

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SOĞUK ŞEKİLLENDİRİLMİŞ ÇELİK SACLI KOMPOZİT PERDE
DUVARLARIN ÇEVİRİMSEL YÜKLER ALTINDAKİ DAVRANIŞI
ÜZERİNE SAYISAL VE DENEYSEL BİR ÇALIŞMA**

DOKTORA TEZİ

Mehmet Haşim KISA

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Naci ÇAĞLAR

Ortak Danışmanı : Prof. Dr. Süleyman Bahadır YÜKSEL

Ocak 2021

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SOĞUK ŞEKİLLENDİRİLMİŞ ÇELİK SACLI KOMPOZİT PERDE
DUVARLARIN ÇEVİRİMSEL YÜKLER ALTINDAKİ DAVRANIŞI
ÜZERİNE SAYISAL VE DENEYSEL BİR ÇALIŞMA**

DOKTORA TEZİ

Mehmet Haşim KISA

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 20 / 01 /2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı

Üye

Üye

Üye

Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Mehmet Haşim KISA

20.01.2021

TEŞEKKÜR

Öncelikle bu araştırmaı başarıyla tamamlamayı nasip ettiği için Allah'a hamdolsun. Doktora eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocalarım Sn. Naci ÇAĞLAR ve Sn. Süleyman Bahadır YÜKSEL'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu süreçte bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim değerli hocalarım Sn. Osman KIRTEL ve Sn. Zehra şüle GARİP'e teşekkür ederim. Deneysel alışma sürecindeki yardımları için Sn. Saeid FOROUGHİ ve Sn. Yüksel ÇİFTCİ'ye teşekkür ederim. Nümerik alışma sürecindeki yardımları için Sn. Aydın DEMİR ve Sn. Ramazan ÖZMEN'e teşekkür ederim.

Doktora eğitimim boyunca sabır, anlayış ve destekleri için değerli aileme çok teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmaya kısmi maddi destek sağlayan; Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) (Proje No: 14101011) kurumuna teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLOLAR LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xii
SUMMARY	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR TARAMASI.....	5
BÖLÜM 3.	
MALZEME DENEYLERİ.....	24
BÖLÜM 4.	
DENEY NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI	27
BÖLÜM 5.	
DENEYLERİN YAPILMASI.....	31
BÖLÜM 6.	
DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	33
6.1. SW Deneyi	33

6.2. CSW-1 Deneyi	35
6.3. CSW-2 Deneyi	36
6.4. CSW-3 Deneyi	40
6.5. RCSW-1 Deneyi.....	44
6.6. RCSW-2 Deneyi.....	51
BÖLÜM 7.	
DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI	55
7.1. Yük-Deplasman Zarflarının Karşılaştırılması.....	55
7.2. Yerdeğiştirme Sünekliklerinin Karşılaştırılması.....	57
7.3. Kümülatif Enerji Sönümü Grafiklerinin Karşılaştırılması	59
7.4. Rijitliklerin Karşılaştırılması.....	60
BÖLÜM 8.	
SONLU ELEMENLAR MODELİ	62
8.1. Beton Malzeme Modeli.....	67
8.1.1. Akma kriteri	68
8.1.2. Akış kuralı (flow rule).....	69
8.1.3. f_{b0}/f_{c0}	70
8.1.4. Viskozite parametresi (μ).....	71
8.2. Çelik Malzeme Modeli.....	77
8.3. Sonlu Elemanlar Modeli'nin Doğrulanması	77
8.4. Parametrik Çalışma	80
BÖLÜM 9.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	84
KAYNAKLAR	88
ÖZGEÇMİŞ	95

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

a_c	: Boyutsuz katsayı
a_t	: Boyutsuz katsayı
b	: $\varepsilon_c^{pl} / \varepsilon_c^{ch}$
BHP	: Beton hasar plastisite
b_c	: Boyutsuz katsayı
b_t	: Boyutsuz katsayı
c_1	: Katsayı
c_2	: Katsayı
d_c	: Basınç hasar parametresi
d_t	: Çekme hasar parametresi
E_{ci}	: Sıfır gerilme için tanjant elastisite modülü
E_0	: Betonun başlangıç elastisite modülü
E_s	: Çeliğin başlangıç elastisite modülü
f_{b0}, σ_{b0}	: Başlangıç iki eksenli basınç akma gerilmesi
f_c	: Küp numune beton basınç dayanımı
f_{c0}, σ_{c0}	: Başlangıç tek eksenli basınç akma gerilmesi
f_{cm}	: Betonun basınç gerilmesi dayanımı
F_{max}, P_{max}	: Denei elemanın taşıdığı maksimum yük değeri
f_m	: Betonun çekme gerilmesi dayanımı
f_y	: Çelik akma gerilmesi
G	: Akma potansiyeli

g_c	: Hasar sürecinin tamamı boyunca hasarla dağılan birim hacim başına düşen basınç enerjisi
G_{ch}	: Birim alan için ezilme enerjisi
G_F	: Birim alan için kopma enerjisi
g_t	: Hasar sürecinin tamamı boyunca hasarla dağılan birim hacim başına düşen çekme enerjisi
h_c	: Basınç rijitliği geri kazanım parametresi
h_t	: Çekme rijitliği geri kazanım parametresi
I_{eq}	: Mesh boyu
K, K_c	: Tek eksenli çekme ve tek eksenli basınç altında oluşan deviatorik gerilmelerin oranı
K_i	: Ortalama sekant rijitliği
P	: Hidrostatik basınç gerilmesi
$P_i^{(+)}$: İtme doğrultusundaki maksimum yük
$P_i^{(-)}$: Çekme doğrultusundaki maksimum yük
P_{max}^{M-E}	: Moment-eğrilik ilişkilerinden elde edilen maksimum yük değeri
P_{max}^{SEM}	: Sonlu elemanlar modelinin taşıdığı maksimum yük değeri
P_y	: Deney elemanının akma yükü
$P_{85\%}$: Deney elemanında oluşan maksimum yükün %85'i
SE	: Sonlu elemanlar
SEM	: Sonlu elemanlar modeli
w	: Çatlak açıklığı
w_c	: Kopma esnasında çatlak açıklığı
q	: Von-Mises eş değer efektif gerilmesi
ν	: Poisson oranı
ψ	: Dilasyon açısı
δ	: Eksantrisite
μ	: Viskozite parametresi

$\Delta_i^{(+)}$: İtme doğrultusundaki maksimum deplasman
$\Delta_i^{(-)}$: Çekme doğrultusundaki maksimum deplasman
Δ_{max}	: Deneş elemanın limit durum deplasmanı
Δ_{max}^{SEM}	: Sonlu elemanlar modelinin limit durum deplasmanı
Δ_u	: Deneş elemanın maksimum deplasmanı
Δ_y	: Deneş elemanın akma deplasmanı
ε_c	: Betonun basınç birim şekildeğiştirmeş
ε_c^{ch}	: Betonun basınç altında ezilme birim şekildeğiştirmeş
ε_{0c}^{el}	: Betonun basınç altında elastik başlangıç birim şekildeğiştirmeş
ε_c^{pl}	: Betonun basınç altında plastik birim şekildeğiştirmeş
ε_c^{el}	: Betonun basınç altında elastik birim şekildeğiştirmeş
ε_t	: Betonun çekme birim şekildeğiştirmeş
ε_t^{ck}	: Betonun çekme altında çatlama birim şekildeğiştirmeş
ε_{0t}^{el}	: Betonun çekme altında elastik başlangıç birim şekildeğiştirmeş
ε_t^{pl}	: Betonun çekme altında plastik birim şekildeğiştirmeş
ε_t^{el}	: Betonun çekme altında elastik birim şekildeğiştirmeş
ε_s	: Çeliğin toplam birim şekildeğiştirmeş
ε^{el}	: Çeliğin elastik birim şekildeğiştirmeş
ε^{pl}	: Çeliğin plastik birim şekildeğiştirmeş
σ_c	: Betonun basınç gerilmesi değeri
$\sigma_{c(1)}$: Birinci bölgedeki basınç gerilmesi
$\sigma_{c(2)}$: İkinci bölgedeki basınç gerilmesi
$\sigma_{c(3)}$: Üçüncü bölgedeki basınç gerilmesi
σ_t	: Betonun çekme gerilmesi değeri
σ_{t0}	: Kırılma esnasında tek eksenli çekme gerilmesi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Donatı yoğunluğundan kaynaklı segregasyon	1
Şekil 2.1. Numune enkesitleri	6
Şekil 2.2. Numune görünüşleri.....	7
Şekil 2.3. Numune onarım aşamaları	8
Şekil 2.4. Yapı planı ve yapıya eklenen perde görünüşü	8
Şekil 2.5. Numune enkesitleri	9
Şekil 2.6. Numune enkesitleri	10
Şekil 2.7. Numune enkesitleri	11
Şekil 2.8. Numune enkesiti	12
Şekil 2.9. Numune enkesiti	13
Şekil 2.10. Numune görünüşleri.....	14
Şekil 2.11. Numune enkesiti ve sonlu elemanlar modeli	15
Şekil 2.12. Numune enkesitleri ve boy kesitleri	16
Şekil 2.13. Numune detay görünüşleri	16
Şekil 2.14. Modellenen numune enkesiti	17
Şekil 2.15. Numune görünümü	18
Şekil 2.16. Sonlu elemanlar modeli ve deney sonu görünümü	19
Şekil 2.17. Numune enkesiti	20
Şekil 2.18. Numune görünüşleri.....	20
Şekil 2.19. Numune enkesiti	21
Şekil 2.20. Numune enkesiti ve sonlu elemanlar modeli	22
Şekil 3.1. Test öncesi çekme numuneleri.....	25
Şekil 3.2. Test sonrası çekme numuneleri.....	25
Şekil 4.1. Referans numune (SW).....	27
Şekil 4.2. Kompozit perde duvar numuneleri	28
Şekil 4.3. CSW-3 numunesi donatı yerleşimi	29

Şekil 4.4. Onarılmış kompozit perde duvar numunelerinin enkesitleri (RCSW-1, RCSW-2).....	30
Şekil 4.5. RCSW-2 numunesi onarım mantosu donatılendirma aşamaları.....	30
Şekil 5.1. Deney yükleme düzeneği.....	31
Şekil 5.2. Deney ekipmanından örnekler	32
Şekil 6.1. SW numunesi göçme aşamaları	34
Şekil 6.2. Çelik elemanların göçme modları.....	35
Şekil 6.3. SW numunesi yük-tepe deplasmanı grafiği	35
Şekil 6.4. CSW-1 numunesi yük-tepe deplasmanı grafiği.....	36
Şekil 6.5. Perde duvar uç bölgelerindeki çatlak durumları	37
Şekil 6.6. Perde duvar uç bölgelerindeki ezilme ve çatlak durumları.....	38
Şekil 6.7. Perde duvar uç bölgelerinde bükme sac elemanların kabuk betonlarının dağılışı.....	38
Şekil 6.8. CSW-2 numunesi göçme aşamaları	39
Şekil 6.9. Çelik bükme sac elemanların göçme modları.....	40
Şekil 6.10. CSW-2 numunesi yük-tepe deplasmanı grafiği.....	40
Şekil 6.11. CSW-3 numunesinin deney başlangıç aşamasındaki görünüşü.....	41
Şekil 6.12. CSW-3 numunesi göçme aşamaları.....	42
Şekil 6.13. 170 kN itme yüklemesi durumunda basınç bölgesinin ezilmeye başlaması	43
Şekil 6.14. Çelik elemanların göçme modları.....	43
Şekil 6.15. CSW-3 numunesi yük-tepe deplasmanı grafiği	44
Şekil 6.16. RCSW-1 numunesinin deney başlangıcındaki görünüşü.....	45
Şekil 6.17. 40 kN itme yüklemesi altında çatlak dağılımı	46
Şekil 6.18. 50 kN çekme yükü altında onarım mantosunda çatlak dağılımı.....	46
Şekil 6.19. 70 kN itme yüklemesi altında çatlak dağılımı	47
Şekil 6.20. 100 kN çekme yükü altında çatlak dağılımı	47
Şekil 6.21. 140 kN itme yüklemesi altında numunenin merkezinde çapraz çatlakların yoğunlaşması.....	48
Şekil 6.22. 150 kN itme yüklemesi durumunda numune merkezlerinde yaygınlaşan 45°'lik çatlaklar	49
Şekil 6.23. Deney numunesinin temelden ayrılışı.....	50

Şekil 6.24. Deney sonucunda düşey donatılara paralel çatlak oluşumu	50
Şekil 6.25. RCSW-1 numunesi yük-tepe deplasmanı grafiği	51
Şekil 6.26. RCSW-2 numunesi onarım mantosu donatılandırma aşamaları.....	51
Şekil 6.27. 60 kN itme yükü altında çatlak dağılımı.....	52
Şekil 6.28. Perde gövdesinde çatlak yığılımı	52
Şekil 6.29. Çirozların kuvvet altında paspayı üzerine çıkması	53
Şekil 6.30. Onarım mantolarının çekirdekten ayrılması	54
Şekil 6.31. RCSW-2 numunesi yük-tepe deplasmanı grafiği	54
Şekil 7.1. Karşılaştırmalı yük-deplasman zarfları.....	55
Şekil 7.2. Onarım öncesi ve sonrası numunelerin yük-deplasman zarfları.....	56
Şekil 7.3. Akma ve göçme noktalarının belirlenmesi	57
Şekil 7.4. Referans ve kompozit numunelerin süneklik oranları	58
Şekil 7.5. Onarım öncesi ve sonrası kompozit numunelerin süneklik oranları.....	59
Şekil 7.6. Referans ve kompozit numunelerin enerji tüketim değerleri.....	59
Şekil 7.7. Onarım öncesi ve sonrası kompozit numunelerin enerji tüketim değerleri	60
Şekil 7.8. Referans ve kompozit numunelerin rijitlik değişimleri	61
Şekil 7.9. Onarım öncesi ve sonrası kompozit numunelerin rijitlik değişimleri.....	61
Şekil 8.1. ABAQUS sonlu elemanlar programının arayüzü	63
Şekil 8.2. Modellenen perde duvarlarda sonlu eleman ağı	66
Şekil 8.3. Hasar plastisite modelinin oluşumu	67
Şekil 8.4. Düzlem gerilme durumu için akma yüzeyi.....	68
Şekil 8.5. Deviatorik düzlemde akma yüzeyinin gösterimi	69
Şekil 8.6. Drucker-Prager hiperbolik akma potansiyeli fonksiyonun meridyen düzleminde gösterimi	69
Şekil 8.7. Eksenel basınç altında beton malzeme davranışı.....	72
Şekil 8.8. Eksenel çekme altında beton malzeme davranışı.....	74
Şekil 8.9. Tek eksenli çevrimsel yükleme durumunda beton malzeme davranışı ..	75
Şekil 8.10. Malzeme modelinin oluşturulması için akış şeması	76
Şekil 8.11. Referans numune (SW) için sonlu elemanlar modelinin performansı..	78
Şekil 8.12. Kompozit numune (CSW-1) için sonlu elemanlar modelinin performansı	78

Şekil 8.13. Kompozit numune (CSW-2) için sonlu elemanlar modelinin performansı	79
Şekil 8.14. Kompozit numune (CSW-3) için sonlu elemanlar modelinin performansı	80
Şekil 8.15. Parametrik çalışmada elde edilen yük-tepe deplasmanı grafikleri	82

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Kompozit ve betonarme perde duvarlarda kullanılan beton numunelerinin basınç dayanımları.....	24
Tablo 3.2. Malzeme dayanımları	25
Tablo 3.3. RCSW-1 numunesi için manto betonu basınç dayanımları	26
Tablo 3.4. RCSW-2 numunesi için manto betonu basınç dayanımları	26
Tablo 4.1. Deney numunelerinin geometrik özellikleri	29
Tablo 4.2. Onarılan numunelerin geometrik özellikleri.....	30
Tablo 7.1. Karakteristik noktalar için yük ve deplasman değerleri	58
Tablo 8.1. Programda tercih edilmesi gereken birimler.....	66
Tablo 8.2. Limit durum için yük ve deplasman değerleri	80
Tablo 8.3. Sonlu elemanlar modelinde dikkate alınan parametreler.....	81
Tablo 8.4. Parametrik çalışmadan elde edilen maksimum yük ve deplasman seviyeleri.....	83

ÖZET

Anahtar kelimeler: Betonarme perde duvar, kompozit perde duvar, perde duvar deneyi, soğuk şekillendirilmiş çelik sac, sonlu eleman metodu.

Sismik kuvvetleri karşılamak amacıyla yüksek yapılarda kullanılan betonarme (RC) perde duvarlar, yapısal ve mimari gereksinimler nedeniyle daha kullanışlı bir kat planı oluşturmak için daha küçük kesitli olarak tercih edilirler. Bu nedenle de perde duvarlar, aşırı çelik donatı içeren dar kesitler halinde oluşturulur. Ancak yoğun donatı, beton dökümünde zorluklara ve segregasyona neden olabilmektedir. Bu durum özellikle betonarme perde duvarların uç bölge elemanlarında görülür. Benzer problemlerin üstesinden gelmek için geleneksel betonarme perde duvarlara alternatif olarak kompozit perde duvarlar birçok araştırmacı tarafından araştırılmıştır. Bu çalışma kapsamında, literatürde kullanılan kompozit perde duvarlara alternatif olarak önerilen, soğuk şekillendirilmiş çelik sac elemanlar kullanılarak tasarlanan kompozit perde duvarların çevrimsel yükleme altındaki davranışları deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. 1 adet konvansiyonel betonarme ve 2 adet kompozit olmak üzere toplam 3 adet perde duvar deney numunesi 1/3 ölçekli olarak üretilmiş ve deney numuneleri çevrimsel yükleme altında test edilmiştir. Yapılan deneyler sonrasında 2 adet kompozit perde duvar güçlendirilerek yeniden aynı şartlar altında test edilmiştir.

Kompozit perde duvarların uç bölgelerinde kullanılan soğuk şekillendirilmiş çelik sacların boyutları $2 \times L19 \times 57 \times 7$, $4 \times L23 \times 69 \times 5$ ve $2 \times L17 \times 49 \times 7$ mm'dir. Test süresince deney numunelerindeki çatlak ilerlemesi her yükleme aşamasında incelenmiş ve perdelerin davranışı yanal kuvvet-tepe deplasman ilişkisi ile tanımlanmıştır. Yanal yük kapasitesi, süneklik, tüketilen enerji ve rijitlik parametreleri karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve ayrıca hasarlı numunelerin onarım ve güçlendirilmesine yönelik yeni bir yaklaşım da sunulmuştur. Ek olarak, sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Geleneksel ve kompozit perde duvarların sayısal modelleri deneysel sonuçlarla doğrulanmış ve sayısal modellerin perde duvar davranışını gerçekçi bir şekilde başarı ile simule ettiği gösterilmiştir. Doğrulanmış sayısal modeller kullanılarak parametrik bir çalışma yapılmış ve çelik sac elemanların malzeme davranışının kompozit perde duvarların davranışına etkileri incelenmiştir.

NUMERICAL AND EXPERIMENTAL STUDY ON THE RESPONSE OF COMPOSITE SHEAR WALLS WITH COLD-FORMED STEEL SHEETS UNDER CYCLIC LOADING

SUMMARY

Keywords: RC shear wall, composite shear wall, shear wall testing, cold-formed steel sheet, finite element method.

Due to structural and architectural requirements, reinforced concrete shear walls, which are used in high-rise structures to resist seismic forces, are preferred with smaller cross-sections to create more usable floor plans. For that reason, shear walls are created with narrow cross-sections including excessive steel rebars. However, intensive reinforcement may cause difficulties in concrete pouring and segregation which is especially seen in the boundary zone elements of the reinforced concrete shear walls. To overcome certain problems, composite shear walls have been investigated by many researchers as an alternative to the conventional reinforced concrete shear walls. Within the scope of this study, the behaviors of composite shear walls, which are designed using cold-formed steel sheet elements and proposed as an alternative to the composite shear walls existing in the literature, were experimentally and numerically investigated under cyclic loading. A total of three shear wall test specimens, including one conventional reinforced concrete and two composites, were manufactured on a 1/3 scale and the specimens were tested under cyclic loading. After the experiments, two composite shear walls were retrofitted and tested again under the same conditions.

The dimensions of the cold-formed steel sheets used in the shear wall end zones are $2 \times L19 \times 57 \times 7$, $4 \times L23 \times 69 \times 5$, and $2 \times L17 \times 49 \times 7$ in mm. During the tests, the crack propagation in the specimens was investigated at each loading stage, and the behaviors of the walls were defined by the lateral force-top displacement relationship. The lateral load capacity, ductility, dissipated energy, and rigidity parameters were investigated comparatively and a new approach to repair and retrofit the damaged specimens was presented. In addition, numerical analyses were conducted using finite element software. According to the results, numerical models of the conventional and composite shear walls are validated with experimental results, and it has been shown that the numerical models successfully simulate the shear wall behavior. A parametric study was also conducted using the validated numerical models and the effects of material behavior of the steel sheet elements on the behavior of composite shear walls were investigated.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Ülkemizde son yıllarda meydana gelen depremlerde oluşan can kayıpları ve hasar dağılımları, mevcut betonarme yapıların çoğunun olası depremlere karşı yeterli güvenliğe sahip olmadığını göstermektedir. Mühendislik hizmeti alan günümüz yapılarının birçoğunda deprem güvenliğini sağlamak için perde tipi yapısal elemanların kullanılması tercih edilir. Daha çok yüksek yapılarda kullanılan perde elemanlar rijitliklerinin fazla olmasından dolayı deprem kuvvetinin büyük bir kısmını karşılamaları sebebiyle en fazla hasar alması ön görülen elemanlar olmaktadır. Bu sebeple perde duvarların tasarım kriterlerinin belirlenmesi yapı güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır.

Betonarme yüksek yapılarda, mimari kısıtlamalar sebebiyle oluşturulan dar kesitli ve farklı geometrik şekillerdeki perdelerin uç bölgelerine yoğun donatı yerleştirilmektedir. Bu tür kesitlerde donatının yoğun olması sebebiyle betonun tam olarak yerleştirilememesi ile karşılaşılabilir (Şekil 1.1.) [1], [2]. Bu durum perde duvarın en çok zorlanan kesitinde aderans ve dayanım kaybına sebep olabilmektedir.



Şekil 1.1. Donatı yoğunluğundan kaynaklı segregasyon [2]

Buna benzer sorunların çözümüne yönelik olarak perde uç bölgelerinde boyuna donatı kullanılması yerine; boru, kutu, H ve I kesitli çelik profillerin kullanılmasına yönelik araştırmalar ve uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Ancak bu tür kompozit perde duvarların kullanımının, perde duvar-elik kiriş birleşiminin oluşturulmasının zor olması, gömülü olmayan ya da yarı gömülü olan profil ya da vb. elemanlardan oluşturulmuş yapısal elemanların yangın ve korozyon dayanımının düşük olması, perde uç kısmında oluşturulacak kolonlarda yapısal elik elemanla beton arasındaki aderansın sağlanamaması gibi olumsuzlukları bulunmaktadır. Bu profillerin dezavantajlarından birisi de sadece belli geometrik özelliklerde üretilerek; sunulacak çözümün esnekliğini kısıtlayabilmeleridir. Ayrıca literatürdeki uygulamalar genellikle tek doğrultuda yerleştirilmiş dikdörtgen kesitli perde duvarların inşasına yönelik çalışmalardır. Bu önerilerin, iki doğrultuda da beraber çalışan iki kollu L kesitli perde duvarların bağlantı bölgeleri üzerinde uygulanması pratikte çok mümkün değildir. Bunlara ek olarak yapılan çalışmaların birçoğunda, yapıda sünekliğe büyük katkı sağlayan yapısal elik elemanların, perde uç bölgesinin dış yüzeylerinde momentin maksimum olacağı konumlarda konumlandırılmamış olması sebebiyle de elemanların eğilme kapasitelerinden optimum seviyede faydalanılamaması literatürde görülen bir diğer temel eksikliklerdendir.

Bu tezin amacı, literatürdeki uygulamalarda karşılaşılan bu olumsuzlukları giderebilecek alternatif bir uygulama olarak bükme saclardan oluşturulmuş kompozit perde duvarların davranışının incelenmesidir. Bu amaçla, betonarme perde duvarların uç bölgelerine yerleştirilecek farklı geometrik özelliklere sahip bükme saclardan oluşturulmuş kompozit perde duvarların tekrarlı yükler etkisi altındaki davranışları deneysel ve nümerik olarak araştırılacaktır. Bu tez çalışmasının deneysel çalışma aşamasında, ülkemizdeki betonarme binalardaki betonarme perde duvar boyutları dikkate alınarak, referans numune ile uç bölgeleri farklı kesitli bükme saclardan oluşturulmuş kompozit perde duvar numuneleri 1/3 ölçekli olarak üretilmiştir. Referans numune ile uç bölgeleri farklı kesitli bükme saclardan oluşturulmuş kompozit perde duvar numunelerinin tekrarlı yükler altındaki deneyleri gerçekleştirilmiş, davranışları; süneklik, rijitlik ve dayanım parametreleri açısından karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Ayrıca, tamamına yakını deprem bölgesi olan

Türkiye’de meydana gelen depremler sonrası, yapılardaki en çok zorlanan ve en çok hasar gören elemanlardan olan perde elemanların onarılma ihtiyacını karşılamak için tez kapsamında üretilen ve deneysel çalışmalar sonucunda hasar gören kompozit perde duvarların onarılması ve güçlendirilmesine yönelik çalışmalar da sunulmuştur.

Tez çalışmasında kullanımı önerilen kompozit perde duvar kesitlerinin uç bölgelerine yerleştirilen L kesitli bükme sac elemanlar, kompozit perde duvar sistemlerinde yaygın olarak kullanılan gömülü H ve I kesitli çelik elemanların aksine perde duvar-çelik kiriş birleşimlerinde kullanılabilir ve ankraj bulonlarının perde uç bölgesine yeterli derinlikte yerleştirilmesine imkân sağlayacaktır. Bu tasarım felsefesi çelik yapıların projelendirilmesinde kompozit perde duvarların taşıyıcı sistemde daha fazla yer almasına olanak sağlayacaktır. Gömülü olmayan ya da yarı gömülü profillerle oluşturulan kesitlerde, korozyon ve yangın dayanımı için ekstra önlemler alınması zorunluluğuna karşın çalışma kapsamında önerilen sistemlerde kesitler gömülü olarak tasarlanmaları sebebiyle korozyon ve yangın dayanımı için herhangi bir özel önlem ihtiyacı gerektirmeyecektir. Ayrıca, çalışmada perde uç bölgesinde 150 mm aralıklarla yerleştirilen etriyeler, bükme sac elemanlara noktasal kaynakla bağlanarak beton ile bükme sac eleman arasındaki oluşabilecek sıyrılma riskinin azaltılması hedeflenmiştir. Perde uç bölgesi ile perde gövdesi arasında oluşacak kayma hareketi, herhangi bir kayma kaması kullanılmaksızın perde gövdesinden gelen yatay donatılar ve etriyelerle sınırlandırılmıştır. Bükme sac elemanların L şekilli olmasından faydalanılarak L tipi perde duvarların birleşim bölgelerinde kullanılmasının uygulama kolaylığı sağlayacağı düşünülmüştür. Bunlarla birlikte kompozit perde duvar performansını artırmaya yönelik, uygun şekil ve konfigürasyonda konulacak olan L kesitli bükme sac elemanların perdenin eğilme ve süneklik kapasitesine de etkileri izlenecektir.

Ülkemizde deprem bölgelerinde kullanılan 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, betonarme perde duvarlara ilişkin tasarım kurallarını içermektedir. Fakat teknolojinin gelişmesiyle birlikte kendisine sıkça yer bulmaya çalışan kompozit perde duvarlara ilişkin, 2018-TDBY’de herhangi bir tasarım kuralı bulunmamaktadır. Yapılacak olan bu çalışma ile kullanımı gün geçtikçe artan kompozit perde duvarların deprem

etkilerine karşı davranışını araştırılması ve kompozit perde duvarların gelecekte düzenlenecek olan deprem yönetmeliklerine ilave edilmesi söz konusu olabilecektir. Ayrıca perde uç bölgelerinde kullanılacak olan L kesitli bükme sac elemanlardan oluşan perde duvar uç bölgeleri fabrikasyon aşaması ile oluşturulacağından seri imalat ve montaj kolaylığı da sağlayacaktır. Bu sayede sanayileşmiş bir ürün ortaya çıkarılıp inşaat sektöründe Türkiye'nin diğer gelişmiş ülkelerle olan rekabetini arttıracığı düşünülmektedir. Bu çalışmada, daha hızlı, daha hatasız, daha ekonomik, daha pratik, daha uygulanabilir kompozit perde duvar uç elemanları inşa edilmesine katkı sağlanarak alternatif bir kompozit perde duvar önerilmiş ve literatüre önemli katkılar sağlanmıştır.

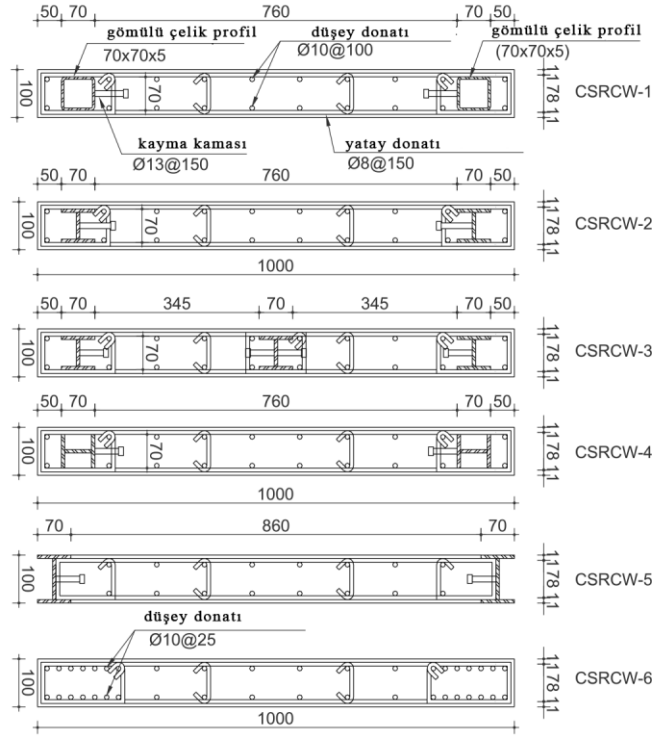
Çalışma kapsamında perde duvarların onarımı ve güçlendirilmesine yönelik önerilen yöntem ile hasar almış perde duvar elemanların onararak güçlendirilmesi mümkün olabilecektir. Önerilen uygulamanın onarım güçlendirme süreçlerinde uygulama yapılacak alanlarda yer alan fiziki unsurların boşaltılmasını gerekli kılmaması, perde duvarlarla aynı düzlemde çalışan duvarlar gibi yapısal elemanlara müdahale edilmeden onarımın gerçekleştirilmesine olanak sağlaması gibi önemli avantajları bulunmaktadır.

BÖLÜM 2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu tez çalışmasında, literatürdeki uygulamalarda görülen eksikliklerin giderilmesine yönelik, uç bölgeleri soğuk şekillendirilmiş bükme saclardan oluşturulmuş kompozit perde duvarların davranışları araştırılmıştır. Bu amaçla, betonarme perde duvarların uç bölgelerine konumlandırılan, farklı geometrik özelliklere sahip soğuk şekillendirilmiş saclarla oluşturulan kompozit perde duvarların tekrarlı yükler etkisi altındaki davranışları deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Söz konusu kompozit perde duvarlar ile ilgili son çalışmalar üzerine kapsamlı literatür taraması yapılmıştır.

Dan ve ark. [3] yapmış oldukları çalışmada; 1/3 ölçekli, 6 adet perde duvar numunesinin davranışı deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Bu perdelerden 1 tanesi tipik betonarme perde duvar ve 5 tanesi ise perde duvar uç bölgeleri kare ve I profillerden oluşturulmuş, Şekil 2.1.' de gösterilen kompozit perde duvarlardır. Numunelerden birisinin (CSRCW-5) uç bölgesi betonla tamamen örtülmemiştir. Çalışma kapsamında perde duvar deney numunelerinin elastik limit ötesindeki davranışlarının deneysel ve nümerik analizleri gerçekleştirilmiş, yük ve deformasyon kapasiteleri hesaplanmıştır. Bunlarla birlikte deneysel çalışmalardan süneklik, enerji tüketim ve rijitlik değişim verileri elde edilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde tüm numunelerin sünek davranış gösterdiği gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra tipik betonarme perde duvar ile karşılaştırıldığında kompozit perde duvarların süneklik ve yatay yük taşıma kapasitelerinin daha fazla olduğu belirtilmiştir. Düzlem gerilme durumu göz önünde bulundurularak yapılan nümerik çalışmalar kapsamında oluşturulan sonlu elemanlar modelinin deneysel çalışmalardan elde edilen bulgularla benzer sonuçlar verdiği ifade edilmiştir. Bu şekilde, kompozit perde duvarların davranışlarının tahmininde sonlu elemanlar modelinin kullanılabileceği yazarlar tarafından önerilmiştir. Bununla birlikte söz konusu çalışmada kare ve H kesitli

profillerle oluşturulmuş kesitlerde maksimum moment etkisiyle oluşacak çekme gerilmeleri, ağırlık merkezine en uzak noktalar olan perde duvar uçlarında oluşacaktır. Bu çerçevede çekme gerilmelerini alacak olan çelik profillerin en dış kesite yakın bölgelere konumlandırılması beklenirken sadece CSRCW-5 numunesinde en dış kesite yerleştirilmiştir.



Dan [4] yürüttüğü çalışmada; önceden testini gerçekleştirmiş olduğu 1/3 ölçekli iki adet hasarlı kompozit perde duvarı karbon fiber kumaştan yapılmış şerit ve plakalarla onararak ve güçlendirerek yatay yükler altında test etmiştir (Şekil 2.2.). Çalışmada onarılıp güçlendirilen deney numuneleri ile deney numunelerinin referans hali karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Onarılıp güçlendirilen deney numuneleri yatay yük taşıma kapasitesi bakımından referans deney numunelerine yakın değerler göstermiştir. Karbon fiber şerit ve plakalarla onarılan numunelerde referans numuneye göre daha az başlangıç rijitliği görülmüştür. Bununla birlikte onarılan numuneler enerji tüketme kapasite açısından da referans numuneye kıyasla biraz daha az performans göstermiştir.



