmakta ve bu tip model kullanımı ise düzensiz yapıların tasarımında oldukça basit ve sağlam bir yaklaşımın önünü açmaktadır.

Budak (1997) tarafından dolgu duvarlı çerçevelerin gerçek davranışları göz önünde bulundurularak malzeme bakımından doğrusal olmayan analizi yapılmıştır. Analizde, dolgu duvar ve çerçeve arasında ayrılma meydana gelmesi, dolgu duvar ve çerçeve elemanları arasındaki bağıl hareketten doğan sürtünme kuvvetleri ile yapımdan kaynaklanan boşluk bulunması hali göz önüne alınmıştır. Dolgu duvarda yüklerin artışına bağlı olarak meydana gelen kırılma ve çatlaklar dikkate alınmış, burkulma kontrolü yapılmıştır. Dolgu duvarda iki eksenli gerilme için verilen bünye denklemleri kullanılmış, değişken bir yapıya sahip olan bu bünye denklemlerinin doğrusal olmayan analizde kullanılması sağlanmıştır. Statik yükler için yapılan analizde yüklerin genel konumlu olduğu kabul edilmiştir. Dinamik yer hareketinden doğan atalet kuvvetlerinin dikkate alınabilmesi için çalışma yapılmıştır.

Araştırmacı tarafından yapılan analitik incelemeler sonucunda, dolgu duvarlı çerçevenin yalın çerçeveye göre oldukça rijit davrandığı gözlenmiştir. Çerçeve elemanlarının

kırılmadan kalmaları halinde, dolgu duvarda kırılma ve çatlaklar oluşsa bile, dolgu duvarlı çerçeve rijitliğinin tümüyle kaybolmadığı tespit edilmiştir. Dolgu duvar içinde yapımdan kaynaklanan boşluk bulunmasının, dolgu duvarlı çerçeve rijitliğini önemli ölçüde azalttığı savunulmuştur. Ayrıca, incelenen modellerde kırılmaların gerilme çatlakları nedeniyle meydana geldiği görülmüştür.

Çıtıptıoğlu vd. (1997) tarafından taşıyıcı olmadığı varsayılan dolgu duvarların, bina deprem davranışına etkisi incelenmiştir. Yapının üç boyutlu modellenmesinde basınç çubukları elastik sınıra kadar eşdeğer statik deprem yükleri altında ardışık kırılma durumları iteratif bir yöntemle hesaplamak ve yapı elemanlarının moment, kesme kuvveti ve eksenel kuvvet zarflarını elde etmek amacıyla SAP90 bilgisayar programı için ön ve art işlemciler geliştirilmiştir. Sonuç olarak taşıyıcı olmayan dolgu duvarların salınım sınırlarını geçmemesi ve taşıyıcı sistemin elastik limiti aşmamasına rağmen hasar görebileceği, basınç çubuğuyla modellenip ardışık kırılma hesabı yapılması ile yük taşımayan bölme duvarların etkileşimini hesaba katmanın iyi bir yaklaşım olduğu tespit edilmiştir.

Karaduman (1998) tarafından tek katlı tek açıklıklı dolgu duvarlı çelik çerçeve sistemlerin davranışı, deneysel ve analitik olarak incelenmiştir. Bu amaçla yükleme koşulları, malzeme özellikleri, dolgunun cinsi ve kalınlığı, sıva, çerçevedeki çekme ve basınç kolonlarının enkesit alanları ve boyutları ana değişkenler olarak seçilmiştir. Bu değişkenlerin dolgu duvarlı çerçeve sisteminin göçme yükü ve göçmeden önceki davranışı üzerindeki etkileri ile üç doğrultulu (0° , 45° ve 90°) deformasyon ölçerlerle ölçülen birim boy değişimlerinden yararlanılarak, deneysel gerilme analizi yapılmıştır.

Ayrıca deneysel sonuçlardan elde edilen yük-şekil değiştirme eğrileri toplu olarak çizilmiş ve sonlu elemanlar modellemesi yapılarak, SAP 90 programı ile yapılan çözümler yardımıyla yatay rijitlikler elde edilip, eşdeğer basınç çubuğu genişliği yaklaşımı yapılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilerek uygulamaya yönelik tavsiye ve önerilerde bulunulmuştur. Çalışmanın kapsamı, dolgulu ve boş çelik çerçevelerin yatay yükler altındaki davranışı ile sınırlı tutulmuştur.

Harpal *et al.* (1998) tarafından yapılan incelemelerle, statik yükler ve deprem etkisine maruz dolgu panelli çerçeve sistemlerin davranışı, doğrusal olmayan sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiştir.

Yatay yükleme altında, çerçeve ve dolgu ara yüzeylerdeki harç, kayma gerilmelerinden dolayı çatlamakta ve ezilmektedir. Ayrıca dolgu duvarı da çatlayabilir veya ezilebilir. Bu durum dolgu duvarı yapısal davranışını önemli ölçüde değiştirir ve dolgunun etkisiz hale gelmesine neden olabilir. Böylece tüm yük çerçeve tarafından taşınır ki bu da dolgu duvarlı çerçeve sisteminin yetersizliğine yol açar.

Söz konusu araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda tek katlı ve iki katlı düzlem çerçeve ele alınarak, yanal yüklerin artışı ile yapıda oluşan yanal yer değiştirmelerin değişimi ile elemanlardaki hasar biçimleri incelenmiştir. İncelenen çerçeve sisteminin oluşturulmasında yük dağılım davranışı, dolgunun çerçeveden ayrılması, eşdeğer köşegen genişliği, mod ve yük değişimi gibi parametrelerin dikkate alınması gerekliliği savunulmuştur.

Türk (1998) tarafından tek 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 özetlenmiştir:

- Betonarme dolgunun davranışını etkileyen en önemli parametrenin, çerçeve sistemi ile dolgu arasında yük aktarma mekanizmasında da en önemli role sahip olan, dolguyu çerçeve sisteme sabitleyen donatı detayı olduğu, bu birleşim başarısının ise tamamen işçilikte gösterilen özene bağlı olduğu savunulmuştur.
- Çerçeve kolonlarında katlar seviyesinde yapılan yetersiz uzunluktaki bindirme eklerinin, dolgulu deney elemanının dayanım ve sünekliğini son derece azalttığı bildirilmiştir.

- Boş çerçevedeki hasar miktarı değişiminin betonarme dolgu duvarın davranışını çok değiştirmedeği gözlemlenmiştir.
- Betonarme dolgu duvarları yatay dayanımının boş çerçevelere göre 8-13 kat daha fazla olduğu ve başlangıç süneklik değerinin de 19-24 kat daha fazla olduğu gözlenmiştir.

Dedier *et al.* (1999) tarafından periyodik yükleme altındaki tek katlı tek açıklıklı çerçeve test edilmiş ve modellenmiştir. Çerçevenin sismik analizi iki aşamalı model kullanılarak incelenmiştir. Buradan lokal seviyede, her elemanın kendi bileşen şartlarına ve geometrik sonlu eleman özelliklerine sahip olduğu kabulü yapılmıştır. Araştırmada asıl ele alınan konu beton ve dolgu duvardaki çatlama ile kırılmanın, devamlı hasar ve plastisite teorileri kullanılarak doğru bir şekilde tasarlanmasıdır. Bu çalışmada, analizi iki aşamada yapılan çerçeve sisteminin ilk aşaması olan lokal modeldeki hesaplamalar kapsamlı olmamakta ve dinamik analize izin vermemektedir. Ancak global modelde, sayısal kurallar temellendirilerek yapıldığından dolayı, sistemin sismik yüklemdeki davranışı doğru bir şekilde yapılabilmektedir.

Tüzün (1999) tarafından yapısal sistemlerde kullanılan dolgu duvarlı çerçeve sistemleri sonlu elemanlar yöntemiyle modellenerek yatay yükler altındaki davranışı ve dolgu duvarların yapıya olan katkısı araştırılmıştır. Analiz yöntemi olarak dinamik analizde tepki spektrumu kullanılmıştır. Bu çalışmada yapının yatay ve düşey periyotları, mod şekilleri, taban kesme kuvvetleri ve yatay ve düşey deplasmanları incelenmiştir. Sonuç olarak, dolgu duvarların yapı yatay rijitliğini arttırdığı, yatay ve düşey yer değiştirmeleri azalttığı, yapı yatay rijitliğinin artmasıyla yapı hâkim periyodunun küçüldüğü sonucuna varılmıştır.

Orbay (2001) tarafından yanal deprem yükü etkisindeki dolgu duvarlı çerçeveler üzerine bazı araştırmalar yapılmış olup, dolgu duvarları, daha önce de belirtildiği üzere, eşdeğer diyagonal basınç çubuğu kavramı ile modellenmiştir. Yapılan çalışmalardan çapraz genişliğin, çerçeve köşe uzunluğuna göre 1/8 veya 1/4 oranları arasında değişim gösterdiği ve etkili genişliğin ise diyagonal uzunluğa göre 1/5 oranında alınabileceği

savunulmaktadır. Yapılan incelemelerde kat sayısı, açıklık sayısı, dolgu duvar düzeni ve rijitliği gibi değişkenler esas alınmıştır. Bir binada dolgu duvarların varlığından dolayı taşıyıcı sistemin davranışında, boş çerçeve kabulündeki davranışa göre ortaya çıkan farklılıklar incelenmiştir. Yapılan incelemelerden boş çerçeve varsayımına göre, dolgu duvarlı çerçeve sistemin rijitlik dağılımı önemli ölçüde etkilendiğinden, sisteme etkileyen yüklerin taşıyıcı elemanlara aktarımında ve dolayısıyla eleman kesitlerinde oluşan büyüklüklerde önemli farklar gözlemlenmiştir. Gözlemlenen bu farklılıklardan dolgu duvarının her zaman güvenli olmadığı, doğru ve düzenli bir şekilde oluşturulmadıklarında sakıncalı olabilecek zayıf kat, yumuşak kat, eksantriklik gibi olumsuz davranışlara yol açarak sistemin genel yapısal davranışını etkileyebileceği gösterilmiştir.

Sivri (2003) tarafından betonarme yapılardaki taşıyıcı olmayan dolgu duvarların deprem davranışına olan etkileri ele alınmıştır. Bu amaçla, dolgu duvar performanslarının belirlenmesi için değişik dolgu duvarı yerleşimleri ile betonarme yapılar incelenmiştir. Betonarme yapılarda kullanılan dolgu duvarları bu çalışmada diyagonal eleman olarak modellenmiştir. Söz konusu araştırmacı tarafından yapılan bu çalışmada önce bazı yapı mimarileri seçilmiş ve dolgu duvarlarının bu sistemde taşıyıcı olarak kabul edilip edilmediği durumlar için farklı duvar yerleşimleri yapılarak yapılar incelenmiştir. Daha sonra, ele alınan sistemlerde doğrusal olmayan çözümler yapılmış ve her iki durumda da yapının periyot, yatay yer değiştirme, yapı performansı ve göçme şekli gibi özelliklerin nasıl değiştiği incelenmiştir.

Ataman (2003) tarafından deney numuneleri, 4 adet tek açıklıklı ve iki katlı çerçeveler olarak modellenmiştir. Deney numuneleri 1/3 geometrik ölçekle tasarlanmıştır. Hazırlanan deney elemanları daha önceden belirlenmiş olan dolgu duvarla güçlendirildikten sonra test edilmiştir. Böylece, çerçeve taşıyıcı sistemine sonradan ilave edilen betonarme dolgu duvarların, çerçevenin yatay deprem yükleri etkisi altında davranışına olan etkileri, belirlenmeye çalışılmıştır.

Tüm deney elemanlarında çerçeve ile betonarme dolgu duvarı arasındaki bağlantı biçimi aynıdır. Epoksi kullanılarak çerçeveye kenetlenen filiz donatıları çerçeve ile betonarme dolgu duvarı arasındaki bağlantıyı sağlamıştır. 1 No'lu deney elemanı boş çerçeve, 2 No'lu deney elemanı ise monolitik betonarme perdeli olarak üretilmiştir. Bu iki deney elemanı referans elemanları olarak düşünülmüştür. Çerçeve iç alanının %50'sinin betonarme kanat dolgu duvarlı 3 No'lu ve boşluksuz betonarme dolgu duvarı ile güçlendirilmiş 4 No'lu iki deney elemanı daha üretilmiştir. Referans elemanı olan sistemler ve güçlendirilmiş yeni sistemler, deprem yüklerini benzeştiren tersinir ve tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Yapılan deneyler ile betonarme dolgu duvarlar üzerindeki süreksizliğin süneklik, rijitlik, enerji tüketimi ve dayanım gibi önemli sonuçları etkileme biçimi araştırılmıştır. Referans deney elemanları ile betonarme dolgulu çerçeveler karşılaştırılmış ve davranış farklılıkları incelenmiştir.

Celep vd. (2003) tarafından deprem etkisindeki betonarme taşıyıcı sistem davranışına bölme duvarların etkisi incelemiş ve sistem içinde bulunan bölme duvarların yatay yük taşıma kapasitesine olan etkisi ele alınmıştır. Bu amaçla değişik bölme duvarı düzeni bulunan beş katlı betonarme çerçeveli bir binada, deprem etkisi mod birleştirme yöntemi kullanılarak yatay kuvvetin çerçeve ve duvar elemanları tarafından paylaşılmasını incelemişlerdir. Bu paylaşımın bağlı olduğu parametreler ve bunların sonuca olan etkileri araştırılmıştır. Bu çerçevede binada bölme duvarlarının plandaki düzeninin, taşıyıcı sistem periyoduna, genel davranışa ve yatay yük karşılamaına olan katkısı incelenmiş ve sayısal sonuçlar verilmiştir. Sonuç olarak, binadaki bölme duvarların taşıyıcı sistem genel davranışına etkisi, binanın yanal rijitliğini artırması bakımından önemli olduğunu az sayıda bölme duvarın dahi önemli bir rijitlik artışı ortaya çıktığını vurgulamıştır. Yeterli bölme duvarının bulunması durumunda, duvarın rijitlikleri sebebiyle yatay yer değiştirme talebi sınırlanacağı için kapasite aşılması çoğu zaman ortaya çıkmayabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca bölme duvarların kat kesme kuvvetinin önemli bir kısmını karşıladığı, az katlı binaların güçlendirilmesinde bölme duvarı döşenmesinde hasır çelik ve beton tabaka eklenmesi ile sünek duruma getirilmesi uygulanabilir bir çözüm olduğu vurgulanmıştır.

Çağlayan (2006) tarafından yapılan çalışmada, dolgu duvarlı betonarme çerçeve sistemlerde, tüm eleman malzeme özelliklerin gerçeğe daha yakın alındığı genel amaçlı sonlu elemanlar programı ile dolgu duvarlı betonarme çerçeve sistemlerin doğrusal olmayan çözümü gerçekleştirilmiştir. Söz konusu program ile yapılan analizde taşıyıcı sistemi oluşturan betonarme elemanlar çubuklarla, dolgu duvarları ise eşdeğer basınç çubukları ile modellenmiştir. Araştırmada, eşdeğer basınç çubuklarının genişliği, kısmi dolgu duvarlı çerçeveleri de kapsayacak şekilde verilmiştir. Yapılan teorik çalışmada betonarme elemanların mafsallaşması için şart olarak, kirişlerde moment ve kesme etkileri, kolonlarda aksel yük, moment ve kesme etkileri ve dolgu duvarda ise sadece aksel yük etkilerinin varlığı kabul edilmiştir. Teorik çalışma sonucunda, kirişlerin taşıma kapasiteleri ile kolonların karşılıklı etki diyagramları, elemanların geometrik ve malzeme özelliklerine göre belirlenmiştir. Bu çalışmada önerilen yöntemle, çeşitli dolgu düzensizliklerine sahip dört katlı düzlemsel betonarme çerçeve sisteminde, kapasite analiziyle yapılan dayanım ve rijitlik değişimleri araştırılmıştır.

Kara (2006) tarafından sünek olmayan betonarme çerçevelerin betonarme parçasal dolgu duvarlarıyla güçlendirilmesi araştırılmıştır. Dokuz adet deney elemanı tersinen tekrarlanan yatay yükler altında test edilmiştir. Parçasal dolgu duvar uzunluğunun, duvar yüksekliğine oranı, parçasal dolgu duvarın betonarme çerçeve içinde düzenleniş biçimleri ve dolgu duvarda kullanılan uç elemanının varlığı çalışmanın değişkenleridir. Çalışmada test edilen iki katlı tek açıklıklı betonarme çerçeve deney elemanları ülkemizdeki betonarme yapılarda karşılaşılan önemli yapı kusurlarını içerecek şekilde üretilmiştir. Test sonuçları parçasal dolgu duvarın, betonarme çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini, rijitliğini ve enerji tüketimini önemli oranlarda artırdığını göstermiştir. Parçasal dolgu duvarın uzunluğunun, yüksekliğine oranının artması deney elemanının yatay yük taşıma kapasitesini ve rijitliğini artırmıştır. En başarılı sonuçlar parçasal dolgu duvarın çerçevenin kolon ve kirişlerine bağlı olarak üretilen deney elemanlarında elde edilmiştir. Parçasal dolgu duvarında kullanılan uç elemanının, deney elemanı yatay yük taşıma kapasitesi, rijitliği ve göçme mekanizması üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Betonarme çerçeve elemanlarının dayanım ve sünekliğinin

yetersizliği parçasal dolgu duvarıyla güçlendirilen elemanların davranış ve göçme modu üzerinde etkili olmuştur.

Peynirci (2007) tarafından betonarme binalarda genellikle yatay yükler altında hesaba dâhil edilmeyen dolgu duvarların deprem etkisi altındaki, etkisinin değerlendirilmesi incelenmiştir. Bu amaç kapsamında dolgu duvarsız çerçeve, tuğla dolgu duvarlı çerçeve ve gaz beton dolgu duvarlı çerçeve olmak üzere üç farklı çerçeve sisteminin Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007)'ye göre tasarım deprem kuvvetleri altında 3 tip örnek ile çözümü yapılmıştır. Öncelikle STA4-CAD programında modellenmiş, betonarme çözümü yapılmış çerçeve sistemleri elde edilen değerler yardımıyla SAP2000 programında modellenmesi ile lineer analiz ve non-lineer analizleri yapılmış ve bu üç çerçeve sistemindeki etkiler karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, dolgu duvarların dikkate alınmasıyla yapı performansı ve rijitliğinin daha da arttığı, deprem anında binaya olumlu davranış kattığı sonucuna varılmıştır.

Bu çalışma donatılı dolgu duvarları ile yapılan güçlendirmede dolgu duvar donatısının çerçeveye tutturulması amacıyla kullanılan ankraj çubuklarının dolgu duvarlı çerçeve sistemine olan katkısını belirlemek için yapılmıştır. Dolgu duvarlı bir çerçeve sistemde dış yüklerin etkisiyle çerçeve eğilmeye, dolgu duvarı ise kaymaya çalışmaktadır. Bu durumda çerçeve ile dolgu duvarı birbirlerinden bağımsız bir davranış sergilerler. Oysa yanal olarak etkiyen yükler karşısında böyle sistemlerin kararlı davranabilmesi için birleşiminin tam anlamıyla sağlanması gerekmektedir. Bu çalışmada dolgu duvarı ile çerçeve arasındaki birleşim, dolgu duvarı kaymasını önleyecek şekilde ankraj çubukları ile sağlanmıştır. Bu iki farklı elemanın birbirinden ayrılmadan, birlikte davranabilmesi durumunda, davranış daha basit hale geleceğinden, uygulamada kabul görecektir, pratik ve güvenilir bir modelleme geliştirilebilir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin deprem davranışlarının anlaşılması amacıyla, çerçeve ve dolgu duvar arasında bağlantıyı sağlayan ankraj çubuklarının dolgu duvarlı çerçeve sistemlerine katkısının araştırılması doğrultusunda deneysel çalışmalar yapılmıştır. Çalışmada ana parametre, birleşimi sağlayan ankraj çubuklarının dolgu duvarlı çerçeve sistemlerine olan etkisidir. Bunun için deney programı ve deney düzeneği geliştirilmiştir. Deneysel çalışmada, ¼ ölçekte tek katlı tek açıklıklı dolgu duvarlı çerçeve sistemi ele alınmıştır. Dolgu duvarlı çerçeve sisteminde, dolgu duvar malzemesi yerinde dökme betondan oluşurken, çerçeve ise çelik profil ve betonarme çerçeve olarak seçilmiştir. Dolgu duvarlar ile çerçeve arasındaki bağlantı çelik ankraj çubukları ile sağlanmıştır.

Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerde, ankraj çubukları etkisinin etkin bir şekilde elde edilebilmesi için geliştirilen deney programı ve deney düzeneğine bağlı olarak laboratuarda deneyler yapılmıştır.

Geliştirilen deney programı ve deney düzeneği kapsamında deney numunesi ¼ ölçekte tek katlı tek açıklıklı olarak üretilmiştir. Dolgu duvar malzemesi yerinde dökme beton, çerçeve betonarme ve çelik profil ve ankraj çubukları çelik malzeme olarak seçilmiştir. Beton dolgu duvarı tüm deneylerde 7 (yedi) gün süreyle kür edilmiş, ¼ ölçekteki deney numunesi betonun en büyük agrega boyutu 7 mm seçilmiştir. Ankraj çubukları için Ø4 mm'lik bir çapın kullanılmıştır. Dolgu duvarlı çerçeve modeli, deney düzeneğinde kendi ağırlığında tutulmuş ve köşegeninden yüklenmiştir. Yükleme her model için aynı olmak koşuluyla, dolgu duvarının çatlama yüküne erişmesine kadar modelin üst kısmından artımlı olarak yapılmıştır. Deneylerde sürtünmeden kaynaklanan etkilerin azaltılması için sistem tabanına silindir mesnetler yerleştirilmiştir.

Deney programı hasar-kontrollü bir şekilde yürütülmüş olup, yükleme programı tanımlanan bir hasar derecesine kadar artımlı olarak gerçekleştirilmiş ve tanımlanan

hasar derecesi sağlandığında deneye son verilmiştir. Y¼k artışına bağlı olarak oluşması beklenen başlangıç çatlama veya ara y¼zey çatlağı, çekme veya çapraz çatlaklar, mesnetlerde dolgu ezilmesi ve köşe kırılması/ezilmesi ve serbest mesnetlerde dolgu ayrılması ile tanımlanan hasar derecesi bu çalışma için çatlama y¼k¼ olarak kabul edilmiştir. Çatlama y¼k¼ne kadar sisteme y¼k aktarımı sağlanabilmiş, çatlama y¼k¼ne kadar oluşan hasar seviyesinden sonra y¼k sabit iken yer değiştirmeler devam ettiğinden ve sistemin davranışı plastik bölgeye geçtiğinden deneye son verilmiştir.

Deney programında, ¼ ölçekli tek katlı tek açıklıklı dolgu duvarlı çerçeve sistemi çapraz köşegeninden y¼klenerek, hasar-kontroll¼ bir şekilde y¼r¼t¼lm¼řtir. Y¼kleme programı çatlama y¼k¼ne kadar artımlı olarak gerçekteşirilmif ve çatlama y¼k¼ sağlandığında deneye son verilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda her bir numunenin davranış (y¼k-yer değiştirme) eğrisi elde edilmiş ve bu eğrilerden yararlanılarak enerji yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği hesaplanmıştır. Elde edilen y¼k-yer değiştirme eğrisinde, başlangıç rijitliği çelik çerçeve sistemler için 1,50 mm ve betonarme çerçeve sistemler için de 0,75 mm'lik bir yer değiştirme miktarında hesaplandığından, enerji yutma kapasitesi de bu yer değiştirme miktarına göre hesaplanmış ve değerlendirilmiştir.

Ayrıca, enerji yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği çatlama y¼k¼ne karşılık gelen yer değiştirme miktarında da hesaplanmış ve değerlendirilmiştir.

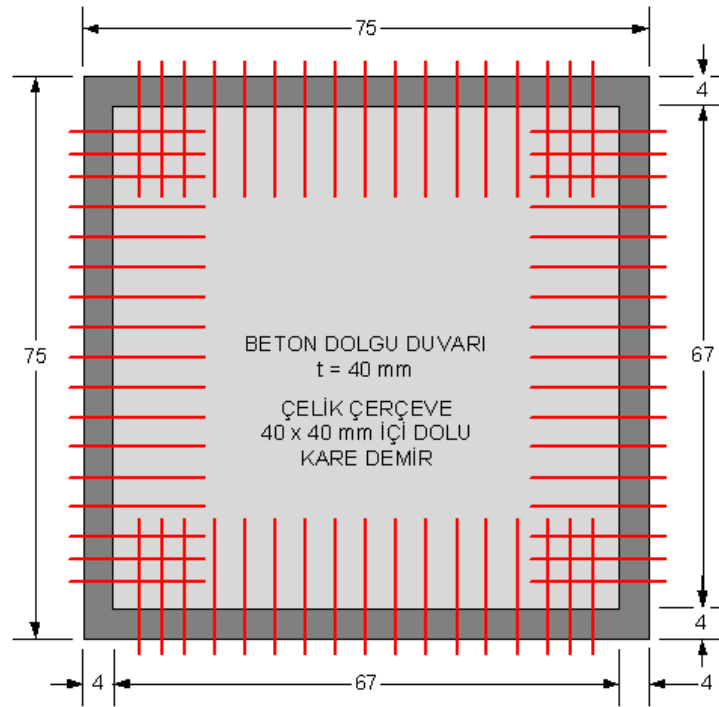
Deneysel çalışmada, beton dolgu duvara ait malzeme sabitleri kullanılarak, çatlama y¼k¼ne kadar oluşan hasar seviyesinde, düzlem şekil değiştirme hali kabul¼yle, dolgu duvarda oluşan ortalama kayma gerilmeleri hesaplanarak dayanım esaslı değerlendirme yapılmıştır. Çalışmada ayrıca, ankraj çubukları kullanılarak yapılan deneylerde, dolgu duvar ile çerçeve arasındaki birleşimi sağlayan ankraj çubuklarına birim şekil değiştirme ölçerler yapıştırılmış ve ankraj çubuklarından geçen düzlem gerilmeler ile ankraj çubukları vasıtasıyla dolgu duvarına iletilen normal y¼kler hesaplanarak dayanım esaslı değerlendirme yapılmıştır. Ön gör¼len y¼klemede eğilmeye çalışan çerçeve ile kaymaya çalışan dolgu duvarının birlikte davranıp davranmadığı tespit edilmiştir.

3.1. Materyal

Bu çalışmanın materyal kısmını, betonarme yapıların belirli bir kısmını temsil edebilecek geometri ve ölçeğe sahip bir model için tasarlanan deney programı ve deney düzeneği oluşturmaktadır.

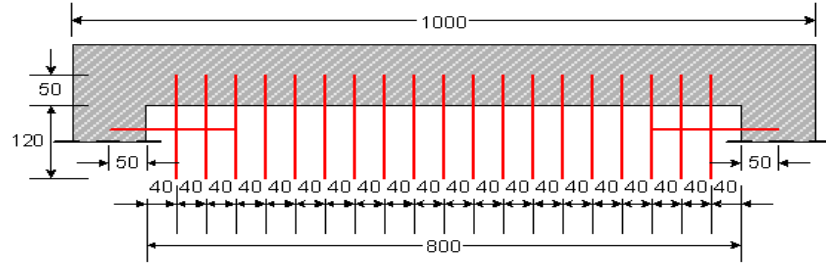
3.1.1. Deney programı

Deney programında, $\frac{1}{4}$ ölçekte tek katlı tek açıklıklı dolgu duvarlı çerçeve sistemi ele alınmıştır. Dolgu duvar malzemesi, yerinde dökme betondan oluşurken, çerçeve ise betonarme ve çelik profil olarak seçilmiştir. Dolgu duvarlar ile çerçeve arasındaki bağlantı, çelik ankraj çubukları ile sağlanmıştır Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'de sırasıyla dolgu duvarlı çelik çerçevesi ve betonarme çerçevesi sistemleri ve bu sistemlere yerleştirilen ankraj çubuklarının yerleşim detayları gösterilmiştir.

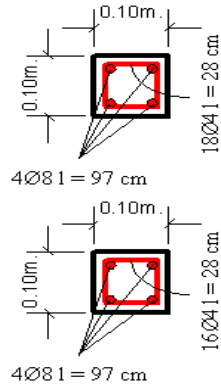


NOT : Ölçüler cm cinsindedir.

Şekil 3.1. Dolgu duvarlı çelik çerçeve sisteme yerleştirilen ankraj çubukları



NOT : Ölçüler mm cinsindedir.
Detayda tüm ölçüleri ile gösterilen ankraj çubukları 4 mm'dir.



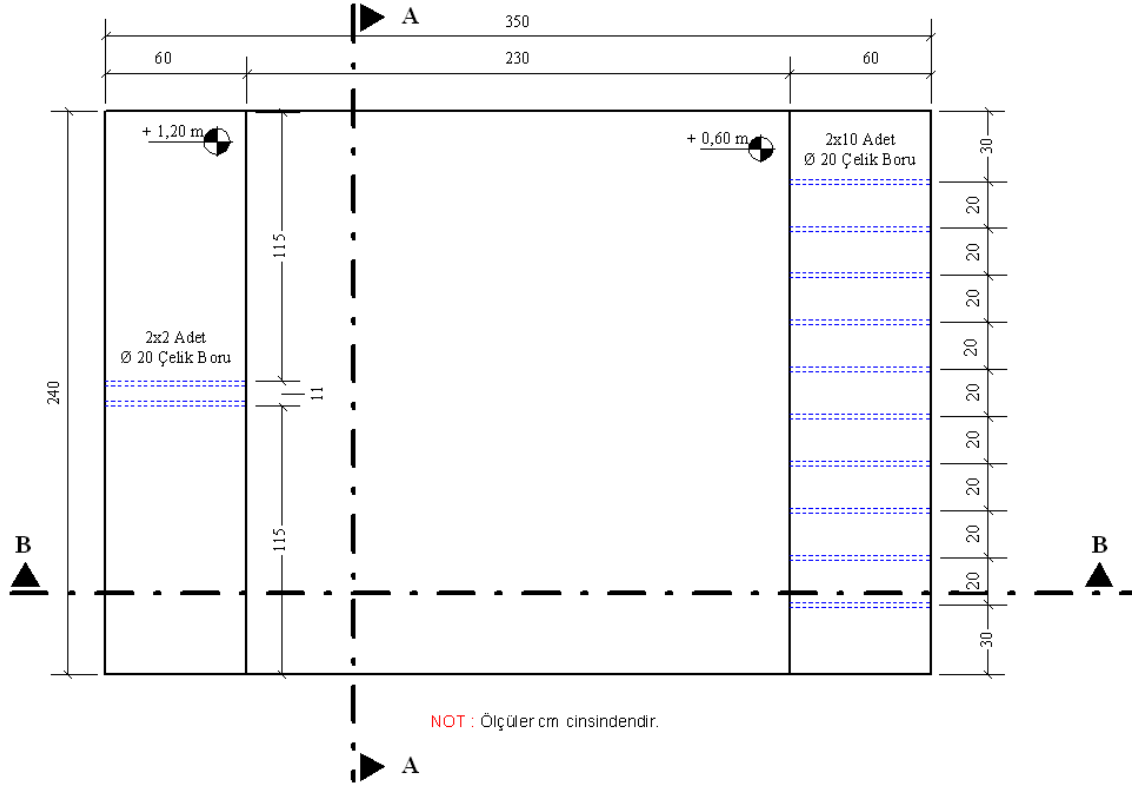
A - A KESİTİ
ÖLÇEK : 1/10

B - B KESİTİ
ÖLÇEK : 1/10

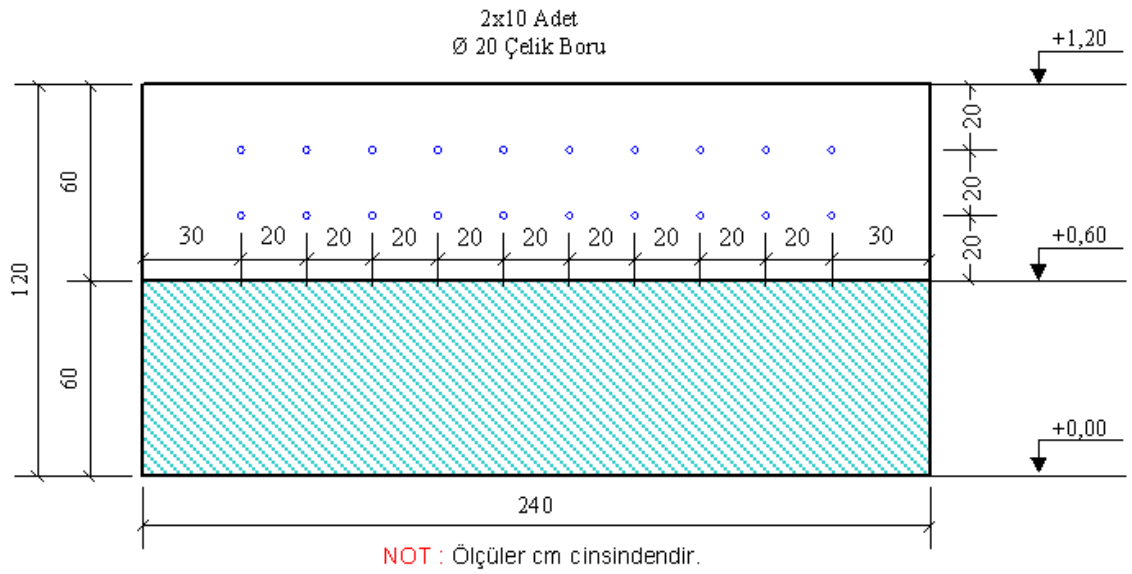
Şekil 3.4. Betonarme çerçeveli sistemde ankraj çubuklarının yerleşim detayı

3.1.2. Deney düzeneğinin oluşturulması

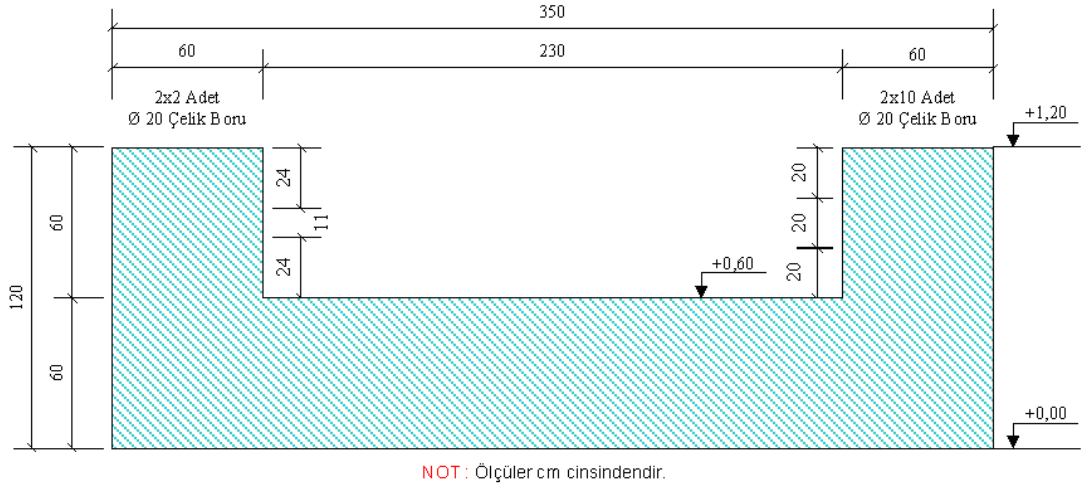
Deney programı kapsamında deneylerin yapılacağı ortam (platform) tasarlanmıştır. Bunun için laboratuarda Şekil 3.5, Şekil 3.6 ve Şekil 3.7'de gösterilen deney düzeneği inşa edilmiştir.



Şekil 3.5. Deneysel platformun planı



Şekil 3.6. Deneysel platforma ait A-A kesiti

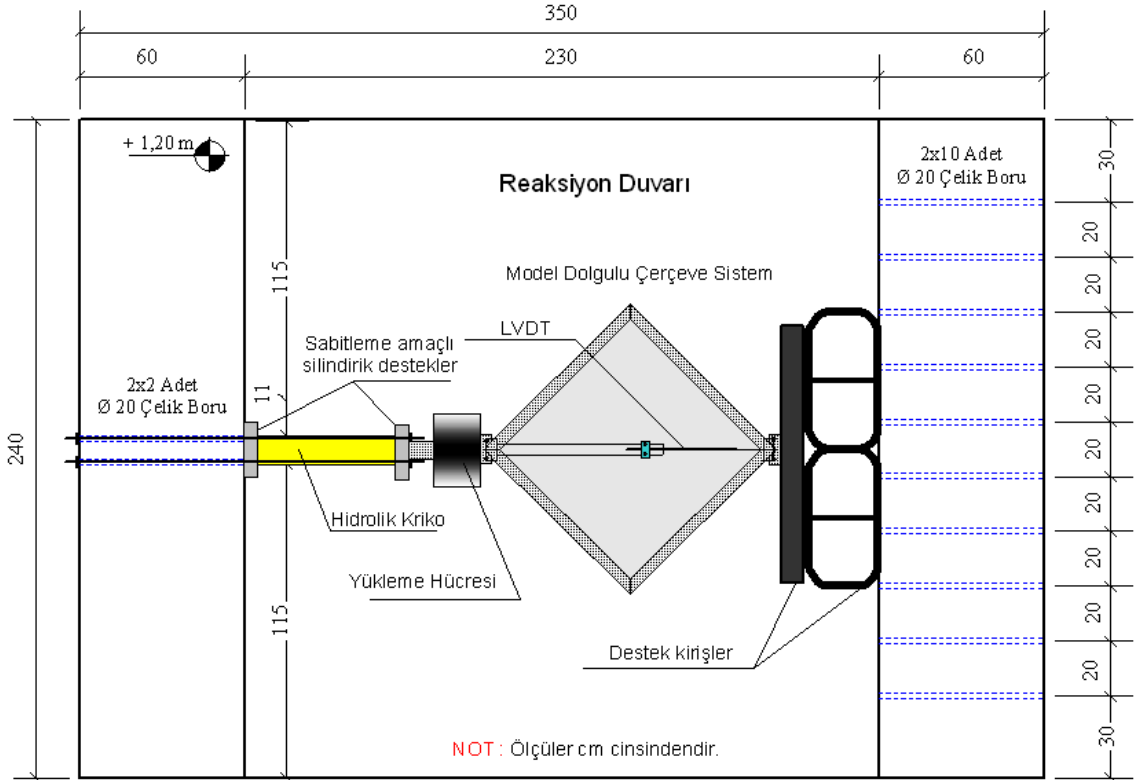


Şekil 3.7. Deneysel platforma ait B-B kesiti

Deneysel platform, Şekil 3.5, Şekil 3.6 ve Şekil 3.7'den görüleceği üzere, deneysel çalışmada kullanılan cihazların montajına imkân sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Bundan sonra Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da görüldüğü gibi bu çalışmada kullanılan cihazların montajı yapılarak deney düzeneği oluşturulmuştur. Deney düzeneğinde yer değiştirme ölçer, sistemde meydana gelen ötelenmenin doğru bir şekilde elde edilmesi amacıyla dolgu duvarlı çerçeve sistemin üzerine yerleştirilmiştir.



Şekil 3.8. Hazırlanan deney düzeneği



Şekil 3.9. Deney düzeneği ve deneysel kurulum

Deneyel kurulumda, öngörülen model, yapı sistemin performansa dayalı değerlendirme ile davranışı göz önüne alınarak, deney programına uygun düzeneğin geliştirilmesi ve deney programında kullanılacak cihazların doğru seçilmesi sağlanmaktadır.

Yapı performanslarının, dayanım esaslı ve yer değiştirme esaslı olarak değerlendirilmesi öngörüldüğünden, deney programının geliştirilmesinde bu iki husus birlikte dikkate alınmaktadır. Öngörülen yüklemde yapının performansı hakkında değerlendirme yapılabilmesi için, yapının taşıyıcı bölümünü (dolgu duvarlı çerçeve sistemi) modellemek yeterli olacaktır. Ayrıca her iki, dayanım esaslı ve yer değiştirme esaslı değerlendirmelerin yapılabilmesi açısından deney programında kullanılacak olan cihazların da işlevsel olarak uygunluğu ve deneysel çalışmadaki konumları oldukça önemlidir.

3.1.3. Deney programında kullanılan cihazlar

Deneysel çalışmada kullanılan cihazlar aşağıda özellikleri ile birlikte verilmiştir:

1. Öngörülen deprem hareketini benzeştiren 250 kN kapasitede ve iki yönlü (yükleme-boşaltma yapabilen) çalışabilen bir hidrolik kriko,
2. Hidrolik krikoya uyarlı olmak kaydıyla ona yükleme-boşaltma yaptıran bir el (el ile kontrollü) pompası,
3. Hidrolik kriko tarafından 250 kN'a kadar uygulanacak (yükleme-boşaltma) yükleri okuyan bir yüklem hücresi,
4. Yer değiştirme esaslı değerlendirmeler için toplam ötelemeyi ölçen 100 mm kapasiteli bir yer değiştirme ölçer [LVDT (Linear Variable Differential Transformers)],
5. Dayanım esaslı değerlendirmeler için dolgu duvar ve çerçeve arasındaki birleşimi sağlayan ankraj çubuklarına yapıştırılan birim şekil değiştirme ölçerler (Strain Gauge),
6. Tüm bu yüklemelerin toplanarak bilgisayara aktarılmasını sağlayan bir veri toplayıcısı (Data-Logger)'dan ibarettir.

3.2. Yöntem

Yapıların, yanal yükler altındaki performanslarının değerlendirilmesinde temel olarak iki kriter vardır. Bunlar, dayanım esaslı değerlendirme ile yer değiştirme esaslı değerlendirme dir. Çalışmada, her iki değerlendirme birlikte ele alınarak, model sistem performansı değerlendirilmektedir.

3.2.1. Yer değiştirme esaslı değerlendirme

Şekil değiştirme ve yer değiştirmeye bağlı performans kriterlerini esas alan yapısal değerlendirme ve tasarım kavramı, özellikle son yıllarda Amerika Birleşik Devletlerinin deprem bölgelerindeki mevcut yapıların deprem güvenliklerinin daha gerçekçi olarak

belirlenmesi ve yeterli güvenlikte olmayan yapıların güçlendirilmeleri çalışmaları sırasında ortaya konulmuş ve geliştirilmiştir.

Yatay yükler etkisindeki yapının ötelenmesinin yükseklik boyunca değişimi taşıyıcı sisteme bağlıdır. Çerçevesel sistem bir yapıda toplam ötelenme ve görelî kat ötelenmesi, o binanın sismik direncinde en önemli göstergedir. Yatay yükler altında oluşan toplam ve görelî kat ötelenmesinin, dolgu duvarlı yapıların deprem etkisindeki gerçek davranışlarında oldukça önemli olduğu belirlenmiştir. Yapının deprem etkisi altındaki kapasitesi, kat yer değiştirmeleri ve görelî kat ötelenmesi değerleri üzerinde önemli etkisi olduğu bilinmektedir (Korkmaz vd 2007).

Deney programında, ¼ ölçekli tek katlı tek açıklıklı dolgu duvarlı çerçeve sistemi çapraz köşegeninden yüklenerek, hasar-kontrollü bir şekilde yürütülmüştür. Yükleme programı çatlama yüküne kadar artımlı olarak gerçekleştirilmiş ve çatlama yükü sağlandığında deneye son verilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda her bir numunenin davranış (yük-yer değiştirme) eğrisi elde edilmiş ve bu eğrilerden yararlanılarak enerji yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği hesaplanmıştır. Elde edilen yük-yer değiştirme eğrisinde, başlangıç rijitliği çelik çerçevesel sistemler için 1,50 mm ve betonarme çerçevesel sistemler için de 0,75 mm'lik bir yer değiştirme miktarında hesaplandığından, enerji yutma kapasitesi de bu yer değiştirme miktarına göre hesaplanmış ve değerlendirilmiştir.

Ayrıca, enerji yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği çatlama yüküne karşılık gelen yer değiştirme miktarında da hesaplanmış ve değerlendirilmiştir.

3.2.2. Dayanım esaslı değerlendirme

Doğrusal elastik değerlendirme yöntemlerinin esasını oluşturan ve dayanım (kuvvet) esaslı değerlendirme adı verilen ikinci tür değerlendirmede ise, yapıyı oluşturan elemanların dayanım kapasiteleri, elastik deprem yüklerinden oluşan ve doğrusal teoriye

göre hesaplanan etkilerle karşılaştırılmaktadır. Yapı elemanlarının sünekliliği de göz önüne alınarak, o yapının deprem etkisi altındaki performansında belirlenen hedeflerin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir (Korkmaz vd 2007).

Deneysel çalışmada, beton dolgu duvara ait malzeme sabitleri kullanılarak, çatlama yüküne kadar oluşan hasar seviyesinde, düzlem şekil değiştirme hali kabulüyle, dolgu duvarda oluşan ortalama kayma gerilmeleri hesaplanarak dayanım esaslı değerlendirme yapılmıştır.

Düzlem şekil değiştirme, bir cismin şekil değiştirmesi esnasında çeşitli noktaların yer değiştirme vektörleri daima belirli bir düzleme paralel olan düzlemler içerisinde kalıyorsa, böyle şekil değiştirme haline düzlem şekil değiştirme hali adı verilir. Düzlemsel halde bir noktadaki şekil değiştirme değerleri bilinirse, eksenlerin dönmesi ile oluşacak herhangi başka doğrultulardaki değerler geometrik yoldan bulunabilir (Karaduman 1997).

Hooke kanununa göre gerilme şekil değiştirme arasında aşağıdaki bağıntılar yazılabilir;

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}(\sigma_x - \nu\sigma_y) \quad (3.1)$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E}(\sigma_y - \nu\sigma_x) \quad (3.2)$$

Burada; ε_x ve ε_y x ve y doğrultudaki şekil değiştirmeler, σ_x ve σ_y x ve y doğrultudaki gerilmeler, ν Poisson oranı ve E Elastisite modülüdür. Çalışmada şekil değiştirmeler dolgu duvarlı çerçeve sistemin yer değiştirmesine bağlı olarak elde edilmiştir. Dolgu duvarın Elastisite modülü ise yapılan ön testlerden belirlenmiştir. Dolgu duvarda oluşan ortalama kayma gerilmeleri yukarıdaki ifadeler yardımıyla hesaplanmıştır.

Çalışmada ayrıca, ankraj çubukları kullanılarak yapılan deneylerde, dolgu duvar ile çerçeve arasındaki birleşimi sağlayan ankraj çubuklarına birim şekil değiştirme ölçerler yapıştırılmış ve ankraj çubuklarından geçen düzlem gerilmeler ile ankraj çubukları vasıtasıyla dolgu duvarına iletilen normal yükler hesaplanarak dayanım esaslı değerlendirme yapılmıştır. Ön görülen yüklemde eğilmeye çalışan çerçeve ile kaymaya çalışan dolgu duvarının birlikte davranıp davranmadığı tespit edilmiştir.

