
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

BETONARME DOLGU DUVARLARLA KISA KOLON DAVRANIŞININ İYİLEŞTİRİLMESİ

Hamid ALLAHGHOLIPOUR

YÜKSEK LİSANS
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARALIK 2015

Hamid ALLAHGHOLIPOUR tarafından hazırlanan "BETONARME DOLGU DUVARLARLA KISA KOLON DAVRANIŞININ İYİLEŞTİRİLMESİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Sinan ALTIN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum .....

Başkan: Prof. Dr. Ahmet YAKUT

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ, ODTÜ

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum .....

Üye: Prof. Dr. Kurtuluş SOYLUK

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum .....

Tez Savunma Tarihi: 25/12/2015

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Metin GÜRÜ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Hamid
ALLAHGHOLIPOUR
25/12/2015

BETONARME DOLGU DUVARLARLA KISA KOLON DAVRANIŞININ İYİLEŞTİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hamid ALLAHGHOLIPOUR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2015

ÖZET

Bu çalışmada, bodrum katı betonarme perdelerde bırakılan bant tipi pencere ve havalandırma boşluklar nedeniyle depremde oluşan kısa kolon etkisinin azaltılması araştırılmıştır. Bu amaçla, üç adet tek katlı tek açıklıklı, 1/2 ölçekli ve çerçeve yüksekliğinin yarısı kadar bant pencere bırakılarak üretilmiş deney elemanları tersinen tekrarlanan yatay yükler altında test edilmiştir. Test edilen deney elemanların ikisinde, pencere boşluğu betonarme kanat duvarlar kullanarak çerçeve genişliğinin 0,50 ve 0,75 katı kadar olacak şekilde güçlendirilmiştir. Güçlendirilmiş deney elemanlarının ve betonarme kanat duvarsız deney elemanın deney sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Kısa kolona etki eden bant pencere genişliği ve yüksekliği, perdenin bulunduğu çerçeve genişliği ve yüksekliği, çerçeve açıklık sayısı, malzeme özellikleri ve kat adedi gibi çeşitli parametrelerden bant pencere genişliği dikkate alınmış ve diğer parametreler deney elemanlarında sabit tutulmuştur. Çalışmanın diğer bölümünde, deney elamanları ABAQUS bilgisayar programında modellenmiş ve deplasman kontrollü itme yükü altında sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiştir. Çalışmanın son bölümünde, analitik hesaplamaların verileri deneysel çalışmasından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Böylece, bodrum katı betonarme perdelerde bırakılan üç farklı genişlikteki pencere boşluklarının ve betonarme kanat duvarlar ile güçlendirilmenin kısa kolona olan etkisi elde edilmiştir.

Bilim Kodu : 911

Anahtar Kelimeler : ABAQUS, Bant Pencere, Kısa Kolon, Güçlendirme, Betonarme

Sayfa Adedi : 101

Danışman : Prof. Dr. Sinan ALTIN

IMPROVEMENT OF SHORT COLUMN EFFECT IN REINFORCEMENT CONCRETE SHEAR WALLS

(M. Sc. Thesis)

Hamid ALLAHGHOLIPOUR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2015

ABSTRACT

In this study, reduction of short column effect that occurs in the earthquake because of locating strip window and the ventilation spaces in basement floors with reinforcement concrete shear walls has been investigated. For this purpose, three single-floor single-opening and half of the frame height strip window have been left and produced experimental elements have been tested repeated in reverse under horizontal cycling loads. In both of the tested experimental elements, frame width of window space has been strengthened up to 0.5 and 0.75 times by using wing reinforcement concrete walls. The results of reinforced experimental elements and fretless wing concrete experimental elements were compared with each other. The parameters which effect on the short column like, width and height of the strip window, width and height of the frame where the shear wall is, number of frame openings, properties of materials, number of floors and various parameters have been considered and other parameters were kept constant in the experimental elements. In another section of study, experimental elements have been modeled in the computer program ABAQUS and their displacement has been controlled and analyzed by a finite element method under the pushing loads. In the last part of the study analytical calculations were compared with the results obtained from experimental data. With use of the data of the study, the effects of three different width of window openings on concrete wall of basement floor and being strengthening by reinforced concrete wing walls on short column have been obtained.

Science Code : 911

Key Words : Strip Window, Short Column, Reinforcement, Reinforcement Shear Wall, ABAQUS

Page Number : 101

Supervisor : Prof. Dr. Sinan ALTIN

TEŞEKKÜR

Beni kendisine yüksek lisans öğrencisi olarak kabul eden ve tez çalışması yapmaya layık gören değerli hocam Prof. Dr. Sinan ALTIN'a verdiği desteklerinden dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarının deneysel çalışması, Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarında, yapılmıştır. Bu süreçte, bana verdikleri desteklerden dolayı sayın Prof. Dr. Metin HÜSEM'e ve Doç. Dr. Selim PUL'a ''İnşaat Mühendisliği, Karadeniz Teknik Üniversitesi'' teşekkür ederim.

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

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ x

RESİMLERİN LİSTESİ xii

SİMGELER VE KISALTMALAR xvii

1. GİRİŞ 1

2. KISA KOLON DAVRANIŞI 9

3. DENEY ELEMANLARI VE DENEY TEKNİĞİ 11

3.1. Deney Elemanları 11

3.2. Malzemeler 17

3.2.1. Agrega 17

3.2.2. Çimento, su ve katkı malzemelerinin özellikleri 17

3.2.3. Deney elemanlarında kullanılan beton karışımları 18

3.2.4. Deney elemanlarında kullanılan betonların özellikleri 20

3.2.5. Donatı 21

3.3. Deney Elemanlarının Üretimi 23

3.3.1. Genel 23

3.3.2. Kanat dolgu duvarların üretimi 27

3.4. Deney Düzeni 31

3.4.1. Yükleme düzeni 31

3.4.2. Ölçüm aletleri ve ölçüm düzeni 35

Sayfa

3.4.3. Deney elemanlarına uygulanan yatay yük 39

4. DENEYLER VE SONUÇLAR 41

4.1. Ölçümlerin Değerlendirmesi 41

4.1.1. Yük-yer değiştirme grafiklerinin elde edilmesi 41

4.1.2. Dayanım zarfı grafiklerinin elde edilmesi 41

4.1.3. Rijitlik azalım eğrisi 41

4.1.4. Enerji Tüketimi 42

4.2. Deney Elemanları 43

4.2.1. Deney elemanı-1 43

4.2.2. Deney elemanı-2 49

4.2.3. Deney elemanı-3 55

4.3. Deneylerin Karşılaştırılması 62

5. ANALİTİK ÇALIŞMALAR 69

5.1. ABAQUS Programı ile Analitik Hesaplamalar 69

5.1.1. Modelleme 69

5.1.2. Malzeme özellikleri 73

5.1.3. Montaj 75

5.1.4. Analiz adımlarının tamamlanması 77

5.1.5. Etkileşim 77

5.1.6. Yük tanımlanması 79

5.1.7. Sonlu elemanlara bölme 79

5.1.8. Analitik çalışmaların verileri 79

5.2. Sonlu Elemanlar Analizi ile Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması 94

6. SONUÇ VE ÖNERİLER 97

Sayfa

6.1. Sonuçlar 97

6.2. Tartışma 98

6.2. Öneriler 98

KAYNAKLAR 99

ÖZGEÇMİŞ 101

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.1. Deney elemanları ve özellikleri..... 12

Çizelge 3.2. Betonların üretiminde kullanılan agregaların bazı fiziksel özelikleri 17

Çizelge 3.3. Agreganın granül metrik bileşimi..... 17

Çizelge 3.4. Beton üretiminde kullanılan çimentoların bazı özelikleri..... 18

Çizelge 3.5. Betonların karışım oranları 19

Çizelge 3.6. Üretilen betonlardan alınan numunelerin basınç dayanım test sonuçları 21

Çizelge 3.7. Deney elemanlarının üretiminde kullanılan donatılara ait bazı mekanik özelikleri 23

Çizelge 4.1. 1 No'lu deney elemanına için elde edilen yatay yük, yatay yer değiştirme ve yatay ötelenme değerleri 46

Çizelge 4.2. 1 No'lu deney elemanına için elde edilen birikimli enerji tüketimi ve yatay ötelenme değerleri 48

Çizelge 4.3. 2 No'lu deney elemanına için elde edilen yatay yük, yatay yer değiştirme ve yatay ötelenme değerleri 52

Çizelge 4.4. 2 No'lu deney elemanına için elde edilen birikimli enerji tüketimi ve yatay ötelenme değerleri 54

Çizelge 4.5. 3 No'lu deney elemanına için elde edilen yatay yük, yatay yer değiştirme ve yatay ötelenme değerleri 59

Çizelge 4.6. 3 No'lu deney elemanına için elde edilen birikimli enerji tüketimi ve yatay ötelenme değerleri 61

Çizelge 4.7. Deney elemanlarının taşıdıkları maksimum yatay yük değerleri, yatay yerdeğiştirmeler, yatay ötelenme ve rijitlik değerleri..... 62

Çizelge 4.8. Deney elemanlarının taşıdıkları maksimum yatay yük ve rijitlik değerlerinin karşılaştırılması..... 62

Çizelge 5.1. Donatıların kabuk elemanlarla modellemesinde kullanılan veriler..... 71

Çizelge 5.2. Deney elemanların parçalarının modellemesinde kullanılan ölçümler 71

Çizelge 5.3. ABAQUS programında yapılan modellerin malzeme özellikleri 75

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 5.4. ABAQUS programında tanımlanan yük uygulama adım değerleri 77

Çizelge 5.5. Deney elemanınlarının deneysel ve analitik analiz sonucu taşıdıkları maksimum yatay yük değerleri ve yatay yerdeğiştirmeler değerleri 94

Çizelge 5.6. Deney elemanlarının deneysel ve analitik analizler sonucu elde edilen maksimum yatay yük değerlerinin karşılaştırılması..... 94

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 1.1. Dolgu duvarına bitişik kolonlarda oluşan tipik kesme diyagramı 4

Resim 1.2. Aynı kattaki diğer kolonlara göre daha kısa imal edilmiş ve bant pencere nedeniyle serbest boyları kısıtlanmış kolonlardır 7

Resim 1.3. Bant pencerelerden dolayı oluşan kısa kolonlarda kesme hasarları 7

Resim 1.4. Sahanlık kirişi nedeniyle oluşan kısa kolonlarda kesme hasarları 8

Resim 1.5. McGraw Hill Book Company, New York 8

Resim 2.2. Bant pencere yapılması ile kolonun serbest boyu kısalmakta ve yatay yükler nedeniyle kolon da oluşacak kesme kuvveti artmaktadır 9

Resim 2.3. Yatay yük altındaki bant pencere boşluğu bırakılmış tek katlı tek açıklıklı betonarme çerçevede, kolonlarda oluşan momentler..... 10

Resim 3.1. 1 No'lu deney elemanı çerçece açıklık ve yüksekliği 11

Resim 3.2. 2 No'lu ve 3 No'lu deney elemanı çerçeve açıklık ve yüksekliği 12

Resim 3.3. 1 No'lu deney elemanı için donatı detayı 14

Resim 3.4. 2 No'lu deney elemanı için donatı detayı 15

Resim 3.5. 3 No'lu deney elemanı için donatı detayı 16

Resim 3.6. 28 Gün boyunca suda bekletilen standart silindir numuneler 19

Resim 3.7. Basınç deneylerinde kullanılan 2500 KN kapasiteli deney aleti 20

Resim 3.8. Üretilen betonların gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri..... 20

Resim 3.9. 8 mm çapında nervürlü donatının gerilme-birim şekil değiştirme diyagramı 22

Resim 3.10. 14 mm çapında nervürlü donatının gerilme birim şekil değiştirme diyagramı 22

Resim 3.11. Deney elemanlarının betonunun dökümünde kullanılan ahşap kalıplar..... 23

Resim 3.12. Deney elemanlarının donatı kesme işlemleri..... 24

Resim 3.13. Temel, kolon ve kiriş donatı kafesi 24

Resim 3.14. Deney elemanların temel, kolon ve perde donatı kafeslerinin birleşimi 25

Resim **Sayfa**

Resim 3.15. Temel beton dökümü 25

Resim 3.16. Temel beton dökümü 26

Resim 3.17. Kiriş donatı kafesinin yerleştirilmesi ve plastik kanalların yerleşimi 26

Resim 3.18. Üretimi tamamlanmış güçlendirilmemiş deney elemanı 27

Resim 3.19. Güçlendirilecek deney elemanlarında filiz ekimi 28

Resim 3.20. Deney elemanlarında ilave kanat duvar uç elemanları ve donatısı 29

Resim 3.21. Kanat duvarlarına beton dökümünün şematik gösterilimi 30

Resim 3.22. Beton dökümü tamamlanmış 1No'lu deney elemanı 30

Resim 3.23. Beton dökümü tamamlanmış 2No'lu deney elemanı 31

Resim 3.24. Beton dökümü tamamlanmış 3No'lu deney elemanı 31

Resim 3.25. Deney elemanlarının ve çelik profillerden oluşturulmuş düzeneğin gijonlar ile rijit döşemeye bağlanması 32

Resim 3.26. Birer 30KN ağırlığında 2 adet beton bloktan oluşturulmuş düşey yükün, kolonlara eşit olarak aktarılması için kolonların üzerine yerleştirilen çelik plakalar 33

Resim 3.27. Yüksek başarımlı güç ünitesine ve Actuator 33

Resim 3.28. Kiriş içinde bırakılan 30 mm çaplı dört adet kanala, 26mm çaplı çelik çubukların geçirilmesi ve kirişin bir ucunda çelik plaka ile bağlanması ... 34

Resim 3.29. Çelik çubukların kirişin bir ucunda çelik plaka ile Actuator bağlanması .. 34

Resim 3.30. Sistemin yatay doğrultudaki hareketine izin veren rulmanlar 35

Resim 3.31. Yatay yüklerin ölçümünü yapan yük hücresi (Loadcell) 35

Resim 3.32. LPDT'lerin yerleşimi 36

Resim 3.33. Kolon donatısına yapıştırılmış strain gage 37

Resim 3.34. 2 adet CODA Ai8b veri toplama cihazı (Data Logger) 37

Resim 3.35. Deneye hazır hale getirilmiş 1 No'lu deney elemanı 38

Resim 3.36. Deneye hazır hale getirilmiş 2 No'lu deney elemanı 38

Resim **Sayfa**

Resim 3.37. 2 mm adımlarla artan yerdeğiştirme çevrimleri 39

Resim 4.1. Deney elemanlarının rijitlik değerlerinin belirlenmesi.) 42

Resim 4.2. Kolon kiriş birleşim bölgesinde kolon üst ucuna yayılan eğilme çatlakları 43

Resim 4.3. Kolon alt bölgesinde oluşan ve en kesiti boyunca devam eden 45 derecelik kesme çatlağı 44

Resim 4.4. Kolon boyunca alt ve üst uçta yoğunlaşarak yayılan kesme çatlakları ve kolon üst ucunda ezilme 44

Resim 4.5. 1 No'lu deney elemanın nihai hasar durumu 45

Resim 4.6. 1 No'lu deney elemanına için elde edilen yatay yük-yer değiştirme eğrisi. 45

Resim 4.7. 1 No'lu deney elemanına için elde edilen dayanım zarf eğrisi..... 47

Resim 4.8. 1 No'lu deney elemanı için elde edilen rijitlik azalım eğrisi 47

Resim 4.9. 1 No'lu deney elemanı için elde edilen birikimli enerji tüketim eğrisi..... 48

Resim 4.10. Betonarme perde de oluşmuş kesme çatlakları..... 49

Resim 4.11. Kanat duvarın ankrajlardan ayrılıp perde üzerinde kaymaya başlaması.... 50

Resim 4.12. 2 No'lu elemanda nihai hasar durumu 50

Resim 4.13. 2 No'lu deney elemanına için elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi. 51

Resim 4.14. 2 No'lu deney elemanına için elde edilen dayanım zarf eğrisi..... 53

Resim 4.15. 2 No'lu deney elemanına için elde edilen rijitlik azalım eğrisi 53

Resim 4.16. 2 No'lu deney elemanı için elde edilen birikimli enerji tüketim eğrisi..... 54

Resim 4.17. İlk çevrimlerde betonarme perdede oluşan kesme çatlakları..... 55

Resim 4.18. Betonarme perdede yayılan ve belirginleşen çatlaklar ve kolonda meydana gelen kesme çatlakları 56

Resim 4.19. Kanat duvarların kiriş ve betonarme perdeden ayrılması 56

Resim 4.20. Kesme çatlakları nedeni ile dayanımını kaybedip ezilerek dökülen kolon betonu ve açığa çıkan donatılar (kesme kırılması)..... 57

Resim 4.21. 3 No'lu elemanda nihai hasar durumu 57

Resim **Sayfa**

Resim 4.22. 3 No'lu deney elemanına için elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi 58

Resim 4.23. 3 No'lu deney elemanına için elde edilen dayanım zarf eğrisi..... 60

Resim 4.24. 3 No'lu deney elemanı için elde edilen rijitlik azalım eğrisi..... 60

Resim 4.25. 3 No'lu deney elemanı için elde edilen birikimli enerji tüketim eğrisi..... 61

Resim 4.26. 1 No'lu, 2 No'lu ve 3 No'lu deney elemanların zarf eğrileri 63

Resim 4.27. 1 No'lu, 2 No'lu ve 3 No'lu deney elemanların rijitlik azalım eğrileri 64

Resim 4.28. 1 No'lu, 2 No'lu ve 3 No'lu deney elemanların birikimli enerji tüketim eğrileri..... 65

Resim 4.29. 1 No'lu, deney elemanın kolon donatılarındaki çevrimsel yük-birim şekil değiştirme diyagramı 66

Resim 4.30. 2 No'lu, deney elemanın kolon donatılarındaki çevrimsel yük-birim şekil değiştirme diyagramı..... 66

Resim 4.31. 3 No'lu, deney elemanın kolon donatılarındaki çevrimsel yük-birim şekil değiştirme diyagramı..... 67

Resim 5.1. ABAQUS üç boyutlu katı elemanları..... 70

Resim 5.2. Kabuk elemanındaki donatı yerleşimi 70

Resim 5.3. 2 No'lu ve 3 No'lu deney elemanının modellemesindeki kanat duvar ankraj sisteminin modeli 72

Resim 5.4. Hongnestad modeli..... 74

Resim 5.5. a, b ve c sırasıyla 1, 2 ve 3 No'lu deney elemanlarının modellerinin bitimi 76

Resim 5.6. a, b ve c sırasıyla 1, 2 ve 3 No'lu deney elemanlarının modeline ait etkileşim 78

Resim 5.7. Deney elemanlarına ait 800 numaralı eleman ve 1166 numaralı düğüm..... 79

Resim 5.8. Sonlu elemanlar yöntemi ile deney elemanlarına elde edilen yatay yük-yer değiştirme grafikleri..... 80

Resim 5.9. 1 No'lu deney elemanı modeline ait gerilme dağılımı..... 82

Resim. 5.10. 1 No'lu deney elemanı modeline ait yatay yer değiştirmeler 84

Resim 5.11. 2 No'lu deney elemanı modeline ait gerilme dağılımı..... 86

Resim **Sayfa**

Resim. 5.12. 2 No'lu deney elemanı modeline yatay yer değiştirmeler 88

Resim. 5.13. 3 No'lu deney elemanı modeline ait gerilme dağılımı 90

Resim 5.14. 3 No'lu deney elemanı modeline ait yatay yer değişmeler 92

Resim 5.15. 1 No'lu deney elemanı için deney ve ABAQUS analiz sonuçlarından elde edilen yük-yerdeğiştirme eğrileri 95

Resim 5.16. 2 No'lu deney elemanı için deney ve ABAQUS analiz sonuçlarından elde edilen yük-yerdeğiştirme eğrileri 96

Resim 5.17. 3 No'lu deney elemanı için deney ve ABAQUS analiz sonuçlarından elde edilen yük-yerdeğiştirme eğrileri 96

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
$\mathbf{H}$	Çerçeve yüksekliği
$\mathbf{H_b}$	Bant pencere yüksekliği
$\mathbf{h}$	Çerçeve yüksekliği
$\mathbf{h^*}$	Bant pencere yüksekliği
$\mathbf{L}$	Çerçeve genişliği
$\mathbf{l}$	Bant pencere genişliği
$\mathbf{l'}$	Betonarme kanat duvar genişliği
$\mathbf{M}$	Kolon moment taşıma gücü
$\mathbf{M_a}$	Kolon alt uç momenti
$\mathbf{M_{ü}}$	Kolon üst uç momenti
$\mathbf{V}$	Kolon Kesme kuvveti
$\mathbf{V_k}$	Kolon Kesme kuvveti
$\mathbf{V_r}$	Kolon Kesme kuvveti taşıma gücü
$\mathbf{V_e}$	Kolon Kesme kuvveti
$\mathbf{f_s}$	Donatı çekme dayanımı
$\mathbf{f_{sy}}$	Donatı akma dayanımı
$\mathbf{f_{su}}$	Donatı kopma dayanımı
$\mathbf{f_c}$	Beton basınç dayanımı
$\mathbf{f_{ck}}$	Beton karakteristik basınç dayanımı
$\mathbf{f_{ctk}}$	Beton karakteristik basınç dayanımı
$\mathbf{f_{ct}}$	Beton çekme dayanımı

Simgeler	**Açıklamalar**
Ec	Beton elastisite modülü
$\boldsymbol{\varepsilon_{sy}}$	Donatı akma birim uzaması
$\boldsymbol{\varepsilon_{su}}$	Donatı kopma birim uzaması
$\boldsymbol{\vartheta}$	Poission oranı
Ø	Rijitlik
$\boldsymbol{\delta}$	Maksimum yatay yerdeğiştirme
$\boldsymbol{\delta_1}$	Maksimum yatay yerdeğiştirme (İtme)
$\boldsymbol{\delta_2}$	Maksimum yatay yerdeğiştirme (Çekme)
F1	Maksimum yatay yük (İtme)
F2	Maksimum yatay yük (Çekme)

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
EŞ.	Eşitlik
KTÜ	Karadeniz Teknik Üniversitesi

1. GİRİŞ

Genellikle orta ve yüksek katlı çerçeve tipi binaların temelinde yeterli rijitlik elde edebilmek amacıyla, bodrum kat dış duvarları betonarme perdeli olarak tasarlanmaktadır. Rijitliği kolonlara göre daha yüksek olan perde duvarlar, depremin yarattığı yatay kuvvetlerin karşılanması için tercih edilmektedir.

Ülkemizdeki yapıların önemli bir bölümünde, bodrum katı dış duvarlarında havalandırma ve ışık ihtiyacını gidermek için, uygulamada bant pencere boşlukları bırakılmaktadır. Bu tip yapılarda, boşlukların perde duvarlar içindeki konumları, yapı davranışına etkileri göz önünde bulundurularak, önceden tasarlanmalıdır. Boşlukların konumları ile birlikte duvar boyunca sayıları ve boyutları da yapının davranışını ve perde duvardaki gerilme dağılımını etkilemektedir. Bu bant pencereler perdede kolonların serbest yüksekliğini kısıtlamakta ve yatay deprem kuvvetleri etkisinde 'kısa kolon' davranışına neden olmaktadır. Ülkemizde yaşanan depremlerde bodrum kat betonarme perdelerinde kısa kolon oluşumu nedeniyle tamamen göçmüş veya kullanılamayacak duruma gelmiş çok sayıda yapı gözlenmiştir.

Araştırmanın amacı

Bu araştırmanın amacı ülkemizdeki betonarme yapıların bodrum katlarındaki betonarme perdelerde bırakılan bant tipi pencereler nedeniyle depremde oluşan kısa kolon etkisinin iyileştirilmesidir.

Bu amaçla, 1/2 ölçekli üç adet tek katlı tek açıklıklı ve çerçeve yüksekliğinin yarısı kadar bant pencere bırakılarak üretilmiştir. Kısa kolona etki eden parametrelerden, bant pencere genişliği bu çalışmanın değişkenidir. Bu nedenle, üretilen deney elemanlarının ikisinde, pencere boşluğu betonarme kanat duvar ile çerçeve genişliğinin 0,50 ve 0,75 katı kadar olacak şekilde güçlendirilmiştir. Güçlendirilmiş deney elemanları ve betonarme kanat duvarsız deney elemanı tersinen tekrarlanan yatay yükler altında test edilmiş ve deney sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Çalışmanın analitik bölümünde, deney elamanları ABAQUS bilgisayar programında modellenmiş ve deplasman kontrollü itme yükü altında sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiştir. Çalışmanın son bölümünde, analitik çalışmadan elde edilen veriler, deneylerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Böylece, bodrum katı betonarme perdelerde bırakılan üç farklı genişlikteki pencere boşluklarının ve betonarme kanat duvarlar ile güçlendirilmenin kısa kolona olan etkisi elde edilmiştir.

Konunun tanımı

Dolgu duvarların çerçeveli yapıların davranışına olan etkisi ile ilgili analitik ve deneysel çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Gülkan ve Wasti (1993), çalışmalarında, tek katlı ve tek açıklıklı bir çerçeve gözü ele alarak, duvar yüksekliğinin çerçeve davranışına ve kısa kolon davranışına olan etkisi araştırılmıştır. Bu nedenle farklı yükseklikteki dolgu duvarlı, dolgu duvarsız ve tamamen dolu çerçeveler üretilmiş ve artan yanal yük altında test edilmiştir. Sonuç olarak, dolgu duvarların çerçeve davranışını boyunun üçte birinden fazla olduğu zaman çerçeve davranışını etkilemeye başladığı ele edilmiştir. Ayrıca, kolon kesme kuvveti sadece çerçevenin göz önüne alındığı hesaplarda verilen değere göre 4-5 misli artmıştır. Yatay yük altında test edilen tamamen dolu çerçeve, kısmi çerçeveye göre, daha iyi davranış gösterdiği tespit edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda, tasarımda kısa kolon etkisi oluşmaması için dolgu duvarların kısmi olmasından kaçınılması önerilmiştir [2].

Çağtay (2007), çalışmasında, yatay yük altındaki tek açıklıklı bir çerçeveden beş açıklıklı bir çerçeveye kadar olan dolgu duvarsız ve değişik oranlarda (%17, %33, %50, %67, %83, %100) dolgu duvarlı çerçevelerde, dolgu duvar yüksekliğinin, boşluk oranının ve çerçeve açıklık sayısının oluşan kısa kolon kesme kuvvetine etkileri incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, boşluk oranı azaldıkça kısa kolon kesme kuvvet değerleri artmıştır. Meydana gelen en büyük kesme kuvvet değerleri her açıklıktaki sistemler için %17 boşluğa sahip olan çerçevelerde meydana gelmiştir. Kısa kolon etkisi özellikle duvar yüksekliği %50’ den daha az olduğunda azalmaktadır. Ayrıca, açıklık sayısı arttıkça kesme kuvveti oranı da artmaktadır [1].

Bikçe (2011), bodrum katı betonarme dolgu duvarlı yapılarda kısa kolona etki eden parametreleri incelemiştir. Çalışmanın önemli sonucu, bant pencere genişliği, çerçeve iç genişliğinin %60’dan daha küçük olması halinde, kısa kolondaki kesme kuvvetinin

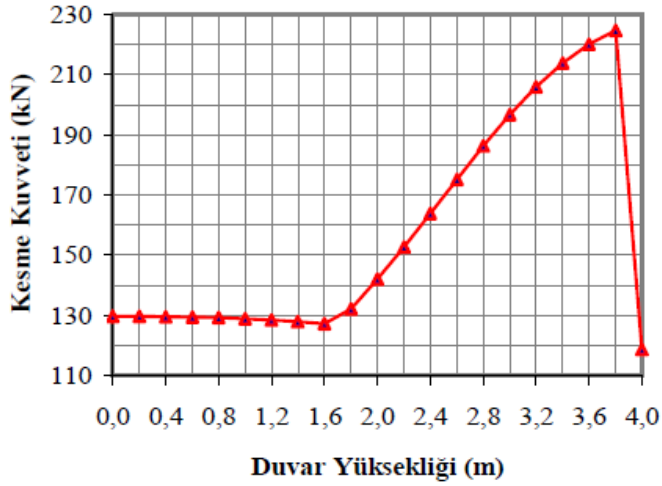
nerdeyse tamamı, çerçeve içindeki betonarme dolgu duvarı tarafından karşılanarak boşluklu perde gibi davranmaktadır [25].

Anıl ve Altın (2006), deneysel çalışmalarında 1/3 ölçekli, tek katlı ve tek açıklıklı, 9 adet betonarme çerçeve deney elemanı yapmış ve tersinir tekrarlanır yatay yük altında test etmişlerdir. Çerçevelerin tasarımında, pratikde sık sık karşılaşan zayıf kolon güçlü kiriş, birleşimi dikkate alınmıştır. İki deney elemanı betonarme perdesiz çerçeve ve tam betonarme perde olarak üretilmiştir. Diğer deney elemanların da güçlendirme amaçlı betonarme dolgu duvar, çerçeve açıklığının %25, %50, %75 ve %100 uzunluğunda kullanılmıştır. Çalışmadaki ana değişkenler, betonarme dolgulu çerçevelerde, boşluk alanının büyüklüğü ve boşluğun bulunduğu yerdir. Çalışma sonucunda, betonarme dolgu duvarda pencere boşluğu biçiminde bırakılan boşlukların çerçevede kısa kolon davranışının gelişimine neden olduğu bildirmektedir. Boşluksuz dolgu duvar ile güçlendirilen deney elemanının, çerçeve iç alanının %14'ü büyüklüğünde pencere boşluğu bırakılan deney elemanına göre %28 daha fazla dayanım sağladığı belirtilmiştir. Bu bulguya ek olarak, pencere boşluğu bırakılan deney elemanına göre iki kat daha fazla boşluğa sahip olmasına rağmen kanat duvarlı elemanı, pencere boşluğu bulunan deney boşluğunun dayanım, rijitlik ve enerji tüketim kapasitesinde önemli bir düşüş meydana getirdiğini belirtmiştir.

Kara ve Altın (2006), geometrik ölçeği 1/3 olan iki katlı ve tek açıklıklı deney elemanında çerçeve içini doldurmayan parça sal betonarme dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin yatay yükler altında dayanım ve davranışının belirlenmesi amacıyla deneysel bir çalışma yapmıştır. Çalışmada parçasal dolgu duvar uzunluğunun, duvar yüksekliğine oranı ve parçasal dolgu duvarın betonarme çerçeve içinde düzenleniş biçimleri çalışmanın değişkenleridir. Çalışma sonucunda, benzer 1/h oranında parçasal dolgu duvarının çerçeve içinde farklı düzenlendiği deney elemanlarında yaklaşık olarak aynı dayanım elde edilmiştir. Araştırmacılar, dolgu duvarın 1/h oranının artmasıyla deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasitesi, rijitlik ve enerji tüketim kapasitesinin arttığını belirtmiştir [19].

Işık (2006), kısa kolon oluşumu etkisini analitik olarak araştırmıştır. Bu çalışmada, 4m yüksekliğindeki bir zemin katta bulunan dolgu duvarların yüksekliklerinin sıfırdan, bant pencere oluşumuna kadar kademeli olarak artırılmasının bu duvarların etrafındaki

kolonlarda oluşturduğu etkiler incelenmiştir. Buna göre dolgu duvarına bitişik kolonlarda oluşan tipik kesme diyagramı Resim 1.1'deki gibi elde edilmiştir [6].



Resim 1.1. Dolgu duvarına bitişik kolonlarda oluşan tipik kesme diyagramı [6]

Bu şekilden de görüldüğü gibi, duvar yüksekliğinin artmasıyla birlikte kesme kuvveti de önemli oranda artmaktadır. Dolayısıyla da kısa kolon etkisinden korunmak için bant pencere tasarımından kesinlikle kaçınılmalıdır. Fakat uygulamalarda genellikle, yapının en alt kat dış çerçevelerinde havalandırma ve ışık ihtiyacı nedeni ile pencere yapılmak istenmektedir. Bu nedenle, çeşitli ulusal ve uluslararası yönetmelikler, kısa kolon etkisini kontrol altına alabilmek amacıyla çeşitli sınırlamalar getirmektedir [6].

Asteris, çalışmasında, kendi geliştirdiği sonlu elemanlar programı ile yanal yük etkisi altında tuğla duvar örülü betonarme çerçevelerde pencere boyutunun ve yerinin çerçeve davranışına etkisini sayısal olarak araştırmıştır. Sonuç olarak, pencere boşluğunun çerçevenin basınç bloğuna yaklaşmasının ve boşluk oranındaki artışın çerçevenin rijitliğini azalttığını belirlemiştir. Ayrıca, Çok katlı yapılarda ise tuğla duvarın yapının rijitliğini artırıp yanal deplasmanı azalttığını ve tuğla duvarın kesme kuvvetine büyük ölçüde dayanım gösterdiğini ancak yapıda yumuşak kat olması durumunda bu kattaki çerçevelerin normalden daha fazla kesme kuvvetine maruz kalacağını belirlemişti [27].

Maruyama ve Jirsa, çift yönlü tersinir yüklemenin kolonların davranışlarına etkilerini incelemişlerdir. Sonuçta hareket doğrultusuna dik doğrultuda yapılan ilk yüklemenin kolonun nihai kesme kuvvetini fazla değiştirmediği, ancak maksimum yüke karşı gelen deplasmanı etkilediğini belirlemişlerdir [26].

Özdoğdu, yaptığı çalışmada deprem etkisi altındaki binaların dinamik analizini gerçekleştirerek, dolgu duvarların etkisini incelemiştir. Sonuç olarak bant pencere yapımının zorunlu olmadıkça yapılmaması gerektiğini, zorunluluk durumunda ise kolon çevresinin kanat duvarlarla takviye edilmesi gerektiğini dile getirmiştir [21].

Klingner ve Bertero, çalışmalarında 1/3 ölçekli ve üç katlı ve tek açıklıklı deney elemanlarının çerçeve içinde iki farklı dolgu malzemesi olarak, kil tuğlalar ve betonarme dolgu kullanmışlardır. Deney elemanları tersinir tekrarlanır yatay yükleme altında test edilmiştir. Kolon elemanlarına eksenel yük uygulanmıştır. Deney elemanları artan yük aşamalarında dolgu duvarın köşeleri arasında diyagonal bir basınç çubuğunun oluştuğu gözlenmiştir. Bu aşamadan sonra deney elemanları köşegen doğrultusunda kolon kiriş birleşim bölgelerinden mafsallar ile bağlı bir çubuğa sahip çerçeve gibi davranış sergilemişlerdir. Diyagonal doğrultudaki basınç çubuğunda betonun ezilmesi ile deney elemanlarında çok büyük dayanım kaybı olduğu gözlenmiştir. Ayrıca dolgu duvarın çerçeve sistemin göçme anındaki yatay ötelenmesini azalttığı ve dayanımın çerçevelere göre ortalama 4,5 kat arttırdığı görülmüştür [22, 23].

Demir, çalışmasında, bodrum katı betonarme perde duvarlarında yüksekliğin 1/4'ü kadar bırakılan bant pencere ve havalandırma boşluklarının oluşturduğu kısa kolon etkisini azaltacak pencere boyutunun araştırmıştır. Bu amaçla, betonarme perdedeki pencere boşluğu, açıklığın 0,25 katı ve 0,375 katı betonarme kanat dolgu duvarlar kullanılarak güçlendirilmiş ve böylece kısa kolon etkisinin en az olduğu pencere boyutu deneysel olarak araştırılmıştır. Bu amaçla gerçekleştirilen deneysel çalışmalar kapsamında betonarme kanat duvarlarla güçlendirilen 1/2 ölçekli 5 adet deney elemanı üretilmiş ve bu deney elemanları sabit eksenel yük ve depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay yük altında deneye tabi tutulmuştur. Bununla birlikte, bant tipi pencereler nedeniyle oluşan kısa kolon etkisini iyileştirmek amacıyla, betonarme kanat duvarlar yerine çelik profiller ile güçlendirme yapılarak, bilgisayar ortamında analitik olarak davranışları araştırılmıştır. Bu çalışmanın bütününden çıkarılabilecek başlıca sonuç aşağıda özetlenmiştir;

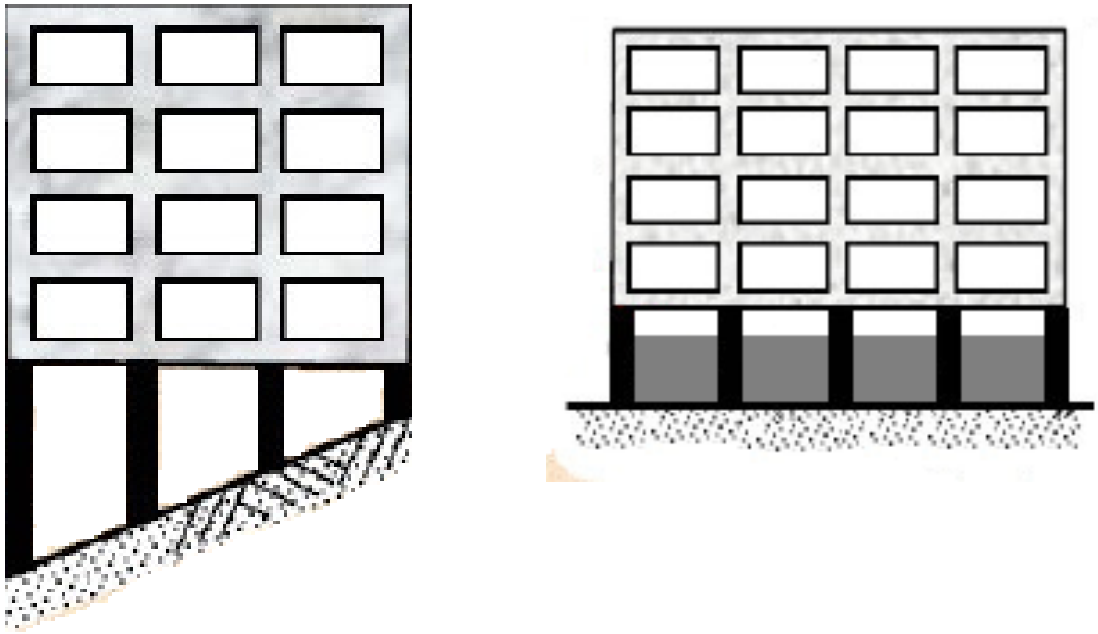
1. Bant pencere yüksekliğinin 0,25H olması durumunda açıklığın 0,25 katı kadar kanat dolgu duvar ilavesiyle yatay yük taşıma kapasitesi 4,5 kat, açıklığın 0,375 katı kanat dolgu duvar ilavesiyle de 5 kat artmıştır.

