



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME DOLGU DUVARLA GÜÇLENDİRİLMİŞ DEPREM DAVRANIŞI YETERSİZ BETONARME ÇERÇEVELERİN DAVRANIŞINA PENCERE BOŞLUKLARININ ETKİSİ

Fatih Süleyman BALIK

DOKTORA TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık-2012
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

DOKTORA TEZİ

BETONARME DOLGU DUVARLA GÜÇLENDİRİLMİŞ DEPREM DAVRANIŞI YETERSİZ BETONARME ÇERÇEVELERİN DAVRANIŞINA PENCERE BOŞLUKLARININ ETKİSİ

Fatih Süleyman BALIK

Selçuk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mehmet KAMANLI
Yardımcı Danışman: Doç. Dr. H. Hüsnü KORKMAZ

2012, 222 Sayfa

Jüri
Doç. Dr. Mehmet KAMANLI
Prof. Dr. M. Yaşar KALTAKCI
Yrd. Doç. Dr. S. Zerrin KORKMAZ
Doç. Dr. M. Hakan ARSLAN
Yrd. Doç. Dr. M. Alpaslan KÖROĞLU

Son yıllarda meydana gelen depremler önemli can kayıplarına ve ciddi yapısal hasarların oluşmasına neden olmuştur. Türkiye'de binlerce betonarme yapı çeşitli eksiklikleri nedeni ile ağır hasar görmüş veya tamamen yıkılmıştır. Yerinde dökme betonarme dolgu duvar ile betonarme çerçevelerin güçlendirilmesi pratikte sıkça kullanılan bir metottur. Son yaşanan depremlerden sonra birçok yapının onarımında bu yöntem kullanılmıştır. Bu deneysel çalışmada, 6 adet, tek açıklıklı, iki katlı, 1/3 ölçekli sünek olmayan betonarme çerçeve üretilmiş ve pencere boşluklu veya boşluksuz dolgu duvar ile güçlendirilerek davranışları araştırılmıştır. Bu deney numuneleri depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Deney numuneleri Türkiye'deki betonarme yapılarda çoğunlukla gözlemlenen eksiklikleri yansıtacak şekilde üretilmiştir. İlk deney numunesi güçlendirme uygulaması yapılmamış referans numunedir. Diğer numuneler ise farklı pencere boşluk oranlarına ve konumuna sahip betonarme dolgu duvarlı numunelerdir.

Yapılan deneylerin sonuçları betonarme dolgu duvarların, dayanım, rijitlik, enerji tüketme ve süneklik üzerindeki etkilerini ortaya koyacak şekilde değerlendirilmiştir. Deney sonuçları, betonarme dolgu duvarlı numunelerin, boş çerçeveli numuneden daha fazla yatay yük dayanımına ve rijitliğe sahip olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Deprem davranışı, B/A çerçeve, güçlendirme, pencere boşluklu B/A dolgu duvarlar, tersinir-tekrarlanır yatay yükleme

ABSTRACT

Ph.D THESIS

WINDOW OPENING EFFECTS IN STRENGTHENING OF RC FRAMES WITH INADEQUATE EQ PERFORMANCE BY USING RC SHEAR WALL

Fatih Suleyman BALIK

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

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet KAMANLI
Co Advisor: Assoc. Prof. Dr. H. Hüsnü KORKMAZ

2012, 222 Pages

Jury
Assoc. Prof. Dr. Mehmet KAMANLI
Prof. Dr. M. Yaşar KALTAKCI
Asst. Prof. Dr. S. Zerrin KORKMAZ
Assoc. Prof. Dr. M. Hakan ARSLAN
Asst. Prof. Dr. M. Alpaslan KÖROĞLU

In the recent years, big major earthquakes caused significant casualties and extensive structural failures. Thousands of reinforced concrete buildings were severely damaged or collapsed in Turkey due to various deficiencies. Strengthening of reinforced concrete frames by cast-in-place reinforced concrete infills is commonly used in practice. Many structures were also repaired using this technique after the recent earthquakes. In this experimental research, six, one-bay/two-story, 1/3-scaled nonductile, undamaged reinforced concrete frames were constructed and tested to investigate the behavior of frames strengthened by introducing infills with or without openings. The test specimens were subjected to reversed cyclic loading simulating the seismic action. The specimens were constructed with the most commonly observed deficiencies in residential reinforced concrete buildings in Turkey. The first specimen was the reference specimen and contained no strengthening. The other specimens were infilled with reinforced concrete panels with openings having different ratios and configurations.

Experimental results were evaluated to understand the effect of reinforced concrete infill wall on strength, stiffness, energy dissipation and ductility. Test results indicated that infilled RC frames displayed significantly higher lateral strength and stiffness than the nonductile reference specimen considerably.

Keywords: Seismic behavior, RC frame, strengthening, RC shear walls with windows openings, reversed cyclic lateral loading

ÖNSÖZ

Yaşadığımız yerkürede, çeşitli zamanlarda ve çeşitli sebeplerden dolayı birçok doğa olayı meydana gelmektedir. Oluşumu engellenemeyen bu doğa olaylarına karşı gerekli tedbirler alınmadığı takdirde, büyük tahribatlara neden olan doğal felaketler yaşanabilmektedir. Ülkemizde doğal felaket kavramı ise geçmişte yaşamış olduğumuz acı tecrübelere bağlı olarak deprem kavramı ile özdeş hale gelmiştir.

Türkiye sahip olduğu jeolojik yapısı itibariyle, gelecekte de sık sık depremlerin meydana gelebileceği ülkeler arasında yer almaktadır. Bu nedenle meydana gelebilecek depremlerde ortaya çıkacak olan zarar boyutunun azaltılmasında, deprem davranışı yetersiz yapıların güçlendirilmesi önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu gerçeğin bilincinde olan üniversitelerimiz bünyesinde, altmışlı yıllardan itibaren bu konuyla ilgili birçok çalışma yapılmış ve çeşitli güçlendirme yöntemleri geliştirilmiştir. Yapıların deprem davranışlarının iyileştirilmesi için yapılan güçlendirme çalışmalarında, yapıların mevcut fonksiyonelliklerinin de korunması önemli bir husustur. Bu nedenle günümüzde konuyla ilgili yapılan çalışmalar da bu yönde şekillenmeye başlamıştır.

Güçlendirme çalışmalarında gerçekleşen bu gelişmeye paralel düşünceyle hazırlamış olduğum doktora çalışmamın her aşamasında, büyük emeği geçen danışman hocam Doç. Dr. Mehmet KAMANLI'ya ve tez ikinci danışman hocam Doç. Dr. H. Hüsnü KORKMAZ'a öncelikle sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışmama fikirleriyle destek olan Prof. Dr. M. Yaşar KALTAKCI'ya ve Yrd. Doç. Dr. S. Zerrin KORKMAZ'a teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, Öğr. Gör. Fatih BAHADIR'a, Arş. Gör. Alptuğ ÜNAL'a, laboratuvar çalışmalarımda emeği geçen Yüksel ÇİFTÇİ'ye ve Alaaddin ALTUNTAŞ'a teşekkürlerimi sunarım. Yine çalışmalarım boyunca desteklerini ve dualarını her zaman yanımda hissettiğim sevgili anneme, sevgili eşime ve biricik oğluma sonsuz şükranlarımı sunarım. Bu tez çalışmasını, maddi olarak destekleyen Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne de ayrıca teşekkür ederim.

Fatih Süleyman BALIK
KONYA-2012

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

ÇİZELGELER LİSTESİ ..... **xi**

ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **xiii**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Betonarme Yapılardaki Tasarım ve Yapım Kusurları 3
1.2. Onarım ve Güçlendirme 7
1.2.1. Betonarme yapıların güçlendirilmesinde kullanılan yöntemler 9
1.2.2. Betonarme yapıların onarım ve güçlendirilmesinde kullanılan malzemeler 19
1.3. Çalışmanın Amacı ve Önemi 22

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **24**

3. MATERYAL VE YÖNTEM **39**

3.1. Deney Numunelerinin Detayları 41
3.1.1. Dolgu duvarsız betonarme çerçeve 41
3.1.2. Betonarme dolgu duvarla güçlendirilmiş numuneler 46
3.1.3. Deney numunelerinin üretiminde kullanılan malzemelerin özellikleri 65
3.2. Deney Düzeneği, Ölçüm Tekniği ve Ölçümlerin değerlendirilmesi 66
3.2.1. Yükleme düzeneği 66
3.2.2. Ölçüm tekniği 76
3.2.3. Ölçümlerin değerlendirilmesi 78

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA **88**

4.1. Deney Sonuçları 89
4.1.1. Dolgu duvarsız betonarme çerçeve 89
4.1.2. Kolona bitişik pencere boşluklu (600x350 mm), B/A dolgu duvarlı numune 104
4.1.3. Ortadan pencere boşluklu (400x350 mm), B/A dolgu duvarlı numune 121
4.1.4. Kolona bitişik pencere boşluklu (400x350 mm), B/A dolgu duvarlı numune 138
4.1.5. Ortadan pencere boşluklu (600x350 mm), B/A dolgu duvarlı numune 154
4.1.6. Pencere boşluksuz betonarme dolgu duvarlı numune 170
4.2. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması 186
4.2.1. Grup 1'de yer alan numunelerinin karşılaştırılması 187
4.2.2. Grup 2'de yer alan numunelerinin karşılaştırılması 193
4.2.3. Çalışma kapsamındaki tüm numunelerin karşılaştırılması 199

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....207

5.1. Sonuçlar 208
5.2. Öneriler 211

KAYNAKLAR 214

ÖZGEÇMİŞ.....223

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A_c : Kolonlarda tüm kesit beton alanı

A_{st} : Toplam çekme donatısı kesit alanı

b_w : Kiriş gövde genişliği veya perde duvar kalınlığı

d : Kiriş faydalı yüksekliği

$f_{c\ 28.gün}$: 28. gün beton basınç dayanımı

f_{cm} : Beton ortalama basınç dayanımı

f_{ctd} : Beton tasarım eksenel çekme dayanımı

f_{su} : Boyuna donatı kopma dayanımı

f_y : Boyuna donatı akma dayanımı

f_{yd} : Boyuna donatı tasarım akma dayanımı

f_{yk} : Boyuna donatı karakteristik akma dayanımı

F_t : Hidrolik krikoyla uygulanan toplam yatay yük

F_1 : Üst kata uygulanan toplam yatay yük

F_2 : Alt kata uygulanan toplam yatay yük

F_i : Deneylerin itme ve çekme çevrimlerinde ölçülen yatay yük değerleri

f_1 ve f_2 : Deneylerin itme ve çekme çevrimlerinde anlık yük okumaları

h : Kiriş toplam yüksekliği veya kat yüksekliği

H_w : Perde duvar yüksekliği

l_w : Perde duvarın plandaki uzunluğu

Nd : Tasarım eksenel kuvveti

s : Enine donatı aralığı

Δ_1 : Üst kat deplasmanı

Δ_2 : Alt kat deplasmanı

Δ_3 : Temelde ölçülen deplasman

Δ_1* : Üst kat hizasına indirgenmiş deplasman değeri

Δ_2* : Alt kat hizasına indirgenmiş deplasman değeri

Δ_{g1}* : Alt kat göreceli kat ötelenmesi

Δ_{g2}* : Üst kat göreceli kat ötelenmesi

δ_i : Deneylerin itme ve çekme çevrimlerinde ölçülen yatay deplasman değerleri

δ_u : Numunenin göçme anındaki maksimum yatay deplasman değeri

δ_y : Numunenin akma anındaki maksimum yatay deplasman değeri

μ_s : Numuneye ait deplasman süneklik oranı

ρ : Çekme donatısı oranı

ρ_{min} : Minimum çekme donatısı oranı

ρ_{kolon} : Kolonlarda ankraj donatısı oranı

$\rho_{kiriş}$: Kirişlerde ankraj donatısı oranı

ρ_d : Perdelerde düşey gövde donatısı oranı

ρ_y : Perdelerde yatay gövde donatısı oranı

ϕ_i : Rijitlik değeri

ϕl : En küçük veya en büyük boyuna donatı çapı

Kısaltmalar

DBYBHY 2007 : Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik

ABYYHY 1998 : Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

AFAD : Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı

B/A : Betonarme

ISWF : Tam betonarme dolgu duvarlı numune

ISWMBW : Betonarme dolgu duvarlı ortada büyük pencereli numune

ISWMSW : Betonarme dolgu duvarlı ortada küçük pencereli numune

ISWSBW : Betonarme dolgu duvarlı kenarda büyük pencereli numune

ISWSSW : Betonarme dolgu duvarlı kenarda küçük pencereli numune

LVDT : Linear variable differential transformer

RS : Dolgu duvarsız betonarme çerçeve (Referans numune)

UDSEP : Ulusal Deprem Stratejisi ve Eylem Planı 2012-2023

TS500-2000 : Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1.1. Türkiye'de son 20 yılda meydana gelen önemli depremler 2
Çizelge 3.1. Deney numuneleri ve deneysel değişkenler 40
Çizelge 3.2. Betonarme dolgu duvarlarda kullanılan hasır çeliğin özellikleri.....47
Çizelge 3.3. Deney numunelerinde kullanılan ankraj donatıları.....51
Çizelge 3.4. Deney numunelerinin B/A dolgu duvarlarında kullanılan gövde donatıları 52
Çizelge 3.5. Çerçevelerin üretiminde kullanılan betonun ortalama basınç dayanımı.....65
Çizelge 3.6. Güçlendirme işlemlerinde kullanılan betonun ortalama basınç dayanımı..65
Çizelge 3.7. Donatı çubuklarının test sonuçları 65
Çizelge 3.8. Epoksi esaslı montaj malzemesine ait bazı özellikler.....66
Çizelge 4.1. Deney numunesi 1'de, yük çevrimlerine göre çatlakların dağılımı.....92
Çizelge 4.2. Deney numunesi 2'de, yük çevrimlerine göre çatlakların dağılımı.....107
Çizelge 4.3. Deney numunesi 3'de, yük çevrimlerine göre çatlakların dağılımı.....124
Çizelge 4.4. Deney numunesi 4'de, yük çevrimlerine göre çatlakların dağılımı.....141
Çizelge 4.5. Deney numunesi 5'de, yük çevrimlerine göre çatlakların dağılımı.....157
Çizelge 4.6. Deney numunesi 6'da, yük çevrimlerine göre çatlakların dağılımı.....173
Çizelge 4.7. Numuneler arasında oluşturulan karşılaştırma grupları.....187
Çizelge 4.8. Numunelerin yatay yük taşıma kapasitelerindeki artış oranları (Grup 1).189
Çizelge 4.9. İtme ve çekme çevrimleri için numunelere ait süneklik oranları (Grup 1) 190
Çizelge 4.10. 1. çevrimdeki, maksimum yükteki rijitlik değerleri ve hesaplanan rijitlik oranları (Grup 1) 191
Çizelge 4.11. İtme yönü için kümülatif toplam tüketilen enerji değerleri ve oranları (Grup1) 193
Çizelge 4.12. Çekme yönü için kümülatif toplam tüketilen enerji değerleri ve oranları (Grup1) 193
Çizelge 4.13. Numunelerin yatay yük taşıma kapasitelerindeki artış oranları (Grup 2) 195
Çizelge 4.14. İtme ve çekme çevrimleri için numunelere ait süneklik oranları (Grup 2) 196
Çizelge 4.15. 1. çevrimdeki, maksimum yükteki rijitlik değerleri ve hesaplanan rijitlik oranları (Grup 2) 197

Çizelge 4.16. İtme yönü için kümülatif toplam tüketilen enerji değerleri ve oranları (Grup2) 199
Çizelge 4.17. Çekme yönü için kümülatif toplam tüketilen enerji değerleri ve oranları (Grup2) 199
Çizelge 4.18. Deney numunelerinin yatay yük taşıma kapasitelerindeki artış oranları 201
Çizelge 4.19. Tüm numunelere ait, itme ve çekme çevrimleri için süneklik oranları ..202
Çizelge 4.20. Tüm numuneler için rijitlik değerleri ve hesaplanan rijitlik azalımı oranları..... 203
Çizelge 4.21. Tüm numuneler için eğim açısı değerleri ve hesaplanan eğim açısı azalımı oranları..... 204
Çizelge 4.22. İtme yönü için tüm numunelere ait kümülatif toplam tüketilen enerji değerleri ve oranları..... 206
Çizelge 4.23. Çekme yönü için tüm numunelere ait kümülatif toplam tüketilen enerji değerleri ve oranları..... 206

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Türkiye deprem bölgeleri haritası 2
Şekil 1.2. Türkiye'deki binalarla ilgili bazı istatiksel veriler 4
Şekil 1.3. Yapım kusurlarına ait bazı fotoğraflar.....5
Şekil 1.4. Tasarım kusurlarına ait bazı fotoğraflar.....6
Şekil 1.5. Yapılarda kullanım süresi içerisinde yapılan hatalara ait bazı fotoğraflar 7
Şekil 1.6. Kolonlarda çelik sargı uygulaması ile güçlendirme 10
Şekil 1.7. Kolonlarda Lifli Polimer uygulaması ile güçlendirme 11
Şekil 1.8. Kolonların betonarme mantolama ile güçlendirilmesi.....11
Şekil 1.9. Kirişe dıştan etriye ekleme.....12
Şekil 1.10. Lifli Polimer ile kiriş sarma 12
Şekil 1.11. Dolgu duvarların hasır çelik donatılı özel sıva ile güçlendirilmesi.....13
Şekil 1.12. Dolgu duvarlarının lifli polimerler ile güçlendirilmesi.....13
Şekil 1.13. Dolgu duvarların ön üretimli beton panellerle güçlendirilmesi 14
Şekil 1.14. B/A çerçeve düzlemi içerisine B/A perde eklenmesi 15
Şekil 1.15. B/A çerçeve düzlemine bitişik betonarme perde eklenmesi 16
Şekil 1.16. Çerçeve düzlemine bitişik betonarme perde ile güçlendirme 16
Şekil 1.17. Sismik izolatörler.....17
Şekil 1.18. B/A çerçeve düzlemi içerisine çelik çaprazların eklenmesi.....18
Şekil 1.19. B/A çerçeve düzlemine bitişik çelik çaprazların eklenmesi 19
Şekil 1.20. Epoksi esaslı enjeksiyon malzemesinin uygulanışı 19
Şekil 1.21. Epoksi esaslı tamir, ankraj ve montaj harcı uygulanışı 20
Şekil 1.22. Epoksi esaslı yapısal tamir harcı uygulanışı 20
Şekil 1.23. Çimento esaslı yapısal tamir harcı uygulanışı.....21
Şekil 1.24. Lifli polimerle güçlendirmede kullanılan epoksi yapıştırıcı 21
Şekil 3.1. Yapılarda uygulanan bazı pencere çeşitleri.....41
Şekil 3.2. Betonarme çerçevelerin donatı ve boyut detayları 42
Şekil 3.3. Betonarme çerçevelerin üretilmesine ait bazı fotoğraflar.....45
Şekil 3.4. Ankraj donatılarının ve deliklerin hazırlanarak donatıların ekilmesi.....48
Şekil 3.5. Gövde donatılarının betonarme çerçeve içine yerleştirilmiş hali.....49
Şekil 3.6. B/A dolgu duvarlar için hazırlanan kalıp sistemi.....50
Şekil 3.7. B/A dolgu duvarlı numunelerin kalıpları söküldükten sonra görünümleri.....50
Şekil 3.8. Deney numunesi 2'ye ait boyut ve donatı detayları 55

Şekil 3.9. Deney numunesi 2'ye ait ankraj donatısı detayları 56
Şekil 3.10. Deney numunesi 3'e ait boyut ve donatı detayları 57
Şekil 3.11. Deney numunesi 3'e ait ankraj donatısı detayları 58
Şekil 3.12. Deney numunesi 4'e ait boyut ve donatı detayları 59
Şekil 3.13. Deney numunesi 4'e ait ankraj donatısı detayları 60
Şekil 3.14. Deney numunesi 5'e ait boyut ve donatı detayları 61
Şekil 3.15. Deney numunesi 5'e ait ankraj donatısı detayları 62
Şekil 3.16. Deney numunesi 6'ya ait boyut ve donatı detayları 63
Şekil 3.17. Deney numunesi 6'ya ait ankraj donatısı detayları.....64
Şekil 3.18. Yük dağıtma aparatı, mafsallı yük aktarma levhaları, yük hücresi ve hidrolik kriko.....68
Şekil 3.19. Çekme çevrimlerinde yük aktarımı sağlayan levha ve mafsallı gergi milleri 69
Şekil 3.20. Eksenel yükleme sistemi.....70
Şekil 3.21. Numunelerinin düzlem dışı hareketlerini engelleyen destek elemanları.....71
Şekil 3.22. Yük dağıtma aparatının destek elemanları.....72
Şekil 3.23. Numune temellerinin hareketinin engellenmesi için yapılan uygulama.....73
Şekil 3.24. LVDT iskelesi ve yükleme düzeneğinin genel görünümü.....74
Şekil 3.25. Yükleme düzeneğinin şematik gösterimi.....75
Şekil 3.26. Deneylerde kullanılan veri toplama sistemi.....76
Şekil 3.27. Deneylerde kullanılan yük hücrelerinin sistemdeki yerleri 76
Şekil 3.28. Deneyler için LVDT'lerin numunelere yerleşim düzeni 77
Şekil 3.29. Numunelere uygulanan yatay yüklerin ve deplasman ölçümlerinin isimlendirilmesi.....79
Şekil 3.30. Kat hizalarına indirgenmiş deplasman ölçümlerinin isimlendirilmesi.....79
Şekil 3.31. Rijitlik azalımının belirlenmesi.....81
Şekil 3.32. Eğim açısının hesaplanması 82
Şekil 3.33. Numunelerde tüketilen enerjinin hesaplanması 83
Şekil 3.34. Boşaltma durumunda eğrinin altında kalan alanın çıkarılması 83
Şekil 3.35. Histeresis eğrisi içerisinde kalan alan.....84
Şekil 3.36. Birinci enerji grafiği.....85
Şekil 3.37. İkinci enerji grafiği 86
Şekil 3. 38. Sistem sünekliğinin değerlendirilmesi grafiği 87
Şekil 4.1. Deney numunelerindeki elemanların isimlendirilmesi.....89

Şekil 4.2. Deney Numunesi 1'in deney öncesi görünümü (RS) 90
Şekil 4.3. Deney numunesi 1'e uygulanan yükleme geçmişi grafiği (yatay yüke göre).91
Şekil 4.4. Deney numunesi 1'e uygulanan yükleme geçmişi grafiği (tepe deplasmana göre).....91
Şekil 4.5. Deney numunesi 1'de, itme ve çekme çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar 94
Şekil 4.6. Deney numunesi 1'in, akma konumuna ait görünümü 95
Şekil 4.7. Deney numunesi 1'in, maksimum yükleme sonrası görünümü 96
Şekil 4.8. Deney numunesi 1'in, göçme konumunda ön ve arka yüzden görünümü.....97
Şekil 4.9. Deney numunesi 1'in, göçme konumunda kolon-kiriş birleşim bölgelerinde oluşan hasarlar.....98
Şekil 4.10. Deney numunesi 1'in, göçme konumunda kolon-temel birleşiminde oluşan hasarlar.....99
Şekil 4.11. Deney numunesi 1'de oluşan çatlakların ve hasarların, ön yüzden şematik olarak gösterimi.....100
Şekil 4.12. Deney numunesi 1'de oluşan çatlakların ve hasarların, arka yüzden şematik olarak gösterimi.....100
Şekil 4.13. Toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (RS) 101
Şekil 4.14. Üst kat yatay yükü-üst kat tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi (RS) 101
Şekil 4.15. Alt kat yatay yükü-alt kat tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (RS).....102
Şekil 4.16. Üst kat yatay yükü-üst kat göreceli kat ötelenmesi çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (RS) 102
Şekil 4.17. Alt kat yatay yükü-alt kat göreceli kat ötelenmesi çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (RS) 102
Şekil 4.18. Tüketilen enerji-deplasman grafiği (RS).....103
Şekil 4.19. Rijitlik azalımı grafiği (RS).....103
Şekil 4.20. Her bir çevrimde oluşan eğim açısı (RS).....103
Şekil 4.21. Sistem sünekliğinin değerlendirilmesi grafiği (RS) 104
Şekil 4.22. Deney Numunesi 2'nin deney öncesi görünümü (ISWSBW).....105
Şekil 4.23. Deney numunesi 2'ye uygulanan yükleme geçmişi grafiği (yatay yüke göre) 105

Şekil 4.24. Deney numunesi 2'ye uygulanan yükleme geçmişi grafiği (tepe deplasmana göre).....106
Şekil 4.25. Deney numunesi 2'nin, +4. ve +5. itme çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar111
Şekil 4.26. Deney numunesi 2'nin, akma konumuna ait görünümü 112
Şekil 4.27. Deney numunesi 2'de maksimum yüklemede oluşan çatlakların görünümü 113
Şekil 4.28. Deney numunesi 2'nin, göçme konumuna ait görünümü 114
Şekil 4.29. Deney numunesi 2'nin kirişlerinde oluşan çatlakların deney sonrası görünümü.....115
Şekil 4.30. Deney numunesi 2'de oluşan hasarların deney sonrası görünümü.....116
Şekil 4.31. Deney numunesi 2'nin deney sonrası ön yüzden görünümü 116
Şekil 4.32. Deney numunesi 2'de oluşan çatlakların ve hasarların, ön yüzden şematik olarak gösterimi.....117
Şekil 4.33. Deney numunesi 2'de oluşan çatlakların ve hasarların, arka yüzden şematik olarak gösterimi.....117
Şekil 4.34. Toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWSBW).....118
Şekil 4.35. Üst kat yatay yükü-üst kat tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi (ISWSBW).....118
Şekil 4.36. Alt kat yatay yükü-alt kat tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWSBW) 119
Şekil 4.37. Üst kat yatay yükü-üst kat göreceli kat ötelenmesi çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWSBW).....119
Şekil 4.38. Alt kat yatay yükü-alt kat göreceli kat ötelenmesi çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWSBW).....119
Şekil 4.39. Tüketilen enerji-deplasman grafiği (ISWSBW).....120
Şekil 4.40. Rijitlik azalımı grafiği (ISWSBW).....120
Şekil 4.41. Her bir çevrimde oluşan eğim açısı (ISWSBW) 120
Şekil 4.42. Sistem sünekliğinin değerlendirilmesi grafiği (ISWSBW).....121
Şekil 4.43. Deney Numunesi 3'ün deney öncesi görünümü (ISWMSW).....122
Şekil 4.44. Deney numunesi 3'e uygulanan yükleme geçmişi grafiği (yatay yüke göre) 122
Şekil 4.45. Deney numunesi 3'e uygulanan yükleme geçmişi grafiği (tepe deplasmana göre).....123

Şekil 4.46. Deney numunesi 3'de, -2. ve +3. çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar 128
Şekil 4.47. Deney numunesi 3'ün, akma konumuna ait görünümü 129
Şekil 4.48. Deney numunesi 3'de maksimum yüklemede oluşan çatlakların görünümü 130
Şekil 4.49. Deney numunesi 3'ün, göçme konumuna ait görünümü 131
Şekil 4.50. Deney numunesi 3'ün kirişlerinde oluşan çatlakların deney sonrası görünümü (ön yüz) 132
Şekil 4.51. Deney numunesi 3'de oluşan hasarların deney sonrası görünümü.....132
Şekil 4.52. Deney numunesi 3'ün deney sonrası ön yüzden görünümü.....133
Şekil 4.53. Deney numunesi 3'de oluşan çatlakların ve hasarların, ön yüzden şematik olarak gösterimi.....134
Şekil 4.54. Deney numunesi 3'de oluşan çatlakların ve hasarların, arka yüzden şematik olarak gösterimi.....134
Şekil 4.55. Toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWMSW).....135
Şekil 4.56. Üst kat yatay yükü-üst kat tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi (ISWMSW).....135
Şekil 4.57. Alt kat yatay yükü-alt kat tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWMSW) 136
Şekil 4.58. Üst kat yatay yükü-üst kat göreceli kat ötelenmesi çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWMSW).....136
Şekil 4.59. Alt kat yatay yükü-alt kat göreceli kat ötelenmesi çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWMSW).....136
Şekil 4.60. Tüketilen enerji-deplasman grafiği (ISWMSW).....137
Şekil 4.61. Rijitlik azalımı grafiği (ISWMSW).....137
Şekil 4.62. Her bir çevrimde oluşan eğim açısı (ISWMSW).....137
Şekil 4.63. Sistem sünekliğinin değerlendirilmesi grafiği (ISWMSW).....138
Şekil 4.64. Deney Numunesi 4'ün deney öncesi görünümü (ISWSSW) 139
Şekil 4.65. Deney numunesi 4'e uygulanan yükleme geçmişi grafiği (yatay yüke göre) 139
Şekil 4.66. Deney numunesi 4'e uygulanan yükleme geçmişi grafiği (tepe deplasmana göre).....140
Şekil 4.67. Deney numunesi 4'de, itme ve çekme çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar..145
Şekil 4.68. Deney numunesi 4'ün, akma konumuna ait görünümü 146

Şekil 4.69. Deney numunesi 4'de maksimum yüklemede oluşan çatlakların görünümü 147
Şekil 4.70. Deney numunesi 4'ün, göçme konumuna ait görünümü 148
Şekil 4.71. Deney numunesi 4'ün kirişlerinde oluşan çatlakların ve hasarların deney sonrası görünümü 149
Şekil 4.72. Deney numunesi 4'de oluşan hasarların deney sonrası görünümü.....149
Şekil 4.73. Deney numunesi 4'de oluşan çatlakların ve hasarların, ön yüzden şematik olarak gösterimi.....150
Şekil 4.74. Deney numunesi 4'de oluşan çatlakların ve hasarların, arka yüzden şematik olarak gösterimi.....150
Şekil 4.75. Toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWSSW) 151
Şekil 4.76. Üst kat yatay yükü-üst kat tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi (ISWSSW) 151
Şekil 4.77. Alt kat yatay yükü-alt kat tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWSSW).....152
Şekil 4.78. Üst kat yatay yükü-üst kat göreceli kat ötelenmesi çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWSSW) 152
Şekil 4.79. Alt kat yatay yükü-alt kat göreceli kat ötelenmesi çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWSSW) 152
Şekil 4.80. Tüketilen enerji-deplasman grafiği (ISWSSW) 153
Şekil 4.81. Rijitlik azalımı grafiği (ISWSSW) 153
Şekil 4.82. Her bir çevrimde oluşan eğim açısı (ISWSSW).....153
Şekil 4.83. Sistem sünekliğinin değerlendirilmesi grafiği (ISWSSW) 154
Şekil 4.84. Deney Numunesi 5'in deney öncesi görünümü (ISWMBW) 155
Şekil 4.85. Deney numunesi 5'e uygulanan yükleme geçmişi grafiği (yatay yüke göre) 155
Şekil 4.86. Deney numunesi 5'e uygulanan yükleme geçmişi grafiği (tepe deplasmana göre).....156
Şekil 4.87. Deney numunesi 5'de, itme ve çekme çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar..160
Şekil 4.88. Deney numunesi 5'in, akma konumuna ait görünümü 161
Şekil 4.89. Deney numunesi 5'de maksimum yüklemede oluşan çatlakların görünümü 162
Şekil 4.90. Deney numunesi 5'in, göçme konumuna ait görünümü 163

Şekil 4.91. Deney numunesi 5'in kirişlerinde oluşan çatlakların deney sonrası görünümü 164
Şekil 4.92. Deney numunesi 5'de oluşan hasarların deney sonrası görünümü.....164
Şekil 4.93. Deney numunesi 5'in deney sonrası ön yüzden görünümü 165
Şekil 4.94. Deney numunesi 5'de oluşan çatlakların ve hasarların, ön yüzden şematik olarak gösterimi.....165
Şekil 4.95. Deney numunesi 5'de oluşan çatlakların ve hasarların, arka yüzden şematik olarak gösterimi.....166
Şekil 4.96. Toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWMBW) 167
Şekil 4.97. Üst kat yatay yükü-üst kat tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi (ISWMBW) 167
Şekil 4.98. Alt kat yatay yükü-alt kat tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWMBW).....167
Şekil 4.99. Üst kat yatay yükü-üst kat göreceli kat ötelenmesi çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWMBW) 168
Şekil 4.100. Alt kat yatay yükü-alt kat göreceli kat ötelenmesi çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWMBW).....168
Şekil 4.101. Tüketilen enerji-deplasman grafiği (ISWMBW).....168
Şekil 4.102. Rijitlik azalımı grafiği (ISWMBW).....169
Şekil 4.103. Her bir çevrimde oluşan eğim açısı (ISWMBW) 169
Şekil 4.104. Sistem sünekliğinin değerlendirilmesi grafiği (ISWMBW).....170
Şekil 4.105. Deney Numunesi 6'nın deney öncesi görünümü (ISWF).....171
Şekil 4.106. Deney numunesi 6'ya uygulanan yükleme geçmişi grafiği (yatay yüke göre).....171
Şekil 4.107. Deney numunesi 6'ya uygulanan yükleme geçmişi grafiği (tepe deplasmana göre) 172
Şekil 4.108. Deney numunesi 6'da, -6 ve +7 çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar 178
Şekil 4.109. Deney numunesi 6'nın, akma konumuna ait görünümü 178
Şekil 4.110. Deney numunesi 6'da maksimum yüklemede oluşan çatlakların görünümü 179
Şekil 4.111. Deney numunesi 6'nın, göçme konumuna ait görünümü 180
Şekil 4.112. Deney numunesi 6'nın kirişlerinde oluşan çatlakların deney sonrası görünümü.....180

Şekil 4.113. Deney numunesi 6'da oluşan hasarların deney sonrası görünümü.....181
Şekil 4.114. Deney numunesi 6'nın deney sonrası ön yüzden görünümü.....181
Şekil 4.115. Deney numunesi 6'da oluşan çatlakların ve hasarların, ön yüzden şematik olarak gösterimi.....182
Şekil 4.116. Deney numunesi 6'da oluşan çatlakların ve hasarların, arka yüzden şematik olarak gösterimi.....182
Şekil 4.117. Toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWF) 183
Şekil 4.118. Üst kat yatay yükü-üst kat tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi (ISWF).....183
Şekil 4.119. Alt kat yatay yükü-alt kat tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWF).....184
Şekil 4.120. Üst kat yatay yükü-üst kat göreceli kat ötelenmesi çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWF) 184
Şekil 4.121. Alt kat yatay yükü-alt kat göreceli kat ötelenmesi çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWF) 184
Şekil 4.122. Tüketilen enerji-deplasman grafiği (ISWF) 185
Şekil 4.123. Rijitlik azalımı grafiği (ISWF) 185
Şekil 4.124. Her bir çevrimde oluşan eğim açısı (ISWF).....185
Şekil 4.125. Sistem sünekliğinin değerlendirilmesi grafiği (ISWF) 186
Şekil 4.126. Toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrileri grafiği (Grup 1).....188
Şekil 4.127. Üst kat yükü-üst kat deplasmanı zarf eğrileri grafiği (Grup 1) 188
Şekil 4.128. Alt kat yükü-alt kat deplasmanı zarf eğrileri grafiği (Grup 1) 189
Şekil 4.129. Sistem sünekliklerinin belirlenmesi için oluşturulan grafikler (Grup1) ...190
Şekil 4.130. Rijitlik azalımı grafikleri (Grup 1) 191
Şekil 4.131. Tüketilen enerji grafikleri (Grup1) 192
Şekil 4.132. Toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrileri grafiği (Grup 2).....194
Şekil 4.133. Üst kat yükü-üst kat deplasmanı zarf eğrileri grafiği (Grup 2) 194
Şekil 4.134. Alt kat yükü-alt kat deplasmanı zarf eğrileri grafiği (Grup 2) 195
Şekil 4.135. Sistem sünekliklerinin belirlenmesi için oluşturulan grafikler (Grup2) ...196
Şekil 4.136. Rijitlik azalımı grafikleri (Grup 2) 197
Şekil 4.137. Tüketilen enerji grafikleri (Grup 2) 198
Şekil 4.138. Tüm numunelere ait toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrileri grafiği 200

Şekil 4.139. Tüm numunelere ait üst kat yükü-üst kat deplasmanı zarf eğrileri grafiği 200
Şekil 4.140. Tüm numunelere ait alt kat yükü-alt kat deplasmanı zarf eğrileri grafiği 201
Şekil 4.141. Tüm numunelere ait rijitlik azalımı grafikleri.....202
Şekil 4.142. Tüm numunelere ait eğim açısı grafikleri 203
Şekil 4.143. Tüm numunelere ait kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği 205
Şekil 4.144. Tüm numunelere ait kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği (çevrimlere göre).....205

1. GİRİŞ

Varoluşlarından itibaren insanlar, beslenme, barınma gibi gereksinimlerini karşılamak üzere çeşitli yapı malzemeleri, yapı gereçleri ve yapım teknikleri kullanarak yeraltında ve yerüstünde değişik şekilde yapıları meydana getirmişlerdir. Zamanla insanlar meydana getirdikleri bu yapılarda genel olarak şu özelliklerin olmasını istemişlerdir;

a) Planlanan amaca uygun olmaları,

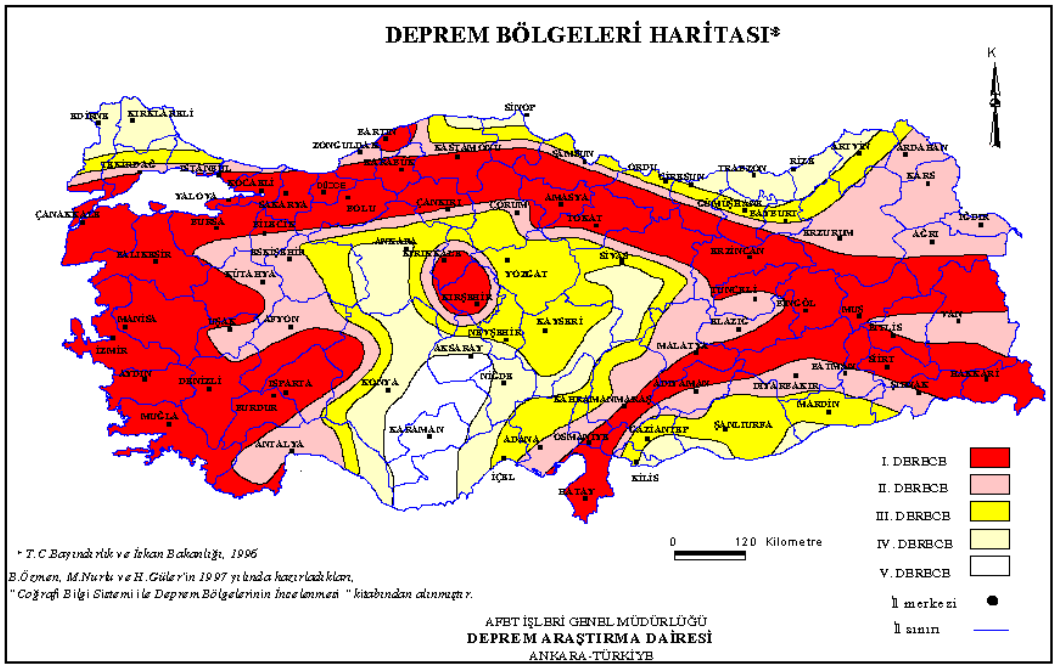
b) Ekonomik olmaları,

c) Estetik olmaları,

d) Zati (ölü) yüklere ve hareketli (işletme yükü, kar, deprem, rüzgâr vb.) yüklere karşı emniyetli olmalarıdır.

Türkiye deprem bölgeleri haritasına (Şekil 1.1) göre ülkemizin %92'sinin deprem bölgeleri içerisinde olduğu, nüfusumuzun %95'inin deprem tehlikesi altında yaşadığı ve ayrıca büyük sanayi merkezlerimizin %98'inin deprem bölgesinde bulunduğu bir gerçektir (Adalıer ve Aydıngün, 2001). Ayrıca deprem tehlikesi altında yaşayan nüfusumuzun %44'ü I. Derece deprem bölgesinde, %26'sı II. Derece deprem bölgesinde, %15'i III. Derece deprem bölgesinde, %13'ü IV. Derece deprem bölgesinde ve %2'si V. Derece deprem bölgesinde yaşamaktadır (Özmen ve ark., 1997; Özmen ve Nurlu, 1999).

Yukarıda bahsedilen ve ülkemizin deprem gerçeğini ortaya koyan veriler göz önünde tutulduğunda; Türkiye'deki yapıların proje tasarımında, yapım aşamasında ve yapı kullanım süresi içerisinde özellikle deprem etkisine karşı yapı güvenliği hususu büyük önem taşımaktadır. Çünkü insanlar, yaşamlarının büyük bir bölümünü inşa ettikleri bu yapılarda geçirmektedirler. Dolayısıyla yapılara deprem yükü gibi ilave bir yükün tesir etmesi durumunda; yapıların, insan hayatını ve malını tehdit etmeyecek şekilde uygun inşaat teknikleri kullanılarak teşkil edilmesi gerekmektedir.



Şekil 1.1. Türkiye deprem bölgeleri haritası (Anonim, 2012a)

Geçmişten günümüze kadar yaşanan süreç içerisinde, ülkemizde önemli maddi hasarlara ve can kayıplarına neden olan birçok deprem meydana gelmiştir. Türkiye'de son 20 yılda meydana gelmiş ve büyük can ve mal kayıplarına neden olmuş önemli depremler Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Türkiye'de son 20 yılda meydana gelen önemli depremler (İnel ve ark., 2008)

NO	TARİH	Saat	YER	MS	CAN KAYBI	HASARLI BİNA
1	13.03.1992	19:08	Erzincan	6.8	653	6702
2	**01.10.1995**	**17:57**	**Dinar (Afyon)**	**5.9**	**90**	**4909**
3	27.06.1998	17:00	Ceyhan (Adana)	5.9	146	4000
4	**17.08.1999**	**03:01**	**Gölcük (KOCAELİ)**	**7.4**	**15000**	**50000**
5	12.11.1999	18:57	DÜZCE	7.2	845	15389
***6**	**23.10.2011**	**13:41**	**Erciş (VAN)**	**7.2**	**644**	**17005**

* Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığının 22.02.2012 tarihli Van depremi Faaliyet Raporu

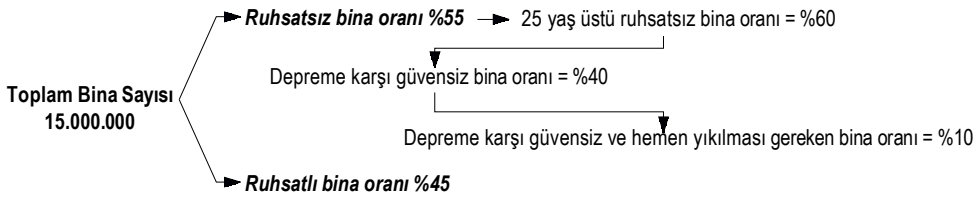
Çizelge 1.1'de yer alan depremlerden 17 Ağustos 1999 depreminin, ülkemizde endüstrileşmenin ve şehirleşmenin en yoğun olduğu Marmara Bölgesinde meydana gelmiş olması, can kaybı ve hasarın çok büyük olmasına sebep olmuştur. Uluslararası kuruluşların afet veri tabanlarında yer alan bilgilere göre 17 Ağustos depremi, dünyada

1900-2009 yılları arasında meydana gelen depremler arasında 20 milyar dolar ile çok büyük ölçüde ekonomik kayıp yaratan altıncı büyük deprem olarak belirlenmiştir (Can, 2010). 1999 yılında Marmara Bölgesinde meydana gelen bu depremlerde çok önemli düzeyde can, mal kayıpları ile ekonomik, sosyal ve çevresel zararların gerçekleşmesi, geleneksel yara sarma yaklaşımı yerine olası zarar azaltma (risk azaltma) çalışmalarının ön plana çıkmasına neden olmuştur (Şengün, 2007; UDSEP, 2011). Bu bağlamda atılan önemli adımların başında; 1 Ocak 1998'den beri yürürlükte olan "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliğin" düzenlemesi ile 2007 yılında yürürlüğe konulan "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik" olmuştur (Yavuzarslan, 2007). DBYBHY 2007'de, ABYYHY 1998'e göre önemli yenilikler arasında "Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi" bölümünün yer alması olmuştur (Sucuoğlu, 2007). Diğer atılan önemli adımlar arasında ise 2001 yılında yürürlüğe giren "Yapı Denetimi Hakkında Kanun", 2009 yılında Başbakanlığa bağlı olarak kurulan "Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı" ve 13 yıl gecikmelide olsa 2012 yılında yürürlüğe giren "Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun" yer almaktadır. Ayrıca ülkemizde olması muhtemel depremlerde zarar azaltma (risk azaltma) hususunda, üniversitelerimiz bünyesinde yapılan bilimsel çalışmalarda hız kazanmıştır.

Türkiye'de meydana gelecek olan olası depremlerde risk azaltma politikası amacıyla atılan bu adımlar önemlidir. Ancak afet yönetimi içinde öncelik riskin yönetilmesindedir ve burada da öncelik eğitimdedir (Akın, 2007). Bu nedenle ülkemizde yaşayan her bireyin, afet konusunda yeterli düzeyde bilgilendirilmesi ve bilinçlendirilmesi büyük önem arz etmektedir.

1.1. Betonarme Yapılardaki Tasarım ve Yapım Kusurları

Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre Türkiye'de yaklaşık onbeş milyon bina ve konut vardır (Altın, 2010). Bu binalarla ilgili bazı istatistikler Şekil 1.2'de şematik olarak verilmiştir. Şekil 1.2'den de anlaşıldığı üzere Türkiye'deki bina stoğunun yaklaşık %13'ü depreme karşı güvensizdir.



Şekil 1.2. Türkiye'deki binalarla ilgili bazı istatiksel veriler

Yapıların depreme karşı güvensiz olmalarının temelinde ise tasarım kusurları, yapım kusurları ve yapıların kullanımı süresi içerisinde yapı taşıyıcı sistemlerinde bilinçsizce yapılan değişiklikler yer almaktadır. Ülkemizde son on yılda yaşanan depremler ve sonrasında yapılan inceleme ve araştırma sonuçları deprem bölgelerinde inşa edilmiş yapıların büyük bir kısmında tasarım ve yapım kusurlarının olduğu gerçeğini ortaya çıkarmıştır (Arslan, 2007). Yapılardaki bu tasarım kusurları, yapım kusurları ve yapı kullanım süresi içerisinde taşıyıcı sistemlerinde bilinçsizce yapılan değişiklikler şu şekilde sıralanabilir;

a) Tasarım kusurları:

- Bilinen fay hatlarına yakın bölgelerde yapılaşma,
- Zemin özelliklerinin proje aşamasında doğru olarak göz önüne alınmamış olması,
- Mimari kaygılardan dolayı Deprem Yönetmenliğinde belirtilen düzensizliklere sahip projelerin hazırlanması,
- Yine mimari kaygılardan kaynaklanan ve deprem sırasında yapı taşıyıcı elemanları olan kolonlarda kısa kolon oluşumunu meydana getirecek şekilde pencere boyutu seçimi ve yerleşimi,

b) Yapım kusurları:

- Yapıda kullanılan beton ve beton çeliği kalitesinin, projede öngörülen kaliteye sahip olmaması,
- Yapının projesine uygun olmayan şekilde yapılan kalıpçılık işçiliği,
- Yapının betonarme projesinde belirtilen donatı detay ve ölçülerine dikkat edilmemesi, donatıların birbirlerine bağlanması hususunda gereken özenin gösterilmemesi,
- Beton dökümü işleminden sonra, betonun dayanım kazanımı süresi içerisinde gerekli bakımının yapılmaması,

- Yapım aşamasında gerekli bilgi donanımına ve becerisine sahip olamayan işçilerin kullanılması,
- Yapım aşamasında gerekli yapı denetiminin yapılmaması durumu,

c) Yapı kullanım süresi içerisinde yapılan hatalar:

- Yapının kullanım fonksiyonunu değiştirmek için eklemelerin yapılmış olması ve bu eklentilerin de yapı ölü yükünü artırması durumu,
- Yapının onaylanmış projesine aykırı bir şekilde kaçak kat tabiri ile ifade edilen fazladan kat yapılması durumu,
- Yapının taşıyıcı elemanlarında veya yapı taşıyıcı elemanlarının kesitlerinde eksiltmelerin yapılmış olması durumu,

Yapılarda, yapım kusurları ilgili fotoğraflar Şekil 1.3'de, tasarım kusurları ile ilgili bazı fotoğraflar Şekil 1.4'de ve yapı kullanım süresi içerisinde taşıyıcı sistemlerinde bilinçsizce yapılan değişikliklerle ilgili fotoğraflar Şekil 1.5'de verilmiştir.



Şekil 1.3. Yapım kusurlarına ait bazı fotoğraflar (Doğangün, 2004)



(a) Demirtaş ve ark., 2000



(b) Şahan, E., 2009



(c) Anonim, 2012e



(d) ODTÜ/DMAM, 2011



(e) Anonim, 2012f



(f)

Şekil 1.4. Tasarım kusurlarına ait bazı fotoğraflar



(a) Anonim, 2012g



(b) Anonim, 2012h



(c) Korkmaz, 2009

Şekil 1.5. Yapılarda kullanım süresi içerisinde yapılan hatalara ait bazı fotoğraflar

1.2. Onarım ve Güçlendirme

Topraklarının ve nüfusunun çok büyük bir kısmı deprem riski altında bulunan ve mevcut yapı stoğunda depremsellik açısından sıkıntıları olan ülkemizde yapıların güçlendirilmesi konusu büyük önem taşımaktadır. İkinci önemli konu ise deprem sonrası hasar görmüş yapıların onarımıdır. Böylelikle yapıların deprem öncesinde daha yüksek bir dayanım düzeyine getirilmesi işlemi "güçlendirme" ve yaşanan deprem sonrası yapıların veya yapı elemanlarının hasar öncesi dayanım düzeyine getirilmesi

işlemi ise “onarım” olarak adlandırılmaktadır (Öztürk, 2010). Yapılarda yapılması düşünülen güçlendirme ve onarım işlemlerinin temel amaçları şu şekilde sıralanabilir;

a) Yapıların düşeyde ve yatayda yük taşıma kapasitelerini artırmak,

b) Yapıların rijitliklerini artırmak,

c) Yapıların sünek davranışını artırmak ve

d) Yapıların deprem sırasında enerji tüketme kapasitelerini artırmaktır.

Güçlendirme uygulamaları, her taşıyıcı sistem türü için eleman ve bina sistemi düzeyinde olmak üzere iki farklı şekilde yapılmaktadır (Moehle, 2000). Bunlardan birincisi binanın kolon, kiriş, perde, birleşim bölgesi gibi deprem yüklerini karşılayan elemanlarında dayanım ve şekil değiştirme kapasitelerinin arttırılmasına yönelik olarak uygulanan eleman güçlendirmesidir. İkinci ise binanın taşıyıcı sisteminin dayanım ve şekil değiştirme kapasitesinin arttırılması ve iç kuvvetlerin dağılımında sürekliliğin sağlanması, binaya yeni elemanlar eklenmesi, birleşim bölgelerinin güçlendirilmesi, deprem etkilerinin azaltılması amacıyla binanın kütlesinin azaltılmasıyla gerçekleştirilen sistem güçlendirmesidir.

Ülkemizde deprem bölgelerinde bulunan mevcut ve güçlendirilecek tüm binaların ve bina türü yapıların deprem etkileri altındaki performanslarının değerlendirilmesinde uygulanacak hesap kuralları, güçlendirme kararlarında esas alınacak ilkeler ve güçlendirilmesine karar verilen binaların güçlendirme tasarımı ilkeleri DBYBHY 2007’de tanımlanmıştır. DBYBHY 2007’ye göre yeni yapılacak binaların depreme dayanıklı tasarımının ana ilkeleri şunlardır;

a) Hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi,

b) Orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalması,

c) Şiddetli depremlerde ise can güvenliğinin sağlanması amacı ile kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlanmasıdır.

Ayrıca DBYBHY 2007’de bina taşıyıcı sistemlerine ilişkin ise şu genel ilkeler yer almaktadır;

a) Bir bütün olarak deprem yüklerini taşıyan bina taşıyıcı sisteminde ve aynı zamanda taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların her birinde, deprem yüklerinin temel zeminine kadar sürekli bir şekilde ve güvenli olarak aktarılmasını sağlayacak yeterlikte rijitlik, kararlılık ve dayanım bulunmalıdır.

b) Döşeme sistemleri, deprem kuvvetlerinin taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle aktarılmasını sağlayacak düzeyde rijitlik ve dayanıma sahip olmalıdır.

c) Binaya aktarılan deprem enerjisinin önemli bir bölümünün taşıyıcı sistemin sünek davranışı ile tüketilmesi için, sünek tasarım ilkelerine titizlikle uyulmalıdır.

d) Düzensiz binaların tasarımından ve yapımından kaçınılmalıdır. Taşıyıcı sistem planda simetrik veya simetriğe yakın düzenlenmeli ve burulma düzensizliğine olabildiğince yer verilmemelidir.

1.2.1. Betonarme yapıların güçlendirilmesinde kullanılan yöntemler

Sismik iyileştirme olarak da adlandırılan mevcut betonarme yapıların güçlendirmesi işlemlerinde kullanılan yöntemler; DBYBHY 2007'de yer alan güçlendirme yöntemleri esas alınarak, uygulaması yapılmış çalışmalardan ve deneysel olarak çalışılmış bazı yöntemlerden alınan fotoğraf ve şekillerle başlıklar halinde anlatılmıştır.

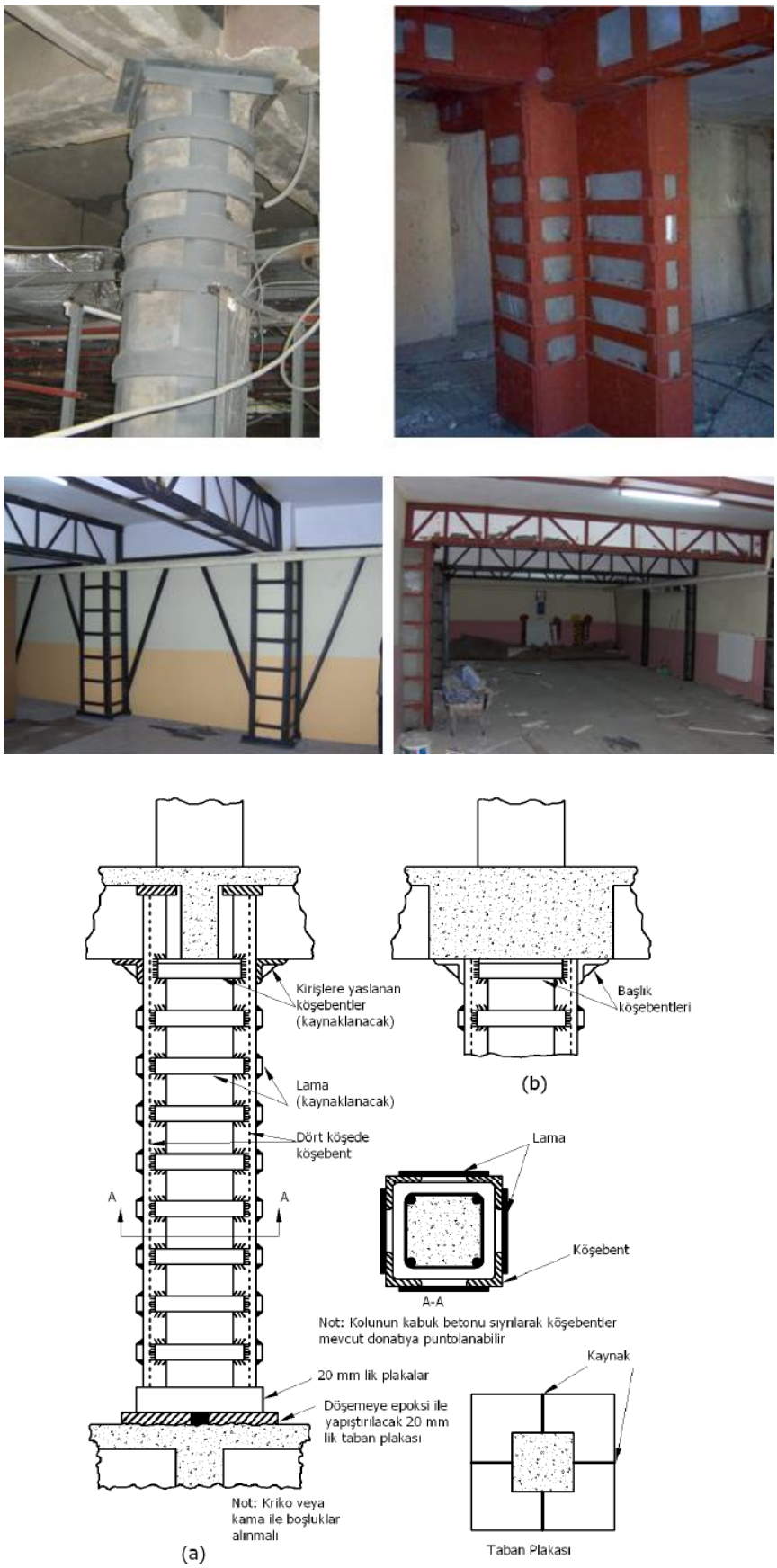
1.2.1.1. Kolonların sarılması

Kolonların sünekliğinin, kesme ve basınç dayanımlarının arttırılması, bindirmeli eklerin zayıflıklarının giderilmesi için aşağıda verilen yöntemler kullanılabilir.

Çelik Sargı: Çelik sargı dikdörtgen betonarme kolonların köşelerine dört adet boyuna köşebent yerleştirilmesi ve köşebentlerin belirli aralıklarla düzenlenen yatay plakalarla kaynaklanması ile oluşturulur.

Köşebentler ile betonarme yüzeyler arasında boşluk kalmamalıdır. Yatay plakalar dört yüzeyde sürekli olmalıdır. Çelik sargının kolon eksenel yük kapasitesini arttırması için korniyerlerin alt ve üst döşemeler arasında sürekli olması (boşlukların alınması) ve döşemelere başlık plakaları ile basınç aktarması sağlanmalıdır. Çelik sargının donatı bindirme bölgesinde kolonun karşılıklı yüzlerinde düzenlenen en az 16 mm çapında iki sıra bulonlu ankrajla sıkıştırılması gereklidir.

Bu tür güçlendirmenin betonarme kesitlerin performanslarını önemli ölçüde geliştirdiği görülmüştür (İlki ve ark., 2003; Can, 1997).



Şekil 1.6. Kolonlarda çelik sargı uygulaması ile güçlendirme

Lifli Polimer (LP) Sargı: LP tabakasının kolonların çevresine, lifler enine donatılara paralel olacak şekilde, sarılması ve yapıştırılması ile sargılama sağlanır. LP sargısı ile betonarme kolonların süneklik kapasitesi, kesme ve basınç dayanımları ile boyuna donatı bindirme boyunun yetersiz olduğu durumlarda donatı kenetlenme dayanımı arttırılır. LP sargılama ile yapılan güçlendirmelerde tam sargı (tüm kesit çevresinin sarılması) yöntemi kullanılmalı ve sargı sonunda en az 200 mm bindirme yapılmalıdır. LP sargısı dikdörtgen kolonlarda kolon köşelerinin en az 30 mm yarıçapında yuvarlatılması ile uygulanır.



Şekil 1.7. Kolonlarda Lifli Polimer uygulaması ile güçlendirme (Anonim, 2012b)

Betonarme Sargı (mantolama): Kolonların eğilme kapasitesini arttırmak için kolon kesitleri büyütülebilir. Bu işlem aynı zamanda kolonun kesme ve basınç kuvveti kapasitelerini de arttırır. Mevcut kolonun pas payı yüzeyleri sıyrılarak uygulanır. Büyütülen kolona eklenen boyuna donatıların katlar arasında sürekliliği sağlanmalıdır. Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde kirişler delinerek veya kirişlere ankraj yapılarak gerekli enine donatı konulmalıdır. Yeni ve eski betonun aderansının sağlanması için mevcut kolonun yüzeyleri pürüzlendirilmelidir.

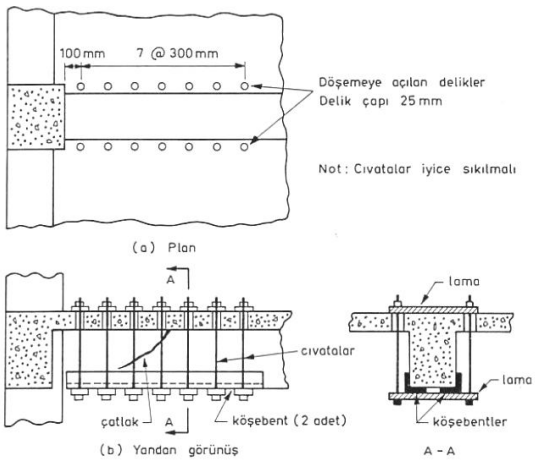


Şekil 1.8. Kolonların betonarme mantolama ile güçlendirilmesi (Korkmaz, 2009)

1.2.1.2. Kirişlerin sarılması

Betonarme kirişlerin sarılmasının amacı, kirişlerin kesme dayanımlarının ve bazı durumlarda süneklik kapasitelerinin arttırılmasıdır.

Dıştan Etriye Ekleme: Kesme dayanımı yetersiz olan kiriş mesnet bölgelerinde, kirişin iki yüzüne gerekli sayıda etriye çubuğu eklenerek yapılan bir uygulamadır. Kiriş altına yerleştirilen bir çelik profile bulonla bağlanan çubuklar, üstteki döşemede açılan deliklerden geçirilerek döşeme üst yüzeyinde açılan yuvanın içine bükülerek yerleştirilmelidir. Daha sonra döşemede açılan boşluklar beton ile doldurulmalıdır.



Şekil 1.9. Kirişe dıştan etriye ekleme

Lifli Polimer (LP) ile Sarma: LP sargılama ile kiriş sünekliğinin ve kesme dayanımının arttırılmasında tam sargı (tüm kesit çevresinin sarılması) yöntemi kullanılmalıdır. LP sargısı, kirişlerde köşelerin en az 30 mm yarıçapında yuvarlatılması ile uygulanır. LP ile yapılan sargılamalarda sargı sonunda en az 200 mm bindirme yapılmalıdır.

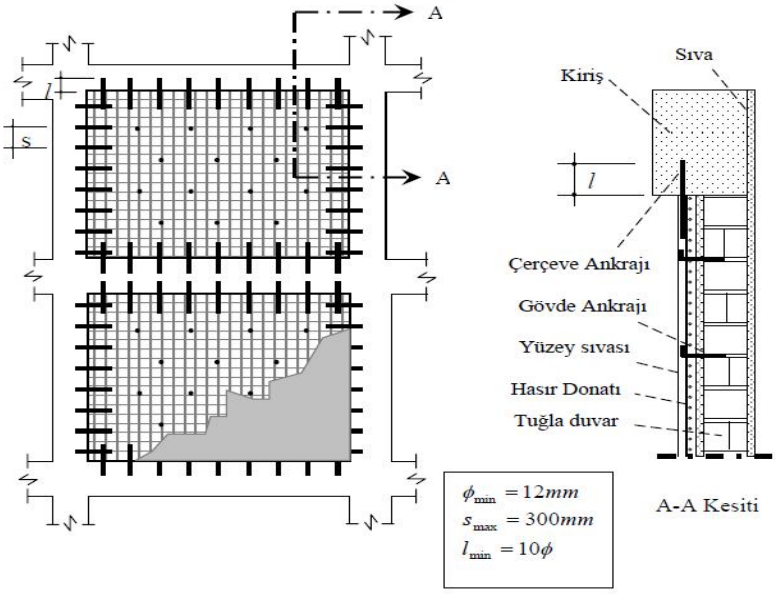


Şekil 1.10. Lifli Polimer ile kiriş sarma (Anonim, 2012c)

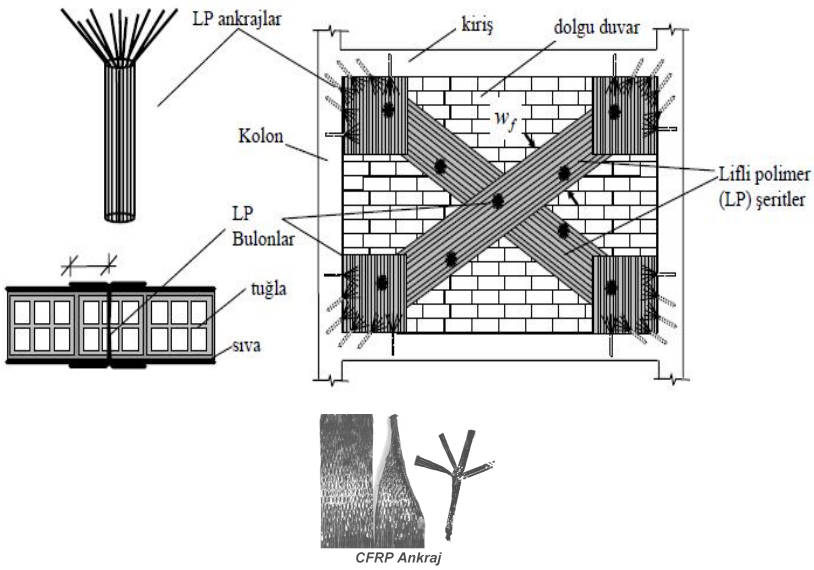
1.2.1.3. Dolgu duvarlarının güçlendirilmesi

Bodrum hariç en fazla üç katlı binalarda uygulanmak üzere, temel üstünden yukarıya kadar üst üste süreklilik gösteren betonarme çerçeve içindeki dolgu duvarlarının rijitliği ve kesme dayanımı güçlendirme yöntemleri ile arttırılabilir.

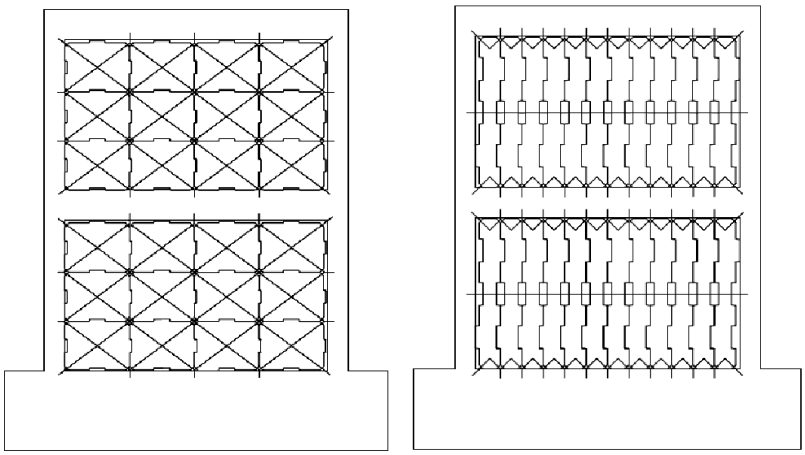
Ayrıca yapılarda bulunan dolgu duvarların yüksek dayanımlı ön üretimli beton paneller kullanılarak güçlendirilmesi de ekonomik, yapısal olarak etkili sonuçlar verebilmektedir (Baran ve ark., 2010).



Şekil 1.11. Dolgu duvarların hasır çelik donatılı özel sıva ile güçlendirilmesi



Şekil 1.12. Dolgu duvarlarının lifli polimerler ile güçlendirilmesi



Şekil 1.13. Dolgu duvarların ön üretimli beton panellerle güçlendirilmesi (Baran ve ark., 2009)

1.2.1.4. Betonarme taşıyıcı sistemlerin yerinde dökme betonarme perdeler ile güçlendirilmesi

Yanal rijitliği ve dayanımı yetersiz olan betonarme taşıyıcı sistemler, yerinde dökme betonarme perdelerle güçlendirilebilir (Türk ve ark., 2003). Ülkemizde yerinde dökme dolgu duvarla güçlendirme yaygın olarak kullanılmaktadır (Kara ve Altın, 2006). Bu yöntemde, her iki doğrultuda seçilmiş çerçeve gözleri doldurularak perdeye dönüştürülmektedir. Burada önemli olan dolgunun çerçeveye etkili bir biçimde bağlanmasıdır. Dolgulu çerçeve yönteminde amaç, her iki doğrultuda yatay yükün tümünü karşılayabilecek kapasitede perde duvar oluşturmaktır (Ersoy, 2007). Betonarme perdeler mevcut çerçeve düzlemi içinde veya çerçeve düzlemine bitişik olarak düzenlenebilir.

Çerçeve Düzlemi İçinde Betonarme Perde Eklenmesi: Betonarme sisteme eklenecek perdeler çerçeve aksının içinde düzenlemeli ve temelden başlayarak perde üst kotuna kadar sürekli olmalıdır. Bu amaçla, perde uç bölgesindeki boyuna donatıların ve gereği durumunda perde gövdesindeki boyuna donatıların perde yüksekliği boyunca sürekliliği sağlanmalıdır. Perdeler, çerçeve sisteme ankraj çubukları ile bağlanmalı ve birlikte çalışmaları sağlanmalıdır. Ankraj çubukları, mevcut çerçeve elemanları ile eklenen betonarme perde elemanı arasındaki ara yüzlerde deprem kuvvetleri altında oluşan kayma gerilmelerini karşılamak için yeterli dayanıma sahip olmalıdır. En küçük ankraj çubuğu çapı 16 mm, en az ankraj derinliği çubuk çapının on katı ve en geniş çubuk aralığı 400 mm olmalıdır. Perde ucunda mevcut kolon bulunmaması durumunda perde uç bölgesi oluşturulmalıdır. Perde ucunda mevcut kolon bulunması durumunda

ise mevcut kolondan uç bölgesi olarak yararlanılabilir. Gerekli durumlarda mevcut kolon büyütülerek veya mevcut kolona bitişik perde içinde gizli kolon düzenlenerek perde uç bölgesi oluşturulabilir. Her iki durumda da perde uç bölgesine eklenecek düşey donatıların katlar arasında sürekliliği kesinlikle sağlanmalıdır. Perde temelinin mevcut temel sistemi ile birlikte çalışması için gerekli önlemler alınmalıdır.



(a)



(b) Anonim, 2012d

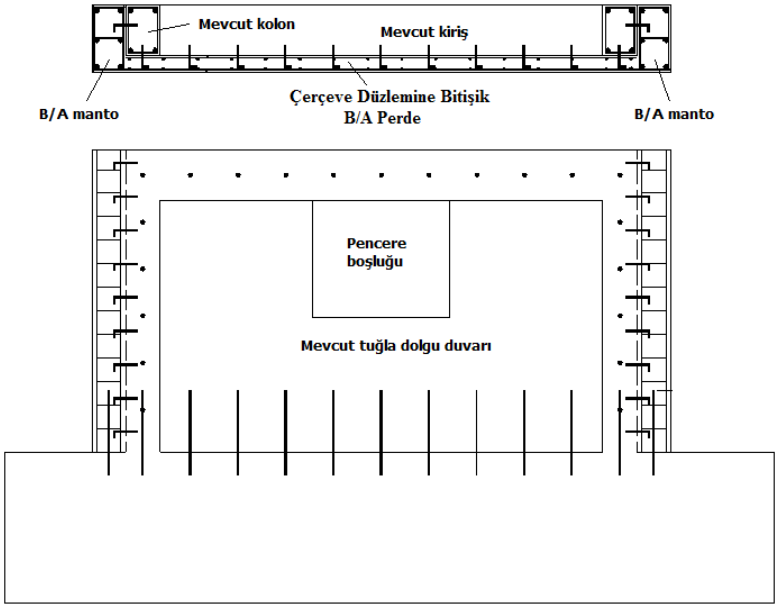
Şekil 1.14. B/A çerçeve düzlemi içerisine B/A perde eklenmesi

Çerçeve Düzlemine Bitişik Betonarme Perde Eklenmesi: Betonarme sisteme eklenecek perdeler dış çerçeve aksının dışında, çerçeveye bitişik olarak düzenlenmeli ve temelden başlayarak perde üst kotuna kadar sürekliliği sağlanmalıdır. Perdeler bitişik oldukları çerçeveye ankraj çubukları ile bağlanarak birlikte çalışmaları sağlanmalıdır.

Ankraj çubukları ve uç elemanı oluşturma hususlarında, çerçeve düzlemi içinde B/A perde eklenmesi ile yapılan güçlendirme çalışmasında belirtilen şartlara uyulmalıdır.



Şekil 1.15. B/A çerçeve düzlemine bitişik betonarme perde eklenmesi (Korkmaz, 2009)



Şekil 1.16. Çerçeve düzlemine bitişik betonarme perde ile güçlendirme (Kamanlı ve ark., 2011)

1.2.1.5. Betonarme sisteme yeni çerçeveler eklenmesi

Betonarme sistemin dışına yeni çerçeveler eklenerek yatay kuvvetlerin paylaşımı sağlanabilir. Sisteme eklenecek çerçevelerin temelleri mevcut binanın temelleri ile birlikte düzenlenmelidir. Yeni çerçevelerin mevcut binanın taşıyıcı sistemi ile birlikte çalışabilmesi için bu çerçeveler mevcut binanın döşemelerine gerekli yük aktarımını sağlayacak şekilde bağlantıları yapılmalıdır.

1.2.1.6. Betonarme sistemin kütlesinin azaltılması ve sismik izolatörler

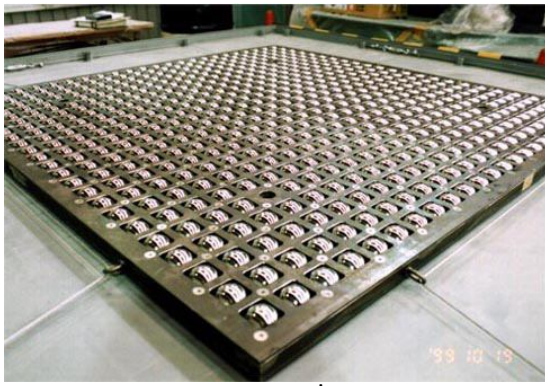
Yapı kütlesinin azaltılması esasında bir güçlendirme yöntemi değildir. Ancak depreme karşı güvensiz olan yapılarda, kütle azaltma yöntemiyle yapılara etki eden düşey yüklerin ve deprem kuvvetlerinin azaltılması sağlanabilmektedir. Böylelikle yapıların depreme karşı yapı güvenliği artırılabilir.

Yapıda azaltılacak veya kaldırılacak kütle ne kadar yapı üst kotlarına yakın olur ise deprem güvenliğini arttırmadaki etkinliği de o kadar fazla olur. En etkili kütle azaltılması türleri binanın üst katının veya katlarının iptal edilerek kaldırılması, mevcut çatının hafif bir çatı ile değiştirilmesi, çatıda bulunan su deposu vb. tesisat ağırlıklarının zemine indirilmesi, ağır balkonların, parapetlerin, bölme duvarların, cephe kaplamalarının daha hafif elemanlar ile değiştirilmesidir.

Sismik izolasyon uygulaması; yapı mühendislerince kullanılan geleneksel yaklaşımlara kıyasla, depreme dayanıklı yapı tasarlamak üzere köklü ve radikal bir yaklaşımdır (Türker, 2005).



(a) Çapraz Doğrusal Hareket Sistemi



(b) Çelik Bilyalı İzolatör

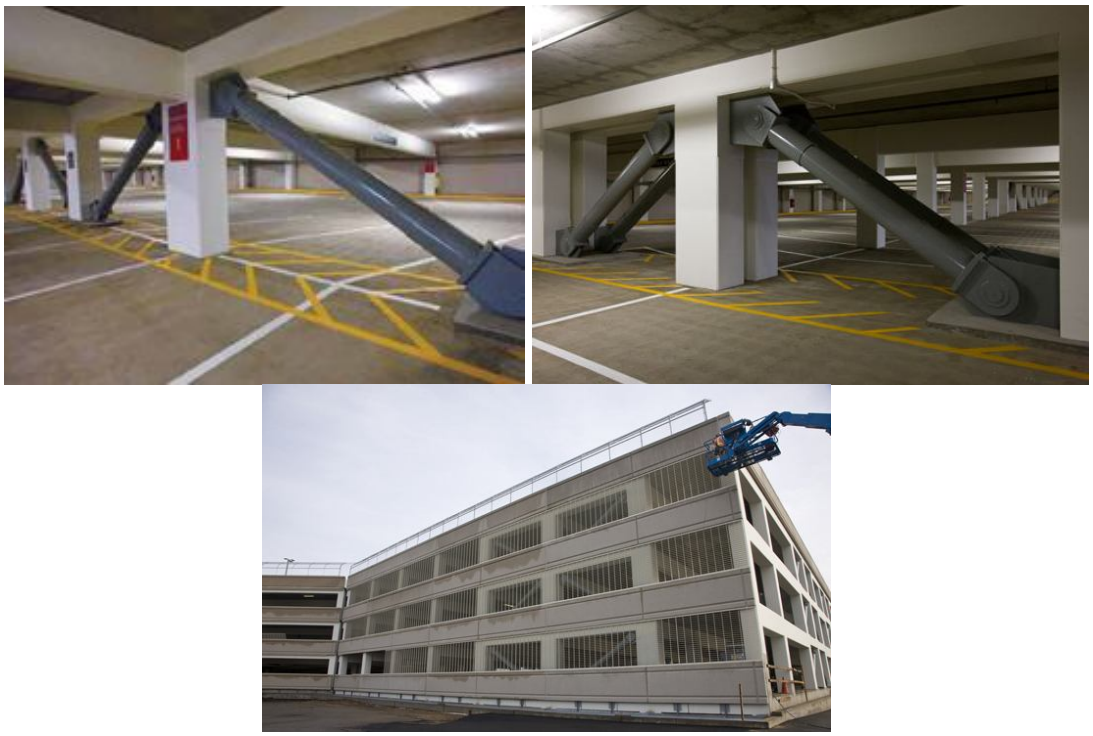


(c) Kauçuk esaslı izolatör

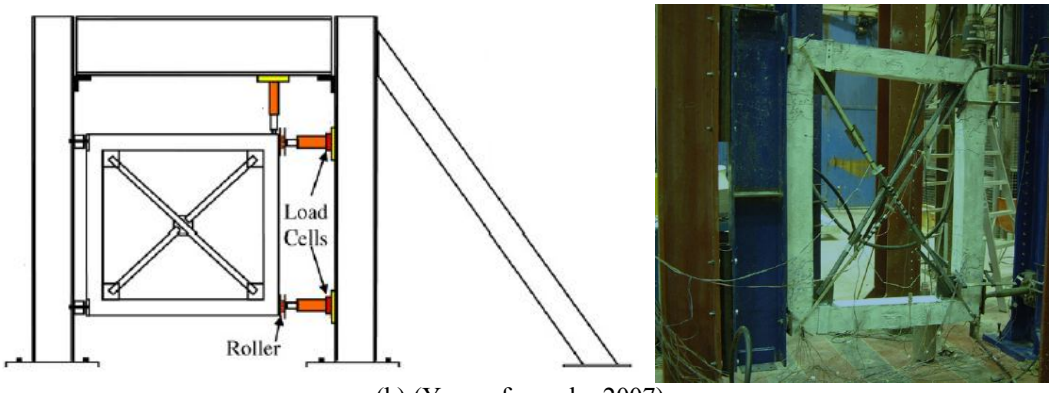
Şekil 1.17. Sismik izolatörler

1.2.1.7. Çelik diyagonal çubuklarla güçlendirme

Yapıya perde duvarların konulması yapının ağırlığını ve dolaylı olarak da yapıya gelen yanal deprem yüklerini arttırabilir. Bu olumsuzluktan kaçınmak için çerçeve boşlukları arasına çelik çerçeveler veya diyagonal elemanlar konularak güçlendirme yapılabilir. Çelik çapraz sistemi mevcut binaların yatay kuvvetlere karşı güçlendirilmesinde ve rijitliğinin arttırılmasında çok iyi bir yaklaşım sağlar (Ağar, 2008; Görgülü, 2008).

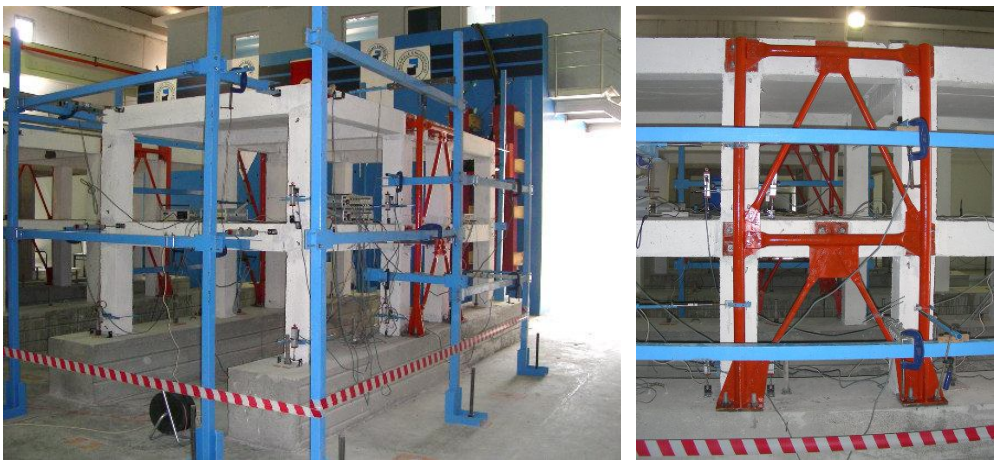


(a) Anonim, 2012i



(b) (Youssef ve ark., 2007)

Şekil 1.18. B/A çerçeve düzlemi içerisine çelik çaprazların eklenmesi



Şekil 1.19. B/A çerçeve düzlemine bitişik çelik çaprazların eklenmesi (Görgülü, 2008)

1.2.2. Betonarme yapıların onarım ve güçlendirilmesinde kullanılan malzemeler

Betonarme taşıyıcı elemanların onarım ve güçlendirilmesinde kullanılan malzemeler şunlardır;

Epoksi esaslı enjeksiyon malzemesi: Betonarme yapıların kolon, kiriş ve döşeme elemanlarında çekme gerilmelerinden dolayı çatlakların oluşması ihtimali vardır. Yapı elemanlarında bu çatlakların oluşumu nedenleri arasında, etriye sıklaştırılmasının yapılmamış olması, beton kesiti yetersizliği ve beton kalitesinin düşük olması yer almaktadır. Yapı elemanlarındaki bu kılcal çatlaklar; zaman içerisinde elemanın taşıma gücünü zayıflatacaktır (Çevirme, 2007). Yapı elemanlarında kılcal çatlak oluşumuna orta şiddetteki depremlerde neden olabilmektedir.

Yapı elemanlarında deprem öncesi ve sonrasında gözlemlenen kılcal çatlakların onarımında epoksi esaslı enjeksiyon malzemesi kullanılmaktadır. Ayrıca bu malzeme çelik sargıyla güçlendirme yönteminde, betonarme eleman ile çelik sargı elemanı arasında kalan boşlukların doldurulmasında enjeksiyon reçinesi olarak da kullanılır.



Şekil 1.20. Epoksi esaslı enjeksiyon malzemesinin uygulanışı (Anonim, 2012j)

Epoksi esaslı, tamir, ankraj ve montaj harcı: Betonarme yapı elamanlarına ve taş duvarlara ankraj elemanlarının sabitlenmesinde, geniş çatlakların onarımında, köprü ve viyadükler de kullanılan deprem sönümleyicilerin sabitlenmesinde yaygın olarak kullanılan tamir, ankraj ve montaj malzemesidir.



Şekil 1.21. Epoksi esaslı tamir, ankraj ve montaj harcı uygulanışı (Anonim, 2012j)

Epoksi esaslı yapısal tamir harcı: Epoksi esaslı, üç bileşenli, özel gradasyonlu kuvars agrega içeren yapısal tamir harcıdır. Betonarme yapı elemanlarının yüzey bozukluklarının tamiri ve yüzeylerinin tesviyesinde, betonarme kolonların çelik takviye ile aralarında kalan boşlukların doldurulmasında, betonarme döşemelerde oluşan geniş çatlakların onarımında kullanılırlar.



Şekil 1.22. Epoksi esaslı yapısal tamir harcı uygulanışı (Anonim, 2012j)

Çimento esaslı yapısal tamir harcı: Çimento esaslı, tek bileşenli, polimer ve fiber takviyeli, tiksotropik yapısal tamir harcıdır. Betonarme yapı elemanlarının yüzey bozukluklarının tamirinde, yüzeylerinin tesviyesinde ve betonarme yapı elamanların da karot numunesi alındıktan sonra kalan boşlukların doldurulmasında kullanılırlar.



(a) (Anonim, 2012j)



(b) Korkmaz, 2009

Şekil 1.23. Çimento esaslı yapısal tamir harcı uygulanışı

Lifli polimerle güçlendirmede kullanılan epoksi yapıştırıcı: Lifli polimerli güçlendirme çalışmalarında, karbon/cam fiber (lifli polimer) malzemenin yüzeye yapıştırılması amacı ile kullanılır. İki bileşenli, solventsiz, yüksek dayanımlı, epoksi esaslı özel yapıştırıcıdır.



Şekil 1.24. Lifli polimerle güçlendirmede kullanılan epoksi yapıştırıcı (Anonim, 2012j)

Püskürtme beton: Püskürtme betonun, özellikle kalıp yapmanın zor olduğu veya ekonomik olmadığı yerlerde, betonun yerleştirilmesi ve sıkıştırılmasının zor olduğu yerlerde veya betonun ince tabakalar halinde olması gereken yerlerde kullanılırlar. Püskürtme beton kullanımında küçük çaplı donatılar tercih edilmeli, püskürtme sırasında donatı yerinden oynamayacak şekilde yerleştirilmelidir (Alyamaç ve Ulucan, 2005).

1.3. Çalışmanın Amacı ve Önemi

Ülkemizde; birçok yıkıcı depremlerin yaşandığı, topraklarımızın %92'sinin deprem bölgesinde bulunduğu, ülke nüfusumuzun %44'ünün I.Deprem bölgesinde yaşadığı ve mevcut yapı stoğumuzun yaklaşık %13'ünün depreme karşı güvensiz olduğu bir gerçektir. Ayrıca günümüze kadar yapılan araştırmalar, gelecekte de ülkemizde sık sık depremlerin oluşacağı gerçeğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla meydana gelebilecek bu depremlere karşı, mevcut yapıların deprem güvenliklerinin tespitinin hızlı bir şekilde yapılması ve ardından da güçlendirme çalışmalarının biran önce yapılması gerekmektedir. Ayrıca yeni yapılacak olan yapıların, projelerinin hazırlanması sırasında, yapımları sırasında ve kullanım süreleri içerisinde yukarıda belirtilen gerçekler göz ardı edilmeyerek gerekli olan çalışmalar hassasiyetle yapılmalıdır.

Yapıların deprem güvenliklerinin tespitinden sonra güçlendirilmesinde hangi güçlendirme yönteminin tercih edileceği önemli bir husustur. Dolaysıyla güçlendirme yöntemlerinin, yapıların yük taşıma kapasitelerine, yanal rijitliklerine, süneklik özelliklerine ve enerji tüketme kapasitelerine katkılarının nasıl olduğunu bilmek gerekmektedir. Bunların yanı sıra yapıların güçlendirilmesinde uygulanacak yöntemin tercihinde şu hususlarda göz önünde tutulmalıdır;

a) Güçlendirmenin, yapım ve bakım maliyeti,

b) Güçlendirme işleminin tamamlanma süresi,

c) Güçlendirmenin, yapıların fonksiyonelliğine etkisi ve

d) Güçlendirmenin, yapı ölü yükünü ne kadar artırdığıdır.

Yapı güçlendirme yöntemlerinin birçoğunda inşaat işinin ağır, uzun olması ve yapının boşaltılması gerekli olduğundan; uygulanması hızlı, ekonomik, yapısal olarak etkili ve pratik güçlendirme yöntemlerinin geliştirilmesi ihtiyaç haline gelmiştir. Bu nedenlerden dolayı yapıların güçlendirilmesinde daha etkin güçlendirme yöntemlerinin belirlenebilmesi ve yeni güçlendirme tekniklerinin geliştirilebilmesi için ülkemizde; 1968 yılından günümüze kadar olan süreçte, betonarme çerçeveli yapıların güçlendirilmesi ile ilgili birçok deneysel çalışma yapılmış ve yapılmaya da devam etmektedir (Ersoy, 2007; Ersoy ve Uzsoy, 1971). Daha önce yapılmış olan deneysel çalışmaların çoğunda betonarme dolgu duvarlar çerçeve içini tamamen doldurmaktadır. Ancak uygulamada sıkça kullanılan parçasal dolgu duvar yâda boşluklu dolgu duvarla

güçlendirilen betonarme çerçevelerle ilgili az sayıda deneysel çalışmaya rastlanmaktadır (Kara, 2006; Anıl, 2002).

Hazırlanan bu çalışmada; ülkemizde deprem davranışı yetersiz mevcut yapıların özelliklerini yansıtabilecek özellikte 6 adet numune laboratuvar ortamında üretilmiştir. Deneyler için üretilen bu numunelerden 4 adedi çeşitli boyuttaki pencere boşluklarına sahip betonarme dolgu duvarlarıyla, 1 adedi boşluksuz betonarme dolgu duvarla güçlendirilmiş ve 1 adedi ise dolgu duvarsız bırakılarak referans numune olarak kullanılmıştır. Çalışma kapsamında üretilen bu deney numuneleri, tersinir-tekrarlanır yükler altında test edilmiş ve betonarme dolgu duvarında bırakılan pencere boşluğu boyutunun ve konum değişiminin, numunelerin davranışını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Böylelikle çalışma neticesinde elde edilen sonuçlara göre mevcut betonarme çerçeveli yapılarda, pencere boşluklu betonarme dolgu duvarlarla güçlendirme yönteminin etkinliği ve uygulanabilirliği hakkında fikir sahibi olunabilecektir. Ayrıca edinilen bu fikirler ile mevcut yapıların güçlendirme çalışmalarının tasarım ve uygulama aşamalarında hangi hususlara dikkat edileceği büyük ölçüde belirlenmiş olacaktır. Böylece güçlendirilen yapının olası bir depreme karşı güvenliği en üst düzeyde sağlanabilecek ve hasar riski en aza indirgenebilecektir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kaynak araştırmasında, depreme karşı güvensiz yapıların güçlendirilmesi ile ilgili deneysel ve teorik olarak yapılmış olan çalışmalar, kronolojik sıra ile aşağıdaki gibi özetlenerek sunulmuştur;

Higashi ve ark. (1980), betonarme çerçeve elemanlarını, yerinde dökme dolgu duvarı, çerçeve içini dolduran ön üretimli paneller, çerçeve içinde kapı boşluğu bırakılan ön üretimli paneller, diyagonal doğrultuda çelik çubuklar, çelik çerçeve ve çelik kafes kullanarak güçlendirmişlerdir. Çalışmalarında, 1/3 ölçekli, tek açıklıklı, tek katlı 13 adet betonarme çerçeve üretmişler ve yatay yükleme etkisi altında test etmişlerdir. Çalışmalarının neticesinde;

- Güçlendirilen tüm deney elemanlarının, boş çerçeveye ve bir döküm dolgu duvarlı numuneye göre daha fazla yatay yük taşıma kapasitesine sahip oldukları,
- Özellikle, yerinde dökme dolgu duvarlı ve çerçeve içini tamamen dolduran ön üretimli paneller ile yapılan güçlendirmelerde dayanımın daha yüksek olduğu,
- Çelik çerçeveli ve çelik takviyeli güçlendirmelerde süneklik oranının, ön üretimli paneller ile yapılan güçlendirmelerdeki kadar yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Daniel ve ark. (1986), boşluklu betonarme perde duvarların, deprem yüküne benzeştirilen yatay yükler etkisi altında davranışlarını incelemişlerdir. Çalışma kapsamında, 1/3 ölçekli ve altı katlı iki adet numune üretmişlerdir. Numunelerinden, biri boşluksuz perde duvar, diğeri ise %8.33'lük boşluk oranına sahip perde duvardır. Boşluklu perde duvarda, pencere boşluğu (317x457 mm), her katta perde duvarın merkezinde olacak şekilde konumlandırılmıştır. Numunelerin testinden sonra pencere boşluğunun perde davranışına olan etkilerini değerlendirmek için, numunelerin yük taşıma kapasitelerini, süneklik özelliklerini ve enerji tüketim özelliklerini karşılaştırmışlardır.

Altın (1990), doktora tez çalışmasında 1/3 ölçekli, iki katlı, tek açıklıklı 14 adet deney numunesini depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında test etmiştir. Deneysel çalışmasında temel değişkenler; betonarme dolgu duvarın gövde donatısı düzeni, betonarme dolgu duvar ile çerçeve arasında bağlantıyı sağlayan ankraj donatıların detaylandırılması, çerçeve kolonlarının boyuna donatı oranı, kolondaki eksenel yük miktarındaki değişim ve çerçevenin beton basınç dayanımı olarak seçilmiştir. Çalışması neticesinde; çerçeve ile dolgu duvar arasında yük aktaran ankraj donatıların davranış ve dayanımı önemli oranda etkilediği, kolon eğilme kapasitesinin ve eksenel yük düzeyinin davranış ve dayanımı olumlu etkilediği sonuçlarına ulaşmıştır. Ayrıca, betonarme dolgu duvarların çerçeve elemanının dayanımını ve rijitliğini de artırdığı sonucuna ulaşmıştır.

Kato ve ark. (1995), çalışmalarında üzerinde bir adet boşluk olan ön üretimli dolgu duvarların tasarımında taşıma gücü yönteminin uygulanması ve boşluk etrafındaki donatı düzenlemesinin davranışa olan etkisini analitik olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında dolgu duvar ortasında yer alan pencere veya kapı boşluğunun, yanal dayanım ve yanal rijitlik üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Dolgu duvarda yer alan boşluğun etrafına yerleştirilecek donatı detayları hakkında da bir araştırma yapmışlar ve sadece taşıma gücü yaklaşımını kullanılarak bu tür duvarlar için bir analiz yöntemi geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri yöntemden elde edilen sonuçlar ile deneysel sonuçları karşılaştırmışlardır.

Taylor ve ark. (1998), alt kısmında bir adet boşluğu olan, yüksekliği genişliğine göre çok büyük betonarme perdeler üzerine deneysel ve analitik bir çalışma yapmışlardır. Analitik araştırmada düşey donatıların deplasmana bağlı bir yöntemle seçilmesi ve yatay donatıların da kafes kiriş analojisi yöntemi kullanılarak belirlenmesi tekniği araştırılmıştır. 1/4 geometrik ölçekli 2 adet deney numunesini, sabit eksenel yüklü olarak tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında test etmişlerdir. Deneysel çalışmalarında elde ettikleri sonuçların, önerilen analitik yöntemlerle belirlenen deney elemanlarının davranış ve süneklik düzeyi olarak başarılı olduğunu belirlemişlerdir.