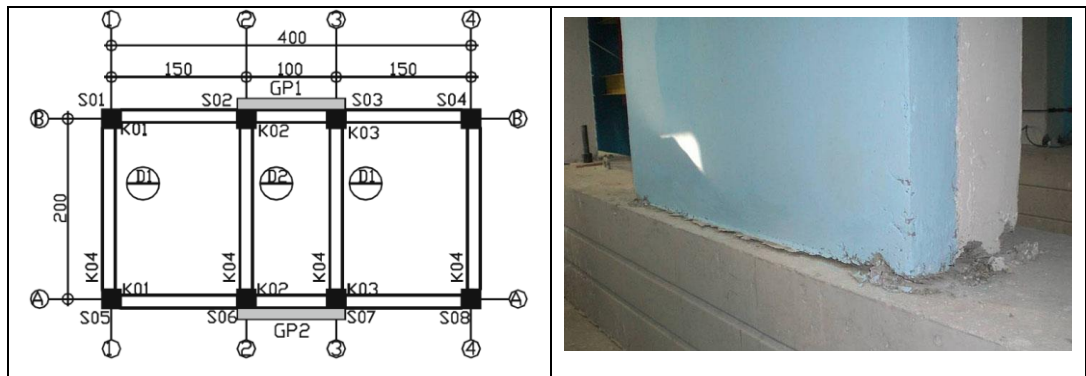
Şekil 2.2. Numune görüntüleri [4]

Haq ve ark. [5] yaptıkları çalışmada; 2 adet betonarme perde duvarı çevrimsel yüklere maruz bıraktıktan sonra aynı duvarları onararak tekrar çevrimsel yükler altında test etmişlerdir (Şekil 2.3.). Onarım öncesinde numune uç bölgesindeki hasar almış betonu temizleyerek yüzeyleri taze betonla doldurmuşlardır. Ardından perde duvarın etrafına epoksi yardımıyla karbon fiber kumaş (CFRP) yapıştırarak onarım işlemini tamamlamışlardır. Yapılan testler sonucunda karbon fiber kumaşın kullanılmasıyla perde duvar mukavemetinde %80 ile %85 oranları arasında geri kazanımın olduğu belirtilmiştir. Ancak bu tip onarım yöntemi uygulamada birçok zorlukla karşılaşılabilecektir. Bunlardan bazıları; onarım için yapı içerisinde geniş bir çalışma sahasının gerekliliği ve bitişik nizamlı yapılarda yer alan köşe perde duvarların onarım güçlükleridir.



Şekil 2.3. Numune onarım aşamaları [5]

Kaplan ve ark. [6] gerçekleştirdikleri çalışmada; 2 adet 1/3 ölçekli 3 boyutlu betonarme yapı çevrimsel yüklemeler altında test edilmiştir. Numunelerden birisi geleneksel, deprem dayanımı düşük betonarme yapıyı temsil eden perde elemansız betonarme yapı olarak inşa edilmiştir. Diğer numuneyle yazarların önermiş olduğu; yapının dış eksenindeki 2 kolon hizasına, kolonlara paralel yerleştirilen, sisteme sonradan eklenen perde duvarlı yapı temsil edilmiştir (Şekil 2.4.). Çalışma sonucunda sonradan eklenen perde duvarlarla kolonlar monolitik olarak çalışmıştır. Bu sayede betonarme yapının rijitliğine ve kapasitesine perde duvarlarla katkı sağlanmıştır.



Şekil 2.4. Yapı planı ve yapıya eklenen perde görünüşü [6]

Fiorato ve ark. [7] yaptıkları çalışmada; inşa edilmiş perde duvarlar ile onarılmış perde duvarların davranışları incelenmiştir. Perde duvar gövdelerindeki betonun onarımında farklı onarım metotları kullanılmıştır. Çalışmada, onarılan perde

duvarlarla referans perde duvarın yük ve deplasman ölçümleri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda hasarlı gövde betonunun kaldırılarak yeniden yerleştirilmesinin kolay ve efektif olduğu belirtilmiştir. Onarılan perde duvarlarda dayanım açısından referans numuneye yakın değerler elde edilmiştir. Ancak aynı durumun başlangıç rijitliği açısından geçerli olmadığını, onarılan numunelerin daha düşük rijitlik gösterdiğini ifade etmişlerdir.

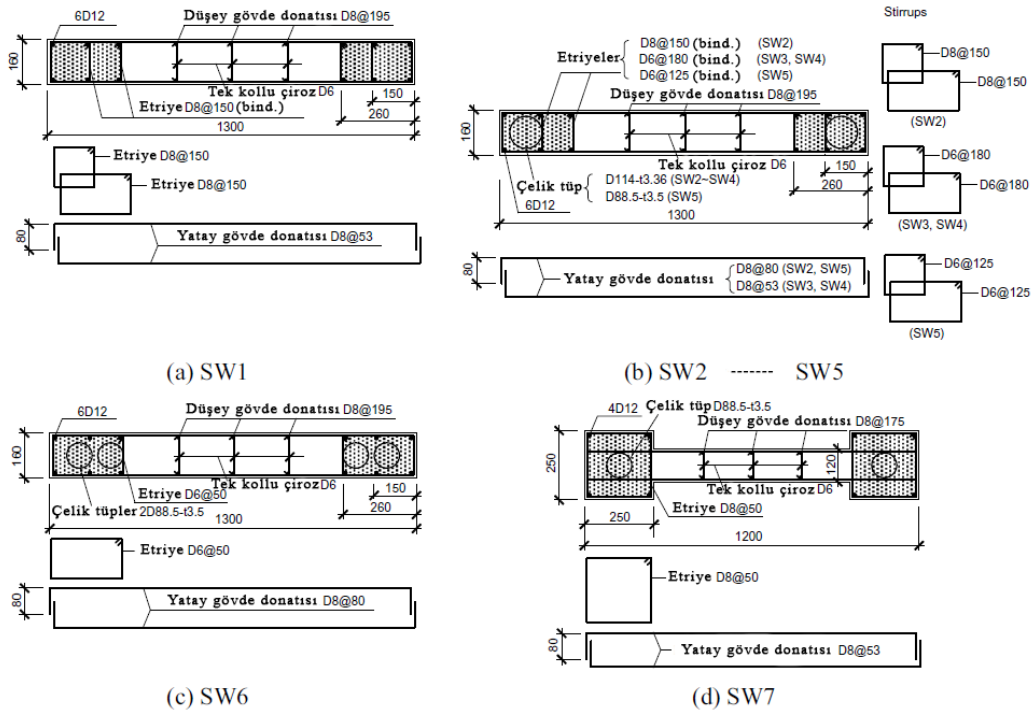
Cho ve ark. [8] yürüttükleri çalışmada; 3 adet perde duvarın sismik yükler altında davranışlarını incelemişlerdir. Perde duvar numunelerinin 1 tanesi tipik betonarme perde duvar, diğer 2 tanesi ise kompozit perde duvar olarak oluşturulmuştur. Kompozit deney elemanlarında kutu ve kanal kesitli profiller kullanılmıştır (Şekil 2.5.). Yapılan deneyler sonucunda kanal kesitli W2 numunesi diğer numunelerden daha fazla enerji sönmülemiştir. Çalışmada, ileri süneklik düzeylerinde yapısal çelik elemanlardaki burkulmaların numunelerin yük taşıma kapasitelerinde düşmelere sebep olduğu belirtilmiştir. Klasik betonarme perdeye alternatif olarak sunulan, diğer perdelerle göre daha fazla enerji tüketen U profilli kompozit perde duvar, herhangi bir etriye uygulamasına imkân tanımamaktadır. Perde duvarlar ne kadar güçlü eksende çalışsada zayıf eksende çalışmaları durumda W2 nolu kesiti oluşturan perde gövdesindeki donatılar etkili kesiti daraltmışlardır.



Şekil 2.5. Numune enkesitleri [8]

Qian ve ark. [9] yaptıkları çalışmada; 1/3 ölçekli 7 adet perde duvarı yatay yükler altında teste tabi tutmuşlardır. SW1 numunesi tipik betonarme perde duvarı temsil etmektedir. SW2-SW3-SW4-SW5 numunelerinin uç bölgelerinde birer adet boru profil, SW6 numunesinde ikişer adet boru profil, SW7 numunesinde ise tek boru profil kullanılmış fakat perde kalınlığından daha büyük bir uç bölge oluşturulmuştur (Şekil 2.6.). Numunelerde farklı etriye konfigürasyonları kullanılmıştır. Bunların

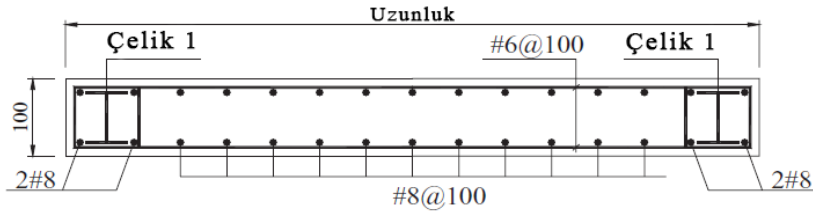
yanında aksenal yük kapasitelerinin %26-38'leri oranında aksenal yük uygulanmıştır. Deney sonucunda çelik boru profil kullanılan numunelerde eğilme göçmesi gözlemlenmiştir. Ayrıca bu numuneler betonarme perde numunesine göre daha yüksek çatlama, akma, maksimum yük dayanımlarına ve daha fazla deformasyon kapasitelerine ulaşmıştır. Perde uç bölgesi genişletilmiş olan kompozit perde duvar diğer kompozit perde duvarlara göre daha fazla deformasyon kapasitesine ulaşmış ve fazla enerji tüketmiştir. Çalışmada kompozit perde duvarların yatay yük taşıma kapasitelerine yönelik basitleştirilmiş bir formülasyon da sunulmuştur. Çelik tüp kesitli elemanlarla oluşturulan kesitlerde çelik borular maksimum çekme gerilmelerinin olduğu noktalara yerleştirilmeyerek gelecek yükün büyük bir kısmı uç bölgelere yerleştirilen nervürlü donatılara taşınmıştır. Tüp kesitli çelik elemanlar ancak basınç bölgesinde sargılamış oldukları betonun basınç dayanımına katkı sağlamaktadır.



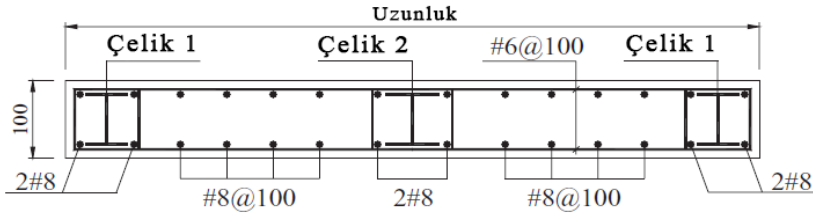
Şekil 2.6. Numune enkesitleri [9]

Zhou ve ark. [10] gerçekleştirdikleri çalışmada; 1/3 ölçekli 16 adet kompozit perde duvar numunesi deneye tabi tutulmuştur. Yapılan çalışmalarda 4 farklı perde duvar kesit tipi incelenmiştir. Kompozit perde duvarların tamamının uç bölgesinde H kesitli

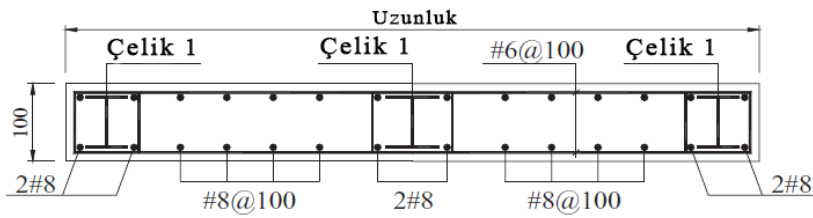
profiller kullanılmıştır. Bazı kesitlerde uç bölgesine ilaveten gövde de H kesitli profiller kullanılmıştır (Şekil 2.7.). Perde duvar numunelerinde temel değişkenlerden biri de en/boy oranlarının farklılık göstermesidir. Çalışmanın sonucunda kompozit perde duvarlarda yükseklik/genişlik oranının perde duvarın göçme şeklini etkilediği ve aksel yük düzeyinin azaltılarak perde duvar sünekliğinin artırılabilceği ifade edilmiştir. Uç bölgelerle birlikte perde gövdelerine de yerleştirilen H kesitli profillerin enerji tüketimi açısından olumlu yönde katkı sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. H kesitli çelik profiller birçok çalışmada olduğu gibi perde uç bölgesinin en dış kesitinde konumlandırılmamış olup hasar öncesi oluşacak gerilmeler en dış lifte bulunan klasik nervürlü donatılarca karşılanmıştır.



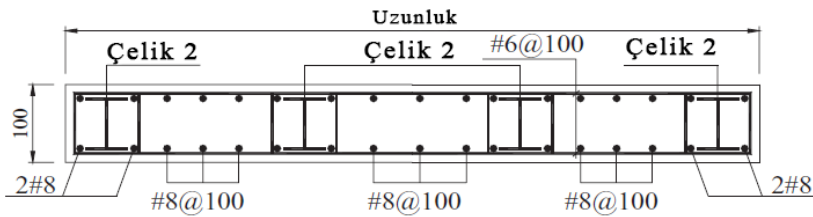
Kesit-1



Kesit-2



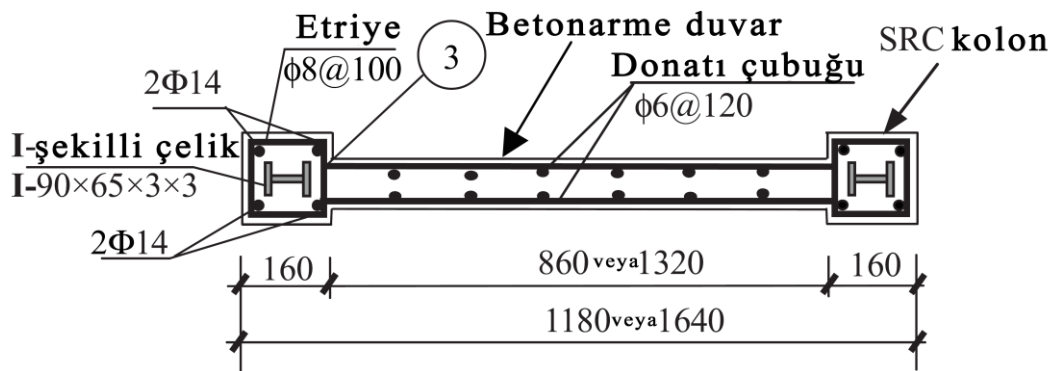
Kesit-3



Kesit-4

Şekil 2.7. Numune enkesitleri [10]

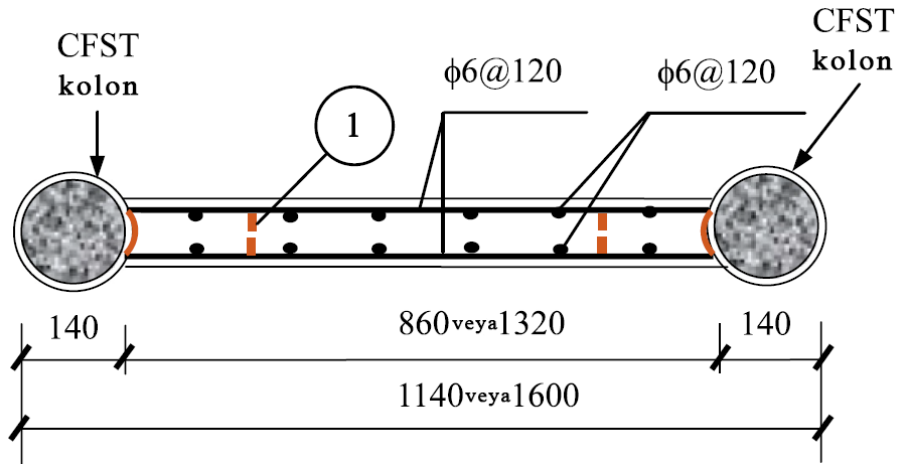
Liao ve ark. [11] yaptıkları çalışmada; 1/3 ölçekli, 6 adet, uç kolonları çelik profillerden oluşan kompozit perde duvarlar ile geleneksel betonarme perde duvarın davranışlarını deformasyon, yatay yük, maksimum yük kapasiteleri bakımından incelemiştir (Şekil 2.8.). Oluşturulan numunelerde yükseklik/genişlik oranı, aksenal yük seviyesi, uç bölge kolonlarının oluşturulma şekilleri (klasik betonarme veya kompozit) değişiklik göstermektedir. Bunların yanında çalışmada kompozit perde duvarların yatay yükler altındaki davranışını araştırmak ve deneysel verileri doğrulamak için sonlu elemanlar modeli de oluşturulmuştur. Sonlu elemanlarla elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla örtüşmüştür. Deneysel çalışmalar sonucunda perde duvarların yükseklik/genişlik oranı düştükçe veya taşıdıkları aksenal yük seviyesi arttıkça elemanların yanal yük kapasitelerinin arttığını belirtmişlerdir. Kompozit perde duvarlar klasik perde duvarlara oranla daha sünek davranış göstermişlerdir. Maksimum yük seviyesinde oluşan devirme momentinin çoğunun kompozit perde duvarların uç bölgeleri tarafından ve kesme kuvvetinin büyük bir kısmının ise perde duvar gövdesi tarafından karşılandığını belirtmişlerdir. Aynı zamanda perde duvar uç bölgelerindeki I kesitli çelik elemanlar da kesme kuvvetine katkı sağlamışlardır. Elemanlarda yükseklik/genişlik oranı arttıkça kesme göçmesi tipinden kesmeli eğilme göçmesine doğru bir geçiş görülmüştür. Perde duvarda oluşacak moment altındaki dönmelerde öncelikle uç bölgelerde konumlandırılan profiller yerine benzer çalışmalardaki gibi nervürlü donatılar görev almıştır.



Şekil 2.8. Numune enkesiti [11]

Liao ve ark. [12] yürüttükleri çalışmada; beton dolgulu çelik tüp kesitlerden oluşturulan kolonların betonarme perde duvarlarla beraber çalıştığı yapı sistemlerini

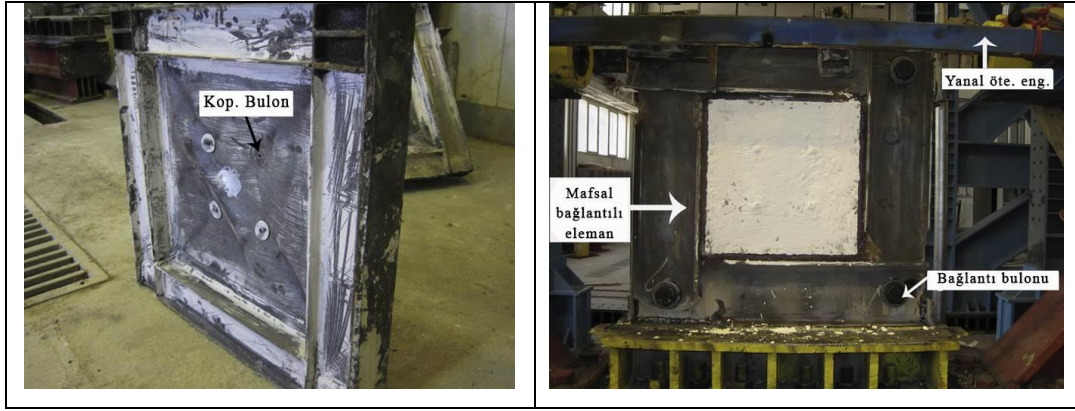
deneysel olarak incelemiştir (Şekil 2.9.). Çalışma kapsamında 4 farklı deney numunesi sabit aksenal yük altında çevrimsel yanal yüklere maruz bırakılmıştır. İncelenen deney numuneleri; yükseklik/genişlik oranı ve aksenal yük seviyelerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Araştırmacılar söz konusu parametrelerin dayanıma, sünekliğe, rijitliğe ve enerji tüketimine katkılarını araştırmışlardır. Deneyler sonucunda tüm numunelerde kesme davranışının baskın olduğu göçme davranışı ortaya çıkmıştır. Aksenal yük seviyesinin artışının ve yükseklik/genişlik oranının düşmesinin numunelerin süneklik ve enerji tüketim kapasitelerinde düşüşe neden olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada kullanılan tüp kesitlerin eğilme altındaki davranışlarında çelik elemanlardan yüksek oranda faydalanılmış, perde duvar uç kolonları betonla doldurularak çelik kesitlerin içe doğru burkulması engellenmiştir. Ancak yerleştirilen beton dolgu, perde duvardaki çelik elemanların dışa doğru burkulmasına engel olamayacaktır.



Şekil 2.9. Numune enkesiti [12]

Arabzadeh ve ark. [13] yaptıkları çalışmada; mafsallı ve rijit bağlantılı 1/3 ve 1/4 ölçekli üretilen 1 ve 3 katlı, kolon ve kirişleri I profilden oluşturulmuş kompozit perde duvarları çevrimsel ve artımsal yatay yükler altında test etmişlerdir (Şekil 2.10.). Deneyler sonucunda numunelerin akma ve kopma deplasmanları, yük-deplasman eğrileri, toplam enerji tüketme kapasiteleri belirlenmiştir. Deneylerde incelenen temel parametreler; betonarme panellerin etrafındaki boşluklar, donatı yönleri, civata sayıları, numunenin uzunluk/genişlik oranı ve çelik panelin kalınlıklarıdır. Çalışmanın sonucunda civata sayısının artışı ile kompozit perde

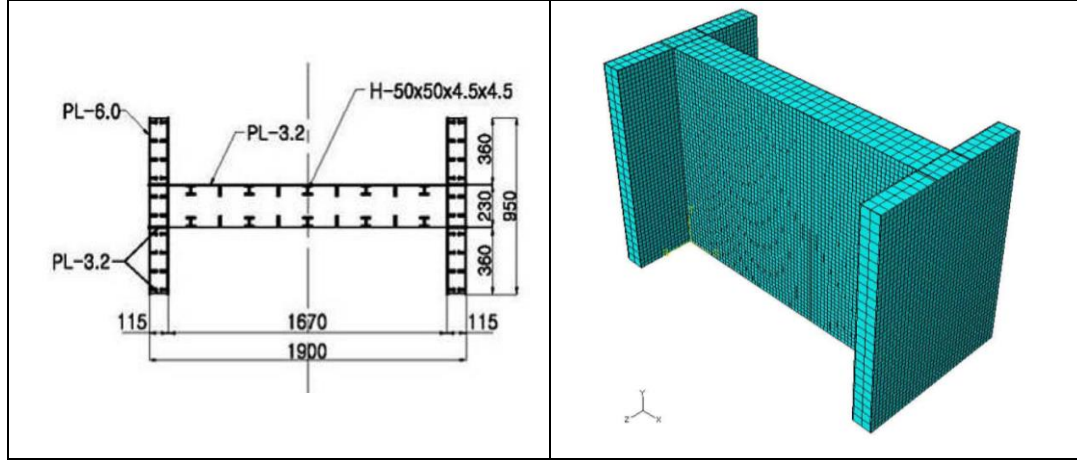
duvardaki burkulma yükünün daha hızlı arttığını gözlemlemişlerdir. Betonarme panellerin duvarın her iki yüzünde kullanılmasının enerji sönümüne önemli katkı sağlarken sünekliğini azalttığını belirtmişlerdir. Ayrıca çelik panelde kullanılan cıvatalar arasındaki mesafenin azalmasının kapasiteyi arttırdığını fakat sistemin sünekliğini düşürdüğüne yönelik görüşleri paylaşmışlardır. Çok katlı yapılarda kesme kuvvetlerinden kaynaklanan eğilme etkisinin zemin kat kompozit perde duvar kolonlarının akmasına veya burkulmasına sebep olabileceğini ifade etmişlerdir. Önerilen çalışmada perde gövdesindeki burkulmalar betonarme panelle önlenmiş ancak perde uç bölgelerinde oluşabilecek lokal burkulmalara karşı kesitte sargı etkisi oluşturabilecek bir uygulama yapılmamıştır.



Şekil 2.10. Numune görünüşleri [13]

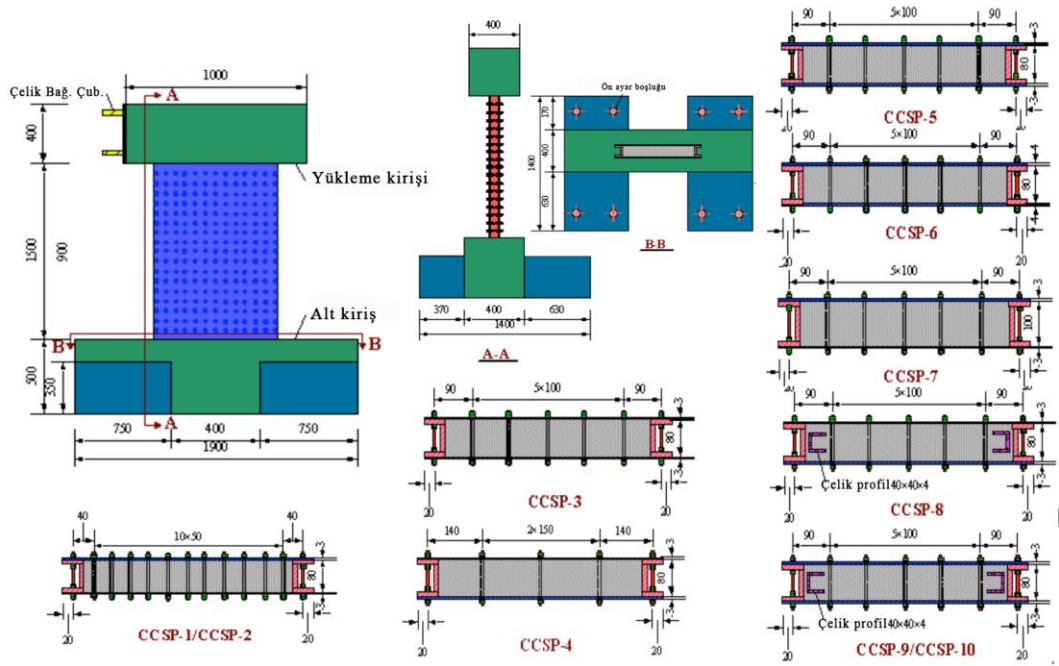
Ali ve ark. [14] gerçekleştirdikleri çalışmada; I şekilli kompozit perde duvarın nümerik analizlerini 3 boyutlu sonlu elemanlar programı olan Abaqus programında gerçekleştirmişlerdir (Şekil 2.11.). Bu kapsamda; farklı kalınlıktaki çelik plakalarla oluşturulan elemanların nümerik analiz sonuçlarını, deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Nümerik sonuçlar ile deneysel çalışmaların uyumlu olduğunu göstermişlerdir. Ancak nümerik çalışmalardan elde edilen yük-deplasman eğrisinin 0,0 koordinatlarına yakın kısımlarındaki daralma etkisinin (pinching effect) gözlemlenmediğini ifade etmişlerdir. Yapılan analizler sonucunda beton yüzeylere kaplanan çelik plaka kalınlığının artışının elemanların deformasyon kapasitelerinde de artışa sebep olduğunu gözlemlemişlerdir. I şekilli perde duvarda plaka kullanımının başlıklar yerine gövde bölgesinde kullanılmasının daha az maliyetli olacağını belirtmişlerdir. Söz konusu çalışmada, çelik plakaların perde

duvar başlık bölgelerinde kullanılması çekme kapasitelerinden verimli olarak faydalanılmasına sebep olacaktır ancak burkulma problemine sebebiyet verebilecektir.

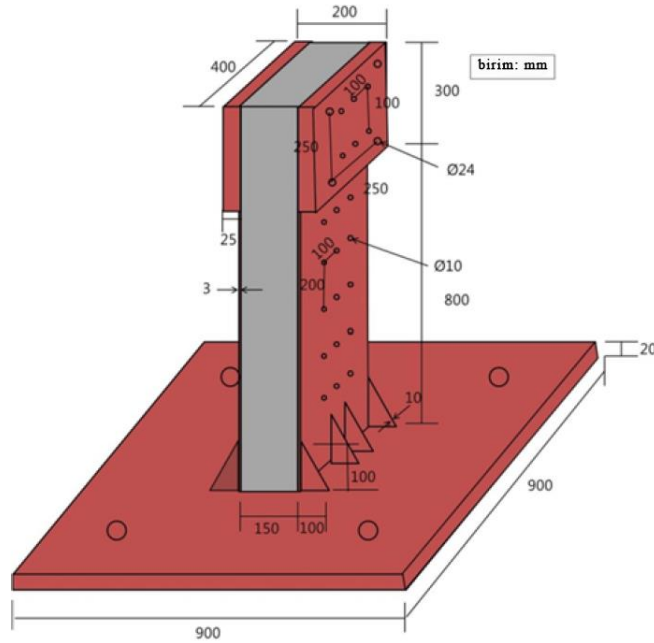


Şekil 2.11. Numune enkesiti ve sonlu elemanlar modeli [14]

Cheng ve Zhou [15] yaptıkları çalışmada; çelik plakalar arasına beton dolgu yapılarak oluşturulan 10 farklı kompozit perde duvarın dayanımını deneysel olarak incelemiştir (Şekil 2.12.). Numuneler $0,3-0,4.N_0$ oranlarında aksel yükler altında çevrimsel yatay yüklere maruz bırakılmıştır. Farklı aralıklarda yerleştirilen bağlantı elemanlarıyla birlikte gömülü çelik elemanlar da kullanılarak değişik konfigürasyonlarda numuneler elde etmişlerdir. Çalışma sonucunda bağlantı çubuklarıyla tasarlanan kompozit perde duvarların; süneklik, taşıma kapasitesi, enerji sönümü ve yanal rijitlik açısından iyi performans sergilediklerini tespit etmişlerdir. Bağlantı çubuklarının sıklığını arttırdıkça süneklik ve kesme kapasitelerinde de artış gözlemlenmiştir. Perde duvar gövdesinde kullanılan çelik plaka kalınlığı ile beton hacminin artışının ve uç bölgelere çelik elemanların konumlandırılmasının duvarın taşıma ve süneklik kapasitesinde artışa sebep olduğunu belirtmişlerdir. Yürütülen çalışmada kullanılan perde duvarların uç bölgelerine yerleştirilen U kesitli yapısal çelik elemanların, betonla aderansını sağlayacak bir bağlantının olmadığı görülmüştür.



Şekil 2.12. Numune enkesitleri ve boy kesitleri [15]

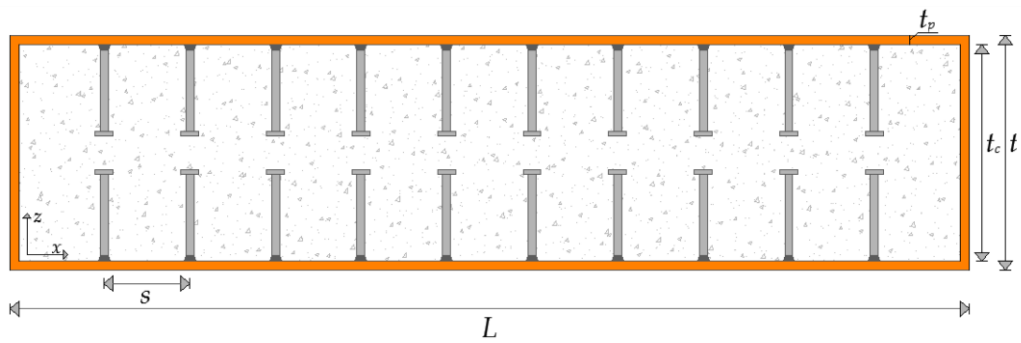


Şekil 2.13. Numune detay görünüşleri [16]

Cho ve ark. [16] yürüttükleri çalışmada; çelik plakalı perde duvar (Şekil 2.13.) sisteminin yanal yükler altındaki davranışını nümerik analizlerle belirlemişlerdir. Nümerik analiz sonuçlarıyla deneysel çalışmalardan elde edilen verileri karşılaştırmışlardır. Sonlu elemanlar analizleriyle elemanların burkulma şekillerinin ve göçme tiplerinin doğru bir şekilde tespit edilebileceğini belirtmişlerdir. Elde

edilen yük deplasman eğrisinin küçük deplasman seviyelerinde deneysel çalışmalarla uyumlu olduğunu ancak ileri deplasman seviyelerine ulaştıkça uyumun azaldığını göstermişlerdir. Bu problemin aşılabilmesi için beton ile kayma kamaları arasındaki aderansın ve berkitme kaynaklarının daha detaylı tanımlanması gerektiğini öngörmüşlerdir.