2. Yüksekliğin 0,25 katı bant pencere bırakılan ve bu bant pencerelere açıklığın 0,25 katı kadar kanat dolgu duvar yapılan deney elemanının maksimum yüke karşılık gelen yer değiştirmesi, L açıklığı boyunca kanat dolgu duvar yapılmayan elemanınkine göre %34 oranında azalmıştır. Yer değiştirmedeki bu azalma açıklığın 0,375 katı kanat dolgu duvar olan elemanlarda %54 oranına ulaşmıştır. Bu da bant pencere uzunluğunun artmasıyla yatay yük taşıma kapasitesinin arttığını ancak yer değiştirme kapasitesinin azaldığını göstermektedir.
3. Betonarme kanat dolgu duvar uzunluğunun açıklığın 0,25'i olması durumunda yatay yük taşıma kapasitesi ile açıklığın 0,375 katı kanat dolgu duvar yapılması durumundaki yatay yük taşıma kapasitesi arasında %12 oranında bir artış olmuş, yer değiştirmeler arasında ise %30'luk bir azalma olmuştur. Bu da bırakılacak bant pencere boşluğu seçiminde, bant pencere yüksekliğinin 0,25H olması durumu için açıklığın 0,25 katı kanat dolgu duvar yapılmanın yeterli olacağını göstermektedir.
4. Bant pencere boşluğunun betonarme kanat dolgu duvarla yerine çelik profillerle güçlendirilmesi durumunda mevcut perdede betonarme kanat dolgu duvarınkine benzer hasarlar olmuştur. Açıklığın 0,25 katı uzunluğunda çelik profillerle yapılan kanat dolgu duvarlarda da betonarme kanat dolgu duvarlarınkine yakın yatay yük taşıma kapasitesine (%4,76 oranında daha az) ulaşılmıştır. Açıklığın 0,375 katı uzunluğunda çelik profillerle yapılan kanat dolgu duvarların yatay yük taşıma kapasiteleri, aynı uzunlukta yapılan betonarme kanat dolgu duvarların taşıma kapasitelerine oranla %13,92 daha az olmuştur [14,15].

Kısa kolon oluşumu

Binalarda genellikle iki şekilde kısa kolon oluşmaktadır. Birincisi, aynı kattaki diğer kolonlara göre daha kısa imal edilmiş kolonlar, ikincisi ise bant pencere gibi nedenlerle kat yüksekliğince serbest boyları kısıtlanmış kolonlardır (Resim 1.2).

Birinci durum da; arazinin eğimli olması nedeniyle aynı kattaki diğer kolonlara göre kısa olarak yapılmış bodrum kattaki kolonlar, asma katın oturduğu kolonlar, merdiven ara sahanlığının bağlandığı kolonlar ve yüksekliği fazla kirişlerden dolayı kısa kolonlar teşkil edilmektedir. İkinci durumda ise, yol seviyesine kadar toprak dolgu nedeniyle veya çerçevede bant pencere bırakılması nedeniyle kolonların boyları kısıtlanmakta ve bu kolonlar kısa kolon etkisine maruz kalmaktadır.



Resim 1.2. Aynı kattaki diğer kolonlara göre daha kısa imal edilmiş ve bant pencere nedeniyle serbest boyları kısıtlanmış kolonlardır

Kocaeli depreminden dolayı göçen binaların sistem seçiminde yapılan önemli hatalardan biri kısa kolon etkisinin dikkate alınmamasıdır (Resim 1.3, Resim 1.4).

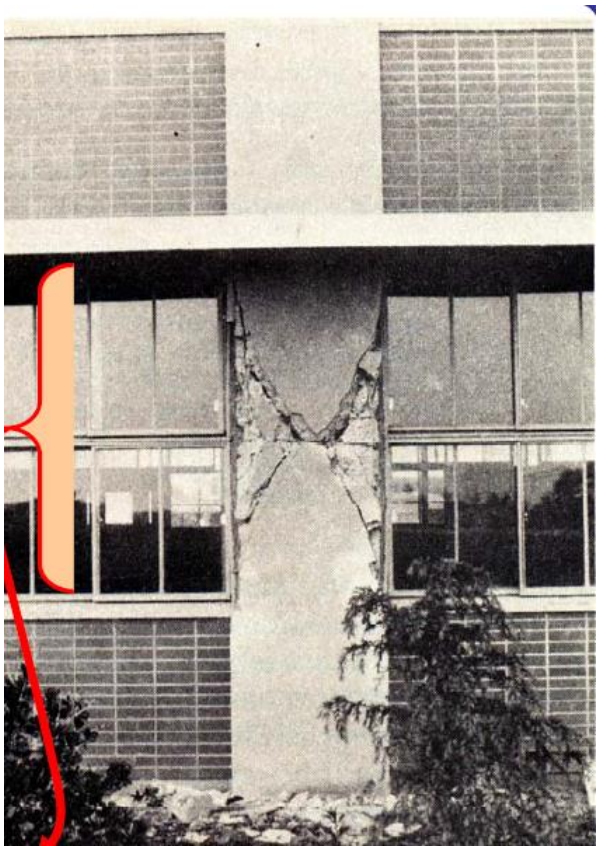


Resim 1.3. Bant pencerelerden dolayı oluşan kısa kolonlarda kesme hasarları [20]



Resim 1.4. Sahanlık kirişi nedeniyle oluşan kısa kolonlarda kesme hasarları [20]

New York da meydana gelen depremde, McGraw Hill Book Company binasında, oluşan hasarlardan birisi, betonarme perde duvarlarda bırakılan bant pencerelerden dolayı kısa kolon davranışının oluşması ve bu nedenle kolonlarda büyük kesme çatlakların meydana gelmesidir (Resim 1.5).

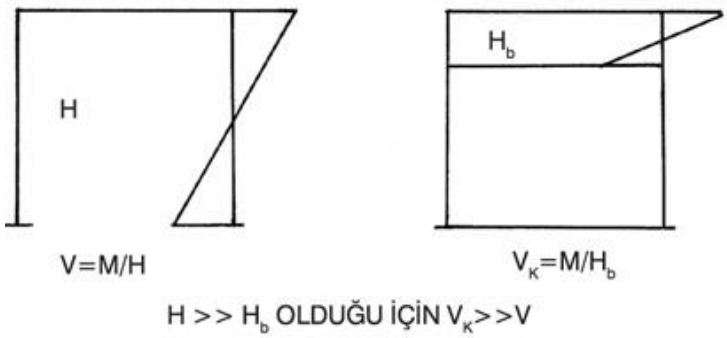


Resim 1.5. McGraw Hill Book Company, New York [24]

2. KISA KOLON DAVRANIŞI

Kısa kolon davranışı, kolonun kesme kırılması ile güç kaybetmesidir. Kat kirişlerinin süreksiz olması, rijit bölme duvarının kolonun etkili boyunu kısaltarak, eğilme momentini düşük tutmakta ve aşırı kesme kuvvetine maruz kalmasına sebep olup, kısa kolon oluşmasına neden olmaktadır [6].

Bant pencere nedeni ile kolonun boyu H yerine bant pencere yüksekliği olan H_b kadar olmakta, boyu kısalan kolonun rijitliği ise hesaplarda kabul edilen $1/H$ yerine $1/H_b$ olmaktadır. Yatay deprem kuvvetleri kolonlara rijitlikleri ile orantılı dağıtıldığından, rijitliği artan kolonlar daha çok yatay kuvveti karşılamak durumundadır. Kolonda kesme kuvveti artarken, etkili boyun azalmasıyla birlikte eğilme momenti azaltmaktadır ve eğilme kırılması olmadan kesme kırılmasını önlemek için sağlanmış kesme dayanımı aşıldığı için eğilme kırılmasından önce kesme kırılması olmaktadır. Perde beton yoksa ve kolonun moment taşıma gücü M ise, kolonun moment kırılması için gereken kesme kuvveti V dir. Eğer kolonun kesme kuvveti taşıma gücü $V_r > V$ ise moment kırılmasından önce kesme kırılması, bir diğer değişle kısa kolon kırılması olmayacaktır. Kolon momentten kırılacaktır. Bant pencere yapılması ile kolonun boyu H_b olmaktadır. Bu durumda eğer kolonun moment taşıma gücü yine M ise eğilme kırılması için gereken kesme kuvveti V_k olacaktır. Burada $H_b < H$ olduğu için $V_k > V$ olmaktadır. Kolonun kesme kuvveti taşıma gücü olan V_r, V'den büyüktür ancak V_k'den küçüktür (Resim 2.2). Bu nedenle kolon M moment kapasitesine ulaşamadan, V_k, V_r'yi aşınca kolonda kısa kolon kırılması denilen kesme kırılması olacaktır [2].



Resim 2.2. Bant pencere yapılması ile kolonun serbest boyu kısalmakta ve yatay yükler nedeniyle kolon da oluşacak kesme kuvveti artmaktadır

Kesme kuvveti nedeniyle meydana gelen güç tükenmesi ile geniş çatlaklar oluşmakta ve yapının tüm davranışında istenmeyen durum ortaya çıkmaktadır.

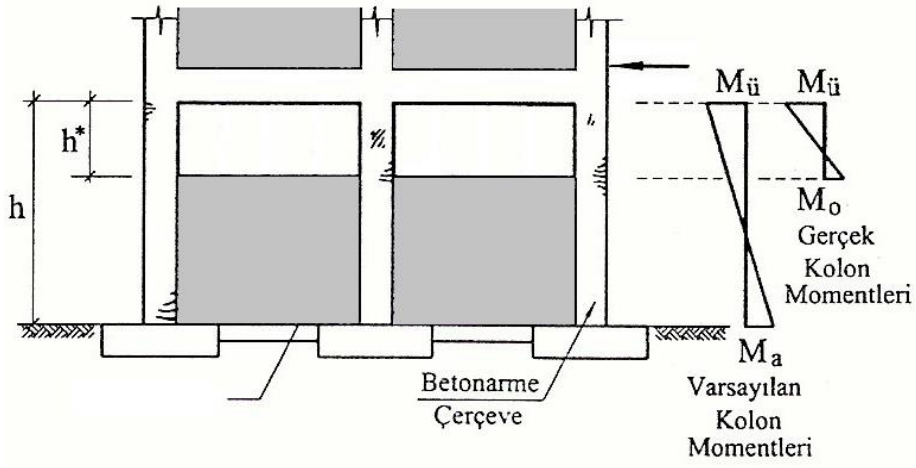
Resim 2.3'de gösterildiği gibi duvarın etkisi ihmal edildiğinde yatay kuvvetler altında, kolonlarda, plastik kesitlerin kolon alt ve üst uçlarında oluşması beklenmektedir ve kolonlar Eş. 2.2'den hesaplanan kayma kuvvetini belirli bir güvenlikle taşıyabilecek şekilde tasarlanmaktadır.

$$V_e = \frac{M_ü + M_a}{h} \tag{2.2}$$

Ancak, gerçek davranışta Resim 2.3'de görüldüğü üzere betonarme perdenin varlığı nedeniyle, kolonların serbest açıklıkları küçülecek ve bu kolonlarda, kolon alt ucunda öngörülen plastik kesit, duvarın üst bitim bölgesi seviyesinde oluşacaktır. Böyle bir durumda, kolonlarda oluşacak kayma kuvveti Eş. 2.3 ile hesaplanmaktadır.

$$V_e^* = \frac{M_ü + M_o}{h^*} \tag{2.3}$$

V_e^* değerinin, V_e değerinden büyük olacağı açıktır. Diğer bir anlatımla, kolonlar, tasarlandıkları maksimum kuvvetten daha büyük kayma kuvvetine maruz kalmaktadırlar. Bu da kısa kolon oluşumu olarak adlandırılmaktadır.



Resim 2.3. Yatay yük altındaki bant pencere boşluğu bırakılmış tek katlı tek açıklıklı betonarme çerçevede, kolonlarda oluşan momentler

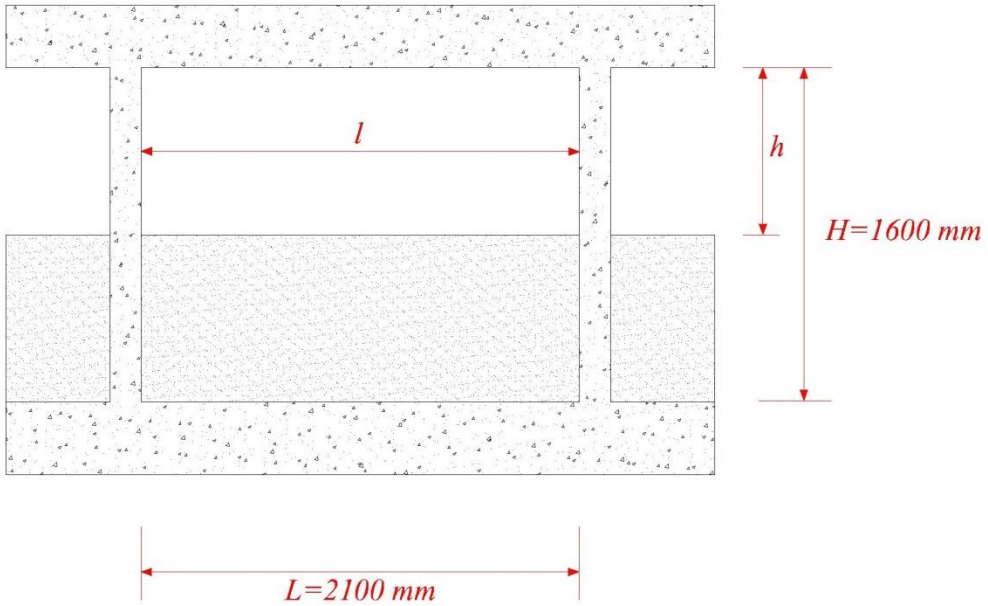
3. DENEY ELEMANLARI ve DENEY TEKNİĞİ

3.1. Deney Elemanları

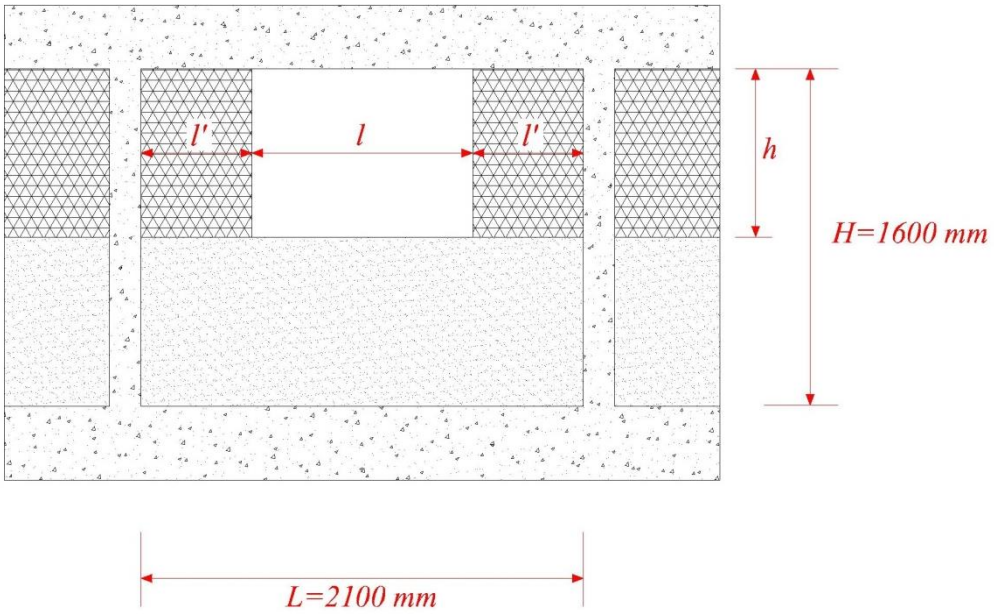
Bu çalışmada, bodrum katı betonarme perdeli yapılardaki bant pencere genişliğinin kısa kolon davranışına etkisi araştırılmıştır. Yanal toprak etkisi olmadığı, geometrik ve malzeme özelliklerin eleman boyunca değişmediği kabul edilmektedir.

Yapılmış deneysel çalışmada, 3 deney elemanı üretilip, tersinen tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Tüm deney elemanlarında betonarme çerçevenin geometrik boyutları ve donatı düzenlemesi aynıdır. Çerçeve genişliği L=2100 mm, çerçeve yüksekliği H=1600 mm'dir. Kirişin kesiti 350×350 mm, kolonların kesiti 100×150 mm ve temelin kesiti 350×800 mm'dir.

Deneysel çalışmadaki temel değişken, bant pencere genişliği göz önünde bulundurulmuştur. Deney elemanları ve özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

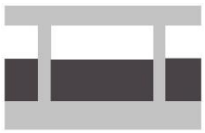
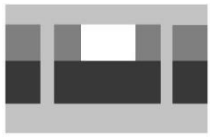
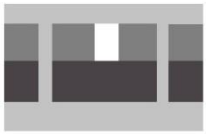


Resim 3.1. 1 No'lu deney elemanı çerçeve açıklık ve yüksekliği



Resim 3.2. 2 No'lu ve 3 No'lu deney elemanı çerçeve açıklık ve yüksekliği

Çizelge 3.1. Deney elemanları ve özellikleri

Deney Elemanı No:	Deney Elemanı	Bant Pencere		Güçlendirilme Orta Kanat Duvar Genişliği l' mm
		Genişlik l mm	Yükseklik $h = 0{,}5H$ mm	
1		$l = L$ 2100	800	-
2		$l = 0{,}5L$ 1050	800	$l' = 0{,}25\ L$ 2×525
3		$l = 0{,}25L$ 530	800	$l' = 0{,}375\ L$ 2×785

Deney elemanlarının temellerinde 10 adet 16 mm çapında boyuna donatı, 200 mm ara ile 8 mm çapında nervürlü enine donatı kullanılmıştır. Kolonlarda 6ø14 boyuna donatı kullanılmış, 8 mm çapında düz yüzeyli 150 mm ara ile enine donatı yerleştirilmiştir. Betonarme perdelerin enine ve boyuna donatılarında da 8 mm çapında donatı 125mm ara ile yerleştirilmiştir. Çalışma kapsamında deney elemanları kiriş seviyesinde tekrarlı yatay yüke maruz bırakılacağından, sistemin uygulanacak yükü daha rijit bir şekilde aktarabilmesi için kirişlerde 8 adet 14 mm çaplı boyuna donatı ve 8 mm çaplı 100 mm ara

ile enine donatı kullanılmıştır. Perde donatı oranı ρh=0,025'dur (Resim 3.3, Resim 3.4, Resim 3.5).

1 No'lu deney elemanı:

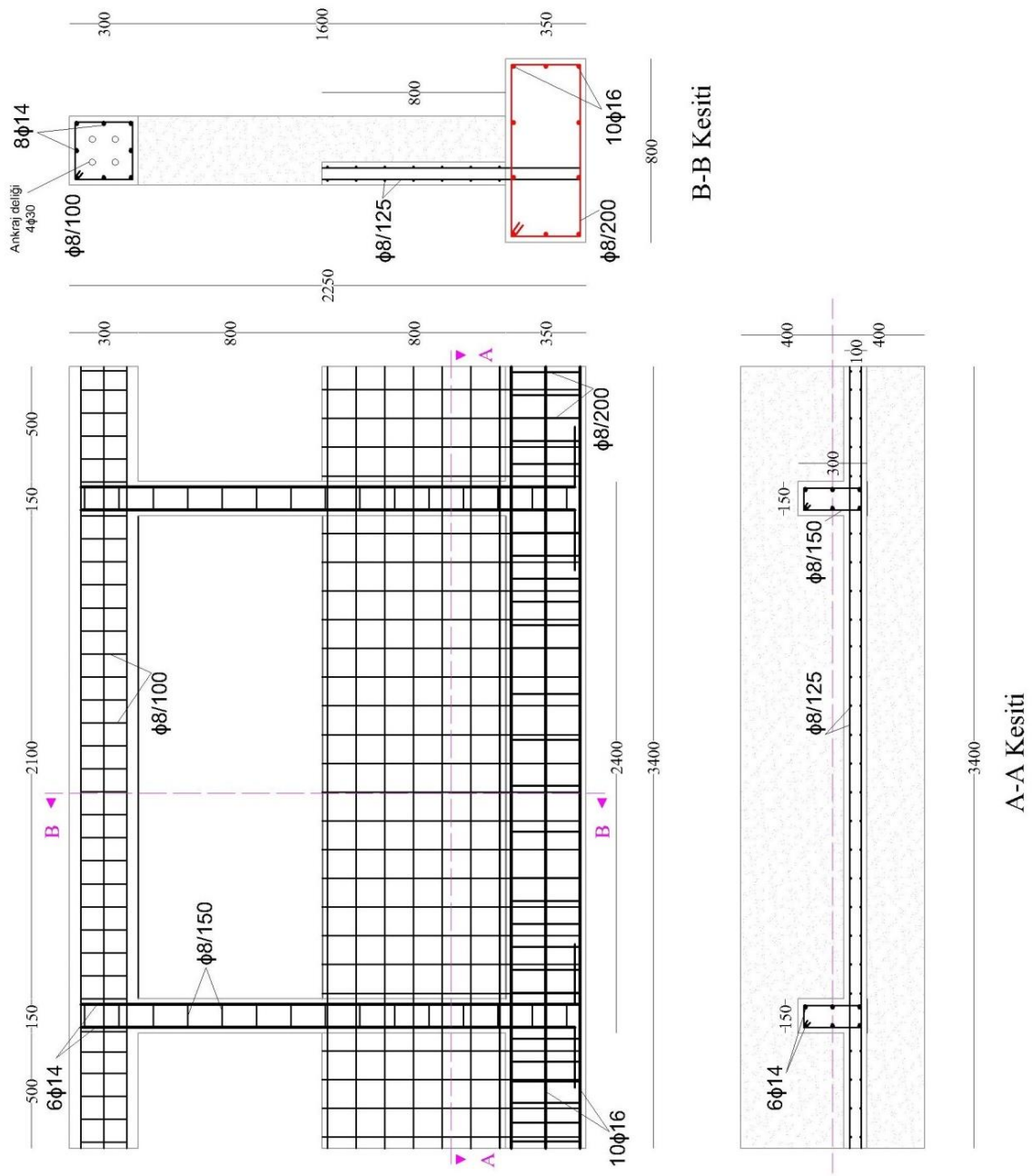
Deney elemanı H=1600 mm yükseklik ve L=2100 mm genişlik de, L genişliği ve 0,5H yüksekliği kadar bant pencere boşluğu bırakılarak üretilmiştir. Bu deney elemanına kanat duvar ilave edilmemiş güçlendirilmemiştir (Resim 3.3).

2 No'lu deney elemanı:

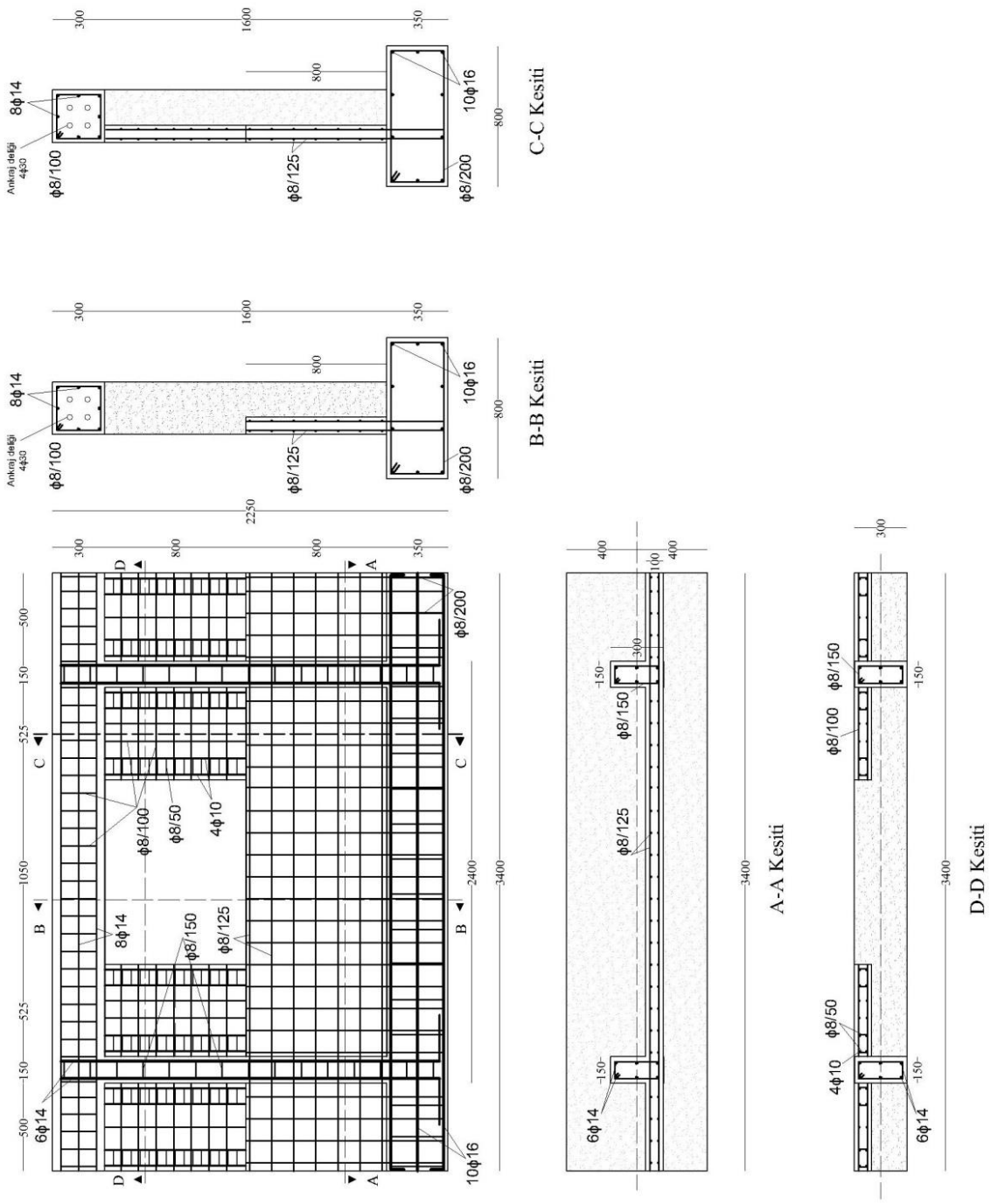
Deney elemanı H=1600 mm yükseklik ve L=2100 mm genişlik de, L genişliği ve 0,5H yüksekliği kadar bant pencere boşluğu bırakılarak üretilmiştir. Bu deney elemanında, kolonların her iki tarafında üç elemanları kullanarak, 0,25L genişliği ve 0,5H yüksekliğinde kanat duvar yapılmıştır. Böylece, bu deney elemanı 0,5H yüksekliği ve 0,5L genişliğinde bant pencere boşluğu bırakılarak kanat duvarlar ile güçlendirilmiştir. Kanat duvar olarak ilave edilmiş perde uçlarında $100 \times 150\, mm$ en kesit boyutlarında uç elemanları yapılmıştır. Bu elemanlarda, düşey donatı olarak, (4Ø10) donatı yerleştirilmiştir. Uç elemanlarında 8 mm çapında 50 mm ara ile enine donatı kullanılmıştır. Kanat duvarların perde kısmında 100 mm ara ile 8mm çapında enine ve boyuna donatı yerleştirilmiştir (Resim 3.4).

3 No'lu deney elemanı:

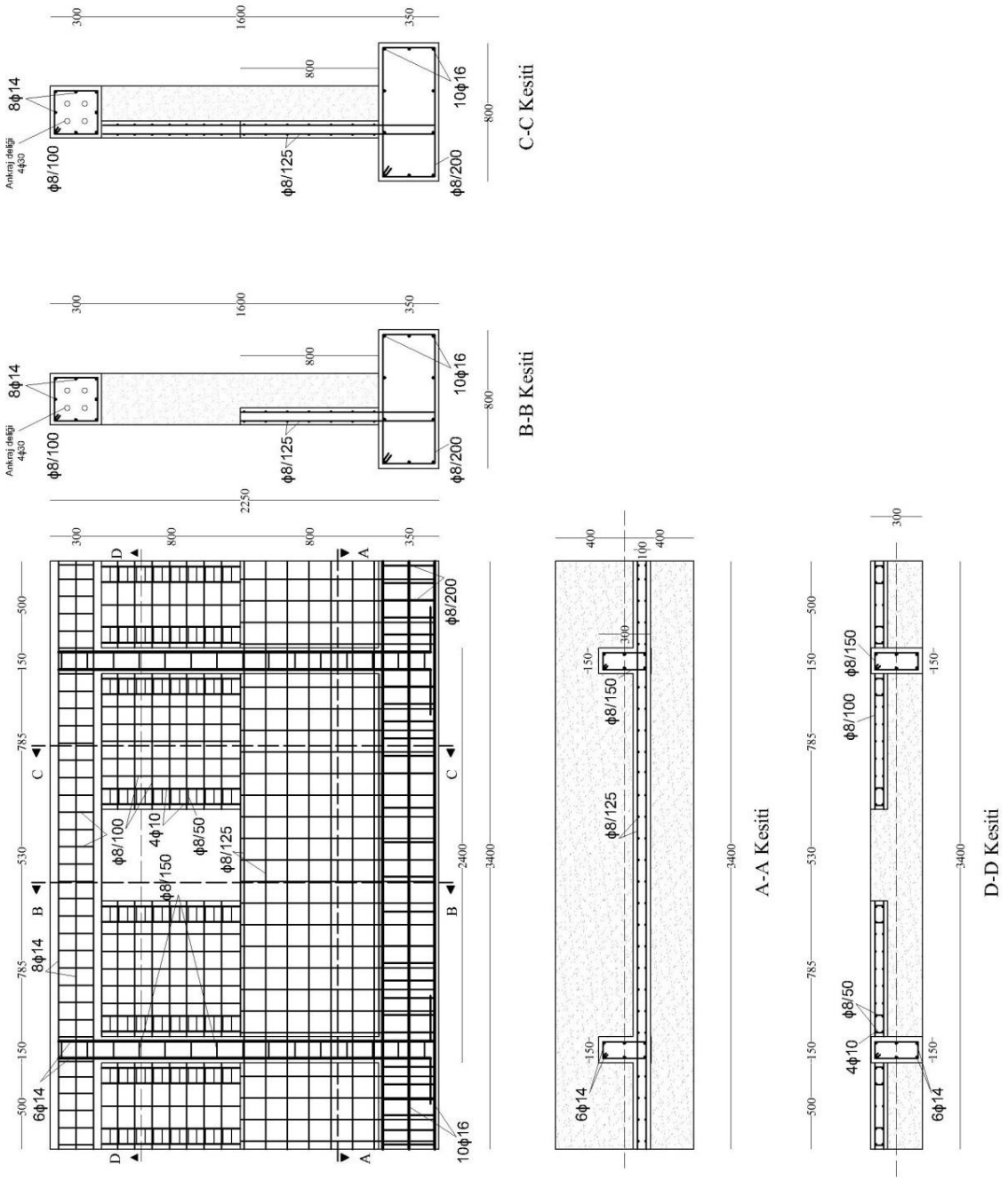
Deney elemanı H=1600 mm yükseklik ve L=2100 mm genişlik de, L genişliği ve 0,5H yüksekliği kadar bant pencere boşluğu bırakılarak üretilmiştir. Bu deney elemanında, kolonların her iki tarafında uç elemanları kullanarak, 0,375L genişliği ve 0,5H yüksekliğinde kanat duvar yapılmıştır. Böylece, bu deney elemanı 0,5H yüksekliği ve 0,25L genişliğinde bant pencere boşluğu bırakılarak kanat duvarlar ile güçlendirilmiştir. Kanat duvar donatısı 2 No'lu deney elemanında olduğu gibi seçilmiştir (Resim 3.5).



Resim 3.3. 1 No'lu deney elemanı için donatı detayı



Resim 3.4. 2 No'lu deney elemanı için donatı detayı



Resim 3.5. 3 No'lu deney elemanı için donatı detayı

3.2. Malzemeler

3.2.1. Agrega:

Deney elemanlarının üretiminde, hazır beton kullanılması düşünüldüğünden, hedeflenen dayanımda beton için, hazır beton tesisinde kullanılan agregalardan örnek alınmış ve bu agregaların özellikleri belirlenmiştir. Hazır beton tesisinden alınan agrega, maksimum boyutu 12 mm olan kalker agregasıdır. Bu agregalar üzerinde gerçekleştirilen fiziksel özelik deneylerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 3.2'de verilmiştir. Çalışma kapsamında üretilen betonların tümünde aynı tür agrega ile aynı granül metrik bileşim kullanılmıştır (Çizelge 3.3). Deney elemanlarında, kanat duvarların üretiminde de aynı tür agrega kullanılmıştır.

Çizelge 3.2. Betonların üretiminde kullanılan agregaların bazı fiziksel özelikleri

Agrega Tane Boyutu		Özgül Kütle (kg/m^3)		Su Emme Oranı (%)
		Kuru	Doygun	
0-4mm	İnce	2632	2647	0.45
4-12 mm	İri	2643	2655	0.57

Çizelge 3.3. Agreganın granül metrik bileşimi

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

3.2.2. Çimento, Su ve Katkı Maddelerinin Özelikleri

Deney elemanlarının çerçeve ve perde kısımlarında kullanılan düşük dayanımlı betonların üretiminde CEM II 32,5 R çimentosu, bant tipi boşluklar nedeniyle oluşabilecek kısa kolon etkisinin iyileştirilmesi amacıyla ilave edilen kanat duvarlarda ise CEM I 42,5 R tipi çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentoların fabrikasından alınan bazı özelikleri Çizelge 3.4'de verilmiştir. Betonların üretiminde ve küründe, laboratuvarda mevcut içme suyu özeliğinde olan su kullanılmıştır. Betonların hiç birinde mineral katkı (uçucu kül, mikro

silis vb.) maddesi kullanılmamıştır. Kimyasal katkı maddesi ise çerçeve ve perde duvarların üretiminde kullanılmamış ancak kanat duvar betonlarında, donatı aralarına betonun daha iyi girmesi ve mevcut betonla yeni beton arasında boşluk kalmaması amacıyla, hiper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır.

Çizelge 3.4. Beton üretiminde kullanılan çimentoların bazı özelikleri

Konu	Özellik		Çerçeve ve Perde Kısımlarında	Kanat Duvarlarda
Fiziksel Özellikler	Çimento Tipi		Cem II 32,5 R	Cem I 42,5 R
	Özgül Kütle (gr/cm^3)		3,05	3,15
	Blaine Özgül Yüzey (cm^2/gr)		3465	3675
	200 μ elek üstünde kalan (%)		0,00	0,00
	90 μ elek üstünde kalan (%)		2,00	1,05
	Priz süresi (vicat indisi)	Başlangıç (saat)	2:45	2:25
		Bitiş (saat)	4:25	4:15
	Toplam hacim genişlemesi (mm)		0,8	0,9
Mekanik Özellikler	7 Günlük Eğilme Dayanımı (MPa)		3,7	6,9
	7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)		29,9	45,8
	28 Günlük Eğilme Dayanımı (MPa)		6,7	8,7
	28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)		37,0	52,5

3.2.3. Deney Elemanlarında Kullanılan Beton Karışımları

Bu çalışmada, yapılan deney elemanlar, ülkemizdeki mevcut ve yapılmakta olan binaları temsil edebilmesi için, düşük dayanımlı betonlarla üretilmiştir. Bu amaçla, çerçeve ve perde duvar için beton basınç dayanımı (12MPa-15MPa) ve kanat dolgu duvarlar için beton basınç dayanımı 25MPa hedeflenmiş ve bu basınç dayanımlarını sağlayan karışım oranlarına göre deneme beton üretimleri yapılmıştır. Kullanılmış karışım oranları Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Betonların karışım oranları (1 m^3)

Betonlar	Çimento tipi	Çimento miktarı (kg)	Su/Çimento (%)	Agrega (kg)	Su (kg)	Katkı Maddesi (kg)
Çerçeve ve perde duvar	Cem II 32.5 R	300	68	1796	204	-
Kanat duvarlar	Cem I 42.5 R	350	60	1746	210	4.2

Üretilen deneme betonlarından, 6'şar adet 150 mm çapında 300 mm yüksekliğinde standart silindir numuneler alınarak 28 gün boyunca, sıcaklığı 21±2 °C olan su içinde bırakılmıştır (Resim 3.6). Bu süre sonunda sudan çıkartılan numuneler üzerinde basınç deneyi gerçekleştirilmiştir. Karışım oranlarının belirlenmesi için üretilen standart silindir numuneler üzerinde 2500 KN kapasiteli, bilgisayar kontrollü, sabit hızla yükleme yapabilen bir deney aleti ile deney yapılmıştır (Resim 3.7). Deneme karışımlarından elde edilen basınç dayanımlarının ortalaması 15.8 MPa olarak, kanat duvar üretiminde kullanılacak betonun ortalama dayanımı ise 28.2 MPa olarak elde edilmiştir. Çizelge 3.6'de verilen karışım oranları kullanılarak üretilen betonların basınç dayanımlarının hedeflenen dayanımlara uyduğu, hazır betonlar yapılması durumunda %10'luk bir dayanım kaybı olabileceği, bununda hedeflenen dayanımı sağlayabileceği düşünülerek, belirlenen karışım oranlarında beton, hazır beton tesislerinde ürettirilmiştir. Kanat duvarlarda kullanılacak beton ise laboratuvarda üretilmiştir.



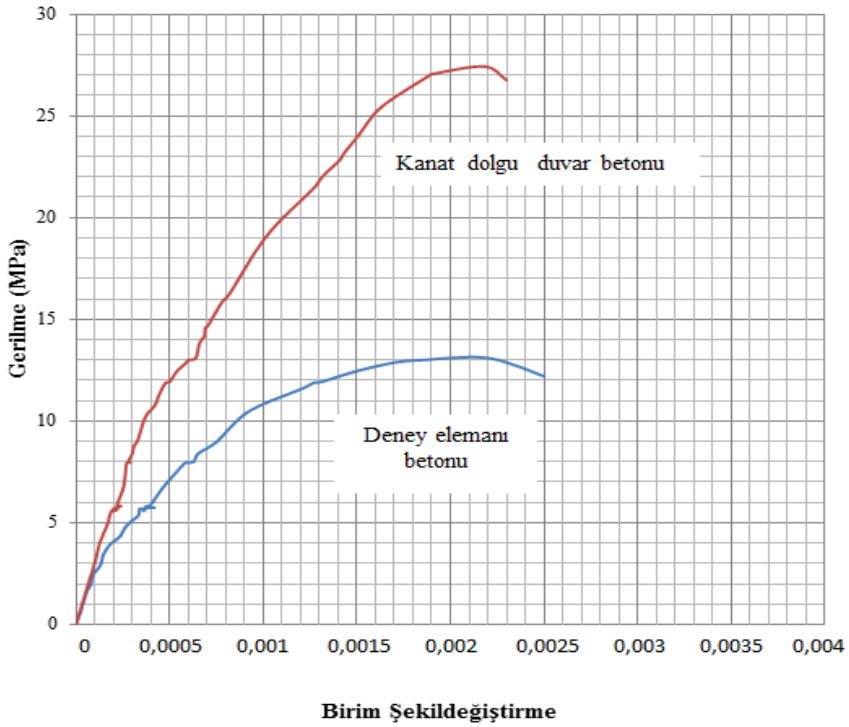
Resim 3.6. 28 gün boyunca suda bekletilen standart silindir numuneler



Resim 3.7. Basınç deneylerinde kullanılan 2500 KN kapasiteli deney aleti

3.2.4. Deney Elemanlarında Kullanılan Betonların Özelikleri

Deney elemanlarının üretimi sırasında alınan hazır beton numuneler üzerinde 2500 KN kapasiteli deney aleti ile basınç deneyi yapılmıştır. Numune üzerinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen ortalama gerilme birim şekil değiştirme eğrisi Resim 3.8'de ve ortalama basınç dayanımları Çizelge 3.6'da verilmiştir.