Buonopane ve White (1999), çalışmalarında 1/2 ölçekli, iki açıklıklı ve iki katlı tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçeveleri dinamik yükleme etkisi altında test etmişler

ve sistemin deprem davranışı incelemişlerdir. Numunelerinin ikinci katının dolgu duvarlarında 369x369 mm boyutunda pencere boşluğu yer almaktadır. Deney çalışmalarının sonuçlarını kullanılarak sistemin yanal rijitlik ve deplasman kapasitesini tahmin etmek için farklı diyagonal basınç çubuğu biçimlerini analitik olarak incelemişler ve deneysel sonuçlara en uygun diyagonal basınç çubuğu modelini incelemişlerdir. Ayrıca deney elemanlarının dayanımının tahmini için analitik model geliştirmişler ve geliştirilen bu modeli kullanılarak elde edilen sonuçlar ile deney sonuçlarını karşılaştırmışlardır.

Sittipunt ve Wood (1999), çalışmalarında yüksekliği uzunluğuna göre büyük olan betonarme dolgu duvarlarda kullanılan gövde donatısının tersinir-tekrarlanır yatay yükleme altında davranışını incelemişlerdir. Deneysel çalışmaları için 4 adet deney numunesi üretmişlerdir. Dolgu duvarların gövde donatısı iki numunede ortogonal düzende, diğer iki numunede ise diyagonal doğrultuda oluşturulmuştur. Deneyler neticesinde, numunelerin dayanımlarının önemli derecede farklılıklar gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca, deney sonucuna göre gövde donatısının diyagonal olarak düzenlendiği deney numunelerinde kesme çatlağı genişliği daha sınırlı kalmış ve numuneler daha fazla enerji tüketmişlerdir.

Ono ve Ezaki (2000), betonarme duvarlardaki boşlukların, betonarme duvarların davranışına olan etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında, 1/3 ölçekli, tek açıklıklı, tek katlı yedi adet numune üretmişlerdir. Numunelerindeki temel değişken, duvarlarda bırakılan boşluklarının oranları olmuştur. Numunelerdeki boşluk oranları 0.3-0.6 değerleri arasındadır. Ürettikleri numunelerden üçünü, tersinir-tekrarlanır yatay yükleme ve düşey yük etkisi altında test etmişlerdir. Ayrıca yükleme hızının, boşluklu betonarme duvarların davranışına olan etkilerini belirlemek için ürettikleri numunelerden dördünü dinamik yükleme etkisi altında test etmişlerdir. Çalışmalarının neticesinde;

- Duvarlardaki boşluk oranı arttıkça, numunelerin yatay yük taşıma kapasitelerinin azaldığı,
- Statik yükleme sonucunda elde edilen ve numunelere ait yatay yük taşıma kapasitesi değerlerinin, dinamik yükleme sonunda elde edilen değerlerden az olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Triantafillou (2001), dünya çapında, betonarme veya yığma yapıların çeşitli iyileştirme uygulamalarında yaygın olarak kullanılan dışarıdan yapıştırmalı fiber takviyeli polimer (FRP) konusunda çalışmıştır. Deneysel ve analitik çalışmaları neticesinde;

- Betonarme yapı elemanlarının tamamen (FRP) malzemesi ile sarılmasının, sismik güçlendirme uygulamasında oldukça etkili olduğu,
- Betonarme kolon-kiriş birleşim bölgelerinde (FRP) uygulamasının etkili olduğu,
- Tarihi bir yığma yapının kemer ve tonoz sırtında (FRP) malzemesi ile yapılan güçlendirmenin, yapının taşıma gücünü önemli derecede artırdığı,
- (FRP) ile yığma duvarların güçlendirilmesinde yığma duvarların, düzlem-içi kayma dayanımlarının arttığı, kayma deformasyonlarının azaldığı ve düzlem dışı deformasyonlarının önemli derecede azaldığı sonucuna varmıştır.

Marjani ve Ersoy (2002), tuğla dolgulu çerçevelerin deprem yükü altındaki davranışlarını araştırmışlardır. Çalışma kapsamında, tek açıklıklı, iki katlı, altı adet dolgulu çerçeveyi, deprem yükünü temsil eden tersinir-tekrarlanan yükler altında denemişledir. Ayrıca, altı adet dolgu panelli numuneyi de, duvar özelliklerini belirlenmek amacıyla test etmişlerdir. Deneylerinde, sıva ve beton kalitesi, tuğla dolgulu betonarme çerçevelerin davranışının irdelemesindeki esas değişkenler olmuştur. Bu çerçevelerin davranışı dolgusuz çerçevelerin davranışı ile karşılaştırılmış ve rijitlik, dayanım ve davranışın yorumlanması ve öğrenilmesi için analitik çalışmalar yapmışlardır. Çalışma neticesinde;

- Boş çerçeveye göre, tuğla dolgulu numunede yaklaşık %240 ve sıvalı tuğla dolgulu numunede yaklaşık %300 dayanım artışı olduğu,
- Tuğla dolgu duvarlı numunelerde sıva uygulamasının, betonarme çerçevelerin dayanım, rijitlik ve süneklik özelliklerini önemli derecede geliştirdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Türk ve ark. (2003), çeşitli sebeplerle depreme karşı yeterli dayanımı sağlayamayan ve sünek olmayan çerçeveli binaların, dolgu duvarlar ile onarım ve güçlendirilmesi konusunda deneysel olarak çalışmışlardır. Çalışmaları kapsamında, 1/3 ölçekli, tek açıklıklı, iki katlı ve çeşitli yetersizliklere sahip on adet betonarme çerçeve üretmişlerdir. Bu numunelerden beşini boş çerçeve şeklinde, diğer beşini ise tamamen dolgu duvarlı numuneler şeklinde, depremi benzeştiren yanal yükler altında test etmişlerdir. Deneylerinde temel değişkenler, kolon boyuna donatıları, kiriş boyuna donatıları, kolonlarda bindirmeli ek uzunlukları ve numunelere uygulanan eksenel yük seviyeleridir. Deneyler neticesinde;

- Betonarme dolgu duvar uygulamasının yanal dayanım ile birlikte yanal rijitlikte de büyük artış sağladığı,
- Çerçeve kolonlarında kolon boyuna donatı miktarının artırılmasının ve kolonların eksenel yük seviyesinin artmasının davranış üzerinde olumlu katkısı olduğu,
- Hasarlı ve hasarsız betonarme çerçevelerin betonarme dolgu duvarlar ile iyileştirilmesi çalışmasının, yanal rijitlik ve yanal dayanımda çok önemli artışlar sağlandığı sonucuna ulaşmışlardır.

Tekin ve Erçetin (2005), sonlu elemanlar programı (SAP 2000) ile dolgulu çerçevelerin doğrusal olmayan çözümü üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında, üç katlı-üç açıklıklı çerçeve modellemişlerdir. Oluşturdukları modelde, pencere ve kapı boşluğu çerçevenin en alt sol açıklığında bulunmaktadır. Çerçevenin diğer bölümleri ise tam dolguludur. Bu modellerindeki taşıyıcı sistemi oluşturan betonarme elemanlar, çubuklar ile dolgu elemanlar ise eşdeğer basınç diyagonalleri ile modellenmiştir. Oluşturdukları bu örnek üzerinde dolgulu çerçevelerde oluşacak dayanım ve rijitlik değişimlerini irdelemişlerdir. Ayrıca çalışmalarında, aynı çerçeve modelini dolgusuz olarak analiz etmişler ve dolgulu modele göre dayanımda %30 azalma olduğu ve yatay öteleme de bir değişiklik olmadığı sonucuna ulaşmışlardır.

Koçu ve Dereli (2005), çalışmalarında betonarme yapılarda gözlemlenen malzeme, tasarım ve uygulama hataları üzerine araştırma yapmışlardır. Çalışmalarında inşaat sektöründeki denetim boşluğu, haksız rekabetten kaynaklanan kalitesiz malzeme üretimi, uygulama ve işçilik hataları olduğu belirtmişlerdir. Bu nedenlerden dolayı yapı

kalitesinin düşerek zamanla yapısal hasarlara uğradıklarını ve kendi yükleri etkisi altında bile yıkılabileceklerini ifade etmişlerdir. Depreme karşı dayanımlı yapıların oluşturulmasında, betonarme yapılarda taşıyıcı sistem seçiminin ve uygulanmasının önemine vurgu yapmışlardır. Çalışmalarının sonuç bölümünde ise deprem konusunda mimar ve diğer yetkililerin yapıların tasarımı ve uygulanması sırasında işbirliği içinde olmaları gerektiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, Yapı Denetimi Yasası, Deprem Yönetmeliği, Avrupa Birliği'ne paralel Yapı Malzemeleri Yönetmeliği, Avrupa Standartları ve Beton standartlarının hayatımıza girmesine rağmen uygulamada bunlara uyulmadığı hususuna araştırmalarında yer vermişlerdir.

Acun ve Sucuoğlu (2005), betonarme çerçeve elemanlarında tuğla dolgu duvar üzerine çelik hasır tel uygulaması ile güçlendirme konusunda deneysel çalışmışlardır. Bu amaçla 1/3 ölçekli, tek açıklıklı, iki katlı üç adet betonarme çerçeve üretmişler ve hazırlanan üç çerçeveyi farklı detaylara sahip çelik hasır tel uygulaması ile güçlendirmişlerdir. Güçlendirilen numunelerin davranışını belirlemek amacıyla tersinir-tekrarlanır yatay yük altında test etmişlerdir. Deneylerden elde ettikleri veriler ışığında şu sonuçlara ulaşmışlardır;

- Güçlendirme işlemlerinin en zor kısmı olan uygulamadaki zorluk, yapının boşaltılması ya da kısmi yıkımlar gerekmediğinden, önerilen yöntemin uygulanabilirlik anlamında oldukça avantajlı olduğu,
- Bu güçlendirme tekniğinin uygulanmasında detay işçiliği ve kalıp gerekmemektedir. Bunların yanı sıra kullanılan malzemeler de düşünüldüğünde uygulamada oldukça ekonomik sonuçlar elde edilebileceği,
- Sıva dayanımı ve donatı oranı parametrelerinin artımına bağlı olarak test edilen elemanların rijitlik ve yatay yük taşıma kapasitelerinde belirgin iyileşmelerin olduğudur.

Kara ve Altın (2006), sünek olmayan betonarme çerçevelerin, parçasal betonarme dolgu duvarlarıyla güçlendirilmesi konusunda deneysel çalışmışlardır. Deneysel çalışmalarında, 1/3 ölçekli, iki katlı ve tek açıklıklı yedi adet deney numunesi üretmişlerdir. Ürettikleri numunelerden bir tanesini tamamen betonarme dolgu duvarlı olarak ve beş tanesini de çeşitli parçasal betonarme dolgu duvarlı olarak

güçlendirmişlerdir. Bir tanesi boş çerçeve ve altı tanesi güçlendirilmiş olan bu numuneleri, tersinir-tekrarlanır yükleme etkisinde test etmişlerdir. Parçasal dolgu duvarı uzunluğunun, yüksekliğine oranı ve parçasal dolgu duvarın çerçeve içinde düzenleniş biçimleri çalışmalarının değişkenleridir. Çalışmalarının sonunda;

- Betonarme parçasal dolgu duvarıyla güçlendirilmiş deney numunelerinin, boş çerçeveye göre, yatay yük taşıma kapasitelerinin ve rijitliklerinin arttığı,
- Parçasal dolgu duvarın (l/h) oranının artmasının, yatay yük taşıma kapasitesi ve rijitlik değerlerini artırdığı,
- Parçasal dolgu duvarlı güçlendirme uygulamalarında en başarılı sonuçların, çerçevenin kolon ve kirişlerine bağlı olduğu deney numunesinde olduğu sonucuna varmışlardır.

Arslan (2007), özellikle okul, hastane gibi binaların kullanımını aksatmayacak ve ilave işleri en aza indirecek şekilde, binaların dışından yapılacak dış perde duvarla güçlendirilmesi konusunda, deneysel ve analitik olarak tez çalışması yapmıştır. Çalışmasında, 1/3 ölçekli, iki katlı, iki açıklıklı olarak modellenen ve ülkemizdeki betonarme binalarda sıkça rastlanan tasarım ve yapım kusurlarını içeren toplam dört adet betonarme çerçeve üretmiştir. Numunelerinde temel değişken, kolonların boyuna donatı oranlarının değişimi olmuştur. Bu numunelerden iki adedini güçlendirmeden, iki adedini ise betonarme dış perde duvar uygulaması ile güçlendirerek, tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi altında ve kolonlarında düşük seviyede (çekme kırılması oluşturabilecek seviyede) normal kuvvet etkisi olacak şekilde test etmiştir. Ayrıca deney sonuçlarını, yaptığı analitik hesapları sonuçlarıyla karşılaştırmıştır. Yapmış olduğu tez çalışmasının neticesinde;

- Dış perde duvar ilavesi yapılan güçlendirilmenin, güçlendirilmemiş çerçeveye, yatay yük, rijitlik ve enerji yutma kapasitesi olarak çok önemli katkıda bulunduğu,
- Güçlendirilmemiş çerçevede maksimum yük seviyesinde çok önemli hasarlar meydana gelmiş iken, güçlendirilmiş çerçevede maksimum yük seviyesinde çerçeve elemanında önemli çatlakların oluşmamış olması,

- Güçlendirilmiş çerçevelerin, güçlendirilmemiş çerçeveye göre %304 ile %366 arasında değişen daha fazla yatay yük taşıma kapasitesine sahip oldukları,
- Mevcut yapılarda, düşey yük taşıma durumlarında herhangi bir sorun yok ise çerçevenin diğer elemanlarında herhangi bir güçlendirmeye gerek kalmadan, sadece dış perde duvar ile güçlendirmenin yeterli olabileceği sonucuna varmıştır.

Çağatay (2007), yapılarda kısa kolon oluşumuna neden olan dolgu duvar yüksekliğinin ve yapı açıklık sayısının binanın kısa kolon kesme kuvvetine etkilerini incelemiştir. Çalışmasında, oluşturduğu modellerin deprem analizini, dolgu duvar uzunluğu yönünde Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi kullanarak SAP2000 programı ile yapmıştır. Yapı modellerinde, yapının tamamen dolgu duvarsız ve değişik oranlarda dolgu duvarlı olması durumunda boşluk oranının kesme kuvvetine etkisini araştırmıştır. Çalışmasında, tek katlı, tek açıklıklı ve tek katlı, beş açıklıklı yapı modellerini kullanmıştır. Yapılan analizler sonunda;

- Dolgu duvardaki boşlukların ve açıklık sayısının dolgu duvarların bağlandığı kolonların kesme kuvvetini önemli derecede etkilediği,
- Dolgu duvarlardaki boşluk oranı azaldıkça, sistemdeki kısa kolon bölgesindeki kesme kuvvetlerinin, dolgu duvarsız modeldeki kesme kuvvetlerine oranının (kesme kuvveti oranı) arttığı,
- Analizler sonucunda meydana gelen en büyük kesme kuvvet değerlerinin %17 boşluğa sahip olan modelde meydana geldiği,
- Açıklık sayısı arttıkça kesme kuvveti oranının da arttığı,
- Kısa kolon etkisinin, özellikle duvar yüksekliği %50'den daha az olduğunda azaldığı sonuçlarına ulaşmıştır.

Kaltakcı ve ark. (2007), Türkiye'de kendi ağırlığı altında yıkılan veya hasar gören betonarme yapılar üzerine araştırma yapmışlardır. 1983 yılında tamamen yıkılan Hicret Apartmanının (Diyarbakır) ve 2004 yılında yine tamamen yıkılan Zümrüt Apartmanının (Konya) bu konu ile ilgili Türkiye'de yaşanan acı deneyimler olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmalarında, yapılardaki bu hasarların nedenleri içerisinde yetersiz malzeme kalitesi, yapılan işçilik hataları ve binaların kullanımında yanlış revizyonların

yapılması olduğu hususuna dikkat çekmişlerdir. Çalışmalarının sonunda, yapıların projelendirmesi doğru yapılsa bile yapım aşamasının daha önemli olduğuna vurgu yapmışlardır. Be nedenle, Türkiye gibi hızlı gelişen ve büyüyen ülkelerde etkin yapı denetim mekanizmasının oluşturulmasının gerekliliğini ortaya koymuşlardır.

Rahai ve Alinia (2007), betonarme binaların kompozit çaprazlar ile güçlendirilmesi konusunda bir çalışma yapmışlardır. Kompozit eleman uygulamasını, çelik profillerin iç kısımlarını, beton ile doldurarak yapmışlardır. Kompozit eleman uygulamasındaki amaç, çekirdek kısımda bulunan çelik elemanın burkulmasını önlemektir. Çalışmalarında, biri üç katlı diğeri dokuz katlı iki adet betonarme binanın, betonarme çerçelerini kompozit çaprazla güçlendirmişler ve analitik olarak incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma neticesinde;

- Kompozit çaprazlı sistemlerin, yapıların rijitlik ve süneklik özelliklerini artırdığı sonucuna ulaşmışlardır.

Tekin ve ark. (2007), yapısal çözümlerinde dikkate alınmayan dolgu duvar etkisinin, sistem dayanımına ve rijitliğine olan etkisini belirlemek için çalışmışlardır. Bu çalışmalarında dolgulu betonarme çerçevelerin tüm eleman malzeme özelliklerinin gerçeğe daha yakın alındığı genel amaçlı Sap2000 Programı ile dolgulu çerçevelerin doğrusal olmayan çözümünü gerçekleştirmişlerdir. Bu amaçla dört katlı, üç açıklıklı, 3 boyutlu, dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız iki model oluşturmuşlardır. Yaptıkları analizlerin neticesinde, dolgulu çerçevelerin yatay yük taşıma kapasitesinin, dolgusuz çerçevelere göre %40 daha fazla olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Choi ve ark. (2008), boşluklu güçlendirilmiş duvarların ve boşluklu hasarlı duvarların yapısal kapasitelerini belirlemek amacıyla deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çalışmaları kapsamında, 1/2 ölçekli ve tek katlı altı adet numune üretmişlerdir. Numunelerinden, biri boşluksuz perde duvar, diğerleri ise %23'lük boşluk oranına sahip perde duvardır. Perde duvarda bırakılan boşluk boyutu 900x1050 mm'dir. Boşluklar perde duvarın, alt merkezinde olacak şekilde konumlandırılmıştır. Ürettikleri bu numuneleri, tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi altında ve eksenel kuvvet etkisi altında test etmişlerdir. Numunelerin testinden sonra boşluğunun ve uygulanan güçlendirmelerin, duvarların davranışına olan etkilerini değerlendirmek için,

numunelerin yük taşıma kapasitelerini, rijitlik, süneklik ve enerji tüketim özelliklerini karşılaştırmışlardır.

Ellul ve D'Ayala (2008), dolgulu çerçevelerin, doğrusal olmayan çözümü üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında, beş katlı-üç açıklıklı çerçeve modellemişlerdir. Analizlerini ilk olarak, boş çerçeveli, tam dolgulu ve düşeyde dolgusuz çerçevelere sahip üç model üzerinde yapmışlardır. Analizlerin ikinci aşamasında ise boş çerçeveli, tam dolgulu ve farklı katlarında dolgusuz çerçevelere sahip dört adet model üzerinde yapmışlardır. Çalışmalarının üçüncü aşamasında ise boş çerçeveli ve tam dolgulu modellerin, farklı kapı ve pencere boşluklarına sahip dolgulu beş adet modelle karşılaştırmalarını yapmışlardır. Yaptıkları çalışmaların sonunda;

- Dolgu duvarlarında bırakılan kapı ve pencere geometrisinin ve konumunun çerçevelerin davranışında etkili olduğu ve genel olarak davranışı olumsuz yönde etkilediği,
- Alt kat çerçeveleri tamamen boş bırakılan modelde, yumuşak kat davranışına katkının etkili olduğu,
- Bununla birlikte boş çerçeve göre, tam dolgulu çerçevenin performansının geliştiği sonucuna varmışlardır.

Baran ve ark. (2009), yapılarda bulunan boşluklu tuğla dolgulu duvarların yüksek dayanımlı ön üretimli beton paneller kullanılarak güçlendirilmesi konusunda deneysel çalışmışlardır. Çalışmalarında, Türkiye'deki binaların büyük çoğunluğunda rastlanan kusurlara sahip 1/3 ölçekli, iki katlı ve tek açıklıklı dört adet çerçeve üretmişlerdir. Daha sonra bu numuneleri, tersinir-tekrarlanır yatay yük ve sabit düşey yük altında test etmişlerdir. Güçlendirme çalışmalarında iki değişik ön üretimli panel tipi kullanmışlardır. Yaptıkları deneyler neticesinde;

- Boşluklu tuğla dolgu duvarlarının, ön üretimli yüksek dayanımlı beton panellerle güçlendirilmesi yönteminin mevcut yapıların depreme karsı güçlendirilmesinde etkin, ekonomik ve uygulanması kolay bir yöntem olabileceği,
- Ön üretimli yüksek dayanımlı beton panellerle güçlendirilen elemanların sismik performanslarının, yerinde dökme betonarme dolgulu elemanların

performanslarının seviyesine yakın hatta eşdeğer oranda olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Özdemir ve Eren (2009), kusurlu olarak üretildikleri varsayılan yapılara ait tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin, duvar yüzeyine uygulanan hasır donatı ve sıva ile güçlendirilmesi konusunda deneysel olarak çalışmışlardır. Çalışmalarında, 1/2 ölçekli, tek katlı, tek açıklıklı üç adet betonarme çerçeve üretmişlerdir. Numunelerden birini boş olarak, ikincini numuneye dolgu duvarı örerek ve diğer numuneyi ise dolgu duvar üzerine çelik hasır uygulaması ile (DBYBHY 2007 verilen parametreleri esas alarak) güçlendirmişler ve tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi altında test etmişlerdir. Çalışmalarının neticesinde;

- Boş çerçevenin duvarlı hale getirilmesiyle yük taşıma kapasitesinde 3.7 kat artış olduğu,
- Bölme duvarlı çerçevenin, hasır çelik ve sıva ile güçlendirilmesiyle numunenin yatay yük taşıma kapasitesinde 1.78 kat artış olduğu,
- Bölme duvarının ve bölme duvar güçlendirilmesinin, çerçevenin yanal rijitliğini ve enerji yutma kapasitesinide ciddi anlamda artırdığı sonucuna ulaşmışlardır.

Öztürk (2010), bina dışında oluşturulan betonarme perdelerin, mevcut betonarme çerçevelere farklı türlerdeki bağ kirişleri ile bağlanmasıyla yapılan güçlendirme yönteminin, taşıyıcı sistemlerin dayanım ve davranışına olan etkilerini deneysel ve analitik olarak incelemiştir. Yapmış oldu bu tez çalışmasında, 1/2 ölçekli, iki katlı, tek açıklıklı dört adet betonarme çerçeve üretmiştir. Bu numunelerden, birini boş çerçeve olarak, ikisini bağ kirişli betonarme dış perde duvar ile güçlendirerek ve birinide bağ kirişsiz betonarme dış perde duvar ile güçlendirerek depremi benzeştiren yatay yük altında test etmiştir. Yaptığı deneysel ve analitik çalışmalar neticesinde;

- Bağ kirişli dış perde ilavesi ile yapılan güçlendirmenin, boş betonarme çerçeveye, yatay yük, rijitlik ve enerji yutma kapasitesi olarak çok önemli katkıda bulunduğu,
- Statik itme (pushover) analizine göre bulunan yatay yük kapasitelerinin, deneylerden elde edilen sonuçlara, %7-%27 arasında yakınlık gösterdiği,

- Statik itme (pushover) analizine göre bulunan deplasman değerlerinin, deneylerden elde edilen sonuçlara göre büyük farklılıklar gösterdiği sonuçlarına ulaşmıştır.

Wang ve ark. (2010), betonarme duvarlardaki boşluklarının, betonarme duvarlara olan etkilerini deneysel ve analitik olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında, %40 ölçekli, tek açıklıklı, üç katlı iki numune üretmişlerdir. Numunelerindeki temel değişken, duvarda bırakılan boşluklarının konumlandırma şekli olmuştur. Numunelerin birisinde boşluklar, kolonlara bitişik şekilde diğerinde ise duvar merkezinde olacak şekilde konumlandırılmıştır. Boşluk boyutları, birinci ve ikinci katta 750x1000 mm ve üçüncü katta ise 750x250 mm'dir. Ürettikleri numuneleri, yatay yük ve düşey yük etkisi altında test etmişlerdir. Çalışmalarının neticesinde;

- Duvardaki boşluklar kolona bitişik olan numunede, duvar davranışının yükleme yönüne bağlı olduğu ve numunelerin yatay yük taşıma kapasitelerinin de yükleme yönünde farklılık gösterdiği,
- Duvar merkezinde boşluk bırakılan numunenin yatay yük taşıma kapasitesinin, kenarda boşluklu numuneye göre daha fazla olduğu sonuçlarına ulaşmışlardır.

Yılmaz ve ark. (2010), mevcut binanın kullanımını aksatmayacak ve ilave işleri en aza indirecek şekilde, binanın dışından yapılacak dış perde duvarla güçlendirilmesi konusunda, deneysel ve analitik olarak çalışmışlardır. Çalışmalarında, 1/3 ölçekli, iki katlı, iki açıklıklı olarak modellenen ve ülkemizdeki betonarme binalarda sıkça rastlanan tasarım ve yapım kusurlarını içeren toplam sekiz adet betonarme çerçeve üretmişlerdir. Bu numunelerden dört adedini güçlendirmeden, dört adedini ise betonarme dış perde duvar uygulaması ile güçlendirerek, tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi altında ve çerçeve kolonlarında yüksek seviyede (basınç kırılması oluşturabilecek seviyede) normal kuvvet etkisi olacak şekilde test etmişlerdir. Ayrıca deneylerden elde ettikleri sonuçları, yaptıkları analitik hesapları neticesinde buldukları sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Yaptıkları deneyler ve analitik çalışmalardan neticesinde;

- Betonarme çerçeve türü yapıların dış perde duvar ile dıştan ve tek taraftan güçlendirilmesi ile oluşan karma sistem, mevcut zayıf sistemin yatay yük dayanımını ve rijitliğini önemli miktarlarda artırdığı,

- Böylelikle, dış perde duvarın çerçeve sistemine iç perde duvar kadar pozitif etki yaptığını ve bu yöntemin alternatif bir güçlendirme metodu olarak uygulanabileceği sonuçlarına ulaşmışlardır.

Çankaya ve Dönmez (2011), dolgu duvarların tekrarlı tersinir yükler altında betonarme çerçevelerin rijitlik, dayanım, ötelenme profili ve doğal frekanslarına olan etkileri incelemişlerdir. Çalışmalarında, dört katlı, tek açıklıklı çerçeveler kullanılmışlardır. Çalışmanın değişkenleri, dolgu duvarın mevcudiyeti ve sünek veya gevrek davranışa yol açacak şekilde seçilmiş donatı detaylarıdır. Deneylerde her bir çerçeve, kat seviyelerinden uygulanan yatay yüklere ters üçgen yükleme profiline maruz bırakılmış ve önceden belirlenen ötelenme seviyelerine ulaştırılmıştır. Ayrıca deneylerinde, çerçevelerin dinamik değişkenlerinin belirlenmesi amacıyla her bir hasar seviyesinde darbe çekici uyarıları vermişlerdir. Çalışmalarının neticesinde;

- Dolgu duvarların çerçevelerin rijitlik ve yanal yük dayanımlarını arttırdığı,
- Yapılan dinamik ölçümlerden ise doğal frekansların artan hasarlarla birlikte düştüğü sunucuna ulaşmışlardır.

Kaplan ve ark. (2011), betonarme yapıların, düzlem dışı betonarme duvarlarla güçlendirmesi konusunda deneysel ve analitik olarak çalışmışlardır. Bu amaçla 1/3 ölçekli, tek açıklıklı, iki katlı, üç boyutlu iki adet numune üretmişlerdir. Hazırlanan iki numuneden, birisi boş çerçeveli referans numune diğeri ise orta açıklıkta yer alan çerçevelerin düzlem dışı B/A duvar ile güçlendirilmesi oluşturulan numunedir. Boş çerçeveli numune ve güçlendirilen numunelerin davranışlarını belirlemek amacıyla tersinir-tekrarlanır yatay yük altında test etmişlerdir. Deneylerde yatay yüklemeyi sadece üst kiriş hizasından uygulamışlardır. Deneylerden elde ettikleri veriler ışığında;

- Boş çerçeveli numunede yatay yük taşıma kapasitesi 68.7 kN iken düzlem dışı betonarme duvarla güçlendirilmiş numunede 223.5 kN olduğu,
- Düzlem dışı betonarme duvarla güçlendirilmiş numunede ilk yanal rijitlik oranının, boş çerçeveli numuneye göre 7 kat artış gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Korkmaz ve ark. (2011), sünek olmayan betonarme çerçevelerin hasır çelik ve sıva uygulaması ile güçlendirilmesi konusunda deneysel olarak çalışmışlardır. Deneysel çalışmaları için 1/2 ölçekli, iki katlı ve tek açıklıklı betonarme deney numuneleri üretmişlerdir. Numunelerini, düşük basınç dayanımına sahip beton kullanarak ve betonarme çerçeveli yapılarda sıkça rastlanan donatı detaylandırma eksiklerini yansıtacak şekilde üretmişlerdir. Ürettikleri bu numunelerden, birini tuğla dolgu duvarlı olarak diğerlerini ise hasır çelik ve sıva uygulaması ile güçlendirerek tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında test etmişlerdir. Çalışmalarının sonunda;

- DBYBHY 2007'de önerilen ve güçlendirme çalışmalarında uyguladıkları yöntemin, beton dayanımı çok düşük (C15'in altında) ve boyuna donatıları bindirmeli ek boyları yetersiz yapılarda tek başına kullanılmaması, önce kolonların mantolanması gerektiği, aksi takdirde kolon donatılarının yatay yükler altında sıyrılacağı ve yapılan güçlendirmenin etkili olamayacağı,
- Ayrıca, beton dayanımının C10'un altında olduğu ve kolon kiriş birleşimlerinde kolon etriyelerinin devam ettirilmediği çerçevelerde, güçlendirilmiş tuğla duvarın çerçeve dayanımına yapacağı katkının sınırlı olacağı sonucuna varmışlardır.

Özdöner (2011), çalışmasında, güçlendirme uygulamasının imalatı sırasında binayı terk etmeden binanın dışından sistemin iyileştirilmesi yöntemini araştırmıştır. Bu amaçla, 1/3 ölçekli, deprem davranışı yetersiz, iki açıklıklı ve iki katlı bir adet güçlendirilmemiş betonarme çerçeveyi ve iki adet de aynı özelliklerdeki mevcut betonarme çerçeveyi farklı prefabrike dış paneller ilavesi ile güçlendirmiştir. Bu numuneleri deprem etkisini benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükleme etkisi altında test etmiştir. Deneysel çalışmasının sonunda güçlendirilmemiş numune ve güçlendirilmiş numunelerin birbirleri ile karşılaştırmasını yapmıştır.

Marius ve Valeriu (2012), betonarme duvarlarda, dikey konumlandırılmış ve şaşırtmalı olarak uygulanmış kapı boşluklarının, betonarme duvarların sismik enerji tüketme kapasitesine olan etkilerini deneysel olarak ve teorik olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında, dört farklı model ortaya koymuşlardır. Modellerindeki temel değişken, kapı boşluklarının yerleşiminde yatay açı parametresinin farklılığı olmuştur. Deneysel

çalışmalarındaki numunelerinin boyutlarını, teorik çalışmalarındaki model boyutlarının 1/4'ü olacak şekilde üretmişlerdir. Numunelerinde, yatayda 250 mm ve düşeyde 500 mm olacak şekilde kapı boşluğu bırakmışlardır. Ürettikleri numuneleri, yatay yük ve düşey yük etkisi altında test etmişlerdir. Çalışmalarının neticesinde;

- Teorik ve deneysel çalışmalarından elde ettikleri yatay yük-deplasman değerleri arasında çok küçük farklar olduğu,
- Teorik ve deneysel modellerin, enerji tüketme kapasiteleri arasında büyük farklar olmadığı,
- Teorik ve deneysel modeller arasında en az enerji tüketme kapasitesine sahip modelin, kapı boşluklarının dikey olarak konumlandırıldığı model olduğu sonuçlarına ulaşmışlardır.

Ünal (2012), deprem davranışı yetersiz betonarme çerçevelerin, düzlem dışı betonarme dolgu duvarlarla güçlendirilmesi konusunda deneysel çalışma yapmıştır. Yaptığı çalışma kapsamında 1/3 ölçekli, tek açıklıklı ve iki katlı 4 adet deney numunesi üretmiştir. Üretilen bu deney numunelerinden 1 adedini betonarme boş çerçeve olarak, 1 adedini kolonlarının üç tarafı betonarme mantolu olarak, 1 adedini pencere boşluklu düzlem dışı betonarme perde duvar ile güçlendirerek ve son deney elemanını ise parçasal düzlem dışı betonarme perde duvar ile güçlendirerek depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay yükler etkisinde test etmiştir. Yapılan deneyler sonunda deney elemanlarına ait histeresis eğrilerini, zarf eğrilerini, rijitlik, süneklik ve tüketilen enerji grafiklerini oluşturmuş ve deney elemanları arasındaki davranış farklılıklarını incelemiştir. Çalışmasının sonunda ise elde edilen deneysel sonuçları değerlendirmiş ve önerilerde bulunmuştur.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında; deneyler için 1/3 ölçekli, tek açıklıklı ve iki katlı 6 adet numune Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem Araştırma Laboratuvarında yatay olarak üretilmiştir. Deney numunelerinin hepsinde betonarme çerçevelerin, geometrik özellikleri ve donatı özellikleri aynıdır. Çerçevelerde kullanılacak beton basınç dayanımının (15 MPa) ve betonarme dolgu duvarda kullanılacak beton basınç dayanımının (25 MPa) olması hedeflenmiştir. Betonarme çerçevelerin beton kalitesinin aynı olabilmesi için bütün çerçevelerin betonu, hazır beton olarak aynı anda dökülmüştür. Betonarme çerçevedeki eleman boyutları, ülkemizdeki mevcut binalardaki kolon ve kiriş boyutları dikkate alınarak ve laboratuvar şartları göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Deney numunelerinin betonarme çerçevesinin, süneklik düzeyinin düşük olması amaçlanmıştır. Bu amaçla betonarme çerçeveler, aşağıda belirtilen kusur ve zayıflıklara sahip olacak şekilde tasarlanmış ve üretilmiştir;

a) Beton dayanımının düşük olması,

b) Zayıf kolon güçlü kiriş uygulaması,

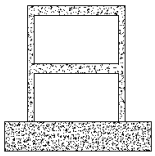
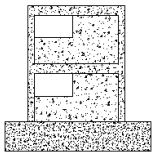
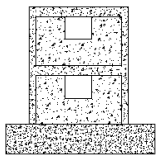
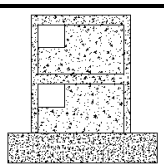
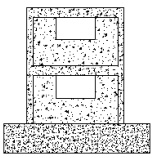
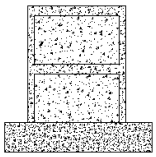
c) Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırmasının olmaması,

d) Kolon-kiriş birleşim bölgesi içinde etriye bulunmaması,

e) Etriye kancalarının 90^{o} olması.

Deney numuneleri, test edilme sırasına ve numunelerdeki değişkenlere göre Çizelge 3.1'de verilmiştir. Deneyler için üretilen dolgu duvarsız betonarme çerçeve, kontrol amaçlı üretilmiş referans numunedir. Diğer deney numunelerinden 4 adedi çeşitli boyuttaki pencere boşluklarına sahip betonarme dolgu duvarlarıyla, 1 adedi ise boşluksuz betonarme dolgu duvarla güçlendirilmiştir. Dolgu duvarlarda pencere boşluklarının boyutları ve yerleşim şekilleri belirlenirken, genel olarak yapılarda uygulanan pencere özelliklerini yansıtabilmek amaçlanmıştır. Deney numunelerindeki pencere özelliklerine benzer ve gerçek yapılarda uygulamaları olan pencerelere ait bazı fotoğraflar Şekil 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deney numuneleri ve deneysel değişkenler

Deney Numunesi			B/A Dolgu Duvarı				
			Kalınlık b_w (mm)	Uzunluk l_w (mm)	Yükseklik H_w (mm)	Pencere boyutları (mm)	Boşluk Oranı (%)
1	Dolgu duvarsız B/A çerçeve (RS)		-	-	-	-	100
2	B/A dolgu duvarlı kenarda büyük pencereli (ISWSBW)		70	1300	750	600x350	21.54
3	B/A dolgu duvarlı ortada küçük pencereli (ISWMSW)		70	1300	750	400x350	14.36
4	B/A dolgu duvarlı kenarda küçük pencereli (ISWSSW)		70	1300	750	400x350	14.36
5	B/A dolgu duvarlı ortada büyük pencereli (ISWMBW)		70	1300	750	600x350	21.54
6	Tam B/A dolgu duvarlı (ISWF)		70	1300	750	-	0

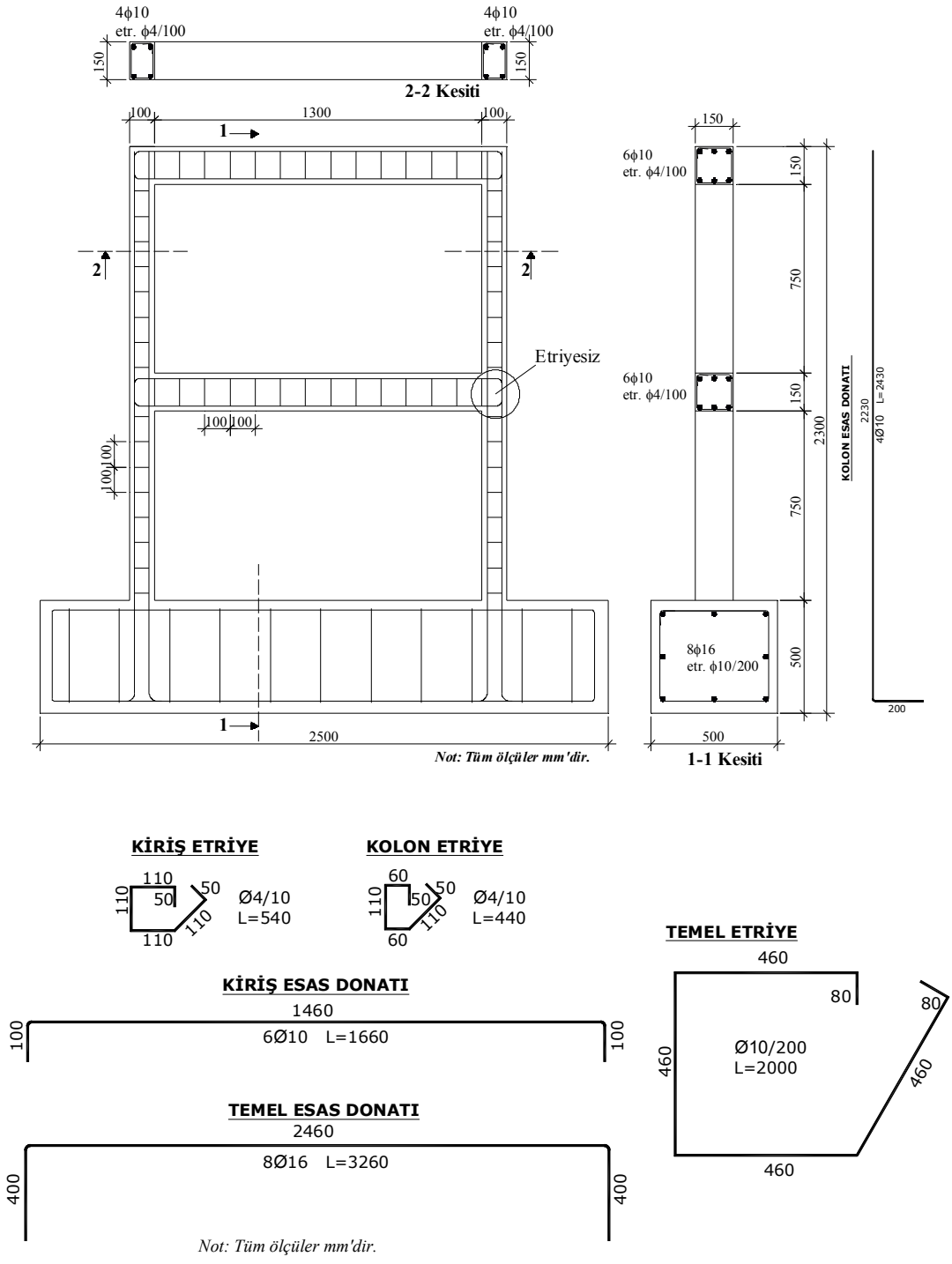


Şekil 3.1. Yapılarda uygulanan bazı pencere çeşitleri

3.1. Deney Numunelerinin Detayları

3.1.1. Dolgu duvarsız betonarme çerçeve

Çalışma kapsamında üretilen betonarme çerçevelerde kat yüksekliği 900 mm ve çerçeve açıklığı ise 1500 mm'dir. Kuvvetli kiriş-zayıf kolon uygulaması için, kirişlerin boyutu 150x150 mm ve kolonların boyutları ise 100x150 mm olarak belirlenmiştir. Betonarme çerçeve 500x500x2500 mm boyutlarındaki betonarme temel kirişine mesnetlenmiştir. Çerçeve donatılarının üretiminde; kolon, kiriş etriyelirinde düz yüzeyli (S220), diğer donatılarda ise nervürlü donatı (S420) kullanılmıştır. Betonarme çerçevelerin donatı ve boyut detayları Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Betonarme çerçevelerin donatı ve boyut detayları

Çerçeve numunelerinin kirişlerinde açıklıkta altta 3ϕ10 eğilme donatısı ve üstte 3ϕ10 montaj donatısı kullanılmıştır. Kirişlerde pilye kullanılmamış, açıklıkta ve mesnette donatı oranı sabit tutulmuştur. Kirişlerde kullanılan eğilme donatısı oranı; ρ=0,0105'tir. Bu donatı oranı TS500-2000'de belirtilen sınırlar dâhilindedir.

$$0.02 > \rho = \frac{A_{st}}{b_w \times h} = \frac{3 \times 79}{150 \times 150} = 0.01053 \geq \rho_{\min} = 0.8 \times \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} = 0.8 \times \frac{0.85}{3.65} = 0.00186 \quad (3.1)$$

Kolonlarda ise 4ϕ10 boyuna donatı kullanılmış olup donatı oranı ρ=0,02106'dir. Bu donatı oranı yönetmelikte belirtilen sınırlar dâhilinde olmaktadır.

$$\rho = \frac{A_{st}}{b_w \times h} = \frac{4 \times 79}{150 \times 100} = 0.02106 \geq \rho_{min} = 0.01 \quad (3.2)$$

Kirişlerde alt ve üst donatılar, kolon dış yüzeyine kadar uzatılmış ve bu noktadan itibaren kiriş yüksekliği boyunca (150 mm) yukarı ve aşağı yönde bükülmüştür. Kolon donatılarında ise boyuna donatı yerleşiminde sürekli donatı detayı uygulanmış ve bindirmeli ek yapılmamıştır.

Deney numunelerinin kolon ve kirişlerde, ϕ4/100 mm aralıklarla enine donatı kullanılmıştır. TS500-2000 ve DBYBHY 2007'de minimum etriye çapı için en az 8 mm olmalı şartı veya en büyük boyuna donatı çapı ϕl'nin üçte birinden az olmamalı şartı yer almaktadır. Kolonlarda etriye aralığı için ise en küçük boyuna çubuk çapı ϕ_l'nin 12 katından, en küçük enkesit boyutunun yarısından ve 200 mm'den fazla olamaz şartı yer almaktadır. Ayrıca kirişlerde etriye aralığı, kiriş faydalı yüksekliğinin yarısından fazla olamamalıdır (s ≤ d/2).

Kolonlar için;

Etriye çapı en az: $\phi l / 3 = 10 / 3 = 3.33mm$

Etriye aralıkları: $s \leq 12\phi_l = 12 \cdot 10 = 120mm$, $s \leq 200 / 3 \cong 67mm$ (3.3)

Kirişler için;

Etriye çapı en az: $\phi l / 3 = 10 / 3 = 3.33mm$

Etriye aralıkları sarılma bölgesi dışında: $s \leq d / 2 = 100 / 2 = 50mm$ (3.4)

TS500-2000 ve DBYBHY 2007'ye göre 1/3 ölçekli deney elemanlarının kolon ve kirişlerinde ϕ4/50 mm enine donatı kullanılması gerekmektedir. Ancak çalışma kapsamında etriye aralıklarının ilgili yönetmelik ve standartlara uygun yerleştirilmemesinin etkisi incelendiği için, etriye aralıkları 100 mm olacak şekilde düzenlenmiştir. Kolon ve kiriş etriyelerinin kancaları, uygulamadaki durum dikkate alınarak 90^o olacak şekilde düzenlenmiştir.

Betonarme çerçevelerin üretilmesinde ilk olarak, Şekil 3.2'de verilen donatı detaylarına göre donatılar hazırlanmıştır. Çerçeve detaylarında verilen kolon, kiriş ve temel boyutlarını sağlayacak şekilde 18 mm kalınlığındaki suntadan kalıplar hazırlanmış ve bu kalıplar beton dökümü esnasında açılmayacak bir şekilde birbirlerine vidalarla bağlanmıştır. Ayrıca temel kalıpları hazırlanırken numunelerin Deprem Laboratuvarındaki rijit döşemeye bağlanabilmesi ve yatay konumdaki numuneye kaldırma aparatının takılabilmesi için daha önceden belirlenen mesafelerden delikler açılmıştır. Temel kalıbındaki bu deliklerin, beton dökümü işleminde kapanmaması için deliklere çelik borular yerleştirilmiştir. Hazırlanan kalıplar içerine temel, kolon ve kiriş donatıları pas payı dikkate alınarak yerleştirilmiştir. Bütün kalıpların donatıları yerleştirildikten sonra hazır beton santralinden beton siparişi verilmiştir. Hazır beton santralinden transmikserle getirilen beton sırasıyla kalıplara dökülmüştür. Betonun kalıplara yerleştirilmesinde vibratör ve çelik şişler kullanılmıştır. Beton dökümü işleminden sonra mala yardımıyla beton yüzeyi düzeltilmiştir. Beton dökümü gerçekleştirildikten sonra numuneler prizini alması için 7 gün bekletilmiş ve kalıptan çıkartılmıştır. Deprem Araştırma Laboratuvarında bulunan vinç ve kaldırma aparatı kullanılarak yatay konumdan dik konuma getirilen numuneler beton dayanımını alabilmesi için bir ay bekletilmiştir. Betonarme çerçevelerin üretilmesi sırasında çekilen bazı fotoğraflar Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Betonarme çerçevelerin üretilmesine ait bazı fotoğraflar

3.1.2. Betonarme dolgu duvarla güçlendirilmiş numuneler

Çalışma kapsamında üretilen ve betonarme dolgu duvarla güçlendirilmiş 5 adet numunenin; betonarme çerçevelerinin özellikleri, dolgu duvarsız betonarme çerçeve ile aynıdır. Deney kapsamında üretilen betonarme çerçevelerden 4'ü çeşitli boyuttaki pencere boşluklarına sahip betonarme dolgu duvarlarıyla (perdeyle), 1'i ise boşluksuz betonarme dolgu duvarla güçlendirilmiştir.

Perde duvarlar, planda uzun kenarının kalınlığına oranı en az yedi olan düşey taşıyıcı sistem elemanlarıdır. DBYBHY 2007'de süneklik düzeyi yüksek perdeler için enkesit koşullarında; perde duvar kalınlığı, kat yüksekliğinin 1/20'sinden ve 200 mm'den az olamaz şartı yer almaktadır. 1/3 ölçekli güçlendirme çalışmalarında bu şartlar göz önünde bulundurularak, dolgu duvar kalınlığı (b_w) Denklem 3.5 ile hesaplanmıştır.

$$b_w \geq \frac{h}{20} = \frac{825}{20} = 41.25mm$$
$$b_w \geq \frac{200}{3} = 66.67mm \qquad (3.5)$$

Denklem 3.5'den elde edilen sonuçlara göre deney numunelerinde dolgu duvar kalınlığının 70 mm olarak yapılması düşünülmüştür. DBYBHY 2007'ye göre; perde yüksekliğinin, perdenin plandaki uzunluğuna oranı 2'den büyük olma durumunda ($H_w / l_w > 2.0$), her iki uçta perde uç bölgeleri oluşturulmalıdır. Deney numunelerinde, bu oran 2.0'den küçük olduğu için perde uç bölgeleri oluşturulmamıştır.

DBYBHY 2007'de, perdenin her iki yüzündeki gövde donatılarının toplam enkesit alanı (A_s) için düşey ve yatay donatıların her biri için, perde uç bölgelerinin arasında kalan perde gövdesi brüt enkesit alanının 0.0025'inden az olmaması şartı yer almaktadır. Deney numunelerinin, 1 m uzunluğunda dolgu duvarı için minimum gövde donatısı miktarı Denklem 3.6 ile hesaplanmıştır.

$$A_s = 0.0025 \times b_w \times l_w = 0.0025 \times 70 \times 1000 = 175mm^2 = 1.75cm^2 \qquad (3.6)$$

Deney numunelerinin doldu duvarlarında, gerekli gövde donatısı şartını sağlayan Q188/188 tipi hasır çelik kullanılmıştır. Q188/188 tipi hasır çeliğine ait geometrik ve

mekanik özellikler Çizelge 3.2'de verilmiştir. Hasır donatı aralıkları düşeyde ve yatayda 150 mm aralıklıdır. Hasır çelikte yatayda ve düşeyde 1 m^2'ye düşen donatı alanı 1.88 cm^2'dir. Hasır çelik betonarme dolgu duvarlarında her iki yüzde de kullanıldığından, düşey ve yatay donatıların alanı 3.76 cm^2'dir.

Çizelge 3.2. Betonarme dolgu duvarlarda kullanılan hasır çeliğin özellikleri

Hasır Tipi Q188/188	**Boyu** (mm)	**Eni** (mm)	**Çubuk çapı** Düşeyde ve yatayda (mm)	**Göz aralığı** Düşeyde ve yatayda (mm)	**En kesit** Düşeyde ve yatayda (cm^2/m)	**Akma dayanımı** f_{yk} (MPa)	**Kopma dayanımı** f_{su} (MPa)
	5000	2150	6.0	150	1.88	500	550

Güçlendirme çalışmalarında, betonarme dolgu duvarları ile betonarme çerçeve arasında gerekli bağlantıyı sağlayacak olan ankraj çubuklarının detayları belirlenirken DBYBHY 2007'de ankraj çubukları için şartlar göz önünde tutulmuştur. DBYBHY 2007'ye göre ankraj çubukları için minimum çap ϕ16 mm, ankraj aralıkları maksimum 400 mm ve ankraj derinliği en az çubuk çapının 10 katı kadar olmadır. Ankraj çubukları için verilen bu şartlara göre 1/3 ölçekli deney numunelerinde kullanılacak olan ankraj çubuğu çapı (ϕ16/3=ϕ5.3 mm) olarak bulunur. Ancak deneylerde ankraj donatısı yetersizliğinden dolayı deney sonuçlarını olumsuz yönde etkileyecek bir durumla karşılaşmamak için ankraj çubuğu olarak ϕ10 mm çapında nervürlü donatı kullanılmıştır. Ankraj derinliklerinin temelde 200 mm (20ϕ), kolonlarda 80 mm (8ϕ) ve kirişlerde 130 mm (13ϕ) olması hedeflenmiştir. Alt kirişte kullanılan ankraj donatıları, pencere boşluklarının olmadığı yerlerde kiriş üstünden altına kadar açılan deliklere sabitlenmiştir. Ankraj donatılarının aralıkları, dolgu duvardaki pencere boşluklarının yerleşim durumuna göre kirişlerde 165 mm, kolonlarda 150 mm ve temelde 165 mm olarak belirlenmiştir. Ankraj donatılarının filiz boyları kiriş ve kolonlarda 200 mm (20ϕ), temelde ise 300 mm (30ϕ)'dir.

Ankraj donatılarının betonarme çerçeveye ekilebilmesi için betonarme çerçeve üzerinde belirlenen yerlere darbeli matkap kullanılarak 12 mm çapında delikler açılmıştır. Numunelerin temel, kolon ve kirişlerinde açılan bu deliklerin daha önceden belirlenen derinlikte olmasına özen gösterilmiştir. Tüm numunelerde delik açma işlemi tamamlandıktan sonra deliklerde biriken tozları temizlemek için basınçlı hava kullanılmıştır. Bu temizleme işlemine ilk olarak delik diplerinden başlamaya özen gösterilmiştir. Temizlenen delikler, kartuşlu epoksi ile delik diplerinden başlanılarak

tamamen doldurulmuştur. Daha önceden hazırlanan ankraj donatıları, epoksi reçinesi sertleşmeden yerlerine ekilmiştir. Ekme işlemi sırasında ankraj donatıları kendi ekseni etrafında döndürülerek deliklere yerleştirilmiştir (Şekil 3.4).



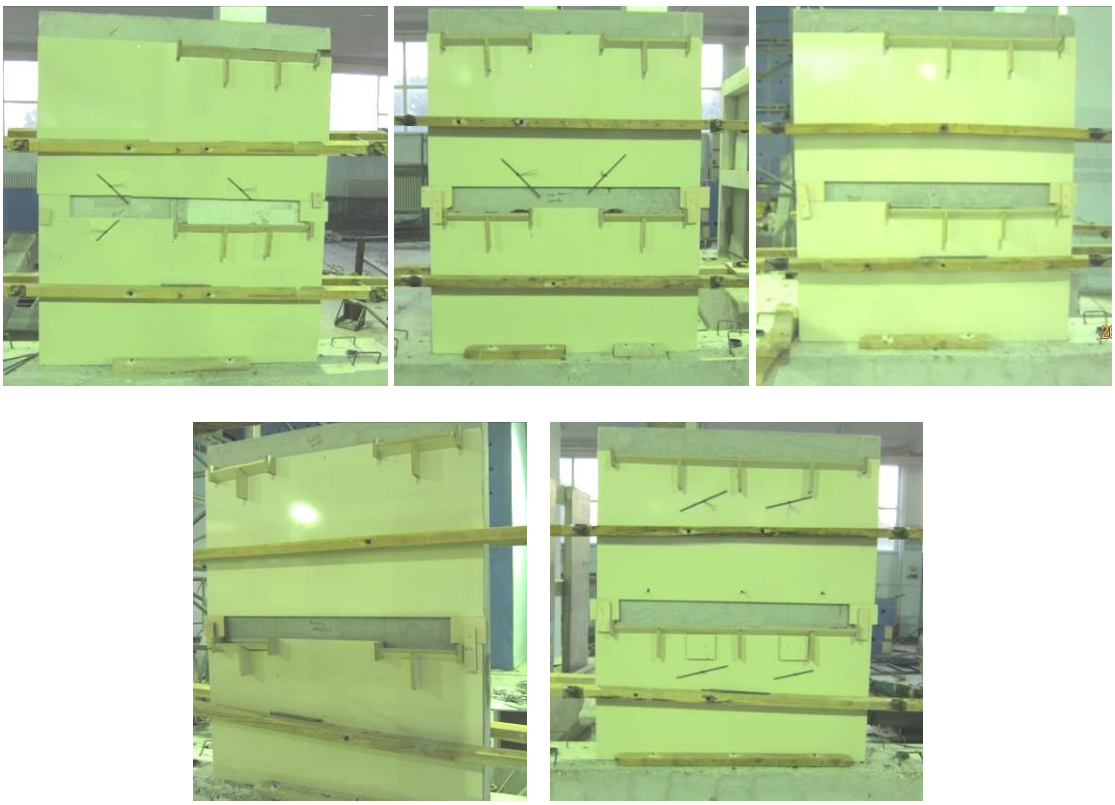
Şekil 3.4. Ankraj donatılarının ve deliklerin hazırlanarak donatıların ekilmesi

Ankraj donatısı ekme işleminden sonra epoksi reçinesinin priz alma süresi beklenilerek güçlendirme işlemlerine devam edilmiştir. 18 mm kalınlığındaki sunta kullanılarak betonarme dolgu duvarların kalıpları imal edilmiştir. Dolgu duvarların beton dökümü işleminden sonra kalıpların kolay sökülebilmesi için yüzleri parlak ve kaygan sunta kullanılmıştır. Dolgu duvarların betonu yukarıdan dökületeceği için ön yüzeyde bulunan kalıpların üst tarafları açık bırakılmıştır. Pencere boşluklu betonarme dolgu duvarlı numunelerin arka yüzeyinde bulunan kalıplara, pencere boyutlarına göre hazırlanan sunta çerçeveler vidalarla sabitlenmiştir. Dolgu duvarların gövde donatıları, hasır çelikten pencere boşlukları da dikkate alınarak belirlenen boyutlarda hazırlanmıştır. Hazırlanan bu gövde donatıları, perdenin ön ve arka yüzeyinde olacak

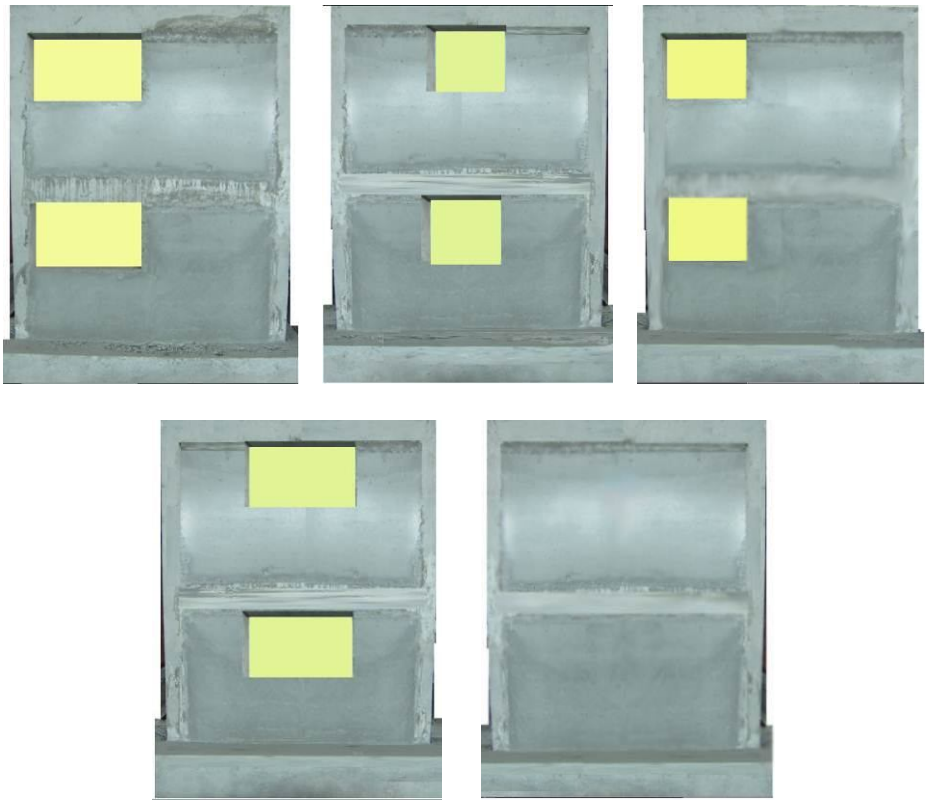
şekilde betonarme çerçeve içerisine yerleştirilmiştir (Şekil 3.5). Dolgu duvarlarının beton dökümü işleminde, gövde donatılarının sabit kalabilmesi ve gerekli pas payının oluşturulabilmesi için hasır çelik, ankraj donatılarına telle bağlanmıştır. Kalıp işlemleri yapılırken betonarme dolgu duvar kalınlığının 70 mm olmasına dikkat edilmiştir. Beton dökümü esnasında kalıpların açılmasını önlemek için kalıpların ön ve arka taraflarında destek tahtaları kullanılmıştır (Şekil 3.6). Numuneler için kalıp işlemi tamamlandıktan sonra hazır beton santralinden kendiliğinden yerleşen beton siparişi verilmiştir. Hazır beton santralinden transmikserle getirilen beton, kalıpların üstünde bırakılan boşluklardan kova yardımıyla kalıplara dökülmüştür. Betonun kalıplara yerleştirilmesinde plastik tokmak kullanılmıştır. Bu sırada betondan, 5 adet silindir numune alınmış ve daha sonra dayanımlarının belirlenmesi için saklanmışlardır. Beton dökümü gerçekleştirildikten sonra betonun prizini alması için 7 gün beklenmiş ve kalıplar çıkartılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.5. Gövde donatılarının betonarme çerçeve içine yerleştirilmiş hali



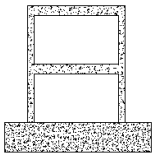
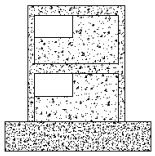
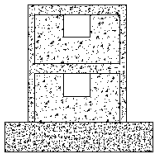
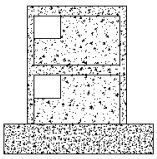
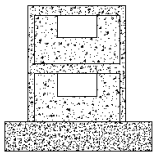
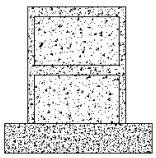
Şekil 3.6. B/A dolgu duvarlar için hazırlanan kalıp sistemi



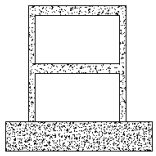
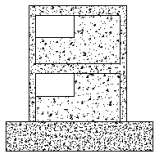
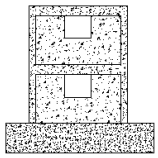
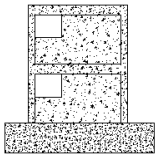
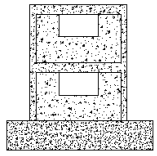
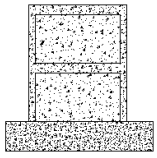
Şekil 3.7. B/A dolgu duvarlı numunelerin kalıpları söküldükten sonra görünümleri

Betonarme dolgu duvarla güçlendirilmiş 5 adet numunede kullanılan, ankraj donatısı oranları Çizelge 3.3'de, tek kat için gövde donatısı oranları Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Deney numunelerinde kullanılan ankraj donatıları

Deney Numunesi			Kolonlarda		ρ_{kolon}		Kirişlerde	$\rho_{kiriş}$
			Sağ	Sol	Sağ	Sol		
1	Dolgu duvarsız B/A çerçeve (RS)		-	-	-	-	-	-
			-	-	-	-	-	-
2	B/A dolgu duvarlı kenarda büyük pencereli (ISWSBW)		3ϕ10	5ϕ10	0.0084	0.0075	4ϕ10	0.0064
			3ϕ10	5ϕ10	0.0084	0.0075	8ϕ10	0.0069
							4ϕ10	0.0064
3	B/A dolgu duvarlı ortada küçük pencereli (ISWMSW)		5ϕ10	5ϕ10	0.0075	0.0075	6ϕ10	0.0075
			5ϕ10	5ϕ10	0.0075	0.0075	8ϕ10	0.0069
							6ϕ10	0.0075
4	B/A dolgu duvarlı kenarda küçük pencereli (ISWSSW)		3ϕ10	5ϕ10	0.0084	0.0075	6ϕ10	0.0075
			3ϕ10	5ϕ10	0.0084	0.0075	8ϕ10	0.0069
							6ϕ10	0.0075
5	B/A dolgu duvarlı ortada büyük pencereli (ISWMBW)		5ϕ10	5ϕ10	0.0075	0.0075	4ϕ10	0.0064
			5ϕ10	5ϕ10	0.0075	0.0075	8ϕ10	0.0069
							4ϕ10	0.0064
6	Tam B/A dolgu duvarlı (ISWF)		5ϕ10	5ϕ10	0.0075	0.0075	8ϕ10	0.0069
			5ϕ10	5ϕ10	0.0075	0.0075	8ϕ10	0.0069
							8ϕ10	0.0069

Çizelge 3.4. Deney numunelerinin B/A dolgu duvarlarında kullanılan gövde donatıları

Deney Numunesi			Düşey Donatı		ρ_d	Yatay Donatı		ρ_y
			Pencere alt kısmında	Tam perde kısmında		Pencere kısmında	Tam perde kısmında	
1	**Dolgu duvarsız B/A çerçeve (RS)**		-	-	-	-	-	-
			-	-	-	-	-	-
2	**B/A dolgu duvarlı kenarda büyük pencereli (ISWSBW)**		8ϕ6	10ϕ6	0.0056	4ϕ6	6ϕ6	0.0054
3	**B/A dolgu duvarlı ortada küçük pencereli (ISWMSW)**		6ϕ6	12ϕ6	0.0056	4ϕ6	6ϕ6	0.0054
4	**B/A dolgu duvarlı kenarda küçük pencereli (ISWSSW)**		6ϕ6	12ϕ6	0.0056	4ϕ6	6ϕ6	0.0054
5	**B/A dolgu duvarlı ortada büyük pencereli (ISWMBW)**		10ϕ6	8ϕ6	0.0056	4ϕ6	6ϕ6	0.0054
6	**Tam B/A dolgu duvarlı (ISWF)**		18ϕ6		0.0056	10ϕ6		0.0054

Çalışma kapsamında üretilen ve betonarme dolgu duvarla güçlendirmeleri yapılan numuneler sırayla anlatılmıştır. Ayrıca bu numunelere ait ankraj donatısı, gövde donatısı ve boyut detayları da verilmiştir.

Deney numunesi 2:

Numunenin dolgu duvarlarında, kolona bitişik olacak şekilde 600x350 mm boyutlarında pencere boşluğu bırakılmıştır. Betonarme dolgu duvarların, yüksekliği H_w=750 mm, uzunluğu l_w=1300 mm ve kalınlığı b_w=70 mm'dir. Gövde donatısı oranları; düşeyde ρ_d=0.0056, yatayda ρ_y=0.0054'dür. Numunede ankraj donatısı olarak; pencerelerin bitişik olduğu kolonlarda 3'er adet, diğer kolonlarda 5'er adet, kirişlerde 330 mm uzunluğunda 8 adet, 550 mm uzunluğunda 4 adet ve temelde ise 500 mm uzunluğunda 8 adet ϕ10'luk nervürlü donatı kullanılmıştır. Bu numunenin; boyut ve donatı detayları Şekil 3.8-Şekil 3.9'da verilmiştir.

Deney numunesi 3:

Numunenin dolgu duvarlarının orta hizasına denk gelecek şekilde 400x350 mm boyutlarında pencere boşluğu bırakılmıştır. Betonarme dolgu duvarların, yüksekliği H_w=750 mm, uzunluğu l_w=1300 mm ve kalınlığı b_w=70 mm'dir. Gövde donatısı oranları; düşeyde ρ_d=0.0056, yatayda ρ_y=0.0054'dür. Numunede ankraj donatısı olarak; kolonlarda 280 mm uzunluğunda 20 adet, pencerenin bitişik olduğu alt kirişte 330 mm uzunluğunda 2 adet, 550 mm uzunluğunda 6 adet, üst kirişte 330 mm uzunluğunda 6 adet ve temelde 500 mm uzunluğunda 8 adet ϕ10'luk nervürlü donatı kullanılmıştır. Bu numunenin; boyut ve donatı detayları Şekil 3.10-Şekil 3.11'de verilmiştir.

Deney numunesi 4:

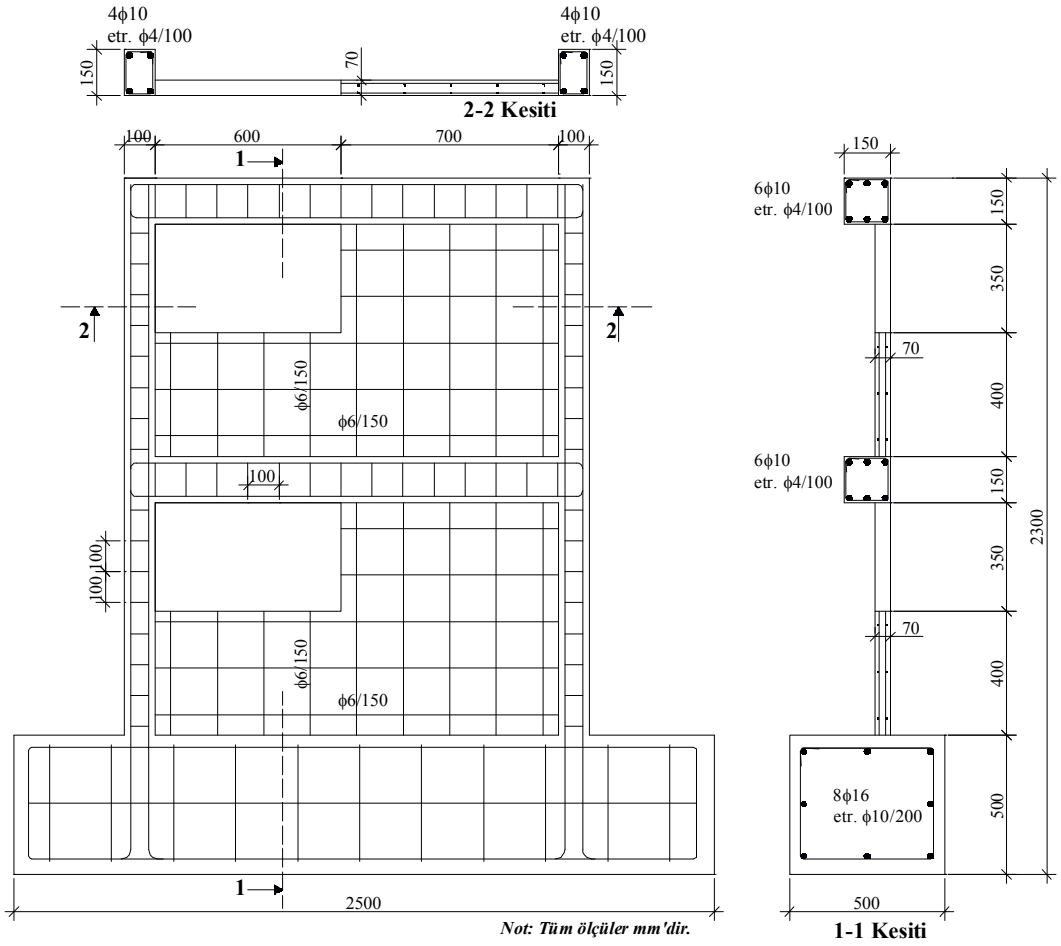
Numunenin dolgu duvarlarında, kolona bitişik olacak şekilde 400x350 mm boyutlarında pencere boşluğu bırakılmıştır. Betonarme dolgu duvarların, yüksekliği H_w=750 mm, uzunluğu l_w=1300 mm ve kalınlığı b_w=70 mm'dir. Gövde donatısı oranları; düşeyde ρ_d=0.0056, yatayda ρ_y=0.0054'dür. Numunede ankraj donatısı olarak; pencerelerin bitişik olduğu kolonlarda 3'er adet, diğer kolonlarda 5'er adet, kirişlerde 330 mm uzunluğunda 8 adet, 550 mm uzunluğunda 6 adet ve temelde ise 500 mm uzunluğunda 8 adet ϕ10'luk nervürlü donatı kullanılmıştır. Deney numunesi 4'e ait, boyut ve donatı detayları Şekil 3.12-Şekil 3.13'de verilmiştir.

Deney numunesi 5:

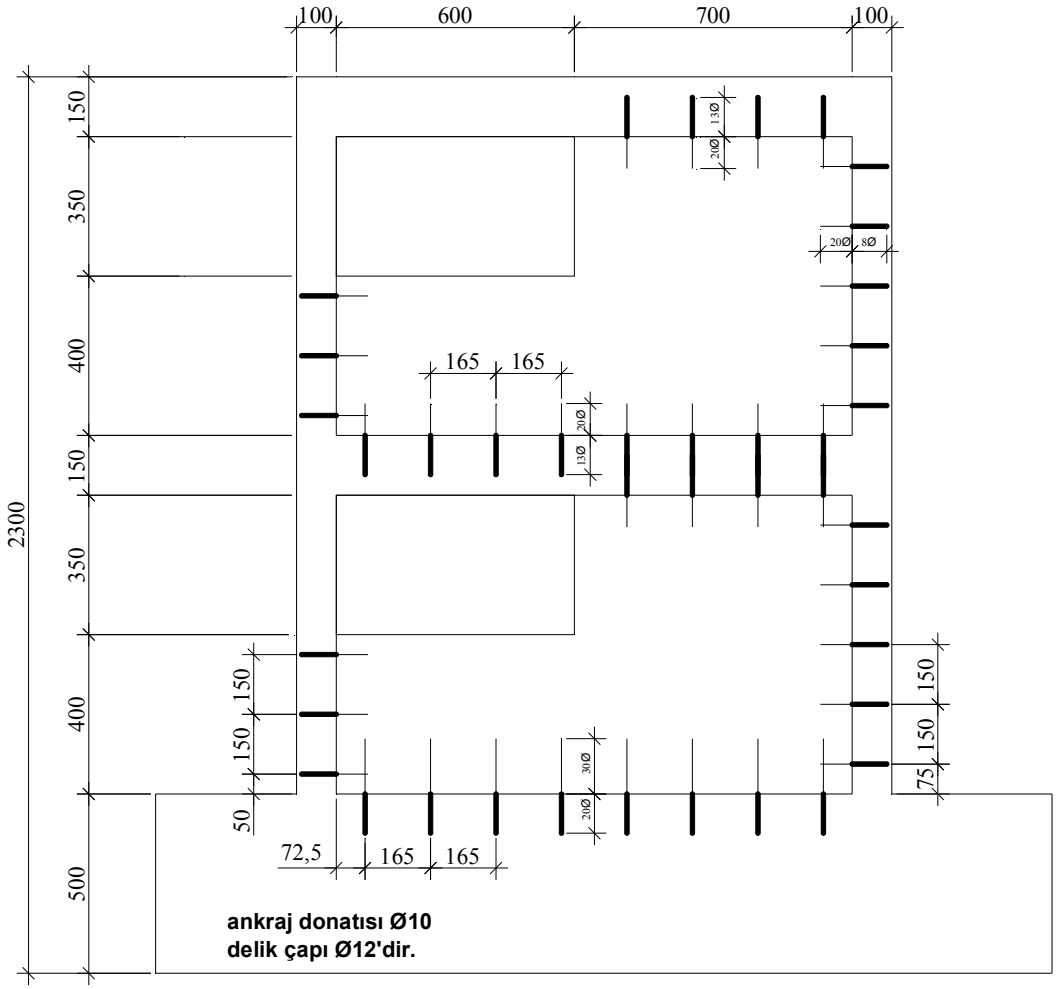
Numunenin dolgu duvarlarının orta hizasına denk gelecek şekilde 600x350 mm boyutlarında pencere boşluğu bırakılmıştır. Betonarme dolgu duvarların, yüksekliği H_w=750 mm, uzunluğu l_w=1300 mm ve kalınlığı b_w=70 mm'dir. Gövde donatısı oranları; düşeyde ρ_d=0.0056, yatayda ρ_y=0.0054'dür. Numunede ankraj donatısı olarak; kolonlarda 280 mm uzunluğunda 20 adet, pencerenin bitişik olduğu alt kirişte 330 mm uzunluğunda 4 adet, 550 mm uzunluğunda 4 adet, üst kirişte 330 mm uzunluğunda 4 adet ve temelde 500 mm uzunluğunda 8 adet ϕ10'luk nervürlü donatı kullanılmıştır. Deney numunesi 5'e ait, boyut ve donatı detayları Şekil 3.14-Şekil 3.15'de verilmiştir.

Deney numunesi 6:

Bu numune, betonarme çerçevenin içerisi pencere boşluğu bırakılmadan tamamen betonarme dolgu duvarla güçlendirilmiştir. Betonarme dolgu duvarların, yüksekliği H_w=750 mm, uzunluğu l_w=1300 mm ve kalınlığı b_w=70 mm'dir. Gövde donatısı oranları; düşeyde ρ_d=0.0056, yatayda ρ_y=0.0054'dür. Numunede ankraj donatısı olarak; kolonlarda 280 mm uzunluğunda 20 adet, alt kirişte 550 mm uzunluğunda 8 adet, üst kirişte 330 mm uzunluğunda 8 adet ve temelde 500 mm uzunluğunda 8 adet ϕ10'luk nervürlü donatı kullanılmıştır. Bu numuneye ait, boyut ve donatı detayları Şekil 3.16-Şekil 3.17'de verilmiştir.

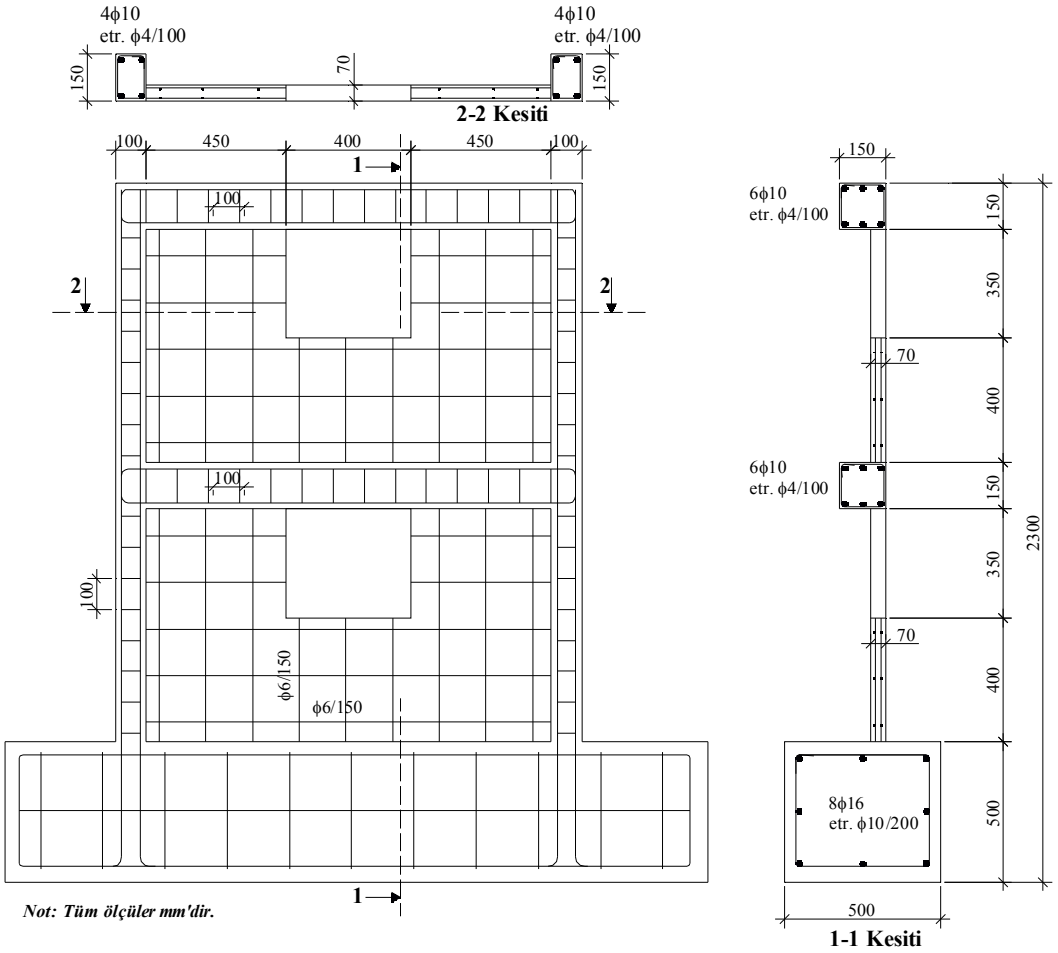


Şekil 3.8. Deney numunesi 2'ye ait boyut ve donatı detayları

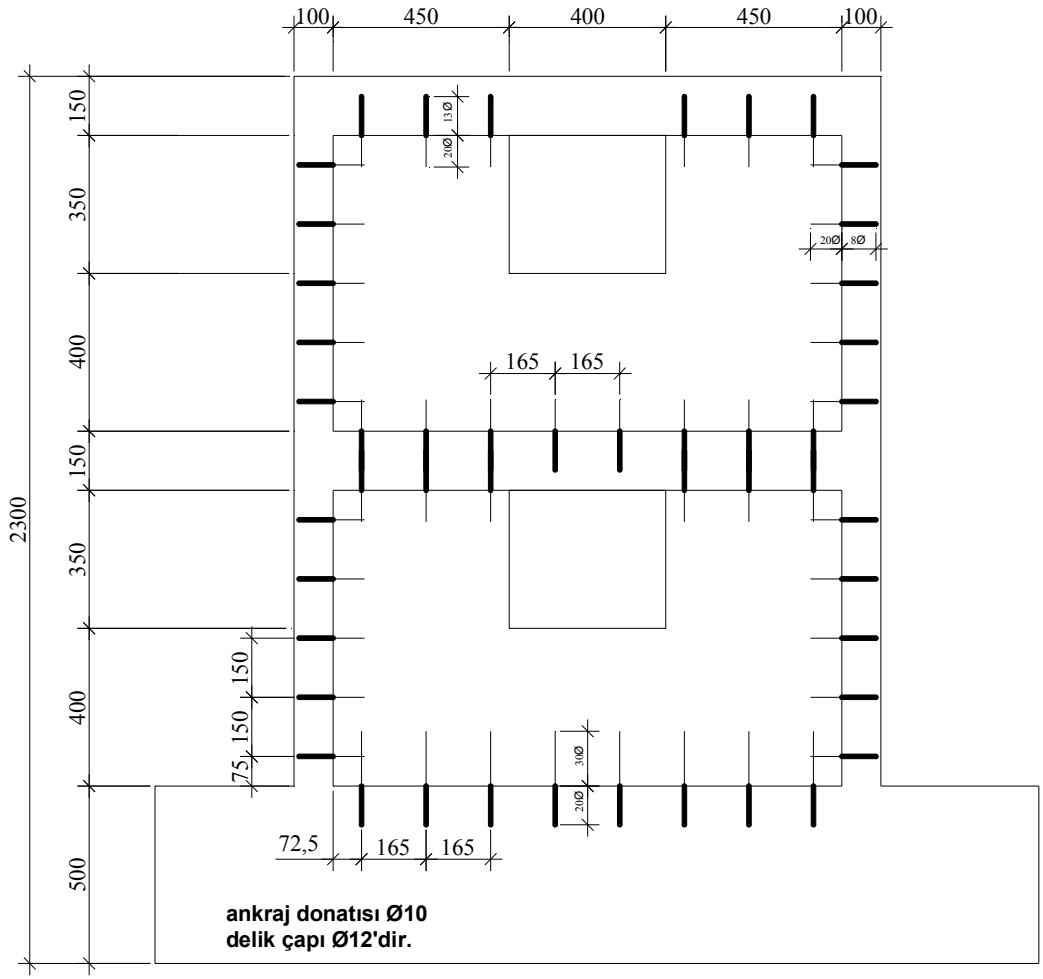


Not: Tüm ölçüler mm'dir.

Şekil 3.9. Deney numunesi 2'ye ait ankraj donatısı detayları

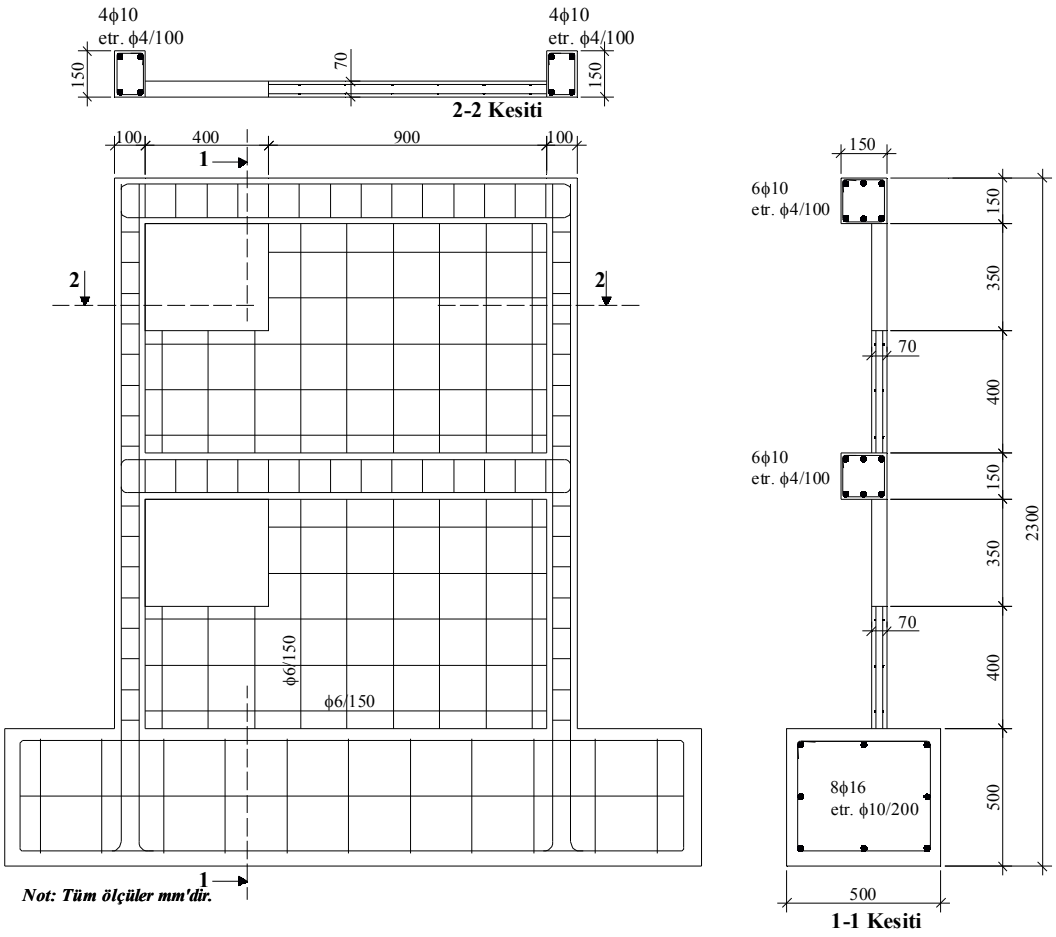


Şekil 3.10. Deney numunesi 3'e ait boyut ve donatı detayları

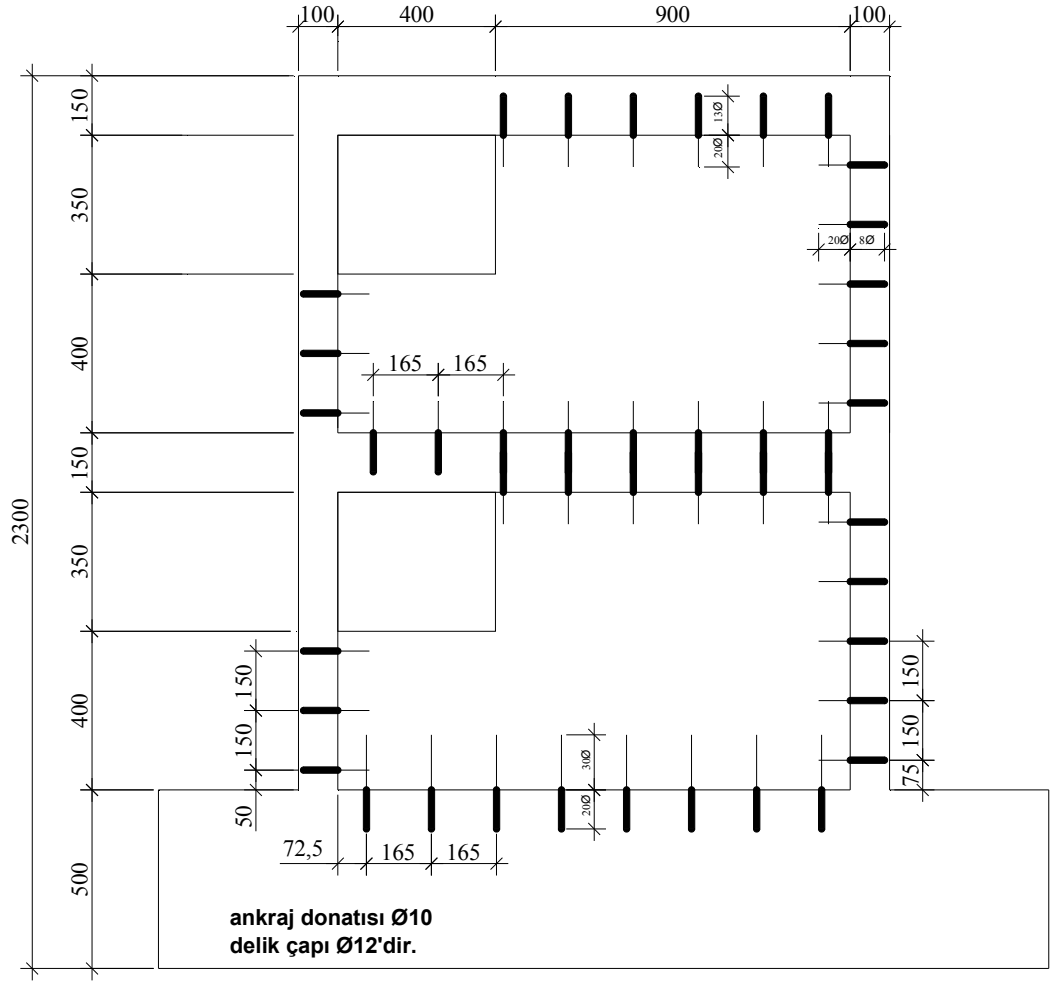


Not: Tüm ölçüler mm'dir.

Şekil 3.11. Deney numunesi 3'e ait ankraj donatısı detayları

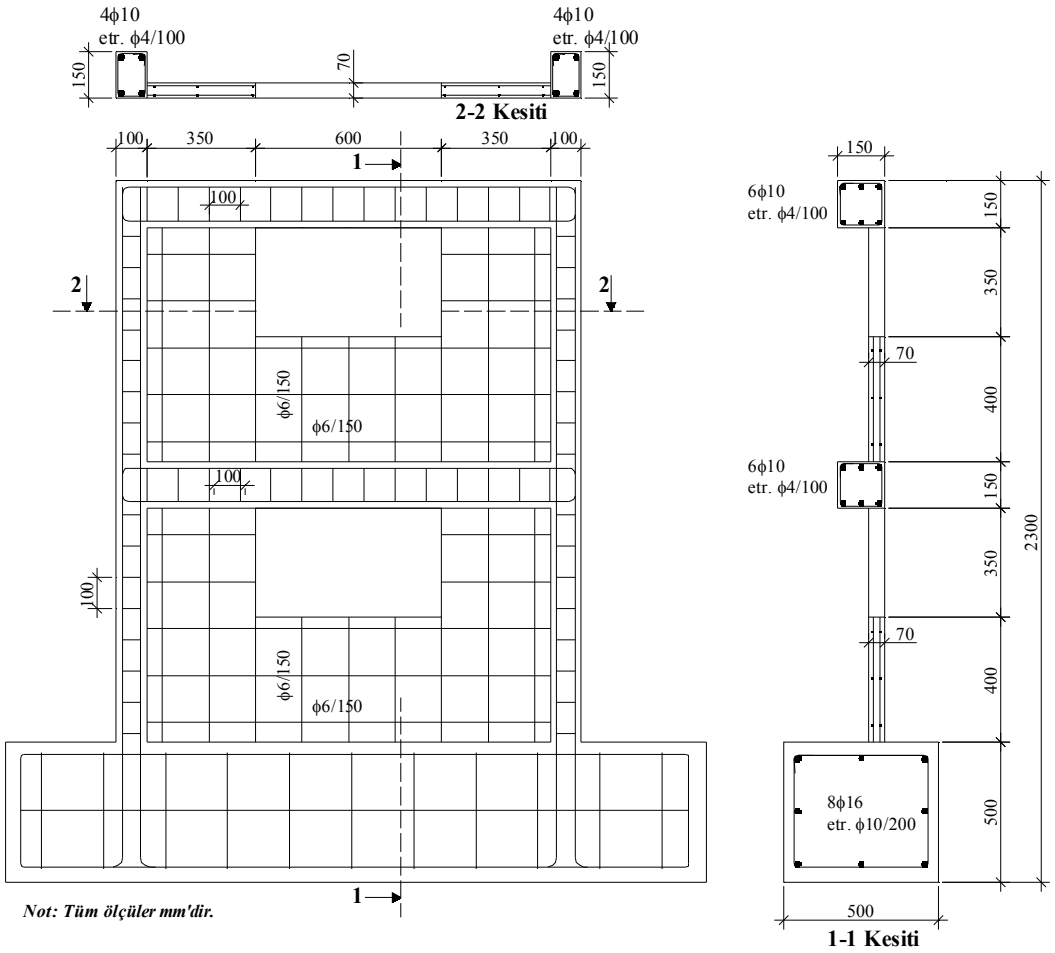


Şekil 3.12. Deney numunesi 4'e ait boyut ve donatı detayları

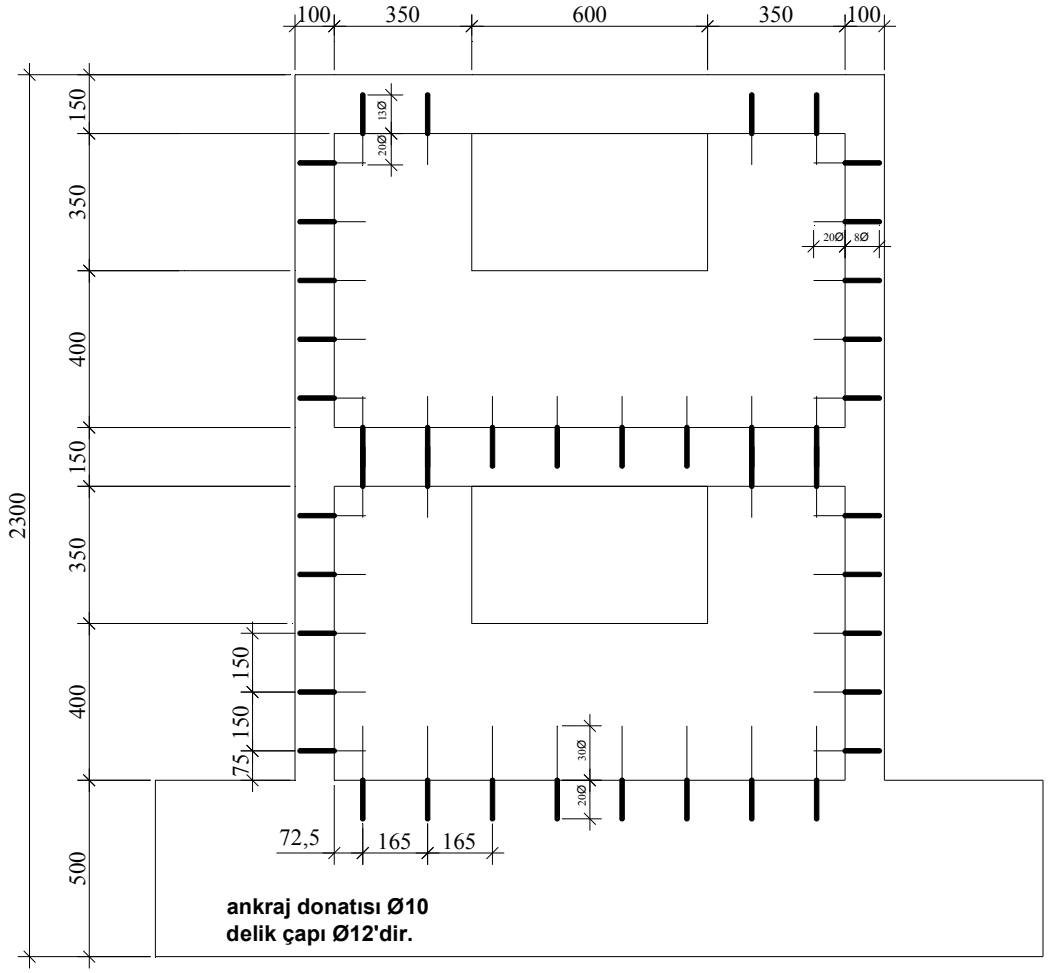


Not: Tüm ölçüler mm'dir.