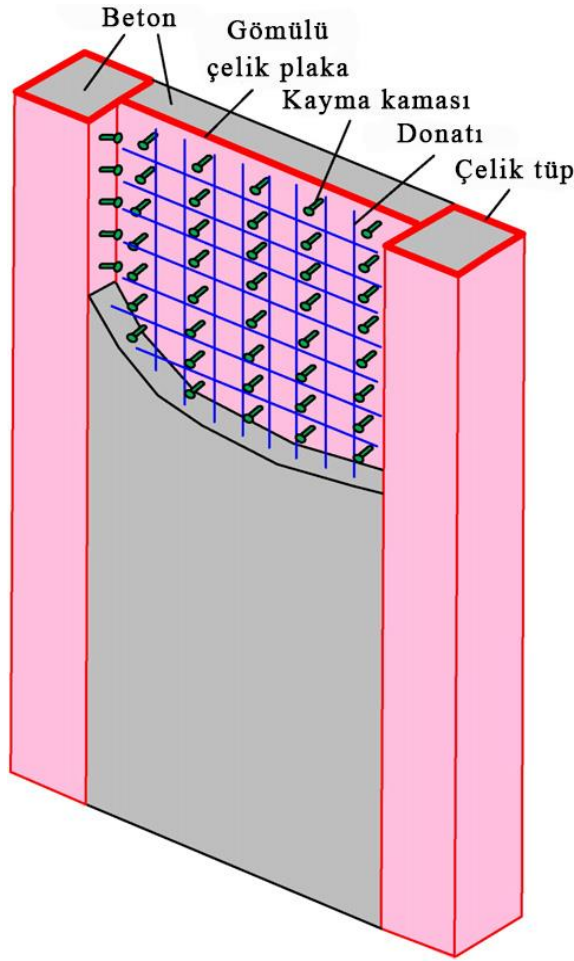
Elmatzoglou ve Avdelas [17] yaptıkları çalışmada; kompozit perde duvarlardaki kayma kamasının davranışına odaklanarak çelik plakalı kompozit perde duvarlar (Şekil 2.14.) için ANSYS programında 3 boyutlu sonlu elemanlar modeli oluşturmuşlardır. Yazarlar, ilgili çalışmada yer alan modelin literatürde yer alan diğer modellerden farkının, çelik plakalı kompozit perde duvar davranışlarını yüksek doğrulukla kısa sürede tahmin edebilme yeteneği olduğunu vurgulamışlardır. Çalışma kapsamında oluşturulan modelleri deneysel çalışmalarla doğrulamışlardır. Perde duvar dolgu betonu ile çelik plakalar arasındaki bağlantı elemanlarının modellenme şeklinin maksimum yük sonrasındaki yapı davranışına önemli derecede katkıda bulunduğunu belirtmişlerdir. Söz konusu kayma kamalarının birisinin davranışını sonlu elemanlar modelinde iki (2) adet lineer olmayan yay kullanarak ve bunlara yük-kayma eğrileri atayarak modellemişlerdir. Sonuç olarak perde duvarın kayma ve yanal dayanımlarının; donatı oranına ve kesitin en boy oranlarına bağlı olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 2.14. Modellenen numune enkesiti [17]

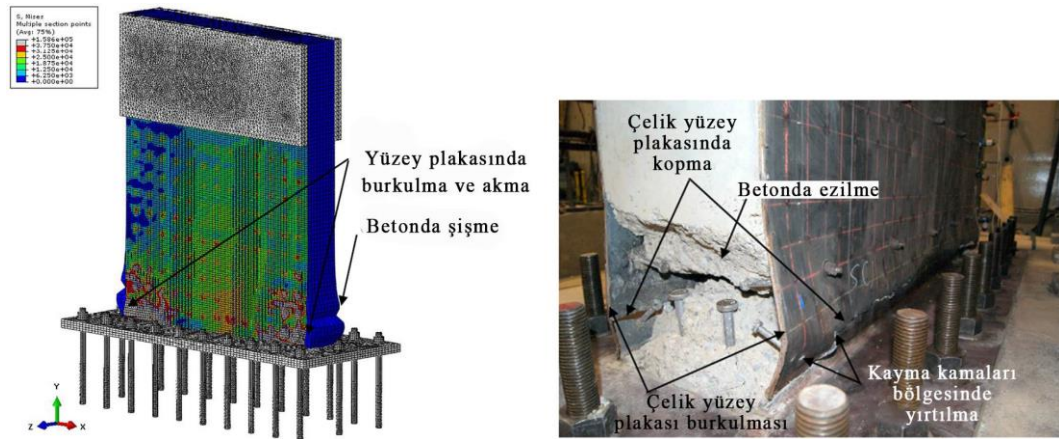
Hu ve ark. [18] gerçekleştirdikleri çalışmada; CFST-SPRC (Concrete-filled steel tube-enhanced steel plate-reinforced concrete) tipi kompozit perde duvarın sismik davranışını aksenal ve yanal yükler altında deneysel olarak incelemişlerdir (Şekil

2.15.). Testini gerçekleştirdikleri 3 deney numunesinde farklı kalınlıklara sahip çelik plakalar kullanmışlardır. Tüm numunelerde göçme, öncelikle gövde betonunda çatlama ile başlayıp ardından çelik tüp kesitlerin burkulmasından sonra tüp kesitlerin köşe kaynaklarından dikey olarak yırtılması şeklinde gelişmiştir. Deney elemanlarında lokal burkulmalar oluşana kadar yaklaşık olarak maksimum yük kapasitesine ulaşıldığını belirtmişlerdir. Yapıda oluşan toplam deplasmanın %60'ının eğilme, %20'sinin kayma, geriye kalan kısmının ise dönme kaynaklı olarak geliştiğini tespit etmişlerdir. Duvarda oluşan plastik mafsallığın yaklaşık olarak duvarın uzunluğuna eşit olduğunu ifade etmişlerdir. Yürütülen çalışmada perde duvar gövdesinde kayma kamaları kullanılmasına rağmen perde duvar uç bölgelerinde beton dolgulu kesitlerde kayma kamalarına yer verilmediği için aderans kaybının oluşabileceği düşünülmektedir.



Şekil 2.15. Numune görünümü [18]

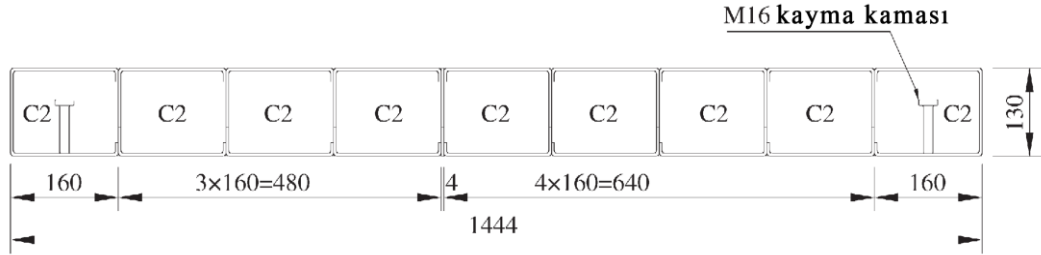
Nguyen ve Whittaker [19] yürüttükleri çalışmada; çelik plakalı beton dolgu kompozit perde duvarların ABAQUS sonlu elemanlar programı ile modellenmesini incelemişlerdir. Tasarım parametrelerinden donatı oranını, bağlantı elemanı tipini ve yüzey plakası narinliğini analizde temel değişkenler olarak ele almışlardır. Çalışma sonucunda deneysel çalışmalardan ölçülen verilerle uyumlu bir modelin, nümerik olarak ABAQUS sonlu elemanlar programıyla modellenebileceğini tespit etmişlerdir (Şekil 2.16.). Çelik yüzey plakasının; donatı oranına, yüzey plakası narinliğine, kat deplasmanına ve hasar oranına bağlı olarak %20 ile %70 arasında kayma direncine katkı sağladığını belirtmişlerdir. Yüzey plakası kalınlığının artırılmasıyla elde edilecek 32'den daha küçük narinlik oranlarının maksimum taban kesme kuvvetini çok etkilenmediğini fakat daha büyük narinlik oranı değerlerinin taban kesme kuvvetlerinde az bir oranda azalmaya neden olabileceğini belirtmişlerdir. Bunlarla birlikte narinlik oranının artışının başlangıç rijitliği üzerinde anlamlı bir etkisinin olmayacağını da belirtmişlerdir.



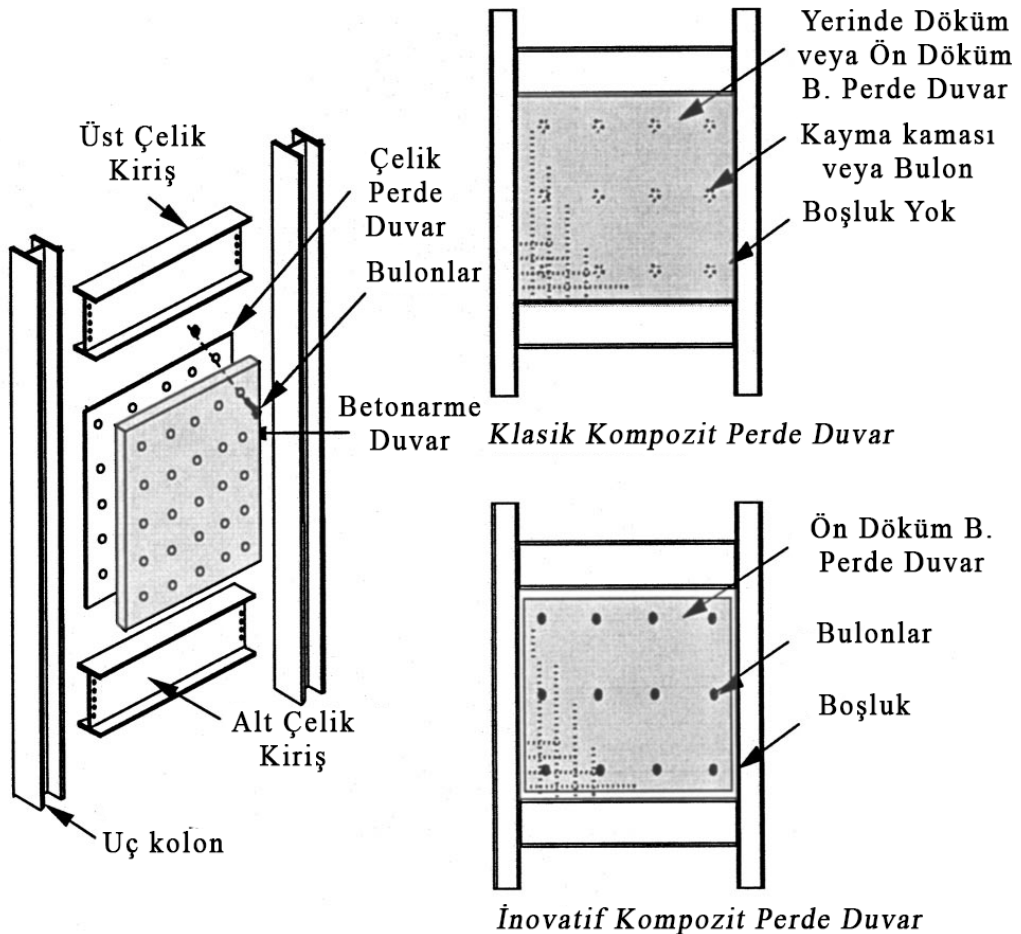
Şekil 2.16. Sonlu elemanlar modeli ve deney sonu görünümü [19]

Zhang ve ark. [20] yaptıkları çalışmada; C kesitli çelik levhaları birbirlerine kaynaklayarak ve içlerine beton yerleştirerek kompozit perde duvar elde etmişlerdir (Şekil 2.17.). Elde edilen numunelere aksenal yükler altında çevrimsel yanal yükler uygulamışlardır. Deney elemanları arasındaki farklılıkların belirlenmesinde; duvar konfigürasyonunu, etkililen aksenal yük oranını, kayma kamasının kullanım durumunu ve yükleme protokolü tipini göz önünde bulundurmuşlardır. Çalışmanın sonucunda aksenal yük seviyesinin artmasının histeretik performansı arttırdığını, dayanım ve rijitlik düşüşünü hızlandırdığını ifade etmişlerdir. Bununla birlikte

maksimum ve akma dayanımlarını önemli derecede etkilemediğini belirtmişlerdir. Kayma kaması kullanımının kırılma ve göçmeyi geciktirdiğini tespit etmişlerdir. Fakat perde duvar uç bölgesinde kayma kamasının perde duvarın uzun doğrultusuna dik yerleştirilmesi, perde duvarda en çok kaymanın beklendiği en dış kesitte, çelik ve betonun beraber çalışmasına daha az katkı sağlayacaktır.



Şekil 2.17. Numune enkesiti [20]

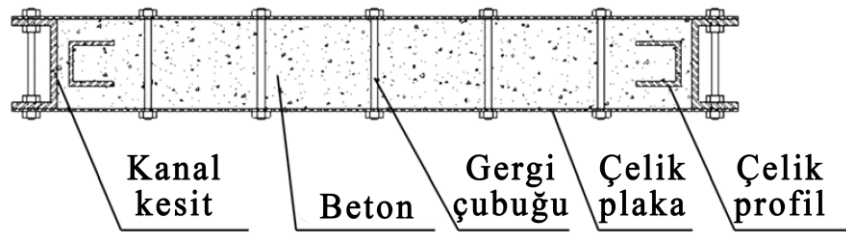


Not: Çelik perde duvar, kolonlarda ve kirişlerdeki uç plakalara köşe kaynakla bağlanmıştır.

Şekil 2.18. Numune görünüşleri [21]

Zhao ve Astaneh-Asl [21] gerçekleştirdikleri çalışmada; tasarlamış oldukları çelik plakalı perde duvarın bir tarafına küçük boyutlu betonarme panelleri cıvatayla sabitleyerek kompozit bir perde duvar elde etmişlerdir. Test edilen 1/2 ölçekli 2 numune yüksek sünek davranış ve akma sonrası stabil çevrimsel performans göstermiştir. Çelik plakalı perde duvar ile betonarme paneller cıvatalar yardımıyla beraber çalıştırılarak plakaların toplu burkulması engellenmeye çalışılmıştır (Şekil 2.18.). Tasarlanan inovatif kompozit perde duvar geleneksel olarak tasarlanan kompozit perde duvar numunesinden daha fazla sünek davranış sergilemiştir. Yazarlar çalışmalarında inovatif kompozit perde duvardaki betonarme duvarın toplam kesme dayanımına katkısının %20'nin altında kaldığını belirtmişlerdir.

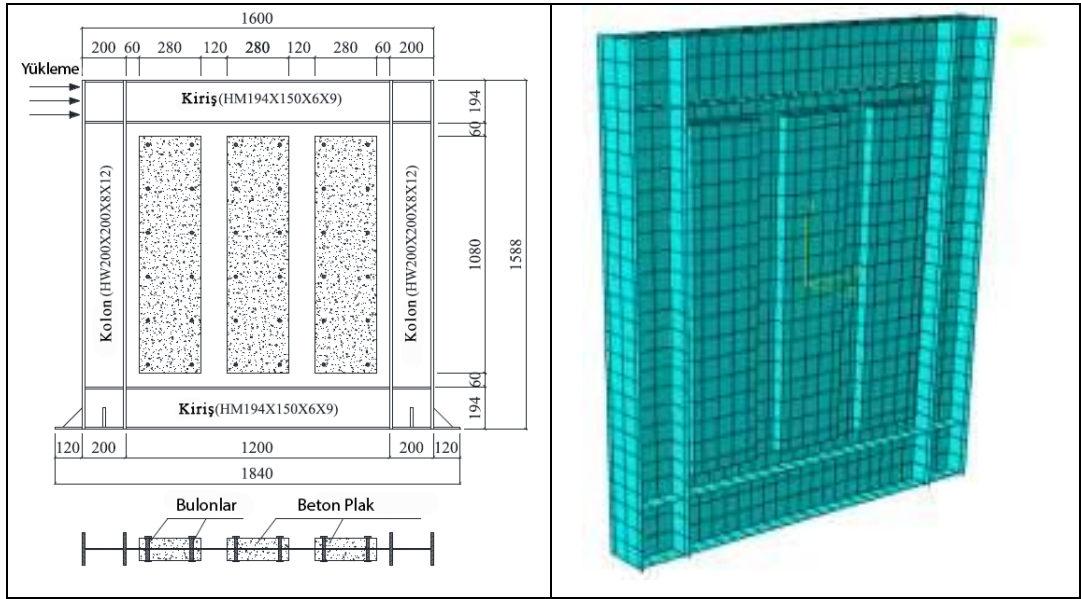
Zhou ve ark. [22] yaptıkları çalışmada; beton dolgulu, çift tarafı çelik plakalı kompozit perde duvarların sismik davranışlarını tahmin etmek için ABAQUS programı kullanarak sonlu eleman modelleri oluşturmuşlardır. Yanal yük kapasiteleri açısından sonlu elemanlar modeliyle elde edilen sonuçlarla deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar kabul edilebilir oranda uyumluluk göstermiştir. Çalışmalar kapsamında; incelenen perde duvarların (Şekil 2.19.) yanal yük kapasitesinin bulunmasına yönelik basit çözüm yöntemleri sunmuşlardır. Çelik plakaların kesme dayanımı kapasitelerini tayin etmek geliştirdikleri metottan çıkan verilerle, testlerden ve sonlu eleman modelinden elde edilen veriler iyi derecede örtüşmüştür.



Şekil 2.19. Numune enkesiti [22]

Han ve ark. [23] yürüttükleri çalışmada; çelik plakalı perde duvarın gövde kısmına düşey dilimler halinde beton paneller eklemişlerdir (Şekil 2.20.). Oluşturulan kompozit perde duvarların çevrimsel yükler altındaki davranışlarını ABAQUS programını kullanarak incelemişlerdir. Sonlu elemanlar modelini doğrulamak için nümerik sonuçlarla deneysel sonuçları karşılaştırmışlardır. Karşılaştırmalar

sonucunda; sonlu elemanlar analizinden elde edilen sonuçların deneysel sonuçlarla uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. Yürütülen çalışmayla paneller arası boşluk miktarı ile civata aralığının çelik plaka kalınlığına oranının kompozit perde duvara etkilerini nümerik olarak incelemişlerdir. Civata aralığının çelik plaka kalınlığına oranının sırasıyla 100 ve 125 olması durumunda betonarme paneller arası boşluğun sırasıyla 48 ve 72 mm'den az olması gerektiğini vurgulamışlardır.



Şekil 2.20. Numune enkesiti ve sonlu elemanlar modeli [23]

Yapılan literatür çalışmasından da açıkça görüldüğü gibi kompozit perde duvarlar yoğunlukla hazır çelik profillerin perde duvar uç bölgelerinde farklı kullanımları şeklinde oluşturulmuştur. Tez çalışmasında literatürde yer alan çalışmalardan farklı olarak önerilen kompozit perde duvar modeli ile önceki çalışmalarda görülen olumsuzluklar giderilmeye çalışılmıştır. Önerilen kompozit perde duvar kesitlerinin uç bölgelerine yerleştirilen L kesitli bükme sac elemanlar, gömülü H ve I kesitli çelik elemanların aksine perde duvar-çelik kiriş birleşimlerinde kullanılabilir ve ankraj bulonlarının perde uç bölgesine yeterli derinlikte yerleştirilmesine imkân sağlayacaktır. Kesitler gömülü olarak tasarlanmaları sebebiyle korozyon ve yangın dayanımı için herhangi bir özel önlem ihtiyacı gerektirmeyecektir. Bununla birlikte oluşturulan numunelerden bazılarında soğuk şekillendirilmiş sac levhaların kesitte oluşabilecek moment maksimum noktalarına yakın konumlandırılmasıyla çelik elemanların eğilme kapasitelerinden daha fazla yararlanılması söz konusu olacaktır.

Çalışmada, perde uç bölgesinde 150 mm aralıklarla yerleştirilen etriyelerin bükme sac elemanlara noktasal kaynakla bağlanmasıyla beton ile bükme sac eleman arasındaki oluşabilecek sıyrılma riski azaltılmıştır. Perde uç bölgesi ile perde gövdesi arasında oluşacak kayma hareketi, herhangi bir kayma kaması kullanılmaksızın perde gövdesinden gelen yatay donatılar ve etriyelerle sınırlandırılmıştır. Ayrıca bükme sac elemanların L şekilli olmasından faydalanılarak L tipi perde duvarların birleşim bölgelerinde kullanılmasının uygulama kolaylığı sağlayacağı düşünülmüştür.

BÖLÜM 3. MALZEME DENEYLERİ

Deneysel çalışma sürecinde ülkemizdeki betonarme perde duvar boyutları göz önünde bulundurularak oluşturulan referans numune ile uç bölgeleri farklı kesitli soğuk şekillendirilmiş çelik saclardan oluşturulmuş kompozit perde duvar numuneleri 1/3 ölçekli olarak imal edilmiştir.

Deney numunelerinin hazırlanması safhasında kullanılacak olan betonlardan örnekler alınarak basınç deneyleri yapılmış ve karakteristik beton basınç dayanımları belirlenmiştir. Kullanılacak olan donatı çeliklerinin ise çekme deneyleri yapılarak karakteristik özellikleri elde edilmiştir. Oluşturulan kompozit ve betonarme perde duvarlarda kullanılan beton sınıfı basınç deneyleri sonucunda ≈ 25 MPa olarak tespit edilmiştir (Tablo 3.1.).

Tablo 3.1. Kompozit ve betonarme perde duvarlarda kullanılan beton numunelerinin basınç dayanımları

Numune Numarası	Kuvvet (ton-f)	Küp Numuneler		
		Küp Basınç Dayanımı (MPa)	Silindir Basınç Dayanımı (MPa)	Ortalama Silindir Basınç Dayanım (MPa)
		f_c	$0,8 \times f_c$	
1 _{Küp}	67,5	29,4	23,5	24,6
2 _{Küp}	71,0	31,0	24,8	
3 _{Küp}	73,0	31,8	25,4	

Perde duvar gövde ve uç bölgelerinde kullanılan donatı çeliklerinin ortalama akma dayanımları $\phi 8$, $\phi 10$, $\phi 12$ 'lik donatı çapları için sırasıyla 426, 463, 481 MPa olarak tespit edilmiştir. Test numunelerinin test öncesi ve sonrası görüntüleri Şekil 3.1. ve Şekil 3.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Test öncesi çekme numuneleri



Şekil 3.2. Test sonrası çekme numuneleri

Numunelerin oluşturulmasında kullanılan bükme sac elemanların ortalama akma dayanımları sac levhalar için 270,7 MPa olarak elde edilmiştir. Deney sonuçları Tablo 3.2.'de detaylı olarak sunulmuştur.

Tablo 3.2. Malzeme dayanımları

Numune Bilgisi (Donatı Çapı, Sac Kalınlığı)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması
φ8	426,0	540,3	0,11
φ10	463,0	565,3	0,10
φ12	481,0	588,6	0,13
2-3 mm	270,7	351,2	0,26

Hasar görmüş kompozit perde duvarların onarılması ve güçlendirilmesi için oluşturulan mantoların beton sınıflarını tespit etmek amacıyla yapılan beton basınç testi sonuçları aşağıda sunulmuştur (Tablo 3.3., Tablo 3.4.).

Tablo 3.3. RCSW-1 numunesi için manto betonu basınç dayanımları

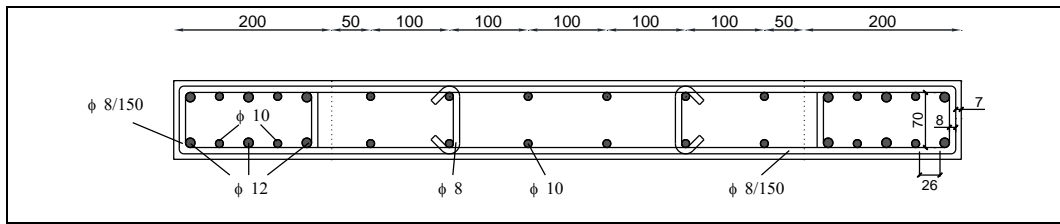
Küp numuneler				
Numune Numarası	Kuvvet (ton-f)	Küp basınç dayanımı (MPa)	Silindir basınç dayanımı (MPa)	Ortalama silindir basınç dayanımı (MPa)
		f_c	$0.8 \times f_c$	
1 _{Küp}	56,6	24,7	19,8	19,6
2 _{Küp}	56,9	24,8	19,8	
3 _{Küp}	55,1	24,0	19,2	

Tablo 3.4. RCSW-2 numunesi için manto betonu basınç dayanımları

Silindir numuneler				
Numune numarası	Kuvvet (ton-f)	Küp basınç dayanımı (MPa)	Silindir basınç dayanımı (MPa)	Ortalama silindir basınç dayanımı (MPa)
		f_c	$0.8 \times f_c$	
1 _{Sil}	43,0	29,9	23,9	25,2
2 _{Sil}	47,8	33,1	26,5	

BÖLÜM 4. DENEY NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI

Betonarme perde duvarların uç bölgelerine konumlandırılan, farklı geometrik özelliklere sahip soğuk şekillendirilmiş saclarla oluşturulan kompozit perde duvarlar ile geleneksel betonarme perde duvar numunelerinin tekrarlı yatay yükler etkisi altındaki davranışları deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Biri referans numune olmak üzere toplam 3 adet betonarme ve kompozit perde duvar 1/3 ölçekli olarak üretilmiş ve tekrarlı yükler altında deneyleri yapılmıştır. Referans deney numunesinin kesit özellikleri, literatürde yer alan bir çalışma [3] referans alınarak belirlenmiştir. Referans numune (SW)'nin eni 10 cm ve boyu 330 cm olarak boyutlandırılmıştır. Başlık bölgelerine $6\phi 12$ ve $4\phi 10$ düşey donatı yerleştirilmiştir. Gövde bölgesi ise $12\phi 10$ düşey donatıdan teşkil edilmiştir. Başlık bölgesine 15 cm aralıklarda etriyeler, gövde bölgesine de 15 cm aralıklarla $\phi 8$ 'lik yatay donatılar yerleştirilmiştir. Referans numune olarak üretilen betonarme perde duvar deney elemanının boyut ve donatı detayları Şekil 4.1.'de verilmiştir.

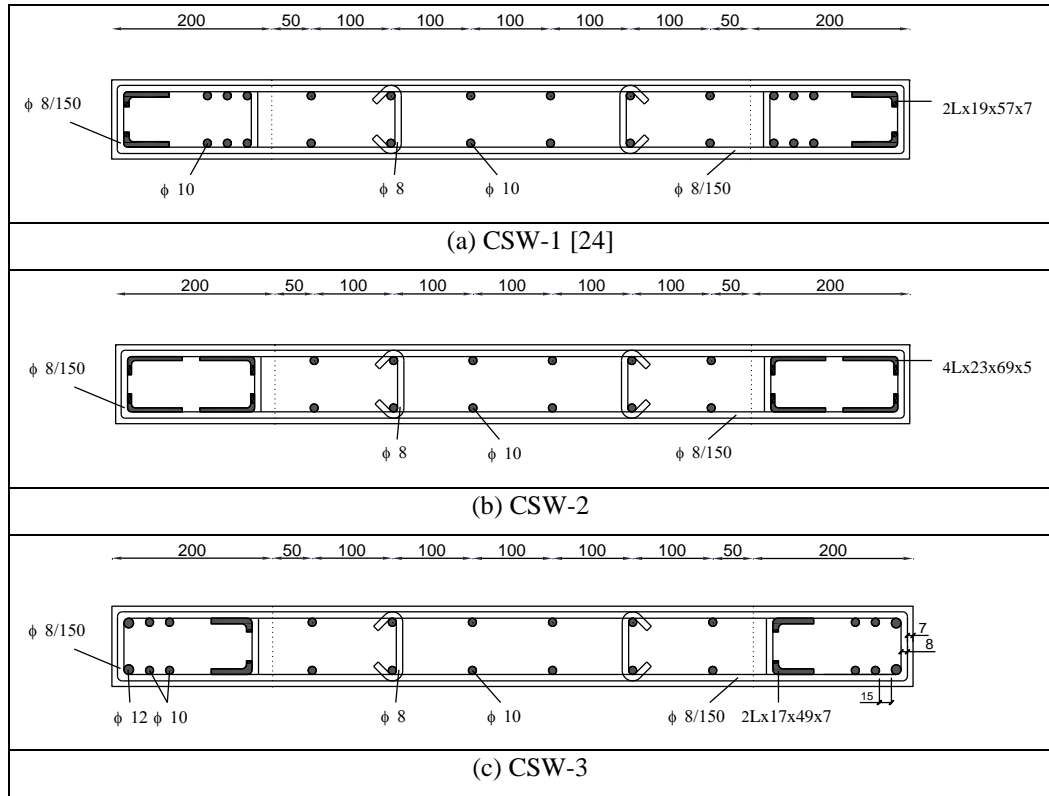


Şekil 4.1. Referans numune (SW)

Referans numunenin; malzeme, boyut ve donatı detayları sabit tutularak sadece uç bölgelerindeki donatı ve çelik sac konfigürasyonları değiştirilerek kompozit perde duvarlar elde edilmiştir. CSW-1 [24] numunesinde başlık donatılarının bir kısmı kaldırılarak aynı mukavemette bükme sactan elde edilmiş $L \times 19 \times 57 \times 7$ kesitli L şeklindeki yapısal çelik elemanlar her bir perde uç bölgesine 2'şer adet düşecek şekilde, kaldırılan düşey donatıların yerine yerleştirilmiştir. L kesitli yapısal çelik

elemanlar fabrikasyon olarak hazırlanmış ve Selçuk Üniversitesi Deprem Laboratuvarında montajlanmıştır. Deneylede kullanılmak üzere farklı çaplarda donatılar temin edilerek laboratuvara getirilmiştir. Deneyleler için gerekli olan beton ise deney elemanının donatıları hazırlandıktan sonra temin edilmiştir.

Kompozit betonarme perde duvar numunelerinin kesit özellikleri Şekil 4.2. (a)'da sunulmuştur. Bu donatı detaylandırması, literatürde [24] kullanılmış olup sağlıklı sonuçlar alınabildiğinden tercih edilmiştir. CSW-2 numunesinde referans numuneden farklı olarak uç bölgelerdeki tüm düşey donatılar kaldırılarak uç bölgenin her bir köşesine L kesitli 4 adet $L \times 23 \times 69 \times 5$ boyutlarında bükme saclar yerleştirilmiştir (Şekil 4.2. (b)). L kesitli bükme sacların kalınlığı ve boyutları, referans numunenin uç bölgelerindeki donatıların taşıyabileceği dayanıma denk gelecek şekilde belirlenmiştir. Gövde bölgesinde hiçbir değişiklik söz konusu olmamıştır. CSW-3 numunesi de CSW-1 numunesinin başlık kısımları aynalanarak oluşturulmuştur (Şekil 4.2. (c), Şekil 4.3.). Numunelerin geometrik özellikleri tablo halinde sunulmuştur (Tablo 4.1.).



Şekil 4.2. Kompozit perde duvar numuneleri

Tablo 4.1. Deney numunelerinin geometrik özellikleri

Numuneler	En (cm)	Boy (cm)	Başlık		Gövde		L kesitli çelik elemanlar
			Düşey donatı	Enine donatı	Düşey donatı	Enine donatı	
SW	10	100	6 ϕ 12+4 ϕ 10	ϕ 8/15	12 ϕ 10	ϕ 8/15	-
CSW-1 [24]	10	100	6 ϕ 10	ϕ 8/15	12 ϕ 10	ϕ 8/15	2L \times 19 \times 57 \times 7
CSW-2	10	100	-	ϕ 8/15	12 ϕ 10	ϕ 8/15	4L \times 23 \times 69 \times 5
CSW-3	10	100	2 ϕ 12+4 ϕ 10	ϕ 8/15	12 ϕ 10	ϕ 8/15	2L \times 17 \times 49 \times 7



(a) Kompozit perde duvar gövde donatısı yerleşimi

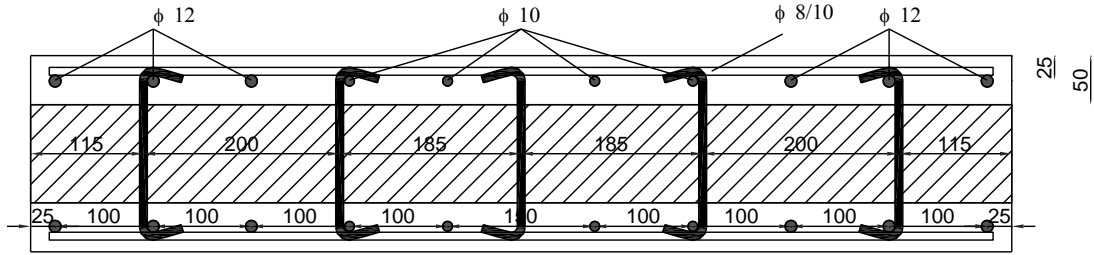


(b) Kompozit perde duvar temel donatısı yerleşimi

Şekil 4.3. CSW-3 numunesi donatı yerleşimi

Kompozit betonarme perde duvarlar ağır hasar seviyesine kadar tekrarlı yük etkisi altında test edilmişlerdir. Hasar gören CSW-1 ve CSW-2 numuneleri onarım mantosu ile onararak tekrar test edilmişlerdir. Onarım mantolarının kalınlıkları 5 cm olarak belirlenmiştir. Mantolama uygulamasında 2,5 cm paspayı bırakılmıştır. Mantolama için perde duvar temelinde 20 adet donatı ekimi için 42 cm derinliğinde delikler açılmıştır. Açılan deliklere, perde duvarın her bir yüzünde 4 ϕ 10 gövde donatısı ile 6 ϕ 12 uç bölge donatısı olacak şekilde toplamda 20 adet donatı epoksi yardımıyla ekilmiştir (Şekil 4.4.). Gövde betonu ile onarım mantosunun beraber

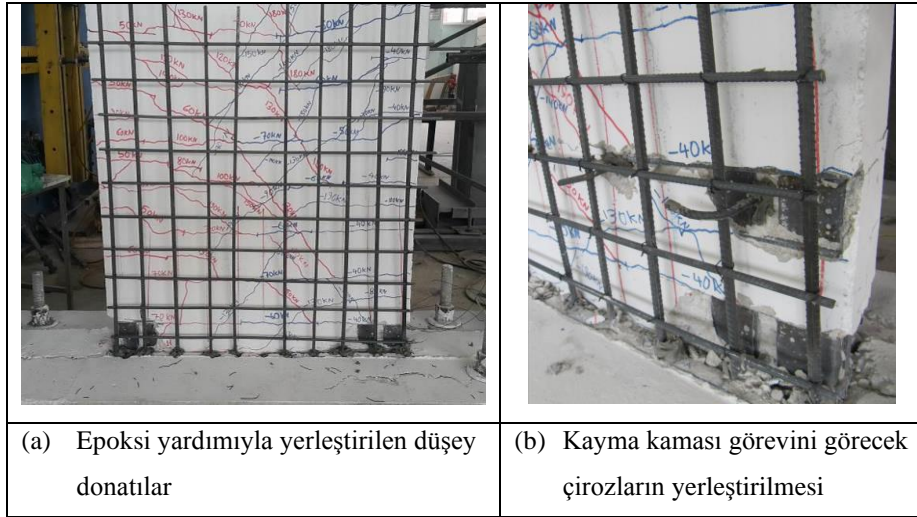
çalışması içinde yaklaşık 25 cm aralıklarla, her bir yükseklik seviyesinde 5 adet olmak üzere, 3 seviyede toplam 15 adet $\phi 8$ 'lik çiroz gövdede açılan deliklere yerleştirilmiştir (Şekil 4.5.). Çiroz yerleşimi için açılan deliklerin mevcut hasarlı perdenin gövde donatısına zarar vermemesi için deliklerin açılmasında donatısız bölgeler tercih edilmiştir. Onarım mantosunun yüksekliği yaklaşık olarak 100 cm olarak belirlenmiştir. Onarılan numunelerin geometrik özellikleri de tablo halinde sunulmuştur (Tablo 4.2.).