Resim 3.8. Üretilen betonların gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri

Çizelge 3.6. Üretilen betonlardan alınan numunelerin basınç dayanım test sonuçları

Deney Elemanı No	Numune No	Deney Elemanı Basınç Dayanımı (MPa)	Kanat Duvar Basınç Dayanımı (MPa)
1	1	13,7	28,4
	2	13,0	27,1
	3	13,2	27,8
	4	13,6	27,7
2	5	12,4	28,1
	6	13,2	27,1
	7	13,7	27,0
	8	13,3	27,8
3	9	13,1	27,3
	10	12,4	26,6
	11	12,9	27,6
	12	13,4	26,7
Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)		13,16	27,43

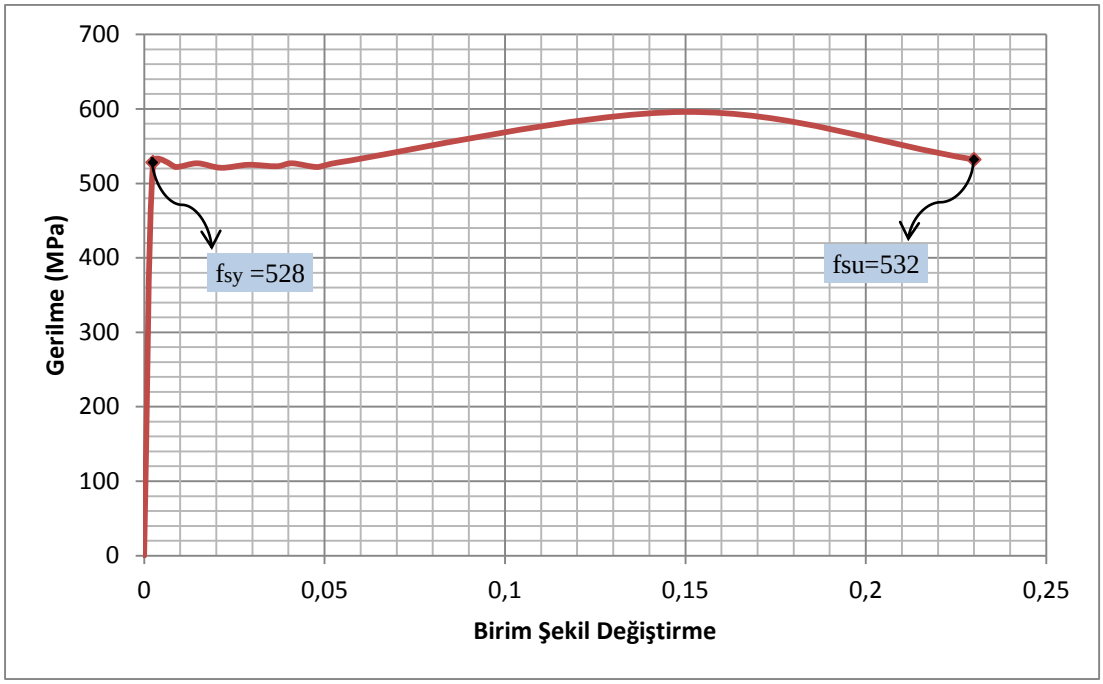
Deney elemanlarının üretiminde kullanılan betonun ortalama basınç dayanımı 13,16MPa olarak elde edilmiştir. Söz konusu betonun ortalama basınç dayanımı laboratuvar ortamında deneme üretimlerinde 15,8MPa olarak elde edilmiştir. Betonun aynı karışım oranlarında hazır beton santralinde ürettirilip, kalıplara dökülmesi sırasında %10'luk bir dayanım kaybının olabileceği düşünülmesine rağmen, bu kayıp %16 düzeyinde olmuştur.

Kanat duvarların üretiminde kullanılan beton basınç dayanımı ise, 27,43MPa elde edilmiş ve bu değer, deneme üretimlerinde elde edilen kanat duvarların beton basınç dayanımından yalnızca %3 daha az elde edilmiştir.

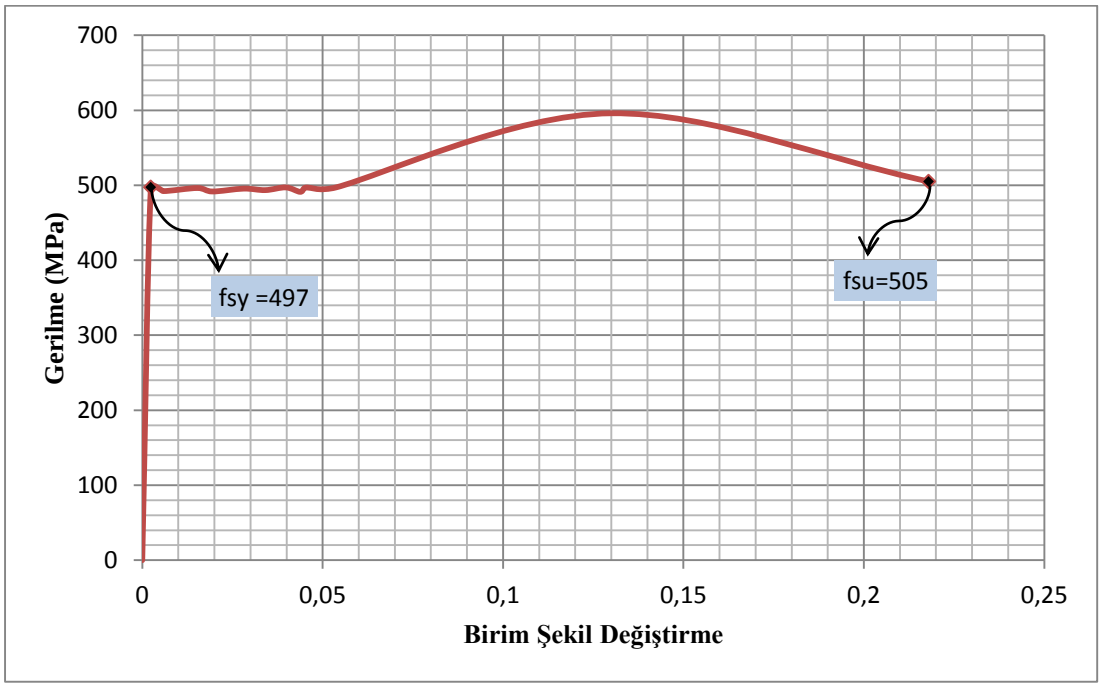
3.2.5. Donatı:

Bu çalışma kapsamında üretilen deney elemanlarında, (kolon-kiriş, perde duvar ve kanat duvarlarda) kullanılan donatılar üzerinde, 600KN kapasiteli üniversal deney aleti ile merkezi çekme deneyi yapılmıştır. Deneylerden elde edilen gerilme birim şekil değiştirme

diyagramları Resim 3.9'da ve Resim 3.10'da, bazı mekanik özelikler ise Çizelge 3.7'de verilmiştir.



Resim 3.9. 8 mm çapında nervürlü donatının gerilme-birim şekil değiştirme diyagramı



Resim 3.10. 14 mm çapında nervürlü donatının gerilme birim şekil değiştirme diyagramı

Çizelge 3.7. Deney elemanlarının üretiminde kullanılan donatılara ait bazı mekanik özelikler

Mekanik Özellik	8mm' lik Nervürlü	14mm' lik Nervürlü
Akma Dayanımı f_{sy} (MPa)	528	497
Çekme Dayanımı f_s (MPa)	644	596
Kopma Dayanımı f_{su} (MPa)	532	505
Akma Birim Uzaması ε_{sy}	0,0025	0,0024
Kopma Birim Uzaması ε_{su}	0,23	0,218
Elastisite Modülü $E = f_{sy} / \varepsilon_{sy}$ (MPa)	211200	207083

3.3. Deney Elemanlarının Üretilmesi

3.3.1. Genel

Deney elemanları KTÜ YAPI ve MALZEME laboratuvarında üretilmiştir. Betonlar hazır beton tesisinden temin edilmiştir. Deney elemanlarının betonunun dökümünde laboratuvar ortamında görünüşü Resim 3.11'de verilmiş olan ahşap kalıp kullanılmıştır. Temel beton Dökümü için çelik kalıp da kullanılmıştır.

Ahşap kalıplar plywood ve $400 \times 10 \times 5$ cm'lik kalaslar dan laboratuvarda yapılmıştır. Donatı kafesleri kalıba yerleştirilmeden önce, kalıpların iç yüzeyleri yağlanmıştır. Deney elemanlarında kullanılmış donatıların kesme ve bükme işlemleri laboratuvarda yapılmıştır (Resim 3.12). Bütün ahşap kalıp parçaları sökülebilen çelik vidalarla üretilmiştir.



Resim 3.11. Deney elemanlarının betonunun dökümünde kullanılan ahşap kalıplar

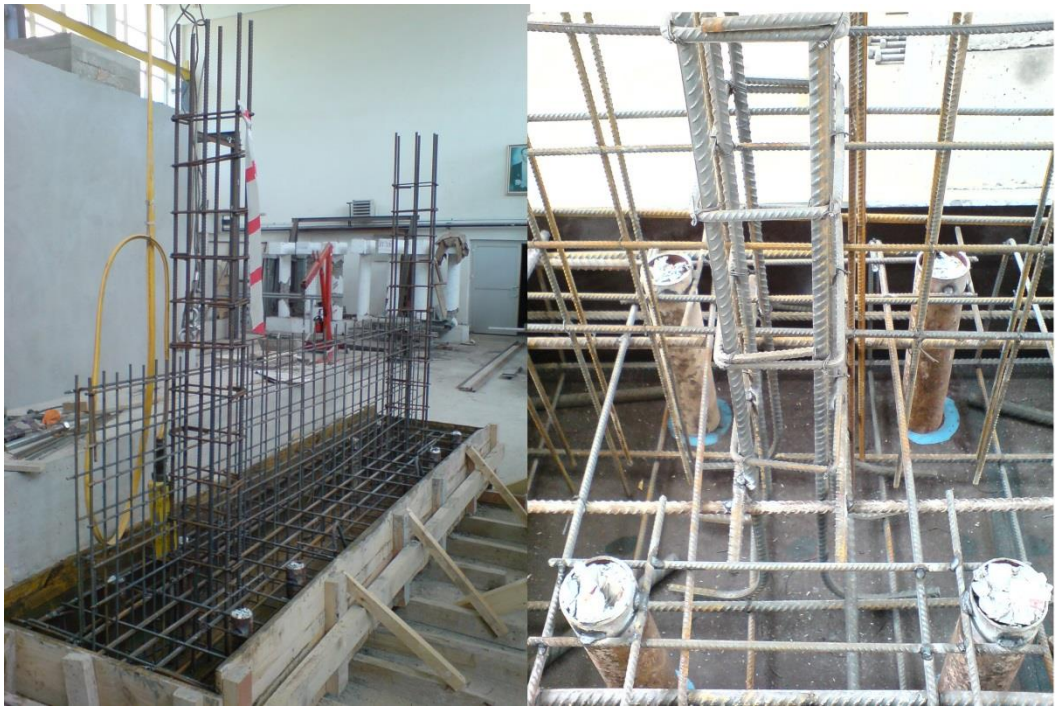


Resim 3.12. Deney elemanlarının donatı kesme işlemleri

Önce çerçeve elemanlarının boyuna donatıları ve etriyeleri araştırmada öngörülen boyutlarda hazırlanmıştır. Hazırlanan donatıları, bağ telleri ile birbirine bağlayarak deney elemanların temel, kolon ve kiriş donatı kafesi oluşturulmuştur (Resim 3.13). Kolon donatısı, temel kirişinin donatı kafesine bağ telleri ile bağlanarak birleştirilmiştir. Temel donatı kafesi yağlanmış yüzeylere temas etmeyecek şekilde vinç yardımı ile yapılan kalıba yerleştirildikten sonra kolon donatı kafesi, temel donatı kafesi içerisine yerleştirilip bağ telleri ile sağlam şekilde bağlanmıştır. Daha önceden hazırlanan betonarme perdelerin enine ve boyuna donatıları 125mm ara ile yerleştirilmiş, bağ telleri ile bağlanmıştır. Deney yapılmadan önce temel sistemi rijit döşemeye bağlanmıştır. Bu amaçla, her bir tarafta 4 adet olmak üzere toplam 8 adet 60 mm çapında çelik boru ile ankraj delikleri bırakılmıştır (Resim 3.14).



Resim 3.13. Temel, kolon ve kiriş donatı kafesi



Resim 3.14. Deney elemanların temel, kolon ve perde donatı kafeslerinin birleşimi

Çerçeve beton döküm işi iki aşamada yapılmıştır. Birinci aşamada, temel betonu dökülmüştür (Resim 3.15). Temel betonu döküldükten sonra, kolon, betonarme perde ve kiriş kalıpları yapılmıştır (Resim 3.16).



Resim 3.15. Temel beton dökümü



Resim 3.16. Temel beton dökümü

Kalıp yapım işi bittikten sonra, yatay yükü kolonlara aktarabilmek için yapılan kiriş donatı kafesi, kalıplara yerleştirilmiştir. Uygulanan tersinir tekrarlanır yatay yükü, deney elemanlarına aktara bilmek için, 26 mm çaplı St52 çeliğinden hazırlanmış çelik çubukların kiriş donatı kafesi içinde kalacak şekilde yerleştirilmesi için, her kiriş de 30 mm çapında dört adet plastik kanal bırakılmıştır (Resim 3.17).



Resim 3.17. Kiriş donatı kafesinin yerleştirilmesi ve plastik kanalların yerleşimi

Beton dökümünün ikinci aşamasında, kolon, betonarme perde ve kiriş betonu dökülüp, güçlendirilmemiş deney elemanların üretimi tamamlanmıştır (Resim 3.18). Deney elemanların üretiminde, her iki beton dökümü aşamasında, 25mm çaplı vibratör ile sıkıştırma işlemleri yapılmıştır. Betonların prizini almasının ardından kalıplar sökülmüş ve deney elemanlarına en az 20 gün boyunca ıslak çuvallarla kür uygulaması yapılmıştır. Güçlendirilen deney elemanlarının kanat duvarı çerçeve gözüne sonradan ilave edileceği için önce çerçeveleri üretilmiştir.



Resim 3.18. Üretimi tamamlanmış güçlendirilmemiş deney elemanı

3.3.2. Kanat Dolgu Duvarların Üretimi

Çalışma kapsamında, farklı genişliklerdeki bant pencere boşluklarının kısa kolon davranışına etkilerini inceleyebilmek amacıyla üretilen üç deney elemandan ikisine, üçüncü bölümde verilen ölçümlere uygun kanat duvarlar ilave edilmiştir. Güçlendirilecek deney elemanlarında kanat duvarları çerçeveye filiz donatılarıyla bağlanmıştır. Ø10 nervürlü filiz donatıları için, kolon, kiriş ve perdeler üzerinde 12mm çapında delikler matkap kullanılarak açılmıştır. Önce delikler basınçlı hava ile iyice temizlenmiş,

hazırlanan epoksi harcı deliklere dikkatle doldurulduktan sonra, filiz donatıları deliklere çakılmıştır (Resim 3.19).



Resim 3.19. Güçlendirilecek deney elemanlarında filiz ekimi

Güçlendirilecek deney elemanlara uygulanan filiz ekim işlemleri tamamlandıktan sonra, kanat duvar olarak ilave edilen perde uçlarını üçüncü bölümdeki çizimler ve ölçümlere uygun şekilde yerleştirip, yatay ve düşey doğrultuda 100 mm ara ile 8mm'lik perde donatısı yerleştirilmiştir (Resim 3.20).

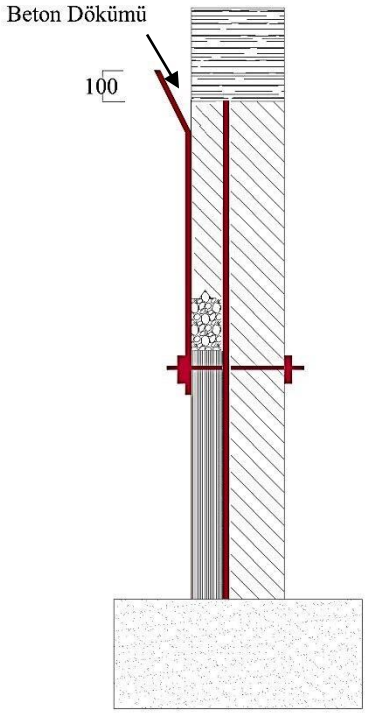


Resim 3.20. Deney elemanlarında ilave kanat duvar uç elemanları ve donatısı

Kanat duvar donatı kafesinin yerleştirilmesi tamamlandıktan sonra kalıplar, betonun kolayca dökülmesi ve kiriş altında boşluk kalmaması için, kiriş alt seviyesinden itibaren, Resim 3.21'de şematik olarak görüldüğü gibi, 100 mm yüksek yapılmıştır. Bundan dolayı beton dökümünden sonra, kirişin yan tarafında meydana gelen fazlalık kısım dökümden bir gün sonra kiriş yüzeyinden kırdırılarak temizlenmiştir. Böylece kanat duvarlara dökülen beton ile kiriş alt yüzeyinde boşluk oluşmamıştır.

Kanat duvarlara dökülen beton 3.2.4. bölümünde belirtilen karışım oranlarında laboratuvarda üretilmiş ve döküm işleri yapılmıştır.

Üretimi tamamlanmış 1 No'lu deney elemanı, 2 No'lu deney elemanı ve 3 No'lu deney elemanı Resim 3.22, Resim 3.23 ve Resim 3.24'de gösterilmiştir.



Resim 3.21. Kanat duvarlarına beton dökümünün şematik gösterilimi



Resim 3.22. Beton dökümü tamamlanmış 1 No'lu deney elemanı



Resim 3.23. Beton dökümü tamamlanmış 2 No'lu deney elemanı


Resim 3.24. Beton dökümü tamamlanmış 3 No'lu deney elemanı

3.4. Deney Düzeni

3.4.1 Yükleme düzeni

Üretilmiş deney elemanları, laboratuvardaki mevcut 600 mm kalınlığındaki rijit döşeme ve rijit yükleme duvarında test edilmiştir. Bu amaçla, deney elemanları vinç yardımıyla döşeme üzerine oturtulup, 8 adet gijon ile bağlanmış ve böylece ankastre mesnet şartları sağlanmıştır. Deney elemanlarına, 60KN sabit eksenel düşey yük ve tersinir tekrarlanır

yatay yük uygulanmıştır. İlgili yükler uygulanırken, elemanlarının düzlem dışı deformasyonlarının engellemesi, düşey yükün kolonların üzerine emniyetli şekilde uygulanabilmesi ve birim şekil değiştirme ölçüm aletlerinin[1] bağlanabilmesi amacıyla, çelik profillerle düzenek oluşturulmuş ve rijit duvar ve rijit döşemeye sağlam şekilde bağlanmıştır (Resim 3.25).

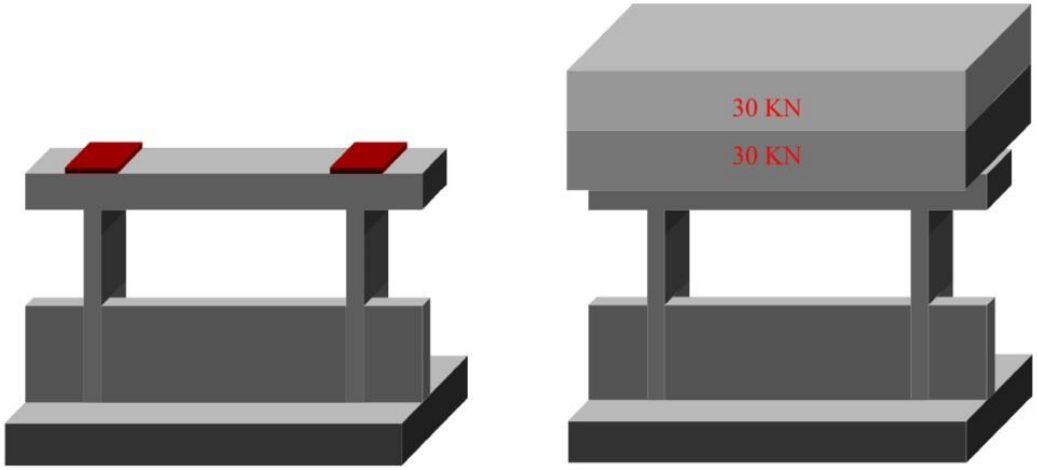


Resim 3.25. Deney elemanlarının ve çelik profillerden oluşturulmuş düzeneğin gijonlar ile rijit döşemeye bağlanması

Deney elemanlarına, uygulanan 60KN sabit düşey yükün, kolonlara eşit olarak aktarılması için kolonların üzerine çelik plakalara yerleştirilip, daha önceden üretilmiş 30KN ağırlığında iki adet beton bloklar, serbest oturacak şekilde plakalar üzerine vinç ile konulmuştur (Resim 3.26). Deney elemanları, deprem yüklerini benzeştiren tersinen tekrarlanan yükler altında test edilmiştir. Yatay yükleme, besleme hortumları vasıtasıyla hidrolik güç ünitesine bağlı, 200 mm açılma kapasitesi olan, hidrolik silindir[2] ile yapılmıştır (Resim 3.27). Hidrolik silindir her iki ucu mafsallı olduğu için, deney elemanının olası düşey hareketi sırasında yüklemenin farklı gerilmelerin oluşumunu engellemiştir. Tekrarlı yatay yük kiriş seviyesinden deney elemanlarına uygulanmıştır. Bunun için, deney elemanlarının üretimleri sırasında kiriş donatı kafesi içine dört adet 30 mm çaplı kanal bırakılıp, bu kanallar içerisinden St52 çeliğinden hazırlanmış dört adet 26mm çaplı çelik çubuklar geçirilerek, kirişin iki başında, çelik plakalara bağlanmıştır (Resim 3.28). Kirişin bir ucunda ise bu plaka, Actuator'e bağlanmıştır (Resim 3.29). Yükleme sırasında, deney elemanları yatay yük doğrultusunda serbestçe hareket etmeleri

[1] LPDT
[2] Actuator

için, çelik çerçeveye kiriş seviyesinde, dört adet rulman yerleştirilmiştir. Böylece, deney elemanlarının düzlem dışı hareketi engellenmiştir (Resim 3.30).



Resim 3.26. Birer 30KN ağırlığında iki adet beton bloktan oluşturulmuş düşey yükün, kolonlara eşit olarak aktarılması için kolonların üzerine yerleştirilen çelik plakalar



Resim 3.27. Yüksek başarımlı güç ünitesine ve Actuator



Resim 3.28. Kiriş içinde bırakılan 30mm çaplı dört adet kanala, 26mm çaplı çelik çubukların geçirilmesi ve kirişin bir ucunda çelik plaka ile bağlanması



Resim 3.29. Çelik çubukların kirişin bir ucunda çelik plaka ile Actuator bağlanması



Resim 3.30. Sistemin yatay doğrultudaki hareketine izin veren rulmanlar

3.4.2. Ölçüm aletleri ve ölçüm düzeni

Deneylerde her bir deney elemanında kullanılan ölçüm sistemleri,

- 500 KN‘ lük yük hücresi[3]
- 2 adet strain gage
- 7 adet 50, 200, 300 mm’lik potansiyometrik cetveller[4]
- 2 adet CODA AI8b veri toplayıcı

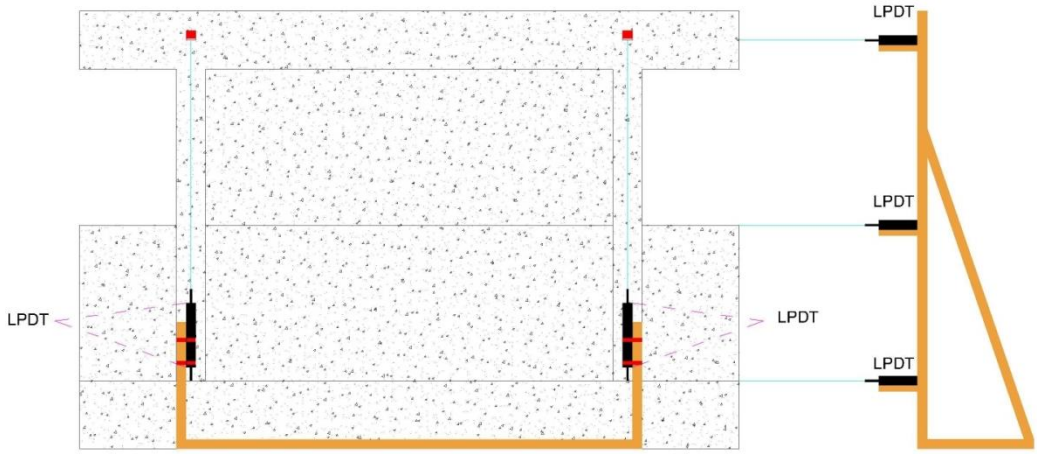
Deneylerde uygulanan yatay yüklerinin ölçümü yük hücresi ile yapılmıştır. Bu çalışmada, yassı tip, montaj kolaylığına sahip ortası delikli tip ve 500KN basınç ve çekme kapasitesine sahip yük hücresi kullanılmıştır. Yük ölçümü için yükün ölçüleceği taraflardan birine (deney tarafından) çevresel cıvata deliklerinden, diğerine (hidrolik silindir) ise ortadaki geniş cıvata deliğinden montaj yapılmıştır (Resim 3.31).



Resim 3.31. Yatay yüklerin ölçümünü yapan yük hücresi (Loadcell)

[3] Loadcell
[4] LPDT

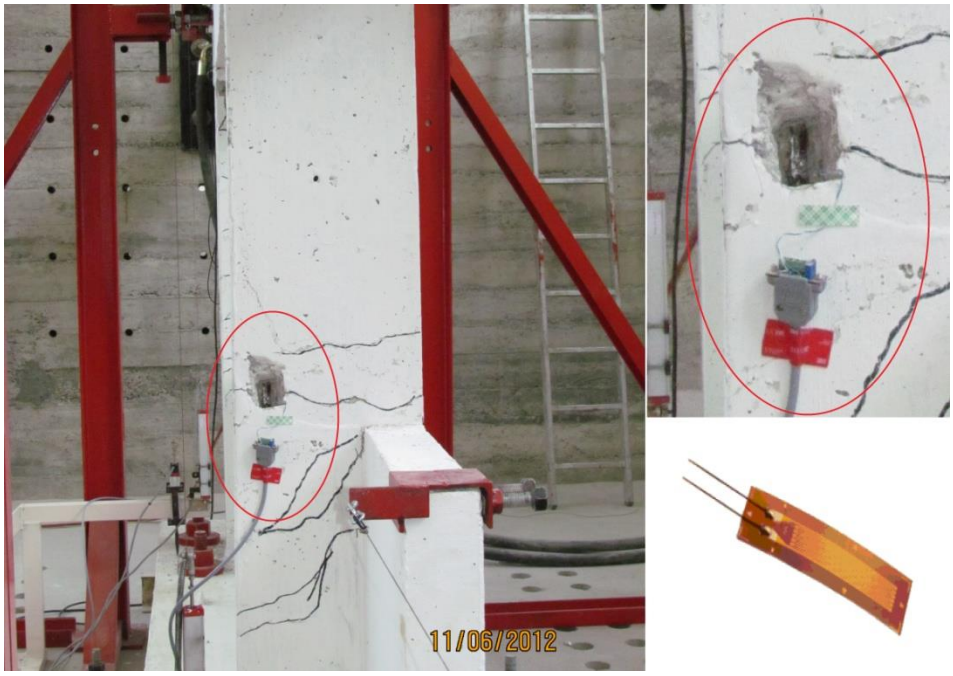
Deney elemanlarının temel, kiriş ve betonarme perde seviyesindeki (yatay yük ekseni doğrultusundaki) yatay yer değiştirmeler ile temel ve kiriş düşey deplasmanları LPDT'ler[5] ile ölçülmüştür (Resim 3.32). Potansiyometrelerden alınan sinyaller veri toplama cihazı ile bilgisayara aktarılıp kayıt edilmiştir.



Resim 3.32. LPDT'lerin yerleşimi

Yatay yük altındaki deney elemanlarında kolon donatılarında meydana gelecek birim şekil değiştirmeyi ölçebilmek için kolonların dış donatılarından birisine, betonarme perde seviyesinde, Strain gauge yapıştırılmıştır. Srain gage'leri yapıştırmadan önce donatı yüzeyindeki nervür tıraşlanarak düz bir yüzey elde edilip ve iyice temizlenmiştir (Resim 3.33). Strain gage'ler direnç değişiminden yararlanarak, boy değişimin elektriksel bir sinyal olarak algılayıp, bu sinyalleri veri toplama cihazına göndermiştir.

[5] Doğrusal Potansiyometrik Cetveller



Resim 3.33. Kolon donatısına yapıştırılmış strain gage

Deney boyunca, Strain gage, yük hücresi ve LPDT' ler den gelen sinyallerin dijital veriye çevrilmesi, 2 adet CODA Ai8b veri toplama cihazı (Data Logger) ile yapılmıştır. Bu cihaz 16 veri kaydetme özelliğine sahip 8 örneğe kadar veri toplaya bilmektedirler (Resim 3.34).



Resim 3.34. 2 adet CODA Ai8b veri toplama cihazı (Data Logger)

Deneye hazır olmuş deney elemanları Resim 3.35'de ve Resim 3.36'da gösterilmiştir.



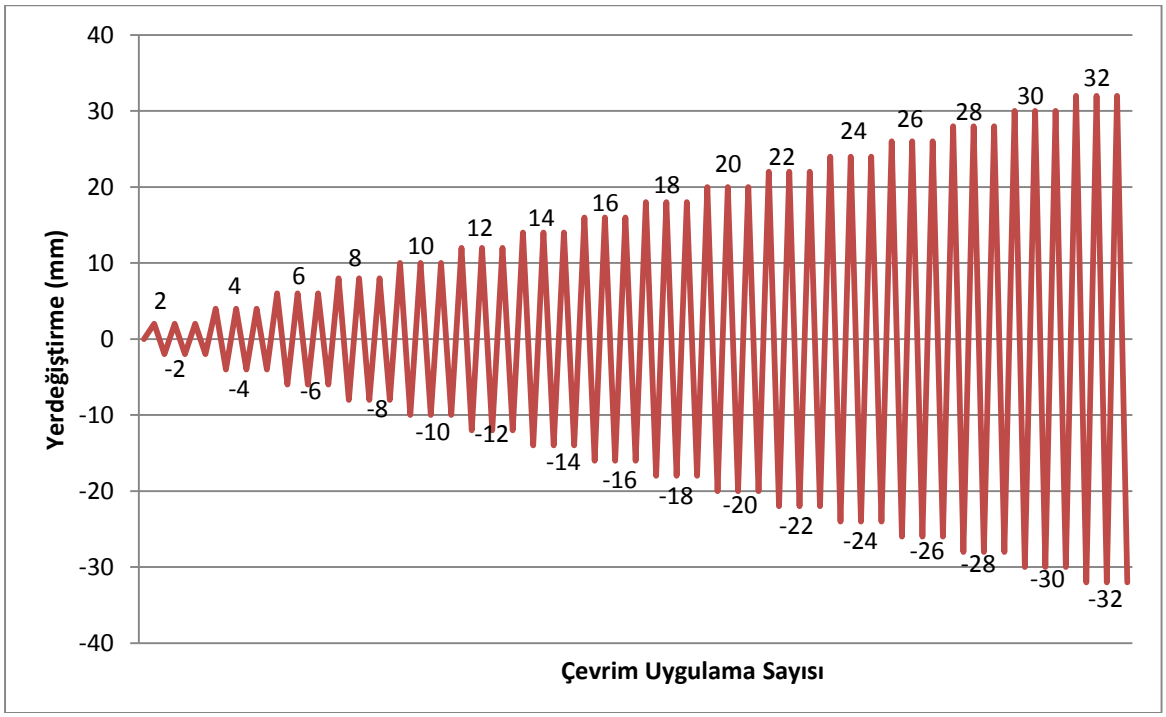
Resim 3.35. Deneye hazır hale getirilmiş 1 No'lu deney elemanı



Resim 3.36. Deneye hazır hale getirilmiş 2 No'lu deney elemanı

3.4.3. Deney Elemanlarına Uygulanan Yatay Yük

Deney elemanlarına tersinir tekrarlanır yatay yükü uygulayan hidrolik silindirin hareketi (itme ve çekme), deplasman kontrollü olup bilgisayar yardımıyla bir yükleme geçmişi ile kontrol edilmiştir. Bu geçmiş de her deney elemanına 2mm artan adımlarla 16 yatay yerdeğitrieme çevrim ve her çevrim 3 kez tekrarlanarak uygulanmıştır (Resim 3.37).



Resim 3.37. 2mm adımlarla artan yerdeğiştirme çevrimleri

4. DENEYLER VE SONUÇLAR

4.1. Ölçümlerin Değerlendirilmesi

4.1.1. Yük-yerdeğiştirme grafiklerinin elde edilmesi

Deneylerde yatay yük, yükleme senarıyosuna göre kiriş ucuna bağlı olan hidrolik silindir tarafından uygulanmıştır. Yükleme senarıyosu deplasman kontrollü olup, kiriş ucunda yatay yerdeğiştirmelere karşılık gelen yatay yük, hidrolik silindirin ucuna bağlı olan loadcell ile ölçülüp veri toplama sistemi aracığıyla bilgisayarda kayıt edilmiştir. Bu veriler sayesinde yük-yerdeğiştirme grafiği elde edilmiştir.

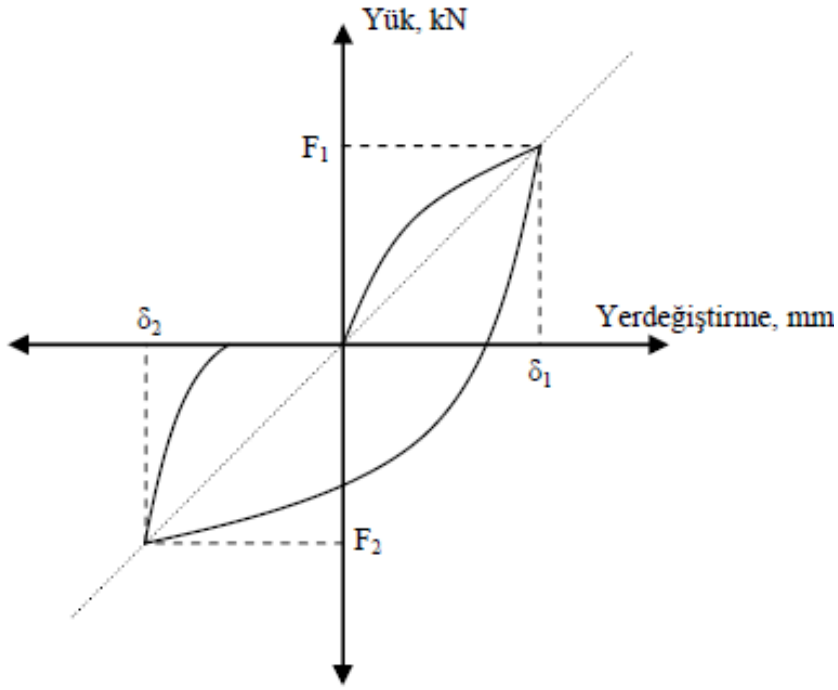
4.1.2. Dayanım zarfı grafiklerinin elde edilmesi

Yük-yerdeğiştirme grafiği üzerinde her çevrimin, en büyük yük değeri ve bu değere karşılık gelen yatay ötelenme miktarından, dayanım zarfı eğrileri elde edilmiştir.

4.1.3. Rijitlik azalım eğrisi

Ölçüm sistem, vasıtasıyla toplanan veriler sayesinde elde edilen yük-yerdeğiştirme grafiğindeki her çevrimin maksimum yük değerleri (itme ve çekme) ile maksimum yatay yerdeğiştirme değerlerinden o çevrime ait rijitlik değeri Eş. 4.1'den elde edilmiştir. Deney elemanların rijitliği, yük yerdeğişme grafiğindeki her bir çevrimdeki eğim hesaplanarak elde edilmiştir. Yük yerdeğiştirme grafiğinde, çevrimlerin eğimi giderek azaldığı, rijitliğin giderek azaldığını göstermektedir.

$$Rijitlik(\emptyset) = ((F1 - F2)/(\delta 1 - \delta 2)) \quad (4.1)$$



Resim 4.1. Deney elemanlarının rijitlik değerlerinin belirlenmesi

4.1.4. Enerji Tüketimi

Bir yapının yeteneği, deprem yüküne karşı dayanaklığıdır. Bunun için yapı, deprem yükü tarafından gelen enerjiği tüketebilmelidir. Deprem sırasında yapıya gelen enerji miktarının tahmini ne kadar zor olsa da, bir yapı mühendisi yapı tarafından tüketilen enerjinin deprem sırasında yapıya gelen enerji miktarından fazla olmasından emin olmalıdır [8].

Bu çalışmada, tersinir tekrarlanır yatay yük altındaki deney elemanları tarafından tüketilen enerji miktarları, yatay yük-birim şekil değiştirme grafiklerinde oluşan kapalı alanın hesaplamasıyla elde edilmiştir. Deney elemanlarının enerji tüketim düzeylerini karşılaştıra bilmek için, her deney elemanı için enerji tüketim grafiği elde edilmiştir. Bu grafiklerin düşey ekseni, her çevrim için elde edilen enerji tüketimlerinin ardışık toplamı ve yatay ekseni her çevrime ait hesaplanan yatay ötelenme miktarıdır.

4.2. Deney Elemanları

4.2.1. 1 No'lu deney elemanı

Deney elemanı tanımı: kanat duvar ilave edilmemiş
Deney tarihi: 11.06.2012
Bant pencere ebadı: l=L =2100mm

Deney elemanı Resim 3.37'de gösterilen yük geçmişi altında test edilmiştir. Deney elemanına 48 tam yatay yer değiştirme çevrimi uygulanmıştır. İlk çatlaklar kolon kiriş birleşim bölgelerinde eğilme çatlağı olarak oluşup, kolon üst ucunda yayılmaya başlamıştır (Resim 4.2). İlerleyen çevrimlerde belirgin bir şekilde kolon alt bölgesinde 45 derecelik kesme çatlakları oluşup ve kolon en kesiti boyunca devam etmiştir (Resim 4.3). Nihai durumda kesme çatlakları, kolon boyunca alt ve üst uçta yoğun olacak şekilde yayılarak kolon üst başlığında ezilme meydana gelmiştir (Resim 4.4). Bu deney elemanında bırakılan bant pencere nedeni ile kolonlarda kısa kolon davranışı oluşarak, kolon taşıma gücünü kaybetmiştir (Resim 4.5).