Şekil 3.13. Deney numunesi 4'e ait ankraj donatısı detayları

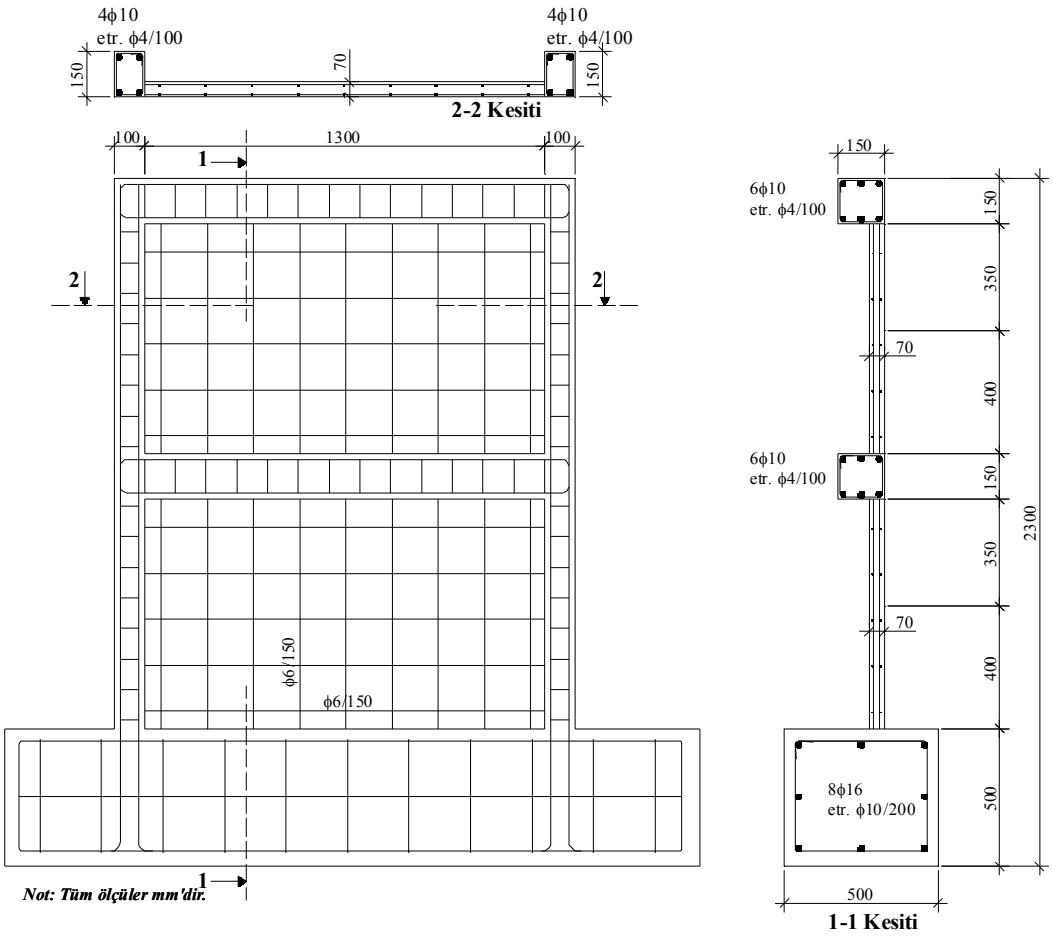


Şekil 3.14. Deney numunesi 5'e ait boyut ve donatı detayları

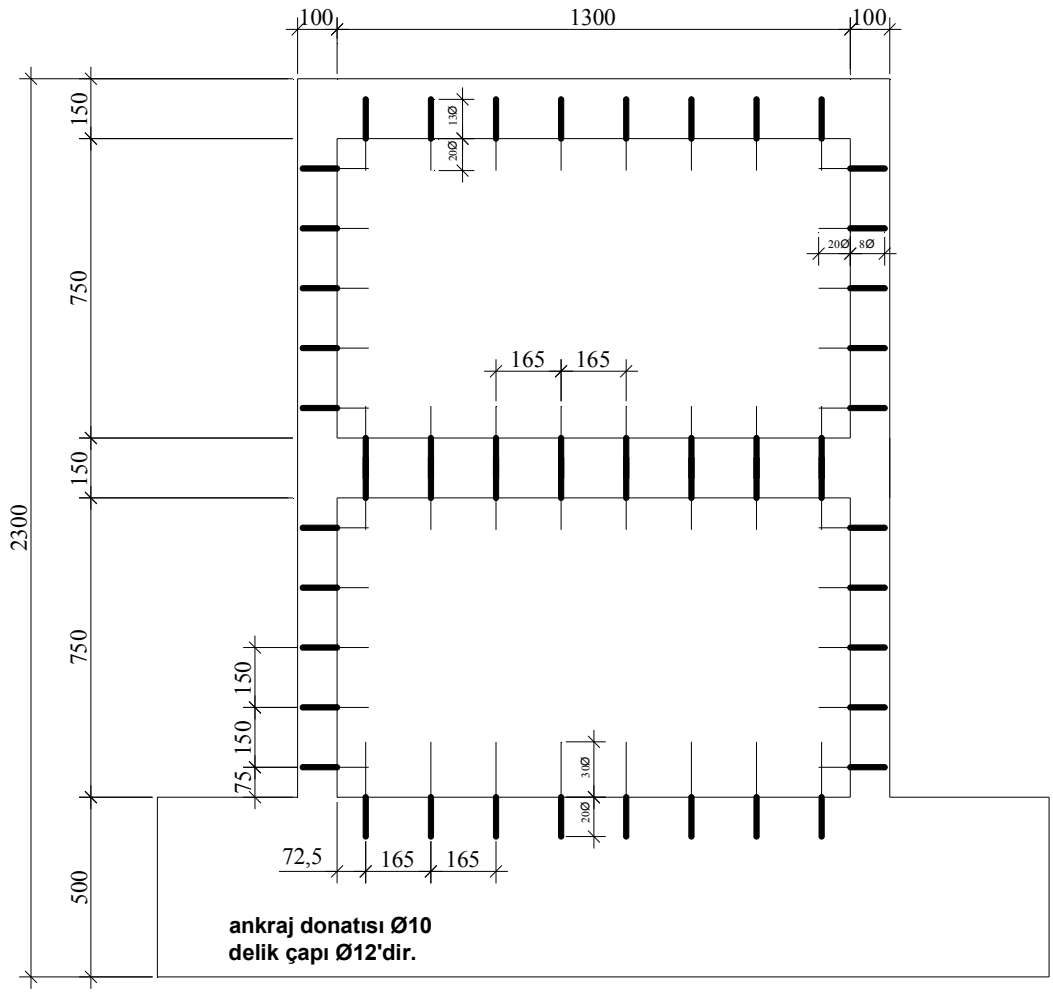


Not: Tüm ölçüler mm'dir.

Şekil 3.15. Deney numunesi 5'e ait ankraj donatısı detayları



Şekil 3.16. Deney numunesi 6'ya ait boyut ve donatı detayları



Not: Tüm ölçüler mm'dir.

Şekil 3.17. Deney numunesi 6'ya ait ankraj donatısı detayları

3.1.3. Deney numunelerinin üretiminde kullanılan malzemelerin özellikleri

Deney numunelerinin çerçeve üretiminde ve güçlendirme çalışmalarında kullanılan beton üzerinde basınç deneyi sonucunda elde edilen dayanım değerleri Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Deney numunelerinin çerçeve üretiminde ve güçlendirme çalışmalarında kullanılan donatılar, S.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarı'nda 80 ton kapasiteli çelik çekme cihazında test edilmiştir. Kullanılan donatıların karakteristik değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla 3'er adet 400 mm uzunluğunda numuneler alınarak test edilmiştir. Donatı çubuklarının test sonuçları Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Çerçevelerin üretiminde kullanılan betonun ortalama basınç dayanımı

Numune Numarası	Silindir Basınç Dayanımı $f_{c\,28.gün}$ (MPa)	Ortalama Basınç Dayanımı f_{cm} (MPa)
1	18.10	17.29
2	18.50	
3	15.28	

Çizelge 3.6. Güçlendirme işlemlerinde kullanılan betonun ortalama basınç dayanımı

Numune Numarası	Silindir Basınç Dayanımı $f_{c\,28.gün}$ (MPa)	Ortalama Basınç Dayanımı f_{cm} (MPa)
1	26.60	25.72
2	24.33	
3	22.63	
4	25.35	
5	29.71	

Çizelge 3.7. Donatı çubuklarının test sonuçları

Donatı çapı (mm)	Akma dayanımı f_y (MPa)		Kopma dayanımı f_{su} (MPa)		Donatı türü ve kullanıldığı yerler
	Ölçülen	Ortalama	Ölçülen	Ortalama	
ϕ8	384	390	486	489	S420 Temel enine donatıları
	402		497		
	384		483		
ϕ10	394	394	644	643	S420 Kolon, kiriş boyuna donatıları Güçlendirmede kullanılan ankraj donatıları
	396		645		
	391		640		
ϕ16	363	367	452	456	S420 Temel boyuna donatıları
	375		456		
	364		459		

Güçlendirme çalışmalarında ankraj donatılarının betonarme çerçeveye ekilmesinde, kartuşlu iki bileşenli, epoksi esaslı montaj malzemesi kullanılmıştır. Bu malzemeye ait ve ürün kataloğunda yer alan bazı teknik özellikler Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Epoksi esaslı montaj malzemesine ait bazı özellikler

Malzemenin yapısı	Epoksi Reçine ve Epoksi Sertleştirici	
Basınç dayanımı	1. gün için 30 N/mm^2	7. gün için 75 N/mm^2
Eğilme dayanımı	1. gün için 17 N/mm^2	7. gün için 25 N/mm^2
Yapışma dayanımı	28. gün için 3 N/mm^2	
Servis sıcaklığı	-15^{o}c ile +90 ^{o}c	

3.2. Deney Düzeneği, Ölçüm Tekniği ve Ölçümlerin değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında üretilen 1/3 ölçekli 6 numunenin, tersinir-tekrarlanır yük altında test edilebilmesi için S.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem Laboratuvarında yükleme düzeneği imal edilmiştir.

Deney numunelerine yatay yükleme, hidrolik kriko yardımıyla itme veya çekme olarak uygulanmıştır. Deneylerde yatay yük ölçümleri yük ölçerler ile çerçeve sistemindeki yer değiştirmeler LVDT'ler (Linear variable differential transformer) kullanılarak yapılmıştır. Deneyler esnasında ölçüm aletlerden okunan değerler, bilgisayara veri toplama sistemi vasıtasıyla aktarılmış ve kayıt altına alınmıştır. Deneylere ilk olarak yük kontrollü başlanılmış ve sistemin akma yükünden sonra deplasman kontrollü olarak devam edilmiştir.

3.2.1. Yükleme düzeneği

Deneyler için imal edilen yükleme düzeneği elemanlarının, boyutları ve malzeme özellikleri belirlenerek imalatları sanayide yaptırılmıştır. Numunelerin yüklenmesinde 1000 kN itme, 500 kN çekme kapasiteli bir hidrolik kriko kullanılmıştır. Yüklemeler el ile kumandalı hidrolik pompa ile yapılmıştır. Pompayla yükleme, numunelerde oluşacak çatlakların gelişimi gözlemlenebilecek bir hızda gerçekleştirilmiştir. Deneylerde hidrolik krikodan yapılan yüklemenin ölçülüp, yük verilerinin bilgisayar ortamına aktarılmasında itme ve çekmede kapasitesi 500 kN olan yük hücresi (loadcell) kullanılmıştır. Hidrolik krikonun ucuna bağlanan bu yük

hücresine vidalarla bir çelik levha bağlanmıştır. Yüklemeler esnasında numunelerin alt ve üst katların da oluşabilecek farklı deplasmanlarda sistemin rahat hareket edebilmesi için bu levhanın ucuna mafsallı bir sistem yapılmıştır. Bu mafsal, 200x200 mm kesitinde 1200 mm boyunda yük dağıtma aparatına kaynaklanmıştır. Yük dağıtma aparatı ile mafsalın bu birleşimi, hidrolik krikodan gelen toplam yatay yükün, 2/3'ü üst kat kirişi ve 1/3'üde alt kat kirişi hizasından deney numunelerine aktarabilecek şekilde yapılmıştır. Yük dağıtma aparatından, numunelere yük aktarımı alt ve üst kirişler hizasından iki tane mafsallı çelik levhayla yapılmıştır. Mafsallı levha uygulaması ile katlara yüklerin aktarımının daha iyi sağlanabileceği düşünülmüştür (Şekil 3.18).

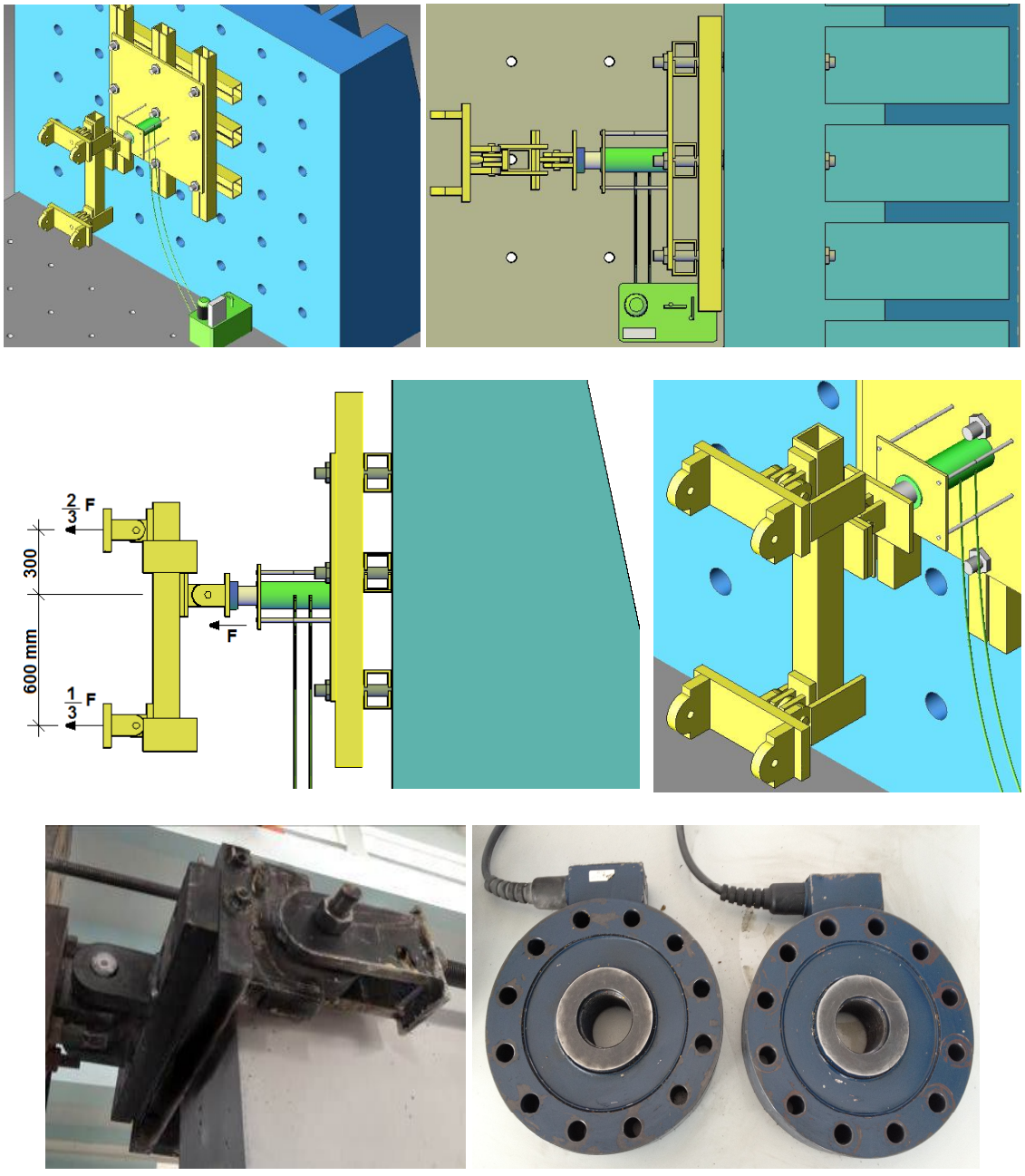
Bu mafsalı levhalara, çekme çevrimlerinde numuneye yük aktarımını sağlayacak iki çelik levha, betonarme çerçevenin diğer yüzeyinde ve kirişlerin hizasında olacak şekilde bağlanmıştır. Bu bağlantı, kiriş eksenine paralel şekilde yerleştirilen ve bir ucu mafsallı olarak teşkil edilmiş olan gergi milleri ile sağlanmıştır (Şekil 3.19).

Deneylerde; numunelerin üst kat kirişine yerleştirilen çelik bir dağıtma kirişi vasıtasıyla kolon üst noktalarından her bir kolona eşit yük gelecek şekilde, eksenel yük uygulanmıştır. Numunelerin testi sırasında eksenel yük sabit tutulmuştur. Numunelere eksenel yükleme, iki adet hidrolik kriko yardımıyla yapılmıştır. Hidrolik krikodaki yükleri okumak için iki adet yük hücresi kullanılmıştır. Numunelerin test edilmesi esnasında artan yatay deplasmanlar altında uygulanan eksenel yükün artmaması için eksenel yük sisteminin, numune üst kirişi ile birlikte hareket etmesi gerekmektedir. Bu sebeple eksenel yükleme sisteminin, rijit döşemeye bağlantı detayında özel bir tekerlekli sistem tasarlanmıştır. Rijit döşemeye mafsallı ve tekerlekli olarak mesnetlenen gergi milleri, dikey olarak numune üstüne yerleştirilen hidrolik krikodan ve yük hücrelerinin içinden geçmektedir. Yük hücresi ve hidrolik krikonun içinden geçen mil, vidalarla sıkıştırılarak sabitlenmiştir. İmalatı gerçekleştirilen bu eksenel yükleme sistemi, deneylerden önce çelik profillerden üretilen örnek bir çerçeve üzerinde test edilmiş ve sistemin istenilen şekilde çalıştığı görülmüştür (Şekil 3.20).

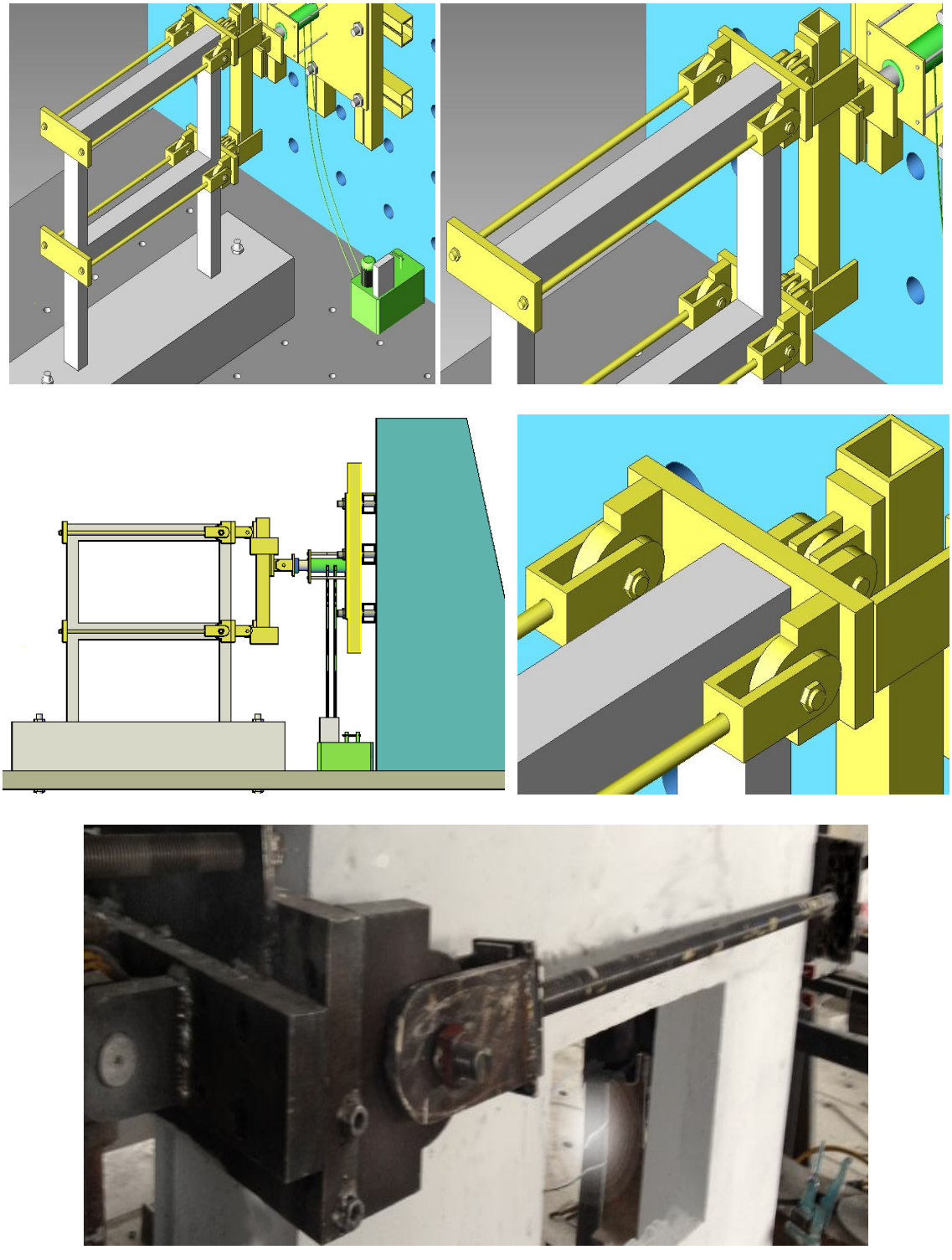
DBYBHY 2007'ye göre kiriş olarak boyutlandırılıp donatılacak taşıyıcı sistem elemanlarının, tasarım eksenel basınç kuvvetinin $Nd \le 0.1 \times A_c \times f_{ck}$ koşulunu sağlaması zorunludur. Aksi durumda, bu elemanlar DBYBHY 2007'ye göre kolon olarak boyutlandırılıp donatılmalıdır. Bu sebeple kolonlarda eksenel yük düzeyi en az "$Nd = 0.1 \times A_c \times f_{ck}$" kadar olmalıdır. Bu çalışma kapsamında deneyleri yapılacak numunelerin kolonlarına, taşıma kapasitelerinin yaklaşık %20'si kadar eksenel yük

uygulanması düşünülmüştür. Bu düşünce paralelinde numunelerin her bir kolonuna uygulanacak eksenel yük miktarı, Denklem 3.7 yardımı ile 45kN olarak hesap edilmiştir.

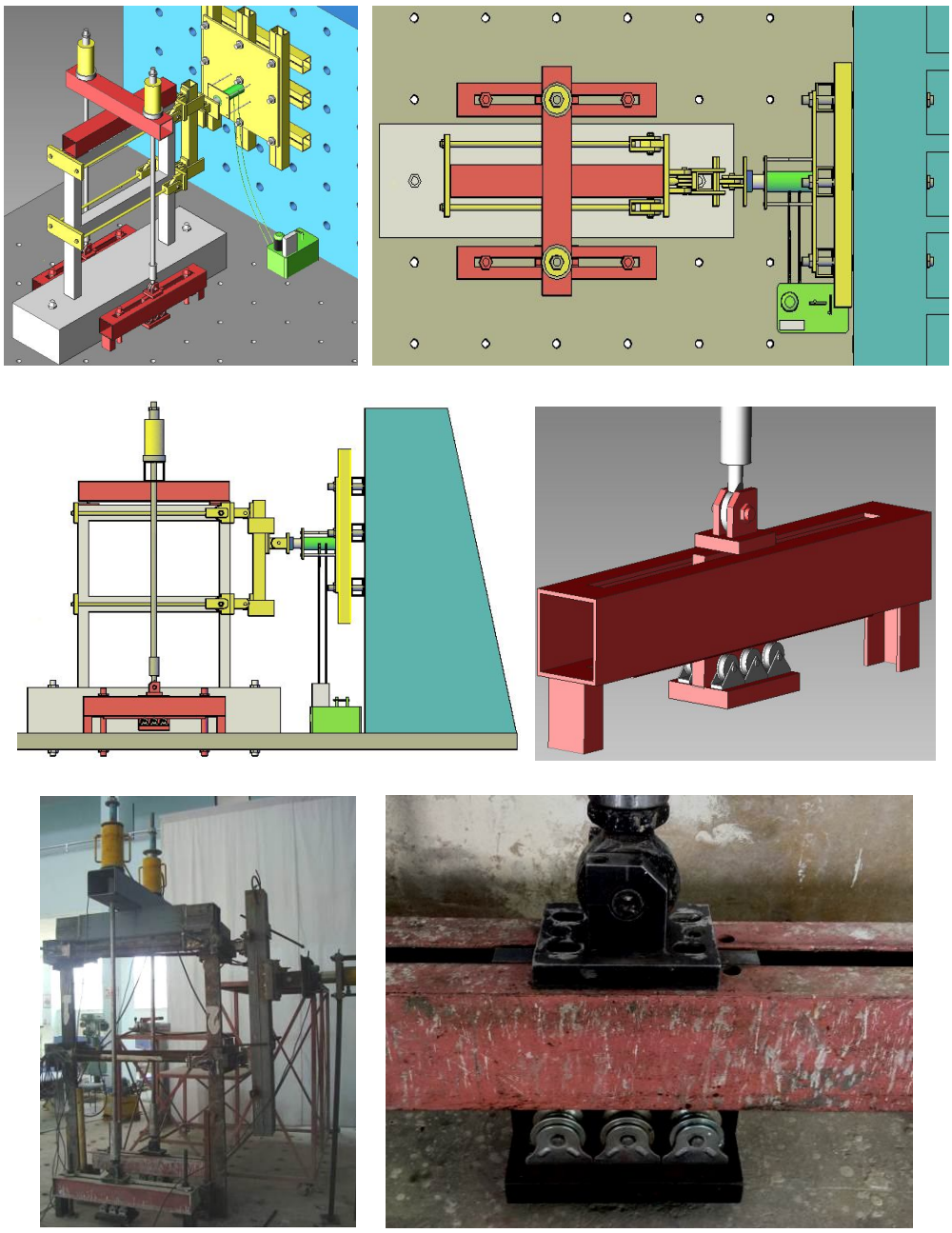
$$Nd = 0.2 \times (15 \times 10) \times 150 = 4500kg = 45kN \tag{3.7}$$



Şekil 3.18. Yük dağıtma aparatı, mafsallı yük aktarma levhaları, yük hücresi ve hidrolik kriko



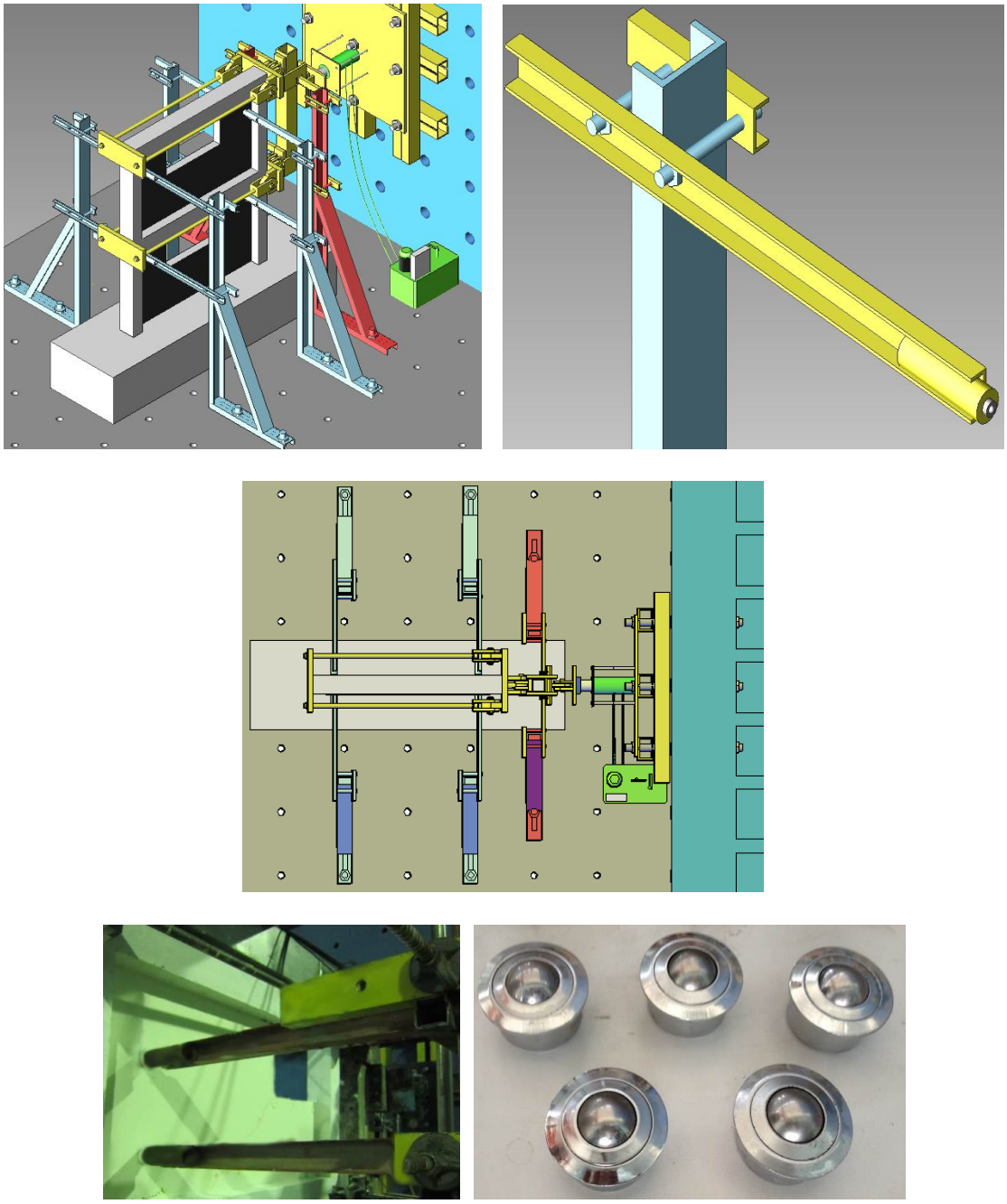
Şekil 3.19. Çekme çevrimlerinde yük aktarımı sağlayan levha ve mafsallı gergi milleri



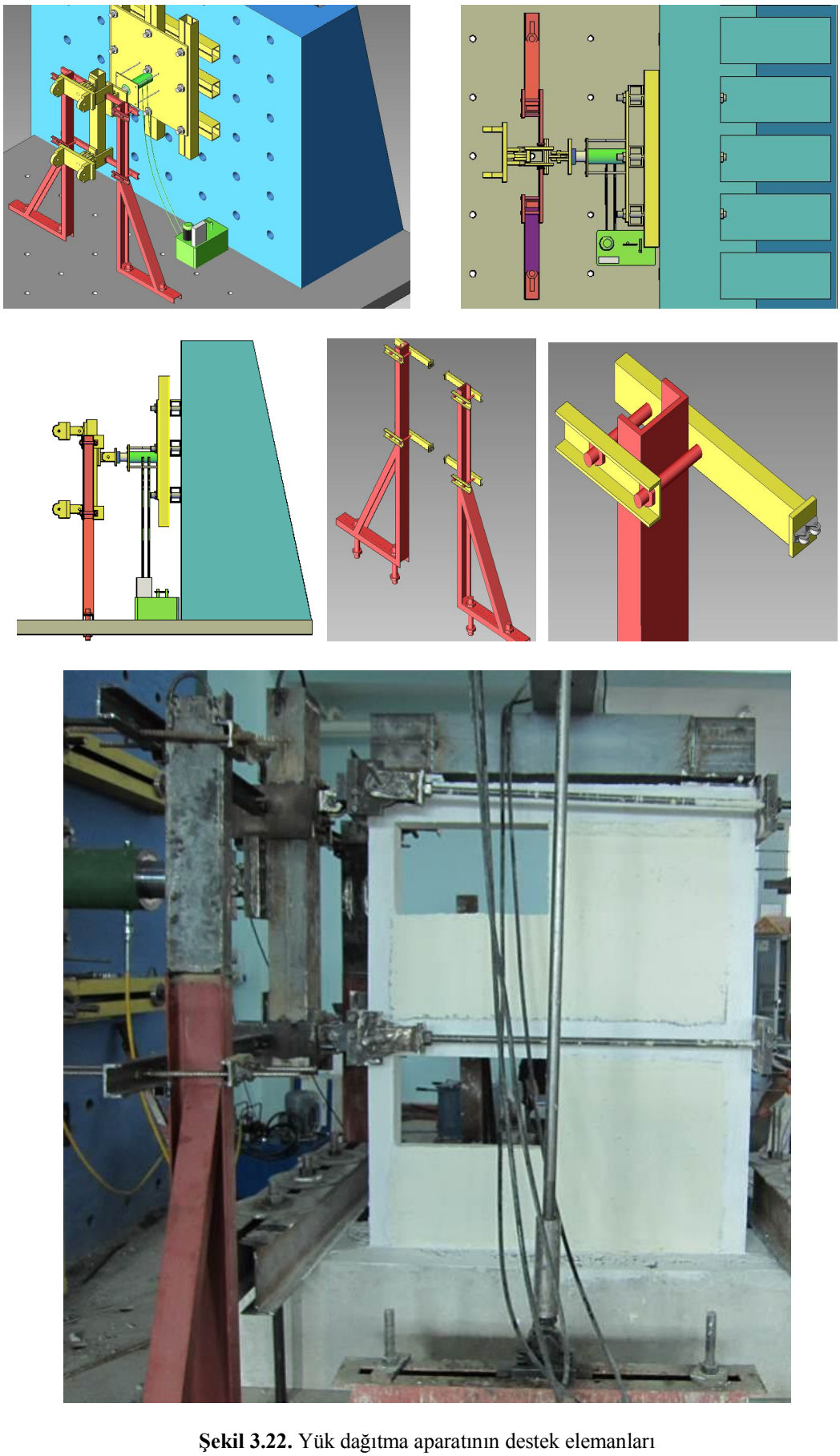
Şekil 3.20. Eksenel yükleme sistemi

Deneyler esnasında; deney numunelerinin düzlem dışı hareketlerinin engellemesi amacıyla değişik boyuttaki I, U ve kutu profillerinden 4 adet destek elemanı üretilmiştir. Bu destek elemanları, deneylerden önce numunelerinin sağına ve soluna yerleştirilmiş ve rijit döşemeye iki ucuna diş açılmış yüksek dayanımlı çelik miller kullanılarak sabitlenmiştir. Destek elemanlarının, numuneye temas noktalarına çelik bilyeler yerleştirilmiştir. Böylelikle numunelerin denenmesi sırasında, numune ile destek elemanları arasında sürtünme etkisini en aza indirmek mümkün olacaktır (Şekil 3.21). Ayrıca, yük dağıtma profilinin ve hidrolik krikonun, deneyler sırasında düzlemde

çalışabilmesi için "U" profillerinden 2 adet destek elemanı üretilmiştir. Destek elemanlarının, yük dağıtma profiline temas eden uç noktalarına, sürtünme etkisini azaltmak amacıyla çelik tekerlekler yerleştirilmiştir. Deneylerden önce yük dağıtma aparatının sağına ve soluna yerleştirilen bu destek elemanları, rijit döşemeye çelik millerle sabitlenmiştir (Şekil 3.22).

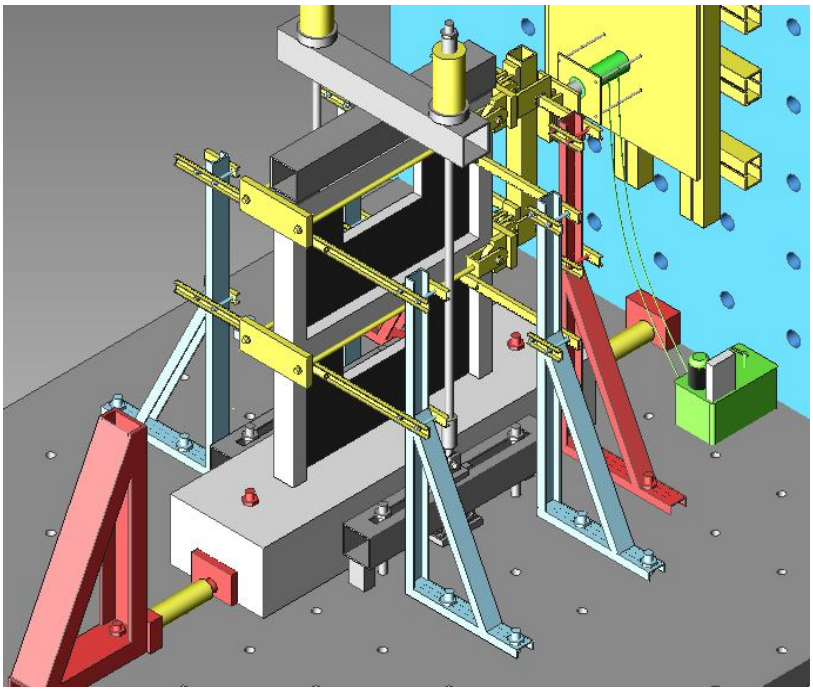


Şekil 3.21. Numunelerinin düzlem dışı hareketlerini engelleyen destek elemanları



Şekil 3.22. Yük dağıtma aparatının destek elemanları

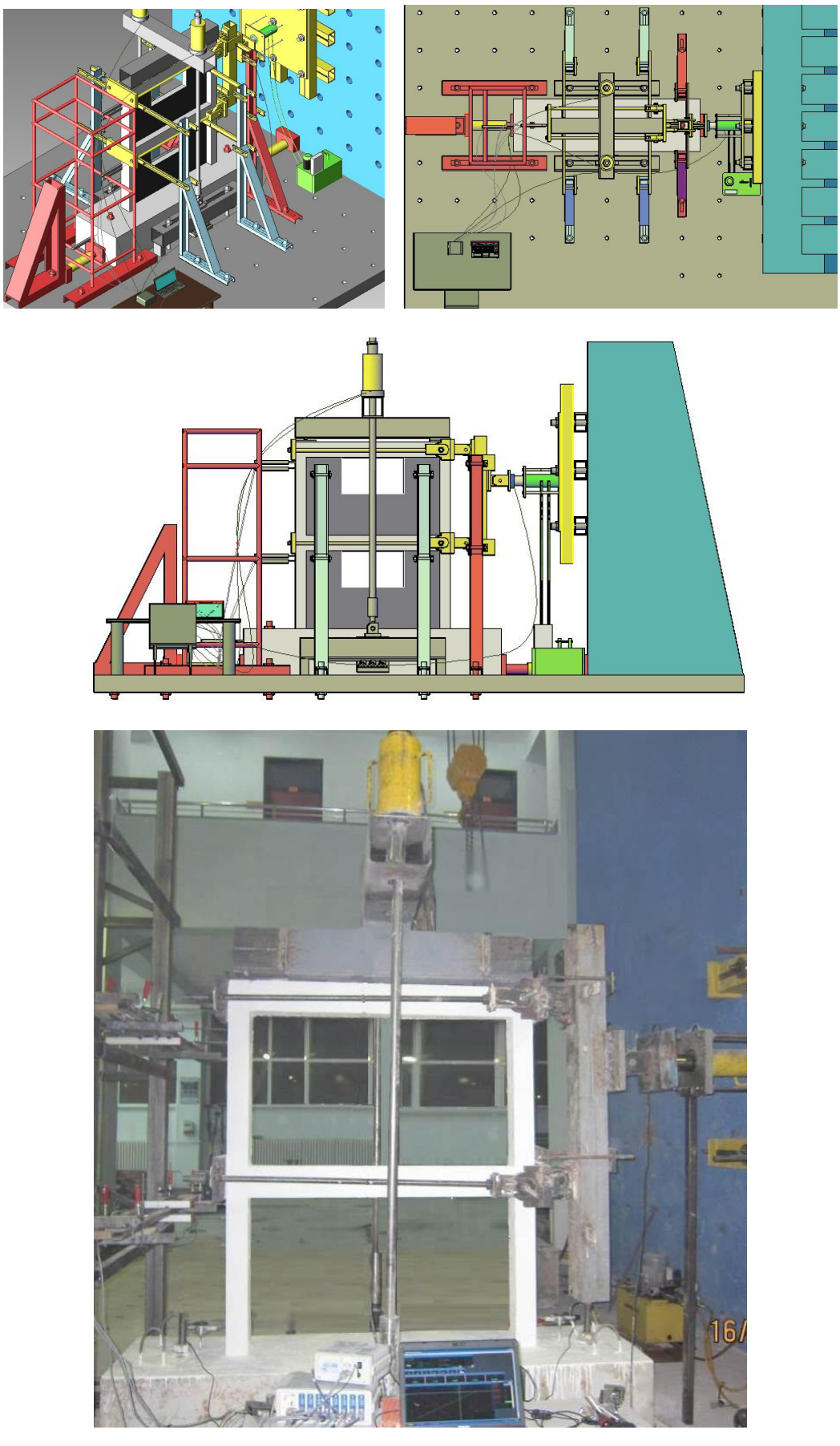
Deneylerde yatay yükleme etkisine karşı, temel hareketinin engellenmesi gerekmektedir. Bu nedenle numuneler; laboratuvarın rijit döşemesinde bulunan deliklere, 50 mm çapında, iki ucuna diş açılmış yüksek dayanımlı çelik miller kullanılarak sabitlenmiştir. Bu sabitle işleminde, numunelerin sağında ve solunda olmak üzere toplam 6 adet mil döşemeye bağlanmıştır. Temel hareketinin engellemesi amacıyla "I" profilden teşkil edilmiş payandalar ile rijit duvar arasına hidrolik krikolar konularak temel sıkıştırılmıştır (Şekil 3.23). Deneyler esnasında LVDT'lerin oynamaması için kutu profillerden bir iskele yapılmıştır. Bu iskele de laboratuvarın rijit döşemesine miller vasıtasıyla sabitlenmişlerdir. Dolgu duvarsız betonarme çerçevenin, yükleme düzeneğine yerleştirilmiş fotoğrafı Şekil 3.24'de, yükleme düzeneğinin şematik görüntüsü ise Şekil 3.25'de verilmiştir.



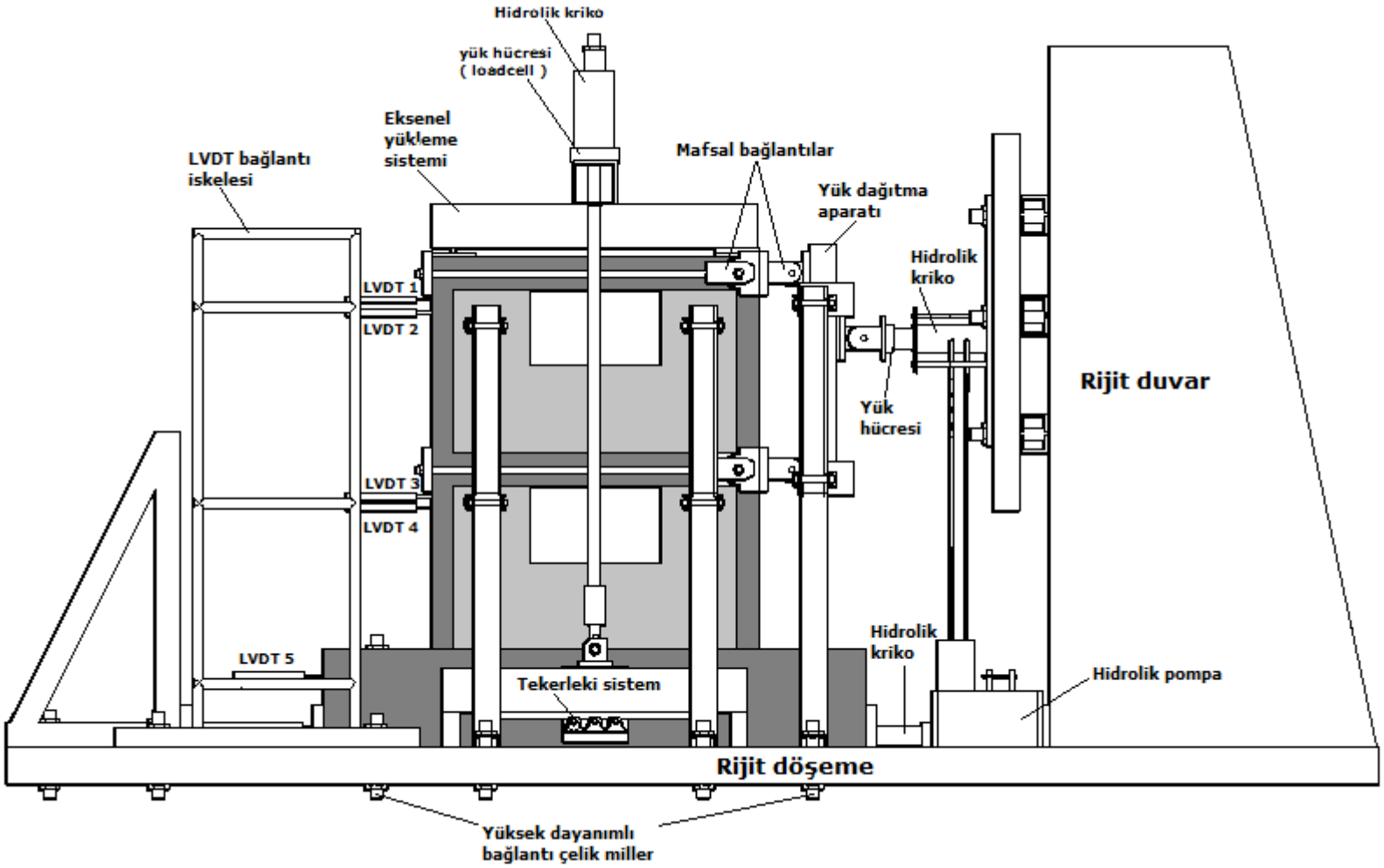




Şekil 3.23. Numune temellerinin hareketinin engellenmesi için yapılan uygulama



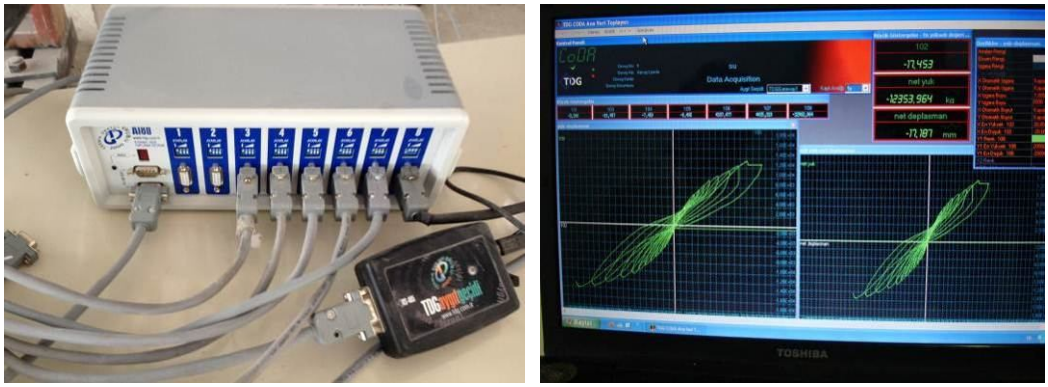
Şekil 3.24. LVDT iskelesi ve yükleme düzeneğinin genel görünümü



Şekil 3.25. Yükleme düzeneğinin şematik gösterimi

3.2.2. Ölçüm tekniği

Deneylerde; yük ölçümleri 3 adet yük hücresi (loadcell), çerçeve sistemindeki yer değiştirmeler 4 adet LVDT (Linear variable differential transformer) kullanılarak yapılmıştır. Bu aletlerden okunan değerler, TDG marka veri toplama (data logger) sistemi vasıtasıyla bilgisayara aktarılmış ve EXCEL programında kayıt altına alınmıştır (Şekil 3.26).



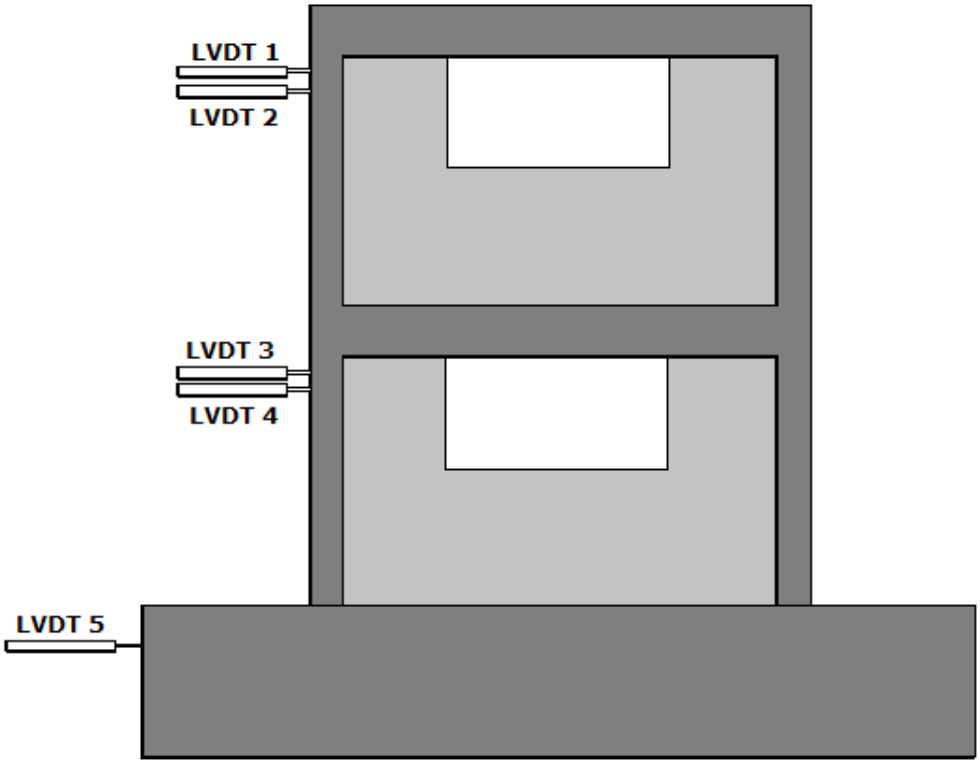
Şekil 3.26. Deneylerde kullanılan veri toplama sistemi

Deneylerde; yatay yükleme için 1 adet, eksenel yükleme için 2 adet 500 kN kapasiteli yük hücresi kullanılmıştır. Yük hücrelerinin çıkış uçları data logger kutusuna bağlanmış ve yük okuma değerleri bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Şekil 3.27'de sistemde yük hücrelerinin bulunduğu yerler gösterilmiştir.



Şekil 3.27. Deneylerde kullanılan yük hücrelerinin sistemdeki yerleri

Deneylerde kullanılan LVDT'lerden alınan deplasman ölçümleri data toplayıcı aracılığıyla bilgisayara aktarılıp, bilgisayarda kullanılan yazılımla kaydedilmiştir. Deplasman ölçümleri için 5 adet LVDT kalibre edilmiştir. Her bir kata ikişer adet olmak üzere toplam 4 adet LVDT kat kirişi hizasından yerleştirilmiştir. Diğer LVDT ise temel hareketlerini ölçmek amacıyla temele yerleştirilmiştir. LVDT'lerin numuneye temas noktalarında, pürüzsüz yüzey oluşturmak amacıyla cam levhalar kullanılmıştır. LVDT'ler ile 0.001 mm hassasiyetinde okumalar yapmak mümkün olabilmektedir. Deneylerde üst kata bağlanan LVDT'ler 300 mm, orta kata bağlanan LVDT'ler 200 mm, temele bağlanan LVDT ise 150 mm'lik bir okuma yapabilmektedir. LVDT'ler tüm deneylerde sağlıklı karşılaştırma yapılabilmek için aynı yükseklikte ve kat kirişi hizasının bir miktar altına gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Bunun sebebi numuneye çekme kuvveti uygulanması için kullanılan çelik levhaların kat kirişi hizasında bulunmasıdır. Deneylerde kullanılan LVDT'lerin, numunelere yerleşim düzeni Şekil 3.28'de verilmiştir.



Şekil 3.28. Deneyler için LVDT'lerin numunelere yerleşim düzeni

3.2.3. Ölçümlerin değerlendirilmesi

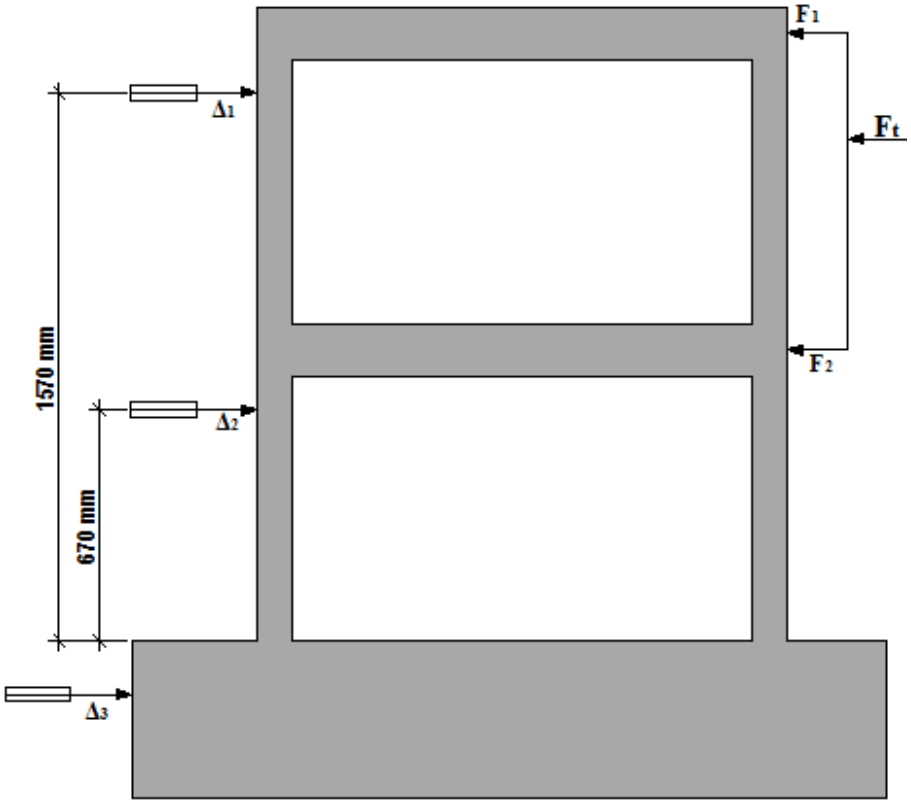
Çalışma kapsamında yapılan deneylerde, toplam 5 adet LVDT'den ve 3 adet yük hücresinden faydalanılmıştır. Deneyler sırasında LVTD'ler ve yük hücrelerinden ölçülen değerler, veri toplama sistemi yardımıyla bilgisayar ortamına aktarılarak kaydedilmiş ve bu değerler ile her bir numunenin davranış özellikleri açıklanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla her bir deney numunesi için hazırlanan grafiklerin nasıl oluşturulduğu sırasıyla açıklanmıştır;

a) Yük geçmişi grafiklerinin çizilmesi (yatay yüke ve tepe deplasmanına göre)

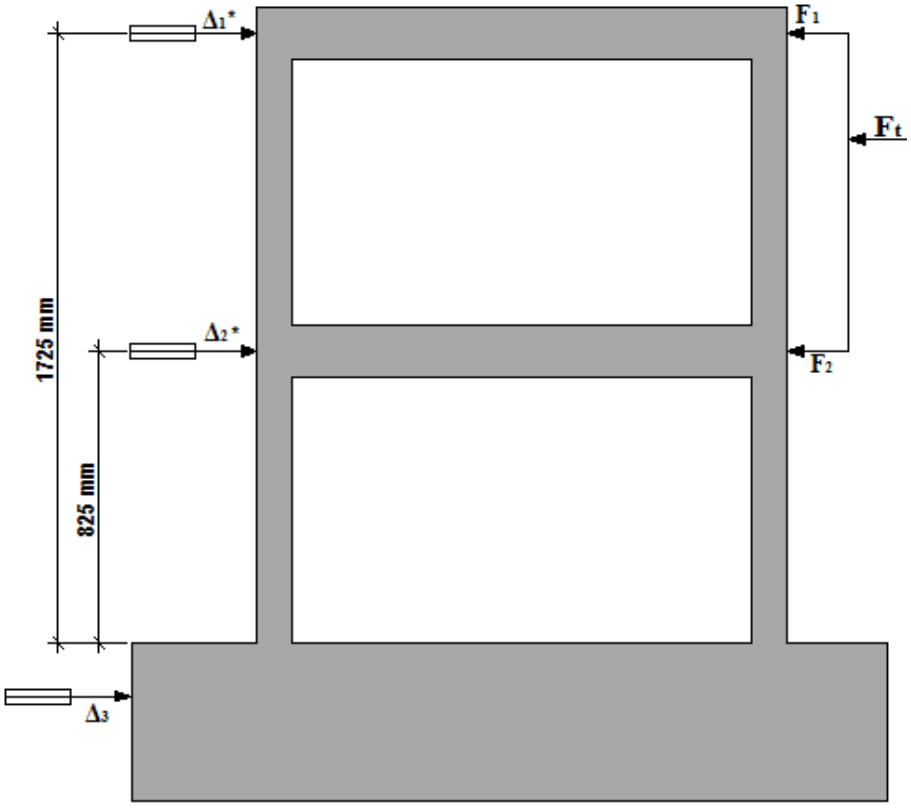
Deneyler sırasında numunelere uygulanan itme ve çekme çevrimlerinde, maksimum yük değerleri ile tepe deplasman değerleri belirlenerek, yük geçmişi grafikleri oluşturulmuştur. Her bir numune için yatay yüke ve tepe deplasmanına göre hazırlanan bu yük geçmişi grafikleri deney sonuçları kısmında grafiksel olarak ve numunelerde gözlemlenen çatlak ve hasar oluşumlarının anlatıldığı çizelgelerde verilmiştir.

b) Yatay yük-kat deplasmanları ve yatay yük-göreceli kat ötelenmesi grafiklerinin çizilmesi

Yatay yük-kat deplasmanı grafiklerinin oluşturulmasında, deneyler sırasında yük hücrelerinden ve LVDT'lerden bilgisayar ortamına aktarılan verilerden faydalanılmıştır. Üst kat deplasmanı Δ_1, alt kat deplasmanı Δ_2 ve temel deplasmanı Δ_3 olarak isimlendirilmiştir (Şekil 3.29). Yük dağıtma aparatına hidrolik krikodan gelen toplam yatay yük (F_t), yük dağıtma aparatından üst kata aktarılan yük (F_1) ve alt kata aktarılan yük (F_2) olarak isimlendirilmiştir. Şekil 3.29'dan görüldüğü üzere, deney numunelerinde LVDT'ler kat hizalarında değildir. Bu nedenle grafiklerin oluşturulmasında, LVDT'ler kat hizalarına indirgenmiş ve üst katta okunan deplasman değerleri Δ_1*, alt katta ise Δ_2* olarak isimlendirilmiştir (Şekil 3.30).



Şekil 3.29. Numunelere uygulanan yatay yüklerin ve deplasman ölçümlerinin isimlendirilmesi



Şekil 3.30. Kat hizalarına indirgenmiş deplasman ölçümlerinin isimlendirilmesi

Numunelere ait grafiklerin oluşturulmasında, Şekil 3.29, Şekil 3.30 ve aşağıda belirtilen denklemlerden elde edilen değerlerden yararlanılmıştır;

$$F_1 = F_t \cdot \left(\frac{2}{3}\right) \tag{3.8}$$

$$F_2 = \frac{F_t}{3} \tag{3.9}$$

$$\Delta_1* = (\Delta_1 - \Delta_3) \cdot (1725 / 1570) \tag{3.10}$$

$$\Delta_2* = (\Delta_2 - \Delta_3) \cdot (825 / 670) \tag{3.11}$$

Deney sonuçları ve denklemlerden elde edilen değerlere göre ilk olarak numunelere ait toplam yük (F_t)-tepe deplasmanı (Δ_2*) histeresis eğrisi çizilmiştir. Bu çizimlerde itme ve çekme çevrimlerde ayrı ayrı değerler alındığı için grafiğin üst ve alt kısmında sürekli devam eden bir çevrimsel eğriler oluşmuştur. Her bir çevrimde elde edilen maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile de numunelere ait dayanım zarf eğrileri oluşturulmuştur.

Ayrıca, numunelerin katlarının birbirleriyle deplasman ilişkilerini incelemek için yatay yük-göreceli kat ötelenmesi histeresis eğrileri ve zarf eğrileri de çizilmiştir. Bu grafiklerin çizilmesinde aşağıda belirtilen denklemlerden elde edilen değerlerden yararlanılmıştır;

$$\Delta_{g1}* = (\Delta_2 * - \Delta_1*) / (750 + 150) \tag{3.12}$$

$$\Delta_{g2}* = (\Delta_1*) / (900 - 150/2) \tag{3.13}$$

Her bir numune için oluşturulan, yatay yük-kat deplasmanları ve yatay yük-göreceli kat ötelenmesi grafikleri deney sonuçları kısmında grafiksel olarak verilmiştir.

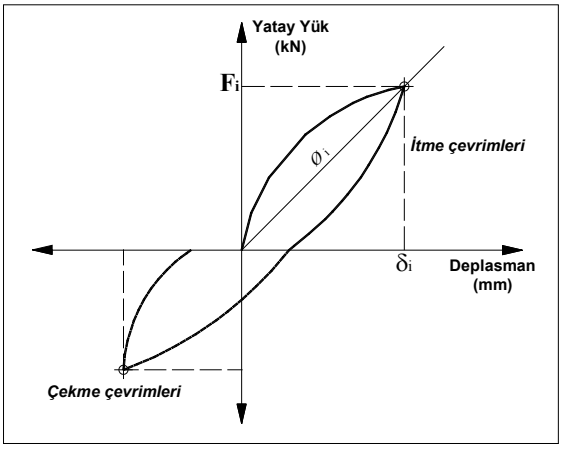
c) Rijitlik azalımı grafiklerinin çizilmesi

Yapı elemanlarında, yer değiştirme tesirlerine karşı koyma derecesi rijitlik olarak ifade edilir. Rijitlik arttıkça, şekil değiştirme olabilmesi için gereken etki kuvveti de artmaktadır. Deprem ve rüzgâr gibi yatay yüklerle birlikte düşey yükler etkisi altındaki betonarme yapı elemanlarında oluşan çatlamalar, eğilme ve kayma rijitliklerinde önemli azalmalar meydana getirmekte ve bu etkiler de deplasmanların

artmasına ve iç kuvvetlerin yeniden dağılımına neden olarak yapının davranışını önemli ölçüde etkileyebilmektedirler (Kara, 2007).

Tersinir-tekrarlanır yük altında deneyleri yapılan numunelerinin rijitlik değerleri, her bir çevrim için yük-deplasman grafiğinin eğimi bulunarak belirlenmiştir. Şekil 3.31'de rijitlik değerlerinin hesaplanması için verilen grafikte, itme çevrimlerinde yatay yük değerleri (F_i) ve yatay deplasman değerleri (δ_i) olarak gösterildiğinde, o çevrim için rijitlik değeri Denklem 3.14 ile hesaplanabilir.

$$\text{Rijitlik}\ (\phi_i) = (|F_i|)/(|\delta_i|) \tag{3.14}$$



Şekil 3.31. Rijitlik azalımının belirlenmesi

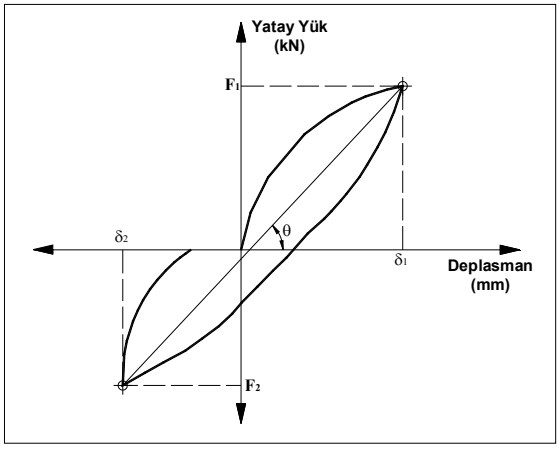
Numunelere ait rijitlik azalımı grafikleri; itme çevrimlerde (F_i/δ_i) eğimlerine karşılık gelen yatay deplasman (δ_i) değerlerine göre oluşturulmuştur. Aynı işlemler çekme çevrimlerde de uygulanarak rijitlik azalımı grafikleri çekme yönünde elde edilmiştir. Çizilen rijitlik azalımı grafiklerinde; sağ taraf itme çevrimlerini ve sol taraf ise çekme çevrimleri için değerleri göstermektedir. Deney numuneleri için oluşturulan rijitlik azalımı grafikleri, deney sonuçları kısmında her bir numune için grafiksel olarak verilmiştir.

d) Eğim açısı grafiklerinin çizilmesi

Deney numunelerine ait her bir çevrimde oluşan eğrilerin, eğim açıları belirlenerek eğim açısı grafikleri oluşturulmuştur. Şekil 3.32' de eğim açısı değerlerinin hesaplanması için verilen grafikte, itme çevrimlerinde yatay yük değerleri (F_1), yatay

deplasman değerleri (δ_1) ve çekme çevrimlerinde de (F_2), (δ_2) olarak gösterildiğinde, o çevrimin eğim açısı (θ) Denklem 3.15 ile hesaplanabilir.

$$tan(\theta) = \frac{(|F_1| + |F_2|)}{(|\delta_1| + |\delta_2|)}$$
$$\theta = arctan\left[\frac{(|F_1| + |F_2|)}{(|\delta_1| + |\delta_2|)}\right] \quad (3.15)$$



Şekil 3.32. Eğim açısının hesaplanması

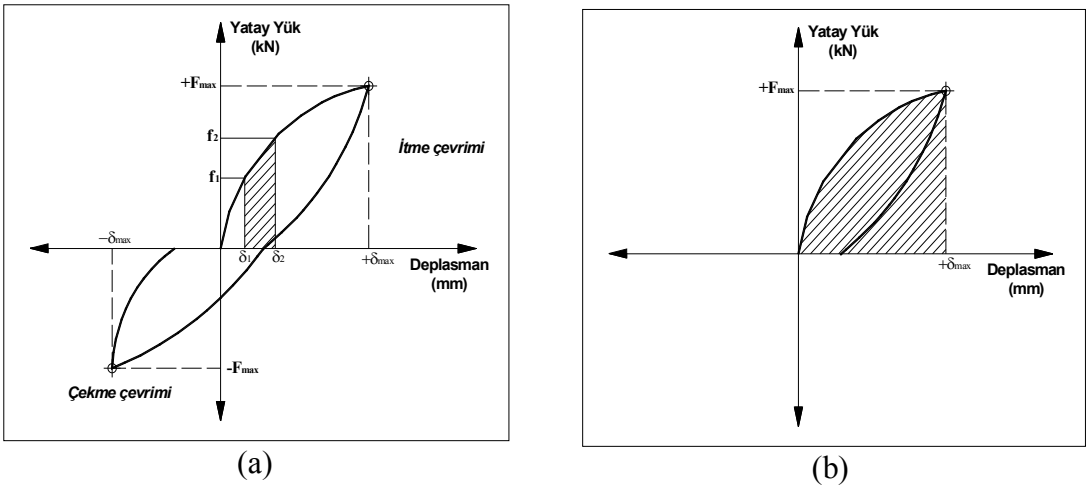
Denklem 3.14'den bulunan değerlere bağlı olarak her çevrimde θ açısı başlangıçta yatay eksene yaklaşık dik olarak başlamış, çevrimler ilerledikçe eğrinin açı azalarak devam etmiştir. Buradan da anlaşıldığı üzere eğim açısının azalarak devam etmesi, deney numunelerinin rijitliklerinin de ilerleyen çevrimlerde azaldığı gerçeğini ortaya koymaktadır.

e) Tüketilen enerji grafiklerinin çizilmesi

B/A dolgu duvarlarının, enerji tüketme kapasitesini etkileyen faktörler arasında kapı ve pencere boşluklarının boyutları, yerleşimi önemli rol oynamaktadır (Marius ve Valeriu, 2012). Deney elemanlarının enerji tüketim kapasiteleri yük-deplasman eğrilerinin altında kalan alanların hesaplanmasıyla belirlenmiştir (Altın ve ark., 2004).

Şekil 3.33(a)'da verilen eğrinin altında kalan alanı bulmak için öncelikle çevrim üzerindeki bir birimlik alanın bulunması ve daha sonra bu alanların maksimum yüke kadar toplanması gerekmektedir. İleri çevrimlerdeki bu alanların toplanmasıyla Şekil

3.33(b)'deki gibi bir alan elde edilmiş olacaktır. Bu nedenle eğri içinde kalan alanın hesaplanabilmesi için yüklemede toplanan değerlerden, boşaltmada toplanan değerlerin çıkarılması gerekmektedir.

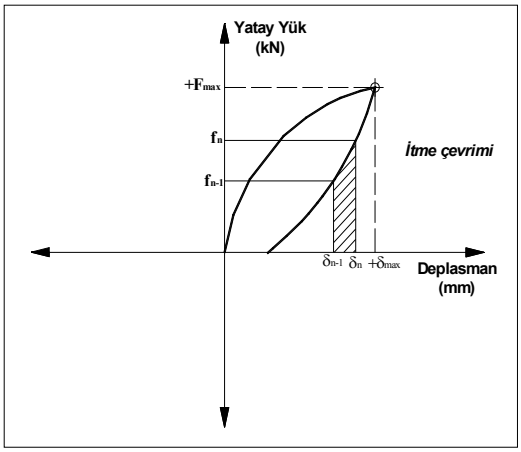


Şekil 3.33. Numunelerde tüketilen enerjinin hesaplanması

Şekil 3.33(a)'da verilen grafikteki taralı alan Denklem 3.16 ile hesaplanabilir. Denklem 3.16'da f_1 ve f_2 anlık yük okumalarını ifade etmektedir.

$$dA = (\delta_2 - \delta_1) \cdot \frac{(f_1 + f_2)}{2} \tag{3.16}$$

Boşaltma durumunda eğrinin altında kalan alanın çıkarılması için Şekil 3.34 ve Denklem 3.17-3.18-3.19'dan faydalanılmıştır.



Şekil 3.34. Boşaltma durumunda eğrinin altında kalan alanın çıkarılması

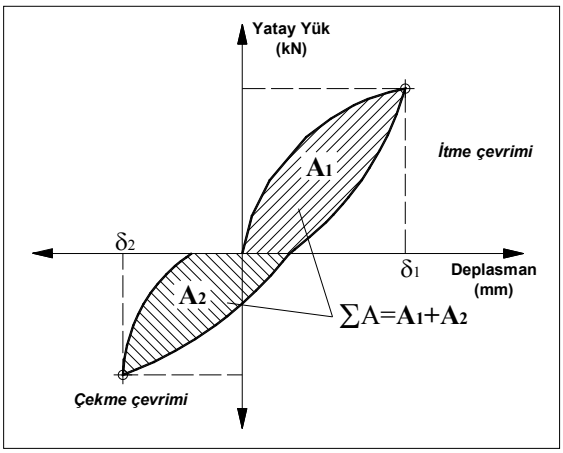
$$\delta_{n-1} - \delta_n < 0 \tag{3.17}$$

$$(f_{n-1} - f_n) / 2 < 0 \tag{3.18}$$

$$dA = (\delta_{n-1} - \delta_n) \times (f_{n-1} - f_n) / 2 \tag{3.19}$$

Bu formüllere bağlı olarak bir çevrimdeki histeresis eğrisinin içindeki alanı bulmak için yükleme ve boşaltmada alanların toplanması gerekmektedir. Bu durumda bulunan alanların toplanması integral yardımıyla Denklem 3.20'de verildiği gibi hesaplanmıştır. Şekil 3.35'de, itme çevrimleri için alan A_1, çekme çevrimleri için A_2 ve toplam alan ise $\sum A$ olarak gösterilmiştir.

$$\int dA\,(yükleme) + dA\,(boşaltma) \tag{3.20}$$

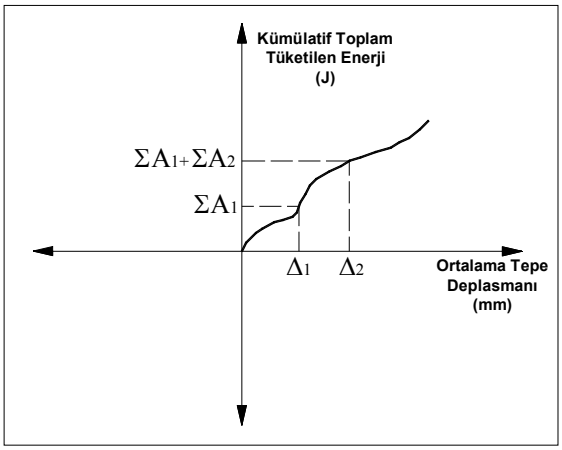


Şekil 3.35. Histeresis eğrisi içerisinde kalan alan

Çalışma kapsamında deneyleri yapılan numuneler için iki adet enerji grafiği çizilmiştir. Enerji birimi olarak kNmm yerine Joule birimi kullanılmıştır. Birinci enerji grafiğinde bulunan toplam enerji miktarı Şekil 3.35'de gösterildiği gibi itme ve çekme çevrimlerinde oluşan alanların toplamıdır. Denklem 3.21'e bağlı olarak tüketilen enerji grafiği çizilmiştir.

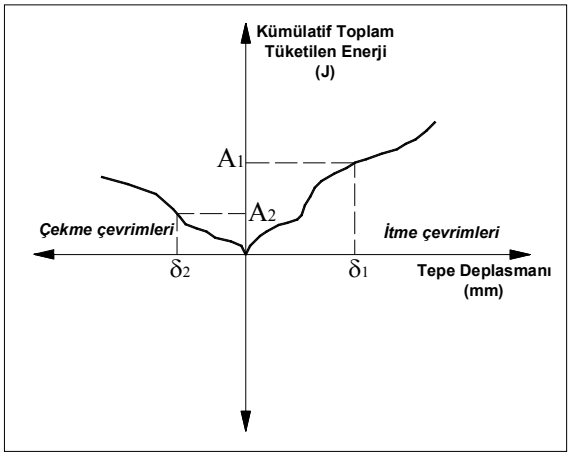
$$\sum A = (A_1 + A_2) \tag{3.21}$$

Her bir çevrimde Denklem 3.21 kullanılmış ve toplam alan olarak $\sum A_1$, $\sum A_2$, $\sum A_3$,…, $\sum A_n$ bulunmuştur. Birinci, itme ve çekme çevrimlerindeki deplasmanların toplamının ortalaması $(\delta_1 + \delta_2)/2 = \Delta_1$ olarak gösterilmiştir. Deneylerin diğer çevrimleri için ise deplasmanların toplamı (Δ_2, Δ_3,...,Δ_n) şeklinde adlandırılmış ve grafik bu değerlere göre oluşturulmuştur. Grafiğin yatay ekseni ortalama tepe deplasmanını, düşey ekseni ise kümülatif toplam tüketilen enerji değerlerini göstermektedir. Şekil 3.36'da birinci enerji grafiğine ait bir örnek verilmiştir.



Şekil 3.36. Birinci enerji grafiği

İkinci enerji grafiğinde ise itme ve çekme çevrimleri için ayrı ayrı enerjiler hesaplanmış ve grafik çizilmiştir. Şekil 3.37'de ikinci enerji grafiğine bir örnek verilmiştir. Bu grafikte yatay eksen itme ve çekme çevrimlerindeki deplasmanları, düşey eksen ise itme çevrimlerinde oluşan alanların toplamı (A_1) ve çekme çevrimlerinde oluşan alanların toplamı (A_2) olarak gösterilmiştir. Böylece itme ve çekme çevrimlerinde tüketilen enerji miktarları ayrı ayrı gösterilebilmektedir.



Şekil 3.37. İkinci enerji grafiği

f) Sistem süneklik grafiklerinin çizilmesi

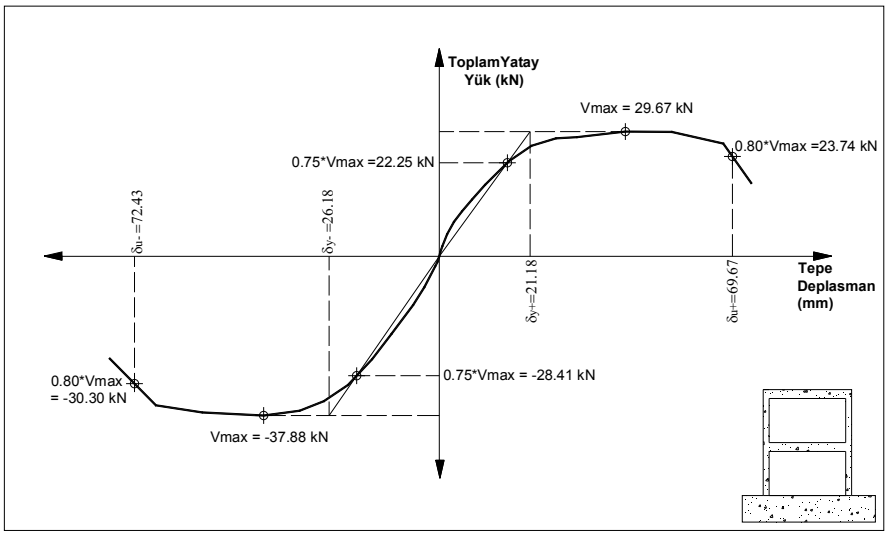
Süneklik; bir yapının veya yapı elemanının yük taşıma kapasitesinde önemli bir azalma olmadan büyük şekil değiştirmeler yapabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır (Yüksel ve Polat, 2002; Ersoy ve Özcebe, 2001). Deprem mühendisliğinde malzeme ve sistem sünekliğinin yeri büyüktür. Yapının belirli bir noktasında (genellikle son kat-döşeme hizasında), limit durumdaki maksimum yatay deplasmanının (δ_{u+}, δ_{u-}), sistem akmaya başladığı andaki yatay deplasmanına (δ_{y+}, δ_{y-}) oranı sistem sünekliği olarak tanımlanabilir. Betonarme yapılarda sistem sünekliği, deplasman sünekliği cinsinden ifade edilir (Kaltakcı ve ark., 2005; Yüksel, 2005; Korkmaz ve Tankut, 2005; Han ve Jee, 2005).

Toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisinde ulaşılan maksimum yük değeri sistemin ideal dayanımını verir. İdeal dayanımın ortalama olarak %75'ine ulaşıldığında sistem davranışının artık elastik özelliğini yitirdiği, bundan sonra plastik deformasyonların meydana geldiği kabul edilir. İdeal dayanımın %75'ine karşılık gelen yer değiştirme ise sistemin akma yer değiştirmesi olarak alınır (Park, 1989; Yüksel ve Polat, 2002).

Çalışma kapsamında deneyleri yapılan numunelerin süneklik özelliklerini belirlemek için toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrileri, çizim programında çizilmiştir. Daha sonra bu çizimler üzerinde, itme ve çekme çevrimlerine ait maksimum yatay yük seviyeleri (Vmax) işaretlenmiştir. Daha sonra maksimum yükün, %25 ve %20 oranında düştüğü noktalara karşılık gelen seviyeler, zarf eğrilerinde itme ve çekme çevrimleri için işaretlenerek δ_y ve δ_u deplasman değerleri

bulunmuştur (Şekil 3.38). Numunelere ait deplasman süneklik oranları ise Denklem 3.22 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\mu_{\delta+} = \delta_{u+} / \delta_{y+}$$
$$\mu_{\delta-} = \delta_{u-} / \delta_{y-} \qquad (3.22)$$



Şekil 3.38. Sistem sünekliğinin değerlendirilmesi grafiği (RS)

Diğer deney numuneleri için oluşturulan sistem sünekliğinin değerlendirilmesi grafikleri, deney sonuçları kısmında verilmiştir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde; çalışma kapsamında yer alan deney numunelerinin, tersinir-tekrarlanır yükler altında nasıl test edildiği ayrı ayrı anlatılmıştır.

Deney numunelerinin farklı dayanımlarda ve özelliklerde olmasından dolayı özdeş bir yükleme programı uygulanamamıştır. Tüm deneylerde yüklemeye önce yük kontrollü olarak başlanmış, yük deplasman eğrisi yatay konuma geldiğinde (nominal akma sınırına ulaşıldığı zaman), deplasman kontrollü olarak devam edilmiş, deney elemanında büyük hasarlar meydana gelene kadar deneyler devam ettirilmiştir. Sistem nominal akma sınırına ulaştıktan sonra güçlendirilmiş elemanlarda yaklaşık 5 mm, boş çerçevede ise 10 mm deplasman artışları ile deneye devam edilmiştir. Deney numunelerinde uygulanan yük geçmişleri, deneylerin anlatıldığı kısımlarda grafik olarak ayrı ayrı verilmiştir.

Bütün deney numuneleri için, her çevrimde ölçülen yatay yük-tepe deplasman değerleri ile numunede meydana gelen çatlak ve hasarların verildiği çatlak analiz çizelgesi oluşturulmuştur. Bu çizelgede; numunede oluşan çatlak ve hasar bölgelerini belirtebilmek için kirişler ve kolonlarda kullanılan isimlendirme sistemi, Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Deneylerde, her çevrimden sonra numunelerde oluşan çatlaklar işaretlenerek numaralandırılmış ve deney fotoğrafları her deneyin sonunda verilmiştir. Ayrıca deney sonrasında, numunelerde oluşan bu hasarlar ve çatlaklar fotoğraflanmış ve şematik olarak bilgisayar ortamında çizilmiş ve deneylerin anlatımından sonra ayrı ayrı verilmiştir. Deney sonuçlarının daha iyi anlaşılması ve sonuçların birbirleri ile karşılaştırılabilmesi için her numune için aşağıdaki grafikler çizilmiştir;

a) Toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi,

b) Üst kat yatay yükü-üst kat tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi,

c) Alt kat yatay yükü-alt kat tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi,

d) Üst kat yatay yükü-üst kat göreceli kat ötelenmesi çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi,

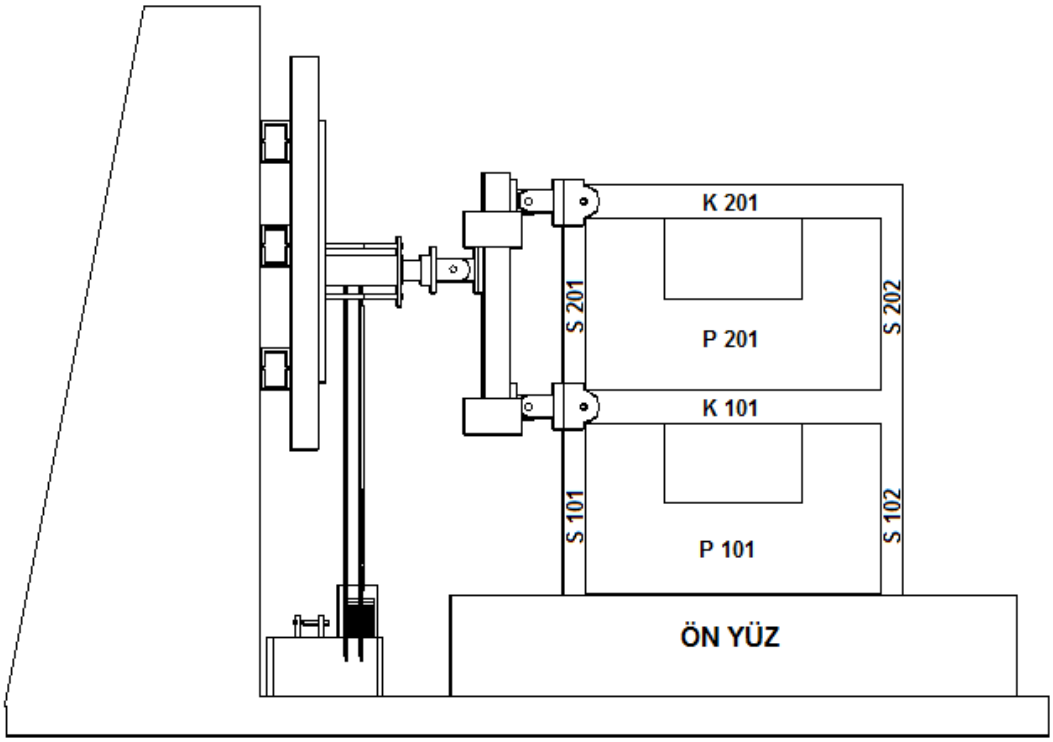
e) Alt kat yatay yükü-alt kat göreceli kat ötelenmesi çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi,

f) Tüketilen enerji-deplasman grafiği,

g) Rijitlik azalımı grafiği,

h) Her bir çevrimde oluşan eğim açısı grafiği ve

i) Sistem sünekliğinin değerlendirilmesi grafiği.



Şekil 4.1. Deney numunelerindeki elemanların isimlendirilmesi

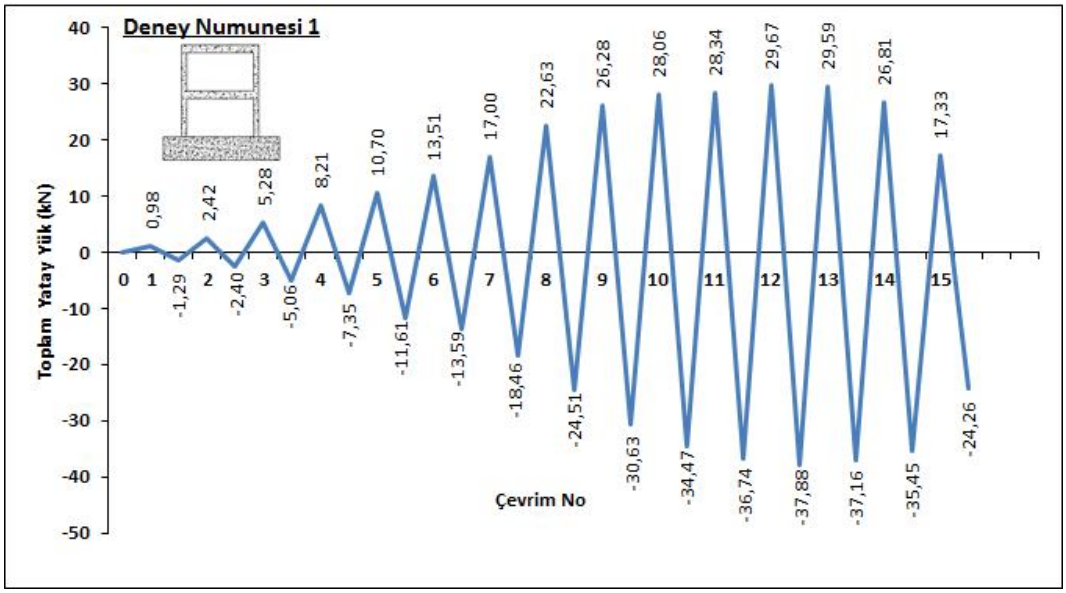
4.1. Deney Sonuçları

4.1.1. Dolgu duvarsız betonarme çerçeve

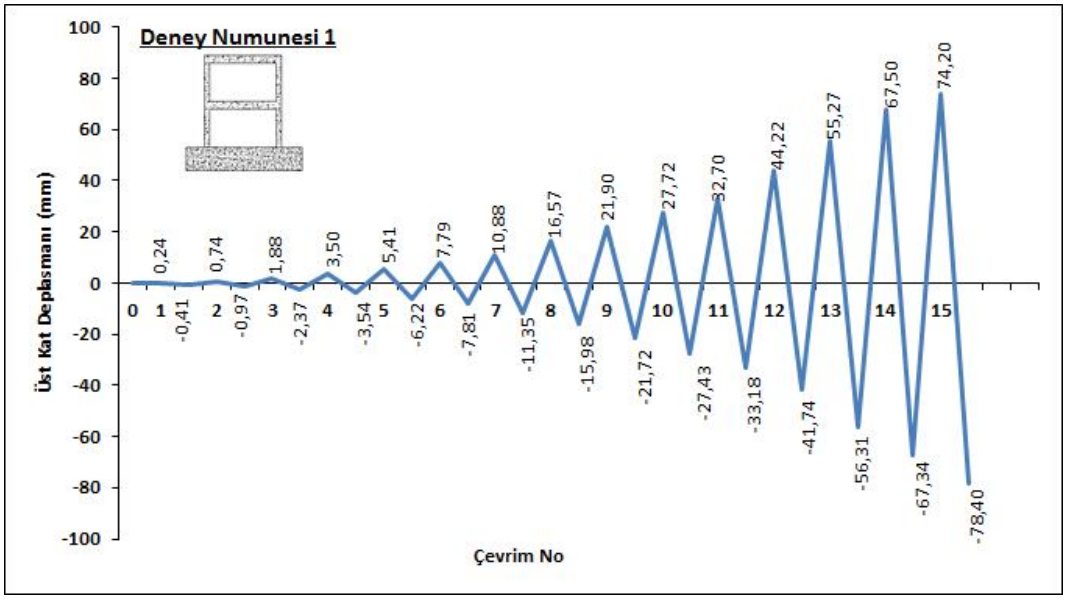
Çalışma kapsamında ilk olarak dolgu duvarsız B/A çerçeve (RS) test edilmiştir. Referans boş çerçevenin, deney düzeneğine yerleştirilmiş durumu Şekil 4.2'de verilmiştir. Referans numune olarak kabul edilen bu numuneye deneyde uygulanan yük geçmişi, yatay yüke göre Şekil 4.3'de, tepe deplasmana göre ise Şekil 4.4'de verilmiştir. Deney numunesine itmede ve çekmede 15 yük çevrimi uygulanmıştır.



Şekil 4.2. Deney Numunesi 1'in deney öncesi görünümü (RS)



Şekil 4.3. Deney numunesi 1'e uygulanan yükleme geçmişi grafiği (yatay yüke göre)



Şekil 4.4. Deney numunesi 1'e uygulanan yükleme geçmişi grafiği (tepe deplasmana göre)

Yük geçmişi grafiklerden de anlaşılacağı üzere deneye, yük kontrollü yüklemenin sonunda deplasman kontrollü yükleme ile devam edilmiştir. 12. Çevrimde numuneye uygulanan toplam yük maksimum düzeye ulaşmış ve bu çevrimden sonra yükte azalma meydana gelmeye başlamıştır. Deney numunesi 1'in, +12 çevriminde maksimum 29.67 kN toplam yatay yüke dayandığı ve bu çevrimde 44.22 mm tepe deplasmanı yaptığı ölçülmüştür. -12 çevriminde ise 37.88 kN toplam yatay yüke dayandığı ve tepe deplasmanınında 41.74 mm olduğu görülmüştür. Deneyde; itme çevrimlerde en fazla 74.20 mm, çekme çevrimlerinde ise en fazla 78.40 mm deplasman

seviyelerine kadar yükleme yapılmıştır. Deney, -15. çevriminde numunede büyük hasarlar meydana geldiği için sonlandırılmıştır.

Deney sırasında numuneye, toplam 86 kN eksenel yük verilmiştir. Böylelikle numunenin, S 101-S 201 ve S 102-S 202 kolonlarına 43 kN'luk eksenel yük uygulanmıştır. Buna göre; ortalama basınç dayanımı 17.29 MPa ve 150x100 mm kesitinde olan kolonlara, taşıma kapasitelerinin yaklaşık %20'si kadar eksenel yük uygulanmıştır.