3.2.3. Deneysel çalışmada yapılan kabuller

Dolgu duvarlı çerçeve sisteminin deprem davranışının incelenmesinde yatay yükler söz konusu olduğundan, yukarıda belirtilen davranışların ele alınarak denenmesi ve istenilen bilgilerin elde edilmesi ancak etkin ve verimli bir deneysel kurulum ile mümkündür.

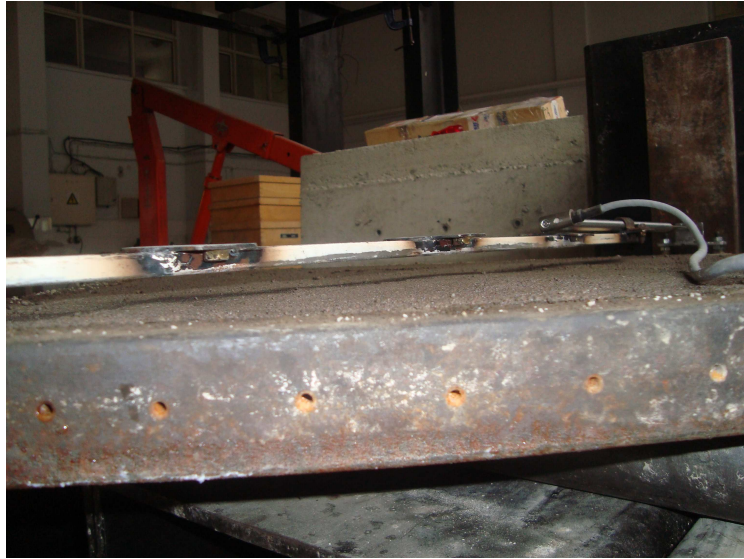
Bu çalışmada dolgu duvarlar ile çerçeve arasında, özellikle güçlendirme amaçlı olarak kullanılan ankraj çubuklarının sisteme olan katkısı, bir başka deyişle bu iki malzemenin etkileşimi çalışıldığı için, deney programı, deney düzeneğinin oluşturulması ve deney programında kullanılan cihazlar açısından deneysel çalışma yönteminde bazı kabuller yapılmıştır. Bunlar aşağıda sıralandırılmıştır.

- Dolgu duvarlı çerçeve modeli, deney düzeneğinde kendi ağırlığında tutulmuş ve köşegeninden yüklenmiştir. Öngörülen yükleme, her model için aynı olmak koşuluyla, dolgu duvarının çatlama yüküne erişmesine kadar modelin üst kısmından artımlı olarak (monotonik) yapılmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Dolgu duvarlı çerçeve sisteminin deney düzeneği içerisindeki görünümü

- Çelik çerçeveli sistemlerde ankraj çubuklarının yerleşimi kolon-kiriş birleşim bölgesinde sıklaştırılmıştır (Şekil 3.11). Deneyde sürtünmeden kaynaklanan etkilerin azaltılması için sistemin tabanına silindir mesnetler yerleştirilmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.11. Ankraj çubuklarının yerleşimi için öngörülen boşlukların görünümü



Şekil 3.12. Sistem tabanına yerleştirilen mesnetlerin görünümü

- Dolgu duvar modeli, karakteristik dayanım parametrelerin belirlenmesi amacıyla sıkça kullanılan dolgu paneli olarak tasarlanmıştır. Böylece, yatay yüklerin dolgu duvarında çapraz doğrultudaki gerilmeler olarak yayıldığı düşünüldüğünde, sistemin eğilme davranışından dolayı, etkili ve verimli bir deney programı gerçekleştirilmiş olmaktadır. Geliştirilen deney programına göre yapılan deneysel çalışmadan, dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin performansı hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.
- Deneysel çalışmada, $\frac{1}{4}$ ölçekte tek katlı tek açıklıklı dolgu duvarlı çerçeve sistemi ele alınmıştır. Dolgu duvar malzemesi, yerinde dökme betondan oluşurken, çerçeve ise çelik profil ve betonarme malzeme olarak seçilmiştir. Dolgu duvarlar ile çerçeve arasındaki bağlantı, ankraj (çelik) çubukları ile sağlanmıştır.
- Deney programı, hasar-kontrollü bir şekilde yürütülmüş olup, yükleme programı tanımlanan bir hasar derecesine kadar artımlı olarak gerçekleştirilmiş ve tanımlanan hasar derecesi sağlandığında deneye son verilmiştir. Tanımlanan hasar derecesi bu çalışma için çatlama yükü olarak kabul edilmiştir. Çatlama yüküne kadar olması beklenen davranış başlangıç çatlama, ara yüzey çatlak, çekme veya çapraz çatlaklar, mesnetlerde dolgu ezilmesi ve köşe kırılması/ezilmesi ve dolgu ayrılmasıdır.

- Eksenel yük taşıyan yapı elemanlarında, burkulma oluşmaması için gerekli olan sınır değerlerinin tariflenmesinde kullanılan oran, narinlik oranı olarak bilinmektedir. Bu oranın 20'den küçük olduğu duvarlarda eğilme davranışı daha iyi geliştiği için dolgu duvar modeli narin duvar olarak tercih edilmiştir. Dolgu panellerinden farklı olarak, çerçeve sistemi ile birlikte deneyi yapılan model dolgu duvarlı çerçeve sistemi, deney düzeneğinde kendi ağırlığında bırakılmakta ve çapraz doğrultuda oluşan en büyük yer değiştirmeler ölçülmektedir.
- Deneysel çalışma için ¼ ölçekli tek-açıklıklı ve tek-katlı bir dolgu duvarlı çerçeve sistemi tasarlanmıştır. Uygun görülen ölçeklendirmeye göre dolgu malzemesi, yerinde dökme beton olarak modellenmiştir. Beton malzemesi ACI Yönetmeliğinin gereksinimlerine dayanarak, model betonun en büyük agrega boyutu, rahat yerleşimi sağlayacak şekilde 4 mm ile sınırlandırılması tasarlanmıştır. Ancak model dolgu duvarlı çerçeve sisteminde yapılan denemelerden sonra, beklenen hasar seviyesinin gözlenememesinden dolayı en büyük agrega tane çapı 7 mm olarak değiştirilmiştir.
- Beton dolgu duvarı tüm deneylerde 7 gün kür edilmiştir. Betonun yaşı ilk 3 ve 7 günde oldukça hızlı gelişmekte, 7 günde dayanımının yaklaşık %65'ine 28 gün içerisinde ise dayanımının yaklaşık %95'ine erişebilmektedir. Zaman kaybetmemek açısından bu çalışmada kür süresi 7 günle sınırlandırılmıştır.
- Bu çalışmada ankraj çubuklarının sistematigi ise, özellikle güçlendirme işleminde donatıların birbirlerine bağlanmasını sağlayan bir yapı elemanı olarak kullanılan ankraj çubuklarının literatürdeki “ankrajların toplam alanının dolgu duvar alanına oranı % 0,8'den az olamaz” gerekçesiyle, ankraj çubukları için Ø4 mm'lik bir çap modellemede uygun görülmüştür. Ankraj çubuklarının yerleşimi, çelik çerçeveli sistemler için, deneysel çalışmadan beklenen davranış ile elde edilen hasar seviyesine bağlı olarak çapraz köşelerde sıklaştırılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada; dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin deprem davranışlarının anlaşılması amacıyla, çerçeve ve dolgu duvar arasında bağlantıyı sağlayan ankraj çubuklarının dolgu duvarlı çerçeve sistemlerine katkısının araştırılması doğrultusunda deneysel çalışmalar yapılmıştır. Çalışmada ana parametre, birleşimi sağlayan ankraj çubuklarının dolgu duvarlı çerçeve sistemlerine olan etkisidir. Bunun için deney programı ve deney düzeneği geliştirilmiştir. Deneysel çalışmada, ¼ ölçekte tek katlı tek açıklıklı dolgu duvarlı çerçeve sistemi ele alınmıştır. Dolgu duvarlı çerçeve sisteminde, dolgu duvar malzemesi yerinde dökme betondan oluşurken, çerçeve ise çelik profil ve betonarme çerçeve olarak seçilmiştir. Dolgu duvarlar ile çerçeve arasındaki bağlantı çelik ankraj çubukları ile sağlanmıştır.

Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerde, ankraj çubukları etkisinin etkin bir şekilde elde edilebilmesi için geliştirilen deney programı ve deney düzeneğine bağlı olarak laboratuarda deneyler yapılmıştır.

Geliştirilen deney programı ve deney düzeneği kapsamında; deney numunesi ¼ ölçekte tek katlı tek açıklıklı olarak üretilmiştir. Dolgu duvar malzemesi yerinde dökme beton, çerçeve betonarme ve çelik profil ve ankraj çubukları çelik malzeme olarak seçilmiştir. Beton dolgu duvarı tüm deneylerde 7 (yedi) gün süreyle kür edilmiş, ¼ ölçekteki deney numunesi betonun en büyük agrega boyutu 7 mm seçilmiştir. Ankraj çubukları için Ø4 mm'lik bir çapın kullanılmıştır. Dolgu duvarlı çerçeve modeli, deney düzeneğinde kendi ağırlığında tutulmuş ve köşegeninden yüklenmiştir. Yükleme her model için aynı olmak koşuluyla, dolgu duvarının çatlama yüküne erişmesine kadar modelin üst kısmından artımlı olarak yapılmıştır. Deneylerde sürtünmeden kaynaklanan etkilerin azaltılması için sistem tabanına silindir mesnetler yerleştirilmiştir.

Deney programı hasar-kontrollü bir şekilde yürütülmüş olup, yükleme programı tanımlanan bir hasar derecesine kadar artımlı olarak gerçekleştirilmiş ve tanımlanan

hasar derecesi sağlandığında deneye son verilmiştir. Tanımlanan hasar derecesi bu çalışma için çatlama yükü olarak kabul edilmiştir. Çatlama yüküne kadar oluşması beklenen davranış; başlangıç çatlama veya ara yüzey çatlakları, çekme veya çapraz çatlaklar, mesnetlerde dolgu ezilmesi ve köşe kırılması/ezilmesi ve serbest mesnetlerde dolgu ayrılmasıdır.

Bu çalışmada kabul edilen çatlama yükü, başlangıç çatlama veya ara yüzey çatlaklarının oluşumuyla sınırlı tutulmamış, dolgu duvar yüzeyinde çekme veya çapraz çatlaklar, mesnetlerde dolgu ezilmesi ve köşe kırılması/ezilmesi ve serbest mesnetlerde dolgu ayrılması oluşuncaya kadar devam ettirilmiştir.

Deney programında, ¼ ölçekli tek katlı tek açıklıklı dolgu duvarlı çerçeve sistemi çapraz köşegeninden yüklenerek, hasar-kontrollü bir şekilde yürütülmüştür. Yükleme programı çatlama yüküne kadar artımlı olarak gerçekleştirilmiş ve çatlama yükü sağlandığında deneye son verilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda her bir numunenin davranış (yük-yer değiştirme) eğrisi elde edilmiş ve bu eğrilerden yararlanılarak enerji yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği hesaplanmıştır. Elde edilen yük-yer değiştirme eğrisinde, başlangıç rijitliği çelik çerçeve sistemler için 1,50 mm ve betonarme çerçeve sistemler için de 0,75 mm'lik bir yer değiştirme miktarında hesaplandığından, enerji yutma kapasitesi de bu yer değiştirme miktarına göre hesaplanmış ve değerlendirilmiştir.

Ayrıca, enerji yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği çatlama yüküne karşılık gelen yer değiştirme miktarında da hesaplanmış ve değerlendirilmiştir.

Deneysel çalışmada, beton dolgu duvara ait malzeme sabitleri kullanılarak, çatlama yüküne kadar oluşan hasar seviyesinde, düzlem şekil değiştirme hali kabulüyle, dolgu duvarda oluşan ortalama kayma gerilmeleri hesaplanarak dayanım esaslı değerlendirme yapılmıştır. Çalışmada ayrıca, ankraj çubukları kullanılarak yapılan deneylerde, dolgu duvar ile çerçeve arasındaki birleşimi sağlayan ankraj çubuklarına birim şekil değiştirme ölçerler yapıştırılmış ve ankraj çubuklarından geçen düzlem gerilmeler ile

ankraj çubukları vasıtasıyla dolgu duvarına iletilen normal yükler hesaplanarak dayanım esaslı değerlendirme yapılmıştır. Ön görülen yüklemde eğilmeye çalışan çerçeve ile kaymaya çalışan dolgu duvarının birlikte davranıp davranmadığı tespit edilmiştir.

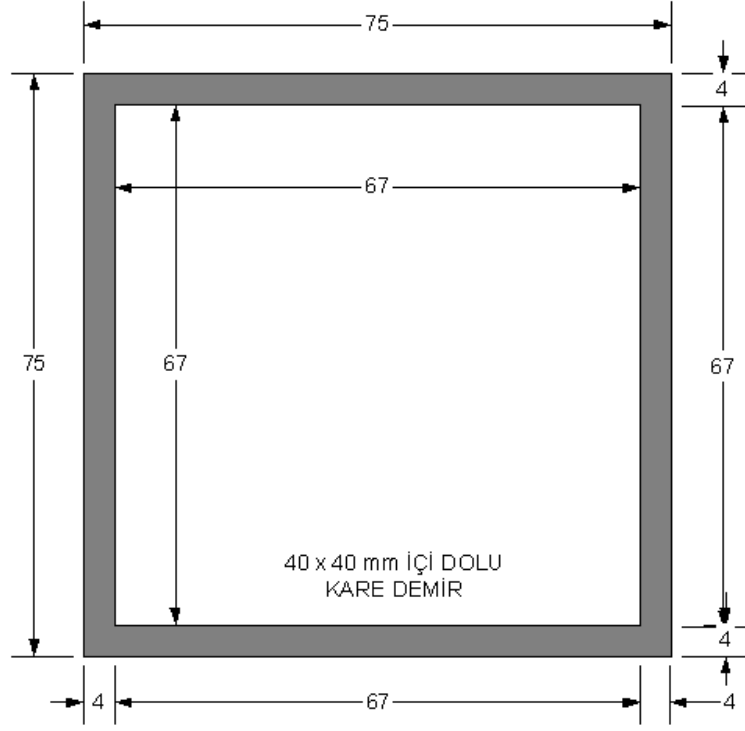
4.1. Deney Numuneleri Üzerinde Gerçekleştirilen Çalışmalar

Deneysel çalışma iki aşamada yürütülmüştür. Bunlar; ankraj çubukları kullanılmadan yapılan deneyler ile ankraj çubukları kullanılarak yapılan deneylerdir.

4.1.1. Ankraj çubukları kullanılmadan yapılan deneyler

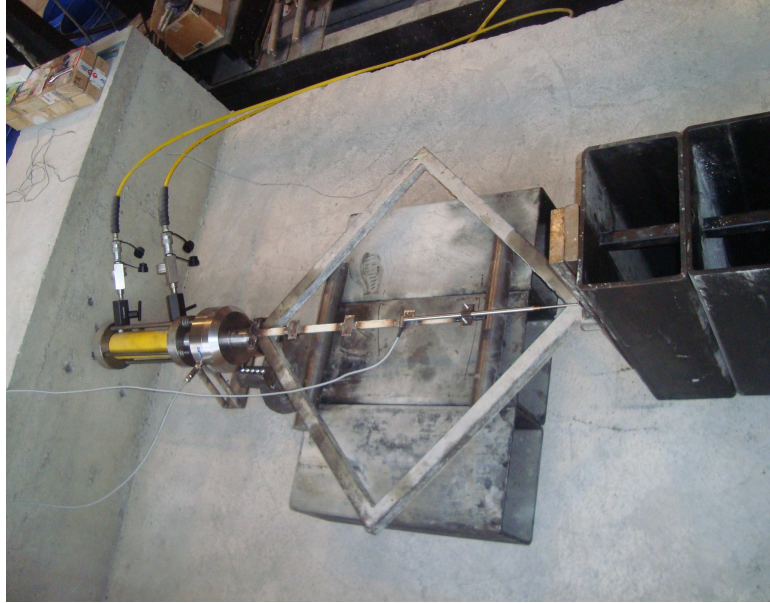
4.1.1.a. Boş çerçeve deneyi

Bu deneyin amacı geliştirilen deney programı ile deney düzeneğinin uygunluk ve doğruluğunun tespit edilmesidir. Ayrıca, deneysel çalışmada boş çerçeve deneyi dolgu duvarlı çerçeve sistemlere referans olarak ta kullanılmıştır (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2).



NOT : Ölçüler cm cinsindedir.

Şekil 4.1. Boş çelik çerçeve sistemi

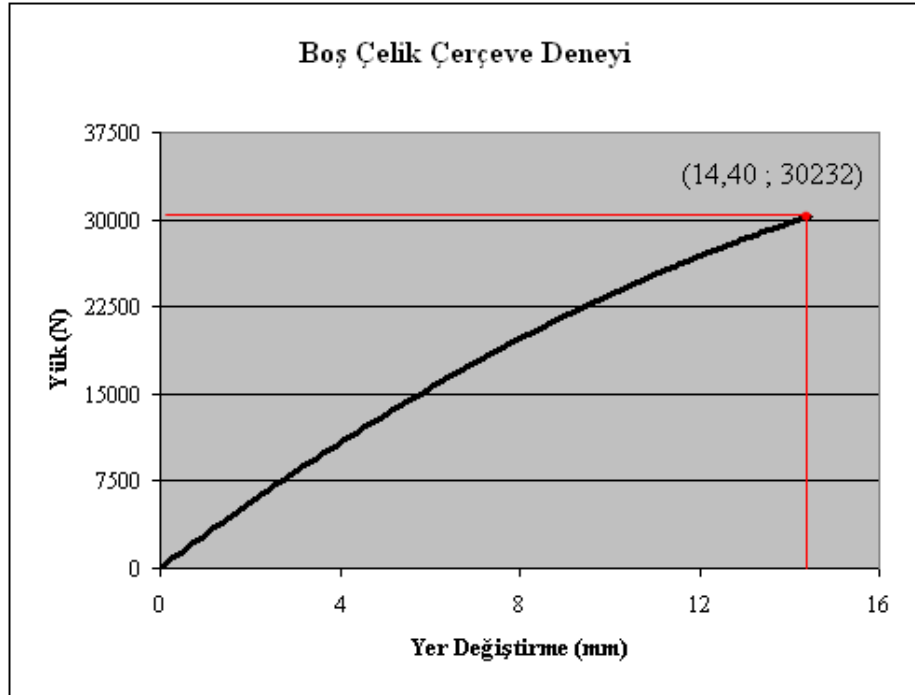


Şekil 4.2. Boş çelik çerçeve deneyi

Bu amaçla belli bir değere kadar yük uygulanmış ve yük-yer değiştirme eğrisi elde edilmiştir. Deney numunesinin özellikleri Çizelge 4.1’de yük-yer değiştirme eğrisi ise Şekil 4.3’de verilmiştir.

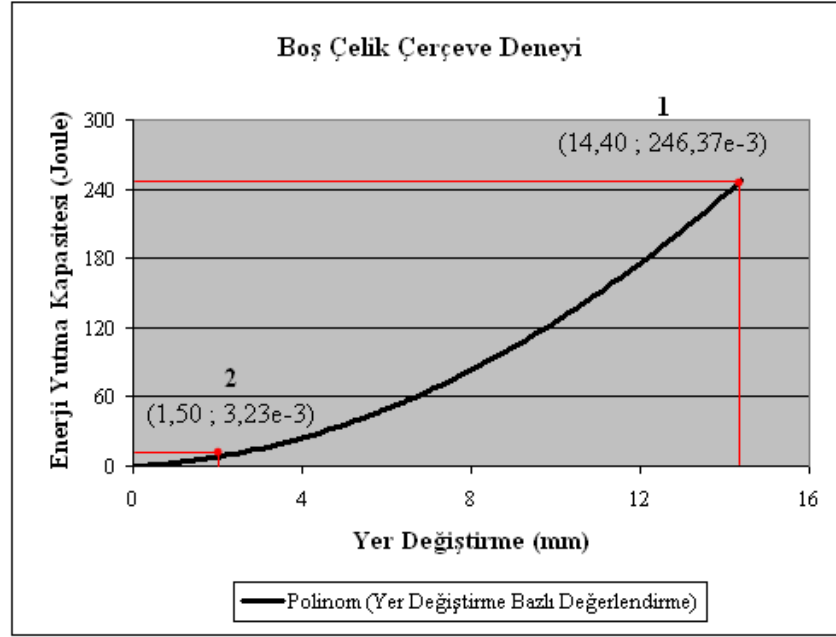
Çizelge 4.1. Boş çerçeve deneyine ait deney numunesinin özellikleri

Deney Numunesinin Özellikleri	
Çelik Çerçeve	$E_{\text{çelik çerçeve}}=198000 \text{ MPa}$ $\gamma_{\text{çelik çerçeve}}=7,25e-6 \text{ kg/mm}^3$ $\nu_{\text{çelik çerçeve}}=0,30$

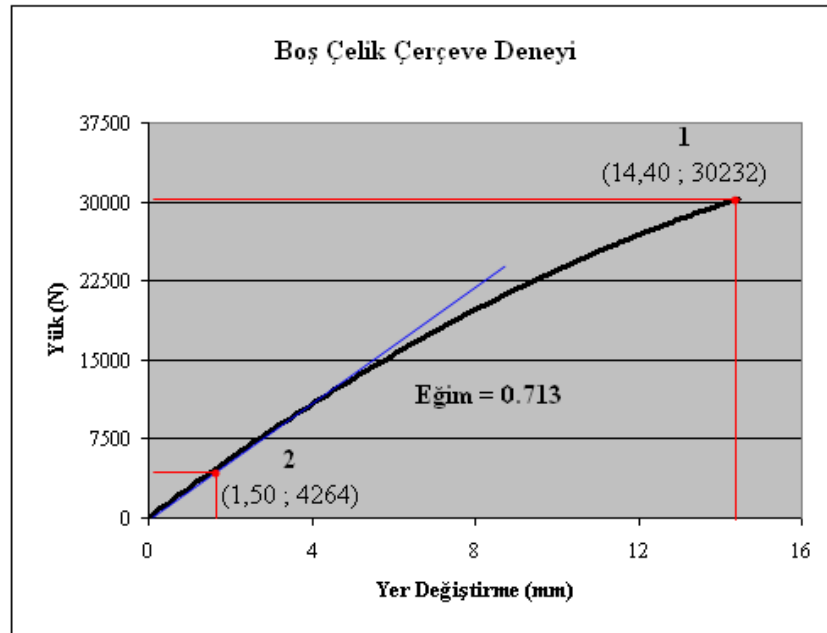


Şekil 4.3. Boş çerçeve deneyinden elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi

Boş çerçeve deneyinden elde edilen yük-yer değiştirme eğrisinden yararlanılarak, Bölüm 3.2.1’de bahsedilen şekilde enerji yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği hesaplanmıştır. 1,50 mm yer değiştirmeye karşılık gelen yük 4264 N’dur. Buna göre, boş çelik çerçeve deneyine ait enerji yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de gösterilmiş, elde edilen sonuçlar ise Çizelge 4.2’de özetlenmiştir.



Şekil 4.4. Boş çerçeve deneyine ait enerji yutma kapasitesi-yer değişirme eğrisi



Şekil 4.5. Boş çerçeve deneyine ait yük-yer değişirme eğrisi için başlangıç rijitliği

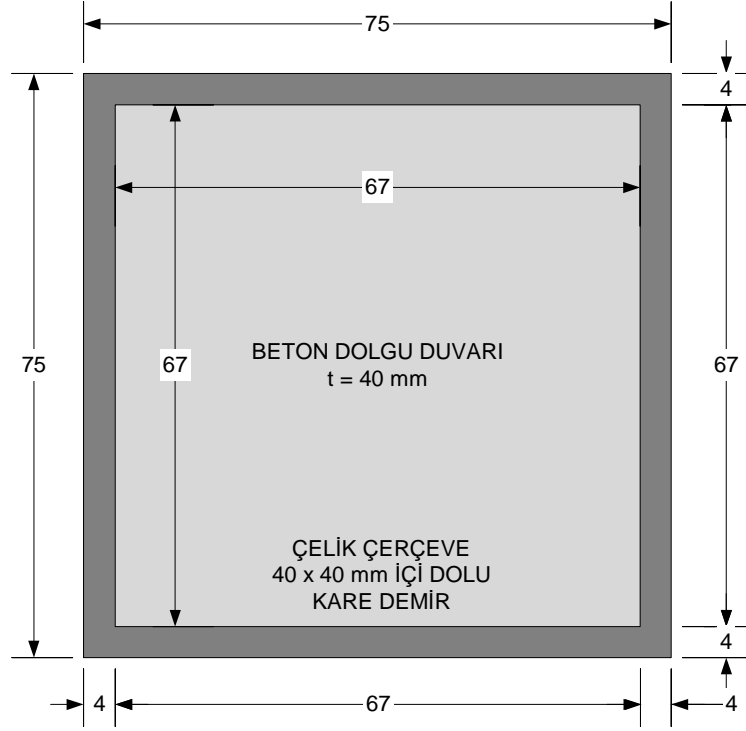
Çizelge 4.2. Boş çerçeve deneyine ait yer değiştirme esaslı değerlendirme

Yük	Enerji Yutma Kapasitesi (Joule) (10^3)	Başlangıç Rijitliği (N/m) (10^6)
4264 N	3,23	2,80

Boş çerçeve deneyinden elde edilen yük-yer değiştirme eğrisinde, herhangi bir (x,y) çifti kullanılarak, mevcut yöntemlerden enerji metodu ile çelik çerçevenin elastisite modülü 198000 MPa olarak hesaplanmıştır (hesaplarda (x,y) çifti için (4,00;10795) değerleri kullanılmıştır). Buna göre, çelik çerçevenin malzeme olarak kusurlu olmadığı, kaynaklanan yüzeylerinin de yeterli rijitlikte olduğu sonucuna varılmıştır.

4.1.1.b. Birinci deneysel çalışma

Deneysel çalışmada ilk deneme, dolgu duvar betonunun 7 (yedi) günlük ortalama basınç dayanımı 11,14 MPa olan beton dolgu duvarlı çelik çerçeve sistemi ile yapılmıştır (Şekil 4.6 ve Şekil 4.7). Deney numunesinin özellikleri Çizelge 4.3’de verilmiştir.



NOT : Ölçüler cm cinsindedir.

Şekil 4.6. Birinci deney numunesi

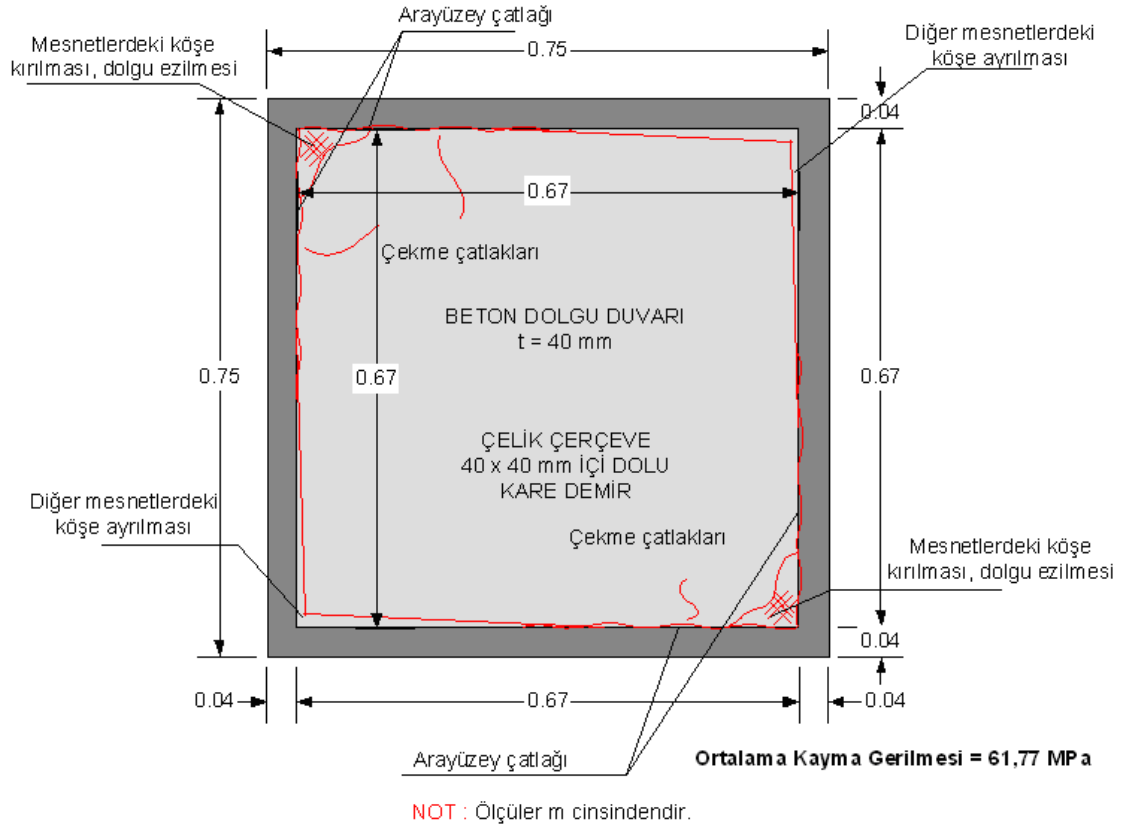


Şekil 4.7. Birinci deneysel çalışma

Çizelge 4.3. Birinci deneysel çalışmaya ait deney numunesinin özellikleri

Deney Numunesinin Özellikleri	
Çelik Çerçeve	$E_{\text{çelik çerçeve}}=198000 \text{ MPa}$ $\gamma_{\text{çelik çerçeve}}=7,25e-6 \text{ kg/mm}^3$ $\nu_{\text{çelik çerçeve}}=0,30$
Beton Dolgu Duvarı	$E_{\text{dolgu duvarı}}=17300 \text{ MPa}$ $\gamma_{\text{dolgu duvarı}}=2,20e-6 \text{ kg/mm}^3$ $\nu_{\text{dolgu duvarı}}=0,20$ $\sigma_{\text{dolgu duvarı}}=11,14 \text{ MPa}$

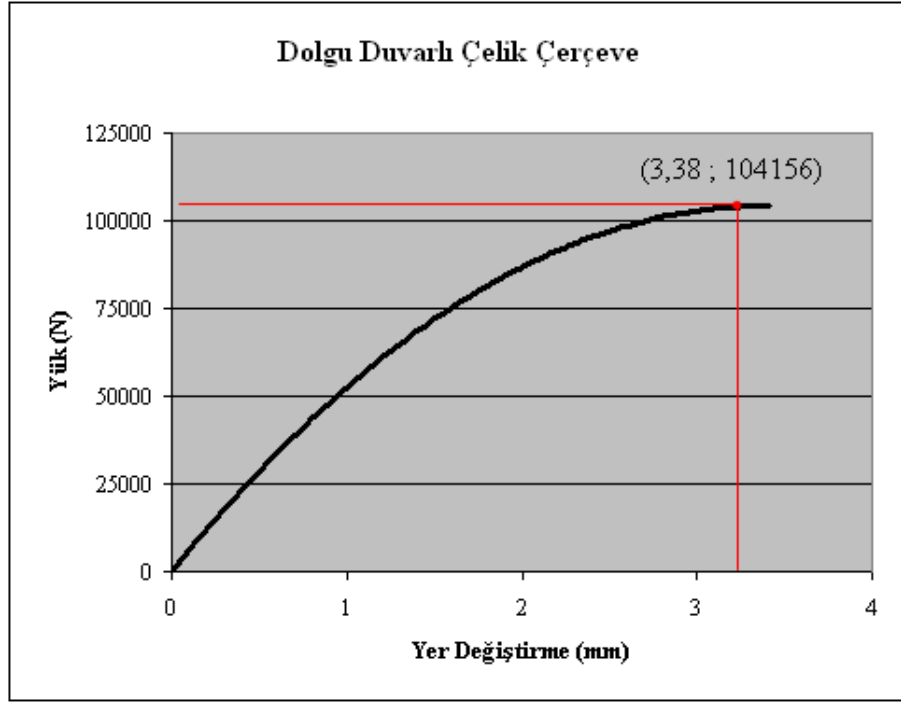
Bu deneyde 104156 N'luk yük seviyesinde dolgu duvarlı çerçeve sistemi, yüklemenin yapıldığı doğrultularda aşırı gerilme yığılmasından dolayı, köşe noktalarından gevrek bir biçimde ezilmiş, diğer serbest köşelerde ise dolgu ayrılması gerçekleşmiştir. Dolgu duvar ile çerçeve ara yüzeyi arasında gözle görülebilen çatlaklar oluşurken açıklıklarda ise bazı çekme çatlakları meydana gelmiştir (Şekil 4.8 ve Şekil 4.9). 104156 N'luk yüke karşılık gelen yer değiştirme 3,38 mm olarak elde edilmiştir. Birinci deneysel çalışmaya ait davranış (yük-yer değiştirme) eğrisi Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.8. Birinci deneysel çalışmadan elde edilen hasar seviyesi

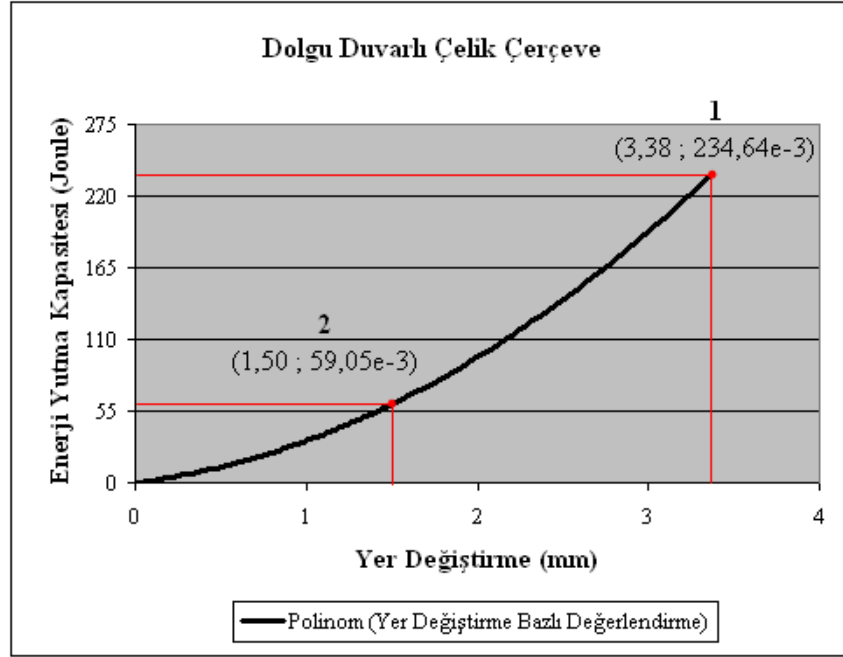


Şekil 4.9. Birinci deneysel çalışmaya ait hasar seviyesi

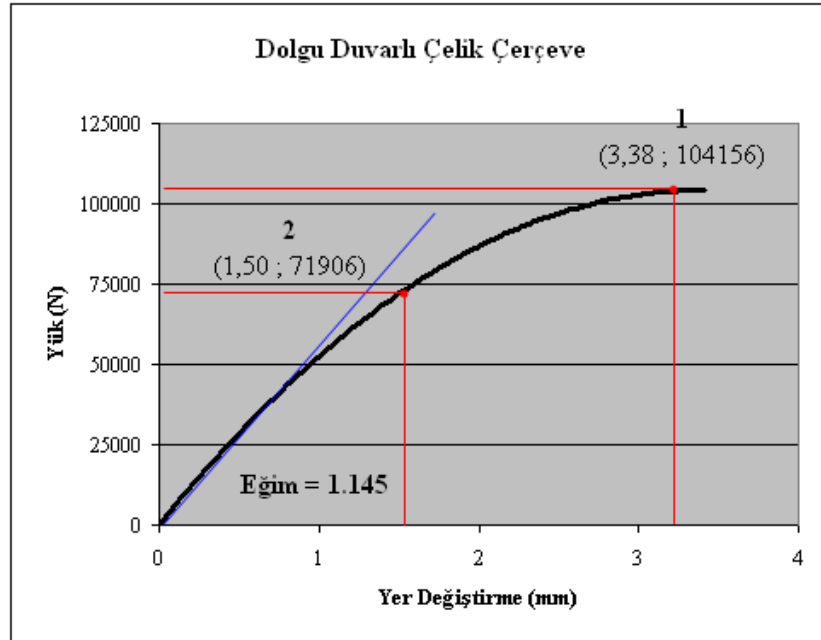


Şekil 4.10. Birinci deneysel çalışmadan elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi

Birinci deneysel çalışmadan elde edilen yük-yer değiştirme eğrisinden yararlanılarak, Bölüm 3.2.1’de bahsedilen şekilde enerji yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği hesaplanmıştır. 1,50 mm yer değiştirmeye karşılık gelen yük 71906 N’dur. Buna göre, birinci deneysel çalışmaya ait enerji yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de gösterilmiş, elde edilen sonuçlar ise Çizelge 4.4’de özetlenmiştir.



Şekil 4.11. Birinci deneysel çalışmaya ait enerji yutma kapasitesi-yer değiştirme eğrisi



Şekil 4.12 Birinci deneysel çalışmaya ait yük-yer değiştirme eğrisi için başlangıç rijitliği

Çizelge 4.4. Birinci deneysel çalışmaya ait yer değiştirme esaslı değerlendirme

Yük	Enerji Yutma Kapasitesi (Joule) (10^3)	Başlangıç Rijitliği (N/m) (10^6)
104156 N	234,64	53,38
71906 N	59,05	57,35

Birinci deneyden elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi kullanılarak, Bölüm 3.2.2’de bahsedilen şekilde dolgu duvarda oluşan ortalama kayma gerilmesi hesaplanmış ve Çizelge 4.5’te özetlenmiştir.

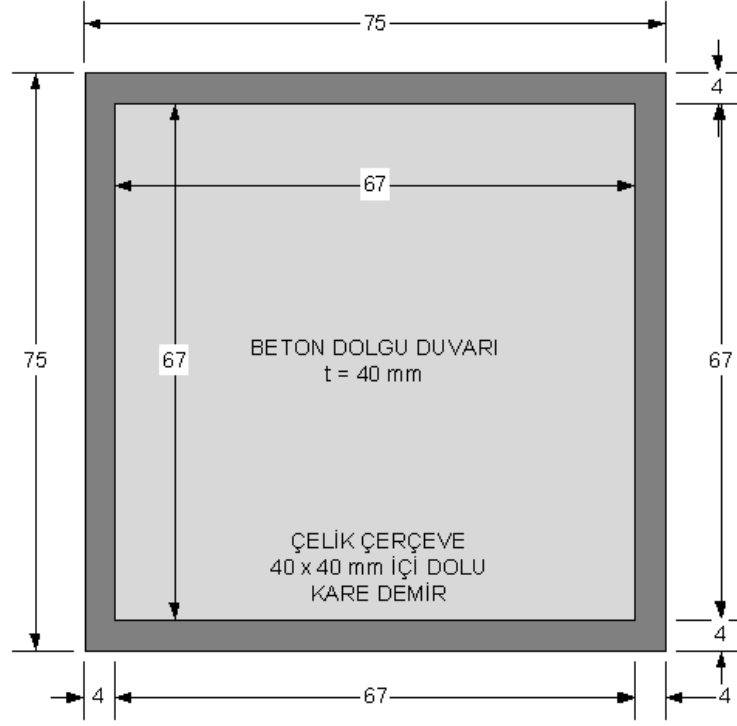
Çizelge 4.5. Birinci deneysel çalışmaya ait gerilme esaslı değerlendirme

Birinci Deneysel Çalışma	Ortalama Kayma Gerilmesi (MPa)	Beton Dolgu Duvarı 7 Günlük Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)
Çatlama Yükünde (3,38 mm ; 104156 N)	61,77	11,14

İlk deneme sonucunda, yükleme doğrultusunda beklenen çapraz çatlakların meydana gelmemesinden dolayı, çerçeve rolünün artırılması için daha zayıf bir dolgu betonu üretilerek deneylere devam edilmiştir.

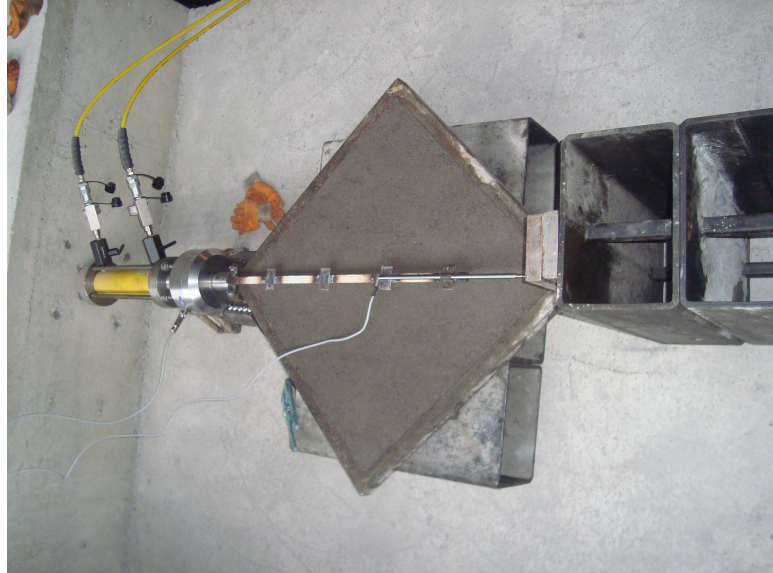
4.1.1.c. İkinci deneysel çalışma

Deneysel çalışmada ikinci deneme, dolgu duvar betonunun 7 (yedi) günlük ortalama basınç dayanımı 3,57 MPa olan beton dolgu duvarlı çelik çerçeve sistemi ile yapılmıştır (Şekil 4.13 ve Şekil 4.14). Deney numunesinin özellikleri Çizelge 4.6’da verilmiştir.



NOT : Ölçüler cm cinsindedir.