Resim 4.2. Kolon kiriş birleşim bölgesinde kolon üst ucuna yayılan eğilme çatlakları



Resim 4.3. Kolon alt bölgesinde oluşan ve en kesiti boyunca devam eden 45 derecelik kesme çatlağı

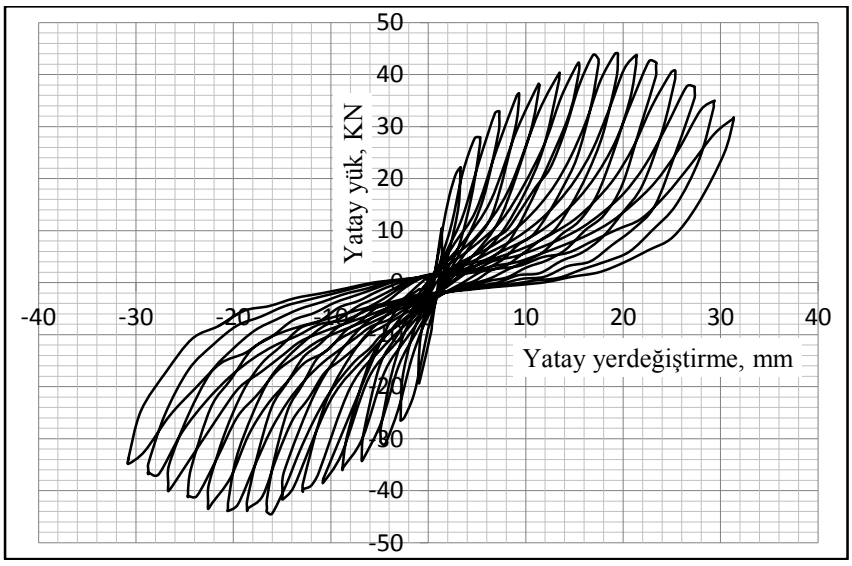


Resim 4.4. Kolon boyunca alt ve üst uçta yoğunlaşarak yayılan kesme çatlakları ve kolon üst ucunda ezilme



Resim 4.5. 1 No'lu deney elemanın nihai hasar durumu

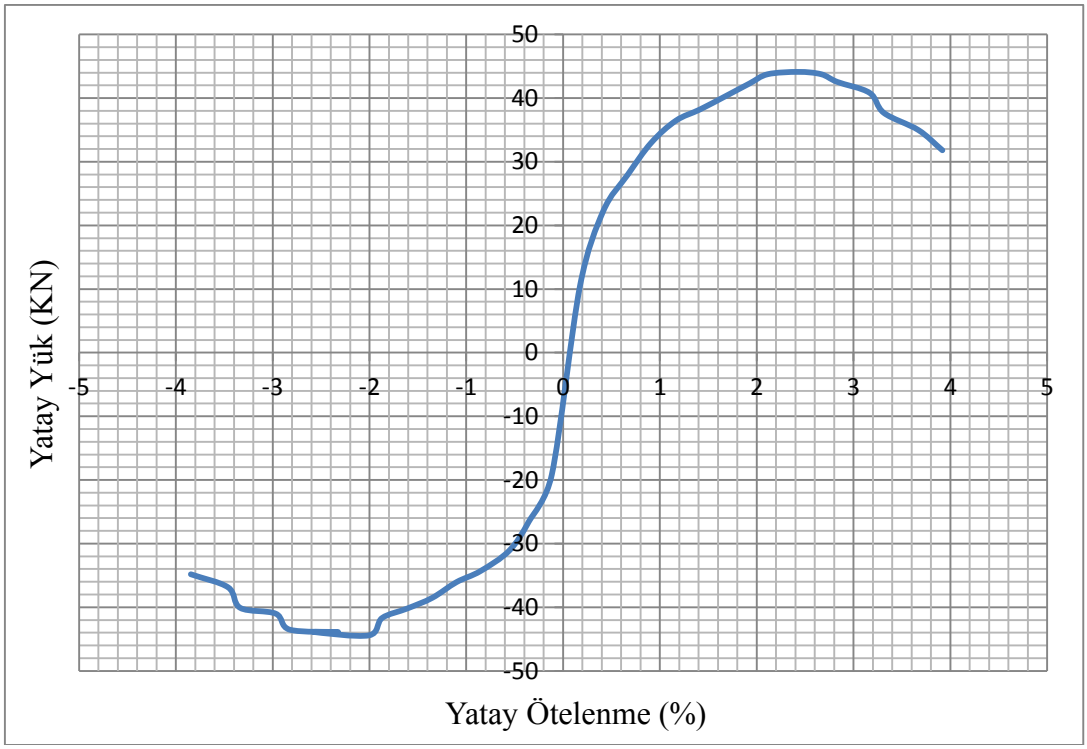
Deney elemanına ait iki yönlü çevrimsel yük-yerdeğiştirme eğrileri Resim 4.6'da, dayanım zarfı grafiği Resim 4.7'de ve rijitlik azalım eğrisi Resim 4.8'de verilmiştir.



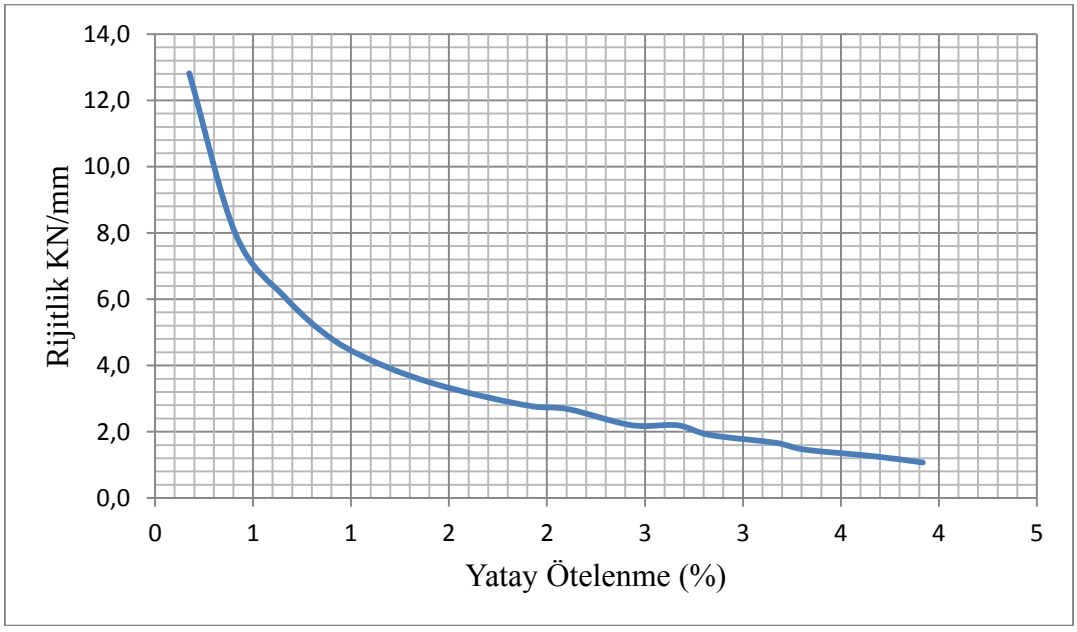
Resim 4.6. 1 No'lu deney elemanına için elde edilen yatay yük-yer değiştirme eğrisi

Çizelge 4.1. 1 No'lu deney elemanına için elde edilen yatay yük, yatay yerdeğiştirme ve yatay ötelenme değerleri

Çevrim No	Yatay Yük (KN)	Yatay Yerdeğiştirme δ (mm)	Yatay Ötelenme $\delta/_h$ (%)	Rijitlik Ø (KN/mm)
1	10,484	1,396	0,175	12,818
	-19,381	-0,934	-0,117	
2	22,172	3,301	0,413	7,945
	-26,533	-2,829	-0,354	
3	27,946	5,335	0,667	6,037
	-31,104	-4,447	-0,556	
4	32,971	7,277	0,910	4,772
	-34,314	-6,824	-0,853	
5	36,442	9,311	1,164	4,001
	-36,058	-8,811	-1,101	
6	38,221	11,317	1,415	3,468
	-38,518	-10,808	-1,351	
7	40,332	13,453	1,682	3,059
	-40,193	-12,870	-1,609	
8	42,321	15,431	1,929	2,765
	-41,693	-14,951	-1,869	
9	43,751	16,911	2,114	2,676
	-44,414	-16,032	-2,004	
10	44,118	19,444	2,431	2,199
	-43,891	-20,581	-2,573	
11	43,751	21,330	2,666	2,195
	-43,891	-18,594	-2,324	
12	42,548	22,653	2,832	1,903
	-43,525	-22,588	-2,824	
13	40,821	25,334	3,167	1,667
	-41,013	-23,744	-2,968	
14	37,681	26,508	3,314	1,463
	-40,105	-26,675	-3,334	
15	34,977	29,365	3,671	1,260
	-36,878	-27,682	-3,460	
16	31,802	31,344	3,918	11,073
	-34,820	-30,761	-3,845	



Resim 4.7. 1 No'lu deney elemanına için elde edilen dayanım zarf eğrisi

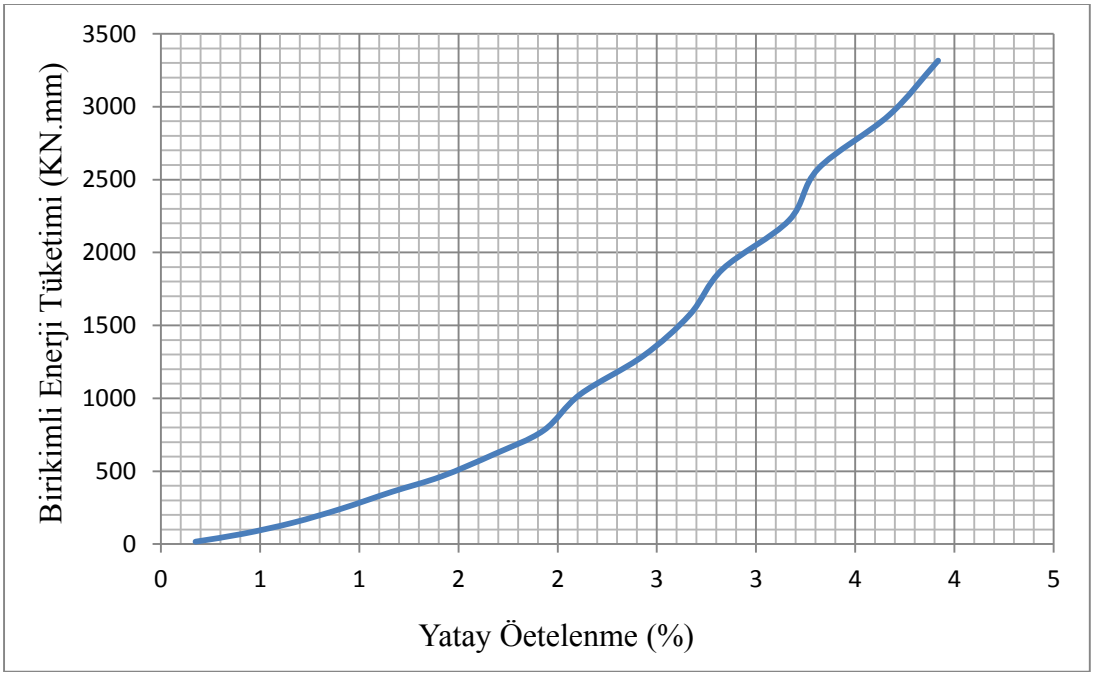


Resim 4.8. 1 No'lu deney elemanı için elde edilen rijitlik azalım eğrisi

Her yük çevrimi için hesaplanan enerji tüketimleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. 1 No'lu deney elemanına için elde edilen birikimli enerji tüketimi ve yatay ötelenme değerleri

Çevrim No	Çevrim Enerji Tüketimi KN.mm	Birikimli Enerji Tüketimi KN.mm	Yatay Ötelenme $\delta/_h$ (%)
1	16,99	16,99	0,175
2	53,85	70,84	0,413
3	76,55	147,39	0,667
4	95,53	242,92	0,910
5	115,6	358,52	1,164
6	106,06	464,58	1,415
7	153,49	618,07	1,682
8	161,4	779,47	1,929
9	247,93	1027,4	2,114
10	262,52	1289,92	2,431
11	284,15	1574,07	2,666
12	311,93	1886,00	2,832
13	335,06	2221,06	3,167
14	353,9	2574,96	3,314
15	366,71	2941,67	3,671
16	374,153	3315,823	3,918



Resim 4.9. 1 No'lu deney elemanı için elde edilen birikimli enerji tüketim eğrisi

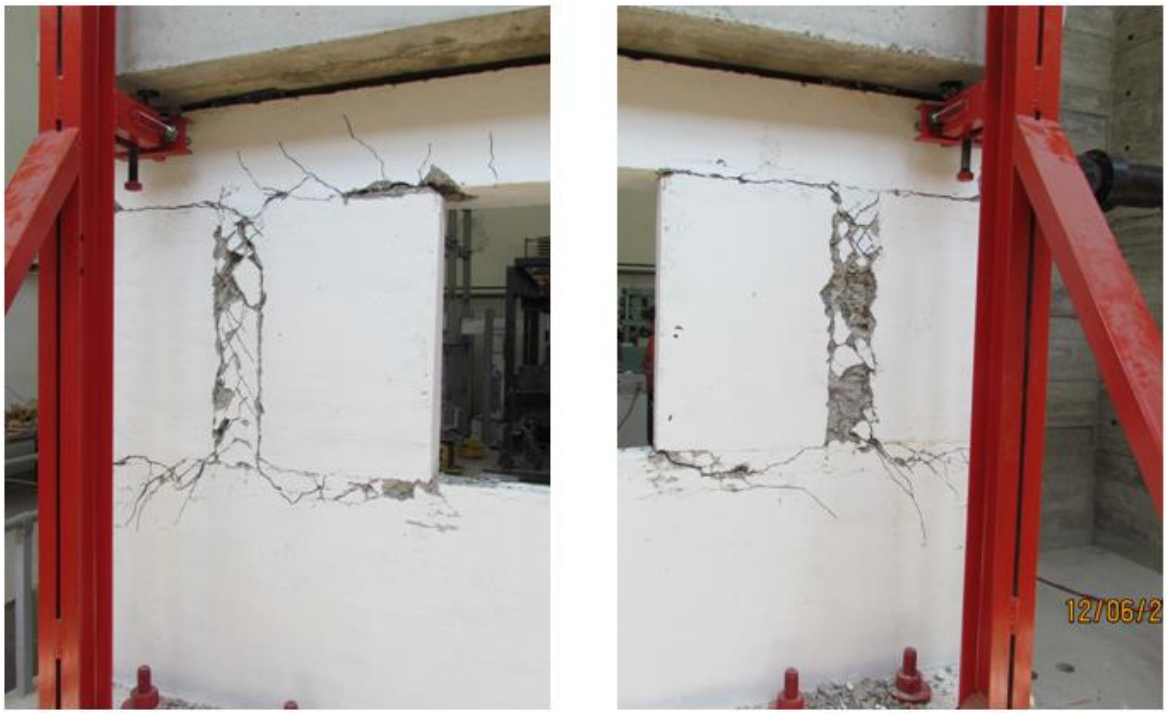
4.2.2. 2 No'lu deney elemanı

Deney elemanı tanımı: Betonarme kanat duvarlar ile güçlendirilmiş ($l' = 2 \times 525\text{m}$)
Deney tarihi: 12.06.2012
Bant pencere ebadı: l=0,5L (L=2100mm, l=1050mm)

Deney elemanı Resim 3.37'de gösterilen yük geçmişi altında test edilmiştir. Deney elemanına 11 tam yatay yer değiştirme çevrimi uygulanmıştır. İlk çevrimlerde eğik kesme çatlakları betonarme perdede, betonarme kanat duvar alt köşelerinde, oluşmuş ve kanat duvarlarda hiçbir çatlak tespit edilmemiştir (Resim 4.10). On birinci çevrim sonrası 20 mm'lik yer değiştirme de kanat duvarlar ankrajlardan ayrılıp betonarme perde üzerinde kaymaya başlamıştır. İlerleyen çevrimlerde, kolonda kesme çatlakları oluşmuştur (Resim 4.11). Nihai durumda, kolonda yoğun kesme çatlakları oluşmuş ve ezilmiştir (Resim 4.12).



Resim 4.10. Betonarme perde de oluşmuş kesme çatlakları

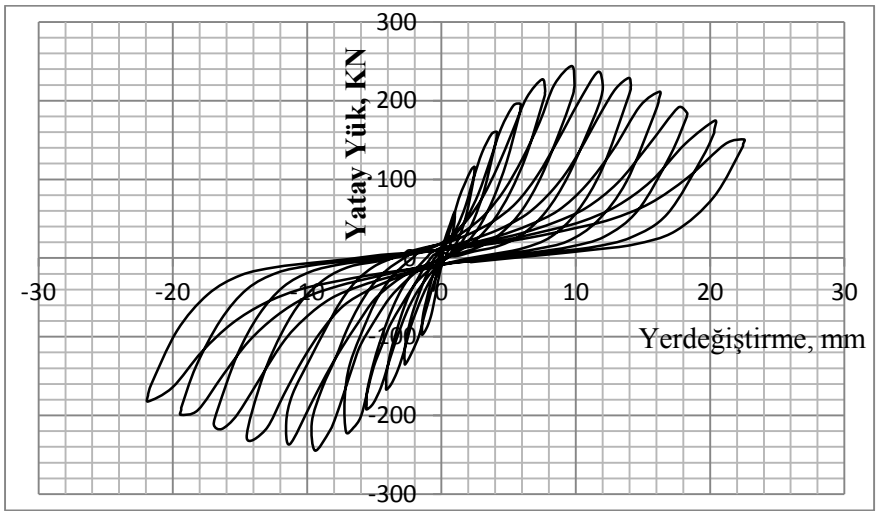


Resim 4.11. Kanat duvarın ankrajlardan ayrılıp perde üzerinde kaymaya başlaması



Resim 4.12. 2 No'lu elemanda nihai hasar durumu

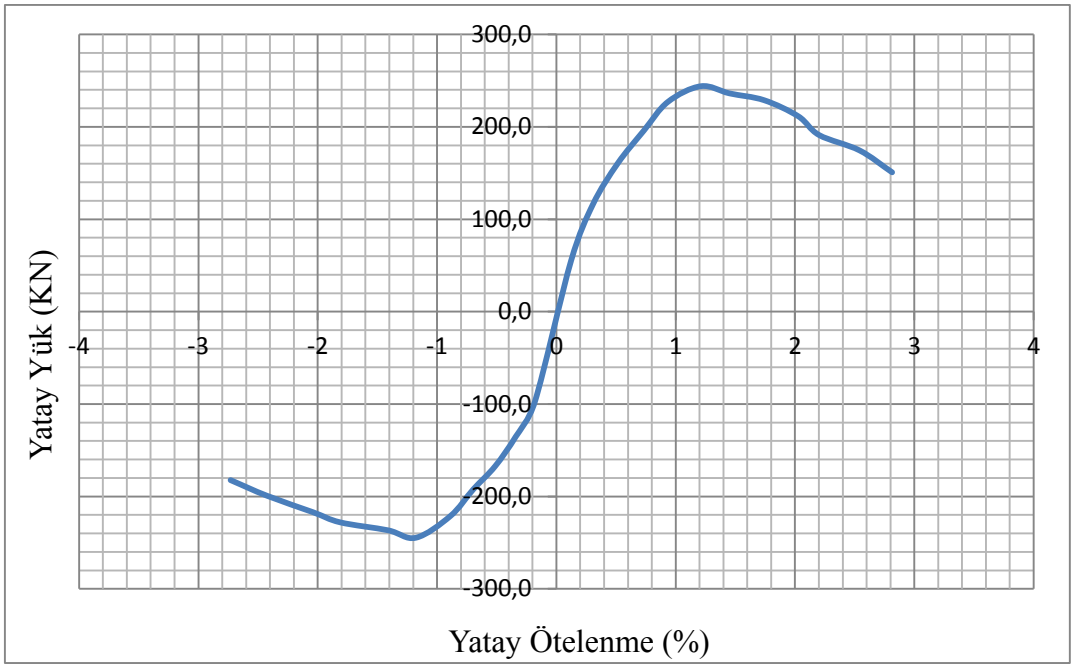
Deney başlarında, düşük çevrimlerde kanat dolgu duvarlar yatay yükün az olduğu için kolonda kesme çatlaklarının oluşmasını engellemiş, kolon ön yüzünde eğilme çatlakları meydana gelmiştir. Fakat ilerleyen çevrimlerde yatay yükün artması kanat duvarların sistemden ayrılması ve betonarme perde üzerinde kaymasına sebep olmuştur. Bu durumda kolonlarda kesme kuvveti artmış ve kesme çatlaklarının meydana gelmesine sebep olmuştur. Deney elemanına ait iki yönlü çevrimsel yük-yer değiştirme eğrileri Resim 4.13'de, dayanım zarfı grafiği Resim 4.14'de ve rijitlik azalım eğrisi Resim 4.14'de verilmiştir.



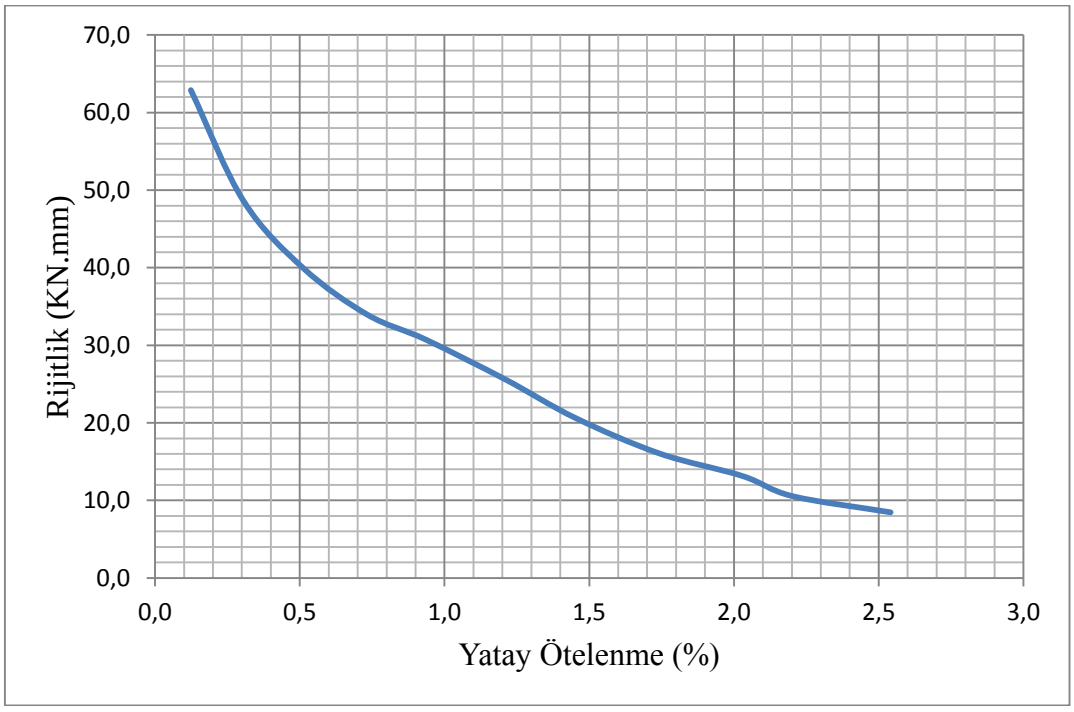
Resim 4.13. 2 No'lu deney elemanına için elde edilen yük-yerdeğiştirme eğrisi

Çizelge 4.3. 2 No'lu deney elemanına için elde edilen yatay yük, yatay yer değiştirme ve yatay ötelenme değerleri

Çevrim No	Yatay Yük (KN)	Yatay Yerdeğiştirme δ (mm)	Yatay Ötelenme $\delta/_h$ (%)	Rijitlik Ø (KN/mm)
1	55,340	0,990	0,124	62,898
	-97,565	-1,441	-0,180	
2	116,110	2,451	0,306	48,567
	-135,368	-2,727	-0,341	
3	160,463	4,115	0,514	39,874
	-167,259	-4,104	-0,513	
4	196,078	5,872	0,734	33,939
	-192,383	-5,574	-0,697	
5	227,069	7,481	0,935	30,738
	-221,120	-7,100	-0,888	
6	244,018	9,691	1,211	25,574
	-244,655	-9,417	-1,177	
7	236,214	11,614	1,452	20,640
	-236,575	-11,292	-1,412	
8	228,858	13,931	1,741	16,068
	-227,968	-14,500	-1,813	
9	211,413	16,224	2,028	31,164
	-217,014	-16,321	-2,040	
10	191,125	17,620	2,203	10,544
	-199,236	-19,401	-2,425	
11	174,517	20,329	2,541	8,461
	-182,298	-21,842	-2,730	
12	150,792	22,511	2,814	



Resim 4.14. 2 No'lu deney elemanına için elde edilen dayanım zarf eğrisi

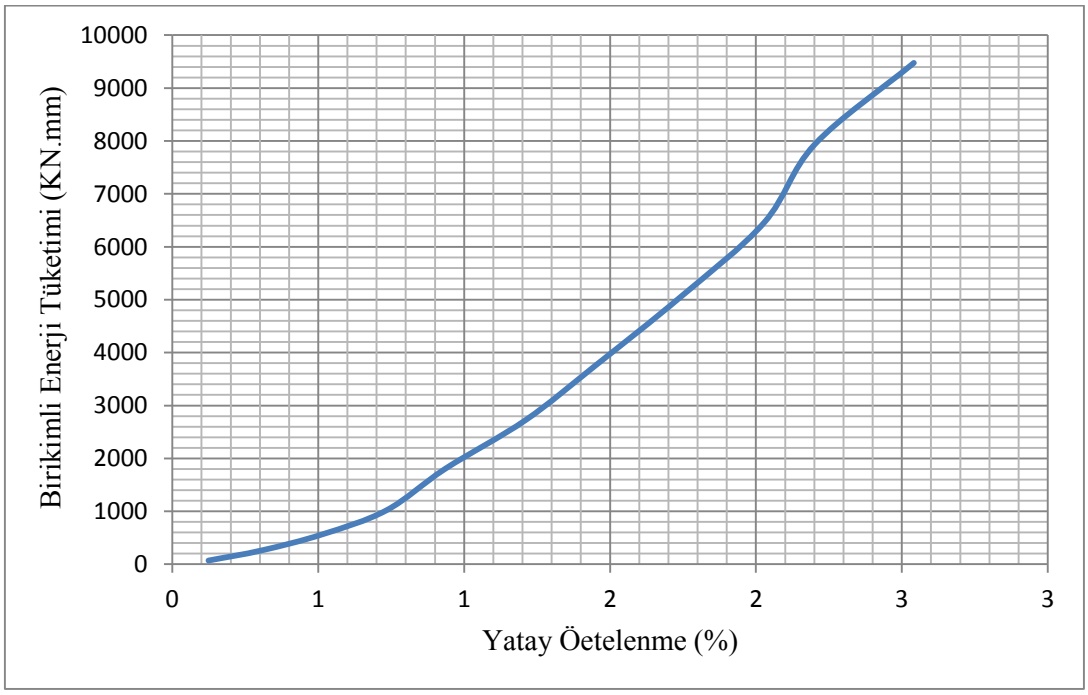


Resim 4.15. 2 No'lu deney elemanına için elde edilen rijitlik azalım eğrisi

Her yük çevrimi için hesaplanan enerji tüketimleri Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. 2 No'lu deney elemanına için elde edilen birikimli enerji tüketimi ve yatay ötelenme değerleri

Çevrim No	Çevrim Enerji Tüketimi KN.mm	Birikimli Enerji Tüketimi KN.mm	Yatay Ötelenme $\delta/_h$ (%)
1	70,10	70,10	0,124
2	191,90	262,00	0,306
3	303,34	565,34	0,514
4	454,81	1020,15	0,734
5	784,03	1804,18	0,935
6	923,23	2727,41	1,211
7	1036,73	3764,14	1,452
8	1286,31	5050,45	1,741
9	1406,51	6456,96	2,028
10	1484,74	7941,70	2,203
11	1534,33	9476,03	2,541



Resim 4.16. 2 No'lu deney elemanı için elde edilen birikimli enerji tüketim eğrisi

4.2.3. 3 No'lu deney elemanı

Deney elemanı tanımı: Betonarme kanat duvarlar ile güçlendirilmiş ($l' = 2 \times 785\text{m}$)
Deney tarihi: 13.06.2012
Bant pencere ebadı: l=0,5L (L=2100mm, l=530mm)

Deney elemanı Resim 3.37'de gösterilen yük geçmişi altında test edilmiştir. Deney elemanına 42 tam yatay yer değiştirme çevrimi uygulanmıştır. İlk kesme çatlağı kanat duvarından betonarme perdeye doğru, 45 derece açı ile oluşmuştur. Kanat duvarlar, alt uç kısımlardan başlayarak betonarme perde den ve üst uç köşelerden başlayarak kirişlerden ayrılmaya başlamıştır. Kirişin iç kanat uç kısmında eğik çatlaklar tespit edilmiştir (Resim 4.15). 7. çevrimde, 190 KN'de, betonarme perdede çatlaklar oluşmuş, 205 KN'da mevcut yayılmaya başlamış ve 230kN'da çatlaklar belirginleşmiştir. 8.çevrimden sonra kolon üst ve alt bölgesinde belirgin şekilde çatlaklar oluşmuştur (Resim 4.17). 16mm'ye kadar ankrajlar görevini tam yapıp kanat duvarlarda hasar oluşmadan, kanat duvarlar betonarme perdeden ayrılıp, sistemden bağımsız çalışmıştır. 280 KN'den sonra kesme çatlakları daha da yoğunlaşmış, kolon-kiriş birleşim bölgesinde ezilme meydana gelmiştir (Resim 4.18). Nihai durumda, kesme çatlakları nedeni ile kolon betonu dayanımını kaybedip ezilerek dökülmüştür. Donatılar açığa çıkıp kesme kırılması gerçekleşmiştir. Hasar görmeyen kanat duvarlar göçmeyi engellemiştir (Resim 4.19, Resim 4.20).



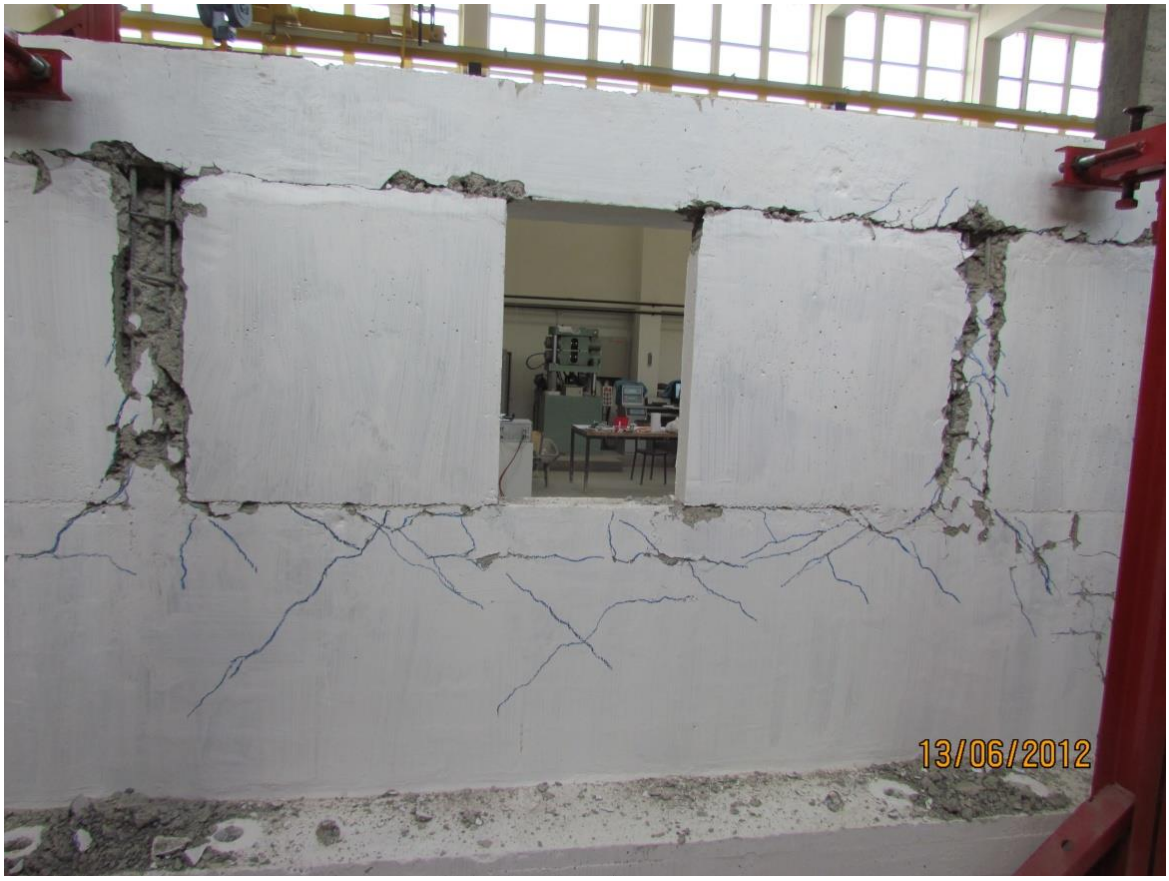
Resim 4.17. İlk çevrimlerde betonarme perdede oluşan kesme çatlakları



Resim 4.18. Betonarme perdede yayılan ve belirginleşen çatlaklar ve kolonda meydana gelen kesme çatlakları



Resim 4.19. Kanat duvarların kiriş ve betonarme perdeden ayrılması

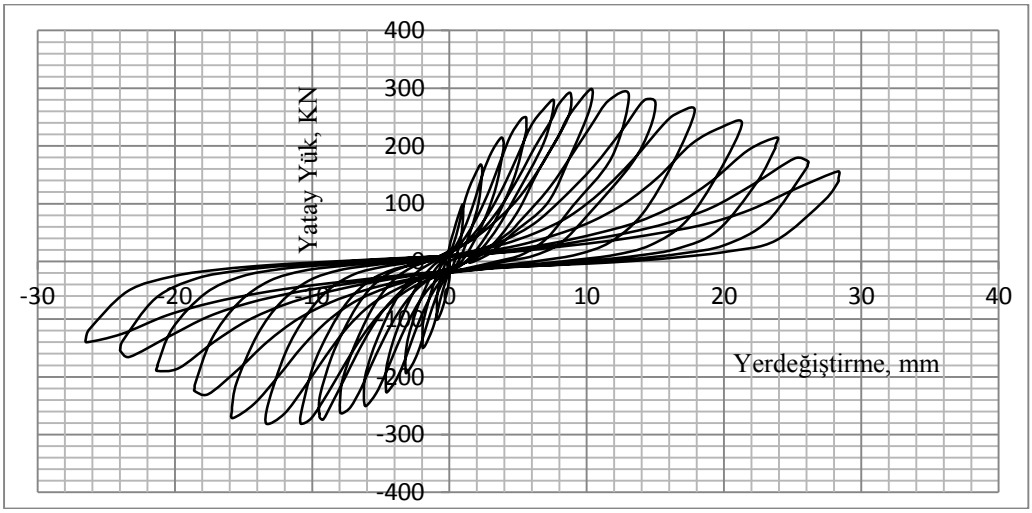


Resim 4.20. Kesme çatlakları nedeni ile dayanımını kaybedip ezilerek dökülen kolon betonu ve açığa çıkan donatılar (kesme kırılması)



Resim 4.21. 3 No'lu elemanda nihai hasar durumu

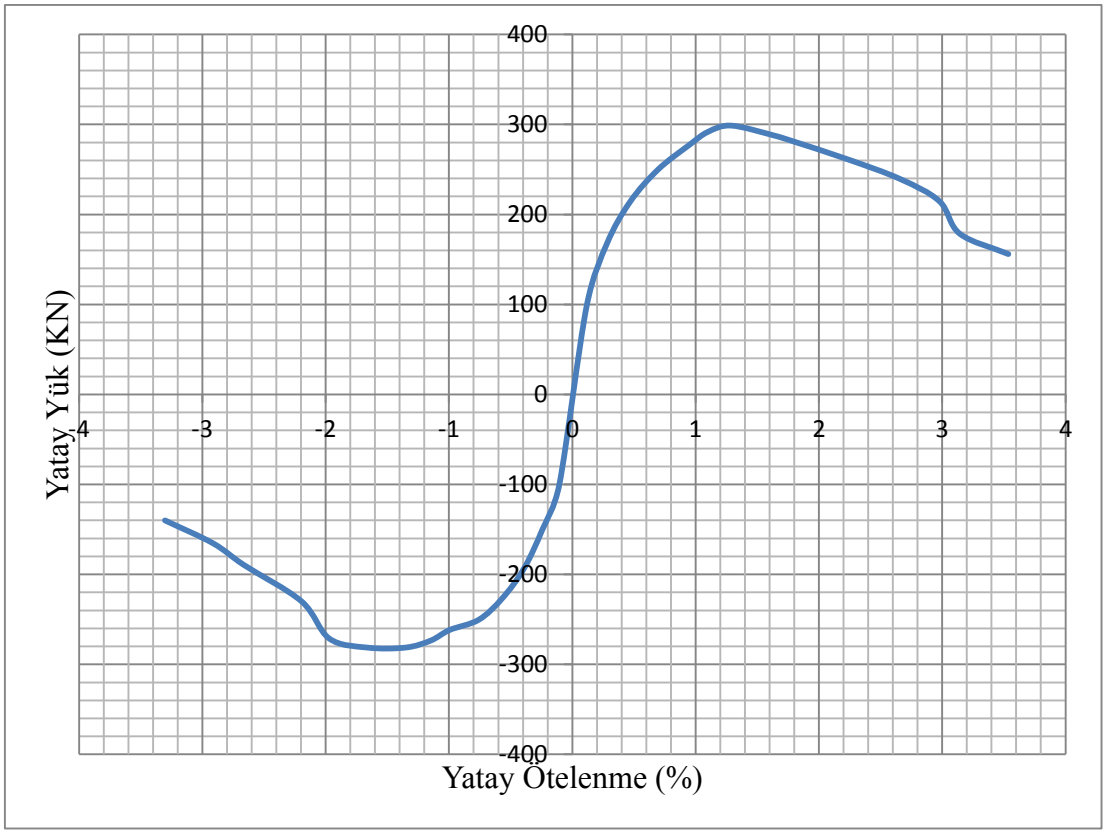
Deney elemanına ait iki yönlü çevrimsel yük-yerdeğiştirme eğrileri Resim 4.22'de, dayanım zarfı grafiği Resim 4.23'de ve rijitlik azalım eğrisi Resim 4.24'de verilmiştir.