Deney numunesi 1'in denenmesi sırasında, numunede gözlemlenen çatlak ve hasar oluşumu, yatay yük-tepe deplasman değerleri ile birlikte Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deney numunesi 1'de, yük çevrimlerine göre çatlakların dağılımı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlemlenen Çatlak ve Hasar oluşumu
+1(itme)	0.98	0.24	Deneyin ilk 4 çevriminde herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Bu çevrimler akma sınırının altında elastik çevrimler olarak uygulanmış ve numunenin elastik özelliklerini görmek için değerlendirilmiştir.
-1 (çekme)	-1.29	-0.41	
+2	2.42	0.74	
-2	-2.40	-0.97	
+3	5.28	1.88	
-3	-5.06	-2.37	
+4	8.21	3.50	
-4	-7.35	-3.54	
+5	10.70	5.41	S102 kolonunda +1 ve S101 kolonunda +2 nolu çatlaklar oluşmuştur. Bu çatlaklar kolonların, temel birleşim bölgesindedir.
-5	-11.61	-6.22	S101 kolonunda -1 ve S102 kolonunda -2 nolu çatlaklar oluşmuştur. Bu çatlaklar, +5 çevrimindeki çatlaklara göre kolon, temel birleşiminin diğer yönünde meydana gelmiştir.
+6	13.51	7.79	S102 kolonunda +3 ve S101 kolonunda +4 nolu eğilme çatlakları oluşmuştur. Bu çatlaklar, kolon ve temel birleşiminden yaklaşık 10 cm yukarıdadır. +5 çevriminde oluşan +1 nolu çatlak ilerlemiş ve bu çatlak +1' ile ifade edilmiştir.
-6	-13.59	-7.81	K101-S102 birleşiminde -5, K102-S202 birleşiminde -6, K101-S201 birleşiminde -4 nolu eğik çatlaklar ve S101 kolonunda -3 nolu eğilme çatlağı oluşmuştur. Ayrıca -2 ve -1 çatlakları ilerleyerek -2' ve -1' çatlakları meydana gelmiştir.
+7	17.00	10.88	S101 kolonunda +5, +6, S102 kolonunda +7, +8, S202 kolonunda +12 nolu eğilme çatlakları ile K102-S202 birleşiminde +9, +10 ve K201-S201 birleşiminde +11 nolu eğik çatlakların oluşumu gözlemlenmiştir.
-7	-18.46	-11.35	S101 kolonunda -7, S102 kolonunda -8 nolu eğilme çatlakları ile birlikte K101-S201 birleşiminin çerçeve iç yüzeyinde -4' çatlağı ve K101-S201 birleşiminde -4" numaralı eğik çatlak oluşmuştur.

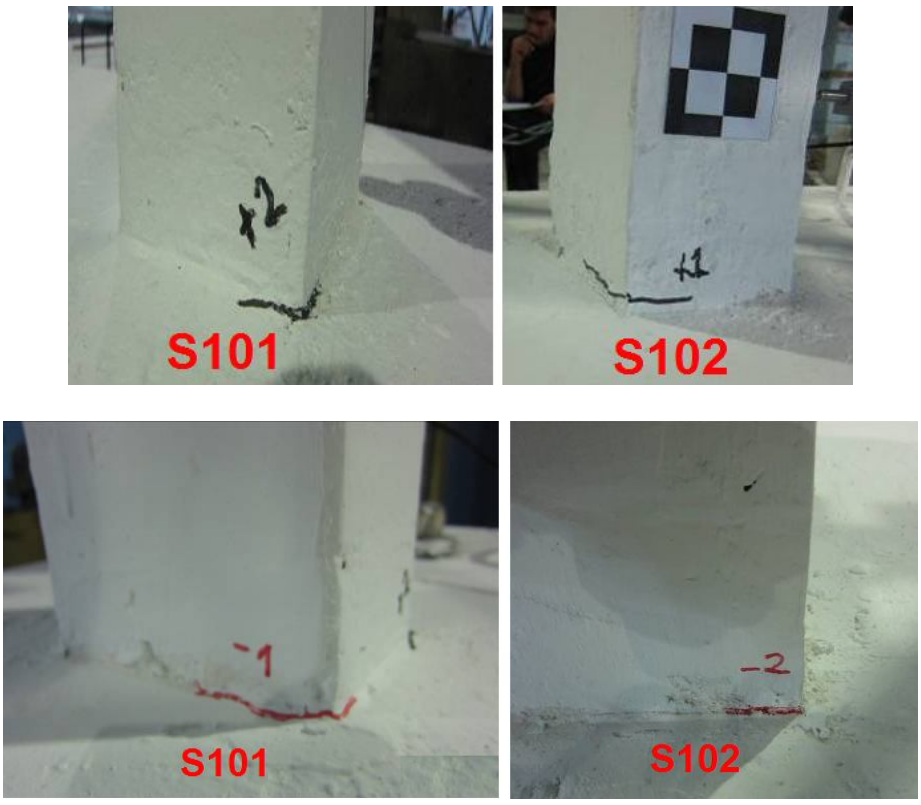
Çizelge 4.1. (Devamı) Deney numunesi 1'de, yük çevrimlerine göre çatlakların dağılımı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlemlenen Çatlak ve Hasar oluşumu
+8	22.63	16.57	Bu çevrimde daha önceki çevrimlerde oluşan bazı çatlakların ilerlemesiyle +1', +2', +3', +7', +8' ve +9' çatlakları oluşmuştur. Ayrıca; K101 kirişinin üst yüzeyinde +15, +16, S202 kolonunda +19, +20, S101 kolonunun dış yüzeyinde +13, S201 kolonunun iç yüzeyinde +18, S102 kolonunda +14 nolu eğilme çatlakları oluşmuştur. K101-S101 birleşiminde +17, K201-S201 birleşiminde +21 nolu eğik çatlaklar meydana gelmiştir.
-8	-24.51	-15.98	S102 kolonunun dış yüzeyinde -9, -10, -13, K101 kirişinde -11, -12, -15 nolu eğilme çatlakları oluşmuştur. K101-S102 birleşiminde -14 nolu eğik çatlak ve -8 nolu çatlağın ilerlemesi ile -8' çatlağı oluşmuştur. Ayrıca; S102 kolonunun dış yüzeyindeki -8 nolu çatlak, S102 kolonundaki +7 nolu çatlakla birleşmiştir.
+9	26.28	21.90	Daha önceden oluşan bazı çatlakların ilerlemesiyle +3", +11', +13', +14' çatlakları oluşmuştur. S101 kolonunda +36 nolu kesme çatlağı ile +24 nolu eğilme çatlağı meydana gelmiştir. S102 kolonunda +25, +32, S201 kolonunda +33, +34, +35, K101 kirişinde +23, +26, +27 nolu eğilme çatlakları oluşmuştur. K101-S101 birleşiminde +22, +29, +31, K101-S102 birleşiminde ise +30 nolu eğik çatlak oluşumu gözlemlenmiştir.
-9	-30.63	-21.72	-8. çevrimde oluşan bazı çatlakların ilerlemesiyle -9',-10', -11', -12' ve -15' çatlakları oluşmuştur. Bu çevrimde eğilme çatlağı gelişimi; S101 kolonunda -16, -17, S102 kolonunda -18, -19 ve K101 kirişinde -21 nolu çatlaklarla olmuştur. Ayrıca; K101-S102 kiriş kolon birleşim bölgesinde -20 nolu eğik çatlak oluşmuştur.
+10	28.06	27.72	Bu çevrimden önce oluşan bazı çatlakların ilerlemesiyle +4', +15', +16', +21', +23', +33' nolu çatlaklar oluşmuştur. S101 kolonunda daha önceden oluşan +5 ve +6 nolu çatlakların arasında +38 nolu düşey çatlak gelişimi gözlemlenmiştir. S101 kolonunda +37, +39, +40, K101 kirişinde +41 nolu çatlaklar meydana gelmiştir.
-10	-34.47	-27.43	Önceki çevrimlerde oluşan bazı çatlakların ilerlemesiyle -3', -6', -12", -21' nolu çatlaklar olmuştur. K101 kirişinde -22, K201 kirişinde -23, S102 kolonunun iç yüzeyinde -24 nolu eğilme çatlaklarının oluşumu gözlemlenmiştir.
+11	28.34	32.70	Bu çevrimden daha önceki çevrimlerde oluşan bazı çatlakların ilerlemesiyle +15", +26' ve +36' çatlakları oluşmuştur. S102 kolonunda daha önceden oluşan +3" ve +7 nolu çatlakların arasında +44 nolu düşey çatlağın ve kolon dış yüzeyinde +46, +47 nolu eğilme çatlaklarının gelişimi gözlemlenmiştir. Ayrıca; S201 kolonunda +42, +43, S202 kolonunun iç yüzeyinde +45 nolu eğilme çatlakları oluşmuştur.
-11	-36.74	-33.18	S102 kolonundaki -9' ve -19' çatlaklarının ilerlemesi ile -9'", -19" çatlakları oluşmuştur. S101 kolonunun dış yüzeyinde -25 nolu eğilme çatlağı ve K101-S102 kiriş kolon birleşiminde -26, -27 nolu eğik çatlaklar oluşmuştur.
+12	29.67	44.22	S101 kolonunun ön yüzeyindeki +36 nolu kesme çatlağı büyümüş ve kolunun iç yüzeyinde de bu çatlağın simetrisi olabilecek şekilde çatlak oluşmuştur. ***Bu çevrimde, numune itme yönünde maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır.***
-12	-37.88	-41.74	Bu çevrimde, S202 kolonunda -28 ve -29 nolu eğilme çatlakları meydana gelmiştir. ***Bu çevrimde, numune çekme yönünde maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır.***

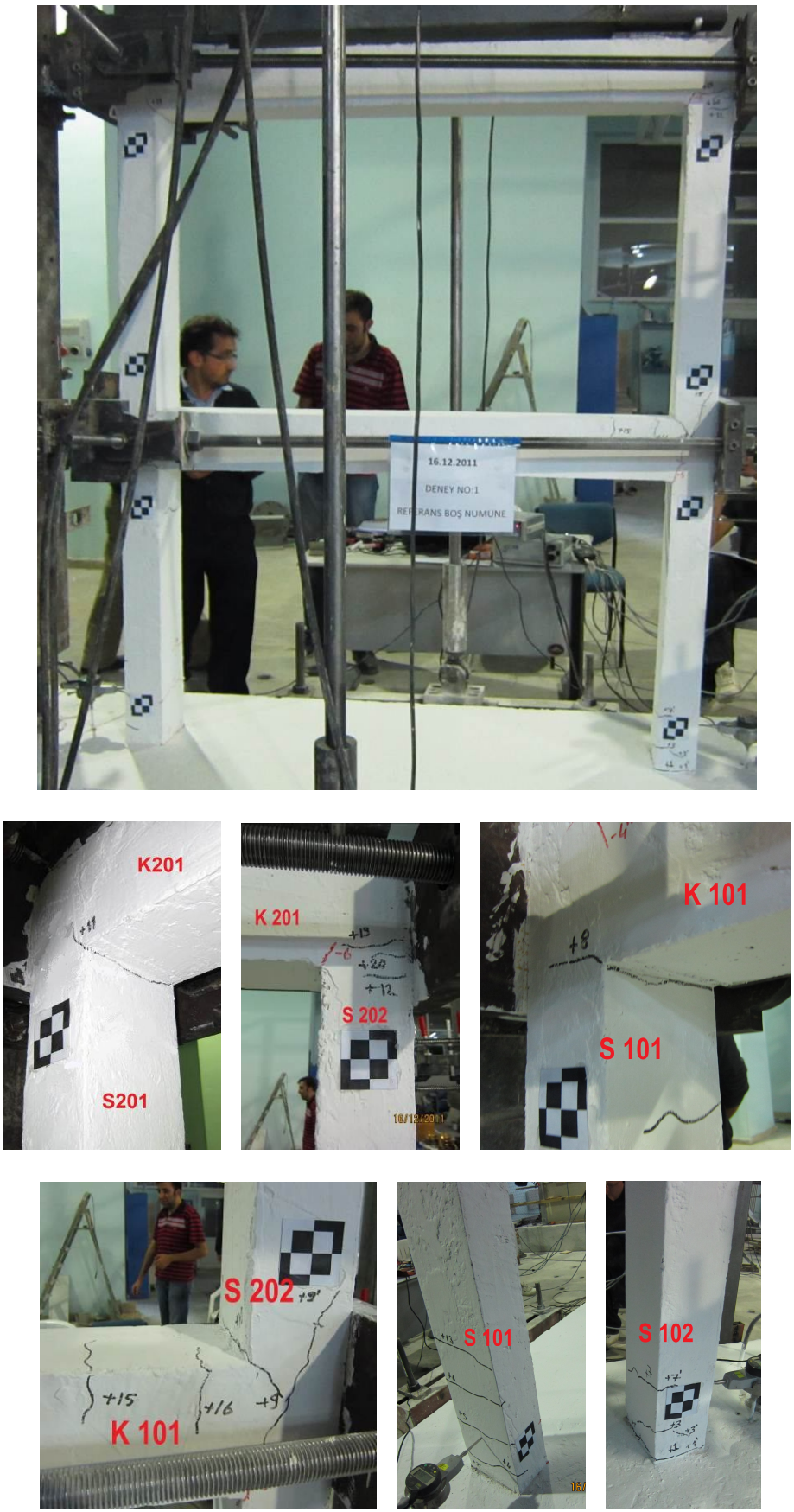
Çizelge 4.1. (Devamı) Deney numunesi 1'de, yük çevrimlerine göre çatlakların dağılımı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlemlenen Çatlak ve Hasar oluşumu
+13	29.59	55.27	Bu son 4 çevrimde; S101 kolonundaki +36 nolu çatlağın olduğu bölgede, kabuk betonunda dökülmeler gözlemlenmiştir. S102 kolonunda, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde hasar boyutu artmıştır. S101 ve S102 kolonlarında meydana gelen hasarlar ile betonarme çerçevede genel olarak güçlü kiriş-zayıf kolon davranışı gözlemlenmiştir. Numunede meydana gelen bu hasarlardan ve sistem stabilitesinin tehlikeye girmesinden dolayı çatlak numaralandırılması yapılmamıştır. Sadece oluşan hasarların çekilen fotoğraflarla tespiti yapılmıştır.
-13	-37.16	-56.31	
+14	26.81	67.50	
-14	-35.45	-67.34	
+15	17.33	74.20	
-15	-24.26	-78.40	

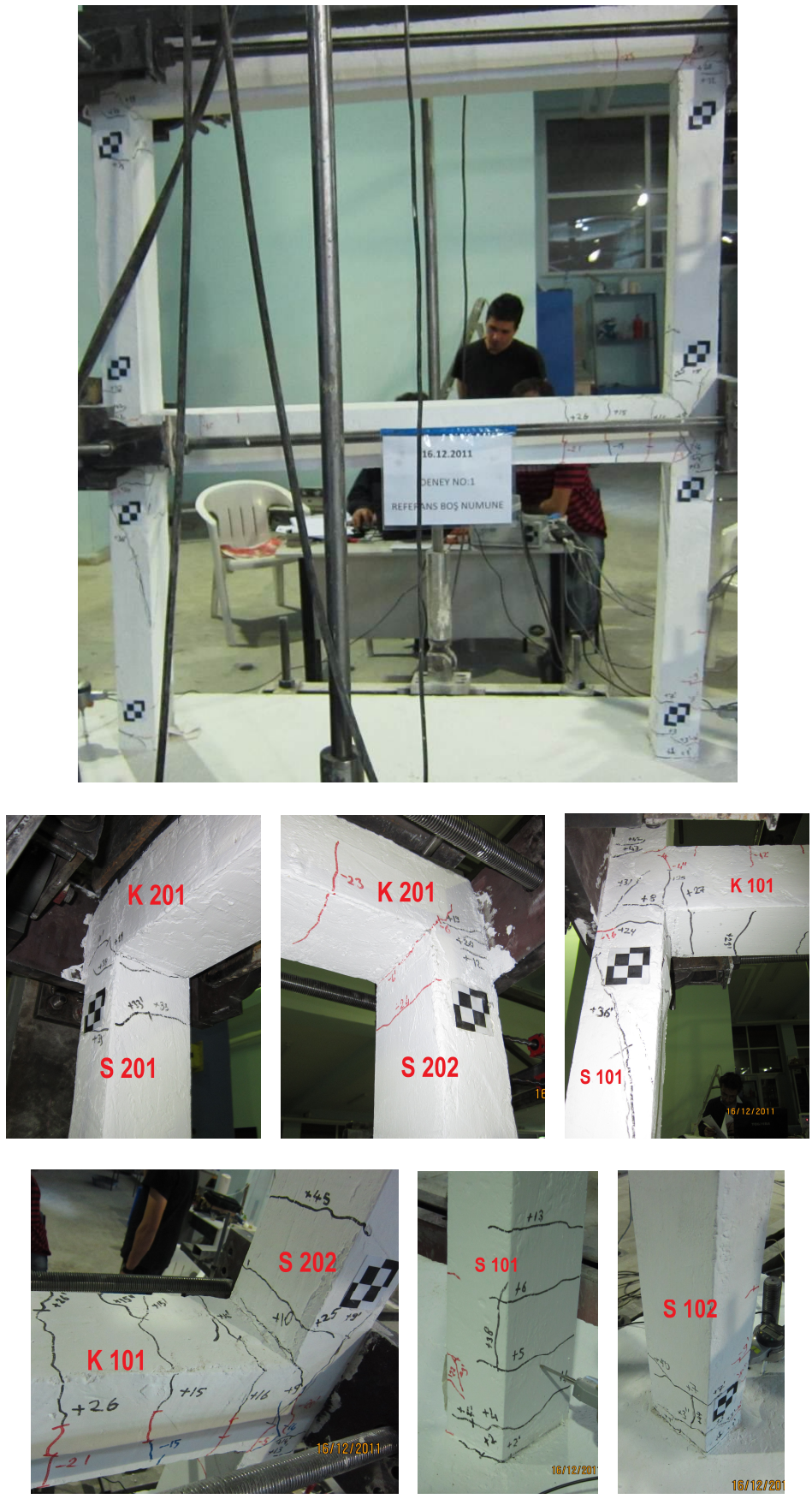
Deney numunesi 1'de; itme ve çekme çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar Şekil 4.5'de verilmiştir. Ayrıca itme yönü için numunede oluşan hasarların durumu, akma konumunda Şekil 4.6'da, maksimum yüklemede Şekil 4.7'de ve göçme konumu için ise Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.8'de verilmiştir. Numunede oluşan çatlakların ve hasarların deney sonrası şematik gösterimi ise Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.5. Deney numunesi 1'de, itme ve çekme çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar



Şekil 4.6. Deney numunesi 1'in, akma konumuna ait görünümü (+8 itme çevrimi)



Şekil 4.7. Deney numunesi 1'in, maksimum yükleme sonrası görünümü (+12 itme çevrimi)

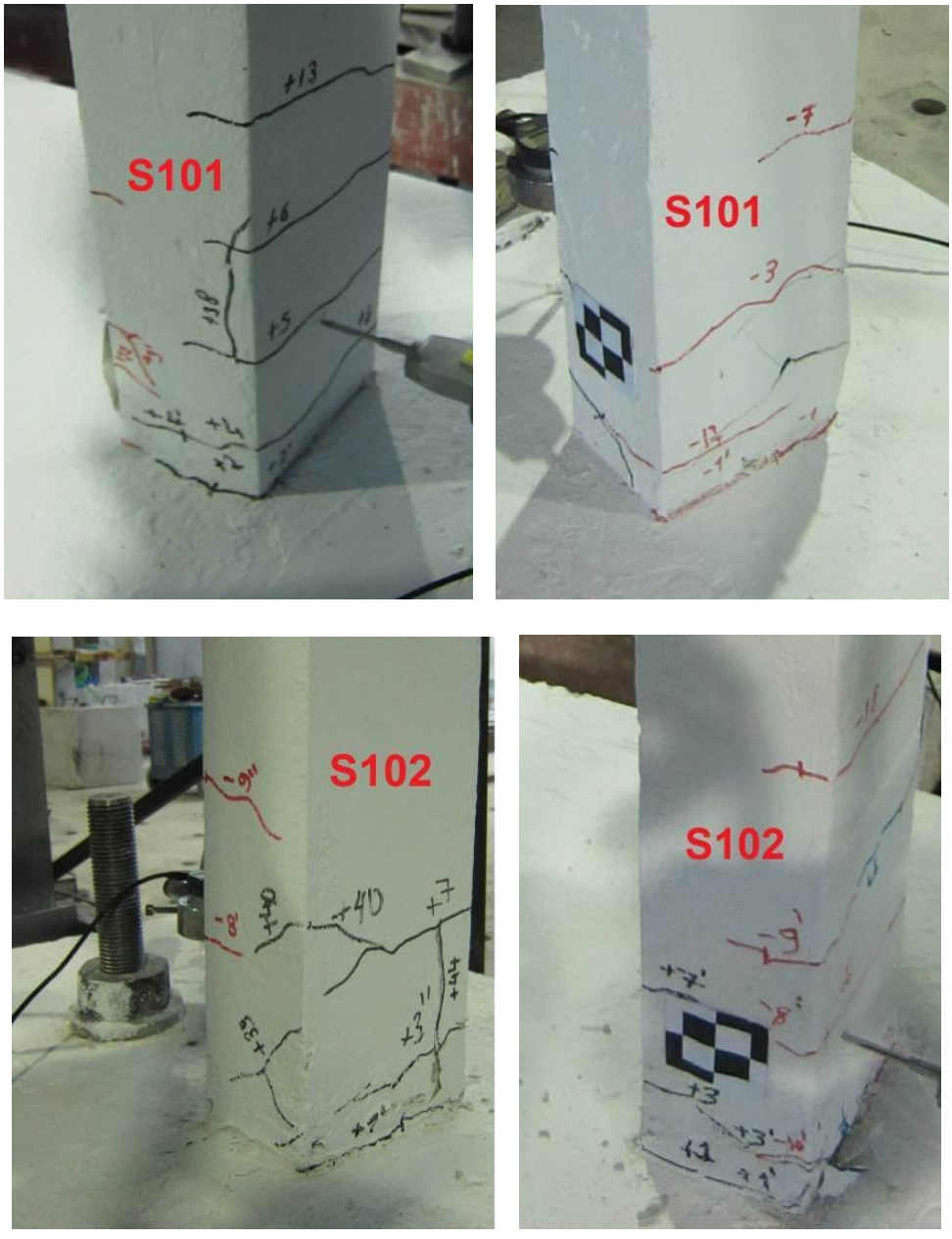




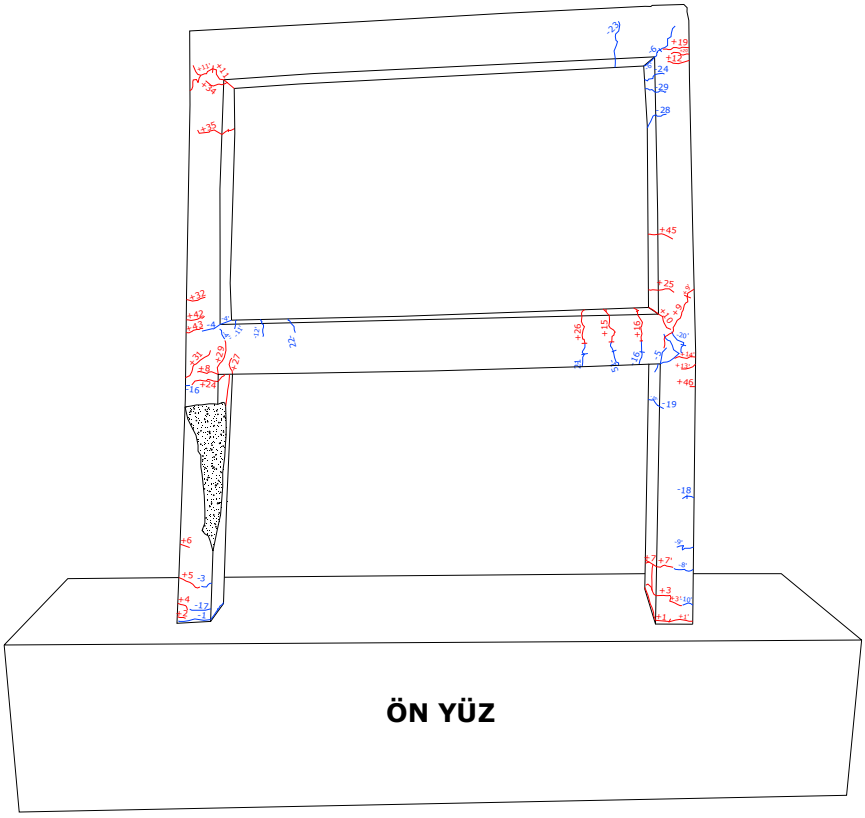
Şekil 4.8. Deney numunesi 1'in, göçme konumunda ön ve arka yüzden görünümü (+14 itme çevrimi)



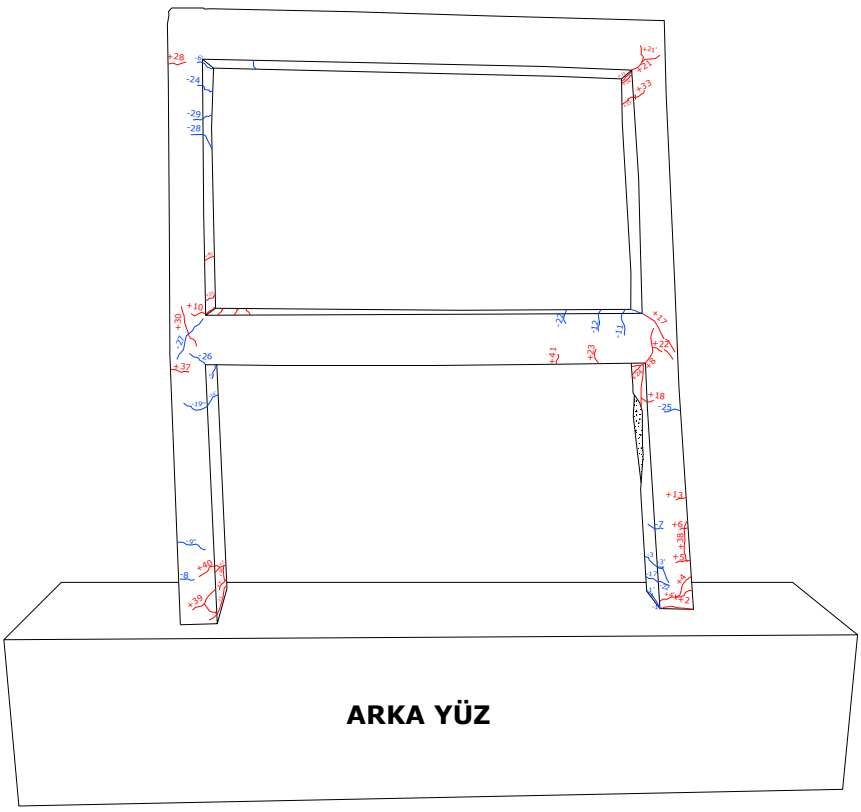
Şekil 4.9. Deney numunesi 1'in, göçme konumunda kolon-kiriş birleşim bölgelerinde oluşan hasarlar



Şekil 4.10. Deney numunesi 1'in, göçme konumunda kolon-temel birleşiminde oluşan hasarlar

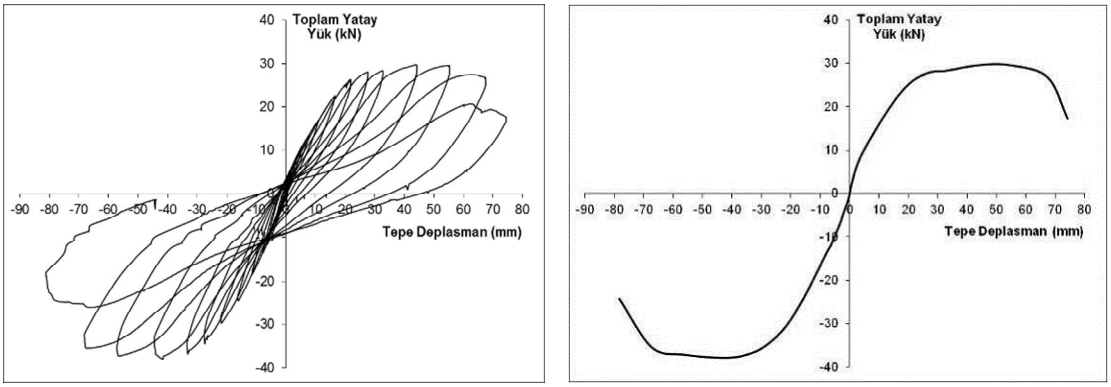


Şekil 4.11. Deney numunesi 1'de oluşan çatlakların ve hasarların, ön yüzden şematik olarak gösterimi

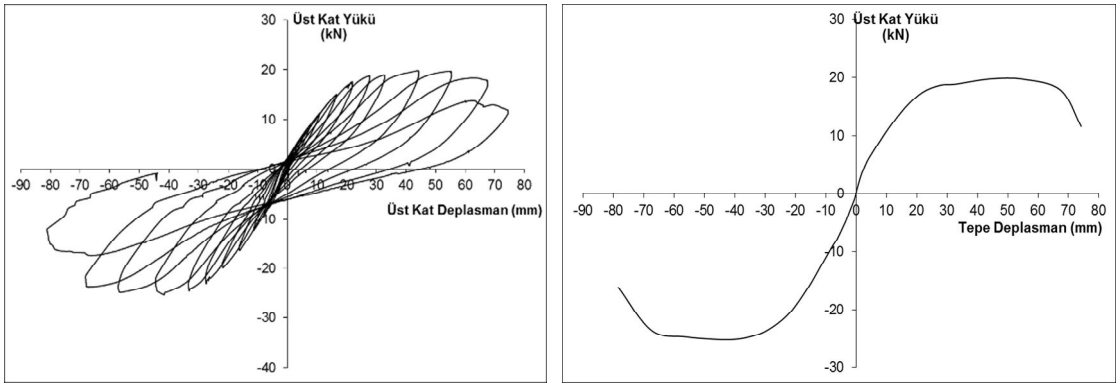


Şekil 4.12. Deney numunesi 1'de oluşan çatlakların ve hasarların, arka yüzden şematik olarak gösterimi

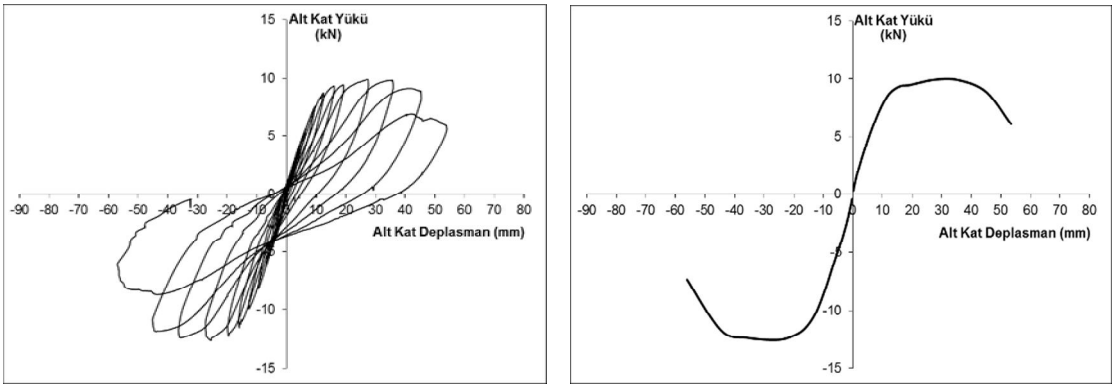
Deney numunesi 1'e ait toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve dayanım zarfı eğrisi Şekil 4.13'de verilmiştir. Deneyde, numunenin üst katında ölçülen yatay yüke karşılık gelen deplasmanının çevrimsel histeresis eğrisi Şekil 4.14'de, alt kat için ise Şekil 4.15'de verilmiştir. Ayrıca; üst katta meydana gelen göreceli kat ötelenmesinin, üst kat yatay yüküne göre çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi Şekil 4.16'da ve alt katta meydana gelen göreceli kat ötelenmesinin, alt kat yatay yüküne göre çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi Şekil 4.17'de verilmiştir.



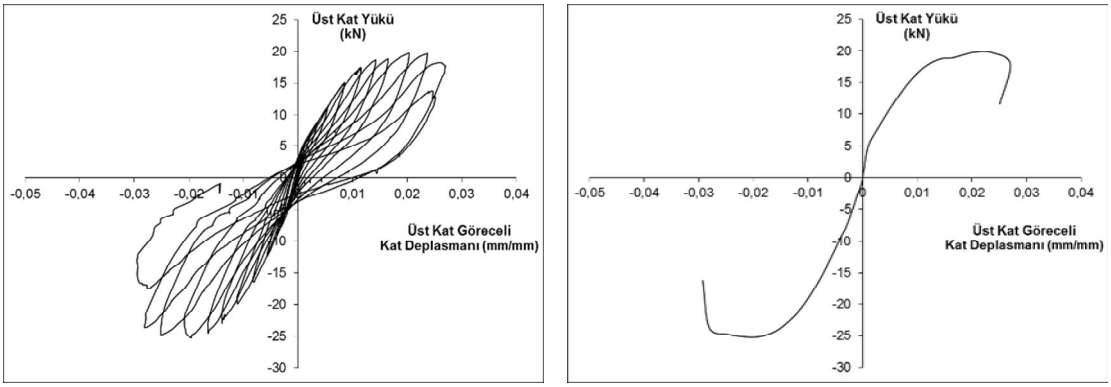
Şekil 4.13. Toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (RS)



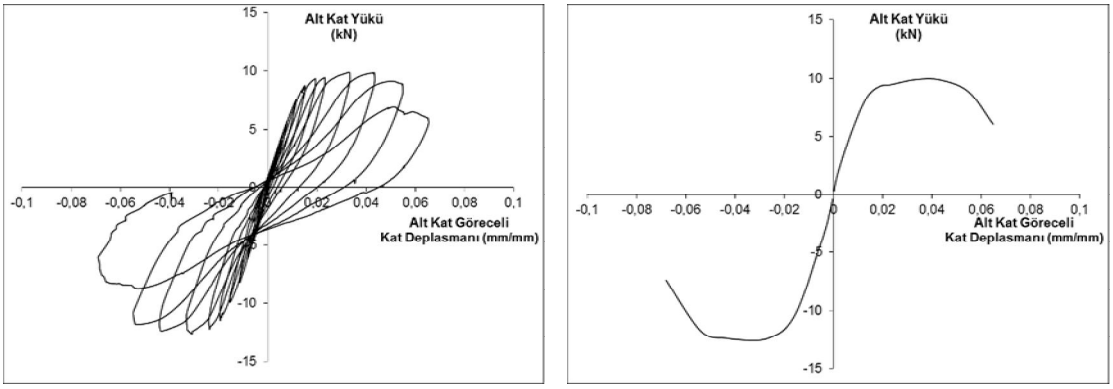
Şekil 4.14. Üst kat yatay yükü-üst kat tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi (RS)



Şekil 4.15. Alt kat yatay yükü-alt kat tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (RS)

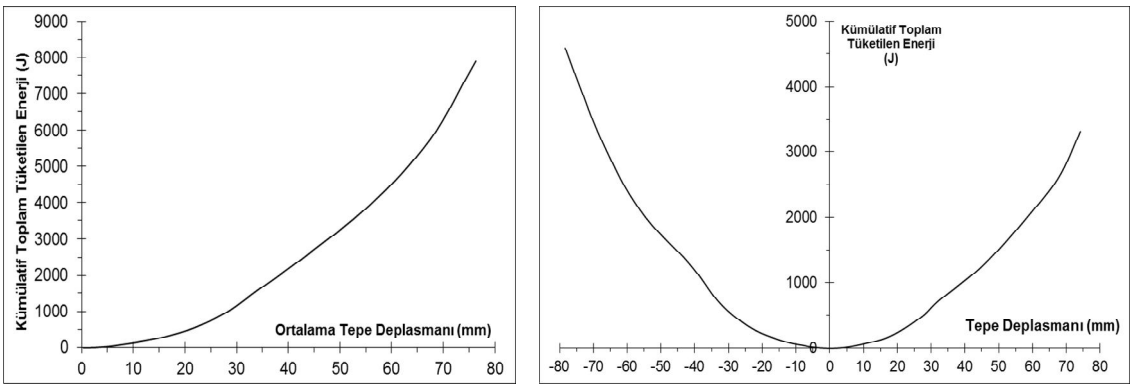


Şekil 4.16. Üst kat yatay yükü-üst kat göreceli kat ötelenmesi çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (RS)



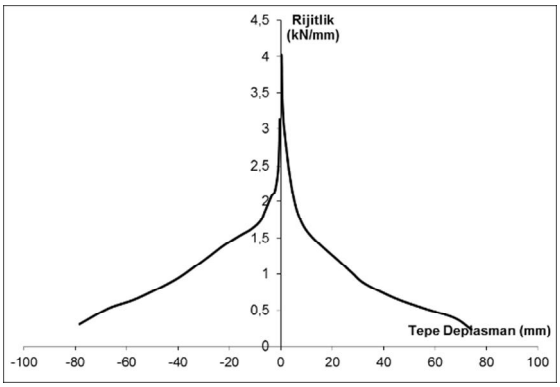
Şekil 4.17. Alt kat yatay yükü-alt kat göreceli kat ötelenmesi çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (RS)

Toplam yatay yük-tepe deplasmanı histeresis eğrilerinin altında kalan alanın hesaplanması ile numunenin enerji tüketme kapasitesi hesaplanmış ve Şekil 4.18'de verilmiştir.

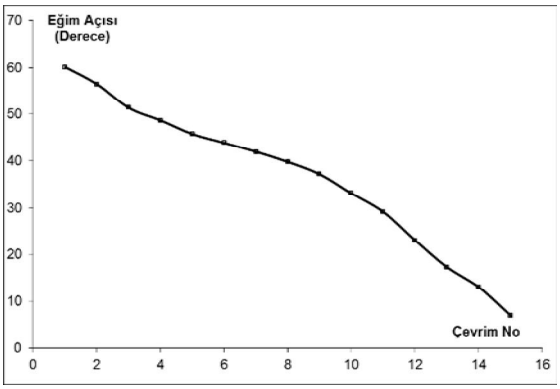


Şekil 4.18. Tüketilen enerji-deplasman grafiği (RS)

Deneyin her bir çevriminde elde edilen maksimum yatay yük değerlerinin, bunlara karşılık gelen yatay deplasman değerlerine oranlanması ile her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri hesap edilmiştir (Şekil 4.19). İtme çevrimleri için elde edilen değerler şeklin sağında, çekme çevrimleri için hesaplanan değerler grafiğin solunda verilmiştir. Şekil 4.20'de ise her bir çevrimdeki eğim açısı belirlenmiş ve grafiksel olarak verilmiştir.

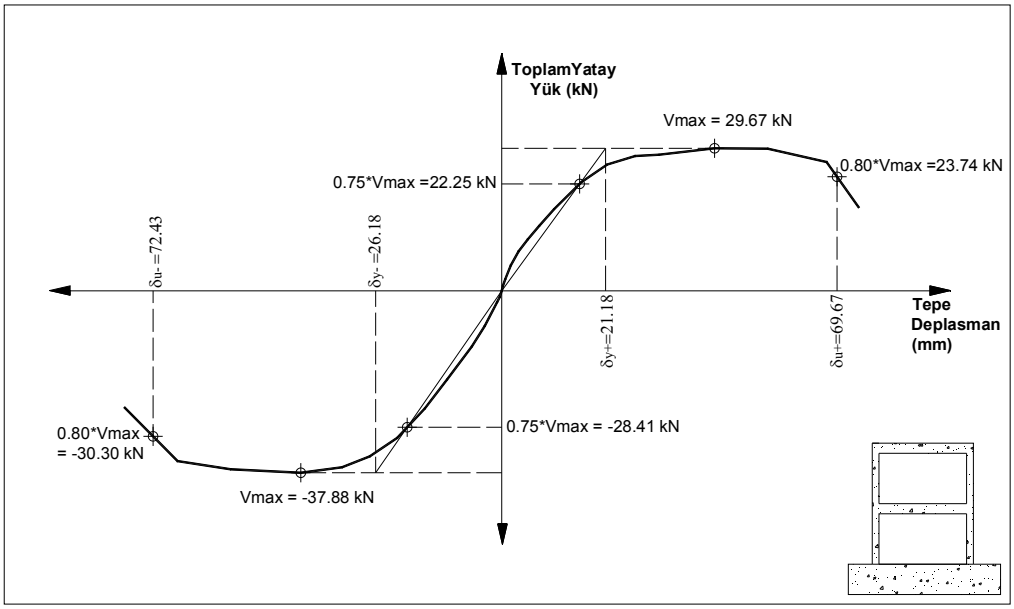


Şekil 4.19. Rijitlik azalımı grafiği (RS)



Şekil 4.20. Her bir çevrimde oluşan eğim açısı (RS)

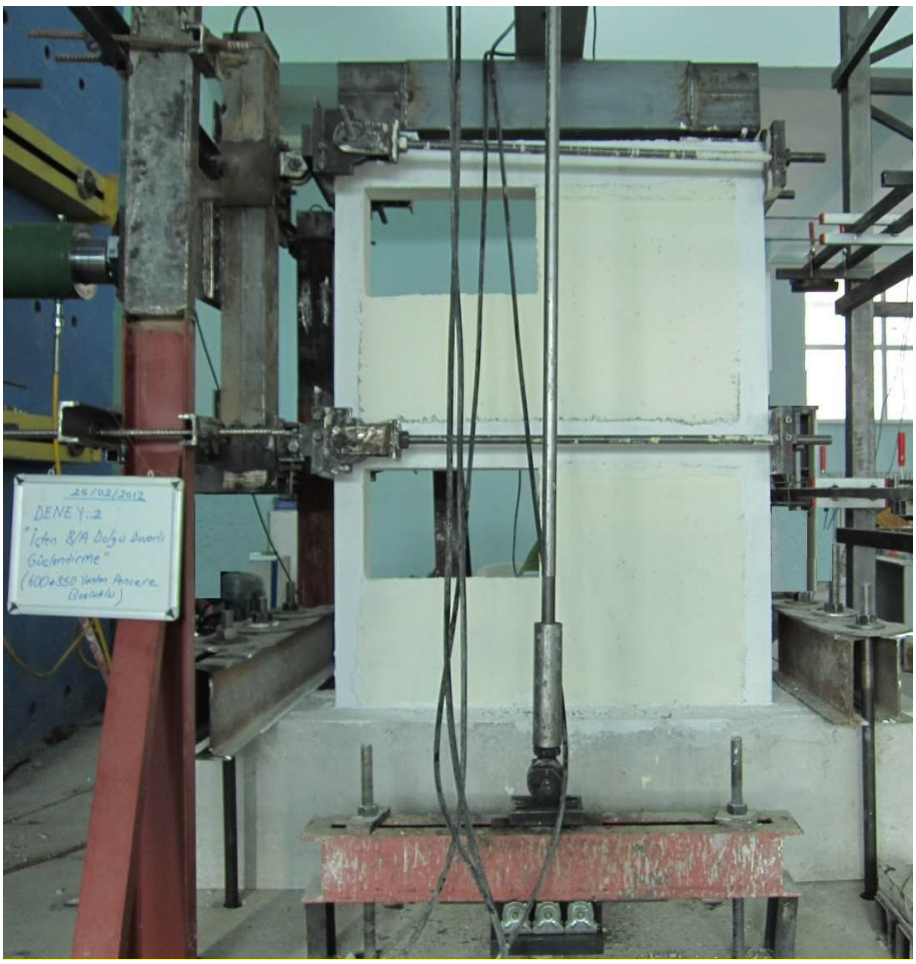
Deney numunesi 1'in süneklik değerlendirilmesinin yapılabilmesi için oluşturulan grafik Şekil 4.21'de verilmiştir.



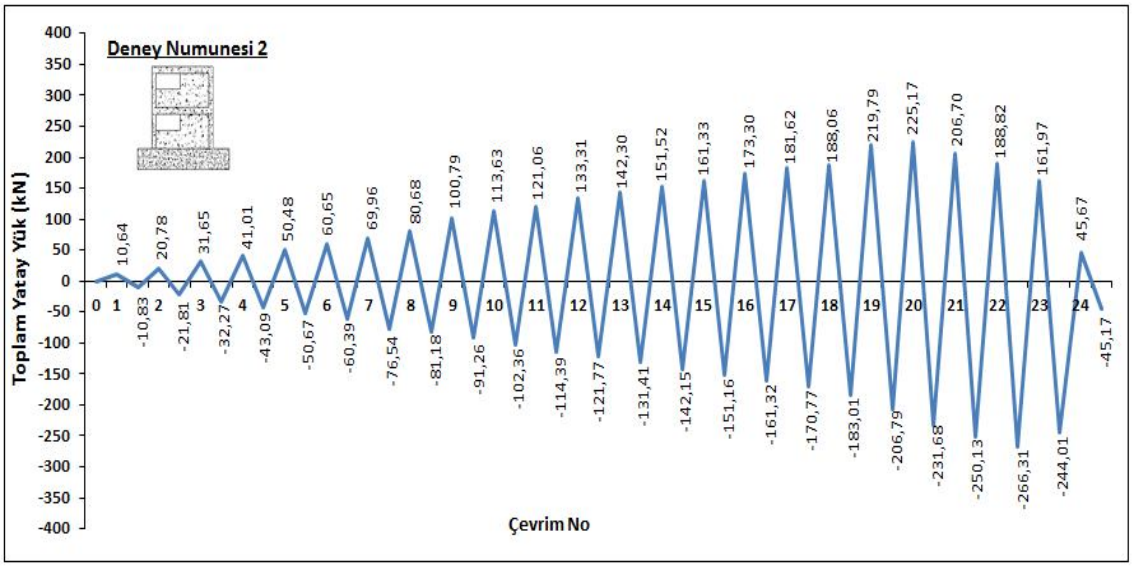
Şekil 4.21. Sistem sünekliğinin değerlendirilmesi grafiği (RS)

4.1.2. Kolona bitişik pencere boşluklu (600x350 mm), B/A dolgu duvarlı numune

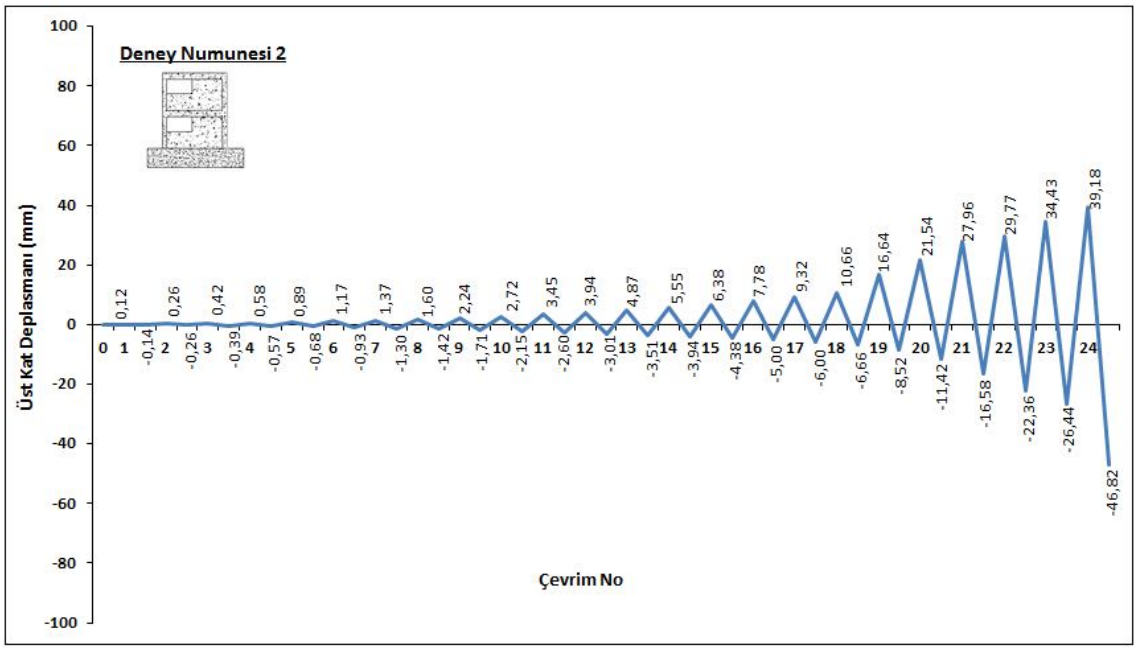
S 101 ve S 201 kolonlarına bitişik pencere boşluklu (600x350 mm), betonarme dolgu duvarlı bu numunenin, deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Şekil 4.22'de verilmiştir. Bu numuneye, deneyde uygulanan yük geçmişi, yatay yüke göre Şekil 4.23'de, tepe deplasmana göre ise Şekil 4.24'de verilmiştir. Deney numunesine, itmede ve çekmede 24 yük çevrimi uygulanmıştır.



Şekil 4.22. Deney Numunesi 2'nin deney öncesi görünümü (ISWSBW)



Şekil 4.23. Deney numunesi 2'ye uygulanan yükleme geçmişi grafiği (yatay yüke göre)



Şekil 4.24. Deney numunesi 2'ye uygulanan yükleme geçmişi grafiği (tepe deplasmana göre)

Yük kontrollü olarak başlayan deney, numune maksimum yük taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra deplasman kontrollü olarak devam ettirilmiştir. Deney numunesi, itmede (+20. çevrimde) maksimum 225.17 kN yatay yüke, çekmede (-22. çevrimde) maksimum 266.31 kN yatay yüke dayanmıştır. Deney numunesi 2'nin, +20 çevriminde 21.54 mm tepe deplasmanı yaptığı ölçülmüştür. -22 çevriminde ise tepe deplasmanının 22.36 mm olduğu görülmüştür. Deneyde; itme çevrimlerde en fazla 39.18 mm, çekme çevrimlerinde ise en fazla 46.82 mm deplasman seviyelerine kadar yükleme yapılmıştır. Deney, -24. çevrimde numunede büyük hasarlar meydana geldiği için sonlandırılmıştır.

Deney sırasında numuneye, toplam 86 kN eksenel yük verilmiştir. Böylelikle numunenin, S 101-S 201 ve S 102-S 202 kolonlarına 43 kN'luk eksenel yük uygulanmıştır. Buna göre; ortalama basınç dayanımı 17.29 MPa ve 150x100 mm kesitinde olan kolonlara, taşıma kapasitelerinin yaklaşık %20'si kadar eksenel yük uygulanmıştır.

Deney numunesi 2'in denenmesi sırasında, numunede gözlemlenen çatlak ve hasar oluşumu, yatay yük-tepe deplasman değerleri ile birlikte Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Deney numunesi 2'de, yük çevrimlerine göre çatlakların dağılımı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlemlenen Çatlak ve Hasar oluşumu
+1(itme)	10.64	0.12	Deney numunesi 2'nin testinde, ilk 3 çevrimde herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
-1 (çekme)	-10.83	-0.14	
+2	20.78	0.26	
-2	-21.81	-0.26	
+3	31.65	0.42	
-3	-32.27	-0.39	
+4	41.01	0.58	S101 kolonunda +1 nolu eğilme çatlağı oluşmuştur. Bu çatlak, S101 kolonu ile K101 kirişinin birleşim bölgesinden yaklaşık 10 cm aşağıdadır.
-4	-43.09	-0.57	Bu çevrimde numunede herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir.
+5	50.48	0.89	P101 dolgu duvarının ön ve arka yüzlerinde, pencerenin köşe bölgesinde +2, +3 nolu, P201 dolgu duvarının ön ve arka yüzlerinde, yine pencerenin köşe bölgesinde +4, +5 nolu kesme çatlakları meydana gelmiştir.
-5	-50.67	-0.68	Numuneye uygulanan bu çekme çevriminde de herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+6	60.65	1.17	P101 ve P201 dolgu duvarlarındaki +3, +4 ve +5 nolu çatlakların ilerlemesiyle +3', +4' ve +5' çatlakları meydana gelmiştir. Ayrıca, P101 ile temel birleşim bölgesinde +6 nolu kesme çatlağı oluşmuştur.
-6	-60.39	-0.93	Bu çekme çevriminde numunede çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir.
+7	69.96	1.37	P201 dolgu duvarındaki +4' nolu çatlağın ilerlemesiyle +4" çatlağı oluşmuştur. S101-K101 birleşiminde +8 nolu çatlak ve S101-P101 birleşiminin ön yüzeyinde +9 nolu düşey çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca S101 kolunda, pencere boşluğu alt hizasında +7 nolu eğilme çatlağı oluşmuştur.
-7	-76.54	-1.30	Bir önceki çevrimde oluşan +4" çatlağın, K101 kirişi üst yüzeyine kadar ilerlemesi ile -1 çatlağı meydana gelmiştir. K101-P101 birleşimi ile pencere üst köşe hizasında -2 nolu, K101 kirişi ön yüzeyinde -3 nolu çatlaklar meydana gelmiştir.
+8	80.68	1.60	Daha önceki çevrimlerde oluşan +5', +7 nolu çatlakların ilerlemesi ile +5", +7' nolu çatlaklar meydana gelmiştir. Ayrıca, S101 kolonunun iç ve ön yüzeyinde +10 nolu eğilme çatlağının oluşumu gözlemlenmiştir.
-8	-81.18	-1.42	S101 ve S201 kolonlarının iç yüzeylerinde, pencere boşluğu alt hizasında -5 ve -7 nolu eğilme çatlakları oluşmuştur. S102 kolonunun ve P101 ile temel birleşim bölgesinde -4, pencerenin K101 kiriş birleşiminde -6 nolu yatay çatlaklar oluşmuştur.
+9	100.79	2.24	S101 ve S201 kolonlarında +11 ve +12 nolu eğilme çatlakları, S101-K101 birleşiminin ön yüzeyinde +13 nolu eğik çatlak oluşmuştur. Ayrıca, önceki çevrimlerde oluşan +2', +7' nolu çatlakların ilerlemesi ile +2", +7" nolu çatlaklar oluşmuştur.
-9	-91.26	-1.71	S102 kolonun da -8, -9 ve -10 nolu çatlaklar meydana gelmiştir.

Çizelge 4.2. (Devamı) Deney numunesi 2'de, yük çevrimlerine göre çatlakların dağılımı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlemlenen Çatlak ve Hasar oluşumu
+10	113.63	2.72	S101 kolonun da +14 nolu çatlak meydana gelmiştir. P101 ve P201 dolgu duvarlarında pencerelerin köşe bölgesinin yaklaşık 5 cm üzerinde +15 ve +17 nolu eğik çatlakların oluşumu gözlemlenmiştir. Yine P101 dolgu duvarında +16 nolu kesme çatlağı oluşmuştur.
-10	-102.36	-2.15	P101-K101, P101-S102 ve P201-K101 birleşimleri arka yüzeyinde -11, -12, -13 ve -15 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. P101 dolgu duvarında ve S102 kolonunda -14 nolu çatlağın oluştuğu görülmüştür.
+11	121.06	3.45	Bu çevrimde; P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde +18, +19 nolu, arka yüzeyinde +20, +23, +24 nolu ve P201'in ön yüzeyinde +22, arka yüzeyinde +21 nolu kesme çatlakları meydana gelmiştir. Ayrıca, önceki çevrimlerde oluşan +12, +13 nolu çatlakların ilerlemesi ile +12', +13' nolu çatlaklar oluşmuştur.
-11	-114.39	-2.60	Daha önceki çevrimlerde oluşan -7, -11 ve -15 nolu çatlakların ilerlemesi ile -7', -11' ve -15' nolu çatlaklar oluşmuştur. P101 ve K101 ön yüzeyinde -16 nolu, P101 dolgu duvarının arka yüzeyinde -17, -18, -20, -21 nolu çatlaklar meydana gelmiştir. S102 kolonunun ön yüzeyinde -25 nolu, arka yüzeyinde ise -22, -23, -24, -26, -27, -28 nolu eğilme çatlakları oluşmuştur. Ayrıca, S201-K201 kolon kiriş birleşim bölgesinde -19 nolu eğik çatlak oluşmuştur.
+12	133.31	3.94	Bu çevrimde; P201 arka yüzeyinde pencere alt hizasında +25 nolu kesme çatlağı ve S201-K201 birleşimi iç yüzeyinde +26 nolu çatlak oluşmuştur. Ayrıca, önceki çevrimlerde oluşan +22, +23 nolu çatlakların ilerlemesi ile +22', +23' nolu çatlakların oluşumu gözlemlenmiştir.
-12	-121.77	-3.01	Bu çevrimden önceki çevrimlerde oluşan -10, -14, -17, -18 ve -19 nolu çatlakların ilerlemesi ile -10', -14', -17', -18' ve -19' nolu çatlaklar oluşmuştur. P101 ve S102 ön yüzeyinde -29, -30, -31 ve -34 nolu çatlaklar ile P101 dolgu duvarının arka yüzeyinde -32 nolu kesme çatlağı oluşmuştur. Ayrıca, S102 kolonunda -33 ve -35 nolu eğilme çatlakları meydana gelmiştir.
+13	142.30	4.87	Bu çevrimden önceki çevrimlerde oluşan +8, +10, +11, +14 ve +24 nolu çatlakların ilerlemesi ile +8', +10', +11', +14' ve +24' nolu çatlaklar oluşmuştur. S201 kolonunda +27, S101 kolonunda +31 nolu eğilme çatlakları, P101 dolgu duvarının arka yüzeyinde +30 nolu kesme çatlağı oluşmuştur. S201-K201 kolon kiriş birleşiminde +28 nolu eğik çatlak ve S201-P201 birleşim bölgesinde +29 nolu düşey çatlak oluşumu meydana gelmiştir.
-13	-131.41	-3.51	P101 ve S102 ön yüzeyinde -36, S102 kolunda -37 nolu eğilme çatlağı meydana gelmiştir. Ayrıca, önceki çevrimlerde oluşan -8, -17', -18', -22, -26 ve -31 nolu çatlakların ilerlemesi ile -8', -17", -18", -22', -26' ve -31' nolu çatlaklar oluşmuştur.
+14	151.52	5.55	Bu çevrimden önceki çevrimlerde oluşan +2, +5', +12, +16, +27 ve +31 nolu çatlakların ilerlemesi ile +2', +5", +12', +16', +27' ve +31' nolu çatlaklar oluşmuştur. S101 kolonunda +33, +34 nolu eğilme çatlakları, P101 dolgu duvarının arka yüzeyinde +35, +36 nolu kesme çatlakları, P201 dolgu duvarının ön yüzeyinde +32, arka yüzeyinde +37 nolu kesme çatlakları meydana gelmiştir.
-14	-142.15	-3.94	S102 kolonunda -38 nolu eğilme çatlağı, P101-K101 birleşiminde -39 nolu yatay çatlak ve P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde -40 nolu kesme çatlağı oluşmuştur. Ayrıca, önceki çevrimlerde oluşan -11, -16, -18", -26' nolu çatlakların ilerlemesi ile -11', -16', -18"', -26" nolu çatlaklar oluşmuştur.

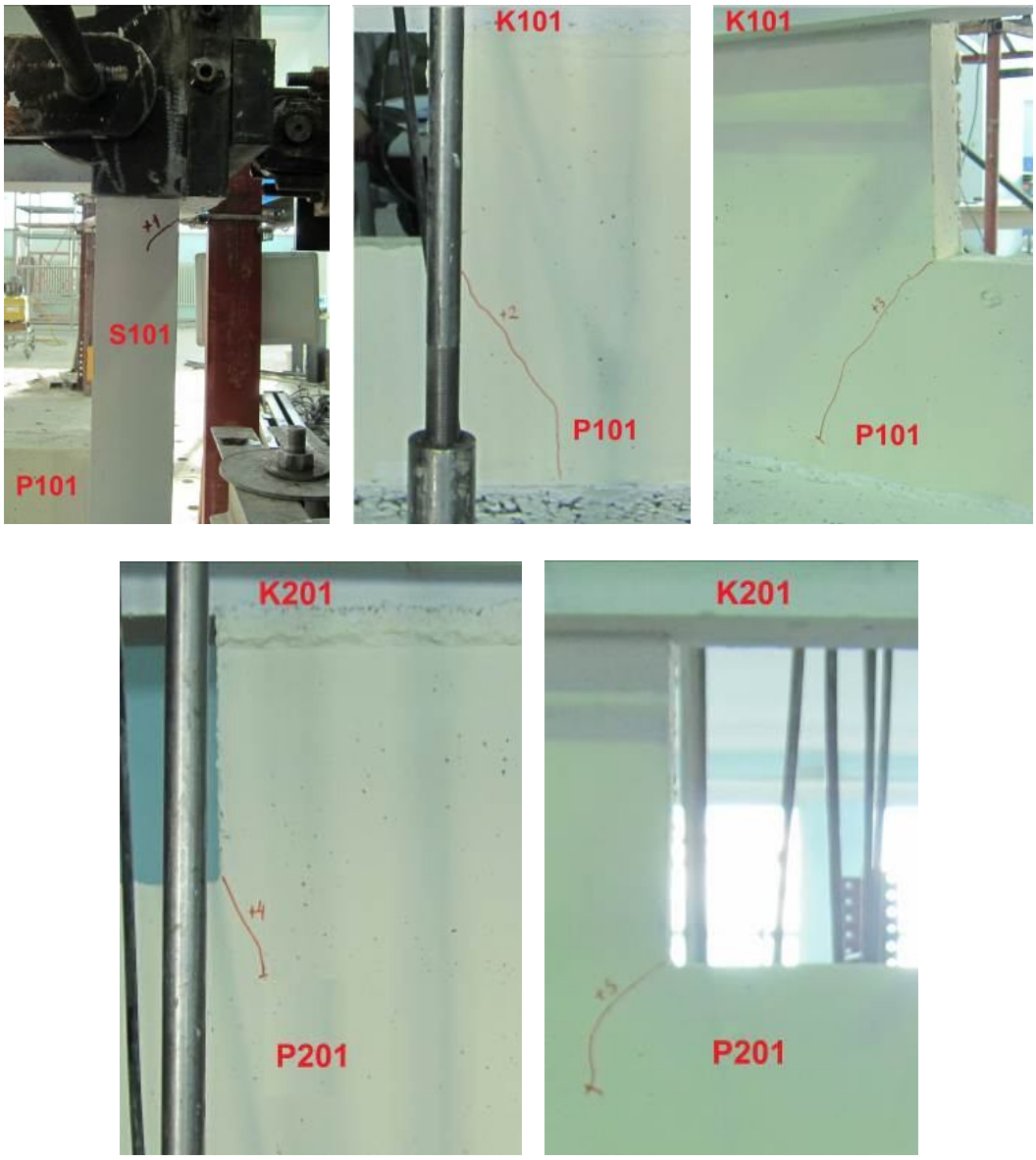
Çizelge 4.2. (Devamı) Deney numunesi 2'de, yük çevrimlerine göre çatlakların dağılımı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlemlenen Çatlak ve Hasar oluşumu
+15	161.33	6.38	P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde +38, P201 dolgu duvarının arka yüzeyinde +39 ve +40 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. Ayrıca, önceki çevrimlerde oluşan +19, +23', +33 nolu çatlakların ilerlemesi ile +19', +23", +33' nolu çatlaklar oluşmuştur.
-15	-151.16	-4.38	Deneyin bu çevriminde; S102 kolonun iç yüzeyinde -41 ve S201 iç yüzeyinde -42 nolu eğilme çatlaklarının oluşumu gözlemlenmiştir. Ayrıca, önceki çevrimlerde oluşan -8', -30 ve -39 nolu çatlakların ilerlemesi ile -8", -30' ve -39' nolu çatlaklar oluşmuştur.
+16	173.30	7.78	Bu çevrimden önceki çevrimlerde oluşan +13 ve +19' nolu çatlakların ilerlemesi ile +13 ve +19" nolu çatlaklar oluşmuştur. P101 dolgu duvarının arka yüzeyinde +41, P201 dolgu duvarının arka yüzeyinde +43 ve ön yüzeyinde +44 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. Ayrıca, S201-K201 kolon kiriş birleşim bölgesinde +42 nolu eğik çatlağın oluşumu gözlemlenmiştir.
-16	-161.32	-5.00	K101 kirişinin ön yüzeyinde -43, K201 ön yüzeyinde -44 nolu eğilme çatlakları, pencere boşluğu köşe hizalarında oluşmuştur. P101 dolgu duvarının arka yüzeyinde -45 nolu, ön yüzeyinde -47 nolu kesme çatlakları ve S102 kolonunun arka yüzeyinde -46 nolu, S202 kolonunun arka yüzeyinde -48 nolu eğilme çatlakları meydana gelmiştir. Daha önceden oluşan -2, -13 nolu çatlakların ilerlemesi ile -2', -13' nolu çatlaklar oluşmuştur.
+17	181.62	9.32	+16. çevrimde oluşan +44 nolu çatlağın ilerlemesiyle +44' nolu çatlak oluşmuştur. P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde +50, +51, arka yüzeyinde +52, +53, +55, +56, +57 nolu ve P201 dolgu duvarının ön yüzeyinde +46, +54, +58, arka yüzeyinde ise +59, +60 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. Ayrıca, S201 kolonunda +45, +47, +48, +61 ve S101 kolonunda +49 nolu eğilme çatlakları meydana gelmiştir.
-17	-170.77	-6.00	K101 kirişinin ön yüzeyinde -49, -51 nolu ve S101 kolonunun iç yüzeyinde -50 nolu eğilme çatlakları oluşmuştur. P101'in arka yüzeyinde -52 ve P201 dolgu duvarının ön yüzeyinde -49 nolu kesme çatlakları meydana gelmiştir. P201'deki -49 nolu çatlak, K101 kirişi ile aynı hizada oluşmuştur.
+18	188.06	10.66	Bu çevrimde; P101'in ön yüzeyinde +62, arka yüzeyinde +66 nolu ve P201'in ön yüzeyinde +64, +65, +67, arka yüzeyinde +68, +69 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. S101'in arka yüzeyinde +63 nolu kesme çatlağı ve K201 kirişinin pencere boşluğu kısmında +70 nolu eğilme çatlağının oluştuğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, önceden oluşan +32 ve +51 nolu çatlakların ilerlemesi ile +32' ve +51' nolu çatlaklar oluşmuştur.
-18	-183.01	-6.66	Bu çevrimden önce oluşan -36 ve -48 nolu çatlakların ilerlemesi ile -36' ve -48' nolu çatlaklar oluşmuştur. K101'in alt yüzeyinde -53 nolu, K201'in alt yüzeyinde -55 nolu ve S102 kolonunun ön yüzeyinde -54, -56 nolu eğilme çatlakları çatlakları meydana gelmiştir.
+19	219.79	16.64	Bu çevrimde genel olarak çatlak oluşumunun P101 dolgu duvarında yoğunlaştığı gözlemlenmiş ve P101'in ön yüzeyinde +71, +72, +73, +74 nolu ve arka yüzeyinde +75, +77, +78, +79 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. K201 kirişinde +76 nolu eğilme ve P201'in arka yüzeyinde +80, +81 nolu kesme çatlakları meydana gelmiştir. Ayrıca, önceden oluşan +4, +15, +30, +36, +38, +41, +44', +53 ve +59 nolu çatlakların ilerlemesi ile +4', +15', +30', +36', +38', +41', +44", +53' ve +59' nolu çatlaklar oluşmuştur.
-19	-206.79	-8.52	Bu çevrimden önce oluşan -43', -49 ve -53 nolu çatlakların ilerlemesi ile -43", -49' ve -53' nolu çatlaklar oluşmuştur. S101 kolonunda -57, -59 nolu, S202 kolonunda -66 nolu eğilme çatlakları, P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde -58, arka yüzeyinde -60, -61, -62 nolu ve P201'in arka yüzeyinde -63, -64, -65 nlou kesme çatlakları oluşmuştur.

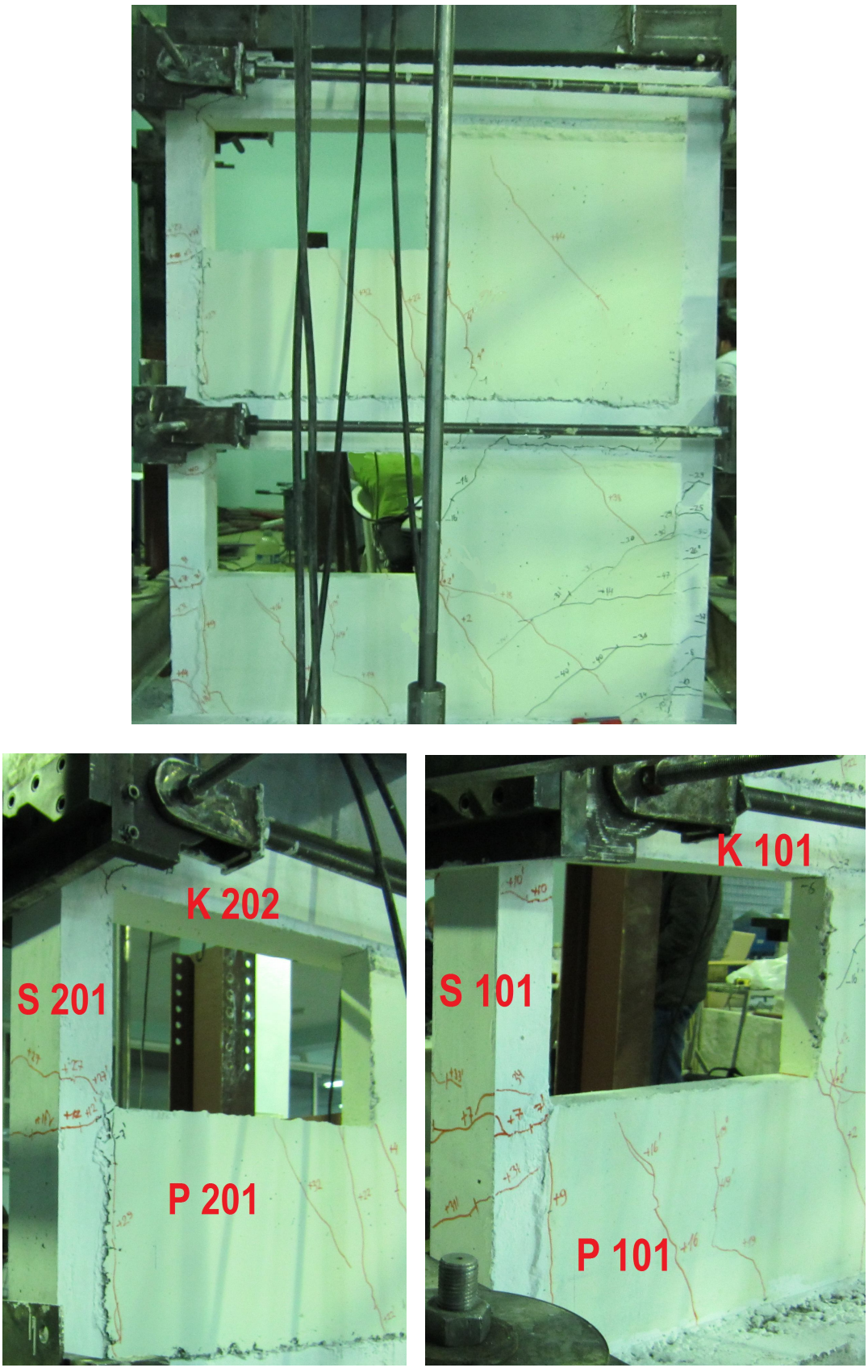
Çizelge 4.2. (Devamı) Deney numunesi 2'de, yük çevrimlerine göre çatlakların dağılımı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlemlenen Çatlak ve Hasar oluşumu
+20	225.17	21.54	P201 dolgu duvarının ön yüzeyinde +83, +85, +86 (S202 birleşimi düşey çatlak), +88, +90, +91, +105, +106 nolu, arka yüzeyinde +103, +104, +107, +108, +109, +110, +111, +112 nolu ve P101'in ön yüzeyinde +93, +94, +95, +96, arka yüzeyinde +97, +98 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. K101 kirişinde +89, +92, +113, +114, +115, +116 nolu, K201 kirişinde +99, +100, +101, +117, +118, +119, +120 nolu ve S201 kolonunda +84, +87, +102 nolu eğilme çatlakları meydana gelmiştir. Ayrıca, önceden oluşan +41', +36', +56, +75, +78 nolu çatlakların ilerlemesi ile +41", +36", +56', +75', +78' nolu çatlaklar oluşmuştur. ***Bu çevrimde; deney numunesi itme yönünde maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır.***
-20	-231.68	-11.42	Bu çevrimden önce oluşan -12, -52 ve -65 nolu çatlakların ilerlemesi ile -12', -52' ve -65' nolu çatlaklar oluşmuştur. P101'in ön yüzeyinde -67, -68, -70, arka yüzeyinde -71, -73, -75, -79, -81 nolu ve P201'in ön yüzeyinde -72, -74, arka yüzeyinde ise -85, -86 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. K101 kirişinde -76, -77, -78, -83 nolu eğilme çatlakları, K101-S202 kiriş kolon birleşim bölgesinde -80 nolu eğik çatlak, S101 kolonunda -84 nolu düşey çatlak ve S202 kolonunda -82 nolu eğilme çatlakları meydana gelmiştir.
+21	206.70	27.96	P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde +122, +123, +125, +130 nolu, P201'in ön yüzeyinde +121, +124 (S202 kolonuna kadar devam eden), +129, arka yüzeyinde ise +128 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. S201 kolonunda pencere boşluğu alt hizasında +126, K101 kirişinde +127 nolu eğilme çatlakları meydana gelmiştir. Ayrıca, önceden oluşan +23", +57, +101 ve +103 nolu çatlakların ilerlemesi ile +23"', +57', +101' ve +103' nolu çatlaklar oluşmuştur.
-21	-250.13	-16.58	Deneyin bu çevriminde; K101 kirişinde -87, -89 ve -91 nolu eğilme çatlakları, P101'in ön yüzeyinde -88 nolu ve P201'in ön yüzeyinde -90 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. Ayrıca, S101 kolonunda pencere boşluğu alt hizasında beton örtünün döküldüğü gözlemlenmiştir.
+22	188.82	29.77	Deneyin bu son 3 çevriminde; P101 ve P201 dolgu duvarlarındaki pencere köşe bölgesindeki çatlakların genişlediği ve bu bölgeye yakın gövde donatılarında kopmalar meydana geldiği gözlemlenmiştir. S101 kolonundaki pencere boşluğu alt hizasında bulunan çatlakların olduğu bölgede, kabuk betonunun döküldüğü ve kısa kolon davranışının gerçekleştiği görülmüştür. Kısa kolon davranışı, S201 ve S102 kolonlarında da gözlemlenmiş ancak bu kolonlarda hasar boyutu S101'deki kadar olmamıştır. P101 dolgu duvarında ise pencere boşluğu alt hizasında başlayan, S102 kolonuna ve temel birleşimine kadar devam eden kayma çatlaklarının oluşumu gözlemlenmiştir. Bu çatlak bölgesinde, P101 dolgu duvarının ön ve arka yüzeyinde beton dökülmeleri meydana gelmiştir. S102 kolonunun, temel uç kısmında betonda ezilmeler olmuştur. Numunede meydana gelen bu hasarlardan ve sistem stabilitesinin tehlikeye girmesinden dolayı çatlak numaralandırılması yapılmamıştır. Sadece oluşan hasarların çekilen fotoğraflarla tespiti yapılmıştır. ***+20. çevrimde numune, maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmasına rağmen bu durum çekmede -22. çevrimde gerçekleşmiştir. Bunun sebebi; dolgu duvarlarında pencere alt köşe bölgesinde oluşan kesme çatlaklarının, itme çevrimlerinde genişlemesi çekme çevrimlerinde ise tekrar kapanmasıdır.***
-22	-266.31	-22.36	
+23	161.97	34.43	
-23	-244.01	-26.44	
+24	45.67	39.18	
-24	-45.17	-46.82	

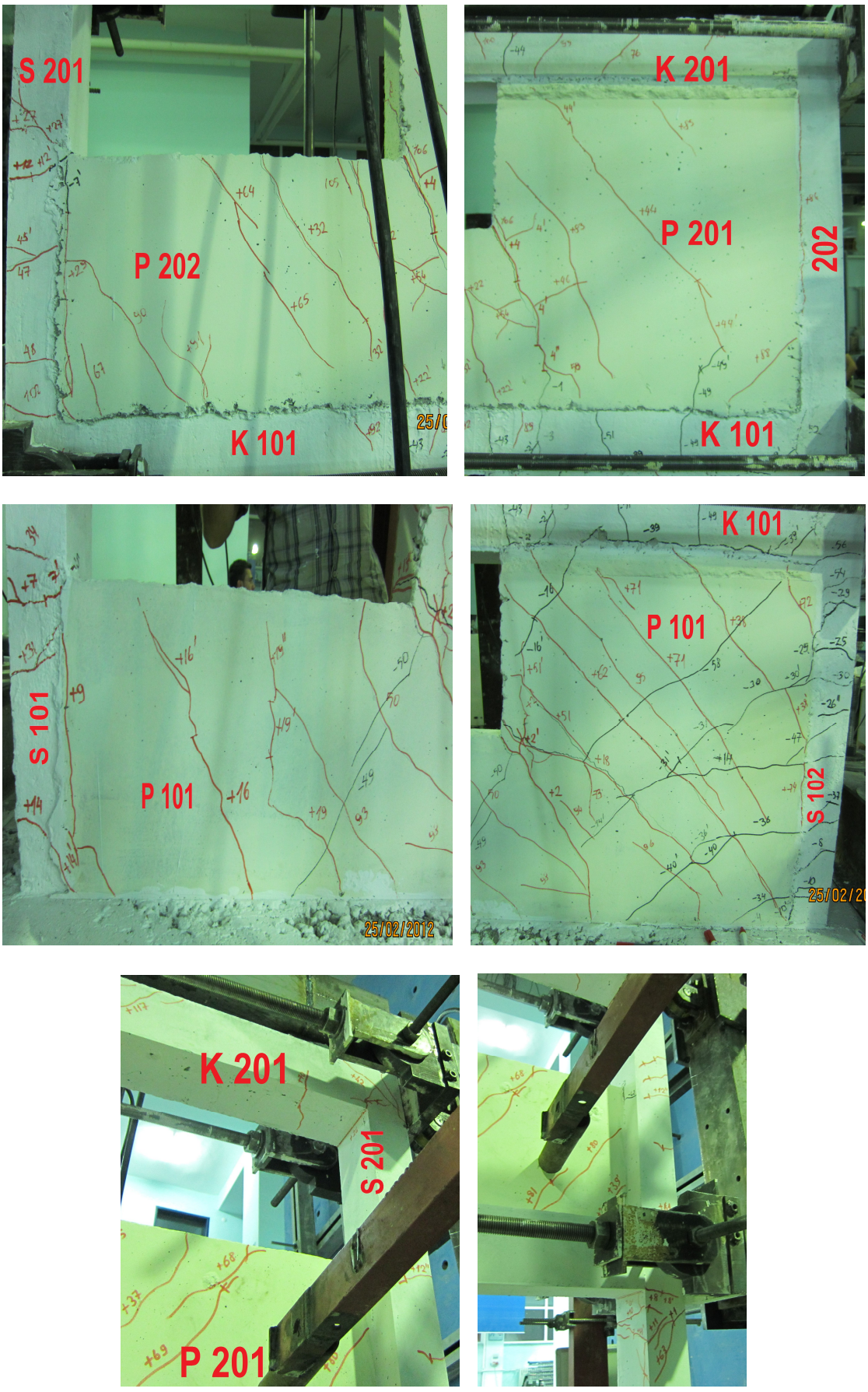
Deney numunesi 2'de; +4 ve +5 çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar Şekil 4.25'de verilmiştir. Ayrıca itme yönü için numunede meydana gelen hasarların durumu, akma konumunda Şekil 4.26'da, maksimum yüklemede Şekil 4.27'de, göçme konumu için Şekil 4.28'de verilmiştir. Numunenin deney sonrası görünümü Şekil 4.29, Şekil 4.30 ve Şekil 4.31'de verilmiştir. Numunede oluşan çatlakların ve hasarların şematik gösterimi ise Şekil 4.32 ve Şekil 4.33'de verilmiştir.



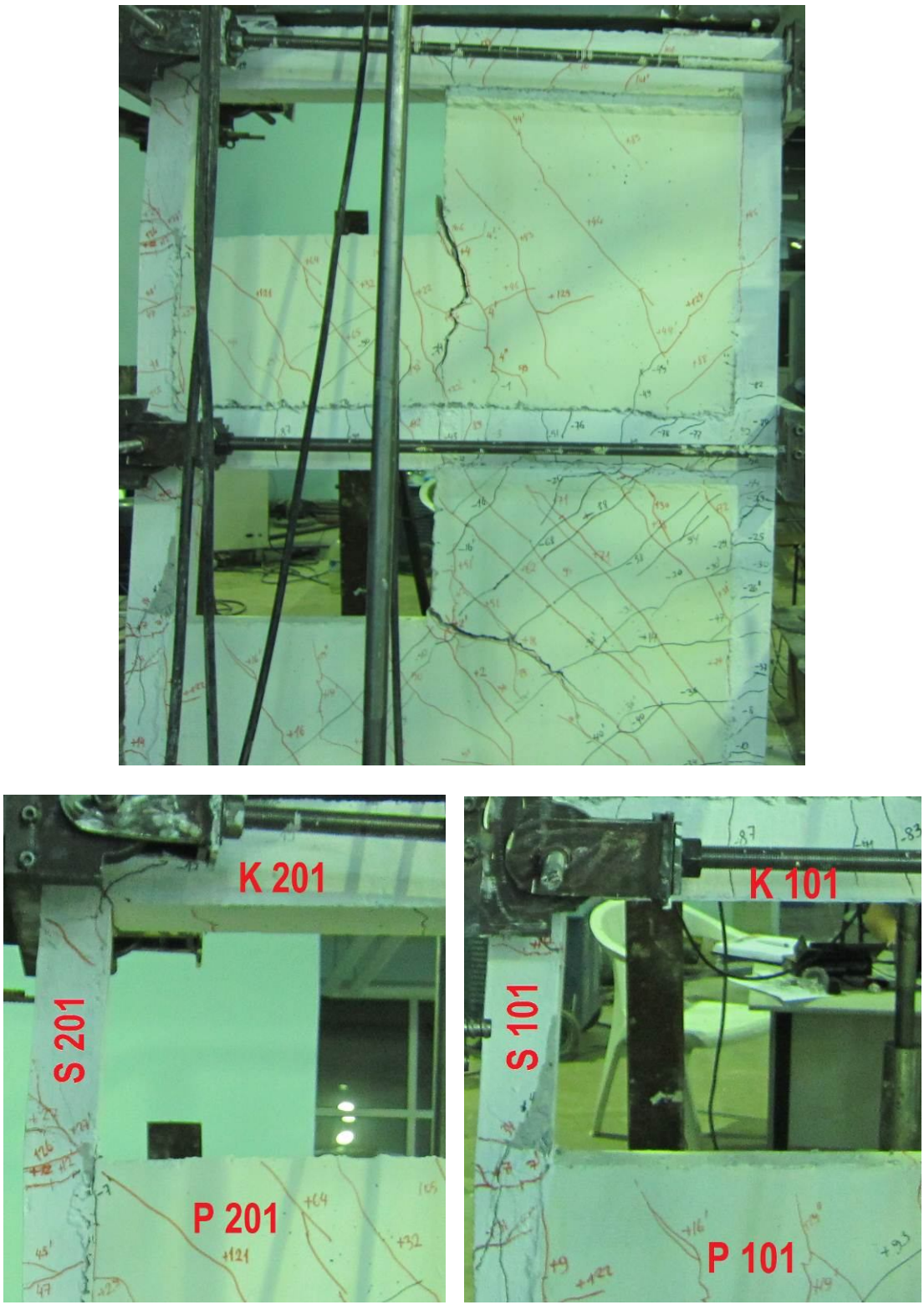
Şekil 4.25. Deney numunesi 2'nin, +4. ve +5. itme çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar



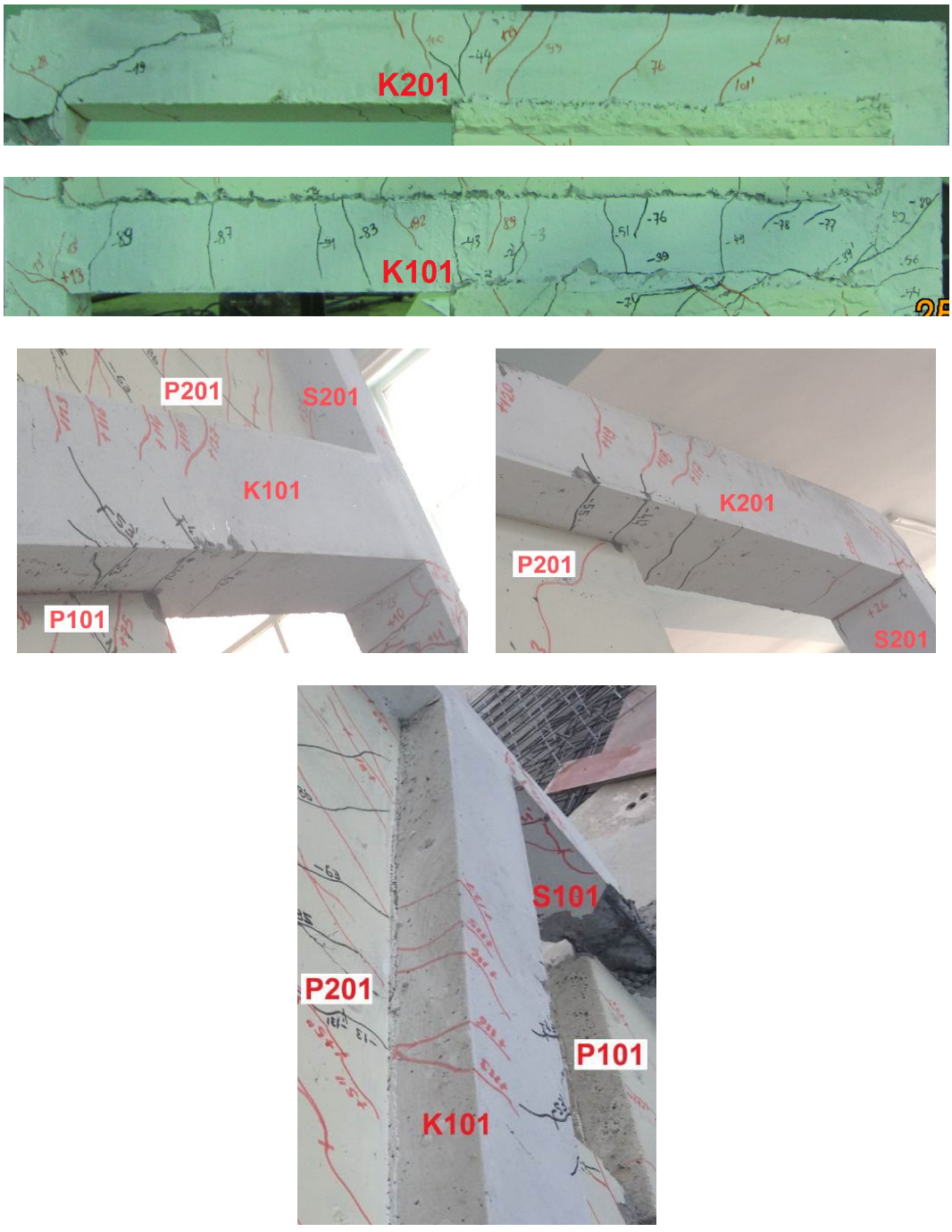
Şekil 4.26. Deney numunesi 2'nin, akma konumuna ait görünümü (+16 itme çevrimi)



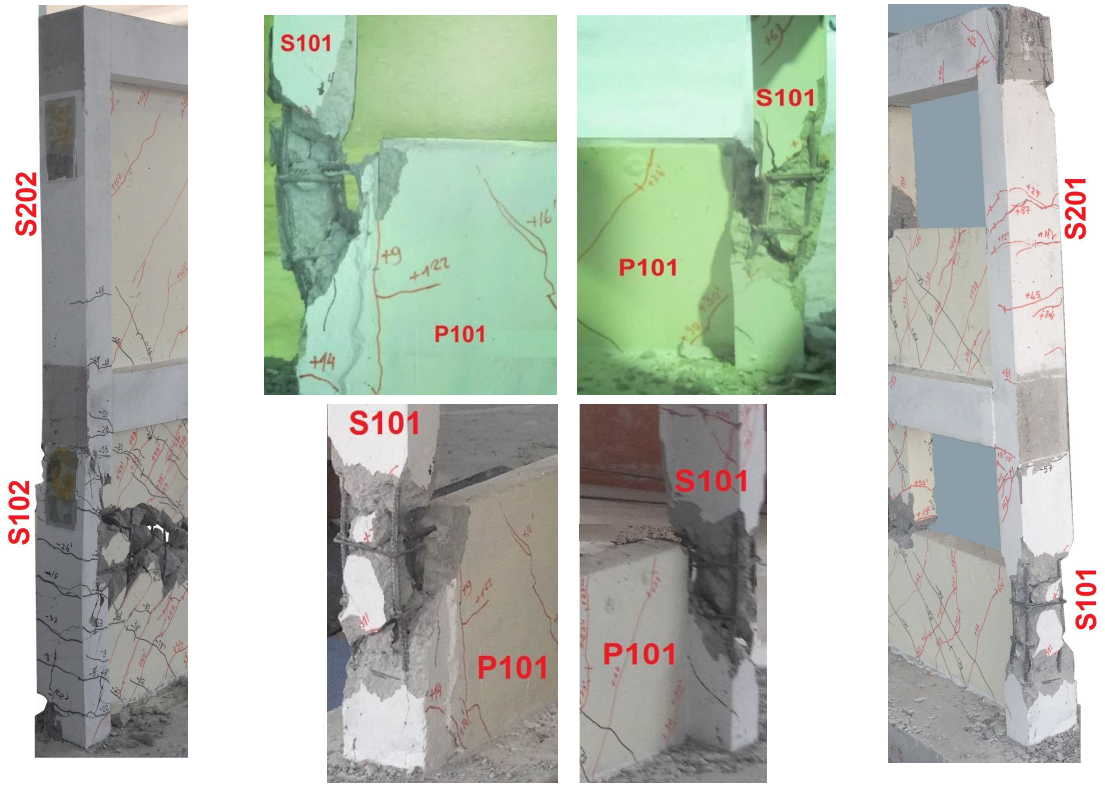
Şekil 4.27. Deney numunesi 2'de maksimum yüklemede oluşan çatlakların görünümü (+20 itme çevrimi)



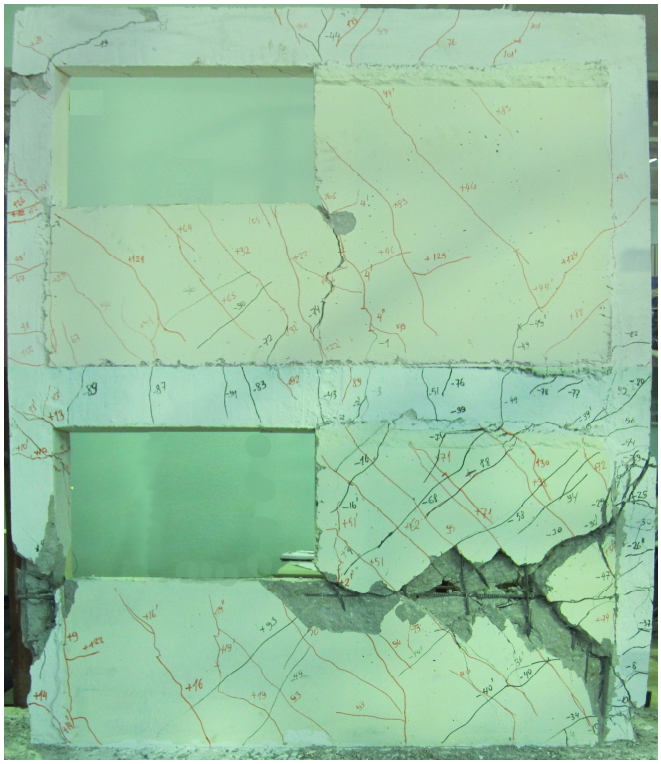
Şekil 4.28. Deney numunesi 2'nin, göçme konumuna ait görünümü (+22 itme çevrimi)



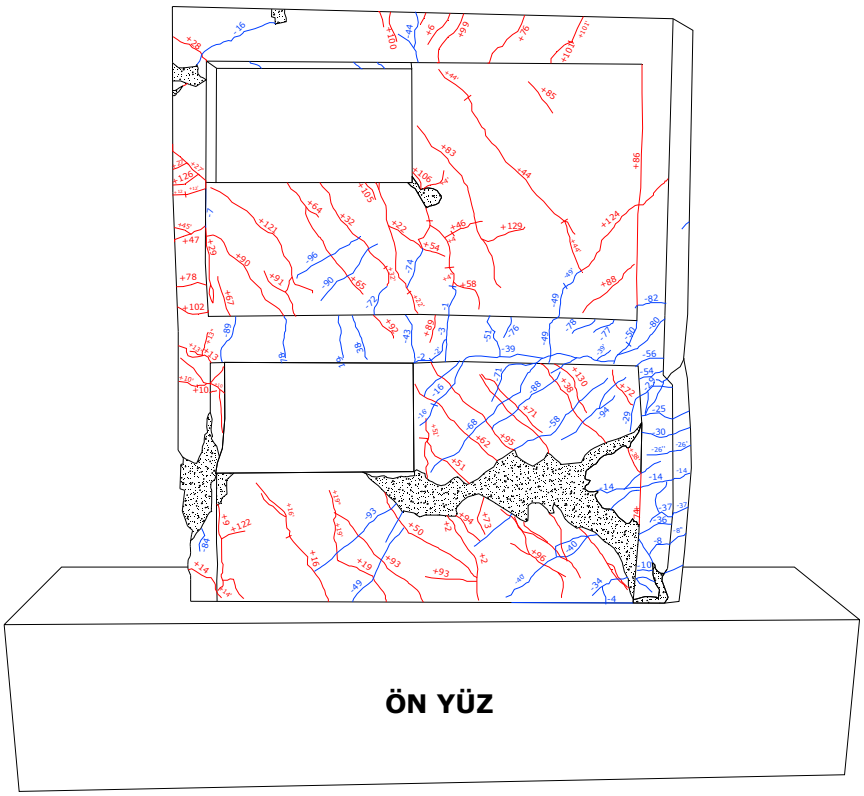
Şekil 4.29. Deney numunesi 2'nin kirişlerinde oluşan çatlakların deney sonrası görünümü



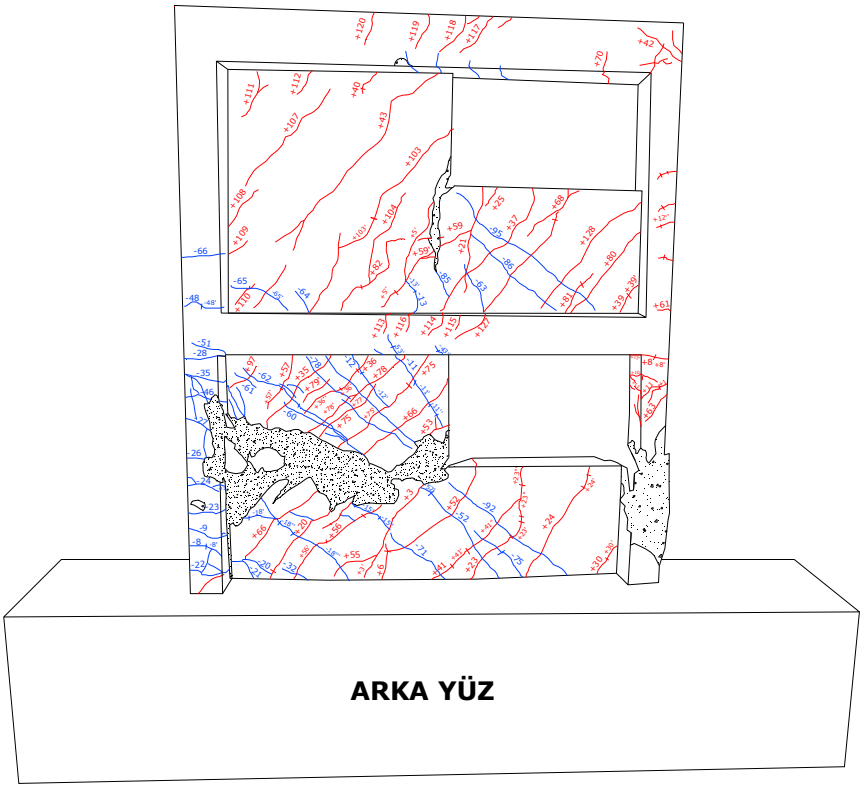
Şekil 4.30. Deney numunesi 2'de oluşan hasarların deney sonrası görünümü



Şekil 4.31. Deney numunesi 2'nin deney sonrası ön yüzden görünümü

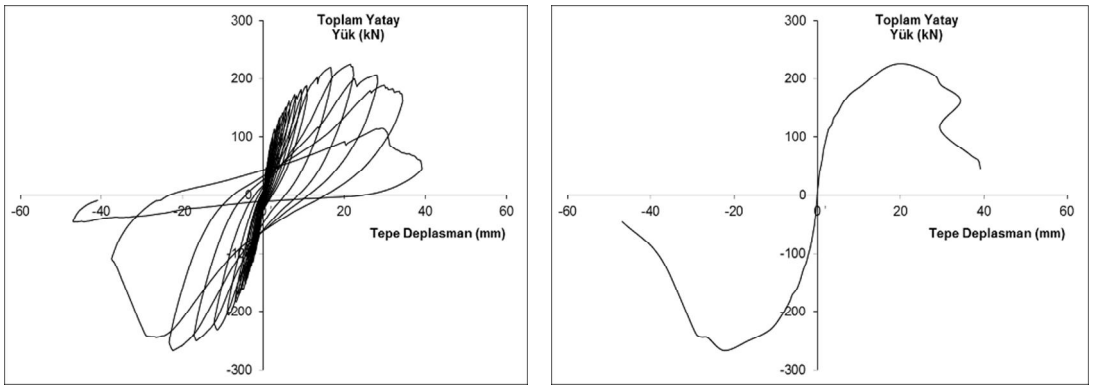


Şekil 4.32. Deney numunesi 2'de oluşan çatlakların ve hasarların, ön yüzden şematik olarak gösterimi

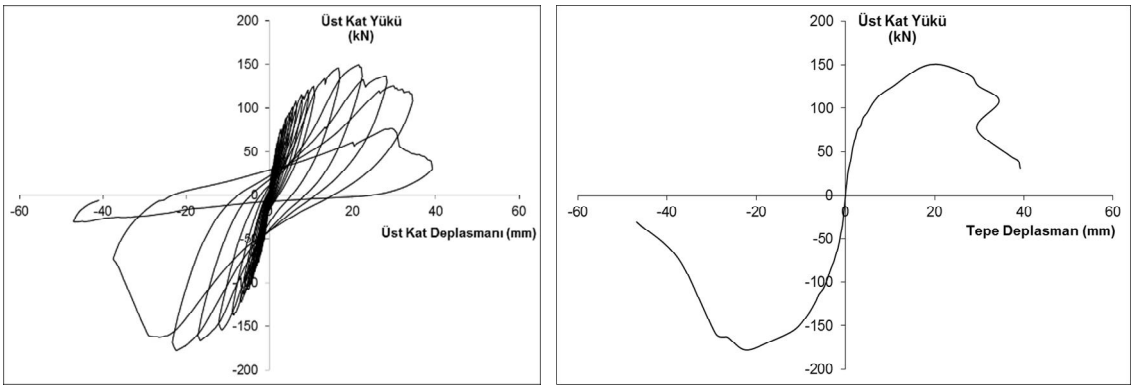


Şekil 4.33. Deney numunesi 2'de oluşan çatlakların ve hasarların, arka yüzden şematik olarak gösterimi

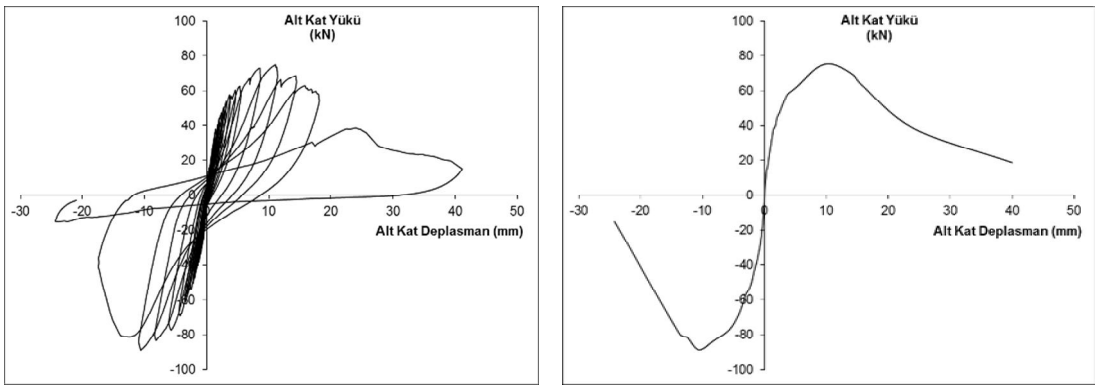
Deney numunesi 2'ye ait toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve bu histeresis eğrisine ait dayanım zarfı eğrisi Şekil 4.34'de verilmiştir. Deneyde, numunenin üst katında ölçülen yatay yüke karşılık gelen deplasmanının çevrimsel histeresis eğrisi Şekil 4.35'de, alt kat için ise Şekil 4.36'da verilmiştir. Ayrıca; üst katta meydana gelen göreceli kat ötelenmesinin, üst kat yatay yüküne göre çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi Şekil 4.37'de ve alt katta meydana gelen göreceli kat ötelenmesinin, alt kat yatay yüküne göre çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi Şekil 4.38'de verilmiştir.