Şekil 4.13. İkinci deney numunesi

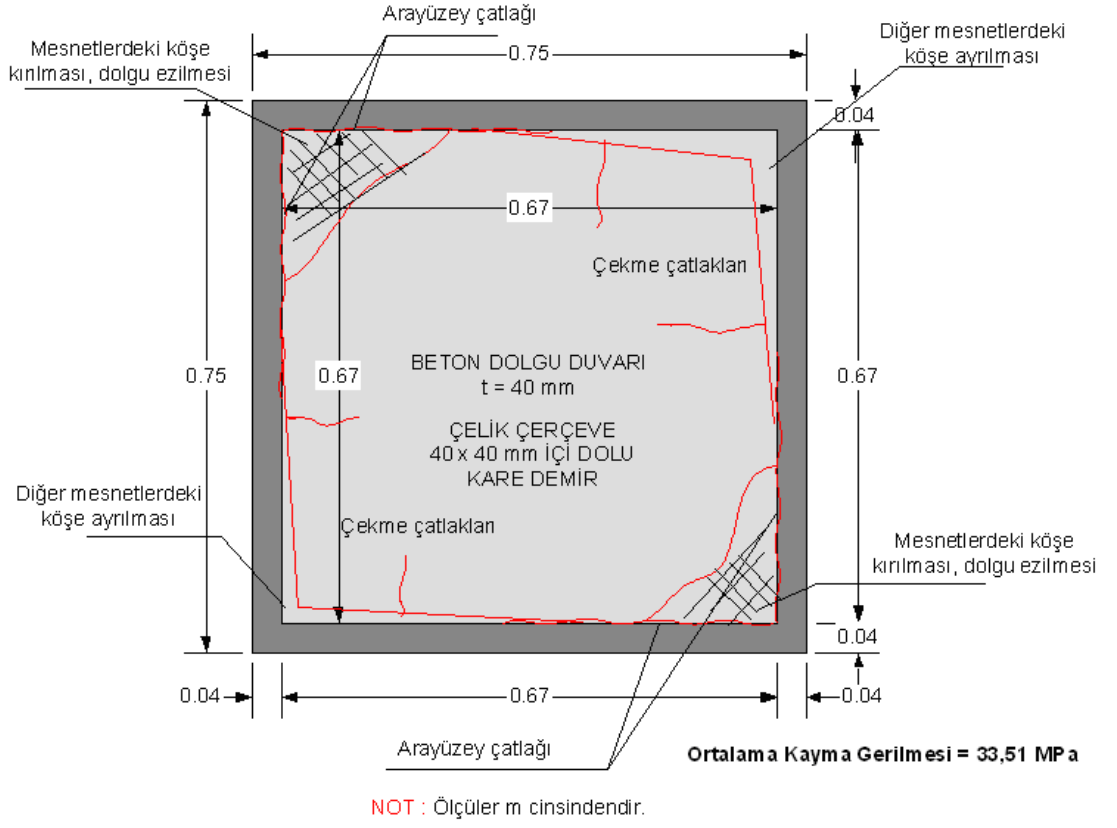


Şekil 4.14. İkinci deneysel çalışma

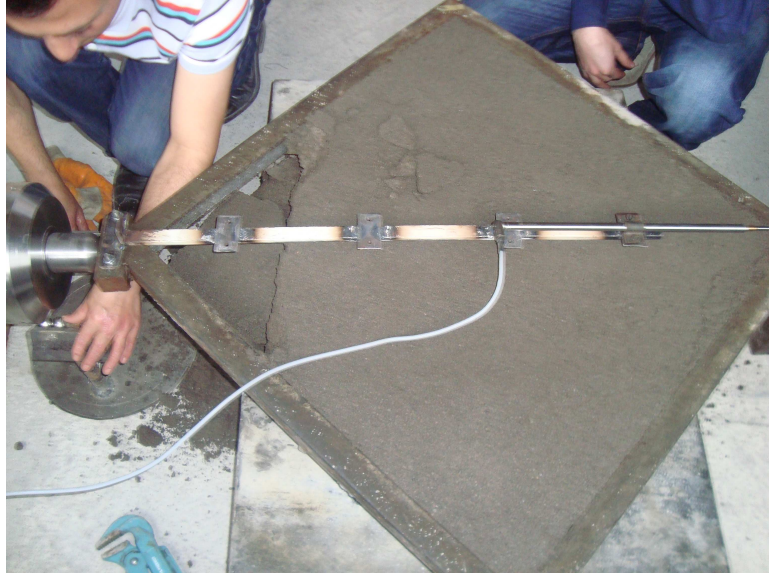
Çizelge 4.6. İkinci deneysel çalışmaya ait deney numunesinin özellikleri

Deney Numunesinin Özellikleri	
Çelik Çerçeve	$E_{\text{çelik çerçeve}}=198000 \text{ MPa}$ $\gamma_{\text{çelik çerçeve}}=7,25e-6 \text{ kg/mm}^3$ $\nu_{\text{çelik çerçeve}}=0,30$
Beton Dolgu Duvarı	$E_{\text{dolgu duvarı}}=13400 \text{ MPa}$ $\gamma_{\text{dolgu duvarı}}=2,20e-6 \text{ kg/mm}^3$ $\nu_{\text{çelik çerçeve}}=0,20$ $\sigma_{\text{dolgu duvarı}}=3,57 \text{ MPa}$

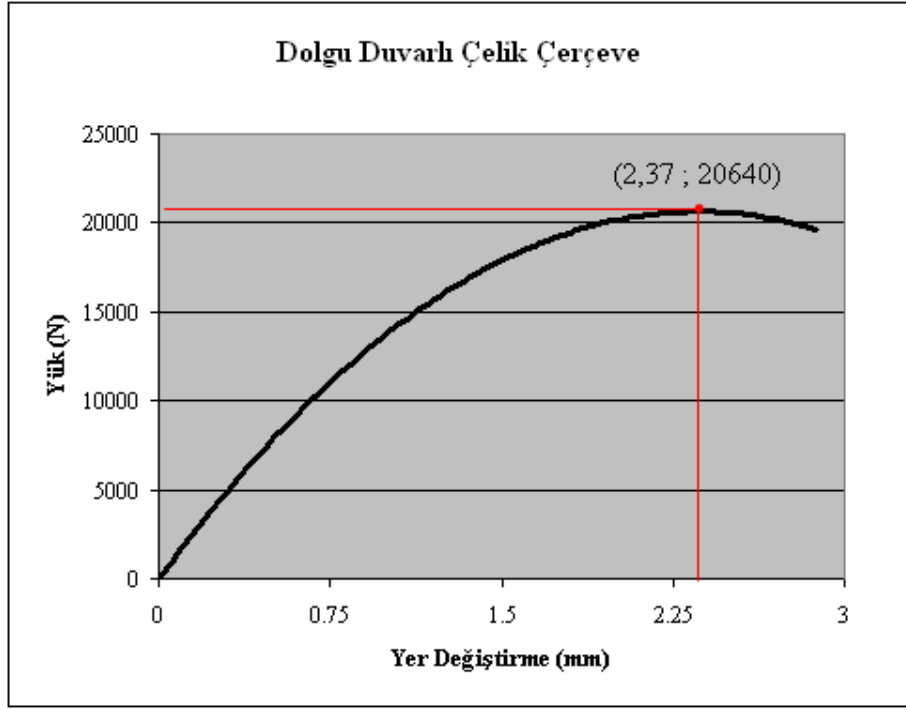
Bu deneyde 20640 N'luk yük seviyesinde dolgu duvarlı çerçeve sistemi, yüklemenin yapıldığı doğrultularda aşırı gerilme yığılmasından dolayı, köşe noktalarından gevrek bir biçimde ezilmiş, diğer serbest köşelerde ise dolgu ayrılması gerçekleşmiştir. Dolgu duvar ile çerçeve ara yüzeyi arasında gözle görülebilen çatlaklar oluşurken açıklıklarda ise bazı çekme çatlakları meydana gelmiştir (Şekil 4.15 ve Şekil 4.16). 20640 N'luk yüke karşılık gelen değiştirme 2,37 mm olarak elde edilmiştir. İkinci deneysel çalışmaya ait davranış (yük-yer değiştirme) eğrisi Şekil 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.15. İkinci deneysel çalışmadan elde edilen hasar seviyesi

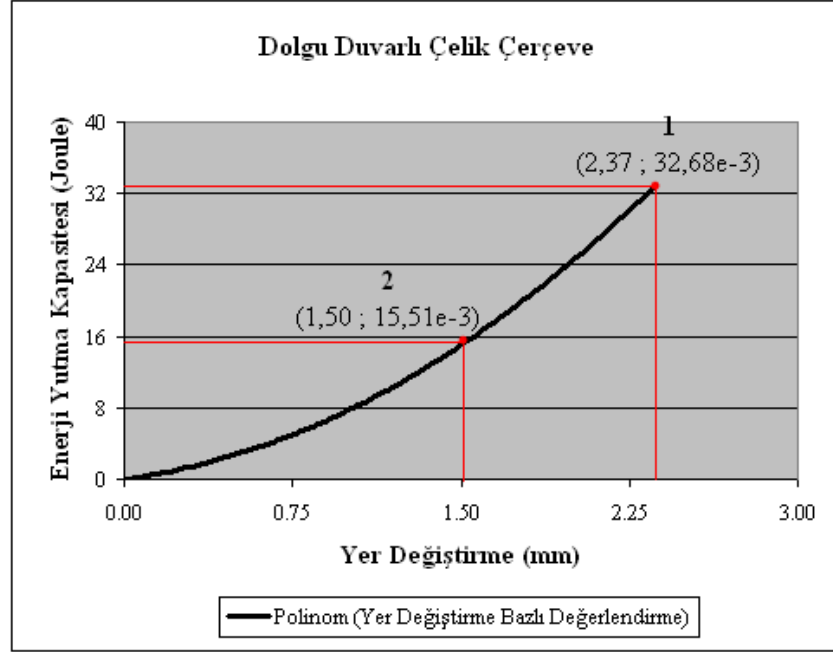


Şekil 4.16. İkinci deneysel çalışmaya ait hasar seviyesi

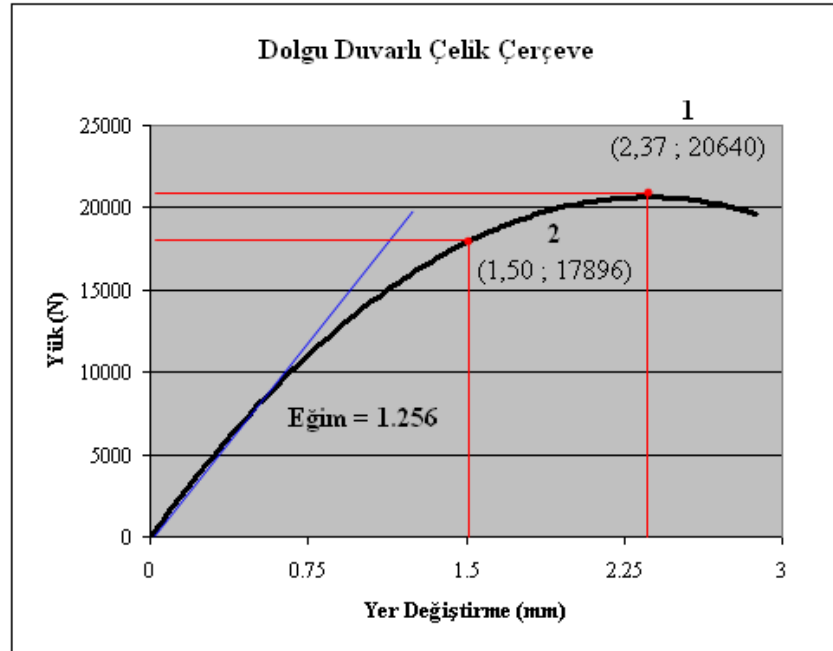


Şekil 4.17. İkinci deneysel çalışmadan elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi

İkinci deneysel çalışmadan elde edilen yük-yer değiştirme eğrisinden yararlanılarak, Bölüm 3.2.1’de bahsedilen şekilde enerji yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği hesaplanmıştır. 1,50 mm yer değiştirmeye karşılık gelen yük 17896 N’dur. Buna göre, ikinci deneysel çalışmaya ait enerji yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da gösterilmiş, elde edilen sonuçlar ise Çizelge 4.7’de özetlenmiştir.



Şekil 4.18. İkinci deneysel çalışmaya ait enerji yutma kapasitesi-yer değiştirme eğrisi



Şekil 4.19. İkinci deneysel çalışmaya ait yük-yer değiştirme eğrisi için başlangıç rijitliği

Çizelge 4.7. İkinci deneysel çalışmaya ait yer değiştirme esaslı değerlendirme

Yük	Enerji Yutma Kapasitesi (Joule) (10^3)	Başlangıç Rijitliği (N/m) (10^6)
20640 N	32,68	15,81
17896 N	15,51	15,96

İkinci deneyden elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi kullanılarak, Bölüm 3.2.2’de bahsedilen şekilde dolgu duvarda oluşan ortalama kayma gerilmesi hesaplanmış ve Çizelge 4.8’te özetlenmiştir.

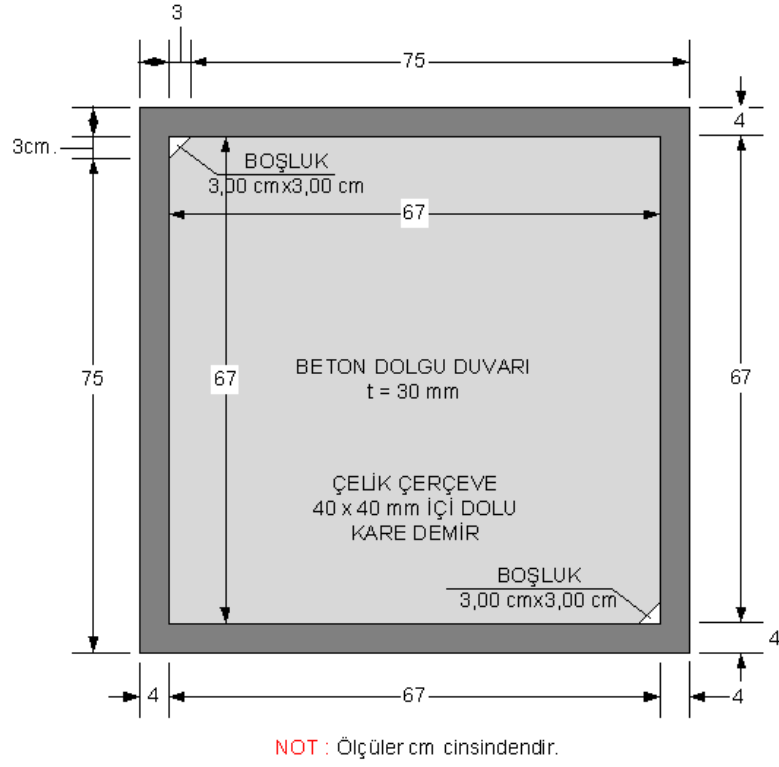
Çizelge 4.8. İkinci deneysel çalışmaya ait gerilme esaslı değerlendirme

İkinci Deneysel Çalışma	Ortalama Kayma Gerilmesi (MPa)	Beton Dolgu Duvarı 7 Günlük Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)
Çatlama Yükünde (2,37 mm ; 20640 N)	33,51	3,57

Bu defa dolgu betonu dayanımı çok düşük olmasına rağmen, yükleme doğrultusunda beklenen çatlaklar oluşmadığı için dolgu betonun en büyük agrega tane çapı 4 mm’den 7 mm’ye çıkarılması, 3,00 cm kalınlığında daha narin bir dolgu duvarının kullanılması, yükleme doğrultusundaki köşelerde 3,00x3,00 cm’lik boşlukların bırakılması kararlaştırılarak deneylere devam edilmiştir.

4.1.1.d. Üçüncü deneysel çalışma

Deneysel çalışmada üçüncü deneme, dolgu duvar betonunun 7 (yedi) günlük ortalama basınç dayanımı 15,10 MPa olan beton dolgu duvarlı çelik çerçeve sistemi ile yapılmıştır (Şekil 4.20 ve Şekil 4.21). Deney numunesinin özellikleri Çizelge 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.20. Üçüncü deney numunesi

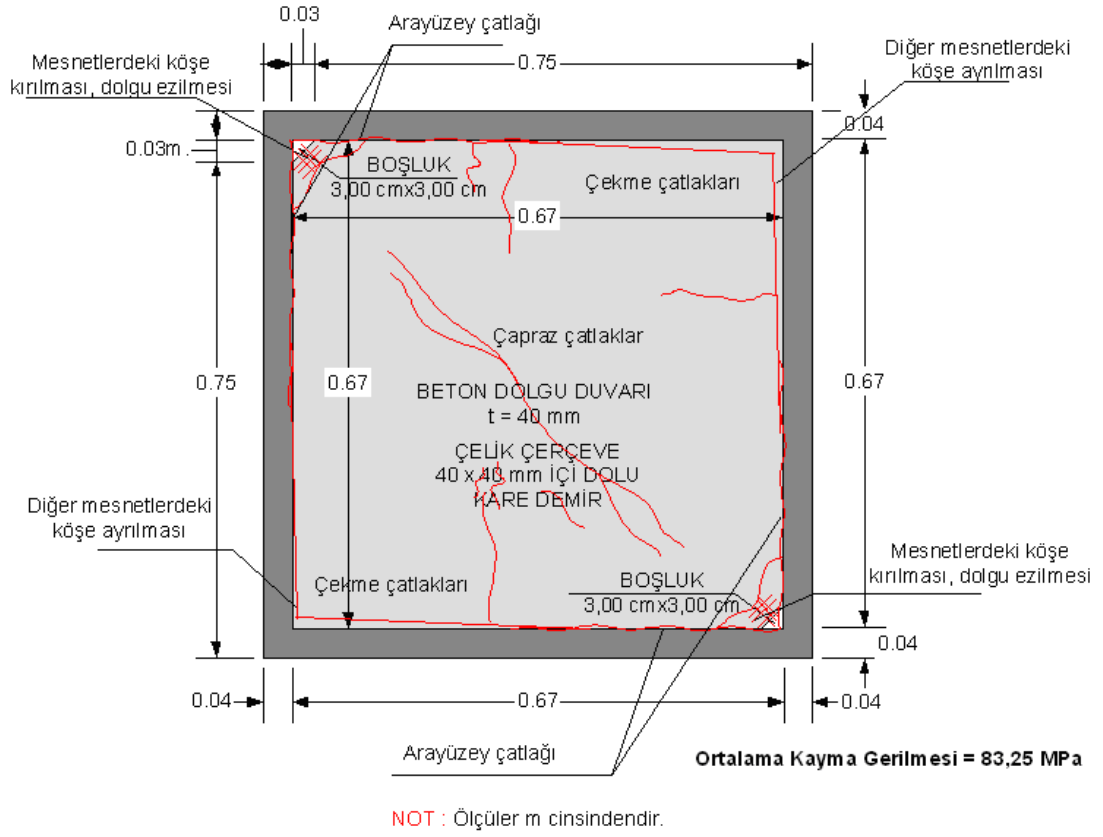


Şekil 4.21. Üçüncü deneysel çalışma

Çizelge 4.9. Üçüncü deneysel çalışmaya ait deney numunesinin özellikleri

Deney Numunesinin Özellikleri	
Çelik Çerçeve	$E_{\text{çelik çerçeve}}=198000 \text{ MPa}$ $\gamma_{\text{çelik çerçeve}}=7,25e-6 \text{ kg/mm}^3$ $\nu_{\text{çelik çerçeve}}=0,30$
Beton Dolgu Duvarı	$E_{\text{dolgu duvarı}}=19300 \text{ MPa}$ $\gamma_{\text{dolgu duvarı}}=2,20e-6 \text{ kg/mm}^3$ $\nu_{\text{çelik çerçeve}}=0,20$ $\sigma_{\text{dolgu duvarı}}=15,10 \text{ MPa}$

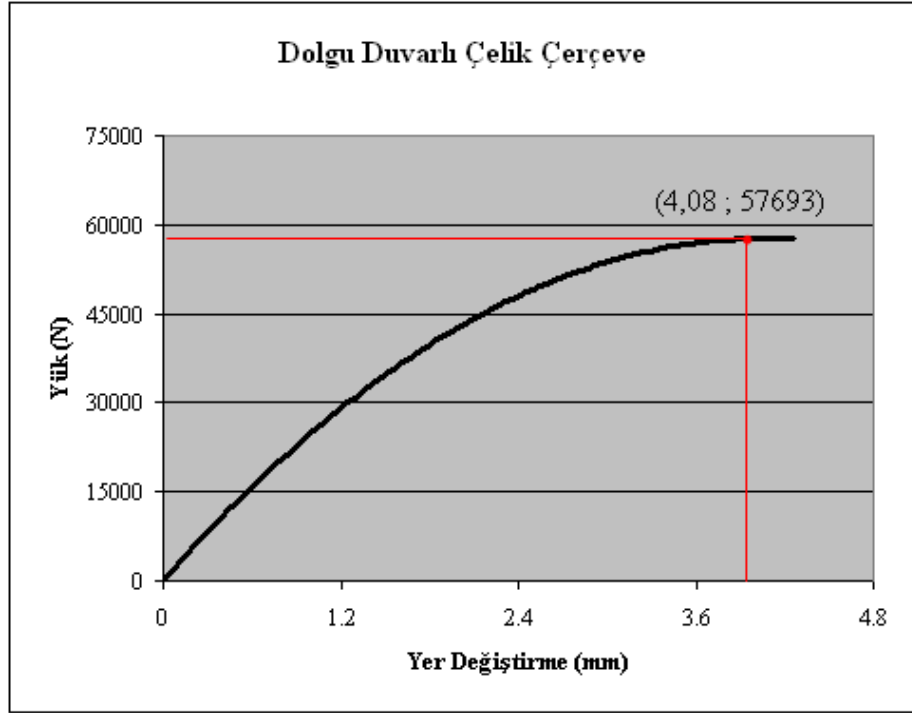
Bu deneyde 57693 N'luk yük seviyesinde dolgu duvarlı çerçeve sistemi, yüklemenin yapıldığı doğrultularda aşırı gerilme yığılmasından dolayı, köşe noktalarından gevrek bir biçimde ezilmiş, diğer serbest köşelerde ise dolgu ayrılması gerçekleşmiştir. Dolgu duvar ile çerçeve ara yüzeyi arasında gözle görülebilen çatlaklar oluşurken, açıklıklarda çekme çatlakları yükleme doğrultusunda ise çapraz çatlaklar meydana gelmiştir (Şekil 4.22 ve Şekil 4.23). 57693 N'luk yüke karşılık gelen yer değiştirme 4,08 mm olarak elde edilmiştir. Üçüncü deneysel çalışmaya ait davranış (yük-yer değiştirme) eğrisi Şekil 4.24'de verilmiştir.



Şekil 4.22. Üçüncü deneysel çalışmadan elde edilen hasar seviyesi

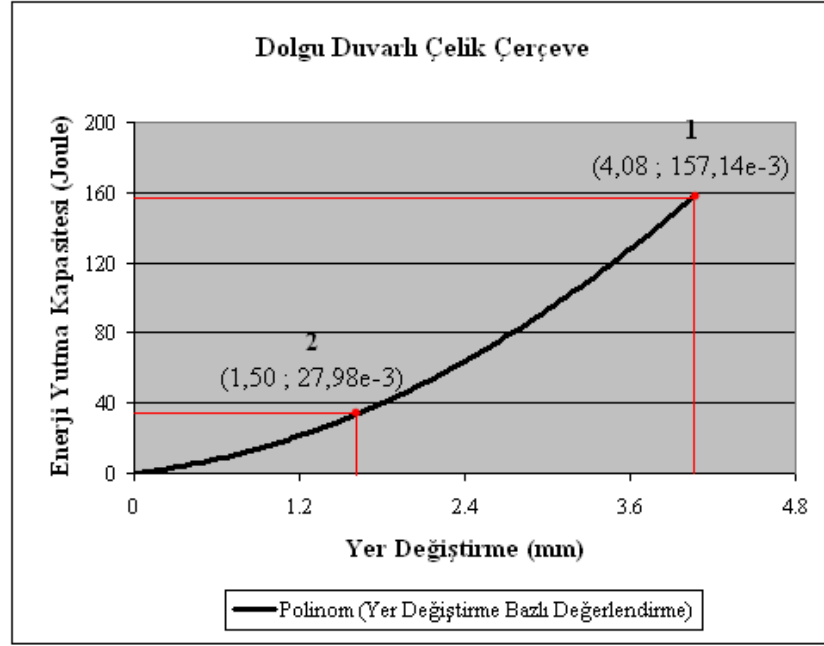


Şekil 4.23. Üçüncü deneysel çalışmaya ait hasar seviyesi

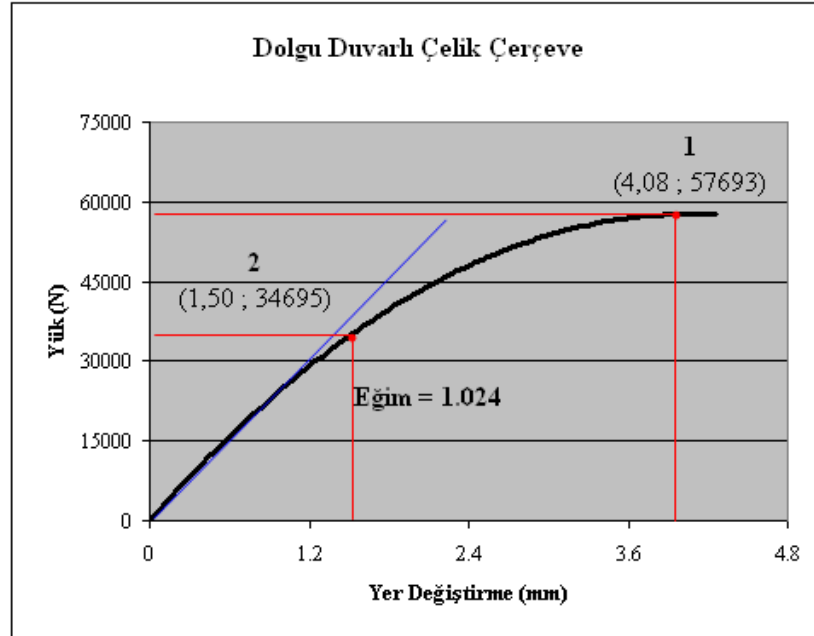


Şekil 4.24. Üçüncü deneysel çalışmadan elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi

Üçüncü deneysel çalışmadan elde edilen yük-yer değiştirme eğrisinden yararlanılarak, Bölüm 3.2.1’de bahsedilen şekilde enerji yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği hesaplanmıştır. 1,50 mm yer değiştirmeye karşılık gelen yük 34695 N’dur. Buna göre, üçüncü deneysel çalışmaya ait enerji yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği Şekil 4.25 ve Şekil 4.26’de gösterilmiş, elde edilen sonuçlar ise Çizelge 4.10’da özetlenmiştir.



Şekil 4.25. Üçüncü deneysel çalışmaya ait enerji yutma kapasitesi-yer değiştirme eğrisi



Şekil 4.26. Üçüncü deneysel çalışmaya ait yük-yer değiştirme eğrisi için başlangıç rijitliği

Çizelge 4.10. Üçüncü deneysel çalışmaya ait yer değıştirme esaslı değerlendirme

Yük	Enerji Yutma Kapasitesi (Joule) (10^3)	Başlangıç Rijitliği (N/m) (10^6)
20640 N	157,14	28,95
17896 N	27,98	29,69

Üçüncü deneyden elde edilen yük-yer değıştirme eğrisi kullanılarak, Bölüm 3.2.2’de bahsedilen şekilde dolgu duvarda oluşan ortalama kayma gerilmesi hesaplanmış ve Çizelge 4.11’de özetlenmiştir.

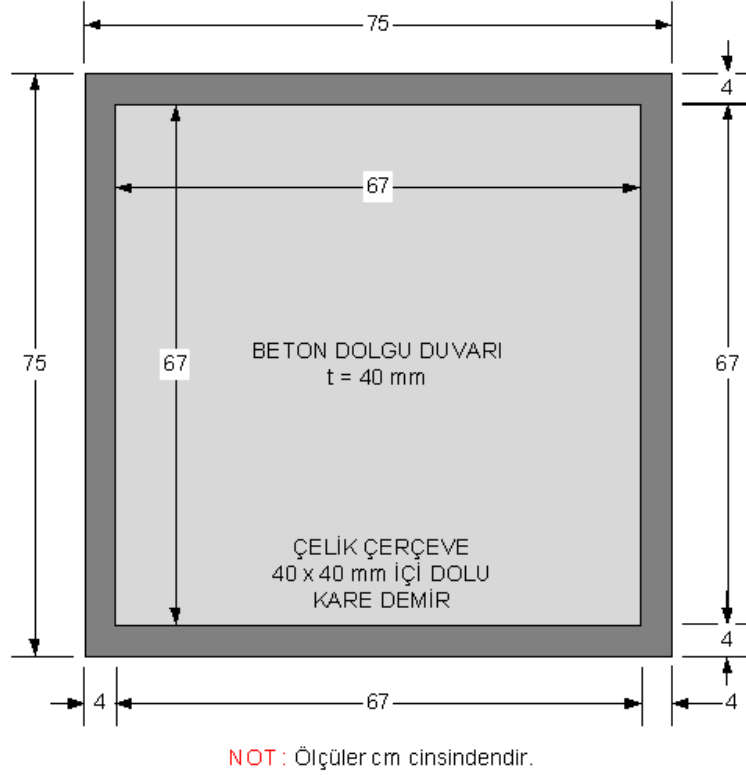
Çizelge 4.11. Üçüncü deneysel çalışmaya ait gerilme esaslı değerlendirme

Üçüncü Deneysel Çalışma	Ortalama Kayma Gerilmesi (MPa)	Beton Dolgu Duvarı 7 Günlük Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)
Çatlama Yükünde (4,08 mm ; 57693 N)	83,25	15,10

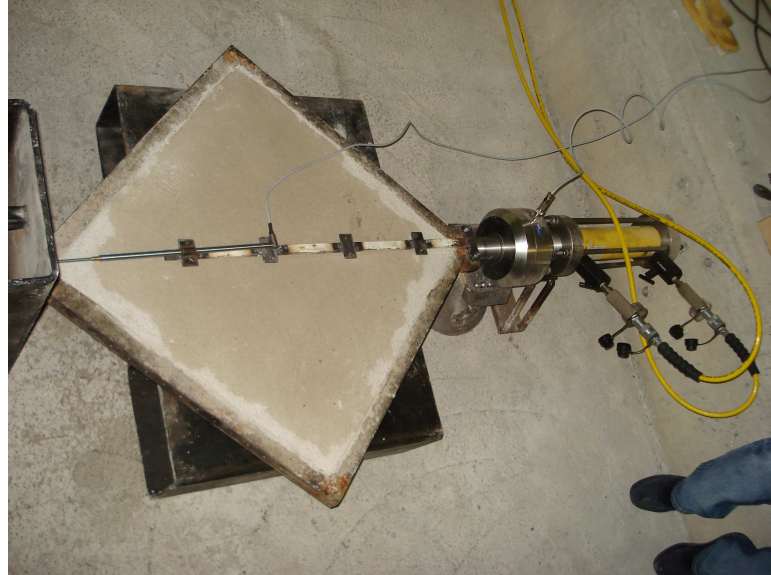
Üçüncü deneyde değıştirilen parametreler ile beklenen davranış (hasar) elde edilmiştir. Ancak elde edilen sonuca, değıştirilen parametrelerden hangisinin daha etkili olduğu tespit edilememiştir. Bu yüzden, deney programının dışına çıkmamak için, değıştirilen parametrelerden sadece dolgu betonuna ait en büyük agrega tane çapı konusu uygun görülerek deneylere devam edilmiştir.

4.1.1.e. Dördüncü deneysel çalışma

Deneysel çalışmada dördüncü deneme, dolgu duvar betonunun 7 (yedi) günlük ortalama basınç dayanımı 13,95 MPa olan beton dolgu duvarlı çelik çerçeve sistemi ile yapılmıştır (Şekil 4.27 ve Şekil 4.28). Deney numunesinin özellikleri Çizelge 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.27. Dördüncü deney numunesi

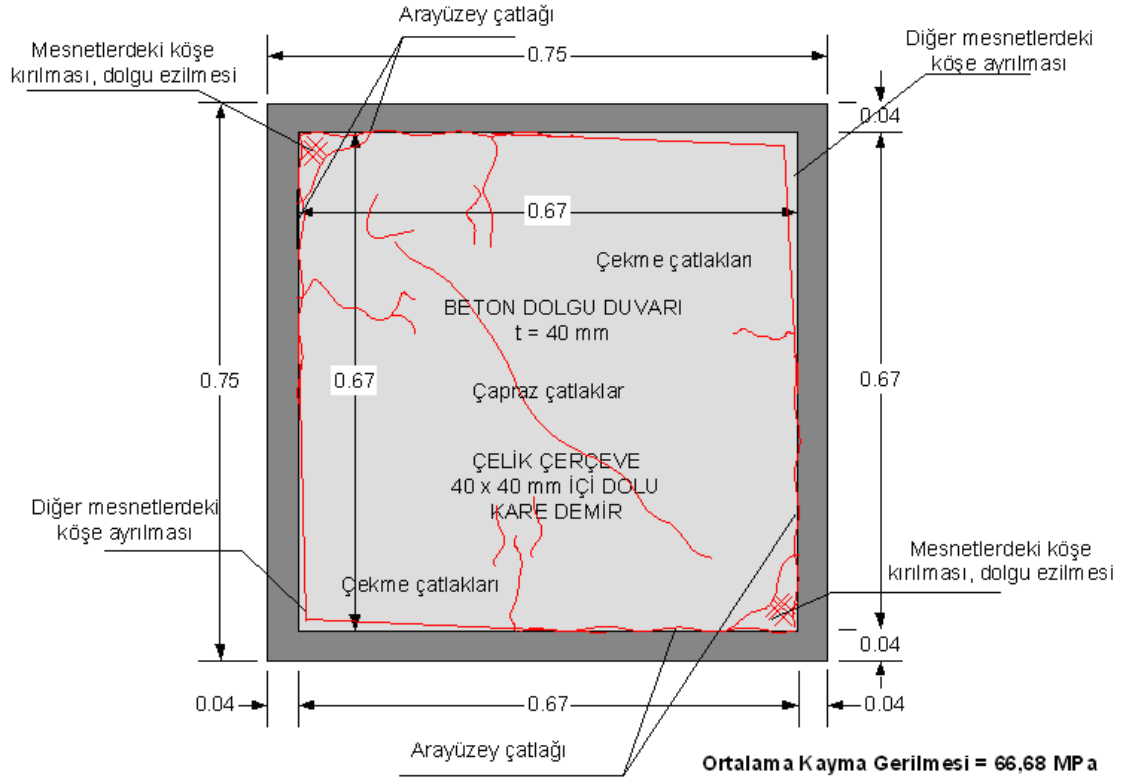


Şekil 4.28. Dördüncü deneysel çalışma

Çizelge 4.12. Dördüncü deneysel çalışmaya ait deney numunesinin özellikleri

Deney Numunesinin Özellikleri	
Çelik Çerçeve	$E_{\text{çelik çerçeve}}=198000 \text{ MPa}$ $\gamma_{\text{çelik çerçeve}}=7,25e-6 \text{ kg/mm}^3$ $\nu_{\text{çelik çerçeve}}=0,30$
Beton Dolgu Duvarı	$E_{\text{dolgu duvarı}}=18900 \text{ MPa}$ $\gamma_{\text{dolgu duvarı}}=2,20e-6 \text{ kg/mm}^3$ $\nu_{\text{çelik çerçeve}}=0,20$ $\sigma_{\text{dolgu duvarı}}=13,95 \text{ MPa}$

Bu deneyde 120992 N'luk yük seviyesinde dolgu duvarlı çerçeve sistemi, yüklemenin yapıldığı doğrultularda aşırı gerilme yığılmasından dolayı, köşe noktalarından gevrek bir biçimde ezilmiş, diğer serbest köşelerde ise dolgu ayrılması gerçekleşmiştir. Dolgu duvar ile çerçeve ara yüzeyi arasında gözle görülebilen çatlaklar oluşurken, açıklıklarda çekme çatlakları yükleme doğrultusunda ise çapraz çatlaklar meydana gelmiştir (Şekil 4.29 ve Şekil 4.30). 120992 N'luk yüke karşılık gelen yer değiştirme 3,34 mm olarak elde edilmiştir. Dördüncü deneysel çalışmaya ait davranış (yük-yer değiştirme) eğrisi Şekil 4.31'de verilmiştir.

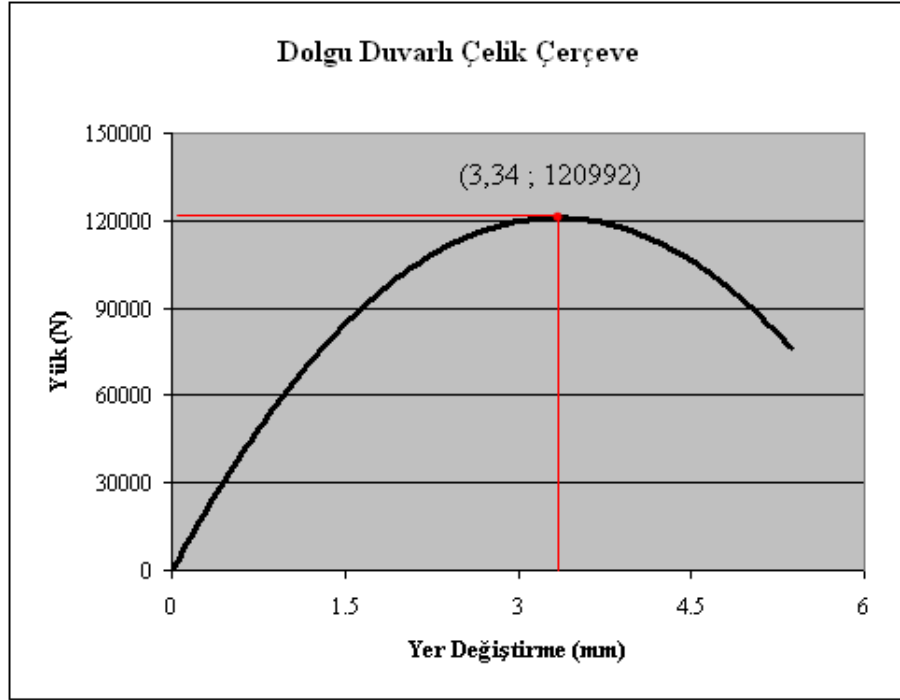


NOT : Ölçüler m cinsindedir.

Şekil 4.29. Dördüncü deneysel çalışmadan elde edilen hasar seviyesi

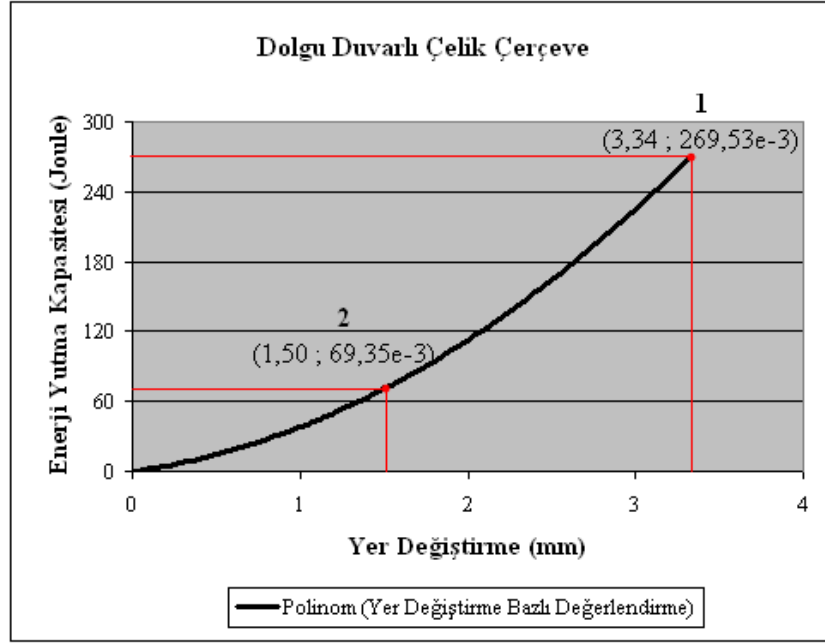


Şekil 4.30. Dördüncü deneysel çalışmaya ait hasar seviyesi

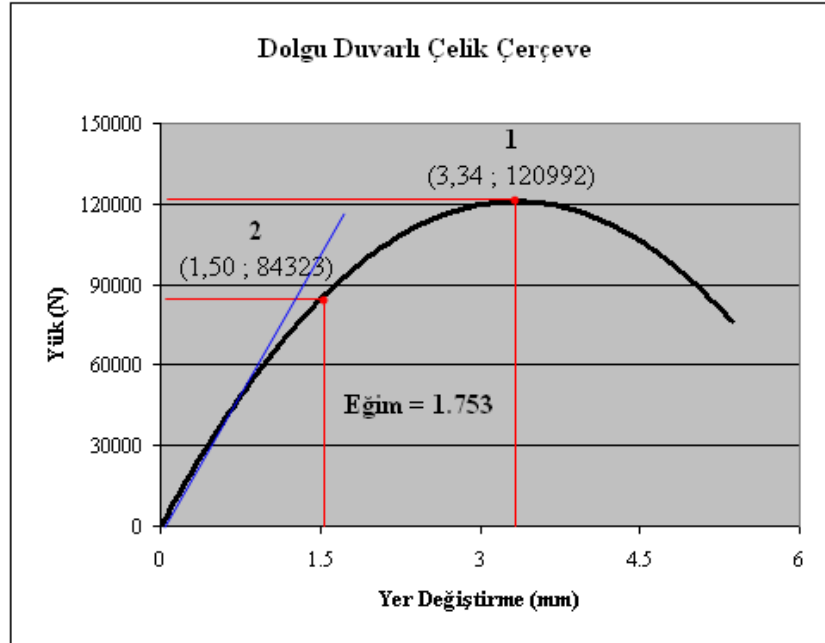


Şekil 4.31. Dördüncü deneysel çalışmadan elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi

Dördüncü deneysel çalışmadan elde edilen yük-yer değiştirme eğrisinden yararlanılarak, Bölüm 3.2.1'de bahsedilen şekilde enerji yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği hesaplanmıştır. 1,50 mm yer değiştirmeye karşılık gelen yük 84323 N'dur. Buna göre, dördüncü deneysel çalışmaya ait enerji yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği Şekil 4.32 ve Şekil 4.33'de gösterilmiş, elde edilen sonuçlar ise Çizelge 4.13'de özetlenmiştir.



Şekil 4.32. Dördüncü deneysel çalışmaya ait enerji yutma kapasitesi-yer değiştirme eğrisi



Şekil 4.33. Dördüncü deneysel çalışmaya ait yük-yer değiştirme eğrisi için başlangıç rijitliği

Çizelge 4.13. Dördüncü deneysel çalışmaya ait yer değiştirme esaslı değerlendirme

Yük	Enerji Yutma Kapasitesi (Joule) (10^3)	Başlangıç Rijitliği (N/m) (10^6)
120992 N	269,53	129,23
84323 N	69,35	131,06

Dördüncü deneyden elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi kullanılarak, Bölüm 3.2.2’de bahsedilen şekilde dolgu duvarda oluşan ortalama kayma gerilmesi hesaplanmış ve Çizelge 4.14’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.14. Dördüncü deneysel çalışmaya ait gerilme esaslı değerlendirme

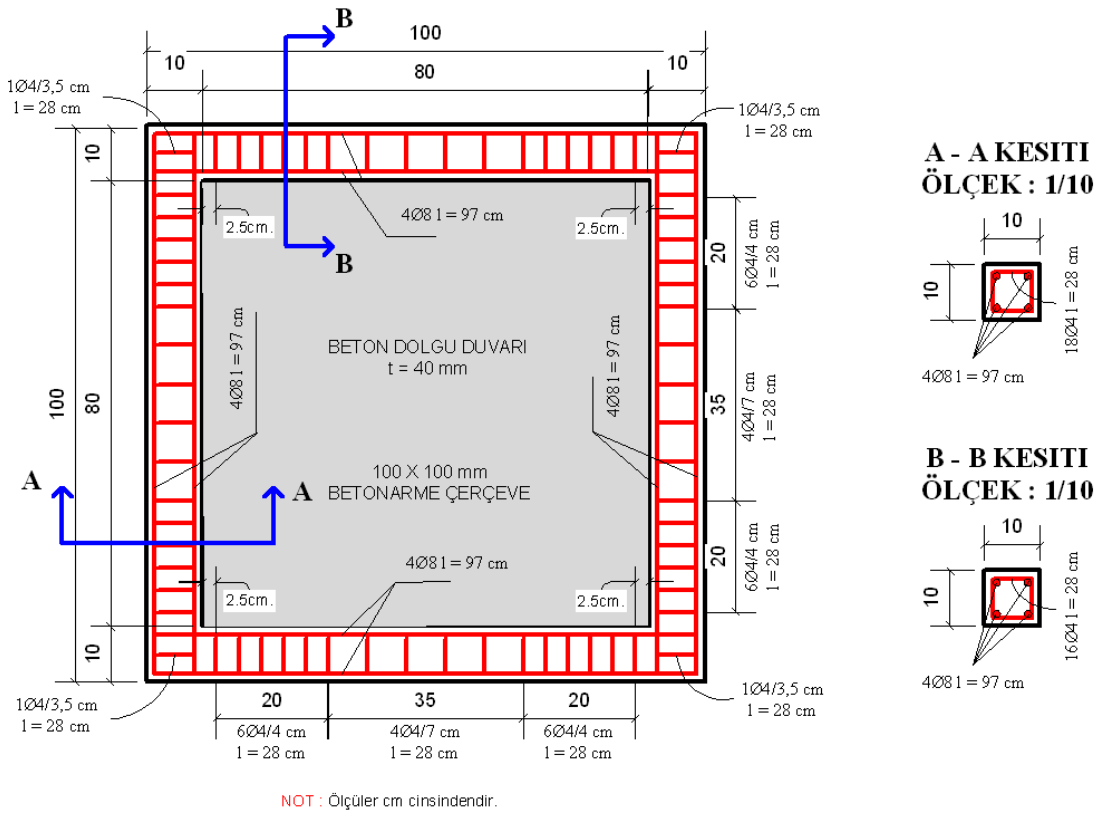
Dördüncü Deneysel Çalışma	Ortalama Kayma Gerilmesi (MPa)	Beton Dolgu Duvarı 7 Günlük Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)
Çatlama Yükünde (3,34 mm ; 120992 N)	66,68	13,95

Dördüncü deneyde değiştirilen dolgu betonu en büyük tane çapı parametresi ile beklenen davranış (hasar) elde edilmiştir. Böylece, geliştirilen deney programı ve deney düzeneğinin doğruluğu desteklenmiştir.

Sistemde çerçeve için kullanılan çelik profil, mekanik karakteristiği bakımından belirli bir malzemedir. Betonarme yapılar dikkate alındığında, bu yapıların çerçeve sistemleri de betonarme olduğundan, deneysel çalışmanın amacına ulaşabilmesi için çerçeveler betonarme olarak ta denenmiştir. Çalışmanın deney programı kapsamında dolgu duvarlı betonarme çerçeve sistemler aynı şekilde üretilerek, yapı bütünlüğün oluşturulması sağlanmıştır.

4.1.1.f. Beşinci deneysel çalışma

Deneysel çalışmada beşinci deneme, dolgu duvar betonunun 7 (yedi) günlük ortalama basınç dayanımı 13,95 MPa olan beton dolgu duvarlı betonarme çerçeve sistemi ile yapılmıştır (Şekil 4.34 ve Şekil 4.35). Deney numunesinin özellikleri Çizelge 4.15’de verilmiştir.



Şekil 4.34. Beşinci deney numunesi

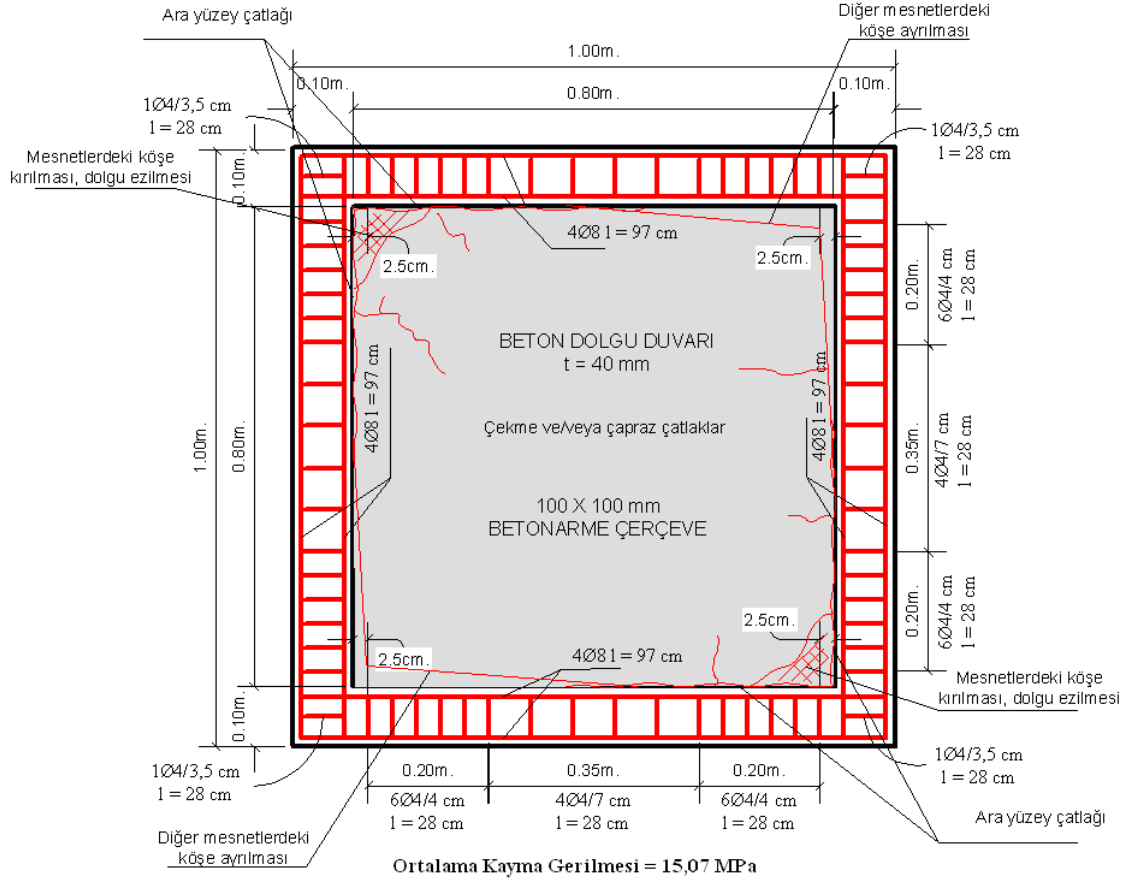


Şekil 4.35. Beşinci deneysel çalışma

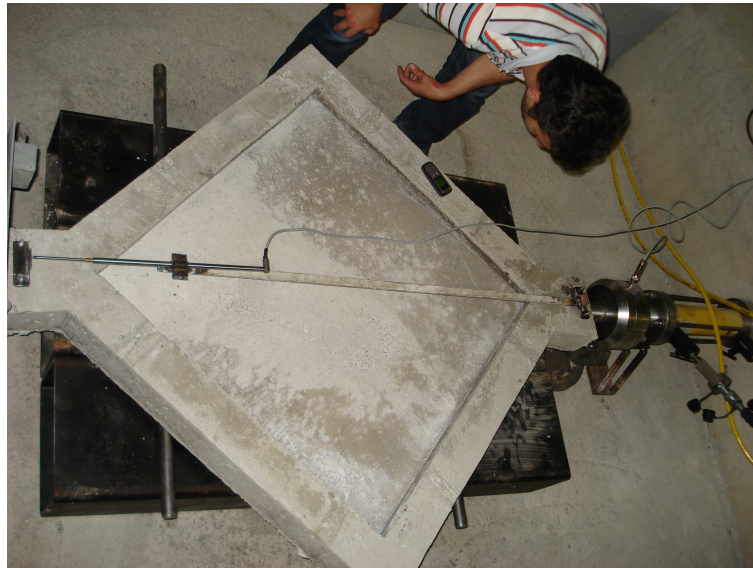
Çizelge 4.15. Beşinci deneysel çalışmaya ait deney numunesinin özellikleri

Deney Numunesinin Özellikleri	
Betonarme Çerçeve	$E_{BA \text{ çerçeve}}=27000 \text{ MPa}$ $\gamma_{BA \text{ çerçeve}}=2,40e-6 \text{ kg/mm}^3$ $\nu_{BA \text{ çerçeve}}=0,20$ $\sigma_{BA \text{ çerçeve}}=18,48 \text{ MPa}$
Beton Dolgu Duvarı	$E_{dolgu \text{ duvarı}}=18900 \text{ MPa}$ $\gamma_{dolgu \text{ duvarı}}=2,20e-6 \text{ kg/mm}^3$ $\nu_{\text{çelik çerçeve}}=0,20$ $\sigma_{dolgu \text{ duvarı}}=13,95 \text{ MPa}$

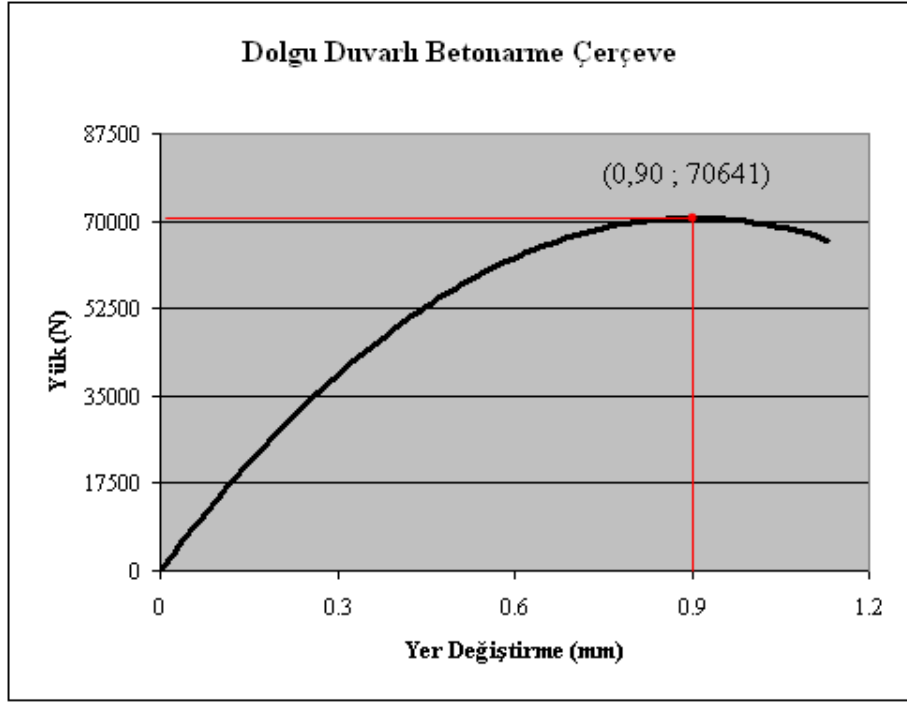
Bu deneyde 70641 N'luk yük seviyesinde dolgu duvarlı çerçeve sistemi, yüklemenin yapıldığı doğrultularda aşırı gerilme yığılmasından dolayı, köşe noktalarından gevrek bir biçimde ezilmiş, diğer serbest köşelerde ise dolgu ayrılması gerçekleşmiştir. Dolgu duvar ile çerçeve ara yüzeyi arasında gözle görülebilen çatlaklar oluşurken açıklıklarda ise bazı çekme çatlakları meydana gelmiştir (Şekil 4.36 ve Şekil 4.37). 70641 N'luk yüke karşılık gelen yer değiştirme 0,90 mm olarak elde edilmiştir. Beşinci deneysel çalışmaya ait davranış (yük-yer değiştirme) eğrisi Şekil 4.38'de verilmiştir.