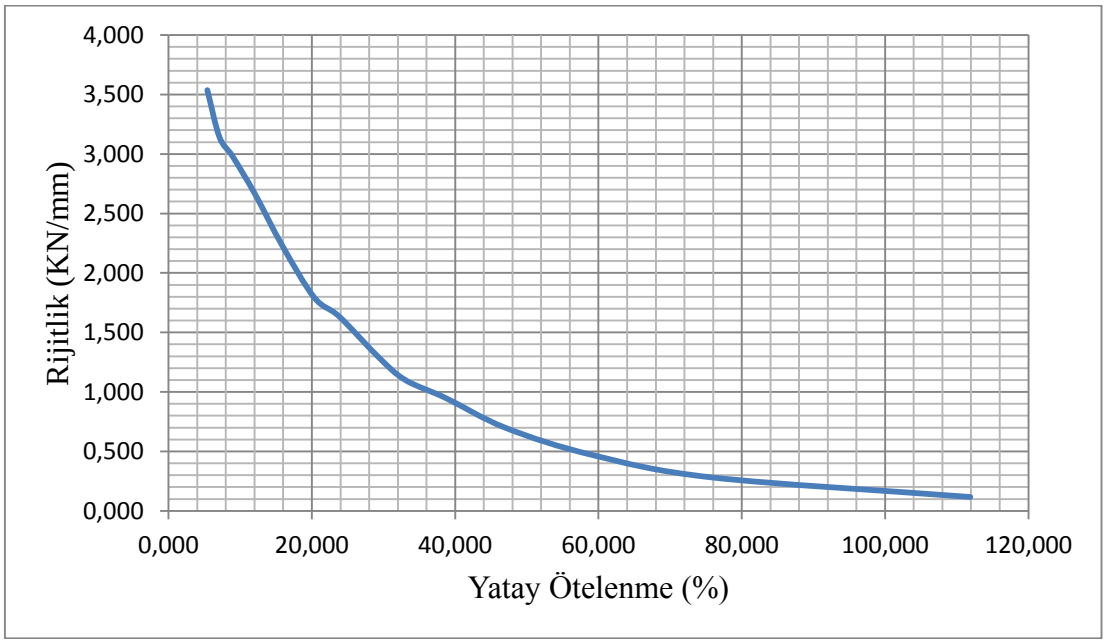
Resim 4.22. 3 No'lu deney elemanına için elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi

Çizelge 4.5. 3 No'lu deney elemanına için elde edilen yatay yük, yatay yer değiştirme ve yatay ötelenme değerleri

Çevrim No	Yatay Yük (KN)	Yatay Yerdeğiştirme δ (mm)	Yatay Ötelenme $\delta/_h$ (%)	Rijitlik Ø (KN/mm)
1	98,343	0,933	0,117	111,894
	-100,269	-0,842	-0,105	
2	167,561	2,246	0,281	75,876
	-150,208	-1,942	-0,243	
3	214,098	3,753	0,469	59,176
	-193,505	-3,135	-0,392	
4	249,900	5,566	0,696	47,121
	-226,728	-4,549	-0,569	
5	277,480	7,610	0,951	38,596
	-250,360	-6,066	-0,758	
6	291,819	8,809	1,101	33,011
	-261,773	-7,961	-0,995	
7	298,738	10,317	1,290	29,348
	-273,513	-9,182	-1,148	
8	287,819	13,066	1,633	23,829
	-281,314	-10,818	-1,352	
9	281,046	14,359	1,795	20,314
	-281,279	-13,323	-1,665	
10	261,261	17,863	2,233	15,838
	-271,335	-15,764	-1,971	
11	239,161	21,300	2,663	12,069
	-229,939	-17,567	-2,196	
12	214,553	23,827	2,978	8,954
	-189,555	-21,303	-2,663	
13	178,425	25,149	3,144	7,097
	-165,463	-23,309	-2,914	
14	155,939	28,293	3,537	5,409
	-140,029	-26,425	-3,303	



Resim 4.23 3 No'lu deney elemanına için elde edilen dayanım zarf eğrisi

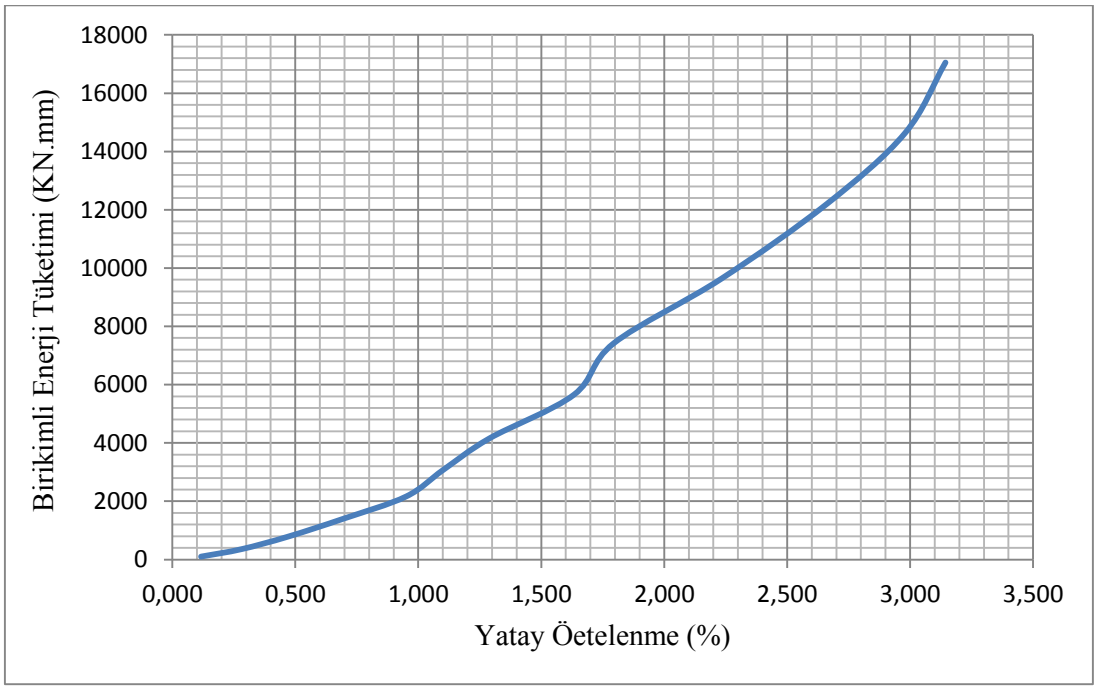


Resim 4.24 3 No'lu deney elemanı için elde edilen rijitlik azalım eğrisi

Her yük çevrimi için hesaplanan enerji tüketimleri Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. 3 No'lu deney elemanına için elde edilen birikimli enerji tüketimi ve yatay ötelenme değerleri

Çevrim No	Çevrim Enerji Tüketimi KN.mm	Birikimli Enerji Tüketimi KN.mm	Yatay Ötelenme $\delta/_h$ (%)
1	101,10	101,10	0,117
2	254,27	355,37	0,281
3	427,31	782,68	0,469
4	618,83	1401,51	0,696
5	764,63	2166,14	0,951
6	907,40	3073,54	1,101
7	1084,46	4158,00	1,290
8	1498,54	5656,54	1,633
9	1763,93	7420,47	1,795
10	2216,45	9636,92	2,233
11	2570,96	12207,88	2,663
12	2413,76	14621,64	2,978
13	2430,02	17051,66	3,144
14	2390,26	19441,92	3,537



Resim 4.25. 3 No'lu deney elemanı için elde edilen birikimli enerji tüketim eğrisi

4.3. Deneylerin Karşılaştırılması

Yapılan deneylerde, deney elemanlarına uygulanan deplasman kontrollü çevrimlerde çevrim sayısı, itme ve çekmede uygulanmış maksimum yatay yük değerleri, bu yüklere karşılık gelen yatay yer değiştirmeler, yatay ötelenme oranları ve maksimum yatay yüklerin uygulandığı çevrim numarası ve o çevrim de deney elemanlarının rijitlik miktarları Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Deney elemanlılarının taşıdıkları maksimum yatay yük değerleri, yatay yer değiştirmeler, yatay ötelenme ve rijitlik değerleri

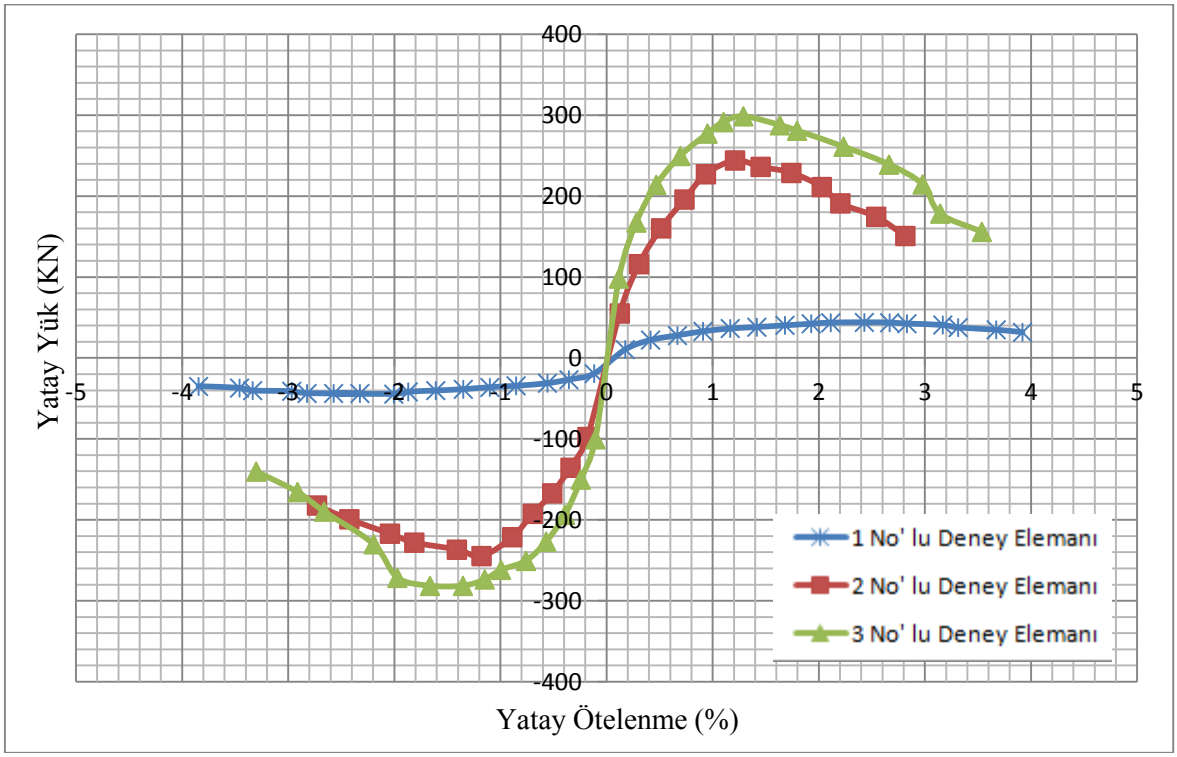
Deney Elemanı No	Çevrim sayısı	Çevrim No	Yükleme Durumu	Maksimum Yatay Yük (KN)	Yatay Yerdeğiştirme δ (mm)	Yatay Ötelenme $\delta/_h$ (%)	Rijitlik Ø (KN/mm)
1	16	10	İtme	44,118	19,44	2,430	2,676
		9	Çekme	-44,414	-16,032	-2,004	2,199
2	11	6	İtme	244,018	9,691	1,211	25,574
			Çekme	-244,655	-9,417	-1,177	
3	14	7	İtme	298,738	10,317	1,290	29,348
		8	Çekme	-281,314	-10,818	-1,352	23,829

2 No'lu ve 3 No'lu deney elemanlarının 1 No'lu deney elemanına göre ve 3 No'lu deney elemanı 2 No'lu deney elemanına göre taşıdıkları maksimum yatay yük oranları, maksimum yatay yüke karşılık gelen yatay yerdeğiştirme azalım oranları ve rijitlik artış oranları Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Deney elemanlarının taşıdıkları maksimum yatay yük ve rijitlik değerlerinin karşılaştırılması

Kıyaslanan Deney Elemanları	Yükleme Durumu	Maksimum Yatay Yük Artış Oranı	Rijitlik Artış Oranı
2 No'lu Deney Elemanı 1 No'lu Deney Elemanına göre	İtme	% 453,1	% 85,6
	Çekme	% 450,8	
3 No'lu Deney Elemanı 1 No'lu Deney Elemanına göre	İtme	% 577,1	% 99,7
	Çekme	% 533,4	
3 No'lu Deney Elemanı 2 No'lu Deney Elemanına göre	İtme	% 22,4	%14,8
	Çekme	% 15,0	

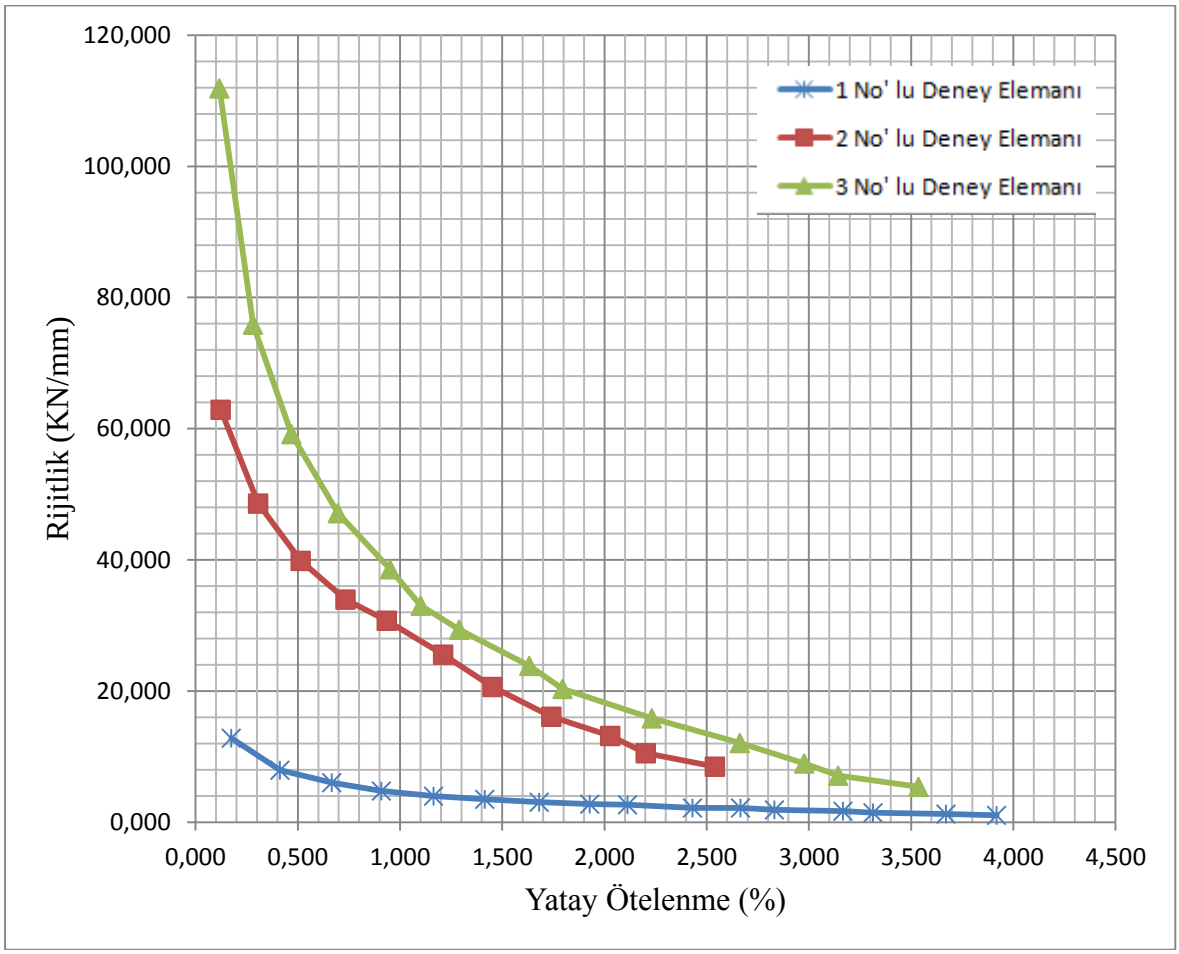
Yüksekliğin 0,50 katı bant pencere boşluğu bırakılan ve açıklığın 0,25 katı kadar betonarme kanat dolgu duvarlar ile güçlendirilen deney elemanı, yüksekliğinin 0,50 katı kadar bant pencere boşluğu bırakılan ve betonarme kanat dolgu duvarlar ile güçlendirilmeyen deney elemanına göre %453,1 daha fazla yük taşımakta olup aynı yük altındaki yatay yerdeğiştirme %50,1 azalmıştır. Rijitlik ise %85,6 artmıştır. Yüksekliğin 0,50 katı kadar bant pencere boşluğu bırakılan ve açıklığın 0,375 katı kadar betonarme kanat dolgu duvarlar ile güçlendirilen deney elemanı, yüksekliğinin 0,50 katı kadar bant pencere boşluğu bırakılan ve kanat dolgu duvarlar ile güçlendirilmeyen deney elemanına göre %577,1 daha fazla yük taşımakta olup aynı yük altındaki yatay yerdeğiştirme %46,9 azalmıştır. Rijitlik ise %99,7 artmıştır. Yüksekliğin 0,50 katı kadar bant pencere boşluğu bırakılan ve açıklığın 0,375 katı kadar betonarme kanat dolgu duvarlar ile güçlendirilen deney elemanı, yüksekliğin 0,50 katı bant pencere boşluğu bırakılan ve açıklığın 0,25 katı kadar betonarme kanat dolgu duvarlar ile güçlendirilen deney elemanına göre %22,4 daha fazla yük taşımakta olup aynı yük altındaki yatay yerdeğiştirme %6,5 azalmıştır. Rijitlik ise %14,8 artmıştır. Deney elemanları için elde edilen zarf eğrileri birleştirilerek Resim 4.26'de verilmiştir.



Resim 4.26. 1 No'lu, 2 No'lu ve 3 No'lu deney elemanların zarf eğrileri

Resim 4.26'da görüldüğü gibi, yüksekliğin 0,50 katı bant pencere boşluğu bırakılan ve açıklığı betonarme kanat dolgu duvarlar ile güçlendirilen deney elemanları (2 No'lu ve 3 No'lu deney elemanı) yüksekliğin 0,50 katı bant pencere boşluğu bırakılan betonarme kanat dolgusuz deney elemanına göre (1 No'lu deney elemanı) daha fazla yük taşımakta ancak yeterli ötelenme yapamadan gevrek kırılma göstermişlerdir.

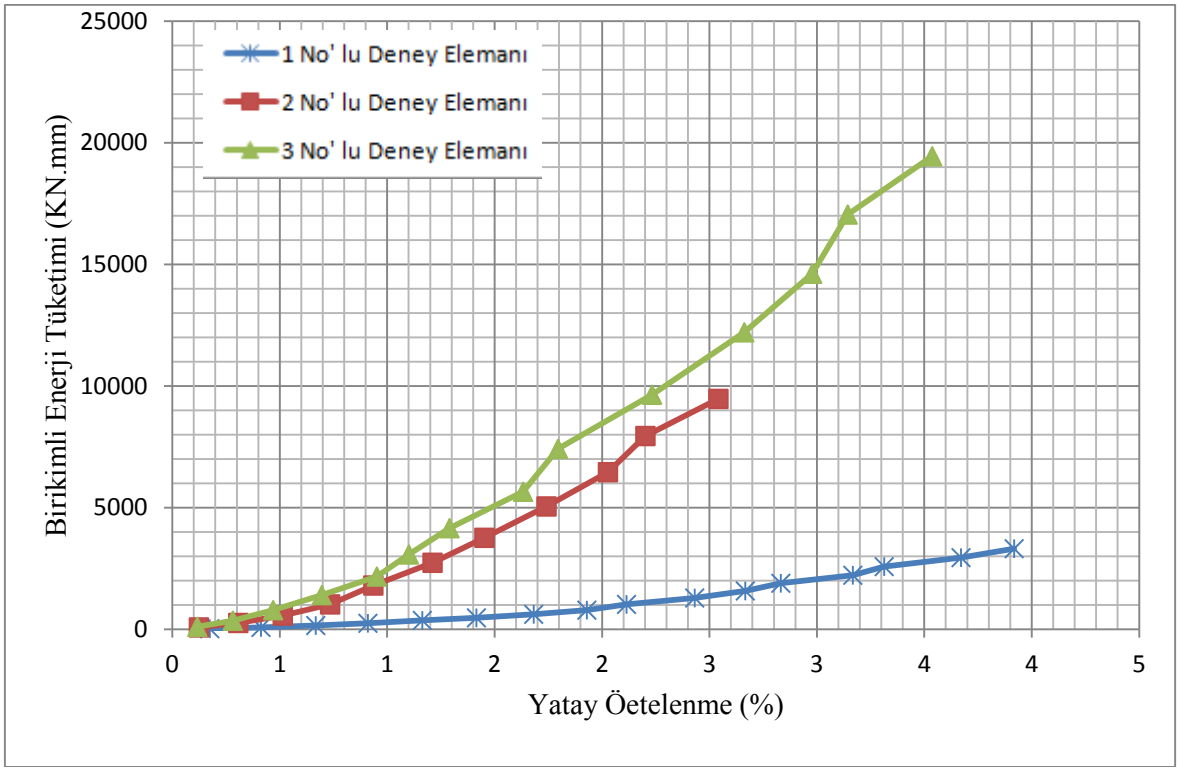
Deney elemanlarının rijitliklerinin daha kolay kıyaslanabilmesi için, deney elemanlarına ait rijitlik azalım eğrileri Resim 4.24'de bir grafikte gösterilmiştir. Yüksekliğin 0,50 katı bant pencere boşluğu bırakılan 1 No'lu deney elemanın bant pencere açıklığının betonarme kanat dolgu duvarlar ile güçlendirildiğinde rijitliğin arttığı ancak ötelenmenin artmasıyla rijitliğin daha sert azaldığı da Resim 4.27'de gösterilmiştir.



Resim 4.27. 1 No'lu, 2 No'lu ve 3 No'lu deney elemanların rijitlik azalım eğrileri

Deney elemanlarının enerji tüketim düzeylerinin karşılaştırılması Resim 4.27'de gösterilmiştir. Kanat duvarsız 1 No'lu deney elemanı en az enerji tüketen deney

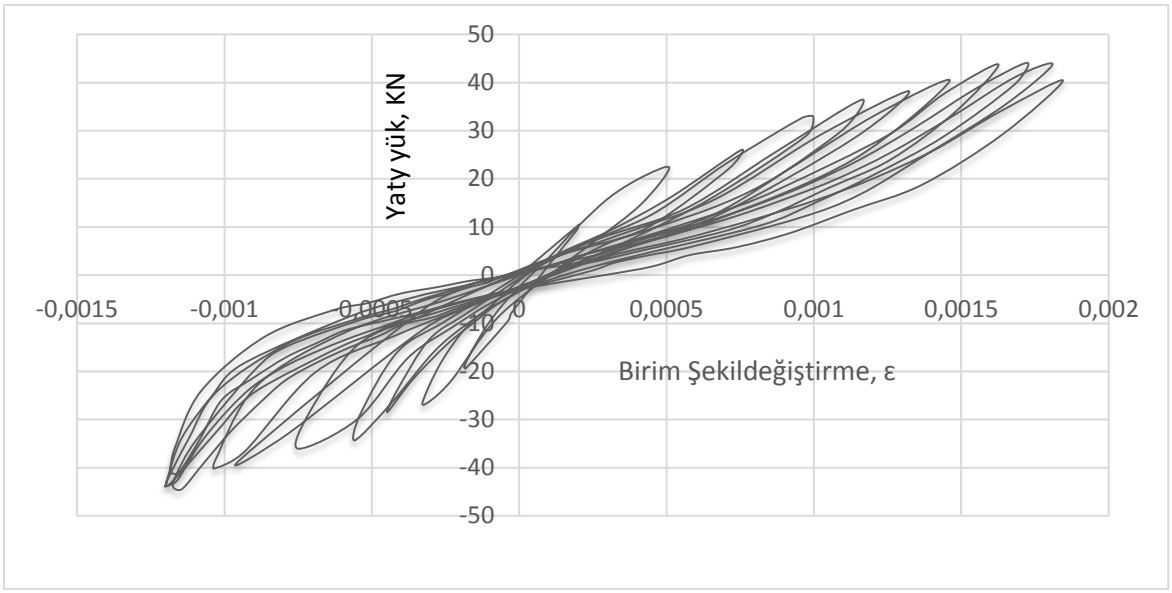
elemanıdır. 2 No'lu dene elemanında ilave kanat duvarların yatay yük tarafından deney elemanına gelen enerjiği ciddi oranda tükettikleri görülmektedir. 3 No'lu deney elemanında, güçlendirilme kanat duvarların genişliğinin artmasıyla enerji tüketim kapasitesi de artmıştır.



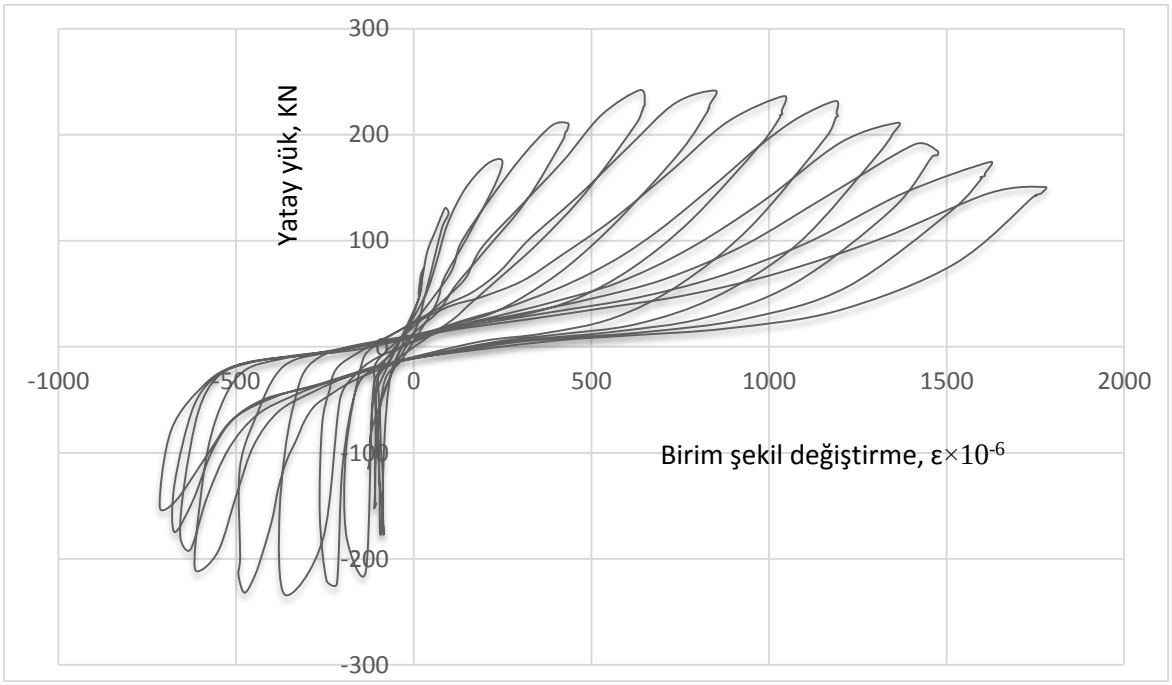
Resim 4.28. 1 No'lu, 2 No'lu ve 3 No'lu deney elemanların birikimli enerji tüketim eğrileri

Bu çalışmada, deney sürecinde, yatay yük altındaki deney elemanlarının kolon donatılarında (Ø14) meydana gelecek birim şekil değişmeleri ölçebilmek amacıyla, 3.4.2.bölümde anlatıldığı gibi, kolonların boyuna donatılarından birisine betonarme perde seviyesinde yapıştırılmış Strain gage'lerden alınan sinyaller veri toplama cihazı vasıtasıyla bilgisayar ortamına aktarılarak, yük-birim şekil değiştirme eğrileri Resim 4.29'da, Resim 4.30'da ve Resim 4.31'de gösterildiği gibi elde edilmiştir.

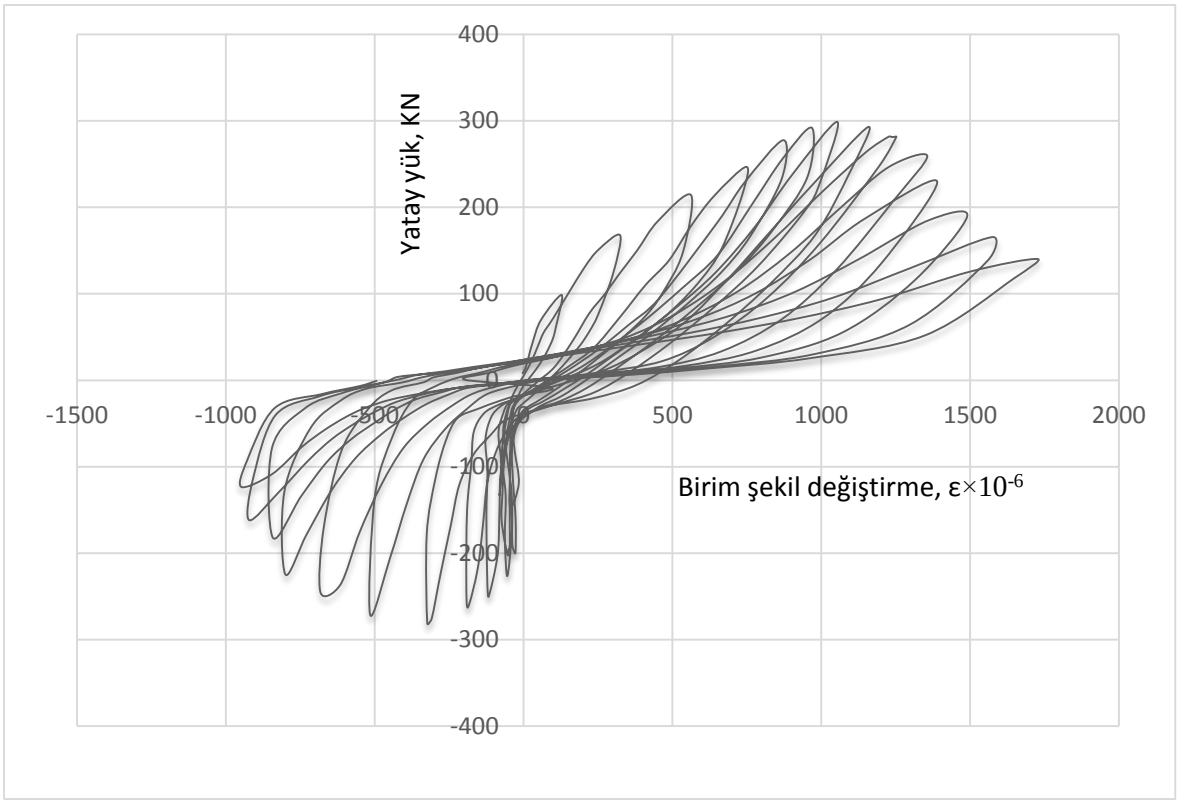
Elde edilen birim şekil değiştirmeler, deney elemanlarının üretiminde kullanılmış Ø14 donatı akma birim uzama değerine ulaşmamıştır. Çizelge 3.5'de gösterildiği gibi, Ø14 donatısı için akma birim uzama değeri 0,0024 olarak elde edilmiştir.



Resim 4.29. 1 No'lu, deney elemanın kolon donatılarındaki çevrimsel yük-birim şekil değiştirme diyagramı



Resim 4.30. 2 No'lu, deney elemanın kolon donatılarındaki çevrimsel yük-birim şekil değiştirme diyagramı



Resim 4.31. 3 No'lu, deney elemanın kolon donatılarındaki çevrimsel yük-birim şekil değiştirme diyagramı

5. Analitik Çalışmalar

Bu bölümde deney sonuçları, analitik hesaplamalarla elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, analitik hesaplamalar sonlu elemanlar yöntemine dayalı ABAQUS/CAE6.10-1 bilgisayar programı ile yapılmıştır.

5.1. ABAQUS Programı ile Analitik Hesaplamalar

ABAQUS mühendislik yapılarının modellenmesi akustiği arasında değişen çeşitli uygulamalar için kullanılabilir sonlu elemanlar yöntemine dayalı bir genel amaçlı simülasyon aracıdır. Bu çeşitli uygulamaların çözümü için ABAQUS'un iki ana analiz ürünü, ABAQUS/Standard ve ABAQUS/Explicit, vardır. Bir modelin analizi bu ürünlerin biri veya daha fazlasıyla yapılır. İşlemin öncesi ve sonrası başka bir program kullanılarak veya ABAQUS/CAE ile yapılabilir. Bu ürün, statik ve dinamik, doğrusal ve doğrusal olmayan problemler kombinasyonlarını çözmek için kullanılabilir. Bu çalışmadaki deney elemanlarının ABAQUS program ile analiz işlemleri sekiz adım da yapılmıştır.

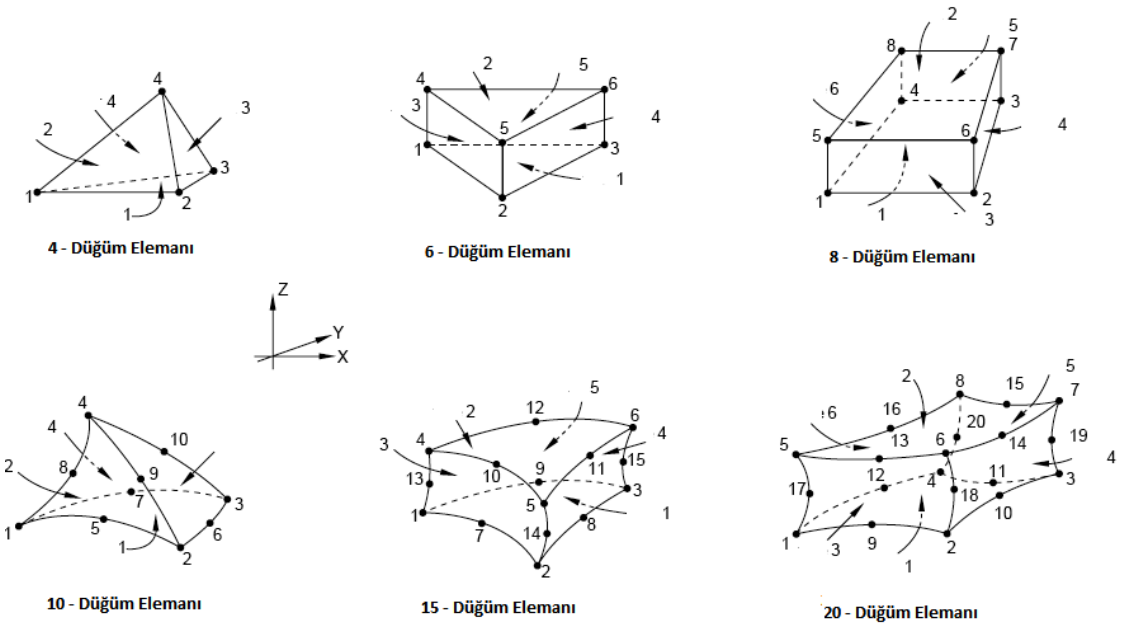
5.1.1. Modelleme

ABAQUS beton ve yapı elemanlarının modellemesi için geniş bir eleman kütüphanesine sahiptir. Bu çalışmada, beton modellemesinde üç boyutlu katılar kütüphanesi ve donatı modellemesinde kabuk elemanlar kütüphanesi seçilmiştir.

Üç Boyutlu Katılar

ABAQUS da asal gerilme-birim şekil değiştirme elemanları, 4-düğüm doğrusal tetrahedron, 6-düğüm doğrusal üçgen prizma, 8-düğüm doğrusal tuğla, 10-düğüm karesel tetrahedron, 15-düğüm kuadratik üçgen ve 20-düğüm karesel tuğla olarak mevcuttur. Bu elemanları her biri, her bir düğüm için üç serbestlik derecesine sahiptir. Bu elemanlar Resim 5.1'de gösterilmiştir. ABAQUS her düğüm için gerilme ve birim şekil değişme değişkenlerini hesaplaya bilmektedir.

Bu çalışmada, beton modellemesinde 8 – düğüm doğrusal tuğla elemanı kullanılmıştır.

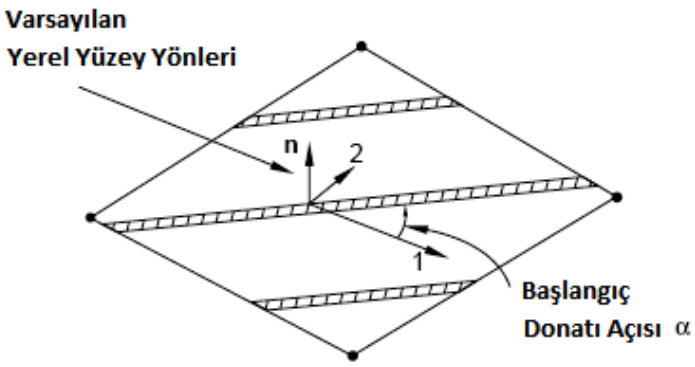


Resim 5.1. ABAQUS üç boyutlu katı elemanları

Kabuk Elemanları

ABAQUS, üç boyutlu konvansiyonel, sürekli ve eksensel simetrik kabuk elemanlara sahiptir. Sürekli kabuk elemanları, yapı yüklemeler, sonlu membran deformasyonlara ve büyük dönmelere izin verir. ABAQUS da donatı bulaşmış katmanlar olarak kabuk elemanlarında belirtilebilir (Resim 5.2).

Bu çalışmada, donatılar kabuk elemanların tabakaları olarak Çizelge 5.1'e göre modellenmiştir. Deney elemanlarının modellemesi Çizelge 5.1'de belirtilen ölçümlere göre yapılmıştır.