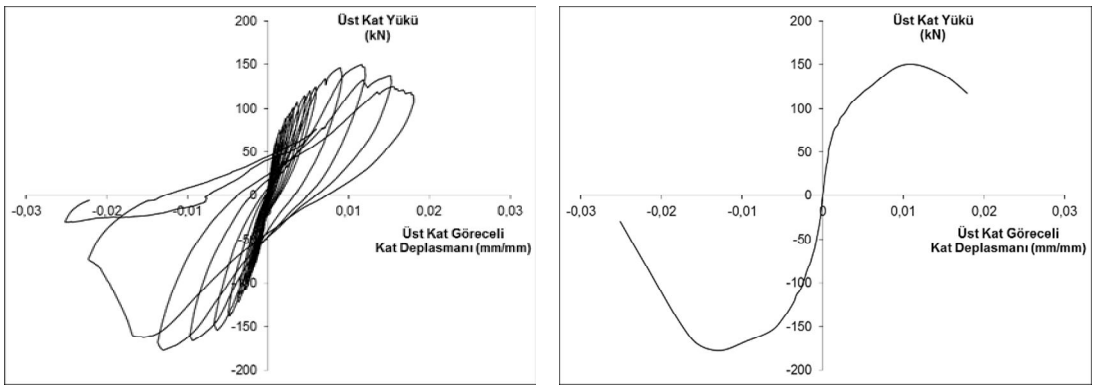
Şekil 4.34. Toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWSBW)



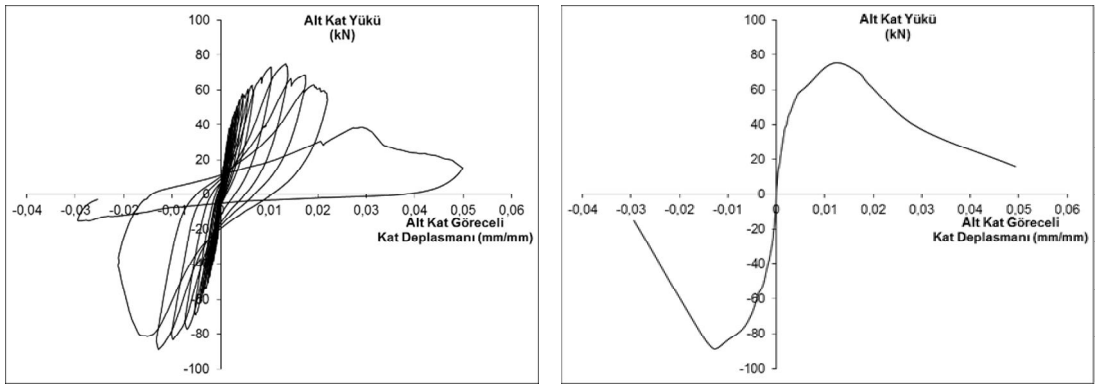
Şekil 4.35. Üst kat yatay yükü-üst kat tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi (ISWSBW)



Şekil 4.36. Alt kat yatay yükü-alt kat tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWSBW)

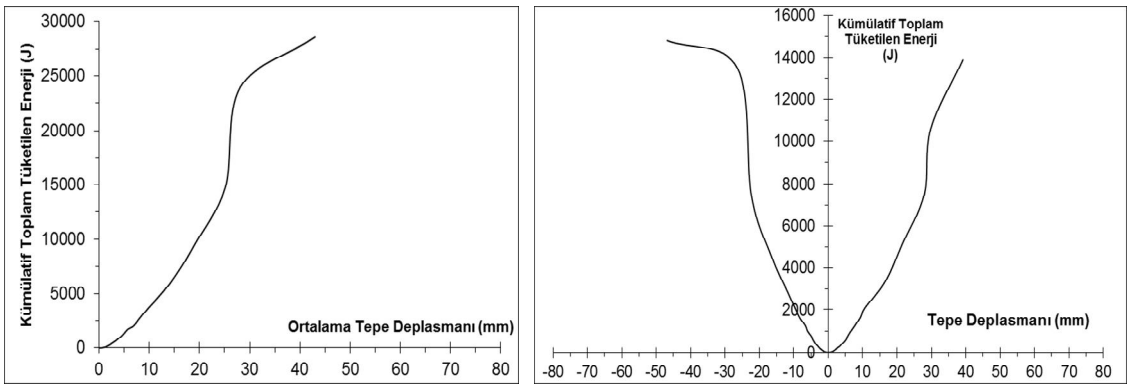


Şekil 4.37. Üst kat yatay yükü-üst kat göreceli kat ötelenmesi çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWSBW)



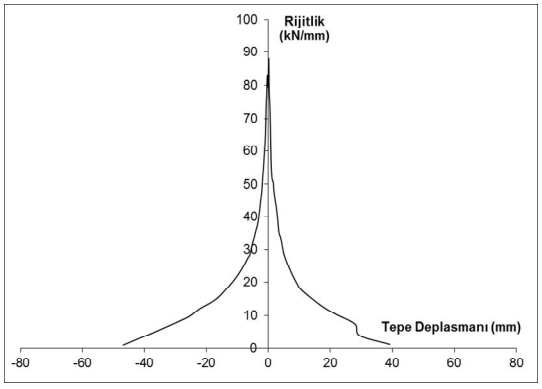
Şekil 4.38. Alt kat yatay yükü-alt kat göreceli kat ötelenmesi çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWSBW)

Toplam yatay yük-tepe deplasmanı histeresis eğrilerinin altında kalan alanın hesaplanması ile numunenin enerji tüketme kapasitesi hesaplanmış ve Şekil 4.39'da verilmiştir.

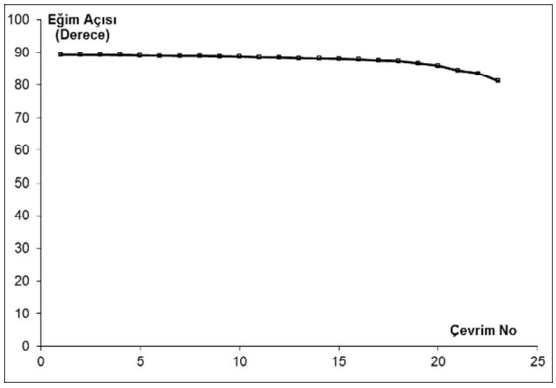


Şekil 4.39. Tüketilen enerji-deplasman grafiği (ISWSBW)

Deneyin her bir çevriminde elde edilen maksimum yatay yük değerlerinin, bunlara karşılık gelen yatay deplasman değerlerine oranlanması ile her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri hesap edilmiştir (Şekil 4.40). İtme çevrimleri için elde edilen değerler şeklin sağında, çekme çevrimleri için hesaplanan değerler grafiğin solunda verilmiştir. Şekil 4.41'de ise her bir çevrimdeki eğim açısı belirlenmiş ve grafiksel olarak verilmiştir.

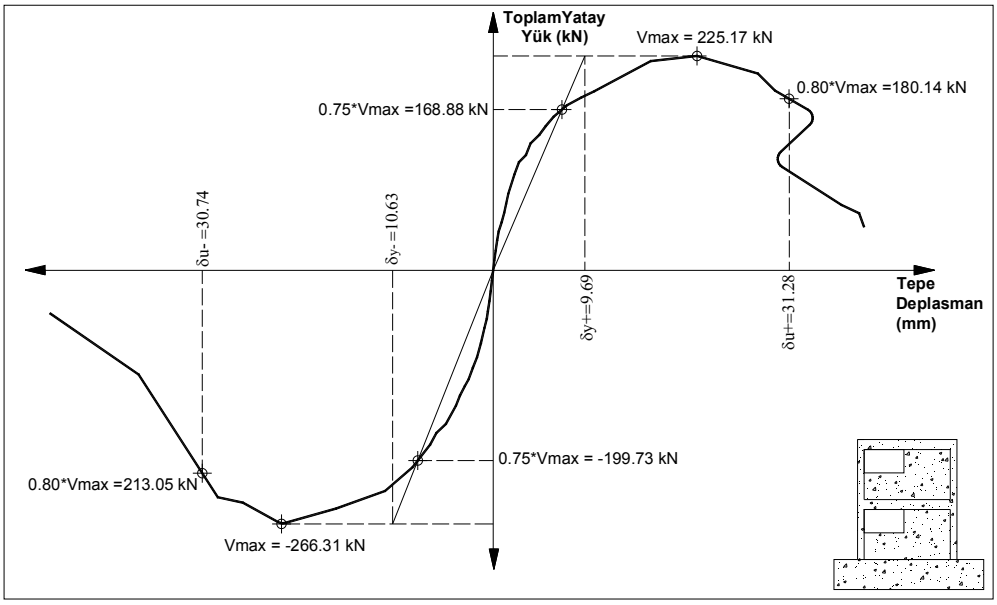


Şekil 4.40. Rijitlik azalımı grafiği (ISWSBW)



Şekil 4.41. Her bir çevrimde oluşan eğim açısı (ISWSBW)

Deney numunesi 2'nin süneklik değerlendirilmesinin yapılabilmesi için oluşturulan grafik Şekil 4.42'de verilmiştir.



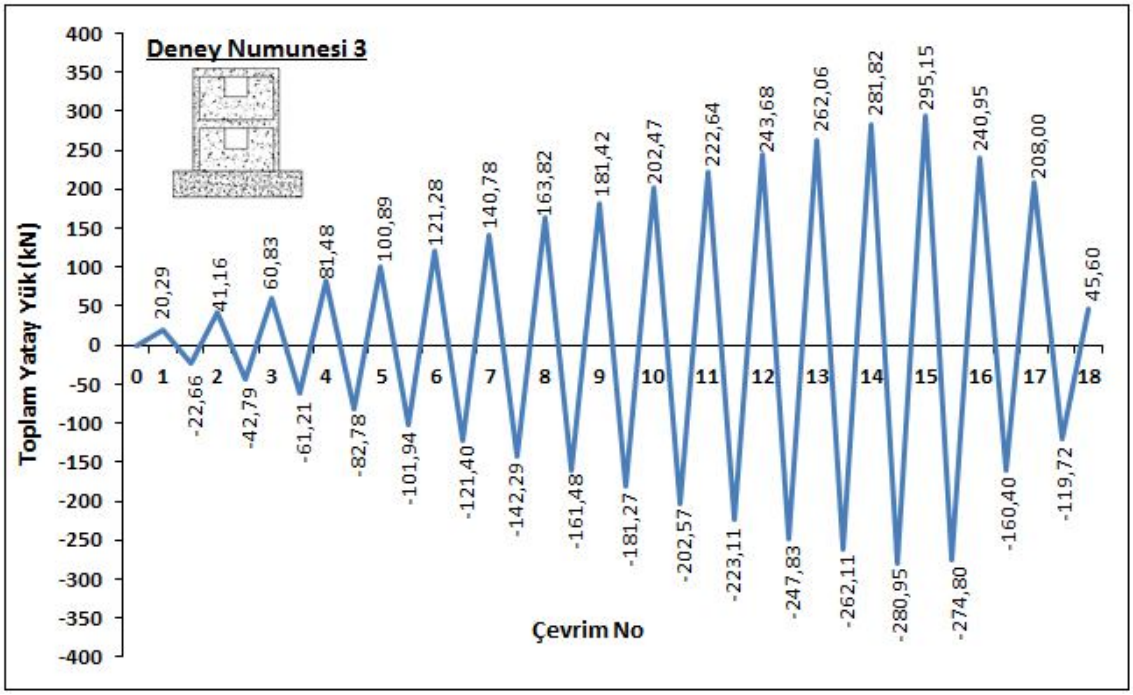
Şekil 4.42. Sistem sünekliğinin değerlendirilmesi grafiği (ISWSBW)

4.1.3. Ortadan pencere boşluklu (400x350 mm), B/A dolgu duvarlı numune

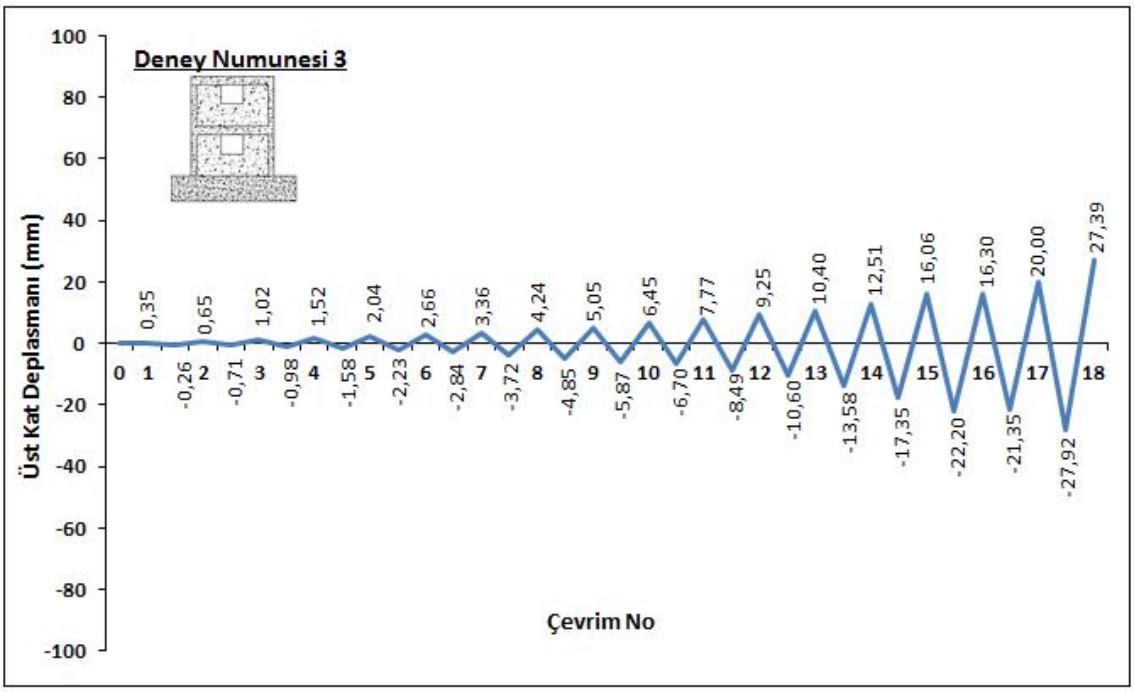
Betonarme dolgu duvarların ortasında, K 101 ve K 201 kirişlerine bitişik pencere boşluklu (400x350 mm) olarak üretilmiş olan bu numunenin, deney düzeneğine yerleştirilmiş durumu Şekil 4.43'de verilmiştir. Bu numuneye, deneyde uygulanan yük geçmişi, yatay yüke göre Şekil 4.44'de, tepe deplasmana göre ise Şekil 4.45'de verilmiştir. Deney numunesine itmede 18, çekmede 17 yük çevrimi uygulanmıştır.



Şekil 4.43. Deney Numunesi 3'ün deney öncesi görünümü (ISWMSW)



Şekil 4.44. Deney numunesi 3'e uygulanan yükleme geçmişi grafiği (yatay yüke göre)



Şekil 4.45. Deney numunesi 3'e uygulanan yükleme geçmişi grafiği (tepe deplasmana göre)

Yük kontrollü olarak başlayan deney, numune maksimum yük taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra deplasman kontrollü olarak devam ettirilmiştir. Deney numunesi, itmede (+15. çevrimde) maksimum 295.15 kN yatay yüke, çekmede (-14. çevrimde) maksimum 280.95 kN yatay yüke dayanmıştır. Deney numunesi 3'ün, +15 çevriminde 16.06 mm tepe deplasmanı yaptığı ölçülmüştür. -14 çevriminde ise tepe deplasmanının 17.35 mm olduğu görülmüştür. Deneyde; itme çevrimlerde en fazla 27.39 mm, çekme çevrimlerinde ise en fazla 27.92 mm deplasman seviyelerine kadar yükleme yapılmıştır. +18. çevrimde numunede büyük hasarlar meydana geldiği için deney sonlandırılmıştır.

Deney sırasında numuneye, toplam 86 kN eksenel yük verilmiştir. Böylelikle numunenin, S 101-S 201 ve S 102-S 202 kolonlarına 43 kN'luk eksenel yük uygulanmıştır. Buna göre; ortalama basınç dayanımı 17.29 MPa ve 150x100 mm kesitinde olan kolonlara, taşıma kapasitelerinin yaklaşık %20'si kadar eksenel yük uygulanmıştır.

Deney numunesi 3'ün denenmesi sırasında, numunede gözlemlenen çatlak ve hasar oluşumu, yatay yük-tepe deplasman değerleri ile birlikte Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Deney numunesi 3'de, yük çevrimlerine göre çatlakların dağılımı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlemlenen Çatlak ve Hasar oluşumu
+1(itme)	20.29	0.35	Deneyin, bu itme ve çekme çevrimlerinde numunede herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
-1 (çekme)	-22.66	-0.26	
+2	41.16	0.65	
-2	-42.79	-0.71	P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde -1 nolu ve P201'in ön yüzeyinde -2, arka yüzeyinde ise -3 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. Bu çatlaklar pencerelerin köşe bölgelerinde meydana gelmiştir.
+3	60.83	1.02	P201'in ön yüzeyinde +1 nolu, arka yüzeyinde +6, +7 nolu ve P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde +2 nolu, arka yüzeyinde ise +3, +4 nolu kesme çatlakları pencere köşelerinde oluşmuştur. K101 kirişinin ön yüzeyinde, pencere üst köşe hizasında +5 nolu çatlak meydana gelmiştir.
-3	-61.21	-0.98	-2. çevrimde oluşan -1, -2 ve -3 nolu çatlakların ilerlemesi ile -1', -2' ve -3' nolu çatlaklar oluşmuştur. P101 dolgu duvarının arka yüzeyinde; -4 nolu eğik çatlak (pencere alt köşe bölgesi), -5 nolu düşey çatlak (pencere altında), -7 nolu eğik çatlak (K101 ile birşelim yüzeyi alt kısımda) oluşmuştur. P101'in ön yüzeyinde ise -6 nolu düşey çatlak (pencere altında), -9 nolu eğik çatlak (K101 kirişi alt kısmı) meydana gelmiştir. Ayrıca, K101 kirişinde, pencere üst köşe hizasında -8 nolu çatlak meydana gelmiştir.
+4	81.48	1.52	Bu çevrimden önce oluşan +1, +2, +4 ve +7 nolu çatlakların ilerlemesi ile +1', +2', +4' ve +7' nolu çatlaklar oluşmuştur. P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde +8 nolu eğik çatlak (K101 ile birşelim yüzeyi alt kısımda) oluşmuştur.
-4	-82.78	-1.58	P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde -10, -12 nolu kesme çatlakları, arka yüzeyinde ise -11 nolu yatay çatlak ve S102 kolonunda -13 nolu eğilme çatlağı meydana gelmiştir. Ayrıca, -4, -5, -7, -9 ve -3' nolu çatlakların ilerlemesi ile -4', -5', -7', -9' ve -3" nolu çatlaklar oluşmuştur
+5	100.89	2.04	S101 kolonunda +13, +14, +15, +16 nolu eğilme çatlaklarının, P101'in ön yüzeyinde +9 nolu (yatay çatlağın), arka yüzeyinde +10 nolu (kesme çatlağının), +11 nolu (temel birleşim bölgesi) ve +12 nolu yatay çatlağın oluşumu gözlemlenmiştir. Ayrıca, +4', +6, +7', ve +8 nolu çatlakların ilerlemesi ile +4", +6', +7", ve +8' nolu çatlaklar oluşmuştur.
-5	-101.94	-2.23	Bu çevrimden önce oluşan -4' ve -10 nolu çatlakların ilerlemesi ile -4" ve -10' nolu çatlaklar oluşmuştur. P101'in ön yüzeyinde -15 nolu, -20 nolu (K101 ile birleşim yüzeyinde) yatay çatlaklar ve arka yüzeyinde de -14 nolu kesme çatlağı oluşmuştur. S102 kolonunda -16, -18 nolu eğilme çatlaklarının ve S102-K101 birleşimi arka yüzeyinde -17 nolu eğik çatlağının oluşumu gözlemlenmiştir.
+6	121.28	2.66	Bu çevrimde; S101 kolonunda çatlak oluşumu yoğunlaşmış ve kolonun tüm yüzeylerinde çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. S101'de oluşan eğilme çatlakları +17, +18, +19, +20, +21, +23 ve +24 nolu çatlaklardır. P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde +18 nolu (S101'deki çatlakla aynı hizada), arka yüzeyinde +22, + 23 nolu (S101'deki çatlakla aynı hizada) yatay çatlaklar oluşmuştur. P101'in arka yüzeyinde ayrıca +25, +26, +27 nolu kesme çatlakları da oluşmuştur. S101-K101 birleşiminde +28 nolu, S201-K201 birleşiminde +30 nolu ve K101 kirişinin arka yüzeyinde +29 nolu eğilme çatlağı oluşmuştur. Ayrıca, +14, +15 ve +4" nolu çatlakların ilerlemesi ile +14', +15' ve +4"' nolu çatlaklar oluşmuştur.
-6	-121.40	-2.84	-4. çevrimde oluşan -11 nolu çatlağın ilerlemesi ile -11' nolu çatlak oluşmuştur. Bu çevrimde; S102 kolonunda çatlak oluşumunun yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. S102'de oluşan eğilme çatlakları -21, -28, -30, -32, -33, -34 ve -35 nolu çatlaklardır. P101 dolgu duvarının araka yüzeyinde -22, -31 nolu (kesme çatlakları), -27, -29 nolu (yatay çatlaklar) ve ön yüzeyinde ise -26 nolu kesme çatlağı oluşmuştur. Ayrıca, K101 kirişinde -24, -25 nolu eğilme çatlakları ve S102-K101 birleşiminin ön yüzeyinde -23 nolu eğik çatlak meydana gelmiştir.

Çizelge 4.3. (Devamı) Deney numunesi 3'de, yük çevrimlerine göre çatlakların dağılımı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlemlenen Çatlak ve Hasar oluşumu
+7	140.78	3.36	P101'in ön yüzeyinde +31, +33, +37 nolu, arka yüzeyinde +36, +38 nolu ve P201'in ön yüzeyinde +34, +35 nolu, arka yüzeyinde ise +39 nolu kesme çatlakları meydana gelmiştir. S101 kolonunda +32 nolu eğilme çatlağı ve S101-P101 birleşim yüzeyinde +40 nolu düşey çatlak oluşmuştur. Ayrıca, +17, +26 ve +29 nolu çatlakların ilerlemesi ile +17', +26' ve +29' nolu çatlaklar oluşmuştur.
-7	-142.29	-3.72	Deneyin bu çevriminde; P201'in ön yüzeyinde -36, -37 nolu, P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde -38, -39 nolu kesme çatlakları ve S102 kolonunda -40, -41, -42 nolu eğilme çatlakları oluşmuştur. Ayrıca, -6, -19, -26 ve -27 nolu çatlakların ilerlemesi ile -6', -19', -26' ve -27' nolu çatlaklar oluşmuştur.
+8	163.82	4.24	Daha önceki çevrimlerde oluşan +8', +23, +36, +37 ve +38 nolu çatlakların ilerlemesi ile +8", +23', +36', +37' ve +38' nolu çatlaklar oluşmuştur. P101 dolgu duvarının arka yüzeyinde +41 nolu, P201'in yine arka yüzeyinde +43, +44 nolu kesme çatlakları ve K101 kirişinin ön yüzeyinde +42 nolu eğilme çatlağı meydana gelmiştir.
-8	-161.48	-4.85	P101'in arka yüzeyinde -43, -45 nolu kesme çatlakları ve K101 kirişinin ön yüzeyinde -44, -46, arka yüzeyinde ise -47 nolu eğilme çatlakları meydana gelmiştir. Ayrıca, -6', -11, -14, -23, -27', -35, -37 ve -40 nolu çatlakların ilerlemesi ile -6", -11', -14', -23', -27", -35', -37' ve -40' nolu çatlaklar oluşmuştur.
+9	181.42	5.05	Daha önceki çevrimlerde oluşan +1', +22, +34, +38' ve +43 nolu çatlakların ilerlemesi ile +1", +22', +34', +38" ve +43' nolu çatlaklar oluşmuştur. S101 kolonunda +45, +46, +48, +57, +58 nolu, S201'de +52, +55 nolu eğilme çatlakları, S101-K101 kolon-kiriş birleşiminde +56 nolu eğik çatlak ve K101 kirişi arka yüzeyinde +62 nolu eğilme çatlağı oluşmuştur. P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde +47 (yatay çatlak), +49, +50, +51 nolu kesme çatlakları, arka yüzeyinde +59, +60 nolu kesme çatlakları meydana gelmiştir. Ayrıca, P201'in ön yüzeyinde +53, +54 nolu, arka yüzeyinde ise +61 nolu kesme çatlaklarının oluşumu gözlemlenmiştir.
-9	-181.27	-5.87	Bu çevrimde; P101 dolgu duvarında, kesme çatlağı oluşumunun yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Bu çatlaklar, arka yüzeyde -48, -50, -51, -53, -56 nolu, ön yüzeyde ise -49, -52, -54, -55, -57, -58 nolu çatlaklardır. P201'in ön yüzeyinde pencere boşluğu alt hizasında -60 nolu düşey çatlak, arka yüzeyinde -62 nolu kesme çatlağı, S202 kolonunda -59 nolu eğilme çatlağı ve S202-K201 birleşimi arka yüzeyinde -61 nolu eğik çatlak oluşmuştur. Ayrıca, -11", -16, -18 ve -38 nolu çatlakların ilerlemesi ile -11"', -16', -18' ve -38' nolu çatlaklarının oluşumu gözlemlenmiştir.
+10	202.47	6.45	Daha önceki çevrimlerde oluşan +23", +33, +39 ve +54 nolu çatlakların ilerlemesi ile +23"', +33', +39' ve +54' nolu çatlaklar oluşmuştur. S201 kolonunda +64, +66, +67, +70, +75, +76 nolu eğilme çatlakları, P201'in ön yüzeyinde +63 (pencere altı düşey çatlak), +68 (S201 kolonuna uzanan), arka yüzeyinde de +72, +74 nolu kesme çatlakları meydana gelmiştir. P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde +69, +71, +73, +77, +78 nolu, arka yüzeyinde ise +81, +82, +83 nolu kesme çatlakları, K201'in ön yüzeyinde +65 nolu eğilme çatlağı ve K101'in arka yüzeyinde +79, +80 nolu eğilme çatlakları oluşmuştur.
-10	-202.57	-6.70	P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde -63, -64, -67 (yatay çatlak) nolu, arka yüzeyinde -66 nolu kesme çatlakları ve P201'in ön yüzeyinde -65, -69, -72 nolu, arka yüzeyinde ise -71, -73 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. S102 kolonunda eğilme çatlağı ve S201-K201 kolon kiriş birleşim bölgesinde -70 nolu eğik çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca, -43, -51, -52, -53 ve -55 nolu çatlakların ilerlemesi ile -43', -51', -52', -53' ve -55' nolu çatlaklarının oluşumu gözlemlenmiştir.

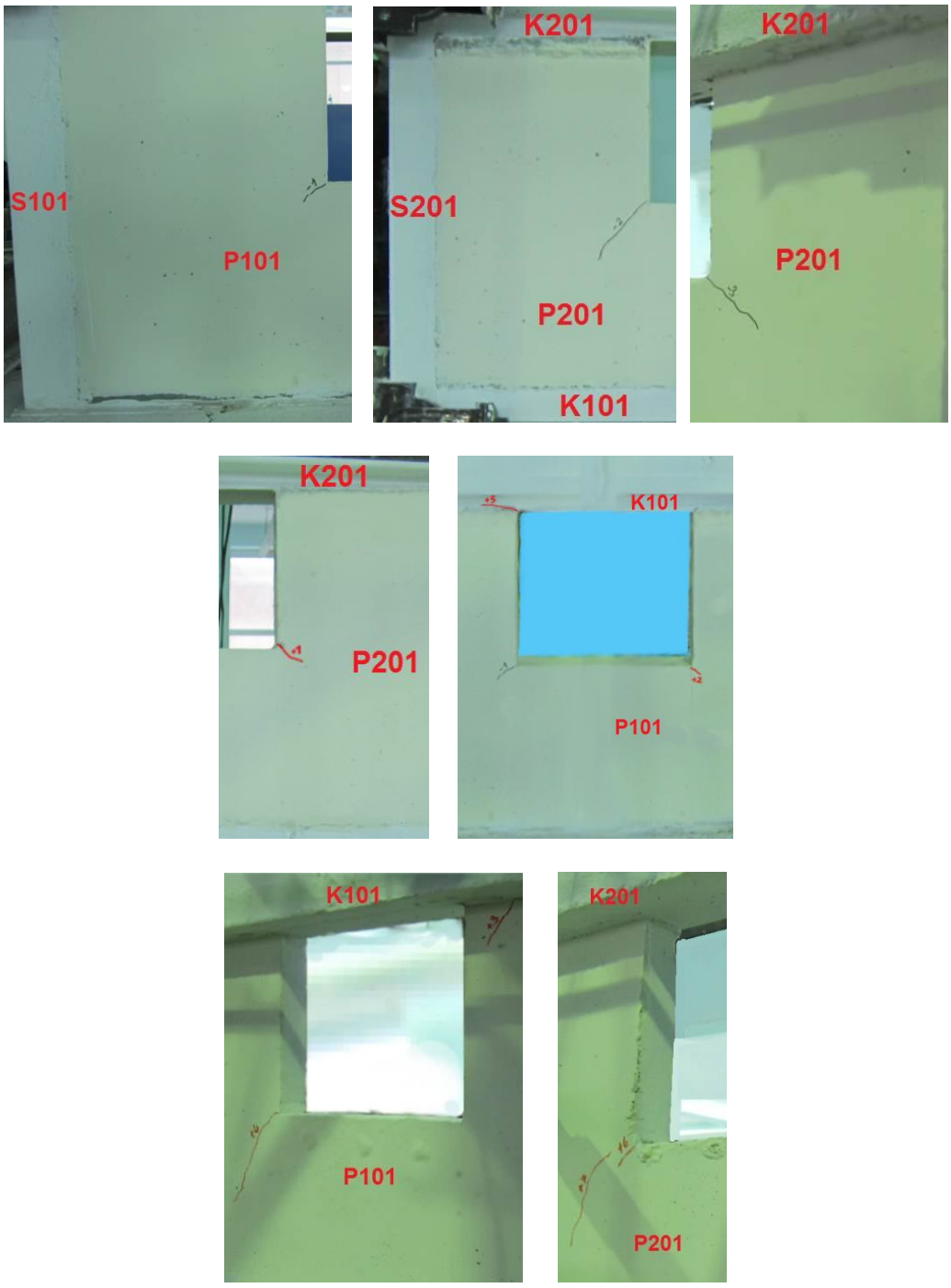
Çizelge 4.3. (Devamı) Deney numunesi 3'de, yük çevrimlerine göre çatlakların dağılımı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlemlenen Çatlak ve Hasar oluşumu
+11	222.64	7.77	P101 dolgu duvarının arka yüzeyinde +88, +89 nolu kesme çatlakları, P201'in ön yüzeyinde +84, +89 nolu (kesme çatlakları), +85, +86 nolu (düşey çatlaklar), arka yüzeyinde ise +94, +95 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. K201 kirişinin ön yüzeyinde +90, +91, +92, +93 nolu eğilme çatlaklarının oluştuğu görülmüştür. Ayrıca, +54 ve +74 çatlaklarının ilerlemesi ile +54' ve +74' nolu çatlakları oluşmuştur.
-11	-223.11	-8.49	P101'in ön yüzeyinde -79 (yatay çatlak), -77, -78 nolu kesme çatlakları, arka yüzeyinde -75, -76, -80 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. P201'in ön yüzeyinde -74 nolu, arka yüzeyinde de -85, -86, -87 nolu kesme çatlakları, S102 kolonunda -81 nolu ve S202'de -83, -83, -84 nolu eğilme çatlakları meydana gelmiştir. K101 kirişinin araka yüzeyinde -88 nolu eğilme çatlağı ve S201-K101 birleşim bölgesinde -89 nolu eğik çatlak oluşmuştur. Ayrıca, -14', -29, -69 nolu çatlakların ilerlemesi ile -14", -29', -69' nolu çatlaklarının oluşumu gözlemlenmiştir.
+12	243.68	9.25	Daha önceki çevrimlerde oluşan +31, +41, +54', +73, +74' ve +84 nolu çatlakların ilerlemesi ile +31', +41', +54", +73', +74" ve +84' nolu çatlaklar oluşmuştur. P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde +97, +98, +99, +100, +103, +104, +106 nolu kesme çatlakları, arka yüzeyinde +107, +108, +110 nolu kesme çatlakları ve P201'in ön yüzeyinde +109, arka yüzeyinde ise +112, +113 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. S101 kolonunda +101, +102, +105 nolu eğik çatlaklar, S201 kolonunda +96, +111, +114 nolu eğilme çatlakları ve K101'in ön yüzeyinde +115 nolu eğilme çatlağı meydana gelmiştir.
-12	-247.83	-10.60	P101'in ön yüzeyinde -98, -100, -101, -103, -105 nolu, arka yüzeyinde -94, -96, -111 nolu kesme çatlakları, P201 dolgu duvarının ön yüzeyinde -90, -93, -107, -108 nolu arka yüzeyinde ise -102, -104 nolu kesme çatlakları meydana gelmiştir. K101 kirişinin ön yüzeyinde -91, -92, -97 nolu, arka yüzeyinde de -106, -109, -110 nolu eğilme çatlakları ve S202'nin arka yüzeyinde -99 nolu eğilme çatlağı oluşmuştur. Ayrıca, bu çevrimden önce oluşan -3, -52', -53", -72, -75, -85 ve -86 nolu çatlakların ilerlemesi ile -3', -52", -53"', -72', -75', -85' ve -86' nolu çatlaklarının oluşumu gözlemlenmiştir.
+13	262.06	10.40	P101'in ön yüzeyinde +120 (düşey çatlak), +121, +123 nolu kesme çatlakları, arka yüzeyinde +122 nolu kesme çatlağı ve P201'in ön yüzeyinde +116 nolu (pencere altında düşey çatlak), +117 nolu kesme çatlağı, arka yüzeyinde ise +125, +126 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. K101 kirişinin ön yüzeyinde +118, +119 nolu ve K201'in ön yüzeyinde +124 nolu eğilme çatlağı oluşumu gözlemlenmiştir. Ayrıca, önceki çevrimlerde oluşan +67, +84', +85, +90 ve +112 nolu çatlakların ilerlemesi ile +67', +84", +85', +90' ve +112' nolu çatlaklar oluşmuştur.
-13	-262.11	-13.58	Deneyin bu çevriminde; P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde -115 nolu, arka yüzeyinde -112, -114, -116, -117 nolu kesme çatlakları, P201'in ön yüzeyinde -119 nolu, arka yüzeyinde ise -120 nolu kesme çatlakları, K101'in ön yüzeyinde -113 nolu ve S202 kolonunda -118 nolu eğilme çatlakları oluşmuştur. Ayrıca, -23" ve -76' çatlaklarının oluşumu gözlemlenmiştir.

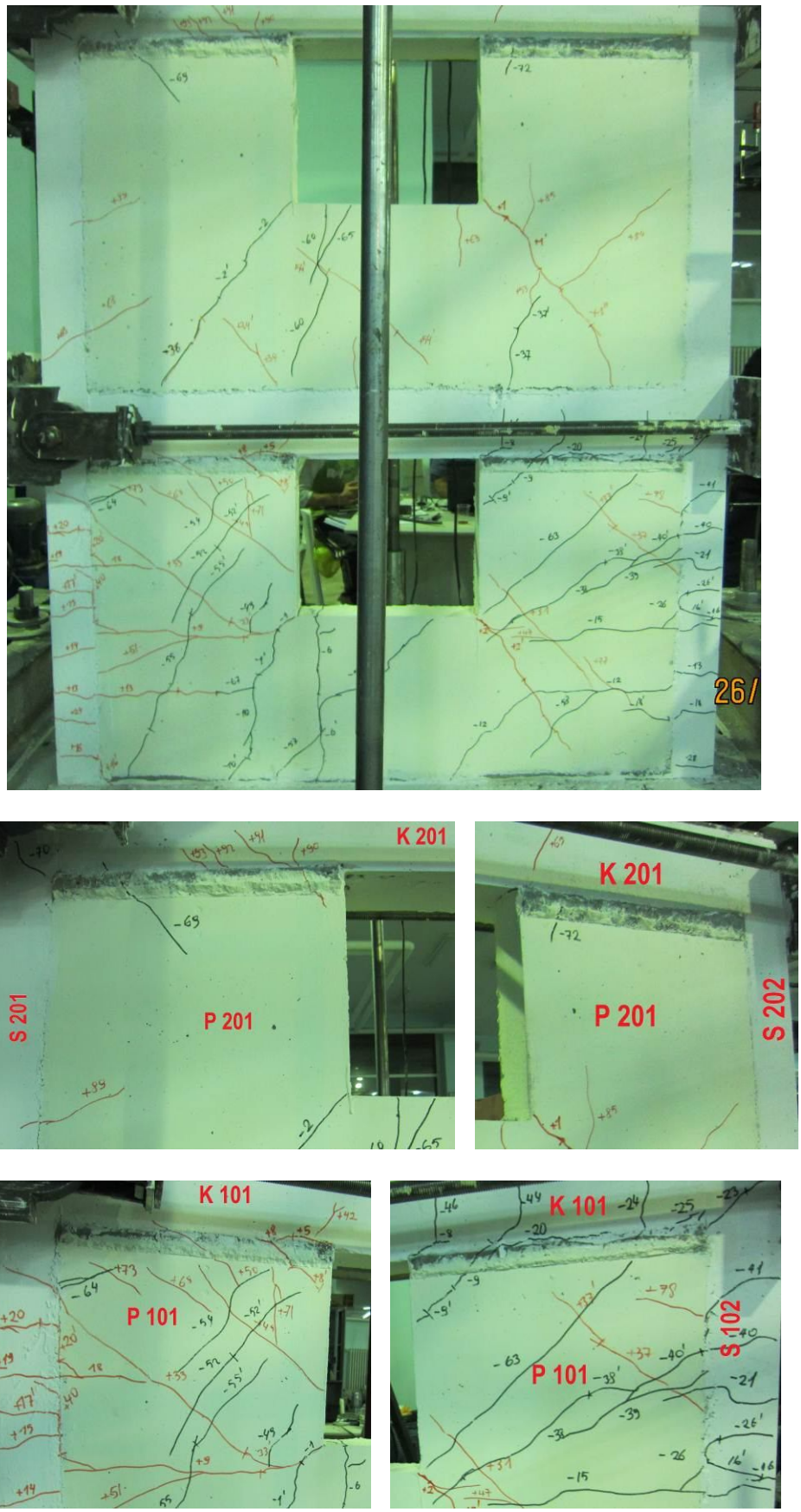
Çizelge 4.3. (Devamı) Deney numunesi 3'de, yük çevrimlerine göre çatlakların dağılımı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlemlenen Çatlak ve Hasar oluşumu
+14	281.82	12.51	Deneyin bu çevriminde; P101 ve P201 dolgu duvarlarında, kesme çatlaklarının oluşumunun yoğunluğu gözlemlenmiştir. P101'in ön yüzeyinde +128, +138, +140, +141, +143, +144 nolu, arka yüzeyinde +131, +133 nolu ve P201'in ön yüzeyinde +129, +130, +132, +134, +136 nolu, arka yüzeyinde ise +135, +137, +139, +142 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. Ayrıca, K101 kirişinin ön yüzeyinde +127 nolu eğilme çatlağı ve +84', +89', +112", +114', +116' nolu çatlakları meydana gelmiştir.
-14	-280.95	-17.35	P101'in ön yüzeyinde -132 nolu (pencere altında düşey çatlak), -128, -129, -130, -131, -134 nolu kesme çatlakları, arka yüzeyinde de -124 nolu kesme çatlağı oluşmuştur. P201 dolgu duvarının ön yüzeyinde -125 nolu (yatay çatlak), -135 nolu kesme çatlağı ve S101'in iç yüzeyinde -121 nolu, S202'de -126 nolu, K101'in arka yüzeyinde -133 nolu, K201 kirişinin ön yüzeyinde ise -122 nolu eğilme çatlakları meydana gelmiştir. Ayrıca, -9', -16', -66', -83', -107', -122' ve -117' çatlaklarının oluşumu gözlemlenmiştir. ***Deney numunesi, bu çevrimde yani çekme yönünde maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır.***
+15	295.15	16.06	P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde +145, +146 nolu, arka yüzeyinde +152 nolu kesme çatlakları ve P201'in ön yüzeyinde +150, +151 nolu, arka yüzeyinde de +149 nolu kesme çatlakları meydana gelmiştir. S102 kolonunun arka yüzeyinde +153, +154 nolu eğik çatlaklar, S201'in arka yüzeyinde +147 nolu eğilme çatlağı ve S202'nin ön yüzeyinde +148 nolu eğilme çatlağı oluşmuştur. Önceki çevrimlerde oluşan +59', +115, +122 ve +138 nolu çatlakların ilerlemesi ile +59", +115', +122' ve +138' nolu çatlaklar oluşmuştur. Ayrıca, P101 dolgu duvarında pencere boşluğu köşe bölgelerindeki çatlak genişlemesinin arttığı ve pencerenin sağ üst köşesindeki çatlak genişliğinin yaklaşık 1 cm'ye ulaştığı gözlemlenmiştir. ***Bu çevrimde; deney numunesi itme yönünde maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır.***
-15	-274.80	-22.20	Deneyin bu çevrimlerinde; P101 dolgu duvarındaki pencere köşe bölgelerindeki çatlakların genişlediği ve bu bölgeye yakın gövde donatılarında kopmaların meydana geldiği gözlemlenmiştir. S101 kolonu ile K101 kirişi birleşim bölgesinden yaklaşık 10 cm aşağıda, S101 kolonunda kesme çatlağı oluşumu net olarak gözlemlenmiş ve bu çatlağın pencere alt köşe noktasının 10 cm üstüne kadar eğik olarak ilerlediği görülmüştür. Pencerenin sağ alt köşesinin yine yaklaşık 10 cm üstünde başlayan eğik çatlak, S102 ile temel birleşim bölgesine kadar belirgin bir şekilde ilerlemiştir. Deney sonunda numunenin; S101 kolonunda, P101 dolgu duvarında, S102-K101 kolon kiriş birleşim bölgesinde ve S102 temel birleşimi uç bölgesinde önemli derecede hasarların oluştuğu gözlemlenmiştir. Numunede meydana gelen bu hasarlardan ve sistem stabilitesinin tehlikeye girmesinden dolayı çatlak numaralandırılması yapılmamıştır. Sadece oluşan hasarların çekilen fotoğraflarla tespiti yapılmıştır.
+16	240.95	16.30	
-16	-160.40	-21.35	
+17	208.00	20.00	
-17	-119.72	-27.92	
+18	45.60	27.39	

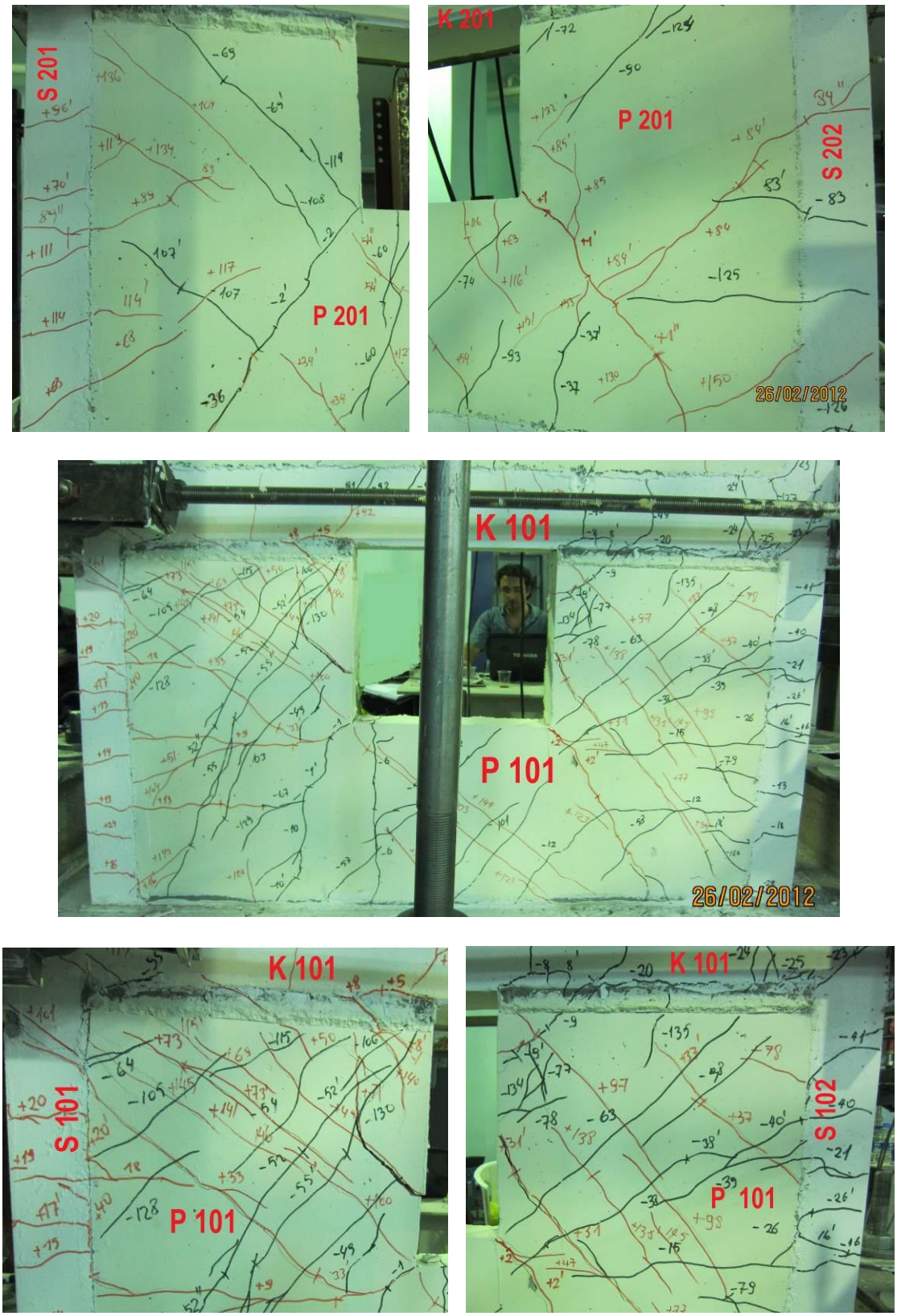
Deney numunesi 3'de; -2. ve +3. çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar Şekil 4.46'de verilmiştir. Ayrıca itme yönü için numunede meydana gelen hasarların durumu, akma konumunda Şekil 4.47'de, maksimum yüklemede Şekil 4.48'de, göçme konumu için Şekil 4.49'da verilmiştir. Numunenin deney sonrası görünümü Şekil 4.50, Şekil 4.51 ve Şekil 4.52'de verilmiştir. Numunede oluşan çatlakların ve hasarların şematik gösterimi ise Şekil 4.53 ve Şekil 4.54'de verilmiştir.



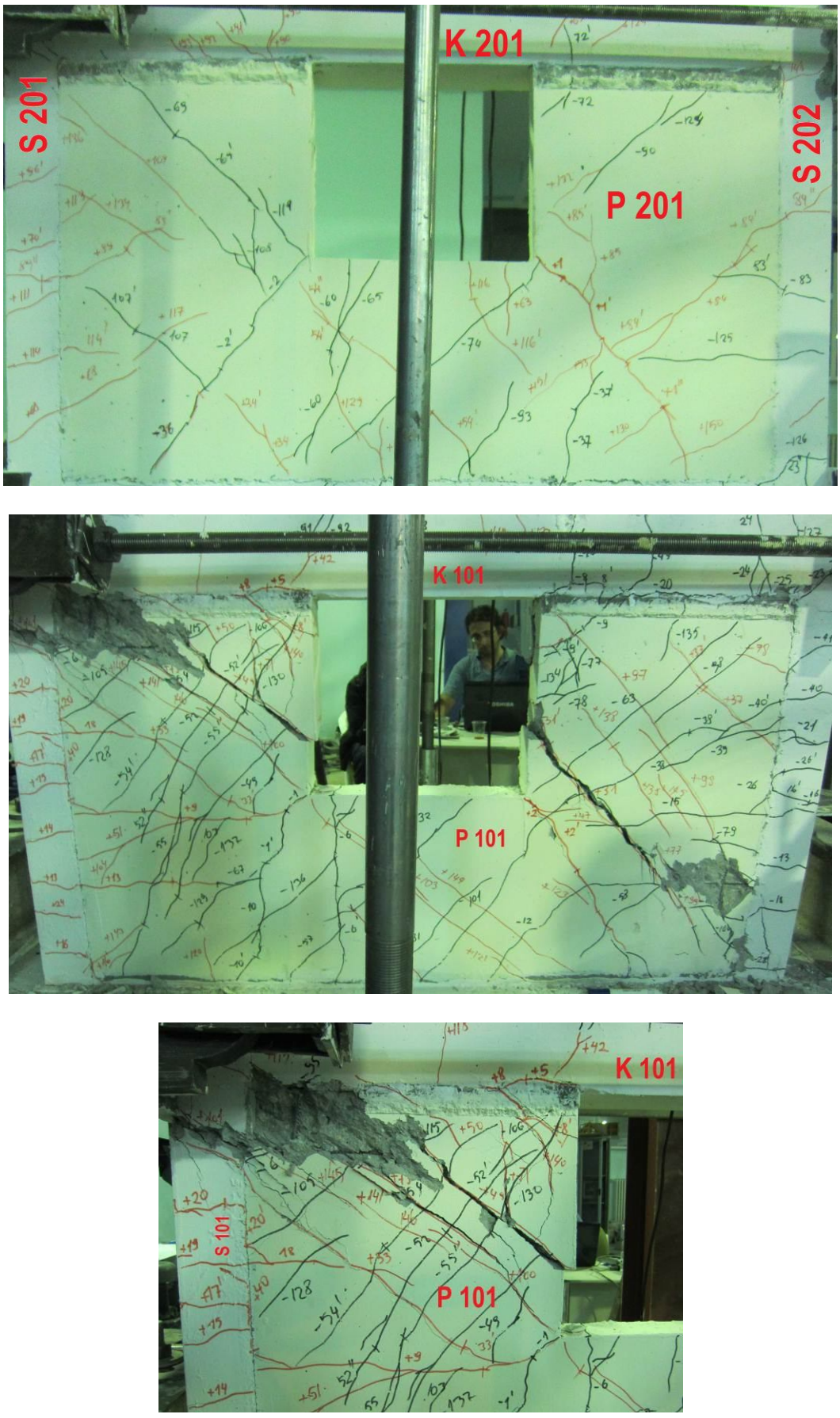
Şekil 4.46. Deney numunesi 3'de, -2. ve +3. çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar



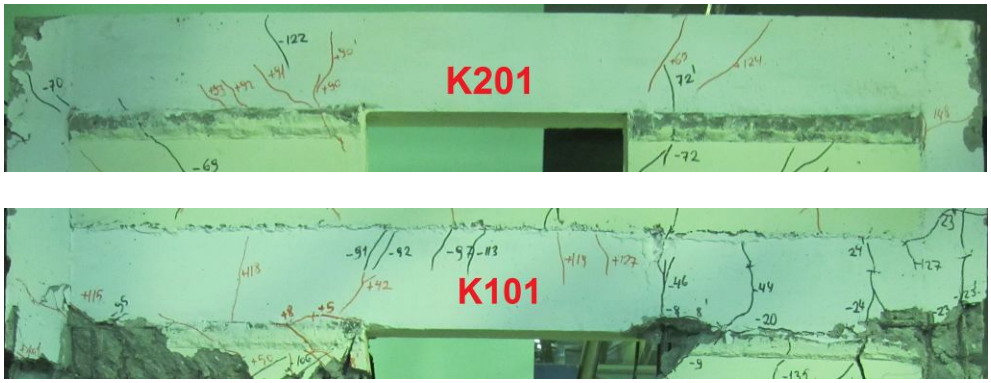
Şekil 4.47. Deney numunesi 3'ün, akma konumuna ait görünümü (+11 itme çevrimi)



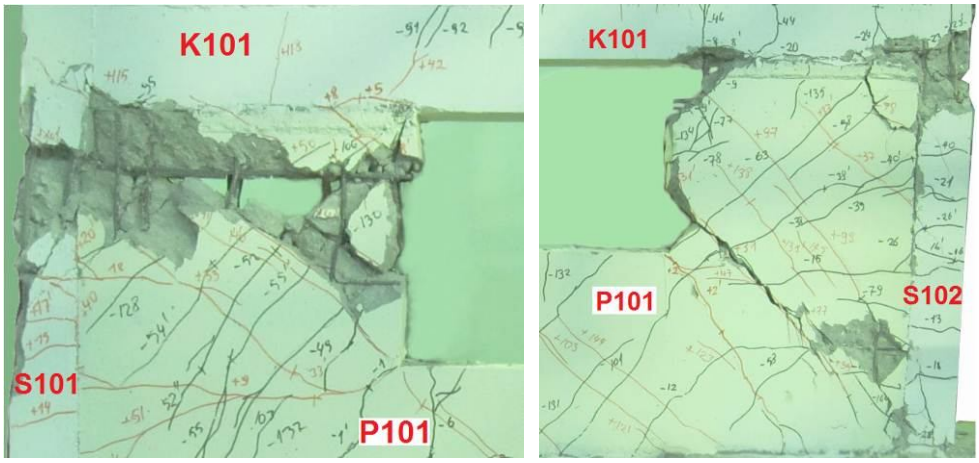
Şekil 4.48. Deney numunesi 3'de maksimum yüklemede oluşan çatlakların görünümü (+15 itme çevrimi)

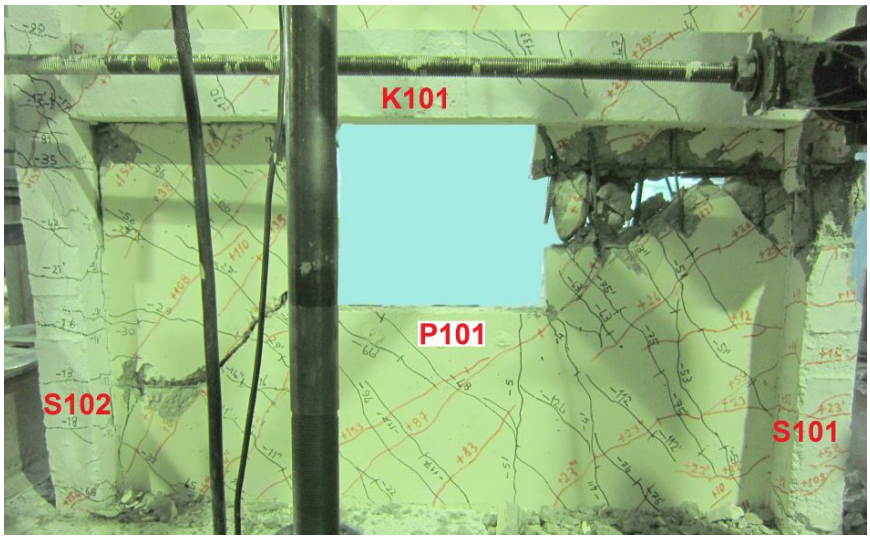


Şekil 4.49. Deney numunesi 3'ün, göçme konumuna ait görünümü (+16 itme çevrimi)

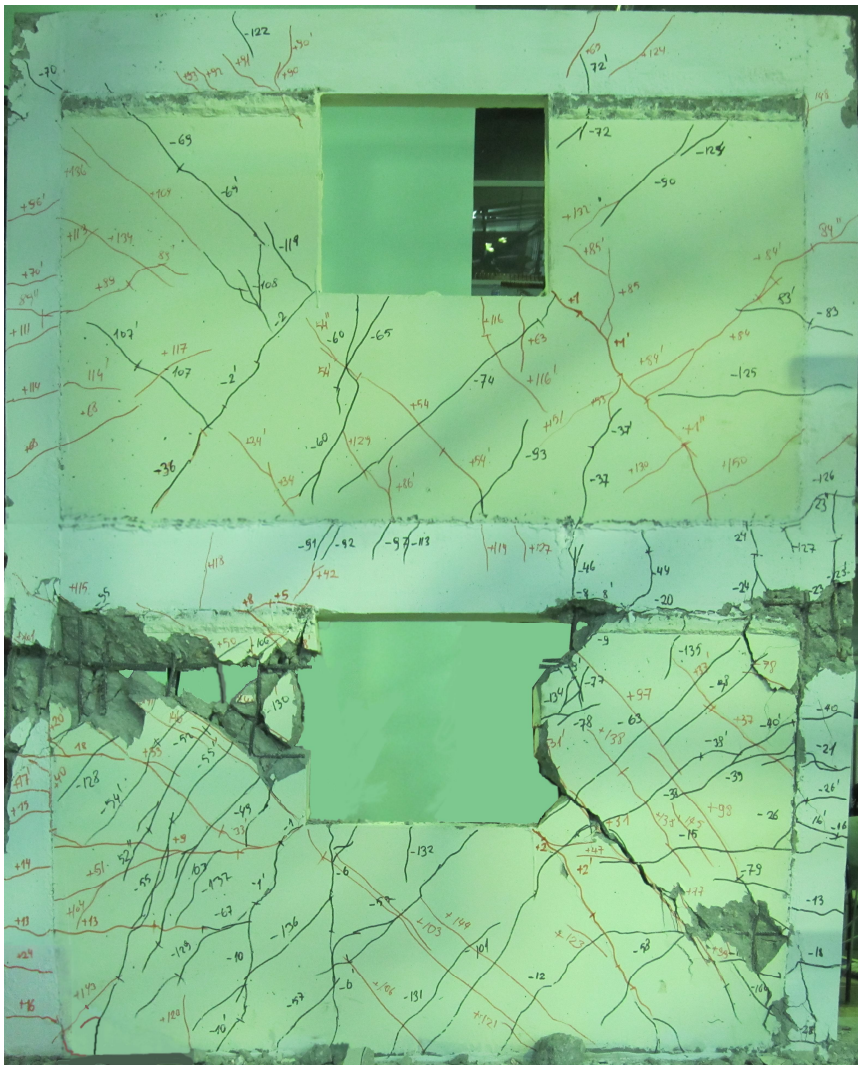


Şekil 4.50. Deney numunesi 3'ün kirişlerinde oluşan çatlakların deney sonrası görünümü (ön yüz)

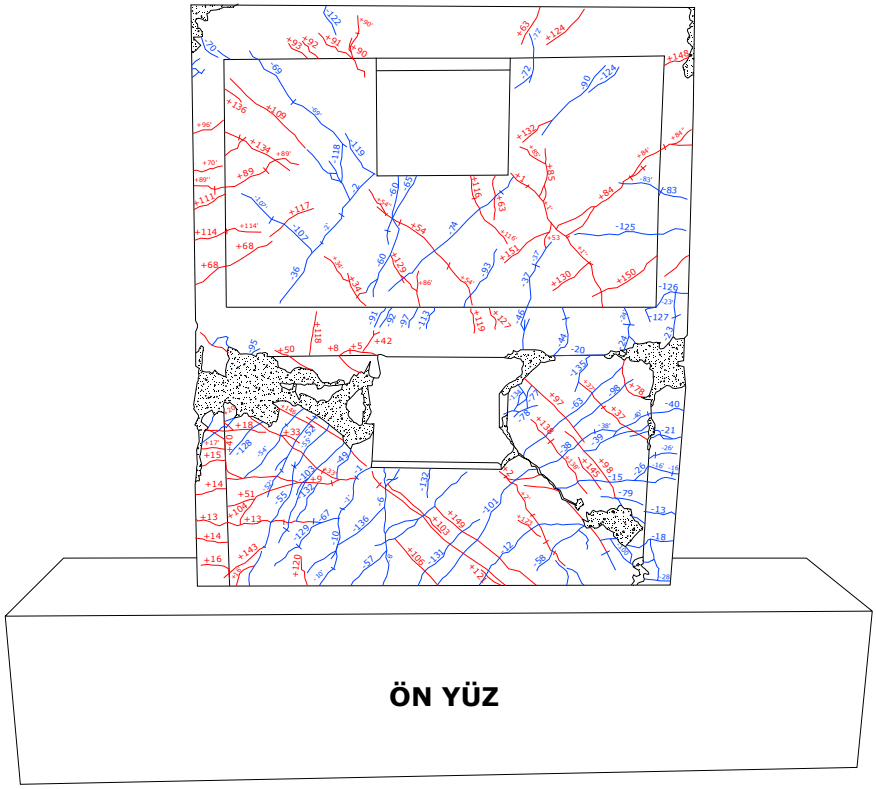




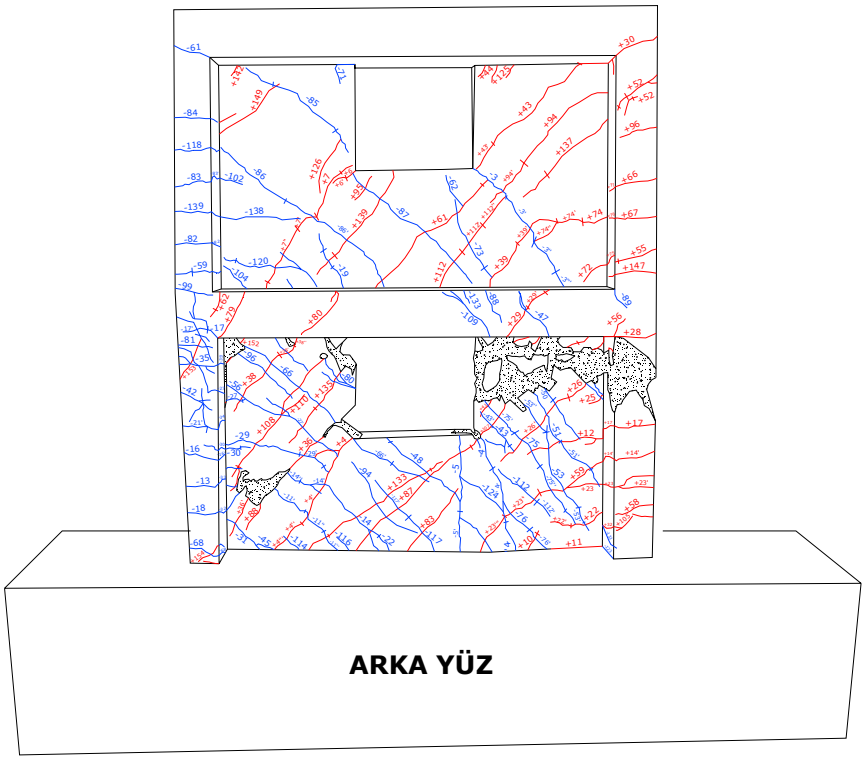
Şekil 4.51. Deney numunesi 3'de oluşan hasarların deney sonrası görünümü



Şekil 4.52. Deney numunesi 3'ün deney sonrası ön yüzden görünümü

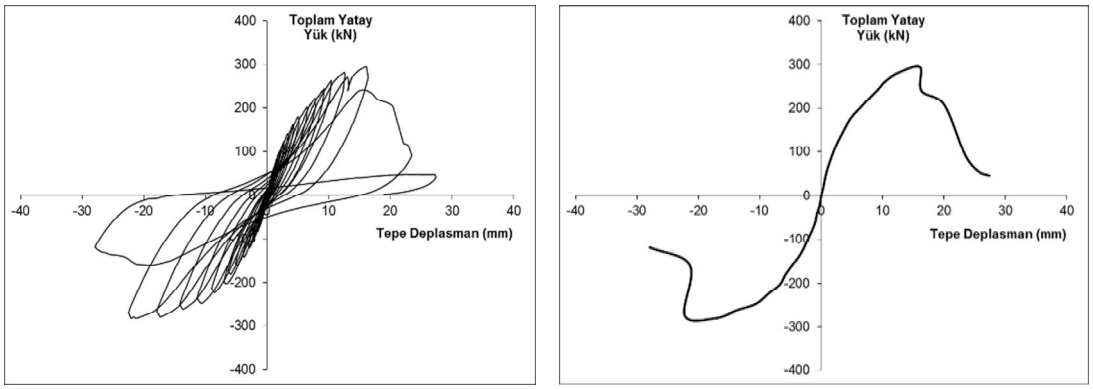


Şekil 4.53. Deney numunesi 3'de oluşan çatlakların ve hasarların, ön yüzden şematik olarak gösterimi

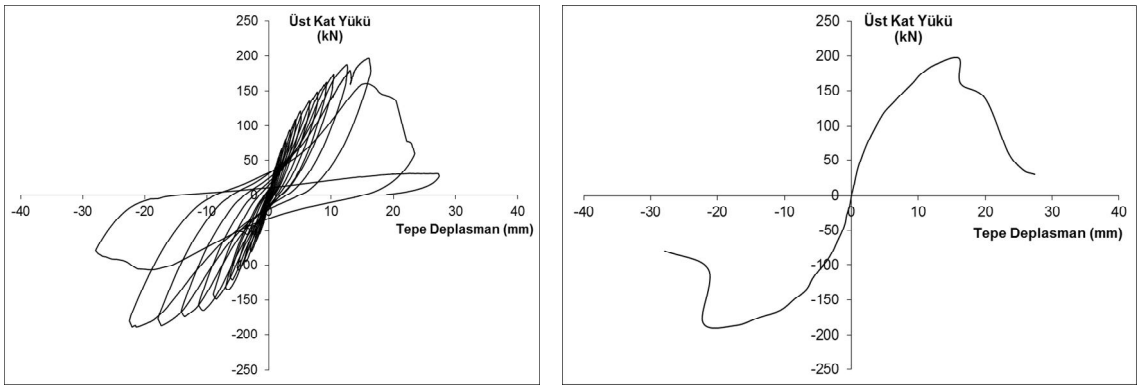


Şekil 4.54. Deney numunesi 3'de oluşan çatlakların ve hasarların, arka yüzden şematik olarak gösterimi

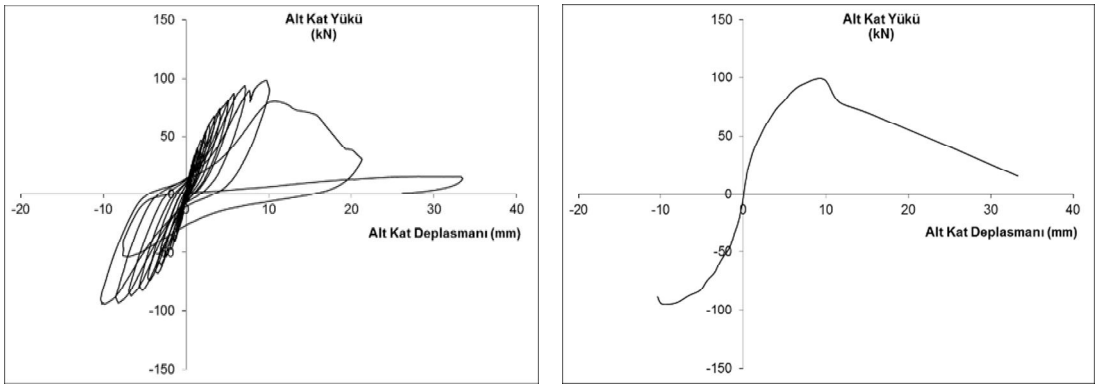
Deney numunesi 3'e ait toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve bu histeresis eğrisine ait dayanım zarfı eğrisi Şekil 4.55'de verilmiştir. Deneyde, numunenin üst katında ölçülen yatay yüke karşılık gelen deplasmanının çevrimsel histeresis eğrisi Şekil 4.56'da, alt kat için ise Şekil 4.57'de verilmiştir. Ayrıca; üst katta meydana gelen göreceli kat ötelenmesinin, üst kat yatay yüküne göre çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi Şekil 4.58'de ve alt katta meydana gelen göreceli kat ötelenmesinin, alt kat yatay yüküne göre çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi Şekil 4.59'da verilmiştir.



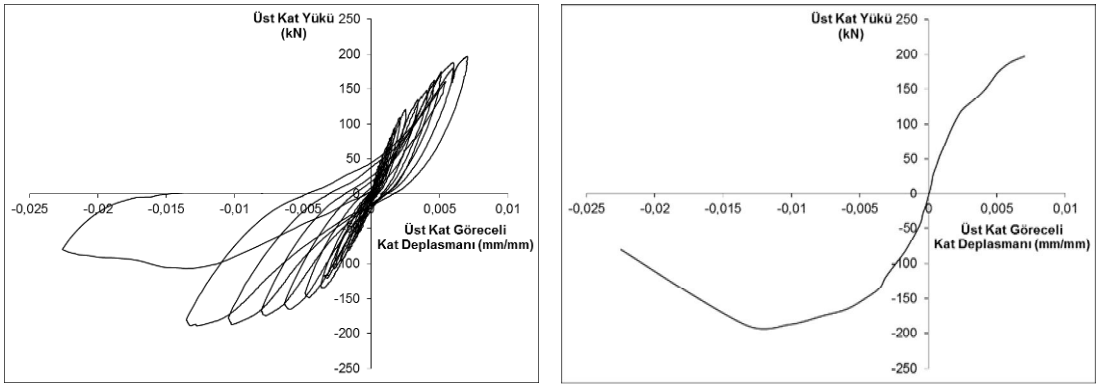
Şekil 4.55. Toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWMSW)



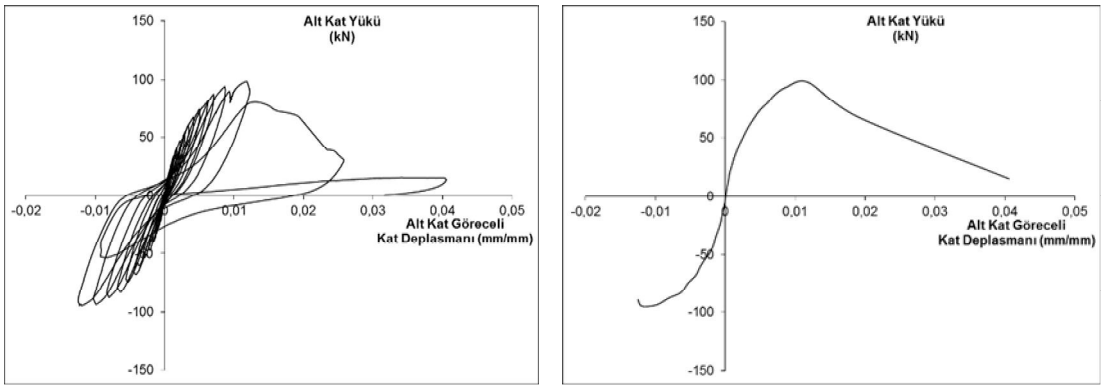
Şekil 4.56. Üst kat yatay yükü-üst kat tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi (ISWMSW)



Şekil 4.57. Alt kat yatay yükü-alt kat tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWMSW)

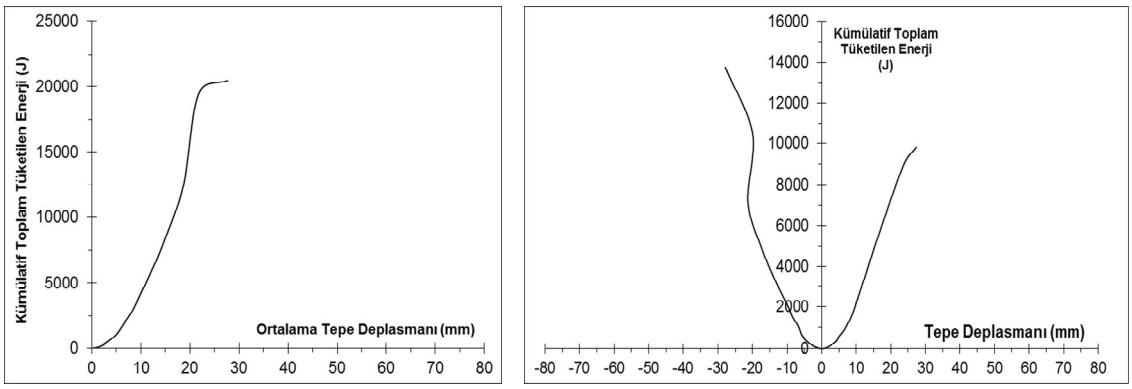


Şekil 4.58. Üst kat yatay yükü-üst kat göreceli kat ötelenmesi çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWMSW)



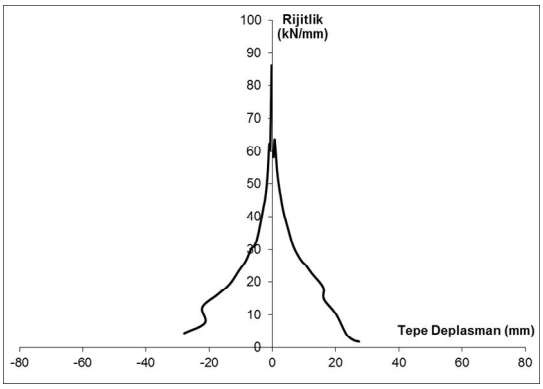
Şekil 4.59. Alt kat yatay yükü-alt kat göreceli kat ötelenmesi çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWMSW)

Toplam yatay yük-tepe deplasmanı histeresis eğrilerinin altında kalan alanın hesaplanması ile numunenin enerji tüketme kapasitesi hesaplanmış ve Şekil 4.60'da verilmiştir.

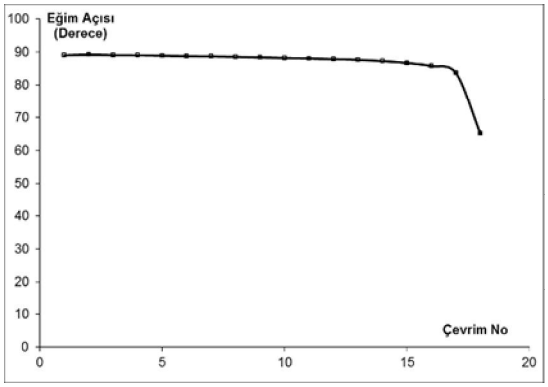


Şekil 4.60. Tüketilen enerji-deplasman grafiği (ISWMSW)

Deneyin her bir çevriminde elde edilen maksimum yatay yük değerlerinin, bunlara karşılık gelen yatay deplasman değerlerine oranlanması ile her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri hesap edilmiştir (Şekil 4.61). İtme çevrimleri için elde edilen değerler şeklin sağında, çekme çevrimleri için hesaplanan değerler grafiğin solunda verilmiştir. Şekil 4.62'de ise her bir çevrimdeki eğim açısı belirlenmiş ve grafiksel olarak verilmiştir.

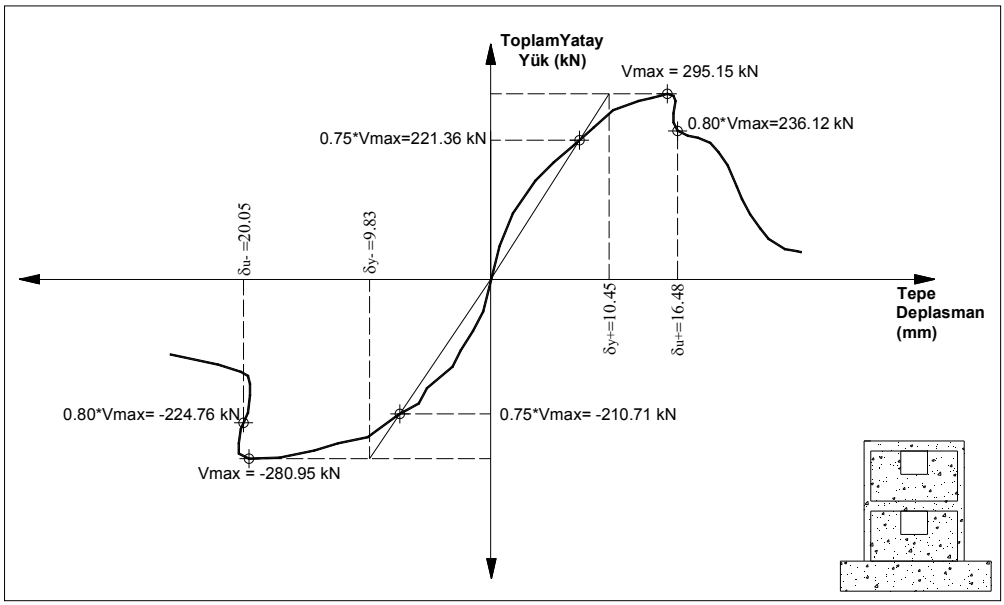


Şekil 4.61. Rijitlik azalımı grafiği (ISWMSW)



Şekil 4.62. Her bir çevrimde oluşan eğim açısı (ISWMSW)

Deney numunesi 3'ün süneklik değerlendirilmesinin yapılabilmesi için oluşturulan grafik Şekil 4.63'de verilmiştir.



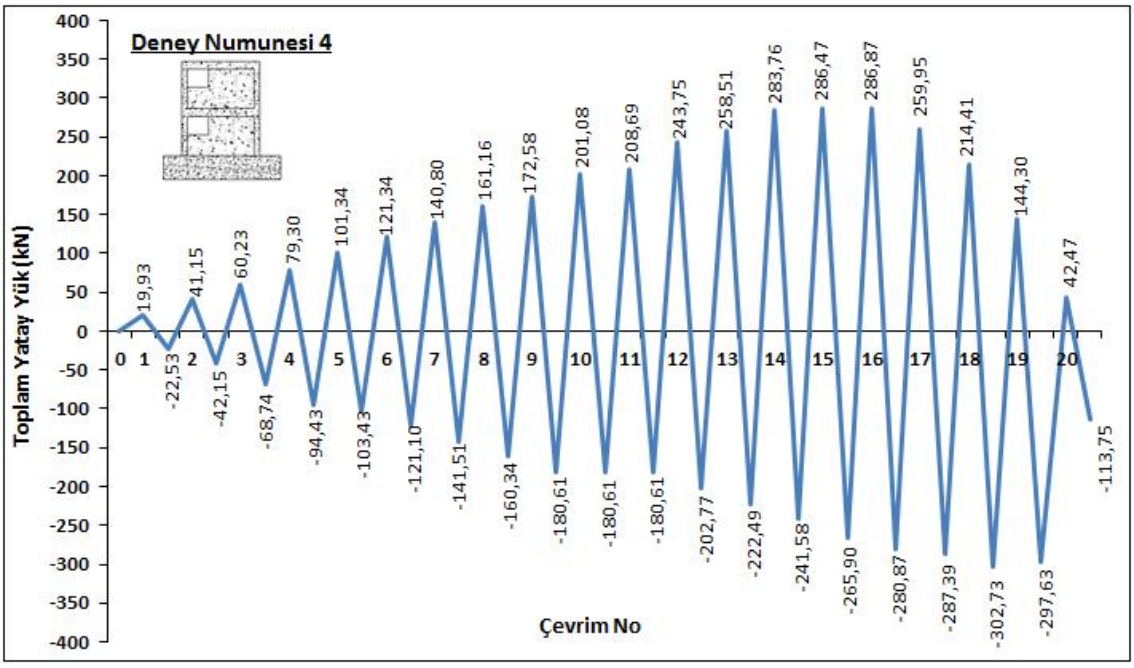
Şekil 4.63. Sistem sünekliğinin değerlendirilmesi grafiği (ISWMSW)

4.1.4. Kolona bitişik pencere boşluklu (400x350 mm), B/A dolgu duvarlı numune

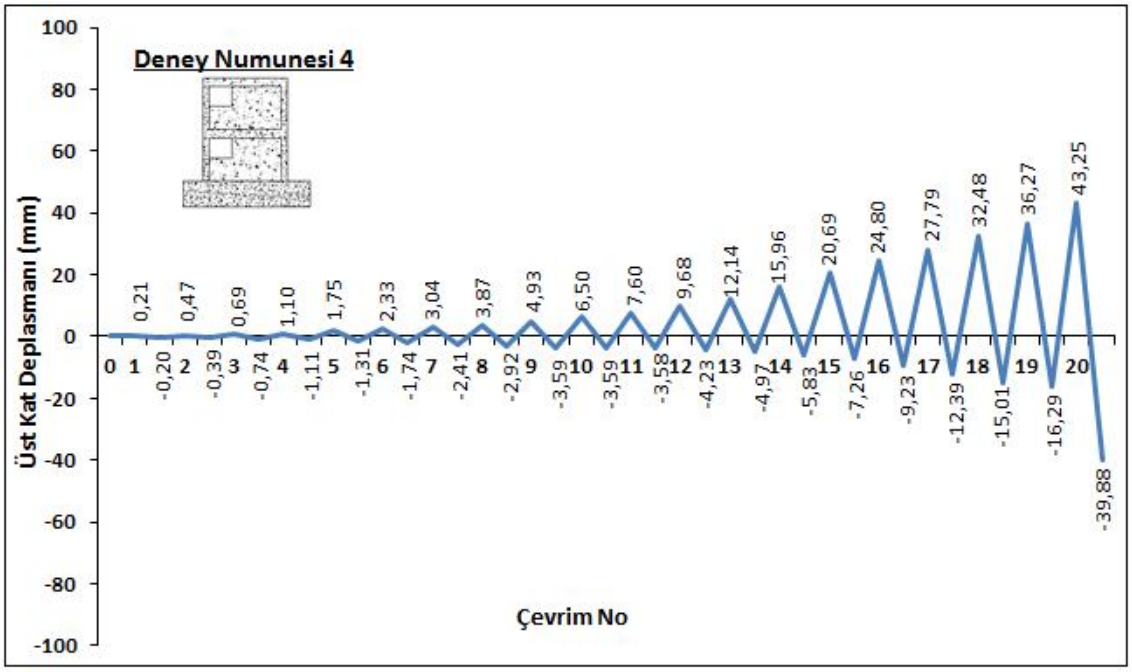
S 101 ve S 201 kolonlarına bitişik pencere boşluklu (400x350 mm), betonarme dolgu duvarlı bu numunenin, deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Şekil 4.64'de verilmiştir. Bu numuneye, deneyde uygulanan yük geçmişi, yatay yüke göre Şekil 4.65'de, tepe deplasmana göre ise Şekil 4.66'da verilmiştir. Deney numunesine itmede ve çekmede 20 yük çevrimi uygulanmıştır.



Şekil 4.64. Deney Numunesi 4'ün deney öncesi görünümü (ISWSSW)



Şekil 4.65. Deney numunesi 4'e uygulanan yükleme geçmişi grafiği (yatay yüke göre)



Şekil 4.66. Deney numunesi 4'e uygulanan yükleme geçmişi grafiği (tepe deplasmana göre)

Deneye, yük kontrollü başlanılmış ve numunenin maksimum yük kapasitesine ulaşıldıktan sonra deneye deplasman kontrollü yükleme ile devam edilmiştir. Deney numunesi 4'ün, +16. itme çevriminde maksimum 286.87 kN toplam yatay yüke dayandığı ve bu çevrimde numunede tepe deplasman değerinin 24.80 mm olduğu görülmüştür. -18. çevrimde ise numunenin 302.73 kN toplam yatay yüke dayandığı ve tepe deplasmanının da 15.01 mm olduğu görülmüştür. Deneyde; itme çevrimlerde en fazla 43.25 mm, çekme çevrimlerinde ise en fazla 39.88 mm deplasman seviyelerine kadar yükleme yapılmıştır. Deney, -20. çevrimden sonra numunede büyük hasarlar meydana geldiği için bitirilmiştir.

Deney sırasında numuneye, toplam 86 kN eksenel yük verilmiştir. Böylelikle numunenin, S 101-S 201 ve S 102-S 202 kolonlarına 43 kN'luk eksenel yük uygulanmıştır. Buna göre; ortalama basınç dayanımı 17.29 MPa ve 150x100 mm kesitinde olan kolonlara, taşıma kapasitelerinin yaklaşık %20'si kadar eksenel yük uygulanmıştır.

Deney numunesi 4'ün denenmesi sırasında, numunede gözlemlenen çatlak ve hasar oluşumu, yatay yük-tepe deplasman değerleri ile birlikte Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Deney numunesi 4'de, yük çevrimlerine göre çatlakların dağılımı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlemlenen Çatlak ve Hasar oluşumu
+1(itme)	19.93	0.21	Deney numunesi 4'ün testinde, ilk 3 çevrimde herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
-1 (çekme)	-22.53	-0.20	
+2	41.15	0.47	
-2	-42.15	-0.39	
+3	60.23	0.69	
-3	-68.74	-0.74	
+4	79.30	1.10	S101 kolonunun dış yüzeyinde, +1 nolu çatlak meydana gelmiştir. P101'in ön yüzeyinde +3 nolu, arka yüzeyinde +2 nolu ve P201 dolgu duvarının ön yüzeyinde +5 nolu, arka yüzeyinde ise +4 nolu kesme çatlakları pencere köşelerinde oluşmuştur.
-4	-94.43	-1.11	P101'in ön yüzeyinde -1 nolu, arka yüzeyinde -2, -3 nolu kesme çatlakları ve S102'nin arka yüzeyinde -4 nolu eğilme çatlağı meydana gelmiştir.
+5	101.34	1.75	S101 kolonunun ön yüzeyinde +7, +8 nolu eğilme çatlakları, S101-K101 kolon kiriş birleşim bölgesinde +6 nolu ve S201-K201 birleşiminde ise +9 nolu eğik çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. +4. çevrimde oluşan +1, +2, +3, +4 ve +5 nolu çatlakların ilerlemesi ile +1', +2', +3', +4' ve +5' nolu çatlaklar oluşmuştur.
-5	-103.43	-1.31	Deneyin bu çevriminde; P101 dolgu duvarının arka yüzeyinde -5 nolu ve P201'in ön yüzeyinde -7 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. Ayrıca, S102 kolonunda -8, -9 nolu eğilme çatlakları ve S102-K101 kolon kiriş birleşiminde -10 nolu eğik çatlak oluşmuştur.
+6	121.34	2.33	S101 kolonunda +10, +11 nolu ve S201 kolonunda +12 nolu eğilme çatlaklarının oluşumu gözlemlenmiştir.
-6	-121.10	-1.74	Daha önceki çevrimlerde oluşan -2, -7 ve -8 nolu çatlakların ilerlemesi ile -2', -7' ve -8' nolu çatlaklar oluşmuştur. P101'in ön yüzeyinde -17, -18, -19 (K101 ile birleşim yüzeyi yatay çatlak) nolu, arka yüzeyinde -13, -14, -16 nolu kesme çatlakları ve S101 kolonunun iç yüzeyinde -12, -11 nolu eğilme çatlakları meydana gelmiştir. S102 kolonunda -15 nolu eğilme çatlağı ve S202-K201 birleşim bölgesinde -20 nolu eğik çatlak oluşmuştur.
+7	140.80	3.04	S101 kolonunda +13, +14, +15 nolu eğilme çatlakları, P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde +16, +17 nolu, arka yüzeyinde +18, +19 nolu kesme çatlakları ve S201-K201 birleşim bölgesinde +20 nolu eğik çatlak oluşmuştur.
-7	-141.51	-2.41	P101'in ön yüzeyinde -22, -23 kesme çatlakları, S101'in iç yüzeyinde -21 nolu eğilme çatlağı, S102 kolonunda -24, -25, -27, -28 nolu eğilme çatlakları ve K201 kirişinin ön yüzeyinde -30, -31 nolu eğileme çatlakları meydana gelmiştir. S102-K101 birleşim bölgesinde -26 nolu ve S202-K201 birleşim bölgesinde -29 nolu yatay çatlaklar oluşmuştur. Ayrıca, daha önceki çevrimlerde oluşan -13, -14 ve -15 nolu çatlakların ilerlemesi ile -13', -14' ve -15' nolu çatlaklar oluşmuştur.