Şekil 4.4. Onarılmış kompozit perde duvar numunelerinin enkesitleri (RCSW-1, RCSW-2)

Tablo 4.2. Onarılan numunelerin geometrik özellikleri

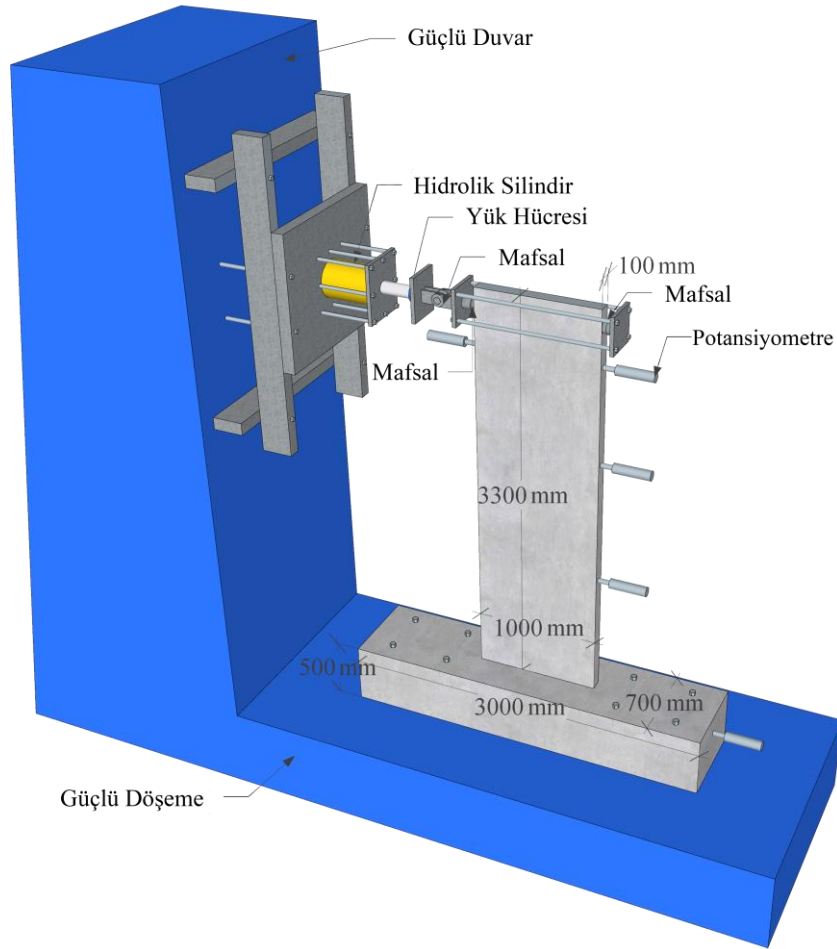
	En (cm)	Boy (cm)	Başlık		Gövde		L kesitli çelik elemanlar
			Düşey donatı	Enine donatı	Düşey donatı	Enine donatı	
RCSW-1	20	100	6 $\phi 12$	$\phi 8/10$	8 $\phi 10$	$\phi 8/10$	-
RCSW-2	20	100	6 $\phi 12$	$\phi 8/10$	8 $\phi 10$	$\phi 8/10$	-



Şekil 4.5. RCSW-2 numunesi onarım mantosu donatılandırma aşamaları

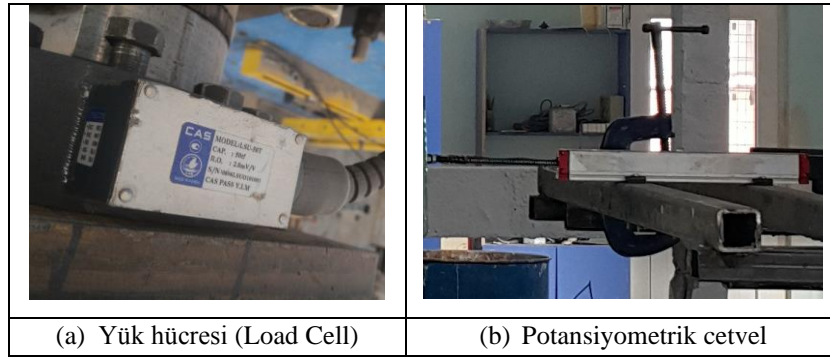
BÖLÜM 5. DENEYLERİN YAPILMASI

1 adet konvansiyonel betonarme ve 2 adet kompozit olmak üzere toplam 3 adet 1/3 ölçeğinde üretilen perde duvar numunesi Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem Laboratuvarında çevrimsel yükler altında test edilmiştir. Yere yatay şekilde üretilen perde duvarlar kalıptan çıkarılarak dikey konuma getirilmiş ve vinç yardımıyla Şekil 5.1.'de çizimi verilen yükleme düzeneğine yerleştirilmiştir.



Şekil 5.1. Deneş yüklemes düzeneği

Numuneler yükleme düzeneğine yerleştirildikten sonra çatlak ilerlemelerini daha iyi takip etmek amacıyla beyaz boya ile tamamen boyanmıştır. Deney elemanlarına laboratuvarında mevcut bulunan 500 kN kapasiteli ve hidrolik kontrol ünitesine bağlı hidrolik yük veren tarafından yatay yük uygulanarak, önce kuvvet kontrollü daha sonra (akma sonrası) deplasman kontrollü yükleme protokolleri uygulanarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney esnasında uygulanan yük, yük hücresinden alınan verilerle takip edilmiştir (Şekil 5.2. (a)).



Şekil 5.2. Deney ekipmanından örnekler

Düşey yerdeğiştirme ölçümleri 1, 2 ve 3 m yüksekliklerden numune üzerine yerleştirilen potansiyometrik cetveller yardımıyla ölçülmüştür (Şekil 5.2. (b)). Temelde oluşabilecek kayma durumuna karşın temel altından 35 cm yüksekliğe yerleştirilen 1 adet potansiyometrik cetvelden ölçümler alınarak temelde kayma deplasmanı takip edilmiştir. Deney sırasında toplam 5 adet potansiyometrik cetvelden ve yük hücresinden gelen veriler TDG-Ai8b veri toplayıcı ile toplanmıştır. Toplanan veriler TDG aygıt geçidi yardımıyla bilgisayar ortamına taşınmıştır. Taşınan veriler TDG Coda yazılımı ile sayısallaştırılmıştır. Sayısallaştırılan tüm veriler Microsoft Excel programı yardımıyla gerekli veri analizlerine tabi tutularak anlamlı sonuçlar haline getirilmiştir.

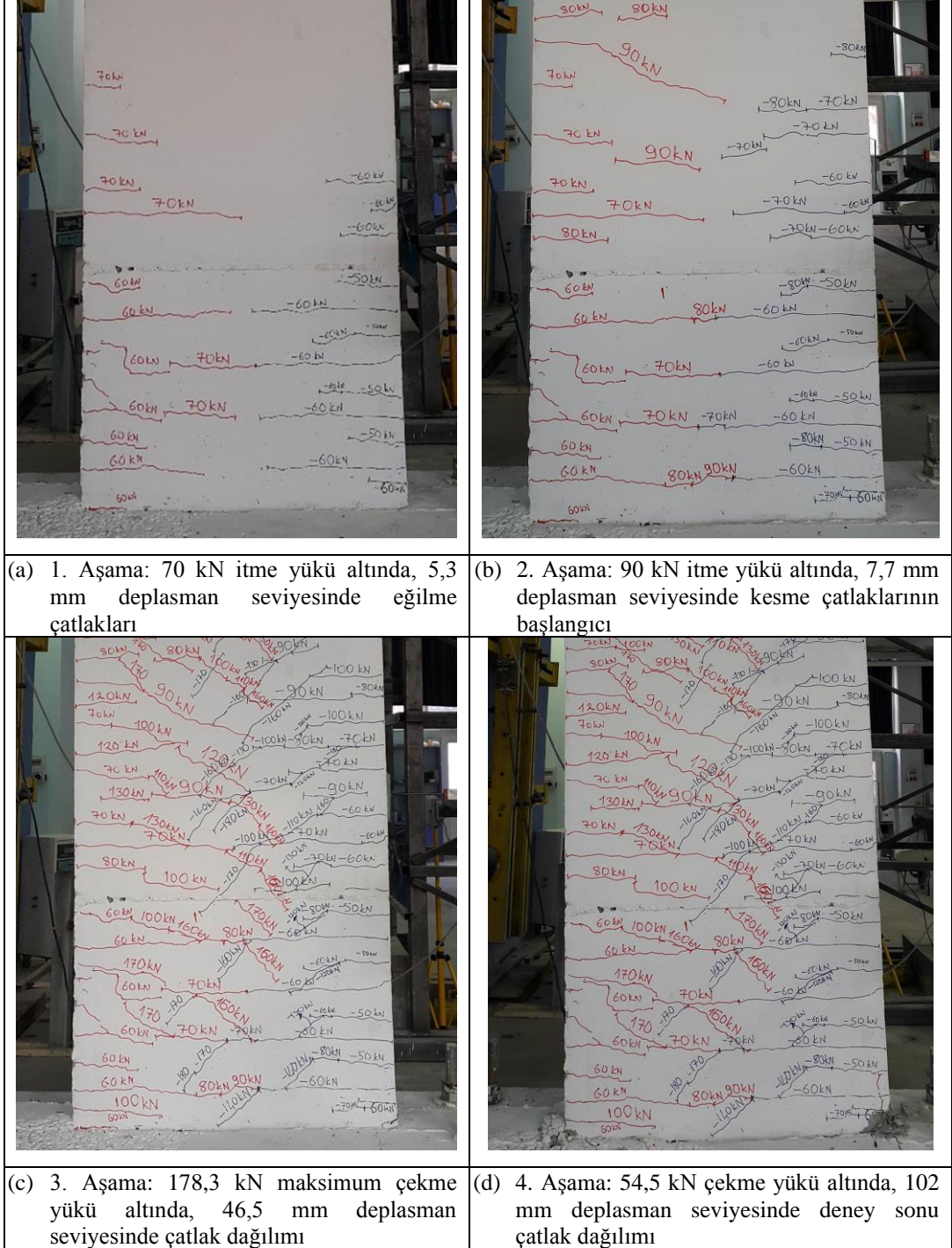
BÖLÜM 6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Referans ve kompozit perde duvar numunelerinin deney sonuçlarından elde edilen veriler yardımı ile yük-deplasman, rijitlik-deplasman, enerji tüketim ve süneklik kapasiteleri grafiksel olarak gösterilerek kesme dayanımları ve kırılma türleri hakkında değerlendirmeler yapılacaktır.

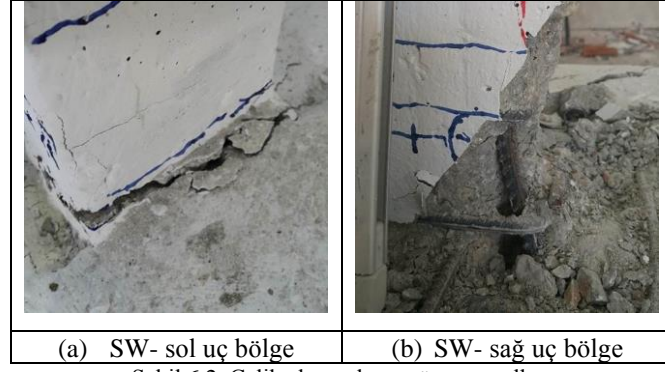
6.1. SW Deneyi

Geleneksel nervürlü donatının kullanıldığı klasik perde duvarı temsil eden ve referans numune olarak tanımlanan deney elemanı üzerinde başlangıç yükleme seviyelerinde perde duvarın sağ uç bölgesinde, 50 kN'luk çekme yükü altında ince çatlaklar oluşmuştur. Sonraki çevrimlerde 70 kN itme yükü altında, perde duvarın gövdesinde itme ve çekme çatlakları çakışmaya başlamış (Şekil 6.1. (a)) ve elemanda eğilme davranışının göstergesi olan yatay çatlaklar meydana gelmiştir. İlk çapraz çatlaklar 90 kN itme yükü altında, 7,7 mm deplasman seviyesinde, duvar yüksekliğinin 1,3 m'lik kısmında oluşmaya başlamıştır (Şekil 6.1. (b)). Sonraki çevrimlerde çapraz kesme çatlakları perde duvar gövdesinin merkezine doğru yayılmıştır. 178,3 kN çekme yükü altında, 46,5 mm deplasman seviyesinde perde duvar gövdesi kesme çatlakları ile tamamen kaplanmıştır (Şekil 6.1. (c)). Perde duvar uç bölgesi temelden kısmen ayrılmaya başlamıştır. Bu aşamadan sonra deney, deplasman kontrollü olarak yürütülerek 50 mm hedef deplasmana kadar yüklenmiştir. Takip eden çevrimlerde 61 mm deplasman altında perde duvarın sağ uç bölgesindeki düşey donatıların burkulmasıyla kabuk beton dökülmeye ve ezilmeye başlamıştır. Çekme doğrultusunda 102 mm deplasman seviyesine ulaşıldığında elemanın daha fazla yük taşınamaması üzerine deney sonlandırılmıştır. Ancak çalışmada; yükün maksimum yük seviyesinin %85'ine kadar düştüğü değerlere kadar

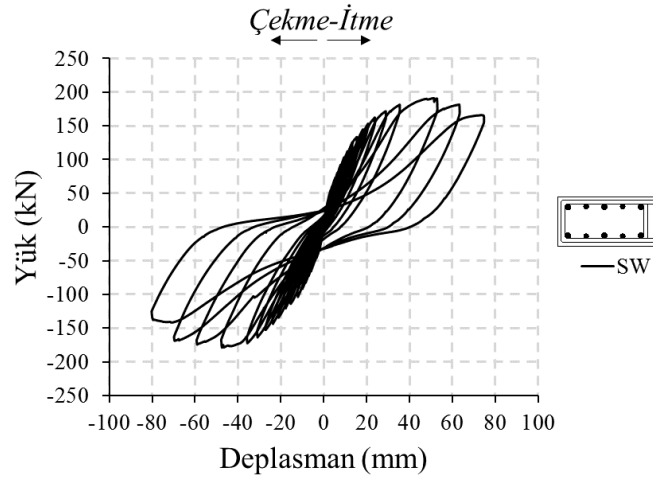
yük-deplasman grafiği oluşturulmuştur (Şekil 6.3.). Test bitimindeki çatlak dağılımı Şekil 6.1. (d)'de, perde uç bölgelerinin göçme modları ise Şekil 6.2.'de sunulmuştur.



Şekil 6.1. SW numunesi göçme aşamaları



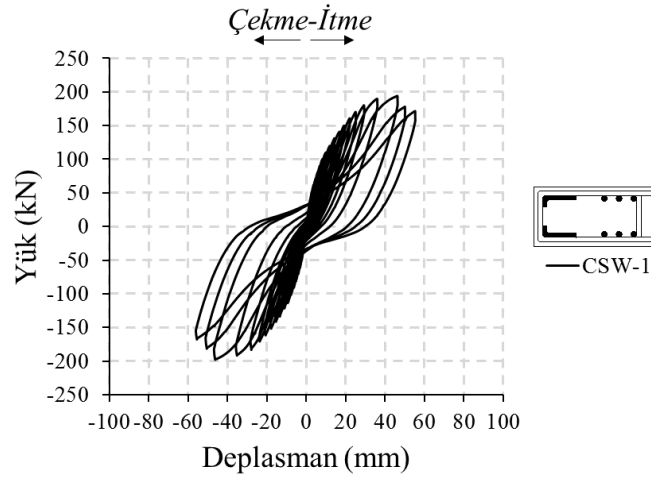
Şekil 6.2. Çelik elemanların göçme modları



Şekil 6.3. SW numunesi yük-tepe deplasmanı grafiği

6.2. CSW-1 Deneyi

Yürütülen bir çalışmada [24], [25] araştırmacılar kompozit perde duvara sismik yükleri temsilen yatay yüklemeler uygulamışlardır. Önce kuvvet kontrollü ardından deplasman kontrollü olarak yürüttükleri çalışmada, araştırmacılar yüklemeler sonucunda yerinden alınan ölçümlerle Şekil 6.4.'te verilen yük-deplasman grafiğini elde etmişlerdir. Söz konusu deneysel çalışmadan elde edilen bu veriler optimum çözüm arayışı için, yürütülen tez çalışması kapsamında yazarların deneysel olarak incelediklerinden daha farklı konfigürasyonlara sahip elemanlardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılarak irdelenmiştir. Ek olarak, yazarların ilgili çalışmasında hasar gören kompozit perde duvar, onarım mantosuyla onarılarak RCSW-1 numunesi adı altında, tez kapsamında ele alınan diğer numunelerle karşılaştırılmıştır.



Şekil 6.4. CSW-1 numunesi yük-tepe deplasmanı grafiği [24]

6.3. CSW-2 Deneyi

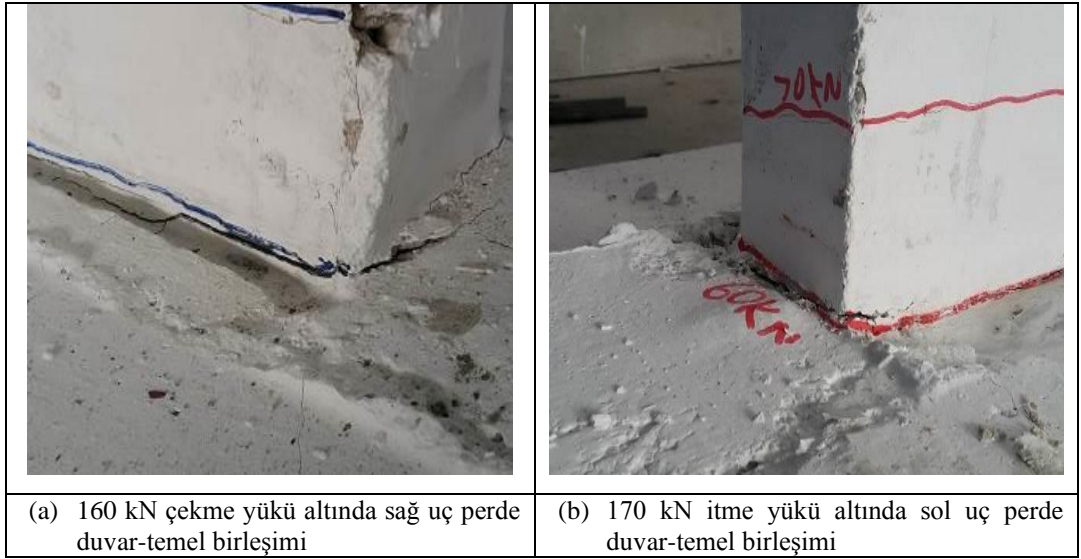
Söz konusu deney numunesinde referans numuneden farklı olarak her bir başlık bölgesinin 4 köşesinde 4 adet $L \times 23 \times 69 \times 5$ boyutlarında bükme sactan oluşturulmuş yapısal çelik elemanlar bulunmaktadır. Bu elemanın CSW-1 numunesinden farkı, başlık bölgelerinde nervürlü düşey donatılara yer verilmemesidir. Deney numunesindeki donatı dağılımı, uç bölgesi hariç referans numuneyle birebir aynı olacak şekilde oluşturulmuştur.

Kuvvet kontrollü başlatılan deneyde ± 50 kN yük seviyesinde perde uç bölgelerinde 1,5 metre seviyesine kadar yayılı küçük çatlaklar oluşmuştur. 60 kN çekme yükü altında temel ile perde duvarın birleşiminde eğilme çatlağına benzeyen ince bir çatlak hattı meydana gelmiştir (Şekil 6.8. (a)). Bu durumda tepe deplasmanı 5 mm olarak okunmuştur. 70 kN itme yüklemesi durumunda 40-102-161 cm yüksekliklerde itme ve çekmede oluşan çatlaklar birleşmiş, deplasman 6 mm olarak ölçülmüştür. Önceki çevrimlerde oluşan çatlaklarda ilerleme görülmemiştir. Çatlaklarda gerilme dağılımının perde duvar uç bölgelerinde yoğunlaştığı gözlemlenmiştir.

110 kN çekme yükü altında 100 cm yükseklikte uzun kesme çatlakları oluşmuş ve tepe deplasmanı 11 mm ölçülmüştür (Şekil 6.8. (b)). 120 kN itme yükü altında ise bir önceki çevrimde oluşan çapraz çatlağı ters yönde ikincil bir çatlak oluşmuş, eğilme

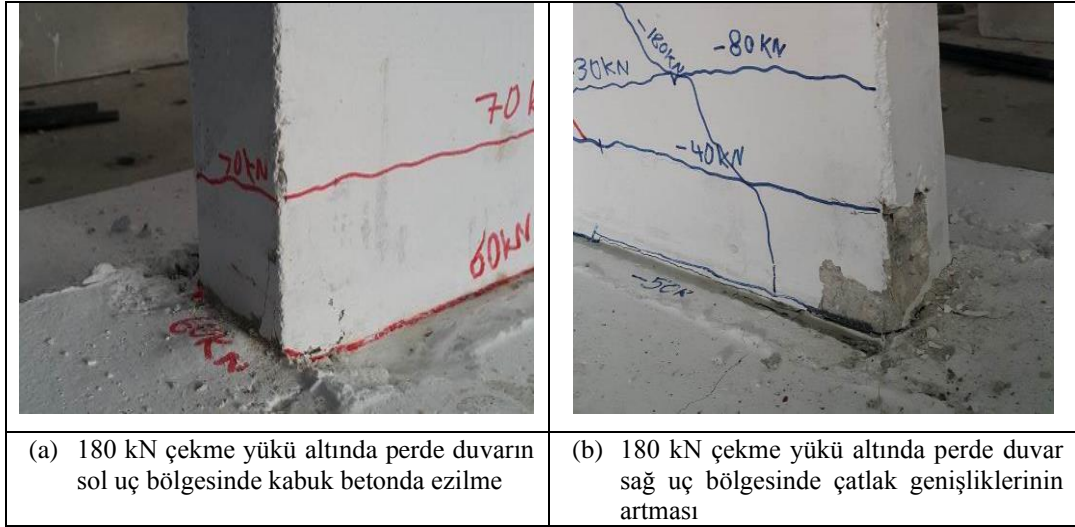
davranışı, yerini kesme davranışına bırakmaya başlamıştır. 140 kN itme yüklemesinde numunede 15,4 mm deplasman seviyesine ulaşılmıştır. Perde-temel birleşim yerlerindeki çatlakların genişlikleri gittikçe artmıştır. İtme ve çekmede birçok çatlak birbiriyle kesişerek çapraz şekilde çatlakları oluşturmuştur.

160 kN çekme yükü altında perde duvar-temel birleşim bölgesinin sağ uç kısmındaki çatlak genişlikleri 3 mm'ye ulaşmıştır (Şekil 6.5. (a)). 170 kN itme yükü altında ise birleşim bölgesinin sol kısmında çatlak genişliklerinde artış meydana gelmiştir (Şekil 6.5. (b)). Sistem 24 mm deplasman yapmıştır.



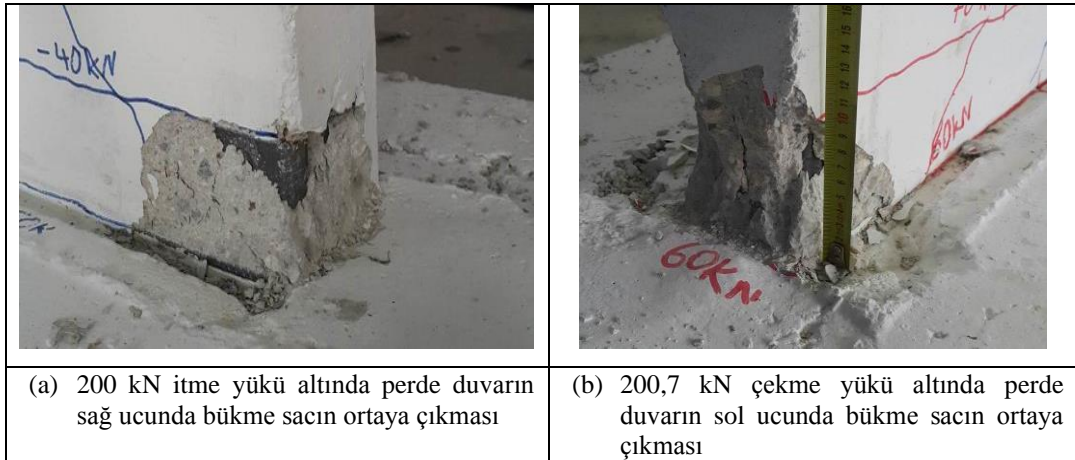
Şekil 6.5. Perde duvar uç bölgelerindeki çatlak durumları

Perde duvar devam eden çevrimlerde 180 kN çekme yükü altında 28 mm deplasman yapmıştır. Basınç bölgesinde ezilmeler ile perde duvar-temel bloğu birleşimine yakın çekme bölgelerindeki çatlak genişlikleri de artmıştır (Şekil 6.6.).



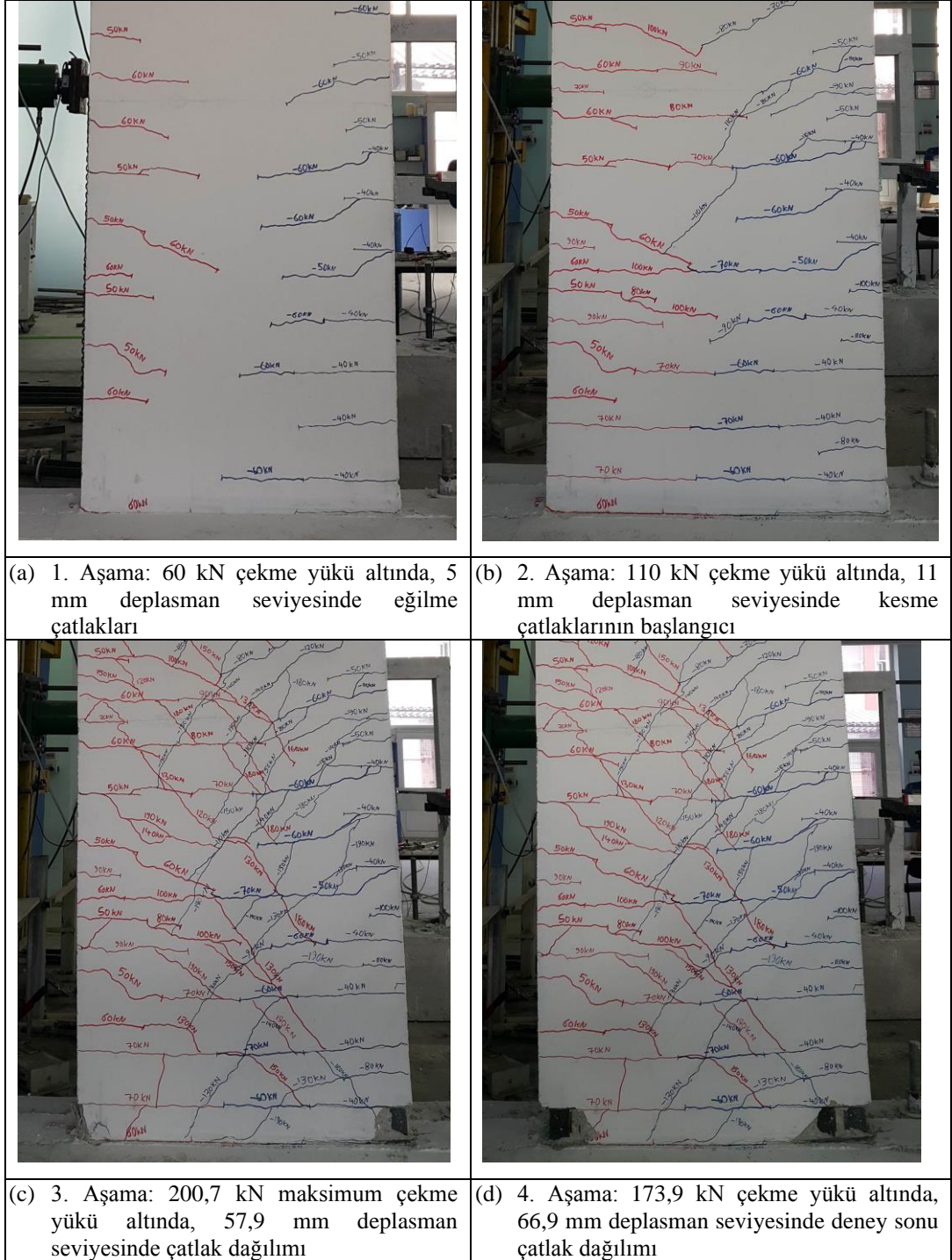
Şekil 6.6. Perde duvar uç bölgelerindeki ezilme ve çatlak durumları

200 kN itme yükü altında eleman 47 mm deplasmana ulaşmıştır (Şekil 6.7. (a)). Maksimum yükleme kuvveti ise çekme yönünde 57,9 mm deplasman seviyesinde 200,7 kN olarak ölçülmüştür (Şekil 6.7. (b), Şekil 6.8. (c)). Bu aşamada perde duvar uç bölgelerindeki kabuk beton dökülerek sac elemanlar görünür hale gelmiştir.



Şekil 6.7. Perde duvar uç bölgelerinde bükme sac elemanların kabuk betonlarının dağılışı

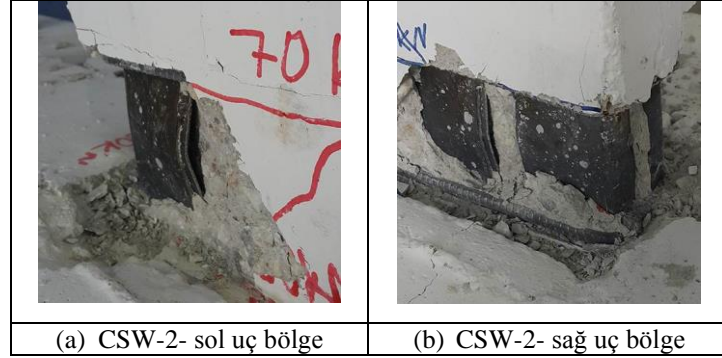
Bu yük seviyesinden sonra çatlaklar yayılmadan daha çok genişleme eğilimi göstermiştir. Sonraki çevrimlerde test deplasman kontrollü olarak yürütülmeye devam edilmiştir.



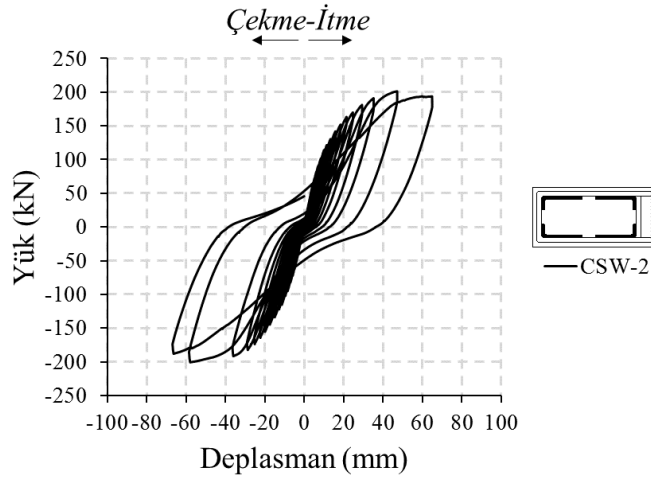
Şekil 6.8. CSW-2 numunesi göçme aşamaları

İtme doğrultusunda 192 kN yük etkisinde, 65 mm deplasman seviyesinde perde duvarın sağ uç bölgesinde sac elemanlarda burkulma meydana geldikten sonra zıt yönde 66,9 mm deplasman seviyesinde de perde sol uç bölgesindeki sac elemanlar da tamamen burkulmuş ve test sonlandırılmıştır (Şekil 6.8. (d)). Deney sonunda perde

uç bölgelerindeki bükme sac elemanların burkulma modları Şekil 6.9.'da, elemanların yük-deplasman eğrileri ise Şekil 6.10.'da sunulmuştur.



Şekil 6.9. Çelik bükme sac elemanların göçme modları



Şekil 6.10. CSW-2 numunesi yük-tepe deplasmanı grafiği

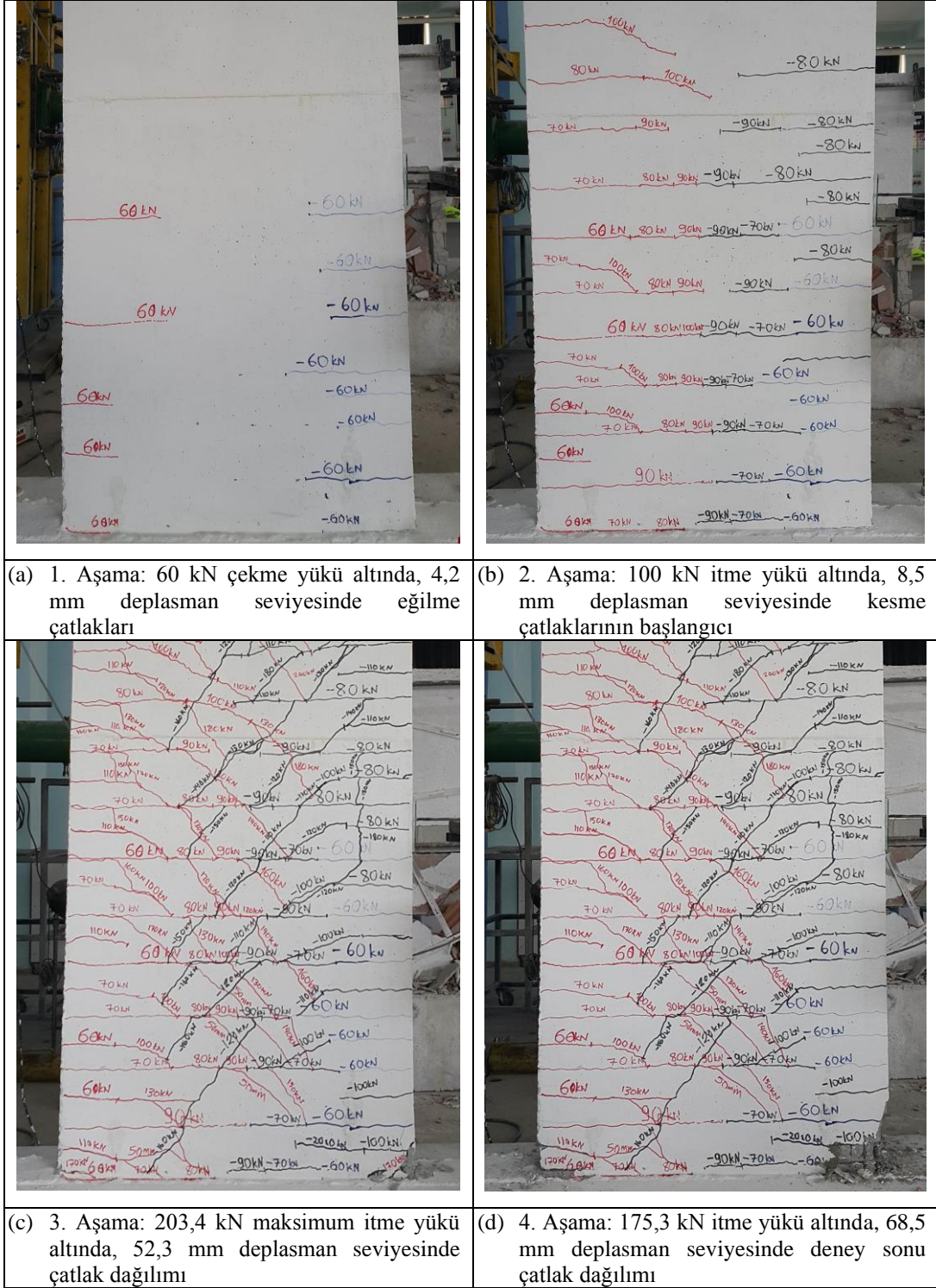
6.4. CSW-3 Deneyi

Söz konusu deney numunesinde referans numuneden farklı olarak her bir başlık bölgesinde 2'şer adet $2L \times 17 \times 49 \times 7$ boyutlarında bükme sactan oluşturulmuş yapısal çelik elemanlar bulunmaktadır. Bu numune, CSW-1 numunesinde başlıkta bulunan bükme sac elemanların gövdeye yakın kısımda konumlandırılmasıyla oluşturulmuştur. Uç bölgesi hariç, tüm deney numunelerinde olduğu gibi donatı dağılımı referans numuneyle birebir aynı seçilmiştir.