Resim 5.2. Kabuk elemanındaki donatı yerleşimi

Çizelge 5.1. Donatıların kabuk elemanlarla modellemesinde kullanılan veriler

Model	Tabaka İsmi	Donatı	Aralık (mm)	Açı α°
PERDE DONATI	Yatay Donatı	Ø8	125	0
PERDE DONATI	Düşey Donatı	Ø8	125	90
KOLON DONATI	Düşey Donatı	Ø14	100	90
KOLON ETRİYE	Yatay Donatı	Ø8	100	0
KOLON ETRİYE	Düşey Donatı	Ø8	100	90
KİRİŞ DONATI	Yatay Donatı	Ø14	125	0
KİRİŞ ORTA DONATI	Yatay Donatı	Ø14	250	0
KİRİŞ ETRİYE	Yatay Donatı	Ø8	250	0
KİRİŞ ETRİYE	Düşey Donatı	Ø8	250	90
KANAT DUVAR DONATI	Yatay Donatı	Ø14	100	0
KANAT DUVAR DONATI	Düşey Donatı	Ø14	100	90

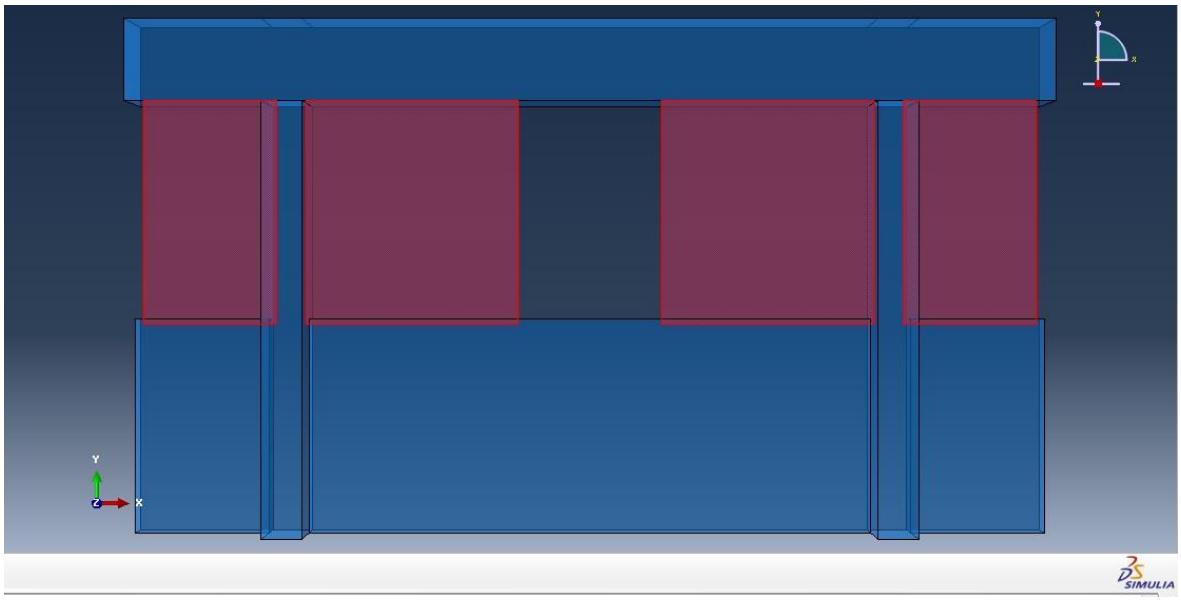
Çizelge 5.2. Deney elemanların parçalarının modellemesinde kullanılan ölçümler

Parça	Deney Elemanı No	Ölçüm (mm)	Benzer (Bir Model)	Tanım / Tip
KIRIS	1, 2 ve 3	3400 × 300 × 300	1	3D Deforme olabilir / Solid-Homojen
KOLON	1, 2 ve 3	1600 × 150 × 300	2	3D Deforme olabilir / Solid-Homojen
PERDE	1, 2 ve 3	800 × 500 × 100	2	3D Deforme olabilir / Solid-Homojen
		2100 × 500 × 100	1	3D Deforme olabilir / Solid-Homojen
KIRIS-DONATI	1, 2 ve 3	3360 × 260	2	3D Deforme olabilir/ Kabuk-Homojen
KIRIS-ORTA DONATI	1, 2 ve 3	3360 × 260	1	3D Deforme olabilir/ Kabuk-Homojen
KIRIŞ ETRIYE	1, 2 ve 3	260 × 260	1	3D Deforme olabilir/ Kabuk-Homojen
KOLON-DONATI	1, 2 ve 3	1860 × 110	2	3D Deforme olabilir/ Kabuk-Homojen
KOLON-ETRIYE	1, 2 ve 3	260 × 110	1	3D Deforme olabilir/ Kabuk-Homojen
PERDE-DIKEY DONATI	1, 2 ve 3	3360 × 760	2	3D Deforme olabilir /Kabuk-Homojen
KANAT DUVAR	2 ve 3	800 × 500 × 100	2	3D Deforme olabilir / Solid-Homojen
	2	800 × 525 × 100	2	3D Deforme olabilir / Solid-Homojen
	3	800 × 785 × 100	2	3D Deforme olabilir / Solid-Homojen
ORTA KANAT DUVAR DONATI	2	525 × 840	2	3D Deforme olabilir /Kabuk-Homojen
	3	785 × 840	2	3D Deforme olabilir /Kabuk-Homojen
KÖŞE KANAT DUVAR DONATI	2 ve 3	500 × 840	2	3D Deforme olabilir /Kabuk-Homojen

2 No'lu ve 3 No'lu deney elemanlarının betonarme kanat dolgu duvarların donatılarının modellemesinde kabuk elemanın ebadı her eksende kolon, kiriş ve betonarme perde modellerinin 20 mm içerisinde olacak şekilde hesaplanmıştır (Resim 5.3). Böylece, deney elemanlarının üretiminde kullanılan ankrajların modellenmesi yapılmıştır.



a) 2 No'lu deney elemanının modellemesindeki kanat duvar ankraj sisteminin modeli



b) 3 No'lu deney elemanının modellemesindeki kanat duvar ankraj sisteminin modeli

Resim 5.3. a ve b, 2 No'lu ve 3 No'lu deney elemanının modellemesindeki kanat duvar ankraj sisteminin modeli

5.1.2. Malzeme özellikleri

ABAQUS programında beton malzeme özelliklerinin tanımlanması için üç ana model, gevrek kırılma modeli[6], lekeli çatlak beton modeli[7] ve beton hasarlı plastisite modeli[8], mevcuttur [7].

Bu çalışmada beton malzeme özelliklerinin tanımlanmasında beton hasarlı plastisite modeli kullanılmıştır.

Beton hasarlı plastisite modeli

Bu model de çekme çatlakları ve beton basınç ezilmesi iki ana kırılma mekanizmasıdır. Kırılmanın tamamlanması, basınç ve çekme yüklemelerdeki plastisite birim şekil değiştirmelere bağlıdır. Tek eksenli çekme altında, gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi hasarlı gerilme noktasına σ_{to} kadar doğrusal değişmektedir. Hasarlı gerilme ile birlikte betonda ince çatlaklar oluşup yayılmaktadır. Bu noktadan sonra, betondaki hasar belirgin çatlaklar şeklinde olup ve gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi yumuşak eğimle azalmaktadır. Tek eksenli basınç altında beton, akma gerilmesine ulaşıncaya kadar elastik davranış göstermekte olup bu noktadan sonra maksimum gerilmeye kadar plastik davranış göstermektedir. Tek eksenli basınç altında beton gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi yumuşak eğimle azalmıştır.

ABAQUS programı, akma gerilmeleri ve elastik olmayan birim şekil değiştirmeleri kullanarak, tek eksenli basınç ve çekme altında beton gerilme-birim şekil değiştirme eğrilerini, gerilme-plastik birim şekil değiştirme eğrilerine dönüştürmüştür.

Bu çalışmada, ABAQUS programına beton ve donatı özelliklerinin tanımlamasında, deney elemanlarının üretiminde kullanılan beton üzerinde yapılan test sonuçları kullanılmıştır (Bkz. 3.2).

[6] Brittle Cracking Model
[7] Smeared Crack Concrete Model
[8] Concrete Damaged Plasticity Model

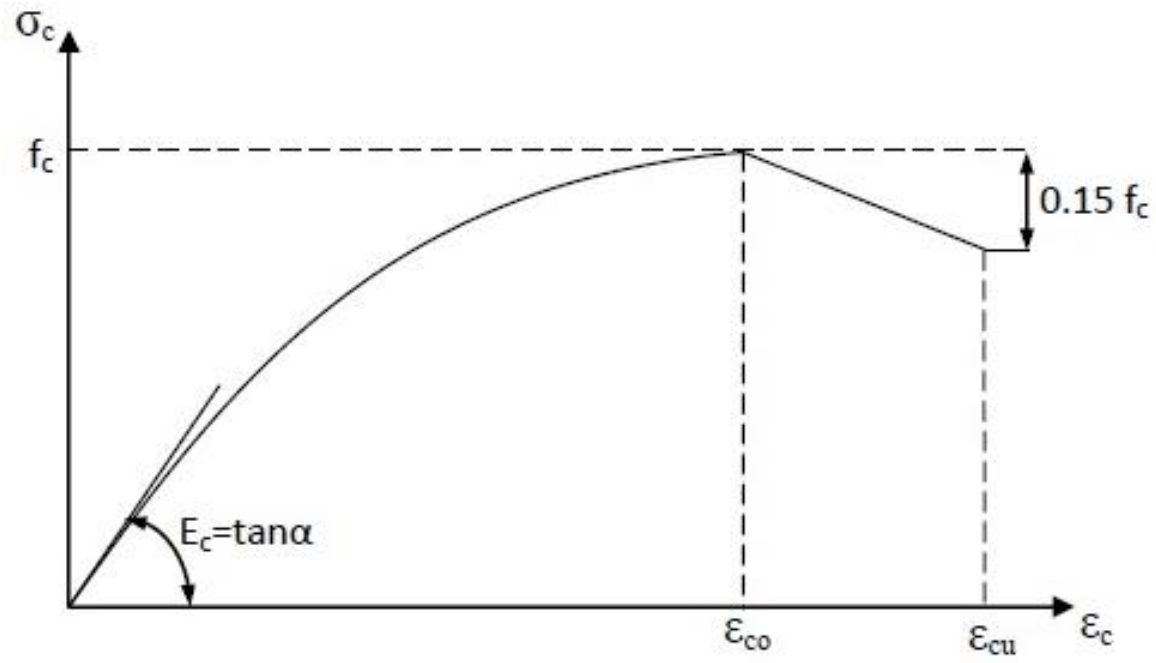
Beton tek eksenli çekme dayanımı TS-500'e göre beton basınç dayanımına bağlı olup, Eş. 5.1'den elde edilmiştir [16].

$$f_{ctk} = 0{,}35\sqrt{f_{ck}} \tag{5.1}$$

Beton elastisite modülü, Hognestad tarafından önerilen 5.2 denklemin' den elde edilmiştir [16].

$$E_c = tan\alpha = 12680 + 460f_c \quad \text{(MPa)} \tag{5.2}$$

Hognestad modeli Resim 5.4'de gösterilmiştir. Bu grafikte ε_{co} maksimum gerilmeye karşılık olan birim kısalma, basit olarak $\varepsilon_{co} = 0{,}002$ alınabilir [16].



Resim 5.4. Hongnestad modeli

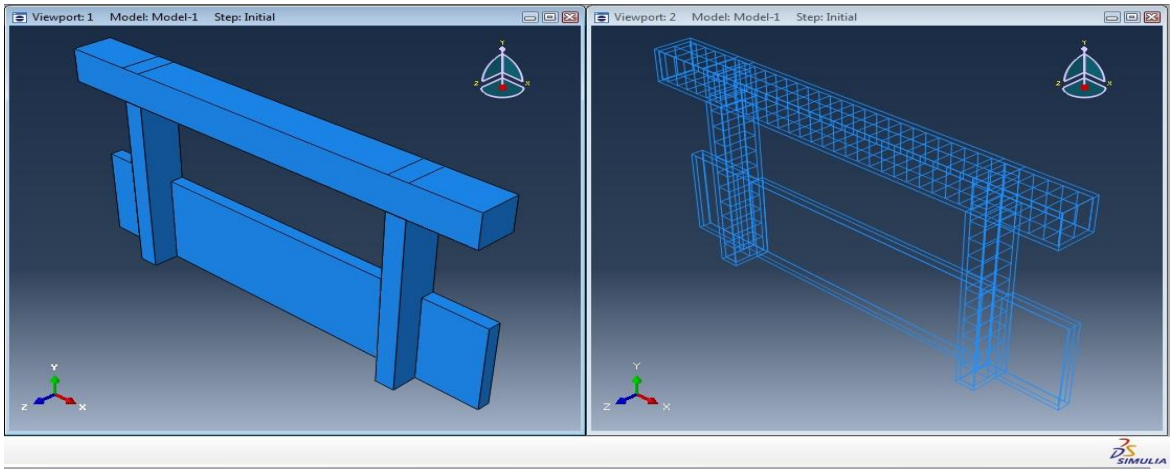
Deney elemanların üretiminde iki farklı malzeme beton ve donatı kullanılmıştır. ABAQUS programında deney elemanlarının modellemesi tamamlandıktan sonra Çizelge 5.3'de verilen özellikler tanımlanmıştır.

Çizelge 5.3. ABAQUS programında yapılan modellerin malzeme özellikleri

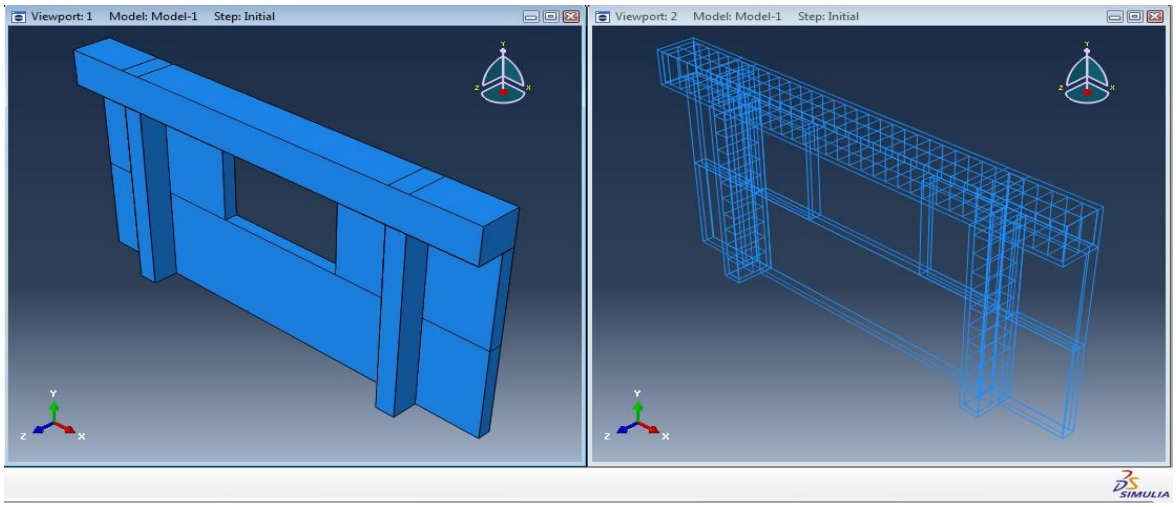
Özellik	Beton		Donatı Ø14		Donatı Ø8	
Yoğunluk (ton/mm^3)	2,4E-009		7,827E-009		7,827E-009	
Basınç Dayanımı, f_c	13,0 MPa					
Çekme Dayanımı, f_{ct}	1,26 MPa					
Elasticity Modulü Ec	18 660 MPa		207 083 MPa		211 200 MPa	
Poission Oranı, ν	0,2		0,3		0,3	
Plastik	Gerilme (Mpa)	Birim Şekil Değiştirme	Gerilme (MPa)	Birim Şekil Değiştirme	Gerilme (MPa)	Birim Şekil Değiştirme
	3,11	0	497,0	0,0000	528,0	0,0000
	4,24	0,000225	492,2	0,0057	522,0	0,0086
	5,38	0,000335	496,3	0,0153	527,0	0,0147
	7,92	0,00058	491,7	0,0194	521,0	0,0213
	9,05	0,00076	495,5	0,0281	525,0	0,0289
	10,75	0,00098	493,5	0,0341	523,0	0,0367
	12,46	0,0015	497,1	0,0398	527,0	0,0410
	13,0	0,00185	491,2	0,0438	522,0	0,0482
	13,1	0,0022	496,9	0,0453	528,3	0,0540
	12,2	0,0025	494,6	0,0495	596,0	0,1500
			497,1	0,0537	532,0	0,2300
			596,0	0,1300		
			505,0	0,2180		

5.1.3. Montaj

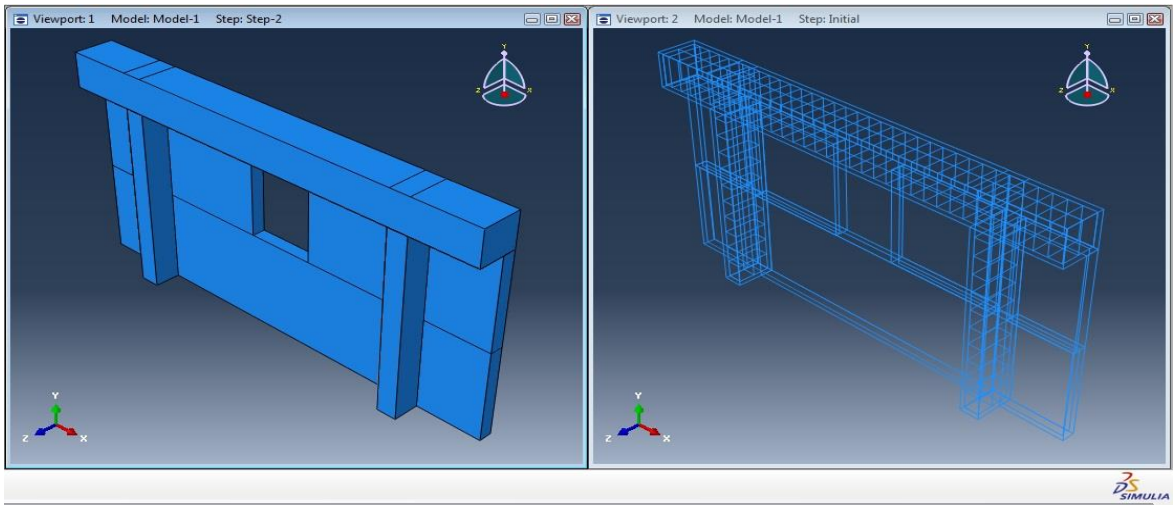
Önceki adımlarda modellemesi yapılmış ve malzeme özellikleri tanımlanmış bölümlerin birleştirilmesiyle deney elemanlarının montajı Resim 5.5'de gösterildiği gibi tamamlanmıştır.



a) 1 No'lu deney elemanı modelinin tamamlanmış şekli



b) 2 No'lu deney elemanı modelinin tamamlanmış şekli



c) 3 No'lu deney elemanı modelinin tamamlanmış şekli

Resim 5.5. a,b ve c sırasıyla 1,2 ve 3 No'lu deney elemanlarının modellerinin bitimi

5.1.4. Analiz adımlarının tanımlanması

Deney elemanların geometrik modellemesi ve malzeme özelliklerinin tanımlanması bittikten sonra analiz tipi tanımlanmıştır. Bu çalışmada ABAQUS/CAE üç adım[9] dan oluşmuştur. Birinci adım Başlangıç adım[10] olarak program tarafından otomatik olarak oluşturulmuştur. İkinci adım ve üçüncü adım da ise deney elemanlara yapılmış doğrusal olmayan statik analiz tanımlanmıştır. Birinci aşama de sabit düşey yük bir saniye de uygulanmıştır. İkinci aşamada ise, birinci aşamadaki yükleme etkisi sabit tutularak, deplasman kontrollü yatay yük (itme) 5 saniye de uygulanmıştır. Aşamalardaki adım aralığını ABAQUS programı otomatik belirlemektedir fakat başlangıç, maksimum ve minimum adım aralıkları Çizelge 5.4'deki gibi tanımlanmıştır. Bu değerler çeşitli analizler yapıldıktan sonra yakınsama hatalarının en düşük olduğu değerler olarak seçilmiştir.

Çizelge 5.4. ABAQUS programında tanımlanan yük uygulama adım değerleri

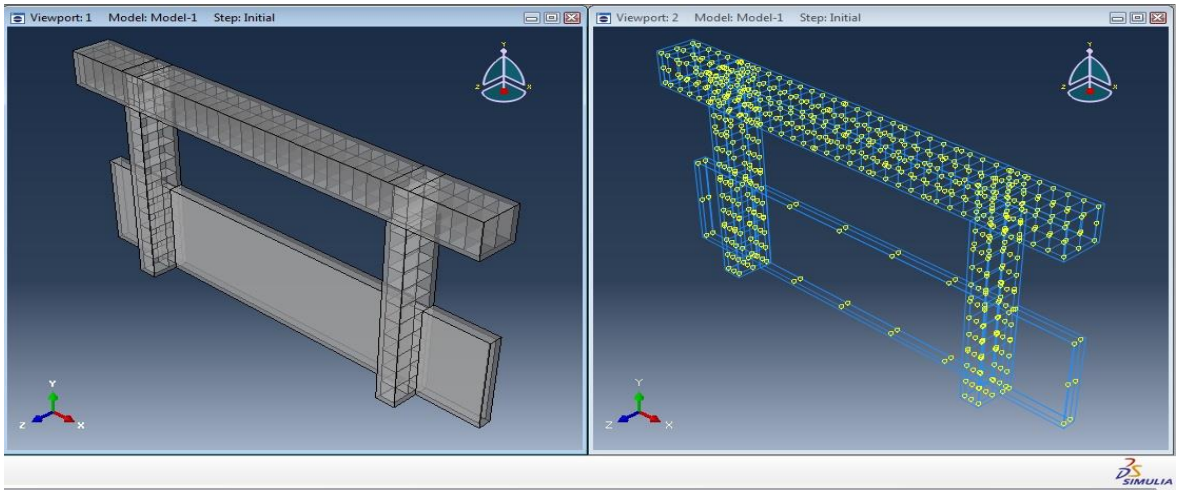
Adım No	Süre (s)	Başlangıç (s)	Minimum (s)	Maksimum (s)
Birinci Adım[11]	1	0,1	1e-055	0,1
İkinci Adım[12]	5	0,1	5e-055	0,1

5.1.5. Etkileşim[13]

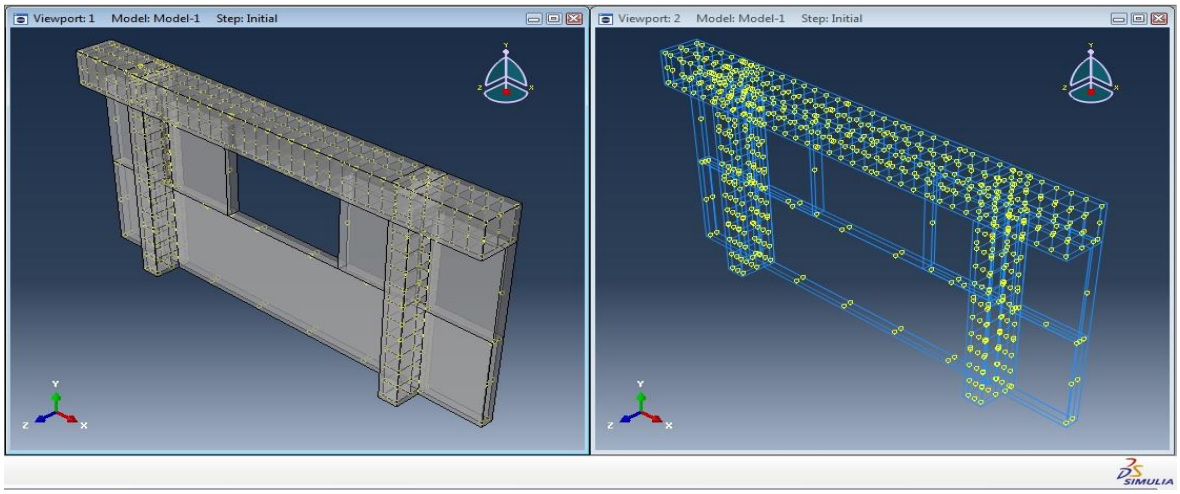
Montajı yapılmış parçaların birbirleri ile teması bu adımda tanımlanmıştır. KIRIŞ, KOLON ve PERDE adlı parçaların birleşmesinden dolayı oluşmuş ortak yüzeylerin etkileşimi genel temas[14] tip olarak tanımlanmıştır. KIRIŞ-DONATI, KIRIŞ-ETRİYE, KOLON-DONATI, KOLON-ETRİYE, PERDE-DİKEY DONATI ve PERDE-YATAY DONATI adlı parçaların etkileşimi gömülü bölge[15] tanımıyla sağlanmıştır.

1 No'lu deney elemanı modelinin etkileşimleri Resim 5.6'da gösterilmiştir.

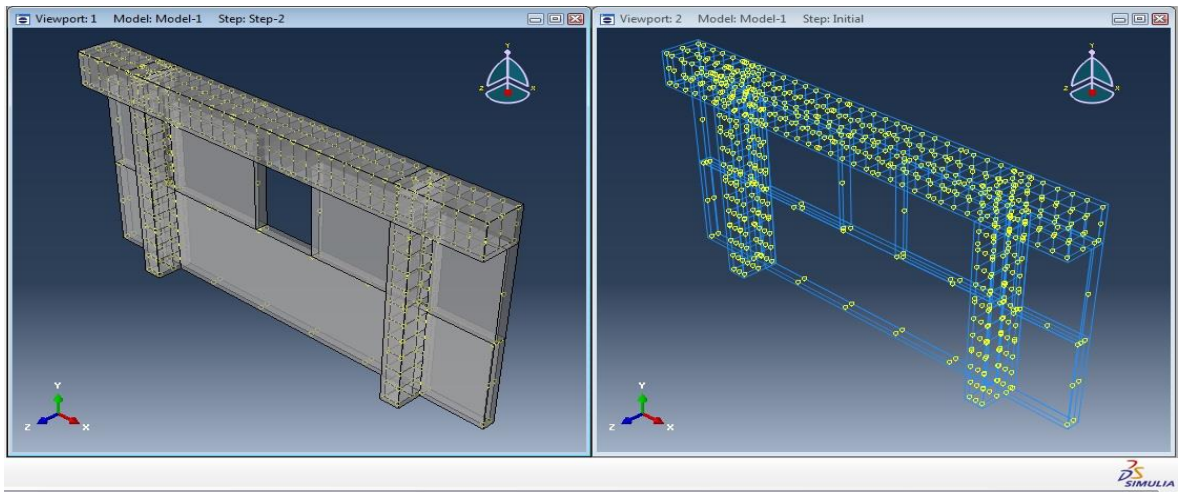
[9] Step
[10] İnitial Step
[11] Setup-1
[12] Setup-2
[13] İnterction
[14] Contact
[15] Embedded Region



a) 1 No'lu deney elemanı modelindeki parçaların etkileşimi.



b) 2 No'lu deney elemanı modelindeki parçaların etkileşimi.



c) 3 No'lu deney elemanı modelindeki parçaların etkileşimi.

Resim 5.6. a,b ve c sırasıyla 1, 2 ve 3 No'lu deney elemanlarının modeline ait etkileşim

5.1.6. Yük tanımlanması

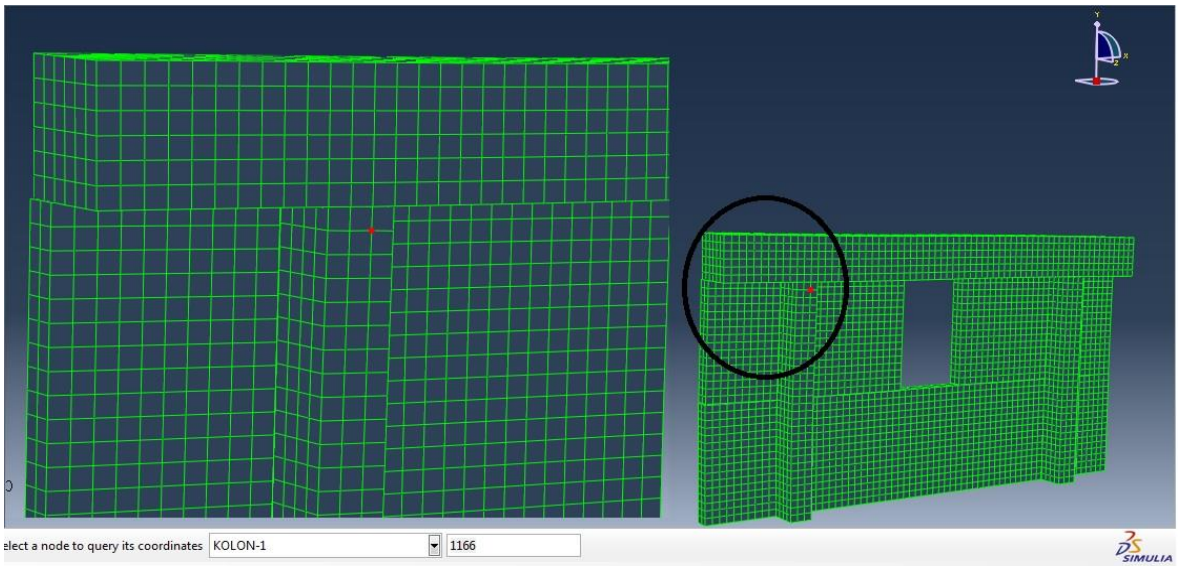
Deney elemanlarına, 60 KN sabit eksensel düşey yük ve deplasman kontrollü yatay yük (itme) uygulanmıştır.

5.1.7. Sonlu elemanlara bölme[16]

ABAQUS ile modellemesi yapılmış olan beton ve donatının birlikte çalışması için, sonlu elemanlara ayırtılan beton elemanına ait düğüm noktası ile donatı elemanına ait olan düğüm noktası birleştirerek tek bir düğüm haline getirilmiştir.

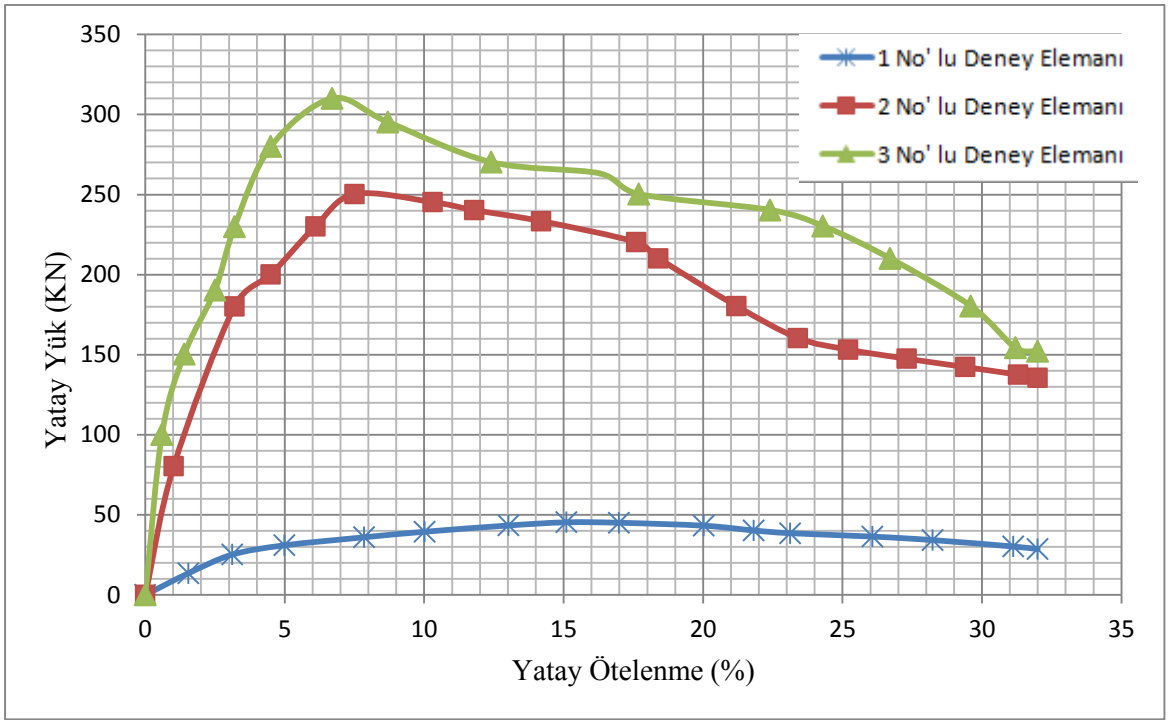
5.1.8. Analitik çalışmaların verileri

ABAQUS programıyla yapılan analizler sürecinde, deney elemanların modellerinin uygulanan sabit düşey yük ve deplasman kontrollü yatay yük altında gösterdikleri davranışa en yakın davranışı göstermiş olan düğüm araştırılmıştır. Bunun için kolon kiriş birleşim bölgesindeki düğüm noktların yatay yük-yerdeğiştirme grafikleri elde edilmiştir. Deney elemanların sonlu elemanlar yöntemiye yapılan analiz sonucunda 800 numaralı eleman ve 1166 numaralı düğüm için yatay yük-yerdeğiştirme eğrileri 1, 2 ve 3 No'lu deney elemanı modeli için Resim 5.7'de verilmiştir.



Resim 5.7. Deney elemanlarına ait 800 numaralı eleman ve 1166 numaralı düğüm

[16] Meshing

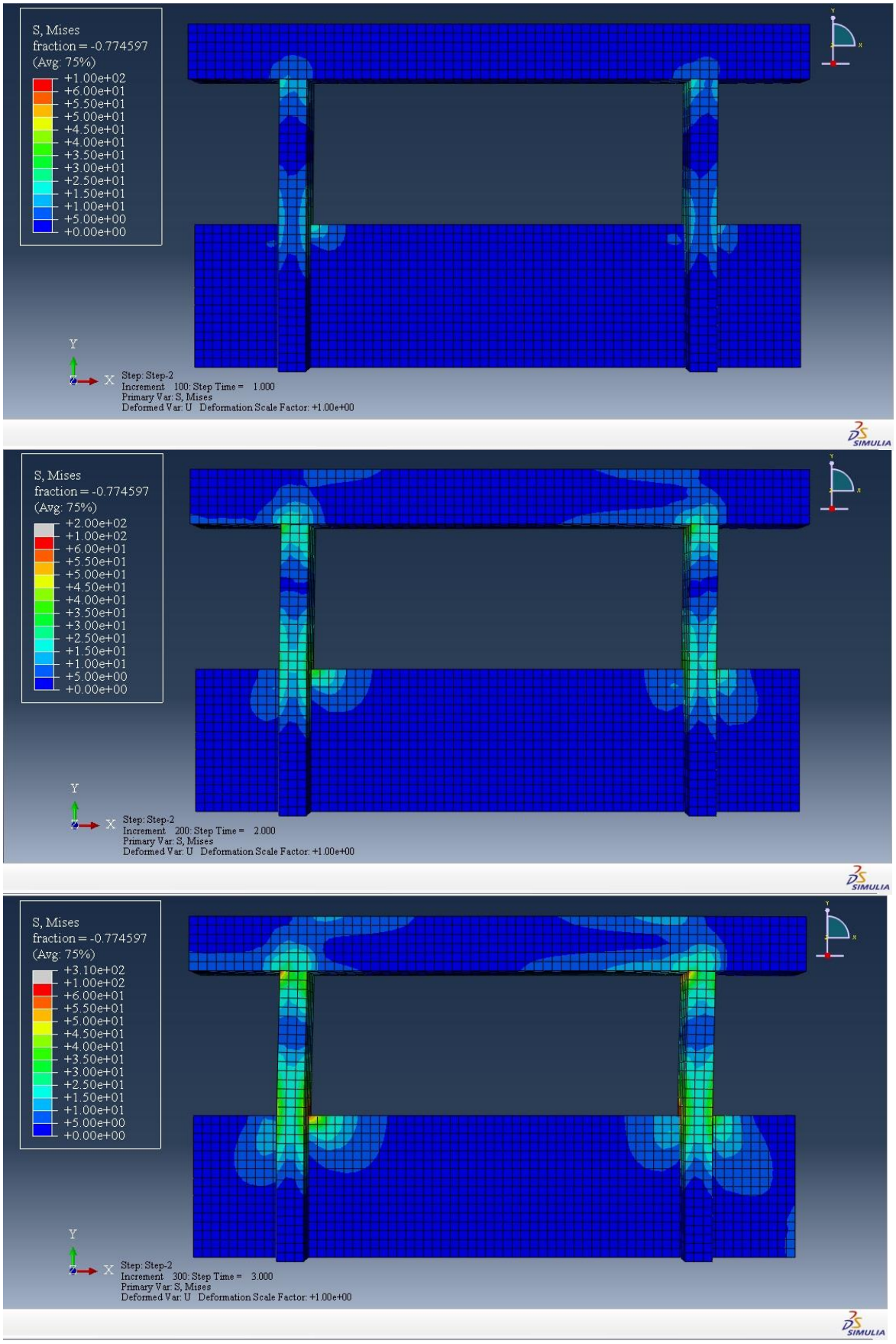


Resim 5.8. Sonlu elemanlar yöntemi ile deney elemanlarına elde edilen yatay yük-yer değiştirme grafikleri

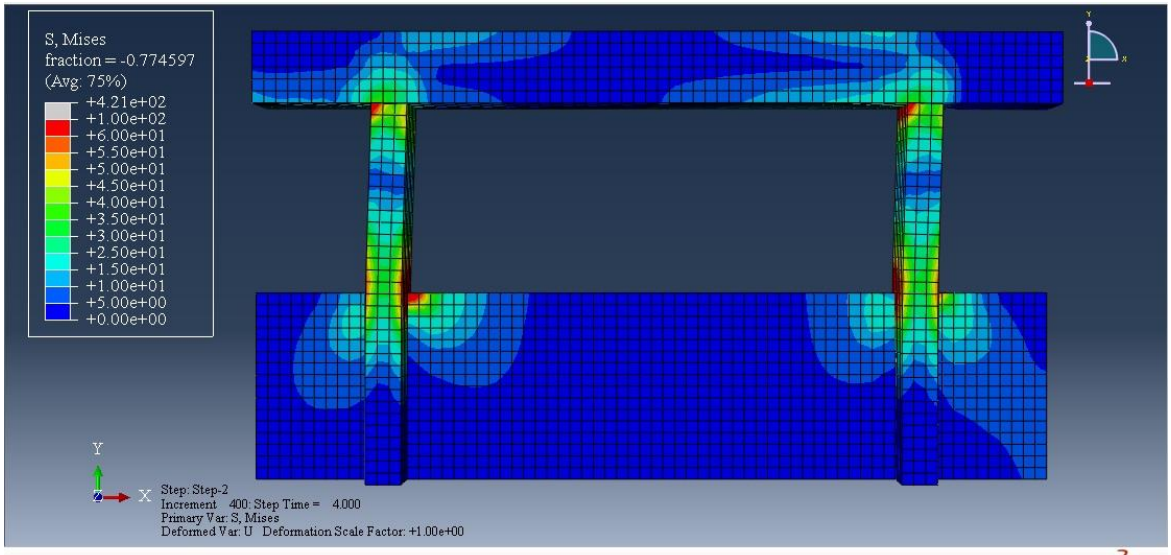
Boşlukların konumları ile birlikte duvar boyunca boyutları da yapının davranışını ve perde duvardaki gerilme dağılımını etkilemektedir. Deney elemanlara ait modellerin analiz sonucu elde edilen asal gerilme grafiklerini göz önünde bulundurarak, 2 No'lu ve 3 No'lu deney elemanlarındaki kanat duvarların, yatay yükleme sonucu meydana gelen gerilmeleri perde ve kirişe yaydıkları gözükmektedir. Gerilmelerin kirişe ve perdeye yayılmasıyla deney elemandaki hasar çatlaklar şeklinde yayılmıştır. Ayrıca, deneysel sonuçlarından elde edilen birikimli enerji tüketimi-yatay ötelenme eğrilerinde de görüldüğü gibi, kanat duvarların yatay yük tarafından deney elemanına gelen enerjiği daha çok tüketmişlerdir. Deney elemanlarına ait modellerin sonlu elemanlar yöntemiyle analiz sonucu gerilme dağılımı grafikleri 5 saniye yükleme sürecinde izlenip ve birer saniye farklarla Resim 5.9'da gösterilmiştir.