Çizelge 4.4. (Devamı) Deney numunesi 4'de, yük çevrimlerine göre çatlakların dağılımı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlemlenen Çatlak ve Hasar oluşumu
+8	161.16	3.87	S201 kolonunda +21, +25, +26, +27 nolu, S101'de ise +22, +28, +29 nolu eğilme çatlakları meydana gelmiştir. P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde +31 nolu düşey çatlak, +30 nolu kesme çatlağı ve arka yüzeyinde ise +23 nolu düşey çatlak, +24 nolu kesme çatlağı oluşmuştur. Ayrıca, +8' ve +18' çatlakları da oluşmuştur.
-8	-160.34	-2.92	-4. çevrimde oluşan -1, -3 ve -4 nolu çatlakların ilerlemesi ile -1', -3' ve -4' nolu çatlaklar oluşmuştur. P101'in ön yüzeyinde -33, -34 nolu kesme çatlakları, arka yüzeyinde -36 nolu yatay çatlak, S101 kolonunda -32 nolu, S102'de -35 nolu ve S202 kolonunda -37, -38, -39, -41 nolu eğilme çatlakları meydana gelmiştir. Ayrıca, K101 kirişinin ön yüzeyinde -40 nolu eğilme çatlağı oluşmuştur.
+9	172.58	4.93	P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde +36, +40, +41 nolu, arka yüzeyinde +42, +43, +45, +47 nolu kesme çatlakları ve P201'in ön yüzeyinde +32, +44, +46 nolu, arka yüzeyinde de +34, +35, +37, +38, +39 nolu kesme çatlaklarının oluşumu gözlemlenmiştir. S201 kolonunda +33 nolu eğilme çatlağı ve +25', +30' nolu çatlaklar oluşmuştur.
-9	-180.61	-3.59	P101'in arka yüzeyinde -43, -45 nolu kesme çatlakları ve P201'in arka yüzeyinde -46, -47, -48 nolu kesme çatlakları meydana gelmiştir. S102 kolonunda -42, -44 nolu eğilme çatlakları ve -3", -23', -27', -38', -39' nolu çatlakları oluşmuştur.
+10	201.08	6.50	Daha önceki çevrimlerde oluşan +18', +35 ve +46 nolu çatlakların ilerlemesi ile +18", +35' ve +46' nolu çatlaklar oluşmuştur. S201 kolonunda +48, +49, +50 nolu, K201 kirişinde +53, +54 nolu ve K101'de +56 nolu eğilme çatlakları meydana gelmiştir. Ayrıca, P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde +59 nolu ve P201'in ön yüzeyinde +57, +58, +60, +61 nolu, arka yüzeyinde ise +51, +52, +55 nolu kesme çatlakları oluşmuştur.
-10	-180.61	-3.59	Daha önceki çevrimlerde oluşan -3", -17', -27', -39, -43 ve -48 nolu çatlakların ilerlemesi ile -3"', -17", -27", -39', -43' ve -48' nolu çatlaklar oluşmuştur. P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde -71, -72, -73 nolu kesme çatlakları, arka yüzeyinde ise -49 nolu düşey çatlak, -50 nolu yatay çatlak ve P201'in arka yüzeyinde -58, -60 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. K101'in ön yüzeyinde -51, -53, -56 nolu, arka yüzeyinde -52 nolu, K201 kirişinin ön yüzeyinde -55, -61, -62, -63, -65, -68 nolu, S202 kolonunda -57 nolu, S201 kolonunda -64, -66, -67, -70 nolu, eğilme çatlakları meydana gelmiştir. Ayrıca, S201-K201 kolon kiriş birleşim bölgesinde -69 nolu, S202-K101 birleşim bölgesinde -54 nolu yatay çatlak oluşumu ve S102 kolonunda -59 nolu çatlak oluşumu gözlemlenmiştir.
+11	208.69	7.60	P101'in ön yüzeyinde +76 nolu (K101 kirişi birleşim yüzeyinde yatay çatlak), +78 nolu kesme çatlağı ve arka yüzeyinde ise +69 (yatay çatlak), +66, +68, +70 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. P201 dolgu duvarının ön yüzeyinde +67, +71, +72, +73 nolu, arka yüzeyinde +74, +75, +77, +79 nolu kesme çatlakları, S201 kolonunda +62 nolu, S101 kolonunda +64, +65 nolu eğilme çatlakları, S201-K201 birleşimi ön yüzeyinde +63 nolu yatay çatlak ve K201'in alt yüzeyinde +80 nolu eğik çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca, +7', +22', +28', +37', +39', +41', +43', +50', +59' ve +60' çatlaklarının oluşumu gözlemlenmiştir.
-11	-180.61	-3.58	P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde -89 nolu, arka yüzeyinde -74, -81, -85 nolu ve P201'in ön yüzeyinde -90 nolu, arka yüzeyinde ise -83, -84, -87 nolu kesme çatlakları meydana gelmiştir. K101 kirişinin ön yüzeyinde -80, -82 nolu, arka yüzeyinde -78, kiriş alt yüzeyinde -79 nolu eğilme çatlakları ve K201 kirişinin ön yüzeyinde -77 nolu eğilme çatlağı oluşmuştur. S202 kolonunda -75, -86 nolu eğilme çatlakları, S202-K201 birleşimi ön yüzeyinde -76 nolu eğik çatlak ve S202-P201 birleşimi ön yüzeyinde -88 nolu düşey çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. Ayrıca, önceki çevrimlerde oluşan -2', -5, -17', -25, -30, -52, -56 ve -57 nolu çatlakların ilerlemesi ile -2", -5', -17", -25', -30', -52', -56' ve -57' nolu çatlaklar oluşmuştur.

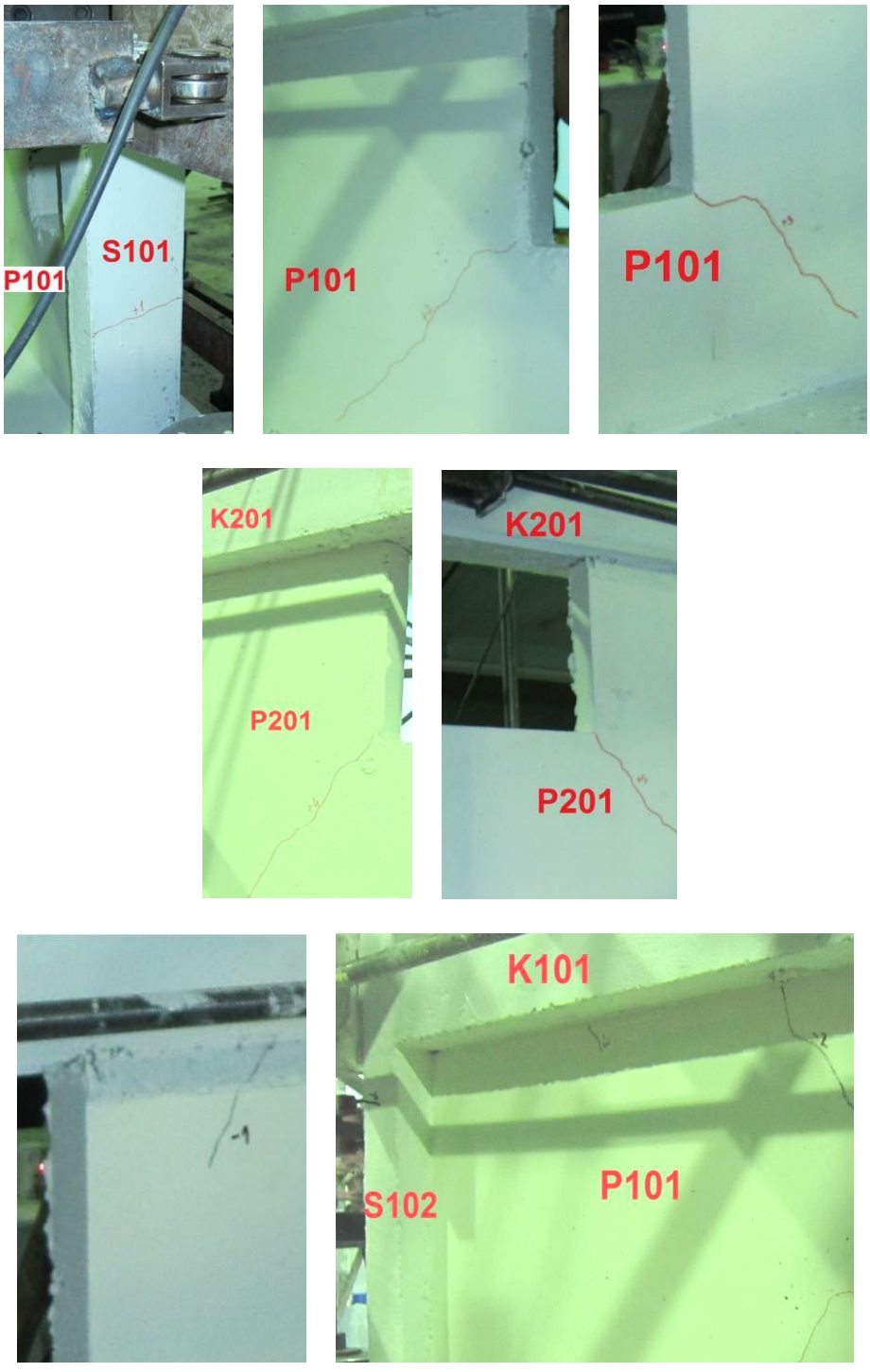
Çizelge 4.4. (Devamı) Deney numunesi 4'de, yük çevrimlerine göre çatlakların dağılımı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlemlenen Çatlak ve Hasar oluşumu
+12	243.75	9.68	P101'in ön yüzeyinde +97, +98, +99 nolu, arka yüzeyinde +83, +84, +85 nolu ve P201 dolgu duvarının ön yüzeyinde +82, +92 nolu, arka yüzeyinde ise +90, +91 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. K101 kirişinin ön yüzeyinde +89 nolu, arka yüzeyinde +87, +93, +94, +95 nolu, S101 kolonunda +86 nolu, S201 kolonunda +81, +96 nolu eğilme çatlakları ve S202-K101 arka yüzeyi birleşim bölgesinde +88 nolu eğik çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca, +14', +46', +48', +60", +62', +65', +67' ve +71' çatlaklarının oluşumu gözlemlenmiştir.
-12	-202.77	-4.23	P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde -119, -120, -121, -122, -123 nolu, arka yüzeyinde -93, -118 nolu ve P201'in ön yüzeyinde -91, -103, -106 nolu, arka yüzeyinde ise -97, -99, -100, -109 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. K101 kirişinin ön yüzeyinde -98, -101, -102, -105, -107 nolu, K201'in ön yüzeyinde -92, -94 nolu S202 kolonunda -110, -111, -112, -113, -114, -115, -117 nolu eğilme çatlakları meydana gelmiştir. S102-K101 birleşimi arka yüzeyinde -95 nolu, ön yüzeyinde -96, -108 nolu eğik çatlaklar ve S202-K201 birleşimi arka yüzeyinde ise -116 nolu eğik çatlak oluşmuştur. Ayrıca, +14', +46', +48', +60", +62', +65', +67' ve +71' çatlaklarının oluşumu gözlemlenmiştir. Ayrıca, -20', -28', -37', -41', -47', -61', -62', -76', -78' ve -81' çatlaklarının oluşumu gözlemlenmiştir.
+13	258.51	12.14	P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde +102, +104, +115, +118 nolu, arka yüzeyinde +103, +105 nolu ve P201'in ön yüzeyinde +106, +107 nolu, arka yüzeyinde ise +112, +113, +11+114, +116, +117 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. S201 kolonunun dış yüzeyinde +100 nolu eğik çatlak, arka yüzeyinde de +109 nolu (eğik çatlak), +110, +111 nolu düşey çatlaklar meydana gelmiştir. K101 kirişinin arka yüzeyinde +107 nolu, K201'in ön yüzeyinde +120 nolu, arka yüzeyinde ise +121, +122, +123 nolu ve S202 kolonunda +119 nolu eğilme çatlakları oluşmuştur. S101-K101 kolon kiriş birleşimi arka yüzeyinde +101 nolu eğik çatlağın ve daha önceki çatlakların ilerlemesi ile +27', +36', +45', +97' nolu çatlakların oluşumu gözlemlenmiştir.
-13	-222.49	-4.97	P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde -140, -141 nolu, arka yüzeyinde -128, -130, -132 nolu kesme çatlakları ve P201'in ön yüzeyinde -124, -125, -129, -131, -145 nolu, arka yüzeyinde ise -144 nolu kesme çatlakları meydana gelmiştir. S101'de -126 nolu, S102'de -143 nolu, S202'de -127, -142 nolu, K201 kirişinde -133, -134, -135, -136, -146, -147, -148, -149 nolu, K101'de -137, -138, -139 nolu eğilme çatlakları oluşmuştur. S201-K101 birleşimi arka yüzeyinde -150 nolu eğik çatlağın ve daha önce oluşan çatlakların ilerlemesi ile -2'", -45', -63', -81", -99' nolu çatlakların oluşumu gözlemlenmiştir.
+14	283.76	15.96	P101'in ön yüzeyinde +126, +128 nolu, arka yüzeyinde +129, +130, +131, +132, +133 nolu ve P201'in arka yüzeyinde de +134, +140 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. S201 kolonunda +124, +135 nolu, S101'de +125 nolu, S202'de +127 nolu ve K201 kirişinin arka yüzeyinde +136, +137, +138, +139 nolu eğilme çatlakları oluşmuştur. Ayrıca, +8", +24', +43", +83', +98', +100' ve +108' çatlaklarının oluşumu ve K201 kirişinin alt yüzeyinde (pencere boşluğu kısmında) betonda dökülmeler gözlemlenmiştir.
-14	-241.58	-5.83	P101'in ön yüzeyinde -166, -167, -168, -169, -172 nolu, arka yüzeyinde -151, -159, -161, -164 nolu ve P201'in ön yüzeyinde -154, -158 nolu, arka yüzeyinde ise -155, -156, 157 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. K101 kirişinde -153, -160, -162, -163, -165, -170 nolu, S202 kolunda ise -152, -171 nolu eğilme çatlakları meydana gelmiştir. Ayrıca, daha önce oluşan çatlakların ilerlemesi ile -27'", -111' ve -123' nolu çatlakların oluşumu gözlemlenmiştir.

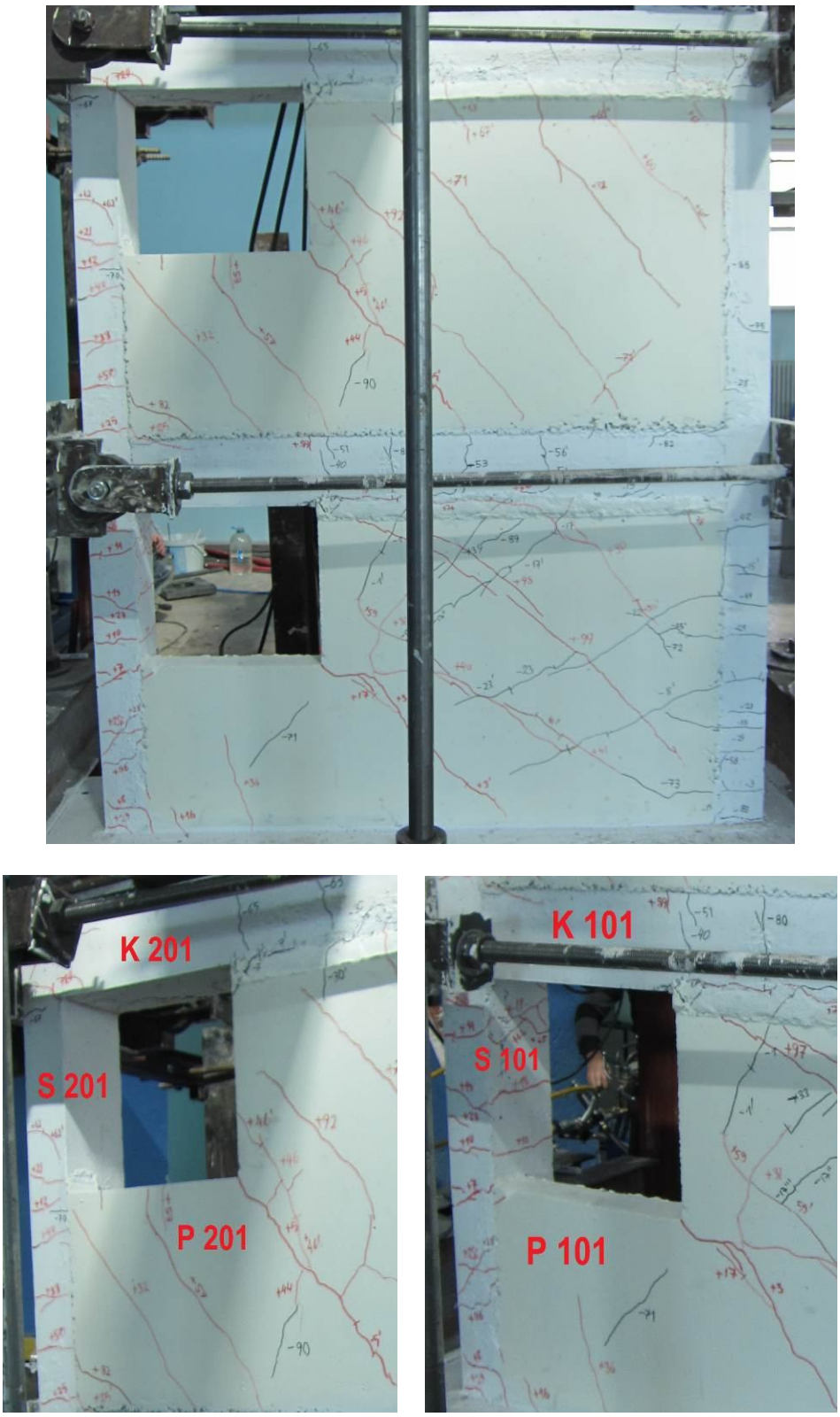
Çizelge 4.4. (Devamı) Deney numunesi 4'de, yük çevrimlerine göre çatlakların dağılımı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlemlenen Çatlak ve Hasar oluşumu
+15	286.47	20.69	Deneyin bu çevriminde; S202 kolonunun arka yüzeyinde +141 nolu eğik çatlak ve +104' nolu çatlak oluşmuştur.
-15	-265.90	-7.26	P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde -176, -177 nolu, arka yüzeyinde -175 nolu, P201'in ön yüzeyinde de -173, -174 nolu kesme çatlakları ve -151' çatlağı meydana gelmiştir.
+16	286.87	24.80	P101'in ön yüzeyinde +144 nolu kesme çatlağı, +148 nolu düşey çatlak ve P201'in ön yüzeyinde +142, +143 nolu kesme çatlakları, +147 nolu düşey çatlak, arka yüzeyinde ise +146 nolu kesme çatlağının oluşumu gözlemlenmiştir. Ayrıca, S201 kolonunun pencere boşluğu üst hizasındaki yatay çatlak kısmında betonda ezilmelerin olduğu, P201'in pencere sağ üst köşesinde ve P101'in pencere sağ alt köşesinde betonda dökülmelerin olduğu görülmüştür. ***Bu çevrimde; deney numunesi itme yönünde maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır.***
-16	-280.87	-9.23	Deneyin bu çevrimlerinde; P101 dolgu duvarı ile K101 kirişi birleşim bölgesinde, dolgu duvarın ön ve arka yüzeyinde önemli derecede beton ezilmelerinin oluştuğu gözlemlenmiştir. Benzer hasar durumu P201 dolgu duvarı ile K201 kirişi birleşim bölgesinin arka yüzeyinde gerçekleşmiştir. S201 kolonunda pencere boşluğu alt hizasından yaklaşık 20 cm yukarıda kesme çatlağı oluşumu net olarak gözlemlenmiş ve bu çatlağın pencere alt köşe noktasına kadar eğik olarak ilerlediği görülmüştür. S201 kolonunda, bu çatlak bölgesinde ve K201 ile birleşim bölgesinde kabuk betonun dökülmesiyle hasar boyutu artmıştır. Böylelikle S201'de kısa kolon davranışı görülmüştür. S101 kolonunun, K101 kirişi alt hizası ile pencere boşluğu alt hizası arasında kalan kısmında kabuk betonun büyük ölçüde döküldüğü ve kısa kolon davranışının oluştuğu gözlemlenmiştir. S102-K101 kolon kiriş birleşim bölgesi ve S202-K201 birleşim bölgesi ön ve arka yüzeylerinde kabuk betonunu dökülmüştür. S102 temel birleşimi uç bölgesinde, kolon betonunun ezilmesi şeklinde hasarın oluştuğu gözlemlenmiştir.
+17	259.95	27.79	
-17	-287.39	-12.39	
+18	214.41	32.48	
-18	-302.73	-15.01	
+19	144.30	36.27	
-19	-297.63	-16.29	
+20	42.47	43.25	
-20	-113.75	-39.88	Bu çevrimlerde; numunede meydana gelen hasarlardan ve sistem stabilitesinin tehlikeye girmesinden dolayı çatlak numaralandırılması yapılmamıştır. Sadece numunede oluşan hasarların çekilen fotoğraflarla tespiti yapılmıştır. ***-18. çevrimde; deney numunesi çekme yönünde maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır.***

Deney numunesi 4'de; +4 itme ve -4 çekme çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar Şekil 4.67'de verilmiştir. Ayrıca itme yönü için numunede meydana gelen hasarların durumu, akma konumunda Şekil 4.68'de, maksimum yüklemede Şekil 4.69'da, göçme konumu için Şekil 4.70'de verilmiştir. Numunenin deney sonrası görünümü Şekil 4.71 ve Şekil 4.72'de verilmiştir. Numunede oluşan çatlakların ve hasarların şematik gösterimi ise Şekil 4.73 ve Şekil 4.74'de verilmiştir.

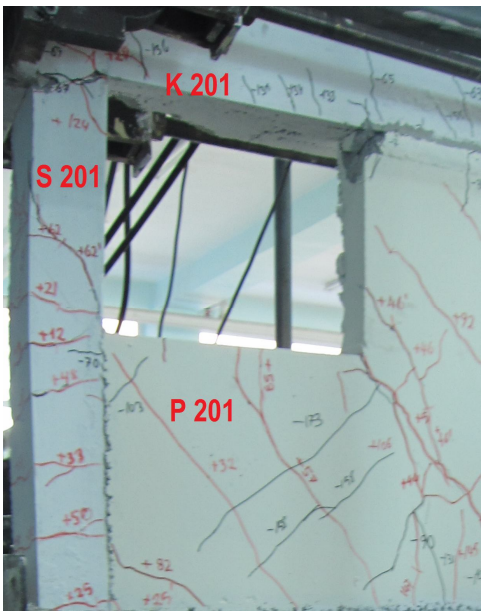


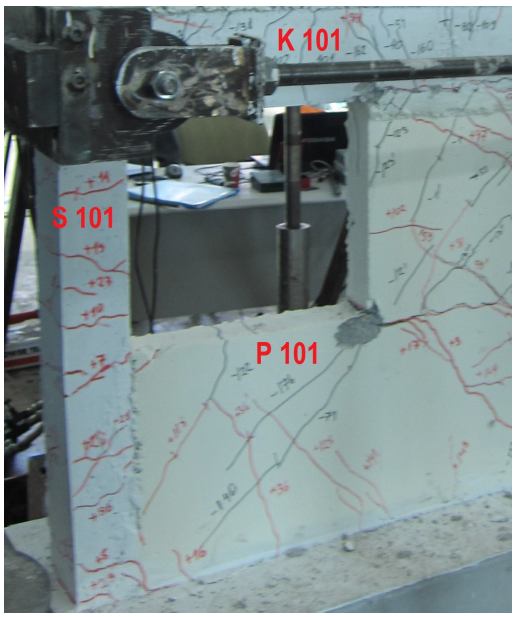
Şekil 4.67. Deney numunesi 4'de, itme ve çekme çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar



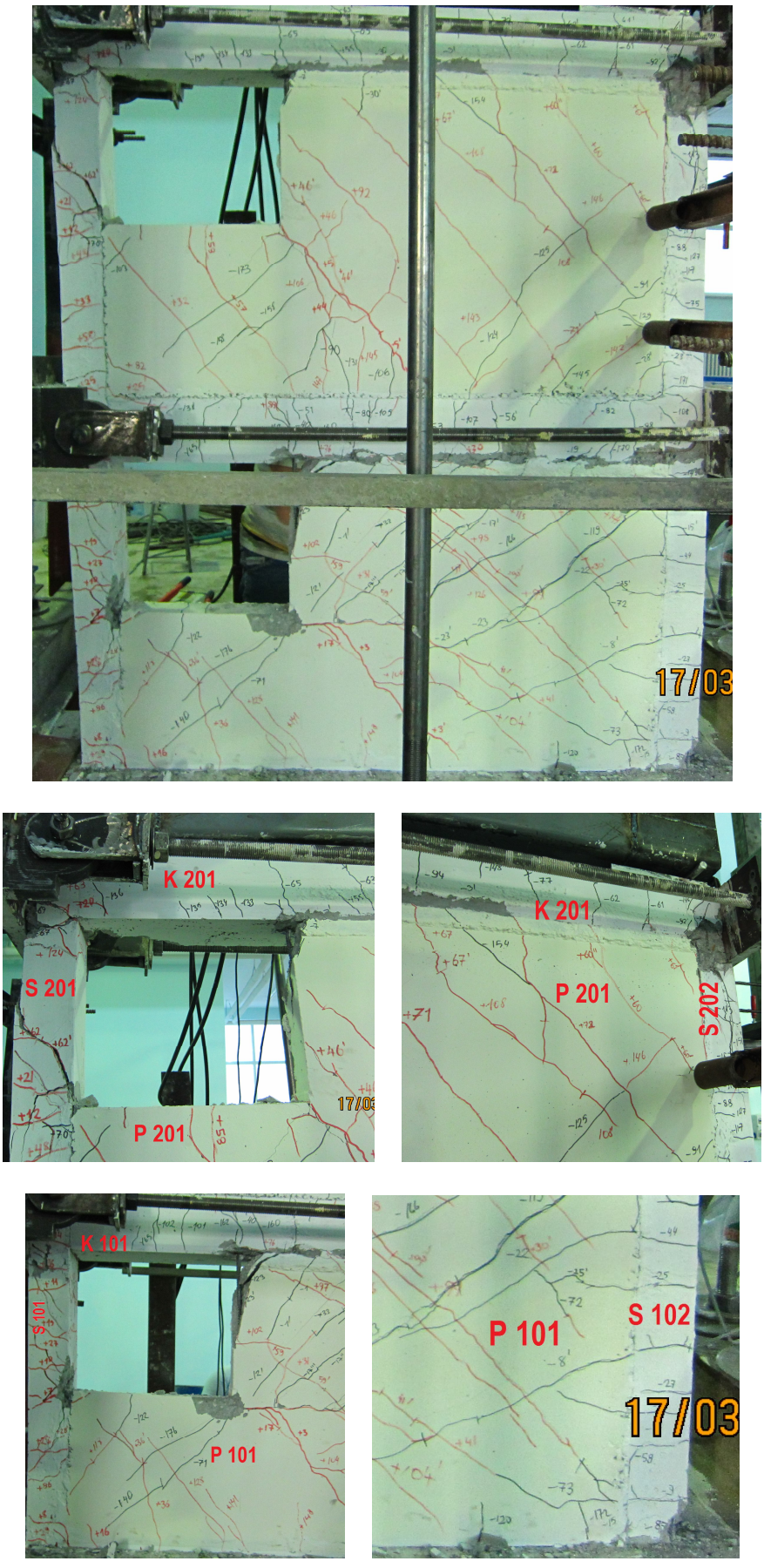
Şekil 4.68. Deney numunesi 4'ün, akma konumuna ait görünümü (+12 itme çevrimi)



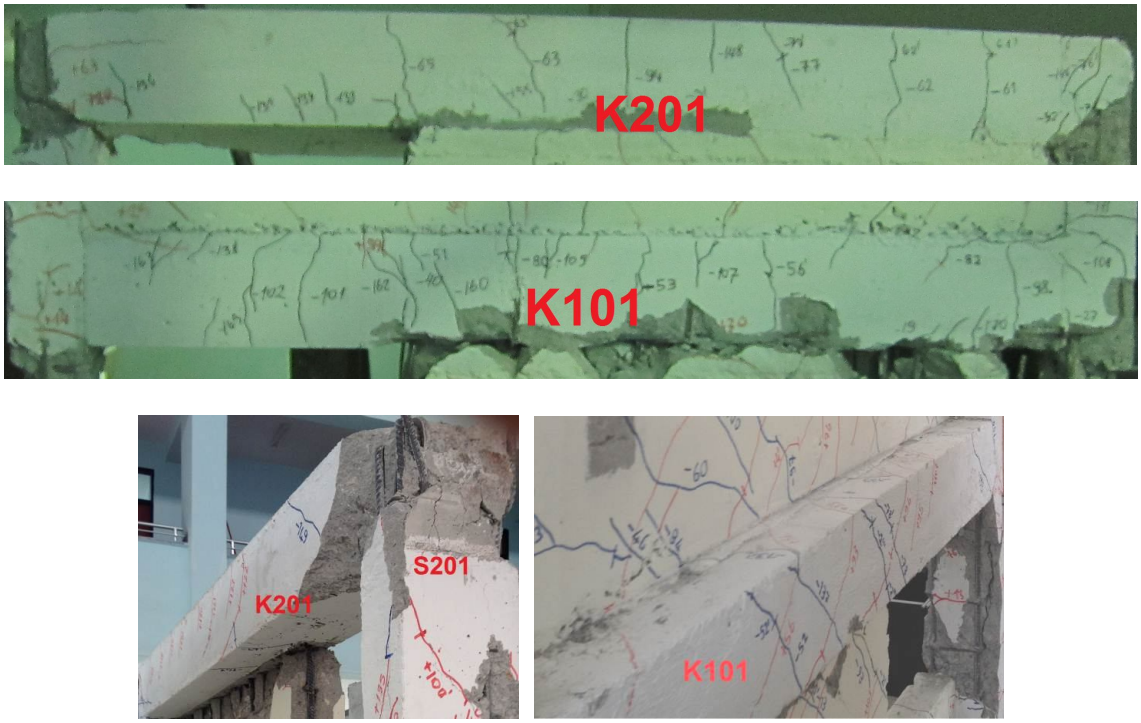




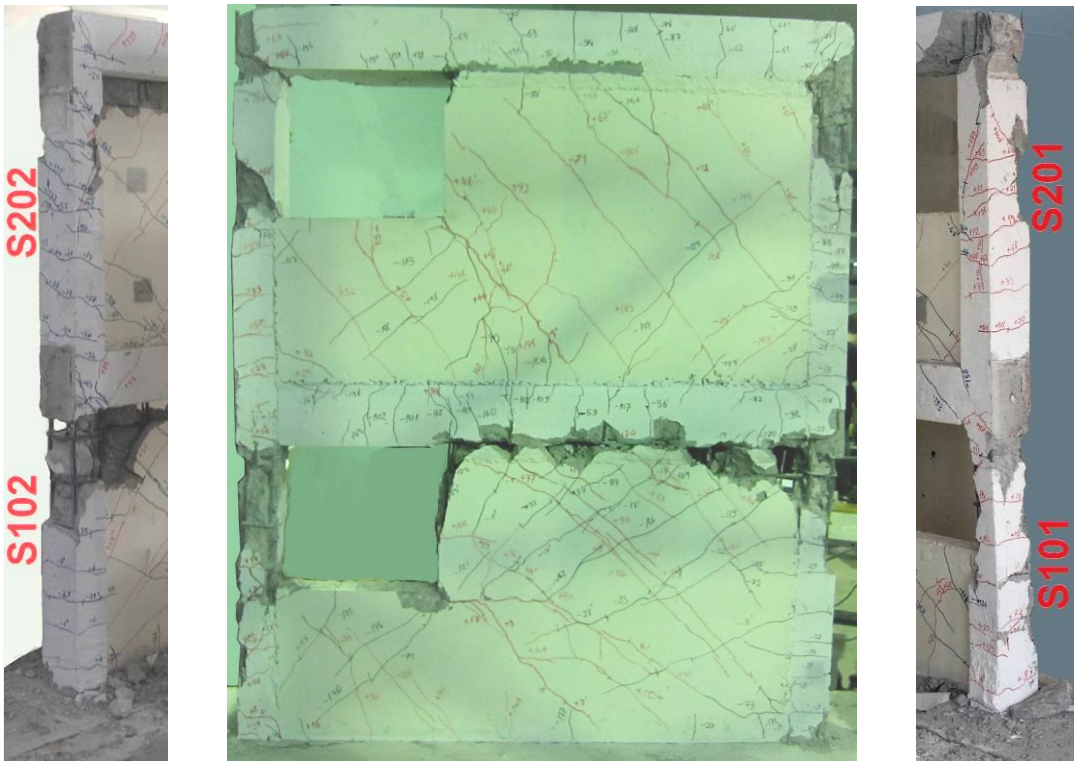
Şekil 4.69. Deney numunesi 4'de maksimum yüklemede oluşan çatlakların görünümü (+16 itme çevrimi)



Şekil 4.70. Deney numunesi 4'ün, göçme konumuna ait görünümü (+18 itme çevrimi)



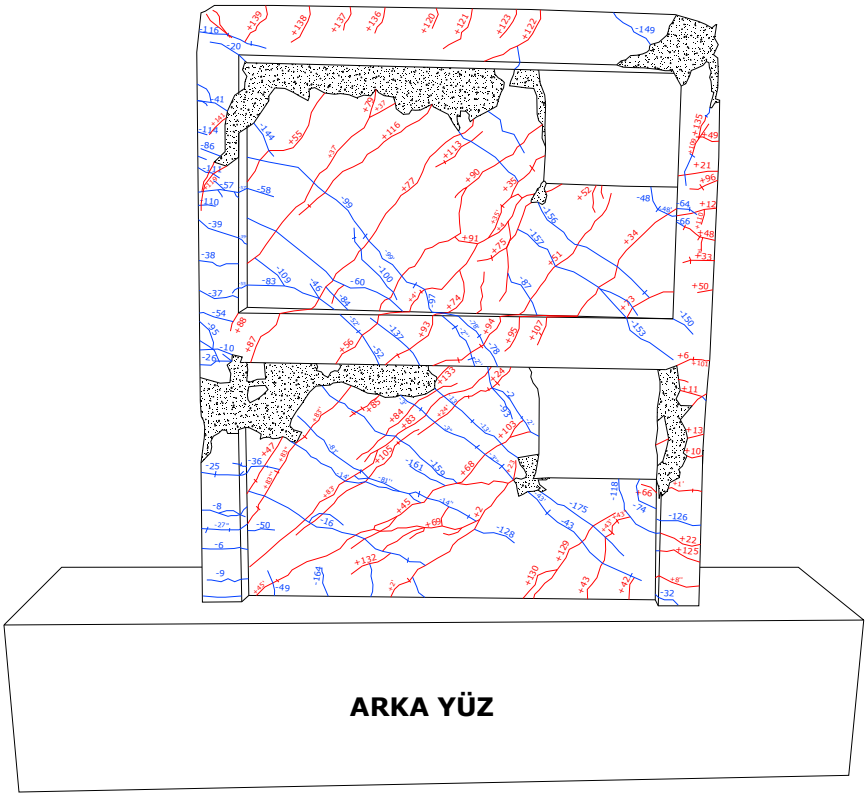
Şekil 4.71. Deney numunesi 4'ün kirişlerinde oluşan çatlakların ve hasarların deney sonrası görünümü



Şekil 4.72. Deney numunesi 4'de oluşan hasarların deney sonrası görünümü

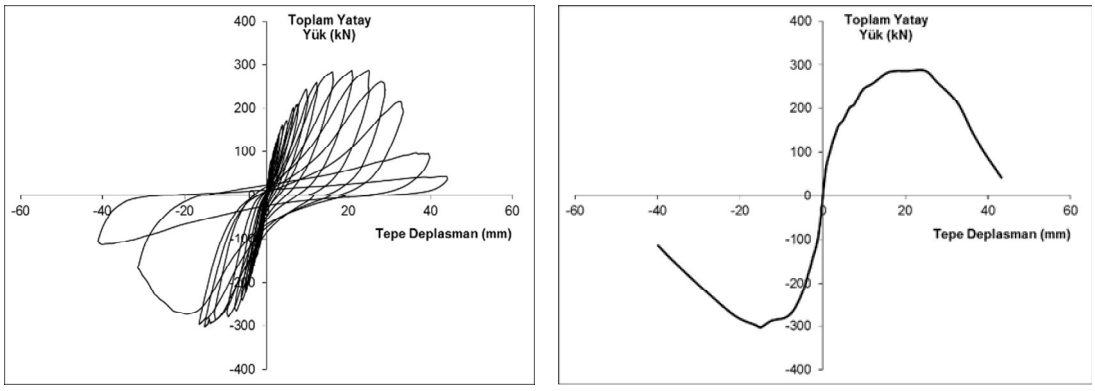


Şekil 4.73. Deney numunesi 4'de oluşan çatlakların ve hasarların, ön yüzden şematik olarak gösterimi

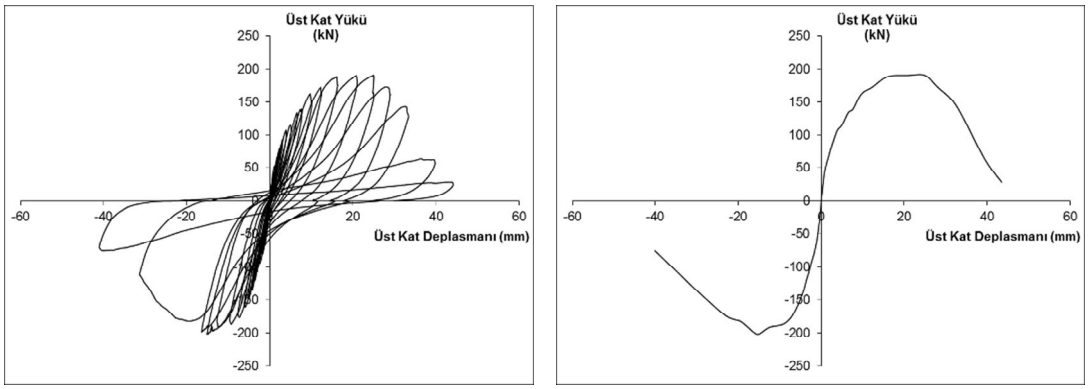


Şekil 4.74. Deney numunesi 4'de oluşan çatlakların ve hasarların, arka yüzden şematik olarak gösterimi

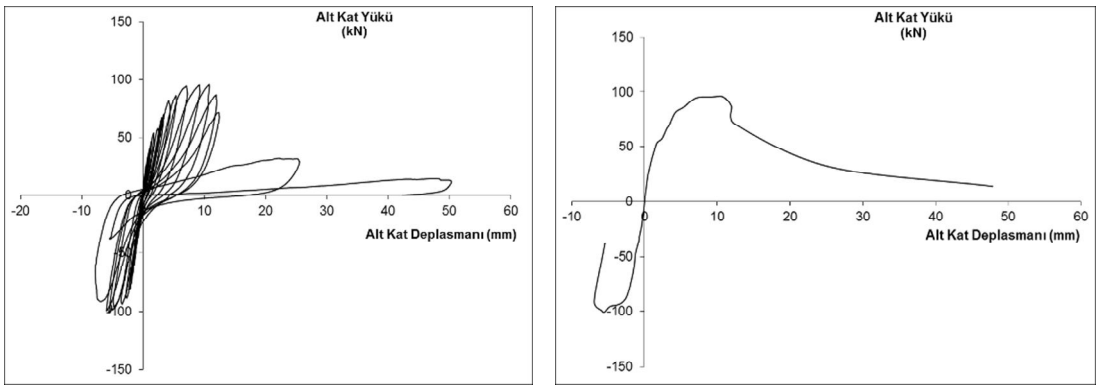
Deney numunesi 4'e ait toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve bu histeresis eğrisine ait dayanım zarfı eğrisi Şekil 4.75'de verilmiştir. Deneyde, numunenin üst katında ölçülen yatay yüke karşılık gelen deplasmanının çevrimsel histeresis eğrisi Şekil 4.76'da, alt kat için ise Şekil 4.77'de verilmiştir. Ayrıca; üst katta meydana gelen göreceli kat ötelenmesinin, üst kat yatay yüküne göre çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi Şekil 4.78'de ve alt katta meydana gelen göreceli kat ötelenmesinin, alt kat yatay yüküne göre çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi Şekil 4.79'da verilmiştir.



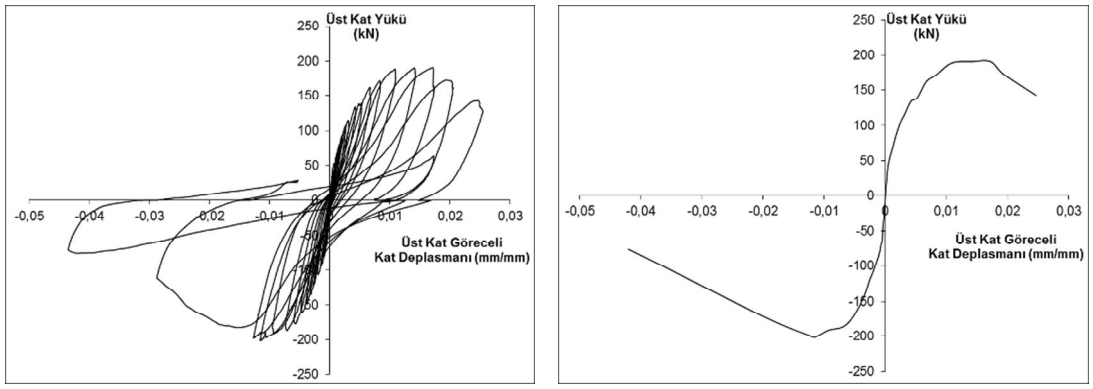
Şekil 4.75. Toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWSSW)



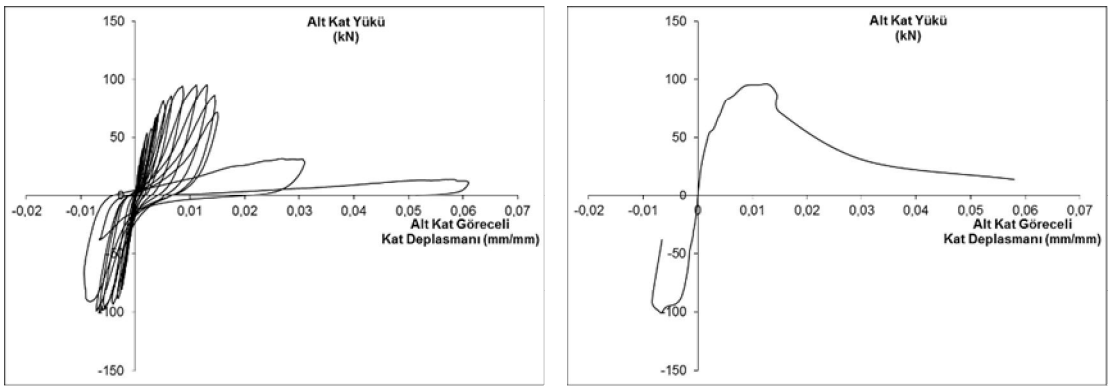
Şekil 4.76. Üst kat yatay yükü-üst kat tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi (ISWSSW)



Şekil 4.77. Alt kat yatay yükü-alt kat tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWSSW)

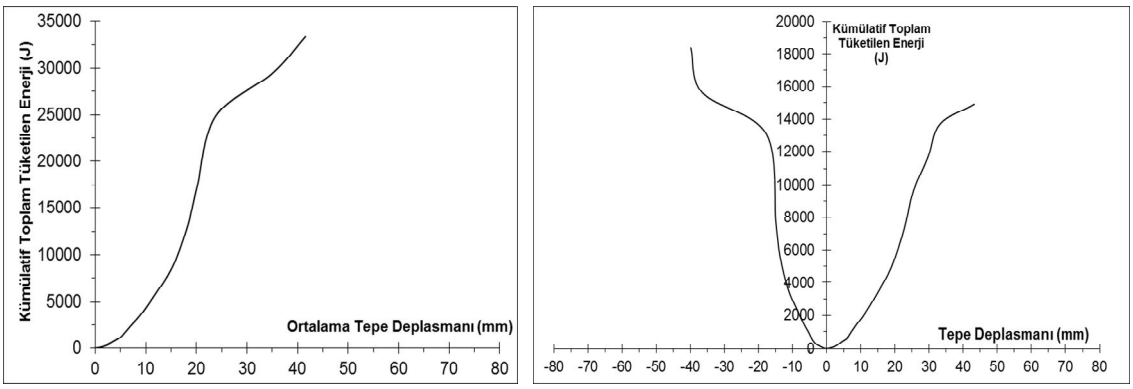


Şekil 4.78. Üst kat yatay yükü-üst kat göreceli kat ötelenmesi çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWSSW)



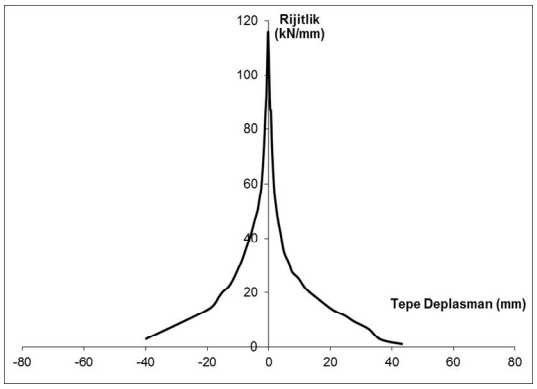
Şekil 4.79. Alt kat yatay yükü-alt kat göreceli kat ötelenmesi çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWSSW)

Toplam tepe deplasmanı-üst kat yükü histeresis eğrilerinin altında kalan alanın hesaplanması ile numunenin enerji tüketme kapasitesi hesaplanmış ve Şekil 4.80'de verilmiştir.

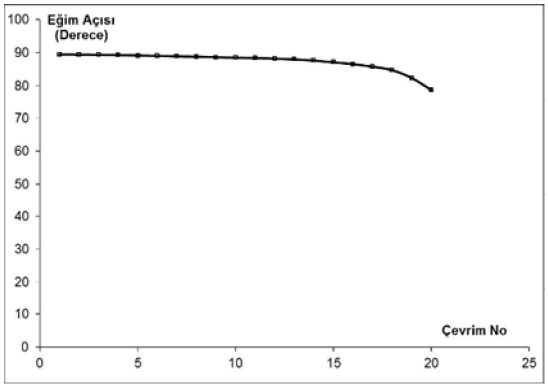


Şekil 4.80. Tüketilen enerji-deplasman grafiği (ISWSSW)

Deneyin her bir çevriminde elde edilen maksimum yatay yük değerlerinin, bunlara karşılık gelen yatay deplasman değerlerine oranlanması ile her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri hesap edilmiştir (Şekil 4.81). İtme çevrimleri için elde edilen değerler şeklin sağında, çekme çevrimleri için hesaplanan değerler grafiğin solunda verilmiştir. Şekil 4.82'de ise her bir çevrimdeki eğim açısı belirlenmiş ve grafiksel olarak verilmiştir.

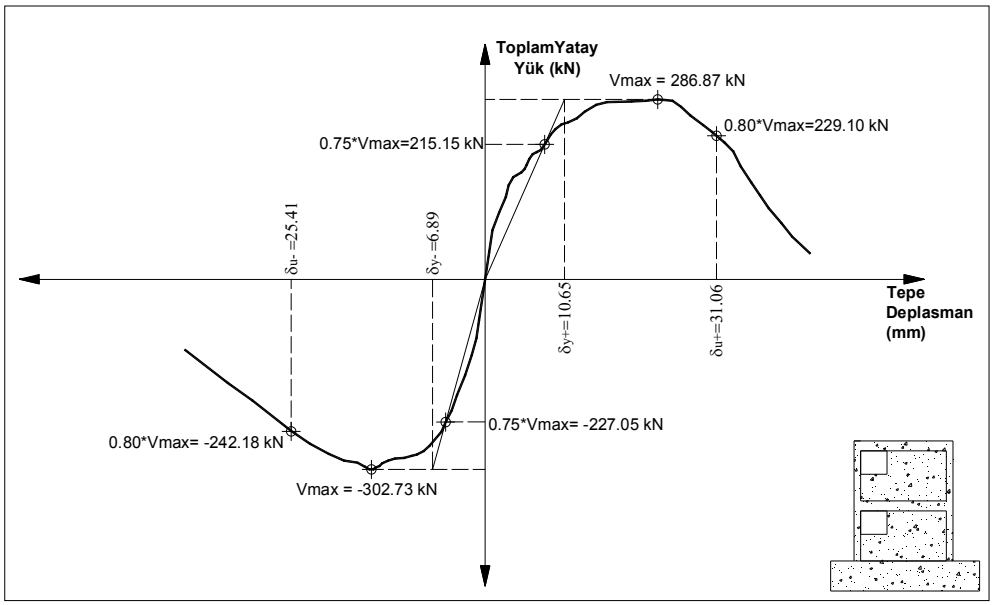


Şekil 4.81. Rijitlik azalımı grafiği (ISWSSW)



Şekil 4.82. Her bir çevrimde oluşan eğim açısı (ISWSSW)

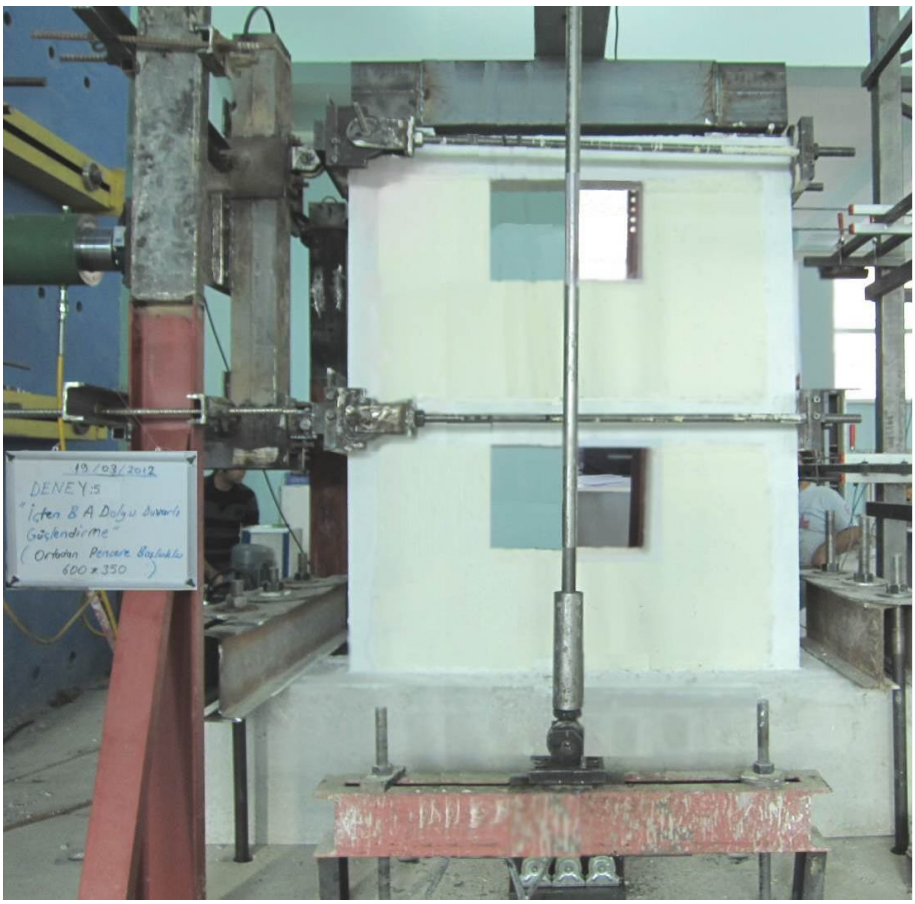
Deney numunesi 4'ün süneklik değerlendirilmesinin yapılabilmesi için oluşturulan grafik Şekil 4.83'de verilmiştir.



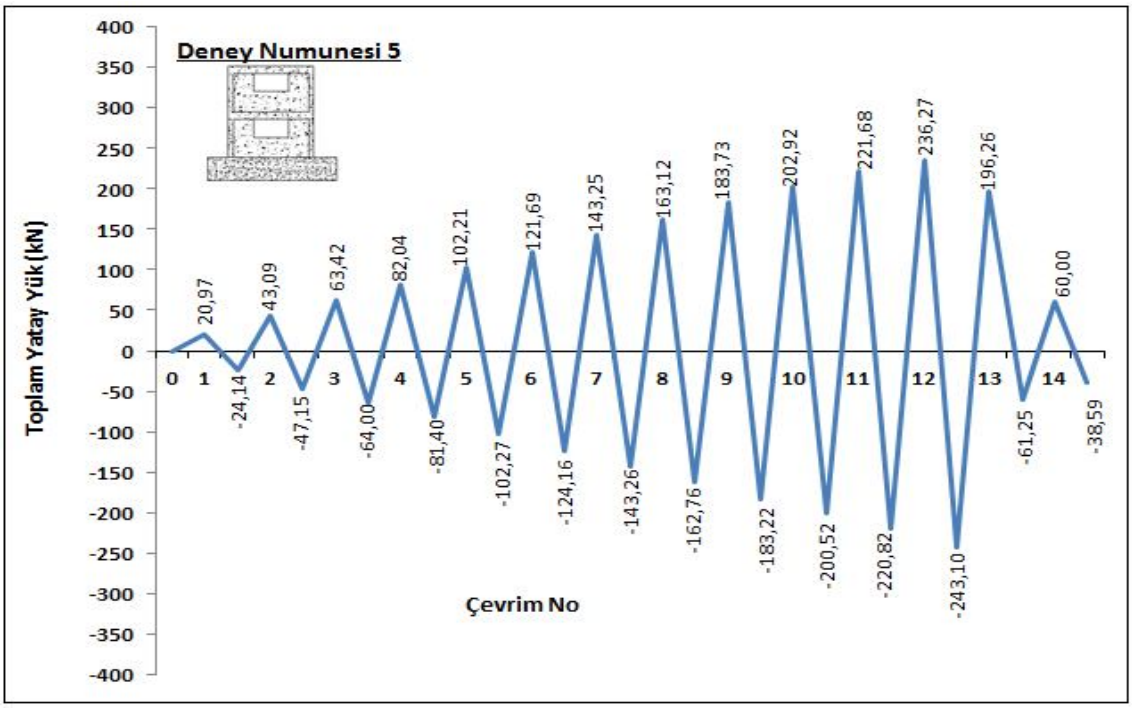
Şekil 4.83. Sistem sünekliğinin değerlendirilmesi grafiği (ISWSSW)

4.1.5. Ortadan pencere boşluklu (600x350 mm), B/A dolgu duvarlı numune

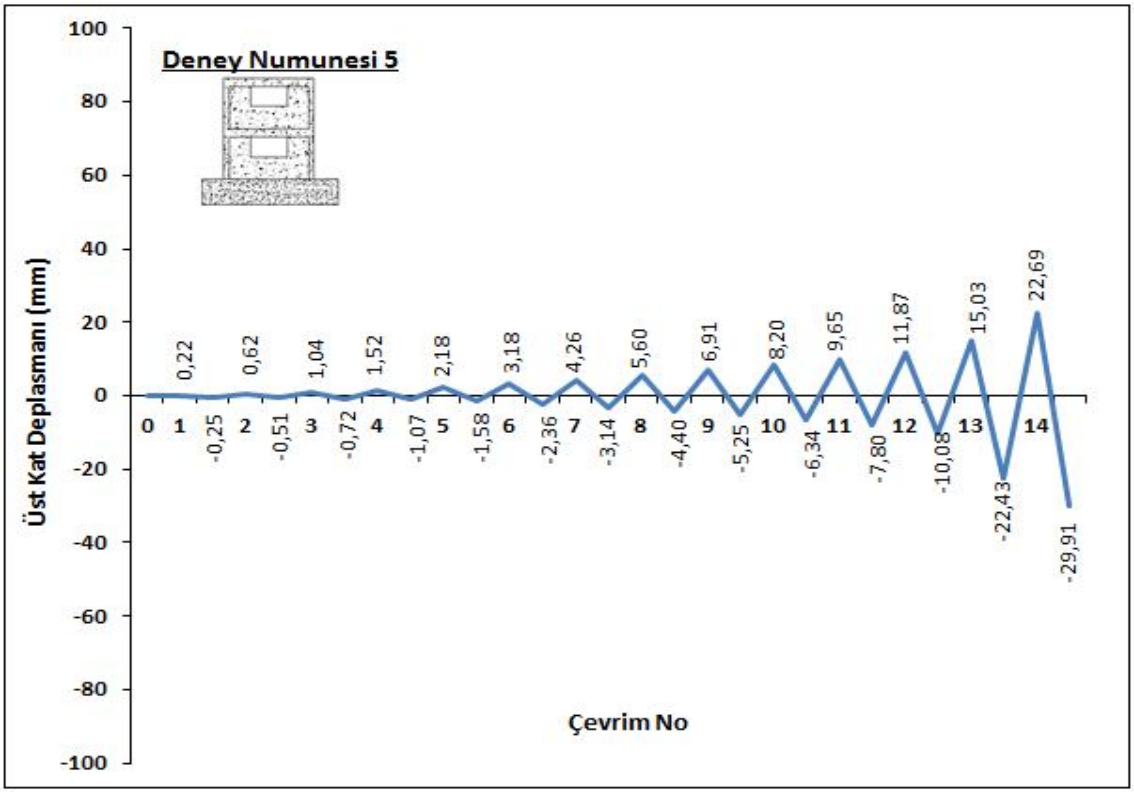
Betonarme dolgu duvarların ortasında ve K 101 ve K 201 kirişlerine bitişik pencere boşluklu (600x350 mm) olarak üretilmiş olan bu numunenin, deney düzeneğine yerleştirilmiş durumu Şekil 4.84'de verilmiştir. Bu numuneye, deneyde uygulanan yük geçmişi, yatay yüke göre Şekil 4.85'de, tepe deplasmana göre ise Şekil 4.86'da verilmiştir. Deney numunesine itmede ve çekmede 14 yük çevrimi uygulanmıştır.



Şekil 4.84. Deney Numunesi 5'in deney öncesi görünümü (ISWMBW)



Şekil 4.85. Deney numunesi 5'e uygulanan yükleme geçmişi grafiği (yatay yüke göre)



Şekil 4.86. Deney numunesi 5'e uygulanan yükleme geçmişi grafiği (tepe deplasmana göre)

Yük kontrollü olarak başlayan deney, numune maksimum yük taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra deplasman kontrollü olarak devam ettirilmiştir. Deney numunesi 12. çevrimde, itmede maksimum 236.27 kN yatay yüke, çekmede maksimum 243.10 kN yatay yüke dayanmıştır. Deney numunesi 5'in, +12. çevrimde 11.87 mm tepe deplasmanı yaptığı ölçülmüştür. -12. çevrimde ise tepe deplasmanının 10.08 mm olduğu görülmüştür. Deney numunesine; itme çevrimlerde en fazla 22.69 mm, çekme çevrimlerinde ise en fazla 29.91 mm deplasman seviyelerine kadar yükleme yapılmıştır. +14 çevriminde numunede büyük hasarlar meydana geldiği için deney sonlandırılmıştır.

Deney sırasında numuneye, toplam 86 kN eksenel yük verilmiştir. Böylelikle numunenin, S 101-S 201 ve S 102-S 202 kolonlarına 43 kN'luk eksenel yük uygulanmıştır. Buna göre; ortalama basınç dayanımı 17.29 MPa ve 150x100 mm kesitinde olan kolonlara, taşıma kapasitelerinin yaklaşık %20'si kadar eksenel yük uygulanmıştır.

Deney numunesi 5'in denenmesi sırasında, numunede gözlemlenen çatlak ve hasar oluşumu, yatay yük-tepe deplasman değerleri ile birlikte Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Deney numunesi 5'de, yük çevrimlerine göre çatlakların dağılımı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlemlenen Çatlak ve Hasar oluşumu
+1(itme)	20.97	0.22	Deneyin, bu itme ve çekme çevrimlerinde numunede herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
-1 (çekme)	-24.14	-0.25	
+2	43.09	0.62	P101'in ön yüzeyinde +3, +4 nolu, arka yüzeyinde +1, +2 nolu ve P201 dolgu duvarının ön yüzeyinde +7 nolu, arka yüzeyinde ise +6 nolu kesme çatlakları pencere boşluğu alt köşe bölgesinde oluşmuştur.
-2	-47.15	-0.51	P101'in ön yüzeyinde -2 nolu, arka yüzeyinde -1 nolu kesme çatlakları pencere boşluğu alt köşesinde oluşmuştur.
+3	63.42	1.04	P101-K101 birleşim bölgesi ön yüzeyi pencere boşluğu sağ üst köşesinde +10 nolu, arka yüzeyinde ise +8 nolu yatay çatlakların oluşumu gözlemlenmiştir. P101 dolgu duvarının pencere boşluğu sol alt köşesi iç bölgesinde +9 nolu ve P201-K201 birleşim bölgesi ön yüzeyi pencere boşluğu sol üst köşesinde +11 nolu yatay çatlaklar oluşmuştur. Ayrıca, +2', +4' ve +7' çatlaklarının oluşumu da gözlemlenmiştir.
-3	-64.00	-0.72	P101-K101 birleşim bölgesi ön ve arka yüzeyi pencere boşluğu sağ üst köşesinde -3 nolu ve P101'in pencere boşluğu sol alt köşesi iç bölgesinde -4 nolu yatay çatlaklar oluşmuştur. P201 dolgu duvarı pencere boşluğu alt köşesinde -5, -6 nolu kesme çatlakları meydana gelmiştir. Ayrıca, -2 nolu çatlağın ilerlemesi ile -2' çatlağının oluşumu da gözlemlenmiştir.
+4	82.04	1.52	Daha önceki çevrimlerde oluşan, +1, +2', +3, +4', +6 ve +10 çatlaklarının ilerlemesi ile +1', +2", +3', +4", +6' ve +10' nolu çatlaklarının oluşumu ve P201 dolgu duvarının ön yüzeyinde +12 nolu düşey çatlağın oluşumu gözlemlenmiştir.
-4	-81.40	-1.07	Daha önceki çevrimlerde oluşan, -1, -2', -3, -5 ve -6 çatlaklarının ilerlemesi ile -1', -2", -3', -5' ve -6' nolu çatlakları oluşmuştur. P201'in pencere boşluğu sol alt köşesi iç bölgesinde -7 nolu ve P201-K201 birleşim bölgesi ön yüzeyi pencere boşluğu sağ üst köşesinde -8 nolu yatay çatlaklar oluşmuştur.
+5	102.21	2.18	S101 kolonunda +13, +14, +23, +25, +26, +27 nolu, S201'de +15, +17 nolu ve K201 kirişinde +19, +24 nolu eğilme çatlakları meydana gelmiştir. S101-K101 birleşimi ön yüzeyinde +22 nolu, arka yüzeyinde +20 nolu ve S201-K201 birleşimi ön yüzeyinde +18 nolu eğik çatlaklar oluşmuştur. Ayrıca, P101'in arka yüzeyinde +16 nolu kesme çatlağı ve P201'in arka yüzeyinde +21 nolu yatay çatlak oluşmuştur.
-5	-102.27	-1.58	Bu çevrimde; çatlak oluşumu S102 kolonunda yoğunlaşmış ve bu kolonda -10, -11, -12 (P101'in ön yüzeyine kadar uzanan çatlaklar), -13, -14, -15, -16, -17 nolu eğilme çatlakları oluşmuştur. S102-K101 birleşimi ön yüzeyinde -18 nolu, arka yüzeyinde -9 nolu eğik çatlaklar ve P201 dolgu duvarı pencere boşluğu altında ön yüzeyde -20 nolu, arka yüzeyinde de -19 nolu kesme çatlakları meydana gelmiştir.
+6	121.69	3.18	S101 kolonunda +29, +30, +33, +34, +36, +37, +38 nolu, S201'de +41, +42, +45, +49 nolu ve K201 kirişinin ön yüzeyinde +40 nolu, arka yüzeyinde +48 nolu eğilme çatlakları meydana gelmiştir. P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde +31, +32, +35 nolu, arka yüzeyinde +39, +44 (yatay çatlaklar), +43, +46 nolu ve P201'in ön yüzeyinde +28 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. Ayrıca, S201-K201 birleşimi arka yüzeyinde -47 nolu eğik çatlak ve +7", +15', +17', +18' çatlaklar oluşmuştur.
-6	-124.16	-2.36	S102 kolonunda -21, -22, -23, -27, -28, -29 nolu, K101 kirişi ön yüzeyinde -25, -26 nolu, K201'in ön yüzeyinde -30 nolu eğilme çatlakları ve P201 dolgu duvarının arka yüzeyinde -24 nolu yatay çatlak oluşmuştur.

Çizelge 4.5. (Devamı) Deney numunesi 5'de, yük çevrimlerine göre çatlakların dağılımı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlemlenen Çatlak ve Hasar oluşumu
+7	143.25	4.26	S201 kolonunda +50, +51 (P201'in ön yüzeyine kadar uzanan çatlak), +61, +62 nolu, S101'de +52, +53 nolu eğilme çatlakları meydana gelmiştir. P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde +54 nolu, arka yüzeyinde +55, +57 nolu ve P201'in ön yüzeyinde +56 nolu, arka yüzeyinde ise +58, +59, +60 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. Ayrıca, +2" nolu çatlağın ilerlemesi ile +2'" çatlağının oluşumu da gözlemlenmiştir.
-7	-143.26	-3.14	P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde -34, -35, -43 nolu kesme çatlakları, arka yüzeyinde ise -31, -37 nolu kesme çatlakları ve -33 nolu yatay çatlak oluşmuştur. P201'in ön yüzeyinde -40 nolu düşey çatlak, -32 nolu kesme çatlağı ve arka yüzeyinde ise -48 nolu kesme çatlağı oluşmuştur. S102 kolonunda -36, -38, -39, -41, -42, -44 nolu ve K101 kirişinin ön yüzeyinde -46 nolu, arka yüzeyinde -49 nolu eğilme çatlakları meydana gelmiştir. Ayrıca, S202-K101 birleşimi ön yüzeyinde -47 nolu yatay çatlak, S202-K201 birleşimi arka yüzeyinde -45 nolu eğik çatlak ve -13', -18', -26', -30' çatlaklarının oluşumu gözlemlenmiştir.
+8	163.12	5.60	P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde +66, +73 nolu kesme çatlakları, arka yüzeyinde +80 nolu (yatay çatlak), +68, +74 nolu kesme çatlakları ve P201'in ön yüzeyinde +76, +82, +83, +84 nolu, arka yüzeyinde ise +78, +83, +85 nolu kesme çatlakları meydana gelmiştir. S101 kolonunda +63, +67, +69, +70, +71, +72 nolu, S201 kolonunda +64, +65 nolu, K101 kirişi ön yüzeyinde +86 nolu ve K201 kirişi ön yüzeyinde +81 nolu, arka yüzeyinde ise +87 nolu eğilme çatlakları oluşmuştur. Ayrıca, S201-K101 birleşimi ön yüzeyinde +77 nolu, S201-K201 birleşimi ön yüzeyinde +79 nolu eğik çatlakların ve +16', +19', +51', +56' çatlaklarının oluşumu gözlemlenmiştir.
-8	-162.76	-4.40	P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde -53, -54, -55, -57 nolu, arka yüzeyinde -52, -56, -58 nolu ve P201'in -50, -63 nolu, arka yüzeyinde ise -62, -64, -65 nolu kesme çatlakları meydana gelmiştir. S102 kolonunda -59, -61 nolu ve K101 kirişi ön yüzeyinde -51, -60 nolu, arka yüzeyinde de -66 nolu eğilme çatlakları oluşmuştur.
+9	183.73	6.91	P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde +91 nolu yatay çatlak, +93, +106, +107 nolu kesme çatlakları, arka yüzeyinde +92, +94, +95, +96, +97 nolu kesme çatlakları ve P201'in ön yüzeyinde +100, +102, +103 nolu, arka yüzeyinde ise +104 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. S101 kolonunun temel birleşimi bölgesinde +90 nolu, K101'in ön yüzeyinde +88, +89 nolu ve K201 kirişinin ön yüzeyinde +98, +99 nolu, arka yüzeyinde de +101 nolu eğilme çatlakları meydana gelmiştir. Ayrıca, S201-K201 kolon kiriş birleşimi arka yüzeyinde +108 nolu eğik çatlağın ve daha önce oluşan çatlakların ilerlemesi ile +51", +65", +76', +85' nolu çatlakların oluşumu gözlemlenmiştir.
-9	-183.22	-5.25	P101'in ön yüzeyinde -69 nolu düşey çatlak, -71 nolu kesme çatlağı, arka yüzeyinde -68, -72 nolu kesme çatlakları ve P201'in arka yüzeyinde -74 nolu kesme çatlağı oluşmuştur. S102'de -70 nolu ve K201 kirişinin arka yüzeyinde -73 nolu eğilme çatlakları oluşmuştur. S102-K101 birleşimi ön yüzeyinde -67 nolu eğik çatlak ve -60', -62" nolu çatlaklar meydana gelmiştir.

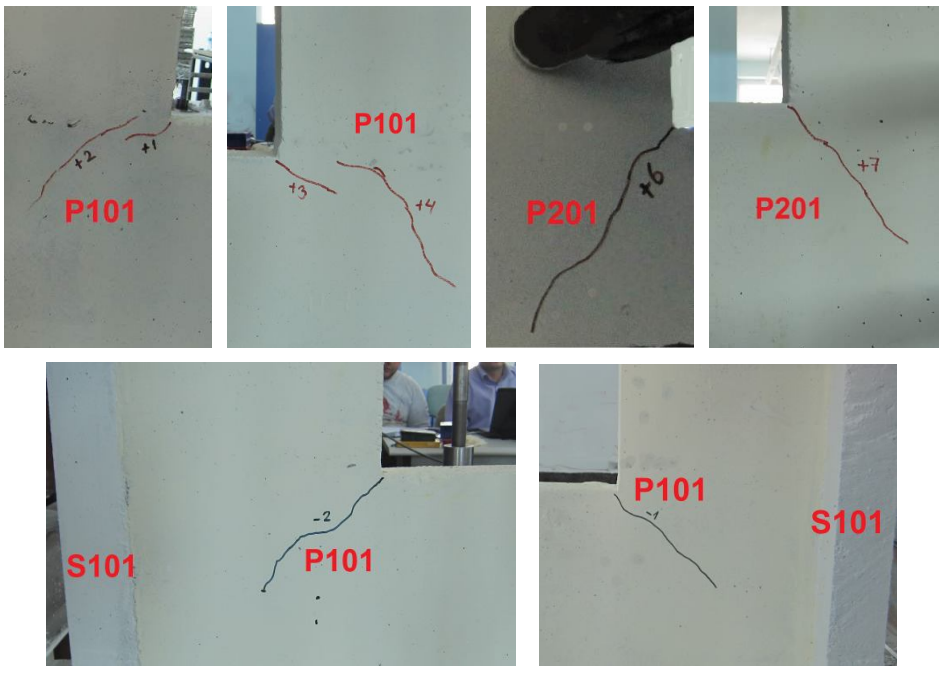
Çizelge 4.5. (Devamı) Deney numunesi 5'de, yük çevrimlerine göre çatlakların dağılımı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlemlenen Çatlak ve Hasar oluşumu
+10	202.92	8.20	P101'in ön yüzeyinde +116, +117 nolu, arka yüzeyinde +110, +111 nolu, P201'in ön yüzeyinde ise +115 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. S101 kolonunda +109, S202'de +113 nolu, S201'de +119, +120 nolu ve K101 kirişinde +112, +114, +118 nolu eğilme çatlakları oluşmuştur. Ayrıca, daha önce oluşan çatlakların ilerlemesi ile +57' ve +95' nolu çatlakların oluşumu gözlemlenmiştir.
-10	-200.52	-6.34	P101'in arka yüzeyinde -87, -88 nolu ve P201 dolgu duvarının ön yüzeyinde -75, -76, -77, -78, -80, -85, -100 nolu, arka yüzeyinde ise -84, -97 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. S202 kolonunda -81, -86, -89, -90, -91, -94 nolu, S102 kolonunda -96, -98 nolu, K101 kirişinde -82, -95, -99 nolu ve K201'de -83, -101 nolu eğilme çatlakları meydana gelmiştir. Ayrıca, S102-K101 birleşimi ön yüzeyinde -92, -93 nolu düşey çatlakların, S201-K101 birleşimi arka yüzeyinde -79 nolu eğik çatlağın ve -12', -34' nolu çatlakların oluşumu gözlemlenmiştir.
+11	221.68	9.65	P101 dolgu duvarının arka yüzeyinde +125, +138 nolu ve P201'in ön yüzeyinde +131, +134 nolu, arka yüzeyinde ise +124, +126, +129, +130, +135 nolu kesme çatlakları meydana gelmiştir. S201 kolonunda +122, +137, +140 nolu, S101'de +127 nolu, K101 kirişinde +121, +128, +132 nolu ve K201 kirişinde +136, +139 nolu eğilme çatlakları oluşmuştur. S101-K101 kolon kiriş birleşimi ön yüzeyinde +123 nolu eğik çatlak, S202-K101 birleşimi arka yüzeyinde +133 nolu eğik çatlak ve +54', +55', +78', +116' nolu çatlaklar meydana gelmiştir.
-11	-220.82	-7.80	P101'in ön yüzeyinde -104, -105, -107 nolu, arka yüzeyinde -102, -103 nolu ve P201 dolgu duvarının ön yüzeyinde -118, -119, -123, -124 nolu, arka yüzeyinde ise -125, -126 nolu kesme çatlaklarının oluşumu gözlemlenmiştir. S102 kolonunda -106, -108, -109, -111 nolu eğilme, -113 nolu kesme çatlağı, S202'de -117, -120, -121, -122 nolu eğilme çatlakları, K101'in ön yüzeyinde -112, -114, -115 nolu eğilme çatlakları meydana gelmiştir. Ayrıca, S202-K101 birleşim bölgesi arka yüzeyinde -116 nolu eğik çatlak oluşmuştur.
+12	236.27	11.87	P101'in ön yüzeyinde +141, +144, +148, +151 nolu kesme çatlakları, arka yüzeyinde +149, +150 nolu yatay çatlaklar ve +153, +153 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. P201 dolgu duvarının ön yüzeyinde +147 nolu kesme çatlağı, K101 kirişinin arka yüzeyinde -152 nolu ve S201 kolonunda -155 nolu eğileme çatlakları meydana gelmiştir. S101 kolonunun K101 kirişi uç bölgesinde -143, -145 nolu düşey çatlaklar ve -142 nolu eğilme, -146 nolu kesme çatlağı oluşmuştur. Ayrıca, daha önce oluşan çatlakların ilerlemesi ile +55" ve +59' çatlaklarının oluşumu gözlemlenmiştir. ***Bu çevrimde; deney numunesi itme yönünde maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır.***
-12	-243.10	-10.08	Deneyin bu çevriminde çatlak oluşumunun, P101 dolgu duvarında yoğunlaştığı görülmüştür. P101'in ön yüzeyinde -128, -130, -131, -132, -133, -135, -137, -138, -139 nolu, arka yüzeyinde -127, -129, -134, -136, -140 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. P201'in ön yüzeyinde -143, -150 nolu kesme çatlakları ve arka yüzeyinde de -152 yatay çatlak ve 153 nolu kesme çatlağı meydana gelmiştir. S202 kolonunda -141, -142, -144, -145, -151 nolu ve K201 kirişinin ön yüzeyinde -146, -148, -149 nolu eğilme çatlakları oluşmuştur. S202-K201 kolon kiriş birleşimi ön yüzeyinde -147 nolu eğik çatlağın ve -54', -89' çatlaklarının oluşumu gözlemlenmiştir. Ayrıca, P101 dolgu duvarının pencere boşluğu sol alt köşesinde betonda ezilmelerin başladığı görülmüştür. ***Bu çevrimde; deney numunesi çekme yönünde maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır.***

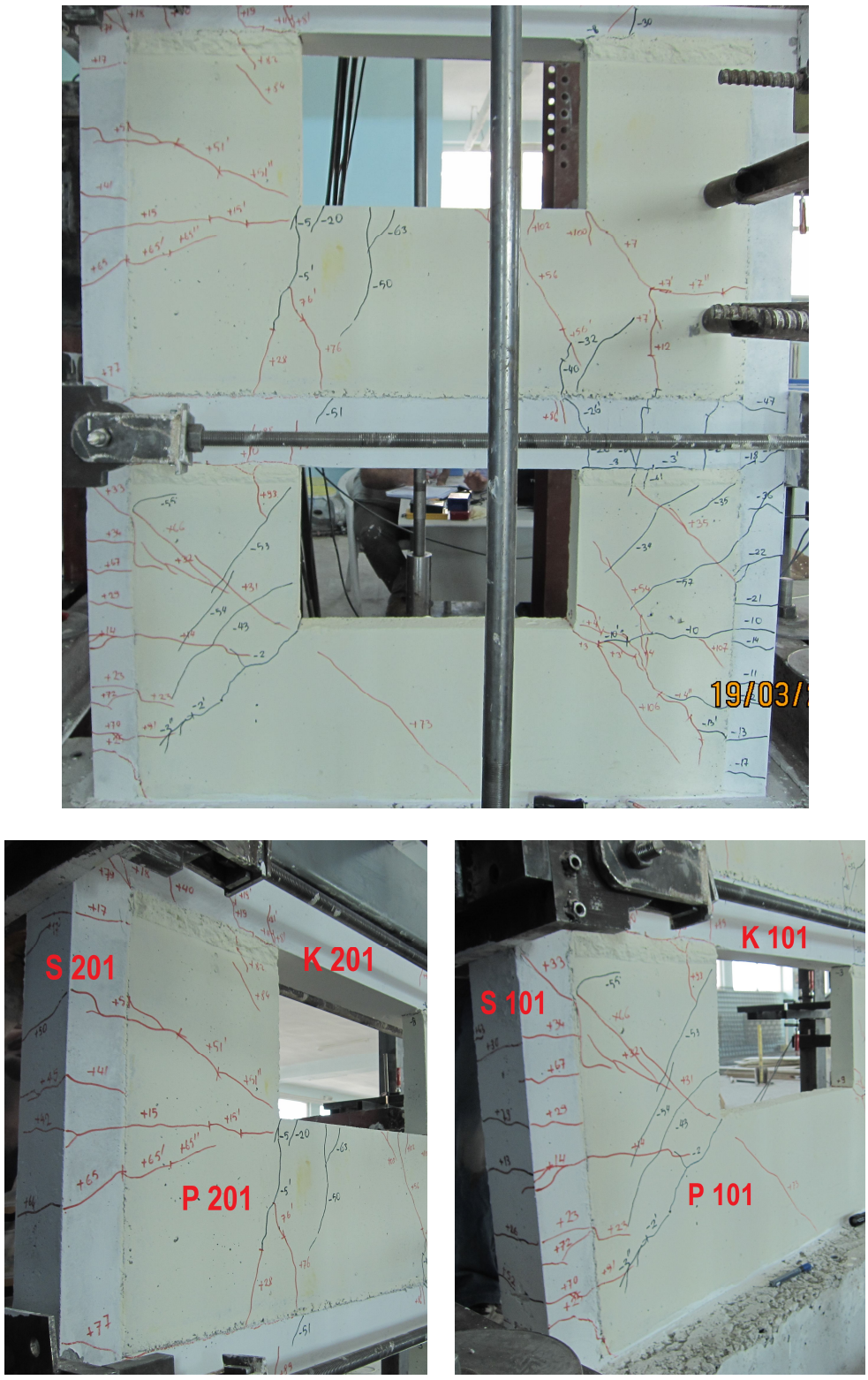
Çizelge 4.5. (Devamı) Deney numunesi 5'de, yük çevrimlerine göre çatlakların dağılımı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlemlenen Çatlak ve Hasar oluşumu
+13	196.26	15.03	Bu çevrimlerde; numunede meydana gelen hasarlardan ve sistem stabilitesinin tehlikeye girmesinden dolayı çatlak numaralandırılması yapılmamıştır. Sadece numunede oluşan hasarların çekilen fotoğraflarla tespiti yapılmıştır. +13. çevrimde, P101'in ön yüzeyi ve arka yüzeyinde pencere boşluğu sol alt köşesinden başlayan ve S101 kolonunun K101 kirişi ile birleşim bölgesine kadar uzanan kesme çatlağı hizasında betonda dökülmeler başlamış ve bu hizada S101 kolundaki +31 nolu kesme çatlağında açılmalar görülmüştür. Yine, P101'in ön ve arka yüzeyinde pencere boşluğu sağ üst köşesinden başlayan ve S102 kolonu ile temel birleşim bölgesine kadar uzanan kesme çatlağının oluştuğu gözlemlenmiş ve P101'in arka yüzeyinde betonda dökülmelerin olduğu görülmüştür. -13 çevriminde, bir önceki çevrimde meydana gelen hasarların simetrisi olacak şekilde hasarların oluşumu gözlemlenmiştir. Ayrıca S102-K101 birleşim bölgesinde betonda ezilmelerin olduğu da görülmüştür. +14. çevrimde, P101 dolgu duvarının pencere boşluğu üst kısmı hizasında hasar boyutu önemli derecede artmış ve pencere boşluğu sağ kısmında betonda önemli derecede dökülmelerin olmasıyla perde gövde donatıları belirgin bir şekilde görünür hale gelmiştir. -14. çevrimde, numunenin alt katında mevcut hasarların arttığı gözlemlenmiş ve deney sonlandırılmıştır.
-13	-61.25	-22.43	
+14	60.00	22.69	
-14	-38.59	-29.91	

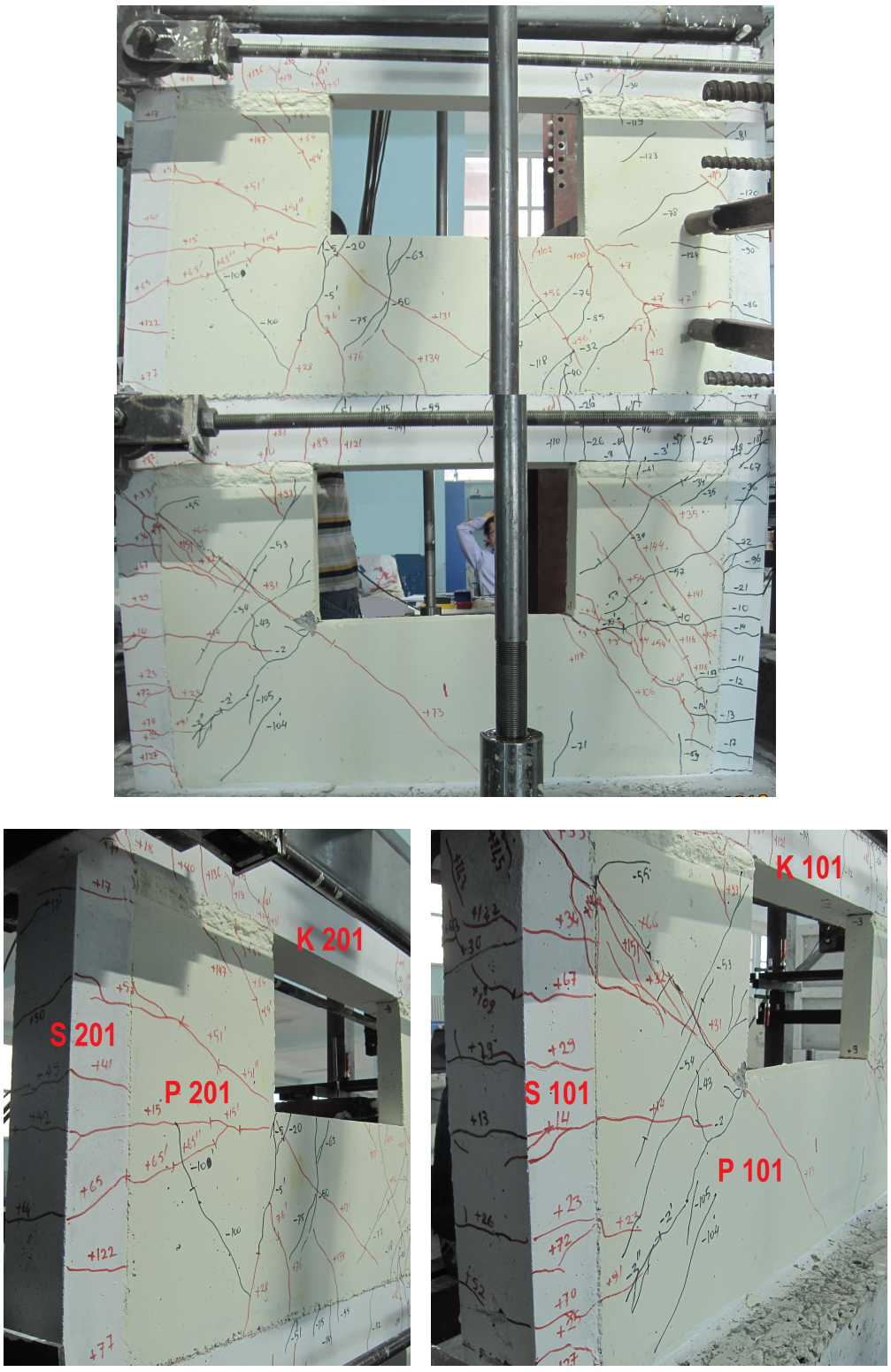
Deney numunesi 5'de, oluşan ilk çatlaklar Şekil 4.87'de verilmiştir. İtme yönü için numunede meydana gelen hasarların durumu, akma konumunda Şekil 4.88'de, maksimum yüklemede Şekil 4.89'da, göçme konumu için Şekil 4.90'da verilmiştir. Numunenin deney sonrası görünümü Şekil 4.91, Şekil 4.92 ve Şekil 4.93'de verilmiştir. Numunenin deney sonrası şematik gösterimi ise Şekil 4.94 ve Şekil 4.95'de verilmiştir.