Şekil 4.36. Beşinci deneysel çalışmadan elde edilen hasar seviyesi

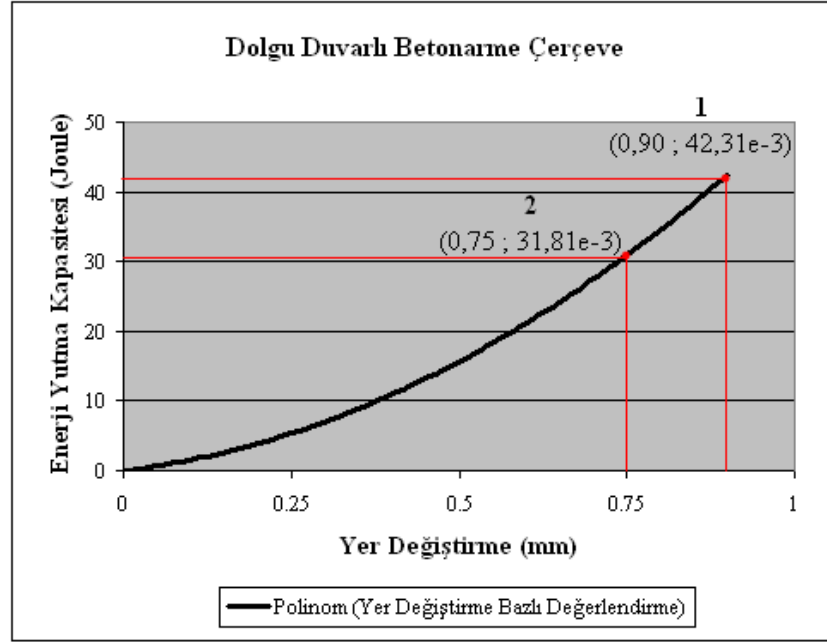


Şekil 4.37. Beşinci deneysel çalışmaya ait hasar seviyesi

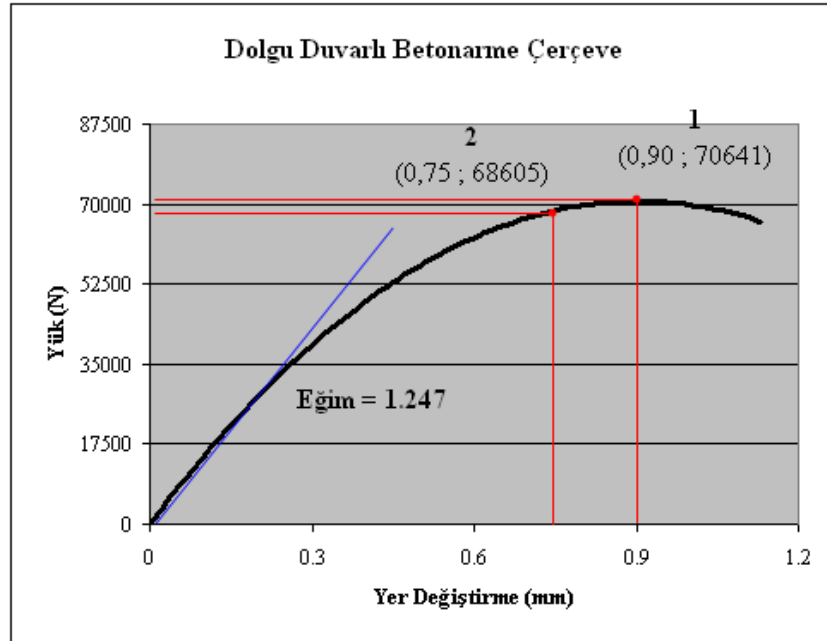


Şekil 4.38. Beşinci deneysel çalışmadan elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi

Beşinci deneysel çalışmadan elde edilen yük-yer değiştirme eğrisinden yararlanılarak, Bölüm 3.2.1’de bahsedilen şekilde enerji yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği hesaplanmıştır. 0,75 mm yer değiştirmeye karşılık gelen yük 68605 N’dur. Buna göre, beşinci deneysel çalışmaya ait enerji yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği Şekil 4.39 ve Şekil 4.40’da gösterilmiş, elde edilen sonuçlar ise Çizelge 4.16’da özetlenmiştir.



Şekil 4.39. Beşinci deneysel çalışmaya ait enerji yutma kapasitesi-yer değiştirme eğrisi



Şekil 4.40. Beşinci deneysel çalışmaya ait yük-yer değiştirme eğrisi için başlangıç rijitliği

Çizelge 4.16. Beşinci deneysel çalışmaya ait yer değiştirme esaslı değerlendirme

Yük	Enerji Yutma Kapasitesi (Joule) (10^3)	Başlangıç Rijitliği (N/m) (10^6)
70641 N	42,31	146,09
68605 N	31,81	145,31

Beşinci deneyden elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi kullanılarak, Bölüm 3.2.2’de bahsedilen şekilde dolgu duvarda oluşan ortalama kayma gerilmesi hesaplanmış ve Çizelge 4.17’de özetlenmiştir.

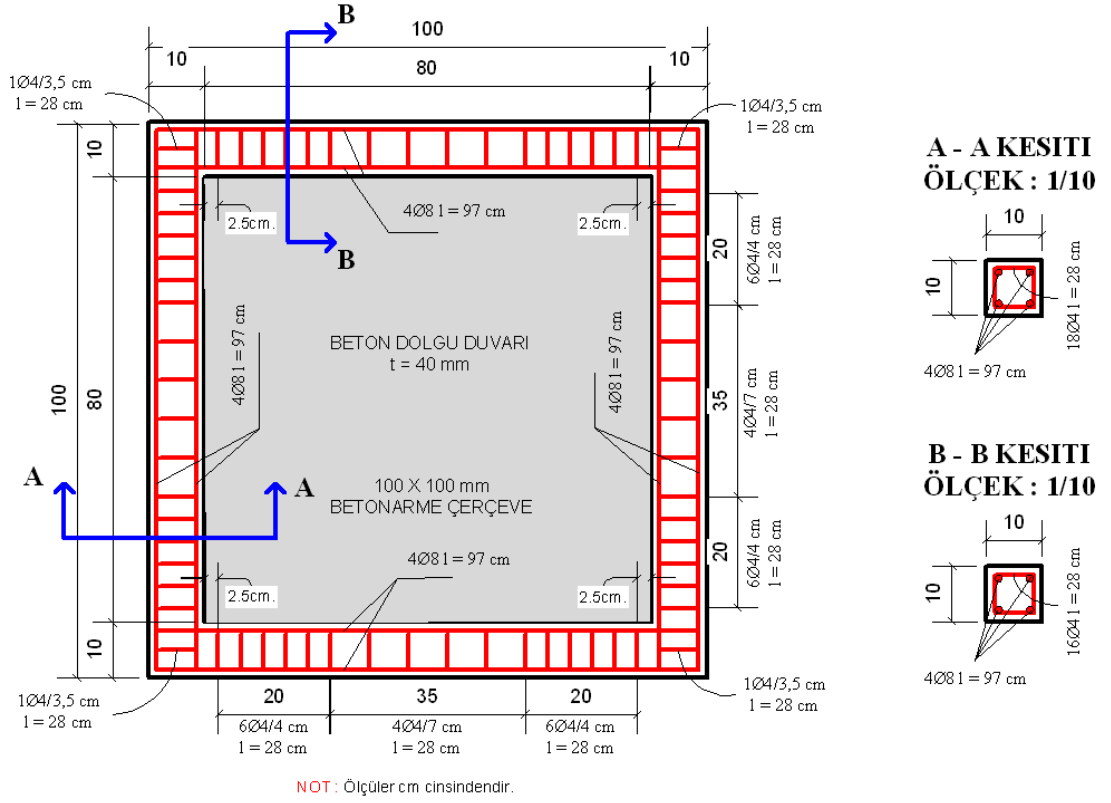
Çizelge 4.17. Beşinci deneysel çalışmaya ait gerilme esaslı değerlendirme

Beşinci Deneysel Çalışma	Ortalama Kayma Gerilmesi (MPa)	Beton Dolgu Duvarı 7 Günlük Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)
Çatlama Yükünde (0,90 mm ; 70641 N)	15,07	13,95

Beşinci deneyde 54990 N’luk yük seviyesinde iken betonarme çerçeve için oluşturulan başlık kırılmaya başlamıştır. Başlık kırılınca yük aktarımı da oldukça zayıf kalmıştır. Bu yüzden de deney erken sonlandırılmıştır. Deneyin sonlandırılması ile yük boşaltılmıştır. Beşinci denemede beklenen davranış elde edilemediğinden, deneyin tekrarlanması kararlaştırılmıştır.

4.1.1.g. Altıncı deneysel çalışma

Deneysel çalışmada altıncı deneme, dolgu duvar betonunun 7 (yedi) günlük ortalama basınç dayanımı 13,95 MPa olan beton dolgu duvarlı betonarme çerçeve sistemi ile yapılmıştır (Şekil 4.41 ve Şekil 4.42). Deney numunesinin özellikleri Çizelge 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.41. Altıncı deney numunesi

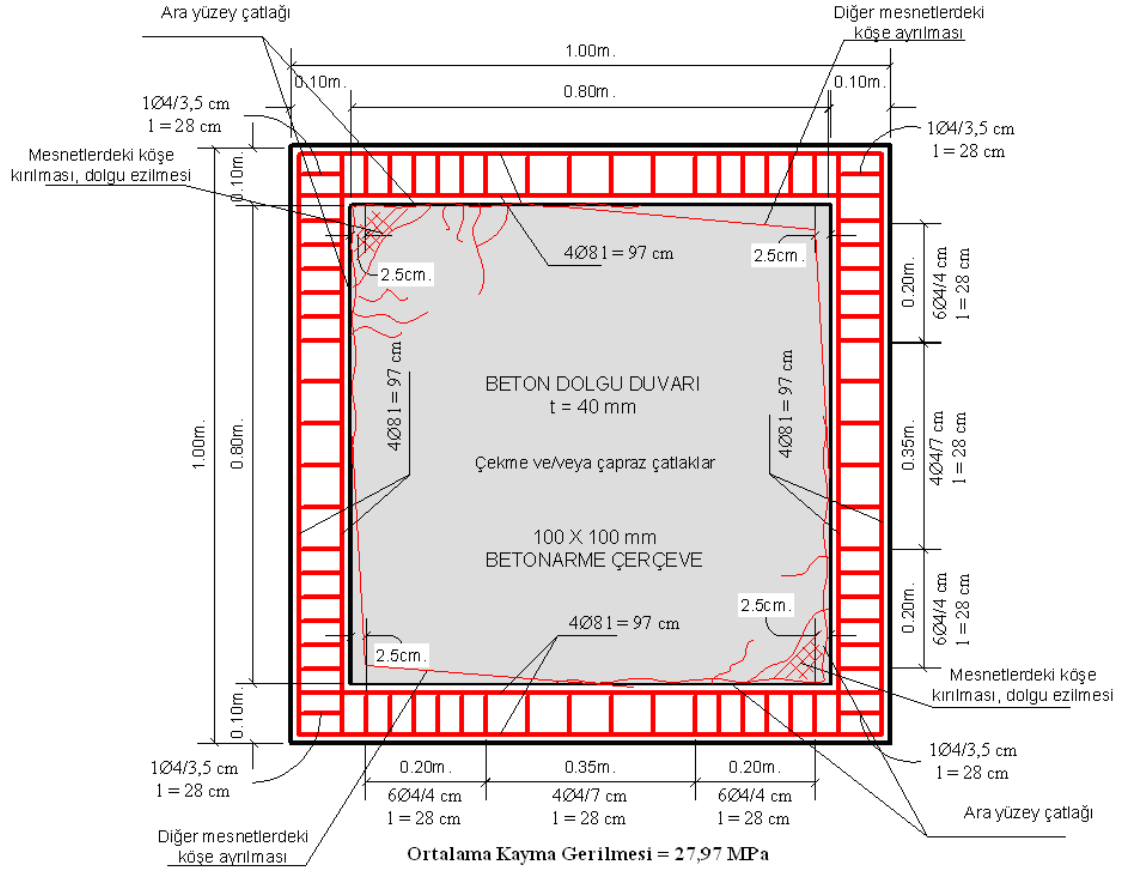


Şekil 4.42. Altıncı deneysel çalışma

Çizelge 4.18. Altıncı deneysel çalışmaya ait deney numunesinin özellikleri

Deney Numunesinin Özellikleri	
Betonarme Çerçeve	$E_{BA \text{ çerçeve}}=27000 \text{ MPa}$ $\gamma_{BA \text{ çerçeve}}=2,40e-6 \text{ kg/mm}^3$ $\nu_{BA \text{ çerçeve}}=0,20$ $\sigma_{BA \text{ çerçeve}}=18,48 \text{ MPa}$
Beton Dolgu Duvarı	$E_{dolgu \text{ duvarı}}=18900 \text{ MPa}$ $\gamma_{dolgu \text{ duvarı}}=2,20e-6 \text{ kg/mm}^3$ $\nu_{çelik \text{ çerçeve}}=0,20$ $\sigma_{dolgu \text{ duvarı}}=13,95 \text{ MPa}$

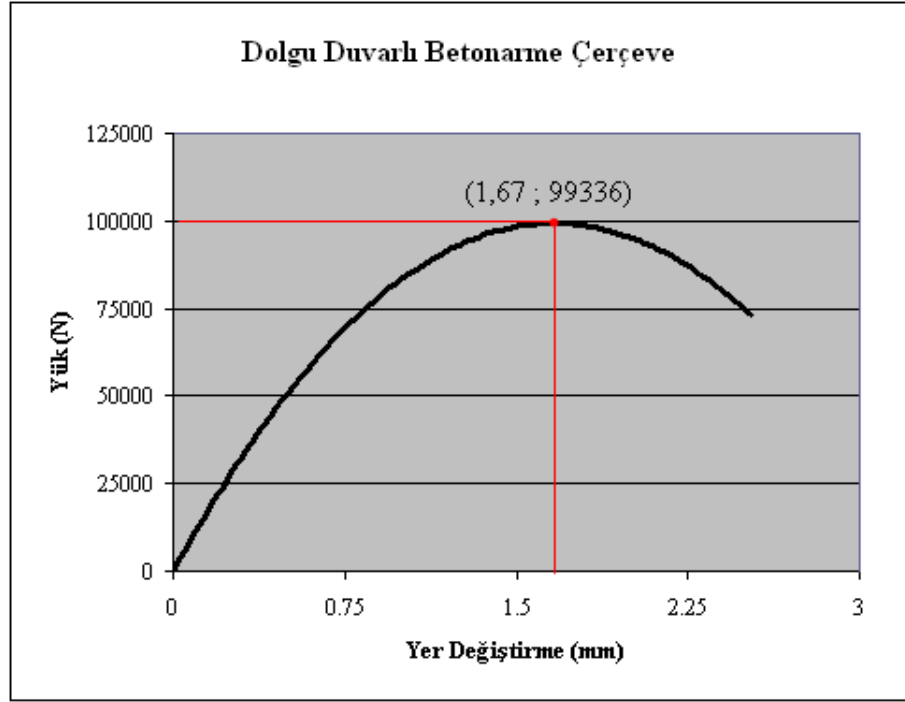
Bu deneyde 99336 N'luk yük seviyesinde dolgu duvarlı çerçeve sistemi, yüklemenin yapıldığı doğrultularda aşırı gerilme yığılmasından dolayı, köşe noktalarından gevrek bir biçimde ezilmiş, diğer serbest köşelerde ise dolgu ayrılması gerçekleşmiştir. Dolgu duvar ile çerçeve ara yüzeyi arasında gözle görülebilen çatlaklar oluşurken açıklıklarda ise bazı çekme çatlakları meydana gelmiştir (Şekil 4.43 ve Şekil 4.44). 99336 N'luk yüke karşılık gelen yer değiştirme 1,67 mm olarak elde edilmiştir. Altıncı deneysel çalışmaya ait davranış (yük-yer değiştirme) eğrisi Şekil 4.45'de verilmiştir.



Şekil 4.43. Altıncı deneysel çalışmadan elde edilen hasar seviyesi

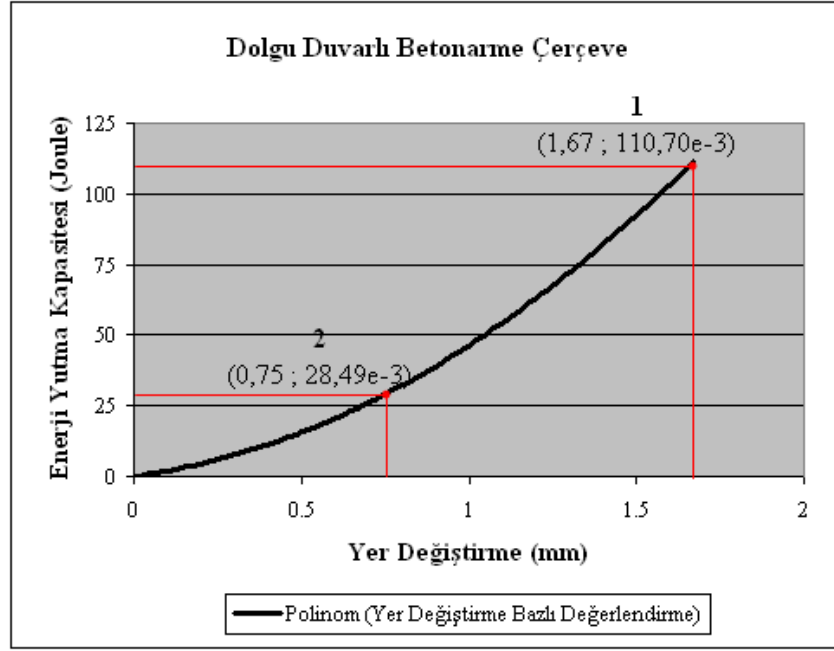


Şekil 4.44. Altıncı deneysel çalışmaya ait hasar seviyesi

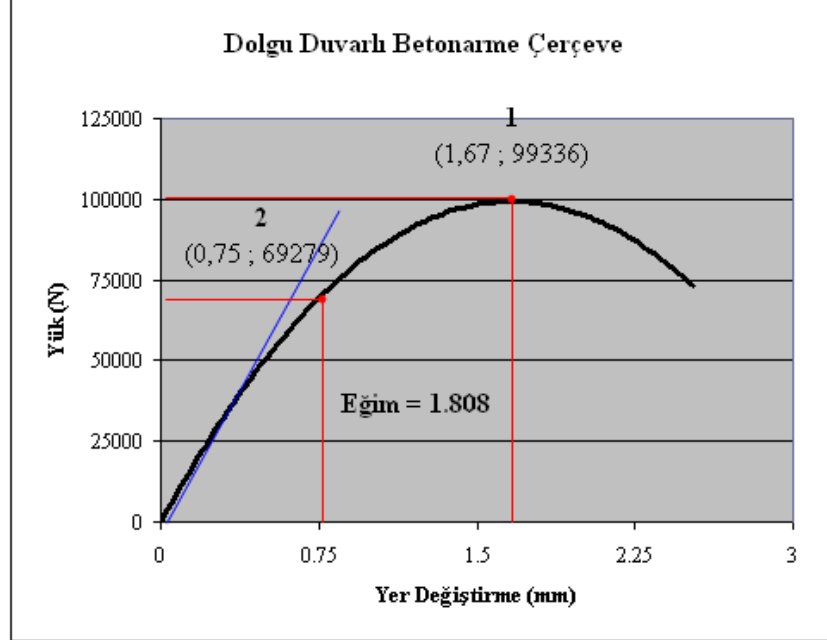


Şekil 4.45. Altıncı deneysel çalışmadan elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi

Altıncı deneysel çalışmadan elde edilen yük-yer değiştirme eğrisinden yararlanılarak, Bölüm 3.2.1’de bahsedilen şekilde enerji yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği hesaplanmıştır. 0,75 mm yer değiştirmeye karşılık gelen yük 69279 N’dur. Buna göre, altıncı deneysel çalışmaya ait enerji yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği Şekil 4.46 ve Şekil 4.47’de gösterilmiş, elde edilen sonuçlar ise Çizelge 4.19’da özetlenmiştir.



Şekil 4.46. Altıncı deneysel çalışmaya ait enerji yutma kapasitesi-yer değiştirme eğrisi



Şekil 4.47. Altıncı deneysel çalışmaya ait yük-yer değiştirme eğrisi için başlangıç rijitliği

Çizelge 4.19. Altıncı deneysel çalışmaya ait yer değıştirme esaslı değeriendirme

Yük	Enerji Yutma Kapasitesi (Joule) (10^3)	Başlangıç Rijitliği (N/m) (10^6)
99336 N	110,70	114,90
69279 N	28,49	118,70

Altıncı deneyden elde edilen yük-yer değıştirme eğrisi kullanılarak, Bölüm 3.2.2’de belirtilen şekilde dolgu duvarda oluşan ortalama kayma gerilmesi hesaplanmış ve Çizelge 4.20’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.20. Altıncı deneysel çalışmaya ait gerilme esaslı değeriendirme

Altıncı Deneysel Çalışma	Ortalama Kayma Gerilmesi (MPa)	Beton Dolgu Duvarı 7 Günlük Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)
Çatlama Yükünde (1,67 mm ; 99336 N)	27,97	13,95

Altıncı denemede de yükleme doğrultusunda oluşması beklenen çapraz çatlamlar gerçekleşmemiştir. Betonarme çerçevesi sistemlerde yük aktarımı çelik çerçevesi sistemlerdeki gibi oluşmamıştır. Bundan sonraki deneysel çalışmalarda dolgu duvarlı betonarme ve çelik çerçeve sistemlerde, çerçeve ile dolgu duvar arasındaki bağlantıyı sağlayan ankraj çubuklarının sisteme olan etkisinin incelenmesi kararlaştırılmıştır.

4.1.2. Ankraj çubukları kullanılarak yapılan deneyler

Bundan sonraki deneysel çalışmalarda dolgu duvarlı betonarme ve çelik çerçeve sistemlerinde, çerçeve ile dolgu duvar arasına ankraj çubukları yerleştirilerek deneylere devam edilmiştir.

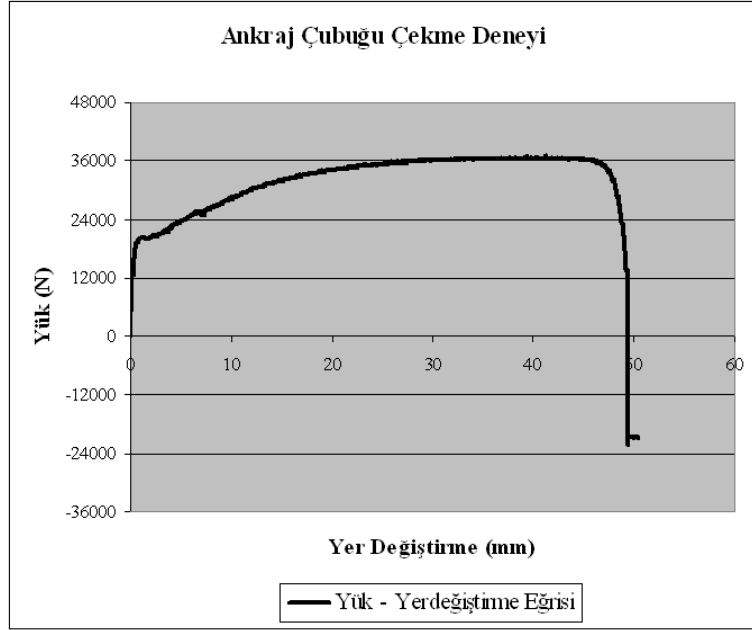
Çalışmalar, deney programı dâhilinde aynı şekilde devam ettirilmiştir. Hazırlanan model dolgu duvarlı çerçeve sistemlerde dolgu duvarı ile çerçeve arasına ankraj çubukları yerleştirilmiş ve deney sırasında dolgu duvarına iletilen aksel (normal) yükler ile ankraj çubuklarının düzlem gerilmeleri, ankraj çubukları üzerine yapıştırılan birim şekil değiştirme ölçerler vasıtasıyla ölçülmüştür. Elde edilen şekil değiştirmelere bağlı olarak gerilme esaslı değerlendirmeler yapılmıştır.

4.1.2.a. Ankraj çubuğuna ait çekme deneyi

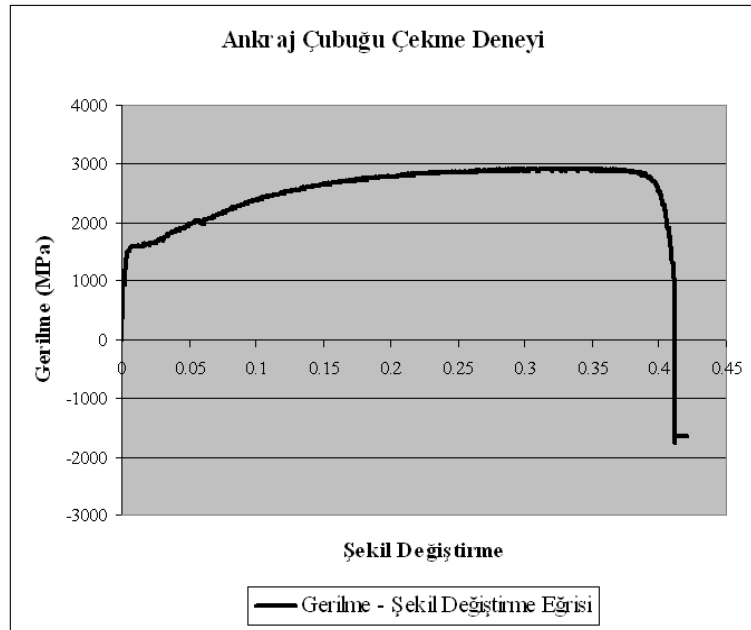
Ankraj çubuklarının kullanıldığı deneylere geçilmeden önce, ankraj çubuklarının çekme deneyi yapılmıştır. Daha önce de belirtildiği üzere, dolgu duvar ile çerçeve arasındaki birleşimi sağlayan ankraj çubuklarına birim şekil değiştirme ölçerler yapıştırılarak, dolgu duvarlı çerçeve sistemlere olan katkısının araştırılması hedeflenmiştir. Böylece yükleme sırasında çerçeve ile dolgu duvarının birlikte davranıp davranmadığı ve çerçeveden iletilen düzlem gerilmelerin ve normal yüklerin dolgu duvara aktarılıp aktarılmadığı tespit edilmektedir.

Çalışmada, ankraj çubuklarına yapıştırılan birim şekil değiştirme ölçerlerden elde edilen şekil değiştirmelerin normal yük ve düzlem gerilmeye dönüştürülmesinde, çekme deneyine ait yük-yer değiştirme ve gerilme-şekil değiştirme eğrileri kullanılmıştır.

Ankraj çubuklarının çekme deneyi yapılmış olup elde edilen yük-yer değiştirme ile gerilme şekil değiştirme eğrileri Şekil 4.48 ve Şekil 4.49’da verilmiştir.



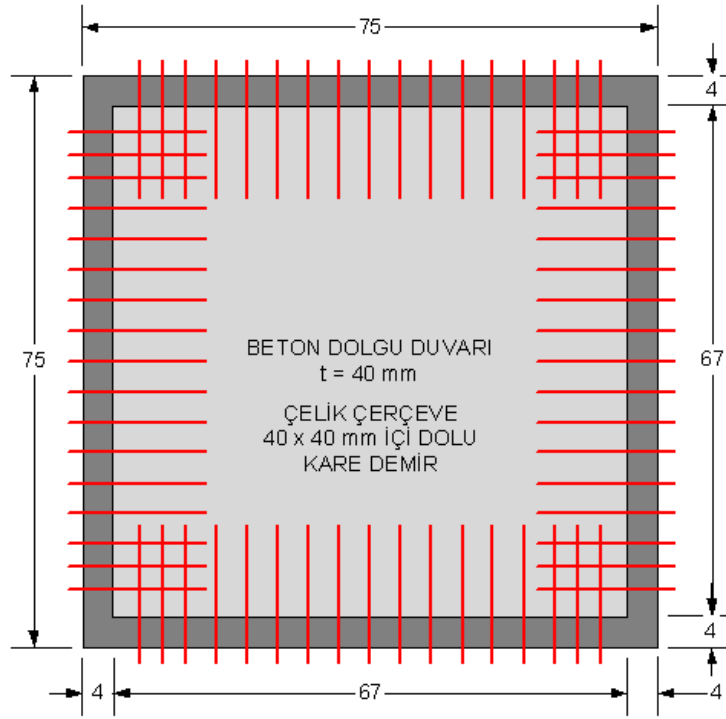
Şekil 4.48. Ankraj çubuğunun çekme deneyinden elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi



Şekil 4.49. Ankraj çubuğunun çekme deneyinden elde edilen gerilme-şekil değiştirme eğrisi

4.1.2.b. Yedinci deneysel çalışma

Deneysel çalışmada yedinci deneme, dolgu duvar betonunun 7 (yedi) günlük ortalama basınç dayanımı 20,44 MPa olan beton dolgu duvarlı çelik çerçeve sistemi ile yapılmıştır (Şekil 4.50 ve Şekil 4.51). Deney numunesinin özellikleri Çizelge 4.21’de verilmiştir.



NOT : Ölçüler cm cinsindedir.

Şekil 4.50. Yedinci deney numunesi

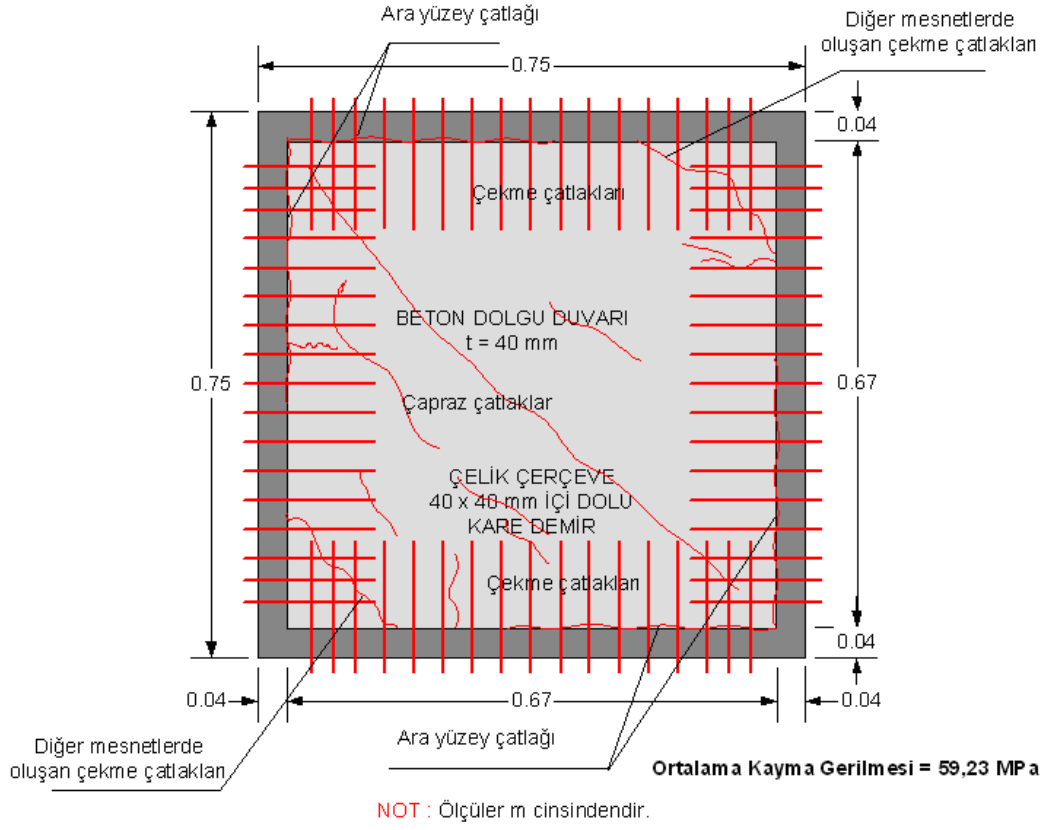


Şekil 4.51. Yedinci deneysel çalışma

Çizelge 4.21. Yedinci deneysel çalışmaya ait deney numunesinin özellikleri

Deney Numunesinin Özellikleri	
Çelik Çerçeve	$E_{\text{çelik çerçeve}}=198000 \text{ MPa}$ $\gamma_{\text{çelik çerçeve}}=7,25e-6 \text{ kg/mm}^3$ $\nu_{\text{çelik çerçeve}}=0,30$
Beton Dolgu Duvarı	$E_{\text{dolgu duvarı}}=23000 \text{ MPa}$ $\gamma_{\text{dolgu duvarı}}=2,20e-6 \text{ kg/mm}^3$ $\nu_{\text{çelik çerçeve}}=0,20$ $\sigma_{\text{dolgu duvarı}}=20,44 \text{ MPa}$
Çelik Ankraj Çubukları	$E_{\text{ankraj çubuğu}}=123000 \text{ MPa}$ $\gamma_{\text{ankraj çubuğu}}=7,80e-6 \text{ kg/mm}^3$ $\nu_{\text{ankraj çubuğu}}=0,30$

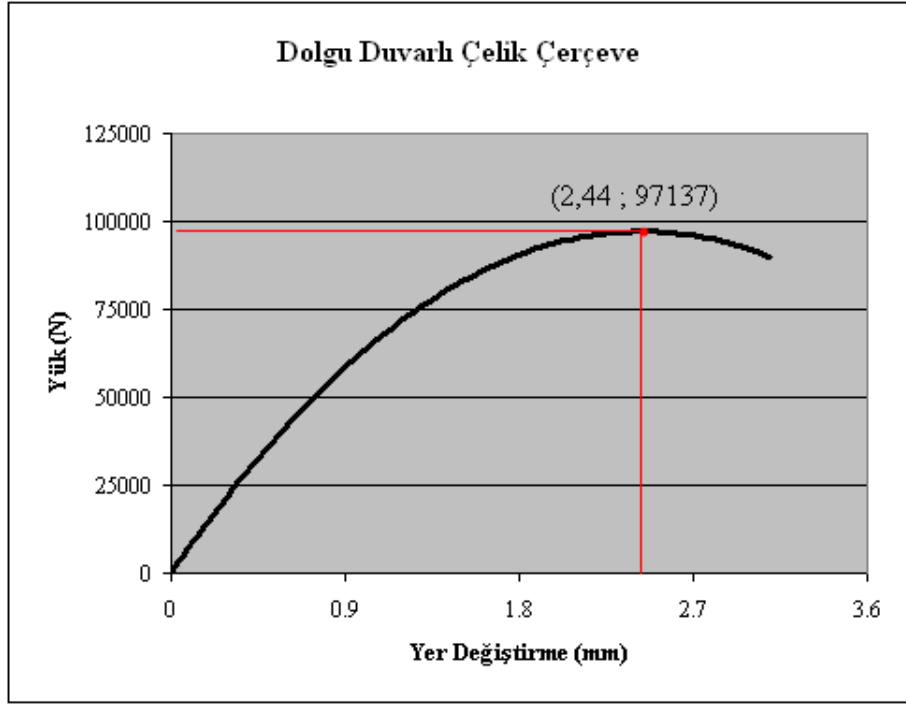
Bu deneyde 97137 N'luk yük seviyesinde dolgu duvarlı çerçeve sistemi, yüklemenin yapıldığı doğrultularda aşırı gerilme yığılması olmasına rağmen, köşe noktalarında kırılmamıştır. Serbest köşelerde ise dolgu ayrılması gerçekleşmemiştir. Yüklenen köşelerde dolgu duvar ile çerçeve ara yüzeyi arasında gözle görülebilen çatlaklar oluşurken, serbest mesnetlerde ve açıklıklarda çekme çatlakları, yüklem doğrultusunda ise çapraz çatlaklar meydana gelmiştir (Şekil 4.52 ve Şekil 4.53). 97137 N'luk yüke karşılık gelen yer değiştirme 2,44 mm olarak elde edilmiştir. Yedinci deneysel çalışmaya ait davranış (yük-yer değiştirme) eğrisi Şekil 4.54'de verilmiştir.



Şekil 4.52. Yedinci deneysel çalışmadan elde edilen hasar seviyesi

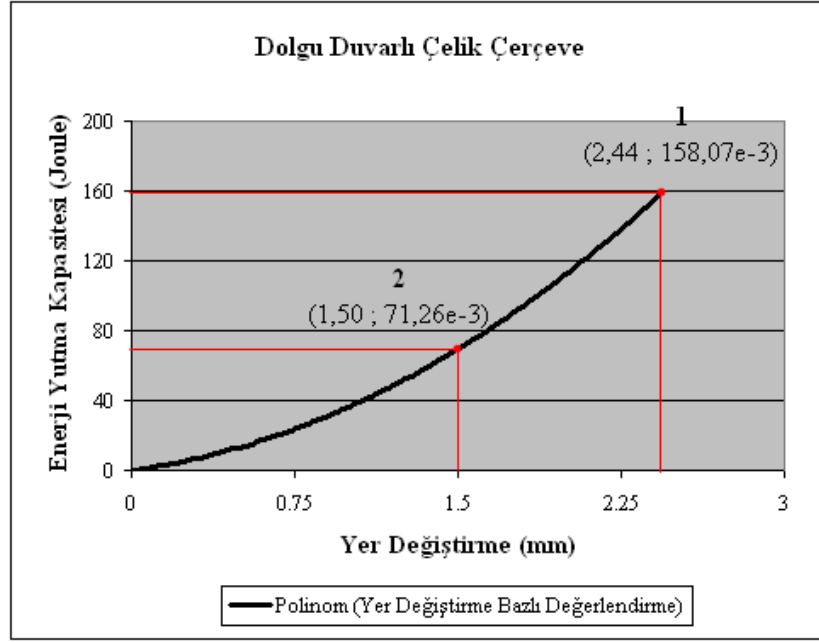


Şekil 4.53. Yedinci deneysel çalışmaya ait hasar seviyesi

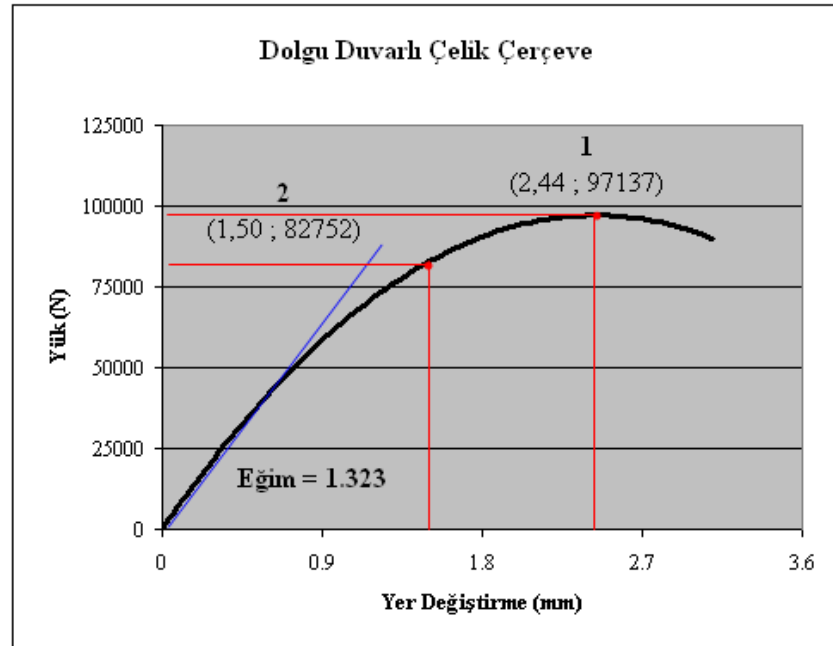


Şekil 4.54. Yedinci deneysel çalışmadan elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi

Yedinci deneysel çalışmadan elde edilen yük-yer değiştirme eğrisinden yararlanılarak, Bölüm 3.2.1’de bahsedilen şekilde enerji yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği hesaplanmıştır. 1,50 mm yer değiştirmeye karşılık gelen yük 82752 N’dur. Buna göre, yedinci deneysel çalışmaya ait enerji yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği Şekil 4.55 ve Şekil 4.56’da gösterilmiş, elde edilen sonuçlar ise Çizelge 4.22’de özetlenmiştir.



Şekil 4.55. Yedinci deneysel çalışmaya ait enerji yutma kapasitesi-yer değiştirme eğrisi



Şekil 4.56. Yedinci deneysel çalışmaya ait yük-yer değiştirme eğrisi için başlangıç rijitliği

Çizelge 4.22 Yedinci deneysel çalışmaya ait yer değiştirme esaslı değerlendirme

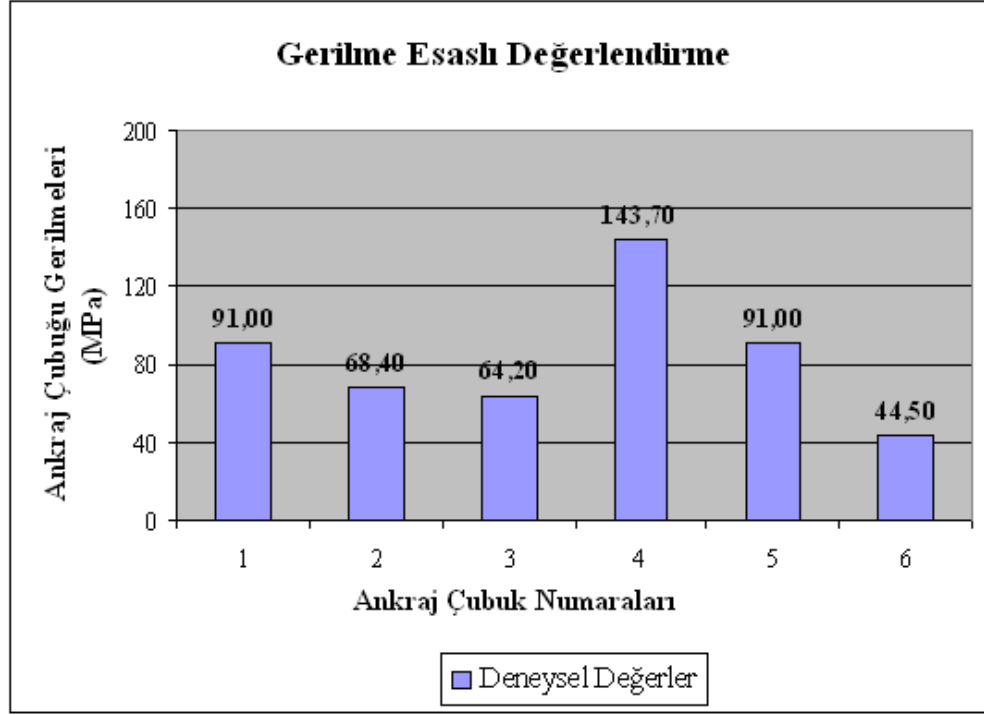
Yük	Enerji Yutma Kapasitesi (Joule) (10^3)	Başlangıç Rijitliği (N/m) (10^6)
97137 N	158,07	71,66
82752 N	71,26	72,12

Yedinci deneyden elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi kullanılarak, Bölüm 3.2.2’de bahsedilen şekilde dolgu duvarda oluşan ortalama kayma gerilmesi hesaplanmış ve Çizelge 4.23’de özetlenmiştir.