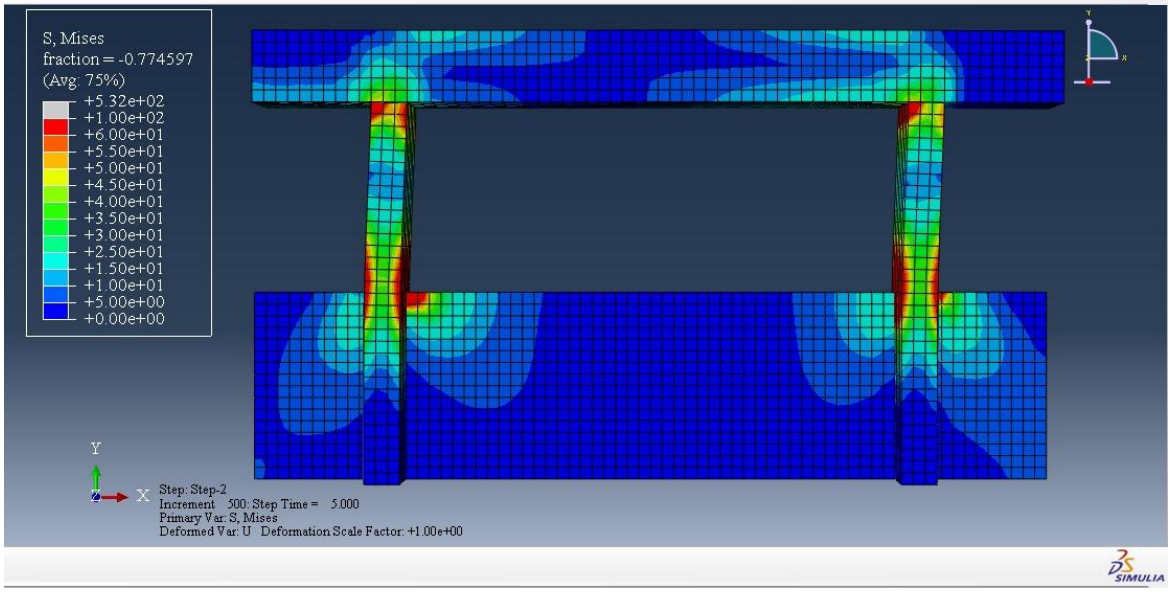
Deney elemanlarına uygulanan deplasman kontrollü yatay yük sonucu deney elemanlarında oluşan yatay yerdeğiştirmeler bir saniye zaman farkıyla kaydedilmiş ve Resim 5.10' da grafiksel olarak gösterilmiştir.

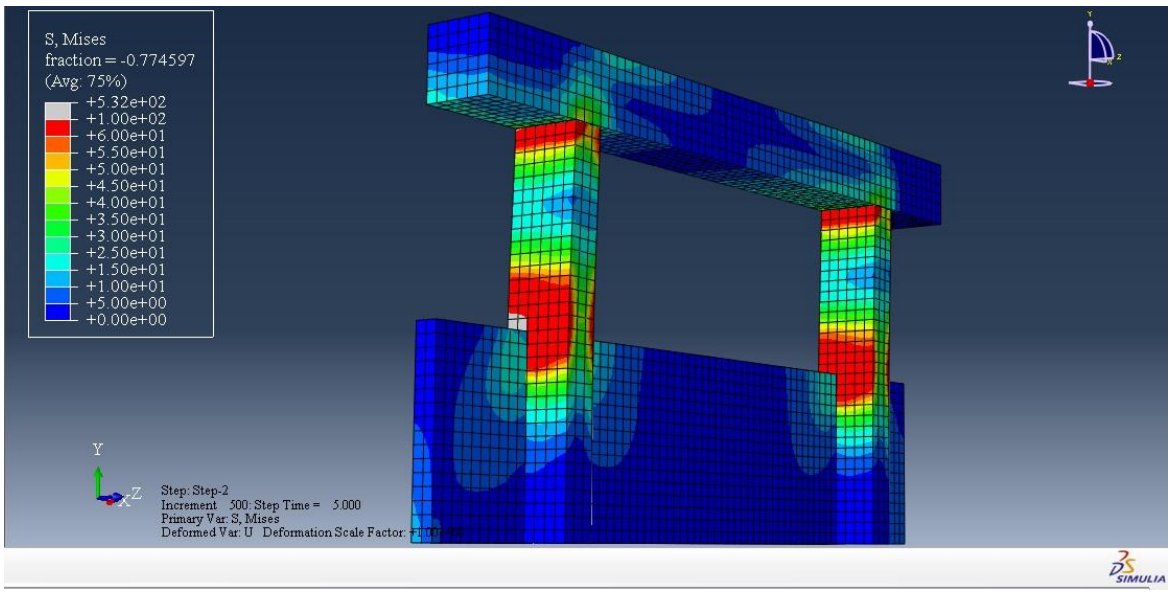
Bu resimlerden görüldüğü gibi, güçlendirilmiş 2 No'lu ve 3 No'lu deney elemanlarında kolon-kiriş birleşim bölgesindeki yatay yerdeğiştirme değeri daha azdır. Güçlendirme amacıyla modeli yapılmış betonarme kanat duvarlar rijit bir sistem oluşturarak kolonların yatay yerdeğiştirmesini azda olsa önlemiştir.



a) 1 No'lu deney elemanı modeline ait ilk üç saniye analiz sonucu gerilme dağılımı

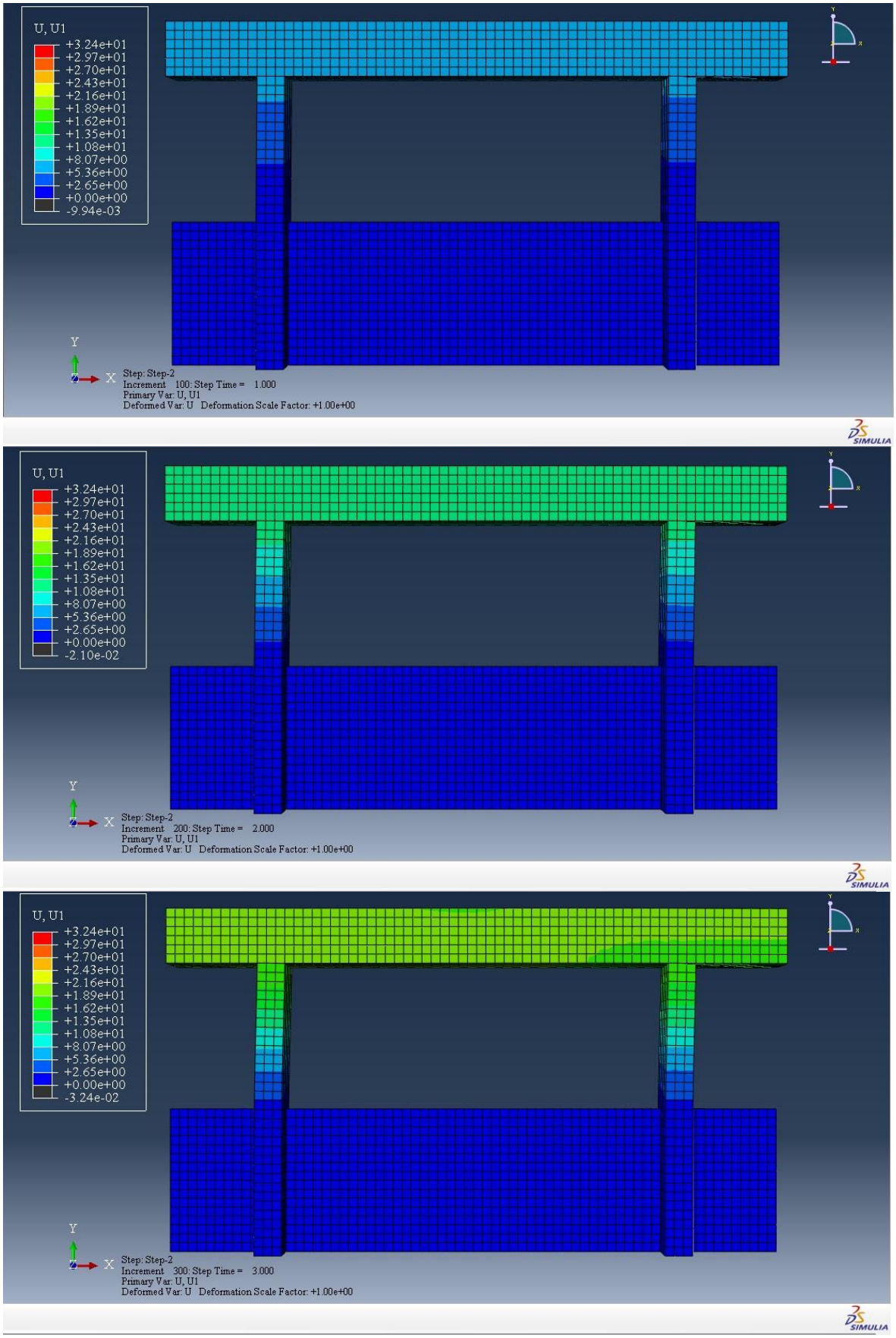




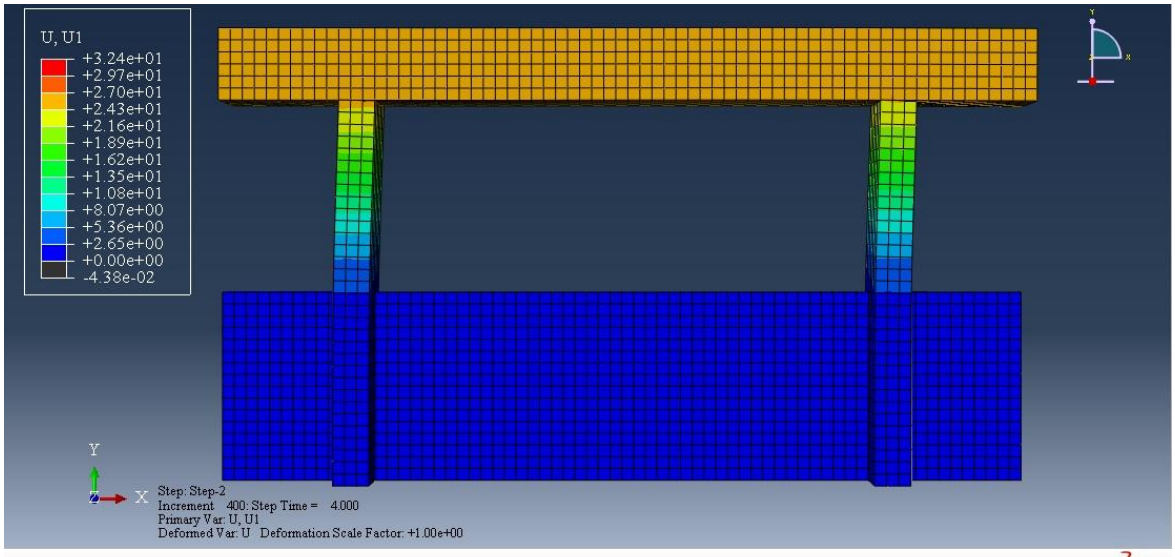


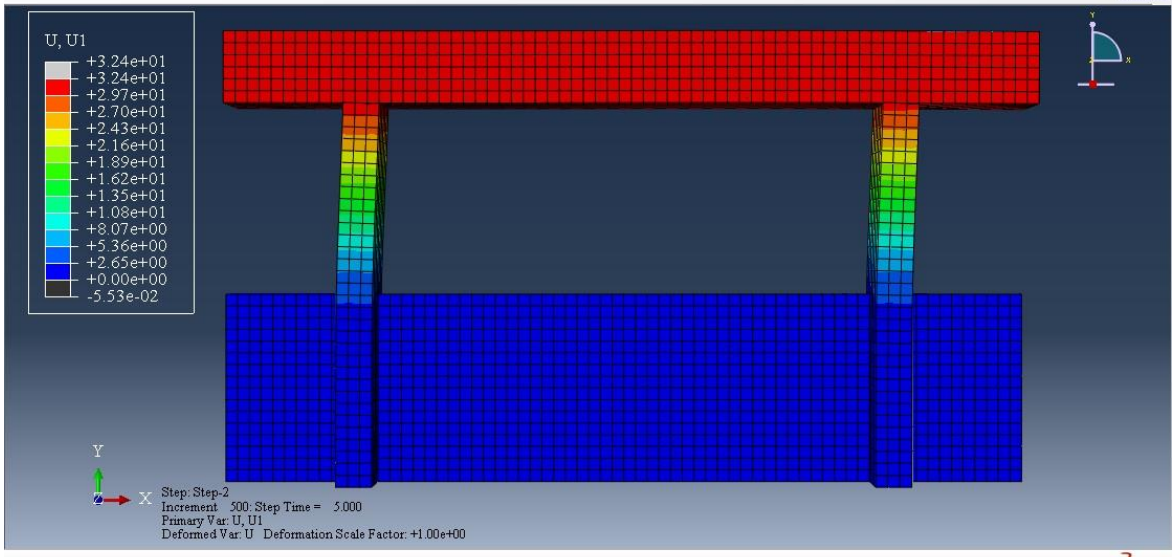
b) 1 No'lu deney elemanı modeline ait 4. ve 5. saniye analiz sonucu gerilme dağılımı

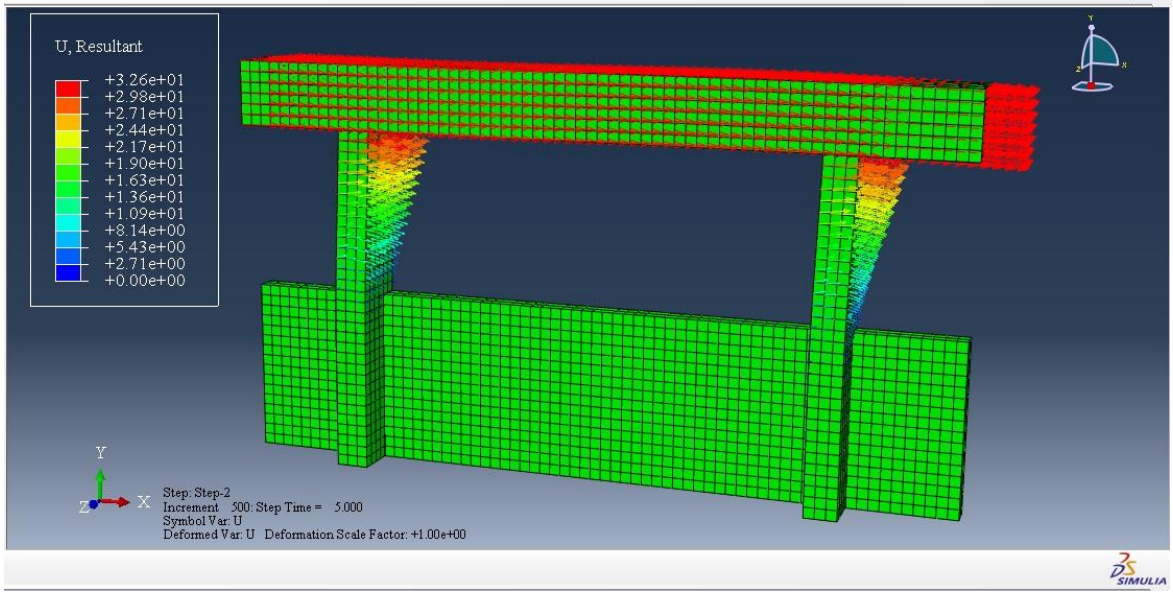
Resim 5.9. a ve b, 1 No'lu deney elemanı modeline ait gerilme dağılımı



a) 1 No'lu deney elemanı modeline ait ilk üç saniye analiz sonucu yatay yer değiştirmeler

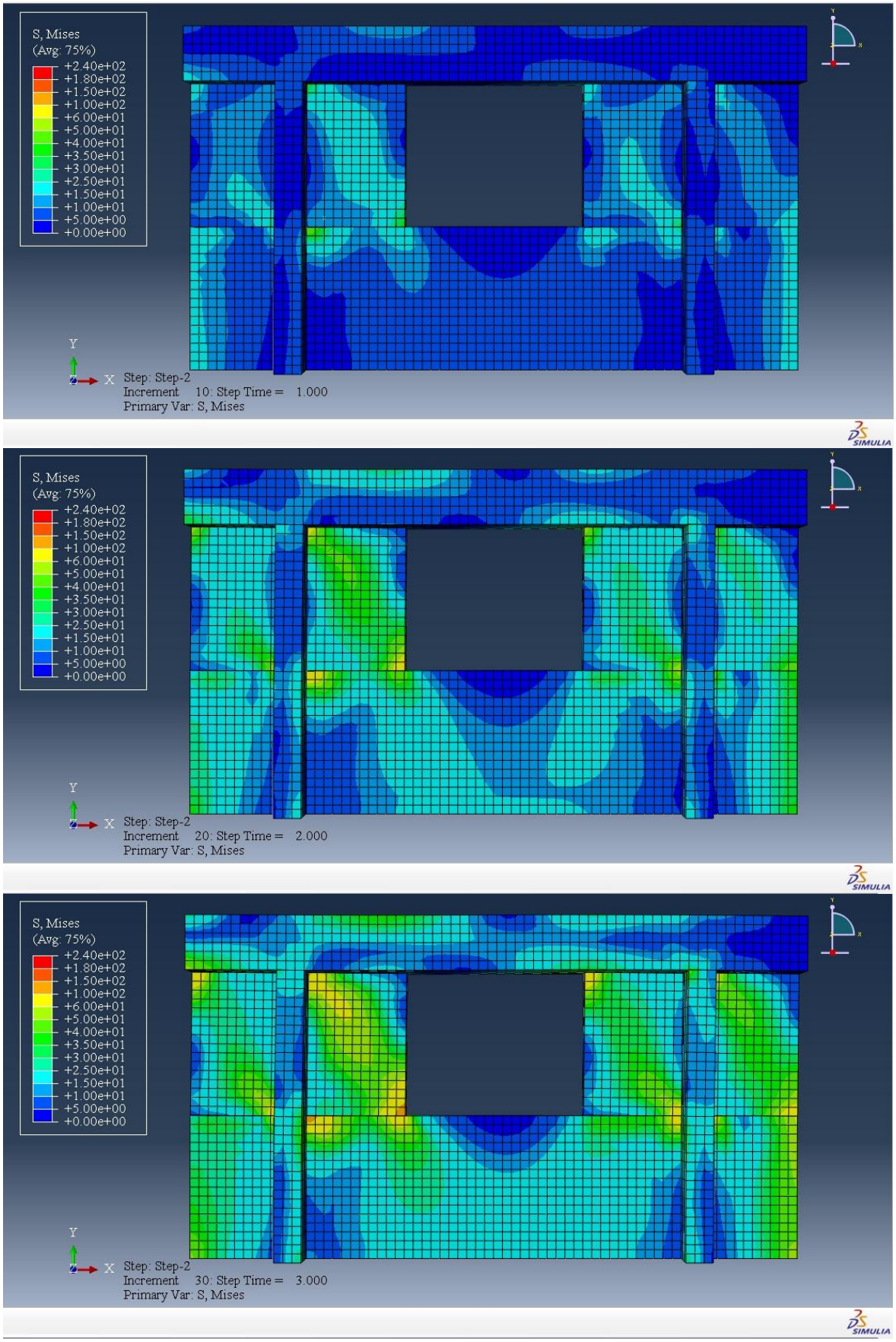




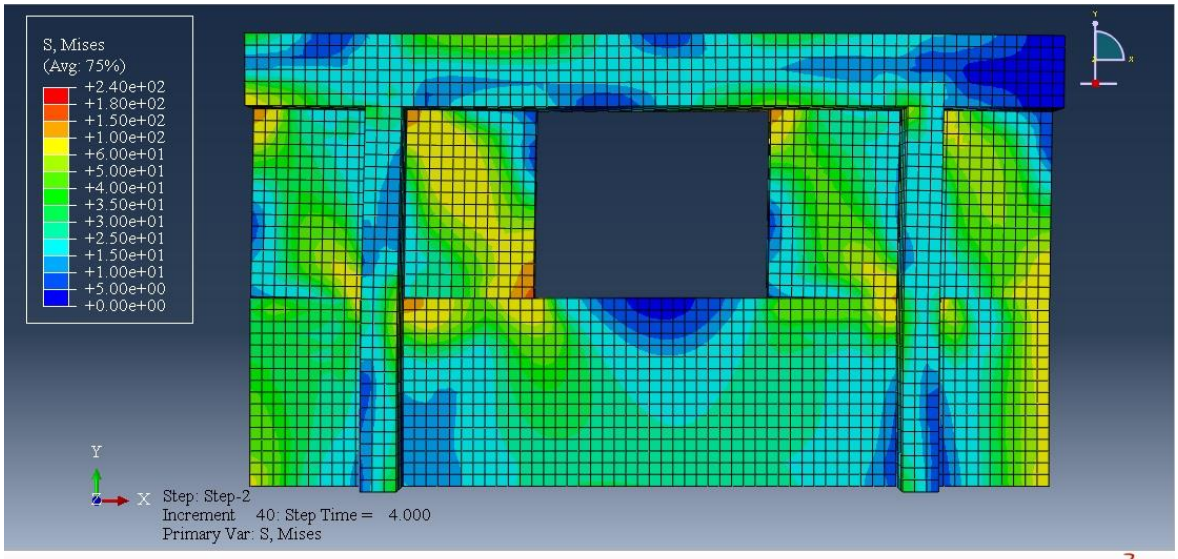


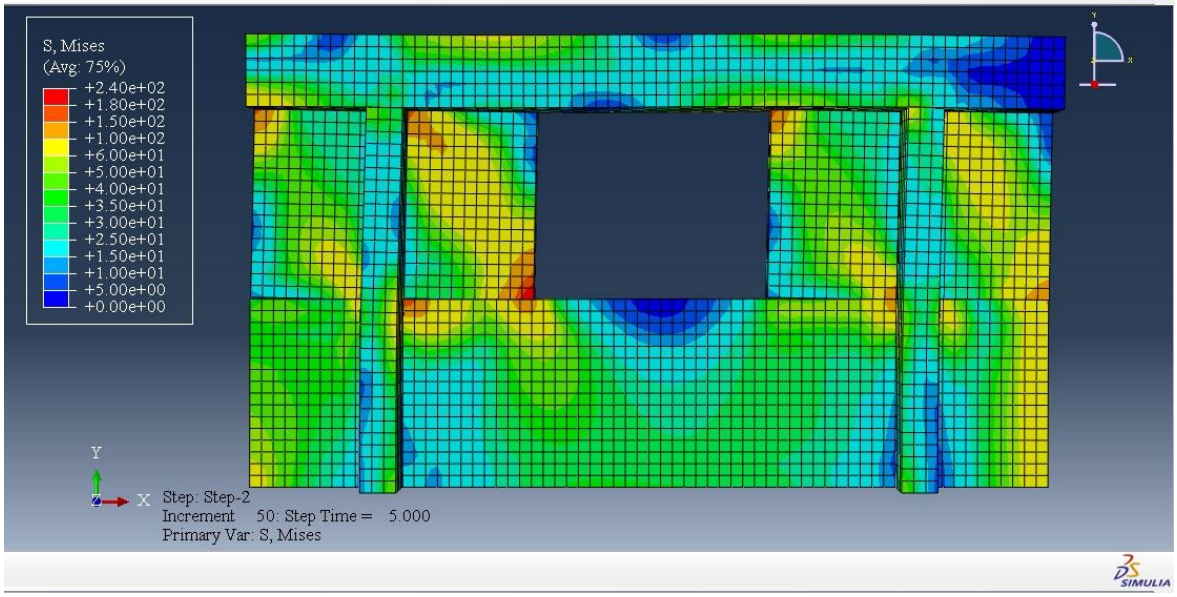
b) 1 No'lu deney elemanı modeline ait 4. ve 5. saniye analiz sonucu yatay yer değiştirmeler

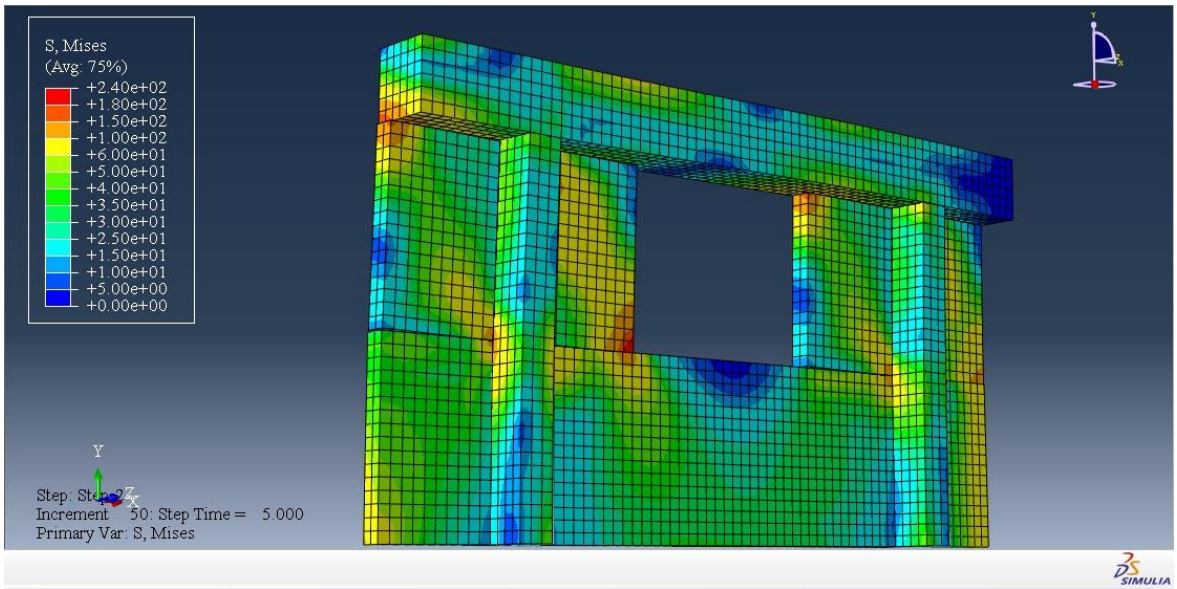
Resim. 5.10. a ve b, 1 No'lu deney elemanı modeline ait yatay yer değiştirmeler



a) 2 No'lu deney elemanı modeline ait ilk üç aniye analiz sonucu gerilme dağılımı

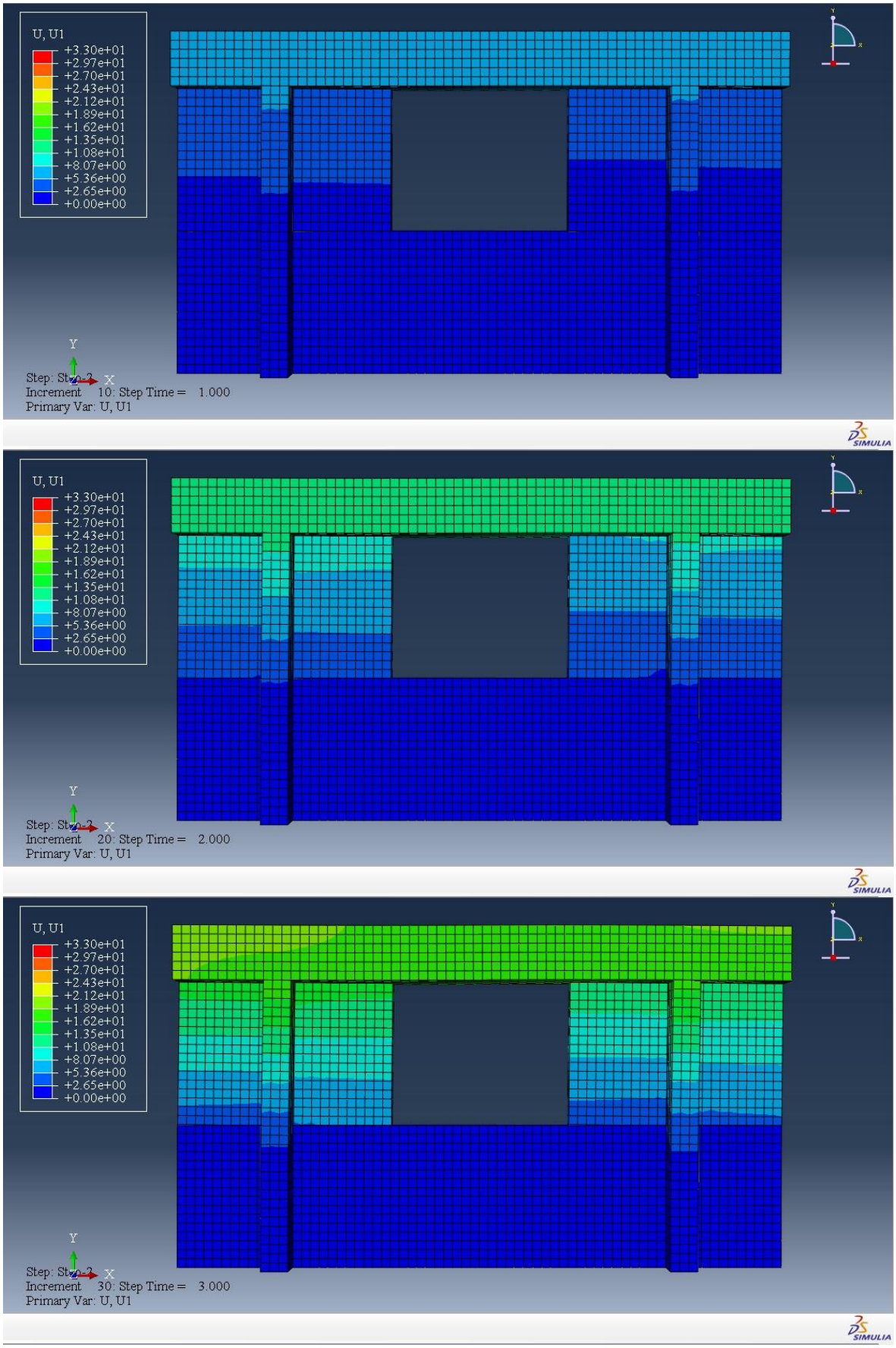




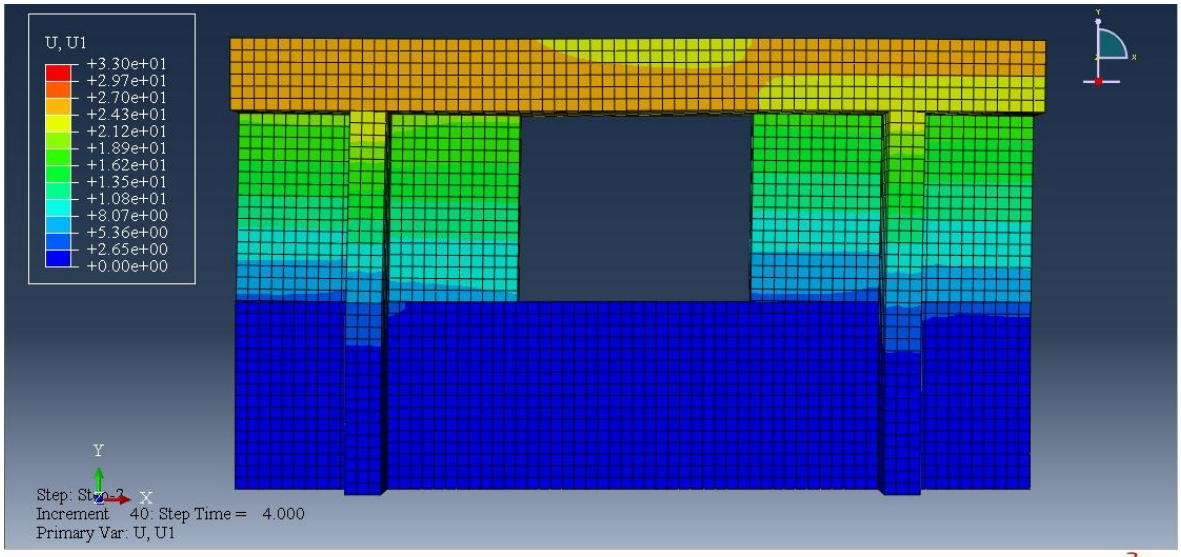


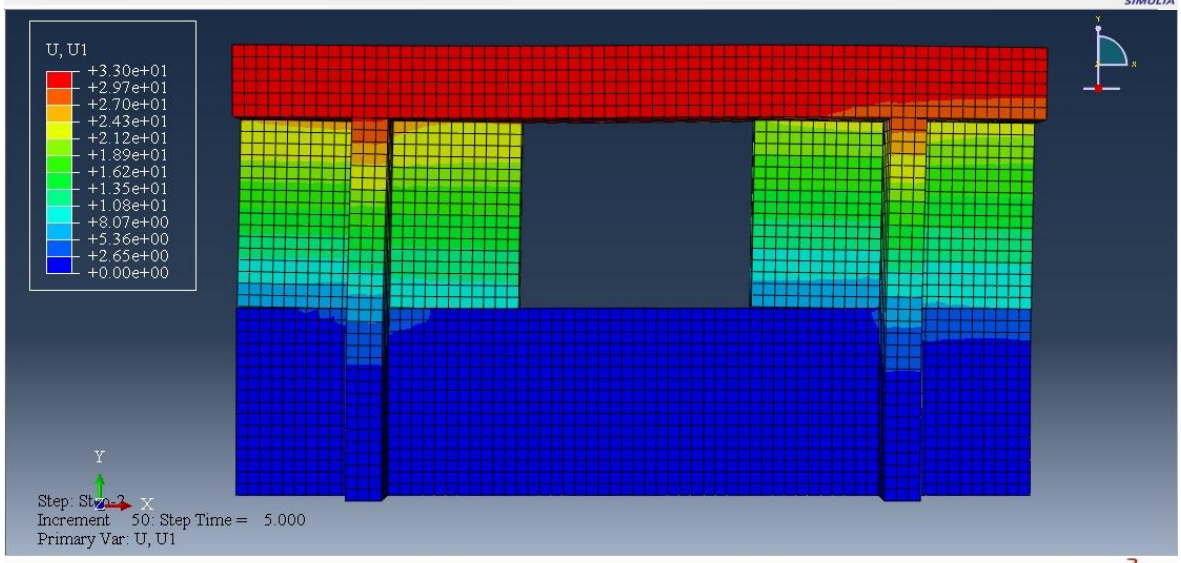
b) 2 No'lu deney elemanı modeline ait 4. ve 5. saniye analiz sonucu gerilme dağılımı

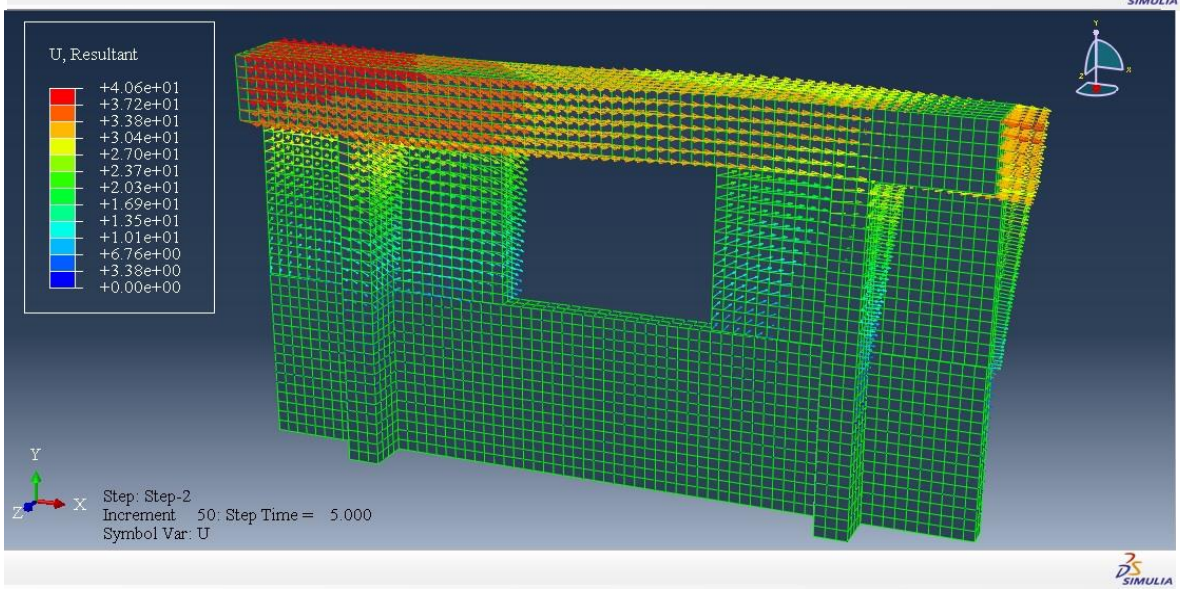
Resim 5.11. a ve b, 2 No'lu deney elemanı modeline ait gerilme dağılımı



a) 2 No'lu deney elemanı modeline ait ilk üç saniye analiz sonucu yatay yer değiştirmeler