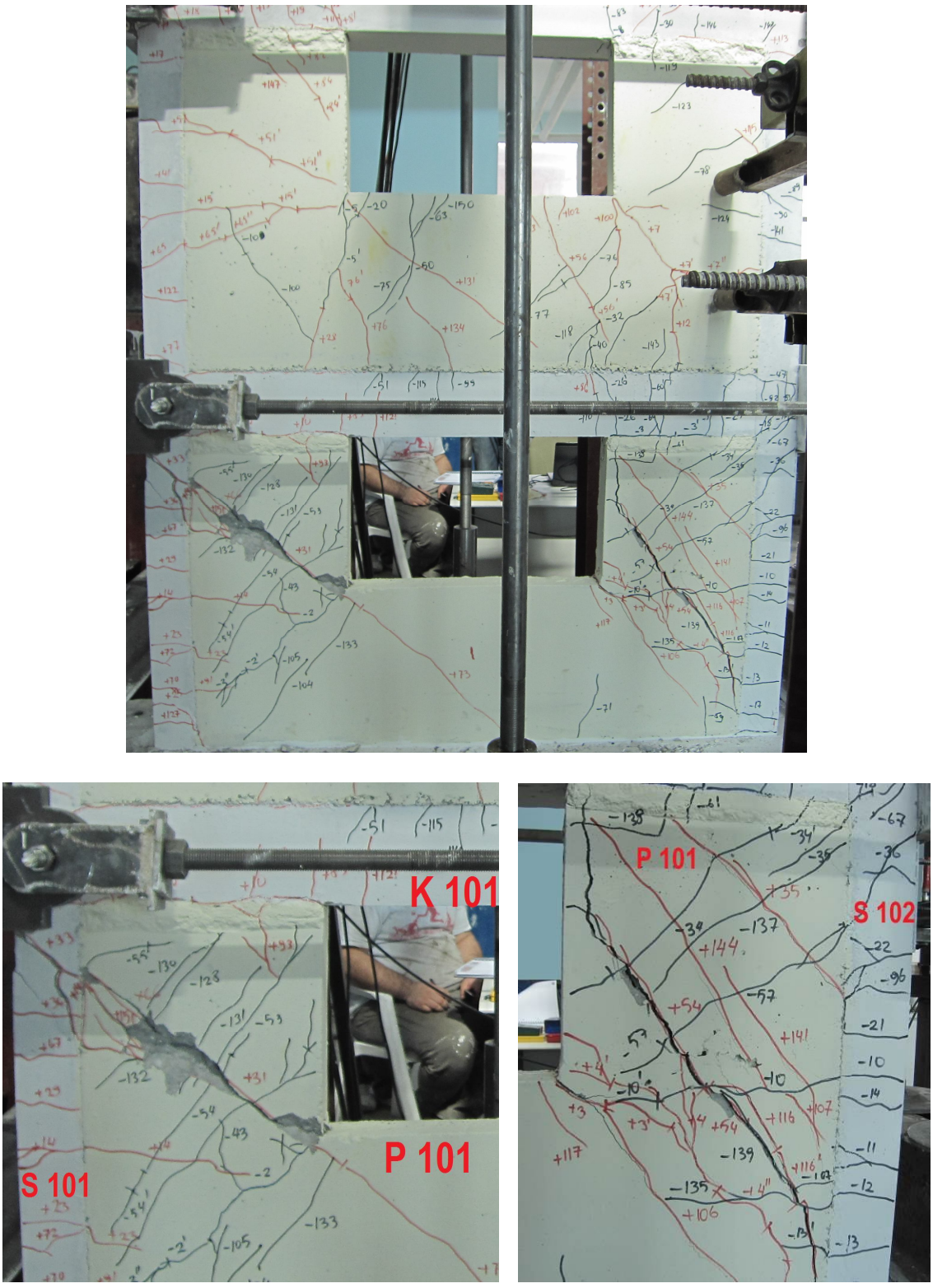
Şekil 4.87. Deney numunesi 5'de, itme ve çekme çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar



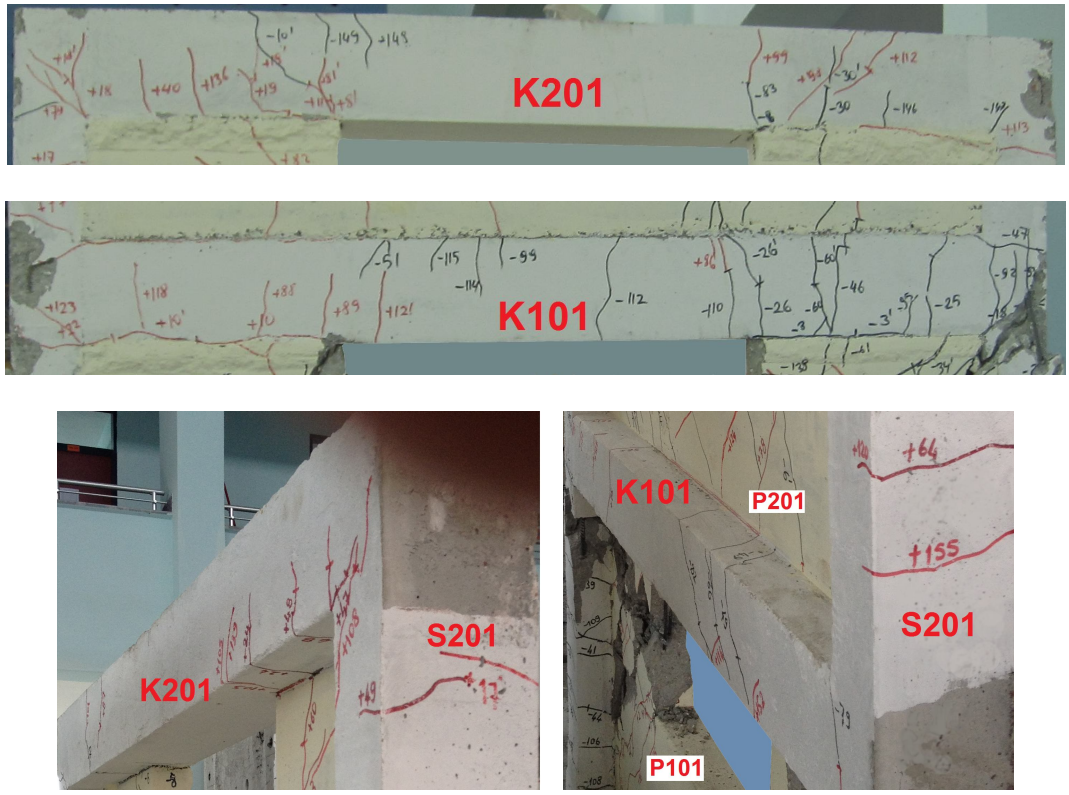
Şekil 4.88. Deney numunesi 5'in, akma konumuna ait görünümü (+9 itme çevrimi)



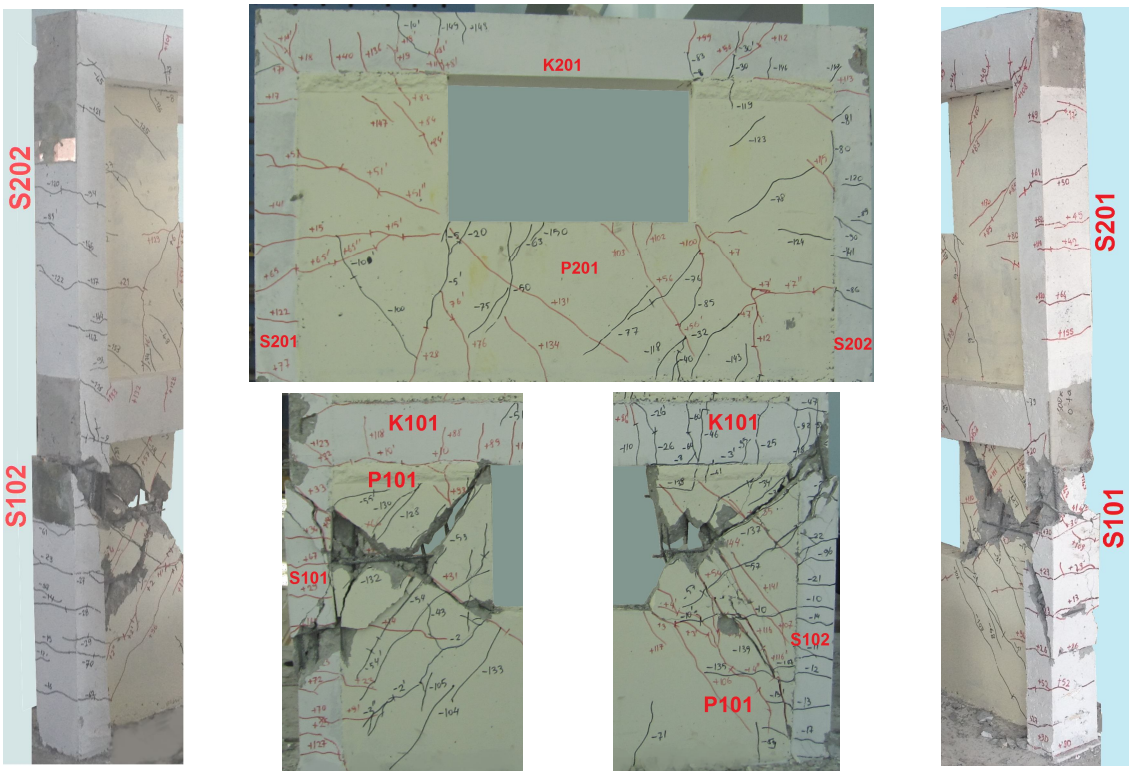
Şekil 4.89. Deney numunesi 5'de maksimum yüklemede oluşan çatlakların görünümü (+12 itme çevrimi)



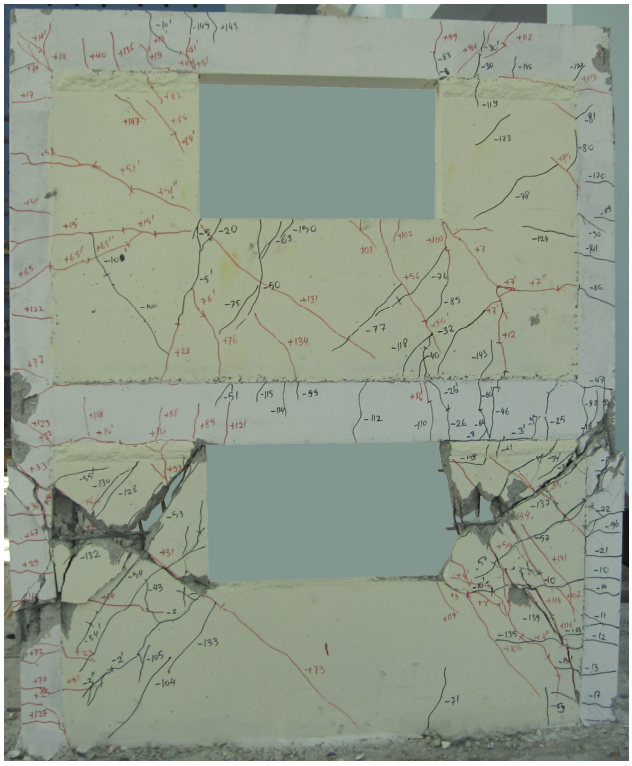
Şekil 4.90. Deney numunesi 5'in, göçme konumuna ait görünümü (+13 itme çevrimi)



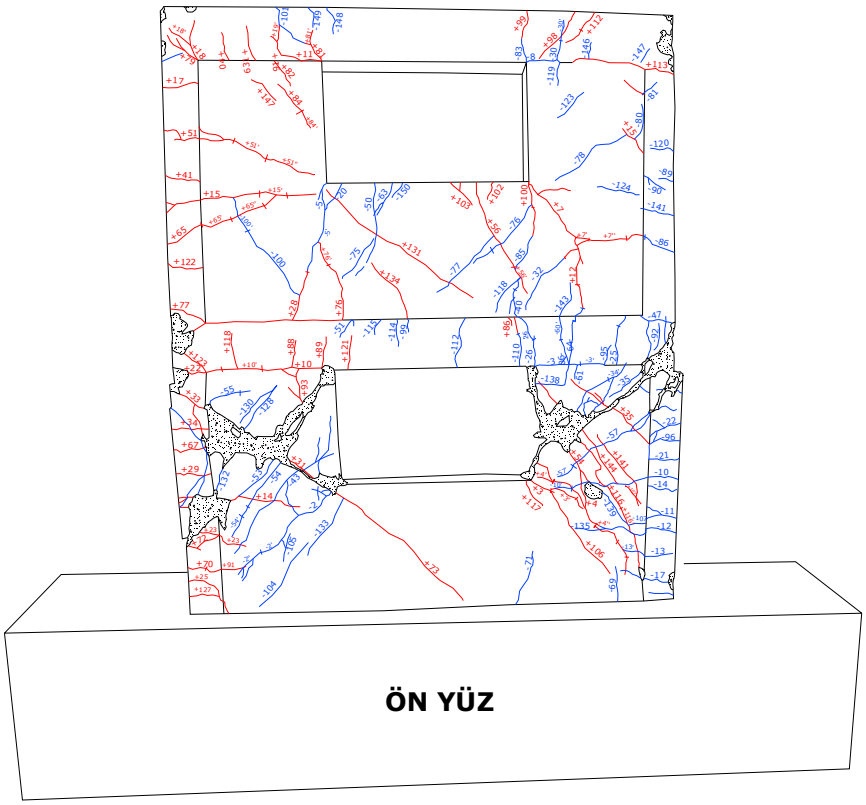
Şekil 4.91. Deney numunesi 5'in kirişlerinde oluşan çatlakların deney sonrası görünümü



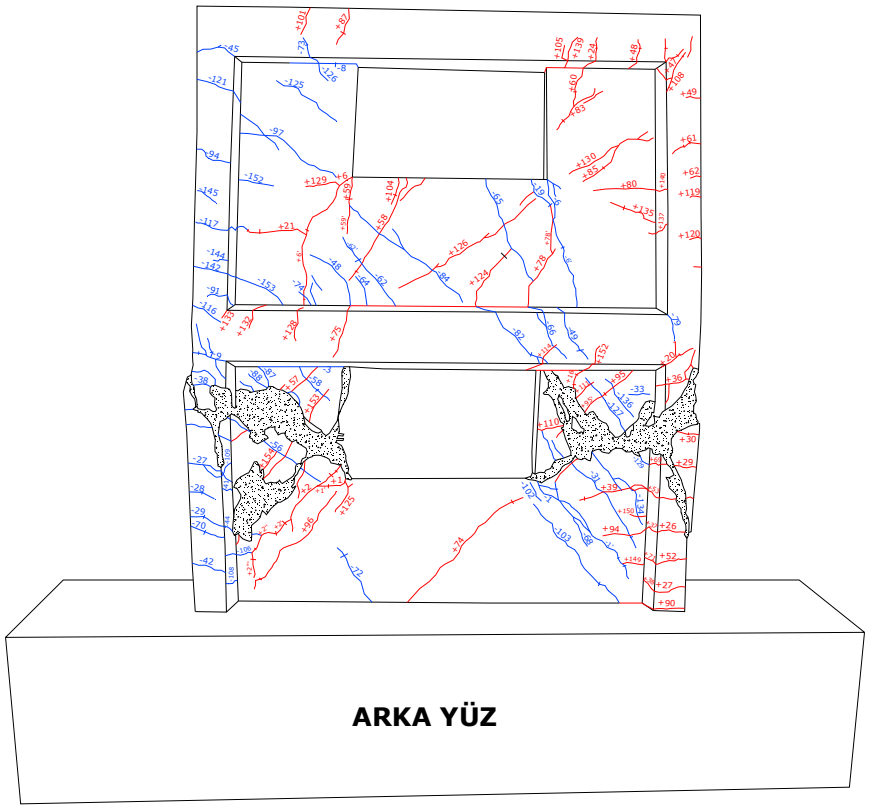
Şekil 4.92. Deney numunesi 5'de oluşan hasarların deney sonrası görünümü



Şekil 4.93. Deney numunesi 5'in deney sonrası ön yüzden görünümü

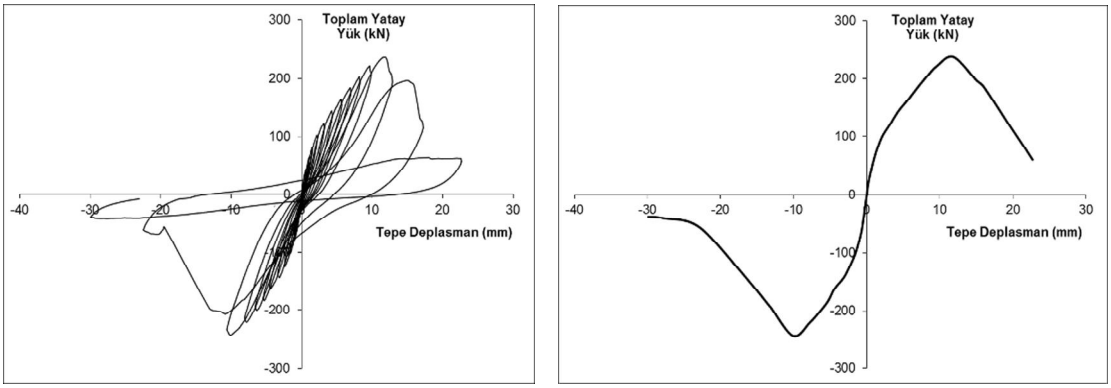


Şekil 4.94. Deney numunesi 5'de oluşan çatlakların ve hasarların, ön yüzden şematik olarak gösterimi

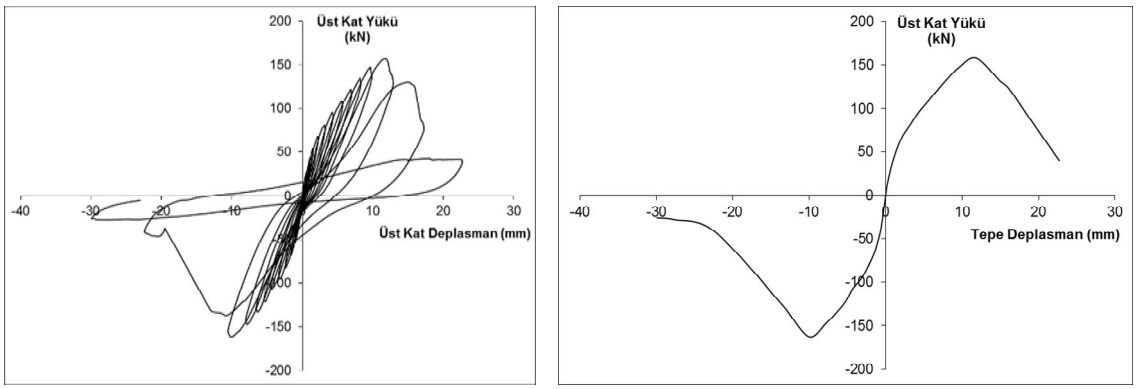


Şekil 4.95. Deney numunesi 5'de oluşan çatlakların ve hasarların, arka yüzden şematik olarak gösterimi

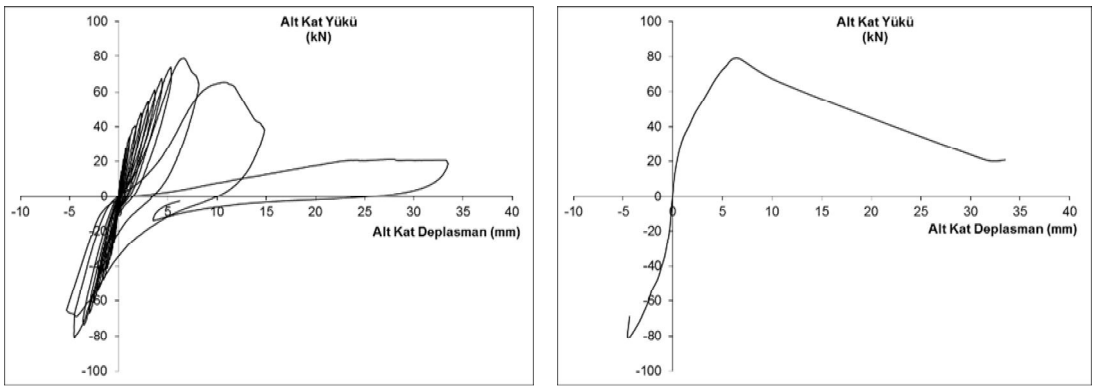
Deney numunesi 5'e ait toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve bu histeresis eğrisine ait dayanım zarfı eğrisi Şekil 4.96'da verilmiştir. Deneyde, numunenin üst katında ölçülen yatay yüke karşılık gelen deplasmanının çevrimsel histeresis eğrisi Şekil 4.97'de, alt kat için ise Şekil 4.98'de verilmiştir. Ayrıca; üst katta meydana gelen göreceli kat ötelenmesinin, üst kat yatay yüküne göre çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi Şekil 4.99'da ve alt katta meydana gelen göreceli kat ötelenmesinin, alt kat yatay yüküne göre çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi Şekil 4.100'de verilmiştir.



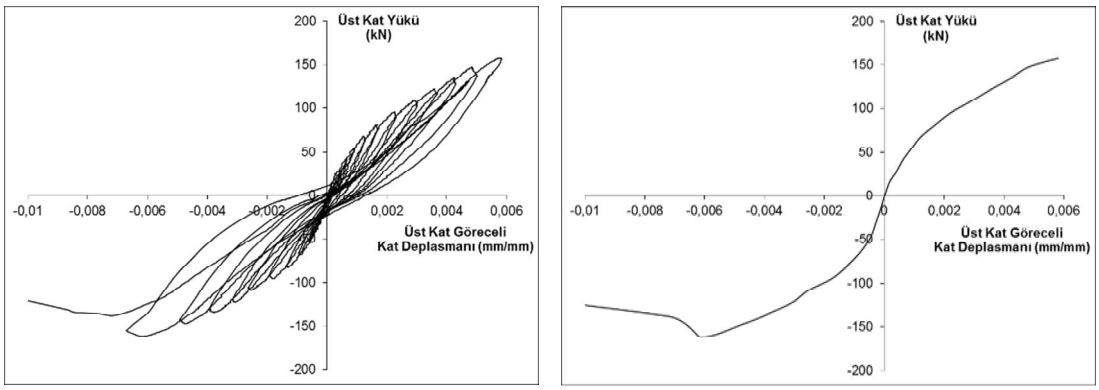
Şekil 4.96. Toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWMBW)



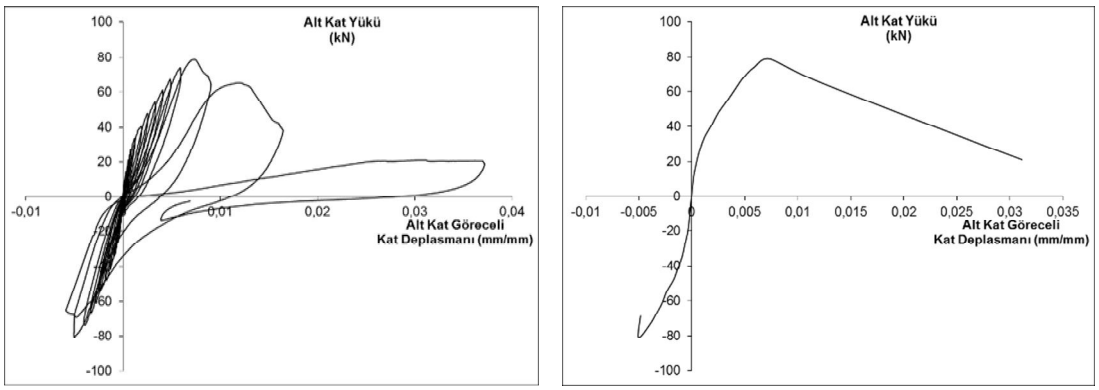
Şekil 4.97. Üst kat yatay yükü-üst kat tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi (ISWMBW)



Şekil 4.98. Alt kat yatay yükü-alt kat tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWMBW)

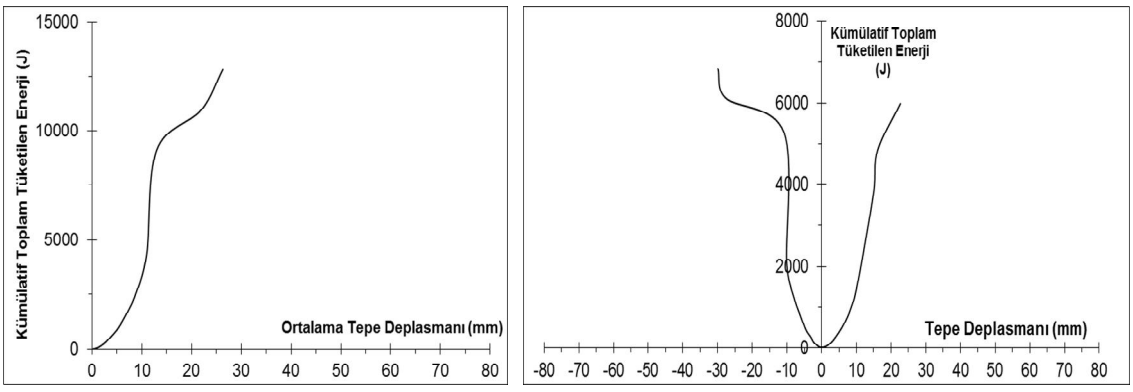


Şekil 4.99. Üst kat yatay yükü-üst kat göreceli kat ötelenmesi çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWMBW)



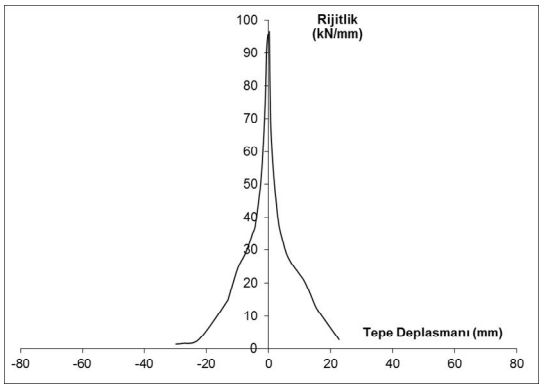
Şekil 4.100. Alt kat yatay yükü-alt kat göreceli kat ötelenmesi çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWMBW)

Toplam tepe deplasmanı-üst kat yükü histeresis eğrilerinin altında kalan alanın hesaplanması ile numunenin enerji tüketme kapasitesi hesaplanmış ve Şekil 4.101'de verilmiştir.

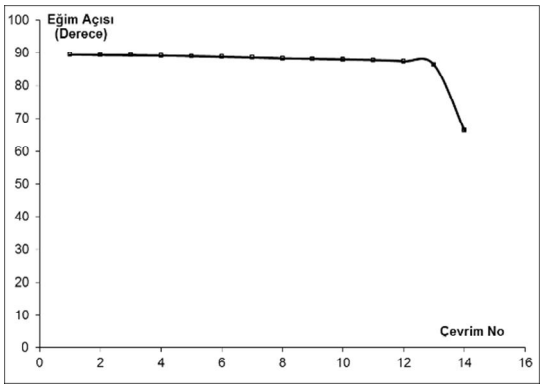


Şekil 4.101. Tüketilen enerji-deplasman grafiği (ISWMBW)

Deneyin her bir çevriminde elde edilen maksimum yatay yük değerlerinin, bunlara karşılık gelen yatay deplasman değerlerine oranlanması ile her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri hesap edilmiştir (Şekil 4.102). İtme çevrimleri için elde edilen değerler şeklin sağında, çekme çevrimleri için hesaplanan değerler grafiğin solunda verilmiştir. Şekil 4.103'de ise her bir çevrimdeki eğim açısı belirlenmiş ve grafiksel olarak verilmiştir.

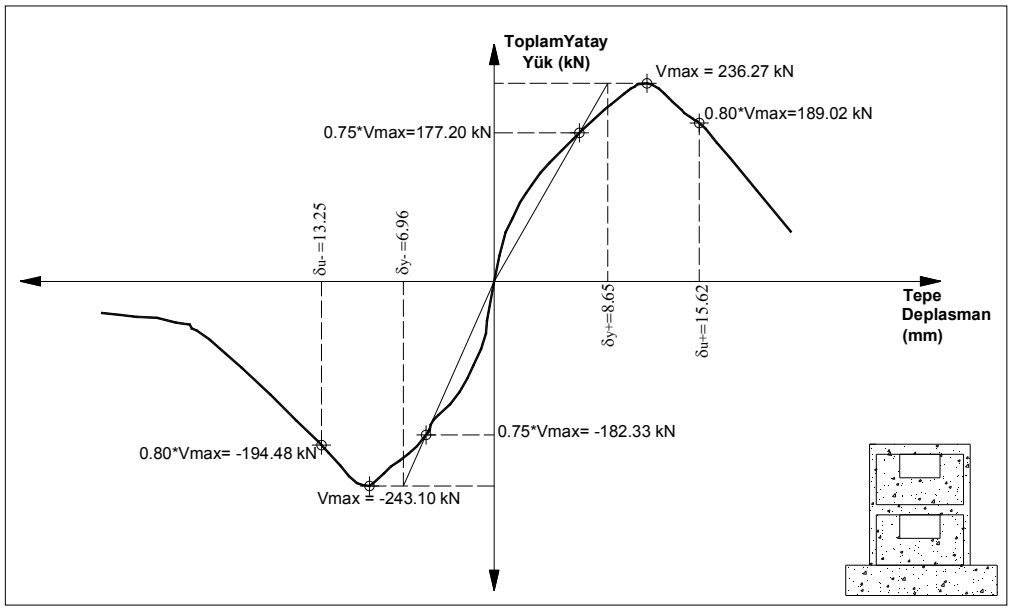


Şekil 4.102. Rijitlik azalımı grafiği (ISWMBW)



Şekil 4.103. Her bir çevrimde oluşan eğim açısı (ISWMBW)

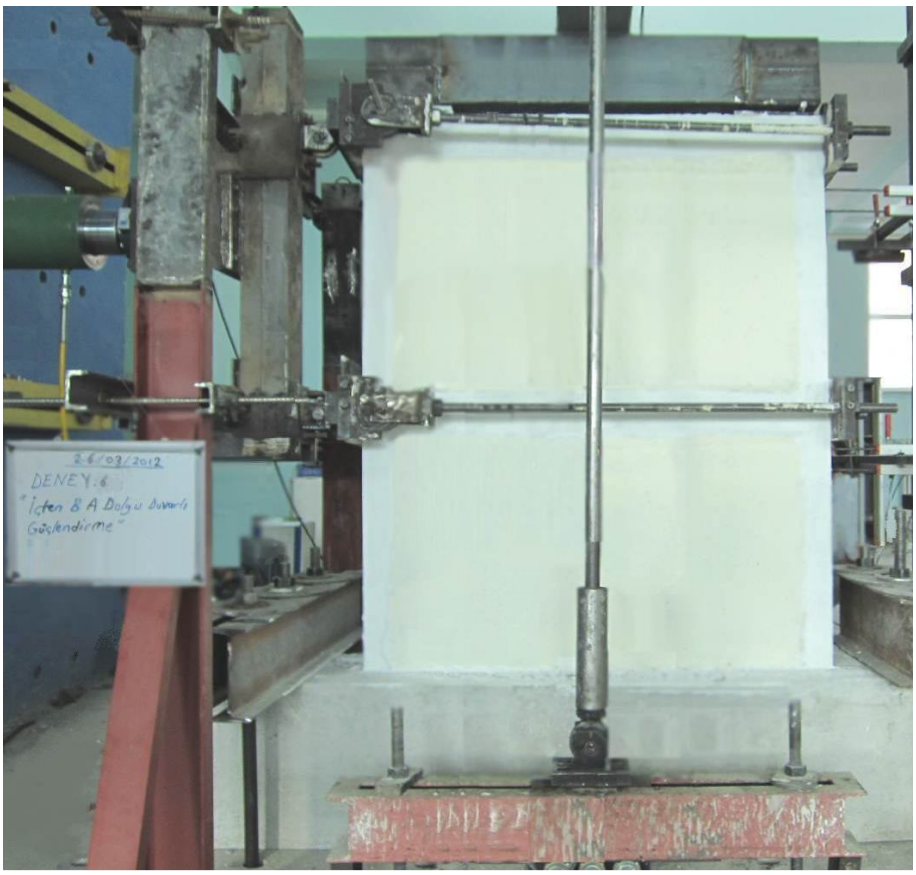
Deney numunesi 5'in süneklik değerlendirilmesinin yapılabilmesi için oluşturulan grafik Şekil 4.104'de verilmiştir.



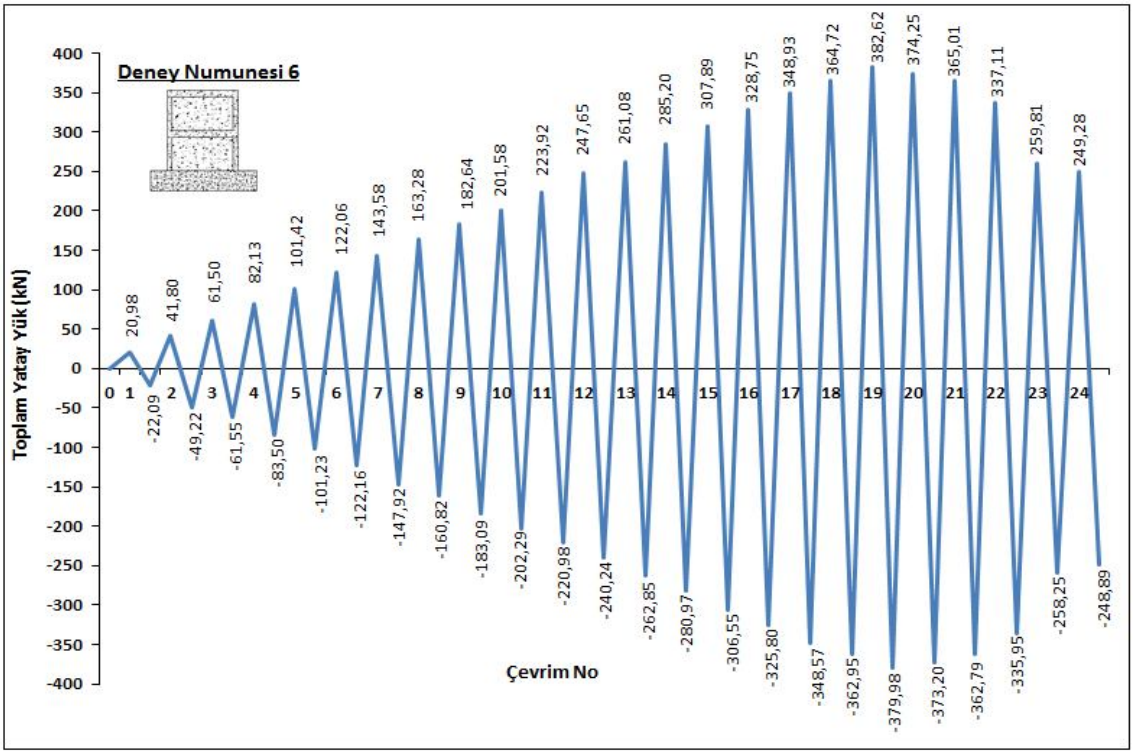
Şekil 4.104. Sistem sünekliğinin değerlendirilmesi grafiği (ISWMBW)

4.1.6. Pencere boşluksuz betonarme dolgu duvarlı numune

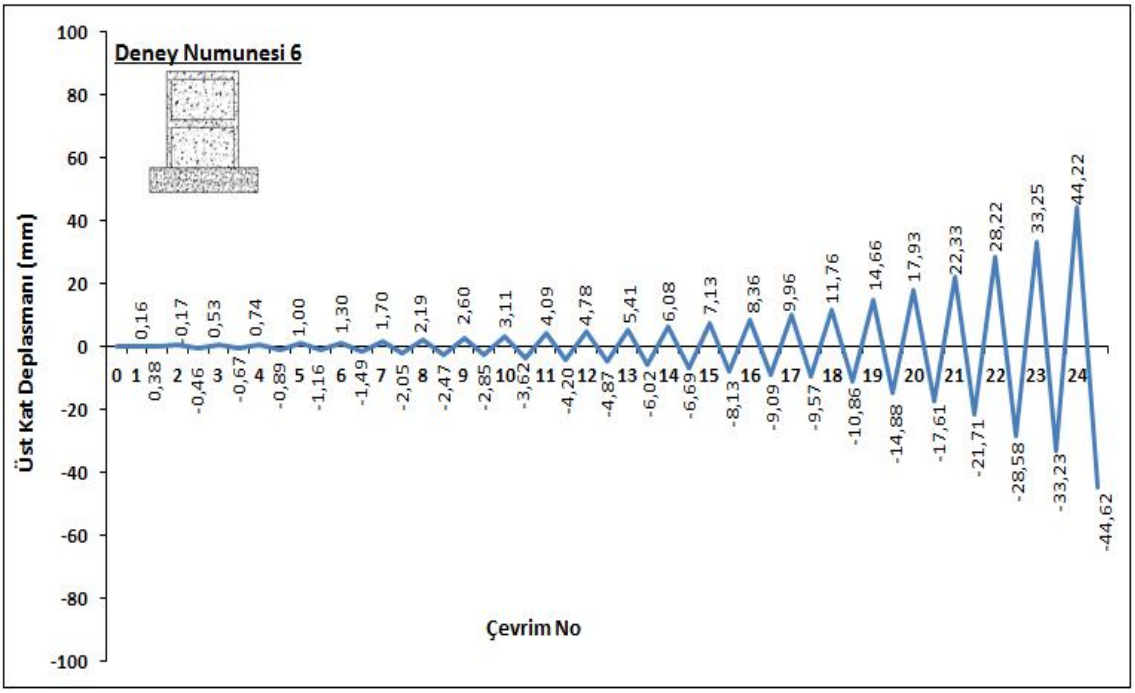
Betonarme dolgu duvarlarında pencere boşluğu olmayan bu numunenin, deney düzeneğine yerleştirilmiş durumu Şekil 4.105'de verilmiştir. Bu numuneye, deneyde uygulanan yük geçmişi, yatay yüke göre Şekil 4.106'da, tepe deplasmana göre ise Şekil 4.107'de verilmiştir. Deney numunesi 6'ya, itmede ve çekmede 24 yük çevrimi uygulanmıştır.



Şekil 4.105. Deney Numunesi 6'nın deney öncesi görünümü (ISWF)



Şekil 4.106. Deney numunesi 6'ya uygulanan yükleme geçmişi grafiği (yatay yüke göre)



Şekil 4.107. Deney numunesi 6'ya uygulanan yükleme geçmişi grafiği (tepe deplasmana göre)

Yük kontrollü olarak başlayan deney, numune maksimum yük taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra deplasman kontrollü olarak devam ettirilmiştir. Deney numunesi 6, 19. çevrimde, itmede maksimum 382.62 kN yatay yüke, çekmede maksimum 379.98 kN yatay yüke dayanmıştır. Deney numunesi 6'nın, +19. çevrimde ölçülen tepe deplasmanının 14.66 mm, -19. çevrimde ise 14.88 mm olduğu görülmüştür. Deney numunesine; itme çevrimlerde en fazla 44.22 mm, çekme çevrimlerinde ise en fazla 44.62 mm deplasman seviyelerine kadar yükleme yapılmıştır. +24 çevriminde numunede büyük hasarlar oluşumu gözlemlendiği için deney sonlandırılmıştır.

Deney sırasında numuneye, toplam 86 kN eksenel yük verilmiştir. Böylelikle numunenin, S 101-S 201 ve S 102-S 202 kolonlarına 43 kN'luk eksenel yük uygulanmıştır. Buna göre; ortalama basınç dayanımı 17.29 MPa ve 150x100 mm kesitinde olan kolonlara, taşıma kapasitelerinin yaklaşık %20'si kadar eksenel yük uygulanmıştır.

Deney numunesi 6'nın denenmesi sırasında, numunede oluşan çatlak ve hasar durumu, yatay yük-tepe deplasman değerleri ile birlikte Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Deney numunesi 6'da, yük çevrimlerine göre çatlakların dağılımı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlemlenen Çatlak ve Hasar oluşumu
+1(itme)	20.98	0.16	Deney numunesi 6'ya uygulanan bu çevrimlerde herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir.
-1 (çekme)	-22.09	-0.17	
+2	41.80	0.38	
-2	-49.22	-0.46	
+3	61.50	0.53	
-3	-61.55	-0.67	
+4	82.13	0.74	
-4	-83.50	-0.89	
+5	101.42	1.00	
-5	-101.23	-1.16	
+6	122.06	1.30	
-6	-122.16	-1.49	P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde -2, -5, -10 nolu, arka yüzeyinde ise -3, -4 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. Ayrıca, P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde, S102 kolonunda oluşan -6 ve -8 nolu eğilme çatlakları hizasında yatay çatlaklar oluşmuştur. S102 kolonu ön yüzeyinde -7, -9 nolu eğilme çatlaklarının oluşumu da gözlemlenmiştir. P201'in arka yüzeyinde -12 nolu kesme çatlağı, P101-K101 birleşimi ön yüzeyinde -11 nolu yatay çatlak ve P201-K101-S202 birleşimi ön yüzeyinde -1 nolu çatlak meydana gelmiştir.
+7	143.58	1.70	P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde +3, +5 nolu yatay çatlaklar ve arka yüzeyinde ise +4 nolu kesme çatlağı meydana gelmiştir. P101 ile temel birleşimi arka yüzeyinde +6 nolu yatay çatlak, S201-K101 birleşimi ön yüzeyinde +2 nolu eğik çatlak ve S201 kolonunda +1 nolu eğilme çatlağı oluşmuştur.
-7	-147.92	-2.05	P101'in ön yüzeyinde -19, -22 nolu, arka yüzeyinde -16, -18 nolu kesme çatlakları ve yine arka yüzeyinde -15 nolu yatay çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. S102 kolonunda -17, -21, -23, -24 nolu eğilme çatlakları ve S202'de -13 nolu eğilme çatlağı oluşmuştur. Ayrıca, S102-K101 kolon kiriş birleşimi arka yüzeyinde -20 nolu eğik çatlak, S202-K101 birleşim bölgesi ön yüzeyinde -14 nolu eğik çatlak ve -10' çatlağı meydana gelmiştir.
+8	163.28	2.19	S101 kolonunda +7, +8, +9, +10, +11, +12, +13, +14, +15 nolu eğilme çatlakları oluşmuştur. P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde +16 nolu yatay çatlak ve +20 nolu kesme çatlağı meydana gelmiştir. P101'in arka yüzeyinde +17, +18 nolu kesme çatlakları, P101 temel birleşimi ön yüzeyinde +19 nolu yatay çatlak ve S201-K101-P201 birleşimi ön yüzeyinde +21 nolu çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. Ayrıca, P101 dolgu duvarının ön yüzeyindeki +5 nolu yatay çatlağın, S101 kolonuna kadar ilerlemesi ile +5' çatlağı oluşmuştur.
-8	-160.82	-2.47	P101'in arka yüzeyinde -26 nolu kesme çatlağı, P201'in ön yüzeyinde -27 nolu düşey çatlak, arka yüzeyinde ise -31 nolu kesme çatlağı oluşmuştur. S102 kolonunda -25, -28, -29, -30 nolu eğilme çatlakları meydana gelmiştir. Ayrıca, daha önce oluşan çatlakların ilerlemesi ile -8', -16', -24' nolu çatlaklar oluşmuştur.

Çizelge 4.6. (Devamı) Deney numunesi 6'da, yük çevrimlerine göre çatlakların dağılımı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlemlenen Çatlak ve Hasar oluşumu
+9	182.64	2.60	P101'in ön yüzeyinde +25 nolu düşey çatlak, +22, +28, +29 nolu kesme çatlakları, arka yüzeyinde ise +26, +31 nolu kesme çatlakları, +27, +30 nolu yatay çatlaklar oluşmuştur. S101 kolonunda +23, +24 nolu eğilme çatlakları, K101'in ön yüzeyinde +32 nolu çatlak ve P201 dolgu duvarının ön yüzeyinde +22 nolu düşey çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca, daha önce oluşan çatlakların ilerlemesi ile +4', +7', +9', +10', +11', +18' nolu çatlaklar oluşmuştur.
-9	-183.09	-2.85	P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde -32, -34, -40 nolu, arka yüzeyinde -33, -35, -36, -37 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. S102 kolonunda -39, -41, -42, -43 nolu eğilme çatlakları, K101 kirişinin ön yüzeyinde -38 nolu eğilme çatlağı ve -3', -15', -16", -17', -21', -28', -30' çatlakları meydana gelmiştir. Ayrıca, P101 dolgu duvarı ile temel birleşimi bölgesinde yatay çatlak oluşmuştur.
+10	201.58	3.11	P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde +33, +39 nolu kesme çatlakları ve +35 nolu yatay çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. P101'in arka yüzeyinde ise +37, +38 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. S101 kolonunda +34, +36 nolu eğik çatlaklar ve +41 nolu eğilme çatlağı meydana gelmiştir. Ayrıca, K101 kirişinin ön yüzeyinde +40 nolu eğilme çatlağı ve daha önceki çevrimlerde oluşan çatlakların ilerlemesi ile +1', +11", +14', +28' nolu çatlakların oluşumu gözlemlenmiştir.
-10	-202.29	-3.62	P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde -44, -45 nolu kesme çatlakları ve -48 nolu yatay çatlak oluşmuştur, arka yüzeyinde ise -46 nolu kesme çatlağı oluşmuştur. S102'de -47 nolu, S202'de -49, -50, -51 nolu eğilme çatlakları meydana gelmiştir. P201 dolgu duvarının arka yüzeyinde -52 nolu kesme çatlağı ve daha önceki çevrimlerde oluşan çatlakların ilerlemesi ile -3", -12', -13', -31' nolu çatlakların oluşumu gözlemlenmiştir.
+11	223.92	4.09	Deneyin bu çevriminde; P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde +42, +43, +47 nolu, arka yüzeyinde de +45 nolu ve P201'in arka yüzeyinde +48 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. S101 kolonunda +44 nolu, S201 kolonunda +49, +50, +51, +52 nolu eğilme çatlakları meydana gelmiştir. Ayrıca, S101-K101 birleşimi ön yüzeyinde +46 nolu eğik çatlağın ve +1", +7", +30', +38' nolu çatlaklarının oluşumu gözlemlenmiştir.
-11	-220.98	-4.20	P101 dolgu duvarının arka yüzeyinde -53 nolu ve P201'in ön yüzeyinde -59 nolu kesme çatlakları meydana gelmiştir. K101 kirişinin ön yüzeyinde -54, -55, -56, -57 nolu, arka yüzeyinde ise -62 nolu eğilme çatlakları ve K201 kirişinin ön yüzeyinde -61 nolu eğilme çatlağı oluşmuştur. Ayrıca, S202 kolonunda -58, -60 nolu eğilme çatlakları ve daha önce oluşan çatlakların ilerlemesi ile -15", -28', -29', -33', -40' nolu çatlaklar oluşmuştur.
+12	247.65	4.78	P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde +58, +59, +60, +61 nolu, arka yüzeyinde +53 nolu ve P201'in ön yüzeyinde +54 nolu, arka yüzeyinde ise +57 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. S201 kolonunun ön yüzeyinde +55, +56 nolu eğik çatlaklar meydana gelmiştir. Ayrıca, daha önceki çevrimlerde oluşan çatlakların ilerlemesi ile +17', +29', +46', +50', +52' nolu çatlaklar oluşmuştur.
-12	-240.24	-4.87	P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde -63, -64, -68, -69, -70, -71 nolu, arka yüzeyinde -65 nolu ve P201'in ön yüzeyinde -73 nolu, arka yüzeyinde ise -72, -74 nolu kesme çatlakları meydana gelmiştir. S102 kolonunda -66 nolu, S202'de -75, -77, -78, -79 nolu ve K201 kirşinin ön yüzeyinde -76 nolu eğilme çatlakları oluşmuştur. Ayrıca, S102-K101 kolon kiriş birleşimi ön yüzeyinde -67 nolu eğik çatlağın ve -20', -53', -60' nolu çatlaklarının oluşumu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.6. (Devamı) Deney numunesi 6'da, yük çevrimlerine göre çatlakların dağılımı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlemlenen Çatlak ve Hasar oluşumu
+13	261.08	5.41	P101'in ön yüzeyinde +63 nolu, arka yüzeyinde +65 nolu kesme çatlakları ve S201 kolonunda +66, +67, +68 nolu eğilme çatlakları oluşmuştur. Ayrıca, S101-K101 kolon kiriş birleşimi arka yüzeyinde +64 nolu eğik çatlağın ve +17', +45', +61' çatlaklarının oluşumu gözlemlenmiştir.
-13	-262.85	-6.02	P101'in ön yüzeyinde -97, -99, -101, -102, nolu, arka yüzeyinde -82, -86 nolu kesme çatlakları ve P201'in ön yüzeyinde -80 nolu kesme çatlağı, -84 nolu düşey çatlak, arka yüzeyinde ise -98 nolu kesme çatlağı oluşmuştur. S202 kolonunda -90, -91, -92, -93, -94, -95 nolu, S102'de -83 nolu, K101 kirişinde -85, -87, -88, -100 nolu ve K201 kirişinde -81 nolu eğilme çatlakları meydana gelmiştir. Ayrıca, S102-K101 birleşimi ön yüzeyinde -89 nolu düşey çatlak, S202-K201 birleşimi arka yüzeyinde -96 nolu eğik çatlak ve -53", -62', -70' çatlakları oluşmuştur.
+14	285.20	6.08	Deneyin bu çevriminde; P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde +69 nolu kesme çatlağı ve daha önceki çevrimlerde oluşan çatlakların ilerlemesi ile +17", +54' nolu çatlaklar oluşmuştur.
-14	-280.97	-6.69	P101'in ön yüzeyinde -103 nolu ve P201'in ön yüzeyinde -105, -107 nolu, arka yüzeyinde ise -104 nolu kesme çatlakları meydana gelmiştir. S202 kolonu iç yüzeyinde -106 nolu eğik çatlak, K101 kirişinin arka yüzeyinde -107 nolu eğilme çatlağı ve -65, -70', -80 çatlaklarının ilerlemesi ile -65', -70", -80' nolu çatlaklar oluşmuştur.
+15	307.89	7.13	P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde +73 nolu yatay çatlak, yine ön yüzeyinde +75 nolu kesme çatlağı ve arka yüzeyinde +70 nolu kesme çatlağı oluşmuştur. P201'in ön yüzeyinde +71 nolu düşey çatlak, yine ön yüzeyinde +80, +81, +85 nolu kesme çatlakları ve arka yüzeyinde ise +78, +88 nolu kesme çatlakları meydana gelmiştir. S201 kolonunda +77, +79, +82, +86, +87 nolu, K101 kirişinin arka yüzeyinde +74, +76 nolu ve K201'in ön yüzeyinde +83 nolu eğilme çatlakları oluşmuştur. Ayrıca, S202-K101 birleşimi arka yüzeyinde +72 nolu eğik çatlağın, S201-K201 birleşimi arka yüzeyinde +84 nolu eğik çatlağın ve +26", +51', +61" çatlaklarının oluşumu gözlemlenmiştir.
-15	-306.55	-8.13	P201 dolgu duvarının ön yüzeyinde -109, -110, -111 nolu kesme çatlakları, K201 kirişinin ön yüzeyinde -112 nolu eğilme çatlağı ve S102 kolonunun iç yüzeyinde -108 nolu eğilme çatlağı oluşmuştur. Ayrıca, -33', -86, -101 ve -104 çatlaklarının ilerlemesi ile -33", -86', -101' ve -104' nolu çatlakların oluşumu gözlemlenmiştir.
+16	328.75	8.36	P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde +103, +105, +108 nolu, arka yüzeyinde +97, +98 nolu ve P201'in ön yüzeyinde +89, +93, +94 (yatay çatlak), +95, +96, +99 nolu, arka yüzeyinde ise +101, +104, +106, +107, +109, +110 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. S201 kolonunda +91, +102 nolu eğilme çatlakları, S101'in dış yüzeyinde +90 (düşey), +92 (eğik) çatlaklar ve K101 kirişinin ön yüzeyinde +100 nolu eğilme çatlağı meydana gelmiştir. Ayrıca, daha önceden oluşan +58 nolu çatlağın ilerlemesi ile +58' çatlağının oluşumu gözlemlenmiştir.
-16	-325.80	-9.09	P101'in ön yüzeyinde -116, -118 nolu, arka yüzeyinde -114 nolu ve P201'in ön yüzeyinde -113, -115 nolu, arka yüzeyinde ise -117 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. K101 kirişinin ön yüzeyinde -120, -121 nolu, arka yüzeyinde -119, -122, -123 nolu eğilme çatlakları ve -61', -103' çatlakları meydana gelmiştir.
+17	348.93	9.96	P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde +114, +116, +117 nolu, arka yüzeyinde +111 nolu ve P201 dolgu duvarının arka yüzeyinde +115 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. K201 kirişinin ön yüzeyinde +112 nolu eğilme çatlağı, S201-K201 birleşimi ön yüzeyinde +113 nolu eğik çatlak ve +95', +99' nolu çatlaklar meydana gelmiştir.
-17	-348.57	-9.57	Bu çevrimde; numunede çatlak oluşmamıştır.

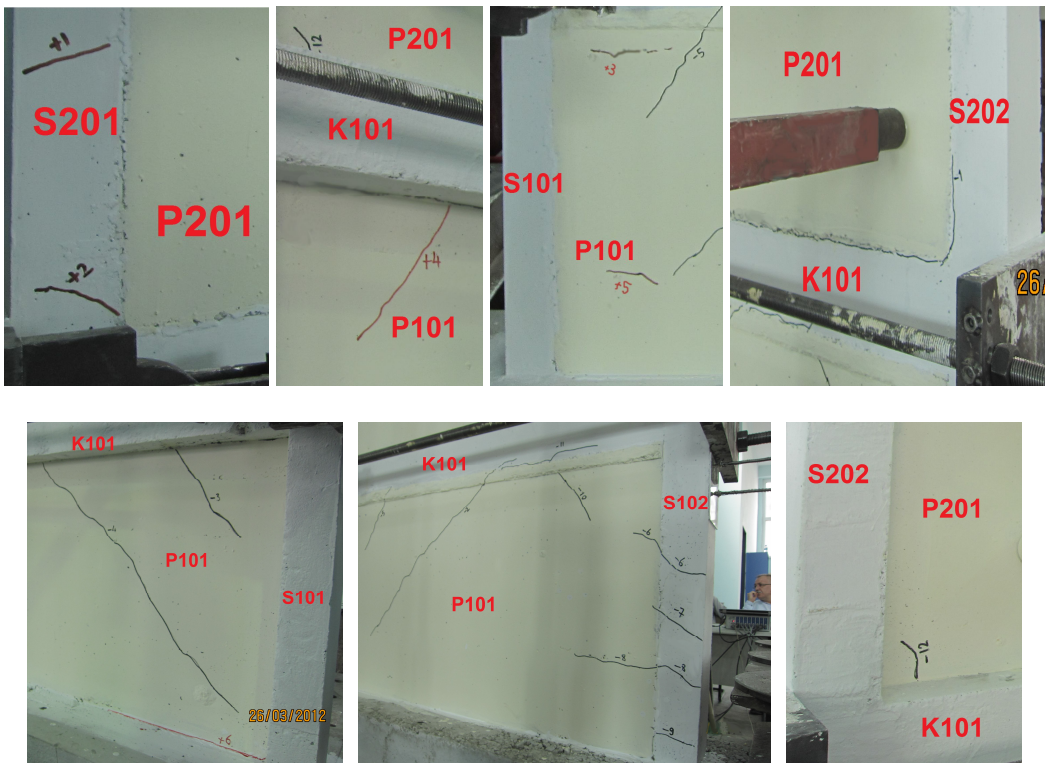
Çizelge 4.6. (Devamı) Deney numunesi 6'da, yük çevrimlerine göre çatlakların dağılımı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlemlenen Çatlak ve Hasar oluşumu
+18	364.72	11.76	Bu çevrimde; S101-P101 birleşimi alt bölgesinde ve P101-temel birleşimi sağ bölgesinde, birleşim yüzeylerinde ayrışmaların olduğu net bir şekilde görülmüştür. Benzer durum P201-K101 birleşimi ön yüzeyinde görülmüştür. P101'in ön yüzeyinde +118, +119 nolu, arka yüzeyinde +120 nolu ve P201'in ön yüzeyinde +121 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. P201'in arka yüzeyinde +122 nolu düşey çatlak ve K101 kirişinin ön yüzeyinde +123, +124 nolu eğilme çatlakları meydana gelmiştir. Ayrıca, daha önceden oluşan çatlakların ilerlemesi ile +70', +95", +105', +106', +111', +113', +114' ve +115' çatlaklarının oluşumu gözlemlenmiştir.
-18	-362.95	-10.86	P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde -130, -137, -138, -140 nolu, arka yüzeyinde -124, -125, -128, -131, -132, -133 nolu ve P201 dolgu duvarının ön yüzeyinde -126, -127 nolu, arka yüzeyinde ise -136, -139 nolu kesme çatlakları meydana gelmiştir. K101 ön yüzeyinde -134, -135 nolu ve K201'in ön yüzeyinde -129 nolu eğilme çatlakları oluşmuştur. Ayrıca, S201-K201 birleşimi arka yüzeyinde -141 nolu eğik çatlağın ve -86", -114' çatlaklarının oluşumu gözlemlenmiştir.
+19	382.62	14.66	P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde +130, +131, +132 nolu, arka yüzeyinde +128 nolu ve P201'in ön yüzeyinde +126 nolu kesme çatlakları oluşmuştur. S101-K101 birleşimi ön yüzeyinde +125 nolu, S201-K201 birleşimi arka yüzeyinde +127 nolu eğik çatlaklar ve K101 kirişi ön yüzeyinde +129 nolu eğilme çatlağı meydana gelmiştir. Ayrıca, +31', +98', +107", +108' ve +111" çatlaklarının oluşumu gözlemlenmiştir. ***Bu çevrimde; deney numunesi itme yönünde maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır.***
-19	-379.98	-14.88	P101 dolgu duvarının ön yüzeyinde -149, -155, -156 nolu, arka yüzeyinde -142, -148 nolu ve P201'in ön yüzeyinde -143, -144 (yatay), arka yüzeyinde ise -158 nolu kesme çatlakları meydana gelmiştir. K101 kirişinde -146, -147, -151 nolu, K201'de -145, -153, -154 nolu ve S202 kolonunda -150, -152 nolu çatlaklar oluşmuştur. Ayrıca, daha önceden oluşan çatlakların ilerlemesi ile -33'" ve -128' çatlaklarının oluşumu gözlemlenmiştir. ***Deney numunesi çekme yönünde maksimum yatay yük taşıma kapasitesine bu çevrimde ulaşmıştır.***
+20	374.25	17.93	Bu çevrimde; S101 kolonunun temel birleşim bölgesinde ayrışmaların olduğu net bir şekilde görülmüş ve yine bu bölgede kolonun ön yüzeyinde betonda ezilmelerin olduğu gözlemlenmiştir. S101 kolonu üst uç bölgesi dış ve ön yüzeyinde betonda ezilmelerin başladığı görülmüştür. P101'in ön yüzeyinde +136, +137 nolu düşey çatlaklar ve arka yüzeyinde ise -135 nolu kesme çatlağı oluşmuştur. S101 kolonunun arka yüzeyinde +133 nolu eğik çatlak ve K101 kirişinin ön yüzeyinde +134 nolu eğilme çatlağı meydana gelmiştir.
-20	-373.20	-17.61	S101 kolonunun alt uç bölgesi dış ve ön yüzeyinde beton ezilerek dökülmüş ve kolonun boyuna donatısı görülmüştür. Yine S101 kolonu alt uç bölgesi arka yüzeyinde yaklaşık 15 cm yukarıda, daha önceden oluşan +8 nolu çatlağın önemli derecede açıldığı görülmüştür. P101'in ön yüzeyinde -162, -163 nolu, arka yüzeyinde de -160 nolu kesme çatlağı meydana gelmiştir. Ayrıca, K101 kirişinde -161 nolu çatlağın ve daha önceden oluşan çatlakların ilerlemesi ile -82', -116' ve -117' çatlaklarının oluşumu gözlemlenmiştir.

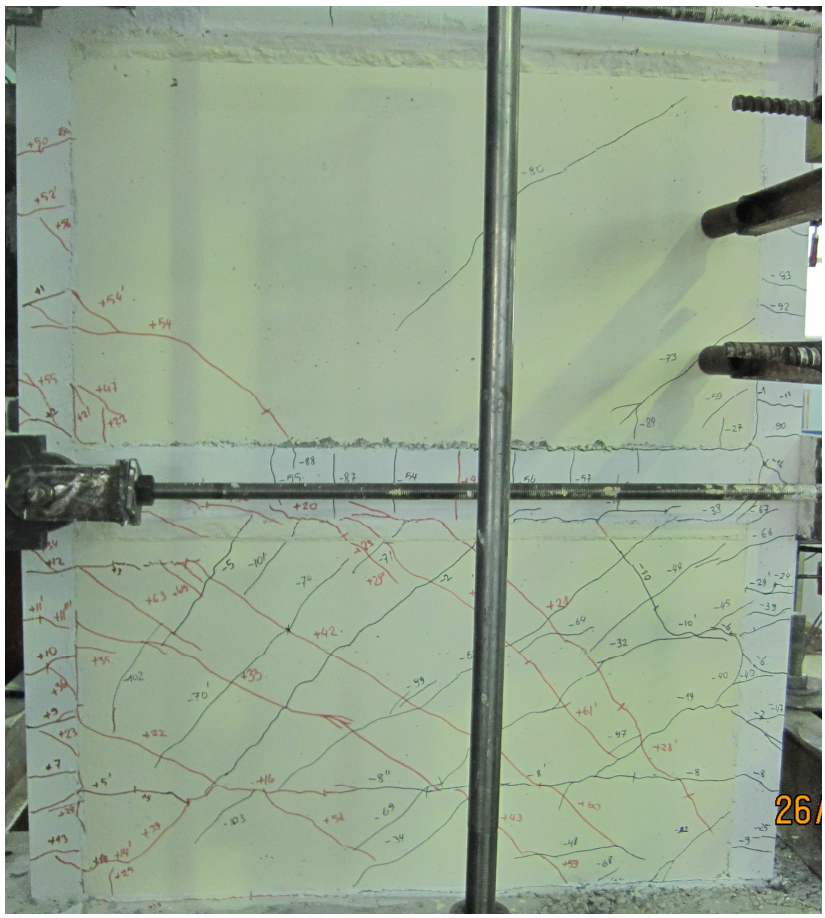
Çizelge 4.6. (Devamı) Deney numunesi 6'da, yük çevrimlerine göre çatlakların dağılımı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlemlenen Çatlak ve Hasar oluşumu
+21	365.01	22.33	Bu çevrimde; S101 kolonunun alt uç bölgesinde hasar oluşumunun arttığı ve P101-temel birleşimi sağ bölgesinde de dolgu duvar betonunda ezilmelerin başladığı net bir şekilde görülmüştür. Ayrıca, P101'in ön yüzeyinde +138 nolu kesme çatlağı oluşumu gözlemlenmiştir.
-21	-362.79	-21.71	Bu çevrimlerde; numunede meydana gelen hasarlardan ve sistem stabilitesinin tehlikeye girmesinden dolayı çatlak numaralandırılması yapılmamıştır. Sadece numunede oluşan hasarların çekilen fotoğraflarla tespiti yapılmıştır. S101 kolonunun alt uç bölgesinde betonun ezilmesinden dolayı hasar derecesi önemli derecede artmış ve kolonun boyuna donatılarında önemli burkulmaların olduğu gözlemlenmiştir. S101 kolonundaki bu hasar durumunun benzeri, S102 kolonunda da gerçekleşmiştir. P101 dolgu duvarının temel birleşimi bölgesinde önemli derecede beton dökülmesi gerçekleşmiş ve bu bölgede de gövde donatılarında burkulmaların olduğu görülmüştür. S101-K101 kolon kiriş birleşim bölgesinde, P101 dolgu duvarı arka yüzeyi sağ üst köşe bölgesinde ve K201 kirişinin sağ uç bölgesinde önemli derecede kabuk beton dökülmesinin gerçekleştiği de gözlemlenmiştir. -24. çevrimde, numunede mevcut hasarların arttığı gözlemlenmiş ve deney sonlandırılmıştır.
+22	337.11	28.22	
-22	-335.95	-28.58	
+23	259.81	33.25	
-23	-258.25	-33.23	
+24	249.28	44.22	
-24	-248.89	-44.62	

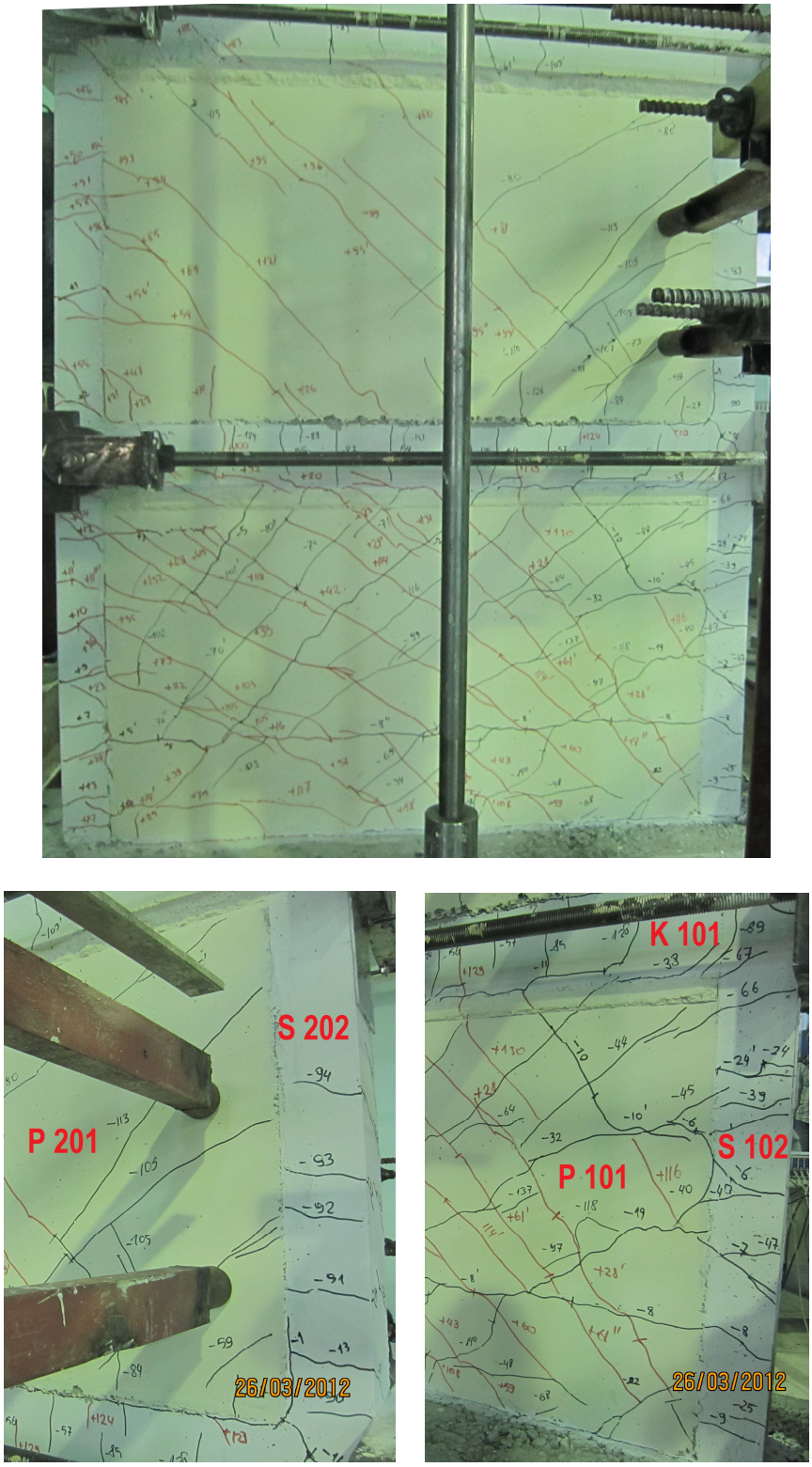
Deney numunesi 6'da; -6 çekme ve +7 itme çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar Şekil 4.108'de verilmiştir. Ayrıca itme yönü için numunede meydana gelen hasarların durumu, akma konumunda Şekil 4.109'da, maksimum yüklemede Şekil 4.110'da, göçme konumu için Şekil 4.111'de verilmiştir. Numunenin deney sonrası görünümü Şekil 4.112, Şekil 4.113 ve Şekil 4.114'de verilmiştir. Numunede oluşan çatlakların ve hasarların şematik gösterimi ise Şekil 4.115 ve Şekil 4.116'da verilmiştir.



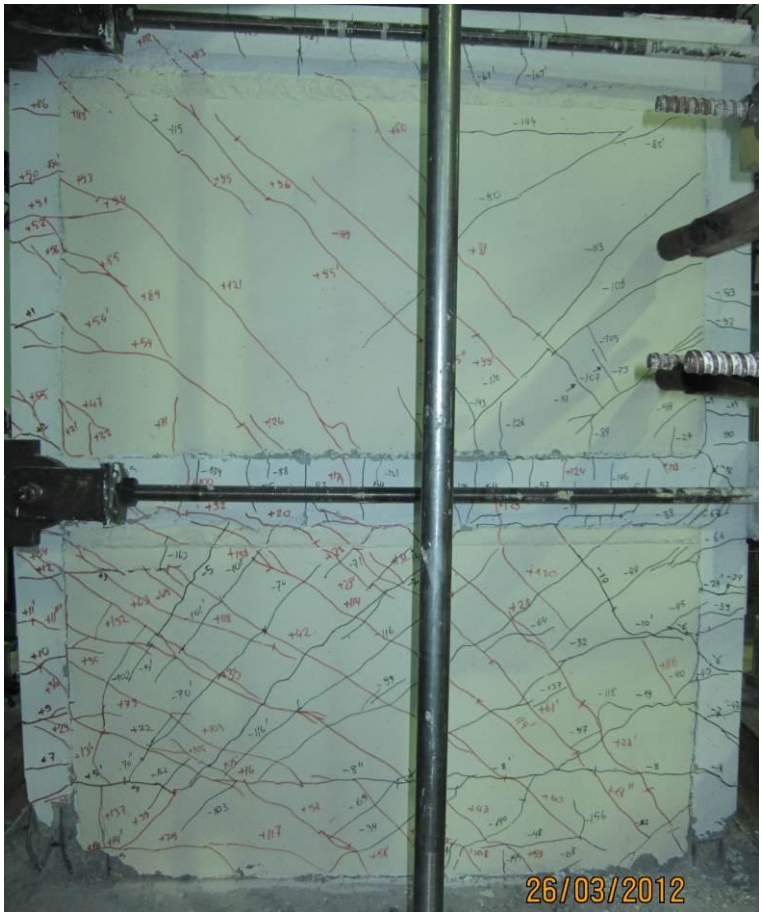
Şekil 4.108. Deney numunesi 6'da, -6 ve +7 çevrimlerinde oluşan ilk çatlaklar



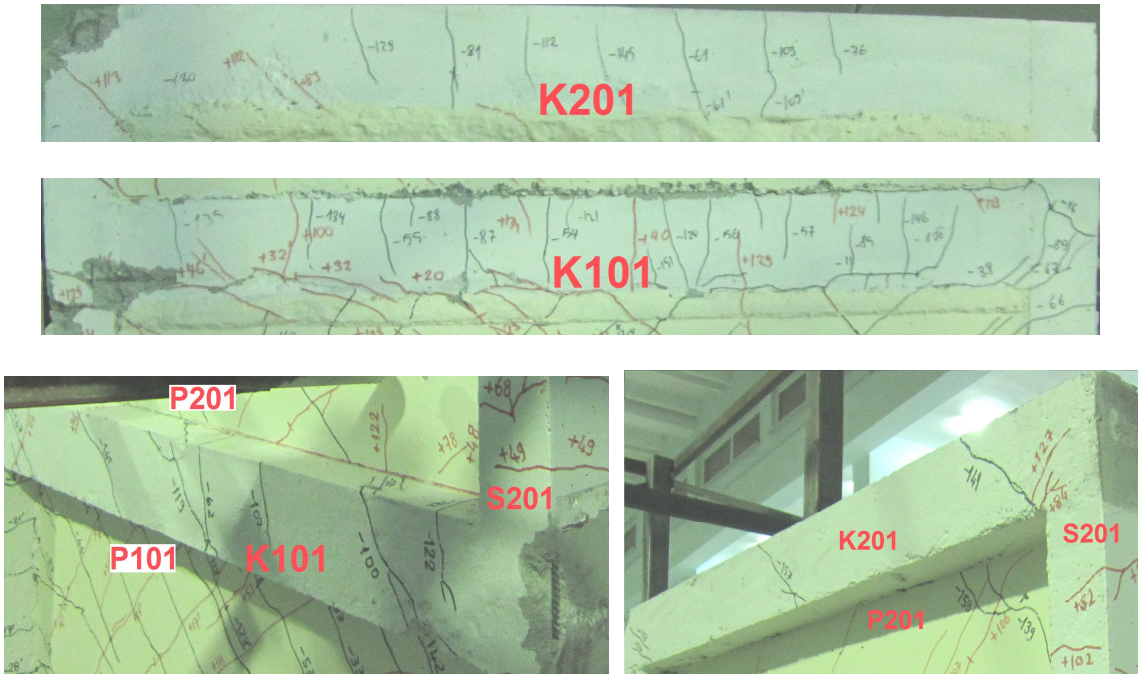
Şekil 4.109. Deney numunesi 6'nın, akma konumuna ait görünümü (+14 itme çevrimi)



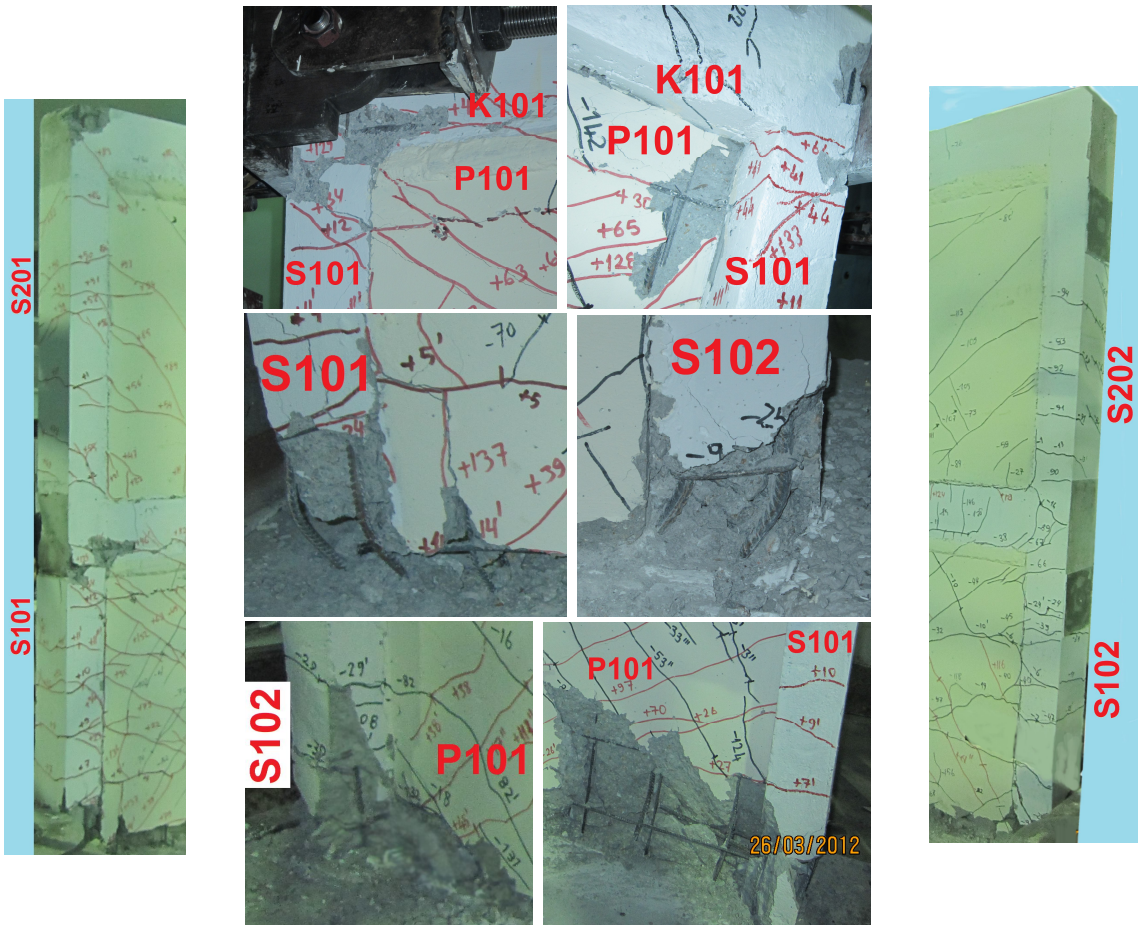
Şekil 4.110. Deney numunesi 6'da maksimum yüklemede oluşan çatlakların görünümü (+19 itme çevrimi)



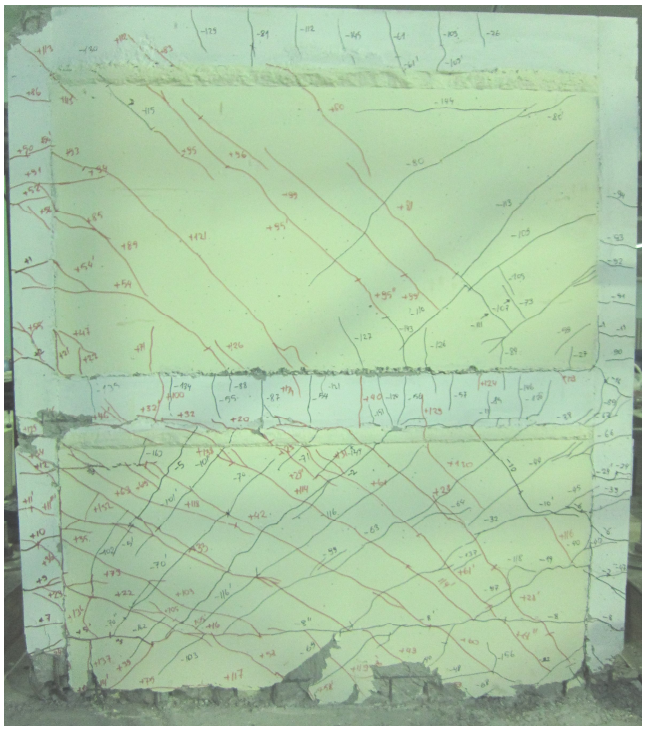
Şekil 4.111. Deney numunesi 6'nın, göçme konumuna ait görünümü (+22 itme çevrimi)



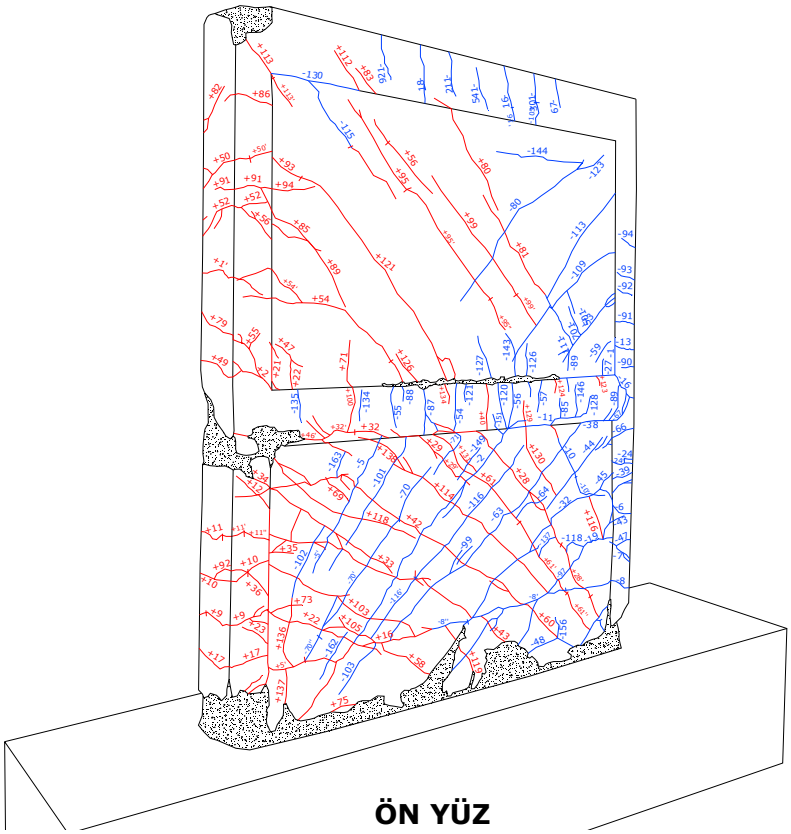
Şekil 4.112. Deney numunesi 6'nın kirişlerinde oluşan çatlakların deney sonrası görünümü



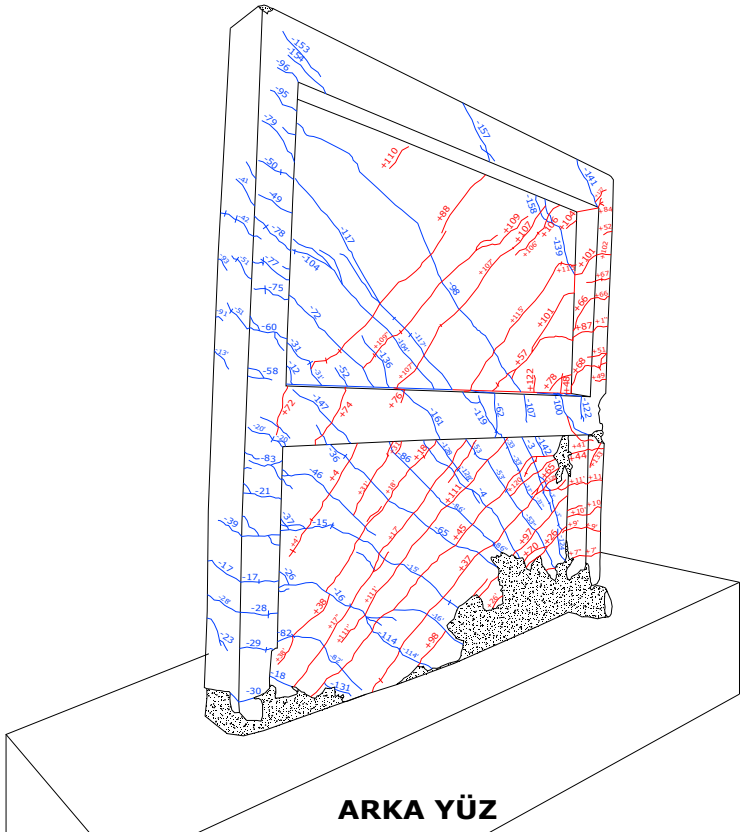
Şekil 4.113. Deney numunesi 6'da oluşan hasarların deney sonrası görünümü



Şekil 4.114. Deney numunesi 6'nın deney sonrası ön yüzden görünümü

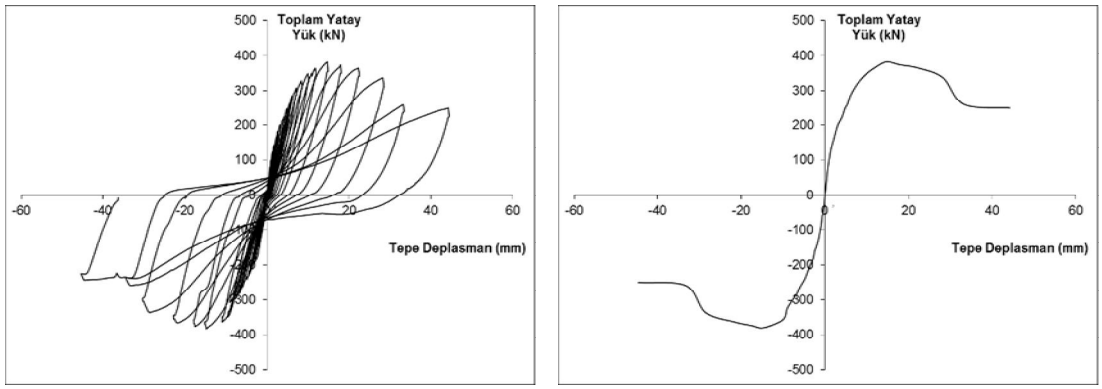


Şekil 4.115. Deney numunesi 6'da oluşan çatlakların ve hasarların, ön yüzden şematik olarak gösterimi

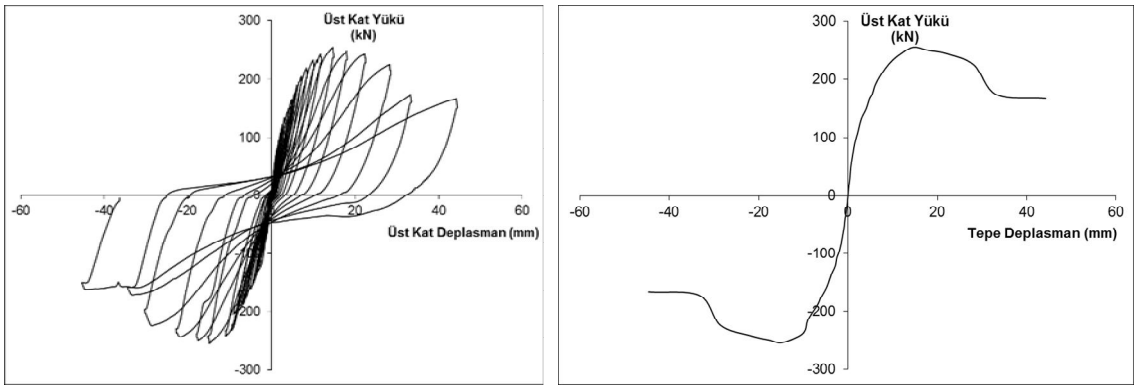


Şekil 4.116. Deney numunesi 6'da oluşan çatlakların ve hasarların, arka yüzden şematik olarak gösterimi

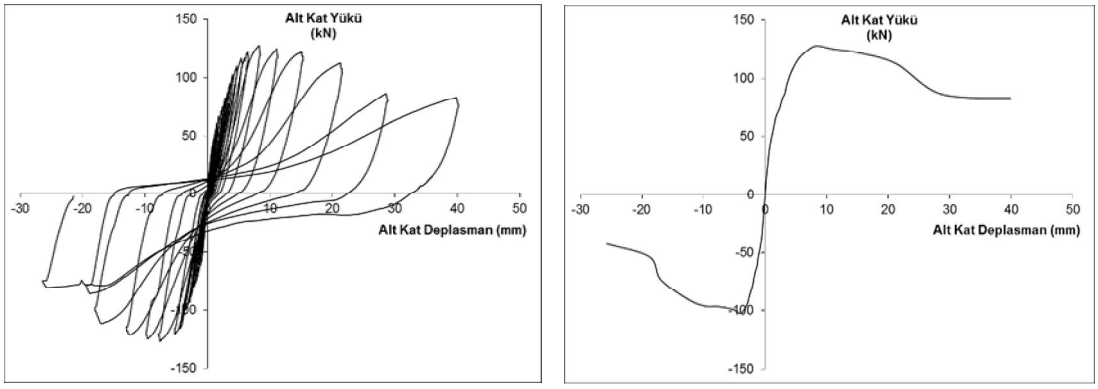
Deney numunesi 6'ya ait; toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi, dayanım zarfı eğrisi Şekil 4.117'de verilmiştir. Deneyde, numunenin üst katında ölçülen yatay yüke karşılık gelen deplasmanının çevrimsel histeresis eğrisi Şekil 4.118'de, alt kat için ise Şekil 4.119'da verilmiştir. Üst katta meydana gelen göreceli kat ötelenmesinin, üst kat yatay yüküne göre çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi Şekil 4.120'de, alt kat için ise Şekil 4.121'de verilmiştir. Ayrıca; bu numuneye ait tüketilen enerji-deplasman grafiği Şekil 4.122'de, rijitlik azalımı grafiği Şekil 4.123'de verilmiştir. Şekil 4.124'de ise her bir çevrimdeki eğim açısı grafiği verilmiştir.



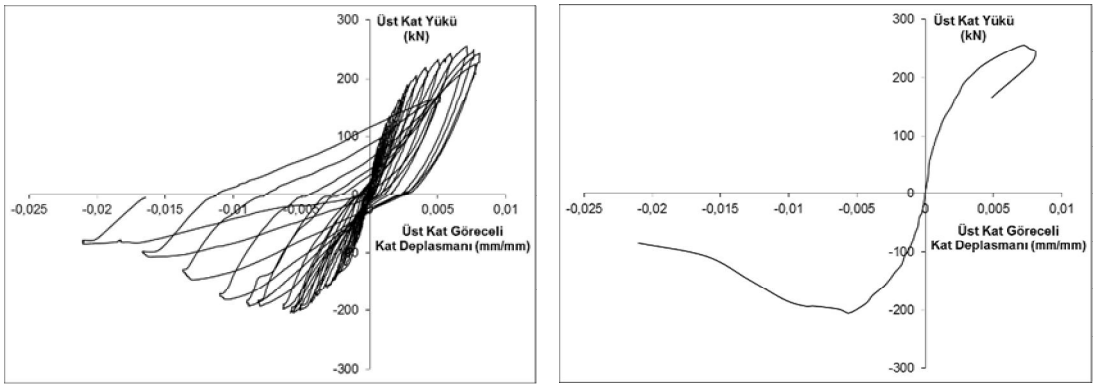
Şekil 4.117. Toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWF)



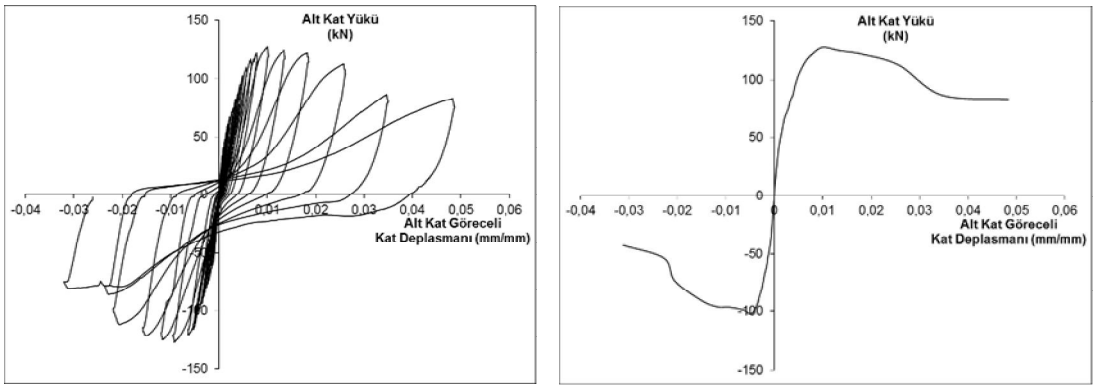
Şekil 4.118. Üst kat yatay yükü-üst kat tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi (ISWF)



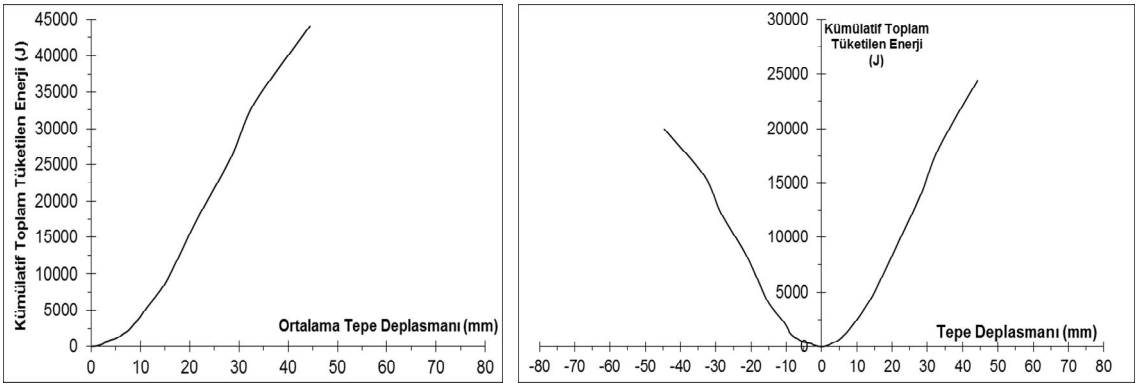
Şekil 4.119. Alt kat yatay yükü-alt kat tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWF)



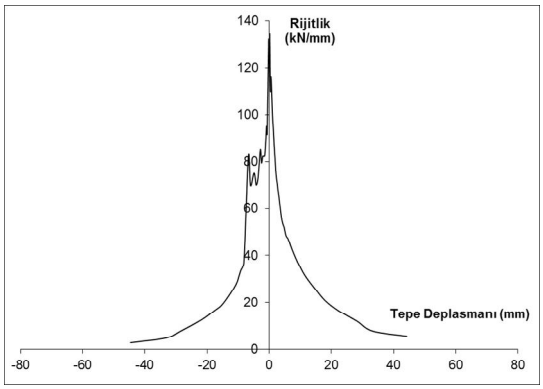
Şekil 4.120. Üst kat yatay yükü-üst kat göreceli kat ötelenmesi çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWF)



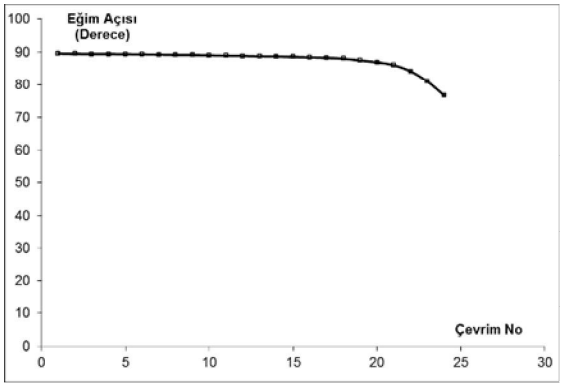
Şekil 4.121. Alt kat yatay yükü-alt kat göreceli kat ötelenmesi çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi (ISWF)



Şekil 4.122. Tüketilen enerji-deplasman grafiği (ISWF)

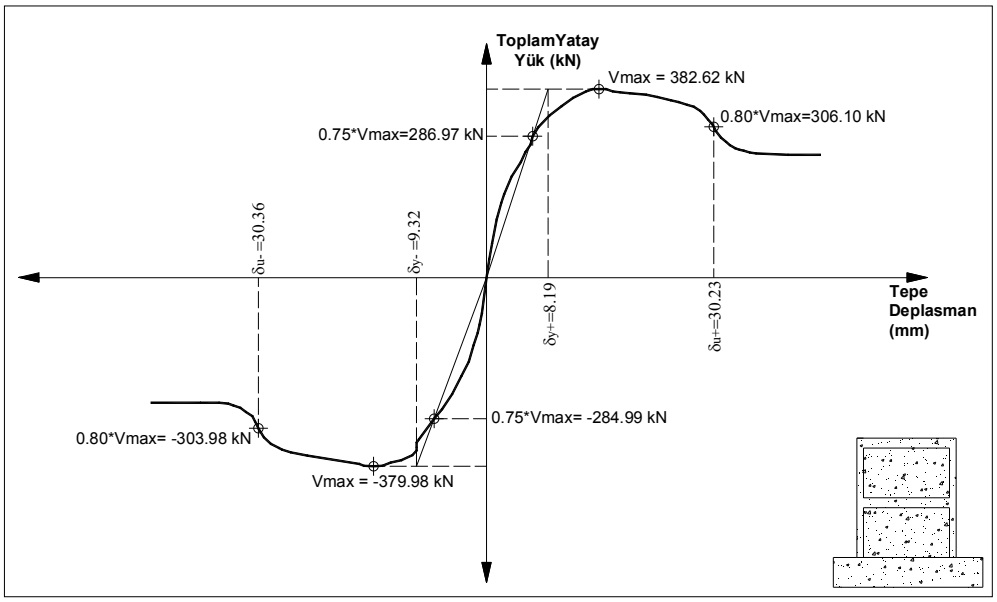


Şekil 4.123. Rijitlik azalımı grafiği (ISWF)



Şekil 4.124. Her bir çevrimde oluşan eğim açısı (ISWF)

Deney numunesi 6'nın süneklik değerlendirilmesinin yapılabilmesi için oluşturulan grafik Şekil 4.125'de verilmiştir.



Şekil 4.125. Sistem sünekliğinin değerlendirilmesi grafiği (ISWF)

4.2. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde, çalışma kapsamında deneyleri yapılan 6 adet numunenin, deneysel verilerinin birbirleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Deneysel verilerin karşılaştırılmasında, çalışmanın amacı göz önünde tutularak numuneler arasında karşılaştırma grupları oluşturulmuştur (Çizelge 4.7). Oluşturulan grupların karşılaştırılması yapıldıktan sonra, çalışma kapsamında yer alan 6 adet numunenin deney verileri bir arada karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar kapsamında, deneylerden elde edilen sayısal sonuçlar, çizelge halinde ve grafiksel olarak verilmiştir. Karşılaştırmalar için verilmiş olan grafikler ve çizelgeler şunlardır;

a) Toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrileri grafiği,

b) Üst kat yükü-üst kat kat deplasmanı zarf eğrileri grafiği,

c) Alt kat yükü-alt kat deplasmanı zarf eğrileri grafiği,

d) Rijitlik azalımı grafiği,

e) İtme ve çekme yönünde tüketilen enerji grafiği,

f) Eğim açısı grafiği,

g) Sistem sünekliklerinin belirlenmesi için oluşturulan grafikler,

h) Numunelerin yatay yük taşıma kapasitelerindeki artış oranları çizelgesi,

i) İtme ve çekme çevrimleri için numunelere ait süneklik oranları çizelgesi,

j) 1. çevrimdeki, maksimum yükteki rijitlik değerleri ve hesaplanan rijitlik oranları çizelgesi,

k) İtme ve çekme yönü için kümülatif toplam tüketilen enerji değerleri ve oranları çizelgesi.

Çizelge 4.7. Numuneler arasında oluşturulan karşılaştırma grupları

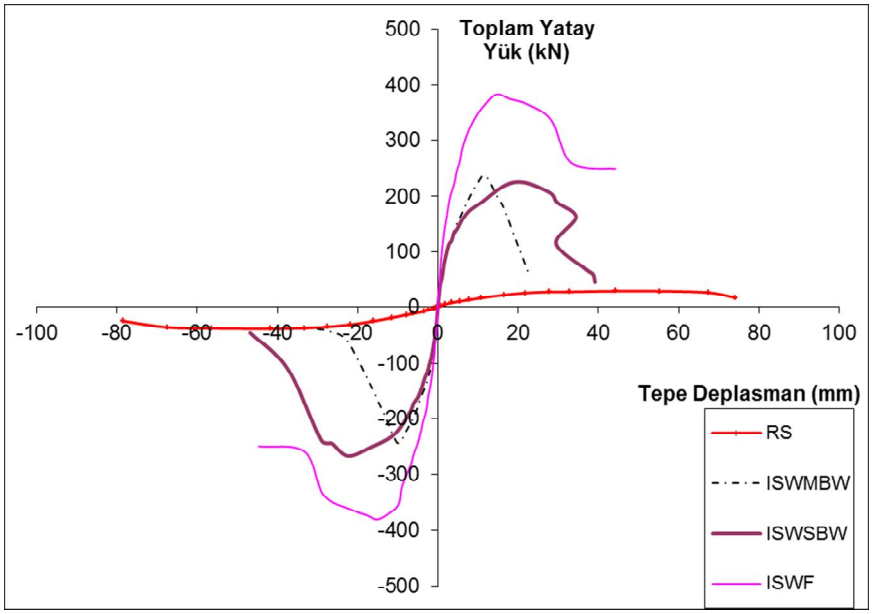
Grup No	Numuneler ve B/A Dolgu Duvarda Boşluk Oranları			
1	 Dolgu duvarsız B/A çerçeve (RS)	 B/A dolgu duvarlı kenarda büyük pencereli (ISWSBW)	 B/A dolgu duvarlı ortada büyük pencereli (ISWMBW)	 Tam B/A dolgu duvarlı (ISWF)
	(%) 100	(%) 21.54	(%) 21.54	(%) 0
2	 Dolgu duvarsız B/A çerçeve (RS)	 B/A dolgu duvarlı kenarda küçük pencereli (ISWSSW)	 B/A dolgu duvarlı ortada küçük pencereli (ISWMSW)	 Tam B/A dolgu duvarlı (ISWF)
	(%) 100	(%) 14.36	(%) 14.36	(%) 0

4.2.1. Grup 1'de yer alan numunelerinin karşılaştırılması

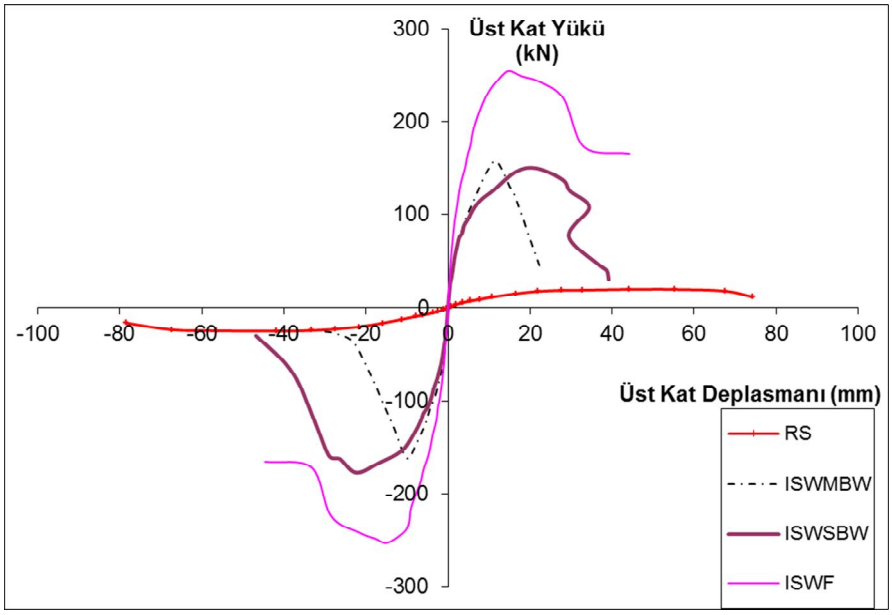
Dayanımların karşılaştırılması:

Dolgu duvarsız B/A çerçeve (RS), B/A dolgu duvarlı kenarda büyük pencereli (ISWSBW), B/A dolgu duvarlı ortada büyük pencereli (ISWMBW) ve tam B/A dolgu duvarlı (ISWF) numunelerine ait toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrileri grafiği Şekil 4.126'da, üst kat yükü-üst kat deplasmanı zarf eğrileri grafiği Şekil 4.127'de ve alt kat yükü-alt kat deplasmanı zarf eğrileri grafiği Şekil 4.128'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Verilen bu grafiklere göre Grup 1'de yer alan numunelerin, dolgu duvarsız B/A çerçeveye göre itme ve çekme yönlerinde yatay yük taşıma kapasitelerindeki artış oranları Çizelge 4.8'de verilmiştir. Çizelge 4.8'den görüldüğü üzere; en fazla yatay yük taşıyan numune tam B/A dolgu duvarlı (ISWF) numunedir. Buna göre; tam B/A dolgu duvarlı numune (ISWF), referans numuneye göre 12.90 kat, B/A dolgu duvarlı kenarda büyük pencereli (ISWSBW) numuneye göre 1.70 kat ve B/A dolgu duvarlı ortada büyük pencereli (ISWMBW) numuneye göre 1.62 kat daha fazla yatay yük taşımıştır

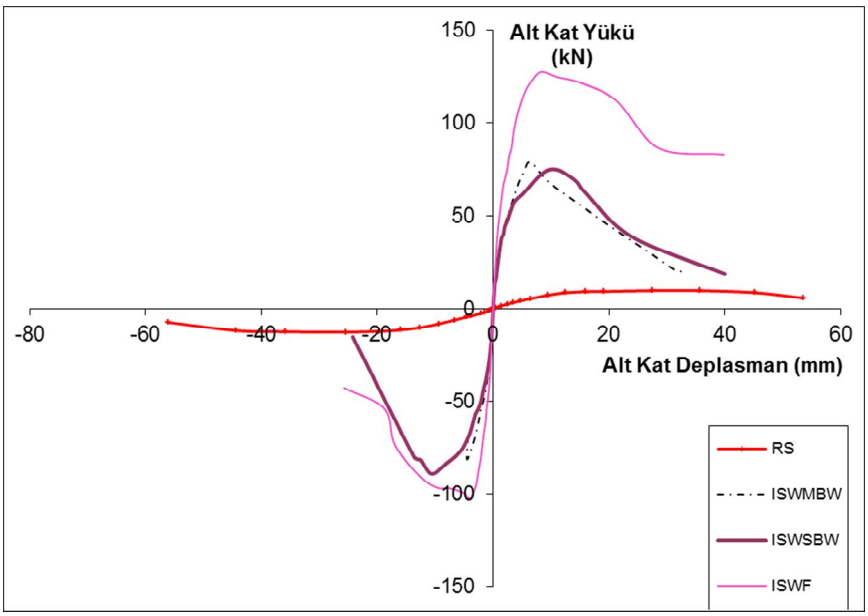
(itme yönü için). Buradan da anlaşıldığı üzere, betonarme dolgu duvarında %21.54'lük pencere boşluğu olan ISWSBW ve ISWMBW numuneleri, tam B/A dolgu duvarlı numuneye göre sırasıyla %41, %38 daha az yatay yüke dayanım göstermişlerdir (itme yönü için). Buna göre dolgu duvarda pencere boşluğu yerleşiminin, numunelerin yatay yük taşıma kapasitelerindeki değişime olan etkisinin %3 olduğu görülmüştür.