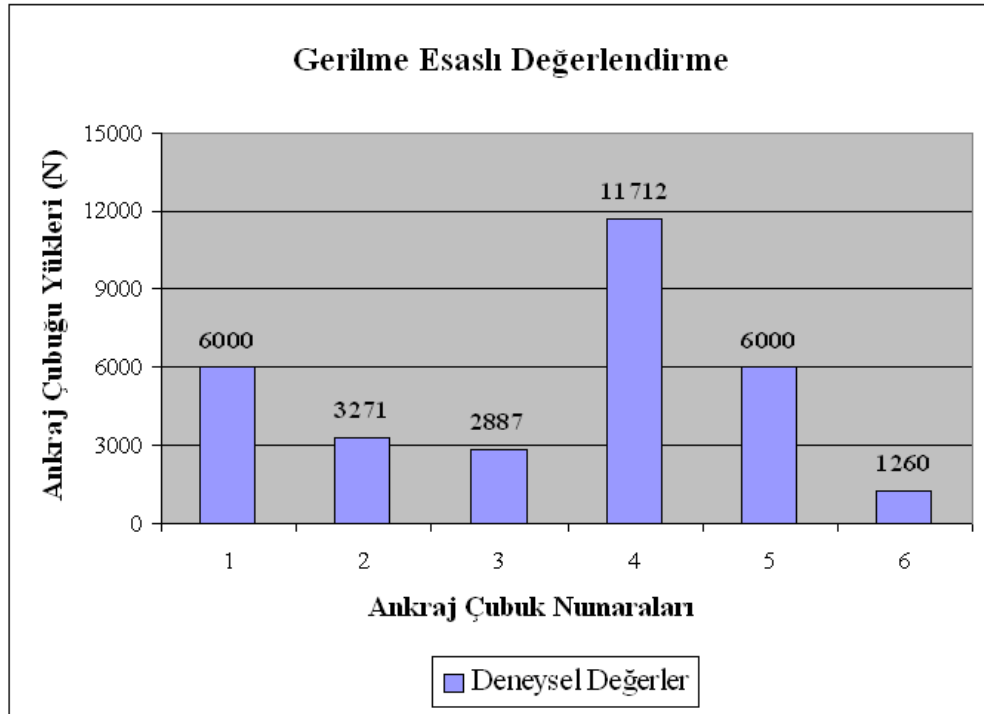
Çizelge 4.23. Yedinci deneysel çalışmaya ait gerilme esaslı değerlendirme

Yedinci Deneysel Çalışma	Ortalama Kayma Gerilmesi (MPa)	Beton Dolgu Duvarı 7 Günlük Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)
Çatlama Yükünde (2,44 mm ; 97137 N)	59,23	20,44

Yedinci denemede ayrıca yüklenen köşeler ile serbest köşelerdeki ankraj çubuklarına yapıştırılan birim şekil değiştirme ölçerlerle (Şekil 4.57), yükleme sırasında ankraj çubuklarından geçen düzlem gerilmeler ve dolgu duvarına iletilen normal kuvvetler, çelik ankraj çubuğu için yapılan çekme deneyinden elde edilen yük-yer değiştirme ve gerilme-şekil değiştirme eğrilerinden yararlanılarak elde edilmiştir.



Şekil 4.58. Yedinci deneyde ankraj çubuklarından geçen düzlem gerilmeler



Şekil 4.59. Yedinci deneyde ankraj çubuklarından dolgu duvarına iletilen normal yükler

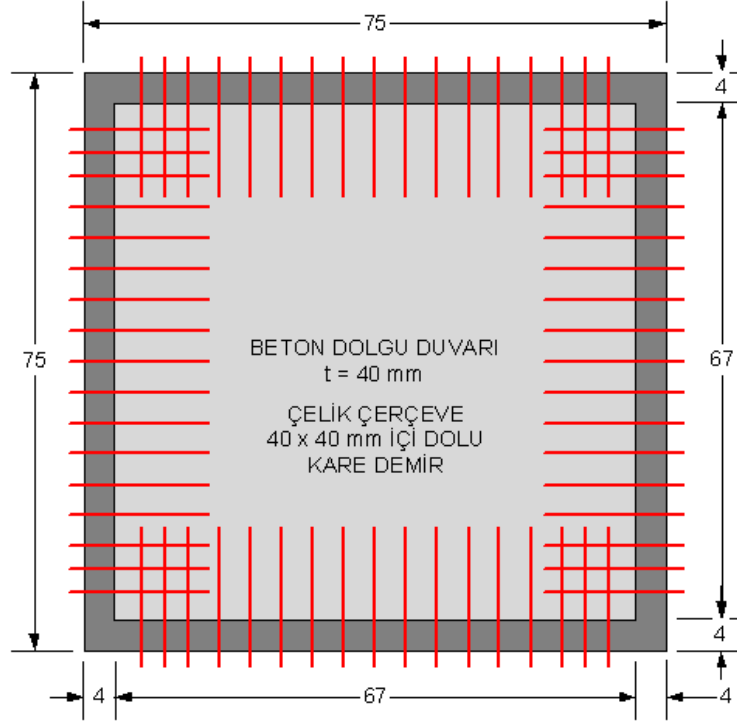
Çizelge 4.24 Yedinci deneyde ankraj çubuklarından geçen düzlem gerilmeler ve dolgu duvarına iletilen normal yükler

Ankraj Çubuğu No'su	Ankraj Çubuğu Düzlem Gerilmeleri (MPa)	Ankraj Çubuğu Normal Yükleri (N)
1	91,0	6000
2	68,4	3271
3	64,2	2887
4	143,7	11712
5	91,0	6000
6	44,5	1260

Yedinci deneyde ankraj çubuklarının, dolgu duvar ile çerçeve arasında tam bir yapışma sağlayarak çerçeve ile dolgu duvarının ayrılmadan birlikte davranmasını sağladığı ve yüklenen çerçevenin yükünü dolgu duvarına uniform bir şekilde aktararak, sistem davranışını azımsanmayacak şekilde iyileştirdiği sonucuna varılmıştır. Bir sonraki deney tekrar niteliğinde yapılmıştır.

4.1.2.c. Sekizinci deneysel çalışma

Deneysel çalışmada sekizinci deneme, dolgu duvar betonunun 7 (yedi) günlük ortalama basınç dayanımı 10,49 MPa olan beton dolgu duvarlı çelik çerçeve sistemi ile yapılmıştır (Şekil 4.60 ve Şekil 4.61). Deney numunesinin özellikleri Çizelge 4.25'de verilmiştir.



NOT : Ölçüler cm cinsindedir.

Şekil 4.60. Sekizinci deney numunesi

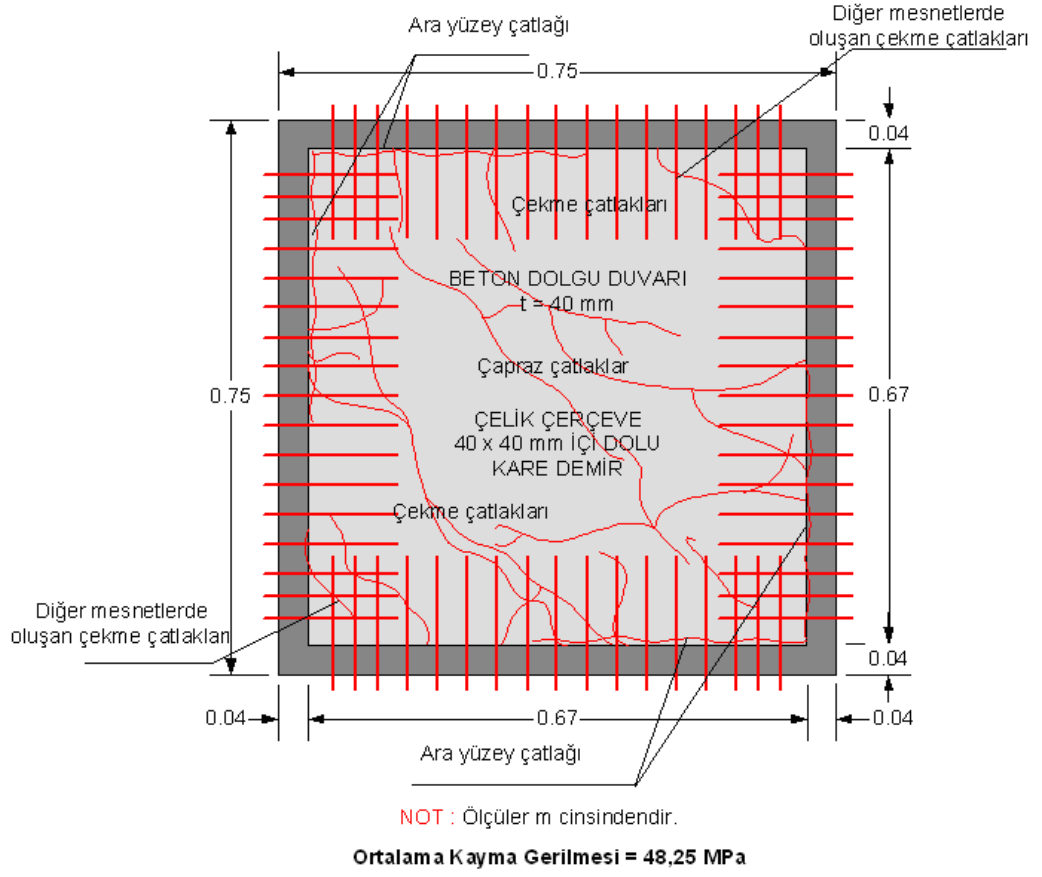


Şekil 4.61. Sekizinci deneysel çalışma

Çizelge 4.25. Sekizinci deneysel çalışmaya ait deney numunesinin özellikleri

Deney Numunesinin Özellikleri	
Çelik Çerçeve	$E_{\text{çelik çerçeve}}=198000 \text{ MPa}$ $\gamma_{\text{çelik çerçeve}}=7,25e-6 \text{ kg/mm}^3$ $\nu_{\text{çelik çerçeve}}=0,30$
Beton Dolgu Duvarı	$E_{\text{dolgu duvarı}}=16500 \text{ MPa}$ $\gamma_{\text{dolgu duvarı}}=2,20e-6 \text{ kg/mm}^3$ $\nu_{\text{çelik çerçeve}}=0,20$ $\sigma_{\text{dolgu duvarı}}=10,49 \text{ MPa}$
Çelik Ankraj Çubukları	$E_{\text{ankraj çubuğu}}=123000 \text{ MPa}$ $\gamma_{\text{ankraj çubuğu}}=7,80e-6 \text{ kg/mm}^3$ $\nu_{\text{ankraj çubuğu}}=0,30$

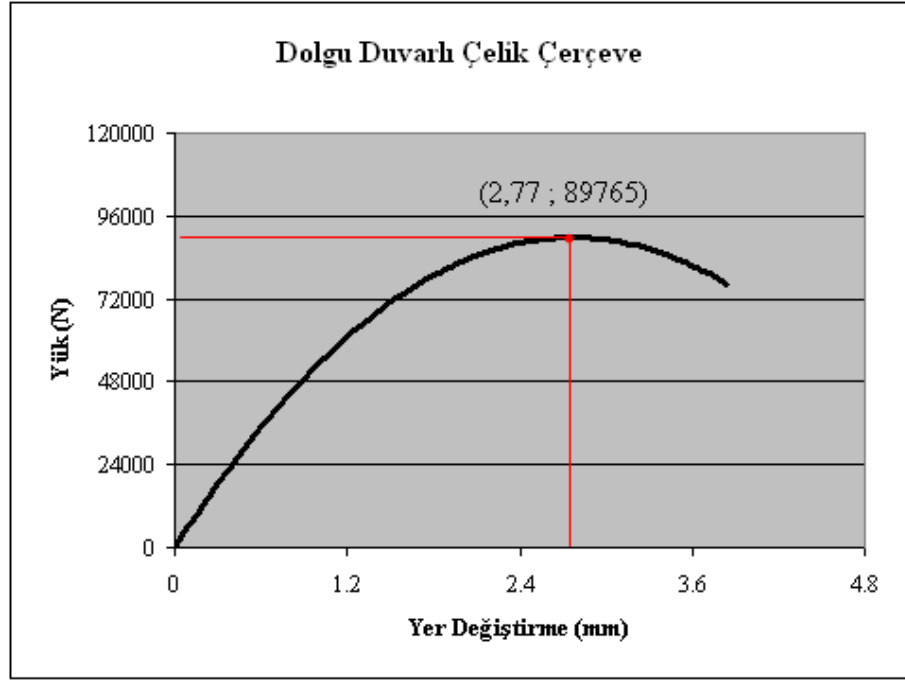
Bu deneyde 89765 N'luk yük seviyesinde dolgu duvarlı çerçeve sistemi, yüklemenin yapıldığı doğrultularda aşırı gerilme yığılması olmasına rağmen, köşe noktalarından kırılmamıştır. Diğer serbest köşelerde ise dolgu ayrılması gerçekleşmemiştir. Yüklenen köşelerde dolgu duvar ile çerçeve ara yüzeyi arasında gözle görülebilen çatlaklar oluşurken, serbest mesnetlerde ve açıklıklarda çekme çatlakları, yükleme doğrultusunda ise çapraz çatlaklar meydana gelmiştir (Şekil 4.62 ve Şekil 4.63). 89765 N'luk yüke karşılık gelen yer değiştirme 2,77 mm olarak elde edilmiştir. Sekizinci deneysel çalışmaya ait davranış (yük-yer değiştirme) eğrisi Şekil 4.64'de verilmiştir.



Şekil 4.62. Sekizinci deneysel çalışmadan elde edilen hasar seviyesi

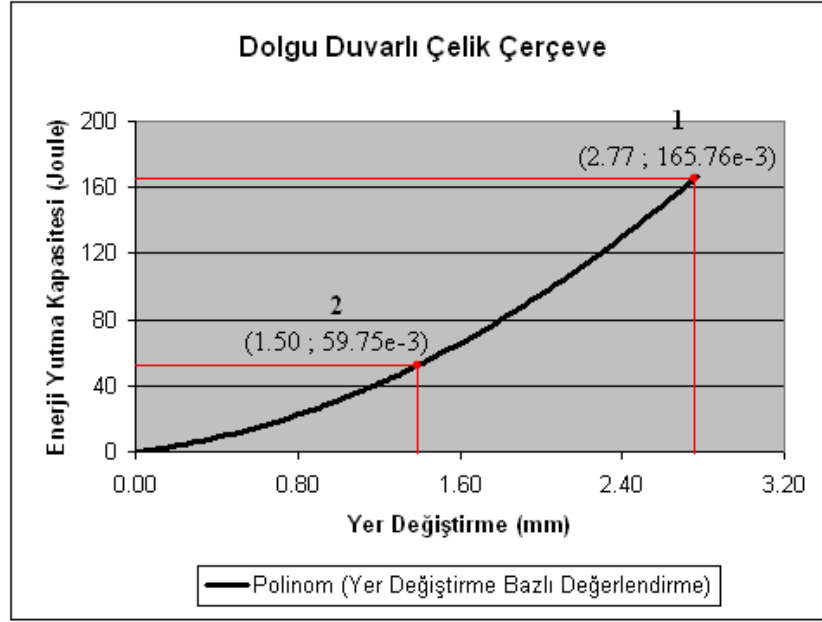


Şekil 4.63. Sekizinci deneysel çalışmaya ait hasar seviyesi

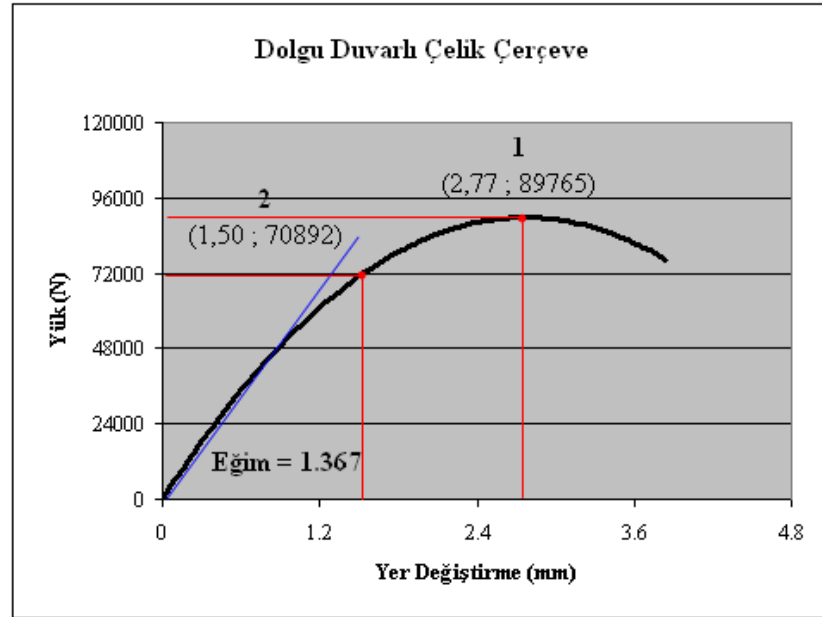


Şekil 4.64. Sekizinci deneysel çalışmadan elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi

Sekizinci deneysel çalışmadan elde edilen yük-yer değiştirme eğrisinden yararlanılarak, Bölüm 3.2.1’de bahsedilen şekilde enerji yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği hesaplanmıştır. 1,50 mm yer değiştirmeye karşılık gelen yük 70892 N’dur. Buna göre, sekizinci deneysel çalışmaya ait enerji yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği Şekil 4.65 ve Şekil 4.66’da gösterilmiş, elde edilen sonuçlar ise Çizelge 4.26’da özetlenmiştir.



Şekil 4.65 Sekizinci deneysel çalışmaya ait enerji yutma kapasitesi-yer değiştirme eğrisi



Şekil 4.66. Sekizinci deneysel çalışmaya ait yük-yer değiştirme eğrisi için başlangıç rijitliği

Çizelge 4.26. Sekizinci deneysel çalışmaya ait yer değiştirme esaslı değerlendirme

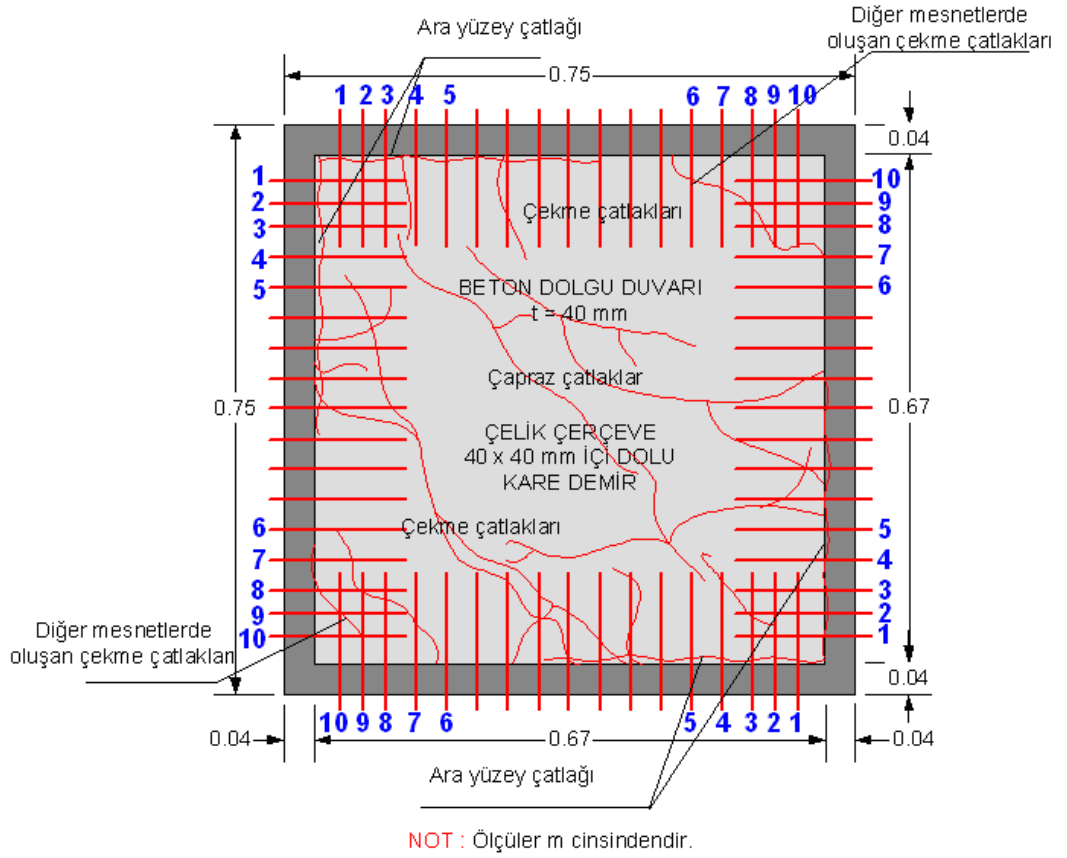
Yük	Enerji Yutma Kapasitesi (Joule) (10^{-3})	Başlangıç Rijitliği (N/m) (10^6)
89765 N	165,76	55,72
70892 N	59,75	56,72

Sekizinci deneyden elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi kullanılarak, Bölüm 3.2.2’de bahsedilen şekilde dolgu duvarda oluşan ortalama kayma gerilmesi hesaplanmış ve Çizelge 4.27’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.27. Sekizinci deneysel çalışmaya ait gerilme esaslı değerlendirme

Sekizinci Deneysel Çalışma	Ortalama Kayma Gerilmesi (MPa)	Beton Dolgu Duvarı 7 Günlük Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)
Çatlama Yükünde (2,77 mm ; 89765 N)	48,25	10,49

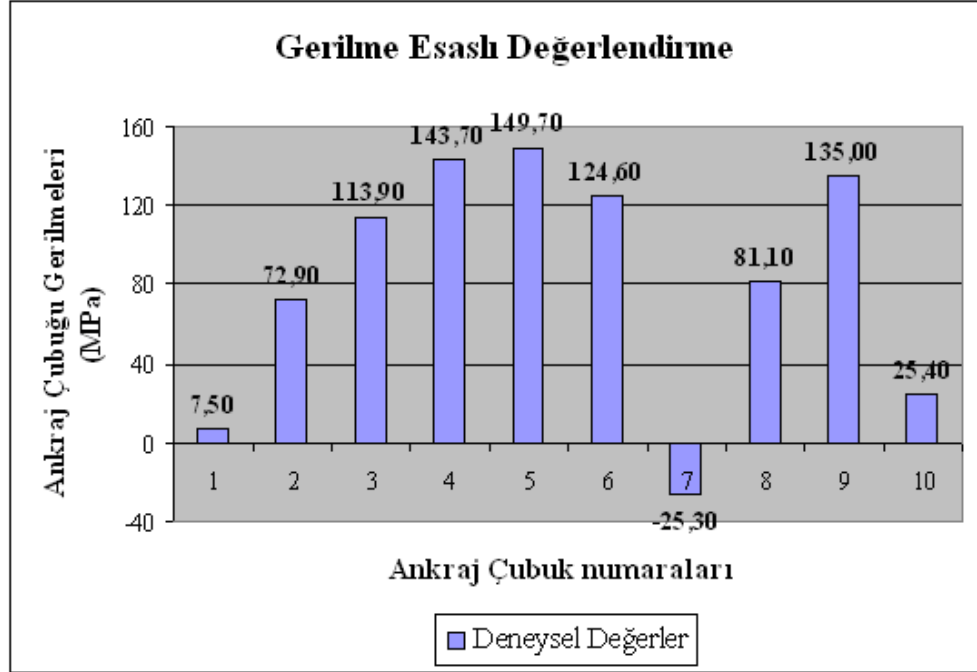
Sekizinci denemede ayrıca yüklenen köşeler ile serbest köşelerdeki ankraj çubuklarına yapıştırılan birim şekil değiştirme ölçerlerle (Şekil 4.67), yükleme sırasında ankraj çubuklarından geçen düzlem gerilmeler ve dolgu duvarına iletilen normal kuvvetler, çelik ankraj çubuğu için yapılan çekme deneyinden elde edilen yük-yer değiştirme ve gerilme-şekil değiştirme eğrilerinden yararlanılarak hesaplanmıştır.



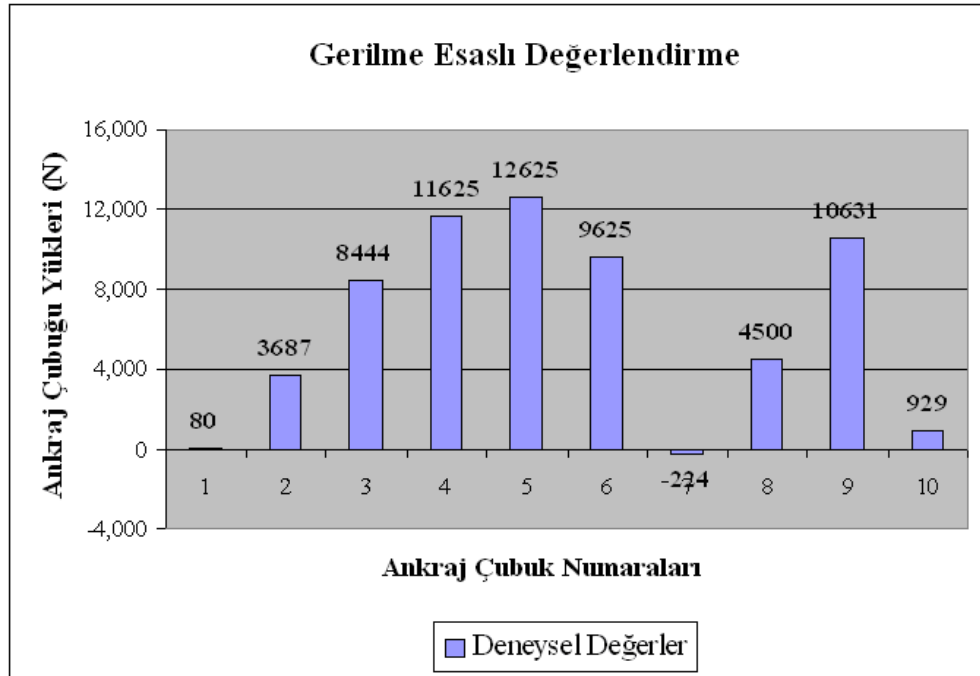
Şekil 4.67. Sekizinci deneyde ankraj çubuklarına yapılandırılan birim şekil değiştirme ölçerler

Birim şekil değiştirme ölçerlerle elde edilen şekil değiştirmeler, deneyin sonlandırıldığı çatlama yüküne karşılık gelen değerlerdir. Ölçülen şekil değiştirme değerleri, ankraj çubuğu için yapılan çekme deneyinden elde edilen gerilme-şekil değiştirme eğrisinden yararlanılarak şekil değiştirmeler karşılığındaki değerler bulunarak düzlem gerilmeye çevrilmiştir. Ankraj çubuklarından iletilen normal kuvvetler ise, birim şekil değiştirme ölçerin fiziksel özellikleri kullanılarak elde edilen yer değiştirme değerlerinin, yük-yer değiştirme eğrisinden yer değiştirme karşılığındaki değerler bulunarak elde edilmiştir.

Şekil 4.67'de numaralandırılmış (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10) olarak görülen ankraj çubuklarından geçen düzlem gerilmeler ile ankraj çubukları vasıtasıyla dolgu duvarına iletilen normal yükler bu şekilde hesaplanmış olup, Şekil 4.68 ve Şekil 4.69'da gösterilmiş ve Çizelge 4.28'de özetlenmiştir.



Şekil 4.68. Sekizinci deneyde ankraj çubuklarından geçen düzlem gerilmeler



Şekil 4.69. Sekizinci deneyde ankraj çubuklarından dolgu duvarına iletilen normal yükler

Çizelge 4.28. Sekizinci deneyde ankraj çubuklarından geçen düzlem gerilmeler ve dolgu duvarına iletilen normal yükler

Ankraj Çubuğu No'su	Ankraj Çubuğu Düzlem Gerilmeleri (MPa)	Ankraj Çubuğu Normal Yükleri (N)
1	7,5	80
2	72,9	3687
3	113,9	8444
4	143,7	11625
5	149,7	12625
6	124,6	9625
7	-25,3	-234
8	81,1	4500
9	135,0	10631
10	25,4	929

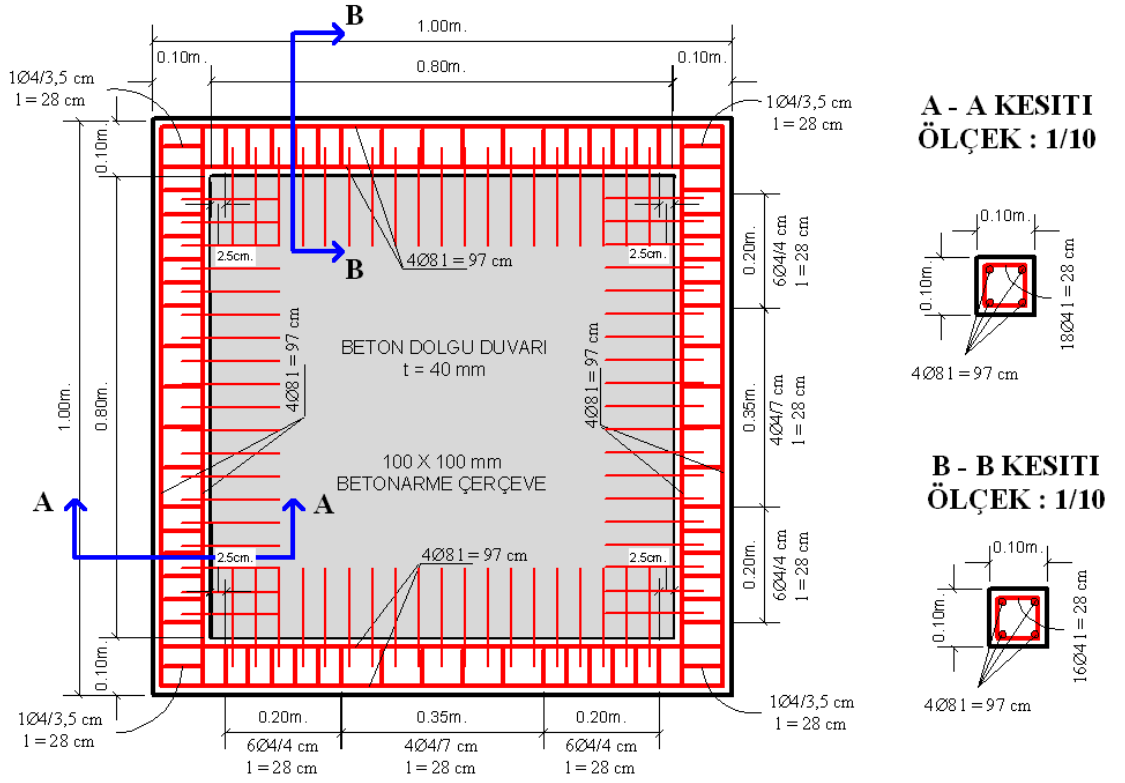
Bu deneyde 7 No'lu ankraj çubuğuna yapııştırılan birim şekil değiştirme ölçerdeki şekil değiştirme negatif olarak elde edilmiştir. Bu durum aslında çerçeve ile dolgu duvarının etkileşim içerisinde olduğunu göstermektedir. Bu yüklemde oluşan düzlem gerilme ve normal yükler, dolgu duvarından, ankraj çubuğuna doğru gerçekleşmiştir.

Sekizinci deneyde ankraj çubuklarının, dolgu duvar ile çerçeve arasında tam bir yapışma sağlayarak çerçeve ile dolgu duvarının ayrılmadan birlikte davranmasını sağladığı ve yüklenen çerçevenin yükünü dolgu duvarına uniform bir şekilde aktararak, sistem davranışını azımsanmayacak şekilde iyileştirdiği sonucuna varılmıştır.

Deney programı dâhilinde çalışmalar betonarme çerçevelerle devam ettirilmiştir.

4.1.2.d. Dokuzuncu deneysel çalışma

Deneysel çalışmada dokuzuncu deneme, dolgu duvar betonunun 7 (yedi) günlük ortalama basınç dayanımı 20,44 MPa olan beton dolgu duvarlı betonarme çerçeve sistemi ile yapılmıştır (Şekil 4.70 ve Şekil 4.71). Deney numunesinin özellikleri Çizelge 4.29'da verilmiştir.



Şekil 4.70. Dokuzuncu deney numunesi

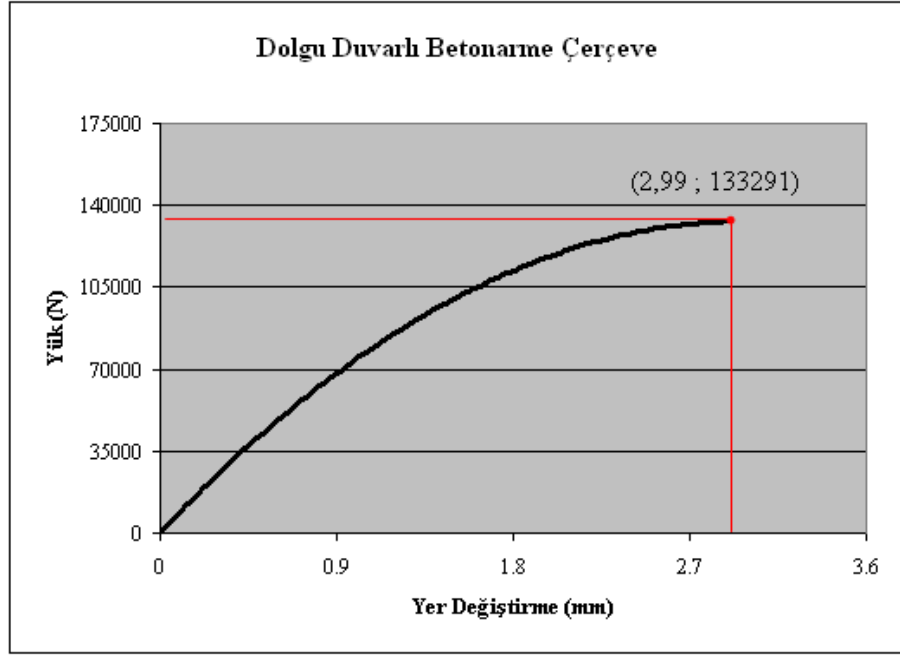


Şekil 4.71. Dokuzuncu deneysel çalışma

Çizelge 4.29. Dokuzuncu deneysel çalışmaya ait deney numunesinin özellikleri

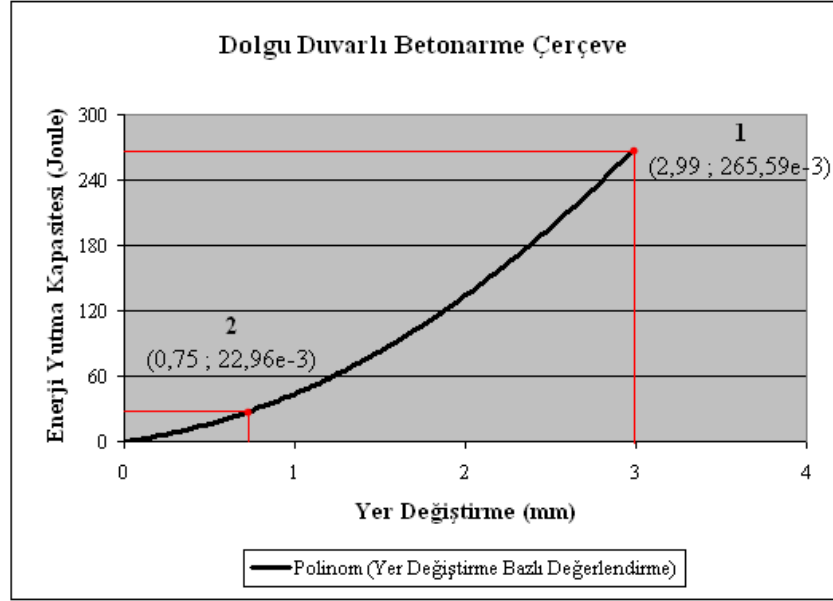
Deney Numunesinin Özellikleri	
Betonarme Çerçeve	$E_{BA \text{ çerçeve}}=19800 \text{ MPa}$ $\gamma_{BA \text{ çerçeve}}=2,40e-6 \text{ kg/mm}^3$ $\nu_{BA \text{ çerçeve}}=0,20$ $\sigma_{BA \text{ çerçeve}}=8,79 \text{ MPa}$
Beton Dolgu Duvarı	$E_{\text{dolgu duvarı}}=23000 \text{ MPa}$ $\gamma_{\text{dolgu duvarı}}=2,20e-6 \text{ kg/mm}^3$ $\nu_{\text{çelik çerçeve}}=0,20$ $\sigma_{\text{dolgu duvarı}}=20,44 \text{ MPa}$
Çelik Ankraj Çubukları	$E_{\text{ankraj çubuğu}}=123000 \text{ MPa}$ $\gamma_{\text{ankraj çubuğu}}=7,80e-6 \text{ kg/mm}^3$ $\nu_{\text{ankraj çubuğu}}=0,30$

Bu deneyde 133291 N'luk yük seviyesinde dolgu duvarlı çerçeve sistemi, yüklemenin yapıldığı doğrultularda aşırı gerilme yığılması olmasına rağmen, köşe noktalarından kırılmamıştır. Diğer serbest köşelerde ise dolgu ayrılması gerçekleşmemiştir. Yüklenen köşelerde dolgu duvar ile çerçeve ara yüzeyi arasında gözle görülebilen çatlaklar oluşurken, serbest mesnetlerde ve açıklıklarda çekme çatlakları, yükleme doğrultusunda ise çapraz çatlaklar meydana gelmiştir (Şekil 4.72 ve Şekil 4.73). 133291 N'luk yüke karşılık gelen yer değiştirme 2,99 mm olarak elde edilmiştir. Dokuzuncu deneysel çalışmaya ait davranış (yük-yer değiştirme) eğrisi Şekil 4.74'de verilmiştir.

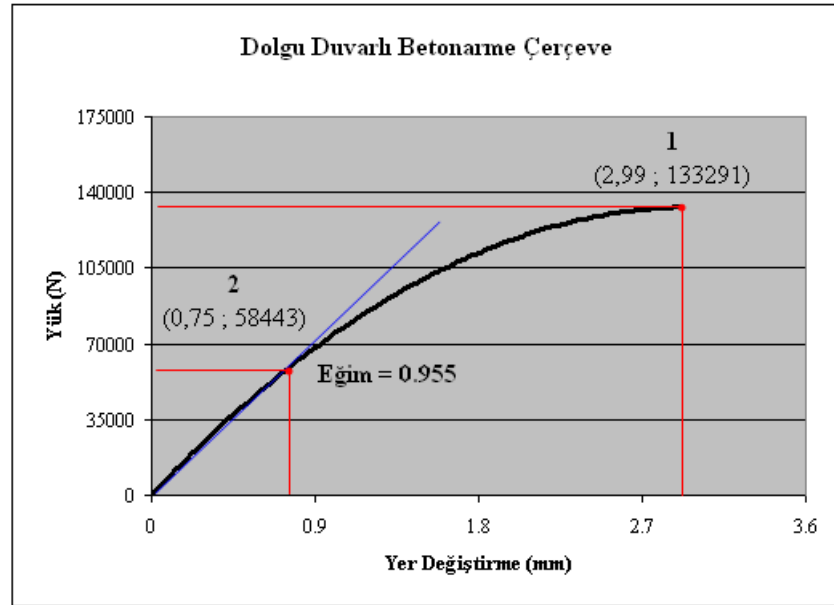


Şekil 4.74. Dokuzuncu deneysel çalışmadan elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi

Dokuzuncu deneysel çalışmadan elde edilen yük-yer değiştirme eğrisinden yararlanılarak, Bölüm 3.2.1’de bahsedilen şekilde enerji yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği hesaplanmıştır. 0,75 mm yer değiştirmeye karşılık gelen yük 58443 N’dur. Buna göre, dokuzuncu deneysel çalışmaya ait enerji yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği Şekil 4.75 ve Şekil 4.76’da gösterilmiş, elde edilen sonuçlar ise Çizelge 4.30’da özetlenmiştir.



Şekil 4.75. Dokuzuncu deneysel çalışmaya ait enerji yutma kapasitesi-yer değiştirme eğrisi



Şekil 4.76. Dokuzuncu deneysel çalışmaya ait yük-yer değiştirme eğrisi için başlangıç rijitliği

Çizelge 4.30. Dokuzuncu deneysel çalışmaya ait yer değiştirme esaslı değerlendirme

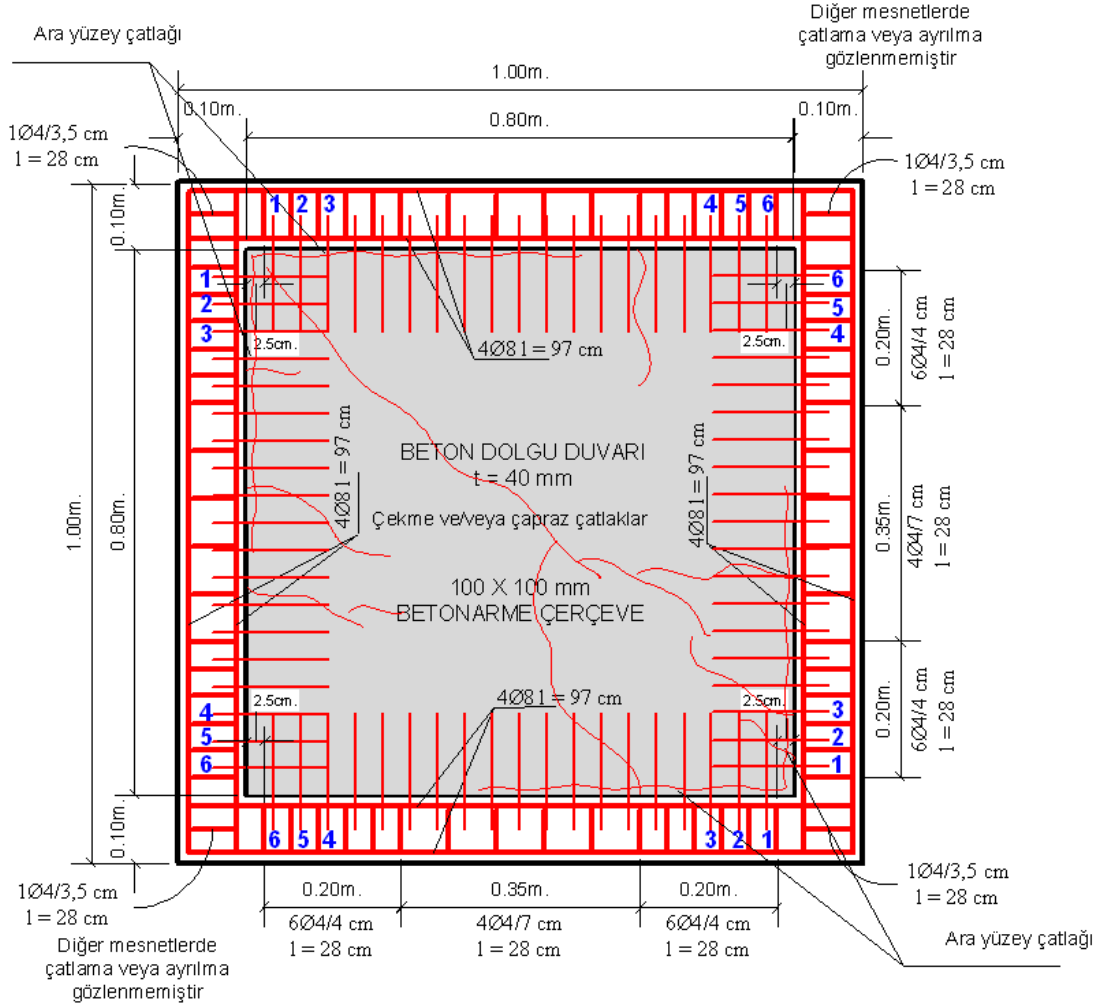
Yük	Enerji Yutma Kapasitesi (Joule) (10^3)	Başlangıç Rijitliği (N/m) (10^6)
133291 N	265,59	77,69
58443 N	22,96	79,51

Dokuzuncu deneyden elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi kullanılarak, Bölüm 3.2.2’de bahsedilen şekilde dolgu duvarda oluşan ortalama kayma gerilmesi hesaplanmış ve Çizelge 4.31’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.31. Dokuzuncu deneysel çalışmaya ait gerilme esaslı değerlendirme

Dokuzuncu Deneysel Çalışma	Ortalama Kayma Gerilmesi (MPa)	Beton Dolgu Duvarı 7 Günlük Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)
Çatlama Yükünde (2,99 mm ; 133291 N)	61,02	20,44

Dokuzuncu denemede ayrıca yüklenen köşeler ile serbest köşelerdeki ankraj çubuklarına yapıştırılan birim şekil değiştirme ölçerlerle (Şekil 4.77), yükleme sırasında ankraj çubuklarından geçen düzlem gerilmeler ve dolgu duvarına iletilen normal kuvvetler, çelik ankraj çubuğu için yapılan çekme deneyinden elde edilen yük-yer değiştirme ve gerilme-şekil değiştirme eğrilerinden yararlanılarak elde edilmiştir.