Numune düzeneğe yerleştirildikten sonra (Şekil 6.11.) kuvvet kontrollü başlatılan deneyde itme ve çekme doğrultularında uygulanan 60 kN yük seviyelerinde perde duvar uç bölgelerinde 1,5 metre seviyesine kadar yayılı küçük çatlaklar oluşmuştur. Temel bloğu ile perde duvarın birleşiminde eğilme çatlağına benzeyen ince bir çatlak hattı meydana gelmiştir (Şekil 6.12. (a)), tepe deplasmanı 4,2 mm olarak okunmuştur. 100 kN itme yüklemesi durumunda perde duvar gövde bölgesinde itmede ve çekmede oluşan çatlaklar birleşmiştir. Yapıdaki eğilme davranışının yerine kesme davranışı hâkim olmaya başlamıştır (Şekil 6.12. (b)). Tepe deplasmanı 8,5 mm olarak okunmuştur.

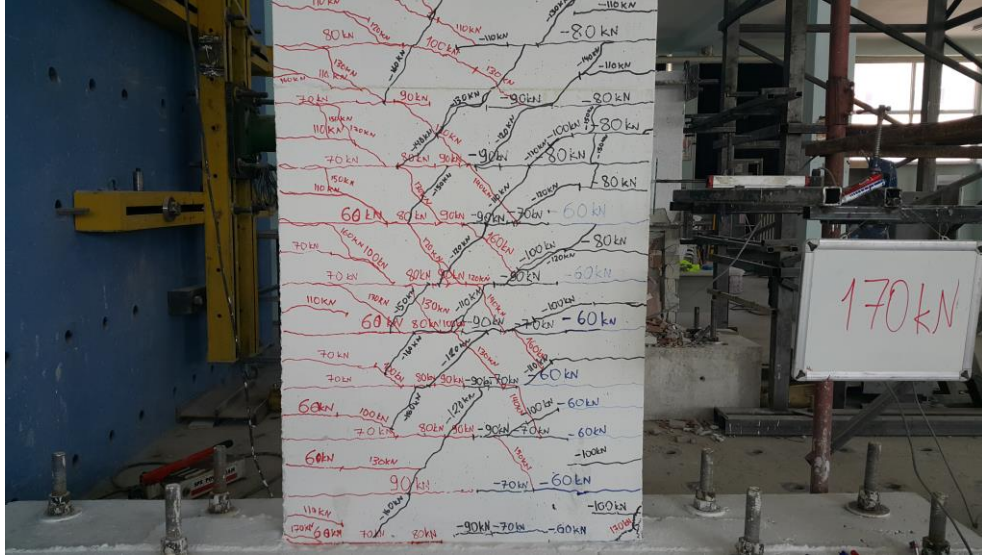


Şekil 6.11. CSW-3 numunesinin deney başlangıç aşamasındaki görünüşü



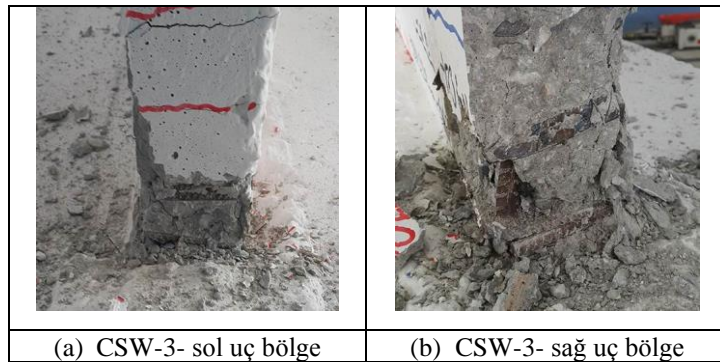
Şekil 6.12. CSW-3 numunesi göçme aşamaları

İtme doğrultusunda 170 kN'luk yükleme durumunda perde duvar ucunun basınca zorlanan bölgesinde ilk ezilmeler izlenmiştir (Şekil 6.13.). Numunenin tepe deplasmanı 23 mm'ye ulaşmıştır.

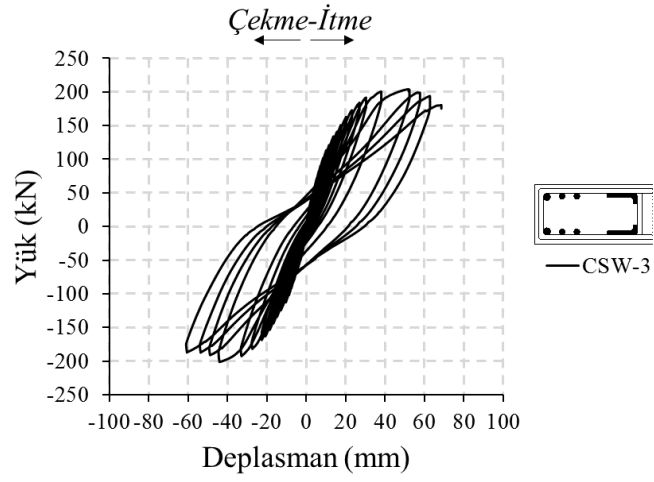


Şekil 6.13. 170 kN itme yüklemesi durumunda basınç bölgesinin ezilmeye başlaması

203,4 kN maksimum itme yükü altında perde duvarın sağ ucunda ezilmenin artışı gözlemlenmiştir (Şekil 6.12. (c)). Numunenin tepe deplasmanı 52,3 mm olarak ölçülmüştür. Bu aşamadan sonra deney deplasman kontrollü olarak sürdürülmüştür. İtme doğrultusunda 65 mm deplasman seviyesinde perde uç bölgelerindeki donatılarda burkulmalar oluşmuştur. Perde duvar elemanın daha fazla yük taşınamaması üzerine 68,5 mm deplasman seviyesinde deney sonlandırılmıştır (Şekil 6.12. (d)). Deney sonunda perde duvar uç bölgelerinin göçme şekilleri Şekil 6.14.'te, yük-deplasman grafikleri ise Şekil 6.15.'te verilmiştir.



Şekil 6.14. Çelik elemanların göçme modları



Şekil 6.15. CSW-3 numunesi yük-tepe deplasmanı grafiği

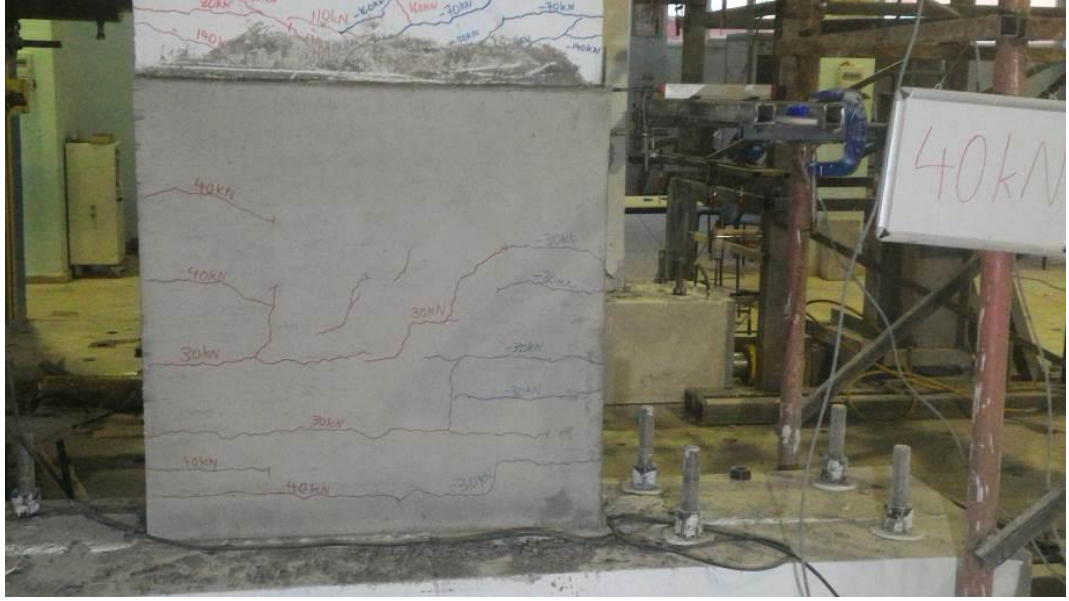
6.5. RCSW-1 Deneyi

RSCW-1 kompozit perde duvar numunesi önceden teste tabi tutulan CSW-1 numunesinin hasar gördükten sonra onarılmış ve güçlendirilmiş halidir. Onarım perde duvarın temel üst seviyesinden başlamak üzere yaklaşık 1 metre boyunda mantolama işlemi ile sağlanmıştır. Numunenin, deneyin ilk aşamasındaki görüntüsü Şekil 6.16.'da sunulmuştur.



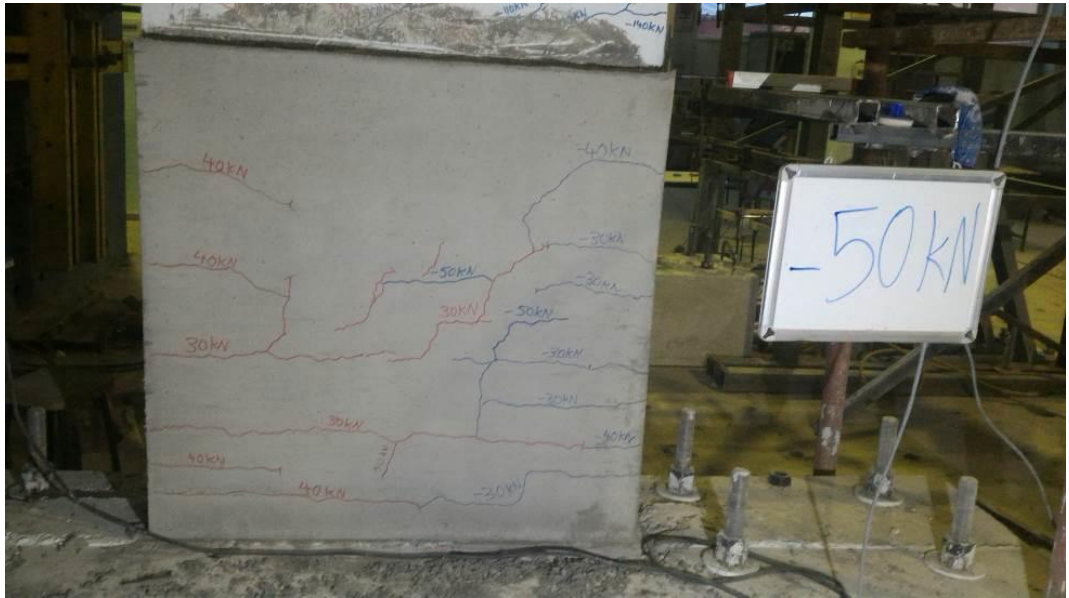
Şekil 6.16. RSCW-1 numunesinin deney başlangıcındaki görünüşü

Kuvvet ve deplasman kontrollü olarak yürütülen deneyde; numunede ilk ince çatlaklar 30 kN seviyesinde temele paralel olarak, temelden 25-40 cm yükseklikte eğilme çatlağı şeklinde oluşmuştur. Ters yönde yüklemeyle beraber çatlaklar simetrik olarak perde duvarın diğer tarafına da taşınmıştır. Bu yüklemede okunan tepe deplasmanı itmede 4,5 mm, çekmede 5,5 mm seviyesindedir. 40 kN itme yükü altında çatlak dağılımı perde uç bölgelerinde yoğunlaşmaya başlamıştır (Şekil 6.17.). Çatlaklar 75 cm yüksekliğe kadar ilerlemiş, tepe deplasmanı 6,5 mm'ye kadar ulaşmıştır.



Şekil 6.17. 40 kN itme yüklemesi altında çatlak dağılımı

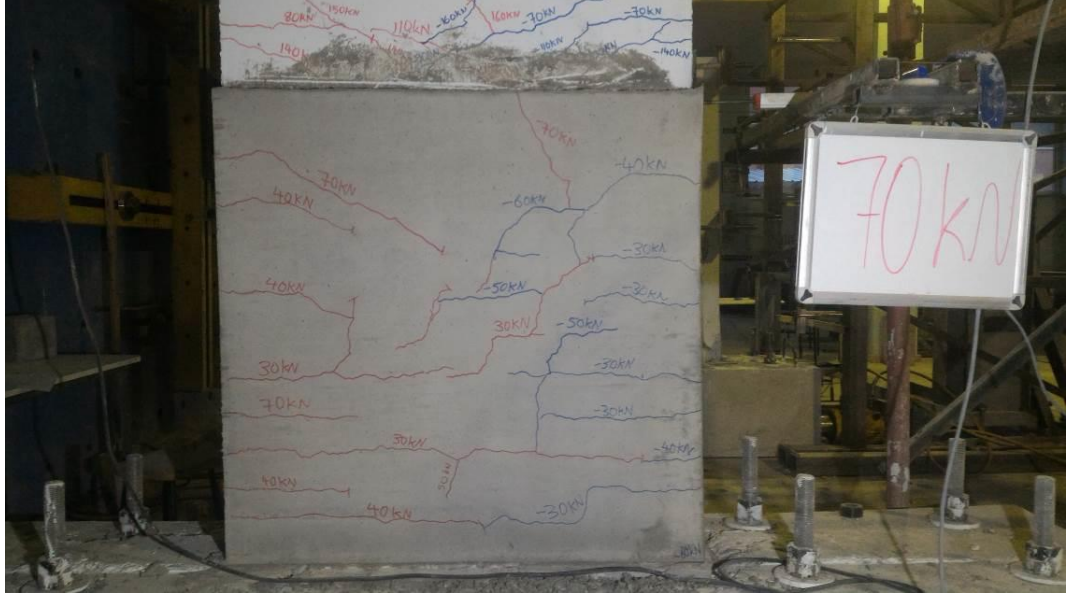
50 kN çekme yüklemesi durumunda perde duvarın orta ekseninde, uç bölgelerden gelen eğilme çatlakları 45 derecelik kesme çatlaklarına dönüşmeye başlamıştır (Şekil 6.18.). Uç bölgelerdeki çatlaklar perde duvarın üst kısmına doğru ilerlememiş ve tepe deplasmanı 10,6 mm olarak okunmuştur.



Şekil 6.18. 50 kN çekme yükü altında onarım mantosunda çatlak dağılımı

70 kN itme yükü altında, 12,0 mm deplasman seviyesinde onarım mantosunun üst kısmında 45°'lik çatlaklar oluşmaya başlamıştır (Şekil 6.19.). Mevcut çatlaklarda

ilerleme meydana gelmemiştir. Onarım mantosuyla perde duvar arasındaki birleşim noktalarında herhangi bir ayrılma gözlenmemiştir.



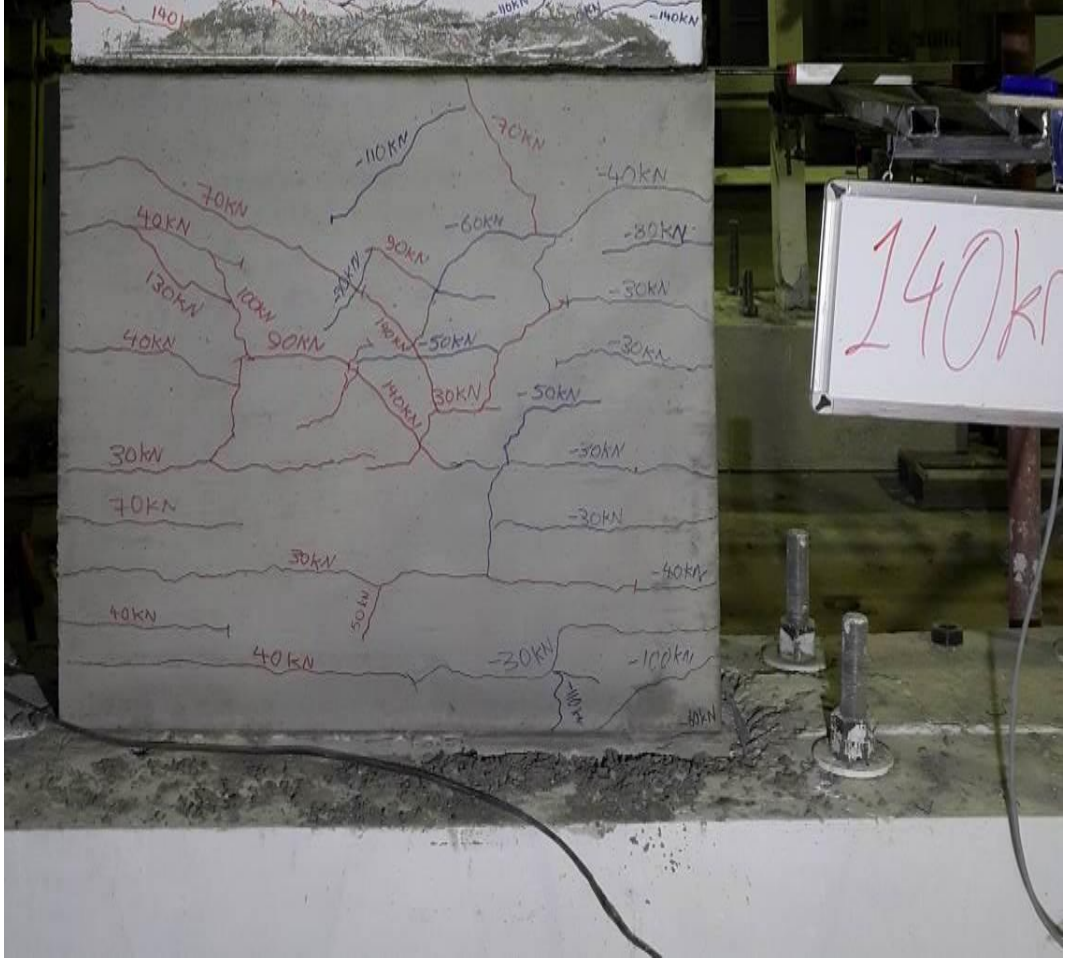
Şekil 6.19. 70 kN itme yüklemesi altında çatlak dağılımı

100 kN çekme yüklemesi durumunda perde duvar uç bölgesinde, onarım mantosu ile temel birleşiminde 45°'lik küçük çatlaklar oluşmuştur (Şekil 6.20.).



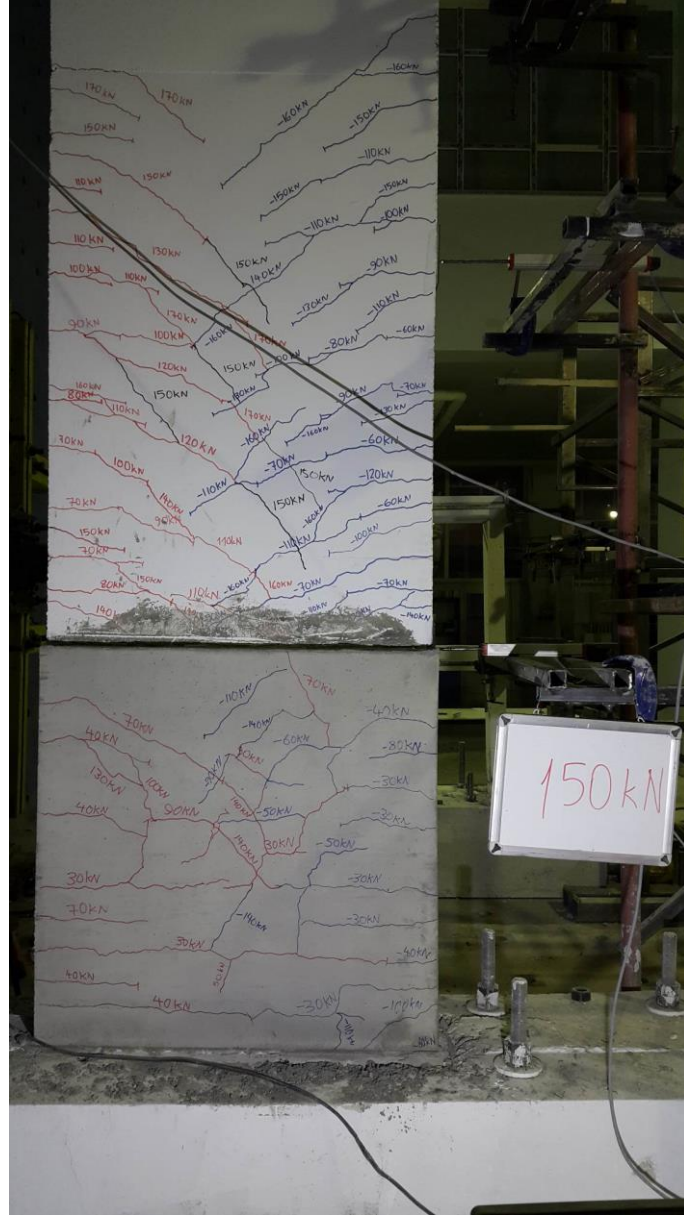
Şekil 6.20. 100 kN çekme yükü altında çatlak dağılımı

140 kN'luk itme yüklemesi durumunda onarım mantosunun merkezinde çapraz çatlaklar yoğunlaşmaya başlamış, tepe deplasmanı 29,6 mm'ye ulaşmıştır. Mevcut çatlaklarda ilerleme görülmemiştir (Şekil 6.21.).



Şekil 6.21. 140 kN itme yüklemesi altında numunenin merkezinde çapraz çatlakların yoğunlaşması

150 kN itme yükü altında çatlaklar onarım mantosunun üzerine çıkmıştır. Üst kısımda perde duvarın merkez eksenini üzerinde 2 m seviyesine kadar birçok bölgede çapraz çatlaklar oluşmuş, numune akma seviyesini ulaşmıştır (Şekil 6.22.).



Şekil 6.22. 150 kN itme yüklemesi durumunda numune merkezlerinde yaygınlaşan 45°'lik çatlaklar

İtme doğrultusunda 180 kN yük seviyesinde donatının kopmasıyla numunenin temelle birleşiminde ayrılma söz konusu olmuştur (Şekil 6.23.). Fakat eleman 77,9 mm deplasman seviyesine kadar yük taşımaya devam etmiştir. Deney elemanın uç bölgelerinde düşey donatılara paralel çatlaklar oluşmuştur (Şekil 6.24.).

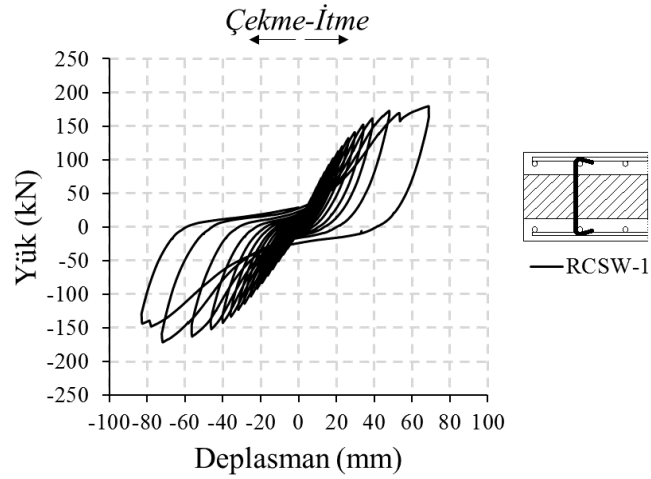


Şekil 6.23. Deney numunesinin temelden ayrılışı



Şekil 6.24. Deney sonucunda düşey donatılara paralel çatlak oluşumu

RCSW-1 deney elemanından alınan ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi için 3 m seviyesinden ölçüm alan potansiyometrik cetvelden tepe deplasmanları ile yük hücresinden alınan değerler kullanılarak elemanın yük-deplasman grafiği elde edilmiştir. Numunenin yapmış olduğu maksimum deplasman seviyesi 77,96 mm, kopma anındaki taşıdığı yük 147,72 kN olarak belirlenmiştir (Şekil 6.25.).



Şekil 6.25. RCSW-1 numunesi yük-tepe deplasmanı grafiği

6.6. RCSW-2 Deneyi

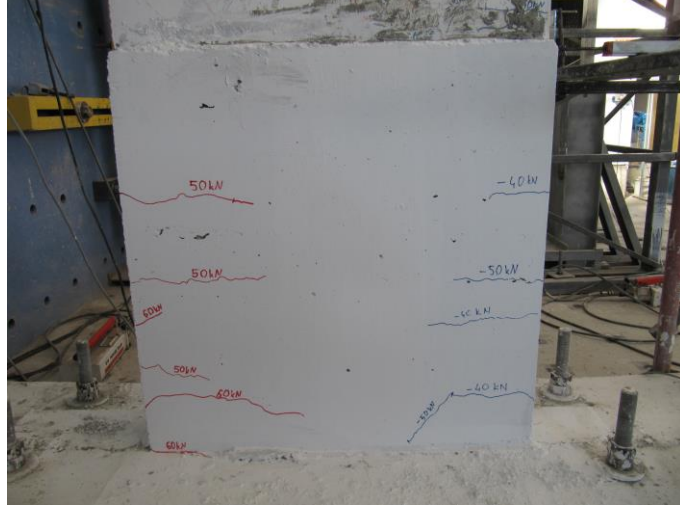
Söz konusu deney, her bir başlık bölgesi 4 adet $L \times 23 \times 69 \times 5$ boyutlarında bükme sactan oluşturulmuş olan, önceden hasar gören CSW-2 adlı kompozit perde duvarların onarım mantosuyla onarılıp ve güçlendirilerek tekrar yüklemeye maruz bırakılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Onarım sürecinde öncelikle düşey donatı yerleşimi tamamlanmış, ardından gövde ile manto arasındaki oluşacak kesme etkisini karşılayacak çirozlar (kayma kamaları) yerleştirilmiştir (Şekil 6.26.).



Şekil 6.26. RCSW-2 numunesi onarım mantosu donatılandırma aşamaları

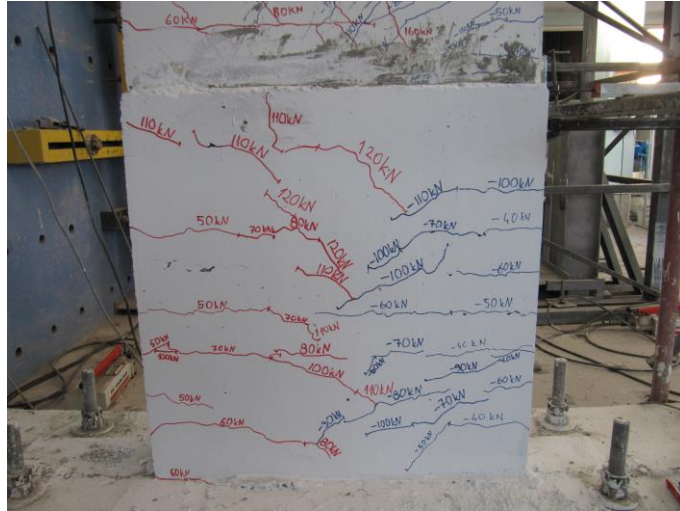
Deneyin ilk aşamalarında 60 kN itme yüklemesine kadar manto üzerinde yere paralel çatlaklar oluşmuştur (Şekil 6.27.). Devam eden çevrimlerde eleman 10,21 mm tepe

deplasmanına 70 kN itme yüklemesiyle ulaşıncaya perde duvar gövdesinde çapraz çatlaklar oluşmaya başlamıştır.



Şekil 6.27. 60 kN itme yükü altında çatlak dağılımı

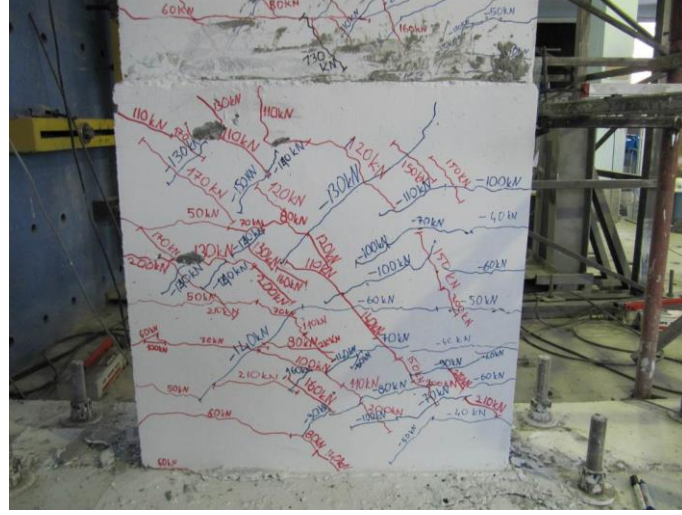
Artan yük değerlerinde çatlak ilerlemeleri perde uç bölgelerinden daha çok perde gövdelerinde yoğunlaşmaya başlamıştır (Şekil 6.28.). 150 kN itme yüklemesiyle manto ile çekirdek duvar arasında zorlanmalar sebebiyle manto yüzeyinde küçük açılmalar gözlemlenmiştir. Açılmalar sınırlı olduğu için deneye devam edilmiştir.



Şekil 6.28. Perde gövdesinde çatlak yığılımı

Sonraki yüklemelerde numune, 231 kN çekme yükü altında 64,9 mm deplasman yaparak maksimum yük kapasitesine ulaşmıştır. Bu aşamada manto ile çekirdek

birbirlerinden ayrılmaya başladığı için duvar daha fazla yük taşıyamaz hale gelmiştir. Yüklemeler etkisinde çirozların uçları açılarak paspayının üstüne çıkmaya başlamıştır.

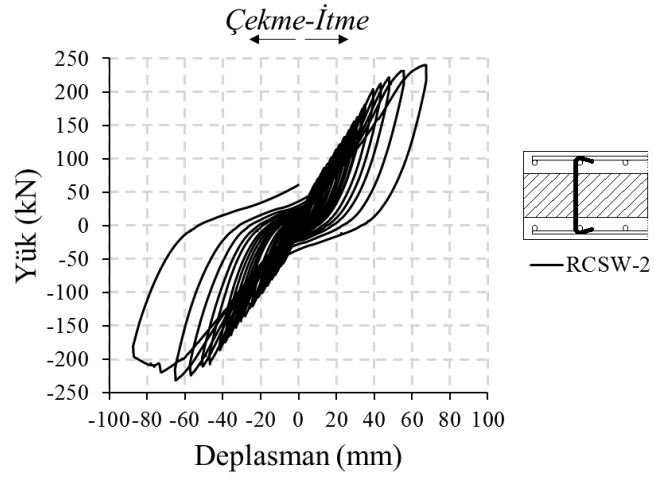


Şekil 6.29. Çirozların kuvvet altında paspayı üzerine çıkması

Numune maksimum taşıma gücü kapasitesine ulaştığında mantolar gövdeden gözle görülür şekilde ayrılmıştır (Şekil 6.29., Şekil 6.30.). Fakat mantonun alt kısımlarında bulunan, kayma kaması görevi gören çirozların katkılarının devam edeceği düşünülerek deplasman kontrollü olarak çevrimlere devam edilmiştir. Sonraki çevrimlerde numune 87,1 mm deplasman yaparak -195,2 kN yük taşımıştır. Bu aşamadan sonra deney sonlandırılmıştır. Deney elemanın yük-deplasman grafiğine Şekil 6.31.'de yer verilmiştir.



Şekil 6.30. Onarım mantolarının çekirdekten ayrılması



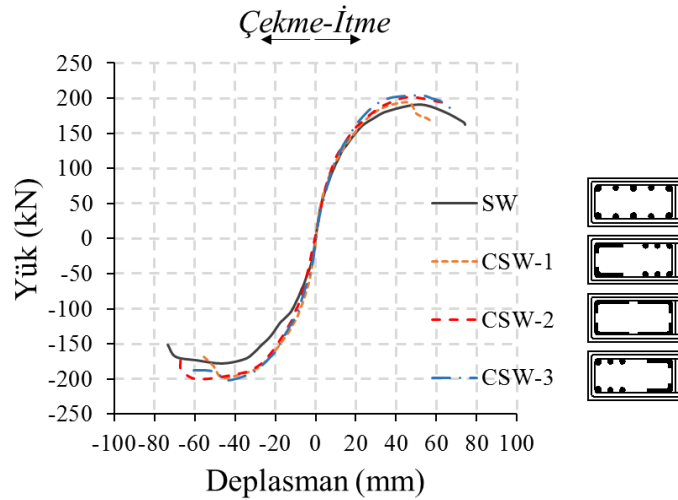
Şekil 6.31. RCSW-2 numunesi yük-tepe deplasmanı grafiği

BÖLÜM 7. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Yapılan çalışmalar sonucunda 3 adet kompozit perde duvar ile 1 adet konvansiyel betonarme perde duvar deney numuneleri üzerinden alınan yük ve deplasman ölçümlerinden çevrimsel davranışı ifade edecek karakteristik parametreler elde edilmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen yük-deplasman eğrileri göz önünde bulundurularak farklı konfigürasyonlara sahip kompozit perde duvarlar ile geleneksel perde duvarlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca hasar alan perde duvarların onarılması ve güçlendirilmesine yönelik yapılan çalışmaların yapısal performansa katkıları da değerlendirilmiştir.

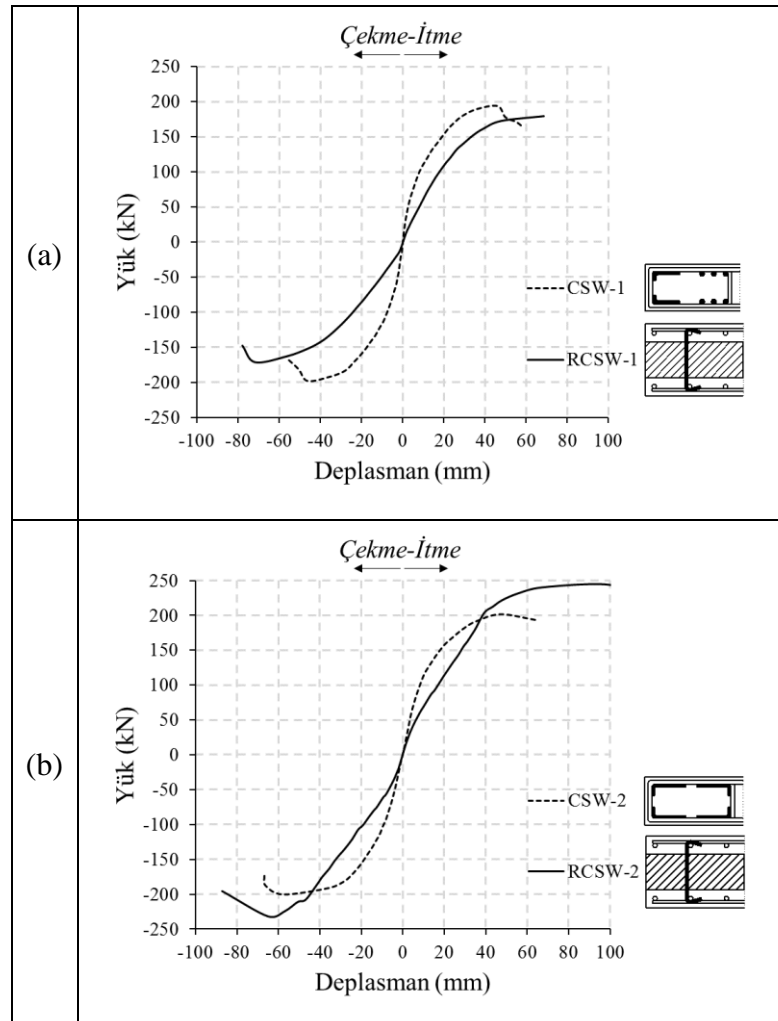
7.1. Yük-Deplasman Zarflarının Karşılaştırılması

Deneysel çalışmadaki çevrimsel yüklemelerden oluşan yük-deplasman grafiklerinin maksimum değerleri birleştirilerek elemanların yük-deplasman zarfları elde edilmiştir. Yük-deplasman zarfları incelendiğinde maksimum yanal yük kapasitesine CSW-3 numunesinde ulaşılmıştır. CSW-3 numunesi referans numuneye (SW) oranla itme doğrultusunda %7, çekmede ise %12 daha fazla yük taşımıştır (Şekil 7.1.).