Şekil 4.126. Toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrileri grafiği (Grup 1)



Şekil 4.127. Üst kat yükü-üst kat deplasmanı zarf eğrileri grafiği (Grup 1)



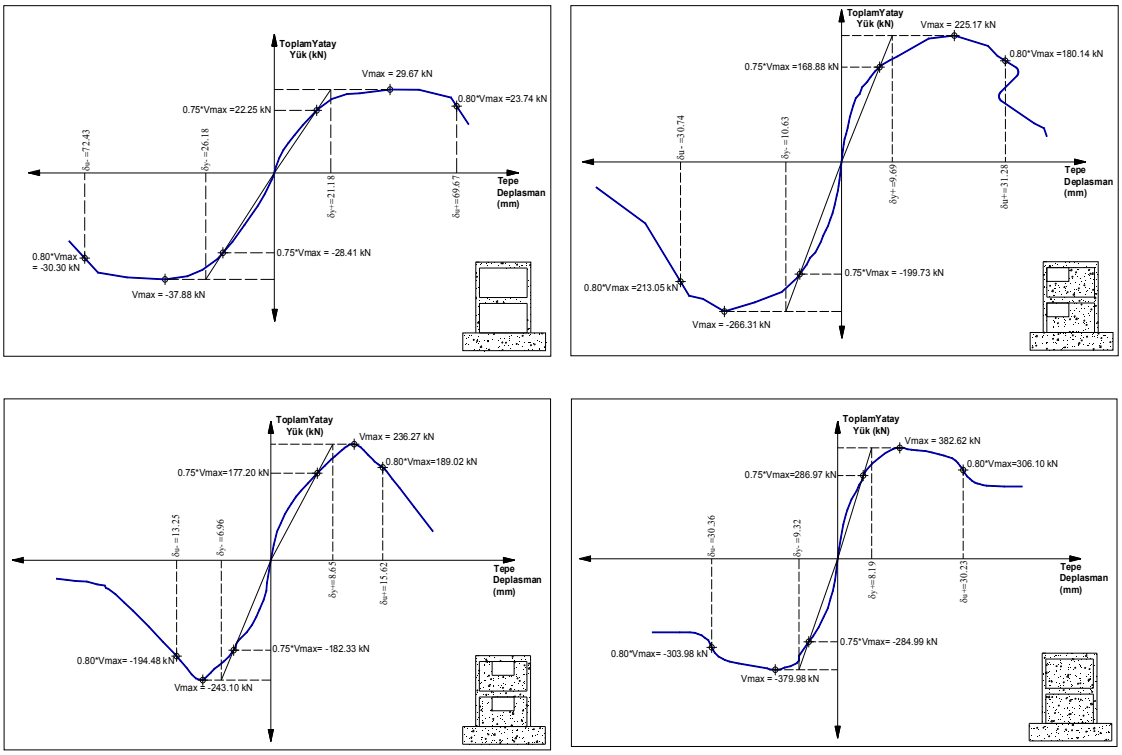
Şekil 4.128. Alt kat yükü-alt kat deplasmanı zarf eğrileri grafiği (Grup 1)

Çizelge 4.8. Numunelerin yatay yük taşıma kapasitelerindeki artış oranları (Grup 1)

Deney numunesi	Max. yatay yük için tepe deplasmanı (mm)		Toplam yatay yüke göre					
			Max. yatay yük (kN)		Yatay yük taşıma artış oranları (%)		Yatay yük taşıma artış oranları	
	İtme	Çekme	İtme	Çekme	İtme	Çekme	İtme	Çekme
RS	**44.22**	-41.74	**29.67**	-37.88	**0**	0	**1**	1
ISWSBW	**21.54**	-22.36	**225.17**	-266.31	**659**	603	**7.59**	7.03
ISWMBW	**11.87**	-10.08	**236.27**	-243.1	**696**	542	**7.96**	6.42
ISWF	**14.66**	-14.88	**382.62**	-379.98	**1190**	903	**12.90**	10.03

Sistem süneklikleri̇nin karşılaştırılması:

Grup 1'de yer alan numunelere ait ve sistem sünekliklerinin değerlendirilmesi için oluşturulan grafikler Şekil 4.129'da verilmiştir. Bu numunelerin, itme ve çekme çevrimleri için hesaplanan süneklik oranları ise Çizelge 4.9'da verilmiştir.



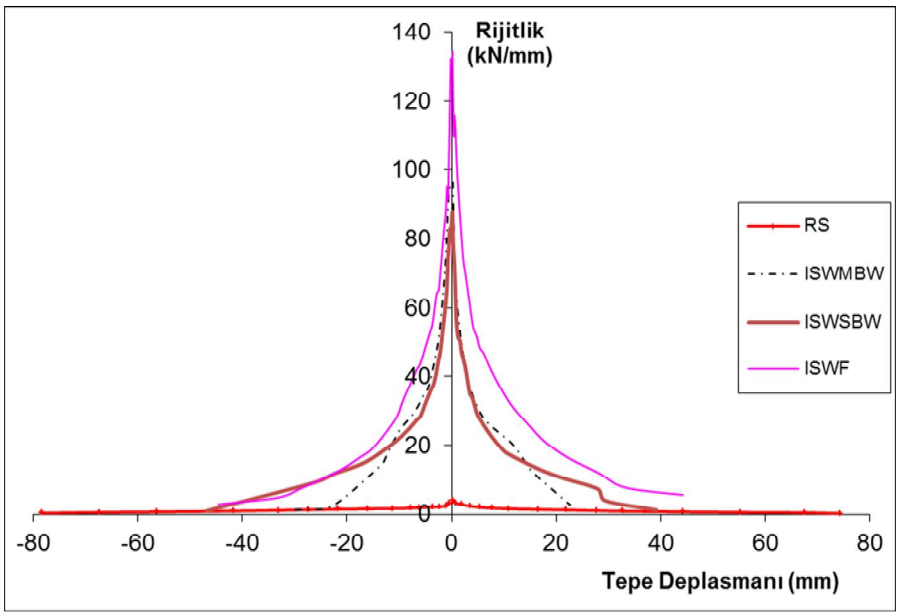
Şekil 4.129. Sistem sünekliklerinin belirlenmesi için oluşturulan grafikler (Grup1)

Çizelge 4.9. İtme ve çekme çevrimleri için numunelere ait süneklik oranları (Grup 1)

Deney numunesi	Max. Yatay Yük (Vmax) (kN)		Akma Yükü (0.75*Vmax) (kN)		Göçme Yükü (0.80*Vmax) (kN)		Süneklik oranları (μ_δ)	
	İtme	Çekme	İtme	Çekme	İtme	Çekme	İtme	Çekme
RS	**29.67**	-37.88	**22.25**	-28.41	**23.74**	-30.30	**3.29**	2.77
ISWSBW	**225.17**	-266.31	**168.88**	-199.73	**180.14**	-213.05	**3.23**	2.89
ISWMBW	**236.27**	-243.1	**177.20**	-182.33	**189.02**	-194.48	**1.81**	1.90
ISWF	**382.62**	-379.98	**286.97**	-284.99	**306.10**	-303.98	**3.69**	3.26

Rijitliklerin karşılaştırılması:

Grup 1'de yer alan numunelere ait rijitlik azalımı grafikleri Şekil 4.130'da verilmiştir. Bu numunelere ait, 1. çevrimdeki, maksimum yükteki rijitlik değerleri ve bu değerler için dolgu duvarsız B/A çerçeveye göre hesaplanan rijitlik oranları Çizelge 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.130. Rijitlik azalımı grafikleri (Grup 1)

Çizelge 4.10. 1. çevrimdeki, maksimum yükteki rijitlik değerleri ve hesaplanan rijitlik oranları (Grup 1)

Deney numunesi	Rijitlik Değerleri (kN/mm)				Rijitlik Oranları			
	1. çevrimdeki		Max. yükteki		1. çevrimdeki		Max. yükteki	
	İtme	Çekme	İtme	Çekme	İtme	Çekme	İtme	Çekme
RS	**4.02**	3.14	**0.67**	0.91	**1**	1	**1**	1
ISWSBW	**88.04**	79.51	**10.46**	11.91	**21.90**	25.32	**15.61**	13.09
ISWMBW	**96.38**	95.54	**19.91**	24.13	**23.98**	30.43	**29.72**	26.52
ISWF	**134.45**	132.27	**26.10**	19.49	**33.45**	42.12	**38.96**	21.42

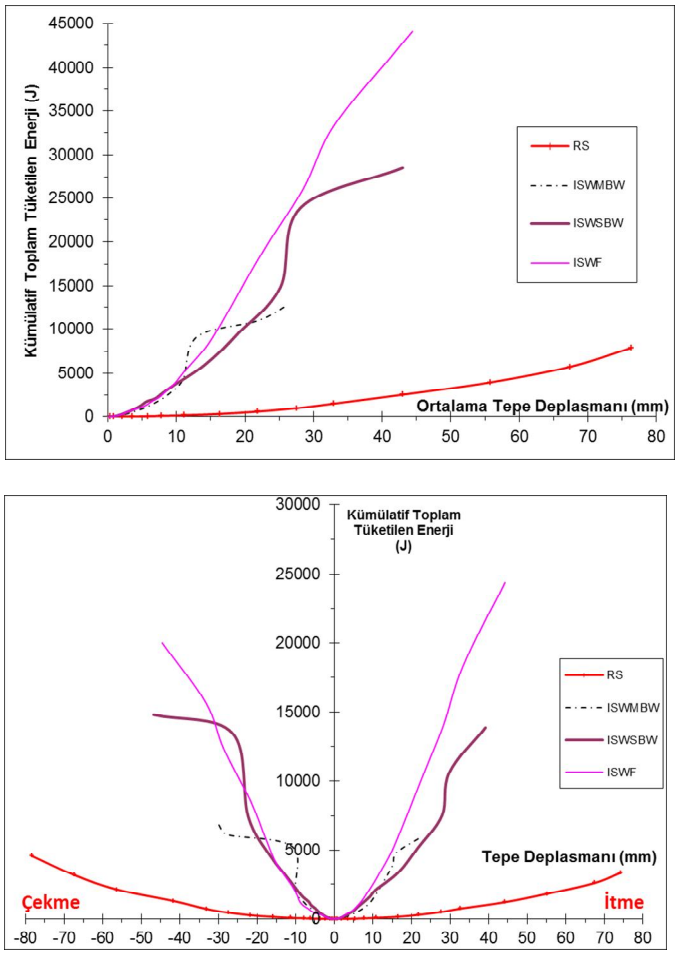
1. çevrimdeki ve maksimum yükteki rijitlik değeri en fazla olan numune, tam B/A dolgu duvarlı numunedir. Numunelere ait ilk rijitlik değerleri, deneylerin ilerleyen çevrimlerde düşmüştür. İtme yönü için numunelerin ilk rijitlik değerlerinin, maksimum yük seviyesine ulaşıldığı andaki azalım oranları; RS numunesinde 6, ISWSBW'de 8.42, ISWMBW'de 4.84 ve ISWF'de 5.15'dir. Çekme yönü için rijitlik azalım oranları ise; RS numunesinde 3.45, ISWSBW'de 6.68, ISWMBW'de 3.96 ve ISWF'de 6.79'dur.

Enerji tüketim kapasitelerinin karşılaştırılması:

Grup 1'de yer alan numunelere ait tüketilen enerji grafikleri Şekil 4.131'de, dolgu duvarsız B/A çerçeveye göre enerji tüketme kapasitelerindeki artış oranları ise itme yönü için Çizelge 4.11'de, çekme yönü için Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.11'den, tam B/A dolgu duvarlı numunenin, referans numuneye göre 5.56 kat, B/A dolgu duvarlı kenarda büyük pencereli (ISWSBW) numuneye göre 1.41 kat ve B/A dolgu duvarlı ortada büyük pencereli (ISWMBW) numuneye göre 3.59 kat daha fazla enerji tüketme kapasitesi oranına sahip olduğu görülmektedir. Betonarme dolgu duvarında %21.54'lük pencere boşluğu olan ISWSBW ve ISWMBW numuneleri, tam B/A dolgu duvarlı numuneye göre sırasıyla %29, %72 daha az enerji tüketme kapasitesine sahiptirler.

Çizelge 4.12'den ise ISWMBW ve ISWF numunelerinin, B/A dolgu duvarlı kenarda büyük pencereli (ISWSBW) numuneye göre sırasıyla %61, %2 daha az enerji tüketme kapasitesine sahip oldukları görülmektedir.



Şekil 4.131. Tüketilen enerji grafikleri (Grup1)

Çizelge 4.11. İtme yönü için kümülatif toplam tüketilen enerji değerleri ve oranları (Grup1)

Deney numunesi	Kümülatif Toplam Tüketilen Enerji Değerleri (J)		Tüketilen Enerji Oranları	
	Max. yatay yüke kadar	Göçme yüküne kadar (0.8*Vmax)	Max. yatay yükte	Göçme yükünde
RS 	1208	**2825**	1.00	**1.00**
ISWSBW 	3365	**11122**	2.79	**3.94**
ISWMBW 	2269	**4378**	1.89	**1.55**
ISWF 	4809	**15712**	3.98	**5.56**

Çizelge 4.12. Çekme yönü için kümülatif toplam tüketilen enerji değerleri ve oranları (Grup1)

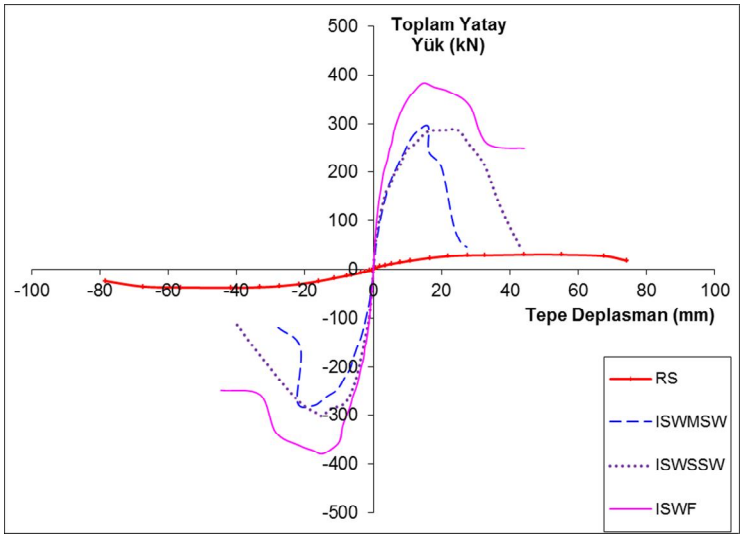
Deney numunesi	Kümülatif Toplam Tüketilen Enerji Değerleri (J)		Tüketilen Enerji Oranları	
	Max. yatay yüke kadar	Göçme yüküne kadar (0.8*Vmax)	Max. yatay yükte	Göçme yükünde
RS 	1298	**3812**	1.00	**1.00**
ISWSBW 	7472	**13790**	5.76	**3.62**
ISWMBW 	2050	**5395**	1.58	**1.42**
ISWF 	3961	**13566**	3.05	**3.56**

4.2.2. Grup 2'de yer alan numunelerinin karşılaştırılması

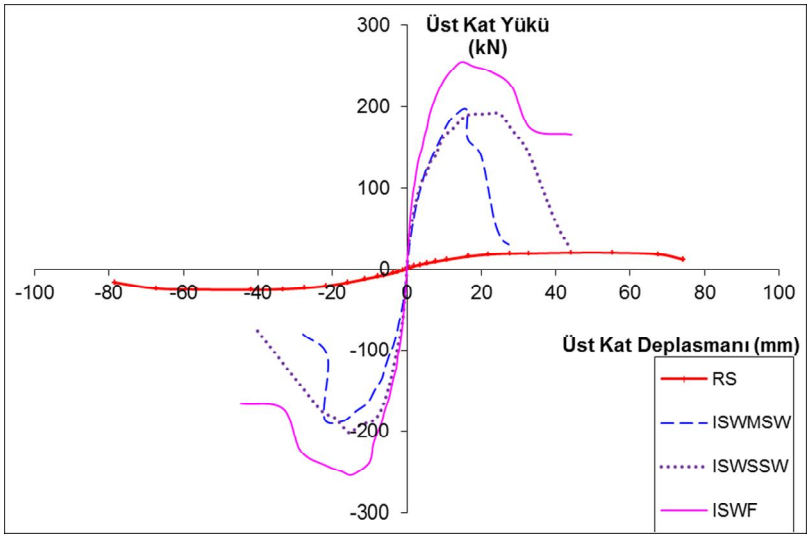
Dayanımların karşılaştırılması:

Dolgu duvarsız B/A çerçeve (RS), B/A dolgu duvarlı kenarda küçük pencereli (ISWSSW), B/A dolgu duvarlı ortada küçük pencereli (ISWMSW) ve tam B/A dolgu duvarlı (ISWF) numunelerine ait toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrileri grafiği Şekil 4.132'de, üst kat yükü-üst kat deplasmanı zarf eğrileri grafiği Şekil 4.133'de ve alt kat yükü-alt kat deplasmanı zarf eğrileri grafiği Şekil 4.134'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Verilen bu grafiklere göre Grup 2'de yer alan numunelerin, dolgu duvarsız B/A çerçeveye göre itme ve çekme yönlerinde yatay yük taşıma kapasitelerindeki artış

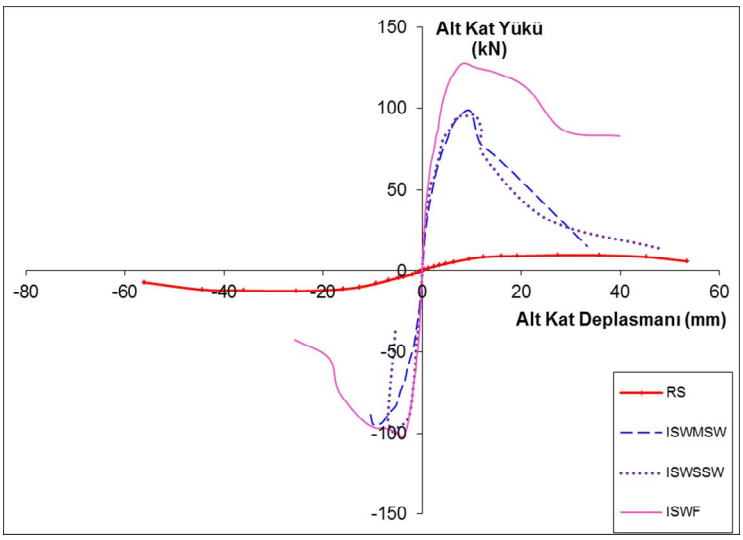
oranları Çizelge 4.13'de verilmiştir. Çizelge 4.13'ten görüldüğü üzere; en fazla yatay yük taşıyan numune tam B/A dolgu duvarlı (ISWF) numunedir. Buna göre; tam B/A dolgu duvarlı numune (ISWF), referans numuneye göre 12.90 kat, B/A dolgu duvarlı kenarda küçük pencereli (ISWSSW) numuneye göre 1.33 kat ve B/A dolgu duvarlı ortada küçük pencereli (ISWMSW) numuneye göre 1.30 kat daha fazla yatay yük taşımıştır (itme yönü için). Buradan da anlaşıldığı üzere, betonarme dolgu duvarında %14.36'lık pencere boşluğu olan ISWSSW ve ISWMSW numuneleri, tam B/A dolgu duvarlı numuneye göre sırasıyla %25, %23 daha az yatay yüke dayanım göstermişlerdir (itme yönü için). Buna göre dolgu duvarda pencere boşluğu yerleşiminin, numunelerin yatay yük taşıma kapasitelerindeki değişime olan etkisinin %2 olduğu görülmüştür.



Şekil 4.132. Toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrileri grafiği (Grup 2)



Şekil 4.133. Üst kat yükü-üst kat deplasmanı zarf eğrileri grafiği (Grup 2)



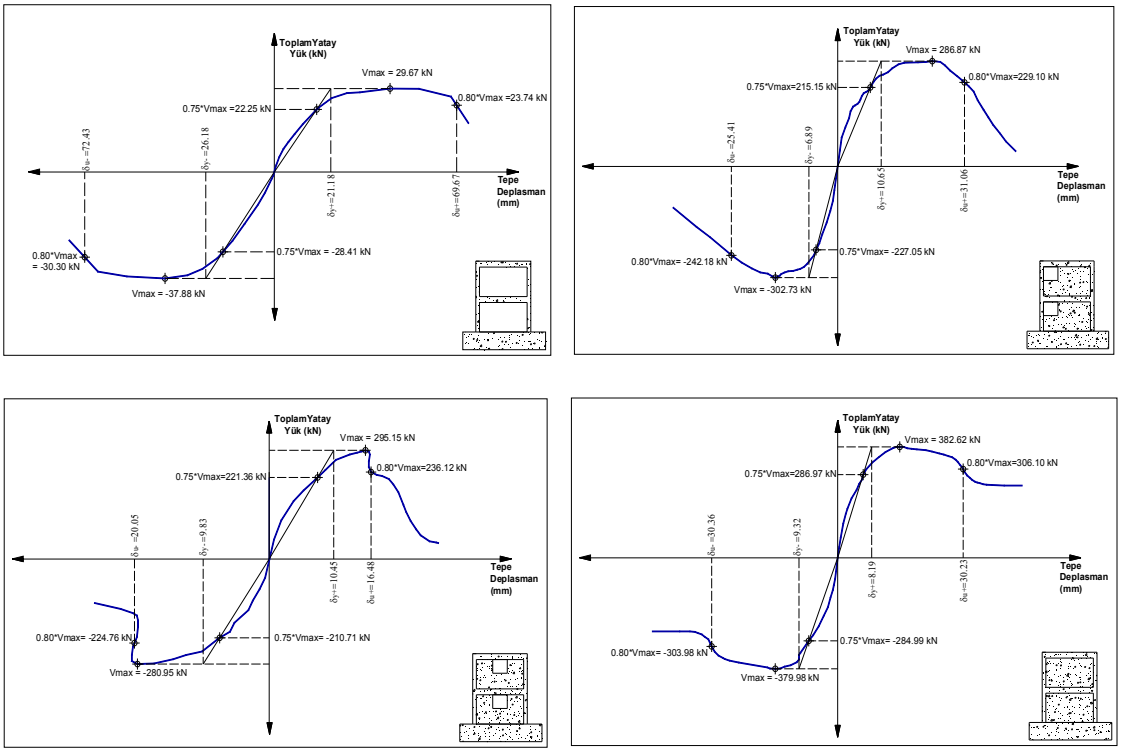
Şekil 4.134. Alt kat yükü-alt kat deplasmanı zarf eğrileri grafiği (Grup 2)

Çizelge 4.13. Numunelerin yatay yük taşıma kapasitelerindeki artış oranları (Grup 2)

Deney numunesi	Max. yatay yük için tepe deplasmanı (mm)		Toplam yatay yüke göre					
			Max. yatay yük (kN)		Yatay yük taşıma artış oranları (%)		Yatay yük taşıma artış oranları	
	İtme	Çekme	İtme	Çekme	İtme	Çekme	İtme	Çekme
RS	**44.22**	-41.74	**29.67**	-37.88	**0**	0	**1**	1
ISWSSW	**24.80**	-15.01	**286.87**	-302.73	**867**	699	**9.67**	7.99
ISWMSW	**16.06**	-17.35	**295.15**	-280.95	**8945**	642	**9.95**	7.42
ISWF	**14.66**	-14.88	**382.62**	-379.98	**1190**	903	**12.90**	10.03

Sistem süneklikleri̇nin karşılaştırılması:

Grup 2'de yer alan numunelere ait ve sistem süneklikleri̇nin değerlendirilmesi için oluşturulan grafikler Şekil 4.135'de verilmiştir. Grup 2'de yer alan numunelerin, itme ve çekme çevrimleri için hesaplanan süneklik oranları ise Çizelge 4.14'de verilmiştir.



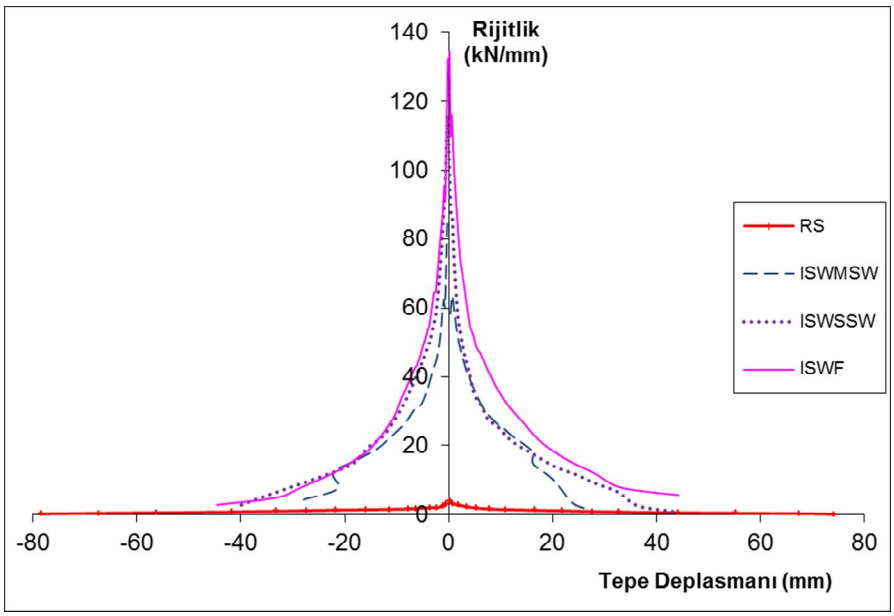
Şekil 4.135. Sistem sünekliklerinin belirlenmesi için oluşturulan grafikler (Grup2)

Çizelge 4.14. İtme ve çekme çevrimleri için numunelere ait süneklik oranları (Grup 2)

Deney numunesi	Max. Yatay Yük (Vmax) (kN)		Akma Yükü (0.75*Vmax) (kN)		Göçme Yükü (0.80*Vmax) (kN)		Süneklik oranları (μ_δ)	
	İtme	Çekme	İtme	Çekme	İtme	Çekme	İtme	Çekme
RS	**29.67**	-37.88	**22.25**	-28.41	**23.74**	-30.30	**3.29**	2.77
ISWSSW	**286.87**	-302.73	**215.15**	-227.05	**229.10**	-242.18	**2.92**	3.69
ISWMSW	**295.15**	-280.95	**221.36**	-210.71	**236.12**	-224.76	**1.58**	2.04
ISWF	**382.62**	-379.98	**286.97**	-284.99	**306.10**	-303.98	**3.69**	3.26

Rijitliklerin karşılaştırılması:

Grup 2'de yer alan numunelere ait rijitlik azalımı grafikleri Şekil 4.136'da verilmiştir. Bu numunelere ait 1. çevrimdeki, maksimum yükteki rijitlik değerleri ve bu değerler için dolgu duvarsız B/A çerçeveye göre hesaplanan rijitlik oranları Çizelge 4.15'de verilmiştir.



Şekil 4.136. Rijitlik azalımı grafikleri (Grup 2)

Çizelge 4.15. 1. çevrimdeki, maksimum yükteki rijitlik değerleri ve hesaplanan rijitlik oranları (Grup 2)

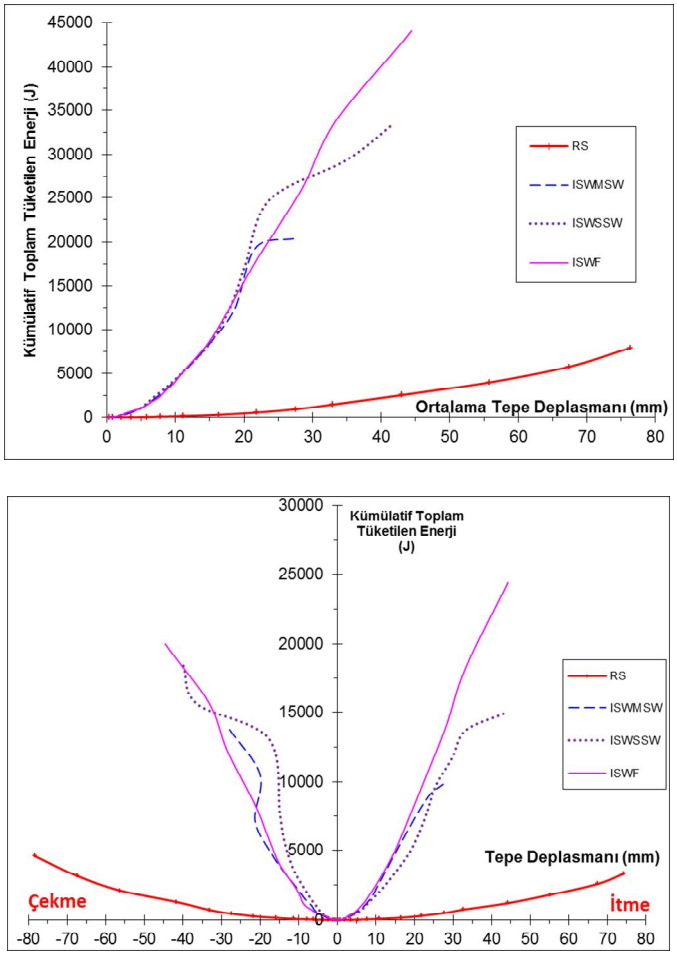
Deney numunesi	Rijitlik Değerleri (kN/mm)				Rijitlik Oranları			
	1. çevrimdeki		Max. yükteki		1. çevrimdeki		Max. yükteki	
	İtme	Çekme	İtme	Çekme	İtme	Çekme	İtme	Çekme
RS	**4.02**	3.14	**0.67**	0.91	**1**	1	**1**	1
ISWSSW	**96.54**	115.25	**11.57**	20.16	**24.01**	36.70	**17.27**	22.15
ISWMSW	**58.25**	86.28	**18.38**	16.20	**14.49**	27.48	**27.43**	17.80
ISWF	**134.45**	132.27	**26.10**	19.49	**33.45**	42.12	**38.96**	21.42

1. çevrimdeki ve maksimum yükteki rijitlik değeri en fazla olan numune, tam B/A dolgu duvarlı numunedir. İtme yönü için numunelerin ilk rijitlik değerlerinin, maksimum yük seviyesine ulaşıldığı andaki azalım oranları; RS numunesinde 6, ISWSSW'de 8.34, ISWMSW'de 3.17 ve ISWF'de 5.15'dir. Çekme yönü için rijitlik azalım oranları ise; RS numunesinde 3.45, ISWSSW'de 5.72, ISWMSW'de 5.33 ve ISWF'de 6.79'dur.

Enerji tüketim kapasitelerinin karşılaştırılması:

Grup 2'de yer alan numunelere ait tüketilen enerji grafikleri Şekil 4.137'de, dolgu duvarsız B/A çerçeveye göre enerji tüketme kapasitelerindeki artış oranları ise itme yönü için Çizelge 4.16'da, çekme yönü için Çizelge 4.17'de verilmiştir.

Çizelge 4.16'ya göre en fazla enerji tüketme kapasitesine sahip numune, tam B/A dolgu duvarlı numunedir. Buna göre; tam B/A dolgu duvarlı numune, referans numuneye göre 5.56 kat, B/A dolgu duvarlı kenarda küçük pencereli numuneye göre 1.26 kat ve B/A dolgu duvarlı ortada küçük pencereli numuneye göre 2.94 kat daha fazla enerji tüketme kapasitesi oranına sahiptir. Çizelge 4.17'den ise ISWMSW ve ISWF numunelerinin, B/A dolgu duvarlı kenarda küçük pencereli (ISWSSW) numuneye göre sırasıyla %54, %4 daha az enerji tüketme kapasitesine sahip oldukları görülmektedir.



Şekil 4.137. Tüketilen enerji grafikleri (Grup 2)

Çizelge 4.16. İtme yönü için kümülatif toplam tüketilen enerji değerleri ve oranları (Grup2)

Deney numunesi	Kümülatif Toplam Tüketilen Enerji Değerleri (J)		Tüketilen Enerji Oranları	
	Max. yatay yüke kadar	Göçme yüküne kadar (0.8*Vmax)	Max. yatay yükte	Göçme yükünde
RS 	1208	**2825**	1.00	**1.00**
ISWSSW 	7302	**12464**	6.05	**4.42**
ISWMSW 	5336	**5338**	4.42	**1.89**
ISWF 	4809	**15712**	3.98	**5.56**

Çizelge 4.17. Çekme yönü için kümülatif toplam tüketilen enerji değerleri ve oranları (Grup2)

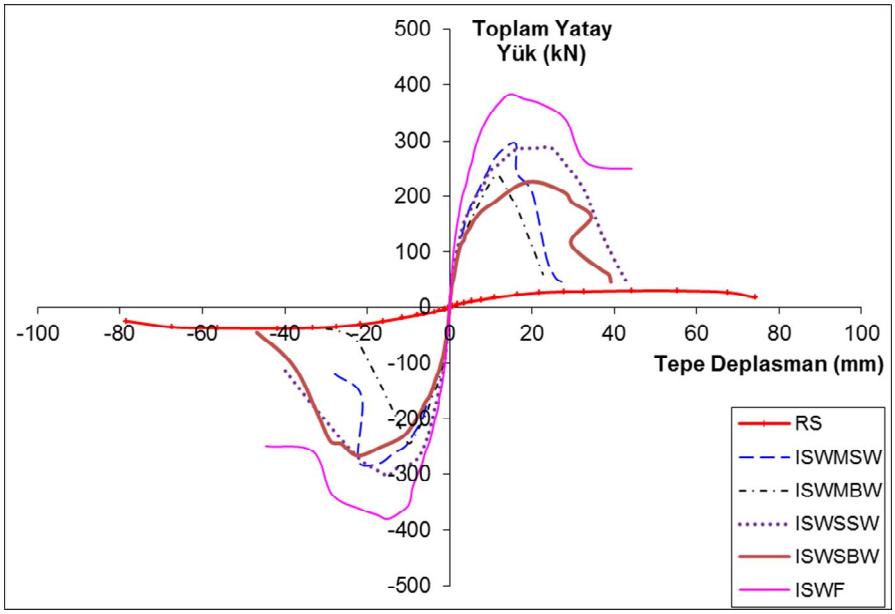
Deney numunesi	Kümülatif Toplam Tüketilen Enerji Değerleri (J)		Tüketilen Enerji Oranları	
	Max. yatay yüke kadar	Göçme yüküne kadar (0.8*Vmax)	Max. yatay yükte	Göçme yükünde
RS 	1298	**3812**	1.00	**1.00**
ISWSSW 	13097	**14133**	10.09	**3.71**
ISWMSW 	4892	**6430**	3.77	**1.69**
ISWF 	3961	**13566**	3.05	**3.56**

4.2.3. Çalışma kapsamındaki tüm numunelerin karşılaştırılması

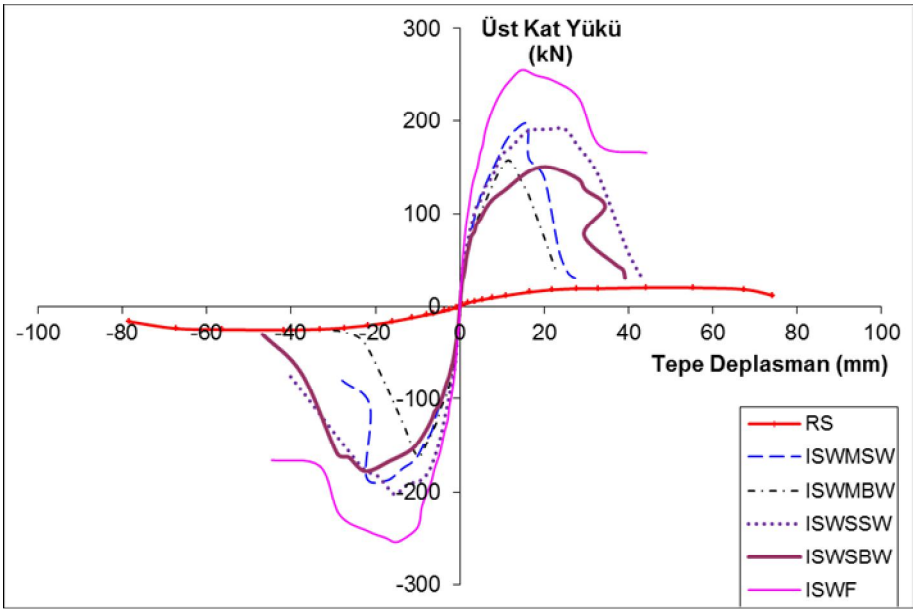
Dayanımların karşılaştırılması:

Çalışma kapsamında deneyleri yapılan 6 adet numuneye ait toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrileri grafiği Şekil 4.138'de, üst kat yükü-üst kat deplasmanı zarf eğrileri grafiği Şekil 4.139'da ve alt kat yükü-alt kat deplasmanı zarf eğrileri grafiği Şekil 4.140'da karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Verilen bu grafiklere göre betonarme dolgu duvarıyla güçlendirilen numunelerin, dolgu duvarsız B/A çerçeveye göre itme ve

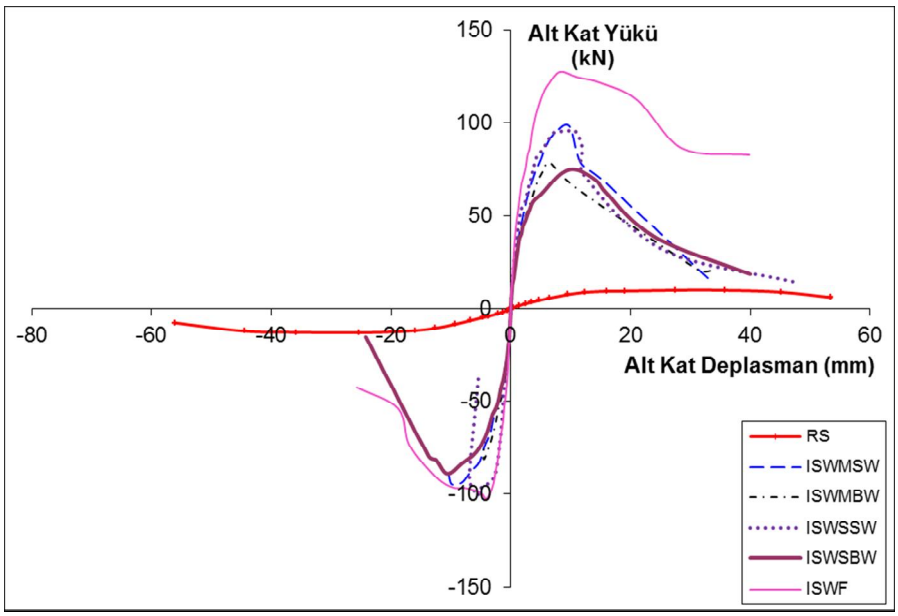
çekme yönlerinde yatay yük taşıma kapasitelerindeki artış oranları Çizelge 4.18'de verilmiştir. Çizelge 4.18'den de görüldüğü gibi; deney numuneleri arasında en fazla yatay yükü tam B/A dolgu duvarlı numune taşımıştır (382.62kN). Tam B/A dolgu duvarlı numuneye göre; betonarme dolgu duvarında %14.36'lık pencere boşluğu olan ISWSSW ve ISWMSW numuneleri ortalama %24, betonarme dolgu duvarında %21.54'lük pencere boşluğu olan ISWSBW ve ISWMBW numuneleri ise ortalama %40 daha az yatay yüke dayanım göstermişlerdir (itme yönü için).



Şekil 4.138. Tüm numunelere ait toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrileri grafiği



Şekil 4.139. Tüm numunelere ait üst kat yükü-üst kat deplasmanı zarf eğrileri grafiği



Şekil 4.140. Tüm numunelere ait alt kat yükü-alt kat deplasmanı zarf eğrileri grafiği

Çizelge 4.18. Deney numunelerinin yatay yük taşıma kapasitelerindeki artış oranları

Deney numunesi	Max. yatay yük için tepe deplasmanı (mm)		Toplam yatay yüke göre					
			Max. yatay yük (kN)		Yatay yük taşıma artış oranları (%)		Yatay yük taşıma artış oranları	
	İtme	Çekme	İtme	Çekme	İtme	Çekme	İtme	Çekme
RS	**44.22**	-41.74	**29.67**	-37.88	**0**	0	**1**	1
ISWSSW	**24.80**	-15.01	**286.87**	-302.73	**867**	699	**9.67**	7.99
ISWMSW	**16.06**	-17.35	**295.15**	-280.95	**895**	642	**9.95**	7.42
ISWSBW	**21.54**	-22.36	**225.17**	-266.31	**659**	603	**7.59**	7.03
ISWMBW	**11.87**	-10.08	**236.27**	-243.1	**696**	542	**7.96**	6.42
ISWF	**14.66**	-14.88	**382.62**	-379.98	**1190**	903	**12.90**	10.03

Sistem süneklikleri̇nin karşılaştırılması:

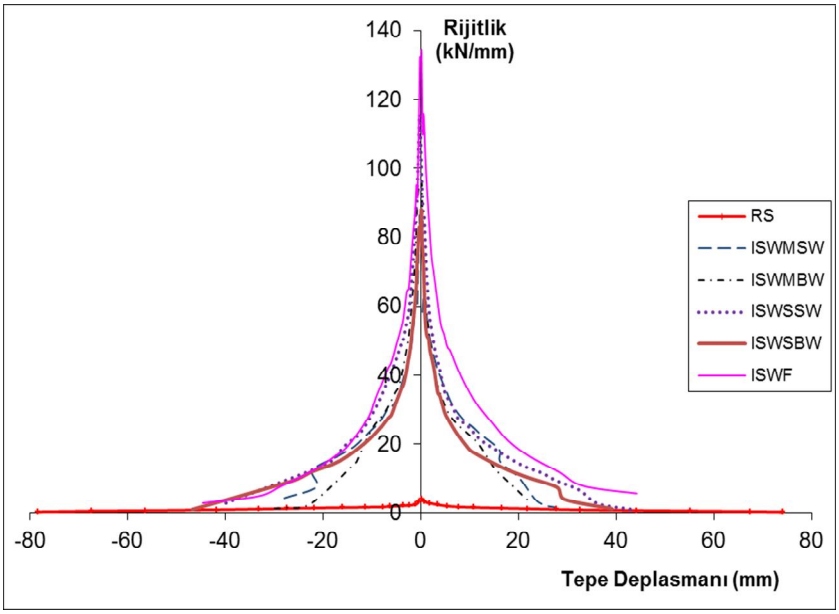
Çalışma kapsamında yer alan tüm numunelere ait itme ve çekme çevrimleri için hesaplanan süneklik oranları Çizelge 4.19'da verilmiştir. Ayrıca, Çizelge 4.19'da betonarme dolgu duvarıyla güçlendirilen numunelerin süneklik oranlarının, referans numuneye göre oranları da verilmiştir.

Çizelge 4.19. Tüm numunelere ait, itme ve çekme çevrimleri için süneklik oranları

Deney numunesi	Max. Yatay Yük (Vmax) (kN)		Akma Yükü (0.75*Vmax) (kN)		Göçme Yükü (0.80*Vmax) (kN)		Süneklik oranları (μ_δ)		RS'ye göre süneklik oranları	
	İtme	Çekme	İtme	Çekme	İtme	Çekme	İtme	Çekme	İtme	Çekme
RS	**29.67**	-37.88	**22.25**	-28.41	**23.74**	-30.30	**3.29**	2.77	**1**	1
ISWSSW	**286.87**	-302.73	**215.15**	-227.05	**229.10**	-242.18	**2.92**	3.69	**0.89**	1.33
ISWMSW	**295.15**	-280.95	**221.36**	-210.71	**236.12**	-224.76	**1.58**	2.04	**0.48**	0.74
ISWSBW	**225.17**	-266.31	**168.88**	-199.73	**180.14**	-213.05	**3.23**	2.89	**0.98**	1.04
ISWMBW	**236.27**	-243.1	**177.20**	-182.33	**189.02**	-194.48	**1.81**	1.90	**0.55**	0.69
ISWF	**382.62**	-379.98	**286.97**	-284.99	**306.10**	-303.98	**3.69**	3.26	**1.12**	1.18

Rijitliklerin karşılaştırılması:

Çalışma kapsamında yer alan tüm numunelere ait rijitlik azalımı grafikleri Şekil 4.141'de verilmiştir. Referans numuneye göre hesaplanan rijitlik azalımı oranları Çizelge 4.20'de verilmiştir.

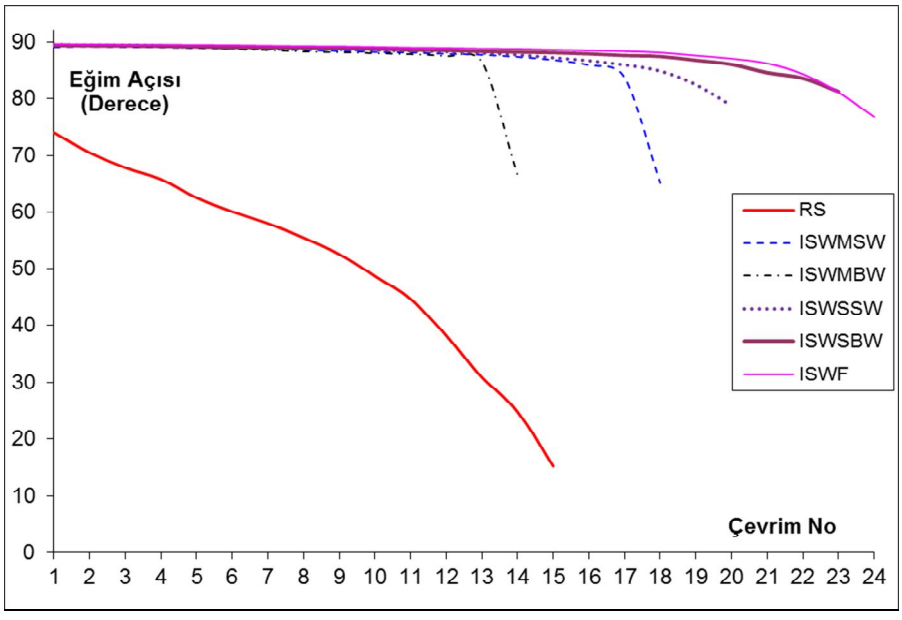


Şekil 4.141. Tüm numunelere ait rijitlik azalımı grafikleri

Çizelge 4.20. Tüm numuneler için rijitlik değerleri ve hesaplanan rijitlik azalımı oranları

Deney numunesi	Rijitlik Değerleri (kN/mm)				Rijitlik Oranları				Rijitlik Azalımı Oranları	
	1. çevrimdeki		Max. yükteki		1. çevrimdeki		Max. yükteki		1. çevrimdeki/max. yükteki	
	İtme	Çekme	İtme	Çekme	İtme	Çekme	İtme	Çekme	İtme	Çekme
RS	**4.02**	3.14	**0.67**	0.91	**1**	1	**1**	1	**6,00**	3,45
ISWSSW	**96.54**	115.25	**11.57**	20.16	**24.01**	36.70	**17.27**	22.15	**8,34**	5,72
ISWMSW	**58.25**	86.28	**18.38**	16.20	**14.49**	27.48	**27.43**	17.80	**3,17**	5,33
ISWSBW	**88.04**	79.51	**10.46**	11.91	**21.90**	25.32	**15.61**	13.09	**8,42**	6,68
ISWMBW	**96.38**	95.54	**19.91**	24.13	**23.98**	30.43	**29.72**	26.52	**4,84**	3,96
ISWF	**134.45**	132.27	**26.10**	19.49	**33.45**	42.12	**38.96**	21.42	**5,15**	6,79

Deney numunelerine ait eğim açısı grafiklerinde (Şekil 4.142), her çevrimde θ açısı başlangıçta yatay eksene yaklaşık dik olarak başlamış, çevrimler ilerledikçe eğrinin eğim açısı azalarak devam etmiştir. Eğim açısının azalarak devam etmesi, deney numunelerinin rijitliklerinin de ilerleyen çevrimlerde azaldığı gerçeğini ortaya koymaktadır (Çizelge 4.21).



Şekil 4.142. Tüm numunelere ait eğim açısı grafikleri

Çizelge 4.21. Tüm numuneler için eğim açısı değerleri ve hesaplanan eğim açısı azalımı oranları

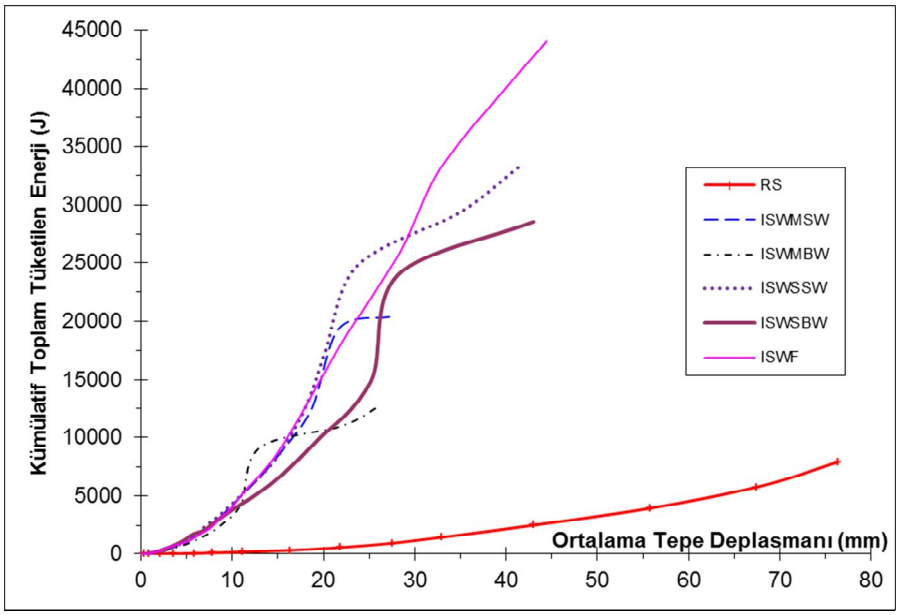
Deney numunesi	Eğim Açısı Değerleri (derece)			Rijitlik Azalımı Oranları	
	1. çevrimdeki	Max. yükteki	Son çevrimdeki	1. çevrimdeki/max. yükteki	1. çevrimdeki/Son çevrimdeki
RS 	**73.95**	38.18	**15.25**	1.94	**4.85**
ISWSSW 	**89.50**	86.59	**78.78**	2.34	**5.87**
ISWMSW 	**89.06**	86.72	**65.07**	2.33	**5.84**
ISWSBW 	**89.34**	85.92	**79.70**	2.34	**5.86**
ISWMBW 	**89.45**	87.42	**66.40**	2.34	**5.87**
ISWF 	**89.62**	87.53	**79.93**	2.35	**5.88**

Enerji tüketim kapasitelerinin karşılaştırılması:

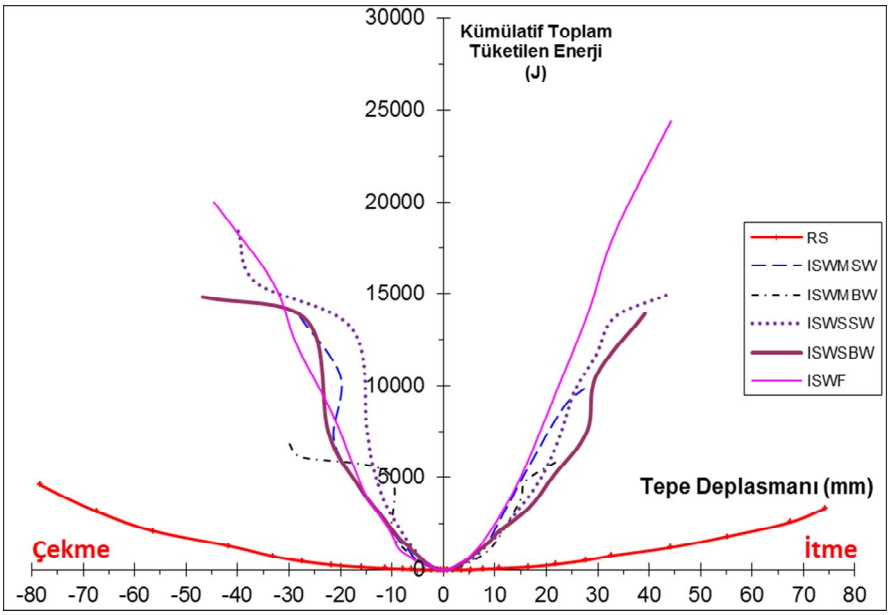
Çalışma kapsamında yer alan tüm numunelere ait tüketilen enerji grafikleri Şekil 4.143-Şekil 4.144'de, dolgu duvarsız B/A çerçeveye göre enerji tüketme kapasitelerindeki artış oranları, itme yönü için Çizelge 4.22'de, çekme yönü için Çizelge 4.23'te verilmiştir.

Çizelge 4.22'ye göre en fazla enerji tüketme kapasitesine sahip numune, tam B/A dolgu duvarlı numunedir. Buna göre tam B/A dolgu duvarlı numune; referans numuneye göre 5.56 kat, B/A dolgu duvarlı kenarda küçük pencereli numuneye göre 1.26 kat, B/A dolgu duvarlı ortada küçük pencereli numuneye göre 2.94 kat, B/A dolgu duvarlı kenarda büyük pencereli numuneye göre 1.41 kat ve B/A dolgu duvarlı ortada büyük pencereli numuneye göre 3.59 kat daha fazla enerji tüketme kapasitesine sahiptir.

Çizelge 4.23'ten ise tam B/A dolgu duvarlı numunenin; ISWSSW ve ISWSBW numunelerine göre sırayla %4, %2 daha az enerji tüketme kapasitesine, ISWMSW ve ISWMBW numunelerine göre sırayla %111, %151 daha fazla enerji tüketme kapasitesine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.143. Tüm numunelere ait kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.144. Tüm numunelere ait kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği (çevrimlere göre)

Çizelge 4.22. İtme yönü için tüm numunelere ait kümülatif toplam tüketilen enerji değerleri ve oranları

Deney numunesi	Kümülatif Toplam Tüketilen Enerji Değerleri (J)		Tüketilen Enerji Oranları	
	Max. yatay yüke kadar	Göçme yüküne kadar (0.8*Vmax)	Max. yatay yükte	Göçme yükünde
RS 	1208	**2825**	1.00	**1.00**
ISWSSW 	7302	**12464**	6.05	**4.42**
ISWMSW 	5336	**5338**	4.42	**1.89**
ISWSBW 	3365	**11122**	2.79	**3.94**
ISWMBW 	2269	**4378**	1.89	**1.55**
ISWF 	4809	**15712**	3.98	**5.56**

Çizelge 4.23. Çekme yönü için tüm numunelere ait kümülatif toplam tüketilen enerji değerleri ve oranları

Deney numunesi	Kümülatif Toplam Tüketilen Enerji Değerleri (J)		Tüketilen Enerji Oranları	
	Max. yatay yüke kadar	Göçme yüküne kadar (0.8*Vmax)	Max. yatay yükte	Göçme yükünde
RS 	1298	**3812**	1.00	**1.00**
ISWSSW 	13097	**14133**	10.09	**3.71**
ISWMSW 	4892	**6430**	3.77	**1.69**
ISWSBW 	7472	**13790**	5.76	**3.62**
ISWMBW 	2050	**5395**	1.58	**1.42**
ISWF 	3961	**13566**	3.05	**3.56**

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ülkemizde; birçok yıkıcı depremin yaşanmış olması, gelecekte de sık sık depremlerin olacağı gerçeği ve mevcut yapı stoğumuzun büyük bir kısmının yaşanacak olan bu olası depremlere karşı güvensiz olmaları gerçeği güçlendirme konusunun önemini artırmıştır. Yapıların deprem güvenliklerinin tespitinin ardından, yapıların güçlendirilmesinde hangi yöntemin tercih edileceği de önemli bir husus olarak karşımıza çıkmaktadır. Yapılacak olan güçlendirme yönteminin tercihinde ise şu hususların bir arada göz önünde tutulması gerekli olmaktadır;

a) Yapıların düşeyde ve yatayda yük taşıma kapasitelerine olan katkısı,
b) Yapıların rijitliklerine olan katkısı,
c) Yapıların sünek davranışına katkısı,
d) Yapıların deprem sırasında enerji tüketme kapasitelerine olan katkısı,
e) Güçlendirmenin, yapım ve bakım maliyeti,
f) Güçlendirme işleminin tamamlanma süresi,
g) Güçlendirmenin, yapıların fonksiyonelliğine etkisi ve
h) Güçlendirmenin, yapı ölü yükünü ne kadar artırdığıdır.

Yukarıda belirtilen hususlar nedeniyle yapıların güçlendirilmesinde daha etkin güçlendirme yönteminin belirlenebilmesi ve yeni güçlendirme tekniklerinin geliştirilebilmesi için ülkemizde ve dünyada birçok deneysel çalışma yapılmış ve yapılmaya da devam etmektedir. Deprem davranışı yetersiz betonarme çerçevelerin güçlendirilmesinde, daha önce yapılmış olan deneysel çalışmaların çoğunda çerçevelerin içerisinin tamamen betonarme dolgu duvarlarla güçlendirilerek test edildiği görülmüştür. Ancak güçlendirmesi yapılacak olan mevcut yapılarda kullanılabilirlik açısından kapı ve pencere boşluklarının boyut ve yerleşiminin korunması amacıyla yapılan parçasal betonarme dolgu duvarlı yâda boşluklu betonarme dolgu duvarlı güçlendirme ile ilgili yapılan deneysel çalışma sayısının sınırlı olduğu görülmüştür.

Hazırlanan bu tez kapsamında; ülkemizde deprem davranışı yetersiz mevcut yapıların özelliklerini yansıtabilecek özellikte, 1/3 ölçekli, tek açıklıklı ve iki katlı 6 adet betonarme çerçeve Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem Araştırma Laboratuvarında üretilmiştir. Boşluklu betonarme dolgu

duvarlı güçlendirme konusuna katkı sağlamak amacıyla; üretilen bu numunelerden 4'ü çeşitli boyuttaki pencere boşluklarına sahip betonarme dolgu duvarlarıyla, 1'i boşluksuz betonarme dolgu duvarla güçlendirilerek ve diğer numune ise dolgu duvarsız referans numune olarak tersinir-tekrarlanır yükler altında test edilmiştir.

5.1. Sonuçlar

Bu tez kapsamında yapılan deneysel çalışmaların neticesinde, numunelerin yatay yük taşıma kapasiteleri, akma yük değerleri, göçme yükü değerleri, ilk yanal rijitlik değerleri, kümülatif toplam tüketilen enerji değerleri, süneklik oranları değerleri ve göçme mekanizması durumları için aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Dolgu duvarsız betonarme çerçeve RS'nin, maksimum yatay yük taşıma kapasitesi itmede 29.67 kN, çekmede 37.88 kN, akma yükü değeri itmede 22.25 kN, çekmede 28.41 kN, göçme yükü değeri itmede 23.74 kN, çekmede 30.30 kN, ilk yanal rijitlik değeri itmede 4.02 kN/mm, çekmede 3.14 kN/mm, kümülatif toplam tüketilen enerji değeri 7902 J ve süneklik oranı değeri itmede 3.29, çekmede 2.77 olarak bulunmuştur. Numunede göçme mekanizması; S101 ve S102 kolonlarında meydana gelen eğilme ve kesme çatlaklarından kaynaklanan ağır hasarlar şeklinde gerçekleşmiştir. Böylelikle bu numunede zayıf kolon-güçlü kiriş davranışının oluşumu gözlemlenmiştir.
- Betonarme dolgu duvarlı kenarda küçük pencereli numune ISWSSW'nin, maksimum yatay yük taşıma kapasitesi itmede 286.87 kN, çekmede 302.73 kN, akma yükü değeri itmede 215.15 kN, çekmede 227.05 kN, göçme yükü değeri itmede 229.10 kN, çekmede 242.18 kN, ilk yanal rijitlik değeri itmede 96.54 kN/mm, çekmede 115.25 kN/mm, kümülatif toplam tüketilen enerji değeri 33330 J ve süneklik oranı değeri itmede 2.92, çekmede 3.69 olarak bulunmuştur. Numunede göçme mekanizması; sistemdeki dört kolonun K101 ve K201 kirişleriyle birleşim uç bölgelerinde önemli derecede beton ezilmesi şeklinde, S101 ve S201 kolonlarında kısa kolon oluşumu şeklinde, P101 dolgu duvarında K101 kirişi alt hizasında gerçekleşen önemli derecede beton ezilmesi şeklinde ve her iki dolgu duvarında oluşan kesme çatlakları şeklinde gerçekleşmiştir.

- Betonarme dolgu duvarlı ortada küçük pencereli numune ISWMSW'nin, maksimum yatay yük taşıma kapasitesi itmede 295.15 kN, çekmede 280.95 kN, akma yükü değeri itmede 221.36 kN, çekmede 210.71 kN, göçme yükü değeri itmede 236.12 kN, çekmede 224.76 kN, ilk yanal rijitlik değeri itmede 58.25 kN/mm, çekmede 86.28 kN/mm, kümülatif toplam tüketilen enerji değeri 20449 J ve süneklik oranı değeri itmede 1.58, çekmede 2.04 olarak bulunmuştur. Numunede göçme mekanizması; S101 ve S102 kolonlarının K101 kirişiyle birleşim uç bölgelerinde önemli derecede beton ezilmesi şeklinde, P101 dolgu duvarının pencere boşluğu köşelerinde oluşan beton ezilmeleri şeklinde, P101 dolgu duvarının sol üst bölgesinde oluşan beton ezilmeleri şeklinde ve P101 dolgu duvarında pencere boşluğu köşe noktalarından başlayıp kolon-temel birleşimlerine kadar uzanan geniş kesme çatlakları şeklinde gerçekleşmiştir.
- Betonarme dolgu duvarlı kenarda büyük pencereli numune ISWSBW'nin, maksimum yatay yük taşıma kapasitesi itmede 225.17 kN, çekmede 266.31 kN, akma yükü değeri itmede 168.88 kN, çekmede 199.73 kN, göçme yükü değeri itmede 180.14 kN, çekmede 213.05 kN, ilk yanal rijitlik değeri itmede 88.04 kN/mm, çekmede 79.51 kN/mm, kümülatif toplam tüketilen enerji değeri 28539 J ve süneklik oranı değeri itmede 3.23, çekmede 2.89 olarak bulunmuştur. Numunede göçme mekanizması; S101, S201 ve S102 kolonlarında kısa kolon davranışı şeklinde, P101 dolgu duvarında pencere boşluğu alt hizasında başlayan S102 kolonu üst uç noktası ve temel birleşimine kadar devam eden kayma çatlakları (beton ezilmeleri) şeklinde ve P201'de genel olarak oluşan kesme çatlakları şeklinde gerçekleşmiştir.
- Betonarme dolgu duvarlı ortada büyük pencereli numune ISWSBW'nin, maksimum yatay yük taşıma kapasitesi itmede 236.27 kN, çekmede 243.10 kN, akma yükü değeri itmede 177.20 kN, çekmede 182.33 kN, göçme yükü değeri itmede 189.02 kN, çekmede 194.48 kN, ilk yanal rijitlik değeri itmede 96.38 kN/mm, çekmede 95.54 kN/mm, kümülatif toplam tüketilen enerji değeri 12814 J ve süneklik oranı değeri itmede 1.81, çekmede 1.90 olarak bulunmuştur. Numunede göçme mekanizması; S101 kolonunda kısa kolon oluşumu şeklinde, S102 kolonunun K101 kirişiyle birleşim uç bölgesinde önemli derecede beton ezilmesi şeklinde, P101 dolgu duvarında pencere boşluğu kenarlarında oluşan önemli derecede kesme çatlakları şeklinde ve P201'de genel olarak oluşan kesme çatlakları şeklinde gerçekleşmiştir.

- Boşluksuz betonarme dolgu duvarlı numune ISWF'nin, maksimum yatay yük taşıma kapasitesi itmede 382.62 kN, çekmede 379.98 kN, akma yükü değeri itmede 286.97 kN, çekmede 284.97 kN, göçme yükü değeri itmede 306.10 kN, çekmede 303.98 kN, ilk yanal rijitlik değeri itmede 134.45 kN/mm, çekmede 132.27 kN/mm, kümülatif toplam tüketilen enerji değeri 44077 J ve süneklik oranı değeri itmede 3.69, çekmede 3.26 olarak bulunmuştur. Numunede göçme mekanizması; S101 ve S102 kolonlarının temel birleşimi uç bölgelerinde önemli derecede betonun ezilmesi ve kolon boyuna donatılarında burkulmaların olması ve P101 dolgu duvarının temel birleşimi bölgesinde, S101-K101, S102-K201 kolon kiriş birleşim bölgesinde önemli derecede beton ezilmesi şeklinde gerçekleşmiştir.

Yapılan deneylerden elde edilen verilerin karşılaştırılması neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- Boşluksuz B/A dolgu duvarla güçlendirilmiş numune, en fazla yatay yük taşıma kapasitesine sahip numunedir (382.62kN). Tam B/A dolgu duvarlı numuneye göre; dolgu duvarında %14.36'lık pencere boşluğu olan küçük pencereli numunelerde ortalama %24 ve dolgu duvarında %21.54'lük pencere boşluğu olan büyük pencereli numunelerde ortalama %40 dayanım düşüşü olmuştur. Buradan da anlaşıldığı üzere, dolgu duvarlarda %21.54'lük boşluk oranından daha büyük oranlarda pencere boşluğu bırakılarak yapılacak olan güçlendirmenin, sistemin yatay yük taşıma kapasitesine katkısının yeterli olamayacağı sonucuna ulaşılmaktadır.

  Referans numuneye göre; boşluksuz dolgu duvarlı numunede 12.90 kat, ortada küçük pencereli numunede 9.95 kat, kenarda küçük pencereli numunede 9.67 kat, ortada büyük pencereli numunede 7.96 kat ve kenarda büyük pencereli numunede 7.59 kat yatay yük taşıma kapasitesi artışı olduğu görülmüştür.

- İlk yanal rijitlik değeri en fazla olan numune, boşluksuz B/A dolgu duvarla güçlendirilmiş numunedir (134.45kN/mm). Referans numuneye göre ilk yanal rijitlik oranları ise boşluksuz dolgu duvarlı numunede 33.45 kat, ortada küçük pencereli numunede 14.49 kat, kenarda küçük pencereli numunede 24.01 kat, ortada büyük pencereli numunede 23.98 kat ve kenarda büyük pencereli numunede 21.90 kat şeklinde olmuştur.

Numunelere ait ilk yanal rititlik değerlerinin, maksimum yükteki rijitlik değerlerine oranlanması ile rijitlik azalımı oranları ise boşluksuz dolgu duvarlı numunede 5.15, ortada küçük pencereli numunede 3.17, kenarda küçük pencereli numunede 8.34, ortada büyük pencereli numunede 4.84, kenarda büyük pencereli numunede 8.42 ve referans numunede 6.00 olarak bulunmuştur.

- Numunelere ait göçme durumdaki maksimum yatay deplasmanlarının (δ_{u+}, δ_{u-}), akma anındaki yatay deplasmanlara (δ_{y+}, δ_{y-}) oranlanması ile numunelerin süneklik oranları bulunmuştur. Referans numuneye göre süneklik oranları ise boşluksuz dolgu duvarlı numunede 1.12 kat, ortada küçük pencereli numunede 0.48 kat, kenarda küçük pencereli numunede 0.89 kat, ortada büyük pencereli numunede 0.55 kat ve kenarda büyük pencereli numunede 0.98 kat şeklinde olmuştur.
- Kümülatif toplam tüketilen enerji değeri en fazla olan numune, boşluksuz B/A dolgu duvarla güçlendirilmiş numunedir (44077 J). Referans numuneye göre tüketilen enerji oranları ise boşluksuz dolgu duvarlı numunede 5.58 kat, kenarda küçük pencereli numunede 4.22 kat, ortada küçük pencereli numunede 2.59 kat, kenarda büyük pencereli numunede 3.61 kat ve ortada büyük pencereli numunede 1.62 kat şeklinde olmuştur.

5.2. Öneriler

Deprem davranışı yetersiz betonarme çerçevelerin, pencere boşluklu betonarme dolgu duvarlarıyla güçlendirilmesi konusunda yapılan araştırma sonucunda geliştirilen öneriler aşağıda sunulmuştur.

- Yapılan güçlendirme çalışmalarının, betonarme çerçeve sistemine önemli yatay yük taşıma kapasitesi artışı, yanal rijitlik artışı ve enerji tüketme kapasitesi artışı sağladığı görülmüştür. Ancak güçlendirme çalışmalarının bu kazanımları yanında, ortadan pencere boşluklu numunelerde süneklik oranlarının düşük olması diğer numunelerde de önemli miktarda süneklik oranlarının değişmemesi önemli bir sonuç olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle numunelerin dolgu duvarlarında, DBYBHY 2007'de belirtilen şartlara uygun uç elemanları oluşturularak yeni bir çalışma yapılabilir. Dolgu duvarlarda oluşturulacak olan uç elemanlarının, çerçeve kenarlarında uygulanması ile de kolonlarda kısa kolon oluşumunun önlenebileceği düşünülmektedir.

- Yapılacak olan yeni bir çalışma kapsamında; pencere boşluklu betonarme dolgu duvarlarıyla güçlendirilmiş numunelerin davranışları analitik olarak incelenebilir. Böylelikle, numuneler için deneylerden elde dilen sonuçlar, analitik çalışma sonuçları ile karşılaştırılabilir.
- Tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçeveler üzerinde bu güne kadar birçok deneysel ve analitik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar, tuğla dolgu duvarlarının, betonarme çerçevelerin yatay yük taşıma kapasitelerini ve yanal rijitliklerini artırdığını ortaya koymuştur. Yapılacak olan yeni bir çalışma kapsamında da; tersinir-tekrarlanır yükler altında, pencere boşluklu tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçeveli numuneler test edilebilir. Daha sonra bu numuneler için elde edilen deney sonuçları, pencere boşluklu B/A dolgu duvarlı güçlendirme çalışmalarına ait deneysel sonuçlar ile karşılaştırılabilir. Böylelikle, pencere boşluklu B/A dolgu duvarlarının, pencere boşluklu tuğla dolgu duvarlara göre mevcut betonarme çerçeveye olan katkısı net olarak ortaya konulabilir.
- Hazırlanan bu çalışmada, deney numunelerinin çerçevelerinde ortalama basınç dayanımı 17 MPa olan beton kullanılmıştır. Yapılacak olan yeni bir çalışmada, numunelerin çerçeve betonu olarak daha düşük basınç dayanımına sahip beton kullanılarak deneysel bir çalışma yapılabilir. Böylelikle, beton basınç dayanımı düşük olan mevcut betonarme yapılarda, pencere boşluklu B/A dolgu duvarlarıyla yapılan güçlendirme yönteminin uygulanabilirliği hakkında fikir sahibi olunabilir.
- Ülkemizdeki gerçek yapılarda uygulanan diğer pencere çeşitleri dikkate alınarak ve bu çalışmadaki pencere boşluk oranları ve yerleşim yerleri değiştirilerek yeni bir çalışma yapılabilir.
- Bu tür güçlendirme çalışmalarının ancak yapıların dış cephelerindeki çerçevelere uygulanabilirliği mümkündür. Yapıların içerisinde yer alan çerçevelerin güçlendirilmesinde, kapı boşluklarının boyut ve yerleşim değişimini incelemek amacıyla da deneysel çalışmalar yapılabilir.
- Gerçek betonarme yapıların kolonlarının da uygulanan bindirmeli ek durumu göz önünde tutularak üretilecek olan numuneler üzerinde, yeni bir deneysel çalışma yapılabilir. Böylelikle, mevcut betonarme çerçevenin kolonlarında uygulanan bindirmeli ekin, pencere boşluklu B/A dolgu duvarlarıyla yapılan güçlendirme çalışmalarına etkisi daha net görülebilir.

- Benzer konularda yapılacak olan deneysel çalışmalarda, gerçek yapı davranışını daha iyi yansıtabilecek 3 boyutlu numuneler kullanılabilir. Ancak böyle bir durumda, deneylerde kullanılan yükleme ve ölçüm düzeneğinin değişmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. 3 boyutlu numunelerin testi için oluşturulacak yeni yükleme ve ölçüm düzeneğin oluşturulmasında ise disiplinler arası çalışmanın büyük önem arz ettiği düşünülmektedir.

Mevcut yapıların, pencere boşluklu betonarme dolgu duvarlarıyla güçlendirilmesine karar verilmesi durumunda;

- Yapının taşıyıcı sistem projesinden, mimari projesinden ve gerekli durumlarda yapının yerinde incelenmesi sonucunda hazırlanan röleve çalışmalarından yararlanılarak güçlendirme uygulamasının yapılacağı en uygun taşıyıcı çerçeveler belirlenmelidir. Güçlendirme yapılacak olan çerçevelerin belirlenmesinde ise yapıda kullanımı az olan mahallere ait çerçevelerin, dolgu duvarında pencere boşluğu az olan çerçevelerin ve yapıda simetrisi olan çerçevelerin seçilmesine dikkat edilmelidir. Ayrıca, güçlendirme çalışması yapılacak olan yapının, yanında bulunan diğer yapıların mevcut durumları da mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.
- DBYBHY 2007'de belirtilen şartlara uygun olarak hazırlanan güçlendirme projesinin uygulanması sırasında; yapı kullanımını aksatmayacak şekilde ve çevreye verilecek olan olumsuz etkilerin en aza indirgenebileceği çalışma planının hazırlanması gereklidir. Güçlendirme çalışmasının, hazırlanan güçlendirme projesine uygun bir şekilde yapılması yönünde gerekli titizliğin gösterilmesi gereklidir. Gerekirse bu yönde denetim mekanizması oluşturulmalıdır.
- Güçlendirme çalışmaları tamamlandıktan sonra yapı sistemine yeni eklenen B/A dolgu duvarlarda, "Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliğine" uygun bir şekilde gerekli yalıtım işlemlerinin yapılması gereklidir.

KAYNAKLAR

Acun, B., Sucuoğlu, H., 2005, Tuğla dolgu duvarlı çerçevelerin hasır donatı ile güçlendirilmesi, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 965-971.

Adalıer, K., Aydıngün, O., 2001, Structural engineering aspects of the June 27, 1998 Adana–Ceyhan (Turkey) earthquake, *Engineering Structures*, 23, 343-355.

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2012, Van depremi faaliyet raporu, *AFAD*, Ankara.

Ağar, M., 2008, Betonarme çerçevelerin çelik çaprazlar kullanılarak güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

Altın, S., 1990, Strengthening of reinforced concrete frames with reinforced concrete infills, Doktora Tezi, *Ortadoğu Teknik Üniversitesi,* Ankara.

Altın, S., Anıl, Ö., Gökten, Y., 2004, Betonarme kirişlerin kesmeye karşı güçlendirilmesinde bir kelepçe uygulaması, *Gazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak. Dergisi*, Cilt 19, No 4, 415-422.

Altın, S., 2010, Türkiye'nin deprem gerçeği paneli, *Gazi Üniversitesi Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi Yayını*, Ankara, 11-13.

Alyamaç, K.E., Ulucan, Z.Ç., 2005, 2003 Bingöl depreminden sonra güçlendirme işlemlerinde görülen yanlışlıklar ve öneriler, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 989-996.

Akın, D., 2007, Eğitim ne kadar önemli?, *TMMOB Afet Sempozyumu Bildiler Kitabı*, Ankara, 45-46.

Anıl, Ö., 2002, Betonarme çerçevelerin boşluklu betonarme dolgu duvarlar ile güçlendirilmesi, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

Anonim, 2012a, http://www.deprem.gov.tr/sarbis/depbolge/depharita1.gif

Anonim, 2012b, http://www.bazaltyapi.com/foto_galeri_detail.php?id=78

Anonim, 2012c, http://www.bazaltyapi.com/img/product/large/erdoganBB.jpg

Anonim, 2012d, http://www.yikimenkazhafriyat.com/images/bina-guclendirme-onarim.jpg

Anonim, 2012e, http://www.learn-hazards.org/img/big/3-2b.jpg

Anonim, 2012f, http://www.deprem.gov.tr/sarbis/Deprem/DepremResimleri.aspx

Anonim, 2012g, http://www.gemlikkorfezgazetesi.com/haber-3681-Kacak-kata-af-yok.html

Anonim, 2012h, http://www.anteppress.com/Haber/Aile-Yasam/21062011/Gunes-mahallesinde-kacak-yapilan-kat-yikildi.php

Anonim, 2012i, http://www.starseismic.eu/tr/projects

Anonim, 2012j, http://www.basf-yks.com.tr

Arslan, M.H., 2007, Kolonları çekme kırılması gösteren sünek olmayan betonarme çerçevelerin dış perde duvar ile güçlendirilmesi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 2-6.

Aydoğan, M., 2001, Betonarme binalarda onarım ve güçlendirme sistemleri ve tasarımı, *İnşaat Mühendisleri Odası Yayını*, Lefkoşa.

Baran, M., Okuyucu, D., Tankut, T., 2009, Betonarme çerçeveli yapıların ön üretimli beton panellerle sismik güçlendirilmesi, *Int.J. Eng. Research & Development*, 1(1), 63-68.

Baran, M., Canbay, E., Tankut, T., 2010, Beton panellerle güçlendirme – kurumsal yaklaşım, *İMO Teknik Dergi*, 4959-4978.

Buonopane, S.G., White, R.N., 1999, Pseudodynamic testing of masonary infilled reinforced concrete frames, *ASCE, Journal of Structural Engineering*, 125 (6), 578-589.

Can, H., 1997, Çelik korniyerler ile güçlendirilmiş/onarılmış betonarme kolonların eksenel yük altında davranışı, *İMO Teknik Dergi*, 1363-1371.

Can, H., 2010, Türkiye'nin deprem gerçeği paneli, *Gazi Üniversitesi Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi Yayını*, Ankara, 3-6.

Çağatay, İ.H., 2007, Binalarda kısa kolona etki eden parametrelerin incelenmesi, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 229-236.

Çankaya, M.A., Dönmez, C., 2001, Tersinir yükler altında dolgu duvarların betonarme çerçevelerin rijitlik, dayanım, ötelenme profili ve doğal frekanslarına etkisi, *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Ankara, 1-10.

Çevirme, S., 2007, Kolon-kiriş birleşim bölgelerinin çelik elemanlarla güçlendirilmesi ile ilgili deneysel inceleme, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 21-22.

Choi, H.K., Choi, Y.C., Lee, M.S., Lee, L.H., Choi, C.S., 2008, Retrofitting of shear walls in diffirent methods, *The 14.World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China.

Daniel, J.I., Shiu, K.N., Corley, W.G., 1986, Openings in earthquake-resistant structural walls, *Journal of Structural Engineering*, 112(7), 1660-1676.

Demirtaş, R., Erkmen, C., Yaman, M., 2000, 12 Kasım 1999 Düzce depremi: Yüzey kırık geometrisi, atım miktarı dağılımı ve gelecek deprem potansiyeli, *Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi*, Ankara, 61-100.

Doğangün, A., 2004, Performance of reinforced concrete buildings during the May 1, 2003 Bingöl Earthquake in Turkey, *Engineering Structures*, 26, 841-856.

Ellul, F., D'Ayala, D., 2008, Push-Over nonlinear analysis of infilled frames: realistic F E models of panels and contact, *The 14.World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China.

Ersoy U., Özcebe G., 2001, *Betonarme, Evrim Yayınevi*, İstanbul, 89.

Ersoy, U., 2007, Betonarme yapıların onarımı ve güçlendirilmesi uygulama ve araştırmalar, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 207-216.

Görgülü, A.T., 2008, Mevcut yapıların güçlendirilmesinde dış çelik konstrüksiyon perde uygulaması, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 110-113.

Han, S.W., Jee, N.Y., 2005, Seismic behaviors of columns in ordinary and intermediate moment resisting concrete frames, *Engineering Structures*, 27, 951-962.

Higashi, Y., Endo, T., Okhubo, M., Shimizu, Y., 1980, Experimental study on strengthening reinforced concrete structure by adding shear Wall, *Proceeding of the 7th WCEE*, İstanbul, Vol. 7, 173-180.

İlki, A., Demir, C., Karadeniz, A., Kumbasar, N., 2003, Hasarlı betonarme elemanların çelik köşebent ve lamalar ile güçlendirilmesi, *İTÜ Dergisi/d*, Cilt:2, Sayı:3, İstanbul, 3-16.

İnel, M., Bilgin, H., Özmen, H.B., 2008, Orta yükseklikli betonarme binaların Türkiye'de yaşanan son depremlerdeki performansı, *İMO Teknik Dergi*, 4319-4331.

Kaltakcı, M.Y., Arslan, M.H., Yılmaz, Ü.S., 2005, Malzeme sünekliğinin sistem sünekliğine olan etkisi üzerine bir çalışma, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 881-893.

Kaltakcı, M.Y., Arslan, M.H., Korkmaz, H.H., Öztürk, M., 2007, An investigation on failed or damaged reinforced concrete structures under their own-weight in Turkey, *Engineering Failure Analysis*, 14, 962–969.

Kamanlı, M., Korkmaz, H.H., Balık, F.S., Bahadır, F., 2011, Sünek olmayan B/A çerçevelerin, çelik çaprazlarla, B/A dolgu duvarlarla ve çelik levhalar ile güçlendirilmesi, *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Ankara, 1-9.

Kaplan, H., Yılmaz, S., Çetinkaya, N., Atımtay, E., 2011, Seismic strengthening of RC structures with exterior shear walls, *Indian Academy of Sciences*, 36(1), 17–34.

Kara, M.E., 2006, Sünek olmayan betonarme çerçevelerin betonarme parçasal dolgu duvarlarıyla güçlendirilmesi, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 13-14.

Kara, M.E., Altın, S., 2006, Sünek olmayan B/A Çerçevelerin B/A Parçasal dolgu duvarlarıyla güçlendirilmesi, *Yedinci Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi*, İstanbul, 1-10.

Kara, İ.F., 2007, Betonarme yapıların çatlama etkisi göz önüne alınarak lineer olmayan analizi, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 17-19.

Kato, D., Kabesayasawa, T., Otani, S., Aoyama, H., 1995, Earthquake resistant design of shear walls with one opening, *ACI Structural Journal*, 92 (4), 495-500.

Koçu, N., Dereli, M., 2005, Betonarme kargas yapılarda malzeme, tasarım, uygulama hataları ve deprem etkilerinin araştırılması, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 716-724.

Korkmaz, H.H., Tankut, T., 2005, Performance of a precast concrete beam-to-beam connection subject to reversed cyclic loading, *Engineering Structures*, 27, 1392-1407.

Korkmaz, H.H., 2009, Fotoğraf arşivi.

Korkmaz, H.H., Kaltakcı, M.Y., Kamanlı, M., 2011, Sünek olmayan betonarme çerçevelerin hasır çelik ve sıva uygulaması ile güçlendirilmesi, *Ulusal Yapı Mekaniği Laboratuvarları Toplantısı*, Kocaeli, 58-59,

Marius, M., Valeriu, S., 2012, Seismic energy dissipation in structural reinforced concrete walls with staggered openings, *Journal of applied engineering sciencies*, Vol: 2(15), Issue:1, 71-78.

Marjani, F., Ersoy, U., 2002, Behavior of brick infilled reinforced concrete frames under reversed cyclic loading, *ECAS2002 International Symposium on Structural and Earthquake Engineering*, Ankara, 142-150.

Moehle, J.P., 2000, State of research on seismic retrofit of concrete building structures in the US, *US-Japan Symposium and Workshop on Seismic Retrofit of Concrete Structures*, USA, 4.

Ono, M., Ezaki, F., 2000, The effects of loading velocity on elasto-plastic behavior of reinforced concrete framed shear walls with opening, *The 12.World Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, New Zealand.

Orta Doğu Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi, 2011, 23 Ekim 2011 M_w 7.2 Van depremi sismik ve yapısal hasara ilişkin saha gözlemleri, ODTÜ/DMAM 2011-04, *İnşaat Mühendisleri Odası*, Ankara.

Özdemir, H., Eren, İ., 2009, Bölme duvarının ve bölme duvar güçlendirilmesinin çerçeve davranışına etkisi, *İTÜ Dergisi/d*, Cilt:8, Sayı:6, İstanbul, 133-145.

Özmen, B., Nurlu, M., Güler, H., 1997, Coğrafi bilgi sistemi ile deprem bölgelerinin incelenmesi, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü*, Ankara.

Özmen, B., Nurlu, M., 1999, Deprem bölgeleri haritası ile ilgili bazı bilgiler, *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Haber Bülteni*, Sayı: 99/2-3, Ankara, 32-35.

Özdöner, N., 2011, Betonarme binaların deprem güvenliğinin, bina dışından uygulanan betonarme prefabrik paneller ile arttırılması, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Konya.

Öztürk, M., 2010, Deprem dayanımı yetersiz betonarme çerçevelerin bağ kirişli dış perde duvar uygulaması ile güçlendirilmesi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-2.

Park, R., 1989, Evaluation of ductility of structures and structural assemblages from laboratory testing, *Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering*, Vol.22, No.3, September.

Rahai, A.R., Alinia, M.M., 2007, Performance evaluation and strengthening of concrete structures with composite bracing members, *Construction and Building Materials*, 22,2100-2110.

Sittipunt, C., Wood, S.L., 1999, Improwing the cyclic reponse of selender structural walls by changing the orientation of the web reinforcement, *Pacific Earthquake Engineering Research Center,* University of California, PEER Report 1999/10, Maui, Hawaii, 323-332.

Sucuoğlu, H., 2007, 2007 Deprem Yönetmeliği performans esaslı hesap yöntemlerinin karşılıklı değerlendirmesi, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı: 444-445, 24-36.

Şahan, E., 2009, Yerel yönetimlerin afet zararlarını azaltmaya yönelik zemin araştırmalarına bakışı nasıl olmalı?, http://www.erdalsahan.com/etiket/heyelan

Şengün, H., 2007, Marmara Depremi'nde Bayındırlık ve İskân Bakanlığı çalışmaları ve hukuksal sorunlar, *TMMOB Afet Sempozyumu Bildiler Kitabı*, Ankara, 57-82.

Taylor, C. P., Cote, P. A., Wallence, J. W., 1998, Design of selender reinforced concrete walls with openings, *ACI Structural Journal*, 95 (4), 420-433.

Tekin, M., Erçetin, İ., 2005, Dolgulu betonarme çerçevelerin doğrusal olmayan analizi, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 936-941.

Tekin, M., Alsancak, E., Ay, M., 2007, Betonarme çerçevelerde dolgu duvar etkisinin incelenmesi, *C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 95-104.

Triantafillou, T.C., 2001, Seismic retrofitting of structures with fibre-reinforced polymers, *Structural Engineering Materials*, Vol: 3, 57-65.

Türk, M., Ersoy, U., Özcebe, G., 2003, Betonarme çerçevelerin depreme karşı onarımı ve güçlendirilmesi, *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul.

Türker, H., 2005, Sismik izolasyon sistemlerinin kullanış tipleri örnek bir maliyet analizi, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 538-545.

UDSEP, 2011, Ulusal deprem stratejisi ve eylem planı 2012-2023, *Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı*, Ankara, 4.

Ünal, A., 2012, TDY 2007'ye göre tasarlanmamış betonarme çerçevelerin düzlem dışı perde duvarla güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Wang, J., Sakashita, M., Kono, S., Tanaka, H., Lou, W., 2010, Behavior of reinforced concrete structural walls with various opening locations: experiments and macro model, *Journal of Zhejiang University-Science A*, 11(3), 202-211.

Yavuzarslan, T., 2007, 2007 deprem yönetmeliği'nin 1998 deprem yönetmeliği ile karşılaştırılması ve sayısal irdelemesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-3.

Yılmaz, Ü., Arslan, M.H., Kaltakcı, M.Y., 2010, Betonarme dış perde duvarla güçlendirilmiş çerçevelerin dayanım parametrelerinin deneysel ve analitik yöntemlerle irdelenmesi, *TÜBAV Bilim Dergisi*, 3(1), 11-12.

Youssef, M.A., Ghaffarzadeh, H., Nehdi, M., 2007, Seismic performance of RC frames with concentric internal steel bracing, *Engineering Structures*, 29, 1561-1568.

Yüksel, İ., Polat, Z., 2002, Betonarme çerçeve sistemlerinde sistem akma parametrelerinin tespiti, *ECAS2002 Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu*, Ankara, 300-307.

Yüksel, İ., 2005, Sistem deplasmanında yeni bir yaklaşımla sünek yapılarda performans değerlendirmeleri, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 565-576.

DBYBHY, 2007, Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.

TS500, 2000, Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Fatih Süleman BALIK
Uyruğu	**:**	T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Karapınar 12/03/1978
Telefon (iş)	**:**	0332 712 74 24
Faks (iş)	**:**	0332 712 74 25
e-mail	**:**	fsbalik@selcuk.edu.tr

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	**:**	Karapınar Çok Programlı Meslek Lisesi	1995
Üniversite	**:**	Niğde Üniveristesi Aksaray Müh. Fakültesi	1999
Yüksek Lisans:		Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya	2004
Doktora	**:**	Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya	2012

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
1999-	Selçuk Üniversitesi Ereğli Kemal Akman M.Y.O.	Öğr.Gör.

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

1. Kamanlı, M., Balık, F.S., 2009, Ereğli'de Rüzgâr ve Rüzgâr Yükünün Yapı Elemanlarına Olan Etkileri, *1. Ulusal Konya Ereğli Kemal Akman Meslek Yüksekokulu Tebliğ Günleri*, Sayı 1, Konya, 107-117.

2. Kamanlı, M., Korkmaz, H.H., Bahadır, F., Balık, F.S., 2010, Betonarme Yapıların Güçlendirilmesinde Uygulanan Yöntemler, *2. Ulusal Konya Ereğli Kemal Akman Meslek Yüksekokulu Tebliğ Günleri*, Sayı 2, Konya, 561-573.

3. Bahadır, F., Balık, F.S., Korkmaz, H.H., Kamanlı, M., Korkmaz, S.Z., 2011, Küçük Ölçekli, 3 Boyutlu B/A Numuneler Üzerinde Güçlendirme Çalışmaları Öğrenci Fikirlerinin Değerlendirilmesi, *3. Ulusal Konya Ereğli Kemal Akman Meslek Yüksekokulu Tebliğ Günleri*, Sayı 3, Konya, 630-640.

4. Bahadır, F., Balık, F.S., Kaltakcı, M.Y., Kamanlı, M., Korkmaz, H.H., 2011, Sünek Olmayan B/A Çerçevelerin B/A Dolgu Duvarlar, Çelik Levha ve Çelik Çaprazlarla Güçlendirilmesi, *Ulusal Yapı Mekaniği Laboratuvarları Toplantısı*, Kocaeli.

5. Kamanlı, M., Korkmaz, H.H., Balık, F.S., Bahadır, F., 2011, Sünek Olmayan Betonarme Çerçevelerin, Çelik Çaprazlarla, Betonarme Dolgu Duvarlarla, ve Çelik Levhalar ile Güçlendirilmesi, *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Ankara.

6. Kamanlı, M., Balık, F.S., 2010, The Behaviour of Roof Gable Walls Under the Effect of Earthquake Load, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, 251–263.

7. Kamanlı, M., Kaltakcı, M.Y., Bahadır, F., Balık, F.S., Korkmaz, H.H., Döndüren, M.S., Çöğürcü, M.T., 2012, Predicting the Flexural Behaviour of Reinforced Concrete and Lightweight Concrete Beams by ANN, *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, 19, 87-94.

8. Kamanlı, M., Balık, F.S., 2002, Rüzgar ve Deprem Yükü Etkisi Altında Çatı Kalkan Duvarlarının Davranışı, *4. Gap Mühendislik Kongresi*, 947-954.

9. Kamanlı, M., Balık, F.S., 2003, Deprem Yükü Altında Kalan Çatı Kalkan Duvarlarının Davranışı, *Yapı Mekaniği Laboratuvarları Toplantısı*, Konya.

10. Kamanlı, M., Balık, F.S., 2003, Beton Teknolojisi, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara.

11. Kamanlı, M., Balık, F.S., 2003, Bilgisayar Destekli Tasarım Autocad 2002, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara.

12. Kamanlı, M., Balık, F.S., Sulak, A.İ., 2004, Bilgisayar Destekli Tasarım Autocad 2004, *Nobel Yayın Dağıtım*, İstanbul.

13. Balık, F.S., Mutlu, H.H., Torun, A., Yelmen, B., 2007, Teknolojinin Bilimsel İlkeleri, *Şelale Matbaacılık*, Konya.