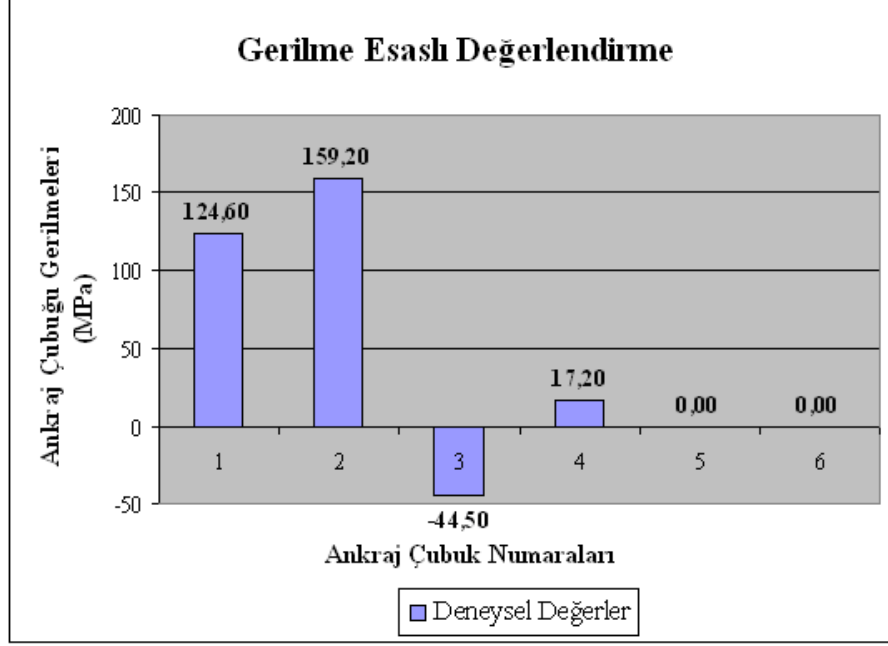


Şekil 4.77. Dokuzuncu deneyde ankraj çubuklarına yapılandırılan birim şekil değiştirme ölçerler

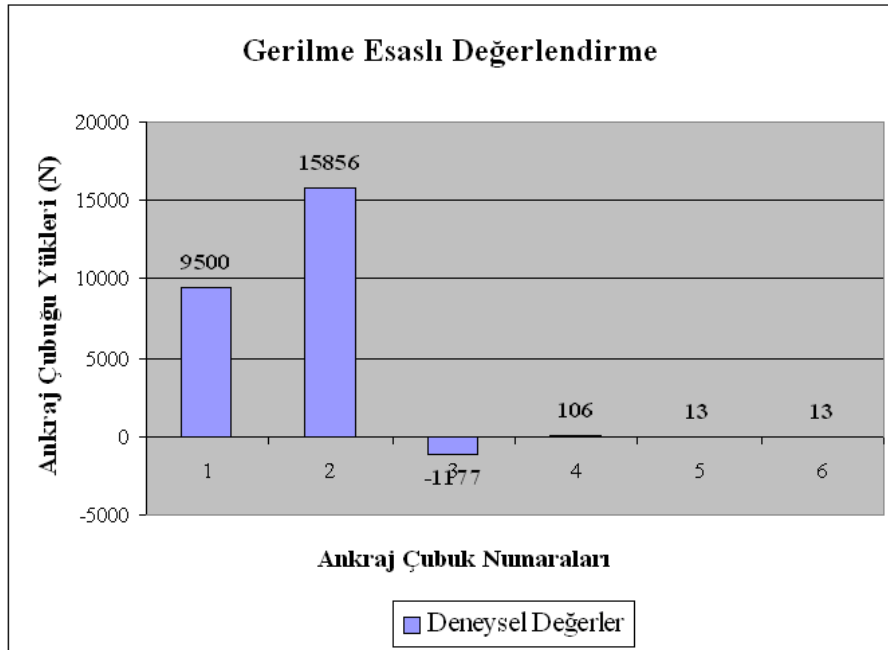
Birim şekil değiştirme ölçerlerle elde edilen şekil değiştirmeler, deneyin sonlandırıldığı çatlama yüküne karşılık gelen değerlerdir. Ölçülen şekil değiştirme değerleri, ankraj çubuğu için yapılan çekme deneyinden elde edilen gerilme-şekil değiştirme eğrisinden yararlanılarak şekil değiştirmeler karşılığındaki değerler bulunarak düzlem gerilmeye çevrilmiştir. Ankraj çubuklarından iletilen normal kuvvetler ise, birim şekil değiştirme ölçerin fiziksel özellikleri kullanılarak elde edilen yer değiştirme değerlerinin, yük-yer değiştirme eğrisinden yer değiştirme karşılığındaki değerler bulunarak elde edilmiştir.

Şekil 4.77’de numaralandırılmış (1, 2, 3, 4, 5 ve 6) olarak görülen ankraj çubuklarından geçen düzlem gerilmeler ile ankraj çubukları vasıtasıyla dolgu duvarına iletilen normal

yükler bu şekilde hesaplanmış olup, Şekil 4.78 ve Şekil 4.79'da gösterilmiş ve Çizelge 4.32'de özetlenmiştir.



Şekil 4.78. Dokuzuncu deneyde ankraj çubuklarından geçen düzlem gerilmeler



Şekil 4.79. Dokuzuncu deneyde ankraj çubuklarından dolgu duvarına iletilen normal yükler

Çizelge 4.32. Dokuzuncu deneyde ankraj çubuklarından geçen düzlem gerilmeler ve dolgu duvarına iletilen normal yükler

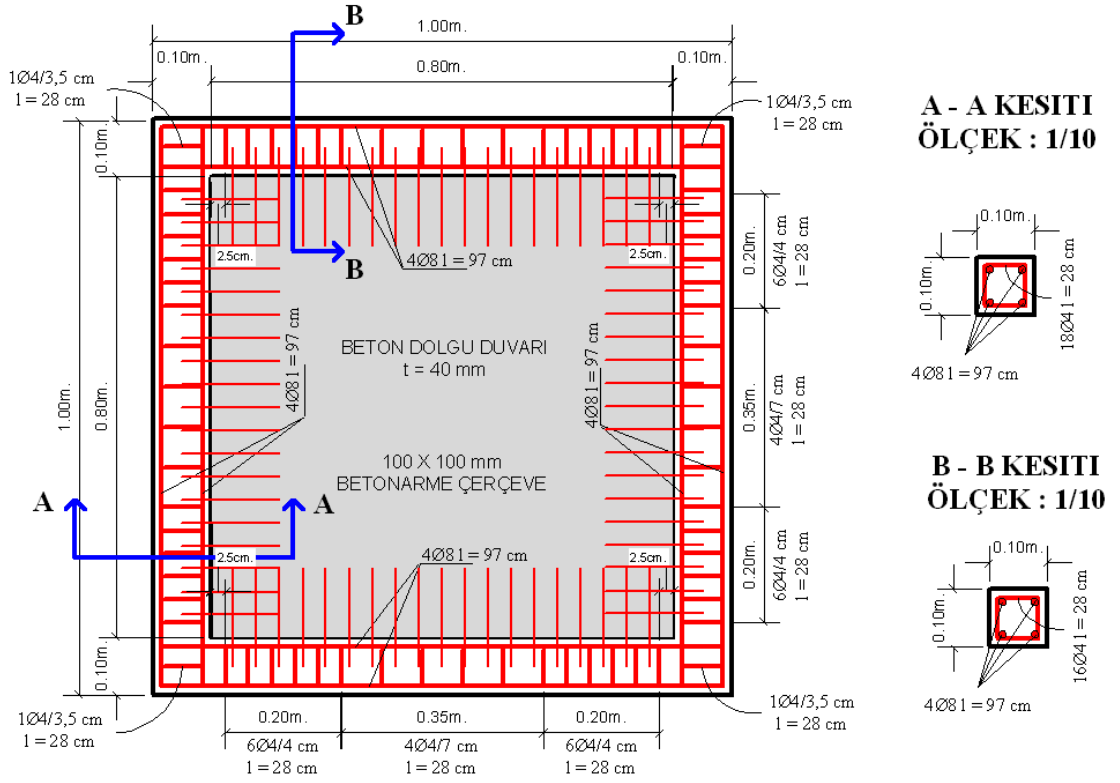
Ankraj Çubuğu No'su	Ankraj Çubuğu Düzlem Gerilmeleri (MPa)	Ankraj Çubuğu Normal Yükleri (N)
1	124,6	9500
2	159,2	15856
3	-44,5	-1177
4	17,2	106
5	0,00	13
6	0,00	13

Bu deneyde 3 No'lu ankraj çubuğuna yapıştırılan birim şekil değiştirme ölçerdeki şekil değiştirme negatif olarak elde edilmiştir. Bu durum aslında çerçeve ile dolgu duvarının etkileşim içerisinde olduğunu göstermektedir. Bu yüklemeye oluşan düzlem gerilme ve normal yükler, dolgu duvarından, ankraj çubuğuna doğru gerçekleşmiştir. Serbest köşelerdeki ankraj çubuklarında yükün çok az bir miktarı dolgu duvarına iletilmiştir.

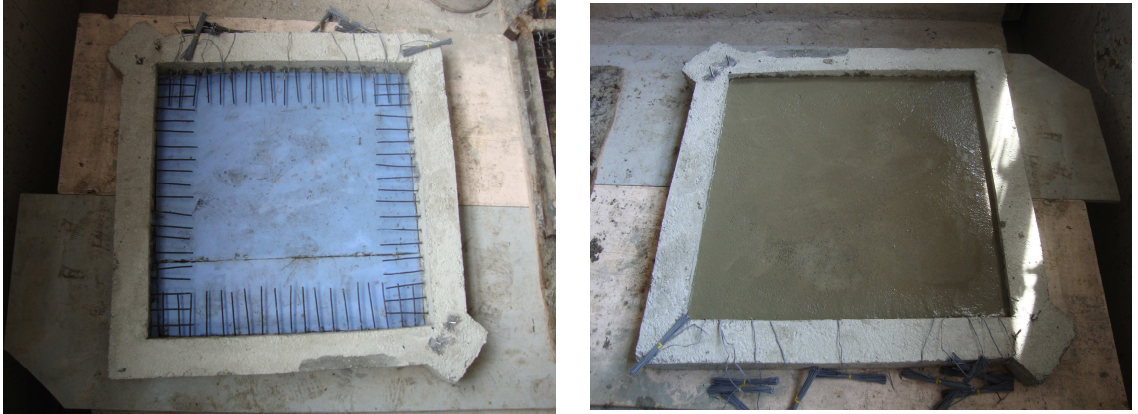
Dokuzuncu deneyde de ankraj çubuklarının, dolgu duvar ile çerçeve arasında tam bir yapışma sağlayarak çerçeve ile dolgu duvarının ayrılmadan birlikte davranmasını sağladığı ve yüklenen çerçevenin yükünü dolgu duvarına uniform bir şekilde aktararak, sistem davranışını azımsanmayacak şekilde iyileştirdiği sonucuna varılmıştır. Bir sonraki deney tekrar niteliğinde yapılmıştır.

4.1.2.e. Onuncu deneysel çalışma

Deneysel çalışmada onuncu deneme, dolgu duvar betonunun 7 (yedi) günlük ortalama basınç dayanımı 10,49 MPa olan beton dolgu duvarlı betonarme çerçeve sistemi ile yapılmıştır (Şekil 4.80 ve Şekil 4.81). Deney numunesinin özellikleri Çizelge 4.33'de verilmiştir.



Şekil 4.80. Onuncu deney numunesi

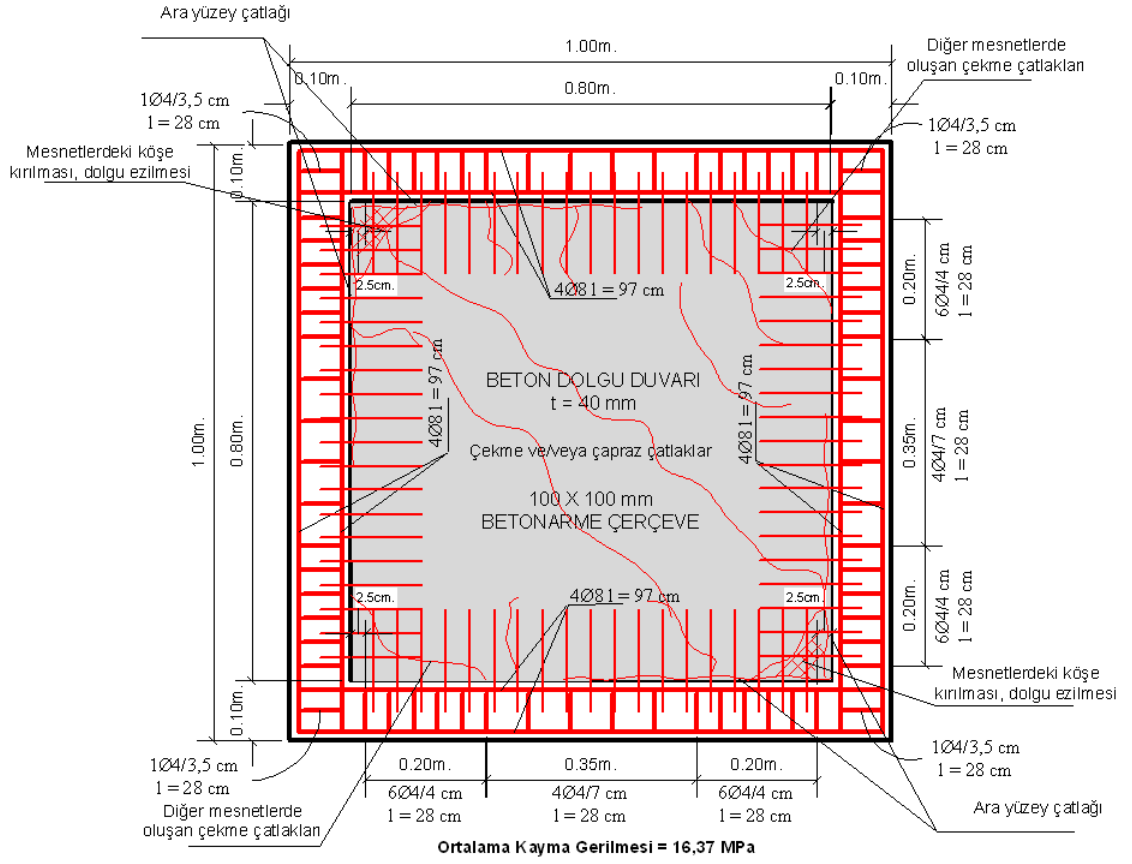


Şekil 4.81. Onuncu deneysel çalışma

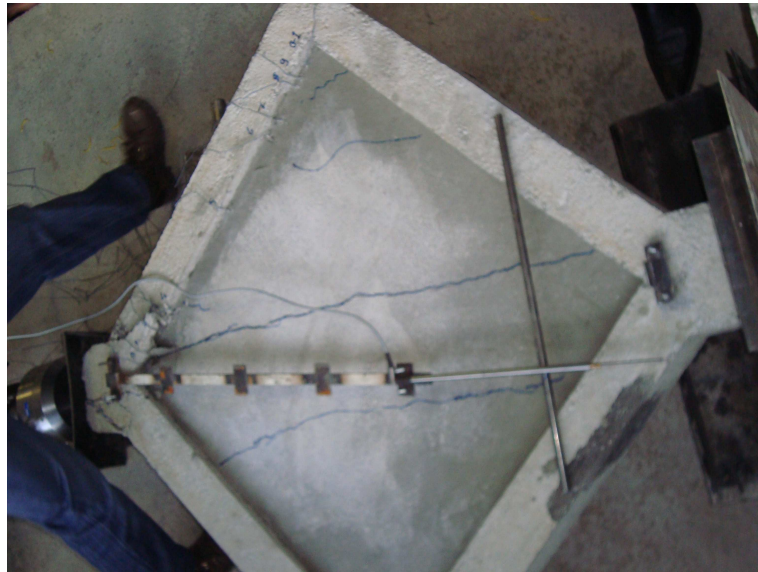
Çizelge 4.33. Onuncu deneysel çalışmaya ait deney numunesinin özellikleri

Deney Numunesinin Özellikleri	
Betonarme Çerçeve	$E_{BA \text{ çerçeve}}=20600 \text{ MPa}$ $\gamma_{BA \text{ çerçeve}}=2,40e-6 \text{ kg/mm}^3$ $\nu_{BA \text{ çerçeve}}=0,20$ $\sigma_{BA \text{ çerçeve}}=8,76 \text{ MPa}$
Beton Dolgu Duvarı	$E_{dolgu \text{ duvarı}}=16500 \text{ MPa}$ $\gamma_{dolgu \text{ duvarı}}=2,20e-6 \text{ kg/mm}^3$ $\nu_{\text{çelik çerçeve}}=0,20$ $\sigma_{dolgu \text{ duvarı}}=10,49 \text{ MPa}$
Çelik Ankraj Çubukları	$E_{ankraj \text{ çubuğu}}=123000 \text{ MPa}$ $\gamma_{ankraj \text{ çubuğu}}=7,80e-6 \text{ kg/mm}^3$ $\nu_{ankraj \text{ çubuğu}}=0,30$

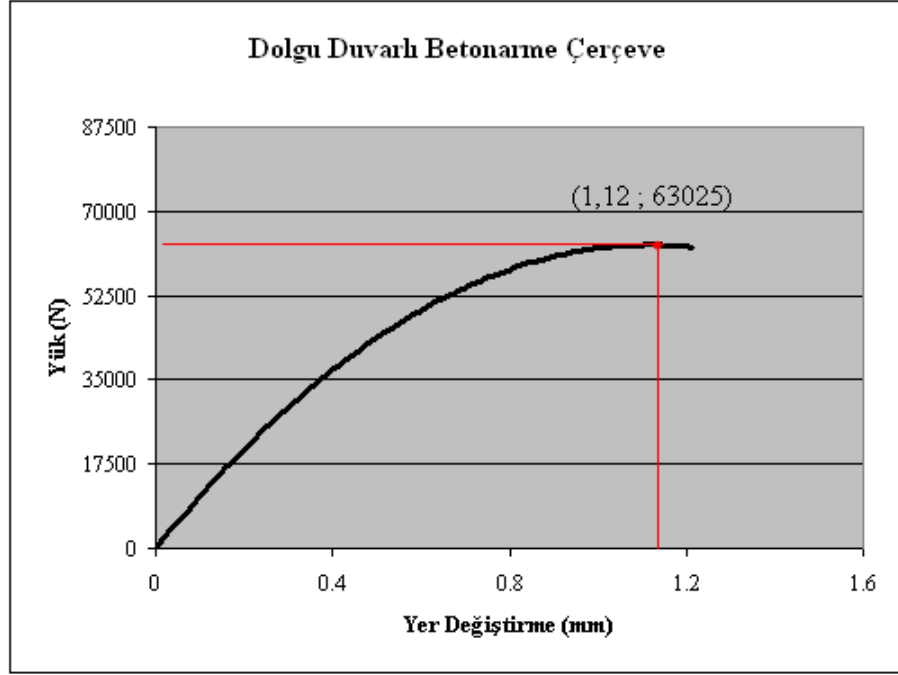
Bu deneyde 63025 N'luk yük seviyesinde dolgu duvarlı çerçeve sistemi, yüklemenin yapıldığı doğrultularda aşırı gerilme yığılması olmasına rağmen, köşe noktalarından kırılmamış sadece ezilmiştir. Serbest köşelerde ise dolgu ayrılması gerçekleşmemiş yalnızca çekme çatlakları oluşmuştur. Yüklenen köşelerde dolgu duvar ile çerçeve ara yüzeyi arasında gözle görülebilen çatlaklar oluşurken, serbest mesnetlerde ve açıklıklarda çekme çatlakları, yüklem doğrultusunda çapraz çatlaklar meydana gelmiştir (Şekil 4.82 ve Şekil 4.83). 63025 N'luk yüke karşılık gelen yer değiştirme 1,12 mm olarak elde edilmiştir. Onuncu deneysel çalışmaya ait davranış (yük-yer değiştirme) eğrisi Şekil 4.84'de verilmiştir.



Şekil 4.82. Onuncu deneysel çalışmadan elde edilen hasar seviyesi

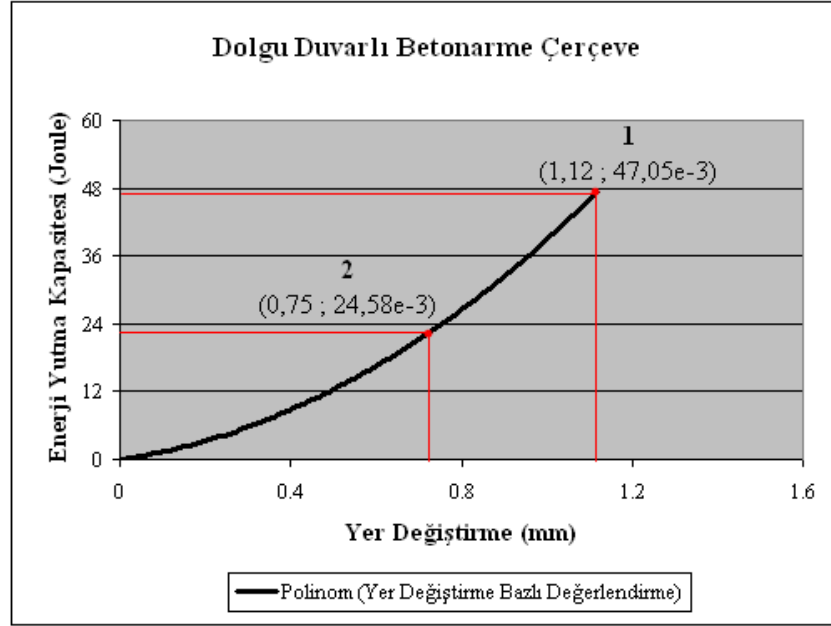


Şekil 4.83. Onuncu deneysel çalışmaya ait hasar seviyesi

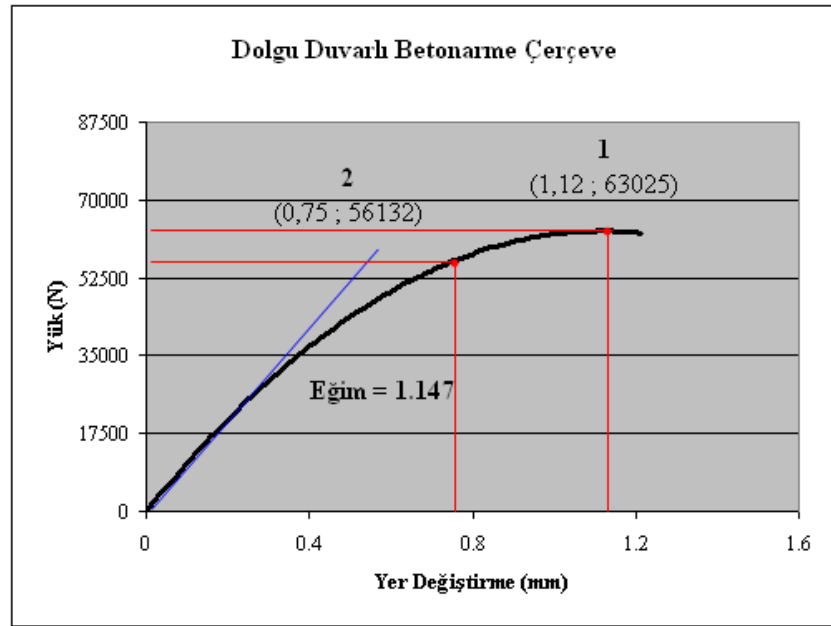


Şekil 4.84. Onuncu deneysel çalışmadan elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi

Onuncu deneysel çalışmadan elde edilen yük-yer değiştirme eğrisinden yararlanılarak, Bölüm 3.2.1'de bahsedilen şekilde enerji yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği hesaplanmıştır. 0,75 mm yer değiştirmeye karşılık gelen yük 56132 N'dur. Buna göre, onuncu deneysel çalışmaya ait enerji yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği Şekil 4.85 ve Şekil 4.86'da gösterilmiş, elde edilen sonuçlar ise Çizelge 4.34'de özetlenmiştir.



Şekil 4.85. Onuncu deneysel çalışmaya ait enerji yutma kapasitesi-yer değiştirme eğrisi



Şekil 4.86. Onuncu deneysel çalışmaya ait yük-yer değiştirme eğrisi için başlangıç rijitliği

Çizelge 4.34 Onuncu deneysel çalışmaya ait yer değıştirme esaslı değeriendirme

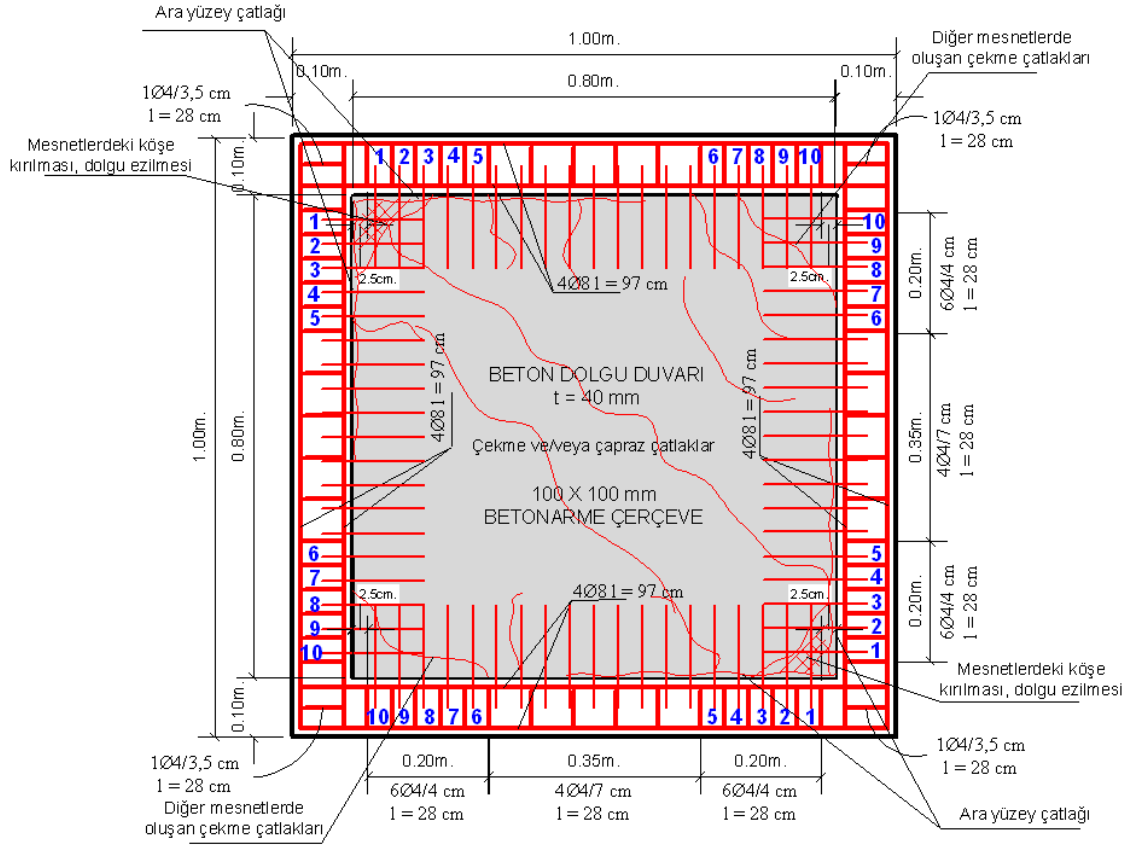
Yük	Enerji Yutma Kapasitesi (Joule) (10^3)	Başlangıç Rijitliği (N/m) (10^6)
63025 N	47,05	104,78
56132 N	24,58	103,55

Onuncu deneyden elde edilen yük-yer değıştirme eğrisi kullanılarak, Bölüm 3.2.2’de bahsedilen şekilde dolgu duvarda oluşan ortalama kayma gerilmesi hesaplanmış ve Çizelge 4.35’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.35 Onuncu deneysel çalışmaya ait gerilme esaslı değeriendirme

Onuncu Deneysel Çalışma	Ortalama Kayma Gerilmesi (MPa)	Beton Dolgu Duvarı 7 Günlük Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)
Çatlama Yükünde (1,12 mm ; 63025 N)	16,37	10,49

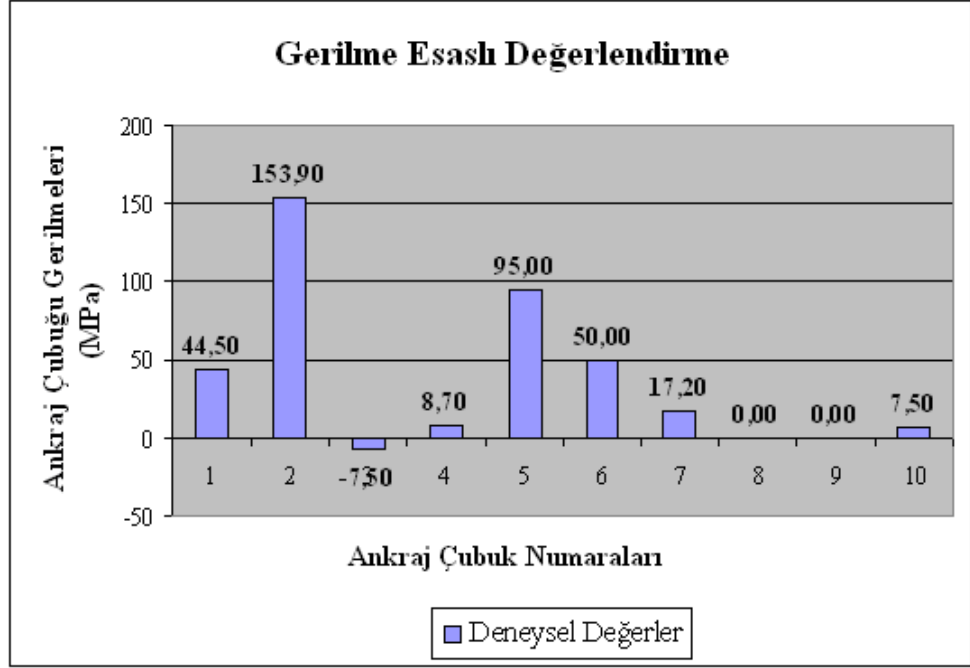
Onuncu denemede ayrıca yüklenen köşeler ile serbest köşelerdeki ankraj çubuklarına yapıştırılan birim şekil değıştirme ölçerlerle (Şekil 4.87), yükleme sırasında ankraj çubuklarından geçen düzlem gerilmeler ve dolgu duvarına iletilen normal kuvvetler, çelik ankraj çubuğu için yapılan çekme deneyinden elde edilen yük-yer değıştirme ve gerilme-şekil değıştirme eğrilerinden yararlanılarak elde edilmiştir.



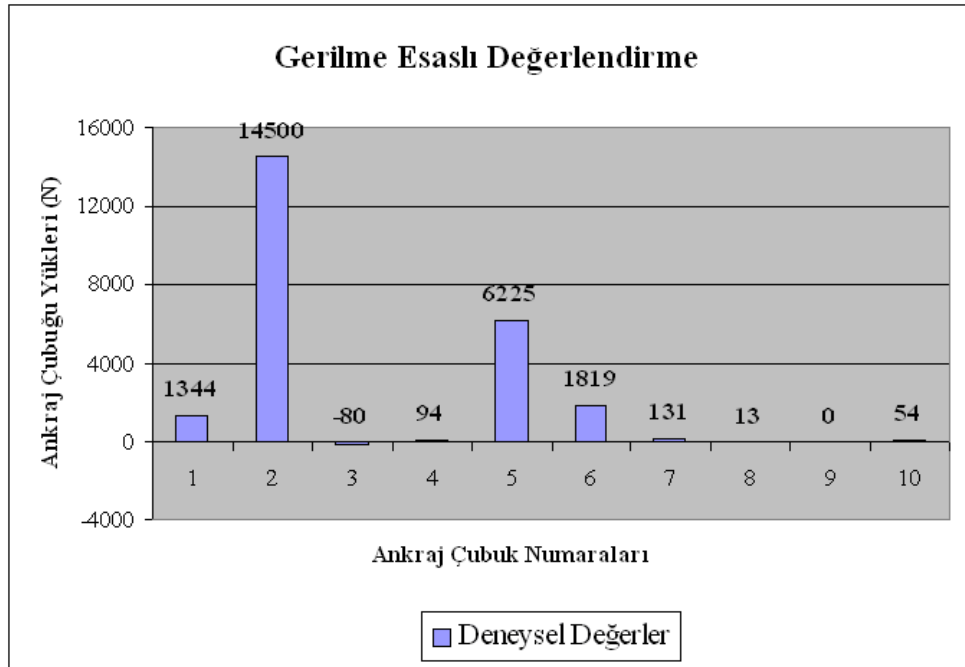
Şekil 4.87. Onuncu deneyde ankraj çubuklarına yapılandırılan birim şekil değiştirme ölçerler

Birim şekil değiştirme ölçerlerle elde edilen şekil değiştirmeler, deneyin sonlandırıldığı çatlama yüküne karşılık gelen değerlerdir. Ölçülen şekil değiştirme değerleri, ankraj çubuğu için yapılan çekme deneyinden elde edilen gerilme-şekil değiştirme eğrisinden yararlanılarak şekil değiştirmeler karşılığındaki değerler bulunarak düzlem gerilmeye çevrilmiştir. Ankraj çubuklarından iletilen normal kuvvetler ise, birim şekil değiştirme ölçerin fiziksel özellikleri kullanılarak elde edilen yer değiştirme değerlerinin, yük-yer değiştirme eğrisinden yer değiştirme karşılığındaki değerler bulunarak elde edilmiştir.

Şekil 4.87'de numaralandırılmış (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10) olarak görülen ankraj çubuklarından geçen düzlem gerilmeler ile ankraj çubukları vasıtasıyla dolgu duvarına iletilen normal yükler bu şekilde hesaplanmış olup, Şekil 4.88 ve Şekil 4.89'da gösterilmiş ve Çizelge 4.36'da özetlenmiştir.



Şekil 4.88. Onuncu deneyde ankraj çubuklarından geçen düzlem gerilmeler



Şekil 4.89. Onuncu deneyde ankraj çubuklarından dolgu duvarına iletilen normal yükler

Çizelge 4.36. Onuncu deneyde ankraj çubuklarından geçen düzlem gerilmeler ve dolgu duvarına iletilen normal yükler

Ankraj Çubuğu No'su	Ankraj Çubuğu Düzlem Gerilmeleri (MPa)	Ankraj Çubuğu Normal Yükleri (N)
1	44,5	1344
2	153,9	14500
3	-7,5	-80
4	8,7	94
5	95,0	6235
6	50,0	1819
7	17,2	131
8	0,0	13
9	0,0	0
10	7,5	54

Bu deneyde 3 No'lu ankraj çubuğuna yapııştırılan birim şekil değiştirme ölçerdeki şekil değiştirme negatif olarak elde edilmiştir. Bu durum aslında çerçeve ile dolgu duvarının etkileşim içerisinde olduğunu göstermektedir. Bu yüklemde oluşan düzlem gerilme ve normal yükler, dolgu duvarından, ankraj çubuğuna doğru gerçekleşmiştir. Serbest köşelerdeki ankraj çubuklarından yükün çok az bir miktarı dolgu duvarına iletilmiştir.

Onuncu deneyde ankraj çubuklarının, dolgu duvar ile çerçeve arasında tam bir yapışma sağlayarak çerçeve ile dolgu duvarının ayrılmadan birlikte davranmasını sağladığı ve yüklenen çerçevenin yükünü dolgu duvarına uniform bir şekilde aktararak, sistem davranışını azımsamayacak şekilde iyileştirdiği sonucuna varılmıştır.

Deneysel çalışmalardan elde edilen davranış (yük-yer değiştirme) eğrisi, enerji yutma kapasitesi açısından değerlendirildiğinde, sisteme yerleştirilen ankraj çubuklarının çelik çerçeveli sistemlerde, bu kapasiteyi ankraj çubuksuz sistemlere göre ortalama 1,52 kat, boş çerçeveye göre de ortalama 20,28 kat artırdığı tespit edilmiştir. Betonarme çerçeveli sistemlerde ise enerji yutma kapasitesi, değerlendirilen yer değiştirmede (0,75 mm) sabit kalırken, çatlama yükündeki yer değiştirme dikkate alındığında, kapasiteyi ankraj

çubuksuz sistemlere göre ortalama 2,04 kat artırdığı tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar Şekil 4.90 ve Şekil 4.91’de özetlenmiştir.

Deneysel çalışmalardan elde edilen davranış (yük-yer değiştirme) eğrisi, başlangıç rijitliği açısından değerlendirildiğinde, sisteme yerleştirilen ankraj çubuklarının çelik çerçeveli sistemlerde, hem değerlendirilen yer değiştirmede (1,50 mm) hem de çatlama yüküne karşılık gelen yer değiştirmede bu kapasiteyi ankraj çubuksuz sistemlere göre ortalama 1,18 kat, boş çerçeveye göre de ortalama 23,13 kat artırdığı tespit edilmiştir. Betonarme çerçeveli sistemlerde ise başlangıç rijitliği, hem değerlendirilen yer değiştirmede (0,75 mm) hem de çatlama yükündeki yer değiştirmede kapasitenin ankraj çubuksuz sistemlere göre ortalama %30 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Betonarme çerçeveli sistemlerde ankraj çubuklarının ilavesi ile yapılan değerlendirmede başlangıç rijitliğinin azalması, buna karşılık enerji yutma kapasitesindeki artış bu sistemin aslında daha sünek bir davranış kazandığını göstermektedir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.92 ve Şekil 4.93’de özetlenmiştir.

Deneysel çalışmada çatlama yüküne kadar oluşan hasar seviyesinde, beton dolgu duvara ait malzeme sabitleri kullanılarak, dolgu duvarda oluşan ortalama kayma gerilmeleri hesaplanmıştır. Buna göre; dolgu duvarlı ankraj çubuklu çelik çerçeveli sistemlerde, elde edilen ortalama kayma gerilmesinin, dolgu duvarlı ankraj çubuksuz çelik çerçeveli sistemlere göre fazla değişmediği görülmüştür. Bu sonuç; çelik çerçevenin gelen yükü dolgu duvarına homojen bir şekilde iletebilmesi ve dolgu duvarını yeteri derecede sarması şeklinde yorumlanmıştır. Dolgu duvarlı ankraj çubuklu betonarme çerçeveli sistemlerde ise, ortalama kayma gerilmesi, dolgu duvarlı ankraj çubuksuz betonarme çerçeveli sistemlere göre ortalama 1,80 kat artmıştır. Elde edilen bu sonuçlar Şekil 4.94 ve Şekil 4.95’de özetlenmiştir.

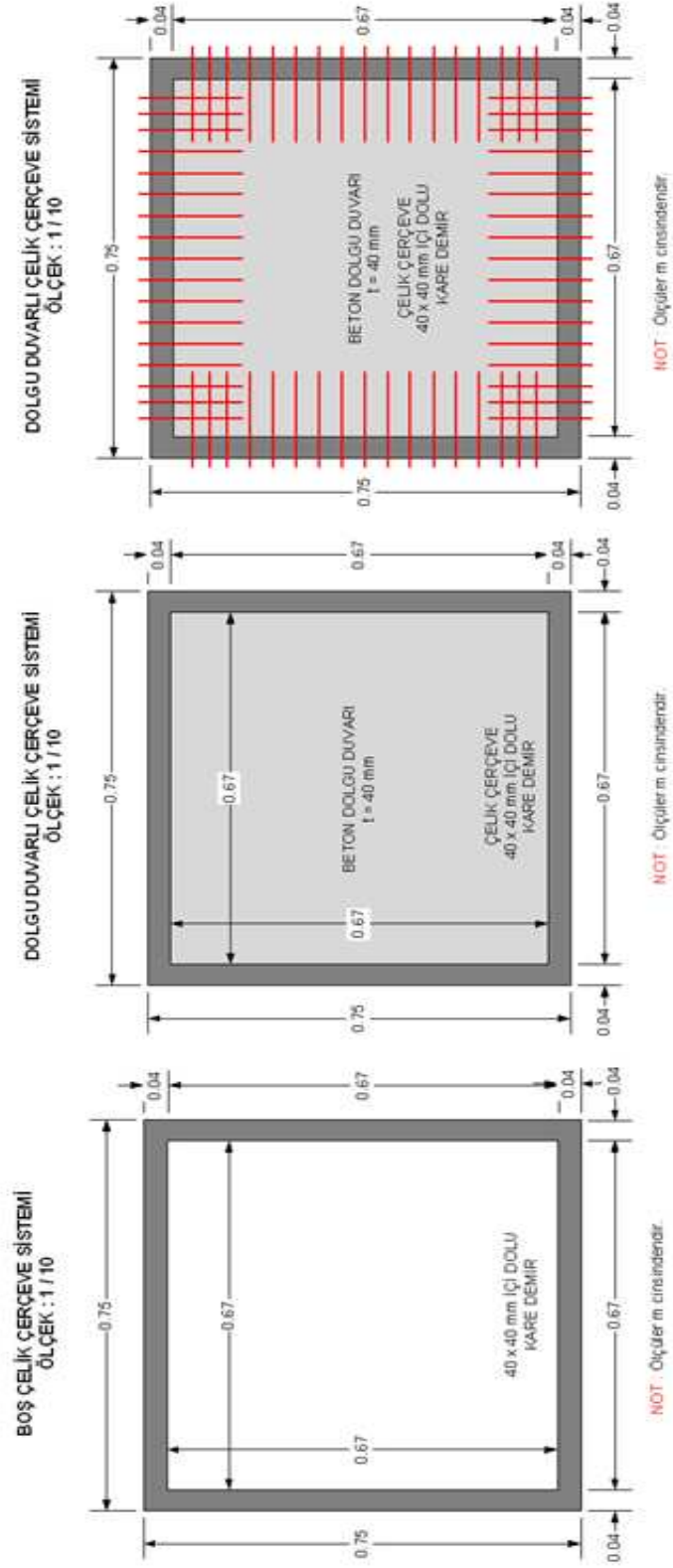
Ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve sistemleri ile yapılan denemelerde (yedinci, sekizinci, dokuzuncu ve onuncu deneyler), yüklenen köşeler ile serbest köşelerdeki ankraj çubuklarına yapıştırılan birim şekil değiştirme ölçerlerle, yükleme sırasında ankraj çubuklarından geçen düzlem gerilmeler ve dolgu duvarına iletilen normal

kuvvetler, çelik ankraj çubuğu için yapılan çekme deneyinden elde edilen yük-yer değiştirme ve gerilme-şekil değiştirme eğrilerinden yararlanılarak hesaplanmıştır.

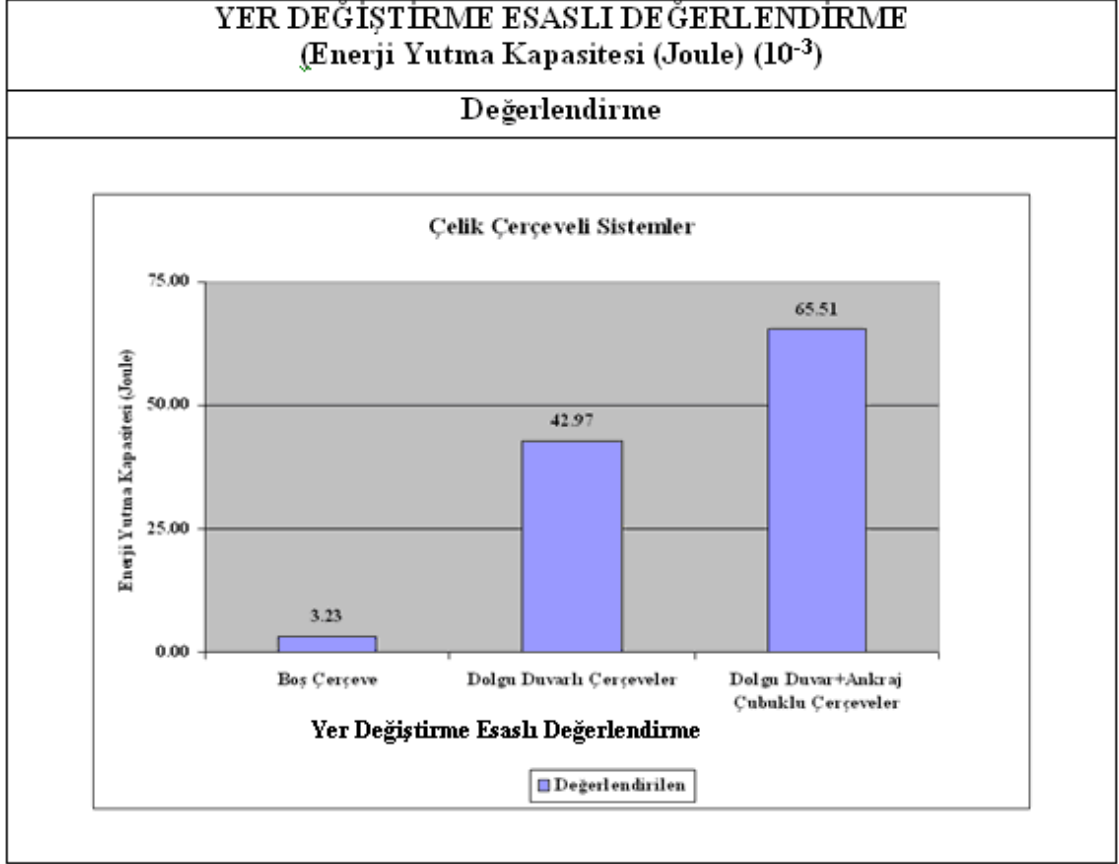
Çelik çerçeveli sistemlerden yedinci deney için elde edilen sonuçlara göre serbest mesnetlerde oluşan düzlem gerilmeler, yüklenen mesnetlerde oluşan düzlem gerilmelere göre yaklaşık %25 daha fazladır. Sekizinci deneyde ise yüklenen mesnetlerde oluşan düzlem gerilmeler, serbest mesnetlere göre yaklaşık %43 fazladır. Bu sonuca göre; çelik çerçeveli sistemlerde oluşan düzlem gerilmelerin dolgu duvarına, ankraj çubukları vasıtasıyla, başarılı bir şekilde dağıtıldığı söylenebilir. Betonarme çerçeveli sistemlerden dokuzuncu deney için elde edilen sonuçlara göre yüklenen mesnetlerde oluşan düzlem gerilmeler, serbest mesnetlerde oluşan düzlem gerilmelere göre yaklaşık 14 kat daha fazladır. Onuncu deneyde ise yüklenen mesnetlerde oluşan düzlem gerilmeler, serbest mesnetlere göre yaklaşık 4 kat daha fazladır. Bu sonuca göre; betonarme çerçeveli sistemlerde, serbest mesnet kısmında dolgu duvarı ile çerçevenin sürekli ayrılma eğiliminde olduğunu göstermektedir.

Çelik çerçeveli sistemlerden yedinci deney için elde edilen sonuçlara göre serbest mesnetlerde oluşan normal yüklerin, yüklenen mesnetlerde oluşan normal yüklerle göre yaklaşık %56 daha fazladır. Sekizinci deneyde ise yüklenen mesnetlerde oluşan normal yükler, serbest mesnetlere göre yaklaşık %43 fazladır. Bu sonuca göre; çelik çerçeveli sistemlerin gelen yükleri dolgu duvarına, ankraj çubukları vasıtasıyla, başarılı bir şekilde iletebildiği söylenebilir. Betonarme çerçeveli sistemlerden dokuzuncu deney için elde edilen sonuçlara göre yüklenen mesnetlerde oluşan normal yükler, serbest mesnetlerde oluşan yüklerle göre yaklaşık 183 kat daha fazladır. Onuncu deneyde ise yüklenen mesnetlerde oluşan normal yükler, serbest mesnetlere göre yaklaşık 11 kat daha fazladır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.96, Şekil 4.97, Şekil 4.98 ve Şekil 4.99'da özetlenmiştir.