Şekil 7.1. Karşılaştırmalı yük-deplasman zarfları

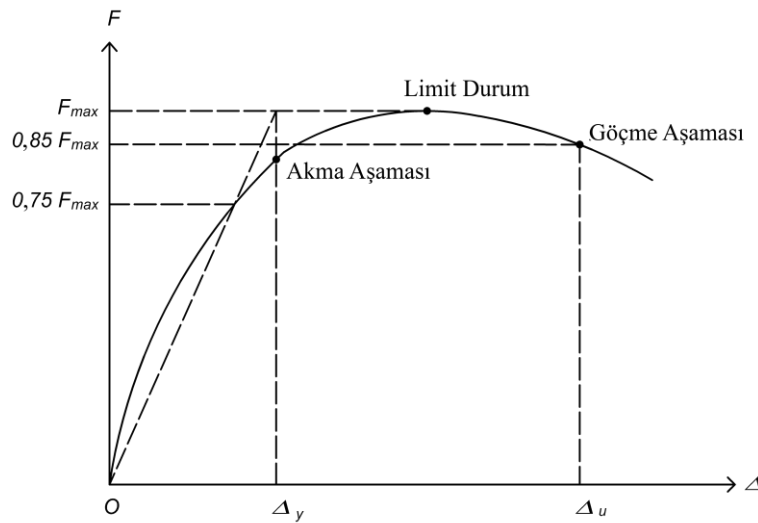
CSW-3 numunesinin yanı sıra diğer kompozit perde duvar numuneleri de referans numune (SW) olarak tanımlanan klasik perde duvar numunesine göre daha iyi bir taşıma gücü performansı sergilemişlerdir. Ancak deney elemanlarından CSW-1 numunesi diğer numunelerle karşılaştırıldığında göçme aşamasına daha düşük deplasman seviyelerinde ulaşmıştır. Tez çalışması kapsamında hasar alan ve mantolama yöntemiyle onarılarak ve güçlendirilerek yeniden teste tabi tutulan RCSW-1 numunesi, hasar almadan önceki durumuna (CSW-1) oranla itme doğrultusunda %8, çekme doğrultusunda ise %13 daha düşük kapasite sergilemiştir (Şekil 7.2. (a)). Ancak RCSW-2 numunesi, hasarsız durumuna (CSW-2) göre itme doğrultusunda %21, çekme doğrultusunda ise %15 daha fazla taşıma gücü kapasitesi sunmuştur (Şekil 7.2. (b)).



Şekil 7.2. Onarım öncesi ve sonrası numunelerin yük-deplasman zarfları

7.2. Yerdeğiştirme Sünekliklerinin Karşılaştırılması

Kompozit perde duvar elemanların süneklikleri elemanın akma sonrası deplasman yapabilme yeteneği ile ilişkilidir. Elemanların süneklik kapasitelerinin göstergesi olan süneklik oranının tespiti, göçme deplasmanın (Δ_u) akma deplasmanına (Δ_y) oranıyla bulunur. Akma noktasının tespitinde literatürde birçok çalışma mevcut olup, bu çalışmada araştırmacıların Şekil 7.3.'te önermiş olduğu metod temel alınarak akma ve göçme noktaları belirlenmiştir. İlgili çalışmada yük-deplasman eğrisi üzerinde akma deplasmanı (Δ_y); başlangıç noktası orijin noktası olan ve eğri üzerinde yük değerinin maksimum yük (F_{max}) seviyesinin %75'ine ulaştığı noktadan ($0,75.F_{max}$) geçen doğrunun, maksimum yük seviyesinden çizilen yatay doğru hattı ile kesişiminden elde edilen noktanın apsis değeri ile elde edilmiştir. Göçme deplasmanı (Δ_u) ise maksimum yüke ulaşıttan sonra, yükün %15 düştüğü deplasman seviyesinde elemanın yapmış olduğu deplasmanı ifade etmektedir.



Şekil 7.3. Akma ve göçme noktalarının belirlenmesi [26]

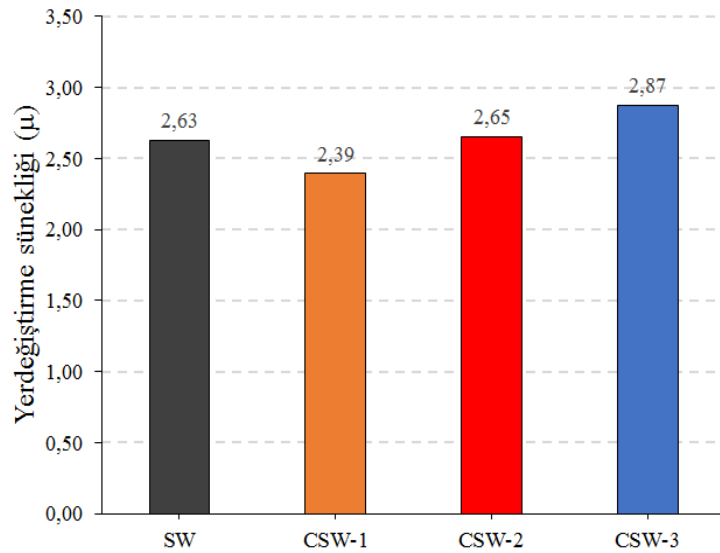
Deneysel çalışmada tüm numuneler maksimum deplasman seviyelerine kadar zorlanmalarına karşın tez çalışmasındaki yük-deplasman eğrilerinin gösterimleri (Şekil 7.1.) göçme deplasmanları (Δ_u) ile sınırlandırılmıştır. Elemanların yük-deplasman zarflarının önemli karakteristik noktaları Şekil 7.3.'te verilen metota göre belirlenmiş ve Tablo 7.1.'de sunulmuştur. Elde edilen bu verilere göre her bir

numunenin süneklik oranları hesaplanmış ve karşılaştırmalı olarak Şekil 7.4.'te verilmiştir.

Tablo 7.1. Karakteristik noktalar için yük ve deplasman değerleri

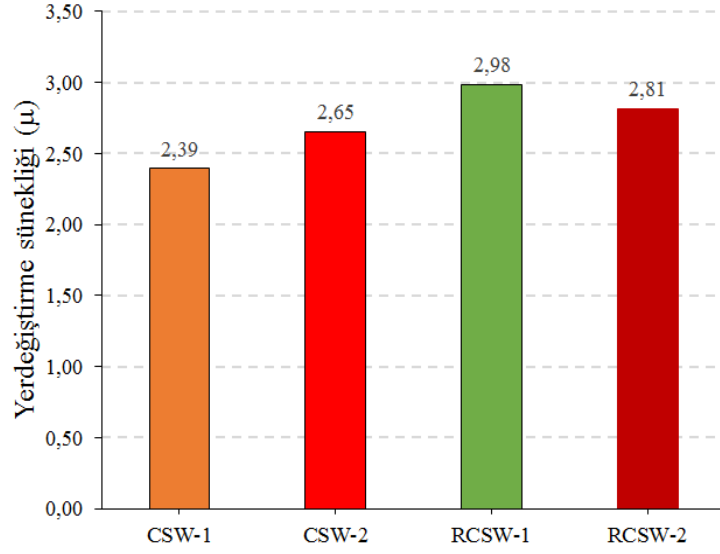
Numune	Akma Aşaması		Limit Durum		Göçme Durumu	
	P_y (kN)	Δ_y (mm)	P_{max} (kN)	Δ_{max} (mm)	$P_{85\%}$ \approx (kN)	Δ_u (mm)
SW	-154,73	-27,90	-178,371	-46,518	-151,615	-73,37
CSW-1	-141,79	-23,13	-198,050	-46,242	-168,343	-55,34
CSW-2	-170,87	-25,27	-200,722	-57,926	-173,991	-66,93
CSW-3	+175,80	+23,84	+203,436	+52,328	+175,314	+68,52
RCSW-1	-105,99	-26,12	-171,345	-71,856	-147,724	-77,96
RCSW-2	-144,27	-30,97	-231,404	-64,956	-195,207	-87,10

CSW-3 numunesi, CSW-1'e göre %20, CSW-2'ye göre %8 daha sünek davranış göstermiştir. Referans numuneyle (SW) karşılaştırıldığında ise %9 civarı daha sünek davranış izlenmiştir. Ancak kompozit numunelerden CSW-1 numunesi referans numunenin de %9 altında bir süneklik değeri sergilemiştir (Şekil 7.4.).



Şekil 7.4. Referans ve kompozit numunelerin süneklik oranları

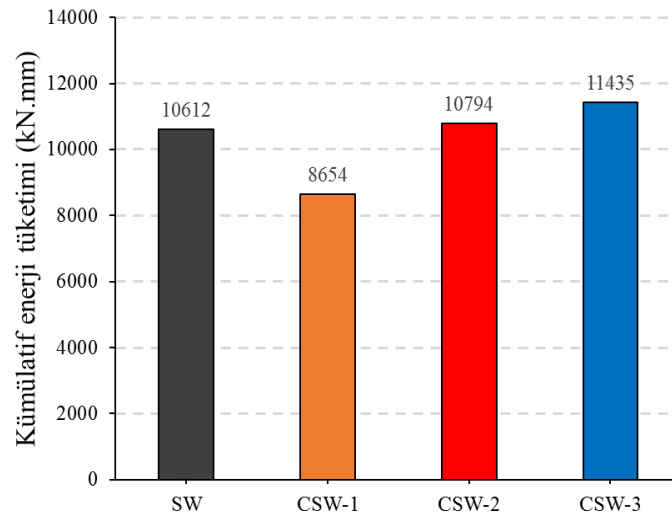
Hasar alan CSW-1 numunesinin onarılmasıyla elde edilen RCSW-1 numunesinde onarım öncesi duruma göre %25, CSW-2 numunesinin onarılmasıyla elde edilen RCSW-2 numunesinde ise onarım öncesi duruma göre %6 daha sünek bir davranış gözlemlenmiştir (Şekil 7.5.).



Şekil 7.5. Onarım öncesi ve sonrası kompozit numunelerin süneklik oranları

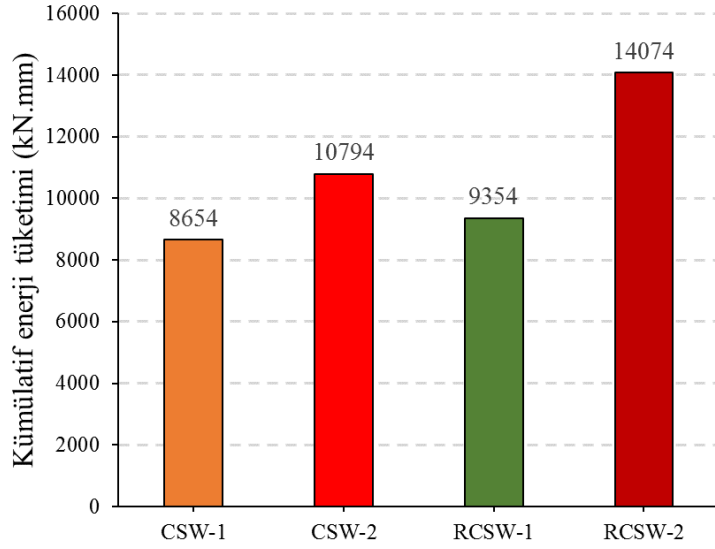
7.3. Kümülatif Enerji Sönümü Grafiklerinin Karşılaştırılması

Numunelerin yüklemeler altında tükettikleri enerji, yük-deplasman zarflarının altındaki alanlarla belirlenmiştir. Referans ve kompozit perde duvar numunelerinin enerji tüketebilme kapasitelerine yönelik veriler, karşılaştırmalı olarak Şekil 7.6.'da sunulmuştur. Kompozit perde duvar numunelerinden CSW-2 ve CSW-3, klasik perde duvar numunesi olan SW'ye göre daha fazla enerji tüketmiştir. Ancak CSW-1 numunesi, SW numunesine oranla daha az enerji sönümleyebilmiştir.



Şekil 7.6. Referans ve kompozit numunelerin enerji tüketim değerleri

Onarılan numunelerin onarım öncesi durumlarına göre enerji yutabilme kapasitelerinde artış gözlenmiştir. RCSW-1 numunesi CSW-1 numunesine göre %8, RCSW-2 numunesi ise CSW-2 numunesine göre %30 oranında daha fazla enerji sönümlenmiştir (Şekil 7.7.).



Şekil 7.7. Onarım öncesi ve sonrası kompozit numunelerin enerji tüketim değerleri

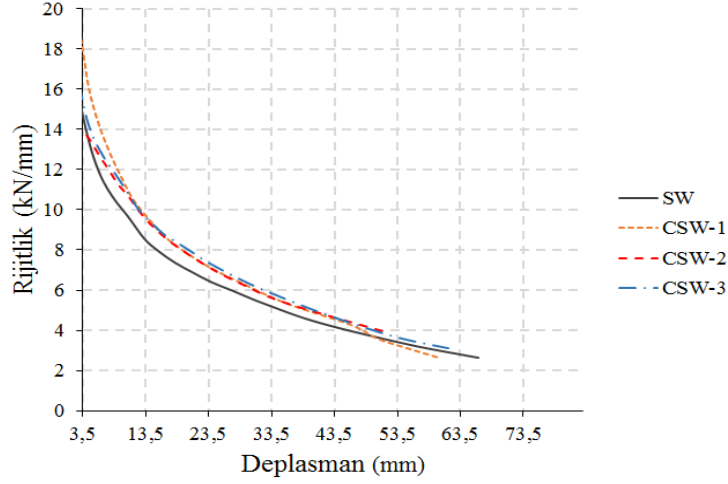
7.4. Rijitliklerin Karşılaştırılması

Numune rijitliklerinin hesaplanmasında ortalama sekant rijitlikleri göz önünde bulundurulmuştur. Aşağıdaki eşitlik (Denklem (7.1)) kullanılarak hesaplanan ortalama sekant rijitliği değerleri her bir numune için Şekil 7.8.'de karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

$$K_i = \frac{P_i^{(+)} - P_i^{(-)}}{\Delta_i^{(+)} - \Delta_i^{(-)}} \quad (7.1)$$

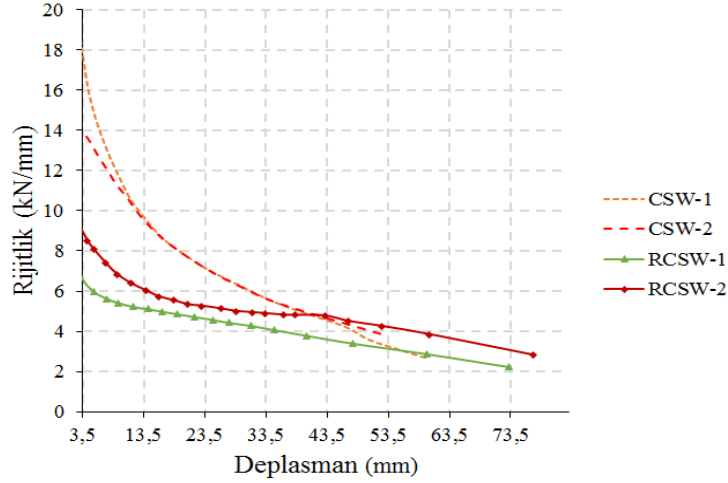
İlgili denklemde $P_i^{(+)}$ ve $P_i^{(-)}$ her bir çevrimin itme ve çekme doğrultularındaki maksimum yük seviyelerini, $\Delta_i^{(+)}$ ve $\Delta_i^{(-)}$ ise ilgili çevrimlerdeki maksimum deplasman seviyelerini ifade etmektedir. Perde duvar numunelerinin rijitlik değişimleri başlangıç seviyelerinden itibaren benzerlik göstermiştir. Kompozit perde duvar numunelerinin rijitlik kapasiteleri; 3,5 mm deplasman seviyesinde 13,8 ile 18,2

kN/mm arasında değerler almıştır. Kompozit ve geleneksel perde duvar numuneleri karşılaştırıldığında en fazla rijitlik kapasitesini CSW-1 numunesi sergilemiştir.



Şekil 7.8. Referans ve kompozit numunelerin rijitlik değişimleri

Başlangıç rijitlik seviyeleri göz önünde bulundurulduğunda onarımı gerçekleştirilen numuneler, onarım öncesine göre daha az rijitlik göstermişlerdir (Şekil 7.9.). Ancak ileri deplasman seviyelerinde bu fark gittikçe kapanmıştır.

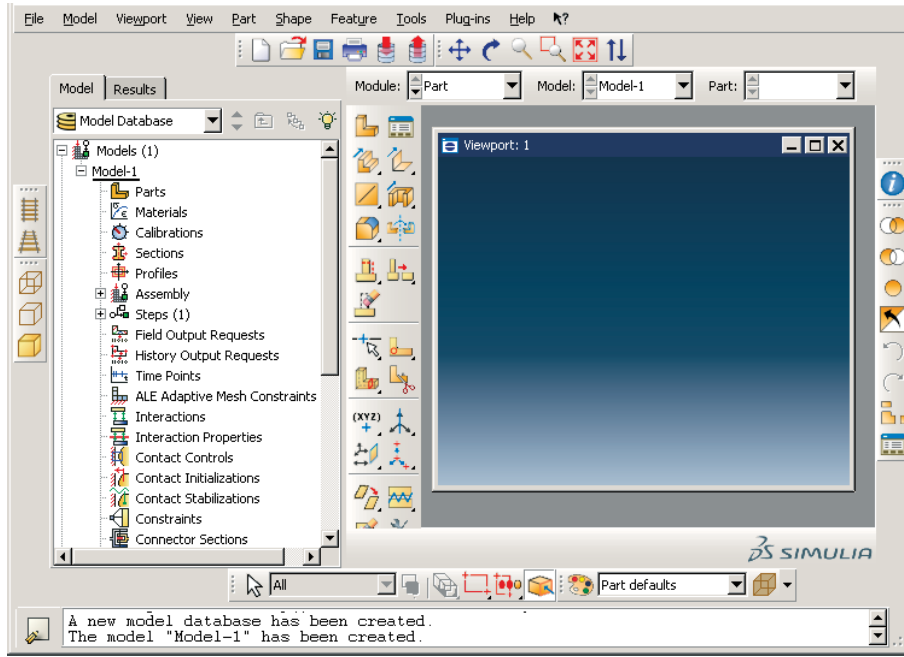


Şekil 7.9. Onarım öncesi ve sonrası kompozit numunelerin rijitlik değişimleri

BÖLÜM 8. SONLU ELEMANLAR MODELİ

Bu bölümde, geleneksel ve kompozit perde duvarların sonlu elemanlar (SE) yöntemine dayalı olarak çalışan ABAQUS programı yardımıyla sayısal modelleri oluşturulmuştur. Sayısal modellerin oluşturulma aşamaları verilmiş ve doğrulaması bu çalışma kapsamında testleri gerçekleştirilen deney numunelerinin sonuçları ile yapılmıştır. Doğrulanmış sayısal modeller kullanılarak parametrik bir çalışma yapılmış ve kompozit perde duvarların davranışına çelik sac elemanların malzeme davranışının etkileri incelenmiştir.

Sonlu elemanlar metodu genellikle mühendislik uygulamalarındaki karmaşık problemlerin çözümlenmesinde kullanılmaktadır. Bu metotta karmaşık problemler; basit geometrik şekillere sahip, düğüm noktalarından birbirlerine bağlı sonlu eleman adlı 1-2-3 boyutlu küçük parçalara bölünür. Bu yöntemde temel ilke; sınır koşulları, malzeme ve geometrik özellikleri karmaşık olan sistemlerin yapısal çözümlerininin parçadan bütüne giderek yapılmasıdır. Bu tez çalışmasında, literatürdeki bir çok çalışmada da [14], [19], [22], [23], [27]–[31] kullanılan ABAQUS [32] sonlu elemanlar programı yardımıyla elemanların SE modelleri oluşturulmuştur. ABAQUS programına ait arayüz detaylarına Şekil 8.1.'de yer verilmiştir.



Şekil 8.1. ABAQUS sonlu elemanlar programının arayüzü [33]

Sonlu elemanlar modelinin oluşturulması için tanımlanması gereken model geometrisi ve modele ait fiziksel parametreler program arayüzünde bazı modüllerle sağlanmaktadır. Modelleme sürecinde kullanılan modüller ve işlevleri aşağıda başlıklar halinde sunulmuştur.

- Part: Çalışma konusu olan elemanların ABAQUS programında yapısal modellerin oluşturulmasında, literatürde [14], [19], [37]–[46], [22], [47]–[53], [23], [29]–[31], [34]–[36] tercih edilen ve daha gerçekçi modelleme seçeneği sunan 3 boyutlu tasarım [50] seçeneği tercih edilmiştir. PART modülünde betonarme ve kompozit perde duvarların beton hacimlerini ifade eden 3 boyutlu geometrik parçalar oluşturulmuştur. Bunlarla birlikte beton hacimler içerisinde yer alan gömülü bükme sacı ve donatıları temsil eden parçalar da 3 boyutlu düzlemde modellenmiştir.
- Sketch: 3 boyutlu parça geometrilerinin oluşturulması esnasında gerekli olan 2 boyutlu çizimlerin oluşturulma işlemleri bu modülde gerçekleştirilmiştir.
- Property: Beton ve çelik malzeme modellerine ait hesaplanan veriler, program arayüzünde tanımlanan ilgili malzemelere girdi olarak atanmıştır.

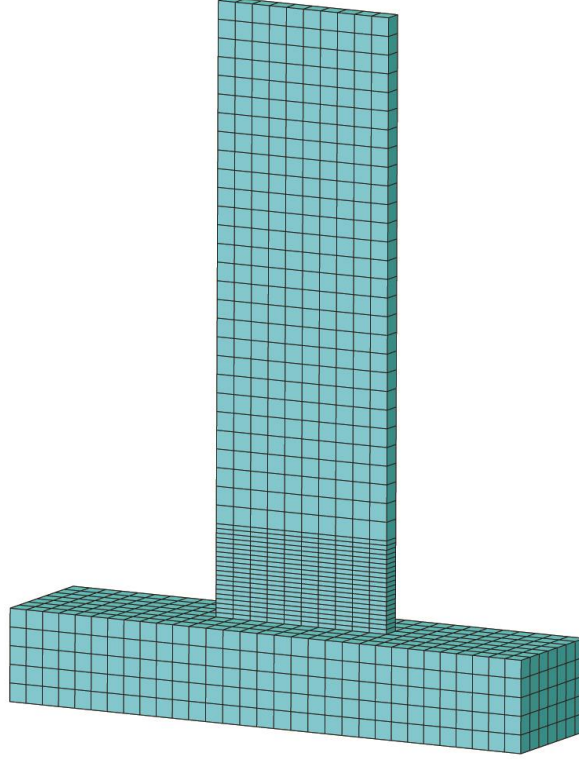
PART modülünde; perde duvarı oluşturan beton bloğun ve çelik elemanların kesit özellikleri belirlenmiştir. ABAQUS programında homojen katı (solid) kesitler; iki boyutlu, üç boyutlu ve eksenel simetrik katı bölgelerin kesit özelliklerini tanımlamak için kullanılmaktadır [33]. Çubuk (truss) kesitler ise eksenel dayanım sağlayan ancak eğilme dayanımı göstermeyen iki ve üç boyutlu ince, çubuk benzeri yapıların kesit özelliklerini tanımlamada görev alabilmektedir [33]. Bu kapsamda, çalışmadaki kesitlerde 3 boyutlu beton blok ve bükme sac elemanlar için homojen katı (solid) kesitler, donatılar için çubuk (truss) kesitler tercih edilmiştir. Bu modülde kesit ve malzeme özelliklerinin ilgili elemanlara atama işlemleri gerçekleştirilmiştir.

- Assembly: Perde duvar ana gövdesi; perde duvarı oluşturan beton blok parçalar ile çelik parçaların bu modülde bir araya getirilmesiyle (montajlanmasıyla) teşkil edilmiştir.
- Step: Analiz adımlarının oluşturulması bu modülde gerçekleştirilmiştir. ABAQUS programında başlangıç (initial) adımı ön tanımlı olarak her modele atanmaktadır. Başlangıç adımı analizin en başında geçerli olan sınır koşullarının ve etkileşimlerinin tanımlanmasına olanak sağlar [33]. Bu aşamadan sonra yüklemenin gerçekleştiği birinci adım (step-1) tanımlanmıştır. Bu süreçte program ilgili adımın tanımlanması için yürütülecek analiz türünün seçilmesini istemektedir. Yapılan deneysel çalışmada yüklemenin yarı statik (quasi-static) şekilde gerçekleştirilmesinden dolayı arayüzde bulunan, atalet etkilerinin göz ardı edildiği [33] statik (static, general) analiz türü seçilerek birinci adım (step-1) oluşturulmuştur. Analiz sonucunda istenilen çıktılar da yine bu modülde belirlenmiştir.
- Interaction: Bir modelin bölgeleri veya bir modelin belli bir bölgesi ile çevresi arasındaki mekanik ve termal etkileşimler bu modülde tanımlanmaktadır [33]. Çalışmada beton malzemeler ile çelik malzemeler beraber çalıştıkları için iki malzeme arasındaki etkileşim tanımının gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Literatürde [36], [40], [51], [52], [54] bu

etkileşim, gömülü eleman (embedded element) modeli kullanılarak sağlanmıştır. ABAQUS programında gömülü eleman tekniği olarak da geçen bu yöntem, bir elemanın başka bir eleman içerisinde gömülü olması durumunda kullanılmaktadır [33]. Bu yöntemin özellikle beton içerisinde yer alan donatıların modellenmesinde kullanabileceği de önerilmiştir [33]. Bu çalışmada beton blok barındıran eleman (host element), çelik elemanlar ise gömülen elemanlar (embedded elements) olarak tanımlanmıştır. Gömülü eleman tekniğinde; barındıran elemanlar gömülü elemanların serbestlik derecelerini sınırlandırır.

- Load: Etkitilen yüklerin ve sınır koşullarının belirlenmesi bu modülde gerçekleştirilir. Yürütülen çalışmanın başlangıç adımıdaki sınır koşulları; perde duvar temel bloklarının alt yüzeylerine ankastre mesnet koşulları atanarak belirlenmiştir. Takip eden süreçte başlangıç adımıda atanan sınır koşulları korunmak üzere elemana etkiletilen yüklere karşılık gelen deplasmanlar sınır koşulu olarak perde duvar modeline tanımlanarak, birinci adımda eleman üzerinde oluşması istenen etkiler tanımlanmıştır.
- Mesh: Parçaların montajlanmasıyla elde edilen modelde, sonlu eleman ağının (mesh) oluşturulması bu modülde gerçekleştirilmiştir (Şekil 8.2.). Mesh aralıklarının belirlenmesi için gerçekleştirilen parametrik yakınsama çalışmaları kapsamında perde duvar üzerinde hasarın en çok gözlemlendiği bölgede mesh aralığı 25 mm, diğer bölgelerde 100 mm olarak belirlenmiştir. Modelde betonu ve bükme sac elemanları tanımlamak için 1 integrasyon noktalı, 8 düğüm noktalı, 3 boyutlu doğrusal kübik elemanlar (C3D8R) kullanılmıştır. Donatılar ise 2 düğüm noktalı, 3 boyutlu, doğrusal çubuk elemanlar (T3D2) kullanılarak modellenmiştir.
- Job: Analiz için gerekli donanımsal alt yapı seçimi ve analiz sürecinin başlatılması bu modül kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

- Visualization: Analiz esnasında ve bitiminde sonuçların takibi bu modülle sağlanmıştır.



Şekil 8.2. Modellenen perde duvarlarda sonlu eleman ağı

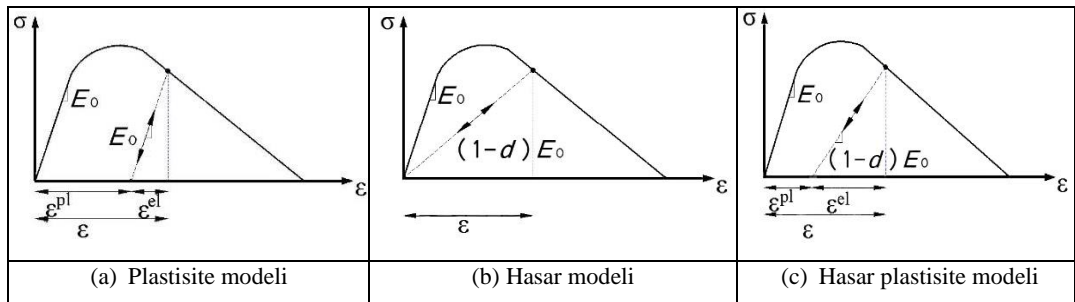
Bu modüllerde kullanılacak sayısal parametrelerin birbirleri arasındaki uyumluluğun sağlanması için programın önerdiği parametreler ve parametrelerin birimleri Tablo 8.1.'de verilmiştir.

Tablo 8.1. Programda tercih edilmesi gereken birimler [33]
UYUMLU BİRİMLER

Parametre	SI	SI (mm)
Uzunluk	m	mm
Kuvvet	N	N
Kütle	kg	tonne (10^3 kg)
Zaman	s	s
Gerilme	Pa (N/m^2)	MPa (N/mm^2)
Enerji	J ($N \times m$)	mJ (10^{-3} J)
Yoğunluk	kg/m ³	tonne/mm ³

8.1. Beton Malzeme Modeli

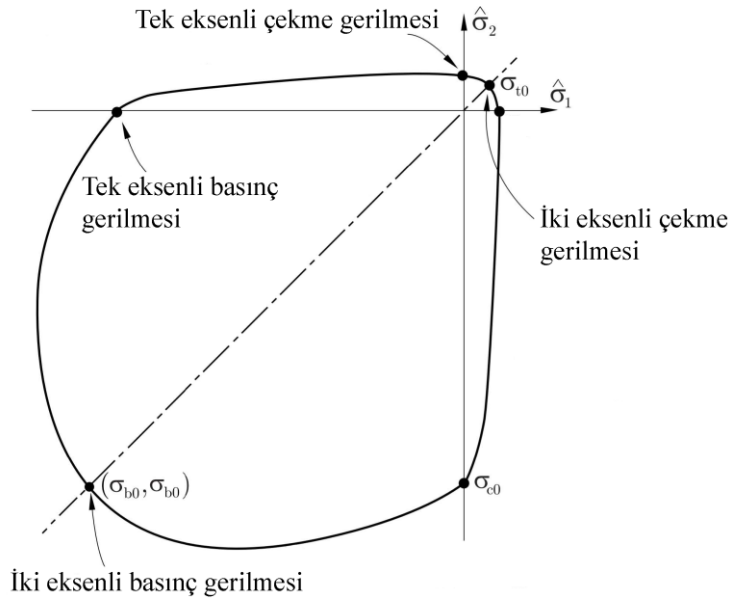
Analizi gerçekleştirilmek istenen modelin, fiziksel ögenin gerçek davranışına yakın sonuçlar sergilemesi sonlu elemanlar modelinin iyi tasarlanmasına bağlıdır. Sonlu elemanlar modelinin oluşturulmasında modelin davranışını etkileyen temel parametrelerin başında malzeme modelleri ve geometrik uygunluklar vardır. Çalışmanın bu başlığında beton malzeme modelinin oluşturulma adımları ele alınacaktır. Literatürde bu amaçla malzeme özelliklerine bağlı olarak elastisite, plastisite, kırılma mekaniği ve hasar mekaniği teorileri tabanlı birçok malzeme modeli önerileri bulunmaktadır. Beton malzeme için basınç altındaki davranış plastisite modeli ile tanımlanabilirken, oluşacak çatlakların etkisi de hasar mekaniği teorisi ile yansıtılabilmektedir. ABAQUS programı beton malzemeler için 3 farklı malzeme modelinin tanımlanmasına imkân sağlamaktadır. Bunlar; beton hasar plastisite (concrete damaged plasticity), beton yayılı çatlak (concrete smeared cracking) ve beton kırılğan çatlak (cracking model for concrete) modelleridir [33]. Bu tez çalışmasında, Alfarağ ve ark. [49] tarafından önerilen, hasar mekaniği teorisi ile plastisite teorisinin sentezlenmiş hali olan beton hasar plastisite (BHP) modelini temel alan beton plastik hasar modeli (concrete plastic damage model) kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir (Şekil 8.3.). Sonlu elemanlar programında malzeme modeli tanımlanmadan önce bazı parametrelerin girilmesi gerekmektedir. Bunlar; dilasyon açısı (ψ), eksantrisite (ϵ), başlangıç iki eksenli basınç akma gerilmesinin başlangıç tek eksenli basınç akma gerilmesine oranı ($f_{b0}=\sigma_{b0}/f_{c0}=\sigma_{c0}$), tek eksenli çekme ve tek eksenli basınç altında oluşan deviatorik gerilmelerin oranı (K) ve viskozite parametresi (μ) olarak tanımlanmıştır [33].



Şekil 8.3. Hasar plastisite modelinin oluşumu [55]

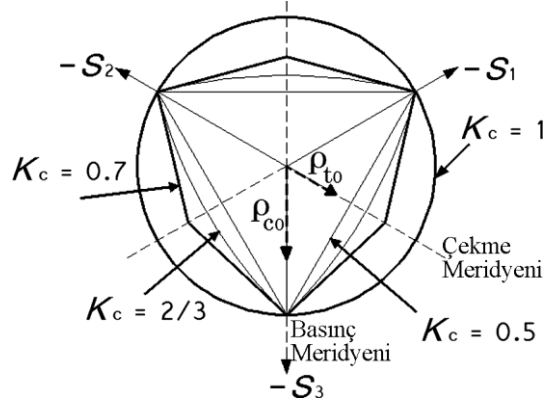
8.1.1. Akma kriteri

Plastisite teorisinin temel bileşenlerinde akma yüzeyi plastik şekildeğişirmelerin oluşma durumunu belirler [56]. ABAQUS programı akma koşulu olarak Lubliner ve ark. [57] tarafından önerilen ve Lee ve Fenves [58]'in basınç ve çekme altında oluşabilecek farklı gerilme durumlarını dikkate alan modifikasyonları da içeren akma fonksiyonunu göz önüne alır [33]. Akma durumunun belirlenmesi için akma yüzeyinin düzlem gerilme durumunda gösterimi Şekil 8.4.'te, deviatorik düzlemdeki gösterimi ise Şekil 8.5.'te verilmiştir.