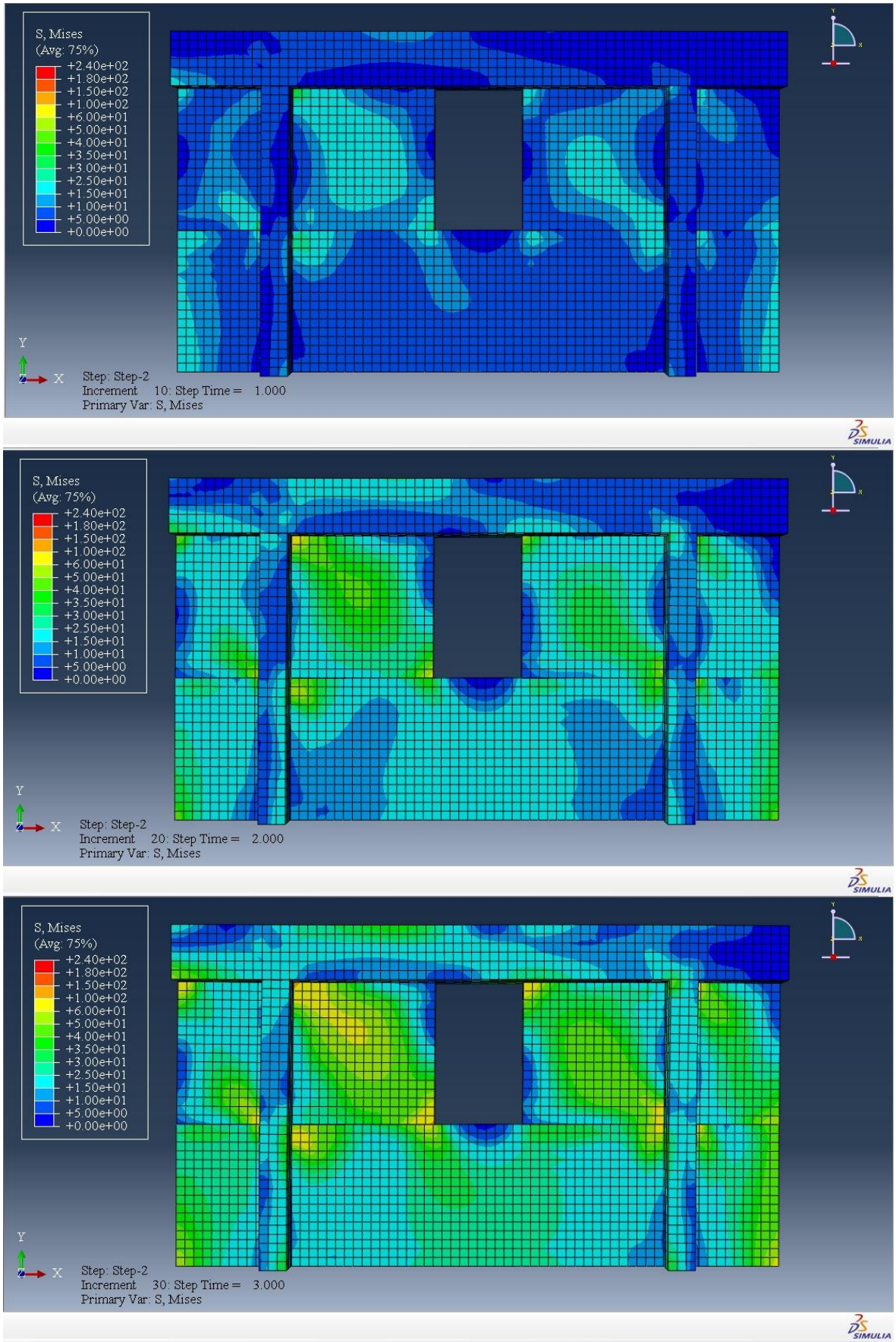




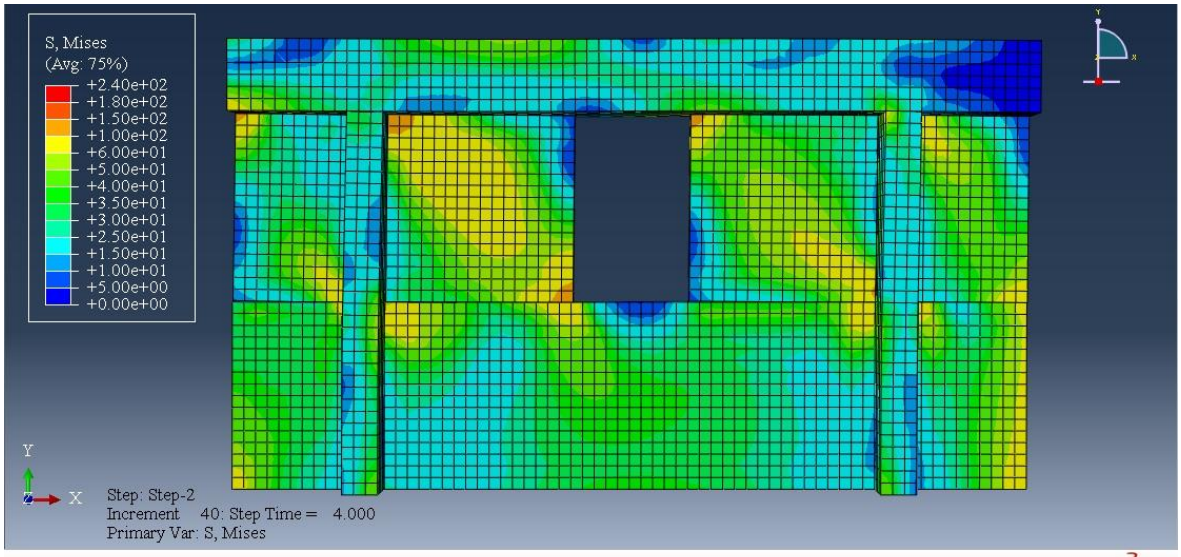


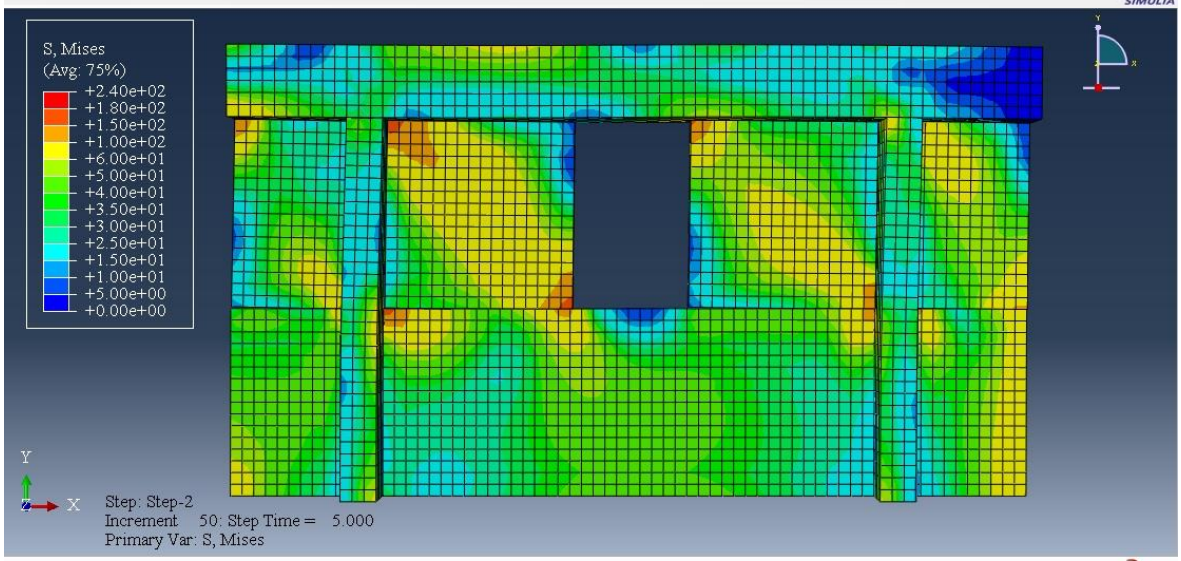
b) 2 No'lu deney elemanı modeline ait 4. ve 5. saniye analiz sonucu yatay yer değiştirmeler

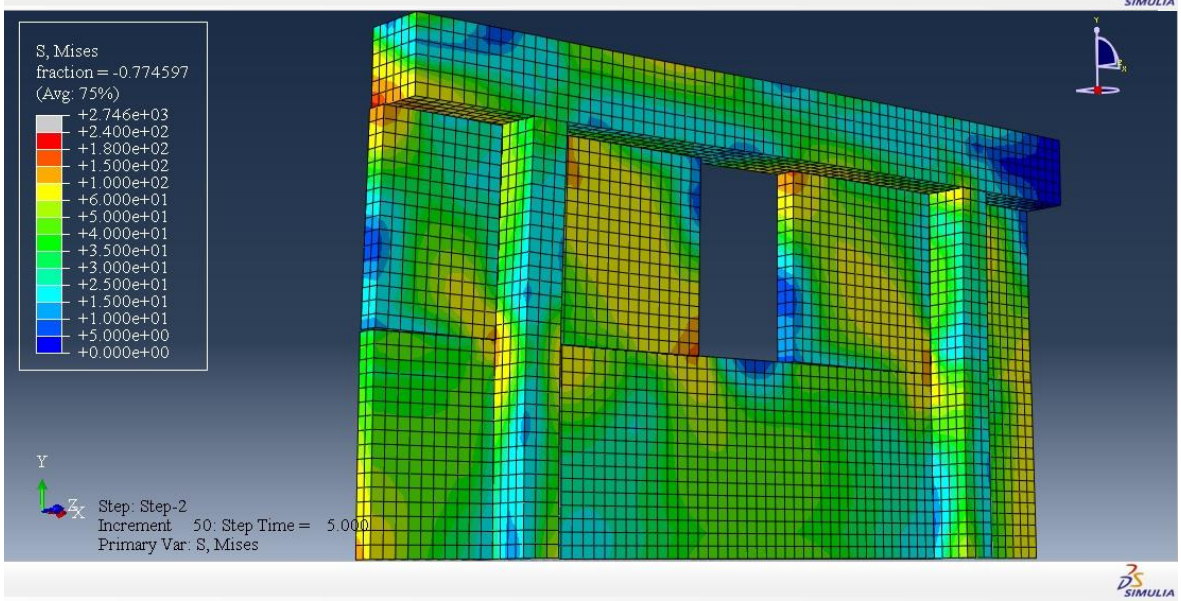
Resim. 5.12. a ve b, 2 No'lu deney elemanı modeline yatay yer değiştirmeler



a) 3 No'lu deney elemanı modeline ait ilk üç aniye analiz sonucu gerilme dağılımı

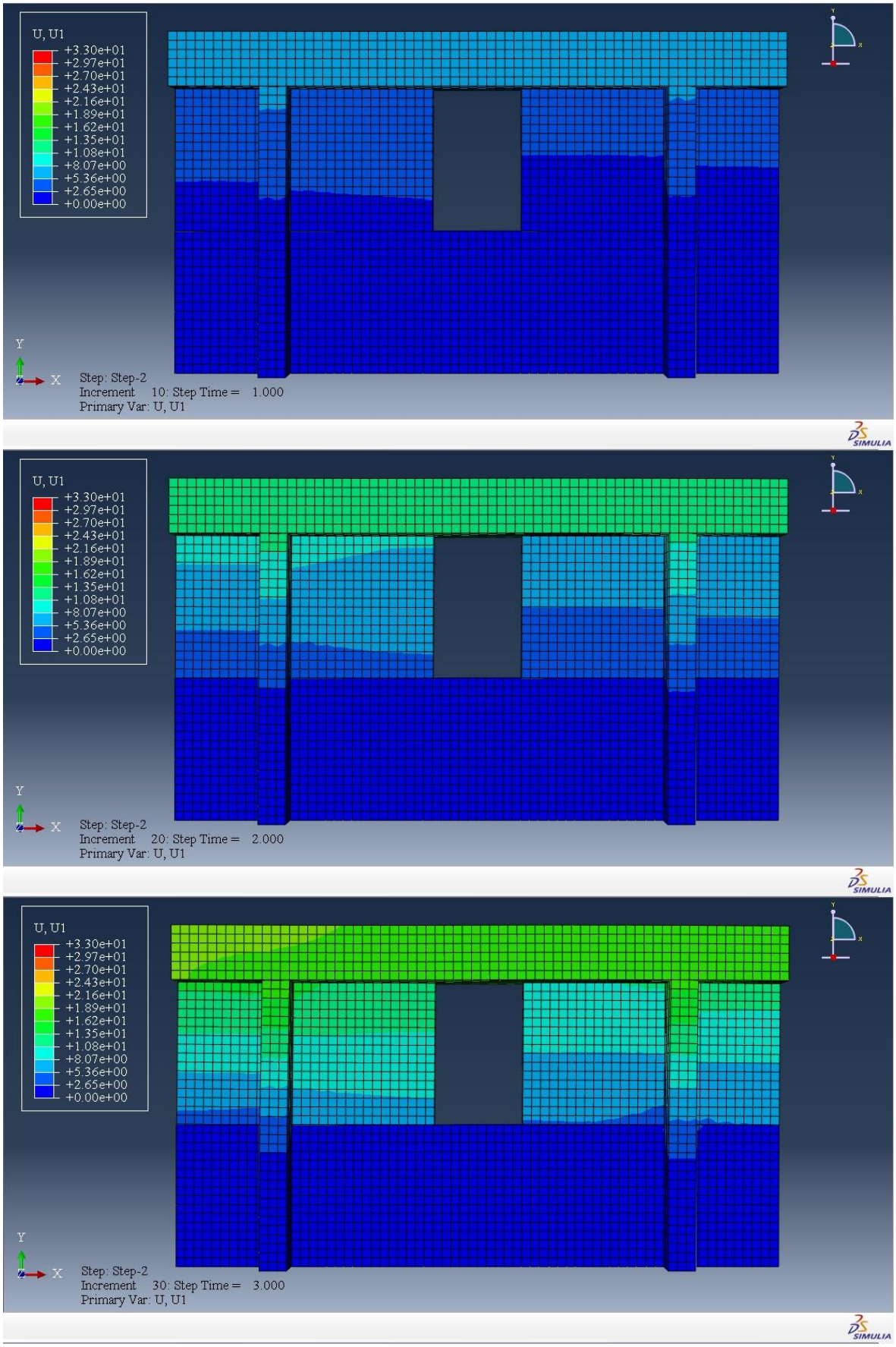




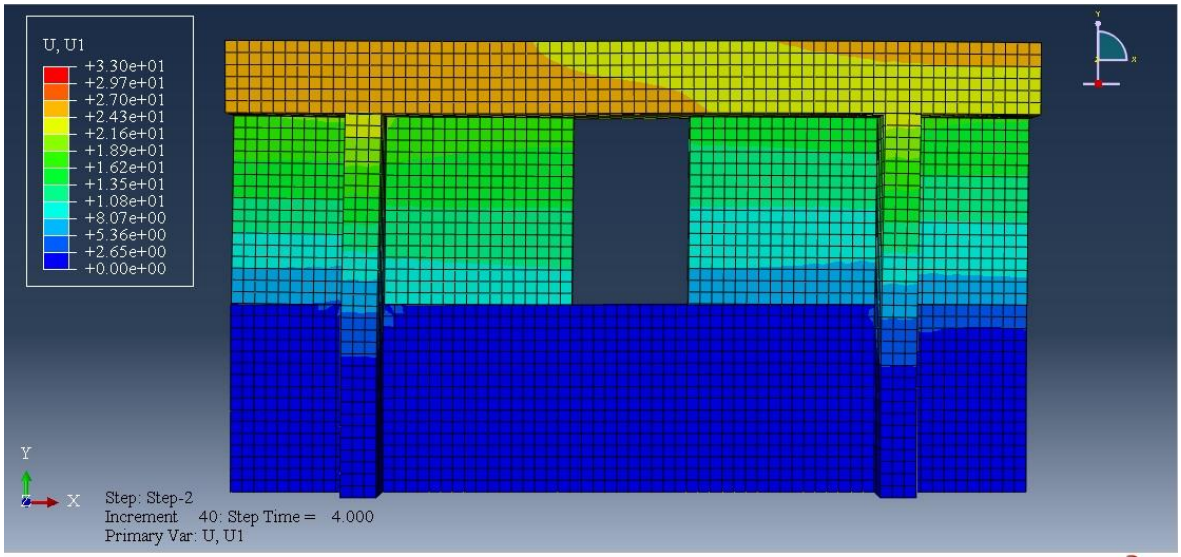


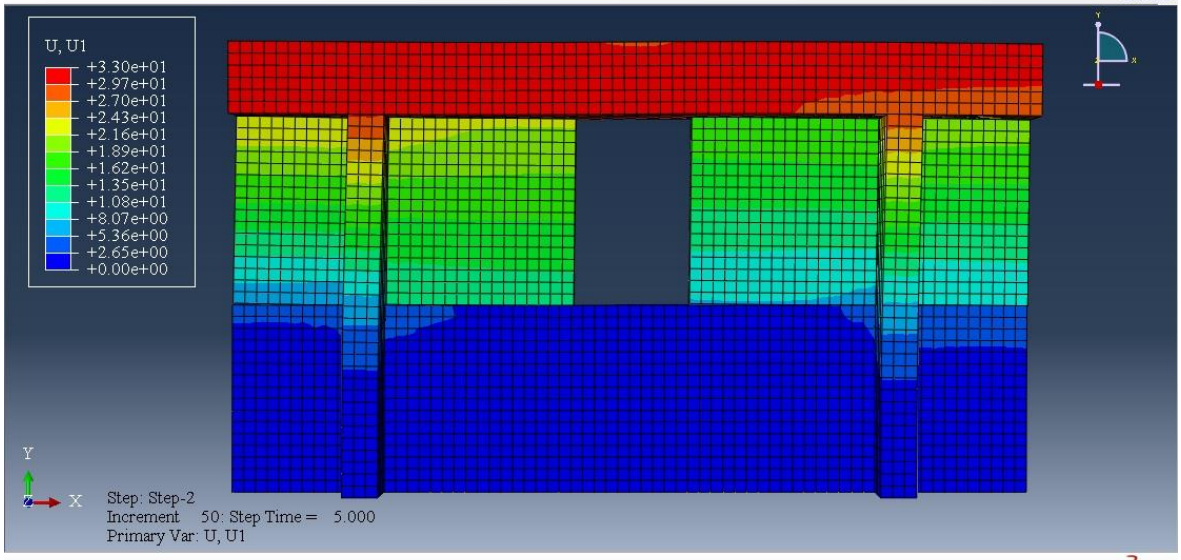
b) 3 No'lu deney elemanı modeline ait 4. ve 5. saniye analiz sonucu gerilme dağılımı

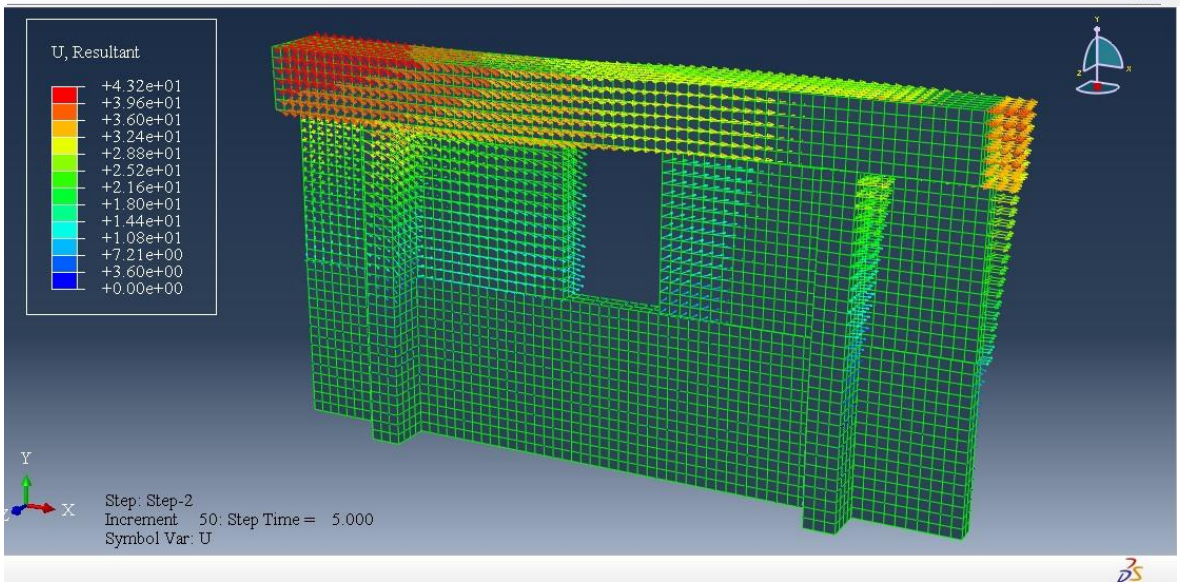
Resim. 5.13. a ve b, 3 No'lu deney elemanı modeline ait gerilme dağılımı



a) 3 No'lu deney elemanı modeline ait ilk üç saniye analiz sonucu yatay yer değiştirmeler







b) 3 No'lu deney elemanı modeline ait 4. ve 5. saniye analiz sonucu yatay yer değiştirmeler

Resim 5.14. a ve b, 3 No'lu deney elemanı modeline ait yatay yerdeğişmeler

5.2. Sonlu Elemanlar Analizi ile Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması

Deneysel sonuçlardan ve sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen yatay yük-yatay yer değiştirme grafikleri 1 No'lu deney elemanı için Resim 5.15'de, 2 No'lu deney elemanı için Resim 5.16'da ve 3 No'lu deney elemanı için Resim 5.17'de kıyaslanmak için tek bir koordinat sisteminde gösterilmiştir.

Çizelge 5.5. Deney elemanınlarının deneysel ve analitik analiz sonucu taşıdıkları maksimum yatay yük değerleri ve yatay yerdeğiştirmeler değerleri

Deney Elemanı No	Çalışma Şekli	Maksimum Yatay Yük (KN)	Yatay Yerdeğiştirme δ (mm)	Deneysel ve Analitik Değerlerinin Farkı	
				Mak. Yatay Yük	Yatay Yerdeğiştirme
1	Deney	44,118	19,44	% 2,73	% 22,22
	ABAQUS	45,327	15,12		
2	Deney	244,018	9,69	% 2,57	% 22,29
	ABAQUS	250,300	7,53		
3	Deney	298,738	10,31	% 3,78	% 34,92
	ABAQUS	310,031	6,71		

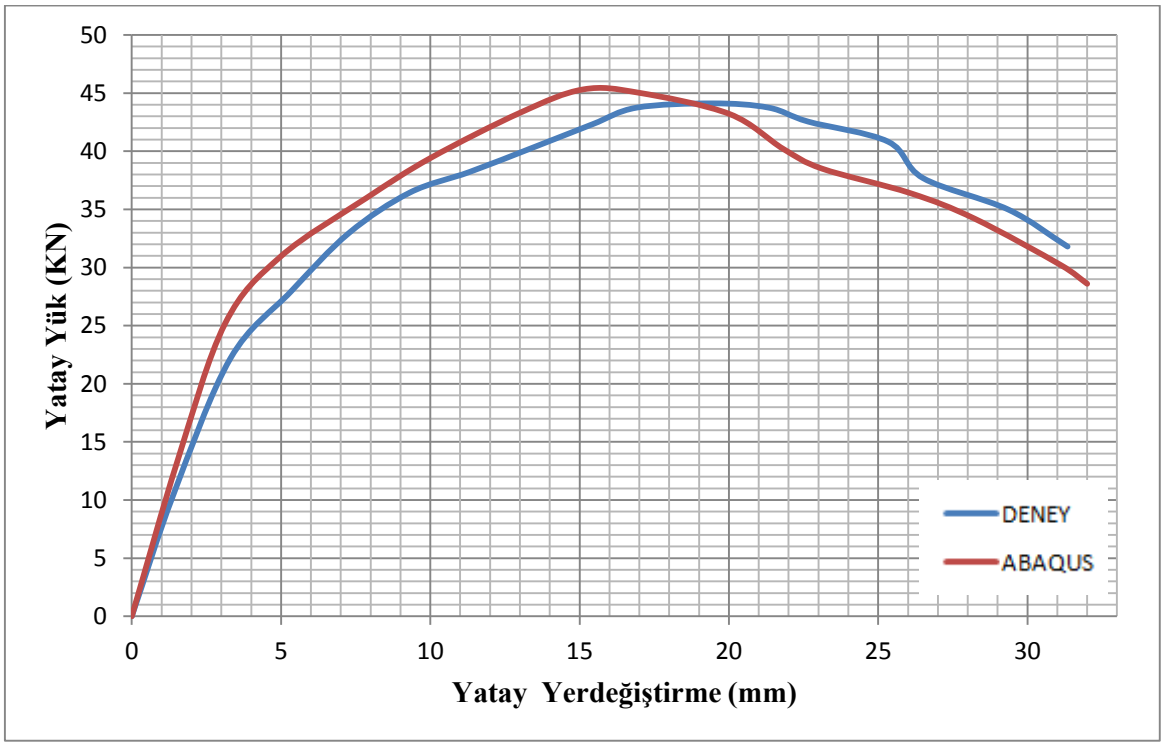
Çizelge 5.6. Deney elemanlarının deneysel ve analitik analizler sonucu elde edilen maksimum yatay yük değerlerinin karşılaştırılması

Kıyaslanan Deney Elemanları	Çalışma Şekli	Maksimum Yatay Yük Artış Oranı
2 No'lu Deney Elemanı 1 No'lu Deney Elemanına göre	Deney	% 453,1
	ABAQUS	% 452,3
3 No'lu Deney Elemanı 1 No'lu Deney Elemanına göre	Deney	% 577,1
	ABAQUS	% 584,0
3 No'lu Deney Elemanı 2 No'lu Deney Elemanına göre	Deney	% 22,4
	ABAQUS	% 23,9

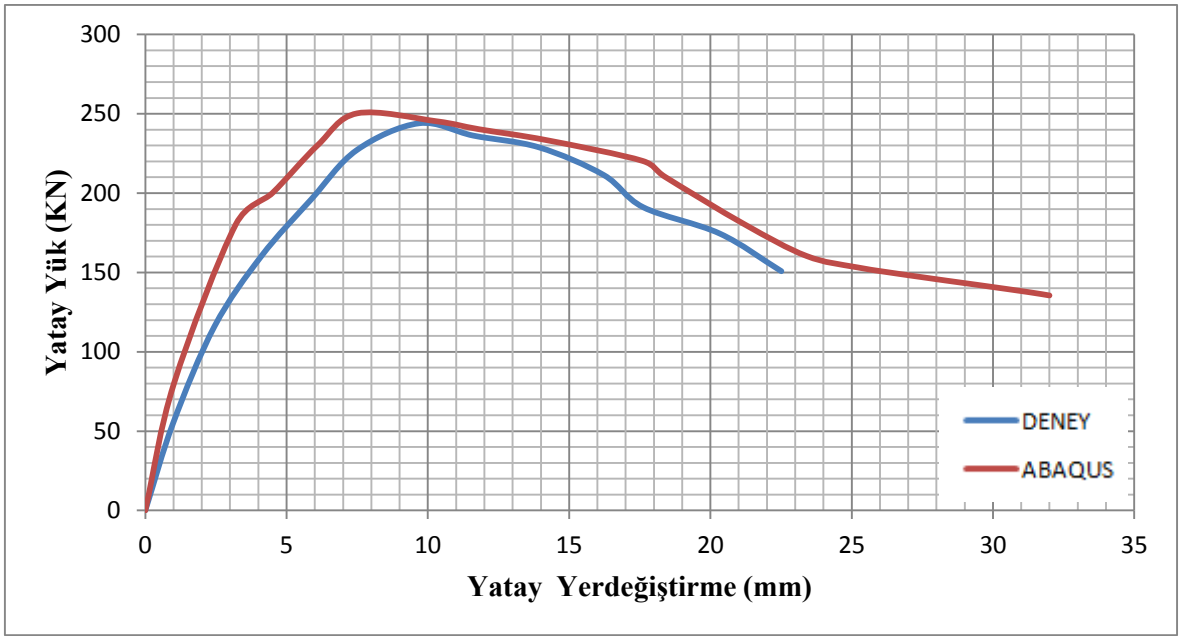
Deney elemanlarının ABAQUS (sonlu eleman yöntemiyle) analizinde, birbirleriyle kıyaslanınca maksimum yatay yük artış oranları, deneysel olarak elde edilen maksimum yatay yük artış oranlar ile farkının az olduğu tespit edilmiştir. Buda, deney elemanlarının taşıdıkları maksimum yük değerinin iki deneysel ve analitik çalışmada çok farklı olmadığını göstermektedir. Çizelge 5.6'da görüldüğü gibi 2 No'lu deney elemanın iki

çalışmadaki maksimum yatay yükte yaptığı yatay yer değişme değerlerinin farkı %22,29 ve bu fark 3 No'lu deney elemanı için %34,92 hesaplanmıştır.

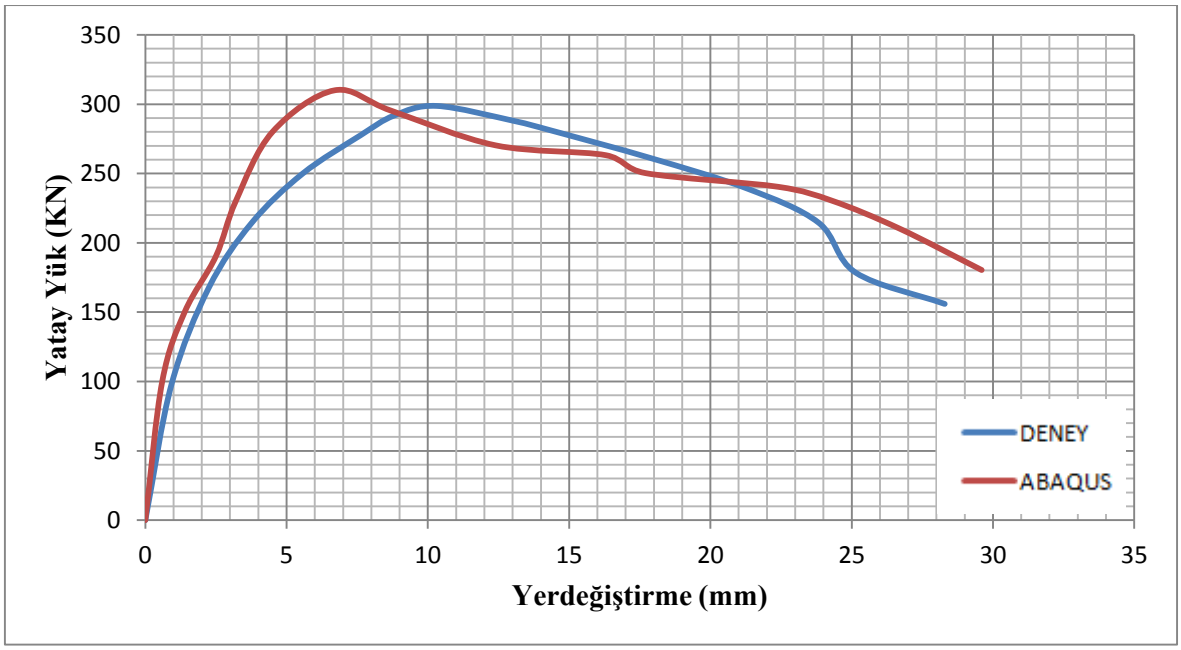
Ayrıca, aynı yük değerindeki yatay yerdeğiştirmeler deneysel çalışmada daha fazla elde edilmiştir. Başka bir değişle, analitik olarak analizi yapılan deney elemanları daha fazla yük taşımışlardır. Deneysel çalışma ve analitik çalışmalardan elde edilen yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrilerin arasındaki fark, deneysel çalışma esnasında yapılan muhtemel işçilik hataları, çimento-su oranı, donatı ve beton arasındaki aderansın sağlanmış olması, betonun 28 günlük dayanımının elde edilmesi için bulunduğu şartlar, yükleme öncesi beton da oluşan çatlaklar ve mesnet şartlarından doğmuştur. Fakat bu nedenlerin etkileri bu çalışmada araştırılmamıştır. Ancak iki araştırma sonuçlarının yakın olduğu da açıktır.



Resim 5.15. 1 No'lu deney elemanı için deney ve ABAQUS analiz sonuçlarından elde edilen yük-yerdeğiştirme eğrileri



Resim 5.16. 2 No'lu deney elemanı için deney ve ABAQUS analiz sonuçlarından elde edilen yük-yerdeğiştirme eğrileri



Resim 5.17. 3 No'lu deney elemanı için deney ve ABAQUS analiz sonuçlarından elde edilen yük-yerdeğiştirme eğrileri

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, betonarme yapıların bodrum katlarındaki betonarme dolgu duvarlarda bırakılan bant pencereler nedeniyle oluşan kısa kolon etkisi deneysel ve analitik olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmalar kapsamında, üç adet tek katlı tek açıklıklı ve çerçeve yüksekliğinin yarısı kadar bant pencere bırakılarak deney elemanı üretilmiştir. Üretilmiş deney elemanların ikisi açıklığın 0,75 ve 0,5 katı kadar ilave betonarme kanat duvarlar ile güçlendirilerek bu duvarların kısa kolon etkisini iyileştirilmesi yönündeki etkileri araştırılmıştır. Analitik çalışmalar kapsamında ise, ABAQUS bilgisayar programında modellenmiş deney elemanları sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiştir.
Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Bant pencere yüksekliğinin 0,5H olması durumunda açıklığın 0,5 katı kadar betonarme kanat dolgu duvar ile güçlendirilmiş deney elemanının maksimum yatay yük taşıma kapasitesi 5,53 kat ve açıklığın 0,75 katı kadar kanat dolgu duvar ile güçlendirilmiş deney elemanının da 6,77 kat artmıştır.
2. Yüksekliğin 0,5 katı kadar bant pencere bırakılan ve bu bant pencerelere açıklığın 0,5 ve 0,75 katı kadar betonarme kanat dolgu duvar yapılan deney elemanlarının maksimum yüke karşılık gelen yer değiştirmesi, L açıklığı boyunca betonarme kanat dolgu duvar yapılmayan elemanınkine göre sırasıyla %50 ve %47 oranında azalmıştır.
3. Betonarme kanat dolgu duvar uzunluğu açıklığın 0,75'i olması durumunda, yatay yük taşıma kapasitesi, açıklığın 0,5 katı betonarme kanat dolgu duvar yapılması durumundaki yatay yük taşıma kapasitesine göre %22 oranında artmıştır.
4. Analitik analiz sonuçlarına göre, modellenmiş deney elemanların analiz sonuçları deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar ile çok farklı olmadığı belirtilmiştir. Yatay yük taşıma kapasitesi, açıklığın 0,5 katı uzunluğunda modellenmiş betonarme kanat dolgu duvarla güçlendirilmiş deney elemanı, deneysel çalışmadan elde edilen sonuca göre %2,57 daha fazla elde edilmiştir. Bu fark açıklığın 0,25 katı uzunluğunda yapılan betonarme kanat dolgu duvarlı deney elemanında ise %3,78 olmuştur.

6.2. Tartışma

Bu çalışmanın deneysel çalışmasından elde edilen sonuçlar, daha önce, farklı yükseklikteki bant pencereli, aynı malzeme özelliklerine sahip, aynı ölçekli ve aynı yükler altında deneyi yapılmış deney elemanlar üzerinde yapılan çalışmanın sonuçlarıyla kıyaslanmıştır.

1. Bant pencere yüksekliğinin 0,25H olan deney elemanının maksimum yatay yük taşıma kapasitesi, yüksekliğin 0,5 katı kadar bant pencere bırakılan deney elemanına göre 1,42 kat artmıştır. Maksimum yüke karşılık gelen yer değiştirmesi ise, %53 oranında azalmıştır.
2. Açıklığın 0,5 katı kadar betonarme kanat dolgu duvar ile güçlendirilmiş deney elemanının, bant pencere yüksekliğinin 0,25H olması durumunda maksimum yatay yük taşıma kapasitesi, bant pencere yüksekliğinin 0,5H olması durumuna göre 1,16 kat ve bu yüke karşı gelen yer değişme ise %38 oranında azalmıştır.
3. Açıklığın 0,75 katı kadar betonarme kanat dolgu duvar ile güçlendirilmiş deney elemanının, bant pencere yüksekliğinin 0,25H olması durumunda maksimum yatay yük taşıma kapasitesi, bant pencere yüksekliğinin 0,5H olması durumuna göre 1,06 kat ve bu yüke karşı gelen yer değişme ise %53,5 oranında azalmıştır.

6.3. Öneriler

Betonarme çerçevelerin betonarme kanat dolgu duvarlarıyla güçlendirilmesi konusunda yapılan araştırma sonucunda, elde edilen sonuçlar, bu çalışmadaki deney elemanları için geçerlidir. Bu sonuçların genelleyebilmesi için benzer çalışmaların farklı yükseklik ve en kesit boyutlarındaki deney elemanları üzerinde de yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Çağatay, İ. (2007). Binalarda kısa kolona etki eden parametrelerin incelenmesi. *6. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.*

2. Gülkan, P. ve Wasti, T. (1993). Çerçeve dolgu etkileşmesi lineer olmayan bir irdeleme. *Türkiye İnşaat Mühendisliği XII. Teknik Kongre Bildiriler Kitabı, Ankara*, 39-52.

3. Karaduman, A. (2005). Dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yükler altındaki davranışları üzerine deneysel bir çalışma. *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(3), 345-349.

4. Tekeli, H., Demir, F. ve Atımtay, E. (2008). Çerçeveli ve perdeli-çerçeveli betonarme binaların ötelenmesi analitik çözümler. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(1), 9-19.

5. Tekeli, H. (2006). *Deprem Tasarımında Ötelenmenin ve Enerji Tüketiminin Kontrolü*, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 192-212.

6. Işık, G. (2006). *Betonarme Binaların Zemin Katında Oluşabilen Kısa Kolon ve Yumuşak Kat Davranışının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 39-46.

7. Bayülke, N. (2003). Betonarme yapının dolgu duvarı. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 4(426), 85-98.

8. Özsoy, A. ve Özgen, K. (2005). Perdelerdeki boşlukların yatay ötelenmeye etkisi. *Deprem Sempozyumu Kocaeli, Kocaeli.*

9. Alqatamin, A. ve Talpoşi, A. (2009). The action of short columns at reinforced concrete building constructions. *Bulletin of the Transilvania University of Braşov*, 2(51), 357-360.

10. Çırak, İ. (2011). Betonarme binalarda gözlenen hasarlar, nedenleri ve öneriler. *SDU International Technological Science*, 3(3), 62-71.

11. Jankowiak, T. ve Lodygowaaski, T. (2005). Identification of parameters of concrete damage plasticity constitutive model. *Publishing House of Poznan University of Technology*, 6(5), 60-975.

12. Anıl, Ö. ve Altın, S. (2007). An experimental study on reinforced concrete partially infilled frames. *Engineering Structures*, 3(29), 449-460.

13. Hüsem, M., Altın S., Pul, S., Bikçe M., Emsen E. (2013). Betonarme perdelerde bırakılan bant tipi boşluklar nedeniyle depremden oluşan kısa kolon etkisinin iyileştirilmesi. *TÜBİTAK, 111M792 Araştırma Projesi, 70s. Ankara*.

14. Demir, S. (2013). *Mevcut Betonarme Yapılarda Kısa Kolon Davranışlarının İyileştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

15. Dermir, S., Hüsem, M., Altın S., Pul, S., Bikçe M. ve Emsen E. (2013). Mevcut betonarme yapılarda kısa kolon davranışlarının iyileştirilmesi. *2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Hatay.*

16. Ersoy, U. ve Özcebe, G. (1985). *Betonarme*. İstanbul: Evrim Yayınevi, 6-34, 44-60.

17. Simulia, (2010). *Abaqus analysis user's manual*. ABAQUS Version 6.10.

18. Azadi Kakavand, M.R. and Abizadeh, Sh. (Baskıda). The comparison of strengthening at RC in seismic zones with usage steel and FRP bars. *First National Conference on Concrete*, 6-10.

19. Kara, M.E. (2006). *Sünek Olmayan Betonarme Çerçevelerin Betonarme Parçasal Dolgu Duvarlarıyla Güçlendirilmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-190.

20. Durmuş, Ah., Durmuş Ay. ve Öztürk H.T. (2013). Depremlerde göçen betonarme binalardan öğrenilenler kocaeli örneği. *2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Hatay.*

21. İsmail Ozan D., Ahmet Y., Barış B. ve Erdem C. (2015). Betonarme çerçevelerde dolgu duvar etkisinin incelenmesi üzerine deneysel çalışma. *3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı.*

22. Klingner, R.E., and Bertero, V.V. (1976). In filled frames in earthquake-resistant construction, *Earthquake Engineering Research Center, University of California*, 76(32), 26.

23. Klinger, R.E., and Bertero, V.V., Earthquake resistance of infilled frames, *Journal of Structural Division*, 104 (ST6), 973-987 (1978).

24. Murty, C.V.R. (2010). *Indian Institute of Technology Kanpur*. Kanpur, India.

25. Bikçe, M. (2011). How to reduce short column effects in buildings with reinforced concrete infill walls on basement floors. *Structural Engineering and Mechanics*, 38(2), 249-259.

26. K Ramirez, H and Jirsa J. O. J. (1984). Short RC columns under bilateral load histories-Maruyama, *Structural. Division ASCE*, 110(1), 120–137.

27. Asteris P.G. (2003). Lateral stiffness of brick masonry infilled plane frames. *Journal of Structural Engineering* 129(8), 1071-1079.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler



Soyadı, adı : ALLAHGHOLIPOUR, Hamid

Uyruğu : Y.U.

Doğum tarihi ve yeri : 10.06.1988, Oroumieh İran

Medeni hali : Bekar

Telefon : 0 (507) 935 63 39

Faks :

e-mail : Hamid.allahgholipour@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /İnşaat Mühendisliği	2016
Lisans	Urmia Üniversitesi /İnşaat Mühendisliği	2011
Lise	Chamran İran Devlet Lisesi	2006

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2010-2011	TAGHE OJİF	Şantiye şefi
2012-2014	Dumar İnşaat	Şantiye şefi
2015-.Halen	Işın Proje	İnş. Müh.

Yabancı Dil

İngilizce, Farsça, Arapça, Türkçe, Azerice (Ana Dili)

Yayınlar

-

Hobiler

Yüzme, Dans, Müzik



GAZİ GELECEKTİR...