YER DEĞİŞTİRME ESASLI DEĞERLENDİRME
(Enerji Yutma Kapasitesi (Joule) (10^{-3}))
Deney Numunesinin Özellikleri



(a)

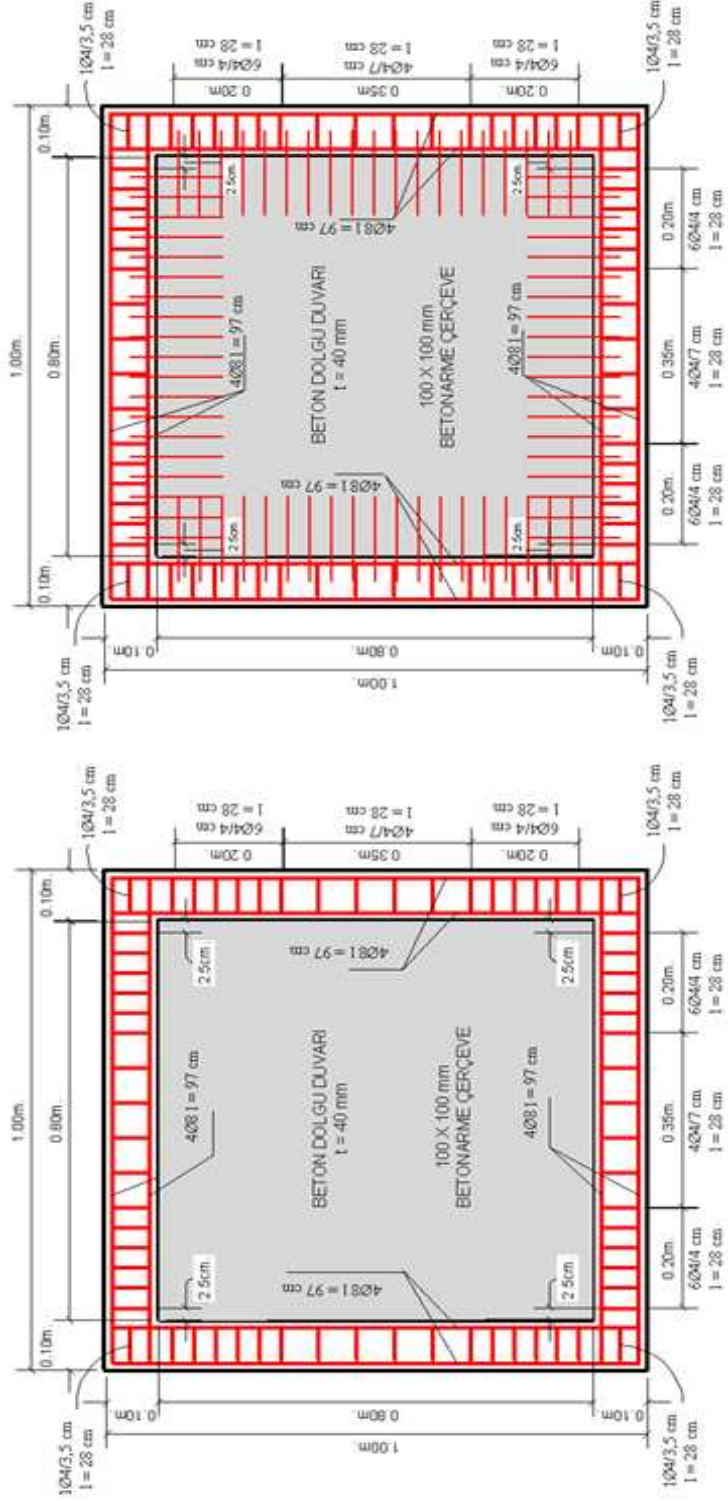


(b)

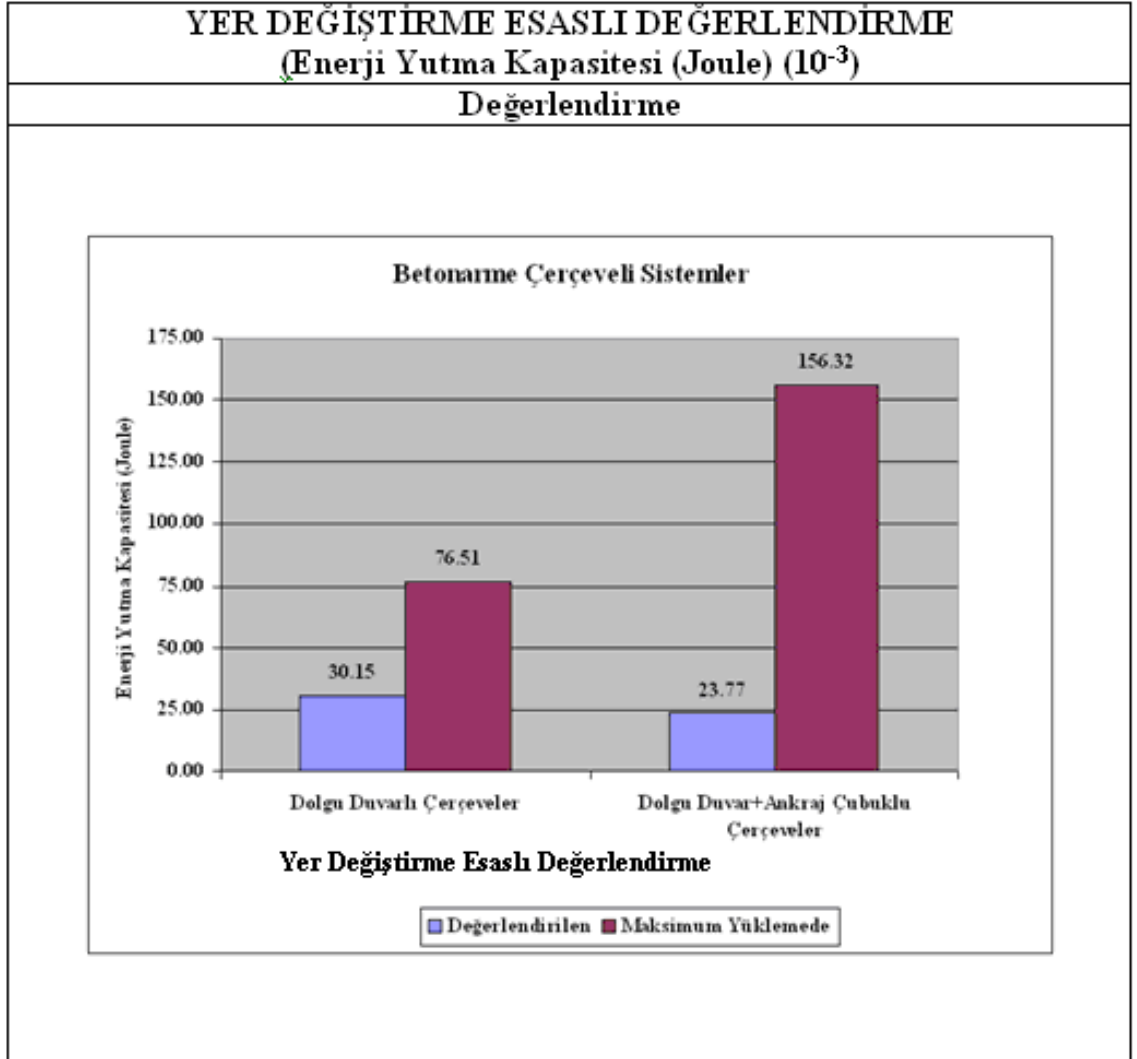
Şekil 4.90. Enerji yutma kapasitesi açısından çelik çerçeveli sistemlerde deneysel çalışmaların özeti

YER DEĞİŞTİRME ESASLI DEĞERLENDİRME
(Enerji Yutma Kapasitesi (Joule) (10⁻³))

Denei Numunesinin Özellikleri



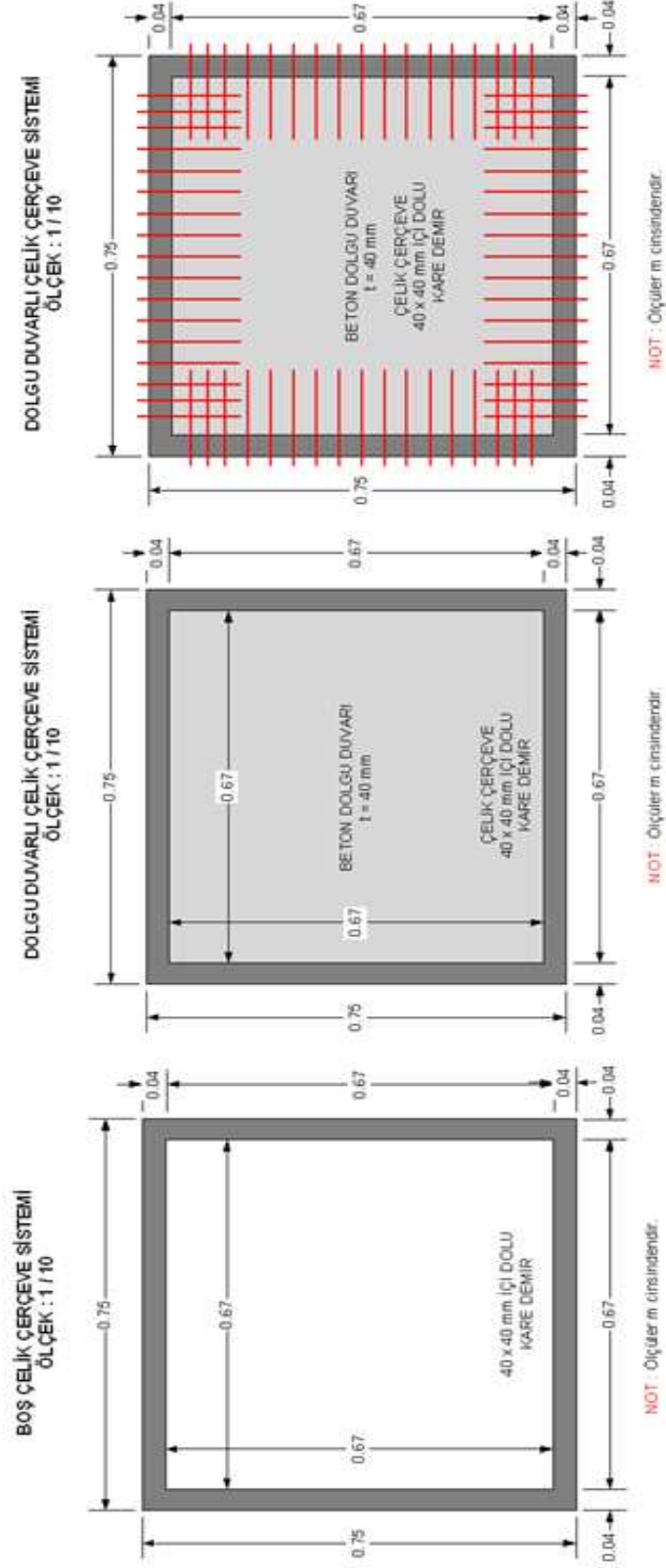
(a)



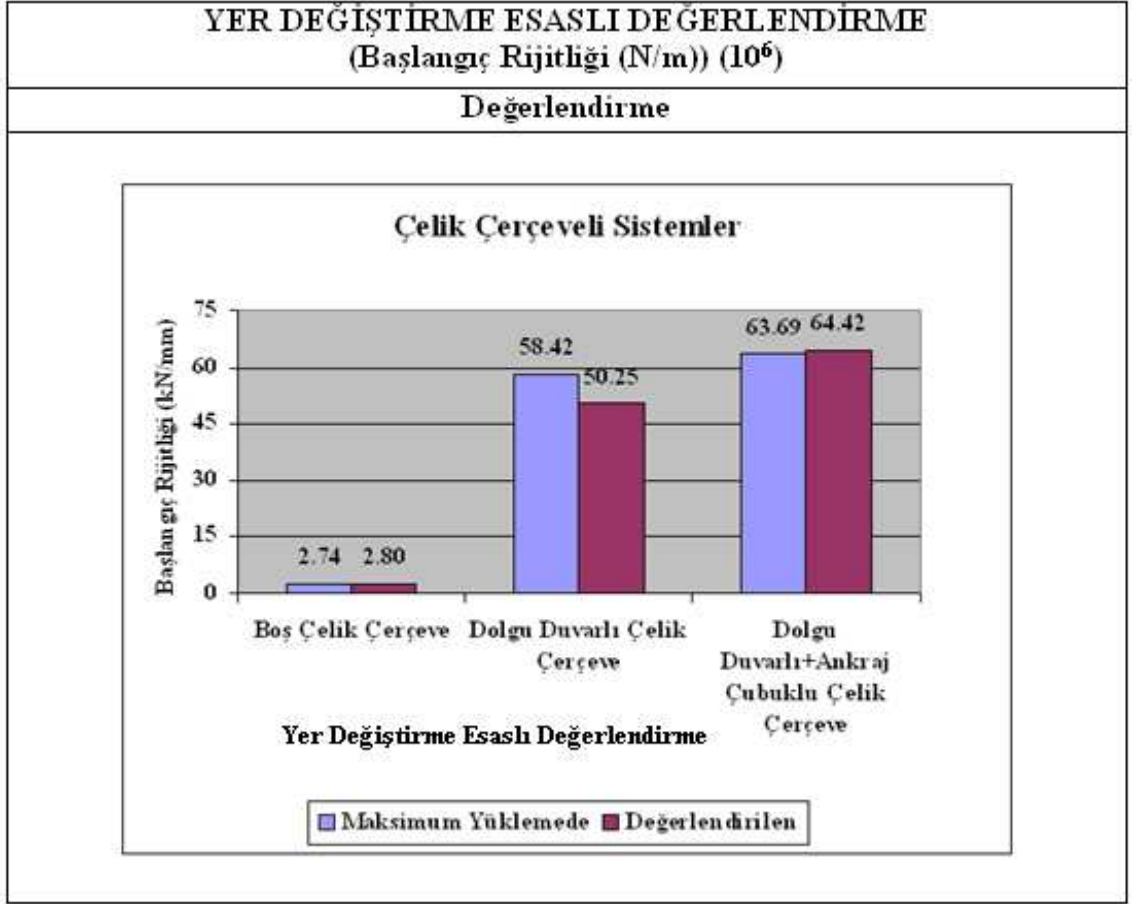
(b)

Şekil 4.91. Enerji yutma kapasitesi açısından betonarme çerçevesiz sistemlerde deneysel çalışmaların özeti

YER DEĞİŞTİRME ESASLI DEĞERLENDİRME
(Başlangıç Rijitliği (N/m)) (10^6)
Deney Numunesinin Özellikleri

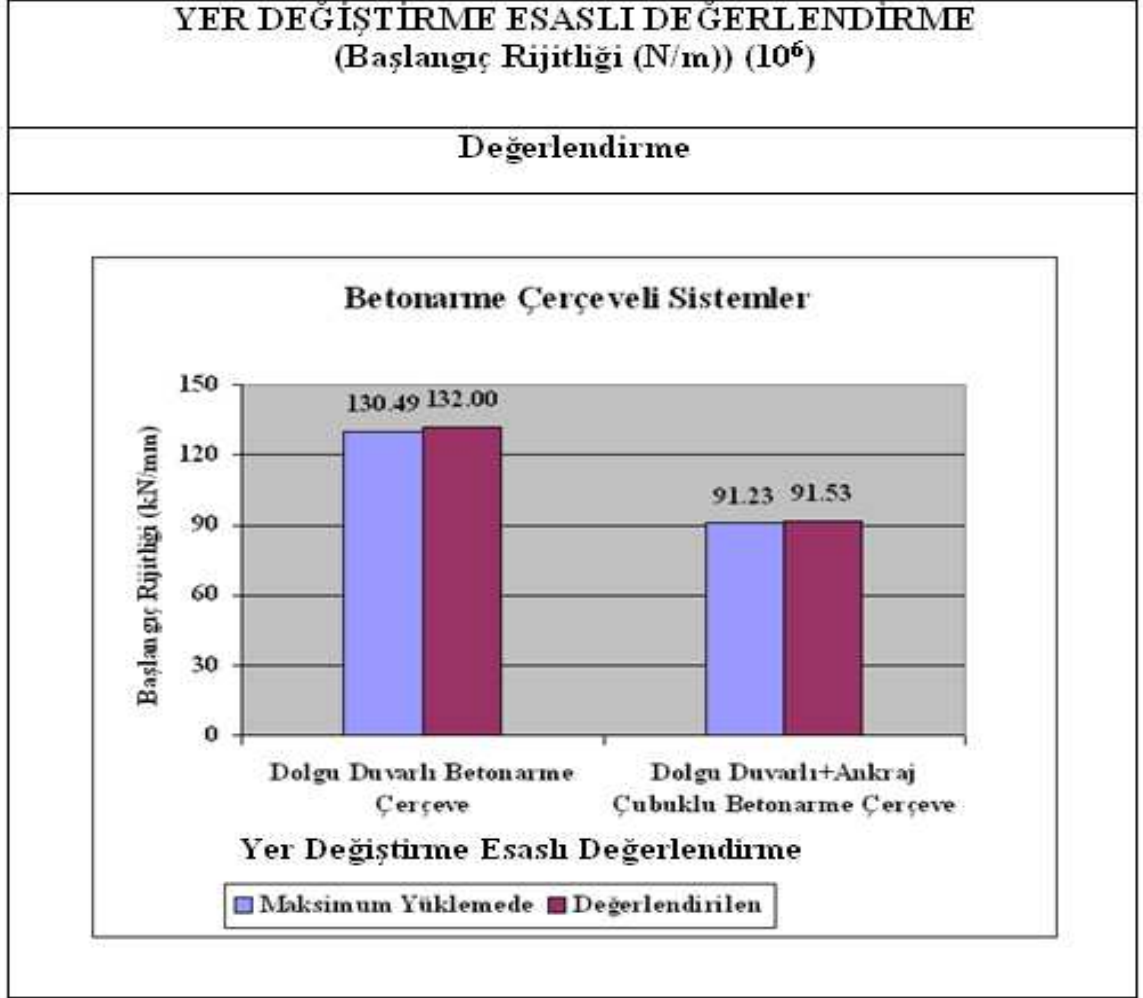


(a)



(b)

Şekil 4.92. Başlangıç rijitliği açısından çelik çerçevesi sistemlerde deneysel çalışmaların özeti

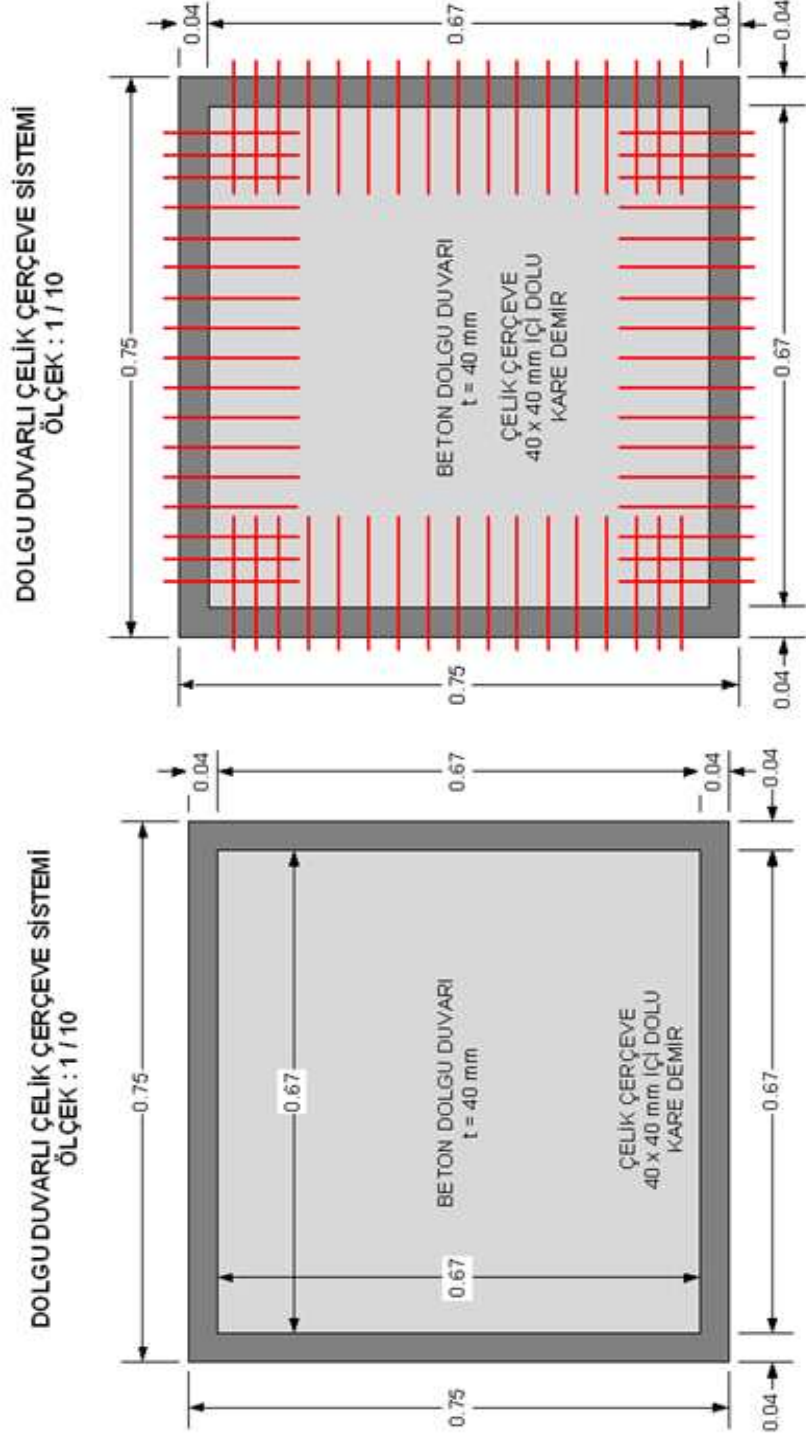


(b)

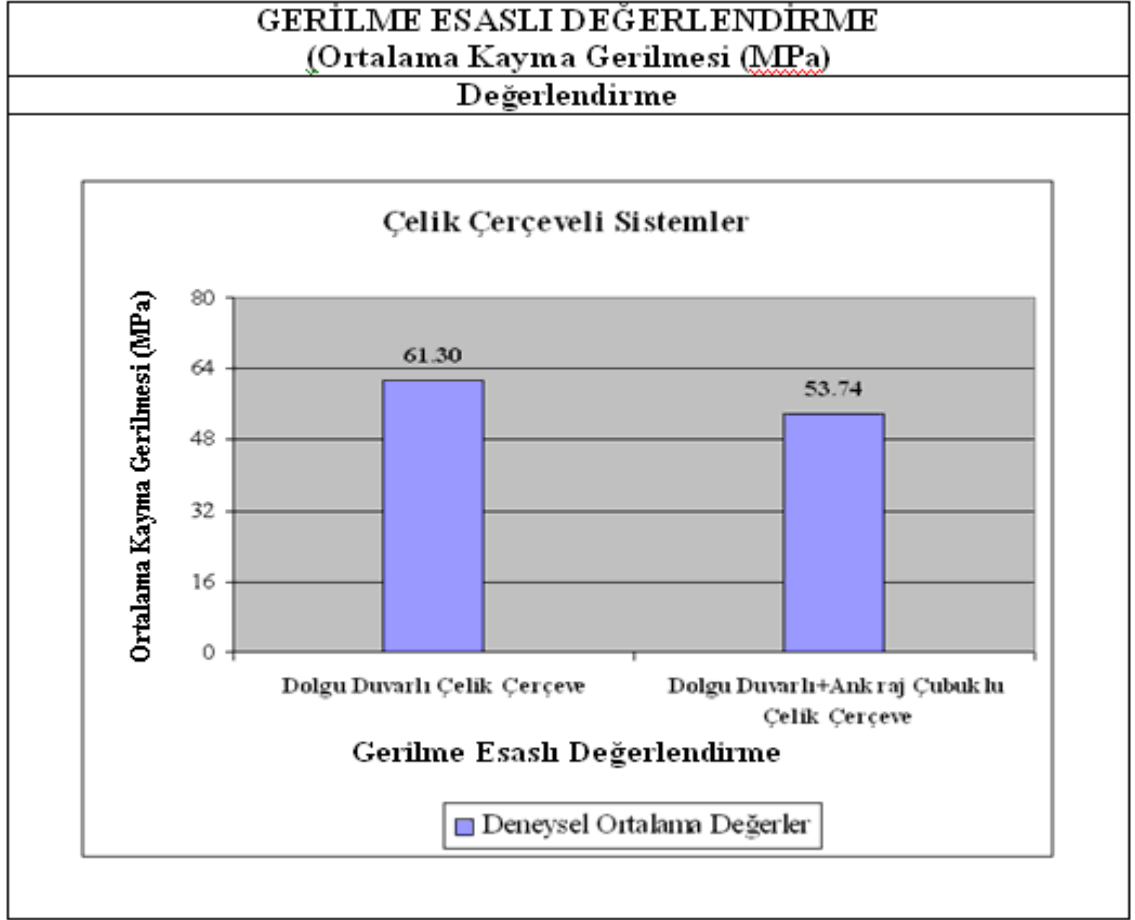
Şekil 4.93. Başlangıç rijitliği açısından betonarme çerçevesi sistemlerde deneysel çalışmaların özeti

GERİLME ESASLI DEĞERLENDİRME
(Ortalama Kayma Gerilmesi (MPa))

Deney Numunesinin Özellikleri



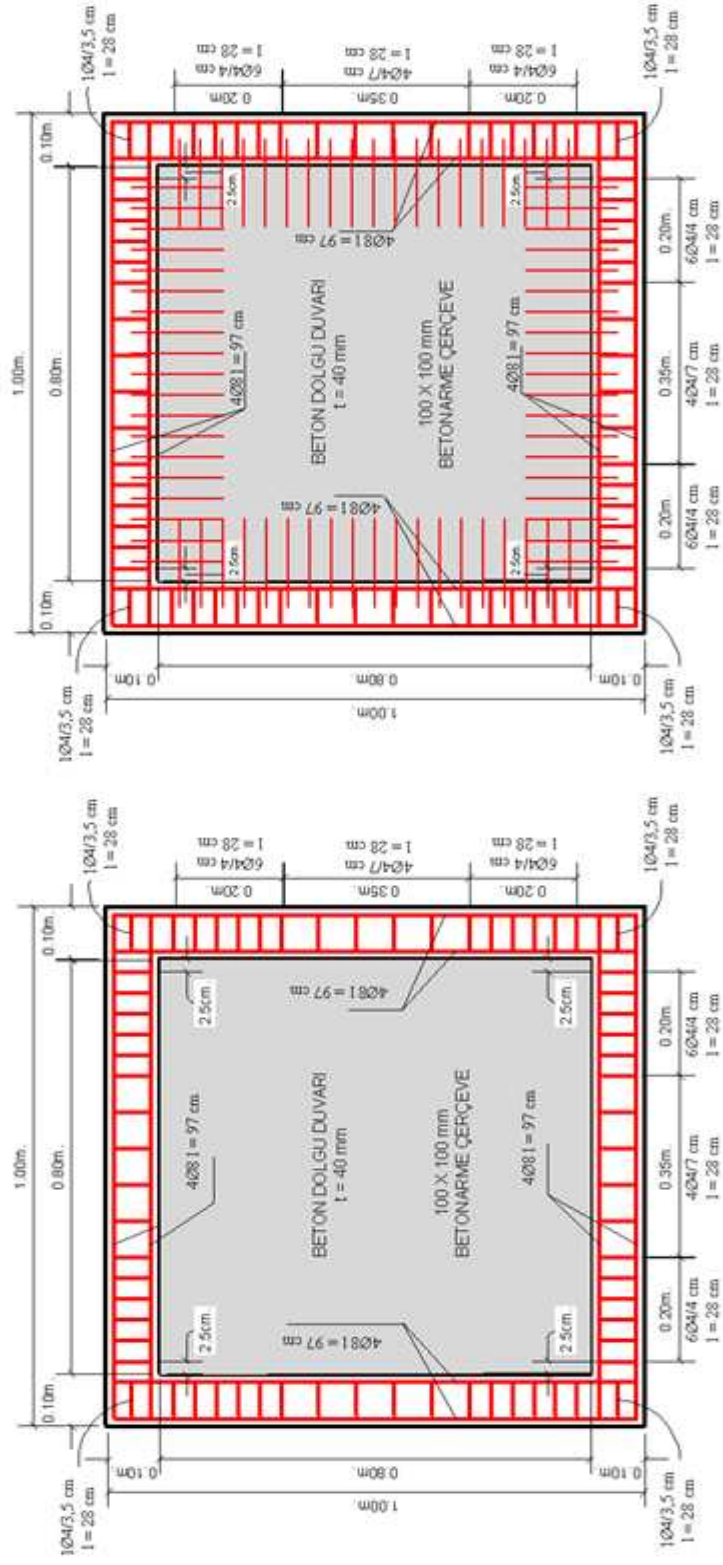
(a)



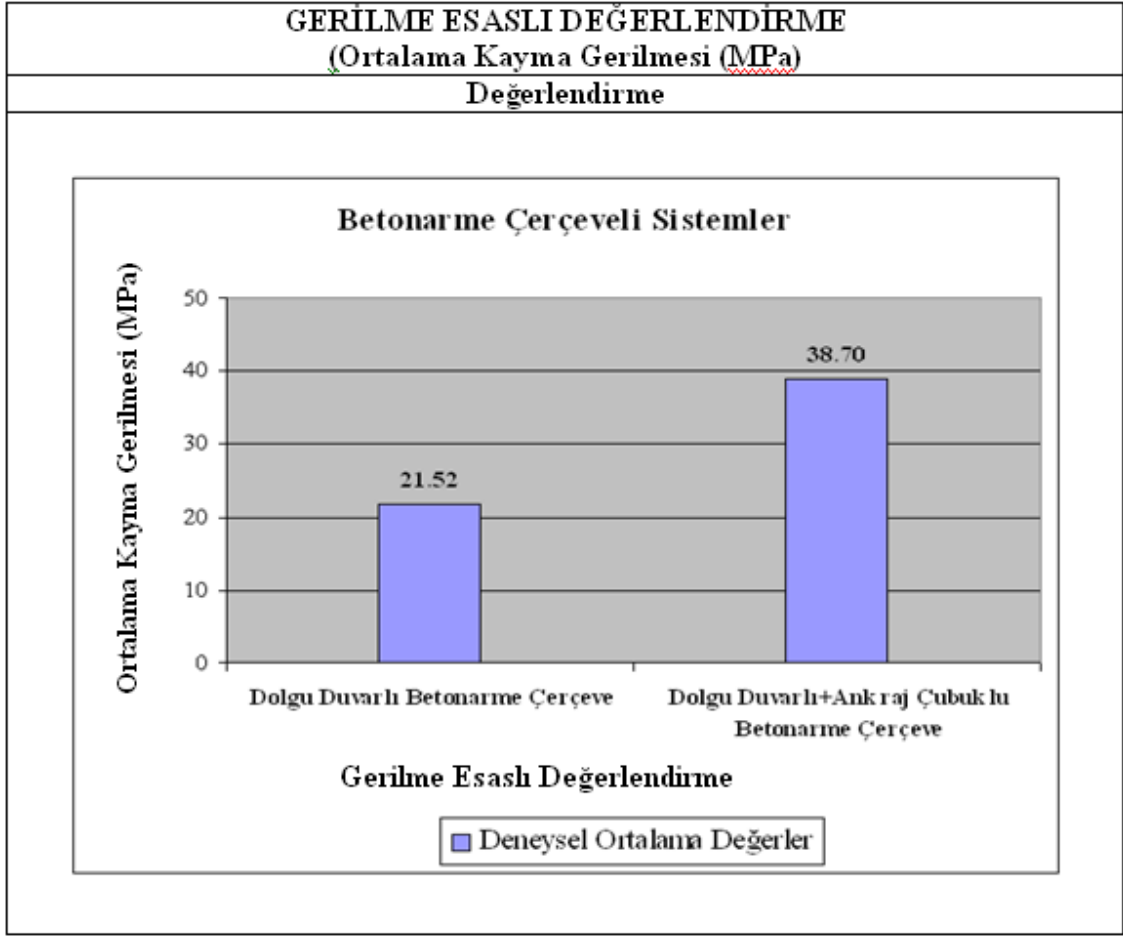
(b)

Şekil 4.94. Ortalama kayma gerilmesi açısından çelik çerçeveli sistemlerde deneysel çalışmaların özeti

GERİLME ESASLI DEĞERLENDİRME
(Ortalama Kayna Gerilmesi (MPa))
Deney Numunesinin Özellikleri

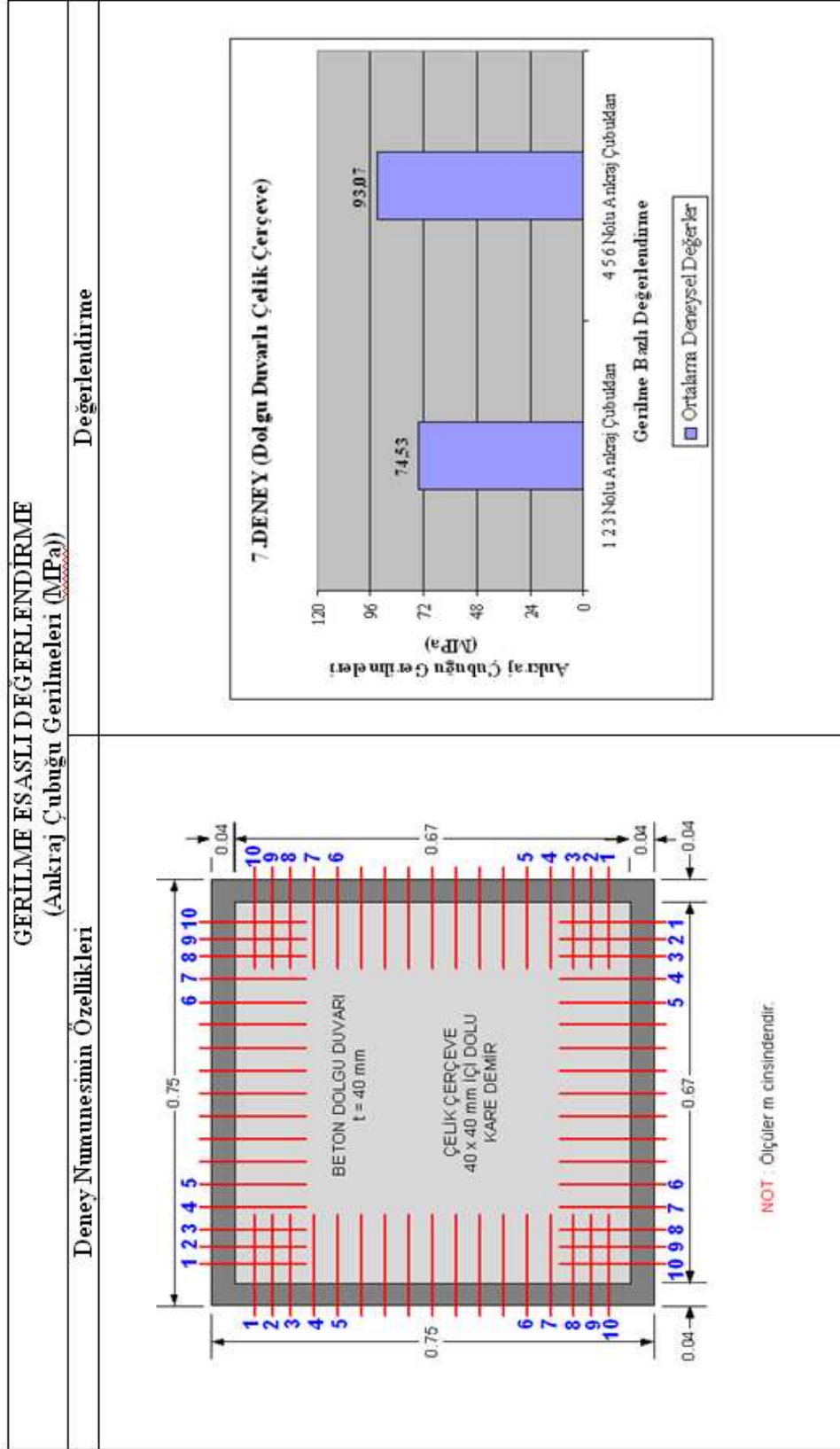


(a)

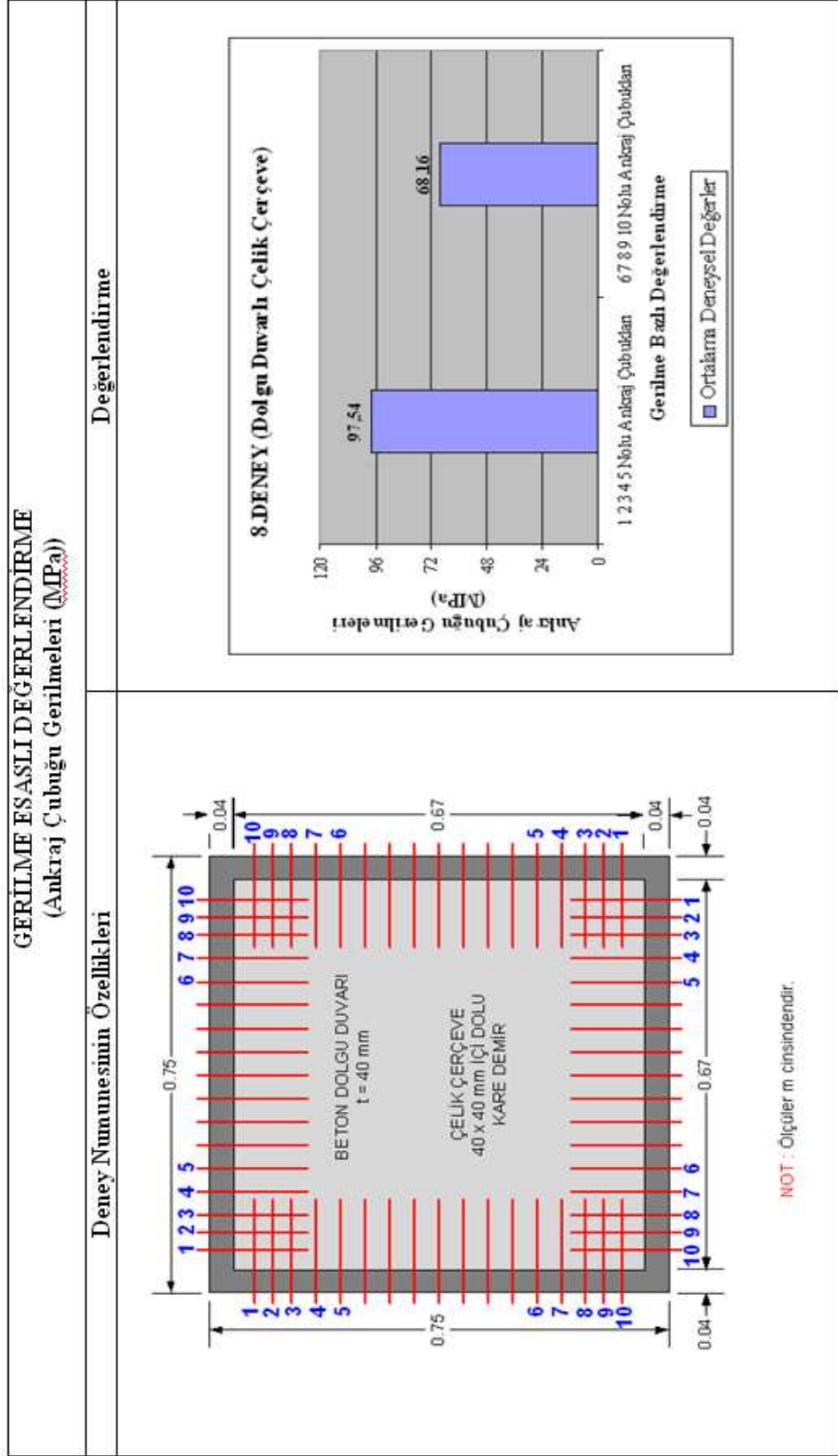


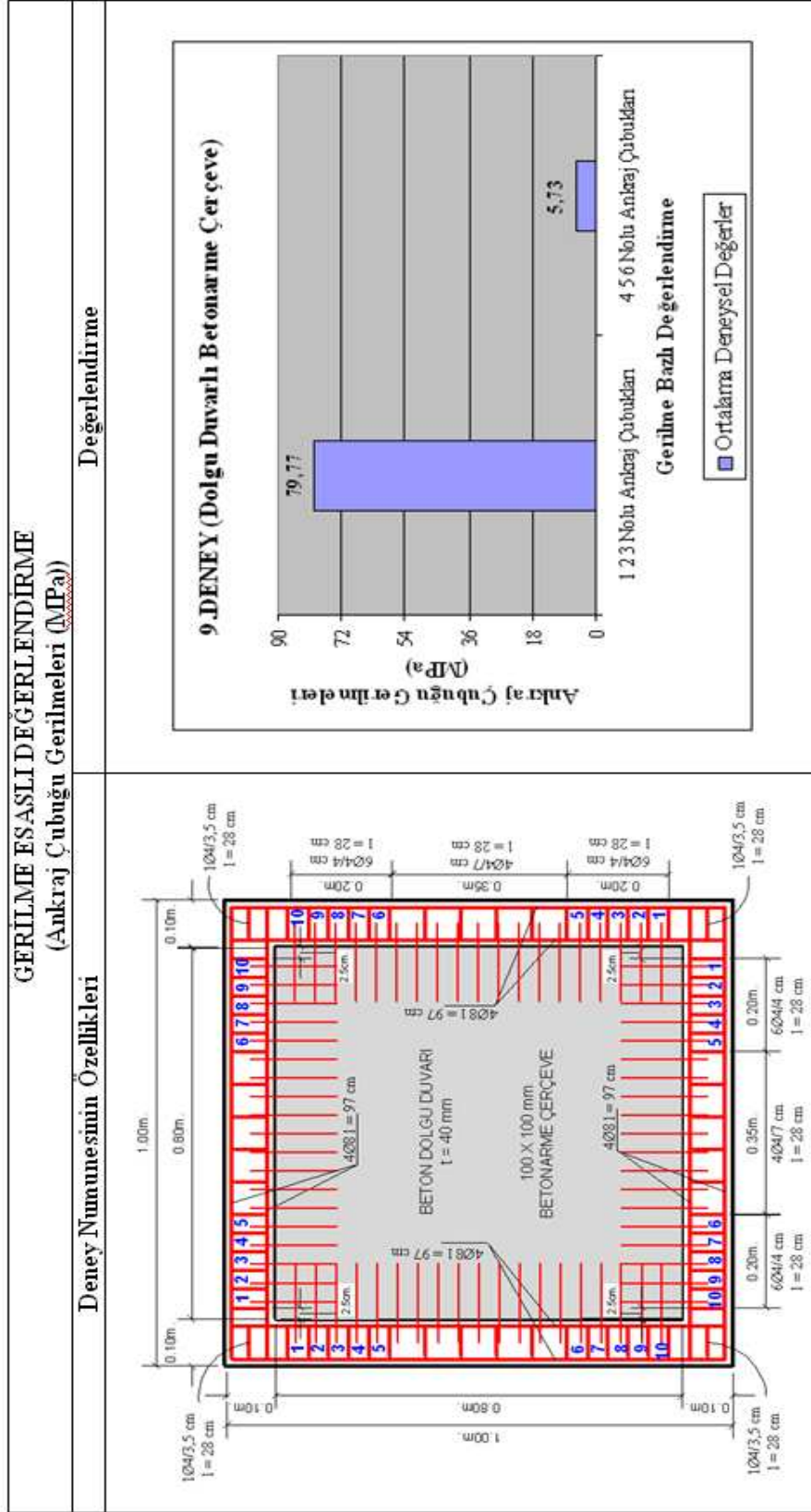
(b)

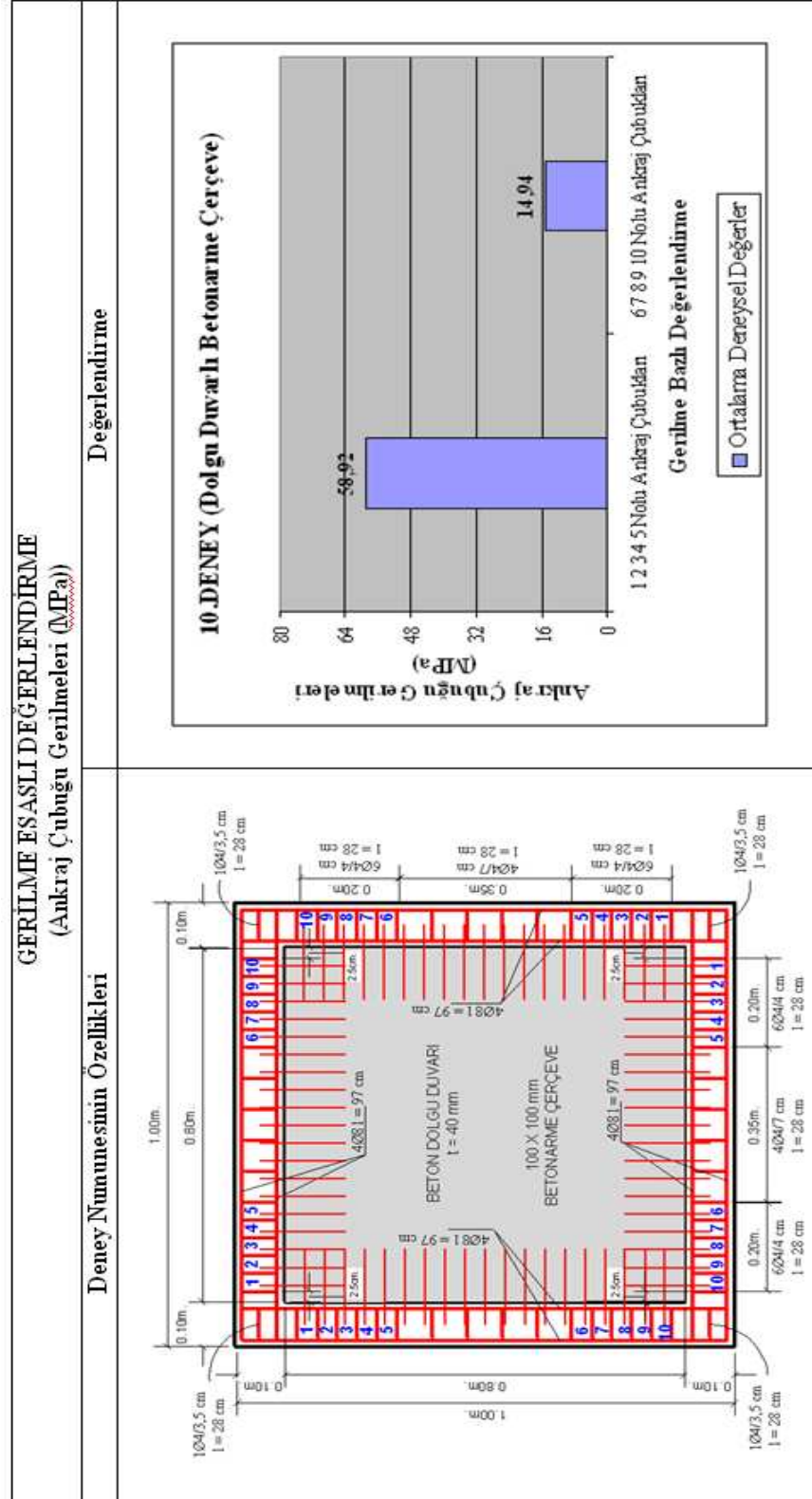
Şekil 4.95. Ortalama kayma gerilmesi açısından betonarme çerçevesi sistemlerde deneysel çalışmaların özeti



(a)