Şekil 8.4. Düzlem gerilme durumu için akma yüzeyi [33]

- K_c : Tek eksenli çekme ve tek eksenli basınç altında oluşan deviatorik gerilmelerin oranını ifade etmektedir [33]. Bu çalışmada, önceki yapılan çalışmalarda da [59] yer alan ve varsayılan değer olan $2/3$ değeri programa girdi olarak atanmıştır.

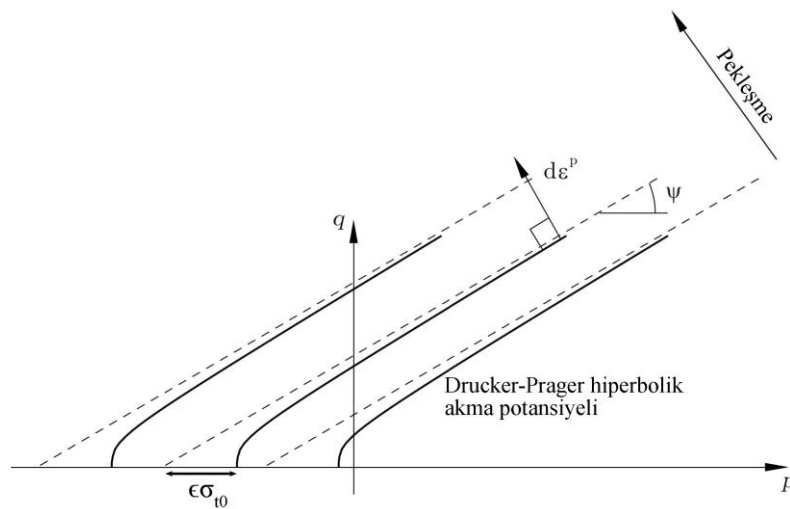


Şekil 8.5. Deviatorik düzlemde akma yüzeyinin gösterimi [49]

8.1.2. Akış kuralı (flow rule)

Akış kuralının plastisitede önemli bir yeri vardır. Akış kuralının belirlenmesinde bir plastik potansiyel fonksiyonun seçilmesi söz konusudur. Plastik şekil değiştirmelerin doğrultusu bu fonksiyon tarafından belirlenir. Özellikle betonun sargı etkisi altında davranışının doğru modellenebilmesi için hem aksel hem de yanal doğrultudaki şekil değiştirmelerinin hassas bir şekilde belirlenmesi önemli bir husustur [56]. Programda akma potansiyelinin (G) belirlenmesinde Drucker-Prager hiperbolik akma potansiyeli fonksiyonu kullanılmıştır (Denklem (8.1)) [49]. Fonksiyonun düzlemde gösterimi Şekil 8.6.'da sunulmuştur.

$$G = \sqrt{(\epsilon \sigma_{t0} \tan \psi)^2 + q^2} - p \tan \psi \quad (8.1)$$



Şekil 8.6. Drucker-Prager hiperbolik akma potansiyeli fonksiyonunun meridyen düzleminde gösterimi [33]

Burada;

- σ_{10} : Tek eksenli çekme gerilmesini,
- p : Hidrostatik basınç gerilmesini,
- q : Von-Mises eş değer efektif gerilmesini ifade etmektedir.

- Eksantrisite (ϵ): Hiperbolik akma potansiyelinin asimptotuna yaklaşma hızını tanımlayan küçük bir pozitif sayıdır [33]. Eksantrisite sıfıra yaklaştıkça akış potansiyeli düz bir çizgi haline gelmektedir. Bu çalışmada eksantrisite girdisi olarak, literatürdeki çalışmalarda [35], [45], [54], [60]–[62] da kullanılan ve varsayılan eksantrisite değeri olarak atanan 0,1 değeri kullanılmıştır.

- Dilasyon açısı (ψ): Kayma gerilmesi ya da kayma şekil değiştirmesi altında malzemedeki hacimsel değişim dilasyon ile ifade edilir. Dilasyon açısı (ψ) ya da içsel sürtünme açısı olarak da bilinen terim ise malzemedeki söz konusu hacimsel değişimin sayısal ifade şeklidir (Şekil 8.6.). Bu sebeple dilasyon açısının değişimi ile aynı şekilde değiştirmeler altında daha rijit ya da daha elastik bir malzeme davranışı ortaya çıkabilecektir. Literatürdeki çalışmalarda [14], [22], [61]–[70], [30], [71], [31], [36], [42], [51], [54], [59], [60] bu değer 5 ile 45° arasında seçilerek analizler gerçekleştirilmiş ve deneysel çalışmalarla uyum sağlanması hedeflenmiştir. Bu çalışmada farklı dilasyon açısı değerlerine göre parametrik çalışmalar gerçekleştirilmiş, deneysel çalışmalara en yakın değerler 35° dilasyon açısında elde edilmiştir.

8.1.3. f_{b0}/f_{c0}

f_{b0}/f_{c0} , başlangıç iki eksenli basınç akma gerilmesinin başlangıç tek eksenli basınç akma gerilmesine oranı olarak ifade edilmiş ve varsayılan değer 1,16 olarak atanmıştır [33]. Bu değer için literatürde [50], [62], [72] kabul gören 1,16 varsayılan değeri seçilmiştir.

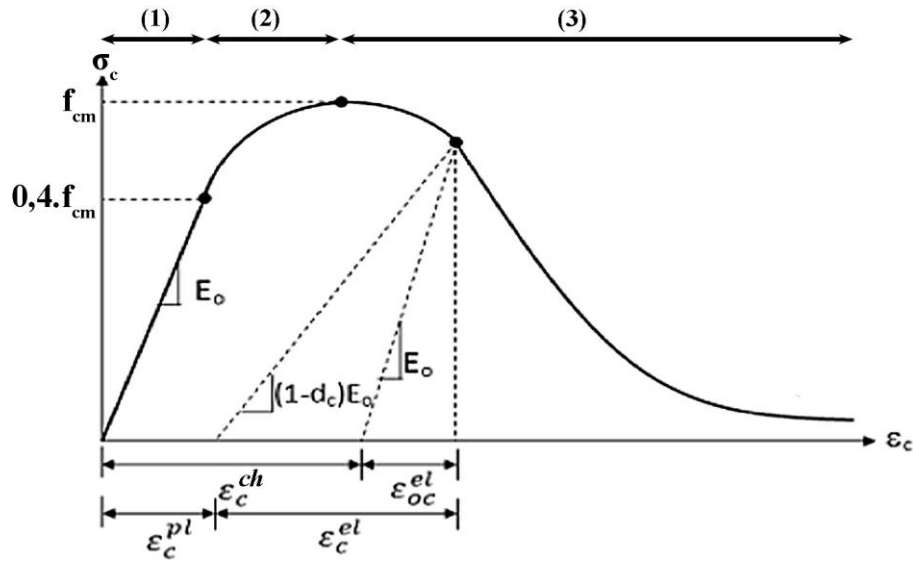
8.1.4. Viskozite parametresi (μ)

μ , analizlerde beton malzeme denklemlerine vizko-plastik düzenlenme uygulanmasında kullanılan parametredir. Malzeme modelindeki yumuşama ve rijitlik kaybının olduğu kesitler analizde yakınsama problemlerini ortaya çıkarabilmektedir [33]. Viskozite parametresi bu tip problemlerin çözümüne yönelik kullanıcı tarafından atanan bir parametredir. Programın atadığı varsayılan değer 0'dır. Literatürdeki çalışmalarda [30], [31], [45], [52], [54], [61], [62], [64], [68], [73] bu değer için $1E \times 10^{-7}$ ile $667E \times 10^{-3}$ arasında değerler seçilmiştir. Viskozite parametresinin aşırı yüksek seçilmesi analiz süresinin azalmasına sebep olmakla birlikte modelin gerçek davranıştan uzaklaşmasına da sebep olabilmektedir. Bu sebepten dolayı tez çalışması kapsamında, optimum değeri yakalamak için parametrik çalışmalar gerçekleştirilmiş [72] ve deneysel çalışmaya en çok yaklaşım $1E \times 10^{-6}$ değerinde elde edilmiştir.

Beton malzemesinin modellenmesinde yukarıdaki parametreler girildikten sonra malzemenin basınç ve çekme davranışlarını gösteren gerilme-birim şekildeğiştirme eğrilerine ait verilerin tanımlanması gerekmektedir. Çalışmada kullanılan Alfarah ve ark. [49] önerdiği modelde, betonun tek eksenli basınç altında gerilme-birim şekildeğiştirme eğrisi üç kısım ile ifade edilmiştir (Şekil 8.7.). Birinci kısım; betonun elastik şekil değiştirmeler yaptığı ve çatlakların oluşmadığı elastik bölgedir. Burada Hooke kuralı geçerli olduğundan gerilmeler; birim şekildeğiştirmeler ile başlangıç elastisite modülü (E_0)'nün çarpılmasıyla bulunabilmektedir. Elastik bölgenin bitiminden başlayan; lineer olmayan, maksimum basınç gerilmesine kadar ulaşan bölge ise ikinci kısım olarak ifade edilmiştir. Bu bölgede mikro çatlakların oluşmasıyla rijitlik düşmeye başlamış, malzemede oluşan birim şekildeğiştirmeler artmasına rağmen gerilim artışı azalmıştır. Üçüncü kısım ise maksimum basınç gerilmesine ulaştıktan sonra numune üzerindeki birim şekildeğiştirmelerin artmasıyla gerilmelerde düşüşün gerçekleştiği aralıktır. Bu kısım basınç yumuşaması olarak da anılır [56]. ABAQUS programında gerilme-birim şekildeğiştirme eğrisinin tanımlanması için elastik kısmının ayrı, inelastik kısmının ayrı tanımlanması gerekmektedir. Elastik kısmın tanımlanmasında elastisite modülünün girilmesi,

eğrinin lineer olmayan kısımlarının tanımlanması için ise beton birim şekildeğiştirmelerinin Denklem (8.2) ile inelastik (ezilme) birim şekildeğiştirmeler (ε_c^{ch}) cinsinden ifade edilerek programa atanması istenmektedir [33].

$$\varepsilon_c^{ch} = \varepsilon_c - \varepsilon_{0c}^{el} \rightarrow \varepsilon_{0c}^{el} = \frac{\sigma_c}{E_0} \quad (8.2)$$



Şekil 8.7. Eksenel basınç altında beton malzeme davranışı [49]

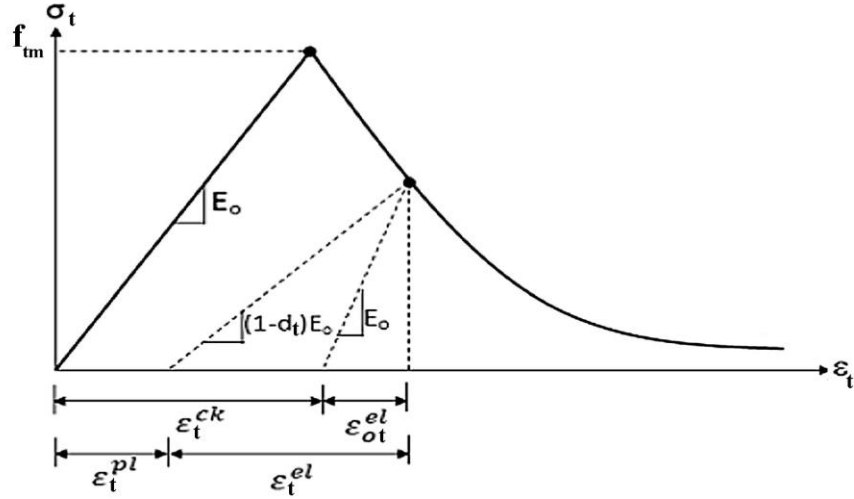
Burada;

- σ_c : Betonun basınç gerilmesi değerini,
- ε_c : Betonun basınç birim şekildeğiştirmesini,
- f_{cm} : Betonun basınç gerilmesi dayanımını,
- E_0 : Betonun başlangıç elastisite modülünü,
- ε_c^{ch} : Betonun basınç altında ezilme birim şekildeğiştirmesini,
- ε_{0c}^{el} : Betonun basınç altında elastik başlangıç birim şekildeğiştirmesini,
- ε_c^{pl} : Betonun basınç altında plastik birim şekildeğiştirmesini,
- ε_c^{el} : Betonun basınç altında elastik birim şekildeğiştirmesini ifade etmektedir.
- d_c : Gerilme-birim şekildeğiştirme eğrisi üzerindeki basınç yumuşamasının başladığı herhangi bir noktada beton numunesi üzerindeki yük boşaltıldığında

(ya da geri yükleme durumunda) elastik rijitlikte azalma görülmektedir. Bununla birlikte beton numunedeki plastik birim şekildeğiştirmelerin artmasıyla elastik rijitliklerde düşüşün de gittikçe belirgin hale geldiği belirtilmektedir [33]. Rijitliklerde bu azalım, malzeme modelinde 0 ile 1 arasında değer alabilen basınç hasar parametresi (d_c) ile temsil edilmektedir.

Betonun çekme dayanımı basınç dayanımının yaklaşık %5'i ile %10'u civarındadır [56]. Alfarah ve ark. [49]'nın önerdiği modelde betonun çekme davranışı iki kısımdan oluşmaktadır (Şekil 8.8.). Birinci kısım; malzemenin gerilme-birim şekildeğiştirme eğrisinin lineer kabul edildiği, betonun çekme gerilmesi dayanımına (f_{tm}) kadar ulaşan elastik kısmı göstermektedir. Burada gerilmeler; birim şekildeğiştirmeler ile başlangıç elastisite modülü (E_0)'nün çarpılmasıyla bulunabilmektedir. Numune üzerindeki gerilim, f_{tm} 'ye ulaşınca beton malzemede mikro-çatlakların oluşmaya başladığı görülür. Takip eden ikinci kısımda (eğrinin azalan kolunda) ise mikro-çatlakların oluşumu gözle görülür hale gelir [33]. Numunede şekildeğiştirmeler arttıkça gerilme kayıpları da artarak eğrinin azalan kolu oluşur. Numunenin bu davranışı çekme yumuşaması olarak ifade edilir [72]. Beton numunesi çekme altında gevrek bir davranış sergiler [56]. ABAQUS programında çekme altında gerilme-birim şekildeğiştirme eğrisinin tanımlanması için basınç durumunda olduğu gibi elastik ve inelastik kısımların ayrı ayrı tanımlanmasını gerekmektedir. Elastik kısmın tanımlanmasında elastisite modülünün girilmesi, eğrinin lineer olmayan inelastik kısımlarının tanımlanması için ise beton birim şekildeğiştirmelerinin Denklem (8.3) ile inelastik (çatlama) birim şekildeğiştirmeler (ε_t^{ck}) cinsinden ifade edilerek programa atanması istenmektedir [33].

$$\varepsilon_t^{ck} = \varepsilon_t - \varepsilon_{0t}^{el} \rightarrow \varepsilon_{0t}^{el} = \frac{\sigma_t}{E_0} \quad (8.3)$$



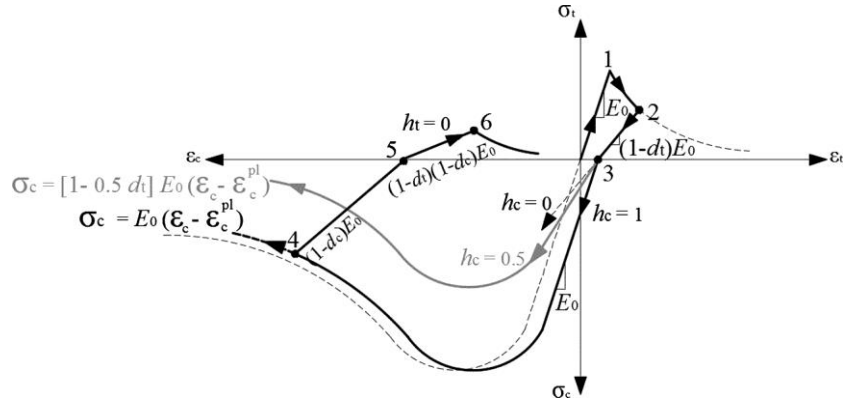
Şekil 8.8. Eksenel çekme altında beton malzeme davranışı [49]

Burada;

- σ_t : Betonun çekme gerilmesi değerini,
- ε_t : Betonun çekme birim şekildeğiştirmesini,
- f_{tm} : Betonun çekme gerilmesi dayanımını,
- E_0 : Betonun başlangıç elastisite modülünü,
- ε_t^{ck} : Betonun çekme altında çatlama birim şekildeğiştirmesini,
- ε_{0t}^{el} : Betonun çekme altında elastik başlangıç birim şekildeğiştirmesini,
- ε_t^{pl} : Betonun çekme altında plastik birim şekildeğiştirmesini,
- ε_t^{el} : Betonun çekme altında elastik birim şekildeğiştirmesini ifade etmektedir.
- d_t : Gerilme-birim şekildeğiştirme eğrisi üzerindeki çekme yumuşamasının başladığı herhangi bir noktada beton numunesi üzerindeki yük boşaltıldığında (ya da geri yükleme durumunda) elastik rijitlikte azalma görülmektedir. Bununla birlikte beton numunedeki plastik birim şekildeğiştirmelerin artmasıyla elastik rijitliklerde düşüşün de gittikçe belirgin hale geldiği belirtilmektedir [33]. Rijitliklerde bu azalmı, malzeme modelinde 0 ile 1 arasında değer alabilen çekme hasar parametresi (d_t) ile temsil edilmektedir.

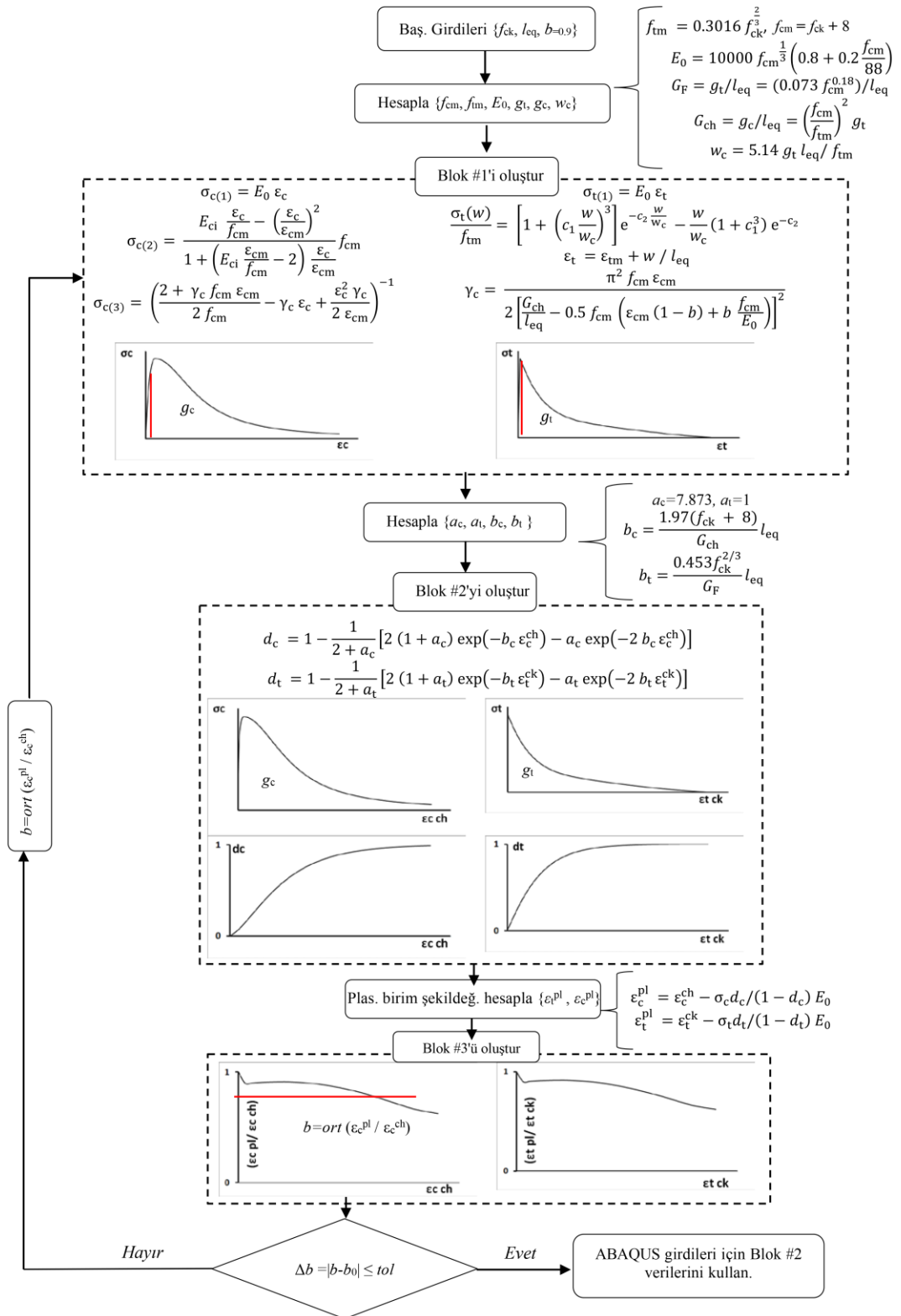
Tek eksenli çevrimsel yüklemeler altında rijitlik değişim mekanizmaları oldukça karmaşıktır. Bu süreçte önceden oluşan mikro-çatlakların açılıp-kapanmaları ve

birbirleriyle etkileşimleri önemli rol oynar. Deneysel çalışmalarda yüklerin işaret değiştirdiği koşullarda elastik rijitliklerde geri kazanım sağlandığı görülmüştür. Belirgin olarak çekme etkisi altında çatlayan kesitlerin basınç etkisine maruz kalmasıyla ortaya çıkan bu durum, mevcut çatlakların kapanmasıyla elastik rijitliklerin geri kazanılmasını ön görür [33]. Beton plastik hasar modelinde bu etkiler iki parametre ile dikkate alınmaktadır. Bunlar; 0 ile 1 arasında değişen, basınç rijitliği geri kazanım parametresi (h_c) ile çekme rijitliği geri kazanım parametresi (h_t)'dir (Şekil 8.9.). Literatürdeki çalışmalarda [14], [28], [37], [47], [74] h_c , h_t sırasıyla 1 ve 0 değeri seçilmekle birlikte, bazı çalışmalarda [50]; h_c 'nin 0,1-0,2 aralığında, h_t 'nin ise 0,7-0,8 aralığında seçilebileceği öngörülmüştür. Yürütülen çalışmada h_c , h_t parametrelerine sırasıyla 0,15 ve 0,7 değerleri atanmıştır.



Şekil 8.9. Tek eksenli çevrimsel yükleme durumunda beton malzeme davranışı [49]

Bu aşamaya kadar ABAQUS programı tarafından beton malzeme modelinin oluşturulması esnasında istenen temel parametreler tanımlanmış ve bu çalışmada kullanılan değerleri belirlenmiştir. Alfaraç ve ark. [49] tarafından önerilen ve bu çalışmada da kullanılan beton malzeme modelinin ABAQUS programında tanımlanabilmesi için gerekli verilerin elde edilme süreçlerine ait akış şemasına Şekil 8.10.'da yer verilmiştir.



Şekil 8.10. Malzeme modelinin oluşturulması için akış şeması [55]

8.2. Çelik Malzeme Modeli

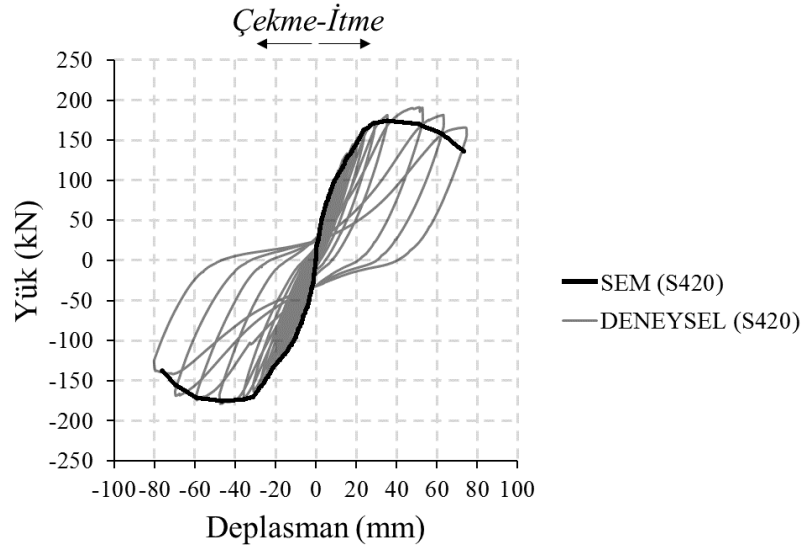
Yapılan çalışmalarda [22], [40], [47], [59], [70], [71], [75]–[77] çelik elemanlar için elastoplastik malzeme kullanımı yaygındır. Yürütülen çalışmada bu durum göz önünde bulundurularak çelik elemanlar için elastoplastik malzeme modeli tercih edilmiştir. Bu modelde malzeme; akma gerilmesine ulaştıktan sonra gerilme artışı olmadan plastik birim şekildeğiştirmeler yaparak dayanım gösterir. ABAQUS programında çelik malzeme modelinin tanımlanması için çeliğe ait elastisite modülü (E_s), poisson oranı (ν), akma gerilmesi (f_y) ve plastik birim şekildeğiştirme (ε^{pl}) parametrelerinin girilmesi istenmektedir. Plastik birim şekildeğiştirmeler (ε^{pl}), toplam birim şekildeğiştirme (ε_s) değerlerinden elastik birim şekildeğiştirme (ε^{el}) değerlerinin çıkarılmasıyla elde edilebilmektedir (Denklem (8.4)).

$$\varepsilon^{pl} = \varepsilon_s - \varepsilon^{el} \rightarrow \varepsilon^{el} = \frac{f_y}{E_s} \quad (8.4)$$

8.3. Sonlu Elemanlar Modeli'nin Doğrulanması

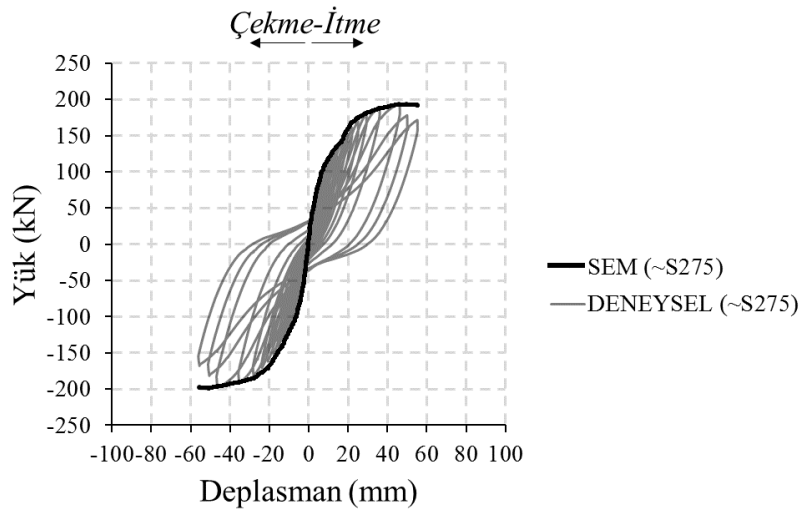
Sonlu elemanlar modellerinin doğrulanmasında geleneksel betonarme perde duvar ile birlikte üç kompozit perde duvar değerlendirilmiştir. Doğrulama sürecinde temel iki parametre göz önünde bulundurulmuştur. Bunlar, elemanların taşıdığı maksimum yatay yükler ile bu yüklerde oluşan deplasman seviyeleridir. Şekil 8.11.–Şekil 8.14.'ten de açıkça görüldüğü üzere sonlu elemanlar modelleri perde duvarın gerçek davranışını oldukça başarılı bir şekilde simule etmektedir.

Geleneksel betonarme perde duvarı temsilen oluşturulan referans numune (SW) modelinde deneysel davranış iyi derecede yakalanmıştır. Numunenin yük-tepe deplasmanı grafikleri incelendiğinde modelin çekme doğrultusundaki maksimum taşıdığı yük %99 oranında deneysel verilerle uyum gösterirken, itme doğrultusunda bu uyum daha az oranda oluşmuştur (Tablo 8.2.). Model, elemanın başlangıç rijitliğinin yanı sıra maksimum yüke ulaştıktan sonra deneysel davranışta yer alan eleman üzerindeki rijitlik azalımını da sergilemiştir (Şekil 8.11.).



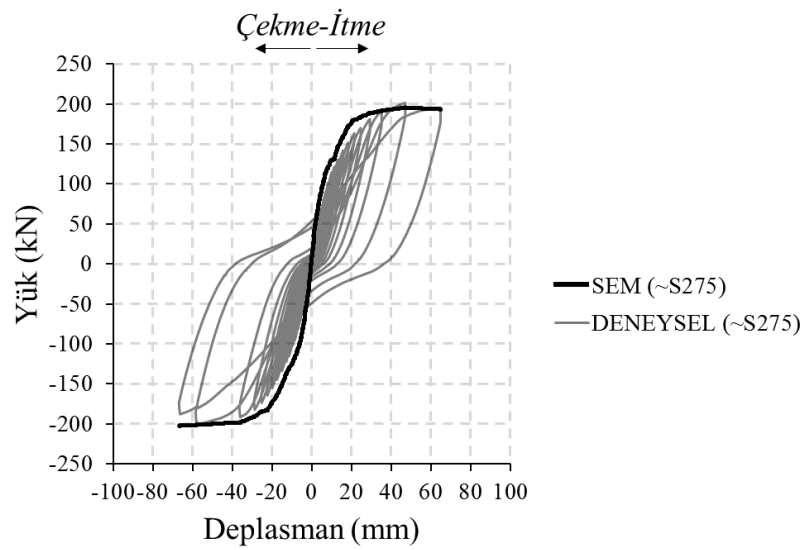
Şekil 8.11. Referans numune (SW) için sonlu elemanlar modelinin performansı

Bükme sac elemanların perde uç bölgelerindeki kesitlerde gövdeye uzak kenar bölgelere konumlandırılmasıyla oluşturulan kompozit perde duvar numune (CSW-1) modeli, her iki doğrultuda da deneysel davranışa benzer bir performans sergilemiştir (Şekil 8.12.). Numunenin yük-tepe deplasmanı grafiklerinde modelin hem itme hem de çekme doğrultularında maksimum taşıdığı yük, %100'e yakın oranlarda deneysel verilerle uyum göstermiştir (Tablo 8.2.). Ancak model, maksimum yük seviyesine kadar rijitlik açısından deneysel verilerle yüksek yakınsama göstermesine rağmen maksimum yük ötesinde deneysel davranıştan daha rijit bir davranış ortaya koymuştur.



Şekil 8.12. Kompozit numune (CSW-1) için sonlu elemanlar modelinin performansı

Perde uç bölgelerinde oluşturulan kesitin tamamının bükme sac elemanlardan teşkil edildiği kompozit perde duvar numune (CSW-2) modeli hem itme hem de çekme doğrultusunda deneysel davranışı yansıtmıştır (Şekil 8.13.). Elemanın yük-tepe deplasmanı grafiklerinde maksimum yük kapasitesi göz önünde bulundurulduğunda sonlu elemanlar modeli çekme doğrultusunda %100'e yakın değerlerde deneysel sonuçlarla benzer sonuçlar vermiştir (Tablo 8.2.). Modelde bu yakınsama durumu maksimum yük ve ötesinde baskın olarak görülmüştür. Maksimum yük öncesinde ise modelde, deneysel çalışmadan daha rijit bir davranış izlenmiştir (Şekil 8.13.).

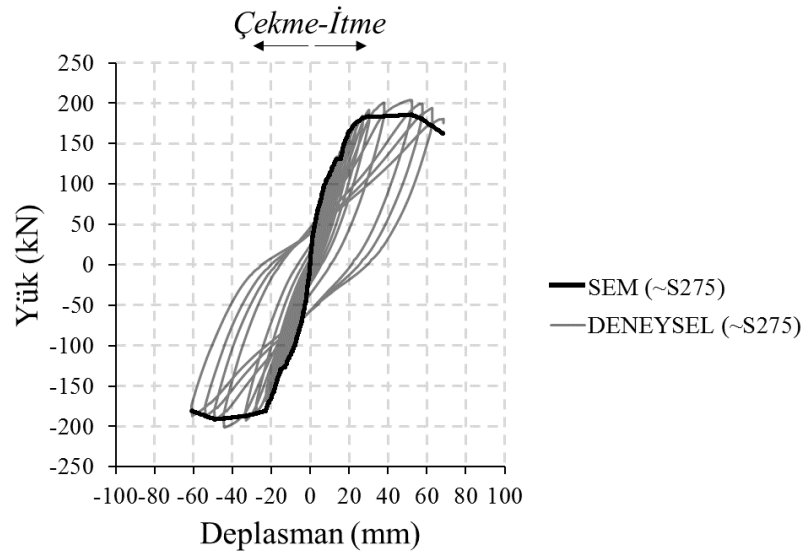


Şekil 8.13. Kompozit numune (CSW-2) için sonlu elemanlar modelinin performansı

CSW-3 kompozit perde duvar modeli, bükme sac elemanların perde duvar uç bölgelerinde oluşturulan kesitin gövdeye yakın bölgelerine konumlandırılmasıyla oluşturulmuştur. Numuneye ait yük-tepe deplasmanı göz önünde bulundurulduğunda model itme doğrultusunda deneysel davranışa oranla %9 daha az yük taşımıştır (Tablo 8.2.). Buna karşın model başlangıç bölgesinde deneysel verilerle daha uyumlu bir davranış sergilemiştir (Şekil 8.14.). Bu uyum, numunenin maksimum yüke ulaştıktan sonra ki rijitliğin azaldığı bölgelerde de gözlenmeye devam etmiştir.

Ayrıca sonlu elemanlar analizlerinin yanı sıra deneysel çalışma öncesinde, matematiksel olarak eş moment kapasitelerine sahip deney elemanı kesitlerinin

belirlenmesi için moment-eğrilik ilişkilerinden elde edilen maksimum yanıl yük verileri de karşılaştırma amaçlı Tablo 8.2.'de sunulmuştur.



Şekil 8.14. Kompozit numune (CSW-3) için sonlu elemanlar modelinin performansı

Tablo 8.2. Limit durum için yük ve deplasman değerleri

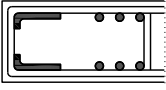

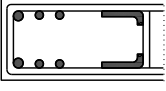
Numune	Deneysel Çalışma		Sonlu Eleman Modeli		Moment-Eğrilik	Tutarlılık	
	P_{max} (kN)	Δ_{max} (mm)	P_{max}^{SEM} (kN)	Δ_{max} (mm)	P_{max}^{M-E} (kN)	P_{max}^{SEM} / P_{max}	$\Delta_{max}^{SEM} / \Delta_{max}$
SW	-178,371	-46,518	-176,342	-46,518	178,06	0,99	1,00
CSW-1	-198,050	-46,242	-199,274	-50,543	180,64	1,00	1,09
CSW-2	-200,722	-57,926	-202,528	-66,352	178,06	1,00	1,15
CSW-3	+203,436	+52,328	+184,982	+52,328	180,64	0,91	1,00

8.4. Parametrik Çalışma

Soğuk şekil verilmiş bükme sac elemanlarda tercih edilebilecek yaygın çelik malzeme sınıflarının farklı kesitlerdeki kompozit perde duvar elemanlarda kullanılmasının kompozit perdenin davranışı üzerindeki etkilerini belirlemek üzere parametrik bir çalışma yapılmıştır. Bu kapsamda; değişken parametre olarak çelik malzeme sınıflarının oluşturulmasında temel parametre olan akma dayanımı tercih edilmiştir. Buna yönelik yapılan parametrik çalışmada günümüzde yaygın olarak üretimi gerçekleştirilen, farklı akma dayanımlarına sahip S235, S275, S355 çelik

malzeme sınıflarının göz önüne alındığı dokuz farklı sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur (Tablo 8.3.).

Tablo 8.3. Sonlu elemanlar modelinde dikkate alınan parametreler

Kesit Adı	Kesit Tipi	Çelik Malzeme Sınıfı
ST-1		S235
		~S275
		S355
ST-2		S235
		~S275
		S355
ST-3		S235
		~S275
		S355

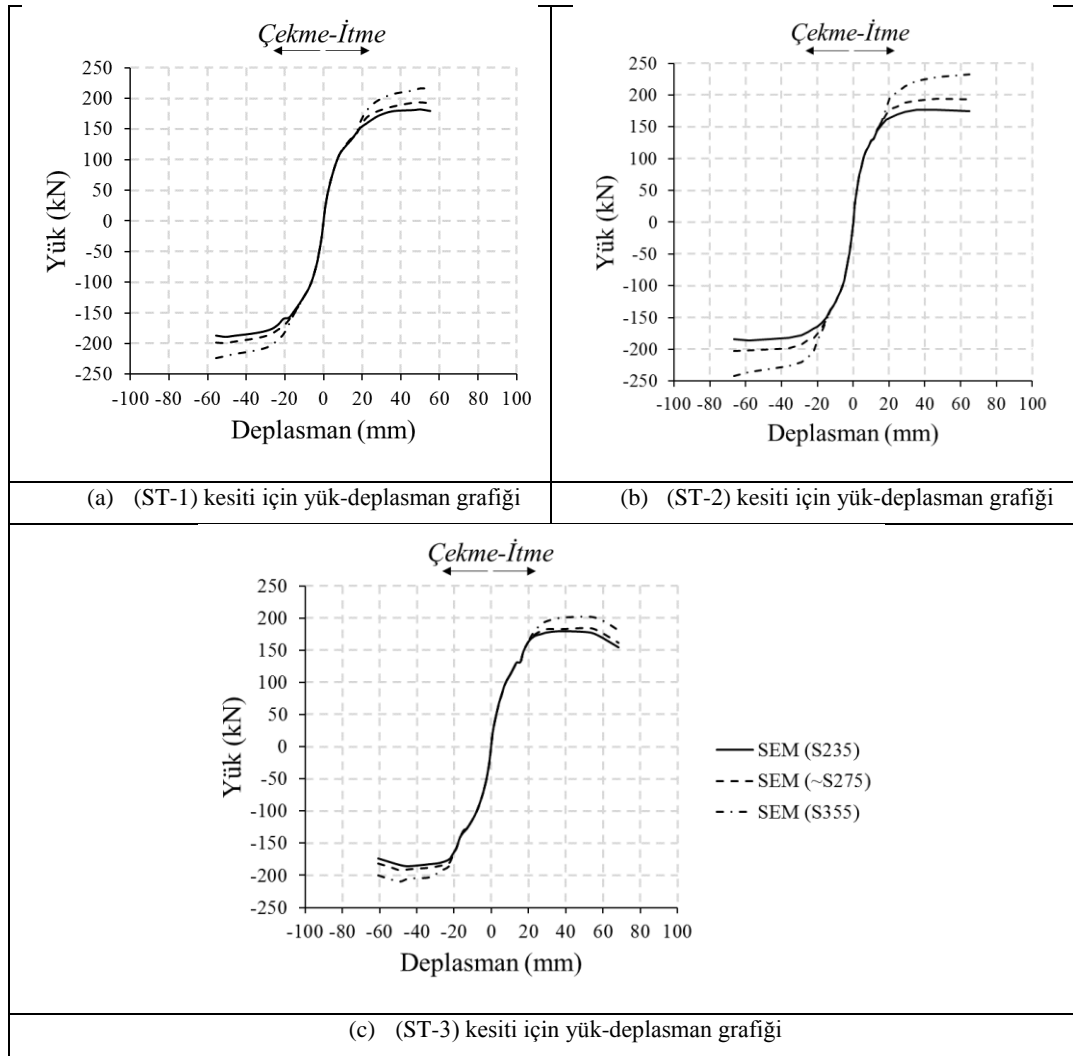
Yapılan analizlerde 3 farklı kesit tipi için yük-tepe deplasmanı grafikleri elde edilmiştir (Şekil 8.15.). Modellerin tamamında malzeme sınıfı parametresinin etkileri elemanların akma dayanımı öncesindeki davranışlarında efektif rol oynamamıştır. Malzeme sınıfları göz önüne alındığında akma dayanımının etkileri, daha çok ileri deplasman seviyelerinde baskın olarak görülmüştür.

ST-1 kesiti baz alınarak tasarlanan modelde, bükme sac elemanların akma dayanımlarının artmasıyla yanıl yük kapasitesinde de %18 dayanım artışı gözlenmiştir (Tablo 8.4.). Ancak bu artış; S235 yerine S275 malzeme sınıfı bükme sac elemanlar tercih edildiği durumda eleman kapasitelerinde belirgin olarak gözlenmemekte birlikte, S355 malzeme sınıfı elemanlar kullanılmasıyla eleman kapasitelerinde daha belirgin olarak izlenmiştir.

ST-2 kesitinde malzeme sınıfının değişimi ST-1 kesitine göre yanıl yük kapasitesine daha çok katkı sağlamıştır. Bu katkıda, kesitin tamamının bükme sac elemanlardan oluşmasının da etkili olduğu ön görülmektedir. ST-2 kesitinde maksimum dayanım artışı %31 olarak belirlenmiştir (Tablo 8.4.). Bu kesitteki S235 ve S275 malzeme

sınıfları arasındaki değişimin yanal yük kapasitesine etkisi ST-1 kesitinde oluşan etkinin yaklaşık olarak iki katı kadar olmuştur.

ST-3 kesitinde malzeme sınıfının S235'den S355'e değişmesi ile dayanım kapasitesinde %13'lük artış oluşmuş ancak diğer kesitlerle karşılaştırıldığında malzeme sınıfı değişiminin yanal yük kapasitesine katkısının daha az oranda olduğu görülmüştür (Tablo 8.4.).



Şekil 8.15. Parametrik çalışmada elde edilen yük-tepe deplasmanı grafikleri

Parametrik çalışmalar kapsamında ele alınan kesitler genel olarak değerlendirildiğinde, bükme sac elemanların perde duvar yanal yük kapasitelerine katkısının öncelikle perde duvar uç bölgelerindeki kesitte yer alan bükme sac eleman yoğunlukları ile doğru orantılı olduğu görülmüştür. Malzeme sınıflarına bağlı olarak

akma dayanımındaki artışın da sac eleman yoğunluklarına paralel olarak etki gösterdiği değerlendirilmiştir.

Tablo 8.4. Parametrik çalışmadan elde edilen maksimum yük ve deplasman seviyeleri

Kesit Adı	Çelik Malzeme Sınıfı	P_{max}^{SEM} (kN)	Δ_{max}^{SEM} (mm)
ST-1	S235	-188,929	-50,543
	~S275	-199,274	-50,543
	S355	-223,714	-55,534
ST-2	S235	-183,989	-66,352
	~S275	-202,528	-66,352
	S355	-241,431	-66,352
ST-3	S235	-185,494	-44,049
	~S275	-191,796	-48,805
	S355	-209,990	-48,805

BÖLÜM 9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tezin amacı; literatürdeki uygulamalarda karşılaşılan olumsuzlukları giderebilecek alternatif bir uygulama olarak bükme saclardan oluşturulmuş kompozit perde duvarların davranışının incelenmesidir. Bu amaçla, betonarme perde duvarların uç bölgelerine yerleştirilecek olan farklı geometrik özelliklere sahip bükme saclardan oluşturulmuş kompozit perde duvarların tekrarlı yatay yükler etkisi altındaki davranışları deneysel ve nümerik olarak araştırılmıştır.

Bu tez çalışmasının deneysel çalışma aşamasında, ülkemizdeki betonarme binalardaki betonarme perde duvar boyutları dikkate alınarak, referans numune ile uç bölgeleri farklı kesitli bükme saclardan oluşturulmuş kompozit perde duvar numuneleri 1/3 ölçekli olarak üretilmiştir. Referans numune ile uç bölgeleri farklı kesitli bükme saclardan oluşturulmuş kompozit perde duvar numunelerinin tekrarlı yükler altındaki deneyleri gerçekleştirilmiş, davranışları; süneklik, rijitlik ve dayanım parametreleri açısından karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Ayrıca, tamamına yakını deprem bölgesi olan Türkiye’de meydana gelen depremler sonrası, yapılardaki en çok zorlanan ve en çok hasar gören elemanlardan olan perde duvar elemanların onarılma ihtiyacını karşılamak için tez kapsamında üretilen ve deneysel çalışmalar sonucunda hasar gören kompozit perde duvarların onarılacak güçlendirilmesine yönelik çalışmalar da sunulmuştur. Tez çalışması kapsamında yürütülen deneysel çalışmalardan ve nümerik analizlerden elde edilen bulgular aşağıda sıralanmıştır;

- L kesitli soğuk şekil verilmiş bükme sac elemanların kompozisyonu ile elde edilen kompozit perde duvarlar geleneksel betonarme perde duvarlara göre %11 ile %14 arasında değişen oranlarda daha fazla yanal yük kapasitesi sunmuştur. Deneysel çalışmalarda yer alan perde duvarlarda göçme süreci perde duvarların basınç bölgesindeki kabuk betonlarının ezilmesiyle

başlamıştır. Basınç bölgesindeki beton ezildikten sonra perde duvarların yanal yük kapasitesi çelik elemanların burkulmasıyla düşmüştür.

- CSW-2 ve CSW-3 numunelerinin basınç bölgelerindeki çelik elemanların burkulması, CSW-1 numunesine göre daha ileri deplasman seviyelerinde gerçekleşmiştir. Çelik elemanların burkulma eğilimlerinden dolayı, perde uç bölgelerindeki soğuk şekil verilmiş bükme sac elemanların optimum düzeyde perde duvar gövde bölgelerine yakın konumlandırılması çelik elemanlarda burkulmanın önlenerek elemanların daha çok enerji tüketebilmelerine olanak sağlayacaktır. Bunlarla birlikte CSW-1 ve CSW-2 numunesinde kullanılan bükme sac elemanların yerel burkulma problemlerinin sac eleman kalınlıklarının arttırılmasıyla çözülebileceği önerilmektedir.
- CSW-3 numunesinin enerji yutma kapasitesinin CSW-2 numunesinden %6, CSW-2 numunesinin ise referans perde duvar numunesinden (SW) %2 daha fazla olduğu görülmüştür. Bunlarla beraber SW referans numunesinin CSW-1 numunesinden %23 daha çok enerji tükettiği tespit edilmiştir. Numuneler içerisinde en yüksek süneklik oranı yüksek enerji yutma kapasitesine de bağlı olarak CSW-3 numunesi tarafından sergilenmiştir. CSW-3 numunesinin deprenselliği yüksek olan bölgelerde çelik elemanların yerel burkulma problemlerinin önlenemediği durumlarda uygulanabilirliği göz önünde bulundurulabilecektir.
- Numuneler içerisinde başlangıç deplasman seviyelerinde en rijit davranış bükme sac elemanların katkısıyla CSW-1 numunesinde gözlenmiştir. 0,004-0,015 rad. arasındaki görelî kat ötelemelerinde kompozit perde duvar numuneleri geleneksel betonarme perde duvar numunelerine oranla %12 daha rijit bir davranış ortaya koymuştur. Görelî kat ötelemelerinin daha çok önem kazandığı yüksek yapılarda rijitliğin sınırlandırılmasında kompozit elemanlar olumlu etki göstermektedir.

- Tez çalışması kapsamında, bükme sac elemanların perde duvar uç bölgelerinde konumlandırılarak elemanların eğilme kapasitesinin artırılmasında sadece eleman konfigürasyonunun etkili bir parametre olmadığı, kesit narinlik oranının da etken bir parametre olduğu sonucuna varılmıştır.
- Deneysel çalışmalar kapsamında, hasar alan perde duvar elemanların onarılıp güçlendirilmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Önerilen onarım yöntemiyle elemanların onarım öncesi yanal yük taşıma kapasitelerine yakın değerlerle birlikte daha üst değerler de elde edilmiştir. Ancak onarılan elemanların başlangıç rijitlikleri hasarsız eleman rijitliklerinin altında kalmıştır.
- Deneysel çalışmalarda yürütülen deney numunelerinin sonlu elemanlar metodu kullanılarak analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar modelleri ile deneysel çalışmadan elde edilen veriler arasındaki uyum izlenmiş, oluşturulan sonlu elemanlar modellerinin numunelerin gerçek davranışlarını iyi derecede yansıttığı gözlenmiştir.
- Geleneksel betonarme perde duvar modelinin (SW) çekme doğrultusundaki maksimum taşıdığı yük %99 oranında deneysel verilerle uyum gösterirken, itme doğrultusunda bu uyum daha az oranda oluşmuştur. Model, elemanın başlangıç rijitliğinin yanı sıra maksimum yüke ulaştıktan sonra deneysel davranışta yer alan eleman üzerindeki rijitlik azalımını da sergilemiştir.
- CSW-1 modelinin hem itme hem de çekme doğrultularında maksimum taşıdığı yük %100'e yakın oranlarda deneysel verilerle uyum göstermiştir. Ancak model, maksimum yük ötesinde deneysel davranıştan daha rijit bir davranış ortaya koymuştur. CSW-2 modeli, CSW-1 modeline benzer olarak hem itme hem de çekme doğrultusunda deneysel davranışı yansıtmıştır. Maksimum yük kapasitesi göz önünde bulundurulduğunda sonlu elemanlar modeli çekme doğrultusunda %100'e yakın değerlerde deneysel sonuçlarla

benzer sonuçlar vermiştir. Fakat maksimum yük öncesinde model deneysel çalışmadan daha rijit bir davranış sergilemiştir. CSW-1 ve CSW-2 modellerinin deneysel çalışmalardaki maksimum yük ötesi dayanım kayıplarını tam yansıtmamasının lokal burkulma etkilerini efektif olarak dikkate almamasından kaynaklandığı ön görülmüştür.

- CSW-3 modeli itme doğrultusunda deneysel davranışa oranla %9 daha az yük taşımıştır. Buna karşın model başlangıç bölgesinde deneysel verilerle daha uyumlu bir davranış sergilemiştir. Bu uyum, numunenin maksimum yüke ulaştıktan sonra ki rijitliğin azaldığı bölgelerde de gözlenmiştir.
- Perde duvarların onarımına yönelik yürütülen çalışma ile hasar almış perde duvar elemanlar onarım sonrasında hasarsız yapı elemanlarına yakın veya daha yüksek yanal yük kapasitesi sergilemiştir. Ancak onarım sonrasında elemanlar daha düşük yanal rijitlik göstermiştir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda önerilen yöntemin; yüksek yanal rijitlik gerektiren yapılarda uygulanabilirliğinin düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte daha düşük rijitlik talebi oluşan düşük katlı yapılar için uygulanabilir bir yöntem olacağı düşünülmektedir.
- Soğuk şekil verilmiş bükme sac elemanlarda tercih edilebilecek yaygın çelik malzeme sınıflarının farklı kesitlere sahip kompozit perde duvar elemanlarda kullanılmasının eleman dayanımları üzerindeki etkileri parametrik çalışmalar yürütülerek araştırılmıştır.
- Parametrik çalışmalar kapsamında ele alınan kesitlerde bükme sac elemanların perde duvar yanal yük kapasitelerine katkısının öncelikle perde duvar uç bölgelerinde kesitte yer alan bükme sac eleman yoğunlukları ile doğru orantılı olduğu görülmüştür. Malzeme sınıflarına bağlı olarak akma dayanımındaki artışların da sac eleman yoğunluklarına paralel olarak etki gösterdiği değerlendirilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] H.-G. Park, J.-W. Baek, ve S.-H. Kim, “Effect of high-strength reinforcement for shear strength and shear-friction strength of RC walls subjected to cyclic lateral loading”, içinde *Concrete Structures in Earthquake*, Singapore: Springer Singapore, 2019, ss. 67–81.
- [2] Happho, “What Is Honeycombing In RCC Structures & How To Rectify It?” [Çevrimiçi]. Available at: <https://happho.com/honeycombing-rcc-structures-rectify/>.
- [3] D. Dan, A. Fabian, ve V. Stoian, “Theoretical and experimental study on composite steel–concrete shear walls with vertical steel encased profiles”, *J. Constr. Steel Res.*, c. 67, sayı 5, ss. 800–813, May. 2011.
- [4] D. Dan, “Experimental tests on seismically damaged composite steel concrete walls retrofitted with CFRP composites”, *Eng. Struct.*, c. 45, ss. 338–348, Ara. 2012.
- [5] A. U. Haq, K. Shahzada, ve A. Ahmad, “Retrofitting of reinforced concrete shear walls using carbon fiber reinforced polymer wrap”, *Int. J. Adv. Eng. Res. Dev.*, c. 5, sayı 1, ss. 798–806, 2018.
- [6] H. Kaplan, S. Yılmaz, N. Çetinkaya, ve E. Atımtay, “Seismic strengthening of RC structures with exterior shear walls”, *Sadhana*, c. 36, sayı 1, ss. 17–34, Şub. 2011.
- [7] A. E. Fiorato, R. G. Oesterle, ve W. G. Corley, “Behavior of earthquake resistant structural walls before and after repair”, *ACI J. Proc.*, c. 80, sayı 5, ss. 403–413, 1983.
- [8] S. H. Cho, B. Tupper, W. D. Cook, ve D. Mitchell, “Structural steel boundary elements for ductile concrete walls”, *J. Struct. Eng.*, c. 130, sayı 5, ss. 762–768, May. 2004.
- [9] J. Qian, Z. Jiang, ve X. Ji, “Behavior of steel tube-reinforced concrete composite walls subjected to high axial force and cyclic loading”, *Eng. Struct.*, c. 36, ss. 173–184, Mar. 2012.

- [10] Y. Zhou, X. Lu, ve Y. Dong, “Seismic behaviour of composite shear walls with multi-embedded steel sections. Part I: experiment”, *Struct. Des. Tall Spec. Build.*, c. 19, sayı 6, ss. 618–636, Eki. 2010.
- [11] F. Y. Liao, L. H. Han, ve Z. Tao, “Performance of reinforced concrete shear walls with steel reinforced concrete boundary columns”, *Eng. Struct.*, c. 44, ss. 186–209, 2012.
- [12] F.-Y. Liao, L.-H. Han, ve Z. Tao, “Seismic behaviour of circular CFST columns and RC shear wall mixed structures: Experiments”, *J. Constr. Steel Res.*, c. 65, sayı 8–9, ss. 1582–1596, Ağu. 2009.
- [13] A. Arabzadeh, M. Soltani, ve A. Ayazi, “Experimental investigation of composite shear walls under shear loadings”, *Thin-Walled Struct.*, c. 49, sayı 7, ss. 842–854, Tem. 2011.
- [14] A. Ali, D. Kim, ve S. G. Cho, “Modeling of nonlinear cyclic load behavior of I-shaped composite steel-concrete shear walls of nuclear power plants”, *Nucl. Eng. Technol.*, c. 45, sayı 1, ss. 89–98, Şub. 2013.
- [15] C. Cheng ve D. Zhou, “Experimental study on seismic behavior of composite concrete and double-steel-plate shear walls with binding bars”, içinde *6th International Conference on Advances in Experimental Structural Engineering, University of Illinois, Urbana-Champaign, United States*, 2015, ss. 1–8.
- [16] S. G. Cho, W.-K. Park, G.-H. So, S.-T. Yi, ve D. Kim, “Seismic capacity estimation of Steel Plate Concrete (SC) shear wall specimens by nonlinear static analyses”, *KSCE J. Civ. Eng.*, c. 19, sayı 3, ss. 698–709, Mar. 2015.
- [17] M. Elmatzoglou ve A. Avdelas, “Numerical modelling of double-steel plate composite shear walls”, *Computation*, c. 5, sayı 4, s. 12, Şub. 2017.
- [18] H.-S. Hu, J.-G. Nie, J.-S. Fan, M.-X. Tao, Y.-H. Wang, ve S.-Y. Li, “Seismic behavior of CFST-enhanced steel plate-reinforced concrete shear walls”, *J. Constr. Steel Res.*, c. 119, ss. 176–189, Mar. 2016.
- [19] N. H. Nguyen ve A. S. Whittaker, “Numerical modelling of steel-plate concrete composite shear walls”, *Eng. Struct.*, c. 150, ss. 1–11, Kas. 2017.
- [20] X. Zhang, Y. Qin, ve Z. Chen, “Experimental seismic behavior of innovative composite shear walls”, *J. Constr. Steel Res.*, c. 116, ss. 218–232, Oca. 2016.
- [21] Q. Zhao ve A. Astaneh-Asl, “Cyclic behavior of traditional and innovative composite shear walls”, *J. Struct. Eng.*, c. 130, sayı 2, ss. 271–284, Şub. 2004.

- [22] D. Zhou, L. Liu, ve L. Zhu, “Lateral load-carrying capacity analyses of composite shear walls with double steel plates and filled concrete with binding bars”, *J. Cent. South Univ.*, c. 23, sayı 8, ss. 2083–2091, Ağu. 2016.
- [23] Q. Han, D. Wang, ve Y. Zhang, “Modeling and analysis of composite steel plate shear wall with assembled multi-concrete slab”, içinde *DEStech Transactions on Computer Science and Engineering*, 2017, sayı CMSAM.
- [24] S. B. Yüksel, “Seismic behaviour of composite shear walls having L shaped steel profiles as longitudinal boundary reinforcement, Selçuk University, Scientific Research Project (SU BAP), Project number: 14101011”, 2016.
- [25] S. B. Yüksel ve A. Ünal, “Experimental behavior of composite shear walls having L shape steel sections in boundary regions”, *World Acad. Sci. Eng. Technol. Int. J. Civil, Environ. Struct. Constr. Archit. Eng.*, 2015.
- [26] H. Zhang, J. Dong, Y. Duan, X. Lu, ve J. Peng, “Seismic and power generation performance of U-shaped steel connected PV-shear wall under lateral cyclic loading”, *Int. J. Photoenergy*, c. 2014, ss. 1–15, 2014.
- [27] M. AL-Bdoor, “Behavior of composite columns subjected to lateral cyclic loading”, Eastern Mediterranean University, 2013.
- [28] S. Dey ve A. K. Bhowmick, “Seismic performance of composite plate shear walls”, *Structures*, c. 6, ss. 59–72, May. 2016.
- [29] M. Herbrand, D. Kueres, A. Stark, ve M. Classen, “Numerische Simulation von balken- und plattenförmigen Bauteilen aus Stahlbeton und UHPC mit einem plastischen Schädigungsmodell”, *Bauingenieur*, c. 91, sayı 2, ss. 45–56, 2016.
- [30] M. A. Najafgholipour, S. M. Dehghan, A. Dooshabi, ve A. Niroomandi, “Finite element analysis of reinforced concrete beam-column connections with governing joint shear failure mode”, *Lat. Am. J. Solids Struct.*, c. 14, sayı 7, ss. 1200–1225, Ağu. 2017.
- [31] M. Labibzadeh, M. Zakeri, ve A. Adel Shoaib, “A new method for CDP input parameter identification of the ABAQUS software guaranteeing uniqueness and precision”, *Int. J. Struct. Integr.*, c. 8, sayı 2, ss. 264–284, Nis. 2017.
- [32] Dassault Systèmes, “Abaqus/CAE”. Dassault Systèmes, Providence, RI, USA.
- [33] Dassault Systèmes, “Abaqus online documentation”, 2015. [Çevrimiçi]. Available at: <http://130.149.89.49:2080/v2016/index.html>.
- [34] N. Marković, D. Stojić, ve R. Cvetković, “Nonlinear analysis of reinforced concrete structures using software package Abaqus”, *Zb. Rad. Građevinskog Fak.*, c. 30, sayı 26, ss. 45–54, 2014.

- [35] G. Zhao, M. Zhang, Y. Li, ve D. Li, “The hysteresis performance and restoring force model for corroded reinforced concrete frame columns”, *J. Eng.*, c. 2016, ss. 1–19, 2016.
- [36] N. Usefi, F. M. Nav, ve R. Abbasnia, “Finite element analysis of RC elements in progressive collapse scenario”, *J. Croat. Assoc. Civ. Eng.*, c. 68, sayı 12, ss. 1009–1022, Ara. 2016.
- [37] M. Meghdadian, N. Gharaei-Moghaddam, A. Arabshahi, N. Mahdavi, ve M. Ghalehnovi, “Proposition of an equivalent reduced thickness for composite steel plate shear walls containing an opening”, *J. Constr. Steel Res.*, c. 168, 2020.
- [38] A. Ali, S. G. Cho, D. Kim, ve J. Cui, “Numerical study on cyclic behavior of I-shaped composite SC shear walls for nuclear power plants”, içinde *Korean Society of Civil Engineers*, 2011, ss. 2255–2258.
- [39] A. Ahmed, “Modeling of a reinforced concrete beam subjected to impact vibration using ABAQUS”, *Int. J. Civ. Struct. Eng.*, c. 4, sayı 3, ss. 227–236, 2014.
- [40] H. Sinaei, M. Shariati, A. H. Abna, M. Aghaei, ve A. Shariati, “Evaluation of reinforced concrete beam behaviour using finite element analysis by ABAQUS”, *Sci. Res. Essays*, c. 7, sayı 21, ss. 2002–2009, 2012.
- [41] R. Daud, L. Cunningham, ve Y. Wang, “Non-linear FE modelling of CFRP-strengthened RC slabs under cyclic loading”, *Athens J. Technol. Eng.*, c. 2, sayı 3, ss. 1–22, 2015.
- [42] I. S. I. Harba ve A. J. Abdulridha, “Finite element analysis of RC tapered beams under cyclic loading”, *Al-Nahrain J. Eng. Sci.*, c. 20, sayı 2, ss. 378–396, 2017.
- [43] M. Meghdadaian ve M. Ghalehnovi, “Improving seismic performance of composite steel plate shear walls containing openings”, *J. Build. Eng.*, c. 21, ss. 336–342, Oca. 2019.
- [44] S. El-Khoriby, M. A. Sakr, T. M. Khalifa, ve M. T. Nagiub, “Numerical analysis of RC shear wall retrofitted using CFRP”, içinde *Advances in Civil, Environment, and Materials Research (ACEM16)*, 2016.
- [45] H. A. Al-Sakkaf, “Modelling of corroded reinforced concrete beams”, King Fahd University of Petroleum & Minerals, 2016.
- [46] E. Ellobody ve B. Young, “Numerical simulation of concrete encased steel composite columns”, *J. Constr. Steel Res.*, c. 67, sayı 2, ss. 211–222, Şub. 2011.

- [47] Z. J. Li, T. Balendra, K. H. Tan, ve K. H. Kong, “Finite element modeling of cyclic behavior of shear wall structure retrofitted using GFRP”, *Proc. 7th Int. Symp. Fiber Reinf. Polym. Reinf. Concr. Struct. - FRPRCS-7*, sayı 74, ss. 1305–1324, 2005.
- [48] Y. Xiao, Z. Chen, J. Zhou, Y. Leng, ve R. Xia, “Concrete plastic-damage factor for finite element analysis: Concept, simulation, and experiment”, *Adv. Mech. Eng.*, c. 9, sayı 9, ss. 1–10, Eyl. 2017.
- [49] B. Alfarah, F. López-Almansa, ve S. Oller, “New methodology for calculating damage variables evolution in Plastic Damage Model for RC structures”, *Eng. Struct.*, c. 132, ss. 70–86, Şub. 2017.
- [50] M. De Filippo, “Non-linear static and dynamic finite element analyses of reinforced concrete structures”, Aalborg University, 2016.
- [51] A. S. Gebreyohannes, G. C. Clifton, ve J. W. Butterworth, “Finite element modeling of non-ductile RC walls”, içinde *15th World Conference on Earthquake Engineering (15WCEE)*, 2012.
- [52] F. Lopez-Almansa, B. Alfarah, ve S. Oller, “Numerical simulation of RC frame testing with damaged plasticity model comparison with simplified models”, içinde *Second european conference on earthquake engineering and seismology*, 2014, sayı October 2015, ss. 1–12.
- [53] S. Deng, Z. Qie, ve L. Wang, “Nonlinear analysis of reinforced concrete beam bending failure experimentation based on ABAQUS”, içinde *Proceedings of the First International Conference on Information Sciences, Machinery, Materials and Energy*, 2015, ss. 440–444.
- [54] W. Ren, L. H. Sneed, Y. Yang, ve R. He, “Numerical simulation of prestressed precast concrete bridge deck panels using damage plasticity model”, *Int. J. Concr. Struct. Mater.*, c. 9, sayı 1, ss. 45–54, Mar. 2015.
- [55] B. Alfarah, “Advanced computationally efficient modeling of RC structures nonlinear cyclic behavior”, Universitat Politècnica de Catalunya, 2017.
- [56] E. Lale, “Nonlinear analysis of reinforced concrete elements using damage and plasticity theory”, Istanbul Technical University, 2011.
- [57] J. Lubliner, J. Oliver, S. Oller, ve E. Oñate, “A plastic-damage model for concrete”, *Int. J. Solids Struct.*, c. 25, sayı 3, ss. 299–326, 1989.
- [58] J. Lee ve G. L. Fenves, “Plastic-Damage Model for cyclic loading of concrete structures”, *J. Eng. Mech.*, c. 124, sayı 8, ss. 892–900, 1998.
- [59] Y. Sümer ve M. Aktaş, “Defining parameters for concrete damage plasticity model”, *Chall. J. Struct. Mech.*, c. 1, sayı 3, ss. 149–155, 2015.

- [60] L. Molina *vd.*, “Bond strength of galvanized steel:experimental and numerical study based on pull-out tests”, içinde *3rd International conference on Mechanical models in structural engineering*, 2015, ss. 143–158.
- [61] R. N. Hamedani ve M. S. Esfahani, “Numerical evaluation of structural behavior of the simply supported FRP-RC beams”, Royal Institute of Technology (KTH), 2012.
- [62] S. Michał ve W. Andrzej, “Calibration of the CDP model parameters in Abaqus”, içinde *The 2015 World Congress on Advances in Structural Engineering and Mechanics (ASEM2015)*, 2015.
- [63] J. M. Dulinska ve I. J. Murzyn, “Dynamic behaviour of a concrete building under a mainshock–aftershock seismic sequence with a concrete damage plasticity material model”, *Geomatics, Nat. Hazards Risk*, c. 7, sayı sup1, ss. 25–34, May. 2016.
- [64] Y. Dere ve M. A. Koroglu, “Nonlinear FE modeling of reinforced concrete”, *Int. J. Struct. Civ. Eng. Res.*, c. 6, sayı 1, ss. 71–74, 2017.
- [65] S. Dey, “Seismic performance of composite plate shear walls”, Concordia University, 2014.
- [66] A.-B. Abdelmoneim Elamin Mohamad ve Z. Chen, “Experimental and numerical analysis of the compressive and shear behavior for a new type of self-insulating concrete masonry system”, *Appl. Sci.*, c. 6, sayı 9, ss. 1–14, Ağu. 2016.
- [67] T. Jankowiak ve T. Lodygowski, “Identification of parameters of concrete damage plasticity constitutive model”, *Found. Civ. Environ. Eng.*, c. 6, ss. 53–68, 2005.
- [68] L. Shahryari ve M. Esfandiari, “Comparison of plasticity and stiffness of steel shear walls with composite steel plate shear wall”, *J. Struct. Eng. Geotech.*, c. 5, sayı 3, ss. 21–26, 2015.
- [69] V. Birtel ve P. Mark, “Parameterised finite element modelling of RC beam shear failure”, içinde *Abaqus Users’ Conference*, 2006, ss. 95–108.
- [70] H. K. Risan, I. S. I. Harba, ve A. J. Abdulridha, “Numerical analysis of RC wall with opening strengthened by CFRP subjected to eccentric loads”, *J. Croat. Assoc. Civ. Eng.*, c. 69, sayı 07, ss. 573–580, Ağu. 2017.
- [71] B. Hamunzala ve D. Teklemariam, “Design of thick concrete beams design of thick concrete beams using non-linear FEM”, KTH Royal Institute of Tecnology, 2016.

- [72] A. Demir, “Betonarme yüksek kirişlerde kesme çatlağının artık yük taşıma kapasitesine etkisinin incelenmesi”, Sakarya Üniversitesi, 2018.
- [73] I. Marzec ve J. Tejchman, “Computational modelling of concrete behaviour under static and dynamic conditions”, *Bull. Polish Acad. Sci. Tech. Sci.*, c. 61, sayı 1, ss. 85–96, Mar. 2013.
- [74] B. L. Wahalathantri, D. P. Thambiratnam, T. H. T. Chan, ve S. Fawzia, “A material model for flexural crack simulation in reinforced concrete elements using ABAQUS”, içinde *First International Conference on Engineering, Designing and Developing the Built Environment for Sustainable Wellbeing*, 2011, ss. 260–264.
- [75] H. F. S. G. Pereira, V. M. C. F. Cunha, ve J. Sena-Cruz, “Numerical simulation of galvanized rebars pullout”, *Frat. ed Integrità Strutt.*, c. 9, sayı 31, ss. 54–66, Ara. 2014.
- [76] A. R. Rahai ve M. Alipoura, “Behavior and characteristics of innovative composite plate shear walls”, *Procedia Eng.*, c. 14, ss. 3205–3212, 2011.
- [77] S. A. Al-Ta’an, A. A. Mohammed, ve M. A. Al-Jurma, “Nonlinear three dimensional finite element analysis of steel fiber reinforced concrete deep beam”, *Iraqi J. Mech. Mater. Eng.*, sayı E, ss. 13–25, 2010.