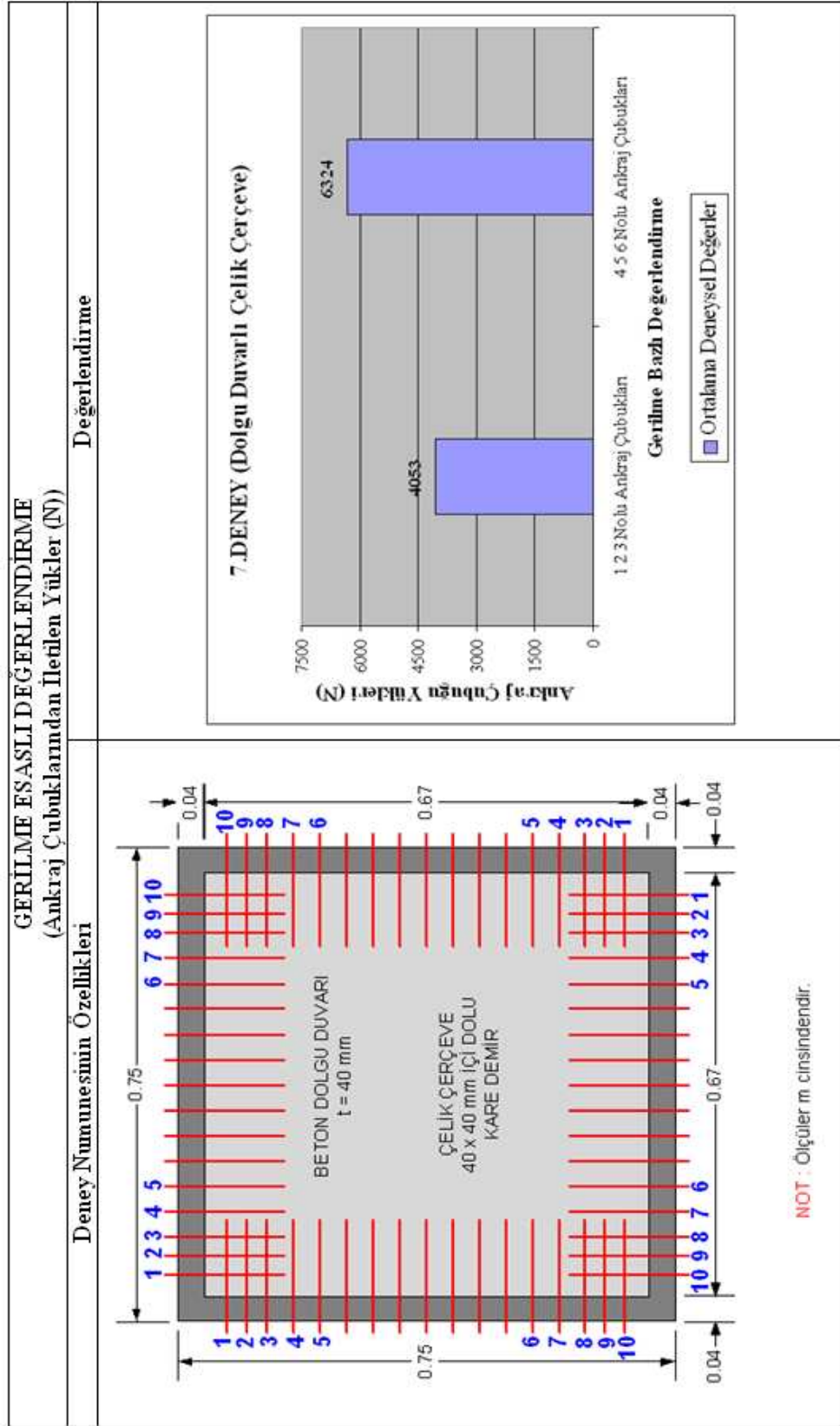




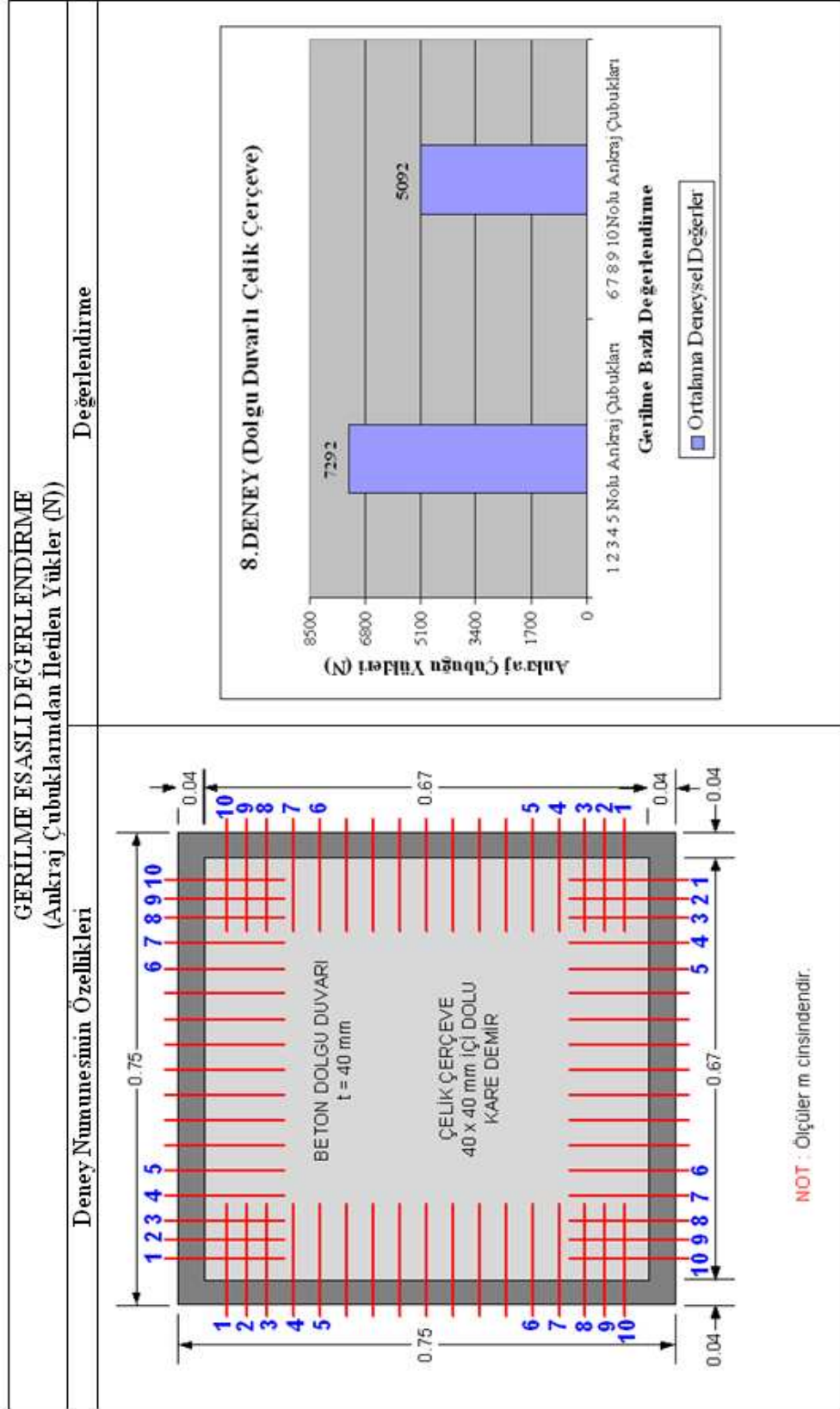


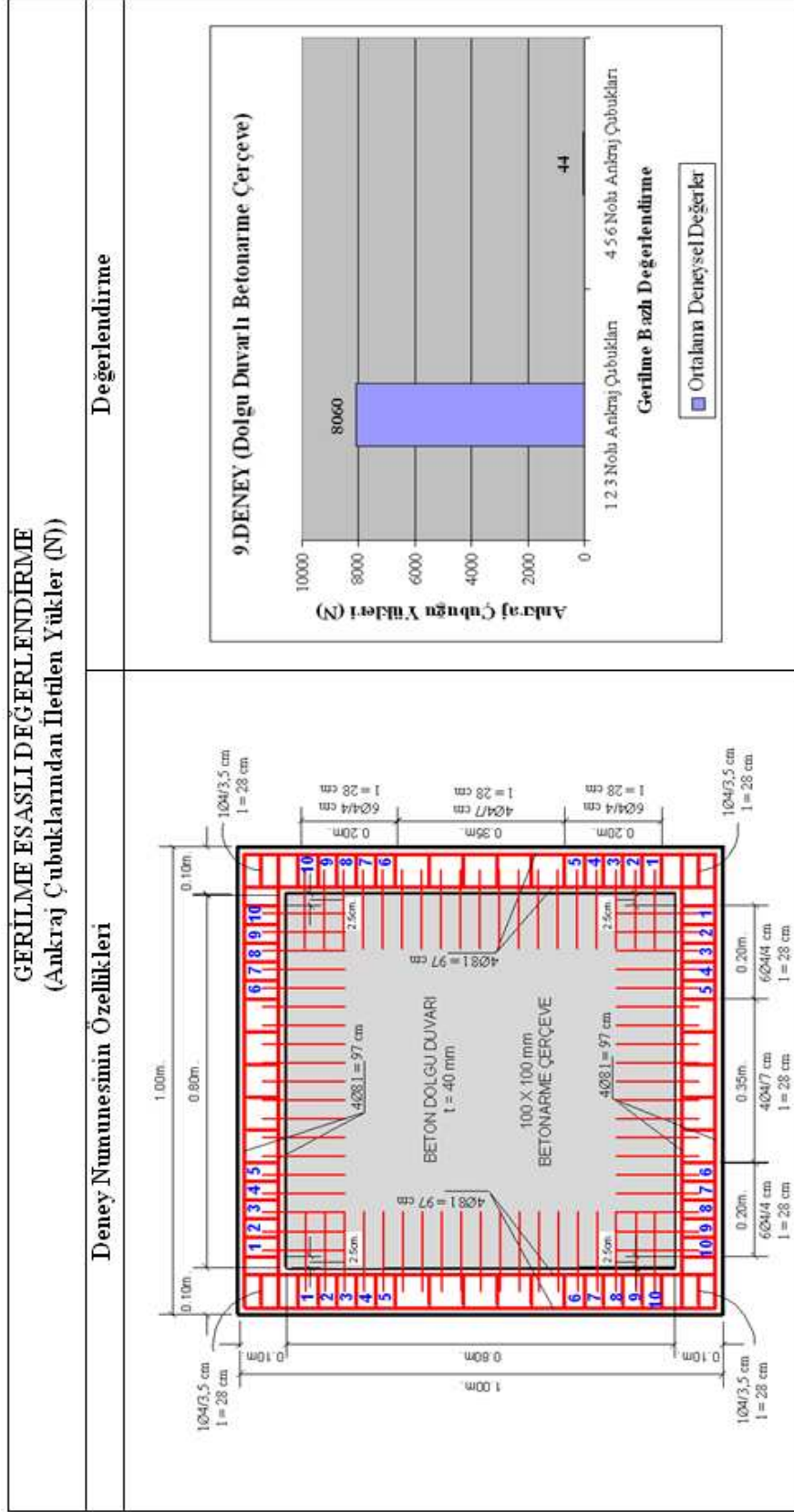
(d)

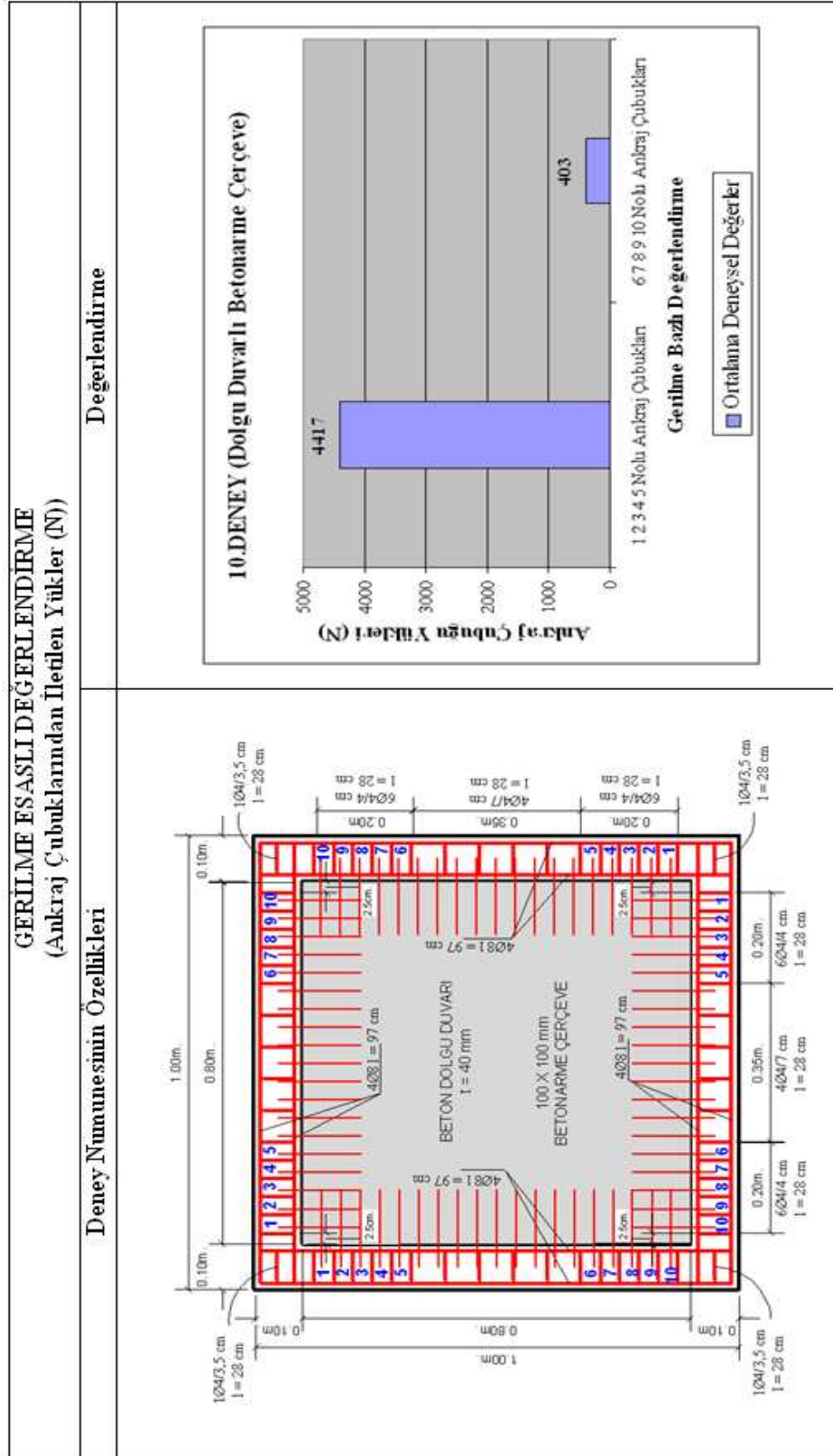
Şekil 4.96. Ankraj çubukları düzlem gerilmeleri açısından deneysel çalışmaların özeti



(a)

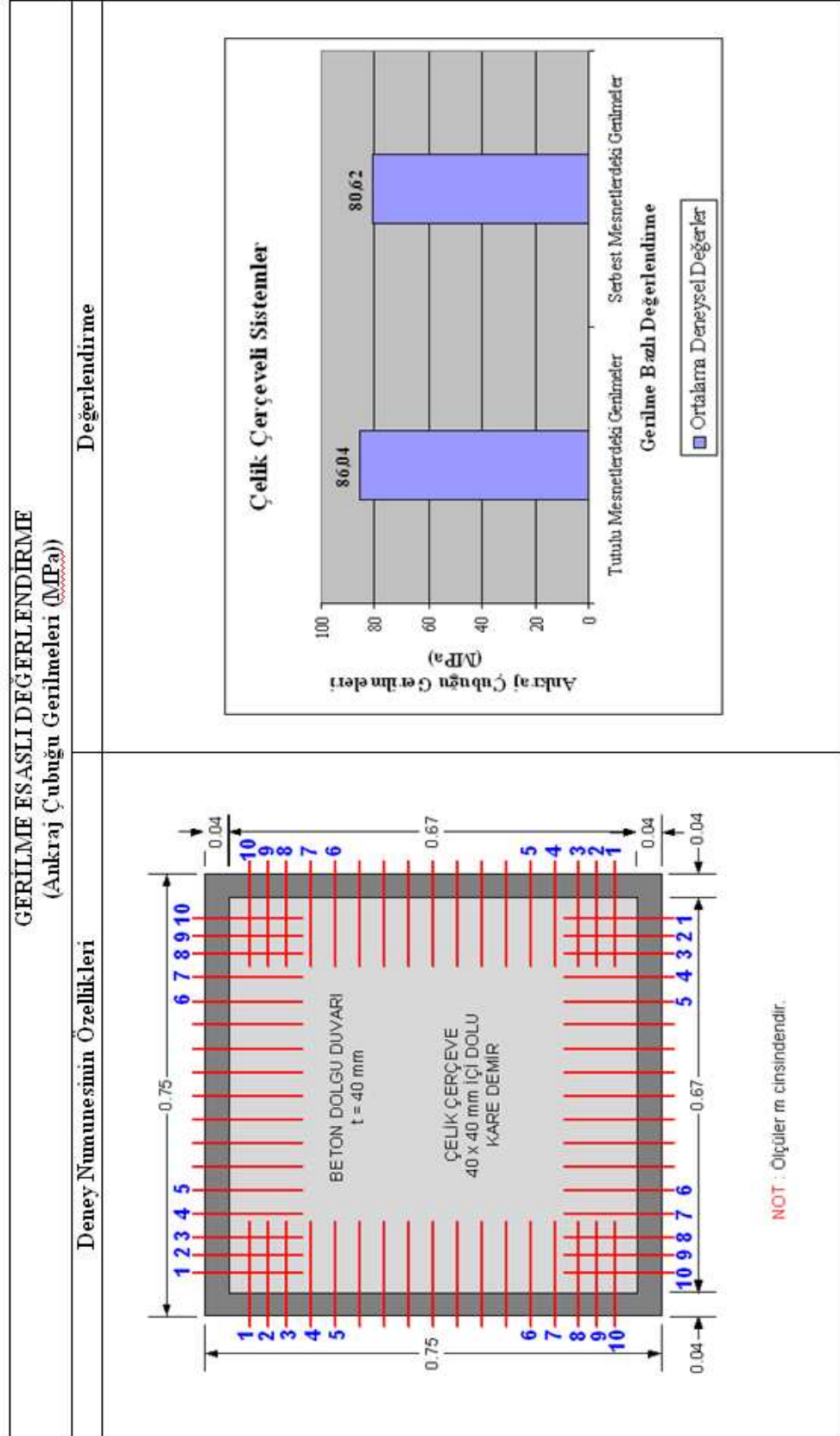


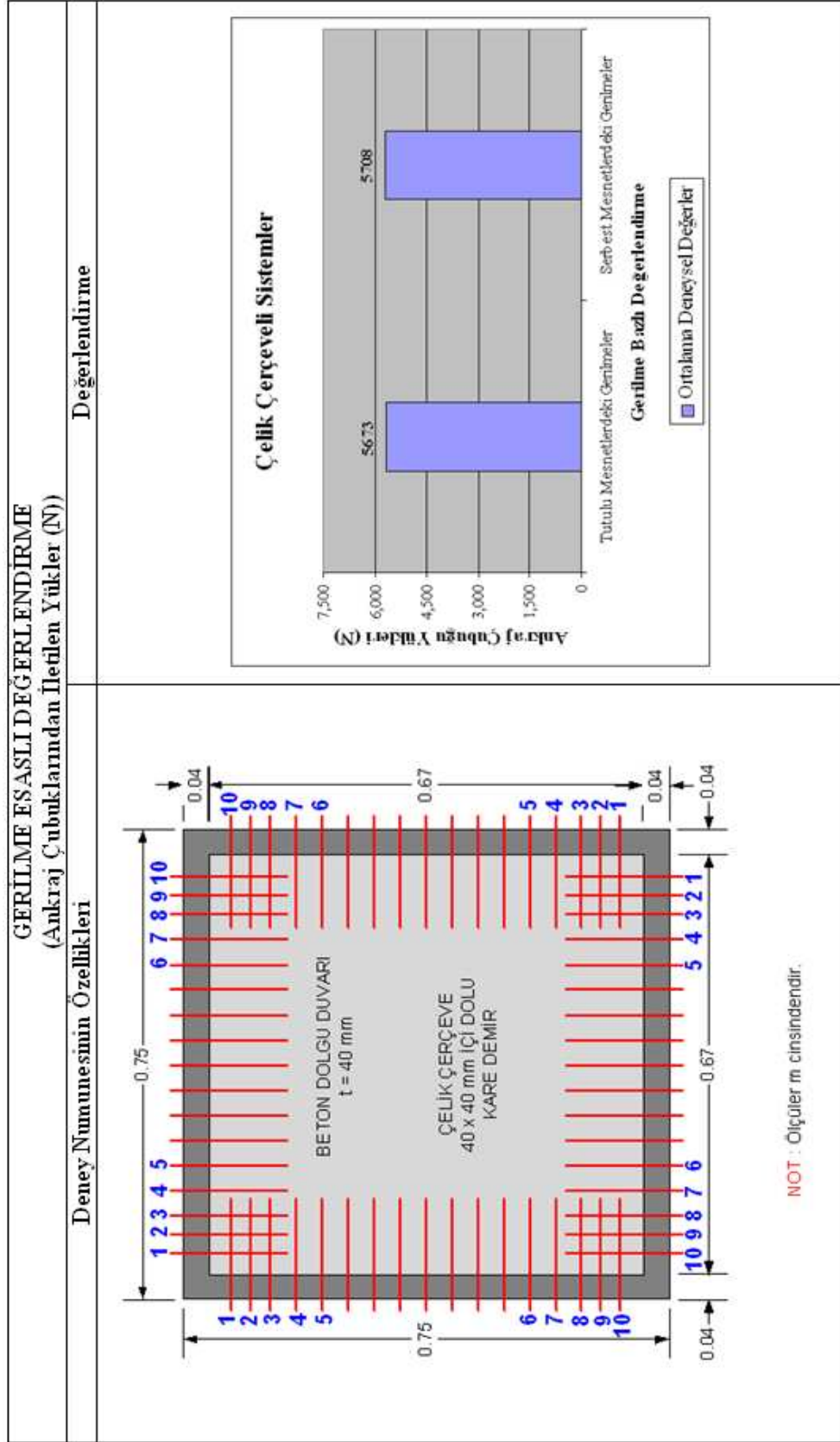


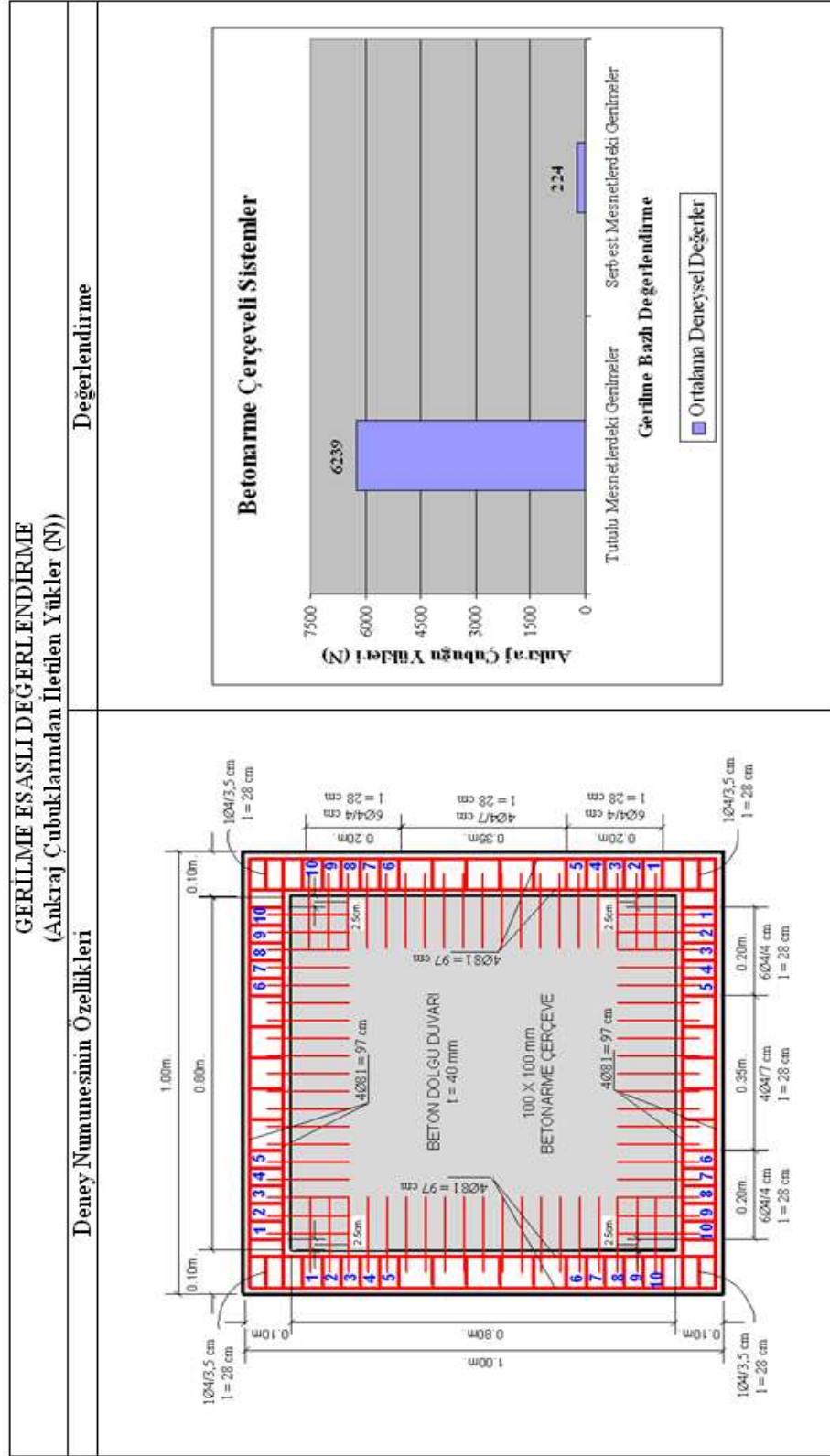


(d)

Şekil 4.97. Ankraj çubukları normal yükleri açısından deneysel çalışmaların özeti







(b)

Şekil 4.99. Ortalama ankraj çubukları normal yükleri açısından deneysel çalışmaların özeti

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada; dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin deprem davranışlarının anlaşılması amacıyla, çerçeve ve dolgu duvar arasında bağlantıyı sağlayan ankraj çubuklarının dolgu duvarlı çerçeve sistemlerine katkısının araştırılması doğrultusunda deneysel çalışmalar yapılmıştır. Çalışmada ana parametre, birleşimi sağlayan ankraj çubuklarının dolgu duvarlı çerçeve sistemlerine olan etkisidir. Bunun için deney programı ve deney düzeneği geliştirilmiştir. Deneysel çalışmada, ¼ ölçekte tek katlı tek açıklıklı dolgu duvarlı çerçeve sistemi ele alınmıştır. Dolgu duvarlı çerçeve sisteminde, dolgu duvar malzemesi yerinde dökme betondan oluşurken, çerçeve ise çelik profil ve betonarme çerçeve olarak seçilmiştir. Dolgu duvarlar ile çerçeve arasındaki bağlantı çelik ankraj çubukları ile sağlanmıştır.

Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerde, ankraj çubukları etkisinin etkin bir şekilde elde edilebilmesi için geliştirilen deney programı ve deney düzeneğine bağlı olarak laboratuarda deneyler yapılmıştır.

Deney programı hasar-kontrollü bir şekilde yürütülmüş olup, yükleme programı tanımlanan bir hasar derecesine kadar artımlı olarak gerçekleştirilmiş ve tanımlanan hasar derecesi sağlandığında deneye son verilmiştir. Tanımlanan hasar derecesi bu çalışma için çatlama yükü olarak kabul edilmiştir. Çatlama yüküne kadar oluşması beklenen davranış; başlangıç çatlama veya ara yüzey çatlağı, çekme veya çapraz çatlaklar, mesnetlerde dolgu ezilmesi ve köşe kırılması/ezilmesi ve serbest mesnetlerde dolgu ayrılmasıdır.

Deney programında, ¼ ölçekli tek katlı tek açıklıklı dolgu duvarlı çerçeve sistemi çapraz köşegeninden yüklenerek, hasar-kontrollü bir şekilde yürütülmüştür. Yükleme programı çatlama yüküne kadar artımlı olarak gerçekleştirilmiş ve çatlama yükü sağlandığında deneye son verilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda her bir numunenin davranış (yük-yer değiştirme) eğrisi elde edilmiş ve bu eğrilerden yararlanılarak enerji

yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği hesaplanmıştır. Elde edilen yük-yer değiştirme eğrisinde, başlangıç rijitliği çelik çerçeveli sistemler için 1,50 mm ve betonarme çerçeveli sistemler için de 0,75 mm'lik bir yer değiştirme miktarında hesaplandığından, enerji yutma kapasitesi de bu yer değiştirme miktarına göre hesaplanmış ve değerlendirilmiştir.

Ayrıca, enerji yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği çatlama yüküne karşılık gelen yer değiştirme miktarında da hesaplanmış ve değerlendirilmiştir.

Deneysel çalışmada, beton dolgu duvara ait malzeme sabitleri kullanılarak, çatlama yüküne kadar oluşan hasar seviyesinde, düzlem şekil değiştirme hali kabulüyle, dolgu duvarda oluşan ortalama kayma gerilmeleri hesaplanarak dayanım esaslı değerlendirme yapılmıştır. Çalışmada ayrıca, ankraj çubukları kullanılarak yapılan deneylerde, dolgu duvar ile çerçeve arasındaki birleşimi sağlayan ankraj çubuklarına birim şekil değiştirme ölçerler yapıştırılmış ve ankraj çubuklarından geçen düzlem gerilmeler ile ankraj çubukları vasıtasıyla dolgu duvarına iletilen normal yükler hesaplanarak dayanım esaslı değerlendirme yapılmıştır. Ön görülen yüklemde eğilmeye çalışan çerçeve ile kaymaya çalışan dolgu duvarının birlikte davranıp davranmadığı tespit edilmiştir.

5.1. Sonuçlar

- Deneysel çalışmalar enerji yutma kapasitesi açısından değerlendirildiğinde, sisteme yerleştirilen ankraj çubuklarının hem çelik çerçeveli hem de betonarme çerçeveli sistemlerde, bu kapasiteyi ankraj çubuksuz sistemlere göre artırdığı tespit edilmiştir.
- Deneysel çalışmalar başlangıç rijitliği açısından değerlendirildiğinde, sisteme yerleştirilen ankraj çubuklarının çelik çerçeveli sistemlerde, bu kapasiteyi ankraj çubuksuz sistemlere göre artırdığı, betonarme çerçeveli sistemlerde azalttığı tespit edilmiştir.

- Dolgu duvarlı ankraj çubuklu çelik çerçevesel sistemlerde, hesaplanan ortalama kayma gerilmesinin, dolgu duvarlı ankraj çubuksuz çelik çerçevesel sistemlere göre fazla değişmediği, dolgu duvarlı ankraj çubuklu betonarme çerçevesel sistemlerde ise, dolgu duvarlı ankraj çubuksuz betonarme çerçevesel sistemlere göre arttığı tespit edilmiştir.
- Ankraj çubuksuz dolgu duvarlı çerçeve sistemlerde yüklemenin yapıldığı köşelerde genellikle köşe kırılması/dolgu ezilmesi davranışı, serbest köşelerde ise dolgu ayrılması davranışı tespit edilmiştir. Ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve sistemlerde ise bu davranışın yerini çekme çatlakları almıştır. Bu sonuçtan, ankraj çubuklarının sistem davranışını azımsanmayacak derecede iyileştirdiği söylenebilir.
- Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerde, dolgu duvar ile çerçeve arasındaki yapışma yeterince sağlanmadığı zaman, çerçevenin dolgu betonunu yeteri derecede saramadığı, dolayısıyla yükün çerçeveden dolgu duvarına aktarılamadığı gözlemlenmiştir.

5.2. Öneriler

- Deneysel çalışmalarda dolgu duvarı beton olarak seçilmiş ve beton malzemesi, model sisteme döküldükten sonra 7 (yedi) gün süreyle kür edilmiştir. Bir başka değişle deneysel çalışmalar, dolgu duvarı karakteristik basınç dayanımının %65'ini sağladığı durumda yapılmış, beklenen davranış elde edilmiştir. Daha gerçekçi yaklaşımların elde edilmesi açısından, seçilen beton malzemesinin 28 (yirmi sekiz) gün süreyle kür edilmesi önemlidir.
- Deneysel programda, ¼ ölçekte tek katlı tek açıklıklı dolgu duvarlı çerçeve sistemi ele alınmıştır. Esasında ele alınan model, ölçek olarak çok küçük kalmaktadır. Daha gerçekçi yaklaşımlar, büyük ölçekli modellerle sağlanabilir.
- Bu çalışmada dolgu duvarlı çerçeve modeli, deney düzeneğinde kendi ağırlığında tutulmuş ve çapraz doğrultuda yüklenmiştir. Deneyde sürtünmeden kaynaklanacak

etkilerin ihmal edilmesi için sistemin tabanına silindir mesnetler yerleştirilmiştir. Deneysel programın ve dolayısıyla elde edilen sonuçların doğruluğu açısından sistemin ayakta rijit bir temel üzerinde olması, yüklemenin yanal olarak ve depremi benzeştiren itme-çekme şeklinde uygulanması daha geçerli sonuçlar verebilir.

KAYNAKLAR

- 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*, 23(5): 685-696, İstanbul.
- Akkuzu, A.V., 2007. Betonarme Çerçevesiz Dolgu Duvarların Deprem Etkisi Altındaki Dinamik Davranışının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Altın, S., 1990. Strengthening of R/C Frames with R/C İnfills. A Doctor of Philosophy Thesis In Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara.
- Ataman, S., 2003. Betonarme Çerçevelerin Betonarme Dolgu Duvarlarla Güçlendirilmesi. Mustafa Kemal Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Hatay.
- Aoyama, H. 1986. Seismic Strengthening of Existing Reinforced Concrete Buildings in Japan. Department of Architecture, Faculty of Engineering, The University of Tokyo, Japan, September.
- Axley, J. W. and Bertero, V.V., 1979. Infill Panels: Their Influence on Seismic Response of Building. Report No EERC 79-28, Earthquake Engineering Research Center, University of CALİFORNİA, Berkeley, California.
- Bayülke, N., 2001. Depreme Dayanıklı Betonarme ve Yığma Yapı Tasarımı. İnşaat Mühendisleri Odası, İzmir Şubesi, İzmir.
- Bayülke, N., 2003. Betonarme Yapının Dolgu Duvarı. TMH-Türkiye Mühendislik Haberleri, sayı: 426, sayfa: 85-98.
- Bayülke, N., Köksal, T.S., Yazgan, A.U., Çeken, U., Kocaman, C., Kuran, F., 2003. Özel Biçimde Şekil Verilmiş Gaz beton Bloklarla Yapılmış Yığma Bir Yapının Sarsma Tablası Deneyi Raporu. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı.
- Benjamin, J.R., Williams, H.A., 1957. The Behavior of One-Story Reinforced Concrete Shear Walls. *Proceedings of ASCE*, Cilt: 83, No: S.T.3., Makale No: 1254.
- Benjamin, J.R., Williams, H.A., 1958. The Behaviour of One-Story Brick Shear Walls. *ASCE, Journal of Structural Division*, 84(4): 1723-1908.
- Broken, S.T., and Bertero, V.V., 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.
- Budak, A., 1997. Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Malzeme Bakımından Doğrusal Olmayan Hesabı. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Celep, Z., Gençoğlu, M., 2003. Deprem Etkisindeki Betonarme Çerçeve Taşıyıcı Sistem Davranışına Bölme Duvarların Etkisi. 5.Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 26-30 Mayıs, AT21, 1-9.
- Cifuentes, A.O., 1984. System Identification of Hysteretic Structures. A Report on Research Conducted under a Grant from the National Science Foundation. California Institute of Technology, Earthquake Engineering Research Laboratory. EERL 84-04, Pasadena, California.
- Combescure, D., Pegon, P., 1999. Application of Local to Global Approach to the Study of Infilled Frame Structure under Seismic Loading, Vol 196, pp: 17-40.

- Corley, W., G., Fiorato, A., E., Oesterle, R., G., Scanlon, A., 1981. Evaluation, Repair, and Strengthening of Reinforced Concrete Buildings. Proceedings of the US/PRC Workshop on Seismic Analysis and Design of Reinforced Concrete Structures, p. 227-251, Ann, Arbor, Michigan, USA.
- Çağlayan, E., 2006. Betonarme Çerçevelerin Yatay Yüklere Göre Analizinde Dolgu Duvar Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- Çıtıptıoğlu, E., Yılmaz, Ç., Akkaş, N., ve Değer, M., 1997, Taşıyıcı Olmayan Bölme Duvarların Deprem Davranışına Katkıları ve Sonuçların Deprem Yönetmeliğine Uyarlanması, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi, Nisan, Proje No: ITAG/TOKI-531, Ankara.
- Dedier Combescure, Pierre Pegon, 1999. Application of Local-to-global Approach to The Study of Infilled Frame Structure under Seismic Loading, Vol., 196, pp., 17-40.
- Düzgün, M., 1988. Dolgu Duvarlı Düzlemsel Çerçevelerin Farklı Yüklemeler Altındaki Davranışının Analizi İçin Yaklaşık Bir Hesap Yöntemi. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Ersoy, U., Uzsoy, Ş., Aktan, E., 1971. Dolgulu Çerçevelerin Davranış ve Mukavemeti. TÜBİTAK, PROJE MAG-205 Ankara.
- Fiorata, A.E., Sözen, M.A. and Gamble, W.L., 1970. An Investigation of the Interaction of Reinforced Concrete Frames with Masonry Filler Walls. University of Illinois.
- Gaynor, P.J., 1988. The Effect of Openings on the Cyclic Behavior of Reinforced Concrete Infilled Shear Walls. Master of Science Thesis, The University of Texas at Austin.
- Govindan, P., Lakshmipathy, M., Santhakumar, A.R., 1986, Ductility of Infilled Frames, ACI Journal, July- August 1986, 567-576.
- Harpal, S., Paul, D.K., Sastry, V.V., 1998. Inelastic Dynamic Response of Concrete Infilled Frames, Vol 69(1998), 685-693.
- Hayashi, T., Niwa, H., Fukuhara, M., 1980. The Strengthening Methods of the Existing Reinforced Concrete Buildings. Proceedings of the Seventh WCEE, Volume 7, p. 89-96, Istanbul, Turkey, September.
- Higashi, Y., Endo, T., Ohkubo, M., and Shimizu, Y. 1980. Experimental Study on Strengthening Reinforced Concrete Structure by Adding Shear Wall. Proceedings of the Seventh WCEE, Volume 7, p. 173-180, Istanbul, Turkey, September.
- Holmes, M., 1961. Steel Frames with Brickwork and Concrete Infilling. Institution of Civil Engineers (ICE), Vol, 19, pp. 473-478.
- Kahn, L., F., 1976. Reinforced Concrete Infilled Shear Walls for Aseismic Strengthening. UMME, 76R1. The University of Michigan. USA.
- Kaltakci, M. Y., Köken, A., 2003. Tersinir Yükleme Altındaki Çok Katlı Ve Çok Açıklıklı Dolgu Duvarlı Çelik Çerçevelerin Davranışının Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi, Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü. Konya.
- Kara, M.E., 2006. Sünek Olmayan Betonarme Çerçevelerin Betonarme Parçasal Dolgu Duvarlarıyla Güçlendirilmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Karaduman, A., 1998. Dolgu Duvarlarının Çerçevesinin Yatay Yükler Altındaki Davranışlarına Etkileri. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Karaduman, A., 2005. Dolgu Duvarlı Çerçevesinin Yatay Yükler Altındaki Davranışları Üzerine Deneysel Bir Çalışma. Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt:11, Sayı:3, Sayfa:345-349.
- Karşlıoğlu, Ö., 2005. Çok Katlı Binalarda Bulunan Tuğla Dolgu Duvarların Yapı Davranışına Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Kızıloğlu, M.Y., 2006. Deprem Etkisi Altında Dolgu Duvarların Betonarme Çerçeve Yapılar Üzerindeki Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Klingner, R.E., and Bertero, V.V., 1976. Infilled Frames in Earthquake Resistant Construction. Report No. EERC 76-32, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California.
- Korkmaz, A., Kayhan, A.H., 2008. Yer Değiştirme Esaslı Yöntemlerin Elastik ve Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz Yöntemleriyle Karşılaştırılması. Trakya Univ J Sci, 9(1):7-13, Edirne.
- Liauw, T.C., 1979. Test on Multistory Infilled Frames Subjected to Dynamic Lateral Loading. ACI Journal, Vol 76, No 4, 551p.
- Liauw, T.C., Kwan K.H., 1982. Non-Linear Analysis of Multistorey Infilled Frames. Proc. Instn Civ. Engrs, Part 2, 73, 441-454.
- Liauw, T.C., Lo C.Q., 1988. On Multibay Infilled Frames. Proc. Instn Civ. Engrs, Part 2, 85, 469-483 (Structural Engineering Group).
- Mallick, D.V. and Severn, R.T., 1967. The Behavior of Infilled Frames Under Static Loading. Institution of Civil Engineering, Vol 38, pp. 639-956.
- Mehrabi, A., Shing, P., and others, 1996. Experimental Evaluation of Masonry-Infilled RC Frames. Journal of Structural Engineering, p., 228.
- Negro, P., Verzaletti, G., 1996. Effect of Infills on the Global Behaviour of R/C Frames: Energy Considerations from Pseudo-Dynamic Tests. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 25, 753-773.
- Negro, P., Colombo, A., 1997. Irregularities Induced by Nonstructural Masonry Panels in Framed Buildings. Engineering Structures, Vol. 19, No. 7, pp. 576-585.
- Ogata, K., Kabeyasawa, T., 1984. Experimental Study on the Hysteretic Behavior of Reinforced Concrete Shear Walls under the Loading of Different Moment-to-Shear Ratios. Transactions of the Japan Concrete Institute, Volume 6.
- Orbay, A., 2001. Dolgulu Çerçevesinin Dayanım ve Davranışı Bir Yaklaşık Hesaplama Yöntemi Eldeleri. XII. Ulusal Mekanik Kongresi, Konya.
- Pauley, T., Priestley, N., 1992. Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings. Wiley International Public, p., 584-592.
- Peynirci, R., 2007. Betonarme Çerçeve Sistemlerde Dolgu Duvarların Deprem Davranışına Katkısı. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi, Afyon.
- Phan, L.T, Todd, D. R., and Lew, H. S. 1993. Strengthening Methodology For Lightly Reinforced Concrete Frames – I, NISTIR 5128, National Institute of Standards and Technology, February.

- Phan, L.T., Geraldine S., Cheek, Diana R., Todd, D.R., 1995. Strengthening Methodology For Lightly Reinforced Concrete Frames: Recommended Design Guidelines For Strengthening With Infill Walls. Building M-D Fire Research Laboratory, National Institute Of Standards And Technology Gaithersburg, Md 20899.
- Poland C.D., Hom D.B., 1997. Opportunities and Pitfalls of Performance Based Seismic Engineering. Proceedings of the International Workshop on Seismic Design Methodologies for the Next Generation of Codes, pp.69-78, Slovenia.
- Richard, E.A., 1994. Behavior of reinforced concrete frames with masonry walls, Ph.D. Thesis, University of Illinois, p.211, Urbana.
- Riddington, J.R., and Stafford, S.B., 1977. Analysis of Infilled Frames Subjected to Racking with Desing Recommendations. The Structural Engineer.
- Shah, S.N., 1989. Evaluation of Infill Wall Strengthening Schemes for Non-Ductile Reinforced Concrete Buildings. Master of Science Thesis, The University of Texas at Austin.
- Sivri, M., 2003. Dolgulu Çerçevelerin Deprem Davranışı. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Smith, B.S., 1962. Lateral Stifness of Infilled Frames. ASCE Structural Division Journal, pp. 183-199.
- Smith, B.S. and Carter, C., 1969. A Method of Analysisfor Infilled Frames. Institution of Civil Engineers (ICE), Vol. 44, pp. 31-48.
- Stafford-Smith, B., and C. Carter, 1969. A Method of Analysis for Infilled Frames. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Vol. 44.
- Stafford-Smith, B., 1966. Behavior of Square Infilled Frames. J. Struct. Engrg., May, vol 92, pp 183-193.
- Sucuoğlu, H., 2006. 2007 Deprem Yönetmeliği Performans Esaslı Hesap Yöntemlerinin Karşılıklı Değerlendirmesi. Türkiye Mühendislik Haberleri / Sayı: 444-445 - 2006/4-5, s: 24-36.
- Sugano, S., Fujimura, M., 1980. Aseismic Strengthening of Existing Reinforced Concrete Buildings. Proceedings of the Seventh WCEE. Volume 4. p.449-456. İstanbul. Turkey, September.
- Türk, M.A., 1998. Rehabilitation of Reinforced Concrete Infill Walls. A Doctor of Philosophy Thesis in Civil Engineering, Boğaziçi University, Turkey.
- Tüzün, C., 1999. Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçeve Sistemlerin Dinamik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Yalçın, E., 1999. Dolgu Duvarların ve Konumlarının Çok Katlı Betonarme Yapıların Deprem Kuvvetleri Altındaki Davranışına Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yoichi, R., Toneo, E., Masamichi, O., 1980. Experimental Study on Strengthening Reinforced Concrete Structure by Adding Shear Wall. Proceeding of the 7th WCEE, Vol.7, İstanbul, Turkey, pp.173-180.
- Yüzügüllü, O., 1980. Multiple Precast Reinforced Concrete Panels for Aseismic Strengthening of Reinforced Concrete Frames. Proceeding of 7th WCEE, Vol.6, İstanbul, Turkey.

ÖZGEÇMİŞ

1974 yılında Erzurum'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Erzurum ilinde tamamladı. 1993 yılında kazandığı Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünden 1997 yılında mezun oldu. 1997 ve 1998 yıllarında Ekşioğulları A.Ş. Firması tarafından yaptırılan 1. Kısım 300 Daireli 100 m² Lojman İnşaatı işinde Saha Mühendisliği ve Şantiye Şefliği yaptı. 1998 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitime başladı. Aynı yıl Kars Devlet Su İşleri 24. Bölge Müdürlüğü'nde Kontrol Mühendisi olarak göreve başladı Göreve başladığı Kurumda Kontrol Mühendisliği görevinin yanında 2000 ve 2001 yıllarında Kati Proje Mühendisliği yaptı. 2002 yılında Erzurum Devlet Su İşleri 8. Bölge Müdürlüğü'ne naklen geçiş yaptı. 2003 yılında Yüksek Lisansını tamamlayarak Doktora eğitimine başladı. Halen Erzurum Devlet Su İşleri 8. Bölge Müdürlüğü, Proje ve İnşaat Şube Müdürlüğü'nde İnşaat Yüksek Mühendisi olarak görev yapmaktadır. Atila KUMBASAROĞLU evli ve bir çocuk babasıdır.